รายงานผลการดำเนินงาน
ทุนอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณแผ่นดินปี 2557

โครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชอันเนื่องมาจากพระราชดำริ
สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี

เรื่อง

กระบวนการทางสมุทรศาสตร์ที่มีผลต่อการแพร่กระจายของสารในแนวปะการังและแหล่งหญ้าทะเล อำเภอสัตหีบ จังหวัดชลบุรี-3: พลวัตรของไนโตรเจนละลายในมวลน้ำบริเวณแนวปะการังและแหล่งหญ้าทะเล

Oceanographic processes and the fate of material in coral reef and seagrass habitats, Sattahip, Chonburi – 3: Dynamics of dissolved nitrogen in reefs and seagrass beds

โดย
อาจารย์ ดร. ปัทมา สิงหรักษ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เพ็ญใจ สมพงษ์ชัยกุล
รองศาสตราจารย์ ดร. วรณพ วิยกาญจน์
ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กระบวนการทางสมุทรศาสตร์ที่มีผลต่อการแพร่กระจายของสารในแนวปะการังและแหล่งหญ้าทะเล อำเภอสัตหีบ จังหวัดชลบุรี-3: พลวัตรของไนโตรเจนละลายในมวลน้ำบริเวณแนวปะการังและแหล่งหญ้าทะเล

Oceanographic processes and the fate of material in coral reef and seagrass habitats, Sattahip, Chonburi – 3: Dynamics of dissolved nitrogen in reefs and seagrass beds

ปัทมา สิงหรักษ์, เพ็ญใจ สมพงษ์ชัยกุล และวรณพ วิยกาญจน์

ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อ

การศึกษาพลวัตรของไนโตรเจนละลายในมวลน้ำบริเวณแนวปะการังและแหล่งหญ้าทะเล ณ แนวปะการังและหญ้าทะเล บริเวณหมู่เกาะแสมสาร อำเภอสัตหีบ จังหวัดชลบุรี ผลการดำเนินในปี พ.ศ. 2557 สรุปได้ดังนี้ เนื่องจากแบบจำลองคุณภาพน้ำต้องการข้อมูลการไหลเวียนของกระแสน้ำเป็นปัจจัยในการจำลองการกระจายของสารอาหารพืชในขอบเขตของแบบจำลอง ดังนี้ขั้นตอนแรกของการศึกษาจึงทำการจำลองการไหลเวียนของกระแสน้ำในช่วงน้ำเกิดและน้ำตาย และสอบเทียบกับข้อมูลการตรวจวัดกระแสน้ำในอดีต พบว่าบริเวณหมู่เกาะแสมสารมีรูปแบบกระแสน้ำวนบริเวณแนวหลังเกาะขณะที่น้ำกำลังขึ้นและกำลังลง กระแสน้ำในช่วงน้ำเกิดมีความเร็วสูงประมาณสองเท่าของความเร็วกระแสน้ำในช่วงน้ำตาย นอกจากนี้ได้ทำการจำลองความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยในช่วงน้ำเกิดและน้ำตาย ทั้งนี้เนื่องจากตะกอนแขวนลอยนี้สามารถเป็นตัวดูดซับสารอาหารพืช จึงเป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อการจำลองความผันแปรของปริมาณไนโตรเจนละลายน้ำในขั้นตอนต่อไป

1) บทนำ

แนวปะการังและแหล่งหญ้าทะเลเป็นระบบนิเวศทางทะเลที่มีความสำคัญ ปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อความอุดมสมบูรณ์ของระบบนิเวศคือ ปริมาณสารอาหารพืชซึ่งจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิตมีอยู่อย่างสมดุลในระบบ โดยแหล่งที่มาที่สำคัญของสารอาหารพืชมาจากแหล่งน้ำจืดและชุมชนชายฝั่ง เมื่อมีการผสมผสานกับน้ำทะเลแล้วจะมีถูกทำให้เจือจางด้วยกระบวนการทางธรณีเคมี ขณะเดียวกันกระบวนการทางสมุทรศาสตร์ ได้แก่ กระแสน้ำ การผสมผสานของน้ำ และคลื่น เป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการแพร่กระจายของสารอาหารพืชในมวลน้ำ นอกจากนี้หนึ่งในแหล่งที่มาสำคัญของสารอาหารพืช คือการถ่ายเทระหว่างตะกอนกับมวลน้ำ ดังนั้นพลวัตรของตะกอน อัตราการตกตะกอน และการฟุ้งกระจายของตะกอนในมวลน้ำซึ่งได้รับอิทธิพลจากกระแสน้ำและคลื่นย่อมส่งผลต่อปริมาณสารอาหารพืชในระบบนิเวศ ในทางตรงกันข้ามปริมาณสารอาหารพืชที่มีมากเกินไปกลับเป็นผลเสียต่อระบบนิเวศปะการัง โดยทำให้สาหร่ายสามารถเจริญเติบโตได้ดีกว่าปะการัง รวมทั้งทำให้อัตราการเติบโตของปะการังช้าลง ดังนั้นความเข้าใจในกระบวนการที่ควบคุมการกระจายและปัจจัยที่ส่งผลต่อแหล่งที่มาของ

สารอาหารพืชในแนวปะการังมีความสำคัญต่อการจัดการระบบนิเวศแนวปะการังอย่างเป็นระบบ กระบวนการเหล่านี้มีความผันแปรแตกต่างกันในแต่ละพื้นที่และช่วงเวลาจึงเป็นที่มาของงานวิจัยนี้

2) วัตถุประสงค์ของโครงการ

2.1 ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างกระบวนการทางสมุทรศาสตร์ กับพลวัตรของสารอาหารพืชในมวลน้ำในแนวปะการังและแหล่งหญ้าทะเล

2.2 สนองพระราชดำริสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี เพื่อการเรียนรู้และนำไปใช้ประโยชน์อย่างยั่งยืน

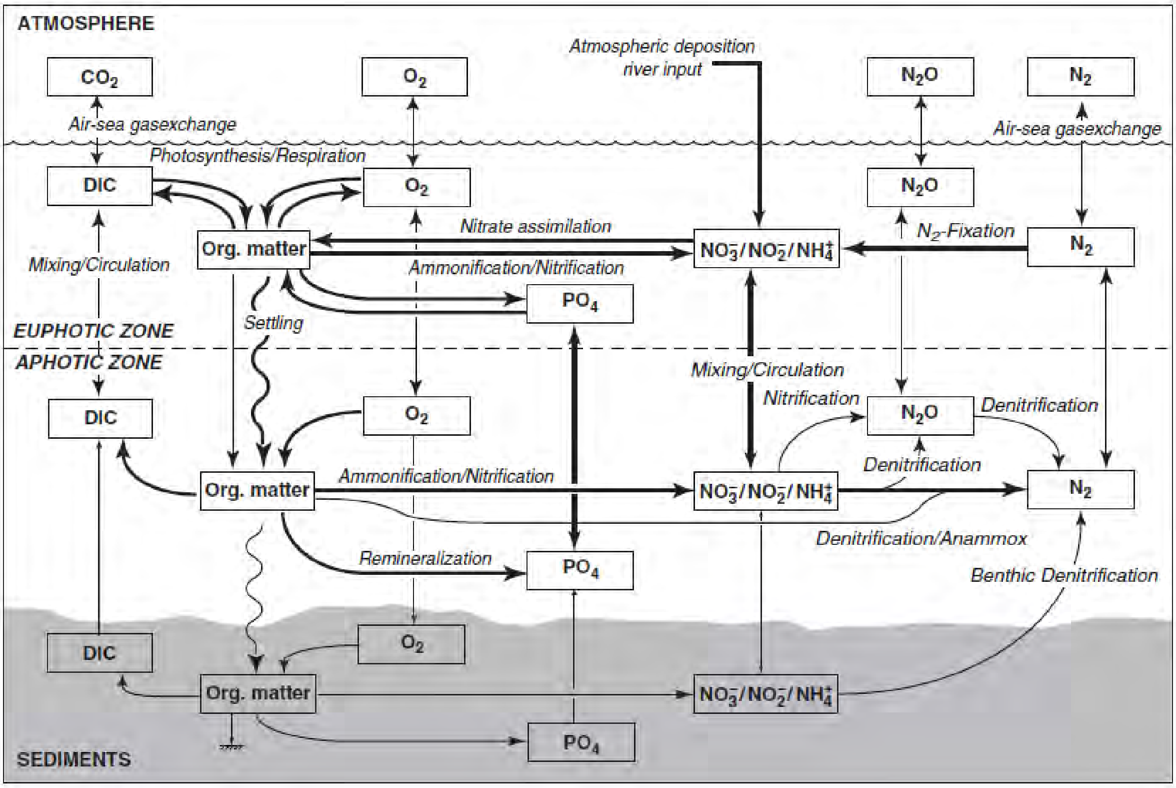
3) ทบทวนเอกสาร

สารอาหารพืช (nutrients) เป็นปัจจัยจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิต แต่ปริมาณสารอาหารพืชที่มากเกินไปกลับส่งผลเสียต่อระบบนิเวศทางทะเล ในบรรดาภัยคุกคามต่อระบบนิเวศทางทะเลนั้น คุณภาพน้ำที่ลดลงเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของปริมาณสารอาหารพืช จัดเป็นปัญหาที่มีความสำคัญในลำดับถัดมาจาก การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของน้ำทะเล การขยายตัวของการพัฒนาแนวชายฝั่ง และการทำประมงเกินขอบเขต (Halpern et al., 2008) สำหรับระบบนิเวศแนวปะการังนั้น การฟอกขาวของปะการัง (coral bleaching) ซึ่งเกิดเมื่ออุณหภูมิน้ำทะเลสูงขึ้น ส่งผลให้เกิดสภาวะที่ไม่เหมาะสมต่อการอยู่ร่วมกันระหว่างสาหร่ายเซลล์เดียวกับตัวปะการัง จึงทำให้สาหร่ายเซลล์เดียวถูกขับออกจากตัวปะการังนั้น เป็นภัยคุกคามที่สำคัญที่สุด (Hughes et al., 2003) การศึกษาในห้องปฏิบัติการพบว่าปะการังที่อยู่ในสภาวะที่มีปริมาณสารอาหารพืชสูงเป็นเวลานาน มีโอกาสเกิดโรคสูงขึ้น และเกิดการฟอกขาวของปะการังบ่อยครั้งขึ้น (Vega Thurber et al., 2014) การทดลองยังแสดงให้เห็นว่าหากคุณภาพน้ำกลับมาอยู่ในสภาพดี จะลดอัตราการเกิดโรคและการฟอกขาวของปะการังลงได้ การศึกษาในแนวปะการังธรรมชาติที่ฟลอริดา ประเทศสหรัฐอเมริกา ในปีที่อุณหภูมิน้ำทะเลสูงกว่าปกติ พบว่าแนวปะการังที่อยู่ในสภาวะที่มีผลผลิตปฐมภูมิสูง ซึ่งบ่งชี้ได้ด้วยปริมาณคลอโรฟิลล์เอและปริมาณไนโตรเจนละลายสูง มีอัตราการฟอกขาวที่สูงกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับแนวปะการังที่อยู่ในสภาวะที่มีผลผลิตปฐมภูมิต่ำ (Wagner et al., 2010) เช่นเดียวกับการศึกษาการฟอกขาวของปะการังจากอุณหภูมิน้ำทะเลที่สูงขึ้น ในบริเวณเกรทแบริเออรีฟ ประเทศออสเตรเลีย พบว่าในแนวปะการังที่มีปริมาณสารอาหารพืชสูงซึ่งบ่งชี้ได้จากปริมาณไนโตรเจนละลายน้ำสูง การฟอกขาวจะเกิดได้ที่อุณหภูมิวิกฤตที่ต่ำกว่า (Wooldridge, 2009) ดังนั้นการรักษาคุณภาพน้ำในแนวปะการังให้อยู่ในสภาวะที่มีปริมาณสารอาหารพืชไม่สูงจนเกินไป เป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งเสริมให้แนวปะการังสามารถอยู่รอดภายใต้สภาวะภูมิอากาศเปลี่ยนแปลง (Wooldridge and Done, 2009)

การหมุนเวียนสารอาหารพืชเกี่ยวข้องกับกระบวนการทั้งในมวลน้ำ และรอยต่อระหว่างตะกอนกับมวลน้ำ (Alongi and McKinnnon, 2005) อัตราการผสมผสานสารอาหารพืชในมวลน้ำและในรอยต่อระหว่างมวลน้ำกับตะกอนส่งผลต่อปริมาณสารอาหารพืชที่ปะการังสามารถนำเอาไปใช้ได้ (Zhang et al., 2011) กระบวนการที่

ควบคุม ได้แก่ ความเร็วของกระแสน้ำและคลื่น ทั้งสองกระบวนการนี้ยังควบคุมการฟุ้งกระจายและตกตะกอนกลับมาของตะกอนแขวนลอยซึ่งเป็นแหล่งที่มาของสารอาหารพืชด้วย (Wyatt et al., 2010) นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับความขรุขระซับซ้อนของแนวปะการังและแหล่งหญ้าทะเลด้วย (Hearn, 2011) ซึ่งมีความแตกต่างในแต่ละพื้นที่

ในบรรดาสารอาหารพืชในทะเล ไนโตรเจนเป็นวัฏจักรที่มีความสำคัญและซับซ้อนมากที่สุด (รูปที่ 1) ไนโตรเจนที่ละลายในน้ำมีอยู่หลากหลายรูปแบบ แต่รูปแบบที่มีมากที่สุดคือก๊าซไนโตรเจน (N_2) ซึ่งเป็นรูปแบบที่สิ่งมีชีวิตไม่สามารถนำไปใช้ได้ จึงเป็นที่มาของกระบวนการทางชีววิทยาที่สำคัญ 2 กระบวนการในการแปรรูปไนโตรเจนให้อยู่ในรูปแบบที่สิ่งมีชีวิตนำไปใช้ได้ คือ กระบวนการ Nitrogen fixation และ Denitrificaiton (Gruber et al., 2008)



รูปที่ 1 วัฏจักรไนโตรเจน ที่มา: Gruber (2008)

Nitrification: $NH_4^+ + 2O_2 \longrightarrow NO_3^- + 2H^+ + H_2O$ (1)

Denitrification: $NO_3^- + H^+ \longrightarrow 0.5N_2 + 1.25O_2 + 0.5H_2O$ (2)

ในการศึกษาวัฏจักรของสารอาหารพืชในทะเล ได้มีการนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เข้ามาใช้ โดยเริ่มจากองค์ประกอบของระบบนิเวศอย่างง่ายได้แก่ แบบจำลองแบบ NPZD (nitrogern, phytoplankton, zooplankton, detritus) ต่อมาได้มีการนำปัจจัยทางกายภาพเข้ามาประกอบ ได้แก่การจำลองการไหลเวียนของกระแสน้ำแบบสองมิติ และแบบสามมิติ (Hood and Christian, 2008) โดยการศึกษาปัจจัยที่ควบคุมปริมาณไนเตรตในมหาสมุทรแปซิฟิก ได้ใช้แบบจำลองคู่ควบระหว่างการไหลเวียนกระแสน้ำและระบบนิเวศอย่างง่าย NPZD (Chai et al., 1996) สำหรับในทะเลชายฝั่งบริเวณอ่าว Chesapeake Bay ประเทศสหรัฐอเมริกา ก็ได้มีการนำแบบจำลองเชิงตัวเลขแบบคู่ควบดังกล่าวมาใช้ในการจำลองการแปรผันของปริมาณสารอาหารพืชระหว่างฤดูแล้งกับฤดูน้ำหลาก (Xu and Hood, 2006)

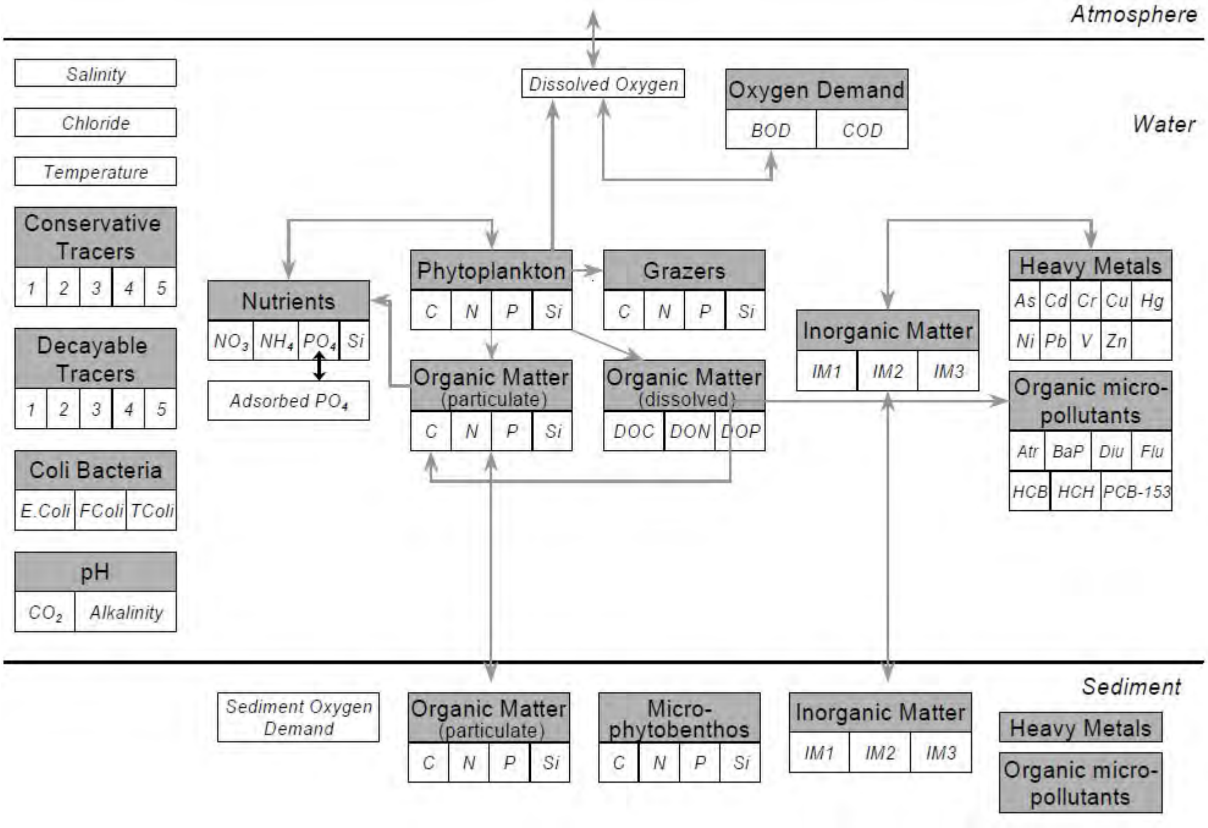
4) สถานที่ทำการวิจัยและเก็บข้อมูล

แนวปะการังและแหล่งหญ้าทะเล บริเวณหมู่เกาะแสมสาร อำเภอสัตหีบ จังหวัดชลบุรี

5) วิธีดำเนินการวิจัย และแผนการปฏิบัติงาน

การดำเนินการวิจัยแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ การสร้างแบบจำลองเชิงตัวเลขเพื่อทำนายการแปรผันของไนโตรเจนละลายในมวลน้ำในบริเวณที่ศึกษา และการเก็บข้อมูลภาคสนามเพื่อสอบเทียบแบบจำลอง

แบบจำลองที่ใช้ในศึกษาครั้งนี้ คือ แบบจำลอง Delft3D (Deltares, 2011) ซึ่งประกอบด้วย Delft3D-FLOW สำหรับจำลองการไหลเวียนกระแสน้ำ และ Delft3D-WAQ สำหรับจำลองคุณภาพน้ำ (รูปที่ 2) สำหรับการศึกษาครั้งนี้จะมุ่งจำลองเฉพาะวัฏจักรของไนโตรเจนเท่านั้น โดยสมการที่ใช้ในการคำนวณการแปรผันของสารอาหารพืชไนโตรเจนละลายน้ำใช้หลักการ mass balance ดังสมการที่ (3) และ (4)



รูปที่ 2 องค์ประกอบของแบบจำลอง Delft3D-WAQ ในการจำลองคุณภาพน้ำ ที่มา: Deltares (2011)

$$\frac{\Delta NO_3}{\Delta t} = \text{loads + transport + nitrification − denitrification − primary production}$$

$$\text{+ atmospheric deposition ± sediment flux} \qquad (3)$$

$$\frac{\Delta NH_4}{\Delta t} = \text{loads + transport - nitrification + mineralisation − primary production}$$

$$\text{+ autolysis + atmospheric deposition ± sediment flux} \qquad (4)$$

สำหรับการเก็บข้อมูลภาคสนาม จะดำเนินการเก็บตัวอย่างน้ำบริเวณรอบเกาะแสมสาร โดยมีขั้นตอนดังนี้

ก) เก็บตัวอย่างน้ำ โดยใช้ modified Kimmerer water sampler ที่ 3 ระดับความลึกที่ คือ ระดับผิวน้ำ 0.5 เมตร ระดับกลางน้ำ และระดับเหนือพื้นทะเล 1 เมตร

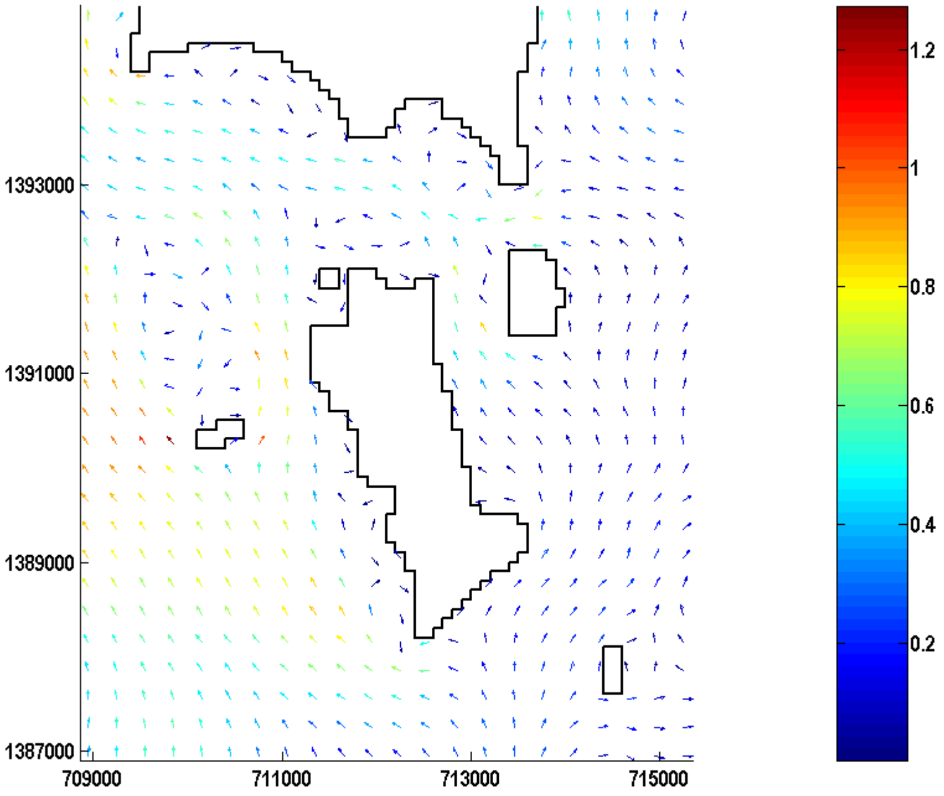
ข) นำตัวอย่างน้ำมาวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ การวิเคราะห์ทางเคมีใช้วิธีการของ Strickland and Parsons (1972), EPA (1999) และ JGOFS Protocols (1994) ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 วิธีการที่ใช้วิเคราะห์พารามิเตอร์ทางกายภาพเคมีและทางเคมี

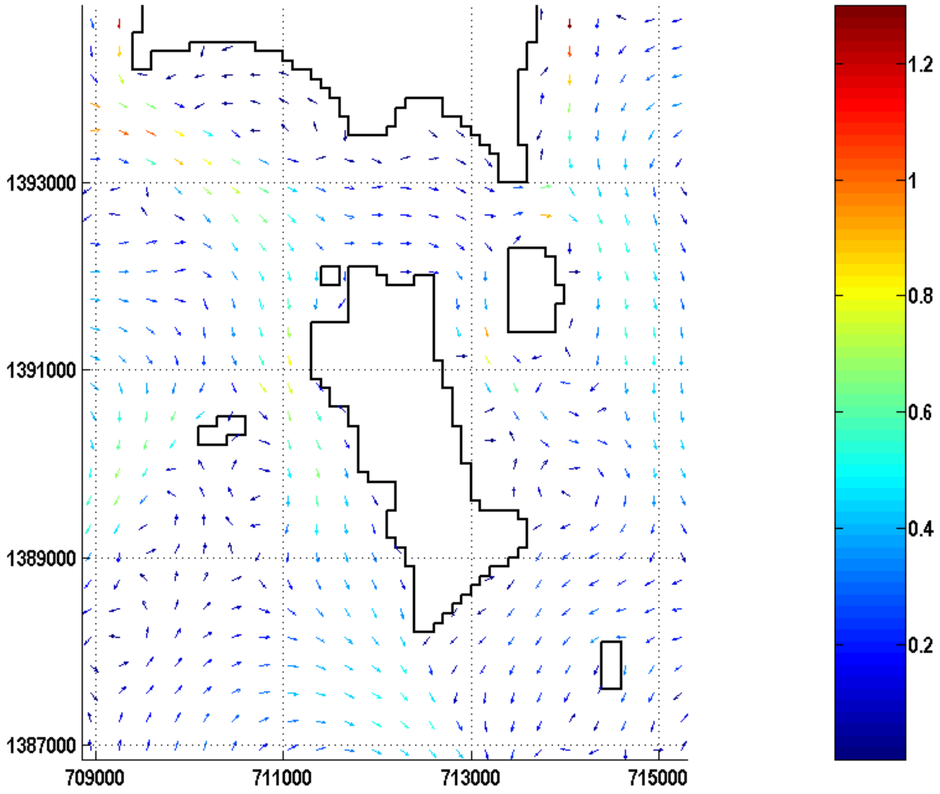
พารามิเตอร์	วิธีการ	อ้างอิง
pH	Electrometric method	
อุณหภูมิ	Electrometric method	
ความเค็ม	Electrometric method	
ความเข้มแสง	Electrometric method	
ออกซิเจนละลาย (D.O.)	Winkler method	Strickland and Parsons (1972)
สารแขวนลอยทั้งหมด	Gravimetric method (EPA Method 160.2)	EPA (1999)
คลอโรฟิลล์เอ	Extraction & Fluorometric method	JGOFS Protocols (1994)
แอมโมเนีย (NH_4^+)	Colorimetric method	Strickland and Parsons (1972)
ไนไตรต์ (NO_2^-)	Colorimetric method	Strickland and Parsons (1972)
ไนเตรต (NO_3^-)	Cadmium reduction & Colorimetric method	Strickland and Parsons (1972)

6) ผลการดำเนินงานในช่วงที่ผ่านมา

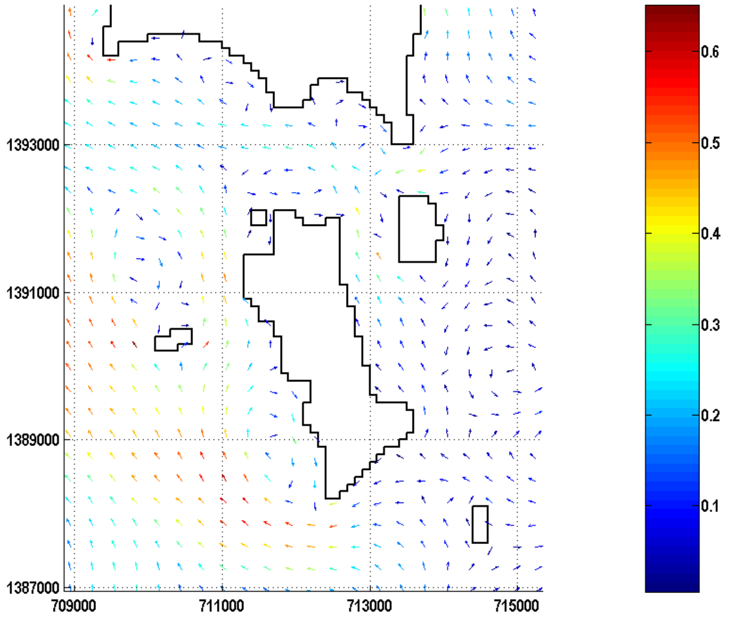
เนื่องจากแบบจำลองคุณภาพน้ำต้องการข้อมูลการไหลเวียนของกระแสน้ำเป็นปัจจัยในการจำลองการกระจายของสารอาหารพืชในขอบเขตของแบบจำลอง ดังนี้ขั้นตอนแรกของการศึกษาจึงทำการจำลองการไหลเวียนของกระแสน้ำในช่วงน้ำเกิดและน้ำตาย และสอบเทียบกับข้อมูลการตรวจวัดกระแสน้ำในอดีต ดังแสดงในในรูปที่ 3 ถึงรูปที่ 6 พบว่าบริเวณหมู่เกาะแสมสารมีรูปแบบกระแสน้ำวนบริเวณแนวหลังเกาะขณะที่น้ำกำลังขึ้นและกำลังลง กระแสน้ำในช่วงน้ำเกิด (รูปที่ 3 และ 4) มีความเร็วสูงประมาณสองเท่าของความเร็วกระแสน้ำในช่วงน้ำตาย (รูปที่ 5 และ 6) นอกจากนี้ได้ทำการจำลองความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยในช่วงน้ำเกิดและน้ำตาย ดังแสดงในรูปที่ 7 และ 8 ทั้งนี้เนื่องจากตะกอนแขวนลอยนี้สามารถเป็นตัวดูดซับสารอาหารพืช จึงเป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อการจำลองความผันแปรของปริมาณไนโตรเจนละลายน้ำในขั้นตอนต่อไป



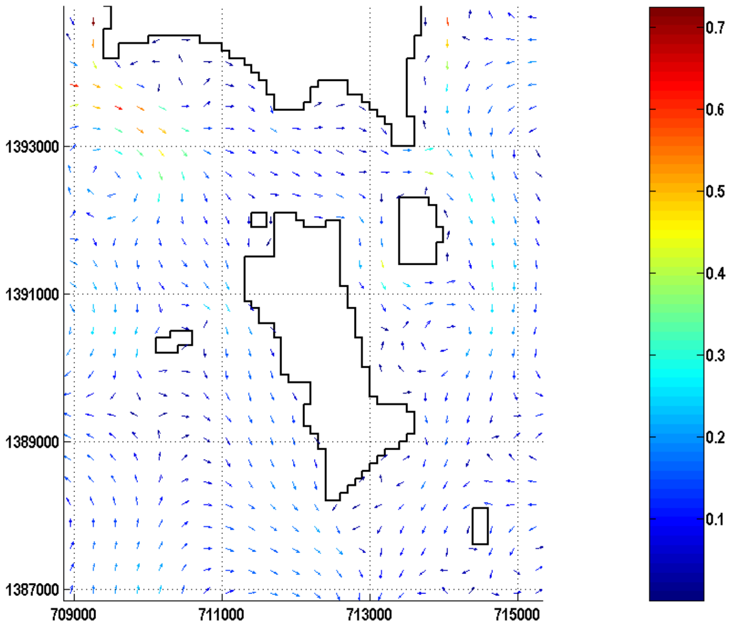
รูปที่ 3 กระแสน้ำช่วงน้ำกำลังขึ้น (flood tide) ในช่วงน้ำเกิด (spring tide)



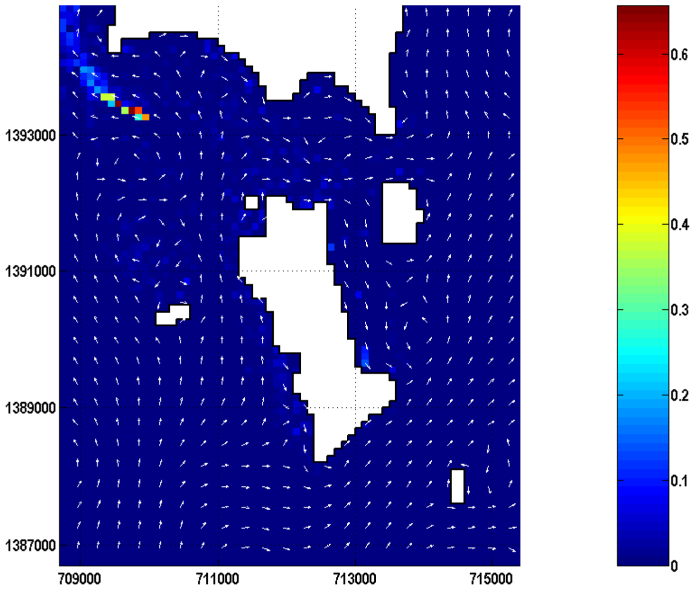
รูปที่ 4 กระแสน้ำช่วงน้ำกำลังลง (ebb tide) ในช่วงน้ำเกิด (spring tide)



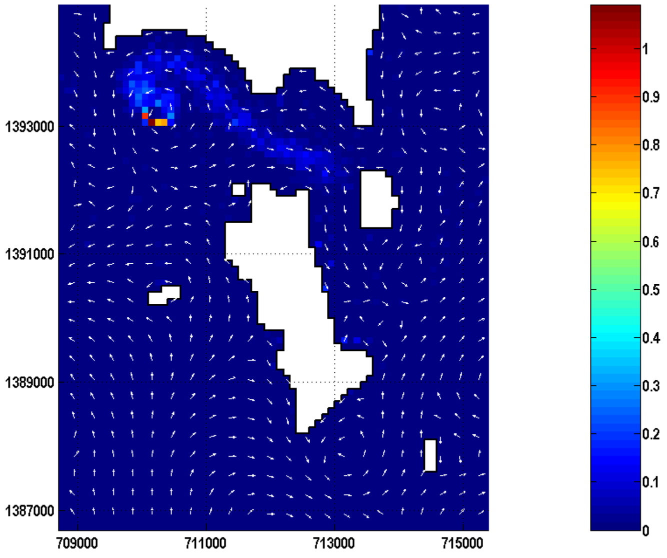
รูปที่ 5 กระแสน้ำช่วงน้ำกำลังขึ้น (flood tide) ในช่วงน้ำลง (neap tide)



รูปที่ 6 กระแสน้ำช่วงน้ำกำลังลง (ebb tide) ในช่วงน้ำลง (neap tide)



รูปที่ 7 การกระจายของไนโตรเจนละลายจากแหล่งกำเนิดสมมติบริเวณด้านบนซ้ายของแบบจำลอง ในช่วงน้ำกำลังขึ้น



รูปที่ 8 การกระจายของไนโตรเจนละลายจากแหล่งกำเนิดสมมติบริเวณด้านบนซ้ายของแบบจำลอง ในช่วงน้ำกำลังลง

7) เอกสารอ้างอิง

Alongi, D.M. and A.D. McKinnon (2005) The cycling and fate of terrestrially-derived sediments and nutrients in the coastal zone of the Great Barrier Reef shelf. *Marine Pollution Bulletin*, **51**, 239–252.

Chai, F., S.T. Lindley, and R.T. Barber (1996) Origin and maintenance of a high nitrate condition in the equatorial Pacific. *Deep-Sea Research II*, **43**, 1031-1064.

Deltares (2011) User Manual Delft3D-WAQ. Deltares, Delft, 320 pp.

Gruber, N., The marine nitrogen cycle: Overview of distributions and processes. In: Nitrogen in the marine environment, 2nd edition, edited by D. G. Capone, D. A. Bronk, M. R. Mulholland, and E. J. Carpenter, Elsevier, Amsterdam, 1-50, 2008.

Halpern, B.S., S. Walbridge, K.A. Selkoe (2008) A global map of human impact on marine ecosystem. Science, 319, 948-952.

Hearn, C.J. (2011) Perspectives in coral reef hydrodynamics. *Coral Reefs*, **30**, 1–9.

Hood, R. R., and J. R. Christian (2008) Ocean N-cycle modeling. In: Nitrogen in the Marine Environment, 2nd Edition, E. Carpenter, D. Capone, D. Bronk and M. Mullholland (eds), Elsevier, pp. 1445-1496.

Hughes, T.P., A. H. Baird, D. R. Bellwood, M. Card, S. R. Connolly, C. Folke, R. Grosberg, O. Hoegh-Guldberg, J. B. C. Jackson, J. Kleypas, J. M. Lough, P. Marshall, M. Nyström, S. R. Palumbi, J. M. Pandolfi, B. Rosen, and J. Roughgarden. (2003) Climate change, human impacts, and the resilience of coral reefs. Science, 301, 929-933.

Vega Thurber, R.L., D.E. Burkepile, C. Fuchs, A.A. Shantz, R. McMinds, and J. Zaneveld. (2014) Chronic nutrient enrichment increases prevalence and severity of coral disease and bleaching. *Global Change Biology*, 20, 544–554.

Wagner, D.E., P. Krammer, and R. van Woesik (2010) Species composition, habitat, and water quality influence coral bleaching in southern Florida. Marine Ecology Progress Series, 408, 65-78.

Wooldridge, S. A. (2009) Water quality and coral bleaching thresholds: Formalising the linkage for the inshore reefs of the Great Barrier Reef, Australia. Marine Pollution Bulletin, 58, 745–751.

Wooldridge, S.A. and T.J. Done (2009) Improved water quality can ameliorate effects of climate change on corals. Ecological Applications 19:1492–1499.

Wyatt, A.S.J, R.J. Lowe, S. Humphries, and A.M. Waite (2010) Particulate nutrient fluxes over a fringing coral reef: relevant scales of phytoplankton production and mechanisms of supply. *Marine Ecology Progress Series*, **405**, 113 – 130.

Xu, J., and R. R. Hood (2006) Modeling biogeochemical cycles in Chesapeake Bay with a coupled physical-biogeochemical model. Coastal, Shelf and Estuarine Science, 69 (1-2): 19-46.

Zhang, Z., R. Lowe, J. Falter, and G. Ivey (2011) A numerical model of wave- and current-driven nutrient uptake by coral reef communities. *Ecological Modelling*, **222**, 1456-14470.