

บทที่ 4

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

4.1 ลักษณะของน้ำเสีย

งานวิจัยครั้งนี้ใช้น้ำเสียจริงจากสะพานปลา จังหวัดสมุทรสาคร ตลอดการทดลอง ซึ่งมีค่าพารามิเตอร์ของน้ำเสียเข้าแปรเปลี่ยนตามปัจจัยหลายประการ เช่น ฤดูกาล ประเภทของสัตว์น้ำ เป็นต้น (อ้างอิงภาคผนวก ค) จึงแบ่งลักษณะของน้ำเสียออกเป็นช่วงการทดลอง แสดงดังตารางที่ 4-1

ตารางที่ 4-1 ลักษณะของน้ำเสียในแต่ละช่วงการทดลอง

พารามิเตอร์*	หน่วย	ช่วงที่ 1		ช่วงที่ 2	
		การทดลองที่1	การทดลองที่2	การทดลองที่1	การทดลองที่2
พีเอช	-	7.3 - 8.0	6.9 - 7.5	7.2 - 7.7	7.0 - 7.8
อุณหภูมิ	เซลเซียส	29.0 - 31.5	30.5 - 33.0	29.0 - 34.5	30.0 - 34.0
ความเค็ม	เปอร์เซ็นต์	3.1 - 3.8	2.1 - 3.8	1.8 - 2.4	1.8 - 2.8
ซีโอดี	มก./ล.	2,974 - 4,642	3,088 - 5,225	4,588 - 6,704	4,320 - 7,550
บีโอดี ₅	มก.ล.	2,321 - 3,830	2,125 - 3,970	2,294 - 3,352	2,160 - 4,016
สภาพต่างทั้งหมด	มก./ล.CaCO ₃	1,225 - 1,675	950 - 1,575	1,020 - 1,638	900 - 1,430
กรดไขมันระเหยง่าย	มก./ล.CaCO ₃	305 - 611	250 - 527	215 - 570	311 - 570
ของแข็งแขวนลอย	มก./ล.	250 - 700	210 - 560	216 - 560	290 - 450
ทีเคเอ็นไนโตรเจน	มก./ล.	567 - 770	525 - 777	350 - 526	280 - 547
ไขมันและน้ำมัน	มก./ล.	350 - 380	350 - 420	-	212 - 270

* ค่าต่ำสุด-ค่าสูงสุด ของแต่ละช่วงการทดลอง

4.2 ผลการทดลอง

ผลการทดลองของงานวิจัยครั้งนี้ แบ่งออกเป็น 2 ช่วง ช่วงที่ 1 ศึกษายูเอเอสบี อย่างเดียว เป็นการศึกษาในระดับห้องปฏิบัติการ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เติระบบจำนวน 116 วัน โดยออกแบบเป็น 2 การทดลอง ดังนี้ การทดลองที่ 1 ศึกษาผลของการเติมแบคทีเรียที่คัดสายพันธุ์ต่อประสิทธิภาพของระบบ และการทดลองที่ 2 ศึกษาผลของความเร็วไหลขึ้นต่อประสิทธิภาพของระบบ

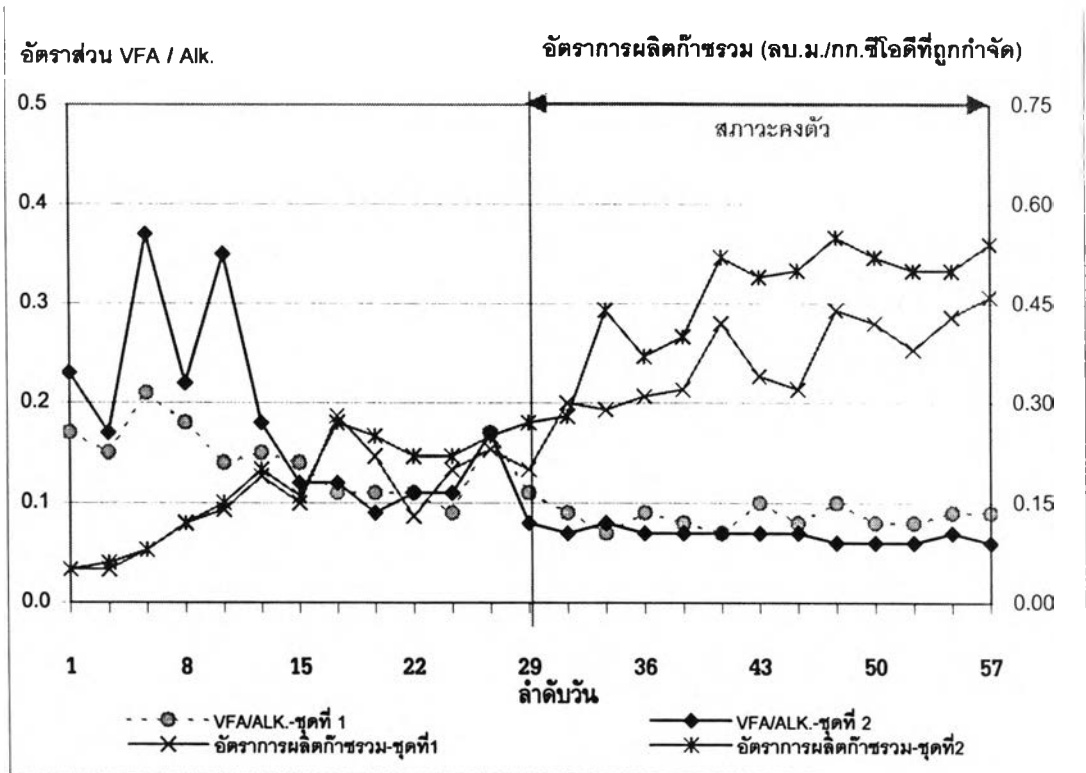
ช่วงที่ 2 ศึกษากระบวนการยูเอเอสบี - แอน็อกซิก - แอโรบิก เป็นการศึกษาในระดับต้นแบบสาธิตนำร่อง ติดตั้งชุดอุปกรณ์และใช้น้ำเสียจากสะพานปลา จังหวัดสมุทรสาคร เดินระบบจำนวน 89 วัน โดยส่วนของระบบยูเอเอสบีใช้ค่าสภาวะที่เหมาะสมจากช่วงที่ 1 นำมาเดินระบบอย่างต่อเนื่อง เพื่อพิจารณาแนวโน้มประสิทธิภาพการทำงานของระบบในการนำมาประยุกต์ใช้งานจริงในระยะยาว ส่วนแอน็อกซิก - แอโรบิก มุ่งเน้นการกำจัดไนโตรเจนเป็นหลัก โดยศึกษาผลของอัตราการเวียนน้ำตะกอน จากส่วนแอโรบิกไปยังส่วนแอน็อกซิกต่อประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจน โดยออกแบบเป็น 2 การทดลอง ดังนี้ การทดลองที่ 1 กำหนดอัตราการเวียนน้ำตะกอน 200 เปอร์เซ็นต์ และการทดลองที่ 2 กำหนดอัตราการเวียนน้ำตะกอน 400 เปอร์เซ็นต์

4.2.1 การศึกษาผลของการเติมแบคทีเรียที่คัดสายพันธุ์ต่อประสิทธิภาพของระบบ

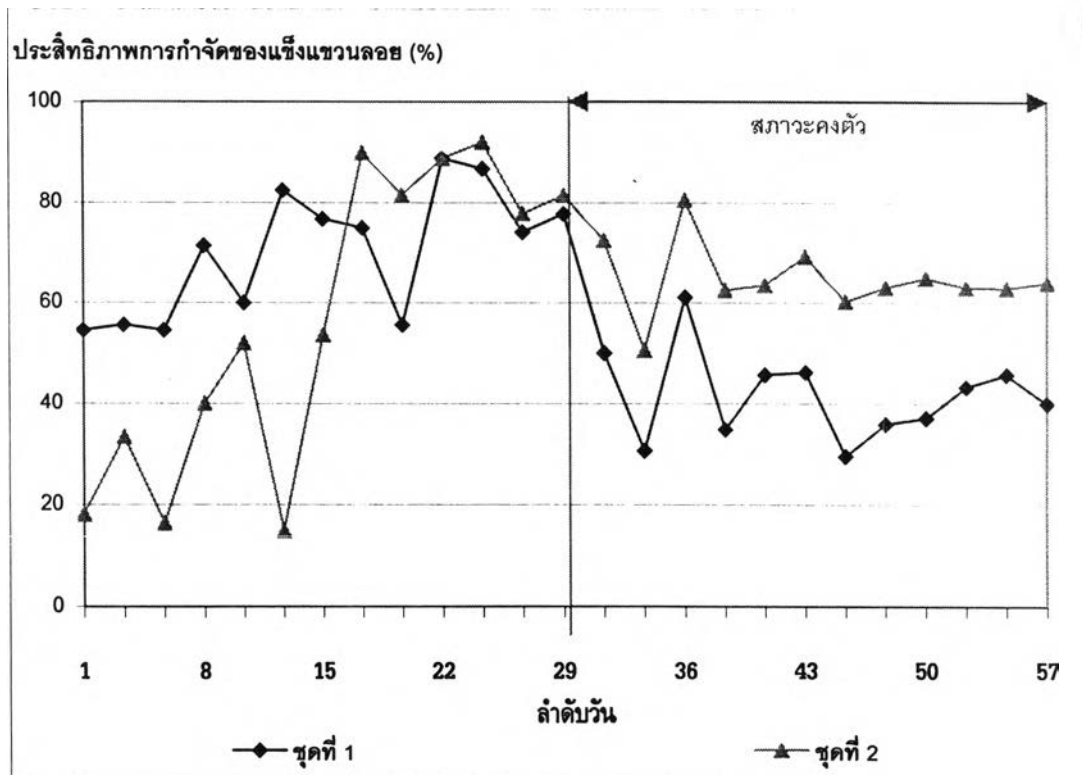
การทดลองที่ 1 เดินระบบอย่างต่อเนื่อง 57 วัน โดยกำหนดความเร็วไหลขึ้นคงที่เท่ากับ 1.0 ม./ชม. ในถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบีทั้ง 2 ชุด กำหนดให้มีจุลินทรีย์ต่างกัณดังตารางที่ 3-1 จุดประสงค์เพื่อตรวจสอบความเป็นไปได้ในการนำเทคนิคการคัดสายพันธุ์แบคทีเรีย (อ้างอิงภาคผนวก ข) ที่สามารถทำงานร่วมกับแบคทีเรียหลักทั่วไปในระบบ และสร้างสมดุลการทำงานของแบคทีเรียกลุ่มหลัก เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของระบบยูเอเอสบีในการบำบัดน้ำเสียที่มีความเค็มและไนโตรเจนสูง ผลของการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆช่วงที่ 1 ของการทดลองที่ 1 แสดงดังตารางที่ 4-2 ซึ่งเป็นช่วงค่าต่ำสุด-สูงสุดและค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ 50 ในสภาวะคงตัวแล้วของการทดลอง

หลักการพิจารณาสภาวะคงตัวของ การทดลอง ต้องใช้พารามิเตอร์หลายตัวประกอบการพิจารณาเพราะลักษณะน้ำเสียจริงมีค่าไม่คงที่ตลอดการทดลอง ทำให้การพิจารณาจากประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดี และสมดุลของของแข็งแขวนลอยที่เข้าและออกระบบไม่เพียงพอพารามิเตอร์ที่ใช้ประกอบมีดังนี้

- อัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมด เพื่อพิจารณาแนวโน้มของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในระบบ
- อัตราการผลิตก๊าซรวม เพื่อพิจารณาประสิทธิภาพในการเปลี่ยนรูปของซีไอดีในรูปก๊าซ
- ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอย เพื่อพิจารณามวลรวมที่เหลือในระบบ เพราะค่าอัตราส่วนของแข็งระเหยต่อของแข็งแขวนลอยไม่ใช่ค่าที่สามารถสรุปได้ว่าการหลุดออกของจุลินทรีย์ในระบบหรือไม่



(ก)



(ข)

รูปที่ 4-1 พารามิเตอร์ที่ใช้พิจารณาสภาวะคงตัวของระบบในช่วงที่ 1 (ระดับห้องปฏิบัติการ) การทดลองที่ 1

(ก) อัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมดและอัตราการผลิตก๊าซรวม

(ข) ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอย

พารามิเตอร์ที่ใช้พิจารณาสถานะคงตัวของระบบในช่วงที่ 1 ของการทดลองที่ 1 แสดงดังรูปที่ 4-1 ซึ่งประกอบด้วยรูป (ก) อัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมดและ อัตราการผลิตก๊าซรวม และรูป (ข) ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอย จากรูปที่ 4-1 ทั้งรูป (ก) และ รูป (ข) พบว่าสถานะคงตัวของทั้ง 2 ชุด เริ่มใกล้เคียงกันแต่ชุดที่ 2 มีค่าค่อนข้างคงที่ต่ำกว่า ชุดที่ 1 ตลอดช่วงสถานะคงตัว การวิเคราะห์ผลการทดลองเริ่มจากหลังวันที่ 29 ถึงวันที่ 57 เป็น สถานะคงตัวแล้วของการทดลอง

ตารางที่ 4-2 ผลของการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆช่วงที่ 1 ของการทดลองที่ 1

พารามิเตอร์	หน่วย	น้ำออกชุดที่ 1		น้ำออกชุดที่ 2	
		ช่วงค่าพิสัย	P50	ช่วงค่าพิสัย	P50
พีเอช	-	7.3-8.0	7.5	7.6-8.2	8.0
อุณหภูมิ	องศาเซลเซียส	29.0-32.0	30.5	29.0-32.0	30.5
ไออาร์พี	มิลลิโวลท์	-280-170	-240	-300-133	-250
ความเค็ม	เปอร์เซ็นต์	2.8-3.78	3.1	2.9-3.8	3.1
ซีไอดี	มก./ล.	640-1,200	805	450-860	557
ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดี	เปอร์เซ็นต์	74.1-81.7	77.2	81.3-86.1	84.2
บีไอดี ₅	มก./ล.	477-638	535	342-588	386
สภาพต่างทั้งหมด	มก./ล.asCaCO ₃	1,623-1,875	1,789	1,791-2,200	1,950
กรดไขมันระเหยง่าย	มก./ล.asCaCO ₃	224-325	275	222-262	237
ของแข็งแขวนลอย	มก./ล.	140-400	295	70-246	180
ปริมาณก๊าซทั้งหมด	ลิตร/วัน	2.8-6.3	3.9	3.9-8.2	5.8
อัตราการผลิตก๊าซทั้งหมด	ลบ.ม./กก.ซีไอดี ที่ถูกกำจัด	0.29-0.46	0.38	0.37-0.55	0.50
ทีเคเอ็นไนโตรเจน	มก./ล. as N	522-723	644	496-689	622
แอมโมเนียไนโตรเจน	มก./ล. as N	417-580	562	441-620	599
ไขมันและน้ำมัน	มก./ล.	157-173	165	59-74	65

* ช่วงค่าพิสัย เป็นค่าต่ำสุด-ค่าสูงสุด ของแต่ละการทดลอง

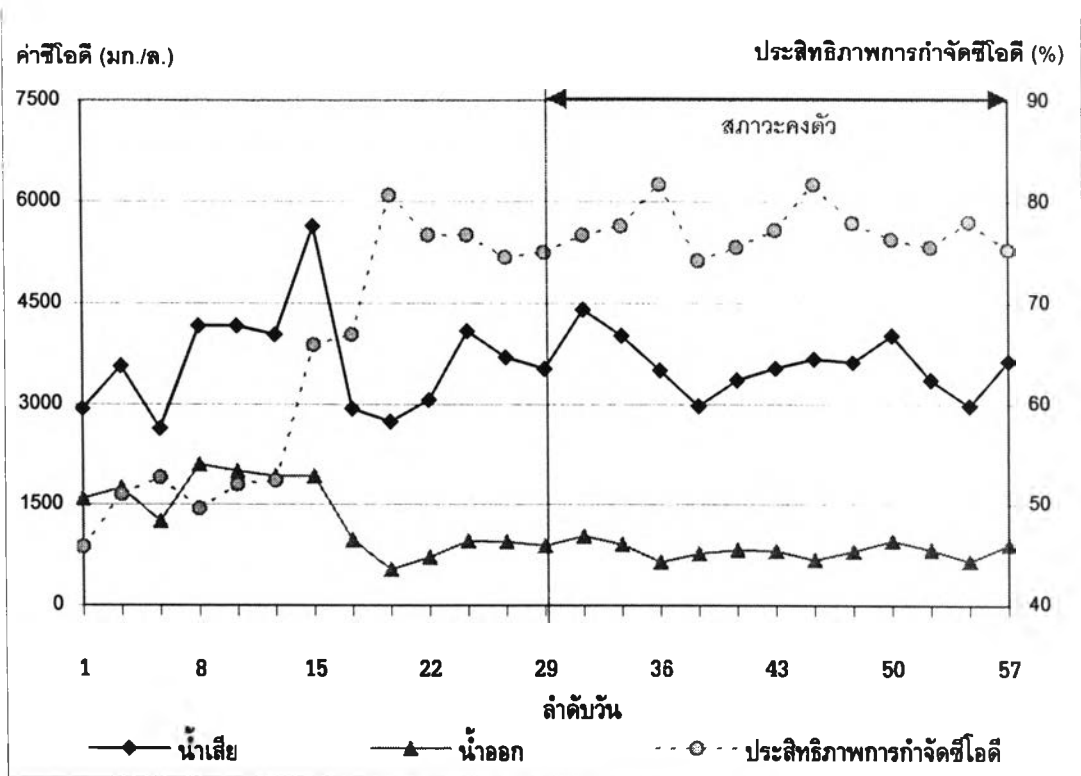
1) ซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัด

ซีโอดีในน้ำเสียที่เข้าระบบจะถูกแบคทีเรียนำไปใช้ในการสร้างเซลล์ และการดำรงชีวิต แต่ในระบบแบบไร้ออกซิเจนซีโอดีที่ถูกใช้ในการดำรงชีวิตมีมากกว่าซีโอดีที่ใช้สร้างเซลล์มาก การกำจัดซีโอดีออกจากระบบจึงเป็นการย่อยสลายและเปลี่ยนไปอยู่ในรูปต่างๆ เช่น มีเทน คาร์บอนไดออกไซด์ เป็นต้น

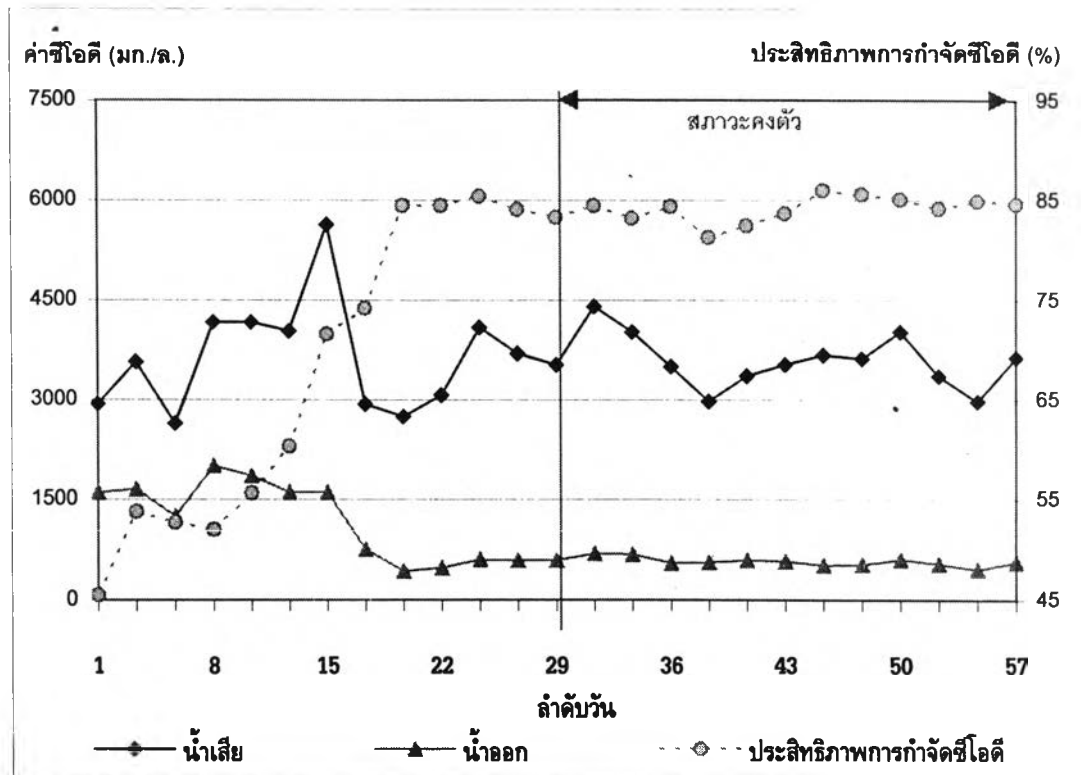
ค่าซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีตลอดการทดลอง แสดงดังรูปที่ 4-2 และเปรียบเทียบการทำงานของระบบชุดที่ 1 และชุดที่ 2 แสดงดังรูปที่ 4-3 ซึ่งประกอบด้วย การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีในสภาวะคงตัวแสดงดังรูปที่ 4-3(ก) และภาวะบรรทุกลสารอินทรีย์และประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีตลอดการทดลอง แสดงดังรูปที่ 4-3(ข)

จากรูปที่ 4-2 พบว่า ช่วง 2 สัปดาห์แรกของการทดลองทั้ง 2 ชุด เป็นระยะปรับตัวต่อสภาพการทำงานของระบบและประเภทน้ำเสีย จึงมีประสิทธิภาพไม่คงที่และต่ำมาก แต่หลังจากนั้นประสิทธิภาพของระบบค่อนข้างจะคงที่ ค่าซีโอดีน้ำเสียอยู่ในช่วง 2,974-4,642 มก./ล. ในสภาวะคงตัว (เปอร์เซ็นต์โวล 50) ซีโอดีน้ำออกมีค่าเท่ากับ 805 มก./ล. ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเท่ากับ 77.2 เปอร์เซ็นต์ สำหรับชุดที่ 1 และซีโอดีน้ำออกเท่ากับ 557 มก./ล. ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเท่ากับ 84.2 เปอร์เซ็นต์ สำหรับชุดที่ 2 และจากรูปที่ 4-3(ก) ชุดที่ 2 มีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเฉลี่ยสูงกว่าชุดที่ 1 ตลอดช่วงสภาวะคงตัว

จากรูปที่ 4-3(ข) พบว่า ภาวะบรรทุกลสารอินทรีย์ที่เข้าระบบอยู่ในช่วง 5.95 - 9.45 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน เป็นภาวะบรรทุกลสารอินทรีย์ที่สูงสำหรับการบำบัดน้ำเสียประเภทโปรตีนด้วยระบบยูเอเอสบีทั่วไปที่ไม่มีการหมุนเวียนน้ำในระบบ ระบบดังกล่าวสามารถรับภาวะบรรทุกลสารอินทรีย์ได้เพียง 3.75 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ประสิทธิภาพการบำบัด 46.2 เปอร์เซ็นต์ ที่ระยะเวลาพักน้ำ 12 ชั่วโมง (กิตติชัย ต้นชนะชัย, 2539) จากการทดลอง พบว่า ระบบยูเอเอสบีที่มีการหมุนเวียนน้ำในระบบมีประสิทธิภาพโดยเฉลี่ยสูงกว่า 75 เปอร์เซ็นต์ทั้ง 2 ชุด แสดงว่าระบบยูเอเอสบีที่มีการหมุนเวียนน้ำในระบบสามารถรับภาวะบรรทุกลสารอินทรีย์ในช่วงที่สูงขึ้น โดยที่ประสิทธิภาพของระบบลดลงเพียงเล็กน้อยเมื่อภาวะบรรทุกลสารอินทรีย์เพิ่มขึ้น การหมุนเวียนน้ำในระบบช่วยให้ระบบสามารถรับภาวะบรรทุกลสารอินทรีย์ได้สูงเพราะการขยายตัวของชั้นตะกอน เป็นการเพิ่มโอกาสสัมผัสให้เม็ดตะกอนจุลินทรีย์ ทำให้เกิดการถ่ายเทสารอาหารได้ดีขึ้น



(ก)



(ข)

รูปที่ 4-2 ค่าซีโอดีและประสิทธิผลการกำจัดซีโอดีในช่วงที่ 1 (ระดับห้องปฏิบัติการ) การทดลองที่ 1

(ก) ชุดที่ 1

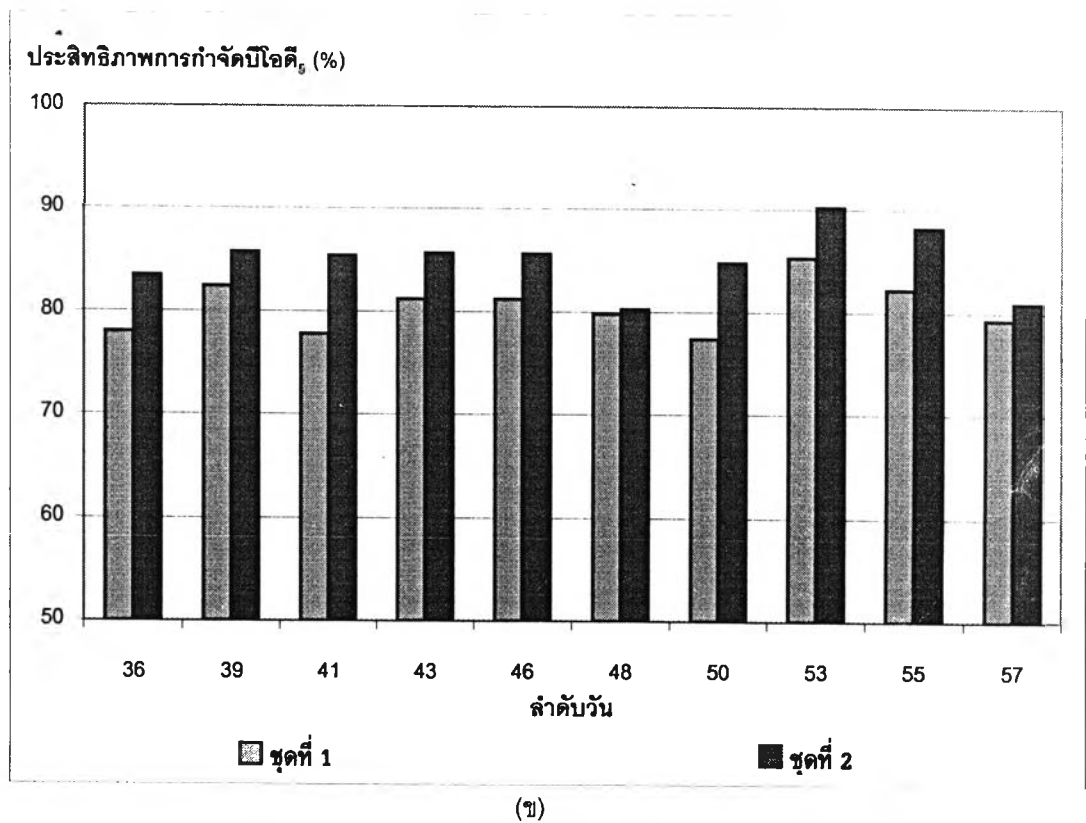
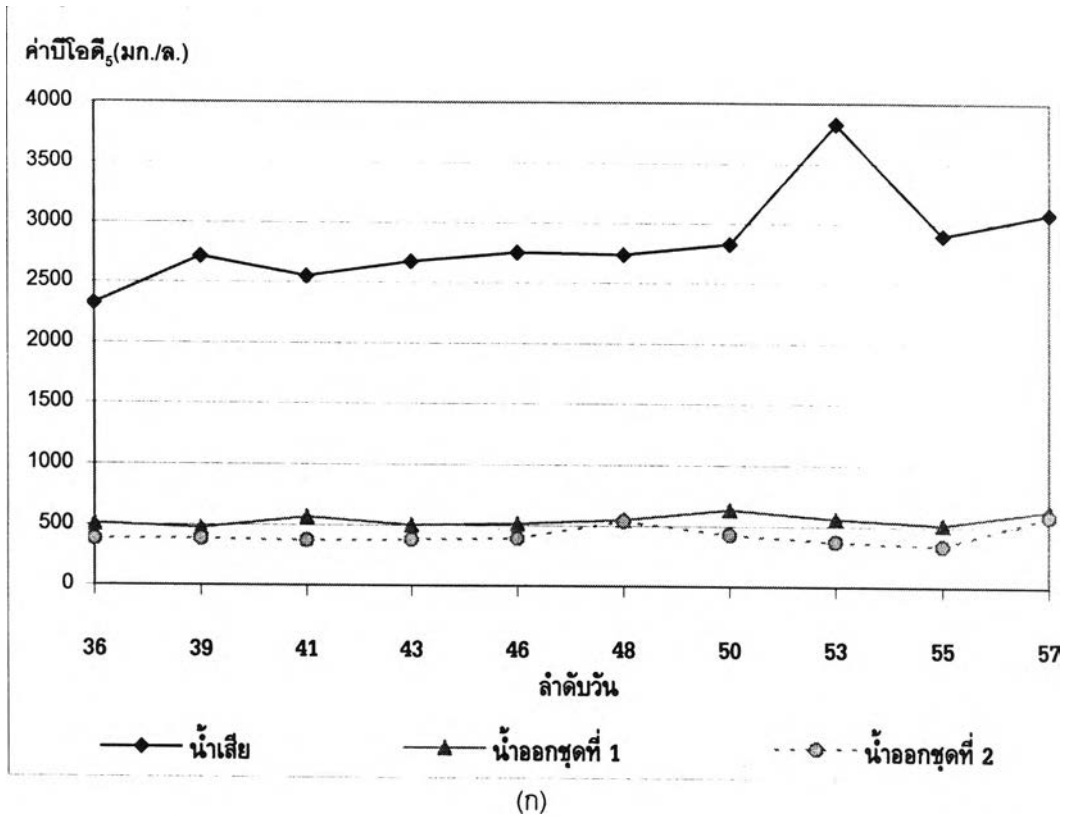
(ข) ชุดที่ 2

2) บีโอดี₅ และประสิทธิภาพการกำจัด

บีโอดี₅ ในน้ำเสียที่เข้าระบบอาศัยหลักการเดียวกับที่กล่าวในซีโอดี เพราะเป็นแหล่งคาร์บอนที่สำคัญของที่แบคทีเรียนำไปใช้ในการย่อยสลายและเปลี่ยนไปอยู่ในรูปต่างๆ แสดงการทำงานของระบบชุดที่ 1 และชุดที่ 2 ในรูปบีโอดี₅ ดังรูปที่ 4-4 พบว่า ค่าบีโอดี₅ ของน้ำเสียอยู่ในช่วง 2,321 - 3,830 มก./ล. ส่วนน้ำออกในสภาวะคงตัวแล้วของการทดลองที่เปอร์เซ็นต์ไทล์ 50 จากระบบของชุดที่ 1 เท่ากับ 518 มก./ล. ประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดี₅ เท่ากับ 80.0 เปอร์เซ็นต์ และน้ำออกจากระบบของชุดที่ 2 เท่ากับ 384 มก./ล. ประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดี₅ เท่ากับ 85.6 เปอร์เซ็นต์ ประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดี₅ ก่อนข้างคองที่ โดยที่ประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดี₅ โดยเฉลี่ยของชุดที่ 2 สูงกว่าชุดที่ 1 ตลอดสภาวะคงตัว ทั้งนี้เพราะการเติมแบคทีเรียที่คัดสายพันธุ์มีเอนไซม์เฉพาะในการย่อยสลายอาหารที่ย่อยสลายช้าทางชีวภาพ และค่าอัตราส่วนของบีโอดีต่อซีโอดีของน้ำออก มีค่าเท่ากับ 0.67 และ 0.70 สำหรับชุดที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

3) ของแข็งแขวนลอยและประสิทธิภาพการกำจัด

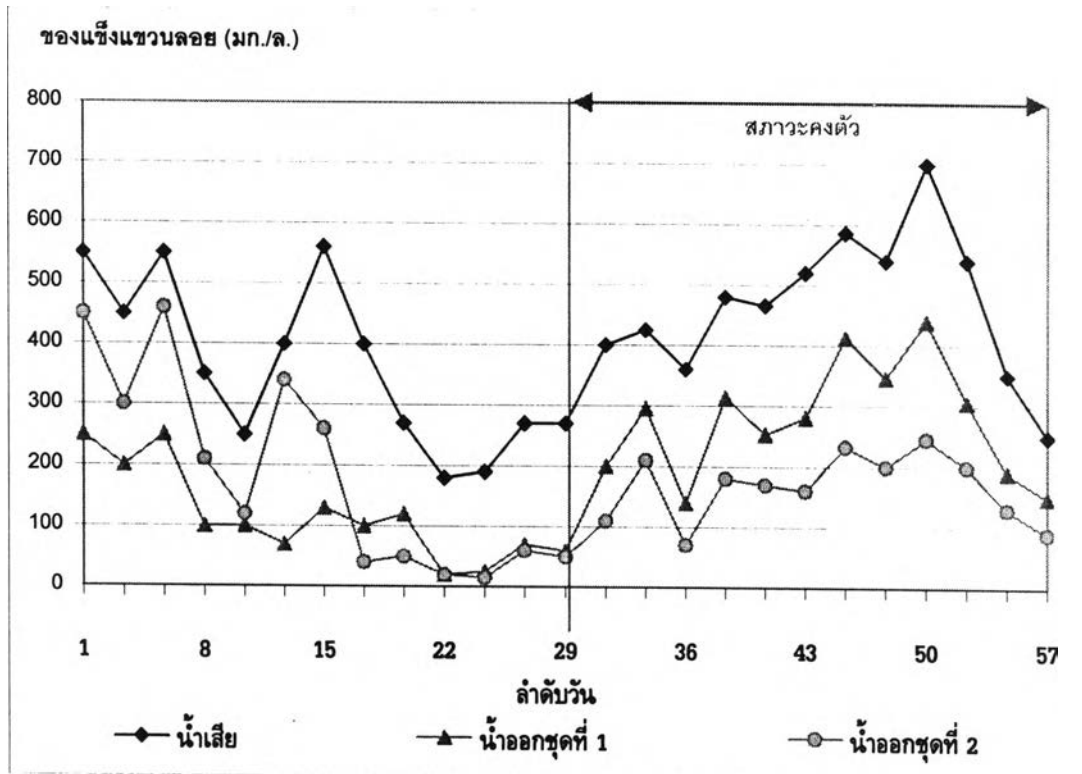
ของแข็งแขวนลอยคืออนุภาคต่างๆที่ปะปนอยู่ในน้ำเสีย ซึ่งน้ำเสียประเภทนี้ส่วนใหญ่อนุภาคจะเป็นพวกที่ย่อยสลายได้ช้าทางชีวภาพ เพราะเป็นสารโมเลกุลขนาดใหญ่ที่ต้องอาศัยแบคทีเรียย่อยสลายเปลี่ยนเป็นโมเลกุลขนาดเล็กก่อนจะดูดซึมเข้าชั้นเม็ดตะกอน แต่ถ้ามีปริมาณของแข็งแขวนลอยที่เข้าระบบมากเกินไป จะมีผลต่อการสะสมในชั้นตะกอนซึ่งอาจไปขัดขวางการทำงานในการถ่ายเทสสาร แสดงการทำงานของระบบชุดที่ 1 และชุดที่ 2 ในรูปของแข็งแขวนลอยดังรูปที่ 4-5 พบว่า ช่วง 2 สัปดาห์แรกของการทดลอง เป็นระยะปรับตัวของจุลินทรีย์ในระบบซึ่งสอดคล้องกับประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีที่ต่ำ แต่หลังจากนั้นระบบทั้ง 2 ชุดเริ่มมีแนวโน้มประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยค่อนข้างคงที่ โดยชุดที่ 2 สามารถปรับตัวได้เร็วกว่าชุดที่ 1 ค่าของแข็งแขวนลอยของน้ำเสียอยู่ในช่วง 250-700 มก./ล. ส่วนน้ำออกในสภาวะคงตัวแล้วของการทดลองที่เปอร์เซ็นต์ไทล์ 50 ชุดที่ 1 เท่ากับ 295 มก./ล. ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอย เท่ากับ 40.0 เปอร์เซ็นต์ และน้ำออกจากระบบของชุดที่ 2 เท่ากับ 180 มก./ล. ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอย เท่ากับ 63.0 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้เพราะความเค็มมีผลต่อการทำงานของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่ต้องปรับสมดุลระหว่างภายใน และภายนอกเซลล์ นอกจากความเค็มแล้วปัจจัยที่สำคัญที่สุด คือ ปัญหาการย่อยสลายช้าทางชีวภาพได้ช้าของสารอาหารจำพวกโปรตีนและไขมันที่ต้องอาศัยเอนไซม์เฉพาะในชั้นตอนไฮโดรไลซิส ก่อนที่จะมีการดูดซึมโมเลกุลเล็กเข้าชั้นเม็ดตะกอน ซึ่งถ้าภายนอกไม่เกิดปฏิกิริยาเหล่านี้สมบูรณก่อนจะทำให้ไม่สามารถถูกดูดซึมเข้าไปภายในจะเกาะติดที่ผิวของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ ทำให้ไม่เกิดการถ่ายเทสสาร นำมาซึ่งการสะสมตัวของก๊าซในเม็ดตะกอนและนำพาเม็ดตะกอนให้ลอยหลุดออกจากระบบ



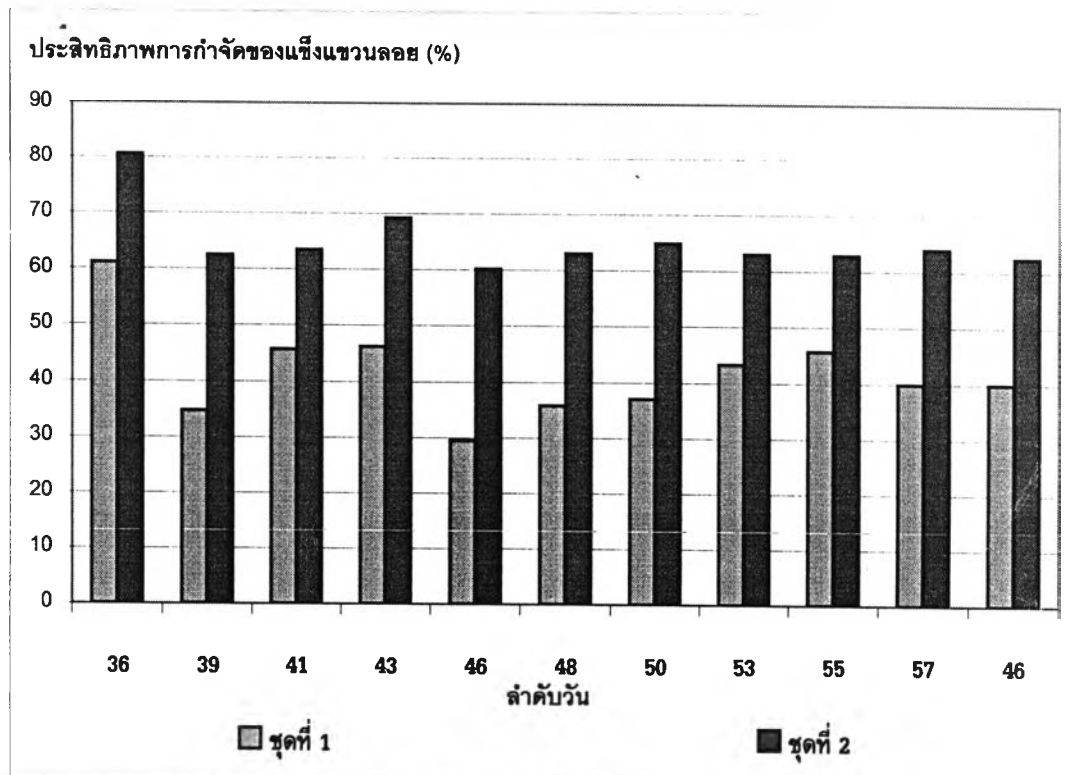
รูปที่ 4-4 การทำงานของระบบชุดที่ 1 และชุดที่ 2 ในรูปบีโอดี₅ ช่วงที่ 1 ของการทดลองที่ 1

(ก) ค่าบีโอดี₅ น้ำเสียและน้ำออก

(ข) ประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดี₅ ในสภาวะคงตัว



(ก)



(ข)

รูปที่ 4-5 การทำงานของระบบชุดที่ 1 และชุดที่ 2 ในรูปของแข็งแขวนลอยช่วงที่ 1 ของการทดลองที่ 1

(ก) ค่าของแข็งแขวนลอยน้ำเสียและน้ำออก

(ข) ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยในสภาวะคงตัว

การเกิดปัญหาลักษณะนี้กับน้ำเสียที่ย่อยสลายทางชีวภาพได้ช้า และมีของแข็งแขวนลอยสูง (ลินินุช ศศิยชาติ, 2545) เพราะฉะนั้นประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยโดยเฉลี่ยตลอดการทดลองชุดที่ 2 ซึ่งมีแบคทีเรียคัดสายพันธ์ที่มีเอนไซม์เฉพาะทำงานร่วมในขั้นตอนไฮโดรไลซิส จึงมีประสิทธิภาพการกำจัดสารแขวนลอยสูงกว่าชุดที่ 1 ประมาณ 15-20 เปอร์เซ็นต์

4) ปริมาณก๊าซรวมที่เกิดขึ้นและอัตราการผลิตก๊าซ

ปริมาณก๊าซรวมที่เกิดขึ้น สามารถวัดปริมาตรได้จากเครื่องเก็บก๊าซแบบแทนที่น้ำ เป็นการเก็บข้อมูลปริมาณก๊าซรวมที่เกิดขึ้นจากการทำงานของระบบ แสดงปริมาณก๊าซรวมที่เกิดขึ้นกับประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี และภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ตลอดการทดลองดังรูปที่ 4-6-1 พบว่า ทำให้เกิดมีอัตราการผลิตก๊าซรวมในสภาวะคงตัวที่ เปอร์เซ็นต์โทล์ 50 ชุดที่ 2 สูงกว่าชุดที่ 1 แสดงว่าระบบมีประสิทธิภาพการทำงานสูงในการเปลี่ยนรูปซีโอดี แสดงปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้น อัตราการผลิตก๊าซ และเปอร์เซ็นต์ก๊าซดังตารางที่ 4-3

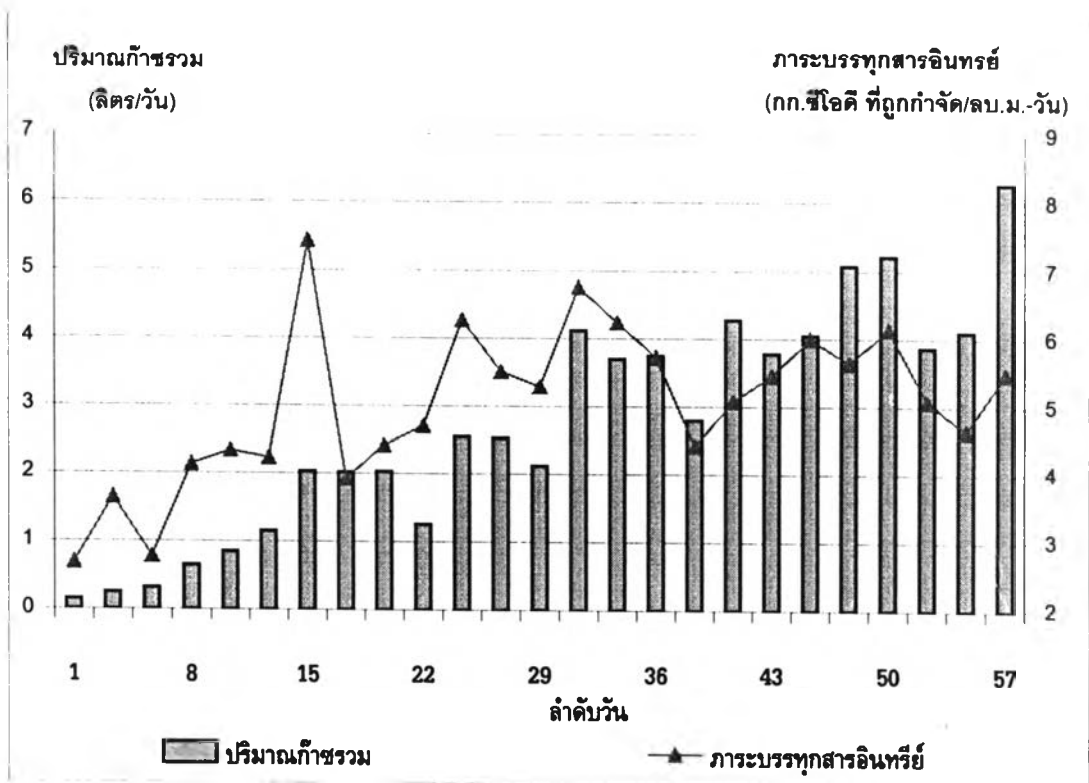
ตารางที่ 4-3 ปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้น อัตราการผลิตก๊าซ และเปอร์เซ็นต์ก๊าซในช่วงที่ 1 การทดลองที่ 1

ชุดการทดลองที่	ปริมาณก๊าซรวมเฉลี่ย* (ลิตร/วัน)	อัตราการผลิตก๊าซรวมเฉลี่ย* (ลบ.ม./กก. ซีโอดีที่ถูกกำจัด)	ส่วนประกอบของก๊าซ (%)				ปริมาณก๊าซมีเทน (ลิตร/วัน)
			% มีเทน	% CO ₂	% N ₂ +O ₂	% อื่น	
1	3.9	0.4	62.8	9.9	26.9	0.4	2.45
2	5.8	0.5	67.3	11.5	19.5	1.7	3.90

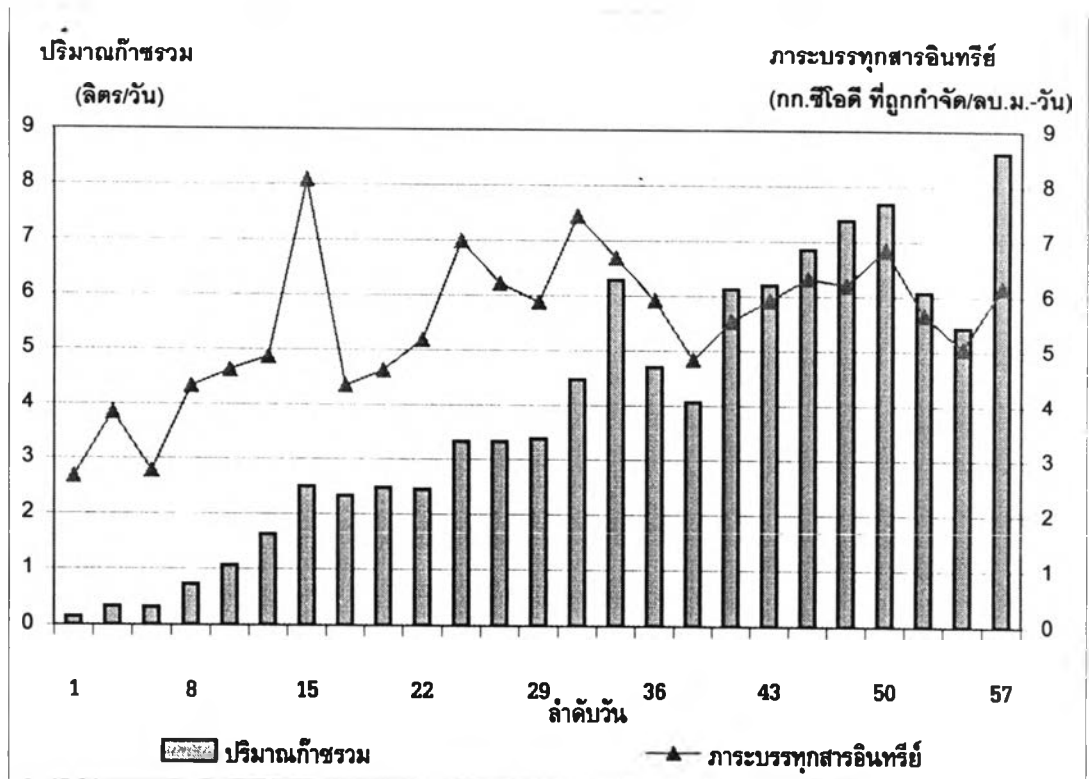
* ค่าในสภาวะคงตัวที่เปอร์เซ็นต์โทล์ 50 ของการทดลอง

จากตารางที่ 4-3 เมื่อพิจารณาถึงส่วนประกอบของก๊าซทั้ง 2 ชุด พบว่า ก๊าซมีเทนมีมากที่สุด รองลงมา คือ ก๊าซไนโตรเจนและก๊าซออกซิเจน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และอื่นๆ ตามลำดับ ก๊าซมีเทนเป็นผลิตภัณฑ์สุดท้ายในการกระบวนการบำบัดแบบไร้ออกซิเจนที่สมบูรณ์ในการกำจัดสารอินทรีย์คาร์บอน เพราะฉะนั้นสามารถใช้เป็นตัวบ่งชี้ประสิทธิภาพของระบบได้ ซึ่งชุดที่ 2 มีเปอร์เซ็นต์มีเทนสูงกว่าชุดที่ 1 เท่ากับ 4.5 เปอร์เซ็นต์ ถือว่าระบบชุดที่ 2 มีประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์คาร์บอนได้ดีกว่า แสดงปริมาณก๊าซรวมที่เกิดขึ้นคิดในรูปของเปอร์เซ็นต์มีเทน (ลิตรต่อวัน) เทียบกับซีโอดีที่ถูกกำจัด(กก.ซีโอดี/วัน) ดังรูปที่ 4-6-2

จากรูปที่ 4-6-2 พบว่า อัตราส่วนปริมาณก๊าซมีเทนต่อภาวะซีโอดีที่ถูกกำจัด (Methan Conversion Factor) มีค่าเท่ากับ 0.33 และ 0.51 ล./กก.ซีโอดี สำหรับชุดที่ 1 และชุดที่ 2 ตามลำดับ พบว่า ชุดที่ 2 มีค่าสูงกว่าแสดงว่าระบบสามารถทำงานได้ดีในสภาวะที่มีการเติมแบคทีเรียคัดสายพันธ์ร่วมกับเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ทั่วไป



(น)

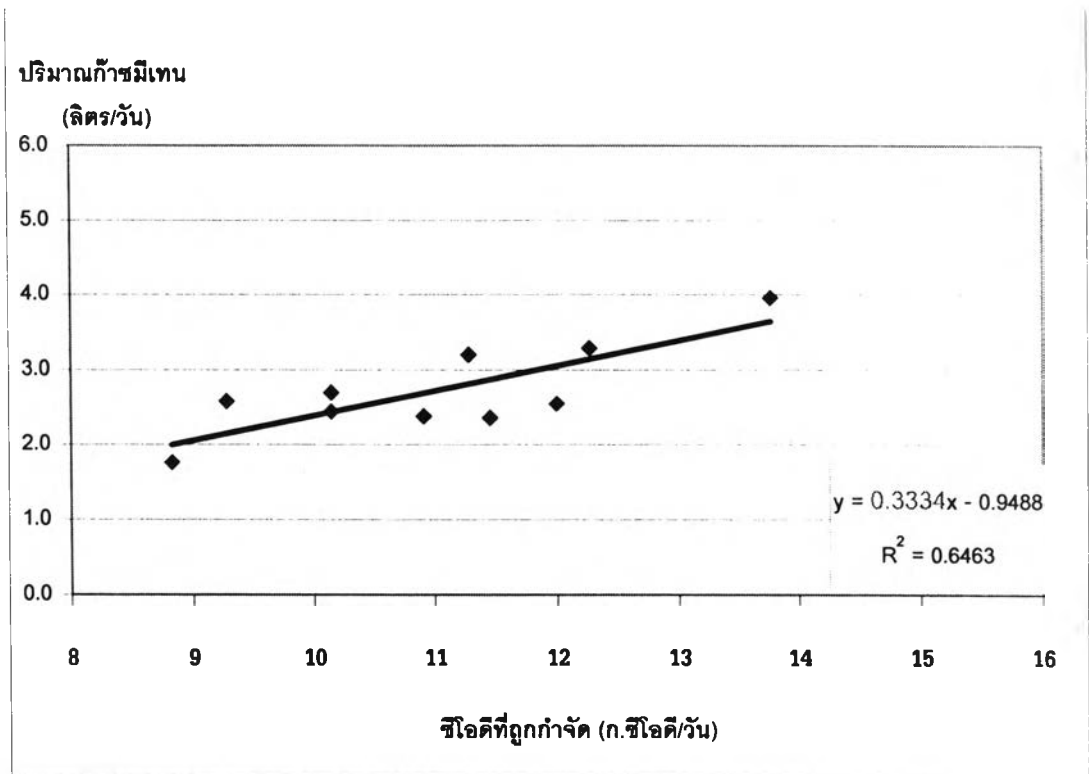


(ข)

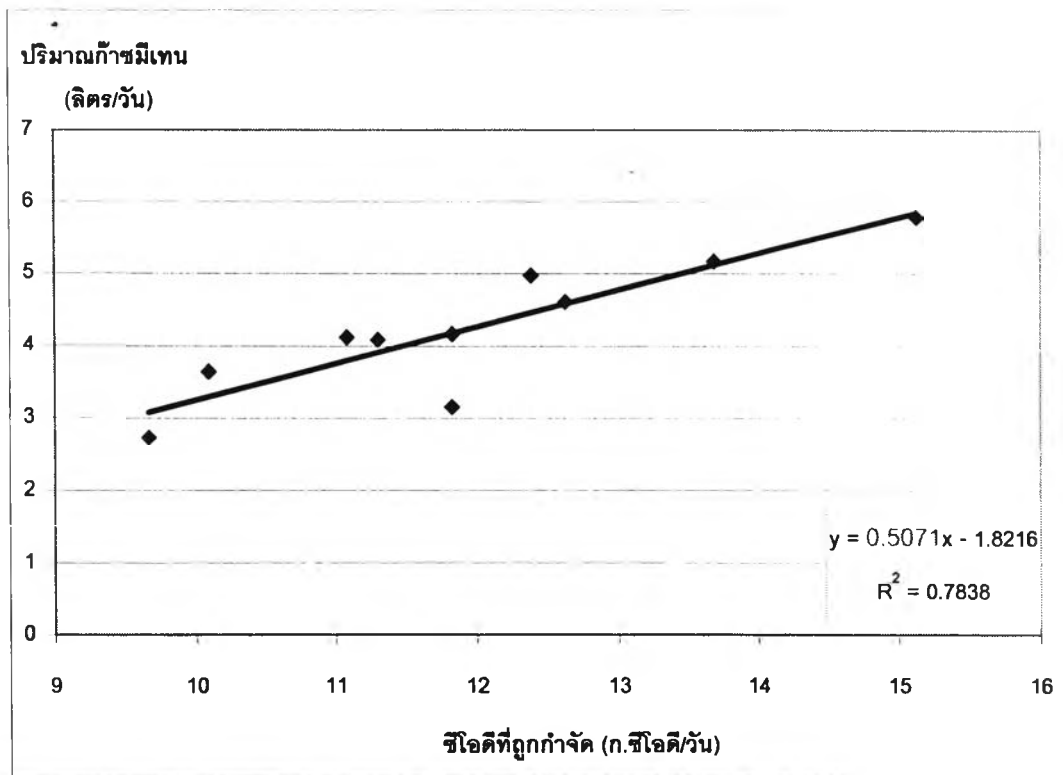
รูปที่ 4-6-1 ปริมาณก๊าซรวมที่เกิดขึ้นต่อภาวะบรรทุกลูกสารอินทรีย์ตลอดการทดลองในช่วงที่ 1 การทดลองที่ 1

(น) ชุดที่ 1

(ข) ชุดที่ 2



(ก)



(ข)

รูปที่ 4-6-2 ปริมาณก๊าซมีเทนต่อชิโอดีที่ถูกกำจัดในสภาวะคงตัวช่วงที่ 1 การทดลองที่ 1

(ก) ชุดที่ 1

(ข) ชุดที่ 2

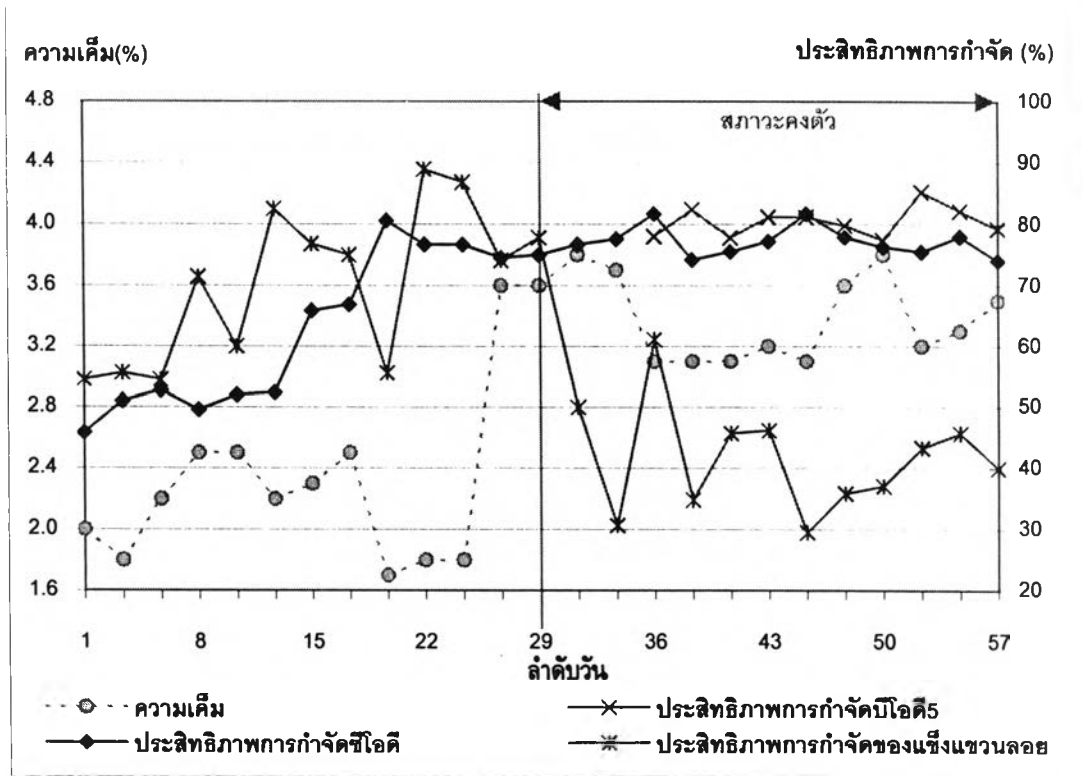
5) ความเค็มและประสิทธิภาพของระบบ

ค่าความเค็มที่เปลี่ยนแปลงในระบบ ไม่มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบและเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่นำมาใช้ในการทดลอง เพราะเป็นเชื้อที่ทนความเค็มระดับ 0.5 - 1.5 เปอร์เซ็นต์ และค่าความเค็มโดยเฉลี่ยตลอดการทดลองอยู่ในช่วง 2.5 - 3.2 เปอร์เซ็นต์ และไม่มีปริมาณซ็อก จึงทำให้เชื้อทั้ง 2 ชุด ค่อยๆปรับตัวกับความเค็มที่เพิ่มขึ้นได้ง่าย แสดงผลของความเค็มต่อประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี บีโอดี₅ และของแข็งแขวนลอย ดังรูปที่ 4-7

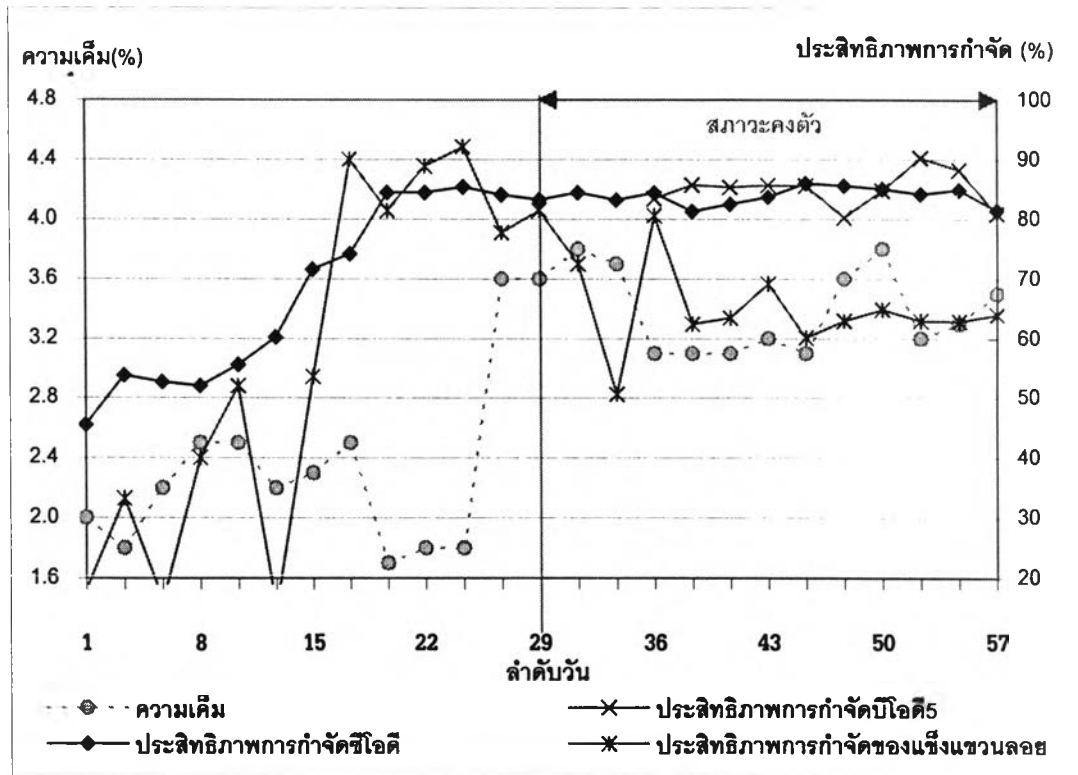
จากรูปที่ 4-7 พบว่า ความเค็มไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีและบีโอดีอย่างชัดเจนทั้ง 2 ชุด แต่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยของชุดที่ 1 ทั้งนี้เพราะระดับความเค็มที่สูงจะทำให้เกิดความต่างศักย์ของออสโมสระหว่างภายในและภายนอกเซลล์ นำมาซึ่งสภาวะ Osmosis stress ซึ่งสภาวะนี้มีผลต่อเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่สมบูรณ์อยู่แล้วของชุดที่ 1 เพราะพบว่าเม็ดตะกอนมีโพรงช่องว่างเกิดขึ้นมากภายใน(จากผลการวิเคราะห์SEM)และขนาดของเม็ดตะกอนเล็กลง (จากผลการวิเคราะห์ Particle size) จนเป็นสาเหตุทำให้มีจุลินทรีย์หลุดออกจากระบบได้มากกว่าชุดที่ 2 ที่มีการทำงานร่วมของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์กับแบคทีเรียที่คัดสายพันธุ์เพราะมีโครงสร้างของเม็ดตะกอนที่มีการจัดเรียงเซลล์หนาแน่นไม่มีโพรงช่องว่าง และมีขนาดของเม็ดค่อนข้างคงที่เมื่อเทียบกับขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่ใช้เริ่มต้น ทั้งนี้เพราะการทำงานของเอนไซม์เฉพาะของแบคทีเรียที่คัดสายพันธุ์ช่วยย่อยสลายอาหาร ก่อนที่จะมีการดูดซึมโมเลกุลขนาดเล็กเข้าชั้นเม็ดตะกอน ซึ่งถ้าภายนอกเซลล์ไม่เกิดปฏิกิริยาเหล่านี้สมบูรณ์ก่อนจะทำให้ไม่สามารถดูดซึมโมเลกุลเล็กเข้าไปภายในเซลล์ได้ จะเกาะติดที่ผิวของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ ทำให้ไม่เกิดการถ่ายเทสาร นำมาซึ่งการสะสมตัวของก๊าซในเม็ดตะกอนและพาเม็ดตะกอนให้ลอยหลุดออกจากระบบ

6) ปริมาณไขมันและประสิทธิภาพการกำจัด

ไขมันที่พบเป็นไขมันจากสัตว์น้ำทะเลซึ่งเป็นไขมันที่มีคาร์บอนอะตอมคู่ เป็นส่วนมากทำให้ไขมันชนิดดังกล่าวย่อยสลายทางชีวภาพได้ช้า ไม่สามารถแยกออกจากน้ำด้วยวิธีทางกายภาพ(ระบบแยกไขมันแบบแผ่นกั้นซึ่งเป็นการลดไขมันที่เข้าระบบเบื้องต้น) เพียงอย่างเดียว ต้องอาศัยสารเคมีและระบบ DAF ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมโดยทั่วไปในโรงงานประเภทอาหารทะเล แต่สิ้นเปลืองทั้งพลังงานและสารเคมีจำนวนมาก การหาแนวทางจัดการที่เหมาะสมเพื่อไม่ให้เป็นการเพิ่มภาระการทำงานของแบคทีเรียในระบบ โดยการใช้เอนไซม์จากแบคทีเรียคัดสายพันธุ์เป็นอีกแนวทางหนึ่งที่มีงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่า มีประสิทธิภาพสูง โดยไม่ต้องมีระบบลดไขมันเบื้องต้นเพื่อแยกไขมันออกก่อนเข้าระบบ (เกตุสุนทร,2539)



(ก)



(ข)

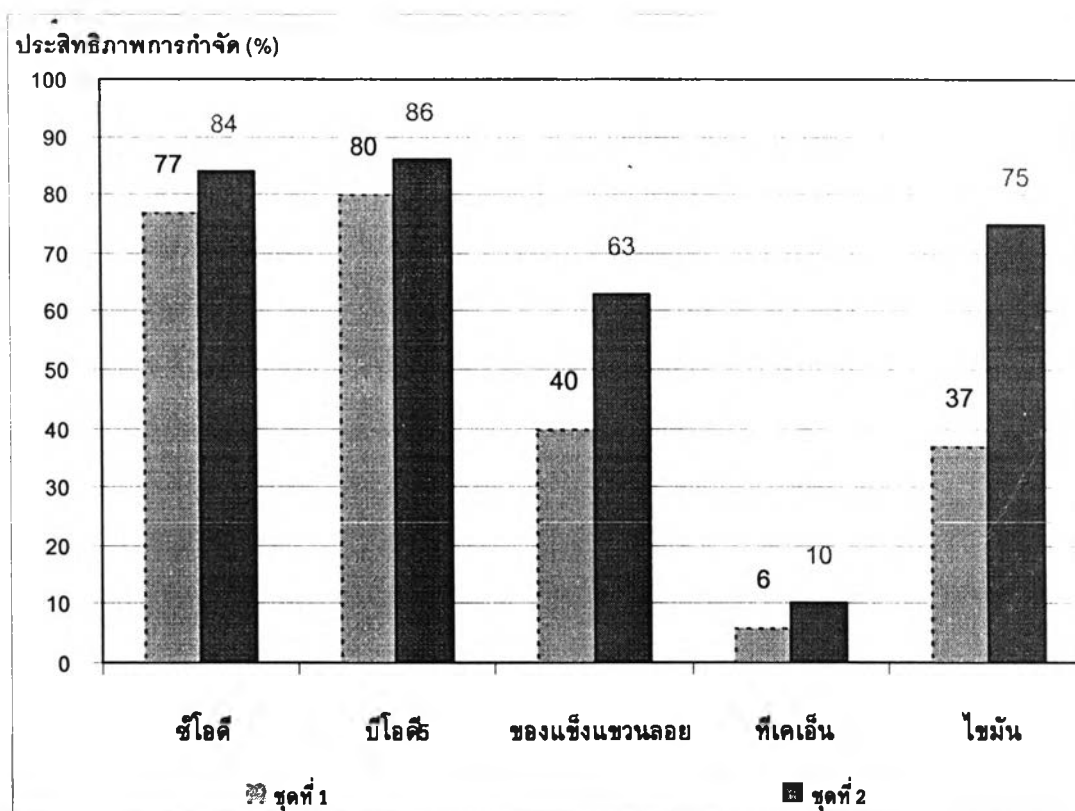
รูปที่ 4-7 ผลของความเค็มต่อประสิทธิภาพการกำจัดของระบบตลอดการทดลองในช่วงที่ 1 การทดลองที่ 1

(ก) ชุดที่ 1

(ข) ชุดที่ 2

ปริมาณไขมันและน้ำมันของน้ำเสียที่เข้าระบบอยู่ในช่วง 350-380 มก./ล. ส่วนน้ำออกจากระบบในสภาวะคงตัวที่เปอร์เซ็นต์โทล์ 50 เท่ากับ 165.0 มก./ล. ประสิทธิภาพการกำจัด 37.0 เปอร์เซ็นต์ สำหรับชุดที่ 1 และ 65.0 มก./ล. ประสิทธิภาพการกำจัด 75.0 เปอร์เซ็นต์ สำหรับชุดที่ 2 จากการทดลอง พบว่า ชุดที่ 1 ปริมาณไขมันและน้ำมันพบฝ้ายจำนวนมากลอยขึ้นมาบริเวณผิวน้ำที่ระดับทางออก มีผลต่อการทำงานแบคทีเรียในระบบ ประสิทธิภาพโดยรวมต่ำ เพราะไขมันมีผลต่อการถ่ายเทสารของอาหารเข้าไปภายในเซลล์ แตกต่างจากชุดที่ 2 ที่ไม่มีฝ้ายไขมันและการทำงานของระบบมีประสิทธิภาพสูง ทั้งนี้เพราะแบคทีเรียที่คัดสายพันธุ์มีเอนไซม์เฉพาะที่เหมาะสมในการย่อยไขมันได้อย่างมีประสิทธิภาพ

สรุปผลจากการทดลองในช่วงที่ การทดลองที่ 1 ดังนี้ ประสิทธิภาพของระบบ ชุดที่ 2 มีความสมดุลการทำงานของจุลินทรีย์ในระบบและประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ค่อนข้างคงที่ตลอดในสภาวะคงตัวแล้วของการทดลอง แสดงประสิทธิภาพของระบบในการกำจัดดังรูปที่ 4-8 พบว่า ทุกพารามิเตอร์มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน โดยประสิทธิภาพของชุดที่ 2 สูงกว่าชุดที่ 1 ในรูปเปอร์เซ็นต์โทล์ 50 ทั้งนี้เพราะแบคทีเรียที่คัดสายพันธุ์มีเอนไซม์ที่เหมาะสมกับประเภทของน้ำเสีย (อ้างอิงภาคผนวก ข) ไปช่วยในขั้นตอนไฮโดรไลซิสของระบบ



รูปที่ 4-8 ประสิทธิภาพของระบบในการกำจัดซีโอดี บีโอดี, ของแข็งแขวนลอย ทีเคเอ็น และไขมัน เปรียบเทียบชุดที่ 1 และชุดที่ 2 ในสภาวะคงตัวที่เปอร์เซ็นต์โทล์ 50 ในช่วงที่ 1 การทดลองที่ 1

4.2.2 การศึกษาผลของความเร็วไหลขึ้นต่อประสิทธิภาพของระบบยูเอเอสบี ในช่วงที่ 1 การทดลองที่ 2

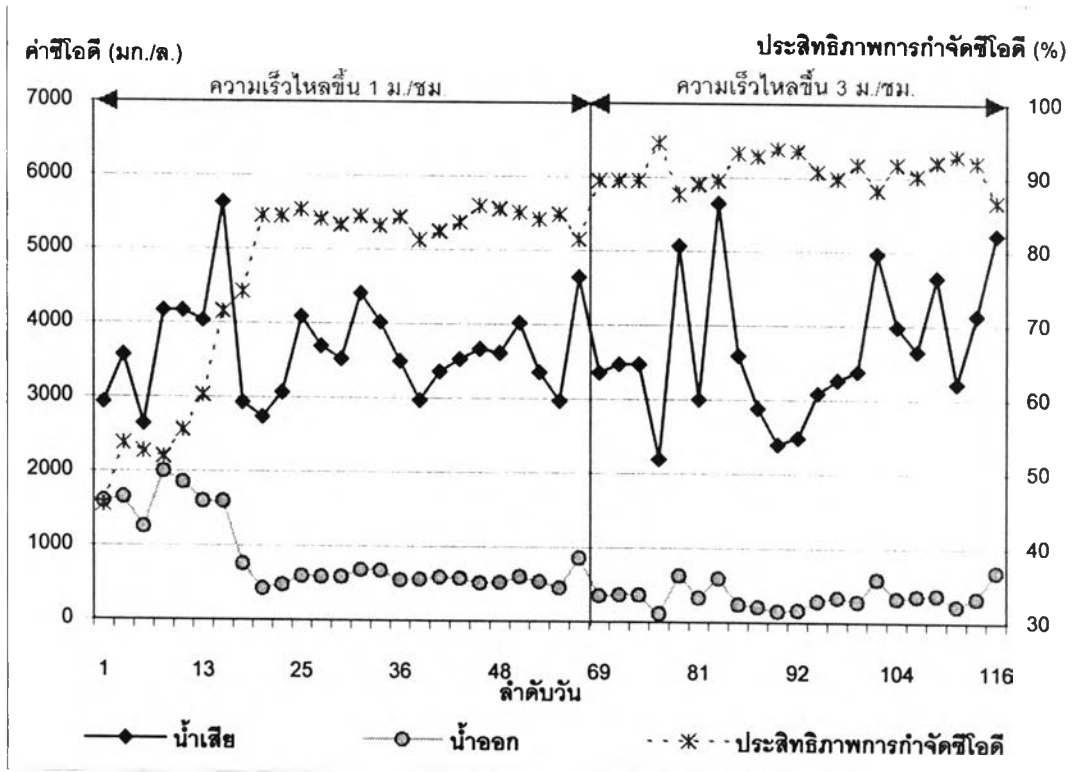
การทดลองช่วงนี้เป็นการศึกษาผลของความเร็วไหลขึ้นต่อประสิทธิภาพของระบบ โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานของระบบชุดที่ 2 ที่มีเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ทั่วไปและเติมแบคทีเรียที่คัดสายพันธุ์เพิ่ม 10 เปอร์เซ็นต์ จากการทดลองที่ 1 เพราะมีประสิทธิภาพสูงในการกำจัดซีโอดี บีโอดี ของแข็งแขวนลอย และไขมันและน้ำมัน และมีความสมดุลของจุลินทรีย์หลักในระบบสามารถทำงานได้ในสภาวะที่น้ำเข้ามีพารามิเตอร์ไม่คงที่ตลอดการทดลอง

การทดลองนี้ศึกษาความเร็วไหลขึ้นที่ 1.0 และ 3.0 ม./ชม. โดยเดินระบบต่อในชุดที่ 2 อีก 47 วัน กำหนดความเร็วไหลขึ้นที่ 3.0 ม./ชม. แสดงผลของความเร็วไหลขึ้นต่อประสิทธิภาพการกำจัดในตารางที่ 4-4 ซึ่งเป็นช่วงค่าต่ำสุด-สูงสุดและค่าเปอร์เซ็นต์ไหล 50 ในสภาวะคงตัวแล้วของการทดลอง

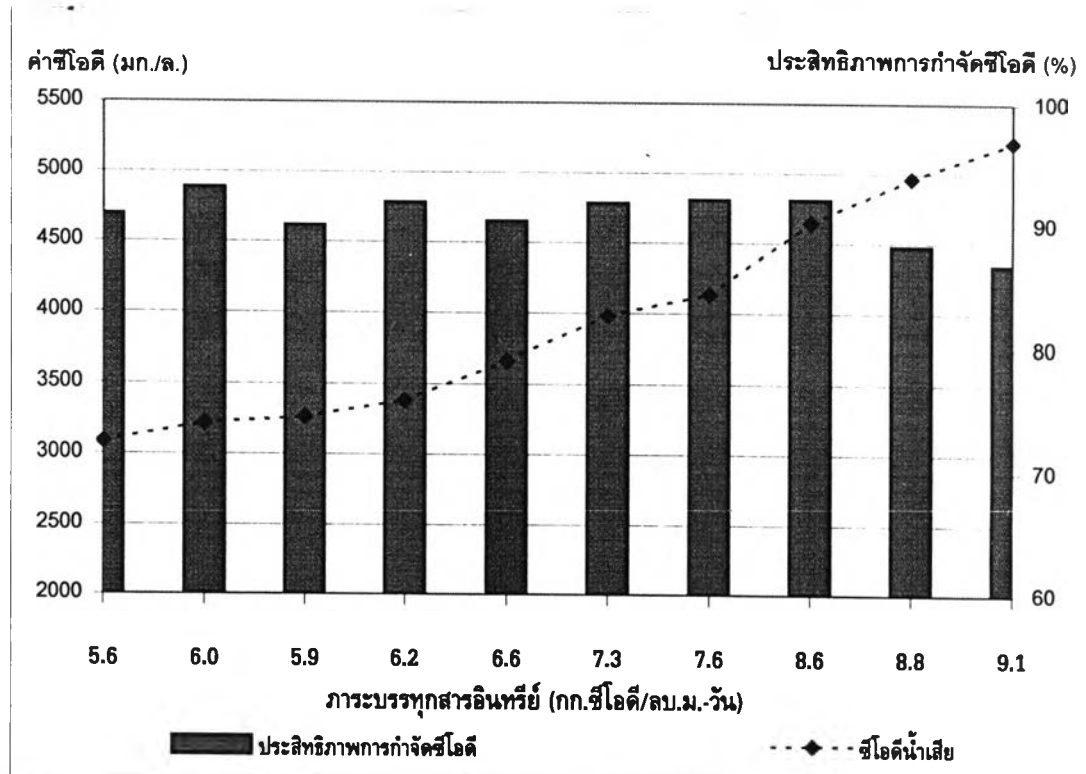
หลักการพิจารณาสภาวะคงตัวของ การทดลอง ต้องใช้พารามิเตอร์หลายตัว ประกอบการพิจารณาเพราะลักษณะน้ำเสียจริงมีค่าไม่คงที่ตลอดการทดลอง จึงต้องอาศัยการพิจารณาเช่นเดียวกับการทดลองที่ 1 ซึ่ง พบว่า หลังวันที่ 88 ไปแล้วระบบมีสภาวะคงตัวในการทดลองที่ 2

1) ซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัด

แสดงผลค่าซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัดตลอดการทดลอง ดังรูปที่ 4-9 พบว่า ค่าซีโอดี ของน้ำออกในสภาวะคงตัวที่เปอร์เซ็นต์ไหล 50 เท่ากับ 550 มก./ล. ประสิทธิภาพการกำจัด 83.0 เปอร์เซ็นต์ และ 330 มก./ล. ประสิทธิภาพการกำจัด 91.0 เปอร์เซ็นต์ สำหรับการทดลองที่ 1 และ การทดลองที่ 2 ตามลำดับ ค่าซีโอดีน้ำเสียมีค่าไม่คงที่ตลอดการทดลอง แสดงค่าภาวะบรรทุksารอินทรีย์ที่เข้าต่อประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีดังรูปที่ 4-10 พบว่า ค่าภาวะบรรทุksารอินทรีย์อยู่ในช่วง 5.6-9.1 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน พบว่า ภาวะบรรทุksารอินทรีย์ไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีทั้ง 2 ชุด อย่างชัดเจน ประสิทธิภาพลดลงเพียงเล็กน้อย เมื่อภาวะบรรทุksารอินทรีย์เพิ่มขึ้น และประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีที่ระดับความเร็ว 3 ม./ชม. เพิ่มขึ้น การหมุนเวียนน้ำที่ช่วยให้ระบบสามารถรับภาวะบรรทุksารอินทรีย์ได้สูงเพราะการขยายตัวของชั้นตะกอนเป็นการเพิ่มโอกาสสัมผัสให้เม็ดตะกอนจุลินทรีย์ ทำให้อาหารสามารถถูกดูดซึมได้ดีกว่า



รูปที่ 4-9 ค่าซีโอดีและประสิทธิผลการกำจัดตลอดการทดลองของชุดที่ 2 ในช่วงที่ 1



รูปที่ 4-10 ค่าซีโอดีและภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ที่เข้าระบบต่อประสิทธิผลการกำจัดซีโอดีของชุดที่ 2
ค่าในสภาวะคงตัวของการทดลอง

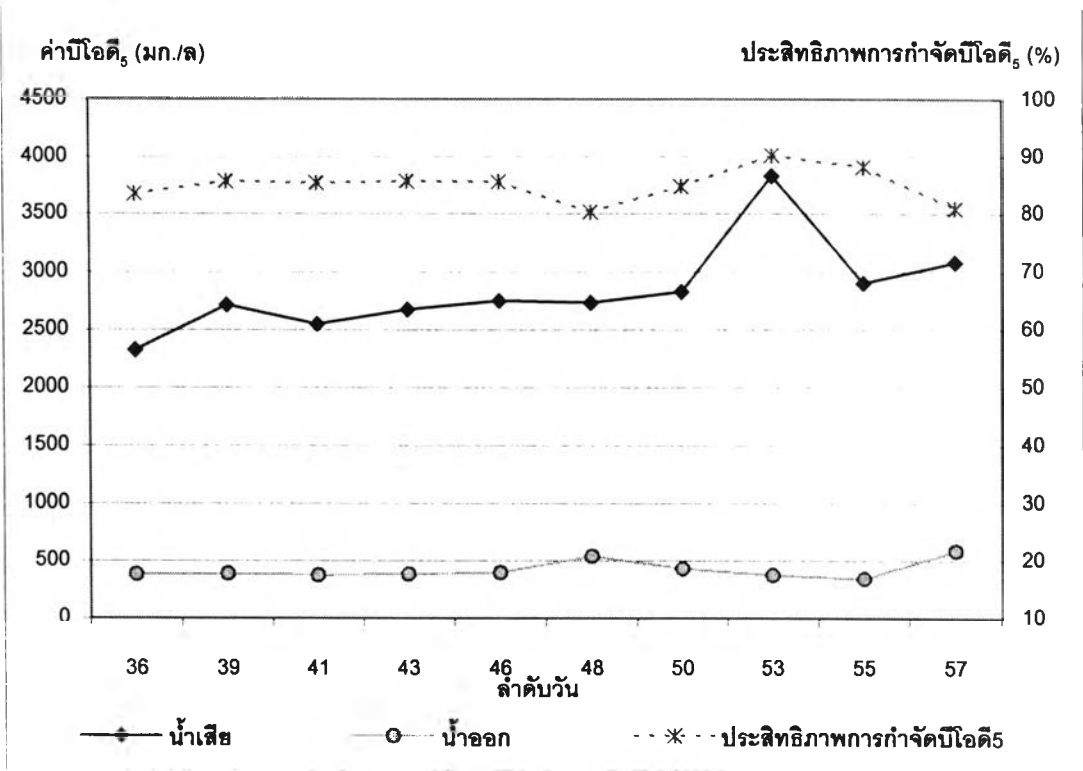
ตารางที่ 4-4 ผลของการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของน้ำออกจากชุดที่ 2 ในการทดลองที่ 1 และการทดลองที่ 2

พารามิเตอร์	หน่วย	การทดลองที่ 1		การทดลองที่ 2	
		ช่วงค่าพิสัย	P50	ช่วงค่าพิสัย	P50
พีเอช	-	7.6-8.2	8.0	7.5-8.2	7.9
อุณหภูมิ	องศาเซลเซียส	29.0-32.0	30.5	31.0-33.0	32.0
ไออาร์พี	มิลลิโวลท์	-300-133	-250	-275-150	-220
ความเค็ม	เปอร์เซ็นต์	2.9-3.8	3.1	2-3.6	2.5
ซีไอดี	มก./ล.	450-860	557	160-680	328
ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดี	เปอร์เซ็นต์	78.0-85.0	84.2	86.1-93.0	91.0
บีไอดี ₅	มก./ล.	342-588	386	210-306	263
สภาพต่างทั้งหมด	มก./ล.asCaCO ₃	1,791-2,200	1,950	1,436-1,726	1,610
กรดไขมันระเหยง่าย	มก./ล.asCaCO ₃	222-262	237	220-352	250
ของแข็งแขวนลอย	มก./ล.	70-246	180	86-246	142
ปริมาณก๊าซทั้งหมด	ลิตร/วัน	3.9-8.2	5.8	4.8-10.2	7.5
อัตราการผลิตก๊าซทั้งหมด	ลบ.ม./กก.ซีไอดี ที่ถูกกำจัด	0.37-0.55	0.50	0.50-0.59	0.55
ทีเคเอ็นไนโตรเจน	มก./ล. as N	496-689	622	455-689	543
ไขมันและน้ำมัน	มก./ล.	59-74	65	75-102	89

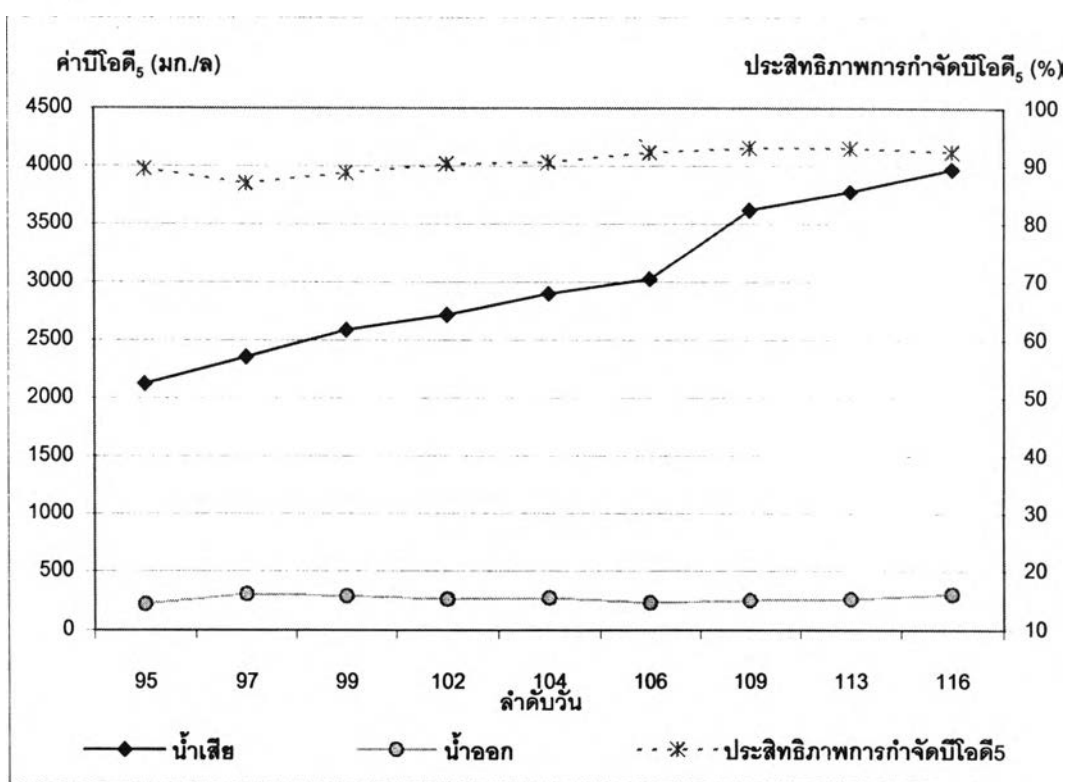
* ช่วงค่าพิสัย เป็นค่าต่ำสุด-ค่าสูงสุด ของแต่ละการทดลอง

2) บีไอดี₅ และประสิทธิภาพการกำจัด

ค่าบีไอดี₅ของน้ำออกในสภาวะคงตัวที่เปอร์เซ็นต์ไทล์ 50 เท่ากับ 386 มก./ล. ประสิทธิภาพการกำจัด 85.5 เปอร์เซ็นต์ และ 263 มก./ล. ประสิทธิภาพการกำจัด 91.0 เปอร์เซ็นต์ สำหรับการทดลองที่ 1 และการทดลองที่ 2 ตามลำดับ ค่าบีไอดี₅ และแสดงประสิทธิภาพการกำจัดบีไอดี₅ ในสภาวะคงตัวที่เปอร์เซ็นต์ไทล์ 50 ดังรูปที่ 4-11 พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดบีไอดี₅ ค่อนข้างคงที่และมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกับประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดี ประสิทธิภาพการกำจัดบีไอดี₅โดยเฉลี่ยของการทดลองที่ 2 สูงกว่าการทดลองที่ 1 และค่าอัตราส่วนของบีไอดี₅ต่อซีไอดีเพิ่มขึ้นด้วย มีค่าเท่ากับ 0.7 และ 0.80 สำหรับการทดลองที่ 1 และ การทดลองที่ 2 ตามลำดับ จากการทดลอง พบว่า ความเร็วไหลขึ้นมีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดบีไอดี₅ทำให้ระบบสามารถกำจัดสารอินทรีย์ได้มากขึ้น เนื่องจากการขยายตัวของชั้นเป็นการเพิ่มโอกาสสัมผัสในการเกิดถ่ายเทสารของอาหารเข้าไปภายในชั้นเม็ดตะกอนจุลินทรีย์



(ก)



(ข)

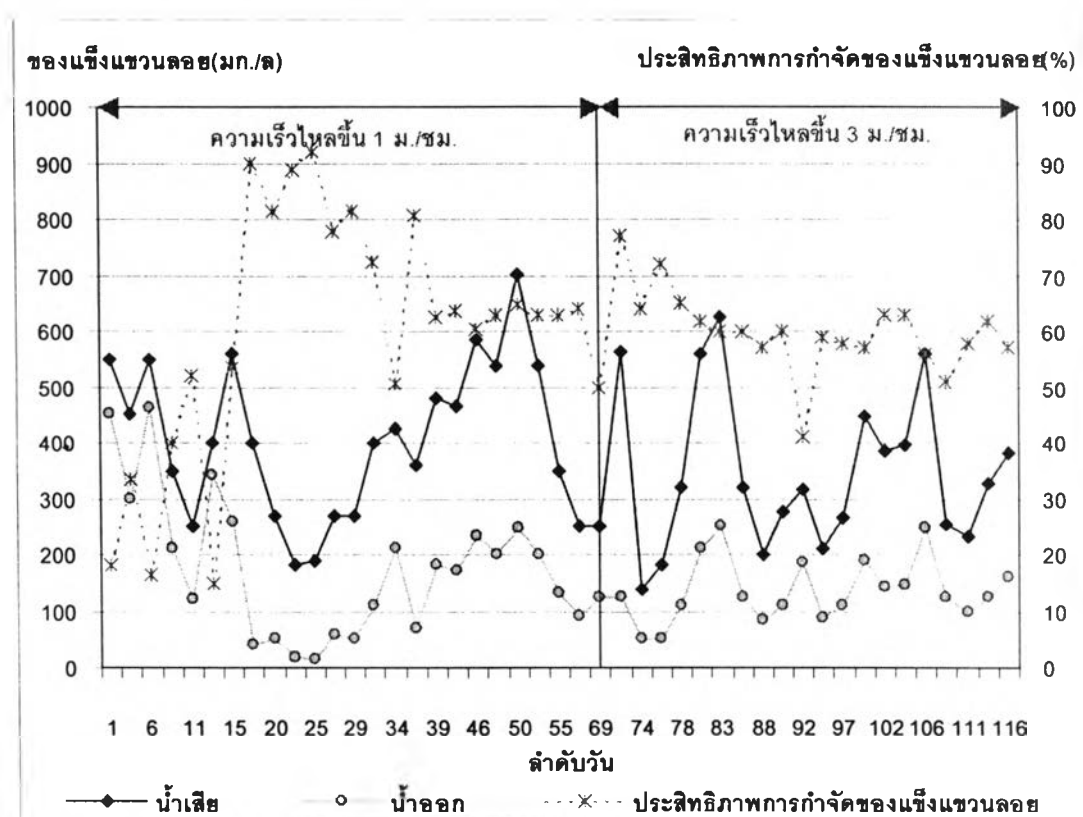
รูปที่ 4-11 ค่าบิโอดี₅และประสิทธิภาพการกำจัดในช่วงสภาวะคงตัวของการทดลองของชุดที่ 2

(ก) การทดลองที่ 1

(ข) การทดลองที่ 2

3) ของแข็งแขวนลอยและประสิทธิภาพการกำจัด

ค่าของแข็งแขวนลอยของน้ำออก ในสภาวะคงตัวแล้วของการทดลองที่เปอร์เซ็นต์ไทล์ 50 เท่ากับ 175 มก./ล. ประสิทธิภาพการกำจัด 63.0 เปอร์เซ็นต์ และ 133 มก./ล. ประสิทธิภาพการกำจัด 58.0 เปอร์เซ็นต์ สำหรับการทดลองที่ 1 และการทดลองที่ 2 ตามลำดับ ซึ่งเมื่อความเร็วไหลขึ้นเพิ่มทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยลดลงเล็กน้อย แสดงค่าของแข็งแขวนลอยและประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยตลอดการทดลองชุดที่ 2 ดังรูปที่ 4-12



รูปที่ 4-12 ค่าของแข็งแขวนลอยและประสิทธิภาพการกำจัดตลอดการทดลองของชุดที่ 2

4) ปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นและอัตราการผลิตก๊าซ

ปริมาณก๊าซรวมที่เกิดขึ้นต่อประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี และภาวะบรรทุกลสารอินทรีย์ตลอดการทดลอง แสดงดังรูปที่ 4-13-1 ทำให้เกิดอัตราการผลิตก๊าซรวมในสภาวะคงตัวที่เปอร์เซ็นต์ไทล์ 50 การทดลองที่ 2 สูงกว่าการทดลองที่ 1 เพราะมีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีสูงกว่าดังตารางที่ 4-5

ตารางที่ 4-5 ปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้น อัตราการผลิตก๊าซ และเปอร์เซ็นต์ก๊าซ (ระดับห้องปฏิบัติการ)

การทดลอง ที่	ปริมาณก๊าซ รวมเฉลี่ย* (ลิตร/วัน)	อัตราการผลิต ก๊าซรวมเฉลี่ย* (ลบ.ม./กก. ซีโอดีที่ถูกกำจัด)	ส่วนประกอบของก๊าซ (%)				ปริมาณก๊าซ มีเทน (ลิตร/วัน)
			% มีเทน	% CO ₂	% N ₂ +O ₂	% อื่น	
1	5.8	0.5	67.3	11.5	19.5	1.7	3.9
2	7.9	0.56	68.1	12.1	18.0	1.7	5.4

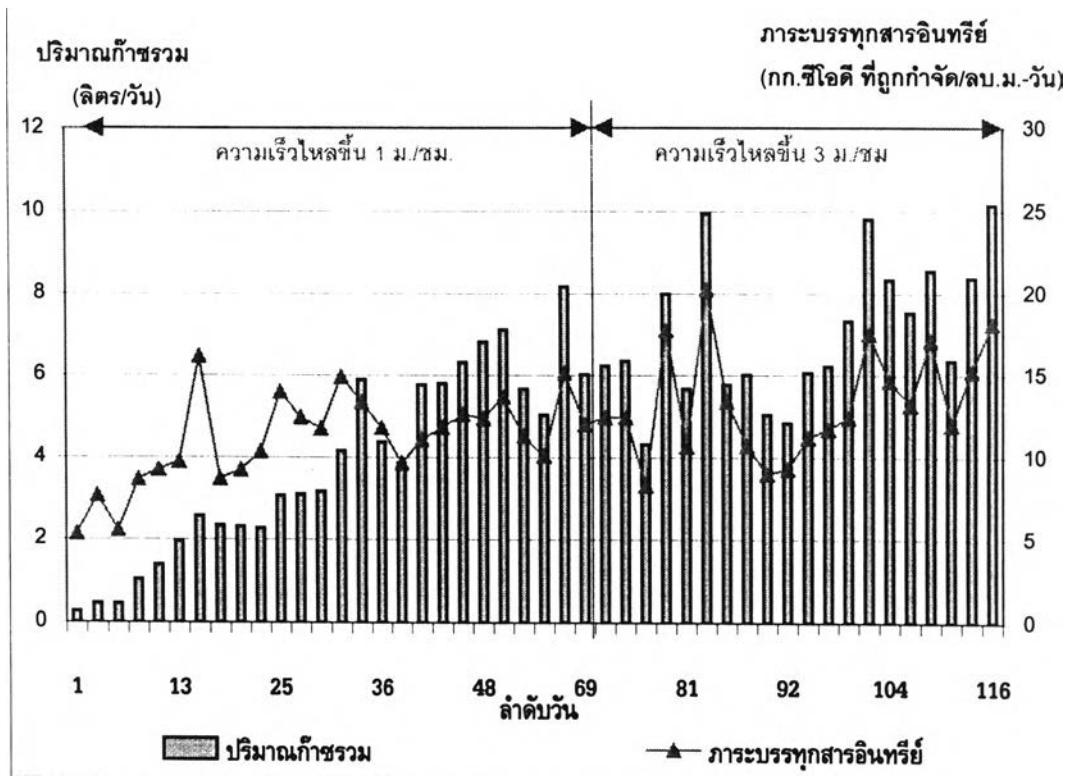
* เป็นค่าในสภาวะคงตัวที่เปอร์เซ็นต์ไทล์ 50ของการทดลอง

จากตารางที่ 4-5 เมื่อพิจารณาถึงเปอร์เซ็นต์ส่วนประกอบของก๊าซการทดลองที่ 2 มีเปอร์เซ็นต์มีเทนไม่แตกต่างในจากการทดลองที่ 1 ซึ่งมีค่าแตกต่างกันเพียง 0.8 เปอร์เซ็นต์ ถือว่าการทดลองทั้ง 2 มีการทำงานในการเปลี่ยนรูปสารของระบบไร้ออกซิเจนสมบูรณ์เหมือนกัน แต่ความเร็วไหลขึ้นมีผลต่อปริมาตรก๊าซที่เพิ่มขึ้นอีก 50 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้เพราะประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์คาร์บอนได้สูงขึ้น

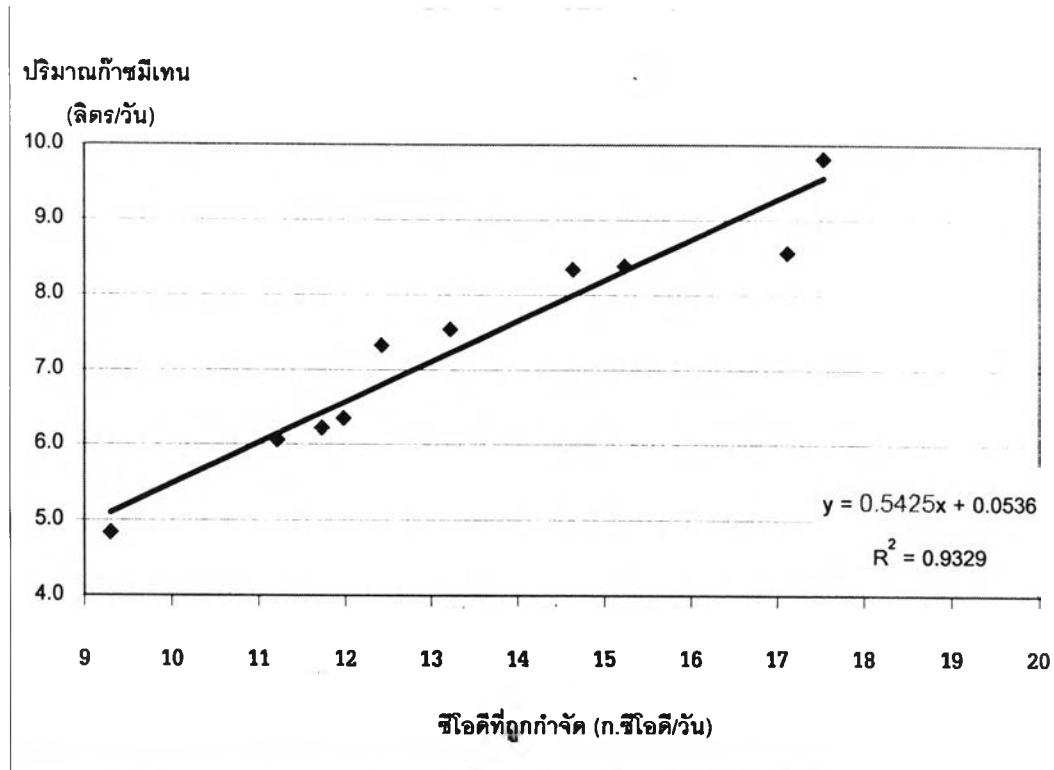
จากรูปที่ 4-13-2 พบว่า อัตราส่วนปริมาณก๊าซมีเทนต่อภาวะซีโอดีที่ถูกกำจัด (Methane Conversion Factor) มีค่าเท่ากับ 0.51 และ 0.54 ล./ก.ซีโอดี สำหรับการทดลองที่ 1 และการทดลองที่ 2 ตามลำดับ พบว่า การเติมแบคทีเรียคัดสายพันธุ์ร่วมกับเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ทั่วไปมีสภาวะการทำงานใกล้เคียงกัน

5) การขยายตัวของชั้นตะกอนที่มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบ

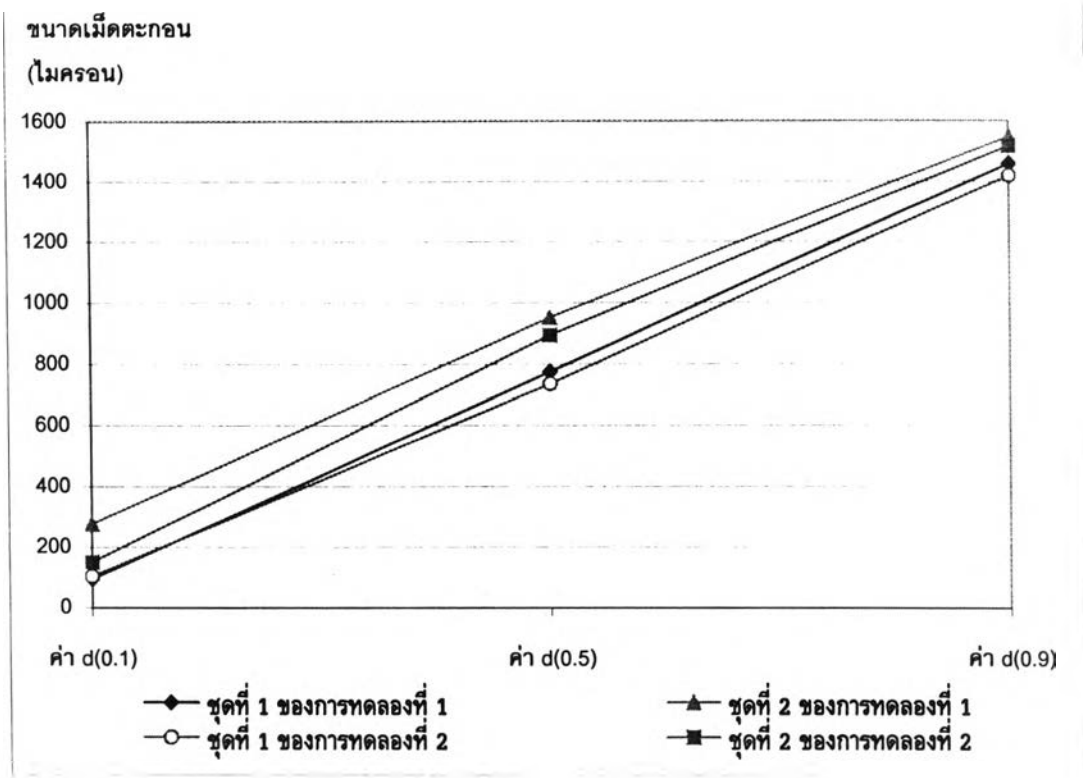
ระบบยูเอเอสบีแบบเดิมอาศัยการขยายตัวของชั้นตะกอน จากปริมาณก๊าซที่เกิดในระบบอย่างเดียว ซึ่งเกิดการขยายตัวเพียงเล็กน้อยไม่พอเพียง โดยเฉพาะกับน้ำเสียประเภทโปรตีนที่มักเกิดปัญหาการลอยหลุดของชั้นตะกอนที่เกาะกันเป็นกลุ่มก้อนได้ง่ายต้อง อาศัยการกวนภายในช้าๆ เพื่อแก้ปัญหาจึงมีการนำระบบหมุนเวียนน้ำในระบบมาช่วยเพิ่มความเร็วไหลขึ้นทำให้เกิดการขยายตัวของชั้นตะกอนในระบบ มีการกระจายตัวของขนาดอนุภาคในระบบแตกต่างกัน แสดงการกระจายตัวของขนาดเม็ดตะกอนของชุดที่ 1 และชุดที่ 2 ในการทดลองที่ 1 และการทดลองที่ 2 ดังรูปที่ 4-14-1 และ แสดงขยายตัวของชั้นตะกอนและระยะกระแทกจาก GSS ดังรูปที่ 4-14-2



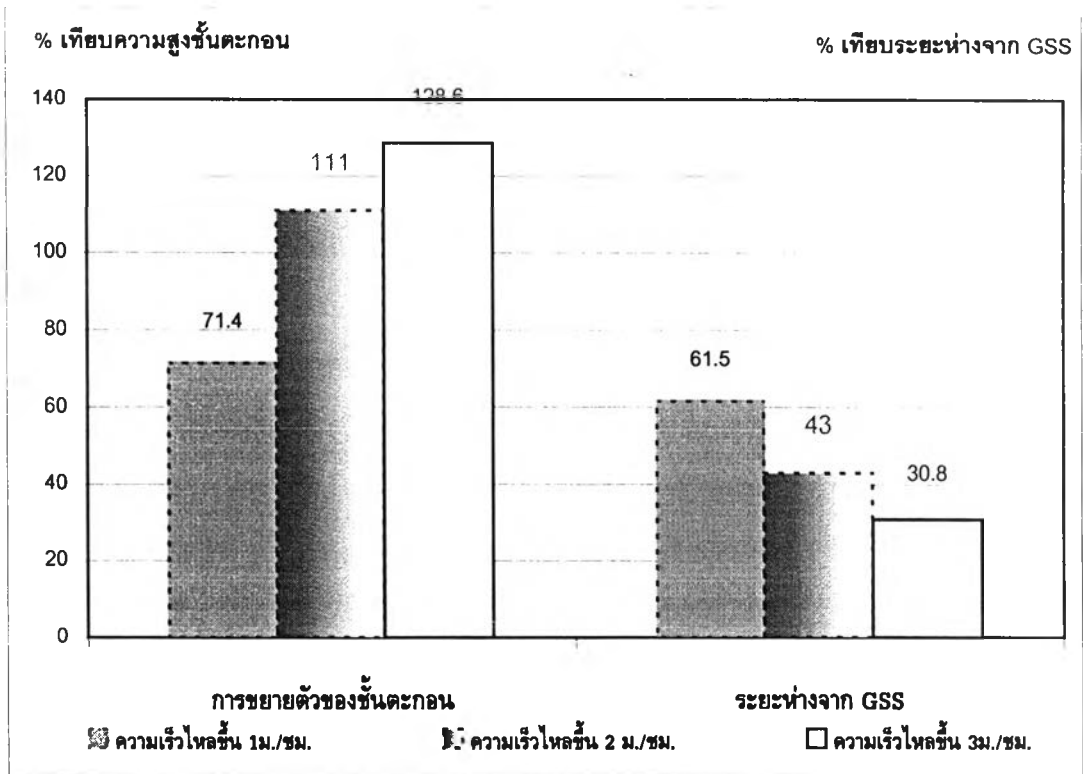
รูปที่ 4-13-1 ปริมาณก๊าซรวมที่เกิดขึ้นต่อภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ของระบบทดลองการทดลองของชุดที่ 2



รูปที่ 4-13-2 ปริมาณก๊าซมีเทนต่อซีโอดีที่ถูกกำจัดของระบบช่วงสภาวะคงตัวของการทดลองที่ 2 (ชุดที่ 2)



รูปที่ 4-14-1 การกระจายตัวของขนาดเม็ดตะกอนที่ความเร็วต่างกันของชุดที่ 1 และ 2



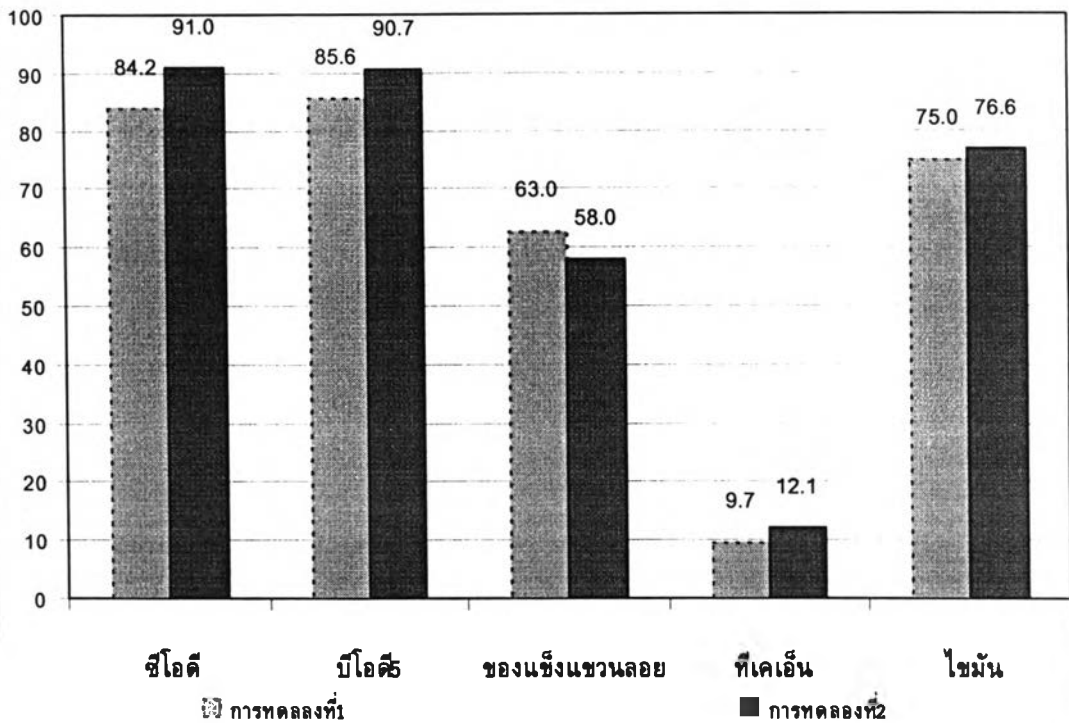
รูปที่ 4-14-2 การขยายตัวของชั้นตะกอนและระยะจาก GSS ชุดที่ 2 ที่ความเร็วไหลชั้น 1, 2 และ 3 ม./ชม

จากรูปที่ 4-14-1 พบว่า ขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบมีการกระจายตัวตามปัจจัยสภาวะการทำงานของระบบ ดังนี้ เมื่อความเร็วไหลขึ้นเท่ากัน ชุดที่ 2 มีแนวโน้มขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ใหญ่กว่าชุดที่ 1 โดยชุดที่ 2 ยังมีขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ใกล้เคียงกับขนาดของเม็ดที่เริ่มเดินระบบแต่ชุดที่ 1 มีขนาดของเม็ดตะกอนเล็กลงอย่างชัดเจน และเมื่อความเร็วไหลขึ้นต่างกัน พบว่า ขนาดของเม็ดตะกอนที่ความเร็วไหลขึ้นสูงมีขนาดเล็กลงทั้ง 2 ชุด ทั้งนี้เพราะความเร็วไหลขึ้นมีผลต่อการคัดขนาดของเม็ดตะกอนในระบบ

จากรูปที่ 4-14-2 พบว่า ความเร็วไหลขึ้นมีผลต่อการขยายตัวของชั้นตะกอน และทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของระบบเป็นไปในทิศทางเดียวกัน (Lettinga และคณะ, 1994) ดังนี้ การขยายตัวเทียบร้อยละของชั้นสลัดจ์ เท่ากับ 128 เปอร์เซ็นต์ ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีสูงถึง 90.5 เปอร์เซ็นต์ สำหรับการทดลองที่ 2 จากการทดลองถึงระดับการขยายตัวของเม็ดตะกอนเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการถ่ายเทสารของอาหารต่อการดูดซึมเข้าสู่เม็ดตะกอน เนื่องจากมีโอกาสสัมผัสสูงขึ้น การพิจารณาการขยายตัวของชั้นตะกอนควรพิจารณาถึงปัจจัยอื่นที่มีผลร่วมด้วย เช่น ประเภทของน้ำเสีย ชนิดของเม็ดตะกอน ความสามารถในการตกตะกอน ระบบการกระจายน้ำ เป็นต้น เพราะในการทดลองที่ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม. ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ (ซีโอดีและบีโอดี) สูงขึ้น แต่มีประสิทธิผลการกำจัดของแข็งแขวนลอยลดลง และมีแนวโน้มสูงที่ของแข็งแขวนลอยหลุดออกจากระบบอย่างมาก ทั้งนี้เพราะการทดลองในการตกตะกอนของเม็ดตะกอนไม่เพียงพอไม่มีระยะน้ำนิ่งในระบบ

จากผลการทดลองการทดลองที่ 2 ผลของความเร็วไหลขึ้นต่อประสิทธิภาพของระบบพบว่า ความเร็วไหลขึ้นมีผลโดยต่อการขยายชั้นตะกอน ทำให้มีผลต่อประสิทธิภาพแสดงดังรูปที่ 4-15 แต่การศึกษาจากผลการทดลอง พบว่า โอกาสสัมผัสของจุลินทรีย์กับอาหารเป็นปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบในการกำจัดสารอินทรีย์(ซีโอดีและบีโอดี) สูงขึ้น แสดงว่า จุลินทรีย์ในระบบสามารถทำงานได้ดีขึ้น ส่วนประสิทธิผลการกำจัดที่เคเอ็นและประสิทธิผลการกำจัดไขมันและน้ำมันไม่แตกต่างกัน ทั้งนี้ น่าจะเป็นเพราะขีดจำกัดของประสิทธิภาพการใช้ไนโตรเจนของเซลล์และความสามารถของเอนไซม์ย่อยไขมัน แต่ประสิทธิผลการกำจัดของแข็งแขวนลอยลดลง เพราะการทดลองห่างจาก GSS ไม่เพียงพอทำให้มีผลต่อการหลุดออกจากระบบของจุลินทรีย์ในภาวะการปั่นป่วนสูง เพราะฉะนั้นการพิจารณาผลของประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้นไม่ใช่ปัจจัยหลักจากความเร็วไหลขึ้นแต่เป็นการขยายชั้นตะกอน ต่อการสัมผัสที่เพิ่มขึ้นของจุลินทรีย์มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ในระบบ การนำไปใช้งานจึงพิจารณาที่การทดลองการขยายตัวเพิ่มขึ้นประมาณ 100 เปอร์เซ็นต์ และเหลือการทดลองห่างจาก GSS ประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์ เพื่อป้องกันปัญหาการหลุดออกของตะกอน ซึ่งพบว่าค่าดังกล่าวอยู่ในช่วงความเร็วไหลขึ้นที่ 2 ม./ชม.

ประสิทธิภาพการกำจัด (%)



รูปที่ 4-15 ประสิทธิภาพของระบบในการกำจัดแอมโมเนีย ไนไตรต์ แอมโมเนียไนโตรเจน รวมแอมโมเนียไนโตรเจน และไนโตรเจนรวม เปรียบเทียบชุดที่ 2 ในการทดลองที่ 1 และการทดลองที่ 2 ในสภาวะคงตัวที่เปอร์เซ็นต์ไหล 50

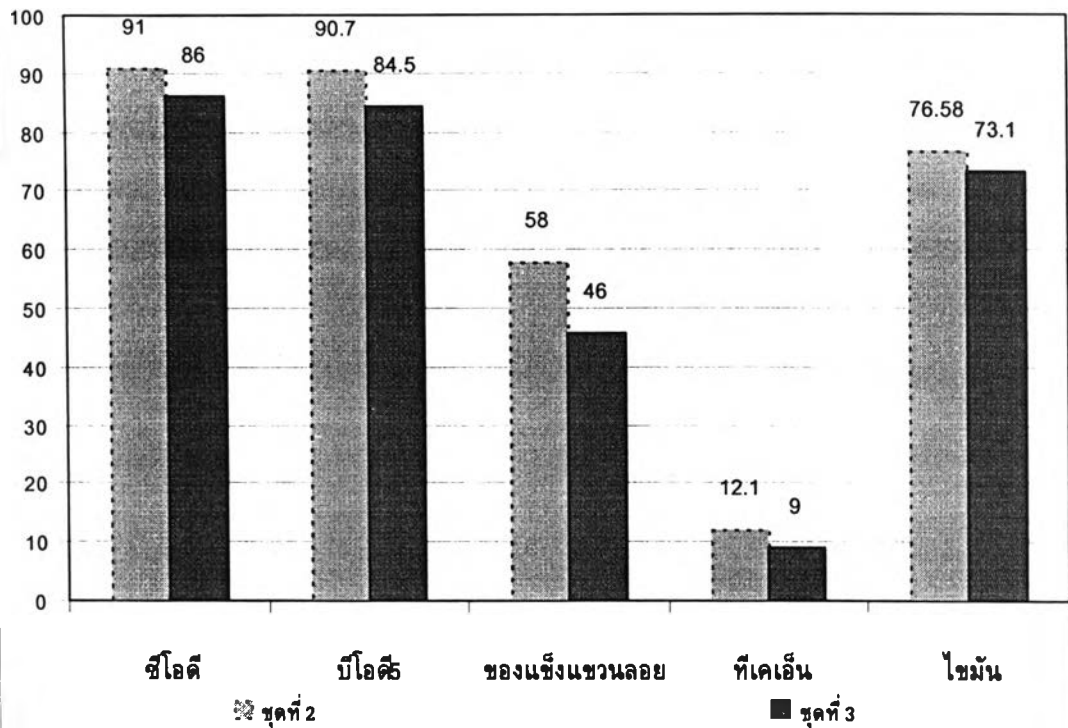
6) ผลของธาตุอาหารเสริมต่อประสิทธิภาพของแบคทีเรียคัตสายพันธุ์

จุลินทรีย์ในระบบไร้ออกซิเจนโดยทั่วไปนอกจากต้องการอาหาร C:N:P แล้ว ยังต้องการธาตุอาหารเสริมอีกเล็กน้อย แต่ขาดไม่ได้ คือ เหล็ก นิกเกิล โคบอลต์ กำมะถัน (ในรูปซัลไฟด์) เพราะฉะนั้นการเติมเหล็กในแบคทีเรียคัตสายพันธุ์ซึ่งมาจากทะเล จัดอยู่ในกลุ่มเดียวกับพวก Heterotrophic Marine bacteria เป็นพวกที่มีความต้องการเหล็กสูงเพื่อกระตุ้นการทำงาน และนอกจากนี้เหล็กที่เหลือไปทำหน้าที่เป็นโคเอนไซม์ให้จุลินทรีย์หลักในระบบทำงานได้ดีขึ้น พบว่าเปอร์เซ็นต์มีเทนสูงกว่าระบบที่ไม่เติมแบคทีเรียคัตสายพันธุ์ จากการทดลองสามารถแสดงดังรูปที่ 4-16 พบว่า ชุดที่ 2 มีประสิทธิภาพในระบบโดยรวมดีกว่าชุดที่ 3 ที่ไม่เติมเหล็ก

7) ค่าที่เคเอ็นและประสิทธิภาพการกำจัด

ค่าที่เคเอ็นและประสิทธิภาพการกำจัดที่เคเอ็นในทุกการทดลองมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากในระบบ ซึ่งกล่าวว่า ระบบยูเอเอสบีไม่สามารถกำจัดไนโตรเจนได้ ค่าที่ลดลงเป็นการนำไปใช้ในการสร้างเซลล์ แสดงค่าที่เคเอ็นไนโตรเจนและประสิทธิภาพการกำจัดดังตารางที่ 4-6

ประสิทธิภาพการกำจัด (%)



รูปที่ 4-16 ประสิทธิภาพของระบบในการกำจัดซีไอดี บีไอดี, ของแข็งแขวนลอย ทีเคเอ็น และไนมัน เปรียบเทียบชุดที่ 2 และชุดที่ 3 ในสภาวะคงตัวที่เปอร์เซ็นต์ไหล 50

ตารางที่ 4-6 ค่าทีเคเอ็นไนโตรเจนและประสิทธิภาพการกำจัดของทุกการทดลองในช่วงที่ 1

การทดลองที่	น้ำออกจาก	ทีเคเอ็น (มก./ล. as N)		ประสิทธิภาพการกำจัด ทีเคเอ็น(%)	
		ช่วงพิสัย	P50	ช่วงพิสัย	P50
1	ชุดที่ 1	522-723	639	2.2-7.9	6.0
	ชุดที่ 2	496-689	622	5.2-12.2	9.7
2	ชุดที่ 1	485-735	586	2.4-9.1	7.3
	ชุดที่ 2	455-689	543	8.5-15.8	12.1
	ชุดที่ 3	473-718	556	4.6-13.8	9.0

* ค่าที่แสดงเป็นค่าพิสัยช่วงค่าต่ำสุด-ค่าสูงสุด และค่าเปอร์เซ็นต์ไหล 50 ในสภาวะคงตัวของระบบ

ผลของพารามิเตอร์ที่ใช้ควบคุมระบบ

- พีเอช สภาพต่างและกรดไขมันระเหย

ค่าพีเอชมีบทบาทต่อการควบคุมระบบ โดยจะต้องให้มีการควบคุมพีเอชให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสม ค่าพีเอชที่เปลี่ยนแปลงหมายถึงความเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในระบบซึ่งจะมีความสัมพันธ์กับสภาพต่างในระบบ การทดลองสรุปค่าพีเอชและสภาพต่างมีค่าเฉลี่ยตลอดการทดลอง ดังรูปที่ 4-17

ตารางที่ 4-7 สภาพต่างที่เกิดขึ้นของการทดลองในช่วงที่ 1

ชุดที่	สภาพต่าง (มก./ล.as CaCO ₃)*		
	น้ำเสีย	น้ำออก	สภาพต่างที่เพิ่มขึ้น
1	1587	1789	202
2	1587	1950	363

* ค่าที่แสดงเป็นค่าในสภาวะคงตัวที่เปอร์เซ็นต์ไทล์ 50

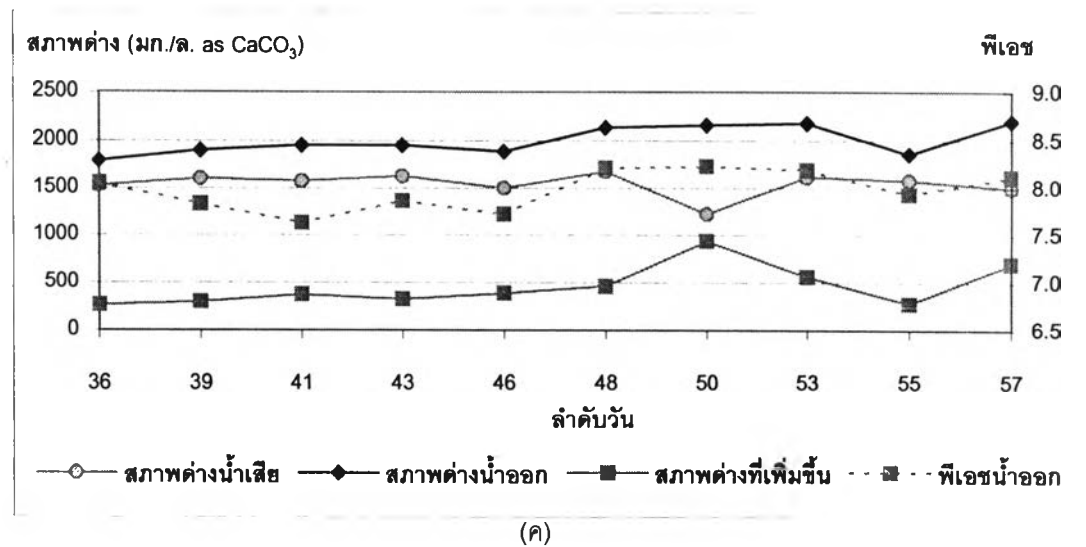
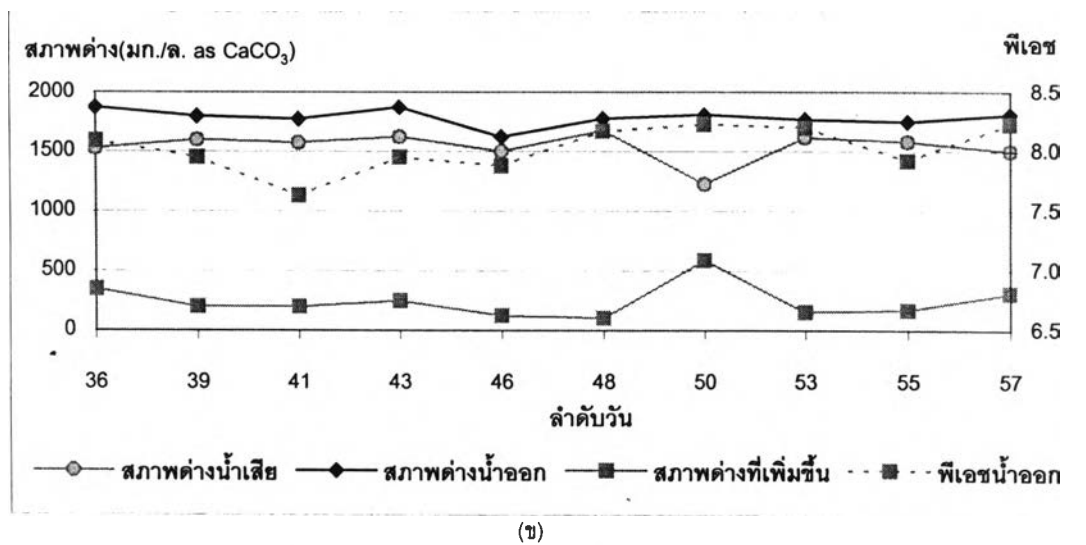
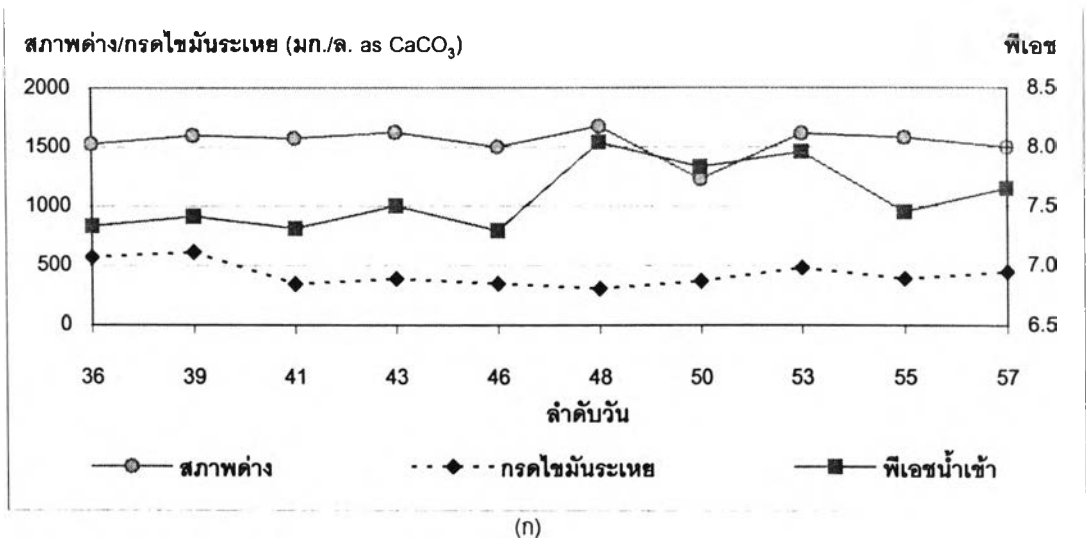
จากค่าพีเอชในตารางที่ 4-7 พบว่าพีเอชของน้ำออกจากทุกชุดการทดลองเพิ่มขึ้น เพราะเกิดสภาพต่างในระบบจากการทำปฏิกิริยาระหว่างแอมโมเนียกับคาร์บอนไดออกไซด์ เกิดเป็นแอมโมเนียไบคาร์บอเนต จากการศึกษาของ ลินีสุข, 2544 พบว่า แอมโมเนีย 1 กรัม ให้สภาพต่างไบคาร์บอเนต 3.6 กรัม จากการทดลองสภาพต่างเพิ่มขึ้นแตกต่างกันทั้ง 2 ชุด ดังนี้ สภาพต่างที่เพิ่มขึ้นในสภาวะคงตัวที่เปอร์เซ็นต์ไทล์ 50 เท่ากับ 202 และ 363 มก./ล.as CaCO₃ สำหรับชุดที่ 1 และ ชุดที่ 2 ตามลำดับ ทั้งนี้เพราะการเกิดปฏิกิริยาต้องมีสมดุลระหว่างแอมโมเนียกับคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นในระบบ

- อุณหภูมิ และไออาร์พี

ค่าอุณหภูมิของน้ำออกทุกชุดการทดลองในช่วงที่ 1 นี้ค่อนข้างจะคงที่ตลอดการทดลอง อุณหภูมิอยู่ในช่วง 30 – 33 องศาเซลเซียส ซึ่งไม่แตกต่างกันมากเป็นช่วงที่อุณหภูมิแบบมีโซฟิลิค (ช่วง 20-45 องศาเซลเซียส) แบคทีเรียสามารถทำงานอยู่ได้แต่ไม่ใช่ช่วงที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาที่ดีที่สุดแบบเทอร์โมฟิลิค แสดงอุณหภูมิตลอดการทดลองได้ดังรูปที่ 4-18

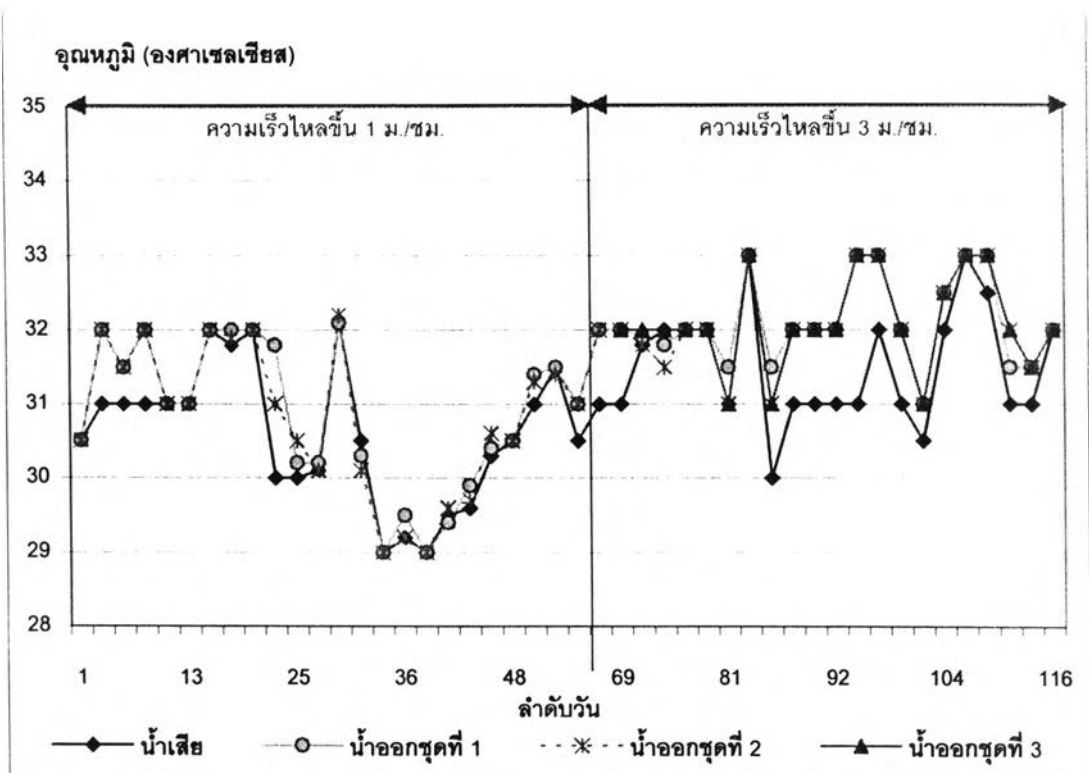
ส่วนค่าไออาร์พีในน้ำเสียและน้ำออกในทุกชุดการทดลองนั้นมีค่าเป็นลบ โดยเฉลี่ยอยู่ในช่วงค่า -350 ถึง -250 แสดงให้เห็นว่าเกิดกระบวนการแบบไร้ออกซิเจน ในถึงปฏิกิริยาแสดงค่าไออาร์พีตลอดการทดลองดังรูปที่ 4-19

ค่าอุณหภูมิและค่าไออาร์พีสามารถแสดงได้ตารางที่ 4-9

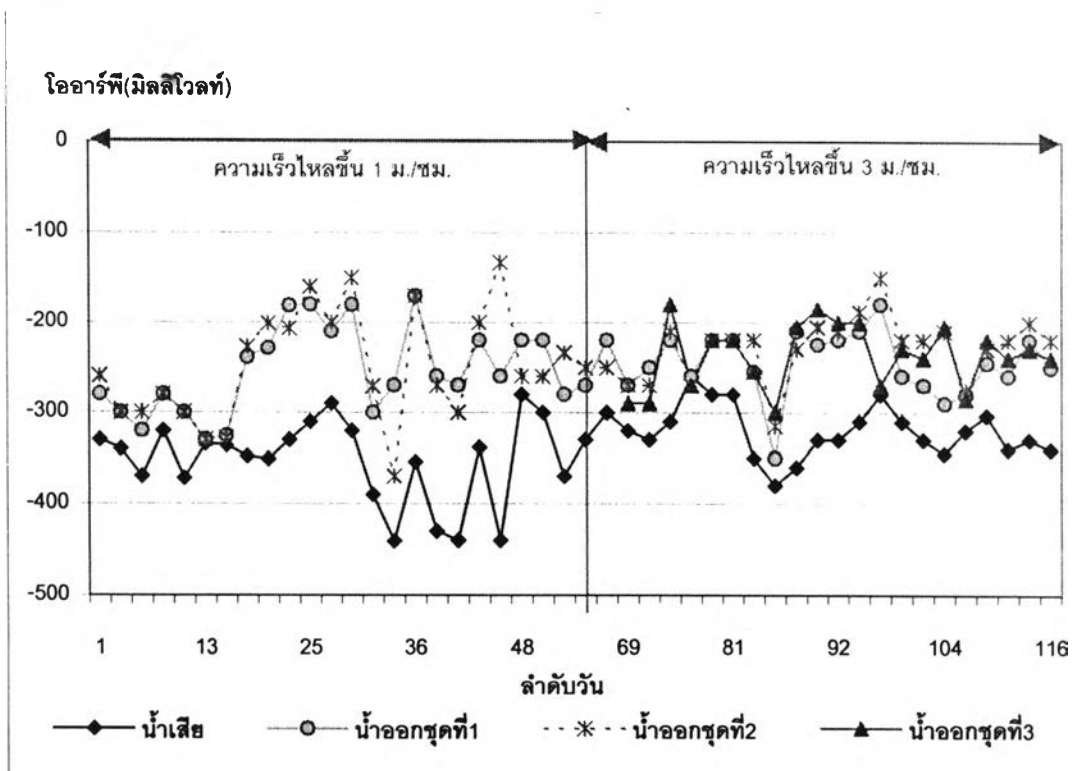


รูปที่ 4-17 ความสัมพันธ์ของค่าสภาพต่าง กรดไขมันระเหย และพีเอช ในสภาวะคงตัว

- (ก) ความสัมพันธ์ของสภาพต่าง กรดไขมันระเหย และพีเอช ของน้ำเสียเข้าระบบ
- (ข) ความสัมพันธ์ของสภาพต่าง และพีเอช ของน้ำออกชุดที่ 1
- (ค) ความสัมพันธ์ของสภาพต่าง และพีเอช ของน้ำออกชุดที่ 2



รูปที่ 4-18 ค่าอุณหภูมิของทุกชุดการทดลองช่วงที่ 1



รูปที่ 4-19 ค่าไออาร์พีของทุกชุดการทดลองช่วงที่ 1

ตารางที่ 4-8 ค่าอุณหภูมิและโออาร์พี ตลอดการทดลองช่วงที่ 1

การทดลองที่	น้ำออกจาก	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)		โออาร์พี (มิลลิโวลท์)	
		ช่วงพิสัย	P50	ช่วงพิสัย	P50
1	ชุดที่ 1	29.0-32.0	30.4	-280 -170	-260
	ชุดที่ 2	29.0-32.0	30.5	-370-133	-250
2	ชุดที่ 1	31.0-33.0	32.0	-290-180	-250
	ชุดที่ 2	31.0-33.0	32.0	-275-150	-220
	ชุดที่ 3	31.0-33.0	32.0	-285-200	-230

* ค่าที่แสดงเป็นค่าพิสัยช่วงค่าต่ำสุด-ค่าสูงสุด และค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ 50 ในสภาวะคงตัวของระบบ

จากตารางที่ 4-8 พบว่าทั้งค่าอุณหภูมิในทุกชุดการทดลองตลอดช่วงที่ 1 มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วงที่แคบ ไม่มีผลต่อการทำงานของแบคทีเรียในระบบ และค่าโออาร์พีที่แสดงสภาพการบำบัดแบบไร้ออกซิเจนตลอดช่วงการทดลอง

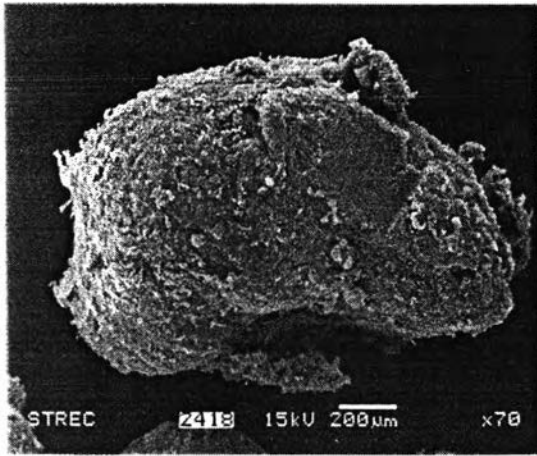
เม็ดตะกอนจุลินทรีย์

เม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่ใช้ในการทดลองเริ่มต้นมีขนาด 1 - 3 มม. ลักษณะการรวมตัวเป็นรูปทรงค่อนข้างกลมสมบูรณ์และมีสีดำเข้ม จากการตรวจสอบลักษณะของเม็ดตะกอน ในสภาวะคงตัวแล้วของการทดลองระดับห้องปฏิบัติการในถังปฏิกรณ์ยูเอเอสปีชุดที่ 1 ชุดที่ 2 และชุดที่ 3 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscopy, SEM) ดังแสดงในรูปที่ 4-20, 4-21 และ 4-22 ตามลำดับ พบว่า

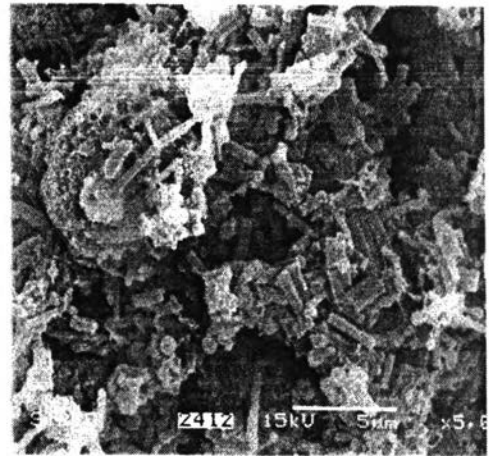
- โครงสร้างภายนอกและบริเวณผิวชั้นนอก

โครงสร้างภายนอกของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ รูปทรงของเม็ดตะกอนชุดที่ 1 มีลักษณะเปลี่ยนแปลงไปจากสภาพเดิมอย่างชัดเจน รูปร่างเป็นทรงรี ส่วนในชุดที่ 2 และ 3 ไม่แตกต่างกันมากนัก เนื่องจากยังมีรูปทรงค่อนข้างกลมเหมือนเริ่มต้นการทดลอง

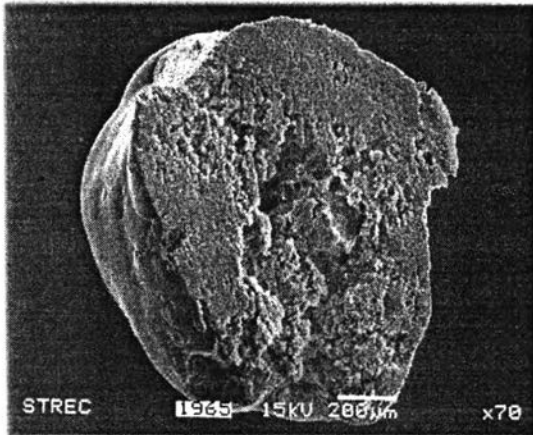
ต้นฉบับ หน้าขาดหาย



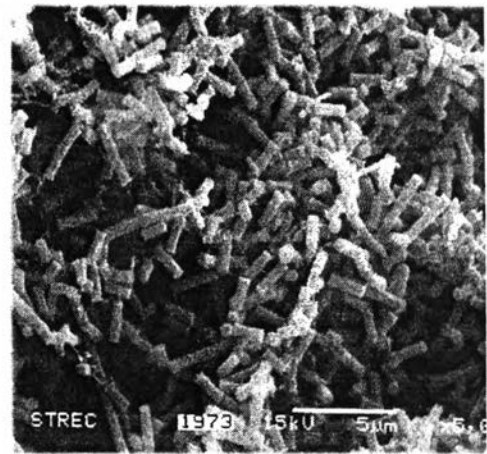
(น)



(ข)



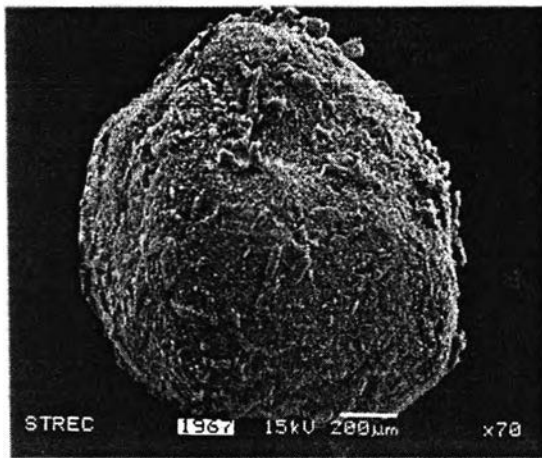
(ค)



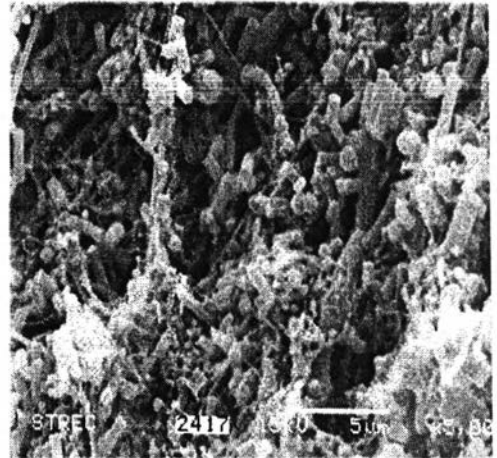
(ง)

รูปที่ 4-20 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์ อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscopy, SEM) ของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในถังยูเอสบีแบบไม่เติมแบคทีเรียคัดสายพันธุ์หลังจากเดินระบบประมาณ 5 เดือน

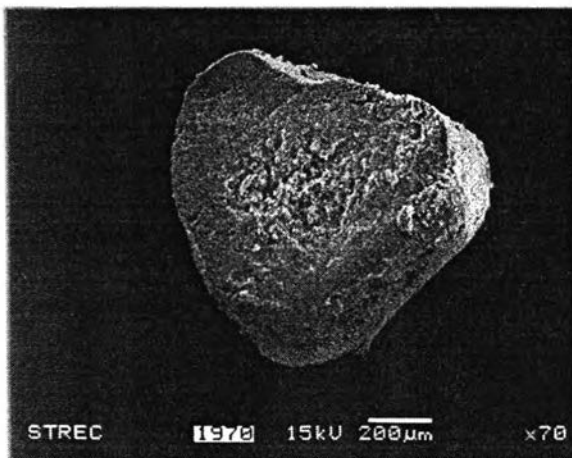
- (ก) บริเวณผิวนอกของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่กำลังขยาย 70 เท่า
- (ข) บริเวณผิวนอกของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า
- (ค) บริเวณภายในของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่กำลังขยาย 70 เท่า
- (ง) บริเวณภายในของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า



(น)



(ข)



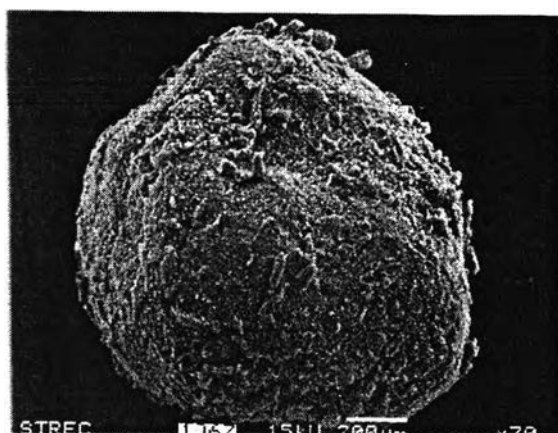
(ค)



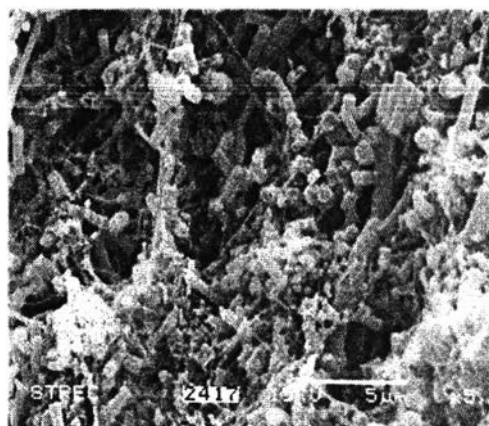
(ง)

รูปที่ 4-21 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscopy, SEM) ของเมื่อดตะกอนจุลินทรีย์ในถังปฏิกรณ์ยูเอเอสแบบเติมแบบที่เรียกดัดสายพันธุ์ที่มีธาตุอาหารเสริม(เหล็ก)หลังจากเดินระบบประมาณ 5 เดือน

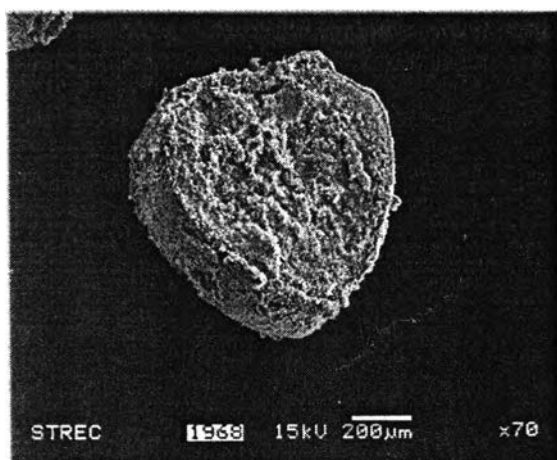
- (ก) บริเวณผิวนอกของเมื่อดตะกอนจุลินทรีย์ที่กำลังขยาย 70 เท่า
- (ข) บริเวณผิวนอกของเมื่อดตะกอนจุลินทรีย์ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า
- (ค) บริเวณภายในของเมื่อดตะกอนจุลินทรีย์ที่กำลังขยาย 70 เท่า
- (ง) บริเวณภายในของเมื่อดตะกอนจุลินทรีย์ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า



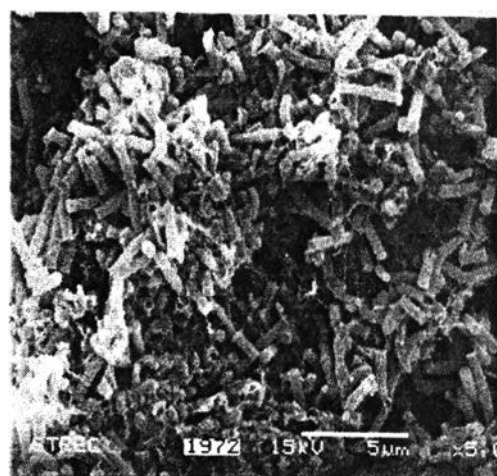
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ 4-22 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscopy, SEM) ของเมื่อดตะกอนจุลินทรีย์ในถังปฏิกรณ์ยูเอเอสแบบเติมแบบที่เรียกคัสายพันธุ์ที่ไม่มีธาตุอาหารเสริมหลังจากเดินระบบประมาณ 5 เดือน

(ก) บริเวณผิวนอกของเมื่อดตะกอนจุลินทรีย์ที่กำลังขยาย 70 เท่า

(ข) บริเวณผิวนอกของเมื่อดตะกอนจุลินทรีย์ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า

(ค) บริเวณภายในของเมื่อดตะกอนจุลินทรีย์ที่กำลังขยาย 70 เท่า

(ง) บริเวณภายในของเมื่อดตะกอนจุลินทรีย์ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า

4.2.3 ผลของการเดินระบบระดับต้นแบบสาธิตนำร่อง กระบวนการ ยูเอเอสพี-แอนีอกซิก-แอโรบิก

การทดลองช่วงที่สองของงานวิจัย ใช้กระบวนการยูเอเอสพี-แอนีอกซิก-แอโรบิก เป็นการศึกษาในระดับต้นแบบสาธิตนำร่อง ติดตั้งและใช้น้ำเสียตลอดการทดลองจากองค์การ สะพานปลา จังหวัดสมุทรสาคร เดินระบบอย่างต่อเนื่องและเก็บตัวอย่างวิเคราะห์ผลพารามิเตอร์ ต่างๆ จำนวน 89 วัน เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์และไนโตรเจน โดยพิจารณา 2 ส่วน ส่วนที่ 1 ยูเอเอสพี เพื่อการกำจัดสารอินทรีย์เป็นหลัก และส่วนที่ 2 แอนีอกซิก-แอโรบิก เพื่อ มุ่งเน้นการกำจัดไนโตรเจนเป็นหลัก

ส่วนที่ 1 ระบบยูเอเอสพี

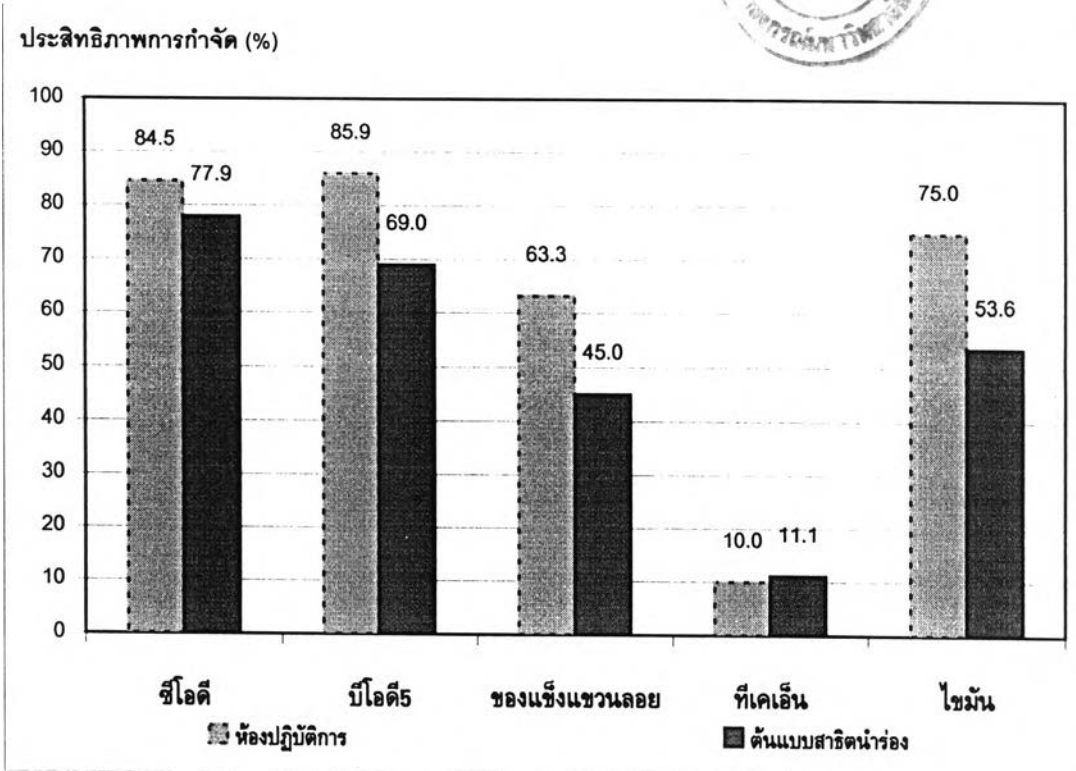
ส่วนยูเอเอสพีนี้เลือกใช้สภาวะที่เหมาะสมต่อการทำงานจากการทดลองช่วงที่ 1 ในระดับห้องปฏิบัติการ เพื่อศึกษาถึงประสิทธิภาพการนำไปใช้งานจริงในการเดินระบบอย่างต่อเนื่องในระยะยาว

ระบบยูเอเอสพีที่ใช้เป็นชุดที่ 2 ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

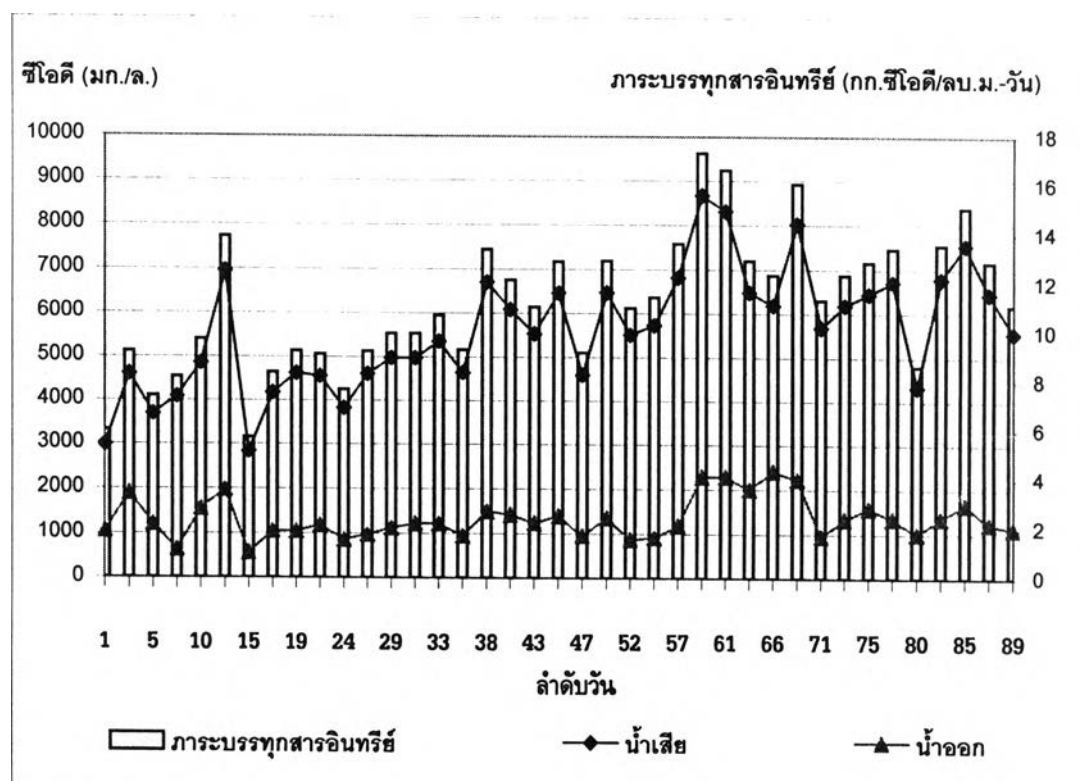
- นำแบคทีเรียที่ได้จากการคัดสายพันธุ์มาเติมประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ (โดย ปริมาตร) ให้ทำงานร่วมกับเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ทั่วไป โดยเติมครั้งเดียวในระยะเริ่มต้นระบบ แล้ว ทำการตรวจสอบประสิทธิภาพทางด้านพารามิเตอร์ต่างๆ ทางด้านน้ำเสีย นอกจากนี้มีการติดตาม ทางด้านจุลชีววิทยา โดยการตรวจสอบสภาพและปริมาณอย่างคร่าวๆในระบบ เพื่อดูแลแนวโน้ม

- กำหนดความเร็วไหลขั้นต่ำที่เท่ากับ 2 ม./ชม.ตลอดการทดลองจากการทดสอบ จากดูการขยายตัวของชั้นตะกอนประมาณ 100 เปอร์เซ็นต์ และระยะกระแทกจาก GSS เหลือ ประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์

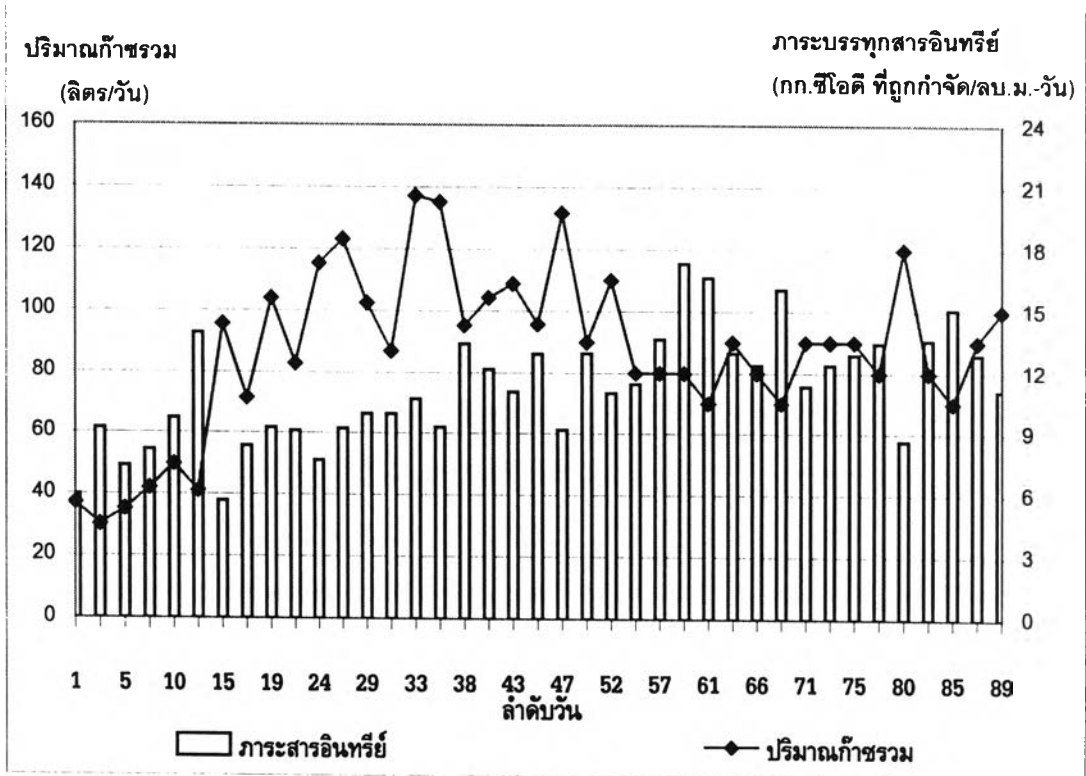
แสดงประสิทธิภาพการทำงานของระบบดังรูปที่ 4-23 ซึ่งเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบยูเอเอสพีชุดต้นแบบสาธิตนำร่องกับการทดลองที่ 1 ในระดับห้องปฏิบัติการเพื่อ พิจารณาประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ในระบบ จากรูปที่ 4-23 พบว่า ระบบยูเอเอสพีระดับ ต้นแบบสาธิตนำร่อง มีประสิทธิภาพการบำบัดต่ำกว่าชุดยูเอเอสพีในระดับห้องปฏิบัติการเล็กน้อย แต่ระบบยูเอเอสพียังมีประสิทธิภาพการทำงานที่ดี สาเหตุที่ประสิทธิภาพโดยเฉลี่ยลดลงเพราะ สภาพน้ำเสียที่เปลี่ยนไป โดยเมื่อพิจารณาที่ค่าการบรทุกสารอินทรีย์เป็นหลัก พบว่า มีค่าการบรทุกสารอินทรีย์สูงขึ้นอยู่ในช่วง 8.6-15.1 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน มีผลทำให้ประสิทธิภาพการ กำจัดซีไอดีมีค่าอยู่ในช่วง 75.4-80.9 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นมีค่าอยู่ในช่วง 70-120 ลิตร/วัน มีส่วนประกอบของมีเทนเท่ากับ 56.0 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณก๊าซรวมที่เกิดขึ้น



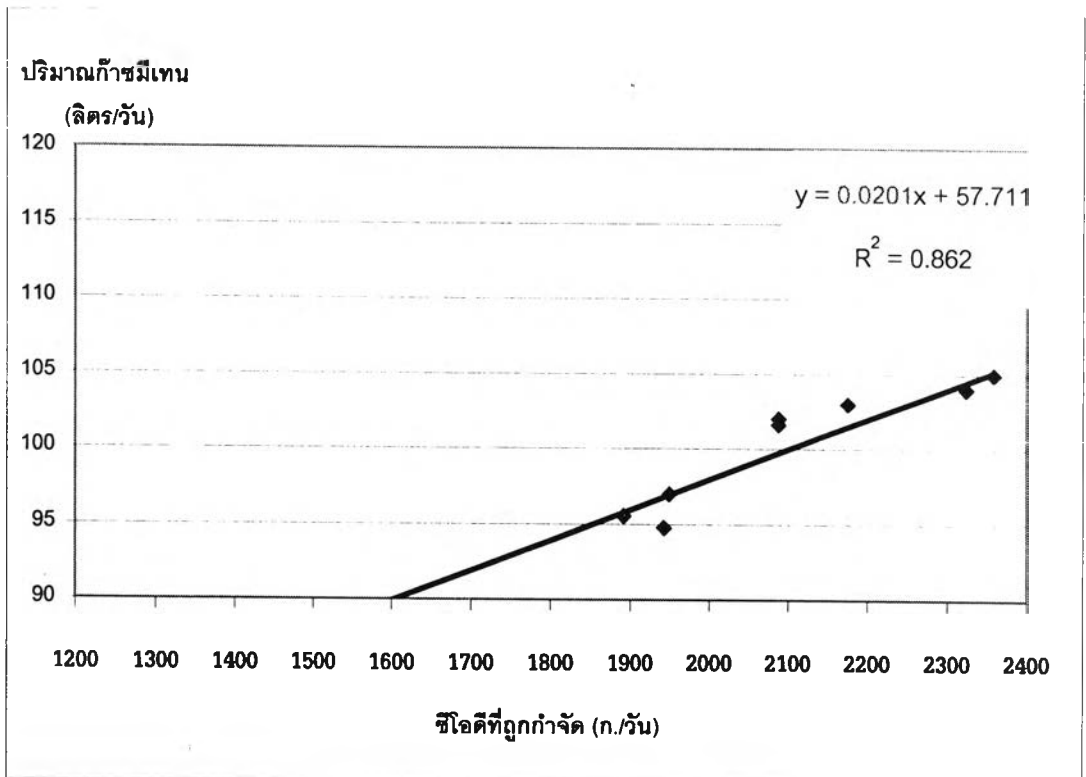
รูปที่ 4-23-1 ประสิทธิภาพของระบบในการกำจัดซีโอดี บีโอดี5 ของแข็งแขวนลอย ทีเคเอ็น และไขมัน เปรียบเทียบชุดที่ 2 การทดลองที่ 1 และ ต้นแบบสาธิตนำร่อง ในสภาวะคงตัว(P50)



รูปที่ 4-23-2 ค่าซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัด เทียบภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่เข้าระบบตลอดการทดลอง ของชุดต้นแบบสาธิตนำร่อง



รูปที่ 4-24-1 ปริมาณก๊าซรวมที่เกิดขึ้นต่อภาวะสารอินทรีย์ของระบบตลอดการทดลอง
ของชุดระดับต้นแบบสาธิตนําร่อง



รูปที่ 4-24-2 ปริมาณก๊าซมีเทนต่อซีโอติที่ถูกกำจัดของระบบช่วงสภาวะคงตัวของชุดต้นแบบสาธิตนําร่อง

ส่วนที่ 2 ระบบแอนีอกซิก-แอโรบิก

การทดลองช่วงนี้เป็นการศึกษาผลของการเวียนน้ำตะกอนจากส่วนแอโรบิกไปยังส่วนแอนีอกซิก ซึ่งเป็นการเวียนน้ำตะกอนเพื่อการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันที่สมบูรณ์ โดยได้แบ่งออกเป็น 2 การทดลอง ดังนี้ การทดลองที่ 1 อัตราการเวียนน้ำตะกอน 200 เปอร์เซ็นต์ และการทดลองที่ 2 อัตราการเวียนน้ำตะกอน 400 เปอร์เซ็นต์

การทดลองนี้ได้แบ่งน้ำเข้าระบบในส่วนยูเอเอสบีและส่วนแอนีอกซิก เท่ากับ 75 เปอร์เซ็นต์ ต่อ 25 เปอร์เซ็นต์ เพื่อเป็นการเพิ่มสารอินทรีย์คาร์บอนจากแหล่งน้ำเสียให้ส่วนแอนีอกซิก-แอโรบิกในการทำปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน ที่ต้องอาศัยอัตราส่วน C:NO_x-N ที่เพียงพอต่อการทำปฏิกิริยา (ณัฐพันธ์ กลิ่นเกษร, 2545)

1) สารอินทรีย์ (ซีไอดีและบีไอดี) และประสิทธิภาพการกำจัด

- ค่าซีไอดีและประสิทธิภาพการกำจัด

ค่าซีไอดีน้ำเข้า อยู่ในช่วง 2,670-4,190 มก./ล. ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ เท่ากับ 3.2 - 5.0 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน การกำจัดซีไอดีอาศัยแบคทีเรียกลุ่มเฮเทอร์โรโทรปซึ่งเป็นแบคทีเรียที่ใช้สารอินทรีย์คาร์บอนจากน้ำเสีย โดยมีตัวรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้ายในรูปออกซิเจนอิสระในระบบแอโรบิก และดึงออกซิเจนในรูปไนเตรตและไนไตรต์ในระบบแอนีอกซิก

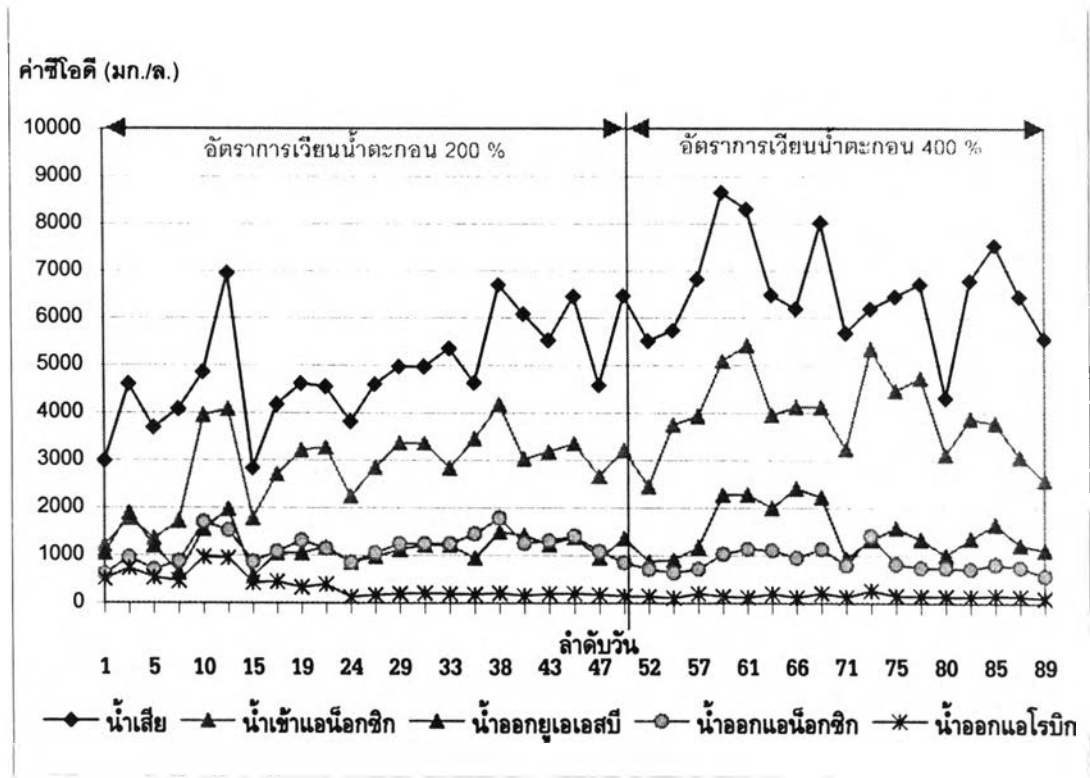
จากรูปที่ 4-25 พบว่า ช่วง 2 สัปดาห์แรกของการทดลอง น้ำออกยังมีค่าซีไอดีสูง เพราะสภาวะแวดล้อมยังไม่เหมาะสมต่อการทำงาน แต่หลังจากที่มีการปรับเครื่องเติมอากาศและเติมด่างโซเดียมไบคาร์บอเนตแล้ว น้ำออกจากส่วนนี้มีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 197.0 มก./ล. ประสิทธิภาพการกำจัดเท่ากับ 84.0 เปอร์เซ็นต์ และ 146.0 มก./ล. ประสิทธิภาพการกำจัดเท่ากับ 89.0 เปอร์เซ็นต์ สำหรับอัตราการเวียนน้ำ 200 เปอร์เซ็นต์ และ 400 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

จากการทดลอง พบว่า อัตราการเวียนน้ำตะกอน 200 เปอร์เซ็นต์ เพียงพอต่อการกำจัดซีไอดีในระบบ

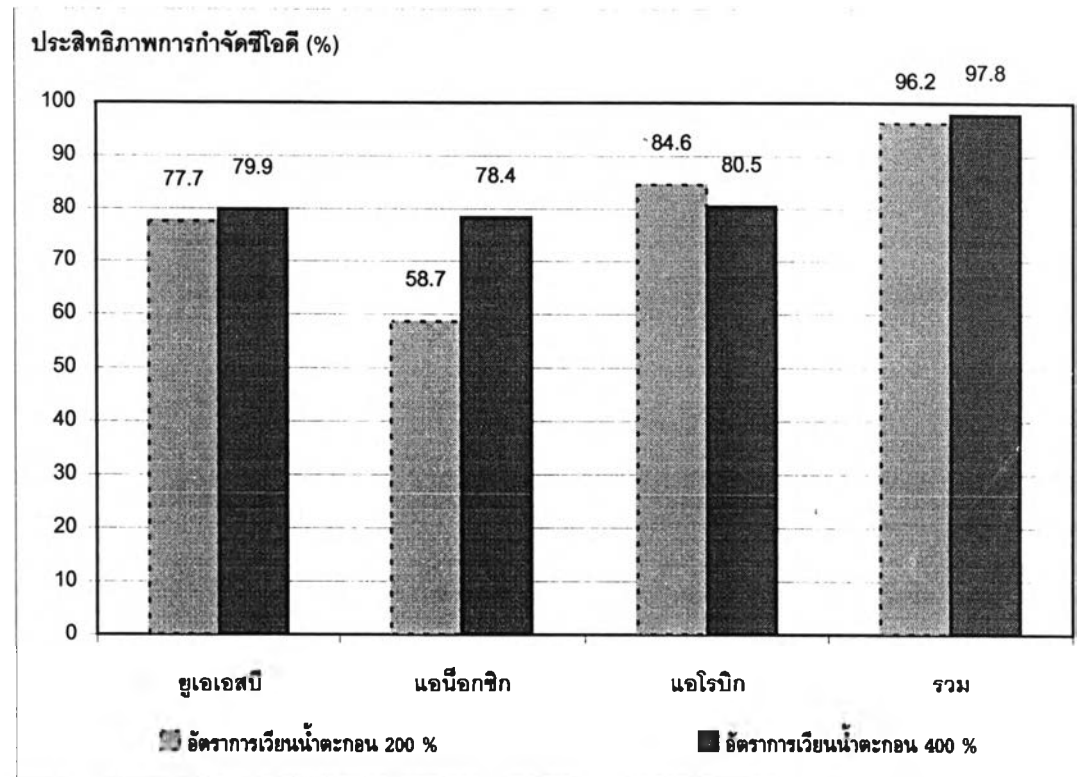
- ค่าบีไอดีและประสิทธิภาพการกำจัด

ค่าบีไอดีน้ำเข้าส่วนแอนีอกซิก-แอโรบิกอยู่ในช่วง 1,554-3,199 มก./ล. ระบบรับภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ เท่ากับ 1.8-3.8 กก.บีไอดี/ลบ.ม.-วัน แสดงค่าบีไอดีและประสิทธิภาพการกำจัดตลอดการทดลองดังรูปที่ 4-26 น้ำออกจากส่วนนี้มีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 158.0 มก./ล. ประสิทธิภาพการกำจัดเท่ากับ 92.0 เปอร์เซ็นต์ และ 118.0 มก./ล. ประสิทธิภาพการกำจัดเท่ากับ 95.0 เปอร์เซ็นต์ สำหรับอัตราการเวียนน้ำ 200 เปอร์เซ็นต์ และ 400 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

จากการทดลอง พบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดบีไอดีเป็นไปในทิศทางเดียวกับประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดี อัตราการเวียนน้ำตะกอน 200 เปอร์เซ็นต์ เพียงพอต่อการกำจัดบีไอดีในระบบ



(ก)

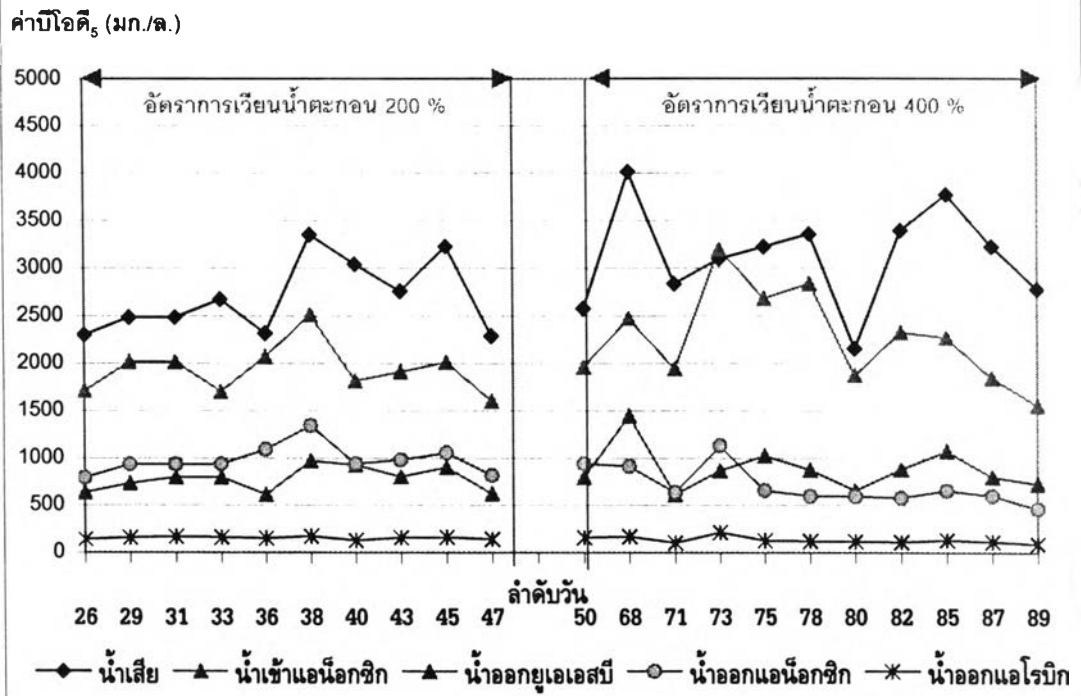


(ข)

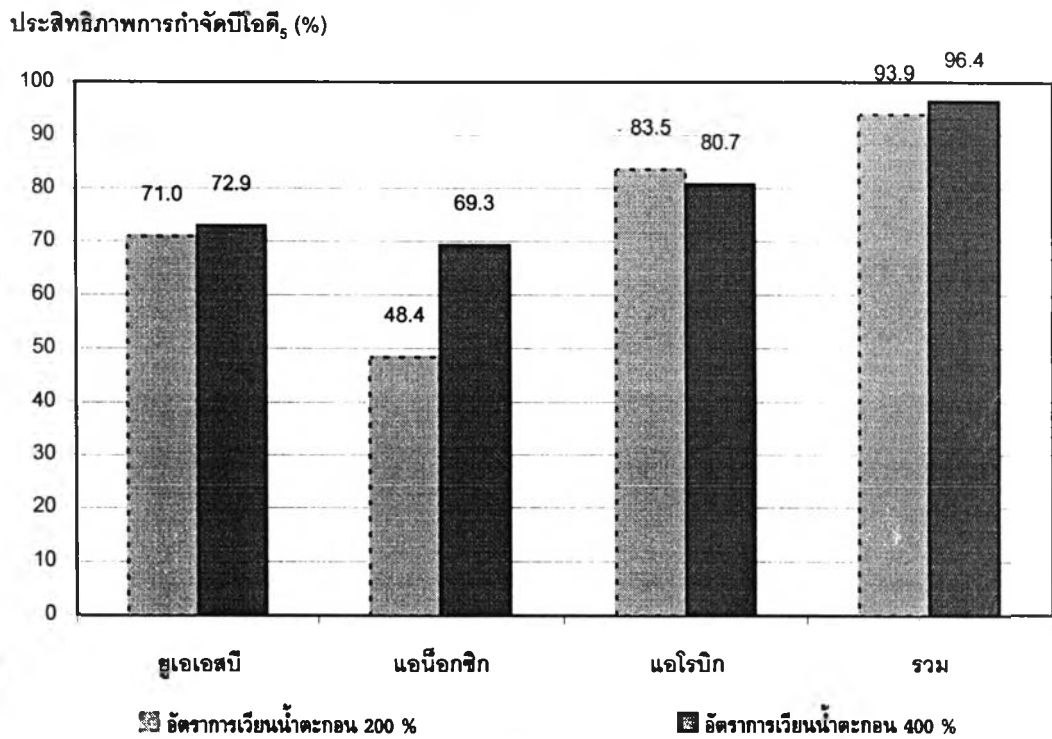
รูปที่ 4-25 ค่าซีไอดีตลอดการทดลองและประสิทธิภาพการกำจัดที่เปอร์เซ็นต์ไหล 50 ในสภาวะคงตัว

(ก) ค่าซีไอดี

(ข) ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีโดยเทียบค่าที่เข้าระบบแต่ละส่วน



(ก)



(ข)

รูปที่ 4-26 ค่าบีโอดี₅ตลอดการทดลองและประสิทธิภาพการกำจัดที่เปอร์เซ็นต์ไหล 50 ในสภาวะคงตัว

(ก) ค่าบีโอดี₅

(ข) ประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดี₅โดยเทียบค่าที่เข้าระบบแต่ละส่วน

2) ของแข็งแขวนลอยและประสิทธิภาพการกำจัด

ค่าของแข็งแขวนลอยของน้ำเสียเข้าระบบอยู่ในช่วง 216-560 มก./ล. ส่วนน้ำออก จากส่วนยูเอเอสบีในสภาวะคงตัว(P50)เท่ากับ 293 มก./ล. ประสิทธิภาพการกำจัด 40.4 เปอร์เซ็นต์ ส่วนน้ำออกจากส่วนแอนีอกซิก-แอโรบิก 56 มก./ล. ประสิทธิภาพการกำจัด 72.1 เปอร์เซ็นต์และประสิทธิภาพการกำจัดรวม 82.2 เปอร์เซ็นต์ สำหรับอัตราการเวียนน้ำตะกอน 200 เปอร์เซ็นต์

จากส่วนยูเอเอสบีในสภาวะคงตัว(P50)เท่ากับ 283 มก./ล. ประสิทธิภาพการกำจัด 45.7 เปอร์เซ็นต์ ส่วนน้ำออกจากส่วนแอนีอกซิก-แอโรบิก 43 มก./ล. ประสิทธิภาพการกำจัด 80.6 เปอร์เซ็นต์และประสิทธิภาพการกำจัดรวม 90 เปอร์เซ็นต์ สำหรับอัตราการเวียนน้ำตะกอน 400 เปอร์เซ็นต์ แสดงค่าของแข็งแขวนลอยและประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยตลอด การทดลองดังรูปที่ 4-27 พบว่า ประสิทธิภาพโดยรวมของการทดลองการทดลองที่ 2 มีประสิทธิภาพสูงกว่า ทั้งนี้เพราะผลของการหมุนเวียนน้ำตะกอนเพิ่มขึ้น เป็นการลดการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันในถังตกตะกอน ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้น้ำออกมีค่าของแข็งแขวนลอยสูงในอัตราการเวียนน้ำตะกอน 200 เปอร์เซ็นต์

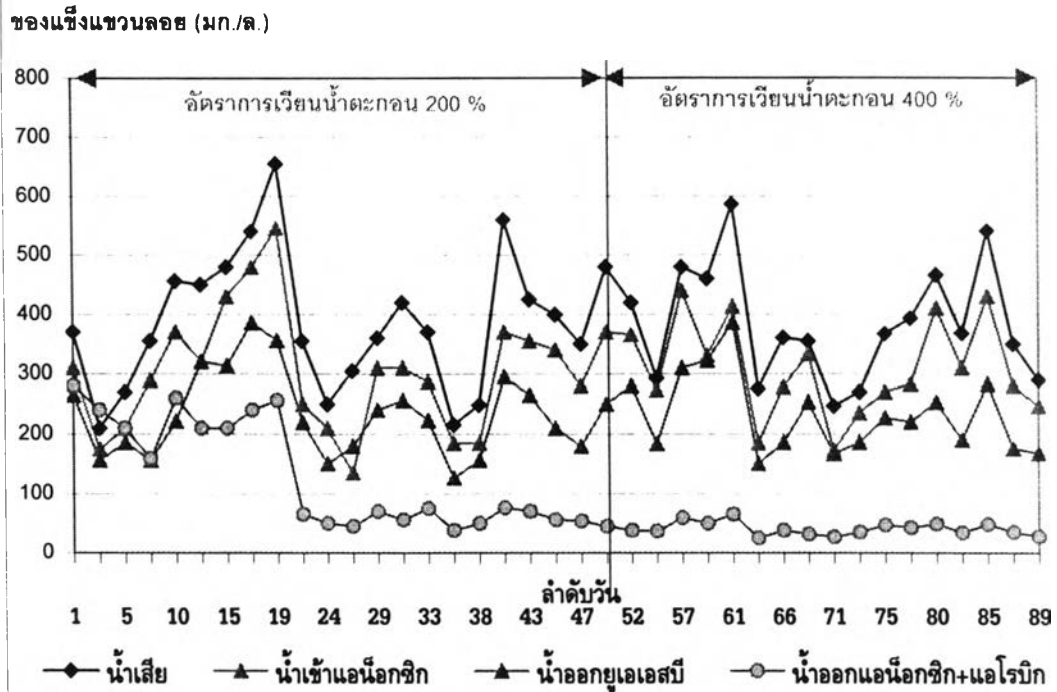
3) ไนโตรเจนและประสิทธิภาพการกำจัด

ส่วนแอนีอกซิก-แอโรบิก พิจารณาการกำจัดไนโตรเจนเป็นหลักโดยการทำให้เกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชันที่สมบูรณ์เพื่อการกำจัดไนโตรเจนออกจากระบบในรูปแบบก๊าซไนโตรเจนให้มากที่สุด โดยมีการศึกษาถึงการเวียนน้ำตะกอนจากส่วนแอโรบิกมายังส่วนแอนีอกซิกเพื่อเป็นการเวียนไนเตรต

- ปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน

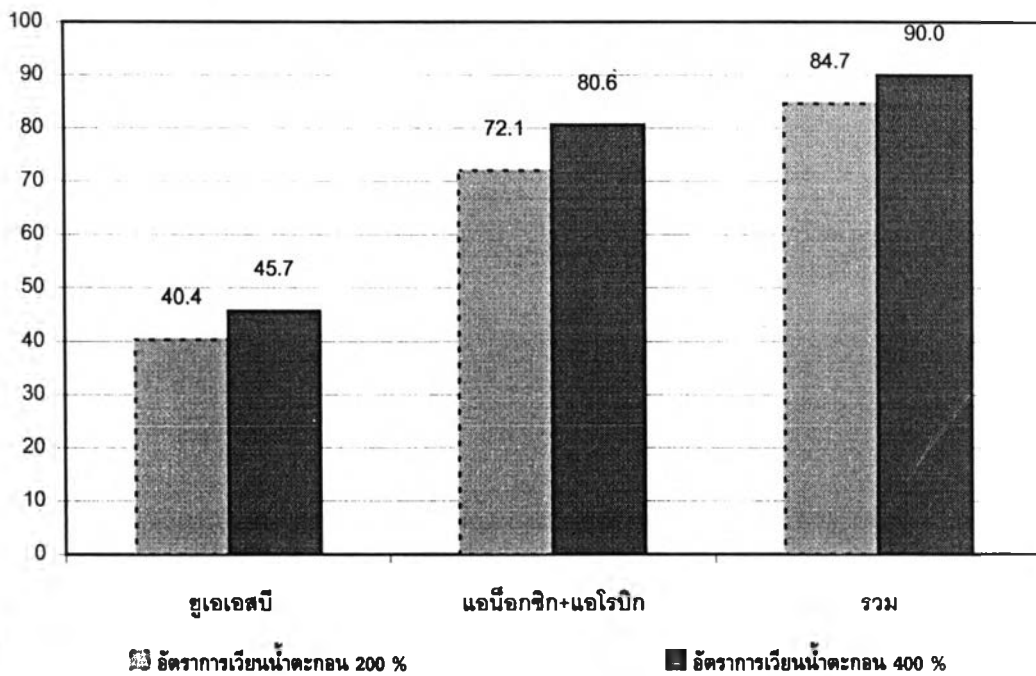
ปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันที่เกิดในส่วนแอโรบิก เป็นส่วนที่มีออกซิเจนอิสระเป็นตัวรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้ายและต้องมีสภาพต่างไปคาร์บอนเนตที่เพียงพอ ต่อการทำปฏิกิริยาของกลุ่มแบคทีเรียไนตริไฟเออร์ที่ส่วนใหญ่เป็นพวกออกโทโทรฟ ซึ่งเป็นแบคทีเรียที่ใช้คาร์บอนจากสารอนินทรีย์ในรูปแบบคาร์บอนไดออกไซด์และไบคาร์บอนเนต

จากการทดลองแสดงค่าที่เคเอ็นไนโตรเจน และไนโตรเจนทั้งหมดในแต่ละส่วนของระบบดังรูปที่ 4-28 และแสดงประสิทธิภาพการกำจัดที่เคเอ็นและไนโตรเจนทั้งหมดในแต่ละส่วนดังรูปที่ 4-29 เมื่อพิจารณารูปดังกล่าว พบว่า 2 สัปดาห์แรกของการทดลอง น้ำออกยังมีค่าที่เคเอ็นสูงเพราะสภาวะแวดล้อมยังไม่เหมาะสมต่อการทำงาน แต่หลังจากที่มีการปรับเครื่องเติมอากาศและเติมโซเดียมไบคาร์บอนเนตแล้ว น้ำออกจากส่วนนี้มีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 197.0 มก./ล. ประสิทธิภาพการกำจัดเท่ากับ 84.0 เปอร์เซ็นต์ และ 146.0 มก./ล. ประสิทธิภาพการกำจัดเท่ากับ 89.0 เปอร์เซ็นต์ สำหรับอัตราการเวียนน้ำ 200 เปอร์เซ็นต์ และ 400 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ



(ก)

ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอย (%)

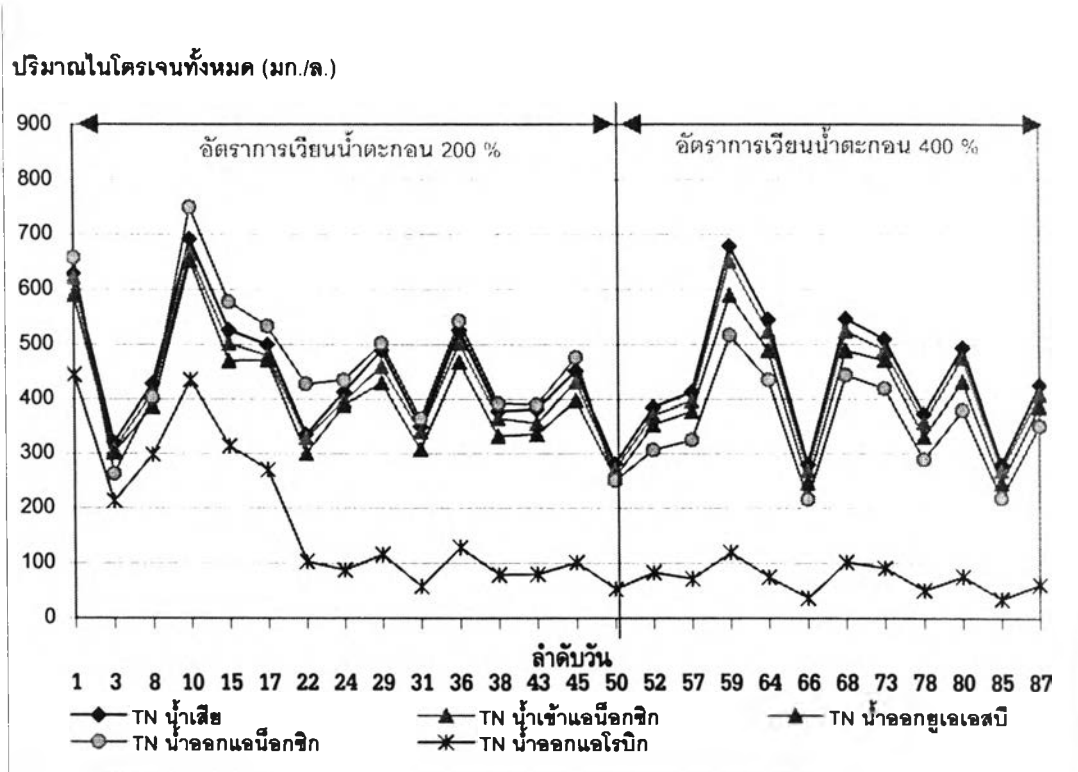


(ข)

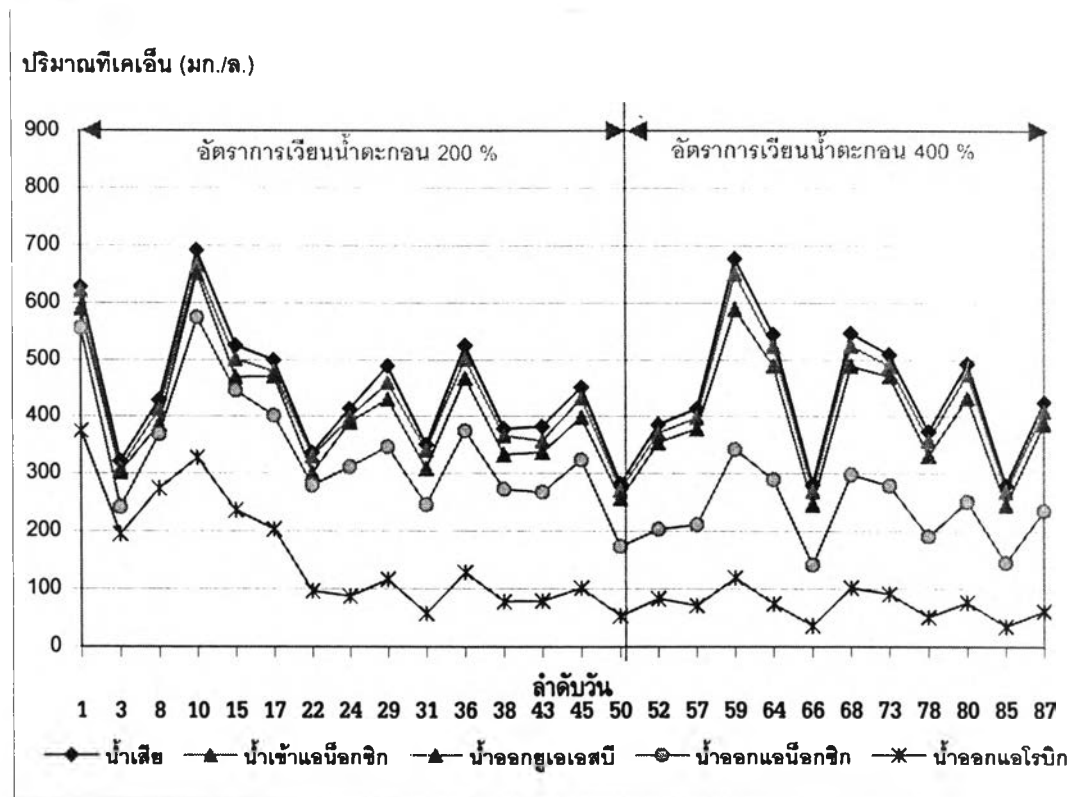
รูปที่ 4-27 ค่าของแข็งแขวนลอยตลอดการทดลองและประสิทธิภาพการกำจัดในสภาวะคงตัว (P50)

(ก) ค่าของแข็งแขวนลอย

(ข) ประสิทธิภาพการกำจัดโดยเทียบค่าที่เข้าระบบแต่ละส่วน

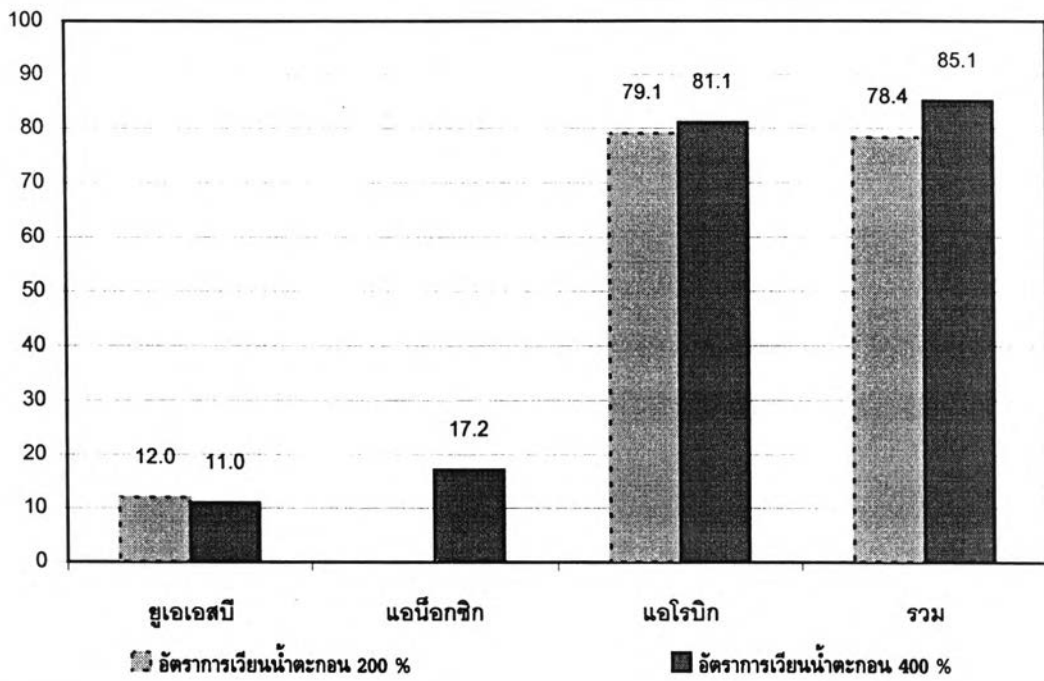


รูปที่ 4-28-1 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของระบบยูเอเอสบี-แอน็อกซิก-แอมโรบิก (ต้นแบบสาธิตน้ำร่อง)



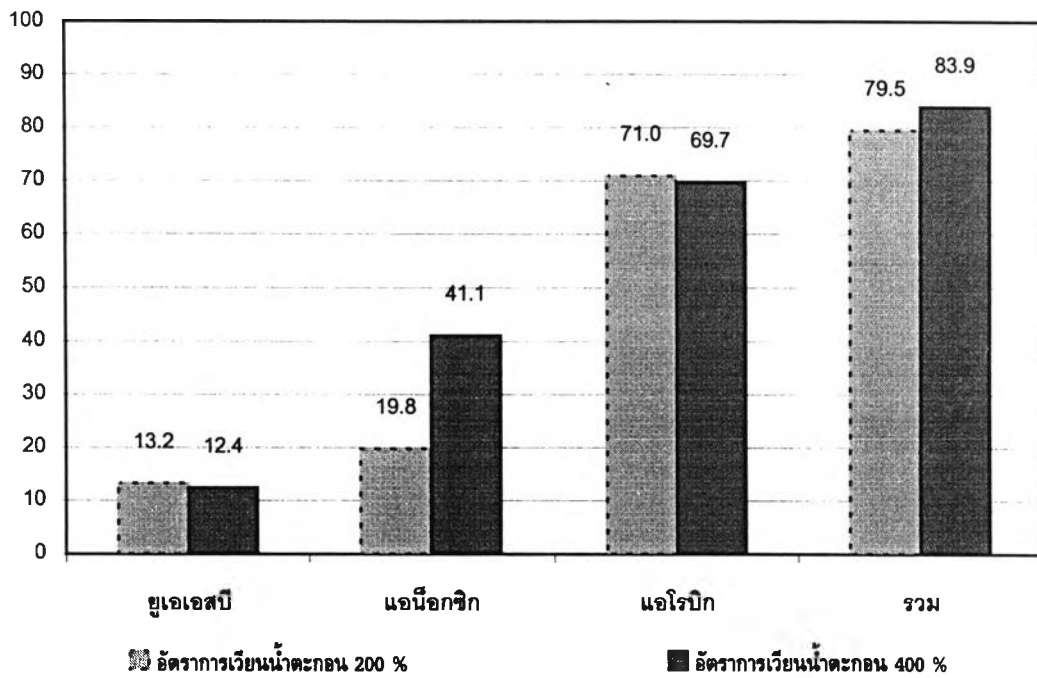
รูปที่ 4-28-2 ปริมาณทีเคเอ็นไนโตรเจนของระบบยูเอเอสบี-แอน็อกซิก-แอมโรบิก (ต้นแบบสาธิตน้ำร่อง)

ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนทั้งหมด (%)



(ก)

ประสิทธิภาพการกำจัดทีเคเอ็น (%)



(ข)

รูปที่ 4-29 ประสิทธิภาพการกำจัดที่เปอร์เซ็นต์ไทล์ 50 ในสภาวะคงตัวโดยเทียบค่าที่เข้าระบบแต่ละส่วน

(ก) ไนโตรเจนทั้งหมด

(ข) ทีเคเอ็น-ไนโตรเจน

จากสมมูลมวลของไนโตรเจนในระบบ นำมาหา % ไนตริฟิเคชันของระบบได้ดัง
สมการนี้

$$\% \text{ Nitrification} = (1 - (\text{TKNe} / (\text{TKNi} - \text{TKNcell}))) * 100$$

เมื่อพิจารณาการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันของระบบ คือ การคิดปริมาณที่เคเอ็นที่ถูกเปลี่ยนรูปเป็นไนเทรตและไนไตรต์ที่เหลือออกจากแสดงดังรูปที่ 4-30 พบว่า %ไนตริฟิเคชันที่เกิดขึ้นของระบบโดยเฉลี่ยสูงถึง 80 เปอร์เซ็นต์ ตลอดในช่วงสภาวะคงตัวของระบบ มีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยตามปริมาณไนโตรเจนที่เข้าระบบในแต่ละวัน และการเกิดปฏิกิริยาค่อนข้างสมบูรณ์เพราะค่าไนเทรตและไนไตรต์ในน้ำออกจากระบบมีค่าต่ำลงมาก

- ปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน

ปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันที่เกิดในส่วนแอน็อกซิก โดยดึงออกซิเจนในรูปไนเทรตและไนไตรต์เป็นตัวรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้าย กลุ่มแบคทีเรียส่วนใหญ่เป็นพวกเฮเทอโรโทรฟ ซึ่งเป็นแบคทีเรียที่ใช้คาร์บอนจากสารอินทรีย์ในน้ำเสีย

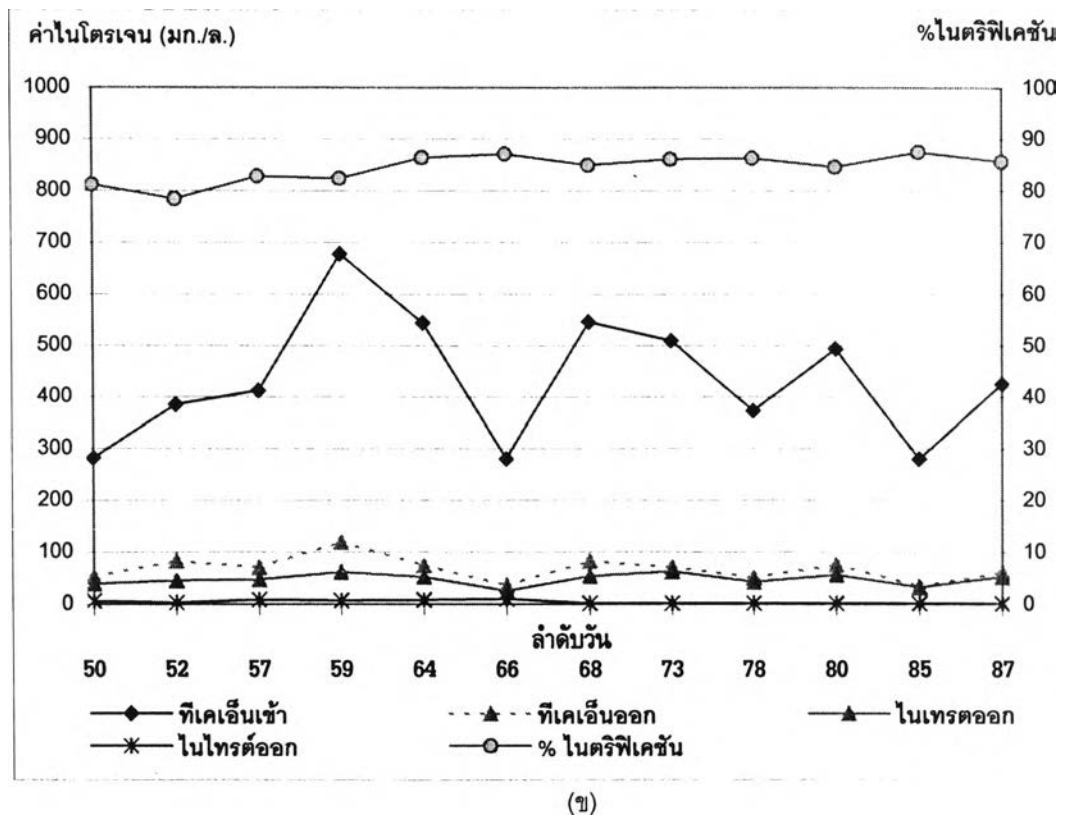
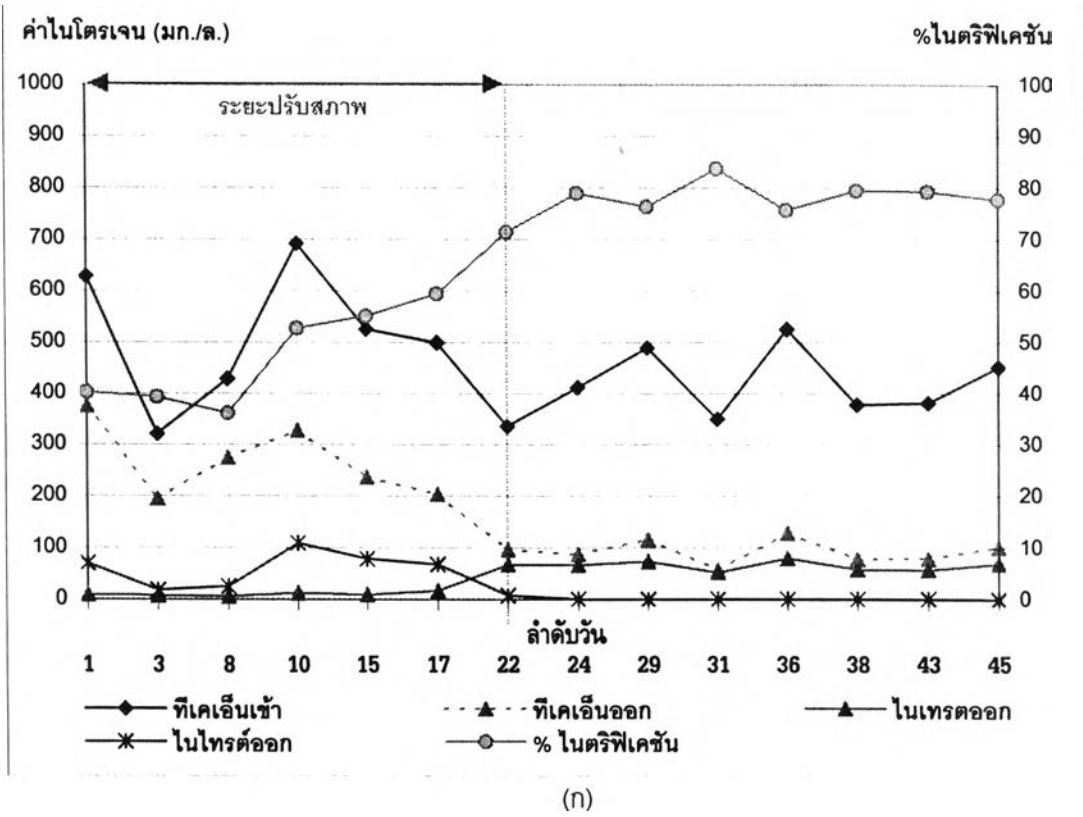
จากสมมูลมวลของไนโตรเจนในระบบ นำมาหา % ดีไนตริฟิเคชันของระบบได้ดัง
สมการนี้

$$\% \text{ Denitrification} = \text{N}_2\text{gas} / (\text{TNi} - \text{TNcell} - \text{TKNe}) * 100$$

$$\% \text{ Nitrogen removal} = 1 / (\text{TNe} / \text{TNi}) * 100$$

$$\text{COD}/\text{N}_2\text{gas} = (\text{CODi} - \text{CODe}) / \text{TNi} - \text{TNcell} - \text{TNe}$$

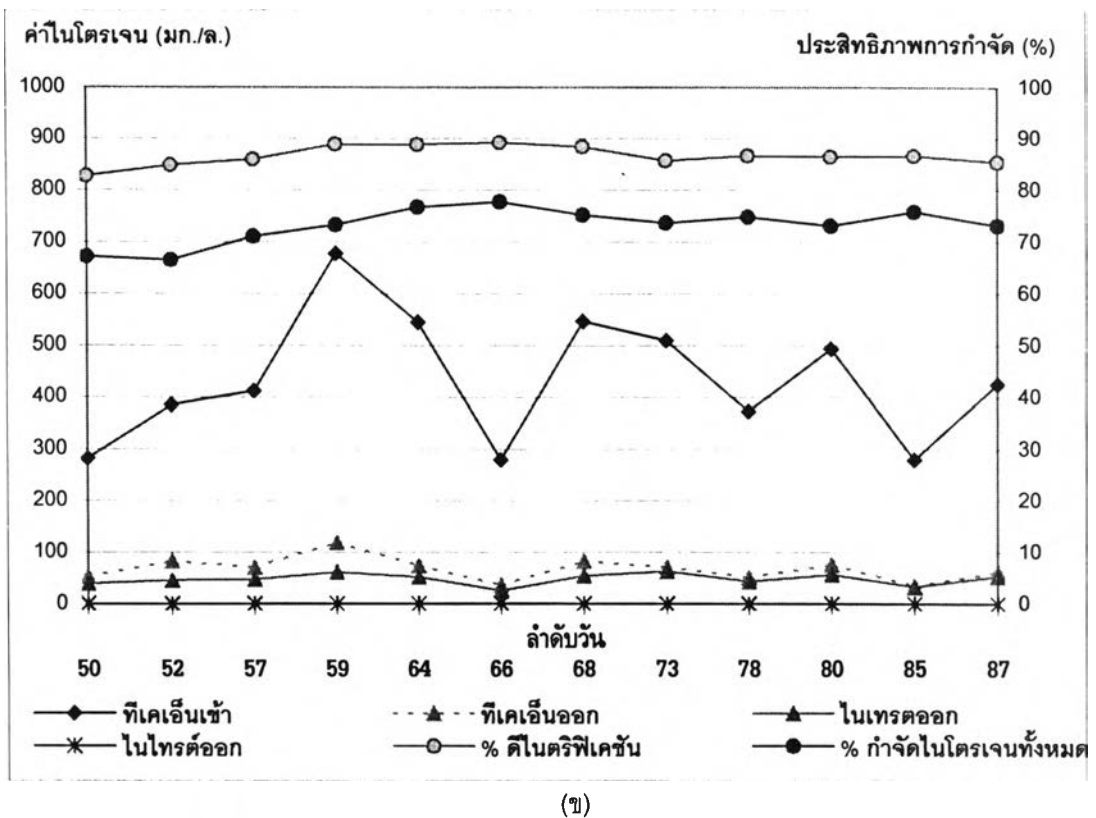
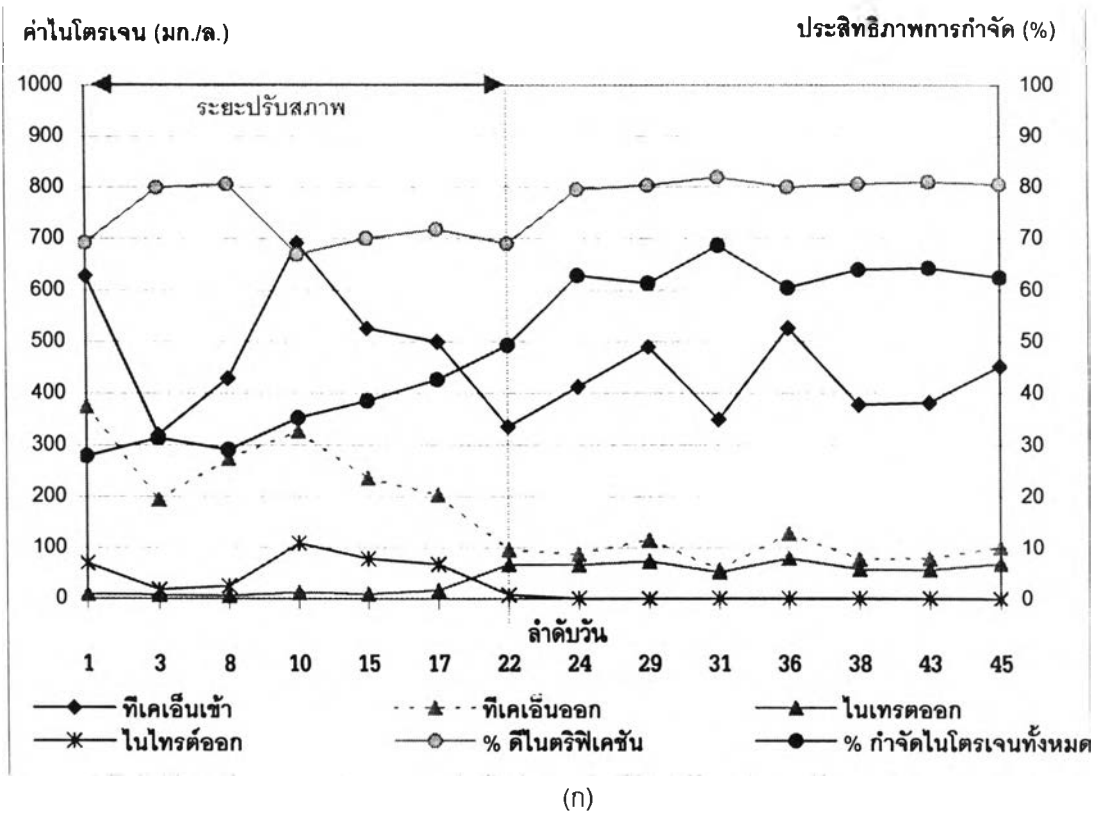
เมื่อพิจารณาการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันของระบบ คือ การคิดปริมาณไนโตรเจนที่หายไปจากระบบ โดยการพิจารณา % การกำจัดไนโตรเจนทั้งหมด % ดีไนตริฟิเคชันและปริมาณไนโตรเจนที่เหลือในรูปที่เคเอ็น ไนเทรตและไนไตรต์ที่ออกจากระบบ แสดงดังรูปที่ 4-31 พบว่า % ดีไนตริฟิเคชันที่เกิดขึ้นของระบบโดยเฉลี่ยสูงถึง 80 เปอร์เซ็นต์ ตลอดในช่วงสภาวะคงตัวของระบบ มีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยตามปริมาณไนโตรเจนที่เข้าระบบในแต่ละวัน และการเกิดปฏิกิริยาค่อนข้างสมบูรณ์เพราะค่าไนเทรตและไนไตรต์ในน้ำออกจากระบบมีค่าต่ำลงมาก แต่ปัจจัยที่สำคัญในการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน คือ อัตราส่วน C : NO_x-N ที่เพียงพอต่อการเกิดปฏิกิริยาแสดงดังรูปที่ 4-32



รูปที่ 4-30 ประสิทธิภาพปฏิกิริยาไนโตรฟิกเคชันของการทดลอง

(ก) อัตราการเวียน้ำตะกอน 200 เปอร์เซ็นต์

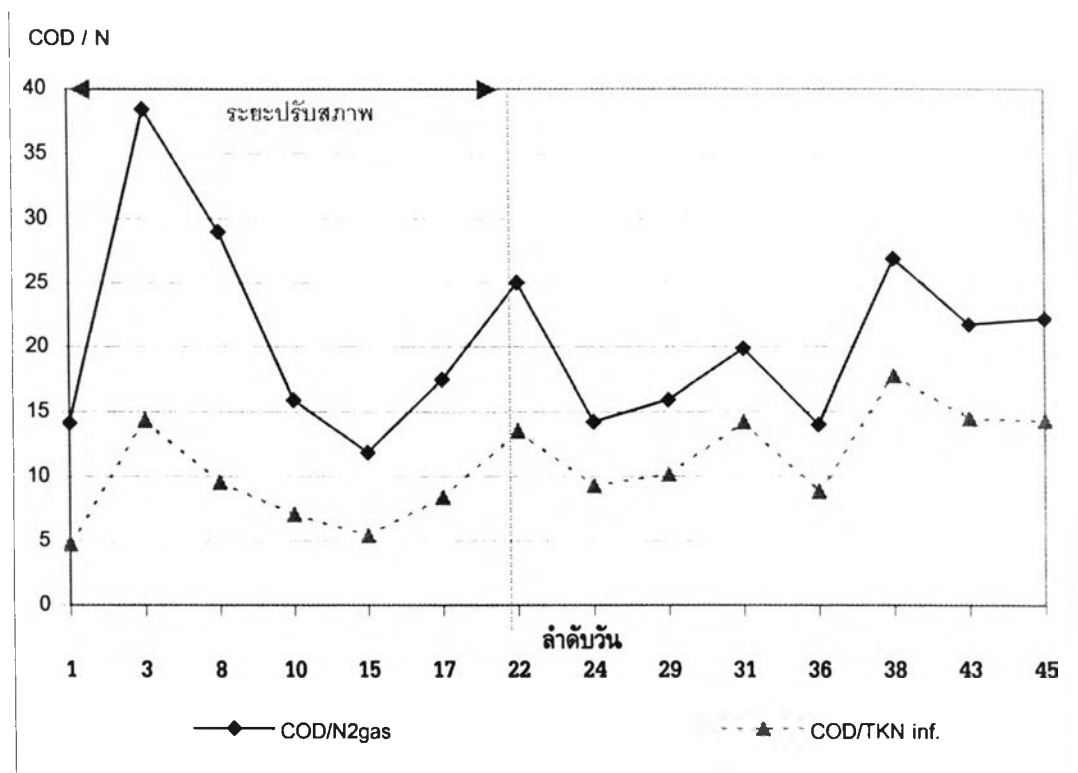
(ข) อัตราการเวียน้ำตะกอน 400 เปอร์เซ็นต์



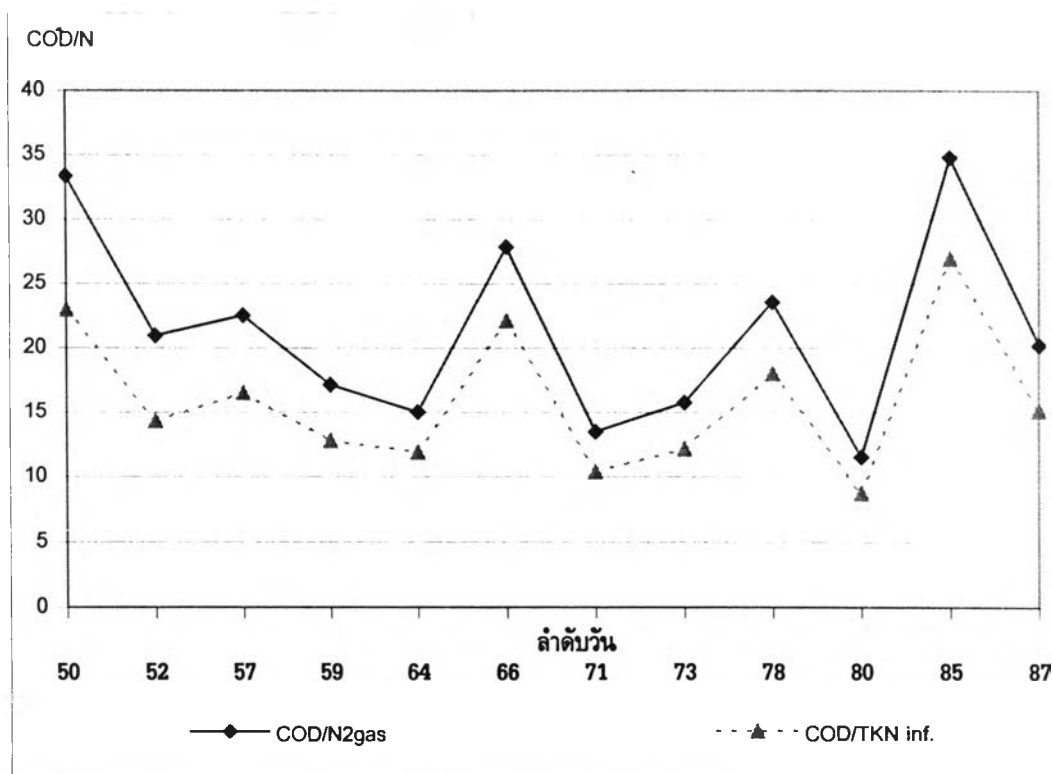
รูปที่ 4-31 ประสิทธิภาพปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันของการทดลอง

(ก) อัตราการเวียนน้ำตะกอน 200 เปอร์เซ็นต์

(ข) อัตราการเวียนน้ำตะกอน 400 เปอร์เซ็นต์



(ก)



(ข)

รูปที่ 4-32 อัตราคาร์บอนต่อไนโตรเจนในน้ำเสียเทียบอัตราคาร์บอนที่ถูกใช้ต่อการเกิดไนโตรเจนก๊าซของการทดลอง

(ก) อัตราการเวียนน้ำตะกอน 200 เปอร์เซ็นต์

(ข) อัตราการเวียนน้ำตะกอน 400 เปอร์เซ็นต์

จากรูปที่ 4-32 พบว่าอัตราส่วนซีโอดีต่อที่เคเอ็นในน้ำเสียไม่คงที่ในแต่ละวัน และมีค่าสูงโดยเฉลี่ยตลอดการทดลองมีอัตราส่วนซีโอดีต่อที่เคเอ็นในน้ำเสีย เท่ากับ 10 : 1 และเมื่อพิจารณาซีโอดีที่ถูกใช้ต่อไนโตรเจนก๊าซที่เกิดขึ้นพบว่า เป็นไปในทิศทางเดียวกันอย่างชัดเจน แต่โดยทั่วไปอัตราส่วนที่เพียงพอต่อการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันที่สมบูรณ์ มีค่าเท่ากับ 4:1 ถึง 6:1 ซึ่งต่ำกว่าการทดลอง ทั้งนี้เพราะรูปซีโอดีที่พิจารณาในการทดลองไม่ใช่แหล่งคาร์บอนที่แบคทีเรียสามารถนำไปใช้ได้ทั้งหมด

4) ไชมันและประสิทธิภาพการกำจัด

ปริมาณไขมันและน้ำมันของน้ำเสียที่เข้าระบบอยู่ในช่วง 212-270 มก./ล. ส่วนน้ำออกจากส่วนยูเอเอสบีในสภาวะคงตัว(P50) เท่ากับ 116.0 มก./ล. ประสิทธิภาพการกำจัดเท่ากับ 53.6 เปอร์เซ็นต์และน้ำออกจากส่วนแอน็อกซิก-แอโรบิกในสภาวะคงตัว(P50)เท่ากับ 8.74มก./ล. ประสิทธิภาพการกำจัด 92.4 เปอร์เซ็นต์ และประสิทธิภาพรวมเท่ากับ 96.5 เปอร์เซ็นต์

จากผลการทดลองพบว่าปริมาณไขมันและน้ำมันสามารถบำบัดด้วย กระบวนการยูเอเอสบี-แอน็อกซิก-แอโรบิกได้โดยที่ค่าน้ำออกต่ำกว่ากำหนดร่างมาตรฐานน้ำทิ้งสะพานปลา

พารามิเตอร์อื่น ๆ ที่ควบคุมการทำงานของระบบ

- ปริมาณออกซิเจนละลาย

ปริมาณออกซิเจนละลายบ่งบอกถึงปริมาณออกซิเจนที่มีในระบบ ซึ่งมีผลต่อทั้งปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชัน เพราะเป็นตัววัดอัตราการเกิดปฏิกิริยาที่ดีที่สุดทำได้ดีที่สุดกว่าไนเตรต ไนไตรต์ และ ซัลเฟต เป็นต้น เพราะให้พลังงานในการดำรงชีวิตแก่จุลินทรีย์สูง (ค่า ΔG ติดลบมาก) แสดงปริมาณออกซิเจนละลายของแต่ละส่วนในระบบได้ดังรูปที่ 4-33

- แอน็อกซิก

ค่าออกซิเจนละลายน้ำของระบบแอน็อกซิกตลอดการทดลองยังไม่มีผลยับยั้งอัตราการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน เพราะมีค่าออกซิเจนละลายต่ำกว่า 0.5 มก./ล. (Bryan,1993 อ้างโดย Seviuor และ Blackall,1999)

จากรูปที่ 4-33 พบว่า มีค่าออกซิเจนละลายน้ำเท่ากับ 0.12 มก./ล. และอยู่ในช่วง 0.22 -0.30 มก./ล. สำหรับที่อัตราการเวียนน้ำตะกอน 200เปอร์เซ็นต์ และ 400 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ค่าออกซิเจนละลายในอัตราการเวียน 400 เปอร์เซ็นต์ พบว่า มีค่าออกซิเจนละลายน้ำสูงขึ้นเนื่องมาจากปะปนมากับการเวียนน้ำตะกอนจากระบบแอโรบิก ซึ่งอาจเป็นสาเหตุที่ทำให้ค่าซีโอดีลดลงมาก แต่ค่าไนเตรตไนโตรเจนถูกใช้ไปน้อยทั้งที่เพิ่มอัตราการเวียนไนเตรตสูงขึ้น แต่ประสิทธิภาพการกำจัดไม่แตกต่างกับอัตราการเวียนน้ำตะกอน 200 เปอร์เซ็นต์

- แอโรบิก

ค่าออกซิเจนละลายน้ำสำหรับการทดลองช่วงสัปดาห์แรกไม่เพียงพอต่อการเกิดปฏิกิริยา คือมีค่าต่ำกว่า 1.0 มก./ล. เนื่องจากเครื่องเติมอากาศไม่เพียงพอ (อัตราความต้องการออกซิเจนที่ 4.57 กรัมต่อแอมโมเนีย 1 กรัม และเพิ่มค่า Factor = 2 เพื่อค่าการละลายของออกซิเจนเนื่องจากปัจจัยต่างๆ เช่น ความเค็ม อุณหภูมิ และการกวนผสม เป็นต้น) แต่หลังจากการเพิ่มเครื่องเติมอากาศ พบว่า ทำให้ค่าออกซิเจนละลายอยู่ในช่วง 3.5 - 4.6 มก./ล. ตลอดการทดลอง ค่าออกซิเจนละลายน้ำเพียงพอต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันอย่างสมบูรณ์ เพราะมากกว่า 2.0 มก./ล. (Randall และคณะ, 1992)

จากการวิเคราะห์ค่าอัตราการจับไข่ออกซิเจนจำเพาะของระบบเท่ากับ 6.6 และ 7.4 กรัมออกซิเจน/กรัม VSS ชม. สำหรับอัตราการเวียนน้ำตะกอน 200 เปอร์เซ็นต์ และ 400 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

- อุณหภูมิ

ค่าอุณหภูมิของน้ำออกจากระบบทั้งในส่วนแอน็อกซิก และแอโรบิกมีค่าค่อนข้างจะคงที่ตลอดการทดลอง อุณหภูมิอยู่ในช่วง 30 – 35 องศาเซลเซียส ซึ่งไม่แตกต่างกันมาก เป็นช่วงที่อุณหภูมิแบบมีไซฟิติก (ช่วง 20-45 องศาเซลเซียส) แบคทีเรียสามารถทำงานอยู่ได้ แสดงดังรูปที่ 4-34

- พีเอชและสภาพต่างไบคาร์บอเนต

ค่าพีเอชเป็นค่าที่ใช้บอกสภาวะการทำงานของกลุ่มแบคทีเรียในระบบ โดยค่านี้มีความสัมพันธ์กับค่าสภาพต่างไบคาร์บอเนตในระบบที่เกิดจากการทำงานของแบคทีเรีย แสดงค่าพีเอชและสภาพต่างไบคาร์บอเนตที่เหลือในระบบดังรูปที่ 4-35 และรูปที่ 4-36 สำหรับระบบแอน็อกซิก และแอโรบิก ตามลำดับ

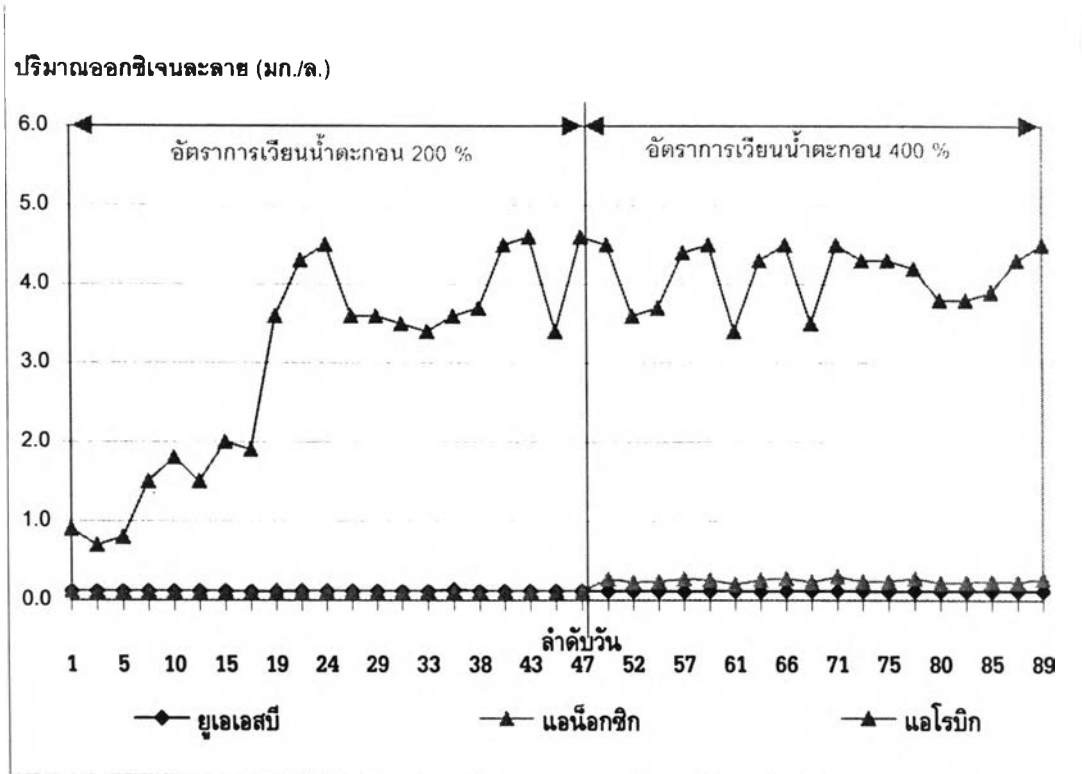
- แอน็อกซิก

ค่าพีเอชที่เหมาะสมต่อการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันจะอยู่ในช่วง 7-8 (Randall และคณะ, 1992) เพื่อการเกิดปฏิกิริยาที่สมบูรณ์คือเปลี่ยนรูปถึงก๊าซไนโตรเจน

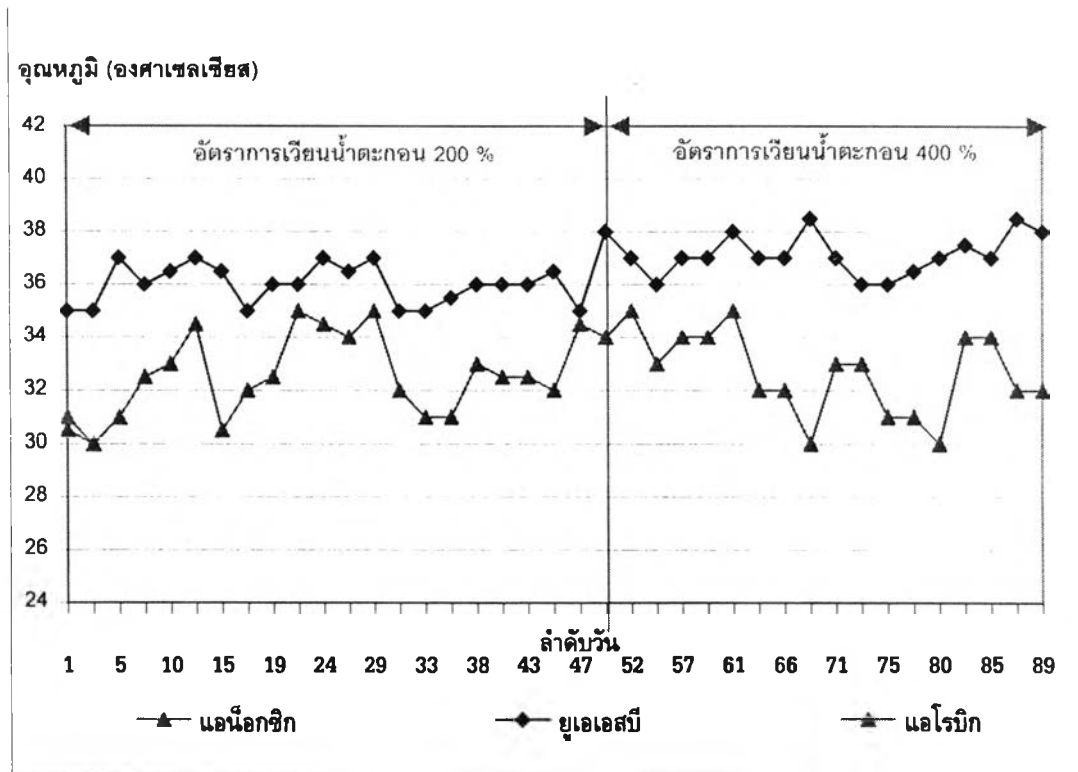
จากการทดลอง พบว่า ค่าพีเอชที่เข้าระบบอยู่ในช่วง 7.2-8.23 ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมกับการทำงาน และยังพบว่าค่าพีเอชที่ออกจากระบบมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย จากการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันให้สภาพต่าง

- แอโรบิก

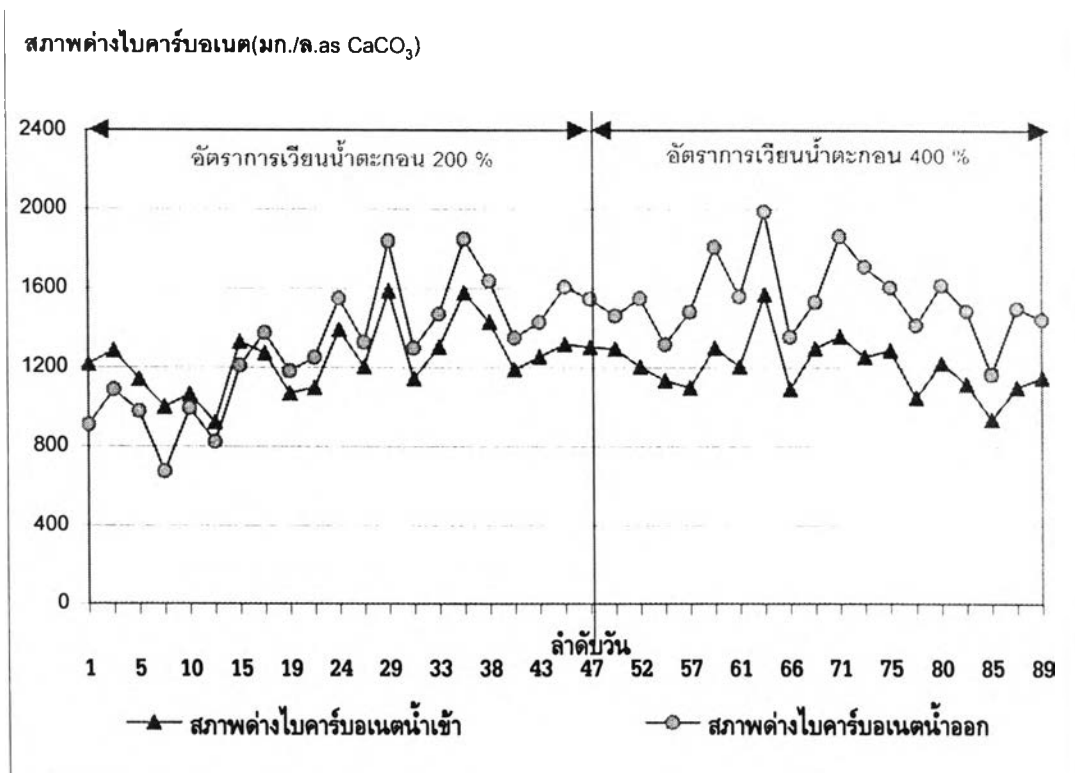
ค่าพีเอชที่เหมาะสมต่อการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันจะอยู่ในช่วง 7-8.5 (Wild และคณะ, 1971) จึงต้องควบคุมระบบไม่ให้มีค่าต่ำกว่า 7.0



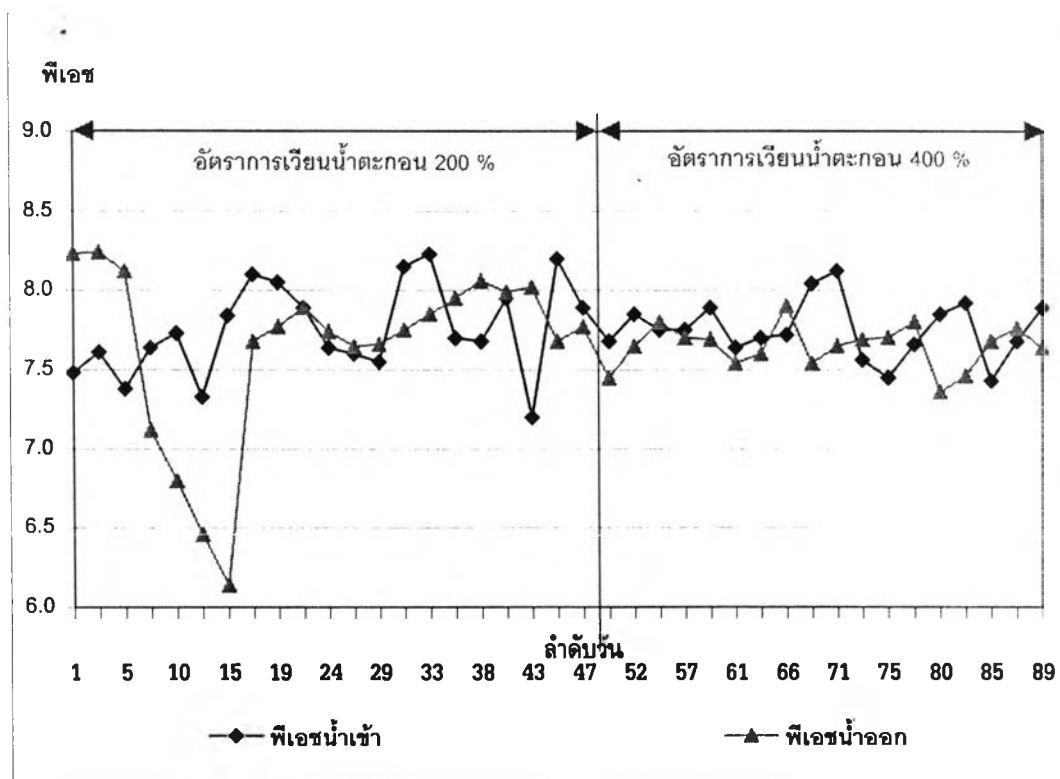
รูปที่ 4-33 ปริมาณออกซิเจนละลายของระบบยูเอเอสบี-แอนีอกซิก-แอโรบิก (ต้นแบบสาริตนาร่อง)



รูปที่ 4-34 อุณหภูมิของระบบยูเอเอสบี-แอนีอกซิก-แอโรบิก (ต้นแบบสาริตนาร่อง)



(ก)



(ข)

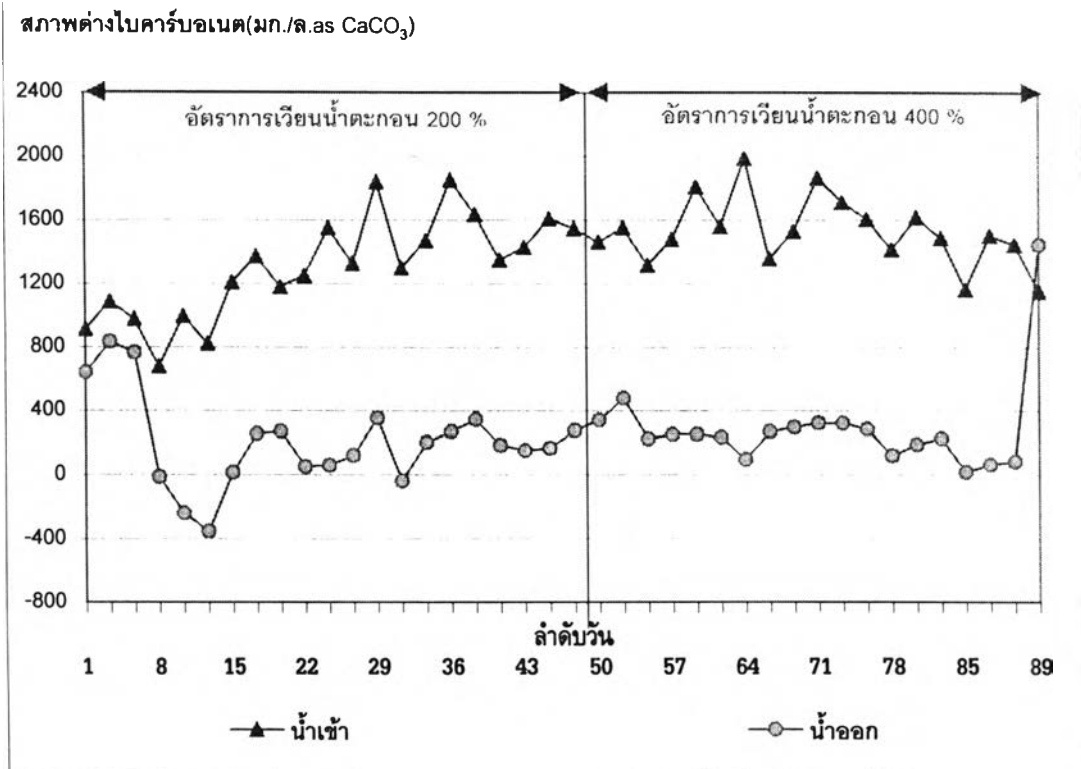
รูปที่ 4-35 สภาพต่างไบคาร์บอเนตและพีเอชของน้ำเสียที่เข้าและน้ำออกจากส่วนแอน็อกซิก

(ก)

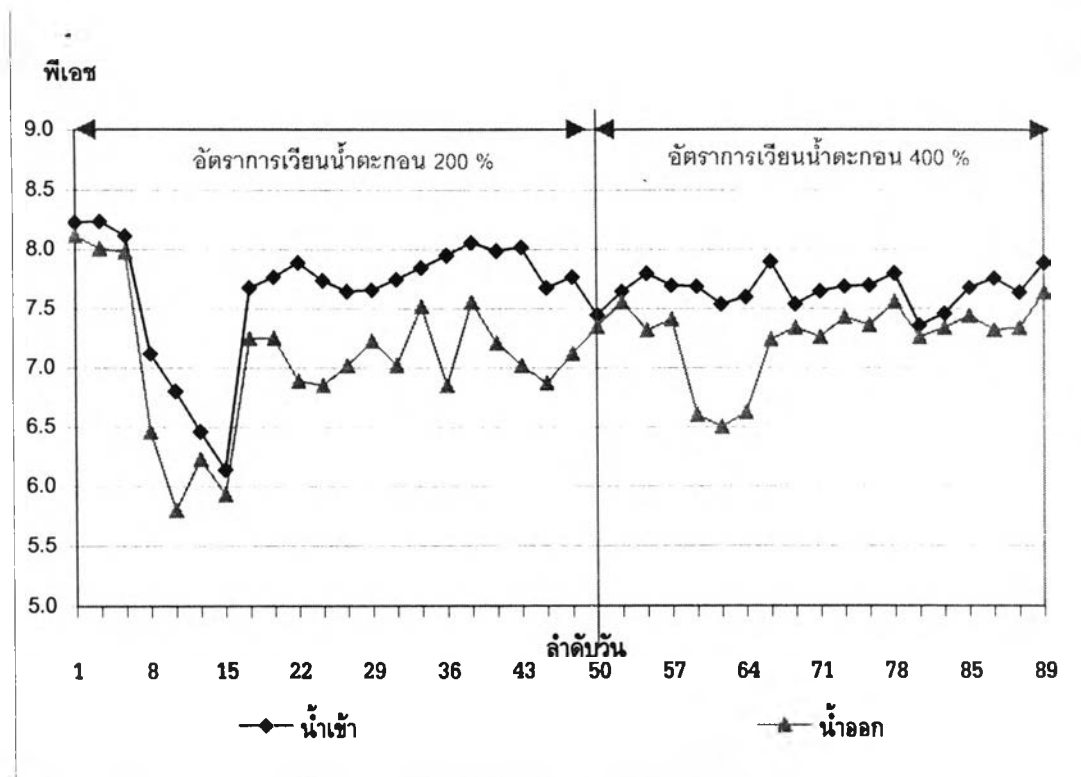
สภาพต่างไบคาร์บอเนต

(ข)

พีเอช



(ก)



(ข)

รูปที่ 4-36 สภาพต่างไบคาร์บอเนตและพีเอชของน้ำเสียที่เข้าและน้ำออกจากส่วนแอโรบิก

ตลอดการทดลอง

(ก) สภาพต่างไบคาร์บอเนต

(ข) พีเอช

ค่าพีเอชในช่วงสัปดาห์แรกของการทดลองมีค่าสูง เพราะไม่เกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน เนื่องจากปริมาณออกซิเจนที่ไม่เพียงพอ แต่หลังจากเพิ่มออกซิเจนแล้ว ในสัปดาห์ที่ 2 พบว่าค่าพีเอชและปริมาณต่างไบคาร์บอเนตในระบบต่ำ จนทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันต่ำด้วยเนื่องมาจากการเกิดปฏิกิริยาส่วนใหญ่เป็นแบบที่เรียกกลุ่มออโตโทรฟซึ่งต้องการแหล่งคาร์บอนจากสารอนินทรีย์ คือ ในรูปไบคาร์บอเนต จึงต้องมีการเติมต่างในรูปโซเดียมไบคาร์บอเนตเพิ่มในเท่ากับ 420 และ 588 กรัม/วัน (จากการคำนวณ อัตราการใช้สภาพต่าง 7.14 กรัมต่อ การเปลี่ยนรูปแอมโมเนียเป็นไนเตรต) สำหรับที่อัตราการเวียนน้ำตะกอน 200 เปอร์เซนต์และ 400 เปอร์เซนต์ตามลำดับ เพื่อให้เพียงพอต่อการเกิดปฏิกิริยาโดยให้มีสภาพต่างไบคาร์บอเนตเหลือในน้ำออกไม่ต่ำกว่า 50 มก./ล. as CaCO_3 ตลอดการทดลอง

- ปริมาณจุลินทรีย์ในระบบ (MLSS และ MLVSS)

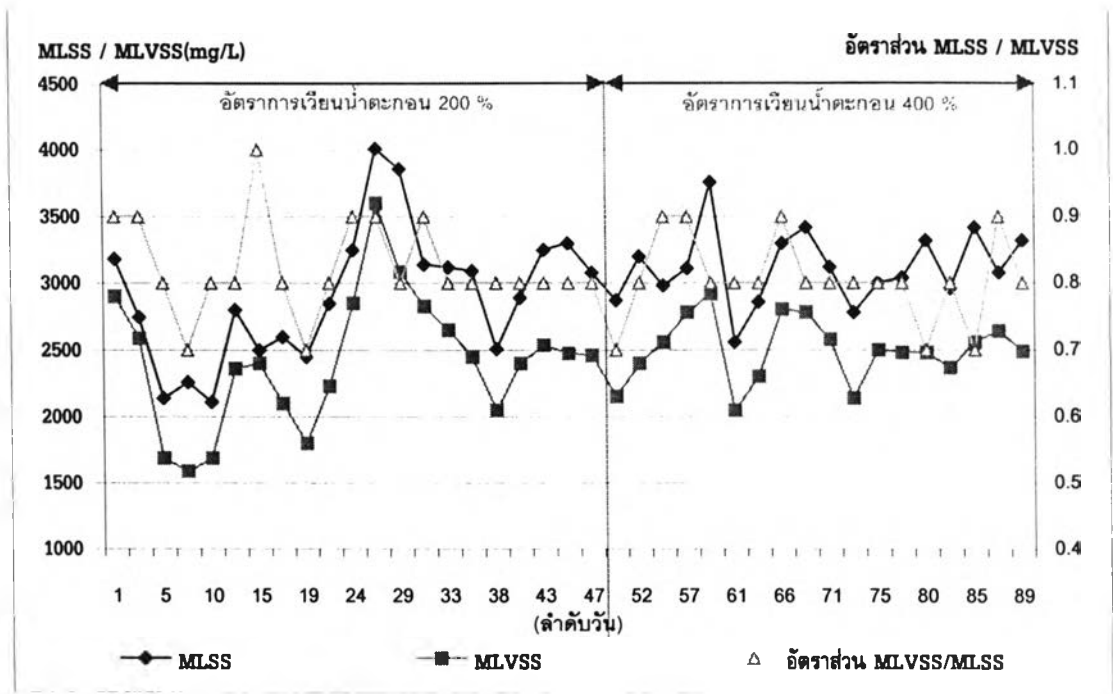
ปริมาณจุลินทรีย์ในระบบวัดได้ในรูป MLSS และ MLVSS เพื่อใช้เป็นตัวควบคุมให้อยู่ในเกณฑ์ที่ให้ออกแบบค่าอายุตะกอนของการทดลอง ซึ่งมีความสัมพันธ์กับอัตราการเวียนน้ำตะกอนและอัตราการทิ้งสลัดจ์ออกจากระบบ แสดงค่า MLSS และ MLVSS ตลอดการทดลองของส่วนแอน็อกซิก-แอโรบิกได้ดังรูปที่ 4-37

- ค่า SV 30 และค่า SVI

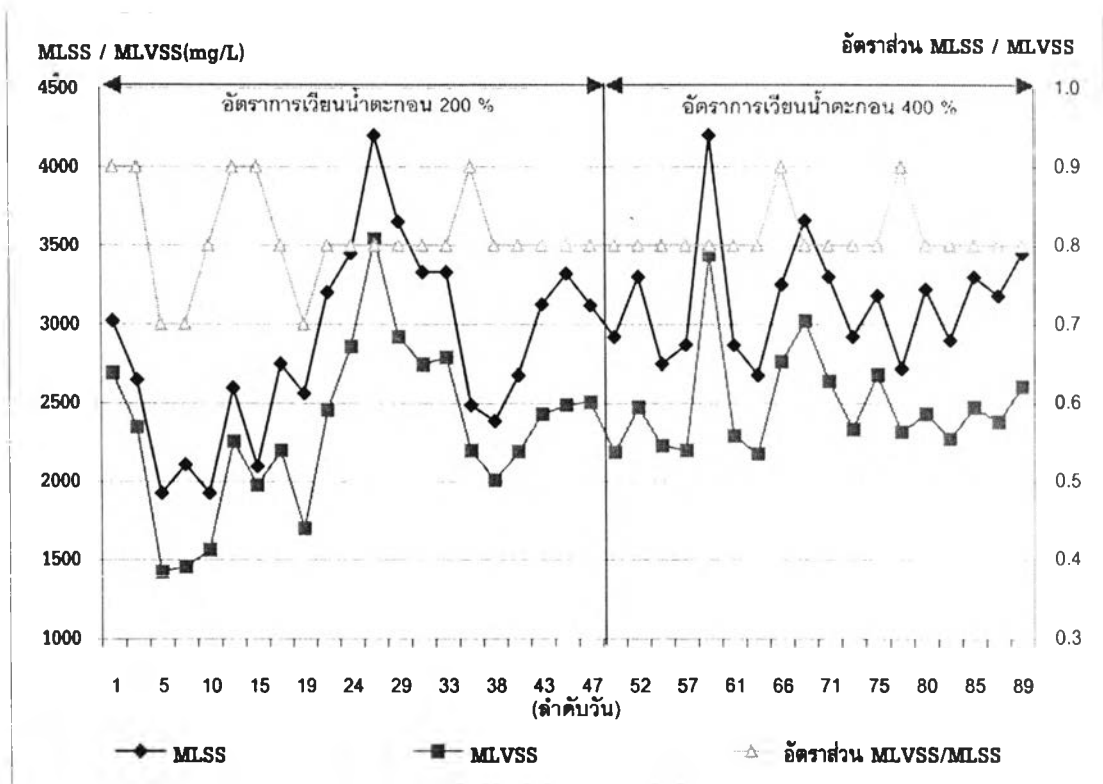
ค่า SV30 เป็นค่าการตกตะกอนของสลัดจ์ในระบบ ซึ่งใช้ตรวจสอบคุณภาพของระบบในการบำบัดน้ำเสียได้อย่างรวดเร็ว เพราะระบบแอโรบิกที่มีประสิทธิภาพดี คือ มีตะกอนสลัดจ์สีน้ำตาลที่จับตัวกันเป็นกลุ่มก้อนและสามารถตกตะกอนได้รวดเร็วและเมื่อตกตะกอนแล้วต้องให้น้ำใส ช่วง SV30 ที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 200-800 มล. และค่า SV30 มีความสัมพันธ์กับค่า SVI ซึ่งคำนวณจากความสัมพันธ์ของ SV30 และค่า MLSS ในระบบ ช่วงค่า SVI ที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 75-200 มก./มล. (มันสิน, 2542) แสดงค่า SV30 และ SVI ตลอดการทดลองโดยแบ่งเป็นส่วนแอน็อกซิก และส่วนแอโรบิก ได้ดังรูปที่ 4-38

จากรูปที่ 4-38 ส่วนแอน็อกซิกมีค่า SV30 และ SVI ในสภาวะคงตัว (P50) เท่ากับ 445 มล. และ 133 มก./มล. สำหรับการทดลองที่ 1 และเท่ากับ 380 มล. และ 124 มก./มล. สำหรับการทดลองที่ 2 ส่วนแอโรบิกมีค่า SV30 และ SVI ในสภาวะคงตัว (P50) เท่ากับ 442 มล. และ 142 มก./มล. สำหรับการทดลองที่ 1 และเท่ากับ 385 มล. และ 131 มก./มล. สำหรับการทดลองที่ 2

จากการทดลองพบว่าค่า SV30 และ SVI ของทั้ง 2 ส่วนตลอดการทดลองอยู่ในช่วงค่าที่เหมาะสม แสดงว่าระบบยังสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ



(ก)

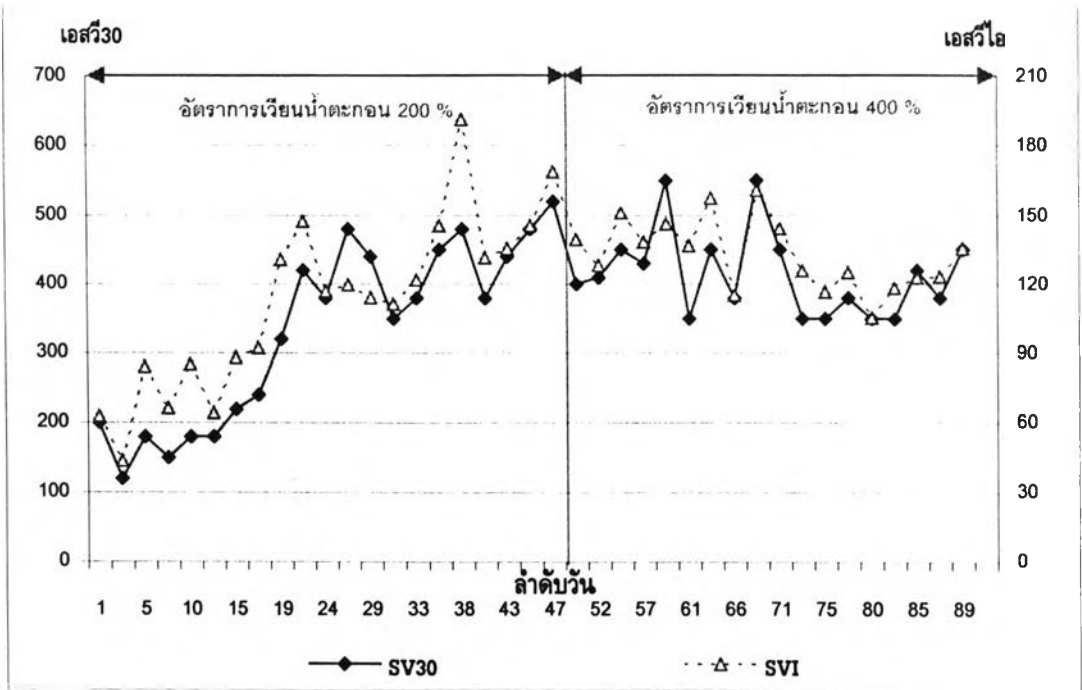


(ข)

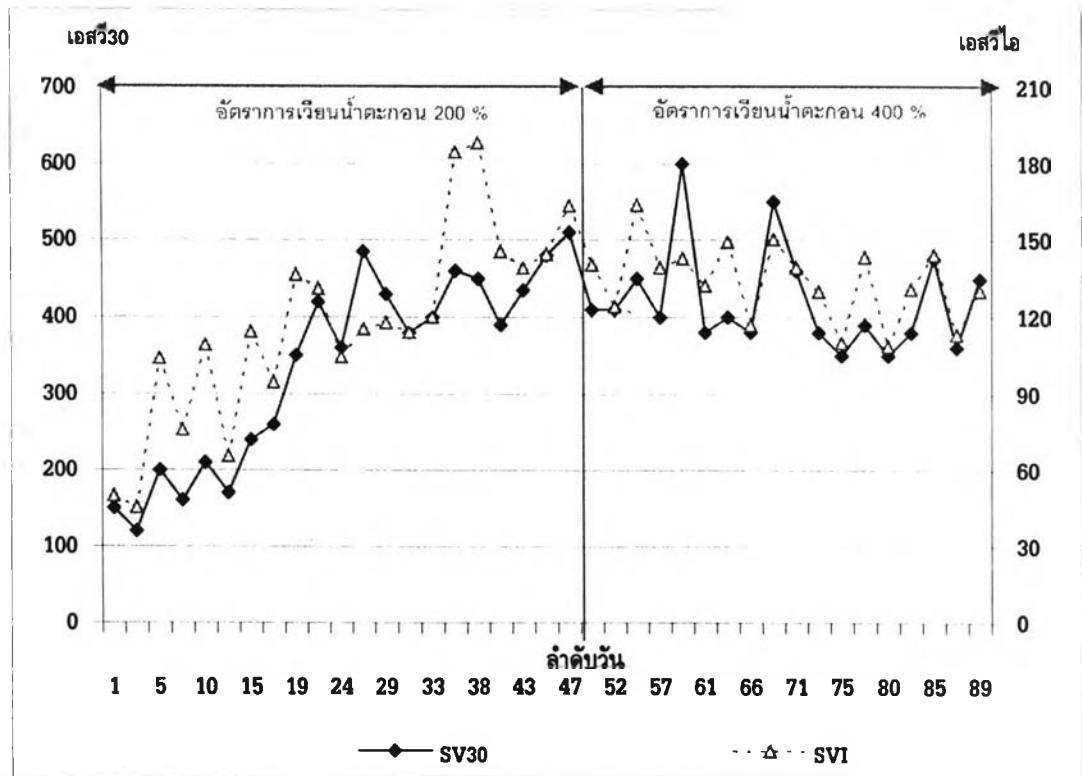
รูปที่ 4-37 ค่า MLVSS ค่า MLSS และอัตราส่วน MLVSS/MLSS ตลอดการทดลอง

(ก) แอน็อกซิก

(ข) แอโรบิก



(ก)



(ข)

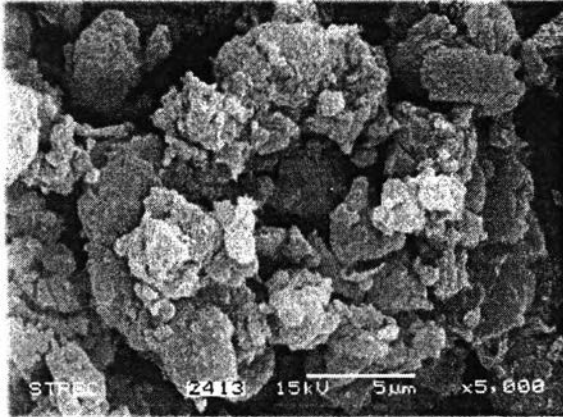
รูปที่ 4-38 ค่าเอสวี 30 และค่าเอสวีไอ ตลอดการทดลอง

(ก) แอนีอกซิก

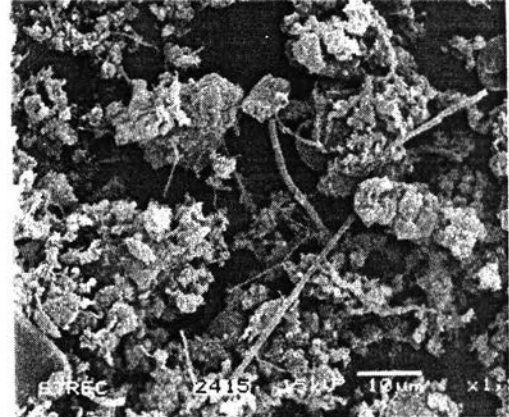
(ข) แอโรบิก

- ลักษณะฟลอคในระบบ

นำจุลินทรีย์ที่ใช้ในการทดลองของส่วนแอนีอกซิก-แอโรบิก ในสภาวะคงตัวแล้ว ของการทดลองระดับต้นแบบสาธิตน้ำร่อง นำมาตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscopy, SEM) ฟลอคในระบบแอโรบิก แสดงดังรูปที่ 4-39 ฟลอคในระบบแอนีอกซิก แสดงดังรูปที่ 4-40 พบว่า



(ก)

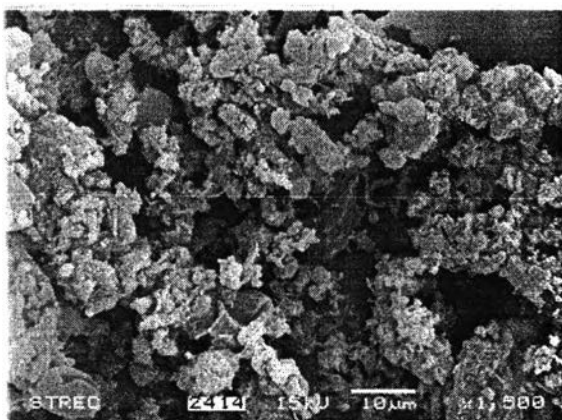


(ข)

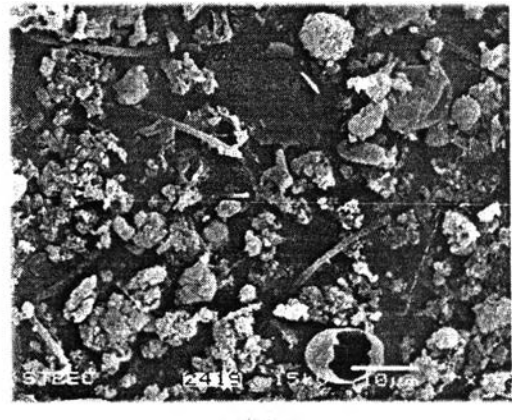
รูปที่ 4-39 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscopy, SEM)

ของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในถังเอเอส

- | | |
|--|------------|
| (ก) บริเวณผิวนอกของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่กำลังขยาย | 5,000 เท่า |
| (ข) บริเวณผิวนอกของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่กำลังขยาย | 1,500 เท่า |



(ก)



(ข)

รูปที่ 4-40 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscopy, SEM)

ของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในถังแอนีอกซิก

- | | |
|--|------------|
| (ก) บริเวณผิวนอกของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่กำลังขยาย | 5,000 เท่า |
| (ข) บริเวณผิวนอกของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่กำลังขยาย | 1,500 เท่า |

4.3 ค่าจำเพาะของระบบ

การหาค่าจำเพาะของระบบ เพื่อใช้เป็นค่าบ่งบอกถึงประสิทธิภาพการทำงานของระบบ โดยค่าอัตราการผลิตก๊าซมีเทนเพื่อบอกประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ของระบบยูเอเอสบี และอัตราการใช้ออกซิเจนจำเพาะ อัตราการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันจำเพาะ และอัตราการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันจำเพาะ เพื่อบอกประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนของระบบ แอนีอกซิก-แอโรบิก ดังรายละเอียดต่อไปนี้

4.3.1 อัตราการผลิตก๊าซมีเทน

จากการทดลองในช่วงสภาวะคงตัวของระบบของส่วนยูเอเอสบี มีรายละเอียดของอัตราการผลิตก๊าซมีเทนดังตารางที่ 4-9 ตารางที่ 4-9 อัตราการผลิตก๊าซมีเทนของทุกชุดการทดลอง

การทดลอง	อัตราการผลิตก๊าซมีเทน (ลบ.ม./กก.ซีโอดีที่ถูกกำจัด)*		
	ชุดที่ 1 (ไม่เติมเชื้อ)	ชุดที่ 2 (เติมเชื้อ ที่มีเหล็ก)	ชุดที่ 3 (เติมเชื้อ)
ช่วงที่ 1 ระดับห้องปฏิบัติการ			
- การทดลองที่ 1 (ความเร็วไหลขึ้น 1 ม./ชม.)	0.24	0.34	-
- การทดลองที่ 2 (ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.)	0.30	0.38	0.34
ช่วงที่ 2 ระดับต้นแบบสาธิตนาร่อง (ความเร็วไหลขึ้น 2 ม./ชม.)	-	0.06	-

* ค่าในสภาวะคงตัวที่เปอร์เซ็นต์ 50 ของการทดลอง

จากตารางที่ 4-9 พบว่า ค่าอัตราการผลิตก๊าซมีเทนของการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการชุดที่ 2 และชุดที่ 3 ที่เติมเชื้อมีค่าใกล้เคียงกับทฤษฎีทั้งที่ความเร็วไหลขึ้น 1 และ 3 ม./ชม. คือ 0.35 ลบ.ม./กก.ซีโอดีที่ถูกกำจัด (Metcalf & Eddy, 1991) และชุดที่ 1 มีค่าต่ำกว่าทฤษฎีเล็กน้อยทั้งที่ความเร็วไหลขึ้น 1 และ 3 ม./ชม. ส่วนการทดลองในระดับต้นแบบสาธิตนาร่องมีค่าต่ำกว่าทฤษฎีมากทั้งนี้มีส่วนสาเหตุมาจาก

- ระบบรับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่สูงขึ้นและการเก็บ
- อุปกรณ์ในการเก็บก๊าซแบบแทนที่น้ำ มีประสิทธิภาพต่ำจึงทำให้ได้ค่าปริมาณก๊าซรวมที่เกิดขึ้นต่อวันน้อยกว่าค่าจริง

4.3.2 อัตราจำเพาะของระบบ

จากการทดลองในช่วงสภาวะคงตัวของระบบของส่วนแอนีอิก-แอโรบิก มีรายละเอียดดังตารางที่ 4-10

ตารางที่ 4-10 ค่าอัตราการใช้ออกซิเจนจำเพาะ อัตราการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันจำเพาะ และ อัตราการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันจำเพาะ

พารามิเตอร์	หน่วย	อัตราการหมุนเวียนน้ำตะกอน 200 เปอร์เซ็นต์	อัตราการหมุนเวียนน้ำตะกอน 400 เปอร์เซ็นต์
อัตราการใช้ออกซิเจนจำเพาะ (SOR)	มก.ดีไอ /ก.เอสเอส-ชม.	7.50	9.20
อัตราการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันจำเพาะ (SNR)	มก.แอมโมเนีย /ก.เอสเอส-ชม.	7.40	11.0
อัตราการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันจำเพาะ (SDNR)	มก.ไนโตรเจน /ก.เอสเอส-ชม.	13.30	16.20

จากตารางที่ 4-10 พบว่าค่าอัตราการใช้ออกซิเจนจำเพาะ อัตราการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันจำเพาะ และอัตราการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันจำเพาะของระบบมีค่าแตกต่างกันไม่มากนักในสภาวะคงตัวแล้วของการทดลองที่อัตราการเวียนน้ำตะกอน 200 และ 400 เปอร์เซ็นต์ ช่วงค่าที่ต่างกันเพราะปัจจัยหลายอย่าง เช่น ภาวะบรรทุกชีโอดี ภาวะบรรทุกไนโตรเจน และ อุณหภูมิ เป็นต้น

4.4 สมดุลในระบบ

เมื่อพิจารณาสารอาหารที่เข้าระบบ ตามลักษณะของน้ำเสีย และกระบวนการยูเอเอสบี-แอนีอิก-แอโรบิก ที่ใช้ในการกำจัดสารอินทรีย์และไนโตรเจนเป็นหลัก สมดุลในระบบแสดงดังรูปที่ 4-41

จากรูปที่ 4-41 พบว่า ในการพิจารณาสมดุลในระบบ แยกออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้ ส่วนที่ 1 ระบบยูเอเอสบีในการกำจัดสารอินทรีย์เป็นหลัก เพราะไนโตรเจนเปลี่ยนแปลงจากน้ำเสียอยู่ในช่วงต่ำ 5-10 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น และส่วนที่ 2 ระบบแอนีอิก-แอโรบิก ในการกำจัดสารอินทรีย์และไนโตรเจน มีรายละเอียดดังนี้

4.4.1 สมดุลซีโอดีในระบบ

4.4.1.1 สมดุลซีโอดีในระบบยูเอเอสบี

ซีโอดีในน้ำเสียเข้าระบบ จะถูกแบคทีเรียนำไปใช้ในการสร้างเซลล์และการหายใจ แต่ซีโอดีที่ถูกใช้ในการหายใจมีมากกว่าซีโอดีที่ใช้ในสร้างเซลล์มาก เมื่อซีโอดีถูกย่อยสลายก็จะเปลี่ยนไปอยู่ในรูปต่างๆ เช่น ก๊าซมีเทน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นต้น จากการทดลองผลผลิตสุดท้ายของระบบในสภาวะคงตัว คือ ก๊าซมีเทน ซึ่งให้ซีโอดี 4 มก.ต่อก๊าซมีเทน 1 กรัม ส่วนซีโอดีที่เหลือก็อยู่ในน้ำออก ดังกล่าวมาแล้วสามารถเขียนสมการได้ดังนี้ (เบกพล ก้านสังวร, 2542)

การวัดความน่าเชื่อถือของข้อมูลที่ได้ทำการทดลอง โดยอาศัยความสัมพันธ์ของซีโอดีที่เปลี่ยนไปอยู่ในรูปต่างๆ ของสวณยูเอเอสบี ซึ่งมีดังต่อไปนี้

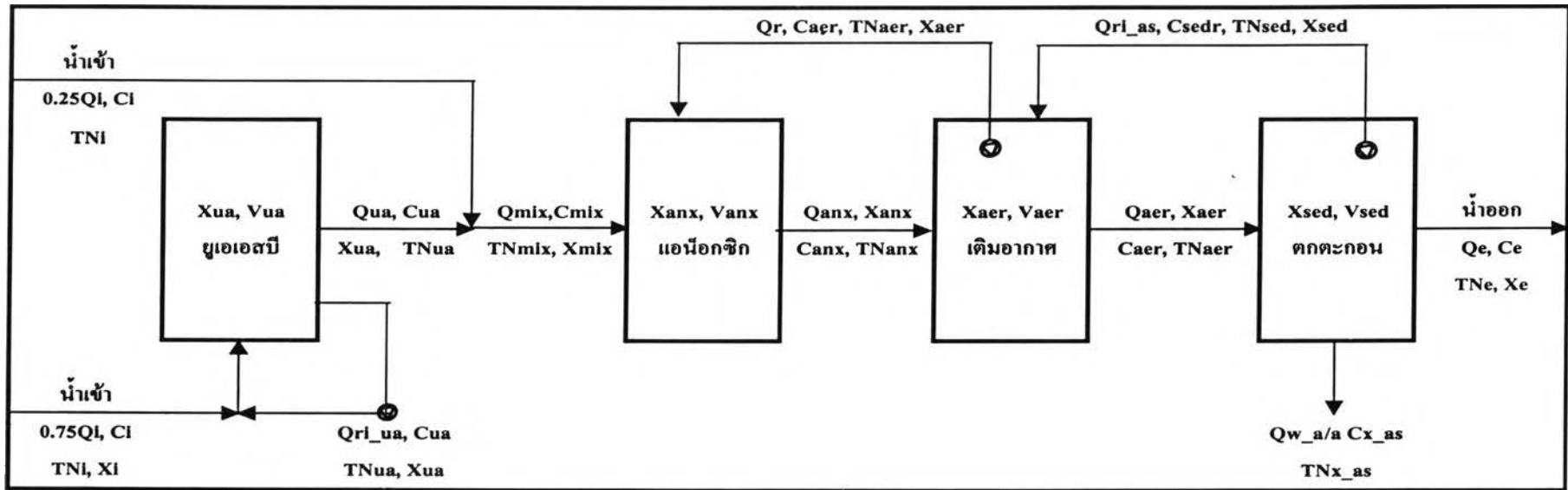
$$\text{COD}_{\text{in}} = \text{soluble COD}_{\text{eff}} + \text{CH}_{4\text{gas}} \text{COD} + \text{COD}_{\text{acc}} + \text{Oxidize ในรูป CO}_2$$

เมื่อ

COD_{in}	=	ซีโอดีทั้งหมดของน้ำเสีย
$\text{soluble COD}_{\text{eff}}$	=	ซีโอดีละลายในน้ำออกจากระบบ
$\text{CH}_{4\text{gas}} \text{COD}$	=	ซีโอดีในรูปของก๊าซมีเทน
$\text{Oxidize ในรูป CO}_2 \text{COD}$	=	ซีโอดีในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์
COD_{acc}	=	ซีโอดีที่เปลี่ยนเป็นเซลล์ของแบคทีเรียเป็นส่วนที่อยู่ในระบบและส่วนที่หลุดออกมา

การทดสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูล จะใช้ซีโอดีที่เปลี่ยนไปและตรวจสอบได้เปรียบเทียบกับซีโอดีในน้ำเข้า ซึ่งจะเรียกว่า % COD recovery พิจารณา ค่า Oxidize ในรูป CO_2 และค่า COD_{acc} เป็นส่วนที่ไม่สามารถตรวจสอบค่าได้ จึงคิดเป็นส่วนที่เหลือที่หายไปจาก % COD recovery เทียบค่า % COD ที่ถูกกำจัด

$$\% \text{COD recovery} = \frac{\text{soluble COD}_{\text{eff}} + \text{CH}_{4\text{gas}} \text{COD}}{\text{COD}_{\text{in}}}$$



การทดลองที่	1/1	1/2	2/1	2/2
QI	4	4	400	400
Qr	-	-	800	1600
Qri_ua	47	141	3391	3391
Qr_as	-	-	300	300

- | | | | |
|--------|---|-----|-------------------|
| C | - ความเข้มข้นของซีโอดี (มก./ล.) | ua | - ส่วนยูเอเอสบี |
| TN | - ความเข้มข้นไนโตรเจนทั้งหมด(มก./ล.) | anx | - ส่วนแอน็อกซิก |
| X | - ความเข้มข้นของของแข็ง (มก./ล.) | aer | - ส่วนเติมอากาศ |
| x_ | - ความเข้มข้นในเซลล์จุลชีพ (มก./ล.) | sed | - ส่วนตกตะกอน |
| Q | - อัตราการไหลของน้ำเสีย (ลิตร/วัน) | as | - ส่วนเอเอส |
| Qw_a/a | - อัตราการทิ้งสลัดจ์ส่วนเกิน (ลิตร/วัน) | mix | - ส่วนผสม |
| Qr | - อัตราการเวียนน้ำตะกอน (ลิตร/วัน) | v | - ปริมาตร(ลิตร) |
| Qri | - อัตราการเวียนภายในระบบ (ลิตร/วัน) | I | - น้ำเสียเข้าระบบ |
| | | e | - น้ำเสียออกระบบ |

การทดลองที่ 1/1 และ 1/2 เป็น Lab scale ตั้งจุดอุปกรณ ณ ห้องปฏิบัติการ
 การทดลองที่ 2/1 และ 2/2 เป็น Pilot scale ตั้งจุดอุปกรณ ณ องค์การสะพานปลา จังหวัดสมุทรสาคร

รูปที่ 4-41 สมดุลในระบบยูเอเอสบี-แอน็อกซิก-แอโรบิก ในระดับต้นแบบสาธิตน้ำร่อง

ซีไอดีในรูปก๊าซมีเทนมีอยู่ด้วยกัน 2 รูป คือ มีเทนในสถานะก๊าซและมีเทนละลายน้ำ ทั้ง 2 รูปนี้ไม่สามารถวัดโดยตรงได้ แต่สามารถคำนวณได้ดังนี้

- ซีไอดีในรูปของก๊าซมีเทนจะหาได้จาก

$$\text{CH}_{4\text{gas}} \text{ COD} = \frac{(\text{Total gas volume}) * (\% \text{CH}_4) * (16000) * (4)}{24.7 * Q}$$

เมื่อ	Total gas volume	= ปริมาตรก๊าซทั้งหมด (ลิตร)
	% CH ₄	= ร้อยละของก๊าซมีเทน
	24.7	= ปริมาตรก๊าซ 1 โมลที่ 25 องศาเซลเซียส (ลิตร)
	Q	= อัตราน้ำเสียต่อวัน (ลิตร)
	16,000	= น้ำหนักของมีเทน 1 โมล (มก.)
	4	= ซีไอดีของก๊าซมีเทน 1 กรัม (กรัม)

- ซีไอดีละลายในน้ำออกจากระบบหาได้จาก

$$\text{soluble CH}_4\text{-COD} = K_n \text{CH}_4 * \text{Partial Pressure of CH}_4 * 16000 * 4$$

เมื่อ

$$K_n = \text{ค่าคงที่ของเฮนรี (โมล/ลิตร)}$$

$$\text{Partial Pressure of CH}_4 = \text{ความดันพาร์เชียลของก๊าซมีเทน (สัดส่วนก๊าซมีเทน)}$$

วิธีการคำนวณ

ระบบยูเอเอสบีในช่วงที่ 1 การทดลองที่ 1 โดยใช้ค่าในสภาวะคงตัว(P50) เป็นข้อมูลดังต่อไปนี้

- ซีไอดีน้ำเข้า	=	3,834	มก./ล.
- ซีไอดีน้ำออก	=	557	มก./ล.
- ปริมาณก๊าซทั้งหมด	=	5.8	ล./วัน
- สัดส่วนก๊าซมีเทน	=	68	%
- อุณหภูมิ	=	35	องศาเซลเซียส

- ซีไอดีในรูปของก๊าซมีเทนจะหาได้จาก

$$\text{CH}_{4\text{gas}} \text{ COD} = \frac{\text{Total gas volume} * \% \text{CH}_4 * 16000 * 4}{24.7 * Q}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{5.8 \cdot 0.68 \cdot 16000 \cdot 4}{24.7 \cdot 400} \\
 &= 2,555 \quad \text{มก./ล} \\
 \text{soluble CH}_4\text{-COD} &= K_{n_{\text{CH}_4}} \cdot \text{Partial Pressure of CH}_4 \cdot 16000 \cdot 4 \\
 &= 1.15 \cdot 10^3 \cdot 0.68 \cdot 16000 \cdot 4 \\
 &= 50 \quad \text{มก./ล} \\
 \text{CH}_{4\text{gas}} &= 2,605 \quad \text{มก./ล.} \\
 \\
 \% \text{ COD recovery} &= \frac{\text{soluble COD}_{\text{eff}} + \text{CH}_{4\text{gas}} \text{ COD}}{\text{COD}_{\text{in}}} \\
 &= \frac{(2605+557)/3838 \cdot 100}{82.5 \%}
 \end{aligned}$$

4.4.1.2 สมดุลซีโอติในสวนแอนีอกซิก-แอโรบิก

การพิจารณาสมดุลซีโอติในสวนของแอนีอกซิก-แอโรบิกนั้น ซีโอติที่หายไปจากระบบ จะถูกแบคทีเรียนำไปใช้ในการสร้างเซลล์และการหายใจ แต่ซีโอติที่ถูกใช้ในการสร้างเซลล์มีบทบาทมากกว่ากลุ่มอื่นๆ ในระบบที่มีการเติมอากาศ แสดงสมดุลซีโอติดังสมการต่อไปนี้

$$Q_i \cdot C_i = Q_{w_a/a} \cdot C_{x_sed} + Q_e \cdot C_e$$

เมื่อ

Q_i = อัตราน้ำเสียเข้าระบบ (ลิตร/วัน)

C_i = ความเข้มข้นของซีโอติที่เข้าระบบ (มก./ล.)

$Q_{w_a/a}$ = อัตราการทิ้งสลัดจ์ (ลิตร/วัน)

C_{x_sed} = ความเข้มข้นของซีโอติในกรัมเซลล์จุลชีพในถังตกตะกอน

C_e = ความเข้มข้นของซีโอติที่ออกจากระบบ (มก./ล.)

4.4.2 สมดุลไนโตรเจนในระบบ

เมื่อพิจารณาส่วนของที่เคเอ็นไนโตรเจนเปลี่ยนรูปเป็นไนเตรตหรือไนเทรตในระบบ ในสภาวะคงตัวของทดลอง จะได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
 \text{เข้า} - \text{ออก} - \text{สะสม} &= \text{ปฏิกิริยา} \\
 \text{TKNi} - (\text{TKNe} + \text{TKNd}) - \text{TKNcell} &= (\text{NO}_3 + \text{NO}_2)_e - (\text{NO}_3 + \text{NO}_2)_i + \text{N}_2\text{gas}
 \end{aligned}$$

เมื่อ

TKNi	= อัตราการไหล * ความเข้มข้นที่เคเอ็นน้ำเข้า (มก./วัน)
TKNe	= อัตราการไหล * ความเข้มข้นที่เคเอ็นน้ำออก (มก./วัน)
TKNd	= อัตราการทิ้ง * ความเข้มข้นที่เคเอ็นในน้ำสลัดจ์ส่วนเกินที่ทิ้ง (มก./วัน)
TKNcell	= ที่เคเอ็นที่ใช้เป็นสารอาหารและเติบโตแบ่งเซลล์ของจุลชีพในระบบ (มก./วัน)
N ₂ gas	= ไนโตรเจนก๊าซ (มก./วัน)
(NO ₃ +NO ₂) _i	= อัตราการไหล * ความเข้มข้นไนไตรต์และไนเตรตน้ำเข้า (มก./วัน)
(NO ₃ +NO ₂) _e	= อัตราการไหล * ความเข้มข้นไนไตรต์และไนเตรตน้ำออก (มก./วัน)

กำหนด

- ไม่นำค่า TKNcell มาพิจารณาเพราะในสภาวะคงตัวอัตราการสร้างเซลล์เท่ากับอัตราการสลาย จึงมีค่า TKNcell น้อยมาก
- TKNd มีค่าน้อยมากจึงไม่นำมาพิจารณา

ปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน

$$\bullet \quad \% \text{ Nitrification} = (1 - (\text{TKNe} / (\text{TKNi} - \text{TKNcell}))) * 100$$

เมื่อพิจารณาส่วนของไนโตรเจนทั้งหมดในระบบในสภาวะคงตัวของทดลอง จะได้

ดังนี้

$$\begin{array}{l} \text{เข้า} \quad - \quad \text{ออก} \quad - \quad \text{สะสม} \quad = \quad \text{ปฏิกิริยา} \\ \text{TKNi} - \text{TKNe} - \text{TKNcell} + (\text{NO}_3 + \text{NO}_2)_i - (\text{NO}_3 + \text{NO}_2)_e = \text{N}_2\text{gas} \end{array}$$

กำหนด

- เกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันสมบูรณ์ ที่เคเอ็นในน้ำออกน้อยมากเมื่อเทียบกับไนโตรเจนทั้งหมดในน้ำเสียในสภาวะคงตัว

$$\% \text{ Denitrification} = \text{N}_2\text{gas} / (\text{TKNi} - \text{TKNcell} - \text{TKNe}) * 100$$

$$\% \text{ Nitrogen removal} = 1 - (\text{TKNe} / \text{TKNi}) * 100$$

$$\text{COD/N}_2\text{gas} = (\text{COD}_i - \text{COD}_e) / \text{TKNi} - \text{TKNcell} - \text{TKNe}$$