



## บทที่ 7

### ผลการทดลอง และการวิจารณ์

#### 7.1 การเริ่มต้นเลี้ยงจุลินทรีย์ (start up)

ในการเริ่มต้นเลี้ยงจุลินทรีย์ ได้นำน้ำตะกอนจุลินทรีย์ (seed) จากกันถังตกตะกอนของโรงบำบัดน้ำเสียบริษัท บุญรอดบริวเวอรี่ จำกัด มาเลี้ยงในแบบจำลอง (model) ที่สร้างขึ้นมาเพื่อใช้ทดลอง และน้ำเสียที่ใช้เลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์ตลอดการทดลองก็เป็นน้ำเสียจากอุตสาหกรรมการผลิตเบียร์ของ บริษัทบุญรอดบริวเวอรี่ จำกัด เช่นเดียวกัน

ในช่วงแรกของการทดลองชุดที่ 1 และ 2 ได้ทำการเลี้ยงแบบทีละเท (batch type) โดยใช้ค่าความเข้มข้นของน้ำตะกอนแขวนลอย (MLSS) เริ่มต้น ที่ความเข้มข้นประมาณ 1,500 มก./ล. และค่าซีโอดีทั้งหมดของน้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ระบบจะใช้ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 100 มก./ล. เป็นเวลาประมาณ 1 สัปดาห์ เพื่อระบบมีการปรับตัวเข้ากับสภาวะที่ใช้ในการทดลอง หลังจากนั้น จะทำการป้อนน้ำเสียแบบต่อเนื่องโดยจะค่อย ๆ เพิ่มค่าซีโอดีของน้ำเสียขึ้นวันละประมาณ 100 มก./ล. จนกระทั่งเท่ากับ 1,000 มก./ล. ก็จะป้อนน้ำเสียที่ค่าซีโอดีคงที่เท่ากับ 1,000 มก./ล. ตลอดการทดลอง

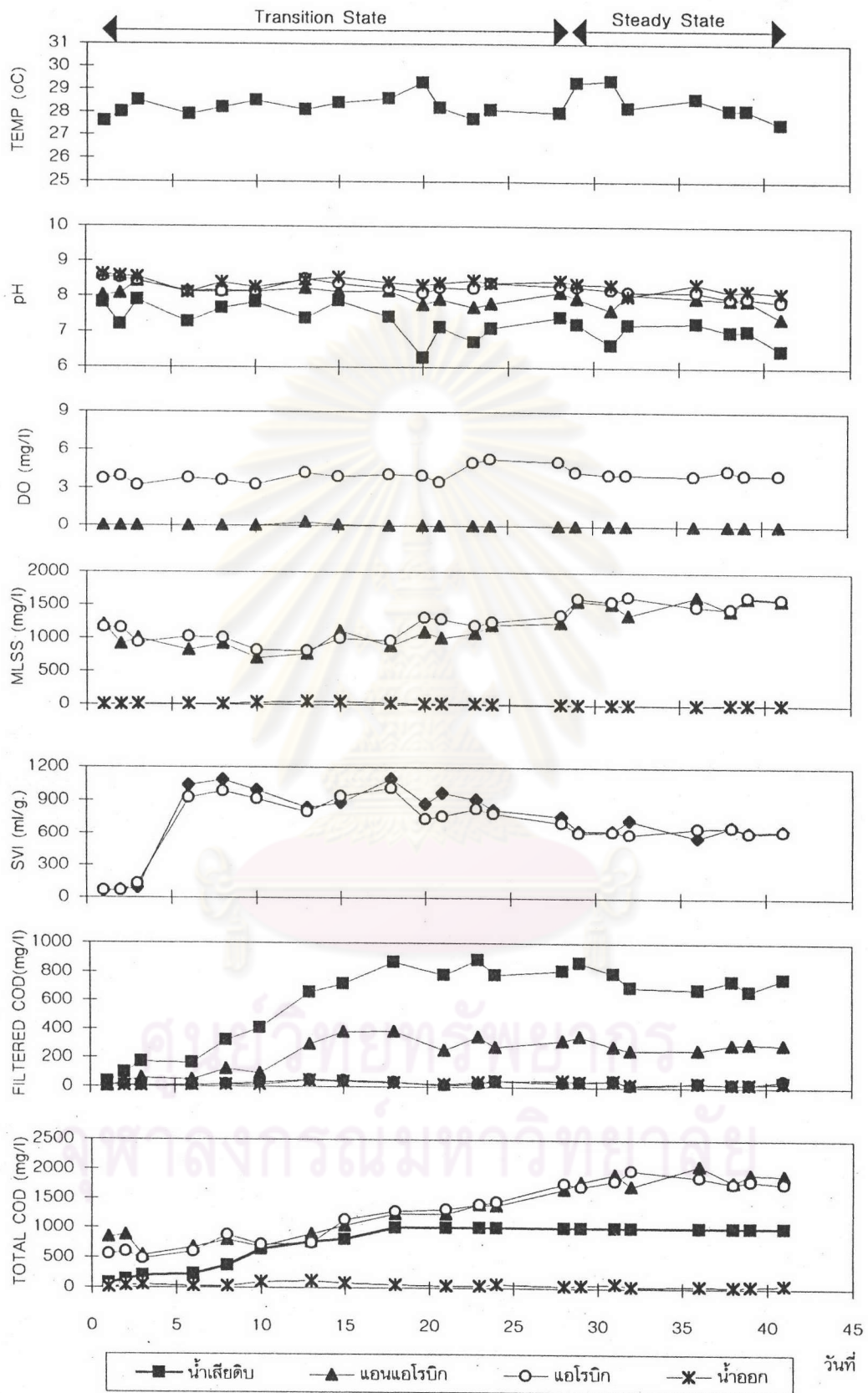
หลังจากสิ้นสุดการทดลองในชุดที่ 1 และ 2 ก็ให้นำเชื้อจุลินทรีย์ (seed) ที่ได้รับการทดลองในชุดที่ 1 และ 2 มาเป็นเชื้อจุลินทรีย์เริ่มต้นในการทดลองชุดที่ 3 และ 4 โดยทำการเลี้ยงแบบต่อเนื่อง ใช้ค่าซีโอดีของน้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ระบบเริ่มต้นที่ประมาณ 400 มก./ล. และค่อย ๆ เพิ่มความเข้มข้นขึ้นประมาณวันละ 100 มก./ล. จนกระทั่งเท่ากับ 1,000 มก./ล. หลังจากนั้น ก็จะป้อนน้ำเสียที่ค่าซีโอดีคงที่เท่ากับ 1,000 มก./ล. ตลอดการทดลอง

#### 7.2 การเข้าสู่สภาวะคงตัว (steady state achievement)

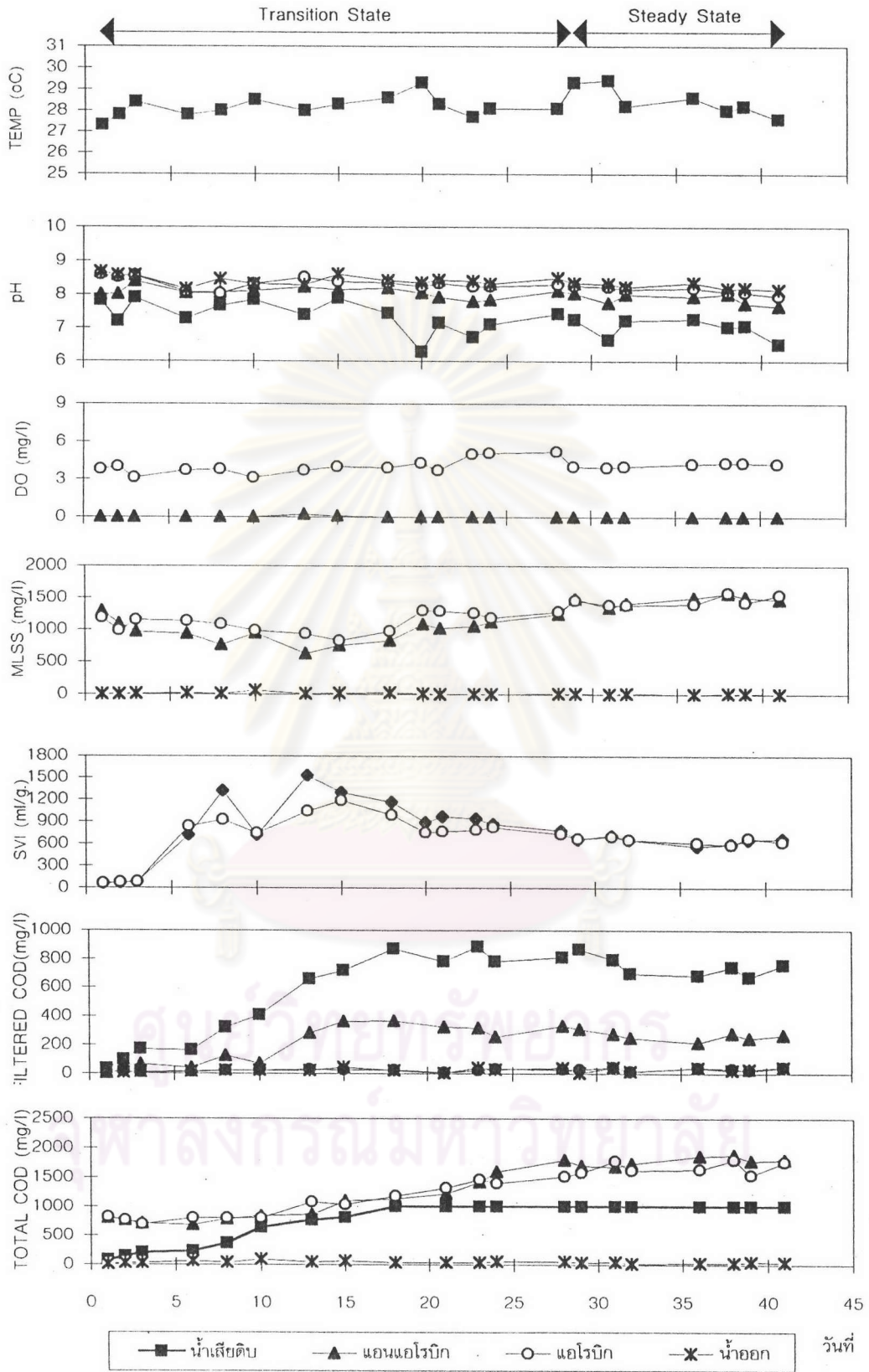
ในการวิจัยได้ดำเนินการทดลองทั้งหมด 4 การทดลอง ซึ่งเป็นทดลองแบบต่อเนื่องทั้งสิ้น (continuous flow experiments) โดยทำการทดลองที่อายุตะกอนคงที่เท่ากับ 11 วัน

จากผลการทดลองที่ได้ เมื่อนำค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ มาเขียนเป็นรูปกราฟแสดงแนวโน้มของค่าพารามิเตอร์เหล่านั้นในทุกการทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 4.1 , 4.2 , 4.3 และ 4.4 ทั้งนี้ เมื่อพิจารณาถึงค่าความเข้มข้นน้ำตะกอนแขวนลอย (MLSS) , ค่าซีโอดีละลาย และซีโอดีทั้งหมด ตลอดจนค่าพารามิเตอร์อื่น ๆ โดยรวมจากรูปกราฟแล้ว จะเห็นได้ว่า ในการทดลองชุดที่ 1 , 2 , 3 และ 4 จะเข้าสู่สภาวะคงตัว (steady state) ในวันที่ 28 , 28 , 27 และ 31 ของการทดลองตามลำดับ

ค่าเฉลี่ย และค่าพิสัย (range) ของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในแต่ละการทดลองที่สภาวะคงตัว ได้สรุปและแสดงไว้ในตารางที่ 7.1-7.4

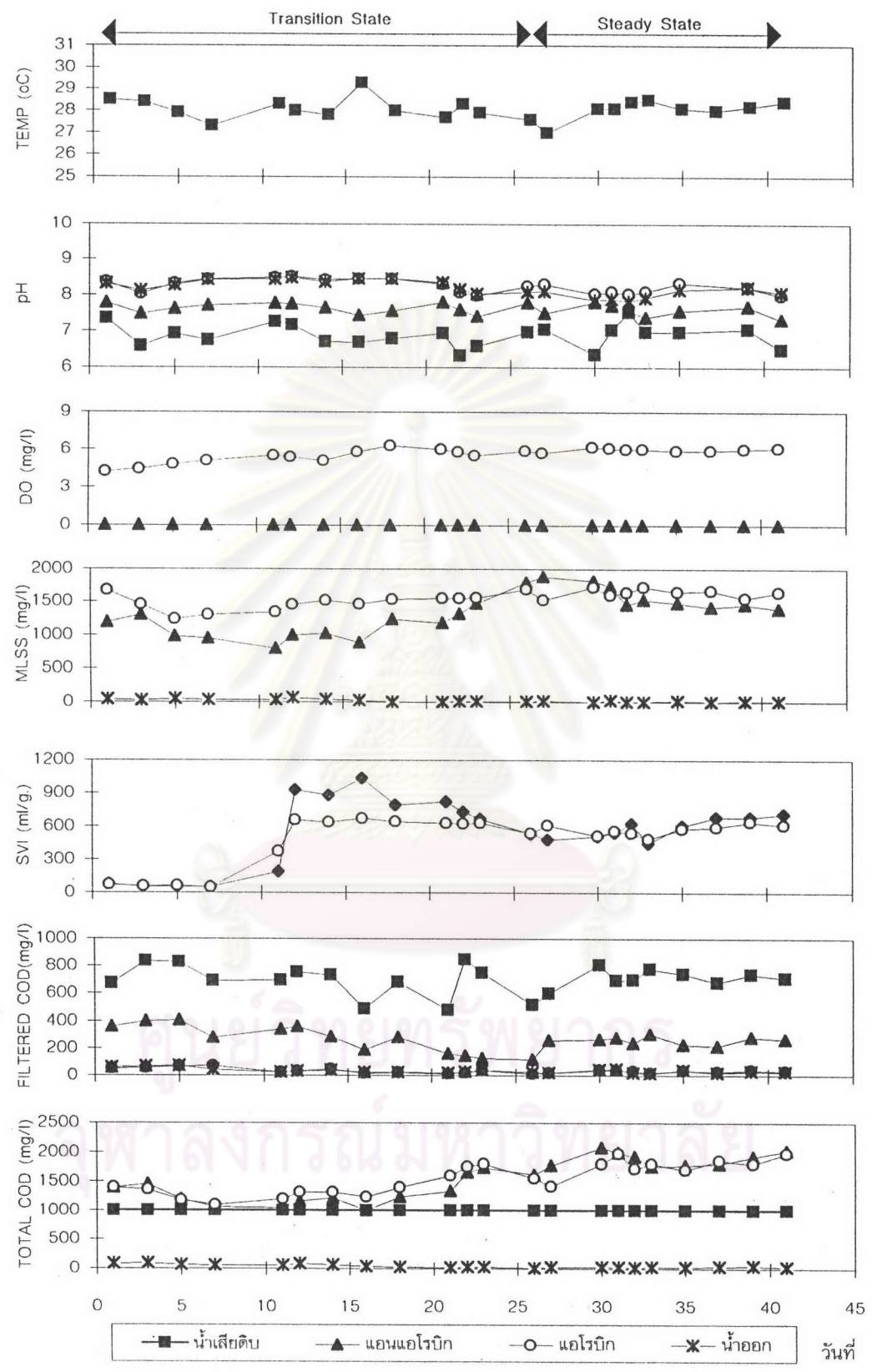


รูปที่ 7.1 แสดงแนวโน้มของค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ การทดลองชุดที่ 1



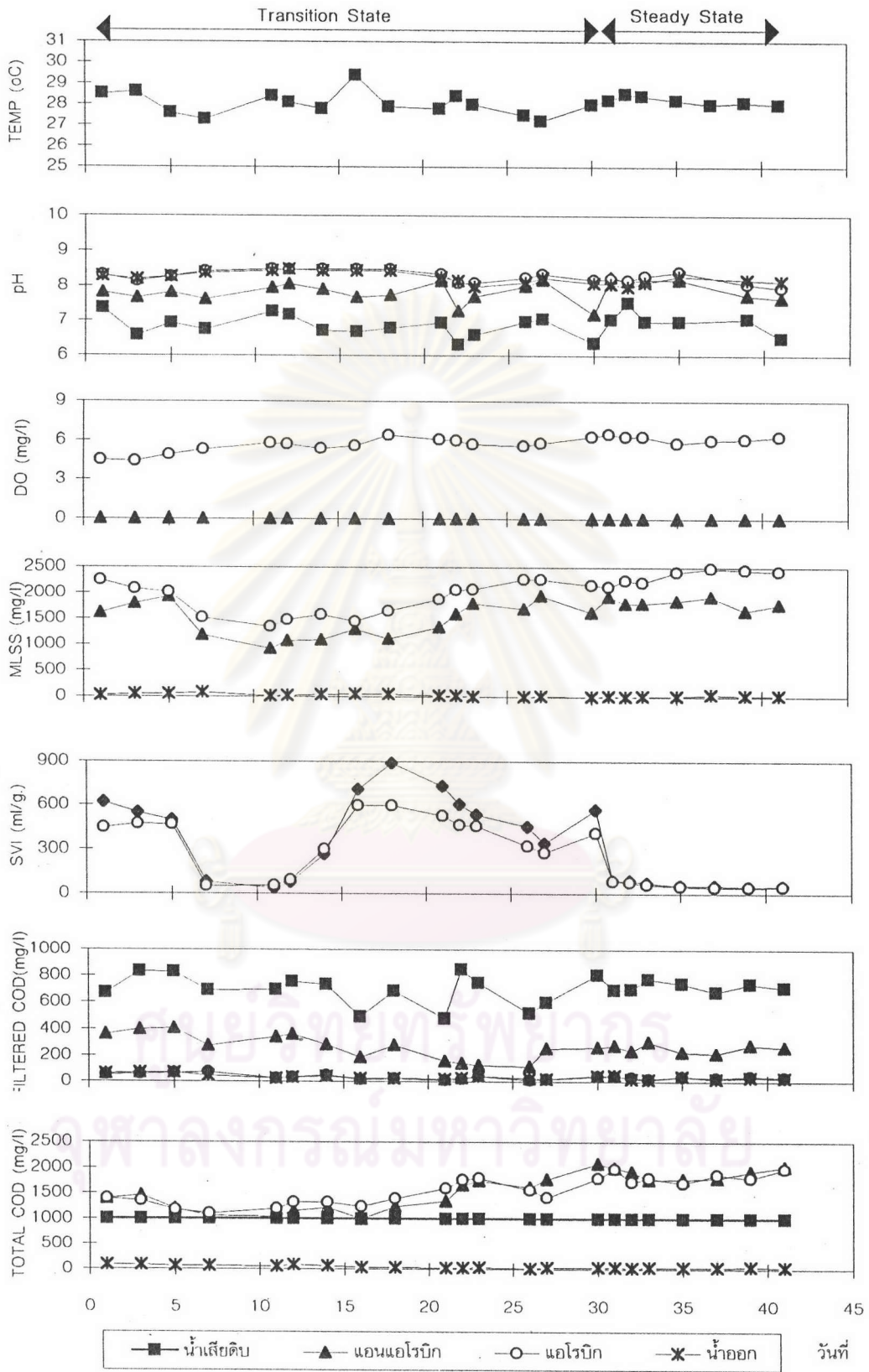
รูปที่ 7.2 แสดงแนวโน้มของค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ การทดลองชุดที่ 2





รูปที่ 7.3 แสดงแนวโน้มของค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ การทดลองชุดที่ 3





รูปที่ 7.4 แสดงแนวโน้มของค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ การทดลองชุดที่ 4

ตาราง 7.1 แสดงค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในช่วงสภาวะคงตัว การทดลองที่ 1

พารามิเตอร์	จุดเก็บตัวอย่าง	ค่าพิสัย	ค่าเฉลี่ย
Total COD	I	1,000	1,000
	A	1,660–2,060	1,841
	O	1,700–1,978	1,802
	E	28–68	41.5
Filtered COD	I	667–864	750
	A	253–350	294
	O	12–48	30.0
	E	20–44	31.4
MLSS	A	1,238–1,630	1,491
	O	1,354–1,630	1,537
	E	2–10	5.8
V30	A	920–1,000	966
	O	950–990	970
SVI	A	564–759	652
	O	595–702	633
pH	I	6.63–7.42	7.04
	A	7.39–8.12	7.87
	O	7.87–8.31	8.10
	E	8.02–8.45	8.25
Temp	O	27.5–29.4	28.4
DO	A	0.0	0.0
	O	4.0–5.1	4.3
TKN	I	32.8–33.5	33.14
Total-P	I	12.97–14.35	13.70

หมายเหตุ : I = น้ำเสียดิบที่เข้าระบบ      A = ถังแอนแอโรบิก  
 O = ถังแอโรบิก                              E = น้ำออกจากระบบ

ตาราง 7.2 แสดงค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในช่วงสภาวะคงตัว การทดลองที่ 2

พารามิเตอร์	จุดเก็บตัวอย่าง	ค่าพิสัย	ค่าเฉลี่ย
Total COD	I	1,000	1,000
	A	1,680-1,880	1780
	O	1,520-1,800	1655
	E	20-52	35.5
Filtered COD	I	667-864	750
	A	218-331	272
	O	16-464	32.3
	E	4-44	30.0
MLSS	A	1,244-1,570	1,441
	O	1,284-1,574	1,430
	E	2-8	5.3
V30	A	840-980	942
	O	840-970	930
SVI	A	559-780	658
	O	584-732	652
pH	I	6.63-7.42	7.04
	A	7.64-8.10	7.89
	O	7.95-8.30	8.15
	E	8.13-8.49	8.27
Temp	O	27.6-29.4	28.4
DO	A	0.0	0.0
	O	3.9-5.2	4.3
TKN	I	32.8-33.5	33.14
Total-P	I	12.97-14.35	13.70

หมายเหตุ : I = น้ำเสียดิบที่เข้าระบบ      A = ถังแอนแอโรบิก  
 O = ถังแอโรบิก                                      E = น้ำออกจากระบบ



ตาราง 7.3 แสดงค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในช่วงสภาวะคงตัว การทดลองที่ 3

พารามิเตอร์	จุดเก็บตัวอย่าง	ค่าพิสัย	ค่าเฉลี่ย
Total COD	I	1,000	1,000
	A	1,760-2,080	1,896
	O	1,420-1,980	1,784
	E	20-40	24.9
Filtered COD	I	600-808	717
	A	215-304	258
	O	19-40	31.9
	E	16-48	29.8
MLSS	A	1,388-1,876	1,571
	O	1,524-1,720	1,632
	E	0-28	10.7
V30	A	680-990	908
	O	830-995	926
SVI	A	445-710	586
	O	484-608	587
pH	I	6.35-7.52	6.93
	A	7.38-7.79	7.58
	O	8.02-8.32	8.14
	E	7.82-8.15	7.95
Temp	O	27.0-28.5	28.0
DO	A	0.0	0.0
	O	5.7-6.2	6.0
TKN	I	29.8-33.6	32.77
Total-P	I	12.56-14.75	13.91

หมายเหตุ : I = น้ำเลี้ยงดิบที่เข้าระบบ      A = ถังแอนแอโรบิก  
 O = ถังแอโรบิก      E = น้ำออกจากระบบ

ตาราง 7.4 แสดงค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในช่วงสภาวะคงตัว การทดลองที่ 4

พารามิเตอร์	จุดเก็บตัวอย่าง	ค่าพิสัย	ค่าเฉลี่ย
Total COD	I	1,000	1,000
	A	1,760-2,060	1,920
	O	1,840-2,280	2,055
	E	20-44	36.6
Filtered COD	I	680-776	721
	A	92-136	115
	O	12-40	27.4
	E	24-40	30.3
MLSS	A	1,652-1,928	1,817
	O	2,124-2,484	2,335
	E	0-36	15.4
V30	A	80-170	119
	O	110-180	135
SVI	A	48-89	65.1
	O	44-85	58.7
pH	I	6.49-7.52	7.00
	A	7.64-8.26	8.02
	O	7.95-8.41	8.18
	E	7.97-8.28	8.12
Temp	O	28.0-28.5	28.2
DO	A	0.0	0.0
	O	5.8-6.5	6.1
TKN	I	29.8-33.6	32.77
Total-P	I	12.56-14.75	13.91

หมายเหตุ : I = น้ำเสียดิบที่เข้าระบบ      A = ถังแอนแอโรบิก  
 O = ถังแอโรบิก                                      E = น้ำออกจากระบบ

จากผลการทดลอง เมื่อทำการแปรค่าเวลากักน้ำในถังแอนแอโรบิกของการทดลองทั้ง 4 ชุด พบว่า ที่สภาวะคงตัว (steady state) ระบบ จะมีค่าสารอาหารต่อจุลินทรีย์ในถังแอนแอโรบิก  $(F/M)_i$  ดังแสดงในตารางที่ 7.5 ตัวอย่างแสดงการคำนวณค่า  $F/M$  แสดงในภาคผนวก ก.

ตารางที่ 7.5 เวลากักน้ำในถังแอนแอโรบิก ( $\tau_i$ ) และค่า  $F/M$  ของถังแอนแอโรบิกของการทดลองทั้ง 4 ชุด

การทดลองชุดที่	$\tau_i$ (ชั่วโมง)	ค่า $(F/M)_i$ (kg COD/kg MLSS-day)
1	1	16.1
2	3	5.6
3	5	3.0
4	7	1.9

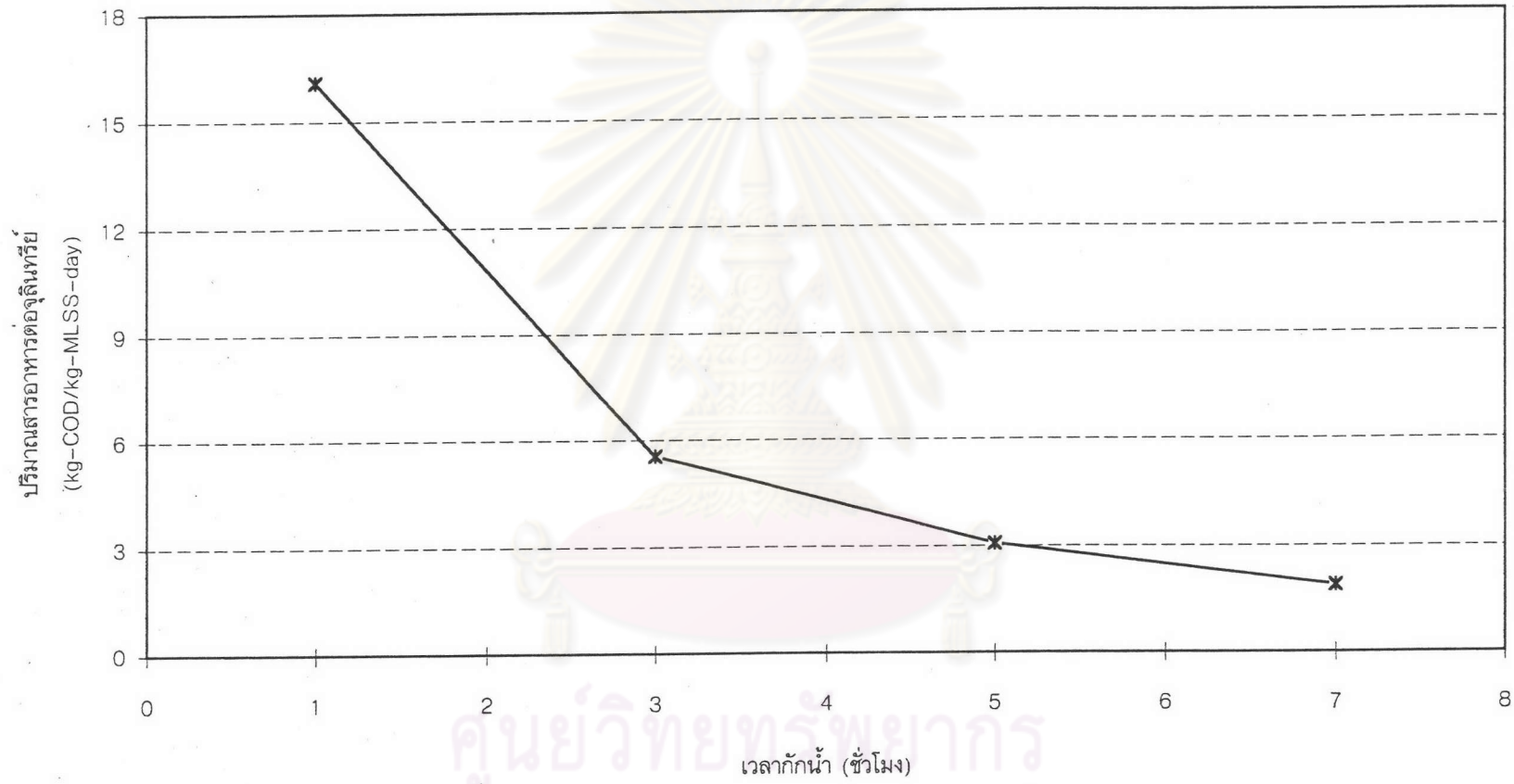
จากข้อมูลในตารางที่ 7.5 เมื่อนำค่าเวลากักน้ำ และค่า  $(F/M)_i$  มาเขียนกราฟ จะได้รูปกราฟดังในรูปที่ 7.5 โดยจากกราฟแสดงให้เห็นว่า เมื่อมีการเพิ่มค่าเวลากักน้ำในถังแอนแอโรบิก ( $\tau_i$ ) จะส่งผลให้ค่าอัตราส่วนปริมาณสารอาหารต่อจุลินทรีย์ลดลง ทั้งนี้ ในการทดลองได้ควบคุมให้อัตราการไหลของน้ำเสียเข้าระบบคงที่เท่ากับ 24 ลิตรต่อวัน ที่ค่าซีโอดีของน้ำเสียเข้าระบบเท่ากับ 1000 มก./ล. ดังนั้น ความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $(F/M)_i$  กับ  $\tau_i$  จะเป็นไปตามสมการ 7.1

$$(F/M)_i = \frac{2400}{\tau_i \times MLSS} \quad (7.1)$$

เมื่อ  $\tau_i =$  เวลากักน้ำในถังแอนแอโรบิก

นั่นคือ ค่า  $(F/M)_i$  จะแปรผกผันกับค่า  $\tau_i$  และ MLSS เมื่อพิจารณากรณีของกลุ่มจุลินทรีย์บริสุทธิ์ (pure culture) จะเห็นว่า เมื่อมีการทิ้งตะกอนออกจากระบบในปริมาณคงที่ (ควบคุมอายุตะกอนให้คงที่) ทำให้ที่สภาวะคงตัว (steady state) มีระดับความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยคงที่เท่ากับ MLSS ดังนั้นค่า  $(F/M)_i$  จะขึ้นอยู่กับค่าของ  $\tau_i$  แต่อย่างไรก็ตาม ในระบบบำบัดน้ำเสียจริงจะเป็นกลุ่มจุลินทรีย์แบบผสม (mixed culture) ซึ่งทำให้กลไกการอยู่ร่วมกันของจุลินทรีย์ในระบบซับซ้อนขึ้นที่ค่าอายุตะกอนของระบบคงที่การเปลี่ยนแปลงค่าของ  $\tau_i$  จึงเป็นการเปลี่ยนแปลงค่า  $(F/M)_i$  ซึ่งจะช่วยให้เสริมสร้างโอกาสแก่จุลินทรีย์ชนิดหนึ่ง ๆ ให้มีการใช้สารอาหารได้ดี และเจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็วจนเป็นกลุ่มจุลินทรีย์หลัก ทำให้ค่าพารามิเตอร์จลนศาสตร์ของจุลินทรีย์ (kinetic parameter) ของระบบที่แตกต่างกันด้วย





รูปที่ 7.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากักน้ำและค่า F/M ของถังแอนแอโรบิก

### 7.3 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี

ค่าซีโอดีเป็นพารามิเตอร์ที่มีความสำคัญในการทดลองนี้ โดยในการใช้สารอาหารของจุลินทรีย์ ในการกำจัดอินทรีย์คาร์บอนนั้น จุลินทรีย์จำเป็นต้องใช้อาหารเสริม (nutrient) ในการสร้างเซลล์ใหม่ ซึ่งมักจะหมายถึง ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส และเพื่อให้แน่ใจที่เข้าสู่ระบบมีค่าไนโตรเจนและ ฟอสฟอรัสที่เพียงพอ จึงได้กำหนดใช้ค่าอัตราส่วน COD : N : P เท่ากับ 150 : 5 : 2 ทั้งนี้ ค่า อัตราส่วนดังกล่าวจำเป็นต้องมีการควบคุมให้มีค่าที่ใกล้เคียง หรือคงที่ตลอดการทดลอง เพื่อไม่ให้ส่ง ผลกระทบต่อประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี ค่าเฉลี่ยของอัตราส่วน COD : N : P ในการทดลองชุดที่ 1 และ 2 มีค่าเท่ากับ 150 : 4.97 : 2.05 และค่าเฉลี่ย COD : N : P ของการทดลองในชุดที่ 3 และ 4 มีค่าเท่ากับ 150 : 4.91 : 2.09 กราฟแสดงค่าซีโอดีละลาย (filtered COD) ของตำแหน่ง ต่าง ๆ ในการทดลองทั้ง 4 ชุด แสดงไว้ในรูปที่ 7.6 ถึง 7.9

ในการศึกษาถึงประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของกระบวนการสามารถแยกพิจารณาออกได้เป็น 3 ส่วน คือ

- ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของถังแอนแอโรบิก
- ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของถังแอโรบิก
- ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีรวมของระบบ

ตัวอย่างการหาค่าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี ได้แสดงไว้ในภาคผนวก ก. และค่าเฉลี่ย ประสิทธิภาพของการกำจัดซีโอดีของการทดลองทั้ง 4 ชุด แสดงไว้ในตารางที่ 7.6

ตารางที่ 7.6 แสดงค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี

การทดลอง	$\tau_i$ (ชั่วโมง)	(F/M) <sub>i</sub>	ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี (%)		
			ถังแอนแอโรบิก	ถังแอโรบิก	ระบบ
1	1	16.1	60.8	89.8	95.8
2	3	5.6	63.7	88.1	96.0
3	5	3.0	64.0	87.6	95.8
4	7	1.9	84.1	76.1	95.8

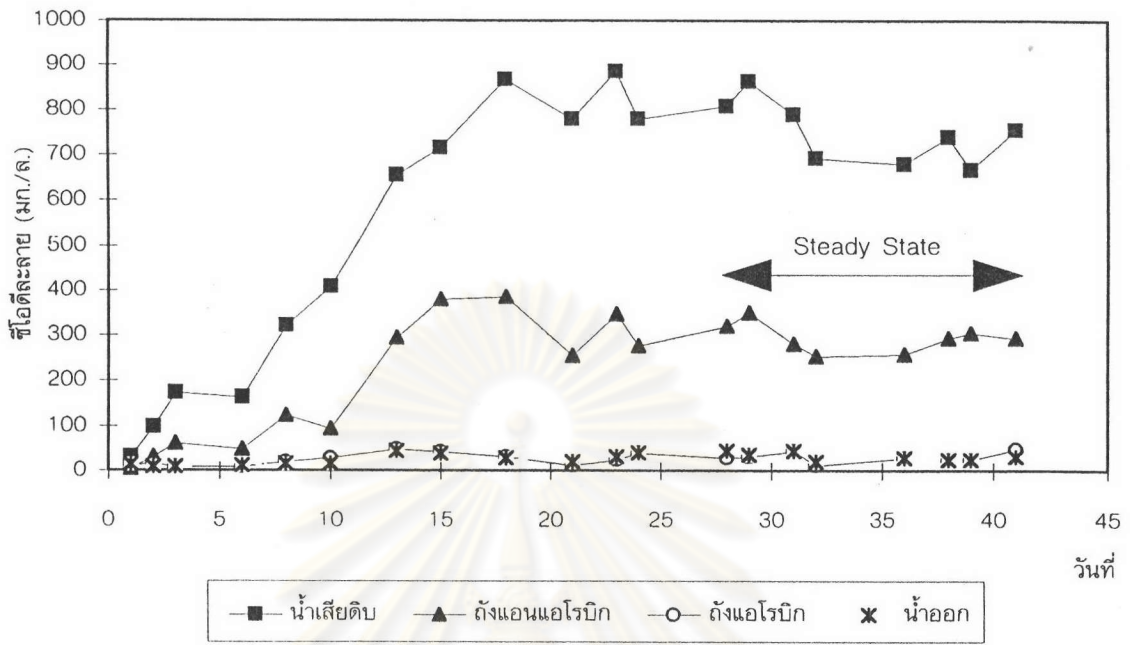
เมื่อพิจารณาค่าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของถังแอนแอโรบิกในการทดลองชุดที่ 1, 2 และ 3 พบว่า เมื่อแปรค่าเวลากักน้ำในถังแอนแอโรบิก ในช่วง 1 - 5 ชั่วโมง ทำให้ถังแอนแอโรบิกมีค่า (F/M) อยู่ในช่วง 3.0-16.1 kg COD /kg MLSS-day นั้น ไม่ได้ให้ค่าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีในถังแอนแอโรบิก ที่แตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด กล่าวคือ มีค่าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีอยู่ในช่วงประมาณ 60-64% เท่านั้น ต่างจากในการทดลองชุดที่ 4 ซึ่งจะเห็นชัดได้ว่า เมื่อมีการเพิ่มเวลากักน้ำในถังแอนแอโรบิกเป็น 7 ชั่วโมง ทำให้ค่า (F/M) ของถังแอนแอโรบิกมีค่าลดลงจาก 3 ชุด การทดลองแรก โดยมีค่าที่ประมาณ 1.9 kg COD/kg MLSS-day จะพบว่า ถังแอนแอโรบิกมีการกำจัดซีโอดีที่สูงกว่าใน 3 การทดลองแรกอย่างเห็นได้ชัด โดยมีค่าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีได้สูงถึง 84.1 %

นั่นคือ ค่าเวลากักน้ำในถังแอนแอโรบิกมีผลต่อการกำจัดซีโอดีของถังแอนแอโรบิก กล่าวคือ จะต้องมียุทธศาสตร์การกักน้ำเพื่อให้มีค่าอัตราส่วนปริมาณสารอาหารต่อจุลินทรีย์ (F/M) ที่เหมาะสม กล่าวคือ ค่าอัตราส่วนปริมาณสารอาหารต่อจุลินทรีย์ที่สูงเกินไป (ดังในการทดลองชุดที่ 1, 2 และ 3) จุลินทรีย์ชนิดสร้างฟลอคจะไม่สามารถใช้สารอาหาร โดยการเก็บสะสมไว้ภายในเซลล์ในรูปของผลิตภัณฑ์เก็บ (storage products) ไว้ได้หมด หรือกล่าวอีกทางหนึ่งคือ จุลินทรีย์ชนิดสร้างฟลอคมีความสามารถในการเก็บสะสมสารอาหารไว้ภายในเซลล์ได้ในปริมาณที่จำกัด ทำให้มีสารอาหารบางส่วนที่ไม่สามารถเก็บสะสมไว้ภายในเซลล์ได้หมดยังคงเหลืออยู่ และหลุดออกไปเข้าสู่สภาวะแอโรบิก กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า (F/M) และค่าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีในการทดลองแต่ละชุด แสดงในรูป 7.10

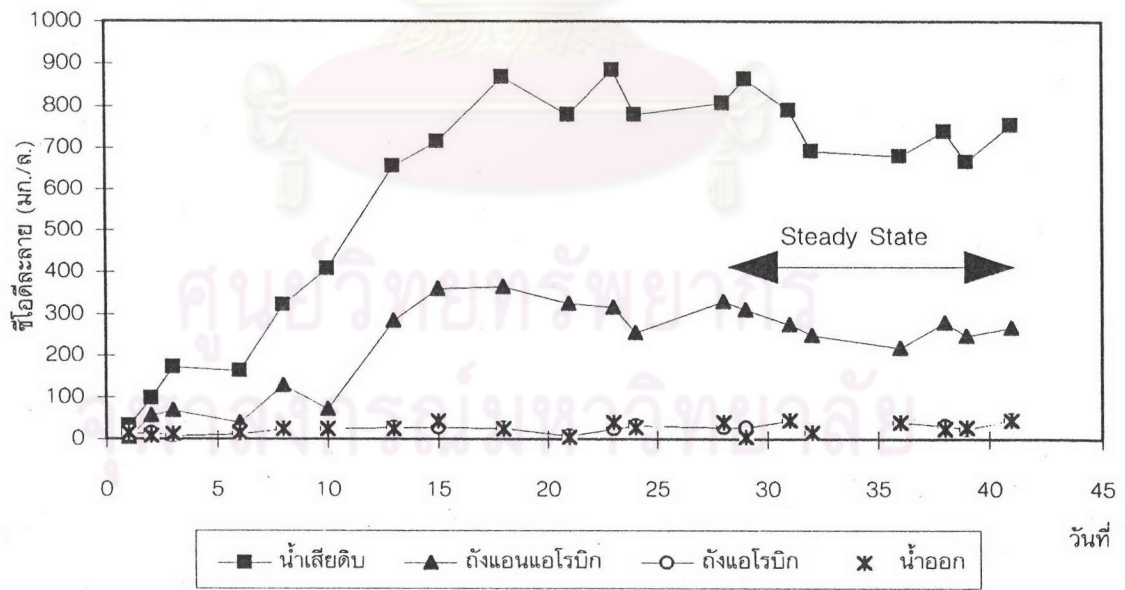
และเมื่อพิจารณาถึงค่าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของระบบ จากตารางที่ 7.6 จะเห็นได้ว่า กระบวนการแยกที่เวเตตสลัดจ์แบบแอนแอโรบิก-แอโรบิก มีค่าประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีของระบบได้ไม่แตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด ในทุก ๆ ค่าของเวลากักน้ำในถังแอนแอโรบิก ทั้งนี้ ในทุกการทดลอง ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีได้สูงมาก กล่าวคือ มีความสามารถในการกำจัดซีโอดีได้ถึงประมาณ 96% แม้ว่า จะมีค่าปริมาณสารอาหารต่อจุลินทรีย์ของถังแอนแอโรบิกที่แตกต่างกันไป ก็ตาม นั่นคือ ค่าเวลากักน้ำในถังแอนแอโรบิกไม่ได้ส่งผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของระบบ อย่างมีนัยสำคัญ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

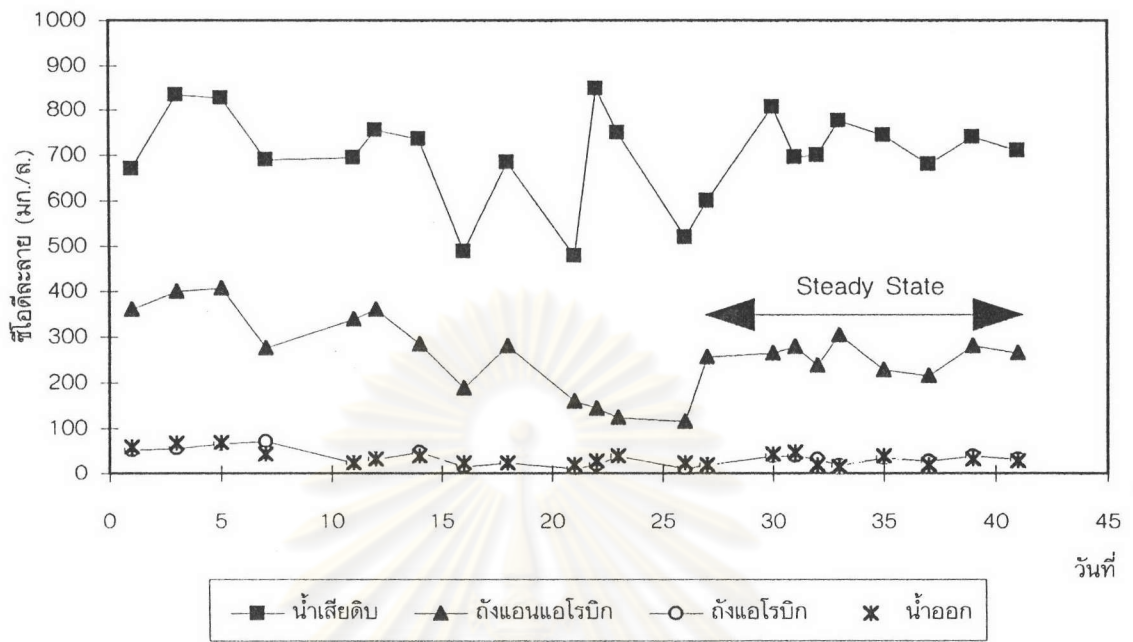




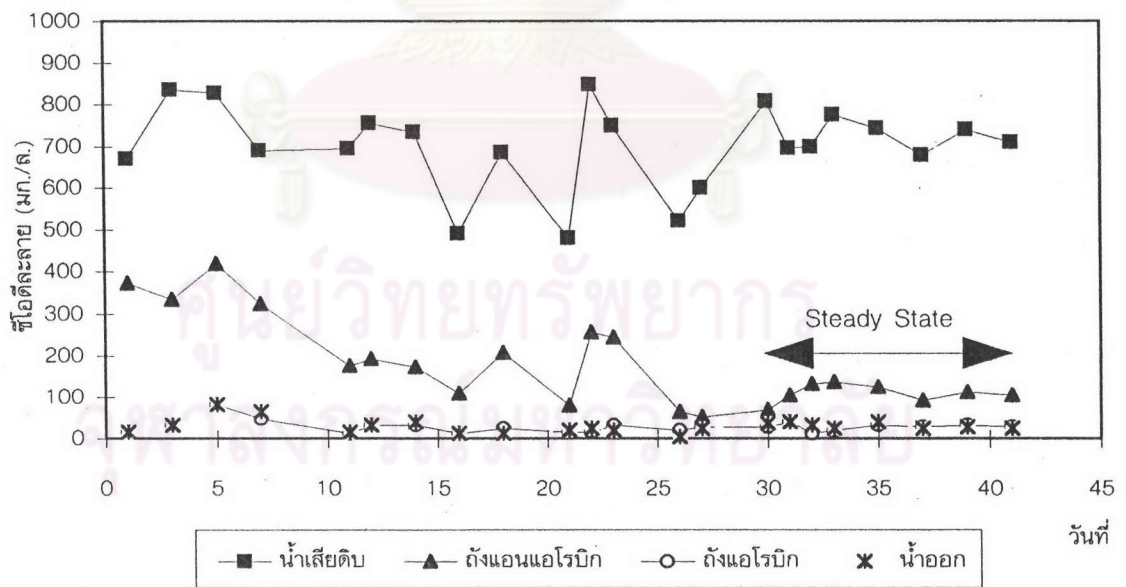
รูปที่ 7.6 กราฟแสดงค่าซีไอดีละลายที่ตำแหน่งต่าง ๆ ในการทดลองชุดที่ 1



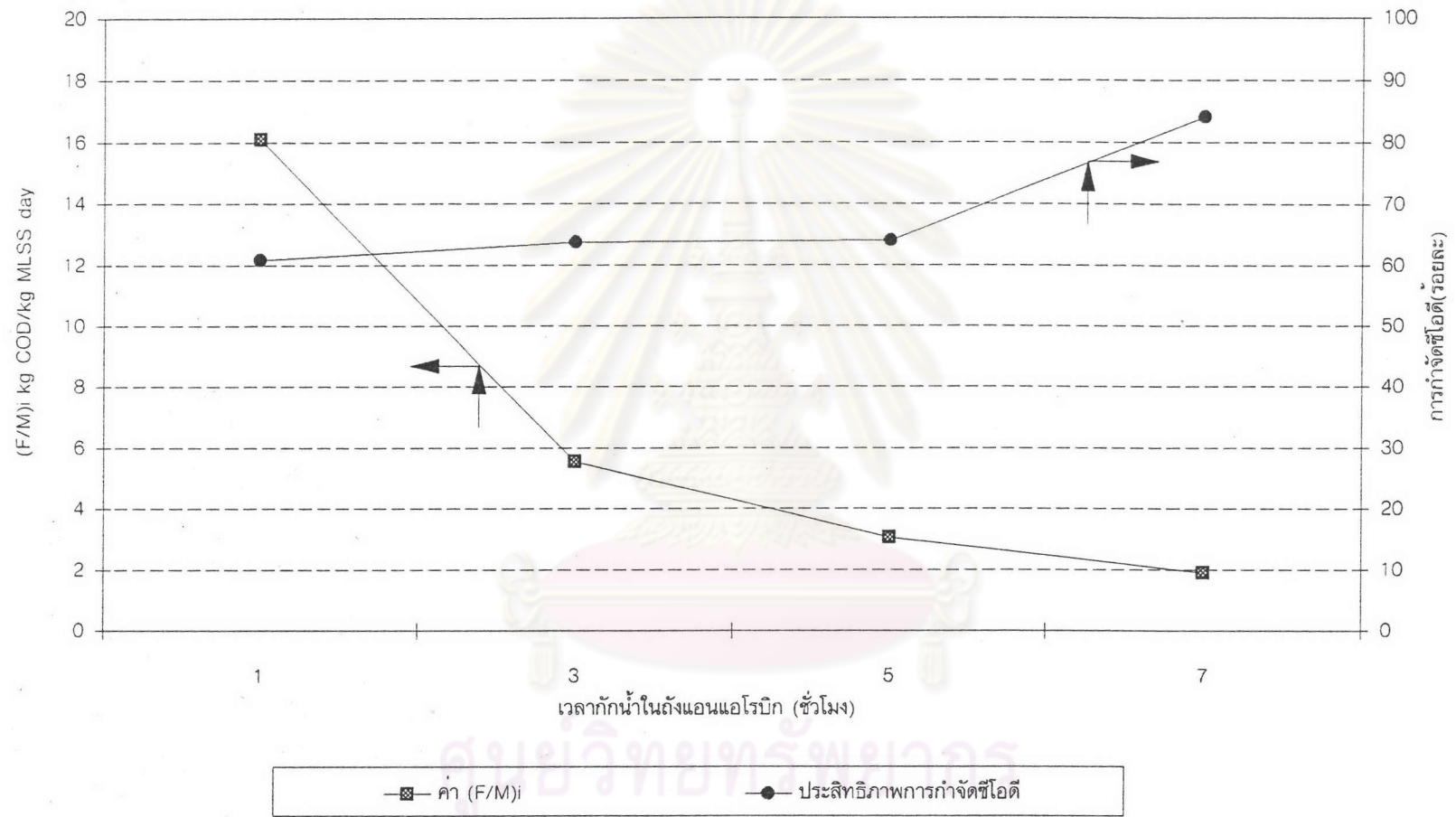
รูปที่ 7.7 กราฟแสดงค่าซีไอดีละลายที่ตำแหน่งต่าง ๆ ในการทดลองชุดที่ 2



รูปที่ 7.8 กราฟแสดงค่าซีโอดีละลายที่ตำแหน่งต่าง ๆ ในการทดลองชุดที่ 3



รูปที่ 7.9 กราฟแสดงค่าซีโอดีละลายที่ตำแหน่งต่าง ๆ ในการทดลองชุดที่ 4



รูปที่ 7.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากักน้ำ การกำจัดซีโอดีและค่า F/M ของถังแอนแอโรบิก



#### 7.4 คุณสมบัติการจมตัวของตะกอน

ในการวิจัยเพื่อบ่งบอกถึงคุณสมบัติการจมตัวของตะกอน จะสามารถพิจารณาได้จากค่าดัชนี ปริมาตรตะกอน (sludge volume index,SVI)

นิยามของดัชนีปริมาตรตะกอน หมายถึง ปริมาตรเป็นมิลลิลิตรของเนื้อตะกอนหนัก 1 กรัม ซึ่งตกตะกอนจากปริมาตรเดิม 1 ลิตร ภายในเวลา 30 นาที มีหน่วยเป็น มล./กรัม/ลิตร

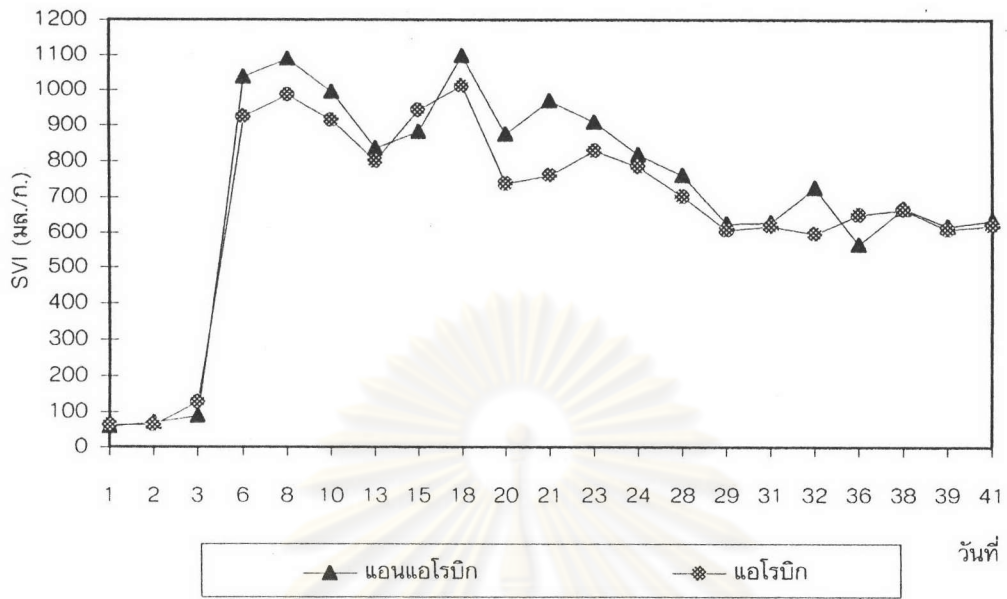
ค่าดัชนีปริมาตรตะกอนที่วัดได้ในแต่ละการทดลองแสดงไว้ในภาคผนวก ง. และตัวอย่างการ คำนวณค่าดัชนีปริมาตรตะกอนแสดงในภาคผนวก ก. และเมื่อนำค่าดัชนีที่วัดได้ในแต่ละการทดลองมา เขียนรูปกราฟ จะได้รูปกราฟดังในรูป 7.11 ถึง 7.14 ทั้งนี้ จากรูปกราฟที่ 7.11 ถึง 7.14 จะ สามารถแบ่งช่วงของกระบวนการได้เป็น 2 ช่วง คือ

##### 1. ช่วงก่อนที่กระบวนการจะเข้าสู่สภาวะคงตัว (steady state)

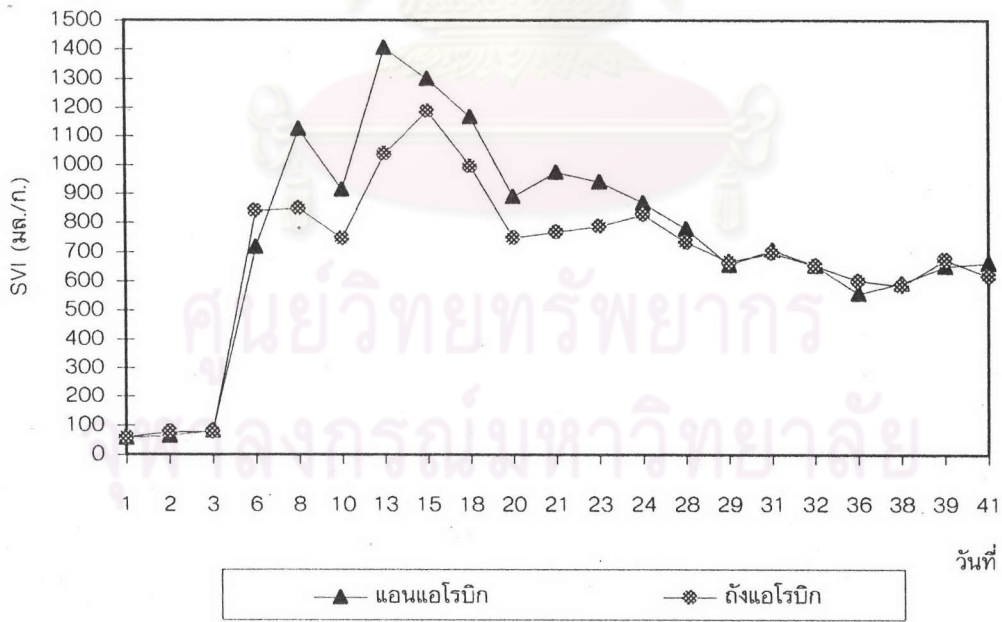
ในช่วงก่อนกระบวนการจะเข้าสู่สภาวะคงตัว จะเห็นได้ว่า ในแต่ละการทดลองเส้นกราฟ ค่า SVI ของถังแวนเอโรบิกในทุก ๆ การทดลอง มีแนวโน้มที่มีค่าที่สูงกว่าค่า SVI ในถังแวนเอโรบิก กล่าวอีกทางหนึ่งคือ ภายในถังแวนเอโรบิกก่อนที่กระบวนการจะเข้าสู่สภาวะคงตัวนั้น ตะกอนมีที่ เกิดขึ้นคุณสมบัติในการจมตัวที่ต่ำกว่าในถังแวนเอโรบิก โดยจากการสังเกตพบว่าที่บริเวณขอบถังแวนเอโรบิก มักจะมีเมือกจุลินทรีย์เกาะอยู่ และบริเวณผิวหน้าส่วนที่สัมผัสกับอากาศนั้นก็มักมีคราบคล้ายขี้เถ้าสีขาว ลอยอยู่ โดยในบางวันอาจมีฟองอากาศสีขาวลอยอยู่บริเวณผิวหน้าของน้ำตะกอนด้วย ดังแสดงในรูปที่ 7.15 และ 7.16 และเมื่อนำส่วนที่เป็นเมือกจุลินทรีย์ไปตรวจสอบโดยใช้กล้องจุลทรรศน์ จะพบว่า มี กลุ่มฟลอคขนาดเล็ก เพียงเล็กน้อย และถูกปกคลุมไปด้วยกลุ่มแบคทีเรียเส้นใยจำนวนมาก

##### 2. ช่วงสภาวะคงตัว (steady state)

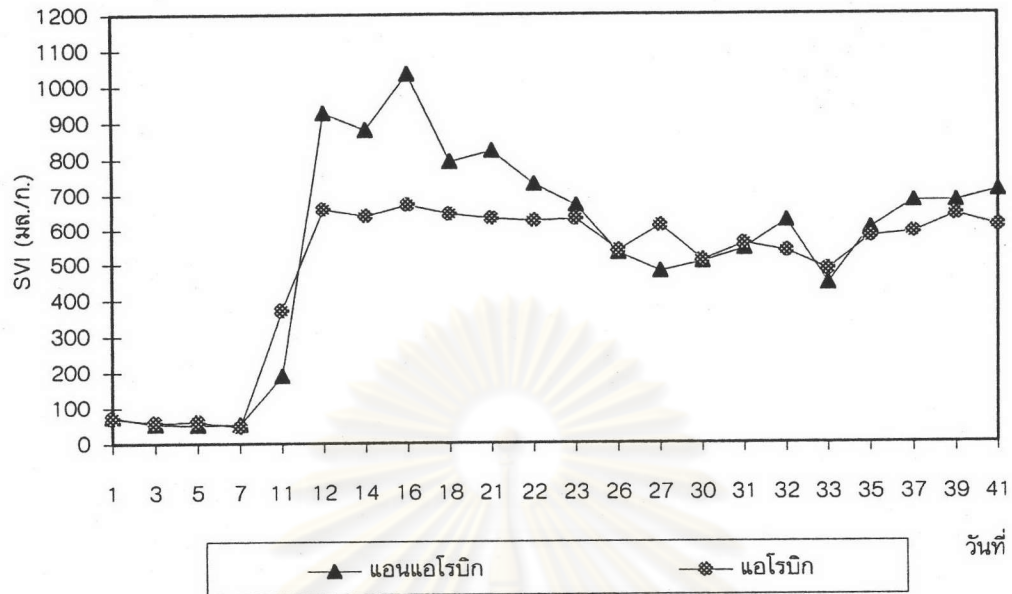
ในช่วงสภาวะคงตัวนี้ จะเห็นได้ว่า ในรูปที่ 7.11 ถึง 7.14 เส้นกราฟของค่า SVI ของถัง แวนเอโรบิกและถังแวนเอโรบิกมีค่าที่ค่อนข้างใกล้เคียงกันหรืออาจกล่าวได้ว่ามีค่าที่เท่ากัน โดยในการ ทดลองที่ 1 , 2 และ 3 จะมีค่า SVI ที่สูงมาก กล่าวคือ มีค่าอยู่ในช่วง 570-670 มล./ก. ในขณะที่ มีค่าในช่วงประมาณ 40-80 มล./ก.ในการทดลองชุดที่ 4 และนอกจากนี้จากการสังเกตยังคงพบว่า มี คราบจุลินทรีย์เกาะอยู่บริเวณขอบถังแวนเอโรบิกอยู่บ้าง แม้ว่าจะมีปริมาณที่น้อยกว่าที่พบในช่วงก่อน เข้าสู่สภาวะคงตัว



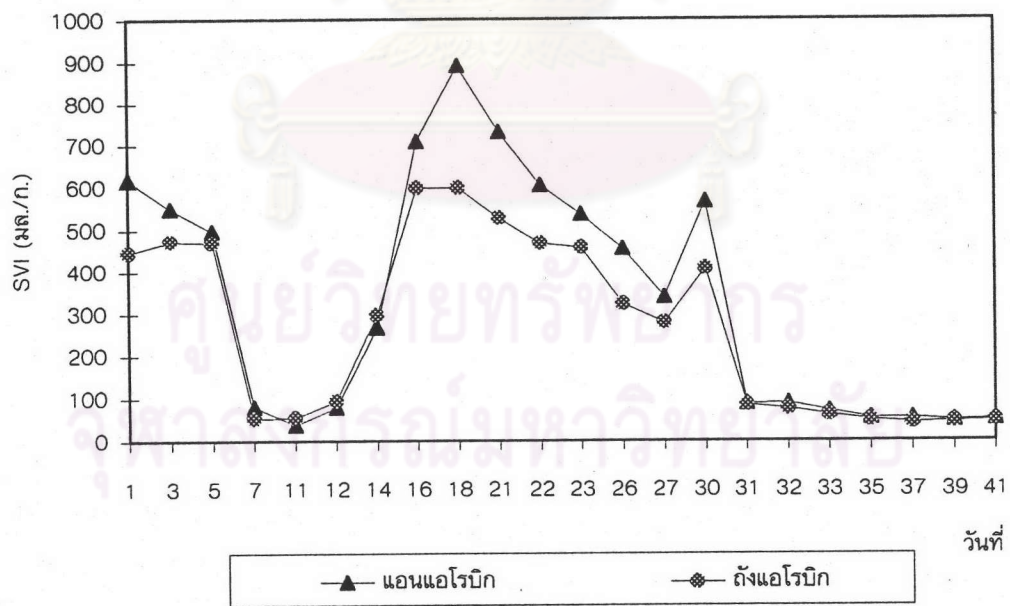
รูปที่ 7.11 กราฟแสดงค่า SVI ของการทดลองชุดที่ 1



รูปที่ 7.12 กราฟแสดงค่า SVI ของการทดลองชุดที่ 2



รูปที่ 7.13 กราฟแสดงค่า SVI ของการทดลองชุดที่ 3



รูปที่ 7.14 กราฟแสดงค่า SVI ของการทดลองชุดที่ 4

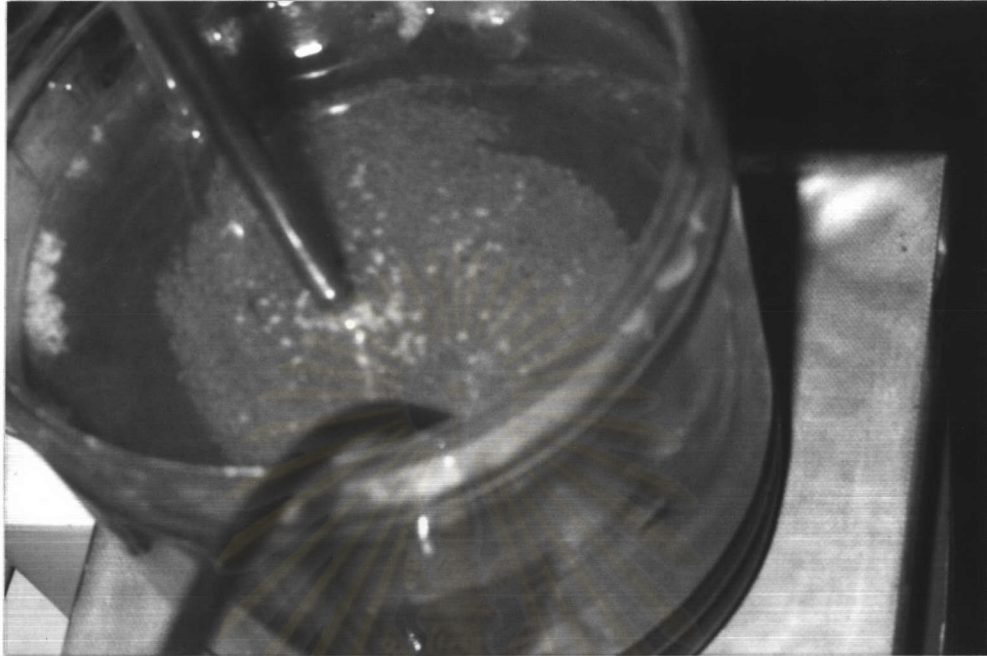


ในการทดลองทั้ง 4 การทดลอง เมื่อแปรค่าเวลากักน้ำในถังแอนแอโรบิกเป็น 1 , 3 , 5 และ 7 ชั่วโมง สิ่งที่เกิดขึ้นก็คือ ทำให้ค่าอัตราส่วนปริมาณสารอาหารต่อจุลินทรีย์ของถังแอนแอโรบิก (F/M)<sub>i</sub> มีค่าที่เปลี่ยนแปลงไป ทั้งนี้ จากการทดลองพบว่า ค่า (F/M)<sub>i</sub> ของถังแอนแอโรบิกส่งผลต่อคุณสมบัติการจมตัวของตะกอน ซึ่งพิจารณาในรูปของค่า SVI โดยค่า (F/M)<sub>i</sub> และค่า SVI ของการทดลองทั้ง 4 ชุดแสดงในตาราง 7.7

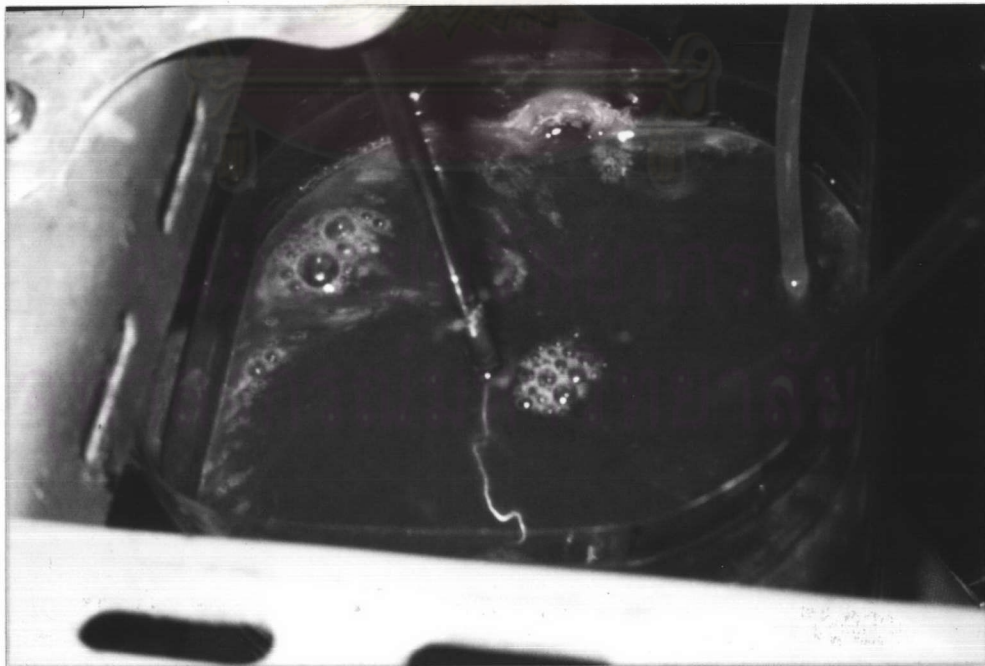
ตาราง 7.7 แสดงค่า (F/M)<sub>i</sub> และดัชนีปริมาตรตะกอน ในการทดลองทั้ง 4 ชุด

การทดลองที่	ค่า (F/M) <sub>i</sub>	ค่าดัชนีปริมาตรตะกอน (มล./ก.)	
		ถังแอนแอโรบิก	ถังแอโรบิก
1	16.1	652	633
2	5.6	658	652
3	3.0	586	587
4	1.9	65.1	58.7

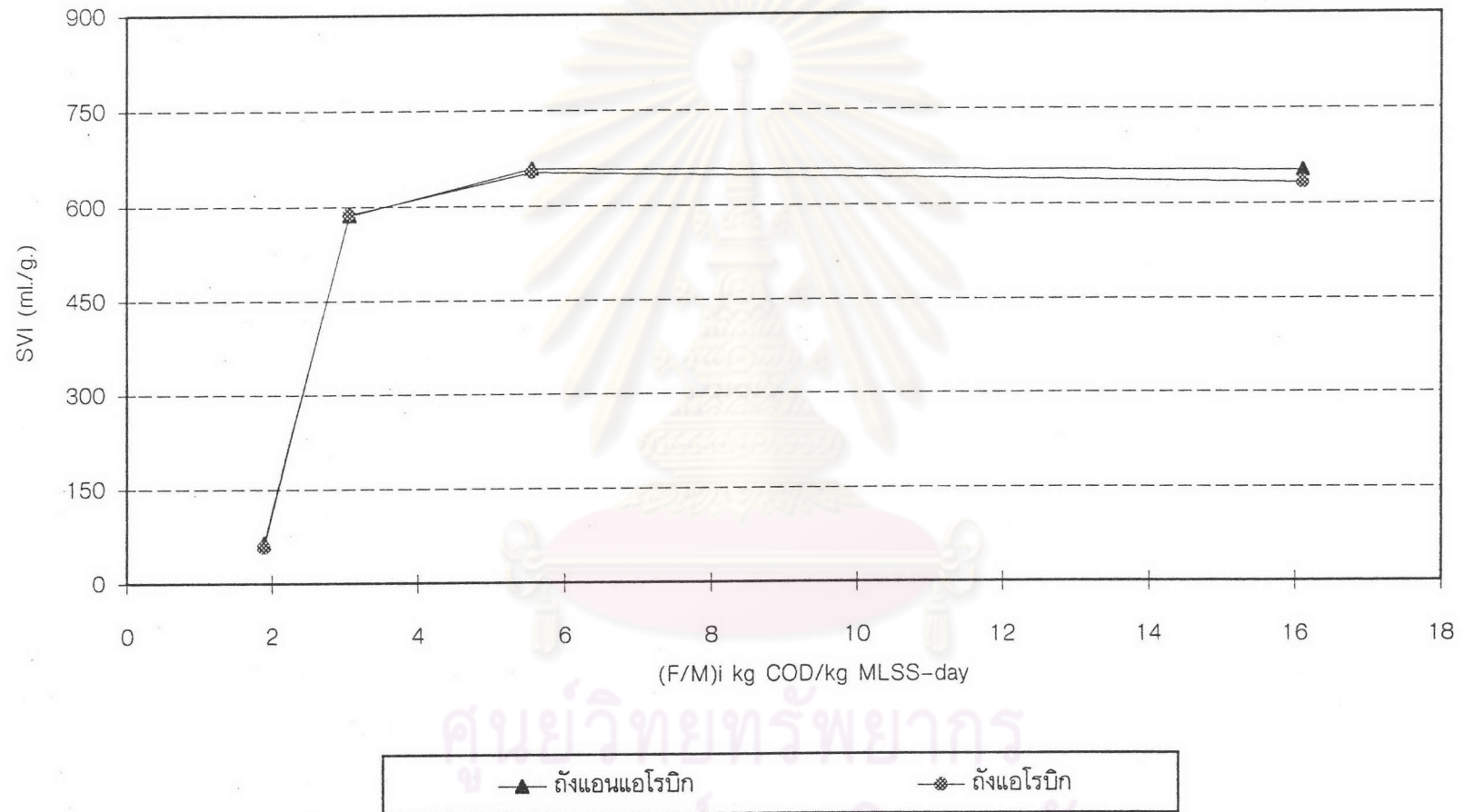
จากตารางที่ 7.7 จะเห็นได้ว่า ค่าอัตราส่วนปริมาณสารอาหารต่อจุลินทรีย์มีผลต่อคุณสมบัติการจมตัวของตะกอน โดยในการทดลองชุดที่ 1 , 2 และ 3 ซึ่งมีค่าอัตราส่วนปริมาณสารอาหารต่อจุลินทรีย์ในถังแอนแอโรบิกในช่วง 3.1–16.1 kg COD/MLSS–day พบว่า ตะกอนมีความสามารถในการจมตัวต่ำมาก นอกจากนี้ จากการสังเกตพบว่า เมื่อนำน้ำตะกอนในถังแอโรบิกมาใส่ในกระบอกตวงขนาด 1 ลิตร และตั้งทิ้งไว้ 30 นาที พบว่า น้ำส่วนบนเป็นน้ำที่ใสมาก และแยกชั้นกับชั้นตะกอนอย่างชัดเจน ในขณะที่การทดลองชุดที่ 4 เมื่อลดค่าปริมาณสารอาหารต่อจุลินทรีย์ลงมาเหลือที่ประมาณ 1.9 kg COD/kg MLSS–day จะทำให้ตะกอนมีความสามารถในการตกตะกอนได้ดีมาก และเมื่อนำน้ำตะกอนมาใส่กระบอกตวงขนาด 1 ลิตร และตั้งทิ้งไว้ 30 นาที พบว่า น้ำส่วนบนก็ยังมี ความใสเหมือนกัน กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณสารอาหารต่อจุลินทรีย์ในถังแอนแอโรบิก (F/M)<sub>i</sub> และค่าดัชนีปริมาตรตะกอน (SVI) แสดงในรูปที่ 7.17



รูป 7.15 แสดงเมือกจุลินทรีย์และคราบจุลินทรีย์ในถังแวนแวนโรบิก การทดลองชุดที่ 1



รูป 7.16 แสดงเมือกจุลินทรีย์และคราบจุลินทรีย์ในถังแวนแวนโรบิก การทดลองชุดที่ 2



รูปที่ 7.17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า (F/M)<sub>i</sub> และค่า SVI ของการทดลองทั้ง 4 ชุด



## 7.5 การตรวจสอบทางชีววิทยา

### 7.5.1 การทดลองชุดที่ 1 , 2 และ 3

จากการทดลองในชุดการทดลองที่ 1 , 2 และ 3 เมื่อทำการตรวจสอบลักษณะของ จุลินทรีย์โดยใช้กล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 200 เท่า พบว่า มีแบคทีเรียชนิดเส้นใยจำนวนมาก และเป็นจุลินทรีย์หลัก (dominant) ที่พบในระบบ นอกจากนี้ ยังพบเห็นโปรโตซัวต่าง ๆ หลายชนิดด้วยกัน เช่น Rotifer , Free Swimming และโดยเฉพาะ Stalked Ciliate ซึ่งมีอยู่มากและเป็นอยู่กันเป็นกลุ่มใหญ่ แสดงถึงระบบนิเวศน์วิทยาแบบลูกโซ่ที่ค่อนข้างสมบูรณ์ของระบบ

ในการตรวจสอบลักษณะของแบคทีเรียชนิดเส้นใยที่พบในการทดลองชุดที่ 1 , 2 และ 3 พบว่า เป็นเส้นใยในสายพันธุ์เดียวกัน กล่าวคือ มีลักษณะเป็นเส้นตรงยาวที่ค่อนข้างมีความโค้งเล็กน้อย เมื่อทำการตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 100 เท่า จะพบว่าเส้นใยมีกิ่งก้านที่แตกออกไป (branching) และเมื่อเพิ่มกำลังขยายเป็น 1,000 เท่า จะเห็นได้ว่ากิ่งก้านที่แตกออกไปนั้น มีลักษณะคล้ายกับการนำปลายเส้นใยเส้นหนึ่ง มาแตะอยู่ที่ลำตัวของเส้นใยอีกเส้นหนึ่ง หรือมีลักษณะที่เรียกว่า กิ่งก้านปลอม (falsely branch) นอกจากนี้ยังพบว่า กลุ่มฟลอคที่เกิดขึ้นกระจุกกระจายกันออกไป โดยมีแบคทีเรียชนิดเส้นใยเป็นตัวเชื่อม และสานกลุ่มฟลอคเข้าไว้ด้วยกัน ในลักษณะคล้ายเป็นสะพานเชื่อม (bridge) ต่อระหว่างฟลอค มีการพบเห็นผนังแบ่งกันเซลล์ (Cell Septa) อย่างชัดเจน โดยเซลล์ที่พบมีลักษณะเป็นแท่งทรงกระบอกเรียงต่อกัน มีเส้นผ่าศูนย์กลางเซลล์ประมาณ 1.3 – 1.8 ไมโครเมตร และจากการย้อมแกรมโดยใช้วิธีของ Hucker's modification (วิธีการย้อมแกรมแสดงในภาคผนวก ข.) จะย้อมติดสีแดงของ Safranin ซึ่งหมายถึง เป็นแบคทีเรียชนิดแกรมลบ รูป 7.18 ถึง 7.23 แสดงลักษณะจุลินทรีย์ชนิดเส้นใยที่พบในการทดลองชุดที่ 1 ถึง 3

Eikelboom(1977) ได้จำแนกชนิดของแบคทีเรียจำพวกเส้นใย และได้ให้นิยามของแบคทีเรียเส้นใยแต่ละชนิด ตามลักษณะรูปร่างและองค์ประกอบบางประการภายในเซลล์ ซึ่งได้แสดงไว้ในภาคผนวก ค. โดยจากการทดลองเมื่อนำแบคทีเรียชนิดเส้นใยที่เกิดขึ้นในการทดลองชุดที่ 1 , 2 และ 3 มาตรวจสอบตามวิธีการดังกล่าว จะพบว่า แบคทีเรียเส้นใยที่พบในการทดลองชุดที่ 1 , 2 และ 3 เป็นแบคทีเรียเส้นใยในสายพันธุ์ของ *Sphaerotilus natans* หรือ *S.natans* ทั้งนี้ แบคทีเรียเส้นใยในสายพันธุ์ *S.natans* เป็นแบคทีเรียเส้นใยที่มีความสามารถในการใช้สารอาหารในสภาวะที่มีออกซิเจนละลายน้ำต่ำได้ดี Jenkins (1993)

#### 7.5.2 การทดลองชุดที่ 4

ในการทดลองชุดที่ 4 ได้ทำการตรวจสอบลักษณะทางชีววิทยา โดยใช้กล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 200 เท่า พบว่า กลุ่มฟลอคที่เกิดขึ้นเป็นกลุ่มก้อนที่มีความหนาแน่นมาก และกระจายกันออกไป มีโปรโตซัวชนิดต่าง ๆ จำนวนมากอาศัยอยู่และเป็นจุลินทรีย์หลักที่พบเห็นในระบบ โดยจะมี Stalked Ciliate และ Rotifer เป็นจำนวนมาก และเมื่อเพิ่มกำลังขยายของกล้องจุลทรรศน์เป็น 400 เท่า จะพบว่าในกลุ่มก้อนของฟลอคที่มีขนาดใหญ่บางก้อนนั้น จะมีจุลินทรีย์แบบเส้นใย (filamentous bacteria) เป็นตัวประสานอยู่ภายในฟลอค ทำให้ฟลอคที่เกิดขึ้นมีลักษณะที่หนาแน่นและแข็งแรงขึ้น ดังแสดงในรูป 7.24 และ 7.25

#### 7.6 ค่าซีโอดีของตะกอนจุลินทรีย์

ค่าซีโอดีของตะกอนจุลินทรีย์เป็นค่าที่ใช้ในการบ่งบอกถึง ปริมาณของความต้องการออกซิเจนทางเคมีเพื่อใช้ในการย่อยสลายตะกอนจุลินทรีย์ต่อหน่วยน้ำหนักของตะกอนจุลินทรีย์ มีหน่วยเป็น มิลลิกรัมออกซิเจนต่อมิลลิกรัมตะกอนจุลินทรีย์

ในการทดลองทั้ง 4 การทดลองได้วิเคราะห์ค่าของซีโอดีทั้งหมด , ซีโอดีละลายน้ำ และความเข้มข้นของน้ำตะกอนแขวนลอย (MLSS) ในถังแอนแอโรบิกและถังแอโรบิกของการทดลองแต่ละชุด และนำมาใช้ในการคำนวณหาค่าซีโอดีของตะกอนจุลินทรีย์ดังแสดงในตาราง 7.8 โดยตัวอย่างการคำนวณได้แสดงไว้ในภาคผนวก ก.

ตาราง 7.8 แสดงค่าซีโอดีของตะกอนจุลินทรีย์ในถังแอนแอโรบิกและถังแอโรบิก

การทดลองชุดที่	ค่าซีโอดีของตะกอนจุลินทรีย์ (มก.O <sub>2</sub> /มก.ตะกอนจุลินทรีย์)	
	ถังแอนแอโรบิก	ถังแอโรบิก
1	1.04	1.15
2	1.05	1.13
3	1.04	1.07
4	0.99	0.88

จากตาราง 7.8 เมื่อพิจารณาโดยรวมจะพบว่า สามารถแบ่งกลุ่มการทดลองตามค่าซีโอดีของตะกอนจุลินทรีย์ได้เป็น 2 กลุ่ม คือ

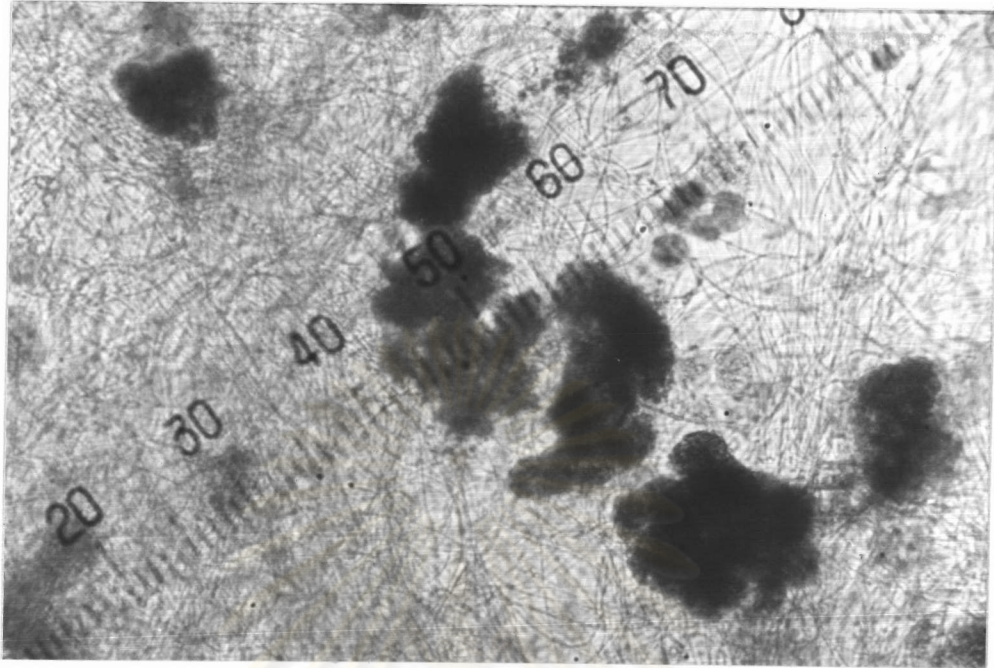
**กลุ่มแรก** เป็นกลุ่มที่มีค่าตะกอนจุลินทรีย์ในถังแอนแอโรบิกต่ำกว่า ตะกอนจุลินทรีย์ในถังแอโรบิก ซึ่งได้แก่ ในการทดลองชุดที่ 1, 2 และ 3 โดยในถังแอนแอโรบิกจะมีค่าซีโอดีของตะกอนจุลินทรีย์อยู่ในช่วง 1.04–1.05 และถังแอโรบิกมีค่าในช่วง 1.07–1.15 มก.ออกซิเจนต่อมก. ตะกอนจุลินทรีย์ และจากผลของค่า SVI ของตะกอนจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นในการทดลองทั้งสามชุดนี้ ก็มีค่าที่สูงมาก กล่าวคือ มีค่าอยู่ในช่วง 586–658 มล./ก. นอกจากนี้ จากผลการตรวจสอบทางชีววิทยาโดยใช้กล้องจุลทรรศน์ (รายละเอียดของการตรวจสอบทางชีววิทยาแสดงในหัวข้อ 7.5) พบว่า ในชุดการทดลองทั้ง 3 ชุดการทดลองในกลุ่มแรกนี้ มีจุลินทรีย์ชนิดเส้นใย (filamentous bacteria) ในสายพันธุ์ *S.natans* เป็นกลุ่มจุลินทรีย์หลักที่พบในระบบ

**กลุ่มที่สอง** เป็นการทดลองชุดที่มีค่าซีโอดีของตะกอนในถังแอนแอโรบิกสูงกว่า ค่าซีโอดีของตะกอนในถังแอโรบิก ซึ่งได้แก่ ในการทดลองชุดที่ 4 ซึ่งมีค่าซีโอดีของตะกอนจุลินทรีย์ในถังแอนแอโรบิก และในถังแอโรบิกเป็น 0.99 และ 0.88 มก.ออกซิเจนต่อมก.ตะกอนจุลินทรีย์ ตามลำดับ และมีค่า SVI ของน้ำตะกอนอยู่ในช่วง 40–80 มล./ก. นั่นคือ มีการเก็บสะสมสารอาหารบางส่วนไว้ภายในเซลล์ของจุลินทรีย์ในช่วงแอนแอโรบิก และเมื่อกระบวนการเข้าสู่สภาวะแอโรบิกจะเกิดกระบวนการเมตาบอลิซึม (metabolism) ขึ้นในถังแอโรบิก ซึ่งจะทำให้อินทรีย์คาร์บอนที่เก็บสะสมไว้ในช่วงแอโรบิกถูกใช้ไป โดยอินทรีย์คาร์บอนบางส่วนจะหายไปเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกไปจากระบบ

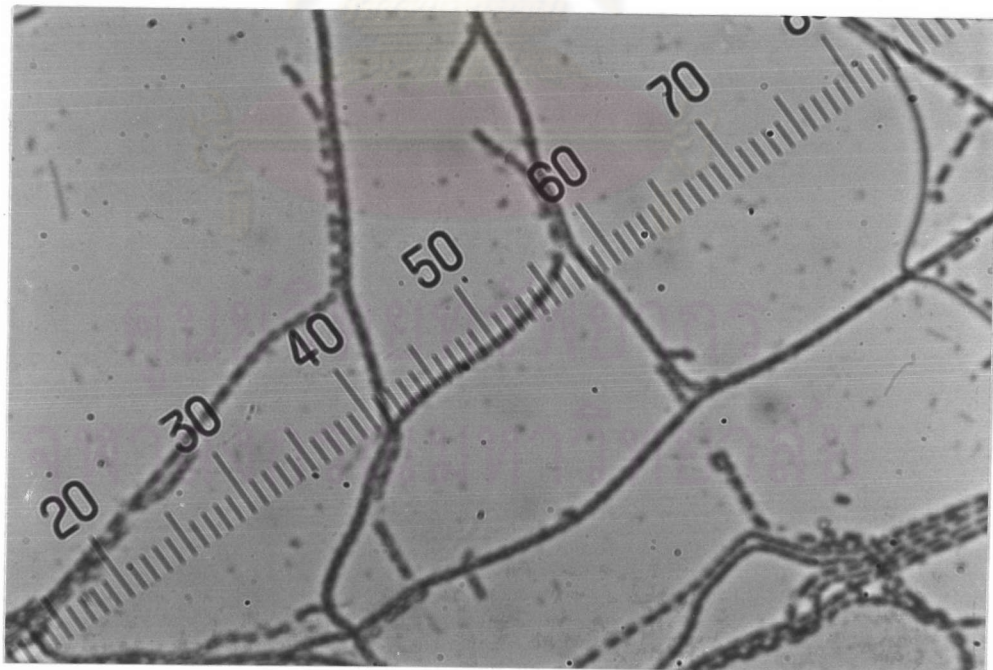
สิ่งที่เกิดขึ้นแสดงให้เห็นว่า การมีจุลินทรีย์จำพวกเส้นใยในสายพันธุ์ *S.natans* นอกจากจะทำให้ตะกอนที่เกิดขึ้นมีคุณสมบัติในการจมตัวต่ำแล้ว ยังทำให้มีค่าความต้องการออกซิเจนในการย่อยสลายตะกอนจุลินทรีย์ทางชีววิทยาโดยกระบวนการย่อยสลายแบบแอโรบิก (aerobic digestion) สูงกว่าตะกอนจุลินทรีย์กลุ่มสร้างฟลอคในกระบวนการแยกที่เวเตตสลัดจ์แบบแอนแอโรบิก-แอโรบิก

ศูนย์วิจัยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



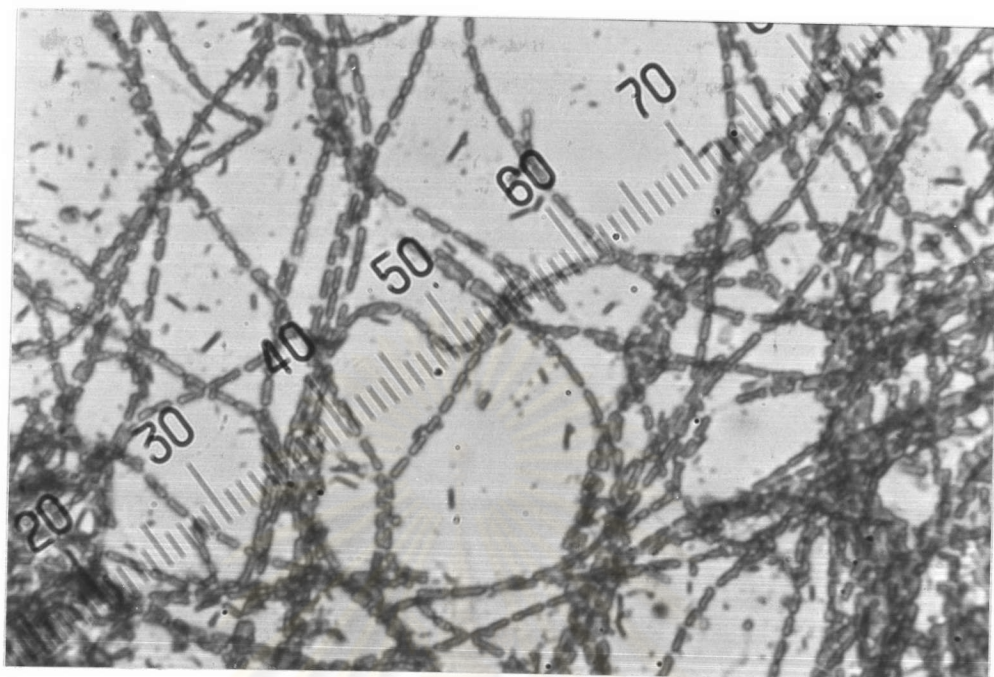


รูป 7.18 แสดงลักษณะของเส้นใยในถังแวนแวนโรบิก การทดลองชุดที่ 1  
ที่กำลังขยาย 200 เท่า

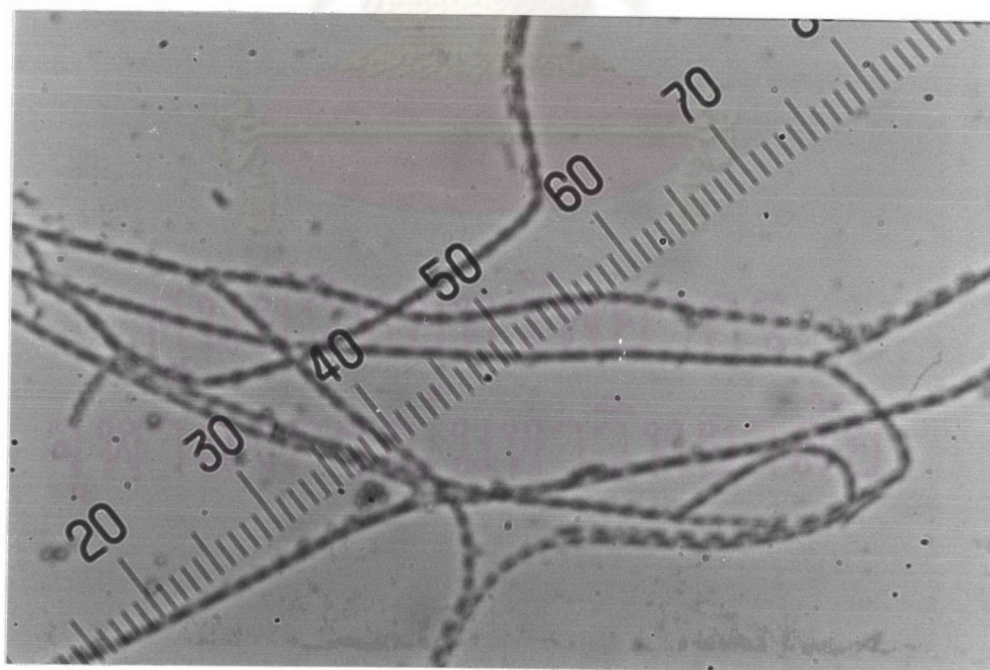


รูป 7.19 แสดงลักษณะของเส้นใยในถังแวนแวนโรบิก การทดลองชุดที่ 1  
ที่กำลังขยาย 400 เท่า

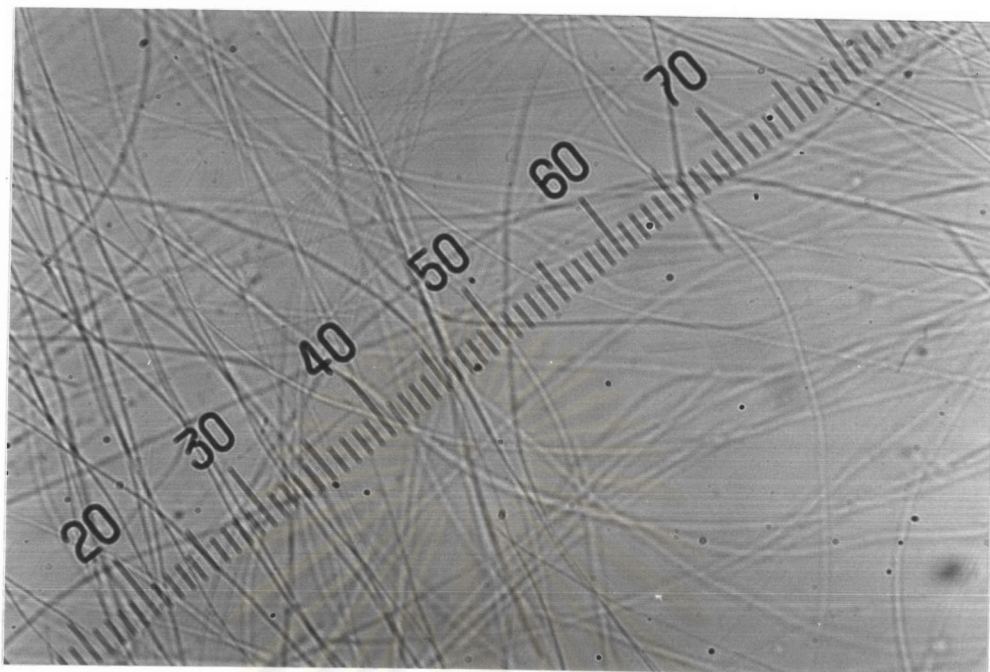




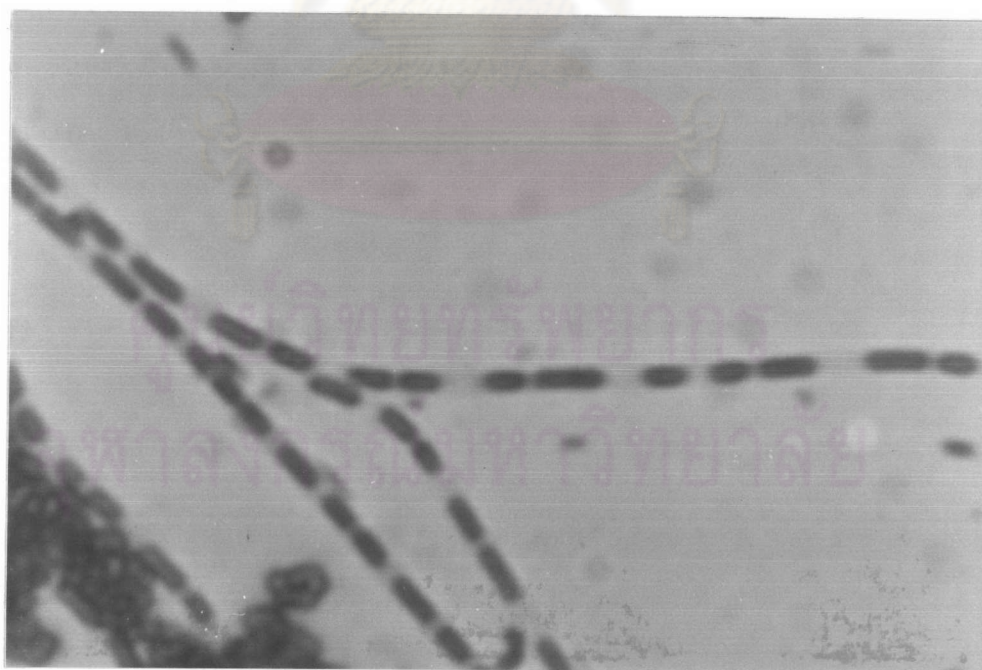
รูป 7.20 แสดงลักษณะของเส้นใยในถังแวนแวนโรบิก การทดลองชุดที่ 2  
กำลังขยาย 200 เท่า



รูป 7.21 แสดงลักษณะของเส้นใยในถังแวนแวนโรบิก การทดลองชุดที่ 2  
กำลังขยาย 400 เท่า

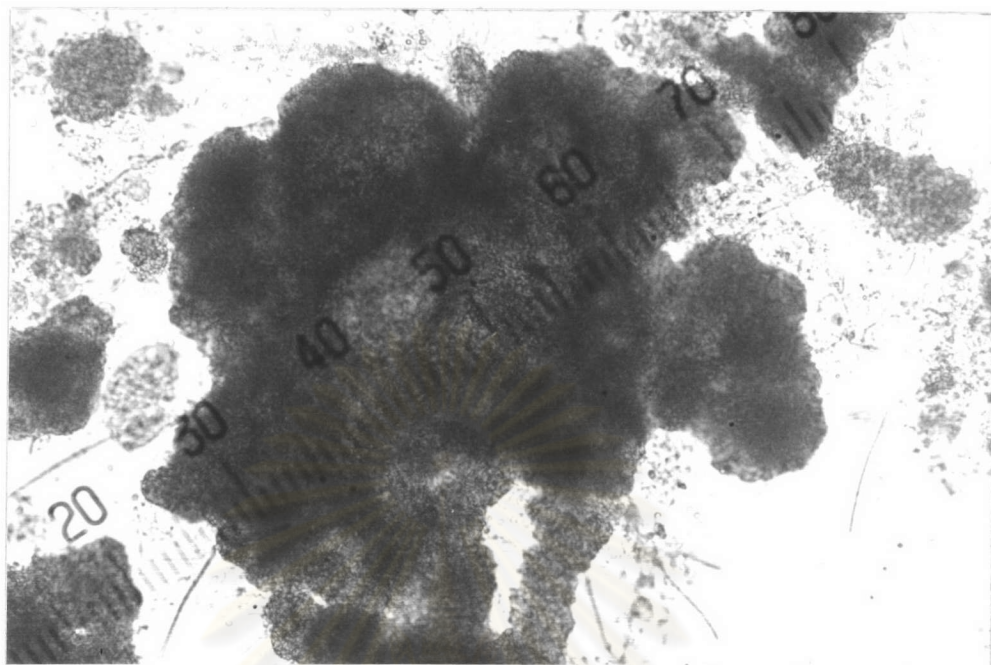


รูป 7.22 แสดงลักษณะของเส้นใยในถังแอนแอโรบิก การทดลองชุดที่ 3  
กำลังขยาย 400 เท่า

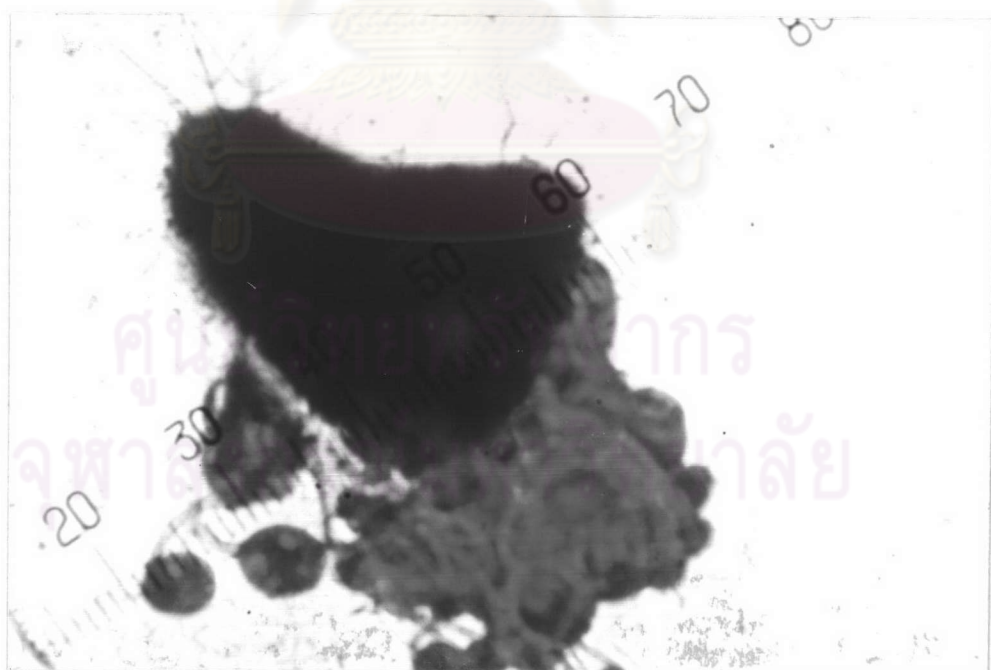


รูป 7.23 แสดงลักษณะของเส้นใยในถังแอนแอโรบิก การทดลองชุดที่ 3  
กำลังขยาย 1000 เท่า





รูปที่ 7.24 แสดงลักษณะของก้อนฟลอคในถังแวนแวนโรบิก การทดลองชุดที่ 4 กำลังขยาย 200 เท่า



รูปที่ 7.25 แสดงลักษณะของก้อนฟลอคในถังแวนแวนโรบิก การทดลองชุดที่ 4 กำลังขยาย 200 เท่า

## 7.7 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของถังแอนแอโรบิก และดัชนีปริมาตรตะกอน

ตาราง 7.9 แสดงค่าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของถังแอนแอโรบิกและค่าดัชนีปริมาตรของตะกอนในแต่ละการทดลอง

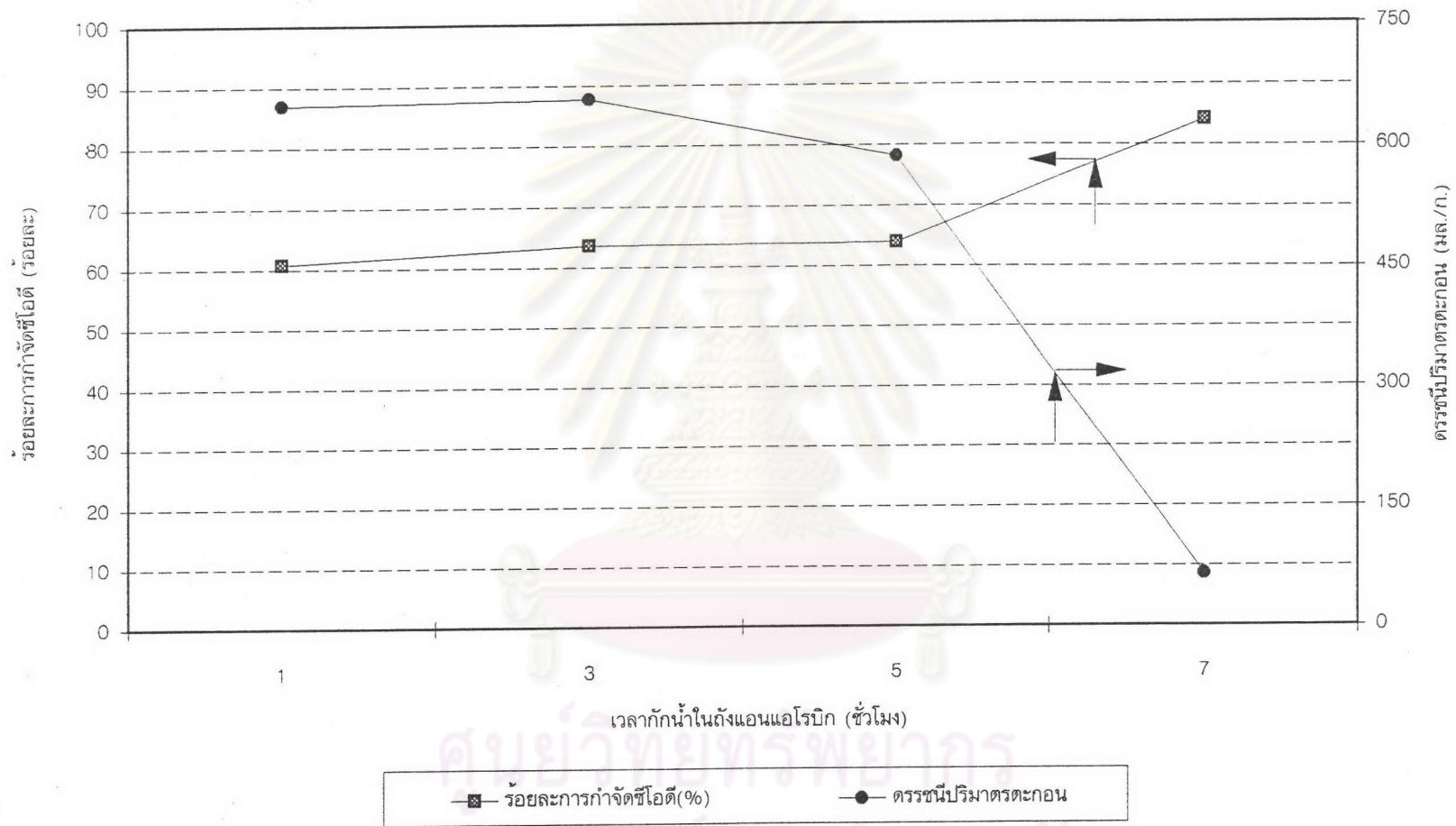
ตารางที่ 7.9 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี และค่าตัวชี้ปริมาตรตะกอน

การทดลองชุดที่	เวลากักน้ำ, $\tau$ (ชั่วโมง)	ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี (%)	SVI (มก./ล.)
1	1	60.8	652
2	3	63.7	658
3	5	64.0	586
4	7	84.1	65

เมื่อนำค่าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี และค่า SVI ของการทดลองแต่ละชุดมาเขียนรูปกราฟที่เวลากักน้ำในถังแอนแอโรบิกต่าง ๆ จะได้รูปกราฟในรูป 7.26 โดยจากรูปกราฟแสดงให้เห็นว่า ที่ค่าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีในช่วงร้อยละ 60–75 จะให้ค่า SVI ที่สูงกว่า 300 มก./ล. ในขณะที่ค่าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีที่สูงกว่าร้อยละ 80 จะให้ค่า SVI ที่ต่ำกว่า 200 มก./ล. สิ่งที่เกิดขึ้นแสดงให้เห็นว่า ค่าเวลากักน้ำในถังแอนแอโรบิกมีความสัมพันธ์ต่อประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีของถังแอนแอโรบิกและค่า SVI ของตะกอน นั่นคือ การออกแบบถังคั้ดพันธุ์แบบแอนแอโรบิกเพื่อการป้องกันโรคตะกอนไม่จมตัวนั้น จำเป็นต้องมีการออกแบบเพื่อให้มีการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียให้มากที่สุด หรือหมดไปภายในถังแอนแอโรบิก การมีสารอาหารละลายส่วนที่เหลือและหลุดออกไปจากถังแอนแอโรบิก เข้าสู่สภาวะแอโรบิก จะเป็นการเสริมสร้างโอกาสให้แก่แบคทีเรียชนิดเส้นใย ซึ่งโดยทั่วไปจะมีความสามารถในการใช้สารอาหารที่ระดับความเข้มข้นสารอาหารต่ำ ๆ ได้ดี (ดังแสดงในรูป 5.3) เจริญเติบโตขึ้นมาเป็นกลุ่มจุลินทรีย์หลักในระบบได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





รูปที่ 7.26 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาแช่น้ำ การกำจัดซีโอดีและค่าดรรชนีปริมาณตะกอนของถังแวนแอโรบิก