

พฤติกรรมของธาตุอาหารบริเวณเอสทูรี และ ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

3.1 เอสทูรี

ความหมายของคำว่า เอสทูรี ได้มีผู้ให้คำนิยามไว้ต่างกันไป เช่น เอสทูรี หมายถึง บริเวณที่น้ำจืดพบกับน้ำทะเลที่รุกล้ำเข้ามา (Fairbridge, 1980) หรือเป็นบริเวณที่มีการผสมผสานกันระหว่างสารละลายที่มีองค์ประกอบทางเคมีที่แตกต่างกันมาก (Phillip, 1972) ส่วนทางด้านสมุทรศาสตร์นั้น เอสทูรี หมายถึง บริเวณที่น้ำทะเลถูกเจือจางด้วยน้ำจืดจากแผ่นดิน โดยทั่วไปจะพบว่าบริเวณเอสทูรีประกอบไปด้วย น้ำจากแม่น้ำที่จืดมีปริมาณเกลือละลายอยู่ประมาณ 120 มิลลิกรัมต่อลิตร (0.12 ส่วนในพันส่วน) (Livingstone, 1963 อ้างถึงใน Burton, 1976) ไปจนถึงน้ำที่มีความเค็มตามระดับน้ำทะเลปกติประมาณ 35 ส่วนในพันส่วน ในการศึกษาครั้งนี้จะเรียกบริเวณเอสทูรีที่มีความเค็มต่ำกว่า "บริเวณต้นเอสทูรี" และบริเวณที่มีความเค็มสูงกว่า "บริเวณปลายเอสทูรี" (ตามการแบ่งเอสทูรีของ Fairbridge, 1980)

3.2 พฤติกรรมขององค์ประกอบในเอสทูรี

การแพร่กระจายขององค์ประกอบทางเคมีภายในเอสทูรี มีผลมาจากกระบวนการหลายอย่างพร้อมๆกัน สารต่างๆทั้งที่เกิดโดยธรรมชาติ และ โดยการกระทำของมนุษย์ต่างก็ถูกนำสู่บริเวณเอสทูรีโดยแม่น้ำ ทางอากาศ จากแหล่งบนชายฝั่งทะเลใกล้เคียง และ จากทะเลด้วย ส่วนหนึ่งจะสะสมอยู่ในเอสทูรี และ ส่วนหนึ่งจะถูกพัดพาออกทะเลไป สารเหล่านี้จะอยู่ในสภาพและรูปแบบต่างๆกัน บางส่วนละลายอยู่ในน้ำในรูปแบบของไอออนอิสระ ไอออนคู่สารประกอบเชิงซ้อน คอลลอยด์และสารแขวนลอย ชิ้นส่วนต่างๆของแร่ธาตุที่แขวนลอยจะมีผิวเคลือบไปด้วยสารอินทรีย์ และ สารอนินทรีย์รวมทั้งอิทธิพลของสิ่งมีชีวิตด้วย โดยทั่วไปอาจกล่าวได้ว่า ลักษณะทางเคมีของเอสทูรีปากแม่น้ำถูกควบคุมด้วย ลักษณะพื้นฐานทางธรณีวิทยา การหมุนเวียนของกระแสน้ำ และ สัดส่วนของการผสมผสานกันของน้ำจืดและน้ำทะเล (มนูดี หังสพฤกษ์, 2529)

ในการศึกษาทางเคมีของพฤติกรรมขององค์ประกอบที่ละลายน้ำ (ส่วนที่ผ่านแผ่นกรอง ขนาด 0.45 ไมโครเมตร) ในบริเวณเอสทูรี จะดูความสัมพันธ์ของธาตุนั้นโดยใช้ความเค็มเป็นตัวบ่งชี้รูปแบบของการผสมผสาน (conservative mixing index) องค์ประกอบที่ละลายน้ำใดๆที่ปริมาณหรือความเข้มข้นมีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงกับความเค็มที่เพิ่มขึ้น แสดงถึงการผสมผสานกันของน้ำจืดและน้ำทะเล โดยกระบวนการทางกายภาพเพียงอย่างเดียว ซึ่งไม่มีปฏิกิริยาทางเคมี หรือ ทางชีวภาพเข้ามาเกี่ยวข้องจะมีพฤติกรรมแบบอนุรักษ์ (conservative) ในกรณีที่มีความสัมพันธ์ขององค์ประกอบนั้น กับ ความเค็มมีผลเบี่ยงเบนไปจากเส้นเจือจางทางทฤษฎี (Theoretical dilution line) แสดงให้เห็นว่า มีการสูญเสีย (removal หรือ sink) โดยกราฟจะมีลักษณะโค้งลง (concave) หรือการเพิ่มขึ้น (addition หรือ source) โดยกราฟจะมีลักษณะโค้งขึ้น (convex) เนื่องจากกระบวนการทางเคมี หรือ ทางชีวภาพก็ตาม เรียกว่า มีพฤติกรรมแบบไม่อนุรักษ์ (non-conservative) (Liss, 1976) (รูปที่ 3.1)

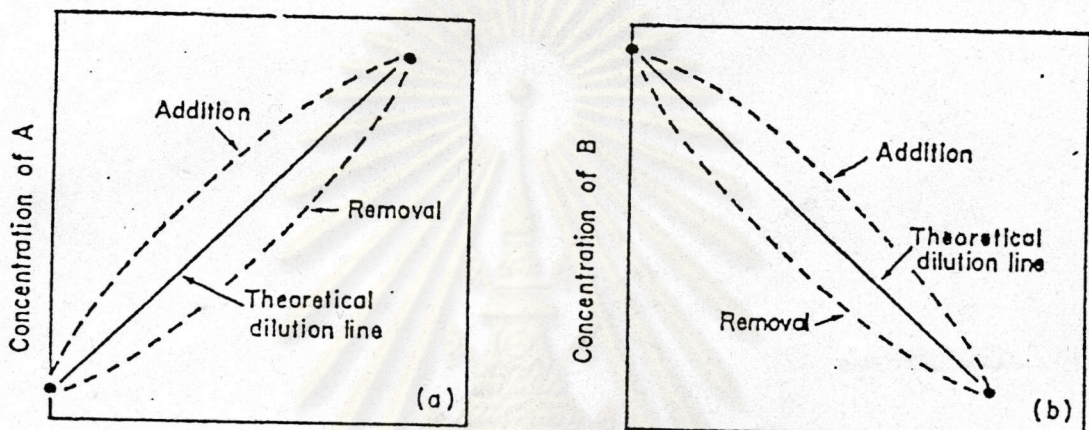
3.3 ธาตุอาหารบริเวณเอสทูรี

เนื่องจากบริเวณเอสทูรี เป็นบริเวณที่เชื่อมต่อระหว่างน้ำจืดกับน้ำทะเล ธาตุอาหารต่างๆจะไหลลงสู่น้ำแล้วผ่านบริเวณนี้ก่อนลงสู่ทะเล ดังนั้นบริเวณเอสทูรีจึงเป็นแหล่งที่มีความอุดมสมบูรณ์ของธาตุอาหาร ซึ่งพวกแพลงค์ตอนพืชและสัตว์ ใช้ในการเจริญเติบโต ได้แก่ ซิลิคอน ฟอสฟอรัส และ ไนโตรเจน

3.3.1 ซิลิคอน

ซิลิคอน เป็นธาตุอาหารที่มีความสำคัญสำหรับสิ่งมีชีวิตในทะเลบางชนิด เช่น ไดอะตอม เบริโอซัว และ ฟองน้ำ โดยเป็นธาตุโครงสร้างแข็งของมัน ปริมาณของซิลิคอนในน้ำจืดขึ้นกับสิ่งมีชีวิต ในน้ำแม่น้ำซิลิคอนอยู่ในรูปที่สำคัญ 3 รูปคือ เศษควอร์ตซ์ แร่ดินเหนียว และ ซิลิคอนที่ละลายน้ำ ได้จากการชะล้างของหินพวกซิลิเกต สำหรับน้ำที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำกว่า 9 (น้ำธรรมชาติโดยทั่วไป) ซิลิคอนจะอยู่ในรูปของ H_4SiO_4 (silicic acid) (Aston, 1980)

ซิลิคอน เข้าสู่เอสทูรีโดยผ่านทางน้ำที่ไหลบ่า (run off) ซึ่งประกอบไปด้วยน้ำจากการชะล้าง และ น้ำทิ้งจากของเสีย ซิลิคอน (ในรูปของ silicic acid)



Conservative index of mixing

ภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นขององค์ประกอบที่ละลายน้ำ กับ ตัวบ่งชี้รูปแบบของการผสมผสานของเอสทรี ที่มีเพียงแหล่งน้ำแม่น้ำ กับ น้ำทะเล

- (a) ความเข้มข้นขององค์ประกอบ A ในน้ำทะเลมากกว่าน้ำในแม่น้ำ
- (b) ความเข้มข้นขององค์ประกอบ B ในน้ำแม่น้ำมากกว่าน้ำทะเล

รูปที่ 3.1 แสดงพฤติกรรมขององค์ประกอบที่ละลายน้ำ

(ที่มา : Liss, 1976)

จะถูกดูดซึม (assimilation) โดยพวกไดอะตอม และ ซิลิคอนในรูปที่แขวนลอย สามารถจะเปลี่ยนกลับมาเป็นซิลิคอนในรูปที่ละลายน้ำ โดยผ่านกระบวนการทางเคมีกายภาพของการละลายกลับคืน (dissolution) ซิลิคอนในรูปของซากสิ่งมีชีวิตที่แขวนลอย (particulate biogenic silicon) และ ในรูปของแร่ธาตุ (particulate mineral silicon) ก็อาจจะอยู่ในรูปของ particulate biogenic silicon และ alumino silicate clay (แร่ดินเหนียว), detrital quartz silicon ตามลำดับ ซิลิเคตที่อยู่ในแร่ดินเหนียว และ รูปของ particulate biogenic silicon ในดินตะกอน สามารถเกิดกระบวนการละลายกลับไปสู่รูปที่ละลายน้ำได้ และแพร่สู่น้ำได้ (ดังรูป 3.2)

(1) พฤติกรรมของซิลิเคตในบริเวณเอสตูรี

กิลลา อำนวย (2527) พบว่า ซิลิเคตที่ละลายอยู่ในน้ำบริเวณเอสตูรีของแม่น้ำของแม่น้ำเจ้าพระยา มีพฤติกรรมแตกต่างกันตามฤดูกาล โดยแสดงลักษณะแบบอนุรักษ์ในช่วงฤดูร้อนถึงฤดูฝน (มิถุนายน และ ตุลาคม) แต่มีลักษณะกระจายและสูญหายไปจากความเค็มต่ำๆ ในฤดูร้อน (เมษายน) เนื่องจากความแตกต่างกันในปริมาณของซิลิเคตตามแหล่งที่มีการถูกนำไปใช้โดยสิ่งมีชีวิต

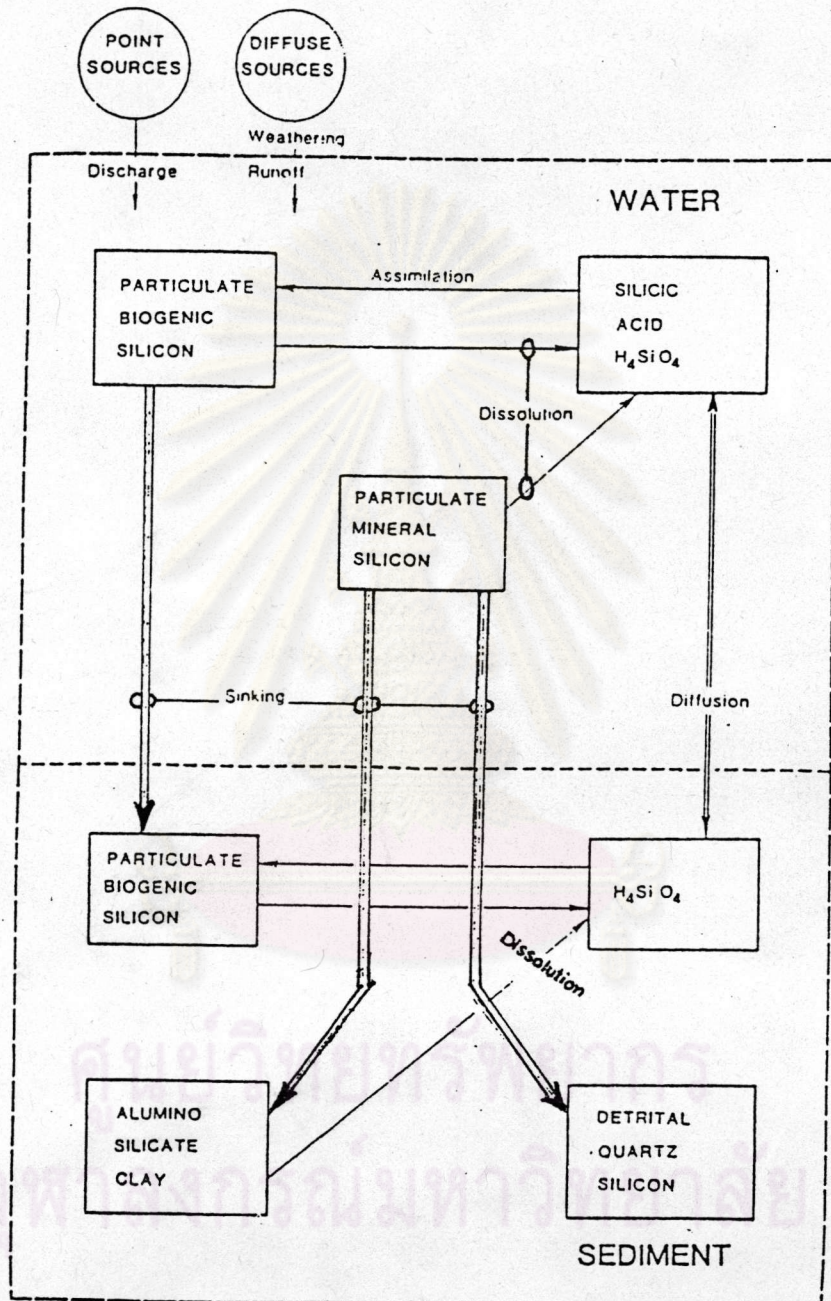
ลัดดา แก้วศรีประภาส (2528) ศึกษาในเอสตูรีของแม่น้ำเจ้าพระยา พบว่า ซิลิเคตส่วนที่ละลายน้ำมีพฤติกรรมแบบอนุรักษ์ แสดงให้เห็นว่า ไม่มีปฏิกิริยาเกิดขึ้นระหว่างดินตะกอนแขวนลอยกับน้ำทะเล

กิลลา วัฒนากร (2530) ศึกษาในเอสตูรีของแม่น้ำบางปะกง พบว่า ซิลิเคตมีพฤติกรรมแบบอนุรักษ์ทั้งฤดูน้ำมาก และ น้ำน้อย

ปิยะรัตน์ ปิติวัฒนกุล (2533) ศึกษาบริเวณเอสตูรีของแม่น้ำเจ้าพระยา พบว่า ซิลิเคตมีพฤติกรรมแบบอนุรักษ์

Kamatani และ Takano (1984) ศึกษาบริเวณเอสตูรีของอ่าวโตเกียว พบว่า ซิลิเคตมีพฤติกรรมแบบไม่อนุรักษ์ ในช่วงปลายฤดูใบไม้ผลิ และ กลางฤดูร้อน ขณะที่ฤดูหนาว มีพฤติกรรมแบบอนุรักษ์

De Sousa (1983) ศึกษาในบริเวณเอสตูรีของแม่น้ำ Mandovi ช่วงก่อนฤดูฝน พบว่า ซิลิเคตมีพฤติกรรมแบบไม่อนุรักษ์ คือ มีการสูญเสียที่คลอโรฟิลล์ต่ำในช่วง 3 -13 ส่วนในพันส่วน



รูปที่ 3.2 แสดงวัฏจักรของซิลิคอนในบริเวณเอสทรี
(ที่มา : Day , 1989)

Callaway และ Specht (1982) ศึกษาซิลิเคตส่วนที่ละลายน้ำบริเวณ
 เอสทรีของแม่น้ำ Yaquina พบว่า มีพฤติกรรมแบบไม่อนุรักษ์ทั้งน้ำระดับผิว และ น้ำระดับล่าง
 Wike และ Dayal (1982) ศึกษาในเอสทรีของแม่น้ำ Peconic พบว่า
 มีการเติมของซิลิเคตปรากฏขึ้นภายในเอสทรี ค่าสูงสุดปรากฏที่คลอริด์ 9.1 ส่วนในพันส่วน
 ซึ่งมีค่ามากถึง 900 ไมโครกรัมต่อลิตร หรือ 10 % เมื่อเทียบกับน้ำจืด

(2) ปัจจัยที่มีผลต่อพฤติกรรมของซิลิเคตในบริเวณเอสทรี

จะเห็นได้ว่า ซิลิเคตมีพฤติกรรมทั้งแบบอนุรักษ์ และ ไม่อนุรักษ์ ทั้งนี้เนื่องจาก
 ลักษณะพื้นฐานทางธรณีวิทยา การหมุนเวียนของกระแส น้ำ และ สัดส่วนการผสมผสานของน้ำจืด
 และ น้ำทะเลในแต่ละเอสทรี นอกจากนี้ ยังมีปัจจัยที่ควบคุมพฤติกรรมของซิลิเคตในเอสทรี
 ดังต่อไปนี้

(2.1) เรซิเดนซ์ ไทม์ (Residence Time)

เรซิเดนซ์ ไทม์ เป็นค่าเฉลี่ยของเวลาที่ธาตุใดธาตุหนึ่งใช้ในการ
 ละลายอยู่ หรือ คงรูปอยู่ในน้ำ ถ้าเอสทรีมีขนาดเล็ก หรือ ปริมาณน้ำไหลจากแม่น้ำมีมาก
 ค่าเรซิเดนซ์ ไทม์ ของน้ำในเอสทรีจะสั้นซึ่งจะไม่มีเวลาพอสำหรับการสูญเสียของซิลิเคตจากน้ำ
 ทะเลโดยสิ่งมีชีวิต ดังนั้น ในกรณีที่มีการสูญเสียของซิลิเคตจะเกิดขึ้นเนื่องจากปฏิกิริยาทางเคมี
 ในทางตรงกันข้ามถ้าค่าเรซิเดนซ์ ไทม์ สูงจะเกิดการสูญเสียของซิลิเคต โดยกระบวนการทาง
 ชีวภาพ

Callaway และ Specht (1982) พบว่า เรซิเดนซ์ ไทม์
 เป็นปัจจัยเบื้องต้นในการควบคุมพฤติกรรมแบบไม่อนุรักษ์ของซิลิเคตในบริเวณเอสทรีของแม่น้ำ
 Yaquina



(2.2) ความเข้มข้นของสารละลาย

มีการศึกษาพฤติกรรมของซิลิเคตส่วนที่ละลายน้ำ ระหว่างการผสมผสานของน้ำในบริเวณเอสตูรีในห้องปฏิบัติการ (เช่น การศึกษาของ Sholkovitz, 1976 และ Bien et al., 1958 อ้างถึงใน Liss, 1976) โดยทำการผสมน้ำทะเล กับ น้ำจืด โดยผ่านการกรอง และ ไม่ได้กรอง พบว่า มีการสูญเสียของซิลิเคตมาก ในกรณีน้ำที่ไม่ได้ผ่านการกรอง แสดงถึงกระบวนการสูญเสีย เกิดเนื่องจาก กระบวนการดูดซับของซิลิเคตที่ละลายน้ำบนตะกอนแขวนลอยโดยที่อเล็กโตรไลต์อื่นๆในน้ำทะเลมีส่วนเกี่ยวข้อง

ลัดดา แก้วศรีประกาย (2528) ศึกษาในเอสตูรีของแม่น้ำเจ้าพระยา พบว่า อิทธิพลของความเข้มข้นของอเล็กโตรไลต์ในน้ำทะเลมีส่วนเกี่ยวข้องกับซิลิเคตบนตะกอนแขวนลอย โดยซิลิเคตมีแนวโน้มลดลงเมื่อความเค็มเพิ่มขึ้น

De Sousa (1983) ศึกษาในเอสตูรีของแม่น้ำ Mandovi พบว่า มีการสูญเสียของซิลิเคตอย่างมากในบริเวณที่มีความเค็มต่ำ ซึ่งอาจเนื่องมาจากการดูดซับไว้บนตะกอนแขวนลอย

(2.3) กระบวนการทางชีวภาพ

พฤติกรรมแบบไม่อนุรักษ์ของซิลิเคตในเอสตูรี นอกจากจะเกิดจากกระบวนการทางเคมีแล้วอาจมีกระบวนการทางชีวภาพเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย การสูญเสียของปริมาณของซิลิเคตโดยใช้ในการสร้างเปลือกแข็งของพวก siliceous organisms จะมีมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับปัจจัย 4 ประการ (Liss และ Spencer, 1970) ดังนี้คือ

- ประชากรของ siliceous organism ที่มีอยู่ในเอสตูรี
- อัตราการเจริญเติบโตของพวก siliceous organisms
- อิทธิพลของกระบวนการทางกายภาพที่มีต่อการเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิตเหล่านั้น เช่น อุณหภูมิ และ ปริมาณของธาตุอาหาร
- การละลายกลับคืนสู่แหล่งน้ำใหม่ (resolution) ของซิลิเคตจากเปลือกแข็งของซากสัตว์ที่ตายแล้ว

Kaul และ Froelich (1984) ได้เสนอรูปแบบของการผสมผสาน ในเอสทูรีของอ่าว Ochlockonee พบว่า ซิลิเกตประมาณ 20 % ที่มาจากแม่น้ำที่ไหลลงสู่เอสทูรีจะถูกนำไปใช้โดยสิ่งมีชีวิต

Kamatani และ Takano (1984) ศึกษาในเอสทูรีของอ่าวโตเกียว พบว่า มีกระบวนการสูญเสียของซิลิเกต ซึ่งถูกนำไปใช้โดยสิ่งมีชีวิตในช่วงฤดูใบไม้ผลิ และ กลางฤดูร้อน

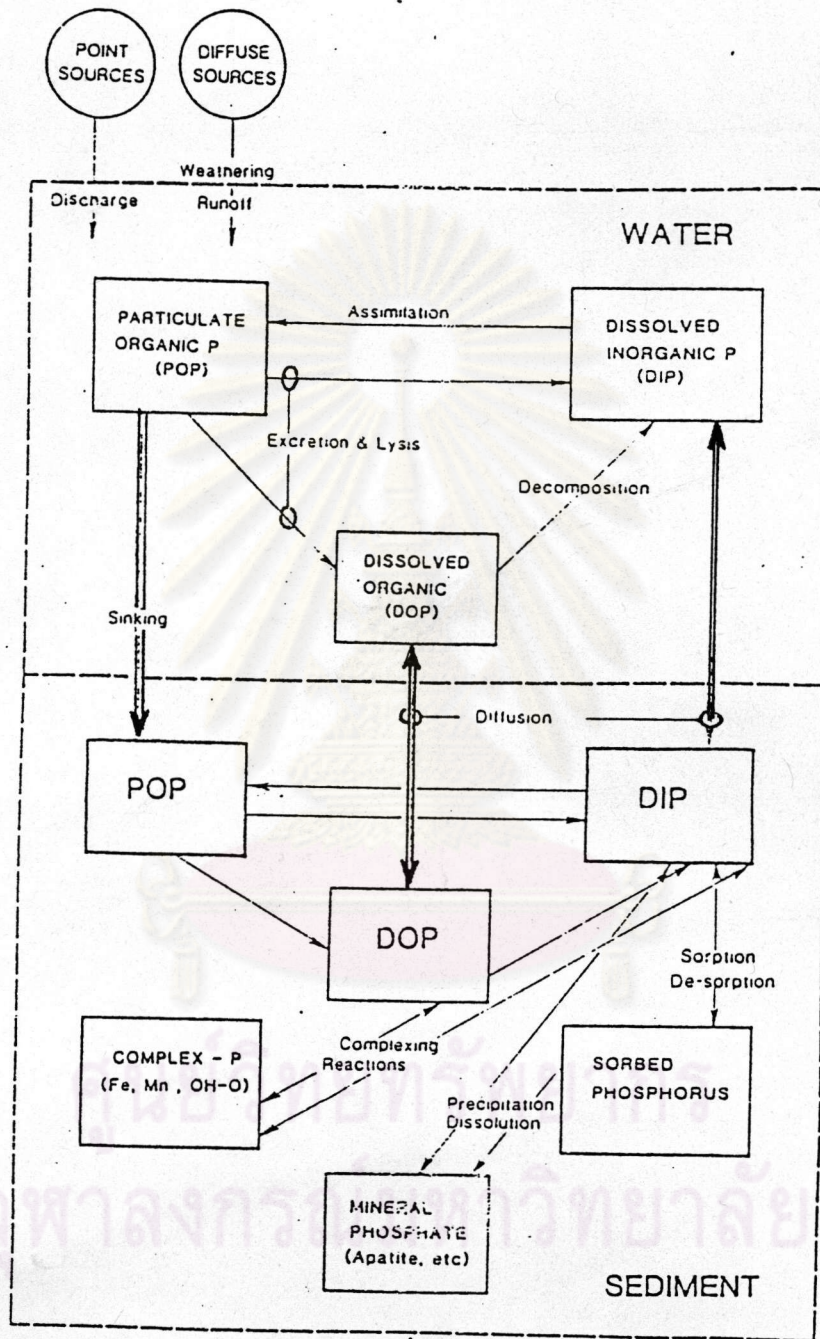
De Sousa (1983) พบว่า การสูญเสียของซิลิเกตในเอสทูรีของแม่น้ำ Mandovi เกิดเนื่องจากการนำไปใช้โดยกระบวนการทางชีวภาพ

3.3.2 ฟอสฟอรัส

จากวัฏจักรของฟอสฟอรัส (รูปที่ 3.3) เห็นได้ว่า ฟอสฟอรัสเข้าสู่บริเวณเอสทูรีได้ 2 ทาง คือ จากการชะล้างบนพื้นผิวโลกแล้วเกิดการ run off หรือ มาจาก point source discharge เช่น น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม บ้านเรือน การเกษตรกรรม รวมไปถึงการย่อยสลายของโพลีฟอสเฟตที่ใช้ในผงซักฟอก ฟอสฟอรัสโดยทั่วไปมีด้วยกัน 3 รูปแบบ คือ อินทรีย์ฟอสฟอรัสส่วนที่ละลายน้ำ (Dissolved inorganic phosphorus, DIP) อินทรีย์ฟอสฟอรัสส่วนที่ละลายน้ำ (Dissolved organic phosphorus, DOP) อินทรีย์ฟอสฟอรัสส่วนที่แขวนลอย (Particulate organic phosphorus, POP)

อินทรีย์ฟอสฟอรัสส่วนที่ละลายน้ำจะถูกใช้โดยสาหร่าย และ แบคทีเรีย โดยการซึมผ่านทางผนังเซลล์ และ สร้างเป็นอินทรีย์ฟอสฟอรัสส่วนที่แขวนลอย ซึ่งสามารถถูกปลดปล่อยออกมาได้ทั้งรูปอินทรีย์ และ อินทรีย์ฟอสฟอรัสส่วนที่ละลายน้ำ จากการขับถ่ายอินทรีย์ฟอสฟอรัสส่วนที่ละลายน้ำ จะสามารถถูกย่อยสลายโดยการทำงานของแบคทีเรียเปลี่ยนเป็นรูปอนินทรีย์ฟอสฟอรัสส่วนที่ละลายน้ำได้ กระบวนการนี้เกิดขึ้นได้ทั้งในน้ำ และ ในดินตะกอนโดยความสำคัญของแบคทีเรียในการสร้างอินทรีย์ฟอสฟอรัสในดินตะกอนมีมากกว่าในน้ำ ฟอสฟอรัสที่ละลายในน้ำที่แทรกอยู่ระหว่างดินตะกอนจะถูกแลกเปลี่ยนโดยกระบวนการแพร่สู่น้ำข้างบนได้

อนินทรีย์ (และอินทรีย์) ฟอสฟอรัสส่วนที่ละลายน้ำจะรวมตัวกับโลหะบางชนิด เช่น เหล็ก และ แมงกานีส เป็นสารประกอบเชิงซ้อนตะกอนในรูปที่ไม่ละลายน้ำในสภาพที่มีออกซิเจนในดินตะกอน และ จะมีการละลายได้ใหม่เมื่อมีการรีดิวซ์ หรือ ในสภาพที่ขาดออกซิเจน ซึ่งเป็นปฏิกิริยาทางเคมีที่มีอิทธิพลอย่างมากต่อการนำอนินทรีย์ฟอสฟอรัสส่วนที่ละลายน้ำไปใช้โดย



รูปที่ 3.3 แสดงวัฏจักรของฟอสฟอรัสในบริเวณเอสทูรี
(ที่มา : Day , 1989)

พวกแพลงค์ตอนพืช

ฟอสเฟตอออนที่มีอยู่มากจะถูกดูดซับไว้บนผิวของอนุภาคดินเหนียว และ บน ซากของพืชและสัตว์ที่ตาย

กระบวนการ sorption - desorption เป็นปฏิกิริยาสมดุลอันดับแรกที่มี ผลในการเป็นกลไกสำคัญของการเกิดบัฟเฟอร์ของอนินทรีย์ฟอสฟอรัสส่วนที่ละลายน้ำ โดยที่ความ เข้มข้นของอนินทรีย์ฟอสฟอรัสส่วนที่ละลายน้ำ (ในรูปฟอสเฟตอออน) ที่มีมากจะถูกดูดซับไว้บน อนุภาค และ ถ้าความเข้มข้นในน้ำต่ำ อนินทรีย์ฟอสฟอรัสก็จะถูกปลดปล่อยจากดินตะกอนสู่ น้ำ ดังนั้น ทำให้มีการรักษาระดับความเข้มข้นในสภาวะแวดล้อมให้พอเหมาะได้ (Jitts, 1959 อ้างถึงใน Day, 1989)

(1) พฤติกรรมของฟอสเฟตในบริเวณเอสทูรี

กิลลา อานวย (2527) , ลัดดา (2528) พบว่า ฟอสเฟตมี พฤติกรรมแบบบอริกซ์ในเอสทูรีของแม่น้ำเจ้าพระยา

Fisher และ คณะ (1988) พบว่า ฟอสเฟตมีพฤติกรรมแบบไมบอริกซ์ โดยมีการสูญเสียของฟอสเฟตในเอสทูรีของแม่น้ำ Chesapeak และ Delaware และ มีการ เพิ่มของฟอสเฟตในแม่น้ำ Hudson

Fox และ คณะ (1987) ศึกษาในเอสทูรีของแม่น้ำ Mississippi พบว่า ฟอสเฟตมีพฤติกรรมแบบบอริกซ์ โดยฟอสเฟตลดลงจากความเค็มต่ำไปสู่ความเค็มสูง

Rehm และ Germany (1985) ศึกษาในเอสทูรีของแม่น้ำ Weser พบว่า ในช่วงฤดูร้อน และ ฤดูหนาว ฟอสเฟตมีพฤติกรรมแบบบอริกซ์

Eastman และ Church (1984) ศึกษาในเอสทูรีของแม่น้ำ Delaware พบว่า ฟอสเฟตมีพฤติกรรมแบบไมบอริกซ์ โดยมีการเพิ่มของฟอสเฟตอย่างมากในช่วงความเค็ม ต่ำ (ประมาณ 0 - 10 ส่วนในพันส่วน)

De Sousa (1983) ศึกษาในเอสทูรีของแม่น้ำ Mandovi พบว่า ความ เข้มข้นของฟอสเฟตเกือบจะไม่มีเปลี่ยนแปลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงความเค็มต่ำๆ และ ความเข้มข้นเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อความเค็มสูงขึ้น

Mackey และ Leatherland (1976) พบว่า ฟอสเฟตในเอสทูรี ของแม่น้ำ Clyde มีพฤติกรรมแบบไมบอริกซ์ โดยมีการสูญเสียของฟอสเฟต

(2) ปัจจัยที่มีผลต่อพฤติกรรมของฟอสเฟตในบริเวณแอสทูรี(2.1) การเกิดบัฟเฟอร์ของฟอสเฟตในบริเวณแอสทูรี

Steffanson และ Richard (1963) ศึกษาพฤติกรรมของฟอสเฟตที่ละลายน้ำระหว่างการผสมผสานของน้ำในบริเวณแอสทูรีของแม่น้ำ Columbia พบว่าความเข้มข้นของฟอสเฟตเกือบไม่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดช่วงความเค็มที่พบบริเวณแอสทูรีนั้น (0 - 32 ส่วนในพันส่วน) ที่ระดับความเข้มข้น $37 \mu\text{gP/l}$ ($1 \mu\text{mole/l}$) ซึ่งเนื่องมาจาก "buffering effect" ในน้ำบริเวณแอสทูรีซึ่งพยายามรักษาค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นของฟอสเฟตในบริเวณแอสทูรีให้มีค่าคงที่ $37 \mu\text{gP/l}$

Bulter และ Tibbitt (1972) ศึกษาในแอสทูรีของแม่น้ำ Tamar พบว่า มี "buffering effect" เกิดขึ้น โดยมีการควบคุมปริมาณของฟอสเฟตให้อยู่ในช่วง $22 - 46 \mu\text{gP/l}$ ($0.7 - 1.5 \mu\text{mole/l}$) โดยมีปฏิกิริยาเกิดขึ้นระหว่างฟอสเฟตในน้ำ และในตะกอนแขวนลอย

Lawrence และ Steven (1980) พบว่า ฟอสเฟตมีคุณสมบัติเป็นบัฟเฟอร์อย่างสูงโดยปฏิกิริยาการดูดซับระหว่างฟอสเฟตในน้ำ และ ในดินตะกอนแขวนลอยบริเวณแอสทูรีของแม่น้ำ Colorado

Lopez - Hernandez และ คณะ (1980) พบว่า การกักเก็บของฟอสฟอรัสในดินตะกอน เป็นตัวช่วยควบคุมความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในน้ำ ซึ่งดินตะกอนเปรียบเสมือนบัฟเฟอร์ในการควบคุมการเกิดยูโทรฟิเคชันของฟอสฟอรัส (phosphorus eutrophication)

De Sousa (1983) พบว่า มีกลไกในการเกิดบัฟเฟอร์ของฟอสเฟตของดินตะกอนในแอสทูรีของแม่น้ำ Mandovi ที่มีความเค็มต่ำๆ โดยมีการแลกเปลี่ยนของฟอสเฟตระหว่างน้ำกับดินตะกอน

(2.2) ผลของอุณหภูมิ, ค่าความเป็นกรด - ด่าง และ ความเค็ม

Burns และ Solomon (1969) อ้างถึงใน Aston (1980) และ Chen และ คณะ (1973) ศึกษาในห้องปฏิบัติการ พบว่า การดูดซับของฟอสเฟตเป็น

กระบวนการคายความร้อน โดยที่การดูดซับของฟอสเฟตจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งสนับสนุนผลการศึกษาในแม่น้ำ Colorado ของ Lawrence & Steven (1980)

นอกจากนี้ Burns และ Solomon พบว่า กระบวนการดูดซับของฟอสเฟตเกิดมากที่สุดที่ pH 3 - 7 ดังนั้น กระบวนการสูญเสียของฟอสเฟตจะเกิดในบริเวณน้ำจืด และ น้ำกร่อยมากกว่าในน้ำทะเล Carpenter และ Smith (1984) ศึกษาในห้องปฏิบัติการ พบว่า การสูญเสียของฟอสเฟตโดยกระบวนการดูดซับเพิ่มจาก 43 % - 51 % เมื่อ pH ของน้ำจืด และ น้ำเค็มลดลงจาก 8.2 - 6.0

Seitzinger (1991) , Boers (1991) พบว่า ในน้ำที่มี pH สูง (ประมาณ 9 - 10) ทำให้มีการปลดปล่อยของฟอสเฟตจากดินตะกอนเพิ่มขึ้น เนื่องจากที่ pH สูงๆ จะช่วยในการเพิ่มการคายฟอสเฟตออกจากเหล็กไฮดรอกไซด์

เมื่อ pH และ อุณหภูมิคงที่ กระบวนการดูดซับของฟอสเฟตจะน้อยลงเมื่อความเค็มเพิ่มขึ้น อาจเนื่องมาจาก กลไกการแลกเปลี่ยนไอออน (ion exchange mechanism) โดยที่ความเค็มสูงชันจะมีการแลกเปลี่ยนไอออนของไอออนตัวอื่น เช่น Cl^- , SO_4^{2-} , Br^- ได้ดีกว่าฟอสเฟตไอออน Carpenter และ Smith (1984) พบว่า การสูญเสียของฟอสเฟตจะเกิดได้ดีที่ความเค็มต่ำๆ

อาจกล่าวโดยสรุปได้ว่า การสูญเสียของฟอสเฟตบริเวณเอสตูร์เกิดได้ดีในสภาพที่ความเค็ม และ pH ต่ำ ซึ่งสภาพแบบนี้เกิดได้ดีในบริเวณต้นเอสตูร์

(2.3) อิทธิพลของโลหะ และ อินทรีย์สาร

กิลยา อำนาจ (2525) ศึกษาฟอสฟอรัสในดินตะกอนพบว่า ฟอสฟอรัสมีความสัมพันธ์กับปริมาณของอินทรีย์คาร์บอน แสดงถึง การได้รับของฟอสฟอรัสจากดินตะกอนโดยปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารอินทรีย์

ลัดดา แก้วศรีประกาย (2528) ทำการศึกษาเปรียบเทียบดินตะกอนธรรมชาติ กับ ดินตะกอนที่กำจัดโลหะและอินทรีย์สารแล้ว พบว่า ดินตะกอนธรรมชาติ คายฟอสเฟตออกสู่สารละลายมากกว่าดินตะกอนที่ไม่ได้กำจัดโลหะและอินทรีย์สาร

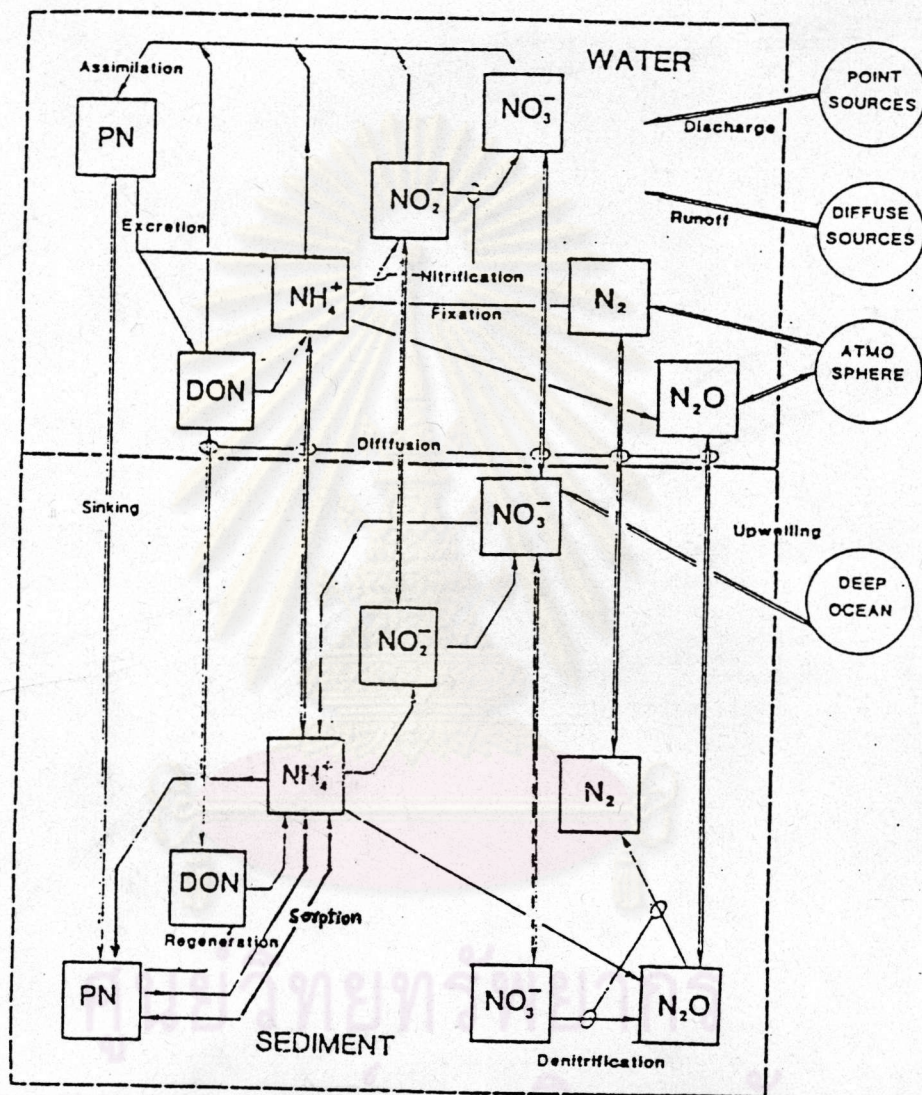
Hosomi และ คณะ (1982) พบว่า ฟอสฟอรัสที่ปลดปล่อยจากดินตะกอนของทะเลสาบเป็นสัดส่วนโดยตรงกับการลดลงของ ฟอสฟอรัสที่ยึดติดกับเหล็กทั้งในสภาพ aerobic และ anaerobic

Carpenter และ Smith (1984) ได้สร้างรูปแบบของการผสมผสานกันในเอสทูรีเพื่อศึกษาพฤติกรรมของฟอสเฟต พบว่า เหล็กออกไซด์มีอิทธิพลต่อพฤติกรรมของฟอสเฟต โดยถ้ามีเหล็กออกไซด์อยู่ในปริมาณที่สูง จะทำให้มีการสูญเสียของฟอสเฟตมาก

Klapwizlk และ Bruming (1984) พบว่า การปลดปล่อยของฟอสเฟตออกจากดินตะกอนบริเวณทะเลสาบในประเทศเนเธอร์แลนด์ ขึ้นอยู่กับ ปริมาณของฟอสฟอรัสที่ติดกับองค์ประกอบต่างๆ เช่น อินทรีย์สาร และ เหล็ก

3.3.3 ไนโตรเจน

ไนโตรเจนที่ลงสู่เอสทูรีมีทั้งแก๊สไนโตรเจน และ สารประกอบไนโตรเจน ซึ่งได้แก่ อนินทรีย์ไนโตรเจน (แอมโมเนีย ไนไตรท์ และ ไนเตรต) และ อินทรีย์ไนโตรเจน จากวัฏจักรของไนโตรเจน (รูปที่ 3.4) ไนโตรเจนเข้าสู่เอสทูรีจาก point sources และ diffuse sources จากแผ่นดิน การแพร่ทางบรรยากาศ การ upwell ของน้ำในทะเลลึก และ การตรึงไนโตรเจนทางชีวภาพ (biological fixation) อนินทรีย์ และ อินทรีย์ไนโตรเจนที่ละลายน้ำถูกดูดซึมโดยแพลงค์ตอนพืช (และ แบคทีเรีย) ซึ่งข้อบ่งชี้จะนำแอมโมเนียไปใช้มากกว่า แอมโมเนียจำนวนเล็กน้อยที่เข้าสู่เอสทูรี โดยผ่านการตรึงไนโตรเจนขณะที่แอมโมเนียจำนวนมากเกิดผ่านทาง กระบวนการดีไนตริฟิเคชัน ในดินตะกอน ไนเตรตเข้าสู่เอสทูรีโดยผ่านทาง run off และ ถูกสร้างขึ้นในน้ำ และ ที่ผิวของดินตะกอน โดยกระบวนการไนตริเคชัน ไนโตรเจนที่สร้างขึ้นส่วนใหญ่อยู่ในรูปของแอมโมเนียโดยจากการขับถ่ายของ Metazoa โดยเฉพาะอย่างยิ่งในน้ำ และ โดยการย่อยสลายของอินทรีย์สารโดยแบคทีเรียในน้ำ และ ดินตะกอน ความเข้มข้นของแอมโมเนียจะเป็นบัฟเฟอร์โดยปฏิกิริยา sorption - desorption กับ particulate matter โดยเฉพาะดินเหนียว และ humic material ซึ่งมีประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยน cation สูง แหล่งของไนโตรเจนจะสัมพันธ์กับการชะล้างของดิน และ น้ำผิวดิน การใช้ปุ๋ยไนโตรเจนได้เพิ่มปริมาณของไนเตรตที่พัฒนามากับแหล่งน้ำ ปริมาณของแอมโมเนียจะสัมพันธ์กับการปล่อยน้ำทิ้งจากบ้านเรือน เนื่องจากบริเวณเอสทูรีเป็นบริเวณที่มักจะมีบ้านเรือนอาศัยอยู่อย่างหนาแน่น จึงพบว่ามีค่าความเข้มข้นของแอมโมเนียค่อนข้างสูง ส่วนปริมาณของไนไตรท์จะสัมพันธ์กับปริมาณแอมโมเนีย ไนเตรต และ สภาวะแวดล้อมขณะนั้น ถ้าในสภาวะแวดล้อมที่มีออกซิเจนอยู่ในแหล่งน้ำมาก แอมโมเนียก็จะถูกเปลี่ยนเป็นไนไตรท์ และ ไนเตรตในที่สุด เรียกว่า กระบวนการ



รูปที่ 3.4 แสดงวัฏจักรของไนโตรเจนในบริเวณแอสทรี (ที่มา : Day , 1989)

ไนตริฟิเคชัน ทำให้ปริมาณของไนโตรเจนลดลง แต่ในสภาพที่มีออกซิเจนอยู่น้อยหรือขาดออกซิเจน (reducing environment) จะเกิดการดึงออกซิเจนออกจากโมเลกุลของไนเตรตโดย denitrifying bacteria ให้อยู่ในรูปของ ไนโตรเจน และ แอมโมเนีย เรียกกระบวนการนี้ว่า ดีไนตริฟิเคชัน

(1) พฤติกรรมของไนโตรเจนในบริเวณเอสทูรี

แอมโมเนีย - ไนโตรเจน ในบริเวณเอสทูรีส่วนใหญ่มีพฤติกรรมแบบไม้ออนูริกซ์ จากการศึกษาในบริเวณเอสทูรีของแม่น้ำ Delaware (Fisher et al., 1988), (Pennock, 1987) พบว่า มีการสูญเสียของแอมโมเนียเกิดขึ้น ส่วนในเอสทูรีของแม่น้ำ Tamar (Owens, 1986), (Morris et al., 1985) แม่น้ำ Chesapeake และ แม่น้ำ Hudson (Fisher et al., 1988) พฤติกรรมของแอมโมเนียแบบไม้ออนูริกซ์ โดยมีการเพิ่มของแอมโมเนียเกิดขึ้น

Fisher และ คณะ (1988) พบว่า ไนโตรเจนมีพฤติกรรมแบบไม้ออนูริกซ์ ในเอสทูรีของแม่น้ำ Chesapeake และ แม่น้ำ Hudson โดยมีการเพิ่มของไนโตรเจนเกิดขึ้น และ มีการสูญหายของไนโตรเจนในเอสทูรีของแม่น้ำ Delaware

ในการศึกษาบริเวณเอสทูรีของแม่น้ำ Tamar พบว่า ไนโตรเจนมีพฤติกรรมแบบไม้ออนูริกซ์โดยมีการเพิ่มของไนโตรเจนอย่างมาก (Owens, 1986) ส่วน Morris และ คณะ (1985) พบว่า ไนโตรเจนมีพฤติกรรมเป็นแบบอนูริกซ์ในช่วงฤดูหนาว

สุภาพร รักเขียว (2533) พบว่า ในเอสทูรีของคลองหงาว ไนโตรเจนมีพฤติกรรมแบบอนูริกซ์ ในเดือนกันยายน และ มีพฤติกรรมแบบไม้ออนูริกซ์ ในเดือนตุลาคม

ไนเตรต มีพฤติกรรมแบบอนูริกซ์ในเอสทูรีของแม่น้ำ Tamar (Owens, 1986; Morris et al., 1985) และ มีพฤติกรรมแบบไม้ออนูริกซ์โดยมีการสูญเสียของไนเตรต ในบริเวณตอนล่างของเอสทูรีของแม่น้ำ Delaware (Sharp et al., 1986; Pennock, 1987) แม่น้ำ Mandovi (De Sousa, 1983) และ ในเอสทูรีของแม่น้ำ Chesapeake (Fisher et al., 1988) ส่วนพฤติกรรมแบบไม้ออนูริกซ์โดยมีการเติมของไนเตรต พบในเอสทูรีของแม่น้ำ Hudson และ ต้นเอสทูรีของแม่น้ำ Delaware (Fisher et al., 1988) และ แม่น้ำ Mandovi (De Sousa, 1983)

(2) ปัจจัยที่มีผลต่อพฤติกรรมของไนโตรเจนในบริเวณเอสทรี(2.1) กระบวนการทางกายภาพ

กระบวนการทางกายภาพที่มีผลต่อพฤติกรรมของไนโตรเจน ในบริเวณเอสทรี เช่น ความขุ่น Morris และ คณะ (1985) ศึกษาในเอสทรีของแม่น้ำ Tamar พบว่า บริเวณที่มีความขุ่นสูงทำให้มีการเพิ่มของไนไตรท์ และ อิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลง มีผลต่อพฤติกรรมของแอมโมเนียในแม่น้ำสายเดียวกัน ซึ่งทั้งความขุ่นและอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลง ทำให้เกิดกระบวนการเคลื่อนย้ายของอนุภาค (particle transport process) ซึ่งเขาสรุปว่า กระบวนการนี้เป็นพื้นฐานสำคัญของกลไกการควบคุมพฤติกรรมของไนไตรท์ และ แอมโมเนียในเอสทรีของแม่น้ำ Tamar

(2.2) กระบวนการทางชีวภาพ

กระบวนการทางชีวภาพ นับว่าเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุด ที่มีผลต่อพฤติกรรมของไนโตรเจนโดยเฉพาะไนเตรต พบว่า มีการสูญเสีย หรือ ถูกนำไปใช้โดยแพลงค์ตอนพืชในตอนล่างของเอสทรีแม่น้ำ Delaware (Sharp et al., 1986; Pennock, 1987) เอสทรีของแม่น้ำ Chesapeake (Fisher et al., 1988) และ แม่น้ำ Mandovi (De Sousa, 1983)

Fisher และ คณะ (1988) พบว่า ไนไตรท์บริเวณเอสทรีของแม่น้ำ Chesapeake มีในปริมาณที่สูง ซึ่งอาจเนื่องมาจากการกำจัดไนไตรท์โดยแพลงค์ตอนพืช

นอกจากนี้ยังมีกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของแบคทีเรีย เช่น กระบวนการไนตริฟิเคชัน คือ การเปลี่ยน $\text{NH}_3 \longrightarrow \text{NO}_2^- \longrightarrow \text{NO}_3^-$ โดยแบคทีเรียที่ใช้ออกซิเจน Fisher และ คณะ (1988) พบว่า การเพิ่มของไนเตรตในช่วงต้นเอสทรี และ การลดลงของไนไตรท์ในแม่น้ำ Delaware เกิดจากกระบวนการ ไนตริฟิเคชัน

Morris และ คณะ (1985) ศึกษาในเอสทรีของแม่น้ำ Tamar พบว่า ไนไตรท์ถูกสร้างขึ้นเป็นส่วนใหญ่ในน้ำโดยการย่อยสลายซึ่งเกิดจากการทำงานของแบคทีเรีย