

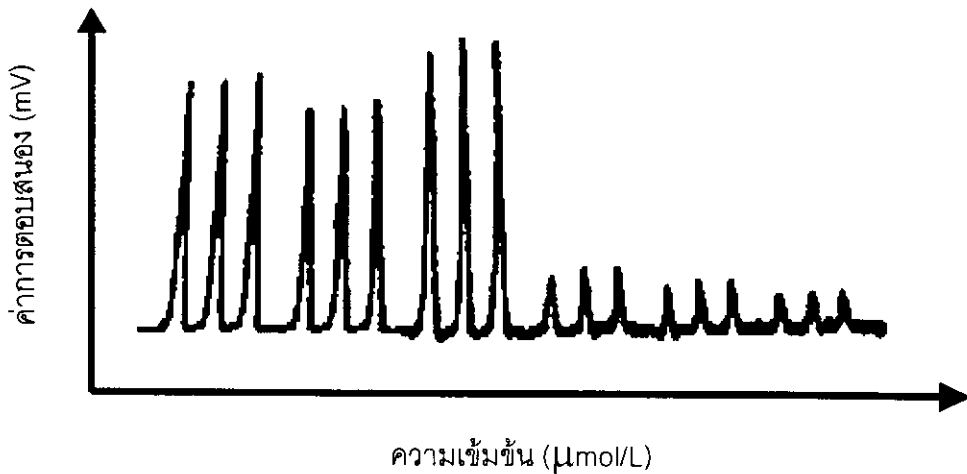
บทที่ 3

ผลการศึกษา และอภิปรายผล

3.1. สภาพที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์สารอาหารปริมาณน้อยแต่ละชนิด

3.1.1. สภาพที่เหมาะสมสำหรับวิเคราะห์ออกซิไดซ์ในโตรเจนรวม

เวลาในการดูดตัวอย่างและเวลาในการล้างสำหรับการวิเคราะห์ตัวอย่างแต่ละครั้ง ภายใต้ระบบการไหลที่เหมาะสม คือ เมื่อพีคที่ได้สมบูรณ์ มีความไววิเคราะห์ มีความแม่นยำสูง และพีคกลับมายังเส้นฐานได้อย่างสมบูรณ์ ดังแสดงในรูปที่ 3-1



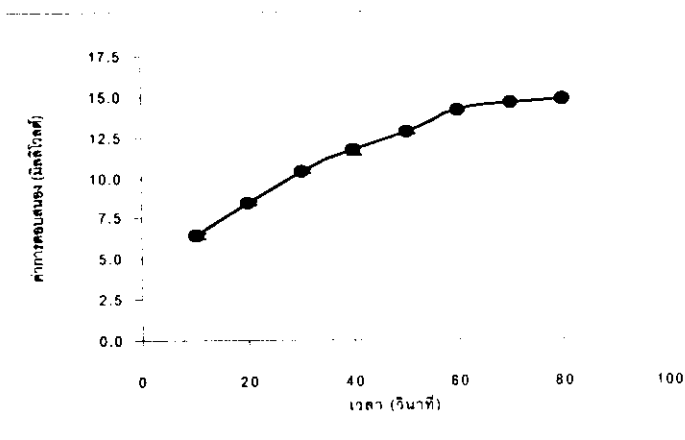
รูปที่ 3-1 ลักษณะพีคที่ได้ เมื่อใช้เวลาในการดูดและการล้างที่เหมาะสม

3.1.1.1. เวลาที่เหมาะสมในการดูดตัวอย่าง

ผลการทดลองแปรผันเวลาที่ใช้ในการดูดตัวอย่างในระบบตั้งแต่ 10–80 วินาที แสดงไว้ในตาราง 3-1 โดยพบว่าถ้าใช้เวลาในการดูดสารตัวอย่างน้อยเกินไป จะทำให้ประสิทธิภาพการวิเคราะห์ต่ำ แต่ถ้าใช้เวลานานเกินไปจะทำให้เวลาในการวิเคราะห์นานโดยที่ประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ไม่เพิ่มขึ้นทำให้เปลืองตัวอย่างและสารเคมี ดังแสดงในรูปที่ 3-2

ตาราง 3-1 ค่าการตอบสนองต่อปริมาณออกซิไดซ์ไนโตรเจนรวม เมื่อเวลาในการดูดตัวอย่างต่างกัน

เวลา (วินาที)	ค่าการตอบสนอง (mV)				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	SD
10	6.43	6.43	6.43	6.43	0.00
20	8.43	8.43	8.43	8.43	0.00
30	10.24	10.44	10.44	10.37	0.12
40	11.65	11.65	11.65	11.65	0.00
50	12.85	12.70	13.00	12.85	0.15
60	14.16	13.85	14.16	14.06	0.18
70	14.66	14.66	14.46	14.59	0.12
80	14.86	14.86	14.66	14.79	0.12



รูปที่ 3-2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการดูดตัวอย่าง กับค่าการตอบสนองต่อปริมาณออกซิไดซ์ไนโตรเจนรวม

จากรูป 3-2 จะเห็นได้ว่าที่เวลาน้อยกว่า 60 วินาที ค่าการตอบสนองจะมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ขณะที่เวลาที่มากกว่า 60 วินาที ค่าการตอบสนองไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % พืชที่ได้จะเริ่มคงที่ ดังนั้นหลังจาก 60 วินาทีผ่านไปเมื่อเพิ่มเวลา

ในการดูดตัวอย่างมากขึ้น ค่าการตอบสนองก็ไม่เพิ่มขึ้นอีก ดังนั้นเวลาในการดูดที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ออกซิไดซ์ในโตรเจนรวม คือ 60 วินาที

3.1.1.2. เวลาที่เหมาะสมในการล้าง

ผลการทดลองแปรผันเวลาที่ใช้ในการล้างในระบบตั้งแต่ 80-120 วินาที เวลาในการล้างที่เหมาะสม คือ เวลาที่เมื่อความสูงของพีคขึ้นสูงสุดแล้ว สามารถลดกลับมายังเส้นฐานได้ แต่จากการทดลองพบว่า แม้จะใช้เวลาการล้างถึง 120 วินาที พีคก็ไม่สามารถกลับมายังเส้นฐานได้ และมีการเคลื่อนที่ (shifting) ของเส้นฐาน

ดังนั้น การแก้ปัญหาการล้างระบบ จึงให้ระบบดูดน้ำดีไอออนสลับกับตัวอย่าง กล่าวคือ วางถ้วยน้ำดีไอออนสลับกับถ้วยตัวอย่าง ในภาคของเครื่องดูดตัวอย่างอัตโนมัติ ซึ่งเป็นวิธีที่ Sheldon and Wiebe (1997) ใช้แก้ปัญหาเดียวกันนี้ในการวิเคราะห์หาปริมาณฟอสเฟต โดยใช้เครื่อง Technicon Autoanalyser

3.1.1.3. ความเข้มข้นของรีดิวซิ่งเอเจนต์ที่เหมาะสม

จากการวิเคราะห์โดยใช้ไนโตรดที่ความเข้มข้น 357.14 $\mu\text{mol/L}$ พบว่าค่าการตอบสนองเท่ากับ 19.10 มิลลิโวลต์ ซึ่งจะทำให้เป็นค่าเปรียบเทียบประสิทธิภาพการรีดิวซ์ของคอปเปอร์ไฮดรอกไซด์ ผลการแปรผันความเข้มข้นคอปเปอร์ไฮดรอกไซด์ตั้งแต่ 1.0-1.8 g/L แสดงไว้ในตาราง 3-2

ตาราง 3-2 ค่าการตอบสนองต่อปริมาณออกซิไดซ์ในโตรเจนรวม เมื่อใช้ความเข้มข้นของรีดิวซิ่งเอเจนต์ต่างกัน

ความเข้มข้นของคอปเปอร์ไฮดรอกไซด์ (g/L)	ค่าการตอบสนองเฉลี่ยของไนเตรต (mV) (n=3)
1.0	17.60 (พีคยอดเดียว)
1.2	19.00 (พีคยอดเดียว)
1.4	14.70, 18.10 (พีค 2 ยอด)
1.6	13.40, 15.40 (พีค 2 ยอด)
1.8	12.50, 13.50 (พีค 2 ยอด)

จากผลการทดลองดังแสดงในตาราง 3-2 ความเข้มข้นคอปเปอร์ไฮดรอกไซด์ 1.0 g/L จะให้ค่าการตอบสนองต่ำกว่าคอปเปอร์ไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1.2 g/L ประมาณ 7 % เนื่องจากประสิทธิภาพในการการวัดด้วยไนเตรตให้เป็นไนไตรต์ต่ำ ไม่สามารถเปลี่ยนไนเตรตให้เป็นไนไตรต์ได้ทั้งหมด ค่าการตอบสนองของไนเตรตจึงน้อยกว่าค่าการตอบสนองของไนไตรต์ แต่คอปเปอร์ไฮดรอกไซด์เข้มข้นมากกว่า 1.2 g/L ให้พีค 2 ยอดและค่าการตอบสนองต่ำ เนื่องจากไนไตรต์จะถูกวัดด้วย ดังนั้นความเข้มข้นของรีดิวซิ่งเอเจนต์ที่เหมาะสม คือ 1.2 g/L และให้ค่าการตอบสนองไม่แตกต่างกัน มีนัยสำคัญกับค่าการตอบสนองของไนไตรต์ที่ความเข้มข้นเท่ากัน

3.1.2. สภาพที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์แอมโมเนีย

เวลาในการดูดตัวอย่างและล้างสำหรับการวิเคราะห์ตัวอย่างแต่ละครั้ง ภายใต้ระบบการไหลที่เหมาะสม คือ เมื่อพีคที่ได้สมบูรณ์ มีความไววิเคราะห์ มีความแม่นยำสูง และพีคกลับมาถึงเส้นฐานได้อย่างสมบูรณ์ ดังตัวอย่างพีคที่แสดงในรูปที่ 3-1

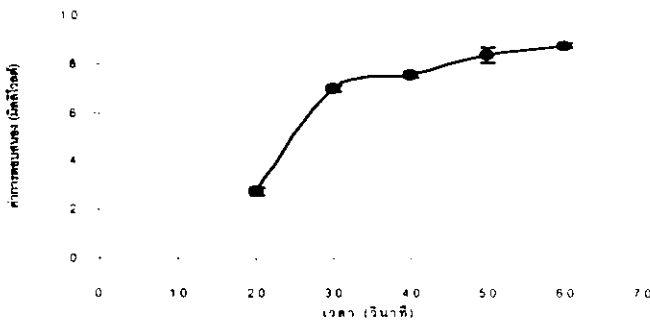
3.1.2.1. เวลาที่เหมาะสมในการดูดตัวอย่าง

ผลการทดลองแปรผันเวลาที่ใช้ในการดูดตัวอย่างในระบบตั้งแต่ 20-60 วินาที แสดงไว้ในตารางที่ 3-3 โดยพบว่าถ้าใช้เวลาในการดูดตัวอย่างน้อยเกินไป จะทำให้ประสิทธิภาพการวิเคราะห์ต่ำ แต่ถ้าใช้เวลานานเกินไปจะทำให้เวลาในการวิเคราะห์นานโดยที่ประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ไม่เพิ่มขึ้นทำให้เปลืองตัวอย่างและสารเคมี ดังแสดงในรูปที่ 3-3

ตาราง 3-3 ค่าการตอบสนองต่อปริมาณแอมโมเนีย เมื่อเวลาในการดูดตัวอย่างต่างกัน

เวลา (วินาที)	ค่าการตอบสนอง (mV)				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	SD
20	2.61	2.71	2.91	2.74	0.15
30	7.03	6.83	7.03	6.96	0.12
40	7.63	7.63	7.43	7.56	0.12
50	8.03	8.63	8.43	8.36	0.31
60	8.84	8.84	8.63	8.77	0.12

จากรูปที่ 3-3 จะเห็นได้ว่าที่เวลาน้อยกว่า 30 วินาที ค่าการตอบสนองจะมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ขณะที่เวลาที่มากกว่า 30 วินาที ค่าการตอบสนองไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % พิกเก็ตได้จะเริ่มคงที่ ดังนั้นเวลาในการดูดที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ออกซิไดซ์ในโตรเจนรวม คือ 30 วินาที จะเห็นได้ว่าที่เวลา 30 พิกเก็ตได้จะเริ่มคงที่ เมื่อเพิ่มเวลาในการดูดตัวอย่างมากขึ้น ค่าการตอบสนองก็ไม่เพิ่มขึ้นอีก เพื่อลดเวลาในการวิเคราะห์และปริมาณสารตัวอย่างที่ใช้ ดังนั้นเวลาในการดูดที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์แอมโมเนีย คือ 30 วินาที



รูปที่ 3-3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการดูดตัวอย่าง กับค่าการตอบสนองต่อปริมาณแอมโมเนีย

3.1.2.2. เวลาที่เหมาะสมในการล้าง

ผลการทดลองแปรผันเวลาที่ใช้ในการล้างในระบบตั้งแต่ 80-120 วินาที เวลาในการล้างสารตัวอย่างที่เหมาะสม คือ เวลาที่เมื่อความสูงของพีคขึ้นสูงสุดแล้ว สามารถลดกลับมายังเส้นฐานได้ แต่จากการทดลองพบว่า แม้จะใช้เวลาการล้างถึง 120 วินาที พีคก็ไม่สามารถกลับมายังเส้นฐานได้ และมีการเคลื่อนที่ (shifting) ของเส้นฐาน

ดังนั้นเพื่อแก้ปัญหานี้ จึงใช้วิธีเช่นเดียวกับการวิเคราะห์ปริมาณออกซิไดซ์ในโตรเจนรวม ดังที่อธิบายในหัวข้อ 3.1.1.1 โดยดูน้ำดีไอออไนซ์สลับกับตัวอย่าง

3.1.3. สภาพที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ฟอสเฟต

เวลาในการดูดตัวอย่างและล้างสำหรับการวิเคราะห์ตัวอย่างแต่ละครั้ง ภายใต้ระบบการไหลที่เหมาะสม คือ เมื่อพีคที่ได้สมบูรณ์ มีความไววิเคราะห์ มีความแม่นยำสูง และพีคกลับมายังเส้นฐานได้อย่างสมบูรณ์ ดังตัวอย่างพีคที่แสดงในรูปที่ 3-1

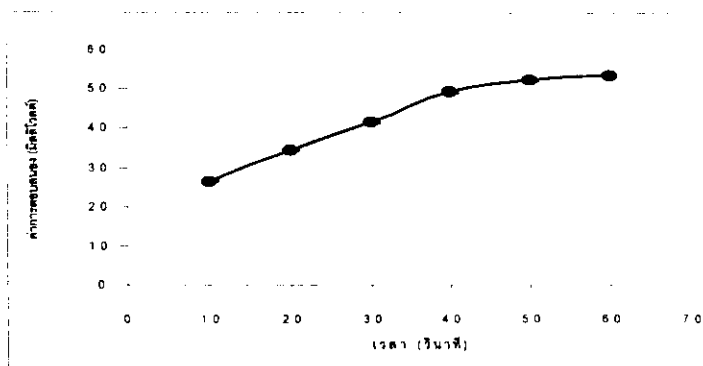
3.1.3.1. เวลาที่เหมาะสมในการดูดตัวอย่าง

ผลการทดลองแปรผันเวลาที่ใช้ในการดูดตัวอย่างในระบบตั้งแต่ 10–60 วินาที แสดงไว้ในตาราง 3-4 โดยพบว่าถ้าใช้เวลาในการดูดสารตัวอย่างน้อยเกินไป จะทำให้ประสิทธิภาพการวิเคราะห์ต่ำ แต่ถ้าใช้เวลานานเกินไปจะทำให้เวลาในการวิเคราะห์นานโดยที่ประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ไม่เพิ่มขึ้นทำให้เปลืองตัวอย่างและสารเคมี ดังแสดงในรูปที่ 3-4

จากรูป 3-4 จะเห็นได้ว่าที่เวลาน้อยกว่า 40 วินาที ค่าการตอบสนองจะมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ขณะที่เวลาที่มากกว่า 40 วินาที ค่าการตอบสนองไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % พีคที่ได้จะเริ่มคงที่ ดังนั้นหลังจาก 40 วินาทีผ่านไปเมื่อเพิ่มเวลาในการดูดตัวอย่างมากขึ้น ค่าการตอบสนองก็ไม่เพิ่มขึ้นอีก ดังนั้นเวลาในการดูดที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ฟอสเฟต คือ 40 วินาที

ตาราง 3-4 ค่าการตอบสนองต่อปริมาณฟอสเฟต เมื่อเวลาในการดูดตัวอย่างต่างกัน

เวลา (วินาที)	ค่าการตอบสนอง (mV)				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	SD
10	26.10	26.91	26.51	26.51	0.40
20	34.74	34.23	34.23	34.40	0.25
30	41.77	41.37	41.37	41.50	0.23
40	49.30	49.09	49.40	49.26	0.16
50	51.71	52.61	52.21	52.18	0.45
60	53.82	53.41	53.01	53.41	0.40



รูปที่ 3-4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการดูดตัวอย่าง กับค่าการตอบสนองต่อปริมาณฟอสเฟต

3.1.3.2. เวลาที่เหมาะสมในการล้าง

ผลการทดลองแปรผันเวลาที่ใช้ในการล้างในระบบตั้งแต่ 80-120 วินาที เวลาในการล้างสารตัวอย่างที่เหมาะสม คือ เวลาที่เมื่อความสูงของพีคขึ้นสูงสุดแล้ว สามารถลดกลับมายังเส้นฐานได้ แต่จากการทดลองพบว่า แม้จะใช้เวลาการล้างถึง 120 วินาที พีคก็ไม่สามารถกลับมายังเส้นฐานได้ และมีการเคลื่อนที่ (shifting) ของเส้นฐาน

ดังนั้นเพื่อแก้ปัญหานี้ จึงใช้วิธีเช่นเดียวกับการวิเคราะห์ปริมาณออกซิโคซีในโตรเจนรวม ดังที่อธิบายในหัวข้อ 3.1.1.1 โดยดูน้ำดีไอออไนส์สลับกับตัวอย่าง

3.1.3.3. อุณหภูมิที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยา

ผลการทดลองแปรผันอุณหภูมิในปฏิกิริยาการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของฟอสเฟตตั้งแต่ 75-90°C โดยใช้ฟอสเฟตที่ความเข้มข้น 322.89 $\mu\text{mol/L}$ แสดงไว้ในตาราง 3-5

ตาราง 3-5 ค่าการตอบสนองต่อปริมาณฟอสเฟต เมื่ออุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยาต่างกัน

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ค่าการตอบสนองเฉลี่ย (mV) (n=3)
75	40.03
80	41.23
85	42.03
90	ฟองอากาศขยายตัวอย่างรวดเร็ว flow cell ไม่สามารถจับฟองอากาศได้

จากผลการทดลองในตาราง 3-5 พบว่าอุณหภูมิตั้งแต่ 75-85 °C ให้ค่าการตอบสนองไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % แต่อุณหภูมิที่ให้ค่าการตอบสนองสูงสุดคือ 85°C และมีอุณหภูมิใกล้เคียงกับอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเกิดปฏิกิริยา คือ 90 °C แต่ที่ 90 °C เทคนิคการวิเคราะห์นี้ไม่สามารถจับฟองอากาศไว้ได้ ดังนั้นอุณหภูมิที่เหมาะสม คือ 85 °C แต่ต้องระวังไม่ให้อุณหภูมิสูงไปกว่านี้ เนื่องจากจะทำให้เกิดปัญหาฟองอากาศ

3.2. ซีดจำกัดการตรวจวัด ช่วงความเป็นเส้นตรง ความถูกต้อง และความแม่นยำ ของการวิเคราะห์

3.2.1. ซีดจำกัดการตรวจวัด

ผลการวิเคราะห์สารอาหารแต่ละชนิดที่ความเข้มข้นต่ำที่สุดที่ให้ค่าตอบสนองเหนือเบสค์ 15 ครั้ง พบว่ามีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสำหรับ ไนโตรต์ ไนเตรต แอมโมเนีย และฟอสเฟต เท่ากับ 0.01, 0.04, 0.07 และ 0.01 ตามลำดับ (ดูตาราง จ-1 ในภาคผนวก จ)

ขีดจำกัดการตรวจวัด เท่ากับ สองเท่าของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ในตาราง 3-6 แสดงขีดจำกัดการตรวจวัดของสารอาหารแต่ละชนิด

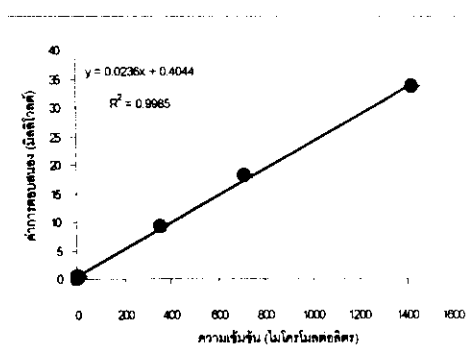
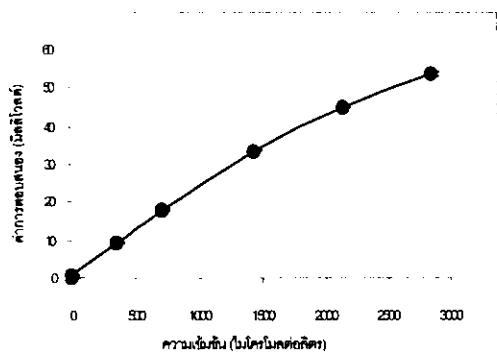
ตาราง 3-6 ขีดจำกัดการตรวจวัดของการวิเคราะห์สารอาหารแต่ละชนิด

ชนิดสารอาหาร	mg-at/L	μmol/L
ไนโตรต์	0.02	1.43
ไนเตรต	0.08	5.71
แอมโมเนีย	0.14	10.00
ฟอสเฟต	0.02	0.62

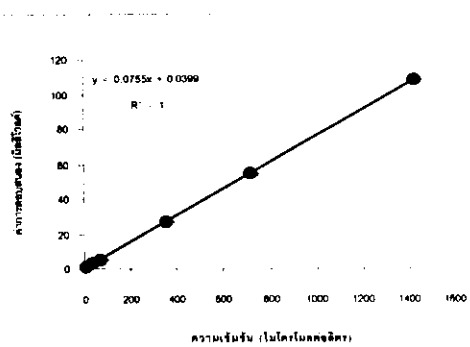
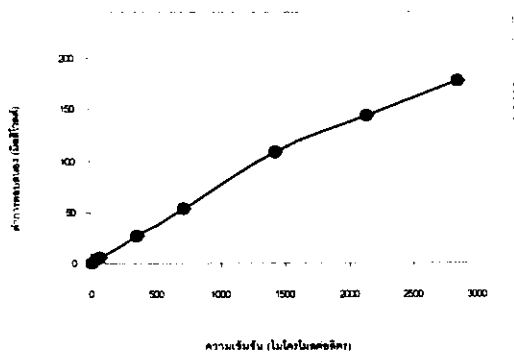
mg- at/L : mgN/L หรือ mgP/L

3.2.2. ช่วงความเป็นเส้นตรง

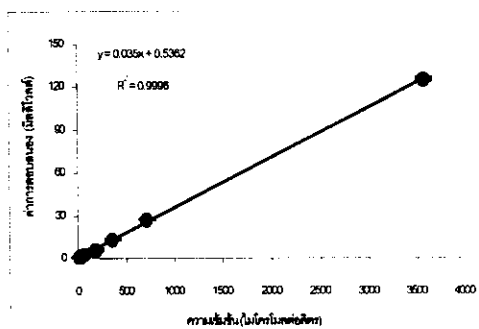
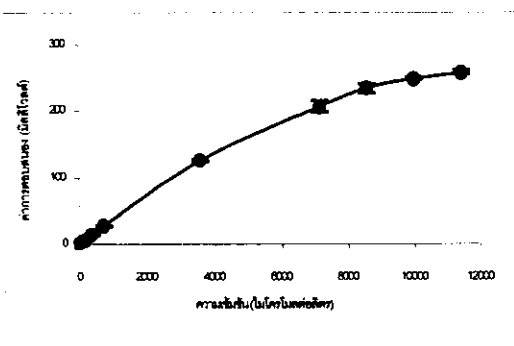
ผลการศึกษา พบว่า ช่วงความเป็นเส้นตรงของไนโตรต์ ไนเตรต แอมโมเนีย และฟอสเฟต อยู่ในช่วง 1.8-1428.6, 7.1-1428.6, 17.8-3571.4 และ 0.8-968.7 μmol/L ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่รูปที่ 3-5, รูปที่ 3-6, รูปที่ 3-7 และ รูปที่ 3-8



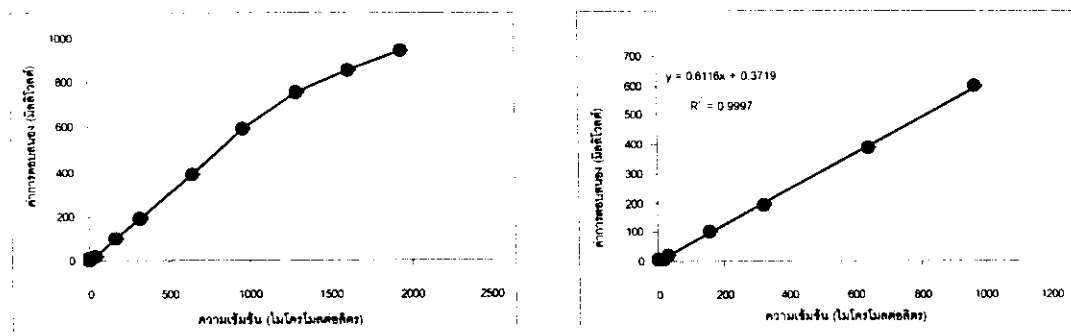
รูปที่ 3-5 ช่วงความเป็นเส้นตรงของไดโอด



รูปที่ 3-6 ช่วงความเป็นเส้นตรงของไดโอด



รูปที่ 3-7 ช่วงความเป็นเส้นตรงของแอมโมเนีย



รูปที่ 3-8 ช่วงความเป็นเส้นตรงของฟอสเฟต

3.2.3. ความถูกต้อง

จากการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐาน ไนไตรต์ ไนเตรต แอมโมเนียและฟอสเฟต เข้มข้น 85.71, 92.86, 180 และ 29.06 $\mu\text{mol/L}$ ตามลำดับ จำนวน 3 ซ้ำ ความถูกต้องของการวิเคราะห์ ไนไตรต์, ไนเตรต, แอมโมเนีย และ ฟอสเฟต คือ 85.71 ± 3.52 , 92.86 ± 2.25 , 180.0 ± 13.3 และ $29.06 \pm 1.50 \mu\text{mol/L}$ ตามลำดับ ผลการศึกษาและวิธีคำนวณความถูกต้อง ดูในภาคผนวก ข

3.2.4. ความแม่นยำ

ผลการศึกษาความแม่นยำ (%RSD) ของการวิเคราะห์ ไนไตรต์ ไนเตรต แอมโมเนียและฟอสเฟต ที่ความเข้มข้น 14.29, 142.96, 710 และ 322.89 $\mu\text{mol/L}$ ชนิดละ 10 ซ้ำ ความแม่นยำของการวิเคราะห์ ไนไตรต์, ไนเตรต, แอมโมเนีย และ ฟอสเฟต คือ 2.67, 1.38, 0.94 และ 0.55 %RSD ตามลำดับ ดังแสดงไว้ในตาราง ข-1 ในภาคผนวก ข

3.3. การศึกษาเปรียบเทียบวิธีการแยกตัวอย่างน้ำระหว่างตะกอนออกจากตะกอนบรรยากาศ ไนโตรเจน (ในกระโถมนิโตรเจน) และภายใต้บรรยากาศปกติ (มือออกซิเจน)

จากการศึกษาเปรียบเทียบวิธีการเตรียมตัวอย่างระหว่างการเตรียมในและการเตรียมนอกกระโถม ในการวิเคราะห์ ไนไตรต์ และ ไนเตรต พบว่าไนไตรต์และไนเตรต มีค่าต่ำกว่าขีดจำกัดการตรวจวัดของเครื่องมือ จึงไม่สามารถเปรียบเทียบได้

3.3.1. แอมโมเนีย

ผลการวิเคราะห์ค่าการตอบสนองของปริมาณแอมโมเนียในน้ำระหว่างตะกอน ที่ได้จากการเตรียมตัวอย่างในและนอกกระโຈມไนโตรเจน แสดงไว้ในตาราง 3-7 และรูปที่ 3-9

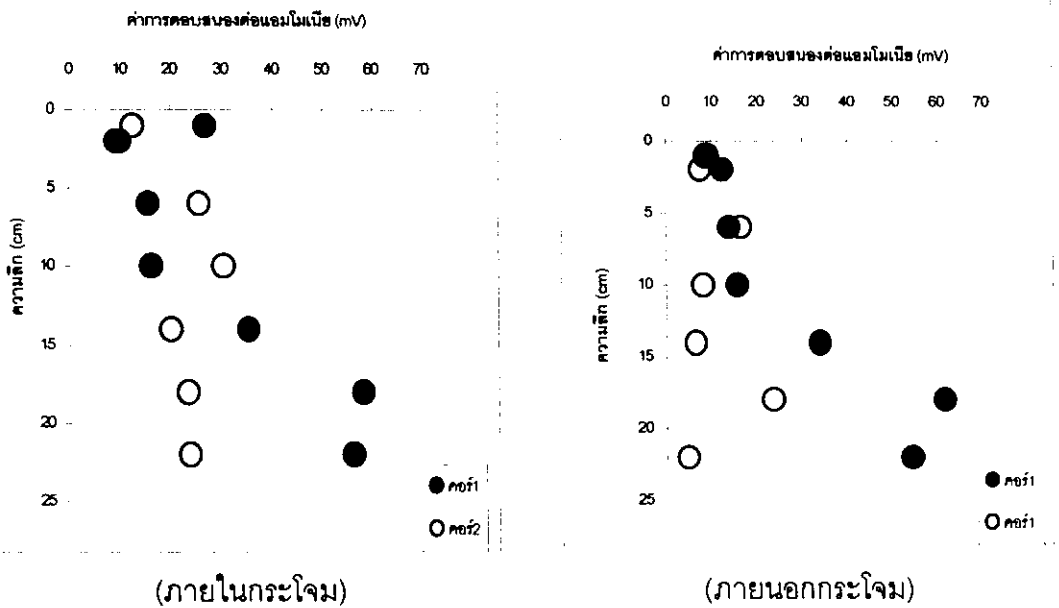
จากการทดสอบทางสถิติด้วยวิธี two-way classification ANOVA (ดูรายละเอียดการวิเคราะห์ทางสถิติในหัวข้อ ข-1 ในภาคผนวก ข) พบว่า

- 1) การเตรียมตัวอย่างภายในและภายนอกบรรยากาศไนโตรเจนไม่มีผลต่อปริมาณแอมโมเนียในน้ำระหว่างตะกอนที่ระดับความลึก ต่างๆ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %
- 2) ปริมาณแอมโมเนียในน้ำระหว่างตะกอนที่ได้จากการเตรียมตัวอย่างตะกอนภายในและภายนอกบรรยากาศไนโตรเจน ไม่มีความแตกต่างที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

เนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของแอมโมเนียเกิดขึ้นช้า กว่าเวลาที่ใช้ในการเตรียมตัวอย่าง ผลการศึกษาที่ได้สอดคล้องกับ Watson *et al*, (1985) ซึ่งทำการศึกษาที่ Tamar Estuary ประเทศอังกฤษ ก็พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ(95% C.L.) ระหว่างการเตรียมตัวอย่างภายในและภายนอกกระโຈມสำหรับการวิเคราะห์หาแอมโมเนีย

ตาราง 3-7 ค่าการตอบสนองเฉลี่ยของปริมาณแอมโมเนีย (mV) ในน้ำระหว่างตะกอน จากตัวอย่างที่เตรียมในและนอกกระโຈມไนโตรเจน (n=3)

ความลึก (cm)	ค่าการตอบสนองเฉลี่ย (mV) ของปริมาณแอมโมเนีย			
	ในกระโຈມไนโตรเจน		นอกกระโຈມไนโตรเจน	
	คอร์ 1	คอร์ 2	คอร์ 1	คอร์ 2
1	26.80	12.40	9.40	8.80
2	9.20	10.00	12.60	7.72
6	15.40	25.60	14.00	16.60
10	16.00	30.20	15.80	8.20
14	35.20	19.80	34.00	6.60
18	58.00	23.28	61.60	23.40
22	56.00	23.60	54.40	4.80



รูปที่ 3-9 ค่าการตอบสนองต่อปริมาณแอมโมเนียในน้ำระหว่างตะกอนตามความลึก จากตัวอย่างที่เตรียมในและนอกกระโจมไนโตรเจน

3.3.2. ฟอสเฟต

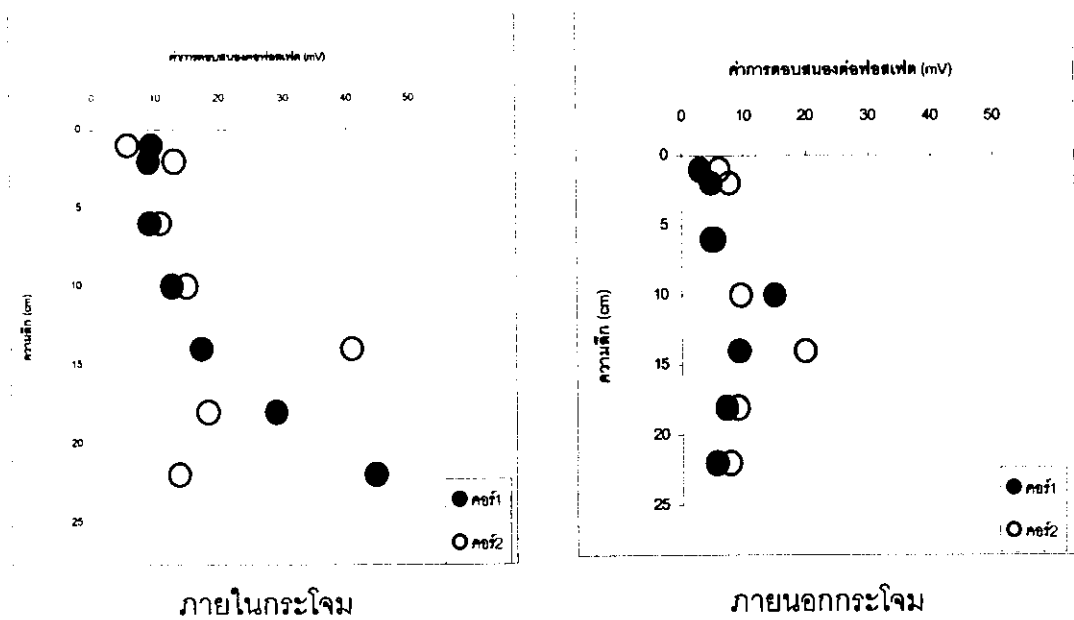
ผลการวิเคราะห์ค่าการตอบสนองของปริมาณฟอสเฟตในน้ำระหว่างตะกอน ที่ได้จากการเตรียมตัวอย่างในและนอกกระโจมไนโตรเจน แสดงไว้ในตาราง 3-8 และรูปที่ 3-10

จากการทดสอบทางสถิติด้วยวิธี two-way classification ANOVA (ดูรายละเอียดการวิเคราะห์ทางสถิติในหัวข้อ ๓-2 ในภาคผนวก ๓) พบว่าปริมาณฟอสเฟตมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

- 1) การเตรียมตัวอย่างภายในและภายนอกบรรยากาศไนโตรเจนไม่มีผลต่อปริมาณฟอสเฟตในน้ำระหว่างตะกอนที่ระดับความลึกต่างๆ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%
- 2) ปริมาณฟอสเฟตในน้ำระหว่างตะกอนที่ได้จากการเตรียมตัวอย่างตะกอนภายใน และภายนอกบรรยากาศไนโตรเจน มีความแตกต่างที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตาราง 3-8 ค่าการตอบสนองของเฉลี่ยปริมาณฟอสเฟต (mV) ในน้ำระหว่างตะกอน จากตัวอย่างที่เตรียมในและนอกกระโถมไนโตรเจน (n=3)

ความลึก (cm)	ค่าการตอบสนองเฉลี่ย (mV) ของปริมาณฟอสเฟต			
	ในกระโถมไนโตรเจน		นอกกระโถมไนโตรเจน	
	คอร์ 1	คอร์ 2	คอร์ 1	คอร์ 2
1	9.38	5.55	3.13	6.10
2	8.91	12.91	4.86	7.73
6	9.04	10.55	5.47	4.92
10	12.50	14.82	14.96	9.57
14	17.06	40.77	9.22	19.86
18	28.76	18.00	7.13	8.85
22	44.62	13.54	5.54	7.75



รูปที่ 3-10 ค่าการตอบสนองต่อปริมาณฟอสเฟตในน้ำระหว่างตะกอนตามความลึก จากตัวอย่างที่เตรียมในและนอกกระโถมไนโตรเจน

เนื่องจากการนำตะกอนออกมาจากสภาวะในธรรมชาติที่มีสภาวะเป็นรีดิวซิงค์ เมื่อนำมาสัมผัสออกซิเจน จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของเหล็กอย่างรวดเร็ว เกิดเป็นเหล็กออกไซด์ ซึ่งตก

ตะกอนร่วมกับฟอสเฟต (Bray *et al*, 1973) ทำให้ปริมาณฟอสเฟตที่ได้จากการเตรียมตัวอย่างภายนอกกระโจมน้อยกว่าภายในกระโจม ผลการศึกษาสอดคล้องกับ Watson *et al*. (1985) ซึ่งทำการศึกษาที่ Tamar Estuary ประเทศอังกฤษ ก็พบว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติ(95% C.L.) อย่างมีนัยสำคัญ ระหว่างการเตรียมตัวอย่างภายในและภายนอกกระโจมสำหรับการวิเคราะห์หาฟอสเฟต

ดังนั้นสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเตรียมตัวอย่าง คือ ภายในกระโจมไนโตรเจน เนื่องจากตัวอย่างแต่ละตัวอย่างใช้วิเคราะห์สารอาหารทั้ง 4 ชนิด

3.4. ข้อมูลคุณภาพน้ำภาคสนามของพื้นที่เก็บตัวอย่าง และลักษณะทางกายภาพของ ตัวอย่าง

ขณะเก็บตัวอย่างตะกอนเพื่อศึกษาสารอาหารปริมาณน้อยแต่ละชนิดในน้ำระหว่างตะกอนตามความลึก จาก 4 สถานี ในคลองอู่ตะเภา (รูปที่ 2-1 ในบทที่ 2) ทำการเก็บข้อมูลคุณภาพน้ำในภาคสนามทันที พร้อมทั้งบันทึกลักษณะทางกายภาพของตัวอย่างทุกคอร์ ข้อมูลภาคสนามและลักษณะทางกายภาพของตะกอนทุกคอร์ แสดงไว้ในตาราง 3-9 และ 3-10

ตาราง 3-9 ข้อมูลทางกายภาพและเคมีบริเวณจุดเก็บตัวอย่าง

สถานี	U1	U2	U3	U4
บริเวณ	ปากคลองอู่ตะเภา ต่อกับทะเลสาบ สงขลา	วัดท่าเมรุ	วัดคูเต่า	วัดนารังนก
วันที่เก็บตัวอย่าง	12 มีนาคม 2544	12 มีนาคม 2544	16 มีนาคม 2544	16 มีนาคม 2544
เวลาเก็บตัวอย่าง	14.25 น.	12.50 น.	11.45 น.	9.50 น.
ความลึก (m)	1	1	2.5-3.0	3.5
PH	9.19	7.45	6.05	6.17
Turbidity (NTU)	57.4	44.6	124	51.3
D.O. (mg/L)	9.83	3.22	4.12	3.47
Salinity (psu)	13	1	0	0
Redox potential (mV)	66	120	150	155
Conductivity (s/m)	2.18	0.213	0.00172	0.00161
Temperature (°C)	31.02	29.34	29.47	29.53
Total dissolved solids (g/L)	14	1.4	0.11	0.11

ตาราง 3-10 ข้อมูลทางกายภาพและลักษณะของตัวอย่าง

ข้อมูล	U1		U2		U3		U4	
	คอร์ 1	คอร์ 2	คอร์ 1	คอร์ 2	คอร์ 1	คอร์ 2	คอร์ 1	คอร์ 2
ความยาวตะกอนในคอร์ (cm)	30	27	35	33	29	33	29	24
สีตะกอนส่วนบน	น้ำตาลเหลือง	น้ำตาลเหลือง	น้ำตาลเหลือง	น้ำตาลเหลือง	น้ำตาลเทา มีสีดำบางส่วน	น้ำตาลเทา มีสีดำบางส่วน	น้ำตาล	น้ำตาล
สีตะกอนส่วนกลาง	น้ำตาลเทา	น้ำตาลเทา	น้ำตาลเทา	น้ำตาลเทา	น้ำตาลเทา มีสีดำบางส่วน	น้ำตาลเทา มีสีดำบางส่วน	น้ำตาลดำ	น้ำตาล
สีตะกอนส่วนล่าง	เทาดำ	เทาดำ	เทาดำ	เทาดำ	น้ำตาลเทา มีสีดำบางส่วน	น้ำตาลเทา มีสีดำบางส่วน	เทาดำ	น้ำตาล และขาวเทา
ลักษณะตะกอน	ดินละเอียด มีเศษไม้และสาหร่าย	ดินละเอียด มีเศษไม้และสาหร่าย	ดินโคลนปนทรายละเอียด	ดินโคลนปนทรายละเอียด	ผิวดินปนทรายละเอียด หยาบกว่าส่วนล่าง	ผิวดินปนทรายละเอียด หยาบกว่าส่วนล่าง	เนื้อละเอียด	เนื้อละเอียด
สิ่งมีชีวิตหน้าดิน	สาหร่าย หอย	สาหร่าย หอย	หอย	หอย	หนอน	-	หนอน	-
กลิ่นตะกอน	-	-	-	-	-	-	-	-

3.5. การวิเคราะห์น้ำเหนือตะกอน น้ำระหว่างตะกอนและตะกอนลึกตามระดับความลึก

3.5.1. ไนโตรต และไนเตรต

ไนโตรตตรวจพบในน้ำเหนือตะกอนเกือบทุกสถานี ยกเว้นสถานี U1 (บริเวณปากคลองอู่ตะเภา) ส่วนในน้ำระหว่างตะกอนไม่สามารถตรวจวัด เนื่องจากมีค่าน้อยกว่าขีดจำกัดการตรวจวัดของวิธีการนี้ สำหรับไนเตรตตรวจพบในน้ำเหนือตะกอนทุกสถานี ส่วนในน้ำระหว่างตะกอน พบในตะกอนสถานี U2 (วัดท่าเมรุ) เพียงคอร์เดียวเท่านั้น

ผลการวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรตในน้ำเหนือตะกอนและน้ำระหว่างตะกอนในตัวอย่างแต่ละสถานี แสดงไว้ในตาราง 3-11 ปริมาณไนเตรต แสดงไว้ในตาราง 3-12

ตาราง 3-11 ความเข้มข้นของไนโตรตในน้ำเหนือตะกอน และในน้ำระหว่างตะกอนตามระดับความลึก (หน่วยเป็น $\mu\text{mol/L}$)

ความลึก (cm)	U1		U2		U3		U4	
	คอร์ 1	คอร์ 2	คอร์ 1	คอร์ 2	คอร์ 1	คอร์ 2	คอร์ 1	คอร์ 2
OW	ND	ND	10.00	12.14	3.57	8.57	4.29	7.86
1	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
2	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
6	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
10	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
14	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
18	ND	-	ND	ND	ND	ND	-	-
22	-	-	ND		-	-	-	-

OW คือ น้ำเหนือดินตะกอน

ND คือ มีค่าน้อยกว่า $1.43 \mu\text{mol/L}$

ตาราง 3-12 ความเข้มข้นของไนเตรตในน้ำเหนือตะกอน และในน้ำระหว่างตะกอนตามระดับความลึก (หน่วยเป็น $\mu\text{mol/L}$)

ความลึก (cm)	U1		U2		U3		U4	
	คอร์ 1	คอร์ 2	คอร์ 1	คอร์ 2	คอร์ 1	คอร์ 2	คอร์ 1	คอร์ 2
OW	15.00	11.43	40.71	48.57	90.71	94.29	94.28	68.57
1	ND	ND	ND	22.86	ND	ND	ND	ND
2	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
6	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
10	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
14	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
18	ND	-	ND	ND	ND	ND	-	-
22	-	-	ND	ND	-	-	-	-

OW คือ น้ำเหนือดินตะกอน

ND คือ มีค่าน้อยกว่า $5.71 \mu\text{mol/L}$

ไนเตรตในน้ำเหนือตะกอนมีความเข้มข้นน้อยกว่า 1.43–12.14 ไมโครโมลต่อลิตร ซึ่งเป็นค่าที่พบในช่วงความเข้มข้นเดียวกับในน้ำที่ Tama Estuary ประเทศญี่ปุ่น (Usui *et al.*, 2001) และ Tamar Estuary ประเทศ อังกฤษ (Watson *et al.*, 1985) ส่วนปริมาณไนเตรตในน้ำระหว่างตะกอนในคลองอุตะแกมีค่าในช่วงเดียวกับไนเตรตในน้ำระหว่างตะกอนที่บ้านปากคลองจังหวัดภูเก็ต (Holmbor *et al.*, 2001) คือ น้อยกว่า 1.43 ไมโครโมลต่อลิตร

ไนเตรตในน้ำเหนือตะกอน ในคลองอุตะแก มีความเข้มข้นในช่วง 11.43–94.29 ไมโครโมลต่อลิตร ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วงเดียวกับใน Chesapeake Bay ประเทศสหรัฐอเมริกา (Kemp *et al.*, 1990) และ ใน Loch Duich ประเทศสกอตแลนด์ (Mortimer *et al.*, 1998b) ปริมาณไนเตรตในน้ำเหนือตะกอน ที่สถานี U3 (วัดคูเต่า) และ U4 (วัดนารังนก) มีค่าใกล้เคียงกัน และมากกว่าที่สถานี U2 บริเวณสถานี U1 ซึ่งสถานีปากคลอง พบปริมาณไนเตรตปริมาณน้อยกว่าบริเวณอื่น น่าจะเกิดจากการที่สาหร่ายขนาดใหญ่ (ซึ่งเห็นได้ในคอร์ตัวอย่าง) นำไนเตรตไปใช้ แล้วรีดิวซ์ไปเป็นแอมโมเนีย (Wetzel, 2001) ซึ่งสอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของค่าแอมโมเนียในน้ำเหนือตะกอนของสถานีเดียวกัน (ดูหัวข้อ 3.1.2)

ปริมาณไนเตรตในน้ำระหว่างตะกอนมีค่าน้อยมาก พบเพียงคอร์เดียวในสถานี U2 ที่ระดับผิวน้ำตะกอน ซึ่งก็มีปริมาณน้อยกว่าในน้ำเหนือตะกอน การลดลงของไนเตรตในน้ำระหว่างตะกอนอาจเกิดจากขบวนการดีไนตริฟิเคชัน (Kemp *et al.*, 1990)

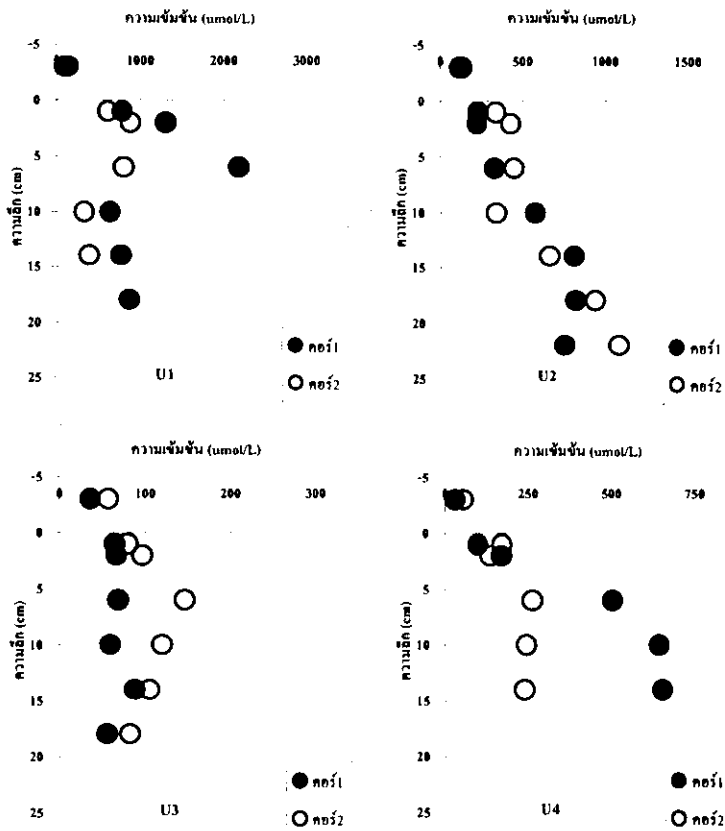
3.5.2. แอมโมเนีย

ผลการวิเคราะห์หาปริมาณแอมโมเนียในน้ำเหนือตะกอนและน้ำระหว่างตะกอนในตัวอย่างแต่ละสถานี แสดงไว้ในตาราง 3-13 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงปริมาณแอมโมเนียในน้ำระหว่างตะกอนตามความลึกของตะกอน แสดงไว้ในรูปที่ 3-11

ตาราง 3-13 ความเข้มข้นของแอมโมเนียในน้ำเหนือตะกอน และในน้ำระหว่างตะกอนตามระดับความลึก (หน่วยเป็น $\mu\text{mol/L}$)

ความลึก (cm)	U1		U2		U3		U4	
	คอร์ 1	คอร์ 2	คอร์ 1	คอร์ 2	คอร์ 1	คอร์ 2	คอร์ 1	คอร์ 2
OW	140.7	98.6	133.6	119.3	36.4	57.1	30.7	55.0
1	787.1	610.7	230.0	337.1	64.3	80.0	100.7	173.6
2	1304.3	885.7	226.4	427.9	66.4	97.1	169.3	135.7
6	2173.6	795.7	329.3	448.6	68.6	146.4	502.9	260.7
10	635.0	323.6	575.0	338.6	59.3	119.3	645.0	245.0
14	755.0	382.1	807.9	645.3	87.1	105.0	645.3	237.9
18	860.7	-	814.3	931.4	55.0	82.1	-	-
22	-	-	745.7	1070.7	-	-	-	-

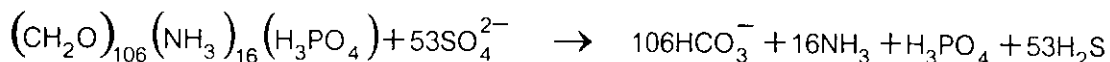
OW คือ น้ำเหนือดินตะกอน



รูปที่ 3-11 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงปริมาณแอมโมเนียในน้ำเหนือตะกอน และน้ำระหว่างตะกอนตามระดับความลึกของตะกอน

ปริมาณแอมโมเนียในน้ำเหนือตะกอนในคลองอู่ตะเภาอยู่ในช่วง 31-140 ไมโครโมลต่อลิตร โดยบริเวณ U3 และ U4 พบแอมโมเนียน้อยกว่าบริเวณ U1 และ U2 ทั้งนี้เนื่องจากบริเวณปากคลองอู่ตะเภา มีค่าความเค็ม 13 psu อุณหภูมิ 31°C ค่า DO 9.83 mg/L เนื่องจากเป็นเวลาบ่าย ซึ่งสาหร่ายมีการสังเคราะห์แสงเต็มที่ ทำให้ค่าออกซิเจนละลายในน้ำเพิ่มสูงขึ้นเกินกว่าค่าอิ่มตัว การละลาย (ค่าอิ่มตัวการละลายในน้ำความเค็ม 0 psu อุณหภูมิ 31°C มีค่าเท่ากับ 7.4 mg/L; และถ้าความเค็มมากขึ้นการละลายของออกซิเจนลดลง (Wetzel, 2001)) ซึ่งการสังเคราะห์แสงนี้ สาหร่ายได้นำไนเตรตไปใช้ แล้ววิดิวซ์ไปเป็นแอมโมเนีย (Wetzel, 2001) อย่างไรก็ตามการที่มีออกซิเจนละลายเพิ่มมากขึ้นก็จะออกซิไดซ์แอมโมเนียกลับไปเป็นไนเตรต ปริมาณแอมโมเนียในน้ำจึงขึ้นกับสมดุลของปฏิกิริยาทั้งสอง

การกระจายของแอมโมเนียในน้ำระหว่างตะกอนตามความลึกที่ U1 พบว่ามีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นตามความลึก จนมีค่าสูงสุดที่ระดับความลึก 6 เซนติเมตร จากนั้นจะมีความเข้มข้นลดลง ลักษณะของการกระจายความเข้มข้นแบบเดียวกันนี้ พบใน Tamar Estuary ประเทศอังกฤษ (Watson *et al.*, 1985) อธิบายได้ว่าอาจเกิดจากกระบวนการออกซิเดชันของสารอินทรีย์โดยซัลเฟตไอออน (ซึ่งมีมากขึ้นเมื่อน้ำมีความเค็มเพิ่มขึ้น) ทำให้เกิดแอมโมเนีย ดังปฏิกิริยา



ลักษณะการกระจายความเข้มข้นตามความลึกในตะกอนของสถานี U2 พบว่าความเข้มข้นของแอมโมเนียที่ผิวตะกอนมีค่าน้อยกว่าในที่ลึกลงไป โดยมีค่าเพิ่มขึ้นตามความลึก ซึ่งเกิดจากการย่อยสลายของสารอินทรีย์ ในสภาวะขาดแคลนออกซิเจน โดยอาศัยแบคทีเรีย (ammonifying bacteria) ทำให้เกิดแอมโมเนีย การกระจายความเข้มข้นตามความลึกลักษณะนี้ พบใน Indian River Estuary ประเทศสหรัฐอเมริกา (Montgomery *et al.*, 1979), Potomac River Estuary ประเทศสหรัฐอเมริกา (Callender and Hammond, 1982) และ Point Pelee ประเทศแคนาดา (Mayer *et al.*, 1999)

ความเข้มข้นของแอมโมเนียใน U3 และ U4 มีค่าต่ำกว่าใน U1 และ U2 โดยสถานี U3 ความเข้มข้นของแอมโมเนียมีค่าไม่ต่างกันในแต่ละระดับความลึก ขณะที่ U4 มีอยู่หนึ่งคอร์ที่มีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นตามความลึกและมีค่าไม่เปลี่ยนแปลงมีความลึกตั้งแต่ 12 เซนติเมตรลงไป

3.5.3. ฟอสเฟต

ผลการวิเคราะห์หาปริมาณฟอสเฟตในน้ำเหนือตะกอนและน้ำระหว่างตะกอน ในตัวอย่างแต่ละสถานี แสดงไว้ในตาราง 3-14 รูปที่ 3-12 แสดงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงปริมาณฟอสเฟตในน้ำระหว่างตะกอน ตามความลึกของตะกอน

ปริมาณฟอสเฟตในน้ำเหนือตะกอนในคลองอู่ตะเภาอยู่ในช่วง ND-4.38 ไมโครโมลต่อลิตร โดยมีความเข้มข้นใกล้เคียงกันในทั้ง 4 สถานี ฟอสเฟตในน้ำระหว่างตะกอนอยู่ในช่วง ND-57.19 ไมโครโมลต่อลิตร

ตาราง 3-14 ความเข้มข้นของฟอสเฟตในน้ำเหนือตะกอน และในน้ำระหว่างตะกอนตามระดับความลึก (หน่วยเป็น $\mu\text{mol/L}$)

ความลึก (cm)	U1		U2		U3		U4	
	คอร์ 1	คอร์ 2	คอร์ 1	คอร์ 2	คอร์ 1	คอร์ 2	คอร์ 1	คอร์ 2
OW	2.81	2.19	0.94	ND	2.19	4.06	4.38	1.56
1	2.50	1.88	0.94	ND	9.38	4.06	7.81	4.69
2	1.56	1.88	0.94	ND	10.63	4.69	5.00	9.38
6	0.94	0.94	1.56	4.38	*	5.94	1.88	2.50
10	1.56	22.50	1.56	5.00	5.31	17.50	1.88	1.88
14	12.81	57.19	6.88	12.19	18.44	19.69	5.63	5.00
18	18.44	-	5.94	7.50	4.38	24.38	-	-
22	-	-	6.56	8.75	-	-	-	-

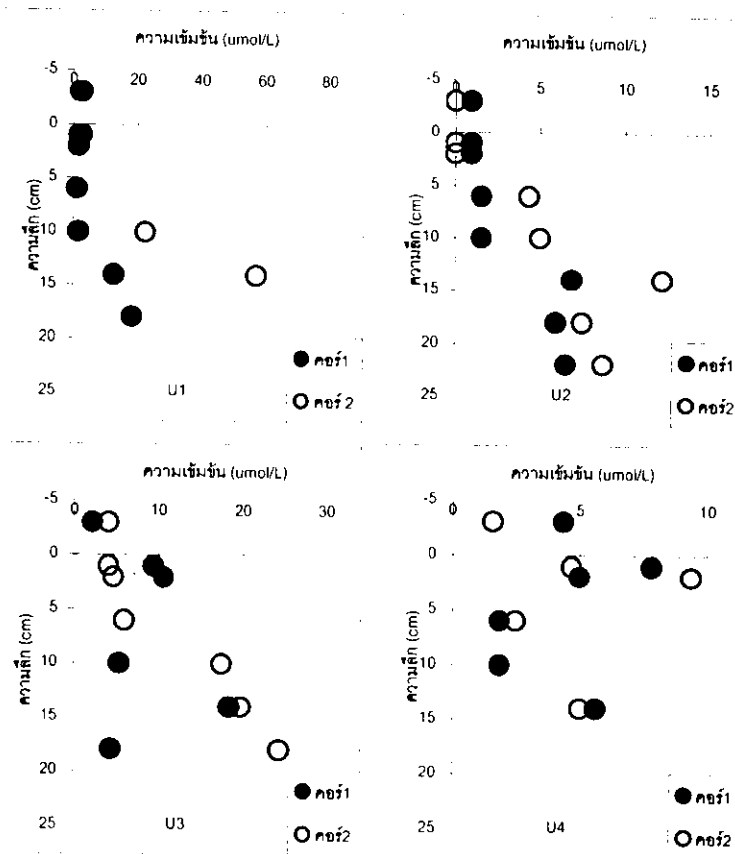
OW คือ น้ำเหนือดินตะกอน

* คือ ตัวอย่างหมด

ND คือ ต่ำกว่า $0.62 \mu\text{mol/L}$

การกระจายความเข้มข้นตามความลึกของฟอสเฟตในน้ำระหว่างตะกอน พบว่าฟอสเฟตมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นตามความลึก โดยสถานี U1, U2 และ U3 ฟอสเฟตมีค่าค่อนข้างคงที่ ถึงระดับความลึกประมาณ 10 เซนติเมตร แล้วจึงค่อย ๆ เพิ่มขึ้นเมื่อยิ่งลึกลงไป การเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นตามความลึกลักษณะนี้ พบที่บ้านปากคลอง จังหวัดภูเก็ต (Holmer *et al.*, 2001) การที่ฟอสเฟตในน้ำระหว่างตะกอนบริเวณชั้นบนมีความเข้มข้นต่ำกว่าข้างล่าง เพราะว่า ฟอสเฟตจับกับเหล็กออกไซด์ ซึ่งตกตะกอนออกมาเมื่อออกซิเจนและความเค็มแทรกซึมลงไป ในขณะที่ความลึกมากขึ้น ขาดแคลนออกซิเจนมาก ๆ เหล็กออกไซด์จะถูกรีดิวซ์ และปลดปล่อยฟอสเฟตออกมาสู่น้ำระหว่างตะกอน ความเข้มข้นของฟอสเฟตจึงสูงขึ้น

ส่วนสถานี U4 นั้นความเข้มข้นของฟอสเฟตที่บริเวณผิวหน้าตะกอนจะมีค่าสูงขึ้นไประดับลึก 1-2 ซม และจะลดลงไปจนถึงที่ระดับลึกประมาณ 5-10 เซนติเมตร แล้วจึงจะมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นอีก (ดูรูปที่ 3-12)



รูปที่ 3-12 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงปริมาณฟอสเฟตในน้ำเหนือตะกอน และน้ำระหว่างตะกอนตามระดับความลึกของตะกอน

อย่างไรก็ดีความเข้มข้นของฟอสเฟตและรูปแบบการแพร่กระจายในน้ำระหว่างตะกอนจะเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล ดังเช่นที่เกิดขึ้นที่ Humber Estuary ประเทศอังกฤษ (Mortimer *et al.*, 1998a) ที่ Potomac River Estuary ประเทศสหรัฐอเมริกา (Callender and Hammond, 1982)

3.6. ปริมาณสารอาหารปริมาณน้อยในน้ำระหว่างตะกอนเปรียบเทียบกับบริเวณอื่นๆของโลก

ปริมาณสารอาหารในน้ำระหว่างตะกอนจากชุกตะกอนเอสทูรี เปรียบเทียบกับปริมาณที่พบในบริเวณอื่นของโลก แสดงไว้ในตาราง 1-5 จะเห็นได้ว่าปริมาณสารอาหารปริมาณน้อยทั้ง 4 ชนิดในน้ำระหว่างตะกอนมีระดับความเข้มข้นไม่แตกต่างกับที่พบในบริเวณอื่น ๆ

3.7. ปัจจัยที่มีผลต่อแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารอาหารตามระดับความลึก

3.7.1. เหล็ก

ความเข้มข้นของเหล็กในน้ำเหนือตะกอนและน้ำระหว่างตะกอนในตัวอย่างแต่ละสถานี แสดงไว้ในตาราง 3-15 รูปที่ 3-13 แสดงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของเหล็กในน้ำระหว่างตะกอน ตามความลึกตะกอน

ตาราง 3-15 ความเข้มข้นเหล็กในน้ำเหนือตะกอนและน้ำระหว่างตะกอนตามระดับความลึก (หน่วยเป็น $\mu\text{mol/L}$)

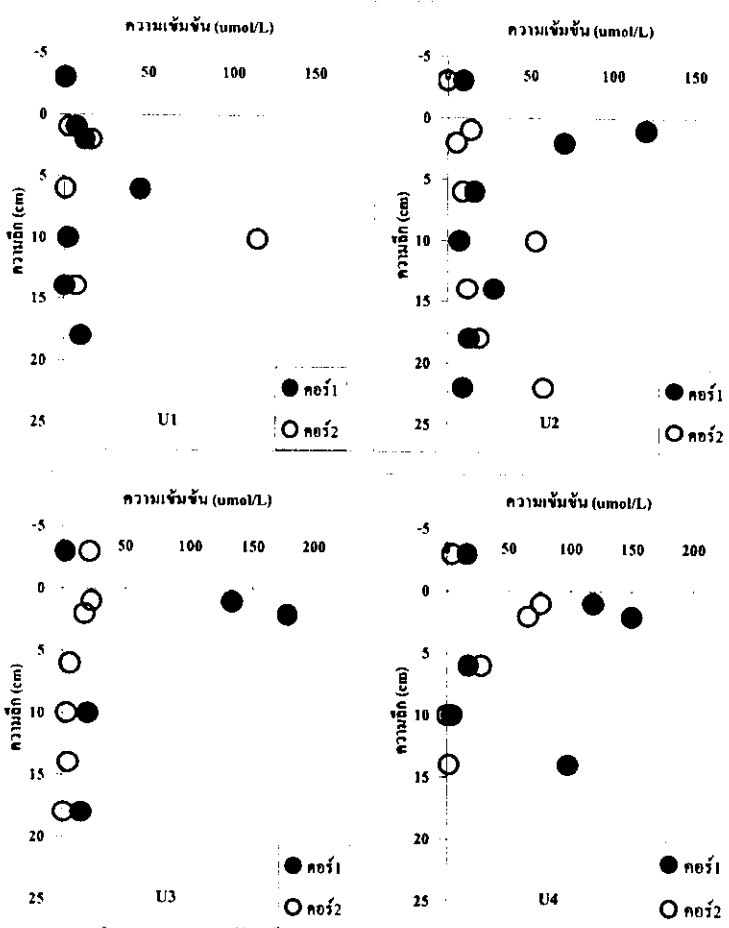
ความลึก (cm)	U1		U2		U3		U4	
	คอร์ 1	คอร์ 2	คอร์ 1	คอร์ 2	คอร์ 1	คอร์ 2	คอร์ 1	คอร์ 2
OW	0.50	1.07	9.60	ND	2.47	21.65	16.35	4.15
1	7.45	3.04	120.09	13.97	133.18	23.44	118.33	76.01
2	12.44	15.76	70.92	5.48	179.05	17.31	150.19	65.55
6	45.43	0.95	16.44	8.95	*	5.64	17.96	28.22
10	2.38	114.81	7.00	53.23	20.04	2.95	4.49	0.59
14	0.72	7.11	28.16	12.05	*	4.37	97.40	2.22
18	9.99	-	12.98	19.19	14.61	1.00	-	-
22	-	-	9.60	58.26	-	-	-	-

OW คือ น้ำเหนือดินตะกอน

* คือ ตัวอย่างหมด

ND คือ มีค่าน้อยกว่า $0.11 \mu\text{mol/L}$

ความเข้มข้นของเหล็กในน้ำระหว่างตะกอนของทุกสถานี ยกเว้นสถานี U1 (ซึ่งอยู่ปากคลองและได้รับอิทธิพลจากน้ำเค็มมากที่สุด) จะมีความเข้มข้นสูงที่ระดับผิวน้ำ แล้วค่อยลดต่ำลงในที่ลึกลงไป ทั้งนี้เนื่องจากที่ตะกอนผิวน้ำ (บริเวณใกล้รอยต่อระหว่างมวลน้ำกับผิวน้ำของตะกอน) มีการปลดปล่อยเหล็กเข้าสู่ น้ำระหว่างตะกอนโดยการละลายของเหล็กออกไซด์ในตะกอน ซึ่งเกิดจากการเพิ่มขึ้นของสภาวะรีดิวซ์ (Mayer *et al.*, 1999) พบความเข้มข้นของเหล็กมีค่าสูงสุด ($120-180 \mu\text{mol/L}$) ที่ระดับความลึกประมาณ 2 เซนติเมตร



รูปที่ 3-13 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงปริมาณเกลือในน้ำเหนือตะกอน และน้ำระหว่างตะกอน ตามระดับความลึกของตะกอน

สำหรับสถานีปากคลองอู่ตะเภา หรือ U1 พบความเข้มข้นสูงสุดที่ความลึก ประมาณ 6 เซนติเมตร น่าจะเกิดเนื่องจากสมดุลระหว่าง 2 ปฏิกริยา คือ การตกตะกอนเป็นเกลือออกไซด์ได้เร็วขึ้น (ในบริเวณออกซิก) เมื่อความเค็มเพิ่มขึ้น และปฏิกริยาการละลายของเกลือออกไซด์เมื่อสภาวะรีดิวซ์เพิ่มขึ้น

ในที่ลึกลงไป ความเข้มข้นของเกลือมีค่าลดลง อาจเนื่องจากเกลือเกิดการตกตะกอนกับแอนไอออนที่มีในน้ำระหว่างตะกอน เช่น ฟอสเฟต คาร์บอนเนต และซัลไฟด์ (Mayer *et al.*, 1999)

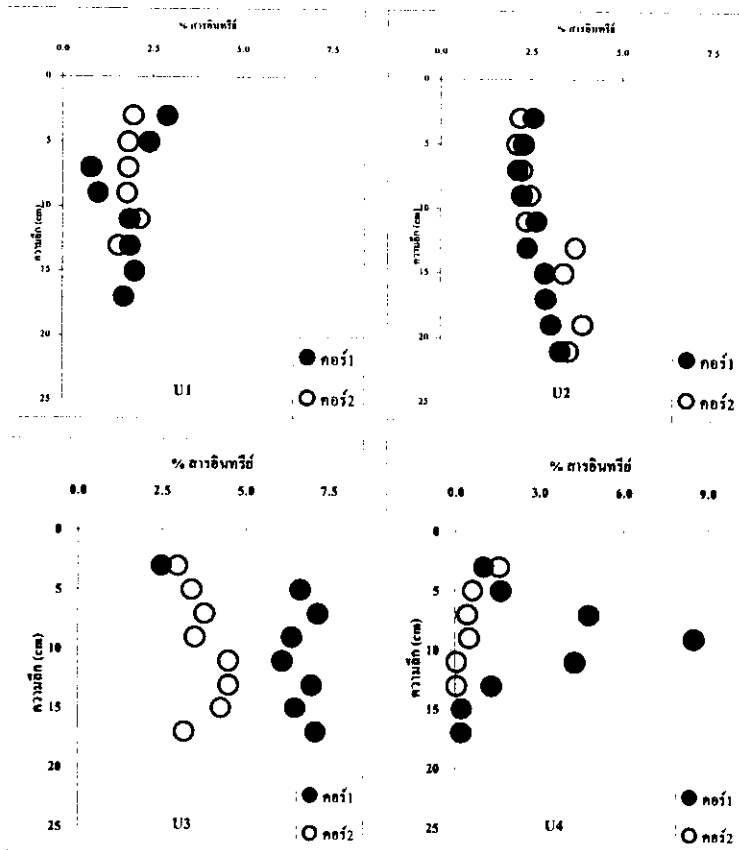
3.7.2. สารอินทรีย์ประเภทออกซิโดซิง่าย

ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ประเภทออกซิโดซิง่ายในน้ำเหนือตะกอนและน้ำระหว่างตะกอน ในตัวอย่างแต่ละสถานี แสดงไว้ในตาราง 3-16 รูปที่ 3-14 แสดงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารอินทรีย์ประเภทออกซิโดซิง่ายในน้ำระหว่างตะกอน ตามความลึกตะกอน

ตาราง 3-16 ปริมาณสารอินทรีย์ประเภทออกซิโดซิง่ายในตะกอนตามระดับความลึก (หน่วยเป็น %)

ความลึก (cm)	U1		U2		U3		U4	
	คอร์ 1	คอร์ 2	คอร์ 1	คอร์ 2	คอร์ 1	คอร์ 2	คอร์ 1	คอร์ 2
3	2.93	1.97	2.55	2.19	2.51	2.97	1.05	1.56
5	2.40	1.83	2.29	2.11	6.66	3.38	1.65	0.64
7	0.80	1.83	2.15	2.26	7.17	3.75	4.76	0.44
9	1.01	1.81	2.26	2.47	6.41	3.47	8.51	0.49
11	1.87	2.15	2.64	2.38	6.10	4.48	4.23	0.06
13	1.88	1.55	2.41	3.73	6.99	4.49	1.31	0.04
15	2.02	-	2.88	3.41	6.50	4.27	0.24	-
17	1.72	-	2.91	2.91	7.12	3.17	0.21	-
19	-	-	3.06	3.91	-	-	-	-
21	-	-	3.30	3.54	-	-	-	-

ระดับความเข้มข้นสารอินทรีย์ในตะกอนตามระดับความลึกของทุกสถานีมีค่าไม่ค่อยต่างกัน ยกเว้นเพียงคอร์เดียวของสถานี U4 อาจเนื่องมาจากตะกอนที่ตกตะกอนในบริเวณนี้ค่อนข้างไม่คงที่ ซึ่งมีสาเหตุมาจากการแปรปรวนของกระแสน้ำ เพราะเป็นบริเวณที่มีการบรรจบของคลองคูตะเทาและคลองเตย ทำให้อัตราการตกตะกอน ณ จุดนั้นไม่สม่ำเสมอ ส่วนที่ U3 ปริมาณสารอินทรีย์ในตะกอนมีค่าคงที่ตามความลึก แต่ระดับความเข้มข้นต่างกัน ซึ่งอาจจะเกิดเนื่องจากอัตราการตกตะกอนที่ไม่เท่ากันของจุดเก็บคอร์ทั้งสอง หรืออัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ต่างกัน

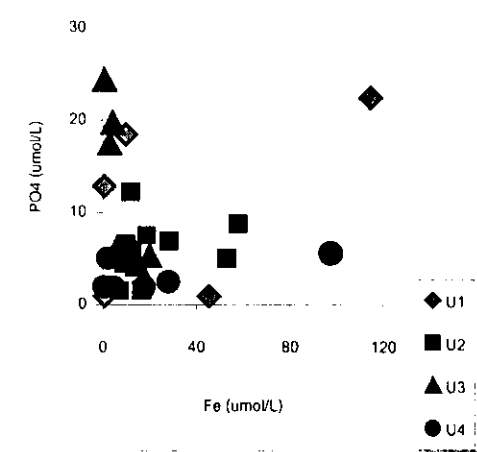
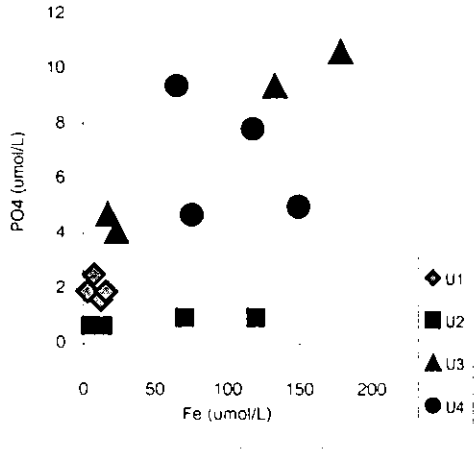
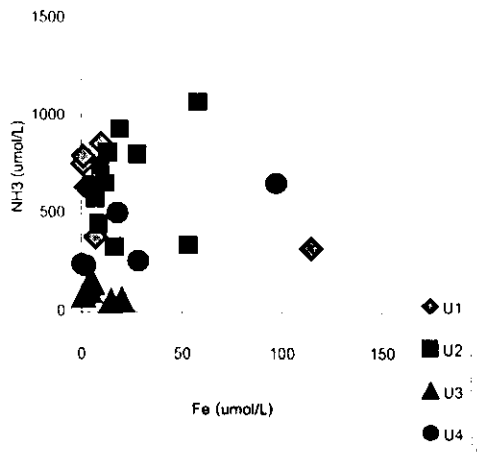
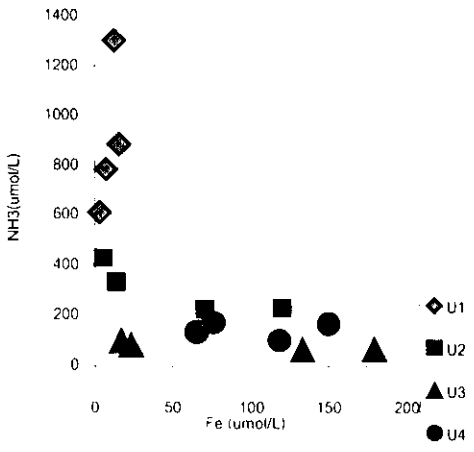


รูปที่ 3-14 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารอินทรีย์ประเภทออกซิไดซ์ง่าย ในตะกอนตามระดับความลึกของตะกอน

3.8. ความสัมพันธ์ของ แอมโมเนีย ฟอสเฟต และ เหล็ก ในน้ำระหว่างตะกอน ที่สถานีต่างๆ

ความสัมพันธ์ระหว่างแอมโมเนีย และฟอสเฟตกับเหล็กในน้ำระหว่างตะกอนในแต่ละสถานีดังแสดงในรูปที่ 3-15 พบว่าในบริเวณออกซิเจนโซน (oxic zone) ซึ่งหมายถึงบริเวณที่ปริมาณออกซิเจนละลายพอมืออยู่ แต่สภาวะรีดิวซ์ค่อย ๆ เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เหล็กออกไซด์จึงละลายออกสู่น้ำระหว่างตะกอน ดังนั้นเมื่อความลึกเพิ่มขึ้นจะทำให้ปริมาณของเหล็กเพิ่มขึ้น ขณะเดียวกันฟอสเฟตก็จะเพิ่มขึ้นเพราะว่าถูกปลดปล่อยออกมา แอมโมเนียก็เพิ่มขึ้นด้วยเนื่องมาจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ จนกระทั่งถึงบริเวณที่เป็นทรานซิชันโซน (transition zone) ปริมาณของสารทั้งสามก็จะค่อยลดลงตามความลึก เนื่องจากเหล็กจับตัวแอนไอออนที่มีในน้ำระหว่างตะกอน (ดังกล่าวมาแล้วในหัวข้อ 3.7.1) เกิดการตกตะกอนของเหล็กออกจากรู้น้ำระหว่างตะกอน (Mayer *et al.*, 1999) ดังจะเห็นได้รูปแบบการแพร่กระจายส่วนใหญ่ของสารทั้งสามดังหัวข้อก่อนหน้านี

อย่างไรก็ดีรูปแบบการแพร่กระจายของสารทั้งสามที่แตกต่างออกไป อาจเกิดเนื่องจากสาเหตุหลายประการ อาทิ บริเวณออกซิเจน อาจเกิดการแพร่เข้าหรือออกของสารอาหารและสารอื่น ระหว่างน้ำระหว่างตะกอนกับน้ำเหนือตะกอน ส่วนในที่ลึกลงไปซึ่งมีสภาวะรีดิวซ์มาก ปฏิกิริยารีดักชันของโลหะกับแอนไอออนที่มีอยู่ในน้ำระหว่างตะกอน ยังไม่สามารถอธิบายได้ในรายละเอียด ซึ่งจำเป็นต้องมีการศึกษาต่อไปอีก



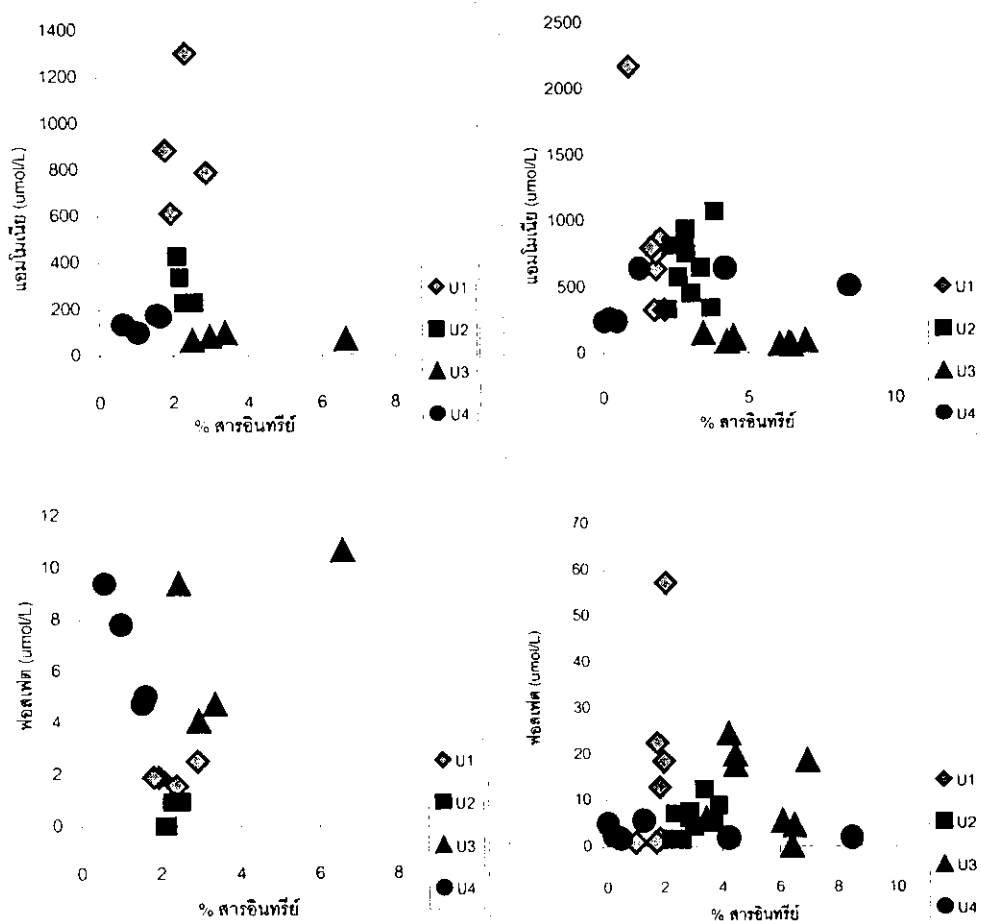
ผิวน้ำตะกอน 1-2 เซนติเมตร

ตะกอนลึก ตั้งแต่ 6 เซนติเมตรลงไป

รูปที่ 3-15 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแอมโมเนีย และฟอสเฟตกับเหล็กในน้ำระหว่างตะกอน ในสถานีต่าง ๆ

3.9. ความสัมพันธ์ของ แอมโมเนีย ฟอสเฟต และ สารอินทรีย์ออกซิไดซ์ง่าย ในสถานีต่างๆ

ความสัมพันธ์ระหว่างแอมโมเนีย และฟอสเฟตกับสารอินทรีย์ออกซิไดซ์ง่าย ดังแสดงในรูปที่ 3-15



ผิวน้ำตะกอน 1-2 เซนติเมตร

ตะกอนลึก ตั้งแต่ 6 เซนติเมตรลงไป

รูปที่ 3-16 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแอมโมเนีย และฟอสเฟตกับสารอินทรีย์ออกซิไดซ์ง่าย ในน้ำระหว่างตะกอน ในสถานีต่างๆ

เนื่องจากสารอินทรีย์ออกซิไดซ์ง่ายในแต่ละสถานีมีแนวโน้มการกระจายปริมาณตามความลึกค่อนข้างคงที่ ดังนั้นไม่สามารถอธิบายความสัมพันธ์ได้ว่า สารอาหารที่เกิดในน้ำระหว่างตะกอน เกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ออกซิไดซ์ง่ายในยังไม่สามารถอธิบายได้ในรายละเอียด ซึ่งจำเป็นต้องมีการศึกษาต่อไปอีก เพื่อหาปัจจัยอื่นที่สามารถนำมาอธิบายความสัมพันธ์นี้ได้

3.10. สัดส่วนมวลของไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัสในน้ำเหนือตะกอน

การศึกษาว่าไนโตรเจนหรือฟอสเฟตเป็นปัจจัยจำกัดหรือไม่ อาจพิจารณาจากอัตราส่วนมวลของไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัสที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิต หาก $N/P < 7$ แสดงว่า ไนโตรเจนเป็นสารอาหารจำกัด ถ้า $N/P > 7$ แสดงว่าฟอสฟอรัสเป็นสารอาหารจำกัด ถ้า $N/P = 7$ ปัจจัยจำกัด อาจเป็นสารอาหารทั้งสอง หรือ แสง หรืออุณหภูมิ (Ryding and Rast, 1989)

ตาราง 3-17 สัดส่วนมวลของสารอาหารอนินทรีย์ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำเหนือตะกอน

สถานี		สารประกอบไนโตรเจน ($\mu\text{g/L}$)				ฟอสฟอรัส ($\mu\text{g/L}$)	สัดส่วนมวล N/P
		ไนไตรต์	ไนเตรต	แอมโมเนีย	รวม		
U1	คอร์ 1	ND	210.00	1961.4	2171.4	87.02	24.95
	คอร์ 2	ND	160.02	1380.4	1540.4	67.82	22.71
U2	คอร์ 1	140.00	569.94	1870.4	2580.3	29.11	88.64
	คอร์ 2	169.96	679.98	1670.2	2520.1	ND	-
U3	คอร์ 1	49.98	1269.94	509.6	1828.5	67.82	26.97
	คอร์ 2	119.98	1320.06	799.4	2239.4	125.74	17.81
U4	คอร์ 1	60.06	1319.92	429.8	1809.8	135.64	13.34
	คอร์ 2	110.04	959.98	770.0	1840.0	48.31	38.09

สัดส่วนมวลของสารอาหารอนินทรีย์ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ในน้ำเหนืออนุภาคตะกอน แสดงไว้ในตาราง 3-17 ซึ่งพบว่าน้ำเหนือตะกอนของทุกสถานี สัดส่วนมวลของ $N/P > 7$ ดังนั้น ฟอสฟอรัสจึงเป็นปัจจัยจำกัด