บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูล

การวิจัยครั้งนี้ศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลานิล ที่เกิดจากการใช้ระบบถังกรองทรายแบบไหลไม่ต่อเนื่องในการกำจัดแพลงค์ตอนออกจากน้ำหมุนเวียนของบ่อที่ระดับต่างๆ โดยทำการทดลองปรับปรุงคุณภาพน้ำ 3 บ่อ ด้วยอัตราการหมุนเวียนน้ำเท่ากับ 5, 10 และ 20 % ของน้ำในบ่อที่ 2, 3 และ 4 ตามลำดับ ส่วนอีก 1 บ่อคือบ่อที่ 1 ไม่มีการปรับปรุงคุณภาพน้ำเป็นบ่อควบคุม การเลี้ยงปลาทั้ง 4 บ่อ เป็นการเลี้ยงแบบระบบปิด ไม่มีการเติมน้ำใหม่ นอกจากการเติมทดแทนการระเหยของน้ำที่เกิดขึ้น การวิจัยนี้ได้ทำการทดลองและเลี้ยงปลานิลเป็นเวลาทั้งสิ้น 140 วัน (20 อาทิตย์) ซึ่งผลการทดลองที่ได้มีดังนี้

4.1 การเปลี่ยนแปลงของลักษณะของน้ำที่เกิดจากการกำจัดแพลงค์ตอนในระดับต่างๆ

ลักษณะสมบัติของน้ำในบ่อทดลองเลี้ยงปลานิลและน้ำออกจากถังกรองทรายแบบไม่ต่อเนื่องได้สรุปไว้ในตารางที่ 4.1 และลักษณะสมบัติของน้ำทิ้งออกจากบ่อทดลองเลี้ยงปลานิลในวันจับปลา (วันที่ 140) แสดงไว้ในตารางที่ 4.2

4.1.1 การเปลี่ยนแปลงของคุณภาพน้ำทั่วไป

4.1.1.1 อุณหภูมิตลอดการทดลอง

ในรูปที่ 4.1 จะแสดงว่าอุณหภูมิที่วัดได้ตลอดการทดลองเป็นตัวแปรที่ไม่สามารถควบคุมได้เนื่องจากขึ้นกับสภาพอากาศภายนอกของสิ่งแวดล้อม ความสำคัญของอุณหภูมิที่มีต่อปลาที่เลี้ยงคือ อุณหภูมิของน้ำจะมีผลต่อกระบวนการต่างๆ ภายในร่างกายของปลาเป็นอย่างมาก เช่น การย่อยอาหาร การกินอาหาร การเคลื่อนไหว การหายใจ การสืบพันธุ์และการเจริญเติบโต นอกจากนี้อุณหภูมิยังมีผลต่อค่าการละลายของก๊าซชนิดต่างๆ ในน้ำ เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซออกซิเจน และก๊าซไนโตรเจน ซึ่งโดยทั่วไปหากอุณหภูมิของน้ำสูง จะทำให้ก๊าซชนิดต่างๆ สามารถละลายในน้ำได้น้อยลง

ปลาแต่ละชนิดจะมีอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตแตกต่างกันไป ปลานิลสามารถทนต่ออุณหภูมิได้ในช่วงกว้างคือตั้งแต่ 10.0-42.0 องศาเซลเซียส แต่อุณหภูมิที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตอยู่ระหว่าง 19-28 องศาเซลเซียส (มานพ, 2536) และจากการเก็บข้อมูลตลอดการทดลองได้ผลดังแสดงตามตาราง ก-1 ภาคผนวก ก และแสดงดังรูปที่ 4.1 โดยมีค่าเฉลี่ย ค่าสูงสุด และค่าต่ำสุดรวมตลอดการ

ตารางที่ 4.1 สรุปลักษณะสมบัติของน้ำในบ่อทดลองเลี้ยงปลานิลและน้ำออกจากถังกรองทรายแบบไหลไม่ต่อเนื่อง

พารามิเตอร์	หน่วย	ค่าทางสถิติ	น้ำในบ่อทดลอง			
			บ่อที่ 1	บ่อที่ 2	บ่อที่ 3	บ่อที่ 4
อุณหภูมิ	องศาเซลเซียส	ค่าเฉลี่ย	29.8	29.8	29.7	29.8
		S.D.	0.4	0.4	0.4	0.4
พีเอช	-	ค่าเฉลี่ย	7.75	7.72	7.70	8.18
		S.D.	1.00	0.94	0.93	0.57
ออกซิเจนละลายน้ำ	มก./ล.	ค่าเฉลี่ย	7.1	7.2	6.9	7.7
		S.D.	2.1	1.2	1.3	0.6
ของแข็งแขวนลอย	มก./ล.	ค่าเฉลี่ย	612	397	336	289
		S.D.	401	215	192	159
ซีโอดีละลายน้ำ	มก./ล.	ค่าเฉลี่ย	87.32	86.84	79.03	71.37
		S.D.	41.69	49.22	31.55	39.31
คาร์บอนไดออกไซด์	มก./ล.	ค่าเฉลี่ย	12.15	9.11	8.69	4.89
		S.D.	3.34	3.27	5.20	1.39
ไนไตรต์	มก./ล.ไนโตรเจน	ค่าเฉลี่ย	3.226	2.064	2.370	0.788
		S.D.	7.028	3.289	3.591	1.302
ไนเตรต	มก./ล.ไนโตรเจน	ค่าเฉลี่ย	5.39	8.87	12.10	3.09
		S.D.	6.22	11.48	13.91	4.79
แอมโมเนีย	มก./ล.ไนโตรเจน	ค่าเฉลี่ย	2.07	1.41	0.86	0.76
		S.D.	2.51	1.58	0.42	0.31
ทีเคเอ็น	มก./ล.ไนโตรเจน	ค่าเฉลี่ย	4.16	2.47	2.56	2.38
		S.D.	2.28	0.89	1.23	0.80
ฟอสฟอรัส	มก./ล.	ค่าเฉลี่ย	13.67	10.45	9.72	0.99
		S.D.	13.09	9.53	10.28	0.65
สภาพด่าง	มก./ล.หินปูน	ค่าเฉลี่ย	138	107	116	163
		S.D.	26.2	31.5	12.8	20.8
ความกระด้าง	มก./ล.หินปูน	ค่าเฉลี่ย	151	147	148	150
		S.D.	49.4	45.1	50.3	49.2
คาร์บอนทั้งหมด	มก./ล.	ค่าเฉลี่ย	45.86	40.68	40.20	55.93
		S.D.	7.57	5.48	4.23	8.42
อนินทรีย์คาร์บอน	มก./ล.	ค่าเฉลี่ย	17.73	17.28	14.03	37.74
		S.D.	2.89	4.59	3.98	1.73
อินทรีย์คาร์บอน	มก./ล.	ค่าเฉลี่ย	28.12	23.39	26.17	18.19
		S.D.	4.74	2.24	0.68	6.69
ของแข็งจมตัว	มล./ล.	ค่าเฉลี่ย	89	30	43	125
		S.D.	41	9	31	88

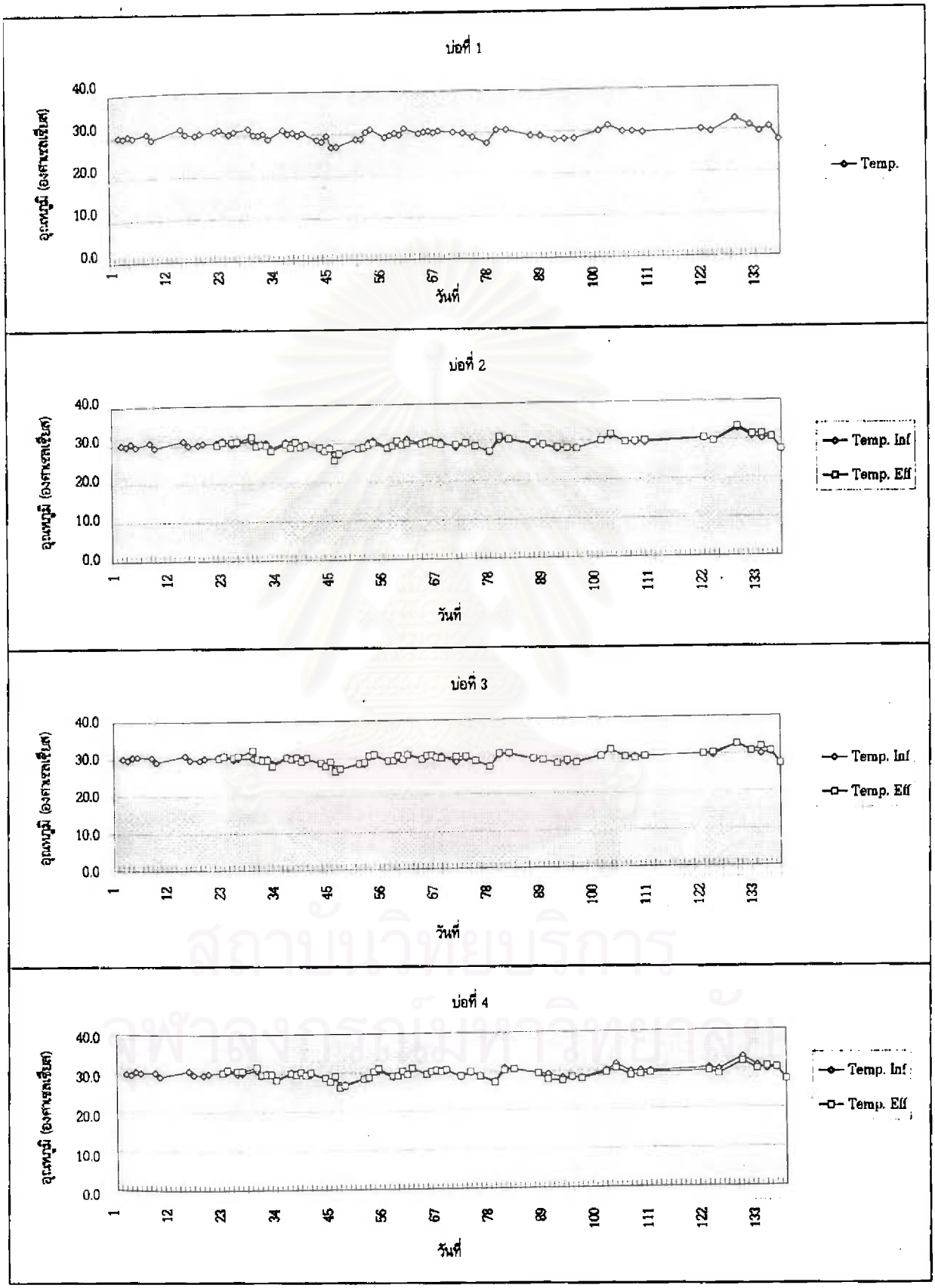
ตารางที่ 4.1 (ต่อ) สรุปลักษณะสมบัติของน้ำในบ่อทดลองเลี้ยงปลานิลและน้ำออกจากถังกรองทรายแบบไหลไม่ต่อเนื่อง

พารามิเตอร์	หน่วย	ค่าทางสถิติ	น้ำออกจากถังกรอง		
			ถังที่ 2	ถังที่ 3	ถังที่ 4
อุณหภูมิ	องศาเซลเซียส	ค่าเฉลี่ย	29.8	29.8	29.4
		S.D.	0.6	0.6	0.5
พีเอช	-	ค่าเฉลี่ย	7.26	7.27	7.54
		S.D.	0.44	0.46	0.29
ออกซิเจนละลายน้ำ	มก./ล.	ค่าเฉลี่ย	7.1	6.6	5.9
		S.D.	0.4	0.8	0.5
ของแข็งแขวนลอย	มก./ล.	ค่าเฉลี่ย	5	18	13
		S.D.	5	19	21
ซีโอดีละลายน้ำ	มก./ล.	ค่าเฉลี่ย	79.24	85.10	80.57
		S.D.	20.55	17.83	39.54
คาร์บอนไดออกไซด์	มก./ล.	ค่าเฉลี่ย	8.19	8.61	5.28
		S.D.	4.60	4.29	2.12
ไนไตรต์	มก./ล.ไนโตรเจน	ค่าเฉลี่ย	1.327	1.426	0.557
		S.D.	1.684	2.564	0.980
ไนเตรต	มก./ล.ไนโตรเจน	ค่าเฉลี่ย	11.96	10.24	4.72
		S.D.	10.30	11.89	5.57
แอมโมเนีย	มก./ล.ไนโตรเจน	ค่าเฉลี่ย	1.37	1.63	1.33
		S.D.	0.64	0.52	0.72
ทีเคเอ็น	มก./ล.ไนโตรเจน	ค่าเฉลี่ย	2.48	2.69	2.84
		S.D.	0.44	1.26	1.56
ฟอสฟอรัส	มก./ล.	ค่าเฉลี่ย	12.44	15.48	1.38
		S.D.	9.81	13.98	0.78
สภาพด่าง	มก./ล.หินปูน	ค่าเฉลี่ย	103	124	158
		S.D.	36.7	49.0	27.5
ความกระด้าง	มก./ล.หินปูน	ค่าเฉลี่ย	173	173	179
		S.D.	33.0	35.0	31.7
คาร์บอนทั้งหมด	มก./ล.	ค่าเฉลี่ย	40.81	49.99	60.25
		S.D.	5.59	7.29	10.31
อนินทรีย์คาร์บอน	มก./ล.	ค่าเฉลี่ย	20.16	27.81	46.29
		S.D.	6.19	6.95	3.77
อินทรีย์คาร์บอน	มก./ล.	ค่าเฉลี่ย	20.65	22.18	14.14
		S.D.	2.05	0.81	7.25
ของแข็งจมตัว	มล./ล.	ค่าเฉลี่ย	-	-	-
		S.D.	-	-	-

ตารางที่ 4.2 ลักษณะสมบัติของน้ำทิ้งออกจากบ่อทดลองเลี้ยงปลานิลในวันจับปลา
(วันที่ 140 ของการทดลอง เก็บน้ำตัวอย่างที่เวลา 10:00 น.)

พารามิเตอร์	หน่วย	น้ำในบ่อทดลอง			
		บ่อที่ 1	บ่อที่ 2	บ่อที่ 3	บ่อที่ 4
อุณหภูมิ	เซลเซียส	26.7	27.2	27.1	27.2
พีเอช	-	7.41	7.48	7.38	8.24
สภาพนำไฟฟ้า	ไมโครซีเมนต์/ซม.	417	420	406	353
ของแข็งแขวนลอย	มก./ล.	1,532	740	448	356
ซีโอดีละลายน้ำ	มก./ล.	57.49	73.45	65.47	83.83
ออกซิเจนที่ละลายน้ำ	มก./ล.	6.4	7.6	8.0	8.6
ไนไตรท์	มก./ล.N	0.007	0.014	0.091	0.066
ไนเตรต	มก./ล.N	0.13	0.56	6.54	0.45
แอมโมเนีย	มก./ล.N	1.42	1.26	1.26	1.32
ทีเคเอ็น	มก./ล.N	2.85	2.14	4.35	1.83
ไนโตรเจนทั้งหมด	มก./ล.N	2.99	2.72	10.98	2.35
ฟอสฟอรัสทั้งหมด	มก./ล.P	22.00	18.50	18.00	1.50
สภาพด่าง	มก./ล.หินปูน	140	120	101	150
ความกระด้าง	มก./ล.หินปูน	160	146	134	135
คาร์บอนไดออกไซด์	มก./ล.	13.00	9.66	11.33	2.23
ของแข็งจมตัว	มล./ล.	100	41	20	19

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.1 อุณหภูมิของน้ำตลอดการทดลอง

ทดลองแสดงตามตารางที่ 4.3 ซึ่งจากข้อมูลดังกล่าวจะเห็นได้ว่าอุณหภูมิตลอดการทดลองมีค่าอยู่ระหว่าง 25.6-33.4 องศาเซลเซียส และมีค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิในบ่อเลี้ยงปลาบ่อที่ 1, 2, 3 และ 4 เท่ากับ 29.81, 29.77, 29.74 และ 29.76 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าที่สูงกว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของปลานิลเล็กน้อย

4.1.1.2 ค่าออกซิเจนละลายน้ำ

ค่าออกซิเจนละลายน้ำมีความสำคัญมากในการเลี้ยงปลาเนื่องจากปลาต้องใช้ในการหายใจ ดังนั้นย่อมจะขาดออกซิเจนไม่ได้ ความสามารถในการละลายน้ำได้ของก๊าซออกซิเจนขึ้นอยู่กับ ความดันอากาศ อุณหภูมิ และปริมาณแกลือแร่ที่ละลายในน้ำนั้น ในการทดลองนี้บ่อเลี้ยงปลาทั้ง 4 บ่อ จะได้รับออกซิเจนในปริมาณที่เท่าๆ กันหรือใกล้เคียงกันจากการให้อากาศโดยเครื่องให้อากาศรุ่นเดียวกัน แรงดันเท่ากัน และตลอดการทดลองได้ข้อมูลค่าออกซิเจนละลายน้ำดังแสดงในตาราง ก-2 ภาคผนวก ก และแสดงดังรูปที่ 4.2 โดยมีค่าเฉลี่ย ค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดรวมตลอดการทดลองแสดงในตารางที่ 4.4 และตารางที่ 4.5 ได้สรุปเวลาในการเปิดและปิดเครื่องเติมอากาศเพื่อเพิ่มออกซิเจนให้แก่บ่อเลี้ยงปลาทั้ง 4 บ่อ

จากรูปที่แสดงค่าออกซิเจนละลายน้ำในบ่อปลาทุกบ่อ จะเห็นได้ว่าในช่วงก่อนที่จะมีการกรองน้ำ (1-22 วันแรกของการทดลอง) ค่าออกซิเจนละลายน้ำทุกบ่อมีค่าสูงกว่าค่าออกซิเจนละลายน้ำของทุกบ่อในช่วง 4 เดือนหลังที่มีการกรองน้ำ สาเหตุอาจเป็นเพราะในช่วงต้นของการเลี้ยงปลายังมีของเสีย เช่น อาหารที่ปลากินไม่หมด ของเสียจากการขับถ่าย ซึ่งเป็นสารอินทรีย์สะสมอยู่ในบ่อไม่มาก จึงมีการดึงเอาออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำไปใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ไม่มากนัก ดังนั้นค่าออกซิเจนละลายน้ำในช่วงต้นจึงมีค่าสูงกว่าอย่างเห็นได้ชัด

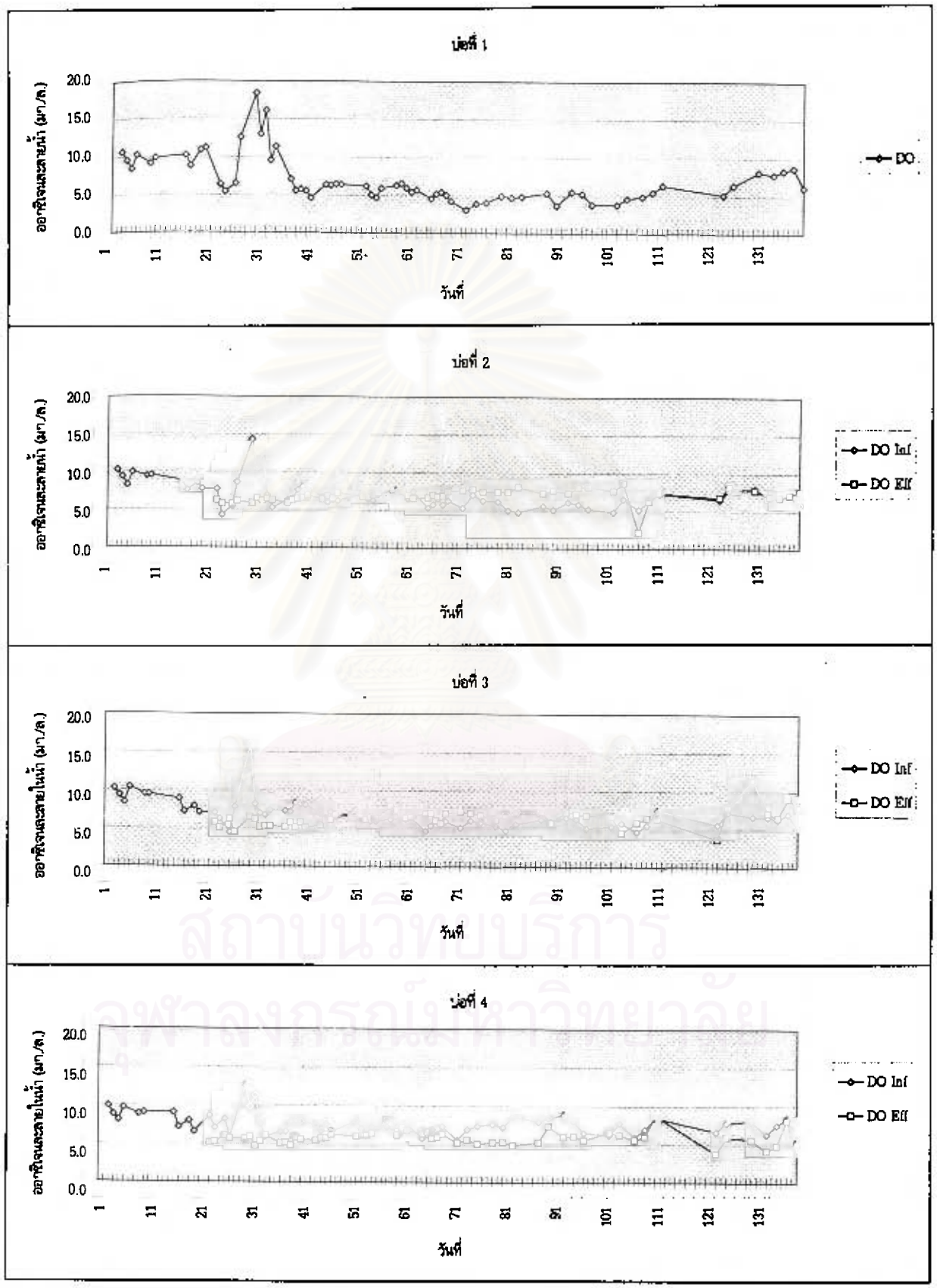
ในช่วงก่อนที่จะมีการหมุนเวียนน้ำออกไปบำบัดด้วยถังกรอง ค่าออกซิเจนละลายน้ำในบ่อเลี้ยงปลาทุกบ่อมีแนวโน้มลดลงจนถึงวันที่ 24 ของการทดลอง บ่อที่ 1 และ 2 มีค่าออกซิเจนละลายน้ำต่ำสุดก่อนที่จะค่อยๆ กลับมีค่าสูงขึ้นอีกครั้ง ซึ่งมีค่าออกซิเจนละลายในน้ำเท่ากับ 5.5 มก./ล. ในบ่อที่ 1 และ 4.4 มก./ล. ในบ่อที่ 2 ส่วนบ่อที่ 3 มีค่าออกซิเจนละลายน้ำต่ำสุดเท่ากับ 4.5 มก./ล. ในวันที่ 26 ของการทดลอง และบ่อที่ 4 มีค่าออกซิเจนละลายน้ำต่ำสุดเท่ากับ 5.9 มก./ล. ในวันที่ 27 ของการทดลอง ซึ่งสาเหตุที่ทำให้ค่าออกซิเจนละลายน้ำลดลงอาจเป็นเพราะในช่วงวันที่ 20-30 ของการทดลอง ปลานิลในบ่อเลี้ยงทั้ง 4 บ่อ กินอาหารลดลงมาก ทำให้เหลืออาหารซึ่งเป็นสารอินทรีย์สะสมอยู่ในบ่อมากขึ้นทันที ออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำจึงถูกดึงไปใช้ในการย่อยสลายมากขึ้นทำให้ค่าออกซิเจนละลายน้ำลดลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งจะเห็นได้ในรูปที่ 4.2

ส่วนเหตุผลที่ทำให้ปลานิลในบ่อเลี้ยงปลาทั้ง 4 บ่อ กินอาหารน้อยลงมากนั้น อาจเป็นเพราะปลาเกิดความเครียด เนื่องจากมีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในตอนกลางคืนไม่เพียงพอ โดยตั้งแต่เริ่มทำการทดลองได้มีการเปิดเครื่องเติมอากาศให้ออกซิเจนในช่วงเวลาเย็น 18:00 น. จนถึงเวลา 6:00 น. ของวันใหม่

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าเฉลี่ย ค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของอุณหภูมิตลอดการทดลอง (องศาเซลเซียส)

วันที่ทดลอง	น้ำในบ่อทดลอง				น้ำออกจากถังกรอง		
	บ่อที่ 1	บ่อที่ 2	บ่อที่ 3	บ่อที่ 4	ถังที่ 2	ถังที่ 3	ถังที่ 4
1-22	30.1	30.1	30.1	30.0			
เดือนที่ 1 (23-53)	29.5	29.5	29.4	29.4	29.3	29.4	29.3
เดือนที่ 2 (54-83)	29.9	29.8	29.8	29.8	29.7	29.9	29.8
เดือนที่ 3 (84-114)	29.3	29.3	29.3	29.4	29.5	29.3	28.8
เดือนที่ 4 (115-139)	30.1	30.2	30.1	30.2	30.6	30.5	29.8
ค่าสูงสุด	32.6	32.8	32.7	33.1	33.4	32.6	31.9
ค่าต่ำสุด	26.8	27.1	27.1	27.0	25.6	26.4	26.2
ค่าเฉลี่ย (1-139)	29.8	29.8	29.7	29.8	29.8	29.8	29.4
S.D.	0.4	0.4	0.4	0.4	0.6	0.6	0.5

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.2 ค่าออกซิเจนละลายน้ำตลอดการทดลอง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าเฉลี่ย ค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของค่าออกซิเจนละลายน้ำตลอดการทดลอง (มก./ล.)

วันที่ทดลอง	น้ำในบ่อทดลอง				น้ำออกจากถังกรอง		
	บ่อที่ 1	บ่อที่ 2	บ่อที่ 3	บ่อที่ 4	ถังที่ 2	ถังที่ 3	ถังที่ 4
1-22	9.9	9.0	8.9	8.5			
เดือนที่ 1 (23-53)	8.3	7.6	7.5	8.0	6.4	5.7	5.6
เดือนที่ 2 (54-83)	5.1	6.4	5.8	7.1	7.3	6.8	6.2
เดือนที่ 3 (84-114)	4.9	5.8	5.9	7.6	7.1	6.4	6.4
เดือนที่ 4 (115-139)	7.3	7.0	6.4	7.3	7.3	7.7	5.4
ค่าสูงสุด	18.4	14.4	16.1	12.6	8.7	11.5	8.8
ค่าต่ำสุด	3.2	4.4	4.5	5.6	2.2	3.7	3.9
ค่าเฉลี่ย (1-139)	7.1	7.2	6.9	7.7	7.1	6.7	5.9
S.D.	2.1	1.2	1.3	0.6	0.4	0.8	0.5
ค่าเฉลี่ย (23-139)	6.4	6.7	6.4	7.5	7.1	6.7	5.9
S.D.	1.7	0.8	0.8	0.4	0.4	0.8	0.5

ตารางที่ 4.5 สรุปเวลาในการเปิดและปิดเครื่องเติมอากาศ

วันที่ทดลอง	รายละเอียด
1-2	เปิดตลอด 24 ชม.
3-24	เปิดช่วงเวลา 18:00 น. ถึง 6:00 น. ของวันใหม่
25	เปิดตลอด 24 ชม.
26-36	เปิดช่วงเวลาเย็น 18:00 น. ถึง 6:00 น. ของวันใหม่
37-139	เปิดตลอด 24 ชม.

เท่านั้น และจากที่ได้มีการเก็บข้อมูลของอุณหภูมิและค่าออกซิเจนละลายน้ำในวันที่ 4 ก.ค. 39 (วันที่ 26 ของการทดลอง) ในช่วงเวลาต่างๆ ซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 4.6 จะเห็นได้ว่าช่วงเวลาตั้งแต่ 19:00 น. จนกระทั่งถึงตอนเช้าของวันใหม่เวลา 9:00 น. บ่อเลี้ยงปลาทุกบ่อมีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำต่ำกว่า 5 มก./ล. และยังสังเกตุเห็นปลานิลว่ายขึ้นมาฮุบอากาศที่ผิวน้ำเมื่อออกซิเจนละลายน้ำในบ่อต่ำกว่า 5 มก./ล. ดังนั้นจากสภาพน้ำในบ่อที่มีออกซิเจนละลายอยู่ต่ำในช่วงเวลาดังกล่าว ทำให้ปลาเกิดความเครียดมากขึ้น และมีผลให้ปลากินอาหารได้น้อยลง โดยทั่วไปแล้วปริมาณออกซิเจนในน้ำที่เหมาะสมสำหรับปลานิลจะอยู่ระหว่าง 5 มก./ล. จนถึงจุดอิ่มตัว ถ้าหากปริมาณออกซิเจนในน้ำต่ำอยู่เป็นระยะเวลานาน จะทำให้อัตราการเจริญเติบโตไม่ดี และส่วนมากถ้าต่ำกว่า 1 มก./ล. ปลาจะตายภายในเวลาไม่กี่ชั่วโมง (มานพ, 2536)

จากการเก็บข้อมูลค่าออกซิเจนละลายน้ำตลอดการทดลองพบว่าบ่อเลี้ยงปลาทุกบ่อมีค่าออกซิเจนละลายน้ำสูงที่สุดในวันที่ 30 ของการทดลอง โดยบ่อที่ 1 มีค่าสูงมากที่สุดเท่ากับ 18.4 มก./ล. รองลงมาคือบ่อที่ 3, 2 และ 4 มีค่าออกซิเจนละลายน้ำเท่ากับ 16.1, 14.4 และ 12.6 มก./ล. ตามลำดับ สาเหตุที่ทำให้น้ำในบ่อเลี้ยงปลามีออกซิเจนละลายน้ำสูงมากในวันที่ 30 นี้ อาจเป็นเพราะผลจากการที่ปลาในทุกบ่อกินอาหารลดลงมากในช่วงวันที่ 20-30 ของการทดลอง ทำให้อาหารที่ปลากินไม่หมดเหลือตกค้างอยู่ในบ่อเป็นปริมาณที่มากทันที ประกอบกับในวันที่ 25 ของการทดลอง ผู้วิจัยสังเกตว่าปลาในบ่อมีความเครียดจากการขาดออกซิเจน จึงตัดสินใจเปิดเครื่องเติมอากาศให้แก่บ่อปลาทุกบ่อตลอดทั้งวัน ดังนั้นจึงเป็นผลให้บ่อได้รับออกซิเจนเพิ่มมากขึ้นและจุลินทรีย์ใช้ออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มาจากอาหารที่เหลือตกค้างได้มากขึ้น ทำให้เกิดสารอาหารที่แพลงค์ตอนสามารถนำไปใช้ในการเจริญเติบโตได้ และเมื่อในน้ำมีปริมาณแพลงค์ตอนพืชมากขึ้น จึงเกิดกระบวนการสังเคราะห์แสงและให้ออกซิเจนแก่น้ำมากขึ้นด้วยเช่นกัน

จากเหตุการณ์ที่ค่าออกซิเจนละลายน้ำสูงมากในวันที่ 30 และลดลงมาจนกระทั่งวันที่ 37 ของการทดลอง ได้มีการเปลี่ยนแปลงเวลาให้ออกซิเจนแก่บ่อเลี้ยงปลาจากเดิมให้ช่วงเย็น 18:00 น. จนถึง 6:00 น. ของวันถัดไป เปลี่ยนเป็นให้ตลอด 24 ชม. ซึ่งเมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4.2 จะเห็นว่าตั้งแต่วันที่ 37 จนสิ้นสุดการทดลองค่าออกซิเจนละลายน้ำในแต่ละบ่อมีการแปรปรวนต่างกันไม่เกิน 4 มก./ล. และจากค่าเฉลี่ยในแต่ละเดือนของค่าออกซิเจนละลายน้ำจะเห็นว่ามีแนวโน้มลดลงทุกบ่อ ซึ่งเมื่อสรุปรวมข้อมูลจากเดือนที่ 1 ถึงเดือนที่ 4 จะเห็นว่าค่าออกซิเจนละลายน้ำในช่วงกลางวันของบ่อเลี้ยงปลาทุกบ่อมีปริมาณที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของปลานิล โดยได้ค่าเฉลี่ยรวมของออกซิเจนละลายน้ำของบ่อที่ 4 มีค่าสูงสุดคือ 7.5 มก./ล. รองลงมาคือบ่อที่ 2, 3 และ 1 มีค่าเท่ากับ 6.7, 6.4 และ 6.4 มก./ล. ตามลำดับ และยังสังเกตุเห็นว่าค่าออกซิเจนละลายน้ำต่ำสุดของบ่อที่ 1 หรือบ่อควบคุม มีค่าต่ำกว่าค่าต่ำสุดของทุกบ่อดังแสดงในตารางที่ 4.4

4.1.1.3 สภาพนำไฟฟ้าของน้ำ

ค่าสภาพนำไฟฟ้าเป็นค่าที่บอกถึงความสามารถของน้ำในการนำกระแสไฟฟ้า สภาพนำไฟฟ้านี้ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นและชนิดของอิออนที่มีอยู่ในน้ำและอุณหภูมิขณะทำการวัด สารละลายอนินทรีย์เป็นตัวนำ

ตารางที่ 4.6 อุณหภูมิและค่าออกซิเจนละลายน้ำในวันที่ 4 ก.ค. 2539 ในช่วงเวลา 5:00 น. ถึง 21:00 น.

บ่อทดลองเลี้ยงปลา								
เวลา (นาฬิกา)	บ่อที่ 1		บ่อที่ 2		บ่อที่ 3		บ่อที่ 4	
	อุณหภูมิ (°ซ)	ออกซิเจนละลายน้ำ (มก./ล.)	อุณหภูมิ (°ซ)	ออกซิเจนละลายน้ำ (มก./ล.)	อุณหภูมิ (°ซ)	ออกซิเจนละลายน้ำ (มก./ล.)	อุณหภูมิ (°ซ)	ออกซิเจนละลายน้ำ (มก./ล.)
5	28.5	*1.9	28.4	*2.1	28.5	*1.7	28.7	*1.8
6	28.5	*1.8	28.5	*2.0	28.3	*2.2	28.2	*1.85
7	28.9	*0.85	29.0	*0.75	28.5	*1.05	28.6	*0.9
8	29.4	*1.75	29.3	*1.35	29.2	*1.6	29.2	*2.3
9	29.8	*4.25	29.8	*2.6	29.6	*3.0	29.6	*4.15
10	30.0	6.55	30.0	5.5	29.8	*4.45	29.9	8.3
11	30.3	9.7	30.1	7.4	30.0	6.4	30.0	10.6
12	31.0	8.7	30.9	5.6	30.8	4.9	30.7	7.8
13	30.6	8.9	30.3	4.6	30.2	*3.6	30.2	6.35
14	30.7	11.8	30.8	6.4	30.5	5.5	30.9	8.1

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.6 (ต่อ) อุณหภูมิและค่าออกซิเจนละลายน้ำในวันที่ 4 ก.ค. 2539 ในช่วงเวลา 5:00 น. ถึง 21:00 น.

บ่อทดลองเลี้ยงปลา								
เวลา (นาฬิกา)	บ่อที่ 1		บ่อที่ 2		บ่อที่ 3		บ่อที่ 4	
	อุณหภูมิ (°ซ)	ออกซิเจนละลายน้ำ (มก./ล.)	อุณหภูมิ (°ซ)	ออกซิเจนละลายน้ำ (มก./ล.)	อุณหภูมิ (°ซ)	ออกซิเจนละลายน้ำ (มก./ล.)	อุณหภูมิ (°ซ)	ออกซิเจนละลายน้ำ (มก./ล.)
15	31.5	12.2	31.2	7.6	31.2	7.6	31.2	9.7
16	31.3	15.6	31.1	9.0	31.0	8.5	31.1	10.7
17	31.7	13.7	31.5	6.4	31.5	6.9	31.4	8.1
18	31.7	9.8	31.4	3.6	31.4	4.2	31.3	5.35
19	31.2	4.4	31.0	2.4	31.0	2.6	31.0	3.0
20	30.5	2.35	30.3	1.85	30.3	2.2	30.3	2.4
21	30.2	1.9	30.1	1.75	30.0	2.0	30.0	1.9

หมายเหตุ: * เป็นเวลาที่สังเกตเห็นปลาขึ้นมาฮุบอากาศที่ผิวน้ำ

- ฝนตกพร่ำ ๆ ช่วงเวลา 5:00-7:00
- มีเมฆมากบังดวงอาทิตย์ ที่ช่วงเวลา 8:00-9:00 และ 12:00-14:00
- มีแดดมากช่วงเวลา 9:00-11:00
- มีแดดอ่อน ๆ ช่วงเวลา 14:00-17:00
- ไม่มีแดดช่วงเวลา 17:00-21:00

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ไฟฟ้าที่ดีเพราะแตกตัวให้อิออนบวกและลบ ส่วนสารอินทรีย์จะไม่แตกตัวในน้ำจึงไม่นำไฟฟ้า ดังนั้นจึงสามารถใช้ค่าสภาพนำไฟฟ้าเป็นตัวทำให้ทราบการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของสารละลายในน้ำ ซึ่งน้ำในบ่อจะได้รับสารอนินทรีย์จากอาหารปลาที่เหลือ และของเสียจากการขับถ่ายของปลา

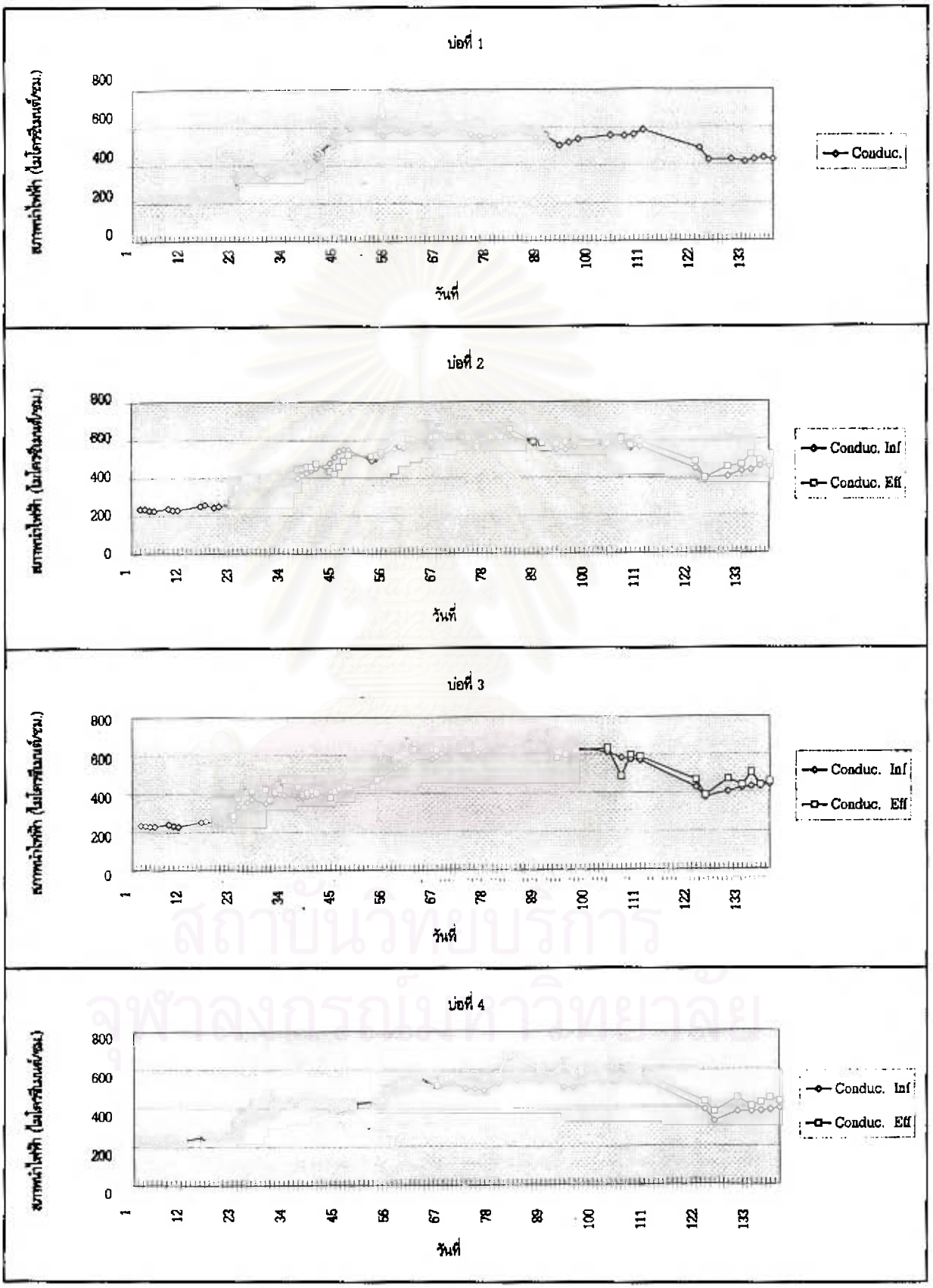
ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.3 ซึ่งแสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าสภาพนำไฟฟ้าตลอดการทดลอง และตารางที่ 4.7 ได้แสดงค่าสรุปผลเฉลี่ยค่าสภาพนำไฟฟ้าของน้ำในบ่อปลาทุกบ่อในแต่ละเดือน พร้อมค่าเฉลี่ยรวมตลอดการทดลอง

ในบ่อเลี้ยงปลาบ่อที่ 1 และ 2 ค่าสภาพนำไฟฟ้าของน้ำมีค่าเพิ่มมากขึ้นตั้งแต่เริ่มเลี้ยงปลาโดยเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งลดลงในเดือนที่ 3 และ 4 ส่วนน้ำในบ่อเลี้ยงปลาบ่อที่ 3 และ 4 มีค่าสภาพนำไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ ตั้งแต่เริ่มทดลอง จนกระทั่งลดลงในเดือนที่ 4 ซึ่งการเพิ่มขึ้นของค่าสภาพนำไฟฟ้าน่าจะมาจากการที่น้ำในบ่อได้รับสารอนินทรีย์ต่างๆ จากอาหารปลาที่เหลือและของเสียจากการขับถ่าย ซึ่งมีสะสมมากขึ้นเรื่อยๆ ตามระยะเวลาในการเลี้ยง แต่ในช่วงหลังสภาพนำไฟฟ้ามีค่าลดลงซึ่งอาจเป็นเพราะอิออนต่างๆ ในน้ำเกิดการตกตะกอนขึ้น เช่นแคลเซียมตกตะกอนกับฟอสฟอรัสได้ดีเมื่อพีเอชมีค่าเป็นด่าง ดังนั้นจากข้อมูลของความกระด้างและปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดจะสังเกตุเห็นได้ว่ามีแนวโน้มลดลงในช่วงท้ายของการทดลองเช่นเดียวกัน ซึ่งสอดคล้องกับค่าสภาพนำไฟฟ้าในแต่ละบ่อที่มีค่าลดลงดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.4 และเมื่อดูจากค่าสภาพนำไฟฟ้าเฉลี่ยตลอดการทดลองจะเห็นว่าบ่อที่ 1, 2 และ 3 มีค่าใกล้เคียงกันซึ่งมีค่าเท่ากับ 448, 451 และ 452 ไมโครซีเมนต์/เซนติเมตร ตามลำดับ ส่วนบ่อที่ 4 มีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 414 ไมโครซีเมนต์/เซนติเมตร

4.1.2 การเปลี่ยนแปลงของสารอาหาร

4.1.2.1 แอมโมเนีย

แอมโมเนียพบว่ามีอยู่ในบ่อปลาทั่วๆ ไปซึ่งเกิดจากการย่อยสลายตัวของสารอินทรีย์ต่างๆ และของเสียจากการขับถ่ายของสิ่งมีชีวิตในน้ำนั้น แอมโมเนียในน้ำมีอยู่ 2 รูปคือ แอมโมเนียอิสระ (NH_3) เป็นพิษต่อปลาอย่างมาก และอิออนแอมโมเนีย (NH_4^+) ไม่มีพิษต่อปลา สัดส่วนของแอมโมเนียอิสระและอิออนแอมโมเนียในน้ำจะขึ้นอยู่กับพีเอช อุณหภูมิและปริมาณเกลือแร่ ปริมาณแอมโมเนียอิสระจะเพิ่มขึ้นตามระดับพีเอชและอุณหภูมิที่สูงขึ้น พีเอชมีอิทธิพลต่อปริมาณของแอมโมเนียมากกว่าอุณหภูมิ และปริมาณเกลือแร่ในน้ำมีอิทธิพลน้อยเช่นเดียวกับอุณหภูมิ แต่มีอิทธิพลในทางตรงกันข้ามคือ ถ้าปริมาณเกลือแร่สูงขึ้นในน้ำจะมีแอมโมเนียน้อยลง แอมโมเนียอิสระควรจะมีอยู่ในน้ำไม่เกิน 0.025 มก./ล.ไนโตรเจน เพื่อมิให้เป็นอันตรายต่อปลา ดังนั้นถ้าจำกัดปริมาณของแอมโมเนียอิสระไม่ให้เกิน 0.025 มก./ล.ไนโตรเจน ปริมาณของแอมโมเนียทั้งหมด ($NH_3 + NH_4^+$) ในน้ำที่ระดับพีเอชและอุณหภูมิต่างๆ จะต้องมีค่าไม่เกินตัวเลขที่แสดงไว้ในตารางที่ 2.2 (มั่นสิน, 2538)

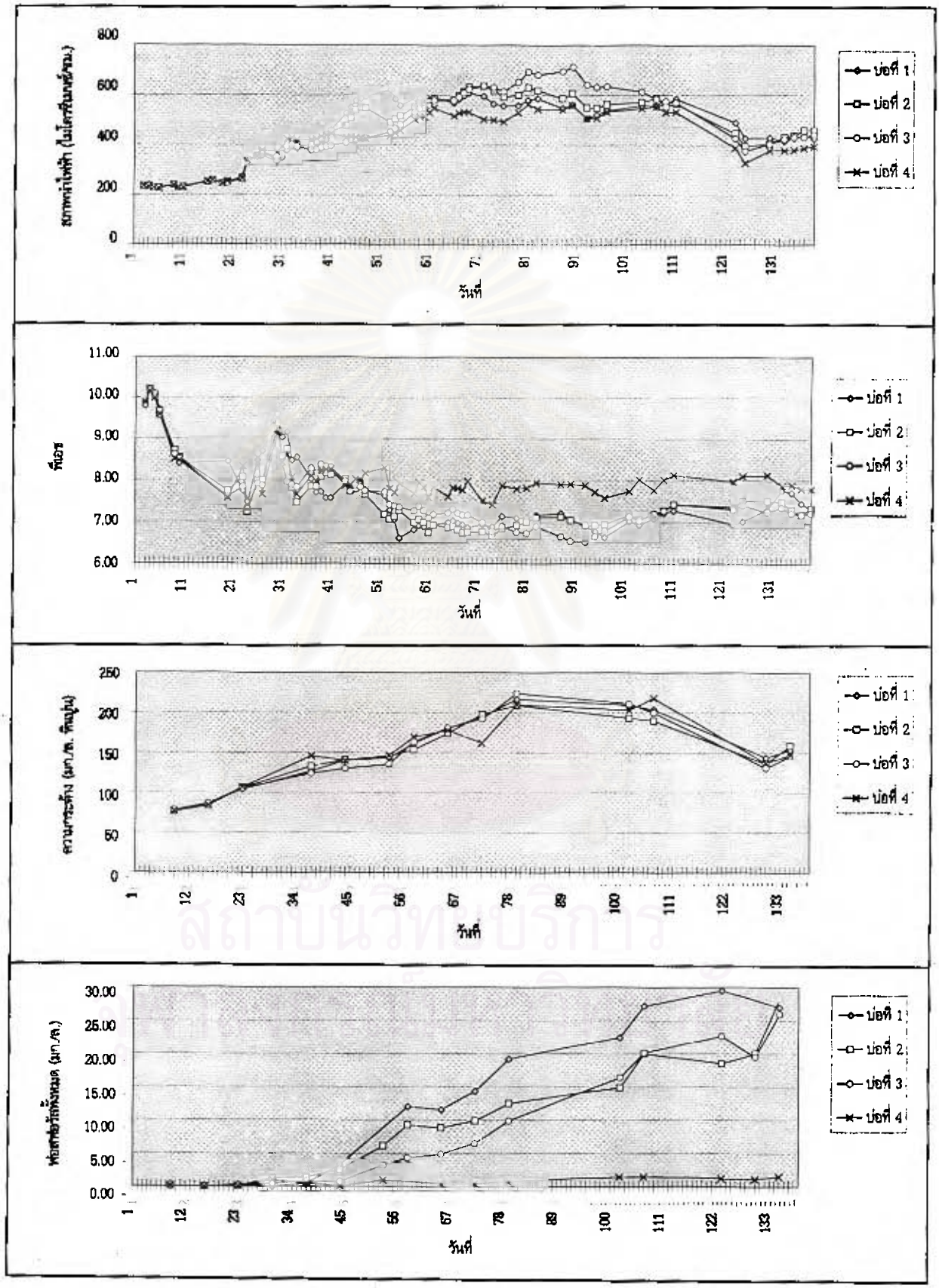


รูปที่ 4.3 ค่าสภาพนำไฟฟ้าของน้ำตลอดการทดลอง

ตารางที่ 4.7 แสดงค่าเฉลี่ย ค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของสภาพนำไฟฟ้าตลอดการทดลอง (ไมโครซีเมนต์./ซม.)

วันที่ทดลอง	น้ำในบ่อทดลอง				น้ำออกจากถังกรอง		
	บ่อที่ 1	บ่อที่ 2	บ่อที่ 3	บ่อที่ 4	ถังที่ 2	ถังที่ 3	ถังที่ 4
1-22	241	240	239	239			
เดือนที่ 1 (23-53)	433	423	385	406	425	407	420
เดือนที่ 2 (54-83)	580	587	589	515	609	631	557
เดือนที่ 3 (84-114)	548	570	628	534	586	606	591
เดือนที่ 4 (115-139)	437	434	420	378	471	452	425
ค่าสูงสุด	620	636	712	562	667	718	675
ค่าต่ำสุด	229	227	228	226	274	286	330
ค่าเฉลี่ย (1-139)	448	451	452	414	523	524	498
S.D.	133	140	159	119	89	111	89

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



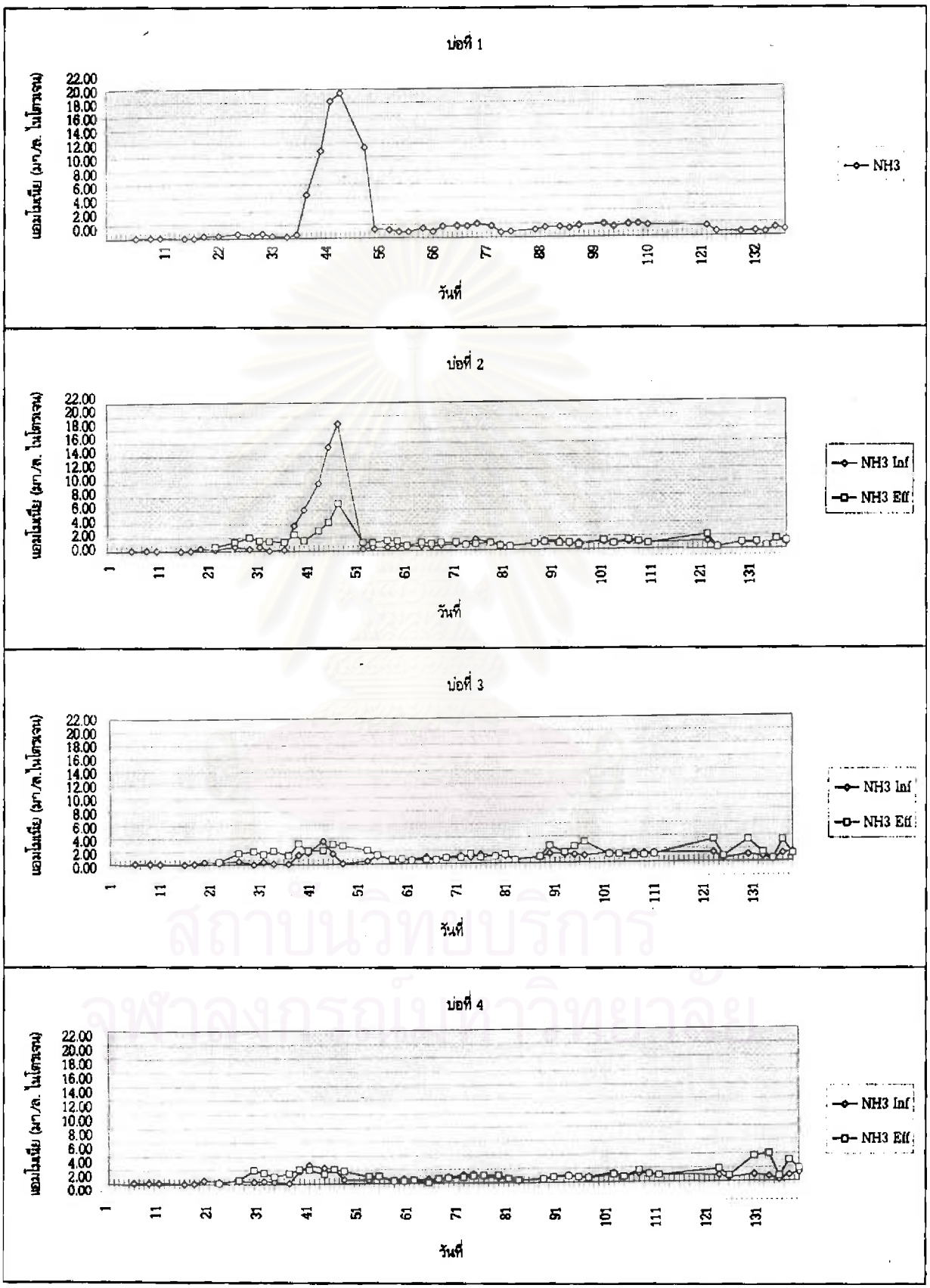
รูปที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ของสภาพนำไฟฟ้ากับความกระด้าง และฟอสฟอรัสทั้งหมด ของน้ำในบ่อเลี้ยงปลาทั้ง 4บ่อ

จากรูปที่ 4.5 แสดงการเปลี่ยนแปลงของปริมาณแอมโมเนียที่เกิดขึ้นตลอดการทดลอง และข้อมูลตลอดการทดลองได้แสดงไว้ในตาราง ก-7 ภาคผนวก ก และค่าเฉลี่ยของแอมโมเนียในแต่ละเดือน พร้อมกับค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดได้สรุปไว้ในตารางที่ 4.8

บ่อเลี้ยงปลาบ่อที่ 1 มีลักษณะของการเปลี่ยนแปลงของปริมาณแอมโมเนียคือมีค่าเกิดขึ้นสูงสุดและลดต่ำลงเมื่อเวลาผ่านไป โดยช่วงแรกจะมีปริมาณแอมโมเนียสะสมไม่มากนักจนกระทั่งมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณอาหารที่เหลือในบ่อมาก ในช่วงวันที่ 20-30 ของการทดลอง ทำให้มีค่าแอมโมเนียสูงขึ้นมากในเวลาต่อมา จนมีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 21.40 มก./ล.ไนโตรเจน และลดลงหลังจากนั้นเมื่อเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชั่นแล้ว ดังแสดงในรูปที่ 4.5 และจากผลการทดลองได้ค่าเฉลี่ยของแอมโมเนียตลอดการทดลองเท่ากับ 2.07 มก./ล.ไนโตรเจน ค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 6.46 มก./ล.ไนโตรเจน ในเดือนที่ 1 และค่าเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 0.12 มก./ล.ไนโตรเจน ในช่วงวันที่ 1-22 ของการทดลอง

บ่อเลี้ยงปลาบ่อที่ 2, 3 และ 4 มีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นเช่นเดียวกับบ่อที่ 1 ซึ่งแสดงถึงการเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชั่นของน้ำในบ่อ คือ มีปริมาณของแอมโมเนียเกิดขึ้นสูงและลดน้อยลงเมื่อเวลาผ่านไป ดังแสดงในรูปที่ 4.5 ค่าเฉลี่ยสูงสุดในบ่อที่ 2, 3 และ 4 เท่ากับ 4.71 มก./ล.ไนโตรเจน (ในเดือนที่1), 1.31 มก./ล.ไนโตรเจน (ในเดือนที่ 3) และ 1.01 มก./ล.ไนโตรเจน (ในเดือนที่ 1) ตามลำดับ และค่าเฉลี่ยตลอดการทดลองในบ่อที่ 2, 3 และ 4 เท่ากับ 1.41, 0.86 และ 0.76 มก./ล.ไนโตรเจน ตามลำดับ และยังเห็นได้ว่าบ่อที่ 1 มีปริมาณแอมโมเนียสูงกว่าบ่ออื่นๆ และมีการเปลี่ยนแปลงในปริมาณมากกว่าทุกบ่อ ส่วนบ่อที่ 4 มีปริมาณแอมโมเนียและการเปลี่ยนแปลงในปริมาณต่ำกว่าทุกบ่อ

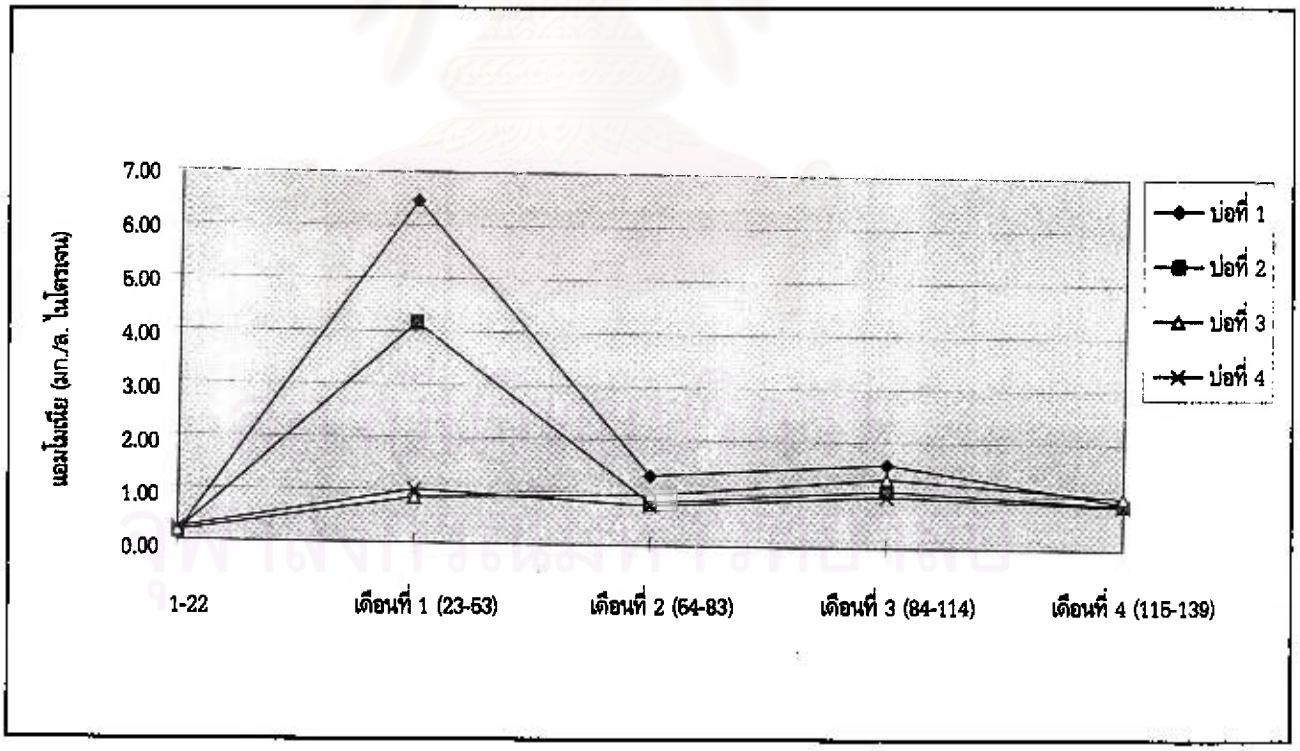
จากข้อมูลในตารางที่ 4.8 และรูปที่ 4.6 จะเห็นว่าแอมโมเนียเฉลี่ยตลอดการทดลองของน้ำในบ่อเลี้ยงปลาบ่อที่ 1 มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 2.07 มก./ล.ไนโตรเจน และมีค่าเฉลี่ยลดลงในบ่อที่ 2, 3 และ 4 โดยมีค่าเท่ากับ 1.41, 0.86 และ 0.76 มก./ล.ไนโตรเจน ตามลำดับ และยังสังเกตเห็นได้ว่าในช่วงเดือนที่ 1 (วันที่ 23-53 ของการทดลอง) ทุกบ่อมีแนวโน้มของปริมาณแอมโมเนียในบ่อเพิ่มขึ้น และมีค่าเพิ่มขึ้นสูงที่สุดในบ่อที่ 1 ซึ่งเป็นบ่อควบคุมไม่มีการปรับปรุงคุณภาพของน้ำในบ่อ โดยมีค่าเท่ากับ 21.40 มก./ล.ไนโตรเจน รองลงมาคือบ่อที่ 2 มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 18.86 มก./ล.ไนโตรเจน และบ่อที่ 3 และ 4 มีค่าเท่ากับ 3.50 และ 2.70 มก./ล.ไนโตรเจน ตามลำดับ และในรูปที่ 4.6 จะเห็นว่าบ่อเลี้ยงปลาบ่อที่ 1 มีค่าแอมโมเนียในน้ำสูงกว่าทุกบ่อตลอดการทดลอง ยกเว้นในช่วงเริ่มต้นและท้ายการทดลองที่มีค่าใกล้เคียงกับบ่ออื่นๆ และในช่วงเดือนที่ 1 หรือวันที่ 23-53 ของการทดลอง ค่าแอมโมเนียในน้ำได้เพิ่มสูงขึ้นมากและบ่อเลี้ยงปลาบ่อที่ 1 มีค่าสูงที่สุด บ่อเลี้ยงปลาบ่อที่ 2 เกิดแอมโมเนียสะสมในน้ำมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นเช่นเดียวกันกับบ่อที่ 1 แต่มีค่าสูงที่สุดเกิดขึ้นน้อยกว่า ส่วนบ่อเลี้ยงปลาบ่อที่ 3 และ 4 มีการเพิ่มขึ้นของแอมโมเนียในน้ำเช่นเดียวกันกับบ่อที่ 1 แต่มีปริมาณที่น้อยกว่ามาก จากการที่ปลาในบ่อกินอาหารลดลงอย่างมากในช่วงวันที่ 20-30 ของการทดลอง ทำให้เหลืออาหารปลาซึ่งเป็นสารอินทรีย์ตกค้างสะสมอยู่ในบ่อเป็นปริมาณมากขึ้นทันทีและเมื่อเกิดกระบวนการย่อยสลายของสารอินทรีย์ต่างๆ ภายในบ่อทำให้ไนโตรเจนที่เป็นองค์ประกอบในอาหารเปลี่ยนเป็นแอมโมเนีย



รูปที่ 4.5 แอมโมเนียในน้ำตลอดการทดลอง

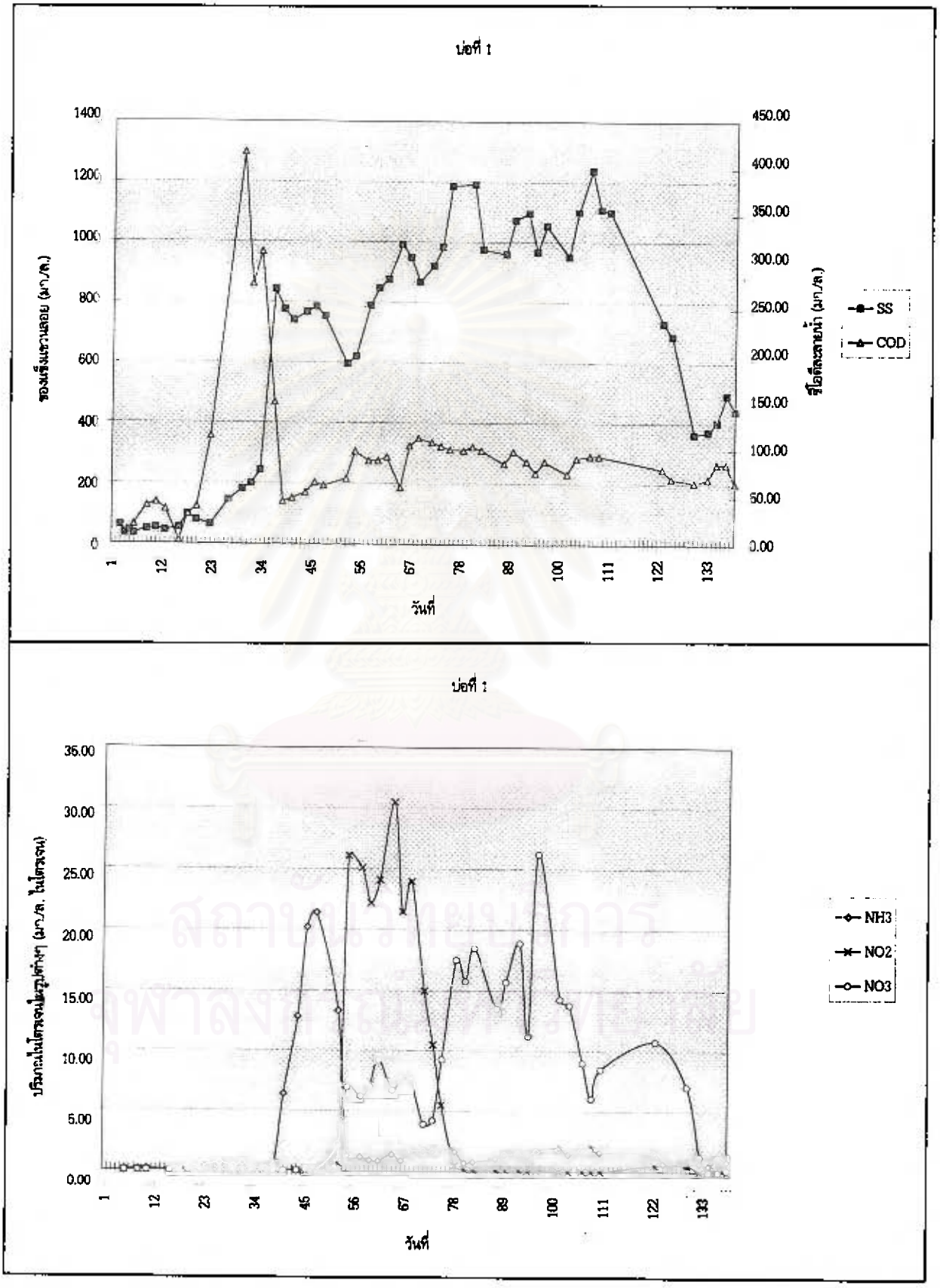
ตารางที่ 4.8 แสดงค่าเฉลี่ย ค่าสูงสุดและต่ำสุดของแอมโมเนียตลอดการทดลอง (มก./ล.ไนโตรเจน)

วันที่ทดลอง	น้ำในบ่อทดลอง				น้ำออกจากถังกรอง		
	บ่อที่ 1	บ่อที่ 2	บ่อที่ 3	บ่อที่ 4	ถังที่ 2	ถังที่ 3	ถังที่ 4
1-22	0.12	0.15	0.17	0.23			
เดือนที่ 1 (23-53)	6.46	4.17	0.86	1.01	2.33	2.02	1.45
เดือนที่ 2 (54-83)	1.32	0.81	0.96	0.75	1.06	0.89	0.66
เดือนที่ 3 (84-114)	1.58	1.08	1.31	0.97	1.07	1.66	0.92
เดือนที่ 4 (115-139)	0.88	0.84	0.98	0.82	1.03	1.96	2.30
ค่าสูงสุด	21.40	18.86	3.50	2.70	7.01	3.40	4.04
ค่าต่ำสุด	0.04	0.04	0.02	0.08	0.20	0.40	0.12
ค่าเฉลี่ย (1-139)	2.07	1.41	0.86	0.76	1.37	1.63	1.33
S.D.	2.51	1.58	0.42	0.31	0.64	0.52	0.72

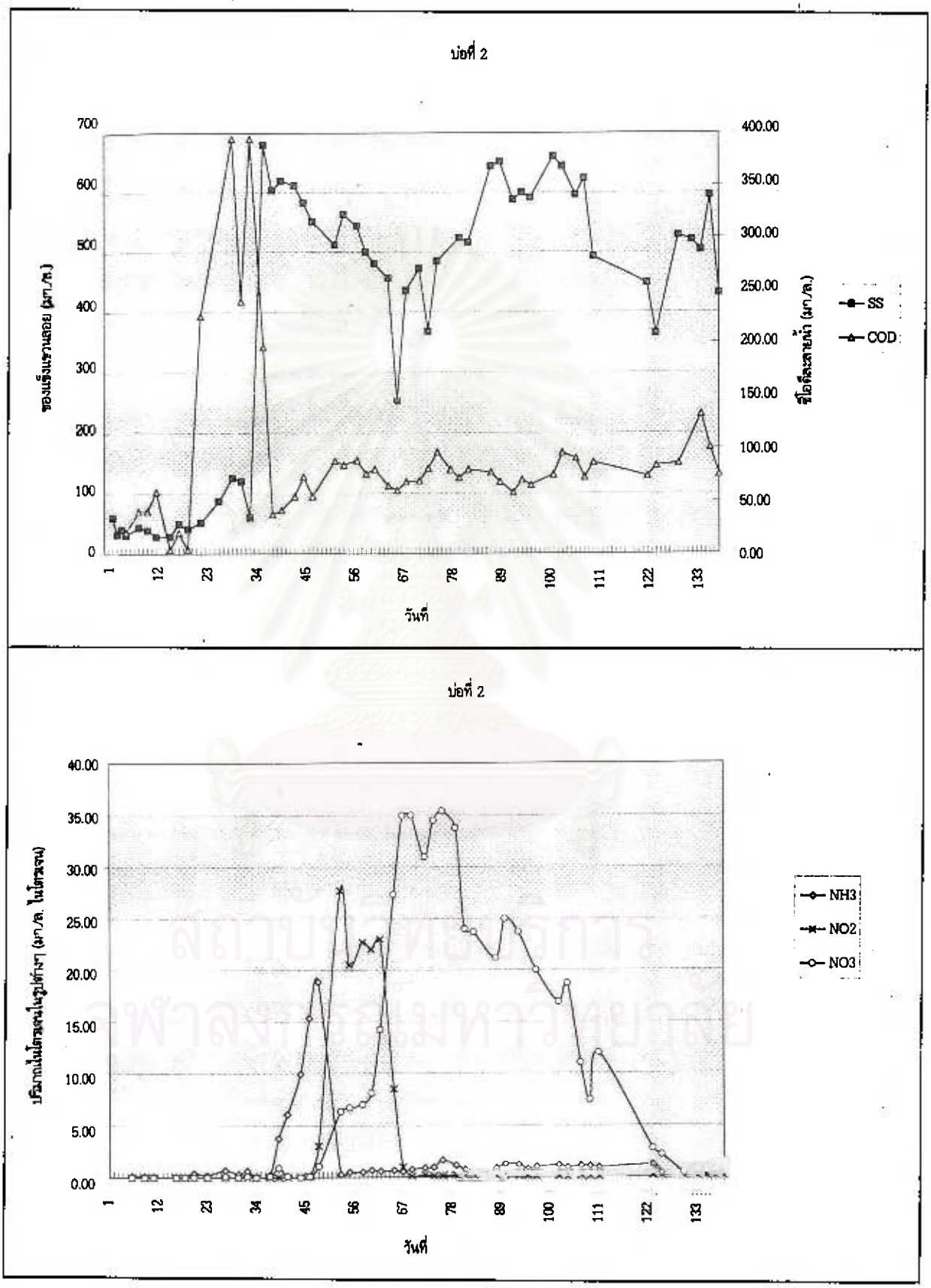


รูปที่ 4.6 แสดงปริมาณแอมโมเนียเฉลี่ยในแต่ละเดือนของน้ำในบ่อต่างๆ

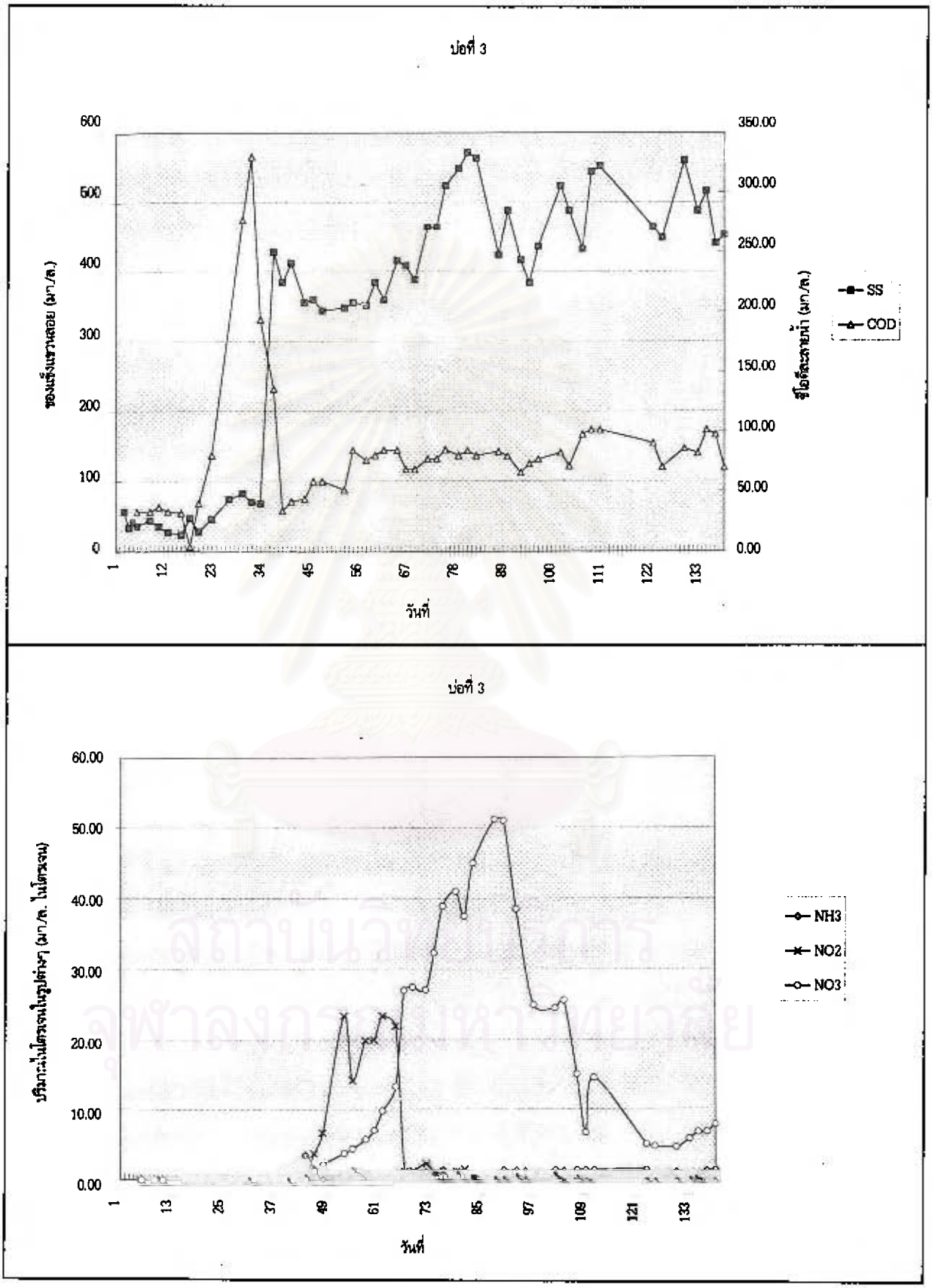
และสะสมอยู่ในน้ำเพิ่มมากขึ้น ซึ่งจากค่าแอมโมเนียที่เพิ่มสูงขึ้นมากที่สุดในบ่อที่ 1 อาจจะเพราะในช่วงเวลาดังกล่าวมีการสะสมของแอมโมเนียที่เกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ โดยแอมโมเนียที่เกิดขึ้นถูกใช้ไปในกระบวนการต่างๆ น้อยกว่าปริมาณแอมโมเนียที่เกิดขึ้นในบ่อ กระบวนการต่างๆ ที่มีการใช้แอมโมเนียในน้ำ เช่น แพลงค์ตอนพืชใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสง และกระบวนการย่อยสลายแอมโมเนียโดยแบคทีเรีย หรือกระบวนการไนตริฟิเคชั่น ดังนั้นจากผลการทดลองที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.7 จะเห็นว่าบ่อเลี้ยงปลาบ่อที่ 1 มีค่าแอมโมเนียในน้ำเกิดขึ้นสูงมากในวันที่ 48 ของการทดลอง โดยมีค่าเท่ากับ 21.40 มก./ล.ไนโตรเจน ค่าแอมโมเนียที่สูงมากดังกล่าวนี้ น่าจะเป็นเพราะเหตุผลที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น คือมีการย่อยสลายสารอินทรีย์และเกิดแอมโมเนียขึ้นในบ่อมากกว่าการดึงไปใช้ในกระบวนการต่างๆ ทำให้มีแอมโมเนียสะสมอยู่ในบ่อมากขึ้น และหลังจากวันที่ 48 ของการทดลอง แอมโมเนียในบ่อเริ่มลดลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งเหตุการณ์ดังกล่าวนี้อาจมีสาเหตุมาจากการเพิ่มปริมาณของแพลงค์ตอนพืชในน้ำ ซึ่งจะมีการดึงแอมโมเนียในน้ำไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสงเพื่อสร้างกรดอะมิโนและโปรตีน และรวมทั้งมีกระบวนการไนตริฟิเคชั่นเกิดขึ้นในบ่อเนื่องจากน้ำในบ่อเริ่มมีไนไตรท์และไนเตรตเกิดขึ้นในเวลาต่อมา หลังจากที่แอมโมเนียในน้ำมีปริมาณลดลง และบ่อเลี้ยงปลาบ่อที่ 2, 3 และ 4 มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงของแอมโมเนียในน้ำคล้ายกับบ่อที่ 1 คือ มีปริมาณแอมโมเนียในน้ำเพิ่มสูงขึ้นและลดลงอย่างรวดเร็วในเวลาต่อมา ซึ่งจากผลการทดลองที่แสดงไว้ในรูปที่ 4.7 สามารถอธิบายถึงการเปลี่ยนแปลงของปริมาณแอมโมเนียในน้ำของบ่อที่ 2, 3 และ 4 ได้ว่าน่าจะมีสาเหตุของการเปลี่ยนแปลงคล้ายกับเหตุผลของบ่อที่ 1 คือ มีการย่อยสลายสารอินทรีย์เกิดขึ้นในบ่อ และเกิดการสะสมของแอมโมเนียขึ้นมากกว่าปริมาณของแอมโมเนียที่ถูกใช้ไปในกระบวนการสังเคราะห์แสงของแพลงค์ตอนพืช พร้อมทั้งยังไม่มีกระบวนการไนตริฟิเคชั่นเกิดขึ้นในบ่อ และในเวลาต่อมาปริมาณแอมโมเนียในน้ำได้ลดลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งน่าจะเป็นผลจากแอมโมเนียในน้ำถูกดึงไปใช้ในกระบวนการไนตริฟิเคชั่นเพิ่มมากขึ้น โดยในรูปที่ 4.7 จะเห็นว่าค่าไนไตรท์และไนเตรตของน้ำในบ่อเลี้ยงปลาทุกบ่อมีค่าเพิ่มมากขึ้นในเวลาต่อมาหลังจากค่าแอมโมเนียในน้ำเริ่มลดลง ส่วนผลจากกระบวนการสังเคราะห์แสงของแพลงค์ตอนพืชในการดึงแอมโมเนียไปใช้ในการเจริญเติบโตนั้นจะดูจากค่าของแข็งแขวนลอยของน้ำในแต่ละบ่อประกอบด้วย ดังแสดงในรูปที่ 4.7 โดยจะเห็นว่าค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำของบ่อเลี้ยงปลาบ่อที่ 2 และ 3 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ส่วนบ่อที่ 4 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน และในการทดลองได้ศึกษาอัตราส่วนในการดึงน้ำในบ่อออกไปบำบัดด้วยถังกรองเท่ากับ 5, 10 และ 20 % ของน้ำในบ่อที่ 2, 3 และ 4 ตามลำดับ (21, 42 และ 84 ลิตร/วัน ตามลำดับ) ดังนั้นปริมาณแอมโมเนียที่สะสมอยู่ในบ่อต่างๆ จะสอดคล้องกับอัตราส่วนในการหมุนเวียนน้ำออกไปบำบัด คือบ่อที่ 2 มีค่าแอมโมเนียสะสมอยู่ในบ่อมากที่สุด รองลงมาคือบ่อที่ 3 และบ่อที่ 4 มีแอมโมเนียสะสมอยู่ในบ่อน้อยที่สุด เนื่องจากการดึงน้ำในบ่อออกไปบำบัดด้วยถังกรองทรายฯ มาก ก็เป็นการดึงแพลงค์ตอนพืชซึ่งมีอยู่ในบ่อออกไปมากด้วย และแพลงค์ตอนพืชเหล่านี้ต้องใช้แอมโมเนียในการเจริญเติบโต ดังนั้นเมื่อกรองแพลงค์ตอนพืชออกได้มาก ก็สามารถดึงหรือกำจัดแอมโมเนียที่มีอยู่ในบ่อออกไปมากด้วยเช่นกัน.



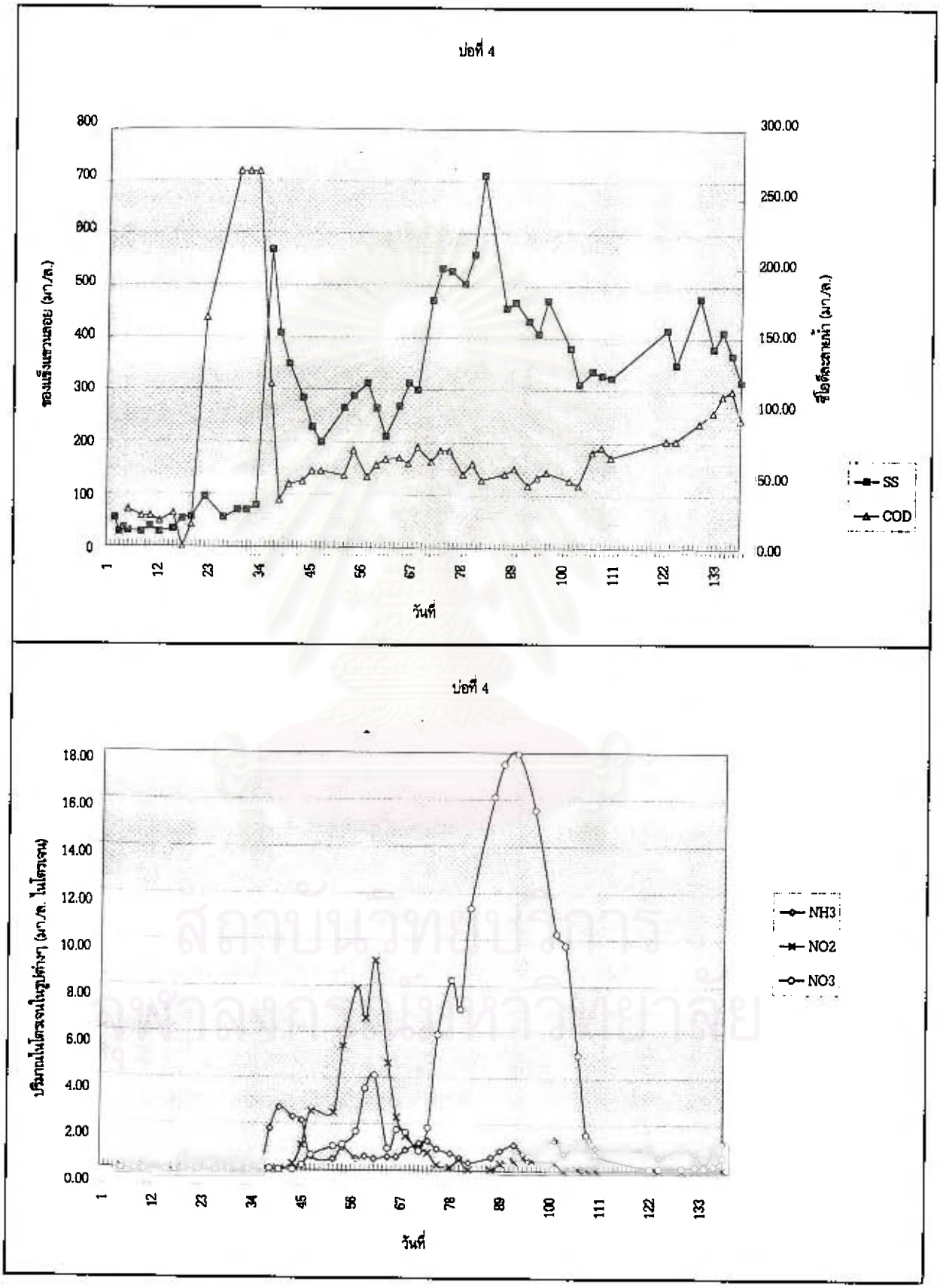
รูปที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ของ ของแข็งแขวนลอย ซีโอดีละลายน้ำ แอมโมเนีย ไนไตรท์และไนเตรต



รูปที่ 4.7 (ต่อ) แสดงความสัมพันธ์ของ ของแข็งแขวนลอย ซีโอดีละลายน้ำ แอมโมเนีย ไนไตรต์และไนเตรต



รูปที่ 4.7 (ต่อ) แสดงความสัมพันธ์ของ ของแข็งแขวนลอย ซีโอดีละลายน้ำ แอมโมเนีย ไนไตรต์และไนเตรต



รูปที่ 4.7 (ต่อ) แสดงความสัมพันธ์ของ ของแข็งแขวนลอย ซีโอดีละลายน้ำ แอมโมเนีย ไนไตรต์และไนเตรต

จากการวิเคราะห์ค่าแอมโมเนียในบ่อเลี้ยงปลาทั้ง 4 บ่อ จะเห็นว่าบ่อที่ 1 มีแอมโมเนียสะสมอยู่ในบ่อมากที่สุด รองลงมาคือบ่อที่ 2, 3 และ 4 ตามลำดับ และจากข้อมูลในช่วงท้ายของการทดลอง ตั้งแต่วันที่ 130 ของการทดลอง จะสังเกตุเห็นว่าบ่อที่ 1 มีแนวโน้มลดลงของค่าแอมโมเนียและมีค่าใกล้เคียงมากกับบ่อเลี้ยงปลาอีก 3 บ่อ ที่มีการนำน้ำในบ่อออกไปปรับปรุงคุณภาพน้ำ ซึ่งสาเหตุที่ทำให้น้ำในบ่อที่ 1 เกิดสภาพดังกล่าวนี้อาจเป็นเพราะมีการให้อาหารแก่ปลาในบ่อที่ 1 ลดลงมาก และหากเปรียบเทียบปริมาณอาหารที่ให้แก่ปลาทั้ง 4 บ่อ จะเห็นว่าปริมาณอาหารที่ให้แก่ปลาในบ่อที่ 1 น้อยกว่าบ่ออื่นๆ อยู่เป็นปริมาณที่ค่อนข้างมาก (รูปที่ 4.8) ดังนั้นบ่อเลี้ยงปลาบ่อที่ 1 จึงได้รับไนโตรเจนซึ่งเป็นองค์ประกอบในอาหารปลาลดลงมากกว่าทุกบ่อ เป็นผลให้ปริมาณแอมโมเนียของน้ำในบ่อที่ 1 ลดลงในช่วงท้ายของการทดลอง

4.1.2.2 ไนไตรต์

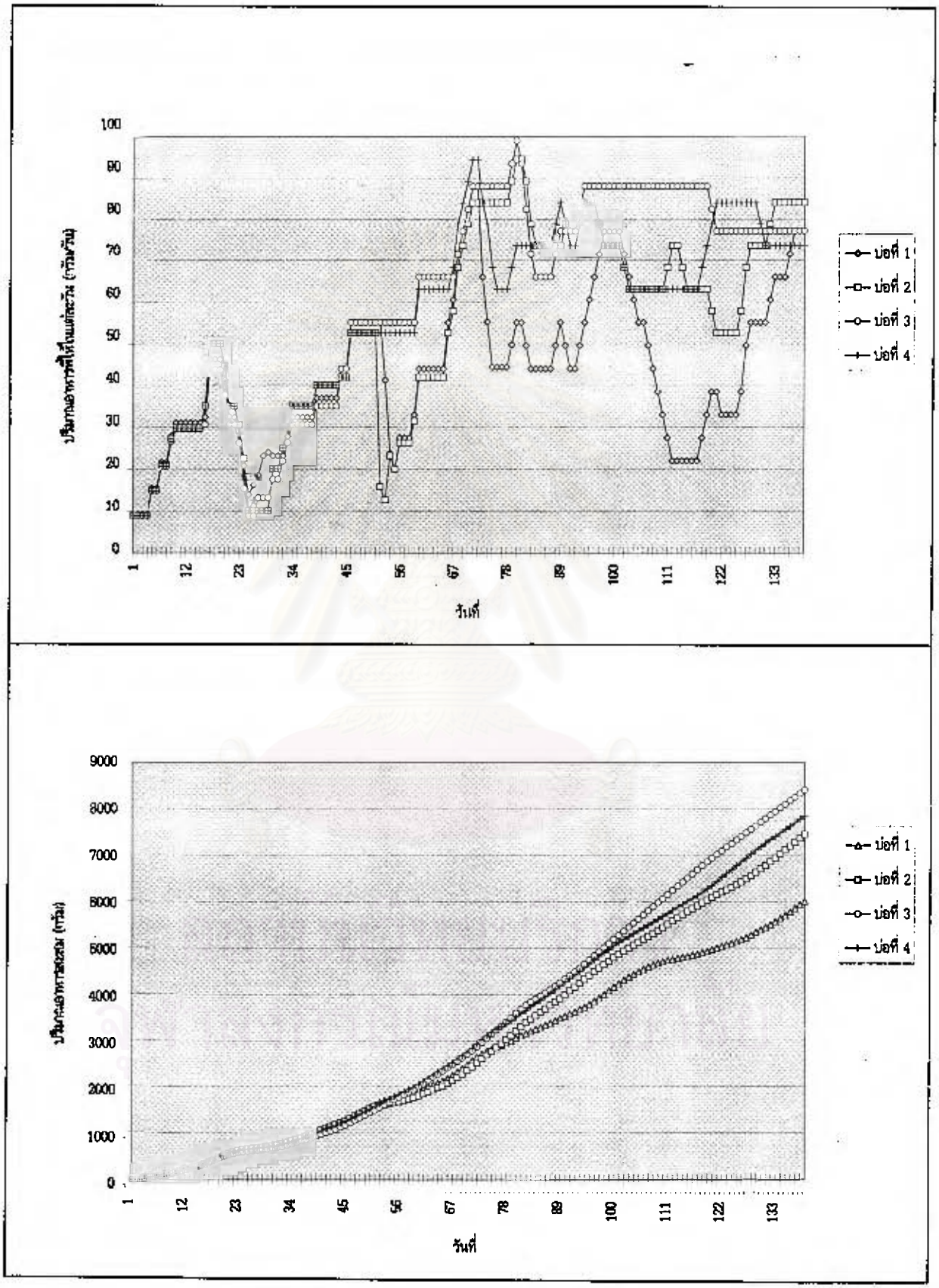
ไนไตรต์เป็นไนโตรเจนที่เปลี่ยนรูปมาจากแอมโมเนีย ซึ่งเป็นผลที่ได้จากกระบวนการไนตริฟิเคชั่นขั้นที่ 1 โดยการกระทำของแบคทีเรียไนโตรโซโมนาซดังแสดงในสมการที่ 4.1 ไนไตรต์เป็นพิษต่อปลาทำให้เกิดภาวะโรคเลือดน้ำตาล (Brown blood disease) เนื่องจากไนไตรต์ไปออกซิไดซ์เหล็กซึ่งเป็นองค์ประกอบของฮีโมโกลบินในเลือดปลาทำให้ไม่สามารถขนถ่ายออกซิเจนได้ ปลาที่เกิดโรคนี้จะไม่สามารถมีชีวิตอยู่ได้เนื่องจากขาดออกซิเจน ดังนั้นค่าของไนไตรต์ในน้ำไม่ควรมีค่าเกิน 0.5 มก./ล.ไนโตรเจน (Boyd, 1984)

$$NH_3 \xrightarrow{\text{Nitrosomonas}} NO_2^- \xrightarrow{\text{Nitrobactor}} NO_3^- \qquad \text{---(4.1)}$$

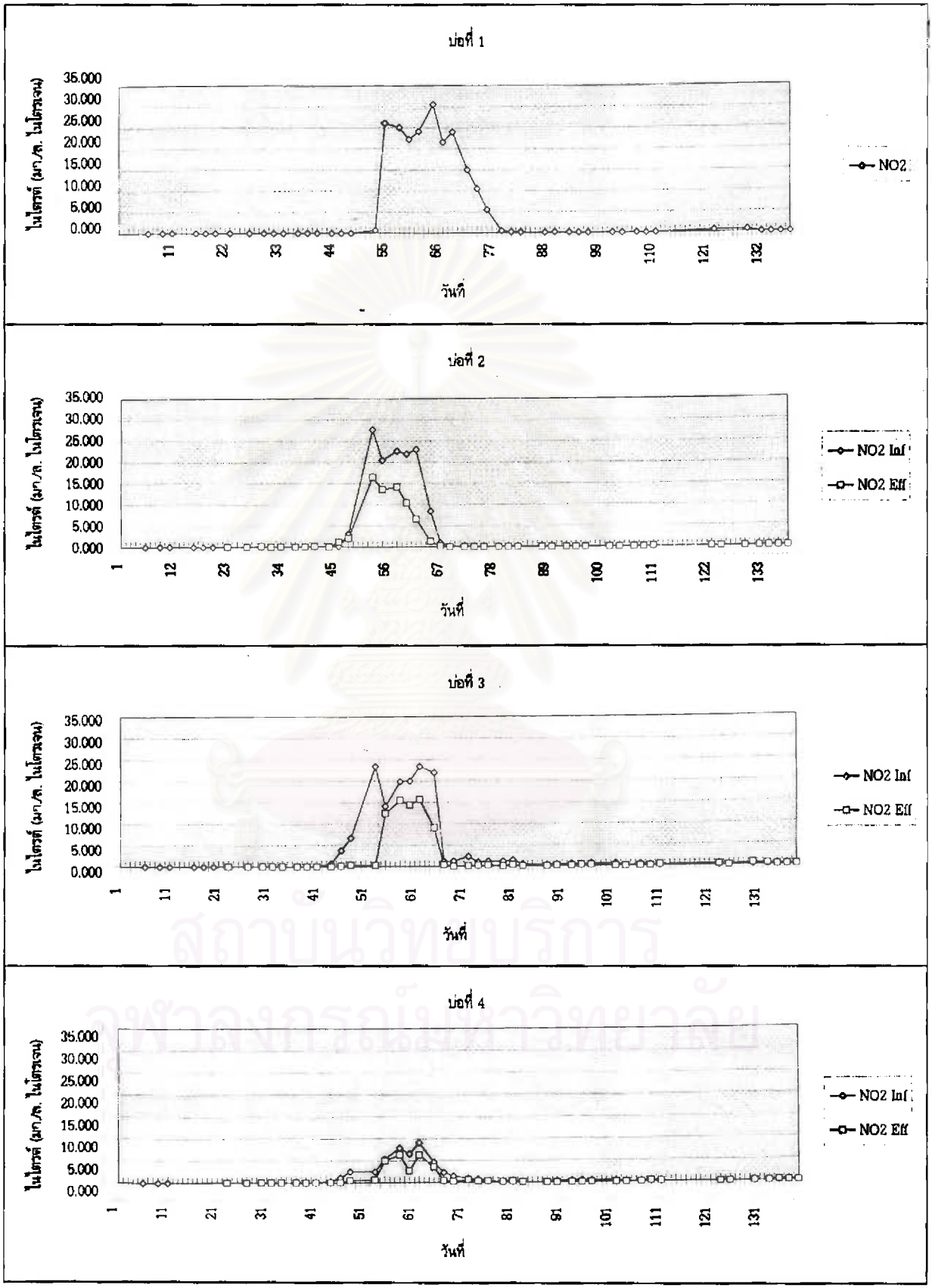
จากรูปที่ 4.9 แสดงการเปลี่ยนแปลงของไนไตรต์ที่ได้จากการทดลอง และตลอดการทดลองแสดงข้อมูลไว้ในตารางที่ ก-8 ภาคผนวก ก ส่วนค่าเฉลี่ยของไนไตรต์ตลอดการทดลองแสดงในตารางที่ 4.9

บ่อเลี้ยงปลาทุกบ่อในช่วงแรกของการทดลองยังไม่มีไนไตรต์เกิดขึ้นจนกระทั่งถึงวันที่ 44 ของการทดลอง จึงมีไนไตรต์เกิดขึ้น และค่าของไนไตรต์ได้เพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว จนมีค่าสูงสุดเท่ากับ 30.500, 27.750, 23.400 และ 9.100 มก./ล.ไนโตรเจน ของน้ำในบ่อที่ 1, 2, 3 และ 4 ตามลำดับ และหลังจากนั้นค่าไนไตรต์ได้ลดลงอย่างรวดเร็วเช่นกัน จากตารางที่ 4.9 ได้ค่าเฉลี่ยของไนไตรต์ตลอดการทดลองของน้ำในบ่อที่ 1 สูงที่สุดเท่ากับ 3.226 มก./ล.ไนโตรเจน รองลงมาคือบ่อที่ 3, 2 และ 1 โดยมีค่าเท่ากับ 2.370, 2.064 และ 0.788 มก./ล.ไนโตรเจน ตามลำดับ

จากค่าเฉลี่ยของปริมาณไนไตรต์ในแต่ละบ่อจะเห็นว่ามีค่าสูงที่สุดเกิดขึ้นในเดือนที่ 2 โดยบ่อที่ 1 จะมีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 15.797 มก./ล.ไนโตรเจน และรองลงมาคือบ่อที่ 3, 2 และ 4 โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 8.438, 7.607 และ 3.085 มก./ล.ไนโตรเจน ตามลำดับ และที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นว่าไนไตรต์เป็นผลที่ได้



รูปที่ 4.8 แสดงปริมาณอาหารปลาที่ให้ในบ่อต่างๆ



รูปที่ 4.9 ไนไตรท์ในน้ำตลอดการทดลอง

ตารางที่ 4.9 แสดงค่าเฉลี่ย ค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของไนไตรต์ตลอดการทดลอง (มก./ล.ไนโตรเจน)

วันที่ทดลอง	น้ำในบ่อทดลอง				น้ำออกจากถังกรอง		
	บ่อที่ 1	บ่อที่ 2	บ่อที่ 3	บ่อที่ 4	ถังที่ 2	ถังที่ 3	ถังที่ 4
1-22	0.002	0.001	0.002	0.000			
เดือนที่ 1 (23-53)	0.064	2.586	2.880	0.539	1.685	0.072	0.101
เดือนที่ 2 (54-83)	15.797	7.607	8.438	3.085	3.565	5.272	2.026
เดือนที่ 3 (84-114)	0.078	0.086	0.420	0.268	0.034	0.169	0.083
เดือนที่ 4 (115-139)	0.189	0.038	0.111	0.046	0.025	0.192	0.016
ค่าสูงสุด	30.500	27.750	23.400	9.100	16.500	15.700	6.350
ค่าต่ำสุด	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
ค่าเฉลี่ย (1-139)	3.226	2.064	2.370	0.788	1.327	1.426	0.557
S.D.	7.028	3.289	3.591	1.302	1.684	2.564	0.980

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

มาจากการกระทำของไนโตรโซโมนาซ ในปฏิกิริยาไนตริฟิเคชั่นเปลี่ยนแอมโมเนียไปเป็นไนไตรต์ ดังนั้น ปริมาณแอมโมเนียที่มีอยู่ในน้ำจึงเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณไนไตรต์ในน้ำของบ่อเลี้ยงปลาแต่ละบ่อ รวมทั้งปริมาณของแบคทีเรียที่มีหน้าที่รับผิดชอบในกระบวนการไนตริฟิเคชั่นแต่ละขั้น ซึ่งการสะสมตัวของไนไตรต์ในน้ำ จะเกิดขึ้นเนื่องจากเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชั่นแบบไม่สมบูรณ์ คือมีการเปลี่ยนแอมโมเนียไปเป็นไนไตรต์มากกว่าการเปลี่ยนไนไตรต์ไปเป็นไนเตรต ฉะนั้นจากเหตุผลที่กล่าวมานี้จะเห็นว่าการเปลี่ยนแปลงของไนไตรต์จะสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของปริมาณแอมโมเนียที่มีอยู่ในน้ำ และในรูปที่ 4.7 จะเห็นว่าเมื่อมีการให้อาหารแก่ปลาในบ่อไปจนกระทั่งน้ำในบ่อเริ่มมีการสะสมของอาหารปลาที่เหลือและของเสียจากการขับถ่ายเพิ่มมากขึ้น ของเสียเหล่านี้จะมีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบเมื่อเกิดการย่อยสลายจะได้แอมโมเนีย และในเวลาต่อมาน้ำในแต่ละบ่อจะเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชั่น เปลี่ยนแอมโมเนียไปเป็นไนไตรต์และไนเตรตตามลำดับ ซึ่งเมื่อมีกระบวนการไนตริฟิเคชั่นเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์แล้ว ไนโตรเจนในรูปของไนไตรต์ไม่อาจอยู่ในสภาพคงที่ได้ เพราะถูกแบคทีเรียย่อยสลายต่อไปเป็นไนเตรต ดังนั้นจึงพบไนไตรต์ในน้ำของบ่อเลี้ยงปลาทั้ง 4 บ่อ ในปริมาณที่ต่ำลงมากในเดือนที่ 3 และ 4 ของการทดลอง

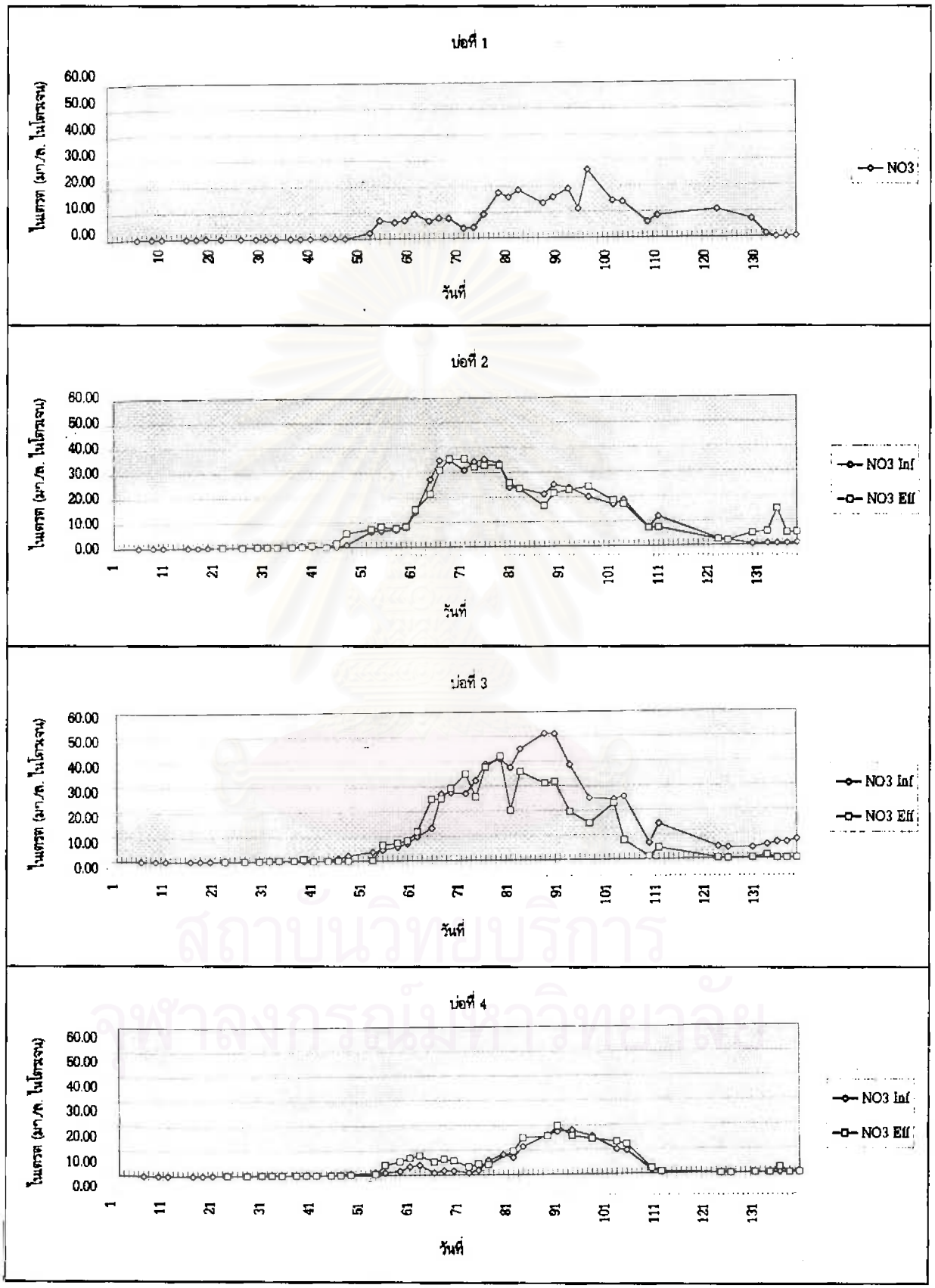
4.1.2.3 ไนเตรต

ไนเตรตเป็นไนโตรเจนตัวสุดท้ายของการเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชั่น ซึ่งเป็นการกระทำของไนตริฟายอิงแบคทีเรียชื่อ ไนโตรแบคเตอร์ แบคทีเรียที่จะออกซิไดซ์ไนไตรต์ไปเป็นไนเตรต การสะสมตัวของไนเตรตในบ่อปลาจะไม่เป็นอันตรายต่อปลาที่เลี้ยง จนกระทั่งมีปริมาณสะสมสูงถึง 400 มก./ล.ไนโตรเจน ซึ่งอาจทำให้ปลาดำรงชีพอย่างลำบาก (Boyd, 1984)

การเปลี่ยนแปลงค่าไนเตรตของน้ำในบ่อเลี้ยงปลาทุกบ่อได้เก็บข้อมูลตลอดการทดลองไว้ในตารางที่ ก-9 ภาคผนวก ก และแสดงดังรูปที่ 4.10 และในตารางที่ 4.10 แสดงค่าเฉลี่ยของไนเตรตในแต่ละเดือนพร้อมค่าเฉลี่ยรวมตลอดการทดลอง

บ่อเลี้ยงปลาทุกบ่อในช่วงแรกของการทดลองยังไม่มีไนเตรตเกิดขึ้นจนถึงวันที่ 46 ของการทดลองจึงมีไนเตรตเกิดขึ้น และค่าไนเตรตได้เพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วจนมีค่าสูงสุดเท่ากับ 26.25, 35.40, 51.20 และ 17.95 มก./ล.ไนโตรเจน ของน้ำในบ่อที่ 1, 2, 3 และ 4 ตามลำดับ และหลังจากนั้นค่าไนเตรตได้ลดลงอย่างรวดเร็ว จากตารางค่าเฉลี่ยของไนเตรตจะเห็นว่าค่าเฉลี่ยตลอดการทดลองของน้ำในบ่อที่ 3 มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 12.10 มก./ล.ไนโตรเจน รองลงมาคือบ่อที่ 2, 1, และ 4 โดยมีค่าเท่ากับ 8.87, 5.39 และ 3.09 มก./ล. ไนโตรเจน ตามลำดับ ดังนั้นจากค่าสูงสุดและค่าเฉลี่ยตลอดการทดลองของไนเตรตที่ได้กล่าวมานี้ จะเห็นว่ามีปริมาณน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณไนเตรตที่มีค่าสูงถึง 400 มก./ล. ไนโตรเจน ซึ่งเป็นค่าที่มีผลกระทบต่อการดำรงชีพของปลาในบ่อ

การหมุนเวียนของไนโตรเจนในบ่อเลี้ยงปลาซึ่งได้กล่าวไว้แล้วในหัวข้อที่ 2.3.3 และสามารถสรุปได้ว่า น้ำในบ่อเลี้ยงปลาที่มีการให้อาหารแก่ปลาในบ่อ อาหารส่วนหนึ่งถูกปลากิน ไนโตรเจนในอาหารเปลี่ยน



รูปที่ 4.10 ไนเตรตในน้ำตลอดการทดลอง

ตารางที่ 4.10 แสดงค่าเฉลี่ย ค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของไนเตรทตลอดการทดลอง (มก./ล.ไนโตรเจน)

วันที่ทดลอง	น้ำในบ่อทดลอง				น้ำออกจากถังกรอง		
	บ่อที่ 1	บ่อที่ 2	บ่อที่ 3	บ่อที่ 4	ถังที่ 2	ถังที่ 3	ถังที่ 4
1-22	0.01	0.01	0.01	0.01			
เดือนที่ 1 (23-53)	0.20	0.74	0.62	0.19	1.35	0.14	0.10
เดือนที่ 2 (54-83)	9.31	24.30	24.34	3.84	23.87	23.78	6.55
เดือนที่ 3 (84-114)	14.25	18.12	29.63	11.17	16.91	16.66	11.79
เดือนที่ 4 (115-139)	3.19	1.17	5.88	0.23	5.69	0.37	0.44
ค่าสูงสุด	26.25	35.40	51.20	17.95	35.50	42.00	19.75
ค่าต่ำสุด	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ค่าเฉลี่ย (1-139)	5.39	8.87	12.10	3.09	11.96	10.24	4.72
S.D.	6.22	11.48	13.91	4.79	10.30	11.89	5.57

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เป็นโปรตีนในเนื้อปลาและสิ่งขับถ่ายในรูปของแอมโมเนียละลายปนอยู่ในน้ำ อาหารส่วนที่ปลากินไม่หมดจะละลายน้ำและถูกย่อยสลายได้แอมโมเนีย ซึ่งแอมโมเนียที่ได้จากการย่อยสลายและจากการขับถ่าย ส่วนหนึ่งถูกแพลงค์ตอนพืชนำไปใช้ในการเจริญเติบโต และอีกส่วนหนึ่งถูกแบคทีเรียย่อยสลายต่อเปลี่ยนไปเป็นไนไตรต์และไนเตรต แต่ถ้ากระบวนการย่อยสลายแอมโมเนียโดยแบคทีเรียหรือกระบวนการไนตริฟิเคชั่นเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์แล้ว ไนโตรเจนในรูปของไนไตรต์ไม่อาจอยู่ในสภาพคงที่ เพราะถูกแบคทีเรียย่อยสลายต่อไปเป็นไนเตรต ฉะนั้นจึงพบไนไตรต์ในปริมาณต่ำเสมอ และกระบวนการดังกล่าวจะเกิดต่อเนื่องไปเรื่อยๆ จนโปรตีนหรืออินทรีย์สารที่มีอยู่ในบ่อถูกย่อยสลายหมดไป และจากข้อมูลในการทดลองจะเห็นว่าการเปลี่ยนแปลงของปริมาณไนโตรเจนในรูปต่างๆ สอดคล้องกับปรากฏการณ์ที่ได้กล่าวมาข้างต้นคือ (ดูรูปที่ 4.7) ในการทดลองครั้งนี้ซึ่งมีการให้อาหารแก่ปลาในบ่อ อาหารปลาส่วนที่เหลือจะถูกย่อยสลายได้แอมโมเนีย และในเวลาต่อมาเมื่อน้ำในบ่อมีกระบวนการไนตริฟิเคชั่นเกิดขึ้น แอมโมเนียถูกเปลี่ยนเป็นไนไตรต์และไนเตรตตามลำดับ และในขณะเดียวกันแอมโมเนียและไนเตรตซึ่งเป็นไนโตรเจนในรูปที่พืชชั้นต่ำใช้ได้ ถูกแพลงค์ตอนพืชที่มีอยู่ในบ่อนำไปใช้ในการเจริญเติบโต ดังนั้นจากที่มีการสะสมของไนโตรเจนในรูปต่างๆ ของน้ำในบ่อ แต่ในช่วงเวลาต่อมาจะเห็นว่ามีปริมาณลดลง เนื่องจากมีการเปลี่ยนแอมโมเนียและไนไตรต์ไปเป็นไนเตรตในกระบวนการไนตริฟิเคชั่น และพร้อมกับมีการใช้แอมโมเนียและไนเตรตไปในกระบวนการสังเคราะห์แสงของแพลงค์ตอนพืชนั้นเอง

จากตารางที่ 4.11 จะเห็นถึงความแตกต่างของปริมาณไนเตรตของน้ำในแต่ละบ่อ โดยจะเห็นว่าบ่อที่ 3 มีค่าเฉลี่ยตลอดการทดลองสูงสุดเท่ากับ 12.10 มก./ล.ไนโตรเจน และรองลงมาคือบ่อที่ 2, 1 และ 4 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 8.87, 5.39 และ 3.09 มก./ล.ไนโตรเจน ตามลำดับ จากค่าที่แตกต่างกันนี้อาจมีสาเหตุมาจากปริมาณอาหารที่ให้ปลาในแต่ละบ่อ และการนำน้ำในบ่อไปปรับปรุงคุณภาพด้วยถังกรองที่อัตราส่วนในการหมุนเวียนแตกต่างกันคือ 5,10 และ 20 % ของน้ำในบ่อที่ 2, 3 และ 4 ตามลำดับ ซึ่งจากรูปที่ 4.8 ได้แสดงปริมาณอาหารสะสมที่ให้ปลาในแต่ละบ่อ จะเห็นว่าบ่อที่ 3 มีการให้อาหารแก่ปลาในบ่อเป็นปริมาณสูงที่สุด รองลงมาคือบ่อที่ 4, 2 และ 1 ตามลำดับ ดังนั้นเหตุผลที่บ่อที่ 3 มีค่าไนเตรตในน้ำสูงที่สุดอาจจะเป็นเพราะได้รับไนโตรเจนที่เป็นองค์ประกอบในอาหารปลามากกว่าทุกบ่อ ส่วนบ่อที่ 4 ซึ่งมีไนเตรตในน้ำน้อยที่สุดอาจเป็นเพราะมีอัตราส่วนในการหมุนเวียนน้ำไปบำบัดสูงที่สุด ซึ่งในการดึงน้ำออกไปกรองจะสามารถกำจัดแพลงค์ตอนพืชที่มีอยู่ในน้ำออกไปด้วย และจากที่แพลงค์ตอนพืชต้องใช้ไนโตรเจนในการเจริญเติบโต ดังนั้นบ่อที่ 4 ซึ่งมีอัตราส่วนในการหมุนเวียนน้ำสูงสุดจึงกำจัดไนโตรเจนออกจากบ่อได้มากที่สุด และเป็นผลให้มีไนเตรตในน้ำน้อยตามไปด้วย

4.1.2.4 ทีเคเอ็น

ทีเคเอ็น (TKN) หรือ Total kjeldahl Nitrogen หมายถึงผลรวมของแอมโมเนียและสารอินทรีย์ไนโตรเจนในน้ำนั้น การเปลี่ยนแปลงค่าทีเคเอ็นของน้ำในบ่อเลี้ยงปลาได้เก็บข้อมูลตลอดการทดลองไว้ในตารางที่ ก-10

ภาคผนวก ก และแสดงดังรูปที่ 4.11 และในตารางที่ 4.12 ได้แสดงค่าเฉลี่ยของทีเคเอ็นตลอดการทดลอง

บ่อเลี้ยงปลาบ่อที่ 1 มีการเปลี่ยนแปลงค่าทีเคเอ็นคือ มีค่าเพิ่มสูงขึ้นและลดต่ำลงเมื่อเวลาผ่านไป โดยช่วงแรกจะมีปริมาณทีเคเอ็นในน้ำสะสมไม่มากนัก จนกระทั่งบ่อปลาได้รับอาหารที่เหลือจากปลากินอาหารน้อยลงมากในช่วงวันที่ 20-30 ของการทดลองเป็นปริมาณมาก ทำให้น้ำในบ่อได้รับสารอินทรีย์มากขึ้นในทันที เป็นผลให้มีค่าทีเคเอ็นสูงขึ้นมากและมีค่าสูงสุดเท่ากับ 20.38 มก./ล.ไนโตรเจน และได้มีปริมาณลดลงในเวลาต่อมา ดังแสดงในรูปที่ 4.11 ของบ่อที่ 1 และจากตารางที่ 4.12 ได้แสดงค่าเฉลี่ยในแต่ละเดือน โดยมีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 7.84 มก./ล.ไนโตรเจน ในเดือนที่ 1 และเท่ากับ 1.54, 3.88, 3.87 และ 3.65 มก./ล.ไนโตรเจน ในช่วง 22 วันแรก และในเดือนที่ 2, 3 และ 4 ตามลำดับ และค่าเฉลี่ยทีเคเอ็นตลอดการทดลองมีค่าเท่ากับ 4.16 มก./ล.ไนโตรเจน

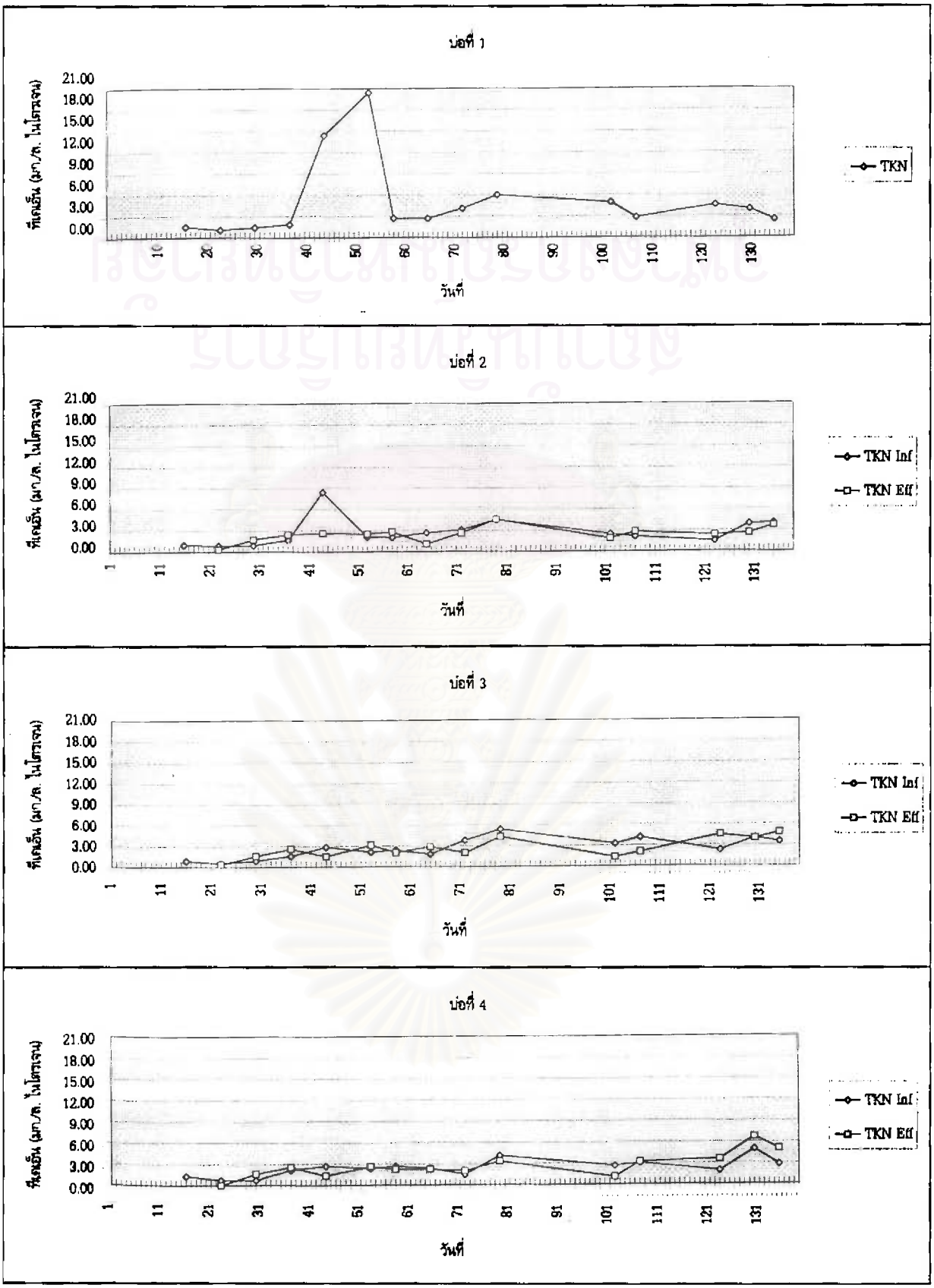
บ่อเลี้ยงปลาบ่อที่ 2 มีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นเช่นเดียวกับบ่อที่ 1 โดยมีค่าทีเคเอ็นสูงสุดเท่ากับ 8.45 มก./ล.ไนโตรเจน และมีปริมาณลดลงในเวลาต่อมาดังแสดงในรูปที่ 4.11 ของบ่อที่ 2 และจากตารางที่ 4.12 แสดงค่าเฉลี่ยในแต่ละเดือนโดยมีค่าสูงสุดเท่ากับ 3.15 มก./ล.ไนโตรเจน ในเดือนที่ 4 ส่วนค่าเฉลี่ยในช่วง 22 วันแรกและในเดือนที่ 1, 2 และ 3 เท่ากับ 1.00, 2.82, 3.10 และ 2.30 มก./ล.ไนโตรเจน ตามลำดับ และค่าเฉลี่ยทีเคเอ็นตลอดการทดลองมีค่าเท่ากับ 2.47 มก./ล.ไนโตรเจน

บ่อเลี้ยงปลาบ่อที่ 3 มีการเปลี่ยนแปลงค่าทีเคเอ็นโดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น จากค่าเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 0.89 มก./ล.ไนโตรเจน ในช่วง 22 วันแรกและเพิ่มขึ้นเป็น 1.61, 3.35, 3.69 และ 3.26 มก./ล.ไนโตรเจน ในเดือนที่ 1, 2, 3 และ 4 ตามลำดับ ซึ่งค่าทีเคเอ็นเฉลี่ยตลอดการทดลองมีค่าเท่ากับ 2.56 มก./ล.ไนโตรเจน

บ่อเลี้ยงปลาบ่อที่ 4 มีการเปลี่ยนแปลงค่าทีเคเอ็นดังแสดงในรูปที่ 4.11 ของบ่อที่ 4 โดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากค่าเฉลี่ยต่ำที่สุดเท่ากับ 1.35 มก./ล.ไนโตรเจน ในเวลา 22 วันแรกของการทดลอง มีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 3.26 มก./ล.ไนโตรเจน ในเดือนที่ 4 และค่าเฉลี่ยตลอดการทดลองเท่ากับ 2.38 มก./ล.ไนโตรเจน

ตารางที่ 4.11 ปริมาณอาหารที่ให้ในบ่อ และค่าไนเตรตเฉลี่ยในบ่อเลี้ยงปลาที่มีการกำจัดแพลงค์ตอนในระดับต่างๆ

บ่อเลี้ยงปลา	อาหารที่ให้ปลาตลอดการทดลอง (กรัม)	ค่าไนเตรตเฉลี่ย (มก./ล.ไนโตรเจน)	ระดับกำจัดแพลงค์ตอน (อัตราการหมุนเวียนน้ำ, %)
บ่อที่ 1	6005	5.39	0
บ่อที่ 2	7444	8.87	5
บ่อที่ 3	8401	12.10	10
บ่อที่ 4	7845	3.09	20



รูปที่ 4.11 ทีเคเอ็นในน้ำตลอดการทดลอง

ตารางที่ 4.12 แสดงค่าเฉลี่ย ค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของค่าทีเคเอ็นตลอดการทดลอง (มก./ล.ไนโตรเจน)

วันที่ทดลอง	น้ำในบ่อทดลอง				น้ำออกจากถังกรอง		
	บ่อที่ 1	บ่อที่ 2	บ่อที่ 3	บ่อที่ 4	ถังที่ 2	ถังที่ 3	ถังที่ 4
1-22	1.54	1.00	0.89	1.35			
เดือนที่ 1 (23-53)	7.84	2.82	1.61	1.76	1.94	1.84	1.64
เดือนที่ 2 (54-83)	3.88	3.10	3.35	2.69	2.79	2.81	2.46
เดือนที่ 3 (84-114)	3.87	2.30	3.69	2.85	2.31	1.69	2.14
เดือนที่ 4 (115-139)	3.65	3.15	3.26	3.26	2.88	4.43	5.13
ค่าสูงสุด	20.38	8.45	5.38	4.97	4.55	4.82	6.72
ค่าต่ำสุด	1.13	0.91	0.54	0.75	0.36	0.38	0.00
ค่าเฉลี่ย (1-139)	4.16	2.47	2.56	2.38	2.48	2.69	2.84
S.D.	2.28	0.89	1.23	0.80	0.44	1.26	1.56

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากตารางที่ 4.13 จะเห็นว่าบ่อเลี้ยงปลาบ่อที่ 1 มีค่าทีเคเอ็นสูงกว่าบ่ออื่นๆ ตลอดการทดลอง โดยมีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 4.16 มก./ล.ไนโตรเจน ส่วนบ่อเลี้ยงปลาบ่อที่ 2, 3 และ 4 มีค่าทีเคเอ็นแตกต่างกันเล็กน้อย โดยมีค่าเฉลี่ยตลอดการทดลองเท่ากับ 2.47, 2.56 และ 2.38 มก./ล.ไนโตรเจน ตามลำดับ ซึ่งจากที่บ่อที่ 1 มีค่าทีเคเอ็นในน้ำสูงที่สุด แต่เป็นบ่อที่มีการให้อาหารแก่ปลาในบ่อเป็นปริมาณน้อยที่สุดนั้น น่าจะมีสาเหตุมาจากบ่อที่ 1 ไม่มีการดึงน้ำในบ่อออกไปบำบัดหรือไม่มีการกำจัดแพลงค์ตอนออกจากน้ำในบ่อนั้นเอง เป็นผลให้มีการสะสมของสารอินทรีย์ไนโตรเจนและแอมโมเนียที่ได้มาจากอาหารปลาที่เหลือและของเสียจากการขับถ่ายของปลาเพิ่มขึ้นมากกว่าทุกบ่อ ในขณะที่บ่ออื่นๆ มีการใช้ระบบถังกรองทรายในการกำจัดแพลงค์ตอนซึ่งต้องใช้ไนโตรเจนในการเจริญเติบโตออกจากน้ำหมุนเวียนของบ่อที่ระดับต่างๆ กัน คือที่อัตราส่วนในการหมุนเวียน 5, 10 และ 20% ของน้ำในบ่อที่ 2, 3 และ 4 ตามลำดับ ดังนั้นจึงทำให้บ่อต่างๆ เหล่านี้มีการสะสมของทีเคเอ็นในน้ำน้อยกว่าบ่อที่ 1

ตารางที่ 4.13 ปริมาณอาหารที่ให้ในบ่อ และค่าทีเคเอ็นเฉลี่ยในบ่อเลี้ยงปลาที่มีการกำจัดแพลงค์ตอนในระดับต่างๆ

บ่อเลี้ยงปลา	อาหารที่ให้ปลาตลอดการทดลอง (กรัม)	ค่าทีเคเอ็นเฉลี่ย (มก./ล.ไนโตรเจน)	ระดับกำจัดแพลงค์ตอน (อัตราการหมุนเวียนน้ำ, %)
บ่อที่ 1	6005	4.16	0
บ่อที่ 2	7444	2.47	5
บ่อที่ 3	8401	2.56	10
บ่อที่ 4	7845	2.38	20

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.1.2.5 ฟอสฟอรัส

ฟอสฟอรัสอาจพบได้ในรูปสารละลายน้ำ หรืออนุภาคแขวนลอยในบ่อปลา ฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำได้มีทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ สารอินทรีย์ฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำได้มักเกิดจากการเน่าเปื่อยของพืชหรือสิ่งมีชีวิตอื่นๆ ส่วนสารอนินทรีย์ฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำมักเป็นออร์โธฟอสเฟต อนุภาคแขวนลอยที่มีฟอสฟอรัส ได้แก่ แพลงค์ตอนต่างๆ น้ำในบ่อเลี้ยงปลาได้รับฟอสฟอรัสจากอาหารปลา อาหารส่วนที่ปลากินถูกเปลี่ยนเป็นอินทรีย์ฟอสฟอรัสในตัวปลา อาหารส่วนที่ปลากินไม่หมดจะตกค้างสะสมอยู่ในบ่อ และในเวลาต่อมาจะถูกแบคทีเรียย่อยสลายฟอสฟอรัสที่มีอยู่ในอาหาร ให้เป็นฟอสฟอรัสในรูปของสารประกอบ

แบบง่ายๆ ซึ่งพืชชั้นต่ำสามารถนำไปใช้ได้ ฟอสฟอรัสที่พืชชั้นต่ำสามารถนำไปใช้ในการสังเคราะห์แสงได้คือ อนินทรีย์ฟอสฟอรัสในรูปออร์โทฟอสเฟต ($H_2PO_4^-$, HPO_4^{2-}, PO_4^{2-}) ซึ่งฟอสฟอรัสในรูปนี้ละลายน้ำได้แต่มีจำนวนน้อย ฟอสฟอรัสส่วนใหญ่จะตกตะกอนและถูกดูดกลืนโดยดินก้นบ่อ การตกตะกอนของฟอสฟอรัสเกิดขึ้นได้ง่าย ในสภาพที่น้ำเป็นกรดฟอสฟอรัสตกตะกอนกับเหล็กและอลูมินัม ได้เฟริกฟอสเฟต ($FePO_4$) และอลูมินัมฟอสเฟต ($AlPO_4$) ตามลำดับ ส่วนในสภาพที่น้ำเป็นด่างฟอสฟอรัสตกตะกอนกับแคลเซียมได้ไตรแคลเซียมฟอสเฟต ($Ca_3(PO_4)_2$) และจากที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 2.3.4 ถึงรูปที่ 2.14 ซึ่งแสดงผลของพีเอชที่มีต่อปริมาณอนินทรีย์ฟอสฟอรัส และจากรูปนี้จะแสดงให้เห็นว่าโอกาสที่น้ำจะมีอนินทรีย์ฟอสฟอรัสในรูปที่พืชใช้ได้มีน้อยที่สุดคือ เมื่อพีเอชของน้ำอยู่ในช่วง 6.3 ถึง 6.9 เท่านั้น ที่พีเอชของน้ำสูงหรือต่ำกว่าช่วงนี้ปริมาณอนินทรีย์ฟอสฟอรัสในน้ำลดลงเนื่องจากเกิดการตกตะกอน และโดยทั่วไปปริมาณออร์โธฟอสเฟตในน้ำของบ่อเลี้ยงปลาควรมีค่าอยู่ระหว่าง 0.1-0.5 มก./ล. (มั่นสิน, 2538)

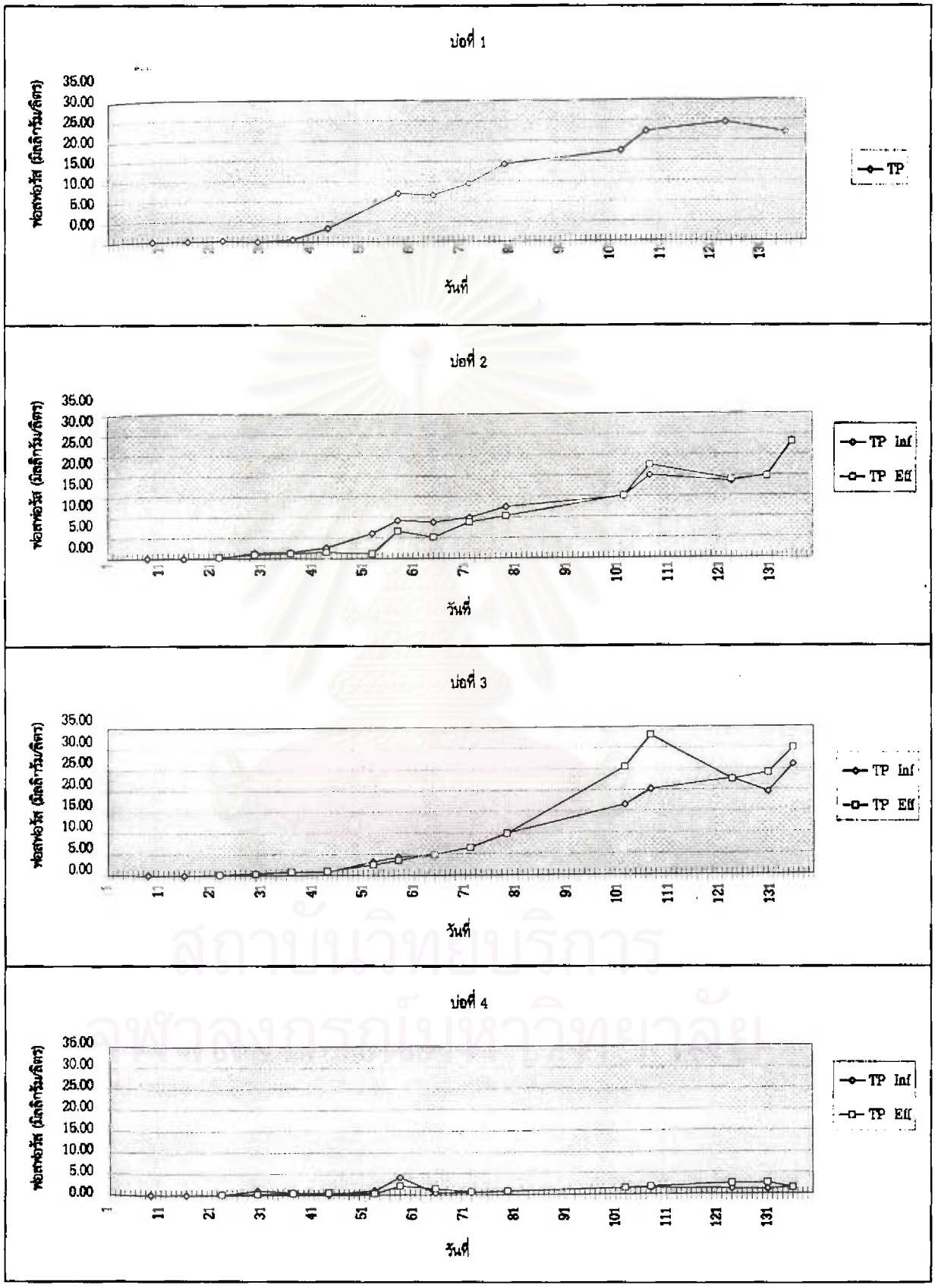
การเปลี่ยนแปลงของฟอสฟอรัสในบ่อปลาได้เก็บข้อมูลตลอดการทดลองไว้ในตารางที่ ก-11 ภาคผนวก ก และแสดงไว้ในรูปที่ 4.12 และค่าเฉลี่ยของฟอสฟอรัสในแต่ละเดือนแสดงไว้ในตารางที่ 4.14

บ่อเลี้ยงปลาบ่อที่ 1 มีการเปลี่ยนแปลงค่าฟอสฟอรัสในน้ำโดยมีการเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตามเวลาที่ผ่านไป ค่าเฉลี่ยของฟอสฟอรัสตลอดการทดลองเท่ากับ 13.67 มก./ล. มีค่าเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 0.06 มก./ล. ในช่วง 22 วันแรกของการทดลอง และมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนมีค่าสูงสุดในเดือนที่ 4 มีค่าเท่ากับ 28.25 มก./ล. ดังแสดงในรูปที่ 4.12 ของบ่อที่ 1 และตารางที่ 4.14

บ่อเลี้ยงปลาบ่อที่ 2 และ 3 มีการเปลี่ยนแปลงของค่าฟอสฟอรัสในน้ำเช่นเดียวกับบ่อที่ 1 โดยมีค่าเฉลี่ยของฟอสฟอรัสตลอดการทดลองเท่ากับ 10.45 และ 9.72 มก./ล. ในบ่อที่ 2 และ 3 ตามลำดับ มีค่าเฉลี่ยต่ำสุดอยู่ในช่วง 22 วันแรกของการทดลองเท่ากับ 0.06 มก./ล. ในบ่อที่ 2 และ 0.04 มก./ล. ในบ่อที่ 3 และค่าเฉลี่ยสูงสุดในเดือนที่ 4 ของการทดลองมีค่าเท่ากับ 22.27 มก./ล. ในบ่อที่ 2 และ 22.73 มก./ล. ในบ่อที่ 3

บ่อเลี้ยงปลาบ่อที่ 4 มีการเปลี่ยนแปลงของค่าฟอสฟอรัสในน้ำคือ มีปริมาณเพิ่มขึ้นในช่วงแรกและหลังจากนั้นมีค่าค่อนข้างคงที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณมากนักโดยดูจากรูปที่ 4.12 ซึ่งจะเห็นว่าบ่อที่ 4 มีค่าฟอสฟอรัสในน้ำต่ำกว่าทุกบ่อ และจากตารางค่าเฉลี่ยในแต่ละเดือนมีค่าเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 0.04 มก./ล.ในช่วง 22 วันแรกของการทดลอง และเพิ่มขึ้นในเดือนที่ 1 มีค่าเท่ากับ 0.57 มก./ล. จากนั้นอีก 3 เดือนหลัง จะมีค่าฟอสฟอรัสละลายในน้ำค่อนข้างคงที่เท่ากับ 1.50, 1.50 และ 1.32มก./ล. ในเดือนที่ 2, 3 และ 4 ตามลำดับ และค่าเฉลี่ยของฟอสฟอรัสในน้ำตลอดการทดลองมีค่าเท่ากับ 0.99 มก./ล.

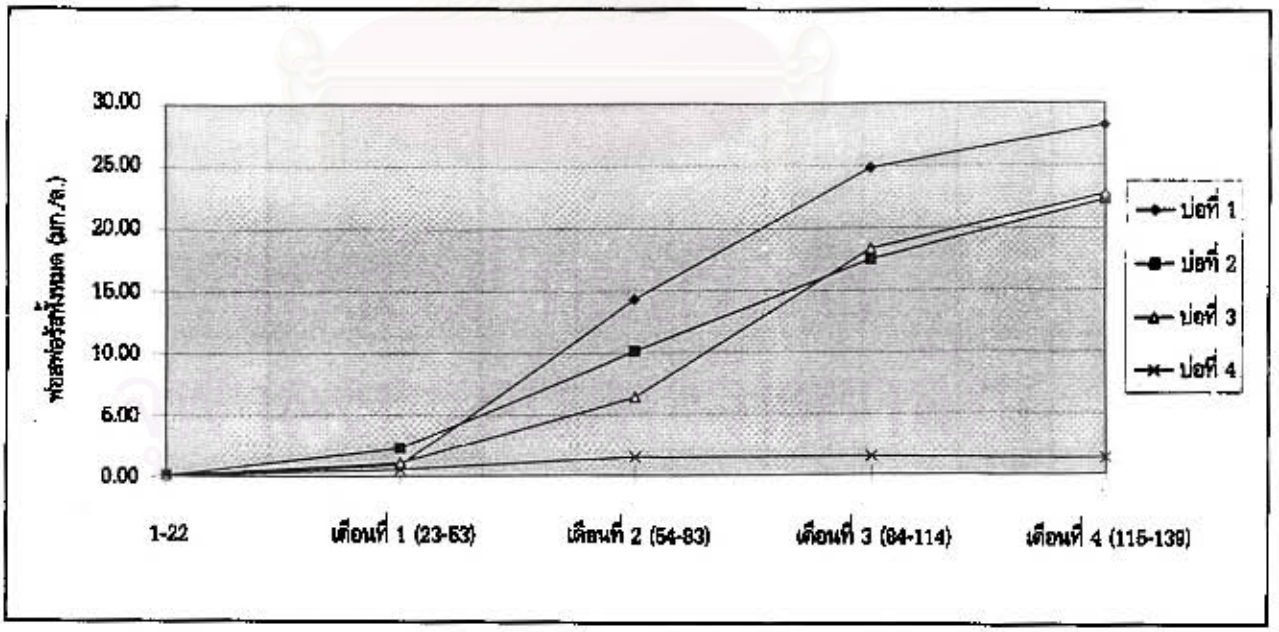
จากตารางที่ 4.14 และรูปที่ 4.13 ได้แสดงปริมาณของฟอสฟอรัสเฉลี่ยในแต่ละเดือน ซึ่งจะพบว่าบ่อเลี้ยงปลาบ่อที่ 4 มีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำต่ำกว่าทุกบ่ออย่างเห็นได้ชัดเจน โดยมีค่าเฉลี่ยตลอดการทดลองเท่ากับ 0.99 มก./ล. และบ่อเลี้ยงปลาบ่อที่ 2 และ 3 มีปริมาณฟอสฟอรัสใกล้เคียงกัน โดยมีค่าเฉลี่ยตลอดการทดลองเท่ากับ 10.45 และ 9.72 มก./ล. ตามลำดับ ส่วนน้ำในบ่อเลี้ยงปลาบ่อที่ 1 มีปริมาณ



รูปที่ 4.12 ฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำตลอดการทดลอง

ตารางที่ 4.14 แสดงค่าเฉลี่ย ค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของฟอสฟอรัสทั้งหมดตลอดการทดลอง (มก./ล.)

วันที่ทดลอง	น้ำในบ่อทดลอง				น้ำออกจากถังกรอง		
	บ่อที่ 1	บ่อที่ 2	บ่อที่ 3	บ่อที่ 4	ถังที่ 2	ถังที่ 3	ถังที่ 4
1-22	0.06	0.06	0.04	0.04			
เดือนที่ 1 (23-53)	0.92	2.33	1.11	0.57	1.02	0.98	0.35
เดือนที่ 2 (54-83)	14.29	10.10	6.39	1.50	7.71	6.19	1.29
เดือนที่ 3 (84-114)	24.85	17.49	18.33	1.50	18.78	29.25	1.65
เดือนที่ 4 (115-139)	28.25	22.27	22.73	1.32	22.23	25.50	2.22
ค่าสูงสุด	29.50	28.30	26.00	4.20	28.00	33.00	2.60
ค่าต่ำสุด	0.03	0.02	0.02	0.00	0.29	0.20	0.13
ค่าเฉลี่ย (1-139)	13.67	10.45	9.72	0.99	12.44	15.48	1.38
S.D.	13.09	9.53	10.28	0.65	9.81	13.98	0.78



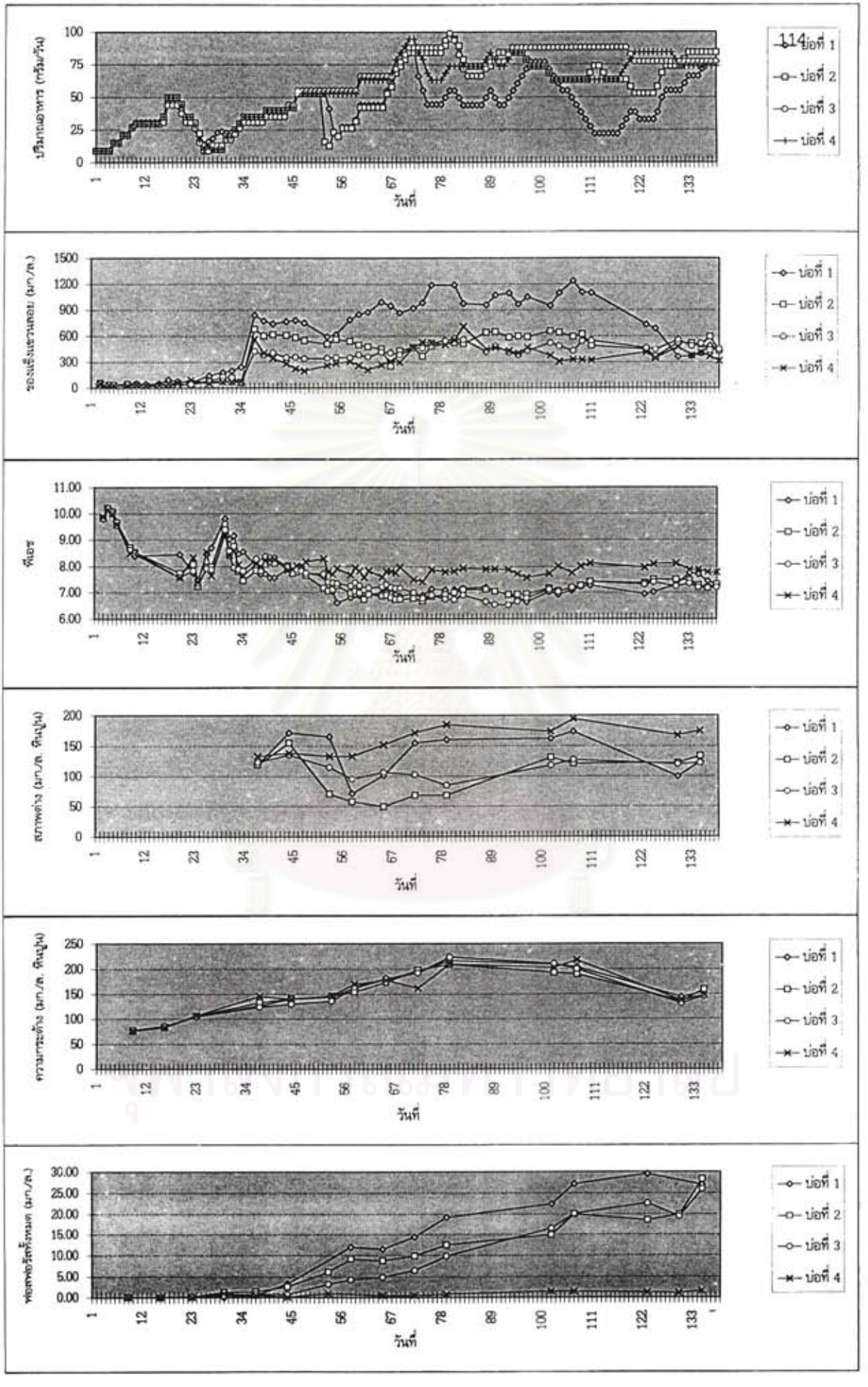
รูปที่ 4.13 แสดงค่าเฉลี่ยของปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในแต่ละเดือนของน้ำในบ่อต่างๆ

ฟอสฟอรัสสูงที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยตลอดการทดลองเท่ากับ 13.67 มก./ล. จากการเปลี่ยนแปลงปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำของบ่อเลี้ยงปลาทั้ง 4 บ่อ จะเห็นว่าทุกบ่อมีแนวโน้มของปริมาณฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งสิ้นสุดการทดลอง ซึ่งการเพิ่มขึ้นของฟอสฟอรัสในน้ำน่าจะสอดคล้องกับการสะสมของฟอสฟอรัสที่เป็นองค์ประกอบอยู่ในอาหารที่ปลากินไม่หมดเพิ่มมากขึ้นตามระยะเวลาในการทดลอง ส่วนความแตกต่างของปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำของบ่อเลี้ยงปลาแต่ละบ่อที่เกิดขึ้นในการทดลองครั้งนี้น่าจะมีสาเหตุมาจาก ปริมาณอาหารที่ให้แก่ปลาในแต่ละบ่อ กระบวนการใช้ฟอสฟอรัสในการสังเคราะห์แสงของพืช กระบวนการตกตะกอนของฟอสฟอรัสเป็นเกลือฟอสเฟต และการนำน้ำในบ่อไปบำบัดด้วยถังกรองทรายที่อัตราส่วนในการหมุนเวียนน้ำที่ระดับต่างๆ จากเหตุผลต่างๆ ดังที่กล่าวมานี้ เมื่อนำมาวิเคราะห์ถึงการเปลี่ยนแปลงของปริมาณฟอสฟอรัสในแต่ละบ่อแล้ว จะสามารถอธิบายถึงปริมาณฟอสฟอรัสของน้ำในบ่อที่ 4 ซึ่งมีปริมาณต่ำกว่าทุกบ่อมากนั้นได้ว่า เนื่องจากบ่อเลี้ยงปลาบ่อที่ 4 มีอัตราส่วนในการหมุนเวียนน้ำในบ่อ (20%) ออกไปบำบัดสูงกว่าทุกบ่อจึงสามารถกำจัดแพลงค์ตอนพืชซึ่งมีฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบ ออกไปจากน้ำในบ่อเป็นปริมาณที่มากกว่าทุกบ่อ และมีกระบวนการใช้ฟอสฟอรัสในการสังเคราะห์แสงของแพลงค์ตอนพืชมากกว่าทุกบ่อ โดยในรูปที่ 4.14 จะเห็นว่าค่าของแข็งแขวนลอยในบ่อที่ 4 มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นตั้งแต่วันที่ 48 จนถึงวันที่ 83 ของการทดลองและหลังจากนั้นจะมีค่าลดลงแล้วจึงค่อนข้างคงที่ จากค่าของแข็งแขวนลอยที่เพิ่มมากขึ้นนี้ได้แสดงถึงปริมาณแพลงค์ตอนพืชที่มีการเพิ่มมากขึ้นในบ่อ ดังนั้นจึงมีกระบวนการสังเคราะห์แสงของแพลงค์ตอนพืชเพิ่มขึ้นด้วย และทำให้มีการดึงคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำไปใช้ในการสังเคราะห์แสงเพิ่มมากขึ้นจนเป็นผลให้น้ำในบ่อมีค่าพีเอชสูงขึ้น โดยจะเห็นว่าบ่อที่ 4 มีค่าพีเอชสูงกว่าทุกบ่ออย่างเห็นได้ชัดเจนหลังวันที่ 48 ของการทดลอง และตลอดไปจนสิ้นสุดการทดลอง ซึ่งมีค่าพีเอชเฉลี่ยตลอดการทดลองเท่ากับ 8.18 และจากที่ได้กล่าวมาแล้วในตอนต้นว่า ในสภาพที่น้ำเป็นด่างฟอสฟอรัสสามารถตกตะกอนกับแคลเซียมได้ไตรแคลเซียมฟอสเฟต ดังนั้นจึงทำให้ฟอสฟอรัสที่มีอยู่ในบ่อบางส่วนตกตะกอนกับแคลเซียมเป็นผลทำให้เหลือฟอสฟอรัสที่ละลายอยู่ในน้ำของบ่อที่ 4 มีปริมาณลดน้อยลงมาก ซึ่งในตารางที่ 4.15 และรูปที่ 4.14 ได้สรุปถึงสาเหตุต่างๆ ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในตอนต้นว่ามีผลทำให้น้ำในแต่ละบ่อมีปริมาณฟอสฟอรัสแตกต่างกัน

4.1.3 การเปลี่ยนแปลงของระบบคาร์บอเนต

4.1.3.1 พีเอช

ค่าพีเอชบ่งบอกถึงการเปลี่ยนแปลงของระดับความเข้มข้นของไฮโดรเจนอิออนที่มีอยู่ในน้ำนั้น ปลานิลสามารถอาศัยอยู่ในน้ำที่มีพีเอชตั้งแต่ 7.2-8.3 ส่วนในช่วงพีเอช 4-6 และ 9-11 ปลาจะเจริญเติบโตช้าและอ่อนแอ น้ำที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงปลาไม่ควรมีการเปลี่ยนแปลงของพีเอชเกินกว่า 2 หน่วยในรอบวัน (มานพ, 2536) และตลอดการทดลองได้ติดตามการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชของน้ำซึ่งได้ผลดังนี้



รูปที่ 4.14 แสดงความสัมพันธ์ของปริมาณอาหาร ของแข็งแขวนลอย พีเอช สภาพด่าง ความกระด้าง และฟอสฟอรัส ในบ่อต่างๆ

ตารางที่ 4.15 สรุป ปริมาณอาหารที่ให้ ค่าเฉลี่ยของพีเอช ของแข็งแขวนลอย สภาพด่างและฟอสฟอรัส ในบ่อเลี้ยงปลาที่มีการกำจัดแพลงค์ตอนในระดับต่างๆ

บ่อเลี้ยงปลา	อาหารที่ให้ปลา (กรัม) (ตลอดการทดลอง)	พีเอช	ของแข็งแขวนลอย (มก./ล.)	ฟอสฟอรัส (มก./ล.)	สภาพด่าง (มก./ล.หินปูน)	ระดับกำจัดแพลงค์ตอน (อัตราการหมุนเวียนน้ำ, %)
บ่อที่ 1	6005	7.75	612	13.67	138	0
บ่อที่ 2	7444	7.72	397	10.45	107	5
บ่อที่ 3	8401	7.70	336	9.72	116	10
บ่อที่ 4	7845	8.18	289	0.99	163	20

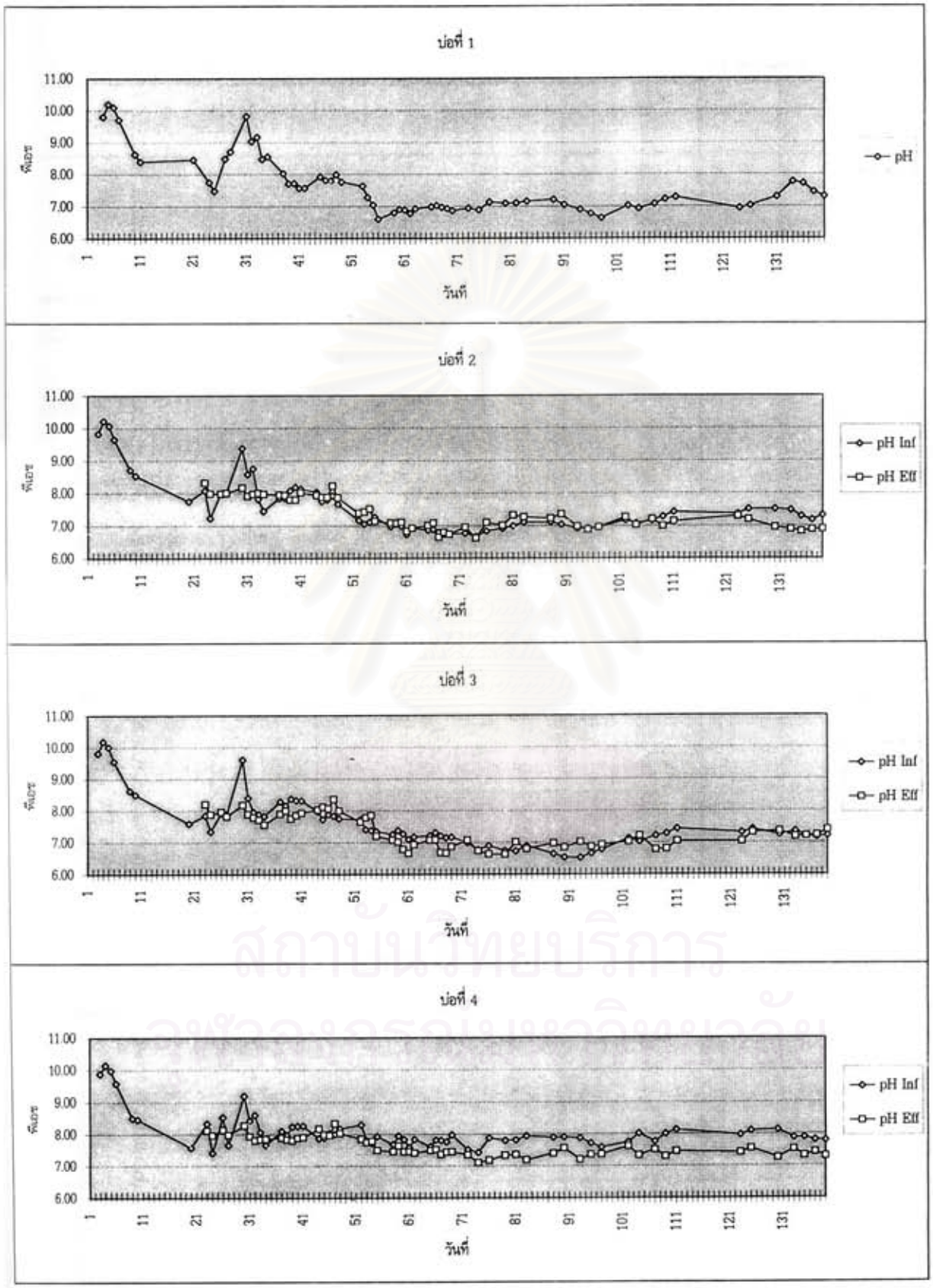
จากรูปที่ 4.15 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชของบ่อเลี้ยงปลาทุกบ่อ และค่าเฉลี่ยในแต่ละเดือน ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.16

ในช่วงแรกของการทดลองค่าพีเอชของน้ำทุกบ่อลดลงอย่างเห็นได้ชัด และมีค่าเพิ่มขึ้นจนกระทั่งสูงที่สุดในวันที่ 30 ของการทดลอง โดยบ่อที่ 1 มีค่าสูงสุดเท่ากับ 9.82 รองลงมาคือบ่อที่ 3, 2 และ 4 มีค่าพีเอชเท่ากับ 9.61, 9.39 และ 9.20 ตามลำดับ ซึ่งจะสอดคล้องกับค่าออกซิเจนละลายน้ำที่มีค่าสูงเรียงจากบ่อที่ 1 มากที่สุด และ 3, 2 และ 4 มีค่ารองลงมาเช่นกัน ดังนั้นเหตุผลอาจจะเป็นเพราะในบ่อเกิดกระบวนการสังเคราะห์แสงมาก แพลงค์ตอนพืชจึงดึงคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำไปใช้มากจนทำให้พีเอชมีค่าสูงเพิ่มขึ้น

จากผลการทดลองที่ค่าพีเอชของน้ำทุกบ่อมีค่าสูงขึ้นมากในวันที่ 30 ของการทดลอง และหลังจากนั้นลดลงมาจนกระทั่งถึงวันที่ 37 ของการทดลองได้มีการเปลี่ยนแปลงการเติมอากาศจากเดิมเปิดเครื่องเติมอากาศในช่วงเวลา 18:00น. ถึง 6:00 น. ในวันถัดไปเปลี่ยนเป็นเปิดตลอด 24 ชม. ซึ่งเมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4.15 และค่าเฉลี่ยในแต่ละเดือนประกอบแล้ว จะเห็นว่าค่าพีเอชเฉลี่ยของทุกบ่อในเดือนที่ 1 มีค่าสูงกว่าอีก 3 เดือนหลัง ซึ่งค่าพีเอชของ 3 เดือนหลังในแต่ละบ่อมีค่าแปรปรวนเล็กน้อย และค่าพีเอชของน้ำในบ่อที่ 4 มีค่าสูงกว่าทุกบ่อตลอดทั้ง 4 เดือน โดยค่าเฉลี่ยของพีเอชตลอดการทดลองของบ่อที่ 4 มีค่าสูงสุดเท่ากับ 8.18 รองลงมาคือบ่อที่ 1, 2 และ 3 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกันโดยมีค่าเท่ากับ 7.75, 7.72 และ 7.70 ตามลำดับ

4.1.3.2 คาร์บอนไดออกไซด์

คาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำมีความสำคัญต่อการเลี้ยงปลา เนื่องจากบ่อปลาที่มีคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำสูงจะทำให้ประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนออกซิเจนของปลาลดลง ปกติปลาจะหลีกเลี่ยงไม่อยู่ในน้ำที่มี



รูปที่ 4.15 ค่าพีเอชของน้ำตลอดการทดลอง

ตารางที่ 4.16 แสดงค่าเฉลี่ย ค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของพีเอชตลอดการทดลอง

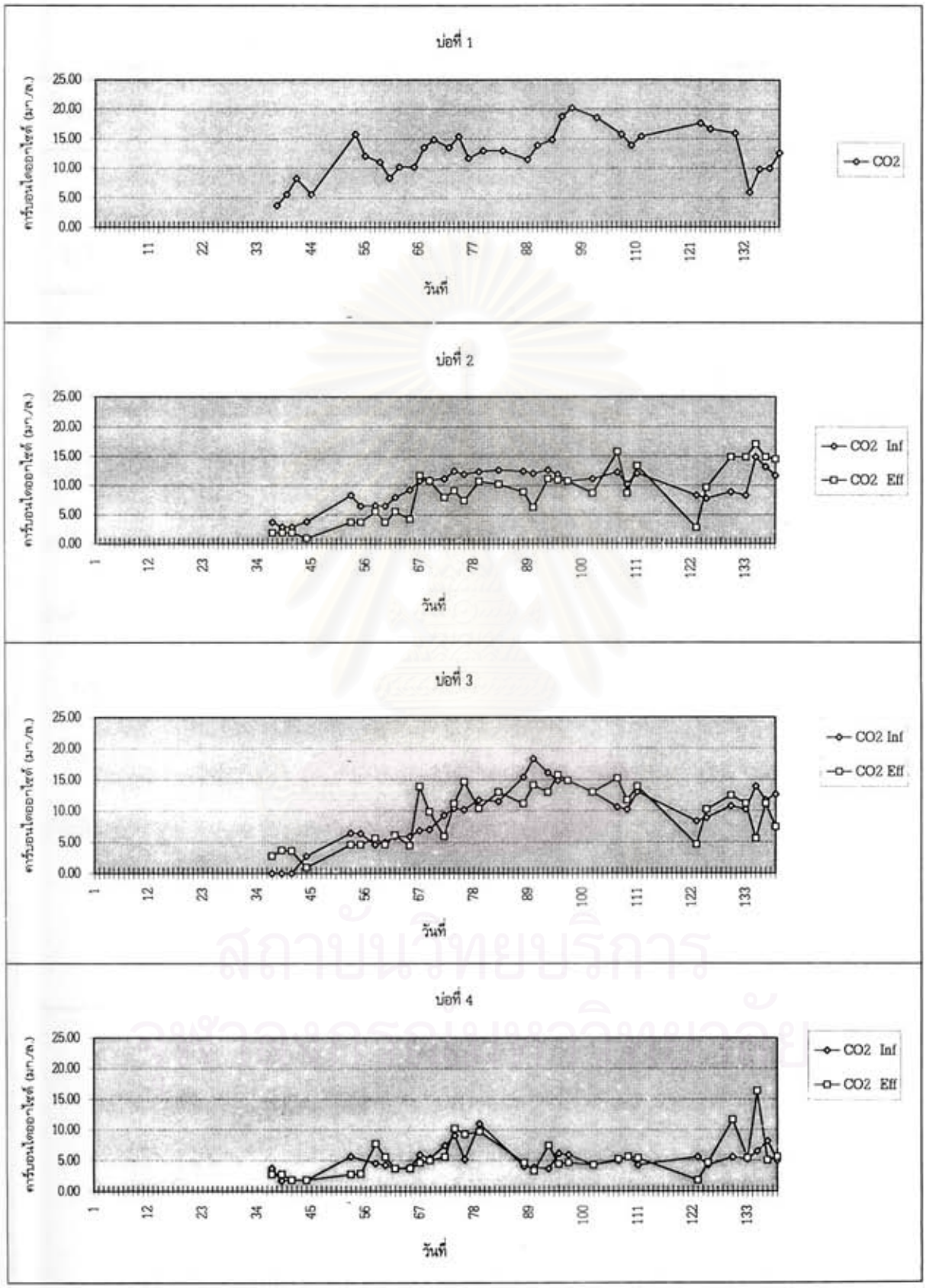
วันที่ทดลอง	น้ำในบ่อทดลอง				น้ำออกจากถังกรอง		
	บ่อที่ 1	บ่อที่ 2	บ่อที่ 3	บ่อที่ 4	ถังที่ 2	ถังที่ 3	ถังที่ 4
1-22	9.33	9.26	9.19	9.17			
เดือนที่ 1 (23-53)	8.11	7.94	8.02	8.14	7.92	7.93	7.97
เดือนที่ 2 (54-83)	6.95	6.91	7.11	7.77	7.02	6.94	7.41
เดือนที่ 3 (84-114)	7.01	7.11	6.93	7.87	7.10	6.95	7.40
เดือนที่ 4 (115-139)	7.36	7.38	7.27	7.94	6.99	7.25	7.39
ค่าสูงสุด	10.20	10.22	10.19	10.16	8.32	8.36	8.34
ค่าต่ำสุด	6.61	6.67	6.53	7.41	6.62	6.63	7.10
ค่าเฉลี่ย (1-139)	7.75	7.72	7.70	8.18	7.26	7.27	7.54
S.D.	1.00	0.94	0.93	0.57	0.44	0.46	0.29

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คาร์บอนไดออกไซด์สูงเกินกว่า 5 มก./ล. แต่ปลาสามารถทนอยู่ได้ในน้ำที่มีคาร์บอนไดออกไซด์สูงถึง 60 มก./ล. หากมีปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำเพียงพอหรือมากกว่า 3 มก./ล. (มานพ, 2536 ; มั่นสิน, 2538)

ตลอดการทดลองได้ข้อมูลค่าคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำดังแสดงในรูปที่ 4.16 และตารางที่ 4.17 แสดงค่าเฉลี่ยของคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำในแต่ละเดือน พร้อมกับค่าสูงสุด และค่าต่ำสุดรวมตลอดการทดลอง ซึ่งค่าคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำได้เริ่มเก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 37 จนกระทั่งสิ้นสุดการทดลอง

จากการพิจารณารูปที่ 4.16 ซึ่งแสดงค่าคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำของบ่อเลี้ยงปลาทุกบ่อ จะเห็นว่าคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำของบ่อที่ 1 และ 3 มีค่าแปรปรวนมากกว่าบ่อที่ 2 และ 4 ตามลำดับ และจากค่าในตารางที่ 4.17 จะเห็นว่าบ่อที่ 1 มีค่าเฉลี่ยรวมสูงที่สุดเท่ากับ 12.15 มก./ล. และรองลงมาคือบ่อที่ 2, 3 และ 4 โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 9.11, 8.69 และ 4.89 ตามลำดับ และจากที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ 2.3.1 ว่าคาร์บอนไดออกไซด์ในบ่อปลาส่วนใหญ่ถูกใช้โดยแพลงค์ตอนพืชในการสังเคราะห์แสง ในขณะเดียวกันบ่อปลาก็ได้คาร์บอนไดออกไซด์จากการหายใจของพืชและสัตว์ที่อยู่ในน้ำ และจากการย่อยสลายของอินทรีย์สารโดยแบคทีเรีย คาร์บอนไดออกไซด์ที่ได้จากการย่อยสลายของอินทรีย์สารโดยแบคทีเรียนี้จะมีปริมาณมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณอินทรีย์สาร จำนวนแบคทีเรียและอุณหภูมิ ความแตกต่างที่ได้จากการเปรียบเทียบระหว่างคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกใช้เพื่อการสังเคราะห์แสงกับคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากการหายใจและการย่อยสลาย ควรจะเป็นค่าของคาร์บอนไดออกไซด์ที่พบในน้ำ (เวียง, 2525) ดังนั้นจากค่าเฉลี่ยของคาร์บอนไดออกไซด์ที่พบในบ่อที่ 1 มีปริมาณสูงที่สุดในบ่อเลี้ยงปลาทั้ง 4 บ่อ จึงแสดงได้ว่าบ่อที่ 1 มีการดึงคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำไปใช้ในการสังเคราะห์แสงน้อยกว่าคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการต่างๆ ภายในบ่อ ทำให้เหลือคาร์บอนไดออกไซด์สะสมอยู่ในน้ำสูงกว่าบ่ออื่นๆ ดังค่าที่ได้กล่าวมาแล้ว ส่วนบ่อที่ 4 ซึ่งมีค่าคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำน้อยที่สุด แสดงว่าถูกดึงไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสงมาก เนื่องจากบ่อที่ 4 มีอัตราส่วนในการหมุนเวียนน้ำสูงที่สุดเท่ากับ 20% หรือคิดเป็น Dilution Rate 0.2 วัน$^{-1}$ เป็นผลให้อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของแพลงค์ตอนพืชในบ่อที่ 4 มีค่าสูงกว่าบ่อที่ 3, 2 และ 1 ซึ่งมีอัตราส่วนในการหมุนเวียนน้ำ 10, 5 และ 0 % ตามลำดับ จากอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของแพลงค์ตอนพืชที่สูงกว่าบ่ออื่นๆ ทำให้มีการดึงคาร์บอนไดออกไซด์ไปใช้ในการสังเคราะห์แสงมากกว่าบ่ออื่นๆ ด้วย และเมื่อมีการหมุนเวียนน้ำออกไปกรองมากก็สามารถดึงแพลงค์ตอนพืชหรือของแข็งแขวนลอยในน้ำออกไปมากด้วย จึงทำให้ค่าของแข็งแขวนลอยของน้ำในบ่อที่ 4 มีปริมาณน้อยที่สุดนั้นเอง ซึ่งนอกจากนี้แล้วยังจะเห็นว่า ค่าคาร์บอนไดออกไซด์ในบ่อสอดคล้องกับค่าออกซิเจนละลายในน้ำและค่าพีเอชของน้ำแต่เป็นไปในทางตรงกันข้ามคือ บ่อที่ 4 มีค่าออกซิเจนละลายน้ำและค่าพีเอชสูงกว่าทุกบ่อ ซึ่งอาจเป็นเพราะมีกระบวนการสังเคราะห์แสงเกิดขึ้นมากในบ่อ จึงมีการดึงคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำไปใช้มากและเมื่อคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำเหลือน้อยลงก็เป็นผลทำให้พีเอชของน้ำมีค่าสูงขึ้นนั้นเอง



รูปที่ 4.16 คาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำตลอดการทดลอง

ตารางที่ 4.17 แสดงค่าเฉลี่ย ค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของคาร์บอนไดออกไซด์ตลอดการทดลอง (มก./ล.)

วันที่ทดลอง	น้ำในบ่อทดลอง				น้ำออกจากถังกรอง		
	บ่อที่ 1	บ่อที่ 2	บ่อที่ 3	บ่อที่ 4	ถังที่ 2	ถังที่ 3	ถังที่ 4
1-22							
เดือนที่ 1 (23-53)	7.78	4.33	1.86	2.97	2.04	3.14	2.42
เดือนที่ 2 (54-83)	12.25	9.92	7.92	6.05	7.56	8.71	6.49
เดือนที่ 3 (84-114)	15.89	11.72	14.05	4.77	10.52	13.64	4.99
เดือนที่ 4 (115-139)	12.68	10.45	10.93	5.76	12.65	8.94	7.22
ค่าสูงสุด	20.24	14.85	18.38	11.02	17.08	15.78	16.34
ค่าต่ำสุด	0.00	2.88	0.00	1.76	0.93	0.93	1.86
ค่าเฉลี่ย (1-139)	12.15	9.11	8.69	4.89	8.19	8.61	5.28
S.D.	3.34	3.27	5.20	1.39	4.60	4.29	2.12

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.1.3.3 ค่าสภาพด่าง

ค่าสภาพด่างของน้ำเป็นตัวบอกถึงการมีเสถียรภาพในการต้านทานการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชของน้ำ สภาพด่างของน้ำเกิดจากสารประกอบที่สำคัญ 3 ชนิด คือ ไฮดรอกไซด์ (OH^-) คาร์บอเนต (CO_3^{2-}) และไบคาร์บอเนต (HCO_3^-) น้ำที่มีสารประกอบตัวใดตัวหนึ่งใน 3 ชนิดดังกล่าวจะเป็นน้ำที่มีสภาพด่างอยู่ด้วย และจากรูปที่ 2.3 ในหัวข้อ 2.2.1 ได้กล่าวถึงการกระจายตัวของ OH^-, CO_3^{2-} และ HCO_3^- ซึ่งพีเอชจะเป็นพารามิเตอร์ที่กำหนดชนิดของสารด่างที่อยู่ในน้ำ ดังนั้นในการทดลองครั้งนี้น้ำในบ่อเลี้ยงปลาทั้ง 4 บ่อ มีค่าพีเอชเฉลี่ยอยู่ในช่วง 7.70-8.18 จึงมี HCO_3^- มากที่สุด และการเปลี่ยนแปลงของสภาพด่างในบ่อเลี้ยงปลาที่มีกระบวนการไนตริฟิเคชั่นเกิดขึ้น เนื่องจากจะมีการใช้สภาพด่างของน้ำคือ พวกไบคาร์บอเนตอิออนในการสมดุลย์กับไฮโดรเจนอิออนที่ถูกปล่อยออกมา ดังแสดงในตารางที่ 4.18 ซึ่งจะเห็นว่าในกระบวนการไนตริฟิเคชั่นขั้นที่ 1 จะให้ไฮโดรเจนอิออนออกมาด้วย

รูปที่ 4.17 ได้แสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าสภาพด่างตลอดการทดลอง และข้อมูลของสภาพด่างตลอดการทดลองได้แสดงไว้ในตาราง ก-12 ภาคผนวก ก ส่วนค่าเฉลี่ยของสภาพด่างตลอดการทดลองแสดงในตารางที่ 4.19

ในบ่อเลี้ยงปลาบ่อที่ 1 รูปที่ 4.17 จะเห็นว่าค่าสภาพด่างของน้ำมีช่วงการเปลี่ยนแปลงขึ้นและลงตลอดเวลา โดยมีค่าเฉลี่ยของสภาพด่างในเดือนแรกเท่ากับ 152 มก./ล. หินปูน และลดลงในเดือนที่ 2 เป็น 122 มก./ล. หินปูน จากนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นในเดือนที่ 3 เป็น 168 มก./ล. หินปูน และลดลงเป็น 112 มก./ล. หินปูน ในเดือนที่ 4 โดยมีค่าเฉลี่ยตลอดการทดลองเท่ากับ 139 มก./ล. หินปูน

บ่อเลี้ยงปลาบ่อที่ 2 มีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นตลอดเวลา ค่าเฉลี่ยรวมของสภาพด่างเท่ากับ 107 มก./ล. หินปูน ค่าเฉลี่ยในเดือนแรกเท่ากับ 115 มก./ล. หินปูน และลดลงในเดือนที่ 2 เป็น 61 มก./ล. หินปูน ในเดือนที่ 3 และ 4 มีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 126 และ 128 มก./ล. หินปูน ตามลำดับ

บ่อเลี้ยงปลาบ่อที่ 3 มีการเปลี่ยนแปลงของค่าสภาพด่างลดลงและมีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงท้ายของการทดลอง มีค่าเฉลี่ยตลอดการทดลองเท่ากับ 116 มก./ล. หินปูน ค่าเฉลี่ยในเดือนที่ 1 เท่ากับ 124 มก./ล. หินปูน และลดลงในเดือนที่ 2 เป็น 97 มก./ล. หินปูน จากนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นในเดือนที่ 3 เป็น 123 มก./ล. หินปูน และเดือนที่ 4 มีค่าเท่ากับ 121 มก./ล. หินปูน

บ่อเลี้ยงปลาบ่อที่ 4 มีการเปลี่ยนแปลงของค่าสภาพด่างโดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น จากเดือนที่ 1 มีค่าสภาพด่างเท่ากับ 135 มก./ล. หินปูน และมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เป็น 161, 184 และ 171 มก./ล. หินปูน ในเดือนที่ 2, 3 และ 4 ตามลำดับ และมีค่าเฉลี่ยตลอดการทดลองเท่ากับ 163 มก./ล. หินปูน

จากค่าสภาพด่างที่ลดลงของน้ำในบ่อเลี้ยงปลาแต่ละบ่อ จะเห็นว่าสอดคล้องกับการเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชั่น โดยในรูปที่ 4.18 จะแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของค่าสภาพด่างในน้ำที่ลดลง เนื่องจากมีการดึงไบคาร์บอเนตไปใช้ในการสมดุลย์กับไฮโดรเจนอิออนที่ถูกปล่อยออกมาจากกระบวนการไนตริฟิเคชั่น ซึ่งจะเห็นว่าถ้ามีกระบวนการไนตริฟิเคชั่นเกิดขึ้นมาก สภาพด่างของน้ำก็ถูกดึงไปใช้มากด้วย

ตารางที่ 4.18 ปฏิกิริยาในกระบวนการไนตริฟิเคชั่น

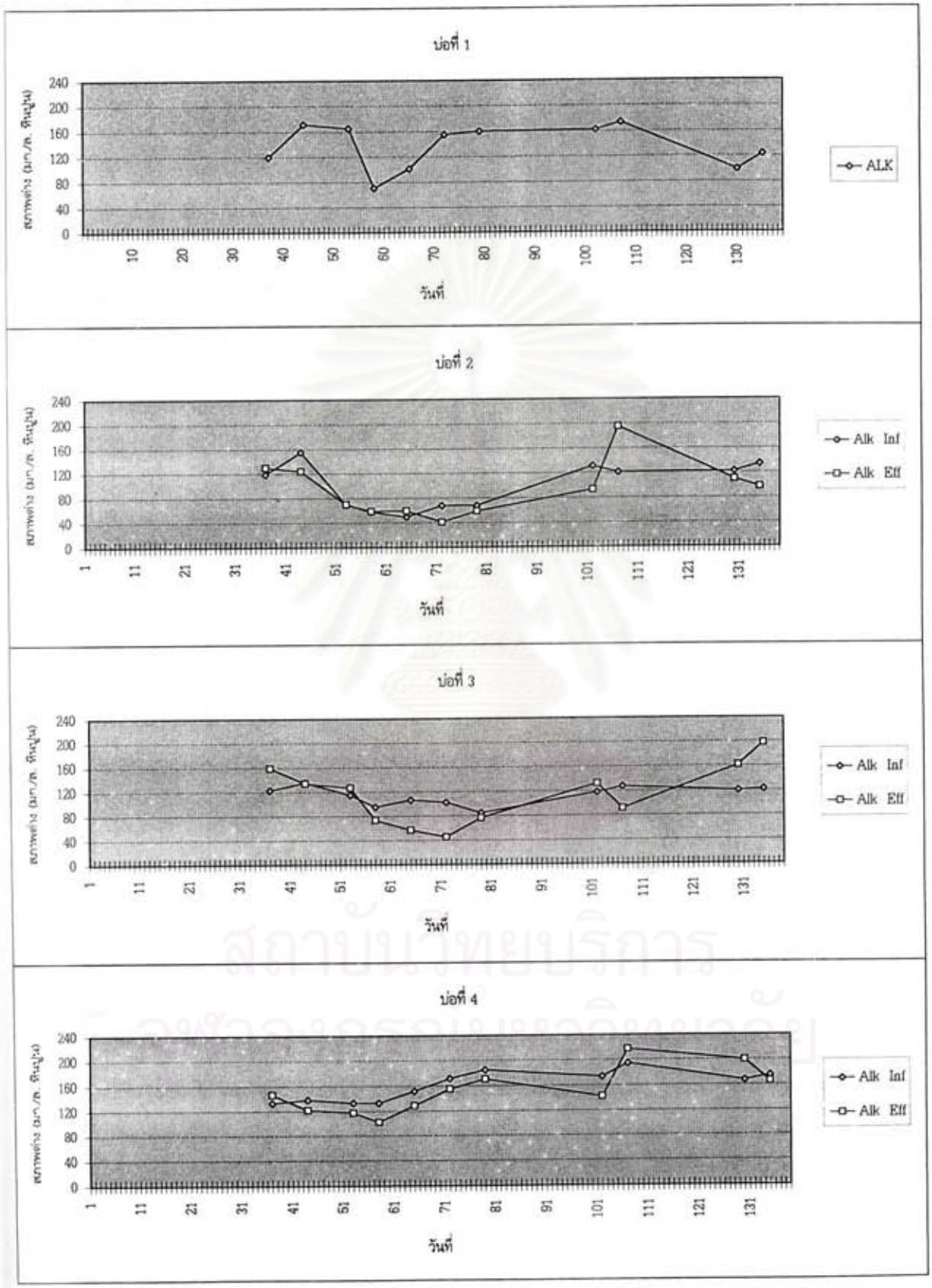
$2NH_4^+ + O_2 \xrightarrow{\text{Nitrosomonas}} 2NO_2^- + 4H^+ + 2H_2O$ (1)	
$2NO_2^- + O_2 \xrightarrow{\text{Nitrobactor}} 2NO_3^-$ (2)	
ไบคาร์บอเนตจะถูกใช้ในการทำสมดุลย์กับไฮโดรเจนอิออนดังสมการที่ 3	
$HCO_3^- + H^+ \longrightarrow H_2O + CO_2$ (3)	

4.1.3.4 ค่าความกระด้าง

ความกระด้างจำแนกได้เป็น 2 อย่าง คือ ความกระด้างคาร์บอเนต ได้แก่ $Ca(HCO_3)_2$, $CaCO_3$, $Mg(HCO_3)_2$ และ $MgCO_3$ และความกระด้างไม่ใช่คาร์บอเนตได้แก่ $CaCl_2$, $CaSO_4$, $MgCl_2$, และ MgSO4 ด้วยเหตุนี้ส่วนของความกระด้างที่เท่ากับสภาพด่างจึงเป็นความกระด้างคาร์บอเนต ความกระด้างที่เหลือจึงเป็นความกระด้างไม่ใช่คาร์บอเนต และน้ำที่ใช้เลี้ยงปลาควรมีค่าความกระด้างทั้งหมดประมาณ 20 มก./ล. เพื่อให้มีปริมาณแคลเซียมและแมกนีเซียมพอเพียงใช้เป็นน้ำเลี้ยงปลา (มั่นสิน, 2538)

จากรูปที่ 4.19 ได้แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าความกระด้างตลอดการทดลอง และตารางที่ 4.20 แสดงค่าเฉลี่ยของความกระด้างตลอดการทดลอง ส่วนข้อมูลของความกระด้างตลอดการทดลองแสดงไว้ในตาราง ก-13 ภาคผนวก ก

ในบ่อเลี้ยงปลาทุกบ่อมีการเปลี่ยนแปลงของค่าความกระด้างในลักษณะเดียวกัน จากรูปจะเห็นว่าในช่วงแรกของการทดลอง บ่อเลี้ยงปลาทุกบ่อมีค่าความกระด้างเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ และลดลงในเดือนที่ 4 ค่าเฉลี่ยตลอดการทดลองในบ่อที่ 1, 2, 3 และ 4 มีค่าเท่ากับ 151, 147, 148 และ 150 มก./ล. หินปูน ตามลำดับ บ่อเลี้ยงปลาบ่อที่ 1 มีค่าเฉลี่ยในเดือนแรกเท่ากับ 129 มก./ล. หินปูน และเพิ่มขึ้นเป็น 189 มก./ล. หินปูน ในเดือนที่2 เท่ากับ 207 มก./ล. หินปูน ในเดือนที่ 3 และลดลงเป็น 149 มก./ล. หินปูน ในเดือนที่4 และบ่อที่ 2, 3 และ 4 มีการเปลี่ยนแปลงค่าความกระด้างเช่นเดียวกับบ่อที่ 1 และยังมีค่าใกล้เคียงกันโดยมีค่า

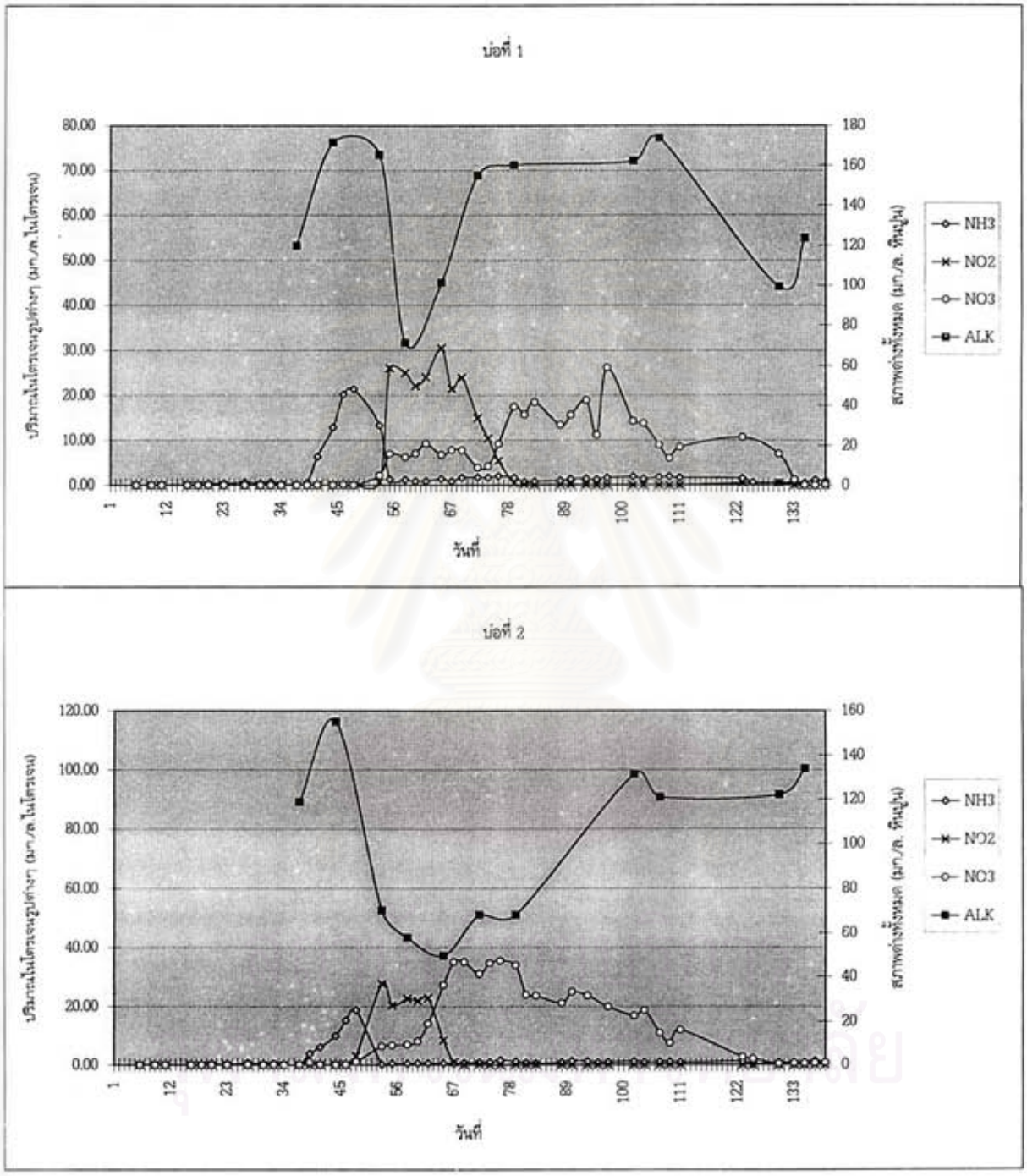


รูปที่ 4.17 สภาพด่างของน้ำตลอดการทดลอง

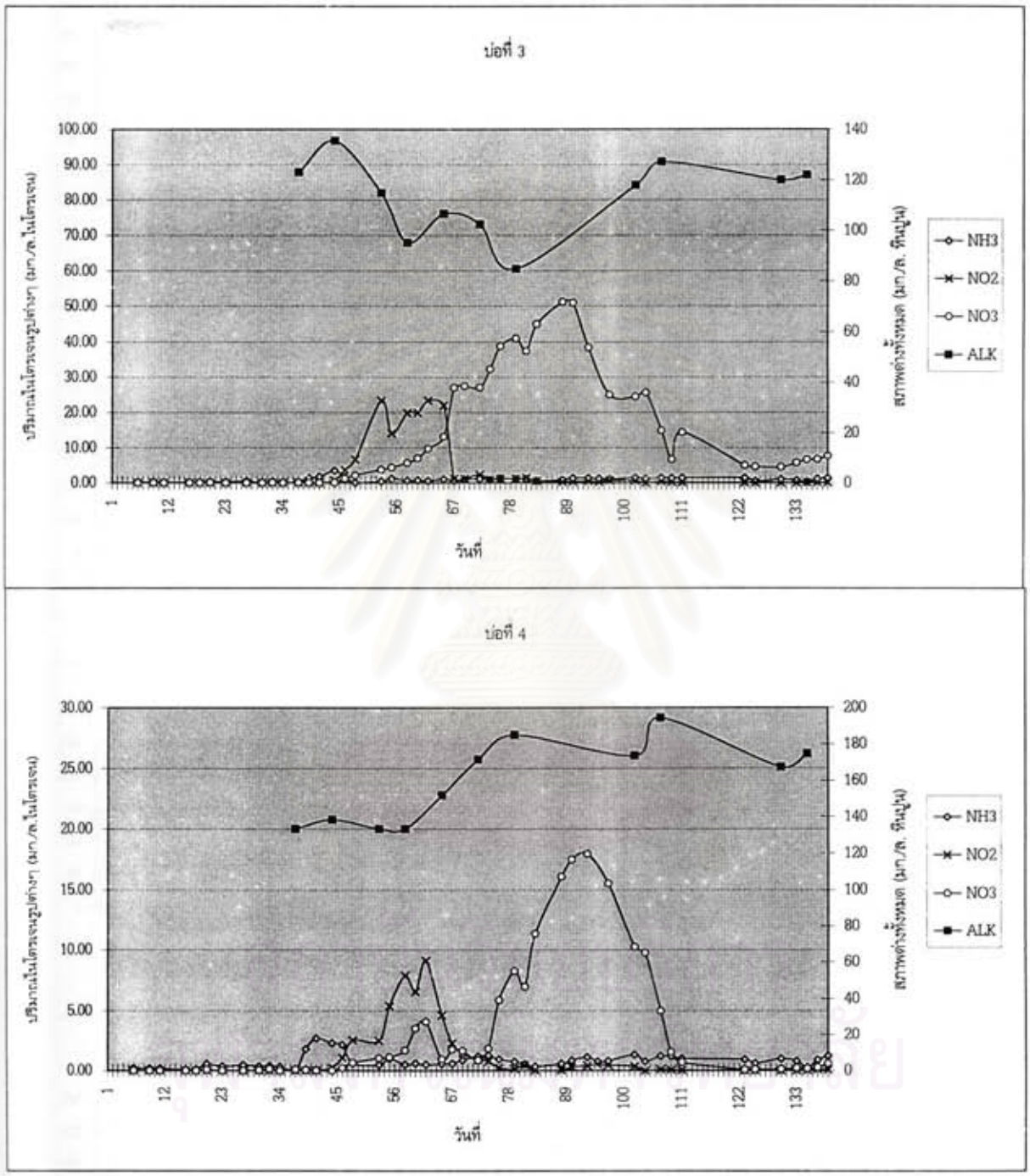
ตารางที่ 4.19 แสดงค่าเฉลี่ย ค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของสภาพด่างตลอดการทดลอง (มก./ล.หินปูน)

วันที่ทดลอง	น้ำในบ่อทดลอง				น้ำออกจากถังกรอง		
	บ่อที่ 1	บ่อที่ 2	บ่อที่ 3	บ่อที่ 4	ถังที่ 2	ถังที่ 3	ถังที่ 4
1-22							
เดือนที่ 1 (23-53)	152	115	124	135	108	140	129
เดือนที่ 2 (54-83)	122	61	97	161	55	63	139
เดือนที่ 3 (84-114)	168	126	123	184	144	112	180
เดือนที่ 4 (115-139)	111	128	121	171	103	179	183
ค่าสูงสุด	174	155	135	194	195	197	217
ค่าต่ำสุด	71	50	85	133	41	46	102
ค่าเฉลี่ย (1-139)	138	107	116	163	103	124	158
S.D.	26	32	13	21	37	49	28

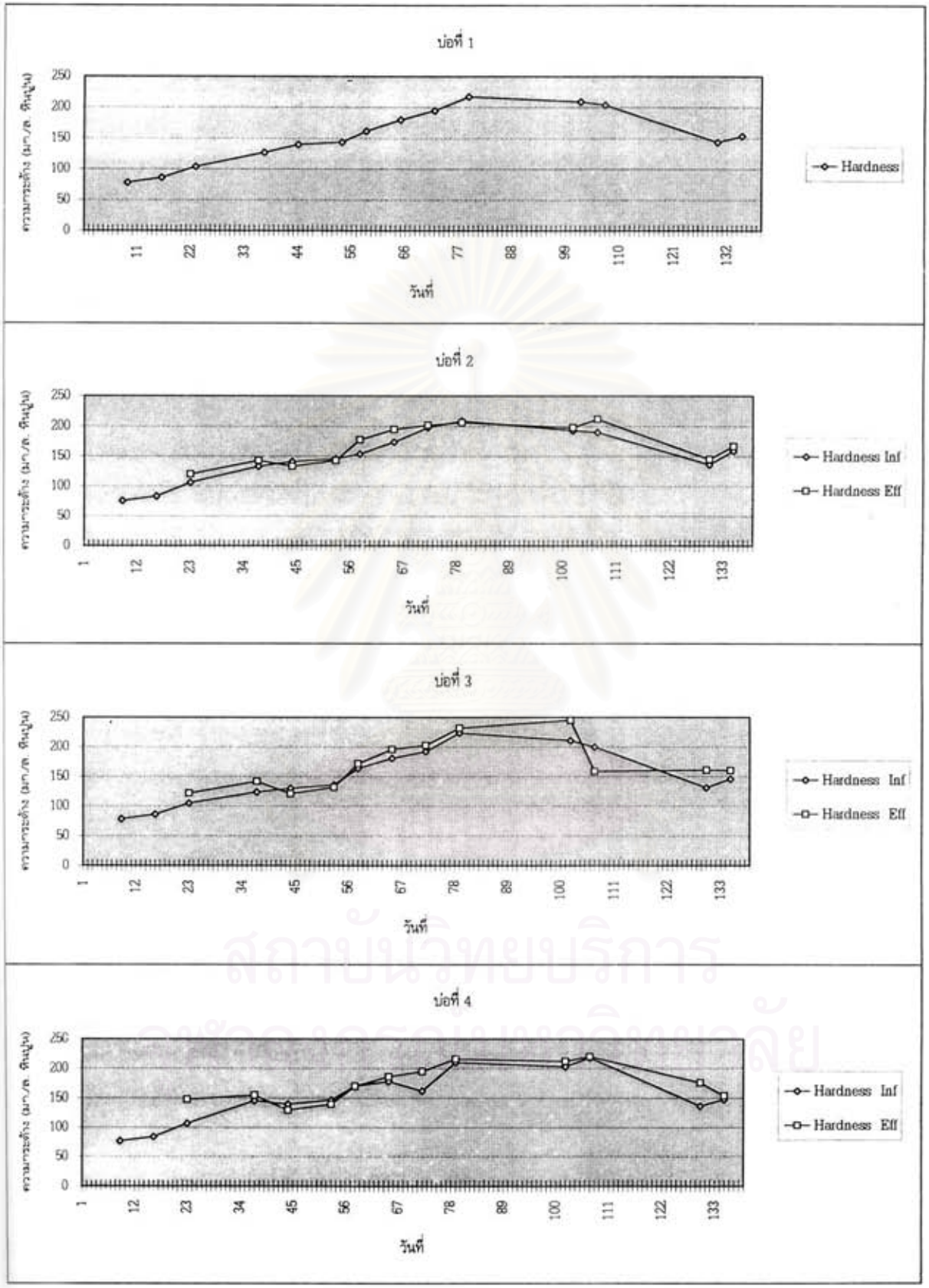
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.18 แสดงความสัมพันธ์ของการเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชั่นกับค่าสภาพด่างในน้ำ



รูปที่ 4.18 (ต่อ) แสดงความสัมพันธ์ของการเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชั่นกับค่าสภาพด่างในน้ำ



รูปที่ 4.19 ความกระด้างของน้ำตลอดการทดลอง

ตารางที่ 4.20 แสดงค่าเฉลี่ย ค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของความกระด้างตลอดการทดลอง (มก./ล.หินปูน)

วันที่ทดลอง	น้ำในบ่อทดลอง				น้ำออกจากถังกรอง		
	บ่อที่ 1	บ่อที่ 2	บ่อที่ 3	บ่อที่ 4	ถังที่ 2	ถังที่ 3	ถังที่ 4
1-22	82	80	82	81			
เดือนที่ 1 (23-53)	129	132	124	135	135	129	143
เดือนที่ 2 (54-83)	189	184	190	180	196	201	192
เดือนที่ 3 (84-114)	207	192	206	211	205	202	216
เดือนที่ 4 (115-139)	149	148	139	143	156	161	165
ค่าสูงสุด	217	209	224	218	212	245	220
ค่าต่ำสุด	78	76	78	77	120	121	130
ค่าเฉลี่ย (1-139)	151	147	148	150	173	173	179
S.D.	49.4	45.1	50.3	49.2	33.0	35.0	31.7

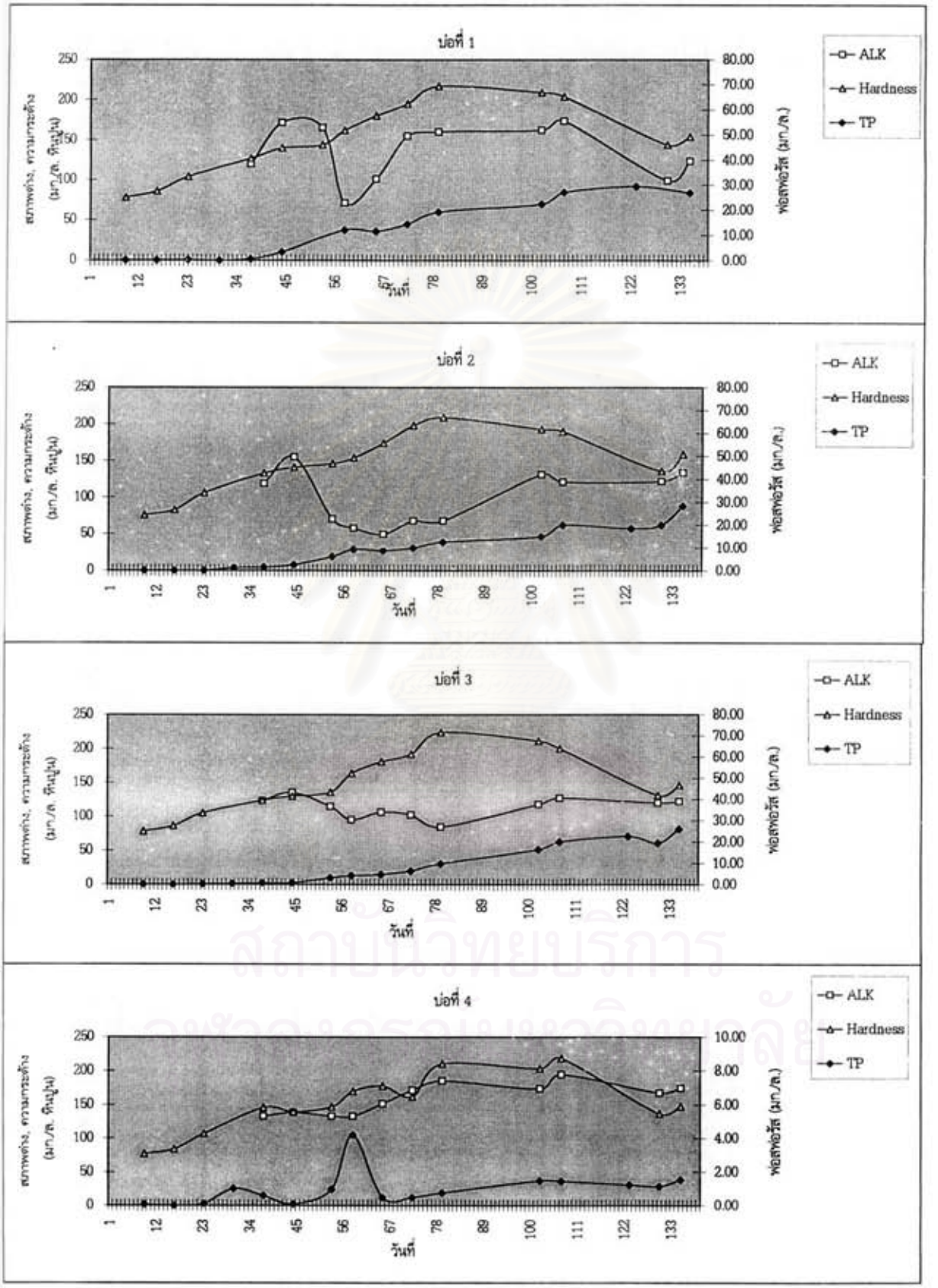
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ต่ำที่สุดในเดือนแรกของบ่อที่ 2, 3, และ 4 เท่ากับ 132, 124 และ 135 มก./ล. หินปูน ตามลำดับ มีค่าสูงสุดในเดือนที่ 3 ของบ่อที่ 2, 3 และ 4 เท่ากับ 192, 206 และ 211 มก./ล. หินปูน ตามลำดับ และในเดือนที่ 4 มีค่าลดลงเท่ากับ 148, 139 และ 143 มก./ล. หินปูน ในบ่อที่ 2, 3 และ 4 ตามลำดับ

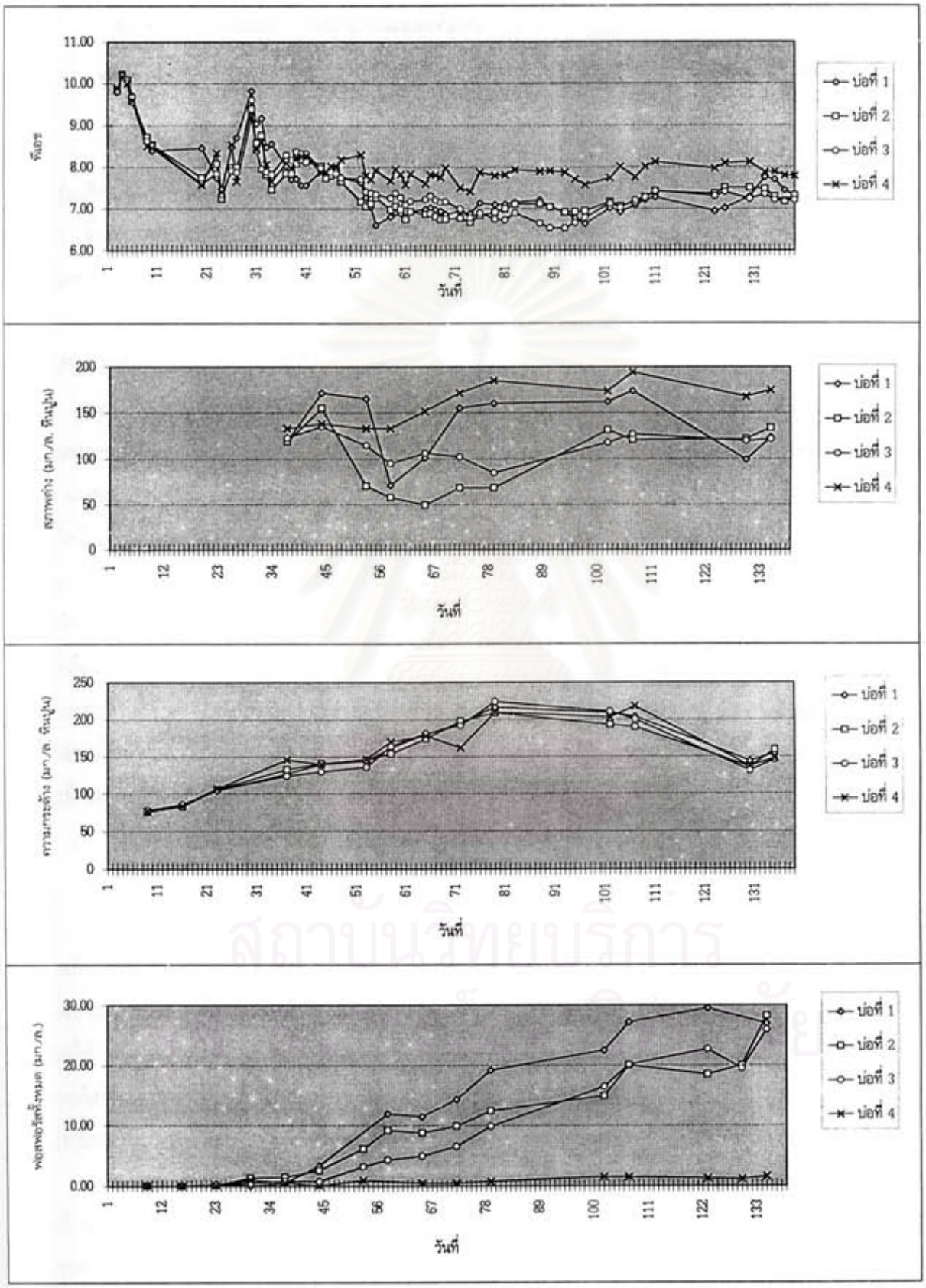
จากการเปรียบเทียบค่าความกระด้างและค่าสภาพด่างของน้ำในบ่อเลี้ยงปลาทั้ง 4 บ่อ และแสดงไว้ในรูปที่ 4.20 และตารางที่ 4.21 จะเห็นว่าในวันที่ 37 ของการทดลองค่าความกระด้างมีค่าสูงกว่าสภาพด่างเล็กน้อย โดยมีค่าความกระด้างเท่ากับ 127, 133, 124 และ 146 มก./ล. หินปูน ของน้ำในบ่อที่ 1, 2, 3 และ 4 ตามลำดับ และมีค่าสภาพด่างเท่ากับ 120, 119, 123 และ 133 มก./ล. หินปูน ของน้ำในบ่อที่ 1, 2, 3 และ 4 ตามลำดับ ดังนั้นจากค่าที่ใกล้เคียงกันนี้จึงสรุปได้ว่า ความกระด้างของน้ำในบ่อเลี้ยงปลาทั้ง 4 บ่อ เป็นความกระด้างคาร์บอเนต และหลังจากนั้นค่าความกระด้างของน้ำในบ่อเลี้ยงปลาทั้ง 4 บ่อ มีค่าเพิ่มมากขึ้นตามเวลาที่ผ่านไป ซึ่งค่าความกระด้างของน้ำที่เพิ่มขึ้นนี้น่าจะมีสาเหตุมาจากอาหารปลาที่เหลือสะสมอยู่ในบ่อตามระยะเวลาที่เลี้ยง และจากน้ำประปาที่มีการเติมทดแทนน้ำที่ระเหยออกจากบ่อนั้นเอง และค่าความกระด้างเริ่มมีแนวโน้มลดลงในเดือนที่ 3 และลดลงอย่างเห็นได้ชัดเจนในเดือนที่ 4 ซึ่งการลดลงของค่าความกระด้างน่าจะเกิดจากการตกตะกอนของแคลเซียมกับฟอสฟอรัสในน้ำได้ไตรแคลเซียมฟอสเฟสเกิดขึ้น ซึ่งการตกตะกอนดังกล่าวนี้จะเห็นว่าสอดคล้องกับค่าพีเอชของน้ำในบ่อซึ่งแสดงไว้ในรูปที่ 4.21 คือในช่วงของเดือนที่ 4 ค่าพีเอชของน้ำในแต่ละบ่อมีค่าสูงกว่า 6.9 ซึ่งค่าพีเอชที่สูงกว่าค่าดังกล่าวนี้เหมาะสมต่อการตกตะกอนของฟอสฟอรัสกับแคลเซียมที่มีอยู่ในน้ำ (เวียง, 2525) ดังนั้นจึงทำให้ปริมาณของแคลเซียมลดลงและเป็นผลให้น้ำมีความกระด้างลดลงด้วย ดังจะเห็นว่าเส้นกราฟของความกระด้างและฟอสฟอรัสในรูปที่ 4.21 มีแนวโน้มลดลงในช่วงเดือนที่ 4

ตารางที่ 4.21 เปรียบเทียบค่าความกระด้างและค่าสภาพด่างของน้ำในวันที่ 37 ของการทดลอง

บ่อเลี้ยงปลา	ความกระด้าง (มก./ล. หินปูน)	สภาพด่าง (มก./ล. หินปูน)
บ่อที่ 1	127	120
บ่อที่ 2	133	119
บ่อที่ 3	124	123
บ่อที่ 4	146	133



รูปที่ 4.20 แสดงความสัมพันธ์ของสภาพด่าง ความกระด้าง และฟอสฟอรัสในน้ำ



รูปที่ 4.21 แสดงค่าพีเอช สภาพด่าง ความกระด้าง และฟอสฟอรัสทั้งหมดของน้ำในบ่อเลี้ยงปลาทั้ง 4บ่อ

4.1.4 การเปลี่ยนแปลงของระดับแพลงค์ตอน

4.1.4.1 แพลงค์ตอนพืช

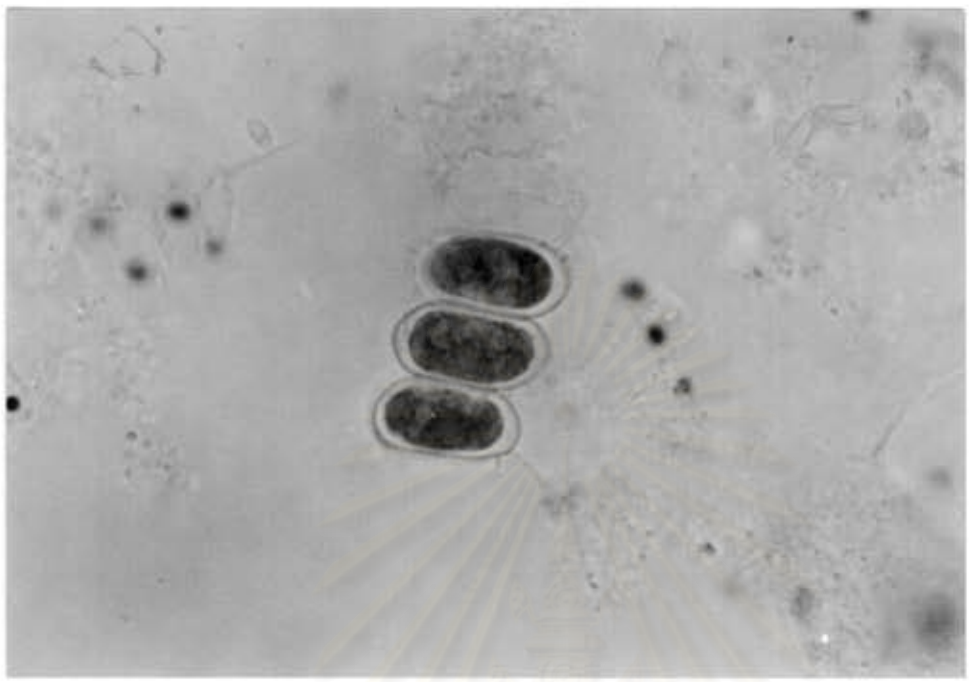
แพลงค์ตอนพืชเป็นพวกสิ่งมีชีวิตเล็กๆ ที่มีสีเขียวของคลอโรฟิลล์ เช่น สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน สาหร่ายสีเขียว หรือสาหร่ายสีต่างๆ อีกมากมาย หรือพวก Euglenoids (Euglena) รวมทั้งพวกไดอะตอม ต่างๆ ซึ่งพวกแพลงค์ตอนพืชเหล่านี้จะเป็นอาหารของแพลงค์ตอนสัตว์ต่อไป ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของแพลงค์ตอนพืชคือ ฤดูกาล หรือการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารละลายในน้ำที่อยู่อาศัยนั้น

ในการวิจัยครั้งนี้ได้ทำการศึกษาชนิดของแพลงค์ตอนพืชที่มีอยู่ในน้ำของบ่อเลี้ยงปลาทั้ง 4 บ่อ โดยส่วนมากจะพบสาหร่ายสีเขียวซึ่งได้แก่สาหร่ายในสกุล Scenedesmus, Golenkenia, Acanthosphaera และ Pediastrum ซึ่งพบน้อยมาก ส่วนสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่พบในน้ำ คือสาหร่ายในสกุล Chroococcus และในรูปที่ 4.22 ได้แสดงรูปของแพลงค์ตอนพืชชนิดต่างๆ ที่พบในน้ำของบ่อเลี้ยงปลาทั้ง 4 บ่อ แพลงค์ตอนทุกตัวที่ได้กล่าวมาแล้วนี้ จะสามารถเห็นได้ชัดเจนว่าส่วนใหญ่อยู่แบบเซลล์เดี่ยวๆ ไม่เกาะติดกันเป็นกลุ่มก้อนหรือเป็นแบบ unidentified ซึ่งพบน้อยมาก แต่หากนำตัวอย่างน้ำมาจากก้น Imhoff Cone ซึ่งใช้ในการวิเคราะห์หาค่าของแข็งจมตัว (V30) มาส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์จะพบว่ามีแพลงค์ตอนพืชเกาะติดกันเป็นกลุ่มก้อนดังแสดงในรูปที่ 4.22 แบบ unidentified เป็นปริมาณหนาแน่นมากขึ้น ส่วนแบบเซลล์เดี่ยวๆ พบน้อยมาก และยังสังเกตุเห็นว่าตัวอย่างน้ำในบ่อที่ 1 มีเศษตะกอนเล็กๆ สีน้ำตาลซึ่งน่าจะเป็นซากของสิ่งที่ไม่มีชีวิต ดังนั้นจากข้อสังเกตุที่ได้นี้อาจจะบอกได้ว่าน้ำในบ่อเลี้ยงปลาบ่อที่ 1 ซึ่งมีค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำสูงกว่าบ่ออื่นๆ มากนั้นไม่ได้แสดงว่ามีปริมาณของเซลล์แพลงค์ตอนพืชสูงกว่าบ่ออื่นๆ เพราะของแข็งแขวนลอยบางส่วนจะเป็นพวกตะกอนหรือซากต่างๆ ที่ไม่มีชีวิตรวมอยู่ด้วยนั้นเอง

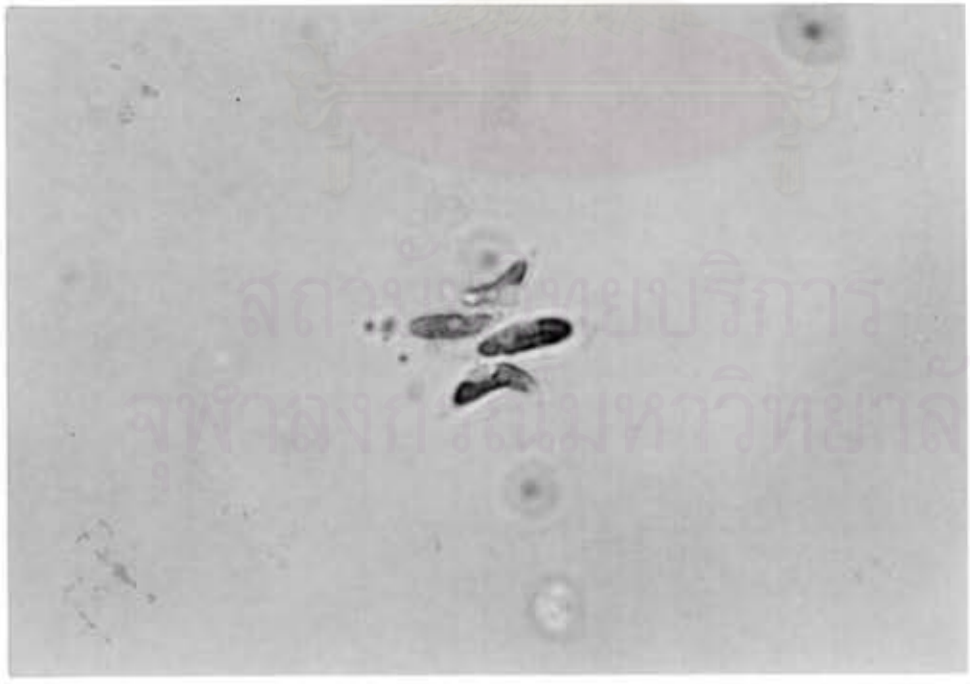
4.1.4.2 ค่าของแข็งจมตัว (V30)

ของแข็งที่ไม่ละลายน้ำ สามารถแบ่งเป็น 2 ชนิด ชนิดแรกคือของแข็งที่ไม่ละลายน้ำ เป็นตะกอนขนาดเล็กและมีน้ำหนักเบา สามารถแขวนลอยอยู่ในน้ำได้ และชนิดที่สองคือของแข็งที่ไม่ละลายน้ำและจมตัว เนื่องจากตะกอนมีขนาดใหญ่ มีความถ่วงจำเพาะสูงกว่าน้ำ และเมื่อตั้งทิ้งไว้สามารถตกลงมานอนที่ก้นภาชนะได้ ซึ่งในการวิเคราะห์หาค่าของแข็งจมตัวจะเป็นการหาของแข็งที่ไม่ละลายน้ำชนิดที่สอง ซึ่งในการวิเคราะห์สามารถสังเกตุลักษณะการจมตัวของตะกอนได้ว่าเป็นแบบอัดแน่นหรือแบบไม่อัดแน่น นอกจากนี้ยังสามารถบอกถึงลักษณะของตะกอนหรือการลอยตัวอยู่ในชั้นน้ำของแพลงค์ตอนได้

จากรูปที่ 4.23 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าของแข็งจมตัวจากการทดลอง และตารางที่ 4.22 แสดงค่าเฉลี่ยของแข็งจมตัวในแต่ละเดือน ซึ่งค่าของแข็งจมตัวได้เริ่มทำการเก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 55 จนกระทั่งสิ้นสุดการทดลองและแสดงไว้ในตาราง ก-16 ภาคผนวก ก

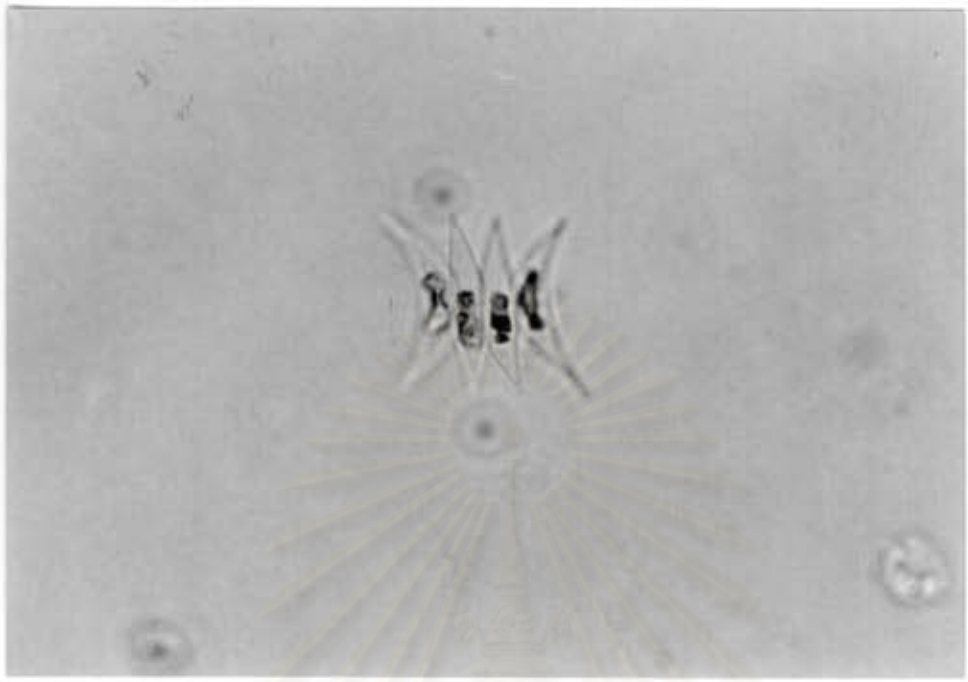


Scenedesmus quadricauda (กำลังขยาย 132 เท่า)

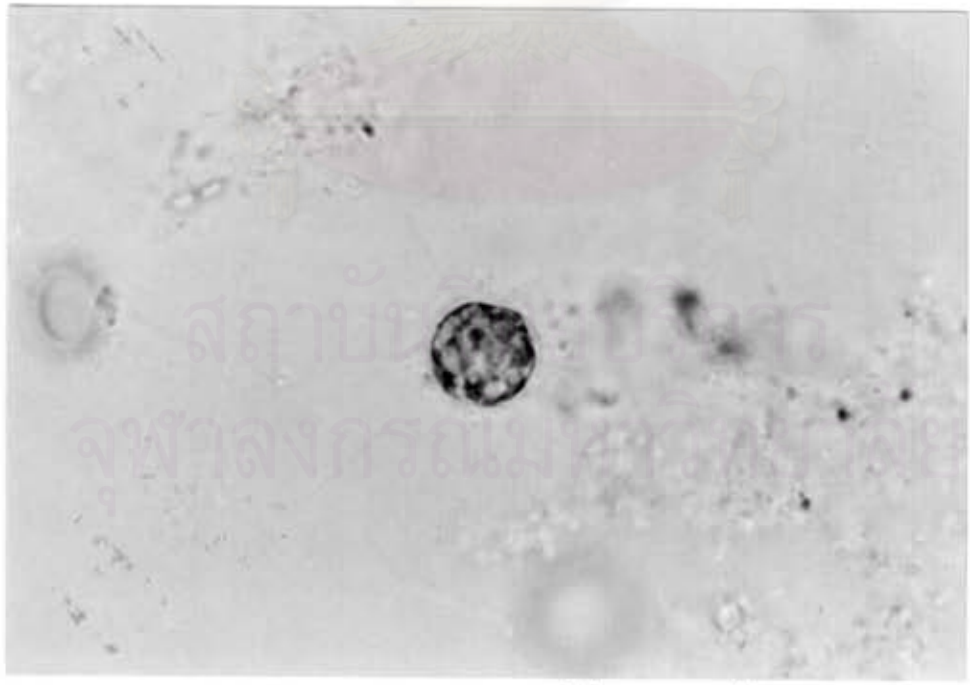


***Scenedesmus incrassulatus* (Bohlin)** (กำลังขยาย 132 เท่า)

รูปที่ 4.22 แสดงภาพของแพลงค์ตอนพืชชนิดต่างๆ ที่พบในน้ำของบ่อเลี้ยงปลา

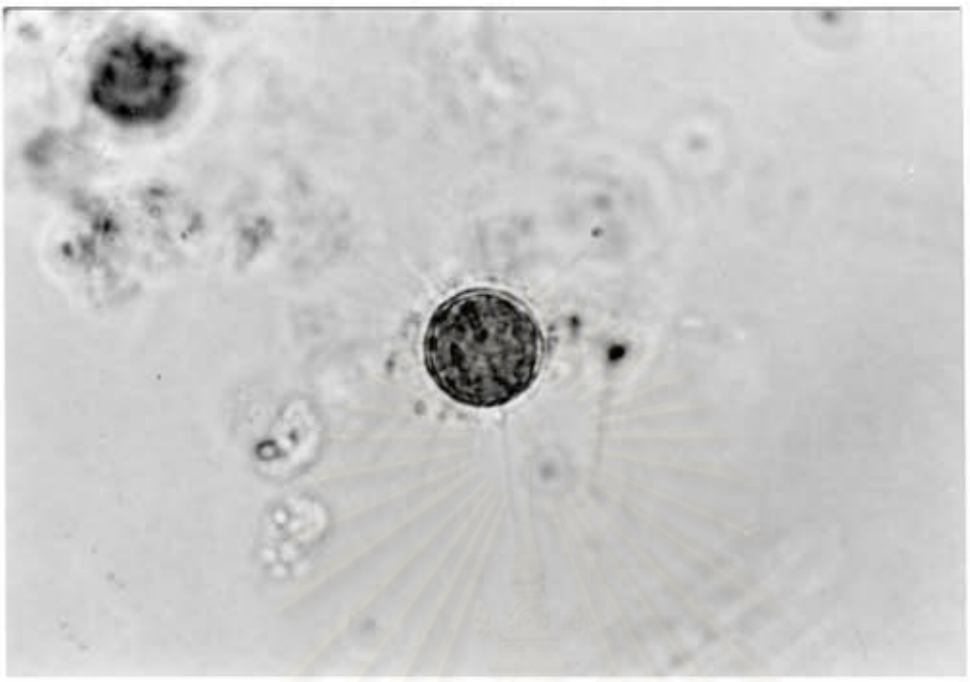


***Scenedesmus acuminatus* (Lag.) Chodat** (กำลังขยาย 132 เท่า)

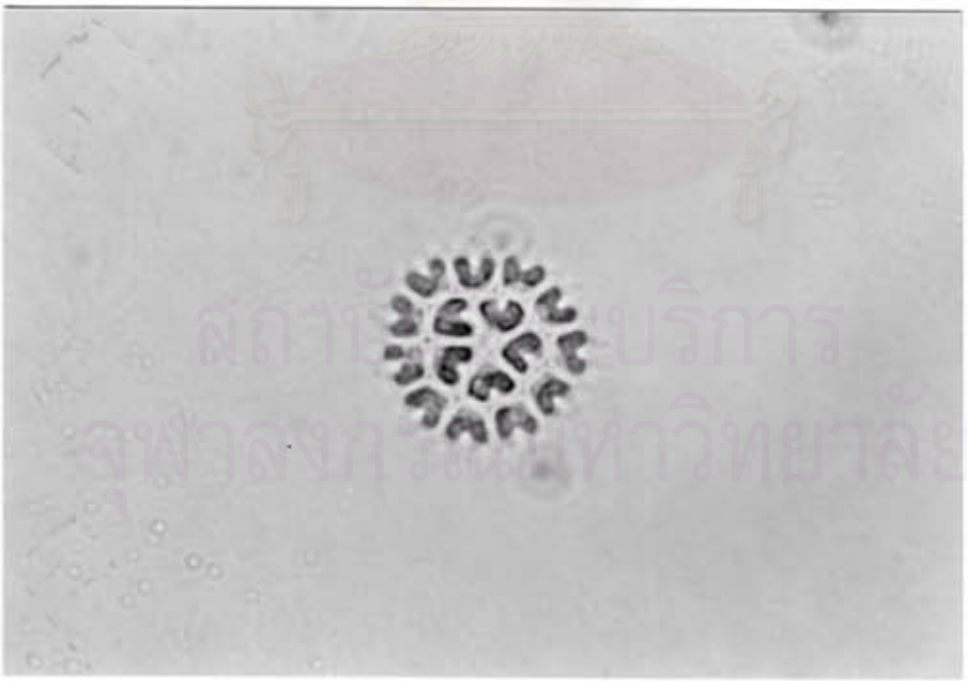


***Golenkinia radiata* Chodat** (กำลังขยาย 132 เท่า)

รูปที่ 4.22 (ต่อ) แสดงภาพของแพลงค์ตอนพืชชนิดต่างๆ ที่พบในน้ำของบ่อเลี้ยงปลา

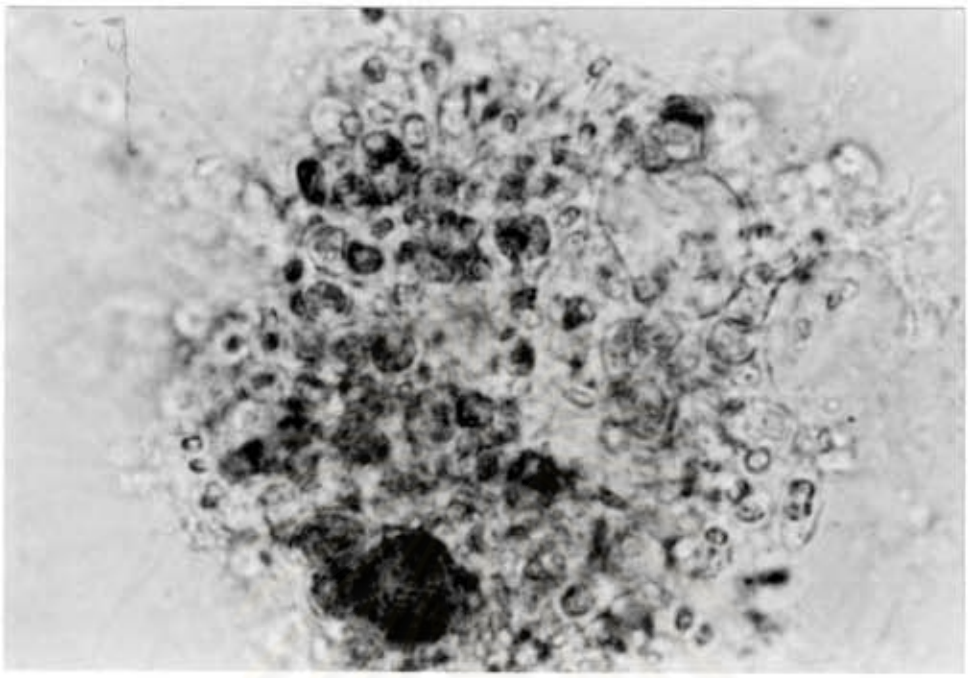


***Acanthosphaera zachariasii* Lemm.** (กำลังขยาย 330 เท่า)

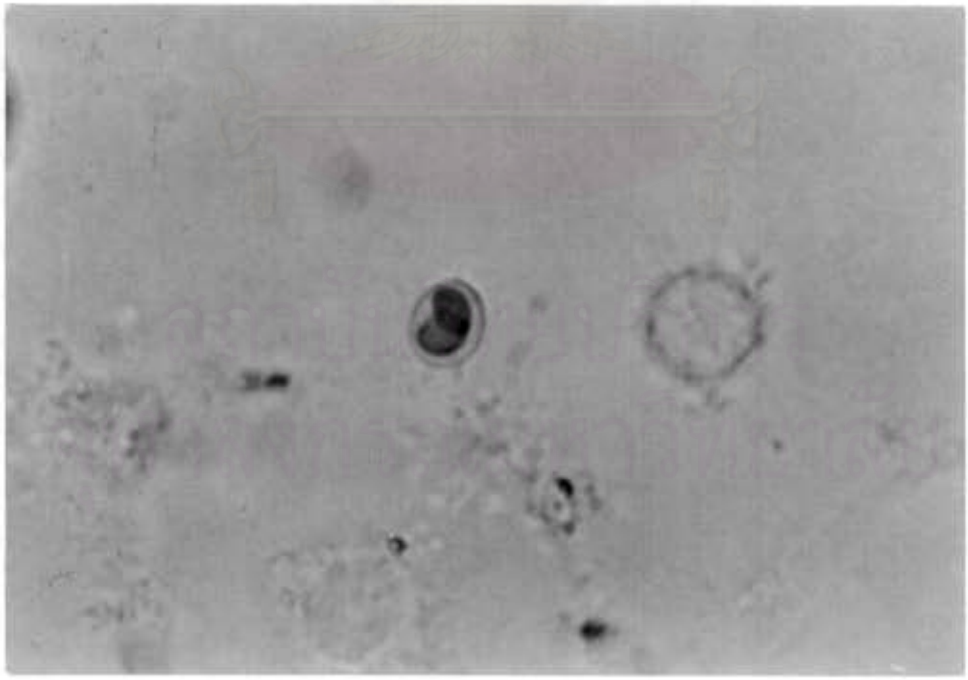


***Pediastrum tetras* (Ehr.) Ralfs** (กำลังขยาย 132 เท่า)

รูปที่ 4.22 (ต่อ) แสดงภาพของแพลงค์ตอนพืชชนิดต่างๆ ที่พบในน้ำของบ่อเลี้ยงปลา



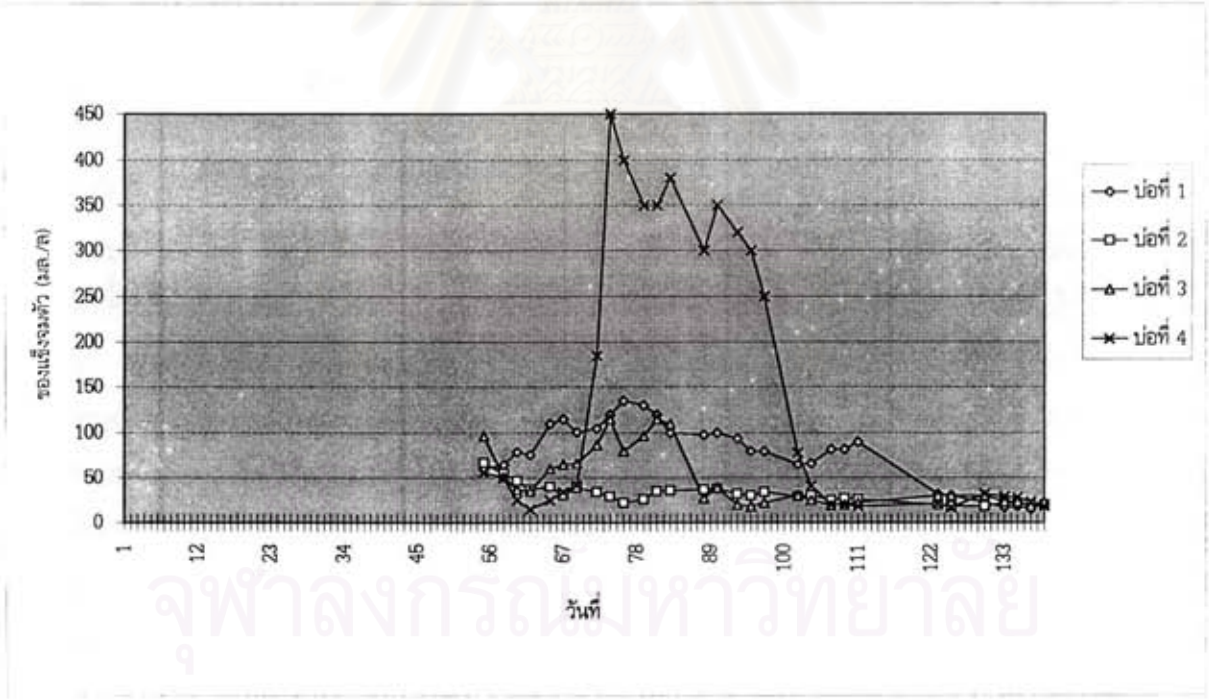
unidentified (กำลังขยาย 132 เท่า)



Chroococcus sp. (กำลังขยาย 132 เท่า)

รูปที่ 4.22 (ต่อ) แสดงภาพของแพลงค์ตอนพืชชนิดต่างๆ ที่พบในน้ำของบ่อเลี้ยงปลา

ตารางที่ 4.22 แสดงค่าเฉลี่ย ค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของค่าของแข็งจมตัว (มิลลิลิตร/ลิตร)				
วันที่ทดลอง	น้ำในบ่อทดลอง			
	บ่อที่ 1	บ่อที่ 2	บ่อที่ 3	บ่อที่ 4
1-22	-	-	-	-
เดือนที่ 1 (23-53)	-	-	-	-
เดือนที่ 2 (54-83)	101	38	78	182
เดือนที่ 3 (84-114)	84	31	24	170
เดือนที่ 4 (115-139)	22	20	25	24
ค่าสูงสุด	135	67	115	450
ค่าต่ำสุด	15	18	18	15
ค่าเฉลี่ย	69	30	43	125
S.D.	41	9	31	88



รูปที่ 4.23 แสดงค่าของแข็งจมตัว

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บ่อเลี้ยงปลาบ่อที่ 1 มีการเปลี่ยนแปลงค่าของแข็งจมตัวคือมีค่าลดลง โดยค่าเฉลี่ยของแข็งจมตัวในเดือนที่ 2 มีค่าเท่ากับ 101 มล./ล. และลดลงเป็น 84 และ 22 มล./ล. ในเดือนที่ 3 และ 4 ตามลำดับ และค่าเฉลี่ยรวมเท่ากับ 69 มล./ล.

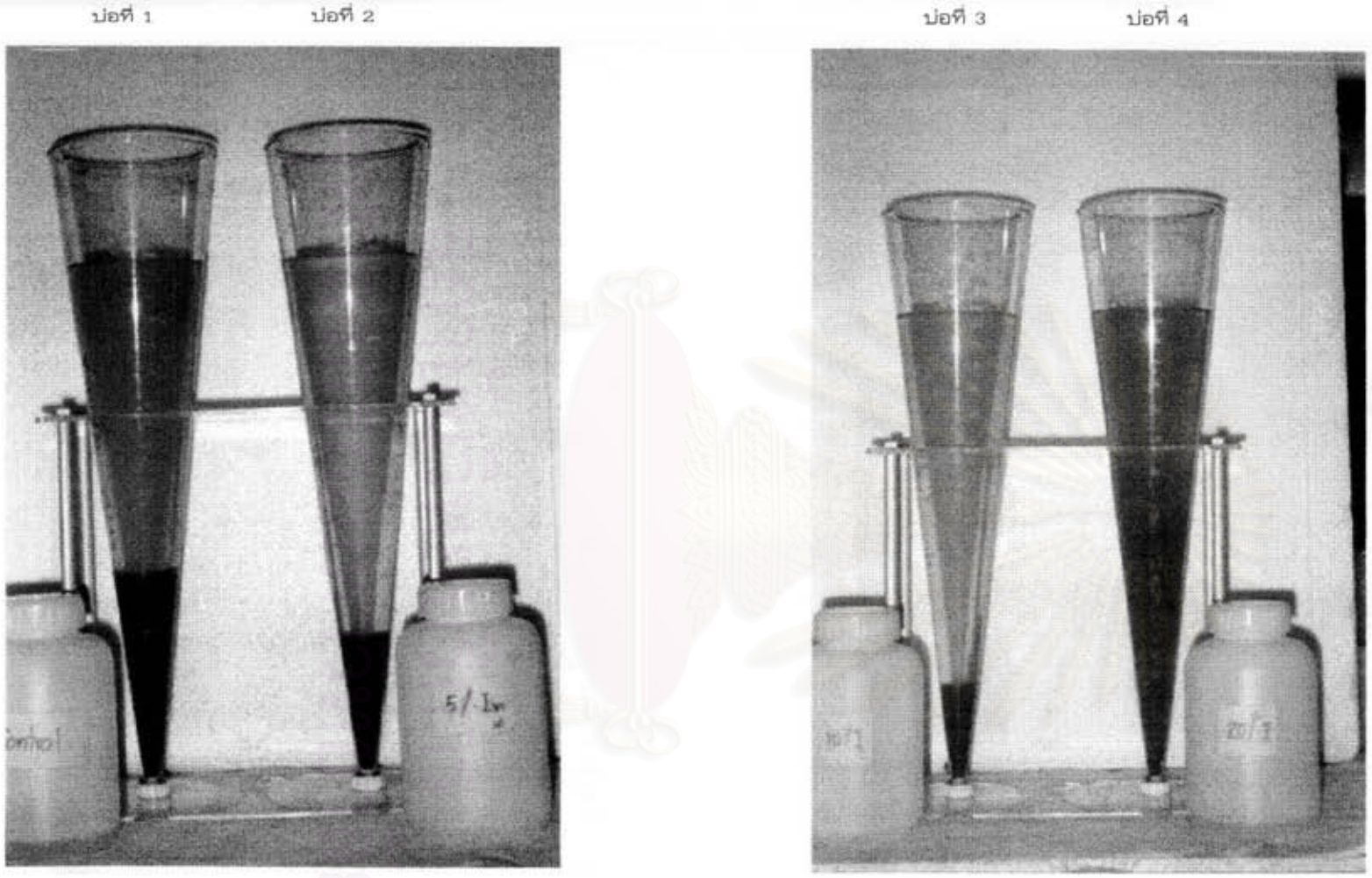
บ่อเลี้ยงปลาบ่อที่ 2 มีการเปลี่ยนแปลงค่าของแข็งจมตัวคือมีค่าลดลง จากค่าเฉลี่ยของแข็งจมตัวในเดือนที่ 2 เท่ากับ 38 มล./ล. ลดลงเป็น 31 และ 20 มล./ล. ในเดือนที่ 3 และ 4 ตามลำดับ และค่าเฉลี่ยรวมเท่ากับ 30 มล./ล.

บ่อเลี้ยงปลาบ่อที่ 3 มีการเปลี่ยนแปลงค่าของแข็งจมตัวโดยมีค่าลดลง จากค่าเฉลี่ยของแข็งจมตัวในเดือนที่ 2 เท่ากับ 78 มล./ล. ลดลงเป็น 24 และ 25 มล./ล. ในเดือนที่ 3 และ 4 ตามลำดับ และค่าเฉลี่ยรวมเท่ากับ 43 มล./ล.

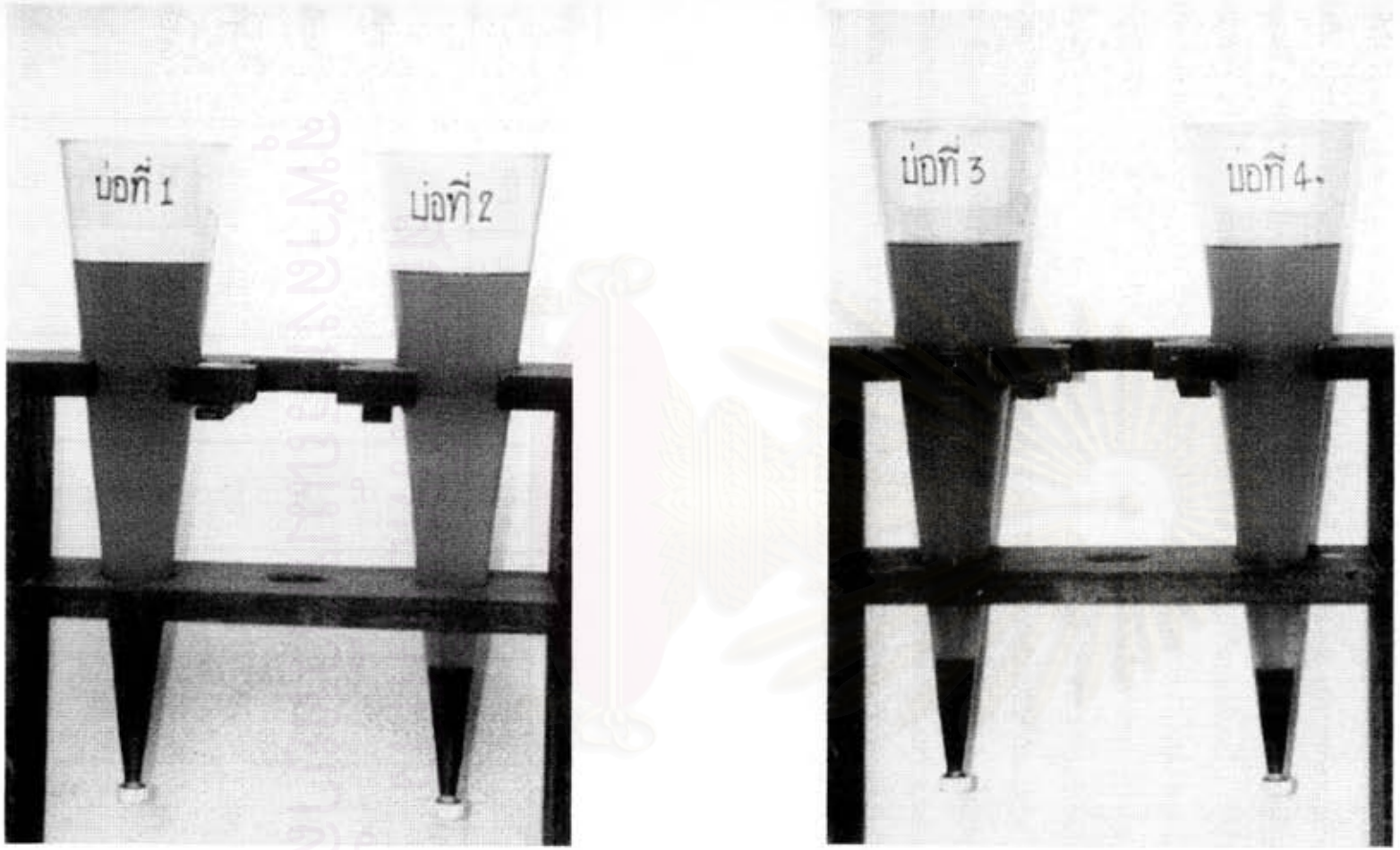
บ่อเลี้ยงปลาบ่อที่ 4 มีการเปลี่ยนแปลงค่าของแข็งจมตัวโดยมีค่าลดลง จากค่าเฉลี่ยของแข็งจมตัวในเดือนที่ 2 เท่ากับ 182 มล./ล. ลดลงเป็น 170 และ 24 มล./ล. ในเดือนที่ 3 และ 4 ตามลำดับ และค่าเฉลี่ยรวมเท่ากับ 125 มล./ล.

จากการพิจารณาข้อมูลในตารางที่ 4.22 และรูปที่ 4.23 จะเห็นว่าบ่อที่ 1, 2 และ 3 การเปลี่ยนแปลงค่าของแข็งจมตัวโดยมีแนวโน้มลดลง ส่วนบ่อที่ 4 มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่าของแข็งจมตัวมากกว่าทุกบ่อ โดยในช่วงแรก (วันที่ 55-69 ของการทดลอง) จะสังเกตุเห็นว่าบ่อที่ 4 มีแนวโน้มของค่าของแข็งจมตัวต่ำกว่าทุกบ่อ แต่ในเวลาต่อมามีค่าเพิ่มสูงขึ้นมากทันที จนมีค่าสูงที่สุดในวันที่ 74 ของการทดลอง และหลังจากนั้นมีค่าลดลงจนมีค่าใกล้เคียงกับบ่ออื่นๆ จากการวิเคราะห์ค่าของแข็งจมตัวของบ่อที่ 4 ซึ่งได้ค่าสูงมากในช่วงวันที่ 72-98 ของการทดลองนั้น จะสังเกตุเห็นได้ว่าลักษณะของตะกอนในน้ำของบ่อที่ 4 มีการตกตะกอนแบบไม่อัดแน่น ซึ่งเมื่อสังเกตุเทียบกับบ่ออื่นๆ จะเห็นว่าในบ่อที่ 1, 2 และ 3 สามารถมองเห็นชั้นตะกอนกับชั้นน้ำแยกกันได้อย่างชัดเจน ส่วนบ่อที่ 4 จะมองเห็นชั้นตะกอนกับชั้นน้ำแยกออกจากกันได้ไม่ชัดเจนนัก เนื่องจากตะกอนต่างๆ ในน้ำไม่สามารถตกตะกอนและจมลงสู่ก้น Imhoff Cone ได้ดี เพียงแต่จะสังเกตุดูจากชั้นน้ำด้านบนที่ค่อนข้างใสกว่าชั้นน้ำด้านล่างที่ขุ่น เพราะมีการแขวนลอยของเม็ดตะกอนที่มีขนาดเล็กและมีสีเขียวเป็นส่วนมากกระจายอยู่ทั่วทั้งชั้นน้ำด้านล่าง และลักษณะของการตกตะกอนที่แตกต่างกันดังที่ได้กล่าวมานี้แสดงไว้ในรูปที่ 4.24 ซึ่งเป็นรูปถ่ายของการวิเคราะห์หาค่าของแข็งจมตัวในวันที่ 88 ของการทดลอง และหากเปรียบเทียบกับลักษณะการตกตะกอนหรือการจมตัวของตะกอนในน้ำ ที่วิเคราะห์หาค่าของแข็งจมตัวในวันที่ 140 ของการทดลอง จะเห็นว่าตะกอนในน้ำของทุกบ่อตกตะกอนได้ดี สามารถมองเห็นชั้นตะกอนกับชั้นน้ำแยกออกจากกันได้อย่างชัดเจน

จากค่าของแข็งจมตัวที่วิเคราะห์ได้จะเห็นว่าน้ำในบ่อเลี้ยงปลาบ่อที่ 1, 2 และ 3 มีค่าของแข็งจมตัวสอดคล้องกับค่าของแข็งแขวนลอยที่วิเคราะห์ได้ โดยจะเห็นว่าบ่อที่ 1 มีค่าของแข็งจมตัวและของแข็งแขวนลอยลดลงเป็นลักษณะแนวโน้มคล้ายกัน และจากค่าของแข็งจมตัวในวันที่ 139 และ 140 ของการทดลอง ซึ่งมีค่าแตกต่างกันในแนวเดียวกันกับความแตกต่างของค่าของแข็งแขวนลอย จากข้อสังเกตุที่ได้นี้



รูปที่ 4.24 แสดงลักษณะการจมตัวของตะกอนในน้ำ (วิเคราะห์ค่าของแข็งจมตัวในวันที่ 88 ของการทดลอง)



รูปที่ 4.24 (ต่อ) แสดงลักษณะการจมตัวของตะกอนในน้ำ (วิเคราะห์ค่าของแข็งจมตัวในวันที่ 140 ของการทดลอง)

อาจจะสรุปได้ว่า จากการที่ของแข็งแขวนลอยบางส่วนสามารถตกตะกอนได้ ซึ่งของแข็งแขวนลอยในส่วนนี้คือค่าของแข็งจมตัวนั่นเอง ดังนั้นเมื่อของแข็งแขวนลอยในน้ำลดลงจึงอาจเป็นผลให้ของแข็งจมตัวลดลงด้วย ดังที่เกิดขึ้นในช่วงเดือนที่ 4 โดยของแข็งแขวนลอยมีค่าลดลงในชั้นน้ำจึงเป็นผลให้ของแข็งจมตัวลดลงด้วยเช่นกัน และความแตกต่างของค่าของแข็งจมตัวที่เห็นในวันที่ 139 และ 140 ของการทดลองนั้น น่าจะเกิดจากเหตุผลเดียวกันกับการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับค่าของแข็งแขวนลอย คือตะกอนส่วนใหญ่ในช่วงเดือนที่ 4 ของการทดลอง ไม่สามารถแขวนลอยอยู่ในน้ำได้และตกตะกอนลงไปที่ก้นบ่อได้มากขึ้น ทำให้เหลือตะกอนต่างๆ สะสมอยู่ในชั้นน้ำน้อยลง จึงทำให้ค่าที่วัดได้ในวันที่ 140 ซึ่งมีการกวนน้ำในบ่อก่อนเก็บตัวอย่างน้ำมาทำการวิเคราะห์ ได้ค่าของแข็งแขวนลอยและของแข็งจมตัวที่สูงกว่าค่าในวันที่ 139 มากนั้นเอง และการเปลี่ยนแปลงของค่าของแข็งจมตัวที่เกิดขึ้นในบ่อที่ 2 ก็สอดคล้องกับลักษณะของการเปลี่ยนแปลงค่าของแข็งแขวนลอยดังแสดงในตารางที่ 4.23 โดยในเดือนที่ 4 มีการตกตะกอนสะสมอยู่ที่ก้นบ่อเช่นเดียวกับบ่อที่ 1 ด้วย ส่วนบ่อที่ 4 จะเห็นว่าค่าของแข็งจมตัวที่วิเคราะห์ได้ในช่วงเดือนที่ 2 และ 3 ไม่สอดคล้องหรือสื่อความหมายกับค่าของแข็งแขวนลอยที่วัดได้ เนื่องจากลักษณะของตะกอนที่มีอยู่ในบ่อที่ 4 แตกต่างจากบ่ออื่น คือไม่สามารถตกตะกอนได้ดี มีการฟุ้งกระจายอยู่ทั่วทั้งชั้นน้ำ ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในตอนต้นนั่นเอง แต่ค่าในเดือน 4 จะลดลงเพราะตะกอนที่มีอยู่ในน้ำสามารถตกตะกอนจมลงสู่ก้น Imhoff Cone ได้ดีนั่นเอง

ตารางที่ 4.23 เปรียบเทียบค่าของแข็งจมตัวกับค่าของแข็งแขวนลอยในบ่อเลี้ยงปลาทั้ง 4 บ่อ

วันที่ทดลอง	ค่าของแข็งจมตัว (มล./ล.)				ค่าของแข็งแขวนลอย (มก./ล.)			
	บ่อที่ 1	บ่อที่ 2	บ่อที่ 3	บ่อที่ 4	บ่อที่ 1	บ่อที่ 2	บ่อที่ 3	บ่อที่ 4
1-22					55	40	37	39
เดือนที่ 1					508	384	248	223
เดือนที่ 2	101	38	78	182	933	466	446	405
เดือนที่ 3	84	31	24	170	1,065	609	469	392
เดือนที่ 4	22	20	25	24	499	485	481	388
วันที่ 139	22	20	23	18	440	432	452	316
วันที่ 140	100	41	20	19	1,532	740	448	356

4.2 อิทธิพลของระดับกำจัดแพลงค์ตอนที่มีต่อค่าของแข็งแขวนลอย ค่าซีโอดีและอินทรีย์คาร์บอน

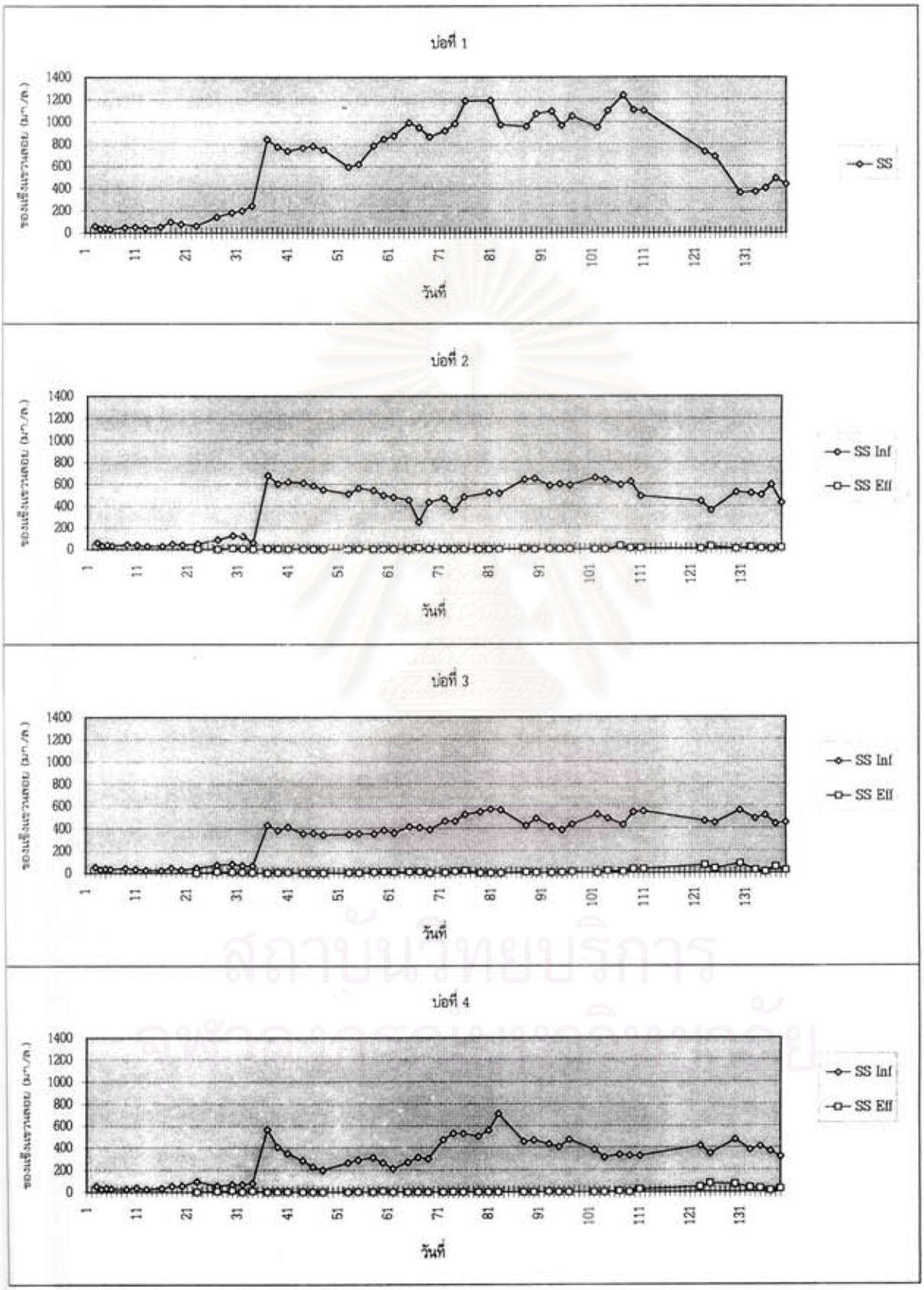
4.2.1 ของแข็งแขวนลอยในน้ำ

ของแข็งแขวนลอยในน้ำหมายถึงของแข็งที่ไม่ละลายน้ำ สามารถแขวนลอยอยู่ในน้ำได้ หรือเป็นตะกอนขนาดใหญ่และมีความถ่วงจำเพาะสูงกว่าน้ำ เมื่อตั้งทิ้งไว้จะสามารถตกลงมานอนที่ก้นภาชนะได้

รูปที่ 4.25 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำตลอดการทดลอง และสรุปผลค่าเฉลี่ยของแข็งแขวนลอยในน้ำไว้ในตารางที่ 4.24 ส่วนข้อมูลตลอดการทดลองแสดงไว้ในตาราง ก-5 ภาคผนวก ก และค่าเฉลี่ยในแต่ละเดือนแสดงไว้ในตารางที่ ข-5 ภาคผนวก ข

จากรูปที่ 4.25 จะเห็นได้ว่าค่าของแข็งแขวนลอยในบ่อเลี้ยงปลาทุกบ่อ มีค่าเพิ่มสูงขึ้นมากทันทีในวันที่ 37 ของการทดลอง สาเหตุที่ทำให้เกิดเหตุการณ์ดังกล่าวเพราะในวันที่ 37 ของการทดลอง ได้มีการเปลี่ยนแปลงเวลาเปิดและปิดเครื่องเติมอากาศเพื่อเพิ่มออกซิเจนให้แก่บ่อเลี้ยงปลาจากเดิมซึ่งเปิดในช่วงเย็น 18:00 น. จนถึง 6:00 น. ของวันถัดไป เปลี่ยนเป็นเปิดตลอด 24 ชม. ดังนั้นจึงอาจทำให้ตะกอนในบ่อเลี้ยงปลาบางส่วนที่สามารถตกตะกอนลงไปที่ก้นบ่อเมื่อไม่มีการเปิดเครื่องเติมอากาศ มีโอกาสฟุ้งกระจายขึ้นมาอยู่ในชั้นน้ำได้มากขึ้น และเมื่อนำน้ำตัวอย่างในบ่อเลี้ยงปลามาวิเคราะห์หาค่าของแข็งแขวนลอย จึงได้ค่าที่สูงมากกว่าเดิมในทันที

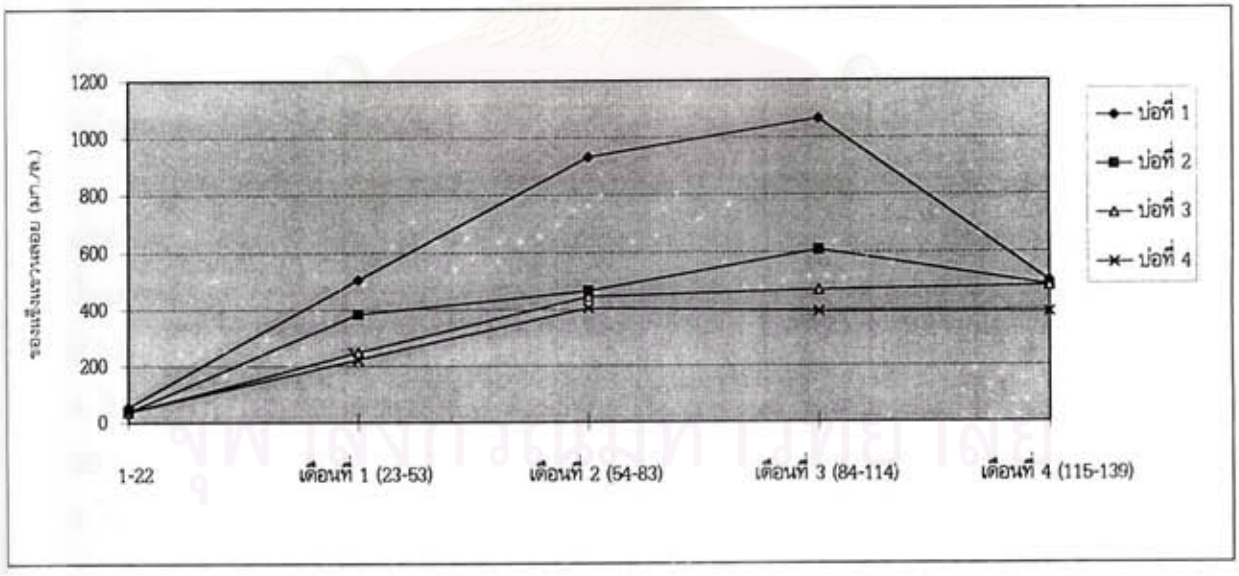
ในบ่อเลี้ยงปลาบ่อที่ 1 มีค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำเริ่มจาก 61 มก./ล. และค่อยๆ เพิ่มขึ้นในช่วงแรกตามรูปที่ 4.25 ของบ่อที่ 1 ค่าของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยในช่วง 22 วันแรกเท่ากับ 55 มก./ล. และเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในเดือนที่ 1 และ 2 โดยมีค่าเฉลี่ยในแต่ละเดือนเท่ากับ 508 และ 933 มก./ล. ตามลำดับ ต่อจากนั้นในเดือนที่ 3 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1065 มก./ล. และเดือนที่ 4 มีค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำลดลงอย่างรวดเร็วโดยเหลือค่าเฉลี่ยในเดือนนี้เท่ากับ 499 มก/ล. ค่าเฉลี่ยรวมของบ่อที่ 1 คือ 612 มก./ล. ซึ่งจากที่ค่าของแข็งแขวนลอยเพิ่มสูงขึ้นทันทีในเดือนที่ 1 และ 2 นอกจากจะมีสาเหตุมาจากการเปลี่ยนแปลงเวลาในการเปิดและปิดเครื่องเติมอากาศดังได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ยังมีสาเหตุมาจากปลาในบ่อกินอาหารน้อยลงมากในช่วงวันที่ 20-30, 53-56 และ 72-75 ของการทดลอง ทำให้มีปริมาณอาหารเหลือตกค้างในบ่อมาก และอาจจะรวมทั้งแพลงค์ตอนพืชเกิดขึ้นในช่วงดังกล่าวนี้เพิ่มขึ้นด้วยเพราะน้ำในบ่อมีสารอาหารที่ได้จากอาหารปลาที่เหลือตกค้างเพื่อใช้ในการเจริญเติบโตเพิ่มมากขึ้น ส่วนค่าของแข็งแขวนลอยในเดือนที่ 3 มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยและลดลงอย่างรวดเร็วในเดือนที่ 4 น่าจะเป็นเพราะในเดือนที่ 3 มีการสะสมของตะกอนต่างๆ ในบ่อเพิ่มมากขึ้น รวมทั้งซากของแพลงค์ตอนพืชที่เกิดขึ้นในช่วงเดือนที่ 1 และ 2 เริ่มตาย จนกระทั่งในเดือนที่ 4 ตะกอนเหล่านี้ส่วนใหญ่ไม่สามารถแขวนลอยอยู่ในน้ำได้จึงตกตะกอนลงสู่ก้นบ่อมากขึ้น เพราะจะเห็นได้ว่าในวันสุดท้ายที่จับปลา (วันที่ 140 ของการทดลอง แสดงไว้ในตารางที่ 4.25) น้ำในบ่อที่ 1 มีค่าของแข็งแขวนลอยสูงถึง 1,532 มก./ล. ซึ่งหมายถึงว่าในบ่อมีการสะสมของตะกอนเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ แต่ตะกอนส่วนใหญ่ไม่สามารถแขวนลอยอยู่ในน้ำได้ จึงทำให้การวิเคราะห์หาค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำของเดือนที่ 4 ได้ค่าน้อยลง



รูปที่ 4.25 ของแข็งแขวนลอยในน้ำตลอดการทดลอง

ตารางที่ 4.24 แสดงค่าเฉลี่ย ค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของค่าของแข็งแขวนลอยตลอดการทดลอง (มก./ล.)

วันที่ทดลอง	น้ำในบ่อทดลอง				น้ำออกจากถังกรอง		
	บ่อที่ 1	บ่อที่ 2	บ่อที่ 3	บ่อที่ 4	ถังที่ 2	ถังที่ 3	ถังที่ 4
1-22	55.10	39.50	37.20	38.70			
เดือนที่ 1 (23-53)	507.67	384.08	247.67	222.67	1.58	4.00	2.67
เดือนที่ 2 (54-83)	933.33	466.33	446.15	404.92	1.23	7.85	1.08
เดือนที่ 3 (84-114)	1064.80	609.20	468.80	391.60	7.10	13.20	3.80
เดือนที่ 4 (115-139)	498.86	484.57	481.14	388.00	11.71	45.14	45.00
ค่าสูงสุด	1240	680	572	712	31	86	78
ค่าต่ำสุด	34	29	24	28	0	0	0
ค่าเฉลี่ย (1-139)	611.95	396.74	336.19	289.18	5.41	17.55	13.14
S.D.	400.66	215.34	192.30	158.76	4.99	18.78	21.27



รูปที่ 4.26 แสดงปริมาณของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยในแต่ละเดือนของน้ำในบ่อต่างๆ

ตารางที่ 4.25 แสดงปริมาณของแข็งแขวนลอยที่วิเคราะห์ได้ในวันที่ทำการทดลองต่างๆ

วันที่ทดลอง	ของแข็งแขวนลอย (มก./ล.)			
	บ่อที่ 1	บ่อที่ 2	บ่อที่ 3	บ่อที่ 4
ค่าเฉลี่ย (1-139)	612	397	336	289
139	440	432	452	316
140 (วันจับปลา)	1,532	740	448	356

บ่อเลี้ยงปลาบ่อที่ 2 มีค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำเริ่มจาก 60 มก./ล. และค่อยๆ เพิ่มขึ้นในช่วงแรกดังแสดงในรูปที่ 4.25 ของบ่อที่ 2 และจากตารางที่ 4.24 จะเห็นว่าค่าเฉลี่ยของแข็งแขวนลอยในน้ำของบ่อที่ 2 มีค่าเฉลี่ยตลอดการทดลองเท่ากับ 397 มก./ล. โดยมีค่าของแข็งแขวนลอยของน้ำในช่วง 22 วันแรกเท่ากับ 40 มก./ล. และเท่ากับ 384, 466, 609 และ 485 มก./ล. ในเดือนที่ 1, 2, 3 และ 4 ตามลำดับ และในช่วงเดือนที่ 1 มีค่าของแข็งแขวนลอยเพิ่มสูงขึ้นมาก เนื่องจากได้มีการเปลี่ยนแปลงเวลาเปิดและปิดเครื่องเติมอากาศดังได้กล่าวมาแล้วนั้นเอง

บ่อเลี้ยงปลาบ่อที่ 3 และ 4 มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำตลอดการทดลองเหมือนกับบ่อที่ 2 โดยมีค่าเริ่มแรกเท่ากับ 56 มก./ล. ในบ่อที่ 3 และ 54 มก./ล. ในบ่อที่ 4 และค่าเฉลี่ยในแต่ละเดือนแสดงไว้ในตารางที่ 4.24 จะเห็นว่าบ่อที่ 3 มีค่าเฉลี่ยของแข็งแขวนลอยตลอดการทดลองเท่ากับ 336 มก./ล. โดยมีค่าเฉลี่ยในช่วง 22 วันแรกเท่ากับ 37 มก./ล. และเท่ากับ 248, 446, 469 และ 481 มก./ล. ในเดือนที่ 1, 2, 3 และ 4 ตามลำดับ ส่วนบ่อที่ 4 มีค่าเฉลี่ยของแข็งแขวนลอยตลอดการทดลองเท่ากับ 289 มก./ล. โดยมีค่าเฉลี่ยในช่วง 22 วันแรกเท่ากับ 39 มก./ล. และเท่ากับ 223, 405, 392 และ 388 มก./ล. ในเดือนที่ 1, 2, 3, และ 4 ตามลำดับ

จากการพิจารณาข้อมูลในตารางที่ 4.24 และรูปที่ 4.26 ซึ่งแสดงปริมาณของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยในแต่ละเดือน จะเห็นว่าบ่อเลี้ยงปลาบ่อที่ 4 มีปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำต่ำกว่าทุกบ่อ ส่วนบ่อเลี้ยงปลาบ่อที่ 1 ซึ่งไม่มีการปรับปรุงคุณภาพน้ำตลอดการทดลองมีปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำสูงกว่าทุกบ่ออย่างชัดเจน ยกเว้นในเดือนที่ 4 ซึ่งวัดค่าปริมาณของแข็งแขวนลอยออกมาได้ใกล้เคียงกับค่าในบ่อเลี้ยงปลาบ่อที่ 2 และ 3 สาเหตุที่ทำให้ปริมาณของแข็งแขวนลอยลดลงอย่างรวดเร็วในเดือนที่ 4 อาจจะเป็นเพราะตะกอนต่างๆ รวมทั้งแพลงค์ตอนพืชที่เกิดขึ้นในช่วงของเดือนที่ 1 และ 2 เริ่มตายลง ซึ่งตะกอนต่างๆ เหล่านี้ มีปริมาณเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ (ดูตารางที่ 4.25 ประกอบ) และอาจมีการรวมตัวเข้าด้วยกันจนกลายเป็น

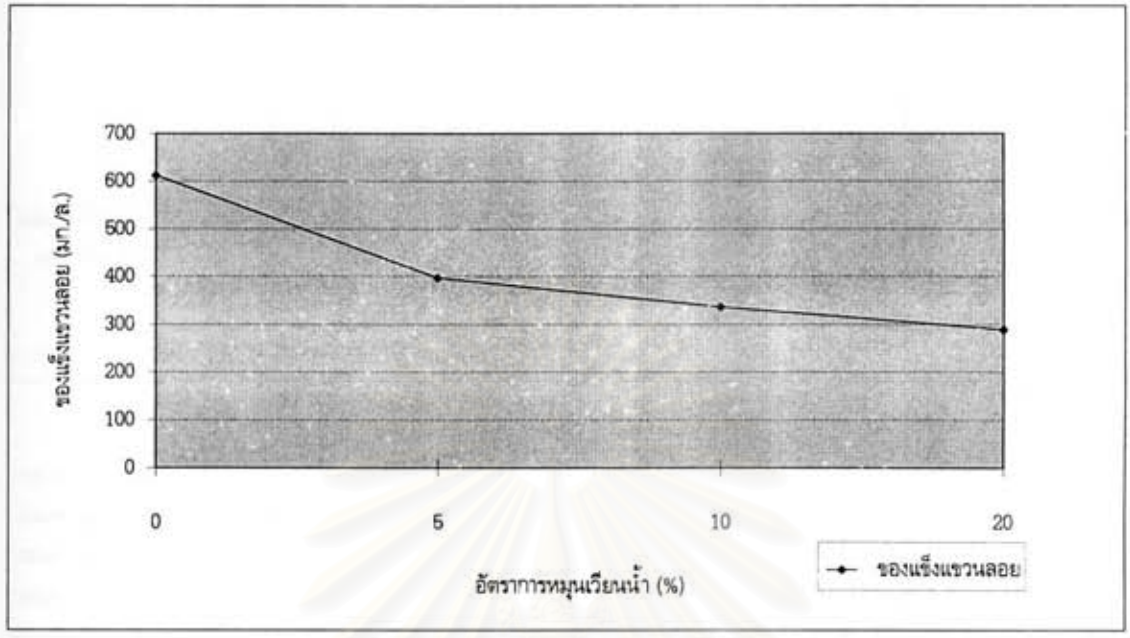
ตะกอนที่มีขนาดใหญ่ จมลงสู่ก้นบ่อไม่สามารถที่จะแขวนลอยอยู่ในน้ำได้ ดังนั้นปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำจึงลดลง และถ้าพิจารณาค่าในวันสุดท้ายที่จับปลา (วันที่ 140 ของการทดลอง) มีการเก็บตัวอย่างน้ำมาวิเคราะห์ โดยทำการกวนน้ำในบ่อให้ผสมกันอย่างดีก่อนที่จะเก็บน้ำตัวอย่าง เมื่อวิเคราะห์ออกมาแล้วจะเห็นว่าค่าของแข็งแขวนลอยที่ได้สูงกว่าค่าเฉลี่ยตลอดการทดลองและค่าในวันที่ 139 ของการทดลองมาก ดังนั้นจากความแตกต่างที่มองเห็นนี้ จึงสอดคล้องกับเหตุผลที่ว่าบ่อเลี้ยงปลาบ่อที่ 1 ยังมีการสะสมตะกอนของเสียต่างๆ ในบ่อเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ แต่ส่วนใหญ่ไม่สามารถแขวนลอยอยู่ในน้ำได้นั่นเอง และจากข้อมูลในตารางที่ 4.25 ของบ่อที่ 2 ซึ่งจะเห็นว่ามีค่าของแข็งแขวนลอยในวันจับปลาสูงกว่าค่าเฉลี่ยตลอดการทดลองและค่าในวันที่ 139 ของการทดลอง มากอย่างเห็นได้ชัดเช่นเดียวกันกับบ่อที่ 1 ดังนั้นจึงแสดงได้ว่าบ่อที่ 2 มีการสะสมของตะกอนของเสียต่างๆ ในบ่อเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ แต่ตะกอนบางส่วนไม่สามารถแขวนลอยอยู่ในน้ำได้นั่นเอง

จากการเปรียบเทียบปริมาณของแข็งแขวนลอยในบ่อเลี้ยงปลาทั้ง 4 บ่อ จะเห็นได้ว่าบ่อที่ 1 มีค่ามากที่สุด รองลงมาคือบ่อที่ 2, 3 และ 4 โดยมีค่าเฉลี่ยตลอดการทดลองเท่ากับ 612, 397, 336 และ 289 มก./ล. ตามลำดับ และถ้าเปรียบเทียบปริมาณของแข็งแขวนลอยในวันสุดท้ายที่มีการจับปลา ผลสรุปที่ได้ก็เป็นไปในทางเดียวกันกับค่าเฉลี่ยตลอดการทดลองคือ บ่อที่ 1 มีค่ามากที่สุด รองลงมาคือบ่อที่ 2, 3 และ 4 โดยมีค่าเท่ากับ 1,532, 740, 448 และ 356 มก./ล. ตามลำดับ ซึ่งจากค่าที่ได้นี้จะเห็นว่าสอดคล้องกับปริมาณน้ำในบ่อที่ดึงออกไปบำบัดด้วยถังกรอง เนื่องจากบ่อที่มีการดึงน้ำออกไปบำบัดด้วยอัตราการหมุนเวียนสูงที่สุดก็สามารถกำจัดตะกอนแขวนลอยในบ่อออกไปได้มากที่สุด เพราะฉะนั้นบ่อที่ 4 ซึ่งมีอัตราส่วนในการหมุนเวียนน้ำมากที่สุดเท่ากับ 20 % จึงมีปริมาณของแข็งแขวนลอยเหลือสะสมอยู่ในบ่อเป็นปริมาณน้อยที่สุด และมีปริมาณของแข็งแขวนลอยสะสมเพิ่มมากขึ้นในบ่อที่ 3, 2 และ 1 ซึ่งมีอัตราส่วนในการหมุนเวียนน้ำ 10, 5 และ 0 % ตามลำดับ และในรูปที่ 4.27 ได้แสดงอิทธิพลของระดับกำจัดแพลงค์ตอนที่มีต่อค่าของแข็งแขวนลอย

4.2.2 ค่าซีโอดีละลายน้ำ

ค่าซีโอดี (Chemical Oxygen Demand) คือค่าความสกปรกของน้ำนั้น คิดความหมายออกมาเป็นปริมาณออกซิเจนที่ต้องใช้ในการกำจัดสารอินทรีย์ที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำนั้นให้เป็นน้ำสะอาด โดยการใช้สารเคมีที่เป็นตัวออกซิไดซ์อย่างแรงในการวิเคราะห์ ดังนั้นค่าซีโอดีจะบ่งบอกถึงความสกปรกที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำของบ่อเลี้ยงปลา ซึ่งมีสาเหตุมาจากสารอินทรีย์ที่เข้าสู่บ่อเลี้ยงปลา

ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.28 ซึ่งได้แสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าซีโอดีละลายน้ำตลอดการทดลองและตารางที่ 4.26 แสดงผลสรุปค่าเฉลี่ยซีโอดีในน้ำของแต่ละเดือนพร้อมกับค่าเฉลี่ยรวมตลอดการทดลอง ส่วนข้อมูลของซีโอดีละลายน้ำตลอดการทดลองแสดงไว้ในตาราง ก- 14 ภาคผนวก ก



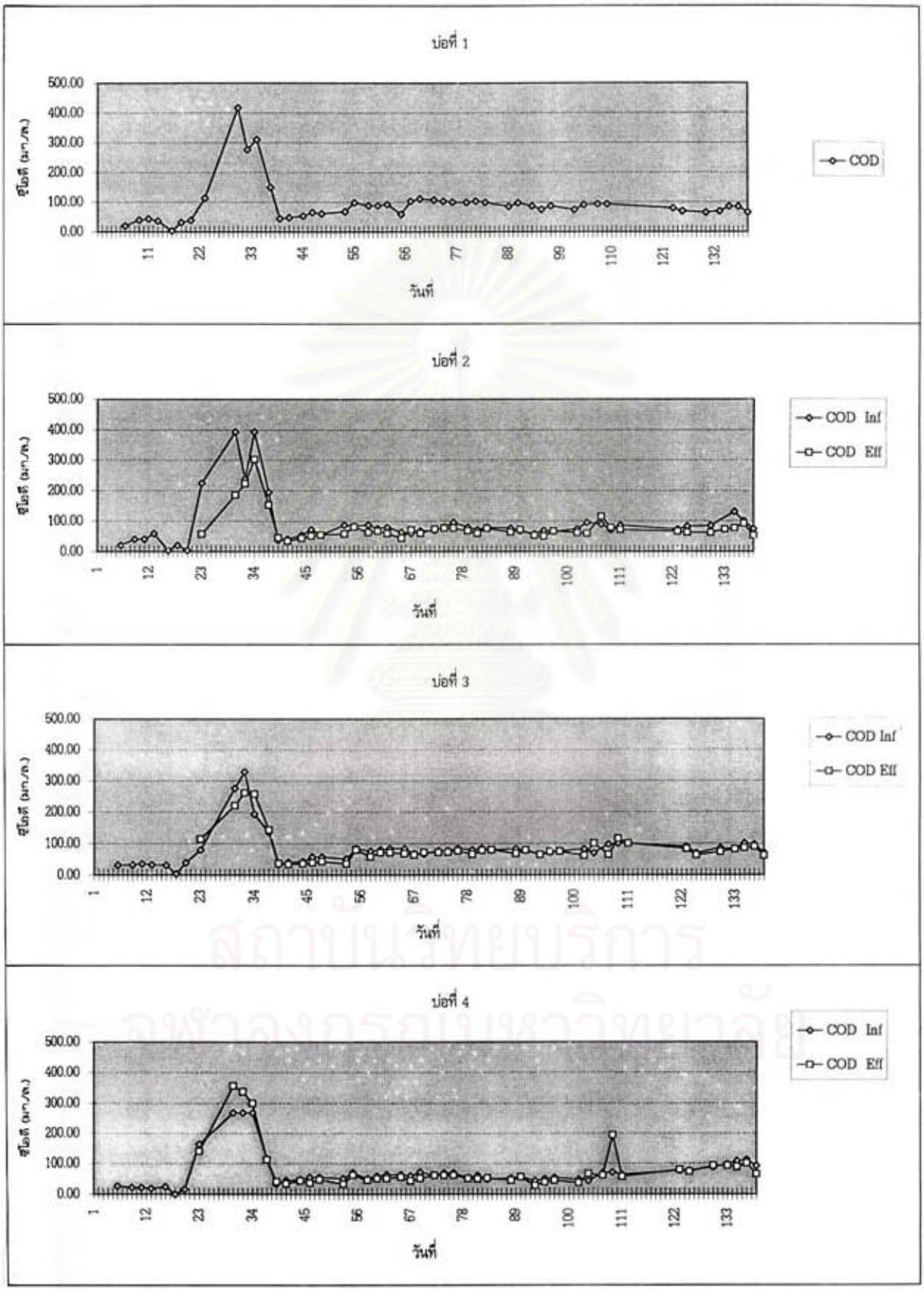
รูปที่ 4.27 อิทธิพลของระดับกำจัดแพลงค์ตอนที่มีต่อค่าของแข็งแขวนลอย

บ่อเลี้ยงปลาบ่อที่ 1 มีค่าเฉลี่ยของซีโอดีช่วง 22 วันแรกของการทดลอง เท่ากับ 31.04 มก./ล. และค่าเฉลี่ยในเดือนที่ 1, 2, 3 และ 4 เท่ากับ 146.76, 96.75, 87.46 และ 74.59 มก./ล. ตามลำดับ และคิดเป็นค่าเฉลี่ยตลอดการทดลองเท่ากับ 87.32 มก./ล. ซึ่งจะเห็นว่าค่าซีโอดีตลอด 4 เดือนหลังนี้มีแนวโน้มลดลง

บ่อเลี้ยงปลาบ่อที่ 2 มีค่าเฉลี่ยของซีโอดีในน้ำช่วง 22 วันแรกของการทดลอง เท่ากับ 26.83 มก./ล. และค่าเฉลี่ยในเดือนที่ 1, 2, 3 และ 4 เท่ากับ 163.26, 76.78, 75.65 และ 91.67 มก./ล. ตามลำดับ และค่าเฉลี่ยรวมเท่ากับ 91.67 มก./ล. จากค่าดังกล่าวจะเห็นว่าค่าซีโอดีมีแนวโน้มลดลงจากเดือนที่ 1 และในเดือนที่ 2 และ 3 ค่าซีโอดีมีการแปรปรวนเล็กน้อย จากนั้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในเดือนที่ 4

บ่อเลี้ยงปลาบ่อที่ 3 มีค่าเฉลี่ยของซีโอดีในช่วง 22 วันแรกของการทดลอง เท่ากับ 30.16 มก./ล. และค่าเฉลี่ยในเดือนที่ 1, 2, 3 และ 4 เท่ากับ 118.31, 78.92, 82.87 และ 84.90 มก./ล. ตามลำดับ ซึ่งจากค่าเฉลี่ยในแต่ละเดือนจะเห็นว่ามีค่าสูงสุดในเดือนที่ 1 และในอีก 3 เดือนหลัง ค่าซีโอดีในน้ำมีการแปรปรวนเล็กน้อย โดยคิดค่าเฉลี่ยรวมแล้วมีค่าเท่ากับ 79.03 มก./ล.

บ่อเลี้ยงปลาบ่อที่ 4 มีค่าเฉลี่ยของซีโอดีในน้ำช่วง 22 วันแรกของการทดลองเท่ากับ 21.46 มก./ล. และค่าเฉลี่ยในเดือนที่ 1, 2, 3 และ 4 มีค่าเท่ากับ 124.93, 61.49, 55.72 และ 93.24 มก./ล. ตามลำดับ โดยมีค่าเฉลี่ยรวมเท่ากับ 71.37 มก./ล.



รูปที่ 4.28 ซีโอดีละลายน้ำตลอดการทดลอง

ตารางที่ 4.26 แสดงค่าเฉลี่ย ค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของค่าซีโอดีตลอดการทดลอง (มก./ล.)

วันที่ทดลอง	น้ำในบ่อทดลอง				น้ำออกจากถังกรอง		
	บ่อที่ 1	บ่อที่ 2	บ่อที่ 3	บ่อที่ 4	ถังที่ 2	ถังที่ 3	ถังที่ 4
1-22	31.04	26.83	30.16	21.46			
เดือนที่ 1 (23-53)	146.76	163.26	118.31	124.93	110.03	111.29	134.75
เดือนที่ 2 (54-83)	96.75	76.78	78.92	61.49	67.58	71.72	53.81
เดือนที่ 3 (84-114)	87.46	75.65	82.87	55.72	69.32	80.53	48.67
เดือนที่ 4 (115-139)	74.59	91.67	84.90	93.24	70.02	76.87	85.04
ค่าสูงสุด	417.06	394.31	329.86	269.19	303.32	261.61	356.40
ค่าต่ำสุด	3.98	3.98	3.98	15.94	33.80	33.80	28.20
ค่าเฉลี่ย (1-139)	87.32	86.84	79.03	71.37	79.24	85.10	80.57
S.D.	41.69	49.22	31.55	39.31	20.55	17.83	39.54

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

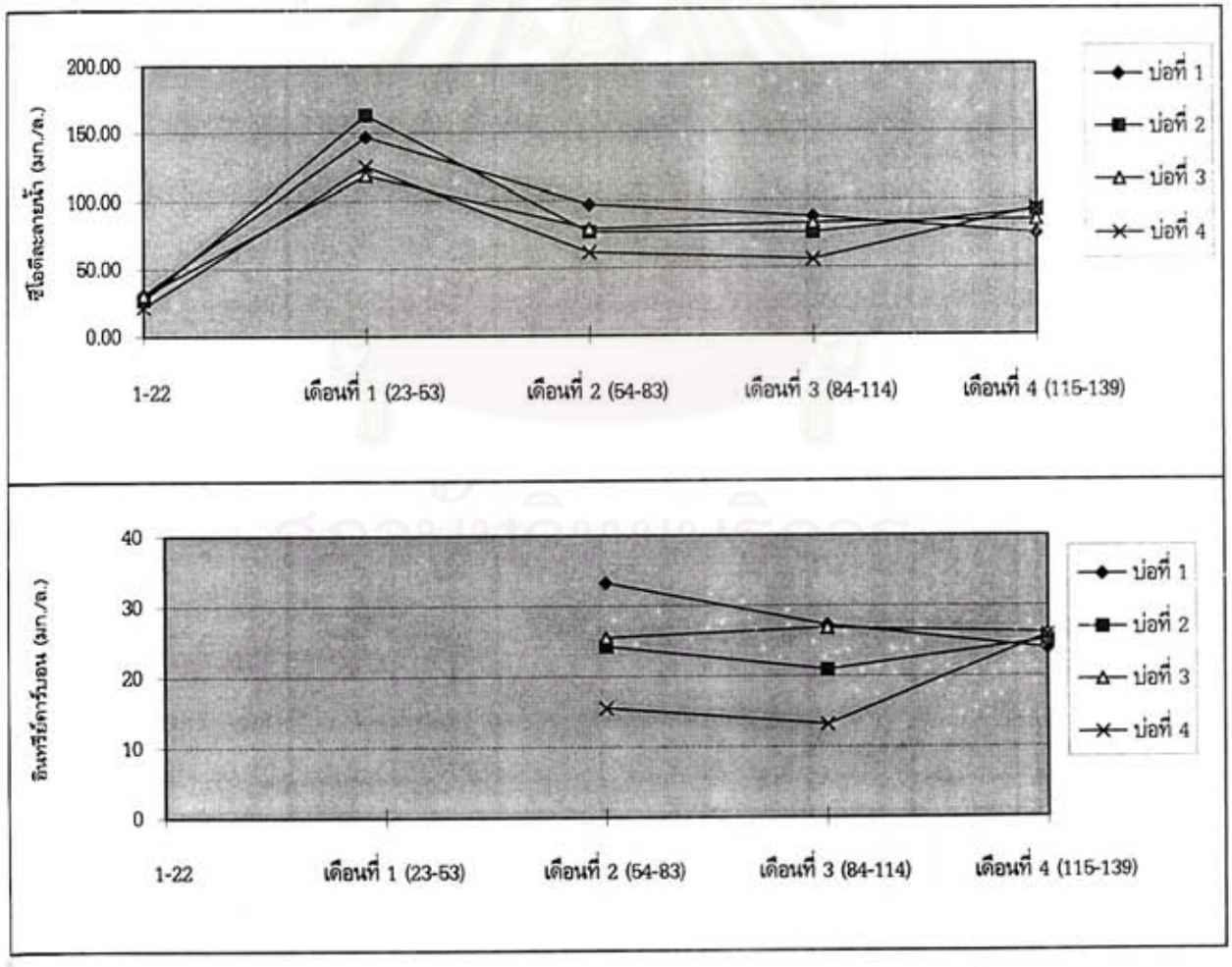
จากรูปที่ 4.28 จะเห็นว่าค่าซีโอดีในน้ำของบ่อที่ 1, 2 และ 4 มีค่าสูงสุดในวันที่ 30 ของการทดลอง โดยมีค่าเท่ากับ 417.06, 394.31 และ 269.19 มก./ล. ตามลำดับ ส่วนบ่อที่ 3 มีค่าซีโอดีสูงสุดเกิดขึ้นในวันที่ 32 ของการทดลอง มีค่าเท่ากับ 329.86 มก./ล. ซึ่งการที่ค่าซีโอดีในแต่ละบ่อมีค่าสูงขึ้นมากนี้อาจเป็นเพราะปลากินอาหารลดลงมากในช่วงวันที่ 20-30 ของการทดลอง ทำให้บ่อปลาได้รับสารอินทรีย์เพิ่มขึ้นมากทันทีจากอาหารที่ปลากินไม่หมดในช่วงดังกล่าว และส่งผลให้เกิดค่าซีโอดีสูงขึ้นมากในวันที่ 30 และ 32 ของการทดลองดังที่กล่าวมาแล้ว และเมื่อพิจารณาค่าในตารางที่ 4.27 และรูปที่ 4.29 ได้แสดงค่าซีโอดีละลายน้ำเฉลี่ยในแต่ละเดือน ซึ่งจะเห็นว่าค่าซีโอดีไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่มีแนวโน้มของค่าเฉลี่ยตลอดการทดลองในบ่อที่ 1 สูงที่สุดโดยมีค่าเท่ากับ 87.32 มก./ล. รองลงมาคือบ่อที่ 2, 3 และ 4 โดยมีค่าเฉลี่ยตลอดการทดลองเท่ากับ 86.84, 79.03 และ 71.37 มก./ล. ตามลำดับ และจากค่าอินทรีย์คาร์บอน (TOC) ของน้ำในบ่อเลี้ยงปลาทั้ง 4 บ่อ จะพบว่าบ่อที่ 1 จะมีค่าเฉลี่ยของอินทรีย์คาร์บอนสูงที่สุดเท่ากับ 28.12 มก./ล. ส่วนบ่อที่ 3, 2 และ 4 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 26.17, 23.39 และ 18.19 มก./ล. ตามลำดับ

การเปลี่ยนแปลงของค่าซีโอดีละลายน้ำที่เกิดขึ้นในบ่อเลี้ยงปลาที่มีการให้อาหาร เนื่องจากปริมาณอาหารที่เหลือ และของเสียจากการขับถ่ายของปลา จะถูกแปรสภาพตามธรรมชาติและสลายเป็นอาหารของแพลงค์ตอนพืช โดยสารอินทรีย์คาร์บอนจะถูกแบคทีเรียย่อยสลายและเปลี่ยนเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ ฟอสฟอรัสที่มีอยู่ในอาหารปลาก็จะถูกแบคทีเรียย่อยสลายเปลี่ยนไปอยู่ในรูปที่พืชชั้นต่ำสามารถนำไปใช้ได้ ส่วนไนโตรเจนในอาหารปลาเมื่อมีการย่อยสลายจะได้แอมโมเนีย ดังนั้นจากที่บ่อเลี้ยงปลาทั้ง 4 บ่อมีค่าซีโอดีละลายน้ำแตกต่างกันนี้ อาจจะมีสาเหตุมาจากปริมาณอาหารที่ให้ปลาในแต่ละบ่อ กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยแบคทีเรีย กระบวนการสังเคราะห์แสงของแพลงค์ตอนพืช และการนำน้ำในบ่อออกไปกรองที่อัตราส่วนในการหมุนเวียนต่างๆ ซึ่งเป็นการกำจัดแพลงค์ตอนที่ระดับต่างๆ นั่นเอง

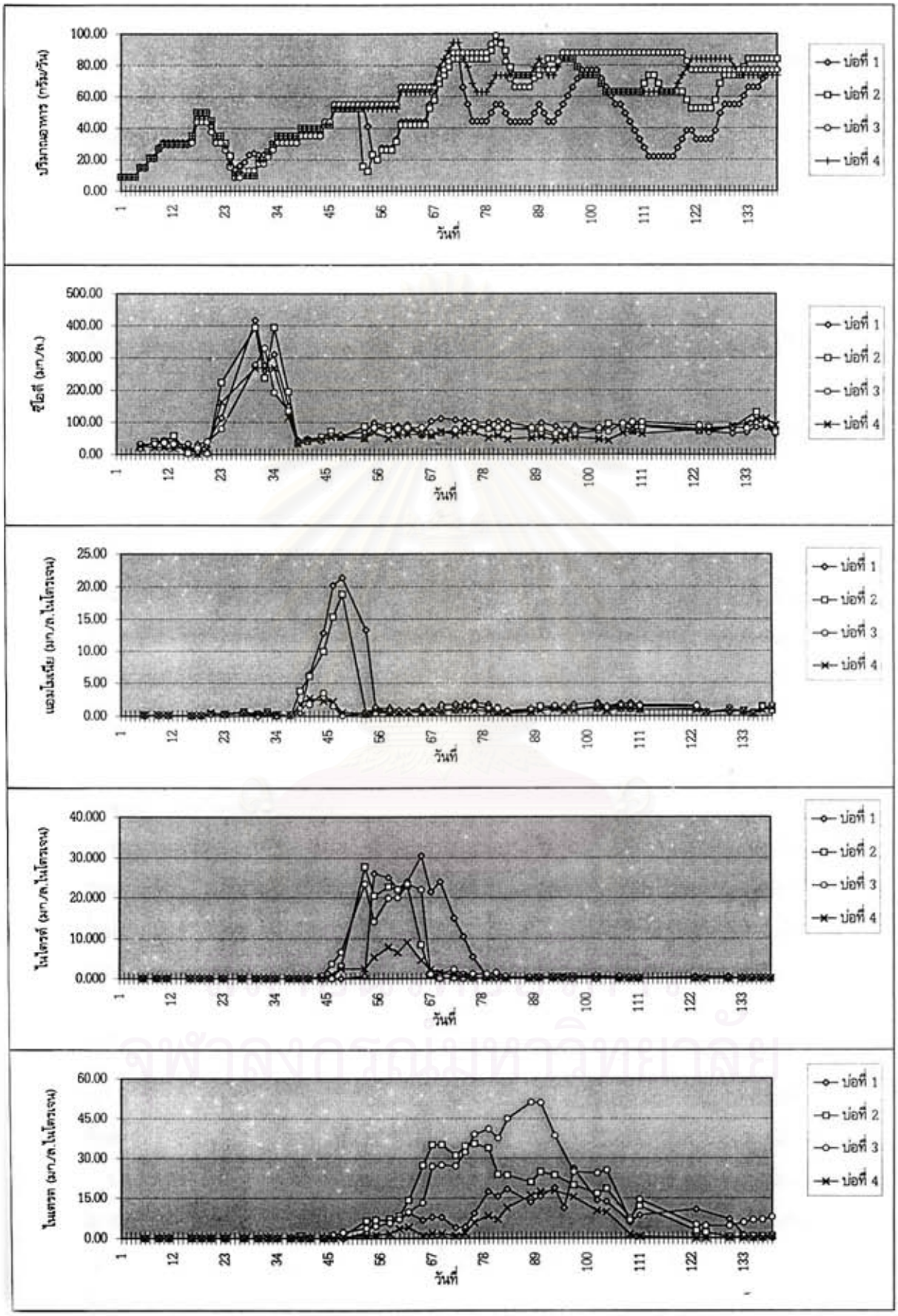
จากรูปที่ 4.30 ซึ่งได้แสดงปริมาณอาหารที่ให้ปลาในแต่ละบ่อ โดยจะเห็นว่าในช่วงวันที่ 20-30 ของการทดลอง มีการลดปริมาณอาหารลงเนื่องจากปลาในบ่อกินอาหารน้อยลงมาก จากเหตุการณ์ดังกล่าวทำให้อาหารปลาเหลือสะสมอยู่ในบ่อเป็นปริมาณมากในทันที และเป็นผลทำให้ค่าซีโอดีของน้ำเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วจนมีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 417.06, 394.31 และ 269.19 มก./ล. ของน้ำในบ่อที่ 1, 2 และ 4 ในวันที่ 30 ของการทดลอง และเท่ากับ 329.86 มก./ล. ของน้ำในบ่อที่ 3 ในวันที่ 32 ของการทดลอง จากนั้นค่าซีโอดีได้ลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากในวันที่ 37 ของการทดลอง ได้มีการเปลี่ยนแปลงเวลาในการเปิดและปิดเครื่องเติมอากาศให้แก่น้ำในบ่อ จากเดิมเปิดในช่วง 18:00 ถึง 6:00 ของวันใหม่ เปลี่ยนเป็นเปิดตลอด 24 ชั่วโมง ซึ่งอาจทำให้น้ำในบ่อได้รับออกซิเจนเพิ่มมากขึ้นและช่วยให้แบคทีเรียสามารถย่อยสลายอาหารที่เหลือซึ่งเป็นสารอินทรีย์ได้เร็วขึ้น เป็นผลให้ค่าซีโอดีของน้ำลดลงในที่สุด และจะสังเกตุเห็นว่าในเวลาต่อมาน้ำในบ่อมีแอมโมเนีย ไนไตรต์ และไนเตรตเกิดขึ้นตามมาเป็นลำดับ เพราะมีการย่อยสลายไนโตรเจนที่มีอยู่ในอาหารไปเป็นแอมโมเนีย และหลังจากนั้นเมื่อมีกระบวนการไนตริฟิเคชั่นเกิดขึ้นแอมโมเนียก็ถูกออกซิไดซ์ไปเป็นไนไตรต์และไนเตรต ตามลำดับ ในขณะเดียวกันแบคทีเรียจะย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ได้จากอาหารปลาที่

ตารางที่ 4.27 แสดงค่าเฉลี่ยของซีโอดีละลายน้ำและอินทรีย์คาร์บอนในแต่ละเดือนของน้ำในบ่อต่างๆ

วันที่ทดลอง	ซีโอดีละลายน้ำ (มก./ล.)				อินทรีย์คาร์บอน (มก./ล.)			
	บ่อที่ 1	บ่อที่ 2	บ่อที่ 3	บ่อที่ 4	บ่อที่ 1	บ่อที่ 2	บ่อที่ 3	บ่อที่ 4
1-22	31.04	26.83	30.16	21.46	-	-	-	-
เดือนที่ 1 (23-53)	146.76	163.26	118.31	124.93	-	-	-	-
เดือนที่ 2 (54-83)	96.75	76.78	78.92	61.49	33.24	24.23	25.49	15.56
เดือนที่ 3 (84-114)	87.46	75.65	82.87	55.72	27.24	20.85	26.85	13.22
เดือนที่ 4 (115-139)	74.59	91.67	84.90	93.24	23.88	25.10	26.17	25.80
ค่าสูงสุด	417.06	394.31	329.86	269.19	36.60	30.77	30.96	31.60
ค่าต่ำสุด	3.98	3.98	3.98	15.94	21.97	18.30	22.45	11.36
ค่าเฉลี่ย (1-139)	87.32	86.84	79.03	71.37	28.12	23.39	26.17	18.19
S.D.	41.69	49.22	31.55	39.31	4.74	2.24	0.68	6.69



รูปที่ 4.29 แสดงค่าเฉลี่ยของซีโอดีละลายน้ำและอินทรีย์คาร์บอนในแต่ละเดือนของน้ำในบ่อต่างๆ



รูปที่ 4.30 แสดงความสัมพันธ์ของปริมาณอาหารที่ให้ในบ่อกับค่าซีโอดีละลายน้ำ แอมโมเนีย ไนไตรท์และไนเตรต ที่เกิดขึ้นในบ่อต่างๆ

เหลือ และให้คาร์บอนไดออกไซด์ออกมา จากนั้นแพลงค์ตอนพืชจะดึงคาร์บอนไดออกไซด์และสารอาหาร (แอมโมเนียหรือไนเตรต และฟอสฟอรัส) ที่มีอยู่ในบ่อไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสง ดังนั้นจากค่าซีโอดีของน้ำในบ่อที่ 4 มีค่าต่ำที่สุด เนื่องจากบ่อที่ 4 มีอัตราส่วนในการหมุนเวียนน้ำสูงที่สุดเท่ากับ 20 % หรือคิดเป็น Dilution Rate เท่ากับ 0.2 วัน$^{-1}$ เป็นผลให้อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของแพลงค์ตอนพืชในบ่อที่ 4 มีค่าสูงกว่าบ่อที่ 3, 2 และ 1 ซึ่งมีอัตราส่วนในการหมุนเวียนน้ำ 10, 5 และ 0 % ตามลำดับ จากอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของแพลงค์ตอนพืชที่สูงกว่าบ่ออื่นๆ เป็นผลให้มีการดึงสารอาหารซึ่งเป็นของเสียต่างๆ ในบ่อไปใช้มากที่สุด จึงเหลือของเสียต่างๆ สะสมอยู่ในบ่อน้อยที่สุดทำให้น้ำในบ่อที่ 4 มีค่าซีโอดีต่ำที่สุด และบ่อที่ 1 มีค่าซีโอดีสูงที่สุด ซึ่งจากอิทธิพลของระดับกำจัดแพลงค์ตอนที่มีผลต่อค่าซีโอดีละลายน้ำดังที่ได้กล่าวมานี้ได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.31

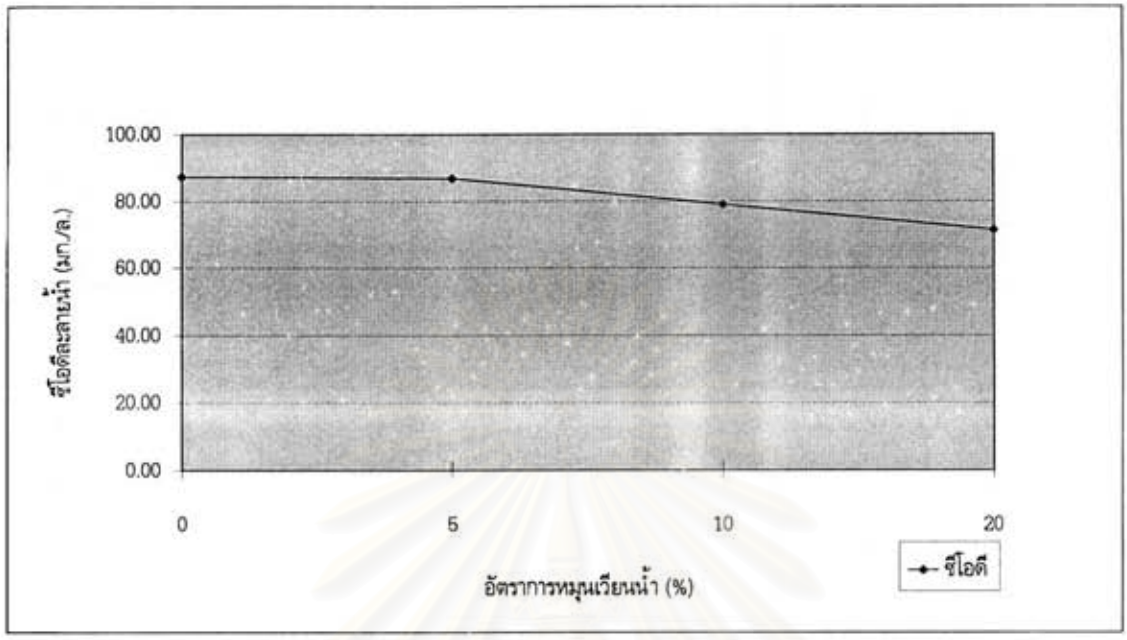
เนื่องจากบ่อที่ 4 มีการดึงของเสียในบ่อออกไปมากที่สุดด้วยแพลงค์ตอนพืช ดังนั้นในรูปที่ 4.32 ได้แสดงผลการทดลองที่สอดคล้องกับเหตุการณ์ดังกล่าวคือ ในรูปที่แสดงของแข็งแขวนลอยในน้ำจะเห็นว่าในบ่อที่ 4 มีแนวโน้มของอัตราการเพิ่มของแข็งแขวนลอยเพิ่มขึ้นสูงมากกว่าบ่อที่ 2 และ 3 ในช่วงวันที่ 48 ถึง 83 ของการทดลอง ซึ่งจากข้อมูลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่ามีการสังเคราะห์แสงและเพิ่มปริมาณของแพลงค์ตอนพืชเกิดขึ้นในบ่อที่ 4 ด้วยอัตราที่สูงกว่าบ่ออื่นๆ และเมื่อพิจารณาค่าพีเอชและค่าออกซิเจนละลายน้ำของบ่อเลี้ยงปลาทั้ง 4 บ่อ จะเห็นว่าบ่อที่ 4 มีค่าสูงกว่าบ่ออื่นๆ ซึ่งสอดคล้องกับการสังเคราะห์แสงของแพลงค์ตอนพืชที่มีการดึงคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำออกไปใช้มากที่สุดจนทำให้พีเอชของน้ำในบ่อมีค่าสูงขึ้น และมีแนวโน้มของค่าออกซิเจนละลายน้ำสูงกว่าบ่ออื่นๆ

4.2.3 ปริมาณคาร์บอนในน้ำ

คาร์บอนในน้ำประกอบด้วยอินทรีย์คาร์บอนและอนินทรีย์คาร์บอนซึ่งอาจจะอยู่ในรูปสารละลายหรืออนุภาคของแข็ง รูปที่ 4.33 แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณคาร์บอนในน้ำและสรุปผลค่าเฉลี่ยปริมาณคาร์บอนในน้ำทั้งหมดไว้ในตารางที่ 4.28 ซึ่งข้อมูลปริมาณคาร์บอนในน้ำได้เริ่มทำการวิเคราะห์หาค่าตั้งแต่วันที่ 72 จนกระทั่งสิ้นสุดการทดลองและแสดงไว้ในตารางที่ ก-15 ภาคผนวก ก

บ่อเลี้ยงปลาบ่อที่ 1 มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณคาร์บอนในน้ำ คือมีแนวโน้มลดลงโดยมีปริมาณคาร์บอนในน้ำสูงที่สุดในเดือนที่ 2 โดยมีปริมาณคาร์บอนทั้งหมดเท่ากับ 54.30 มก./ล. เป็นอนินทรีย์คาร์บอน 21.06 มก./ล. และอินทรีย์คาร์บอน 33.25 มก./ล. และมีปริมาณคาร์บอนต่ำที่สุดในเดือนที่ 4 มีคาร์บอนทั้งหมด 39.69 มก./ล. เป็นอนินทรีย์คาร์บอน 15.80 มก./ล. และอินทรีย์คาร์บอน 23.88 มก./ล.

บ่อเลี้ยงปลาบ่อที่ 2 มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณคาร์บอนในน้ำเพิ่มขึ้น โดยมีค่าต่ำที่สุดในเดือนที่ 2 มีปริมาณคาร์บอนทั้งหมดเท่ากับ 36.91 มก./ล. เป็นอนินทรีย์คาร์บอน 12.68 มก./ล. และอินทรีย์คาร์บอน 24.23 มก./ล. และมีปริมาณคาร์บอนสูงที่สุดในเดือนที่ 4 มีคาร์บอนทั้งหมด 46.97 มก./ล. เป็นอนินทรีย์คาร์บอน 21.87 มก./ล. และอินทรีย์คาร์บอน 25.10 มก./ล.

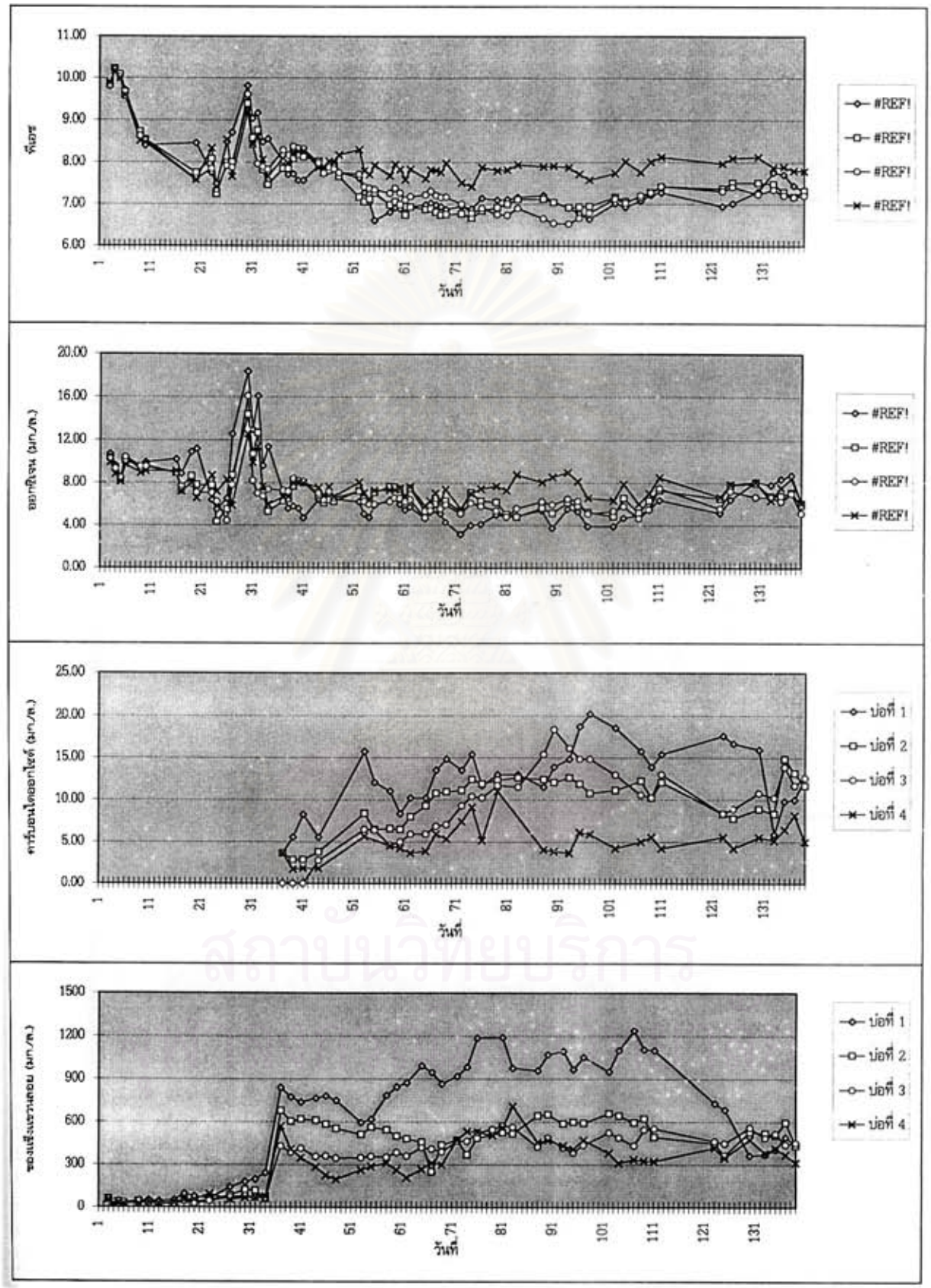


รูปที่ 4.31 อิทธิพลของระดับกำจัดแพลงค์ตอนที่มีต่อค่าซีโอดีละลายน้ำ

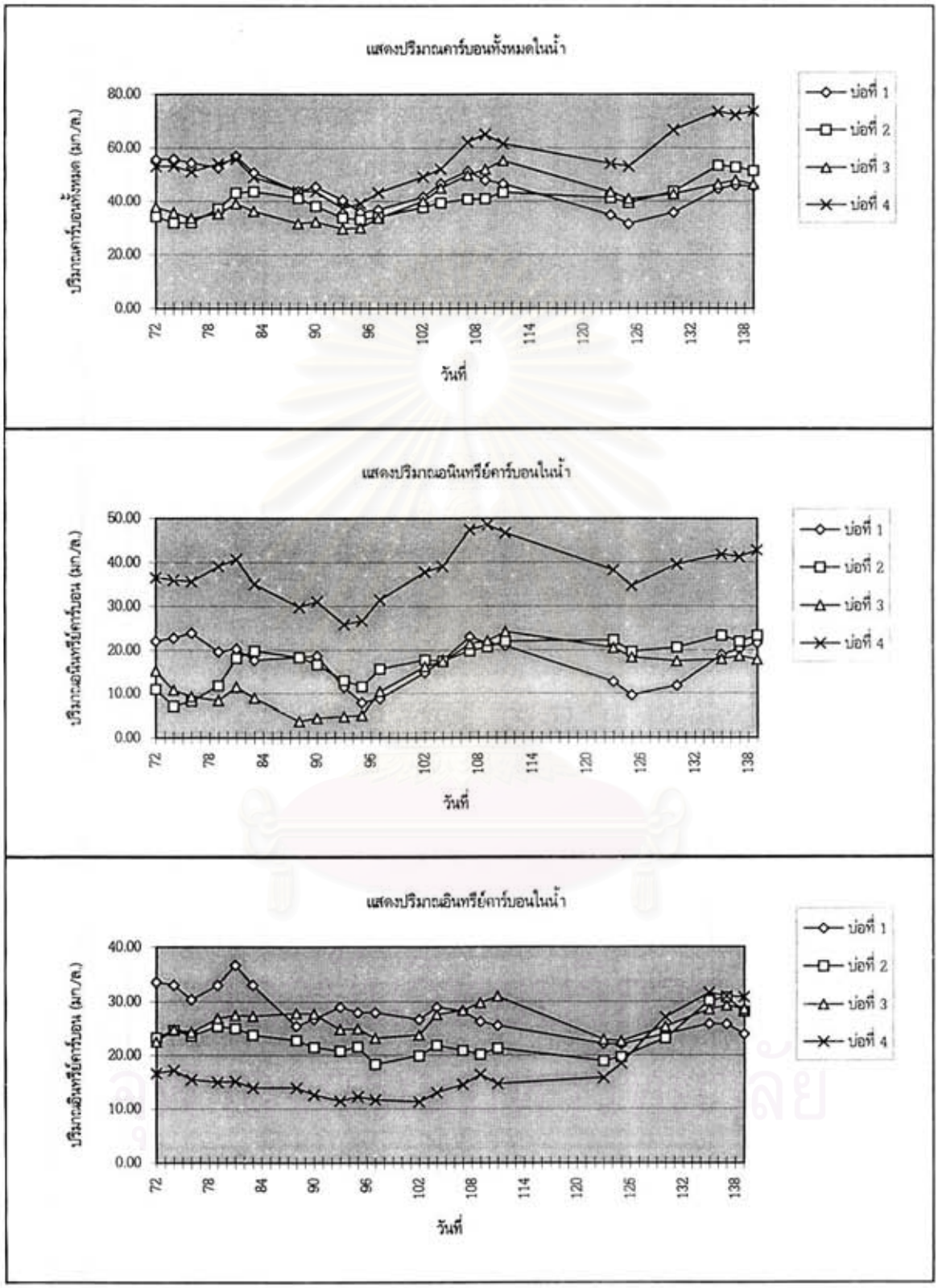
บ่อเลี้ยงปลาบ่อที่ 3 มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณคาร์บอนในน้ำโดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น มีค่าต่ำที่สุดในเดือนที่ 2 มีปริมาณคาร์บอนทั้งหมดเท่ากับ 36.18 มก./ล. เป็นอนินทรีย์คาร์บอน 10.68 มก./ล. และอินทรีย์คาร์บอน 25.49 มก./ล. และมีปริมาณคาร์บอนสูงที่สุดในเดือนที่ 4 มีคาร์บอนทั้งหมด 44.61 มก./ล. เป็นอนินทรีย์คาร์บอน 18.44 มก./ล. และอินทรีย์คาร์บอน 26.17 มก./ล. จากค่าอินทรีย์คาร์บอนในตารางแสดงค่าเฉลี่ยในแต่ละเดือนจะเห็นว่ามีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเท่านั้น

บ่อเลี้ยงปลาบ่อที่ 4 มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณคาร์บอนในน้ำคือ ในเดือนที่ 2 มีปริมาณคาร์บอนทั้งหมดเท่ากับ 52.66 มก./ล. เป็นอนินทรีย์คาร์บอน 37.10 มก./ล. และอินทรีย์คาร์บอน 15.56 มก./ล. และลดลงในเดือนที่ 3 มีปริมาณคาร์บอนทั้งหมดเท่ากับ 46.65 มก./ล. เป็นอนินทรีย์คาร์บอน 36.43 มก./ล. และอินทรีย์คาร์บอน 13.22 มก./ล. และมีปริมาณคาร์บอนสูงที่สุดในเดือนที่ 4 มีคาร์บอนทั้งหมด 65.50 มก./ล. เป็นอนินทรีย์คาร์บอน 39.70 มก./ล. และอินทรีย์คาร์บอน 25.80 มก./ล.

จากรูปที่ 4.33 แสดงปริมาณคาร์บอนทั้งหมดจะเห็นว่าในช่วงเดือนที่ 3 และ 4 ปริมาณคาร์บอนทั้งหมดของน้ำในบ่อที่ 4 สูงกว่าทุกบ่อ และจากค่าอนินทรีย์คาร์บอนที่วิเคราะห์ได้นั้น หมายถึงผลรวมของคาร์บอนไดออกไซด์ ไฮโดรเจนไบคาร์บอเนต และไบคาร์บอเนตที่มีอยู่ในน้ำ ซึ่งเมื่อทำการเปรียบเทียบค่าต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.34 จะเห็นว่าค่าอนินทรีย์คาร์บอนที่วัดได้นั้นสอดคล้องกับค่าคาร์บอนไดออกไซด์



รูปที่ 4.32 แสดงความสัมพันธ์ของค่าพีเอช ออกซิเจนละลายน้ำ คาร์บอนไดออกไซด์ และของแข็งแขวนลอย ในบ่อต่างๆ



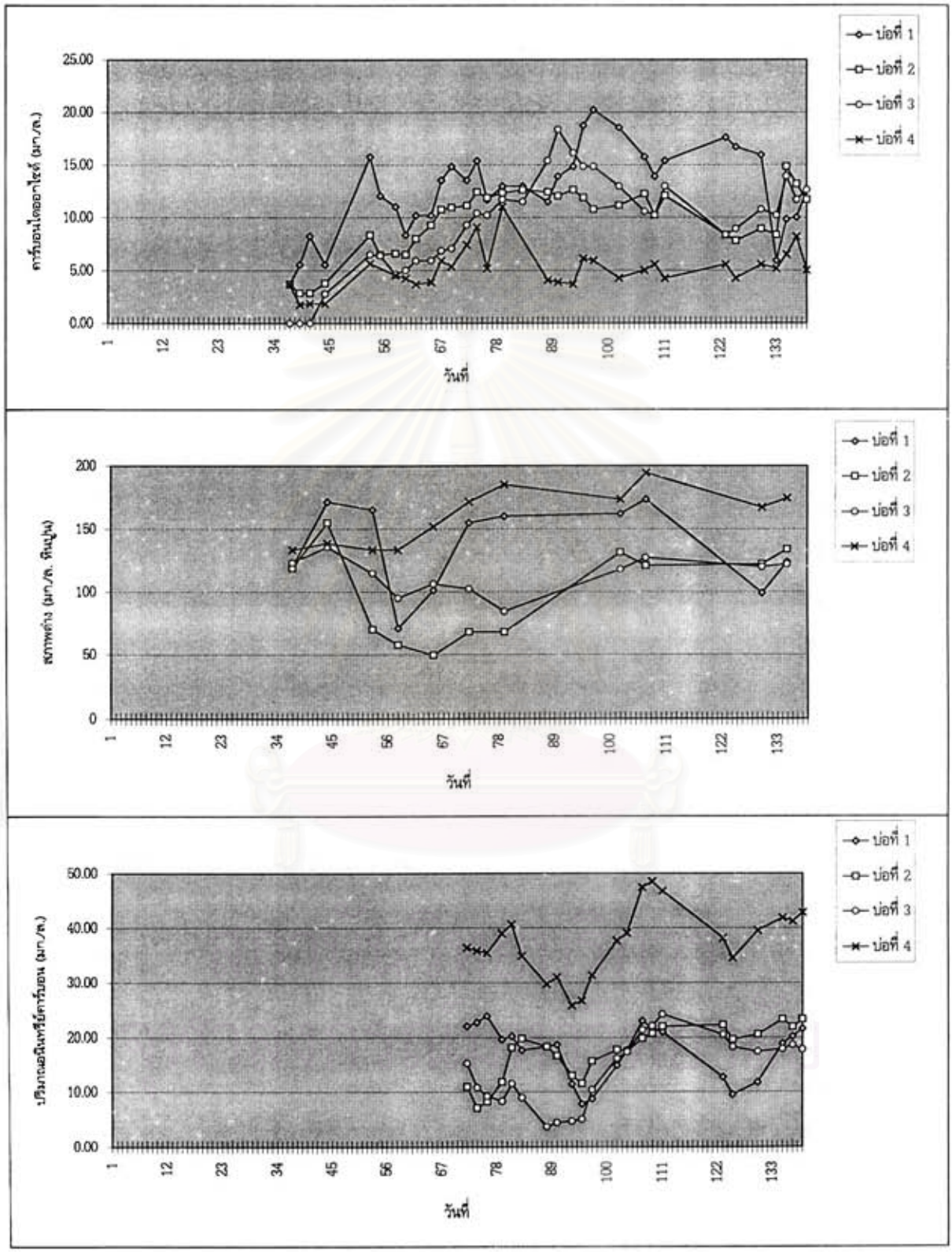
รูปที่ 4.33 แสดงปริมาณคาร์บอนในน้ำ

ตารางที่ 4.28 แสดงค่าเฉลี่ย ค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของปริมาณคาร์บอนทั้งหมดตลอดการทดลอง (มิลลิกรัม/ลิตร)

วันที่ทดลอง	น้ำในบ่อทดลอง											
	TC				IC				TOC			
	บ่อที่ 1	บ่อที่ 2	บ่อที่ 3	บ่อที่ 4	บ่อที่ 1	บ่อที่ 2	บ่อที่ 3	บ่อที่ 4	บ่อที่ 1	บ่อที่ 2	บ่อที่ 3	บ่อที่ 4
1-22												
เดือนที่ 1 (23-53)												
เดือนที่ 2 (54-83)	54.30	36.91	36.18	52.66	21.06	12.68	10.68	37.10	33.24	24.23	25.49	15.56
เดือนที่ 3 (84-114)	43.58	38.15	39.82	49.65	16.33	17.30	12.97	36.43	27.24	20.85	26.85	13.22
เดือนที่ 4 (115-139)	39.69	46.97	44.61	65.50	15.80	21.87	18.44	39.70	23.88	25.10	26.17	25.80
ค่าสูงสุด	56.88	53.45	55.18	73.59	23.91	23.33	24.22	48.54	36.60	30.77	30.96	31.60
ค่าต่ำสุด	31.51	31.75	29.54	37.33	7.87	7.11	3.74	25.85	21.97	18.30	22.45	11.36
ค่าเฉลี่ย	45.86	40.68	40.20	55.93	17.73	17.28	14.03	37.74	28.12	23.39	26.17	18.19
S.D.	7.57	5.48	4.23	8.42	2.89	4.59	3.98	1.73	4.74	2.24	0.68	6.69

ตารางที่ 4.28 (ต่อ) แสดงค่าเฉลี่ย ค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของปริมาณคาร์บอนทั้งหมดตลอดการทดลอง (มิลลิกรัม/ลิตร)

วันที่ทดลอง	น้ำออกจากถังกรอง								
	TC			IC			TOC		
	ถังที่ 2	ถังที่ 3	ถังที่ 4	ถังที่ 2	ถังที่ 3	ถังที่ 4	ถังที่ 2	ถังที่ 3	ถังที่ 4
1-22									
เดือนที่ 1 (23-53)									
เดือนที่ 2 (54-83)	34.50	42.12	57.40	13.07	20.05	46.16	21.43	22.07	11.24
เดือนที่ 3 (84-114)	42.81	51.34	51.67	24.49	29.91	42.59	18.32	21.43	8.78
เดือนที่ 4 (115-139)	45.13	56.51	71.68	22.94	33.48	50.12	22.19	23.04	22.39
ค่าสูงสุด	73.12	68.62	78.21	44.73	43.82	57.41	28.39	29.92	25.94
ค่าต่ำสุด	26.76	33.59	41.11	7.19	9.57	26.47	14.93	16.74	5.90
ค่าเฉลี่ย	40.81	49.99	60.25	20.16	27.81	46.29	20.65	22.18	14.14
S.D.	5.59	7.29	10.31	6.19	6.95	3.77	2.05	0.81	7.25



รูปที่ 4.34 แสดงความสัมพันธ์ของค่าอนินทรีย์คาร์บอนกับค่าคาร์บอนไดออกไซด์ และค่าสภาพด่างของน้ำในบ่อเลี้ยงปลาทั้ง 4บ่อ

และค่าสภาพด่าง โดยบ่อที่ 4 มีค่าอนินทรีย์คาร์บอนสูงกว่าทุกบ่อซึ่งน่าจะเป็นผลมาจากน้ำในบ่อที่ 4 มีสภาพด่างสูงกว่าบ่ออื่นๆ นั้นเอง ส่วนค่าอินทรีย์คาร์บอนที่ละลายอยู่ในน้ำจะพบว่าสอดคล้องกับค่าซีโอดี โดยค่าอินทรีย์คาร์บอนที่ได้มีค่าสูงที่สุดในบ่อที่ 1 และต่ำที่สุดคือบ่อที่ 4 จากค่าที่ได้นี้จะเห็นว่าเป็นไปตามแนวคิดในการดึงของเสียในบ่อออกไปโดยการกรองแพลงค์ตอนในระดับต่างๆ (รูปที่ 4.35) ดังที่ได้อธิบายเหตุผลไว้แล้วในหัวข้อ 4.2.2 ของค่าซีโอดีละลายน้ำ และจากผลรวมของอนินทรีย์และอินทรีย์คาร์บอนจึงได้ปริมาณคาร์บอนที่ละลายอยู่ในน้ำทั้งหมด ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงของค่าเป็นไปตามปริมาณของสารประกอบคาร์บอนแต่ละตัว

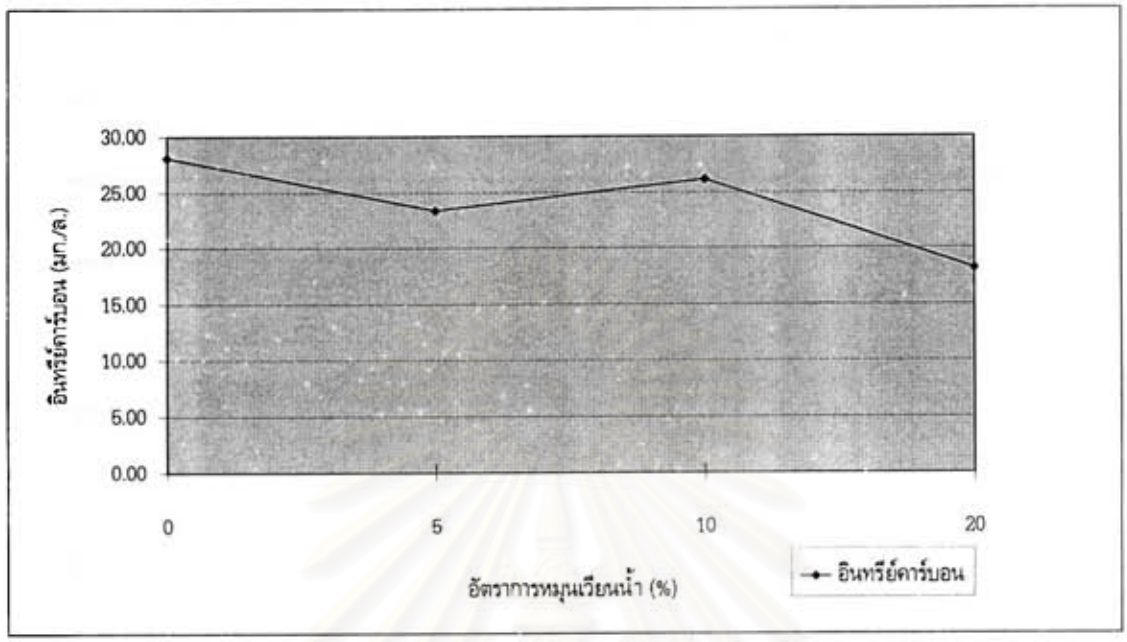
4.3 อิทธิพลของระดับกำจัดแพลงค์ตอนที่มีต่อผลผลิตปลา

การวิจัยนี้ประกอบด้วยบ่อเลี้ยงปลา 4 บ่อที่มีขนาดเท่ากัน การเลี้ยงปลาจะเป็นแบบระบบปิดที่ไม่มีการเติมน้ำใหม่ นอกจากที่เติมทดแทนการระเหยของน้ำที่เกิดขึ้น บ่อแรกจะเป็นบ่อควบคุมที่ไม่มีการปรับปรุงคุณภาพน้ำ และอีก 3 บ่อจะเป็นการเพาะเลี้ยงปลาที่มีการปรับปรุงคุณภาพน้ำในระดับที่แตกต่างกันคือ มีการนำน้ำในบ่อที่ 2, 3 และ 4 ออกไปบำบัดด้วยถังกรองทรายแบบไหลไม่ต่อเนื่องที่อัตราการหมุนเวียนน้ำเท่ากับ 5, 10 และ 20 % ของความจุน้ำในบ่อทั้งหมด ตามลำดับ บ่อเลี้ยงปลาบรรจุน้ำประมาณ 420 ลิตร ดังนั้นคิดเป็นปริมาณน้ำของบ่อที่ 2, 3 และ 4 ที่นำออกไปกรองเท่ากับ 21, 42 และ 84 ลิตร/วัน และการทดลองเริ่มต้นด้วยการปล่อยปลานิลที่มีขนาดใกล้เคียงกันและมีน้ำหนักประมาณ 6 กรัม/ตัว ลงเลี้ยงในบ่อทดลองจำนวน 50 ตัว/บ่อ ผลของการเจริญเติบโตและผลผลิตของปลานิลที่เลี้ยงได้จากการทดลองมีดังนี้

4.3.1 อัตราการเจริญเติบโตและอัตราแลกเนื้อ

ในการทดลองได้ทำการเก็บข้อมูลการเจริญเติบโตของปลานิลในบ่อทดลองทั้ง 4 บ่อเป็นระยะๆ โดยการสุ่มตัวอย่างปลานิลขึ้นมาชั่งน้ำหนักจำนวน 20 ตัว/บ่อ รายละเอียดของน้ำหนักปลาในแต่ละบ่อและสรุปผลของการเจริญเติบโตของปลานิลในบ่อทดลองได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.29 และ 4.30 ตามลำดับ และรูปที่ 4.36 แสดงอัตราการเจริญเติบโตของปลานิลตลอดการทดลอง

จากรูปที่แสดงอัตราการเจริญเติบโตของปลานิล จะเห็นได้ว่า บ่อที่ 3 มีอัตราการเจริญเติบโตสูงกว่าทุกบ่อ รองลงมาคือ บ่อที่ 4, 2 และ 1 ตามลำดับ โดยบ่อที่ 3, 4, 2 และ 1 มีน้ำหนักเฉลี่ยเมื่อสิ้นสุดการทดลองเท่ากับ 118.6, 98.7, 91.2 และ 70.6 กรัม/ตัว ตามลำดับ และจากตารางที่ 4.29 แสดงค่าผลผลิตปลานิลที่เลี้ยงได้ โดยบ่อเลี้ยงปลาบ่อที่ 3 ให้ผลผลิตปลานิลสุทธิมากที่สุดเท่ากับ 4.81 กก./บ่อ และรองลงมาคือบ่อที่ 4, 2 และ 1 ให้ผลผลิตปลานิลสุทธิเท่ากับ 4.15, 3.62 และ 3.01 กก./บ่อ ตามลำดับ และเมื่อคิดอัตราการเปลี่ยนแปลงอาหารไปเป็นเนื้อปลาหรืออัตราแลกเนื้อ จะได้ค่าออกมาสอดคล้องกับอัตราการเจริญเติบโตแต่เป็นในทางตรงกันข้าม คือบ่อที่ 3 มีค่าอัตราแลกเนื้อต่ำที่สุด เท่ากับ 1.75 และบ่อที่ 4, 1



รูปที่ 4.35 อิทธิพลของระดับกำจัดแพลงค์ตอนที่มีต่อค่าอินทรีย์คาร์บอน

และ 2 มีค่ามากขึ้นเท่ากับ 1.89, 2.00 และ 2.06 ตามลำดับ ส่วนการพิจารณาขนาดของปลานิลที่เลี้ยงได้ในแต่ละบ่อ ซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 4.31 และรูปที่ 4.37 จะเห็นว่าบ่อที่ 3 เลี้ยงปลานิลได้ขนาดตัวใหญ่ที่สุด โดยมีความยาวตั้งแต่หัวถึงหางวัดได้เท่ากับ 23.5 ซม. แต่ก็เลี้ยงปลานิลได้ตัวเล็กที่สุดด้วย โดยมีความยาวเท่ากับ 9.0 ซม. จากข้อมูลที่ได้นี้จะแสดงให้เห็นว่าบ่อเลี้ยงปลาบ่อที่ 3 เลี้ยงปลานิลได้ขนาดแตกต่างกันมากที่สุด ส่วนบ่อที่ 1, 2 และ 4 เลี้ยงปลาได้ขนาดแตกต่างกันน้อยกว่าบ่อที่ 3 และยังสังเกตุเห็นได้ในวันจับปลาว่าบ่อที่ 1, 2 และ 4 ปลานิลที่เลี้ยงได้มีขนาดตัวใกล้เคียงกันมากกว่าปลานิลที่เลี้ยงได้ในบ่อที่ 3 ซึ่งปลาตัวเล็กมากและมีจำนวนหลายตัว ดังนั้นถึงแม้ว่าจะสามารถเลี้ยงปลาในบ่อที่ 3 ได้ผลผลิตสุทธิสูงกว่าบ่ออื่นๆ ก็ตาม แต่ปลาตัวเล็กๆ ไม่เป็นที่ต้องการของตลาดจึงอาจจะไม่ได้ผลตอบแทนสูงที่สุด

4.3.2 อัตรารอด

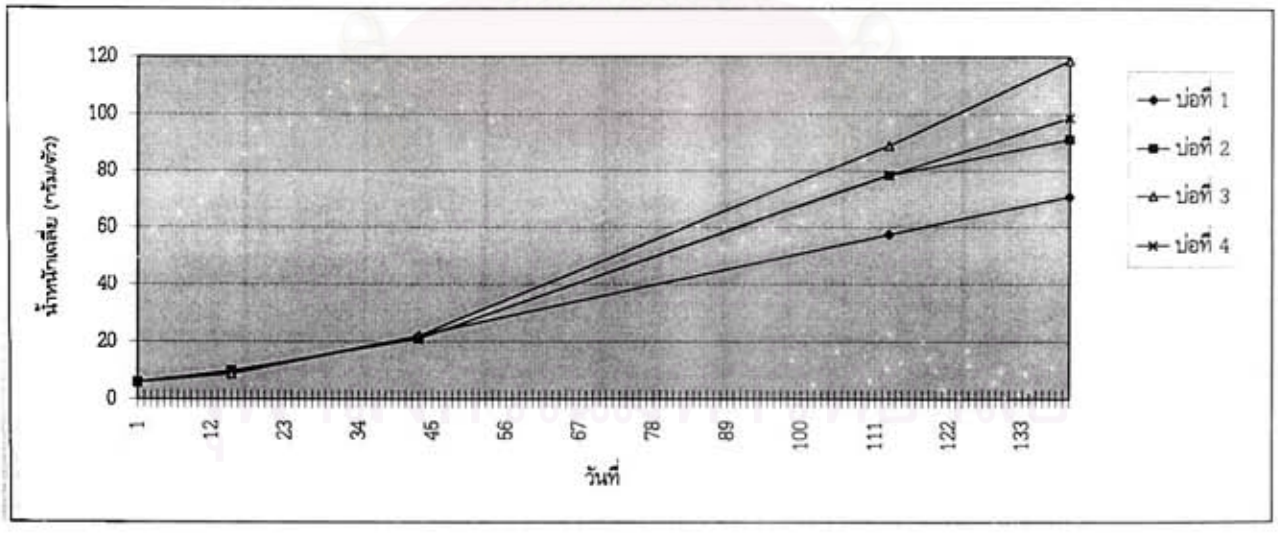
ในการวิจัยนี้บ่อเลี้ยงปลาทุกบ่อจะเริ่มต้นด้วยการเลี้ยงปลานิลจำนวน 50 ตัว/บ่อ เท่ากัน และเมื่อมีปลาตายในบ่อขณะที่ทำการวิจัย จะมีการนำปลานิลที่มีน้ำหนักเท่ากันใส่ทดแทน เพื่อควบคุมความหนาแน่นของปลาในบ่อทดลองให้เท่ากันอยู่เสมอ จำนวนปลาตายได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.38 และตารางที่ 4.32

ตารางที่ 4.29 สรุปผลของการเจริญเติบโตของปลานิลในบ่อทดลอง

รายการ	บ่อทดลองที่			
	1	2	3	4
ก่อนการทดลอง :				
จำนวนปลา (ตัว/บ่อ)	50	50	50	50
นน.ทั้งหมด (กก./บ่อ)	0.310	0.300	0.295	0.295
นน.เฉลี่ย (กรัม/ตัว)	6.2	6.0	5.9	5.9
หลังการทดลอง :				
จำนวนปลา (ตัว/บ่อ)	47	43	43	45
นน.ทั้งหมด (กก./บ่อ)	3.32	3.92	5.10	4.44
นน.เฉลี่ย (กรัม/ตัว)	70.64	91.16	118.60	98.67
น้ำหนักปลาที่เลี้ยงได้ :				
นน.ทั้งหมด (กก./บ่อ)	3.01	3.62	4.81	4.15
นน.เฉลี่ย (กรัม/ตัว)	64.04	84.19	111.74	92.11
นน.เฉลี่ยต่อวัน (กรัม/ตัว-วัน)	0.46	0.60	0.80	0.66
ผลผลิตปลาสุทธิ (กก./ลบ.ม.-วัน)	0.05	0.06	0.08	0.07
ปริมาณอาหารที่ให้ (กรัม)	6005	7444	8401	7845
อัตราแลกเนื้อ	2.00	2.06	1.75	1.89
จำนวนปลาตาย (ตัว)	24	30	11	8
อัตรารอด (%)	63.51	53.75	70.49	77.59

ตารางที่ 4.30 แสดงการเจริญเติบโตของปลานิล

วันที่	บ่อที่ 1		บ่อที่ 2		บ่อที่ 3		บ่อที่ 4	
	นน.เฉลี่ย (กรัม/ตัว)	นน.ทั้งหมด (กรัม/บ่อ)	นน.เฉลี่ย (กรัม/ตัว)	นน.ทั้งหมด (กรัม/บ่อ)	นน.เฉลี่ย (กรัม/ตัว)	นน.ทั้งหมด (กรัม/บ่อ)	นน.เฉลี่ย (กรัม/ตัว)	นน.ทั้งหมด (กรัม/บ่อ)
08/06/1996	6.2	310.0	6.0	300.0	5.9	295.0	5.9	295.0
23/06/1996	9.3	462.5	10.0	500.0	8.8	437.5	10.0	500.0
21/07/1996	22.0	1100.0	21.0	1050.0	22.0	78.5	21.0	1050.0
29/09/1996	57.5	2875.0	78.3	3912.5	89.0	4450.0	78.5	3925.0
26/10/1996	70.6	3320.0	91.2	3920.0	118.6	5100.0	98.7	4440.0



รูปที่ 4.36 อัตราการเจริญเติบโตของปลานิล

ตารางที่ 4.31 แสดงขนาดของปลานิลที่เลี้ยงได้ในบ่อต่างๆ

ขนาดตัวของปลานิลใหญ่ที่สุดและเล็กที่สุดที่เลี้ยงได้ในบ่อต่างๆ (ความยาวตั้งแต่หัวถึงหาง ; ซม.)				
รายละเอียด	บ่อที่ 1	บ่อที่ 2	บ่อที่ 3	บ่อที่ 4
ขนาดตัวใหญ่ที่สุด	20.0	21.0	23.5	19.5
ขนาดตัวเล็กที่สุด	11.0	11.0	9.0	10.0
ขนาดแตกต่างกัน	9.0	10.0	14.5	9.5

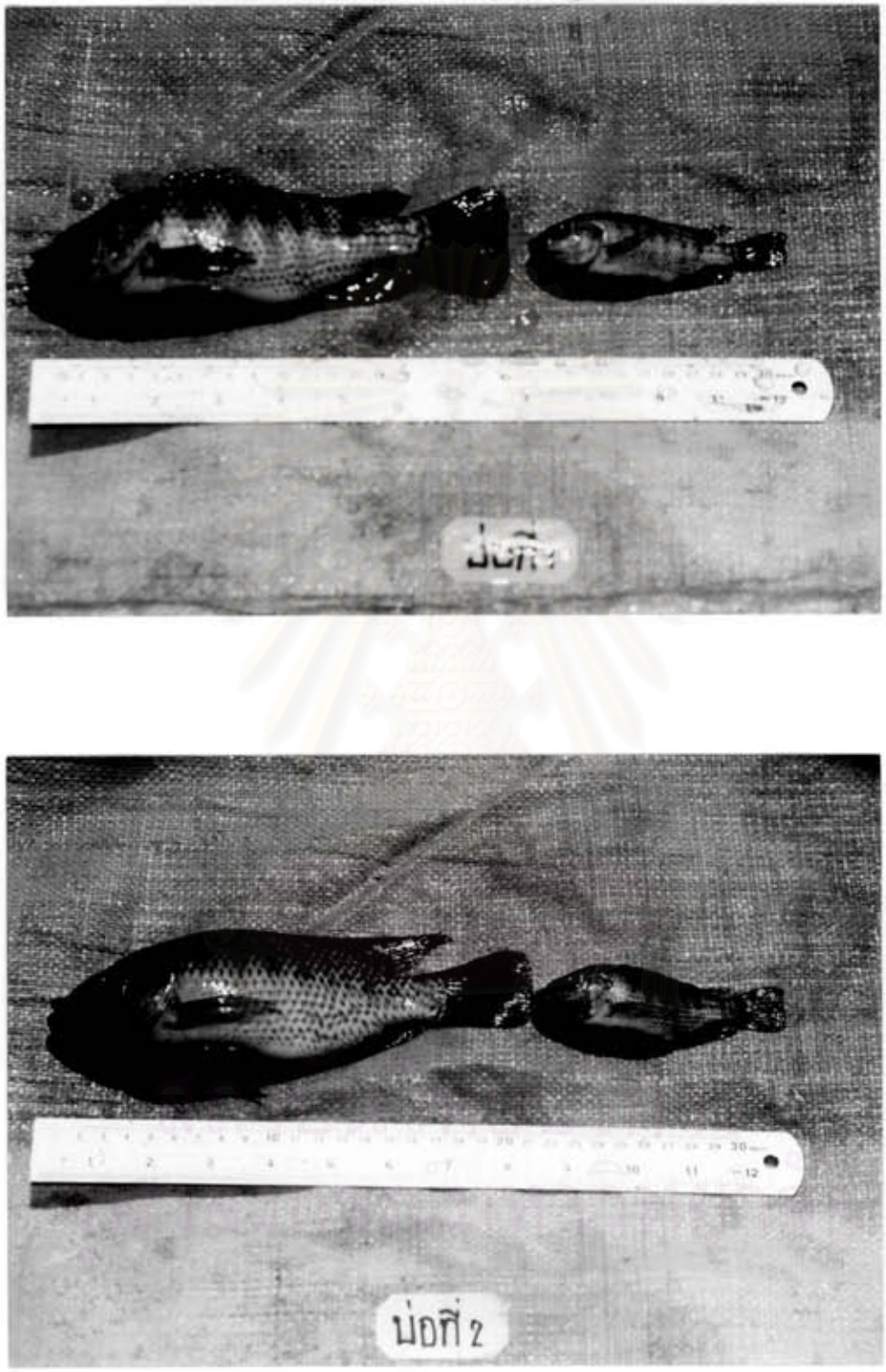
จากรูปที่ 4.38 จะเห็นว่าในวันที่ 54 ของการทดลอง บ่อเลี้ยงปลาบ่อที่ 1 มีจำนวนปลาตายสูงที่สุดจำนวน 9 ตัว และตลอดการทดลองมีจำนวนปลาตายสะสมทั้งหมด 24 ตัว คิดเป็นอัตรารอดของปลาเท่ากับ 63.51 %

บ่อเลี้ยงปลาบ่อที่ 2 มีจำนวนปลาตายสูงที่สุดจำนวน 7 ตัว เท่ากัน 2 วัน คือในวันที่ 50 และ 51 ของการทดลอง และตลอดการทดลองมีจำนวนปลาตายสะสมทั้งหมด 30 ตัว คิดเป็นอัตรารอดของปลาเท่ากับ 53.75 %

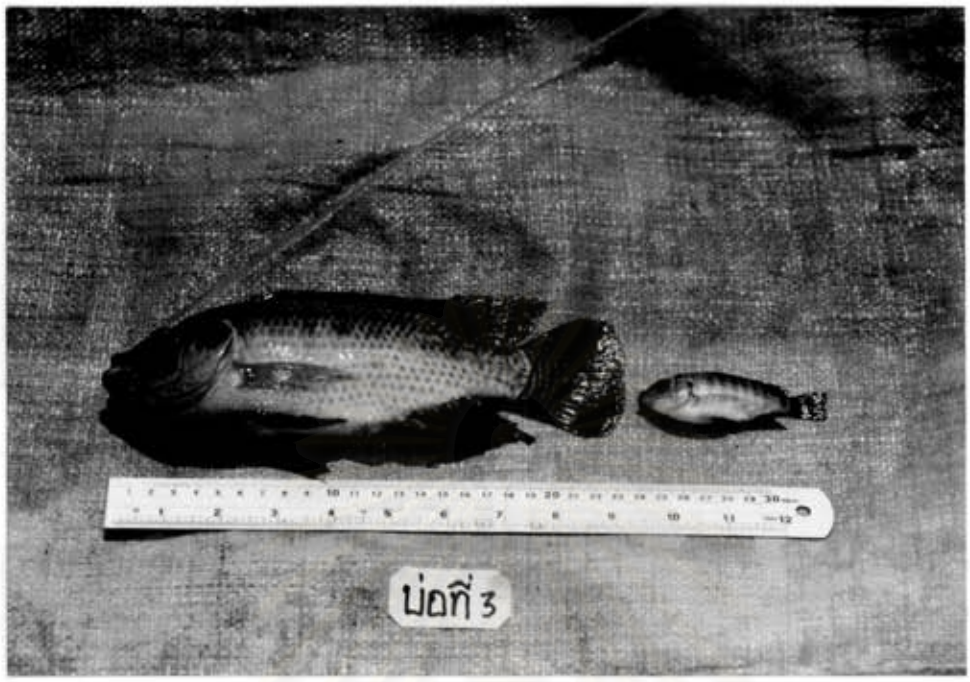
บ่อเลี้ยงปลาบ่อที่ 3 มีจำนวนปลาตายสูงที่สุดจำนวน 2 ตัว เท่ากัน 3 วัน คือในวันที่ 45, 58 และ 59 ของการทดลอง และตลอดการทดลองมีจำนวนปลาตายสะสมทั้งหมด 11 ตัว คิดเป็นอัตรารอดของปลาเท่ากับ 70.49 %

บ่อเลี้ยงปลาบ่อที่ 4 มีจำนวนปลาตายสูงที่สุดจำนวน 3 ตัว ในวันที่ 51 ของการทดลอง และตลอดการทดลองมีจำนวนปลาตายสะสมทั้งหมด 8 ตัว คิดเป็นอัตรารอดของปลาเท่ากับ 77.59 %

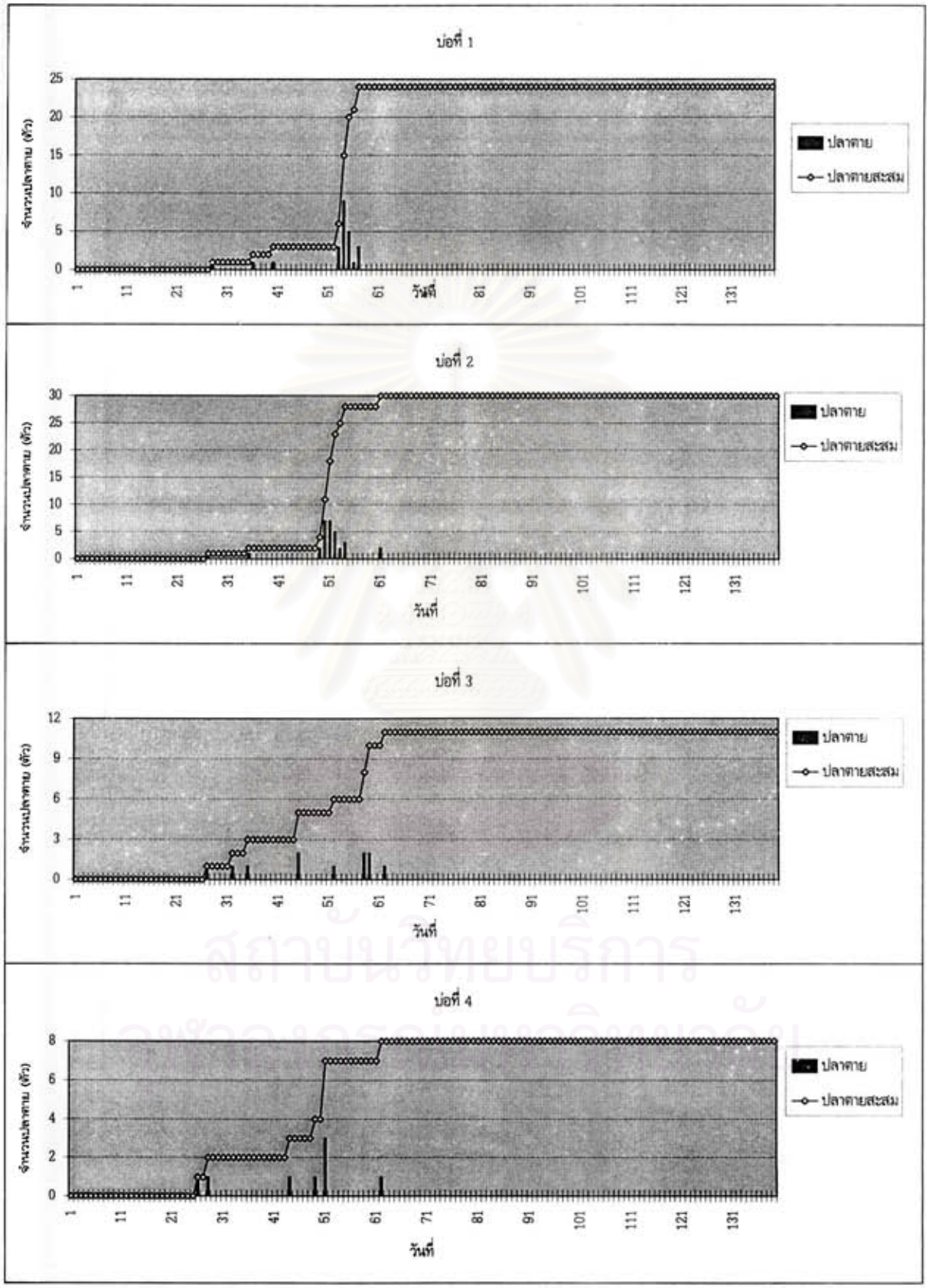
จากข้อมูลจำนวนปลาตายในแต่ละบ่อจะเห็นว่าบ่อที่ 1 มีปลาตายเกิดขึ้นในหนึ่งวันเป็นจำนวนที่สูงกว่าทุกบ่อ และรองลงมาคือบ่อที่ 2, 4 และ 3 ตามลำดับ ส่วนจำนวนปลาตายสะสมทั้งหมดตลอดการทดลองบ่อที่ 2 มีจำนวนมากกว่าทุกบ่อ และรองลงมาก็คือบ่อที่ 1, 3 และ 4 ตามลำดับ สาเหตุที่ทำให้ปลาในบ่อตาย อาจเป็นเพราะว่าในช่วงเวลาดังกล่าวน้ำในบ่อมีปริมาณแอมโมเนียและไนไตรต์สะสมอยู่ในปริมาณที่สูงมาก ซึ่งจากการศึกษาความเป็นพิษของแอมโมเนียอิสระพบว่าไม่ควรมีค่าเกินกว่า 0.025 มก./ล.ไนโตรเจน และความเป็นพิษของไนไตรต์พบว่าไม่ควรมีค่าเกิน 0.5 มก./ล.ไนโตรเจน (Boyd, 1984) ดังนั้นจะเห็นในรูปที่ 4.39 ซึ่งแสดงปริมาณแอมโมเนียและไนไตรต์ที่มีอยู่ในน้ำ โดยในช่วงที่มีการตายของปลาในบ่อเกิดขึ้น ค่าของแอมโมเนียและไนไตรต์ในแต่ละบ่อมีค่าสูงกว่าระดับความเป็นพิษที่กล่าวมาแล้วหลายเท่าตัว - คือบ่อที่ 1



รูปที่ 4.37 แสดงขนาดของปลานิลตัวใหญ่ที่สุดและเล็กที่สุดที่เลี้ยงได้ในบ่อต่างๆ



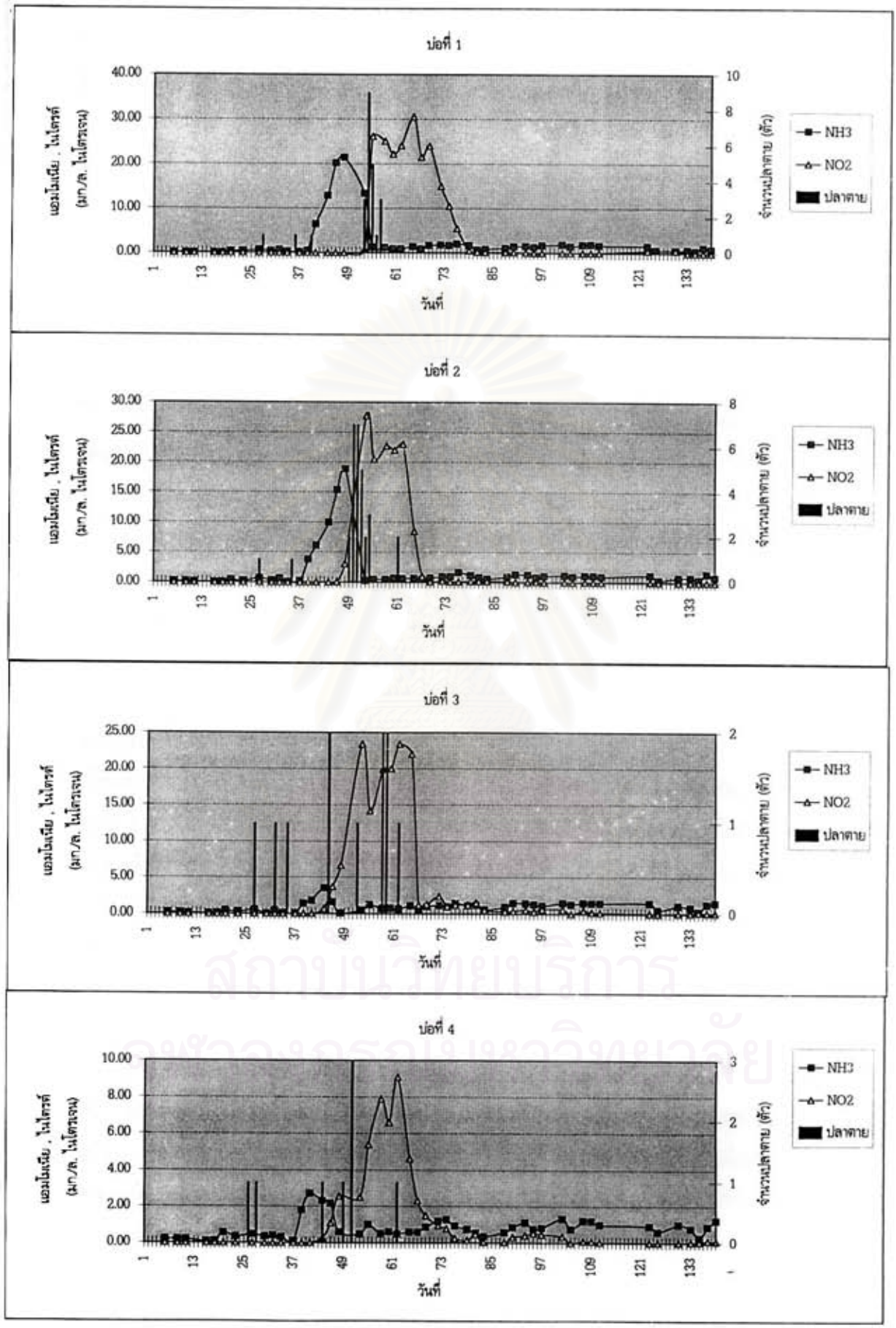
รูปที่ 4.37 (ต่อ) แสดงขนาดของปลานิลตัวใหญ่ที่สุดและเล็กที่สุดที่เลี้ยงได้ในบ่อต่างๆ



รูปที่ 4.38 แสดงจำนวนปลาตายในบ่อต่างๆ

ตารางที่ 4.32 แสดงจำนวนปลาตาย

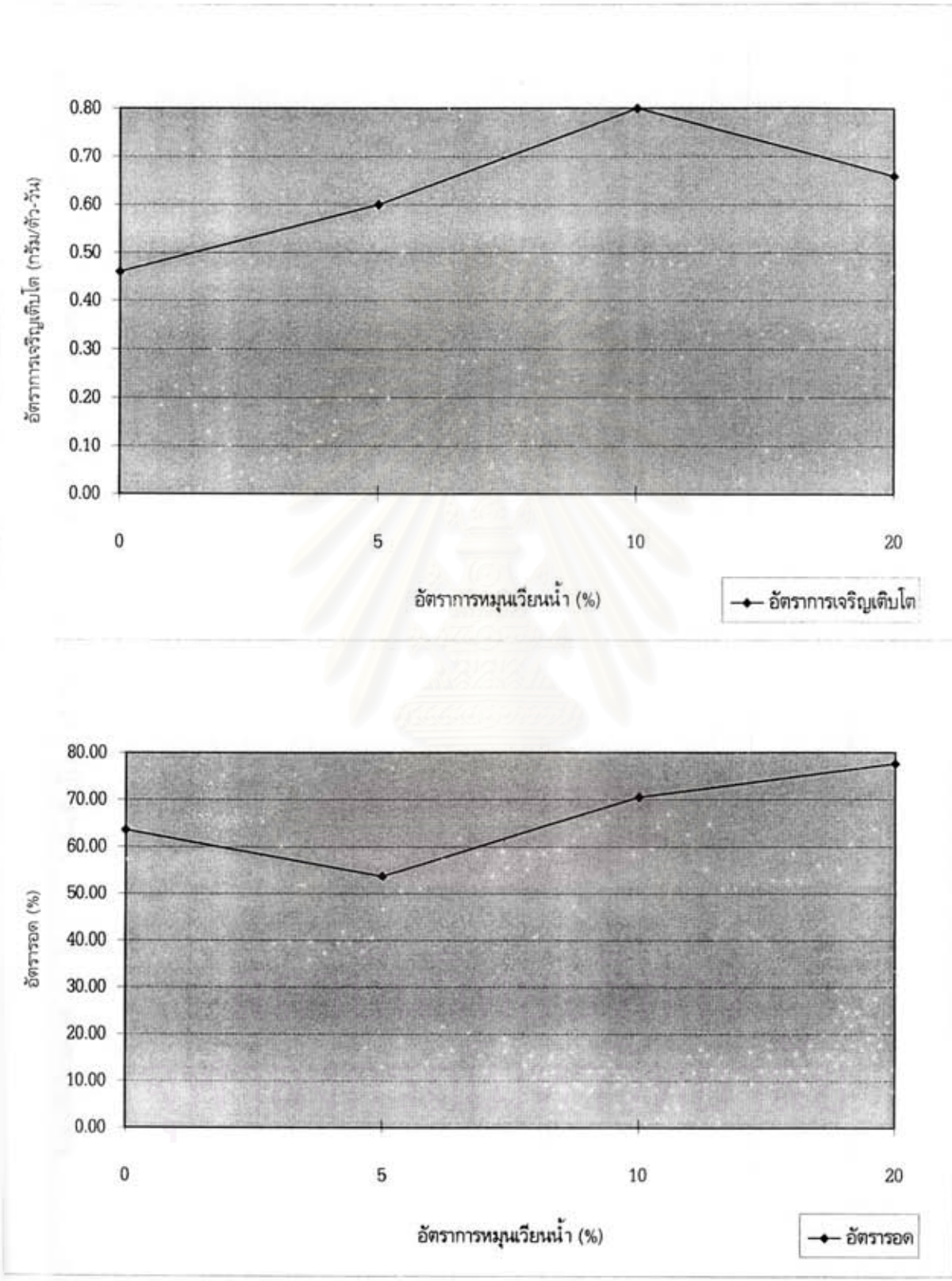
จำนวนปลาตาย (ตัว)					
ว/ด/ป	วันที่	บ่อที่ 1	บ่อที่ 2	บ่อที่ 3	บ่อที่ 4
04-Jul-96	26				1
05-Jul-96	27		1	1	
06-Jul-96	28	1			1
10-Jul-96	32			1	
13-Jul-96	35		1	1	
14-Jul-96	36	1			
18-Jul-96	40	1			
22-Jul-96	44				1
23-Jul-96	45			2	
27-Jul-96	49		2		1
28-Jul-96	50		7		
29-Jul-96	51		7		3
30-Jul-96	52		5	1	
31-Jul-96	53	3	2		
01-Aug-96	54	9	3		
02-Aug-96	55	5			
03-Aug-96	56	1			
04-Aug-96	57	3			
05-Aug-96	58			2	
06-Aug-96	59			2	
08-Aug-96	61		2		
09-Aug-96	62			1	1
รวม		24	30	11	8



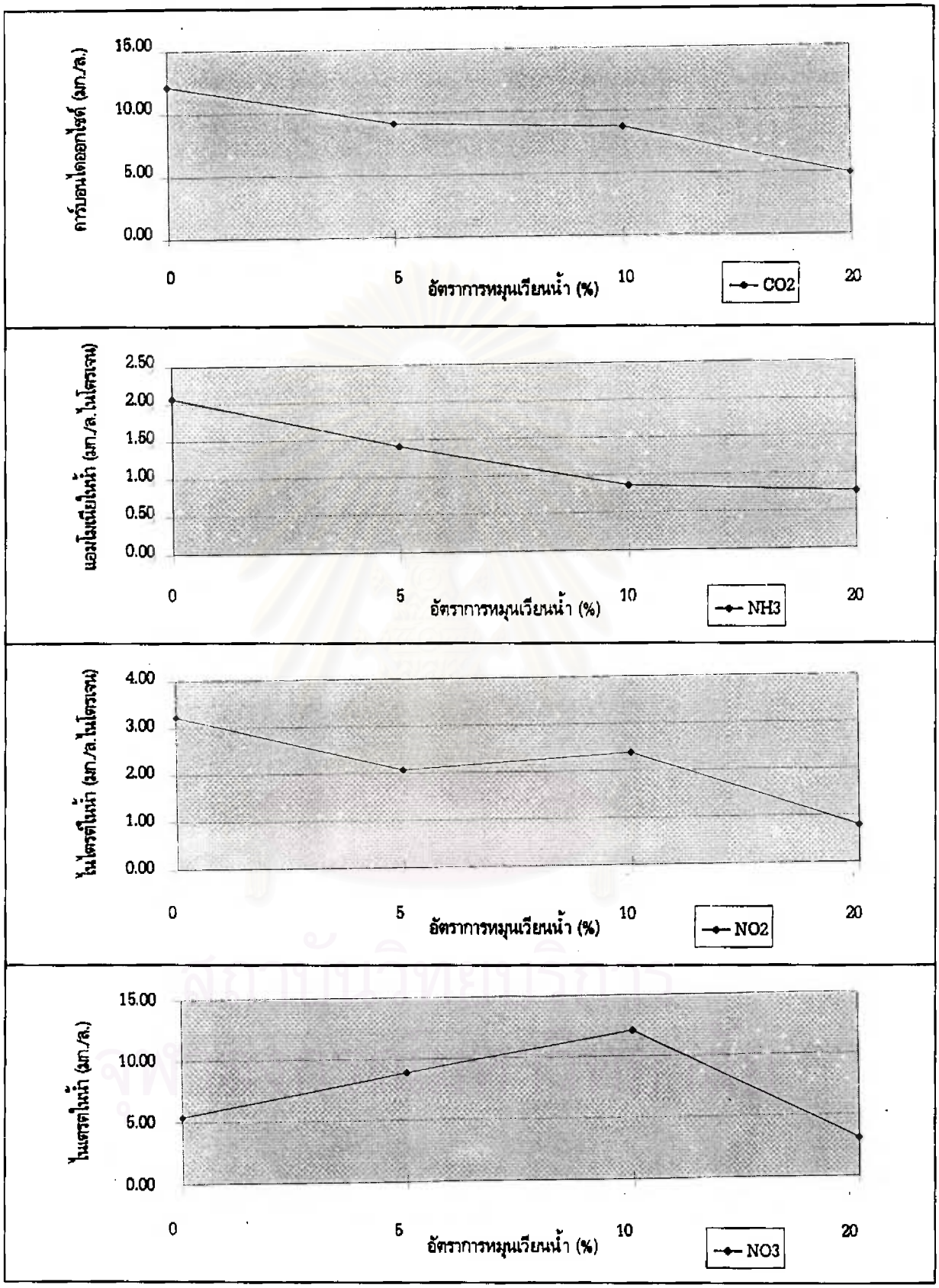
รูปที่ 4.39 แสดงผลกระทบของปริมาณแอมโมเนียและไนไตรต์ ต่อการตายของปลานิลในบ่อต่างๆ

ในวันที่ 54 ของการทดลอง มีค่าแอมโมเนียและไนไตรต์ประมาณ 8 และ 12 มก./ล.ไนโตรเจน ตามลำดับ ในบ่อที่ 2 มีค่าแอมโมเนียประมาณ 12 และ 8 มก./ล.ไนโตรเจน และมีค่าไนไตรต์ประมาณ 14 และ 17 มก./ล.ไนโตรเจน ในวันที่ 50 และ 51 ของการทดลอง ตามลำดับ ในบ่อที่ 3 มีค่าไนไตรต์ประมาณ 2.5, 20 และ 20 มก./ล.ไนโตรเจน ในวันที่ 45, 58 และ 59 ของการทดลอง ตามลำดับ และค่าไนไตรต์ในบ่อที่ 4 ในวันที่ 51 ของการทดลอง มีค่าเท่ากับ 2.5 มก./ล.ไนโตรเจน

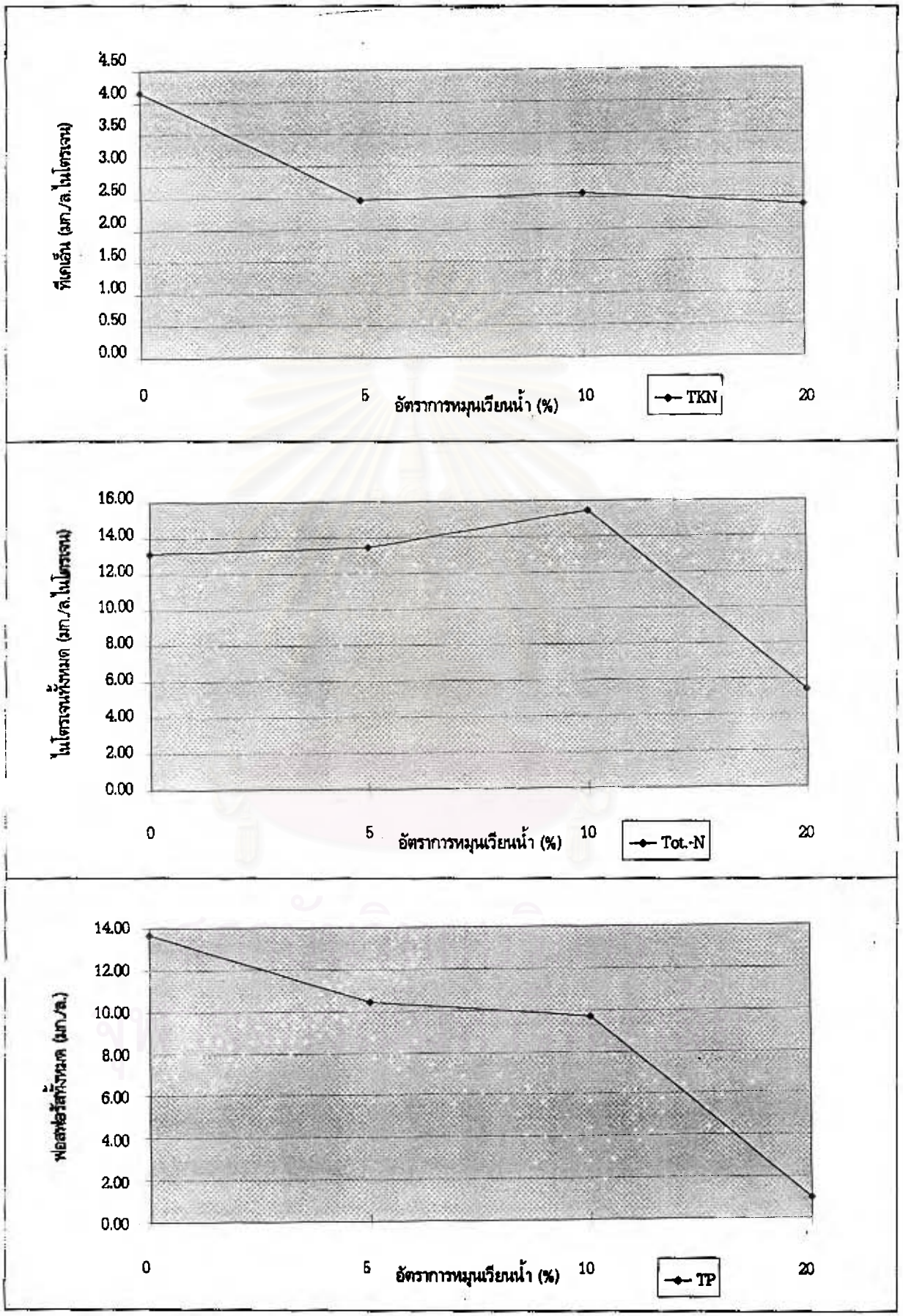
ปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของปลานิลได้แก่ คุณภาพของน้ำในบ่อเลี้ยงปลา คุณภาพหรือชนิดของอาหารปลา และปริมาณอาหารที่ให้แก่ปลา เป็นต้น ซึ่งหากน้ำในบ่อมีคุณภาพดี เหมาะสมต่อการเลี้ยงปลานิล ก็จะทำให้ปลาที่เลี้ยงมีอัตราการเจริญเติบโตและอัตรารอดสูง และสุดท้ายได้ผลผลิตปลาที่สูงด้วยนั่นเอง จากอัตราการเจริญเติบโต (น้ำหนักเฉลี่ยที่เลี้ยงได้ต่อวัน) และอัตราแลกเนื้อที่ได้จากการทดลองซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 4.29 และรูปที่ 4.36 จะพบว่าบ่อเลี้ยงปลาบ่อที่ 3 มีอัตราการเจริญเติบโตสูงกว่าทุกบ่อโดยมีค่าเท่ากับ 0.80 กรัม/ตัว-วัน และบ่อที่ 4, 2 และ 1 มีอัตราการเจริญเติบโตรองลงมาโดยมีค่าเท่ากับ 0.66, 0.60 และ 0.46 กรัม/ตัว-วัน ตามลำดับ และบ่อที่ 3 มีอัตราแลกเนื้อต่ำที่สุดโดยมีค่าเท่ากับ 1.89 และบ่อที่ 4, 1 และ 2 มีค่าเพิ่มมากขึ้น โดยมีค่าเท่ากับ 1.75, 2.00 และ 2.06 ตามลำดับ ซึ่งหากพิจารณาในทางประมงแล้ว ค่าอัตราแลกเนื้อไม่ควรมีค่าเกิน 2 และยิ่งมีค่าต่ำๆ ก็จะยิ่งดี เพราะหมายถึงการเลี้ยงปลาที่ได้ผลผลิตสูง จากการให้อาหารที่น้อยลง (อัตราแลกเนื้อ คิดจากปริมาณอาหารที่ให้แก่ปลา หารด้วยน้ำหนักปลาที่เลี้ยงได้) และจากการเปรียบเทียบผลของอัตรารอดในแต่ละบ่อ จะพบว่าบ่อที่ 4 สามารถเลี้ยงปลาให้มีอัตรารอดสูงที่สุดเท่ากับ 77.59 % และรองลงมาคือบ่อที่ 3, 1 และ 2 โดยมีอัตรารอดเท่ากับ 70.49, 63.51 และ 53.75 % ตามลำดับ ดังนั้นจากค่าอัตราการเจริญเติบโตและอัตราแลกเนื้อที่กล่าวมาข้างต้น จะแสดงให้เห็นว่าบ่อที่ 3 สามารถเลี้ยงปลาได้ดีที่สุด แต่หากพิจารณาอัตรารอดในแต่ละบ่อด้วยแล้ว จะเห็นว่าบ่อที่ 4 สามารถเลี้ยงปลาได้ดีที่สุด ให้ทั้งผลผลิตปลาและอัตรารอดที่สูงนั่นเอง และเมื่อวิเคราะห์ถึงเหตุผลที่บ่อที่ 3 สามารถให้ผลผลิตปลาได้สูงที่สุดนั้น น่าจะเป็นเพราะบ่อที่ 3 มีการให้อาหารแก่ปลาในบ่อสูงกว่าบ่ออื่นๆ ส่วนบ่อที่ 4 ซึ่งมีอัตรารอดสูงที่สุดในการเลี้ยงปลาทั้ง 4 บ่อ จึงแสดงได้ว่าคุณภาพของน้ำในบ่อเหมาะสมต่อการเลี้ยงปลามากที่สุด ดังนั้นจากแนวคิดในการปรับปรุงคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลาโดยการกำจัดแพลงค์ตอนออกที่ระดับต่างๆ นั้น จะเห็นว่าสอดคล้องกับการเจริญเติบโตและผลผลิตปลาที่ได้ในแต่ละบ่อ (รูปที่ 4.40) โดยบ่อที่ 4 มีการกำจัดแพลงค์ตอนออกจากน้ำหมุนเวียนมากที่สุดเท่ากับ 84 ลิตร/วัน (20 % ของน้ำในบ่อ) ซึ่งการกำจัดแพลงค์ตอนออกไปเป็นปริมาณมากนี้ ก็เป็นการกำจัดของเสียในบ่อออกไปด้วย เนื่องจากแพลงค์ตอนต้องใช้ของเสียต่างๆ ในบ่อเป็นอาหารในการเจริญเติบโต จึงเป็นผลให้น้ำในบ่อที่ 4 มีของเสียต่างและปริมาณของสารที่เป็นพิษต่อปลา เช่น แอมโมเนีย และไนไตรต์ เกิดขึ้นและสะสมอยู่ในบ่อน้อยที่สุดด้วย (รูปที่ 4.41) และเมื่อพิจารณาถึงผลผลิตและอัตรารอดของปลาในบ่อที่ 2 และ 1 จะเห็นว่าบ่อ



รูปที่ 4.40 อิทธิพลของระดับกำจัดแพลงค์ตอนที่มีต่อการเจริญเติบโตของปลานิล



รูปที่ 4.41 อิทธิพลของระดับกำจัดแพลงค์ตอนที่มีต่อปริมาณของเสียต่างๆ



รูปที่ 4.41(ต่อ) อิทธิพลของระดับกำจัดแพลงค์ตอนที่มีต่อปริมาณของเสียต่างๆ

ที่ 2 ให้ผลผลิตปลาที่สูงกว่าบ่อที่ 1 แต่มีอัตรารอดต่ำกว่าบ่อที่ 1 ซึ่งจากข้อมูลดังกล่าวนี้อาจอธิบายได้ว่า บ่อที่ 2 สามารถให้ผลผลิตปลาได้สูงกว่าบ่อที่ 1 เนื่องจากมีการให้อาหารแก่ปลาในบ่อมากกว่า แต่จากการเพิ่มปริมาณอาหารให้แก่ปลาในบ่อมากขึ้นนี้เอง ทำให้คุณภาพของน้ำในบ่อที่ 2 เกิดสภาพที่ไม่เหมาะสมต่อการเลี้ยงปลามากกว่า จนเป็นผลให้ปลาในบ่อที่ 2 มีอัตรารอดต่ำกว่าบ่อที่ 1 ถึงแม้จะมีการปรับปรุงคุณภาพน้ำในบ่อที่ 2 ด้วยการกรองแพลงค์ตอนออกจากน้ำหมุนเวียน 21 ลิตร/วัน (5 % ของน้ำในบ่อ) ในขณะที่บ่อที่ 1 ซึ่งใช้เป็นบ่อควบคุมไม่มีการนำน้ำในบ่อออกไปปรับปรุงคุณภาพน้ำ

ดังนั้นในตารางที่ 4.33 จึงได้สรุปสาเหตุต่างๆ ที่ได้อธิบายมาแล้วข้างต้นซึ่งมีผลต่อการเจริญเติบโตของปลา ทำให้ได้ผลผลิตและอัตรารอดของปลาในแต่ละบ่อแตกต่างกัน

ตารางที่ 4.33 ปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของปลา

รายการ	บ่อที่ 1	บ่อที่ 2	บ่อที่ 3	บ่อที่ 4
1. ผลผลิตปลาสุทธิ (กรัม)	3010	3620	4810	4150
2. น้ำหนักปลาเฉลี่ยที่เลี้ยงได้ต่อวัน (กรัม/ตัว-วัน)	0.46	0.60	0.80	0.66
3. อัตราแลกเนื้อ	2.00	2.06	1.75	1.89
4. อัตรารอด (%)	63.51	53.75	70.49	77.59
5. ปริมาณอาหารที่ให้แก่ปลาในบ่อ (กรัม)	6005	7444	8401	7845
6. อัตราส่วนในการหมุนเวียนน้ำ (% ของน้ำในบ่อ)	0	5	10	20

4.4 ประสิทธิภาพในการควบคุมคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลาที่เกิดจากการกำจัดแพลงค์ตอนในระดับต่างๆ

การปรับปรุงคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลานิลด้วยวิธีการลดการสะสมของเสียต่างๆ ที่มีอยู่ในบ่อให้เหลืออยู่ในระดับที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงปลานิล และจากการที่แพลงค์ตอนพืชใช้ของเสียต่างๆ ในบ่อ

(ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส คาร์บอน) เป็นอาหารในการเจริญเติบโต ดังนั้นงานวิจัยในครั้งนี้จึงใช้ระบบถังกรองทรายแบบไหลไม่ต่อเนื่อง ในการกำจัดแพลงค์ตอนพืชออกจากน้ำหมุนเวียนของบ่อเลี้ยงปลาที่ระดับต่างๆ กัน คือที่อัตราการหมุนเวียนน้ำออกจากบ่อ 5, 10 และ 20 % ของน้ำในบ่อที่ 2, 3 และ 4 ตามลำดับ ส่วนบ่อที่ 1 ซึ่งใช้เป็นบ่อควบคุมไม่มีการดึงน้ำในบ่อออกไปปรับปรุงคุณภาพน้ำ และเพื่อที่จะศึกษาหาอัตราการหมุนเวียนน้ำออกจากบ่อเลี้ยงปลาที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการควบคุมคุณภาพน้ำในบ่อ ให้สามารถเลี้ยงปลาได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด จึงต้องมีการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการควบคุม คุณภาพน้ำต่างๆ ที่เป็นปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของปลานิลโดยทั่วไป (ออกซิเจน พีเอช และคาร์บอนไดออกไซด์) ปริมาณของสารที่เป็นพิษต่อปลา (แอมโมเนีย และไนไตรต์) และปริมาณสารอินทรีย์หรือของเสียที่ตกค้างสะสมอยู่ในบ่อ (ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส ของแข็งแขวนลอย และซีโอดี) ซึ่งนอกจากจะมีผลต่อการเจริญเติบโตของปลานิลแล้ว ยังอาจจะก่อให้เกิดปัญหามลภาวะทางน้ำขึ้นได้ ถ้าหากไม่มีการจัดการกับน้ำที่ใช้เลี้ยงปลาดังกล่าวอย่างเหมาะสมก่อนระบายน้ำทิ้งลงสู่แหล่งน้ำต่างๆ หรือแหล่งน้ำธรรมชาติต่อไป

4.4.1 ประสิทธิภาพในการควบคุมคุณภาพน้ำที่เป็นปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของปลานิลโดยทั่วไป

จากการศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลานิลที่เกิดจากการกำจัดแพลงค์ตอนในระดับต่างๆ มาแล้วในหัวข้อข้างต้นนั้น ได้นำข้อมูลต่างๆ ดังกล่าวมาวิเคราะห์และสรุปไว้ในตารางที่ 4.34 จากปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของปลานิลโดยทั่วไป เช่น ปริมาณของออกซิเจนละลายน้ำ ค่าพีเอช และปริมาณของคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีอยู่ในน้ำ ซึ่งปัจจัยต่างๆ ดังกล่าวนี้หากมีอยู่ในปริมาณที่เหมาะสมก็จะส่งผลให้ปลาที่อยู่ในบ่อนั้นๆ สามารถเจริญเติบโตได้ดี ไม่ทำให้ปลาเกิดความเครียดและอัตราการเจริญเติบโตหยุดชะงัก และสุดท้ายได้ผลผลิตปลาที่สูงนั่นเอง ดังนั้นจากค่าในตารางที่ 4.34 ซึ่งได้แสดงถึงค่าของปัจจัยหรือพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการเลี้ยงปลานิล พร้อมกับค่าสูงสุด ต่ำสุด ค่าเฉลี่ยและค่าในวันที่ 140 ของน้ำในบ่อเลี้ยงปลาทั้ง 4 บ่อ

จากปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำจะเห็นว่าค่าเฉลี่ยตลอดการทดลองของน้ำในบ่อเลี้ยงปลาทุกบ่อมีปริมาณอยู่ในช่วงที่เหมาะสม และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในแต่ละบ่อแล้ว จะเห็นว่าบ่อที่ 4 มีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำสูงที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.7 มก./ล. รองลงมาคือบ่อที่ 2, 1 และ 3 โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.2, 7.1 และ 6.9 มก./ล. ตามลำดับ และหากทำการพิจารณาค่าออกซิเจนละลายน้ำต่ำสุดที่เกิดขึ้นในบ่อต่างๆ จะพบว่าค่าออกซิเจนละลายน้ำต่ำสุดที่เกิดขึ้นในบ่อที่ 1 มีค่าต่ำกว่าค่าต่ำสุดของทุกบ่อ โดยมีค่าเท่ากับ 3.2 มก./ล. และค่าต่ำสุดที่เกิดขึ้นในบ่อที่ 2, 3 และ 4 มีค่าเท่ากับ 4.4, 4.5 และ 5.6 มก./ล. ตามลำดับ ซึ่งจากข้อมูลค่าต่ำสุดที่ได้นี้และมีค่าต่ำกว่า 5 มก./ล. ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมในการเลี้ยงปลานิลนั้น จะแสดงให้เห็นว่าปลาในบ่อที่ 1, 2 และ 3 มีแนวโน้มที่จะเกิดความเครียดและกินอาหารได้น้อย

ตารางที่ 4.34 ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของปลานิลโดยทั่วไป

พารามิเตอร์	หน่วย	ค่าที่เหมาะสม	น้ำในบ่อเลี้ยงปลา			
			บ่อที่ 1	บ่อที่ 2	บ่อที่ 3	บ่อที่ 4
1. ออกซิเจนละลายน้ำ	มก./ล.	5 มก./ล. จนถึงจุดอิ่มตัว				
ค่าสูงสุด			18.4	14.4	16.1	12.6
ค่าต่ำสุด			3.2	4.4	4.5	5.6
ค่าเฉลี่ย (1-139)			7.1	7.2	6.9	7.7
ค่าในวันที่ 140			6.4	7.6	8.0	8.6
2. พีเอช		7.2 - 8.3				
ค่าสูงสุด			10.20	10.22	10.19	10.16
ค่าต่ำสุด			6.61	6.67	6.53	7.41
ค่าเฉลี่ย (1-139)			7.75	7.72	7.70	8.18
ค่าในวันที่ 140			7.41	7.48	7.38	8.24
3. คาร์บอนไดออกไซด์	มก./ล.	น้อยกว่า 5 มก./ล.				
ค่าสูงสุด			20.24	14.85	18.38	11.02
ค่าต่ำสุด			0.00	2.88	0.00	1.76
ค่าเฉลี่ย (1-139)			12.15	9.11	8.69	4.89
ค่าในวันที่ 140			13.00	9.66	11.33	2.23

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ลง เป็นผลทำให้ปลาในบ่อมีอัตราการเจริญเติบโตช้าลงได้ ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าบ่อที่ 4 ซึ่งมีระดับการกำจัดแพลงค์ตอนสูงที่สุด (อัตราหมุนเวียนน้ำ 20 %) มีประสิทธิภาพในการควบคุมปริมาณออกซิเจนละลายน้ำให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงปลานิลได้ดีที่สุด

ค่าพีเอชที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงปลานิลควรมีค่าอยู่ในช่วง 7.2-8.3 ดังนั้นจากค่าที่สรุปไว้ในตารางที่ 4.34 จะเห็นว่าบ่อเลี้ยงปลาทุกบ่อมีค่าเฉลี่ยและค่าในวันที่ 140 อยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงปลา แต่เมื่อพิจารณาค่าสูงสุดและต่ำสุดที่เกิดขึ้นในน้ำ จะพบว่าบ่อเลี้ยงปลาทั้ง 4 บ่อ มีค่าพีเอชที่ค่อนข้างสูงโดยมีค่าประมาณ 10.2 และค่าต่ำสุดที่เกิดขึ้นในบ่อที่ 1, 2 และ 3 มีค่าต่ำกว่าช่วงที่เหมาะสมเล็กน้อย ส่วนบ่อที่ 4 มีค่าพีเอชต่ำที่สุดเท่ากับ 7.41 ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงปลานิล

จากการเปรียบเทียบปริมาณของคาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายอยู่ในน้ำ จะพบว่าบ่อเลี้ยงปลาบ่อที่ 4 มีค่าเฉลี่ยและค่าในวันที่ 140 ต่ำกว่า 5 มก./ล ส่วนบ่ออื่นๆ มีปริมาณสูงกว่า ซึ่งคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีอยู่ในน้ำจะมีความสำคัญต่อการเลี้ยงปลา เนื่องจากบ่อเลี้ยงปลาที่มีคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำสูง จะทำให้ประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนออกซิเจนของปลาลดลงและปกติปลาจะหลีกเลี่ยงไม่อยู่ในน้ำที่มีคาร์บอนไดออกไซด์สูงเกินกว่า 5 มก./ล. แต่ปลาสามารถทนอยู่ได้ในน้ำที่มีคาร์บอนไดออกไซด์สูงถึง 60 มก./ล. หากปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำเพียงพอหรือมากกว่า 3 มก./ล. (มานพ, 2536 ,มั่นสิน, 2538) ดังนั้นจากค่าเฉลี่ยของคาร์บอนไดออกไซด์จะเห็นว่ามีค่าสูงที่สุดในบ่อที่ 1 โดยมีค่าเท่ากับ 12.15 มก./ล. และรองลงมาคือบ่อที่ 2, 3 และ 4 โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 9.11, 8.69 และ 4.89 มก./ล. ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบค่าสูงสุดที่เกิดขึ้นในแต่ละบ่อจะพบว่าบ่อที่ 1 มีค่าเกิดขึ้นสูงที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 20.24 มก./ล. รองมาคือบ่อที่ 3, 2 และ 4 โดยมีค่าเท่ากับ 18.38, 14.89 และ 11.02 มก./ล. ตามลำดับ ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า บ่อที่ 4 มีประสิทธิภาพสูงที่สุดในการควบคุมปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ให้มีสะสมอยู่ในน้ำได้น้อยที่สุด และบ่อที่มีประสิทธิภาพรองลงมาคือ บ่อที่ 3 และ 2 ส่วนบ่อที่ 1 มีประสิทธิภาพต่ำที่สุด

ดังนั้นในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการควบคุมคุณภาพน้ำที่เป็นปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของปลานิลโดยทั่วไป ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในข้างต้นนั้น จะสามารถสรุปได้ว่าบ่อที่ 4 ซึ่งมีระดับการกำจัดแพลงค์ตอนพืชสูงที่สุด (อัตราการหมุนเวียนน้ำ 20 %) มีประสิทธิภาพสูงที่สุด รองลงมาคือบ่อที่ 3 และ 2 ซึ่งมีระดับการกำจัดแพลงค์ตอนออกจากน้ำหมุนเวียนที่อัตราส่วน 10 และ 5 % ของน้ำในบ่อ ตามลำดับ ส่วนบ่อที่ 1 ซึ่งเป็นบ่อควบคุมมีประสิทธิภาพต่ำที่สุด

4.4.2 ประสิทธิภาพในการควบคุมปริมาณสารที่เป็นพิษต่อปลานิล

ในการเลี้ยงปลาแบบหนาแน่นหรือแบบพัฒนาซึ่งต้องมีการให้อาหารแก่ปลาในบ่ออย่างเต็มที่ อาหารปลาที่เหลือและของเสียจากการขับถ่ายของปลา จะตกค้างสะสมอยู่ในบ่อเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ ตามระยะเวลาในการเลี้ยงจนอาจเป็นผลให้คุณภาพของน้ำในบ่อเลวลง และทำให้ปลามีการเจริญเติบโตที่ไม่ดี หรือถ้ามีการสะสมสารพิษต่างๆ เช่น แอมโมเนียและไนไตรต์เป็นปริมาณมากก็อาจทำให้ปลาในบ่อตายได้ ดังนั้นจากการที่ได้มีการศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงของสารต่างๆ ในน้ำ ซึ่งเกิดจากการกำจัดแพลงค์ตอนในระดับต่างๆ มาแล้ว ในหัวข้อนี้จะทำการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการควบคุมปริมาณหรือระดับของสารที่เป็นพิษต่อปลานิล เพื่อหาอัตราส่วนในการหมุนเวียนน้ำออกจากบ่อที่เหมาะสมที่สุด หรือระดับการกำจัดแพลงค์ตอนออกจากบ่อในปริมาณที่เหมาะสมนั่นเอง

ตารางที่ 4.35 ได้สรุปปริมาณของสารที่เป็นพิษต่อปลานิลของน้ำในบ่อเลี้ยงปลาทั้ง 4 บ่อ พร้อมทั้ง ค่าสูงสุด ค่าต่ำสุด ค่าเฉลี่ย และค่าในวันที่ 140 ซึ่งเป็นวันสุดท้ายของการเลี้ยงปลา และมีการจับปลาในบ่อทั้งหมด

แอมโมเนียในน้ำมีอยู่ 2 รูป คือ แอมโมเนียอิสระ (NH_3) ซึ่งเป็นพิษต่อปลาอย่างมาก และอิออนแอมโมเนีย (NH_4^+) ซึ่งไม่มีพิษต่อปลา สัดส่วนของแอมโมเนียอิสระและอิออนแอมโมเนียในน้ำขึ้นอยู่กับพีเอช อุณหภูมิ และปริมาณแกลือแร่ โดยค่าเฉลี่ยของแอมโมเนียอิสระที่ได้จากการคำนวณได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.36 แอมโมเนียอิสระควรมีอยู่ในน้ำไม่เกิน 0.025 มก./ล.ไนโตรเจน เพื่อไม่ให้เป็นอันตรายหรือมีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของปลา แต่ในการศึกษาพบว่า LC_{50} มีค่าเท่ากับ 0.5 มก./ล.ไนโตรเจน ซึ่งจากค่าเฉลี่ยในตารางที่ 4.36 จะเห็นว่าบ่อเลี้ยงปลาทั้ง 4 บ่อ มีค่าเฉลี่ยเกิน 0.025 มก./ล.ไนโตรเจน ซึ่งมีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของปลานิล แต่ทุกบ่อมีค่าไม่เกิน 0.5 มก./ล.ไนโตรเจน ดังนั้นในการทดลองนี้แอมโมเนียอิสระอาจไม่ใช่สาเหตุหลักที่ทำให้ปลานิลในบ่อตาย และถ้าทำการเปรียบเทียบปริมาณแอมโมเนียทั้งหมดที่สะสมอยู่ในแต่ละบ่อ ซึ่งในการทดลองจะพบว่าเมื่อมีการสะสมแอมโมเนียจนถึงระดับหนึ่งแล้ว ต่อมาจะเกิดการย่อยสลายแอมโมเนียโดยแบคทีเรีย หรือเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชั่นได้ไนไตรต์และไนเตรตตามลำดับ แต่จากข้อมูลในการทดลองจะพบว่ามีการเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชั่นแบบไม่สมบูรณ์ แอมโมเนียเปลี่ยนเป็นไนไตรต์มากกว่าที่ไนไตรต์เปลี่ยนเป็นไนเตรต จึงทำให้น้ำในบ่อมีการสะสมของไนไตรต์เพิ่มสูงมากขึ้นจนถึงระดับที่เป็นพิษต่อปลาและทำให้ปลานิลตายได้ ดังนั้นหากน้ำในบ่อมีการสะสมของแอมโมเนียเป็นปริมาณที่สูงอาจทำให้เกิดไนไตรต์สูงมากขึ้นในเวลาต่อมาได้ ซึ่งจากที่กล่าวมาข้างต้น จะเห็นว่าถ้าน้ำในบ่อสามารถควบคุมปริมาณแอมโมเนียให้มีการสะสมน้อยที่สุด ก็มีผลทำให้เกิดไนไตรต์เป็นปริมาณที่น้อยตามได้ ดังนั้นจากการเปรียบเทียบปริมาณแอมโมเนียในแต่ละบ่อ จึงสามารถสรุปได้ว่า บ่อเลี้ยงปลาบ่อที่ 4 ซึ่งมีอัตราส่วนในการหมุนเวียนน้ำไปบำบัดในถังกรอง 20 % มีประสิทธิภาพสูงที่สุดในการควบคุมปริมาณแอมโมเนียในน้ำ โดยน้ำในบ่อที่ 4 มีค่าเฉลี่ยของแอมโมเนียเท่ากับ 0.76 มก./ล.ไนโตรเจน บ่อที่ 3 ซึ่งมีอัตราส่วนในการหมุนเวียนน้ำ 10 % มีประสิทธิภาพรองลงมา โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.86 มก./ล.ไนโตรเจน และบ่อที่ 2 ซึ่งมี

ตารางที่ 4.35 ปริมาณของสารที่เป็นพิษต่อปลานิล

พารามิเตอร์	หน่วย	ค่าที่เหมาะสม	น้ำในบ่อเลี้ยงปลา			
			บ่อที่ 1	บ่อที่ 2	บ่อที่ 3	บ่อที่ 4
1. แอมโมเนียอิสระ	มก./ล. N	ไม่เกิน 0.025 มก./ล. N				
ค่าเฉลี่ย (1-139)			0.14	0.08	0.04	0.07
ค่าในวันที่ 140			0.02	0.03	0.02	0.14
2. ไนไตรต์	มก./ล. N	ไม่เกิน 0.5 มก./ล. N				
ค่าสูงสุด			30.500	27.750	23.400	9.100
ค่าต่ำสุด			0.000	0.000	0.000	0.000
ค่าเฉลี่ย (1-139)			3.226	2.064	2.370	0.788
ค่าในวันที่ 140			0.007	0.014	0.091	0.066
3. ไนเตรต	มก./ล. N	ไม่เกิน 400 มก./ล. N				
ค่าสูงสุด			26.25	35.40	51.20	17.95
ค่าต่ำสุด			0.00	0.00	0.00	0.00
ค่าเฉลี่ย (1-139)			5.39	8.87	12.10	3.09
ค่าในวันที่ 140			0.13	0.56	6.54	0.45

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4. 36 แสดงค่าเฉลี่ยของแอมโมเนียอิสระจากการคำนวณ (มก./ล.ไนโตรเจน)

วันที่ทดลอง	น้ำในบ่อทดลอง				น้ำออกจากถังกรอง		
	บ่อที่ 1	บ่อที่ 2	บ่อที่ 3	บ่อที่ 4	ถังที่ 2	ถังที่ 3	ถังที่ 4
1-22	0.076	0.090	0.095	0.125	0.000	0.000	0.000
เดือนที่ 1 (23-53)	0.606	0.272	0.065	0.099	0.144	0.128	0.099
เดือนที่ 2 (54-83)	0.011	0.006	0.010	0.034	0.009	0.007	0.013
เดือนที่ 3 (84-114)	0.013	0.011	0.010	0.054	0.011	0.013	0.017
เดือนที่ 4 (115-139)	0.017	0.018	0.015	0.056	0.009	0.030	0.044
ค่าเฉลี่ย (1-139)	0.144	0.079	0.039	0.074	0.034	0.035	0.035
S.D.	0.259	0.113	0.039	0.037	0.061	0.053	0.039

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อัตราส่วนในการหมุนเวียนน้ำ 5 % มีประสิทธิภาพต่ำที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.41 มก./ล.ไนโตรเจน ส่วนบ่อที่ 1 ซึ่งเป็นบ่อควบคุมไม่มีการนำน้ำในบ่อออกไปบำบัดมีค่าเฉลี่ยสูงกว่าทุกบ่อ โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.07 มก./ล.ไนโตรเจน

ไนไตรท์เป็นผลที่ได้จากกระบวนการไนตริฟิเคชั่น ขั้นที่ 1 โดยไนตริฟายอิงแบคทีเรีย ชื่อ ไนโตรโซโมนาซ ซึ่งไปออกซิไดซ์แอมโมเนียเป็นไนไตรท์ การสะสมตัวของไนไตรท์ในน้ำเป็นพิษต่อปลาอย่างมาก เนื่องจากไนไตรท์ไปออกซิไดซ์เหล็กซึ่งเป็นองค์ประกอบของฮีโมโกลบินในเลือดปลา ได้เมทฮีโมโกลบิน ซึ่งไม่สามารถขนถ่ายออกซิเจนได้ ปลาที่ได้รับไนไตรท์จึงไม่สามารถมีชีวิตอยู่ได้ เนื่องจากขาดออกซิเจน ความเป็นพิษของไนไตรท์นั้นได้มีการศึกษาและพบว่าที่ความเข้มข้น 0.5 มก./ล.ไนโตรเจน เป็นอันตรายต่อปลาในเขตหนาว และเมื่อทดสอบความเป็นพิษของไนไตรท์ต่อ Channel Catfish พบว่า LC_{50} (96 ชม.) มีค่าสูงถึง 13.0 มก./ล.ไนโตรเจน ดังนั้นค่าของไนไตรท์ในน้ำไม่ควรมีค่าเกิน 0.5 มก./ล.ไนโตรเจน (Boyd, 1984) และเพื่อให้ทราบถึงอัตราการหมุนเวียนน้ำที่เหมาะสม สำหรับใช้ในการควบคุมระดับไนไตรท์ในน้ำ จึงทำการศึกษาเปรียบเทียบปริมาณไนไตรท์ที่มีอยู่ในบ่อเลี้ยงปลาทั้ง 4 บ่อ กับปริมาณไนไตรท์ที่ควรมีอยู่ในน้ำ เพื่อไม่ให้เป็นอันตรายต่อปลา ซึ่งได้กล่าวไว้แล้วในตอนต้นว่าไม่ควรมีค่าเกิน 0.5 มก./ล.ไนโตรเจน และเมื่อทำการเปรียบเทียบแล้วจะพบว่าบ่อเลี้ยงปลาบ่อที่ 1 ซึ่งเป็นบ่อควบคุมมีไนไตรท์สะสมอยู่ในน้ำเป็นปริมาณสูงที่สุดในบ่อเลี้ยงปลาทั้ง 4 บ่อ โดยมีค่าเฉลี่ยตลอดการทดลองเท่ากับ 3.22 มก./ล.ไนโตรเจน และรองลงมาคือ บ่อเลี้ยงปลาบ่อที่ 3, 2 และ 4 โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.36, 2.06 และ 0.78 มก./ล.ไนโตรเจน ตามลำดับ และหากพิจารณาค่าไนไตรท์สูงสุดที่เกิดขึ้นในแต่ละบ่อ จะพบว่าบ่อที่ 1 มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 30.500 มก./ล. ไนโตรเจน และมีค่าสูงสุดรองลงมาในบ่อที่ 2, 3 และ 4 โดยมีค่าเท่ากับ 27.750, 23.400 และ 9.100 มก./ล. ไนโตรเจน ตามลำดับ

จากข้อมูลการเปลี่ยนแปลงปริมาณไนไตรท์ของน้ำในบ่อ กับการตายของปลานิลที่เกิดขึ้นในแต่ละบ่อได้สรุปไว้ในตารางที่ 4.37 ซึ่งจะพบว่าจำนวนปลาที่ตายในแต่ละบ่อผันแปรตามความเข้มข้นของไนไตรท์ที่เพิ่มมากขึ้นในบ่อ โดยบ่อเลี้ยงปลาบ่อที่ 2 มีปลานิลตายทั้งหมดเป็นจำนวนสูงที่สุดเท่ากับ 30 ตัว รองลงมาคือบ่อที่ 1, 3 และ 4 มีปลานิลตายทั้งหมดเท่ากับ 24, 11 และ 8 ตัว ตามลำดับ และจะสังเกตุเห็นว่าบ่อเลี้ยงปลาบ่อที่ 1 และ 2 ในวันที่มีจำนวนปลาตายสูงที่สุดน้ำในบ่อมีความเข้มข้นของแอมโมเนียและไนไตรท์สูงมาก โดยบ่อที่ 1 มีปลาตายสูงที่สุด 9 ตัว ในวันที่ 54 ของการทดลอง ซึ่งน้ำในบ่อมีความเข้มข้นของแอมโมเนียและไนไตรท์สูงประมาณ 8 และ 12 มก./ล.ไนโตรเจน ตามลำดับ และในบ่อที่ 2 มีปลาตายสูงที่สุด 7 ตัว ในวันที่ 50 และ 51 ของการทดลอง โดยน้ำในบ่อมีความเข้มข้นของแอมโมเนีย 12 และ 8 มก./ล. ไนโตรเจน ในวันที่ 50 และ 51 ตามลำดับ และมีไนไตรท์สูงประมาณ 14 และ 17 มก./ล.ไนโตรเจน ในวันที่ 50 และ 51 ตามลำดับ ซึ่งความเข้มข้นของทั้งแอมโมเนียและไนไตรท์ที่สูงมากนี้เองเป็นผลให้น้ำมีความเป็นพิษต่อปลานิลมากขึ้น และทำให้ปลาในบ่อตาย

ตารางที่ 4.37 ปริมาณของแอมโมเนียและไนไตรต์ในน้ำของวันที่มีจำนวนปลาตายสูงสุด

รายการ	บ่อเลี้ยงปลา						
	บ่อที่ 1	บ่อที่ 2		บ่อที่ 3			บ่อที่ 4
1. จำนวนปลาตายสะสม (ตัว)	24	30		11			8
2. วันที่ตายสูงสุด	54	50	51	45	58	59	51
3. จำนวนปลาตายสูงสุด (ตัว/วัน)	9	7	7	2	2	2	3
4. แอมโมเนีย (มก./ล.ไนโตรเจน)	8	12	14				
5. ไนไตรต์ (มก./ล.ไนโตรเจน)	12	8	17	2.5	20	20	2.5

ดังนั้นจากการพิจารณาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของน้ำในบ่อเลี้ยงปลาแต่ละบ่อ ที่สามารถควบคุมระดับของไนไตรต์ให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงปลานิลมากที่สุด สามารถสรุปได้ว่าบ่อเลี้ยงปลาบ่อที่ 4 มีประสิทธิภาพสูงที่สุด บ่อที่ 3 มีประสิทธิภาพรองลงมา และบ่อที่ 2 มีประสิทธิภาพต่ำที่สุด และต่ำกว่าบ่อที่ 1 ซึ่งเป็นบ่อควบคุมในการทดลองครั้งนี้อีกด้วย

4.4.3 ประสิทธิภาพในการควบคุมปริมาณสารอินทรีย์หรือของเสียที่สะสมในบ่อเลี้ยงปลา

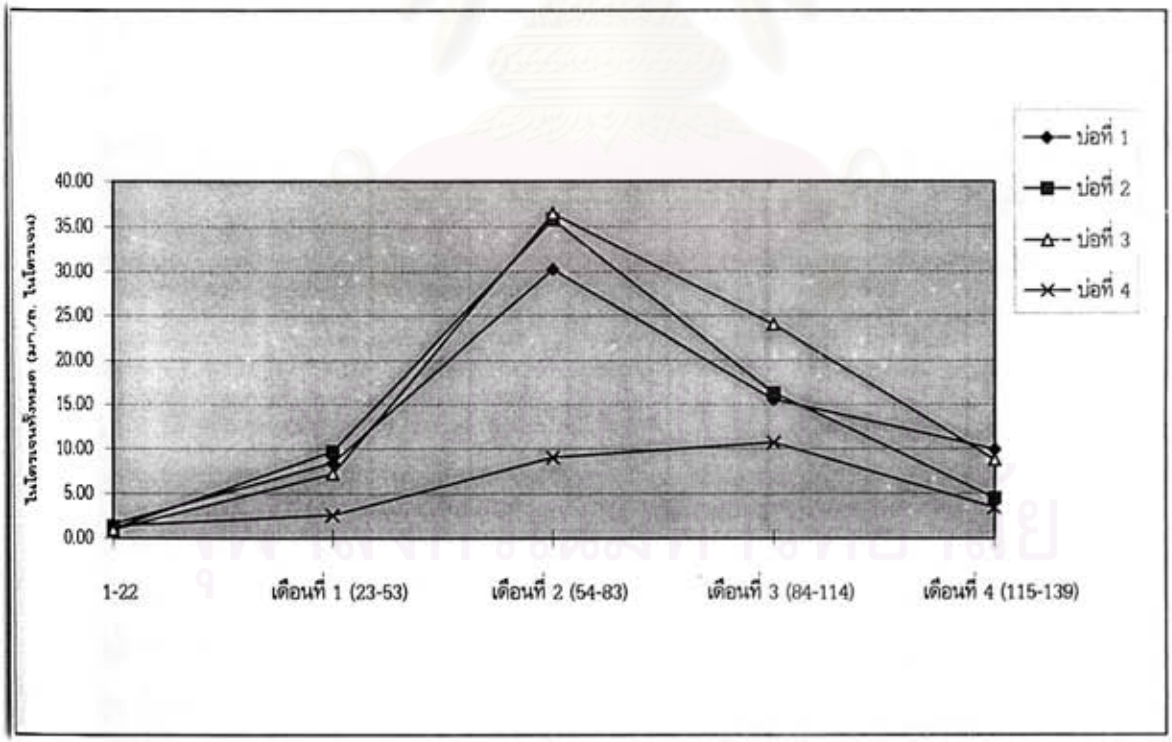
ในการศึกษาเพื่อหาอัตราการหมุนเวียนน้ำออกจากบ่อเลี้ยงปลาที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการควบคุมคุณภาพน้ำในบ่อ ให้สามารถเลี้ยงปลาได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดนั้น นอกจากจะได้ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการควบคุมคุณภาพน้ำที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของปลานิลแล้ว ยังต้องทำการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการควบคุมหรือลดปริมาณสารอินทรีย์และของเสียต่างๆ ที่สะสมอยู่ในบ่อเลี้ยงปลาด้วย เนื่องจากสารอินทรีย์และของเสียต่างๆ ดังกล่าวนี้ หากมีสะสมอยู่ในน้ำมากขึ้นก็อาจเป็นผลให้น้ำมีคุณภาพเลวลงซึ่งจะจำกัดการเจริญเติบโตของปลาในบ่อได้ และอาจจะก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม หรือเกิด

ปัญหามลภาวะทางน้ำขึ้นได้เมื่อมีการปล่อยน้ำลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ โดยไม่มีการปรับปรุงคุณภาพของน้ำให้เหมาะสมก่อน

ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในการศึกษานี้ได้จากการคำนวณผลรวมของค่าไนไตรท์ ไนเตรต และทีเคเอ็นเข้าด้วยกัน ซึ่งแสดงค่าไว้ในตารางที่ 4.38 และรูปที่ 4.42 จากค่าที่ได้นี้จะเห็นถึงการเปลี่ยนแปลงของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในบ่อ โดยจะพบว่าบ่อเลี้ยงปลาทั้ง 4 บ่อ มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดเพิ่มขึ้นตามเวลาไปเรื่อยๆ จนกระทั่งมีปริมาณลดลงในเดือนที่ 2 ของน้ำในบ่อที่ 1, 2 และ 3 ส่วนบ่อที่ 4 มีปริมาณลดลงในเดือนที่ 3 การเพิ่มขึ้นของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในช่วงแรกของการทดลอง อาจเป็นเพราะน้ำในบ่อมีการสะสมของไนโตรเจนเพิ่มมากขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป จากอาหารที่ปลากินไม่หมดและของเสียที่ปลาขับถ่ายออกมา และไนโตรเจนทั้งหมดมีปริมาณลดลงในช่วงเวลาต่อมาอาจเป็นผลจากน้ำในบ่อมีแพลงค์ตอนพืชเกิดขึ้น จึงดึงไนโตรเจนในน้ำไปใช้สำหรับการเจริญเติบโตเพิ่มมากขึ้น จนเป็นผลให้ค่าไนโตรเจนละลายน้ำทั้งหมดในบ่อมีค่าลดลงดังแสดงในรูปที่ 4.42 และเมื่อได้เปรียบเทียบปริมาณไนโตรเจนละลายน้ำทั้งหมดที่มีอยู่ในแต่ละบ่อตลอดการทดลองจะพบว่า บ่อเลี้ยงปลาบ่อที่ 4 มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดต่ำกว่าทุกบ่อ โดยมีค่าเฉลี่ยตลอดการทดลองเท่ากับ 5.41 มก./ล.ไนโตรเจน บ่อที่ 3 มีค่าสูงที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 15.47 มก./ล.ไนโตรเจน และบ่อที่ 1 และ 2 มีค่าใกล้เคียงกันโดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 13.14 และ 13.46 มก./ล.ไนโตรเจน ตามลำดับ จากค่าของบ่อที่ 4 ซึ่งมีไนโตรเจนละลายน้ำทั้งหมดต่ำกว่าทุกบ่ออย่างเห็นได้ชัดเจนอาจมีสาเหตุมาจากบ่อที่ 4 มีอัตราส่วนในการหมุนเวียนน้ำออกไปบำบัดด้วยถังกรองสูงที่สุด คือเท่ากับ 20 % จึงสามารถกรองแพลงค์ตอนพืชที่มีอยู่ในบ่อออกไปเป็นปริมาณมากกว่าทุกบ่อ และจากที่แพลงค์ตอนพืชต้องใช้ไนโตรเจนในการเจริญเติบโตเมื่อมีการดึงแพลงค์ตอนออกจากน้ำ ก็คือการดึงไนโตรเจนที่มีอยู่ในบ่อออกไปด้วยนั่นเอง และเมื่อพิจารณาค่าไนโตรเจนทั้งหมดในวันที่ 140 ของการทดลอง ซึ่งเป็นวันสุดท้ายของการทดลอง มีการนำตัวอย่างน้ำในแต่ละบ่อที่ได้มีการกวนผสมกันอย่างดี ไปทำการวิเคราะห์หาค่าไนโตรเจนในรูปต่างๆ โดยค่าไนโตรเจนที่ละลายอยู่ในน้ำทั้งหมดที่ได้จากการคำนวณได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.39 ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบค่าที่เห็นอยู่ในตารางกับปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดที่มีอยู่ในแหล่งน้ำธรรมชาติซึ่งมีค่าประมาณ 2.5 มก./ล.ไนโตรเจน (เวียง, 2525) จะพบว่าในวันที่ 140 ที่มีการจับปลา ค่าไนโตรเจนละลายน้ำทั้งหมดของน้ำในบ่อที่ 4 มีค่าน้อยกว่าไนโตรเจนที่พบในแหล่งน้ำธรรมชาติทั่วไปเล็กน้อย โดยมีค่าเท่ากับ 2.35 มก./ล.ไนโตรเจน และบ่อที่ 1 และ 2 มีปริมาณมากกว่าเล็กน้อย โดยมีค่าเท่ากับ 2.99 และ 2.71 มก./ล.ไนโตรเจน ตามลำดับ ส่วนบ่อที่ 3 มีปริมาณไนโตรเจนละลายน้ำทั้งหมดสูงกว่าที่มีในแหล่งน้ำธรรมชาติมาก โดยมีค่าเท่ากับ 10.98 มก./ล.ไนโตรเจน และหากมีการปล่อยน้ำในบ่อลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ น้ำในบ่อที่ 3 ซึ่งมีค่าไนโตรเจนสูงมากนี้อาจเป็นการเพิ่มค่าไนโตรเจนให้กับแหล่งน้ำธรรมชาติมากจนก่อให้เกิดปัญหามลภาวะทางน้ำขึ้นมาได้มากที่สุด ดังนั้นจากที่มีการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการควบคุมปริมาณไนโตรเจนของน้ำในแต่ละบ่อตลอดการทดลอง พร้อมกับการเปรียบเทียบค่าในวันสุดท้ายของการเลี้ยงปลา จึงสามารถสรุปได้ว่า บ่อเลี้ยงปลาบ่อที่ 4 มีประสิทธิภาพสูงที่สุดในการควบคุมปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในน้ำ บ่อที่ 2 มี

ตารางที่ 4.38 แสดงค่าเฉลี่ยของไนโตรเจนทั้งหมดที่ได้จากการคำนวณ (มก./ล. ไนโตรเจน)

วันที่ทดลอง	น้ำในบ่อทดลอง				น้ำออกจากถังกรอง		
	บ่อที่ 1	บ่อที่ 2	บ่อที่ 3	บ่อที่ 4	ถังที่ 2	ถังที่ 3	ถังที่ 4
1-22	1.54	1.00	0.89	1.35			
เดือนที่ 1 (23-53)	8.43	9.68	7.21	2.56	6.81	1.99	1.91
เดือนที่ 2 (54-83)	30.25	35.81	36.47	9.03	31.07	36.26	8.70
เดือนที่ 3 (84-114)	15.56	16.32	23.98	10.71	11.57	13.13	8.84
เดือนที่ 4 (115-139)	9.93	4.49	8.80	3.42	10.29	4.97	6.10
ค่าสูงสุด	39.94	38.56	47.58	13.29	38.18	46.33	14.47
ค่าต่ำสุด	1.14	0.92	0.54	0.76	0.37	0.40	0.07
ค่าเฉลี่ย (1-139)	13.14	13.46	15.47	5.41	14.93	14.09	6.39
S.D.	10.79	13.76	14.48	4.18	10.94	15.51	3.24



รูปที่ 4.42 แสดงค่าเฉลี่ยของไนโตรเจนทั้งหมดที่ได้จากการคำนวณ (มก./ล. ไนโตรเจน)

ประสิทธิภาพรองลงมา และบ่อที่ 3 มีประสิทธิภาพต่ำที่สุดและต่ำกว่าบ่อที่ 1 ซึ่งไม่มีการปรับปรุงคุณภาพน้ำในบ่ออีกด้วย

การเปลี่ยนแปลงของฟอสฟอรัสทั้งหมดตลอดการทดลองได้วิเคราะห์ไว้แล้วในหัวข้อข้างต้นซึ่งจากข้อมูลต่างๆ ที่ทำการวิเคราะห์นี้ได้นำมาสรุปและแสดงไว้ในตารางที่ 4.39 และเพื่อศึกษาถึงอัตราการหมุนเวียนน้ำออกจากบ่อ หรือระดับการกำจัดแพลงค์ตอนออกจากบ่อเลี้ยงปลาที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการควบคุมปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำให้สามารถเลี้ยงปลาได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด โดยไม่ก่อให้เกิดผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม จึงต้องทำการเปรียบเทียบปริมาณฟอสฟอรัสที่มีอยู่ในน้ำของบ่อเลี้ยงปลาทั้ง 4 บ่อ กับปริมาณฟอสฟอรัสที่ควรมีอยู่ในน้ำของบ่อเลี้ยงปลา ซึ่งโดยทั่วไปปริมาณออร์โธฟอสเฟตในน้ำของบ่อเลี้ยงปลาควรมีค่าอยู่ระหว่าง 0.1-0.5 มก./ล. (Boyd, 1984) และเมื่อสิ้นสุดการเลี้ยงปลาแล้ว มีการระบายน้ำในบ่อทิ้งลงสู่แหล่งน้ำต่างๆ ปริมาณฟอสฟอรัสที่มีสะสมอยู่ในน้ำจะไม่ทำให้เกิดปัญหามลภาวะทางน้ำขึ้น หรือเป็นการเพิ่มปริมาณฟอสฟอรัสให้แก่แหล่งน้ำนั้นๆ น้อยที่สุด

จากปริมาณฟอสฟอรัสที่แสดงไว้ในตารางที่ 4.39 จะเห็นว่าบ่อเลี้ยงปลาบ่อที่ 4 มีค่าเฉลี่ยและค่าในวันที่ 140 ต่ำกว่าบ่ออื่นๆ อย่างชัดเจน โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.99 มก./ล. และค่าในวันที่ 140 เท่ากับ 1.50 มก./ล. ส่วนปริมาณฟอสฟอรัสในบ่อที่ 3, 2 และ 1 มีค่าเพิ่มมากขึ้นตามลำดับ โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 9.72, 10.45 และ 13.67 มก./ล. ตามลำดับ และมีค่าในวันที่ 140 เท่ากับ 18.00, 18.50 และ 22.00 มก./ล. ตามลำดับ ซึ่งจากที่ได้มีการวิเคราะห์มาแล้วในตอนต้นว่าสาเหตุที่บ่อที่ 4 มีค่าฟอสฟอรัสเฉลี่ยตลอดการทดลองน้อยที่สุดและน้อยกว่าบ่ออื่นๆ มากนั้น เนื่องจากบ่อที่ 4 มีระดับการกำจัดแพลงค์ตอนออกจากบ่อสูงที่สุด คือมีอัตราการหมุนเวียนน้ำออกจากบ่อแล้วนำไปกรองเท่ากับ 20 % ของน้ำในบ่อ และมีการตกตะกอนของฟอสเฟตกับแคลเซียมเกิดขึ้นในบ่อที่ 4 ได้ดีกว่าบ่ออื่นๆ เพราะน้ำในบ่อมีค่าพีเอชที่สูงและเหมาะสมต่อการตกตะกอนมากกว่านั่นเอง ส่วนบ่อที่ 3 ซึ่งมีระดับการกำจัดแพลงค์ตอนหรืออัตราส่วนในการหมุนเวียนน้ำออกจากบ่อมากกว่าบ่อที่ 2 ดังนั้นบ่อที่ 3 จึงน่าจะมีปริมาณฟอสฟอรัสสะสมอยู่ในบ่อน้อยกว่า แต่ค่าที่ได้คือทั้ง 2 บ่อ มีค่าฟอสฟอรัสเฉลี่ยตลอดการทดลองใกล้เคียงกัน สาเหตุอาจจะเป็นเพราะบ่อที่ 3 มีการให้อาหารแก่ปลาในบ่อเป็นปริมาณที่มากกว่าบ่ออื่นๆ และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบค่าฟอสฟอรัสในวันที่ 140 ซึ่งเป็นวันสุดท้ายของการเลี้ยงปลาจะพบว่าปริมาณฟอสฟอรัสที่มีอยู่ในน้ำของบ่อที่ 4 มีปริมาณน้อยกว่าบ่ออื่นอย่างเห็นได้ชัดเช่นเดียวกับค่าเฉลี่ย ซึ่งแสดงได้ว่าหากมีการปล่อยน้ำในบ่อเลี้ยงปลาทิ้งลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ หรือแหล่งน้ำอื่นๆ โดยไม่มีการปรับปรุงคุณภาพน้ำก่อนแล้ว น้ำของบ่อที่ 4 จะเพิ่มปริมาณฟอสฟอรัสให้กับแหล่งน้ำอื่นๆ น้อยที่สุด หรือเป็นการเพิ่มความสกปรกให้กับสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าบ่ออื่นๆ ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า บ่อเลี้ยงปลาบ่อที่ 4 มีประสิทธิภาพในการควบคุมปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดได้ดีที่สุด และรองลงมาคือบ่อที่ 3, 2 และ 1 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.39 ปริมาณของเสียที่สะสมอยู่ในบ่อ

พารามิเตอร์	หน่วย	น้ำในบ่อเลี้ยงปลา			
		บ่อที่ 1	บ่อที่ 2	บ่อที่ 3	บ่อที่ 4
1. ไนโตรเจนทั้งหมด	มก./ล. N				
ค่าสูงสุด		39.94	38.56	47.58	13.29
ค่าต่ำสุด		1.14	0.92	0.54	0.76
ค่าเฉลี่ย (1-139)		13.14	13.46	15.47	5.41
ค่าในวันที่ 140		2.99	2.72	10.98	2.35
2. ฟอสฟอรัสทั้งหมด	มก./ล.				
ค่าสูงสุด		29.50	28.30	26.00	4.20
ค่าต่ำสุด		0.03	0.02	0.02	0.00
ค่าเฉลี่ย (1-139)		13.67	10.45	9.72	0.99
ค่าในวันที่ 140		22.00	18.50	18.00	1.50
3. ซีโอดีละลายน้ำ	มก./ล.				
ค่าสูงสุด		417.06	394.31	329.86	269.19
ค่าต่ำสุด		3.98	3.98	3.98	15.94
ค่าเฉลี่ย (1-139)		87.32	86.84	79.03	71.37
ค่าในวันที่ 140		57.49	73.45	65.47	83.83
4. ของแข็งแขวนลอย	มก./ล.				
ค่าสูงสุด		1240	680	572	712
ค่าต่ำสุด		34	29	24	28
ค่าเฉลี่ย (1-139)		612	397	336	289
ค่าในวันที่ 140		1532	740	448	356

ดังได้กล่าวแล้วว่า อาหารปลามีส่วนทำให้น้ำสกปรก เนื่องจากบ่อเลี้ยงปลาได้รับไนโตรเจนและฟอสฟอรัส จากอาหารปลาที่เหลือและของเสียจากการขับถ่ายของปลาเพิ่มมากขึ้นตามระยะเวลาในการเลี้ยง สิ่งต่างๆ ดังกล่าวจะถูกแปรสภาพตามธรรมชาติและกลายเป็นอาหารของแพลงค์ตอน ทำให้แพลงค์ตอนสามารถเจริญเติบโตได้ ตารางที่ 4.40 เป็นการคำนวณที่แสดงให้เห็นถึงปริมาณสารตกค้างที่เกิดขึ้นจากอาหารปลาที่เหลือและของเสียจากปลา ที่เกิดจากการให้อาหารปลาในบ่อต่างๆ จะเห็นได้ว่าในการผลิตปลานิลในแต่ละบ่อจะมีของเสียเกิดขึ้น (น้ำหนักแห้ง) 4652, 5795, 6358 และ 6023 กรัม คิดเป็นของเสียไนโตรเจน 190.11, 238.45, 260.99 และ 242.92 กรัม และของเสียฟอสฟอรัส 19.17, 24.01, 25.47 และ 24.55 กรัม ของบ่อที่ 1, 2, 3 และ 4 ตามลำดับ ของเสียหรือสารอาหารเหล่านี้อาจถูกแพลงค์ตอนดึงไปใช้ในการเจริญเติบโตต่อไป ดังนั้นจากงานวิจัยซึ่งมีแนวคิดในการลดการสะสมของเสียที่มีอยู่ในบ่อโดยการกำจัดแพลงค์ตอนออกจากน้ำหมุนเวียนของบ่อเลี้ยงในอัตรา 5, 10 และ 20 % ซึ่งการคำนวณถึงปริมาณสารอาหารที่เหลือสะสมอยู่ในบ่อต่างๆ หลังจากสิ้นสุดการทดลองและมีการหมุนเวียนน้ำในบ่อไปบำบัดในถังกรองทรายฯ ในอัตราการหมุนเวียนน้ำต่างๆ เป็นจำนวนเวลา 101 วัน และสมมติให้ปริมาณแพลงค์ตอนที่เกิดขึ้นในบ่อมีค่าเท่ากับค่าของแข็งแขวนลอยของน้ำในแต่ละบ่อ จะเห็นว่าที่อัตราการหมุนเวียนน้ำ 0, 5, 10 และ 20 % สามารถกำจัดแพลงค์ตอนออกได้ 0, 842, 1425 และ 2452 กรัม คิดเป็นไนโตรเจนที่กำจัดออกได้ 0, 53.05, 89.79 และ 154.47 กรัม และฟอสฟอรัสที่กำจัดออกได้ 0, 7.58, 12.83 และ 22.07 กรัม ตามลำดับ ผลลัพธ์สุดท้ายคือสารอาหารที่เหลือสะสมอยู่ในบ่อดังแสดงในตารางที่ 4.41 และหากเปรียบเทียบค่าสารอาหารที่เหลือสะสมอยู่ในบ่อที่ได้มาจากการคำนวณ กับค่าของสารอาหารละลายในน้ำ (ค่าจริงวิเคราะห์ได้ในวันที่ 140 ของการทดลอง) ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของค่าสารอาหารที่เหลือสะสมอยู่ในบ่อ (ดูตารางที่ 4.42) จะเห็นว่ามีค่าสอดคล้องไปในทางเดียวกันคือ ค่าไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในบ่อที่ 1, 2 และ 3 มีแนวโน้มของค่าลดลงตามลำดับ และมีค่าน้อยที่สุดอย่างชัดเจนในบ่อที่ 4 ดังนั้นจากการเปรียบเทียบที่ได้กล่าวมานี้จึงสามารถแสดงได้ว่า การกำจัดแพลงค์ตอนออกจากน้ำหมุนเวียนในอัตรา 5, 10 และ 20 % ช่วยลดการสะสมของสารอาหารหรือของเสียให้เหลืออยู่ในบ่อน้อยกว่าบ่อที่ 1 ซึ่งไม่มีการหมุนเวียนน้ำออกไปบำบัด และเห็นได้ชัดเจนที่สุดในบ่อที่ 4 นั่นเอง

การเปลี่ยนแปลงของค่าซีโอดีละลายน้ำและค่าของแข็งแขวนลอยตลอดการทดลองได้วิเคราะห์ไว้แล้วในหัวข้อข้างต้น ซึ่งค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ได้นำมาสรุปและแสดงไว้ในตารางที่ 4.39 จากค่าซีโอดีละลายน้ำในตารางดังกล่าวจะพบว่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ แต่จะเห็นแนวโน้มได้ว่าบ่อที่ 4 มีค่าเฉลี่ยต่ำกว่าบ่ออื่นๆ โดยมีค่าเท่ากับ 71.37 มก./ล. และมีค่าเฉลี่ยเพิ่มมากขึ้นในบ่อที่ 3, 2 และ 1 โดยมีค่าเท่ากับ 79.03, 86.84 และ 87.32 มก./ล. ตามลำดับ ส่วนค่าซีโอดีในวันที่ 140 จะพบว่าบ่อที่ 1 มีค่าต่ำที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 57.49 มก./ล. และมีค่าเพิ่มมากขึ้นในบ่อที่ 3, 2 และ 4 โดยมีค่าเท่ากับ 65.47, 73.45 และ 83.83 มก./ล. ตามลำดับ ซึ่งจากค่าซีโอดีละลายน้ำที่พบว่ามีค่าต่ำที่สุดในบ่อที่ 1 อาจเป็นเพราะตะกอนของแข็งที่

ตารางที่ 4.40 การคำนวณปริมาณสารตกค้างที่เกิดจากการให้อาหารปลาในบ่อต่างๆ

รายการ	อาหารปลาที่ป้อน				ปลานิลที่ผลิตได้				อาหารปลาที่เหลือและของเสียจากปลา			
	บ่อที่ 1	บ่อที่ 2	บ่อที่ 3	บ่อที่ 4	บ่อที่ 1	บ่อที่ 2	บ่อที่ 3	บ่อที่ 4	บ่อที่ 1	บ่อที่ 2	บ่อที่ 3	บ่อที่ 4
น้ำหนักทั้งหมด (กรัม)	6005	7444	8401	7845	3010	3620	4810	4150				
น้ำหนักแห้ง (%)	90	90	90	90	25	25	25	25				
% ไนโตรเจน	4.91	4.91	4.91	4.91	10.00	10.00	10.00	10.00				
% ฟอสฟอรัส	0.48	0.48	0.48	0.48	0.90	0.90	0.90	0.90				
ปริมาณทั้งหมด (กรัม)	6005	7444	8401	7845	3010	3620	4810	4150				
ปริมาณน้ำหนักแห้ง (กรัม)	5405	6700	7561	7061	753	905	1203	1038	4652	5795	6358	6023
ปริมาณไนโตรเจน (กรัม)	265.36	328.95	371.24	346.67	75.25	90.50	120.25	103.75	190.11	238.45	250.99	242.92
ปริมาณฟอสฟอรัส (กรัม)	25.94	32.16	36.29	33.89	6.77	8.15	10.82	9.34	19.17	24.01	25.47	24.55

ตารางที่ 4.41 การคำนวณปริมาณสารอาหารสะสมที่เกิดจากการกำจัดแพลงค์ตอนในระดับต่างๆ

บ่อเลี้ยงปลา	สารอาหารที่สะสมในบ่อ		ระดับกำจัดแพลงค์ตอน (อัตราการหมุนเวียนน้ำ)		ของแข็งแขวนลอย (ค่าเฉลี่ย)	ปริมาณแพลงค์ตอนที่กำจัด			สารอาหารที่เหลือสะสมอยู่ในบ่อ			
	ไนโตรเจน	ฟอสฟอรัส				(กรัม)	N (6.3%)	P (0.9%)	ไนโตรเจน		ฟอสฟอรัส	
	(กรัม)	(กรัม)	(%ของน้ำในบ่อ)	(ลิตร/วัน)	(มก./ล.)		(กรัม)	(กรัม)	(กรัม)	(มก./ล.)	(กรัม)	(มก./ล.)
บ่อที่ 1	190.11	19.17	0	0	612	0	0	0	190.11	452.64	19.17	45.64
บ่อที่ 2	238.45	24.01	5	21	397	842	53.05	7.58	185.40	441.43	16.43	39.12
บ่อที่ 3	250.99	25.47	10	42	336	1425	89.79	12.83	161.20	383.80	12.64	30.10
บ่อที่ 4	242.92	24.55	20	84	289	2452	154.47	22.07	88.45	210.60	2.48	5.91

หมายเหตุ : (1) ปริมาณแพลงค์ตอนที่กำจัด (กรัม) = ค่าของแข็งแขวนลอยเฉลี่ย (มก./ล.) x อัตราการหมุนเวียนน้ำ (ลิตร/วัน) x จำนวนวันที่กรองน้ำ (101 วัน) x (1/1000)

(2) องค์ประกอบในแพลงค์ตอน : ไนโตรเจน 6.3 % , ฟอสฟอรัส 0.9 %

ตารางที่ 4.42 การคำนวณปริมาณสารอาหารสะสมในรูปต่างๆ

บ่อเลี้ยงปลา	สารอาหารที่เหลือสะสมอยู่ในบ่อ				สารอาหารละลายในน้ำ (ค่าในวันที่ 140)				ของแข็งแขวนลอย (ค่าในวันที่ 140)		องค์ประกอบในแพลงค์ตอน		สารอาหารที่เหลือสะสมในรูปอื่นๆ	
	ไนโตรเจน		ฟอสฟอรัส		ไนโตรเจน		ฟอสฟอรัส				N (6.3%)	P (0.9%)	ไนโตรเจน	ฟอสฟอรัส
	(กรัม)	(มก./ล.)	(กรัม)	(มก./ล.)	(กรัม)	(มก./ล.)	(กรัม)	(มก./ล.)	(กรัม)	(มก./ล.)	(กรัม)	(กรัม)	(กรัม)	(กรัม)
บ่อที่ 1	190.11	452.64	19.17	45.64	1.26	2.99	9.24	22.00	643	1,532	40.54	5.79	148.32	4.14
บ่อที่ 2	185.40	441.43	16.43	39.12	1.14	2.72	7.77	18.50	311	740	19.58	2.80	164.68	5.86
บ่อที่ 3	161.20	383.80	12.64	30.10	4.61	10.98	7.56	18.00	188	448	11.85	1.69	144.73	3.39
บ่อที่ 4	88.45	210.60	2.48	5.91	0.99	2.35	0.63	1.50	150	356	9.42	1.35	78.04	0.51

หมายเหตุ : สารอาหารที่เหลือสะสมในรูปอื่นๆ = สารอาหารที่เหลือสะสมอยู่ในบ่อ - สารอาหารที่ละลายในน้ำ - องค์ประกอบในแพลงค์ตอน

ไม่ละลายน้ำบางส่วนได้รวมตัวเข้าด้วยกันและตกตะกอนลงสู่ก้นบ่อ ดังที่ได้มีการวิเคราะห์มาแล้วในตอนต้น และอาจเป็นผลทำให้สารอินทรีย์ซึ่งสามารถวิเคราะห์ทาได้ในรูปของซีโอดีมีค่าลดลง และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบค่าของแข็งแขวนลอยจะพบว่าบ่อที่ 1 มีค่าของแข็งแขวนลอยสูงที่สุดและสูงมากกว่าบ่ออื่นๆ อย่างเห็นได้ชัดเจน โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 612 มก./ล. และมีค่ารองลงมาคือบ่อที่ 2, 3 และ 4 โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 397, 336 และ 289 มก./ล. ตามลำดับ และค่าของแข็งแขวนลอยในวันที่ 140 ก็ยังมีแนวโน้มเช่นเดียวกับค่าเฉลี่ยที่วิเคราะห์ได้คือบ่อที่ 1 มีค่าสูงที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 1,532 มก./ล. รองลงมาคือบ่อที่ 2, 3 และ 4 โดยมีค่าเท่ากับ 740, 448 และ 356 มก./ล. ตามลำดับ

จากการคำนวณปริมาณสารตกค้าง (ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส) ที่เกิดจากการให้อาหารปลาในบ่อต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 4.40 มาแล้วนั้น ซึ่งสารตกค้างเหล่านี้อาจจะเป็นอาหารสำหรับแพลงค์ตอนใช้ในการเจริญเติบโตได้ ในตารางที่ 4.43 เป็นการคำนวณที่แสดงถึงปริมาณแพลงค์ตอนที่สามารถเกิดขึ้นได้จากสารอาหารที่มีสะสมอยู่ในบ่อทั้งหมด ปริมาณแพลงค์ตอนจะเกิดขึ้นได้มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณของสารอาหารที่นำมาใช้ได้ จากการคำนวณในตารางจะพบว่าปริมาณของฟอสฟอรัสเป็นตัวจำกัดการเจริญเติบโตของแพลงค์ตอนในทุกบ่อ โดยผลต่างของปริมาณแพลงค์ตอนที่เกิดขึ้นจากการใช้ฟอสฟอรัสไปทั้งหมด กับปริมาณแพลงค์ตอนที่ได้กำจัดออกในระดับต่างๆ ก็จะได้ปริมาณแพลงค์ตอนที่เหลือสะสมอยู่ในบ่อดังค่าในตารางที่ 4.43 และเมื่อทำการเปรียบเทียบกับค่าของแข็งแขวนลอยที่วิเคราะห์ได้จริงในการทดลอง (ค่าในวันที่ 140) จะเห็นว่ามีค่าใกล้เคียงกันมากที่สุดของน้ำในบ่อที่ 4 เท่านั้น ส่วนค่าจริงในบ่อที่ 1, 2 และ 3 มีค่าน้อยกว่าค่าที่คำนวณได้อย่างมาก จึงอาจจะแสดงได้ว่าจากแนวคิดที่จะลดการสะสมของเสียต่างๆ ในบ่อเลี้ยงปลาโดยการกำจัดแพลงค์ตอนออก มีเพียงบ่อที่ 4 ซึ่งมีอัตราการหมุนเวียนน้ำออกจากบ่อ 20 % เท่านั้นที่สอดคล้องกับแนวคิดดังกล่าวและเกิดขึ้นจริงในการทดลองครั้งนี้อย่างเห็นได้ชัดเจน คือการกรองแพลงค์ตอนออกจากน้ำในบ่อที่ 4 เป็นปริมาณมากที่สุด เป็นผลให้อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของแพลงค์ตอนพืชสูงกว่าบ่ออื่นๆ และจากอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะที่สูงนี้เอง ทำให้มีการดึงสารอาหารซึ่งเป็นของเสียในบ่อออกไปใช้มากที่สุด และเหลือของเสียต่างๆ เช่น ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส สะสมอยู่ในบ่อน้อยที่สุดอย่างชัดเจน

ดังนั้นเมื่อทำการเปรียบเทียบปริมาณของสารต่างๆ ดังกล่าวข้างต้น (ไนโตรเจน, ฟอสฟอรัส, ซีโอดี และของแข็งแขวนลอย) จะพบว่าบ่อที่ 4 มีปริมาณของเสียสะสมอยู่ในน้ำน้อยที่สุดและยังเห็นได้ชัดเจนว่าบ่อที่ 4 มีค่าของไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสทั้งหมด และของแข็งแขวนลอย ต่ำกว่าทุกบ่อมาก ส่วนค่าซีโอดีละลายน้ำบ่อที่ 4 มีค่าต่ำกว่าทุกบ่อ แต่ค่าเฉลี่ยที่วิเคราะห์ได้ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งเหตุผลที่บ่อที่ 4 มีการสะสมของปริมาณของเสียต่างๆ ในน้ำน้อยกว่าบ่ออื่นๆ เนื่องจากมีระดับของการกำจัดแพลงค์ตอนออกจากบ่อ หรือมีการหมุนเวียนน้ำออกไปบำบัดด้วยถังกรองทรายแบบไหลไม่ต่อเนื่องที่สูงกว่าบ่ออื่นๆ คือที่อัตราส่วนในการหมุนเวียนน้ำ 20 % ของน้ำในบ่อ เพราะฉะนั้นเมื่อมีการกำจัดแพลงค์ตอนออกไปเป็นปริมาณที่มากกว่าบ่ออื่นๆ ซึ่งมันต้องใช้ของเสียต่างๆ (ไนโตรเจน, ฟอสฟอรัส, คาร์บอน) เป็น

ตารางที่ 4.43 การคำนวณปริมาณแพลงค์ตอนที่สามารถเกิดขึ้นได้จากสารอาหารที่สะสมอยู่ในบ่อและเปรียบเทียบกับปริมาณจริงที่เกิดขึ้น

บ่อเลี้ยงปลา	สารอาหารที่สะสมอยู่ในบ่อ		สารอาหารละลายในน้ำ (ค่าในวันที่ 140)				สารอาหารที่แพลงค์ตอนใช้ได้		ปริมาณแพลงค์ตอนที่เกิดขึ้นได้		ระดับกำจัดแพลงค์ตอน (อัตราการหมุนเวียนน้ำ)		ปริมาณแพลงค์ตอนที่กำจัดออก	เหลือแพลงค์ตอนสะสมอยู่ในบ่อ		
	ไนโตรเจน	ฟอสฟอรัส	ไนโตรเจน		ฟอสฟอรัส		ไนโตรเจน	ฟอสฟอรัส	N (6.3%)	P (0.9%)				จากการคำนวณ		ค่าจริงในวันที่ 140
	(กรัม)	(กรัม)	(กรัม)	(มก./ล.)	(กรัม)	(มก./ล.)	(กรัม)	(กรัม)	(กรัม)	(กรัม)	(%ของน้ำในบ่อ)	(ลิตร/วัน)	(กรัม)	(กรัม)	(มก./ล.)	(มก./ล.)
บ่อที่ 1	190.11	19.17	1.26	2.99	9.24	22.00	188.85	9.93	2998	1103	0	0	0	1103	2627	1532
บ่อที่ 2	238.45	24.01	1.14	2.72	7.77	18.50	237.31	16.24	3767	1804	5	21	842	962	2291	740
บ่อที่ 3	250.99	25.47	4.61	10.98	7.56	18.00	246.38	17.91	3911	1990	10	42	1425	565	1345	448
บ่อที่ 4	242.92	24.65	0.99	2.35	0.63	1.50	241.93	23.92	3840	2658	20	84	2452	206	490	356

หมายเหตุ : (1) สารอาหารที่แพลงค์ตอนใช้ได้ (กรัม) = สารอาหารที่สะสมอยู่ในบ่อ (กรัม) - สารอาหารละลายในน้ำ (กรัม)

(2) ปริมาณแพลงค์ตอนที่เกิดขึ้นได้ จะพบว่าฟอสฟอรัสเป็นสารอาหารที่จำกัดการเจริญเติบโต

(3) เหลือแพลงค์ตอนสะสมอยู่ในบ่อ = ปริมาณแพลงค์ตอนที่เกิดขึ้นจากฟอสฟอรัส - ปริมาณแพลงค์ตอนที่กำจัดออก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อาหารในการเจริญเติบโต ดังนั้นจึงเป็นการกำจัดของเสียที่มีอยู่ในบ่อออกไปได้มากด้วยเช่นกัน และในที่สุดบ่อที่ 4 จึงมีปริมาณของเสียต่างๆ เหลือสะสมอยู่น้อยที่สุด ส่วนบ่อที่ 3 และ 2 มีปริมาณของเสียสะสมอยู่ในบ่อมากขึ้นตามลำดับ เนื่องจากมีระดับการกำจัดแพลงค์ตอนออกจากบ่อน้อยลงนั้นเอง (อัตราส่วนในการหมุนเวียนน้ำ 10 และ 5 % ของน้ำในบ่อที่ 3 และ 2 ตามลำดับ)

จากปริมาณของเสียที่เหลืออยู่ในน้ำของบ่อเลี้ยงปลาทั้ง 4 บ่อ ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ทั้งจากค่าที่วิเคราะห์ได้จริงในตารางที่ 4.39 และจากค่าที่ได้จากการคำนวณในตารางที่ 4.41 และ 4.42 จึงสามารถสรุปได้ว่าบ่อที่ 4 ซึ่งมีอัตราส่วนในการหมุนเวียนน้ำ 20 % ของน้ำในบ่อ มีประสิทธิภาพสูงที่สุดในการควบคุมให้มีการสะสมของเสียต่างๆ ในบ่อน้อยที่สุด และยังเป็นการเพิ่มความสกปรกให้กับแหล่งน้ำหรือเกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้น้อยกว่าบ่ออื่นๆ ด้วย ถ้ามีการปล่อยน้ำในบ่อทิ้งไปโดยไม่ได้มีการปรับปรุงคุณภาพก่อน และบ่อที่ 3 และ 2 มีประสิทธิภาพรองลงมา ส่วนบ่อที่ 1 ซึ่งเป็นบ่อควบคุมมีประสิทธิภาพต่ำที่สุด

4.5 ประสิทธิภาพของถังกรองทรายแบบไหลไม่ต่อเนื่องในการกำจัดสารต่างๆ

จากแนวคิดของงานวิจัยในการปรับปรุงคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลา ด้วยวิธีการลดการสะสมของเสียที่มีอยู่ในบ่อให้เหลือน้อยที่สุด และจากการที่แพลงค์ตอนพืชใช้ของเสียในบ่อ (ไนโตรเจน, ฟอสฟอรัส, คาร์บอน) เป็นอาหารในการเจริญเติบโต ดังนั้นการกำจัดแพลงค์ตอนที่มีอยู่ในน้ำออกจึงเป็นการกำจัดของเสียที่มีอยู่ในบ่อออกไปด้วย เพราะฉะนั้นจากแนวคิดดังกล่าวนี้ ในงานวิจัยจึงเลือกใช้ระบบถังกรองทรายแบบไหลไม่ต่อเนื่อง ซึ่งเป็นวิธีการหนึ่งที่มีความสามารถในการกำจัดแพลงค์ตอนออกจากน้ำได้อย่างสมบูรณ์ และเพื่อที่จะให้ทราบถึงผลของการทำงานของระบบถังกรองทรายฯ ในการกำจัดสารต่างๆ ที่มีอยู่ในน้ำ จึงได้ทำการเก็บตัวอย่างน้ำทั้งก่อนเข้าถังกรองและหลังจากผ่านถังกรองแล้วมาวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ และท้ายสุดจึงทำการวิเคราะห์ข้อมูลหาประสิทธิภาพของถังกรองทรายฯ ทั้ง 3 ใบ ในการกำจัดสารต่างๆ ซึ่งได้สรุปไว้ในตารางที่ 4.44

จากผลการทำงานของระบบถังกรองทรายแบบไหลไม่ต่อเนื่องในการกำจัดสารต่างๆ ซึ่งจะเห็นว่าถังกรองทั้ง 3 ใบ มีความสามารถในการกำจัดของแข็งแขวนลอยออกจากน้ำได้เกือบ 100 % โดยถังกรองใบที่ 2, 3 และ 4 มีประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยเท่ากับ 98.94, 96.11 และ 96.49 % ตามลำดับ และประสิทธิภาพในการกำจัดไนไตรท์โดยถังกรองใบที่ 2, 3 และ 4 เท่ากับ 43.84, 30.73 และ 66.60 % ตามลำดับ ส่วนพารามิเตอร์หรือสารตัวอื่นๆ ในตารางที่ 4.44 จะเห็นว่าถังกรองทรายฯ มีความสามารถในการกำจัดได้ต่ำ หรือไม่สามารถกำจัดได้แต่กลับเพิ่มปริมาณของสารนั้นๆ ให้กับน้ำออกจากถังกรองมากขึ้นด้วย เช่น ประสิทธิภาพในการลดหรือกำจัดค่าแอมโมเนียของถังกรองใบที่ 2, 3 และ 4 มีค่าเท่ากับ -2.11, -63.58 และ -51.73 % ตามลำดับ จากค่าที่ได้นี้จะเห็นว่าเป็นค่าลบ ซึ่งแสดงได้ว่าถังกรองทั้ง 3 ใบ ไม่สามารถลด

หรือกำจัดแอมโมเนียออกจากน้ำได้ แต่กลับเพิ่มแอมโมเนียในน้ำออกที่ผ่านถังกรองมาแล้วให้มีปริมาณมากกว่าน้ำก่อนเข้าถังกรอง

ตารางที่ 4.44 ประสิทธิภาพเฉลี่ยในการกำจัดสารต่างๆ ของระบบถังกรองทรายแบบไหลไม่ต่อเนื่อง

พารามิเตอร์	ถังกรองทรายแบบไหลไม่ต่อเนื่อง		
	ใบที่ 2	ใบที่ 3	ใบที่ 4
1. แอมโมเนีย	-2.11	-63.58	-51.73
2. ไนไตรท์	43.84	30.73	66.60
3. ไนเตรท	-115.08	54.30	-30.01
4. ทีเคเอ็น	12.73	5.04	-4.27
5. ฟอสฟอรัสทั้งหมด	18.17	-14.23	-6.40
6. ของแข็งแขวนลอย	98.94	96.11	96.49
7. ซีโอดีละลายน้ำ	19.14	6.83	6.52

ดังนั้นเมื่อทำการเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพในการกำจัดสารต่างๆ ของถังกรองทั้ง 3 ใบ โดยภาพรวม จะสามารถสรุปได้ว่าถังกรองใบที่ 2 มีประสิทธิภาพในการกำจัดสารต่างๆ ออกจากน้ำได้ดีที่สุด รองลง

มาคือถังกรองใบที่ 4 และ 3 แต่เมื่อพิจารณาเฉพาะความสามารถในการกำจัดของแข็งแขวนลอยจะพบว่าถังกรองทั้ง 3 ใบ มีประสิทธิภาพสูงมากและไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญโดยมีประสิทธิภาพเฉลี่ยเท่ากับ 98.94, 96.11 และ 96.49 % ของถังกรองใบที่ 2, 3 และ 4 ตามลำดับ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย