

บทที่ 7

ผลการทดลองและวิจารณ์

7.1 การเริ่มต้นเลี้ยงจุลินทรีย์ (Startup)

เริ่มต้นการทดลอง ได้เลี้ยงจุลินทรีย์ให้คุ้นกับน้ำเสียโดยวิธีเลี้ยงแบบที่ละเท (Batch process) โดยใช้เชื้อจุลินทรีย์ (Seed) จากน้ำตะกอนในถังทำตะกอนเข้มข้น (Sludge thickener) ของโรงบำบัดน้ำเสียบริษัท บุญรอดบริวเวอรี่ จำกัด ซึ่งเป็นโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเบียร์ โดยใช้น้ำเสียของบริษัทฯ ตลอดการทดลอง

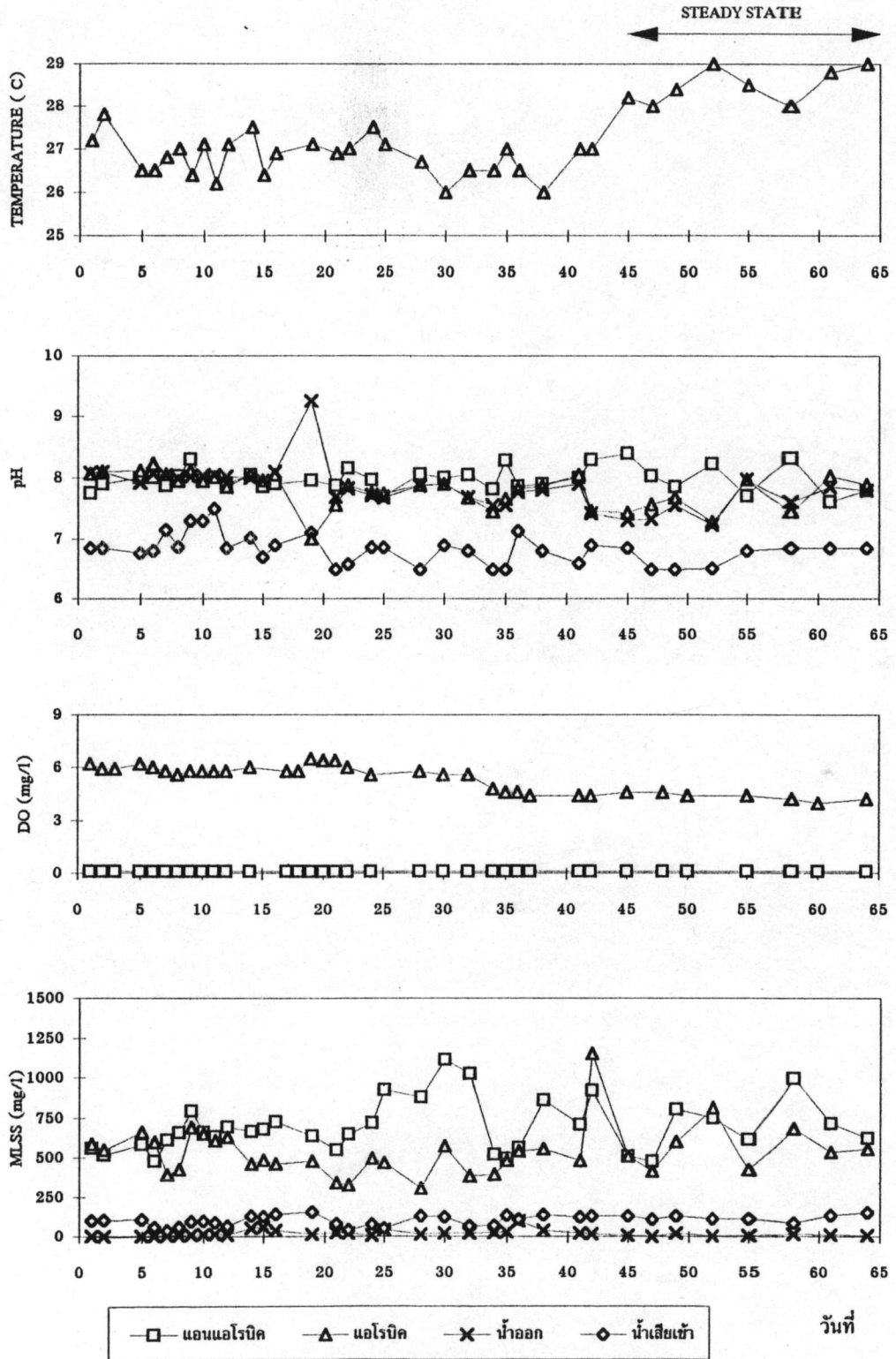
ภายหลังจากทดลองเลี้ยงแบบที่ละเทเป็นเวลา 2-3 อาทิตย์แล้ว ก็นำน้ำตะกอน (Mixed Liquor) ในถังเติมอากาศมาเลี้ยงในแบบทดลอง วัดค่าน้ำตอนแขวนลอยเริ่มต้น (MLSS) ได้ประมาณ 2,500 ก./ลบ.ม. จากนั้นก็เลี้ยงแบบต่อเนื่องในการทดลองชุดที่ 3 (อายุตะกอน=11 วัน) และ 4 (อายุตะกอน=15 วัน) โดยป้อนน้ำเสียเข้าที่มีค่าซีโอดีเริ่มต้นเท่ากับ 500 ก./ลบ.ม. เป็นเวลาประมาณ 1-2 สัปดาห์ จากนั้นก็ค่อย ๆ เพิ่มค่าปริมาณซีโอดีเพิ่มขึ้นทีละ 100 ก.ซีโอดี/ลบ.ม. สังเกตดูน้ำที่ถึงน้ำใส (Effluent) เพื่อดูความสามารถในการบำบัด และวัดค่าการจมตัวของตะกอนในกระบอกตวง 1,000 ml, V_{30} เพื่อสังเกตดูการจมตัวของตะกอน นอกจากนี้ยังนำตะกอนที่ตกไปตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์ เพื่อดูความสมบูรณ์ของกลุ่มจุลินทรีย์ และเมื่อเพิ่มค่าซีโอดีจนถึง 1000 ก./ลบ.ม. แล้ว จึงป้อนน้ำเสียที่ค่าซีโอดีเท่ากับ 1000 ก./ลบ.ม. ตลอดการทดลอง

ส่วนในการทดลองที่ 1 (อายุตะกอน=3 วัน) และ 2 (อายุตะกอน=7 วัน) ใช้ตะกอนจากการทดลองที่ 3,4 เป็นเชื้อเริ่มต้น (Seed) แล้วปฏิบัติลักษณะคล้ายกันกับการทดลองที่ 3 และ 4

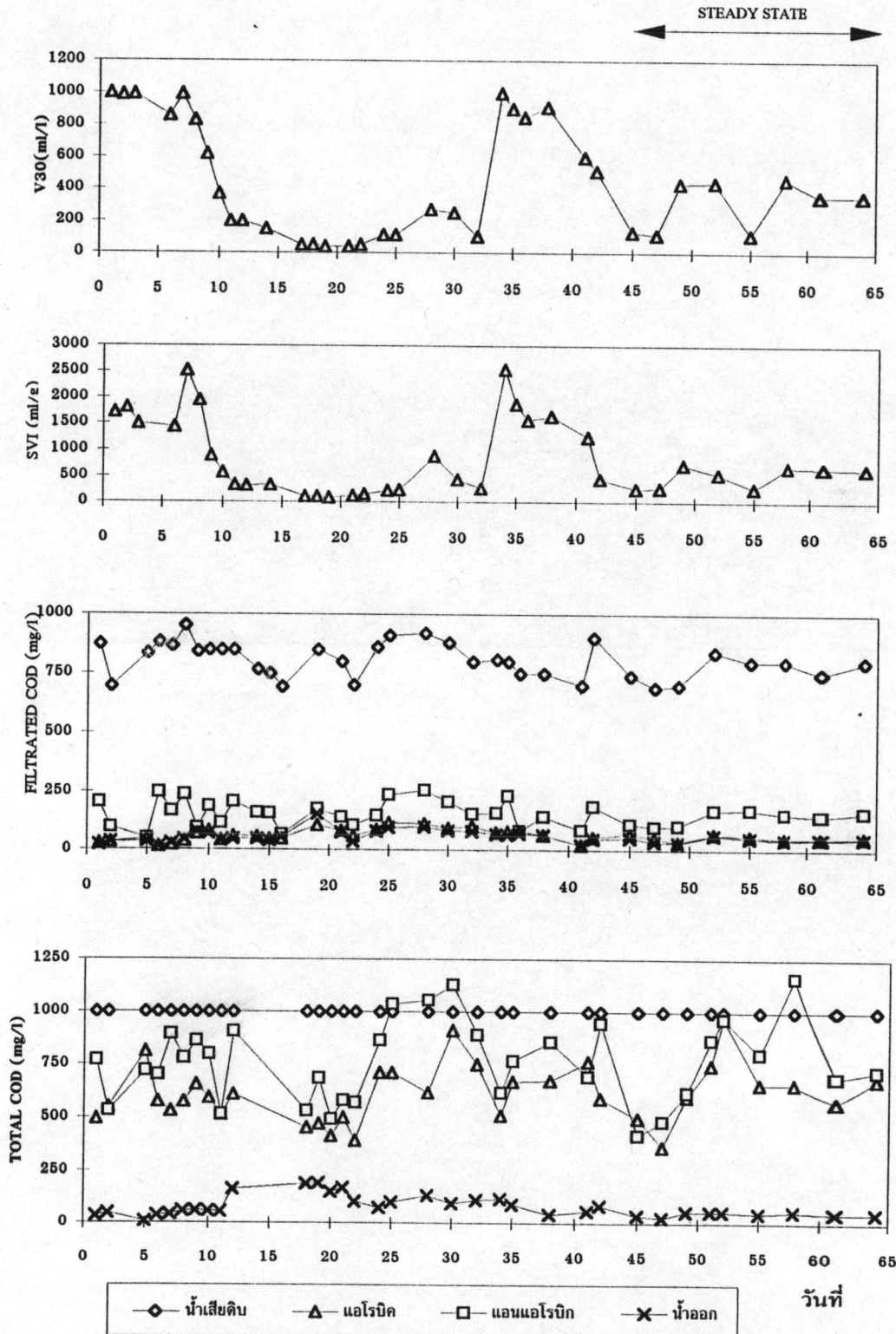
7.2 การเข้าสู่สภาวะคงตัว (Steady state assessment)

การทดลองได้ทำทั้งหมด 4 ชุด โดยทดลองแบบต่อเนื่องที่ค่าอายุตะกอน 4 ค่า คือ 3, 7, 11 และ 15 วัน โดยในแต่ละการทดลองได้เลี้ยงจุลชีพเป็นเวลา 60-65 วัน โดยวัดพารามิเตอร์ต่าง ๆ ตามตารางการวัดค่าพารามิเตอร์ในบทที่ 6 (ตารางที่ 6.2) แนวโน้มของค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ แสดงไว้ในรูปที่ 7.1, 7.2, 7.3 และ 7.4

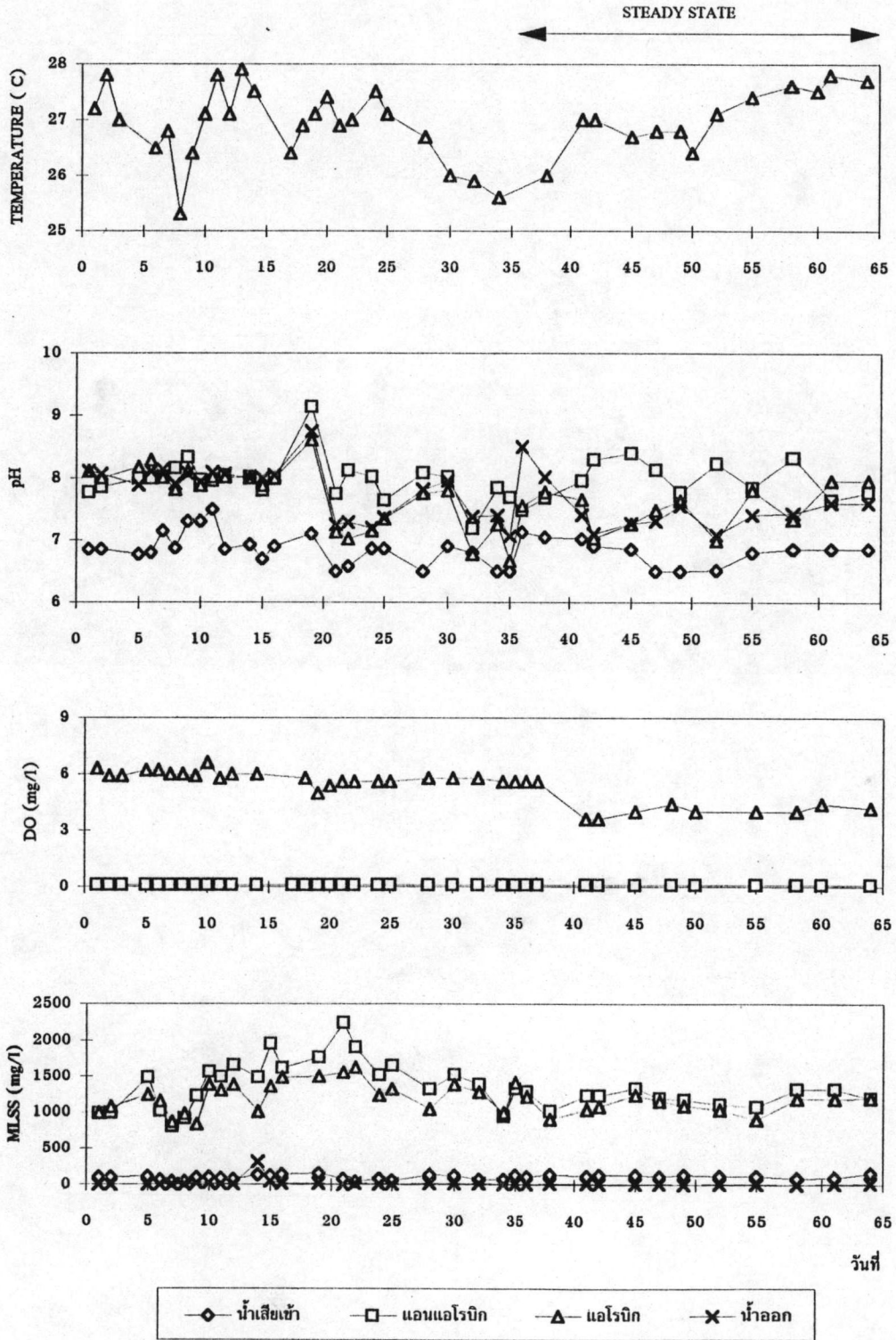
จากรูปที่ 7.1, 7.2, 7.3 และ 7.4 พบว่าที่ θ_c เท่ากับ 3, 7, 11 และ 15 วัน ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว (Steady state) ของชุดการทดลองที่ 1, 2, 3 และ 4 ที่เวลา 45, 35, 45 และ 48 วัน ตามลำดับ ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในช่วงพิสัย (range) ที่สภาวะคงตัวสรุปไว้ในตารางที่ 7.1-7.5



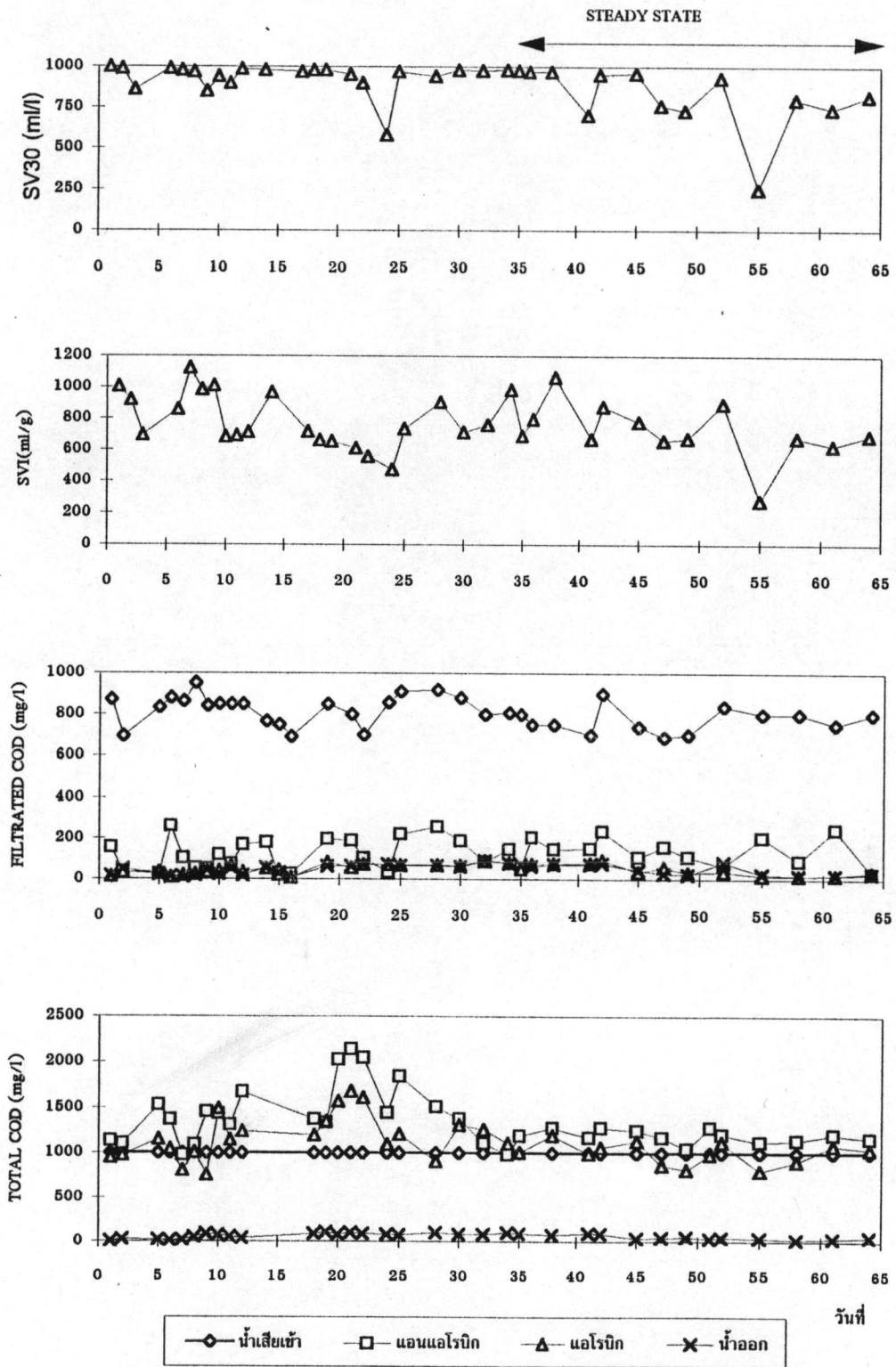
รูปที่ 7.1 แสดงแนวโน้มของค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของการทดลองชุดที่ 1
 ค่าอายุตะกอน (Sludge Age = 3 วัน)



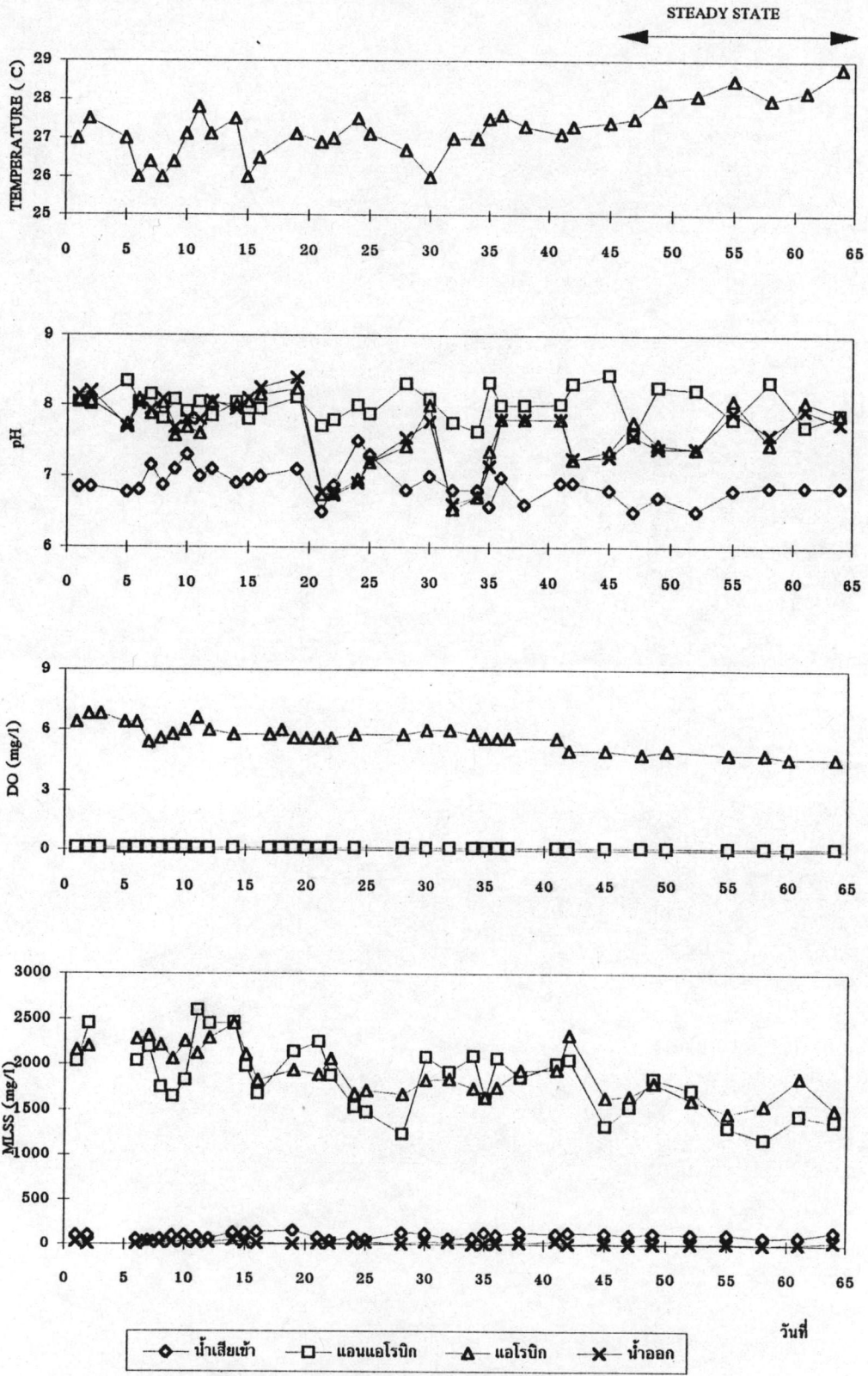
รูปที่ 7.1(ต่อ) แสดงแนวโน้มของค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของการทดลองชุดที่ 1
 ค่าอายุตะกอน (Sludge Age = 3 วัน)



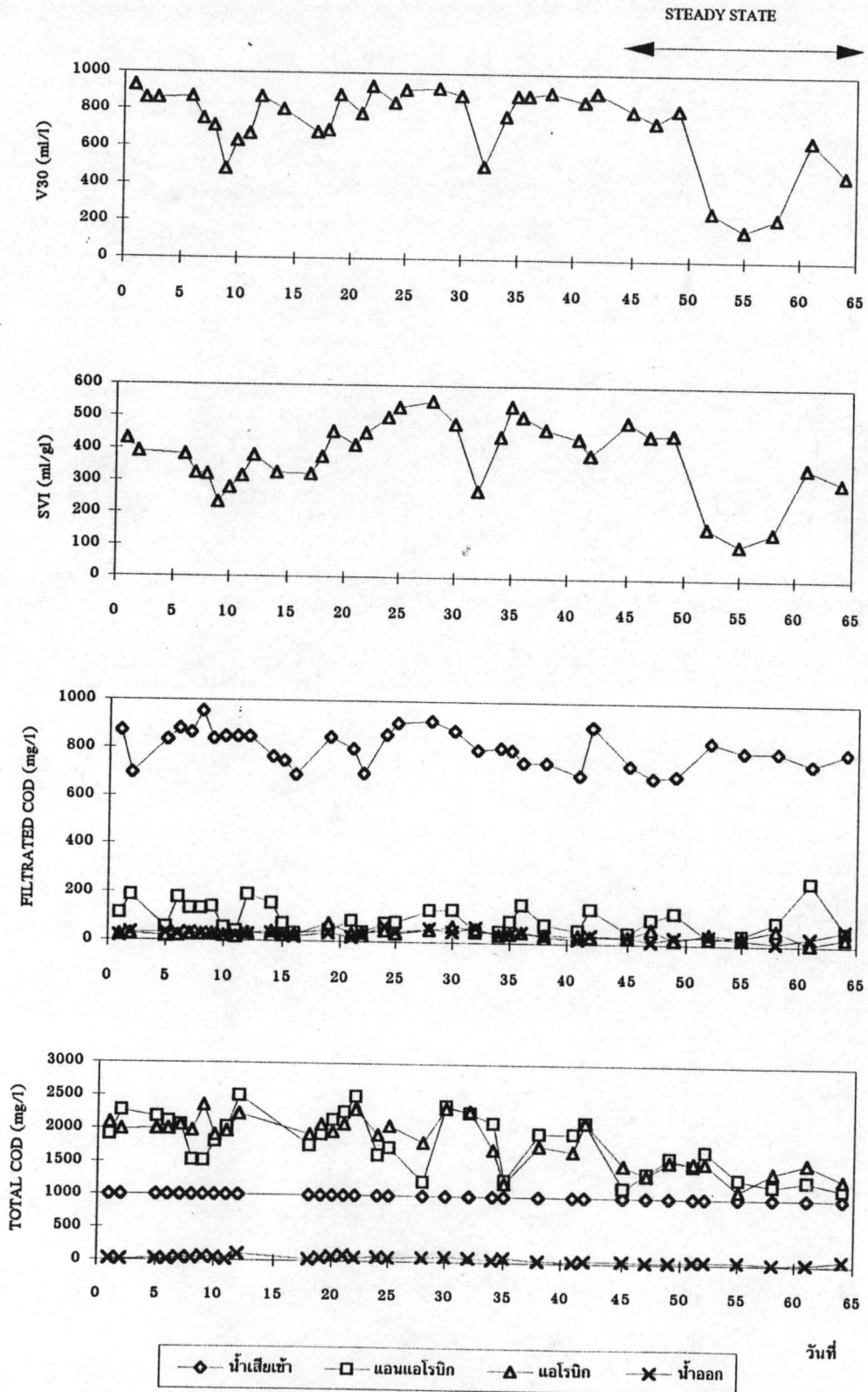
รูปที่ 7.2 แสดงแนวโน้มของค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของการทดลองชุดที่ 2
 ค่าอายุตะกอน (Sludge Age = 7 วัน)



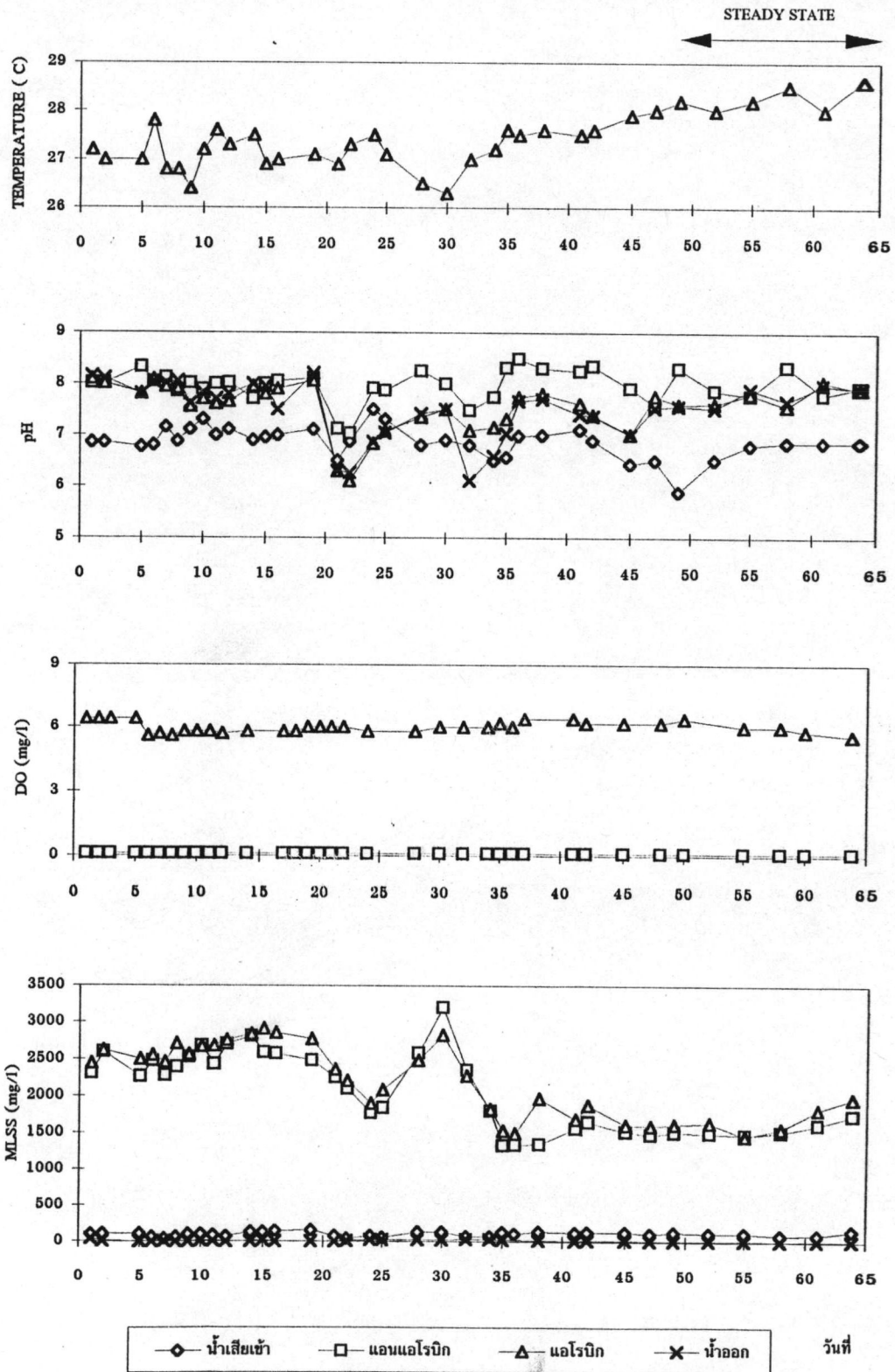
รูปที่ 7.2(ต่อ) แสดงแนวโน้มของค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของการทดลองชุดที่ 2
 ค่าอายุตะกอน (Sludge Age = 7 วัน)



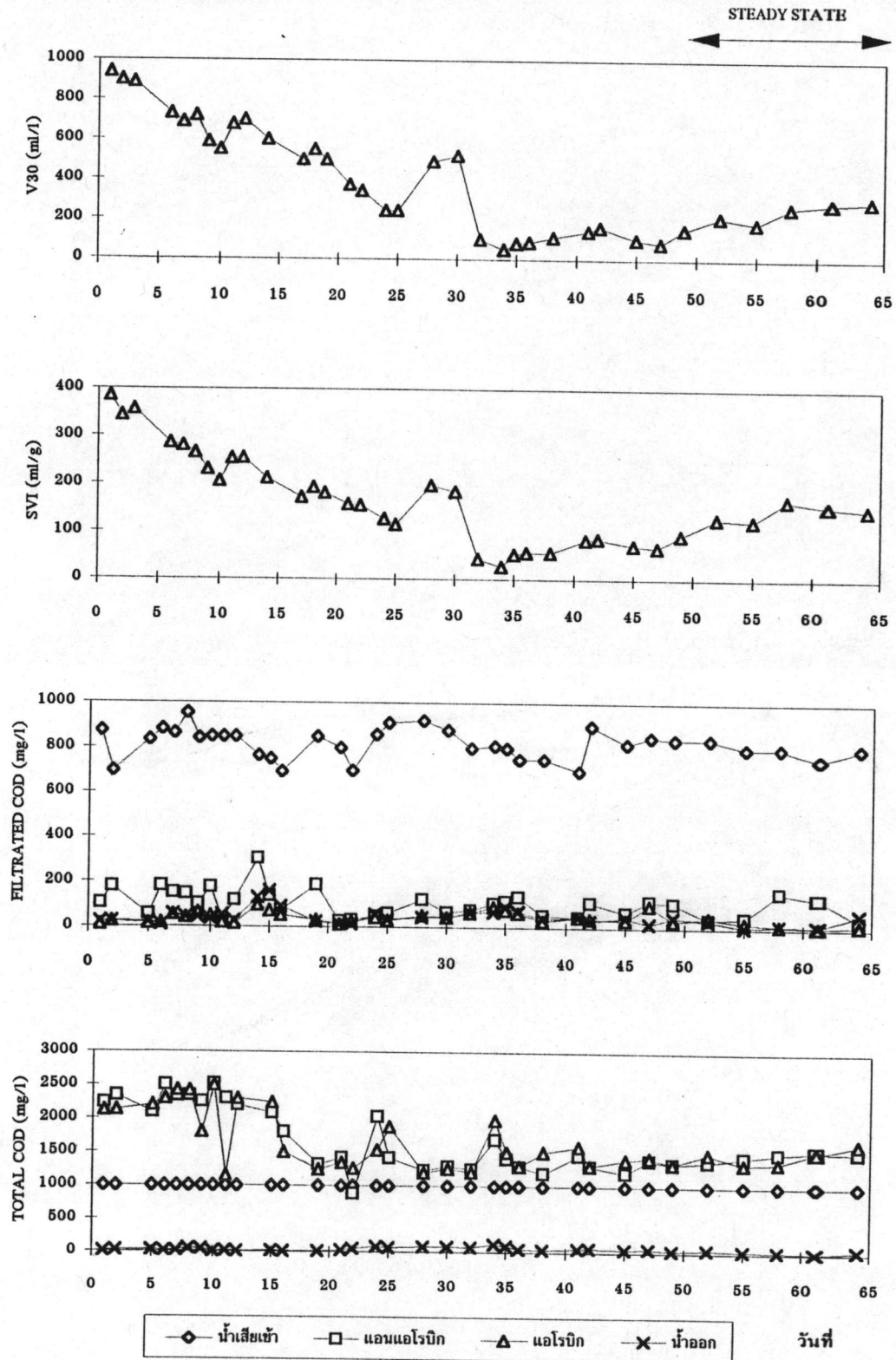
รูปที่ 7.3 แสดงแนวโน้มของค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของการทดลองชุดที่ 3
 ค่าอายุตะกอน (Sludge Age = 11 วัน)



รูปที่ 7.3 (ต่อ) แสดงแนวโน้มของค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของการทดลองชุดที่ 3
 ค่าอายุตะกอน (Sludge Age = 11 วัน)



รูปที่ 7.4 แสดงแนวโน้มของค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของการทดลองชุดที่ 4
 ค่าอายุตะกอน (Sludge Age = 15 วัน)



รูปที่ 7.4(ต่อ) แสดงแนวโน้มของค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของการทดลองชุดที่ 4
 ค่าอายุตะกอน (Sludge Age = 15 วัน)

ตารางที่ 7.1 ค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานในช่วงสภาวะคงที่ (Steady State) ของพารามิเตอร์ที่ทำการวัดในแต่ละตำแหน่งของการทดลองชุดที่ 1 ($\theta_c = 3$ วัน)

พารามิเตอร์	น้ำเสียเข้า		ถังแอนแอโรบิค		ถังออกซิก		น้ำออก	
	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD
COD(total) (มก./ลิตร)	1000	-	745.76	233.45	638.60	167.73	47.35	9.96
COD(filtrated) (มก./ลิตร)	765.00	53.45	140.48	31.24	53.65	11.57	46.98	9.82
MLSS (มก./ลิตร)	121.81	20.58	687.5	167.99	568.00	132.70	8.63	6.25
V_{30} (มล./ลิตร)	-	-	-	-	297.50	154.99	-	-
SVI (มล./กรัม)	-	-	-	-	523.76	204.03	-	-
TKN (มก./ลิตร)	34.50	6.50	-	-	-	-	3.92	0.90
TP (มก./ลิตร)	6.40	2.50	-	-	-	-	0.89	0.15
อุณหภูมิ (°ซ.)	-	-	-	-	28.49	0.41	-	-
พีเอช (pH)	6.73	0.15	8.03	0.32	7.68	0.31	7.60	0.25
DO (มก./ลิตร)	-	-	0.10	-	4.80	0.17	-	-

ตารางที่ 7.2 ค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานในช่วงสภาวะคงที่ (Steady State) ของ
พารามิเตอร์ที่ทำการวัดในแต่ละตำแหน่งของการทดลองชุดที่ 2 ($\theta_c = 7$ วัน)

พารามิเตอร์	น้ำเสียเข้า		ถังแอนแอโรบิค		ถังออกซิค		น้ำออก	
	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD
COD(total) (มก./ลิตร)	1000	-	1191.18	69.26	1000.04	124.08	52.88	24.72
COD(filtrated) (มก./ลิตร)	770.77	69.78	137.79	69.78	47.89	26.81	47.94	25.79
MLSS (มก./ลิตร)	120.35	10.98	1216.00	103.10	1126.00	136.95	8.62	4.59
V_{30} (มล./ลิตร)	-	-	-	-	745.00	198.87	-	-
SVI (มล./กรัม)	-	-	-	-	665.17	183.18	-	-
TKN (มก./ลิตร)	34.50	10.40	-	-	-	-	5.60	1.20
TP (มก./ลิตร)	6.40	1.05	-	-	-	-	0.66	0.50
อุณหภูมิ (°ซ.)	-	-	-	-	27.69	0.63	-	-
พีเอช (pH)	6.50	0.22	7.94	0.30	7.47	0.40	7.49	0.40
DO (มก./ลิตร)	-	-	0.10	0.00	4.42	0.76	-	-

ตารางที่ 7.3 ค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานในช่วงสภาวะคงที่ (Steady State) ของ
พารามิเตอร์ที่ทำการวัดในแต่ละตำแหน่งของการทดลองชุดที่ 3 ($\theta_c = 11$ วัน)

พารามิเตอร์	น้ำเสียเข้า		ถังแอนแอโรบิค		ถังออกซิเด		น้ำออก	
	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD
COD(total) (มก./ลิตร)	1000	0.00	1363.0	200.67	1422.54	146.10	37.79	19.46
COD(filtrated) (มก./ลิตร)	765.00	53.45	93.09	76.06	35.62	19.01	29.17	16.43
MLSS (มก./ลิตร)	116.19	22.24	1468.2 5	220.77	1634.75	133.26	11.75	10.63
V_{30} (มล./ลิตร)	-	-	-	-	513.75	270.55	-	-
SVI (มล./กรัม)	-	-	-	-	314.26	151.92	-	-
TKN (มก./ลิตร)	32.80	-	-	-	-	-	2.38	-
TP (มก./ลิตร)	6.65	-	-	-	-	-	0.15	-
อุณหภูมิ (°ซ.)	-	-	-	-	28.06	0.47	-	-
พีเอช (pH)	6.73	0.15	8.03	0.32	7.68	0.31	7.60	0.25
DO (มก./ลิตร)	-	-	0.10	0.00	4.80	0.17	-	-

ตารางที่ 7.4 ค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานในช่วงสภาวะคงที่ (Steady State) ของพารามิเตอร์ที่ทำการวัดในแต่ละตำแหน่งของการทดลองชุดที่ 4 ($\theta_c = 15$ วัน)

พารามิเตอร์	น้ำเสียเข้า		ถังแอนแอโรบิค		ถังออกซิค		น้ำออก	
	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD
COD(total) (มก./ลิตร)	1000	-	1443.74	460.81	1445.65	112.04	33.82	15.34
COD(filtrated) (มก./ลิตร)	812.50	32.40	87.78	47.33	34.57	28.96	30.61	19.86
MLSS (มก./ลิตร)	116.19	22.24	1543.75	89.21	1658.00	161.30	7.63	5.13
V_{30} (มล./ลิตร)	-	-	-	-	193.75	80.35	-	-
SVI (มล./กรัม)	-	-	-	-	116.85	42.90	-	-
TKN (มก./ลิตร)	32.80	-	-	-	-	-	1.40	-
TP (มก./ลิตร)	6.65	-	-	-	-	-	0.12	-
อุณหภูมิตัว (°ซ.)	-	-	-	-	28.18	0.25	-	-
พีเอช (pH)	6.59	0.33	7.93	0.26	7.65	0.31	7.64	0.31
DO (มก./ลิตร)	-	-	0.10	0.00	6.00	0.20	-	-

7.3 ค่าพีเอช

พิจารณารูปที่ 7.1, 7.2, 7.3 และ 7.4 ที่อายุตะกอน 3, 7, 11 และ 15 วัน น้ำเสียที่ป้อนเข้าระบบจะมี pH เฉลี่ยของชุดการทดลองทั้ง 4 ชุดอยู่ที่ 6.5-6.8 แม้ว่าค่าดังกล่าวจะมีค่าต่ำกว่า 7 เล็กน้อย (ซึ่งสืบเนื่องจากน้ำเสียดิบมีสภาพความเป็นกรดสูง โดยมีค่าระดับ pH ประมาณ 4.5-5.5 ในการทำการทดลองจึงต้องใช้ Na_2HCO_3 เป็นตัวปรับค่า pH ให้อยู่ประมาณ 6.5-8.0)

ค่า pH ในถังแวนแวนโรบิคที่อายุตะกอน 3, 7, 11 และ 15 วันมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 8.03, 7.94, 8.03, 7.93 ตามลำดับ การที่ pH สูงขึ้น โดยมีค่าเฉลี่ยทุกชุดการทดลองประมาณ 8.0 สาเหตุเกิดจากการที่จุลินทรีย์ชนิดโพลีฟีดดูซึบ (Sequesterated) เอากรดระเหยโมเลกุลสั้นที่มีอยู่แล้วในน้ำเสียเข้าและที่เกิดจากกระบวนการทำให้เกิดกรด (acidogenesis และ acitogenesis) เข้ามาในเซลล์โดยปลดปล่อยฟอสเฟต (PO_4) ออกมา จึงทำให้ค่า pH สูงขึ้น และเมื่อพิจารณาในถังแวนแวนโรบิค(ถังออกซิเดชัน) ค่า pH ของการทดลองที่อายุตะกอน 3, 7, 11 และ 15 วัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.68, 7.47, 7.68 และ 7.65 ตามลำดับ ซึ่งในช่วงแวนโรบิคจะมีการเติมออกซิเจนให้กับระบบ เพื่อจุลินทรีย์ใช้ในการสันดาบซึ่งจะได้ผลิตภัณฑ์ส่วนหนึ่งคือ CO_2 ลงในน้ำ จึงทำให้ระบบมี pH ต่ำลงเล็กน้อย อย่างไรก็ตาม pH ของน้ำออก(effluent) มีค่าเฉลี่ยที่อายุตะกอน 3, 7, 11 และ 15 วันเท่ากับ 7.60, 7.49, 7.60 และ 7.64 ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมสำหรับระบายทิ้งสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ

7.4 ออกซิเจนละลายน้ำ

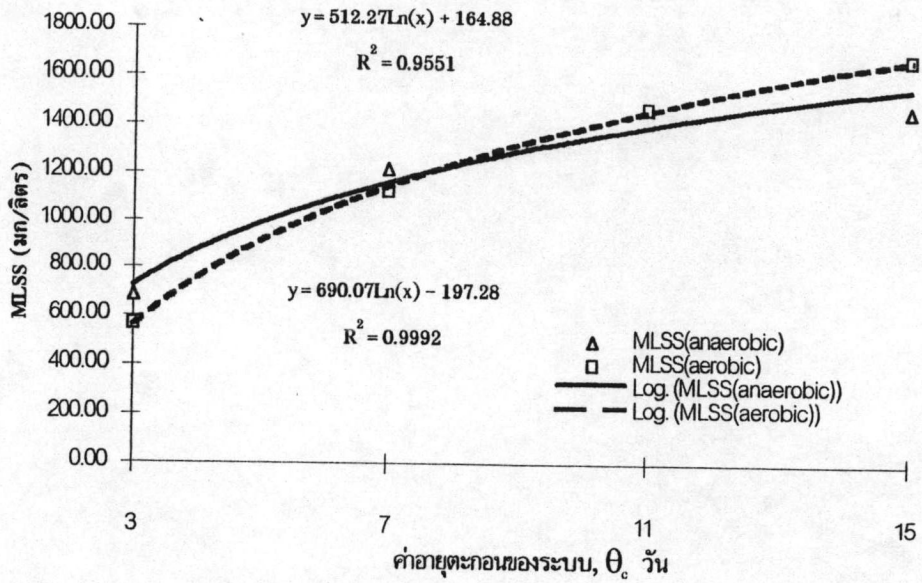
ความเข้มข้นของออกซิเจนละลายหรือดีโอ(DO) ของถังแวนแวนโรบิค มีค่าเฉลี่ย 0.1 มก./ลิตรของทุกชุดการทดลอง ไม่สามารถจะทำให้เป็น 0 มก./ลิตรได้ ซึ่งอาจจะเป็นเพราะความละเอียดของเครื่องวัด แต่อย่างไรก็ตาม ค่าดีโอดังกล่าวจัดว่ายอมรับได้ในสภาพแวนแวนโรบิค (Tetreault, Mark J., 1986) การกวนในถังแวนแวนโรบิคมีจุดประสงค์เพื่อให้จุลินทรีย์ลอยตัวเท่านั้น ส่วนในถังแวนโรบิคมีค่าดีโอสูงคือมีค่าเฉลี่ยที่อายุตะกอน 3, 7, 11 และ 15 วัน เท่ากับ 4.8, 4.4, 4.8 และ 6.0 มก./ลิตรตามลำดับ สาเหตุที่ค่าดีโอค่อนข้างสูง เนื่องจากในถังแวนโรบิคเป็นถังที่ออกแบบในลักษณะกวนผสมสมบูรณ์ (Completely mixed) การเติมอากาศโดยใช้หัวกระจายอากาศต้องใช้ถึง 2 หัวไว้ที่หน้าและหลังเพื่อให้เกิดการผสมผสานกันอย่างทั่วถึง อีกทั้งช่วยป้องกันปัญหาตะกอนไม่จมตัวที่เกิดจากจุลินทรีย์ชนิดเส้นใยที่ชอบสภาวะออกซิเจนละลายน้ำต่ำ(low DO filamentous bacteria)

7.5 ค่าอุณหภูมิ

เนื่องจากกา รทดลองครั้งนี้กระทำในช่วงการเปลี่ยนฤดูหนาวเป็นฤดูร้อน คือในเดือน ธันวาคม ถึง กุมภาพันธ์ พิจารณารูปที่ 7.1 - 7.4 ของกราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตั้งแต่วันแรกของการทำการทดลอง จะเห็นว่าในช่วงวันที่ 30-35 ค่าอุณหภูมิจะลดต่ำลงประมาณ 2-3°ซ คือมีค่าเฉลี่ยในช่วง 25-26°ซ ซึ่งเป็นเพราะในช่วงดังกล่าวอยู่ในช่วงฤดูหนาว แต่อากาศเย็นจะเป็นในช่วงระยะเวลาสั้น ๆ เท่านั้น แต่อย่างไรก็ตามเมื่อระบบเข้าสู่ช่วงสภาวะคงตัว (Steady state) แล้ว ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิของการทดลองที่อายุตะกอนต่าง ๆ จะอยู่ในช่วง 27-28°ซ ค่าอุณหภูมิที่สภาวะคงตัวนี้จะมีผลต่อการหาค่าพารามิเตอร์จลนของระบบ ซึ่งจะต้องปรับแก้ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ให้อยู่ในช่วงอุณหภูมิเท่ากับ 20°ซ

7.6 ค่าตะกอนแขวนลอย (MLSS)

เนื่องจากการทดลองเป็นแบบ Single Sludge System ค่า MLSS ของถังแอนแอโรบิกจะมีค่าใกล้เคียงกันกับค่าในถังแเอโรบิก และจากการทดลองค่า MLSS ในถังแอนแอโรบิก และถังแเอโรบิกของชุดทดลองที่อายุตะกอน 3, 7, 11 และ 15 วัน มีค่าเท่ากับ (687,568) ,(1212,1126), (1468,1634) และ(1463,1673) มก./ลิตร ตามลำดับ และเมื่อนำค่า MLSS ในถังแอนแอโรบิก และค่า MLSS ในถังแเอโรบิกมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์กับค่าอายุตะกอน θ_c จะได้กราฟดังรูปที่ 7.5



รูปที่ 7.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าอายุตะกอน θ_c กับค่า MLSS ในถังแอนแอโรบิค ($MLSS_{AN}$) และค่า MLSS ในถังแอโรบิค ($MLSS_{AE}$)

จากกราฟในรูปที่ 7.5 แสดงให้เห็นว่าเมื่อค่าอายุตะกอนเพิ่มขึ้น ค่า MLSS ก็เพิ่มขึ้น แต่เพิ่มขึ้นในอัตราที่ลดลง สอดคล้องกับทฤษฎีตามสมการที่ 7.1 ของยิลต์ปรากฏ (Y) ในระบบแอกติเวตเต็ดสลัดจ์

$$Y = \frac{Yg}{1 + b\theta_c} \dots\dots\dots(7.1)$$

จะเห็นว่าค่ายิลต์ปรากฏจะแปรผกผันกับค่าอายุตะกอน θ_c คือเมื่ออายุตะกอนเพิ่มขึ้นอัตราการผลิตเซลล์ต่อสารอาหารที่ใช้ก็จะมีอัตราน้อยลง ดังนั้นปริมาณตะกอนแขวนลอยจะเพิ่มขึ้นในลักษณะ log-curve ดังรูปที่ 7.5

7.7 ค่าอัตราส่วนอาหารต่อจุลินทรีย์

เมื่อแปรค่าอายุตะกอน (Sludge age, θ_c) ของระบบที่ค่าอายุตะกอน 3, 7, 11 และ 15 วัน สามารถคำนวณหาค่าอัตราส่วนของสารอาหารเข้าต่อปริมาณจุลินทรีย์ (F/M) ของแต่ละชุดการทดลอง ได้ ค่า F/M แสดงใน 2 กรณี คือ

- (1) ค่าอัตราส่วน F/M ในถังแอนแอโรบิก
- (2) ค่าอัตราส่วน F/M ในระบบรวม

ค่า F/M คำนวณได้จากสมการที่ 7.2

$$\frac{F}{M} = \frac{QS_0}{XV} \quad \dots\dots\dots(7.2)$$

เมื่อ

$$\begin{aligned} \frac{F}{M} &= \text{อัตราส่วนปริมาณสารอาหารเข้าต่อมวลจุลินทรีย์ (วัน}^{-1}\text{)} \\ Q &= \text{อัตราไหลของน้ำเสียเข้า(ลิตร/วัน)} \\ S_0 &= \text{ความเข้มข้นของสารอาหารเข้า(มก.ซีไอดี/ลิตร)} \\ X &= \text{ความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยในถังปฏิกรณ์ (มก./ลิตร)} \\ V &= \text{ปริมาตรของถังปฏิกรณ์(ลิตร)} \end{aligned}$$

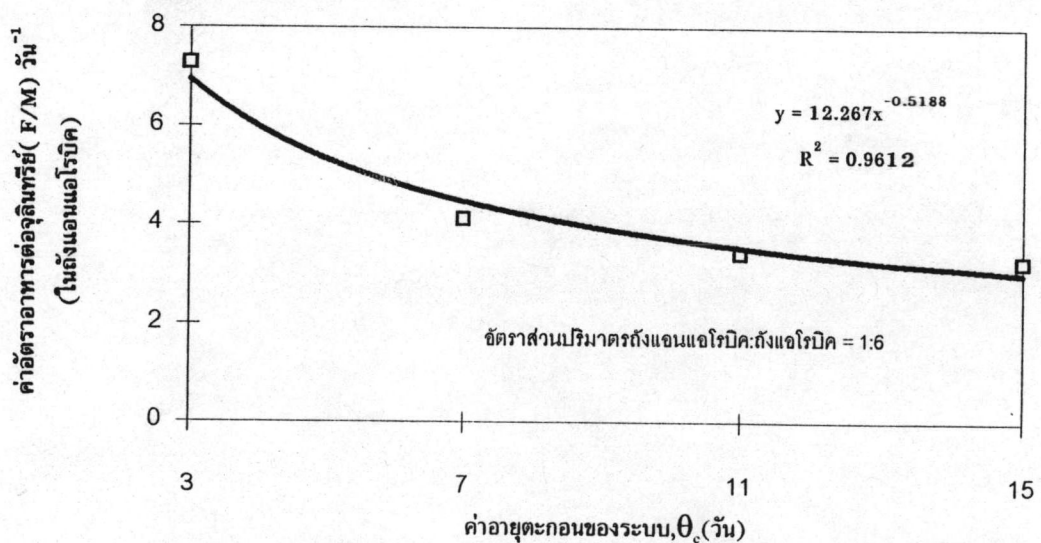
7.7.1 อัตราส่วนสารอาหารเข้าต่อปริมาณจุลินทรีย์ในถังแอนแอโรบิก

จากสมการที่ 7.2 สามารถคำนวณหาค่า F/M ในถังแอนแอโรบิกได้ตามตารางที่ 7.6 (โดยที่ X คือ ความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยในถังแอนแอโรบิกและ V คือ ปริมาตรของถังแอนแอโรบิก)

ตารางที่ 7.6 ค่าอายุตะกอน, θ_c ในระบบ และค่า F/M ในถังแอนแอโรบิกของการทดลอง 4 ชุด

การทดลองที่	ค่าอายุตะกอน, θ_c (วัน)	ค่า F/M ในถังแอนแอโรบิก (กก.ซีโอดี/กก. MLSS-วัน)
1	3	7.27
2	7	4.11
3	11	3.41
4	15	3.24

จากตารางที่ 7.6 เมื่อนำค่าอายุตะกอน θ_c และค่าอัตราส่วนสารอาหาร (F/M) ในถังแอนแอโรบิกมาเขียนกราฟ จะได้กราฟดังรูปที่ 7.6



รูปที่ 7.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนอาหารต่อจุลินทรีย์ในถังแอนแอโรบิก F/M (วัน⁻¹) และ ค่าอายุตะกอนของระบบ, θ_c (วัน)

จากกราฟที่ 7.6 แสดงให้เห็นว่า เมื่ออายุตะกอนของระบบเพิ่มสูงขึ้น ค่าอัตราส่วน F/M มีค่าต่ำลง ซึ่งจากการใช้สมการหาความสัมพันธ์ จะได้กราฟเป็นลักษณะเส้นโค้งที่มีความชันลดน้อยลงเมื่อค่าอายุตะกอนเพิ่มขึ้น โดยแสดงความสัมพันธ์ในลักษณะล็อกกาลิซึม (log curve) ซึ่งเป็นไปตามความ

สัมพันธ์ทางทฤษฎีตามสมการที่ 7.1 ของค่าyieldปรากฏ (obcervid yield) $Y = Y_g / (1 + b\theta_c)$ (Grady, 1980) ของระบบแอกติเวตเตด สลัดจ์ทั่วไป

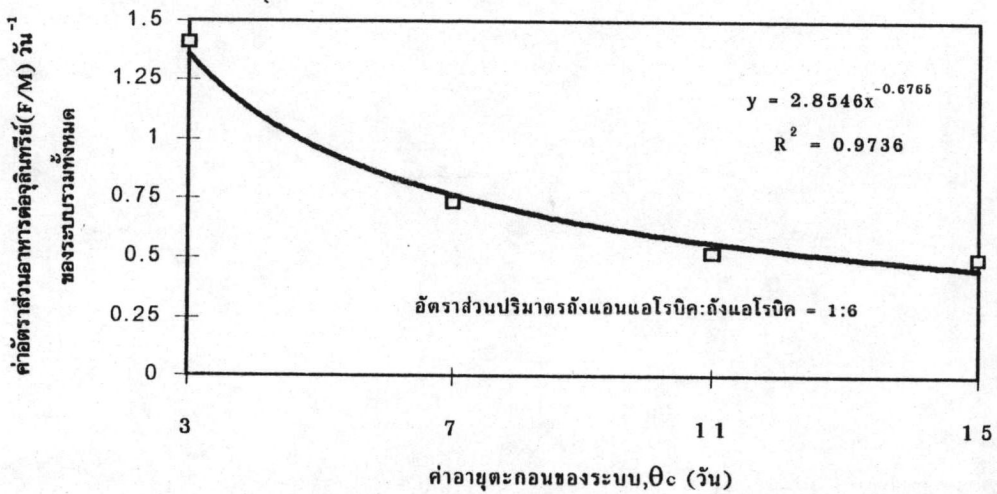
7.7.2 อัตราส่วนสารอาหารเข้าต่อปริมาณจุลินทรีย์ในระบบ

จากสมการที่ 7.2 สามารถคำนวณหาค่า F/M ในระบบทั้งหมดได้ตามตารางที่ 7.7 เมื่อ X คือความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยในระบบทั้งหมด (ถังแอนแอโรบิก+ถังแอโรบิก) และ V คือ ปริมาตรรวมของถังปฏิกรณ์แอนแอโรบิกและถังแอโรบิก ตามลำดับ

ตารางที่ 7.7 ค่าอายุตะกอนในระบบ θ_c และค่า F/M ในระบบรวมทั้งหมด

การทดลองที่	ค่าอายุตะกอน (Sludge age, θ_c) (วัน)	ค่า F/M ในถังรวมทั้งหมด (กก.ซีไอดี/กก. MLSS-วัน)
1	3	1.41
2	7	0.73
3	11	0.52
4	15	0.50

จากตารางที่ 7.7 เมื่อนำค่าอายุตะกอน, θ_c และค่าอัตราส่วนสารอาหาร (F/M) ในระบบทั้งหมดมาเขียนกราฟ จะได้กราฟดังรูปที่ 7.7



รูปที่ 7.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนอาหารต่อจุลินทรีย์ (F/M , วัน⁻¹) ของระบบทั้งหมดกับค่าอายุตะกอน, θ_c

จากกราฟที่ 7.7 แสดงให้เห็นว่าเมื่อค่าอายุตะกอนเพิ่มสูงขึ้น ค่าอัตราส่วน F/M ของระบบทั้งหมดมีค่าต่ำลง ซึ่งลักษณะของกราฟคล้ายคลึงกับกราฟในรูปที่ 7.6

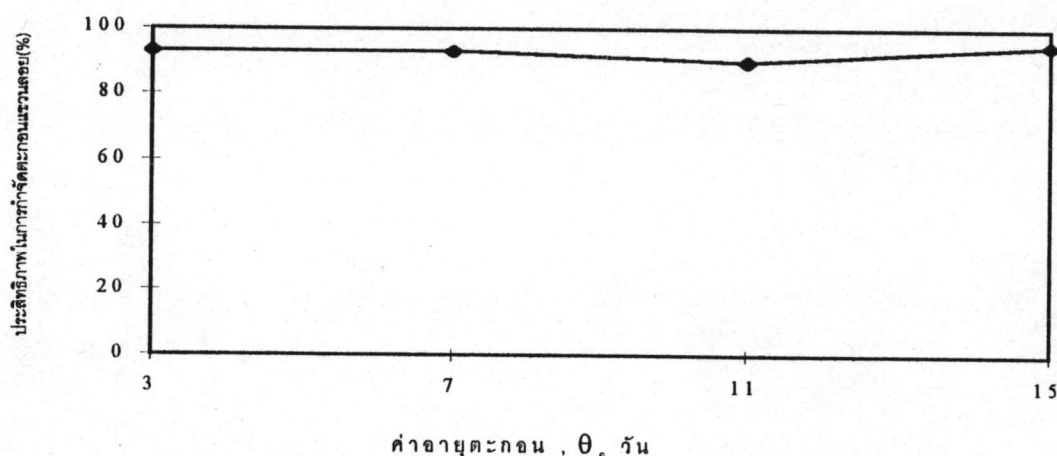
7.8 ประสิทธิภาพในการกำจัดตะกอนแขวนลอย (MLSS)

จากข้อมูลในตารางที่ 7.1 สามารถสรุปความสามารถในการกำจัดตะกอนแขวนลอยของการทดลองทั้ง 4 ชุด ดังตารางที่ 7.8

ตารางที่ 7.8 ค่าตะกอนแขวนลอย (MLSS) ในการทดลองชุดที่ 1, 2, 3 และ 4

การทดลองที่	ค่าอายุตะกอน, θ_c (วัน)	ค่าตะกอนแขวนลอย (SS)(มก./ลิตร)			
		น้ำเข้า (มก./ลิตร)	น้ำออก (มก./ลิตร)	ตะกอนแขวนลอย ที่ถูกกำจัด	%ที่ถูกกำจัด
1	3	121.81	8.63	113.2	92.93
2	7	120.35	8.62	111.73	92.83
3	11	116.19	11.75	104.44	89.88
4	15	114.92	5.83	109.09	94.2

จากตารางที่ 7.8 ในการทดลองชุดที่ 1, 2, 3, 4 จะมีความสามารถในการกำจัดตะกอนแขวนลอย (Suspended Solid) ในปริมาณเปอร์เซ็นต์ที่ใกล้เคียงกัน และเมื่อนำค่าอายุตะกอนมาเขียนกราฟกับประสิทธิภาพการกำจัดตะกอนแขวนลอยของระบบ จะได้กราฟตามรูปที่ 7.8



รูปที่ 7.8 ความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าอายุตะกอนของระบบและประสิทธิภาพในการกำจัดตะกอนแขวนลอยของระบบ

จากรูปที่ 7.8 ความสามารถในการกำจัดตะกอนแขวนลอยของทุก ๆ ชุดการทดลองมีเปอร์เซ็นต์ที่ใกล้เคียงกันมาก คือสามารถกำจัดตะกอนแขวนลอยเฉลี่ย 92 % หรือกล่าวได้อีกในหนึ่งว่าการเปลี่ยนแปลงค่าอายุตะกอน ไม่ส่งผลกระทบต่อความสามารถในการกำจัดตะกอนแขวนลอย

7.9 ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี

ในการทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีโดยวิธีการบำบัดแบบแอนแอโรบิก-ออกซิกแอตติเวตเตดสลัดจ์ ที่ค่าอายุตะกอนต่าง ๆ กัน 4 ค่า คือ $\theta_c = 3, 7, 11$ และ 15 วัน ซึ่งทำในห้องทดลอง (lab scale) ใช้น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเบียร์(ดูคุณสมบัติน้ำเสียภาคผนวก ง) โดยใช้อัตราส่วนปริมาตรถังแอนแอโรบิกต่อถังออกซิก (Anaerobic volume fraction) เท่ากับ 1:6 การพิจารณาศึกษาเป็น 2 ส่วนคือ

- (1) ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีที่ละลาย ภายหลังจากน้ำเสียผ่านส่วนแอนแอโรบิก
- (2) ประสิทธิภาพกำจัดซีโอดีทั้งหมดของระบบ

7.9.1 ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีที่ละลายในถังแอนแอโรบิก

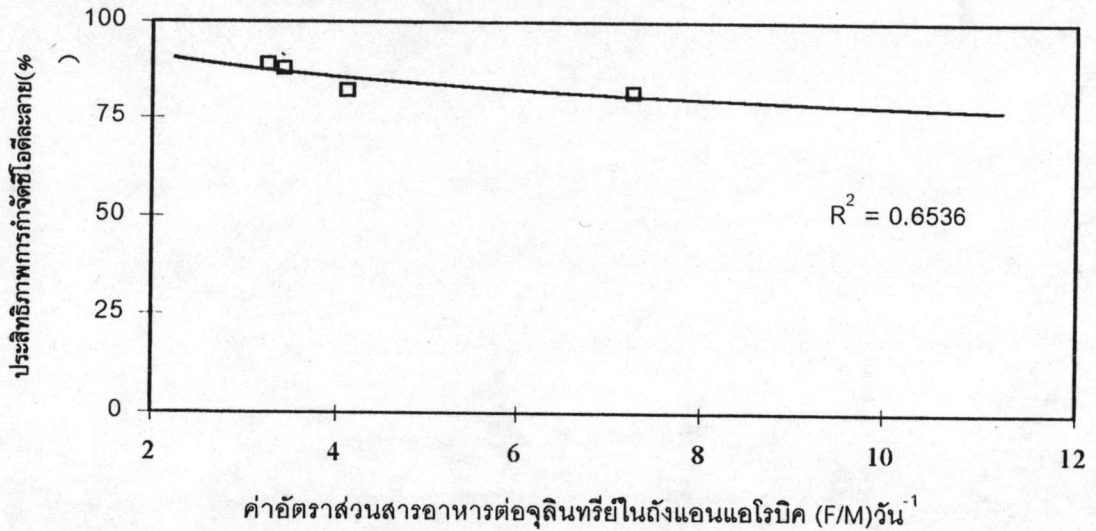
จากการทดลองที่สภาวะคงตัวของระบบ (steady state) ค่าซีโอดีที่ละลายจะถูกกำจัดในถังแอนแอโรบิกเป็นส่วนใหญ่ คือ สามารถกำจัดคิดเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ของปริมาณซีโอดีที่ละลายที่เข้าระบบ ที่ค่าอายุตะกอน 3, 7, 11 และ 15 วัน มีค่าเท่ากับ 81.6%, 82.1%, 87.8% และ 89.0% ตามลำดับ ส่วนค่าซีโอดีที่ละลายเมื่อผ่านถังแอนแอโรบิก แสดงในตารางที่ 7.9

ตารางที่ 7.9 ค่าประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีที่ละลายของการทดลอง

การทดลองที่	อายุตะกอน θ_c (วัน ⁻¹)	F/M _{an} (วัน ⁻¹)	ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีที่ละลาย (%)		
			ถังแอนแอโรบิก	ถังออกซิเดชัน	ทั้งระบบ
1	3	7.27	81.63	92.98	93.85
2	7	4.11	82.12	92.81	92.90
3	11	3.41	87.83	95.30	96.18
4	15	3.24	89.00	94.40	96.00

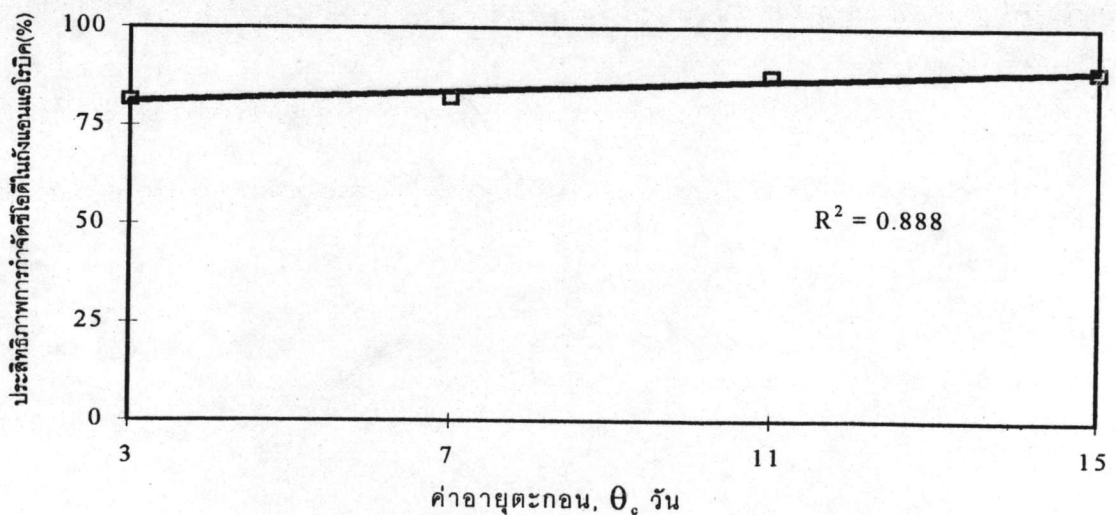
F/M_{an} = ค่าอัตราส่วนอาหารต่อจุลินทรีย์ในถังแอนแอโรบิก

จากตารางที่ 7.9 เมื่อพิจารณาการกำจัดซีโอดีในช่วงแอนแอโรบิก จะเห็นว่าในการทดลองทั้ง 4 ชุด มีการกำจัดซีโอดีสารอาหารละลายคิดเป็นจำนวนร้อยละของซีโอดีที่ละลาย ที่ถูกกำจัดทั้งหมดของระบบ ที่ค่าอายุตะกอน 3, 7, 11 และ 15 เท่ากับ 81.63, 82.12, 87.83 และ 89.00 ตามลำดับ และเมื่อนำค่าประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีที่ละลายในถังแอนแอโรบิก มาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์กับค่าอายุตะกอน θ_c และค่า F/M จะได้กราฟดังแสดงในรูปที่ 7.9 และ 7.10 ตามลำดับ

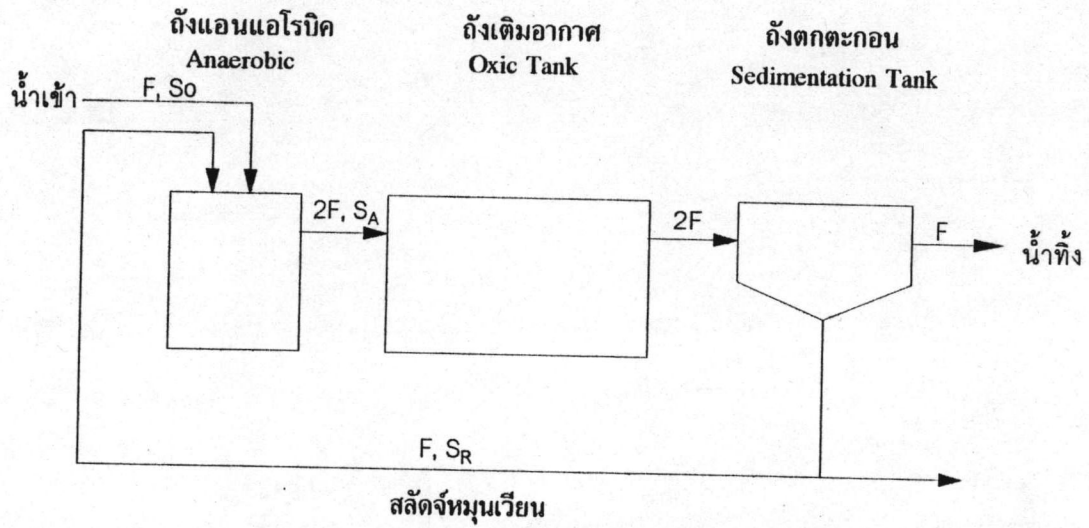


รูปที่ 7.9 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดชีโอดีสลาย กับค่าอายุตะกอนของระบบ, θ_c

จากกราฟรูปที่ 7.9 เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์จะเห็นว่าค่า F/M ในถังแวนแเอโรบิก จะแปรผกผันกับค่าประสิทธิภาพในการกำจัดชีโอดีสลายในถังแวนแเอโรบิก คือเมื่อค่า F/M เพิ่มสูงขึ้น ประสิทธิภาพในการกำจัดชีโอดีสลายในถังแวนแเอโรบิกก็จะต่ำ ในทำนองกลับกันถ้า F/M สูง ประสิทธิภาพในการกำจัดชีโอดีสลายในถังแวนแเอโรบิกก็จะต่ำ



รูปที่ 7.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอายุตะกอน (θ_c) กับค่าประสิทธิภาพในการกำจัดชีโอดีกับค่าอัตราส่วนสารอาหารต่อจุลินทรีย์ในถังแวนแเอโรบิก



เมื่อ	F	=	อัตราการของน้ำเสีย , อัตราหมุนเวียนสลัดจ์ (= 15 ลิตร/วัน)
	S_0	=	ซีโอดีในน้ำเข้า, มก./ลิตร
	S_A	=	ซีโอดีในถังแอนแอโรบิก, มก./ลิตร
	S_R	=	ซีโอดีในถังเติมอากาศ, มก./ลิตร
	Δ_s	=	ซีโอดีที่ลดลง = $FS_0 + FS_R - 2FS_A$

รูปที่ 7.11 แสดงการดุลมวล (Mass Balance) รอบถังแอนแอโรบิกของซีโอดี

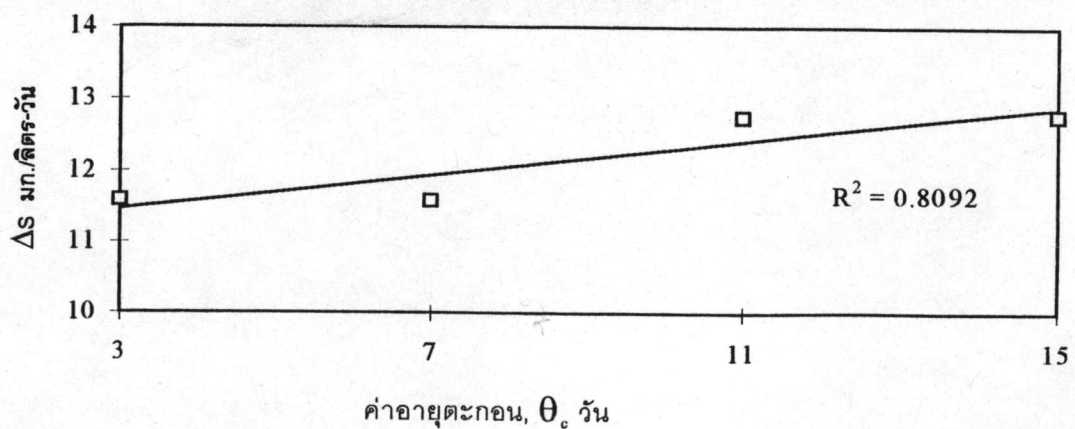
จากกราฟรูปที่ 7.10 เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์จะเห็นว่าค่าประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีละลายในถังแอนแวนโรบิค จะแปรตามค่าอายุตะกอนของระบบ คือเมื่อค่าอายุตะกอนเพิ่มสูงขึ้น ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีละลายในถังแอนแวนโรบิคก็จะสูง หรือถ้าค่าอายุตะกอนต่ำก็จะทำให้ ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีละลายในถังแอนแวนโรบิคต่ำลงด้วย

พิจารณารูปที่ 7.11 ซึ่งแสดงการทำสมดุลมวล (Mass balance) ของซีโอดี รอบถังแอนแวนโรบิคจะได้ผลการสมดุลมวลในตารางที่ 7.10

ตารางที่ 7.10 ผลของการสมดุลมวลของซีโอดีในการทดลอง

การทดลองที่	ค่าอายุตะกอน θ_c (วัน)	S_0 (มก./ลิตร)	S_A (มก./ลิตร)	S_R (มก./ลิตร)	ΔS (มก./ล.-วัน)
1	3	1000	140.48	53.65	11.59
2	7	1000	137.79	47.89	11.58
3	11	1000	93.09	35.62	12.74
4	15	1000	85.97	23.62	12.75

จากผลการทำดุลมวลในตารางที่ 7.10 สามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง การกำจัดซีโอดีในถังแอนแวนโรบิคกับค่าอายุตะกอน, θ_c ดังในรูปที่ 7.12



รูปที่ 7.12 ความสัมพันธ์ระหว่างการกำจัดซีโอดี ในถังแอนแวนโรบิคกับค่าอายุตะกอน, θ_c

จากรูปที่ 7.12 เมื่อใช้เส้นตรงแสดงความสัมพันธ์ดังในรูป ซึ่งสามารถสรุปในทำนองเดียวกันกับกราฟในรูปที่ 7.10 คือเมื่ออายุตะกอนเพิ่มขึ้น ความสามารถในการกำจัดซีโอดีละลายในถังแอนแอโรบิก ก็จะเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

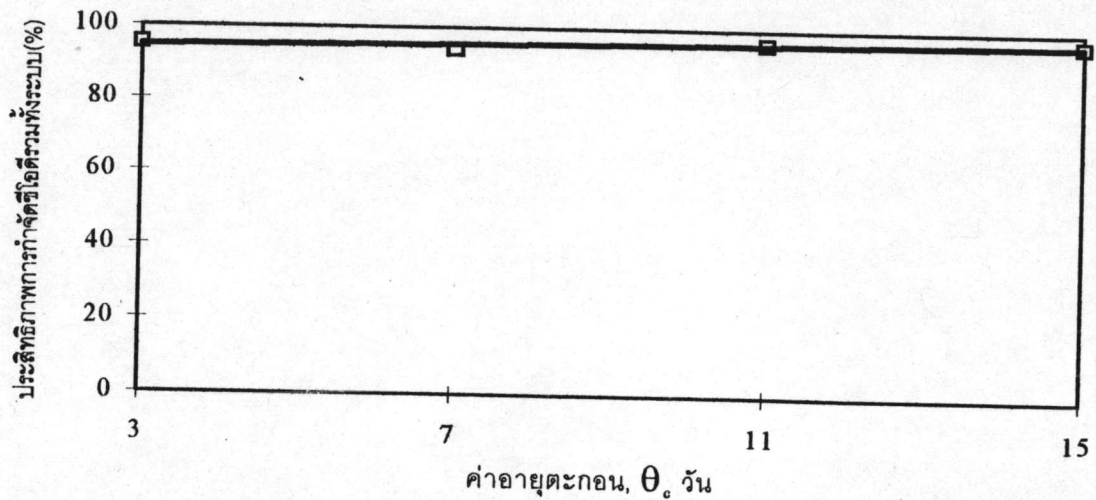
จากผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 7.9-7.10 และกราฟในรูปที่ 7.9-7.12 สามารถอธิบายสาเหตุของผลสรุปได้ นั่นคือการกำจัดสารอาหารละลายกระทำได้โดยปลดปล่อยฟอสฟอรัสในเซลล์ออก พร้อมกับดูดกลืนสารอาหารละลายกลับเข้ามาในเซลล์แทน ซึ่งสารอาหารที่ดูดกลืนมาเก็บไว้ในเซลล์ ก็จะถูกสันดาบโดยใช้ออกซิเจน เมื่อถูกส่งเข้าไปอยู่ในถังเติมอากาศต่อไป การเพิ่มอายุตะกอนก็คือการเพิ่มปริมาณเซลล์ในระบบ และเมื่อปริมาณเซลล์ในระบบเพิ่มขึ้น ความสามารถในการปลดปล่อยพร้อมกับดูดกลืนสารอาหารละลายเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วยนั่นเอง ในทำนองกลับกันค่าอัตราส่วนอาหารต่อจุลินทรีย์ มีค่าสูง นั้นหมายถึง ความสามารถในการกำจัดสารอินทรีย์ต่อมวลจุลินทรีย์จะมีค่าต่ำ

อย่างไรก็ตาม การเพิ่มอายุตะกอนให้สูงหรือการลดค่าอัตราส่วนอาหารต่อจุลินทรีย์ให้ต่ำลงจนถึงค่าหนึ่ง อาจทำให้เกิดปรากฏการณ์จุลินทรีย์มีจำนวนมากเกินไป ถึงแม้ความสามารถในการปลดปล่อยฟอสฟอรัสมีค่าสูง แต่ปริมาณสารอาหารละลายจะไม่เพียงพอต่อการดูดกลืนเข้าในเซลล์ เนื่องจากอัตราการปลดปล่อยฟอสฟอรัสจะเป็นสัดส่วนต่ออัตราการดูดกลืนสารอาหารละลาย ที่ค่าคงที่ค่าหนึ่ง (Wentzel, 1993) และการที่ขาดสารอาหาร (Substrate limited) จะทำให้ตะกอนจุลินทรีย์รวมตัวกันไม่ได้ เกิดเป็นตะกอนขนาดเล็ก (pin point floc) (ธีระ, 2539) ทำให้ประสิทธิภาพในการดูดกลืนด้อยลง อันเป็นสาเหตุให้ประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสต่ำ เมื่ออายุตะกอนสูงมาก ๆ (มากกว่า 11 วันขึ้นไป ; M.A.Rodrigo, 1996) เพราะฉะนั้นในการออกแบบการเพิ่มอายุตะกอน หรือการลดค่าอัตราส่วนอาหารต่อจุลินทรีย์ จะกระทำเพื่อให้เกิดการใช้สารอาหารละลายในถังแอนแอโรบิกให้มากที่สุดเท่าที่ทำได้เท่านั้น เพื่อที่จะให้เกิดสารอาหารคงเหลือจากถังแอนแอโรบิกให้น้อยที่สุด เพื่อป้องกันไม่ให้จุลินทรีย์ชนิดเส้นใยในถังแอนแอโรบิก สามารถใช้ในการเจริญเติบโตได้ เป็นการป้องกันการเกิดปัญหาตะกอนจมตัวไม่ลงนั่นเอง

7.9.2 ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีทั้งหมดในระบบ

จากการทดลองวิจัย ถึงแม้ว่าในหัวข้อ 7.9.1 จะได้แสดงผลว่าซีโอดีส่วนใหญ่จะถูกกำจัดในถังแอนแอโรบิกไปถึง 81-89% แต่อย่างไรก็ตามซีโอดีละลายที่ถูกกำจัดไปนั้น แท้ที่จริงเป็นเพียงการดูดกลืนเข้าไปเก็บไว้ในเซลล์ของจุลินทรีย์ชนิดโพลีพี (Poly P organism) ซึ่งจะต้องถูกส่งเข้ามาในถังเติมอากาศที่มีออกซิเจนมากพอในการทำการสันดาป (Metabolism) โดยใช้ออกซิเจน พร้อมทั้งดูดกลืนฟอสฟอรัสกลับเข้ามาในเซลล์แทน ดังนั้นถังเติมอากาศจึงต้องมีขนาดใหญ่พอ และมีปริมาณออกซิเจนมากพอ สำหรับให้จุลินทรีย์ชนิดโพลีพีใช้ด้วย Geory Schon, 1993 ได้สรุปว่า ความสามารถในการดูดกลืนฟอสฟอรัสในอัตราที่สูง (8.7 มก./ลิตร-ชม.) สามารถทำได้ในสภาพที่มีออกซิเจนละลายเพียง 0.5 มก. O_2 /ลิตรเท่านั้น แต่ในการทดลองวิจัยค่าออกซิเจนละลายในถังเติมอากาศมีค่าสูงถึง 4-6 มก./ลิตร (เพื่อให้เกิดการกวนอย่างสมบูรณ์ในถังแอนแอโรบิก) ซึ่งปริมาณออกซิเจนที่มากนี้เพียงพอที่จะ ยับยั้งจุลินทรีย์ชนิดเส้นใยที่ชอบอยู่ในสภาวะออกซิเจนละลายต่ำ (low DO filamentous) ได้ จากทฤษฎีในบทที่ 5 เราทราบว่าไม่เพียงจุลินทรีย์ชนิดโพลีพีเท่านั้นที่อยู่ในระบบ แต่ยังมีจุลินทรีย์อีกกลุ่มหนึ่งซึ่งสามารถใช้สารอาหารที่เหลือจากถังแอนแอโรบิก เมื่อเข้าสู่ในถังแอนแอโรบิกได้ ซึ่งก็คือจุลินทรีย์ชนิดไม่ใช่โพลีพี (nonPoly-P organism) จุลินทรีย์ดังกล่าวเป็นจุลินทรีย์ชนิดสร้างอาหารเองไม่ได้ (heterotroph organism) เช่นเดียวกับกับจุลินทรีย์ชนิดโพลีพี โดยรวมทั้งจุลินทรีย์เส้นใยและจุลินทรีย์ชนิดสร้างฟลอก (filamentous and floc-forming microorganism)

จากตารางที่ 7.9 จะเห็นว่าซีโอดีละลายที่เหลือจากการดูดซับของจุลินทรีย์ชนิดโพลีพีในถังแอนแอโรบิก ยังสามารถถูกกำจัดออกต่อได้อีกในถังแอนแอโรบิก ซึ่งเกิดจากจุลินทรีย์ชนิดไม่ใช่โพลีพีนั่นเอง ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีรวม (total COD) ของระบบที่ค่าอายุตะกอน 3, 7, 11 และ 15 มีค่าเท่ากับ 95.26%, 94.12%, 96.13% และ 96.61% ตามลำดับ จากข้อมูลข้างต้นเมื่อนำมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าอายุตะกอนของระบบกับประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีรวมของระบบดังแสดงในรูปที่ 7.13



รูปที่ 7.13 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกำจัดซีโอดีรวมของระบบกับค่าอายุตะกอน, θ_c

จากกราฟในรูปที่ 7.13 พิจารณาในแต่ละค่าอายุตะกอนต่าง ๆ จะเห็นว่าประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีรวม (total COD) ของทั้งระบบมีค่าแตกต่างกันเล็กน้อย อย่างไม่มีนัยสำคัญ โดยในทุก ๆ ค่าอายุตะกอน ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีรวมของระบบมีค่าสูงเท่า ๆ กัน คือเฉลี่ยประมาณ 96% ซึ่งพอจะสรุปได้ว่า ค่าอายุตะกอน(รวมถึงค่าอัตราส่วนอาหารต่อจุลินทรีย์) ไม่ได้แสดงความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญต่อประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีรวมของระบบ เหตุผลจากการทดลองสามารถอธิบายได้ โดยพิจารณาตารางที่ 7.1 เพื่อคำนวณหาประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีละลายที่เหลือ จากถังแอนแอโรบิกของชุดการทดลองทั้ง 4 ชุดที่ค่าอายุตะกอน 3,7,11 และ 15 จะมีค่าประสิทธิภาพในการกำจัดเท่ากับ 65.48%, 68.60%, 65.20% และ 66.22% จากข้อมูลที่คำนวณจะเห็นว่า ในทุกระบบมีความสามารถในการกำจัดค่าซีโอดีละลายที่เหลือจากถังแอนแอโรบิกใกล้เคียงกัน โดยมีค่าเฉลี่ยประมาณ 66% ซีโอดีละลายที่ถูกกำจัดเพิ่มขึ้นนี้ เกิดจากจุลินทรีย์ชนิดไมโซฟิลีฟิที่นั่นเอง ภายใต้สารอาหารคงเหลือและระยะเวลาที่ในถังเติมอากาศที่มีออกซิเจนมากพอ จุลินทรีย์ชนิดไมโซฟิลีฟิ สามารถกำจัดสารอาหารที่เหลือต่อเนื่องจากถังแอนแอโรบิกได้เป็นปริมาณร้อยละประมาณ 66 (จากการทดลองภายใต้สัดส่วนปริมาตรของถังแอนแอโรบิกต่อปริมาตรทั้งหมดเท่ากับ 1:6) แต่เนื่องจากปริมาณสารอาหารที่เหลือจากชุดทดลองที่ 1 (อายุตะกอน 3 วัน) มีค่าสูง ปริมาณการกำจัดซีโอดีละลายออกก็สูงตามเปอร์เซ็นต์ ดังนั้นเมื่อรวมปริมาณซีโอดีทั้งหมดที่ถูกกำจัดออกจากระบบ จึงไม่ได้แสดงประสิทธิภาพที่แตกต่างกัน

ความแตกต่างของปริมาณสารอาหารละลายที่ถูกกำจัดในถังแอนแอโรบิก นั้นหมายถึงอัตราส่วน of ปริมาณจุลินทรีย์ชนิดโพลีที่มีอยู่ ในระบบจุลินทรีย์ผสม (mixed culture) ต่อจุลินทรีย์ชนิดที่ไม่ใช่โพลีก็จะแตกต่างกันด้วย ถ้าหากในถังแอนแอโรบิกปริมาณสารอาหารละลายถูกกำจัดไปมาก นั้นหมายถึง ค่าอัตราส่วนจุลินทรีย์ชนิดโพลีต่อจุลินทรีย์ชนิดไม่ใช่โพลีจะมีค่าสูง นั่นคือจะมีจุลินทรีย์ชนิดไม่ใช่โพลีต่ำ ในทางกลับกันหากในถังแอนแอโรบิกปริมาณสารอาหารละลายถูกกำจัดน้อย ค่าอัตราส่วนจุลินทรีย์ชนิดโพลีต่อจุลินทรีย์ชนิดไม่ใช่โพลีก็จะต่ำ นั่นคือมีปริมาณจุลินทรีย์ที่ไม่ใช่โพลีจะสูง

ผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับผลการวิจัยของ WC Chang, 1996 ได้ทำการศึกษาผลของสารอาหารที่เหลือจากการใช้ในถังแอนแอโรบิกต่อการเพิ่มความสามารถในการตกตะกอนของระบบกำจัดฟอสฟอรัสทางชีววิทยา (enhanced biological phosphorus removal) โดยใช้แบบทดลองที่อายุตะกอน 5, 10 และ 15 วัน และอัตราส่วนปริมาตรถังแอนแอโรบิกต่อปริมาตรถังแอโรบิก (V_{an}/V_a) เท่ากับ 1:9, 1:4 และ 1:2.5 ที่เวลากักน้ำเท่ากับ 16 ชม. โดยใช้กระบวนการ A^2O ผลสรุปว่าระบบสามารถกำจัดซีโอดีได้ถึงร้อยละ 95 โดยไม่มีผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงค่าอายุตะกอน หรือ การเปลี่ยนอัตราส่วนปริมาตรของถังแอนแอโรบิกกับถังแอโรบิก

อย่างไรก็ตาม ผลสรุปดังกล่าวข้างต้นของการวิจัยผู้วิจัยไม่สามารถรวมถึง ในกรณีที่ค่าอัตราส่วนซีโอดีต่อฟอสฟอรัส มีค่าต่ำ (COD:P มีค่าต่ำ) เพราะเนื่องจากการทำงานของระบบจะถูกกำหนดโดยปริมาณซีโอดี (COD limited)

7.10 ความสามารถในการจมตัวของตะกอนในถังแอนแอโรบิก

ในระหว่างการทดลองและวิจัยครั้งนี้มี ปัญหาเรื่องสลัดจ์จมตัวไม่ลง (sludge bulking) เกิดขึ้นตลอดการทดลองทั้ง 4 ชุด โดยเฉพาะอย่างยิ่งช่วงระยะ 30 วันแรกของการทำการทดลอง ด้วยเหตุผลดังกล่าว ทำให้ประสิทธิภาพของถังตกตะกอนในตอนแรกทำงานไม่ค่อยได้ผลดีเท่าที่ควร เนื่องจากสลัดจ์ตกตะกอนช้ามาก จนบางครั้งเป็นผลให้มีการหลุดออก (washout) ซึ่งเป็นผลให้การควบคุมอายุตะกอนทำได้ลำบากมาก ดังนั้นจึงแก้ปัญหาโดยการเพิ่มขนาดถังตกตะกอน ซึ่งเดิมใช้ขนาด 3.0 ลิตร เป็นขนาด 7.0 ลิตร ซึ่งจากการแก้ปัญหาโดยวิธีดังกล่าว สามารถช่วยบรรเทาปัญหาไปได้บ้าง คือไม่เกิดการล้นออกของตะกอน

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการตรวจสอบคุณสมบัติการจมตัวของตะกอนในการวิจัยครั้งนี้คือ ค่า SVI (Sludge volume index) ค่า SVI เป็นพารามิเตอร์ใช้วัดความสามารถในการตกตะกอน แต่ค่านี้ถึง ความเข้มข้นของสลัดจ์ด้วยค่า SVI หาได้จากสมการ 7.3

$$\text{SVI (มล./กรัม)} = \frac{V_{30}(\text{มล./ลิตร})}{\text{MLSS (กรัม/ ลิตร)}} \quad \dots\dots\dots(7.3)$$

จากการวิจัย เมื่อระบบเข้าสู่ช่วงสภาวะคงตัว ค่า V_{30} ของการทดลองที่อายุตะกอน 3, 7, 11 และ 15 วันมีค่าเท่ากับ 297, 824, 513 และ 193 มล./ลิตร เมื่อนำค่า V_{30} มาคำนวณหาค่า SVI ของ การทดลองที่อายุตะกอน 3, 7, 11 และ 15 วัน จะมีค่าเท่ากับ 523.76, 743.59, 307.8 และ 118.68 (ค่าทั้งหมดสรุปไว้ในตารางที่ 7.11) หากพิจารณาค่า V_{30} ของการทดลองแล้วจะเห็นว่า ค่า อายุตะกอน 15 วันสลัดจ์จะมีการตกตะกอนได้ดี โดยที่ค่าอายุตะกอน 7 วัน สลัดจ์มีปัญหาในการจมตัว ไม่ลงมากที่สุด และจากการตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์ พบว่า ในการทดลองของทุกชุดจะมีแบคทีเรีย เส้นใยอยู่ทุกถัง ในถังที่มีอายุตะกอน 7 และ 11 จะมีแบคทีเรียเส้นใยเป็นจำนวนมาก แต่ไม่ถึงกับล้น ออกจากถังตกตะกอนที่ทำการเปลี่ยนขนาดแล้ว

ตารางที่ 7.11 ค่า V_{30} และ ค่า SVI ในถังเติมอากาศของชุดการทดลองที่ 1, 2, 3 และ 4

การทดลองชุดที่	ค่าอายุตะกอน, θ_c (วัน)	ถังเติมอากาศ (Oxic Tank)	
		V_{30} (ml./l)	SVI (ml./g)
1	3	297	523
2	7	745	665
3	11	513	314
4	15	193	115

เมื่อพิจารณาค่า SVI ของการทดลองที่อายุตะกอน 3, 7, 11 และ 15 วันจะมีค่าเท่ากับ 523, 665, 314 และ 115 มล./กรัม ตามลำดับ จะเห็นว่าที่อายุตะกอน 15 วันค่า SVI มีค่าต่ำกว่า 150 มล./กรัม ซึ่งแสดงให้เห็นว่าตะกอนสลัดจ์สามารถตกตะกอนได้ดี เช่นเดียวกันกับค่าอายุตะกอนเท่ากับ

11 วัน ถึงแม้ว่าค่า SVI จะสูงกว่า 150 มล./กรัมก็ตาม ส่วนค่า SVI ที่อายุตะกอน 7 และ 3 วันมีค่าเท่ากับ 665 และ 523 ตามลำดับ ซึ่งจัดว่าสูงมาก และมีคุณสมบัติในการจมตัวต่ำ

จากที่ได้อธิบายข้างต้น. เป็นการพิจารณาในแง่ของความสามารถจมตัวที่เกิดจากจุลินทรีย์ชนิดเส้นใยเท่านั้น แต่ในความเป็นจริง ในระบบที่มีการกำจัดฟอสฟอรัสและไนโตรเจน จะมีแบคทีเรียอีกประเภทหนึ่งซึ่งมีผลต่อความสามารถในการจมตัวลง นั่นคือ แบคทีเรียชนิดไม่ใช่เส้นใย ที่มีผลต่อความสามารถในการจมตัว (non-filamentous bulking) Novak,1993 ได้ทำการศึกษาผลของแบคทีเรียชนิดไม่ใช่เส้นใยที่มีต่อการจมตัวลงในห้องทดลอง ในกระบวนการ R-D-N (regeneration - denitrification - nitrification) เพื่อใช้กำจัดฟอสฟอรัสและไนโตรเจน โดยใช้กรดเลคซิดินเป็นสารอาหาร พบว่ามีแบคทีเรียชนิดเส้นใยเกิดขึ้นในระบบ แต่ไม่มีผลกระทบต่ออัตราการตกตะกอนของสลัดจ์มากนัก และเมื่อเปลี่ยนสารอาหารเป็นกรดโอเลอิก (Leeuwen,1988 ได้สรุปไว้ว่า กรดโอเลอิกเป็นองค์ประกอบของน้ำเสียที่ก่อให้เกิดจุลินทรีย์ชนิด Zoogloal อันเป็นสาเหตุของการเกิดโฟม (Foaming) และน้ำตะกอนมีลักษณะหนืด (Viscous) พบว่าเกิดปัญหาแบคทีเรียชนิดไม่ใช่เส้นใย (non-filamentous bulking) ซึ่งมีผลทำให้สลัดจ์ตกตะกอนช้าแต่ไม่ถึงกับอืด คือยังมีความสามารถในการจมตัวได้อยู่ แต่ไม่อัดแน่น (compaction) และความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยต่ำลง

เมื่อกลับมาพิจารณาถึงเหตุผลที่ค่า SVI ในชุดการทดลองที่ 1 (อายุตะกอนเท่ากับ 3 วัน) นี้มีค่าสูงกว่า 150 มล./กรัม ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสลัดจ์เกิดปัญหาตะกอนไม่จมตัว (bulking) (Jenkins,1993) แต่ในขณะที่ค่า V_{30} มีค่าต่ำกว่า 980 มล./ลิตร มาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งมีค่าเท่ากับ 297.5 มล./ลิตร แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการตกตะกอนที่ดี สาเหตุที่เกิดปรากฏการณ์เช่นนี้คือระบบเกิดแบคทีเรียชนิดไม่ใช่เส้นใย (non-filamentous bulking) นั่นเอง และจากการที่คำนวณค่า SVI ได้สูงเป็นเพราะว่า จุลินทรีย์ชนิด Zoogloal ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ชนิดสร้างตะกอน (floc forming) ชนิดหนึ่งที่มีคุณสมบัติในการเก็บน้ำไว้ได้เมื่อกบาง ๆ นอกเซลล์ (exocellular slime) เป็นจำนวนมาก ทำให้เป็นฟล็อกที่มีปริมาตรสูง ดังนั้นเมื่อนำไปหาค่าตะกอนแขวนลอย(MLSS) จึงทำให้ได้ค่า MLSS ต่ำส่งผลให้การคำนวณค่า SVI สูงนั่นเอง ซึ่งในกรณีที่มีฟล็อกชนิดนี้เป็นจำนวนมาก จะส่งผลให้เกิดสภาพน้ำตะกอนเป็นของเหลวหนืด (Jelly-like) (Novak,1993) ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดฟองและคราบลอย (Foaming and Scumming) เกาะอยู่บนผิวของแอกติเวตเตดสลัดจ์ ผลดังกล่าวจะทำให้สลัดจ์ไม่อัดแน่น (non-compaction) และจากการที่มีน้ำอยู่ในภายใต้เมื่อกบาง ๆ นอกเซลล์จะทำให้การตกตะกอนไม่รวดเร็ว หรือกล่าวได้อีกนัยหนึ่งว่า ความเร็วของการตกตะกอน (Settling velocity) ต่ำ

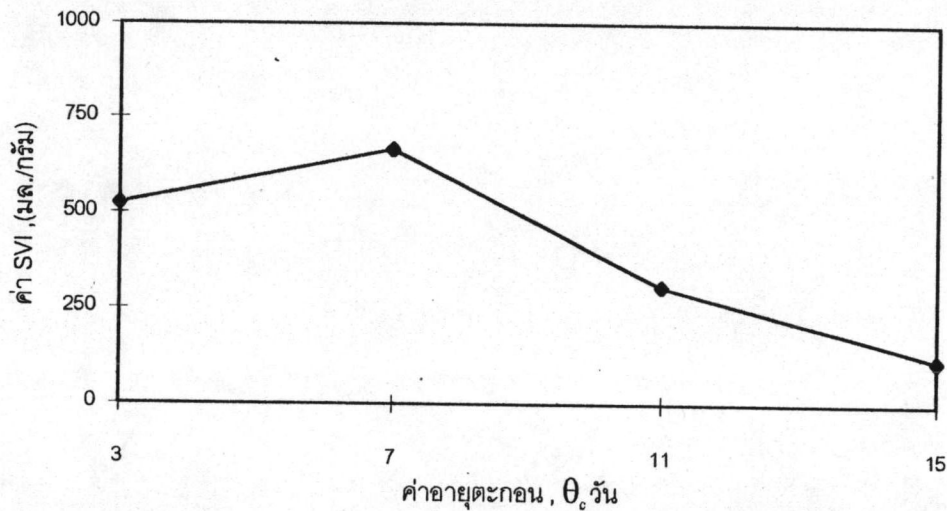
Novak(1993) ได้สรุปสาเหตุที่ทำให้เกิดแบคทีเรียที่ไม่เป็นเส้นใย ที่ทำให้เกิดการด้อยประสิทธิภาพในการจมตัวของตะกอนอย่างรวดเร็วไว้หลายกรณีจากงานวิจัยต่าง ๆ พอสรุปไปหัวข้อดังนี้

1. Leeuwen,1988 ได้กล่าวว่าสาเหตุของการเกิดฟล็อกของ zoogloea มาจากองค์ประกอบของน้ำเสียที่มีกรดไขมันสูงหรือเป็นหลัก ตัวอย่างเช่น สารประกอบโอเลอิก (oleic compounds)
2. Wood and Tohobanoglous,1974 ได้สรุปว่า การที่เกิดอัตรา F/M (sludge loading) สูง และ/หรือขาดสารอาหารจำเป็น เช่น ไนโตรเจน, ฟอสฟอรัสหรือเหล็ก จะเป็นเหตุให้เกิดปัญหาบัลกิงแบคทีเรียชนิดไม่ใช่เส้นใย (non-filamentous bulking)
3. Gabb,1991 กล่าวว่า การใช้ถังคัดเลือกพันธุ์ (selector) ในบางระบบจะกระตุ้นให้เกิดจุลินทรีย์ชนิด zoogloea
4. Stichova,1990 รายงานว่าในสภาพแอนแอโรบิกและ/หรือสภาพแอนออกซิก ซึ่งใช้กำจัดฟอสฟอรัส การเติบโตที่มากเกินไปของแบคทีเรียชนิดโพลีฟี (ตัวอย่างเช่น แบคทีเรีย Acinetobacter)สามารถจัดรูปเซลล์เชื่อมติดเข้าด้วยกันโดยใช้โพลีเมอร์นอกเซลล์ (exocellular polymers) ซึ่งอาจเป็นสาเหตุให้เกิดปัญหาในการตกตะกอน

จากการทดลองที่อายุตะกอน 3 วัน ซึ่งมีภาระทุกอินทรีย์ F/M สูง(7.27กก.ซีไอดี/กก.MLSS) ในถังแอนแอโรบิก อีกทั้งยังมีปริมาณเซลล์ชนิดโพลีฟีที่มีชีวิตสูง (bio-active cell) อาจเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิด non-filamentous bulking ได้ ถึงแม้ว่าในระหว่างทำการทดลองจะเติมสารอาหารจำเป็นอย่างพอเพียงก็ตาม

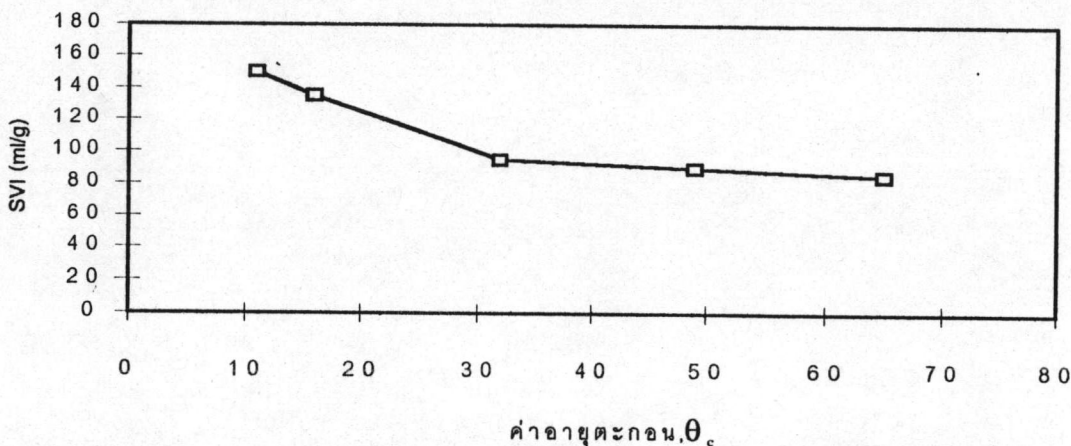
- ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอายุตะกอนกับค่า SVI

จากตารางที่ 7.11 เมื่อนำค่าอายุตะกอนและค่า SVI ในถังแอโรบิก มาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 7.14 (แสดงค่าอายุตะกอนและค่า SVI)



รูปที่ 7.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าอายุตะกอน θ_c และค่า V_{30} ในถังเติมอากาศ

จากรูปที่ 7.14 เมื่อพิจารณาจากกราฟ ที่ค่าอายุตะกอนสูง ระบบแสดงให้เห็นว่ามีความสามารถในการจมตัว ซึ่งแสดงด้วย SVI มีแนวโน้มต่ำลงอย่างเห็นได้ชัดเจน ซึ่งพอจะสามารถสรุปได้ว่าค่าอายุตะกอนแปรผกผันกับค่า SVI คือเมื่อค่าอายุตะกอนสูงขึ้น ค่า SVI จะมีค่าต่ำลง นั่นหมายถึงความสามารถในการจมตัวดีขึ้น (แปรผกผันตรง) ผลการวิจัยที่ได้มีแนวโน้มสอดคล้องกับผลการวิจัยของ Rodrigo M.A. et al, 1996 ซึ่งได้ทำการศึกษาอิทธิพลของอายุตะกอน ต่อการเพิ่มความสามารถในการกำจัดฟอสฟอรัส โดยระบบชีวภาพ (Influence of sludge age on enhanced phosphorus removal in biological systems) โดยใช้ค่าอายุตะกอน 11, 16, 32, 49 และ 65 วัน ทดลองโดยใช้ระบบ A²O Rodrigo ให้เหตุผลว่าสาเหตุที่ไม่ทำการทดลองที่ค่าอายุตะกอนต่ำกว่า 11 วัน เพราะเนื่องจาก Rodrigo ได้คาดคะเนค่า SVI จากผลการทดลองที่ค่าอายุตะกอนต่าง ๆ ข้างต้น โดยนำค่า SVI มาเขียนกราฟตามรูปที่ 17.15 จากกราฟดังกล่าว Rodrigo ได้สรุปแนวโน้มของค่า SVI เมื่ออายุตะกอนต่ำกว่า 11 วันว่าจะมีค่าสูง และอาจก่อให้เกิดปัญหาในช่วงปฏิบัติการทดลองได้ จึงไม่ได้ทำการทดลองที่ค่าอายุตะกอนต่ำกว่า 11 วันดังกล่าว



รูปที่ 7.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า SVI กับอายุตะกอน จากการทดลองของ Rodrigo, 1996

- ความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าอัตราส่วนอาหารต่อจุลินทรีย์กับ ค่า SVI

จากผลสรุปที่ได้สามารถอธิบายเพิ่มเติมได้อีก เมื่อพิจารณาพารามิเตอร์ระหว่างค่าอัตราส่วนอาหารต่อจุลินทรีย์ (F/M) ในระบบทั้งหมดกับค่า SVI ในถังเติมอากาศ และค่าอัตราส่วนอาหารต่อจุลินทรีย์ในถังแอนแอโรบิกกับค่า SVI ในถังเติมอากาศ นั่นคือ ค่าอัตราส่วนอาหารต่อจุลินทรีย์ไม่ว่าจะในถังแอนโรบิก หรือในระบบทั้งหมด จะแปรผันตรงกับค่า SVI คือ เมื่อค่า F/M มีค่าต่ำ SVI ก็จะมีค่าต่ำด้วย หรือสรุปอีกนัยหนึ่งได้คือ ค่า F/M จะแปรผกผันกับความสามารถในการจมตัวของตะกอน

- ค่าอัตราการใช้สารอาหารคงเหลือจำเพาะ และค่า SVI

(SVI and specific residual substrate utilization rate)

W.C. Chang et al., 1996 ได้ใช้พารามิเตอร์ q_{re} (specific residual substrate utilization rate) ในการวัดปริมาณสารอาหารคงเหลือ (residual substrate) จากถังแอนแอโรบิก สำหรับจุลินทรีย์แบบไม่ใช้โพสฟิฟ เมื่ออยู่ในถังเติมอากาศ(ถังออกซิก) พารามิเตอร์ q_{re} หาได้จากสมการที่ 7.4

$$q_{re} = \frac{(COD_{an} - COD_c)}{X \theta_h} \dots\dots\dots(7.4)$$

เมื่อ

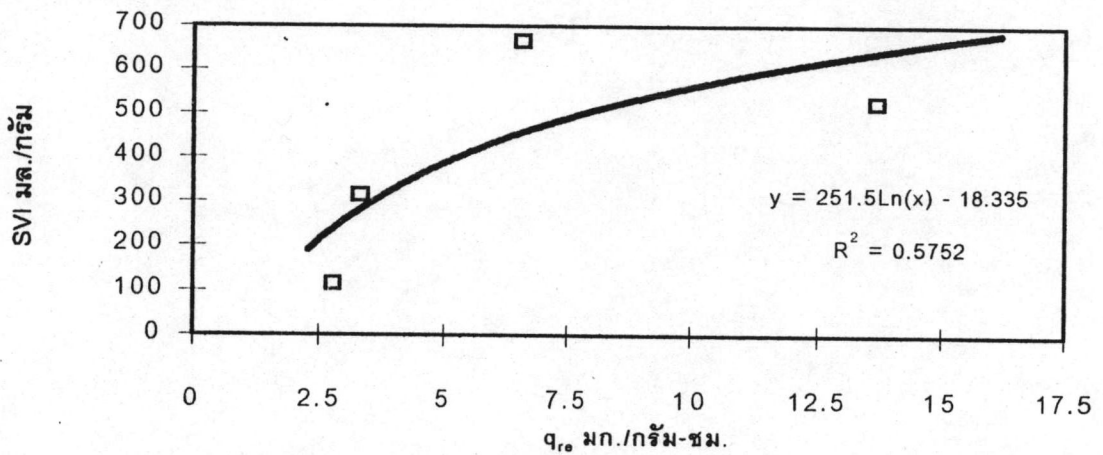
q_{re}	=	ค่าอัตราการใช้สารอาหารคงเหลือจำเพาะ (มก./กรัม.ชม)
θ_n	=	เวลากักน้ำในถังแอร์บิค $= V_a/Q(1+\alpha)$ (ชม.)
V_a	=	ปริมาตรของถังแอร์บิค (ลิตร)
α	=	อัตราส่วนการเวียนตะกอนกลับ
Q	=	อัตราไหลของน้ำเสียเข้า (ลิตร/วัน)
COD_{an}	=	ค่าซีโอดีละลายในถังแอร์บิค (มก./ลิตร)
COD_e	=	ค่าซีโอดีละลายในน้ำออก (effluent) (มก./ลิตร)
X	=	ปริมาณตะกอนแขวนลอยในถังแอร์บิค (MLSS, มก./ลิตร)

ค่า q_{re} ใช้แสดงอัตราการใช้สารอาหารในถังแอร์บิคต่อมวลจุลินทรีย์ ซึ่งรวมถึงจุลินทรีย์ชนิดที่เป็นเส้นใยและจุลินทรีย์ชนิดสร้างฟลอค แต่สารอาหารที่เหลือส่วนใหญ่ในถังแอร์บิค ถูกใช้โดยจุลินทรีย์ชนิดเส้นใย (หมายถึงค่า q_{re} สูง) สัดส่วนของจุลินทรีย์ชนิดเส้นใยก็จะเพิ่มสูงขึ้น นั่นจะทำให้ความสามารถในการตกตะกอนของสลัดจ์ลดลง จากผลการทดลองในการวิจัยครั้งนี้สามารถนำมาคำนวณหาค่า q_{re} ดังตารางที่ 7.12

ตารางที่ 7.12 แสดงค่า SVI และค่า q_{re} ของการทดลองทั้ง 4 ชุด

การทดลองที่	θ_c (วัน)	COD_{an} (มก./ลิตร)	COD_e (มก./ลิตร)	θ_n (ชม.)	X (มก./ล)	q_{re} (มก./ก.-ชม)	SVI (มล./ก)
1	3	140.48	46.93	12	568.00	13.7	523.76
2	7	137.79	47.94	12	1126.00	6.6	665.17
3	11	93.09	29.17	12	1634.75	3.3	314.26
4	15	85.97	30.24	12	1673.67	2.8	115.53

จากตารางที่ 7.12 เมื่อนำค่า q_{re} มาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์คู่กับ SVI จะได้กราฟดังรูปที่ 7.16



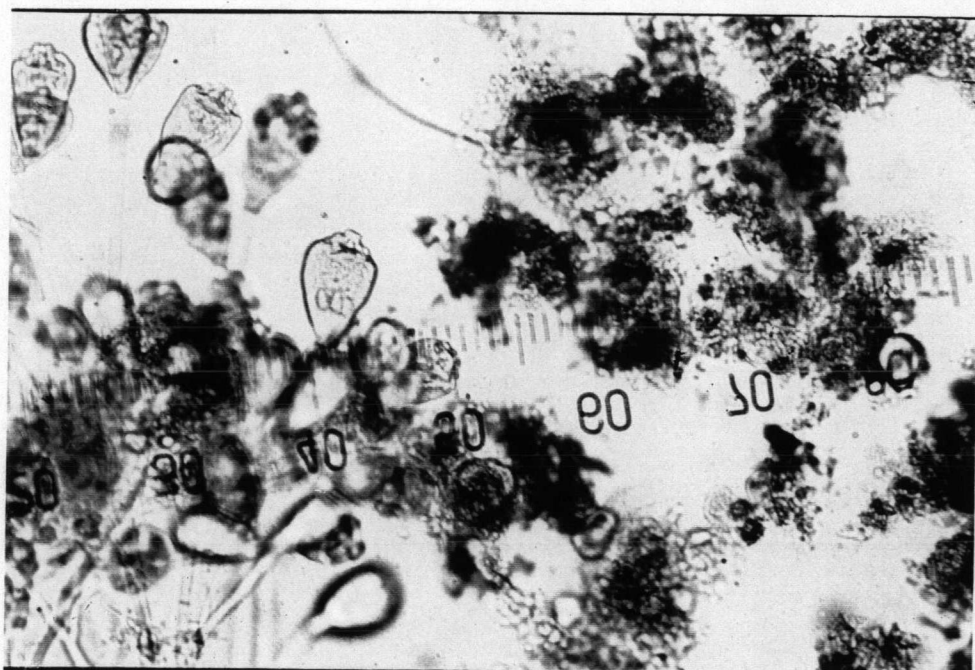
รูปที่ 7.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า SVI และ q_{re}

จากกราฟรูปที่ 7.16 แสดงให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่าง ค่า SVI และ q_{re} ในลักษณะที่เป็นเส้น log curve โดยค่า SVI จะแปรผันตรงกับค่า q_{re} คือ เมื่อค่าอัตราการใช้สารอาหารคงเหลือจำเพาะ ในถังแอโรบิกมีค่าต่ำ ค่า SVI ก็จะมีค่าต่ำ และเมื่อค่า q_{re} มีค่าสูง ค่า SVI ก็จะมีค่าสูงเช่นกัน ค่า q_{re} สามารถที่จะใช้บ่งบอกถึงความสามารถในการจมตัวของระบบแอกติเวตเตดสลัดจ์แบบแอนแอโรบิก-ออกซิไดซ์ การจะทำให้ค่า SVI ต่ำได้ (ซึ่งจะต้องทำให้ค่า q_{re} ต่ำด้วย) จะต้องออกแบบให้ถังแอนแอโรบิก สามารถจะดูดซับ (sequestration) สารอาหารให้ได้มากที่สุดโดยจุลินทรีย์ชนิดโพลีพี(มากกว่าระดับที่ต้องการ) สำหรับการกำจัดฟอสฟอรัสเมื่ออัตราส่วน COD/P สูง (W.C.Chang et al.,1996) เพื่อที่จะทำให้ปริมาณสารอาหารคงเหลือที่น้อยที่สุดก่อนที่จะเข้าสู่ถังแอโรบิก J.Wanner et al.,1986 ได้สรุปเช่นเดียวกันว่า การที่จะยับยั้งการเกิดสลัดจ์ไม่จมตัวให้ได้อย่างเป็นผลนั้น ควรทำให้สภาพแอนแอโรบิก มีช่วงนานมากพอที่สารอาหารโดยส่วนใหญ่จะถูกใช้ไปให้เหลือน้อยที่สุด

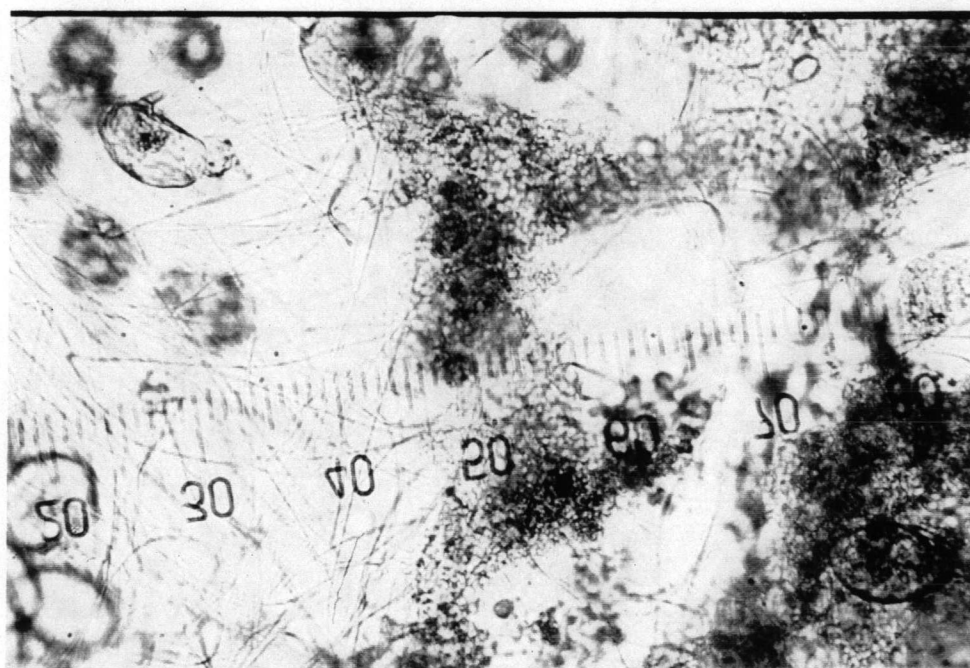
7.11 การตรวจสอบทางจุลชีววิทยาในถังแอโรบิก

จากการทดลองที่ $\theta_c = 3$ และ 7 วัน ในระยะแรกของการทำการทดลองจุลชีพส่วนใหญ่จะมีแบคทีเรียเส้นใย (Filamentous Bact.) เป็นจำนวนมาก (ดูภาพที่ 7.17 และ 7.18) ซึ่งจุลชีพชนิดเส้นใยจะเป็นจุลชีพหลักในตอนแรก จึงทำให้ค่า V_{30} และค่า SVI สูงมากในคราวแรก (ดูกราฟรูปที่ 7.1-7.4) ซึ่งสาเหตุที่เกิดขึ้นเกิดจากในระยะแรก เป็นระยะที่ยังไม่สามารถคัดพันธุ์แบคทีเรียชนิดสะสมฟอสเฟตที่เหมาะสมได้ จึงทำให้แบคทีเรียเส้นใยใช้สารอาหารในการเจริญเติบโตขยายพันธุ์ แต่อย่างไร

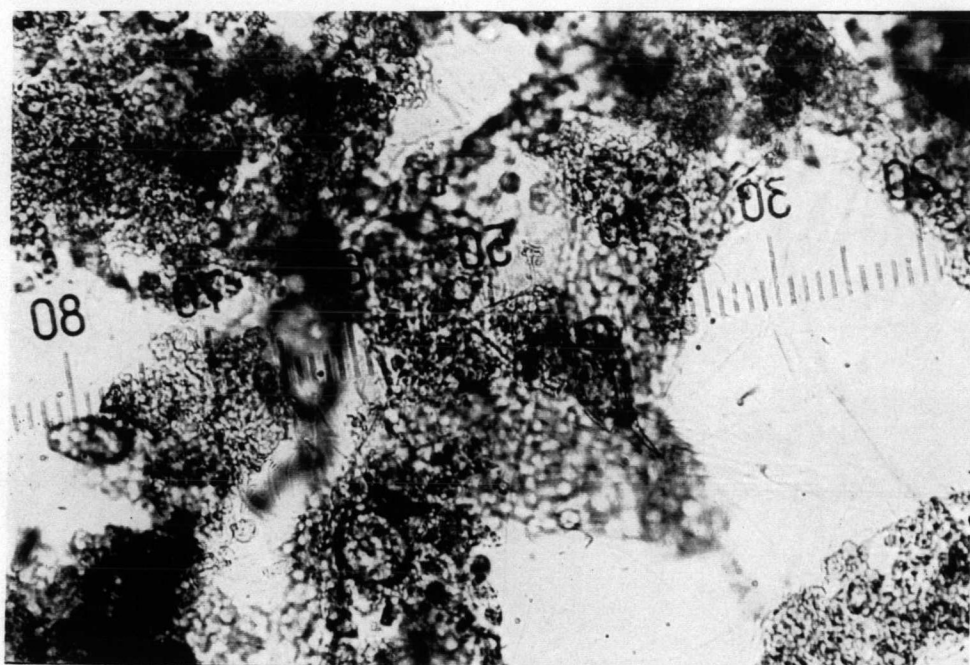
ก็ตามภายหลังจากที่ระบบเริ่มจะเข้าสู่สภาวะคงที่ (Steady State) แบคทีเรียชนิดสะสมฟอสเฟตเริ่มมีจำนวนมากขึ้น ทำให้สามารถดูดซับสารอาหารเข้ามาไว้ในเซลล์ได้มากขึ้น ซึ่งปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นจะทำได้ดีในสภาพที่ขาดออกซิเจนหรือแอนแอโรบิก ด้วยเหตุผลดังกล่าว จึงทำให้ระบบสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ชนิดอื่น ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งพวกที่ต้องใช้ออกซิเจนในการสันดาบเท่านั้น รวมถึงแบคทีเรียเส้นใยด้วย ภาพที่ 7.19 และ 7.20 เป็นภาพของลักษณะจุลชีพเมื่อระบบเข้าใกล้สภาวะคงตัว



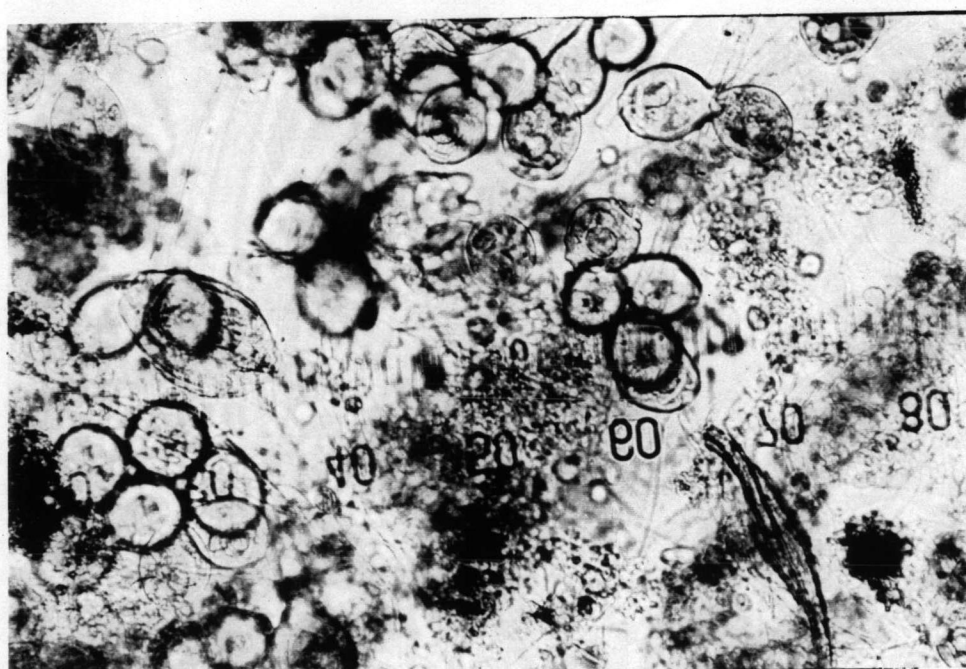
รูปที่ 7.17 แสดงจลชีพในถังออกซิเจนในช่วง 7 วันแรกของการทดลองที่ค่าอายุตะกอนเท่ากับ 3 วัน



รูปที่ 7.18 แสดงจลชีพในถังออกซิเจนในช่วง 7 วันแรกของการทดลองที่ค่าอายุตะกอนเท่ากับ 7 วัน

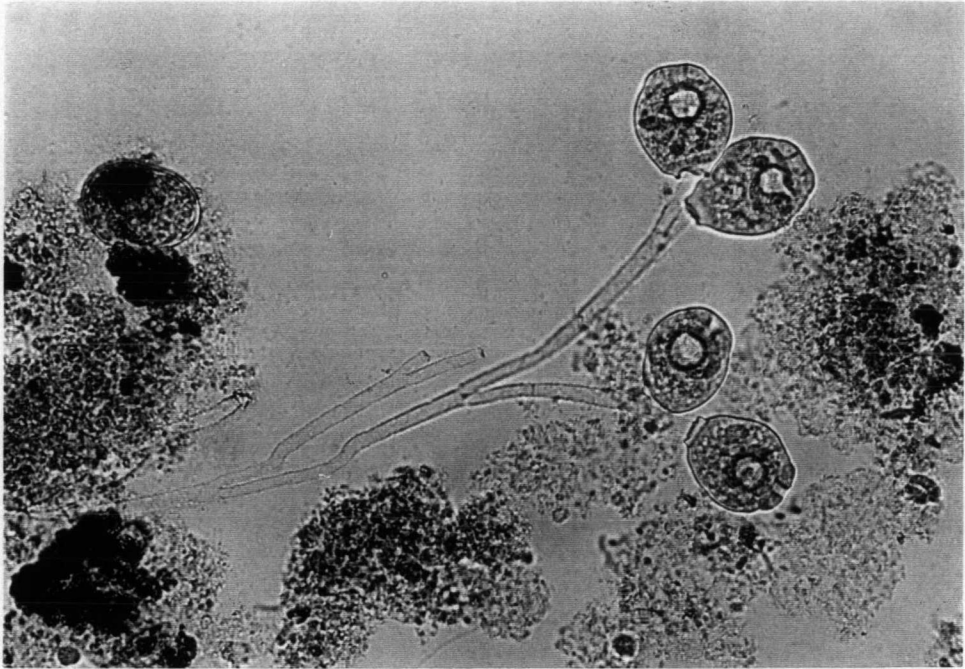


รูปที่ 7.19 แสดงจุลชีพในดั่งออกซิดในช่วง 7 วันแรกของการทดลองที่ค่าอายุตะกอนเท่ากับ 11 วัน

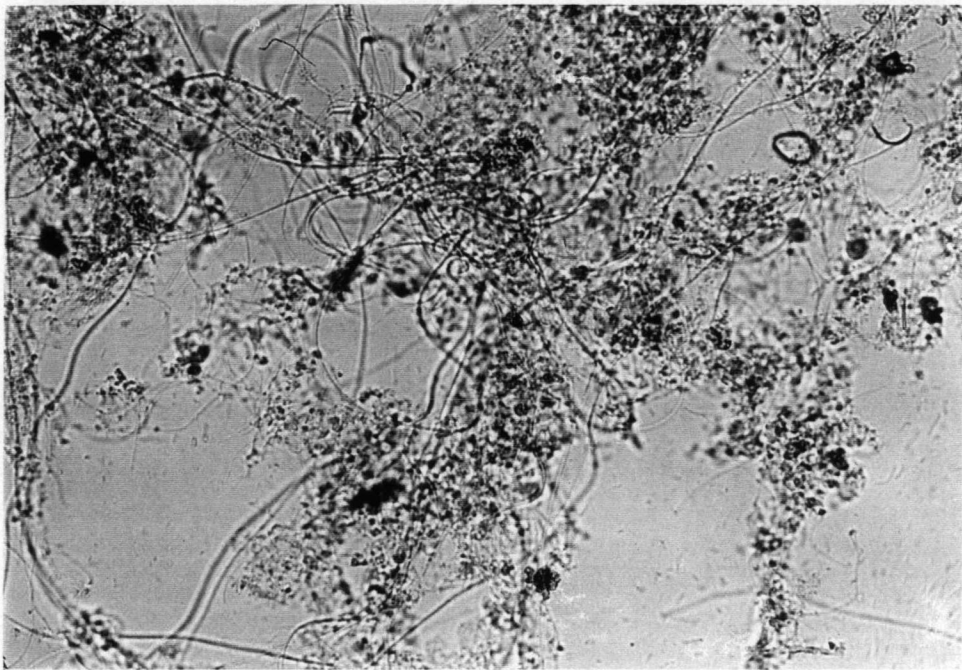


รูปที่ 7.20 แสดงจุลชีพในดั่งออกซิดในช่วง 7 วันแรกของการทดลองที่ค่าอายุตะกอนเท่ากับ 15 วัน

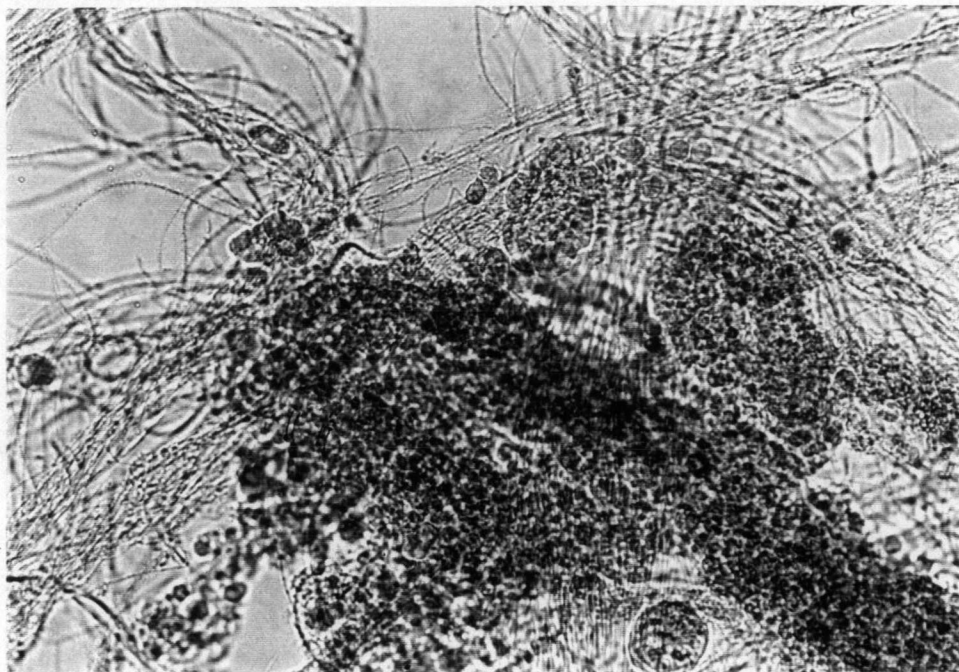
ส่วนในการทดลองที่ $\theta_c = 11$ และ 15 วัน ในระยะแรกค่า V_{30} และ SVI ไม่สูงมากเท่ากับ การทดลองชุดที่ 1,2 เพราะว่าเป็นระบบซึ่งมีปริมาณตะกอนสูง (นำมาจาก Seed ที่สมบูรณ์) และมีจุลชีพ พวก Stalk Ciliate , Rotifer รวมถึงพวก Free Swimming ในระยะเริ่มแรกในปริมาณสูง และเมื่อเข้าสู่ สภาวะคงตัวในส่วนของการทดลองที่ $\theta_c = 15$ วัน มีการปรับตัวในลักษณะคล้ายกับการทดลองชุดที่ $\theta_c = 3$ และ 7 วัน ตามเหตุผลที่อธิบายข้างต้น แต่ในการทดลองที่ $\theta_c = 11$ วัน ระยะปรับตัวให้ค่า SVI สูงขึ้นเล็กน้อยที่สภาวะคงตัว ลักษณะของจุลินทรีย์ในชุดการทดลองที่ $\theta_c = 11$ และ 15 วัน ดูได้จากภาพที่ 7.21, 7.22 ในช่วงเริ่มต้นระบบ ส่วนรูปที่ 7.23 และ 7.24 เป็นรูปแสดงจุลชีพเมื่อระบบ เข้าใกล้สภาวะคงตัว



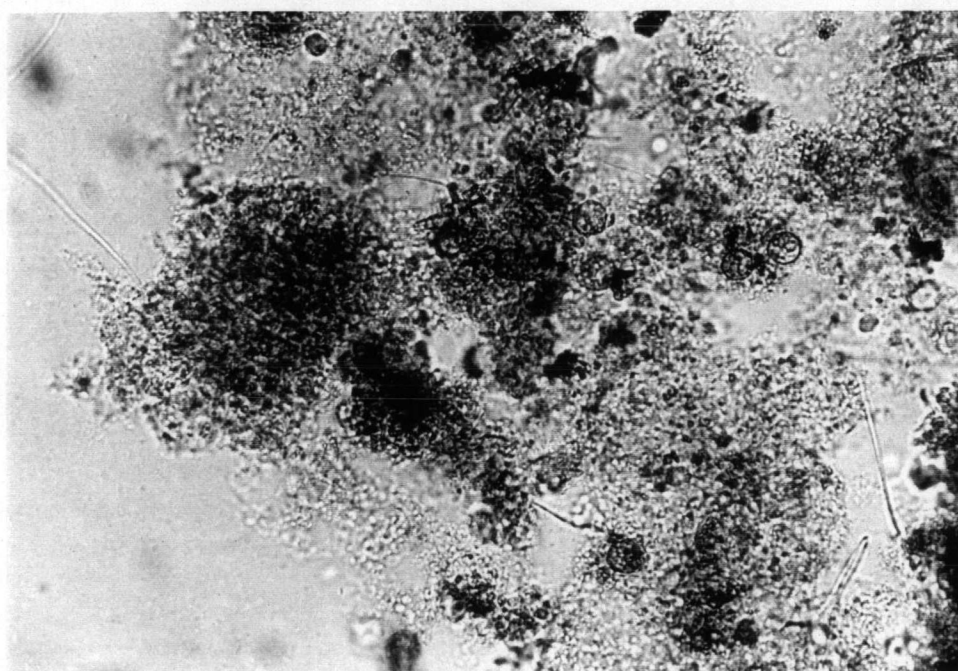
รูปที่ 7.21 แสดงจุลชีพในถังออกซิกในช่วงวันที่ 45 ของการทดลองที่ค่าอายุตะกอนเท่ากับ 3 วัน



รูปที่ 7.22 แสดงจุลชีพในถังออกซิกในช่วงวันที่ 45 ของการทดลองที่ค่าอายุตะกอนเท่ากับ 7 วัน



รูปที่ 7.23 แสดงจุลชีพในถังออกซิดในช่วงวันที่ 45 ของการทดลองที่ค่าอายุตะกอนเท่ากับ 11 วัน

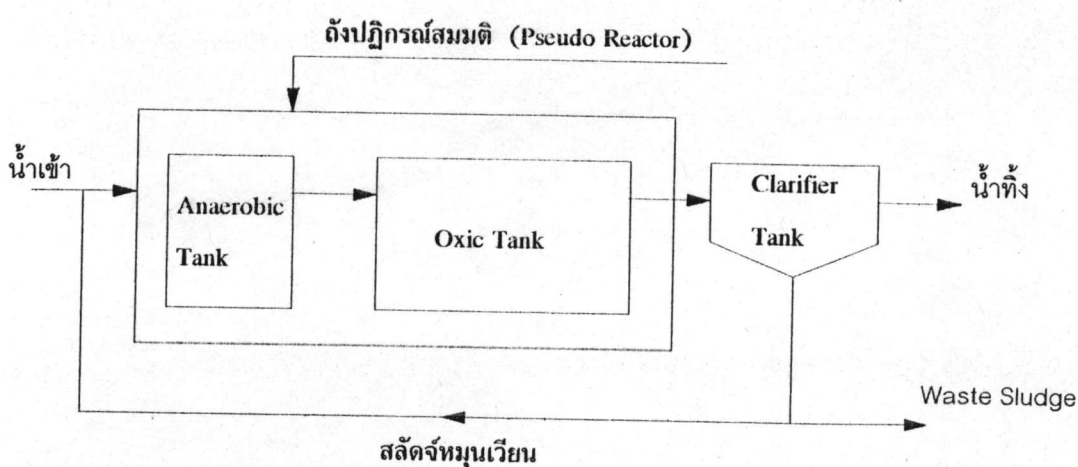


รูปที่ 7.24 แสดงจุลชีพในถังออกซิดในช่วงวันที่ 45 ของการทดสอบที่ค่าอายุตะกอนเท่ากับ 15 วัน

7.12 การหาค่าพารามิเตอร์จลน์รวมทั้งระบบที่อุณหภูมิทดลอง 28 ° ซ

จากทฤษฎีที่ได้แสดงไว้ในบทที่ 5 แล้วว่า จุลินทรีย์หลักที่อยู่ในระบบจะประกอบไปด้วย จุลินทรีย์ 2 กลุ่มหลักนั่นคือ จุลินทรีย์ชนิดโพลีพี (Poly P organism) และจุลินทรีย์ชนิดที่ไม่ใช่โพลีพี (non Poly-P organism) การทำงานของจุลินทรีย์ทั้ง 2 ชนิด จะต้องเกี่ยวข้องกันระหว่างสภาพที่เป็น แอนแอโรบิกและสภาพที่เป็นออกซิด ในหลักการจุลินทรีย์ทั้ง 2 ชนิด จะแยกทำงานเป็นอิสระต่อกัน นั่นคือค่าพารามิเตอร์ทางจลน์ศาสตร์ของจุลินทรีย์ทั้ง 2 ชนิดจะไม่เหมือนกัน แต่อย่างไรก็ตามในการวิจัยครั้งนี้ไม่ได้มุ่งที่จะหาความสามารถในการกำจัดฟอสฟอรัสของระบบ ซึ่งหากต้องการทราบความสามารถดังกล่าว จะต้องทำการหาค่าพารามิเตอร์จลน์แยกกันระหว่างจุลินทรีย์ 2 กลุ่ม โดยเฉพาะอย่างยิ่ง จุลินทรีย์ชนิดโพลีพี ซึ่งเป็นจุลินทรีย์สำคัญในการกำจัดฟอสฟอรัส

จุดมุ่งหมายของงานวิจัยนี้คือการหาความสามารถในการกำจัดซีโอดีของระบบ โดยใช้น้ำเสียโรงงานผลิตเบียร์ และหาค่าพารามิเตอร์จลน์ ซึ่งใช้เป็นตัวแทนของกลุ่มจุลินทรีย์รวม (Mixed culture) เพื่อการออกแบบภายใต้อัตราส่วนปริมาตรของถังแอนแอโรบิกต่อถังออกซิดเท่ากับ 1 : 6 ตามภาพที่ 7.25



รูปที่ 7.25 สมมติฐานในการหาพารามิเตอร์จลน์รวมของระบบแอกติเวเตดสลัดจ์แบบแอนแอโรบิก-ออกซิด

7.12.1 การหาค่า COD ที่ไม่ย่อยสลายทางชีวะ (C_1)

เนื่องจากในการทดลองวิจัยครั้งนี้ไม่ได้หาค่าความมีชีวิต (v) ของระบบที่อายุตะกอนต่าง ๆ ดังนั้นในการประมาณค่า q โดยใช้ความเข้มข้นของเซลล์ทั้งหมดตามสมการที่ 7.5 ดังนั้นค่า C_1 ที่ได้จะมากกว่าความเป็นจริงเล็กน้อย (Grady, 1980)

$$q = \frac{[Q(C_0 - C)]}{VM} \dots\dots\dots(7.5)$$

เมื่อ

- q = อัตราการใช้สารอาหารจำเพาะ, ชม.^{-1}
- Q = อัตราการไหลของน้ำเสียเข้า, ลิตร/วัน
- C_0 = ค่าซีโอดีละลายในกระแสเข้า, มก./ลิตร
- C = ค่าซีโอดีละลายในถังปฏิกรณ์, มก./ลิตร
- V = ปริมาตรของถังปฏิกรณ์รวม, ลิตร
- M = ความเข้มข้นของเซลล์ทั้งหมดในถังปฏิกรณ์, มก./ลิตร

เนื่องจากในการทดลองวิจัยครั้งนี้ เพื่อความถูกต้องของค่าพารามิเตอร์ได้คิดผลของของแข็งเฉื่อย (Inert Solids) เอาไว้ด้วย ดังนั้น ค่าความเข้มข้นของเซลล์ประสิทธิภาพ, X' (Effective Cell Concentration) จะต้องหักความเข้มข้นของของแข็งเฉื่อยออกจากค่าตะกอนแขวนลอย(MLSS)ในถังที่ปฏิกรณ์ ตามสมการที่ 7.6

$$X' = M - Z_1 \dots\dots\dots (7.6)$$

เมื่อ

$$Z_1 = Z_{10} (\theta_c / \tau), Z_{10} = fZ_0$$

ดังนั้น

$$X' = M - fZ_0 (\theta_c / \tau) \dots\dots\dots (7.7)$$

โดยที่

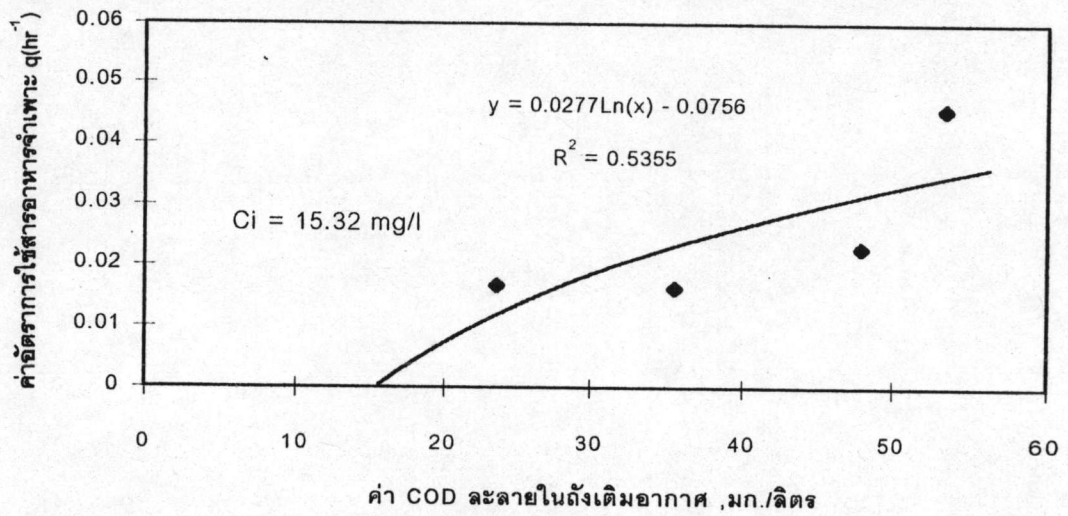
- X' = ความเข้มข้นของเซลล์ประสิทธิผล . มก./ลิตร
- M = ความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอย(MLSS)เฉลี่ยในถังเติมอากาศ, มก./ลิตร
- f = เศษส่วนมวลของอนุภาคเฉื่อยในกระแสเข้า (=0.08 คูณภาคผนวก ค.)
- Z_0 = ของแข็งแขวนลอยทั้งหมดในกระแสเข้า
- Z_{i0} = $f Z_0$

จากสมการที่ 7.5, 7.6 และ 7.7 ที่ค่าอายุตะกอนต่างๆ สามารถหาความสัมพันธ์ระหว่าง ค่า q และค่าซีโอดีละลายในถังปฏิกรณ์ที่มีการเติมอากาศ ซึ่งแสดงในตารางที่ 7.13

ตารางที่ 7.13 แสดงพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในการคำนวณหาค่า q

การทดลอง ชุดที่	θ_c (วัน)	C_0 (มก/ลิตร)	C (มก/ลิตร)	M (มก/ลิตร)	X' (มก/ลิตร)	q hr^{-1}
1	3	765.00	53.65	563.55	603.39	0.0467
2	7	770.77	47.89	1084.84	1114.84	0.0229
3	11	765.00	35.62	1521.79	1466.20	0.0163
4	15	781.67	23.62	1523.64	1453.41	0.0167

จากตารางที่ 7.14 นำค่าที่ได้มาเขียนกราฟระหว่างอัตราการใช้สารอาหารจำเพาะ , q และค่าซีโอดีละลายในถังปฏิกรณ์ที่เติมอากาศ , C . จะได้กราฟตามรูปที่ 7.26



รูปที่ 7.26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง q และ C เพื่อหาค่า C_i

จากกราฟรูปที่ 7.26 จากการปรับเส้นของกราฟ สามารถหาค่า C_i ได้เท่ากับ 15.32 มก./ลิตร และจากค่า C_i สามารถคำนวณหาค่า S₀ และ S ได้ตามสมการที่

$$S_0 = C_0 - C_i \quad \dots\dots\dots (7.8)$$

$$S = C - C_i \quad \dots\dots\dots (7.9)$$

โดยที่

S₀ = ค่าซีโอดีทั้งหมดที่ย่อยสลายได้ในกระแสดำเนินการ, มก./ลิตร

S = ค่าซีโอดีทั้งหมดที่ย่อยสลายได้ในถังปฏิกรณ์, มก./ลิตร

7.12.2 การหาค่า Y_g และ b

ค่า Y_g และ b สามารถหาได้จากสมการที่ 6.6

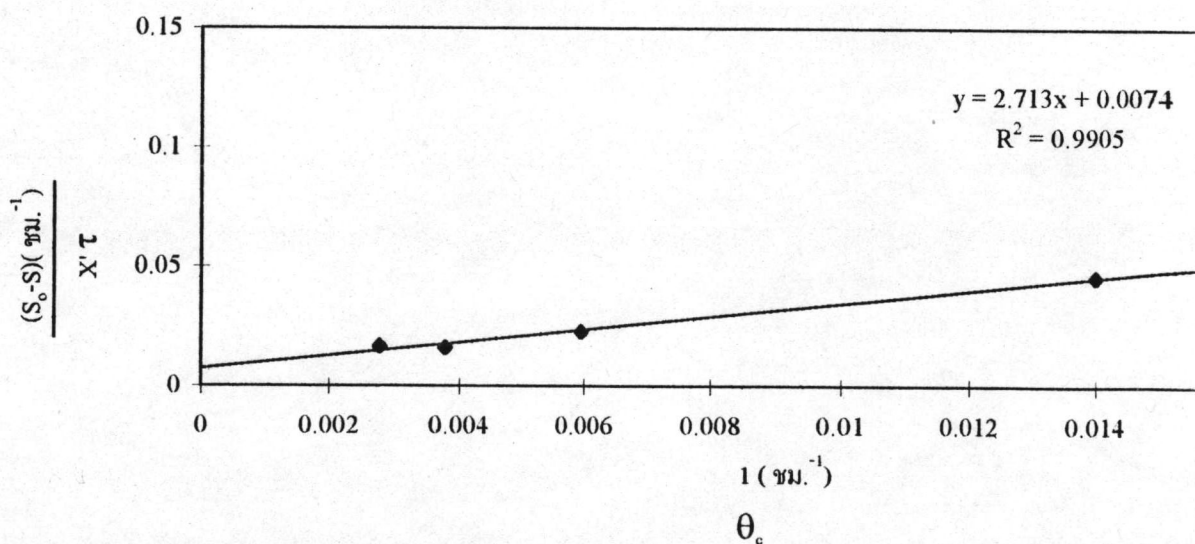
$$(S_0 - S) X_T = (1/Y_g) (1/\theta_c) + b Y_g \quad \dots\dots\dots (7.10)$$

จากสมการ 7.10 สามารถสรุปการคำนวณตามตารางที่ 7.14

ตารางที่ 7.14 แสดงค่าจากการคำนวณเพื่อหาค่า Y_g และ b

การทดลอง ชุดที่	θ_c (วัน)	$\frac{1}{\theta_c}$ (ชม. ⁻¹)	τ (ชม.)	X' (มก./ลิตร)	$\frac{(S_0 - S)}{X'\tau}$ (ชม. ⁻¹)
1	3	0.01399	28.8	603.39	0.0409
2	7	0.00595	28.8	1114.84	0.0225
3	11	0.00379	28.8	1466.20	0.0173
4	15	0.00278	28.8	1453.41	0.0181

จากตารางที่ 7.14 เมื่อนำค่าที่ได้จากตารางมาเขียนกราฟหาความสัมพันธ์ระหว่างค่า $1/\theta_c$ และค่า $(S_0 - S)/X'\tau$ โดยให้ค่า $(S_0 - S)/X'\tau$ เป็นแกนตั้งและค่า $1/\theta_c$ เป็นแกนนอน จะได้รูปกราฟตามรูปที่ 7.27



รูปที่ 7.27 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\frac{1}{\theta_c}$ และค่า $\frac{(S_0 - S)}{X'\tau}$

จากรูปที่ 7.27 เมื่อเขียนเส้นตรงของ $(S_0 - S)/X'\tau$ เป็นฟังก์ชันของ $(1/\theta_c)$ จะได้เส้นตรงที่มีสมการ $y = 2.713x + 0.0074$ โดยที่

$$\text{ค่าความชัน} \quad \frac{1}{Y_g} = 2.713$$

$$\therefore Y_g = 0.367 \quad \text{มก. MLSS/มก. COD}$$

$$\text{จุดตัดแกน} \quad \left(\frac{b}{Y_g} \right) = 0.0074$$

$$b = 0.0027 \quad \text{ชม.}^{-1}$$

7.12.3 การหาค่า μ_m และ K_s

ค่า μ_m และ K_s สามารถหาได้จากสมการ 7.11

$$\frac{S}{1/\theta_c + b + r} = \frac{(1)S + K_s}{\mu_m} \quad \dots\dots\dots 7.11$$

โดยใช้ค่าอัตราการตายจำเพาะ $\gamma = 0.005 \text{ ชม.}^{-1}$ (Grady, 1980)

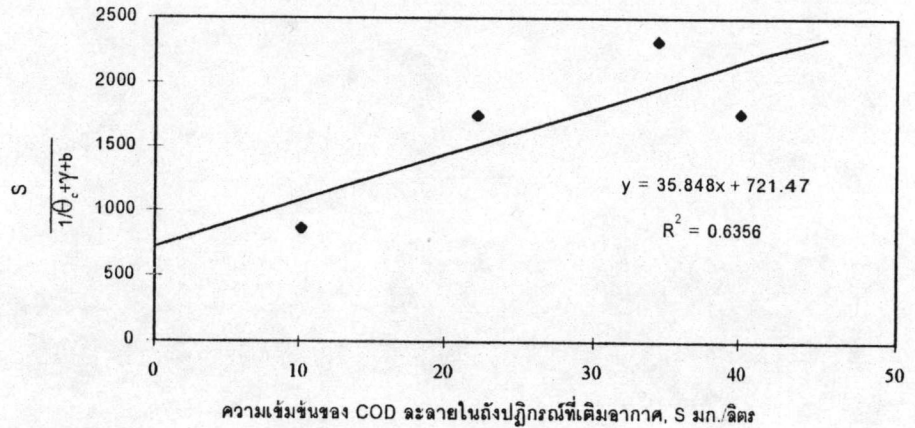
จากสมการที่ 7.11 สามารถสรุปการคำนวณตามตาราง 7.15

ตารางที่ 7.15 ค่าจากการคำนวณเพื่อหาค่า K_s , μ_m

การทดลอง ชุดที่	θ_c (วัน)	τ (ชม.)	S (มก./ลิตร)	$\frac{1}{\theta_c}$ (ชม. ⁻¹)	b ชม. ⁻¹	$\frac{S}{(1/\theta_c) + b + \gamma^*}$ (มก.-ชม./ลิตร)
1	3	28.8	51.82	0.01389	0.0038	356.16
2	7	28.8	46.06	0.00595	0.0038	325.20
3	11	28.8	33.79	0.00379	0.0038	21353
4	15	28.8	21.79	0.00278	0.0038	98.65

จากตารางที่ 7.15 เมื่อนำค่า $\frac{S}{(1/\theta_c)+b+\gamma}$ มาเขียนกราฟในแกนตั้งคู่กับค่า S ในแกนนอน

จะได้กราฟตามรูปที่ 7.28



รูปที่ 7.28 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\frac{S}{(1/\theta_c)+b+\gamma}$ และ S

กราฟที่ 7.28 เมื่อนำค่า $\frac{S}{(1/\theta_c)+b+\gamma}$ มาเขียนกราฟเป็นฟังก์ชันของ S จะได้เส้นตรงที่มีสมการ

$$y = 36.924X + 609.21$$

โดยที่

$$\frac{\text{ค่าความชัน}}{\mu_m} = 36.924$$

$$\mu_m = 0.027 \text{ ชม.}^{-1}$$

จุดตัดแกน

$$\frac{K_s}{\mu_m} = 609.21$$

$$\mu_m$$

$$K_s = 16.44 \text{ มก./ลิตร}$$

7.12.4 การปรับแก้ค่าพารามิเตอร์จลน์ เนื่องจากผลของอุณหภูมิ

จากค่าพารามิเตอร์จลน์ต่าง ๆ ที่คำนวณไว้ในหัวข้อ 7.12.2-7.12.3 นั้น เป็นค่าที่การทดลองภายใต้สภาวะคงตัวที่อุณหภูมิ 28°C. ดังนั้นหากต้องการหาค่าพารามิเตอร์จลน์ที่อุณหภูมิ 20°C. จะต้องทำการปรับแก้ตามสมการที่ 5.30 และ 5.31 พารามิเตอร์จลน์ที่อุณหภูมิมีผลกระทบคือ ค่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ μ_m และค่าคงที่ของการสลายตัวจำเพาะ b

ค่า $\mu_{m(20^\circ\text{C.})}$ คำนวณได้จากสมการ 5.29 และ 5.30

$$\mu_{m(28^\circ\text{C.})} = \mu_{m(20^\circ\text{C.})} e^{K(T-20)} \quad \text{เมื่อ } \theta = 1.08, \ln \theta = 0.077$$

$$\mu_{m(20^\circ\text{C.})} = \frac{0.027}{e^{0.077(28-20)}}$$

$$\mu_{m(20^\circ\text{C.})} = 0.015 \quad \text{ชม}^{-1}$$

ค่า $b_{(20^\circ\text{C.})}$ คำนวณได้จากสมการ 5.31

$$b_{(28^\circ\text{C.})} = b_{(20^\circ\text{C.})} e^{K(T-20)} \quad \text{เมื่อ } \theta = 1.029, \ln \theta = 0.028$$

$$b_{(28^\circ\text{C.})} = \frac{0.0027}{e^{0.028(28-20)}}$$

$$b_{(20^\circ\text{C.})} = 0.002 \quad \text{ชม}^{-1}$$

7.13 การหาค่าคงที่อันดับหนึ่งในถังแวนแวนโรบิคที่อุณหภูมิตดลอง 28 ° C

ในหัวข้อที่ 5.4 ได้กล่าวถึงจุลินทรีย์ 2 รูปแบบ คือจุลินทรีย์ชนิดโพลีพี และ จุลินทรีย์ชนิดไมไซโพลีพี ซึ่งจุลินทรีย์ทั้งสองแบบจะทำหน้าที่เป็นอิสระกัน การวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์จลน์ของแต่ละจุลินทรีย์จึงต้องแยกกัน อย่างไรก็ตามสำหรับจุลินทรีย์ชนิดไมไซโพลีพีนั้นจะมีกระบวนการที่เกี่ยวข้องอยู่ 2 กระบวนการ คือ กระบวนการเปลี่ยนสารอาหารที่ย่อยสลายได้ง่ายทางชีวเป็นกรดไขมันระเหยโมเลกุลสั้น (Conversion of Readily biodegradable COD to SCVFA) และ กระบวนการย่อยสลายอินทรีย์สารเพื่อให้เกิดเซลล์ใหม่ทั่วไป สำหรับกระบวนการหลังนี้โดยหลักการแล้วสามารถหาค่าพารามิเตอร์จลน์โดยเฉพาะสำหรับจุลินทรีย์ชนิดไมไซโพลีพีได้แต่อย่างไรก็ตามค่าพารามิเตอร์จลน์ที่ได้ในหัวข้อที่ 7.12 ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ของกลุ่มจุลินทรีย์รวม (mixed cultures) สามารถที่จะนำมาใช้ใน

การออกแบบระบบแอกติเวตเตดสลัดจ์แบบแอนแอโรบิก-ออกซิก ได้ภายใต้เงื่อนไขของการวิจัย ในการออกแบบขนาดของถังแอนแอโรบิกจำเป็นต้องออกแบบให้สามารถที่จะดูดซับสารอาหารเข้ามาไว้ในเซลล์ให้มากที่สุดด้วยเหตุผลที่อธิบายไว้ก่อนหน้านี้ ดังนั้นการกำหนดขนาดของถังแอนแอโรบิกจะขึ้นอยู่กับกระบวนการแรกของจุลินทรีย์ชนิดไมไซโพลีพี

พิจารณาสมการที่สภาวะคงตัวของการเปลี่ยนสารอาหารที่ย่อยสลายได้ง่ายเป็นกรดระเหย โมเลกุลสั้นในสมการที่ 5.24

$$S_{an} = \frac{S_o / (1 + \alpha)}{(1 + KX_{B,H} \tau_a) / (1 + \alpha)} \quad \dots\dots\dots 5.24$$

จากสมการที่ 5.25 จะเห็นว่าค่าคงที่ K จะขึ้นอยู่กับปริมาณจุลินทรีย์ชนิดไมไซโพลีพี ($X_{B,H}$) แต่ในการทำวิจัยครั้งนี้ไม่ได้วัดหาค่าปริมาณจุลินทรีย์ดังกล่าว ดังนั้นจะใช้ค่าเซลล์ประสิทธิผลทั้งหมด (X') จากการทดลองมาใช้แทนค่า $X_{B,H}$ ซึ่งผลของค่า K ที่ได้จะขึ้นอยู่กับกลุ่มจุลินทรีย์รวม และค่าสารอาหารละลายเข้า จะไม่คำนึงถึงผลของไนเตรต เมื่อนำสมการที่ 5.24 มาจัดรูปใหม่จะได้ดังสมการที่ 7.12

$$\begin{aligned} S_{an} (1 + KX\tau_a / (1 + \alpha)) &= S_o / (1 + \alpha) \\ (1 + \alpha) + KX\tau_a &= S_o / S_{an} \quad \dots\dots\dots (7.12) \end{aligned}$$

จากสมการที่ 7.12 สามารถสรุปค่าที่คำนวณตามตารางที่ 7.16

ตารางที่ 7.16 การคำนวณเพื่อหาค่าคงที่อันดับแรกในถังแอนแอโรบิก

การทดลองที่	S_o (มก./ลิตร)	S_{an} (มก./ลิตร)	τ_a (วัน)	X' (มก./ลิตร)	α	K (วัน ⁻¹)
1	749.68	125.16	0.2	563.55	1	0.035
2	755.45	122.47	0.2	1084.84	1	0.019
3	749.68	77.77	0.2	1521.79	1	0.025
4	766.35	71.65	0.2	1523.64	1	0.029

จากตารางที่ 7.12 จะได้ค่า K เฉลี่ยเท่ากับ 0.027 วัน^{-1} ค่าที่ได้นี้สามารถใช้ในการกำหนดระยะเวลาพัก (t_d) ที่เหมาะสมในถังแอนแอโรบิกได้

ดังนั้นในการออกแบบระบบแอนแอโรบิก-ออกซิด แอกติเวตเตดสลัดจ์เพื่อใช้ในการกำจัดอินทรีย์คาร์บอนนั้นสามารถออกแบบโดยใช้ค่าพารามิเตอร์จลนของระบบรวม ในการกำหนดขนาดของปริมาตรถังปฏิกรณ์, ค่าอายุตะกอนที่เหมาะสม, ปริมาณสลัดจ์ที่เกิดขึ้นต่อวัน และใช้ค่าคงที่อันดับหนึ่งในการกำหนดขนาดถังแอนแอโรบิกที่เหมาะสมเพื่อที่จะให้สารอาหารละลายส่วนใหญ่ที่ย่อยสลายได้ถูกดูดซับเข้าภายในเซลล์ให้มากที่สุด เมื่ออยู่ในช่วงแอนแอโรบิก

7.14 การใช้ค่าพารามิเตอร์จลนจากการทดลองในการทำนายผล

จากการทำการทดลองในครั้งนี้ สามารถนำค่าพารามิเตอร์จลนที่ได้จากการคำนวณ มาใช้ในการประเมินผลการทดลอง และหาค่าพารามิเตอร์ในการทดลองต่าง ๆ จากค่าพารามิเตอร์จลน ซึ่งสามารถสรุปค่าพารามิเตอร์จลนที่อุณหภูมิ 28°C ได้ดังนี้

- ค่าสัมประสิทธิ์อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (μ_m) = 0.015 ชม.^{-1}
- ค่าคงที่ที่ความเร็วครึ่งหนึ่ง (K_s) = $16.44 \text{ มก. COD/ลิตร}$
- ค่ายิลด์ที่แท้จริง (Y_g) = $0.367 \text{ กก. MLSS/กก. COD}$
- ค่าอัตราการสลายตัวจำเพาะ (b) = 0.002 ชม.^{-1}
- ค่าอัตราการตายจำเพาะ (γ) = 0.005 ชม.^{-1}
- ค่าคงที่อันดับหนึ่ง (K) = 0.027 วัน^{-1}

พิจารณาสมการที่ 5.16 เมื่อใช้ในแง่ของระบบรวมทั้งหมด จะได้

$$X_{G,t} = \frac{(\theta_c / \tau) Y_g (S_0 - S_a)}{1 + b \theta_c} \dots\dots\dots(7.13)$$

จากการแทนค่าต่าง ๆ ในสูตร จะสามารถหาค่าเซลล์ทั้งหมดในระบบ ซึ่งก็คือค่า MLSS ของระบบนั่นเอง แสดงในตารางที่ 7.17

ตารางที่ 7.17 การคำนวณหาค่าเซลล์ทั้งหมดจากการใช้ค่าพารามิเตอร์จลน์

การ ทดลองที่	θ_c (ชม.)	τ (ชม.)	S_0 (มก./ล.)	S_a (มก./ล.)	MLSS _{avg} จากการทดลอง	MLSS จากการคำนวณ	% * แตกต่าง
1	72	28.8	765.00	53.65	603.39	546.43	10.42
2	168	28.8	770.77	47.89	1114.84	1064.64	4.72
3	264	28.8	765.00	35.62	1466.20	1432.60	2.35
4	360	28.8	781.67	23.62	1453.41	1763.46	17.58

และจากการคำนวณหาค่า MLSS ในตารางที่ 7.17 สามารถนำมาใช้ทำนายค่าปริมาณสารอาหารละลายที่ดูดซับในช่วงแอนแอโรบิกโดยใช้สมการที่ 5.24 โดยพิจารณาใช้ค่าเซลล์ทั้งหมดเฉลี่ยในระบบ สำหรับการประเมิน

$$S_{an} = \frac{S_0 / (1+\alpha)}{[1 + KX \tau_a / (1+\alpha)]} \quad \dots\dots\dots(5.24)$$

จากสมการดังกล่าวนำมาคำนวณหาค่า S_{an} ตามตารางที่ 7.18

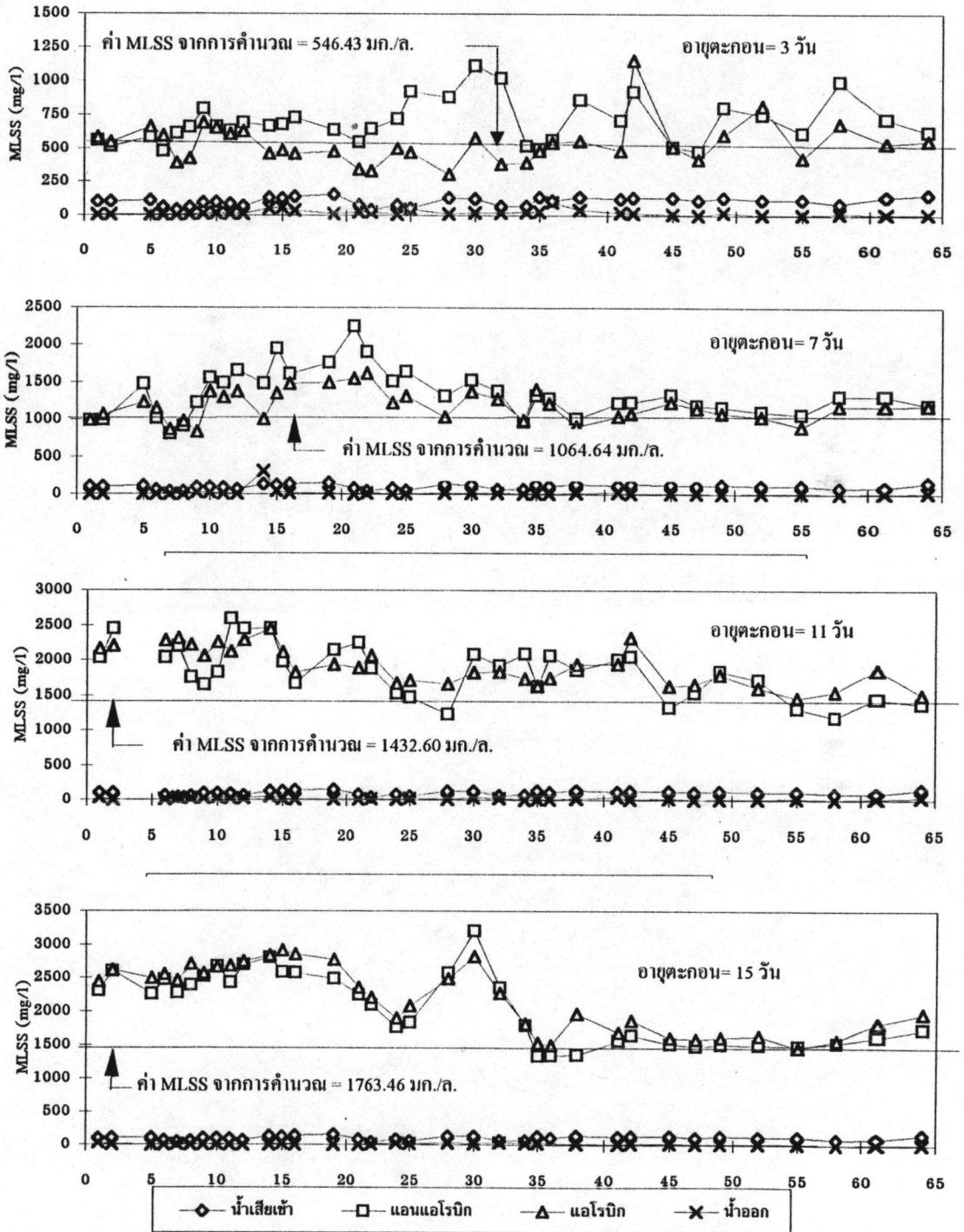
ตารางที่ 7.18 การคำนวณหาค่าสารอาหารละลายในถังแอนแอโรบิกโดยใช้ค่า $K=0.027$ วัน⁻¹

การ ทดลองที่	τ_a (ชม.)	S_0 (มก./ล.)	MLSS (มก./ล.) จากการคำนวณ	S_{an} (มก./ล.) จากการทดลอง	S_{an} (มก./ล.) จากการคำนวณ	% * แตกต่าง
1	4.8	765.00	546.43	140.48	154.52	9.08
2	4.8	770.77	1064.64	137.79	99.36	38.60
3	4.8	765.00	1432.6	93.09	78.57	18.40
4	4.8	781.67	1763.46	85.97	67.84	26.70

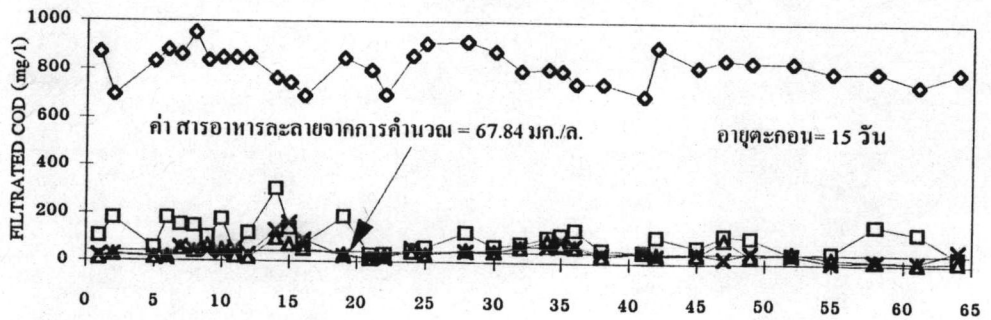
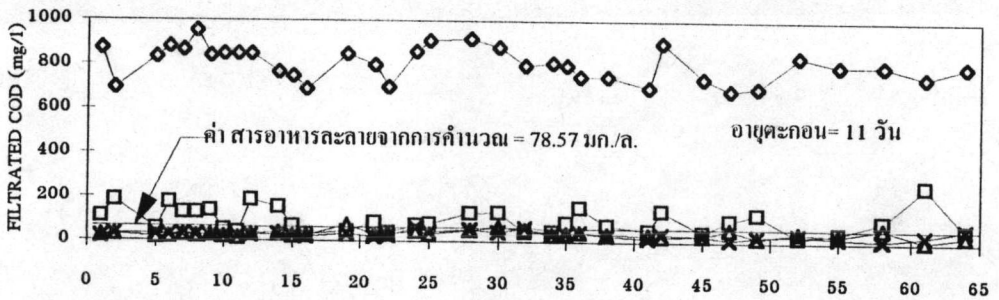
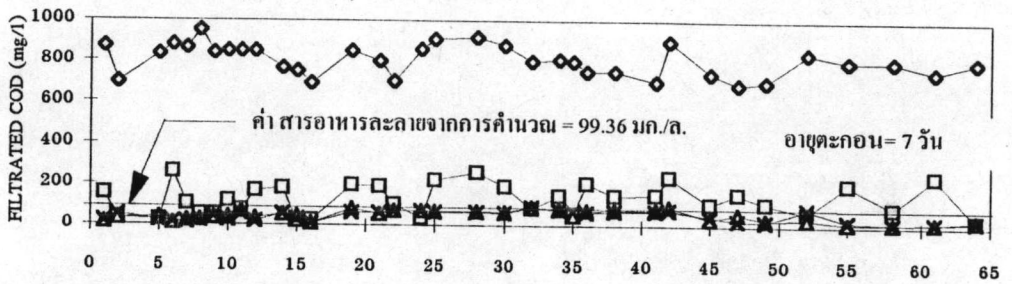
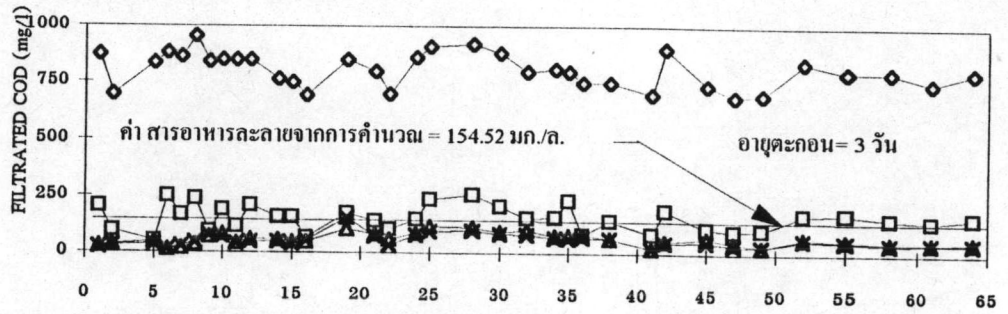
* เป็นเปอร์เซ็นต์แตกต่างเมื่อเทียบกับค่าที่ได้จากการคำนวณ

จากตารางที่ 7.17 และ 7.18 เมื่อนำค่าที่คำนวณได้ไปแสดงในกราฟคู่กับค่าที่ได้จากการทดลอง จะแสดงได้ดังรูปที่ 7.29 และ 7.30

จากตารางที่ 7.17 จะเห็นว่าค่าตะกอนแขวนลอยที่คำนวณจากการใช้ค่าพารามิเตอร์มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการทดลอง โดยมีค่าเปอร์เซ็นต์แตกต่างเฉลี่ยเท่ากับ 8.76 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อพิจารณาตารางที่ 7.18 ในการคำนวณหาค่าสารอาหารละลายในถังแอนแอโรบิคโดยใช้ค่าคงที่อันดับหนึ่ง ในการทำนาย ผลที่ได้มีเปอร์เซ็นต์แตกต่างจากค่าที่ได้จากการทดลองเท่ากับ 23 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 7.29 ค่า MLSS ที่ได้จากการทดลองและที่คำนวณจากการใช้ค่าพารามิเตอร์จลน์
ในการทำนาย



รูปที่ 7.30 ค่าสารอาหารละลายในถังแอนแอโรบิกที่ได้จากการทดลองและที่คำนวณจากการใช้ค่าพารามิเตอร์จลน์ในการทำนาย