บทที่ 1

บทนำ

ลุ่มแม่น้ำตาปีพุมดวง ประกอบด้วยแม่น้ำ 2 สายหลักคือ แม่น้ำตาปี และแม่น้ำพุมดวง ซึ่งไหลมาบรรจบกันที่ อ.พุนพิน เป็นแม่น้ำตาปีพุมดวง ซึ่งมีความสำคัญต่อการใช้ประโยชน์ทั้งในด้านเกษตรกรรม การอุปโภคบริโภค และการประมง และพื้นที่บริเวณลุ่มน้ำตาปียังมีโรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่อยู่หลายแห่ง เช่น โรงงานสุรา โรงงานผลิตภัณฑ์อาหารทะเล เป็นต้น ดังนั้น น้ำทิ้งจากชุมชนและกิจกรรมต่าง ๆของมนุษย์ ก็จะถูกปล่อยลงสู่แม่น้ำตาปีและไหลลงสู่ทะเลบริเวณอ่าวบ้านดอน ซึ่งมีการเพาะเลี้ยงหอยนางรมและกุ้งกุลาดำเป็นจำนวนมากอีกด้วย (สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ, 2537) ปัญหาสำคัญอีกอย่างหนึ่ง จากการระบายน้ำเสียที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ก็คือปริมาณ สารอินทรีย์ ซึ่งสารประกอบเหล่านี้อาจถูกเปลี่ยนแปลง โดยกิจกรรมของแบคทีเรีย ให้อยู่ในรูปของสารอนินทรีย์ที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ (North *et al.*, 1972) แต่โดยทั่วไปแล้วพบว่าน้ำที่ระบายลงสู่ทะเลจะประกอบด้วยสารอาหารไนโตรเจน และฟอสฟอรัสเป็นปริมาณมาก (Hawker and Connell, 1991)

สารอาหารเป็นปัจจัยทางเคมี ที่มีผลต่อการกระตุ้นการเจริญเติบโตของพืชและแพลงก์ตอนพืช ซึ่งการเจริญเติบโตของพืชในทะเลนั้นมีความสำคัญต่อระบบนิเวศมาก เพราะเป็นรากฐาน ของวงจรห่วงโซ่อาหารซึ่งปลายห่วงโซ่อาหารก็ได้แก่ปลา และสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม ในการเกิดกระบวนการสังเคราะห์แสงซึ่งเป็นผลผลิตขั้นปฐมภูมิ (primary production) พืชจะใช้คาร์บอนที่ละลายน้ำ ในรูปของคาร์บอนไดออกไซด์และสารอาหารปริมาณน้อยจากน้ำ โดยอาศัยพลังงานแสงอาทิตย์เปลี่ยนสิ่งเหล่านี้เป็นสารประกอบอินทรีย์ (มนูวดี หังสพฤกษ์, 2532)

จากความสำคัญดังกล่าวจึงมีความน่าสนใจในการที่จะศึกษาการกระจายของสารอาหารในบริเวณเอสทูรีแม่น้ำตาปี ซึ่งเป็นระบบนิเวศป่าชายเลนที่สำคัญแห่งหนึ่งของประเทศไทย วิธีหนึ่งที่ใช้ในการศึกษาองค์ประกอบต่าง ๆ ที่ละลายในแม่น้ำ เมื่อเข้าสู่ระบบเอสทูรี ได้แก่ การศึกษาพฤติกรรมของสารอาหาร เมื่อมีการผสมผสานกันของน้ำจืดและน้ำทะเลในเอสทูรี ถ้าการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของธาตุหรือสารประกอบใด ๆ เนื่องมาจากกระบวนการทางกายภาพ แต่เพียงอย่างเดียวเท่านั้น จะพบความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารประกอบกับการเปลี่ยนแปลงความเค็มของน้ำจะเป็นเส้นตรงตามเส้นเจือจางทางทฤษฎี (Theoretical dilution line) ซึ่งลักษณะนี้เป็นลักษณะที่สารมีพฤติกรรมแบบอนุรักษ์ แต่ถ้าความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารประกอบ และความเค็มของน้ำไม่เป็นเส้นตรง โดยมีการเบี่ยงเบนไปจากเส้นเจือจางทางทฤษฎีแสดงว่ามีการสูญหายไป หรือการเพิ่มขึ้นของสารนั้นเนื่องมาจากกระบวนการทางเคมี หรือทาง

ชีวภาพ ที่เกิดขึ้นพร้อมกับกระบวนการทางกายภาพ ซึ่งลักษณะนี้กล่าวได้ว่าสารนั้นมีพฤติกรรมแบบไม่อนุรักษ์ (non-conservative) (Liss, 1976) สำหรับการศึกษาฟลักซ์ เป็นวิธีการหนึ่งในการศึกษาอัตราการถ่ายเทของสสาร จากแหล่งสะสม (reservoir) หนึ่ง ๆไปยังอีกแหล่งสะสมหนึ่ง (อัปสรสุดา ศิริพงศ์, 2524) ดังนั้นการศึกษาพฤติกรรมของสารอาหารและปริมาณฟลักซ์ ที่แลกเปลี่ยนกับน้ำทะเลชายฝั่ง จะเป็นพื้นฐานในการเข้าใจระบบนิเวศบริเวณเอสทูรีและจะเป็นประโยชน์ ในการเพาะเลี้ยงชายฝั่งต่อไป

วัตถุประสงค์

1) ศึกษาเปรียบเทียบพฤติกรรมของสารอาหารในบริเวณเอสทูรีแม่น้ำตาปีในฤดูแล้งและฤดูน้ำหลาก

2) ศึกษาเปรียบเทียบการแลกเปลี่ยนฟลักซ์ของสารอาหาร ระหว่างแม่น้ำตาปี และน้ำทะเลชายฝั่ง ในฤดูแล้ง และฤดูน้ำหลาก

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ข้อมูลที่ได้จะเป็นประโยชน์ในการประเมินสภาวะความอุดมสมบูรณ์ของแหล่งน้ำตลอดจนการวางแผนการจัดการคุณภาพน้ำในบริเวณเอสทูรี และน้ำทะเลชายฝั่ง เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดในการเพาะเลี้ยงชายฝั่งต่อไป

การศึกษาและสำรวจเอกสาร

เอสทูรี

คำว่า เอสทูรี มีผู้ให้คำนิยามไว้ต่าง ๆ กันมากมาย แต่โดยทั่วไปเป็นที่ยอมรับกันว่าเอสทูรีทุกแห่งเป็นบริเวณที่น้ำทะเลถูกทำให้เจือจางลงด้วยน้ำจืดจากแม่น้ำ ในขณะที่น้ำกร่อย (brackish water) เป็นน้ำทะเลใด ๆ ซึ่งเจือจางด้วยน้ำจืด โดยที่เราไม่ต้องคำนึงถึงที่มาของน้ำจืดเลย ดังนั้นเอสทูรีจึงเป็นถิ่นที่อยู่ของน้ำกร่อย ในขณะที่ถิ่นที่อยู่ของน้ำกร่อย ไม่จำเป็นต้องเป็นเอสทูรี (Stewart, 1972)

พฤติกรรมขององค์ประกอบที่ละลายน้ำในเอสทูรี

วิธีหนึ่งที่ใช้ในการศึกษาดูว่าเกิดอะไรขึ้นกับองค์ประกอบต่าง ๆ ที่ละลายในน้ำแม่น้ำ เมื่อมันเข้าสู่ระบบเอสทูรีคือ การเปรียบเทียบระหว่างการกระจายขององค์ประกอบเหล่านี้ที่พบจริงในธรรมชาติเมื่อน้ำจืดกับน้ำทะเลผสมกัน กับค่าที่คาดคะเนได้จากการผสมกันแบบธรรมดา ซึ่งจะเกิดเฉพาะการเจือจาง โดยที่รูปแบบของสารไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง โดยทฤษฎีแล้วการผสม

ผสานกันแบบธรรมดาจะได้ความสัมพันธ์แบบเส้นตรง ระหว่างความเข้มข้นของสารกับความมากน้อยของการผสมกันระหว่างน้ำจืดกับน้ำทะเล ทั้งนี้เพราะความเข้มข้นเกิดจากการเปลี่ยนแปลงไปเพราะการผสมผสานของน้ำจืดกับน้ำทะเลเท่านั้น พฤติกรรมที่องค์ประกอบที่ละลายน้ำแสดงในการผสมกันแบบนี้เรียกว่า พฤติกรรมแบบอนุรักษ์ (conservative) แต่ถ้าเกิดมีปฏิกิริยาเคมี ที่ก่อให้เกิดการแยกตัวออกจากน้ำของธาตุนั้นโดยการตกตะกอน หรือการดูดซับบนสารแขวนลอยขนาดเล็กที่มีอยู่ในน้ำ หรือมีการละลายเพิ่มขึ้นของธาตุนั้นจากของแข็งที่ลอยอยู่ในน้ำ หรือกระบวนการทางชีวภาพ พฤติกรรมที่องค์ประกอบที่ละลายน้ำจะแสดงพฤติกรรมแบบไม่อนุรักษ์ (non-conservative) (มนูวดี หังสพฤกษ์, 2532) (รูปที่ 1.1)

สารอาหารบริเวณเอสทูรี

ไนโตรเจน

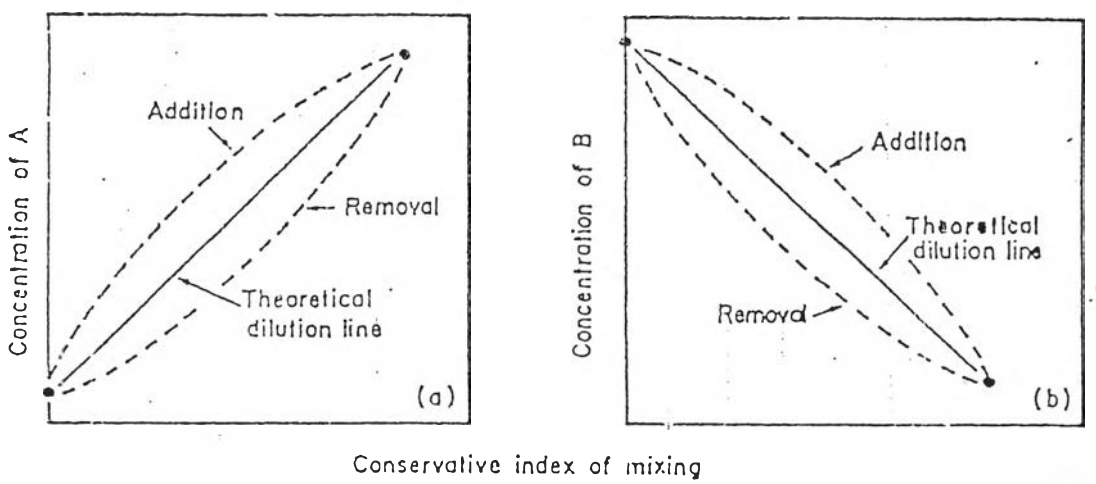
ไนโตรเจนมีความสำคัญต่อระบบนิเวศของแหล่งน้ำมาก เพราะเป็นส่วนประกอบของอินทรีย์สารหลายชนิดที่มีความสำคัญต่อความเป็นอยู่ของพืชและสัตว์ เช่น เป็นส่วนประกอบของโปรตีน และไขมันบางชนิด ไนโตรเจนที่เข้ามาสู่เอสทูรีมีทั้งในรูปของ แก๊สไนโตรเจนและสารประกอบของไนโตรเจน โดยส่วนมากเป็นไนเตรท ที่ได้จากการชะล้างของหินและแหล่งมลพิษ เช่น ปุ๋ย ไนเตรท เป็นต้น สารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจนรูปแบบที่สำคัญที่พืชสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้คือ ไนเตรทอิออน (NO_3^-) ไนไตรท์อิออน (NO_2^-) แอมโมเนีย (NH_3) และแอมโมเนียมอิออน (NH_4^+) โดยแอมโมเนียจะเป็นแหล่งของไนโตรเจนที่แพลงก์ตอนพืช จะเลือกใช้ก่อน (Pennock, 1987) ไนเตรทที่ละลายน้ำจะถูกนำไปใช้โดยแพลงก์ตอนพืช และมีส่วนหนึ่งของไนเตรท ที่ถูกนำออกไปโดยผ่านกระบวนการ denitrification (Eyre and Twigg, 1995) โดย denitrification จะเกิดในสภาพที่มีออกซิเจนอยู่น้อย หรือขาดออกซิเจน (reducing environment) โดยจะเกิดการดึงออกซิเจนออกจากโมเลกุลของไนเตรทโดย denitrifying bacteria ให้อยู่ในรูปของไนไตรท์ และแอมโมเนีย การหมุนเวียนของไนโตรเจนในเอสทูรีค่อนข้างซับซ้อน เพราะมีหลายรูปแบบ ดังรูปที่ 1.2

ปัจจัยที่มีผลต่อพฤติกรรมของไนโตรเจนในบริเวณเอสทูรี

1) กระบวนการทางกายภาพ

กระบวนการทางกายภาพจะมีผลต่อการกระจายและพฤติกรรมของสารอาหาร ในบริเวณเอสทูรี โดย Aston and Chester(1976) ได้สรุปไว้ดังนี้

1.1) การผสมผสานของน้ำจืดและน้ำทะเลโดยน้ำขึ้น-น้ำลง ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง การถ่ายเทปริมาณสารอาหารของแหล่งน้ำ



ภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นขององค์ประกอบที่ละลายน้ำ กับตัวบ่งชี้รูปแบบของการผสมผสานของเอสทูรี ที่มีเพียงแหล่งน้ำแม่น้ำ กับทะเล

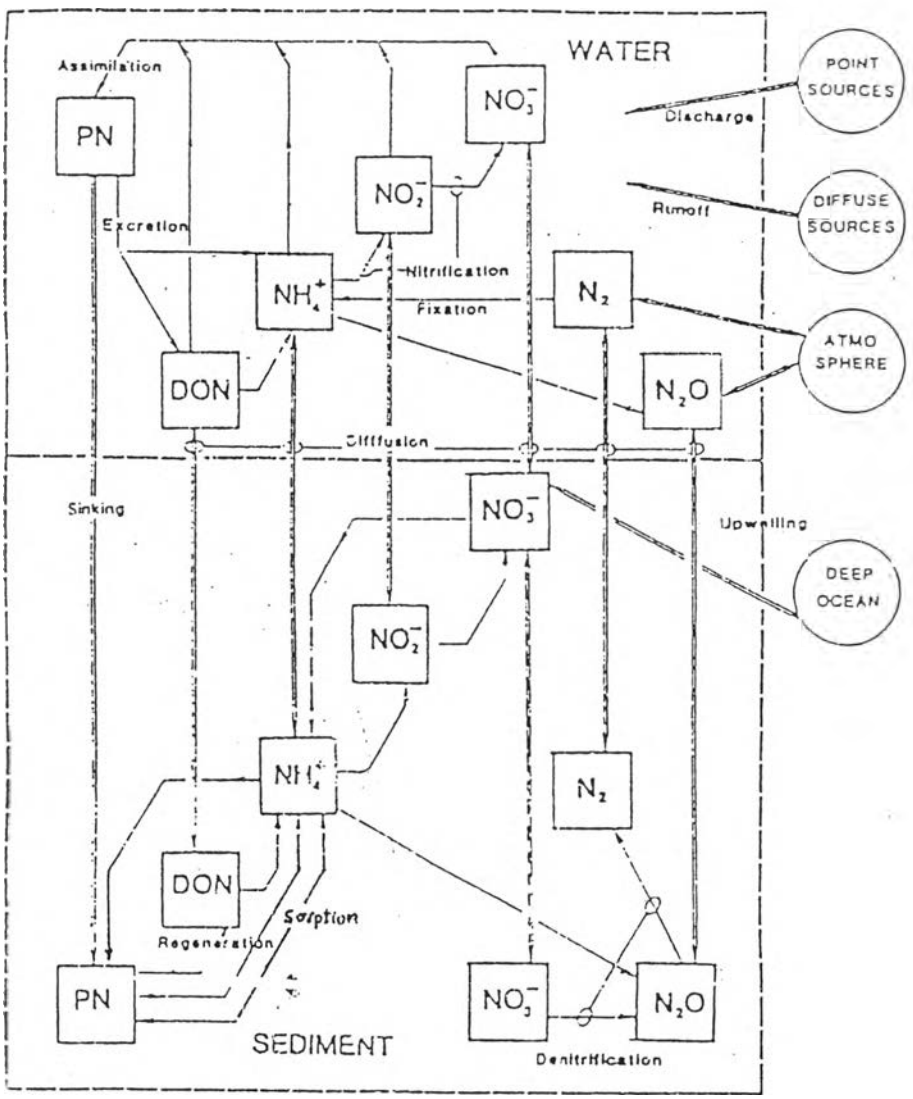
(a) ความเข้มข้นขององค์ประกอบ A ในน้ำทะเลมากกว่าน้ำในแม่น้ำ

(b) ความเข้มข้นขององค์ประกอบ B ในน้ำแม่น้ำมากกว่าในน้ำทะเล

รูปที่ 1.1 แสดงพฤติกรรมขององค์ประกอบที่ละลายน้ำ

(ที่มา : Liss, 1976)

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 1.2 แสดงวัฏจักรไนโตรเจนในบริเวณเอสทูรี
(ที่มา : Day *et al.*, 1989)

1.2) การหมุนเวียนของน้ำ โดยเฉพาะการแบ่งชั้นของน้ำในเอสทูรี ทำให้เกิดความแตกต่างของสารอาหาร ทั้งในแนวนอนและแนวดิ่ง

1.3) ลักษณะของเอสทูรีมีส่วนในการจำกัด การหมุนเวียนถ่ายเทของน้ำ

1.4) ระบบกระแสน้ำชายฝั่ง และในเอสทูรี ทำให้เกิดการทับถมของตะกอน การตกตะกอน และการกลับลอยขึ้นของตะกอน อาจมีผลกระทบต่อปริมาณของสารอาหารต่าง ๆ

Dame *et al.*(1986) ศึกษาใน North Inlet South Carolina พบว่าปริมาณของไนเตรทในช่วงน้ำเกิด จะมีปริมาณสูงกว่าในช่วงน้ำตาย และฤดูกาลมีผลต่อความเข้มข้น และการกระจายของสารอาหาร

Schemel and Hager(1986)ศึกษาใน Sacramento River และใน San Francisco Bay พบว่าการเปลี่ยนแปลงการกระจายของไนเตรทและแอมโมเนีย เป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำที่เข้ามาจากแม่น้ำ และการเคลื่อนย้ายเข้ามาของแพลงก์ตอนพืช

2) กระบวนการทางชีวภาพ

กระบวนการของไนโตรเจนมีความซับซ้อน เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบระหว่างไนโตรเจนรูปต่าง ๆ(Ball, 1992) มีการสูญเสียไนโตรเจนจากกระบวนการ denitrification (Nielsen *et al.*, 1995) และการเคลื่อนย้ายออกโดยกระบวนการทางชีวภาพ (Kemp and Boynton, 1984)

Eyre and Twigg (1995) ศึกษาใน Richmon River Estuary ประเทศออสเตรเลีย พบว่าไนเตรทจะถูกนำไปใช้โดยแพลงก์ตอนพืช และมีส่วนหนึ่งของไนเตรทถูกนำออกไป โดยผ่านกระบวนการ denitrification

ฟอสฟอรัส

ฟอสฟอรัสเข้าสู่บริเวณเอสทูรีจากการชะล้างจากเปลือกโลกและน้ำทิ้งจากชุมชน จากโรงงานอุตสาหรรม และจากการเกษตรกรรม ฟอสฟอรัสมีทั้งในรูปของสารละลายและสารแขวนลอย โดยทั่วไปจะมี 4 รูปแบบ คือ อนินทรีย์ฟอสฟอรัสส่วนที่ละลายน้ำ(dissolved inorganic phosphorous, DIP) อินทรีย์ฟอสฟอรัสส่วนที่ละลายน้ำ (dissolved organic phosphorous, DOP) อนินทรีย์ฟอสฟอรัสส่วนที่แขวนลอย (particulate inorganic phosphorous, PIP) และอินทรีย์ฟอสฟอรัสส่วนที่แขวนลอย (particulate organic phosphorous, POP)

กระบวนการควบคุมฟอสฟอรัสในบริเวณเอสทูรีมีทั้งกระบวนการทางเคมีอนินทรีย์ และกระบวนการทางชีวภาพ โดยกระบวนการทางเคมีอนินทรีย์ขึ้นอยู่กับ 2 ปัจจัย คือ

1) ความเข้มข้นของฟอสฟอรัส ในแม่น้ำและในทะเล ซึ่งเป็นแหล่งของฟอสฟอรัสในเอสทูรี

2) การเกิดบัฟเฟอร์ริ่งเอฟเฟค (buffering effect) ระหว่างฟอสฟอรัสในน้ำกับในดินตะกอน ซึ่งจะพยายามรักษาความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในน้ำให้มีค่าคงที่

สำหรับกระบวนการทางชีวภาพเกิดขึ้นโดย แบคทีเรียส่วนใหญ่เกาะติดอยู่กับพื้นผิวสิ่งที่แขวนลอยในน้ำ และแพลงก์ตอนพืชดึงเอาฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำไปใช้ เมื่อสัตว์มากินสารแขวนลอยหรือแพลงก์ตอนเข้าไปก็จะคายฟอสฟอรัสคืนสู่น้ำในรูปของออโธฟอสเฟตอิออน และฟอสฟอรัสอินทรีย์ ทั้งที่ละลายน้ำและที่เป็นสารแขวนลอย (รูปที่ 1.3)

ปัจจัยที่มีผลต่อพฤติกรรมของฟอสเฟตในบริเวณเอสทูรี

1) การเกิดบัฟเฟอร์ของฟอสเฟตในบริเวณเอสทูรี

การเกิดบัฟเฟอร์ริ่งเอฟเฟค จะมีผลต่อความเข้มข้นของฟอสเฟตในเอสทูรี (Olausson and Cato, 1980) ซึ่งบัฟเฟอร์ริ่งเอฟเฟค จะพยายามรักษาค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นของฟอสเฟต ในบริเวณเอสทูรีให้มีค่าคงที่ สำหรับการเกิดบัฟเฟอร์ริ่งเอฟเฟค กระบวนการที่สำคัญในการควบคุมคือ กระบวนการดูดซับ และกระบวนการปล่อยออก โดยที่ความเค็มต่ำ dissolved inorganic phosphate จะเกิดการดูดซับกับเหล็ก และ คอลลอยด์ของอลูมิเนียมออกซีไฮดรอกไซด์ ซึ่งจะถูกตกตะกอนไป และจะถูกดึงออกมาเมื่อมีการเพิ่มขึ้นของพีเอช (Eyre and Twigg, 1995) และสำหรับกระบวนการปล่อยออก redox potential (Eh) จะเป็นตัวสำคัญในการควบคุม การปลดปล่อยของฟอสเฟตจากตะกอน ซึ่งจะเกิดได้ดีในสภาพไร้ออกซิเจน (Olausson and Cato, 1980)

De Sousa (1983) พบว่ามีกลไกการเกิดบัฟเฟอร์ของฟอสเฟตของดินตะกอนในเอสทูรีของแม่น้ำ Mondovi ที่มีความเค็มต่ำ โดยมีการแลกเปลี่ยนของฟอสเฟตระหว่างน้ำกับดินตะกอน

Vaithiyanathan *et al.* (1993) ศึกษาใน Hooghly Estuary ประเทศอินเดีย พบว่าค่าสูงสุดของ dissolved reactive phosphorous มีค่าค่อนข้างคงที่ ที่ 40 μg/l.

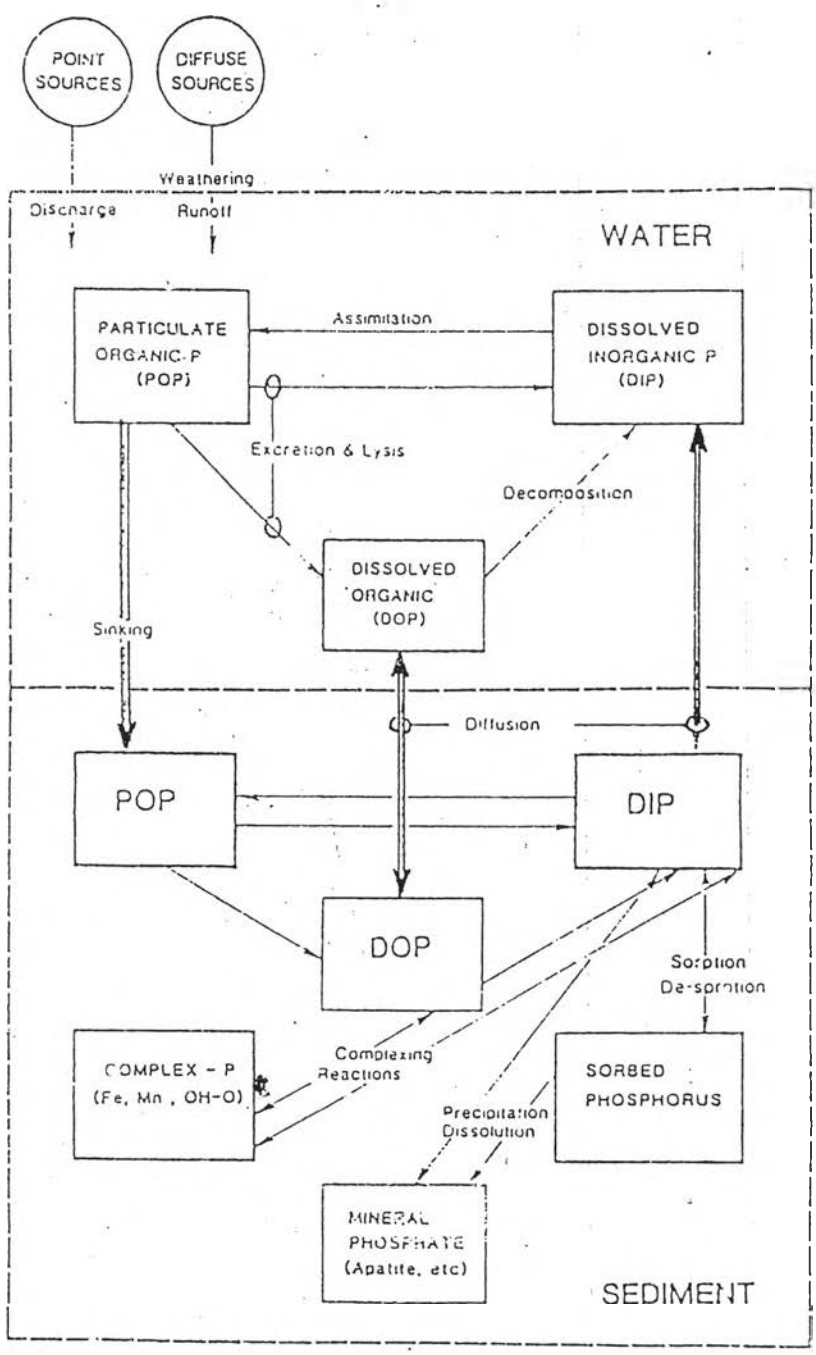
2) ผลของอุณหภูมิ ค่าความเป็นกรดด่าง และความเค็ม

Eyre and Twigg (1995) ศึกษาใน Richmond River Estuary พบว่า มีการเคลื่อนย้ายออกของ dissolved inorganic phosphorous ที่ความเค็มต่ำ และมีการเพิ่มขึ้นของ total particulate phosphorous ไปพร้อมกัน นอกจากนี้ยังพบว่า มีการเคลื่อนย้ายออกมากที่สุด เกิดขึ้นพร้อมกับกราฟของ pH ที่มีลักษณะโค้งลง ซึ่งแสดงให้เห็นว่า pH มีบทบาทต่อการ เคลื่อนย้ายออกของ dissolved inorganic phosphorous

เมื่อพีเอชและอุณหภูมิคงที่ แต่ความเค็มสูงขึ้น การดูดซับของฟอสเฟตจะลดลง อาจเป็นเพราะมีการแก่งแย่งการแลกเปลี่ยน anion จาก anion ตัวอื่นๆ เช่น Cl^-, SO_4^{2-}, Br^- ดังนั้นแสดงให้เห็นว่ามีการเคลื่อนย้ายออกของฟอสเฟตได้ดีในสภาพความเค็มต่ำ (Olausson and Cato, 1980)

3) อิทธิพลของโลหะและอินทรีย์สาร

Zwolsman *et al.* (1994) ศึกษาใน Scheldt estuary พบว่ามีการเคลื่อนย้ายออกของฟอสเฟต ที่ความเค็มต่ำเนื่องมาจากการตกตะกอนร่วมกับ ออกซีไฮดรอกไซด์ของเหล็ก



รูปที่ 1.3 แสดงวัฏจักรของฟอสฟอรัสในบริเวณเอสทูรี
(ที่มา : Day *et al.*,1989)

Lopez et al. (1996) ศึกษาใน Majocar ประเทศสเปน พบว่าความสามารถ ในการดูดซับสูงสุดจะสัมพันธ์กับความเข้มข้นของเหล็กและอลูมิเนียม โดยพบว่ามีความเข้มข้นของฟอสเฟตต่ำ เนื่องจากการดูดซับกับเหล็กและอลูมิเนียม

Sah and Mikkelsen (1986) พบว่าการย่อยสลายของอินทรีย์วัตถุในดินตะกอนในสภาพไร้อากาศ เป็นปัจจัยสำคัญในการเพิ่มการดูดซับของฟอสฟอรัสกับดินตะกอน

ซิลิคอน

ซิลิคอนเป็นสารอาหารที่สำคัญต่อสิ่งมีชีวิตในทะเลบางชนิด เช่น ไดอะตอม เรดิโอแลเรีย และฟองน้ำ ซึ่งสิ่งมีชีวิตเหล่านี้จะใช้ซิลิคอนในการสร้างโครงร่างแข็งของมัน ดังนั้นปริมาณของซิลิคอนในน้ำจึงถูกควบคุมโดยสิ่งมีชีวิตเหล่านี้ สำหรับน้ำในแม่น้ำ ซิลิคอนจะอยู่ในรูปสำคัญ 3 รูป คือ เศษควอร์ตซ์ แร่ดินเหนียวอลูมิโนซิลิเกต และซิลิคอนละลายน้ำ ซึ่งได้จากการชะล้างพวกหินซิลิเคต (มนูวดี หังสพฤกษ์, 2532) สำหรับน้ำที่มีพีเอชต่ำกว่า 9 ซึ่งจะเป็นสภาพตามปกติของน้ำแม่น้ำโดยทั่วไป ซิลิคอนจะอยู่ในรูปของ silicic acid (H_4SiO_4) (Aston, 1980) และนอกจากนี้ ยังมีกระบวนการทางกายภาพที่จะเป็นตัวการในการเคลื่อนย้ายปริมาณซิลิคอนที่ละลายน้ำโดยการตกตะกอนในระหว่างการผสมผสานกันของน้ำในเอสทูรี (Liss, 1976)(รูปที่ 1.4)

ปัจจัยที่มีผลต่อพฤติกรรมของซิลิคอนในบริเวณเอสทูรี

1. กระบวนการทางชีวภาพ

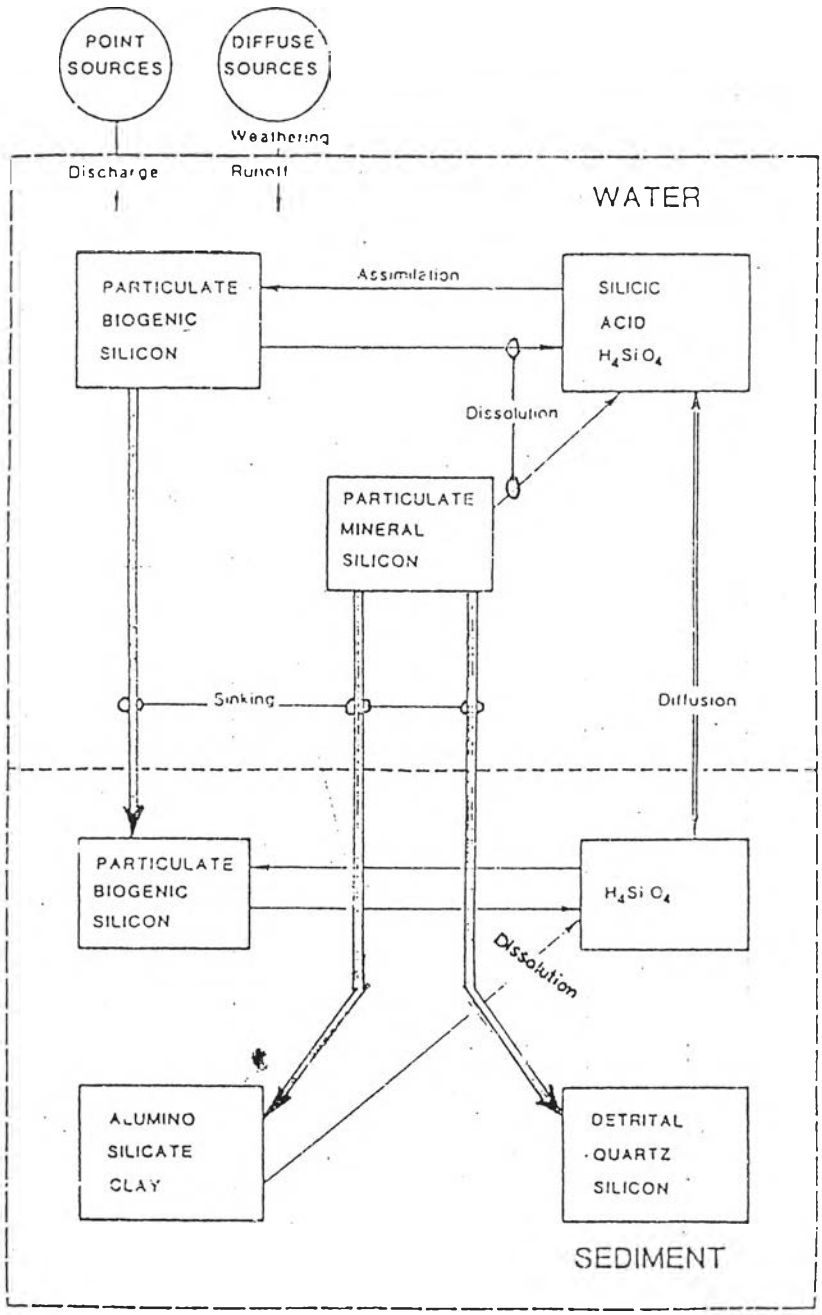
กระบวนการทางชีวภาพ เป็นกระบวนการหนึ่งในการควบคุมปริมาณซิลิคอนที่ละลายน้ำในเอสทูรี ซึ่งซิลิคอนจะถูกนำไปใช้ในการสร้างโครงร่างที่เป็นของแข็งของสิ่งมีชีวิตจำพวกไดอะตอม เรดิโอแลเรีย และฟองน้ำ

Anderson (1986) ได้ศึกษาในแม่น้ำที่ไหลลงสู่ Chesapeake Bay เขาได้สรุปว่าซิลิคอนมีการเคลื่อนย้ายออกจากน้ำทะเลที่แผ่เข้ามา โดยการ Bloom ของไดอะตอม และมีการเพิ่มขึ้นของซิลิคอนในน้ำเค็มจากการละลายของไดอะตอมน้ำจืด

Clark *et al.* (1992) ได้ทำการคำนวณ dissolution flux ใน Hudson Estuary ซึ่งแสดงให้เห็นว่า dissolution of diatom test มีความสำคัญต่อ dissolution flux ในระหว่างฤดูร้อน

2. ความเข้มข้นของสารละลาย

ในระหว่างการผสมผสานกันของน้ำแม่น้ำและน้ำทะเล การเพิ่มขึ้นของอิเลคโตรไลท์ สามารถที่จะนำไปสู่การสร้างของ polymeric และ colloidal form จาก silicic acid ซึ่งจะเกิดการ flocculate และเกิดการเคลื่อนย้ายของ dissolved silicate เช่นการศึกษาของ Sholkovitz (1976) อ้างถึงใน Liss (1976) โดยทำการผสมน้ำทะเลกับน้ำจืด โดยผ่านการกรองและไม่ได้กรอง พบว่า มีการสูญเสียของซิลิเกตมากในกรณีน้ำที่ไม่ได้ผ่านการกรอง แสดงถึงมีการสูญเสีย



รูปที่ 1.4 แสดงวัฏจักรของซิลิเกตในบริเวณเอสทูรี
(ที่มา : Day *et al.*,1989)

เกิดเนื่องมาจาก กระบวนการดูดซับของซิลิเกตที่ละลายน้ำบนตะกอนแขวนลอย โดยที่อิเลคโตรไลท์อื่น ๆ ในน้ำทะเลมีส่วนเกี่ยวข้อง

3. เรซิเดนซ์ไทม์ (Residence time)

เรซิเดนซ์ไทม์ เป็นค่าเฉลี่ยของเวลาที่ธาตุใดธาตุหนึ่งใช้ในการละลายอยู่ในน้ำ ถ้าค่าเรซิเดนซ์ไทม์สูง อาจเกิดการสูญเสียของซิลิเคต โดยกระบวนการทางชีวภาพ

Callaway and Specht (1982) พบว่าเรซิเดนซ์ไทม์ เป็นปัจจัยเบื้องต้นในการควบคุมพฤติกรรมแบบไม่อนุรักษ์ของซิลิเคตในบริเวณเอสทูรีของแม่น้ำ Yaquina ประเทศสหรัฐอเมริกา

การศึกษาพฤติกรรมของสารอาหารในบริเวณเอสทูรี

ในการศึกษาพฤติกรรมของสารอาหารที่ละลายน้ำในบริเวณเอสทูรี โดยทั่วไปจะดูความสัมพันธ์ของสารนั้นกับการเปลี่ยนแปลงของความเค็มในบริเวณเอสทูรี โดย Liss (1976)ได้ศึกษาพฤติกรรมขององค์ประกอบที่ละลายน้ำ ในบริเวณเอสทูรีซึ่งเกิดจากการผสมผสานของน้ำในแม่น้ำและทะเล ถ้าปริมาณขององค์ประกอบที่ละลายน้ำมีความสัมพันธ์กับความเค็มที่เพิ่มขึ้น ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากการเจือจางเพียงอย่างเดียว จัดว่าเป็นพฤติกรรมแบบอนุรักษ์ ถ้าองค์ประกอบที่ละลายน้ำมีมากขึ้นหรือลดลงในช่วงการผสม แสดงว่ามีการเพิ่มหรือดึงออกจากน้ำที่มีการผสมกัน จัดว่าเป็นพฤติกรรมแบบไม่อนุรักษ์ สำหรับการศึกษาพฤติกรรมของสารอาหารได้มีผู้ทำการศึกษาไว้หลายท่าน ตัวอย่างเช่น

Froelich *et al.* (1985) ศึกษาใน Charlotte Harbor พบว่าฟอสฟอรัส มีพฤติกรรมแบบไม่อนุรักษ์ โดยมีลักษณะโค้งลงจาก Theoretical conservative mixing

Clark *et al.* (1992) ศึกษาใน Hudson Estuary ประเทศสหรัฐอเมริกา พบว่าซิลิคอนมีพฤติกรรมแบบอนุรักษ์ในช่วงที่มีการไหลของน้ำสูง และพบพฤติกรรมในลักษณะเดียวกันที่ความเค็มระดับกลาง ๆ ในช่วงที่มีการไหลของน้ำต่ำ

Ball (1992) ศึกษาใน The Forth และ Tay Estuary ประเทศสกอตแลนด์ พบว่าไนเตรทมีพฤติกรรมเป็นแบบอนุรักษ์ในฤดูหนาว และมีพฤติกรรมเป็นแบบไม่อนุรักษ์ในฤดูร้อน และพบว่าฟอสเฟตมีพฤติกรรมแบบไม่อนุรักษ์ โดยมีการเคลื่อนย้ายออกที่ความเค็มต่ำ มีการนำเข้าที่ตอนกลางของเอสทูรี และมีการผสมผสานกันแบบธรรมดาที่ความเค็มสูง โดยเกิดจากการดูดซับกับตะกอนแขวนลอยที่ความเค็มต่ำ หลังจากนั้นมีการดึงออกจากตะกอนแขวนลอย ที่ความเค็มปานกลาง รวมทั้งมีการนำเข้าของฟอสเฟตจากชั้นน้ำในดินตะกอน

Mackas and Harrison (1997) ศึกษาใน Juan de Fuca Strait ประเทศแคนาดา พบว่าไนเตรทมีพฤติกรรมเป็นแบบอนุรักษ์

Rendell *et al.* (1997) ศึกษาใน Great Ouse Estuary ประเทศอังกฤษ พบว่า ไนเตรท+ไนไตรท์ มีพฤติกรรมแบบไม่อนุรักษ์ (non-conservative) ที่ความเค็มต่ำในระหว่างฤดูใบไม้ผลิและฤดูร้อน เนื่องจากการนำไปใช้ของแพลงก์ตอนพืช และเกิด nitrification ในชั้นน้ำ ฟอสฟอรัส

มีพฤติกรรมแบบไม่อนุรักษ์ที่ความเค็มต่ำ เนื่องจากกระบวนการเคมีอนินทรีย์ และการเคลื่อนย้ายออกทางชีวภาพโดยแพลงก์ตอนพืช และพบว่าพบว่าซิลิคอนมีพฤติกรรมแบบไม่อนุรักษ์ที่ความเค็มต่ำในระหว่างฤดูใบไม้ผลิและฤดูร้อน โดยมีการเคลื่อนย้ายออก เนื่องมาจากการนำไปใช้ของแพลงก์ตอนพืช โดยอาจเป็นไดอะตอม

การศึกษาพฤติกรรมของสารอาหารในประเทศไทย

สำหรับการศึกษาพฤติกรรมของสารอาหารในประเทศไทย ได้มีผู้ทำการศึกษาไว้หลายท่าน เช่นกัน ตัวอย่างเช่น

กัลยา อำนวย (2527) พบว่าฟอสเฟตแสดงลักษณะพฤติกรรมแบบอนุรักษ์ ในแม่น้ำเจ้าพระยาโดยมีค่าบางสถานีเบี่ยงเบนไปจาก theoretical dilution line ทั้งนี้เพราะแม่น้ำเจ้าพระยาเป็นแม่น้ำสายใหญ่และผ่านการรับน้ำทิ้งจากบ้านเรือนและอุตสาหกรรมมาตามคูคลองต่าง ๆ และพบว่า ซิลิคอนที่ละลายอยู่ในน้ำในแม่น้ำและปากแม่น้ำเจ้าพระยา แสดงลักษณะพฤติกรรมแบบอนุรักษ์ ในเดือนมิถุนายนและตุลาคม แต่มีลักษณะกระจัดกระจาย และมีการสูญหายไปที่ความเค็มต่ำ ๆ ในเดือนเมษายน

กัลยา วัฒยากร (2530) ศึกษาพฤติกรรมของซิลิเกตที่ละลายน้ำในเอสทูรีของแม่น้ำบางปะกง พบว่าความสัมพันธ์ของซิลิเกตและความเค็มเป็นเส้นตรงเกือบตลอดเอสทูรี ทั้งในฤดูน้ำหลากและฤดูแล้ง แสดงให้เห็นว่าซิลิเกตมีพฤติกรรมเป็นแบบอนุรักษ์ในเอสทูรีแม่น้ำบางปะกง

สุภาพร รักเขียว (2533) ศึกษาในเอสทูรีของคลองหงาว พบว่าไนไตรท์มีพฤติกรรมแบบอนุรักษ์ในเดือนกันยายน และมีพฤติกรรมแบบไม่อนุรักษ์ในเดือนตุลาคม โดยมีลักษณะการเพิ่มขึ้นในระบบ เนื่องจากการได้รับเพิ่มขึ้นจากแผ่นดิน จากน้ำจืดที่ไหลลงสู่คลองหรือจากป่าชายเลนเอง และไนเตรทมีพฤติกรรมแบบอนุรักษ์ในเดือนกันยายน และมีพฤติกรรมแบบไม่อนุรักษ์ในเดือนตุลาคม แต่ฟอสเฟตและฟอสฟอรัสรวมมีความสัมพันธ์ไม่แน่นอนกับความเค็ม ทั้งในฤดูแล้งและฤดูน้ำหลาก

ปัญญานีย์ พราพงษ์ (2535) ได้ทำการศึกษาพฤติกรรมของสารอาหารในบริเวณเอสทูรีแม่น้ำท่าจีนในฤดูแล้งและฤดูน้ำหลาก โดยในฤดูแล้งพบว่า แอมโมเนีย ฟอสเฟต และ ซิลิเกต ส่วนที่ละลายน้ำ มีพฤติกรรมแบบอนุรักษ์ ส่วนไนไตรท์ ไนเตรท อินทรีย์ไนโตรเจน และอินทรีย์ฟอสฟอรัสส่วนที่ละลายน้ำ มีพฤติกรรมแบบไม่อนุรักษ์ และสำหรับสารอาหารส่วนที่แขวนลอยทุกตัวมีพฤติกรรมแบบไม่อนุรักษ์ สำหรับในฤดูน้ำหลากพบว่า แอมโมเนียและไนเตรทส่วนที่ละลายน้ำมีพฤติกรรมแบบไม่อนุรักษ์ ไนไตรท์ ฟอสเฟต ซิลิเกต อินทรีย์ไนโตรเจน และ อินทรีย์-ฟอสฟอรัสส่วนที่ละลายน้ำ มีพฤติกรรมแบบอนุรักษ์ ส่วนสารอาหารส่วนที่แขวนลอยทุกตัวมีพฤติกรรมแบบไม่อนุรักษ์

พรทิพย์ งานสกุล (2535) ศึกษาในแม่น้ำบางปะกงพบว่า พฤติกรรมของไนไตรท์+

ไนเตรท และไนโตรเจนรวม ส่วนที่ละลายน้ำในฤดูแล้ง มีพฤติกรรมแบบอนุรักษ์ ในขณะที่แอมโมเนีย ไนโตรเจนอินทรีย์ ออโธฟอสเฟต ฟอสฟอรัสอินทรีย์ และฟอสฟอรัสรวมมีพฤติกรรมแบบไม่อนุรักษ์ เช่นเดียวกับไนโตรเจนและฟอสฟอรัสส่วนที่แขวนลอย

ฟลักซ์ของสารอาหาร (Nutrient Flux)

ฟลักซ์เป็นการวัดอย่างหนึ่งของอัตราการถ่ายเทของสาร จากแหล่งสะสม(reservoir)หนึ่งไปยังอีกแหล่งหนึ่ง และจากสถานะ (state) ทางฟิสิกส์หรือเคมีหนึ่งไปยังอีกสถานะหนึ่ง คำนิยามทั่วไป อย่างหนึ่งของฟลักซ์ คือ

ฟลักซ์ = proportionality factor x แรงขับ (driving force) หน่วยของฟลักซ์คือ ($ML^{-2}T^{-1}$) หรือ (MT^{-1})

M = ปริมาณของสารที่ถูกพาไปโดยฟลักซ์ (ไม่จำเป็นต้องเป็นมวล)

L = เป็นมิติเชิงเส้นอย่างหนึ่ง (a linear dimension)

T = เวลา

หน่วยของฟลักซ์ขึ้นกับธรรมชาติของฟลักซ์ เช่น ฟลักซ์มวล ฟลักซ์พลังงาน ฟลักซ์ปริมาตรหรืออนุภาค ที่หน่วยของแรงขับและ factor of proportionality ต้องสอดคล้องกับหน่วยของฟลักซ์

แรงขับเป็นกลไกที่สำคัญสำหรับการถ่ายเทของฟลักซ์ และกลไกที่พิจารณาอาจเป็น แอ็ดเว็คชั่น (advection) ซึ่งเป็นการขยับที่ (displacement) ของชิ้นส่วนหนึ่งของสารภายใต้อิทธิพลของแรงต่างๆ เทียบกับผู้สังเกต ตัวอย่างเช่น การไหลของน้ำและลม การระเหย การตกตะกอน เป็นต้น การแตกฉานซ่านเซ็นและการฟุ้งกระจายซึ่งเป็นการเคลื่อนไหวของโมเลกุลของสารหนึ่งอย่างตามบุญตามกรรมที่ถูกเหนี่ยวนำโดยความร้อน และการเคลื่อนไหวอย่างตามบุญตามกรรมของชิ้นส่วนเล็กๆ ของตัวกลางทำให้เกิดการแตกฉานซ่านเซ็น และการอพยพย้ายถิ่น (อัปสรสุดา ศิริพงศ์, 2524)

การศึกษาฟลักซ์ของสารใด ๆ ที่ผ่านพื้นที่ภาคตัดขวาง สามารถคำนวณได้จาก

$$F = QC \qquad \text{..... (1.1)}$$

F = ฟลักซ์ของสารที่ผ่านเข้าออกบริเวณที่ทำการศึกษา ($g.s^{-1}$)

Q = ปริมาณการไหลของน้ำ ($m^3.s^{-1}$)

C = ความเข้มข้นของสาร ($g.m^{-3}$)

ปริมาณการไหลของน้ำจากแม่น้ำ ต่อหน่วยพื้นที่ภาคตัดขวาง คำนวณได้ตามวิธีของ Kjerfve *et al.* (1981) โดยการแบ่งสถานีตามความกว้างของปากคลองเป็น N สถานี

$$Q(t) = \sum h_j/N \, (0.5V_{oj}W_{oj} + \sum V_{ij}W_{ij}) \qquad \text{.....(1.2)}$$

โดย Q(t) = ปริมาณการไหลของน้ำ ($m^3.s^{-1}$)

N = จำนวนสถานีในภาคตัดขวาง

n = จำนวนชั้นตามความลึก

j = ลำดับสถานีในภาคตัดขวาง

i = ลำดับความลึก

h_j = ความลึก ณ สถานี j

W_{ij} = ความกว้าง ณ สถานี j ความลึกระดับ i (m)

V_{oj} = ความเร็วกระแสน้ำที่ระดับผิว ณ สถานี j ($m.s^{-1}$)

V_{ij} = ความเร็วของกระแสน้ำที่ระดับความลึก i (m) ณ สถานี j ($m.s^{-1}$)

j = 0, 1, 2, 3,.....,n

i = 0, 1, 2, 3,.....,n

การคำนวณหาปริมาณฟลักซ์ของสารใด ๆ ณ เวลาหนึ่ง สามารถคำนวณได้ในทำนองเดียวกันคือ

$$F(t) = \sum h_j/N \ (0.5\ V_{oj}W_{oj}C_{oj} + \sum nV_{ij}W_{ij}C_{ij}) \quad .....(1.3)$$

โดย $F(t)$ = ปริมาณฟลักซ์ของสารใด ๆ ที่ผ่านพื้นทีภาคตัดขวาง ณ เวลาหนึ่ง ($g.s^{-1}$)

C_{oj} = ความเข้มข้นของมวลสารที่ระดับผิวน้ำ ณ สถานี j

C_{ij} = ความเข้มข้นของมวลสาร ณ ความลึก i สถานี j

W_{oj} = ความกว้างของสถานี j ที่ระดับผิวน้ำ

อัตราการไหลของน้ำสุทธิต่อวัฏจักรน้ำขึ้นน้ำลง

$$(Q) = 1/T \int_0^t Q(t)dt \quad .....(1.4)$$

และอัตราการไหลของสารสุทธิ

$$(F) = 1/T \int_0^t F(t)dt \quad .....(1.5)$$

T = จำนวนคาบเวลาที่เก็บตัวอย่าง ต่อหนึ่งวัฏจักรน้ำขึ้นน้ำลง

$$\text{หรือ } (F) = 1/T \left[1/2(F(t_0)+F(t_T) + \sum F.(t_t)\right] \quad .....(1.6)$$

การศึกษาฟลักซ์ของสารอาหารและเกลือที่ผ่านมา

การศึกษาฟลักซ์ของสารอาหารและเกลือ เป็นการศึกษาปริมาณของสารอาหารและเกลือที่ถูกพัดพาออกหรือเข้าในบริเวณเอสทูรีต่อหน่วยเวลา ซึ่งสามารถบอกทิศทางของการถ่ายเทของสารอาหารได้ว่า มีทิศทางการลำเลียงจากแม่น้ำออกสู่ทะเล หรือ จากทะเลพัดพาเข้าสู่แม่น้ำ สำหรับการศึกษาฟลักซ์ของสารอาหารและเกลือที่ผ่านมา ได้มีผู้ทำการศึกษาไว้หลายท่าน ตัวอย่างเช่น

Kjerfve (1986) ได้ศึกษาการหมุนเวียนของฟลักซ์ของเกลือใน North Inlet ประเทศสหรัฐอเมริกา พบว่า การเคลื่อนย้ายของเกลือตามแนวยาวจะสมดุลระหว่าง ฟลักซ์ของเกลือ ที่มีทิศทางเข้าและออก ตามวัฏจักรน้ำขึ้นน้ำลง โดยทั่วๆไปฟลักซ์ของเกลือจะไม่คงที่ จากวัฏจักรน้ำขึ้นน้ำลงหนึ่ง ไปยังอีกวัฏจักรหนึ่งมีการหมุนเวียนและการแพร่กระจายของ Advective salt flux ตรงข้ามกันอย่างชัดเจน

Dame *et al.* (1986) ศึกษาใน North Inlet, South Carolina พบว่าฟลักซ์ของสารอาหารมีทิศทางออกสู่ทะเล และฤดูกาลจะมีผลต่อปริมาณฟลักซ์ของสารอาหาร ในฤดูร้อนอัตราการไหลของน้ำ มีค่าน้อยกว่าในฤดูหนาวและฤดูใบไม้ผลิ เนื่องจากปริมาณน้ำจืดจากแผ่นดิน ปริมาณน้ำฝน และอิทธิพลของลม North east ทำให้ระดับน้ำใน North Inlet เพิ่มขึ้นในช่วงฤดูหนาว และฤดูใบไม้ผลิ

Whiting and Chiders (1989) ได้ทำการศึกษาเพื่อประมาณการเคลื่อนย้ายของน้ำจาก subtidal creeks sediment ในการเพิ่มปริมาณสารอาหารในเอสทูรี โดยการวัดแอ็ดเวคชั่น (advection) ในสองอ่าวบริเวณ South Carolina salt mash estuary พบว่ามีการเติมสารอาหารอนินทรีย์ NH_4^+ และ PO_4^{3-} ลงในแหล่งน้ำโดยการเคลื่อนย้ายของน้ำพัดพาเอาสารอาหารไปสู่ tidal creek

Alexander *et al.* (1996) ได้ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลของไนเตรท ที่ไหลลงสู่ชายฝั่ง Atlantic โดยใช้การวัด 2 วิธี สำหรับการเปลี่ยนแปลงของฟลักซ์คือ coefficient of variation (CV) และ exceedence (EP) และพบว่าการเปลี่ยนแปลงของฟลักซ์ขึ้นอยู่กับ ฤดูกาลในแต่ละปี สภาพภูมิอากาศ และลักษณะการใช้ที่ดินของลุ่มแม่น้ำ

Mitchell *et al.* (1997) ศึกษาใน Herbert River ประเทศออสเตรเลีย ในระหว่างการท่วมสูงของน้ำ จากพายุไซโคลน Sadic ในเดือนมกราคม 1994 พบว่าบริเวณ flood peak ความเข้มข้นของ dissolved inorgnic nutrients ลดลงจนถึงน้อยสุด ตรงกันข้ามกับความเข้มข้นของ particulate nutrient กลับสูงขึ้นจนถึงสูงสุด ความเข้มข้นของ dissolved organic nutrient ผันแปรอย่างผกผันกับการไหล และประมาณผลการนำออกของไนโตรเจนอย่างน้อยที่สุด 600 ตัน 65 ตันของฟอสฟอรัส และ 100,000 ตันของ suspended sediment ในช่วงเวลา 6 วันครึ่ง และ องค์ประกอบส่วนใหญ่ของ nutrient flux คือ particulate nitrogen (50%) และ particulate phosphorus การศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นถึงศักยภาพการนำออกของสารอาหารที่สูงในระหว่าง flood event ที่มาจากฟาร์มเลี้ยงสัตว์ การเกษตร และจากแผ่นดิน

การศึกษาฟลักซ์ของสารอาหารและเกลือในประเทศไทย

สำหรับในประเทศไทยได้มีผู้ทำการศึกษาฟลักซ์ของสารอาหารและเกลืออยู่หลายท่านเช่นกัน ตัวอย่างเช่น

อัปสรสุดา ศิริพงศ์ และคณะ (2527) ได้ทำการศึกษาการแปรผันของฟลักซ์เกลือ ที่ปากแม่น้ำบางปะกง โดยผู้วิจัยได้คำนวณค่าเฉลี่ยของความเร็วกระแสน้ำในแนวยาว ซาลินิตี้ ความลึกของน้ำ อัตราน้ำไหล และฟลักซ์เกลือต่อวัฏจักรน้ำขึ้นน้ำลงของ 2 สถานีที่ปากแม่น้ำบางปะกงใน 3 ช่วงเวลา คือช่วงเปลี่ยนลมมรสุม (ตุลาคม 2523) ช่วงมรสุมเหนือ (มกราคม 2524) และช่วงมรสุมตะวันตก (พฤษภาคม 2524) ค่าอัตราน้ำไหลสุทธิ และฟลักซ์เกลือสุทธิ ต่อความกว้างของแม่น้ำมีทิศทางกลับทิศกันเมื่อลมมรสุมเปลี่ยนไป รวมทั้งมีการแปรผันในแนวทางของแม่น้ำอีก

ด้วย ฟลักซ์เกลือมีปริมาณสูงขึ้นเมื่อมีทิศไหลออกสู่ทะเลระหว่างช่วงเปลี่ยนมรสุม จากลมมรสุมตะวันตกไปสู่ลมมรสุมเหนือ

สุภาพร รักเชียว (2533) ได้ทำการศึกษาฟลักซ์ของสารอาหารและเกลือ ในป่าชายเลนคลองหงาว จังหวัดระนอง พบว่าฟลักซ์ของสารอาหารและเกลือ มีทิศทางออกสู่ทะเลทั้ง 2 ฤดูกาล ฟลักซ์ของสารอาหารในฤดูฝนมากกว่าในฤดูแล้ง ส่วนฟลักซ์ของเกลือช่วงฤดูฝนน้อยกว่าฤดูแล้ง และ ช่วงน้ำเกิดมีการส่งออกของสารอาหารและเกลือสู่ทะเลสูงกว่าในช่วงน้ำตาย

ปิยรัตน์ ปิติวัฒนกุล (2533) ได้ทำการศึกษาฟลักซ์ของสารบางชนิดในแม่น้ำเจ้าพระยา พบว่า ฟลักซ์ของสารตะกอนแขวนลอย ฟอสฟอรัส และ ซิลิเกต ที่สถานีปากเกร็ดในแม่น้ำเจ้าพระยา มีการแปรผันตามฤดูกาล และเมื่อเทียบกับสถานีบางไทรในรอบวงจรน้ำขึ้นและน้ำลงเดียวกัน พบว่ามีความแตกต่างกัน ในช่วงฤดูน้ำมากสารส่วนใหญ่จะถูกพาลงสู่แม่น้ำตอนล่าง ขณะที่ในช่วงฤดูน้ำน้อยสารจะถูกพากลับสู่ตอนบนของแม่น้ำ ฟลักซ์ของสารเหล่านี้ในแต่ละวัน จะเปลี่ยนไปทั้งขนาดและทิศทาง ขึ้นอยู่กับอิทธิพลของน้ำขึ้นและน้ำลง และปริมาณความเข้มข้นของสาร ในแต่ละวัน

พรทิพย์ งานสกุล (2535) ได้ทำการศึกษาฟลักซ์ของสารอาหารและเกลือในแม่น้ำบางปะกง พบว่าฟลักซ์สุทธิของเกลือมีการนำเข้าสู่แม่น้ำคิดเป็นปริมาณ 171×10^8 กิโลกรัมต่อปี โดยในฤดูน้ำหลากมีทิศทางไหลออกสู่ทะเลแต่ในฤดูแล้งมีทิศทางไหลเข้าสู่ในแม่น้ำ ส่วนการศึกษาฟลักซ์ของสารอาหารพบว่า ฟลักซ์ของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสมีทิศทางไหลออกสู่ทะเลทั้งหมดในฤดูน้ำหลาก ส่วนในฤดูแล้งฟลักซ์ของไนไตรท์ และไนเตรท ไนโตรเจนอินทรีย์ และไนโตรเจนรวมจะมีทิศทางไหลออกสู่ทะเล แต่ฟลักซ์ของแอมโมเนียไนโตรเจน ออโธฟอสเฟต ฟอสฟอรัส-อินทรีย์ และฟอสฟอรัสรวม มีทิศทางไหลเข้าสู่แม่น้ำและพบว่า ฟลักซ์ของสารอาหารในฤดูน้ำหลากสูงกว่าในฤดูแล้ง

กัลยา วัฒยากร (2538) ได้ทำการศึกษาการแลกเปลี่ยนของสารอาหารระหว่าง ดิน ตะกอน และน้ำในป่าชายเลน บริเวณอ่าวพังงา และอ่าวบ้านดอน พบว่าอัตราการแลกเปลี่ยนของสารอาหารค่อนข้างต่ำ และมีทิศทางการแลกเปลี่ยนที่ไม่แน่นอน การศึกษาเบื้องต้นบ่งชี้ว่าบริเวณป่าชายเลน เป็น "sink" สำหรับสารอาหารไนโตรเจน

กัลยา วัฒยากร (2540) ได้ทำการศึกษาสมดุลของปริมาณน้ำ เกลือละลาย สารอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในคลองลัดเขาขาว ซึ่งเป็นเอสทูรีป่าชายเลนในบริเวณอ่าวพังงา จ.พังงา การวิเคราะห์เบื้องต้นโดยใช้ความสัมพันธ์ทางสตอยคิโอเมตรีระหว่างสารอินทรีย์ และสารอาหาร พบว่า เอสทูรีป่าชายเลนแห่งนี้ทำหน้าที่เป็นแหล่งให้สารอาหารไนโตรเจน และ ฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำ แก่น้ำทะเลชายฝั่งข้างเคียง อัตราการตรึงไนโตรเจนในบริเวณเอสทูรี มีค่าประมาณ 8 มิลลิโมล/ตารางเมตร/วัน และอัตราการสร้างสารคาร์บอนอินทรีย์มีค่าประมาณ 230 มิลลิโมล/ตารางเมตร/วัน ซึ่งเป็นอัตราที่ค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับระบบนิเวศอื่น