

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิจารณ์

#### 4.1 การดำเนินการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลของภาวะบรรทุกลสารอินทรีย์และภาวะบรรทุกลทางชลศาสตร์ที่มีต่อกระบวนการถังปฏิกรณ์ชนิดสารกรองเคลื่อนที่สลับกับถังกรอง เนื้อหาในส่วนี้จะกล่าวตั้งแต่ช่วงก่อนดำเนินการทดลองไปจนถึงช่วงดำเนินการทดลองตามแผนงานวิจัยที่กล่าวไว้ในบทที่ 3 ตลอดจนปัญหาและการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นในงานวิจัยทั้งหมด

ช่วงแรกของการดำเนินการทดลองผู้วิจัยศึกษาถึงปริมาณตัวกลางที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการทดลอง ซึ่งถังปฏิกรณ์มีปริมาตร 20 ลิตร ใส่ตัวกลางลงไปในถังปฏิกรณ์ที่ละหนึ่งลิตร พร้อมกับจ่ายอากาศเข้าไปในถังปฏิกรณ์โดยควบคุมอัตราการไหลของอากาศให้คงที่ทุกๆค่าปริมาณตัวกลางที่เติมลงไป จนกว่าตัวกลางไม่สามารถเคลื่อนที่ได้แบบวนเวียนภายในถังปฏิกรณ์ โดยเลือกใช้ค่าอัตราการไหลของอากาศที่ 10 ลบ.ม./ชม. ซึ่งเป็นขีดจำกัดที่ต่ำที่สุดของมาตรวัดอัตราการไหลของอากาศ (Flow Meter) พบว่า ปริมาณตัวกลางที่สูงที่สุดที่สามารถเคลื่อนที่แบบวนเวียนในถังปฏิกรณ์ได้เท่ากับ 9 ลิตร คิดเป็นอัตราส่วนของปริมาณตัวกลางสารกรองต่อปริมาตรถังปฏิกรณ์เท่ากับ 0.45

ช่วงที่สองของการดำเนินการทดลองผู้วิจัยศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการบำบัดน้ำเสียของกระบวนการ น้ำเสียที่ใช้เป็นน้ำเสียสังเคราะห์จากน้ำตาลเพื่อเป็นแหล่งสารอินทรีย์คาร์บอน (Organic Carbon Source) โดยมีแร่ธาตุต่างๆอย่างเพียงพอ (COD : N : P : Ca : Mg : Fe เท่ากับ 150 : 5 : 1 : 0.5 : 0.5 : 0.2 (Metcalf และ Eddy, 1991) โดยนำหัวเชื้อตะกอนจุลินทรีย์ (Seed) มาจากโรงบำบัดน้ำเสียนานาวา ใส่เชื้อตะกอนจุลินทรีย์ลงไปในถังปฏิกรณ์จำนวน 5 ลิตร และใช้ปริมาณตัวกลางจำนวน 9 ลิตร (จากการศึกษาในตอนต้น) น้ำเสียที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นมาปริมาณเท่ากับ 20 ลิตรและมีค่าความเข้มข้นซีโอดีเท่ากับ 3000 มก./ล. แล้วนำไปเจือจางด้วยน้ำประปาโดยที่มีอัตราการไหลที่คงที่เท่ากับ 220 ลิตรต่อวัน เพื่อให้ได้ค่าซีโอดีที่เข้าระบบเท่ากับ 250 มก./ล. ค่าภาวะบรรทุกลสารอินทรีย์และค่าภาวะบรรทุกลทางชลศาสตร์เท่ากับ 6.67 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน และ 0.5 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม.ตามลำดับ การทดลองนี้จะเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์วันต่อวัน

การเดินระบบในช่วงที่สองเป็นแบบทำด้วยมือ (Manual) โดยใช้บอลลวาล์วเป็นตัวควบคุม การเปิด/ปิดของน้ำและลม และควบคุมความถี่ในการสลับการทำงานวันละครั้ง โดยก่อนหน้าจะ สลับการทำงานจะระบายน้ำตะกอนที่ถังปฏิกรณ์จำนวน 2 ลิตร เพื่อนำไปวิเคราะห์หาค่า พารามิเตอร์ซีไอดี หลังจากเดินระบบไปได้ 5 วันเมื่อวิเคราะห์ค่าซีไอดีแล้วพบว่าถังปฏิกรณ์มี ประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดีอยู่ในช่วงร้อยละ 93-95 แต่พบปัญหาตะกอนจมไม่ลง (Sludge Bulking) ในถังกรอง ผู้วิจัยตัดสินใจเปลี่ยนน้ำเสีย โดยใช้ น้ำเสียจากฟาร์มเลี้ยงสุกรที่ผ่านการย่อย ด้วยกระบวนการไร้อากาศ จากการทดลองพบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดีของถังปฏิกรณ์อยู่ ในช่วงร้อยละ 40-55 เนื่องจากน้ำเสียที่นำมาทดลองได้ผ่านการบำบัดมาแล้วจึงเหลือสารอินทรีย์ที่ ย่อยได้ยาก ผู้วิจัยตัดสินใจเปลี่ยนน้ำเสียจากฟาร์มเลี้ยงสุกรเป็นน้ำเสียจริงจากอาคารชุดนิติบุคคล ปทุมวัน คอนโดมิเนียม เพลส และนำหัวเชื้อตะกอนจุลินทรีย์ (Seed) จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบ ตะกอนเร่งที่คอนโดมิเนียมจำนวน 5 ลิตรเทใส่ระบบ น้ำเสียจะถูกสูบจาก Septic Tank แล้วป้อน เข้าสู่ระบบ โดยมีค่าซีไอดีน้ำเข้าระบบอยู่ในช่วง 250-260 มก./ล. ที่อัตราการไหล 240 ลิตรต่อวัน เพื่อให้ได้ค่าการบำบัดทุกสารอินทรีย์และค่าการบำบัดทุกทางพลศาสตร์เท่ากับ 6.67 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน และ 0.5 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม.ตามลำดับ

การควบคุมการทำงานของระบบเช่นเดียวกับการทดลองในช่วงที่สอง แต่เปลี่ยนแปลงค่า ความถี่ในการสลับการทำงานที่ใช้เท่ากับ 24 ชม. 12 ชม. และ 4 ชม. ผลการศึกษาพบว่า ค่าซีไอดี ชนิดกรองของน้ำออกจากถังกรองมีค่าเท่ากับ 33 , 42 และ 47 มก./ล.ตามลำดับ และค่าที่เคเอ็น ชนิดกรองของน้ำออกจากถังกรองมีค่าเท่ากับ 15 , 12 และ 9 มก./ล.ตามลำดับ ดังนั้นระบบ สามารถกำจัดสารอินทรีย์และไนโตรเจนไปพร้อมๆกันได้ เนื่องจากการกำจัดไนโตรเจนต้องใช้ กระบวนการไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชันตามลำดับ และการสลับการทำงานของถังปฏิกรณ์ และถังกรอง ทำให้เชื้อตะกอนจุลินทรีย์ที่มีในระบบเป็นแบบแอโรบิกและแฟคัลเททีฟ ดังนั้นเพื่อให้ มีความเหมาะสมของเชื้อตะกอนจุลินทรีย์จึงเลือกค่าระยะเวลาสลับการทำงานทุก 4 ชม.และ เปลี่ยนการควบคุมการทำงานของระบบจากควบคุมด้วยมือ (Manual) เป็นควบคุมแบบอัตโนมัติ เพื่อความสะดวกในการทำงานวิจัย

ตารางที่ 4.1 จะแสดงค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของพารามิเตอร์ต่างๆของการ ทดลองทั้ง 6 ชุดในช่วงสภาวะคงตัว (Steady State) และรูป 4.1 แสดงถึงสมมูลมวลของระบบเพื่อ ใช้คำนวณค่าพารามิเตอร์ต่างๆ

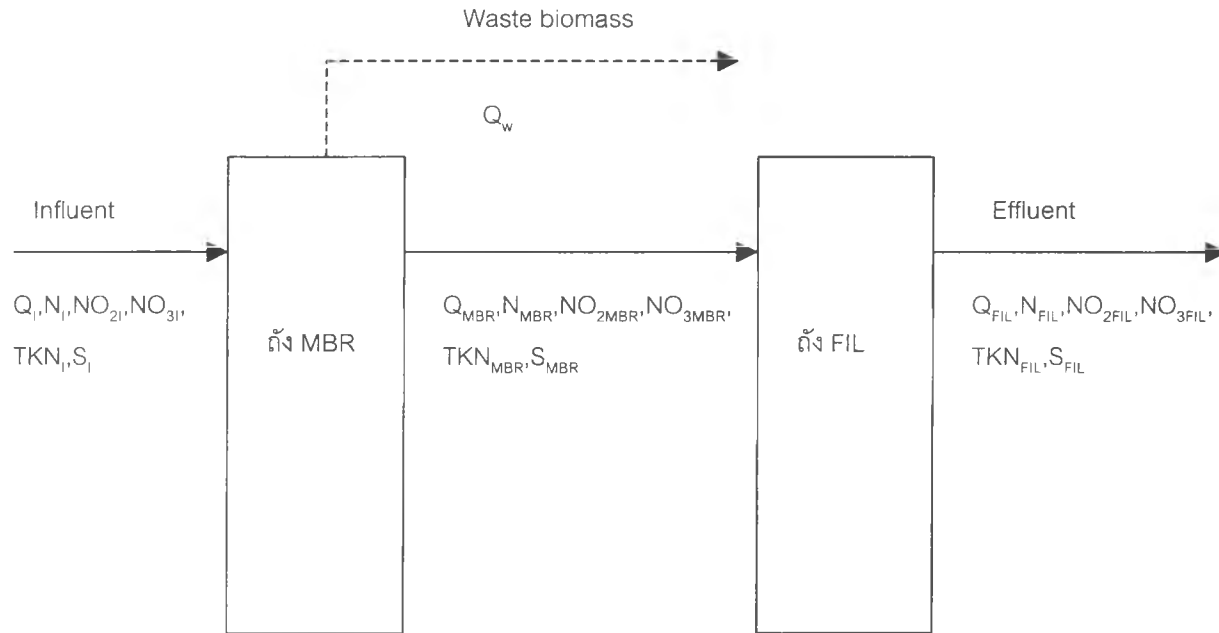
ตารางที่ 4.1 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานแต่ละชุดการทดลองในช่วงสภาวะคงตัว

ชุดการทดลองที่	จุดเก็บตัวอย่าง	พารามิเตอร์																									
		pH		Temp(เซลเซียส)		DO(มก./ล.)		Alk.(มก./ล.CaCO3)		COD(มก./ล.)		NH3-N(มก./ล.)		TKN(มก./ล.)		NO2-N(มก./ล.)		NO3-N(มก./ล.)		TN(มก./ล.)		MLSS(มก./ล.)		MLVSS(มก./ล.)		BOD(มก./ล.)	
		Ave.	S.D.	Ave.	S.D.	Ave.	S.D.	Ave.	S.D.	Ave.	S.D.	Ave.	S.D.	Ave.	S.D.	Ave.	S.D.	Ave.	S.D.	Ave.	S.D.	Ave.	S.D.	Ave.	S.D.	Ave.	S.D.
1 n = 6	น้ำเข้า	7.84	0.05	27.6	0.49	0.00	0.00	233	5.64	260	11.5	39	1.17	48.3	1.6	0.01	0.01	0.09	0.02	48.4	1.67	105	30.83	73	23.4	140	2.8
	MBR	7.23	0.03	27.6	0.54	4.08	0.12	47	3.88	55	5.3	0.7	0.13	4.1	0.43	0.72	0.11	0.6	0.05	5.4	2.29	193	35.1	169	28.9	8	0
	FIL	7.25	0.04	27.6	0.62	0.04	0.04	91	4.61	46	2.66	3	0.4	3.9	1.48	0.40	0.08	0.52	0.04	4.9	2.90	11	1.68	10	1.36	8	0.7
2 n = 7	น้ำเข้า	7.58	0.09	28.4	0.3	0.00	0.00	175	4.85	122	7.95	19.5	0.68	22.3	2.2	0.01	0.01	0.09	0.02	22.4	2.18	30	3.41	29	3.7	72	9.2
	MBR	7.11	0.04	28.4	0.26	3.74	0.15	55	1.77	23	3.02	0.8	0.13	3	0.82	0.46	0.02	0.53	0.03	4.00	0.81	107	5.59	98	4.38	5	2.1
	FIL	7.22	0.04	28.4	0.24	0.38	0.08	81	1.86	18	3.15	1.7	0.14	2.4	0.26	0.40	0.03	0.42	0.03	3.2	0.27	8	1.86	7.4	1.51	6	1.4
3 n = 6	น้ำเข้า	7.81	0.06	28.12	0.18	0.00	0.00	142	4.4	60	3.88	9.4	0.29	12.51	0.27	0.00	0.00	0.08	0.02	12.6	0.27	12	1.63	11	2.1	33	1.41
	MBR	7.63	0.13	28.3	0.1	5.00	0.27	80	1.63	11	3.01	0.8	0.15	1.8	0.19	0.37	0.04	0.27	0.01	2.4	0.21	22	1.47	20	1.67	4	1.41
	FIL	7.62	0.1	28.2	0.14	1.22	0.14	89	6.5	9	1.63	1	0.17	1.3	0.11	0.45	0.05	0.26	0.01	2	0.14	3.3	0.81	3.3	0.81	4	0.71
4 n = 8	น้ำเข้า	7.21	0.03	28.3	0.19	0.00	0.00	534	1.98	502	14	52.2	0.26	59.1	1.43	0.01	0.01	0.11	0.01	59.2	1.43	102	7.12	84	7.13	311	12.7
	MBR	7.59	0.02	28.5	0.27	1.69	0.08	95	10.1	65	6.67	8	0.4	13.8	0.71	3.83	0.10	0.51	0.02	18.1	0.71	676	21	597	16	10	0.7
	FIL	7.63	0.02	28.2	0.18	0.29	0.06	121	6.71	64	3.24	8.4	0.3	13.4	2.02	0.95	0.07	0.22	0.01	14.6	20.3	40	2	37	1.72	7	1.4
5 n = 7	น้ำเข้า	7.8	0.13	28.7	0.36	0.00	0.00	228	6.26	255	21.3	37.7	3.8	47.8	3.03	0.00	0.00	0.1	0.01	47.9	3.04	87	19	76	18	138	2.8
	MBR	7.67	0.05	28.8	0.37	3.14	0.27	155	20	45	10.2	17.4	2.16	20.9	1.58	0.45	0.09	0.28	0.04	21.7	1.59	351	18	306	19	19	1.4
	FIL	7.71	0.19	28.8	0.41	0.29	0.07	177	11.8	44	5.22	19.4	2.82	21.9	1.49	0.10	0.04	0.09	0.01	22.1	1.49	20	2.37	20	1.98	15	1.4
6 n = 8	น้ำเข้า	7.91	0.04	28.3	0.31	0.00	0.00	165	8.63	134	7.07	20.41	0.21	23	0.74	0.08	0.01	0.12	0.02	23.2	0.76	59	12	50	10.6	76	2.8
	MBR	7.86	0.03	28.4	0.24	3.39	0.09	140	1.41	41	3.33	12.9	0.15	21.1	1.1	0.24	0.03	0.21	0.02	21.5	1.12	105	7.16	92	4.5	27	1.4
	FIL	7.12	0.02	28.4	0.27	0.81	0.07	138	1.06	41	4.99	18	0.97	20.8	1.24	0.50	0.03	0.2	0.01	21.5	1.23	29	1.69	27	1.55	27	1.4

หมายเหตุ n = จำนวนชุดข้อมูล

MBR = ถังปฏิกรณ์

FIL = ถังกรอง



สัญลักษณ์

$Q_I$  = อัตราการไหลของน้ำเสียเข้าระบบ

$Q_W$  = อัตราการระบายตะกอนจุลินทรีย์ 12 ลิตร/วัน

$N$  = ความเข้มข้นของแอมโมเนีย

$NO_2$  = ความเข้มข้นของไนไตรต์

$NO_3$  = ความเข้มข้นของไนเตรต

$TKN$  = ความเข้มข้นของทีเคเอ็น

$S$  = ความเข้มข้นของซีโอดี, บีโอดี

$I$  = ของน้ำเสียเข้า

$MBR$  = ของถังปฏิกรณ์

$FIL$  = ของถังกรอง

$W$  = ของระบายตะกอนจุลินทรีย์

รูปที่ 4.1 ดุลย์มวลไนโตรเจนของระบบ

## 4.2 อัตราการทิ้งของแข็ง

ค่าอัตราการทิ้งของแข็งจะทำให้สามารถคำนวณของแข็งที่ต้องถูกกำจัดเมื่อระบบรับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่ค่าต่างๆ ทำให้สามารถใช้เป็นแนวทางในการออกแบบระบบกำจัดตะกอนของแข็งที่เกิดขึ้นต่อไป ตารางที่ 4.2 แสดงค่าการหาอัตราการทิ้งของแข็งต่อการกำจัดซีโอดีแต่ละชุดการทดลอง

จากข้อมูลในตารางที่ 4.2 ในชุดการทดลองที่ 1 ถึง 3 ที่มีภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 6.67 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีอัตราการทิ้งของแข็งของระบบอยู่ในช่วง 0.06 ถึง 0.12 กก.เอสเอส/กก.ซีโอดีทั้งหมดที่ถูกกำจัด และในชุดการทดลองที่ 4 ถึง 6 ที่มีภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 13.33 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีอัตราการทิ้งของแข็งของระบบอยู่ในช่วง 0.09 ถึง 0.33 กก.เอสเอส/กก.ซีโอดีทั้งหมดที่ถูกกำจัด

## 4.3 ค่าอายุตะกอน (Sludge Age)

อายุตะกอน (Sludge Age) หมายถึง ระยะเวลาเฉลี่ยที่ตะกอนจุลินทรีย์หมุนเวียนอยู่ในระบบ (Mean Cell Residence Time) เป็นค่าที่สำคัญในการออกแบบและควบคุมการทำงานของระบบ สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{อายุตะกอน(วัน)} &= \frac{\text{น้ำหนักของจุลินทรีย์ในถังเติมอากาศ}}{\text{น้ำหนักของจุลินทรีย์ที่ออกจากระบบต่อวัน}} \\ &= \frac{\text{น้ำหนักตะกอนจุลินทรีย์ในถังเติมอากาศ (ระบบ)}}{(\text{น้ำหนักตะกอนจุลินทรีย์ส่วนเกินที่นำไปทิ้ง} + \text{น้ำหนักตะกอนจุลินทรีย์ที่ออกมาพร้อมกับน้ำออก})} \end{aligned}$$

โดย ปริมาณจุลินทรีย์ในระบบ = จุลินทรีย์ที่ลอยอยู่ในน้ำเสียในถังปฏิกรณ์ + จุลินทรีย์ที่เกาะที่ผิวของตัวกลางในถังปฏิกรณ์

ตารางที่ 4.2 ค่าอัตราการทิ้งของแข็งต่อการกำจัดซีโอดีของทุกชุดการทดลอง

ชุดการทดลอง	1	2	3	4	5	6
ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ (กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน)	6.67			13.33		
ภาวะบรรทุกขดศาสตร์ (ลบ.ม./ตร.ม.-ชม.)	0.5	1.0	2	0.5	1.0	2.0
(1)ของแข็งแขวนลอยในน้ำทิ้ง (มก./ล)	10	7	3	10	17	29
(2)ปริมาณน้ำทิ้ง (ล./วัน)	240	480	960	240	480	960
(3)ของแข็งแขวนลอยในน้ำทิ้ง (ก./วัน) (3)=[(1)x(2) / 1000]	2.40	3.36	2.88	2.40	8.16	27.84
(4)ของแข็งแขวนลอยในน้ำระบาย ตะกอนจุลินทรีย์(มก./ล.)	191	107	22	620	304	120
(5)ปริมาณน้ำระบายตะกอน (ล./วัน)	12	12	12	12	12	12
(6)ของแข็งแขวนลอยในน้ำระบาย ตะกอน(ก./วัน) (6)=[(4)x(5) / 1000]	2.29	1.28	0.26	7.44	3.65	1.44
(7)ของแข็งแขวนลอยทิ้ง (ก./วัน) (7)=(3) + (6)	4.69	4.64	3.14	9.84	11.81	29.28
(8)ซีโอดีในน้ำเข้า (มก./ล.)	257	122	60	502	255	134
(9)ซีโอดีในน้ำทิ้ง (มก./ล.)	45	40	9	64	43	41
(10)ซีโอดีที่ถูกกำจัดไป (มก./ล.) (10)=(8) – (9)	212	82	51	438	212	93
(11)ซีโอดีที่ถูกกำจัดไป (ก./วัน) (11)=[(10)x(2) / 1000]	50.88	39.36	48.96	105.12	101.76	89.28
(12)อัตราการทิ้งของแข็งต่อการกำจัด ซีโอดี (กก.เอสเอส/กก.ซีโอดีทั้งหมด ที่ถูกกำจัด) (12)=(10) / (11)	0.09	0.12	0.06	0.09	0.12	0.33

ตารางที่ 4.3 แสดงการคำนวณหาอายุตะกอนของแต่ละชุดการทดลอง จากข้อมูลใน ตารางที่ 4.3 อาจกล่าวได้ว่าที่ค่าภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากัน เมื่อเพิ่มค่าภาระบรรทุกทางสารอินทรีย์ ทำให้แนวโน้มของอายุตะกอนต่ำลง เช่นชุดการทดลองที่ 1 และ 4 มีค่าภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 0.5 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. และมีค่าภาระบรรทุกทางสารอินทรีย์เท่ากับ 6.67 และ 13.33 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน. ตามลำดับ มีค่าอายุตะกอนเท่ากับ 12.36 วัน และ 4.77 วัน ตามลำดับ และมีความสอดคล้องกับ ชุดการทดลองที่ 2 และ 5 ชุดการทดลองที่ 3 และ 6 คือเมื่อค่าภาระบรรทุกทางสารอินทรีย์เพิ่มขึ้นทำให้ ค่าอายุตะกอนต่ำลง ทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจากการเพิ่มค่าภาระบรรทุกทางสารอินทรีย์ทำให้ระบบมี ปริมาณสารอาหารให้จุลินทรีย์มากส่งผลให้ปริมาณจุลินทรีย์ในระบบเพิ่มขึ้น ดังนั้นจุลินทรีย์ที่เพิ่ม ขึ้นมานี้มีโอกาสหลุดไปกับน้ำที่จากถังกรองสูงขึ้น

นอกจากนี้ยังพบว่าที่ชุดการทดลองที่ 1 2 และ 3 มีค่าภาระบรรทุกทางสารอินทรีย์เท่ากับ 6.67 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน และค่าภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 0.5 1.0 และ 2.0 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. มี ค่าอายุตะกอนเท่ากับ 12.36 วัน 12.45 วัน และ 12.13 วัน ตามลำดับ พบว่าที่ค่าภาระบรรทุกทาง สารอินทรีย์เท่ากัน เมื่อเพิ่มภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ทำให้แนวโน้มของอายุตะกอนมีค่าลดลงซึ่งสอดคล้องกับชุดการทดลองที่ 4 5 และ 6 ซึ่งมีค่าภาระบรรทุกทางสารอินทรีย์เท่ากับ 13.33 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.- วัน และค่าภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 0.5 1.0 และ 2.0 ลบ.ม./ ตร.ม.-ชม. มีค่าอายุตะกอนเท่ากับ 4.77 วัน 4.54 วัน และ 1.77 วัน ตามลำดับ

ชุดการทดลองที่ 6 ค่าอายุตะกอนมีค่าต่ำสุดคือ 1.77 วัน เนื่องจากจุลินทรีย์ที่มีมากขึ้น ตามภาระบรรทุกทางสารอินทรีย์ที่สูงขึ้นถูกไล่ล้าง(Wash Out)ออกไปจากระบบเมื่อค่าภาระบรรทุก ทางชลศาสตร์เท่ากับ 2.0 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม.

#### 4.4 การหาค่าพารามิเตอร์จลน์ ( $Y$ และ $k_d$ )

การหาค่า  $Y$  และ  $k_d$  มีพื้นฐานมาจากสมการที่ 4.1 และ 4.2 ดังนี้

$$1/\theta_c = YU - K_d \quad \dots\dots(4.1)$$

$$U = Q(S_0 - S) / M_T \quad \dots\dots(4.2)$$

ตารางที่ 4.3 การคำนวณหาค่าอายุตะกอนของทุกชุดการทดลอง

ชุดการทดลอง	1	2	3	4	5	6
ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ (กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน)	6.67			13.33		
ภาวะบรรทุกชลศาสตร์ (ลบ.ม./ตร.ม.-ชม.)	0.5	1.0	2.0	0.5	1.0	2.0
(1)ปริมาณจุลินทรีย์ในน้ำออก (มก./ล.)	10	7	3	37	20	27
(2)ปริมาณน้ำออก (ล./วัน)	240	480	960	240	480	960
(3)ปริมาณจุลินทรีย์ในน้ำออก (ก./วัน) (3)=[(1)x(2) / 1000]	2.40	3.36	2.88	8.88	9.60	25.92
(4)ปริมาณจุลินทรีย์ในน้ำระบายตะกอน (มก./ล.)	166	98	20	620	304	150
(5)ปริมาณน้ำระบายตะกอน (ล./วัน)	12	12	12	12	12	12
(6)ปริมาณจุลินทรีย์ในน้ำระบายตะกอน (ก./วัน) (6)=[(4)x(5) / 1000]	1.99	1.18	0.24	7.16	3.67	1.10
(7)ปริมาณจุลินทรีย์ทิ้ง (ก./วัน) (7)=(3)+(6)	4.39	4.54	3.12	16.04	13.27	27.02
(8)ปริมาณจุลินทรีย์ในน้ำแขวนลอย (มก./ล.)	1100	900	650	2140	1850	970
(9)ปริมาณจุลินทรีย์ในน้ำแขวนลอย (ก.) (9)=[(8)x20 / 1000]	22.00	18.00	13.00	42.80	37.00	19.40
(10)ปริมาณจุลินทรีย์ที่ผิวตัวกลาง(ก.)	32.3	38.46	24.84	33.7	23.2	28.4
(11)ปริมาณจุลินทรีย์ในระบบ (ก./วัน) (11)=(10)+(9)	54.30	56.46	37.84	76.50	60.20	47.80
(12)อายุตะกอน (วัน) (12)=(11) / (7)	12.36	12.45	12.13	4.77	4.54	1.77

หมายเหตุ : (8)ปริมาณจุลินทรีย์ในน้ำแขวนลอย (มก./ล.)( แสดงในภาคผนวก ก. 7)

(10)ปริมาณมวลจุลินทรีย์ที่เกาะติดผิวตัวกลาง(แสดงในภาคผนวก ก. 8)



โดย	$\theta_c$	=	อายุตะกอน (วัน)
	$Y$	=	ค่าสัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ (มก.MLVSS / มก.COD)
	$U$	=	อัตราการใช้สารอาหารต่อมวลจุลินทรีย์ (วัน <sup>-1</sup> )
	$K_d$	=	สัมประสิทธิ์อัตราการตายของจุลินทรีย์ (วัน <sup>-1</sup> )
	$Q$	=	อัตราการไหลของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบ (ลิตร/วัน)
	$S_0$	=	ความเข้มข้นของซีโอดีในน้ำเข้า (มก./ล.)
	$S$	=	ความเข้มข้นของซีโอดีในน้ำออก (มก./ล.)
	$M_T$	=	มวลจุลินทรีย์ทั้งหมดในระบบ (มก.)

จากสมการข้างต้นสามารถคำนวณหาค่า  $U$  ในแต่ละอายุตะกอนได้ตามตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 การคำนวณค่า  $U$  ตามอายุตะกอน

ชุดการทดลอง	$\theta_c$ (วัน)	$1/\theta_c$ (วัน <sup>-1</sup> )	$S_0$ (มก./ล.)	$S$ (มก./ล.)	$M_T$ (มก.)	$U$ (วัน <sup>-1</sup> )
1	12.36	0.081	257	45	54.3	0.94
2	12.45	0.080	122	18	56.46	0.88
3	12.13	0.082	60	9	37.84	1.29
4	4.77	0.210	502	64	76.50	1.37
5	4.54	0.220	255	43	60.20	1.69
6	1.77	0.565	134	41	47.80	1.87

จากตารางที่ 4.4 นำผลการคำนวณที่ได้มาเขียนกราฟระหว่างค่า  $1/\theta_c$  กับ  $U$  จะได้กราฟดังแสดงในรูปที่ 4.2 ซึ่งใช้ข้อมูล 5 ชุดการทดลอง เนื่องจากในชุดการทดลองที่ 6 เกิดการไล่ล้างซึ่งค่าอายุตะกอนที่ได้นี้ไม่ใช่ค่าอายุตะกอนที่เหมาะสมที่จะหาความสัมพันธ์ดังกล่าว

จากรูปที่ 4.2 จะได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง  $1/\theta_c$  เป็นฟังก์ชันของ  $U$  โดยมีลักษณะเป็นเส้นตรงตามสมการ

$$1/\theta_c = YU - K_d$$

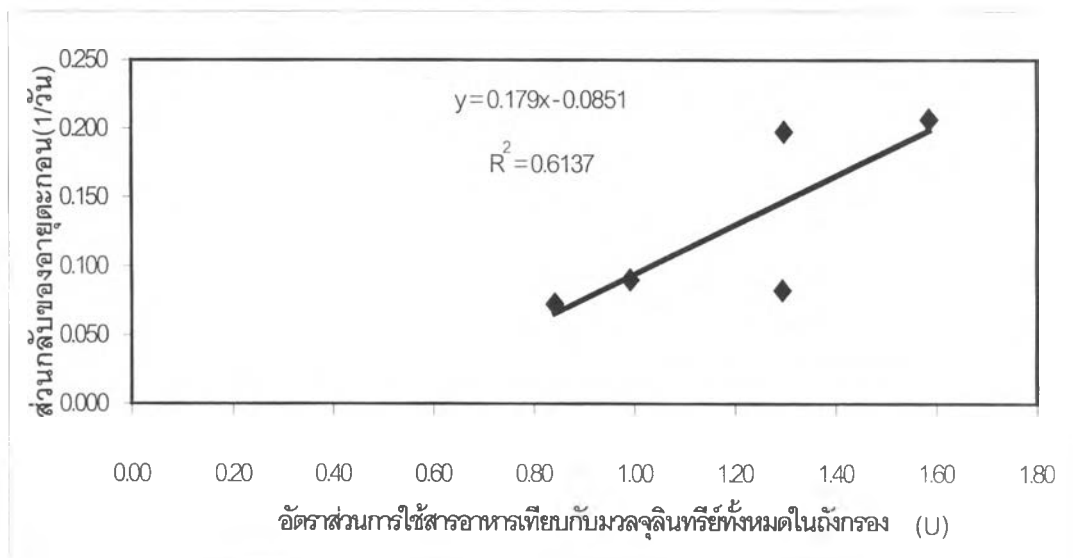
$$1/\theta_c = 0.179U - 0.0851$$

ดังนั้น

$$\text{ค่าความชัน} = Y = 0.179 \quad \text{มก.MLVSS/มก.COD}$$

$$\text{จุดตัดแกน } y = -k_d = -0.0851$$

$$\text{ดังนั้น} \quad k_d = 0.0851 \quad \text{วัน}^{-1}$$



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง  $1/\theta_c$  กับ  $U$

จากข้อมูลในรูปที่ 4.2 ค่าความน่าเชื่อถือ ( $R^2$ ) มีค่าไม่สูงนัก ทำให้ค่าพารามิเตอร์จลน์ที่คำนวณได้นี้มีความคลาดเคลื่อนบ้าง เนื่องจากความผิดพลาดของการหามวลจุลินทรีย์ในตัวอย่างซึ่งเทียบโดยน้ำหนัก ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของมวลจุลินทรีย์รวมในระบบ ส่งผลต่อค่า  $U$  และ  $\theta_c$

## 4.5 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

### 4.5.1 ค่าความเป็นกรดต่าง (pH)

ค่าความเป็นกรดต่าง (พีเอช) ในการทดลองทั้ง 6 ชุด แสดงในรูปที่ 4.3 และสรุปค่าความเป็นกรดต่างที่สภาวะคงตัวในตารางที่ 4.5

จากตารางที่ 4.5 ค่าพีเอชในน้ำเสียอยู่ในช่วงระหว่าง 7.11 ถึง 7.91 และทุกชุดการทดลองค่าพีเอชในถังปฏิกรณ์จะมีค่าลดลงอันเนื่องมาจาก 2 กระบวนการที่เกิดขึ้นในระบบคือ กระบวนการไนตริฟิเคชัน และกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบใช้ออกซิเจน โดยในกระบวนการแรกจะผลิต  $H^+$  และ  $H^+$  นี้จะไปทำลายสภาพด่างที่มีในระบบทำให้ค่าพีเอชลดลง ส่วนกระบวนการที่สองผลิตที่ได้ เป็น  $CO_2$  ซึ่งปกติจะถูกไล่ออกไปพร้อมกับกำมะถันออกซิเจนให้ระบบ

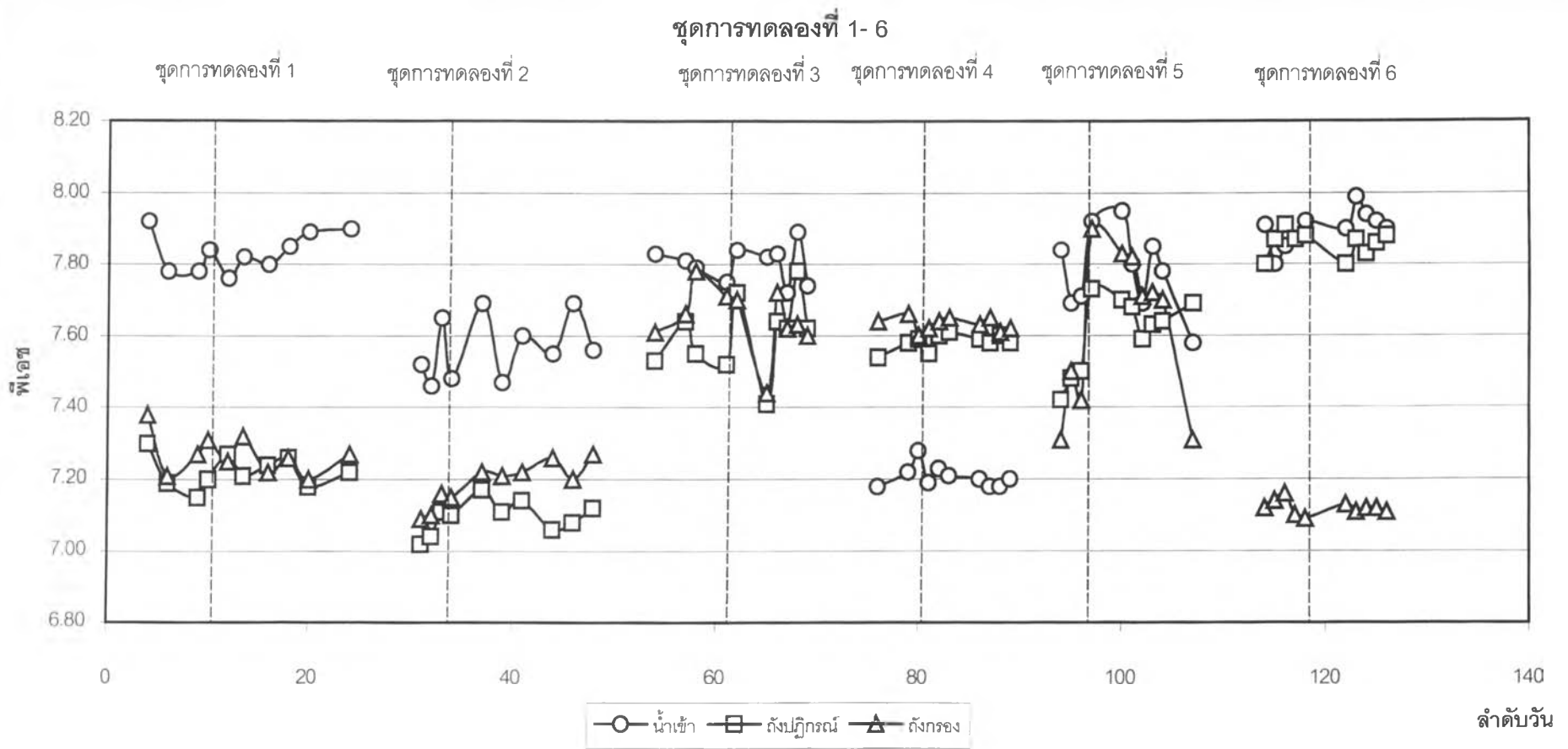
ถังกรองมีค่าพีเอชสูงขึ้นมาอีกเล็กน้อย อันเนื่องมาจากการเกิดกระบวนการดีไนตริฟิเคชันซึ่งทำให้สภาพด่างสูงขึ้น

ตารางที่ 4.5 สรุปค่าพีเอชในตำแหน่งต่างๆของระบบที่สภาวะคงตัว

ชุดการทดลอง	น้ำเสียเข้า	ถังปฏิกรณ์	ถังกรอง
1	7.84	7.23	7.26
2	7.58	7.11	7.22
3	7.81	7.63	7.62
4	7.21	7.59	7.63
5	7.80	7.59	7.71
6	7.91	7.86	7.12

Mohamed และ Hamed (1998) กล่าวว่า ค่าพีเอชในระบบ อยู่ในช่วง 7.0-8.2 ซึ่งเป็นช่วงค่าที่เหมาะสมสำหรับการเกิดไนตริฟิเคชัน และระบบที่มี บัฟเฟอร์อย่างเพียงพอ การลดลงของ pH ในระบบ เนื่องจากการทำลายสภาพด่าง

ธงชัย พรรณสวัสดิ์ (2544:103) กล่าวว่า พีเอชที่เหมาะสมสำหรับระบบสลัดจ์ผสม คือมีจุลินทรีย์ชนิดดีไนตริไฟเออร์และไนตริไฟเออร์ ควรมีค่าอยู่ในช่วง 7.5 – 8.0



รูปที่ 4.3 พีเอชของทุกชุดการทดลอง

#### 4.5.2 ค่าอุณหภูมิ (Temperature)

ค่าอุณหภูมิในการทดลองทั้ง 6 ชุดแสดงในรูปแบบที่ 4.4 และสรุปค่าอุณหภูมิที่สภาวะคงตัวในตารางที่ 4.6

ค่าอุณหภูมิทุกตำแหน่งในระบบจะมีค่าใกล้เคียงกัน โดยอยู่ในช่วง 27.67 ถึง 28.81 องศาเซลเซียส ซึ่งอยู่ในช่วง Mesophilic คือ ตั้งแต่ 20 ถึง 45 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิในช่วง Mesophilic ยังเหมาะสมในการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่สุด (Optimum growth temperature) โดยจุลินทรีย์จะแบ่งตัวได้อย่างรวดเร็วที่อุณหภูมินี้

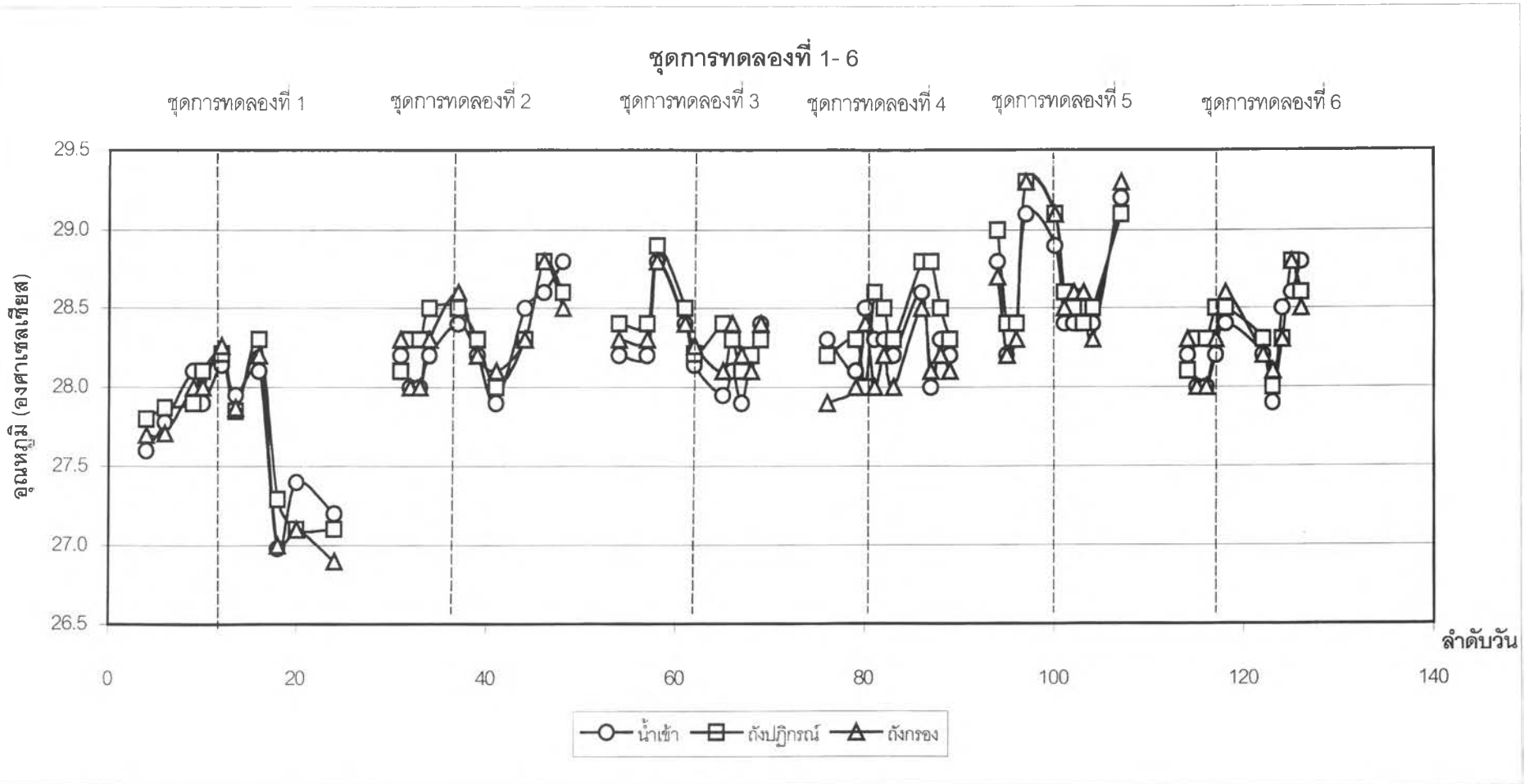
ตารางที่ 4.6 ค่าอุณหภูมิในตำแหน่งต่างๆของระบบที่สภาวะคงตัว

ชุดการทดลอง	น้ำเสียเข้า	ถังปฏิกรณ์	ถังกรอง
1	27.67	27.71	27.62
2	28.37	28.43	28.40
3	28.12	28.25	28.24
4	28.30	28.48	28.19
5	28.70	28.79	28.81
6	28.33	28.41	28.35

หน่วย : องศาเซลเซียส

เนื่องจากระบบเป็นระบบเปิด อุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆจะเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพภูมิอากาศ ในชุดการทดลองที่ 1 ค่าอุณหภูมิจะต่ำกว่าชุดการทดลองอื่นๆ โดยชุดการทดลองที่ 1 ทำการทดลองในช่วงต้นเดือนพฤศจิกายน โดยมีค่าอุณหภูมิต่ำสุดเท่ากับ 26.9 องศาเซลเซียส

จากตารางที่ 4.6 พบว่าอุณหภูมิภายในถังปฏิกรณ์จะสูงกว่าน้ำออกและน้ำเสียเข้า อันเนื่องมาจากการที่ระบบมีการเติมออกซิเจนซึ่งเป็นตัวนำความร้อนเข้าสู่ถังปฏิกรณ์ และจากช่วงอุณหภูมิที่ใกล้เคียงกันทุกชุดการทดลอง ทำให้ไม่สามารถสรุปได้ถึงว่าอุณหภูมิมีผลกระทบต่อการทำงานของระบบอย่างไรบ้าง



รูปที่ 4.4 จำนวนยุงของทุกชุดการทดลอง

### 4.5.3 ค่าออกซิเจนละลายน้ำ (DO)

ค่าออกซิเจนละลายน้ำในการทดลองทั้ง 6 ชุดแสดงในรูปที่ 4.5 และสรุปค่าออกซิเจนละลายน้ำที่สภาวะคงตัวในตารางที่ 4.7

ค่าออกซิเจนละลายเป็นพารามิเตอร์หนึ่งที่ใช้ควบคุมระบบและควรมีค่ามากกว่า 2 มก./ล. เพื่อให้สารอาหารเป็นตัวจำกัดในการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ (Food Limiting Factor)

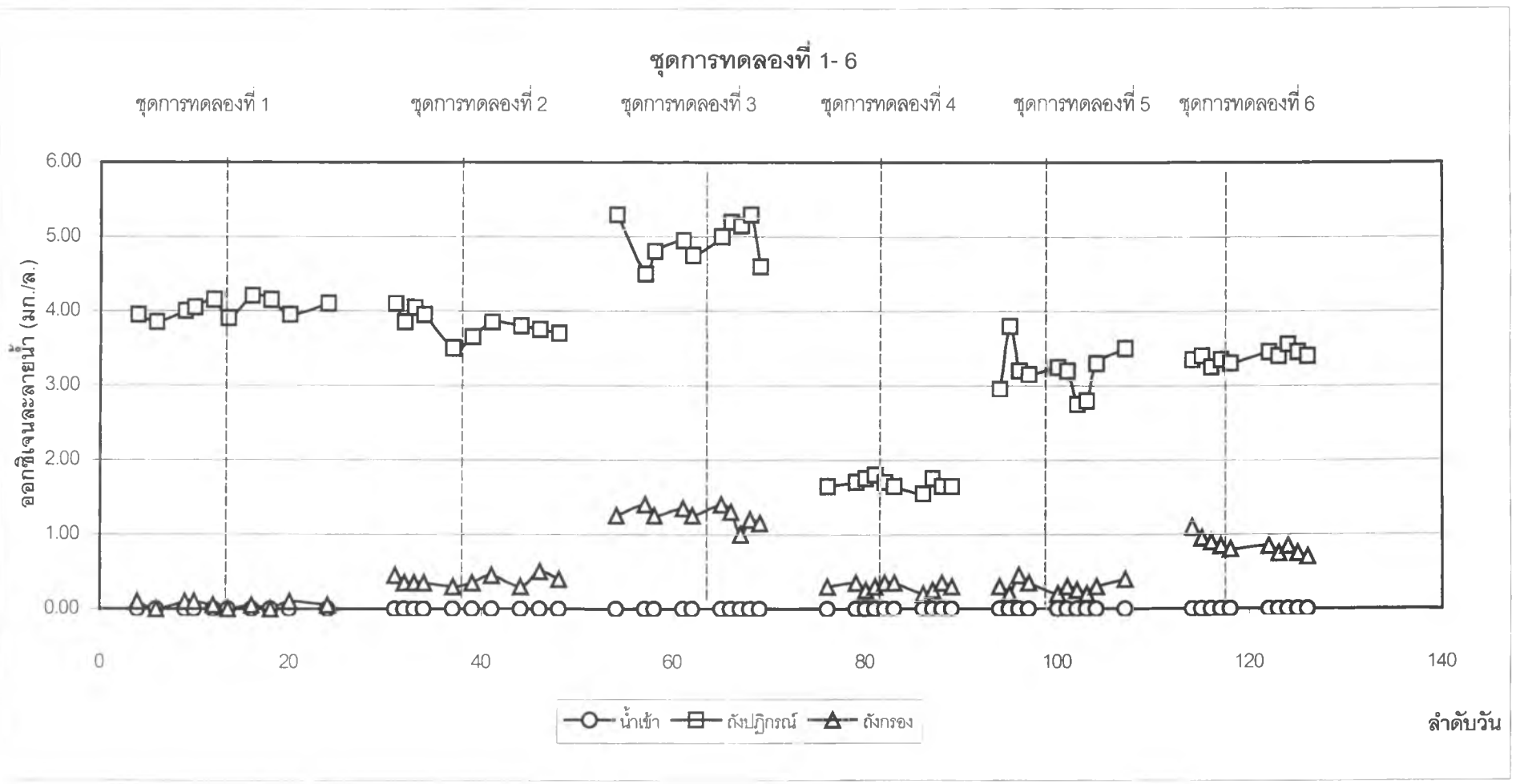
ตารางที่ 4.7 ค่าออกซิเจนละลายน้ำในตำแหน่งต่างๆของระบบที่สภาวะคงตัว

ชุดการทดลอง	น้ำเสียเข้า	ถังปฏิกรณ์	ถังกรอง
1	0.00	4.07	0.05
2	0.00	4.64	0.68
3	0.00	5.00	1.22
4	0.00	1.69	0.29
5	0.00	3.14	0.35
6	0.00	3.39	0.81

หน่วย : มก./ล.

จากตารางที่ 4.7 ค่าออกซิเจนละลายน้ำในถังปฏิกรณ์แต่ละชุดการทดลองมีค่ามากกว่า 2 มก./ล. ยกเว้นในชุดการทดลองที่ 4 มีค่าต่ำกว่า 2 มก./ล. เนื่องจาก ค่าซีโอดีน้ำเสียเข้าประมาณ 500 มก./ล. ทำให้มีความต้องการใช้ออกซิเจนเพื่อเป็นตัวรับอิเล็กตรอนมากขึ้น ทำให้ค่าออกซิเจนละลายน้ำในชุดการทดลองนี้ต่ำลงมาก โดยในวันที่สองของการเดินระบบผู้วิจัยทำการวิเคราะห์หาค่าออกซิเจนละลายน้ำพบว่ามีความเท่ากับ 0.8 มก./ล. จึงได้ทำการแก้ไขโดยการปรับอัตราการไหลของอากาศให้สูงขึ้นจากเดิม 10 ลบ.ม./ชม.เป็น 20 ลบ.ม./ชม.แล้วทำการวิเคราะห์ค่าออกซิเจนละลายน้ำอีกครั้ง พบว่ามีค่าออกซิเจนละลายน้ำเท่ากับ 1.69 มก./ล. แต่ผู้วิจัยหลีกเลี่ยงที่จะปรับอัตราการไหลของอากาศให้สูง เนื่องจากมอเตอร์ของเครื่องอัดอากาศจะไม่มีเวลาหยุดพักการทำงาน อันเป็นสาเหตุให้เกิดความเสียหายได้ ผู้วิจัยตัดสินใจเดินระบบที่อัตราการไหลของอากาศเท่ากับ 20 ลบ.ม./ชม.ในชุดการทดลองที่ 4

Zhang และคณะ (1994) ทำการศึกษาการแข่งขันการใช้สารอาหารในฟิล์มจุลินทรีย์พบว่า ที่อัตราการบรรทุกสารอินทรีย์(Organic Loading Rate)เพิ่มขึ้น เป็นสาเหตุการลดลงของค่าความเข้มข้นออกซิเจนละลายน้ำในฟิล์มจุลินทรีย์



รูปที่ 4.5 ออกซิเจนละลายน้ำของทุกชุดการทดลอง



#### 4.5.4 ค่าซีไอดี (Chemical Oxygen Demand : COD) และค่าบีไอดี (Biological Oxygen Demand : BOD)

ค่าซีไอดีและบีไอดีของการทดลองทั้ง 6 ชุดแสดงในรูปที่ 4.6 4.7 และ 4.8

ค่าซีไอดีและบีไอดีเป็นการวัดค่าออกซิเจนละลายน้ำที่แบคทีเรียต้องการใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ ดังนั้นพารามิเตอร์เหล่านี้สามารถบ่งชี้ถึงความเข้มข้นของสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำเสีย เนื่องจากซีไอดีสามารถหาค่าได้ง่ายและรวดเร็วกว่าค่าบีไอดี ดังนั้น ในทางปฏิบัติจะใช้ซีไอดีเป็นตัวบ่งชี้ความสกปรกของน้ำ แต่บีไอดีจะใช้เป็นมาตรฐานน้ำทิ้ง ซึ่งกำหนดไว้ที่ 20 มก./ล.

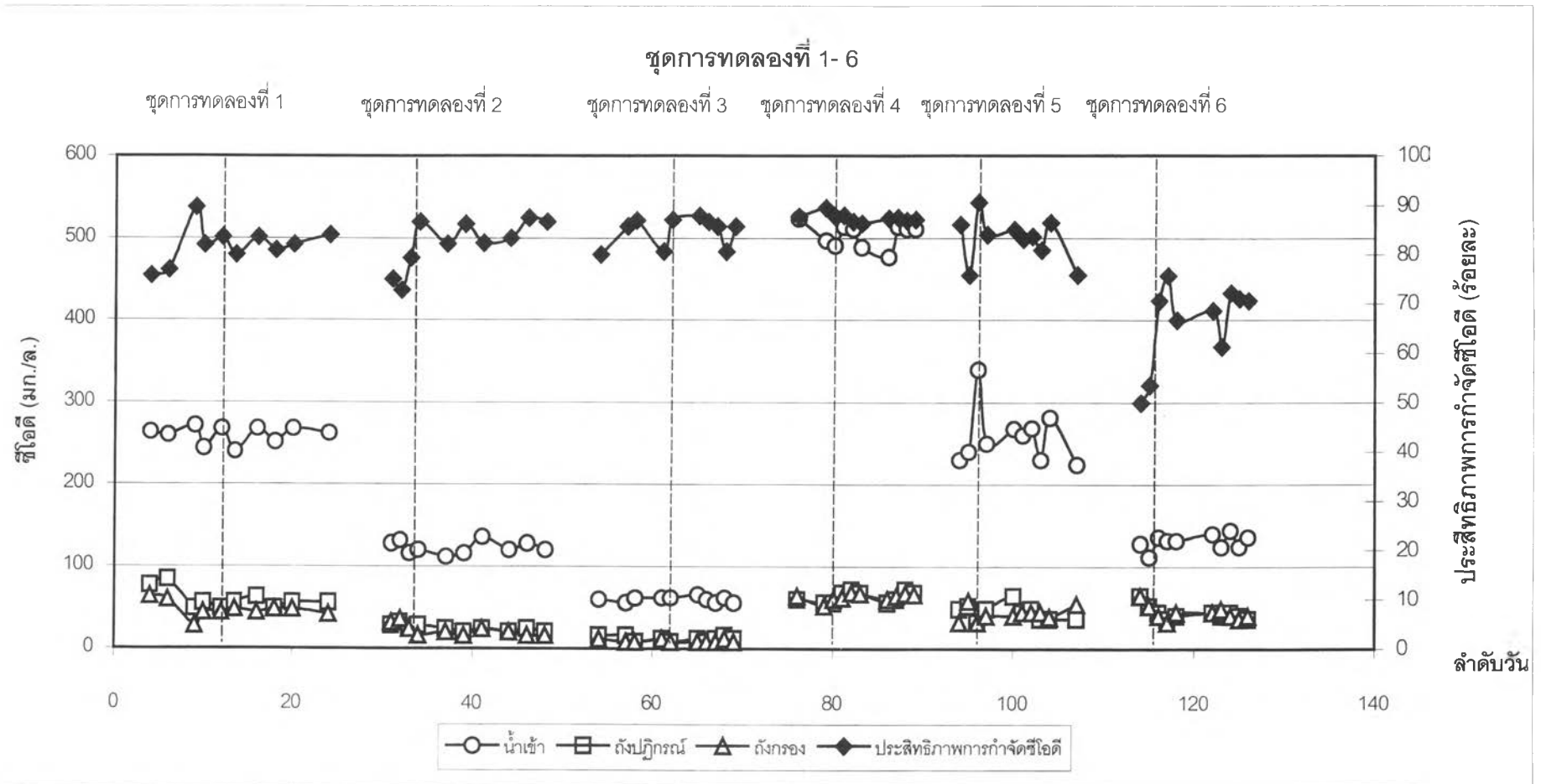
ตารางที่ 4.8 และ รูปที่ 4.9 จะแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าซีไอดีและบีไอดีทั้ง 6 ชุดการทดลองของน้ำเสียเข้า

ตารางที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าซีไอดีและบีไอดีของน้ำเสียเข้า(หน่วย : มก./ล.)

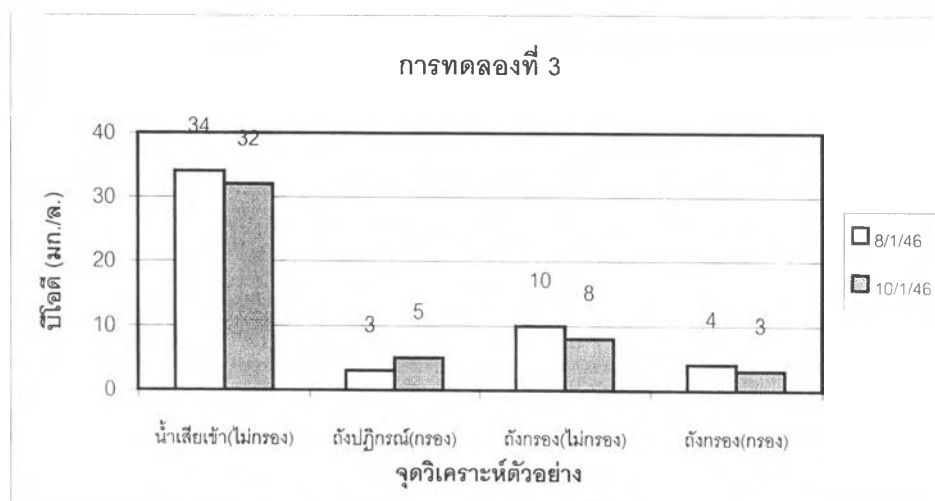
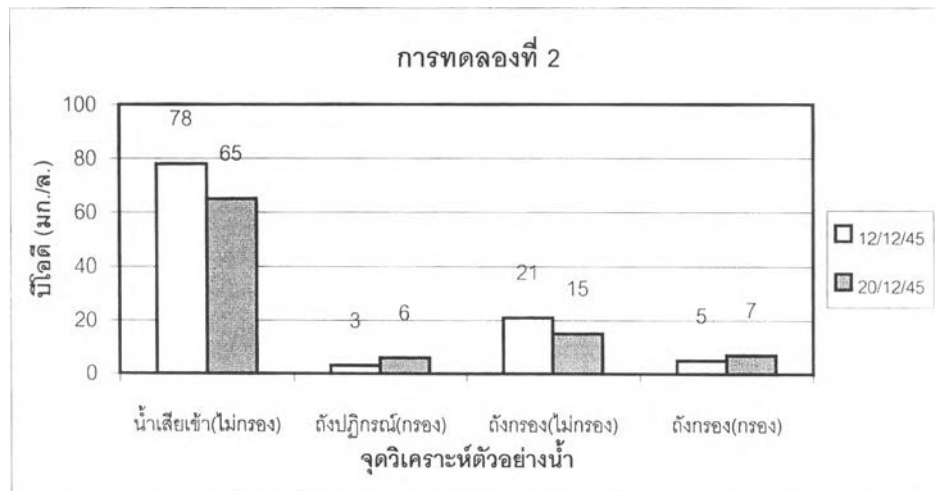
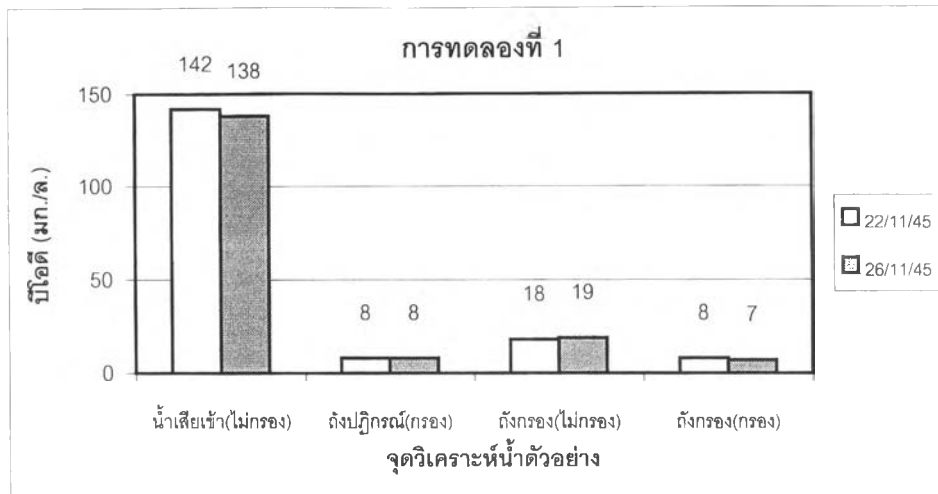
ชุดการทดลองที่	ค่าซีไอดี	ค่าบีไอดี	บีไอดี : ซีไอดี
1	257	140	0.54
2	122	72	0.59
3	60	33	0.55
4	502	311	0.62
5	255	138	0.54
6	134	76	0.57

จากข้อมูลในตารางที่ 4.8 เมื่อนำมาหาค่าความสัมพันธ์บีไอดีต่อซีไอดีตลอดทั้งชุดการทดลอง พบว่า สัดส่วนบีไอดีต่อซีไอดี เท่ากับ 0.62 และจากรูปที่ 4.9 พบว่าในน้ำเสียเข้าจะมี non-biodegradable เท่ากับ 15.3 มก.ซีไอดี/ล.

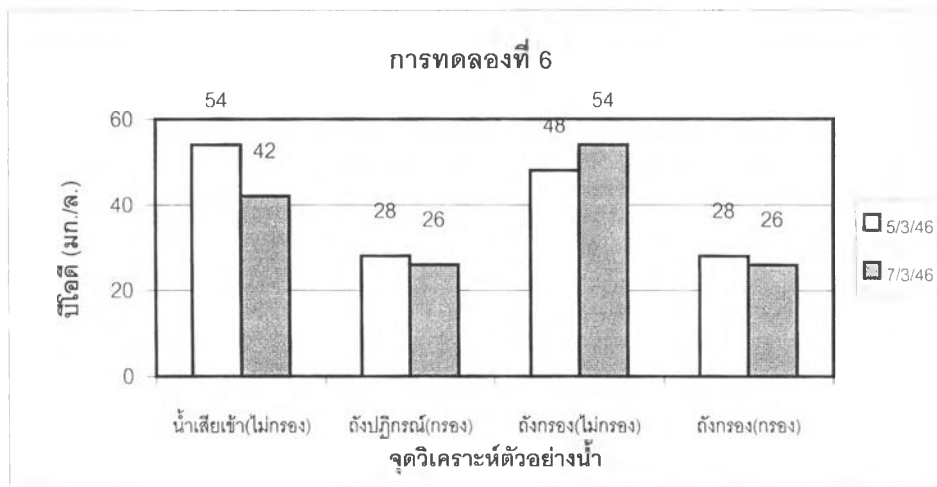
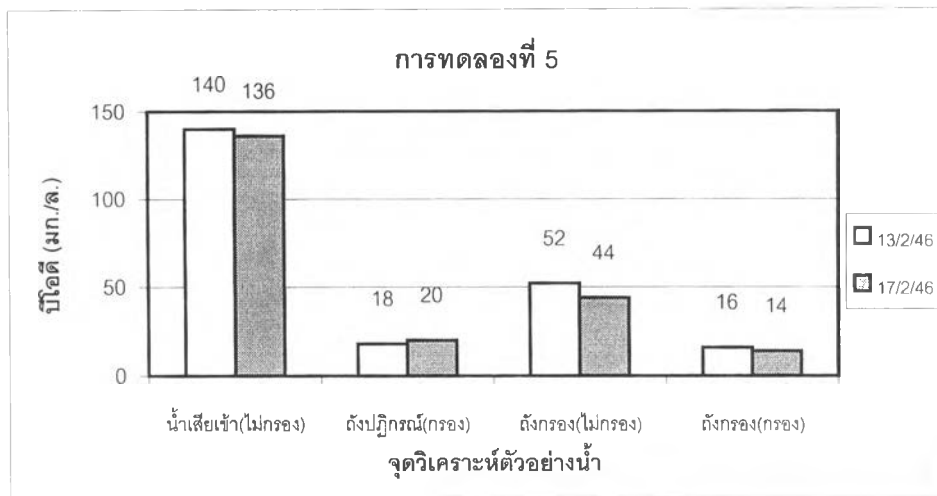
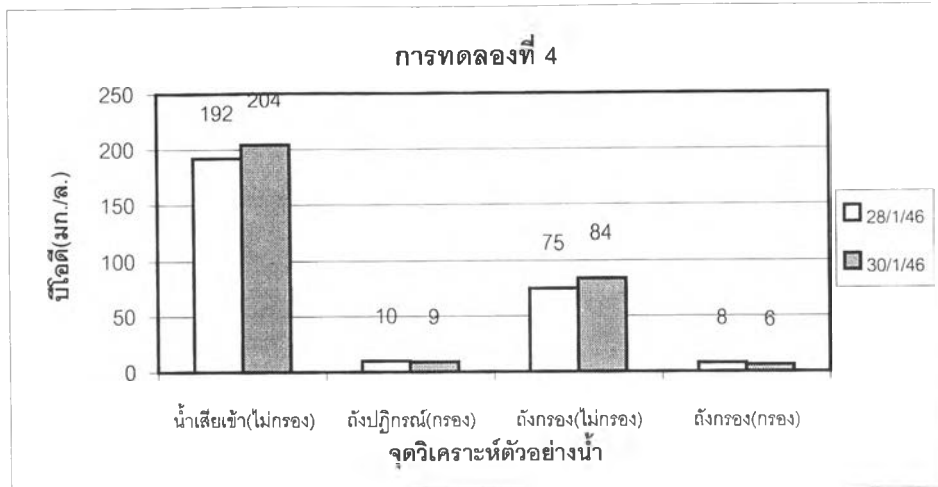
ตารางที่ 4.9 แสดงค่าซีไอดีทั้ง 6 ชุดการทดลองพร้อมทั้งประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีของระบบ และรูปที่ 4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลของภาระบรรทุกสารอินทรีย์และภาระบรรทุกทางชลศาสตร์กับอัตราการกำจัดซีไอดีของระบบ



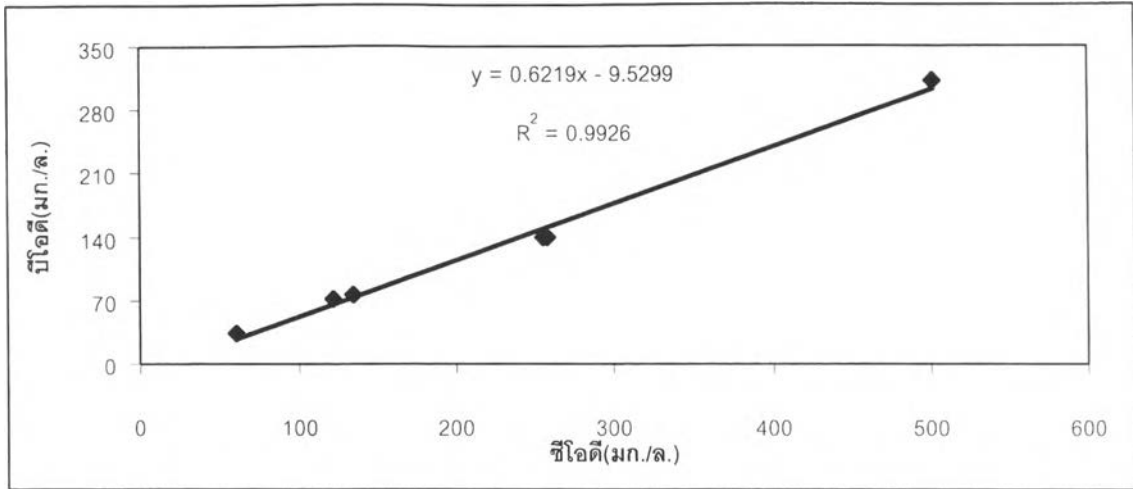
รูปที่ 4.6 ซีไอดีของทุกชุดการทดลอง



รูปที่ 4.7 บิโอดีของชุดการทดลองที่ 1-3



รูปที่ 4.8 ปีไอดีของชุดการทดลองที่ 4-6

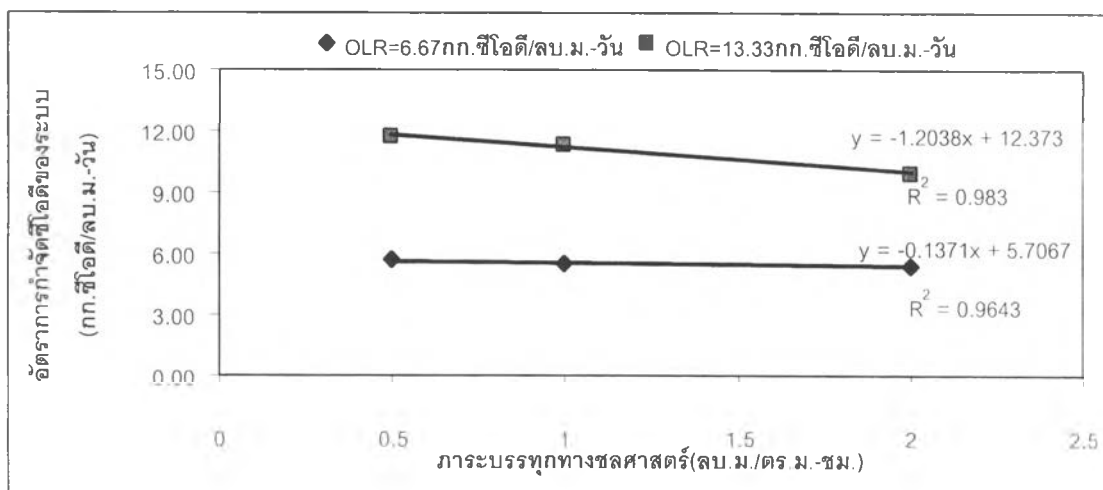


รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างซีโอดีและบีโอดีของน้ำเสียเข้า

ตารางที่ 4.9 สรุปค่าซีโอดีในแต่ละตำแหน่งของระบบที่สภาวะคงตัวพร้อมประสิทธิภาพโดยรวมของระบบ

ชุดการทดลอง	น้ำเสียเข้า	ถังปฏิกรณ์	ถังกรอง	ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของระบบ(ร้อยละ)
1	257	55	45	82.5
2	122	23	18	85.2
3	60	11	9	85.0
4	502	65	64	87.3
5	255	45	43	83.1
6	134	41	41	69.4

หน่วย : มก./ล.



รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างผลของภาระบรรทุกสารอินทรีย์และภาระบรรทุกทางชีวศาสตร์กับอัตราการกำจัดซีโอดีของระบบ

จากตารางที่ 4.9 และรูปที่ 4.10 พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของระบบในชุดการทดลอง 1 ถึง 3 ซึ่งมีค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 6.67 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าใกล้เคียงกันโดยมีค่าประมาณร้อยละ 85 แสดงให้เห็นว่าผลของภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ไม่นัยสำคัญและเมื่อพิจารณาที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 13.33 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ในชุดการทดลองที่ 4 ถึง 6 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีจะมีแนวโน้มลดลงตามค่าภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ แสดงให้เห็นว่า ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของระบบ

พิจารณาผลของภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นจาก 6.67 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน เป็น 13.33 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน. ในชุดการทดลองที่ 1 และ 4 ที่มีค่าภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 0.5 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. ในชุดการทดลองที่ 2 และ 5 ที่มีค่าภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 1.0 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. และในชุดการทดลองที่ 3 และ 6 ที่มีค่าภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 2.0 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีจะมีแนวโน้มลดลงเมื่อภาระบรรทุกสารอินทรีย์สูงขึ้น ยกเว้นชุดการทดลองที่ 4 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของระบบจะสูงกว่าชุดการทดลองที่ 1 เนื่องจากที่ระยะเวลาเก็บกัก 2 ชม.(ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.5 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม.) ระบบสามารถกำจัดสารอินทรีย์ซึ่งคิดเป็นภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 13.33 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน และที่ชุดการทดลองที่ 4 มีการเติมน้ำตาลเพื่อควบคุมค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์ ซึ่งน้ำตาลเป็นสารอาหารย่อยง่ายเนื่องจากน้ำตาลจัดเป็นของเสียชนิดคาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate Waste) โดยอาจพิจารณาได้จากข้อมูลในตารางที่ 4.8 ซึ่งสัดส่วนบีโอดีต่อซีโอดีเท่ากับ 0.62 โดยมีค่าสูงกว่าทุกชุดการทดลอง

เมื่อพิจารณาชุดการทดลองที่ 6 ซึ่งมีค่าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีต่ำสุด โดยมีค่าเท่ากับร้อยละ 69.4 เนื่องจากภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่สูงและมีระยะเวลาเก็บกักสั้น (30 นาที)

ความสัมพันธ์ระหว่างภาระบรรทุกทางชลศาสตร์กับอัตราการกำจัดซีโอดีของระบบ เมื่อภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 6.67 และ 13.33 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน สามารถเขียนเป็นความสัมพันธ์ได้ดังสมการที่ 4.3 และ 4.4 ตามลำดับ ดังนี้

$$R = -0.1371 (\text{HLR}) + 5.7067 \quad \dots\dots(4.3)$$

$$R = -1.2038 (\text{HLR}) + 12.373 \quad \dots\dots(4.4)$$

เมื่อ

R	=	อัตราการกำจัดซีโอดี (กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน)
HLR	=	ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์(ลบ.ม./ตร.ม.-ชม.)

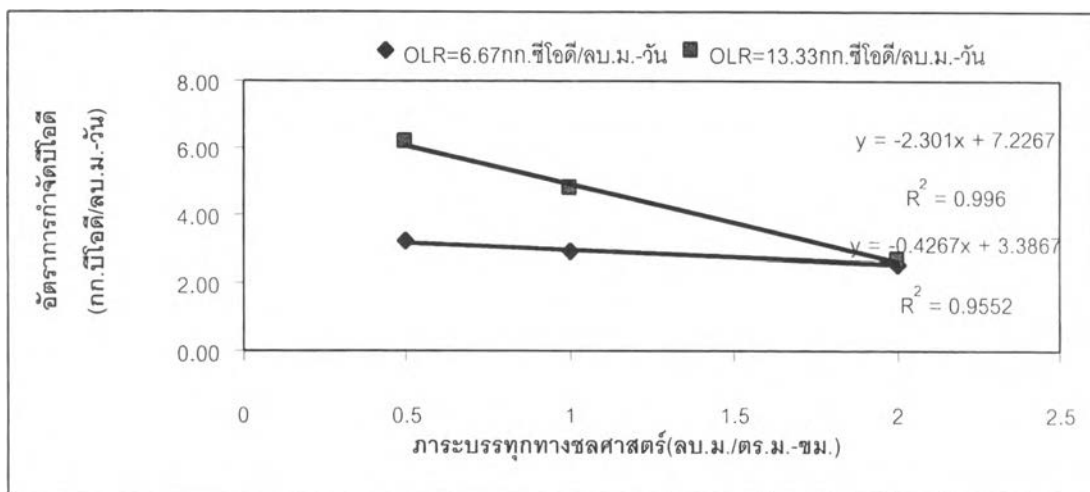
ตารางที่ 4.10 แสดงค่าบีโอดีทั้ง 6 ชุดการทดลองพร้อมทั้งประสิทธิภาพการกำจัด บีโอดีของระบบ และรูปที่ 4.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลของภาวะบรรทุกลสารอินทรีย์และ ภาวะบรรทุกลทางชลศาสตร์กับอัตราการกำจัดบีโอดีของระบบ

ตารางที่ 4.10 สรุปค่าบีโอดีในแต่ละตำแหน่งของระบบที่สภาวะคงตัวพร้อม ประสิทธิภาพโดยรวมของระบบ

ชุดการทดลอง	น้ำเสียเข้า	ถังปฏิกรณ์	ถังกรอง	ประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีของระบบ(ร้อยละ)
1	140	8	19	86.43
2	72	5	18*	75.00
3	33	4	9	72.73
4	311	10	80	74.28
5	138	13	48	65.22
6	76	27	51*	32.89

หน่วย : มก./ล.

\*วิเคราะห์แบบไม่ผ่านการกรอง(ภาคผนวก ก.)



รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างผลของภาวะบรรทุกลสารอินทรีย์และ ภาวะบรรทุกลทางชลศาสตร์กับอัตราการกำจัดบีโอดีของระบบ

จากตารางที่ 4.10 และรูปที่ 4.11 พบว่าที่ค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่เท่ากัน ในชุดการทดลองที่ 1 ถึง 3 (6.67 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน) และชุดการทดลองที่ 4 ถึง 6 (13.33 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน) ประสิทธิภาพการกำจัดบีไอดีของระบบจะมีแนวโน้มลดลงตามค่าภาระบรรทุกทางชีวศาสตร์ที่สูงขึ้น ในชุดการทดลองที่ 1 ถึง 3 ประสิทธิภาพการกำจัดบีไอดีอยู่ในช่วงร้อยละ 72.73 - 86.43 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ (Mohamed และ Hamed,1998) และในชุดการทดลองที่ 4 ถึง 6 ประสิทธิภาพการกำจัดบีไอดีอยู่ในช่วงร้อยละ 32.89 - 74.28

และเมื่อพิจารณาผลของภาระบรรทุกสารอินทรีย์ พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดบีไอดีของระบบจะลดลงเมื่อภาระบรรทุกสารอินทรีย์สูงขึ้น ยกเว้นในการทดลองที่ 4 ซึ่งเหตุผลเดียวกันกับการกำจัดซีไอดีที่กล่าวในข้างต้น

พิจารณาค่าบีไอดีในน้ำทิ้งออกจากระบบที่ไม่ผ่านการกรองพบว่า ที่ค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 13.33 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ค่าบีไอดีมากกว่า 20 มก./ล. ซึ่งไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้ง ดังนั้นระบบไม่สามารถรับภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 13.33 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วันได้

ความสัมพันธ์ระหว่างภาระบรรทุกทางชีวศาสตร์กับอัตราการกำจัดบีไอดีของระบบ เมื่อภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 6.67 และ 13.33 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน สามารถเขียนเป็นความสัมพันธ์ได้ดังสมการที่ 4.5 และ 4.6 ตามลำดับ ดังนี้

$$R = -0.4267 (\text{HLR}) + 3.3867 \quad \dots\dots(4.5)$$

$$R = -2.301 (\text{HLR}) + 7.2267 \quad \dots\dots(4.6)$$

เมื่อ

R	=	อัตราการกำจัดบีไอดี (กก.บีไอดี/ลบ.ม.-วัน)
HLR	=	ภาระบรรทุกทางชีวศาสตร์(ลบ.ม./ตร.ม.-ชม.)



เพื่อพิจารณาผลกระทบจากการกำจัดสารอินทรีย์ในแต่ละถัง จะทำการหาค่าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีในแต่ละถัง ดังแสดงในตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 ค่าซีโอดีในแต่ละตำแหน่งของระบบและประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีในแต่ละถัง

ชุดการทดลอง	น้ำเสียเข้า	ถังปฏิกรณ์	ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี (ร้อยละ) ถังปฏิกรณ์	ถังกรอง	ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี (ร้อยละ) ถังกรอง
1	257	55	78.6	45	18.2
2	122	23	80.1	18	21.2
3	60	11	81.7	9	18.2
4	502	65	87.1	64	1.5
5	255	45	82.4	43	4.4
6	134	41	69.4	41	0.0

หน่วย : มก./ล.

วิเคราะห์ซีโอดีโดยการกรอง

จากตารางที่ 4.11 พบว่า การกำจัดที่เกิดขึ้นในระบบส่วนใหญ่จะเกิดในถังปฏิกรณ์มากกว่าที่จะเกิดในถังกรอง และประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของถังปฏิกรณ์จะใกล้เคียงกับประสิทธิภาพโดยรวมของระบบ และในชุดการทดลองที่ 4 และ 6 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีต่ำเนื่องมาจาก ระยะเวลาเก็บกักสั้น (30 นาที)

การบำบัดส่วนใหญ่เกิดในถังปฏิกรณ์ เนื่องจากน้ำเสียเข้าถูกป้อนเข้าสู่ระบบผ่านถังปฏิกรณ์ซึ่งมีการเติมอากาศ ดังนั้นจุลินทรีย์ที่ทำงานโดดเด่นจะเป็นพวกเฮเทอโรโทรฟ ซึ่งเป็นกลุ่มจุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจนเป็นตัวรับอิเล็กตรอน และใช้สารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำเสียเป็นตัวให้อิเล็กตรอน โดยจุลินทรีย์ในกลุ่มนี้จะแขวนลอยลอยอยู่ในภายในถังปฏิกรณ์และเกาะติดอยู่ที่ด้านนอกของชั้นฟิล์มจุลินทรีย์ ซึ่งสามารถสัมผัสกับสารอาหารและออกซิเจนได้มาก จึงเกิดการบำบัดขึ้นภายในถังปฏิกรณ์มากกว่าถังกรอง

#### 4.5.5 ค่าของแข็งแขวนลอยและของแข็งแขวนลอยระเหย (MLSS & MLVSS)

เป็นพารามิเตอร์บ่งถึงคุณภาพน้ำทิ้ง และเป็นพารามิเตอร์ที่ใช้ควบคุมอายุตะกอน (Sludge Age,  $\theta_c$ ) ให้คงที่ในทุกชุดการทดลอง ค่าของแข็งแขวนลอย, ของแข็งแขวนลอยระเหย และอัตราส่วนของแข็งแขวนลอยต่อของแข็งแขวนลอยระเหย ทั้ง 6 ชุดการทดลองในรูปที่ 4.12 4.13 และ 4.14 และที่สภาวะคงตัวสามารถสรุปได้ในตารางที่ 4.12 และตารางที่ 4.13 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยและของแข็งระเหยของถังกรอง

ตารางที่ 4.12 ค่าของแข็งแขวนลอย ของแข็งแขวนลอยระเหย และอัตราส่วนของแข็งแขวนลอยต่อของแข็งแขวนลอยระเหยแต่ละตำแหน่งของระบบที่สภาวะคงตัว

ชุดการทดลอง	น้ำเสียเข้า			ถังปฏิกรณ์			ถังกรอง		
	MLSS	MLVSS	SS/VSS	MLSS	MLVSS	SS/VSS	MLSS	MLVSS	SS/VSS
1	105	72	0.69	191	166	0.87	10	10	1.00
2	30	29	0.97	107	98	0.92	7	7	1.00
3	12	11	0.92	22	20	0.91	3	3	1.00
4	90	77	0.86	676	597	0.88	40	37	0.93
5	87	76	0.87	351	306	0.87	20	20	1.00
6	59	50	0.85	105	92	0.88	29	27	0.93

หน่วย : มก./ล.

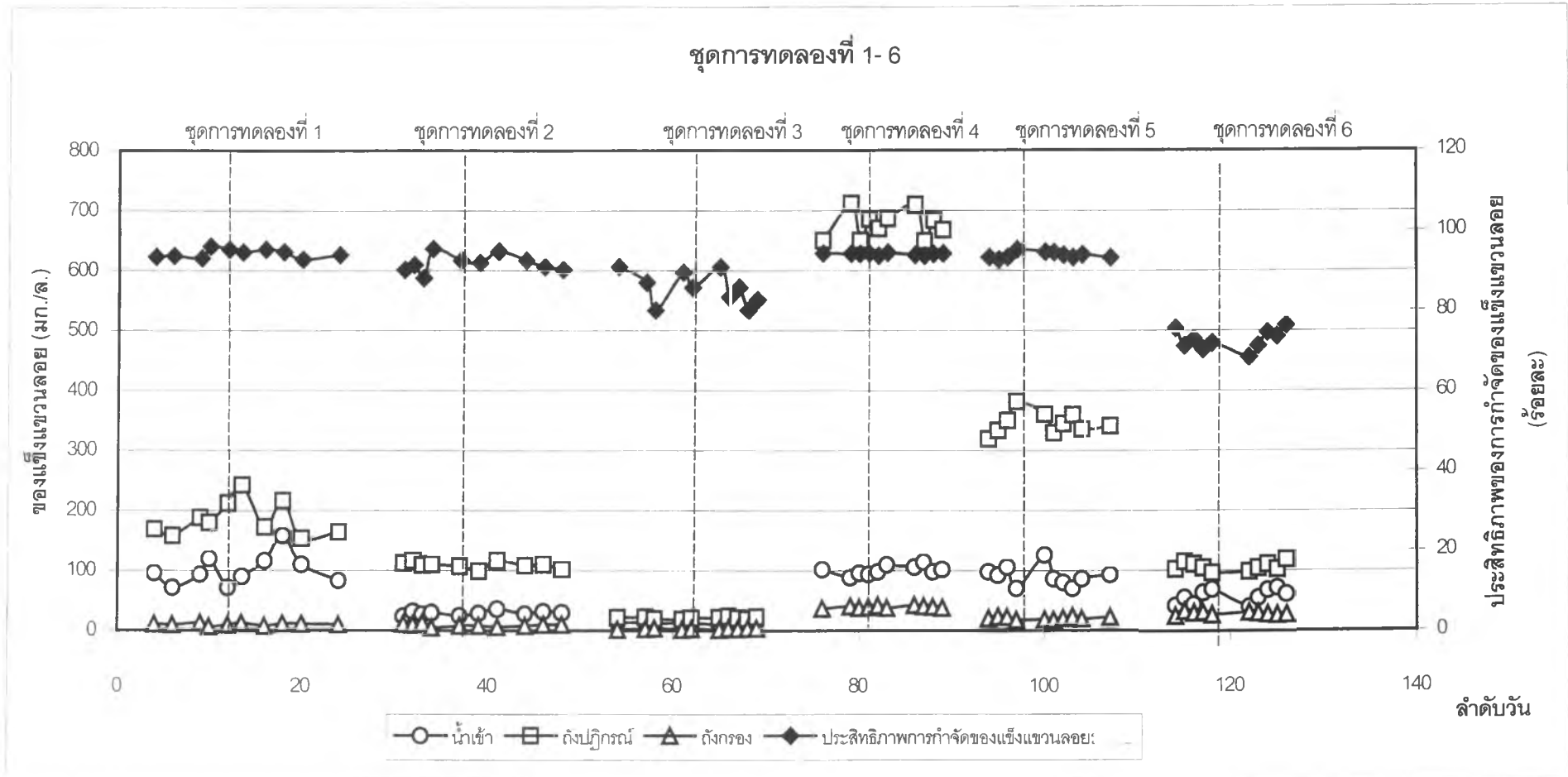
ตารางที่ 4.13 ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยและของแข็งแขวนลอยระเหยของถังกรอง

ชุดการทดลองที่	ประสิทธิภาพการกำจัด MLSS (ร้อยละ)	ประสิทธิภาพการกำจัด MLVSS (ร้อยละ)
1	90.48	86.11
2	76.67	75.86
3	75.00	72.73
4	55.56	51.95
5	77.01	73.68
6	50.85	46.00

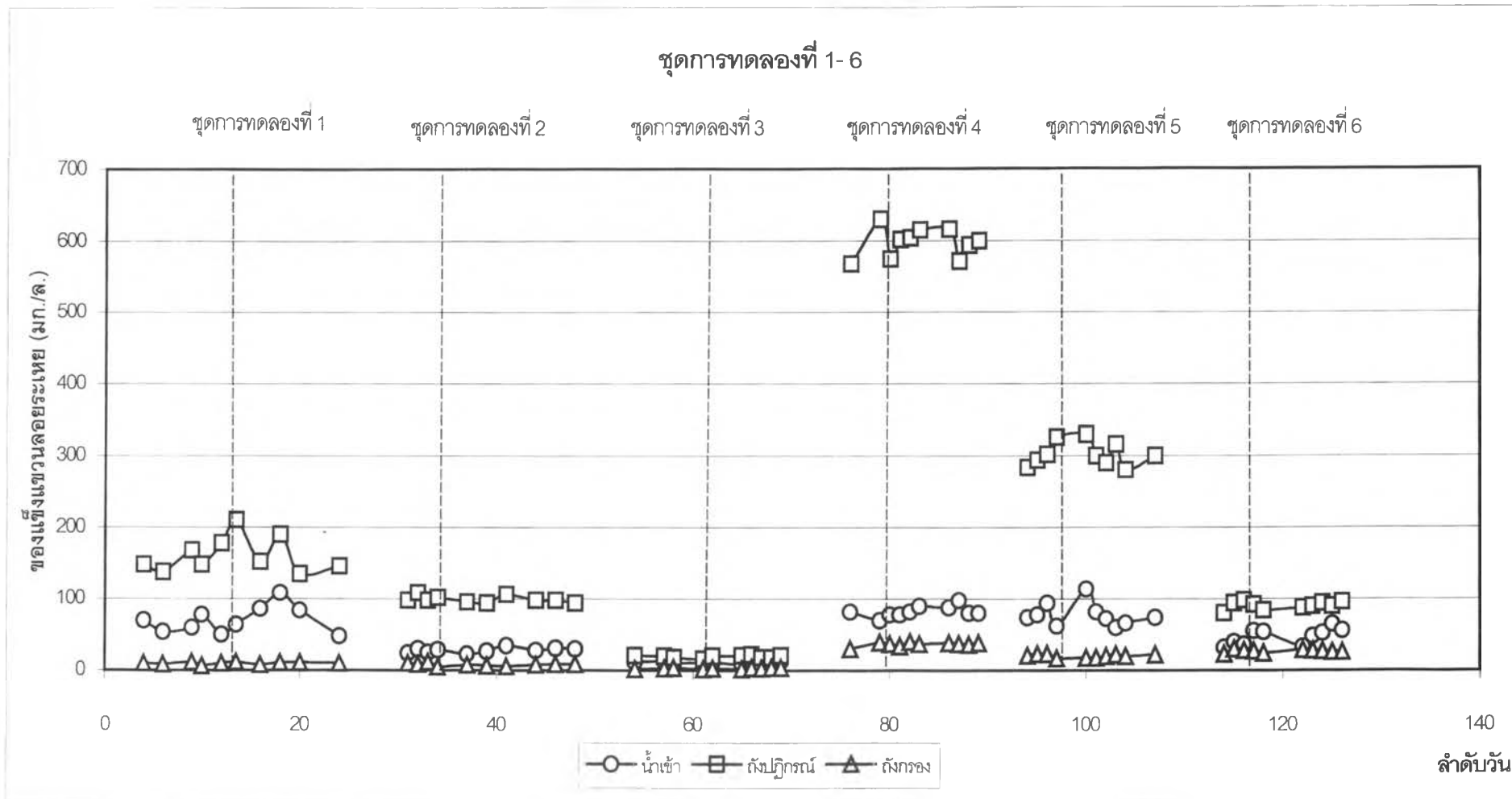
เมื่อพิจารณาข้อมูลในตารางที่ 4.12 พบว่า ค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำทิ้งทุกชุด การทดลองมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานน้ำทิ้ง ซึ่งกำหนดไว้ที่ 30 มก./ล. ยกเว้นในชุดการทดลองที่ 4 ซึ่งควบคุมภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ที่ 13.33 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน และภาวะบรรทุกทางชีวศาสตร์เท่ากับ 0.5 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. พบว่า มีค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำทิ้งเท่ากับ 37 มก./ล. ซึ่งเกินค่ามาตรฐานน้ำทิ้ง เนื่องจากสารอินทรีย์ที่เข้าระบบสูง ทำให้มวลจุลินทรีย์ในระบบมีมาก มีผลทำให้ของแข็งแขวนลอยหลุดออกมากับน้ำทิ้งมากขึ้น

เมื่อพิจารณาถึงผลของภาวะบรรทุกทางชีวศาสตร์ที่เพิ่มตั้งแต่ 0.5 ถึง 2.0 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. ในชุดการทดลองที่ 1 ถึง 3 ที่มีภาวะบรรทุกสารอินทรีย์คงที่เท่ากับ 6.67 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน พบว่า ค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำทิ้งจะลดลง อันเนื่องมาจากความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำเข้าต่ำ และของแข็งแขวนลอยเข้าระบบน้อย และเมื่อพิจารณาในชุดการทดลองที่ 4 ถึง 6 ซึ่งมีค่าภาวะบรรทุกสารอินทรีย์คงที่เท่ากับ 13.33 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน พบว่าของแข็งแขวนลอยหลุดไปกับน้ำทิ้งสูงขึ้น ตามค่าภาวะบรรทุกทางชีวศาสตร์สูงขึ้น เนื่องจากสารอินทรีย์ที่เข้าระบบมีค่าสูง เซลล์จุลินทรีย์มีมากขึ้น ทำให้เซลล์จุลินทรีย์หลุดออกไปกับน้ำทิ้งมากขึ้น ยกเว้นในชุดการทดลองที่ 4 ซึ่งมีค่าภาวะบรรทุกทางชีวศาสตร์เท่ากับ 0.5 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม.ค่าของแข็งแขวนลอยที่ออกจากถังกรองสูงกว่าชุดการทดลองที่ 5 ซึ่งมีค่าภาวะบรรทุกทางชีวศาสตร์เท่ากับ 1.0 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. เนื่องจากในชุดการทดลองที่ 4 มีการเติมน้ำเสียสังเคราะห์จากน้ำตาลซึ่งเป็นสารย่อยง่าย ทำให้เซลล์จุลินทรีย์สามารถเจริญเติบโตได้ดีกว่าและหลุดไปกับน้ำทิ้งมากขึ้น

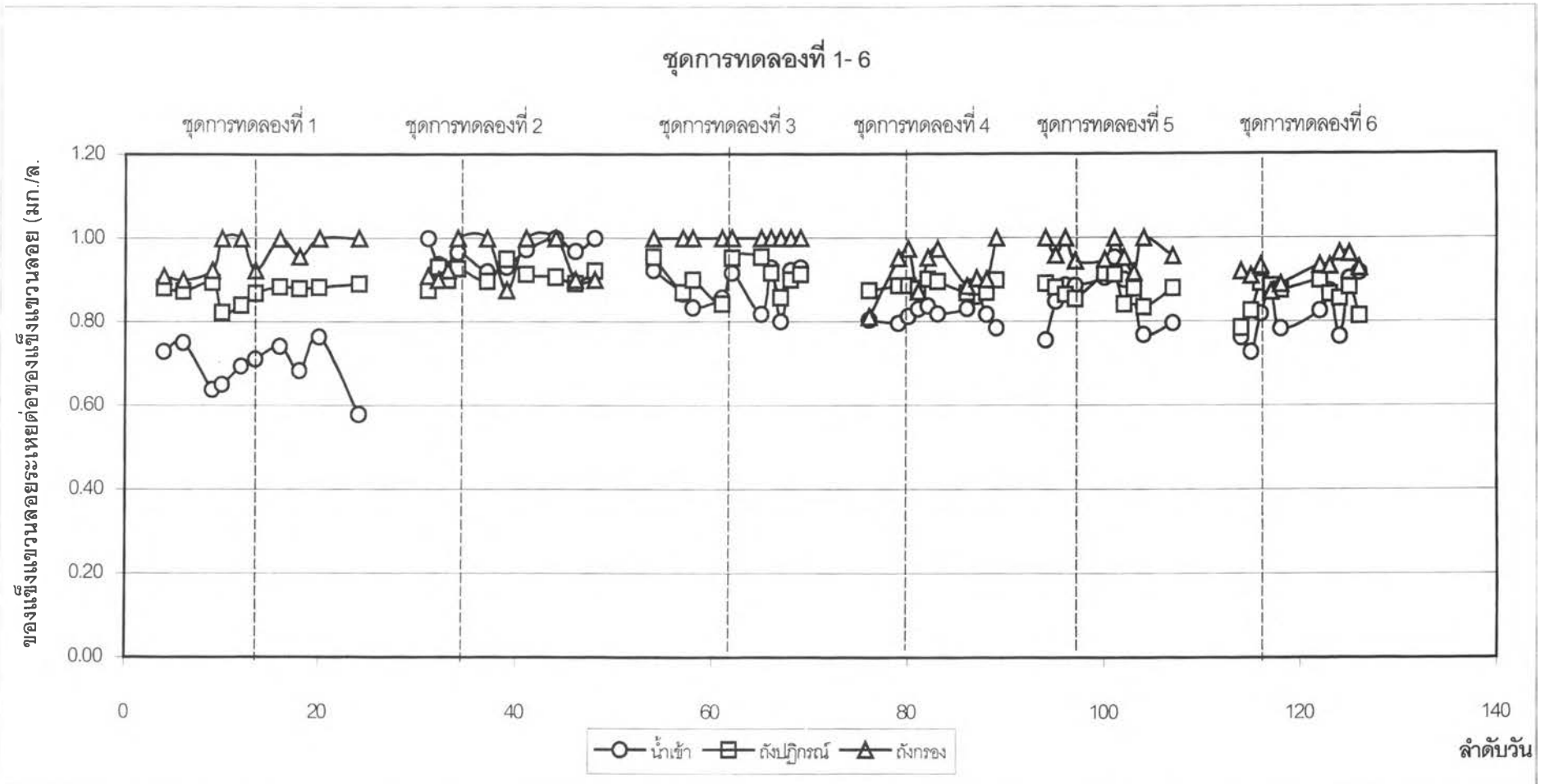
ตารางที่ 4.13 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยและของแข็งระเหยของถังกรองโดยพิจารณาจากของแข็งแขวนลอยและของแข็งแขวนลอยระเหยที่ออกจากถังปฏิกรณ์เข้าสู่ถังกรอง พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยและของแข็งระเหยของถังกรองในชุดการทดลองที่ 1 ถึง 3 ซึ่งมีค่าภาวะบรรทุกสารอินทรีย์คงที่เท่ากับ 6.67 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน จะมีค่าลดลงตั้งแต่ร้อยละ 90.48 ถึง ร้อยละ 75 และ ร้อยละ 86.11 ถึง ร้อยละ 72.73 ตามลำดับ เมื่อภาวะบรรทุกทางชีวศาสตร์เพิ่มขึ้นตั้งแต่ 0.5 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. ถึง 2.0 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. เช่นเดียวกับในชุดการทดลองที่ 5 และ 6 ซึ่งมีค่าภาวะบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 13.33 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน โดยมีประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยและของแข็งแขวนลอยระเหยลดลงเมื่อภาวะบรรทุกทางชีวศาสตร์สูงขึ้น ยกเว้นในชุดการทดลองที่ 4 ซึ่งมีค่าภาวะบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 13.33 กก. ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน และภาวะบรรทุกทางชีวศาสตร์เท่ากับ 0.5 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. เนื่องจากเหตุผลที่กล่าวมาแล้วในข้างต้น



รูปที่ 4.12 ของแข็งแขวนลอยของทุกชุดการทดลอง



รูปที่ 4.13 ของแข็งแขวนลอยระเหยของทุกชุดการทดลอง



รูปที่ 4.14 อัตราส่วนของแข็งแขวนลอยระเหยต่อของแข็งแขวนลอยของทุกชุดการทดลอง

#### 4.5.6 ค่าแอมโมเนีย ทีเคเอ็นและไนโตรเจนรวม (NH<sub>3</sub>-N , TKN & TN)

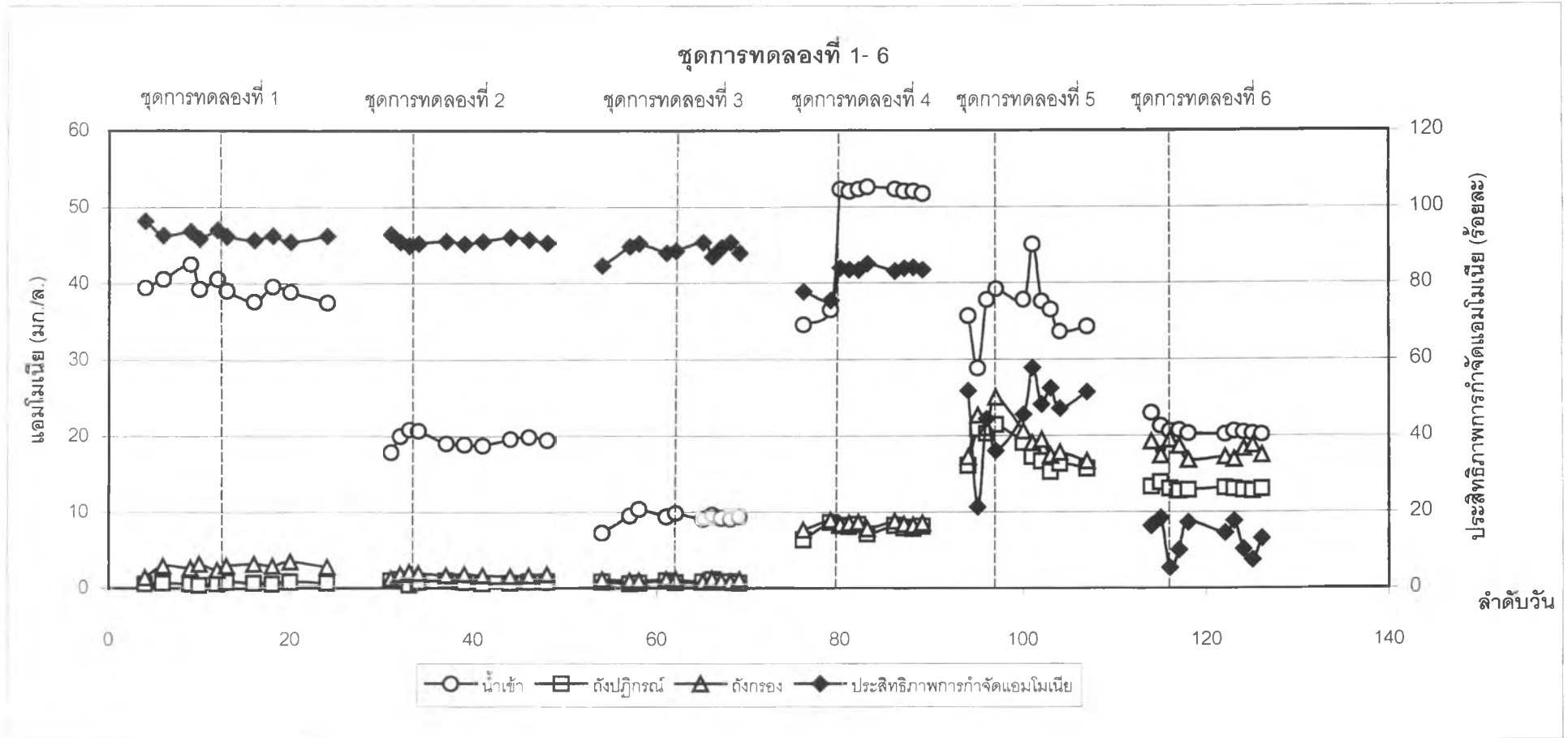
รูปที่ 4.15 4.16 และ 4.17 แสดงค่าแอมโมเนีย ทีเคเอ็นและไนโตรเจนรวม ทั้ง 6 ชุดการทดลอง และสรุปค่าความเข้มข้นแอมโมเนีย ทีเคเอ็นและไนโตรเจนรวมในแต่ละตำแหน่งของระบบที่สภาวะคงตัวดังแสดงในตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 สรุปค่าแอมโมเนีย ทีเคเอ็นและไนโตรเจนรวมในแต่ละตำแหน่งของระบบที่สภาวะคงตัวและค่าประสิทธิภาพโดยรวมของระบบ

พารามิเตอร์	ชุดการทดลอง	น้ำเสียเข้า	ถังปฏิกรณ์	ถังกรอง	ประสิทธิภาพการกำจัดของระบบ (ร้อยละ)
แอมโมเนีย	1	39.54	0.64	2.80	92.92
	2	19.48	0.79	1.75	91.02
	3	9.38	0.85	1.03	90.07
	4	52.21	8.02	8.44	83.83
	5	37.73	17.38	19.42	48.53
	6	20.40	15.93	17.96	11.96
ทีเคเอ็น	1	48.34	4.12	3.95	91.83
	2	22.32	3.02	2.42	89.14
	3	12.51	1.74	1.29	88.74
	4	59.08	13.79	13.42	77.29
	5	47.81	20.92	21.90	54.19
	6	23.05	21.09	20.80	9.75
ไนโตรเจนรวม	1	48.44	5.45	4.87	89.95
	2	22.42	4.01	3.24	85.53
	3	12.59	2.38	2.00	84.08
	4	59.19	18.13	14.59	75.35
	5	47.91	21.65	22.09	53.89
	6	23.24	21.54	21.50	7.48

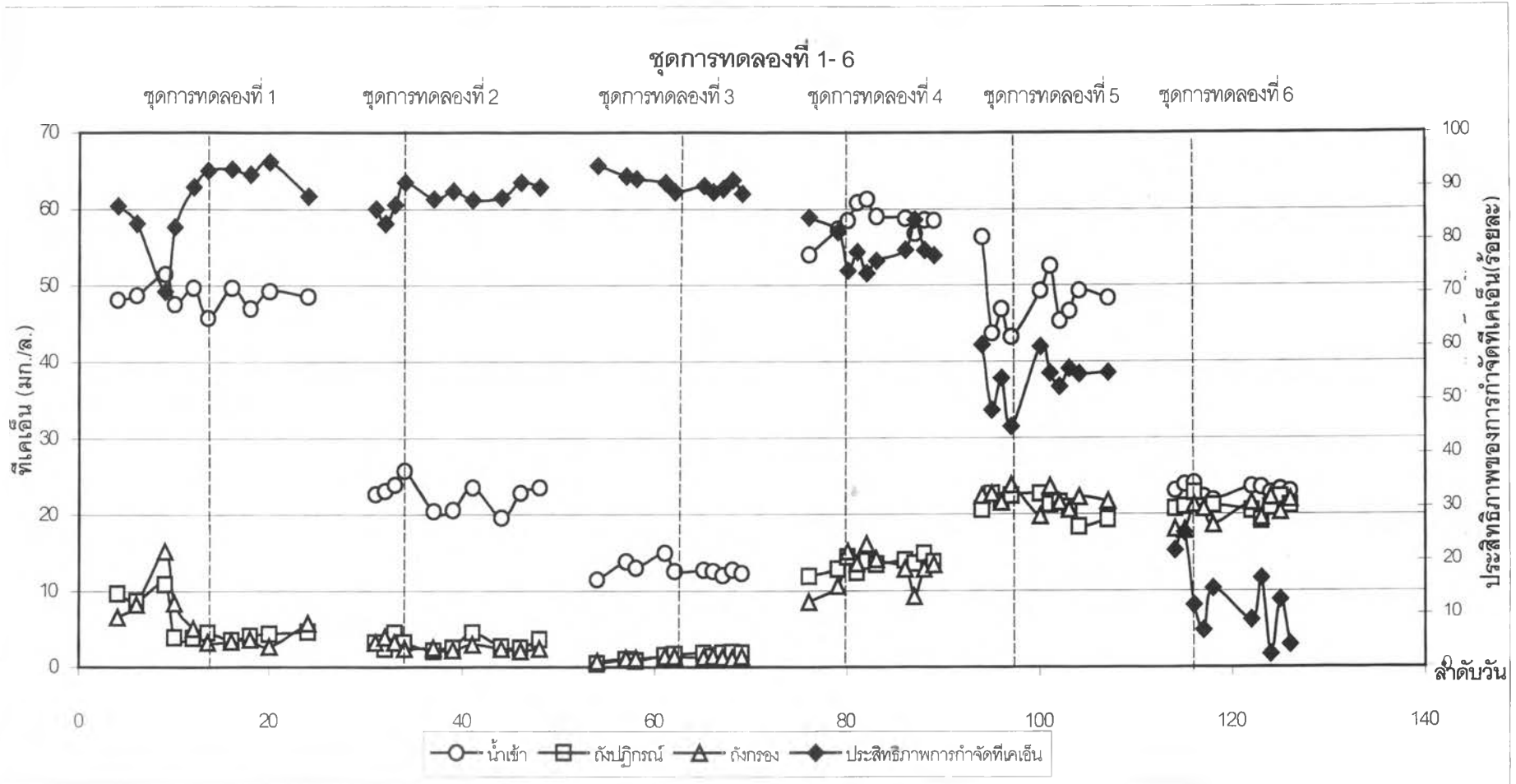
หน่วย : มก./ล.

ไนโตรเจนรวม (Total Nitrogen , TN) เป็นผลรวมของ ทีเคเอ็น ไนไตรต์ และไนเตรต

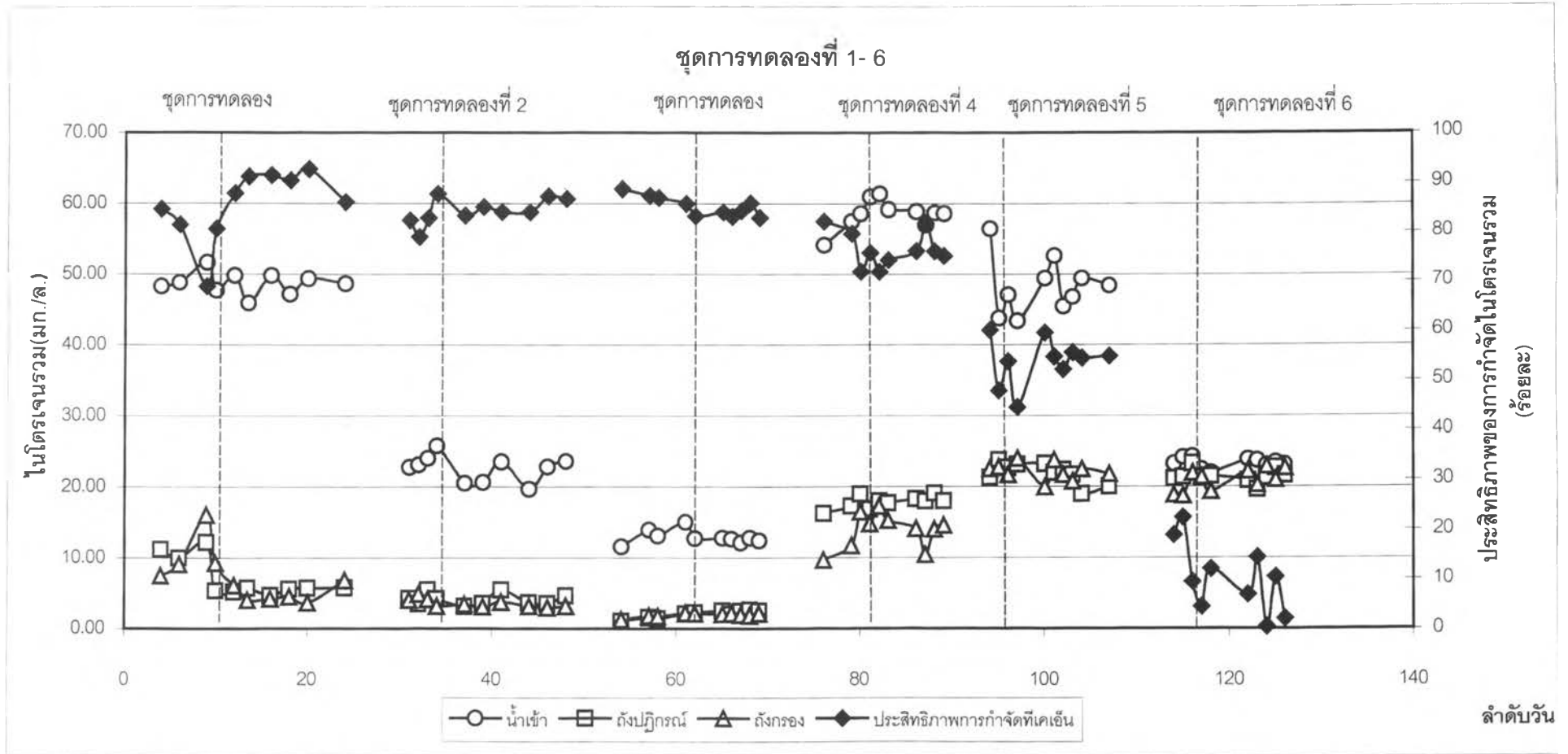


รูปที่ 4.15 แอมโมเนียของทุกชุดการทดลอง





รูปที่ 4.16 ทีเคเอ็นของทุกชุดการทดลอง



รูปที่ 4.17 ไนโตรเจนรวมของทุกชุดการทดลอง

จากตารางที่ 4.14 พบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนียของระบบโดยรวม จะมีค่าลดลงเมื่อภาระบรรทุกทางชลศาสตร์และภาระบรรทุกสารอินทรีย์เพิ่มขึ้น และค่าแอมโมเนียในน้ำเสียออกจากถังกรองในชุดการทดลองที่ 4 5 และ 6 มีค่าเท่ากับ 8.44 19.42 และ 17.96 มก./ล. แสดงว่ากระบวนการไนตริฟิเคชันเกิดไม่สมบูรณ์ในถังปฏิกรณ์ ขณะที่ชุดการทดลองที่ 1 ถึง 3 เกิดไนตริฟิเคชันเกือบสมบูรณ์ในถังปฏิกรณ์โดยน้ำเสียออกของถังกรองมีค่าแอมโมเนียต่ำกว่า 3 มก./ล.

เมื่อพิจารณาค่าที่เคเอ็นและไนโตรเจนรวมในน้ำเสียเข้าที่ใกล้เคียงกันระหว่างชุดการทดลองที่ 1 และ 5 ประมาณ 48 มก./ล. พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดที่เคเอ็นและไนโตรเจนรวมของระบบในชุดการทดลองที่ 5 มีค่าต่ำกว่าชุดการทดลองที่ 1 เนื่องจากภาระบรรทุกสารอินทรีย์และภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ที่สูงขึ้น เช่นเดียวกับในชุดการทดลองที่ 2 และ 6

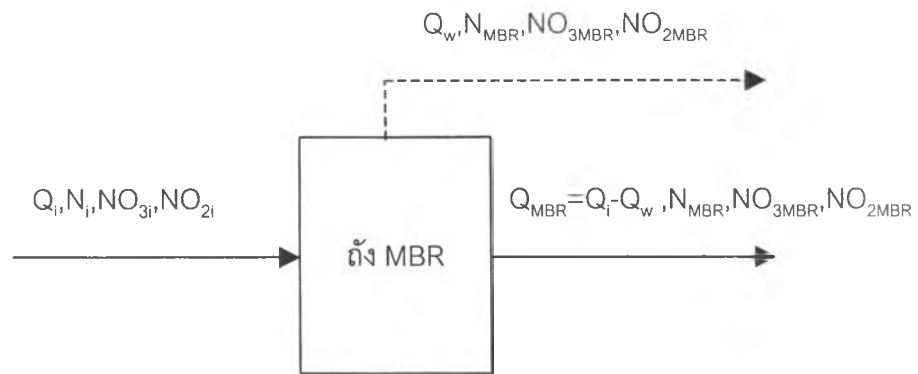
เมื่อพิจารณาค่าภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ที่เท่ากันในชุดการทดลองที่ 1 และ 4 ซึ่งมีภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 0.5 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. ค่าที่เคเอ็นของน้ำออก ของทั้ง 2 ชุดการทดลองใกล้เคียงกัน เช่นเดียวกับค่าไนโตรเจนรวม และเมื่อพิจารณาค่าภาระบรรทุกทางชลศาสตร์สูงขึ้นไปเป็น 1 และ 2 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. พบว่า ค่าที่เคเอ็นและไนโตรเจนรวมในน้ำออกสูงขึ้นตามภาระบรรทุกสารอินทรีย์ สรุปได้ว่า ที่ค่าภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 0.5 ลบ./ตร.ม.-ชม. ค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดที่เคเอ็นและไนโตรเจนรวม และเมื่อค่าภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ที่สูงขึ้นเป็น 1 และ 2 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. ค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์จะมีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดโดยรวมของที่เคเอ็นและไนโตรเจนรวม โดยมีแนวโน้มลดลงเมื่อค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์สูงขึ้น

กระบวนการไนตริฟิเคชันจะเกิดขึ้นเฉพาะในถังปฏิกรณ์ซึ่งมีการเติมอากาศเท่านั้น ดังนั้นการจะหาอัตราการเกิดไนตริฟิเคชันที่เกิดขึ้นโดยไม่รวมผลของการใช้แอมโมเนียเป็นอาหารเสริมในการสร้างเซลล์จะสามารถหาได้ในถังปฏิกรณ์ ส่วนในถังกรองซึ่งไม่มีการเติมอากาศจะไม่มีกระบวนการไนตริฟิเคชันเกิดขึ้นอย่างแน่นอน

4.5.6.1 ประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนียในถังปฏิกรณ์ (MBR)

ประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนียในถังปฏิกรณ์จะขึ้นอยู่กับอัตราการเกิดไนตริฟิเคชันเป็นสำคัญ หรืออาจกล่าวได้ว่าค่าแอมโมเนียที่ลดลงในถังปฏิกรณ์จะเกิดจากกระบวนการไนตริฟิเคชันเท่านั้น

พิจารณารูปที่ 4.18 ซึ่งได้ทำการแยกส่วนถังปฏิกรณ์ออกจากระบบเพื่อหาประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนีย



รูปที่ 4.18 การหาประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียในถังปฏิกรณ์

ค่าแอมโมเนียที่ลดลงในถังปฏิกรณ์ซึ่งเกิดจากกระบวนการไนตริฟิเคชันรวมถึงการนำไปสร้างเซลล์หาได้จาก

$$\Delta N = N_i - N_{MBR} \dots\dots(4.7)$$

- เมื่อ  $\Delta N$  = ความเข้มข้นของแอมโมเนียที่ลดลง (มก./ล.)
- $N_i$  = ความเข้มข้นของแอมโมเนียในน้ำเสียเข้า (มก./ล.)
- $N_{MBR}$  = ความเข้มข้นของแอมโมเนียที่ออกจากถังปฏิกรณ์ (มก./ล.)

จากสมการที่ 4.7 สามารถสรุปค่าประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนีย ดังได้แสดงในตารางที่ 4.15

จากตารางที่ 4.15 จะเห็นว่าภาวะบรรทุกลสารอินทรีย์ที่เท่ากันในการทดลองชุดที่ 1 ถึง 3 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 6.67 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน และภาวะบรรทุกลสารอินทรีย์ 13.33 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ในการทดลองชุดที่ 4 ถึง 6 ค่าประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียจะแปรผกผันกับค่าภาวะบรรทุกลทางศาสตร์ โดยประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียลดลงที่ภาวะบรรทุกลทางศาสตร์สูงขึ้น และมีประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียสูงสุดเท่ากับร้อยละ 98.38 ที่ภาวะบรรทุกลสารอินทรีย์เท่ากับ 6.67 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน และภาวะบรรทุกลทางศาสตร์เท่ากับ 0.5 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม.

ตารางที่ 4.15 สรุปค่าประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนียในถังปฏิกรณ์

ชุดการทดลอง	$N_i$	$N_{MBR}$	$\Delta N$	ประสิทธิภาพ (ร้อยละ)
1	39.54	0.64	38.90	98.38
2	19.48	0.79	18.69	95.94
3	9.38	0.85	8.53	90.94
4	52.21	8.02	44.19	84.64
5	37.73	17.38	20.35	53.94
6	20.40	12.93	7.47	36.62

หน่วย : กก./ล.

ค่าภาวะบรรทุกลทางศาสตร์ที่เท่ากันในการทดลองชุดที่ 1 และ 4 ในชุดการทดลองที่ 2 และ 5 และในชุดการทดลองที่ 3 และ 6 พบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียในถังปฏิกรณ์ แปรผกผันกับค่าภาวะบรรทุกลสารอินทรีย์ โดยประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียลดลงที่ภาวะบรรทุกลสารอินทรีย์สูงขึ้น

เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียในทุกชุดการทดลอง พบว่า ที่ชุดการทดลองที่ 6 มีค่าประสิทธิภาพต่ำที่สุด เนื่องจาก ระยะเวลาพักในถังปฏิกรณ์สั้น และภาวะบรรทุกลสารอินทรีย์ที่สูง ทำให้จุลินทรีย์ชนิดออกโตทรอฟถูกไล่ล้าง (Wash out) โดยพิจารณาได้จากค่าอายุตะกอนของชุดการทดลองนี้ มีค่าต่ำที่สุด

Loosdrecht และคณะ (2000) กล่าวว่าในฟิล์มจุลินทรีย์ที่มีกลุ่มจุลินทรีย์ทั้งเฮเทอโรโทรฟ และออกโตทรอฟ จะเกิดแบ่งแยกของจุลินทรีย์ทั้ง 2 กลุ่ม ตามความลึกของ

ฟิล์มจุลินทรีย์ โดยกลุ่มจุลินทรีย์จำพวกเฮเทอโรโทรฟจะอยู่ที่ด้านนอกของฟิล์มจุลินทรีย์ และพวกออโตโทรฟจะอยู่ด้านในของชั้นฟิล์ม ดังนั้นการเกิดไนตริฟิเคชันของจุลินทรีย์ชนิดไนตริไฟเออร์ (ออโตโทรฟ)สามารถเกิดขึ้นได้ ก็ต่อเมื่อชั้นของกลุ่มเฮเทอโรโทรฟที่อยู่ด้านนอกของชั้นฟิล์มจุลินทรีย์ ไม่มีการใช้ออกซิเจนที่ผ่านเข้ามาในฟิล์มจุลินทรีย์ ซึ่งหมายความว่าภาวะบรรทุสารอินทรีย์ที่เข้ามาต่ำและถูกออกซิไดซ์ไปจนหมด ซึ่งสอดคล้องกับชุดการทดลองที่ 1 ถึง 3 ซึ่งมีภาวะบรรทุสารอินทรีย์ต่ำการกำจัดแอมโมเนียจะเกิดได้สูงขึ้น

#### 4.5.6.2 การหามวลไนโตรเจนในมวลจุลินทรีย์

การพิจารณามวลไนโตรเจนที่มีอยู่ในเซลล์จุลินทรีย์ จะพิจารณาในถังปฏิกรณ์เท่านั้น เนื่องจากการสร้างเซลล์ส่วนใหญ่เกิดขึ้นในถังปฏิกรณ์นี้ ดังแสดงในสมการ 4.8 และตารางที่ 4.16

$$g.N/g.cell = (TKN_{MBR\text{ไม่กรอง}} - TKN_{MBR\text{กรอง}}) / (MLVSS_{MBR}) \dots(4.8)$$

เมื่อ  $g.N/g.cell$  = มวลไนโตรเจนต่อมวลจุลินทรีย์  
 $TKN_{MBR\text{ไม่กรอง}}, TKN_{MBR\text{กรอง}}$  = ที่เคเอ็นของถังปฏิกรณ์แบบไม่กรองและกรอง (มก./ล.)  
 $MLVSS_{MBR}$  = ค่าของแข็งแขวนลอยระเหยในถังปฏิกรณ์ (มก./ล.)

ตารางที่ 4.16 สัดส่วนมวลไนโตรเจนต่อมวลจุลินทรีย์

ชุดการทดลองที่	$TKN_{MBR\text{ไม่กรอง}}$	$TKN_{MBR\text{กรอง}}$	$MLVSS_{MBR}$	$g.N/g.cell$
1	20.23	4.12	166	0.10
2	8.04	3.02	98	0.05
3	3.75	1.74	20	0.10
4	40.22	13.79	597	0.04
5	36.18	20.92	306	0.05
6	25.14	21.09	92	0.04

หน่วย : มก./ล.

หมายเหตุ : ข้อมูลในภาคผนวก ก.

จากข้อมูลในตารางที่ 4.16 พบว่ามีมวลไนโตรเจนต่อมวลในจุลินทรีย์อยู่ในช่วง 0.04 - 0.10 ซึ่งใกล้เคียงกับทฤษฎีซึ่งมีค่าสัดส่วนดังกล่าวอยู่ในช่วง 0.07 - 0.12

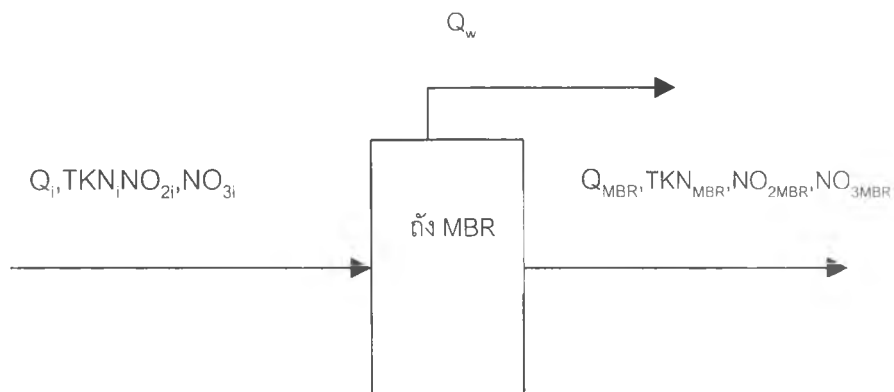
#### 4.5.6.3 อัตราการเกิดไนตริฟิเคชันในถังปฏิกรณ์

การเกิดไนตริฟิเคชันจะเกิดขึ้นได้ เมื่อมีการเติมอากาศเท่านั้น ดังนั้นจะคิดเฉพาะถังปฏิกรณ์เท่านั้น หัวข้อนี้จะไม่คิดแอมโมเนียที่ใช้ในการสร้างเซลล์(Assimilation) โดยจะคิดแอมโมเนียที่หายไปในถังปฏิกรณ์ การเกิดไนตริฟิเคชันหาได้จากการทำสมดุลมวลรอบถังปฏิกรณ์ ดังนี้

$$NI = (TKN_i - TKN_{MBR}) - AS \quad \dots\dots(4.9)$$

- โดย NI = การเกิดไนตริฟิเคชัน
- AS = การสร้างเซลล์ใหม่
- TKN<sub>i</sub> = ค่าที่เคเอ็นในน้ำเสียเข้า
- TKN<sub>MBR</sub> = ค่าที่เคเอ็นที่ออกจากถังปฏิกรณ์

การเกิดกระบวนการ Assimilation พิจารณาถังปฏิกรณ์ซึ่งเป็นถังเติมอากาศ โดยมีสมมุติฐานที่ว่า เซลล์สามารถใช้ไนโตรเจนในรูปของ แอมโมเนีย ไนไตรต์และไนเตรต ดังนั้น Assimilation หาได้จากสมการที่ 4.10 แสดงในตารางที่ 4.17 , และรูปที่ 4.19



รูปที่ 4.19 สมดุลมวลไนโตรเจนเพื่อหาAssimilation

$$AS = (TKN_i + NO_{2i} + NO_{3i}) - (TKN_{MBR} + NO_{2MBR} + NO_{3MBR}) \quad (4.10)$$

โดย AS = การสร้างเซลล์ใหม่

$TKN_i, TKN_{MBR}$  = ค่าความเข้มข้นที่เคเอ็นในน้ำเสียเข้าและถังปฏิกรณ์ (มก./ล.)

$NO_{2i}, NO_{3i}, NO_{2MBR}, NO_{3MBR}$  = ค่าความเข้มข้นไนไตรต์ ไนเตรตของน้ำเสียเข้าและถังปฏิกรณ์ (มก./ล.)

$Q_i, Q_w, Q_{MBR}$  = อัตราการไหลน้ำเสียเข้า อัตราการระบายตะกอนจุลินทรีย์ และอัตราการไหลของน้ำเสียผ่านถังกรอง (ลิตร/วัน)

ตารางที่ 4.17 การเกิด Assimilation

ชุดการทดลอง	$TKN_i$	$NO_{2i}$	$NO_{3i}$	$TKN_{MBR}$	$NO_{2MBR}$	$NO_{3MBR}$	AS
1	48.34	0.01	0.09	4.12	0.74	0.59	42.99
2	22.32	0.01	0.09	3.02	0.46	0.53	18.41
3	12.51	0.00	0.08	1.74	0.37	0.29	10.19
4	59.08	0.01	0.11	13.79	3.83	0.51	41.07
5	47.81	0.00	0.10	20.92	0.45	0.28	26.26
6	23.05	0.08	0.12	21.09	0.24	0.21	1.71

หน่วย มก./ล.

จากสมการที่ 4.9 และค่า Assimilation ในตารางที่ 4.17 จะสามารถคำนวณหาการเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชันได้ โดยแสดงในตารางที่ 4.18

ตารางที่ 4.18 การเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชัน

ชุดการทดลองที่	$TKN_i$	$TKN_{MBR}$	AS	NI	NIR ( $kg.NH_4-N/m^3-d$ )
1	48.34	4.12	42.99	1.23	0.03
2	22.32	3.02	18.41	0.89	0.05
3	12.51	1.74	9.18	0.58	0.06
4	59.08	13.79	41.07	4.22	0.11
5	47.81	20.92	26.26	0.63	0.03
6	23.05	21.09	1.71	0.25	0.03

หน่วย : มก./ล.



จากตารางที่ 4.18 จะพบว่า อัตราการเกิดไนตริฟิเคชันอยู่ระหว่าง 0.03 ถึง 0.11 กก. $\text{NH}_4\text{-N}/\text{m}^3$  (ตัวกลาง)-วัน ซึ่งมีค่าที่ต่ำกว่างานวิจัยที่ผ่านมา เช่น Lazarova และ Manem (1996) มีค่าอัตราการเกิดไนตริฟิเคชันเท่ากับ 0.6 กก.  $\text{NH}_4\text{-N}/\text{m}^3$  (ตัวกลาง)-วัน เนื่องจากสัดส่วนระหว่างซีโอดีต่อไนโตรเจนไม่เท่ากัน

#### 4.5.7 ค่าไนไตรต์และไนเตรต

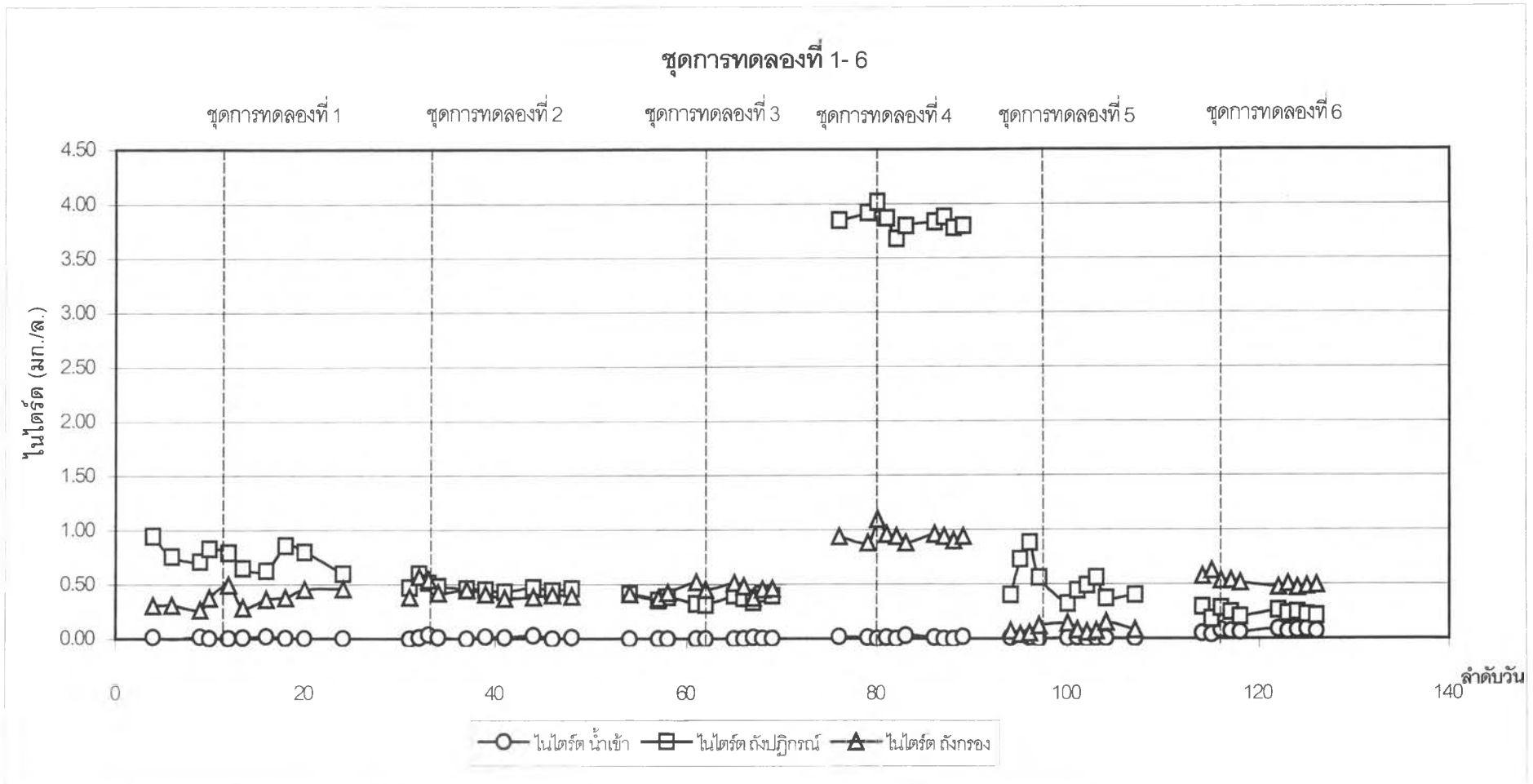
ค่าไนไตรต์และไนเตรตเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญอีกตัวหนึ่ง ในการบ่งชี้การเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชัน แสดงผลการทดลองทั้ง 6 ชุดการทดลองในรูปที่ 4.20 และ 4.21 และสรุปค่าไนไตรต์และไนเตรตในแต่ละตำแหน่งของระบบที่สภาวะคงตัวได้ในตารางที่ 4.19

ตารางที่ 4.19 สรุปค่าไนไตรต์และไนเตรตในแต่ละตำแหน่งของระบบที่สภาวะคงตัว

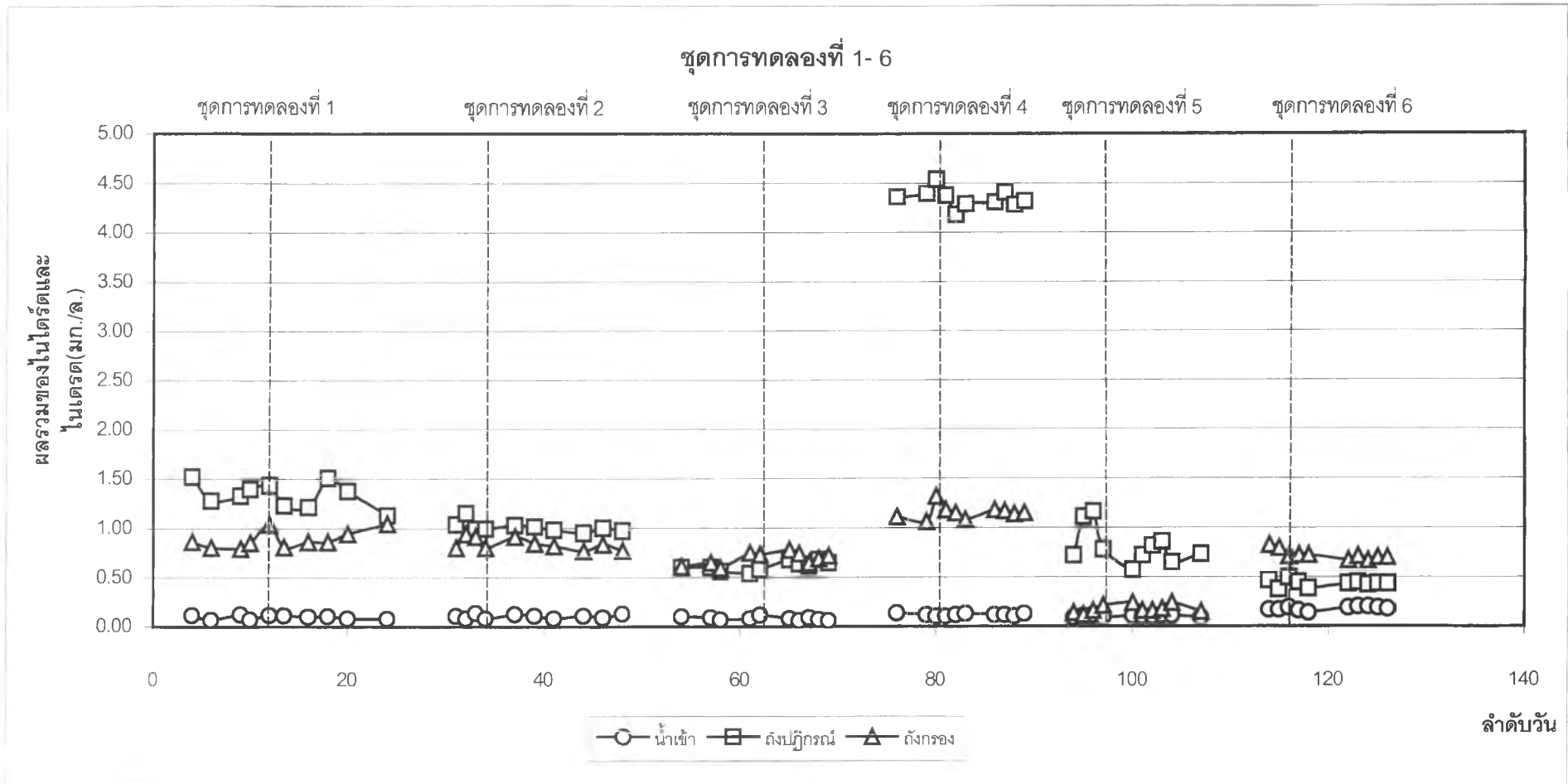
พารามิเตอร์	ชุดการทดลอง	น้ำเสียเข้า	ถังปฏิกรณ์	ถังกรอง
ไนไตรต์	1	0.01	0.74	0.40
	2	0.01	0.46	0.63
	3	0.00	0.37	0.45
	4	0.01	3.83	0.95
	5	0.00	0.45	0.10
	6	0.08	0.24	0.50
ไนเตรต	1	0.09	0.59	0.52
	2	0.09	0.53	0.42
	3	0.08	0.29	0.23
	4	0.11	0.51	0.22
	5	0.10	0.28	0.09
	6	0.12	0.21	0.20

หน่วย : มก./ล.

จากตารางที่ 4.19 เมื่อพิจารณาค่าไนไตรต์ในถังปฏิกรณ์จะเห็นว่าไนไตรต์เหลืออยู่ในทุกชุดการทดลอง ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการเกิดไนตริฟิเคชันที่ไม่สมบูรณ์ (Incompleted Nitrification) อันเนื่องมาจากระยะเวลาเก็บกักต่ำเกินไป (น้อยกว่า 2 ชม.)

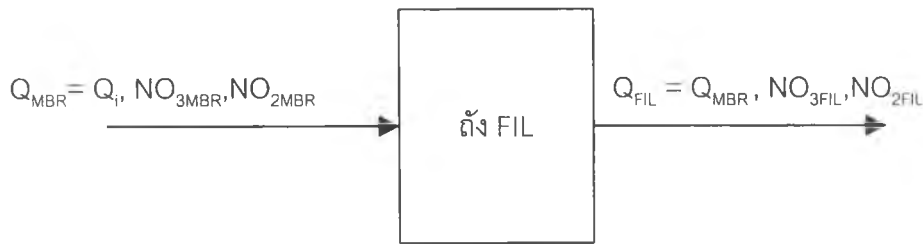


รูปที่ 4.20 ไนไตรต์ของทุกชุดการทดลอง



รูปที่ 4.21 ผลรวมของไนโตรเจนและไนเตรตของทุกชุดการทดลอง

ประสิทธิภาพการกำจัดไนไตรต์และไนเตรต จะขึ้นอยู่กับอัตราการเกิดดีไนตริฟิเคชันในระบบเป็นสำคัญ ซึ่งในการทดลองนี้จะพิจารณาที่ถังกรอง เนื่องจากไม่มีการเติมอากาศที่ถังนี้ ส่วนในถังปฏิกรณ์จะมีการเติมอากาศตลอดเวลาดังแสดงในรูปที่ 4.22 ซึ่งเป็นการแยกถังกรองออกจากระบบ เพื่อหาอัตราการเกิดดีไนตริฟิเคชัน



รูปที่ 4.22 การหาอัตราการเกิดดีไนตริฟิเคชันในถังกรอง

ในการหาอัตราการเกิดดีไนตริฟิเคชันใช้สมมุติฐานที่ว่า จุลินทรีย์ชนิดออกซิโดโทรฟใช้ในเตรตและไนไตรต์เป็นตัวรับอิเล็กตรอนในการย่อยสลายสารอินทรีย์คาร์บอน ดังนั้นอัตราดีไนตริฟิเคชันหาได้จากสมการ 4.11 และสรุปไว้ในตารางที่ 4.20 ดังนี้

$$DN = (NO_{3MBR} + NO_{2MBR}) - (NO_{3FIL} + NO_{2FIL}) \quad \dots\dots(4.11)$$

- เมื่อ  $DN$  = การเกิดดีไนตริฟิเคชัน (มก./ล.)
- $NO_{2MBR}, NO_{3MBR}$  = ความเข้มข้นของ ไนไตรต์และไนเตรตในถังปฏิกรณ์ (มก./ล.)
- $NO_{2FIL}, NO_{3FIL}$  = ความเข้มข้นของ ไนไตรต์และไนเตรตในถังกรอง (มก./ล.)

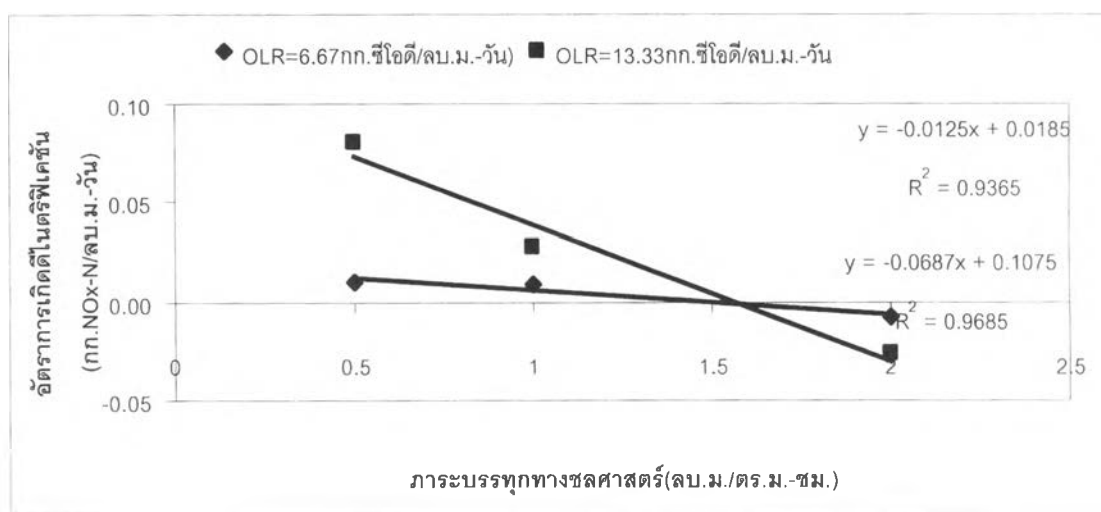
ตารางที่ 4.20 การเกิดดีไนตริฟิเคชันในถังกรอง

ชุดการทดลอง	$NO_{2MBR}$	$NO_{3MBR}$	$NO_{2FIL}$	$NO_{3FIL}$	DN	DNR ( $kg.NO_x-N/m^3-d$ )
1	0.74	0.59	0.40	0.52	0.41	0.01
2	0.46	0.53	0.40	0.42	0.17	0.01
3	0.37	0.27	0.45	0.26	-0.07	-0.01
4	3.83	0.51	0.95	0.22	3.17	0.08
5	0.45	0.28	0.10	0.09	0.54	0.03
6	0.24	0.21	0.50	0.20	-0.25	-0.03

หน่วย : มก./ล.

จากตารางที่ 4.20 และรูปที่ 4.23 พบว่าอัตราการเกิดดีไนโตรฟิเคชันจะมีแนวโน้มที่ลดลงเมื่อภาระบรรทุกทางชีวศาสตร์สูงขึ้น โดยการเกิดดีไนโตรฟิเคชันล้มเหลวเมื่อภาระบรรทุกทางชีวศาสตร์เท่ากับ 2 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม.(ระยะเวลาเก็บกัก 30 นาที) ซึ่งค่าอัตราการเกิดดีไนโตรฟิเคชันจะมีค่าติดลบ

จากตารางที่ 4.20 และรูปที่ 4.23 พบว่าการเกิดดีไนโตรฟิเคชันจะมีค่าตั้งแต่ 0.00 – 3.17 มก.(NO<sub>x</sub><sup>-</sup> - N)/ล. หรือคิดเป็นอัตราการเกิดดีไนโตรฟิเคชันตั้งแต่ 0.00 - 0.08 กก. (NO<sub>x</sub><sup>-</sup> - N) / ลบ.ม. (ตัวกลาง) – วัน ขึ้นอยู่กับค่าไนเตรทและไนโตรที่ออกมาจากระบวนการไนโตรฟิเคชันในถังปฏิกรณ์เป็นสำคัญ



รูปที่ 4.23 ความสัมพันธ์ระหว่างภาระบรรทุกทางชีวศาสตร์และภาระบรรทุกสารอินทรีย์กับอัตราการเกิดดีไนโตรฟิเคชันของถังกรอง

จากรูปที่ 4.23 ที่ค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 6.67 และ 13.33 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน. พบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างภาระบรรทุกทางชีวศาสตร์กับอัตราการเกิดดีไนโตรฟิเคชันเป็นแบบเชิงเส้น โดยสามารถเขียนเป็นความสัมพันธ์ดังแสดงในสมการที่ 4.12 และ 4.13 ตามลำดับ

$$DNR = -0.0125(HLR) + 0.0185 \quad \dots\dots(4.12)$$

$$DNR = -0.0687(HLR) + 0.1075 \quad \dots\dots(4.13)$$

เมื่อ DNR = อัตราการเกิดดีไนโตรฟิเคชัน(มก./ล.)  
 HLR = ภาระบรรทุกชีวศาสตร์(ลบ.ม./ตร.ม.-ชม.)

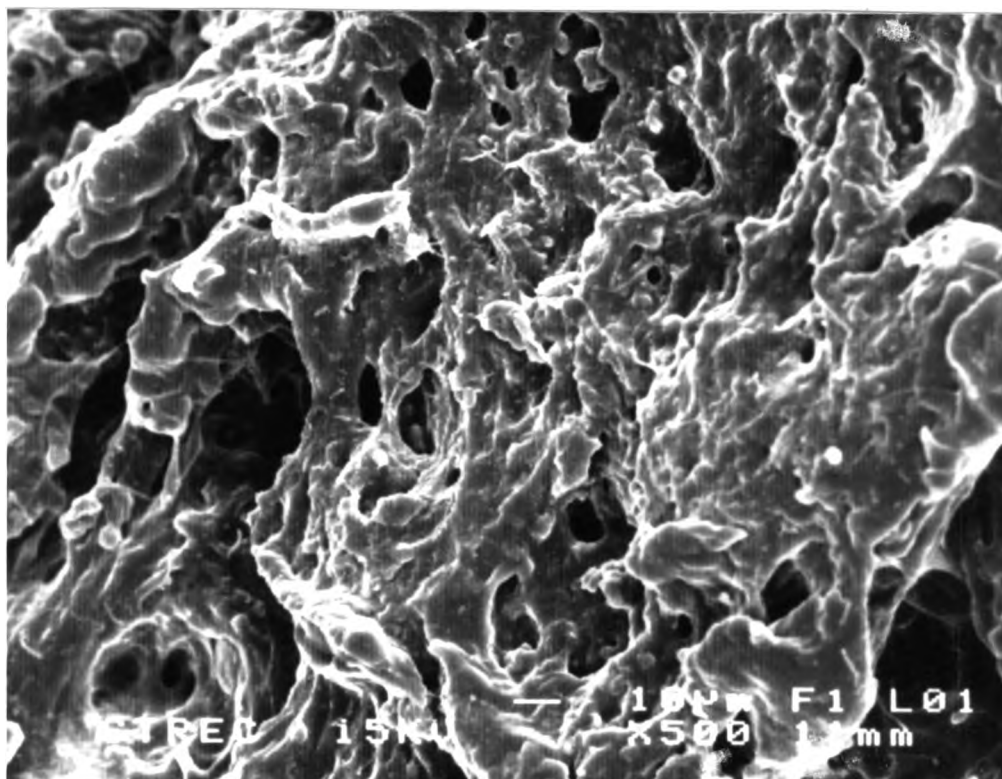


#### 4.6 ลักษณะของแบคทีเรียที่พบในระบบ

ในการทดลองครั้งนี้ได้แบ่งการวิเคราะห์เชื้อจุลินทรีย์ที่พบในระบบออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนแรกวิเคราะห์ลักษณะของจุลินทรีย์ในน้ำตะกอน และส่วนที่สองเป็นการวิเคราะห์จุลินทรีย์ที่อยู่ในตัวกลางสารกรอง

ตอนแรกของการทดลองจะทำการวิเคราะห์ตัวอย่างสารกรองก่อนใช้งานเพื่อดูลักษณะผิวของชั้นกรอง ตอนที่สองจะทำการวิเคราะห์จุลินทรีย์ที่อยู่ในระบบทั้งแขวนลอยและเกาะติดตัวกลาง การวิเคราะห์จุลินทรีย์ทั้งสองตอนใช้เครื่องมือที่เรียกว่า Scanning Electron Microscope (SEM)

ภาพที่ 4.1 เป็นตัวกลางสารกรองก่อนใช้งาน จะพบว่าไม่มีจุลินทรีย์เกาะติดตัวกลางและภายในตัวกลางสารกรองนี้ พื้นผิวมีความขรุขระมาก แสดงให้เห็นถึงพื้นที่ผิวที่เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับลักษณะของพื้นที่ผิวที่เรียบและพื้นผิวที่มีความขรุขระยังเป็นแหล่งที่อยู่อาศัยของจุลินทรีย์

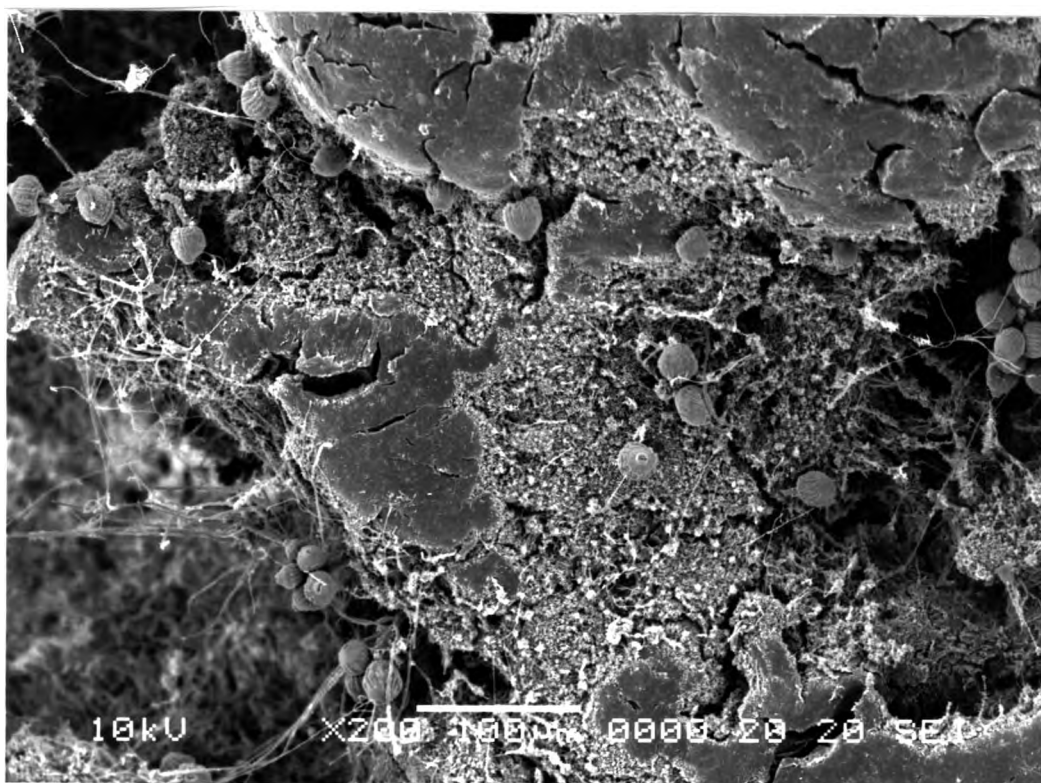


ภาพที่ 4.1 ลักษณะตัวกลางก่อนใช้งาน

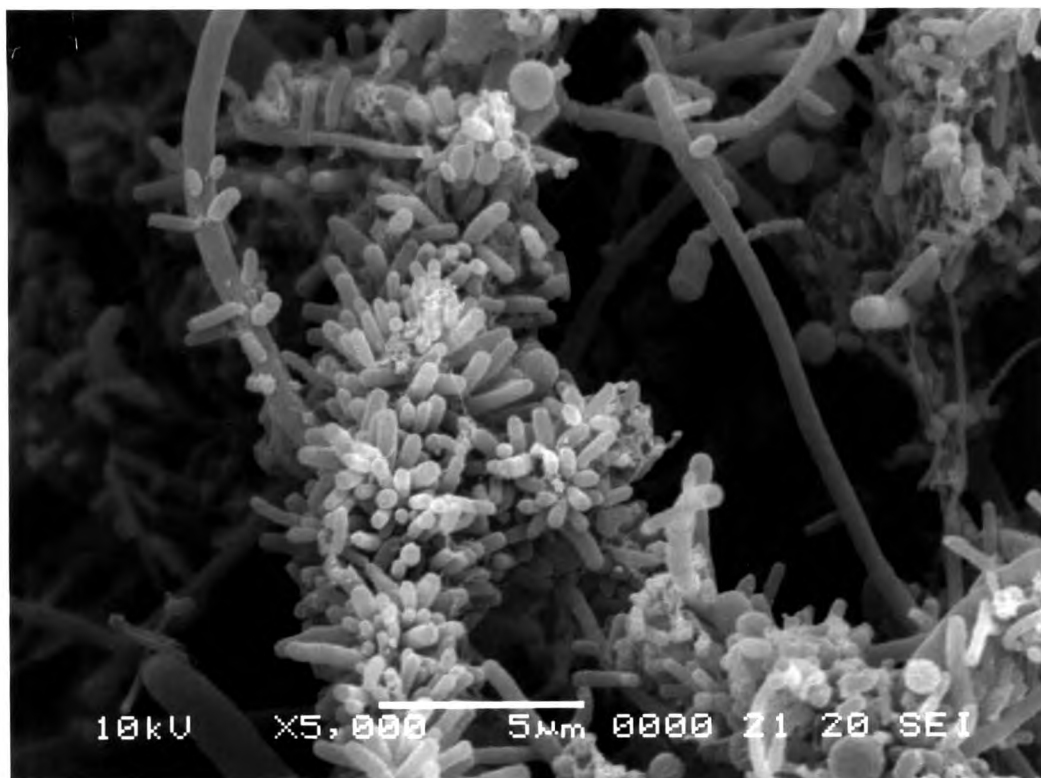
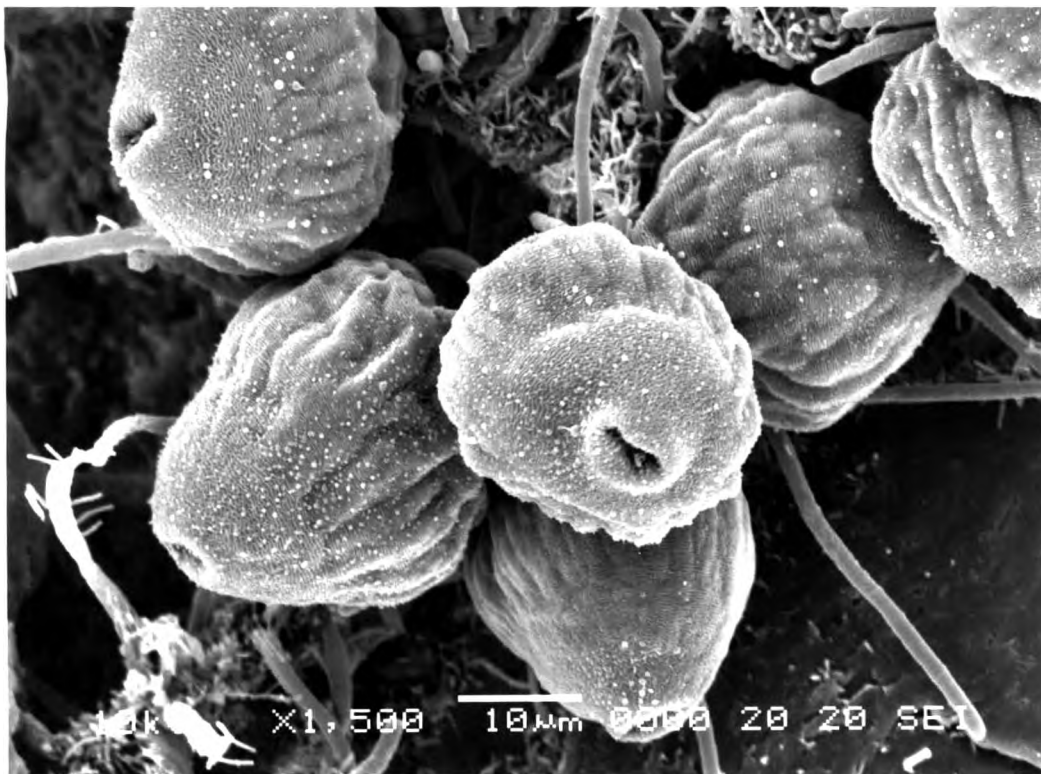
ภาพที่ 4.2 เป็นตัวอย่างที่เก็บขึ้นมาหลังจากใช้งานแล้ว พบว่าบริเวณพื้นผิวที่ไม่มีความขรุขระ จะพบจุลินทรีย์อยู่น้อยมาก ในขณะที่ผิวที่มีความขรุขระสูง จุลินทรีย์ ส่วนใหญ่จะสามารถเกาะติดตัวกลางสารกรองได้ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าตัวกลางที่นำมาใช้ในระบบบำบัดน้ำเสีย มีความเหมาะสมในการเป็นที่อยู่อาศัยของจุลินทรีย์ และจุลินทรีย์ที่เกาะติดผิวตัวกลางจะมีความหนาแน่นมากส่งผลให้มีปริมาณจุลินทรีย์ในระบบเพิ่มมากขึ้น

จุลินทรีย์ที่เกาะติดตัวกลางเป็นแบคทีเรียส่วนใหญ่ และยังพบว่ายังมีสิ่งมีชีวิตชั้นสูงจำพวกโปรโตซัวซึ่งเป็นสัตว์เซลล์เดียว จะทำหน้าที่กินแบคทีเรียที่หลุดออกมากับน้ำทิ้งทำให้น้ำใส

แบคทีเรียที่พบมีหลากหลายสายพันธุ์พิจารณาได้จากลักษณะทางกายภาพ คือ มีรูปร่างเป็นแท่ง(Rods) รูปร่างกลมหรือรี(Cocci)ปะปนอยู่ด้วย นอกจากนี้ยังพบจุลินทรีย์ที่เป็นเมือก (Slime Bacteria)



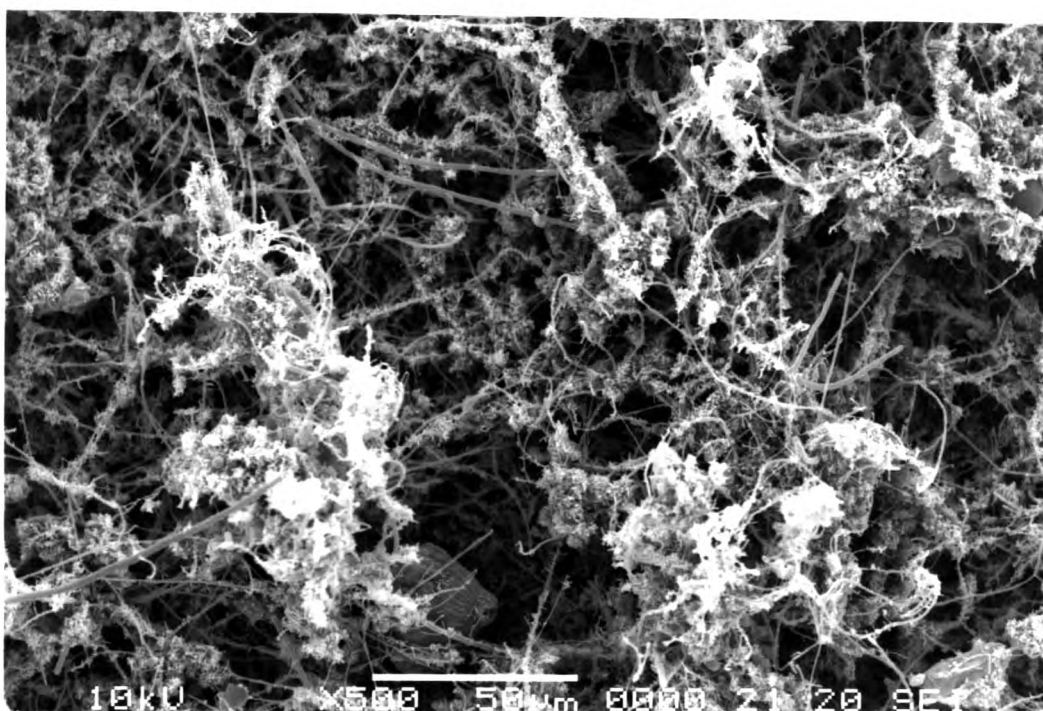
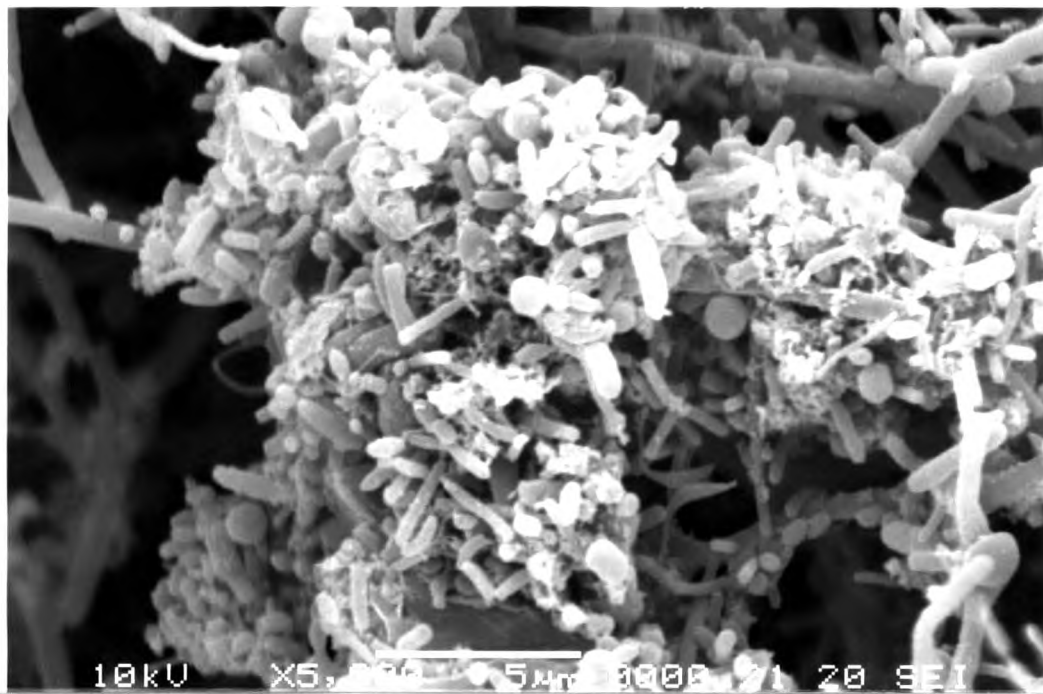
ภาพที่ 4.2 ลักษณะจุลินทรีย์เกาะติดตัวกลาง



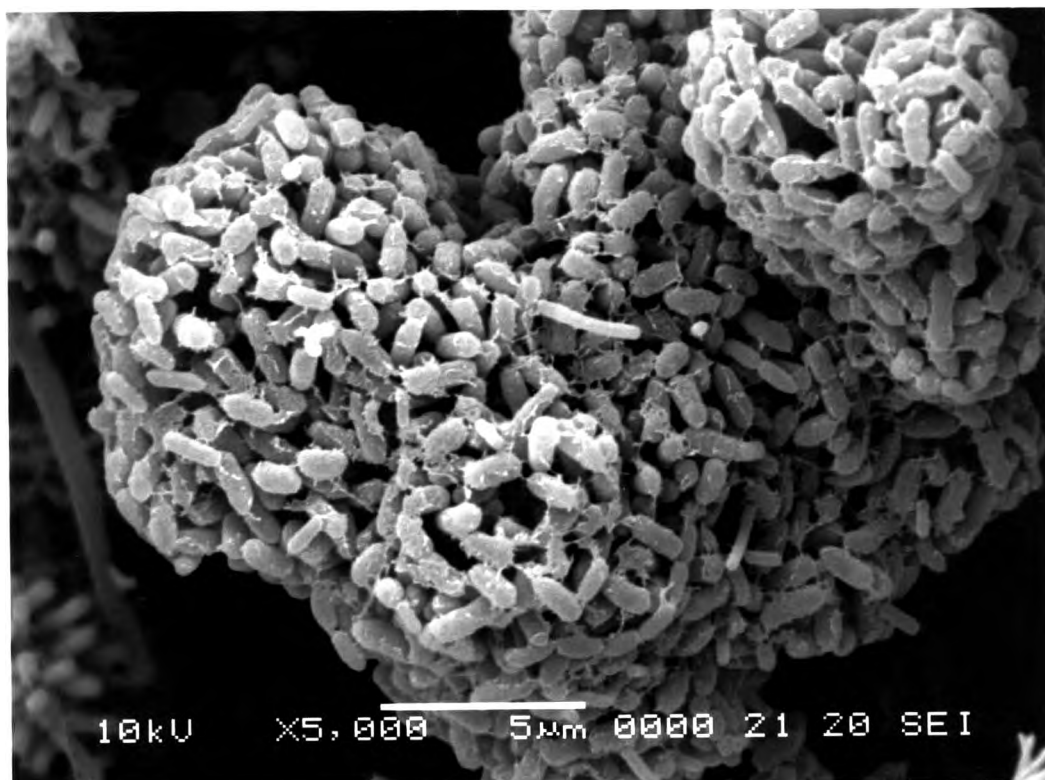
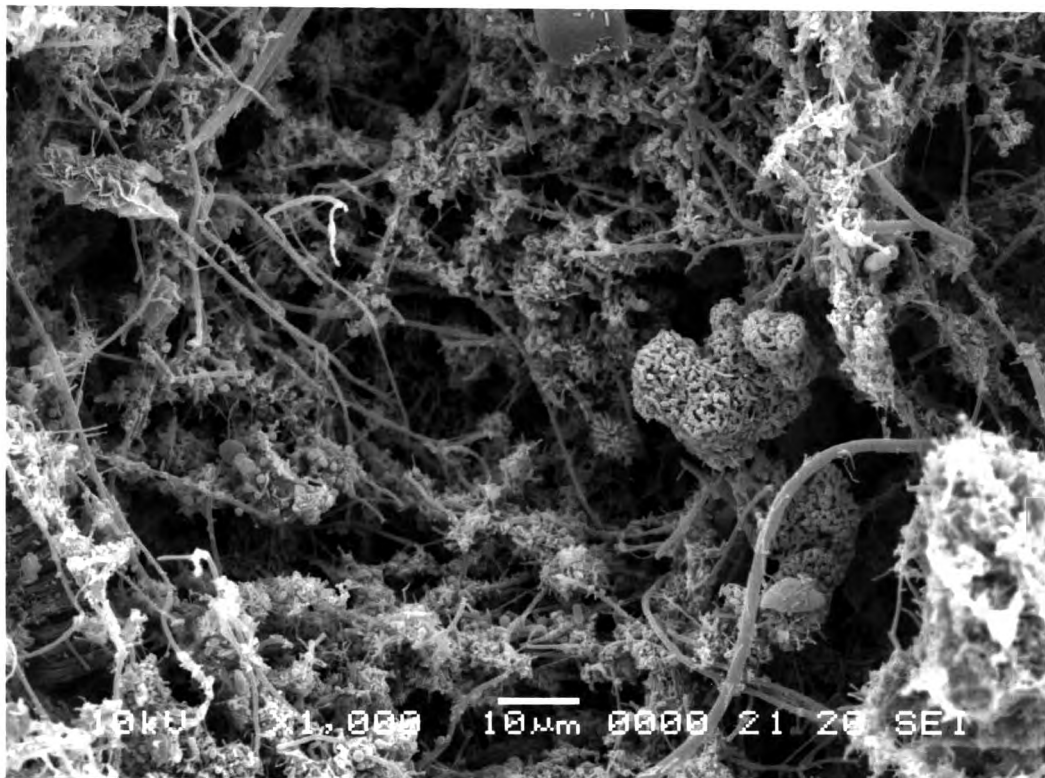
ภาพที่ 4.2 ลักษณะจุลินทรีย์เกาะติดตัวกลาง (ต่อ)



ภาพที่ 4.3 เป็นการวิเคราะห์จุลินทรีย์ในน้ำตะกอน พบว่าจุลินทรีย์มีการแบ่งตัวสังเกตจากรูปร่างของลำตัวมีลักษณะเป็นคอคอด และพบอีกว่าจุลินทรีย์เกาะตัวกันเป็นกลุ่มก้อนหรือที่เรียกว่า ฟลอค โดยบริเวณที่ผิวของจุลินทรีย์จะสังเกตว่ามีเมือก(Extra Cellular Polymers, ECPs) มาปกคลุมอยู่รอบๆเซลล์ เพื่อทำหน้าที่ประสานเซลล์จุลินทรีย์ให้เกาะติดกัน



ภาพที่ 4.3 ลักษณะจุลินทรีย์ในน้ำตะกอน



ภาพที่ 4.3 ลักษณะจุลินทรีย์ในน้ำตะกอน (ต่อ)