

บทที่ 1

บทนำและตรวจเอกสาร

1.1. บทนำตั้งเรื่อง

สารประกอบอินทรีย์ในโตรเจน ฟอสฟอรัส และซิลิกอน เป็นสารอาหารปริมาณน้อยซึ่งจำเป็นและเป็นปัจจัยจำกัดต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตประเภทผู้ผลิตขั้นต้น คือ แพลงก์ตอนพืช พืชน้ำ และจุลชีพบางชนิด โดยเฉพาะในโตรเจนและฟอสฟอรัสมักเป็นปัจจัยจำกัดในแหล่งน้ำส่วนใหญ่ (Fourqurean *et al.*, 1993) แต่ปัจจุบันเนื่องจากกิจกรรมของมนุษย์ เกษตรกรรม และอุตสาหกรรมต่าง ๆ ปลดปล่อยสารอาหารปริมาณน้อยเหล่านี้ลงสู่แหล่งน้ำทั้งทางตรงและทางอ้อมเมื่อมีมากเกินไปก็ทำให้เกิดปรากฏการณ์ที่เรียกว่า "ยูโทรฟิเคชัน" (eutrophication)¹ ส่งผลให้เกิดการบลูมของแพลงก์ตอนพืช (Smith *et al.*, 1999) เมื่ออาหารมากขึ้น สิ่งมีชีวิตที่กินแพลงก์ตอนพืชก็จะเพิ่มปริมาณมากขึ้นเช่นกัน ทำให้เกิดการขาดแคลนแหล่งที่อยู่อาศัยของสิ่งมีชีวิต และปริมาณออกซิเจนละลายในเวลากลางคืนจะลดลงอย่างมากเนื่องมาจากการหายใจของสิ่งมีชีวิต นอกจากนี้การเพิ่มขึ้นของแพลงก์ตอนพืชอย่างรวดเร็วนี้ยังทำให้การส่องผ่านของแสงลงสู่มวลน้ำน้อยลง แพลงก์ตอนพืชบางชนิดยังสามารถสร้างสารพิษที่อาจเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต ตัวอย่างเช่น *Pfisteria piscicida* ซึ่งเป็นสาหร่ายประเภทไดโนแฟลกเจลเลต (dinoflagellate) ที่สะพรั่งขึ้นในทะเลบอลติก ปล่อยสารพิษที่เป็นอันตรายต่อพวกละอองน้ำที่มีขนาดใหญ่ สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง และปลาในบริเวณนั้น (Jickells, 1998)

รูปแบบของสารอาหารที่สิ่งมีชีวิตประเภทผู้ผลิตนำไปใช้นั้นเป็นรูปแบบที่ละลายอยู่ในน้ำ การย่อยสลายสารอินทรีย์ที่สะสมอยู่ในตะกอนโดยจุลชีพ จะปลดปล่อยไนโตรเจนและฟอสฟอรัสละลายสู่มวลน้ำ (Mortimer *et al.*, 1998a) โดยกักเก็บอยู่ในน้ำระหว่างตะกอน (interstitial water) ในธรรมชาติเอสทูรี (estuary) เป็นบริเวณที่มีบทบาทสำคัญในการเก็บกักสารอาหารและมลสารต่างๆ และเป็นระบบนิเวศน์ที่ไวต่อการเกิดภาวะมลพิษ เนื่องจากการผสมผสานระหว่างน้ำจืดกับน้ำทะเลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารในมวลน้ำ และเกิดกระบวนการทางธรณีเคมีต่าง ๆ ที่ทำให้มลสารแยกตัวออกหรือละลายกลับเข้าสู่มวลน้ำได้ (Libes, 1992) นอกจากนี้การ

¹ ยูโทรฟิเคชัน (eutrophication) หมายถึง ปรากฏการณ์ที่สารอาหารในน้ำมีมากเกินไป จนทำให้เกิดการเจริญเติบโตและการแพร่กระจายของแพลงก์ตอนพืชหรือสาหร่ายอย่างรวดเร็ว (phytoplankton or algal bloom)

เปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของมลสารในน้ำเหนือตะกอน (overlying water) ยังทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนมลสารบริเวณรอยต่อระหว่างน้ำกับตะกอน (water-sediment interface)

1.2. ความสำคัญและที่มาของปัญหา

การปนเปื้อนของสิ่งสกปรกอินทรีย์ที่ถูกปล่อยลงสู่แหล่งน้ำเป็นปัญหามลภาวะสำคัญในประเทศไทย สารอินทรีย์เหล่านี้เมื่อถูกย่อยสลายจะได้สารอนินทรีย์ประเภทไนเตรต ไนไตรต์ แอมโมเนีย และฟอสเฟต ซึ่งเป็นสารอาหารปริมาณน้อย ในหลายบริเวณพบว่าสารอนินทรีย์เหล่านี้เป็นสาเหตุของการชะงักของแพลงก์ตอนพืช เช่น ในอ่าวไทยตอนบน และมีผลสืบเนื่องทำให้ปริมาณออกซิเจนละลายลดลงอย่างมากในเวลากลางคืน ส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตชนิดอื่นในแหล่งน้ำนั้น (เปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต, 2536)

ลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภาเป็นแหล่งชุมชน เกษตรกรรม และอุตสาหกรรมที่สำคัญ โดยมีคลองอู่ตะเภา (ยาวประมาณ 90 กิโลเมตร) ซึ่งมีต้นน้ำที่เทือกเขาสันกาลาศีรี อำเภอสะเตา จังหวัดสงขลา เป็นคลองสายหลัก น้ำจากคลองอู่ตะเภาระบายสู่ทะเลสาบสงขลาตอนล่าง โดยทั่วไปน้ำในคลองจะเป็นน้ำจืด ยกเว้นบริเวณปากคลองที่ต่อเนื่องกับทะเลสาบสงขลา จะเป็นเขต เอสทิวรีพบว่าบางฤดูมีน้ำเค็มหนุนเข้ามาในคลองอู่ตะเภาได้ถึงประมาณ 15 กิโลเมตรจากปากคลอง (เสาวภา อังสุพานิช, 2539) คลองอู่ตะเภาเป็นแม่น้ำสายหนึ่งที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำในทะเลสาบสงขลา คลองอู่ตะเภามีสถานะเสี่ยงต่อการเกิดปัญหามลพิษ เนื่องจากลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภาเป็นแหล่งชุมชนซึ่งปล่อยน้ำทิ้งที่ไม่สามารถระบุแหล่งกำเนิด (non-point source) เช่น น้ำทิ้งจากการเกษตรกรรม ซึ่งประกอบด้วยปุ๋ยอินทรีย์ ปุ๋ยเคมี มูลและปัสสาวะหรือของเสียสัตว์ นอกจากนี้ลุ่มน้ำนี้ยังเป็นที่ตั้งเขตเทศบาลนครหาดใหญ่ และโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ

เนื่องจากตะกอนเป็นแหล่งสะสมสารต่าง ๆ และสภาวะฟิสิกโคเคมีกัล (physico-chemical condition) ที่เปลี่ยนแปลงไปมาในเอสทิวรี ทำให้ตะกอนมีศักยภาพที่ถ่ายเทมวลสารที่สะสมอยู่ออกสู่มวลน้ำ (Bufflap and Allen, 1995) ซึ่งอาจจะก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมได้ ในงานวิทยานิพนธ์นี้จะศึกษาวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารอาหาร ไนเตรต ไนไตรต์ แอมโมเนีย และฟอสเฟตที่มีอยู่ในน้ำระหว่างตะกอน ตามระดับความลึกต่าง ๆ ในตะกอน เปรียบเทียบกับปริมาณที่มีอยู่ในน้ำเหนือตะกอน บริเวณปากคลองอู่ตะเภาซึ่งเป็นเอสทิวรี

1.3. สารอาหารปริมาณน้อย

สารอาหารปริมาณน้อย หมายถึง ธาตุที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิต ส่วนใหญ่มักหมายถึงสารประกอบอนินทรีย์ของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และซิลิคอน แต่โดยความเป็นจริงแล้วยังรวมถึงธาตุบางธาตุที่เป็นองค์ประกอบปริมาณมากและโลหะปริมาณน้อยบางชนิดในน้ำ แต่เนื่องจากไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และซิลิคอน มีปริมาณน้อยมากเมื่อเทียบกับองค์ประกอบปริมาณมาก และมักเรียกธาตุทั้งสามชนิดนี้รวม ๆ กันว่า สารอาหารปริมาณน้อย (มนูวดี หังสพฤกษ์, 2532)

กระบวนการสังเคราะห์แสงของแพลงก์ตอนพืชต้องการคาร์บอน 106 อะตอม ไนโตรเจน 16 อะตอม และฟอสฟอรัส 1 อะตอม เพื่อสร้างโมเลกุลอินทรีย์ 1 โมเลกุล ดังนั้นสัดส่วนของ C:N:P สำหรับการสังเคราะห์แสงจึงมีค่า 106:16:1 หรือที่เรียกว่า Redfield Ratio (Libes, 1992) ในแหล่งน้ำปริมาณไนโตรเจนหรือฟอสฟอรัสจะเป็นปัจจัยจำกัดสำหรับผู้ผลิตขั้นต้น ซึ่งตัวใดเป็นปัจจัยจำกัดขึ้นอยู่กับสัดส่วนระหว่างไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัส (N:P ratio) เนื่องจากปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่เข้าสู่ระบบเอสทูรี และกระบวนการทางชีวธรณีเคมีที่เกิดขึ้นในแหล่งน้ำทำให้ N:P ในแหล่งน้ำแตกต่างกัน (Howarth *et al.*, 1988)

1.4. การปนเปื้อนของสารอาหารปริมาณน้อยในแหล่งน้ำ

มลสารที่เกิดจากมนุษย์ซึ่งถูกปล่อยลงสู่แหล่งน้ำมีทั้งที่เป็นสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ สำหรับสารอินทรีย์เมื่อลงสู่แหล่งน้ำแล้ว จะเกิดการเปลี่ยนแปลงโดยผ่านกระบวนการต่าง ๆ ได้แก่ การย่อยสลาย เกิดสารประกอบเชิงซ้อน เป็นต้น กระบวนการต่าง ๆ ที่เกี่ยวเนื่องกับสารอินทรีย์นอกจากจะควบคุมพฤติกรรมของสารต่าง ๆ ในแหล่งน้ำแล้ว การย่อยสลายสารอินทรีย์ยังส่งผลให้ปริมาณออกซิเจนลดลงถ้าแหล่งน้ำใดมีสารอินทรีย์ปนเปื้อนอยู่มากก็อาจจะทำให้แหล่งน้ำนั้นขาดแคลนออกซิเจนได้ ส่งผลกระทบโดยตรงต่อสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ และเมื่อสารอินทรีย์เหล่านี้ถูกย่อยสลายจนมีขนาดเล็กลง กลายเป็นสารประกอบอนินทรีย์ประเภทไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่ละลายอยู่ในน้ำ ก็จะส่งผลต่อแหล่งน้ำทางอ้อม เช่น เมื่อแอมโมเนียและไนไตรต์มีปริมาณมากไปอาจทำให้ปลาอ่อนแอ ไม่เจริญเติบโต และติดโรคได้ง่าย และถ้ามีปริมาณมาก ๆ ก็จะทำให้ระบบหายใจของปลาผิดปกติ สลบ และตายในที่สุด (กัณท์วิทย์ ศรีพงษ์พันธ์, 2540) นอกจากนี้ Sewell (1982) ยังพบว่าปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่สูงในน้ำใต้ดิน ยังสามารถแทรกซึมเข้าสู่เอสทูรีในบางบริเวณได้ ทำให้เกิดการสะสมของแพลงก์ตอนพืชในเอสทูรีได้ ในทะเลสาบและแหล่งน้ำจืดส่วน

ใหญ่ฟอสฟอรัสมักจะเป็นปัจจัยที่จำกัดผลผลิตของสิ่งมีชีวิตชั้นต้นในแหล่งน้ำนั้น (Ryding and Rast, 1989 ; Jickells, 1997)

จากการศึกษาของ ดนุพล ตันนโยภาส และคณะ (2541) และ สุภาพร รักเขียว (2537) เห็นได้ว่าบริเวณทะเลสาบสงขลาตอนล่าง ปริมาณสารอาหารที่พบมีค่าสูงชันกว่าในอดีต ดังแสดงในตาราง 1-1

ตาราง 1-1 คุณภาพน้ำเฉลี่ยในทะเลสาบสงขลาตอนล่างในปี พ.ศ. 2534-2535 และ พ.ศ. 2540-2541

ปัจจัยคุณภาพน้ำ	ฤดูฝน		ฤดูแล้ง	
	ส.ค. 34 – ธ.ค. 35 ^ก	ต.ค. 40 ^ข	ก.พ. 35 – มิ.ย. 35 ^ก	เม.ษ. 41 ^ข
อุณหภูมิ (°C)	29.2-29.8	29.0-32.0	30.7-31.8	30.2-32.6
pH	7.53-8.16	6.7-9.7	7.45-7.95	7.6-8.3
ความเค็ม	11.73-21.67	0-25	30.70-31.80	>30
ออกซิเจนละลาย (mg/L)	5.80-7.18	5.28-11.84	6.04-6.80	5.58-8.05
ไนโตรเจน (mg-N/L)	0.0001-0.0004	0.0041-0.0319	0.0001-0.0002	ND-0.0055
ไนเตรต (mg-N/L)	0.0008-0.003	ND-0.856	0.0004-0.0025	ND-0.1726
แอมโมเนีย (mg-N/L)	0.005-0.013	ND-6.983	0.007-0.016	ND
ฟอสเฟต (mg-P/L)	0.0005-0.002	ND-1.160	0.0003-0.0006	ND
ซิลิเกต (mg-Si/L)	64.1-186.2	0.0105-185.18	56.9-160.6	ND-4.844

ก สุภาพร รักเขียว (2537)

ข ดนุพล ตันนโยภาส และคณะ (2541)

คุณภาพน้ำโดยรวมของทะเลสาบสงขลาตอนล่างจากงานวิจัยของ ดนุพล ตันนโยภาส และคณะ (2541) พอจะสรุปได้ ดังนี้

- ในช่วงฤดูฝน (ตุลาคม พ.ศ. 2540) ปริมาณน้ำในทะเลสาบจะมีมากกว่าในฤดูแล้ง (เมษายน พ.ศ. 2541) เป็นผลให้ความลึกของน้ำในฤดูฝนมากกว่าในฤดูแล้ง
- อุณหภูมิของน้ำ พบว่าในฤดูแล้งจะมีค่าสูงกว่าในฤดูฝน
- ความเป็นกรด-ด่าง พบว่าในฤดูฝนบริเวณรอบริมทะเลสาบส่วนใหญ่จะมีค่าสูง และต่ำลงบริเวณรอบขอบทะเลสาบ และมีค่าสูงถึง 9.5-9.7 บริเวณไม่ห่างจากปากคลองอู่ตะเภามากนัก ในขณะที่ฤดูแล้งค่าความเป็นกรด-ด่างบริเวณตอนกลางทะเลสาบมีค่าสูง แต่รอบขอบทะเลสาบจะมีค่าต่ำกว่า

- ความเค็มในฤดูแล้งจะสูงกว่าฤดูฝนมาก
- ปริมาณออกซิเจนละลายมีค่าสูงถึง 10-11.5 mg/L บริเวณเดียวกับที่พบค่าความเป็นกรด-ด่างสูงมาก ส่วนในฤดูแล้งค่าออกซิเจนละลายบริเวณดังกล่าวกลับพบต่ำกว่าบริเวณอื่นในทะเลสาบ
- คลอโรฟิลล์ a, b และ c มีค่าสูงมากบริเวณปากคลองอุตตะภาในฤดูฝน และลดลงมากในฤดูแล้ง อย่างไรก็ตามบริเวณปากคลองอุตตะภาที่มีค่าสูงกว่าบริเวณอื่น
- ปริมาณสารอาหารปริมาณน้อยทุกประเภท คือ ไนโตรเจน ไนเตรต แอมโมเนีย ฟอสเฟต และซิลิเกต มีค่าสูงในฤดูฝน และต่ำในฤดูแล้ง ซึ่งบางตัวมีค่าต่ำมากจนไม่สามารถตรวจวัดได้ โดยพบว่าบริเวณปากคลองอุตตะภา มีค่าสูงกว่าบริเวณอื่น ในทั้ง 2 ฤดู

จากงานวิจัยของ ดนุพล ตันนโยภาส และคณะ (2541) พบว่าปากคลอง โดยเฉพาะปากคลองอุตตะภา เป็นบริเวณที่มีความอุดมสมบูรณ์สูง เนื่องจากมีสารอาหารที่ส่งออกจากคลองอุตตะภาสู่ทะเลสาบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในฤดูน้ำหลาก ทำให้แพลงก์ตอนพืชมีอาหารใช้ในการสังเคราะห์แสงมาก ส่งผลให้ออกซิเจนละลายในน้ำมีค่าสูงเกินกว่าค่าอิ่มตัว ซึ่งหากไม่มีการควบคุมปริมาณสารอาหารที่ถูกส่งออกจากคลองอุตตะภาสู่ทะเลสาบ ก็อาจจะทำให้เกิดปัญหายูโทรฟิเคชันบริเวณปากคลองอุตตะภาและในทะเลสาบสงขลาตอนล่าง ตาราง 1-2 แสดงความแตกต่างของคุณภาพน้ำบางประการ ระหว่างฤดูฝนและฤดูแล้ง ในบริเวณใกล้ปากคลองอุตตะภา

ตาราง 1-2 คุณภาพน้ำบางประการในบริเวณใกล้ปากคลองอุตตะภา

ปัจจัยคุณภาพน้ำ	ฤดูฝน	ฤดูแล้ง
อุณหภูมิ (°C)	29-31	30.7-32.4
pH	7.9-9.7	7.6-7.9
ความเค็ม	0-3	>30
ออกซิเจนละลาย (mg/L)	8.00-11.84	5.63-8.05
ไนเตรต (mg-N/L)	0.016-2.010	NS-0.048
ไนโตรเจน (mg-N/L)	0.017-0.319	NS
แอมโมเนีย (mg-N/L)	0.355-3.713	NS
ฟอสฟอรัส (mg-P/L)	0.016-1.000	NS
ซิลิเกต (mg-Si/L)	128.5-154.65	NS

(ดนุพล ตันนโยภาส และคณะ 2541)

NS คือ ค่ามีจำนวนน้อยและไม่อยู่ในนัยสำคัญ

1.5. เอสทูรี (Estuary)

เอสทูรี หมายถึง บริเวณที่น้ำทะเลถูกเจือจางด้วยน้ำจืดจากแผ่นดิน ทำให้เกิดองค์ประกอบทางเคมีที่แตกต่างกันระหว่างน้ำทั้งสองที่มีผลต่อกระบวนการทางเคมีต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในเอสทูรี (มนูวดี หังสพฤกษ์, 2532) ซึ่งกระบวนการทางเคมีที่เกิดขึ้น ได้แก่ การดูดซับ-คายออก การตกตะกอน และการแลกเปลี่ยนไอออน ทำให้เกิดการเคลื่อนย้ายมวลสารระหว่างภาวะที่เป็นสารละลายกับภาวะที่ไม่เป็นสารละลาย (มนูวดี หังสพฤกษ์, 2532) มวลสารที่อยู่ในรูปสารละลายก็จะแพร่กระจายกระจายในมวลน้ำ เอสทูรีจึงมีบทบาทที่สำคัญ ทั้งในแง่เป็นแหล่งกำเนิด (sources) ขจัดและกักเก็บ (sink) และเปลี่ยนรูปแบบ (transform) ของสารเหล่านี้ (Aston, 1980; Libes, 1992; Jickells, 1997)

1.6. น้ำระหว่างตะกอน (interstitial water)

น้ำระหว่างตะกอน (interstitial water หรือ pore water) คือ น้ำที่อยู่ภายในช่องว่างระหว่างอนุภาคตะกอน เกิดขึ้นขณะที่เกิดการสะสมของอนุภาคตะกอน ทำให้น้ำถูกจับภายในช่องว่างระหว่างอนุภาคตะกอน (Presley and Trefry, 1980) ตะกอนเหนียว เช่น พวกทรายและส่วนผสมของโคลนกับทรายจะมีน้ำอยู่ประมาณ 30–40% ตะกอนละเอียด เช่น โคลนดินเหนียว จะมีน้ำอยู่ประมาณ 90–95% ส่วนตะกอนที่มีสารอินทรีย์มาก ๆ จะมีน้ำอยู่ถึง 99% น้ำเหล่านี้ถูกกักอยู่ในตะกอนได้เนื่องจากแรงผิวหน้า (surface force) ของอนุภาค เช่น การดูดซับ (adsorption) แคมพิลลาริตี (capillarity) นอกจากนี้ยังมีน้ำบางส่วนอยู่ในโครงผลึกแร่ (Adam, 1994)

น้ำระหว่างตะกอน เป็นตัวเชื่อมระหว่างตะกอนท้องน้ำกับน้ำเหนือตะกอน (overlying water) คือ น้ำที่อยู่เหนือผิวตะกอนขึ้นไป 30 เซนติเมตร (Ciceri *et al.*, 1992) การเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยที่เกิดขึ้นภายในตะกอน จะส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารอาหารในน้ำระหว่างตะกอนและในน้ำเหนือตะกอน การสะสมของสารอาหารภายในน้ำระหว่างตะกอนเกิดขึ้นได้จากกระบวนการต่าง ๆ เช่น ระหว่างตกตะกอน การเปลี่ยนแปลงศักย์ไฟฟ้าเคมีในสิ่งแวดล้อม กระบวนการเกิดแร่ธาตุ การดูดซับ-คายออก ไดอะเจเนซิส (diagenesis) และการแพร่กับการแลกเปลี่ยนตัวถูกละลายบริเวณรอยต่อของน้ำกับตะกอน ตลอดจนการย่อยสลายซากสิ่งมีชีวิตและสารอินทรีย์ในตะกอน กระบวนการเหล่านี้ ทำให้เกิดการดูดซับหรือปลดปล่อยสารจากตะกอนออกสู่น้ำระหว่างตะกอน ความเข้มข้นของสารอาหารเหล่านี้ภายในน้ำระหว่างตะกอนตามระดับความลึก จึงเกิดความแตกต่างกัน นั่นคือ เกิดเกรเดียนท์ (gradient) ของความเข้มข้น (Watson *et al.*, 1985; Bender *et al.*, 1987)

1.7. การแลกเปลี่ยนสารระหว่างรอยต่อของน้ำกับตะกอน

ตะกอนซึ่งเป็นแหล่งสะสมสารต่าง ๆ ที่เข้าสู่มวลน้ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งสารอินทรีย์ เมื่อเกิดการย่อยสลายโดยพวกจุลชีพ จะกลายเป็นสารอาหารอินทรีย์ที่ละลายอยู่ในน้ำระหว่างตะกอน ภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจนต่ำและแตกต่างกันที่ระดับความลึกของตะกอนระดับต่างๆ ทำให้รีดอกซ์โพเทนเชียลของตะกอนแต่ละระดับแตกต่างกัน (Buffle and Stumm, 1994) สารอาหารปริมาณน้อยในน้ำระหว่างตะกอนจะเปลี่ยนแปลงรูปแบบทางเคมีได้ ทำให้ที่ระดับความลึกต่างกันมีความเข้มข้นของแต่ละรูปแบบทางเคมีแตกต่างกัน และจากการที่เอสทูรีมีการเปลี่ยนแปลงสภาวะฟิสิกส์-เคมีตลอดเวลา กระบวนการทางชีวธรณีเคมีต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติในตะกอน ภายใต้สมดุลวัฏภาคระหว่างน้ำกับตะกอน จะทำให้ความเข้มข้นของสารแต่ละรูปแบบในน้ำระหว่างตะกอนและน้ำเหนือผิวตะกอนมีค่าต่างกัน (Bufflap and Allen, 1995) จึงเกิดการแลกเปลี่ยนสารอาหารที่ละลายอยู่ในน้ำโดยการแพร่ของโมเลกุลภายในน้ำระหว่างตะกอนข้ามรอยต่อระหว่างน้ำกับตะกอน ก่อให้เกิดศักยภาพในการถ่ายเทสารอาหารสู่มวลน้ำเหนือตะกอน (Jordan and Correll, 1985; Bufflap and Allen, 1995) กระบวนการพื้นฐานของการแลกเปลี่ยนสารข้ามรอยต่อระหว่างน้ำกับตะกอน คือ การแพร่ นอกจากนี้ยังมีกระบวนการทางกายภาพอื่น ๆ เช่น การกวนตะกอน ทั้งจากกระแสน้ำและการเคลื่อนที่หรือกิจกรรมของสัตว์หน้าดิน (Callender and Hammond, 1982) การแลกเปลี่ยนสารระหว่างรอยต่อของน้ำกับตะกอนจึงมีบทบาทสำคัญในวัฏจักรทางชีวธรณีเคมี

การศึกษาความเข้มข้นของสารอาหารในน้ำระหว่างตะกอน และการแลกเปลี่ยนสารอาหารที่รอยต่อระหว่างน้ำกับตะกอน จะทำให้เข้าใจถึงกระบวนการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นหลังการตกตะกอน หรือที่เรียกว่า ไดอะเจเนเนซิส อาทิ การย่อยสลายสารอินทรีย์ และกระบวนการทางชีวธรณีเคมีอื่น ๆ ที่เกิดในตะกอน จากการศึกษาการแลกเปลี่ยนสารอาหารที่รอยต่อระหว่างน้ำกับตะกอนของ Mortimer *et al.* (1998a) ในฮัมเบอร์เอสทูรี (Humber Estuary) ประเทศอังกฤษ พบว่าตะกอนดังกล่าวเป็นแหล่งกักเก็บสำหรับไนเตรต แต่กลับเป็นแหล่งกำเนิดของแอมโมเนีย และทำให้สามารถประเมินผลกระทบจากการปนเปื้อนของสารอินทรีย์ในตะกอนต่อมวลน้ำเหนือตะกอน และการเคลื่อนย้ายตะกอนที่มีการปนเปื้อน (Brannon *et al.*, 1980; Aggett and O'Brien, 1985; Brannon and Patrick, 1987)

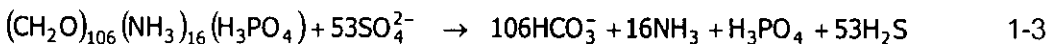
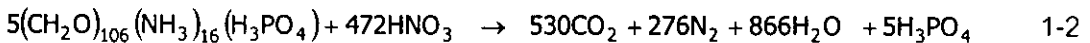
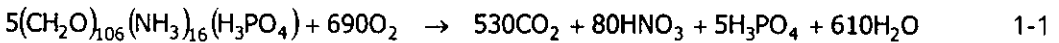
อย่างไรก็ดีการวิเคราะห์ปริมาณและรูปแบบทางเคมีของสารอาหารในน้ำระหว่างตะกอนทำได้ยาก เนื่องจากอุณหภูมิและออกซิเจนมีผลต่อรูปแบบทางเคมีของสารอาหาร (Montgomery *et al.*, 1979) ในธรรมชาติตะกอนจะเป็นบริเวณที่ขาดแคลนออกซิเจน เมื่อถูกนำขึ้นมาสัมผัสกับ

บรรยากาศที่มีออกซิเจน จะเกิดการปรับสมดุลใหม่ระหว่างวัฏภาคน้ำ (ที่อยู่ระหว่างอนุภาค ตะกอน) กับอนุภาคของแข็ง (ตะกอน) ทำให้รูปแบบทางเคมีของสารที่มีอยู่ในน้ำระหว่างตะกอน เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะพวกที่ไวต่อสภาวะรีดอกซ์ ดังนั้นในการเก็บตัวอย่างตะกอน เพื่อศึกษารูปแบบและปริมาณของมวลสารที่มีอยู่จริงในน้ำระหว่างตะกอนต้องไม่ให้มีออกซิเจนเข้าไป เพื่อป้องกันการเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปแบบทางเคมีที่ต้องการวิเคราะห์ (Adams, 1994)

1.8. รูปแบบทางเคมีของสารอาหารอินทรีย์

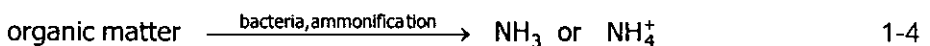
1.8.1. ไนโตรเจน

ออกซิเจนละลายไม่สามารถแทรกซึมผ่านชั้นตะกอนลงไปได้ลึกนัก ประกอบกับมีการใช้ออกซิเจนไปในการย่อยสลายสารอินทรีย์อยู่ตลอดเวลา ดังนั้นชั้นรอยต่อระหว่างบริเวณที่มีออกซิเจนกับขาดแคลนออกซิเจน (oxic-anoxic boundary) ในตะกอนจึงอยู่ไม่ลึก ในภาวะที่มีออกซิเจนสารอินทรีย์ในตะกอนจะถูกย่อยสลายโดยกระบวนการออกซิเดชัน ดังสมการ 1-1 เมื่อใช้ออกซิเจนไปหมด ไนเตรตจะเป็นตัวรับอิเล็กตรอนในการออกซิไดซ์สารอินทรีย์ต่อจากออกซิเจน ดังสมการ 1-2 เมื่อไนเตรตหมดไปจึงจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยซัลเฟต ดังสมการ 1-3 (Bender *et al.*, 1977)



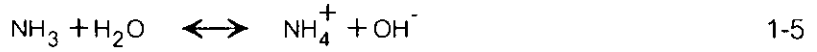
กระบวนการซัลเฟตรีดักชันมีความสำคัญที่สุดในการออกซิไดซ์สารอินทรีย์ในตะกอน เนื่องจากประสิทธิภาพของการรีดักชันโดยซัลเฟตสูงกว่าออกซิเจนรวมกับไนเตรตถึง 225 เท่า (Bender *et al.*, 1977)

กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบในแหล่งน้ำ โดยสรุปแล้วจะได้แอมโมเนีย ดังสมการ 1-4

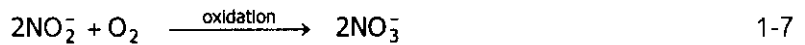
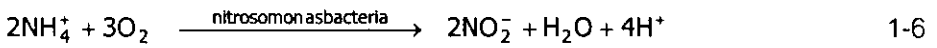


แอมโมเนียในแหล่งน้ำมี 2 รูปแบบ คือ แอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) กับแก๊สแอมโมเนียที่ละลายน้ำ (NH_3) ดังนั้นแอมโมเนียรวม คือ ผลรวมของแอมโมเนียทั้งสองรูปแบบ แอมโมเนียทั้ง

สองรูปแบบเปลี่ยนแปลงกลับไปกลับมาได้ดังสมการ 1-5 โดยรูปแบบหลักจะขึ้นกับอุณหภูมิ และ pH ของแหล่งน้ำ (มนูวดี หังสพฤกษ์, 2532)



จากนั้นออกซิเจนก็จะออกซิไดซ์แอมโมเนียให้เป็นไนไตรต์และไนเตรต ดังสมการ 1-6 และ 1-7 ตามลำดับ



สารอนินทรีย์ไนโตรเจนในเอสตูร์มีหลายรูปแบบ รูปแบบที่ละลายน้ำ คือ ไนเตรต ไนไตรต์ และแอมโมเนีย ในแหล่งน้ำทั่วไปที่มีออกซิเจนละลายอยู่ รูปแบบไนเตรตละลายน้ำและคงตัวได้ดี ในขณะที่แอมโมเนียมีความคงตัวในน้ำน้อยกว่า เมื่อมีออกซิเจนจะถูกออกซิไดซ์เป็นไนไตรต์และไนเตรตตามลำดับ ในทางตรงกันข้าม เมื่อไม่มีออกซิเจน ไนเตรตก็จะถูกรีดิวซ์ไปเป็นไนไตรต์และแอมโมเนีย

1.8.2. ฟอสฟอรัส

ฟอสฟอรัสลงสู่เอสตูร์ได้จากการชะล้างเปลือกโลกในรูปของแร่ฟอสเฟต ทั้งในส่วนที่ละลายน้ำได้และส่วนที่เป็นเศษชิ้นเล็กๆ นุ้ยฟอสเฟต และจากน้ำทิ้งจากชุมชนและโรงงานประเภทโรงงาน ผงซักฟอก ฟอสเฟตที่ได้มาจากโรงงานอุตสาหกรรมเหล่านี้จะอยู่ในรูปโพลีฟอสเฟต และเมื่อเวลาผ่านไป ก็จะเกิดการย่อยสลายต่อกลายเป็นออร์โธฟอสเฟต (orthophosphate)

รูปแบบฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำ มีอยู่ 8 รูปแบบ โดยจำแนกจากความแตกต่างจากการทำปฏิกิริยากับโมลิบเดต (molybdate) ความยากง่ายต่อการไฮโดรไลซิส (hydrolysis) และขนาดอนุภาค (Strickland and Parson, 1972) ดังนี้

1. สารละลายอนินทรีย์ที่ว่องไว (Inorganic soluble and reactive) คือ ออร์โธฟอสเฟต (PO_4^{3-}) เป็นส่วนสำคัญของฟอสฟอรัสในส่วนละลายน้ำ และเป็นรูปแบบที่มีความว่องไวทางเคมีที่สุด
2. สารละลายอินทรีย์ที่ว่องไว (Organic soluble and reactive) คือ ฟอสฟอรัสที่เกาะรวมกับสารอินทรีย์ ฟอสฟอรัสส่วนนี้ถูกไฮโดรไลซิสได้ง่าย และทำปฏิกิริยากับสารละลายโมลิบเดตในสภาวะกรดได้ภายใน 5 นาที

3. สารละลายอินทรีย์ที่ไม่ว่องไว (Organic soluble and unreactive) คือ ฟอสฟอรัสในส่วนนี้เกาะกับสารอินทรีย์ส่วนที่ไม่สามารถถูกไฮโดรไลซิส และไม่ทำปฏิกิริยากับสารละลายโมลิบเดตในสภาวะกรด ส่วนใหญ่เป็นพวกกรดนิวคลีอิก (nucleic acid)
4. เอนไซม์ไฮโดรไลเซเบิล (Enzyme hydrolyzable phosphate) คือ ฟอสเฟตที่ง่ายต่อการไฮโดรไลซิส โดยเอนไซม์ alkaline phosphomonoesterase ส่วนใหญ่ประกอบด้วย น้ำตาลฟอสเฟต และส่วนเล็ก ๆ ของอนินทรีย์โพลีฟอสเฟตชนิดเส้นตรง (linear inorganic phosphate)
5. โพลีฟอสเฟต (Polyphosphate) คือ ฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปโพลีเมอร์ ประกอบด้วย พันธะฟอสเฟต (phosphate linkage) ทั้งแบบอนินทรีย์และอินทรีย์โพลีฟอสเฟต แต่ส่วนใหญ่จะเป็นแบบพันธะอนินทรีย์โพลีฟอสเฟต โดยเฉพาะในบริเวณที่มีการปนเปื้อนจากผงซักฟอก
6. อนุภาคอนินทรีย์ที่ไม่ว่องไว (Inorganic particulate and unreactive) คือ ฟอสฟอรัสในสารแขวนลอย เกิดจากการรวมตัวของ อนินทรีย์ฟอสฟอรัสที่ไม่ทำปฏิกิริยากับสารละลายโมลิบเดตในสภาวะกรดภายใน 5 นาที
7. อนุภาคอินทรีย์ที่ไม่ว่องไว (Organic particulate and unreactive) คือ ฟอสฟอรัสในตะกอนแขวนลอยซึ่งรวมตัวกับอนุภาคอินทรีย์ ไม่ทำปฏิกิริยากับสารละลายโมลิบเดตในสภาวะกรดภายใน 5 นาที พบในสิ่งมีชีวิตหรือซากสิ่งมีชีวิต เศษดิน หิน และทราย
8. อนุภาคที่ว่องไว (Particulate reactive) คือ ฟอสฟอรัสอนินทรีย์และอินทรีย์ที่ถูกดูดซับอยู่บนอนุภาค สามารถเกิดปฏิกิริยากับสารละลายโมลิบเดตในสภาวะกรดได้ภายใน 5 นาที ส่วนใหญ่เป็นสารอนินทรีย์ ส่วนสารอินทรีย์มีน้อย ได้แก่ เฟอริกฟอสเฟต (ferric phosphate) และฟอสเฟตตัวอื่น ๆ ที่ได้จากเซลล์พืช

1.9. การเก็บตัวอย่างน้ำระหว่างตะกอน

การเก็บตัวอย่างน้ำระหว่างตะกอน ถ้าแบ่งตามลักษณะที่ได้ตัวอย่างมา สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ เก็บตัวอย่างโดยตรงจากตะกอน (*in situ*) ซึ่งเครื่องมือเก็บตัวอย่างออกแบบมาเพื่อสามารถเก็บน้ำระหว่างตะกอนโดยตรง (Adam, 1994) และเก็บตัวอย่างโดยสกัดน้ำออกจากตะกอนที่หลัง (*ex situ*) โดยเครื่องมือเก็บตัวอย่างออกแบบมาสำหรับการเก็บตัวอย่างตะกอน แล้วมา สกัดแยกน้ำออกภายหลัง (Adam, 1994; Bufflap and Allen, 1995)

การสกัดน้ำระหว่างตะกอนที่นิยมใช้มี 2 วิธี คือ อาศัยการหมุนเหวี่ยง (centrifugation) และการบีบโดยใช้ความดัน (squeezing) วิธีหลังนี้ต้องอาศัยความดันในการกรองน้ำออกจากตะกอน (Callender and Hammond, 1982) ส่วนวิธีแรกอาศัยการหมุนเหวี่ยงสกัดน้ำออกมาจากตะกอน ความเร็วที่ใช้ในการหมุนเหวี่ยงต้องเพียงพอที่จะทำให้อนุภาคเล็ก ๆ ตกตะกอนไปหมด และเวลาที่ใช้ต้องไม่นานเกินไปจนเกิดความร้อนขึ้น ในการศึกษาี้เลือกใช้วิธีการหมุนเหวี่ยง (ดังรายละเอียดในบทที่ 2) ซึ่งเป็นวิธีหนึ่งที่ใช้กันมากในการศึกษาสารอาหารปริมาณน้อยในแหล่งน้ำ แม้ว่าจะมีความแตกต่างกันบ้างในเรื่องของความเร็วรอบ เวลา และแผ่นกรองที่ใช้ ดังสรุปไว้ในตาราง 1-3

ตาราง 1-3 ความเร็วรอบ เวลา และชนิดแผ่นกรอง ที่ใช้ในการสกัดตัวอย่างน้ำระหว่างตะกอน โดยวิธีการหมุนเหวี่ยง

สถานที่	ความเร็ว (รอบต่อนาที)	เวลา (นาที)	แผ่นกรอง	อ้างอิง
Bangrong (mangrove forest, Thailand)	3,000	15	GF/F	Holmboe <i>et al.</i> , 2000
Ban Pak Klok (Thailand)	1,500	10	-	Holmer <i>et al.</i> , 2001
South China Sea	3,500	5	0.45 μm	Chareonpanich <i>et al.</i> , 1998
Bowling Green Bay (Australia)	3,000	30	-	Ullman and Sandstrom, 1987
Deltaic Lagoon (Italy)	5,000	20	0.45 μm	Viel <i>et al.</i> , 1991
Northern Adriatic sea (Italy)	5,000-6,000	10	Nucleopore	Hammond <i>et al.</i> , 1999
Polmone River Estuary (Spain)	3,000	15 (4°C)	GF/C	Clavero <i>et al.</i> , 1991
Tamar Estuary (UK)	9,000	5	0.45 μm	Watson <i>et al.</i> , 1985
Lake Vuwe (Netherland)	3,000	10	0.4 μm	Portielje and Lijklema, 1999
Laguna Madre Estuary (USA)	3,000	60	0.4 μm	Morin and Morse, 1999

จากการศึกษาเปรียบเทียบวิธีการเก็บตัวอย่างโดยตรงแบบไดอะไลซิส (dialysis) กับการหมุนเหวี่ยงด้วยความเร็ว 5000 รอบต่อนาที นาน 20 นาที พบว่าการเก็บตัวอย่างทั้งสองวิธีให้ผลการทดลองสอดคล้องกัน และค่าที่ได้ใกล้เคียงกัน (Viel *et al.*, 1991) นอกจากนี้การศึกษาเปรียบเทียบ

เทียบการเก็บตัวอย่างโดยใช้วิธีการหมุนเหวี่ยงกับการใช้อุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบหลายระดับ (insert multilevel sipper) และโพลีอะคริลาไมด์ เจล โพรบ (polyacrylamide gel probe) ซึ่งมีประสิทธิภาพในการแยกสูง พบว่าทั้งสามวิธีการให้ข้อมูลสอดคล้องกัน และค่าที่ได้ใกล้เคียงกัน (Mortimer *et al.*, 1998b)

ในการศึกษาครั้งนี้เลือกใช้การเก็บตัวอย่างตะกอนมาก่อน จากนั้นจึงสกัดน้ำระหว่างตะกอนออกจากตะกอน เครื่องมือที่ใช้เก็บตัวอย่าง คือ ท่ออะคลิลิคใสทรงกระบอก ซึ่งเรียกว่า คอร์หรือ coring sampler ทั้งนี้เพราะว่าเป็นอุปกรณ์ที่ใช้งานง่าย มีการรบกวนตะกอนน้อย เก็บตัวอย่างน้ำเหนือตะกอนและน้ำระหว่างตะกอนที่ระดับความลึกต่าง ๆ ได้ในคอร์เดียวกัน และสามารถป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ (Bufflap and Allen, 1995) หลังจากเก็บตัวอย่างมาแล้วนำตัวอย่างมาตัดแบ่งตะกอนตามระดับความลึก ก่อนนำไปสกัดน้ำระหว่างตะกอนออกด้วยวิธีการหมุนเหวี่ยง แต่เนื่องจากตะกอนมีสภาพที่ขาดแคลนออกซิเจน กระบวนการดำเนินงานในชั้นตอนนี้จึงต้องปฏิบัติงานภายใต้บรรยากาศของแก๊สเฉื่อย เช่น ไนโตรเจนหรืออาร์กอน เพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและการระเหยของน้ำระหว่างตะกอน (Adam, 1994; Bufflap and Allen, 1995) ทั้งนี้เพราะว่ามีผลการศึกษายืนยันเกี่ยวกับการสูญหายไปของปริมาณฟอสเฟตและซิลิเกตในน้ำระหว่างตะกอนเมื่อทำการแยกภายในบรรยากาศของห้องทดลอง (Loder *et al.*, 1978 and Lyons *et al.*, 1979) ซึ่งคาดว่า การสูญหายของฟอสเฟตน่าจะเนื่องมาจากการตกตะกอนของฟอสเฟตกับเฟอร์ริคไอออน (Bray *et al.*, 1973)

1.10. การวิเคราะห์หาสารอาหารปริมาณน้อย

การวิเคราะห์หาสารอาหารปริมาณน้อยในน้ำนั้น อาศัยการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนที่มีสี แล้ววัดปริมาณสารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดขึ้น โดยการวัดการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ซึ่งแต่เดิมนั้นใช้การเติมรีเอเจนต์แต่ละตัวลงไปในภาชนะที่ทำปฏิกิริยา แต่ปัจจุบันเทคนิคการวิเคราะห์โดยใช้การไหลของสารเข้าไปผสมผสานกันในเซลล์ที่เกิดปฏิกิริยา มีการพัฒนาและมีการใช้อย่างกว้างขวาง ทั้งนี้เพราะว่าสะดวกและเหมาะกับการวิเคราะห์ในกรณีที่มีตัวอย่างน้อย และเป็นวิธีที่นิยมในการวิเคราะห์น้ำระหว่างตะกอน ดังแสดงในตารางที่ 1-4

ตาราง 1-4 วิธีการวิเคราะห์หรือแอดทีฟฟอสเฟต ไนเตรต ไนไตรต์ และแอมโมเนีย ในน้ำระหว่าง ตะกอนจากบริเวณต่าง ๆ

ผู้วิจัย	สารอาหาร	วิธีการวิเคราะห์	สถานที่
Holmboe <i>et al.</i> , 2000	NH ₃	Salicylate hyperchlorite	บ้านโกร่ง (ภูเก็ต)
	PO ₄ ³⁻	Spectrophotometer (molybdate)	
Holmer <i>et al.</i> , 2001	NO ₂ ⁻ , NO ₃ ⁻ , NH ₃	Standard flow injection analysis	บ้านปากคลอง (ภูเก็ต)
	PO ₄ ²⁻	Spectrophotometer (molybdate)	
Chareonpanich <i>et al.</i> , 1998	NO ₃ ⁻ , NH ₃ , PO ₄ ³⁻	Auto nutrient analyser	South China Sea
Usui <i>et al.</i> , 2001	NO ₂ ⁻ , NO ₃ ⁻ , NH ₃	Strickland and Parson (small Sample volumes)	Tama Estuary (Japan)
Portielje and Lijklema, 1999	PO ₄ ³⁻	Skalar SA-40 autoanalyser	Lake Vuwe (Netherland)
Ullman and Sandtrom, 1987	NO ₂ ⁻ , NO ₃ ⁻ , NH ₃ , PO ₄ ³⁻	Standard automate technique	Bowling Green Bay (Australia)
Tuominen <i>et al.</i> , 1999	NO ₂ ⁻ (0.01) ^a , (12%) ^e NO ₃ ⁻ (0.05) ^a , (13%) ^e NH ₃ (0.25) ^a , (20%) ^e PO ₄ ³⁻ (0.05) ^a , (20%) ^e	Autoanalyser	Bactic Sea (Finland)
Bonanni <i>et al.</i> , 1992	NO ₂ ⁻ , NO ₃ ⁻ NH ₃ (0.2) ^a PO ₄ ³⁻ (0.08) ^a	Autoanalyser	Orbetllo Lagoon (Italy)
Viel <i>et al.</i> , 1991	NO ₂ ⁻ , NO ₃ ⁻ , NH ₃ , PO ₄ ³⁻	Technicon Autoanalyser II	Deltaic lagoon (Italy)
Watson <i>et al.</i> , 1985	NO ₂ ⁻ , NO ₃ ⁻ , PO ₄ ³⁻	Standard autoanalyser	Tamar Estuary (UK)
	NH ₃	Phenol hypochlorite	
Sanders <i>et al.</i> , 1997	NO ₃ ⁻ (0-40) ^c , (1%) ^d NH ₃ , (0-10) ^c , (4%) ^d PO ₄ ³⁻ (0-4) ^c , (2.5%) ^d	Continuous flow autoanalyser	Great Ouse Estuary (UK)
Mortimer <i>et al.</i> , 1998b	NO ₃ ⁻ (7.3%) ^d	Ion Chromatography	Loch Duich (Scotland)

ตาราง 1-4 (ต่อ)

ผู้วิจัย	สารอาหาร	วิธีการวิเคราะห์	สถานที่
Mortimer <i>et al.</i> , 1999	NO_2^- , NO_3^- , NH_3 , PO_4^{3-}	Technicon AA-II auto-analyser	Humber Estuary (UK)
Montgomery <i>et al.</i> , 1979	NO_2^- , NO_3^- , NH_3 , PO_4^{3-}	Technicon auto-analyser	Indian River Estuary (USA)
Callender and Hammond, 1982	NO_3^-	Strickland and Parson (Cadmium reduction)	Potomac River Estuary (USA)
	NH_3	Ammonia electrode	
	PO_4^{3-}	Murphy and Riley	
Jordan and Correll, 1985	NO_2^-	Sulphanilamide	Chesapeake Bay (USA)
	NH_3	Nesslerization	
	PO_4^{3-}	Stannous chloride and ammonium molybdate	
Marinelli <i>et al.</i> , 1998	NH_3 ($\pm 6.9\%$) ^b ,	Strickland and Parson (small sample volumes)	South Atlantic Bight (USA)
	PO_4^{3-} ($\pm 1.75\%$) ^b		
	NO_2^- , NO_3^-	Autoanalyser	

a : ขีดจำกัดการตรวจวัด (limit of detection : $\mu\text{mol/L}$)

b : ความผิดพลาดในการวิเคราะห์ (analytical errors)

c : ช่วงกราฟมาตรฐาน (standard calibration range : $\mu\text{mol/L}$)

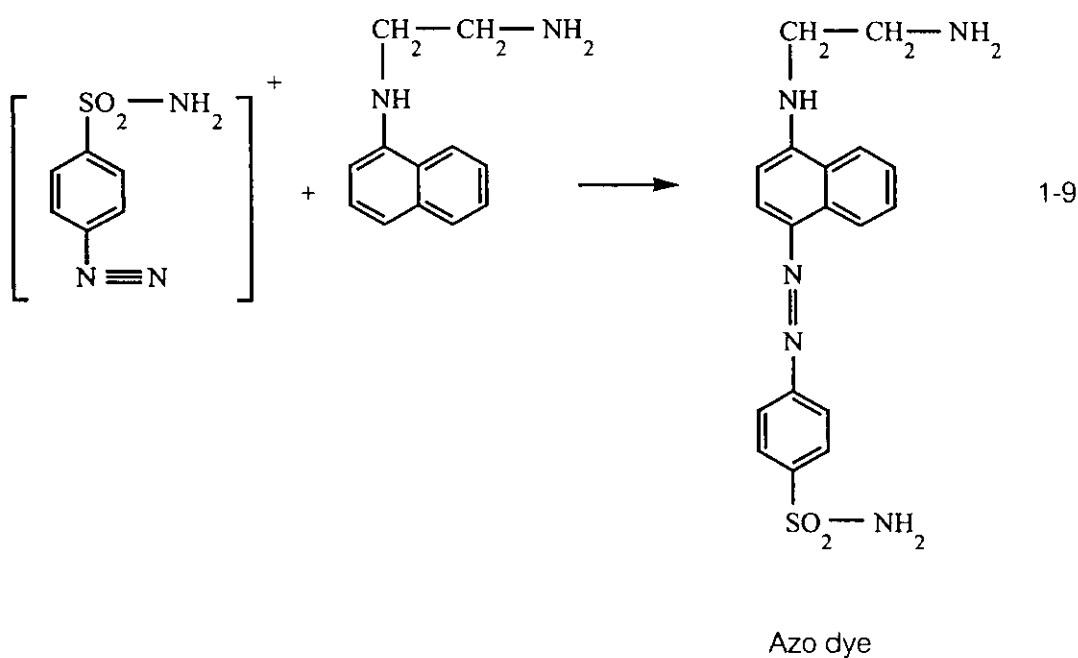
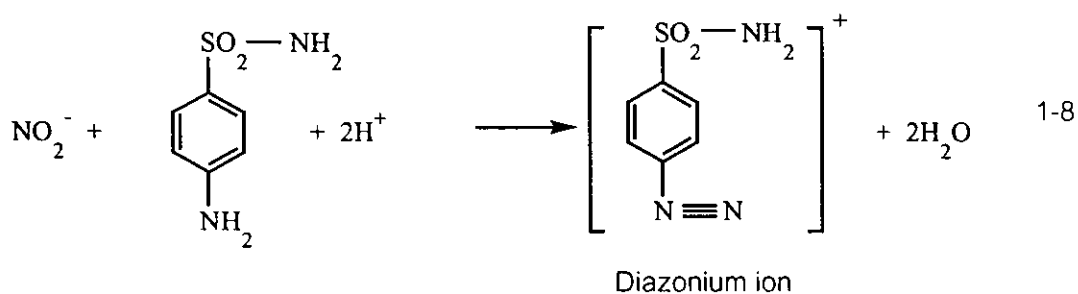
d : ความแม่นยำ (precision)

e : ความถูกต้อง (accuracy)

1.10.1. การวิเคราะห์ไนโตรต์และไนเตรต

การวิเคราะห์ไนโตรต์และไนเตรต อาศัยการเกิดปฏิกิริยาระหว่างไนโตรต์กับอะโรมาติก - เอมีน (aromatic amine) ได้เป็นไดอะโซเนียมไอออน ดังสมการ 1-8 จากนั้นไดอะโซเนียมไอออนจะเกิดการคู่ควบกับสารประกอบแนฟทิลเอมีน (1-naphthylamine) (สมการ 1-9) เกิดสารประกอบเชิงซ้อนที่มีสีชมพู (azo dye) ซึ่งดูดกลืนแสงที่มีความยาวคลื่น 520 นาโนเมตร (Hansen and Koroleff, 1999)

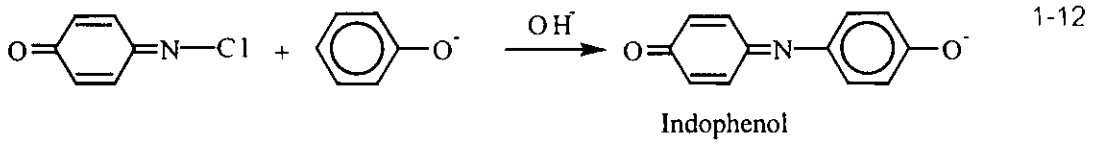
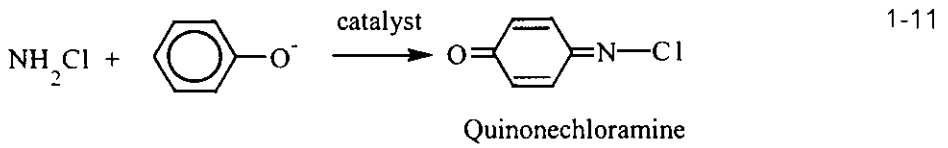
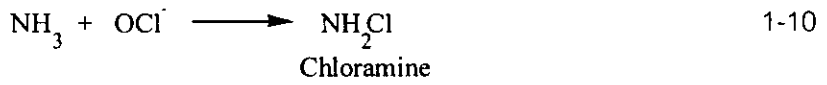
สำหรับการวิเคราะห์ไนเตรต จะต้องผ่านปฏิกิริยารีดักชันให้ไนเตรตเปลี่ยนเป็นไนไตรต์เสียก่อน โดยใช้คอปเปอร์ไฮดราซีน (copper-hydrazine) แล้ววิเคราะห์ด้วยวิธีเดียวกับไนไตรต์ (Kamphake *et al.*, 1967)



1.10.2. การวิเคราะห์แอมโมเนีย

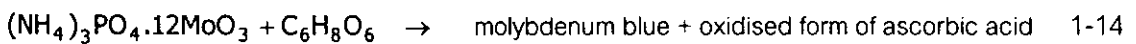
การวิเคราะห์แอมโมเนียพัฒนาจากปฏิกิริยาเบอร์โทเล็ต (bertholet reaction) อาศัยปฏิกิริยาระหว่างแอมโมเนียกับซาลิไซเลต (salicylate) และไฮเปอร์คลอไรต์ (hyperchlorite) โดยมีโซเดียมไนโตรพรัสไซด์ (sodium nitroprusside) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ได้สารประกอบเชิงซ้อนที่มีสี

น้ำเงิน (indophenol blue) ดังสมการ 1-10, 1-11 และ 1-12 ตามลำดับ (Ngo *et al.*, 1982) จาก
 นั้นวัดการดูดกลืนแสงที่ 650 นาโนเมตร



1.10.3. การวิเคราะห์ฟอสเฟต

การวิเคราะห์ฟอสเฟต อาศัยปฏิกิริยาระหว่างฟอสเฟตเกิดปฏิกิริยากับโมลิบเดต (molybdate) ในสภาวะกรด แล้วจึงถูกรีดิวซ์ด้วยกรดแอสคอร์บิก (ascorbic acid) ได้สารประกอบเชิงซ้อนสีน้ำเงิน (molybdenum blue) ดูดกลืนแสงที่ 660 นาโนเมตร (Murphy and Riley, 1962) ดังสมการ 1-13 และ 1-14 (Kundalkar, 2000)



ดังนั้นในงานวิจัยครั้งนี้ใช้ ChemLab Multi-channel Colorimeter Mark III ของ ChemLab Instruments Ltd. ซึ่งใช้เทคนิคการไหลแบบต่อเนื่อง (continuous flow analysis) ที่ใช้สารตัวอย่างและสารเคมีน้อย โดยใช้สารตัวอย่างเพียงประมาณ 0.5-1.0 มิลลิลิตร ต่อการวิเคราะห์สารอาหารแต่ละชนิด ซึ่งสอดคล้องกับปริมาตรตัวอย่างน้ำระหว่างตะกอนที่เก็บได้ นอกจากนี้ยัง

เป็นระบบวิเคราะห์แบบใช้ตัวตรวจวัดทางแสง ซึ่งทำงานแบบอัตโนมัติ และประหยัดเวลาในการวิเคราะห์ โดยใช้เวลาในการวิเคราะห์ตัวอย่างหนึ่ง ๆ ประมาณสองนาที

1.11. ความสัมพันธ์ของปริมาณสารอาหารในน้ำระหว่างตะกอนตามความลึก

จากการศึกษาความสัมพันธ์ของปริมาณสารอาหารในน้ำระหว่างตะกอนตามความลึกของ Vandeborghet and Billen (1975) พบว่าในบริเวณที่ตะกอนมีลักษณะเป็นทรายและมีสารอินทรีย์ต่ำ ตะกอนระดับไม่กี่เซนติเมตรแรกจะมีไนเตรตและไนไตรต์อยู่ในปริมาณสูง ขณะที่บริเวณที่มีลักษณะเป็นโคลนและมีสารอินทรีย์สูง กลับพบว่าไนเตรตและไนไตรต์ที่พบในน้ำระหว่างตะกอนมีค่าน้อยกว่าในน้ำเหนือผิวดตะกอน ส่วนแอมโมเนียและฟอสเฟต Mayer *et al.* (1999) พบว่าเพิ่มขึ้นตามระดับความลึกของตะกอน ซึ่งเกิดจากย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะขาดแคลนออกซิเจน ซึ่ง Bonanni *et al.* (1992) อธิบายว่าในสภาวะเช่นนี้แอมโมเนียจะเป็นสารอาหารตัวแรกที่ถูกปลดปล่อยออกมา ตามด้วยฟอสฟอรัส ปริมาณสารอาหารในน้ำระหว่างตะกอนที่พบในแหล่งน้ำบางแห่ง แสดงในตารางที่ 1-5

1.12. วัตถุประสงค์

1. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์สารอาหารปริมาณน้อย 4 ชนิด คือ ไนเตรต ไนไตรต์ แอมโมเนีย และรีแอกทีฟฟอสเฟต ด้วยเทคนิคการไหลแบบต่อเนื่อง ฟังก์ชันกับคัลเลอริเมตรี
2. ศึกษาผลของออกซิเจนที่มีต่อการเตรียมตัวอย่างน้ำระหว่างตะกอน ที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์สารอาหารปริมาณน้อย
3. วิเคราะห์สารอาหารปริมาณน้อยทั้ง 4 ชนิด ในน้ำระหว่างตะกอน และน้ำเหนือตะกอน บริเวณเอสทูรี ด้วยเทคนิคการไหลแบบต่อเนื่อง ฟังก์ชันกับคัลเลอริเมตรี เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของเกรเดียนต์ความเข้มข้น
4. ศึกษาปริมาณสารอาหารในน้ำระหว่างตะกอนในบริเวณปากคลองอุตตะภาในทะเลสาบสงขลา ที่มีอิทธิพลของการหนุนของน้ำทะเลและบริเวณลึกลงเข้ามาในคลองอุตตะภา และปัจจัยควบคุมการแพร่กระจายของสารอาหารปริมาณน้อย

ตาราง 1-5 ปริมาณสารอาหารอินทรีย์แต่ละชนิดในน้ำระหว่างตะกอนจากบริเวณต่าง ๆ

พื้นที่	ไนโตรเจน	ไนเตรต	แอมโมเนีย	ฟอสเฟต	เอกสารอ้างอิง
บ้านโกร่ง (ภูเก็ต)			25-150	0.75-2.5	Holmboe <i>et al.</i> , 2000
บ้านปากคลอง (ภูเก็ต)	< 1	< 1	30-70	2-5	Holmer <i>et al.</i> , 2001
South China Sea		0.05-77.12	0-81.76	0.07-13.13	Chareonpanich <i>et al.</i> , 1998
Tama Estuary (Japan)	0-25	0-150	150-225		Usui <i>et al.</i> , 2001
Bowling Green Bay (Australia)		0.05-20	25-1250	0.4-500	Ullman and Sandstrom, 1987
Geographe Bay (Australia)		0.05-23.39		0.08-20	McMahon and Walker, 1997
Deltaic Lagoon (Italy)			110-1570	5.1-112	Viel <i>et al.</i> , 1991
Orbetello lagoon (Italy)			5-1206		Bonanni <i>et al.</i> , 1992
Northern Adriatic Sea (Italy)			1-321	0.01-238	Hammond <i>et al.</i> , 1999
Loch Duich (Scotland)		5-75	50-800		Mortimer <i>et al.</i> , 1998b
Tamar Estuary (UK)			50.0-743.8		Knox <i>et al.</i> , 1981
Tamar Estuary (UK)	0.10-3.00	1-70	2-1500	10-350	Watson <i>et al.</i> , 1985
Humber Estuary (UK)		10-750	5-1400	0.5-29	Mortimer <i>et al.</i> , 1998a
Humber Estuary (UK)		31-250	120-938		Mortimer <i>et al.</i> , 1999
Indian River Estuary (USA)		0.1-3.27	0.4-149.0	0.99-33.1	Montgomery <i>et al.</i> , 1979
Potomac River Estuary (USA)			50-1,100	5,000 - 220,000	Callender and Hammond, 1982
Chesapeake Bay (USA)			14-19	12-25	Jordan and Correll, 1985
South Atlantic Bight (USA)			0.5-150	0-8	Marinelli <i>et al.</i> , 1998
Laguna Madre Estuary (USA)			350-3,850	20-120	Morin and Morse, 1999
Point Pelee (Canada)			1.47-1,470.6	1.05-42.12	Mayer <i>et al.</i> , 1999

1.13. ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย

1. ทราบถึงความผิดพลาดที่จะเกิดขึ้นได้หากไม่มีการเตรียมตัวอย่างก่อนการวิเคราะห์ภายใต้สภาวะที่ไม่มีออกซิเจนซึ่งเป็นสภาวะที่ใกล้เคียงกับสภาพธรรมชาติที่สุด
2. การแพร่กระจายของสารอาหารในน้ำระหว่างตะกอนตามระดับความลึกทำให้ทราบเกรดของความเข้มข้น ซึ่งเป็นสาเหตุของการถ่ายเทสารอาหารข้ามรอยต่อระหว่างตะกอนกับน้ำ โดยกระบวนการแพร่ของโมเลกุล (molecular diffusion)
3. ทราบถึงการแพร่กระจายของสารอาหารปริมาณน้อย ในน้ำระหว่างตะกอนในบริเวณปากคลองอยู่ตะเภานในทะเลสาบสงขลาที่มีอิทธิพลของการหนุนของน้ำทะเลและบริเวณลึกเข้ามาในคลองอยู่ตะเภาน
4. ทราบถึงปัจจัยควบคุมการเปลี่ยนแปลงรูปแบบของสารอาหารปริมาณน้อยในน้ำระหว่างตะกอน และประเมินศักยภาพในการเป็นแหล่งให้ (supply) สารอาหารให้กับมวลน้ำ

1.14. ขอบเขตงานวิจัย

1. หาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับวิเคราะห์สารอาหารปริมาณน้อยประเภทไนเตรต ไนไตรต์ แอมโมเนีย และรีแอกทีฟฟอสเฟต ด้วยระบบวิเคราะห์แบบอัตโนมัติซึ่งมีการไหลของสารอย่างต่อเนื่องและใช้ตัวตรวจวัดทางแสง
2. เปรียบเทียบผลของการแยกตัวอย่างภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจน (ทำการทดลองในบรรยากาศทั่วไป) กับไม่มีออกซิเจน (ทำการทดลองในกระโถมไนโตรเจน)
3. หาปริมาณไนเตรต ไนไตรต์ แอมโมเนีย และรีแอกทีฟฟอสเฟต ในน้ำระหว่างตะกอนในตะกอนจากเอสทูรี (ปากคลองอยู่ตะเภาน) ตามระดับความลึก
4. เปรียบเทียบปริมาณสารอาหารในน้ำระหว่างตะกอนในบริเวณปากคลองอยู่ตะเภานในทะเลสาบสงขลาที่มีอิทธิพลของการหนุนของน้ำทะเลและบริเวณลึกเข้ามาในคลองอยู่ตะเภาน