

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

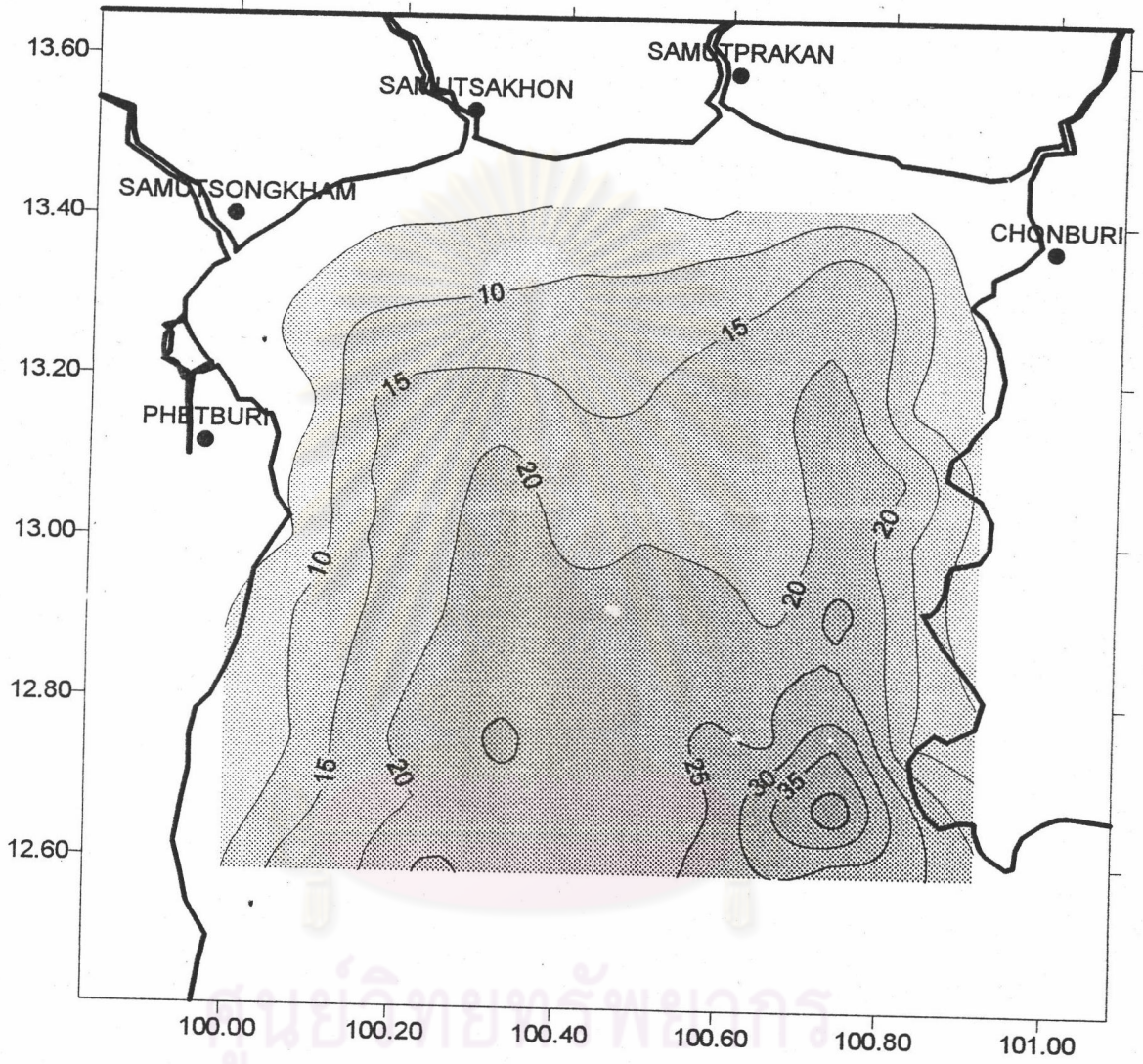
2.1 สภาพทั่วไปของพื้นที่ศึกษา

พื้นที่ศึกษาได้แก่บริเวณอ่าวไทยตอนบนมีลักษณะรูปร่างอ่าวคล้ายรูปตัว ก. มีความลึกเฉลี่ย 20 เมตร มีแผ่นดินล้อมรอบถึง 3 ด้านตั้งแต่ชายฝั่งของอำเภอหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ถึงชายฝั่งของอำเภอสตึก จังหวัดชลบุรี โดยมีขอบฝั่งทะเลด้านเหนืออยู่ในแนวทิศตะวันออกเฉียง-ตะวันตก ขอบฝั่งทะเลด้านตะวันออกและ ด้านตะวันตกอยู่ในแนวทิศเหนือ-ใต้ ลักษณะขอบฝั่งค่อนข้างเรียบและเป็นแนวขนานกัน ทางฝั่งตะวันออกมีเกาะใหญ่อยู่ 4 เกาะ คือ เกาะสีชัง เกาะล้าน เกาะไผ่ และเกาะคราม ตั้งเรียงรายจากเหนือลงใต้ ใกล้ๆกับชายฝั่ง ชายฝั่งทั้ง 3 ด้านนี้มีความยาวประมาณด้านละ 90 กิโลเมตร ตำแหน่งละติจูดที่ 12 องศา 30 ลิปดา ถึง 13 องศา 30 ลิปดา เหนือ และลองติจูดที่ 100 องศา ถึง 100 องศา 55 ลิปดา ตะวันออก บริเวณพื้นที่ศึกษานี้เป็นแหล่งรองรับน้ำเสียจากแผ่นดิน โดยรอบอ่าวมีแม่น้ำที่สำคัญๆไหลลงสู่อ่าวไทย ตอนบนถึง 5 สาย ได้แก่ แม่น้ำเจ้าพระยา ท่าจีน แม็กลอง บางปะกง และเพชรบุรี อัตราการไหลของแม่น้ำสายต่างๆ มีปริมาณเปลี่ยนแปลงไปตามฤดูกาล โดยแบ่งออกเป็น 2 ช่วง คือช่วงฤดูแล้ง และฤดูฝน ในช่วงฤดูแล้ง ปริมาณน้ำจืดที่ไหลออกจากแม่น้ำมีปริมาณน้อย สามารถทำให้น้ำทะเลหนุนเนื่องเข้ามาในอ่าว และเลยเข้าไปถึงภายในแม่น้ำได้

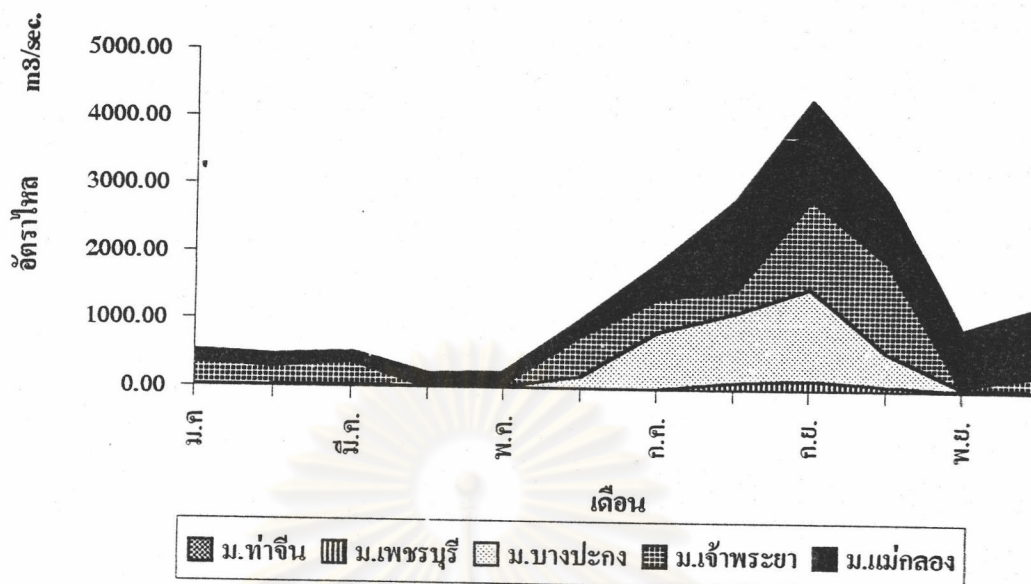
2.1.1 สภาพภูมิอากาศ

สภาพภูมิอากาศโดยทั่วไปแบ่งได้เป็น 2 ฤดู คือ ฤดูฝนเริ่มตั้งแต่เดือนพฤษภาคม ไปจนถึงเดือนมกราคมของปีถัดไป ฤดูร้อนเริ่มตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ - เมษายน เป็นช่วงที่ลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนืออ่อนกำลังลง ประกอบกับมีกระแสลมจากทางใต้ พัดขึ้นอ่าวตอนบน เป็นลมฝ่ายใต้

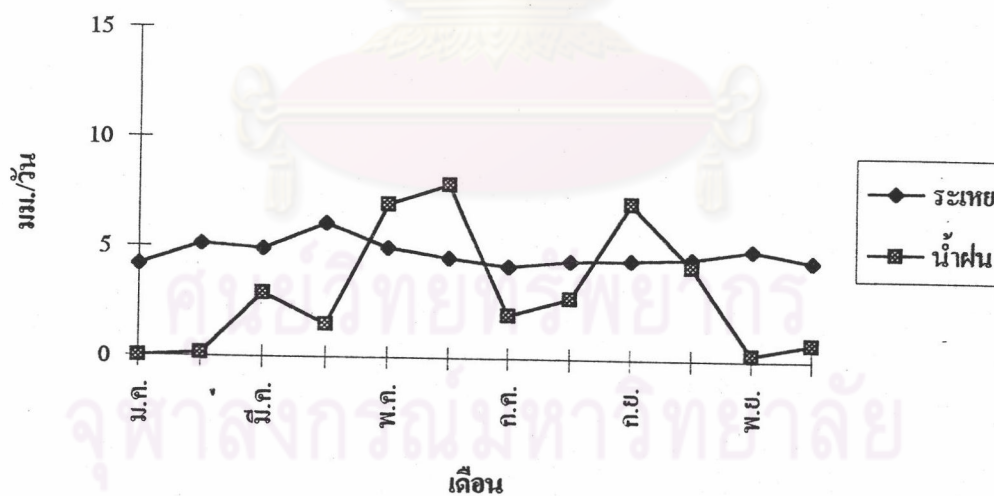
ปริมาณน้ำฝนและอัตราการระเหยของน้ำทะเลในพื้นที่ศึกษาในปี พ.ศ. 2537 จากสถานีตรวจอากาศที่วัดบริเวณรอบๆอ่าวไทยตอนบน อันได้แก่ สถานีจังหวัดชลบุรี เพชรบุรี พัทยา หัวหิน บางนา และ สตึก พบว่ามีปริมาณเปลี่ยนแปลงไปตามฤดูกาล โดยมีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยตลอดทั้งปี 1106 มม. และอัตราการระเหยของน้ำทะเลเฉลี่ยตลอดทั้งปี 1737 มม. (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2537)



รูปที่ 2.1 ระดับความลึกของบริเวณพื้นที่อ่าวไทยตอนบน



รูปที่ 2.2 ค่าเฉลี่ยของ water discharge จากแม่น้ำสายต่างๆในปี พ.ศ.2537
ที่มา: กรมชลประทาน , 2537



รูปที่ 2.3 ค่าเฉลี่ยปริมาณฝนและอัตราการระบุของน้ำทะเลในบริเวณอ่าวไทยตอนบน
ในปี พ.ศ. 2537
ที่มา: กรมอุตุนิยมวิทยา , 2537

2.1.2 ลักษณะทางสมุทรศาสตร์

จากสภาพทางภูมิศาสตร์ของอ่าวไทยตอนบนเหมือนกับท่อน้ำขนาดใหญ่ ด้านหนึ่งติดกับแม่น้ำ เป็นทางไหลออกของน้ำจืด ส่วนอีกด้านหนึ่งเปิดออกสู่ทะเล สิ่งสำคัญที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงของมวลน้ำคือน้ำจืดที่ไหลออกจากแม่น้ำ (River Runoff) น้ำขึ้น-น้ำลง (Tide) ในช่วงฤดูแล้งนั้น น้ำจืดที่ไหลออกจากแม่น้ำมีปริมาณน้อย น้ำทะเลในบริเวณรอบอ่าวตอนบน จึงมีลักษณะผสมผสานกันตามแนวตั้ง (Vertically mixed) จนทำให้มวลน้ำบริเวณนั้นผสมเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneous) ระหว่างผิวน้ำถึงหน้าดิน มวลน้ำที่มีลักษณะอย่างนี้จะมีการเคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียวกันตลอดทั้งผิวน้ำถึงหน้าดิน ต่อมาเดือนพฤษภาคม เริ่มมีฝนตกบ้างเล็กน้อย น้ำจืดที่ไหลออกมามีจำนวนเพิ่มขึ้น น้ำทะเลตอนผิวน้ำจึงมีความเค็มลดลง ส่วนบริเวณหน้าดินยังคงมีความเค็มอยู่เพราะว่าเป็นน้ำทะเลจากภายนอก มวลน้ำทะเลจึงมีการแบ่งชั้นกันขึ้นเล็กน้อย (Slightly Stratified) มวลน้ำชั้นบนจะเคลื่อนที่ไปสู่ปากอ่าว ส่วนมวลน้ำชั้นล่าง จะเคลื่อนที่เข้าสู่ตอนบนของอ่าว ต่อมาในฤดูฝนตั้งแต่เดือนกรกฎาคมเป็นต้นไป น้ำจืดที่ไหลออกมามีปริมาณมากในบริเวณตอนบนของอ่าว น้ำทะเลจึงกลายเป็นน้ำกร่อยปกคลุมอยู่เบื้องบนของน้ำทะเลลักษณะเช่นนี้ จึงทำให้น้ำทะเลมีการแบ่งชั้นกันอย่างชัดเจน (Highly Stratified) มวลน้ำเบื้องบนเคลื่อนที่ไปสู่ปากอ่าว และมวลน้ำผสมระหว่างกลางจะไหลไปทางตอนบน ส่วนมวลน้ำชั้นล่างจะอยู่นิ่ง (วิรัช จารุสมบัติ, 2521)

2.1.3 ลักษณะพื้นท้องทะเล

ลักษณะของพื้นท้องทะเลในอ่าวไทยตอนบน มีความลาดเอียงลงจากขอบฝั่งทะเลด้านเหนือลงมาถึงปากอ่าวตอนใต้ และทางฝั่งตะวันตกมีความลาดเอียงน้อยกว่าทางฝั่งตะวันออก ซึ่งบริเวณซีกฝั่งตะวันออกมีความลึกมากที่สุด บริเวณใกล้เกาะคราม อำเภอสัตหีบ มีความลึกของน้ำทะเลถึง 48 เมตร ลักษณะพื้นท้องทะเลโดยทั่วไปเป็นทรายปนโคลน (กัลยา อำนวย, 2527)

2.1.4 กระแสน้ำ

กระแสน้ำในอ่าวไทยตอนบนมีลักษณะไม่เป็นกระแสเวียน ตามเข็มนาฬิกาหรือทวนเข็มนาฬิกาตามความเข้าใจเดิม แต่เป็นแบบไหลไปและกลับธรรมดา มีลักษณะเป็นกระแสน้ำขึ้น-น้ำลง (Tidal Current) ในระหว่างช่วงเวลาน้ำขึ้น กระแสน้ำมีทิศทางไหลไปทางเหนือ และช่วงเวลา น้ำลง จะมีทิศทางไหลไปทางใต้ (คงวัฒน์ นิลศรี, 2524) ปัจจัยหลักที่เป็นสาเหตุให้เกิดกระแสน้ำในอ่าวไทยตอนบนนี้ เกิดจากแรงดึงดูดของดวงจันทร์ ส่วนปัจจัยอื่น เช่น กระแสน้ำที่เกิดจากลม

หรือกระแสน้ำที่เกิดจากความแตกต่างของความหนาแน่นของน้ำ ก็มีผลอยู่บ้างแต่ไม่มากนัก ค่ากระแสน้ำที่เกิดจากลมจะมีความเร็วไม่เกิน 0.5 นีโอด อิทธิพลของน้ำขึ้น - น้ำลงเป็นตัวการควบคุมบังคับลักษณะการไหลของกระแสน้ำในอ่าวไทยตอนบน โดยมีความเร็วเฉลี่ยอยู่ในเกณฑ์ประมาณ 1.5-2.0 นีโอด มีความแรงสูงสุดในบริเวณทางฝั่งตะวันออก ในเขตช่องเกาะล้าน และ พัทยา อัตราการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลอันเนื่องมาจากน้ำขึ้นน้ำลง (Tidal Range) พบว่าทางฝั่งตะวันออกสูงกว่าทางฝั่งตะวันตก ลักษณะการขึ้นลงของน้ำในรอบหนึ่งวัน จะมีน้ำขึ้นน้ำลงวันละ 2 ครั้ง (Semidiurnal Tide) ในระหว่างช่วงเปลี่ยนฤดูลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือเป็นมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ประมาณเดือนมีนาคมถึงเดือนเมษายน จะปรากฏลมฝ่ายใต้ซึ่งมีกำลังค่อนข้างแรงพัดเข้ามาในอ่าวไทยตอนบน และจะมีผลชักนำการพัดพามวลน้ำทะเลให้มีการไหลในทิศทางซึ่งสัมพันธ์กับทิศทางลม กระแสน้ำที่ระดับผิวน้ำจะมีทิศทางไหลขึ้นไปสู่ทางตอนบนของอ่าวและทางฝั่งตะวันออก ส่วนมวลน้ำที่ระดับลึกลงไปจะมีทิศทางเฉียงไปทางขวาจากทิศทางลม ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีกระแสน้ำที่เกิดจากลม (Wind Driven Current) การพัดพามวลน้ำขึ้นไปด้านบนนี้ ทำให้เกิดการทดของมวลน้ำทะเลที่บริเวณขอบฝั่งด้านเหนือของอ่าว เป็นลักษณะที่เรียกว่า Storm Surge (คงวัฒน์ นิลศรี, 2524) ดังนั้นในช่วงเวลาน้ำขึ้น น้ำทะเลอาจท่วมลึกเข้าไปถึงตอนเหนือของแม่น้ำทั้ง 4 สาย และท่วมบริเวณที่ราบต่ำตามชายฝั่งทะเล ซึ่งการรุกของน้ำทะเลย่อมเป็นผลกระทบต่อสภาวะแวดล้อมโดยทั่วไป

2.2 สารอาหาร

ในบรรดาแร่ธาตุต่างๆที่ละลายอยู่ในน้ำทะเลนั้น พวกธาตุปริมาณน้อย(Trace Element) หลายชนิดเป็นธาตุที่จำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืชในทะเล ธาตุปริมาณน้อยดังกล่าวนี้ได้แก่ ไนโตรเจน, ฟอสฟอรัส และซิลิกอน แพลงก์ตอนพืชใช้ธาตุทั้งสามตัวนี้ได้โดยตรงจากแหล่งน้ำ หากแหล่งน้ำมีธาตุเหล่านี้ไม่เพียงพอ จะเป็นสาเหตุให้แพลงก์ตอนพืชเจริญเติบโตช้าลงได้ ปริมาณความเข้มข้นทั้งหมดของธาตุอาหาร จะไม่เป็นปัจจัยจำกัดความเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืช แต่จะขึ้นอยู่กับรูปแบบ (Forms) ของธาตุเหล่านี้ ว่าอยู่ในรูปแบบที่แพลงก์ตอนพืชสามารถนำไปใช้โดยตรงได้หรือไม่ หากอยู่ในรูปแบบที่แพลงก์ตอนพืชนำไปใช้ได้ แม้จะมีปริมาณน้อยแต่ก็จะมีส่วนช่วยในการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืช การทำนายว่าแหล่งน้ำนี้ถูกควบคุมการเจริญเติบโตของพืช โดยไนโตรเจน หรือฟอสฟอรัส อาจทำนายได้โดยอาศัยอัตราส่วนของไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัสในสิ่งมีชีวิต ซึ่งค่อนข้างจะเป็นค่าคงที่

2.2.1 ซิลิคอน(Silicon)

ซิลิคอนเป็นสารอาหารที่มีความสำคัญต่อสิ่งมีชีวิตบางชนิด เช่น ไดอะตอม เรดิโอลาเรีย และฟองน้ำ ซิลิคอนถูกสิ่งมีชีวิตเหล่านี้ใช้ไปในการสร้างโครงสร้างแข็งของเซลล์ภายนอก (Extra-cellular Structure) โดยทั่วไปในน้ำทะเล พบซิลิคอนทั้งในรูปแบบของสารละลายและสารแขวนลอย สำหรับซิลิคอนที่แขวนลอยในน้ำทะเลนั้นประกอบด้วย Siliceous Materials ที่มีขนาดและแหล่งที่มาแตกต่างกันไป รูปของ Silicate Minerals คือ illite chlorite kaolinite และ montmorillonite แหล่งกำเนิดส่วนใหญ่ของซิลิคอนได้มาจากกระบวนการสีกกร่อน (Weathering) ของหินต่าง ๆ บนพื้นดิน ลงสู่ทะเลโดยผ่านแม่น้ำลำธารในรูปของ Quartz และ Clay minerals ดังนั้นแหล่งน้ำชายฝั่งที่มีความเค็มต่ำมักพบซิลิคอนมาก เมื่อซิลิคอนเหล่านี้จมลงสู่พื้นท้องทะเล ก็กลายเป็นตะกอนใต้ทะเล

สำหรับซิลิคอนที่อยู่ในรูปของสารละลาย คือ ortho-silicic acid ($\text{Si}(\text{OH})_4$) ซึ่งสามารถจะ dehydrated ได้ stable silica (SiO_2) ดังสมการ



ซิลิคอนในรูปแบบสารแขวนลอยจะพบมากกว่าในรูปของสารละลาย สิ่งมีชีวิตโดยเฉพาะไดอะตอมจะใช้ซิลิคอนในรูปแบบของสารละลายในการสร้างโครงสร้างของเซลล์ และสะสมอยู่ในส่วนนอกของเซลล์ การสังเคราะห์ DNA ในไดอะตอมจะหยุดลงเมื่อขาดแคลนซิลิคอนในรูปของสารละลาย เมื่อสิ่งมีชีวิตเหล่านี้ตายลง ซิลิคอนก็จะละลายออกจากซากสิ่งมีชีวิตสู่ น้ำทะเล บางส่วนก็จะตกตะกอนทับถมบนพื้นท้องทะเล

การกระจายของซิลิคอนในทะเล ความเข้มข้นที่ผิวน้ำจะมีค่าน้อย และจะสูงในระดับหน้าดินและบริเวณที่มีปรากฏการณ์น้ำผุด (Upwelling) โดยที่ซิลิคอนมีแหล่งกำเนิดส่วนใหญ่มาจากการสีกกร่อน (Weathering) ของหินซิลิเกตบนเปลือกโลก ไหลลงสู่ทะเลโดยผ่านแม่น้ำลำธารในรูปของ Quartz และ Clay minerals ดังนั้นปริมาณซิลิคอนที่ละลายในน้ำในบริเวณแหล่งน้ำชายฝั่งทะเลจะมีค่าสูง และค่าความเข้มข้นของซิลิคอนจะผกผันกับความเค็มของน้ำทะเล อัตราการละลายของซิลิคอนออกจาก organisms ที่ตาย จะมีอัตราลดลงตามความลึก อันเนื่องมาจากอุณหภูมิที่ระดับลึกมีค่าลดลง และจากการเพิ่มความเข้มข้นของซิลิคอนในระดับที่ลึก

2.2.2 ฟอสฟอรัส

ฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารที่มีความสำคัญมากต่อพืชน้ำ เพราะฟอสฟอรัสเป็นส่วนประกอบของโมเลกุลของสิ่งมีชีวิต เช่น กรดนิวคลีอิก และ ตรี-ฟอสเฟต (ATP) ซึ่งเป็นสารสำคัญ

อย่างยิ่งในกระบวนการสร้าง และเคลื่อนย้ายพลังงาน สารประกอบของมันยังมีบทบาทที่สำคัญ ในกระบวนการสังเคราะห์แสง ซึ่งถือเป็นผู้ผลิตขั้นต้นในแหล่งน้ำด้วย ความเข้มข้นของสารประกอบฟอสฟอรัสที่ถูกนำไปใช้ จะควบคุมการเจริญเติบโตของพืชในแหล่งน้ำ นั่นคือจะเป็นตัวควบคุมผลผลิตของแหล่งน้ำด้วย

ฟอสฟอรัสในน้ำทะเลพบอยู่ในรูปของอินทรีย์สารและอนินทรีย์สาร ส่วนใหญ่ประมาณ 70% จะอยู่ในรูปของอินทรีย์สารซึ่งแขวนลอยอยู่ในน้ำทะเลอันได้แก่ สิ่งมีชีวิตที่แขวนลอยอยู่ในน้ำและสารแขวนลอย อนินทรีย์ฟอสฟอรัสจะอยู่ในรูปที่อยู่ในสถานะ oxidized state ได้แก่ orthophosphate ion ซึ่งเป็นรูปที่แพลงก์ตอนพืชนำไปใช้ได้ ในน้ำทะเลโดยทั่วไปที่ pH 8.0 และอุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส รูปของ orthophosphate จะมีสัดส่วนดังนี้ คือ HPO_4^{2-} 87% PO_4^{3-} 12% และ H_2PO_4^- 1% และจับคู่เป็น ion pair กับแคลเซียมและแมกนีเซียม อนินทรีย์ฟอสฟอรัสที่สิ่งมีชีวิตสามารถนำไปใช้ได้มี 3 รูปคือ ส่วนที่ละลายน้ำ ส่วนที่ถูกดูดซับบนสารแขวนลอยและส่วนที่ถูกดูดซับบนตะกอนพื้นท้องทะเล

ในบริเวณเอสตูรีมีกระบวนการอย่างหนึ่งที่คอยควบคุมปริมาณความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในน้ำ ให้มีปริมาณค่อนข้างคงที่ ณ ระดับหนึ่ง คือกระบวนการเกิด buffering effect โดยการดูดซับและการคายออกจากผิวของตะกอน ซึ่งเป็นการรักษาสมดุลของความเข้มข้นระหว่างตะกอนและน้ำเหนือตะกอน การแลกเปลี่ยนฟอสฟอรัสที่ตะกอนผิวหน้า ขึ้นกับปัจจัยต่างๆ หลายอย่างด้วยกัน คือ ค่าความเป็นกรด - ด่าง ความเค็ม อุณหภูมิ ค่า redox potential รวมทั้งอัตราการนำฟอสฟอรัสเข้าสู่แหล่งน้ำ และระดับผลผลิตทางชีวภาพในแหล่งน้ำด้วย (Aston, 1980) การดูดซับฟอสเฟตที่ผิวหน้าของของแข็ง จะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น และมีค่าสูงสุดที่ความเป็นกรด - ด่าง อยู่ในช่วง 3 - 7 ในกรณีที่ค่าความเป็นกรด - ด่าง และอุณหภูมิคงที่ การดูดซับฟอสเฟตจะลดลงเมื่อ salinity เพิ่มขึ้น Upchurch และ คณะ (1974) ศึกษาฟอสฟอรัสที่สิ่งมีชีวิตนำไปใช้ได้ ในตะกอนของ Pamlico estuary พบว่าฟอสฟอรัสในตะกอนลดลง เนื่องจาก salinity ของน้ำเหนือตะกอนเพิ่มขึ้น

แหล่งที่มาของฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำได้มาจากการสีกกร่อนของแร่ฟอสโฟไรต์ (phosphorite) แร่นี้ถูกสร้างขึ้นมาจากการสีกกร่อนของหินอัคนี การสีกกร่อนของเปลือกโลก และการไหลของน้ำผิวน้ำ จะนำฟอสฟอรัสลงสู่เอสตูรีในรูปของแร่ธาตุที่แขวนลอยและรูปของฟอสเฟตที่ละลายน้ำ ในบริเวณริมแม่น้ำและชายฝั่งทะเลที่เป็นแหล่งชุมชน ฟอสฟอรัสจะถูกสร้างขึ้นมาทั้งจากบ้านเรือนและจากโรงงานที่ปล่อยลงสู่แหล่งน้ำ พร้อมทั้งสามารถพบฟอสฟอรัสในรูปของ polyphosphate อันเกิดจากผงซักฟอกที่มากับน้ำทั้งจากบ้านเรือนและโรงงานอุตสาหกรรมไหลลงสู่

ทะเล นอกจากนั้นยาปราบศัตรูพืชพวกที่มีฟอสฟอรัสเป็นส่วนประกอบ ที่หลงเหลืออยู่จากการเกษตร ก็เป็นแหล่งที่มาของฟอสฟอรัส และอีกแหล่งหนึ่งที่สำคัญ คือเอ็นไซม์ที่ถูกปล่อยออกมาจากสิ่งมีชีวิต ซึ่งจะอยู่ในรูปอินทรีย์ฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำ

การเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล และการกระจายของฟอสฟอรัส ในเขตอบอุ่นน้ำทะเลใกล้ฝั่ง มีการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลอย่างเห็นได้ชัดเจน ทั้งในส่วนของฟอสฟอรัสแขวนลอย ฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำ และอินทรีย์ฟอสฟอรัส ในฤดูหนาวฟอสฟอรัสในน้ำจะมีปริมาณสูงสุด ขณะที่แพลงก์ตอนพืชมีปริมาณต่ำสุด ซึ่งสถานการณ์จะกลับกันสำหรับฤดูร้อน ในทะเลเขตอบอุ่นมีการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลทั้งในแง่ของอุณหภูมิ และแสงสว่างที่ส่งเสริมการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืช ในช่วงฤดูหนาวอุณหภูมิต่ำลง และช่วงเวลามีแสงสว่างก็น้อย จึงมีการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืชได้น้อย แม้ว่าธาตุอาหารจะอุดมสมบูรณ์ การเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืช จะเริ่มดีขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อเริ่มฤดูใบไม้ผลิซึ่งแสงสว่างมากขึ้น และยาวนานขึ้น ในอ่าวไทยมักจะไม่พบปรากฏการณ์เช่นนี้ เนื่องจากอุณหภูมิของน้ำทะเลและปริมาณแสงสว่าง แทบจะไม่มี ความแตกต่างกันในรอบปี

2.2.3 ไนโตรเจน(Nitrogen)

ในน้ำทะเลนอกจากจะมีพวกก๊าซไนโตรเจนละลายอยู่แล้ว ปรากฏว่ายังมีธาตุไนโตรเจนในรูปของพวกสารประกอบอนินทรีย์และสารประกอบอินทรีย์ของไนโตรเจนซึ่งมีอยู่ในปริมาณน้อยคือประมาณ 1 ใน 10 ของปริมาณก๊าซไนโตรเจนที่ละลายในน้ำ แต่มีความสำคัญอย่างมากต่อการเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิตในทะเล วัฏจักรของธาตุไนโตรเจนมีความซับซ้อนมากกว่าเมื่อเทียบกับฟอสฟอรัสและซิลิคอน รูปแบบที่สำคัญของไนโตรเจนคือสารอนินทรีย์ไนโตรเจนที่ละลายน้ำได้แก่ ไนเตรท ไนไตรท์ และแอมโมเนีย และสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจนทั้งในรูปของสารละลายและสารแขวนลอย ความเข้มข้นของไนโตรเจนชนิดต่างๆในน้ำทะเลไม่ว่าจะเป็นพวกอินทรีย์หรืออนินทรีย์ไนโตรเจนก็ตาม จะถูกควบคุมโดยปัจจัยทางด้านชีวะเป็นส่วนใหญ่และมีปัจจัยทางด้านกายภาพ อาทิเช่น การจมของซากสิ่งมีชีวิต การเกิดน้ำผุด เป็นตัวการในการกระจายสารประกอบไนโตรเจนเหล่านี้ ถึงแม้จะมีความเข้มข้นน้อยแต่มีบทบาทสำคัญ กระบวนการทางชีวเคมีในทะเล มีดังนี้

1. Nitrogen Assimilation แพลงก์ตอนพืชต้องการไนโตรเจนบางชนิดในการสังเคราะห์โปรตีน โดยทั่วไปแพลงก์ตอนพืชสามารถใช้แอมโมเนีย ไนไตรท์ และไนเตรทที่มีอยู่ในน้ำโดยตรงโดยเฉพาะอย่างยิ่งในบริเวณ Euphotic zone ไนโตรเจนทั้งสามชนิดที่กล่าวถึงนี้ พวกแพลงก์ตอน

พืชมักชอบใช้แอมโมเนีย มากกว่าชนิดอื่น เนื่องจากแอมโมเนียอยู่ในรูปของ reduced form มากกว่าไนโตรท์และไนเตรท เพื่อที่จะต้องการใช้พลังงานน้อยกว่าในการเปลี่ยนรูปเป็นสารอินทรีย์ แพลงก์ตอนพืชบางชนิด เช่นพวก phytoflagellates สามารถจะใช้สารประกอบอินทรีย์ในโตรเจนที่ละลายอยู่ในน้ำ อาทิเช่น กรดอะมิโน นอกจากนั้นพวก diatoms บางชนิดก็สามารถใช้สารประกอบอินทรีย์ในโตรเจนที่ละลายในน้ำได้เช่นกัน แต่ต้องมีแบคทีเรียเข้าช่วยทำลายสารอินทรีย์ดังกล่าวด้วย

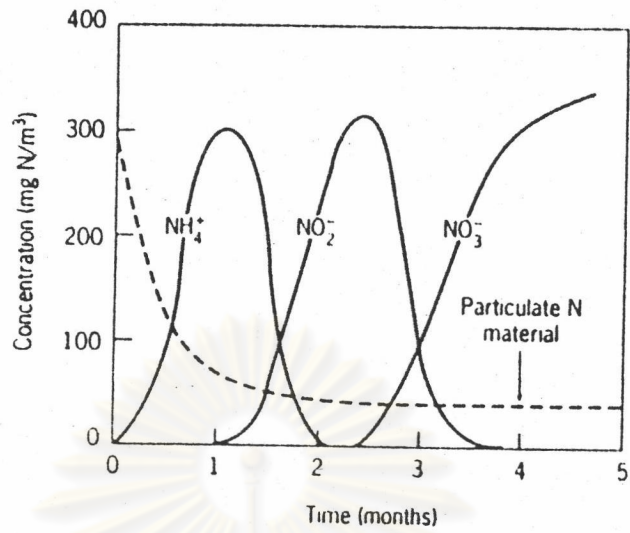
2. Remineralization เป็นกระบวนการที่สารอินทรีย์ในโตรเจน(DON) ถูก heterotrophic bacteria ย่อยสลายกลายเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่ละลายน้ำ (DON)

3. Ammonification เป็นกระบวนการที่สารประกอบอินทรีย์ที่ละลายน้ำ (DON) ถูกย่อยสลายจากสารประกอบอินทรีย์ที่ละลายน้ำ (DON) มาเป็นแอมโมเนีย ซึ่งต่อมาจะทำปฏิกิริยากับน้ำ หรือไฮโดรเจนไอออน เป็นรูปแอมโมเนียม ไอออน(NH_4^+) กระบวนการนี้เกิดได้ทั้งในสภาวะมีออกซิเจนและสภาวะไร้ออกซิเจน เนื่องจากสารอินทรีย์และ heterotrophic bacteria มักพบได้มากในดินตะกอน การผลิตแอมโมเนียส่วนใหญ่จึงเกิดขึ้นที่ผิวชั้นดินตะกอน ซึ่งเป็นบริเวณที่มีสารอินทรีย์มากที่สุด แอมโมเนียที่เกิดขึ้นสามารถถูกแพลงก์ตอนพืชดูดซึมไปใช้เป็นสารอาหารได้อย่างรวดเร็ว

4. Nitrification เป็นกระบวนการที่ แอมโมเนียถูกออกซิไดซ์ โดย autotrophic bacteria เปลี่ยนไปเป็นไนโตรท์ และไนเตรท โดยมี CO_2 เป็นแหล่งคาร์บอน แบคทีเรีย *Nitrosomonas* และ *Nitrococcus* ทำหน้าที่เปลี่ยนแอมโมเนียให้เป็นไนโตรท์ ส่วนแบคทีเรีย *Nitrobacter* จะเปลี่ยนไนโตรท์ให้เป็นไนเตรท กระบวนการนี้สามารถเกิดได้ดีในสภาวะที่มีออกซิเจนและแอมโมเนีย ดังนั้น สารประกอบอินทรีย์ที่แขวนลอย (PN) ที่เหลือจะเป็นสารประกอบที่เฉื่อยไม่สามารถถูกย่อยสลายโดย aerobic bacteria ได้

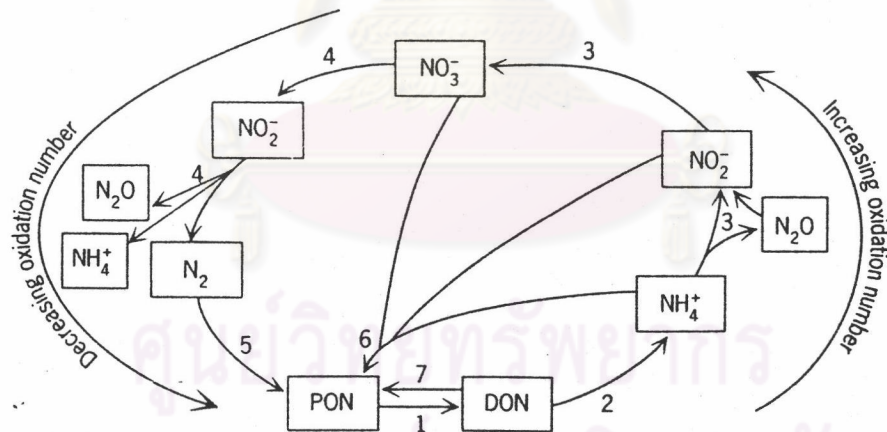
5. Dinitrification เป็นปฏิกิริยา reduction สารประกอบไนเตรทจะถูกรีดิวซ์ให้เป็นไนโตรท์ และก๊าซไนโตรเจนในสภาวะไร้ออกซิเจนและมีสารอินทรีย์เป็นแหล่งคาร์บอน โดยปกติก๊าซไนโตรเจนจะเป็นผลผลิตสุดท้ายของกระบวนการ แต่ถ้ามีสารอินทรีย์คาร์บอนไม่เพียงพอที่จะมีไนโตรท์เกิดขึ้นแทนเป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นไม่สมบูรณ์ กระบวนการกำจัดไนเตรทนี้จะเกิดขึ้นได้ดีในดินตะกอนซึ่งเป็นบริเวณที่ไร้ออกซิเจน และต้องมีสารอินทรีย์คาร์บอนและไนเตรท

6. Nitrogen Fixation ในเขต tropical สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (blue green algae) โดยเฉพาะ *Trichodesmium spp.* สามารถตรึงก๊าซไนโตรเจนในอากาศไปเป็นสารประกอบอินทรีย์ได้ กระบวนการตรึงไนโตรเจนนี้จะไม่เกิดขึ้น หากแหล่งน้ำนั้นยังมีสารประกอบอินทรีย์ในโตรท



รูปที่ 2.4 ผลผลิตของสารประกอบไนโตรเจนจากการย่อยสลายของไดอะตอมที่เลี้ยงในที่มีด ในสภาวะมีออกซิเจน

ที่มา: R.A. HORNE, 1979

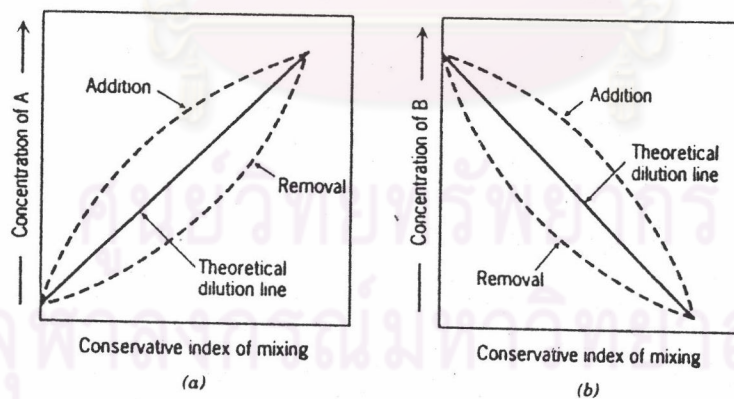


- 1. REMINERALIZATION
- 2. AMMONIFICATION
- 3. NITRIFICATION
- 4. DENITRIFICATION
- 5. NITROGEN FIXATION
- 6. ASSIMILATORY NITRO REDUCTION
- 7. ASSIMILATION OF DON.

รูปที่ 2.5 แสดงกระบวนการวัฏจักรชีวเคมีของวัฏจักรไนโตรเจนในน้ำทะเล

ที่มา: SUSAN M. LIBES, 1992

การศึกษาพฤติกรรมขององค์ประกอบที่ละลายน้ำในบริเวณแอสทรี ว่ามีลักษณะพฤติกรรมแบบอนุรักษ์ (CONSERVATIVE) หรือแบบไม่อนุรักษ์ (NONCONSERVATIVE) โดยจะดูความสัมพันธ์ขององค์ประกอบนั้นกับความเค็ม ว่ามีผลเบี่ยงเบนไปจากเส้นเจือจางทางทฤษฎี (THEORETICAL DILUTION LINE) หรือไม่ ถ้าองค์ประกอบนั้นมีปริมาณความเข้มข้นมีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงกับความเค็มที่เพิ่มขึ้นหรือลดลง โดยแสดงถึงการเจือจางจากการผสมผสานกันของน้ำจืดและน้ำทะเล ซึ่งเป็นกระบวนการของกายภาพเพียงอย่างเดียว จะมีพฤติกรรมแบบอนุรักษ์ (CONSERVATIVE) ในกรณีที่ความสัมพันธ์ขององค์ประกอบมีผลเบี่ยงเบนไปจากเส้นเจือจางทางทฤษฎี โดยมีกระบวนการทางเคมี หรือทางชีวภาพเข้ามาเกี่ยวข้อง องค์ประกอบนั้นจะมีการสูญเสีย (REMOVAL) หรือการเพิ่มขึ้น (ADDITION) ลักษณะเช่นนี้เป็นพฤติกรรมที่ไม่อนุรักษ์ (NONCONSERVATIVE)



รูปที่ 2.6 แสดงพฤติกรรมขององค์ประกอบที่ละลายน้ำ

(ที่มา :Liss , 1976)

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาคุณภาพน้ำและสารอาหารในบริเวณอ่าวไทยตอนบน ได้มีการวัดความเข้มข้นของสารอาหารมาบ้างแล้วโดยเฉพาะการศึกษาคุณภาพน้ำบริเวณชายฝั่งทะเล และปากอ่าว พอที่สรุปได้ดังนี้

จากการศึกษาคุณภาพน้ำทะเลบริเวณแหลมฉบังในระหว่างเดือนพฤศจิกายน 2523 ถึงเดือนมิถุนายน 2524 พบว่าความเป็นกรดและด่างอยู่ระหว่าง 7.96 - 8.19 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำอยู่ระหว่าง 4.20-4.60 มิลลิลิตร/ลิตร ปริมาณสารอาหารไนโตรเจน ไนเตรท ฟอสเฟตและฟอสฟอรัสรวม มีค่าเท่ากับ 0.004 - 0.025, 0.003 - 0.006, 0.006 - 0.009 และ 0.020 - 0.032 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ (ชลัญญาและสุวรรณณี, 2525) ต่อมาในเดือนกรกฎาคม ถึงเดือนกันยายน 2525 ได้มีการสำรวจคุณภาพน้ำบริเวณแหลมฉบัง พบว่า มีความเค็ม 27.8 ppt.ความเป็นกรด - ด่าง 7.0 ปริมาณฟอสเฟต, ไนโตรเจน ไนเตรท 0.059 มิลลิกรัม/ลิตร, 2.6 ไมโครกรัมอะตอม/ลิตร และ 0.031 มิลลิกรัม/ลิตร, 2.6 ไมโครกรัมอะตอม/ลิตร และ 0.031 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ (ทองต่อและคณะ, 2526)

การสำรวจคุณภาพน้ำบริเวณปากแม่น้ำเจ้าพระยาและอ่าวไทยตอนบน โดยสุชาติ ศิลพิพัฒน์และอรพินท์ จันทร์ส่องแสง ในปี 2519 ถึงปี พ.ศ.2523 พบว่าแอมโมเนียที่เพิ่มขึ้นมานั้นมาจากแม่น้ำ และน้ำทิ้งจากบ้านเรือนเพียง 14% ส่วนใหญ่มาจาก Biodetritus ถึง 70% นอกจากนั้นมาจากฝั่งทะเล 3 % สภาวะแหล่งน้ำเค็มไม่อยู่ในขั้นดี การที่ของเสียที่เป็นสารอินทรีย์มาก จะเกิดภาวะไม่สมดุลย์ของแหล่งน้ำเค็ม (สุชาติ ศิลพิพัฒน์และอรพินท์ จันทร์ส่องแสง, 2524) ค่าสารอาหารบริเวณปากแม่น้ำเจ้าพระยา และอ่าวไทยตอนบน ที่ทำการวัดในพ.ศ.2526 พบว่าอัตราการถ่ายเท (Flux) ของสารอาหารรูปต่างๆมีดังนี้ แอมโมเนียม ไนโตรเจน ไนเตรท ไนโตรเจนรวม ฟอสเฟต ฟอสฟอรัสรวม ซิลิเกต มีค่า 6.84×10^6 , 0.10×10^6 , 0.30×10^6 , 1.40×10^6 , 0.12×10^6 , 0.20×10^6 , 0.90×10^6 กิโลกรัมต่อวัน (สุชาติ ศิลพิพัฒน์, 2527)

คุณภาพน้ำบริเวณปากแม่น้ำสายต่างๆที่สำคัญ ซึ่งจากสำรวจของกรมอนามัย ในระหว่างปี 2521 - 2523 พบว่าธาตุอาหารไนโตรเจนรวม ไนเตรท และฟอสเฟต ในแม่น้ำเจ้าพระยามีค่า 1.1 - 2.1, 0.1 - 0.6 และ 0.1 - 0.5 มิลลิกรัม/ลิตร ในแม่น้ำท่าจีน มีค่า 1.1 - 1.5, 0.5 - 0.9 และ 0.2 มิลลิกรัม/ลิตร ในแม่น้ำแม่กลอง มีค่า 0.5 - 0.8, 0.2 - 0.5 และ 0.1 มิลลิกรัม/ลิตร ในแม่น้ำบางปะกง มีค่า 0.3 - 0.9, 0.4 - 1.0 และ 0.2 - 0.3 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ (กรมอนามัย, 2524)

คุณภาพน้ำทะเลในเขตท่องเที่ยว หาดบางแสน และบริเวณหาดพัทยา ได้มีการสำรวจในช่วงระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ ถึงเดือนเมษายน 2523 พบว่าคุณภาพน้ำทะเลบริเวณหาดบางแสน มีค่าเฉลี่ยดังนี้ ความเป็นกรด - ด่าง 7.4 ความเค็ม 19.5 ppt. ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ 5.9 มิลลิกรัม/ลิตร ค่าบีโอดี 0.9 มิลลิกรัม/ลิตร ฟอสเฟต 79.4 ไมโครกรัมอะตอม/ลิตร ไนเตรท 2.9 ไมโครกรัมอะตอม/ลิตร ส่วนบริเวณหาดพัทยามีค่าเฉลี่ย ดังนี้ ความเป็นกรด - ด่าง 8.00 ความเค็ม 24.2 ppt. ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ 7.7 มิลลิกรัม/ลิตร ค่าบีโอดี 1.7 มิลลิกรัม/ลิตร ฟอสเฟตและไนเตรท 66.1 และ 1.4 ไมโครกรัมอะตอม/ลิตร (ทองต่อและคณะ, 2523) และได้มีการสำรวจคุณภาพน้ำทะเลในเขตว่ายน้ำชายหาดบางแสนอีก ในระหว่างปี 2532 - 2533 พบว่าอุณหภูมิมีค่า 26.0 - 31.0 องศาเซลเซียส ความเค็ม 13 - 33 p.p.t. ความเป็นกรด - ด่าง 7.88 - 8.93 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ 5.1 - 8.6 มิลลิกรัม/ลิตร (แววตา และคณะ, 2535) ส่วนในบริเวณสัตหีบ และระยอง ซึ่งได้ทำการศึกษาคูณภาพน้ำ ในเดือนกรกฎาคม ถึงเดือนกันยายน 2525 พบว่า คุณภาพน้ำทะเลบริเวณชายหาดหน้าวัดพลลา จังหวัดระยอง มีความเค็ม 37.0 ความเป็นกรด- ด่าง 7.0 ฟอสเฟต 0.047 มิลลิกรัม/ลิตร ไนโตรเจน 2.6 ไมโครกรัมอะตอม/ลิตร ไนเตรท 0.35 มิลลิกรัม/ลิตร และคุณภาพน้ำทะเล บริเวณชายฝั่ง บ้านหนองแฟบ จังหวัดระยอง พบว่ามีความเค็ม 35.6 ppt. ความเป็นกรด - ด่าง 7.2 ฟอสเฟต 0.41 มิลลิกรัม/ลิตร ไนโตรเจน 2.3 ไมโครกรัมอะตอม/ลิตร ไนเตรท 0.23 มิลลิกรัม/ลิตร (ทองต่อและคณะ, 2526)

การศึกษาดูการเปลี่ยนแปลงของธาตุอาหารปริมาณน้อยบางตัวในแม่น้ำและปากแม่น้ำเจ้าพระยา พบว่าซิลิเกต, ฟอสเฟต มีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง กับการเปลี่ยนแปลงความเค็มในเดือนเมษายน มิถุนายน และตุลาคม 2526 (กัลยา อำนวย, 2527) และพบว่า พบว่าปริมาณฟอสฟอรัสในตะกอน มีความสัมพันธ์กับปริมาณของอินทรีย์คาร์บอน แสดงถึงการได้รับฟอสฟอรัสเพิ่มจากตะกอน โดยปฏิกิริยาออกซิไดซ์ของสารอินทรีย์ และปริมาณฟอสฟอรัสที่ได้จากตะกอนที่สิ่งมีชีวิตนำไปใช้ได้มีค่าสูงสุดที่บริเวณปากแม่น้ำแม่กลอง และมีค่าสูงสุดที่บริเวณปากแม่น้ำกับบริเวณใกล้ฝั่ง สำหรับการศึกษาดูการกระจายของธาตุอาหารบริเวณเอสทูรี แม่น้ำท่าจีน พบว่าอัตราส่วนของ N:P ในฤดูน้ำน้อยและฤดูน้ำหลากมีค่า 5:1 และ 8:1 ตามลำดับ ดังนั้นในแม่น้ำท่าจีนจึงมีไนโตรเจนเป็นปัจจัยจำกัด และในฤดูน้ำหลากธาตุอาหารส่วนที่ละลายน้ำทุกตัวมีพฤติกรรมแบบอนุรักษ์ (ปัญญานีย์ พรภาพงษ์, 2534)

การกระจายของธาตุอาหาร ซึ่งได้ศึกษาในแม่น้ำบางปะกง พบว่าฟลักซ์ของธาตุอาหารที่ถูกพัดพาออกสู่อ่าวไทยตอนบนในฤดูน้ำมากมีค่าสูงกว่าฤดูน้ำน้อย โดยฟลักซ์สุทธิของแอมโมเนีย ไนโตรเจนและไนเตรท ไนโตรเจนอินทรีย์ ไนโตรเจนรวม ออกซิเจน ฟอสเฟต ฟอสฟอรัสอินทรีย์และ

ฟอสฟอรัสรวมมีค่าดังนี้ $229 \cdot 10^3$, $965 \cdot 10^3$, $445 \cdot 10^3$, $1641 \cdot 10^3$, $24 \cdot 10^3$, $8 \cdot 10^3$ และ $32 \cdot 10^3$ กิโลกรัมต่อปี ตามลำดับ ฟลักซ์สุทธิของเกลือเท่ากับ $171 \cdot 10^8$ กิโลกรัมต่อปี (พรทิพย์ งานสกุล ,2534) การแปรผันของฟลักซ์เกลือที่ปากแม่น้ำบางปะกง ในช่วงเปลี่ยนลมมรสุม ช่วงมรสุมเหนือ และช่วงมรสุมตะวันตก มีค่าอัตราน้ำไหลสุทธิและฟลักซ์ของเกลือสุทธิต่อความกว้างของแม่น้ำมีทิศทางกลับทิศกัน เมื่อลมมรสุมเปลี่ยนไป รวมทั้งมีการแปรผันในแนวขวางของแม่น้ำ (อัปสรสุดา ศิริพงษ์ และคณะ ,2527)

ฟลักซ์ของสารอาหารที่สิ่งมีชีวิตนำไปใช้ได้ ในบริเวณแม่น้ำเจ้าพระยา ได้ศึกษาตั้งแต่เดือนธันวาคม 2530 ถึงเดือนธันวาคม 2531 พบว่าฟลักซ์ของฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำทั้งหมด ฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำที่สิ่งมีชีวิตนำไปใช้ได้ และซิลิเคตที่ละลายน้ำ มีค่า $3.13 \cdot 10^3$, $0.63 \cdot 10^3$ และ $69.48 \cdot 10^3$ ตัน/ปี (ปิยรัตน์ ปิติวัฒนกุล ,2533) สุภาพร รักเขียว (2532) ได้ศึกษาการกระจายของฟลักซ์ของธาตุอาหารและเกลือในป่าชายเลน คลองหงาว จังหวัดระนอง พบว่าฟลักซ์ของธาตุอาหารและเกลือมีทิศทางออกสู่ทะเลทั้ง 2 ฤดูกาล ฟลักซ์ของธาตุอาหารในฤดูฝนมากกว่าในฤดูแล้ง ส่วนฟลักซ์ของเกลือช่วงฤดูฝนน้อยกว่าฤดูแล้ง และช่วงน้ำเกิดมีการส่งออกของธาตุอาหารและเกลือสู่ทะเลสูงกว่าในช่วงน้ำตาย

Mass Balance ของอ่าวไทยตอนบน ได้มีศึกษาในเดือนกรกฎาคม 2532 พบว่าความเข้มข้นของไนเตรท ไนไตรท์และแอมโมเนียมอยู่ในช่วง 0.02 - 2, 0.02 - 0.5 และ 0.1 ถึง 10 ไมโครโมล/ลิตร ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ไนโตรเจนในรูปของสารละลายและอนุภาคแขวนลอย มีอยู่ในช่วง 5 - 20, 0.2 - 30 ไมโครโมล/ลิตร สำหรับความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในรูปของสารละลายอินทรีย์ และสารละลายอินทรีย์อยู่ในช่วง 0.05 - 2 และ 0.1 - 1 ไมโครโมล/ลิตรฟอสฟอรัส ในรูปของสารตะกอนแขวนลอยอยู่ในช่วง 0.2 - 7 ไมโครโมล/ลิตร ฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำในบริเวณอ่าวไทยตอนบนมีลักษณะเป็น net consumer แต่มีลักษณะเป็น Net Producer ของ CO_2 อัตราส่วนของ C:P ที่มาจากชายฝั่งมีค่า 400:1 ในขณะที่ผลิตเป็น Organism มีอัตราส่วนเพียง 100:1 และพบว่า 40% ของ N_2 ได้มาจาก N_2 Fixation (Snidvong ,1993)