

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

#### 4.1 การเริ่มดำเนินการทดลอง

ในงานวิจัยนี้แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ช่วง ในช่วงที่ 1 จะเป็นการศึกษาประสิทธิภาพของระบบอ็อกซิเจนในการบำบัดน้ำเสียสะพานปลา ส่วนช่วงที่ 2 จะเป็นการศึกษาประสิทธิภาพของระบบอ็อกซิเจนร่วมกับถังกรองชีวภาพ การทดลองทั้งหมดกระทำที่ห้องปฏิบัติการของภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และใช้น้ำเสียจริงจากสะพานปลา จังหวัดสมุทรสาคร ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำการขนน้ำเสียทุกวันอาทิตย์มาเพื่อสำรองไว้สำหรับทำการทดลองเป็นเวลา 7 วัน ในการเตรียมน้ำเสียนั้นจะทำการเตรียมวันต่อวันเพื่อให้มีลักษณะใกล้เคียงกันทุกวัน โดยจะเจือจางน้ำเสียให้มีค่าซีโอดีประมาณ 3000 มก./ล. และจะมีการทำความสะอาดถังพักน้ำเสียก่อนที่จะเติมน้ำเสียลงไปใหม่ เพื่อไม่ให้มีตะกอนค้างอยู่ในถังพักน้ำเสีย ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของน้ำเสียได้

การเริ่มเดินระบบในช่วงที่ 1 จะเป็นการศึกษาการทดลองเดินระบบอ็อกซิเจนเพียงอย่างเดียวจะใช้ถังปฏิกรณ์จำนวน 3 ชุด ทำการติดตั้งอุปกรณ์เหมือนกันทั้ง 3 ชุด ในการเริ่มเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์ จะใช้เชื้อเม็ดตะกอนจุลินทรีย์จากถังยูเอเอสพีของโรงงานแปซิฟิก มาร์ริน ซีฟู้ด จำกัด ซึ่งมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 - 3 มม. โดยเติมเชื้อประมาณ 40 % ของความสูงของถังปฏิกรณ์ทั้ง 3 ชุดการทดลอง เพื่อให้เชื้อสามารถปรับตัวจึงทำการเจือจางน้ำเสียให้มีค่าซีโอดีเริ่มต้นจาก 500 มก./ล. ก่อนแล้วจึงค่อยๆ เพิ่มซีโอดีขึ้นจนเป็น 3000 มก./ล. ซึ่งจะใช้เวลาประมาณ 1 เดือน ในการปรับสภาพของเชื้อเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ใช้เวลาไม่นาน เนื่องจากเชื้อที่ใช้มีความคุ้นเคยกับน้ำเสียโปรตีน และความเค็มอยู่แล้ว ส่วนในการปรับค่าความเร็วไหลขึ้นในถังปฏิกรณ์ ในช่วงแรกจะปรับความเร็วในการไหลจากต่ำๆ ก่อนเพื่อให้เชื้อเกิดความคุ้นเคย แล้วจึงเพิ่มความเร็วไหลขึ้นทีละนิด ในระหว่างการปรับจะมีการหลุดออกของเชื้อจุลินทรีย์ จึงเติมเชื้อเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ลงไปเพิ่มเพื่อรักษาระดับของเชื้อจุลินทรีย์ภายในถังปฏิกรณ์ จนสามารถปรับความเร็วไหลขึ้นเป็น 3 ม./ชม. ในชุดการทดลองที่ 1 ส่วนในชุดการทดลองที่ 2 และ 3 ก็ปรับความเร็วไหลขึ้นเป็น 5 และ 7 ม./ชม. ตามลำดับ หลังจากนั้นจึงเริ่มทำการทดลองเดินระบบในชุดการทดลองที่ 1/1, 1/2 และ 1/3

ช่วงที่ 2 คือการศึกษาการทดลองเดินระบบอ็อกซิเจน - ถังกรองชีวภาพ ในการเริ่มเดินระบบจะใช้ระบบอ็อกซิเจนจากระยะแรกที่เลือกค่าที่เหมาะสมแล้ว และจะมีการเพิ่มถังปฏิกรณ์ของถังกรองชีวภาพอีก 2 ชุด ตัวกลางที่ใช้สำหรับถังกรองชีวภาพ จะมีการนำไปแช่น้ำก่อนเพื่อไล่อากาศที่อยู่ในตัวกลางออกก่อน แล้วจึงนำตัวกลางไปใส่ในถังปฏิกรณ์ โดยในถังปฏิกรณ์ถังแรกนั้นจะมีการใส่สายเติมอากาศลงไปที่ยกกลางของถังปฏิกรณ์หรือที่ระยะ 50 ซม. ส่วนถังปฏิกรณ์ถังที่สองจะใส่สายเติมอากาศลงไปที่ยกสองในสามของถังปฏิกรณ์หรือที่ระยะ 67 ซม. นับจากด้านล่างของถังปฏิกรณ์ หลังจากนั้นจึงเติมตัวกลางลงไปเพิ่มให้ได้ความสูงประมาณ 100 ซม. การเริ่มเลี้ยงเชื้อให้เกาะที่ตัวกลางนั้นจะใช้เชื้อจากระบบ Activated Sludge ของโรงงานแปซิฟิกมารีริน ซีฟูด จำกัด ดังนั้นเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้จึงมีความคุ้นเคยกับน้ำเสียเป็นอย่างดี ใส่เชื้อจุลินทรีย์ดังกล่าวลงในถังปฏิกรณ์ทั้งสองถัง เพื่อให้เชื้อจุลินทรีย์เกิดความคุ้นเคยกับระบบ ในระยะแรกนั้นจะไม่มีกรบ่อน้ำเสียอย่างต่อเนื่องไปในถังแต่จะทำการเติมน้ำเสียเข้าไปวันละประมาณครึ่งลิตร และปรับอัตราการเวียนน้ำกลับเป็น 16 ลิตร/วัน เมื่อปล่อยทิ้งไว้ประมาณ 2 เดือน สังเกตเห็นว่ามิเชื้อเกาะที่ผิวตัวกลางจึงเริ่มบ่อน้ำเสียอย่างต่อเนื่องเข้าระบบ

#### 4.2 ผลการทดลองการศึกษาประสิทธิภาพของระบบอ็อกซิเจน

ในการศึกษาการเดินระบบอ็อกซิเจนนี้จะมีชุดการทดลองทั้งหมด 3 ชุดการทดลอง มีการเปลี่ยนค่าภาระบรทุกสารอินทรีย์เป็น 3 ค่า คือ ที่ภาระบรทุกสารอินทรีย์ 6, 9 และ 12 กก. ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ซึ่งการทดลองในช่วงนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาผลของภาระบรทุกสารอินทรีย์ และผลของความเร็วไหลขึ้นที่มีต่อประสิทธิภาพการทำงานของระบบ ผลการทดลองสามารถแยกออกได้ตามค่าภาระบรทุกสารอินทรีย์ ดังนี้

##### 4.2.1 ภาระบรทุกสารอินทรีย์ 6 กกซีไอดี/ลบ.ม.-วัน

ที่ภาระบรทุกสารอินทรีย์ 6 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน มีเวลากักน้ำ 12 ชม. อัตราการสูบน้ำเสียเข้าระบบ 4 ล./วัน แบ่งการทดลองเป็น 3 ชุด คือ ปรับค่าความเร็วไหลขึ้นในถังปฏิกรณ์เป็น 3, 5 และ 7 ม./ชม. โดยรูปที่ 4.1 แสดงค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ตลอดการทดลอง และตารางที่ 4.1 เป็นผลการทดลองของพารามิเตอร์ที่วัดในช่วงที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวแล้ว

จากตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.1 จะเห็นว่า น้ำเสียเข้ามีค่าซีโอดีเฉลี่ย 3132 มก./ล. ค่าซีโอดีของน้ำออกทุกชุดมีค่าใกล้เคียงกัน คือ ที่ความเร็วไหลขึ้น 3, 5 และ 7 ม./ชม. มีค่าซีโอดีของน้ำออกเฉลี่ยเท่ากับ 187, 160 และ 154 มก./ล. ตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี 94 - 95 % โดยมีปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นทั้งหมดเฉลี่ย 8.8 - 8.9 ล./วัน และคิดเป็นอัตราการผลิตก๊าซเฉลี่ยประมาณ 0.74 ลบ.ม./กก.ซีโอดีที่ถูกกำจัด ส่วนค่าบีโอดีเฉลี่ยของน้ำออกอยู่ในช่วง 133 - 146 มก./ล. ซึ่งมีประสิทธิภาพในการกำจัดบีโอดีเท่ากับ คือ ประมาณ 95 %

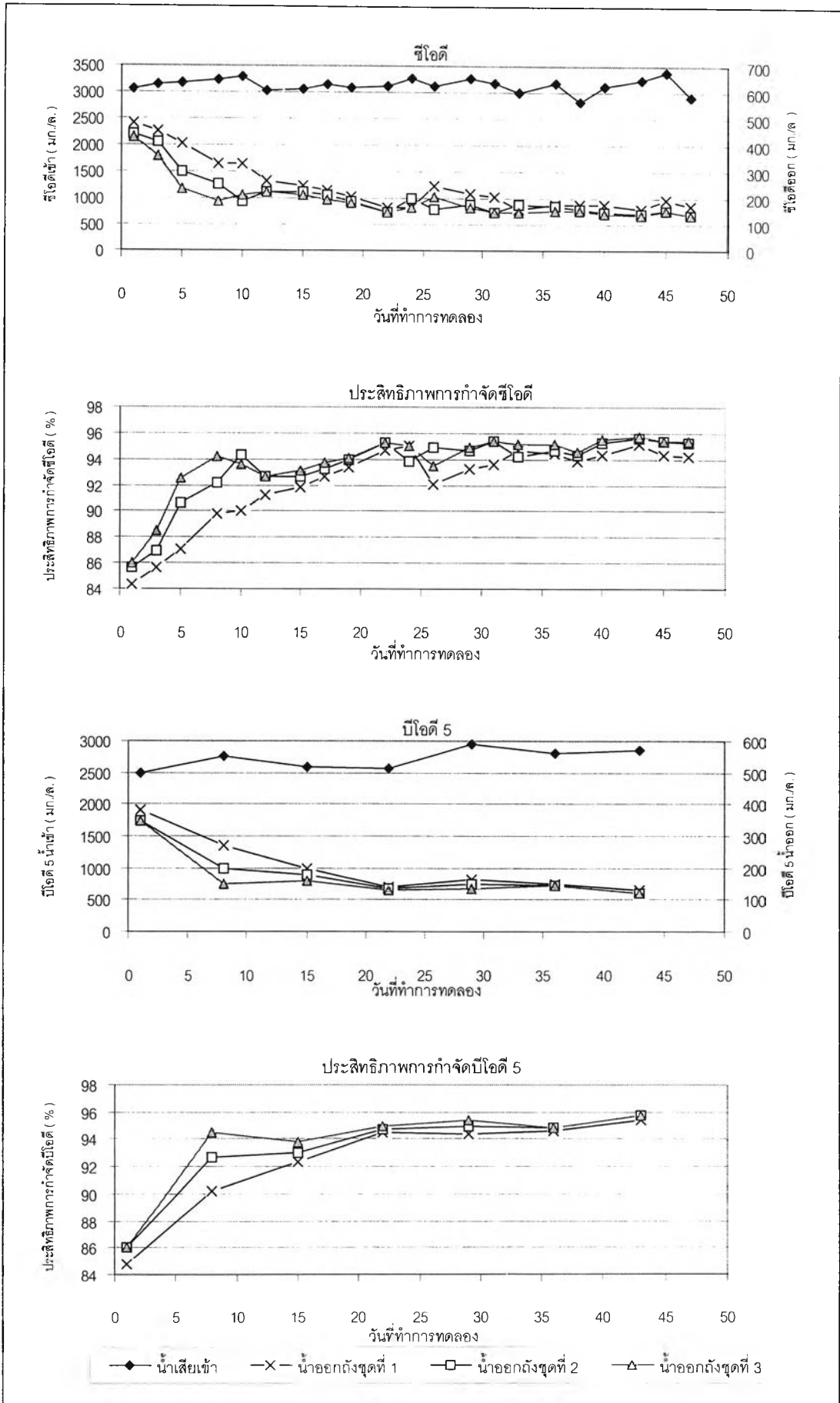
ในช่วงแรกของการทดลองจะเห็นว่าค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำเสียเข้าน้อยกว่าน้ำเสียออก เนื่องจากเป็นช่วงเริ่มปรับค่าความเร็วไหลขึ้นให้มีค่าตามที่กำหนดไว้ ซึ่งเป็นค่าที่ค่อนข้างสูงจึงทำให้เชื้อบางส่วนที่ยังไม่สามารถปรับตัวได้หลุดออกไป แต่ในช่วงต่อมาเมื่อเชื้อเม็ดตะกอนสามารถปรับตัวได้แล้วค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำออกจากระบบจะมีค่าลดลงเรื่อยๆ จนมีค่าค่อนข้างคงที่ โดยมีค่าเฉลี่ยของของแข็งแขวนลอยในน้ำออกช่วงสภาวะคงตัวที่ความเร็วไหลขึ้น 3, 5 และ 7 ม./ชม. เท่ากับ 271, 283 และ 294 มก./ล. ตามลำดับ และคิดเป็นประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยอยู่ในช่วง 55 - 60 %

น้ำเสียเข้ามีค่าที่เคเอ็นเฉลี่ย 639 มก./ล. และมีค่าที่เคเอ็นเฉลี่ยของน้ำออกทั้ง 3 ชุดการทดลองเท่ากับ 604 - 613 มก./ล. คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัด 4 - 5 % กรดไขมันระเหยของน้ำเสียเข้ามีค่า 1125 มก./ล.as  $\text{CaCO}_3$  สภาพต่าง 1310 มก./ล.as  $\text{CaCO}_3$  และมีอัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างเป็น 0.87 ที่ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม. น้ำออกมีกรดไขมันระเหย 472 มก./ล.as  $\text{CaCO}_3$  สภาพต่าง 2228 มก./ล.as  $\text{CaCO}_3$  ที่ความเร็วไหลขึ้น 5 ม./ชม. น้ำออกมีค่ากรดไขมันระเหย 457 มก./ล.as  $\text{CaCO}_3$  มีสภาพต่าง 2275 มก./ล.as  $\text{CaCO}_3$  ส่วนที่ความเร็วไหลขึ้น 7 ม./ชม. น้ำออกมีค่ากรดไขมันระเหย 450 มก./ล.as  $\text{CaCO}_3$  สภาพต่าง 2262 มก./ล.as  $\text{CaCO}_3$  โดยทั้ง 3 ชุดการทดลองมีอัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างประมาณ 0.2 เท่ากัน

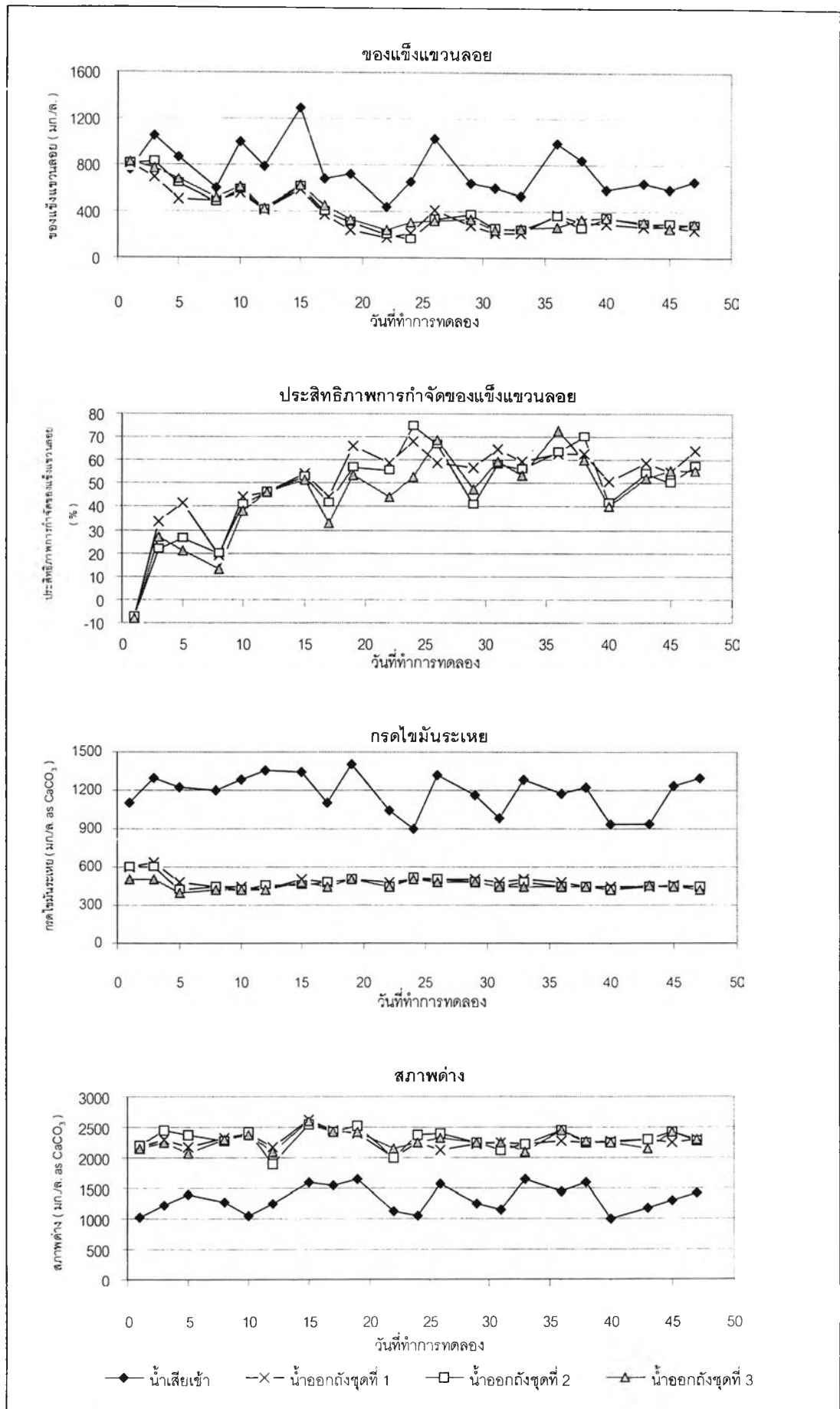
จะเห็นว่าค่าพีเอชภายในถังปฏิกรณ์มีค่าค่อนข้างคงที่คือ 6.84 - 6.87 และอยู่ในช่วงที่เหมาะสมที่ระบบจะทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่วนที่ค่าพีเอชเฉลี่ยของน้ำเสียออกจากระบบมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายในน้ำเสียระเหยออกสู่อากาศค่าพีเอชจึงเพิ่มสูงขึ้น ส่วนค่าไออาร์พีของน้ำออกจากระบบอยู่ในช่วง -356 ถึง -363 มิลลิโวลต์ โดยจะเห็นว่าค่าไออาร์พีทุกชุดการทดลองนั้นมีค่าเป็นลบเนื่องจากระบบเป็นระบบไร้อากาศ และไออาร์พีมีค่าต่ำกว่า -300 มิลลิโวลต์ ซึ่งแสดงว่าเกิดปฏิกิริยาย่อยสลายแบบไร้อากาศได้เป็นอย่างดี

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองของระบบอีจีเอสบีที่ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 6 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน

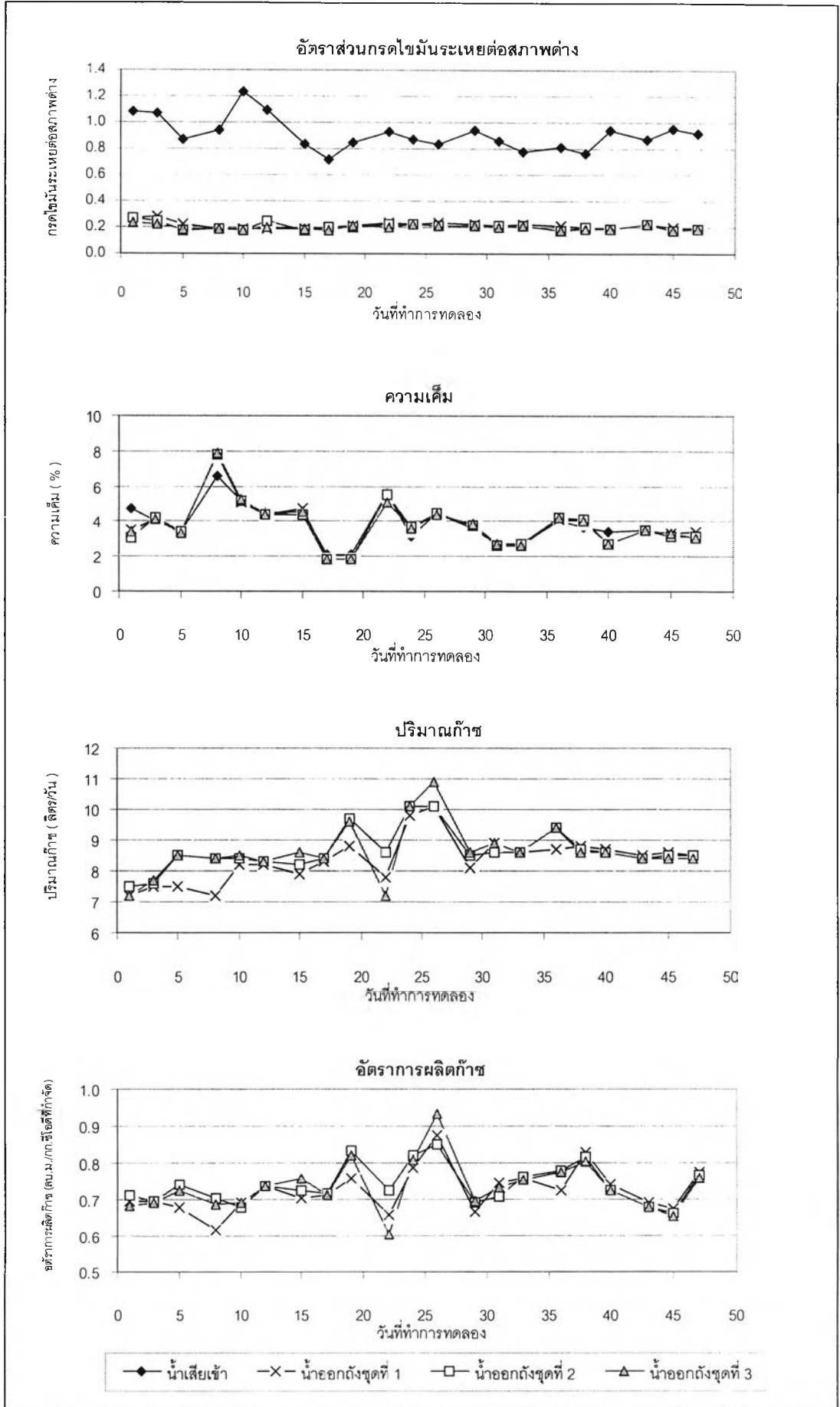
พารามิเตอร์	น้ำเสีย	น้ำออกที่ความเร็วไหลขึ้น ( ม./ชม. )		
		3	5	7
ซีไอดีกรอง ( มก./ล. )	3132	187	160	154
n = 12, SD.	156.68	27.30	18.38	18.23
ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดี ( % )	-	94.14	94.90	95.08
n = 12, SD.	-	0.85	0.57	0.59
บีไอดี ( มก./ล. )	2790	146	138	133
n = 4, SD.	165.53	14.93	13.23	10.41
ประสิทธิภาพการกำจัดบีไอดี ( % )	-	94.75	95.06	95.24
n = 4, SD.	-	0.47	0.49	0.45
ของแข็งแขวนลอย ( มก./ล. )	684	271	283	294
n = 12, SD.	177.70	69.67	66.48	39.53
ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอย ( % )	-	60.08	57.43	55.13
n = 12, SD.	-	4.71	10.37	9.29
ปริมาณก๊าซทั้งหมด ( ล./วัน )	-	8.8	8.9	8.8
n = 12, SD.	-	0.64	0.62	0.94
อัตราการผลิตก๊าซ ( ลบ.ม./กก.ซีไอดีที่กำจัด )	-	0.74	0.75	0.74
n = 12, SD.	-	0.07	0.06	0.08
ทีเคเอ็น ( มก./ล. )	639	613	613	604
n = 8, SD.	79.17	83.92	80.51	81.78
ประสิทธิภาพการกำจัดทีเคเอ็น ( % )	-	4.21	4.15	5.57
n = 8, SD.	-	2.81	3.68	3.35
พีเอช	6.55	7.61	7.60	7.63
n = 12, SD.	0.12	0.09	0.09	0.09
พีเอชภายในถังปฏิกรณ์	-	6.86	6.84	6.87
n = 12, SD.	-	0.07	0.06	0.05
ไออาร์พี ( มิลลิโวลท์ )	-321	-356	-362	-363
n = 12, SD.	16.97	16.02	14.21	13.29
กรดไขมันระเหย ( มก./ล.as CaCO <sub>3</sub> )	1125	472	457	450
n = 12, SD.	155.65	26.23	30.55	24.86
สภาพด่าง ( มก./ล.as CaCO <sub>3</sub> )	1310	2228	2275	2262
n = 12, SD.	224.90	86.74	128.24	102.14
อัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่าง	0.87	0.21	0.20	0.20
n = 12, SD.	0.06	0.02	0.02	0.02
จุดหนุมิ ( องศาเซลเซียส )	-	29.1	29.2	29.0
n = 12, SD.	-	0.59	0.65	0.64
ความเค็ม ( % )	3.6	3.6	3.6	3.6
n = 12, SD.	0.79	0.83	0.85	0.77



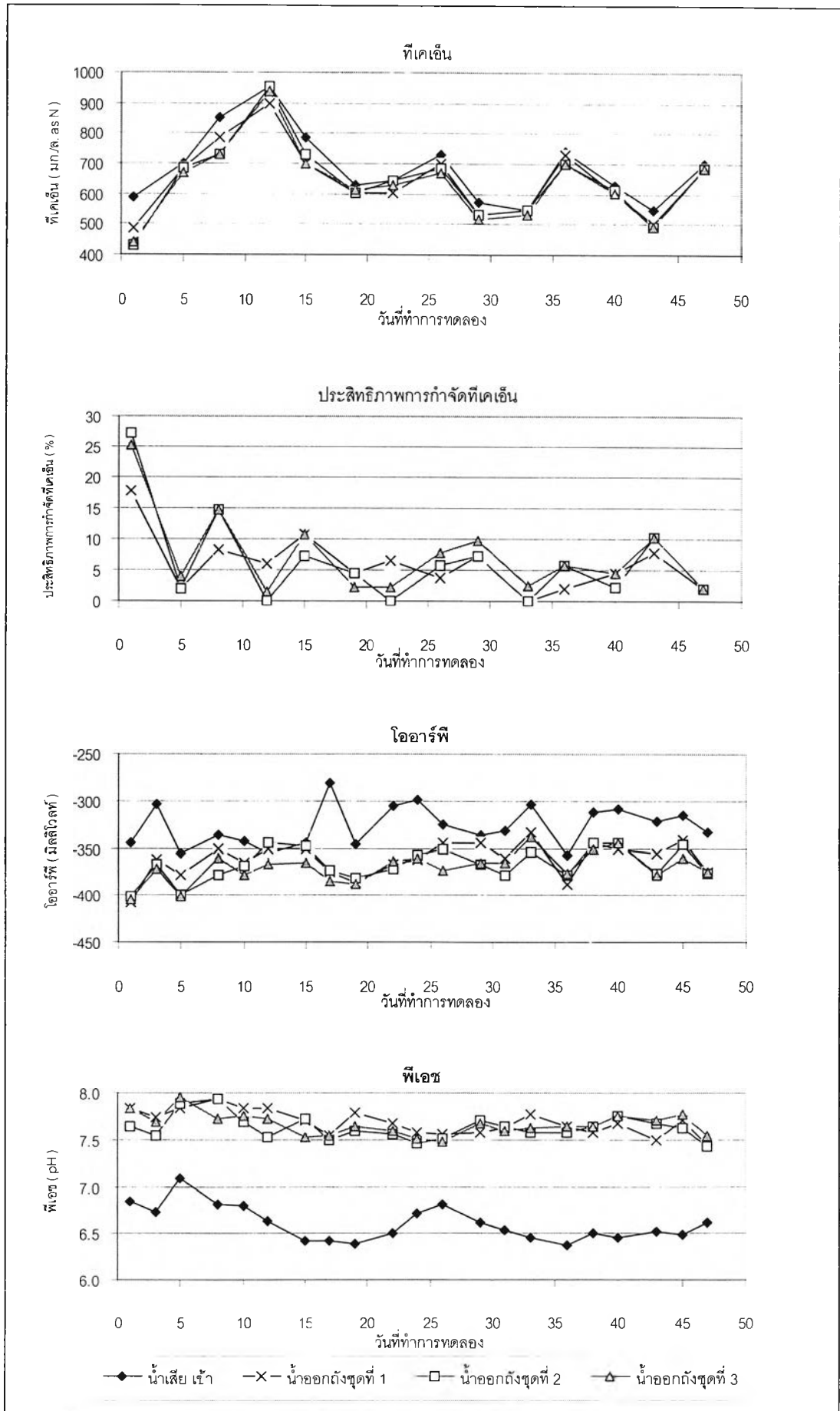
รูปที่ 4.1 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 6 กก.ชีไอต์/ลบ.ม.-วัน



รูปที่ 4.1 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ภาวะบรรทุกลบสารอินทรีย์ 6 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน (ต่อ)



รูปที่ 4.1 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ภาวะบรรพบุกรุกสารอินทรีย์ 6 กก.ชีโอดี/ลบ.ม.-วัน (ต่อ)



รูปที่ 4.1 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ภาวะบรพูกสารอินทรีย์ 6 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน (ต่อ)



#### 4.2.2 ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 9 กกซีไอดี/ลบ.ม.-วัน

ที่ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 9 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน มีเวลากักน้ำเสียในถังปฏิกรณ์ เท่ากับ 8 ชม. อัตราการสูบน้ำเสียเข้าระบบ 6 ล./วัน มีการแบ่งการทดลองเป็น 3 ชุด โดยมีค่าความเร็วไหลขึ้นในถังปฏิกรณ์ 3 ค่าเช่นเดียวกับที่ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 6 กกซีไอดี/ลบ.ม.-วัน คือ 3, 5 และ 7 ม./ชม. โดยรูปที่ 4.2 แสดงค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ตลอดการทดลอง และตารางที่ 4.2 เป็นผลของพารามิเตอร์ที่วัดในช่วงที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวแล้ว

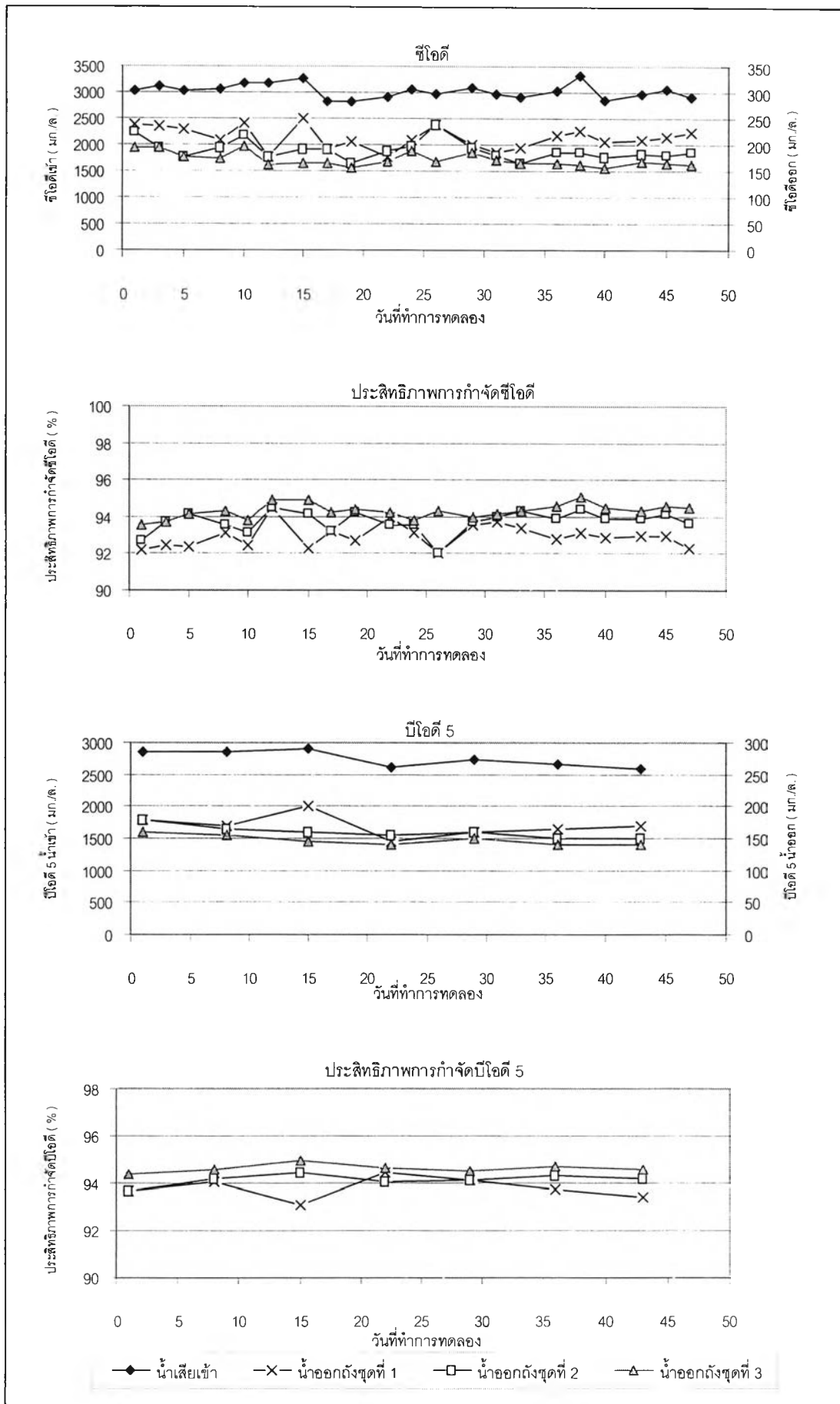
เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4.2 พบว่า ซีไอดีของน้ำเสียเข้ามีค่าเฉลี่ย 3009 มก./ล. ซีไอดีเฉลี่ยของน้ำออกจากระบบ และประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีที่ความเร็วไหลขึ้น 3, 5 และ 7 ม./ชม. มีค่าใกล้เคียงกัน คือมีค่าซีไอดีของน้ำออกอยู่ในช่วง 167 - 211 มก./ล. มีประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีประมาณ 93 - 94 % ซึ่งจะเห็นว่าค่าซีไอดีและประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีในชุดการทดลองนี้มีค่าแตกต่างจากการทดลองที่ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 6 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน น้อยมาก ส่วนค่าบีโอดีมีผลเช่นเดียวกับค่าซีไอดี โดยมีประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีประมาณ 94 - 95 %

ค่าของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยของน้ำเสียเข้ามีค่าเท่ากับ 692 มก./ล ที่ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม. มีค่าของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยของน้ำออก 278 มก./ล. คิดเป็นประสิทธิภาพ 59 % ที่ความเร็วไหลขึ้น 5 ม./ชม. มีค่าของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยของน้ำออก 255 มก./ล. มีประสิทธิภาพการกำจัด 63 % และที่ความเร็วไหลขึ้น 7 ม./ชม. ของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยของน้ำออกเท่ากับ 271 มก./ล. มีประสิทธิภาพการกำจัด 61 %

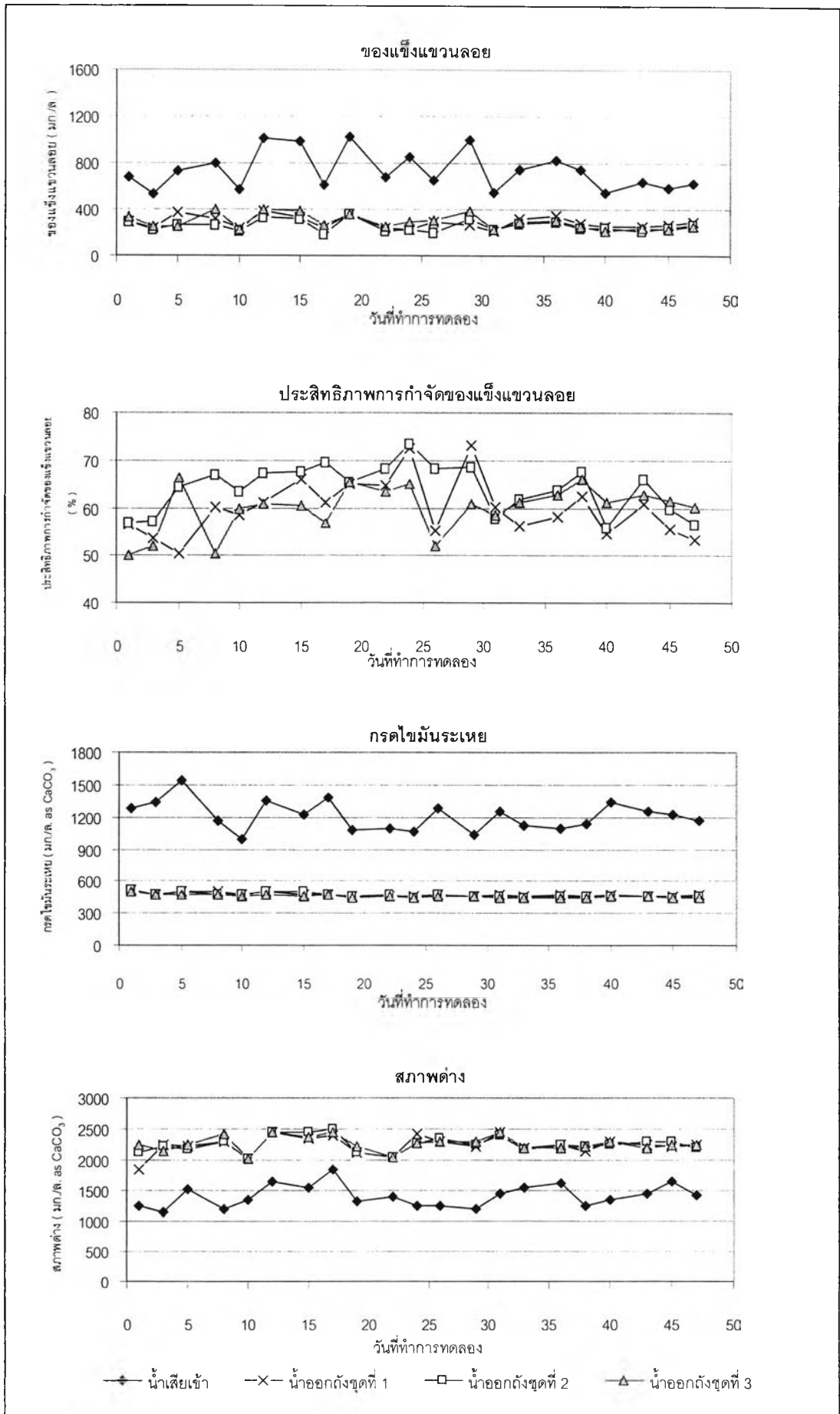
ทุกชุดการทดลองที่ค่าความเร็วไหลขึ้นทั้ง 3 ค่า มีปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นทั้งหมดประมาณ 12.4 - 12.7 ล./วัน และมีอัตราการผลิตก๊าซอยู่ในช่วง 0.73 - 0.76 ลบ.ม./กก.ซีไอดีที่ถูกกำจัด และในน้ำเสียเข้ามีค่าที่เคเอ็นเฉลี่ยคือ 570 มก./ล และมีทีเคเอ็นเฉลี่ยของน้ำออกจากระบบที่ความเร็วไหลขึ้นทั้ง 3 ค่าอยู่ในช่วง 544 - 546 มก./ล. คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดที่เคเอ็นเท่ากับ 4 % ส่วนค่ากรดไขมันระเหย สภาพต่าง อัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่าง ค่าพีเอช และไออาร์พีที่แสดงดังรูปที่ 4.2 ซึ่งจะเห็นว่า ค่าต่างๆ ดังกล่าวมีค่าใกล้เคียงกับผลการทดลองที่ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 6 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน เนื่องจากค่าดังกล่าวเหล่านี้เป็นค่าที่บ่งบอกถึงสภาวะที่เหมาะสมต่อการทำงานของระบบ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าระบบจะสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองของระบบอีซีเอสปีที่ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 9 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน

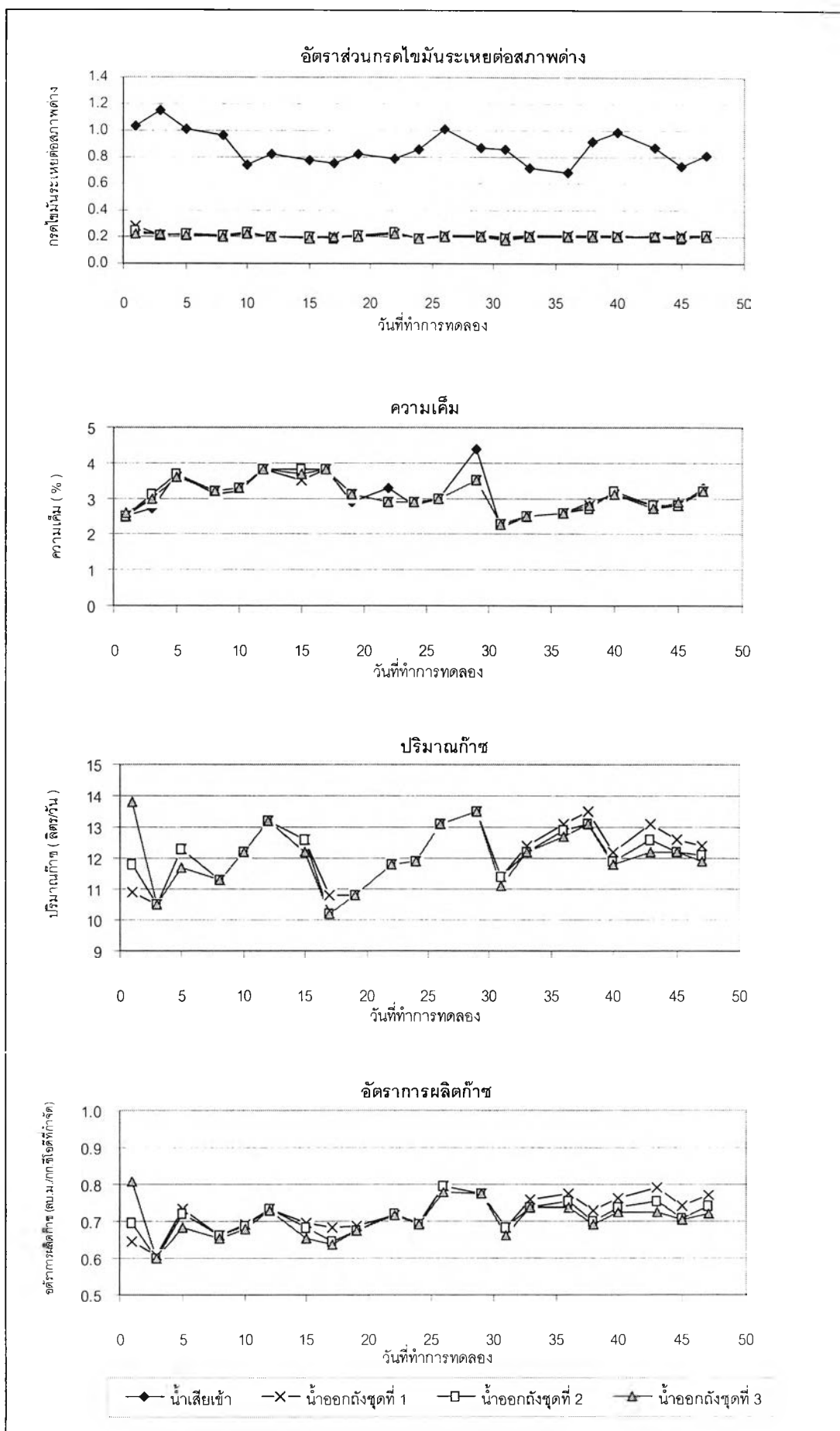
พารามิเตอร์	น้ำเสีย	น้ำออกที่ความเร็วไหลขึ้น ( ม./ชม. )		
		3	5	7
ซีโอดีกรอง ( มก./ล. ) n = 10, SD.	3009 127.48	211 15.90	187 19.16	167 7.85
ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี ( % ) n = 10, SD.		92.98 0.53	93.80 0.66	94.43 0.30
บีโอดี ( มก./ล. ) n = 3, SD.	2657 80.21	165 5.00	153 5.77	143 5.77
ประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดี ( % ) n = 3, SD.		93.78 0.37	94.23 0.10	94.61 0.10
ของแข็งแขวนลอย ( มก./ล. ) n = 10, SD.	692 141.76	278 37.08	255 36.57	271 55.13
ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอย ( % ) n = 10, SD.		58.97 5.86	62.62 4.93	60.74 3.56
ปริมาณก๊าซ ทั้งหมด ( ล./วัน ) n = 10, SD.		12.7 0.66	12.5 0.65	12.4 0.72
อัตราการผลิตก๊าซ ( ลบ.ม./กก.ซีโอดีที่กำจัด ) n = 10, SD.		0.76 0.03	0.74 0.03	0.73 0.03
ทีเคเอ็น ( มก./ล. ) n = 7, SD.	570 59.79	544 61.78	546 61.02	544 59.63
ประสิทธิภาพการกำจัดทีเคเอ็น ( % ) n = 7, SD.		4.58 3.54	4.22 3.38	4.55 3.15
พีเอช n = 10, SD.	6.58 0.08	7.57 0.10	7.62 0.10	7.54 0.07
พีเอชภายในถังปฏิกรณ์ n = 10, SD.		6.83 0.07	6.79 0.05	6.85 0.08
ไออาร์พี ( มิลลิโวลท์ ) n = 10, SD.	-325 8.75	-365 14.34	-360 18.48	-366 17.71
กรดไขมันระเหย ( มก./ล.as CaCO <sub>3</sub> ) n = 10, SD.	1192 94.38	470 10.54	458 11.35	448 10.33
สภาพต่าง ( มก./ล.as CaCO <sub>3</sub> ) n = 10, SD.	1422 159.57	2258 76.85	2270 66.83	2264 74.71
อัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่าง n = 10, SD.	0.85 0.11	0.21 0.00	0.20 0.01	0.20 0.01
อุณหภูมิ ( องศาเซลเซียส ) n = 10, SD.		29.0 0.64	29.0 0.69	28.9 0.59
ความเค็ม ( % ) n = 10, SD.	3.0 0.60	2.9 0.35	2.9 0.37	2.9 0.36



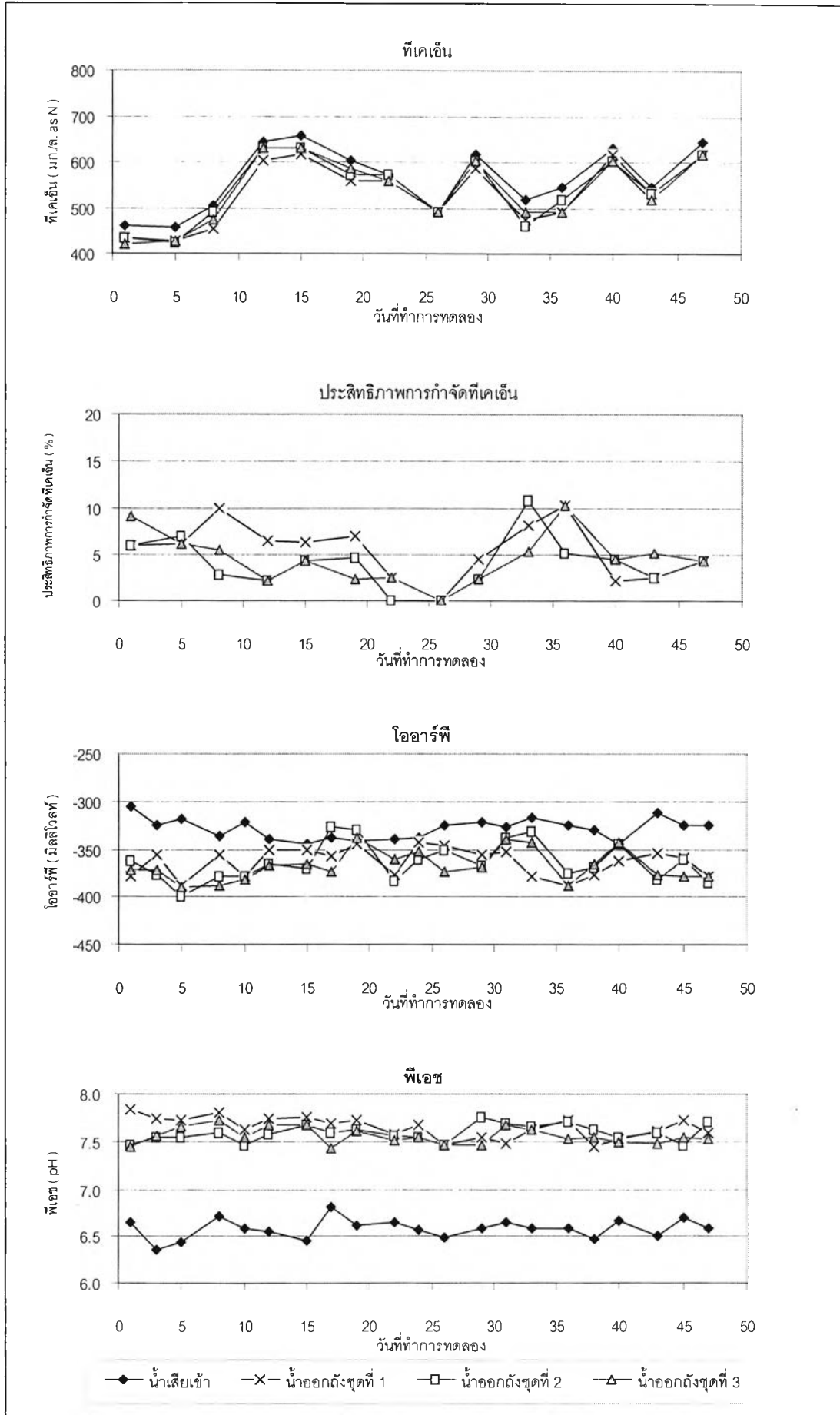
รูปที่ 4.2 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 9 กก.ซีโอไดต์/ลบ.ม.-วัน



รูปที่ 4.2 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เกาะบรทุกสารอินทรีย์ 9 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน (ต่อ)



รูปที่ 4.2 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 9 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน (ต่อ)



รูปที่ 4.2 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่มาระบบรุกรูทสารอินทรีย์ 9 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน (ต่อ)

#### 4.2.3 ภาวะบรรทุกระบบอินทรีย์ 12 กกซีไอดี/ลบ.ม.-วัน

ที่ภาวะบรรทุกระบบอินทรีย์ 12 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน มีเวลากักน้ำเสียในถังปฏิกรณ์ เท่ากับ 6 ชม. อัตราการสูบน้ำเสียเข้าระบบ 8 ล./วัน มีการแบ่งการทดลองออกเป็น 3 ชุด โดยมีค่า ความเร็วไหลขึ้นในถังปฏิกรณ์ คือ 3, 5 และ 7 ม./ชม. เช่นเดียวกับที่ค่าภาวะบรรทุกระบบอินทรีย์ 6 และ 9 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ตารางที่ 4.3 แสดงค่าของพารามิเตอร์ที่วัดในช่วงที่ระบบเข้าสู่สภาวะ คงตัวแล้ว และรูปที่ 4.3 แสดงค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ตลอดการทดลอง

จากรูปที่ 4.3 และตารางที่ 4.3 พบว่า น้ำเสียเข้ามีค่าซีไอดีเฉลี่ย 3105 มก./ล. ที่ ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม. มีค่าซีไอดีน้ำออกเฉลี่ยเท่ากับ 621 มก./ล. มีประสิทธิภาพการกำจัด 80 % ที่ความเร็วไหลขึ้น 5 ม./ชม. มีซีไอดีของน้ำออกเฉลี่ย 529 มก./ล. มีประสิทธิภาพการกำจัดซีไอ ดี 83 % และที่ความเร็วไหลขึ้น 7 ม./ชม. มีค่าซีไอดีน้ำออกเฉลี่ย 480 มก./ล. มีประสิทธิภาพการ กำจัดเป็น 85 % โดยประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีจะมีค่าเพิ่มตามค่าความเร็วไหลขึ้นในถัง ปฏิกรณ์ ส่วนบีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีมีแนวโน้มเหมือนกับค่าซีไอดี โดยมีบีโอดีของ น้ำออกเฉลี่ยอยู่ในช่วง 313 - 427 มก./ล. และมีประสิทธิภาพการกำจัดประมาณ 84 - 88 %

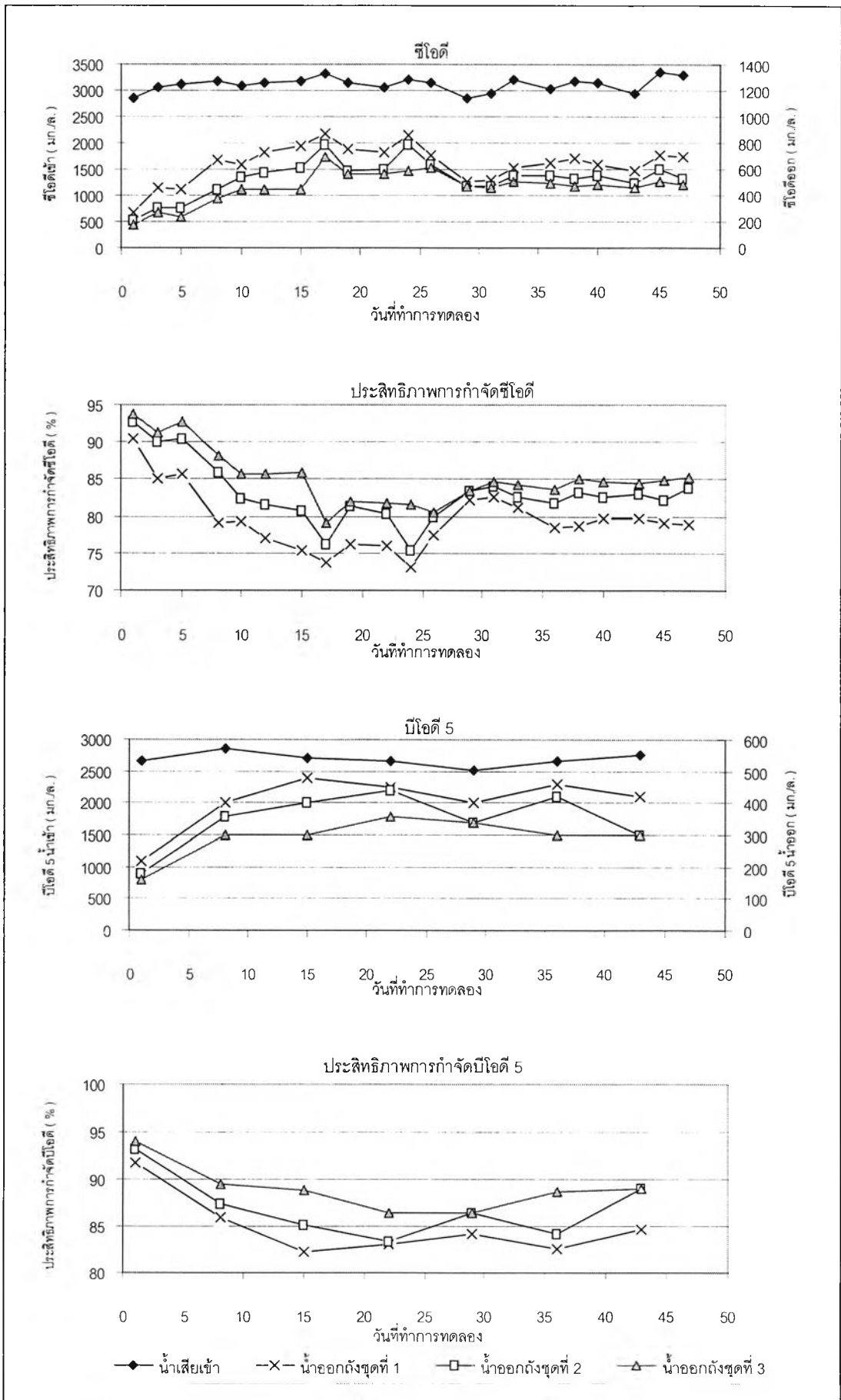
เมื่อเริ่มเปลี่ยนอัตราการสูบน้ำเสียเข้า ค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำออกมีค่า เพิ่มขึ้นทันที เพราะค่าภาวะบรรทุกระบบอินทรีย์ที่เพิ่มสูงขึ้น ซึ่งในช่วงแรกระบบยังปรับตัวไม่ทัน แต่ เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวแล้ว ที่ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม. มีค่าของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยของน้ำ ออกเท่ากับ 397 มก./ล. มีประสิทธิภาพการกำจัด 53 % ที่ความเร็วไหลขึ้น 5 ม./ชม. มีค่าของแข็ง แขวนลอยเฉลี่ยของน้ำออก 378 มก./ล. มีประสิทธิภาพ 55 % และที่ความเร็วไหลขึ้น 7 ม./ชม. ของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยของน้ำออกมีค่าเป็น 359 มก./ล. มีประสิทธิภาพ 57 % ซึ่งจะเห็นว่า ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยมีค่าเพิ่มตามค่าความเร็วไหลขึ้น ซึ่งต่างจากการทดลอง ที่ภาวะบรรทุกระบบอินทรีย์ 6 และ 9 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน

ทั้ง 3 ชุดการทดลองมีปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นทั้งหมดใกล้เคียงกัน คือ อยู่ในช่วง 14.8 - 15.1 ล./วัน คิดเป็นอัตราการผลิตก๊าซเฉลี่ยเท่ากับ 0.71 - 0.76 ลบ.ม./กก.ซีไอดีที่ถูกกำจัด ใกล้เคียงกับที่ภาวะบรรทุกระบบอินทรีย์ 6 และ 9 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ส่วนประสิทธิภาพการกำจัด ที่เคเอ็นเฉลี่ยมีค่าอยู่ในช่วง 4 - 6 %

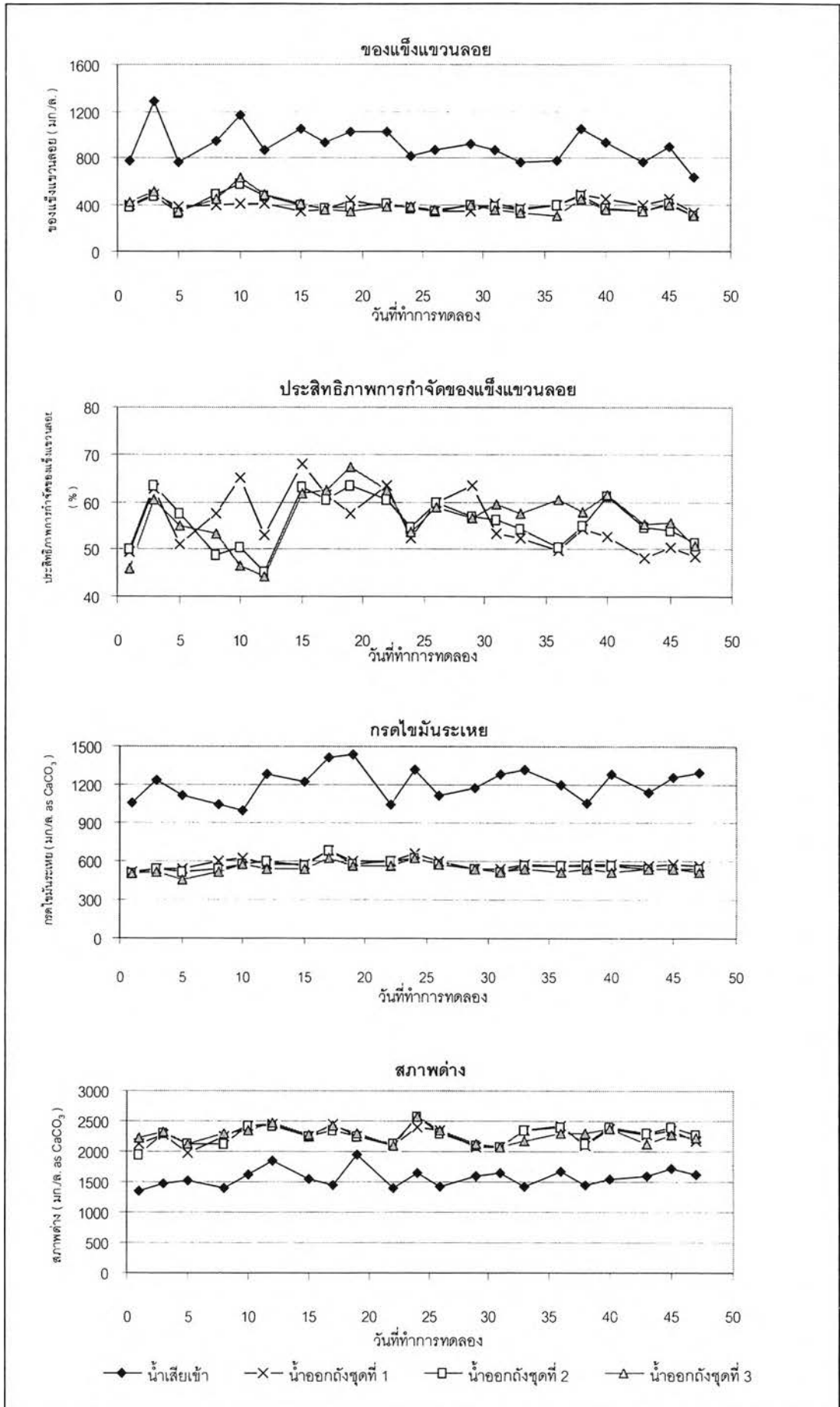
ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองของระบบอีจีเอสบีที่ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 12 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน

พารามิเตอร์	น้ำเสีย	น้ำออกที่ความเร็วไหลขึ้น (ม./ชม.)		
		3	5	7
ซีโอดีกรอง (มก./ล.)	3105	621	529	480
n = 9, SD.	170.85	72.25	41.66	18.77
ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี (%)	-	80.04	82.97	84.52
n = 9, SD.	-	1.54	0.75	0.66
บีโอดี (มก./ล.)	2640	427	353	313
n = 3, SD.	115.33	30.55	61.10	23.09
ประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดี (%)	-	83.83	86.58	88.09
n = 3, SD.	-	1.07	2.47	1.39
ของแข็งแขวนลอย (มก./ล.)	843	397	378	359
n = 9, SD.	123.76	51.08	47.34	45.87
ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอย (%)	-	52.54	54.89	57.23
n = 9, SD.	-	4.68	3.11	3.21
ปริมาณก๊าซทั้งหมด (ล./วัน)	-	15.1	15.0	14.8
n = 9, SD.	-	0.67	0.57	0.62
อัตราการผลิตก๊าซ (ลบ.ม./กก.ซีโอดีที่กำจัด)	-	0.76	0.73	0.71
n = 9, SD.	-	0.03	0.04	0.04
ทีเคเอ็น (มก./ล.)	601	567	572	580
n = 6, SD.	44.36	40.33	51.18	53.04
ประสิทธิภาพการกำจัดทีเคเอ็น (%)	-	5.54	4.87	3.57
n = 6, SD.	-	2.04	3.09	3.56
พีเอช	6.69	7.55	7.55	7.49
n = 9, SD.	0.08	0.11	0.17	0.13
พีเอชภายในถังปฏิกรณ์	-	6.82	6.83	6.87
n = 9, SD.	-	0.07	0.10	0.06
ไออาร์พี (มิลลิโวลท์)	-327	-365	-361	-364
n = 9, SD.	11.45	9.18	13.60	14.77
กรดไขมันระเหย (มก./ล.as CaCO <sub>3</sub> )	1224	564	547	531
n = 9, SD.	85.89	16.67	14.14	10.54
สภาพต่าง (มก./ล.as CaCO <sub>3</sub> )	1587	2249	2271	2220
n = 9, SD.	100.50	139.68	135.69	101.98
อัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่าง	0.77	0.25	0.24	0.24
n = 9, SD.	0.07	0.01	0.01	0.01
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	-	29.0	29.3	29.4
n = 9, SD.	-	0.45	0.45	0.26
ความเค็ม (%)	3.2	3.2	3.1	3.1
n = 9, SD.	0.31	0.31	0.33	0.32

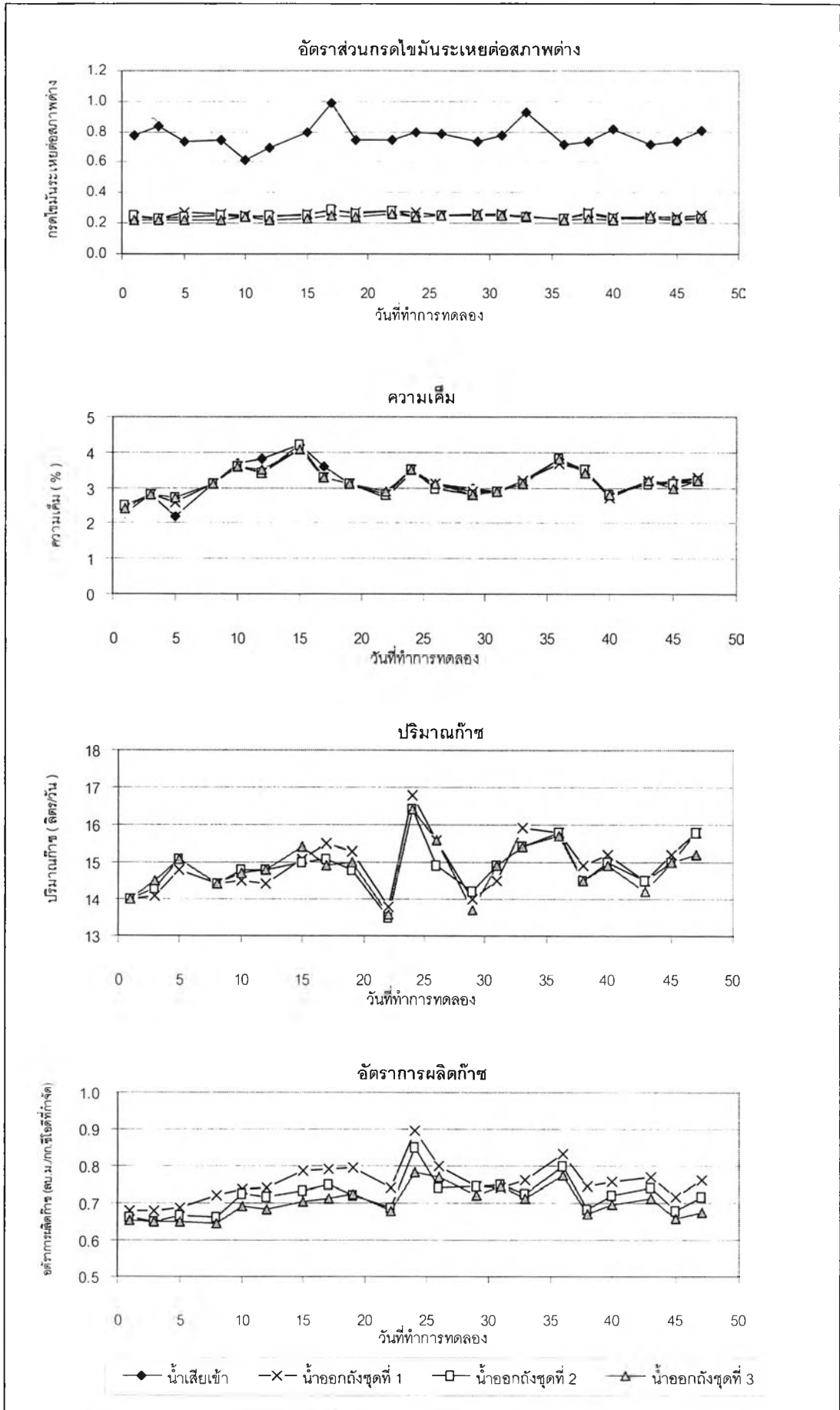




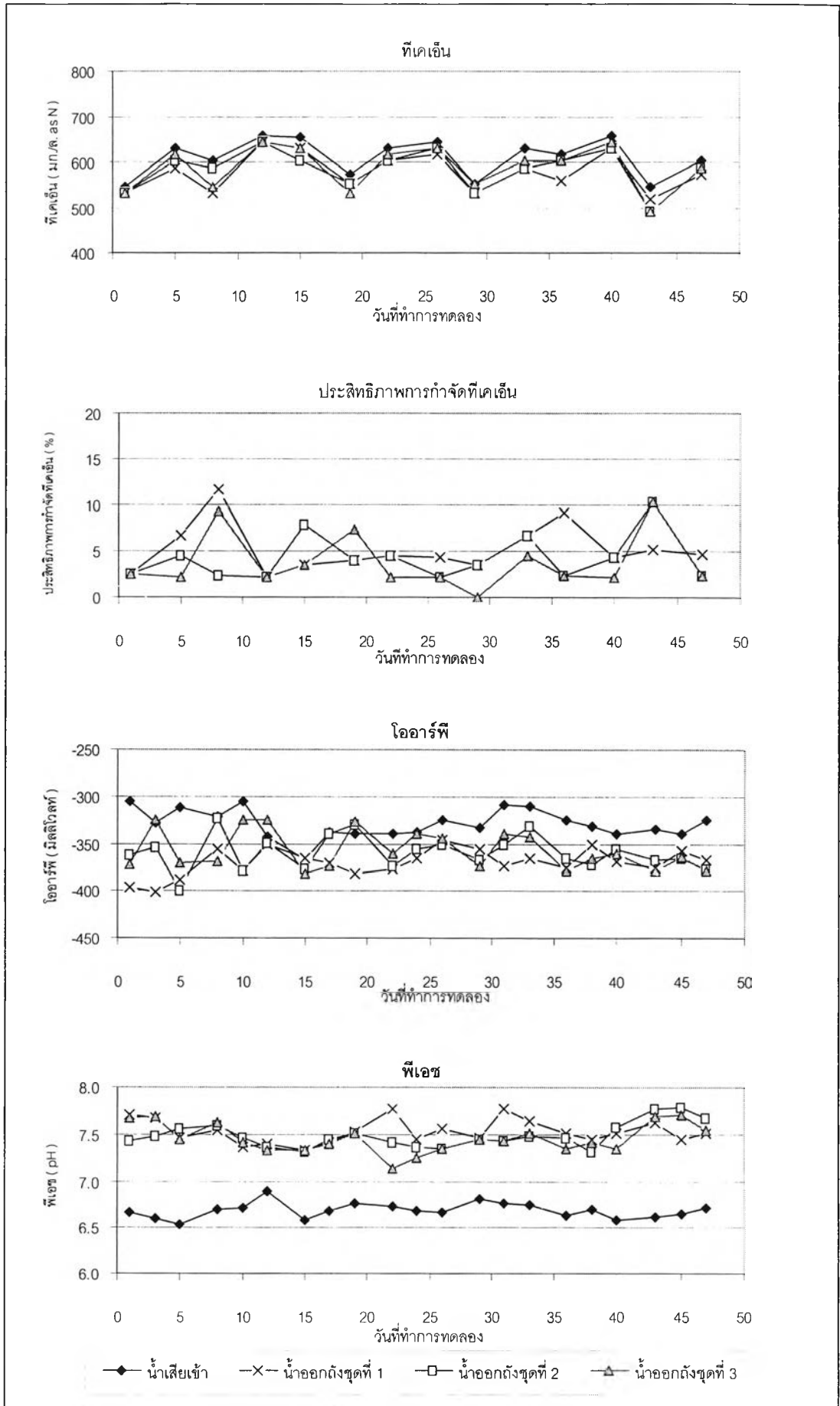
รูปที่ 4.3 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่การะบรทุกสารอินทรีย์ 12 กก.ช้โอดี/ลบ.ม.-วัน



รูปที่ 4.3 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่มีการบรรทุกสารอินทรีย์ 12 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน (ต่อ)



รูปที่ 4.3 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ภาวะบรรทุกลูกสารอินทรีย์ 12 กก.ชีโอดี/ลบ.ม.-วัน (ต่อ)



รูปที่ 4.3 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ภาวะบรทุกสารอินทรีย์ 12 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน (ต่อ)

### 4.3 วิจารณ์ผลการทดลองของระบบอจีเอสบี

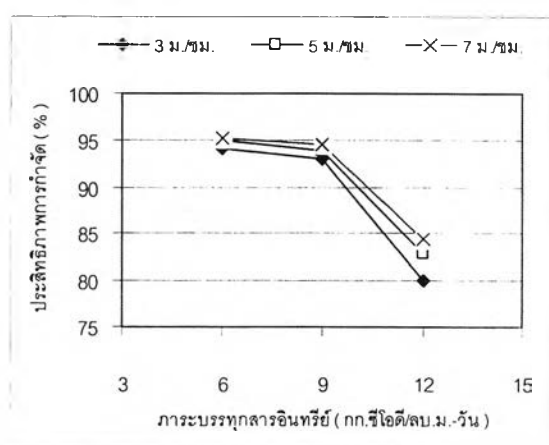
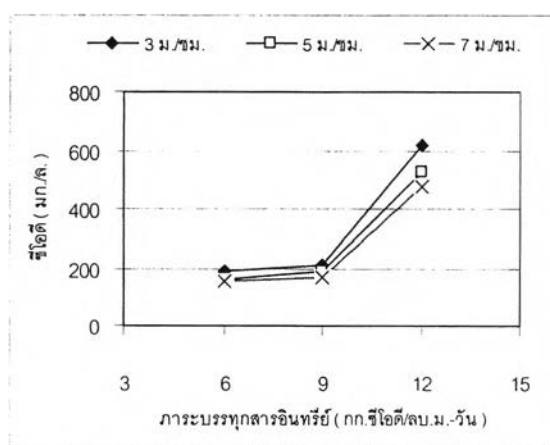
#### 1) ซีไอดีและประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดี

ซีไอดีและประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีเป็นตัวแปรหนึ่งที่สำคัญซึ่งบ่งบอกถึงความสามารถในการบำบัดน้ำเสียของระบบ เมื่อพิจารณาจากตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.4 พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดีโดยเฉลี่ยที่ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 6, 9 และ 12 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ของระบบอจีเอสบีนั้นมีค่าสูงกว่า 80 % ทุกชุดการทดลอง ซึ่งระบบยูเอเอสบีทั่วไปที่ไม่มีการหมุนเวียนน้ำในระบบสามารถรับภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ได้เพียง 3.75 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ระยะเวลาที่น้ำ 12 ชั่วโมง มีประสิทธิภาพในการบำบัด 43.9 % (กิตติศักดิ์ ดันชนะชัย, 2539) ส่วนระบบยูเอเอสบีที่มีการหมุนเวียนน้ำ ค่าความเร็วไหลขึ้น 1 และ 3 ม./ชม. ค่าภาวะบรรทุกสารอินทรีย์อยู่ในช่วง 6.0 - 9.5 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน มีประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดีในช่วงสภาวะคงตัว (P50) เท่ากับ 77.2 % (ภูคำ พิมจักร, 2546) แสดงให้เห็นว่าการหมุนเวียนน้ำมีความสำคัญต่อประสิทธิภาพของระบบ โดยช่วยให้ระบบสามารถรับภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ที่สูงได้ เนื่องจากการขยายตัวของชั้นตะกอนเป็นการกวนและเพิ่มโอกาสสัมผัสกันระหว่างเม็ดตะกอนกับน้ำเสีย ทำให้เกิดการถ่ายเทสารอาหารได้ดีขึ้น และยังเป็นกรเจือจางน้ำเสียที่มีค่าความเข้มข้นสารอินทรีย์ที่สูงเมื่อเข้าระบบเพื่อให้น้ำเสียมีลักษณะใกล้เคียงกันทุกจุดภายในถังปฏิกรณ์ด้วย

ซีไอดีของน้ำออกจากระบบมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อภาวะบรรทุกสารอินทรีย์เพิ่มสูงขึ้น ซึ่งทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดีลดลงด้วย โดยที่ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 6 และ 9 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ค่าซีไอดีและประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดีมีค่าไม่ต่างกันมากนัก คือ 93 - 95 % และความเร็วไหลขึ้นมีผลเพียงเล็กน้อยต่อประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดี ทั้งนี้เพราะก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นมีปริมาณค่อนข้างมากส่งผลให้การกวนผสมในถังปฏิกรณ์ได้รับอิทธิพลจากปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นมากกว่าการกวนจากความเร็วในการไหลขึ้น แต่ที่ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 12 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ซีไอดีของน้ำออกมีค่าเพิ่มสูงขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดลดลงเหลือ 80 - 85 % เนื่องจากปริมาณสารอินทรีย์เข้าระบบเพิ่มขึ้นมาก ทำให้อัตราส่วนของสารอาหารต่อมวลจุลินทรีย์มากขึ้นจนเกินความสามารถของแบคทีเรียที่มีอยู่ในระบบจะสามารถย่อยสลายได้ทัน จึงทำให้แบคทีเรียย่อยสารอินทรีย์ในน้ำเสียได้เพียงบางส่วน ด้วยเหตุนี้จึงทำให้สารอินทรีย์เหลืออยู่ในน้ำออกเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4.4 สรุปค่าเฉลี่ยของซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของระบบบิโอดี

ภาวะบรรทุกลสารอินทรีย์ (กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน)	ความเร็วไหลขึ้น (ม./ชม.)	ซีโอดี (มก./ล.)		ประสิทธิภาพการกำจัด (%)
		น้ำเข้า	น้ำออก	
6	3	3132	187	94.14
	5	3132	160	94.90
	7	3132	154	95.08
9	3	3009	211	92.98
	5	3009	187	93.80
	7	3009	167	94.43
12	3	3105	621	80.04
	5	3105	529	82.97
	7	3105	480	84.52



รูปที่ 4.4 ค่าซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเฉลี่ยในช่วงสภาวะคงตัวของระบบบิโอดี

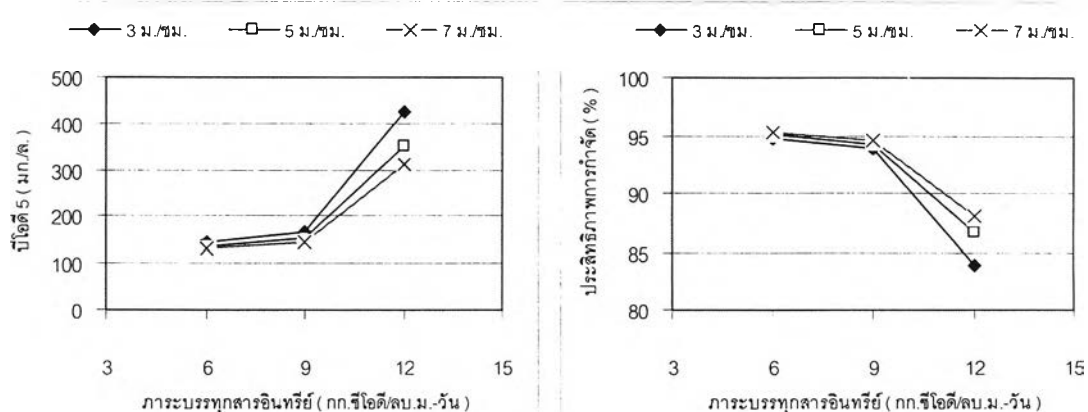
## 2) บิโอดีและประสิทธิภาพในการกำจัดบิโอดี

เมื่อพิจารณาจากตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.5 พบว่าค่าบิโอดี และประสิทธิภาพในการกำจัดบิโอดีนั้นมีค่าใกล้เคียงกัน โดยที่ค่าภาวะบรรทุกลสารอินทรีย์ 6 และ 9 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าอยู่ในช่วง 94 - 95 % เนื่องจากว่าระบบอยู่ในสภาวะที่เสถียร แต่เมื่อภาวะสารอินทรีย์

สูงชันเป็น 12 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ค่าบีโอดี ในน้ำออกจากระบบก็เพิ่มขึ้นตามไปด้วย ซึ่งจะเห็นว่า ประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดี ลดลงเหลือ 84 - 88 % โดยในแต่ละภาวะบรรทุกสารอินทรีย์นั้นที่ ความเร็วไหลชันต่างๆ มีผลต่อบีโอดีเพียงเล็กน้อย ซึ่งสอดคล้องกับค่าซีโอดี

ตารางที่ 4.5 สรุปค่าเฉลี่ยของบีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีของระบบอีจีเอสบี

ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ (กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน)	ความเร็วไหลชัน (ม./ชม.)	บีโอดี (มก./ล.)		ประสิทธิภาพการกำจัด (%)
		น้ำเข้า	น้ำออก	
6	3	2790	146	94.75
	5	2790	138	95.06
	7	2790	133	95.24
9	3	2657	165	93.78
	5	2657	153	94.23
	7	2657	143	94.61
12	3	2640	427	83.83
	5	2640	353	86.58
	7	2640	313	88.09



รูปที่ 4.5 ค่าบีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีเฉลี่ยในช่วงสภาวะคงตัวของระบบอีจีเอสบี

### 3) ของแข็งแขวนลอยและประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอย

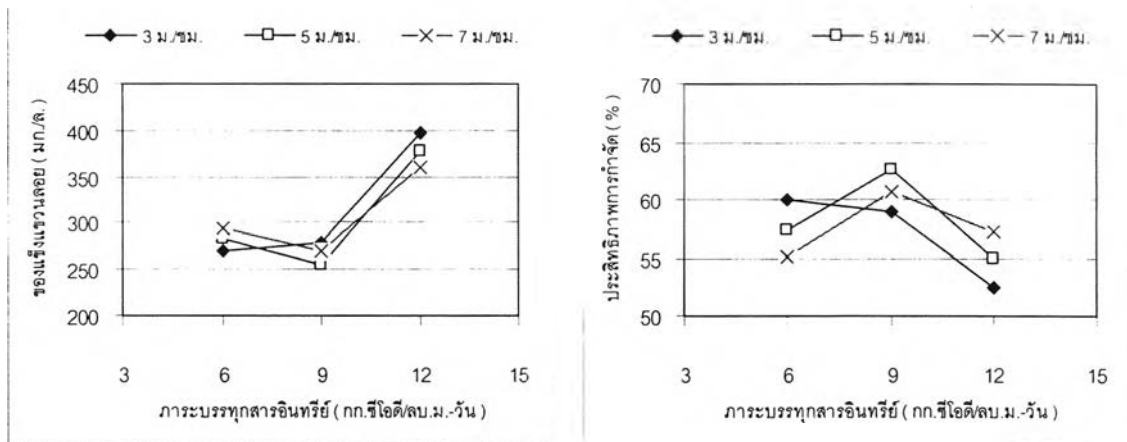
ตารางที่ 4.6 และรูปที่ 4.6 แสดงค่าเฉลี่ยของของแข็งแขวนลอย และประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยในช่วงที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวแล้ว พบว่าค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำออกที่ค่าภาระบรรทุกทุกสารอินทรีย์ 9 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน มีแนวโน้มลดลงจากที่ค่าภาระบรรทุกทุกสารอินทรีย์ 6 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน โดยมีค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำเข้าใกล้เคียงกัน เนื่องจากที่ภาระบรรทุกทุกสารอินทรีย์ 6 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน นั้นเป็นช่วงเริ่มเดินระบบ จึงทำให้ช่วงดังกล่าวนั้นเชื้อเม็ดตะกอนบางส่วนยังปรับตัวไม่ได้กับอัตราการเวียนน้ำกลับที่มีค่าสูง ส่งผลให้ตะกอนที่มีขนาดเล็ก และตะกอนที่เป็นฟlocsหลุดออกได้ง่าย ซึ่งเมื่อเดินระบบนานขึ้นจะเห็นว่าระบบบิโอซีเอสปีมีแนวโน้มของประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยสูงขึ้น เนื่องจากในช่วงแรกจะเป็นการคัดเม็ดตะกอนที่ตกตะกอนได้ช้า และตะกอนที่มีขนาดเล็ก และชนิดฟlocsออกจากระบบ ส่งผลให้ตะกอนจุลินทรีย์ในระบบที่เหลืออยู่ คือตะกอนจุลินทรีย์ที่มีขนาดใหญ่ และตกตะกอนได้ดี

ส่วนที่ภาระบรรทุกทุกสารอินทรีย์ที่ 12 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน มีประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยน้อยกว่าที่ภาระบรรทุกทุกสารอินทรีย์ 6 และ 9 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน เนื่องจากค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำเข้าที่สูงขึ้น และค่าภาระบรรทุกทุกสารอินทรีย์ที่เพิ่มขึ้น ซึ่งทำให้ปริมาณก๊าซทั้งหมดสูงขึ้นด้วย ส่งผลให้ของแข็งแขวนลอย และตะกอนจุลินทรีย์บางส่วนมีการหลุดออกจากระบบ

ตารางที่ 4.6 สรุปค่าเฉลี่ยของของแข็งแขวนลอยและประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยของระบบบิโอซีเอสปี

ภาระบรรทุกทุกสารอินทรีย์ ( กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน )	ความเร็วไหลขึ้น ( ม./ชม. )	ของแข็งแขวนลอย ( กก./ล. )		ประสิทธิภาพการกำจัด ( % )
		น้ำเข้า	น้ำออก	
6	3	684	271	60.08
	5	684	283	57.43
	7	684	294	55.13
9	3	692	278	58.97
	5	692	255	62.62
	7	692	271	60.74
12	3	843	397	52.54
	5	843	378	54.89
	7	843	359	57.23





รูปที่ 4.6 ค่าของแข็งแขวนลอยและประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยในช่วงสภาวะคงตัวของระบบอีจีเอสบี

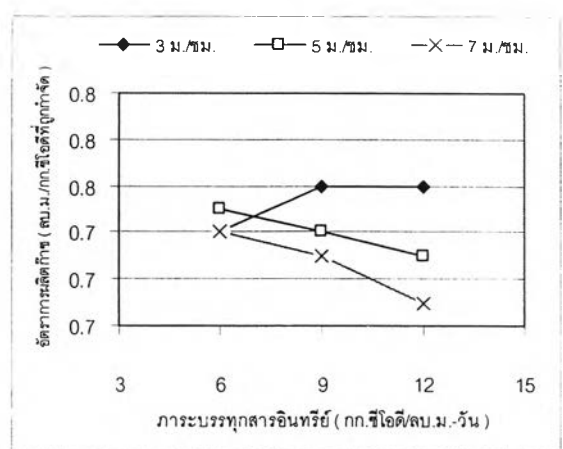
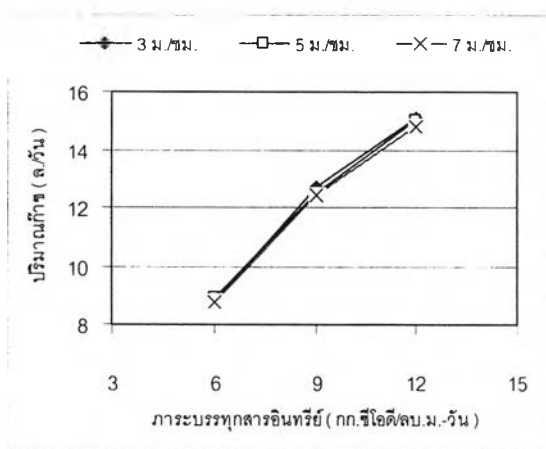
#### 4) ปริมาณก๊าซและอัตราการผลิตก๊าซ

ก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นเป็นผลผลิตที่เกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย และก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่จะประกอบด้วยก๊าซ 2 ชนิด คือ ก๊าซมีเทน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เมื่อพิจารณาจากตารางที่ 4.7 และรูปที่ 4.7 จะพบว่าปริมาณก๊าซชีวภาพจะเพิ่มขึ้นตามค่าการบรรทุกสารอินทรีย์ที่เพิ่มสูงขึ้น โดยที่การบรรทุกสารอินทรีย์ 6, 9 และ 12 กก. ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน มีปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นทั้งหมดประมาณ 9, 12.5 และ 15 ล./วัน ตามลำดับ เนื่องจากเมื่อเพิ่มการสารอินทรีย์ให้กับระบบ ทำให้ปริมาณสารอินทรีย์เพิ่มมากขึ้น และถึงแม้ว่าปริมาณกรดไขมันระเหยจะมากขึ้นก็ตาม แต่น้ำเสียเป็นน้ำเสียโปรตีนระบบจึงสามารถสร้างสภาพตัวเองได้ กรดไขมันระเหยที่เพิ่มขึ้นจึงไม่มีผลให้พีเอชของระบบลดลง ดังนั้นจึงไม่ส่งผลกระทบต่อแคทีเรียที่ผลิตก๊าซมีเทน

เมื่อพิจารณาที่ค่าความเร็วไหลขึ้นในถังปฏิกรณ์จะเห็นว่าปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นมีค่าใกล้เคียงกัน แต่จะลดลงเล็กน้อยเมื่อความเร็วไหลขึ้นเพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากที่ความเร็วไหลขึ้นสูงมีผลต่อการเก็บก๊าซที่อุปกรณ์ GSS หรืออาจเกิดจากเม็ดตะกอนจุลชีพหรือของแข็งแขวนลอยอุดตันที่ GSS ทำให้ก๊าซไหลผ่านไปที่อุปกรณ์เก็บก๊าซได้ไม่สะดวกถึงแม้ว่าจะมีการทำความสะอาดทุกวัน และจากตารางที่ 4.7 จะพบว่าอัตราการผลิตก๊าซมีค่าค่อนข้างคงที่ตั้งแต่ในชุดการทดลองที่การบรรทุกสารอินทรีย์ 6 กก. ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าระบบมีอัตราการผลิตก๊าซอยู่ในช่วงประมาณ 0.71 - 0.76 ลบ.ม./กก. ซีไอดีที่ถูกกำจัด

ตารางที่ 4.7 สรุปค่าเฉลี่ยของปริมาณก๊าซและอัตราการผลิตก๊าซของระบบบีจีเอสบี

ภาวะบรรทุกลำสารอินทรีย์ ( กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน )	ความเร็วไหลขึ้น ( ม./ชม. )	ปริมาณก๊าซ ( ลิตร/วัน )	อัตราการผลิตก๊าซ ( ลบ.ม./กก.ซีโอดีที่ถูกกำจัด )
6	3	8.8	0.74
	5	8.9	0.75
	7	8.8	0.74
9	3	12.7	0.76
	5	12.5	0.74
	7	12.4	0.73
12	3	15.1	0.76
	5	15.0	0.73
	7	14.8	0.71



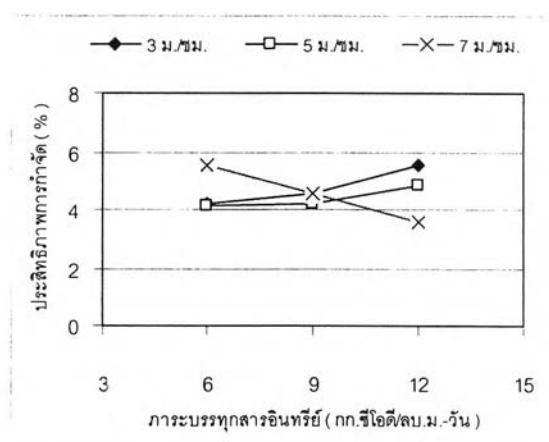
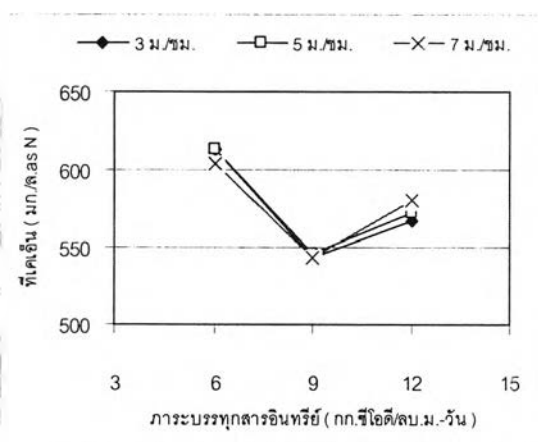
รูปที่ 4.7 ปริมาณก๊าซทั้งหมดและอัตราการผลิตก๊าซเฉลี่ยในช่วงสภาวะคงตัวของระบบบีจีเอสบี

### 5) ทีเคเอ็นและประสิทธิภาพการกำจัดทีเคเอ็น

เนื่องจากระบบบีจีเอสบีเป็นระบบบำบัดแบบไร้อากาศ ค่าทีเคเอ็น และประสิทธิภาพในการกำจัดทีเคเอ็นจึงมีค่าใกล้เคียงกัน และเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย เพราะวาททีเคเอ็นในระบบไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน และดีไนตริฟิเคชัน จนกลายเป็นก๊าซไนโตรเจนได้ โดยทีเคเอ็นที่ลดลงเกิดจากการนำไปใช้ในการสร้างเซลล์ของแบคทีเรีย ค่าทีเคเอ็น และประสิทธิภาพการกำจัดทีเคเอ็นแสดงดังตารางที่ 4.8 และรูปที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 สรุปค่าเฉลี่ยของทีเคเอ็นและประสิทธิภาพการกำจัดทีเคเอ็นของระบบอีจีเอสบี

ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ ( กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน )	ความเร็วไหลขึ้น ( ม./ชม. )	ทีเคเอ็น ( มก./ล. )		ประสิทธิภาพการกำจัด ( % )
		น้ำเข้า	น้ำออก	
6	3	639	613	4.21
	5	639	613	4.15
	7	639	604	5.57
9	3	570	544	4.58
	5	570	546	4.22
	7	570	544	4.55
12	3	601	567	5.54
	5	601	572	4.87
	7	601	580	3.57



รูปที่ 4.8 ค่าทีเคเอ็นและประสิทธิภาพการกำจัดทีเคเอ็นเฉลี่ยในช่วงสภาวะคงตัวของระบบอีจีเอสบี

#### 6) กรดไขมันระเหย สภาพต่าง และอัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่าง

เมื่อพิจารณาจากตารางที่ 4.9 และรูปที่ 4.9 (ก) พบว่าที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 6 และ 9 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ปริมาณกรดไขมันระเหยในน้ำออกจากระบบจะมีค่าใกล้เคียงกัน คือ อยู่ในช่วง 448 - 472 มก./ล.as  $\text{CaCO}_3$  ทั้งนี้เพราะระบบอยู่ในสภาวะที่เสถียร แต่ที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 12 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ปริมาณกรดไขมันระเหยมีค่ามากขึ้นเป็น 531 - 564 มก./ล.as  $\text{CaCO}_3$  เนื่องจากที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ดังกล่าว ระบบจะมีสารอินทรีย์มากเกินไปเกินความสามารถ

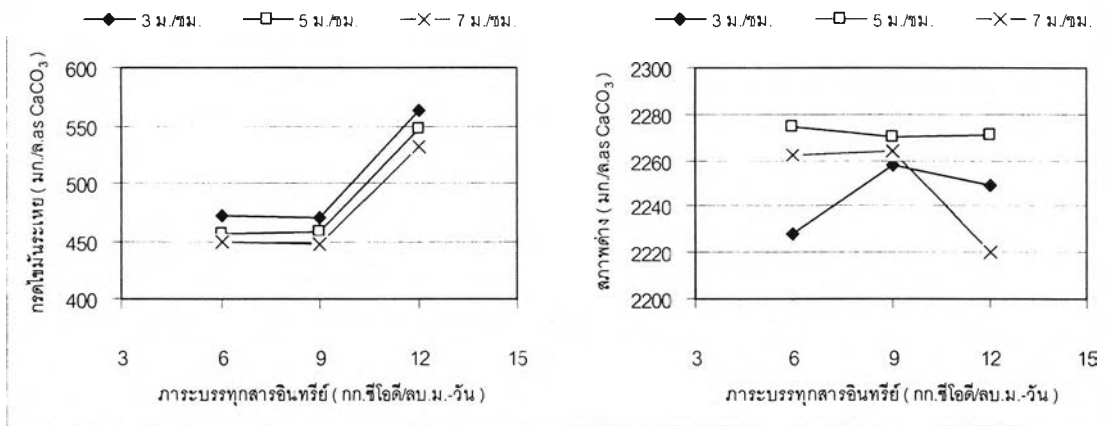
ในการรักษาสภาพเสถียรดังกล่าวไว้ หรืออีกในนัยหนึ่งระบบมีเวลากักน้ำลดลง ทำให้น้ำเสียกับเม็ดตะกอนจุลินทรีย์มีเวลาสัมผัสกันลดลง แต่เมื่อพิจารณาที่ค่าความเร็วไหลขึ้นจะเห็นว่า เมื่อความเร็วไหลขึ้นในถังปฏิกรณ์เพิ่มขึ้น ปริมาณกรดไขมันระเหยจะมีค่าลดลง ทั้งนี้เกิดจากระบบที่มีอัตราการเวียนน้ำมากกว่า สารอินทรีย์ก็จะมีโอกาสสัมผัสกับเม็ดตะกอนจุลินทรีย์เพิ่มมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลของซีไอดี และบีไอดี

จากตารางที่ 4.9 และรูปที่ 4 9 (ข) พบว่า น้ำเข้ามีค่าสภาพต่างประมาณ 1310 - 1587 มก./ล.as CaCO<sub>3</sub> และน้ำออกจากระบบมีค่าสภาพต่างอยู่ในช่วง 2220 - 2275 มก./ล.as CaCO<sub>3</sub> จะเห็นว่าค่าสภาพต่างของน้ำออกมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับน้ำเข้า เนื่องจากน้ำเสียที่ใช้ในการทดลองเป็นน้ำเสียโปรตีน ซึ่งมีสารอินทรีย์ในโตรเจนที่สูง โดยแอมโมเนียไนโตรเจน 1 มก./ล. สามารถเพิ่มค่าสภาพต่างให้กับระบบได้ 3.6 มก./ล. (มันสิน ตันฑุลเวศม์, 2542)

อัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างเป็นค่าที่ใช้ในการควบคุม และตรวจสอบระบบบำบัดแบบไร้อากาศ โดยอัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างที่ดีควรมีค่าต่ำกว่า 0.4 และระบบจะล้มเหลวเมื่อมีค่า 0.8 ซึ่งจากตารางที่ 4.9 และรูปที่ 4.9 (ค) พบว่าในน้ำออกจากระบบจะมีค่าอัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างอยู่ที่ 0.20 - 0.25 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าระบบมีกำลังบำบัดเพียงพอ และเหมาะสมสำหรับระบบบำบัดแบบไร้อากาศ

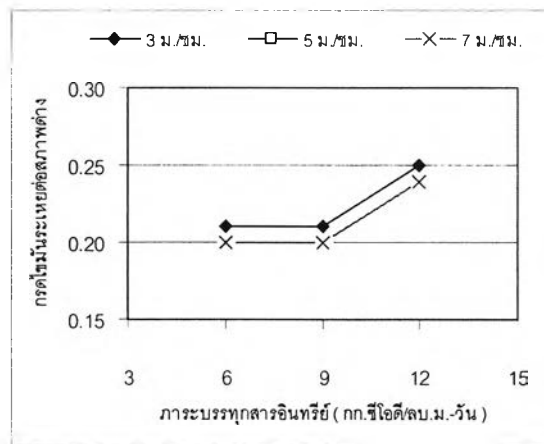
ตารางที่ 4.9 สรุปค่าเฉลี่ยของกรดไขมันระเหย สภาพต่าง และอัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างของระบบอีจีเอสบี

ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ ( กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน )	ความเร็วไหลขึ้น ( ม./ชม. )	กรดไขมันระเหย ( มก./ล.as CaCO <sub>3</sub> )		สภาพต่าง ( มก./ล.as CaCO <sub>3</sub> )		อัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่าง	
		น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
6	3	1125	472	1310	2228	0.87	0.21
	5	1125	457	1310	2275	0.87	0.20
	7	1125	450	1310	2262	0.87	0.20
9	3	1192	470	1422	2258	0.85	0.21
	5	1192	458	1422	2270	0.85	0.20
	7	1192	448	1422	2264	0.85	0.20
12	3	1224	564	1587	2249	0.77	0.25
	5	1224	547	1587	2271	0.77	0.24
	7	1224	531	1587	2220	0.77	0.24



(ก) กรดไขมันระเหย

(ข) สภาพต่าง



(ค) อัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่าง

รูปที่ 4.9 ค่ากรดไขมันระเหย สภาพต่าง และอัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างเฉลี่ย ในช่วงสภาวะคงตัวของระบบอีจีเอสบี

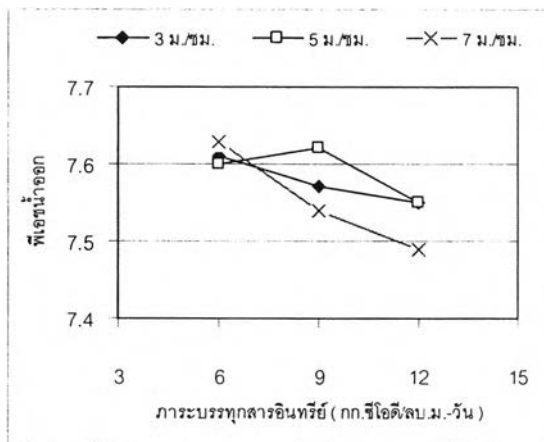
### 7) พีเอชและไออาร์พี

ค่าพีเอชมีบทบาทต่อการทำงานของระบบ โดยเป็นพารามิเตอร์ที่บ่งบอกถึงสภาวะที่เหมาะสมต่อการทำงานของระบบบำบัด จากตารางที่ 4.10 และรูปที่ 4.10 (ก) พบว่า ค่าพีเอชในน้ำออกของทุกชุดการทดลองมีค่าใกล้เคียงกัน คืออยู่ในช่วงประมาณ 7.49 - 7.63 ซึ่งจะเห็นว่า น้ำออกมีค่าพีเอชเพิ่มขึ้นจากน้ำเข้า ทั้งนี้เนื่องจากสภาพต่างที่เพิ่มขึ้นจากปฏิกิริยาของแอมโมเนียในน้ำเสียเข้ากับคาร์บอนไดออกไซด์ เกิดเป็นแอมโมเนียมไบคาร์บอเนต

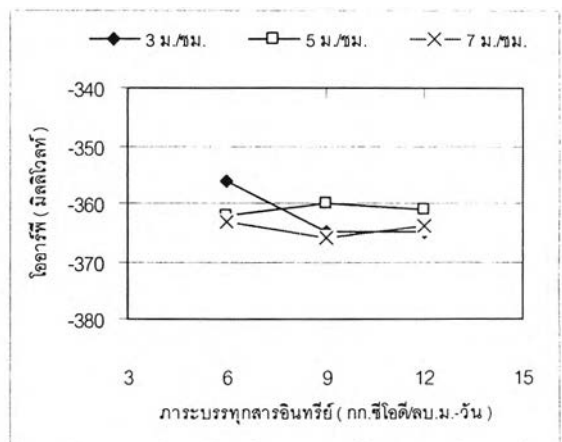
ค่าไออาร์พีก็เช่นเดียวกับพีเอช คือเป็นตัวที่บ่งบอกถึงความสามารถในการทำงานของระบบบำบัด โดยในระบบบำบัดแบบไร้อากาศค่าไออาร์พีควรอยู่ในช่วง -300 ถึง -500 มิลลิโวลต์ จากตารางที่ 4.10 และรูปที่ 4.10 (ข) จะเห็นว่าค่าไออาร์พีของน้ำออกมีค่าใกล้เคียงกันและอยู่ในช่วง -356 ถึง -366 มิลลิโวลต์ ซึ่งถือว่าระบบอยู่ในสภาวะที่สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ตารางที่ 4.10 สรุปค่าเฉลี่ยของพีเอชและไออาร์พีของระบบอีจีเอสบี

ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ ( กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน )	ความเร็วไหลขึ้น ( ม./ชม. )	พีเอช		ไออาร์พี ( มิลลิโวลต์ )	
		น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
6	3	6.55	7.61	-321	-356
	5	6.55	7.60	-321	-362
	7	6.55	7.63	-321	-363
9	3	6.58	7.57	-325	-365
	5	6.58	7.62	-325	-360
	7	6.58	7.54	-325	-366
12	3	6.69	7.55	-327	-365
	5	6.69	7.55	-327	-361
	7	6.69	7.49	-327	-364



(ก) พีเอช



(ข) ไออาร์พี

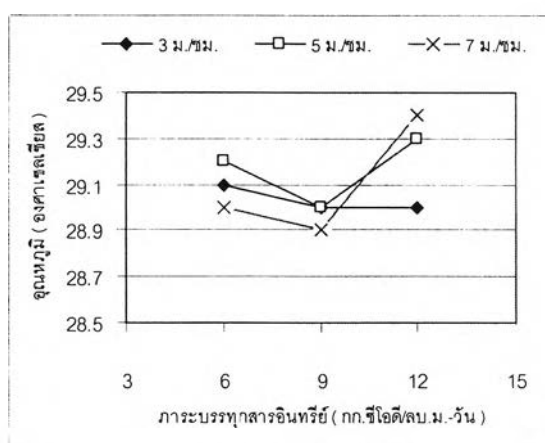
รูปที่ 4.10 ค่าพีเอชและไออาร์พีเฉลี่ยในช่วงสภาวะคงตัวของระบบอีจีเอสบี

## 8) อุณหภูมิ

จากตารางที่ 4.11 และรูปที่ 4.11 พบว่า อุณหภูมิเฉลี่ยของระบบภายในถึงปฏิกรณ์ของทั้ง 3 ชุดการทดลองมีค่าแตกต่างกันน้อยมากซึ่งอยู่ในช่วง 28.9 - 29.4 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของแบคทีเรียมี 2 ช่วง คือ Mesophilic เป็นช่วงที่แบคทีเรียทำงานได้ดีที่อุณหภูมิ 24 - 45 องศาเซลเซียส และ Termophilic เป็นช่วงที่แบคทีเรียทำงานได้ดีที่อุณหภูมิประมาณ 50 - 65 องศาเซลเซียส ดังนั้นแบคทีเรียในถึงปฏิกรณ์อีจีเอสบีจึงน่าจะอยู่ในกลุ่ม Mesophilic

ตารางที่ 4.11 สรุปค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิของระบบอีจีเอสบี

ภาวะบรรทุกลสารอินทรีย์ ( กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน )	ความเร็วไหลขึ้น ( ม./ชม. )	อุณหภูมิภายในถึงปฏิกรณ์ ( องศาเซลเซียส )
6	3	29.1
	5	29.2
	7	29.0
9	3	29.0
	5	29.0
	7	28.9
12	3	29.0
	5	29.3
	7	29.4



รูปที่ 4.11 ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงสภาวะคงตัวของระบบอีจีเอสบี

### 9) ความเค็ม

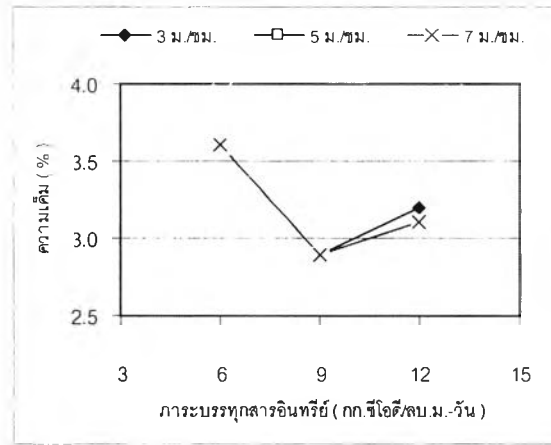
ความเค็ม (Salinity) หมายถึง ของแข็งทั้งหมดหลังจากคาร์บอนไดออกไซด์ถูกเปลี่ยนเป็น ออกไซด์ โบรไมด์ และไอโอดีน ถูกแทนที่ด้วยคลอไรด์ และสารอินทรีย์ทั้งหมดถูกออกซิไดซ์จนหมดสิ้น โดยความเค็มเป็นพารามิเตอร์ที่ใช้วัดปริมาณเกลือแร่ในน้ำ

เมื่อพิจารณาจากตารางที่ 4.12 และรูปที่ 4.12 พบว่า ความเค็มในน้ำเสียก่อนเข้าระบบ และหลังจากจากระบบมีค่าไม่เปลี่ยนแปลง ความเค็มอาจมีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของระบบในแนวคิดที่ว่า ความเค็มทำให้เกิดความต่างศักย์ของออสโมสระหว่างภายในและภายนอกเซลล์ ซึ่งก่อให้เกิดสภาวะ Osmosis stress ที่ขัดขวางการส่งผ่านสารอาหารผ่านเมมเบรนของจุลินทรีย์ และความเค็มที่สูงจะมีอิทธิพลทำให้ความหนาแน่นของน้ำเสียมากขึ้นด้วย ส่งผลให้ของแข็งแขวนลอยที่มีความหนาแน่นต่ำไม่สามารถตกตะกอนภายในถังปฏิกรณ์ได้โดยง่าย จึงหลุดออกไปกับน้ำออกจากระบบ

ตารางที่ 4.12 สรุปค่าเฉลี่ยของความเค็มของระบบบิโอดีเอสปี

การบรรทุกสารอินทรีย์ (กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน)	ความเร็วไหลขึ้น (ม./ชม.)	ความเค็ม (%)	
		น้ำเข้า	น้ำออก
6	3	3.6	3.6
	5	3.6	3.6
	7	3.6	3.6
9	3	3.0	2.9
	5	3.0	2.9
	7	3.0	2.9
12	3	3.2	3.2
	5	3.2	3.1
	7	3.2	3.1



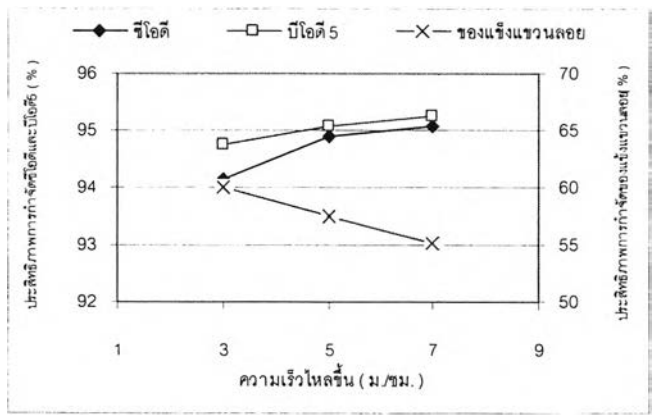


รูปที่ 4.12 ค่าความเค็มเฉลี่ยในช่วงสภาวะคงตัวของระบบบิโอดี

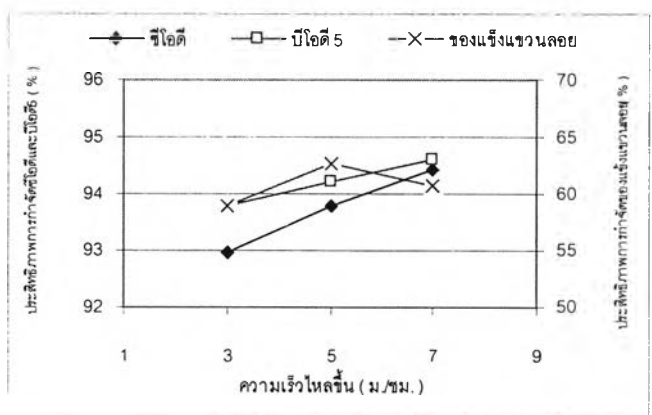
#### 4.4 ผลของความเร็วไหลขึ้นต่อประสิทธิภาพของระบบบิโอดี

เมื่อพิจารณารูปที่ 4.13 พบว่า ผลของประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี และบีโอดี มีค่าเหมือนกัน คือ มีแนวโน้มเพิ่มตามความเร็วไหลขึ้นในถังปฏิกรณ์ ซึ่งจะเห็นว่าที่การบรรทุกสารอินทรีย์ 6, 9 และ 12 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ค่าความเร็วไหลขึ้นที่เพิ่มขึ้นจาก 3 ม./ชม. เป็น 5 และ 7 ม./ชม. มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบบิโอดี เพราะที่ความเร็วไหลขึ้นสูงมีอัตราการสูบน้ำเวียนกลับมากกว่าเพื่อนำสารบางตัวที่เซลล์จุลชีพยังย่อยไม่สิ้นสุดกลับมาย่อยใหม่ ทำให้เกิดการถ่ายเทสารอาหารได้ดีขึ้น และยังเป็น การช่วยเจือจางน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบได้อีกทางหนึ่งด้วย

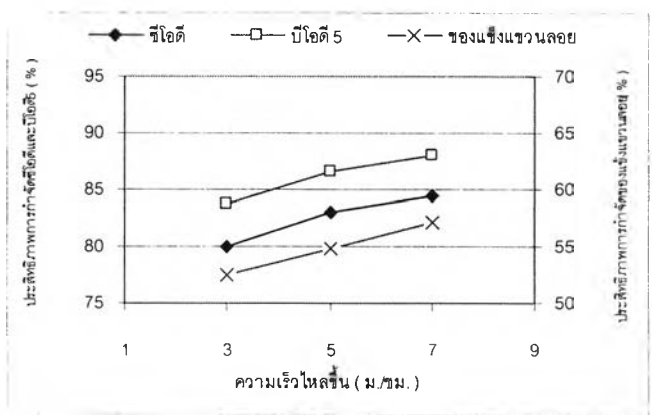
ส่วนผลของประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอย พบว่า ที่การบรรทุกสารอินทรีย์ 6 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยมีค่าลดลงเมื่อค่าความเร็วไหลขึ้นในถังปฏิกรณ์เพิ่มขึ้น เนื่องจากอัตราการเวียนน้ำที่เพิ่มขึ้นจึงทำให้พาของแข็งแขวนลอยออกไปกับน้ำออกมากขึ้นตามไปด้วย แต่ที่การบรรทุกสารอินทรีย์ที่ 9 และ 12 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน นั้นมีค่าตรงข้าม เพราะที่การบรรทุกสารอินทรีย์ 6 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน นั้นเป็นช่วงเริ่มเดินระบบ จึงทำให้ช่วงดังกล่าวนั้นเชื้อเม็ดตะกอนบางส่วนยังปรับตัวไม่ได้กับอัตราการเวียนน้ำกลับที่มีค่าสูง และเมื่อเดินระบบนานขึ้นระบบที่มีค่าความเร็วไหลขึ้นที่สูงจะมีแนวโน้มในการกำจัดของแข็งแขวนลอยที่ดีกว่า เนื่องจากเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่ยังคงถูกรักษาในถังปฏิกรณ์เป็นเม็ดตะกอนที่มีความหนาแน่นสูง และมีความเร็วในการตกตะกอนได้ดี



(ก) ภาวะบรรทุกลสารอินทรีย์ 6 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน



(ข) ภาวะบรรทุกลสารอินทรีย์ 9 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน

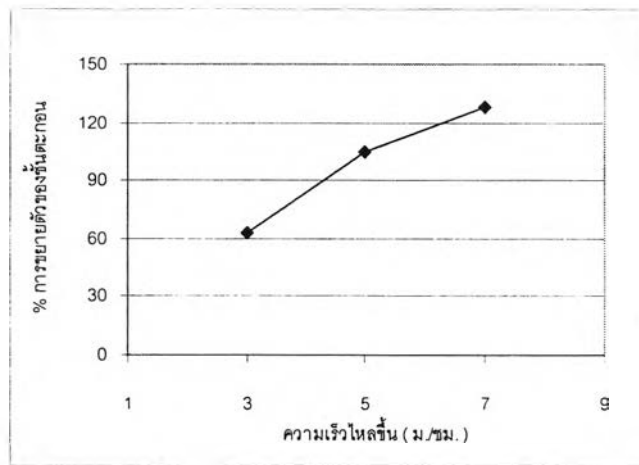


(ค) ภาวะบรรทุกลสารอินทรีย์ 12 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน

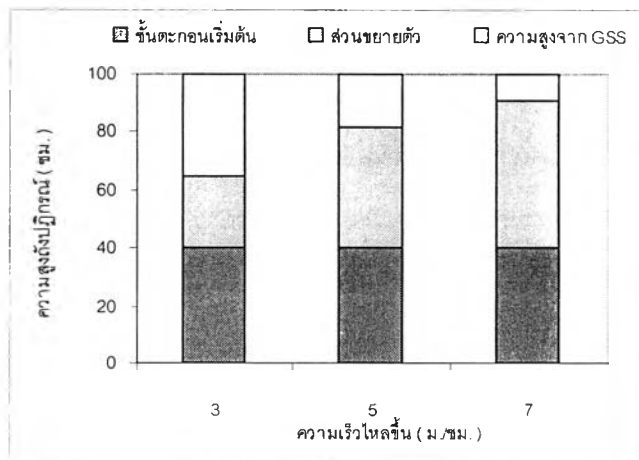
รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ของความเร็วไถขึ้นต่อประสิทธิภาพของระบบอู่จีเอสบี

#### 4.5 การขยายตัวของชั้นเม็ดตะกอนจุลินทรีย์

ความเร็วไหลชั้นมีผลโดยตรงต่อการขยายตัวของชั้นเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ดังแสดงในรูปที่ 4.14 และ 4.15 ซึ่งส่งผลให้ระยะในการตกตะกอนของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์น้อยลง ทำให้โอกาสที่ตะกอนจุลินทรีย์จะหลุดออกจากระบบมีมากขึ้น แต่ในการขยายตัวของชั้นเม็ดตะกอนก็เป็นปัจจัยที่มีผลต่อการสัมผัสกันระหว่างน้ำเสียกับเม็ดตะกอน และการส่งถ่ายสารอาหารก่อให้เกิดการดูดซึมสารอาหารที่ดีขึ้น ส่งผลต่อประสิทธิภาพที่สูงขึ้นของระบบ



รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ของเปอร์เซ็นต์การขยายตัวของชั้นตะกอนกับความเร็วไหลชั้น



รูปที่ 4.15 แสดงความสูงของการขยายตัวของชั้นตะกอนภายในถังปฏิกรณ์

ในการพิจารณาการขยายตัวของชั้นตะกอนจุลินทรีย์นั้น ควรพิจารณาถึงปัจจัยอื่นที่มีผลร่วมด้วย เช่น ชนิดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ ประเภทของน้ำเสีย ระบบการกระจายน้ำ ความสามารถในการตกตะกอนของเม็ดตะกอน การติดตั้งอุปกรณ์ตกตะกอน (GSS) ระยะเวลาในการตกตะกอน พลังงานที่ใช้ เป็นต้น เพราะยิ่งความเร็วไหลขึ้นมาก การขยายตัวก็จะยิ่งมากขึ้น ถึงแม้ระบบจะมีประสิทธิภาพดี แต่โอกาสที่เม็ดตะกอนจะหลุดออกก็มีมากขึ้นด้วย ดังนั้นจากการทดลองที่ผ่านมาจึงได้เลือกให้ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม. ในการนำไปทดลองต่อในช่วงที่ 2 เพื่อเป็นการเพิ่มระยะเวลาในการตกตะกอนให้ระบบเพื่อป้องกันการหลุดออกของของแข็งแขวนลอย และเม็ดตะกอนจุลินทรีย์

เนื่องจากการทดลองต่อในช่วงที่ 2 นั้นเป็นการศึกษาการลดค่าไนโตรเจนของน้ำเสีย ซึ่งต้องใช้ค่าซีโอดีเพื่อให้เกิดกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน ดังนั้นจึงเลือกระบบอีจีเอสบีที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 12 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน และความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม. เพื่อให้มีค่าซีโอดีในน้ำออกจากระบบอีจีเอสบีมีค่ามากที่สุด

#### 4.6 ก๊าซชีวภาพ

ในการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนจะทำให้เกิดก๊าซชีวภาพขึ้นในระบบ ก๊าซที่เกิดส่วนใหญ่ คือ ก๊าซมีเทน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และมีเทนที่เกิดขึ้นจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณซีโอดีที่ถูกกำจัด เพื่อเป็นการศึกษาความสัมพันธ์ดังกล่าว จึงใช้แนวความคิด และโมเดลเรื่องก๊าซในงานวิจัยของสินุช ศศิยศชาติ (2544) มาอธิบาย โดยมีข้อกำหนดดังนี้

##### ข้อกำหนด

- กำหนดให้น้ำเสียที่ถูกย่อยสลายทั้งหมดมีปริมาตร 1 ลิตร
- ก๊าซที่เกิดขึ้นมี 2 ชนิด คือ มีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์
- อุณหภูมิของระบบฯ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 30 องศาเซลเซียส
- เนื่องจากการคำนวณที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายเทมวลสารระหว่างปฏิภาคน้ำและปฏิภาคก๊าซ ดังนั้น ในการพิจารณาหน่วยของปริมาณสารที่เปลี่ยนแปลงรูปไปอยู่ในแต่ละปฏิภาค จะพิจารณาในหน่วยมวลของสารนั้นๆ ซึ่งจะทำให้ง่ายต่อการคำนวณ
- ให้  $M_T$  = จำนวนโมลของมีเทนทั้งหมดที่เกิดขึ้นภายในระบบ
- $C_T$  = จำนวนโมลของคาร์บอนไดออกไซด์ทั้งหมดที่เกิดขึ้นภายในระบบ

$$\begin{aligned}
 M_l &= \text{จำนวนโมลของมีเทนที่อยู่ในวัฏภาคน้ำ} \\
 C_l &= \text{จำนวนโมลของคาร์บอนไดออกไซด์ที่อยู่ในวัฏภาคน้ำ} \\
 M_g &= \text{จำนวนโมลของมีเทนที่อยู่ในวัฏภาคก๊าซ} \\
 C_g &= \text{จำนวนโมลของคาร์บอนไดออกไซด์ที่อยู่ในวัฏภาคก๊าซ}
 \end{aligned}$$

- ค่าคงที่ของเฮนรีที่อุณหภูมิเท่ากับ 30 องศาเซลเซียส

$$K_{CH_4} = 1.24 \text{ มิลลิโมล/ลิตร-บรรยากาศ}$$

$$K_{CO_2} = 29.9 \text{ มิลลิโมล/ลิตร-บรรยากาศ}$$

ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ของระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนจะได้ก๊าซเกิดขึ้น 2 ชนิด คือ ก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซที่เกิดขึ้นนี้ส่วนหนึ่งจะละลายอยู่ในน้ำและอีกส่วนหนึ่งจะหนีออกไปอยู่ในบรรยากาศเหนือน้ำ ดังนั้นผลรวมของก๊าซที่เกิดขึ้นทั้งหมดในรูปมวลจะเท่ากับมวลของก๊าซที่ละลายอยู่ในน้ำรวมกับมวลของก๊าซที่อยู่เหนือน้ำ จากความสัมพันธ์นี้สามารถเขียนออกมาเป็นสมการได้ดังนี้

ก๊าซมีเทน :

$$\begin{aligned}
 M_T &= M_l + M_g \\
 M_l &= M_T - M_g
 \end{aligned} \tag{4.1}$$

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ :

$$\begin{aligned}
 C_T &= C_l + C_g \\
 C_l &= C_T - C_g
 \end{aligned} \tag{4.2}$$

และจากความสัมพันธ์ของก๊าซในบรรยากาศเมื่อคิดในรูปของความดันพาร์เซียลจะได้ว่า

$$\text{ความดันพาร์เซียลของมีเทน, } P_{CH_4} = M_g / (M_g + C_g) \tag{4.3}$$

$$\text{ความดันพาร์เซียลของคาร์บอนไดออกไซด์, } P_{CO_2} = C_g / (M_g + C_g) \tag{4.4}$$

จากกฎของเฮนรี ที่กล่าวว่า “ความเข้มข้นของก๊าซที่ละลายน้ำจะเท่ากับค่าคงที่ของการละลายคูณด้วยความดันพาร์เซียลของก๊าซนั้น” จะได้ว่า

$$\text{ความเข้มข้นของมีเทนละลายน้ำ, } M_l = K_{H,CH_4} \times P_{CH_4} \tag{4.5}$$

(จากที่ได้กำหนดไว้ว่าค่าต่างๆ คิดต่อการย่อยสลายน้ำเสีย 1 ลิตร ดังนั้น ค่า  $M_l$  จึงใช้หน่วยเป็น มิลลิโมล/ลิตร)

แทนค่า สมการ (4.1) และ (4.3) ลงในสมการที่ (4.5) แล้วจัดรูปใหม่

$$M_T - M_g = K_{H,CH_4} \times M_g / (M_g + C_g)$$

$$C_g = [(K_{H,CH_4} \times M_g) / (M_T - M_g)] - M_g \quad (4.6)$$

$$\text{ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ละลายน้ำ, } C_l = K_{H,CO_2} \times P_{CO_2} \quad (4.7)$$

แทนค่า สมการ (4.2) และ (4.4) ลงในสมการ (4.7) แล้วจัดรูปใหม่

$$\begin{aligned} C_T - C_g &= K_{H,CO_2} \times C_g / (M_g + C_g) \\ M_g &= [(K_{H,CO_2} \times C_g) / (C_T - C_g)] - C_g \end{aligned} \quad (4.8)$$

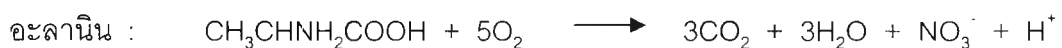
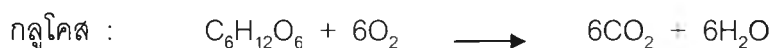
จากข้อกำหนดและสมการที่ 4.1 ถึง 4.8 สามารถนำไปใช้หาคำนวณปริมาณก๊าซได้

น้ำเสียประเภทโปรตีน เมื่อเข้าสู่ระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนจะถูกไฮโดรไลซ์ ให้โมเลกุลมีขนาดเล็กลง กลายเป็นกรดอะมิโน และถูกแบคทีเรียสร้างกรดย่อยสลายให้กลายเป็นกรดไขมันระเหย อะมิโน คาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซไฮโดรเจน และสุดท้ายจะถูกย่อยโดยแบคทีเรียสร้างมีเทนให้เป็นมีเทน คาร์บอนไดออกไซด์ และแอมโมเนีย โดยแอมโมเนียจะทำปฏิกิริยากับคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นให้เป็นแอมโมเนียมไบคาร์บอเนต เป็นผลให้สภาพต่างในระบบสูงขึ้น

สำหรับน้ำเสียประเภทโปรตีนโดยทั่วไปจะไม่พบว่ามีเฉพาะโปรตีนทั้งหมด แต่จะมีส่วนผสมของคาร์โบไฮเดรตปนอยู่ด้วย ในปริมาณที่แตกต่างกันขึ้นกับลักษณะน้ำเสีย แต่ในการทดลองนี้จะสมมติว่า ในน้ำเสียมีคาร์โบไฮเดรตอยู่ 50 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจะใช้กลูโคสเป็นตัวแทนสูตรทางเคมี และมีโปรตีนอยู่ 50 เปอร์เซ็นต์ โดยสูตรทางเคมีที่ใช้เป็นตัวแทนคือ อะลานิน (Alanine) ซึ่งมีสูตรทางเคมีว่า  $CH_3CHNH_2COOH$  มีสมการการย่อยสลายดังนี้



สมการออกซิโดรีดชันอินทรีย์



จากสมการทั้งสี่ข้างต้น จะได้ว่า การย่อยสลายกลูโคส 1 โมล จะใช้ออกซิเจน 6 โมล หรือกล่าวได้ว่า ซีไอดีของกลูโคสเท่ากับ 6 โมล ต่อ 1 โมลของกลูโคส และในการย่อยสลายกลูโคสแบบไม่ใช้ออกซิเจน 1 โมล จะเกิดเป็นมีเทน และคาร์บอนไดออกไซด์อย่างละ 3 โมล ดังนั้น อาจกล่าวได้ว่า ซีไอดี 6 โมล จะเกิดเป็นมีเทน และคาร์บอนไดออกไซด์อย่างละ 3 โมล

ในการย่อยสลายอะลาโนน 1 โมล จะใช้ออกซิเจนทั้งหมด 5 โมล หรือซีไอดีของอะลาโนนเท่ากับ 5 โมล ต่อ 1 โมลของอะลาโนน และในการย่อยสลายอะลาโนนแบบไม่ใช้อากาศ 1 โมล จะเกิดเป็นมีเทน 1.5 โมล คาร์บอนไดออกไซด์ 0.5 โมล แอมโมเนีย และไบคาร์บอเนตอย่างละ 1 โมล ดังนั้นจะกล่าวได้ว่า ซีไอดี 5 โมล จะเกิดเป็นมีเทน 1.5 โมล คาร์บอนไดออกไซด์ 0.5 โมล ให้แอมโมเนีย และไบคาร์บอเนตอย่างละ 1 โมล

จากการตั้งสมมติฐานว่า น้ำเสียมีกลูโคส และอะลาโนนอย่างละ 50 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้น

ซีไอดี 1 โมล จะเป็นซีไอดีจากกลูโคส 0.5 โมล และเกิด

$$\text{CH}_4 = 0.5 \times 0.5 = 0.25 \text{ โมล}$$

$$\text{CO}_2 = 0.5 \times 0.5 = 0.25 \text{ โมล}$$

เป็นซีไอดีจากอะลาโนน 0.5 โมล และเกิด

$$\text{CH}_4 = 0.5 \times (1.5/5) = 0.15 \text{ โมล}$$

$$\text{CO}_2 = 0.5 \times (0.5/5) = 0.05 \text{ โมล}$$

$$\text{HCO}_3^- = 0.5 \times (1/5) = 0.10 \text{ โมล}$$

มีเทนที่เกิดขึ้นทั้งหมด เท่ากับ มีเทนที่เกิดจากการย่อยสลายกลูโคส และมีเทนที่เกิดจากการย่อยสลายอะลาโนน =  $0.25 + 0.15 = 0.40$  มิลลิโมล

คาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นทั้งหมด เท่ากับ คาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากการย่อยสลายกลูโคส และคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากการย่อยสลายอะลาโนน =  $0.25 + 0.05 = 0.30$  มิลลิโมล

ซีไอดีที่ถูกกำจัด C มก./ล. เท่ากับ C/32 มิลลิโมล/ล.

$$\text{จะให้ มีเทน, } M_T = (C/32) \times 0.40 \text{ มิลลิโมล/ล.}$$

$$\text{คาร์บอนไดออกไซด์, } C_T = (C/32) \times 0.30 \text{ มิลลิโมล/ล.}$$

การคำนวณหาปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นสามารถทำได้โดยการ Trial & error ดังนี้

1. กำหนดค่าซีไอดีที่ถูกกำจัด (C), มก./ล.
2. คำนวณหาค่า  $M_T$  และ  $C_T$
3. สมมติ ค่ามีเทนก๊าซที่เกิดขึ้น ( $M_g$ ), มิลลิโมล/ล. แทนลงในสมการที่ (4.6) จะได้ค่า คาร์บอนไดออกไซด์ก๊าซ ( $C_g$ ), มิลลิโมล/ล.
4. แทนค่า  $C_g$  ลงในสมการ (4.8) จะได้ค่า  $M_g$
5. Trial & error ต่อไปจนกว่าจะได้ค่า  $M_g$  ที่สมมติเท่ากับค่าที่ได้จากการคำนวณในสมการ (4.8)
6. คำนวณหา  $P_{\text{CH}_4}$  และ  $P_{\text{CO}_2}$  จากสมการ (4.3) และ (4.4)
7. คำนวณหา  $M_l$  และ  $C_l$  หน่วย มิลลิโมล/ล. จากสมการ (4.1) และ (4.2)

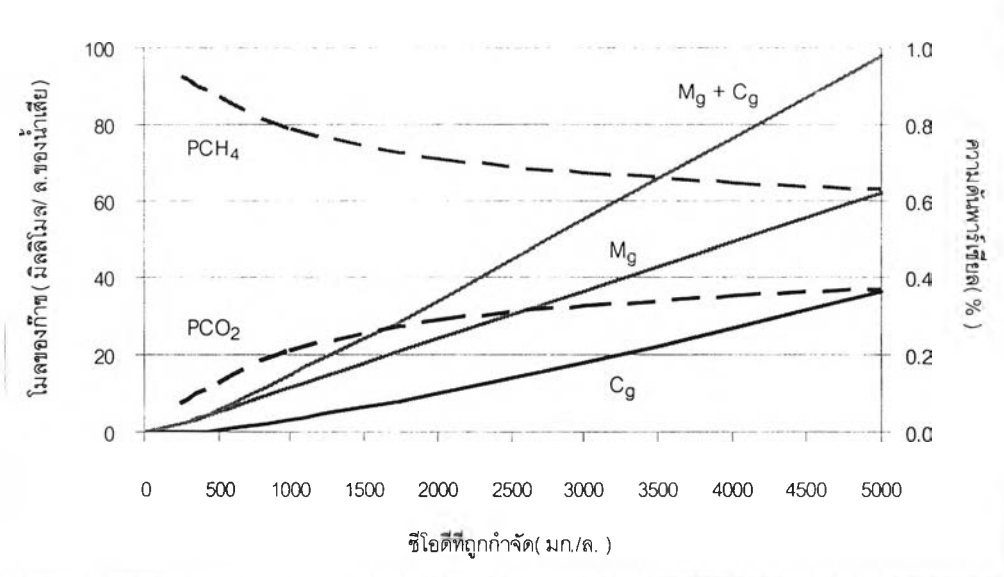
เมื่อกำหนดค่าซีไอดีที่ถูกกำจัดต่างๆ จะได้ปริมาณมีเทน และคาร์บอนไดออกไซด์ ดังตารางที่ 4.13 และรูปที่ 4.16 จะเห็นว่ามีเทนละลายน้ำได้น้อยมาก และเมื่อซีไอดีสูงขึ้นมีเทนละลายน้ำได้น้อยลง ส่วนคาร์บอนไดออกไซด์จะละลายน้ำได้เพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของซีไอดีที่สูงขึ้น ดังนั้น มีเทนที่อยู่เหนือน้ำจึงมีค่ามากกว่าคาร์บอนไดออกไซด์เหนือน้ำ ทำให้ค่าที่วัดได้จากเครื่อง GC (Gas Chromatography) มีเปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทนมากกว่าเปอร์เซ็นต์ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

ตารางที่ 4.13 ปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นจากการแปรค่าซีไอดีที่ถูกกำจัดต่าง ๆ โดยน้ำเสียโปรตีน

ซีไอดีที่ถูกกำจัด		จำนวนโมลของก๊าซ (มิลลิโมล/ล.)		จำนวนโมลของก๊าซเหนือผิวน้ำ (มิลลิโมล/ล.)		จำนวนโมลของก๊าซที่ละลายน้ำ (มิลลิโมล/ล.)		ความดันพาร์เชียลของก๊าซ (%)		ปริมาณก๊าซเหนือผิวน้ำ	
มก./ล.	มิลลิโมล/ล.	$M_T$	$C_T$	$M_g$	$C_g$	$M_l$	$C_l$	$P_{CH_4}$	$P_{CO_2}$	มิลลิโมล/ล.	ลิตร
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
250	7.81	3.13	2.34	1.98	0.16	1.15	2.18	0.92	0.08	2.14	0.05
500	15.63	6.25	4.69	5.17	0.77	1.08	3.92	0.87	0.13	5.94	0.13
1000	31.25	12.50	9.38	11.52	3.06	0.98	6.32	0.79	0.21	14.58	0.33
2000	62.50	25.00	18.75	24.12	9.87	0.88	8.88	0.71	0.29	33.99	0.76
3000	93.75	37.50	28.13	36.67	18.11	0.83	10.02	0.67	0.33	54.78	1.23
4000	125.00	50.00	37.50	49.20	27.06	0.80	10.44	0.65	0.35	76.26	1.71
5000	156.25	52.50	46.88	61.72	36.40	0.78	10.48	0.63	0.37	98.12	2.20

- หมายเหตุ :
- (1) กำหนด
  - (2) เท่ากับ (1) / 32
  - (3) เท่ากับ (2) x 0.40 หน่วย มิลลิโมล/ล.
  - (4) เท่ากับ (2) x 0.30 หน่วย มิลลิโมล/ล.
  - (5) และ (6) ได้จากการ trial & error จากสมการ (4.6) และ (4.8) หน่วย มิลลิโมล/ล.
  - (7) และ (8) ได้จากสมการ (4.1) และ (4.2) หน่วย มิลลิโมล/ล.
  - (9) และ (10) ได้จากสมการ (4.3) และ (4.4) หน่วย มิลลิโมล/ล.
  - (11) เท่ากับ (5) + (6) หน่วย มิลลิโมล/ล.
  - (12) เท่ากับ (11) x 22.4 / 1000 หน่วย ล.





รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างซีโอดีที่ถูกกำจัดและปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นจากการใช้น้ำเสียโปรตีน

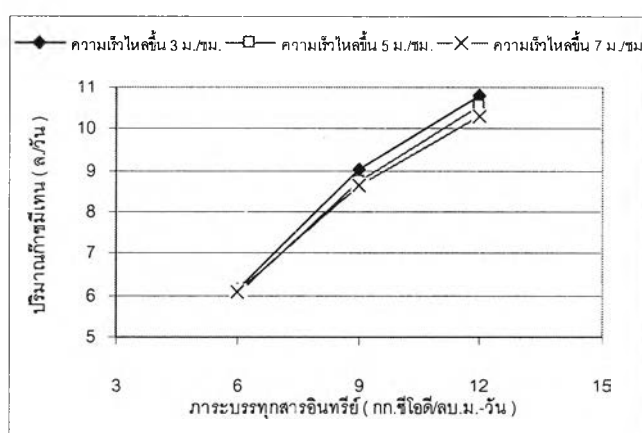
#### 4.7 ผลของค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์และความเร็วไหลขึ้นต่อปริมาณก๊าซมีเทน

จากตารางที่ 4.14 และรูปที่ 4.17 พบว่า ปริมาณก๊าซมีเทนจะมีค่าแปรตามค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่เพิ่มสูงขึ้น ซึ่งตรงกับกราฟความสัมพันธ์ระหว่างซีโอดีที่ถูกกำจัดและปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นจากการใช้น้ำเสียประเภทโปรตีนดังรูปที่ 4.16 โดยเมื่อพิจารณาจากกราฟดังกล่าวพบว่า ที่ค่าซีโอดีที่ถูกกำจัด 3000 มก./ล. จะมีเปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทน 67 % และคาร์บอนไดออกไซด์ 33 % ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับตารางที่ 4.14 คือมีเปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทนประมาณ 67.8 - 71.6 % และคาร์บอนไดออกไซด์ 19.6 - 22.7 % ซึ่งผลของค่าที่แตกต่างกัน เนื่องจากในความเป็นจริงจะมีก๊าซชนิดอื่นเกิดขึ้นด้วย และน้ำเสียที่ใช้ในการทดลองมีความแตกต่างจากสัดส่วนของน้ำเสียโปรตีนที่ใช้เป็นต้นแบบในการคำนวณ

เมื่อพิจารณาที่ค่าความเร็วไหลขึ้นในถังปฏิกรณ์จะเห็นว่า เปอร์เซนต์ก๊าซมีเทนจะลดลงเล็กน้อย เมื่อความเร็วไหลขึ้นเพิ่มขึ้น เพราะว่าแบคทีเรียที่ใช้คาร์บอนไดออกไซด์เป็นแหล่งอาหาร และไฮโดรเจนเพื่อผลิตเป็นมีเทนนั้น เมื่อความเร็วไหลขึ้นสูง อัตราการเวียนน้ำก็จะมากขึ้นตาม ทำให้แบคทีเรียจับคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนไม่ทัน เป็นผลให้ปริมาณก๊าซมีเทนลดลง

ตารางที่ 4.14 สรุปผลของส่วนประกอบของก๊าซและปริมาณก๊าซมีเทน

ภาวะบรรทุทุก สารอินทรีย์ ( กก.ซี โอดี/ลบ.ม.-วัน )	ความเร็ว ไหลขึ้น ( ม./ชม. )	ส่วนประกอบของก๊าซ			ปริมาณก๊าซมีเทน ( ลิตร/วัน )
		มีเทน ( % )	CO <sub>2</sub> ( % )	อื่นๆ ( % )	
6	3	69.6	21.0	9.4	6.12
	5	67.8	19.6	12.6	6.03
	7	69.0	22.7	8.3	6.07
9	3	71.3	19.6	9.1	9.05
	5	70.0	21.2	8.8	8.75
	7	69.5	22.1	8.4	8.62
12	3	71.6	19.7	8.7	10.81
	5	70.4	21.3	8.3	10.56
	7	69.7	22.2	8.1	10.31



รูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าภาวะบรรทุทุกสารอินทรีย์และความเร็วไหลขึ้นกับปริมาณก๊าซมีเทน

เมื่อนำค่าปริมาณก๊าซมีเทนจากตารางที่ 4.14 มาคิดเป็นอัตราการผลิตก๊าซมีเทนเทียบกับซีโอดีที่ถูกกำจัด พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 0.49 - 0.54 ลบ.ม./กก.ซีโอดีที่ถูกกำจัด โดยค่าอัตราการผลิตมีเทนตามทฤษฎีมีค่าเท่ากับ 0.35 ลบ.ม./กก.ซีโอดีที่ถูกกำจัด จะเห็นว่าค่าอัตราการผลิตก๊าซมีเทนในงานวิจัยนี้มีค่าสูงกว่าตามทฤษฎี เนื่องจากว่าค่าซีโอดีที่วัดในการทดลองเป็นค่าซีโอดีที่กรอง ส่งผลให้ซีโอดีที่เข้าระบบจริงจึงควรมีค่าที่สูงกว่าค่าซีโอดีที่วัดได้ และตะกอนในน้ำเสียเข้ามามีค่าค่อนข้างสูง โดยตะกอนดังกล่าวที่เข้าสู่ระบบอาจเป็นสารอินทรีย์จากชิ้นส่วนเศษปลา ดังนั้นค่าอัตราการผลิตก๊าซจึงมีค่าสูงกว่าตามทฤษฎี

## 4.8 เม็ดตะกอนจุลินทรีย์

### 4.8.1 ลักษณะของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์

เม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่ใช้ในการทดลองเริ่มต้นมีขนาด 1 - 3 มม. มีสีดำ โดยทำการคัดแยกส่วนที่เป็นปุยขนาดเล็กออกไป ในการทดลองได้ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscopy, SEM) ทั้งก่อนการทดลอง และหลังจากทำการทดลองแล้วในช่วงที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว ที่ค่าความเร็วไหลขึ้น 3, 5 และ 7 ม./ชม. แสดงดังรูปที่ 4.18 และ 4.19 ได้ผลดังนี้

- ลักษณะโครงสร้างภายนอก และบริเวณผิวชั้นนอก

ลักษณะทางกายภาพของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ก่อนเริ่มเดินระบบจะมีรูปร่างเป็นเม็ดทรงกลมหรือทรงรีค่อนข้างสมบูรณ์ หลังจากทำการทดลองแล้ว พบว่า เม็ดตะกอนจุลินทรีย์ยังคงมีรูปร่างคล้ายลักษณะเดิม โดยขนาดของเม็ดตะกอนจากภาพถ่าย SEM มีความไม่แน่นอนเนื่องจากการเก็บตัวอย่างเพื่อนำไปทำการวิเคราะห์เป็นการเก็บแบบสุ่ม และมีการเก็บตัวอย่างเพียงครั้งเดียว

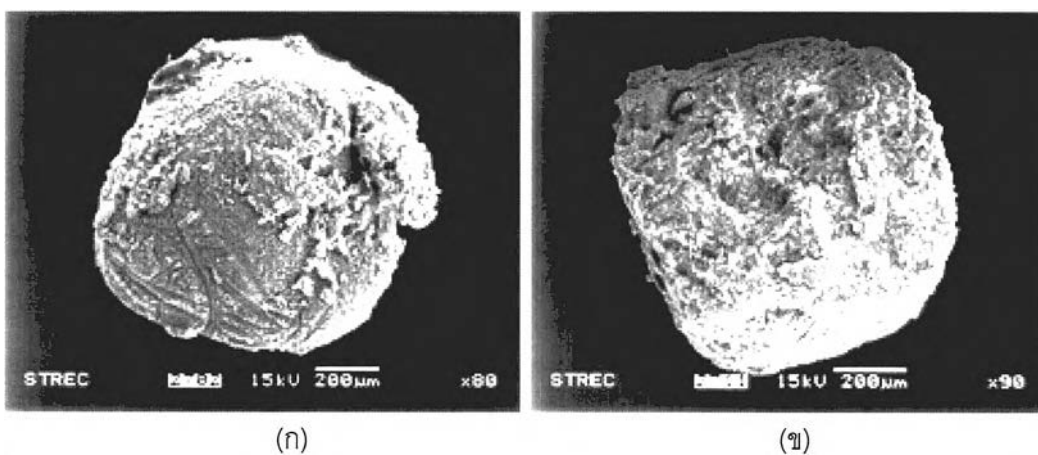
ลักษณะผิวของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ภายนอกโดยทั่วไปมีลักษณะคล้ายกัน ส่วนลักษณะผิวที่ขรุขระนั้นเกิดจากระบบอีจีเอสบีมีค่าความเร็วไหลขึ้นที่สูง เกิดจากการเวียนน้ำในถังปฏิกรณ์ จึงเป็นการเพิ่มโอกาสสัมผัสกันของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ ทำให้เกิดการเสียดสีกันระหว่างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์เพิ่มขึ้น ส่งผลให้เซลล์ที่เกาะกันอยู่ด้านนอกเกิดการหลุดออกได้ง่าย โดยที่ความเร็วไหลขึ้นสูงเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ก็จะมีลักษณะผิวที่ขรุขระมากขึ้น ดังสังเกตได้จากรูปที่ 4.19 ภาพ (ก), (ค) และ (จ)

- ลักษณะโครงสร้างภายใน และบริเวณผิวชั้นใน

จากรูปตัดตามขวางของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ดังแสดงในรูปที่ 4.18 ภาพ (ข) และ 4.19 ภาพ (ข), (ง) และ (ฉ) จะเห็นว่า ลักษณะของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ภายในมีความหนาแน่นต่างกัน และมีลักษณะเป็นโพรงช่องว่าง โดยที่ก่อนเริ่มทำการทดลองลักษณะภายในของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์จะมีความหนาแน่นมากกว่า และยังไม่เกิดโพรงช่องว่าง ซึ่งหลังจากที่ทำการ

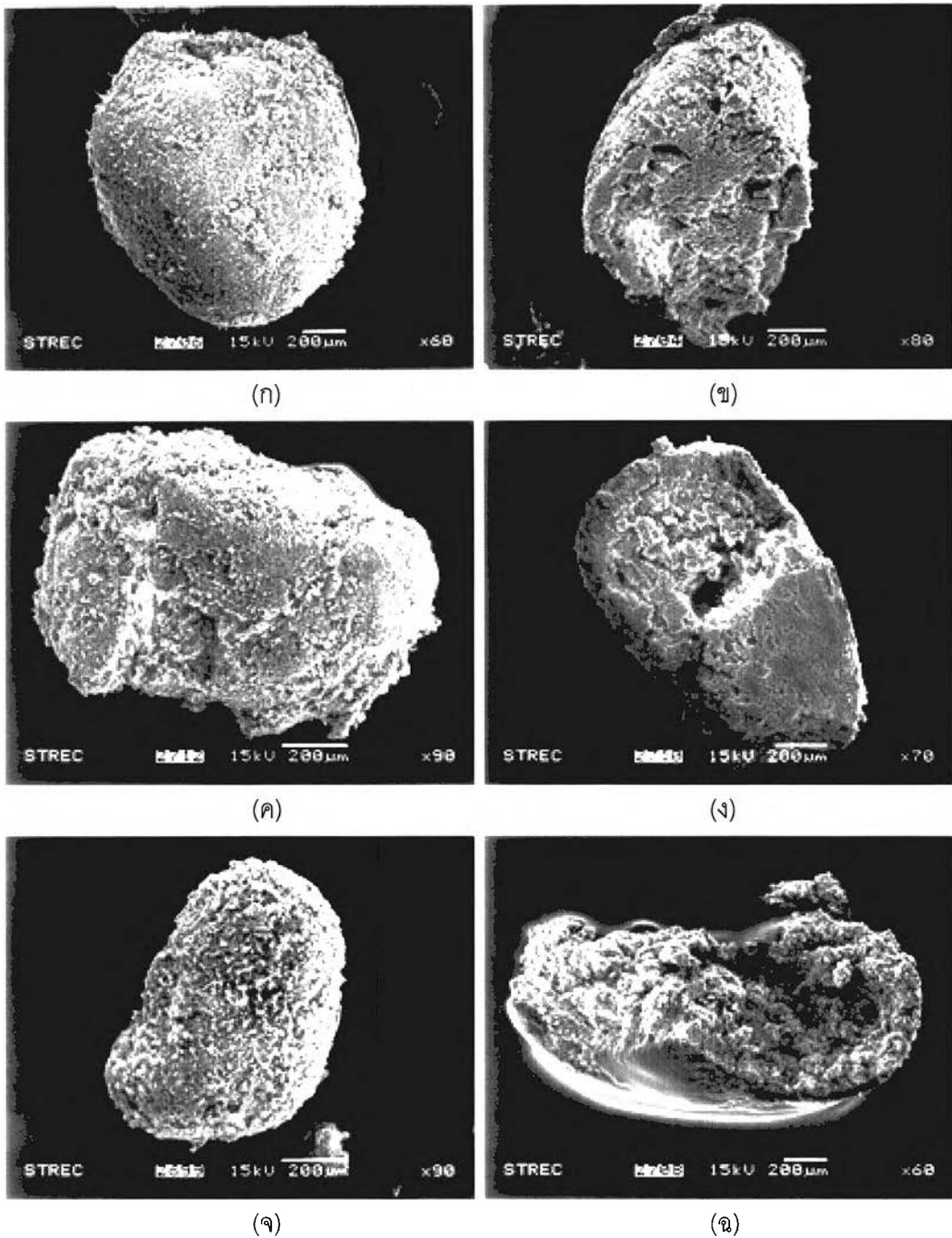
ทดลองแล้ว พบว่า ลักษณะภายในของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์มีความหนาแน่นลดลง และมีโพรงช่องว่างเกิดขึ้น

ความหนาแน่นจะแปรผกผันกับค่าความเร็วไหลขึ้น โดยที่ค่าความเร็วไหลขึ้น 7 ม./ชม. นั้นน่าจะมีขนาดของโพรงช่องว่างภายในที่ใหญ่กว่าที่ความเร็วไหลขึ้น 3 และ 5 ม./ชม. เนื่องจากเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ของตัวอย่างที่นำไปทำการส่งวิเคราะห์เกิดการแตกขึ้นในระหว่างการวิเคราะห์ ซึ่งอาจเกิดจากโพรงช่องว่างภายในเม็ดตะกอนนั่นเอง แสดงว่าขนาดของโพรงช่องว่างภายในเม็ดตะกอนจุลินทรีย์นั้นแปรตามค่าความเร็วไหลขึ้นในถังปฏิกรณ์ ซึ่งอาจเกิดจากการกำจัดสารอาหารที่เพิ่มขึ้น ทำให้แบคทีเรียกลุ่มที่ผลิตมีเทนที่อยู่ด้านในของเม็ดตะกอนทำการผลิตก๊าซมากขึ้น แต่ก๊าซที่เกิดขึ้นไม่สามารถระบายออกสู่ภายนอกได้ จึงเกิดเป็นโพรงช่องว่างขึ้นเพื่อใช้เป็นทางระบายก๊าซชีวภาพออกจากเม็ดตะกอนจุลินทรีย์



รูปที่ 4.18 ภาพถ่าย SEM แสดงลักษณะของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ก่อนทำการทดลอง

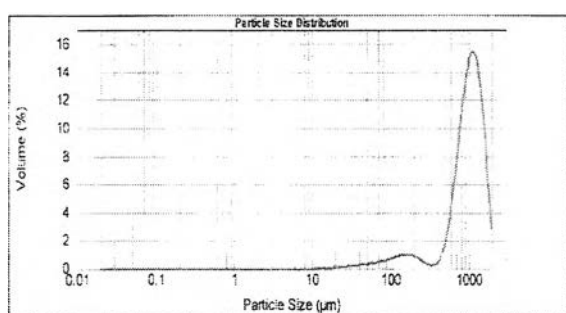
- (ก) ลักษณะภายนอกของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์
- (ข) ลักษณะภายในของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์



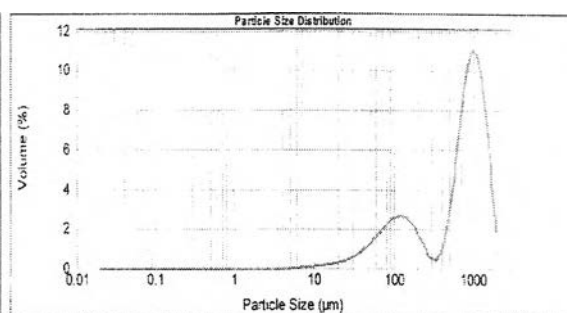
รูปที่ 4.19 ภาพถ่าย SEM แสดงลักษณะของเม็ดตะกอนจูลินทรีย์หลังทำการทดลอง  
 (ก) ลักษณะภายนอกของเม็ดตะกอนจูลินทรีย์ที่ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.  
 (ข) ลักษณะภายในของเม็ดตะกอนจูลินทรีย์ที่ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.  
 (ค) ลักษณะภายนอกของเม็ดตะกอนจูลินทรีย์ที่ความเร็วไหลขึ้น 5 ม./ชม.  
 (ง) ลักษณะภายในของเม็ดตะกอนจูลินทรีย์ที่ความเร็วไหลขึ้น 5 ม./ชม.  
 (จ) ลักษณะภายนอกของเม็ดตะกอนจูลินทรีย์ที่ความเร็วไหลขึ้น 7 ม./ชม.  
 (ฉ) ลักษณะภายในของเม็ดตะกอนจูลินทรีย์ที่ความเร็วไหลขึ้น 7 ม./ชม.

#### 4.8.2 ขนาดของเม็ดตะกอนจูลินทรีย์

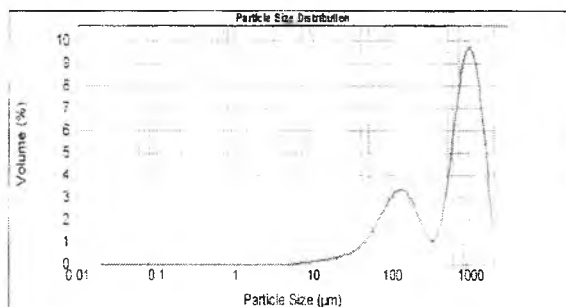
ในการวัดขนาดของเม็ดตะกอนจูลินทรีย์ จะวัดในรูปของการกระจายขนาดด้วยเครื่อง Particle Size Analyzer ในแต่ละชุดความเร็วไหลขึ้นในช่วงสภาวะคงตัว โดยอาศัยหลักการวัดพื้นที่ผิว และปริมาตรของเม็ดตะกอนจูลินทรีย์ด้วยระบบเซนเซอร์ที่ส่งแสงมากระทบกับอนุภาค ขณะที่เม็ดตะกอนไหลผ่านเลนส์ และทำการประมวลผลการวัดด้วยการคำนวณ แต่ในการวัดขนาดเม็ดตะกอนจูลินทรีย์ดังกล่าวนี้มีข้อจำกัด คือไม่สามารถวัดขนาดเม็ดตะกอนที่มีขนาดใหญ่กว่า 2 มม. ได้ ดังนั้นขอบเขตบนของเม็ดตะกอนจึงเท่ากับ 2 มม.



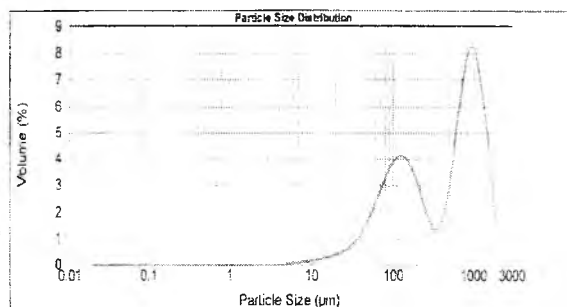
(ก) ก่อนเริ่มทำการทดลอง



(ข) ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.



(ค) ความเร็วไหลขึ้น 5 ม./ชม.



(ง) ความเร็วไหลขึ้น 7 ม./ชม.

รูปที่ 4.20 กราฟผลการวัดขนาดของเม็ดตะกอนจูลินทรีย์

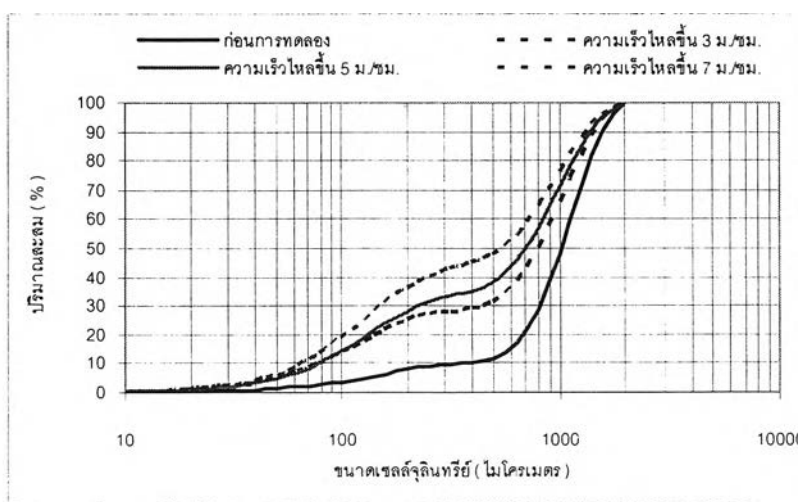
รูปที่ 4.20 เป็นผลการวัดขนาดเม็ดตะกอนจูลินทรีย์ จะเห็นว่าลักษณะของกราฟมีการกระจายของขนาดเม็ดตะกอนจูลินทรีย์ในทุกชุดการทดลองโดยมี peak 2 ตำแหน่ง คือช่วงที่สูงกว่า 500 ไมครอนซึ่งเป็นตัวแทนของเม็ดตะกอนขนาดใหญ่ และช่วงที่ต่ำกว่า 500 ไมครอนซึ่งเป็นตัวแทนของเม็ดตะกอนขนาดเล็ก ดังนั้นในการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงขนาดของเม็ดตะกอนจูลินทรีย์จึงได้เลือกค่าที่เป็นค่าเฉลี่ยในแต่ละชุดการทดลอง โดยเลือกค่า D10, D50 และ D90 ซึ่งเป็นขนาดของเม็ดตะกอนจูลินทรีย์ที่ปริมาณ 10, 50 และ 90 % ของเม็ดตะกอนทั้งหมด ซึ่งจะทำให้

ได้ช่วงข้อมูลที่ครอบคลุมมากกว่าการใช้ค่าเฉลี่ยเพียงค่าเดียว และสามารถติดตามผลการเปลี่ยนแปลงของขนาดเม็ดตะกอนจูลินทรีย์ทั้งแบบเม็ดตะกอนขนาดใหญ่และขนาดเล็กได้อย่างชัดเจน

ตารางที่ 4.15 ผลการวัดขนาดของเม็ดตะกอนจูลินทรีย์ที่ D10, D50 และD90

การวิเคราะห์	ขนาดของเม็ดตะกอนจูลินทรีย์ ( ไมครอน )		
	D10	D50	D90
ก่อนเริ่มทำการทดลอง	362.9	1022.4	1574.9
ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.	76.9	797.2	1455.4
ความเร็วไหลขึ้น 5 ม./ชม.	78.8	698.1	1394.5
ความเร็วไหลขึ้น 7 ม./ชม.	65.5	545.3	1327.9

ตารางที่ 4.15 แสดงผลการวัดขนาดเม็ดตะกอนจูลินทรีย์ที่ D10, D50 และD90 เมื่อนำค่าที่ได้จากการวัดขนาดของเม็ดตะกอนจูลินทรีย์มาเขียนกราฟการกระจายขนาดของเม็ดตะกอนจูลินทรีย์ จะได้กราฟดังรูปที่ 4.21 ซึ่งพบว่า ก่อนเริ่มทำการทดลอง และหลังทำการทดลอง ที่ความเร็วไหลขึ้น 3, 5 และ 7 ม./ชม. กราฟมีลักษณะของการกระจายขนาดของเม็ดตะกอนจูลินทรีย์เพิ่มขึ้นตามลำดับ ซึ่งแสดงว่าการกระจายขนาดของเม็ดตะกอนจูลินทรีย์มีค่าแปรตามค่าความเร็วไหลขึ้น อันเป็นผลจากการเวียนน้ำในถังปฏิกรณ์ที่สูงขึ้น ซึ่งทำให้เม็ดตะกอนเกิดการกระทบกันได้มาก ส่งผลให้เม็ดตะกอนที่มีขนาดใหญ่บางส่วนเกิดการฝูกร่อน และแตกออกเป็นเม็ดตะกอนขนาดเล็กได้มากขึ้นด้วย จึงทำให้ที่ความเร็วไหลขึ้นสูงมีตะกอนขนาดเล็กมาก และมีเม็ดตะกอนขนาดใหญ่เหลืออยู่น้อยลง



รูปที่ 4.21 กราฟการกระจายขนาดของเม็ดตะกอนจูลินทรีย์ในระบบอีจีเอสบี

#### 4.9 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลองการศึกษาประสิทธิภาพของระบบ อีจีเอสบี - ถังกรองชีวภาพ

จากผลการวิเคราะห์ผลการทดลองในช่วงที่ 1 ได้เลือกใช้สภาวะที่เหมาะสมสำหรับระบบอีจีเอสบีคือ ค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 12 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน อัตราการสูบน้ำเสียเข้าเท่ากับ 8 ล./วัน เวลากักน้ำ 6 ชม. และความเร็วไหลขึ้นเท่ากับ 3 ม./ชม. ซึ่งเป็นตัวกำหนดอัตราการสูบน้ำเข้าถังกรองชีวภาพเท่ากับ 8 ล./วัน เช่นกัน คิดเป็นเวลากักน้ำในถังกรองชีวภาพเท่ากับ 16 ชม. และระบบถังกรองชีวภาพได้เลือกใช้อัตราการสูบน้ำเวียนกลับ 200 % หรือเท่ากับ 16 ล./วัน

การทดลองในช่วงที่ 2 เป็นการศึกษาการเดินระบบอีจีเอสบีร่วมกับถังกรองชีวภาพ โดยจะมีการเพิ่มชุดการทดลองของถังกรองชีวภาพ 2 ชุด คือ มีอัตราส่วนช่วงแอนออกซิกต่อออกซิกเทียบกับปริมาตรของถังปฏิกรณ์ 2 ค่า คือ 1 : 1 และ 2 : 1 คิดเป็นเวลากักน้ำในช่วงแอนออกซิกต่อช่วงออกซิกเท่ากับ 8 : 8 และ 11 : 5 ชม. ตามลำดับ ซึ่งการทดลองในชุดการทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของอัตราส่วนช่วงแอนออกซิกและออกซิกที่มีต่อประสิทธิภาพการทำงานของระบบ และศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ถังกรองชีวภาพที่มีทั้งระยะแอนออกซิก และออกซิกภายในถังปฏิกรณ์เดียวในการกำจัดค่าไนโตรเจนในน้ำเสียสะพานปลา ผลการทดลองเป็นผลในช่วงที่ระบบอยู่ในสภาวะคงตัวแล้วแสดงไว้ในตารางที่ 4.16

จากตารางที่ 4.16 จะเห็นว่าระบบอีจีเอสบีในการทดลองนี้นั้นมีค่าใกล้เคียงกับผลการทดลองในช่วงที่ 1 แสดงว่าระบบอีจีเอสบีสามารถปรับตัวให้เข้าสู่สภาวะคงตัวได้เร็ว จึงสามารถทำการเดินระบบถังกรองชีวภาพต่อจากระบบอีจีเอสบีอย่างต่อเนื่องได้ทันที แต่ในช่วงแรกของการทดลองถังกรองชีวภาพจะมีระยะที่ต้องมีการเติมอากาศ จึงต้องมีการปรับค่าของเครื่องเติมอากาศให้เหมาะสม ซึ่งต้องใช้เวลาเพื่อให้ระบบถังกรองชีวภาพสามารถปรับสภาพด้วย โดยจะเห็นได้จากในช่วง 2 สัปดาห์แรก ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ว่ามีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างมาก



ตารางที่ 4.16 ผลการทดลองของระบบอีจีเอสปีร่วมกับถังกรองชีวภาพ

พารามิเตอร์	น้ำเสีย	น้ำออก อีจีเอสปี	น้ำออกถังกรองชีวภาพ ( แนนอกซิก : ออกซิก )	
			1 : 1	2 : 1
ซีไอดีกรอง ( มก./ล. )	2977	611	84	84
n = 9, SD.	152.11	46.50	22.38	17.90
ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดี ( % )	-	79.49	86.28	86.31
n = 9, SD.	-	0.72	3.65	2.95
บีไอดี ( มก./ล. )	2717	487	32	37
n = 3, SD.	57.74	30.55	3.46	8.08
ประสิทธิภาพการกำจัดบีไอดี ( % )	-	82.08	93.44	92.38
n = 3, SD.	-	1.10	0.34	1.17
ของแข็งแขวนลอย, SS ( มก./ล. )	701	341	83	95
n = 9, SD.	57.51	46.40	20.52	19.27
ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอย ( % )	-	51.26	75.01	71.80
n = 9, SD.	-	5.99	7.57	6.69
ค่าของแข็งแขวนลอยระเหย, VSS ( มก./ล. )	611	285	68	82
n = 9, SD.	58.85	42.18	16.65	16.18
ทีเคเอ็น ( มก./ล.as N )	555	520	111	160
n = 6, SD.	47.41	51.94	17.56	16.73
ประสิทธิภาพการกำจัดทีเคเอ็น ( % )	-	6.23	78.79	69.15
n = 6, SD.	-	2.46	2.36	2.38
แอมโมเนีย ( มก./ล.as N )	489	499	107	155
n = 6, SD.	35.46	47.43	16.86	16.99
ไนโตรท์ ( มก./ล.as N )	-	-	25.87	26.28
n = 6, SD.	-	-	7.19	14.11
ไนเตรท ( มก./ล.as N )	-	-	188.25	98.69
n = 6, SD.	-	-	14.24	14.24
ไนโตรเจนรวม ( มก./ล.as N )	555	520	325	285
n = 6, SD.	47.41	51.94	21.99	28.38
ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนรวม ( % )	-	6.23	37.40	45.04
n = 6, SD.	-	2.46	3.48	4.73
พีเอช	6.64	7.51	7.02	7.24
n = 9, SD.	0.11	0.19	0.15	0.22
ไออาร์พี ( มิลลิโวลท์ )	-346	-375	22	19
n = 9, SD.	20.25	12.68	32.92	38.94
อุณหภูมิ	-	28.7	28.4	28.5
n = 9, SD.	-	0.55	0.42	0.47

ตารางที่ 4.16 ผลการทดลองของระบบอีจีเอสปีร่วมกับถังกรองชีวภาพ (ต่อ)

พารามิเตอร์	น้ำเสีย	น้ำออก อีจีเอสปี	น้ำออกถังกรองชีวภาพ ( แอนออกซิก : ออกซิก )	
			1 : 1	2 : 1
กรดไขมันระเหย ( มก./ล.as CaCO <sub>3</sub> ) n = 9,	SD. 127.98	536 29.63	264 11.30	271 15.37
สภาพต่าง ( มก./ล.as CaCO <sub>3</sub> ) n = 9,	SD. 190.53	2164 101.87	312 179.29	582 162.54
ออกซิเจนละลาย, DO ( มก./ล. ) n = 6,	SD.	0.09 0.02	3.3 1.25	3.4 1.23
ความเค็ม ( % ) n = 9,	SD. 0.27	3.0 0.27	2.2 0.32	2.5 0.34

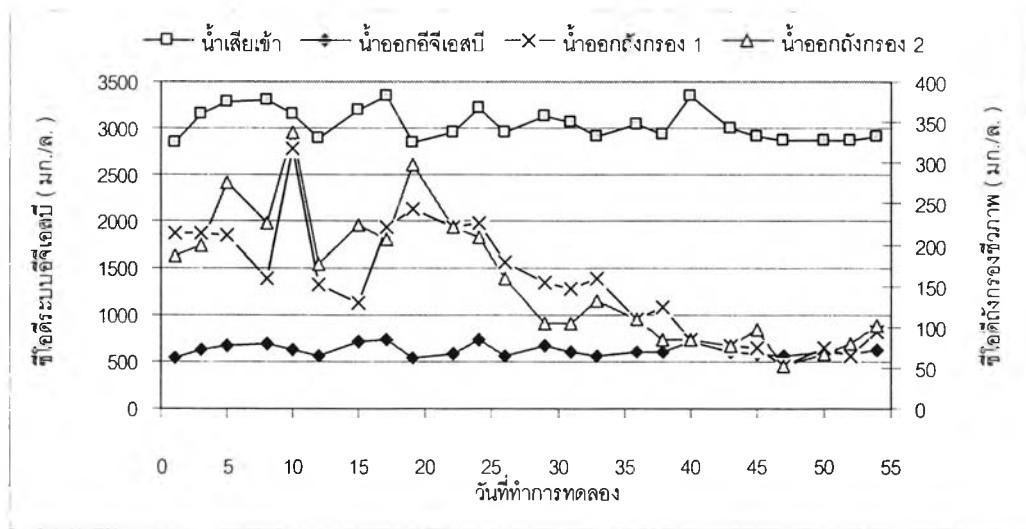
### 1) ซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี

เมื่อพิจารณาจากตารางที่ 4.17 และรูปที่ 4.22 พบว่า ซีโอดีของน้ำเสียก่อนเข้าระบบอีจีเอสปีนั้นมีค่าเฉลี่ยเป็น 2977 มก./ล. และน้ำออกจากระบบอีจีเอสปีแล้วมีค่าซีโอดีเฉลี่ย 611 มก./ล. คิดเป็นภาระบรรทุกสารอินทรีย์ของถังกรองชีวภาพเท่ากับ 0.9 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน และเมื่อผ่านระบบถังกรองชีวภาพแล้วที่อัตราส่วนช่วงแอนออกซิกต่อออกซิกเท่ากับ 1 : 1 และที่อัตราส่วนช่วงแอนออกซิกต่อออกซิก 2 : 1 มีค่าซีโอดีน้ำออกเท่ากันคือ 84 มก./ล. คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัด 86 % และคิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดรวมเท่ากับ 97 %

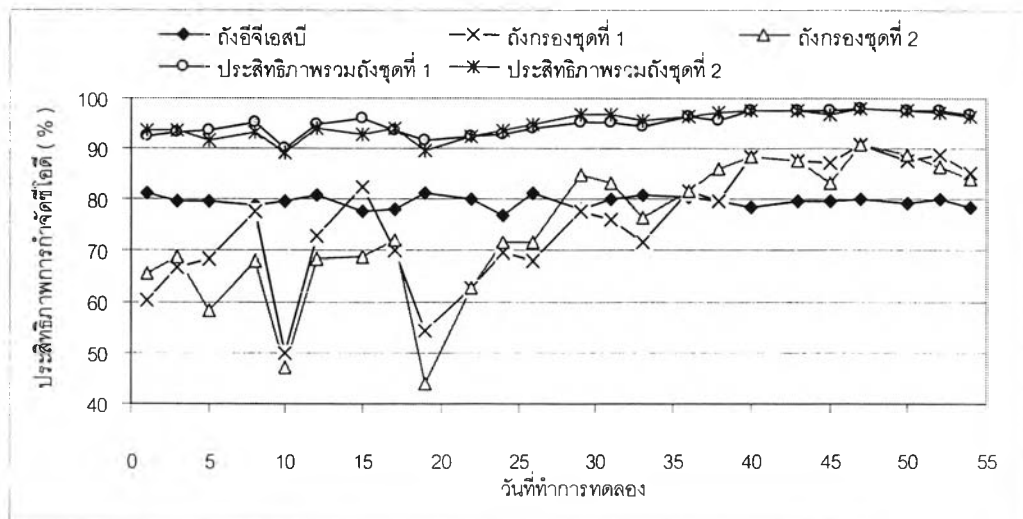
การกำจัดซีโอดีในถังกรองชีวภาพจะอาศัยแบคทีเรียกลุ่มเฮเทอโรโทรบ ซึ่งเป็นแบคทีเรียที่ใช้สารอินทรีย์คาร์บอนในน้ำเสียเป็นตัวให้อิเล็กตรอน โดยมีออกซิเจนเป็นแหล่งรับอิเล็กตรอนในปฏิกิริยาแอโรบิก และมีไนเตรทเป็นแหล่งรับอิเล็กตรอนในปฏิกิริยาแอนแอโรบิก ซึ่งในช่วงแรกของการทดลองจะเห็นว่า น้ำออกจากระบบถังกรองชีวภาพนั้นยังมีค่าซีโอดีที่สูง แต่เมื่อมีการปรับเครื่องเติมอากาศ และระบบสามารถปรับสภาพได้แล้ว ค่าซีโอดีจึงลดลงตามลำดับ ซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของถังกรองชีวภาพทั้งสองชุดการทดลองมีค่าเท่ากัน แสดงให้เห็นว่าอัตราส่วนช่วงแอนออกซิก : ออกซิก ของการทดลองนี้ไม่มีผลต่อการกำจัดซีโอดี ซึ่งเป็นผลมาจากซีโอดีก่อนเข้าถังกรองชีวภาพมีค่าต่ำ และมีเวลากักน้ำนาน 16 ชม. จึงทำให้การกำจัดซีโอดีในถังกรองชีวภาพเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

ตารางที่ 4.17 สรุปค่าเฉลี่ยของซีไอดีและประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีของระบบอีจีเอสบี - ถังกรองชีวภาพ

อัตราส่วนช่วง แอนนอกซิก : ออกซิก	ซีไอดี ( มก./ล. )			ประสิทธิภาพการกำจัด ( % )		
	น้ำเข้า อีจีเอสบี	น้ำออก อีจีเอสบี	น้ำออกถัง กรองชีวภาพ	ถังอีจีเอสบี	ถังกรอง ชีวภาพ	รวม
1 : 1	2977	611	84	79.49	86.28	97.19
2 : 1	2977	611	84	79.49	86.31	97.19



(ก) ซีไอดี

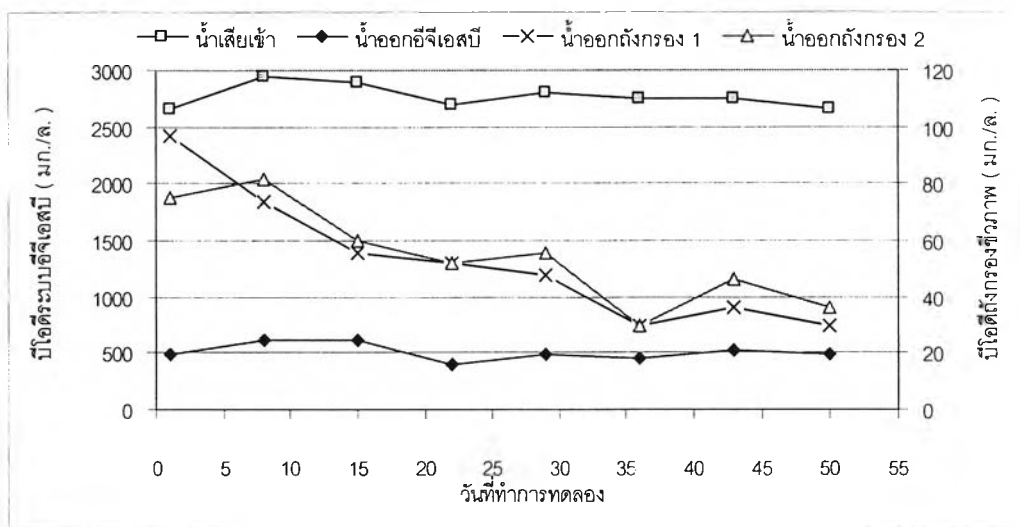


(ข) ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดี

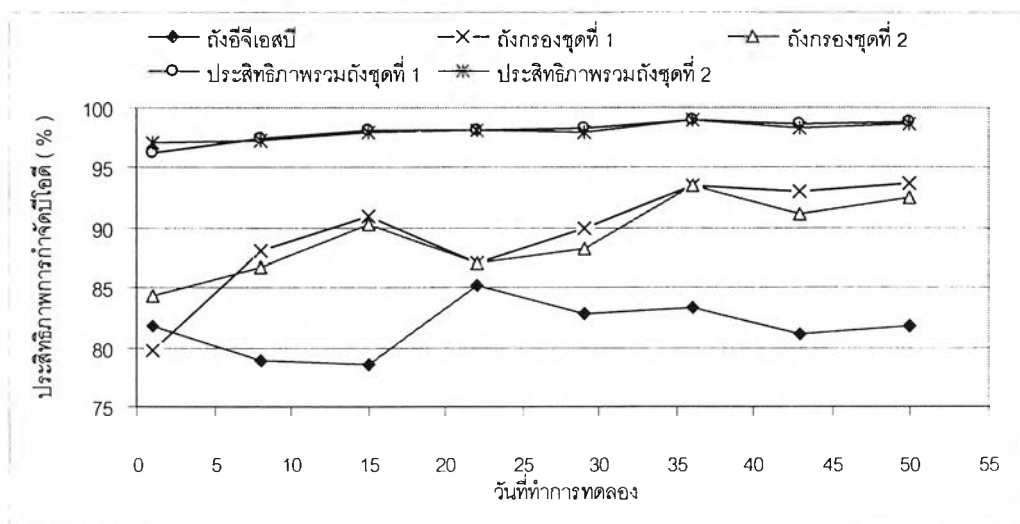
รูปที่ 4.22 ค่าซีไอดีและประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีของระบบอีจีเอสบี - ถังกรองชีวภาพ

2) บีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดี

จากตารางที่ 4.18 และรูปที่ 4.23 พบว่า บีโอดีก่อนเข้าระบบอีจีเอสบีมีค่าเฉลี่ย 2717 มก./ล. และน้ำออกจากระบบอีจีเอสบีมีค่าบีโอดีเท่ากับ 487 มก./ล. คิดเป็นประสิทธิภาพในการกำจัดบีโอดี 82 %



(ก) บีโอดี



(ข) ประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดี

รูปที่ 4.23 ค่าบีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีของระบบอีจีเอสบี - ถังกรองชีวภาพ

ตารางที่ 4.18 สรุปค่าเฉลี่ยของบีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีของระบบอีจีเอสบี -  
ถังกรองชีวภาพ

อัตราส่วนช่วง แอนนอกซิก : ออกซิก	บีโอดี ( มก./ล. )			ประสิทธิภาพการกำจัด ( % )		
	น้ำเข้า อีจีเอสบี	น้ำออก อีจีเอสบี	น้ำออกถัง กรองชีวภาพ	ถังอีจีเอสบี	ถังกรอง ชีวภาพ	รวม
1 : 1	2717	487	32	82.08	93.44	98.82
2 : 1	2717	487	37	82.08	92.38	98.63

เมื่อผ่านถังกรองชีวภาพแล้วที่อัตราส่วนช่วงแอนนอกซิกต่อออกซิก 1 : 1 มีบีโอดีเฉลี่ยของน้ำออก 32 มก./ล. มีประสิทธิภาพการกำจัด 93 % และที่อัตราส่วนช่วงแอนนอกซิกต่อออกซิก 2 : 1 มีบีโอดีเฉลี่ยของน้ำออก 37 มก./ล. มีประสิทธิภาพการกำจัด 92 % ซึ่งคิดเป็นประสิทธิภาพรวมเท่ากันคือประมาณ 99 %

จะเห็นได้ว่าบีโอดีของน้ำเมื่อผ่านระบบอีจีเอสบีร่วมกับถังกรองชีวภาพแล้วมีค่าต่ำมาก และมีประสิทธิภาพในการกำจัดรวมสูงถึง 99 % เนื่องจากระบบถังกรองชีวภาพมีการเติมอากาศร่วมด้วย และมีเวลากักน้ำนานพอที่จะกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำซึ่งมีปริมาณน้อยได้ดี

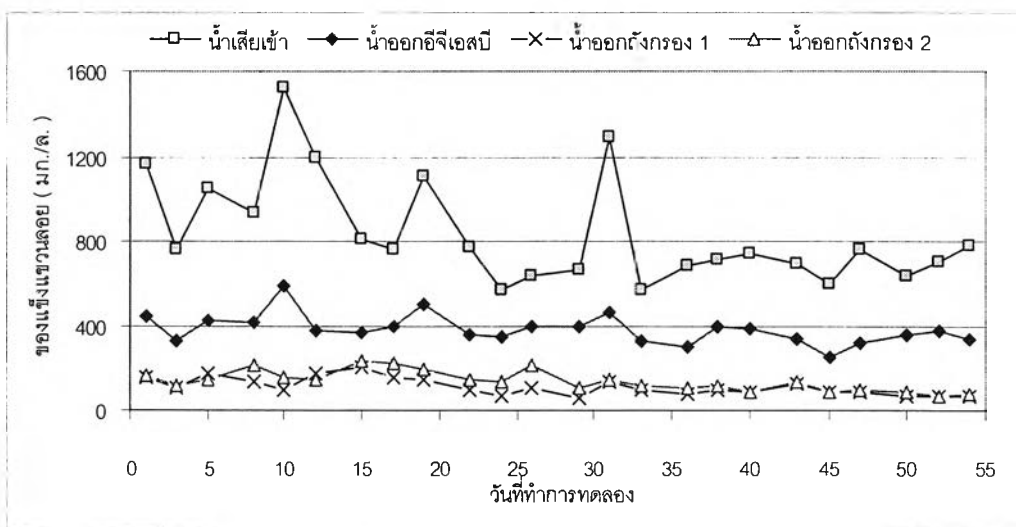
### 3) ของแข็งแขวนลอยและประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอย

จากตารางที่ 4.19 และรูปที่ 4.24 จะเห็นว่าระบบอีจีเอสบีมีค่าของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยของน้ำเสียเข้า 701 มก./ล. และค่าของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยของน้ำออกมีค่าเป็น 341 มก./ล. มีประสิทธิภาพในการกำจัด 51.26 %

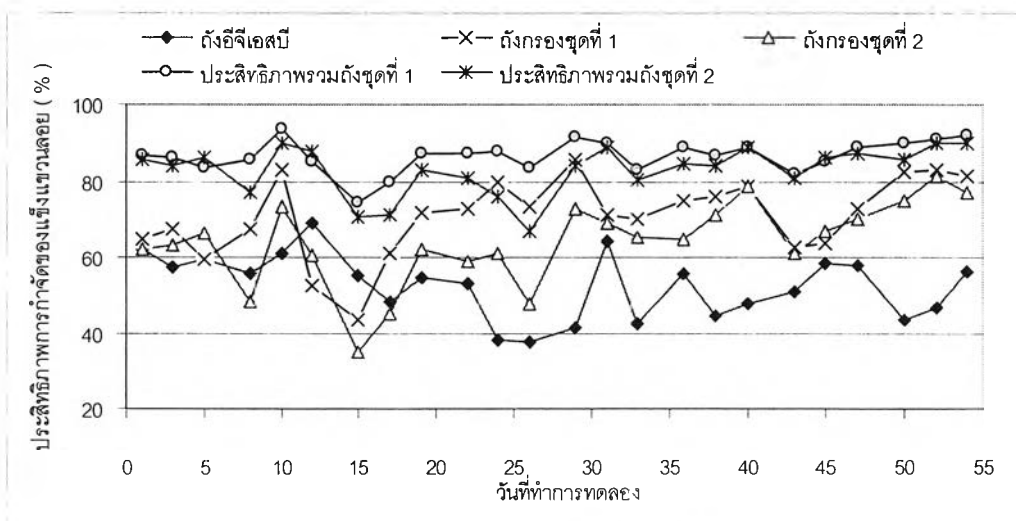
ถังกรองชีวภาพที่อัตราส่วนช่วงแอนนอกซิกต่อออกซิกเท่ากับ 1 : 1 มีค่าของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยของน้ำออก 83 มก./ล. มีประสิทธิภาพการกำจัด 75 % และที่อัตราส่วนช่วงแอนนอกซิกต่อออกซิก 2 : 1 มีค่าของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยของน้ำออก 95 มก./ล. มีประสิทธิภาพการกำจัด 72 % คิดเป็นประสิทธิภาพรวมใกล้เคียงกันคือ 88 และ 86 % ตามลำดับ

ตารางที่ 4.19 สรุปค่าเฉลี่ยของของแข็งแขวนลอยและประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยของระบบอีจีเอสบี - ถังกรองชีวภาพ

อัตราส่วนช่วง แอนนอซิก : ออกซิก	ของแข็งแขวนลอย ( มก./ล. )			ประสิทธิภาพการกำจัด (%)		
	น้ำเข้า อีจีเอสบี	น้ำออก อีจีเอสบี	น้ำออกถึง กรองชีวภาพ	ถึงอีจีเอสบี	ถึงกรอง ชีวภาพ	รวม
1 : 1	701	341	83	51.26	75.01	88.01
2 : 1	701	341	95	51.26	71.80	86.41



(ก) ของแข็งแขวนลอย



(ข) ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอย

รูปที่ 4.24 ค่าของแข็งแขวนลอยและประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยของระบบอีจีเอสบี - ถังกรองชีวภาพ

ในถังกรองชีวภาพที่อัตราส่วนช่วงแอนอกซิกต่อออกซิกเท่ากับ 1 : 1 นั้นมีค่าของแข็งแขวนลอยของน้ำออกจากระบบน้อยกว่า เนื่องจากที่อัตราส่วนดังกล่าวมีการเติมอากาศที่ระยะต่ำกว่าเมื่อเทียบกับความสูงของถังปฏิกรณ์จากด้านล่าง ซึ่งการที่เติมอากาศที่ระยะต่ำทำให้ฟองอากาศจากหัวเติมอากาศมีขนาดเล็ก เพราะฟองอากาศที่ออกมาเกิดการชนกับตัวกลางในถังกรองชีวภาพได้มาก ทำให้ฟองอากาศมีขนาดเล็กลงจนไม่ส่งผลให้เกิดการกวนของตัวกลางในช่วงเติมอากาศมากเท่ากับการเติมอากาศที่ระยะสูง จึงทำให้มีเซลล์ของจุลินทรีย์ที่เกาะอยู่กับตัวกลางมีการหลุดออกได้ยากกว่า

#### 4) ไนโตรเจนและประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจน

ค่าที่เคเอ็น แอมโมเนีย ไนไตรท์ และไนเตรทเป็นพารามิเตอร์ที่บ่งบอกถึงประสิทธิภาพในการกำจัดค่าไนโตรเจนในน้ำเสียของระบบบำบัด โดยต้องพิจารณาที่กระบวนการไนตริฟิเคชัน และดีไนตริฟิเคชัน เพื่อเปลี่ยนแอมโมเนียไนโตรเจนให้กลายเป็นไนไตรท์ ไนเตรท และก๊าซไนโตรเจน ตามลำดับ

##### - กระบวนการไนตริฟิเคชัน

เป็นปฏิกิริยาออกซิเดชันทางชีวภาพ กระบวนการไนตริฟิเคชันจะเกิดเมื่อมีการเติมอากาศ ซึ่งมีออกซิเจนเป็นแหล่งรับอิเล็กตรอน ทำให้แอมโมเนียกลายเป็นไนไตรท์ และไนเตรท โดยแบคทีเรียกลุ่มออกโตโทรบ ชนิดไนตริไฟอิง

เมื่อพิจารณาจากตารางที่ 4.20 พบว่า ค่าที่เคเอ็นของน้ำเสียก่อนเข้าระบบส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของแอมโมเนียประมาณ 88 % และอยู่ในรูปของสารอินทรีย์ไนโตรเจนเพียง 12 % และเมื่อผ่านระบบอีจีเอสบีแล้ว จะเปลี่ยนเป็นแอมโมเนียเกือบทั้งหมดโดย จุลินทรีย์พวกเฮเทอโรโทรบ ซึ่งจะเป็นค่าแอมโมเนียส่วนที่เข้าถังกรองชีวภาพต่อไป โดยแอมโมเนียส่วนที่หายไป ในถังกรองชีวภาพก็คือส่วนที่เกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน และเป็นสารอาหารสำหรับการเจริญเติบโตของเซลล์ (Assimilation)

ตารางที่ 4.20 สรุปค่าที่เคเอ็น แอมโมเนีย และอินทรีย์ไนโตรเจนของระบบอีจีเอสบี - ถังกรองชีวภาพ

พารามิเตอร์	อัตราส่วนช่วง แอนนอกซิก : ออกซิก	น้ำเข้า อีจีเอสบี	น้ำออก อีจีเอสบี	น้ำออกถัง กรองชีวภาพ
ทีเคเอ็น ( มก./ล.as N )	1 : 1	555	520	111
	2 : 1	555	520	160
แอมโมเนีย ( มก./ล.as N )	1 : 1	489	499	107
	2 : 1	489	499	155
อินทรีย์ไนโตรเจน <sup>(1)</sup> ( มก./ล.as N )	1 : 1	65	21	4
	2 : 1	66	21	5
ไนโตรท์ ( มก./ล.as N )	1 : 1	0	0	25.87
	2 : 1	0	0	26.28
ไนเตรท ( มก./ล.as N )	1 : 1	0	0	188.25
	2 : 1	0	0	98.69

หมายเหตุ : (1) อินทรีย์ไนโตรเจนเท่ากับทีเคเอ็นลบด้วยค่าแอมโมเนีย

ตารางที่ 4.21 และ รูปที่ 4.25 แสดงค่าที่เคเอ็นในแต่ละส่วนของระบบประสิทธิภาพการกำจัดทีเคเอ็น และประสิทธิภาพการกำจัดทีเคเอ็นรวมตลอดการทดลอง พบว่าในช่วง 2 สัปดาห์แรกค่าที่เคเอ็นในน้ำออกจากถังกรองชีวภาพยังมีค่าที่สูงอยู่ แต่เมื่อมีการปรับเครื่องเติมอากาศแล้ว ค่าที่เคเอ็นจึงลดลง โดยในระบบถังกรองชีวภาพที่อัตราส่วนช่วงแอนนอกซิกต่อออกซิกเท่ากับ 1 : 1 มีค่าที่เคเอ็นเฉลี่ยของน้ำออก 111 มก./ล. มีประสิทธิภาพการกำจัดทีเคเอ็น 78.79 % และที่อัตราส่วนช่วงแอนนอกซิกต่อออกซิก 2 : 1 มีทีเคเอ็นเฉลี่ยของน้ำออกเป็น 160 มก./ล. มีประสิทธิภาพการกำจัด 69.15 % และคิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดรวมเท่ากับ 80 และ 71 % ตามลำดับ ซึ่งแสดงว่าอัตราส่วนช่วงแอนนอกซิกและออกซิกมีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดทีเคเอ็นอย่างชัดเจน เนื่องจากในถังกรองชีวภาพที่มีระยะเวลาเติมอากาศที่มากกว่าออกซิเจนสามารถละลายในน้ำได้สูงทำให้เกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันได้ดีกว่า

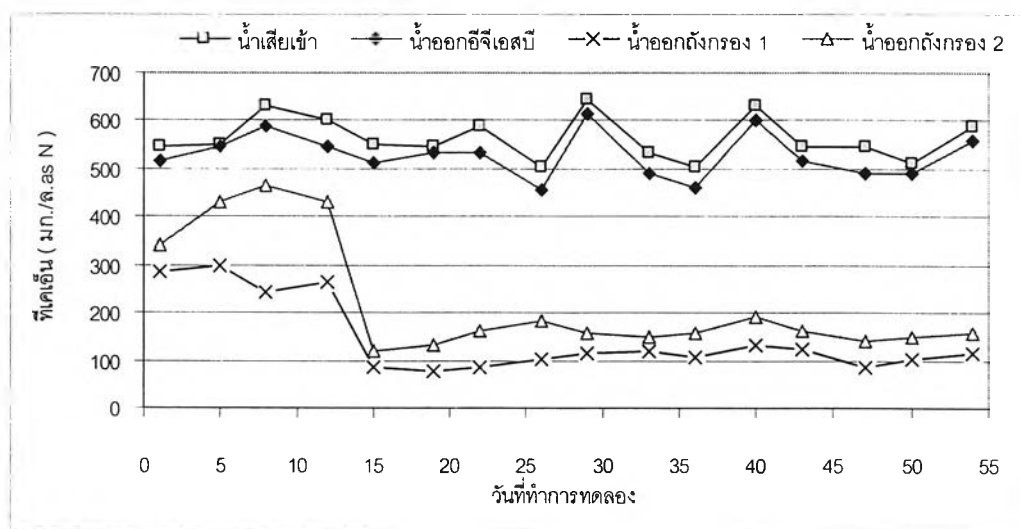
#### - กระบวนการดีไนตริฟิเคชัน

ในกระบวนการนี้ ไนเตรทสามารถเปลี่ยนไปเป็นไนโตรท์ และก๊าซไนโตรเจนตามลำดับ โดยในกรณีนี้จะมีไนเตรทเป็นสารรับอิเล็กตรอน ซึ่งมีบทบาทเหมือนกับออกซิเจนในปฏิกิริยาแอโรบิก และมีสารอินทรีย์คาร์บอนเป็นแหล่งให้อิเล็กตรอน

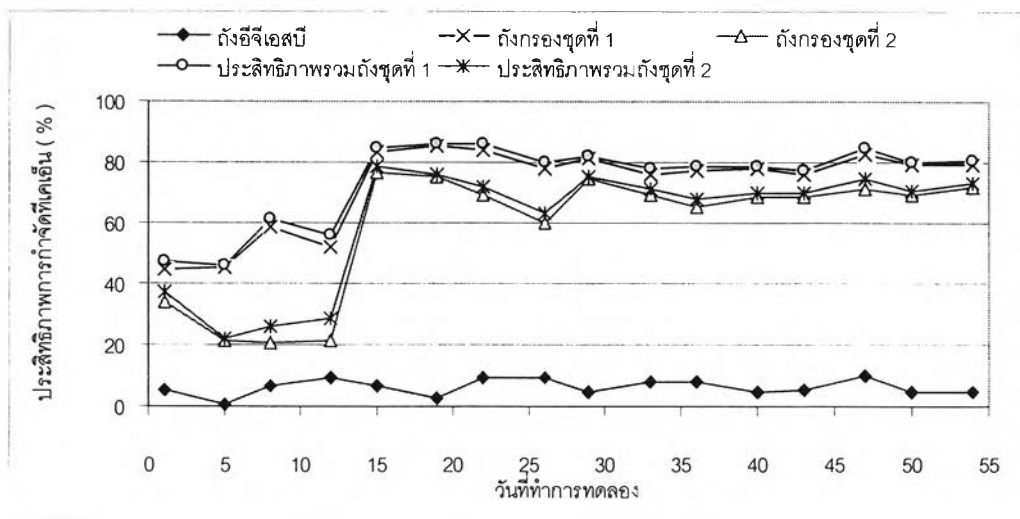


ตารางที่ 4.21 สรุปค่าเฉลี่ยของทีเคเอ็นและประสิทธิภาพการกำจัดทีเคเอ็นของระบบอีจีเอสบี - ถังกรองชีวภาพ

อัตราส่วนช่วง แอนนออกซิก : ออกซิก	ทีเคเอ็น ( มก./ล.as N )			ประสิทธิภาพการกำจัด ( % )		
	น้ำเข้า	น้ำออก อีจีเอสบี	น้ำออกถัง กรองชีวภาพ	ถังอีจีเอสบี	ถังกรอง ชีวภาพ	รวม
1 : 1	555	520	111	6.23	78.79	80.09
2 : 1	555	520	160	6.23	69.15	71.08

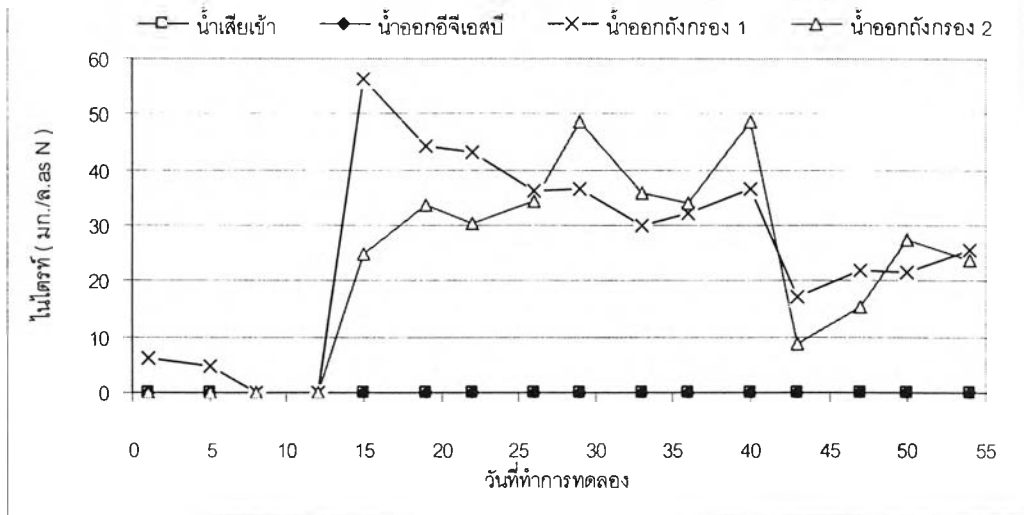


(ก) ทีเคเอ็น

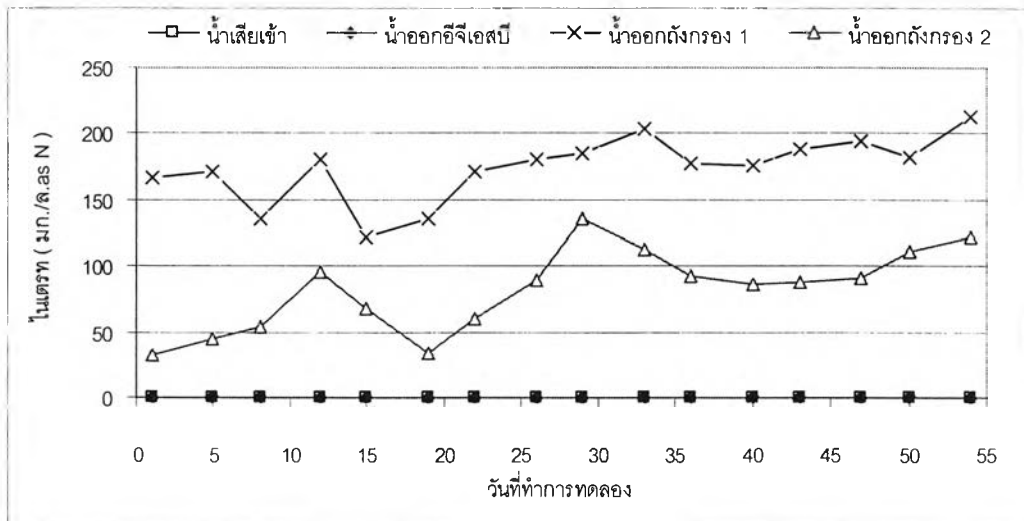


(ข) ประสิทธิภาพการกำจัดทีเคเอ็น

รูปที่ 4.25 ค่าทีเคเอ็นและประสิทธิภาพการกำจัดทีเคเอ็นของระบบอีจีเอสบี - ถังกรองชีวภาพ



(ก) ไนเตรท



(ข) ไนเตรท

รูปที่ 4.26 ค่าไนเตรทและไนเตรทของระบบบ่ออีจีเอสบี - ถังกรองชีวภาพ

การเกิดปฏิกิริยาดีไนตรifikasiของระบบถังกรองชีวภาพจะดูจากปริมาณไนเตรทและไนเตรทที่เหลือออกจากระบบเป็นสำคัญ จากรูปที่ 4.26 แสดงค่าไนเตรทและไนเตรทตลอดการทดลอง และตารางที่ 4.20 แสดงค่าเฉลี่ยของไนเตรทและไนเตรทในช่วงสภาวะคงตัว พบว่าไนถังกรองชีวภาพที่อัตราส่วนช่วงแอนน็อกซิกต่อออกซิกเท่ากับ 1 : 1 และ 2 : 1 ค่าไนเตรทในน้ำออกจากถังกรองชีวภาพมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 188 และ 99 มก./ล. ตามลำดับ และไนเตรทของน้ำออกมีค่าเฉลี่ยเท่ากันคือประมาณ 26 มก./ล. ซึ่งจะเห็นว่าในน้ำออกยังมีค่าไนเตรทไนเตรทเหลืออยู่

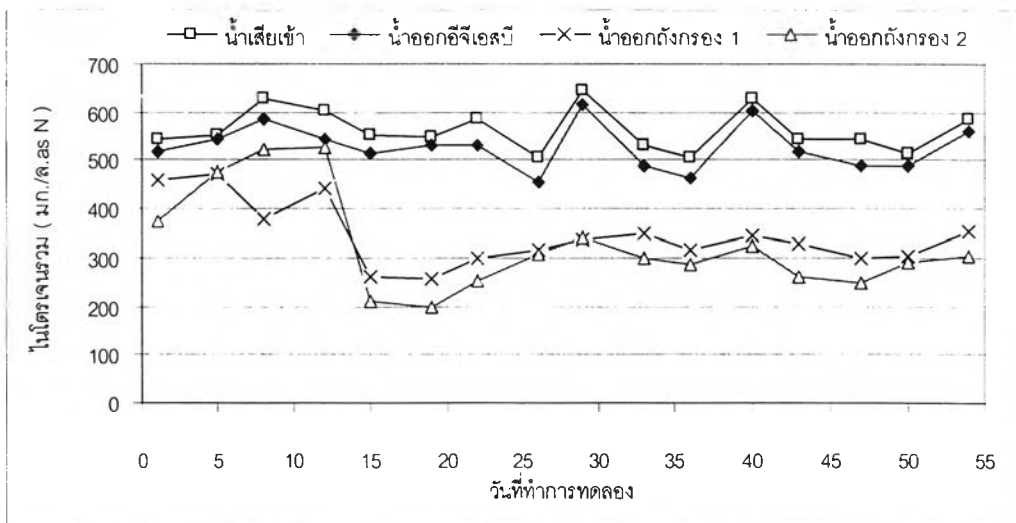
เนื่องจากในน้ำเข้าถังกรองชีวภาพมีค่าซีโอดีซึ่งเป็นแหล่งอินทรีย์คาร์บอนน้อยเกินไป ทำให้การเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันมีอย่างจำกัดด้วย โดยถ้ารวมสารอินทรีย์ที่ใช้สำหรับการสร้างเซลล์ด้วยในการเปลี่ยนไนเตรท 1 มก. ให้เป็นก๊าซไนโตรเจนจะต้องใช้ซีโอดี 4.4 มก. (มันลิน ตันทูลเวศม์, 2542)

- ไนโตรเจนรวม ( TN )

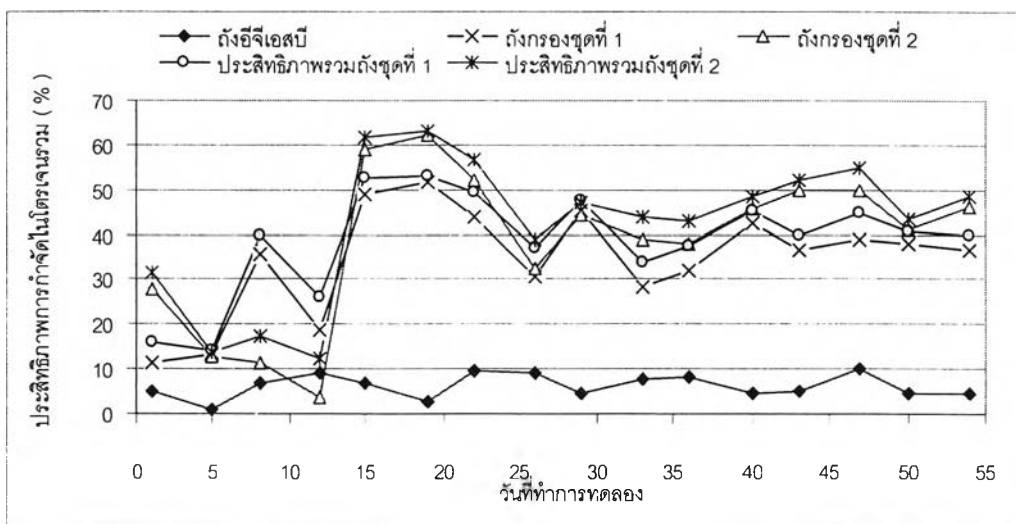
เมื่อพิจารณาค่าไนโตรเจนรวมจากตารางที่ 4.22 และรูปที่ 4.27 พบว่า ในน้ำออกจากระบบถังกรองชีวภาพที่อัตราส่วนช่วงแอนนออกซิกต่อออกซิก เท่ากับ 1 : 1 และ 2 : 1 จะมีค่าไนโตรเจนรวมเท่ากับ 325 และ 285 มก./ล. ตามลำดับ ซึ่งที่อัตราส่วนช่วงแอนนออกซิกต่อออกซิก เท่ากับ 1 : 1 จะมีค่าไนโตรเจนรวมมากกว่า เนื่องจากที่อัตราส่วนช่วงแอนนออกซิก : ออกซิก เท่ากับ 2 : 1 นั้นมีระยะแอนนออกซิกมากกว่า ทำให้การเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันได้ดีกว่า และสมบูรณ์กว่า เพราะที่อัตราส่วนช่วงแอนนออกซิก : ออกซิก เท่า 1 : 1 อาจมีออกซิเจนจากเครื่องเติมอากาศละลายลงไปในส่วนด้านล่างของถังปฏิกรณ์ทำให้เกิดดีไนตริฟิเคชันในส่วนแอนนออกซิกไม่ได้ อยู่ในสภาวะที่ขาดออกซิเจนจริงๆ ปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันจึงเกิดไม่สมบูรณ์

ตารางที่ 4.22 สรุปค่าเฉลี่ยของไนโตรเจนรวมและประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนรวมของระบบอีจีเอสบี - ถังกรองชีวภาพ

อัตราส่วนช่วงแอนนออกซิก : ออกซิก	ไนโตรเจนรวม ( มก /ล.as N )			ประสิทธิภาพการกำจัด ( % )		
	น้ำเข้าอีจีเอสบี	น้ำออกอีจีเอสบี	น้ำออกถังกรองชีวภาพ	ถังอีจีเอสบี	ถังกรองชีวภาพ	รวม
1 : 1	555	520	325	6.23	37.40	41.33
2 : 1	555	520	285	6.23	45.04	48.46



(ก) ไนโตรเจนรวม



(ข) ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนรวม

รูปที่ 4.27 ค่าไนโตรเจนรวมและประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนรวมของระบบอีจีเอสบี - ถังกรองชีวภาพ

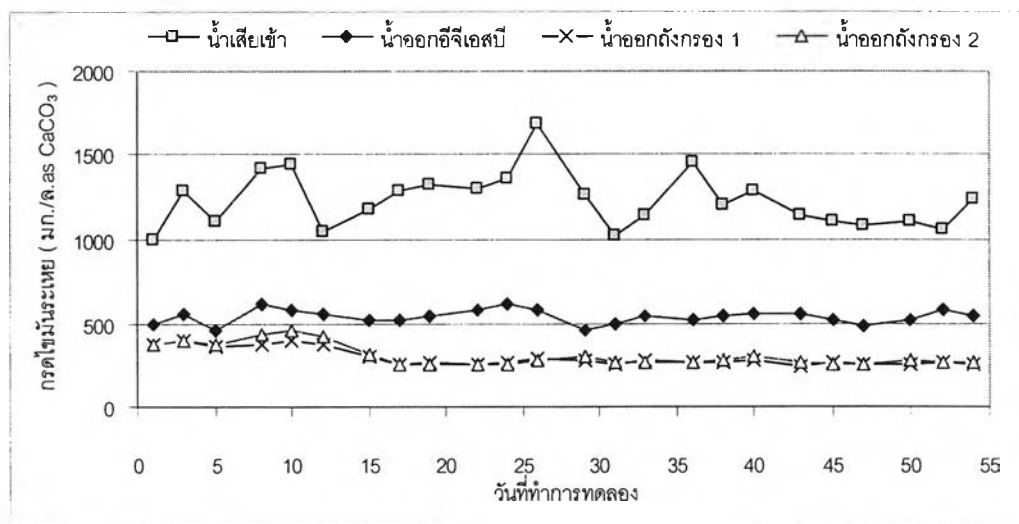
### 5) กรดไขมันระเหย

จากรูปที่ 4.28 แสดงค่ากรดไขมันระเหยตลอดการทดลอง และตารางที่ 4.23 แสดงค่าเฉลี่ยในช่วงที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวแล้ว พบว่า ระบบอีจีเอสบีมีค่ากรดไขมันระเหยในน้ำเข้า 1184 มก./ล.as CaCO<sub>3</sub> ส่วนน้ำออกมีค่ากรดไขมันระเหย 536 มก./ล.as CaCO<sub>3</sub> และในระบบถังกรองชีวภาพที่อัตราส่วนช่วงแอนอกซิกต่อออกซิกเท่ากับ 1 : 1 และ 2 : 1 น้ำออกจาก

ระบบมีค่ากรดไขมันระเหยใกล้เคียงกันคือ 264 และ 271 มก./ล.as CaCO<sub>3</sub> ตามลำดับ โดยในช่วงแรกของการทดลองค่ากรดไขมันระเหยในน้ำออกจากถังกรองชีวภาพยังมีค่าที่สูงอยู่ แต่หลังจากการปรับเครื่องเติมอากาศแล้ว ค่ากรดไขมันระเหยก็เริ่มมีค่าลดลงด้วย ซึ่งจะเห็นว่าค่ากรดไขมันระเหยดังกล่าวจะสอดคล้องกับค่าซีไอดี

ตารางที่ 4.23 สรุปค่าเฉลี่ยของกรดไขมันระเหยของระบบอีจีเอสบี - ถังกรองชีวภาพ

อัตราส่วนช่วง แอนนอนอกซิก : ออกซิก	กรดไขมันระเหย ( มก./ล.as CaCO <sub>3</sub> )		
	น้ำเข้า	น้ำออก อีจีเอสบี	น้ำออก ถังกรองชีวภาพ
1 : 1	1184	536	264
2 : 1	1184	536	271



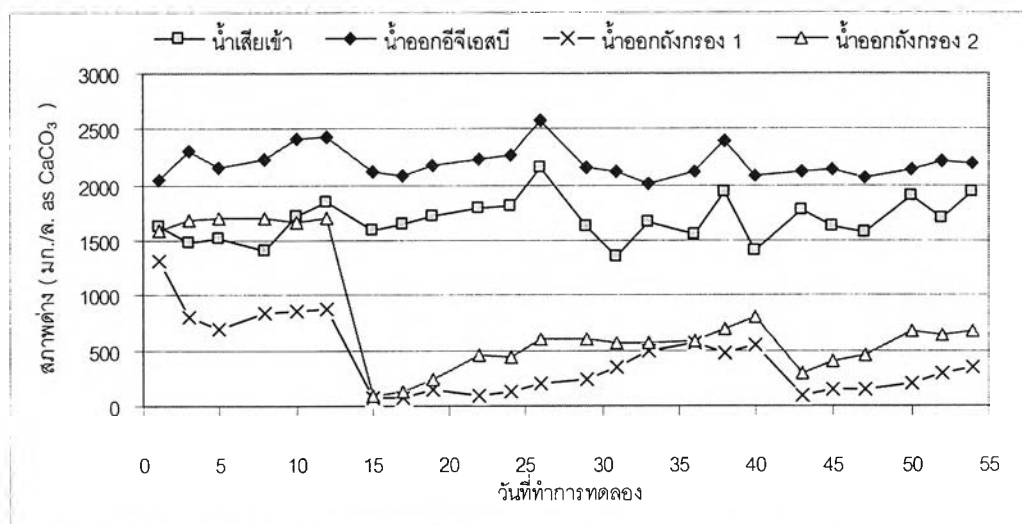
รูปที่ 4.28 ค่ากรดไขมันระเหยของระบบอีจีเอสบี - ถังกรองชีวภาพ

### 6) สภาพต่าง

สภาพต่างเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญอย่างหนึ่งในการเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชัน โดยสามารถสรุปค่าเฉลี่ยของสภาพต่างในแต่ละช่วงของระบบการทดลองที่สภาวะคงตัวได้ดังตารางที่ 4.24 และรูปที่ 4.29 แสดงค่าสภาพต่างตลอดการทดลอง

จากผลดังกล่าวพบว่า ระบบถังกรองชีวภาพในช่วงที่ยังไม่ได้ปรับเครื่องเติมอากาศที่เหมาะสม ในน้ำออกจากระบบจะมีค่าสภาพต่างที่สูงมาก ซึ่งสอดคล้องกับกระบวนการไนตริฟิเคชัน โดยเมื่อมีออกซิเจนที่จำกัดจะทำให้การเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชันเกิดขึ้นไม่สมบูรณ์ด้วย ซึ่งในปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันเพื่อเปลี่ยนแอมโมเนีย 1 กรัม จะต้องการสภาพต่าง 7.14 กรัม แต่เมื่อมีการปรับเครื่องเติมอากาศแล้ว จะเห็นว่า สภาพต่างลดลงอย่างมากจนเกือบเป็นศูนย์ แต่เมื่อระบบปรับสภาพที่เหมาะสมได้ สภาพต่างจึงเริ่มเพิ่มขึ้นและคงที่ ซึ่งสภาพต่างที่เพิ่มเกิดจากกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน ในทางทฤษฎีการรีดิวซ์ไนโตรทและไนเตรท 1 กรัม ทำให้มีการเพิ่มสภาพต่าง 3.57 กรัม

ในระบบถังกรองชีวภาพที่อัตราส่วนช่วงแอนนออกซิกต่อออกซิกเท่ากับ 1 : 1 น้ำออกจากระบบมีสภาพต่าง 312 มก./ล.as CaCO<sub>3</sub> และที่อัตราส่วนช่วงแอนนออกซิกต่อออกซิกเท่ากับ 2 : 1 ในน้ำออกจากระบบมีสภาพต่าง 582 มก./ล.as CaCO<sub>3</sub> จะเห็นว่าที่อัตราส่วนช่วงแอนนออกซิกต่อออกซิกเท่ากับ 2 : 1 นั้นจะมีสภาพต่างที่สูงกว่า เนื่องจากในถังดังกล่าวมีการเกิดไนตริฟิเคชันได้น้อย แต่เกิดดีไนตริฟิเคชันได้ดี จึงทำให้มีการใช้สภาพต่างน้อยและเกิดสภาพต่างคืนมาได้สูงกว่าด้วย



รูปที่ 4.29 ค่าสภาพต่างของระบบอีจีเอสบี - ถังกรองชีวภาพ

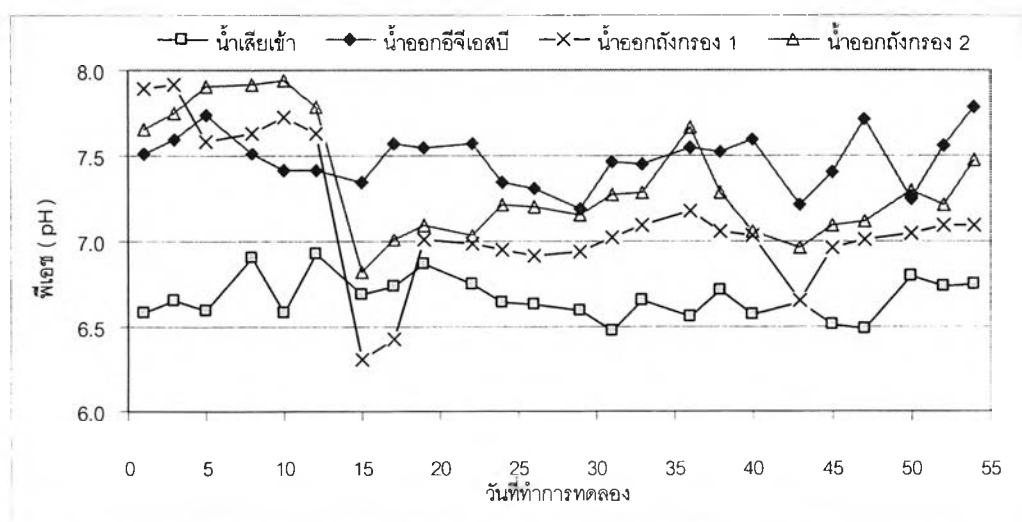
ตารางที่ 4.24 สรุปค่าเฉลี่ยของสภาพต่างของระบบอีจีเอสบี - ถังกรองชีวภาพ

อัตราส่วนช่วง แอนนอกซิก : ออกซิก	สภาพต่าง ( มก./ล.as CaCO <sub>3</sub> )		
	น้ำเข้า อีจีเอสบี	น้ำออก อีจีเอสบี	น้ำออก ถังกรองชีวภาพ
1 : 1	1713	2164	312
2 : 1	1713	2164	582

## 7) พีเอช

ระบบอีจีเอสบีมีค่าพีเอชเฉลี่ยของน้ำเสียเข้า 6.64 มีพีเอชเฉลี่ยของน้ำเสียออกเป็น 7.51 และในระบบถังกรองชีวภาพที่อัตราส่วนช่วงแอนนอกซิกต่อออกซิกเท่ากับ 1 : 1 มีค่าพีเอชเฉลี่ยของน้ำออกเป็น 7.02 ที่อัตราส่วนช่วงแอนนอกซิกต่อออกซิก 2 : 1 มีพีเอชเฉลี่ยของน้ำออก 7.24 ค่าพีเอชตลอดการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.30 และพีเอชเฉลี่ยแสดงดังตารางที่ 4.25

ค่าพีเอชในการทดลองทั้งสองชุดมีความสอดคล้องกับปริมาณสภาพต่างที่มีในระบบ และอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อสภาพการทำงาน ซึ่งค่าพีเอชที่เหมาะสมต่อกระบวนการไนตริฟิเคชันคือ 6 - 7.5 เนื่องจากที่ช่วงพีเอชดังกล่าวจะทำให้มีแอมโมเนียอิสระ และกรดไนตริกอิสระที่ขัดขวางการเจริญเติบโตของแบคทีเรียไนตริฟายิ่งน้อยที่สุด และในกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน ระดับพีเอชไม่ควรจะสูงกว่า 8 และต่ำกว่า 6



รูปที่ 4.30 ค่าพีเอชของระบบอีจีเอสบี - ถังกรองชีวภาพ

ตารางที่ 4.25 สรุปค่าเฉลี่ยของพีเอชของระบบอีจีเอสบี - ถังกรองชีวภาพ

อัตราส่วนช่วง แอนนอซิก : ออกซิก	พีเอช		
	น้ำเข้า อีจีเอสบี	น้ำออก อีจีเอสบี	น้ำออก ถังกรองชีวภาพ
1 : 1	6.64	7.51	7.02
2 : 1	6.64	7.51	7.24

## 8) ไออาร์พี

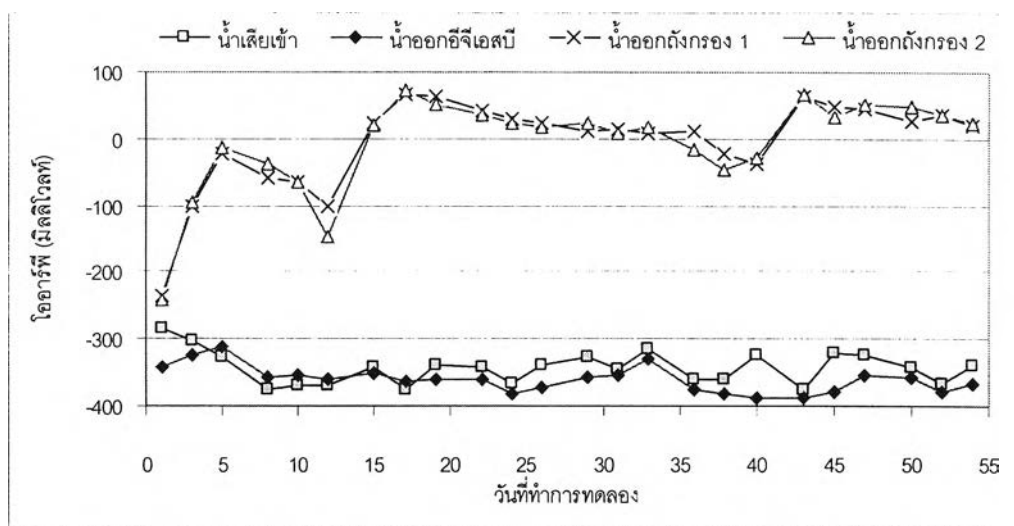
ระบบอีจีเอสบีมีค่าไออาร์พีเฉลี่ยของน้ำเสียเข้า -346 มิลลิโวลท์ มีค่าไออาร์พีเฉลี่ยของน้ำออก -375 มิลลิโวลท์ ส่วนในระบบถังกรองชีวภาพที่อัตราส่วนช่วงแอนนอซิกต่อออกซิกเท่ากับ 1 : 1 มีค่าไออาร์พีเฉลี่ยของน้ำออกเท่ากับ 22 มิลลิโวลท์ และที่อัตราส่วนช่วงแอนนอซิกต่อออกซิกเท่ากับ 2 : 1 มีค่าไออาร์พีเฉลี่ยของน้ำออก 19 มิลลิโวลท์ ค่าไออาร์พีตลอดการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.31 ไออาร์พีเฉลี่ยแสดงดังตารางที่ 4.26

ในช่วง 2 สัปดาห์แรกของการทดลองในน้ำออกจากถังกรองชีวภาพมีค่าไออาร์พีที่ต่ำกว่าศูนย์แสดงว่าการเติมอากาศไม่เพียงพอ ทำให้ปฏิกิริยาออกซิเดชันในกระบวนการไนตริฟิเคชันเกิดได้น้อย แต่หลังจากปรับเครื่องเติมอากาศแล้วค่าไออาร์พีจึงมีค่าที่สูงขึ้น และมีค่าเป็นบวก จากรูปที่ 4.51 จะเห็นว่าในช่วงสัปดาห์ที่ 6 ค่าไออาร์พีเริ่มมีค่าเป็นลบอีกครั้ง เนื่องจากหัวเติมอากาศมีการอุดตัน จึงทำการเป่าอากาศเพิ่มเพื่อให้เชื้อจุลินทรีย์ที่เกาะกับหัวเติมอากาศหลุดออก โดยค่าไออาร์พีจะเป็นพารามิเตอร์ที่ใช้ตรวจว่าระบบมีการเติมอากาศเพียงพอหรือไม่

ตารางที่ 4.26 สรุปค่าเฉลี่ยของไออาร์พีของระบบอีจีเอสบี - ถังกรองชีวภาพ

อัตราส่วนช่วง แอนนอซิก : ออกซิก	ไออาร์พี ( มิลลิโวลท์ )		
	น้ำเข้า อีจีเอสบี	น้ำออก อีจีเอสบี	น้ำออก ถังกรองชีวภาพ
1 : 1	-346	-375	+22
2 : 1	-346	-375	+19





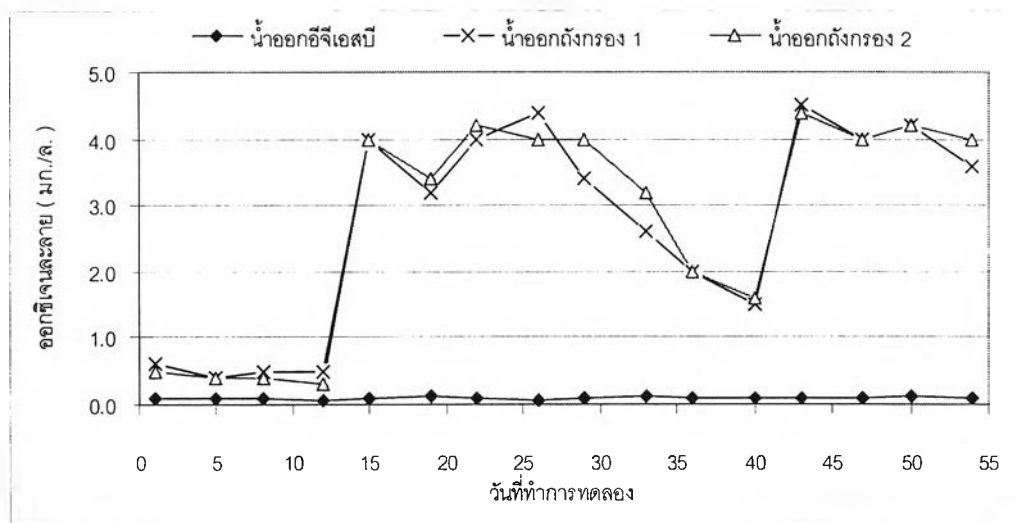
รูปที่ 4.31 ค่าไออาร์พีของระบบอีจีเอสบี - ถังกรองชีวภาพ

#### 9) ออกซิเจนละลาย

จากตารางที่ 4.27 และรูปที่ 4.32 ค่าออกซิเจนละลาย (DO) ในน้ำออกจากระบบอีจีเอสบีมีค่า 0.09 มก./ล. และเมื่อผ่านถังกรองชีวภาพแล้วมีค่าสูงขึ้น โดยที่อัตราส่วนช่วงแอนนออกซิกต่อออกซิกเท่ากับ 1 : 1 และ 2 : 1 มีค่าออกซิเจนละลายเฉลี่ยของน้ำออกใกล้เคียงกันคือประมาณ 3 มก./ล. ซึ่งมีผลสอดคล้องกับค่าไออาร์พี และค่าออกซิเจนละลายก็เป็นพารามิเตอร์อีกตัวหนึ่งที่ใช้ตรวจสอบถึงสภาวะที่เหมาะสมของเครื่องเติมอากาศ

ตารางที่ 4.27 สรุปค่าเฉลี่ยของค่าออกซิเจนละลายของระบบอีจีเอสบี - ถังกรองชีวภาพ

อัตราส่วนช่วง แอนนออกซิก : ออกซิก	ออกซิเจนละลาย ( มก./ล. )		
	น้ำเข้า อีจีเอสบี	น้ำออก อีจีเอสบี	น้ำออก ถังกรองชีวภาพ
1 : 1	-	0.09	3.3
2 : 1	-	0.09	3.4



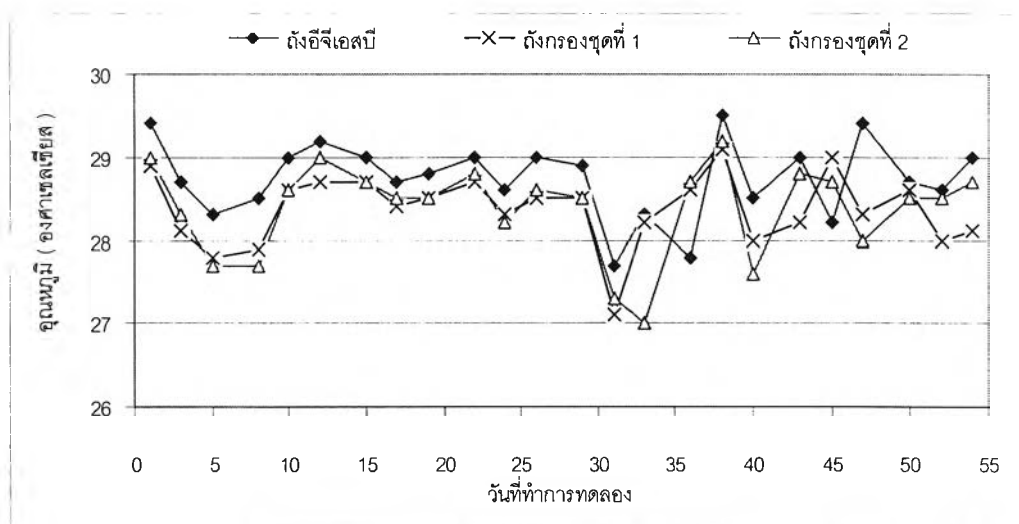
รูปที่ 4.32 ค่าออกซิเจนละลายของระบบอีจีเอสบี - ถังกรองชีวภาพ

#### 10) อุณหภูมิ

จากตารางที่ 4.28 และรูปที่ 4.33 จะเห็นว่าอุณหภูมิในระบบมีค่าค่อนข้างคงที่ โดยในถังอีจีเอสบีมีค่าอุณหภูมิเฉลี่ย 28.7 และในถังกรองชีวภาพมีอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วง 28.4 - 28.5 องศาเซลเซียส ซึ่งในถังกรองชีวภาพมีอุณหภูมิสูงกว่าถังอีจีเอสบีเพียงเล็กน้อย เนื่องจากถังกรองชีวภาพเป็นระบบเปิด จึงทำให้อุณหภูมิเปลี่ยนแปลงตามสภาพอากาศ และมีการถ่ายเทความร้อนได้ดีกว่า ซึ่งแบคทีเรียในถังกรองชีวภาพจะอยู่ในกลุ่ม Mesophilic เช่นเดียวกับระบบอีจีเอสบี

ตารางที่ 4.28 สรุปค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิของระบบอีจีเอสบี - ถังกรองชีวภาพ

อัตราส่วนช่วง แอนนออกซิก : ออกซิก	อุณหภูมิ ( องศาเซลเซียส )		
	น้ำเข้า อีจีเอสบี	น้ำออก อีจีเอสบี	น้ำออก ถังกรองชีวภาพ
1 : 1	-	28.7	28.4
2 : 1	-	28.7	28.5



รูปที่ 4.33 ค่าอุณหภูมิของระบบอึีเอสบี - ถังกรองชีวภาพ

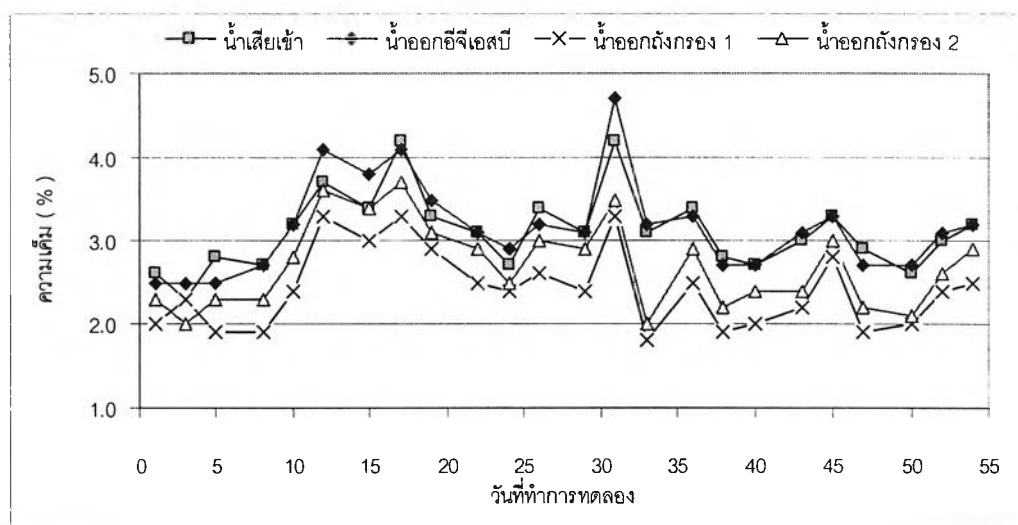
#### 11) ความเค็ม

ระบบอึีเอสบีมีค่าความเค็มเฉลี่ยของน้ำเสียเข้า 3.0 % มีค่าความเค็มเฉลี่ยของน้ำออกเป็น 3.0 % ในระบบถังกรองชีวภาพที่อัตราส่วนช่วงแอนอกซิกต่อออกซิกเท่ากับ 1 : 1 มีค่าความเค็มเฉลี่ยของน้ำออกเท่ากับ 2.2 % และที่อัตราส่วนช่วงแอนอกซิกต่อออกซิกเท่ากับ 2 : 1 มีค่าความเค็มของน้ำออก 2.5 เปอร์เซ็นต์ รูปที่ 4.34 แสดงค่าความเค็มตลอดการทดลอง และตารางที่ 4.29 แสดงค่าเฉลี่ยของความเค็มในช่วงสภาวะคงตัว

การวัดค่าความเค็มโดยใช้เครื่อง Salinity Meter จะใช้วิธีการคำนวณจากพารามิเตอร์ทางกายภาพหรือทางเคมีในน้ำที่มีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณเกลือแร่ในน้ำ พารามิเตอร์ดังกล่าวได้แก่ คลอไรด์ สภาพนำไฟฟ้า ความหนาแน่น ดรรชนีแสงหักเห และความเร็วของเสียง เป็นต้น ดังนั้น ค่าความเค็มที่วัดได้จึงไม่ใช่ปริมาณคลอไรด์เพียงอย่างเดียว ทำให้ค่าความเค็มที่วัดได้จากน้ำออกจากระบบถังกรองชีวภาพจึงไม่สามารถสรุปได้ว่าถังกรองชีวภาพในการทดลองนี้สามารถลดความเค็มของน้ำเสียสะพานปลาได้ เพราะความเค็มที่ลดลงอาจเกิดจากพารามิเตอร์ตัวอื่นที่ไม่ใช่ปริมาณคลอไรด์

ตารางที่ 4.29 สรุปค่าเฉลี่ยของความเค็มของระบบอีจีเอสบี - ถังกรองชีวภาพ

อัตราส่วนช่วง แอนนอนอกซิก : ออกซิก	ความเค็ม (%)		
	น้ำเข้า อีจีเอสบี	น้ำออก อีจีเอสบี	น้ำออก ถังกรองชีวภาพ
1 : 1	3.0	3.0	2.2
2 : 1	3.0	3.0	2.5



รูปที่ 4.34 ค่าความเค็มของระบบอีจีเอสบี - ถังกรองชีวภาพ

#### 4.10 มวลจุลินทรีย์ที่เกาะตัวกลาง

จากการวิเคราะห์หาปริมาณมวลจุลินทรีย์ที่เกาะผิวตัวกลางจากภาคผนวก ข สามารถนำมาคำนวณหาปริมาณมวลจุลินทรีย์ที่เกาะผิวตัวกลางต่อพื้นที่ผิวตัวกลางดังตารางที่ 4.30 พบว่า ในถังกรองชีวภาพที่อัตราส่วนช่วงแอนนอนอกซิกต่อออกซิกเท่ากับ 2 : 1 มีปริมาณของมวลจุลินทรีย์ที่เกาะตัวกลางในช่วงเดิมอากาศน้อยกว่าที่อัตราส่วนช่วงแอนนอนอกซิกต่อออกซิกเท่ากับ 1 : 1 เนื่องจากการเติมอากาศที่ระดับสูงกว่า ทำให้เกิดการรบกวนจนมวลจุลินทรีย์สามารถเกาะผิวตัวกลางได้น้อย และในช่วงแอนนอนอกซิกถังกรองทั้ง 2 ชุดมีปริมาณมวลจุลินทรีย์ที่เกาะผิวตัวกลางต่อพื้นที่ผิวตัวกลางต่างกันเพียงเล็กน้อยคือเท่ากับ 9.14 และ 9.69 มก.จุลินทรีย์/ตร.ม.ตัวกลาง ที่อัตราส่วนช่วงแอนนอนอกซิกต่อออกซิก 1 : 1 และ 2 : 1 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.30 สรุปค่ามวลจุลินทรีย์ที่เกาะผิวตัวกลางในถังกรองชีวภาพ

อัตราส่วนช่วง แอนนออกซิก : ออกซิก	ส่วนของถัง ปฏิกรณ์	มวลจุลินทรีย์ที่เกาะ ตัวกลางต่อมวลของ ตัวกลาง ( ก. จุลินทรีย์/ก.ตัวกลาง )	พื้นที่ผิว ตัวกลาง ( ตร.ม./ก. )	มวลจุลินทรีย์ต่อพื้นที่ ผิวตัวกลาง ( มก.จุลินทรีย์/ ตร.ม. ตัวกลาง )
1 : 1	ออกซิก	0.025	5.4704	4.57
	แอนนออกซิก	0.050	5.4704	9.14
2 : 1	ออกซิก	0.017	5.4704	3.11
	แอนนออกซิก	0.053	5.4704	9.69

ในถังกรองชีวภาพแต่ละชุดจะบรรจุตัวกลาง 1000 ก. ซึ่งตารางที่ 4.31 เป็นค่าจากการคำนวณไนโตรเจนรวมที่ถูกกำจัดเทียบกับพื้นที่ผิวตัวกลาง และไนโตรเจนรวมที่ถูกกำจัดเทียบกับมวลจุลินทรีย์ที่เกาะผิวตัวกลาง พบว่า ถังกรองชีวภาพที่อัตราส่วนช่วงแอนนออกซิกต่อออกซิก 2 : 1 สามารถกำจัดไนโตรเจนรวมได้สูงกว่าที่อัตราส่วนอัตราส่วนช่วงแอนนออกซิกต่อออกซิกเท่ากับ 1 : 1 เมื่อเทียบกับปริมาณจุลินทรีย์ที่เกาะผิวตัวกลาง และพื้นที่ผิวของตัวกลาง

ตารางที่ 4.31 สรุปค่าการกำจัดไนโตรเจนรวมของถังกรองชีวภาพเทียบกับพื้นที่ผิวตัวกลางและมวลจุลินทรีย์

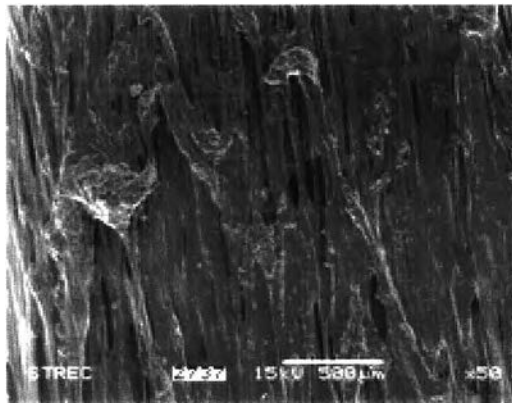
อัตราส่วนช่วง แอนนออกซิก : ออกซิก	ไนโตรเจนรวมที่ถูกกำจัดเทียบกับ พื้นที่ผิวตัวกลาง ( มก.ไนโตรเจนรวม/ตร.ม.-วัน )	ไนโตรเจนรวมที่ถูกกำจัดเทียบกับมวล จุลินทรีย์ที่เกาะผิวตัวกลาง ( มก.ไนโตรเจนรวม/มก.จุลินทรีย์-วัน )
1 : 1	0.285	0.042
2 : 1	0.344	0.046

#### 4.11 ลักษณะของจุลินทรีย์ที่พบในระบบ

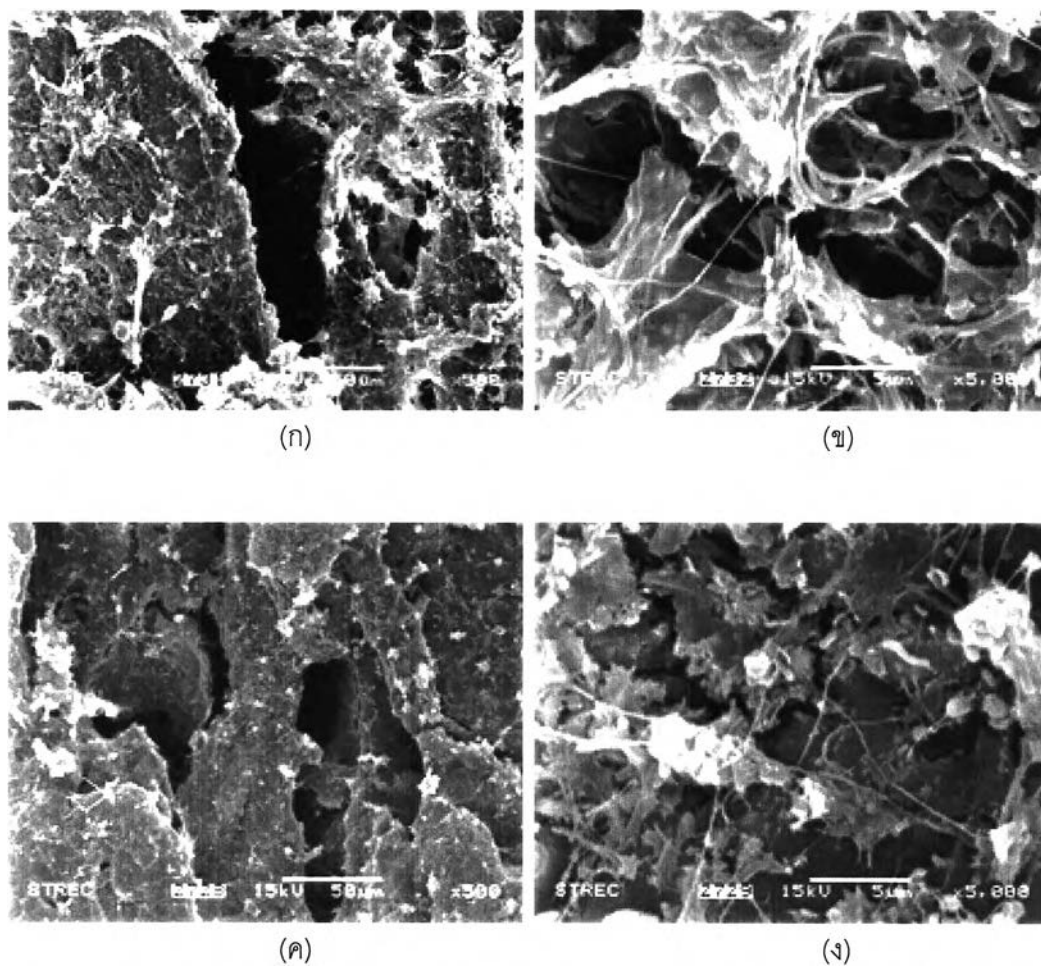
ในการศึกษาลักษณะของจุลินทรีย์ที่พบในระบบสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วน คือ จุลินทรีย์ส่วนที่เกาะติดผิวตัวกลาง และจุลินทรีย์ส่วนที่แขวนลอยในน้ำ โดยใช้วิธีถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscopy, SEM)

รูปที่ 4.35 แสดงพื้นผิวของตัวกลางก่อนใช้งาน ซึ่งจะเห็นว่าตัวกลางมีลักษณะพื้นผิวไม่เรียบ และมีช่องว่างเป็นโพรงจำนวนมาก เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวในการยึดเกาะของจุลินทรีย์ได้มากขึ้น และจากรูปที่ 4.36 แสดงลักษณะของจุลินทรีย์ที่เกาะผิวดัวกลางในช่วงที่ไม่มีการเติมอากาศ ส่วนรูปที่ 4.37 จะเป็นลักษณะของจุลินทรีย์ที่เกาะตัวกลางในช่วงที่มีการเติมอากาศ พบว่าลักษณะจุลินทรีย์ในช่วงที่มีการเติมอากาศ ปริมาณของจุลินทรีย์ที่เกาะผิวดัวกลางมีความหนาแน่นน้อยกว่าช่วงที่ไม่มีการเติมอากาศ เนื่องจากในส่วนของที่มีการเติมอากาศนั้น ฟองอากาศจากเครื่องเติมอากาศจะสัมผัสกับตัวกลาง และทำให้เกิดการเสียดสีกันระหว่างตัวกลางกับตัวกลาง และตัวกลางกับฟองอากาศ ทำให้เกิดการกวาดขึ้นในระบบ ซึ่งในระหว่างการเสียดสีกันดังกล่าวนี้ จุลินทรีย์บางส่วนที่เกาะบนผิวของตัวกลางจะมีการหลุดออกจากผิวดัวกลางได้ง่าย

รูปที่ 4.38 แสดงลักษณะของจุลินทรีย์ที่แขวนลอยในถังกรองชีวภาพ พบว่า ทั้งที่อัตราส่วนช่วงแอนอซิกต้อออกซิกเท่ากับ 1 : 1 และ 2 : 1 จุลินทรีย์มีลักษณะเหมือนกันคือมีการเกาะตัวกันเป็นกลุ่มก้อนหรือฟลอค โดยมีแบคทีเรียชนิดเส้นใย และเมือก (Extracellular Polymers, ECP) ทำหน้าที่ประสานเซลล์แบคทีเรียทั้งชนิดแท่ง และกลม เป็นต้น ให้มาอยู่รวมกันและเกาะติดกัน

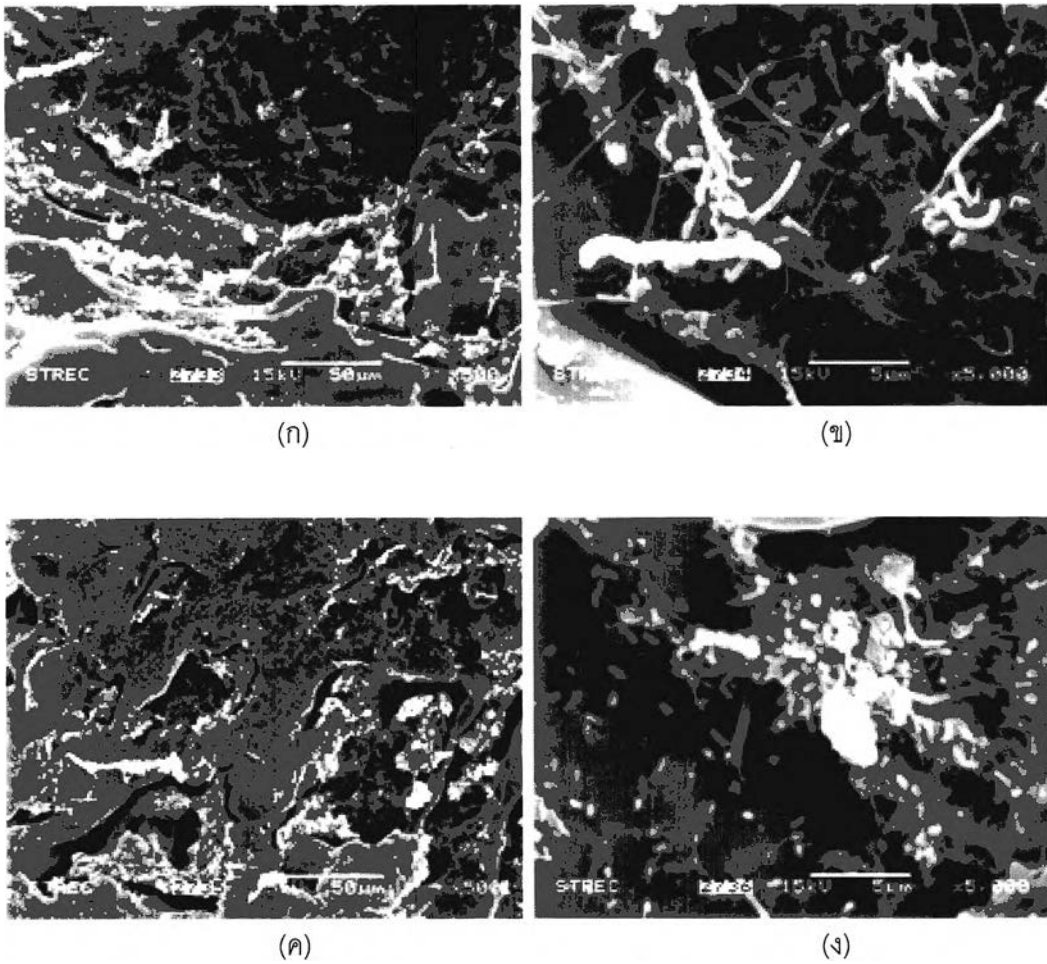


รูปที่ 4.35 ภาพถ่าย SEM แสดงลักษณะตัวกลางก่อนทำการทดลอง



รูปที่ 4.36 ภาพถ่าย SEM แสดงลักษณะจุลทรรศน์ที่เกาะผิวตัวกลางในถังกรองชีวภาพหลังทำการทดลองในช่วงที่ไม่มีการเติมอากาศ

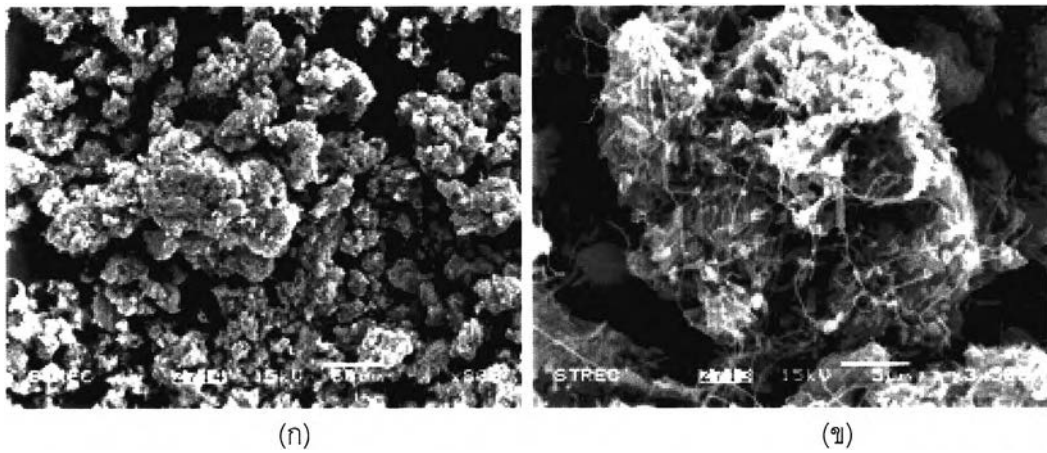
- (ก) ที่อัตราส่วนช่วงแอนนอซิกต่อออกซิกเท่ากับ 1 : 1 กำลังขยาย 500 เท่า
- (ข) ที่อัตราส่วนช่วงแอนนอซิกต่อออกซิกเท่ากับ 1 : 1 กำลังขยาย 5000 เท่า
- (ค) อัตราส่วนช่วงแอนนอซิกต่อออกซิกเท่ากับ 2 : 1 ที่กำลังขยาย 500 เท่า
- (ง) อัตราส่วนช่วงแอนนอซิกต่อออกซิกเท่ากับ 2 : 1 ที่กำลังขยาย 5000 เท่า



รูปที่ 4.37 ภาพถ่าย SEM แสดงลักษณะจุลินทรีย์ที่เกาะผิวตัวกลางในถังกรองชีวภาพหลังทำการทดลองในช่วงที่มีการเติมอากาศ

- (ก) ที่อัตราส่วนช่วงแอนอซิกต่อออกซิกเท่ากับ 1 : 1 กำลังขยาย 500 เท่า
- (ข) ที่อัตราส่วนช่วงแอนอซิกต่อออกซิกเท่ากับ 1 : 1 กำลังขยาย 5000 เท่า
- (ค) อัตราส่วนช่วงแอนอซิกต่อออกซิกเท่ากับ 2 : 1 ที่กำลังขยาย 500 เท่า
- (ง) อัตราส่วนช่วงแอนอซิกต่อออกซิกเท่ากับ 2 : 1 ที่กำลังขยาย 5000 เท่า





รูปที่ 4.38 ภาพถ่าย SEM แสดงลักษณะจุลทรรศน์ที่แขวนลอยในถังกรองชีวภาพ

(ก) ที่กำลังขยาย 300 เท่า

(ข) ที่กำลังขยาย 3500 เท่า

