

บทที่ 4

ผลการวิจัยและการวิจารณ์ผล

4.1 การดำเนินการทดลอง

ในการทำวิจัยครั้งนี้ ได้ติดตั้งวัสดุอุปกรณ์ที่บริเวณระบบบำบัดน้ำเสียรวมของศูนย์การค้า มาบุญครองเซ็นเตอร์ โดยในช่วงแรกได้ติดต่อขอใช้สถานที่ติดตั้งระบบ เตรียมพื้นที่ จัดหาวัสดุ อุปกรณ์ เตรียมสารเคมี สอบเทียบเครื่องมือ เริ่มดำเนินการตั้งแต่ต้นเดือนกุมภาพันธ์ 2546

หลังจากที่ได้ติดตั้งอุปกรณ์เสร็จเรียบร้อยแล้ว จึงนำเชื้อแบคทีเรียที่เป็นเชื้อฟิเอโอ มาจากการทำวิจัยของณัฐพันธ์ กลิ่นเกษร (2545) ผสมกับเชื้อแบคทีเรียที่มีความคุ้นเคยกับน้ำเสียจากศูนย์การค้ามาบุญครองเซ็นเตอร์ที่หลีกเลี่ยงจากการทำวิจัยของปริยานุช แสนโคตร (2545) นำมาเลี้ยงรวมกับเชื้อแบคทีเรียที่มาจากถังตกตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสียของศูนย์การค้ามาบุญครองเซ็นเตอร์ ที่ความเข้มข้นของเอ็มแอลเอสเอสเริ่มต้นประมาณ 4,000 มก./ล.

วันที่ 18 มีนาคม 2546 ทดสอบระบบ (Test Run) ด้วยน้ำเปล่า 1 วัน หลังจากนั้นดำเนินการทดลองใช้น้ำเสียจริงแต่ไม่ได้อยู่ระยะบวมทั้งเป็นเวลา 2 วัน เพื่อให้เชื้อแบคทีเรียปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อม

โดยคุณสมบัติของน้ำเสียเข้าระบบตลอดทั้งการทดลอง เป็นดังตารางที่ 4-1

ตารางที่ 4-1 แสดงคุณสมบัติของน้ำเสียเข้าระบบตลอดทั้งการวิจัย

พารามิเตอร์	หน่วย	การทดลองที่ 1			การทดลองที่ 2			การทดลองที่ 3			การทดลองที่ 4		
		เฉลี่ย	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย	สูงสุด	ต่ำสุด
ซีไอดี	มก./ล.	539	694	397	447	627	293	552	840	340	570	952	390
ฟอสฟอรัส	มก./ล.	10.1	15.2	7.4	10.1	16.6	4.2	10.5	14.3	6.1	10.6	16.7	7.2
ทีเคเอ็น	มก./ล.	54.9	61.0	45.0	51.1	60.0	43.0	47.1	60.0	37.0	54.5	63.0	45.0
ไนเตรท	มก./ล.	0.04	0.06	0.02	0.13	0.17	0.08	0.00	0.00	0.00	0.35	0.50	0.17
ไนไตรท์	มก./ล.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
พีเอช	-	7.04	7.25	6.94	7.02	7.25	6.78	6.96	7.26	6.69	6.80	7.15	6.43
สภาพต่าง	มก./ล.	218	254	185	228	252	208	216	248	167	224	252	180
กรดไขมันระเหย	มก./ล.	112	149	78	121	135	101	120	180	76	125	184	104
อุณหภูมิ	°เซลเซียส	29.5	29.6	29.4	29.2	29.4	28.9	29.4	29.6	29.2	29.4	29.6	29.1
ออกซิเจนละลาย	มก./ล.	0.31	0.48	0.15	0.19	0.30	0.10	0.14	0.19	0.10	0.14	0.18	0.10

จากตารางที่ 4-1 จะเห็นว่าน้ำเสียที่เข้าระบบไม่คงที่ ขึ้นอยู่กับกิจกรรมของศูนย์การค้าในแต่ละวัน โดยในงานวิจัยครั้งนี้มีแผนการการดำเนินการดังนี้

แผนการทดลองในระยะที่ 1 ทำการทดลองพร้อมกัน 2 ชุดการทดลอง เพื่อหาค่าระยะเวลาที่เก็บทางชลศาสตร์ในถังแอโรบิกที่น้อยที่สุดระหว่าง 2 และ 4 ชั่วโมง ที่ระบบสามารถดำเนินการได้ หลังจากเริ่มเดินระบบได้ 20 วัน (วันที่ 10 เมษายน 2546) พบว่าค่าแรงดันของเครื่องสูบน้ำที่จากเมมเบรนในการทดลองที่มีระยะเวลากักเก็บทางชลศาสตร์ในถังแอโรบิก 2 ชั่วโมงสูงมาก ต้องล้างด้วยน้ำประปาที่ขึ้นทุก 2 วัน ขณะที่ค่าเอ็มแอลเอสเอสในถังแอโรบิกของทั้งสองการทดลองมีค่าใกล้เคียงกัน

เมื่อพิจารณาคุณภาพน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัด ของระบบที่มีระยะเวลากักเก็บทางชลศาสตร์ของถังแอโรบิก 2 ชั่วโมง พบว่าคุณภาพน้ำทิ้งต่ำกว่าคุณภาพน้ำทิ้งจากการทดลองของชุดระยะเวลากักเก็บทางชลศาสตร์ของถังแอโรบิก 4 ชั่วโมง

จึงได้หยุดการเดินระบบของการทดลองชุดที่มีระยะเวลากักเก็บทางชลศาสตร์ 2 ชั่วโมง เนื่องจากลักษณะการวางชุดเมมเบรนในระบบไม่เหมาะสม (รายละเอียดจะกล่าวในข้อ 4.7) หลังจากเดินระบบได้ 20 วัน ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของการทดลอง เป็นดังตารางที่ 4-2 และ 4-3

ตาราง 4-2 ค่าพารามิเตอร์ของการทดลองที่ระยะเวลากักเก็บทางชลศาสตร์ในถังแอนน็อกซิก แอนแอโรบิก และแอโรบิก 2 ชม., 2 ชม. และ 2 ชม. ตามลำดับ

ค่าพารามิเตอร์	น้ำเสียเข้า	แอนน็อกซิก	แอนแอโรบิก	แอโรบิก	น้ำทิ้ง
พีเอช	7.00	7.39	7.44	7.28	7.28
ออกซิเจนละลาย (มก./ล.)	0.27	0.00	0.00	4.00	1.58
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	29.5	31.1	31.1	30.1	30.0
ซีโอดี (มก./ล.)	579	156	164	116	85
ทีเคเอ็น (มก./ล.)	56	4.7	7.5	6.0	5.2
ไนโตรเจน (มก./ล.)	0.00	0.08	0.01	0.23	0.23
ไนเตรท (มก./ล.)	0.0	0.3	0.1	0.8	0.9
ฟอสฟอรัส (มก./ล.)	10.8	8.0	9.9	4.7	4.1
สภาพต่าง (มก./ล.)	227	108	157	119	118
กรดไขมันระเหย (มก./ล.)	125	78	78	56	54
เอสเอส (มก./ล.)	222	4,183	4,282	4,315	0
วีเอสเอส (มก./ล.)	198	3,765	3,822	3,838	0

ตาราง 4-3 แสดงการวิเคราะห์ทางเมมเบรน

ค่าพารามิเตอร์	หน่วย	ค่าที่ได้
อัตราการไหลเฉลี่ย	ล./วัน	108
ค่าฟลักซ์เฉลี่ย	ล./ตร.ม.-ชม	15
ค่าแรงดันเฉลี่ย	กิโลปาสคาล	45
หน่วยไฟฟ้าเฉลี่ย	หน่วยต่อวัน	1.7

ดังนั้นในการทดลองระยะที่ 1 จึงเลือกการทดลองระบบที่มีระยะเวลาเก็บทางชลศาสตร์ในถังแอนนอซิก เป็น 2 ชั่วโมง ถังแอนแอโรบิก เป็น 2 ชั่วโมง และถังแอโรบิก เป็น 4 ชั่วโมง เมื่อเดินระบบเป็นเวลา 67 วัน ผลการทดลองพบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีได้ร้อยละ 95 สามารถกำจัดที่เคเอ็นที่สภาวะคงตัวร้อยละ 91 และประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสได้ร้อยละ 92 ระบบมีเอ็มแอลเอสเฉลี่ย 4,789 มก./ล. ส่วนค่าทางสถิติของพารามิเตอร์ที่สำคัญอื่น ๆ แสดงไว้ในตารางที่ 4-4 และรูปที่ 4-1

การทดลองระยะที่ 2 เลือกค่าระยะเวลาเก็บทางชลศาสตร์ของถังแอโรบิกที่ให้ประสิทธิภาพการบำบัดที่เหมาะสมที่สุดจากการทดลองที่ 1 และหาค่าระยะเวลาเก็บทางชลศาสตร์ ของถังแอนแอโรบิก และในถังแอนนอซิกที่น้อยที่สุดที่ระบบสามารถดำเนินการได้ จึงเลือกใช้ค่าระยะเวลาเก็บทางชลศาสตร์ถึงละ 1 ชั่วโมง เนื่องจากใช้ผลการทดลองของในระยะที่ 1 มีความเป็นไปได้ที่จะลดระยะเวลาเก็บทางชลศาสตร์ลงมากกว่านี้ จึงลดลงให้ถึงค่าที่ต่ำที่สุดที่คาดว่าจะดำเนินการได้ เมื่อเดินระบบเป็นเวลา 39 วัน ผลการทดลองพบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีได้ร้อยละ 92 สามารถกำจัดที่เคเอ็นที่สภาวะคงตัวร้อยละ 86 และประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสได้ร้อยละ 62 ระบบมีเอ็มแอลเอสเฉลี่ย 4,969 มก./ล. ส่วนค่าทางสถิติของพารามิเตอร์ที่สำคัญอื่น ๆ แสดงไว้ในตารางที่ 4-4 และรูปที่ 4-1

การทดลองระยะที่ 3 เลือกระยะเวลาเก็บทางชลศาสตร์ของถังแอโรบิกที่ให้ประสิทธิภาพการบำบัดที่เหมาะสมที่สุดจากการทดลองที่ 1 และหาค่าระยะเวลาเก็บทางชลศาสตร์ถึงแอนแอโรบิกและถังแอนนอซิกที่น้อยที่สุดที่ระบบสามารถดำเนินการได้ จากผลการทดลองในระยะที่ 2 ระบบไม่สามารถกำจัดฟอสฟอรัสได้อย่างมีประสิทธิภาพ เมื่อพิจารณาความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในถังแอนแอโรบิก พบว่าระบบมีการคายฟอสฟอรัสออกมาได้น้อย จึงคาดว่าระยะเวลาเก็บทางชลศาสตร์ของถังแอนแอโรบิกน้อยเกินไป ขณะที่ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนอยู่ใน

เกณฑ์ที่ดี จึงเลือกระยะเวลาเก็บทางชลศาสตร์ในถังแวนนอกซิกยังคงเป็น 1 ชั่วโมง และเพิ่มระยะเวลาเก็บทางชลศาสตร์ในถังแวนแอโรบิกเป็น 2 ชั่วโมงเท่ากับที่ดำเนินการในการทดลองชุดที่ 1 หลังจากเดินระบบเป็นเวลา 39 วัน ผลการทดลองพบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีได้ร้อยละ 93 สามารถกำจัดที่เคเอ็นที่สภาวะคงตัวร้อยละ 90 และประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสได้ร้อยละ 73 ระบบมีเอ็มแอลเอสเอสเฉลี่ย 4,714 มก./ล. ส่วนค่าทางสถิติของพารามิเตอร์ที่สำคัญอื่น ๆ แสดงไว้ในตารางที่ 4-4 และรูปที่ 4-1

การทดลองระยะที่ 4 เลือกระยะเวลาเก็บของถังแอโรบิกที่ให้ประสิทธิภาพการบำบัดที่เหมาะสมที่สุดจากการทดลองที่ 1 และหาค่าระยะเวลาเก็บทางชลศาสตร์ถังแวนแอโรบิกและถังแวนนอกซิกที่น้อยที่สุดที่ระบบสามารถดำเนินการได้ จากการทดลองในระยะที่ 3 ระบบก็ยังไม่สามารถกำจัดฟอสฟอรัสได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งเมื่อพิจารณาคุณภาพน้ำที่ออกจากถังแวนแอโรบิก พบว่าการคายฟอสฟอรัสยังเกิดได้น้อยกว่าการทดลองชุดที่ 1 และความเข้มข้นของไนเตรทที่ออกจากถังแวนนอกซิกมีค่าสูงกว่า จึงเพิ่มระยะเวลาเก็บในถังแวนนอกซิก เพื่อลดผลกระทบเนื่องจาก ไนเตรทในการถังแวนแอโรบิก และการคายฟอสฟอรัสอาจพอเพียงที่ระยะเวลาเก็บ 1 ชั่วโมง จึงเลือกให้ระยะเวลาเก็บทางชลศาสตร์ของถังแวนนอกซิก ถังแวนแอโรบิก และถังแอโรบิก เป็น 2 ชั่วโมง 1 ชั่วโมง และ 4 ชั่วโมง ตามลำดับ หลังจากเดินระบบเป็นเวลา 37 วัน ผลการทดลองพบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีได้ร้อยละ 95 สามารถกำจัดที่เคเอ็นที่สภาวะคงตัวร้อยละ 90 และประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสได้ร้อยละ 70 ระบบมีเอ็มแอลเอสเอสเฉลี่ย 4,944 มก./ล. ส่วนค่าทางสถิติของพารามิเตอร์ที่สำคัญอื่น ๆ แสดงไว้ในตารางที่ 4-4 และรูปที่ 4-1

ตารางที่ 4-4 ค่าทางสถิติที่สำคัญของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในการทดลอง ที่สภาวะคงตัว

พารามิเตอร์	การทดลอง	ค่าทางสถิติ	น้ำเสียเข้า	แอนนออกซิก	แอนแอโรบิก	แอโรบิก	น้ำทิ้ง
พีเอช	1	ค่าเฉลี่ย	7.08	7.47	7.46	7.31	7.27
		ค่าเบี่ยงเบน	0.12	0.08	0.05	0.16	0.15
		องศาอิสระ	6	6	6	6	6
	2	ค่าเฉลี่ย	6.95	7.38	7.43	7.12	7.12
		ค่าเบี่ยงเบน	0.12	0.09	0.09	0.13	0.12
		องศาอิสระ	6	6	6	6	6
	3	ค่าเฉลี่ย	7.09	7.51	7.58	7.44	7.39
		ค่าเบี่ยงเบน	0.15	0.04	0.07	0.11	0.12
		องศาอิสระ	3	3	3	3	3
	4	ค่าเฉลี่ย	6.79	7.36	7.36	7.23	7.14
		ค่าเบี่ยงเบน	0.32	0.19	0.05	0.14	0.20
		องศาอิสระ	0.27	3	3	3	3
ออกซิเจน ละลาย (มก./ล.)	1	ค่าเฉลี่ย	0.27	0.01	0.00	4.50	1.55
		ค่าเบี่ยงเบน	0.04	0.02	0.00	0.48	0.09
		องศาอิสระ	6	6	6	6	6
	2	ค่าเฉลี่ย	0.19	0.02	0.00	4.12	1.71
		ค่าเบี่ยงเบน	0.07	0.04	0.00	0.20	0.10
		องศาอิสระ	6	6	6	6	6
	3	ค่าเฉลี่ย	0.16	0.02	0.00	4.04	1.60
		ค่าเบี่ยงเบน	0.04	0.01	0.00	0.06	0.05
		องศาอิสระ	3	3	3	3	3
	4	ค่าเฉลี่ย	0.14	0.01	0.00	3.94	1.69
		ค่าเบี่ยงเบน	0.03	0.01	0.00	0.04	0.04
		องศาอิสระ	3	3	3	3	3
อุณหภูมิ (°เซลเซียส)	1	ค่าเฉลี่ย	29.4	31.0	31.0	30.0	30.0
		ค่าเบี่ยงเบน	0.05	0.13	0.16	0.05	0.06
		องศาอิสระ	6	6	6	6	6
	2	ค่าเฉลี่ย	29.3	30.2	30.2	28.7	28.7
		ค่าเบี่ยงเบน	0.07	0.05	0.04	0.05	0.05
		องศาอิสระ	6	6	6	6	6

ตารางที่ 4-4 (ต่อ)

พารามิเตอร์	การทดลอง	ค่าทางสถิติ	น้ำเสียเข้า	แอนนออกซิก	แอนแอโรบิก	แเอโรบิก	น้ำทิ้ง
อุณหภูมิ (°เซลเซียส)	3	ค่าเฉลี่ย	29.5	30.7	30.7	29.7	29.7
		ค่าเบี่ยงเบน	0.10	0.13	0.10	0.06	0.06
		องศาอิสระ	3	3	3	3	3
	4	ค่าเฉลี่ย	29.4	30.9	30.9	29.7	29.7
		ค่าเบี่ยงเบน	0.22	0.08	0.08	0.26	0.33
		องศาอิสระ	3	3	3	3	3
ซีโอดี (มก./ล.)	1	ค่าเฉลี่ย	511	49	57	39	23
		ค่าเบี่ยงเบน	77	32	15	12	8
		องศาอิสระ	6	6	6	6	6
		ค่าเฉลี่ย	436	50	53	37	30
	2	ค่าเบี่ยงเบน	109	10	10	9	9
		องศาอิสระ	6	6	6	6	6
		ค่าเฉลี่ย	421	44	54	36	29
		ค่าเบี่ยงเบน	54	8	8	3	4
	3	องศาอิสระ	3	3	3	3	3
		ค่าเฉลี่ย	475	34	41	29	24
		ค่าเบี่ยงเบน	47	9	9	6	7
		องศาอิสระ	3	3	3	3	3
ทีเคเอ็น (มก./ล.)	1	ค่าเฉลี่ย	54.7	4.3	6.2	2.5	2.3
		ค่าเบี่ยงเบน	5.0	0.7	0.9	0.2	0.2
		องศาอิสระ	6	6	6	6	6
		ค่าเฉลี่ย	48.1	5.4	5.9	2.2	2.0
	2	ค่าเบี่ยงเบน	5.0	0.3	0.1	0.1	0.1
		องศาอิสระ	6	6	6	6	6
		ค่าเฉลี่ย	48.3	6.2	5.7	2.0	1.7
		ค่าเบี่ยงเบน	7.3	0.6	0.2	0.2	0.2
	3	องศาอิสระ	3	3	3	3	3
		ค่าเฉลี่ย	58.5	5.1	6.6	2.9	2.6
		ค่าเบี่ยงเบน	3.3	0.8	0.2	0.1	0.1
		องศาอิสระ	3	3	3	3	3

ตารางที่ 4-4 (ต่อ)

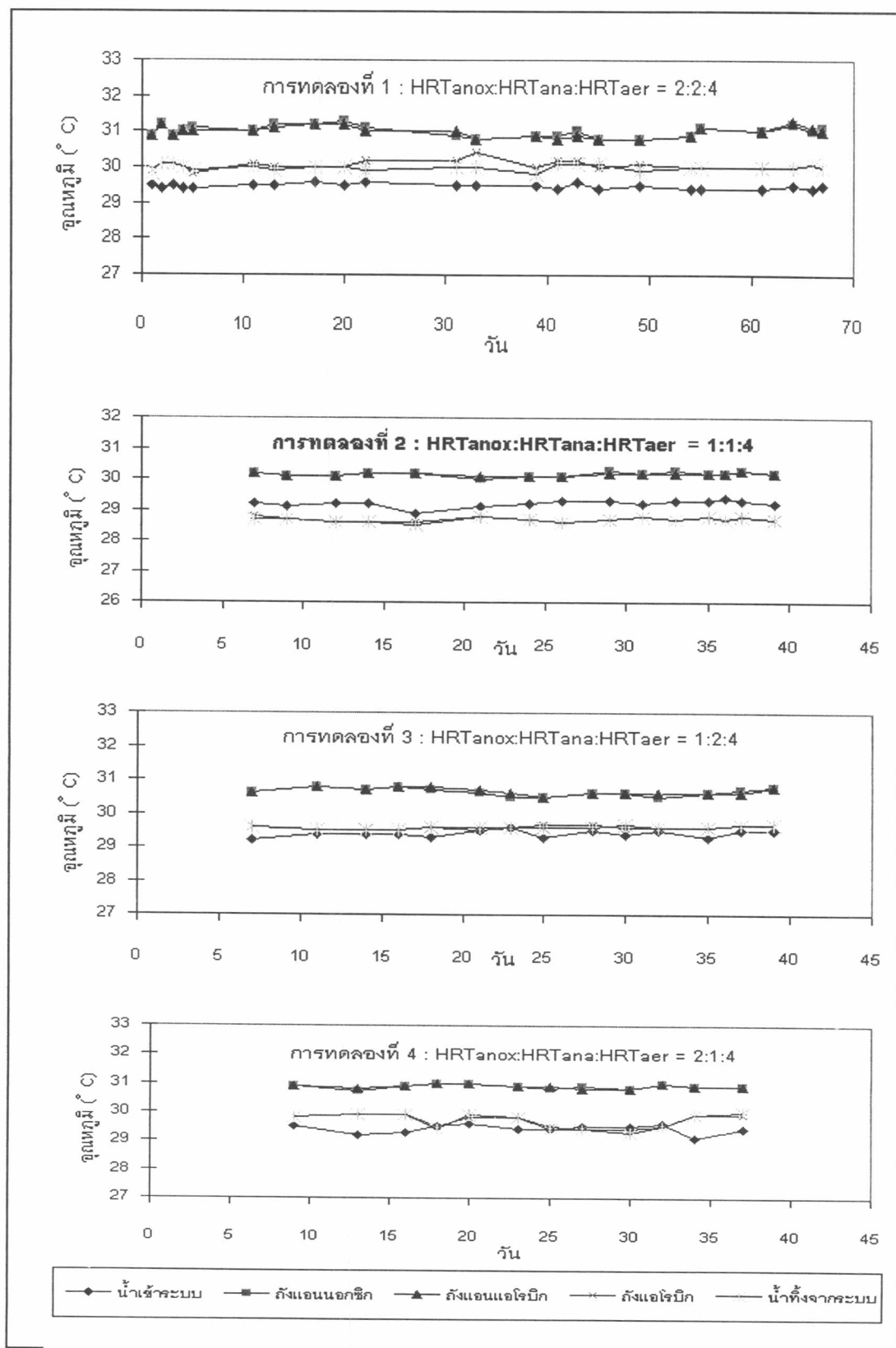
พารามิเตอร์	การทดลอง	ค่าทางสถิติ	น้ำเสียเข้า	แวนนอกซิก	แวนแเอโรบิก	แเอโรบิก	น้ำทิ้ง
ไนไตรท์ (มก./ล.)	1	ค่าเฉลี่ย	0.00	0.11	0.03	0.33	0.26
		ค่าเบี่ยงเบน	0.00	0.01	0.01	0.10	0.05
		องศาอิสระ	6	6	6	6	6
	2	ค่าเฉลี่ย	0.00	0.23	0.08	0.30	0.27
ค่าเบี่ยงเบน		0.00	0.13	0.03	0.04	0.11	
องศาอิสระ		6	6	6	6	6	
3	ค่าเฉลี่ย	0.00	0.38	0.07	0.50	0.43	
	ค่าเบี่ยงเบน	0.00	0.13	0.03	0.00	0.10	
	องศาอิสระ	3	3	3	3	3	
4	ค่าเฉลี่ย	0.00	0.09	0.05	0.28	0.23	
	ค่าเบี่ยงเบน	0.00	0.02	0.02	0.17	0.15	
	องศาอิสระ	3	3	3	3	3	
ไนเตรท (มก./ล.)	1	ค่าเฉลี่ย	0.05	1.23	0.14	2.76	2.50
		ค่าเบี่ยงเบน	0.01	0.08	0.04	0.21	0.18
		องศาอิสระ	6	6	6	6	6
	2	ค่าเฉลี่ย	0.13	3.49	2.07	4.70	4.47
ค่าเบี่ยงเบน		0.03	0.23	0.10	0.15	0.18	
องศาอิสระ		6	6	6	6	6	
3	ค่าเฉลี่ย	0.00	2.28	0.53	3.03	2.78	
	ค่าเบี่ยงเบน	0.00	0.17	0.10	0.13	0.17	
	องศาอิสระ	3	3	3	3	3	
4	ค่าเฉลี่ย	0.35	1.40	0.78	3.40	3.23	
	ค่าเบี่ยงเบน	0.11	0.18	0.10	0.14	0.17	
	องศาอิสระ	3	3	3	3	3	
ฟอสฟอรัส (มก./ล.)	1	ค่าเฉลี่ย	10.1	25.6	34.7	1.0	0.9
		ค่าเบี่ยงเบน	1.8	4.6	4.4	0.1	0.1
		องศาอิสระ	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0
	2	ค่าเฉลี่ย	9.0	10.8	12.9	3.8	3.4
ค่าเบี่ยงเบน		2.5	3.3	2.3	1.2	1.1	
องศาอิสระ		6	6	6	6	6	

ตารางที่ 4-4 (ต่อ)

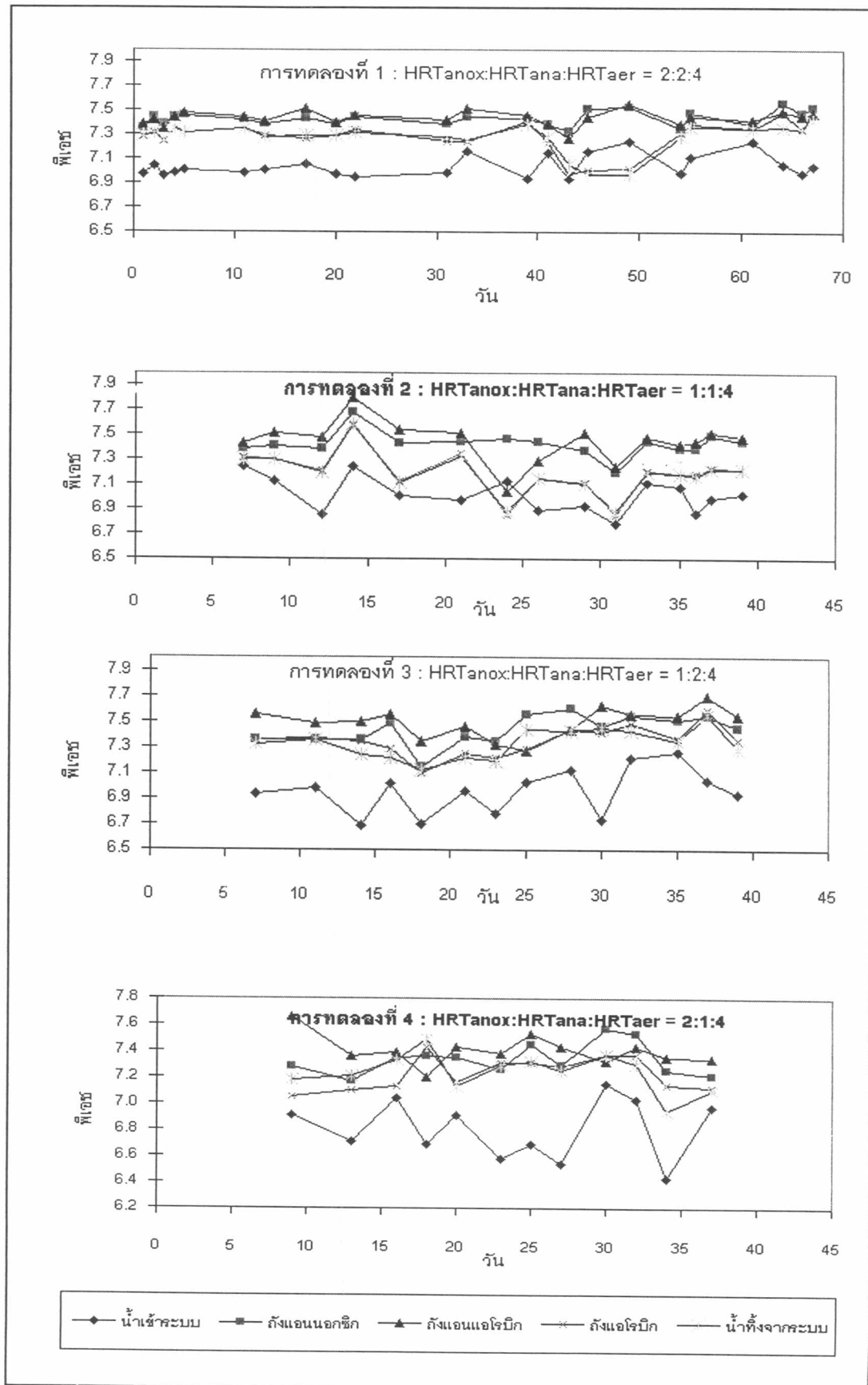
พารามิเตอร์	การทดลอง	ค่าทางสถิติ	น้ำเสียเข้า	แวนนอกซิก	แวนแอโรบิก	แอโรบิก	น้ำทิ้ง
ฟอสฟอรัส (มก./ล.)	3	ค่าเฉลี่ย	11.3	12.4	17.6	3.7	3.1
		ค่าเบี่ยงเบน	3.8	3.0	3.9	0.6	0.5
		องศาอิสระ	3	3	3	3	3
	4	ค่าเฉลี่ย	10.2	14.5	17.5	3.6	3.1
		ค่าเบี่ยงเบน	0.4	1.4	3.0	0.9	0.8
		องศาอิสระ	3	3	3	3	3
สภาพต่าง (มก./ล.)	1	ค่าเฉลี่ย	213	120	177	107	107
		ค่าเบี่ยงเบน	28	23	25	22	21
		องศาอิสระ	6	6	6	6	6
	2	ค่าเฉลี่ย	227	111	138	74	75
		ค่าเบี่ยงเบน	12	10	13	9	8
		องศาอิสระ	6	6	6	6	6
	3	ค่าเฉลี่ย	192	118	162	104	102
		ค่าเบี่ยงเบน	29	13	21	12	9
		องศาอิสระ	3	3	3	3	3
	4	ค่าเฉลี่ย	214	112	145	79	79
		ค่าเบี่ยงเบน	24	22	21	6	11
		องศาอิสระ	3	3	3	3	3
กรดไขมัน ระเหย (มก./ล.)	1	ค่าเฉลี่ย	110	38	34	25	25
		ค่าเบี่ยงเบน	29	5	3	3	3
		องศาอิสระ	6	6	6	6	6
	2	ค่าเฉลี่ย	122	29	35	29	29
		ค่าเบี่ยงเบน	9	2	2	2	1
		องศาอิสระ	6	6	6	6	6
	3	ค่าเฉลี่ย	91	33	35	36	30
		ค่าเบี่ยงเบน	11	1	2	6	4
		องศาอิสระ	3	3	3	3	3
	4	ค่าเฉลี่ย	110	31	35	28	29
		ค่าเบี่ยงเบน	6	2	4	2	4
		องศาอิสระ	3	3	3	3	3

ตารางที่ 4-4 (ต่อ)

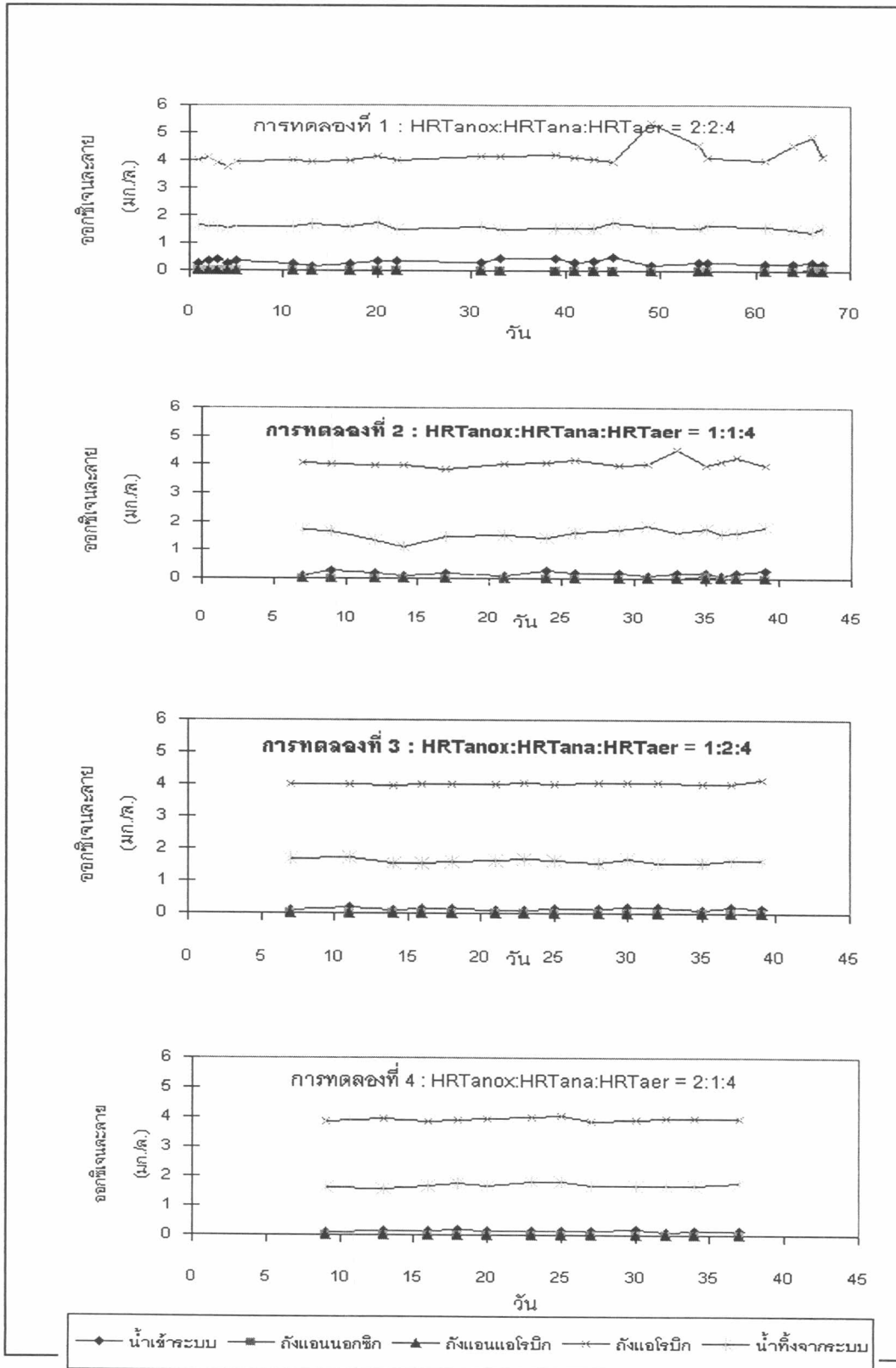
พารามิเตอร์	การทดลอง	ค่าทางสถิติ	น้ำเสียเข้า	แอนนออกซิก	แอนแอโรบิก	แอโรบิก	น้ำทิ้ง
เอ็มแอล เอสเอส และ เอสเอส (มก./ล.)	1	ค่าเฉลี่ย	191	4,640	4,596	4,959	0
		ค่าเบี่ยงเบน	85	90	85	87	0
		องศาอิสระ	6	6	6	6	6
	2	ค่าเฉลี่ย	185	4,680	4,743	5,097	0
		ค่าเบี่ยงเบน	42	29	86	80	0
		องศาอิสระ	6	6	6	6	6
	3	ค่าเฉลี่ย	215	4,338	4,459	4,967	0
		ค่าเบี่ยงเบน	123	48	83	98	0
		องศาอิสระ	3	3	3	3	3
	4	ค่าเฉลี่ย	221	4,858	4,829	5,033	0
		ค่าเบี่ยงเบน	24	77	35	64	0
		องศาอิสระ	3	3	3	3	3
เอ็มแอล วีเอสเอส และ วีเอสเอส (มก./ล.)	1	ค่าเฉลี่ย	176	4,106	3,966	4,433	0
		ค่าเบี่ยงเบน	78	87	91	87	0
		องศาอิสระ	6	6	6	6	6
	2	ค่าเฉลี่ย	172	4,075	4,094	4,412	0
		ค่าเบี่ยงเบน	37	47	88	54	0
		องศาอิสระ	6	6	6	6	6
	3	ค่าเฉลี่ย	193	3,723	3,850	4,289	0
		ค่าเบี่ยงเบน	90	57	74	98	0
		องศาอิสระ	3	3	3	3	3
	4	ค่าเฉลี่ย	216	4,133	4,118	4,266	0
		ค่าเบี่ยงเบน	24	81	31	74	0
		องศาอิสระ	3	3	3	3	3
การวิเคราะห์เมมเบรน							
ค่าพารามิเตอร์	หน่วย	การทดลอง					
		1	2	3	4		
อัตราการไหลเฉลี่ย	ล./วัน	108	107.9	107	107		
ค่าฟลักซ์เฉลี่ย	ล./ลบ.ม.-วัน	360	359.6	356.8	356.7		
ค่าแรงดันเฉลี่ย	กิโลปาสคาล	27.6	34.8	36.9	37.9		
หน่วยไฟฟ้าเฉลี่ย	หน่วยต่อวัน	1.7	1.8	1.8	2.0		



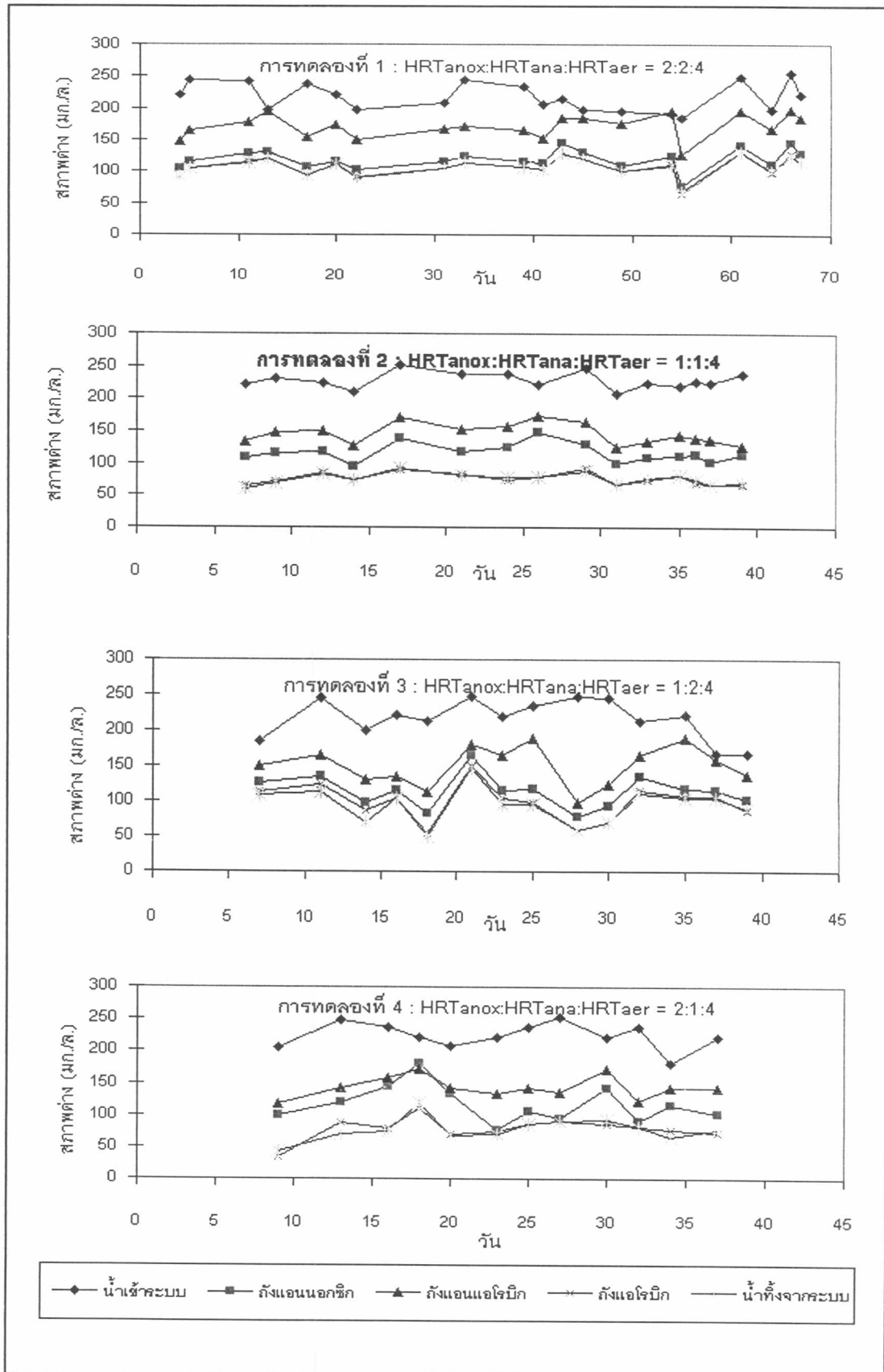
รูปที่ 4-1 ค่าพารามิเตอร์ทั้งหมดในการทดลอง



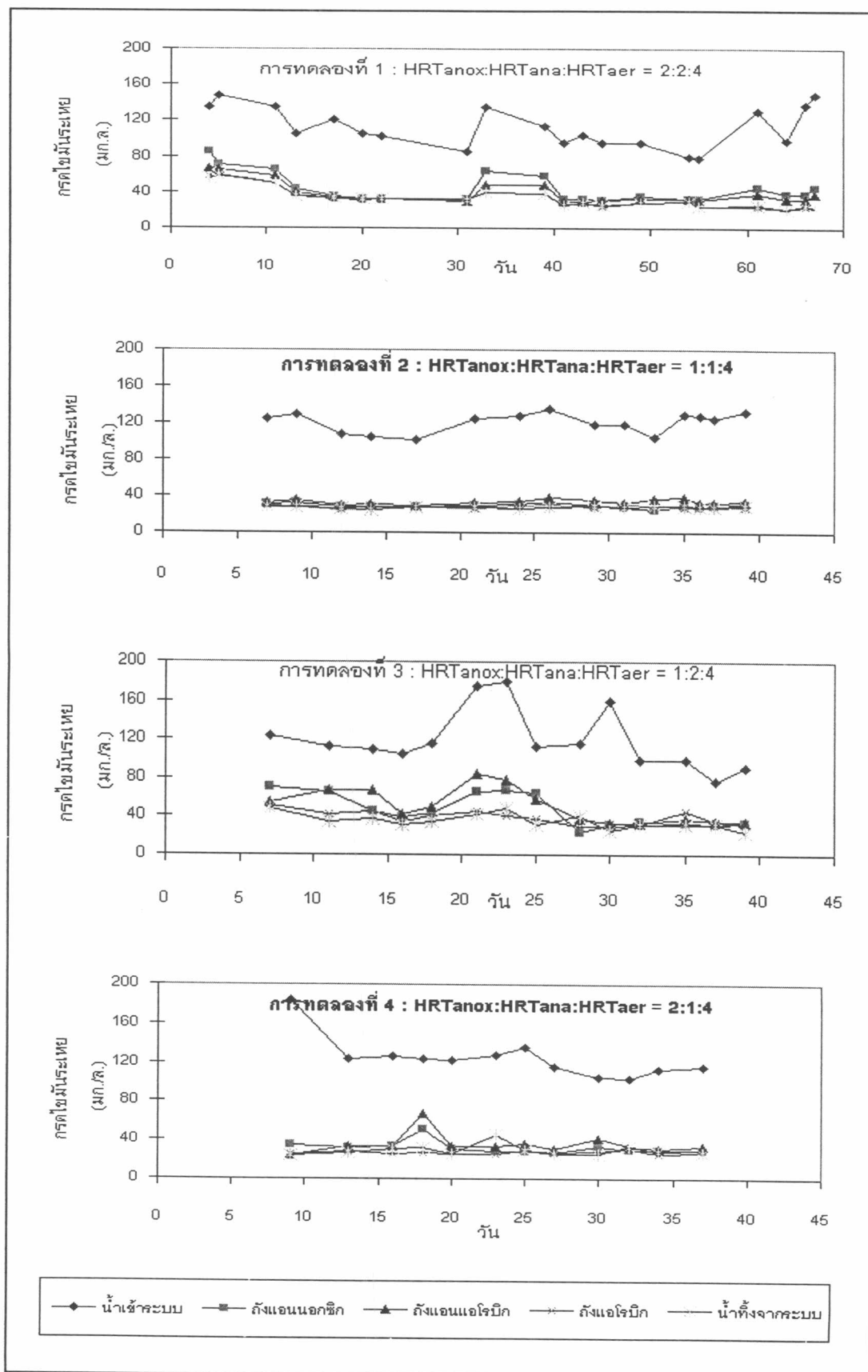
รูปที่ 4-1 ค่าพารามิเตอร์ทั้งหมดในการทดลอง (ต่อ)



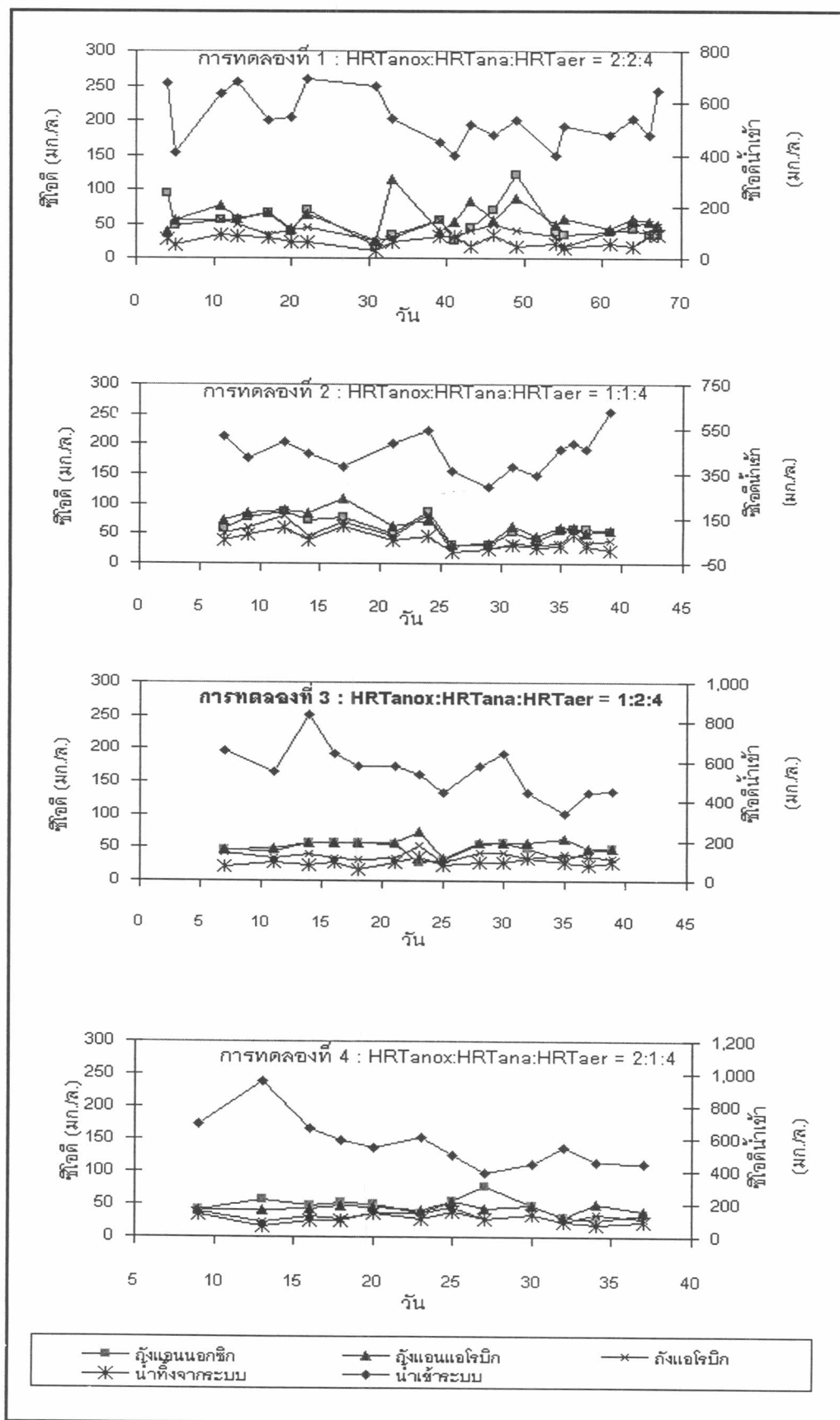
รูปที่ 4-1 ค่าพารามิเตอร์ทั้งหมดในการทดลอง (ต่อ)



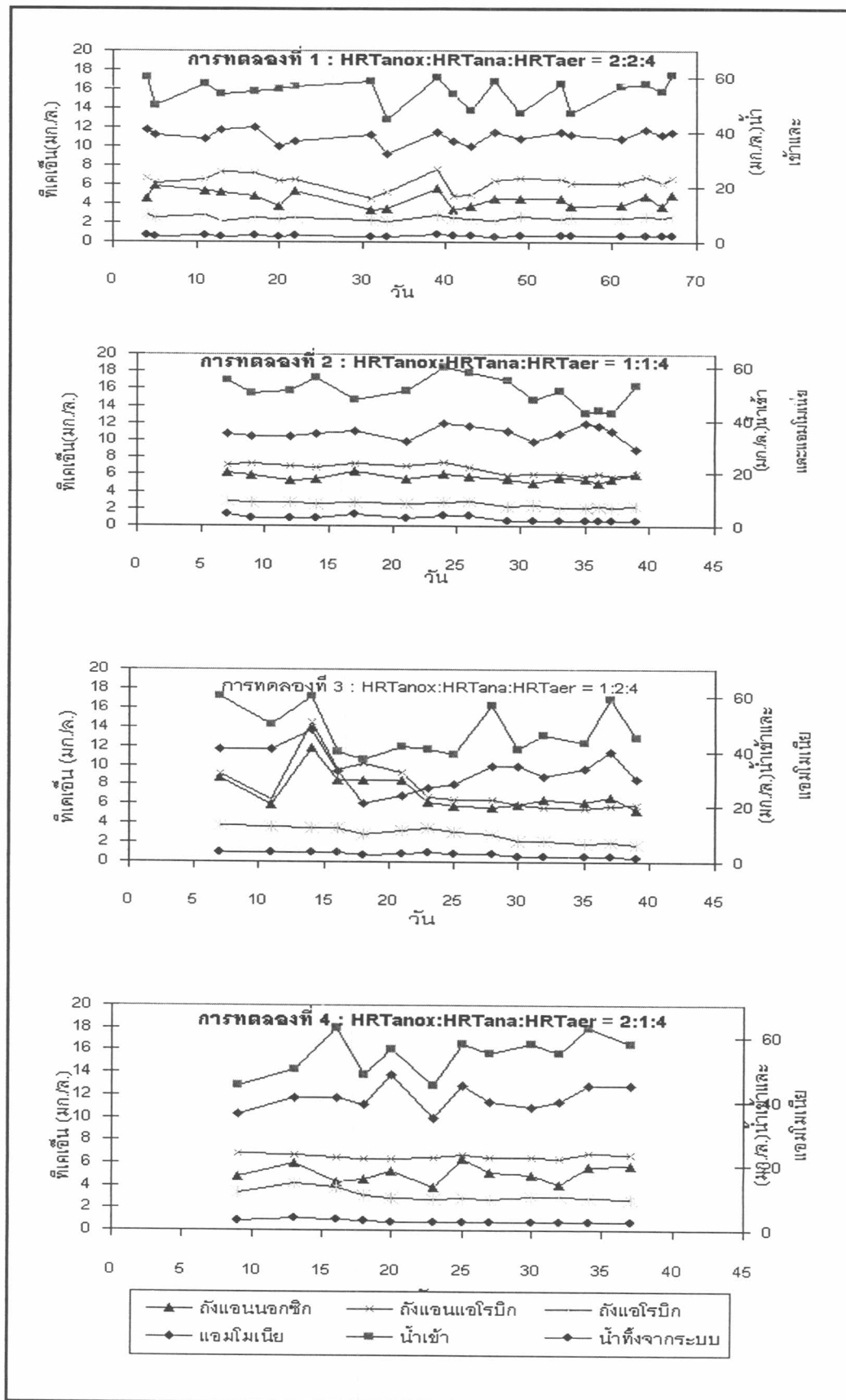
รูปที่ 4-1 ค่าพารามิเตอร์ทั้งหมดในการทดลอง (ต่อ)



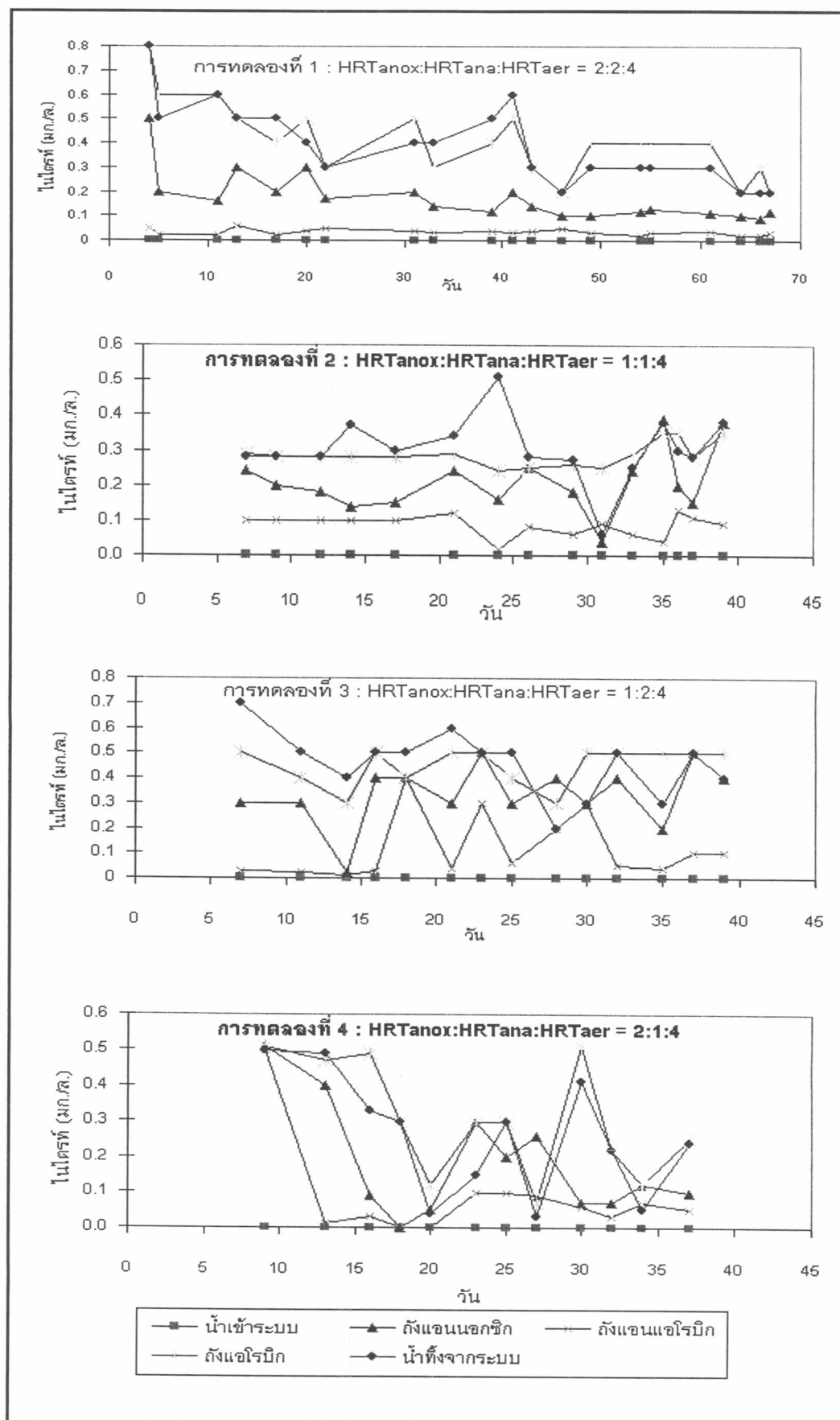
รูปที่ 4-1 ค่าพารามิเตอร์ทั้งหมดในการทดลอง (ต่อ)



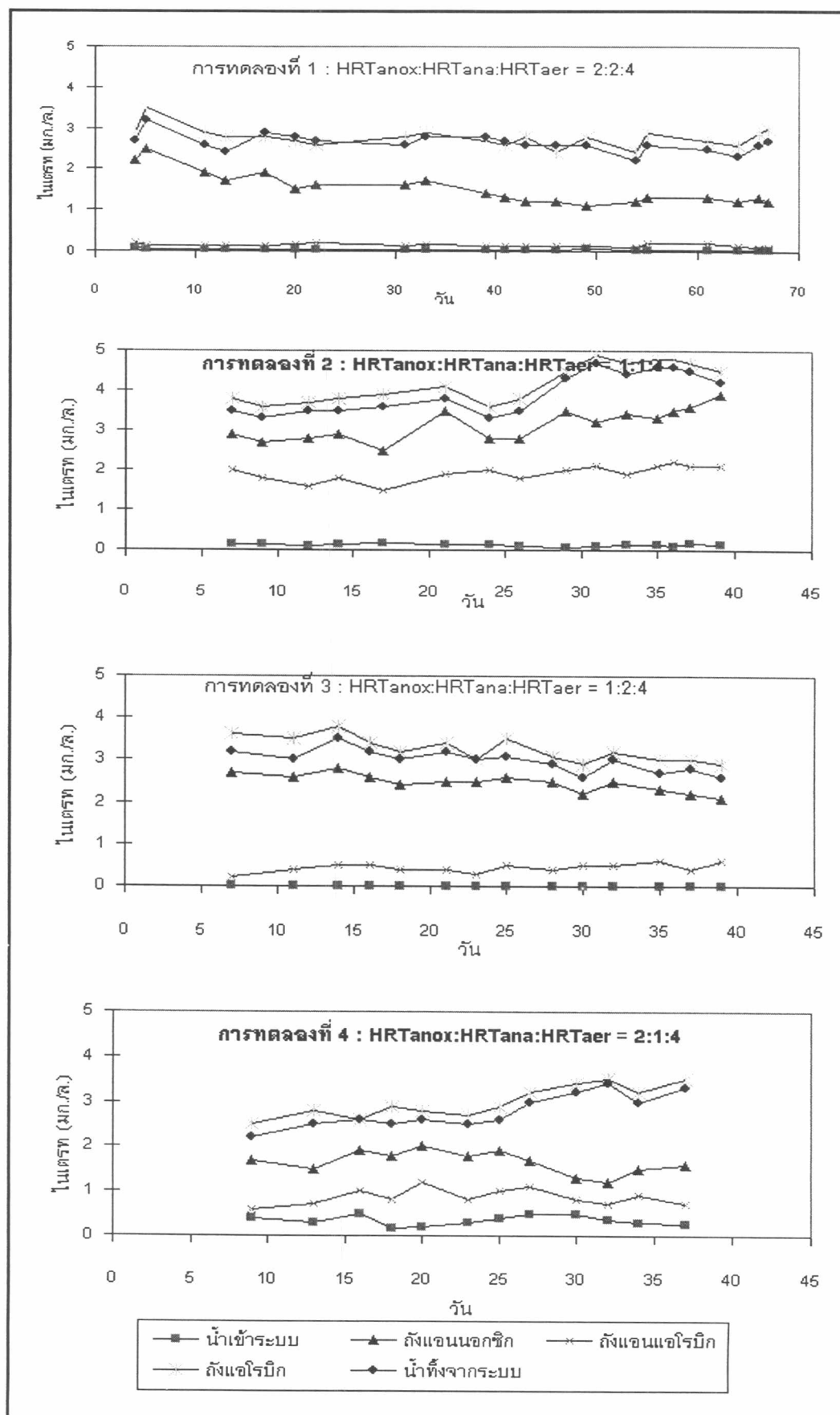
รูปที่ 4-1 ค่าพารามิเตอร์ทั้งหมดในการทดลอง (ต่อ)



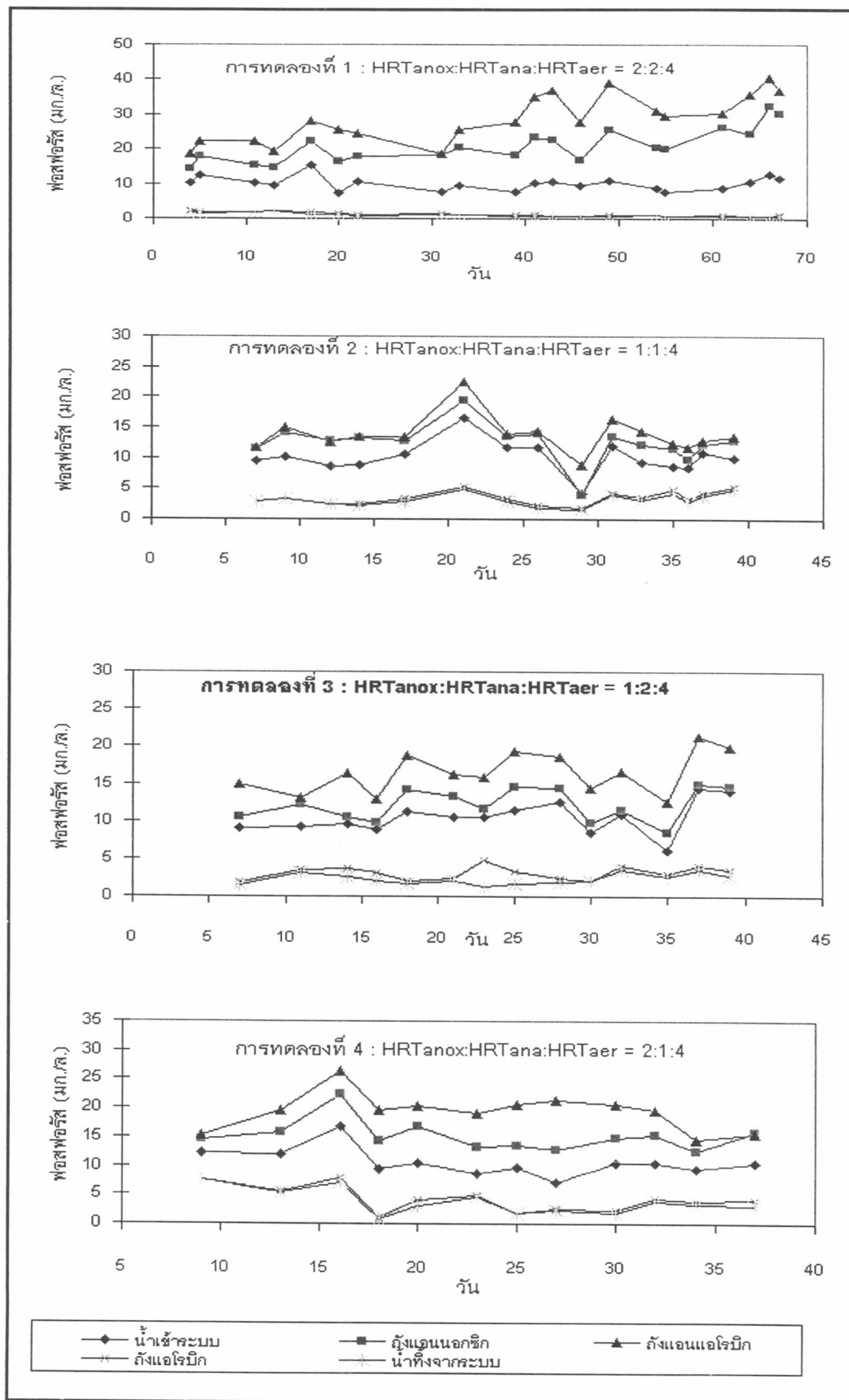
รูปที่ 4-1 ค่าพารามิเตอร์ทั้งหมดในการทดลอง (ต่อ)



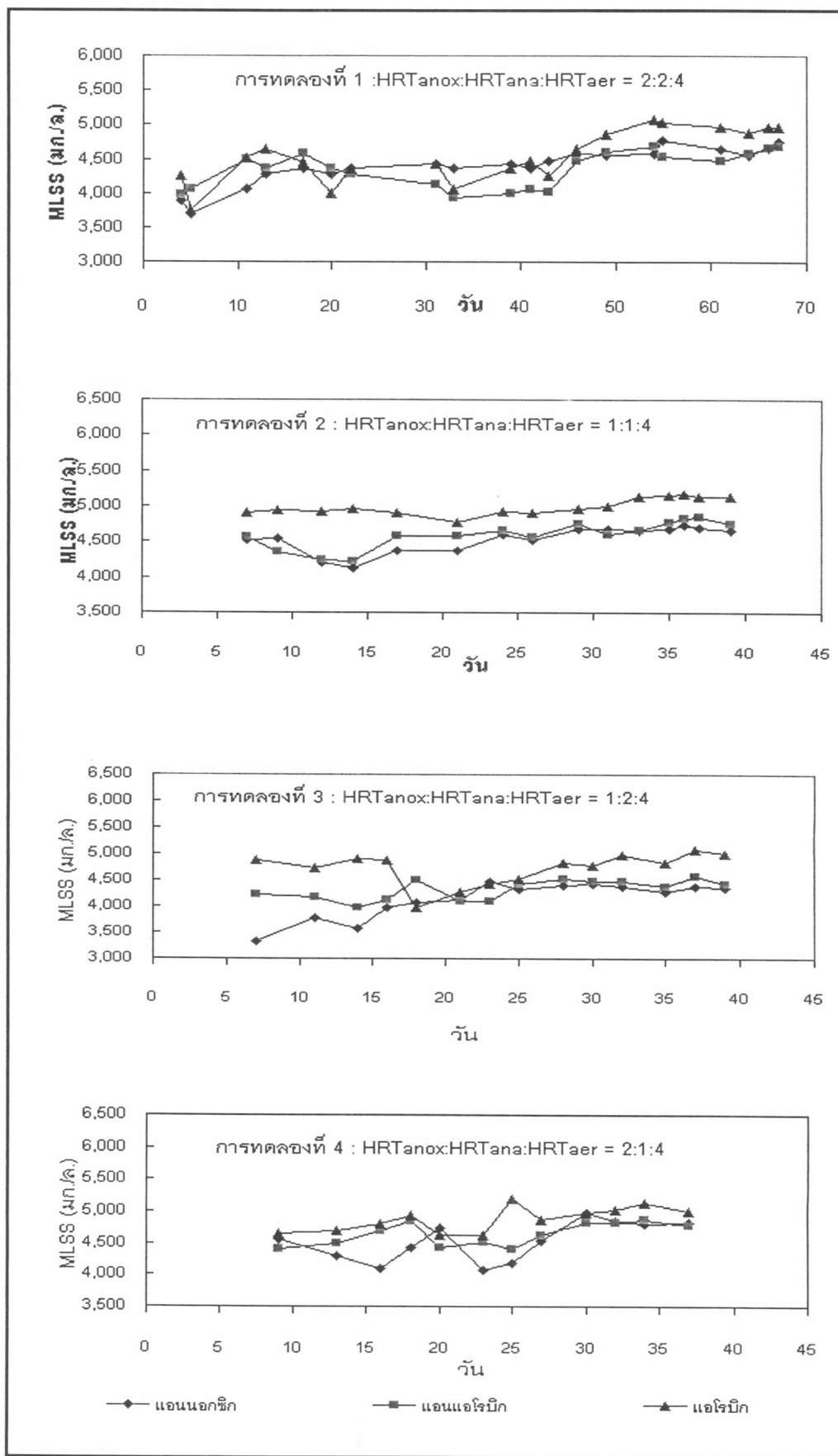
รูปที่ 4-1 ค่าพารามิเตอร์ทั้งหมดในการทดลอง (ต่อ)



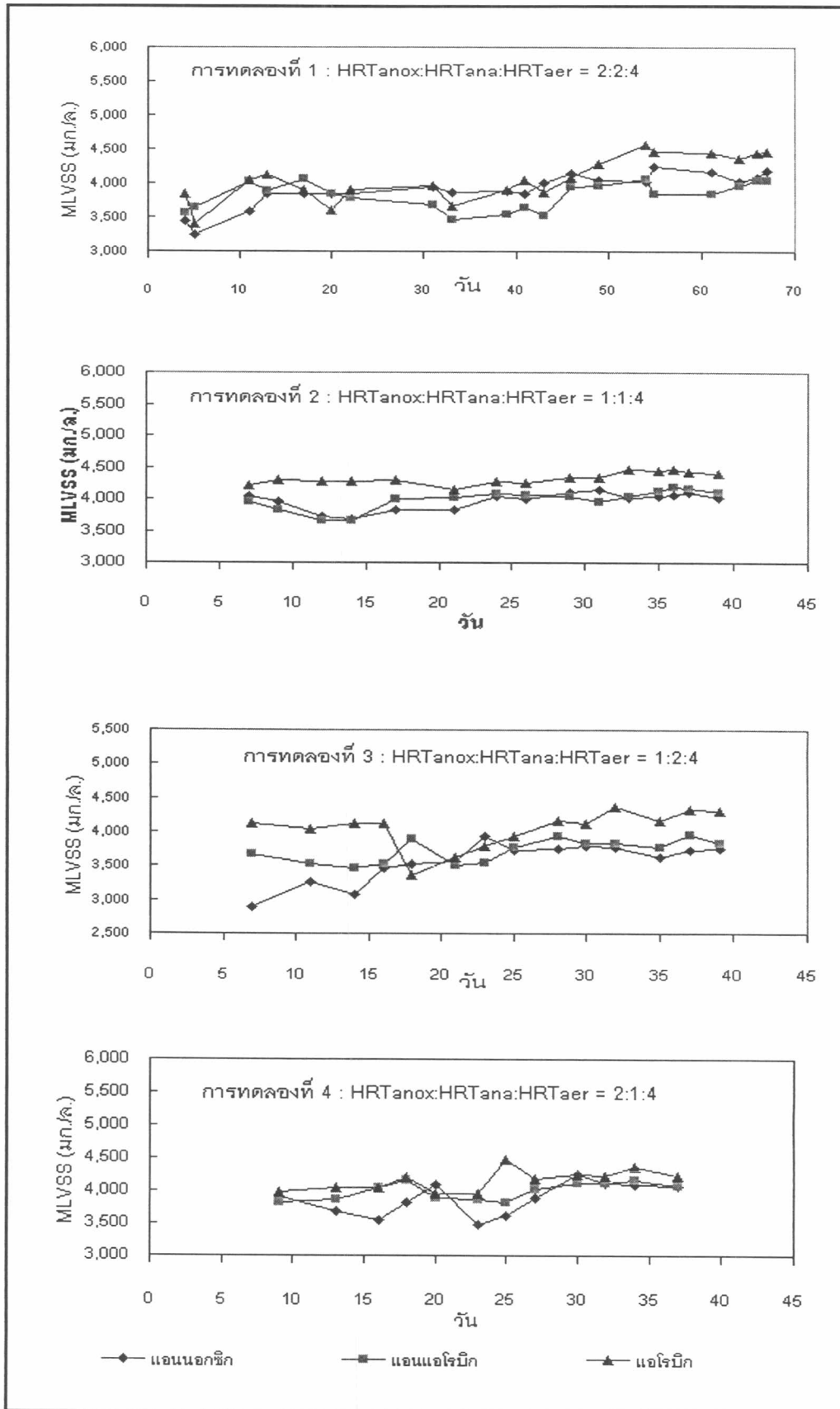
รูปที่ 4-1 ค่าพารามิเตอร์ทั้งหมดในการทดลอง (ต่อ)



รูปที่ 4-1 ค่าพารามิเตอร์ทั้งหมดในการทดลอง (ต่อ)



รูปที่ 4-1 ค่าพารามิเตอร์ทั้งหมดในการทดลอง (ต่อ)



รูปที่ 4-1 ค่าพารามิเตอร์ทั้งหมดในการทดลอง (ต่อ)

4.2 ผลการทดลองและการวิจารณ์ผล

4.2.1 ค่าพีเอช สภาพต่าง และกรดไขมันระเหย

ค่าพีเอชของการทดลองทั้ง 4 ชุด ที่สภาวะคงตัวสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4-5

ตารางที่ 4-5 ค่าพีเอช สภาพต่างและกรดไขมันระเหยที่สภาวะคงตัวในแต่ละถัง

การทดลอง	พารามิเตอร์	น้ำเสียเข้า	แอนนอซิก	แอนแอโรบิก	แอโรบิก	น้ำทิ้ง
1	พีเอช	7.08	7.47	7.46	7.31	7.27
	สภาพต่าง	213	120	177	107	107
	กรดไขมันระเหย	110	38	34	25	25
2	พีเอช	6.95	7.38	7.43	7.12	7.12
	สภาพต่าง	227	111	138	74	75
	กรดไขมันระเหย	122	29	35	29	29
3	พีเอช	7.09	7.51	7.58	7.44	7.39
	สภาพต่าง	192	118	162	104	102
	กรดไขมันระเหย	91	33	35	36	30
4	พีเอช	6.79	7.36	7.36	7.23	7.14
	สภาพต่าง	214	112	145	79	79
	กรดไขมันระเหย	110	31	35	28	29

หมายเหตุ : พารามิเตอร์ทุกตัวมีหน่วยเป็น มก./ล. ยกเว้นค่าพีเอช

จากตารางที่ 4-5 ค่าพีเอชของน้ำเสียที่เข้าระบบมีค่าเป็นกลางถึงกรดเล็กน้อย ซึ่งไม่เป็นอุปสรรคต่อการทำงานของระบบแอกติเวเตดส์สลัดจ์ หรือระบบการกำจัดธาตุอาหาร

ในถังแอนนอซิกค่าพีเอชจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเนื่องจากปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน ทั้งนี้ Barnes และ Bliss (1983) กล่าวว่าค่าพีเอชที่เหมาะสมในสภาวะแอนนอซิกอยู่ระหว่าง 6.5 – 7.5 ซึ่งค่าพีเอชที่เพิ่มขึ้นนี้จะนำไปในทางเดียวกันกับค่าสภาพต่างที่สูงกว่าในถังแอโรบิก และสอดคล้องกับค่ากรดไขมันระเหยที่ลดลงเนื่องจากถูกใช้เป็นตัวรับอิเล็กตรอนในปฏิกิริยานี้เช่นกัน

ในถังแอนแอโรบิกค่าพีเอชยังคงสูงเท่ากับในถังแอนนอซิก เนื่องจากถังปฏิกิริยาก่อนหน้า โดยค่าพีเอชนี้อยู่ระหว่าง 7.36 – 7.51 ของทุกการทดลอง ซึ่งสามารถเกิดการคายฟอสฟอรัสได้ โดย Joen และคณะ (2001) กล่าวว่า การคายฟอสฟอรัสจะเพิ่มขึ้นตามพีเอช ตั้งแต่ 6.0 – 8.5 เมื่อพิจารณาค่าสภาพต่างจะสูงกว่าในถังแอนนอซิก เนื่องจากผลของการแบ่งน้ำเสียที่

เข้าถังแวนแอโรบิกมากกว่าถังแวนออกซิก โดยแบ่งเข้าถังแวนแอโรบิกเป็นร้อยละ 75 ของน้ำเสียเข้า ส่วนค่ากรดไขมันระเหยที่ลดลงเนื่องจากปฏิกิริยาการดูดซึมของแบคทีเรียฟิโอฟิลที่เกิดการคายฟอสฟอรัส และในบางการทดลองค่าที่ลดลงเนื่องจากเกิดจากปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน ดังจะกล่าวในลำดับต่อไป

ในถังแอโรบิกค่าพีเอชลดลงเนื่องจากปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน และผลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ที่เกิดจากปฏิกิริยาการย่อยสลายอาหารของแบคทีเรีย ฟิโอฟิลมีค่าอยู่ในช่วง 7.1 – 7.4 ซึ่งเป็นช่วงค่าที่สามารถเกิดปฏิกิริยาดังกล่าวได้ พิจารณาในแง่การจับใช้ฟอสฟอรัสพบว่าค่าพีเอชอยู่ในช่วงการจับใช้ฟอสฟอรัสได้ ทั้งนี้ Sedlek (1991) กล่าวว่าพีเอชที่เหมาะสมต่อการทำงานของระบบอิมปีฟิอาร์ คือ 7.5 – 8.0 แต่ข้อมูลนี้ก็ขัดแย้งกับ Mcgrath และคณะ (2001) ที่กล่าวว่าพีเอชที่เหมาะสมในสภาวะแอโรบิกเป็น 5.0 - 6.5

4.2.2 ค่าอุณหภูมิและค่าออกซิเจนละลาย

จากการทดลองพบว่าค่าอุณหภูมิและออกซิเจนละลายเป็นดังตารางที่ 4-6 ตารางที่ 4-6 แสดงค่าอุณหภูมิและออกซิเจนละลายที่สภาวะคงตัวในแต่ละถัง

การทดลอง	พารามิเตอร์	น้ำเสียเข้า	แวนออกซิก	แวนแอโรบิก	แอโรบิก	น้ำทิ้ง
1	อุณหภูมิ	29.4	31.0	31.0	30.0	30.0
	ออกซิเจนละลาย	0.27	0.01	0.00	4.50	1.55
2	อุณหภูมิ	29.3	30.2	30.2	28.7	28.7
	ออกซิเจนละลาย	0.19	0.02	0.00	4.12	1.71
3	อุณหภูมิ	29.5	30.7	30.7	29.7	29.7
	ออกซิเจนละลาย	0.16	0.02	0.00	4.04	1.60
4	อุณหภูมิ	29.4	30.9	30.9	29.7	29.7
	ออกซิเจนละลาย	0.14	0.01	0.00	3.94	1.69

หมายเหตุ : หน่วยของอุณหภูมิ เป็น องศาเซลเซียส

หน่วยของออกซิเจนละลาย เป็น มก./ล.

จากตาราง 4-6 จะเห็นว่าอุณหภูมิของระบบมีค่าใกล้เคียงกันในระดับที่ค่อนข้างสูงเนื่องจากระบบตั้งอยู่ที่ชั้นใต้ดินของอาคารศูนย์การค้าบุญครองเซ็นเตอร์ การระบายอากาศไม่สะดวกซึ่งเมื่อวัดอุณหภูมิในถังแวนออกซิกและถังแวนแอโรบิก พบว่าค่าที่วัดได้จะสูงกว่าในถังแอโรบิกประมาณ 1 องศาเซลเซียส เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาชีวเคมี ขณะที่ในถังแอโรบิกที่เกิดขึ้น เนื่องจากแรงเสียดทานของอากาศกับสายยางในท่อจ่ายลม โดยอุณหภูมิที่สูงขึ้นอยู่ในช่วง 30 – 31 องศาเซลเซียส เมื่อพิจารณาในแง่การกำจัดไนโตรเจนทั้งการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันและดีไนตริ

พีเคชั่นแล้ว พบว่าอุณหภูมิไม่เป็นอุปสรรคสำหรับการทำงานทั้งสองปฏิกิริยา ขณะที่พิจารณาในแง่ของประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสของระบบ ค่าอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสต่ำลง จากงานวิจัยที่ผ่านมาของปรียดา เหล่าจารุจินดา (2541) กล่าวว่าที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ระบบมีประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสต่ำกว่าที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส

ค่าออกซิเจนละลายในถังแอโรบิก มาจากเครื่องอัดอากาศ 2 ชุด ชุดแรกจ่ายอากาศโดยใช้ท่อจ่ายอากาศวางไว้ข้างใต้เมมเบรน เพื่อลดการอุดตันและสะสมตัวของแบคทีเรีย และชุดที่สองจ่ายผ่านหัวฟู่วางกระจายทั่วถังกันถังเพื่อให้ออกซิเจนแก่ระบบ

ค่าออกซิเจนละลายของน้ำเสียเข้ามีค่ามากกว่าศูนย์เล็กน้อย เนื่องจากน้ำเสียเข้าผ่านระบบบำบัดขั้นแรกของศูนย์การค้า โดยมีหน่วยการบำบัดดังนี้ น้ำเสียทั้งหมดจะถูกสูบรวมกันที่ถังปรับสภาพ หลังจากนั้นน้ำเสียจะถูกสู่มากำจัดไขมัน ด้วยระบบดีเอเอฟ (DAF) แต่ค่าออกซิเจนละลายไม่สูงจนเกิดปัญหากับระบบดีไนตริฟิเคชั่น และการคายฟอสฟอรัสในถังแอนน็อกซิกและถังแอโรบิก โดยสามารถวัดค่าออกซิเจนละลายได้เป็น 0.00 - 0.01 มก./ล. ขณะที่ในถังแอโรบิกมีค่าประมาณ 4.00 มก./ล. ซึ่งมีออกซิเจนพอเพียงในการเกิดปฏิกิริยาการจับใช้ฟอสฟอรัสและปฏิกิริยาไนตริฟิเคชั่น

4.2.3 ของแข็งแขวนลอยและของแข็งแขวนลอยระเหยง่าย

ตารางที่ 4-7 ค่าของแข็งแขวนลอยที่เข้าระบบตลอดทั้งการวิจัย

การทดลอง	พารามิเตอร์ (มก./ล.)	น้ำเสียเข้า	ร้อยละของส่วนของแข็งระเหยง่าย	น้ำทิ้ง
1	ของแข็งแขวนลอย	191	93	0
	ของแข็งแขวนลอยระเหยง่าย	178		0
2	ของแข็งแขวนลอย	185	93	0
	ของแข็งแขวนลอยระเหยง่าย	172		0
3	ของแข็งแขวนลอย	215	90	0
	ของแข็งแขวนลอยระเหยง่าย	193		0
4	ของแข็งแขวนลอย	221	91	0
	ของแข็งแขวนลอยระเหยง่าย	201		0

จากตาราง 4-7 จะเห็นว่าระบบสามารถกำจัดของแข็งแขวนลอยได้ร้อยละ 100 เนื่องจากเมมเบรนมีขนาดรู 0.4 ไมครอน และวิธีมาตรฐานของการวัดค่าของแข็งแขวนลอยใช้กระดาษกรองที่มีขนาดรูช่องว่าง 0.45 ไมครอน ซึ่งมีขนาดใหญ่กว่าขนาดช่องเปิดของเมมเบรน

พิจารณาสัดส่วนค่าของแข็งแขวนลอยระเหยง่ายต่อค่าของแข็งแขวนลอยของน้ำเสียที่เข้าระบบ พบว่ามีค่าค่อนข้างสูงเนื่องจากน้ำเสียเข้าระบบได้ผ่านกระบวนการบำบัดก่อนหน้ามาหลายขั้นตอนดังได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 4.2.2 ทั้งนี้ในกระบวนการสูบน้ำเสียเข้าระบบก็มีตะแกรงดักเศษขยะที่ฟุตวาล์ว นอกจากนี้เมื่อสูบน้ำมาพักไว้ในถังพักน้ำเสีย ตะกอนชิ้นใหญ่ที่ระเหยยากจะถูกตกลงก้นถัง โดยได้ระบายทิ้งทุกวัน จึงทำให้สัดส่วนของค่าของแข็งแขวนลอยระเหยง่ายต่อค่าของแข็งแขวนลอยมีค่าสูง

4.3 ความเข้มข้นของจุลชีพในระบบ

ในการทดลองทั้ง 4 การทดลองควบคุมค่าอายุตะกอนเป็น 40 วัน ซึ่งปริมาณเอ็มแอลเอสเอสและเอ็มแอลวีเอสเอสเฉลี่ยรวมทั้งระบบ เป็นดังสมการที่ (4.1)

$$\text{ความเข้มข้นของจุลชีพเฉลี่ยรวมทั้งระบบ} = \frac{\sum(X_i)(V_i)}{\sum(V_i)} \quad \dots (4.1)$$

เมื่อ X_i = ความเข้มข้นของจุลชีพในถัง i (มก./ล.)

V_i = ปริมาตรของถัง i (ล.)

i = ถังแอนน็อกซิก, ถังแอนแอโรบิก, ถังแอโรบิก

ซึ่งจากงานวิจัยพบว่า ค่าต่าง ๆ เป็นดังตาราง 4-8

ตารางที่ 4-8 ค่าความเข้มข้นของจุลชีพที่สภาวะคงตัวในแต่ละถัง

การทดลอง	พารามิเตอร์ (มก./ล.)	แอนน็อกซิก	แอนแอโรบิก	แอโรบิก	เฉลี่ยรวมทั้งระบบ*
1	เอ็มแอลเอสเอส	4,640	4,596	4,959	4,789
	เอ็มแอลวีเอสเอส	4,106	3,966	4,433	4,235
สัดส่วนวีเอสเอส/เอสเอส		0.88	0.86	0.89	0.88
2	เอ็มแอลเอสเอส	4,680	4,743	5,097	4,969
	เอ็มแอลวีเอสเอส	4,075	4,094	4,412	4,303
สัดส่วนวีเอสเอส/เอสเอส		0.87	0.86	0.87	0.87

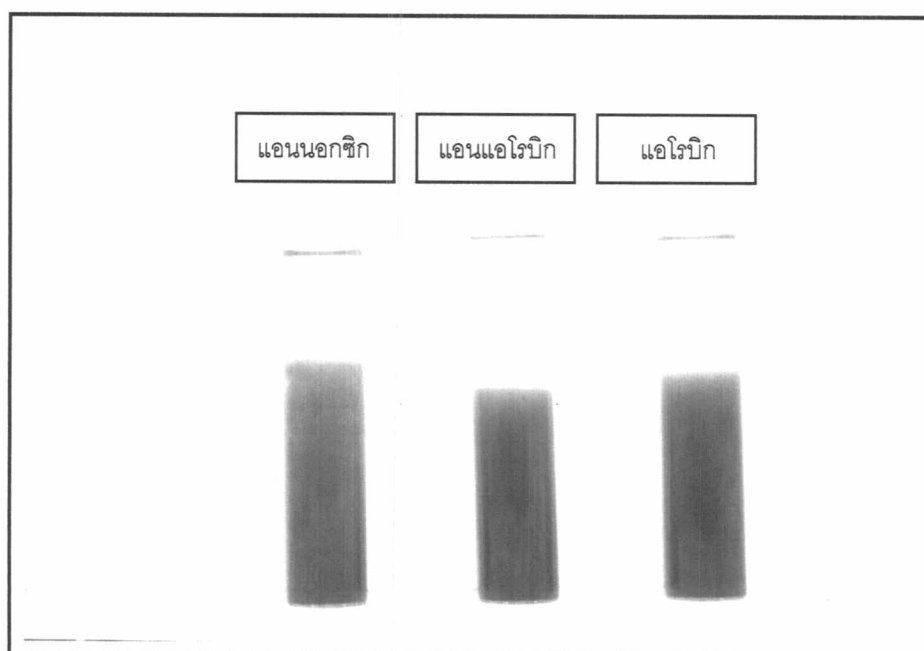
ตารางที่ 4-8 (ต่อ)

การทดลอง	พารามิเตอร์ (มก./ล.)	แอนนออกซิก	แอนแอโรบิก	แอโรบิก	เฉลี่ยรวมทั้งระบบ*
3	เอ็มแอลเอสเอส	4,338	4,459	4,967	4,714
	เอ็มแอลวีเอสเอส	3,723	3,850	4,242	4,064
สัดส่วนวีเอสเอส/เอสเอส		0.86	0.86	0.85	0.86
4	เอ็มแอลเอสเอส	4,858	4,829	5,033	4,949
	เอ็มแอลวีเอสเอส	4,133	4,118	4,266	4,205
สัดส่วนวีเอสเอส/เอสเอส		0.85	0.85	0.85	0.85

จากตารางที่ 4-8 ค่าความเข้มข้นของจุลชีพในระบบ มีค่าใกล้เคียงกันของการทดลอง โดยสัดส่วนค่าเอ็มแอลวีเอสเอสต่อเอ็มแอลเอสเอสมีค่าลดลงเรื่อยๆ ในการทดลองชุดหลัง เนื่องจากการสะสมตะกอนแขวนลอยของน้ำเสียที่เข้าระบบ ซึ่งค่าเฉลี่ยของสัดส่วนเอ็มแอลวีเอสเอสต่อเอ็มแอลเอสเอสในการวิจัยเป็นดังสมการ 4.2

$$MLVSS = 0.87 MLSS \quad \dots(4.2)$$

ซึ่งลักษณะของตะกอนในถังแอนนออกซิก แอนแอโรบิก และแอโรบิก มีสีน้ำตาลดังรูปที่ 4-2



รูปที่ 4-2 ลักษณะของตะกอนในระบบ

4.4 การกำจัดซีโอดีและค่าอัตราส่วนอาหารต่อจุลินทรีย์ของระบบ

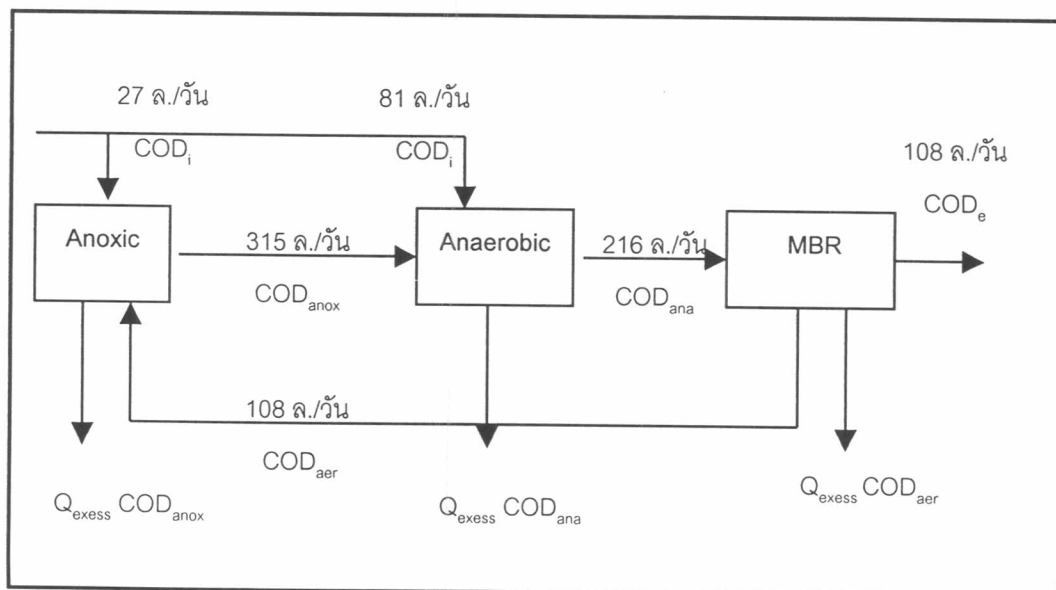
4.4.1 การกำจัดซีโอดีของระบบ

จากการทดลองพบว่าความเข้มข้นของซีโอดีที่สภาวะคงตัวเป็นดังตารางที่ 4-9

ตารางที่ 4-9 ค่าความเข้มข้นของซีโอดีที่สภาวะคงตัวในแต่ละถัง

การทดลอง	น้ำเสียเข้า (มก./ล.)	แอนน็อกซิก (มก./ล.)	แอนแอโรบิก (มก./ล.)	แอโรบิก (มก./ล.)	น้ำทิ้ง (มก./ล.)	ร้อยละของประสิทธิ ภาพ
1	511	49	57	39	23	95
2	436	50	53	37	30	93
3	421	44	54	36	29	93
4	475	34	41	29	24	95

จากการทดลองพบว่าค่าซีโอดีของน้ำเข้ามีค่าไม่คงที่ ขึ้นกับสภาพการทำงานของระบบ บำบัดก่อนหน้า และสภาพที่เกิดขึ้นจริงของศูนย์การค้า จากตารางที่ 4-9 ระบบสามารถกำจัดซีโอดีได้ร้อยละ 95, 93, 93 และ 95 ในการทดลองที่ 1, 2, 3 และ 4 ตามลำดับ โดยกลไกการกำจัดซีโอดีในแต่ละถังของแต่ละการทดลองไม่เท่ากัน ขึ้นอยู่กับสภาวะนั้น ๆ ดังนั้นในการศึกษาการกำจัดซีโอดีต้องทำสมดุลมวลของซีโอดี พิจารณารูปที่ 4-3



รูปที่ 4-3 การทำสมดุลมวลของซีโอดี

จากรูปที่ 4-3 เมื่อทำสมดุลมวลของซีโอดี ดังสมการ 4.3, 4.3 และ 4.3

$$\Delta\text{COD}_{\text{anox}} = (27)(\text{COD}_i) + (108)(\text{COD}_{\text{aer}}) - (135)(\text{COD}_{\text{anox}}) - (\text{COD}_{\text{anox}})(Q_{\text{excess}}) \quad \dots (4.3)$$

$$\Delta\text{COD}_{\text{ana}} = (81)(\text{COD}_i) + (135)(\text{COD}_{\text{anox}}) - (216)(\text{COD}_{\text{ana}}) - (\text{COD}_{\text{anox}})(Q_{\text{excess}}) \quad \dots (4.4)$$

$$\Delta\text{COD}_{\text{aer}} = (216)(\text{COD}_{\text{ana}}) - (108)(\text{COD}_{\text{aer}}) - (108)(\text{COD}_e) - (\text{COD}_{\text{aer}})(Q_{\text{excess}}) \quad \dots (4.5)$$

เมื่อ	$\Delta\text{COD}_{\text{anox}}$	คือ	ปริมาณที่เคเอ็นที่ลดลงในถังแอนนอกซิก	(มก./วัน)
	$\Delta\text{COD}_{\text{ana}}$	คือ	ปริมาณที่เคเอ็นที่ลดลงในถังแอนแอโรบิก	(มก./วัน)
	$\Delta\text{COD}_{\text{aer}}$	คือ	ปริมาณที่เคเอ็นที่ลดลงในถังแอโรบิก	(มก./วัน)
	Q_{excess}	คือ	อัตราการทิ้งตะกอนส่วนเกินจากระบบ	(ล./วัน)
	COD_i	คือ	ความเข้มข้นของซีโอดีที่เข้าระบบ	(มก./ล.)
	COD_{anox}	คือ	ความเข้มข้นของซีโอดีที่ออกจากถังแอนนอกซิก	(มก./ล.)
	COD_{ana}	คือ	ความเข้มข้นของซีโอดีที่ออกจากถังแอนแอโรบิก	(มก./ล.)
	COD_{aer}	คือ	ความเข้มข้นของซีโอดีที่ออกจากถังแอโรบิก	(มก./ล.)
	COD_e	คือ	ความเข้มข้นของซีโอดีออกจากระบบ	(มก./ล.)

จากสมการที่ 4.3, 4.4 และ 4.5 สรุปค่าต่าง ๆ ได้ดังตารางที่ 4-10

ตารางที่ 4-10 ผลการทำสมดุลมวลของซีโอดีในระบบ

การทดลอง	ถังแอนนอกซิก		ถังแอนแอโรบิก		ถังแอโรบิก		รวม ΔCOD (ก./วัน)
	Q_{excess} (ล./วัน)	$\Delta\text{COD}_{\text{anox}}$ (ก./วัน)	Q_{excess} (ล./วัน)	$\Delta\text{COD}_{\text{anox}}$ (ก./วัน)	Q_{excess} (ล./วัน)	$\Delta\text{COD}_{\text{anox}}$ (ก./วัน)	
1	0.2250	11.38	0.2250	35.76	0.4500	5.63	52.63
2	0.1125	9.02	0.1125	30.57	0.4500	4.26	43.84
3	0.1125	9.37	0.2250	28.26	0.4500	4.68	42.31
4	0.2250	11.36	0.1125	34.22	0.4500	3.09	48.68

จากตาราง 4-10 พบว่าซีโอดีถูกใช้ในถังแอโรบิกเป็นการเจริญเติบโตของเซลล์ โดยแบคทีเรียประเภทเฮเทอโรโทรบ ซึ่งเป็นสัดส่วนที่น้อยเมื่อเทียบกับการใช้ในถังแอนแอโรบิกและแอนนอซิก ซึ่งถูกใช้ไปมากที่สุดถังแอนแอโรบิก ทั้งนี้เนื่องจากผลของการแบ่งน้ำเสียเข้าถังแอนแอโรบิกสูงกว่าในถังแอนนอซิก เพื่อให้แบคทีเรียมีสารอาหารที่มากเพียงพอที่ใช้ในกระบวนการคายของฟอสฟอรัส ในการทดลองทั้ง 4 ชุดพบว่าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีสูงทุกการทดลองเนื่องจากน้ำเสียที่เข้าระบบมีสัดส่วนของธาตุอาหารทั้งไนโตรเจนและฟอสฟอรัสสูง ดังนั้นซีโอดีจึงถูกใช้เป็นแหล่งคาร์บอนของกระบวนการกำจัดธาตุอาหารทางชีวภาพ สอดคล้องกับงานวิจัยของณัฐพันธ์ กลิ่นเกษร (2545) ใช้ระบบเอทีเอ็มบีอาร์ โดยสามารถลดซีโอดีอย่างมีประสิทธิภาพร้อยละ 98.2 ที่ค่าอายุตะกอน 40 วัน

4.4.2 ค่าอัตราส่วนอาหารต่อจุลินทรีย์ (F/M Ratio)

จากการทดลองจะเห็นว่าค่าซีโอดีเกือบทั้งหมดถูกกำจัดในถังแอนนอซิก และแอนแอโรบิก ดังนั้นในการพิจารณาค่าอัตราส่วนอาหารต่อจุลินทรีย์ของการทดลองทั้ง 4 ชุด จะพิจารณาใน 3 กรณี คือ

- ค่าอัตราส่วนอาหารต่อจุลินทรีย์ของระบบรวมทั้งหมด
- ค่าอัตราส่วนอาหารต่อจุลินทรีย์ในถังแอนนอซิก
- ค่าอัตราส่วนอาหารต่อจุลินทรีย์ในถังแอนแอโรบิก

โดยใช้สมการ

$$F/M = \frac{QS_0}{XV} \quad \dots(4.6)$$

เมื่อ	Q	=	อัตราการไหลเข้าของน้ำเสียในแต่ละถัง	(ล./วัน)
	S ₀	=	ความเข้มข้นของสารอาหารที่เข้าสู่ระบบ	(มก./ล.)
	X	=	ความเข้มข้นของเอ็มแอลวีเอสเอสในแต่ละถัง	(มก./ล.)
	V	=	ปริมาตรของถังปฏิกรณ์	(ล.)

จากสมการที่ (4.6) จะได้ว่า อัตราส่วนอาหารต่อจุลินทรีย์ เป็นดังตารางที่ 4-11

ตารางที่ 4-11 ค่าอัตราส่วนอาหารต่อจุลินทรีย์ของการทดลอง

การทดลอง	อัตราส่วนอาหารต่อจุลินทรีย์ (กก.ซีโอดี/กก.เอ็มแอลวีเอสเอส-วัน)			อัตราส่วนอาหารต่อจุลินทรีย์ (กก.บีโอดี/กก.เอ็มแอลวีเอสเอส-วัน)		
	ถังแอนนอซิก	ถังแอนแอโรบิก	รวมทั้งระบบ	ถังแอนนอซิก	ถังแอนแอโรบิก	รวมทั้งระบบ
1	0.37	1.16	0.36	0.14	0.45	0.14
2	0.64	1.92	0.41	0.25	0.74	0.16
3	0.68	0.98	0.35	0.26	0.38	0.14
4	0.35	2.08	0.39	0.13	0.80	0.15

หมายเหตุ ค่าซีโอดี/บีโอดีของน้ำเสียในงานวิจัยนี้เป็น 2.6

จากตารางที่ 4-10 พบว่าอัตราส่วนอาหารต่อจุลินทรีย์รวมทั้งระบบ 0.14-0.16 กก.บีโอดี/กก.เอ็มแอลวีเอสเอส-วัน อยู่ในช่วงของการออกแบบที่เป็นอัตราการบำบัดแบบต่ำ (Low Rate) โดยในงานวิจัยครั้งนี้มีระยะเวลาการเติมอากาศเพียง 4 ชั่วโมง ซึ่งต่ำกว่าระยะเวลาของการเติมอากาศที่อัตราการบำบัดต่ำโดยทั่วไป ซึ่งมีระยะเวลาการเติมอากาศนานกว่า 24 ชั่วโมง เนื่องจากในงานวิจัยครั้งนี้เป็นการออกแบบเพื่อการกำจัดธาตุอาหารทางชีวภาพ บีโอดีเกือบทั้งหมดไม่ได้ถูกกำจัดในถังเติมอากาศ จึงเห็นว่าอัตราส่วนอาหารต่อจุลินทรีย์ของงานวิจัยอยู่ในเกณฑ์อัตราการบำบัดต่ำ แม้ว่าจะมีระยะเวลากักเก็บทางศาสตร์ของถังแอโรบิก น้อยกว่า 24 ชั่วโมง

งชัย พรรณสวัสดิ์ (2545) กล่าวถึงเกณฑ์โดยทั่วไปของอัตราส่วนอาหารต่อเอ็มแอลเอสเอส ในการออกแบบกระบวนการอิมปีฟิการ์ เป็นดังนี้

- ระบบไฟรีดอกซ์ = 0.2-0.7 กก.บีโอดี/กก.เอ็มแอลเอสเอส-วัน
- ระบบไฟรีดอกซ์ดัดแปร = 0.15-0.25 กก.บีโอดี/กก.เอ็มแอลเอสเอส-วัน
- ระบบบาร์เดนโฟ = 0.1-0.2 กก.บีโอดี/กก.เอ็มแอลเอสเอส-วัน
- ระบบบาร์เดนโฟดัดแปร = 0.1-0.2 กก.บีโอดี/กก.เอ็มแอลเอสเอส-วัน
- ระบบยูซีที = 0.1-0.2 กก.บีโอดี/กก.เอ็มแอลเอสเอส-วัน
- ระบบฟอสตริป™ = 0.1-0.5 กก.บีโอดี/กก.เอ็มแอลเอสเอส-วัน
- ระบบเอสปีอาร์ = 0.1 กก.บีโอดี/กก.เอ็มแอลเอสเอส-วัน

4.5 การกำจัดไนโตรเจน

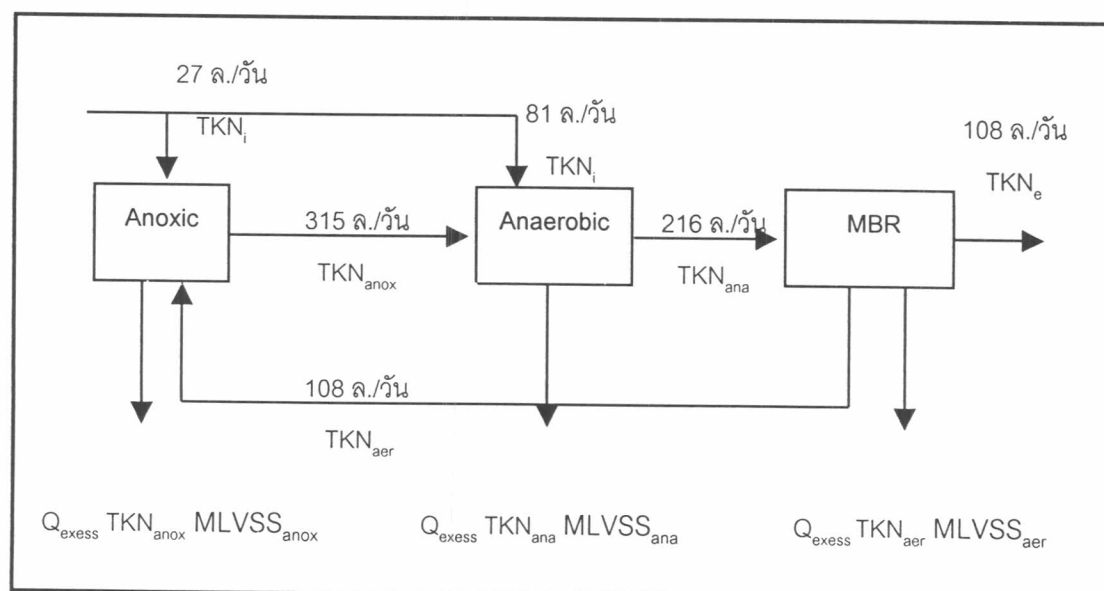
4.5.1 ปฏิกริยาแอสซิมิเลชัน (Assimilation)

จากการทดลองสรุปค่าซีไอดีและทีเคเอ็นที่สภาวะคงตัวได้ดังตาราง 4-12 ตารางที่ 4-12 สรุปค่าซีไอดีและทีเคเอ็นของระบบที่สภาวะคงตัว

การทดลอง	ซีไอดีเข้า (มก./ล.)	ซีไอดีทีเคเอ็น	ทีเคเอ็น (มก./ล.)				
			น้ำเข้า	แอนนอกซิก	แอนแอโรบิก	แอโรบิก	น้ำทิ้ง
1	511	9.3	54.7	4.3	6.2	2.5	2.3
2	436	9.1	48.1	5.4	5.9	2.2	2.0
3	421	8.7	48.3	6.2	5.7	2.0	1.7
4	475	8.1	58.5	5.1	6.6	2.9	2.6

จากตารางที่ 4-12 จะเห็นว่าระบบมีการกำจัดทีเคเอ็นได้อย่างมีประสิทธิภาพ พบว่าสัดส่วนของค่าซีไอดีต่อทีเคเอ็นในน้ำเข้าระบบที่สภาวะคงตัว มีค่าอยู่ในเกณฑ์ดี (สัดส่วนของซีไอดี/ทีเคเอ็น เป็น 7-9) อ้างโดย Grady และคณะ (1991) ทั้งนี้ค่าทีเคเอ็นของระบบหายไปในถังแอนนอกซิกและแอนแอโรบิก ซึ่งทั้งสองถังนี้ ไม่มีสภาวะแวดล้อมสนับสนุนให้เกิดปฏิกริยาไนตริฟิเคชัน ในการเปลี่ยนทีเคเอ็นให้เป็นไนไตรท์หรือไนเตรทได้ ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าทีเคเอ็นที่หายไปจนถึงทั้งสองนี้

เนื่องมาจากปฏิกริยาแอสซิมิเลชัน (Assimilation) เท่านั้น ซึ่งการหาปริมาณทีเคเอ็นที่ถูกใช้ไป พิจารณาเทียบกับค่าซีไอดีที่เข้าระบบ โดยการทำสมดุลมวลรอบถังทั้งสองดังรูปที่ 4-4



รูปที่ 4-4 การทำสมดุลมวลของไนโตรเจนที่ถูกใช้ไปในปฏิกริยาแอสซิมิเลชัน (Assimilation)

จากรูปที่ 4-4 เมื่อทำสมดุลมวลรอบถังแอนน็อกซิกและแอนแอโรบิก จะได้ว่า

$$\Delta N_{\text{anox}} = (27)(TKN_i) + (108)(TKN_{\text{aer}}) - (135)(TKN_{\text{anox}}) - (MLVSS_{\text{anox}})(\%TKN)(Q_{\text{excess}}) - (Q_{\text{excess}})(TKN_{\text{anox}}) \quad \dots (4.7)$$

$$\Delta N_{\text{ana}} = (81)(TKN_i) + (135)(TKN_{\text{anox}}) - (216)(TKN_{\text{ana}}) - (MLVSS_{\text{ana}})(\%TKN)(Q_{\text{excess}}) - (Q_{\text{excess}})(TKN_{\text{ana}}) \quad \dots (4.8)$$

เมื่อ	ΔN_{anox}	คือ	ปริมาณที่เคเอ็นที่ลดลงในถังแอนน็อกซิก	(มก./วัน)
	ΔN_{ana}	คือ	ปริมาณที่เคเอ็นที่ลดลงในถังแอนแอโรบิก	(มก./วัน)
	Q_{excess}	คือ	อัตราการทิ้งตะกอนส่วนเกินจากระบบ	(ล./วัน)
	TKN_i	คือ	ความเข้มข้นของทีเคเอ็นที่เข้าระบบ	(มก./ล.)
	TKN_{anox}	คือ	ความเข้มข้นของทีเคเอ็นที่ออกจากถังแอนน็อกซิก	(มก./ล.)
	TKN_{ana}	คือ	ความเข้มข้นของทีเคเอ็นที่ออกจากถังแอนแอโรบิก	(มก./ล.)
	TKN_{aer}	คือ	ความเข้มข้นของทีเคเอ็นที่ออกจากถังแอโรบิก	(มก./ล.)
	$MLVSS_{\text{anox}}$	คือ	ความเข้มข้นของเอ็มแอลวีเอสเอสในถังแอนน็อกซิก	(มก./ล.)
	$MLVSS_{\text{ana}}$	คือ	ความเข้มข้นของเอ็มแอลวีเอสเอสในถังแอนแอโรบิก	(มก./ล.)
	%TKN	คือ	ร้อยละของทีเคเอ็นในเซลล์จากการทดลองเป็น ร้อยละ 12	

จากสมการที่ 4.7 และ 4.8 สามารถสรุปค่าต่าง ๆ ได้ดังตารางที่ 4-13

ตารางที่ 4-13 แสดงผลการทำสมดุลมวลของทีเคเอ็นในปฏิกริยาแอสซิมิเลชัน

การทดลอง	ΔTKN_{anox} (มก./วัน)	ΔTKN_{ana} (มก./วัน)	$\Delta TKN_{\text{anox}} + \Delta TKN_{\text{ana}}$ (มก./วัน)	$\Delta COD_{\text{anox}} + \Delta COD_{\text{ana}}$ (มก./วัน)	$\Delta COD : \Delta TKN$
1	1,052	3,562	4,614	47,137	100 : 9.80
2	750	3,292	4,041	39,584	100 : 10.2
3	578	3,407	3,985	37,626	100 : 10.6
4	1,151	3,946	5,097	45,588	100 : 11.2

จากตารางที่ 4-13 เมื่อเปรียบเทียบค่าทีเคเอ็นที่ลดลงหรือหายไปเนื่องจากปฏิกริยาแอสซิมิเลชันกับค่าซีโอดีที่ถูกกำจัด จะได้ว่า การกำจัดซีโอดี 100 มก ต้องใช้ไนโตรเจนเพื่อการสังเคราะห์เซลล์เฉลี่ย 10.4 มก

ทั้งนี้ค่าสัดส่วนของการเกิดปฏิกิริยาการสังเคราะห์เซลล์ หรือปฏิกิริยาแอคซิมิเลชัน ของน้ำเสียชุมชนในต่างประเทศประมาณ ร้อยละ 2-5 ของค่าบีโอดีที่ถูกกำจัด อ้างโดย ธงชัย พรรณสวัสดิ์ (2545) ขณะที่น้ำเสียชุมชนของประเทศไทย การกำจัดไนโตรเจนโดยการสังเคราะห์เซลล์พบว่าสัดส่วนของไนโตรเจนที่ถูกกำจัดต่อซีโอดีที่ถูกกำจัดจะสูงกว่าในต่างประเทศ ขึ้นอยู่กับสภาพน้ำเสียที่เข้าระบบ โดยทั่วไปจะมีสัดส่วนของไนโตรเจนที่ถูกกำจัดประมาณร้อยละ 8-20 ของค่าบีโอดีที่ถูกกำจัด ขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของน้ำเสียนั้น

4.5.2 การสมดุลมวลไนโตรเจนทั้งระบบ (Mass Balance of Nitrogen)

จากรูปที่ 4-3 เมื่อพิจารณาการทำสมดุลมวลของไนโตรเจนทั้งระบบ ในหลักการของไนโตรเจนที่อยู่ในรูปที่เคเอ็นจะถูกเปลี่ยนเป็น ไนไตรท์และไนเตรท หลังจากนั้นจะถูกเปลี่ยนเป็นก๊าซไนโตรเจน และหายไปจากระบบโดยปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน

จากสมการการทำสมดุลมวลของไนโตรเจนที่สถานะคงตัว เพื่อคำนวณปริมาณไนโตรเจนที่หายไป และร้อยละของประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนทั้งหมดของระบบ ซึ่งจะได้ว่า

$$\Delta N = (Q_i)(TKN_i + NO_{3i}^- + NO_{2i}^-) - (Q_e)(TKN_e + NO_{3e}^- + NO_{2e}^-) \quad \dots(4.9)$$

$$\eta = 100 \left[\frac{\Delta N}{(Q_i)(TKN_i + NO_{3i}^- + NO_{2i}^-)} \right] \quad \dots(4.10)$$

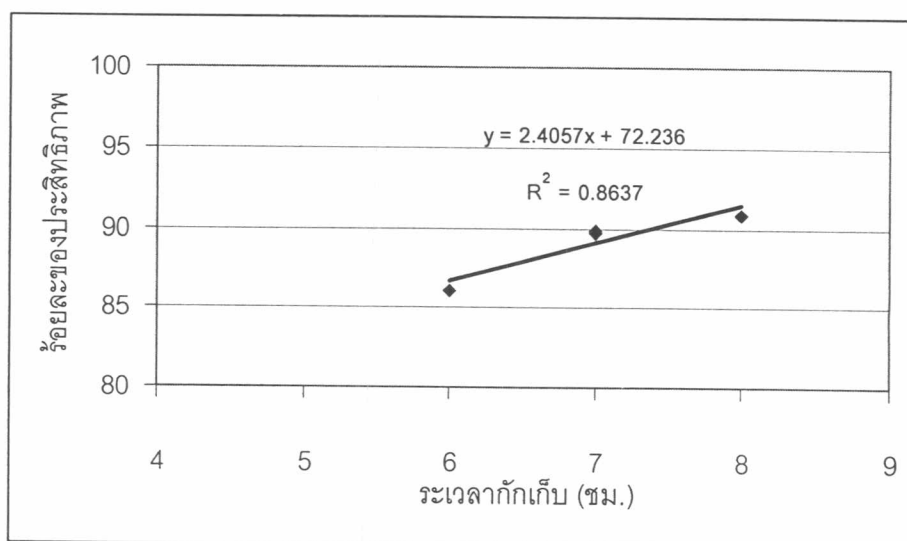
เมื่อ	ΔN	คือ	ปริมาณไนโตรเจนที่หายไปจากระบบ	(มก./วัน)
	η	คือ	ร้อยละของประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนของระบบ	
	Q_i	คือ	อัตราการไหลของน้ำเสียเข้าระบบ	(ล./วัน)
	Q_e	คือ	อัตราการไหลน้ำทิ้งจากระบบ	(ล./วัน)
	TKN_i	คือ	ความเข้มข้นของทีเคเอ็นที่เข้าระบบ	(มก./ล.)
	TKN_e	คือ	ความเข้มข้นของทีเคเอ็นที่ออกจากระบบ	(มก./ล.)
	NO_{2i}^-	คือ	ความเข้มข้นของไนไตรท์ที่เข้าระบบ	(มก./ล.)
	NO_{2e}^-	คือ	ความเข้มข้นของไนไตรท์ที่ออกจากระบบ	(มก./ล.)
	NO_{3i}^-	คือ	ความเข้มข้นของไนเตรทที่เข้าระบบ	(มก./ล.)
	NO_{3e}^-	คือ	ความเข้มข้นของไนเตรทที่เข้าระบบ	(มก./ล.)

จากสมการที่ 4.9 และ 4.10 จะได้ว่าปริมาณไนโตรเจนที่หายไปจากระบบ และร้อยละของการกำจัดไนโตรเจนของระบบรวมในการทดลองที่ 1, 2, 3 และ 4 เป็นดังตารางที่ 4-14

ตารางที่ 4-14 แสดงปริมาณไนโตรเจนที่หายไปจากระบบและร้อยละของการกำจัดไนโตรเจน

การทดลอง	ปริมาณไนโตรเจนที่หายไป (มก./วัน)	ร้อยละของประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจน
1	5,370	91
2	4,483	86
3	4,679	90
4	5,701	90

จากตารางที่ 4-14 จะได้ว่าระบบมีประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนรวมร้อยละ 91, 86, 90 และ 90 ในการทดลองที่ 1, 2, 3 และ 4 ตามลำดับ ทั้งนี้เมื่อพิจารณาในเทอมของระยะเวลาที่เก็บทางชลศาสตร์รวมของระบบ จะได้ดังรูปที่ 4-5



รูปที่ 4-5 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนรวมของระบบกับระยะเวลาที่เก็บทางชลศาสตร์รวม

จากรูปที่ 4-4 จะเห็นว่าประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนรวมของระบบเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่เก็บทางชลศาสตร์รวมของระบบ เนื่องจากค่าระยะเวลาที่เก็บทางชลศาสตร์ของการทดลองในแต่ละชุดค่อนข้างใกล้เคียงกัน ทำให้ประสิทธิภาพที่ได้แตกต่างกันไม่มาก ทั้งนี้อาจเนื่องจากระบบมีประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนค่อนข้างสูงทุกการทดลอง และผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับการทดลองของ ญัฐพันธ์ กลิ่นเกษร (2545) ที่ใช้ระบบเอทีเอ็มบีอาร์ในการบำบัดน้ำ

เสีย โดยระยะเวลาที่เก็บทางศาสตร์ของระบบโดยรวมเป็น 26.9 ชั่วโมง และ 28.1 ชั่วโมง ค่าอายุตะกอน 40 วัน ร้อยละของประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนเป็น 93 และ 98 ตามลำดับ

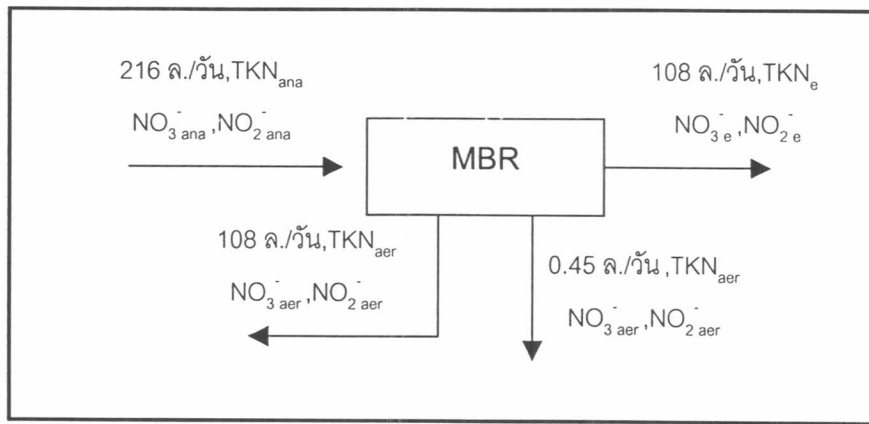
4.5.3 ปฏิริยาไนตริฟิเคชัน (Nitrification)

ปฏิริยาไนตริฟิเคชันเกิดในถังแอโรบิกโดยแบคทีเรียไนตริไฟอิง (Nitrifying Bacteria) ทำหน้าที่ในการเปลี่ยนแอมโมเนียให้เป็นไนไตรท์และไนเตรทตามลำดับ จากการทดลองค่าไนเตรทไนไตรท์ และทีเคเอ็นของระบบที่สภาวะคงตัวเป็นดังตารางที่ 4-15

ตารางที่ 4-15 ค่าไนเตรท ไนไตรท์ และทีเคเอ็นของระบบที่สภาวะคงตัว

การทดลองที่	ค่าพารามิเตอร์	น้ำเข้าถังแอโรบิก	น้ำตะกอนเวียนกลับ	น้ำทิ้ง
1	อัตราการไหล(ล./วัน)	216	108	108
	ทีเคเอ็น (มก./ล.)	6.1	2.4	1.4
	ไนเตรท (มก./ล.)	0.13	3.10	2.97
	ไนไตรท์ (มก./ล.)	0.03	0.40	0.39
2	อัตราการไหล(ล./วัน)	216	108	108
	ทีเคเอ็น (มก./ล.)	8.6	3.9	3.0
	ไนเตรท (มก./ล.)	2.07	2.79	2.60
	ไนไตรท์ (มก./ล.)	0.13	0.24	0.26
3	อัตราการไหล(ล./วัน)	216	108	108
	ทีเคเอ็น (มก./ล.)	6.8	3.5	2.2
	ไนเตรท (มก./ล.)	0.38	2.53	2.35
	ไนไตรท์ (มก./ล.)	0.07	0.50	0.43
4	อัตราการไหล(ล./วัน)	216	108	108
	ทีเคเอ็น (มก./ล.)	9.6	3.4	3.1
	ไนเตรท (มก./ล.)	0.63	2.68	2.58
	ไนไตรท์ (มก./ล.)	0.05	0.28	0.23

จากการทดลองเมื่อแยกเฉพาะส่วนของถังแอโรบิก ทำสมดุลมวลของไนโตรเจนรอบถังแอโรบิก เพื่อศึกษาปฏิริยาไนตริฟิเคชันของระบบ โดยค่าทีเคเอ็นที่ลดลงในถังแอโรบิกจะถูกเปลี่ยนเป็นไนไตรท์และไนเตรท และอีกส่วนหนึ่งถูกนำไปใช้เป็นส่วนประกอบของเซลล์ หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือ ค่าไนไตรท์และไนเตรทที่เพิ่มขึ้นในถังแอโรบิกเกิดจากปฏิริยาไนตริฟิเคชันนั่นเอง พิจารณารูปที่ 4-6



รูปที่ 4-6 การแยกส่วนถังแอโรบิก เพื่อทำสมดุลมวลของไนโตรเจน

ในการพิจารณาการเปลี่ยนที่เคเอ็นเป็นไนเตรทหรือไนไตรท์ในถังแอโรบิก พิจารณาใน 3 กรณี คือ

- การลดลงของทีเคเอ็น
- การเพิ่มขึ้นของไนเตรทและไนไตรท์
- พิจารณาค่าสภาพต่างต่อไนโตรเจนที่เข้าระบบ

กรณีที่ 1 การลดลงของทีเคเอ็น

โดยการทำสมดุลมวลของทีเคเอ็นในถังแอโรบิก ดังสมการ

$$\Delta TKN = (216)(TKN_{ana}) - (108)(TKN_e) - (MLVSS)(\%TKN)(0.45) - (108.45)(TKN_{aer}) \quad \dots(4.11)$$

เมื่อ	ΔTKN คือ	ปริมาณทีเคเอ็นที่ลดลง	(มก./วัน)
	TKN_{ana} คือ	ความเข้มข้นของทีเคเอ็นที่เข้าถังแอโรบิก	(มก./ล.)
	TKN_{aer} คือ	ความเข้มข้นของทีเคเอ็นในน้ำตะกอนเวียนกลับ	(มก./ล.)
	TKN_e คือ	ความเข้มข้นของทีเคเอ็นในน้ำทิ้ง	(มก./ล.)
	MLVSS คือ	ความเข้มข้นของเอ็มแอลวีเอสเอสในถังแอโรบิก	(มก./ล.)
	%TKN คือ	ร้อยละของทีเคเอ็นในเซลล์จากการทดลองเป็น ร้อยละ 12	

กรณีที่ 2 การเพิ่มขึ้นของไนไตรท์และไนเตรท

โดยการทำสมดุลมวลของไนไตรท์และไนเตรทในถังแอโรบิก ดังสมการ

$$\Delta(NO_3^- + NO_2^-) = (108)(NO_{3e}^- + NO_{2e}^-) + (108.45)(NO_{3aer}^- + NO_{2aer}^-) - (216)(NO_{3ana}^- + NO_{2ana}^-) \quad \dots(4.12)$$

เมื่อ	$\Delta(NO_3^- + NO_2^-)$ คือ	ปริมาณไนไตรท์และไนเตรทที่เพิ่มขึ้น	(มก./วัน)
-------	-------------------------------	------------------------------------	-----------

$\text{NO}_{3\text{ana}}^-$	คือ	ความเข้มข้นของไนเตรทที่เข้าถึงแอโรบิก	(มก./ล.)
$\text{NO}_{3\text{aer}}^-$	คือ	ความเข้มข้นของไนเตรทในน้ำตะกอนเวียนกลับ	(มก./ล.)
$\text{NO}_{3\text{e}}^-$	คือ	ความเข้มข้นของไนเตรทในน้ำทิ้ง	(มก./ล.)
$\text{NO}_{2\text{ana}}^-$	คือ	ความเข้มข้นของไนไตรท์ที่เข้าถึงแอโรบิก	(มก./ล.)
$\text{NO}_{2\text{aer}}^-$	คือ	ความเข้มข้นของไนไตรท์ในน้ำตะกอนเวียนกลับ	(มก./ล.)
$\text{NO}_{2\text{e}}^-$	คือ	ความเข้มข้นของไนไตรท์ในน้ำทิ้ง	(มก./ล.)

อัตราไนตริฟิเคชันจำเพาะ (Specific Nitrification Rate, SNR) คือ สัดส่วนของปริมาณไนเตรทและไนไตรท์ที่เพิ่มขึ้นในถังแอโรบิกต่อปริมาณเอ็มแอลวีเอสเอสในถังแอโรบิกเทียบกับเวลา ดังสมการที่ 4.12

$$\text{SNR} = \frac{\Delta(\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-)}{24(\text{MLVSS})(V_{\text{aer}})} \quad \dots(4.13)$$

เมื่อ	SNR	คือ	อัตราไนตริฟิเคชันจำเพาะ	(มก./ก.วีเอสเอส-ชม.)
	$\Delta(\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-)$	คือ	ปริมาณไนไตรท์และไนเตรทที่เพิ่มขึ้น	(มก./วัน)
	V_{aer}	คือ	ปริมาตรถังแอโรบิก	(ล.)
	MLVSS	คือ	ความเข้มข้นของเอ็มแอลวีเอสเอส	(มก./ล.)

จากสมการที่ 4.11, 4.12 และ 4.13 สามารถสรุปค่าต่าง ๆ ได้ดังตารางที่ 4-16

ตารางที่ 4-16 แสดงค่าที่เคเอ็นทีลดลง ค่าไนไตรท์และไนเตรทที่เพิ่มขึ้นในถังแอโรบิก

การทดลอง	ΔTKN (มก./วัน)	$\Delta(\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-)$ (มก./วัน)	MLVSS (มก./ล.)	SNR (มก./ก.วีเอสเอส-ชม.)
1	594	594	4,433	0.31
2	592	588	4,412	0.31
3	600	597	4,289	0.32
4	599	591	4,266	0.32

จากตารางที่ 4-16 จะเห็นว่าอัตราไนตริฟิเคชันจำเพาะของระบบมีค่าใกล้เคียงกันทุกการทดลอง นั่นแสดงว่าระยะเวลาที่เก็บทางพลศาสตร์ของถังแอนน็อกซิก และถังแอนแอโรบิกที่แตกต่างกัน 1-2 ชั่วโมง (ระยะเวลาที่เก็บทางพลศาสตร์รวมของถังแอนน็อกซิกและแอนแอโรบิก

ของการทดลองที่ 1, 2, 3 และ 4 เป็น 4, 2, 3 และ 3 ชั่วโมง ตามลำดับ) ไม่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน ขณะที่ณัฐพันธ์ กลิ่นเกษร (2545) ใช้ระบบเอทีเอ็มบีอาร์ในการทำวิจัยพบว่าอัตราไนตริฟิเคชันจำเพาะเป็น 1.49 และ 1.39 มก.ทีเคเอ็น/ก.วีเอสเอส-ชม.ที่อายุตะกอน 40 และ 80 วันตามลำดับ และพบว่าเกิดปฏิกิริยาเอสเอ็นดีในถังแอโรบิก ขณะที่การวิจัยครั้งนี้ไม่เกิดปฏิกิริยาดังกล่าว เนื่องจากในการทดลองของครั้งนี้มีค่าระยะเวลาพักเก็บทางชลศาสตร์ในถังแอโรบิกค่อนข้างต่ำมาก ซึ่งใช้เครื่องเติมอากาศที่มีอัตราการเติมอากาศมาก ภายในถังเกิดความปั่นป่วนมาก ทำให้ขนาดของฟล็อกในถังแอโรบิกมีเล็กประมาณ 95-110 ไมครอน (ค่าที่วิเคราะห์ได้ดังแสดงในภาคผนวก ค.) ประกอบกับค่าความเข้มข้นของออกซิเจนในถังแอโรบิกสูงมากถึง 4 มก./ล. ระบบนี้จึงไม่เกิดปฏิกิริยาเอสเอ็นดี

เมื่อนำเซลล์แบคทีเรียไปทดลองแบบแบทช์ เพื่อหาอัตราการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันจำเพาะ รายละเอียดดังแสดงในภาคผนวก ก. จะได้ค่าดังตารางที่ 4-17

ตารางที่ 4-17 แสดงค่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันจำเพาะของการทดลองแบบแบทช์

การทดลอง	อัตราการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันจำเพาะ (มก.ผลรวมของไนเตรทและไนไตรท์/ก.เอ็มแอลวีเอสเอส-ชม.)
1	3.17
2	3.08
3	2.96
4	3.15

จากตารางที่ 4-17 จะเห็นว่าการวิเคราะห์อัตราการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันจำเพาะแบบแบทช์ จะได้ค่าสูงกว่าค่าที่ได้จากการทำสมดุลมวลมาก เนื่องจากการวิเคราะห์แบบแบทช์เติมแอมโมเนียในตอนเริ่มต้นประมาณ 20 มก./ล. ซึ่งสูงกว่าค่าที่เกิดขึ้นในงานวิจัยครั้งนี้ ดังนั้นการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันในการทดลองแบบแบทช์จึงเกิดได้มากกว่าในการวิจัย Su และ Oyang (1997 อ้างโดย ธงชัยพรรณสวัสดิ์, 2545) ใช้ระบบเอทีเอ็มบีอาร์ที่ 20 องศาเซลเซียส อายุตะกอน 5, 10 และ 15 วัน พบว่าอัตราการใช้แอมโมเนียจำเพาะเป็น 3.76, 5.78 และ 4.96 มก.แอมโมเนีย/ก.เอ็มแอลวีเอสเอส-ชม.ซึ่งใกล้เคียงกับผลการวิจัยที่ได้

กรณีศึกษา 3 พิจารณาค่าสภาพต่างต่อการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน

การพิจารณาสภาพต่างที่ถูกใช้ในการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน ต้องทำสมดุลมวลของสภาพต่างในถังแอโรบิก ทำนองเดียวกันกับสมการ 4.10 จะได้สภาพต่างที่ลดลงของแต่ละการทดลองดังตารางที่ 4-18

ตารางที่ 4-18 ค่าสภาพต่างที่ลดลงและที่เคเอ็นที่ลดลงจากการทำสมดุลมวลที่สภาวะคงตัว

การทดลอง	สภาพต่างที่ลดลง (มก./ล.)	ที่เคเอ็นที่ลดลง (มก./ล.)	สัดส่วนสภาพต่างต่อที่เคเอ็น
1	14,995	594	25
2	13,775	592	23
3	12,778	600	21
4	14,167	599	24

จากตารางที่ 4-18 พบว่าค่าสภาพต่างที่ลดลงต่อที่เคเอ็นที่ลดลงในถังแอโรบิก เป็น 25, 23, 21 และ 24 ในการทดลองที่ 1, 2, 3 และ 4 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่าค่าสภาพต่างที่ลดลงต่อปริมาณที่เคเอ็นที่ลดลง 1 มก. มากกว่าสภาพต่างที่ต้องการสำหรับการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันตามสมการสโตยชิโอเมตริก (7.14) ทั้งนี้เนื่องจากค่าสภาพต่างที่หายไปบางส่วนรวมตัวกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดในระบบ ซึ่งจะเห็นว่าค่าสภาพต่างไม่เป็นอุปสรรคต่อการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน ดังจะเห็นได้ว่าระบบมีการกำจัดที่เคเอ็นได้มีประสิทธิภาพสูง

4.5.4 ปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน (Dinitrification)

ปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันเกิดโดยแบคทีเรียเปลี่ยนไนเตรท หรือ ไนไตรท์ เพื่อเป็นก๊าซไนโตรเจน ด้วยกระบวนการให้และรับอิเล็กตรอน จากการทดลองสรุปค่าความเข้มข้นของไนเตรทในแต่ละถังที่สภาวะคงตัวได้ดังนี้

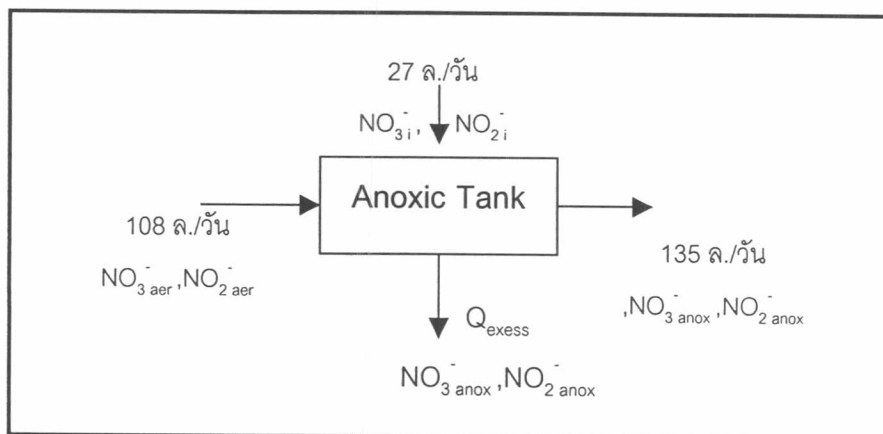
ตารางที่ 4-19 สรุปค่าความเข้มข้นของไนเตรทที่สภาวะคงตัว

การทดลอง	ไนเตรท+ไนไตรท์ (มก./ล.)			
	น้ำเข้าระบบ	น้ำตะกอน เวียนกลับ	น้ำออกจาก ถังแอนน็อกซิก	น้ำออกจาก ถังแอโรบิก
1	0.05	3.50	1.47	0.16
2	0.13	3.03	2.30	1.127
3	0.00	3.53	2.66	0.60
4	0.35	3.68	1.49	0.83

จากตารางที่ 4-19 ค่าความเข้มข้นของไนเตรทในถังแอนน็อกซิกและถังแอนแอโรบิกที่สภาวะคงตัวไม่เท่ากัน ดังนั้นในการศึกษาอัตราการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน ต้องศึกษาทั้งในถังแอนแอโรบิกและแอนน็อกซิก โดยการทำสมดุลมวลของไนเตรทและไนไตรท์ในถังดังกล่าว ซึ่งจะแบ่งเป็น 2 กรณี คือ

- การเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันในถังแอนน็อกซิก
- การเกิดปฏิกิริยาในถังแอนแอโรบิก

กรณีที่ 1 การเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันในถังแอนน็อกซิก พิจารณารูปที่ 4-7



รูปที่ 4-7 การแยกส่วนถังแอนน็อกซิก เพื่อทำสมดุลมวลของไนไตรท์และไนเตรท จากรูปที่ 4-7 เมื่อทำสมดุลมวลของไนไตรท์และไนเตรทจะได้ดังสมการ

$$\Delta(\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-) = (27)(\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-)_i + (108)(\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-)_{\text{aer}} - (135)(\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-)_{\text{anox}} - (Q_{\text{excess}})(\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-)_{\text{anox}} \quad \dots(4.14)$$

เมื่อ

$\Delta(\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-)$ คือ ปริมาณไนไตรท์และไนเตรทที่ลดลง (มก./วัน)

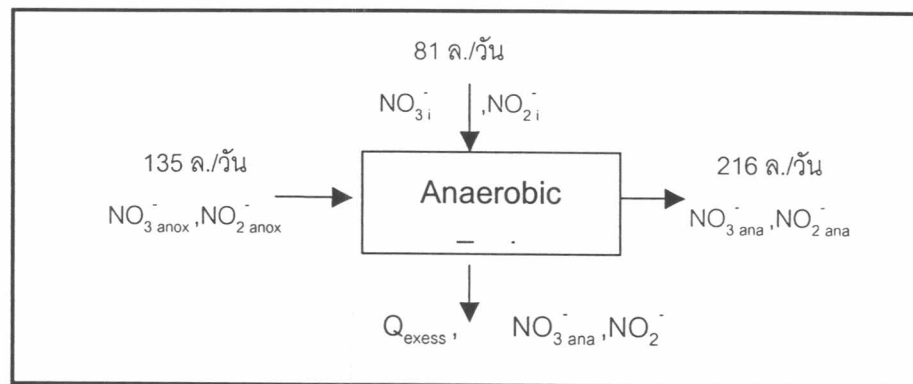
Q_{excess} คือ อัตราการทิ้งตะกอนส่วนเกินในถังแอนน็อกซิก (ล./

วัน)($\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-)_i$ คือ ความเข้มข้นของไนเตรทและไนไตรท์ที่เข้าระบบ (มก./ล.)

$(\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-)_{\text{aer}}$ คือ ความเข้มข้นของไนเตรทและไนไตรท์ในน้ำตะกอนเวียนกลับ (มก./ล.)

$(\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-)_{\text{anox}}$ คือ ความเข้มข้นของไนเตรทและไนไตรท์ออกจากถังแอนน็อกซิก (มก./ล.)

กรณีศึกษาที่ 2 การเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันในถังแอนแอโรบิก พิจารณารูปที่ 4-8



รูปที่ 4-8 การแยกส่วนถังแอนแอโรบิก เพื่อทำสมดุลมวลของไนไตรท์และไนเตรท จากรูปที่ 4-8 เมื่อทำสมดุลมวลของไนไตรท์และไนเตรทจะได้ดังสมการ 4.15

$$\Delta(\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-) = (81)(\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-)_i + (135)(\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-)_{\text{anox}} - (216)(\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-)_{\text{ana}} - (Q_{\text{excess}})(\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-)_{\text{ana}} \quad \dots(4.15)$$

เมื่อ

$\Delta(\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-)$	คือ	ปริมาณไนไตรท์และไนเตรทที่ลดลง	(มก./วัน)
Q_i	คือ	อัตราการไหลของน้ำเสียเข้าถังแอนแอโรบิก	(ล./วัน)
Q_{anox}	คือ	อัตราการไหลออกจากถังแอนอกซิก	(ล./วัน)
Q_{ana}	คือ	อัตราการไหลออกจากถังแอนแอโรบิก	(ล./วัน)
Q_{excess}	คือ	อัตราการทิ้งตะกอนส่วนเกินในถังแอนแอโรบิก	(ล./วัน)
$(\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-)_i$	คือ	ความเข้มข้นของไนไตรท์และไนเตรทที่เข้าระบบ	(มก./ล.)
$(\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-)_{\text{anox}}$	คือ	ความเข้มข้นของไนไตรท์และไนเตรทออกจากถังแอนอกซิก	(มก./ล.)
$(\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-)_{\text{ana}}$	คือ	ความเข้มข้นของไนไตรท์และไนเตรทออกจากถังแอนแอโรบิก	(มก./ล.)

อัตราดีไนตริฟิเคชัน (Dinitrification Rate, DNR) คือ สัดส่วนของปริมาณไนเตรทและไนไตรท์ที่ลดลงต่อเวลา

อัตราดีไนตริฟิเคชันจำเพาะ (Specific Dinitrification Rate, SDNR) คือ สัดส่วนของปริมาณไนเตรทและไนไตรท์ที่ลดลงต่อความเข้มข้นของเอ็มแอลวีเอสเอสทั้งหมดเทียบกับเวลาดังสมการที่ 4.16

$$\text{SDNR} = \frac{\Delta(\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-)}{24(\text{MLVSS})(V)} \quad \dots(4.16)$$

เมื่อ	SDNR	คือ	อัตราดีไนตริฟิเคชันจำเพาะ	(มก./ก.เอ็มแอลวีเอสเอส-ชม.)
	$\Delta(\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-)$	คือ	ปริมาณไนไตรท์และไนเตรทที่ลดลง	(มก./วัน)
	V	คือ	ปริมาตรถัง	(ล.)
	MLVSS	คือ	ความเข้มข้นของเอ็มแอลวีเอสเอส	(มก./ล.)

จากสมการที่ 4.14, 4.15 และ 4.16 สรุปค่าได้ดังตาราง 4-20
ตารางที่ 4-20 แสดงค่าไนไตรท์และไนเตรทที่ลดลงในถังแอนแอโรบิก

การ ทดลอง	$\Delta(\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-)$ (มก./วัน)		MLVSS (มก./ล.)		DNR (มก./ชม.)		SDNR (มก./ก.วีเอสเอส-ชม.)	
	Anoxic	Anaerobic	Anoxic	Anaerobic	Anoxic	Anaerobic	Anoxic	Anaerobic
1	181	168	3,966	4,106	7.5	7.0	0.20	0.20
2	20	78	4,094	4,075	0.8	3.2	0.05	0.18
3	22	229	3,850	3,723	0.9	9.6	0.05	0.28
4	205	50	4,118	4,133	8.6	2.1	0.23	0.11

จากตารางที่ 4-20 จะเห็นว่าอัตราดีไนตริฟิเคชันในถังแอนนออกซิกของการทดลองที่ 1 และ 4 มีค่าสูงกว่าการทดลองที่ 2 และ 3 อย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งในการทดลองที่ 2 และการทดลองที่ 3 มีระยะเวลาที่เก็บทางศาสตร์ของถังแอนนออกซิก 1 ชั่วโมง ขณะที่การทดลองที่ 1 และ 4 มีระยะเวลาที่เก็บทางศาสตร์ของถังแอนนออกซิก 2 ชั่วโมง จึงกล่าวได้ว่าระยะเวลาเก็บทางศาสตร์ของถังแอนนออกซิก 1 ชั่วโมงไม่เพียงพอที่กำจัดไนเตรทและไนไตรท์ของน้ำเสียจากศูนย์การค้าได้หมด ซึ่งทำให้อัตราดีไนตริฟิเคชันจำเพาะต่ำ

อัตราดีไนตริฟิเคชันที่ได้จากงานวิจัยครั้งนี้ใกล้เคียงกับงานวิจัยของบุญโท นิธิพงศ์สกุล (2540) ใช้ระบบตะกอนเร่งแบบสัมผัส-ย่อยสลาย สำหรับค่าอายุตะกอน 16 วัน อัตราดีไนตริฟิเคชันจำเพาะเป็น 0.36 มก.ไนเตรท/ก.เอ็มแอลวีเอสเอส-ชม.

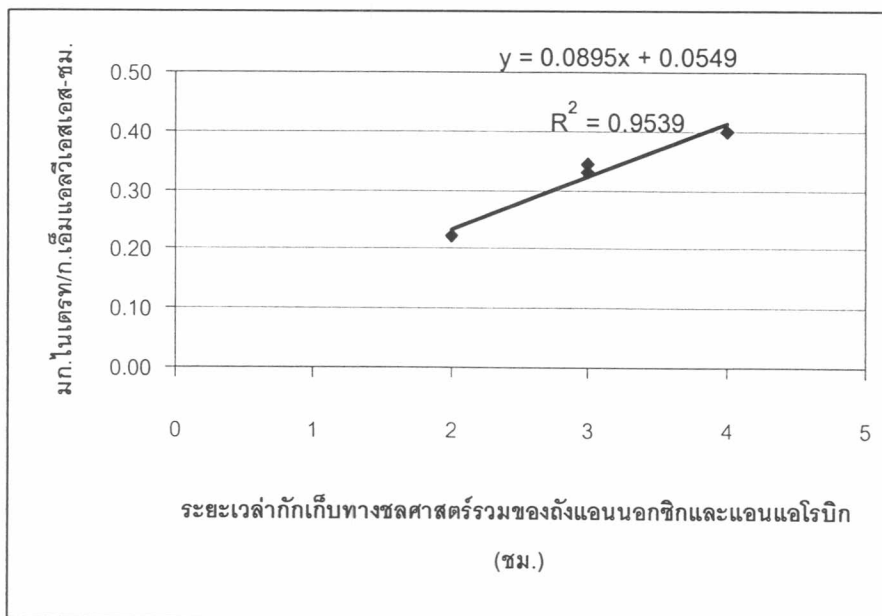
จากตารางที่ 4-20 และตารางที่ 4-10 เมื่อเปรียบเทียบปริมาณไนเตรทและไนไตรท์ที่ลดลงกับการกำจัดซีโอดีในถังแอนนออกซิกและถังแอนแอโรบิกจะได้ดังตารางที่ 4-21 ตารางที่ 4-21 ค่าซีโอดี ไนไตรท์ และไนเตรทที่ลดลงในถังแอนนออกซิกและแอนแอโรบิก

การ ทดลอง	แอนนออกซิก			แอนแอโรบิก			แอนนออกซิก + แอนแอโรบิก		
	COD	NOx	COD/NOx	COD	NOx	COD/NOx	COD	NOx	COD/NOx
1	11,379	181	63	35,758	168	213	47,137	348	135
2	9,018	20	451	30,566	78	395	39,584	97	406
3	9,369	22	429	28,257	229	123	37,626	251	149
4	11,364	205	55	34,224	50	683	45,588	255	178

หมายเหตุ COD คือ ปริมาณซีโอดีที่ลดลง (มก./วัน)
 NOx คือ ปริมาณไนเตรทและไนไตรท์ที่ลดลง (มก./วัน)
 COD/NOx คือ สัดส่วนของซีโอดีที่ลดลงต่อไนเตรทและไนไตรท์ที่ลดลง

จากตารางที่ 4-21 จะเห็นว่าระบบมีการใช้ซีโอดีต่อการกำจัดไนเตรทในปริมาณที่สูงมาก เมื่อเปรียบเทียบกับกำจัดไนเตรทโดยปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันที่มีความต้องการซีโอดีต่อการกำจัดไนเตรท 1 มก. ต้องใช้เมททานอล 2.47 มก.(รวมชีวสังเคราะห์) ถ้าใช้น้ำเสีย ($C_{10}H_{19}O_3N$) ซึ่งเมื่อรวมสารอินทรีย์ที่ใช้ไปในปฏิกิริยาสังเคราะห์ด้วยแล้วคิดเป็นซีโอดี 4.4 มก. ในการเปลี่ยนไนเตรท 1 มก. ให้เป็นก๊าซไนโตรเจน ซึ่งค่าซีโอดีลดลงที่แสดงในตารางที่ 4-21 ไม่ได้ถูกใช้ในปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันทั้งหมด เนื่องจากมีการคายฟอสฟอรัสเกิดที่ต้องใช้ซีโอดีเป็นส่วนหนึ่งของปฏิกิริยาเหมือนกัน รายละเอียดอยู่ในข้อ 4.6

วิเคราะห์การทดลองที่ 1 พบว่าอัตราดีไนตริฟิเคชันจำเพาะรวมสูงที่สุด ซึ่งในการทดลองที่ 2 มีอัตราดีไนตริฟิเคชันจำเพาะรวมต่ำสุด ส่วนการทดลองที่ 3 และ 4 มีอัตราดีไนตริฟิเคชันจำเพาะใกล้เคียงกัน เมื่อพิจารณาค่าระยะเวลาที่เก็บทางศาสตร์ของถังแอนนออกซิก และแอนแอโรบิกกับอัตราดีไนตริฟิเคชันแล้วพบว่า เมื่อระยะเวลาที่เก็บทางศาสตร์รวมของถังแอนนออกซิกและแอนแอโรบิกเพิ่มขึ้น อัตราดีไนตริฟิเคชันจำเพาะมีแนวโน้มสูงไปด้วย ดังรูปที่ 4-9



รูปที่ 4-9 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราดีไนตริฟิเคชันจำเพาะกับระยะเวลาที่กักเก็บทางชลศาสตร์รวมของถังแอนนอกซิกและถังแอนแอโรบิก

จากรูปที่ 4-8 อาจกล่าวได้ว่าระยะเวลาที่กักเก็บทางชลศาสตร์รวมของแอนนอกซิกและแอนแอโรบิก มีผลต่ออัตราดีไนตริฟิเคชันจำเพาะ หรืออีกนัยหนึ่งคือถ้าระยะเวลาที่กักเก็บทางชลศาสตร์ถังแอนนอกซิกไม่เพียงพอ ปฏิกริยาดีไนตริฟิเคชันจะเกิดในถังแอนแอโรบิก ซึ่งอาจจะมีผลกระทบต่อกระบวนการกำจัดฟอสฟอรัสของระบบในถังแอนแอโรบิก ดังจะได้กล่าวในลำดับต่อไป

เมื่อนำเซลล์แบคทีเรียจากถังแอนนอกซิก ที่สภาวะคงตัวไปทดลองแบบแบทช์ เพื่อหาอัตราดีไนตริฟิเคชัน และอัตราดีไนตริฟิเคชันจำเพาะ รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก. จะได้ค่าดังตาราง 4-22

ตารางที่ 4-22 อัตราดีไนตริฟิเคชันจำเพาะในการทดลองแบบแบทช์

การทดลอง	อัตราดีไนตริฟิเคชันจำเพาะ (มก.ไนเตรท/ก.เอ็มแอลวีเอสเอส-ชม.)
1	3.58
2	3.37
3	3.51
4	3.49

จากตารางที่ 4-22 เมื่อทำการทดลองแบบแบทช์ พบว่าอัตราดีไนตริฟิเคชันของแบคทีเรียในการทดลองทั้ง 4 ชุด มีค่าใกล้เคียงกัน โดยมีค่าเฉลี่ยเป็น 3.49 มก.ไนเตรท/ก. เอ็มแอลวีเอสเอส-ซม. เนื่องจากเป็นแบคทีเรียที่นำมาจากแหล่งเดียวกัน เมื่อเปรียบเทียบกับ อัตราดีไนตริฟิเคชันของงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าค่าที่ได้ใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Su and Oyang (1997, อ้างโดย ธงชัย พรรณสวัสดิ์ 2545) ใช้ระบบเอทูโอ อายุตะกอน 15 วัน พบว่าอัตราดีไนตริฟิเคชันเป็น 4.79 มก.ไนเตรท/ก.เอ็มแอลวีเอสเอส-ซม. ขณะที่ระบบไฟรีดอกซ์ดัดแปร อายุตะกอน 10 วัน ของ Pansawad และ Anan (1997,1999 อ้างโดย ธงชัย พรรณสวัสดิ์ 2545) พบว่าอัตราดีไนตริฟิเคชันเป็น 2.5 มก.ไนเตรท/ก.เอ็มแอลวีเอสเอส-ซม. ซึ่ง U.S.EPA (1975, อ้างโดย ธงชัย พรรณสวัสดิ์ 2545) พบว่า ที่อุณหภูมิ 12-27 องศาเซลเซียส อัตราดีไนตริฟิเคชันจะมีค่าประมาณ 1.25-6.25 มก.ไนเตรท/ก.เอ็มแอลวีเอสเอส-ซม.

4.6 การกำจัดฟอสฟอรัสของระบบ

4.6.1 ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสของระบบ

การกำจัดฟอสฟอรัสของระบบเอทีเอ็มบีอาร์ ขึ้นอยู่กับการจับใช้ฟอสฟอรัสของเซลล์แบคทีเรียอย่างเกินพอในสภาวะแอโรบิก หรือที่เรียกว่าแบคทีเรียประเภทพีเอไอ ซึ่งจะมีการสะสมฟอสฟอรัสในเซลล์เป็นปริมาณที่มากกว่าเซลล์แบคทีเรียโดยทั่ว ๆ ไป และเมื่อมีการทิ้งเซลล์ส่วนเกินออกจากระบบ ฟอสฟอรัสก็จะถูกกำจัดออกจากระบบด้วย

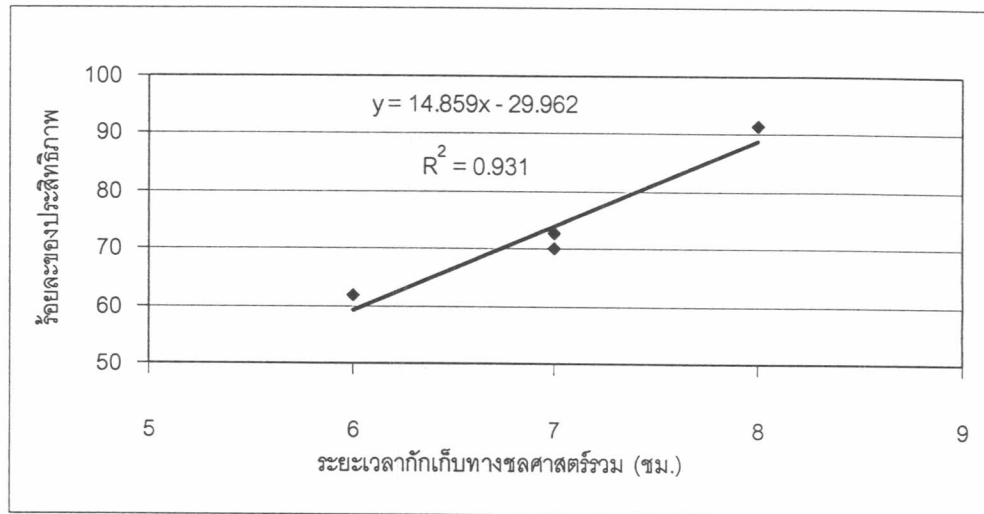
ตารางที่ 4-23 สรุปค่าฟอสฟอรัสของระบบที่สภาวะคงตัว

การทดลอง	ความเข้มข้นของฟอสฟอรัส (มก./ล.)					$\frac{\Delta\text{COD}}{\Delta\text{PO}_4^{-3}}$	การกำจัดฟอสฟอรัส (ร้อยละ)
	น้ำเสียเข้า	แอนนอซิก	แอนแอโรบิก	แอโรบิก	น้ำทิ้ง		
1	10.1	25.6	34.7	1.0	0.9	53	92
2	9.0	10.8	12.9	3.8	3.4	73	62
3	11.3	12.4	17.6	3.7	3.1	48	73
4	10.2	14.5	17.5	3.6	3.1	64	70

จากตารางจะเห็นว่าความเข้มข้นของฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้นในถังแอนนอซิก และแอนแอโรบิก นั้นแสดงว่าปรากฏการณ์การคายฟอสฟอรัสเกิดขึ้นในถังดังกล่าว และเมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสในการทดลองที่ 1 มีค่าสูงสุด ส่วนการทดลองชุดที่ 2 มีประสิทธิภาพต่ำที่สุด แม้ว่าการทดลองทั้ง 4 ชุดมีค่าระยะเวลาที่เก็บทางศาสตร์ของถังแอโรบิกเท่ากัน นั้นแสดงว่าการคายฟอสฟอรัสมีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสของระบบ ซึ่งระยะเวลาที่เก็บทางศาสตร์ของสภาวะไร้ออกซิเจน (รวมทั้งถังแอนนอซิกด้วย) เป็นตัวแปรหนึ่งในการเพิ่มอัตราการคายของฟอสฟอรัส ซึ่งตัวแปรที่สำคัญอื่น ๆ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัส ได้แก่ อุณหภูมิ ออกซิเจนละลาย ค่าซีไอดี เป็นต้น

Grady และคณะ (1999) นิยามว่าอัตราส่วนซีไอดีที่ถูกกำจัดต่อฟอสฟอรัสที่ถูกกำจัดต้องมากกว่า 43 กระบวนการกำจัดฟอสฟอรัสทางชีวภาพจึงจะเกิดขึ้นได้ดี ซึ่งจากการทดลองค่าสัดส่วนดังกล่าวของทุกการทดลองในงานวิจัยครั้งนี้มากกว่า 43 ทุกการทดลอง สำหรับการทดลองที่ 2-4 ก็ยังไม่สามารถกำจัดฟอสฟอรัสให้มีประสิทธิภาพดีได้

เมื่อนำค่าประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัส และระยะเวลาเก็บทางชลศาสตร์ แสดงเป็นความสัมพันธ์ในรูปกราฟ จะได้ดังรูปที่ 4-10



รูปที่ 4-10 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัส และผลรวมของระยะเวลาเก็บทางชลศาสตร์ของระบบ

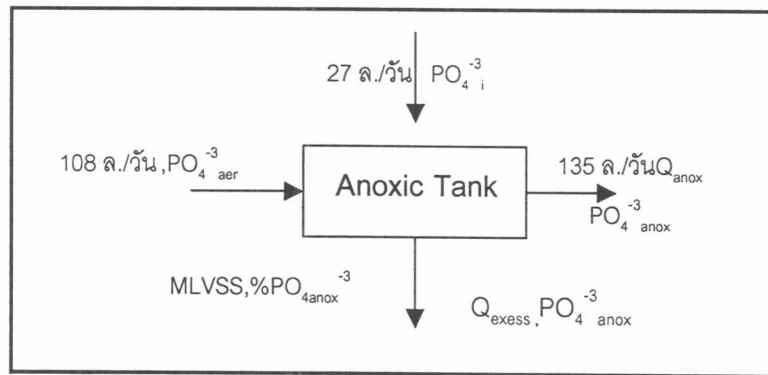
จากรูปที่ 4-10 กล่าวได้ว่า ระยะเวลาเก็บทางชลศาสตร์รวมของถังแอนนออกซิก และถังแอนแอโรบิก ของระบบเอทีเอ็มบีอาร์มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสของงานวิจัยครั้งนี้ โดยถ้าเพิ่มระยะเวลาเก็บทางชลศาสตร์ของสภาวะไร้อากาศให้มากขึ้น ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสจะมีแนวโน้มสูงขึ้นด้วย

4.6.2 การคายฟอสฟอรัสของระบบ

จากตารางที่ 4-23 จะเห็นว่าความเข้มข้นของฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้นในถังแอนนออกซิก และแอนแอโรบิก ดังนั้นในการหาอัตราการคายฟอสฟอรัส ต้องทำการสมมูลมวลของฟอสฟอรัส โดยในงานวิจัยครั้งนี้จะศึกษาการคายฟอสฟอรัสใน 2 กรณี คือ

- การคายฟอสฟอรัสในถังแอนนออกซิก
- การคายฟอสฟอรัสในถังแอนแอโรบิก

กรณีที่ 1 การคายฟอสฟอรัสในถังแอนน็อกซิก พิจารณา รูปที่ 4-11



รูปที่ 4-11 การแยกส่วนถังแอนน็อกซิก เพื่อทำสมดุลมวลของฟอสฟอรัส

จากรูปที่ 4-11 เมื่อทำสมดุลมวลของฟอสฟอรัสในระบบ จะได้ว่าปริมาณฟอสฟอรัสจะมีการคายดังสมการที่ 4.17

$$\Delta PO_4^{-3} = (135)(PO_4^{-3})_{anox} + (Q_{excess})(PO_4^{-3})_{anox} + (MLVSS_{anox})(Q_{excess})(\%PO_4^{-3}) - (108)(PO_4^{-3})_{aer} - (27)(PO_4^{-3})_i \quad \dots(4.17)$$

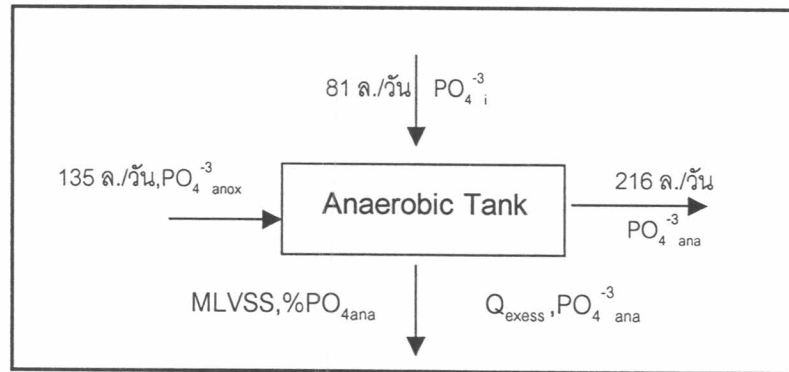
เมื่อ

ΔPO_4^{-3}	คือ	ปริมาณฟอสฟอรัสที่เพิ่มขึ้น	(มก./วัน)
Q_{excess}	คือ	อัตราการการทิ้งตะกอนส่วนเกินในถังแอนน็อกซิก	(ล./วัน)
$(PO_4^{-3})_i$	คือ	ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสที่เข้าระบบ	(มก./ล.)
$(PO_4^{-3})_{aer}$	คือ	ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในตะกอนเวียนกลับ	(มก./ล.)
$(PO_4^{-3})_{anox}$	คือ	ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสออกจากถังแอนน็อกซิก	(มก./ล.)
MLVSS	คือ	ความเข้มข้นของเอ็มแอลวีเอสเอสในถังแอนน็อกซิก	(มก./ล.)
$\%PO_4^{-3}$	คือ	ร้อยละของฟอสฟอรัสในเซลล์ที่สภาวะคงตัว ดังตารางที่ 4-24	

ตารางที่ 4-24 ร้อยละของฟอสฟอรัสในเซลล์ ที่สภาวะคงตัว

การทดลอง	ร้อยละของฟอสฟอรัสต่อเอ็มแอลวีเอสเอส		
	แอนน็อกซิก	แอนแอโรบิก	แอโรบิก
1	1.7	1.6	7.8
2	1.6	1.5	3.4
3	1.6	1.3	4.6
4	1.5	1.4	4.4

กรณีศึกษาที่ 2 การคายฟอสฟอรัสในถังแอนแอโรบิก พิจารณา รูปที่ 4-12



รูปที่ 4-12 การแยกส่วนถังแอนแอโรบิก เพื่อทำสมดุลมวลของฟอสฟอรัส

จากรูปที่ 4-12 เมื่อทำสมดุลมวลของฟอสฟอรัสในระบบ จะได้ว่าปริมาณฟอสฟอรัสจะมีการคายดังสมการที่ 4.18

$$\Delta PO_4^{-3} = (216)(PO_4^{-3})_{ana} + (Q_{excess})(PO_4^{-3})_{ana} + (MLVSS_{ana})(Q_{excess})(\%PO_4^{-3}) - (135)(PO_4^{-3})_{anox} - (81)(PO_4^{-3})_i \quad ..(4.18)$$

เมื่อ

ΔPO_4^{-3}	คือ	ปริมาณฟอสฟอรัสที่เพิ่มขึ้น	(มก./วัน)
Q_{excess}	คือ	อัตราการการทิ้งตะกอนส่วนเกินในถังแอนแอโรบิก	(ล./วัน)
$(PO_4^{-3})_i$	คือ	ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสที่เข้าระบบ	(มก./ล.)
$PO_4^{-3} anox$	คือ	ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสออกจากถังแอนนอกซิก	(มก./ล.)
$PO_4^{-3} ana$	คือ	ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสออกจากถังแอนแอโรบิก	(มก./ล.)
MLVSS	คือ	ความเข้มข้นของเอ็มแอลวีเอสเอสในถังแอนแอโรบิก	(มก./ล.)
$\%PO_4^{-3}$	คือ	ร้อยละของฟอสฟอรัสในเซลล์ที่สภาวะคงตัว ดังตารางที่ 4-24	

อัตราการคายฟอสฟอรัส (Phosphorus Release Rate, PRR) คือ สัดส่วนของปริมาณฟอสฟอรัสที่เพิ่มขึ้นต่อเวลา

อัตราการคายฟอสฟอรัสจำเพาะ (Specific Phosphorus Release Rate, SPRR) คือ สัดส่วนของปริมาณฟอสฟอรัสที่เพิ่มขึ้นต่อปริมาณเอ็มแอลวีเอสเอสทั้งหมดเทียบกับเวลา ดังสมการที่ 4.19

$$\text{SPRR} = \frac{\Delta\text{PO}_4^{-3}}{24(\text{MLVSS})(V)} \dots(4.19)$$

เมื่อ	SPRR	คือ	อัตราการคายฟอสฟอรัสจำเพาะ	(มก./ก.วีเอสเอส-ชม.)
	ΔPO_4^{-3}	คือ	ปริมาณฟอสฟอรัสที่เพิ่มขึ้น	(มก./วัน)
	V	คือ	ปริมาตรถัง	(ล.)
	MLVSS	คือ	ความเข้มข้นของเอ็มแอลวีเอสเอส	(มก./ล.)

จากสมการที่ 4.20, 4.21 และ 4.22 สามารถสรุปค่าได้ดังตาราง 4-25

ตารางที่ 4-25 แสดงผลการทำสมดุลมวลของฟอสฟอรัสในถังแอนน็อกซิกและแอนแอโรบิก

การทดลอง	ΔPO_4^{-3} (มก./วัน)		MLVSS (มก./ล.)		PRR (มก.ฟอสฟอรัส/ชม.)		SPRR (มก.ฟอสฟอรัส/ก.เอ็มแอลวีเอสเอส-ชม.)	
	Anoxic	Anaerobic	Anoxic	Anaerobic	Anoxic	Anaerobic	Anoxic	Anaerobic
1	3,062	3,217	4,106	3,966	127.57	134.05	3.45	3.76
2	797	578	4,075	4,094	33.22	24.06	1.81	1.31
3	960	1,206	3,723	3,850	40.01	50.26	2.39	1.45
4	1,281	993	4,133	4,118	53.37	41.35	1.44	2.23

จากตารางที่ 4-25 ในการทดลองที่ 1 พบว่าการคายฟอสฟอรัสเกิดขึ้นทั้งในถังแอนน็อกซิกและแอนแอโรบิก โดยทั่วไปการคายฟอสฟอรัสจะไม่เกิดขึ้นในถังแอนน็อกซิก แต่ในงานวิจัยนี้กลับพบว่ามี การคายฟอสฟอรัสเกิดขึ้นในถังแอนน็อกซิก เนื่องจากระบบมีเอ็มแอลเอสเอสสูง ทำให้ช่วยลดผลกระทบเนื่องจากไนเตรตต่อการคายฟอสฟอรัสในถังแอนน็อกซิกได้ นอกจากนี้ความเข้มข้นของไนเตรตที่เข้าถังแอนน็อกซิกของการทดลองที่ 1 ไม่สูงมากนัก พบว่ามีไนเตรตเข้าถังแอนน็อกซิก 2.76 มก./ล. ระยะเวลาที่เก็บทางศาสตร์ของถังแอนน็อกซิก 2 ชั่วโมง อัตราการคายฟอสฟอรัสจำเพาะในถังแอนน็อกซิกเป็น 3.45 มก.ฟอสฟอรัส/ก.เอ็มแอลวีเอสเอส-ชม. ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับ การทดลองที่ 2 ที่กำหนดระยะเวลาที่เก็บทางศาสตร์ของถังแอนน็อกซิกเป็น 1 ชั่วโมง มีไนเตรตเข้า 4.70 มก./ล. ซึ่งเป็นค่าที่สูงมาก ระบบมีอัตราการคายฟอสฟอรัสจำเพาะได้เพียง 1.81 มก.ฟอสฟอรัส/ก.เอ็มแอลวีเอสเอส-ชม. เมื่อเปรียบเทียบกับ การทดลองของณัฐพันธ์ กลิ่นเกษร (2545) ใช้ระบบเอทีเอ็มปิวารีในการวิจัย พบว่าระบบมีอัตราการคายฟอสฟอรัสเป็น 17.05 มก.ฟอสฟอรัส/ก.เอ็มแอลวีเอสเอส-ชม.ที่ค่าอายุตะกอน 40 วัน ทั้งนี้เนื่องจากไม่มีการรบกวนของไนเตรต

เมื่อเปรียบเทียบกับระบบการกำจัดธาตุอาหารแบบไซคลิกแอกติเวเต็ดส์สไลด์จ์ ของกนกวรรณ เหลืองศรีชัย (2541)พบว่าอัตราการคายฟอสฟอรัสจะลดลงเมื่อค่าอายุตะกอนมากขึ้น และอัตราการคายฟอสฟอรัสเป็น 3.51 และ 0.08 มก.ฟอสฟอรัส/ก.เอ็มแอลวีเอสเอส-ซม. ที่ค่าอายุตะกอน 5 และ 10 วัน สำหรับวัฏจักรการทำงาน 8 ชม./รอบ ซึ่งในงานวิจัยครั้งนี้พบว่าอัตราการคายของฟอสฟอรัสจำเพาะรวมสูงกว่า โดยในการทดลองที่ 1 เป็น 7.21 มก.ฟอสฟอรัส/ก.เอ็มแอลวีเอสเอส-ซม. แม้ว่าจะดำเนินการภายใต้ค่าอายุตะกอนสูงถึง 40 วัน ทั้งนี้เนื่องจากระบบเอทรีเอ็มบีอาร์มีปริมาณเอ็มแอลวีเอสเอสในระบบสูง

จากตารางที่ 4-25 และตารางที่ 4-10 เมื่อเปรียบเทียบปริมาณการคายฟอสฟอรัสกับการกำจัดซีโอดีในถังแอนน็อกซิกและถังแอนแอโรบิกจะได้ดังตารางที่ 4-26

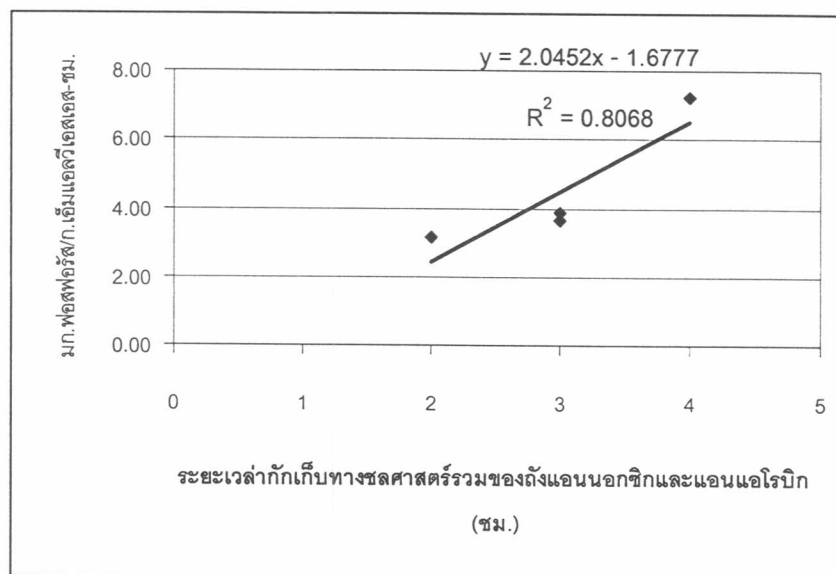
ตารางที่ 4-26 ค่าซีโอดี และฟอสฟอรัสที่เพิ่มขึ้นในถังแอนน็อกซิกและแอนแอโรบิก

การทดลอง	แอนน็อกซิก			แอนแอโรบิก			แอนน็อกซิก + แอนแอโรบิก		
	COD	PO ₄ ³⁻	COD/ PO ₄ ³⁻	COD	PO ₄ ³⁻	COD/ PO ₄ ³⁻	COD	PO ₄ ³⁻	COD/ PO ₄ ³⁻
1	11,379	3,062	3.72	35,758	3,217	11.11	47,137	6,279	7.51
2	9,018	797	11.31	30,566	578	52.93	39,584	1,375	28.79
3	9,369	960	9.76	28,257	1,206	23.42	37,626	2,167	17.37
4	11,364	1,281	8.87	34,224	993	34.48	45,588	2,273	20.05

หมายเหตุ COD คือ ปริมาณซีโอดีที่ลดลง (มก./วัน)
 PO₄³⁻ คือ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เพิ่มขึ้น(มก./วัน)
 COD/ PO₄³⁻ คือ สัดส่วนของซีโอดีที่ลดลงต่อฟอสฟอรัสที่เพิ่มขึ้น

จากตารางที่ 4-26 พบว่าสัดส่วนการใช้จับใช้ซีโอดีต่อปริมาณฟอสฟอรัสที่ปล่อยออกมาไม่เท่ากันในแต่ละการทดลอง โดยจะสูงขึ้นเมื่อระยะเวลาพักกักทางจุลชีววิทยารวมของถังแอนน็อกซิกและแอนแอโรบิกรวมต่ำลง (ในการทดลองที่ 2) อธิบายได้ว่าในการทดลองที่ 2 มีปริมาณฟอสฟอรัสที่คายออกมาน้อย แต่ปริมาณซีโอดีที่ถูกจับใช้ส่วนหนึ่งจะถูกใช้ในปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันของระบบ จากการวิจัยของอร รุ่งเรืองวัฒน์ (2542) พบว่าสัดส่วนการใช้ซีโอดี 8.3 มก. ต่อการคายฟอสฟอรัส 1 มก.ในระบบที่ไม่มีการรบกวนของไนเตรท

ซึ่งเมื่อพิจารณาระยะเวลาที่เก็บทางชลศาสตร์ของถังแอนนอซิกและแอนแอโรบิกกับ อัตราการคายฟอสฟอรัสจำเพาะ ดังรูปที่ 4-13



รูปที่ 4-13 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการคายฟอสฟอรัสจำเพาะกับของระยะเวลาที่เก็บทางชลศาสตร์รวมของถังแอนนอซิกกับถังแอนแอโรบิก

จากรูปที่ 4-13 เมื่อเพิ่มระยะเวลาที่เก็บทางชลศาสตร์รวมของถังแอนนอซิกและแอนแอโรบิก จะเห็นว่าอัตราการคายฟอสฟอรัสจำเพาะมีแนวโน้มสูงขึ้น

เมื่อนำเซลล์แบคทีเรียในถังแอโรบิกที่สภาวะคงตัวไปทดลองแบบแบทช์ เพื่อหาอัตราการคายฟอสฟอรัส และอัตราการคายฟอสฟอรัสจำเพาะ รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก. จะได้ค่าดังตารางที่ 4-27

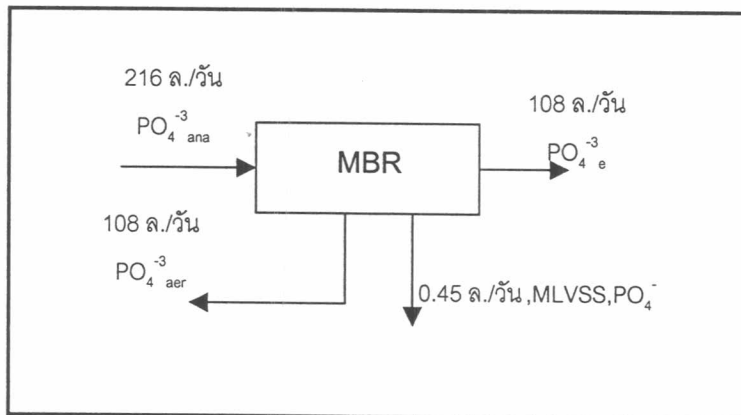
ตารางที่ 4-27 อัตราการคายฟอสฟอรัสจำเพาะ

การทดลอง	อัตราการคายฟอสฟอรัสจำเพาะ (มก./ฟอสฟอรัส/ก.เอ็มแอลวีเอสเอส-ชม.)
1	15.55
2	8.70
3	12.77
4	12.04

จากตารางที่ 4-27 เมื่อเปรียบเทียบกับกรนำเชื้อแบคทีเรียจากถังแอโรบิกไปหา อัตราการคายฟอสฟอรัสจำเพาะ พบว่าการทดลองแบบแบทช์มีค่าอัตราการคายฟอสฟอรัสจำเพาะ สูงกว่าในงานวิจัย เนื่องจากในการทดลองแบบแบทช์มีการเติมฟอสฟอรัสในปริมาณที่สูงกว่าในการทดลองที่เกิดจริง และสารอาหารที่ให้การทดลองเป็นอะซิเตท ซึ่งแบคทีเรียที่ใช้อะซิเตทเป็นสารอาหารจะมีการคายฟอสฟอรัสดีกว่าการใช้น้ำเสียจริง หรือสารอาหารชนิดอื่น สอดคล้องกับงานวิจัยของอร รุ่งเรืองวัฒน์ (2542) ที่ใช้น้ำเสียสังเคราะห์โดยมีอัตราส่วนอาร์บีซีโอดีต่อฟอสฟอรัสเป็น 48:1 พบว่าอัตราการคายฟอสฟอรัสจำเพาะเป็น 29.81 มก.ฟอสฟอรัส/ก.วีเอสเอส-ซม. ทำนองเดียวกันกับอภิรดี ดวงใจ (2543) ทดลองที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส อัตราการคายฟอสฟอรัสเป็น 17.69 มก.ฟอสฟอรัส/ก.วีเอสเอส-ซม.

4.6.3 การจับใช้ฟอสฟอรัสของระบบ

ในการหาอัตราการจับใช้ฟอสฟอรัส ต้องทำการสมดุลมวลของฟอสฟอรัสในถังแอโรบิก พิจารณา รูปที่ 4-14



รูปที่ 4-14 การแยกส่วนถังแอโรบิก เพื่อทำสมดุลมวลของฟอสฟอรัส

จากรูปที่ 4-14 เมื่อทำสมดุลมวลของฟอสฟอรัสในระบบ จะได้ว่าปริมาณฟอสฟอรัสที่ถูกจับใช้เป็นดังสมการที่ 4.19

$$\Delta PO_4^{-3} = (216)(PO_4^{-3}{}_{ana}) - (108)(PO_4^{-3}{}_e) - (0.45)(PO_4^{-3}{}_{aer}) - (108)(PO_4^{-3}{}_{aer}) - (MLVSS_{aer})(\%PO_4^{-3})(0.45) \dots(4.20)$$

เมื่อ

ΔPO_4^{-3}	คือ	ปริมาณฟอสฟอรัสที่ลดลง	(มก./วัน)
$(\text{PO}_4^{-3})_{\text{ana}}$	คือ	ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสที่ออกจากถังแอนแอโรบิก	(มก./ล.)
$(\text{PO}_4^{-3})_{\text{aer}}$	คือ	ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในตะกอนเวียนกลับ	(มก./ล.)
$(\text{PO}_4^{-3})_e$	คือ	ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในน้ำทิ้ง	(มก./ล.)
MLVSS	คือ	ความเข้มข้นของเอ็มแอลวีเอสเอสในถังแอโรบิก	(มก./ล.)
$\%\text{PO}_4^{-3}$	คือ	ร้อยละของฟอสฟอรัสในเซลล์ที่สภาวะคงตัว ดังตารางที่ 4-24	

อัตราการจับใช้ฟอสฟอรัส (Phosphorus Uptake Rate, PUR) คือ สัดส่วนของปริมาณฟอสฟอรัสที่เพิ่มขึ้นในถังแอโรบิกต่อเวลา

อัตราการจับใช้ฟอสฟอรัส จำเพาะ (Specific Phosphorus Uptake Rate, SPUR) คือ สัดส่วนของปริมาณฟอสฟอรัสที่เพิ่มขึ้นในถังแอโรบิก ต่อปริมาณของเอ็มแอลวีเอสเอสใน ถังแอโรบิกเทียบกับเวลาดังสมการที่ 4.20

$$\text{SPUR} = \frac{\Delta\text{PO}_4^{-3}}{24(\text{MLVSS})(V_{\text{aer}})} \quad \dots(4.21)$$

เมื่อ	SPUR	คือ	อัตราการคายฟอสฟอรัสจำเพาะ	(มก./ก.วีเอสเอส-ชม.)
	ΔPO_4^{-3}	คือ	ปริมาณฟอสฟอรัสที่ลดลง	(มก./วัน)
	V_{aer}	คือ	ปริมาตรถังแอโรบิก	(ล.)
	MLVSS	คือ	ความเข้มข้นของเอ็มแอลวีเอสเอส	(มก./ล.)

จากสมการที่ 4.22 และ 4.23 อัตราการจับใช้ฟอสฟอรัส และอัตราการจับใช้ฟอสฟอรัสจำเพาะสามารถสรุปค่าได้ดังตาราง 4-28

ตารางที่ 4-28 แสดงผลการทำสมดุลมวลของฟอสฟอรัสในถังแอโรบิก

การทดลอง	MLVSS (มก./ล.)	ΔPO_4^{-3} (มก./วัน)	PUR (มก.ฟอสฟอรัส/ชม.)	SPUR (มก.ฟอสฟอรัส/ก.เอ็มแอลวีเอสเอส-ชม.)
1	4,433	7,142	298	3.73
2	4,412	1,923	80	1.01
3	4,289	2,981	124	1.61
4	4,266	2,977	124	1.62

ในงานวิจัยครั้งนี้ กำหนดค่าระยะเวลาพักเก็บทางศาสตร์ของถังแอร์โรบิกเท่ากัน แต่มีอัตราการจับใช้ฟอสฟอรัสแตกต่างกัน โดยในการทดลองที่ 1 มีอัตราการจับใช้ฟอสฟอรัสสูงที่สุด และต่ำที่สุดในการทดลองที่ 2 ถึงแม้ว่าความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในน้ำทิ้งของการทดลองที่ 2 จะมีค่าใกล้เคียงกับการทดลองที่ 3 และ 4 แต่เมื่อพิจารณาอัตราการคายฟอสฟอรัสของการทดลองที่ 2 (ดังได้กล่าวแล้วในข้อ 4.6.2) มีอัตราการคายฟอสฟอรัสต่ำสุด และมีระยะเวลาพักเก็บทางศาสตร์ของถังแอร์โรบิกและแอนน็อกซิกต่ำสุดด้วย ทั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบสัดส่วนของฟอสฟอรัสในเซลล์ จากตารางที่ 4-24 จะเห็นว่าสัดส่วนของฟอสฟอรัสในเซลล์ของการทดลองที่ 2, 3 และ 4 มีค่าลดลง หรืออาจกล่าวได้ว่ากลุ่มแบคทีเรียพีเอโอมีสัดส่วนลดลงจากแบคทีเรียทั้งหมด ทำให้อัตราการจับใช้ฟอสฟอรัสต่ำลง

ทั้งนี้ผลการวิจัยที่ได้สอดคล้องกับการวิจัยของณัฐพันธ์ กลิ่นเกษร (2545) พบว่าระบบมีอัตราการจับใช้ฟอสฟอรัสเป็น 3.38 มก./ฟอสฟอรัส/ก.เอ็มแอลวีเอสเอส-ชม.ที่ค่าอายุตะกอน 40 วัน ระบบมีประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสร้อยละ 91 มีค่าระยะเวลาพักเก็บทางศาสตร์รวม 28 ชม. เมื่อนำเซลล์แบคทีเรียในถังแอร์โรบิกที่สภาวะคงตัวไปทดลองแบบแบทช์ เพื่อหาอัตราการจับใช้ฟอสฟอรัส และอัตราการจับใช้ฟอสฟอรัสจำเพาะ รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก. จะได้ค่าดังตารางที่ 4-29

ตารางที่ 4-29 อัตราการจับใช้ฟอสฟอรัสจำเพาะ

การทดลอง	อัตราการจับใช้ฟอสฟอรัสจำเพาะ (มก.ฟอสฟอรัส/ก.เอ็มแอลวีเอสเอส-ชม.)
1	20.82
2	10.08
3	16.17
4	15.42

จากตารางที่ 4-29 พบว่าอัตราการจับใช้ฟอสฟอรัสจำเพาะใกล้เคียงกับงานวิจัยของปริญดา เหล่าจรรจินดา (2541) ทำการทดลองหาอัตราการจับใช้ฟอสฟอรัสจำเพาะแบบแบทช์ ได้ค่าอัตราการจับใช้ฟอสฟอรัสจำเพาะเท่ากับ 18.0 มก./ฟอสฟอรัส/ก.เอ็มแอลวีเอสเอส-ชม.และอภิรดี ดวงใจ พบว่าค่าอัตราการจับใช้ฟอสฟอรัสจะเพาะเท่ากับ 28.81 มก./ฟอสฟอรัส/ก.เอ็มแอลวีเอสเอส-ชม.ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

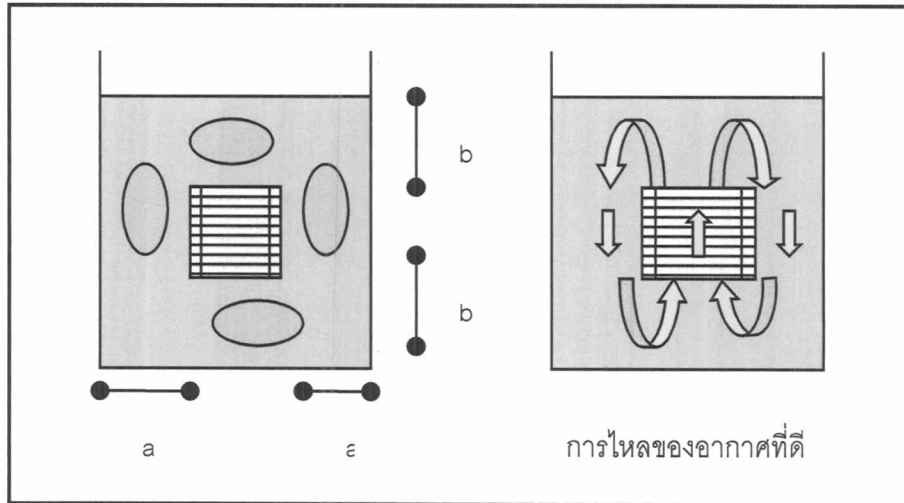
4.7 การควบคุมระบบการกรองเมมเบรน

ในการวิจัยค่าฟลักซ์การกรองของเมมเบรนเป็นตัวแปรหนึ่งที่ต้องทำการควบคุมให้คงที่ คือ 15 ล./ตร.ม.-ชม.

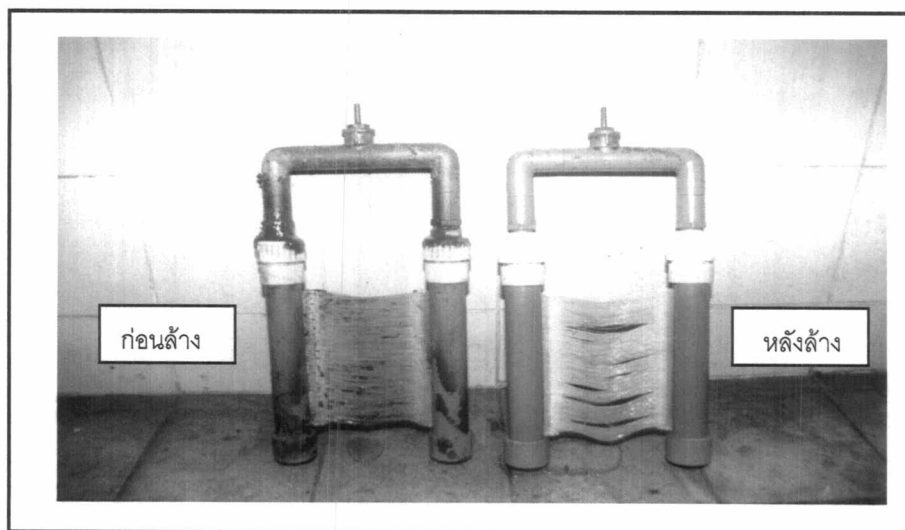
การควบคุมระบบได้ปฏิบัติตามคำแนะนำของผู้ผลิต ที่ต้องล้างเมมเบรนด้วยสารเคมีเมื่อ ค่าแรงดันเพิ่มจากค่าแรงดันในตอนเริ่มใช้ครั้งแรก 20 กิโลปาสคาล ซึ่งโดยทั่วไปความถี่ในการล้างเมมเบรน ประมาณ 3 เดือน/ครั้ง ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของแอมัลเอสเอสในระบบ

เริ่มดำเนินการวิจัยวัดค่าแรงดันเริ่มต้นได้ 18 กิโลปาสคาล เมื่อค่าแรงดันสูงประมาณ 35 กิโลปาสคาล จะทำการล้างเมมเบรนด้วยสารเคมี ซึ่งสารเคมีที่ใช้เป็นส่วนผสมของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น ร้อยละ 2 โดยปริมาตร และสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์ (NaHOCl) ความเข้มข้น ร้อยละ 1.2 ปริมาณที่ใช้ 10 ลิตร (ใช้ได้ตลอดทั้งการทดลอง) เพื่อให้สามารถแช่ชุดเมมเบรนไว้ได้ ตั้งทิ้งไว้ประมาณ 10 นาที นำไปล้างด้วยน้ำประปาให้ปราศจากสารเคมี ก่อนนำไปใส่ในถังแอโรบิก

การทดลองเริ่มต้นกำหนดค่าระยะเวลาเก็บทางชลศาสตร์ของถังแอนนอซิก ถังแอนแอโรบิก และถังแอโรบิก เป็น 2, 2 และ 2 ชม. หลังจากเริ่มเดินระบบได้ 20 วัน (วันที่ 10 เมษายน 2546) พบว่าค่าแรงดันของเครื่องสูบน้ำทิ้งจากเมมเบรนเฉลี่ย 45 กิโลปาสคาล ต้องล้างด้วยน้ำประปาทุก 2 วัน เมื่อล้างด้วยน้ำประปาค่าแรงดันจะลดลงเหลือประมาณ 30 กิโลปาสคาล เมื่อล้างด้วยสารเคมีค่าความดันจะเหลือประมาณ 24 กิโลปาสคาล จากการทดลอง 20 วัน ต้องล้างสารเคมี ประมาณ 2 ครั้ง ซึ่งบริษัทผู้ผลิตได้แนะนำว่าการติดตั้งชุดเมมเบรน ควรมีช่องว่างระหว่างผนังถังปฏิกรณ์ กับชุดเมมเบรนที่เหมาะสม เป็นระยะ a และ b เพื่อให้เกิดการไหลของอากาศในแนวตั้ง ดังรูปที่ 4-15 ซึ่งถังแอโรบิกที่มีระยะเวลากักเก็บทางชลศาสตร์ 2 ชม. ไม่สามารถจัดระยะได้ตามผู้ผลิตแนะนำ อาจจะเป็นอีกสาเหตุที่ทำให้ค่าแรงดันสูงเกินไป ลักษณะของเมมเบรนที่ใช้ในงานวิจัยเป็นดังรูปที่ 4-16

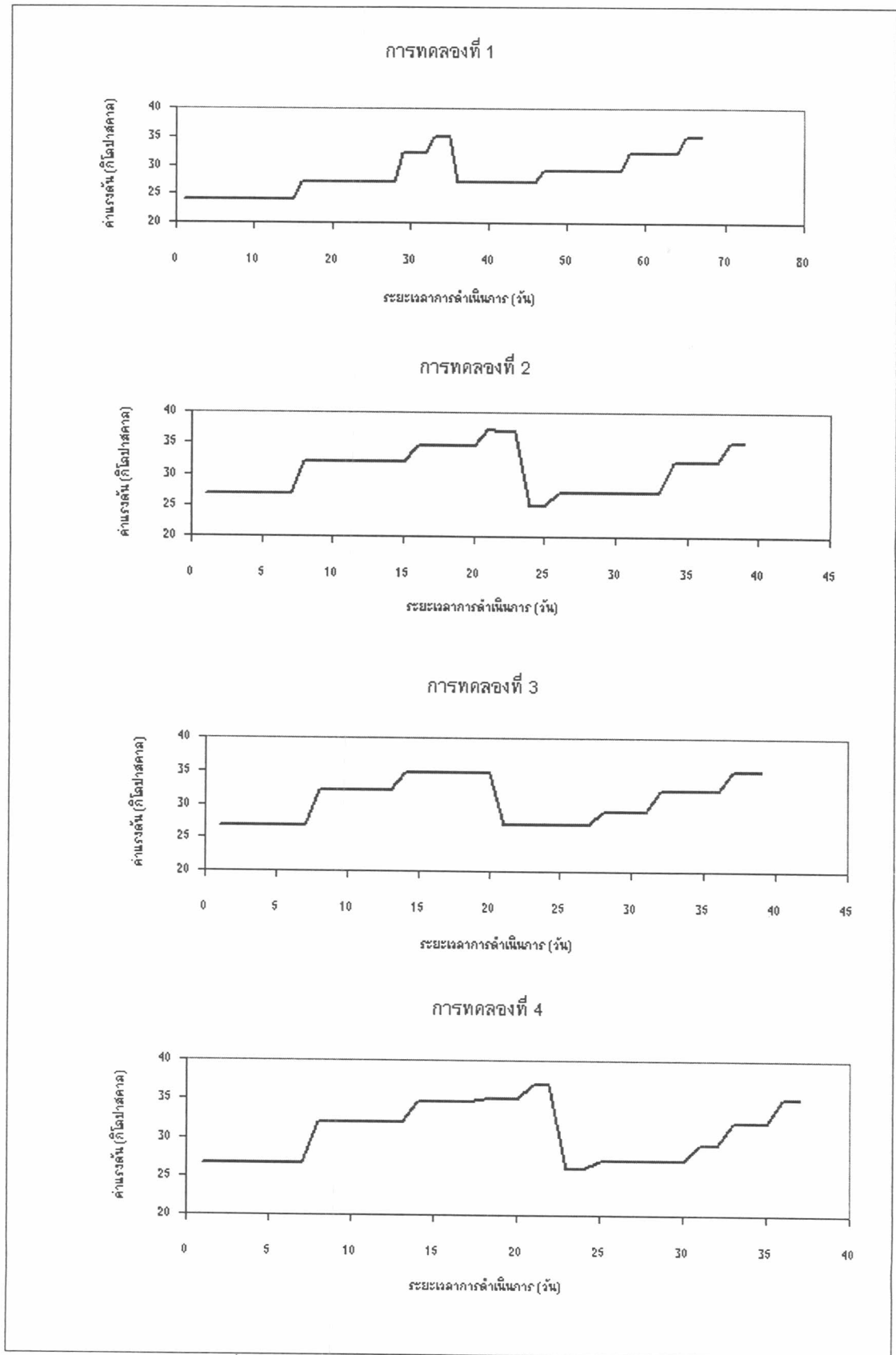


รูปที่ 4-15 ลักษณะการวางเมมเบรนตามคำแนะนำของบริษัทชชุพิชิตี เรยอน



รูปที่ 4-16 ลักษณะของเมมเบรนที่ยังไม่ล้างและเมมเบรนที่สะอาด

จากการทดลองพบว่าค่าแรงดันของการทดลองทั้ง 4 ชุด เป็นดังรูปที่ 4-17



รูปที่ 4-17 ค่าแรงดันของเมมเบรนตลอดทั้งการทดลอง

จากรูปที่ 4-17 จะพบว่าความถี่ในการล้างเมมเบรนด้วยสารเคมีของการทดลองที่ 1 ประมาณ 35 วัน และลดลงเป็นประมาณ 20-25 วัน ในการทดลองที่ 2-4 ซึ่งมีความถี่มากกว่าคำแนะนำของผู้ผลิต (ประมาณ 3 เดือน ต่อครั้ง) ทั้งนี้เนื่องจากผู้ทำการวิจัยขาดความชำนาญในการเดินระบบ และการติดตั้งชุดเมมเบรน

4.8 การวิเคราะห์การนำน้ำทิ้งกลับไปใช้ประโยชน์ใหม่

จากผลการวิจัยสามารถสรุปค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญในการพิจารณาคุณภาพน้ำทิ้งเพื่อการนำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ ดังตารางที่ 4-30

ตารางที่ 4-30 คุณภาพน้ำทิ้งในงานวิจัยและมาตรฐานน้ำทิ้งที่นำกลับมาใช้ประโยชน์ได้

พารามิเตอร์	หน่วย	ยูเอสอีพีเอ		ประเทศญี่ปุ่น		การทดลองที่			
		1*	2*	3*	4*	1	2	3	4
พีเอช	-	6-9	6-9	5.8-9	5.8-9	7.30	7.14	7.40	7.32
ความขุ่น	เอ็นทียู	<2	-	≤5	≤5	0.23	0.32	0.68	0.55
สี	เอสยู	-	-	≤10	≤5	-	-	-	-
ของแข็งแขวนลอย	มก./ล.	≤5	≤30	≤5	≤5	0	0	0	0
บีโอดี	มก./ล.	≤10	≤30	≤10	≤5	1.7	2.3	2.5	5.7
ซีโอดี	มก./ล.	-	-	≤40	≤20	23	30	29	24
ทีเคเอ็น	มก./ล.	-	-	-	≤5	1.4	3.0	2.2	3.6
แอมโมเนีย	มก./ล.	-	-	≤20	≤20	-	-	-	-
ฟอสฟอรัส	มก./ล.	-	-	≤1	-	0.7	3.7	3.2	3.6
คลอรีน	มก./ล.	1	1	-	-	-	-	-	-
โคลิฟอร์มทั้งหมด	โคโลนี	-	-	ไม่มี	-	-	-	-	-
ฟิคัลโคลิฟอร์ม		ไม่มี	≤200	-	-	23	18	40	28
			100			100	100	100	100

หมายเหตุ 1* คือ Urban Uses, Irrigation eater Food Crop, Recreation Poundment

2* คือ Aesthetic Impoundments, Irrigation of Restricted Access Area

3* คือ น้ำสำหรับชำระโส้ววม

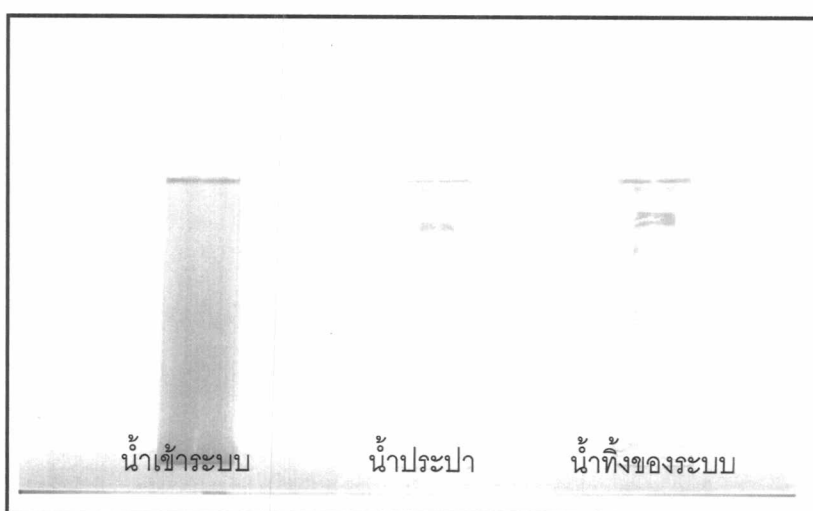
4* คือ น้ำสำหรับระบบปรับอากาศ

- คือ ไม่ได้ทำการวิเคราะห์

จากตารางที่ 4-30 พบว่าการทดลองที่ 1 ที่มีค่าระยะเวลาพักเก็บทางชลศาสตร์ของถังแอนน็อกซิก ถังแอนแอโรบิก และถังแอโรบิก เป็น 2, 2 และ 4 ชั่วโมง ตามลำดับ มีคุณภาพน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัด อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ของน้ำสำหรับชำระโถส้วมของประเทศญี่ปุ่น และเมื่อเทียบกับมาตรฐานของยูเอสอีพีเอ คุณภาพน้ำที่ได้สามารถนำกลับไปใช้ประโยชน์ได้ โดยเติมคลอรีนให้มีปริมาณคลอรีนตกค้าง 1 มก./ล.

ขณะที่ผลการบำบัดของการทดลองที่ 2, 3 และ 4 ไม่สามารถบำบัดได้ตามมาตรฐานของประเทศญี่ปุ่น แต่คุณภาพน้ำทิ้งได้ตามมาตรฐานของยูเอสอีพีเอยกเว้นค่าคลอรีนให้มีปริมาณคลอรีนตกค้าง 1 มก./ล. ที่ต้องเติมก่อนนำไปใช้งาน

เมื่อเปรียบเทียบความขุ่นของน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วเป็นดังรูปที่ 4-18



รูปที่ 4-18 ความขุ่นของน้ำก่อนและหลังการบำบัด

4.9 การประเมินต้นทุนค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบเอทรีเอ็มบีอาร์ (A^3 -MBR)

ในการประเมินต้นทุนค่าใช้จ่ายของการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบเอทรีเอ็มบีอาร์ ครั้งนี้จะประเมินในแง่ของต้นทุนค่าใช้จ่ายในการนำน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ โดยอ้างอิงตามค่ามาตรฐานของประเทศญี่ปุ่น ที่สามารถนำกลับมาใช้ในกระบวนการชำระโถส้วม ซึ่งจะใช้ผลการทดลองผลการทดลองชุดที่ 1 เป็นตัวแทนการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบเอทรีเอ็มบีอาร์ ซึ่งต้นทุนค่าใช้จ่ายทั้งหมด แสดงในตารางที่ 4-31 และตารางที่ 4-32

ตารางที่ 4-31 ต้นทุนค่าโครงสร้างและวัสดุอุปกรณ์ระบบเอทีเอ็มบีอาร์ของการทดลองชุดที่ 1

ลำดับ	รายการ	หน่วย	จำนวน	ราคาต่อหน่วย (บาท)	ราคารวม (บาท)
1	1.1 ถังปฏิกรณ์				
	- ถังไฟเบอร์กลาสขนาด 0.20x0.15x0.40	ชุด	2	250	500
	- ถังไฟเบอร์กลาสขนาด 0.20x0.30x0.40	ชุด	1	500	500
	รวมรายการที่ 1.1				1,000
	1.2 ถังจ่ายน้ำเสียเข้าระบบ				
	- ถังพลาสติกขนาด 200 ล.	ชุด	1	200	200
	รวมรายการที่ 1.2				200
	1.3 ท่อ วาล์ว สายยางและอุปกรณ์ประกอบ	เหมา	1	1,930	1,930
	รวมรายการที่ 1.3				1,930
	รวมรายการที่ 1				3,130
2	งานไฟฟ้า				
	- ชุดควบคุมการทำงาน (Timer and Relay)	ชุด	2	500	500
	- แผงวงจรไฟฟ้าพร้อมมิเตอร์	ชุด	1	1,000	1,000
	รวมรายการที่ 2				1,500
3	อุปกรณ์การเดินระบบ				
	3.1 เครื่องสูบน้ำเข้าและออกจากระบบ	ชุด	2	7,500	15,000
	3.2 เครื่องสูบตะกอนเวียนกลับ	ชุด	1	8,000	8,000
	3.3 เครื่องเติมอากาศ	ชุด	2	750	1,500
	3.4 เครื่องกวนผสม	ชุด	2	450	900
	3.5 ชุดเมมเบรน	ชุด	1	12,500	12,500
	รวมรายการที่ 3				37,900
4	ค่าแรงในการดำเนินการติดตั้ง	เหมา	1	1,000	1,000
	รวมทั้งหมด				38,900

ตารางที่ 4-32 ต้นทุนค่าดำเนินการระบบเอทีเอ็มปีอาร์ของการทดลองชุดที่ 1

ลำดับ	รายการ	ราคา (บาทต่อปี)
1	ค่าไฟฟ้า 1.7 หน่วยต่อวัน คิดค่าไฟฟ้าหน่วยละ 2.50 บาท	1,551.25
2	ค่ากำจัดตะกอนส่วนเกิน 0.9 ลิตรต่อวัน อัตราค่ากำจัด 300 บาทต่อลบ.ม	98.55
3	ค่าซ่อมบำรุงรักษาอุปกรณ์	3,000.00
รวมทั้งหมด		4,649.80

จากตารางที่ 4-30 และตารางที่ 4-32 ค่าลงทุนด้านโครงสร้างและวัสดุอุปกรณ์ของโครงการในปีที่เริ่มดำเนินการเป็น 38,900 บาท ค่าดำเนินการเป็นเงิน 4,649.80 บาทต่อปี อายุของเมมเบรนสามารถใช้งานได้ 3 ปี เป็นเงิน 12,500 บาทต่อครั้ง ในการประเมินต้นทุนค่าน้ำที่ผลิตได้จะอยู่ภายใต้เงินเงื่อนโซต่อไป

1. อายุโครงการ 15 ปี
2. อัตราดอกเบี้ยเงินกู้โครงการเพื่อสิ่งแวดล้อม ร้อยละ 8
3. อัตราการผลิตน้ำเป็น 108 ล./วัน
4. สูตรการคิดค่าเงินปัจจุบัน

4.1 การคิดค่าเงินปัจจุบันของการลงทุนค่าเมมเบรน คือ

$$P = F [1/(i+1)^n] \quad \dots(4.22)$$

- เมื่อ
- P = มูลค่าของเงินในปีปัจจุบัน (บาท)
 - F = ราคาของเมมเบรนที่ต้องลงทุน (บาท)
 - i = อัตราดอกเบี้ยเงินกู้
 - n = จำนวนปีที่ห่างจากปีเริ่มต้น (ปี)

4.2 สูตรการคิดค่าเงินปัจจุบันของค่าดำเนินการ คือ

$$P = A \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right] \quad \dots(4.23)$$

เมื่อ P = มูลค่าของเงินในปัจจุบัน (บาท)
 A = ค่าดำเนินการต่อปี (บาท)
 i = อัตราดอกเบี้ยเงินกู้
 n = จำนวนปีที่ห่างจากปีเริ่มต้น (ปี)

จากสมการที่ 4.25 และ 4.26 จะได้มูลค่าของเงินปัจจุบัน แสดงได้ตารางที่ 4-33

ตารางที่ 4-33 แสดงมูลค่าของเงินในปัจจุบันแยกตามปีที่ลงทุนดังนี้

รายการ	มูลค่าของเงินปัจจุบัน (บาท)				
	ปีเริ่มต้น	ปีที่ 3	ปีที่ 6	ปีที่ 9	ปีที่ 12
1.มูลค่าของเงินปัจจุบันด้าน โครงสร้างและวัสดุอุปกรณ์	38,900	9,922.90	7,877.12	6,253.11	4,963.92
2.มูลค่าของเงินปัจจุบันด้าน ค่าดำเนินการ	39,799.86				
รวมมูลค่าทั้งหมด	107,716.92				

จากตารางที่ 4-31 สามารถคิดค่าหน่วยน้ำที่ผลิตได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{มูลค่าหน่วยน้ำที่ผลิตได้ (บาท/ลบ.ม.)} &= \frac{\text{เงินลงทุนในมูลค่าของเงินปัจจุบัน (บาท)}}{\text{หน่วยน้ำที่ผลิตได้(ลบ.ม.)}} \\ \text{เมื่อ หน่วยน้ำที่ผลิตได้ทั้งหมด(ลบ.ม.)} &= \frac{108 (\text{ล/วัน}) * 365 (\text{วัน/ปี}) * 15 (\text{ปี})}{1,000 (\text{ล/ลบ.ม.})} \\ &= 591.3 \quad \text{ลบ.ม.} \\ \text{มูลค่าหน่วยน้ำที่ผลิตได้} &= \frac{107,716.92}{591.3} \\ &= 182.17 \text{ บาท/ลบ.ม.} \end{aligned}$$

ดังนั้นจะได้มูลค่าของหน่วยน้ำทั้งหมดของการทดลองชุดที่ 1 เป็น 182.17 บาทต่อ
ลบ.ม.

ซึ่งเมื่อคิดมูลค่าของหน่วยน้ำที่ผลิตได้ในแง่ของมูลค่าเงินลงทุนด้านค่าดำเนินการจะได้ดัง
นี้

$$\begin{aligned} \text{มูลค่าหน่วยน้ำในสวนค่าดำเนินการ (บาท/ลบ.ม.)} &= \frac{\text{เงินลงทุนในมูลค่าของเงินปัจจุบัน (บาท)}}{\text{หน่วยน้ำที่ผลิตได้ (ลบ.ม.)}} \\ &= \frac{39,799.86 \text{ (บาท)}}{591.3 \text{ (ลบ.ม.)}} \\ &= 67.10 \text{ บาท/ลบ.ม.} \end{aligned}$$

ดังนั้นจะได้มูลค่าของหน่วยน้ำเฉพาะค่าเดินระบบของการทดลองชุดที่ 1 เป็น 67.10 บาท
ต่อลบ.ม.

เมื่อเปรียบเทียบกับ อริยะ เดกษณานนท์ (2543) ที่ใช้ระบบเอสเอ็มเอฟ เอ็มบีอาร์ ในการ
บำบัดน้ำเสียพบว่าต้นทุนการผลิตน้ำรวมค่าเสื่อมเป็น 131.3 บาท/ลบ.ม. และคิดเฉพาะค่าดำเนิน
การเป็น 13.8 บาท/ลบ.ม.

ขณะที่ณัฐพันธ์ กลิ่นเกษร (2545) ใช้ระบบเอทีเอ็มบีอาร์ในการบำบัดน้ำเสีย และพบว่าค่า
หน่วยน้ำที่ได้ต่อการผลิตน้ำเป็น 191 บาท/ลบ.ม. เมื่อไม่รวมค่าเสื่อมราคา และเป็น 24 บาท/
ลบ.ม. เมื่อไม่รวมค่าเสื่อมราคา และเมื่อเปรียบเทียบกับค่าบำบัดน้ำเสียต่อหน่วยของเมืองพัทยา
เทศบาลนครหาดใหญ่ และเทศบาลตำบลแสนสุข ที่มีค่าบำบัดน้ำเสียเป็น 2.50, 3.00-3.50 และ
3.00-3.50 บาท นับว่าค่าบำบัดที่ของระบบเอทีเอ็มบีอาร์ยังสูงกว่ามาก หากแต่เมื่อเปรียบเทียบกับ
ค่าน้ำจืดในบริเวณที่ขาดแคลนแหล่งน้ำ เช่น ตามหมู่บ้านต่าง ๆ ที่มีค่าน้ำจืดสูงถึงลูกบาศก์เม
ตรละ 150 – 200 บาท ค่าหน่วยน้ำที่ได้จะใกล้เคียงกับค่าน้ำจืดนั้น

จะเห็นได้ว่าค่าบำบัดน้ำเสียต่อหน่วยด้วยระบบเอทีเอ็มบีอาร์ ที่ได้จากการวิจัยในครั้งนี้ค่อนข้าง
สูงมาก เนื่องจากระบบในงานวิจัยมีขนาดเล็ก ซึ่งเมื่อคิดค่าโครงสร้างและวัสดุอุปกรณ์จะมีค่า
บำบัดต่อหน่วยสูงกว่าระบบที่มีขนาดใหญ่ ประกอบกับระบบในงานวิจัยเป็นระบบที่มุ่งเพื่อหาค่า
ระยะเวลาที่เก็บทางชลศาสตร์ที่น้อยที่สุด ที่ระบบสามารถดำเนินการได้ ขณะที่ในการคิดมูลค่า
ต่อหน่วยการบำบัดไม่ได้คิดค่าพื้นที่เข้ามาด้วย ทำให้ต้นทุนค่าบำบัดน้ำเสียต่อหน่วยสูง