



ผลการทดลองและการวิจารณ์

4.1 การดำเนินการวิจัย

การเริ่มต้นระบบบำบัดในงานวิจัยนี้ใช้ถังปฏิกรณ์ที่ทำจากท่ออะคริลิกใสจำนวน 2 ชุด แต่ละชุดมีการติดตั้งอุปกรณ์เหมือนกันทุกประการ ดังแสดงในรูปที่ 3.1 ในตอนต้นของการทดลองได้ทำการเติมเชื้อจุลินทรีย์ (seed) ที่นำมาจากระบบยูเอเอสบีของโรงงานแป่งหมี่ขอเสง จังหวัดนครปฐม โดยเป็นเชื้อแบคทีเรียไร้อากาศที่มีลักษณะจับตัวเป็นเม็ด (granular sludge) ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1-2 มม. และได้คัดขนาดของเชื้อแบคทีเรียโดยการตกตะกอน เลือกเฉพาะเม็ดแบคทีเรียที่ตกตะกอนได้ดี ทั้งนี้เพื่อให้การเดินระบบสามารถปรับตัวต่อสภาพความเร็วการไหลที่สูงได้ดี เริ่มต้นเดินระบบโดยเจือจางน้ำกากส่าความเข้มข้นซีโอดีประมาณ 1,000 มก./ล. และเพิ่มความเข้มข้นของน้ำกากส่าที่ป้อนเข้าที่ละน้อยจนกระทั่งได้ความเข้มข้นซีโอดี 5,000 มก./ล. และปรับสภาพกรดด้วยโซเดียมไบคาร์บอเนต (NaHCO_3) ให้ pH มีค่าประมาณ 7 โดยเริ่มป้อนน้ำเสียเข้าสู่ระบบด้วยอัตราการไหล 2 ลิตรต่อวัน เข้าสู่ถังปฏิกรณ์ทั้ง 2 ชุด เวลาพักน้ำ 24 ชั่วโมง เพื่อให้เชื้อที่นำมาเลี้ยงปรับตัวเข้ากับน้ำกากส่า โดยในระหว่างนี้ได้เก็บตัวอย่างน้ำไปวิเคราะห์เพื่อดูความเปลี่ยนแปลงและเสถียรภาพของระบบ ช่วงนี้ใช้เวลาประมาณ 1 เดือน ภายหลังจากที่ระบบทำงานเข้าสู่สภาวะคงตัว (Steady state) ก็ดำเนินการหาค่าพารามิเตอร์ตามตารางที่ 4.1

การเตรียมน้ำกากส่าที่ใช้ในการทำวิจัยนี้ นำน้ำกากส่าสดจากโรงงานสุราแสงโสม จังหวัดนครปฐม โดยเก็บน้ำเสียมาครั้งเดียวแล้วดำเนินการจนเสร็จการทดลอง น้ำกากส่าที่ใช้มีค่าซีโอดีประมาณ 90,000 มก./ล. พีเอช 4.6 ในการทดลองจะควบคุมความเข้มข้นซีโอดีให้มีค่าเท่ากันโดยนำมาเจือจางด้วยน้ำประปาให้มีค่าซีโอดีประมาณ 5,000 มก./ล. อัตราส่วนการเจือจางน้ำกากส่าต่อน้ำประปาเท่ากับ 1:18 เตรียมน้ำเสียทุกวัน และปรับสภาพต่างด้วยโซเดียมไบคาร์บอเนต (NaHCO_3) การทดลองช่วงเริ่มต้นจะปรับ pH โดยการเติมโซเดียมไบคาร์บอเนต (NaHCO_3) จนน้ำเสียมี pH ประมาณ 7 แต่เนื่องจากระบบอีจีเอสบีมีการเวียนน้ำกลับ ผู้วิจัยจึงทดลองลดปริมาณโซเดียมไบคาร์บอเนต (NaHCO_3) โดยสังเกตจากค่า pH ของน้ำที่ออกจากระบบจนได้ค่าที่เหมาะสมกับระบบ คือ ปริมาณโซเดียมไบคาร์บอเนต 25 กรัม ต่อ น้ำกากส่าสด 1 ลิตร โดย pH ของน้ำที่ออกจากระบบอยู่ที่ประมาณ 6.8 ซึ่งถือว่าเพียงพอต่อระบบบำบัดแบบไร้อากาศ

ระยะเวลาที่ใช้ในการทดลองทั้งหมดประมาณ 8 เดือน โดยได้เริ่มต้นการทดลองตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ ถึง กันยายน 2546 ดังแสดงในตารางที่ 3.1 สำหรับเดือนกันยายน ผู้วิจัยได้

ทดลองให้ระบบรับภาระบรรทุก 25 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ระยะเวลาเก็บกัก 4.8 ชั่วโมง เพื่อศึกษาผลของการเพิ่มภาระบรรทุกสารอินทรีย์แบบทันทีทันใด

ตารางที่ 4.1 ขั้นตอนการทำวิจัย

ลำดับการทดลอง	2546							
	1	2	3	4	5	6	7	8
การเริ่มต้น (Start up) เลี้ยงเชื้อในระบบ	←→							
การทดลองช่วงที่ 1 ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 5 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน		←→						
การทดลองช่วงที่ 2 ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 10 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน			←→					
การทดลองช่วงที่ 3 ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 15 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน				←→				
การทดลองช่วงที่ 4 ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 25 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน						←→		

4.2 ผลการทดลอง

4.2.1 การศึกษาผลของภาระบรรทุกสารอินทรีย์และความเร็วไหลขึ้นในถังปฏิกรณ์ที่มีต่อประสิทธิภาพของระบบ

การทดลองนี้แบ่งเป็น 3 ชุดการทดลองตามแผนการทดลอง (ตารางที่ 3.2) การทดลองในแต่ละชุดมีจุดประสงค์เพื่อตรวจสอบถึงภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของระบบในสภาพที่มีความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม. ในถังปฏิกรณ์ใบที่ 1 และความเร็วไหลขึ้น 5 ม./ชม. ในถังปฏิกรณ์ใบที่ 2 ซึ่งแสดงค่าเฉลี่ยในช่วงที่ระบบอยู่ในสภาวะคงตัว (Steady state)

การทดลองชุดที่ 1 ดำเนินการทดลองที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 5 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน เวลาที่น้ำเสีย 24 ชั่วโมง อัตราสูบน้ำเสียเข้าระบบ 2 ลิตร/วัน และเปรียบเทียบพารามิเตอร์ต่างๆ (ตารางที่ 3.4) ของถังปฏิกรณ์ที่ 1 ที่มีความเร็วไหลขึ้นในถังปฏิกรณ์ 3 ม./ชม. และถังปฏิกรณ์ที่ 2 ที่มีความเร็วไหลขึ้นในถังปฏิกรณ์ 5 ม./ชม. ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.2 ในการทดลองชุดที่ 1 นี้ ดำเนินการตั้งแต่ต้นเดือนกุมภาพันธ์ – ต้นเดือนเมษายน 2546 รวมระยะเวลาดำเนินการทดลองทั้งสิ้น 80 วัน

การทดลองชุดที่ 2 ดำเนินการทดลองที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 10 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน เวลาที่น้ำเสีย 12 ชั่วโมง อัตราสูบน้ำเสียเข้าระบบ 4 ลิตร/วัน และเปรียบเทียบพารามิเตอร์ต่างๆ (ตารางที่ 3.4) ของถังปฏิกรณ์ที่ 1 ที่มีความเร็วไหลขึ้นในถังปฏิกรณ์ 3 ม./ชม. และถังปฏิกรณ์ที่ 2 ที่มีความเร็วไหลขึ้นในถังปฏิกรณ์ 5 ม./ชม. ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.3 ในการทดลองชุดที่ 2 นี้ ดำเนินการตั้งแต่ต้นเดือนพฤษภาคม – ต้นเดือนมิถุนายน 2546 รวมระยะเวลาดำเนินการทดลองทั้งสิ้น 60 วัน

ตารางที่ 4.2 สรุปค่าเฉลี่ยผลการทดลองชุดที่ 1 ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 5 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน

พารามิเตอร์	น้ำเข้า	น้ำออก		ประสิทธิภาพการกำจัด (%)	
		ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.	ความเร็วไหลขึ้น 5 ม./ชม.	ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.	ความเร็วไหลขึ้น 5 ม./ชม.
ซีไอดี (มก./ล.) n = 12	5100	2566	2508	50	51
ของแข็งแขวนลอย (มก./ล.) n = 12	102	43	52	58	49
ความเข้มข้นของสี (เอสยู) n = 12	328	292	296	11	10
สภาพต่างทั้งหมด (มก./ล. หินปูน) n = 12	818	1390	1395	-	-
กรดไขมันระเหย (มก./ล. หินปูน) n = 12	812	437	438	-	-
กรดไขมันระเหย / สภาพต่างทั้งหมด n = 12	0.99	0.31	0.31	-	-
พีเอช n = 23	6.56	6.84	6.94	-	-
ไออาร์พี (มิลลิโวลต์) n = 12	-	-331	-341	-	-
ทีเคเอ็น (มก./ล. ไนโตรเจน) n = 3	95	89	84	7	11
บีไอดี 5 วัน (มก./ล.) n = 2	1040	450	425	57	59
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) n = 23	28.9	29.1	29.0	-	-
ก๊าซทั้งหมด (มล./วัน) n = 12	-	1367	1292	-	-
เปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทน n = 2	-	65.2	65.6	-	-

n คือ จำนวนครั้งที่ทำการทดลองหลังระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว

ตารางที่ 4.3 สรุปค่าเฉลี่ยผลการทดลองชุดที่ 2 ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 10 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน

พารามิเตอร์	น้ำเข้า	น้ำออก		ประสิทธิภาพการกำจัด (%)	
		ความเร็วไหลชั้น 3 ม./ชม.	ความเร็วไหลชั้น 5 ม./ชม.	ความเร็วไหลชั้น 3 ม./ชม.	ความเร็วไหลชั้น 5 ม./ชม.
ซีไอดี (มก./ล.) n = 12	5137	2514	2440	51	53
ของแข็งแขวนลอย (มก./ล.) n = 12	75	36	38	49	47
ความเข้มข้นของสี (เอสยู) n = 12	325	289	291	11	10
สภาพต่างทั้งหมด (มก./ล. หินปูน) n = 12	751	1356	1377	-	-
กรดไขมันระเหย (มก./ล. หินปูน) n = 12	804	449	441	-	-
กรดไขมันระเหย / สภาพต่างทั้งหมด n = 12	1.07	0.33	0.32	-	-
พีเอช n = 23	6.43	6.68	6.75	-	-
ไออาร์พี (มิลลิโวลต์) n = 12	-	-326	-336	-	-
ทีเคเอ็น (มก./ล. ในโตรเจน) n = 3	96	90	88	7	9
บีไอดี 5 วัน (มก./ล.) n = 2	1350	450	450	67	67
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) n = 23	28.8	29.1	29.1	-	-
ก๊าซทั้งหมด (มล./วัน) n = 12	-	4471	4107	-	-
เปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทน n = 2	-	60.1	60.3	-	-

n คือ จำนวนครั้งที่ทำการทดลองหลังระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว

ตารางที่ 4.4 สรุปค่าเฉลี่ยผลการทดลองชุดที่ 3 ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 15 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน

พารามิเตอร์	น้ำเข้า	น้ำออก		ประสิทธิภาพ การกำจัด (%)	
		ความเร็ว ไหลชั้น 3 ม./ชม.	ความเร็ว ไหลชั้น 5 ม./ชม.	ความเร็ว ไหลชั้น 3 ม./ชม.	ความเร็ว ไหลชั้น 5 ม./ชม.
ซีโอดี (มก./ล.) n = 12	5327	2496	2422	53	55
ของแข็งแขวนลอย (มก./ล.) n = 12	92	36	36	59	59
ความเข้มข้นของสี (เอสยู) n = 12	325	289	291	11	10
สภาพด่างทั้งหมด (มก./ล. หินปูน) n = 12	885	1463	1454	-	-
กรดไขมันระเหย (มก./ล. หินปูน) n = 12	943	503	474	-	-
กรดไขมันระเหย / สภาพด่างทั้งหมด n = 12	1.06	0.34	0.33	-	-
พีเอช n = 23	6.46	6.79	6.84	-	-
ไออาร์พี (มิลลิโวลต์) n = 12	-	-328	-337	-	-
ทีเคเอ็น (มก./ล. ไนโตรเจน) n = 3	106	98	95	8	10
บีโอดี 5 วัน (มก./ล.) n = 2	1533	533	500	65	67
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) n = 23	28.2	28.7	28.8	-	-
ก๊าซทั้งหมด (มล./วัน) n = 12	-	5678	5364	-	-
เปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทน n = 2	-	57.8	58.2	-	-

n คือ จำนวนครั้งที่ทำการทดลองหลังระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว

การทดลองชุดที่ 3 ดำเนินการทดลองที่ภาวะบรรทุksารอินทรีย์ 15 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน เวลาพักน้ำเสีย 8 ชั่วโมง อัตราสูบน้ำเสียเข้าระบบ 6 ลิตร/วัน และเปรียบเทียบพารามิเตอร์ต่างๆ (ตารางที่ 3.4) ของถังปฏิกรณ์ที่ 1 ที่มีความเร็วไหลขึ้นในถังปฏิกรณ์ 3 ม./ชม. และถังปฏิกรณ์ที่ 2 ที่มีความเร็วไหลขึ้นในถังปฏิกรณ์ 5 ม./ชม. ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.4 ในการทดลองชุดที่ 3 นี้ ดำเนินการตั้งแต่ต้นเดือนกรกฎาคม – ต้นเดือนสิงหาคม 2546 รวมระยะเวลาดำเนินการทดลองทั้งสิ้น 60 วัน

1) ซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัด

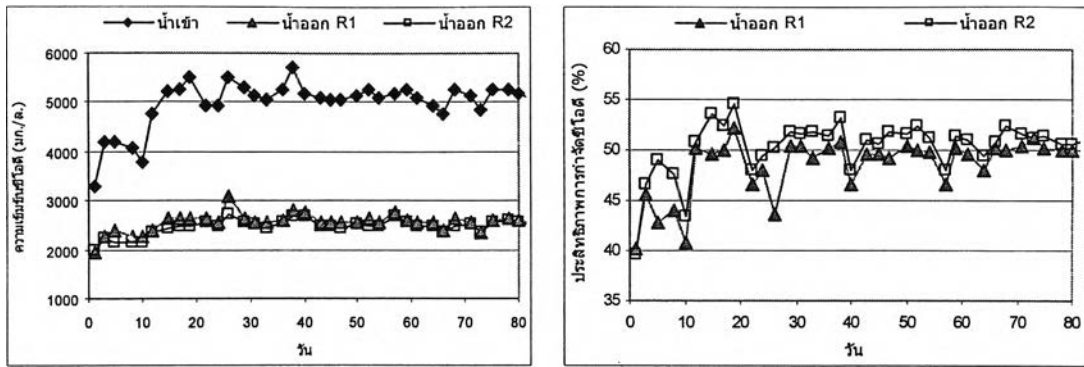
การทดลองชุดที่ 1 ภาวะบรรทุksารอินทรีย์ 5 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าซีโอดีเฉลี่ยของน้ำอากาศที่เตรียมไว้ในถังพักน้ำเสียมีค่าเฉลี่ย 5100 มก./ล. ส่วนน้ำออกจากถังปฏิกรณ์ที่ 1 (ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.) มีค่าซีโอดีเฉลี่ย 2566 มก./ล. ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีคิดเป็นร้อยละ 50 และน้ำออกจากถังปฏิกรณ์ที่ 2 (ความเร็วไหลขึ้น 5 ม./ชม.) มีค่าซีโอดีเฉลี่ย 2508 มก./ล. ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีคิดเป็นร้อยละ 51

การทดลองชุดที่ 2 ภาวะบรรทุksารอินทรีย์ 10 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าซีโอดีเฉลี่ยของน้ำอากาศที่เตรียมไว้ในถังพักน้ำเสียมีค่าเฉลี่ย 5140 มก./ล. ส่วนน้ำออกจากถังปฏิกรณ์ที่ 1 (ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.) มีค่าซีโอดีเฉลี่ย 2510 มก./ล. ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีคิดเป็นร้อยละ 51 และน้ำออกจากถังปฏิกรณ์ที่ 2 (ความเร็วไหลขึ้น 5 ม./ชม.) มีค่าซีโอดีเฉลี่ย 2440 มก./ล. ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีคิดเป็นร้อยละ 53

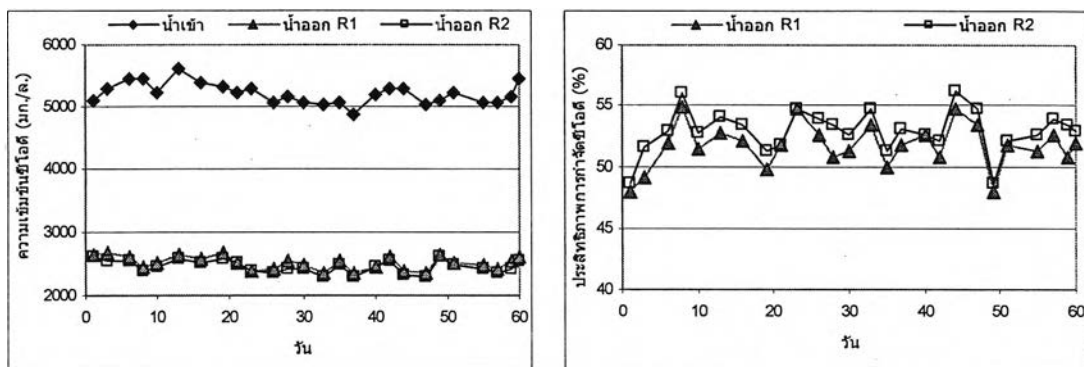
การทดลองชุดที่ 3 ภาวะบรรทุksารอินทรีย์ 15 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าซีโอดีเฉลี่ยของน้ำอากาศที่เตรียมไว้ในถังพักน้ำเสียมีค่าเฉลี่ย 5330 มก./ล. ส่วนน้ำออกจากถังปฏิกรณ์ที่ 1 (ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.) มีค่าซีโอดีเฉลี่ย 2500 มก./ล. ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีคิดเป็นร้อยละ 53 และน้ำออกจากถังปฏิกรณ์ที่ 2 (ความเร็วไหลขึ้น 5 ม./ชม.) มีค่าซีโอดีเฉลี่ย 2420 มก./ล. ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีคิดเป็นร้อยละ 55

ค่าซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเทียบเป็นร้อยละของน้ำเสียเข้าระบบตลอดการทดลองนี้ ดังแสดงในรูปที่ 4.1

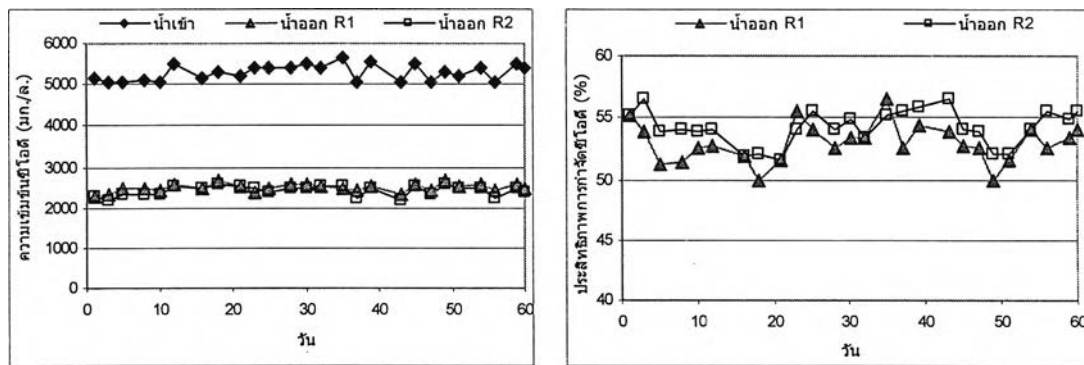
ค่าซีโอดีในน้ำเข้าเป็นน้ำเสียในถังพักเดียวกัน และเนื่องจากต้องเตรียมน้ำเสียทุกวัน ใช้อัตราส่วนการเจือจางเท่าเดิม เมื่อภาวะบรรทุksารอินทรีย์เพิ่มขึ้น ต้องเตรียมน้ำเสียมากขึ้น ผู้วิจัยจึงทำการเตรียมน้ำเสียแบบประมาณโดยการเปิดน้ำประปาใส่ถังพักน้ำเสียที่วัดปริมาตรไว้แล้ว ไม่ได้เตรียมด้วยกระบอกตวงเหมือนกับในชุดการทดลองที่ 1 ที่มีภาวะบรรทุksารอินทรีย์ 5 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ที่ใช้น้ำเสียเพียง 2 ล./วัน



ก) ค่าซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีที่ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 5 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน



ข) ค่าซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีที่ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 10 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน



ค) ค่าซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีที่ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 15 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน

รูปที่ 4.1 ซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีที่ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ต่าง ๆ

จากรูปที่ 4.1 ค่าซีโอดีน้ำออกมีค่าแปรปรวนเล็กน้อยในช่วงแรกของการทดลองชุดที่ 1 เนื่องจากระบบต้องปรับตัวให้คุ้นเคยกับน้ำเสีย และสภาวะความเร็วที่กำหนดให้ ใช้เวลาประมาณ 1 เดือน ระบบจึงเข้าสู่สภาวะคงตัว ดังปฏิกรณ์ไบโที่ 2 มีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีมากกว่าถึง

ปฏิกรณ์ใบที่ 1 เล็กน้อยในทุก ๆ ชุดการทดลอง แสดงให้เห็นว่าที่ความเร็วไหลขึ้นมากกว่ามีผลดีต่อประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี

2) ของแข็งแขวนลอยและประสิทธิภาพการกำจัด

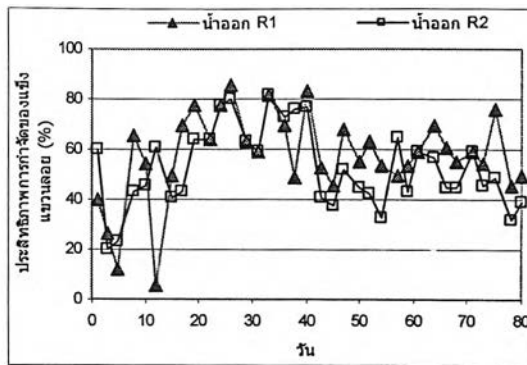
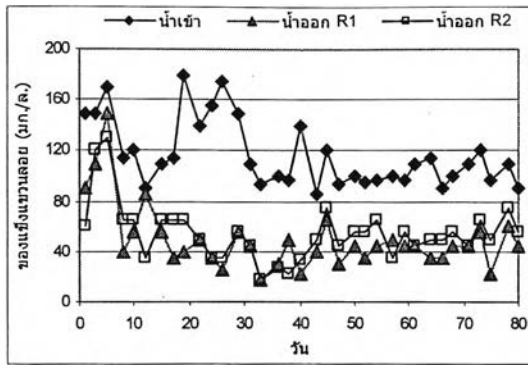
การทดลองชุดที่ 1 ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 5 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยของน้ำกากส่าที่เตรียมไว้ในถังพักน้ำเสียมีค่า 102 มก./ล. ส่วนน้ำออกจากถังปฏิกรณ์ที่ 1 (ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.) มีค่าของแข็งแขวนลอยเฉลี่ย 43 มก./ล. ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยคิดเป็นร้อยละ 58 และน้ำออกจากถังปฏิกรณ์ที่ 2 (ความเร็วไหลขึ้น 5 ม./ชม.) มีค่าของแข็งแขวนลอยเฉลี่ย 52 มก./ล. ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยคิดเป็นร้อยละ 49

การทดลองชุดที่ 2 ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 10 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยของน้ำกากส่าที่เตรียมไว้ในถังพักน้ำเสียมีค่า 75 มก./ล. ส่วนน้ำออกจากถังปฏิกรณ์ที่ 1 (ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.) มีค่าของแข็งแขวนลอยเฉลี่ย 36 มก./ล. ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยคิดเป็นร้อยละ 49 และน้ำออกจากถังปฏิกรณ์ที่ 2 (ความเร็วไหลขึ้น 5 ม./ชม.) มีค่าของแข็งแขวนลอยเฉลี่ย 38 มก./ล. ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยคิดเป็นร้อยละ 47

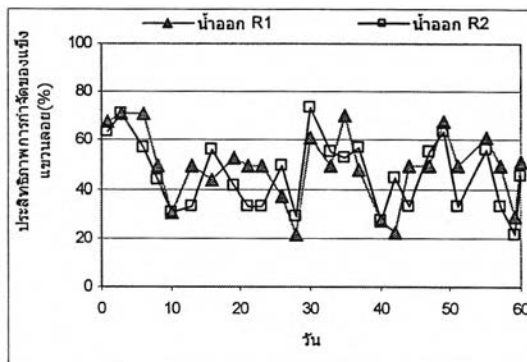
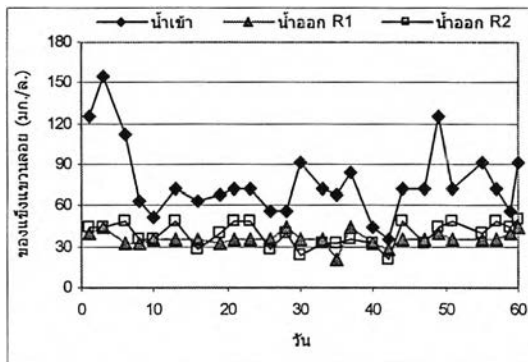
การทดลองชุดที่ 3 ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 15 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยของน้ำกากส่าที่เตรียมไว้ในถังพักน้ำเสียมีค่า 92 มก./ล. ส่วนน้ำออกจากถังปฏิกรณ์ที่ 1 (ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.) มีค่าของแข็งแขวนลอยเฉลี่ย 36 มก./ล. ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยคิดเป็นร้อยละ 59 และน้ำออกจากถังปฏิกรณ์ที่ 2 (ความเร็วไหลขึ้น 5 ม./ชม.) มีค่าของแข็งแขวนลอยเฉลี่ย 36 มก./ล. ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยคิดเป็นร้อยละ 59

ค่าของแข็งแขวนลอยและประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยเทียบเป็นร้อยละของน้ำเสียเข้าระบบตลอดการทดลองนี้ ดังแสดงในรูปที่ 4.2

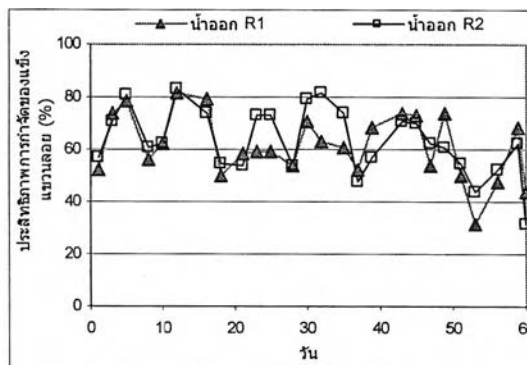
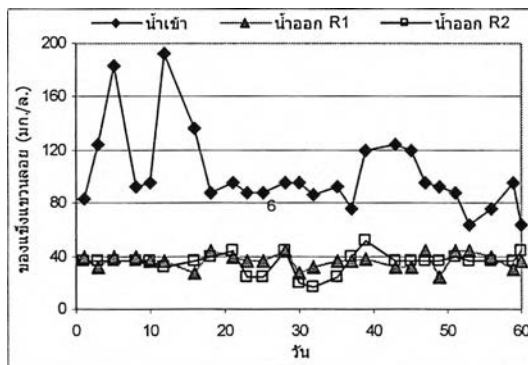
จากรูปที่ 4.2 จะเห็นว่าค่าของแข็งแขวนลอยน้ำออกที่ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 5 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ในช่วงก่อนเข้าสู่สภาวะคงตัวมีค่าสูง เนื่องจากในระหว่างการปรับตัวของระบบมีของแข็งแขวนลอยบางส่วนได้หลุดออกเนื่องจากไม่สามารถอยู่ในสภาพความเร็วที่เพิ่มขึ้นได้ แต่เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวแล้วจะเห็นว่าของแข็งแขวนลอยที่หลุดออกมีค่าค่อนข้างคงที่



ก) ของแข็งแขวนลอยและประสิทธิภาพการกำจัดที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 5 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน



ข) ของแข็งแขวนลอยและประสิทธิภาพการกำจัดที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 10 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน



ค) ของแข็งแขวนลอยและประสิทธิภาพการกำจัดที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 15 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน

รูปที่ 4.2 ของแข็งแขวนลอยและประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอย
ที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่าง ๆ

3) สีและประสิทธิภาพการลดสี

การทดลองชุดที่ 1 ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 5 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าความเข้มข้นของน้ำกากส่าที่เตรียมไว้ในถังพักน้ำเสียมีค่าเฉลี่ย 328 เอสยู ส่วนน้ำออกจากถังปฏิกรณ์ที่ 1 (ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.) มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ย 292 เอสยู ประสิทธิภาพการลดสีคิดเป็นร้อยละ 11 และน้ำออกจากถังปฏิกรณ์ที่ 2 (ความเร็วไหลขึ้น 5 ม./ชม.) มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ย 296 เอสยู ประสิทธิภาพการลดสีคิดเป็นร้อยละ 10

การทดลองชุดที่ 2 ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 10 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าความเข้มข้นของน้ำกากส่าที่เตรียมไว้ในถังพักน้ำเสียมีค่าเฉลี่ย 325 เอสยู ส่วนน้ำออกจากถังปฏิกรณ์ที่ 1 (ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.) มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ย 289 เอสยู ประสิทธิภาพการลดสีคิดเป็นร้อยละ 11 และน้ำออกจากถังปฏิกรณ์ที่ 2 (ความเร็วไหลขึ้น 5 ม./ชม.) มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ย 291 เอสยู ประสิทธิภาพการลดสีคิดเป็นร้อยละ 10

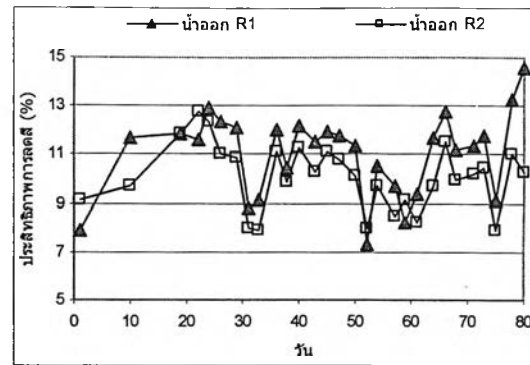
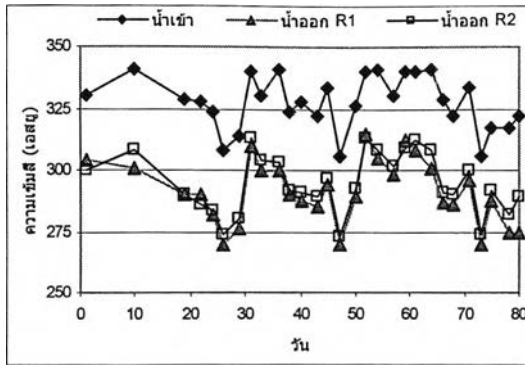
การทดลองชุดที่ 3 ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 15 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าความเข้มข้นของน้ำกากส่าที่เตรียมไว้ในถังพักน้ำเสียมีค่าเฉลี่ย 325 เอสยู ส่วนน้ำออกจากถังปฏิกรณ์ที่ 1 (ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.) มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ย 289 เอสยู ประสิทธิภาพการลดสีคิดเป็นร้อยละ 11 และน้ำออกจากถังปฏิกรณ์ที่ 2 (ความเร็วไหลขึ้น 5 ม./ชม.) มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ย 291 เอสยู ประสิทธิภาพการลดสีคิดเป็นร้อยละ 10

ค่าความเข้มของสีและประสิทธิภาพการลดสีเทียบเป็นร้อยละของน้ำเสียเข้าระบบตลอดการทดลองนี้ ดังแสดงในรูปที่ 4.3

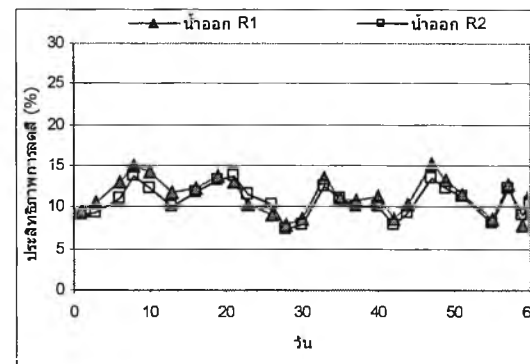
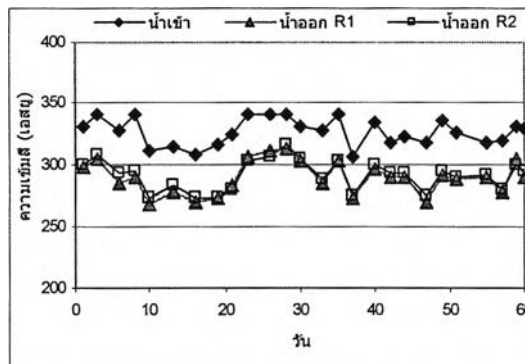
ประสิทธิภาพการลดสีของน้ำออกจากถังปฏิกรณ์ทั้งสองชุดมีค่าต่ำ และไม่แตกต่างกัน แสดงให้เห็นว่าระบบบำบัดทางชีวภาพแบบไร้อากาศสามารถลดสีของน้ำกากส่าได้เพียงเล็กน้อย

4) สภาพต่างทั้งหมด

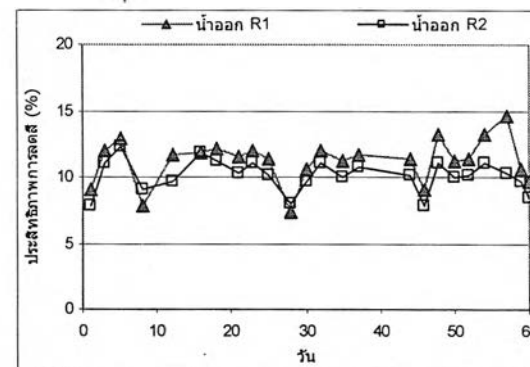
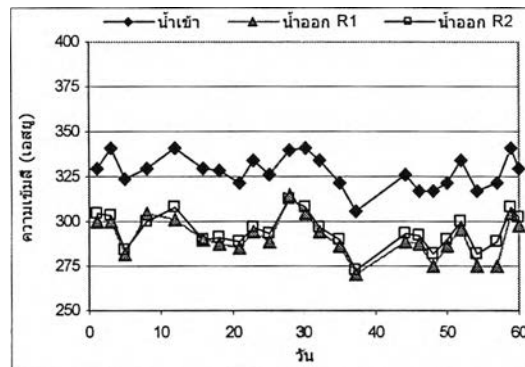
การทดลองชุดที่ 1 ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 5 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน สภาพต่างทั้งหมดของน้ำกากส่าที่เตรียมไว้ในถังพักน้ำเสียมีค่าเฉลี่ย 818 มก./ล. หินปูน ส่วนน้ำออกจากถังปฏิกรณ์ที่ 1 (ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.) มีค่าสภาพต่างทั้งหมดเฉลี่ย 1390 มก./ล. หินปูน และน้ำออกจากถังปฏิกรณ์ที่ 2 (ความเร็วไหลขึ้น 5 ม./ชม.) มีค่าสภาพต่างทั้งหมดเฉลี่ย 1395 มก./ล. หินปูน



ก) ความชื้นและประสิทธิภาพการลดสีที่ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 5 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน



ข) ความชื้นและประสิทธิภาพการลดสีที่ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 10 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน



ค) ความชื้นและประสิทธิภาพการลดสีที่ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 15 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน

รูปที่ 4.3 ความชื้นและประสิทธิภาพการลดสีที่ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ต่าง ๆ

การทดลองชุดที่ 2 ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 10 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน สภาพต่างทั้งหมดของน้ำกากส่าที่เตรียมไว้ในถังพักน้ำเสียมีค่าเฉลี่ย 750 มก./ล. หินปูน ส่วนน้ำออกจากถังปฏิกรณ์ที่ 1 (ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.) มีค่าสภาพต่างทั้งหมดเฉลี่ย 1356 มก./ล. หินปูน และน้ำออกจากถังปฏิกรณ์ที่ 2 (ความเร็วไหลขึ้น 5 ม./ชม.) มีค่าสภาพต่างทั้งหมดเฉลี่ย 1377 มก./ล. หินปูน

การทดลองชุดที่ 3 ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 15 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน สภาพต่างทั้งหมดของน้ำกากส่าที่เตรียมไว้ในถังพักน้ำเสียมีค่าเฉลี่ย 885 มก./ล. หินปูน ส่วนน้ำออกจากถังปฏิกรณ์ที่ 1 (ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.) มีค่าสภาพต่างทั้งหมดเฉลี่ย 1460 มก./ล. หินปูน และน้ำออกจากถังปฏิกรณ์ที่ 2 (ความเร็วไหลขึ้น 5 ม./ชม.) มีค่าสภาพต่างทั้งหมดเฉลี่ย 1454 มก./ล. หินปูน

ข้อมูลสภาพต่างทั้งหมดตลอดการทดลองแสดงในรูปที่ 4.4 ในการทดลองนี้ปรับสภาพต่างด้วยการเติมโซเดียมไบคาร์บอเนต (NaHCO_3) จากรูปที่ 4.4 จะเห็นว่าสภาพต่างทั้งหมดมีค่าแปรปรวนในช่วงแรกของการทดลองที่มีภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 5 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน เนื่องจาก ช่วงแรกจะปรับ pH ของน้ำเสียเข้าให้ได้ประมาณ 7 เพื่อป้องกันระบบล้มเหลว จึงใช้ปริมาณโซเดียมไบคาร์บอเนต (NaHCO_3) ไม่เท่ากัน และค่าสภาพต่างทั้งหมดของน้ำออกมีค่ามากกว่าสภาพต่างทั้งหมดของน้ำเข้า แสดงให้เห็นว่าน้ำเวียนกลับมีสภาพต่างเหลืออยู่ในปริมาณมาก จึงลดปริมาณของโซเดียมไบคาร์บอเนต (NaHCO_3) ลงหลังจากที่สภาวะของระบบเริ่มคงที่แล้ว และเติมไนโตรเจนที่คงที่ คือ โซเดียมไบคาร์บอเนต 25 กรัมต่อน้ำกากส่าสด 1 ลิตร ตลอดการทดลอง

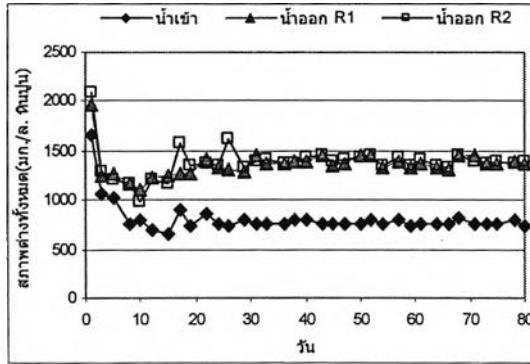
5) กรดไขมันระเหย

การทดลองชุดที่ 1 ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 5 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ปริมาณกรดไขมันระเหยของน้ำกากส่าที่เตรียมไว้ในถังพักน้ำเสียมีค่าเฉลี่ย 810 มก./ล. หินปูน ส่วนน้ำออกจากถังปฏิกรณ์ที่ 1 (ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.) มีค่ากรดไขมันระเหยเฉลี่ย 440 มก./ล. หินปูน และน้ำออกจากถังปฏิกรณ์ที่ 2 (ความเร็วไหลขึ้น 5 ม./ชม.) มีค่ากรดไขมันระเหยเฉลี่ย 440 มก./ล. หินปูน

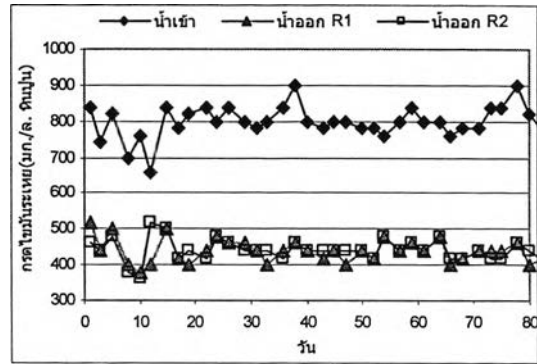
การทดลองชุดที่ 2 ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 10 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ปริมาณกรดไขมันระเหยของน้ำกากส่าที่เตรียมไว้ในถังพักน้ำเสียมีค่าเฉลี่ย 804 มก./ล. หินปูน ส่วนน้ำออกจากถังปฏิกรณ์ที่ 1 (ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.) มีค่ากรดไขมันระเหยเฉลี่ย 449 มก./ล. หินปูน และน้ำออกจากถังปฏิกรณ์ที่ 2 (ความเร็วไหลขึ้น 5 ม./ชม.) มีค่ากรดไขมันระเหยเฉลี่ย 441 มก./ล. หินปูน

การทดลองชุดที่ 3 ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 15 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ปริมาณกรดไขมันระเหยของน้ำกากส่าที่เตรียมไว้ในถังพักน้ำเสียมีค่าเฉลี่ย 943 มก./ล. หินปูน ส่วนน้ำออกจากถัง

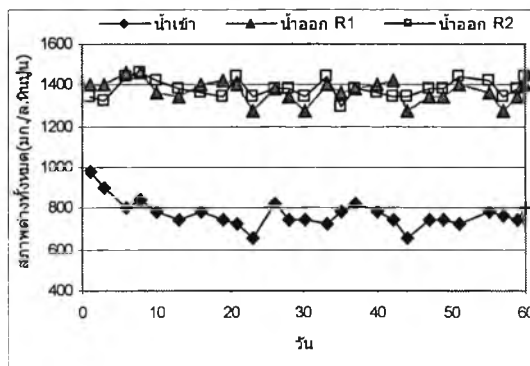
ปฏิกรณ์ที่ 1 (ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.) มีค่ากรดไขมันระเหยเฉลี่ย 503 มก./ล. หินปูน และน้ำออกจากถังปฏิกรณ์ที่ 2 (ความเร็วไหลขึ้น 5 ม./ชม.) มีค่ากรดไขมันระเหยเฉลี่ย 474 มก./ล. หินปูน ข้อมูลปริมาณกรดไขมันระเหยตลอดการทดลองแสดงในรูปที่ 4.5



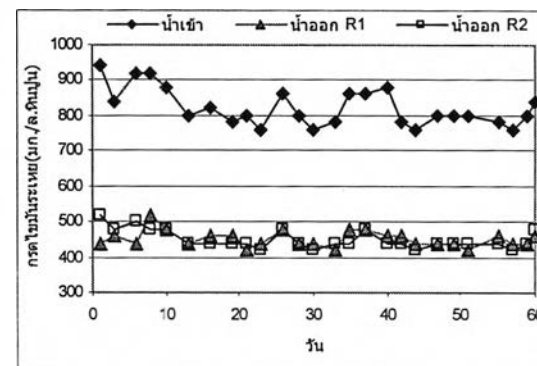
ก) สภาพต่างทั้งหมดที่ภาวะบรรทุก 5 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน



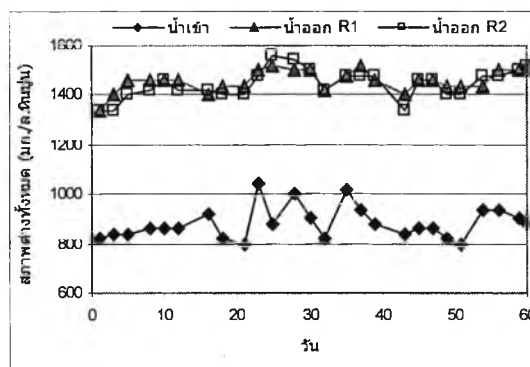
ก) กรดไขมันระเหยที่ภาวะบรรทุก 5 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน



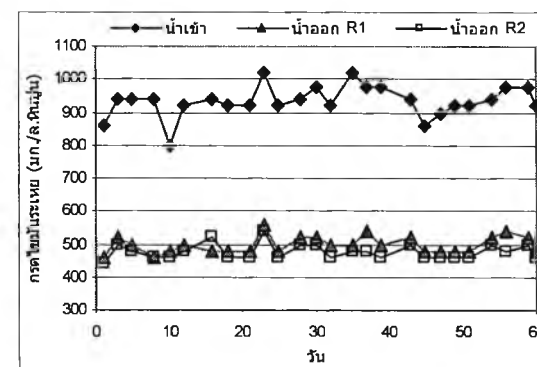
ข) สภาพต่างทั้งหมดที่ภาวะบรรทุก 10 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน



ข) กรดไขมันระเหยที่ภาวะบรรทุก 10 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน



ค) สภาพต่างทั้งหมดที่ภาวะบรรทุก 15 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน



ค) กรดไขมันระเหยที่ภาวะบรรทุก 15 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน

รูปที่ 4.4 สภาพต่างทั้งหมดที่ภาวะบรรทุกต่าง ๆ รูปที่ 4.5 กรดไขมันระเหยที่ภาวะบรรทุกต่าง ๆ

6) พีเอช และอัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมด

การทดลองชุดที่ 1 ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 5 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ค่าพีเอชของน้ำกากส่าที่เตรียมไว้ในถังพักน้ำเสียมีค่าเฉลี่ย 6.56 ส่วนน้ำออกจากถังปฏิกรณ์ที่ 1 (ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.) มีค่าพีเอชเฉลี่ย 6.84 และน้ำออกจากถังปฏิกรณ์ที่ 2 (ความเร็วไหลขึ้น 5 ม./ชม.) มีค่าพีเอชเฉลี่ย 6.94

การทดลองชุดที่ 2 ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 10 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ค่าพีเอชของน้ำกากส่าที่เตรียมไว้ในถังพักน้ำเสียมีค่าเฉลี่ย 6.43 ส่วนน้ำออกจากถังปฏิกรณ์ที่ 1 (ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.) มีค่าพีเอชเฉลี่ย 6.68 และน้ำออกจากถังปฏิกรณ์ที่ 2 (ความเร็วไหลขึ้น 5 ม./ชม.) มีค่าพีเอชเฉลี่ย 6.75

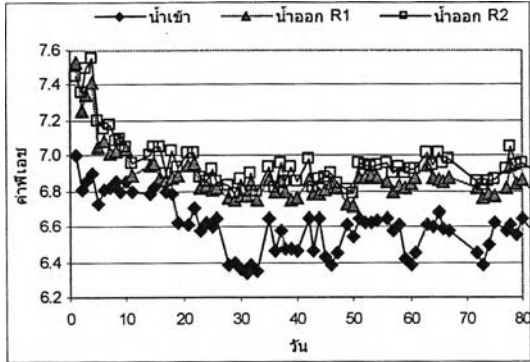
การทดลองชุดที่ 3 ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 15 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ค่าพีเอชของน้ำกากส่าที่เตรียมไว้ในถังพักน้ำเสียมีค่าเฉลี่ย 6.46 ส่วนน้ำออกจากถังปฏิกรณ์ที่ 1 (ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.) มีค่าพีเอชเฉลี่ย 6.79 และน้ำออกจากถังปฏิกรณ์ที่ 2 (ความเร็วไหลขึ้น 5 ม./ชม.) มีค่าพีเอชเฉลี่ย 6.84

ค่าพีเอชตลอดการทดลองนี้แสดงในรูปที่ 4.6 จะเห็นว่าพีเอชของน้ำออกของถังปฏิกรณ์ทั้งสองมีค่าใกล้เคียงกันมาก และค่อนข้างต่างจากน้ำเสียที่เตรียมในถังพักน้ำเสีย แสดงว่าการเวียนน้ำกลับมีผลต่อกรดไขมันระเหย, สภาพต่างทั้งหมด และพีเอชในระบบ โดยค่าพีเอชที่ออกจากระบบอยู่ในช่วง 6.6-7 ถือว่าเพียงพอต่อระบบบำบัดไร้อากาศ และอัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมด (VFA / Alkalinity) ในถังปฏิกรณ์ที่ 1 (ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.) มีค่า 0.32, 0.33 และ 0.34 ตามลำดับ ถังปฏิกรณ์ที่ 2 (ความเร็วไหลขึ้น 5 ม./ชม.) อัตราส่วนไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมดมีค่า 0.32, 0.33 และ 0.33 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าต่ำกว่า 0.4 แสดงให้เห็นว่าระบบมีกำลังบำบัดสูงเพียงพอสำหรับระบบบำบัดไร้อากาศ จึงเป็นสาเหตุที่ทำให้การเปลี่ยนแปลงของค่าพีเอชไม่แตกต่างกันอย่างชัดเจน

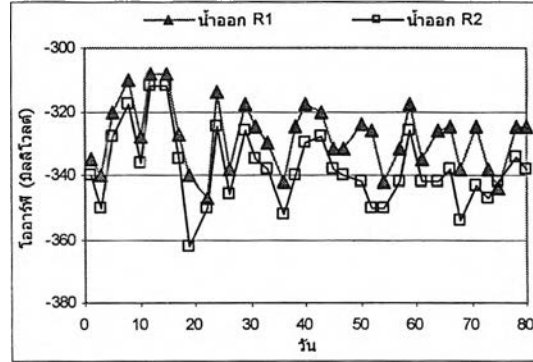
7) ไออาร์พี

การทดลองชุดที่ 1 ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 5 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าไออาร์พีเฉลี่ยของน้ำออกจากถังปฏิกรณ์ที่ 1 (ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.) เท่ากับ -331 มิลลิโวลต์ และน้ำออกจากถังปฏิกรณ์ที่ 2 (ความเร็วไหลขึ้น 5 ม./ชม.) มีค่าไออาร์พีเฉลี่ย -341 มิลลิโวลต์

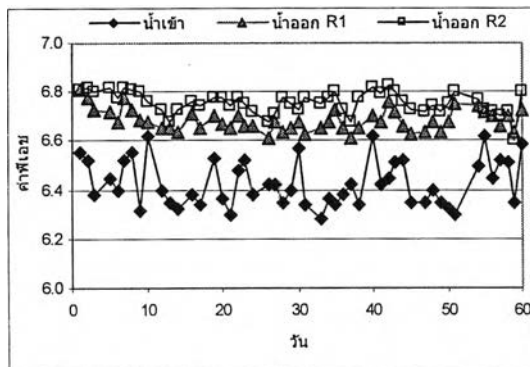
การทดลองชุดที่ 2 ภาวะบรรทุksารอินทรีย์ 10 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าไออาร์พีเฉลี่ยของน้ำออกจากถังปฏิกรณ์ที่ 1 (ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.) เท่ากับ -326 มิลลิโวลต์ และน้ำออกจากถังปฏิกรณ์ที่ 2 (ความเร็วไหลขึ้น 5 ม./ชม.) มีค่าไออาร์พีเฉลี่ย -336 มิลลิโวลต์



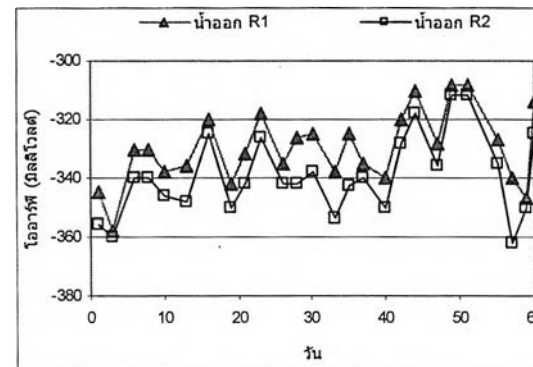
ก) ค่าพีเอชที่ภาวะบรรทุksารอินทรีย์ 5 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน



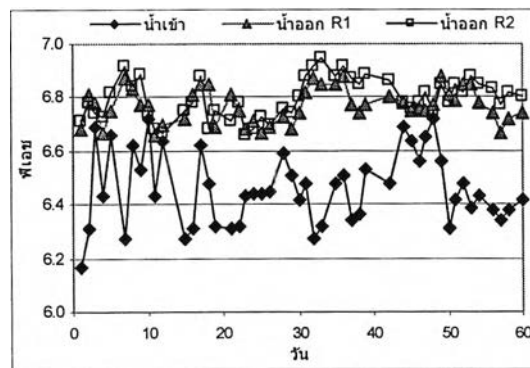
ก) ค่าไออาร์พีที่ภาวะบรรทุksารอินทรีย์ 5 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน



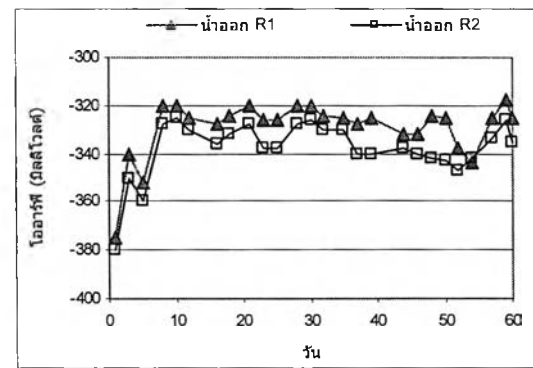
ข) ค่าพีเอชที่ภาวะบรรทุksารอินทรีย์ 10 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน



ข) ค่าไออาร์พีที่ภาวะบรรทุksารอินทรีย์ 10 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน



ค) ค่าพีเอชที่ภาวะบรรทุksารอินทรีย์ 15 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน



ค) ค่าไออาร์พีที่ภาวะบรรทุksารอินทรีย์ 15 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน

รูปที่ 4.6 พีเอชที่ภาวะบรรทุksารอินทรีย์ต่าง ๆ รูปที่ 4.7 ไออาร์พีที่ภาวะบรรทุksารอินทรีย์ต่าง ๆ

การทดลองชุดที่ 3 ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 15 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าไออาร์พีเฉลี่ยของน้ำออกจากถังปฏิกรณ์ที่ 1 (ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.) เท่ากับ -328 มิลลิโวลต์ และน้ำออกจากถังปฏิกรณ์ที่ 2 (ความเร็วไหลขึ้น 5 ม./ชม.) มีค่าไออาร์พีเฉลี่ย -337 มิลลิโวลต์

ค่าไออาร์พีตลอดการทดลองนี้ ดังแสดงในรูปที่ 4.7 ซึ่งค่าเฉลี่ยไออาร์พีทั้ง 3 ชุดการทดลองมีค่าอยู่ในช่วง -300 ถึง -500 มิลลิโวลต์ แสดงว่า ระบบเกิดปฏิกิริยาย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนได้เป็นอย่างดี

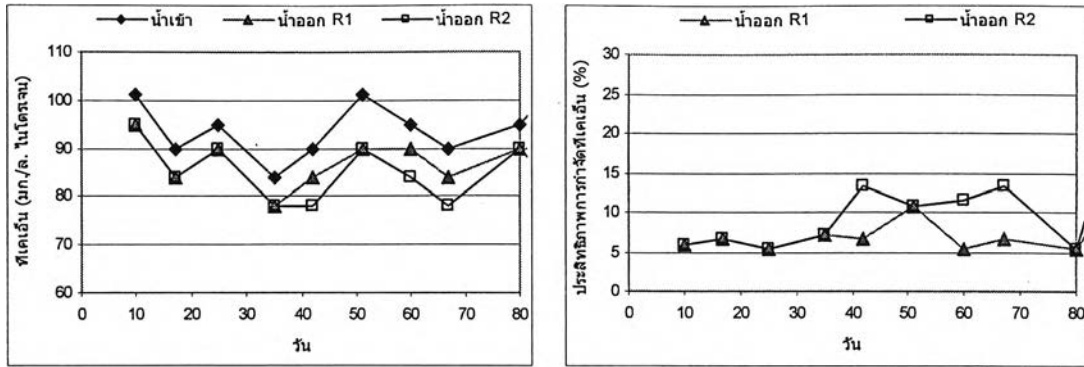
8) ทีเคเอ็น

การทดลองชุดที่ 1 ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 5 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าทีเคเอ็นเฉลี่ยของน้ำกากส่าที่เตรียมไว้ในถังพักน้ำเสียเท่ากับ 95 มก./ล.ไนโตรเจน ส่วนน้ำออกจากถังปฏิกรณ์ที่ 1 (ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.) มีค่าทีเคเอ็นเฉลี่ย 89 มก./ล.ไนโตรเจน ประสิทธิภาพการกำจัดทีเคเอ็นคิดเป็นร้อยละ 7 และน้ำออกจากถังปฏิกรณ์ที่ 2 (ความเร็วไหลขึ้น 5 ม./ชม.) มีค่าทีเคเอ็นเฉลี่ย 84 มก./ล. ไนโตรเจน ประสิทธิภาพการกำจัดทีเคเอ็นคิดเป็นร้อยละ 11

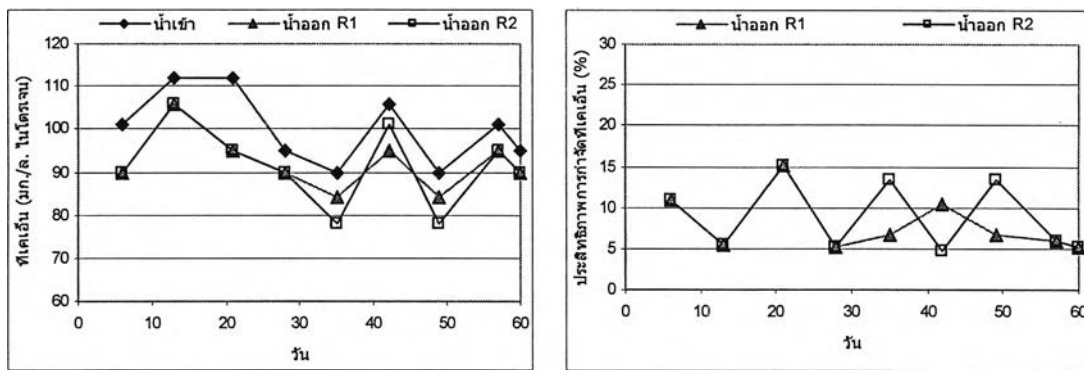
การทดลองชุดที่ 2 ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 10 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าทีเคเอ็นเฉลี่ยของน้ำกากส่าที่เตรียมไว้ในถังพักน้ำเสียเท่ากับ 96 มก./ล. ไนโตรเจน ส่วนน้ำออกจากถังปฏิกรณ์ที่ 1 (ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.) มีค่าทีเคเอ็นเฉลี่ย 90 มก./ล. ไนโตรเจน ประสิทธิภาพการกำจัดทีเคเอ็นคิดเป็นร้อยละ 7 และน้ำออกจากถังปฏิกรณ์ที่ 2 (ความเร็วไหลขึ้น 5 ม./ชม.) มีค่าทีเคเอ็นเฉลี่ย 88 มก./ล. ไนโตรเจน ประสิทธิภาพการกำจัดทีเคเอ็นคิดเป็นร้อยละ 9

การทดลองชุดที่ 3 ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 15 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าทีเคเอ็นเฉลี่ยของน้ำกากส่าที่เตรียมไว้ในถังพักน้ำเสียเท่ากับ 106 มก./ล. ไนโตรเจน ส่วนน้ำออกจากถังปฏิกรณ์ที่ 1 (ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.) มีค่าทีเคเอ็นเฉลี่ย 98 มก./ล. ไนโตรเจน ประสิทธิภาพการกำจัดทีเคเอ็นคิดเป็นร้อยละ 8 และน้ำออกจากถังปฏิกรณ์ที่ 2 (ความเร็วไหลขึ้น 5 ม./ชม.) มีค่าทีเคเอ็นเฉลี่ย 95 มก./ล. ไนโตรเจน ประสิทธิภาพการกำจัดทีเคเอ็นคิดเป็นร้อยละ 10

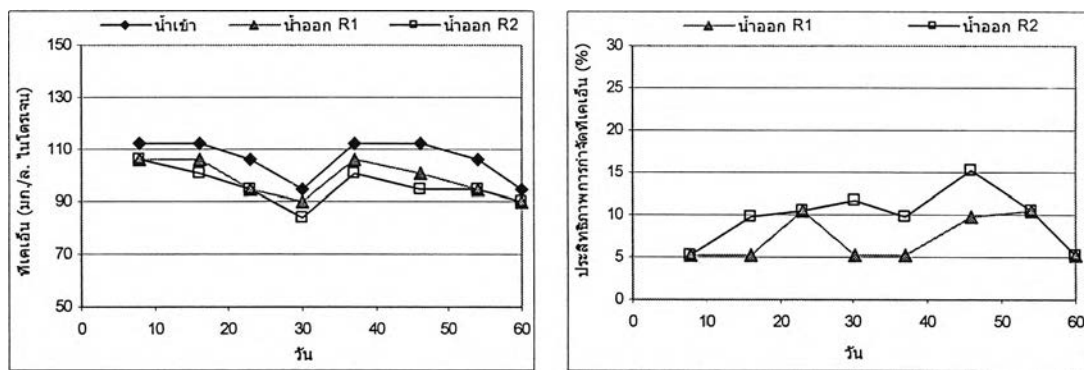
ค่าทีเคเอ็น และประสิทธิภาพการกำจัดทีเคเอ็นเทียบเป็นร้อยละของน้ำเสียเข้าระบบตลอดการทดลองนี้ ดังแสดงในรูปที่ 4.8 จะเห็นว่าทีเคเอ็นน้ำเข้าและน้ำออกจากถังปฏิกรณ์ทั้งสองชุด มีความแตกต่างกันน้อยมาก ถึงแม้ว่าไนโตรเจนจะเป็นสารอาหาร (nutrient) ที่จำเป็นต่อแบคทีเรีย แต่เนื่องจากแบคทีเรียแบบไร้อากาศมีความต้องการไนโตรเจนในปริมาณน้อยมาก จึงไม่มีนัยสำคัญต่อปริมาณทีเคเอ็นที่เปลี่ยนแปลง ซึ่งเป็นสิ่งที่อธิบายได้ว่าระบบอีจีเอสบีไม่สามารถบำบัดไนโตรเจนได้อย่างมีประสิทธิภาพ



ก) ที่เคเอ็นและประสิทธิภาพการกำจัดที่เคเอ็นที่ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 5 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน



ข) ที่เคเอ็นและประสิทธิภาพการกำจัดที่เคเอ็นที่ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 10 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน



ค) ที่เคเอ็นและประสิทธิภาพการกำจัดที่เคเอ็นที่ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 15 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน

รูปที่ 4.8 ที่เคเอ็นและประสิทธิภาพการกำจัดที่เคเอ็นที่ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ต่าง ๆ

9) บีโอดี 5 วัน และประสิทธิภาพการกำจัด

การทดลองชุดที่ 1 ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 5 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าบีโอดี 5 วันเฉลี่ยของน้ำกากส่าที่เตรียมไว้ในถังพักน้ำเสียเท่ากับ 1040 มก./ล. ส่วนน้ำออกจากถังปฏิกรณ์ที่ 1 (ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.) มีค่าบีโอดี 5 วันเฉลี่ย 450 มก./ล. ประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดี 5 วัน คิดเป็นร้อยละ 57 และน้ำออกจากถังปฏิกรณ์ที่ 2 (ความเร็วไหลขึ้น 5 ม./ชม.) มีค่าบีโอดี 5 วันเฉลี่ย 425 มก./ล. ประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดี 5 วัน คิดเป็นร้อยละ 59

การทดลองชุดที่ 2 ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 10 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าบีโอดี 5 วันเฉลี่ยของน้ำกากส่าที่เตรียมไว้ในถังพักน้ำเสียเท่ากับ 1350 มก./ล. ส่วนน้ำออกจากถังปฏิกรณ์ที่ 1 (ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.) มีค่าบีโอดี 5 วันเฉลี่ย 450 มก./ล. ประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดี 5 วัน คิดเป็นร้อยละ 67 และน้ำออกจากถังปฏิกรณ์ที่ 2 (ความเร็วไหลขึ้น 5 ม./ชม.) มีค่าบีโอดี 5 วันเฉลี่ย 450 มก./ล. ประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดี 5 วัน คิดเป็นร้อยละ 67

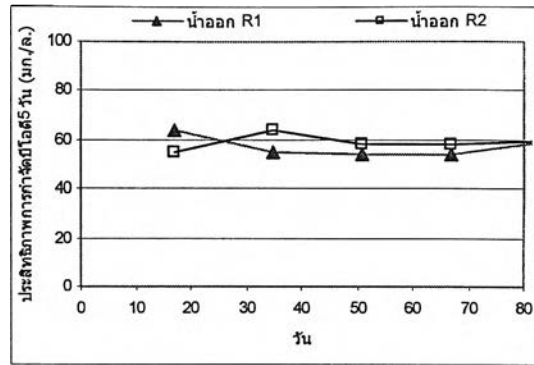
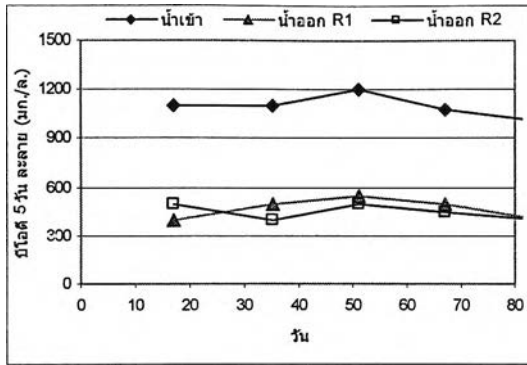
การทดลองชุดที่ 3 ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 15 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าบีโอดี 5 วันเฉลี่ยของน้ำกากส่าที่เตรียมไว้ในถังพักน้ำเสียเท่ากับ 1533 มก./ล. ส่วนน้ำออกจากถังปฏิกรณ์ที่ 1 (ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.) มีค่าบีโอดี 5 วันเฉลี่ย 533 มก./ล. ประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดี 5 วัน คิดเป็นร้อยละ 65 และน้ำออกจากถังปฏิกรณ์ที่ 2 (ความเร็วไหลขึ้น 5 ม./ชม.) มีค่าบีโอดี 5 วันเฉลี่ย 500 มก./ล. ประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดี 5 วัน คิดเป็นร้อยละ 67

ค่าบีโอดี 5 วัน และประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดี 5 วัน เทียบเป็นร้อยละของน้ำเสียเข้าระบบตลอดการทดลองนี้ ดังแสดงในรูปที่ 4.9 ค่าบีโอดี 5 วันนี้เริ่มวัดหลังจากระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวแล้ว

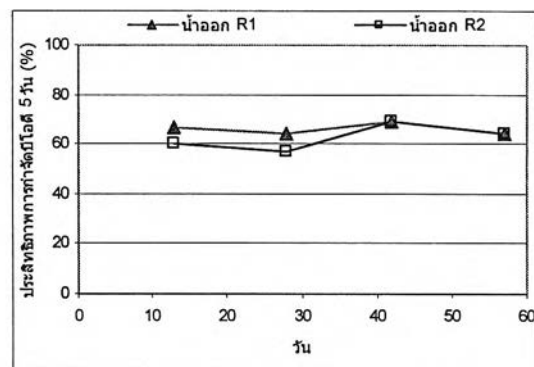
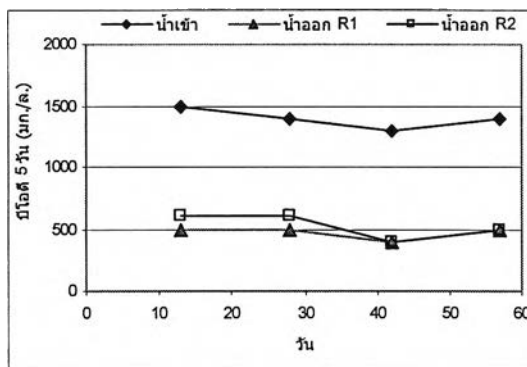
10) อุณหภูมิ

การทดลองชุดที่ 1 ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 5 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน อุณหภูมิของน้ำกากส่าที่เตรียมไว้ในถังพักน้ำเสียมีค่าเฉลี่ย 28.9 องศาเซลเซียส ส่วนน้ำออกจากถังปฏิกรณ์ที่ 1 (ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.) มีอุณหภูมิเฉลี่ย 29.1 องศาเซลเซียส และน้ำออกจากถังปฏิกรณ์ที่ 2 (ความเร็วไหลขึ้น 5 ม./ชม.) มีอุณหภูมิเฉลี่ย 29.0 องศาเซลเซียส

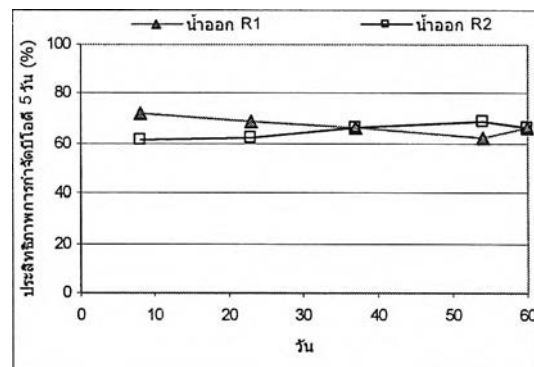
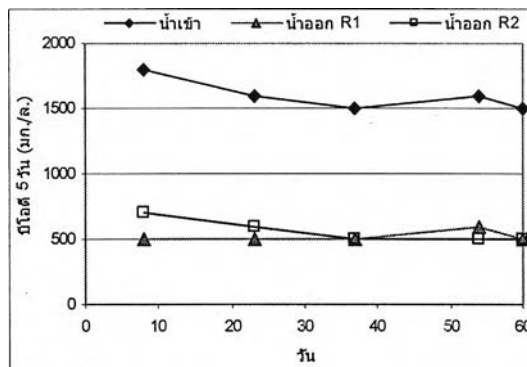
การทดลองชุดที่ 2 ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 10 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน อุณหภูมิของน้ำกากส่าที่เตรียมไว้ในถังพักน้ำเสียมีค่าเฉลี่ย 28.8 องศาเซลเซียส ส่วนน้ำออกจากถังปฏิกรณ์ที่ 1 (ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.) มีอุณหภูมิเฉลี่ย 29.1 องศาเซลเซียส และน้ำออกจากถังปฏิกรณ์ที่ 2 (ความเร็วไหลขึ้น 5 ม./ชม.) มีอุณหภูมิเฉลี่ย 29.1 องศาเซลเซียส



ก) ปัสสาวะ 5 วันและประสิทธิภาพการกำจัดปัสสาวะ 5 วัน ที่ภาวะบรรทุกระหว่างอินทรีย์ 5 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน



ข) ปัสสาวะ 5 วันและประสิทธิภาพการกำจัดปัสสาวะ 5 วัน ที่ภาวะบรรทุกระหว่างอินทรีย์ 10 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน



ค) ปัสสาวะ 5 วันและประสิทธิภาพการกำจัดปัสสาวะ 5 วัน ที่ภาวะบรรทุกระหว่างอินทรีย์ 15 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน

รูปที่ 4.9 ปัสสาวะ 5 วัน และประสิทธิภาพการกำจัดปัสสาวะ 5 วัน ที่ภาวะบรรทุกระหว่างอินทรีย์ต่าง ๆ

การทดลองชุดที่ 3 ภาวะบรรทุกลสารอินทรีย์ 15 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน อุณหภูมิของน้ำ ภาวที่เตรียมไว้ในถังพักน้ำเสียมีค่าเฉลี่ย 28.2 องศาเซลเซียส ส่วนน้ำออกจากถังปฏิกรณ์ที่ 1 (ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.) มีอุณหภูมิเฉลี่ย 28.7 องศาเซลเซียส และน้ำออกจากถังปฏิกรณ์ที่ 2 (ความเร็วไหลขึ้น 5 ม./ชม.) มีอุณหภูมิเฉลี่ย 28.8 องศาเซลเซียส

จะเห็นว่าอุณหภูมิน้ำเสียเข้าและน้ำออกจากถังปฏิกรณ์ทั้งสองชุด มีความแตกต่างกัน น้อยมาก และต่างอยู่ในช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมในช่วง mesophilic ค่าอุณหภูมิตลอดการทดลอง นี้ ดังแสดงในรูปที่ 4.10

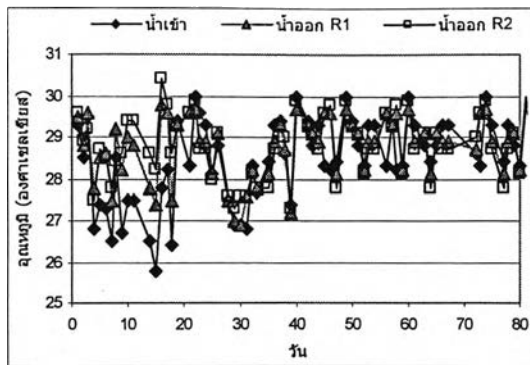
11) ปริมาณก๊าซชีวภาพและสัดส่วนก๊าซ

การทดลองชุดที่ 1 ภาวะบรรทุกลสารอินทรีย์ 5 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน มีปริมาณก๊าซ ชีวภาพเกิดขึ้นจากถังปฏิกรณ์ที่ 1 (ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.) เฉลี่ยเท่ากับ 1367 มิลลิลิตร/วัน โดยมีอัตราส่วนก๊าซมีเทนคิดเป็นร้อยละ 65.2 และถังปฏิกรณ์ที่ 2 (ความเร็วไหลขึ้น 5 ม./ชม.) มี ก๊าซชีวภาพเกิดขึ้นเฉลี่ย 1292 มิลลิลิตร/วัน โดยมีอัตราส่วนก๊าซมีเทนคิดเป็นร้อยละ 65.6

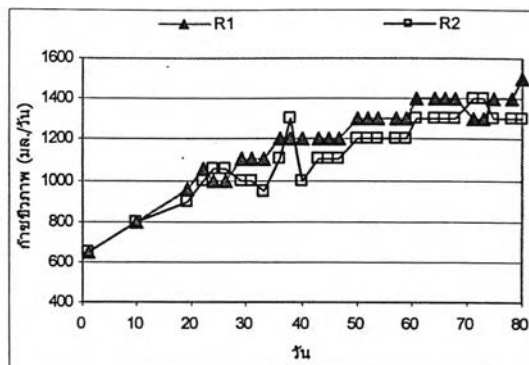
การทดลองชุดที่ 2 ภาวะบรรทุกลสารอินทรีย์ 10 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน มีปริมาณก๊าซ ชีวภาพเกิดขึ้นจากถังปฏิกรณ์ที่ 1 (ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.) เฉลี่ยเท่ากับ 4471 มิลลิลิตร/วัน โดยมีอัตราส่วนก๊าซมีเทนคิดเป็นร้อยละ 60.1 และถังปฏิกรณ์ที่ 2 (ความเร็วไหลขึ้น 5 ม./ชม.) มี ก๊าซชีวภาพเกิดขึ้นเฉลี่ย 4107 มิลลิลิตร/วัน โดยมีอัตราส่วนก๊าซมีเทนคิดเป็นร้อยละ 60.3

การทดลองชุดที่ 3 ภาวะบรรทุกลสารอินทรีย์ 15 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน มีปริมาณก๊าซ ชีวภาพเกิดขึ้นจากถังปฏิกรณ์ที่ 1 (ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.) เฉลี่ยเท่ากับ 5678 มิลลิลิตร/วัน โดยมีอัตราส่วนก๊าซมีเทนคิดเป็นร้อยละ 57.8 และถังปฏิกรณ์ที่ 2 (ความเร็วไหลขึ้น 5 ม./ชม.) มี ก๊าซชีวภาพเกิดขึ้นเฉลี่ย 5364 มิลลิลิตร/วัน โดยมีอัตราส่วนก๊าซมีเทนคิดเป็นร้อยละ 58.2

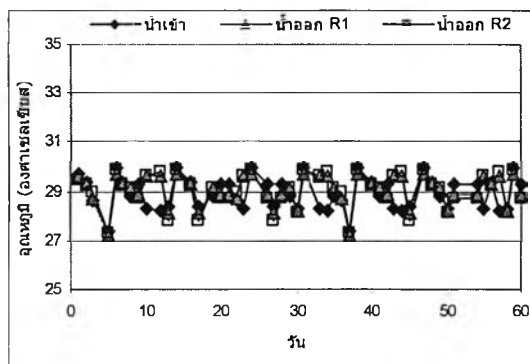
ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นแสดงดังรูปที่ 4.11 จะเห็นว่าเมื่อเพิ่มภาวะบรรทุกล สารอินทรีย์ ระบบจะผลิตก๊าซชีวภาพมากขึ้น และที่ถังปฏิกรณ์ที่ 2 ซึ่งมีค่าความเร็วไหลขึ้น มากกว่าถังปฏิกรณ์ที่ 1 ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจะน้อยกว่าเล็กน้อย ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่า เมื่อความเร็วไหลขึ้นมาก เม็ดจุลชีพจะลอยขึ้นไปติดอยู่กับอุปกรณ์แยกสามสถานะ (GSS) ซึ่งไป ขวางทางเดินของก๊าซจึงเป็นอุปสรรคในการเก็บก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น



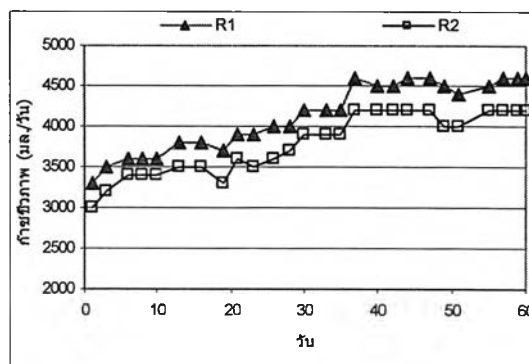
ก) อุณหภูมิที่ภาวะบรรทุก 5 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน



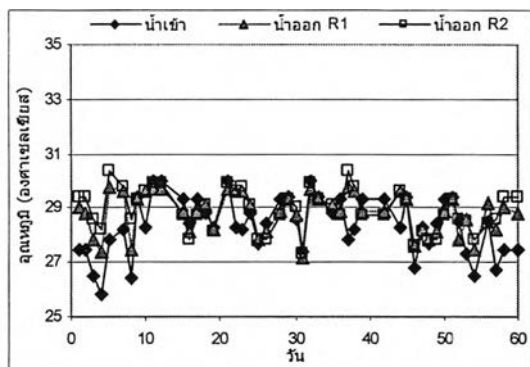
ก) ก๊าซชีวภาพที่ภาวะบรรทุก 5 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน



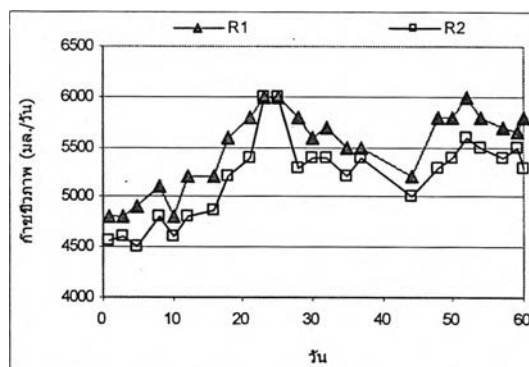
ข) อุณหภูมิที่ภาวะบรรทุก 10 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน



ข) ก๊าซชีวภาพที่ภาวะบรรทุก 10 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน



ค) อุณหภูมิที่ภาวะบรรทุก 15 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน



ค) ก๊าซชีวภาพที่ภาวะบรรทุก 15 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน

รูปที่ 4.10 อุณหภูมิที่ภาวะบรรทุกต่าง ๆ

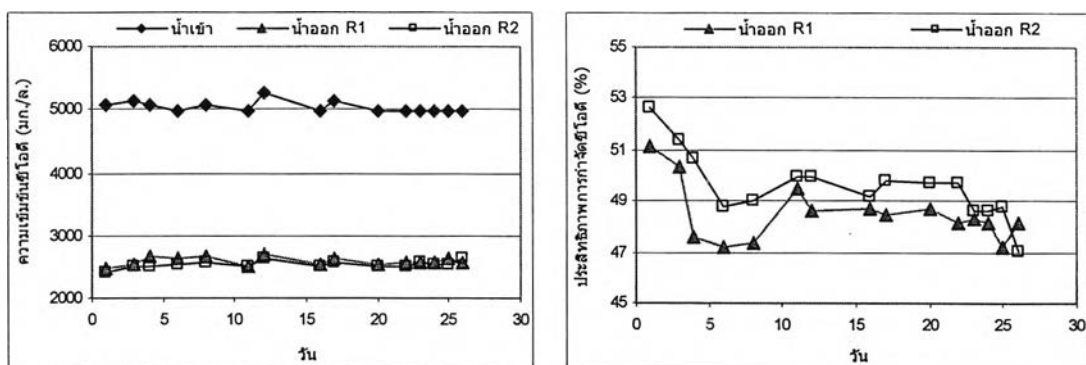
รูปที่ 4.11 ก๊าซชีวภาพที่ภาวะบรรทุกต่าง ๆ

4.2.2 ผลการศึกษาการเพิ่มภาระบรรทุกสารอินทรีย์แบบทันทีทันใดที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 25 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน

การทดลองชุดที่ 4 นี้ มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาถึงประสิทธิภาพของระบบอีจีเอสบีในการรับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นแบบทันทีทันใด เมื่อเพิ่มภาระบรรทุกสารอินทรีย์จาก 15 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน เวลาพักน้ำเสีย 8 ชั่วโมง อัตราสูบน้ำเสียเข้าระบบ 6 ลิตร/วัน เป็น 25 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ที่มีเวลาพักน้ำเสีย 4.8 ชั่วโมง และอัตราสูบน้ำเสียเข้าระบบ 10 ลิตร/วัน โดยวัดพารามิเตอร์ต่างๆ ในถังปฏิกรณ์ที่ 1 ที่มีความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม. และถังปฏิกรณ์ที่ 2 ที่มีความเร็วไหลขึ้น 5 ม./ชม. ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.5 ในการทดลองช่วงนี้ใช้ระยะเวลาทดลอง 1 เดือน เนื่องจาก ในถังปฏิกรณ์ระบบอีจีเอสบีทั้งสองชุด มีปริมาณก๊าซชีวภาพเกิดขึ้นในระบบมาก เม็ดตะกอนที่อยู่ในระบบฟุ้งกระจายเป็นอย่างมาก จนทำให้เม็ดจุลชีพในระบบลอยขึ้นไปติดกับเครื่องแยกตะกอน (GSS) ในปริมาณมาก และมีเม็ดจุลชีพบางส่วนหลุดออกมากับน้ำออก

1) ซีไอดีและประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดี

ค่าซีไอดีเฉลี่ยของน้ำกากส่าที่เตรียมไว้ในถังพักน้ำเสียมักเท่ากับ 5020 มก./ล. ส่วนน้ำออกจากถังปฏิกรณ์ที่ 1 (ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.) มีค่าซีไอดีเฉลี่ย 2591 มก./ล. ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดี คิดเป็นร้อยละ 48 และน้ำออกจากถังปฏิกรณ์ที่ 2 (ความเร็วไหลขึ้น 5 ม./ชม.) มีซีไอดีเฉลี่ย 2553 มก./ล. ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีคิดเป็นร้อยละ 49 ค่าซีไอดี และประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีเทียบเป็นร้อยละของน้ำเสียเข้าระบบตลอดการทดลองนี้ ดังแสดงในรูปที่ 4.12 จากรูปจะเห็นว่าประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีจะค่อยๆ ลดลง แล้วคงที่ แสดงให้เห็นว่าระบบปรับตัวเข้าสู่สภาวะคงที่ได้ดี



รูปที่ 4.12 ซีไอดีและประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 25 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน

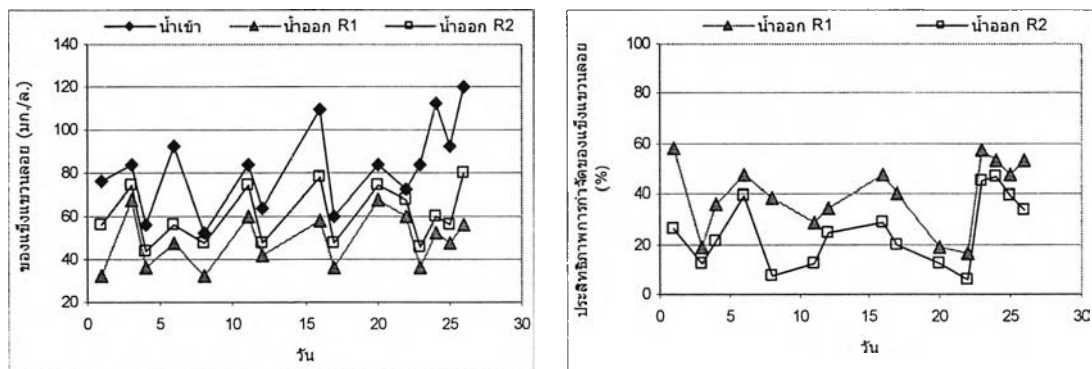
ตารางที่ 4.5 สรุปค่าเฉลี่ยผลการทดลองชุดที่ 4 ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 25 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน

พารามิเตอร์	น้ำเข้า	น้ำออก		ประสิทธิภาพการกำจัด (%)	
		ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.	ความเร็วไหลขึ้น 5 ม./ชม.	ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.	ความเร็วไหลขึ้น 5 ม./ชม.
ซีไอดี (มก./ล.) n = 10	5020	2591	2553	48	49
ของแข็งแขวนลอย (มก./ล.) n = 10	88	52	63	40	27
ความเข้มข้นของสี (เอสยู) n = 10	309	279	282	10	9
สภาพต่างทั้งหมด (มก./ล. หินปูน) n = 10	846	1396	1398	-	-
กรดไขมันระเหย (มก./ล. หินปูน) n = 10	848	482	464	-	-
กรดไขมันระเหย / สภาพต่างทั้งหมด n = 10	1.0	0.34	0.33	-	-
พีเอช n = 10	6.43	6.65	6.66	-	-
ไออาร์พี (มิลลิโวลต์) n = 10	-	-342	-351	-	-
ทีเคเอ็น (มก./ล. ไนโตรเจน) n = 3	101	93	90	7	11
บีไอดี 5 วัน (มก./ล.) n = 2	2000	650	650	67	67
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) n = 10	28.5	28.7	28.7	-	-
ก๊าซทั้งหมด (มล./วัน) n = 10	-	9590	9134	-	-
เปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทน n = 2	-	54.7	55.1	-	-

n คือจำนวนครั้งที่ทำการทดลองหลังระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว

2) ของแข็งแขวนลอย และประสิทธิภาพการกำจัด

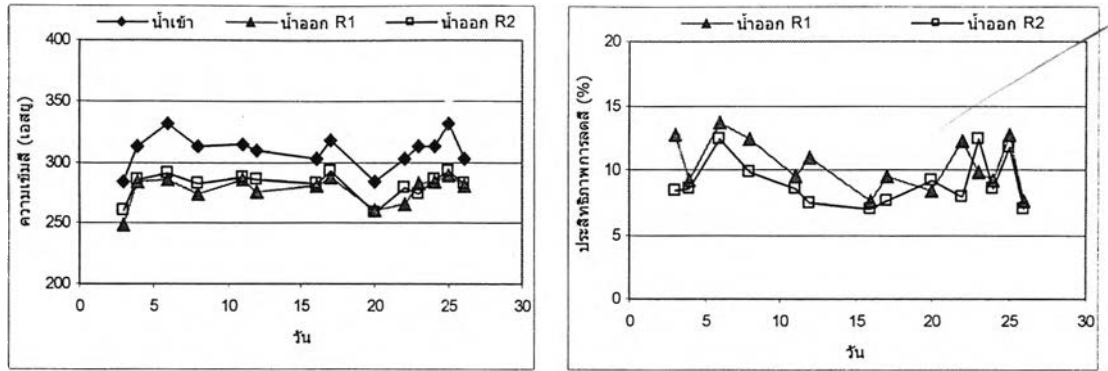
ของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยของน้ำกากส่าที่เตรียมไว้ในถังพักน้ำเสียมีค่าเท่ากับ 88 มก./ล. ส่วนน้ำออกจากถังปฏิกรณ์ที่ 1 (ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.) มีค่าของแข็งแขวนลอยเฉลี่ย 52 มก./ล. ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยคิดเป็นร้อยละ 40 และน้ำออกจากถังปฏิกรณ์ที่ 2 (ความเร็วไหลขึ้น 5 ม./ชม.) มีค่าของแข็งแขวนลอยเฉลี่ย 63 มก./ล. ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยคิดเป็นร้อยละ 27 ค่าของแข็งแขวนลอยและประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยเทียบเป็นร้อยละของน้ำเสียเข้าระบบตลอดการทดลองนี้ ดังแสดงในรูปที่ 4.13 จากรูปจะเห็นว่า ถังปฏิกรณ์ที่ 2 ซึ่งมีความเร็วไหลขึ้นมากกว่าถังปฏิกรณ์ที่ 1 จะมีประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยต่ำกว่า ทั้งนี้เป็นเพราะว่าถังปฏิกรณ์ที่มีความเร็วมากกว่าทำให้เซลล์จุลินทรีย์มีโอกาสหลุดออกจากระบบได้มากกว่า



รูปที่ 4.13 ของแข็งแขวนลอยและประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยที่ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 25 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน

3) ความเข้มข้นและประสิทธิภาพการลดสี

ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของน้ำกากส่าที่เตรียมไว้ในถังพักน้ำเสียมีค่าเท่ากับ 309 เอสยู ส่วนน้ำออกจากถังปฏิกรณ์ที่ 1 (ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.) มีค่าความเข้มข้นสีเฉลี่ย 279 เอสยู ประสิทธิภาพการลดสีคิดเป็นร้อยละ 10 และน้ำออกจากถังปฏิกรณ์ที่ 2 (ความเร็วไหลขึ้น 5 ม./ชม.) มีค่าความเข้มข้นสีเฉลี่ย 282 เอสยู ประสิทธิภาพการลดสีคิดเป็นร้อยละ 9 ค่าความเข้มข้นและประสิทธิภาพการลดสีเทียบเป็นร้อยละของน้ำเสียเข้าระบบตลอดการทดลองนี้ ดังแสดงในรูปที่ 4.14 จากรูปจะเห็นว่าน้ำออกจากถังปฏิกรณ์ทั้งสองชุดมีประสิทธิภาพการลดสี ได้น้อยไม่แตกต่างกัน



รูปที่ 4.14 ความชื้นและประสิทธิภาพการลดสีที่ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 25 กก./ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน

4) สภาพต่างทั้งหมดและกรดไขมันระเหย

สภาพต่างทั้งหมดของน้ำกากส่าที่เตรียมไว้ในถังพักน้ำเสียมีค่าเฉลี่ย 846 มก./ล. หินปูน ส่วนน้ำออกจากถังปฏิกรณ์ที่ 1 (ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.) มีค่าสภาพต่างทั้งหมดเฉลี่ย 1396 มก./ล. หินปูน และน้ำออกจากถังปฏิกรณ์ที่ 2 (ความเร็วไหลขึ้น 5 ม./ชม.) มีค่าสภาพต่างทั้งหมดเฉลี่ย 1398 มก./ล. หินปูน ข้อมูลสภาพต่างทั้งหมดตลอดการทดลองนี้ ดังแสดงในรูปที่ 4.15

ปริมาณกรดไขมันระเหยของน้ำกากส่าที่เตรียมไว้ในถังพักน้ำเสียมีค่าเฉลี่ย 848 มก./ล. หินปูน ส่วนน้ำออกจากถังปฏิกรณ์ที่ 1 (ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.) มีปริมาณกรดไขมันเฉลี่ย 482 มก./ล. หินปูน และน้ำออกจากถังปฏิกรณ์ที่ 2 (ความเร็วไหลขึ้น 5 ม./ชม.) มีปริมาณกรดไขมันเฉลี่ย 464 มก./ล. หินปูน ปริมาณกรดไขมันตลอดการทดลองนี้ ดังแสดงในรูปที่ 4.16

จากรูปที่ 4.15 และ 4.16 จะเห็นว่าสภาพต่างทั้งหมด และกรดไขมันระเหย ตลอดการทดลองมีค่าค่อนข้างคงที่ และมีค่าไม่แตกต่างกัน แสดงให้เห็นว่าถึงแม้ว่าจะเพิ่มภาวะบรรทุกสารอินทรีย์แบบทันทีทันใดก็ตาม ไม่ได้มีผลต่อสภาพต่างทั้งหมด และกรดไขมันระเหย ในระบบอ็อกซิเอสปีของถังปฏิกรณ์ทั้งสองชุด

5) พีเอชและอัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมด

ค่าพีเอชของน้ำกากส่าที่เตรียมไว้ในถังพักน้ำเสียก่อนเข้าระบบมีค่าเฉลี่ย 6.43 โดยมีการเติมปริมาณต่างให้กับระบบด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ด้วยอัตราส่วนเท่ากันการบรรทุกสารอินทรีย์ทั้ง 3 ชุดการทดลองที่ผ่านมา คือ ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ 25 กรัม ต่อ น้ำกากส่าสด 1 ลิตร ส่วนค่าพีเอชเฉลี่ยของน้ำออกจากถังปฏิกรณ์ที่ 1 (ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.) เท่ากับ

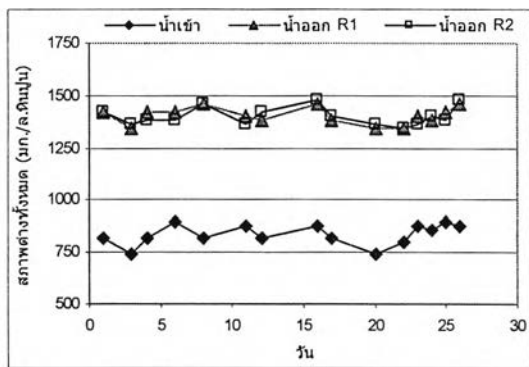
6.65 และค่าพีเอชเฉลี่ยของน้ำออกจากถังปฏิกรณ์ที่ 2 (ความเร็วไหลขึ้น 5 ม./ชม.) เท่ากับ 6.66 ค่าพีเอชตลอดการทดลองนี้ ดังแสดงในรูปที่ 4.17

เมื่อพิจารณาถึงค่าอัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมดของระบบที่ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม. ในถังปฏิกรณ์ที่ 1 มีค่า 0.33 และ ในถังปฏิกรณ์ที่ 2 ที่มีความเร็วไหลขึ้น 5 ม./ชม. มีค่า 0.34 ซึ่งมีค่าต่ำกว่า 0.4 แสดงให้เห็นว่าในระบบบำบัดของทั้งสองชุดมีกำลังบัฟเฟอร์มากพอสำหรับการบำบัดแบบไร้อากาศ จึงเป็นสาเหตุให้ค่าพีเอชที่ออกจากระบบทั้งสองชุดมีค่าไม่แตกต่างกัน

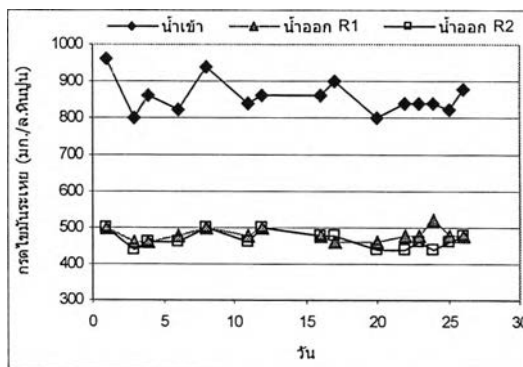
6) ไออาร์พี

ค่าไออาร์พีเฉลี่ยของน้ำออกจากถังปฏิกรณ์ที่ 1 (ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.) มีค่าเท่ากับ -342 มิลลิโวลต์ และน้ำออกจากถังปฏิกรณ์ที่ 2 (ความเร็วไหลขึ้น 5 ม./ชม.) มีค่าไออาร์พีเฉลี่ย -351 มิลลิโวลต์

ค่าไออาร์พีตลอดการทดลองนี้ ดังแสดงในรูปที่ 4.18 ซึ่งค่าเฉลี่ยไออาร์พีตลอดการทดลองมีค่าอยู่ในช่วง -300 ถึง -500 มิลลิโวลต์ แสดงว่าระบบเกิดปฏิกิริยาย่อยสลายแบบไร้อากาศได้เป็นอย่างดี



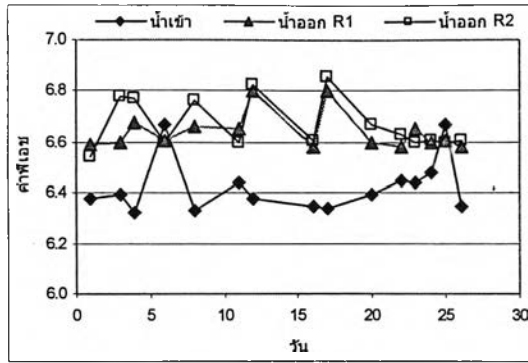
สภาพต่างทั้งหมดที่ภาวะบรทุก 25 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน



กรดไขมันระเหยที่ภาวะบรทุก 25 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน

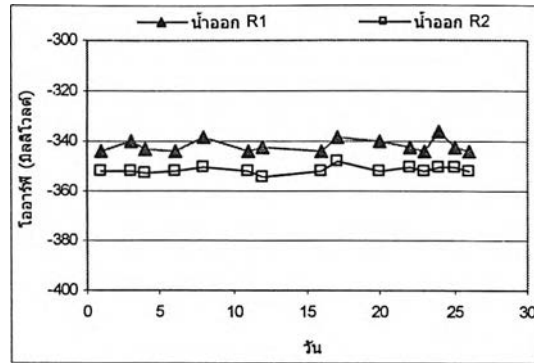
รูปที่ 4.15 สภาพต่างทั้งหมด

รูปที่ 4.16 กรดไขมันระเหย



ค่าพีเอชที่ภาวะบรรทุก 25 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน

รูปที่ 4.17 พีเอช



ไออาร์พีที่ภาวะบรรทุก 25 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน

รูปที่ 4.18 ไออาร์พี

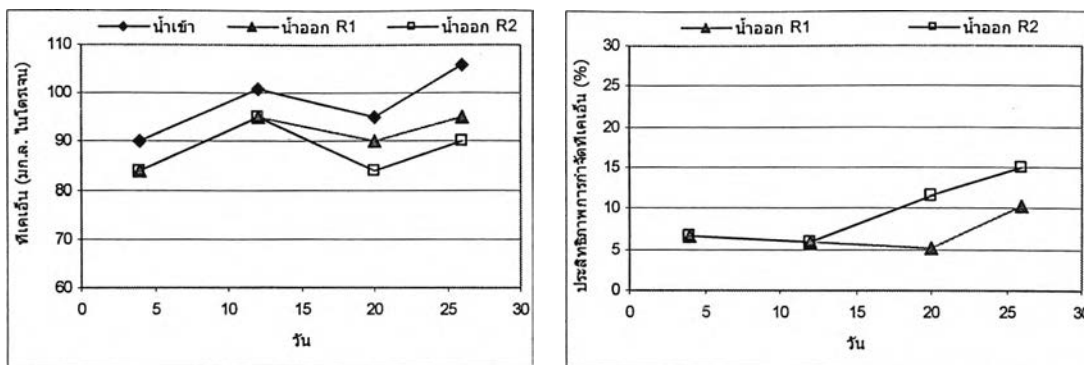
7) ทีเคเอ็นและประสิทธิภาพการกำจัด

ทีเคเอ็นเฉลี่ยของน้ำกากส่าที่เตรียมไว้ในถังพักน้ำเสียเท่ากับ 101 มก./ล. ไนโตรเจนส่วนน้ำออกจากถังปฏิกรณ์ที่ 1 (ความเร็ว 3 ม./ชม.) มีค่าทีเคเอ็นเฉลี่ย 93 มก./ล. ไนโตรเจนประสิทธิภาพการกำจัดทีเคเอ็นคิดเป็นร้อยละ 7 และน้ำออกจากถังปฏิกรณ์ที่ 2 (ความเร็ว 5 ม./ชม.) มีค่าทีเคเอ็นเฉลี่ย 90 มก./ล. ไนโตรเจน ประสิทธิภาพการกำจัดทีเคเอ็นคิดเป็นร้อยละ 11

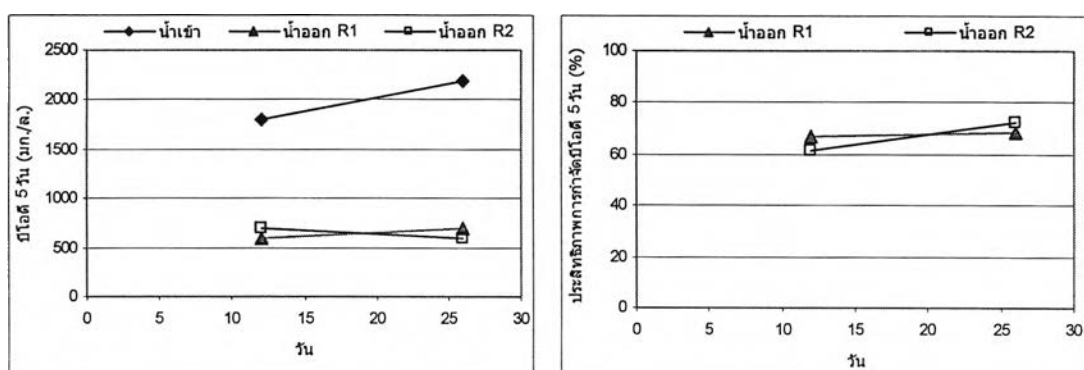
ค่าทีเคเอ็น และประสิทธิภาพการกำจัดทีเคเอ็นเทียบเป็นร้อยละของน้ำเสียเข้าระบบตลอดการทดลองนี้ ดังแสดงในรูปที่ 4.19 จะเห็นว่าทีเคเอ็นน้ำเข้าและน้ำออกจากถังปฏิกรณ์ทั้งสองชุด มีความแตกต่างกันน้อยมาก ถึงแม้ว่าไนโตรเจนจะเป็นสารอาหาร (nutrient) ที่จำเป็นต่อแบคทีเรีย แต่เนื่องจากแบคทีเรียแบบไร้อากาศมีความต้องการไนโตรเจนในปริมาณน้อยมาก ปริมาณทีเคเอ็นในระบบจึงไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก ซึ่งเป็นสิ่งที่อธิบายได้ว่าระบบอีจีเอสบีไม่สามารถบำบัดไนโตรเจนได้อย่างมีประสิทธิภาพ

8) บีโอดี 5 วัน และประสิทธิภาพการกำจัด

ค่าบีโอดี 5 วันเฉลี่ยของน้ำกากส่าที่เตรียมไว้ในถังพักน้ำเสียเท่ากับ 2000 มก./ล. ส่วนน้ำออกจากถังปฏิกรณ์ที่ 1 (ความเร็ว 3 ม./ชม.) มีค่าบีโอดี 5 วันเฉลี่ย 650 มก./ล. ประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดี 5 วันคิดเป็นร้อยละ 67 และน้ำออกจากถังปฏิกรณ์ที่ 2 (ความเร็ว 5 ม./ชม.) มีค่าบีโอดี 5 วันเฉลี่ย 650 มก./ล. ประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดี 5 วัน คิดเป็นร้อยละ 67 ค่าบีโอดี 5 วัน และประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดี 5 วัน เทียบเป็นร้อยละของน้ำเสียเข้าระบบตลอดการทดลองนี้ ดังแสดงในรูปที่ 4.20



รูปที่ 4.19 ทีเคเอ็มและประสิทธิภาพการกำจัดทีเคเอ็มที่ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 25 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน



รูปที่ 4.20 บีโอดี 5 วันและประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดี 5 วันที่ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 25 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน

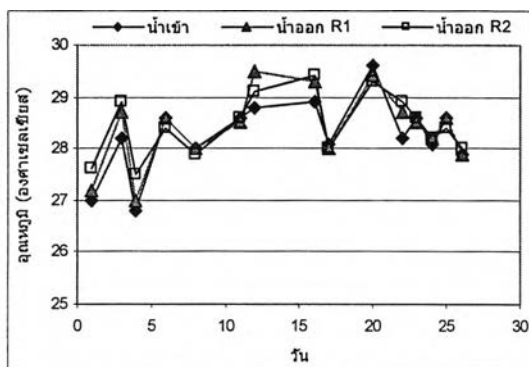
9) อุณหภูมิ

อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำจากสาที่เตรียมไว้ในถังพักน้ำเสียมีค่า 28.5 องศาเซลเซียส ส่วนน้ำออกจากถังปฏิกรณ์ที่ 1 (ความเร็ว 3 ม./ชม.) และ ถังปฏิกรณ์ที่ 2 (ความเร็ว 5 ม./ชม.) มีอุณหภูมิเฉลี่ย 28.7 และ 28.7 องศาเซลเซียส อุณหภูมิตลอดการทดลองนี้แสดงดังรูปที่ 4.21

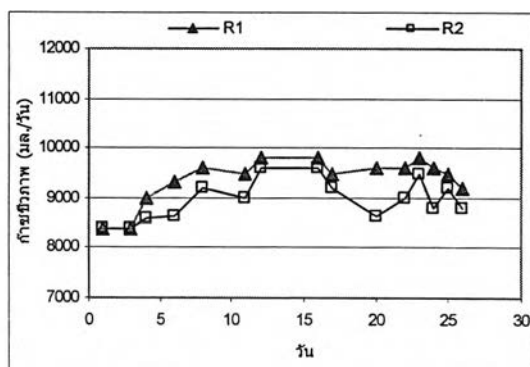
10) ปริมาณก๊าซชีวภาพและสัดส่วนก๊าซ

การทดลองชุดนี้ มีปริมาณก๊าซชีวภาพเกิดขึ้นจากถังปฏิกรณ์ที่ 1 (ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.) เฉลี่ยเท่ากับ 9590 มิลลิลิตร/วัน โดยมีอัตราส่วนก๊าซมีเทนคิดเป็นร้อยละ 54.7 และถังปฏิกรณ์ที่ 2 (ความเร็วไหลขึ้น 5 ม./ชม.) มีก๊าซชีวภาพเกิดขึ้นเฉลี่ย 9134 มิลลิลิตร/วัน โดยมีอัตราส่วนก๊าซมีเทนคิดเป็นร้อยละ 55.1

ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นแสดงดังรูปที่ 4.22 จะเห็นว่าจะมีปริมาณก๊าซชีวภาพเกิดขึ้นมากเมื่อเพิ่มภาระบรรทุก และที่ถังปฏิกรณ์ที่ 2 ซึ่งมีค่าความเร็วไหลขึ้นมากกว่าถังปฏิกรณ์ที่ 1 ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจะมีน้อยกว่าเล็กน้อย ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่าเมื่อความเร็วไหลขึ้นมาก เม็ดจุลชีพจะลอยขึ้นไปติดอยู่กับเครื่องแยกตะกอน (GSS) ซึ่งไปขวางทางเดินของก๊าซจึงเป็นอุปสรรคในการเก็บก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น



อุณหภูมิที่ภาระบรรทุก 25 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน



ก๊าซชีวภาพที่ภาระบรรทุก 25 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน

รูปที่ 4.21 อุณหภูมิ

รูปที่ 4.22 ก๊าซชีวภาพ

4.3 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

การทดลองในงานวิจัยนี้แบ่งการทดลองออกเป็น 3 ชุดการทดลอง ตามภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 5, 10 และ 15 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน และมีการศึกษาเพิ่มเติมถึงผลของการเพิ่มภาวะบรรทุกสารอินทรีย์แบบทันทีทันใด โดยเพิ่มการทดลองอีก 1 ชุด ให้ระบบรับภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 25 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน โดยเปรียบเทียบความเร็วไหลขึ้นในถังปฏิกรณ์ที่มีความเร็วไหลขึ้นต่างกัน ถึงปฏิกรณ์ชุดที่ 1 มีความเร็วไหลขึ้นในถังปฏิกรณ์ 3 ม./ชม. และ ถึงปฏิกรณ์ชุดที่ 2 มีความเร็วไหลขึ้นในถังปฏิกรณ์ 5 ม./ชม.

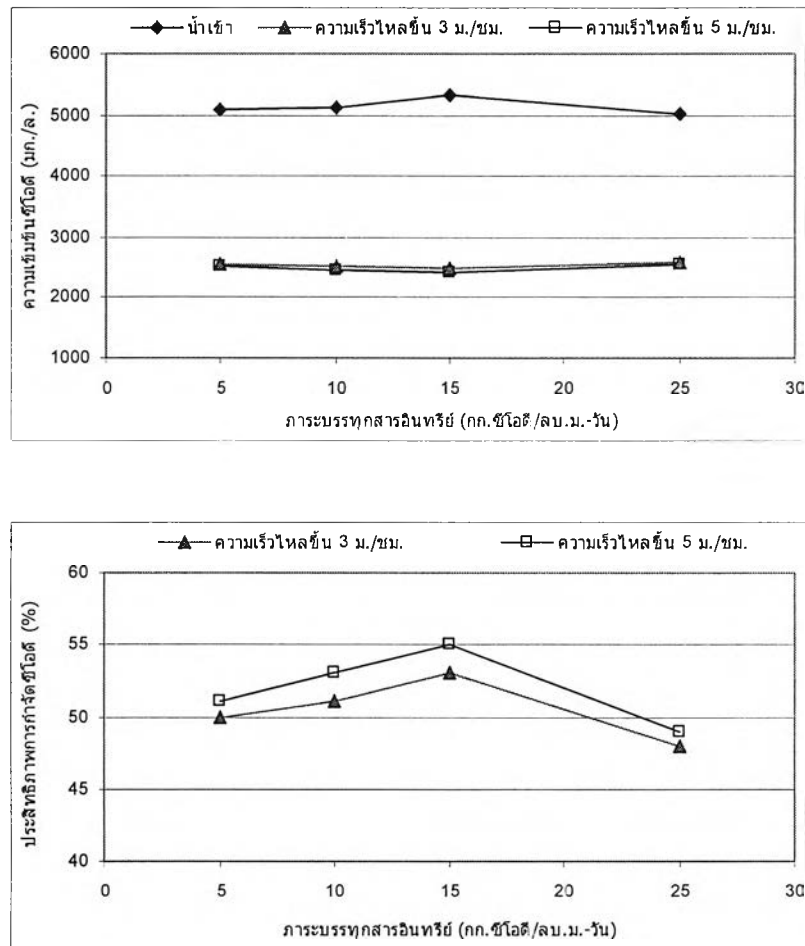
1) ซีไอดีและประสิทธิภาพการกำจัด

ตารางที่ 4.6 สรุปค่าเฉลี่ยซีไอดีและประสิทธิภาพการกำจัดที่เกิดขึ้นตามภาวะบรรทุกสารอินทรีย์

ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ (กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน)	น้ำเข้า (มก./ล.)	น้ำออก (มก./ล.)		ประสิทธิภาพการกำจัด (%)	
		ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม. (น้ำออก R1)	ความเร็วไหลขึ้น 5 ม./ชม. (น้ำออก R2)	ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม. (น้ำออก R1)	ความเร็วไหลขึ้น 5 ม./ชม. (น้ำออก R2)
		5	5100	2566	2508
10	5137	2514	2440	51	53
15	5327	2496	2422	53	55
25	5020	2591	2553	48	49

ซีไอดีและประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดีเป็นตัวแปรหนึ่งที่บ่งบอกถึงความสามารถในการบำบัดน้ำเสียของระบบ จากตารางที่ 4.6 และรูปที่ 4.23 ซึ่งได้สรุปค่าซีไอดีและประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดีเฉลี่ยที่ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 5, 10, 15 และ 25 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน เมื่อน้ำเสียผ่านระบบอีจีเอสบีแล้วจะพบว่า เมื่อเพิ่มภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ให้กับระบบ 5 ถึง 15 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน พบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีจะเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่า ระบบอีจีเอสบีมีความสามารถในการรับภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ได้มากกว่าระบบยูเอเอสบี ดังตารางที่ 4.7 เปรียบเทียบการบำบัดน้ำเสียจากสาด้วยระบบยูเอเอสบีกับงานวิจัยนี้ แต่เมื่อเพิ่มภาวะบรรทุกสารอินทรีย์เป็น 25 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน มีอัตราสูบน้ำเสียเข้าระบบ 10 ลิตร/วัน เป็นการศึกษากการเพิ่มภาวะบรรทุกสารอินทรีย์แบบทันทีทันใดของระบบอีจีเอสบี โดยเพิ่มภาวะบรรทุกสารอินทรีย์จาก 15 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน เป็น 25 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน แบบทันทีทันใด จะเห็นว่าประสิทธิภาพ

การกำจัดซีโอดีจะลดลงในช่วงต้น และคงที่ในเวลาต่อมา จากรูปที่ 4.12 แสดงให้เห็นว่าระบบบิโอซีเอสปีสามารถป้องกันการเพิ่มภาระบรรทุกสารอินทรีย์แบบทันทีทันใดได้เป็นอย่างดี ทั้งนี้เนื่องจากการเวียนน้ำกลับของระบบจะช่วยเจือจางน้ำเสียเข้าระบบเพื่อให้มีลักษณะใกล้เคียงกันทุกจุด ทำให้แบคทีเรียที่อยู่ด้านล่างของถังปฏิกรณ์รับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ใกล้เคียงกับจุดอื่นๆ ที่อยู่ในถังปฏิกรณ์ (Lettinga และคณะ, 1993) จากรูปที่ 4.23 เมื่อเพิ่มภาระบรรทุกสารอินทรีย์เป็น 25 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน จะเห็นว่าประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีลดลงเหลือ 48 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากปริมาณสารอินทรีย์เข้าระบบเพิ่มขึ้นจนมากเกินไป ทำให้อัตราส่วน F/M มากขึ้นจนเกินความต้องการของแบคทีเรียที่มีอยู่ในระบบ จึงทำให้แบคทีเรียย่อยสารอินทรีย์ในน้ำเสียได้เพียงบางส่วน ด้วยเหตุนี้จึงทำให้สารอินทรีย์เหลืออยู่ในน้ำออกเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.23 ซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัดเฉลี่ยตามภาระบรรทุกสารอินทรีย์

ตารางที่ 4.7 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของน้ำเสียจากสาจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผู้วิจัย,สถานที่	ระบบบำบัด	ภาวะบรรทุก สารอินทรีย์ (กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน)	เวลากัก (วัน)	ร้อยละการกำจัด
งานวิจัยนี้	ซีจีเอสบี	5-25	0.33-1	48-55
Cheng, ไทย 2534	เทอร์โมฟิลิค ยูเอเอสบี (55 °ซ)	2.2-25	0.4-5	50-60
วันชัย, ไทย 2545	ยูเอเอสบีไฮบริดฟิล เตอร์+สับสเตรท (น้ำตาล)	1.83-3.24	3	60-78
อิศระ, ไทย 2546	ยูเอเอสบีไฮบริดฟิล เตอร์มีถังหมักกรด น้ำ+สับสเตรท (น้ำตาล)	4-7	3	52-66

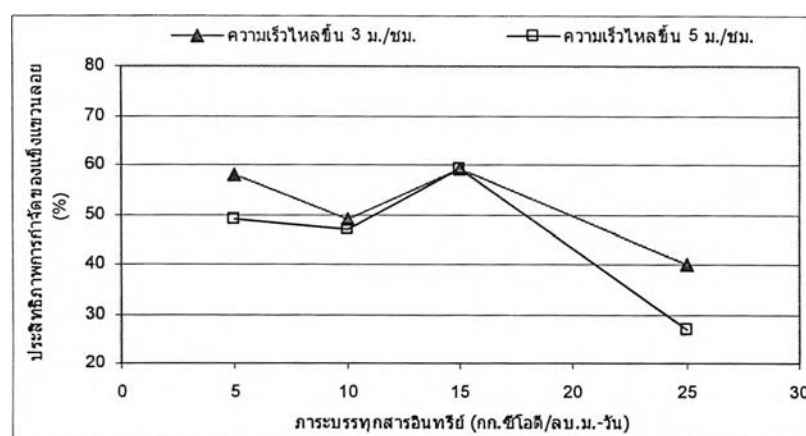
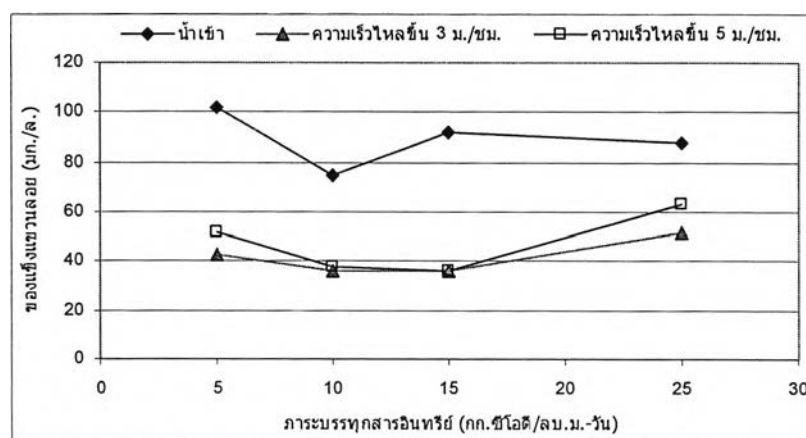
จากรูปที่ 4.23 แสดงให้เห็นว่า ในถังปฏิกรณ์ชุดที่ 2 ซึ่งมีความเร็วไหลขึ้น 5 ม./ชม. มากกว่าถังปฏิกรณ์ชุดที่ 1 ซึ่งมีความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม. น้ำออกจากถังปฏิกรณ์ชุดที่ 2 มีประสิทธิภาพในการกำจัดมากกว่าน้ำออกจากถังปฏิกรณ์ชุดที่ 1 ทั้งนี้เนื่องจากความเร็วไหลขึ้นที่เพิ่มขึ้นจะมีอัตราส่วนการสูบน้ำเวียนกลับมากกว่าเพื่อนำสารบางตัวที่เซลล์ซีพียังย่อยไม่สิ้นสุด เช่น VFA กลับมาย่อยใหม่ แต่น้ำเสียจากสาเป็นน้ำเสียที่มีแนวโน้มย่อยสลายทางชีวภาพยาก โดยมีอัตราส่วน BOD:COD น้ำเข้าเฉลี่ยเท่ากับ 0.3 มีค่าน้อยกว่า 0.5 (อ้างจากเคมีวิทยาของน้ำและน้ำเสีย, มั่นสิน 2545) จึงทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของน้ำออกจากทั้งสองถังปฏิกรณ์ไม่ต่างกันมากนัก

2) ของแข็งแขวนลอยและประสิทธิภาพการกำจัด

ค่าเฉลี่ยของแข็งแขวนลอยและประสิทธิภาพการกำจัดดังแสดงในตารางที่ 4.8 และรูปที่ 4.24 จะเห็นว่าปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำออกจากถังปฏิกรณ์ชุดที่ 1 และ 2 มีค่าใกล้เคียงกัน เมื่อระบบรับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 5-15 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน แสดงให้เห็นว่าภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ไม่มีผลต่อปริมาณของแข็งแขวนลอยที่หลุดออก ถึงแม้จะมีก๊าซชีวภาพในระบบเกิดเพิ่มขึ้น ความเร็วไหลขึ้นในถังปฏิกรณ์ที่เกิดจากการเวียนน้ำมีผลต่อการกวนผสมในระบบ แต่ค่าความเร็วไหลขึ้นดังกล่าวมีค่าไม่มากพอจนทำให้ของแข็งแขวนลอยหลุดออกจากระบบ

ตารางที่ 4.8 สรุปค่าเฉลี่ยของแข็งแขวนลอยและประสิทธิภาพการกำจัดที่เกิดขึ้นตามภาวะบรรทุกสารอินทรีย์

ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ (กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน)	น้ำเข้า (มก./ล.)	น้ำออก (มก./ล.)		ประสิทธิภาพการกำจัด (%)	
		ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม. (น้ำออก R1)	ความเร็วไหลขึ้น 5 ม./ชม. (น้ำออก R2)	ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม. (น้ำออก R1)	ความเร็วไหลขึ้น 5 ม./ชม. (น้ำออก R2)
		5	102	43	52
10	75	36	38	49	47
15	92	36	36	59	59
25	88	52	63	40	27



รูปที่ 4.24 ของแข็งแขวนลอยและประสิทธิภาพการกำจัดตามภาวะบรรทุกสารอินทรีย์

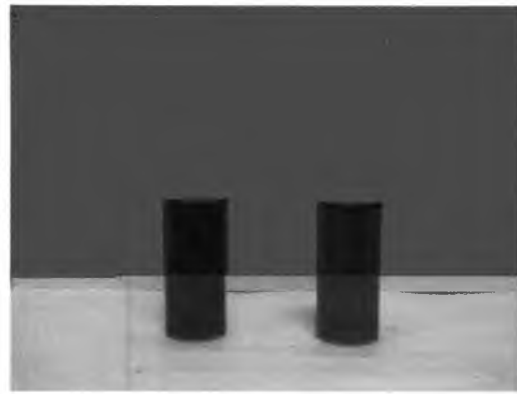
จากรูปที่ 4.24 จะเห็นว่าที่ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 25 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ระบบจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยลดลง ทั้งนี้เนื่องจากก๊าซชีวภาพเกิดขึ้นมาก และก๊าซที่เกิดขึ้นมากนี้จะนำพาเม็ดตะกอนจุลชีพลอยขึ้นสู่ข้างบนของถังปฏิกรณ์ทั้ง 2 ชุด ประกอบกับถังปฏิกรณ์ที่ใช้ในการทดลองนี้สูงแค่ 1 เมตร จึงทำให้ของแข็งแขวนลอยหลุดออกจากระบบมาก

3) สีและประสิทธิภาพการลดสี

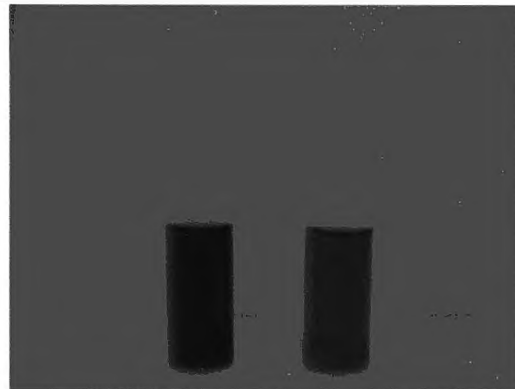
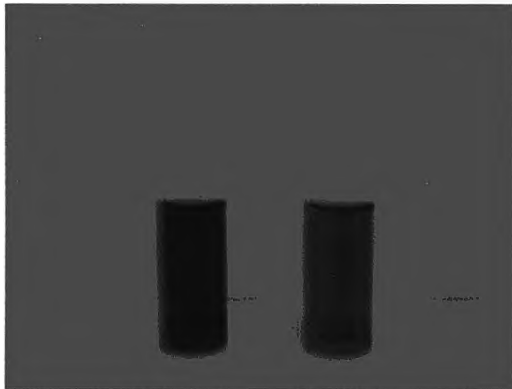
ค่าเฉลี่ยความเข้มสีและประสิทธิภาพการลดสีตลอดการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.9 และรูปที่ 4.25 จะเห็นว่าน้ำออกจากถังปฏิกรณ์ทั้ง 2 ชุด มีค่าไม่ต่างกัน ตลอดการทดลอง ผลการทดลองที่เกิดขึ้นดังกล่าว สามารถสรุปได้ว่าภาวะบรรทุกสารอินทรีย์และความเร็วไหลขึ้นไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการลดสี จากตารางที่ 4.9 และรูปที่ 4.26 จะเห็นว่าประสิทธิภาพการลดสีของระบบอีจีเอสบีมีค่าประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ ปัจจัยที่คาดว่าสีที่ลดลงนั้นเนื่องจากการดูดซับสีเมลานอยดินไว้ที่ผิวเซลล์จุลชีพ และตกตะกอนสีของน้ำกากส่า (อำพรณ, 2543) ประสิทธิภาพการลดสีของน้ำออกจากถังปฏิกรณ์ทั้งสองชุดมีค่าต่ำ และไม่แตกต่างกัน ดังรูปที่ 4.25 แสดงให้เห็นว่าระบบบำบัดทางชีวภาพแบบไร้อากาศสามารถกำจัดสีของน้ำกากส่าได้เพียงเล็กน้อย

ตารางที่ 4.9 สรุปค่าเฉลี่ยความเข้มสีและประสิทธิภาพการลดสีตามภาวะบรรทุกสารอินทรีย์

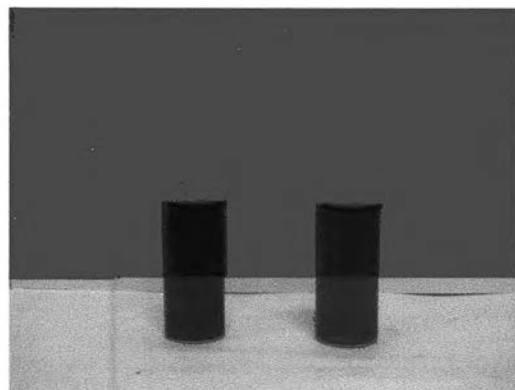
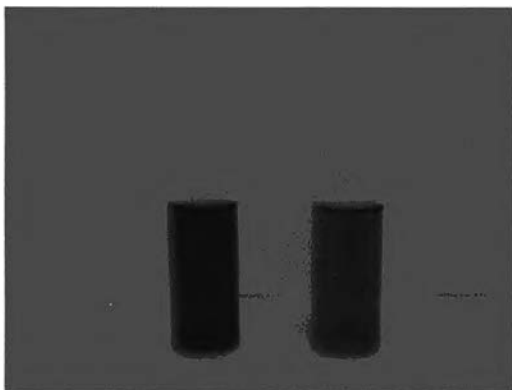
ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ (กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน)	น้ำเข้า (เอสยู)	น้ำออก (เอสยู)		ประสิทธิภาพการกำจัด (%)	
		ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม. (น้ำออก R1)	ความเร็วไหลขึ้น 5 ม./ชม. (น้ำออก R2)	ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม. (น้ำออก R1)	ความเร็วไหลขึ้น 5 ม./ชม. (น้ำออก R2)
		5	328	292	296
10	325	289	291	11	10
15	325	289	291	11	10
25	309	279	282	10	9



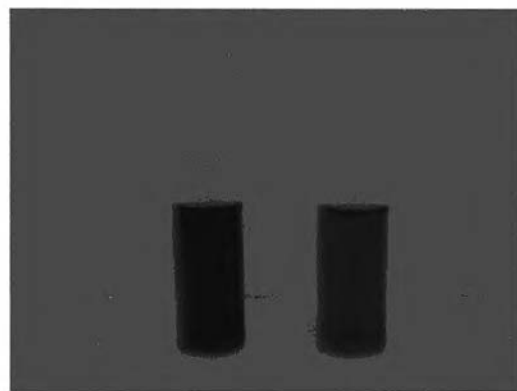
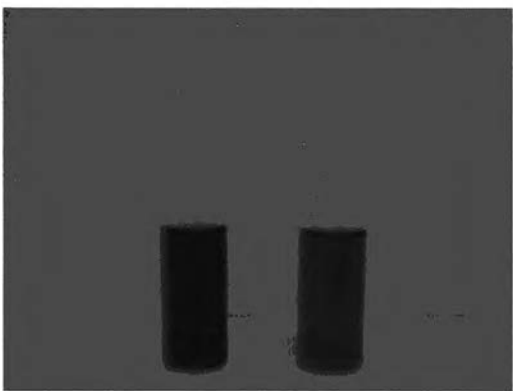
ก) ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 5 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน



ข) ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 10 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน

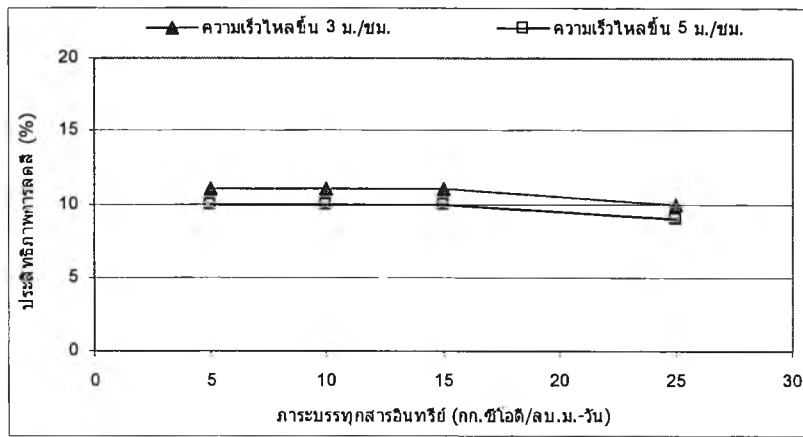
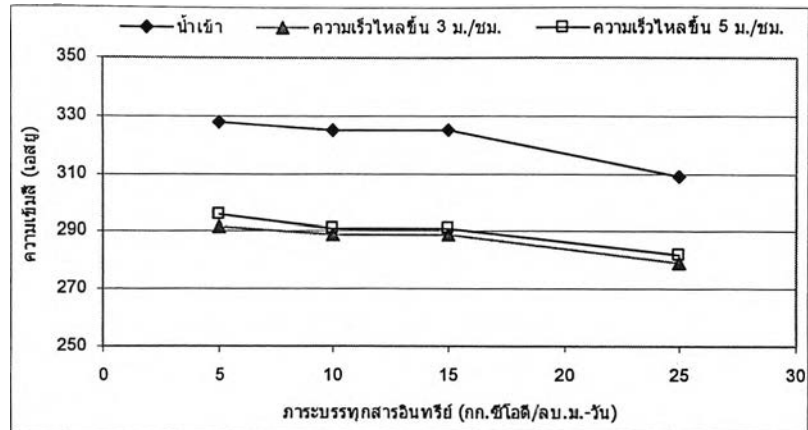


ค) ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 15 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน



ง) ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 25 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน

รูปที่ 4.25 สีของน้ำเข้าและออกจากระบบตามภาวะบรรทุกสารอินทรีย์



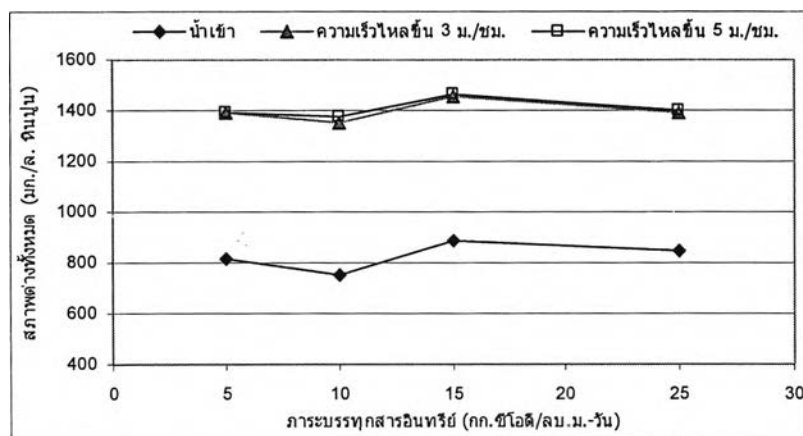
รูปที่ 4.26 ความเข้มข้นและประสิทธิผลการลดคลตามภาวะบรรจุสารอินทรีย์

4) สภาพต่างทั้งหมด

ข้อมูลสภาพต่างทั้งหมดเฉลี่ยตลอดการทดลองแสดงในตารางที่ 4.10 และรูปที่ 4.27 ในการทดลองนี้ปรับสภาพต่างด้วยการเติมโซเดียมไบคาร์บอเนต (NaHCO_3) จากรูปที่ 4.4 จะเห็นว่าสภาพต่างทั้งหมดมีค่าแปรปรวนในช่วงแรกของการทดลองที่มีภาวะบรรจุสารอินทรีย์ 5 กก. ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน เนื่องจาก ช่วงแรกจะปรับ pH ของน้ำเสียเข้าให้ได้ประมาณ 7 เพื่อป้องกันระบบล้มเหลว จึงใช้ปริมาณโซเดียมไบคาร์บอเนต (NaHCO_3) ไม่เท่ากัน หลังจากนั้นจึงลดปริมาณโซเดียมไบคาร์บอเนตลงเมื่อระบบเริ่มเข้าสู่สภาวะคงที่แล้ว โดยอัตราส่วนปริมาณต่างที่เติมต่อน้ำกากสาสดเท่ากับ 25 กรัม/น้ำกากสา 1 ลิตร ตลอดการทดลอง

ตารางที่ 4.10 สรุปค่าเฉลี่ยสภาพต่างทั้งหมดตามภาวะบรรทุกสารอินทรีย์

ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ (กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน)	สภาพต่างทั้งหมด (มก./ล. หินปูน)		
	น้ำเข้า	น้ำออก R1 (ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.)	น้ำออก R2 (ความเร็วไหลขึ้น 5 ม./ชม.)
5	818	1390	1395
10	751	1356	1377
15	885	1454	1463
25	846	1396	1398



รูปที่ 4.27 สภาพต่างทั้งหมดเฉลี่ยตามภาวะบรรทุกสารอินทรีย์

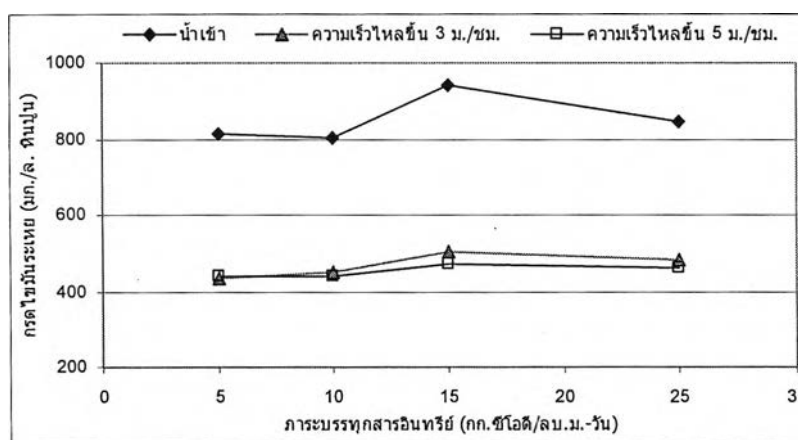
จากรูปที่ 4.27 จะเห็นว่าค่าสภาพต่างทั้งหมดในน้ำออกของทั้งสองถังปฏิกรณ์มีค่าใกล้เคียงกันตลอดการทดลอง และสภาพต่างทั้งหมดของน้ำออกมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับน้ำเข้า ทั้งนี้เนื่องจากในน้ำเสียจากสามิสารอินทรีย์ไนโตรเจน ซึ่งแอมโมเนียไนโตรเจนสามารถเพิ่มสภาพต่างให้กับระบบได้ โดยแอมโมเนียไนโตรเจน 1 มก./ล. สามารถเพิ่มสภาพต่างได้ 3.6 มก./ล. หินปูน (เคมีวิทยาของน้ำและน้ำเสีย, มั่นสิน 2545) แต่ระบบอีจีเอสพีที่มีการติดตั้งระบบเวียนน้ำกลับทำให้สภาพต่างในระบบมีค่าใกล้เคียงกันตลอดทุกหน้าตัดในระบบ ดังนั้นในถังปฏิกรณ์ที่มีความเร็วไหลขึ้นซึ่งเกิดจากการเวียนน้ำที่มากกว่าจะทำให้ระบบรักษาเสถียรภาพของสภาพต่างได้ดีกว่าระบบที่มีความเร็วไหลขึ้นต่ำ ดังนั้นสภาพต่างทั้งหมดที่เกิดขึ้นจากการย่อยสลายแอมโมเนียไนโตรเจนมีโอกาสหลุดออกจากระบบน้อยกว่า ค่าสภาพต่างทั้งหมดของถังปฏิกรณ์ชุดที่ 2 จึงมีค่ามากกว่าถังปฏิกรณ์ชุดที่ 1

5) กรดไขมันระเหย

ปริมาณกรดไขมันระเหยเป็นพารามิเตอร์หนึ่งที่ใช้ตรวจสอบการทำงานของระบบบำบัดแบบไร้อากาศ ค่าเฉลี่ยปริมาณกรดไขมันระเหยตลอดการทดลองแสดงในตารางที่ 4.11 และรูปที่ 4.28

ตารางที่ 4.11 สรุปค่าเฉลี่ยปริมาณกรดไขมันระเหยตามภาวะบรรทุกสารอินทรีย์

ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ (กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน)	กรดไขมันระเหย (มก./ล. ดินปูน)		
	น้ำเข้า	น้ำออก R1 (ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.)	น้ำออก R2 (ความเร็วไหลขึ้น 5 ม./ชม.)
5	812	437	438
10	804	449	441
15	943	503	474
25	848	482	464



รูปที่ 4.28 กรดไขมันระเหยเฉลี่ยตามภาวะบรรทุกสารอินทรีย์

จากตารางที่ 4.11 และรูปที่ 4.28 จะเห็นว่าที่ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์เพิ่มขึ้น ปริมาณกรดไขมันระเหยในน้ำออกมีแนวโน้มที่เหลือน้อยลง เนื่องจากเวลาที่ลดลงทำให้น้ำเสียกับชั้นเม็ดตะกอนจุลชีวะมีเวลาสัมผัสกันลดลง แต่ระบบบิโอดีเอสปีที่มีการติดตั้งระบบการเวียนน้ำกลับทำให้สารอินทรีย์ที่มีอยู่ในระบบสามารถสัมผัสกับชั้นเม็ดตะกอนจุลชีวะอีกครั้ง ดังนั้นในถึงปฏิกรณ์ที่มีความเร็วไหลขึ้นซึ่งเกิดจากการเวียนน้ำที่มากกว่าจะทำให้ระบบสามารถลดปริมาณสารอินทรีย์

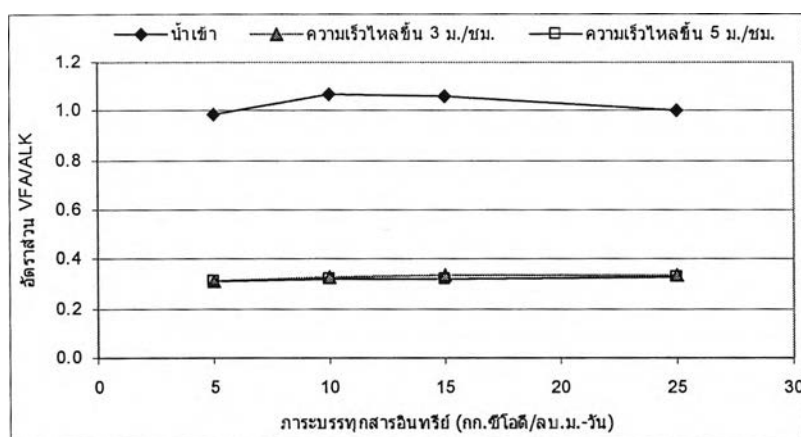
ได้มากกว่าระบบที่มีความเร็วไหลขึ้นต่ำกว่า ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของพารามิเตอร์ซีไอดี เพราะว่ากรดไขมันระเหยเป็นสารอินทรีย์และเป็นส่วนหนึ่งของค่าซีไอดี

6) กรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมด

อัตราส่วนของกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมด (VFA/ALK) เป็นพารามิเตอร์ที่ใช้ตรวจสอบสมดุลของระบบ และกำลังบำบัดของระบบบำบัดแบบไร้อากาศ ค่าอัตราส่วนของกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมดแสดงในตารางที่ 4.12 และรูปที่ 4.29

ตารางที่ 4.12 ค่าเฉลี่ยกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมดตามภาระบรรทุกสารอินทรีย์

ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน)	กรดไขมันระเหย / สภาพต่างทั้งหมด		
	น้ำเข้า	น้ำออก R1 (ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.)	น้ำออก R2 (ความเร็วไหลขึ้น 5 ม./ชม.)
5	0.99	0.31	0.31
10	1.07	0.33	0.32
15	1.06	0.34	0.32
25	1.0	0.34	0.33



รูปที่ 4.29 กรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมดตามภาระบรรทุกสารอินทรีย์

จากตารางที่ 4.12 และรูปที่ 4.29 แสดงให้เห็นว่า ระบบอีซีไอเอสมีกำลังบำบัดสูงโดยมีค่าอัตราส่วนดังกล่าวต่ำกว่า 0.4 ถึงแม้จะเพิ่มภาระบรรทุกสารอินทรีย์มากขึ้นทำให้ระบบสามารถ

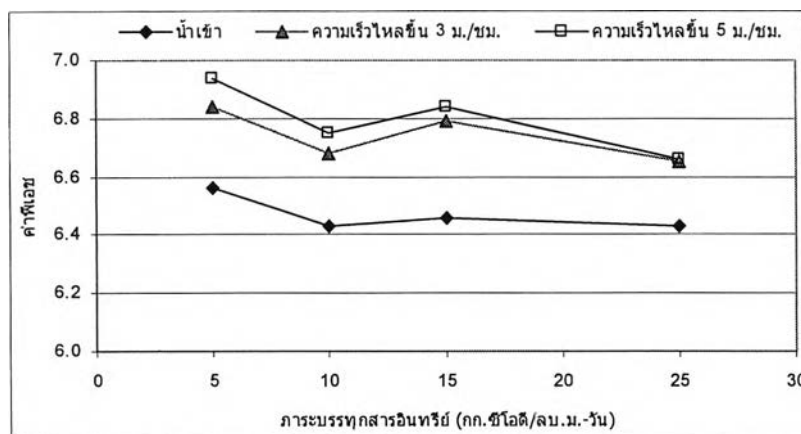
ควบคุม pH ให้อยู่ในช่วง 6.8-7.2 ซึ่งเป็นที่ pH เหมาะสมสำหรับสำหรับแบคทีเรียสร้างมีเทน ดังนั้นระบบอีเอสบีจึงเป็นระบบที่มีประสิทธิภาพในการสร้างเสถียรภาพของระบบบำบัดที่ภาวะบรรทุกลสารอินทรีย์สูง

7) พีเอช

ค่าพีเอชเป็นค่าพารามิเตอร์ที่วัดได้ง่าย และเป็นค่าที่บ่งบอกถึงสภาวะที่เหมาะสมของการทำงานของแบคทีเรียโดยเฉพาะแบคทีเรียที่สร้างมีเทนซึ่งสามารถเจริญเติบโตได้ในช่วงพีเอชเป็นกลาง ค่าพีเอชเฉลี่ยตลอดการทดลองแสดงในตารางที่ 4.13 และรูปที่ 4.30

ตารางที่ 4.13 ค่าพีเอชเฉลี่ยตามภาวะบรรทุกลสารอินทรีย์

ภาวะบรรทุกลสารอินทรีย์ (กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน)	ค่าพีเอช		
	น้ำเข้า	น้ำออก R1 (ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.)	น้ำออก R2 (ความเร็วไหลขึ้น 5 ม./ชม.)
5	6.56	6.84	6.94
10	6.43	6.68	6.75
15	6.46	6.79	6.84
25	6.43	6.66	6.68



รูปที่ 4.30 พีเอชเฉลี่ยตามภาวะบรรทุกลสารอินทรีย์

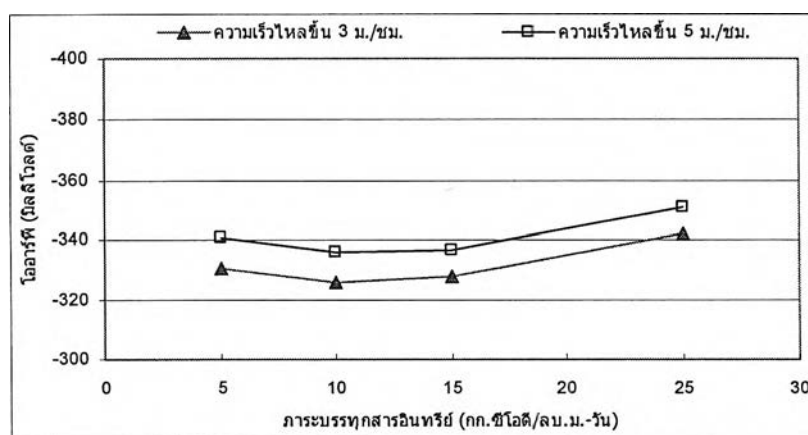
จากตารางที่ 4.13 และรูปที่ 4.30 จะเห็นว่าค่าพีเอชของน้ำออกจากถังปฏิกรณ์ทั้งสองมีค่าใกล้เคียงกันมาก และค่อนข้างต่างจากน้ำเสียเข้า โดยค่าพีเอชที่ออกจากระบบอยู่ในช่วง 6.7-7 ถือว่าเพียงพอต่อระบบบำบัดแบบไร้อากาศ และพีเอชไม่เปลี่ยนแปลงมากนักเนื่องจากระบบมีกำลังบัฟเฟอร์ที่เพียงพอ ดังที่กล่าวไว้แล้วในหัวข้ออัตราส่วนปริมาณกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมด

8) ไออาร์พี

ค่าไออาร์พีเป็นพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับปฏิกิริยารีดอกซ์ (Redox) บ่งบอกถึงความสามารถในการทำงานของระบบบำบัดแบบไร้อากาศ ค่าไออาร์พีเฉลี่ยตลอดการทดลองแสดงในตารางที่ 4.14 และรูปที่ 4.31

ตารางที่ 4.14 ค่าไออาร์พีเฉลี่ยตามภาวะบรรทุกสารอินทรีย์

ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ (กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน)	ไออาร์พี (มิลลิโวลต์)	
	น้ำออก R1 (ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.)	น้ำออก R2 (ความเร็วไหลขึ้น 5 ม./ชม.)
5	-331	-341
10	-326	-336
15	-328	-337
25	-342	-351



รูปที่ 4.31 ค่าไออาร์พีเฉลี่ยตามภาวะบรรทุกสารอินทรีย์

ค่าไออาร์พีเฉลี่ยตลอดการทดลองมีค่าใกล้เคียงกันและอยู่ในช่วง -330 ถึง -350 มิลลิโวลต์ โดยความแตกต่างของไออาร์พีในแต่ละภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ไม่ถือว่ามีนัยสำคัญแต่อย่างใด เนื่องจากค่าไออาร์พีในแต่ละชุดการทดลองมีค่าอยู่ในช่วง -300 ถึง -500 มิลลิโวลต์ ค่าไออาร์พีที่เกิดขึ้นตลอดการทดลองเป็นตัวบ่งชี้ว่าระบบบำบัดแบบไร้อากาศทำงานได้ดี

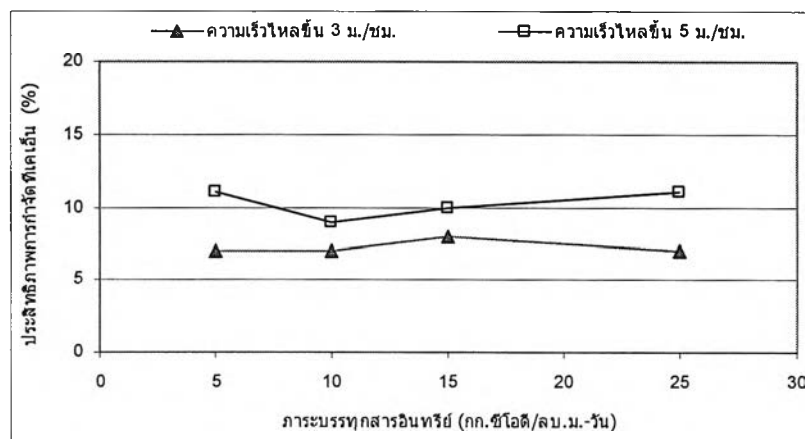
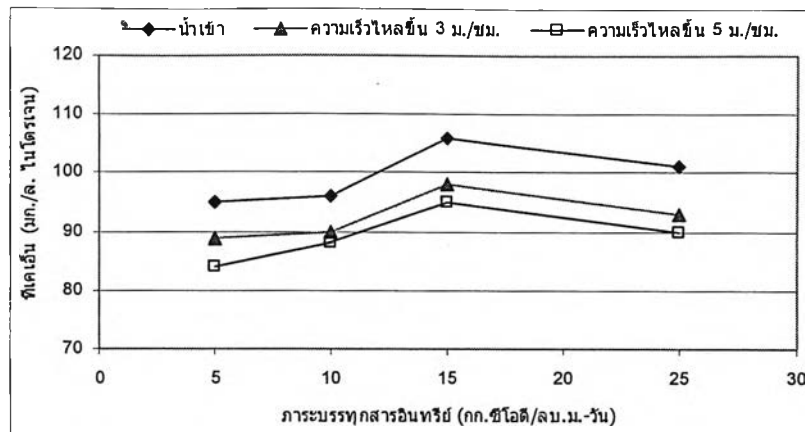
9) ที่เคเอ็นและประสิทธิภาพการกำจัด

ค่าที่เคเอ็นและประสิทธิภาพการกำจัดที่เคเอ็นเทียบเป็นร้อยละของน้ำเสียเข้าระบบตลอดการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 4.15 และรูปที่ 4.32

ตารางที่ 4.15 สรุปค่าเฉลี่ยที่เคเอ็นและประสิทธิภาพการกำจัดที่เคเอ็นตามภาวะบรรทุกสารอินทรีย์

ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ (กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน)	น้ำเข้า (มก./ล. ไนโตรเจน)	น้ำออก (มก./ล. ไนโตรเจน)		ประสิทธิภาพการกำจัด (%)	
		ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม. (น้ำออก R1)	ความเร็วไหลขึ้น 5 ม./ชม. (น้ำออก R2)	ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม. (น้ำออก R1)	ความเร็วไหลขึ้น 5 ม./ชม. (น้ำออก R2)
5	95	89	84	7	11
10	96	90	88	7	9
15	106	98	95	8	10
25	101	93	90	7	11

จากตารางที่ 4.15 และรูปที่ 4.32 จะเห็นว่าน้ำออกจากถังปฏิกรณ์ทั้งสองชุดมีค่าที่เคเอ็นลดลงจากน้ำเสียเข้าเพียงเล็กน้อย ถึงแม้ว่าในการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพไนโตรเจนจะเป็นสารอาหาร (nutrient) ที่จำเป็นต่อแบคทีเรีย แต่เนื่องจากแบคทีเรียแบบไร้อากาศมีความต้องการไนโตรเจนในปริมาณน้อยมาก โดยมีอัตราส่วนความต้องการ COD:N เท่ากับ 350:5 (70:1) และในการทดลองนี้มีอัตราส่วน COD:N เฉลี่ยเท่ากับ 5000:100 (50:1) ดังนั้นไนโตรเจนที่มีในน้ำเสียเข้าเพียงพอต่อความต้องการของแบคทีเรียในระบบ แต่ไม่สามารถกำจัดไนโตรเจนได้อย่างมีประสิทธิภาพ



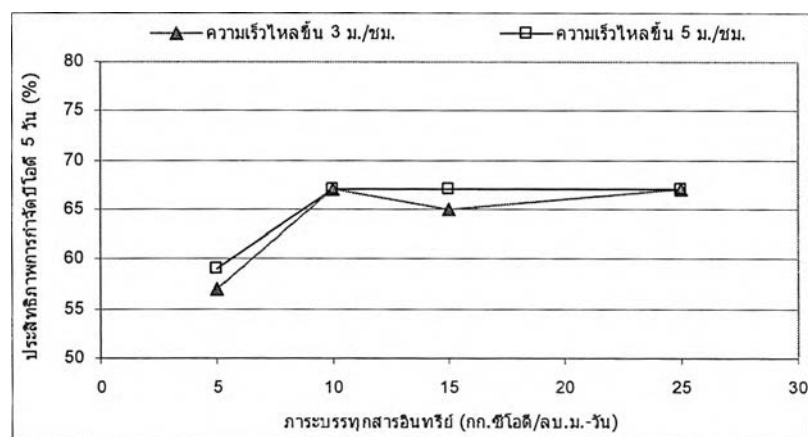
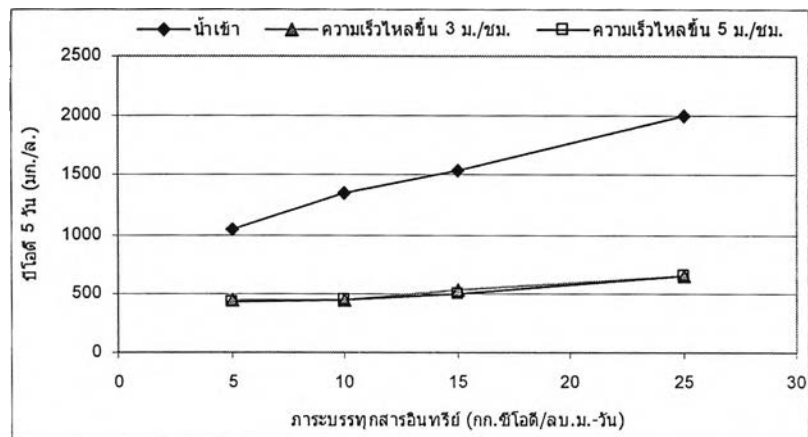
รูปที่ 4.32 ที่เคเอ็นและประสิทธิภาพการกำจัดที่เคเอ็นตามภาวะบรรทุกสารอินทรีย์

10) บีโอดี 5 วัน และประสิทธิภาพการกำจัด

ค่าบีโอดี 5 วัน และประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีเทียบเป็นร้อยละของน้ำเสียเข้าระบบตลอดการทดลองแสดงในตารางที่ 4.16 และรูปที่ 4.33 จากรูปที่ 4.33 จะเห็นว่าน้ำเสียเข้ามีค่าบีโอดี 5 วัน มากขึ้น เนื่องจากน้ำเสียที่เก็บไว้ทดลองเกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์บางชนิดที่ย่อยง่าย ทำให้ค่าบีโอดี 5 วัน มีค่าสูงขึ้นเรื่อยๆ ตามระยะเวลาที่ทำการทดลอง และประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีมีค่าใกล้เคียงกันในทุกๆ ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ ค่าบีโอดี 5 วันในน้ำออกจากถังปฏิกรณ์ทั้งสองชุดของแต่ละภาวะบรรทุกสารอินทรีย์มีค่าใกล้เคียงกัน แต่จะมีค่าสูงขึ้นเมื่อภาวะบรรทุกสารอินทรีย์เพิ่มขึ้นตามค่าบีโอดี 5 วันของน้ำเข้า

ตารางที่ 4.16 สรุปค่าเฉลี่ยบีโอดี 5 วัน และประสิทธิภาพการกำจัดตามภาวะบรรทุกสารอินทรีย์

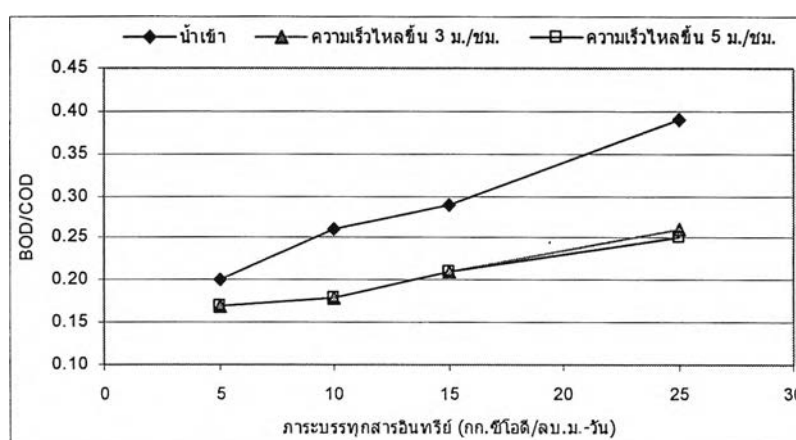
ภาวะบรรทุก สารอินทรีย์ (กก.ซีโอดี/ลบ. ม.-วัน)	น้ำเข้า (มก./ล.)	น้ำออก (มก./ล.)		ประสิทธิภาพการกำจัด (%)	
		ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม. (น้ำออก R1)	ความเร็วไหลขึ้น 5 ม./ชม. (น้ำออก R2)	ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม. (น้ำออก R1)	ความเร็วไหลขึ้น 5 ม./ชม. (น้ำออก R2)
		5	1040	450	425
10	1350	450	450	67	67
15	1533	533	500	65	67
25	2000	650	650	67	67



รูปที่ 4.33 บีโอดี 5 วัน และประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดี 5 วันตามภาวะบรรทุกสารอินทรีย์

ตารางที่ 4.17 ค่าบีโอดีต่อซีโอดีเฉลี่ยตามภาวะบรรทุกสารอินทรีย์

ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ (กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน)	BOD:COD		
	น้ำเข้า	น้ำออก R1 (ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.)	น้ำออก R2 (ความเร็วไหลขึ้น 5 ม./ชม.)
5	0.20	.017	0.17
10	0.26	0.18	0.18
15	0.29	0.21	0.21
25	0.39	0.26	0.25



รูปที่ 4.34 บีโอดีต่อซีโอดีเฉลี่ยตามภาวะบรรทุกสารอินทรีย์

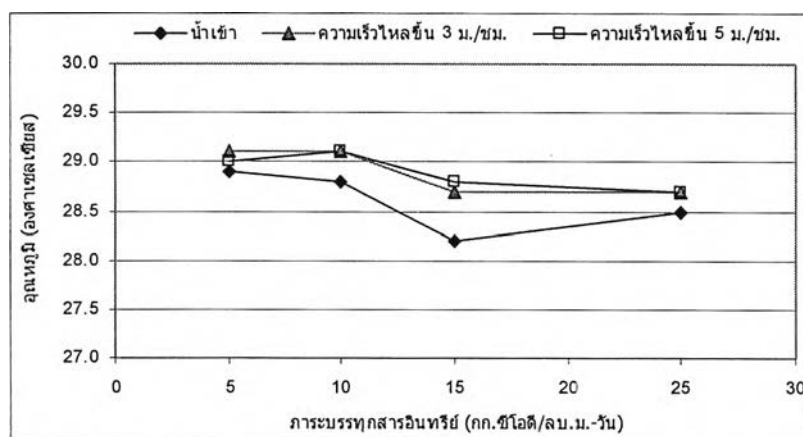
จากตารางที่ 4.17 และรูปที่ 4.34 จะเห็นว่าค่าบีโอดีต่อซีโอดีของน้ำเสียเข้าระบบมีค่าน้อยกว่า 0.5 แสดงให้เห็นว่าน้ำเสียจากสาเป็นน้ำเสียที่มีแนวโน้มในการย่อยสลายได้ยากทางชีวภาพ จากการที่ค่าบีโอดีต่อซีโอดีของน้ำเสียออกจากระบบมีค่าน้อยกว่าน้ำเสียเข้าระบบจะเห็นว่าระบบก็ยังสามารถลดค่าบีโอดีต่อซีโอดีลงได้อีกจนเหลืออัตราส่วนบีโอดีต่อซีโอดีที่มีค่าต่ำมาก นั่นคือ น้ำออกจากระบบบำบัดอีเอสบีนี้เป็นน้ำเสียที่ย่อยสลายทางชีวภาพได้ยากเป็นอย่างยิ่ง จึงอาจสรุปได้ว่า ระบบบำบัดอีเอสบีเป็นระบบที่มีประสิทธิภาพเมื่อนำมาใช้บำบัดน้ำเสียที่มีค่าบีโอดีต่อซีโอดีต่ำ อย่างไรก็ตาม งานวิจัยนี้มีความถี่ในการทดลองหาค่าบีโอดี 5 วัน น้อยกว่าค่าซีโอดี ทำให้ค่าบีโอดี 5 วัน ไม่สามารถบ่งชี้ถึงแนวโน้มประสิทธิภาพของระบบบำบัดได้ดีเท่ากับค่าซีโอดี

11) อุณหภูมิ

อุณหภูมิเฉลี่ยที่เกิดขึ้นตลอดการทดลองนี้แสดงดังในตารางที่ 4.18 และรูปที่ 4.35

ตารางที่ 4.18 อุณหภูมิเฉลี่ยตามภาวะบรรทุกสารอินทรีย์

ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ (กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)		
	น้ำเข้า	น้ำออก R1 (ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.)	น้ำออก R2 (ความเร็วไหลขึ้น 5 ม./ชม.)
5	28.9	29.1	29.0
10	28.8	29.1	29.1
15	28.2	28.7	28.8
25	28.5	28.7	28.7



รูปที่ 4.35 อุณหภูมิเฉลี่ยตามภาวะบรรทุกสารอินทรีย์

จากตารางที่ 4.18 และรูปที่ 4.35 จะเห็นว่าทุกชุดการทดลองอุณหภูมิน้ำออกของทั้งสองถังปฏิกรณ์มีค่าใกล้เคียงกับน้ำเข้ามาก ถึงแม้ว่าพลังงานที่เกิดขึ้นจากกระบวนการเมตาบอลิซึมภายในเซลล์ของแบคทีเรียส่วนหนึ่งจะสูญเสียไปในรูปของความร้อน แต่พลังงานที่สูญเสียไปนี้มีสัดส่วนไม่มากนักจึงเป็นผลให้อุณหภูมิของน้ำออกไม่แตกต่างจากน้ำเข้าอย่างชัดเจน และเป็นที่น่าสนใจว่าอุณหภูมิในถังปฏิกรณ์ตลอดการทดลองในช่วง 28-29 องศาเซลเซียส เนื่องจากว่าตลอดการทดลองนี้ไม่ได้ทำในฤดูหนาว ค่าอุณหภูมิเลยค่อนข้างคงที่ และดังที่ได้กล่าวมาในบทที่ 2 แบคทีเรียมีช่วงการทำงานที่เหมาะสมอยู่ 2 ช่วง คือ Mesophilic Bacteria ทำงานได้ดีในช่วง

อุณหภูมิ 24-45 องศาเซลเซียส และ Thermophilic Bacteria ทำงานได้ดีในช่วงอุณหภูมิ 50-60 องศาเซลเซียส แบคทีเรียในถังปฏิกรณ์นี้ส่วนใหญ่จึงน่าจะเป็นกลุ่ม Mesophilic แม้อุณหภูมิในถังปฏิกรณ์จะไม่ใช่อุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดในการทำงาน แต่แบคทีเรียก็ยังคงทำงานได้ นอกจากนี้ อุณหภูมิยังมีผลความสามารถในการละลายน้ำของก๊าซและความสามารถในการแตกตัวเป็นไอออนในน้ำด้วย เนื่องจากค่าคงที่ของเฮนรี และค่าคงที่ในการแตกตัวเป็นไอออนของสารต่างๆ แปรตามอุณหภูมิ แต่อย่างไรก็ตามเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิตลอดการทดลองอยู่ในช่วงแคบๆ ทำให้ผลของอุณหภูมิที่มีต่อการทำงานของแบคทีเรีย ผลต่อการละลายน้ำของก๊าซ และผลต่อการแตกตัวของไอออนมีน้อยมาก

12) ปริมาณก๊าซชีวภาพและเปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทน

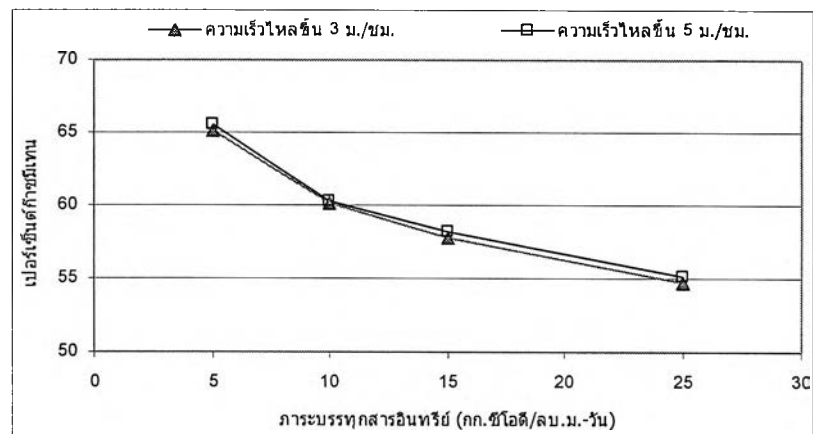
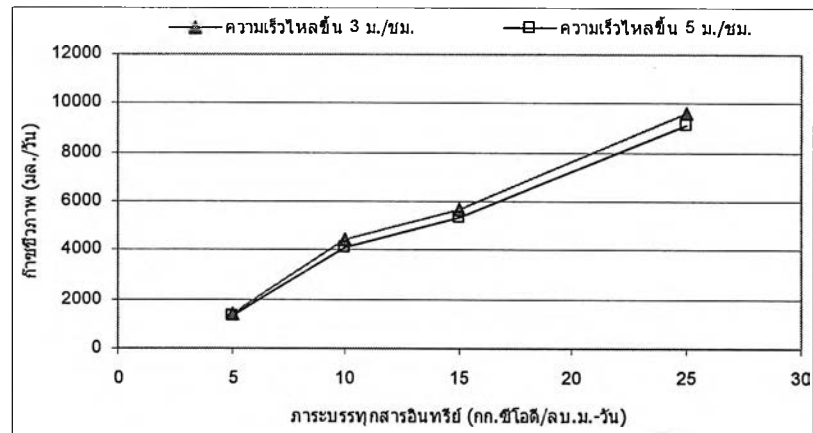
ก๊าซชีวภาพและเปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นตลอดการทดลองแสดงในตารางที่ 4.19 และรูปที่ 4.36

ตารางที่ 4.19 ก๊าซชีวภาพและเปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทนเฉลี่ยตามภาระบรรจุทุกสารอินทรีย์

ภาระบรรจุทุก สารอินทรีย์ (กก.ซีไอดี/ ลบ.ม.-วัน)	ก๊าซชีวภาพ (มิลลิลิตร/วัน)		เปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทน	
	ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม. (น้ำออก R1)	ความเร็วไหลขึ้น 5 ม./ชม. (น้ำออก R2)	ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม. (น้ำออก R1)	ความเร็วไหลขึ้น 5 ม./ชม. (น้ำออก R2)
5	1367	1292	65.2	65.6
10	4471	4107	60.1	60.3
15	5678	5364	57.8	58.2
25	9590	9134	54.7	55.1

ก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นเป็นผลผลิตที่เกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ในน้ำเสียกากสาขี้จัดเป็นน้ำเสียคาร์โบไฮเดรตเนื่องจากใช้น้ำกากน้ำตาลเป็นวัตถุดิบในการกลั่นสุราดังนั้นก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่จะประกอบด้วยก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จากตารางที่ 4.19 และรูปที่ 4.36 แสดงให้เห็นว่า เมื่อภาระบรรจุทุกสารอินทรีย์เพิ่มขึ้น ปริมาณก๊าซชีวภาพจะเกิดขึ้นมากตามไปด้วย แต่เปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทนลดลง ทั้งนี้เนื่องจาก เมื่อเพิ่มภาระบรรจุทุกสารอินทรีย์ให้กับระบบบำบัด ทำให้กรดไขมันระเหยเพิ่มมากขึ้นจึงทำให้แบคทีเรียสร้างมีเทนลดลง เมื่อเปรียบเทียบความเร็วไหลขึ้นในถังปฏิกรณ์ที่ความเร็วไหลขึ้นมากกว่าจะมีปริมาณก๊าซชีวภาพเกิดขึ้นน้อยกว่าเล็กน้อย ทั้งนี้เนื่องจากคาดว่าความเร็วไหลขึ้นสูงมีผลต่อการเก็บก๊าซที่

อุปกรณ์แยกสามสถานะ (GSS) หรืออีกสาเหตุหนึ่ง ตะกอนเมื่อดจุลชีพหลุดตันที่ GSS ทำให้ก๊าซไหลผ่านไปที่อุปกรณ์เก็บก๊าซได้ไม่สะดวกถึงแม้จะทำความสะอาดทุกวัน



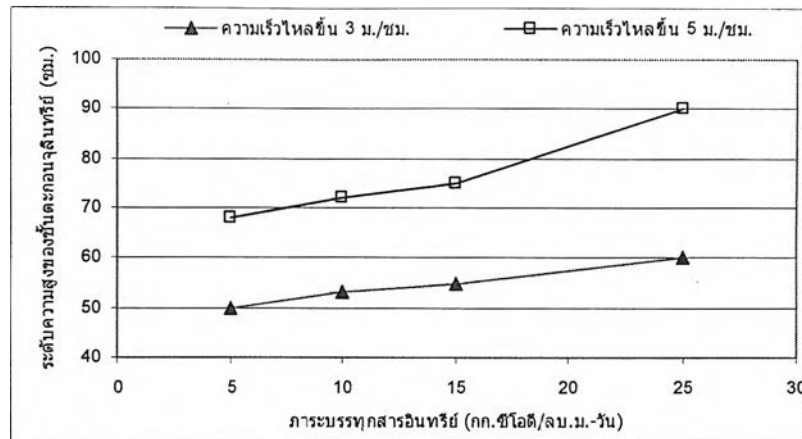
รูปที่ 4.36 ก๊าศชีวภาพและเปอร์เซ็นต์ก๊าศมีเทนเฉลี่ยตามภาวะบรรทุกสารอินทรีย์

4.4 การขยายตัวของชั้นตะกอนจุลินทรีย์

ในการเริ่มต้นระบบบำบัดอีชีเอสปีนี้จะเติมเชื้อตะกอนจุลินทรีย์ใส่ในถังปฏิกรณ์ทั้งสองชุดเท่ากัน คือ 40% ของความสูงถังปฏิกรณ์ในส่วนย่อยสลาย หรือ 40 ซม. แล้วปรับความเร็วไหลขึ้นในถังปฏิกรณ์ทั้งสองชุดด้วยเครื่องสูบน้ำเวียนกลับ โดยถังปฏิกรณ์ชุดที่ 1 มีความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม. และถังปฏิกรณ์ชุดที่ 2 มีความเร็วไหลขึ้น 5 ม./ชม. ที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 5 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ระดับความสูงของชั้นตะกอนจุลินทรีย์เป็น 50 เปอร์เซ็นต์ของความสูงถังปฏิกรณ์ในส่วนย่อยสลายในถังปฏิกรณ์ชุดที่ 1 และในถังปฏิกรณ์ชุดที่ 2 มีระดับความสูงของชั้นตะกอนจุลินทรีย์เป็น 68 เปอร์เซ็นต์ของความสูงถังปฏิกรณ์ในส่วนย่อยสลาย เมื่อเพิ่มภาระบรรทุกสารอินทรีย์เป็น 10, 15 และ 25 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ระดับความสูงของชั้นตะกอนจุลินทรีย์ในถังปฏิกรณ์ชุดที่ 1 (ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.) เป็น 53, 55 และ 60 เปอร์เซ็นต์ของความสูงถังปฏิกรณ์ในส่วนย่อยสลาย ตามลำดับ ส่วนระดับความสูงของชั้นตะกอนจุลินทรีย์ในถังปฏิกรณ์ชุดที่ 2 (ความเร็วไหลขึ้น 5 ม./ชม.) เป็น 72, 75 และ 90 เปอร์เซ็นต์ของความสูงถังปฏิกรณ์ในส่วนย่อยสลาย ตามลำดับ ระดับการขยายตัวของชั้นตะกอนจุลินทรีย์ตลอดการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.20 และรูปที่ 4.37

ตารางที่ 4.20 แสดงระดับการขยายตัวของชั้นตะกอนจุลินทรีย์ตามภาระบรรทุกสารอินทรีย์

ภาระบรรทุกสารอินทรีย์น้ำเข้า (กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน)	ระดับความสูงของชั้นตะกอนจุลินทรีย์ (เซนติเมตร)	
	ถังปฏิกรณ์ที่ 1 (ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.)	ถังปฏิกรณ์ที่ 2 (ความเร็วไหลขึ้น 5 ม./ชม.)
5	50	68
10	53	72
15	55	75
25	60	90



รูปที่ 4.37 การขยายตัวของขั้นตะกอนจุลินทรีย์ตามการบรรทุกสารอินทรีย์

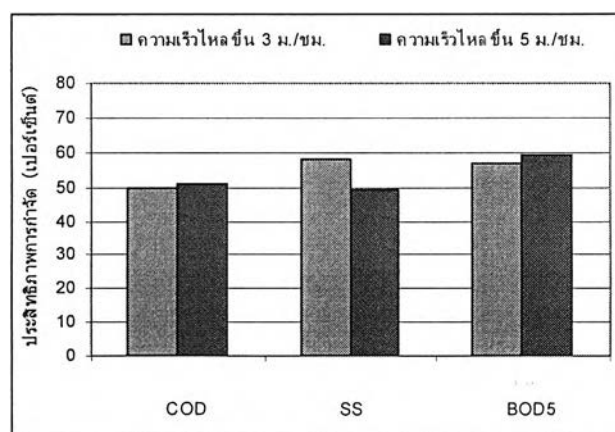
จากรูปที่ 4.37 แสดงให้เห็นว่าเมื่อเพิ่มการบรรทุกสารอินทรีย์จะเกิดการขยายตัวของตะกอนจุลินทรีย์เพิ่มขึ้น เนื่องจาก การเพิ่มการบรรทุกสารอินทรีย์ทำให้ปริมาณก๊าซชีวภาพเพิ่มมากขึ้นจึงพองเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ทำให้ระดับขั้นตะกอนจุลินทรีย์เกิดการขยายตัว แสดงให้เห็นว่าการขยายตัวของขั้นตะกอนจุลินทรีย์ ทำให้ประสิทธิภาพของระบบดีขึ้นซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองในหัวข้อ 4.2 เนื่องจากเป็นการลดปัญหาการไหลลัดทางของน้ำเสียในระบบ แต่ระบบอีซีเอสเป็นระบบที่มีการเพิ่มการขยายตัวของขั้นตะกอนจุลินทรีย์โดยการเวียนน้ำ จึงเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบ และปรับเสถียรภาพของระบบไปพร้อมๆ กัน แต่เมื่อระบบรับการบรรทุกสารอินทรีย์ 25 กก.ชีไอดี/ลบ.ม.-วัน จะเห็นว่าระดับความสูงของขั้นตะกอนสูงถึง 90 ซม. ในถังปฏิกรณ์ชุดที่ 2 (ความเร็วไหลขึ้น 5 ม./ชม.) จึงทำให้เม็ดตะกอนจุลินทรีย์มีโอกาสที่จะหลุดออกจากระบบมากขึ้น

4.5 ผลของความเร็วไหลขึ้นที่มีต่อประสิทธิภาพระบบอ็อกซิเจน

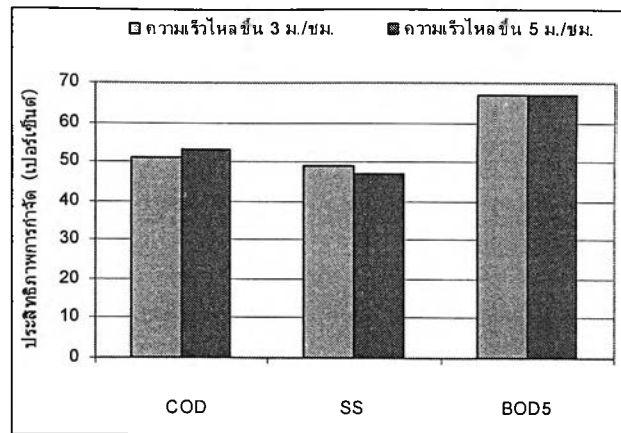
ในการทดลองได้เปรียบเทียบผลของความเร็วไหลขึ้นที่มีต่อประสิทธิภาพของระบบอ็อกซิเจนระหว่างความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม. ในถังปฏิกรณ์ชุดที่ 1 และ ความเร็วไหลขึ้น 5 ม./ชม. ในถังปฏิกรณ์ชุดที่ 2 จากตารางที่ 4.21 และรูปที่ 4.38 จะเห็นว่าระดับการขยายตัวของชั้นตะกอนจุลินทรีย์ในถังปฏิกรณ์ชุดที่ 2 มีค่าสูงกว่าถังปฏิกรณ์ชุดที่ 1 ในทุกภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ ทั้งนี้เนื่องจากการเวียนน้ำกลับในอัตราส่วนที่ต่างกันก่อให้เกิดความปั่นป่วนในถังปฏิกรณ์ทั้งสองชุด

ตารางที่ 4.21 ผลของความเร็วไหลขึ้นที่มีต่อพารามิเตอร์ในทุกภาวะบรรทุกสารอินทรีย์

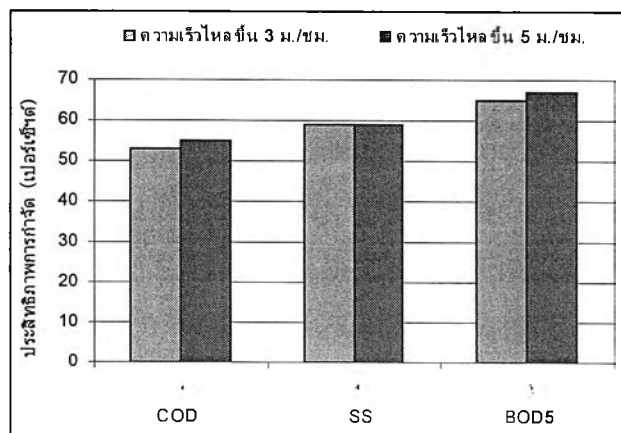
ภาวะ บรรทุก สารอินทรีย์ (กก.ซีโอดี/ ลบ.ม.-วัน)	ระดับความสูงของชั้น ตะกอน จุลินทรีย์ (ซม.)		ประสิทธิภาพ การกำจัด ซีโอดี (เปอร์เซ็นต์)		ประสิทธิภาพ การกำจัด ของแข็งแขวนลอย (เปอร์เซ็นต์)		ประสิทธิภาพ การกำจัด บีโอดี 5 วัน (เปอร์เซ็นต์)	
	ความเร็ว ไหลขึ้น	ความเร็ว ไหลขึ้น	ความเร็ว ไหลขึ้น	ความเร็ว ไหลขึ้น	ความเร็ว ไหลขึ้น	ความเร็ว ไหลขึ้น	ความเร็ว ไหลขึ้น	ความเร็ว ไหลขึ้น
	3 ม./ชม. (R1)	5 ม./ชม. (R2)	3 ม./ชม. (R1)	5 ม./ชม. (R2)	3 ม./ชม. (R1)	5 ม./ชม. (R2)	3 ม./ชม. (R1)	5 ม./ชม. (R2)
5	50	68	50	51	58	49	57	59
10	53	72	51	53	49	47	67	67
15	55	75	53	55	59	59	65	67
25	60	90	48	49	40	27	67	67



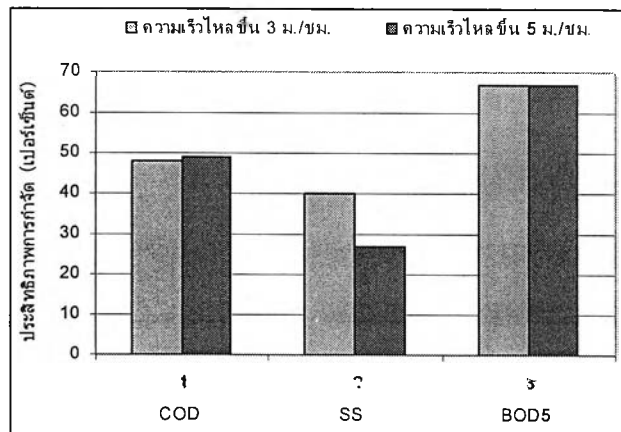
ก) ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 5 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน



ข) ภาชนะบรรจุสารอินทรีย์ 10 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน



ค) ภาชนะบรรจุสารอินทรีย์ 15 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน



ง) ภาชนะบรรจุสารอินทรีย์ 25 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน

รูปที่ 4.38 ผลของความเร็วไหลขึ้นที่มีต่อพารามิเตอร์ในทุกภาชนะบรรจุสารอินทรีย์

1) ซีโอดีและบีโอดี 5 วัน

ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีและบีโอดี 5 วัน ในถังปฏิกรณ์ชุดที่ 2 (ความเร็วไหลขึ้น 5 ม./ชม.) มีค่ามากกว่าถังปฏิกรณ์ชุดที่ 1 (ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.) ในทุกๆ ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ เนื่องจากถังปฏิกรณ์ที่มีความเร็วไหลขึ้นมากกว่าทำให้ระดับการขยายตัวของชั้นตะกอน และการถ่ายเทมวลสาร (mass transfer) ของระบบมากขึ้น ทำให้เม็ดตะกอนจุลินทรีย์มีโอกาสสัมผัสกับสารอินทรีย์ในน้ำเสียกากสาได้เพิ่มขึ้น แต่ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีและบีโอดี 5 วันมีค่าใกล้เคียงกัน เนื่องจากเวลากักในระบบต่ำ และลักษณะน้ำเสียของน้ำเสียกากสาสดเป็นน้ำเสียที่มีแนวโน้มย่อยสลายยากทางชีวภาพ ปฏิกริยาการย่อยสลายโดยแบคทีเรียจึงเกิดขึ้นได้ช้ากว่าน้ำเสียที่ย่อยสลายทางชีวภาพง่าย

2) ของแข็งแขวนลอย

ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยในถังปฏิกรณ์ชุดที่ 1 ที่มีความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม. ดีกว่าถังปฏิกรณ์ชุดที่ 2 ที่มีความเร็วไหลขึ้น 5 ม./ชม. เนื่องจากความเร็วไหลขึ้นที่มากกว่าทำให้เกิดความปั่นป่วนในระบบอีจีเอสบีทำให้ของแข็งแขวนลอยไม่สามารถตกตะกอนได้โดยง่าย ดังนั้นของแข็งแขวนลอยที่อยู่ในระบบจึงมีโอกาสหลุดออกได้มากกว่าถังปฏิกรณ์ชุดที่มีความเร็วไหลขึ้นน้อย จากรูปที่ 4.38 ง) ที่ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 25 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ในถังปฏิกรณ์ชุดที่ 2 มีประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยต่ำมากเนื่องจากการขยายตัวของชั้นตะกอนจุลินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นมาก ที่มีผลมาจากการเวียนน้ำกลับ และก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นมากจึงส่งผลให้เม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบมีโอกาสหลุดออกได้

ระบบอีจีเอสบีเป็นระบบที่มีความเร็วไหลขึ้นสูงซึ่งเป็นผลมาจากการเวียนน้ำกลับ ทำให้สารอินทรีย์ที่ละลายน้ำสามารถกำจัดได้ดี เนื่องจากเกิดการสัมผัสระหว่างสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำกับตะกอนจุลินทรีย์ได้มากกว่าระบบยูเอเอสบี ส่วนของแข็งแขวนลอยเป็นสารซึ่งไม่ละลายน้ำสามารถหลุดออกได้เนื่องจากการปั่นป่วนของน้ำในระบบเป็นตัวนำพาของแข็งแขวนลอยออกจากระบบ และเมื่อภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ที่เพิ่มมากขึ้น จะมีก๊าซชีวภาพซึ่งเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ทำให้ของแข็งแขวนลอยและเม็ดตะกอนจุลินทรีย์หลุดออกจากระบบได้

4.6 เม็ดตะกอนจุลินทรีย์ (Granular Sludge)

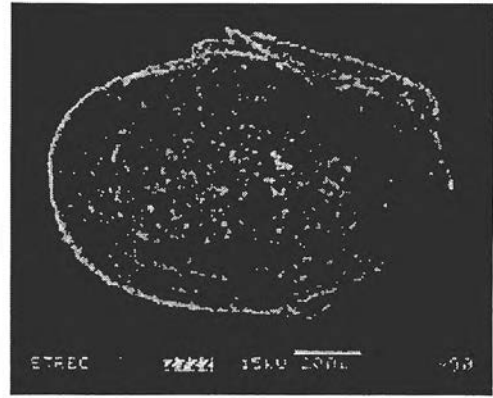
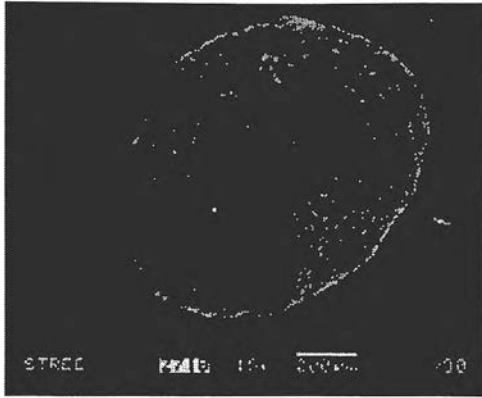
เม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่นำมาใช้ในการทดลองเริ่มต้นมีขนาดประมาณ 1-2 มม. โดยได้ทำการคัดตะกอนจุลินทรีย์ด้วยการตกตะกอน เลือกเอาเฉพาะเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่ตกตะกอนได้ดี ลักษณะทางกายภาพของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์มีสีดำ ผิวกลมเกลี้ยง จับตัวแน่น เป็นรูปทรงกลมหรือทรงรี ในการทดลองได้ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะที่สำคัญของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์

4.6.1 ลักษณะของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์

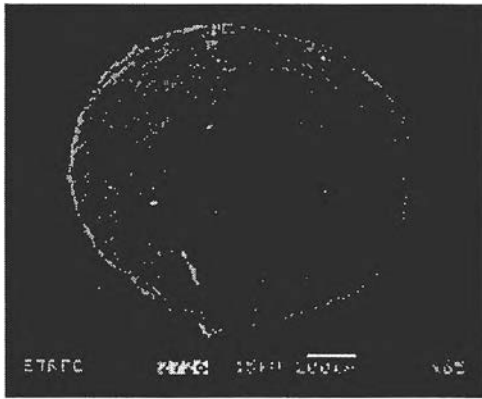
ในช่วงสภาวะคงตัว (Steady state) ของการทดลองที่กำหนดความเร็วไหลขึ้นในระบบอีจีโอสปีของถังปฏิกรณ์ที่ 1 และ 2 เท่ากับ 3 และ 5 ม./ชม. ตามลำดับ ได้ทำการตรวจสอบลักษณะเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscopy, SEM) ตามภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 5, 10 และ 15 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ดังแสดงในรูปที่ 4.39 และ 4.40 โดยทำการเลือกตัวอย่างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่เป็นตัวแทนของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์หลายๆ เม็ดที่ส่องจากกล้องจุลทรรศน์ ที่ทุกค่าภาวะบรรทุกสารอินทรีย์มีลักษณะทางกายภาพที่สามารถสังเกตได้ดังนี้ คือ

- โครงสร้างบริเวณผิวชั้นนอก ลักษณะของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์เป็นทรงกลมค่อนข้างเรียบเมื่อระบบรับภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ต่ำ แต่เมื่อระบบต้องรับภาวะบรรทุกสารอินทรีย์เพิ่มขึ้นตามแผนการทดลอง ลักษณะผิวภายนอกเริ่มมีลักษณะผุร่อนเล็กน้อย และรูปร่างของเม็ดตะกอนเปลี่ยนไป ดังแสดงในรูปที่ 4.39 และ 4.40 ทั้งนี้เนื่องจาก การที่ระบบต้องรับภาวะบรรทุกสารอินทรีย์เพิ่มขึ้น ก่อให้เกิดก๊าซชีวภาพมากขึ้นจึงทำให้เกิดการเสียดสีระหว่างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์

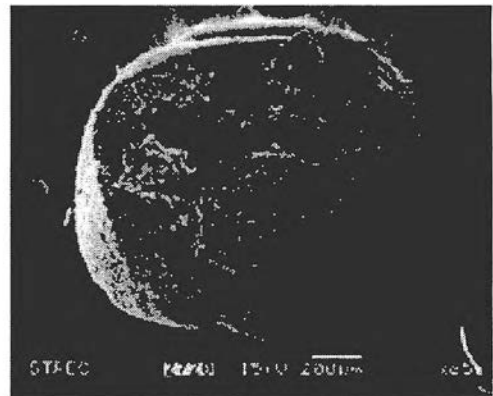
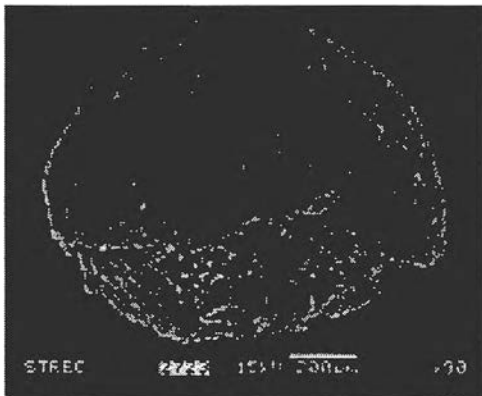
- โครงสร้างบริเวณผิวชั้นใน (ผ่าตามขวาง) จากรูปที่ 4.39 และ 4.40 จะสังเกตเห็นว่าชั้นในบริเวณศูนย์กลางพบโพรงช่องว่างที่มีลักษณะเป็นชั้นๆ เมื่อระบบรับภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ต่ำ พบว่าความหนาแน่นของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ค่อนข้างสูงโดยพบว่าโพรงช่องว่างที่เกิดขึ้นภายในเม็ดตะกอนจุลินทรีย์มีขนาดเล็ก แต่เมื่อระบบต้องรับภาวะบรรทุกสารอินทรีย์เพิ่มขึ้น โพรงช่องว่างที่เกิดขึ้นจะมีขนาดใหญ่ขึ้นอย่างชัดเจน ทั้งนี้แสดงให้เห็นว่า เม็ดตะกอนเกิดปฏิกิริยาขึ้นโดยได้ก๊าซชีวภาพเป็นผลิตภัณฑ์ และก๊าซที่เกิดขึ้นพยายามหาทางระบายออกจากเม็ดตะกอน จึงก่อให้เกิดโพรงช่องว่างที่ใหญ่ขึ้นตามภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นเพื่อระบายก๊าซที่เกิดขึ้นออก



ก) ภาวะบรรจุสารอินทรีย์ 5 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน

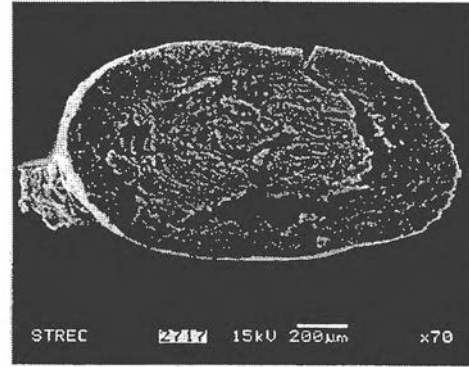
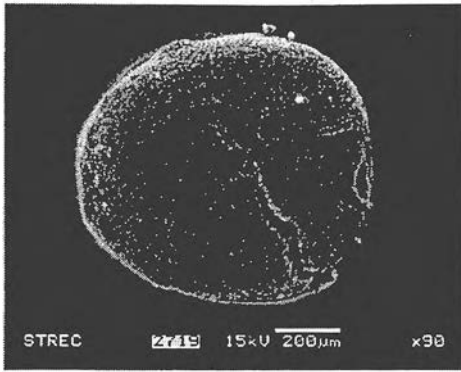


ข) ภาวะบรรจุสารอินทรีย์ 10 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน

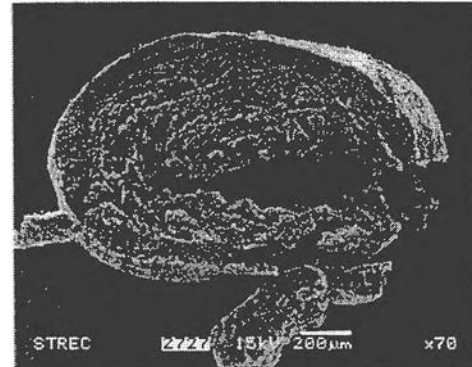
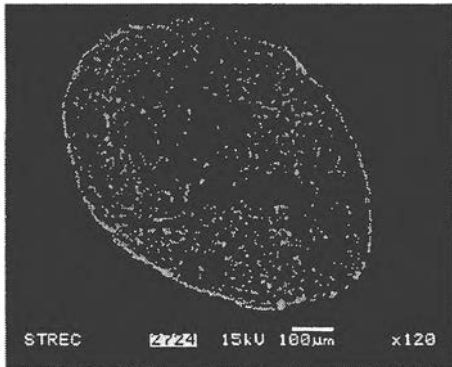


ค) ภาวะบรรจุสารอินทรีย์ 15 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน

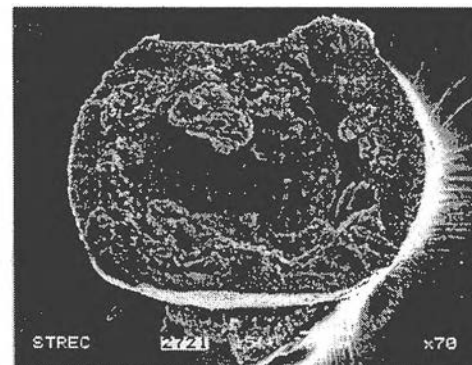
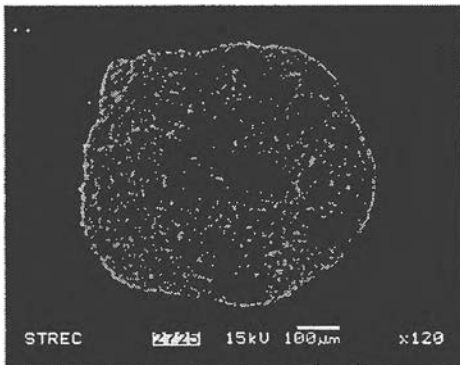
รูปที่ 4.39 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscopy, SEM) บริเวณผิวนอกและภายในของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์จากถังปฏิกรณ์ชุดที่ 1 ที่ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.



ก) ภาชนะบรรจุทุกสารอินทรีย์ 5 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน



ข) ภาชนะบรรจุทุกสารอินทรีย์ 10 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน



ค) ภาชนะบรรจุทุกสารอินทรีย์ 15 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน

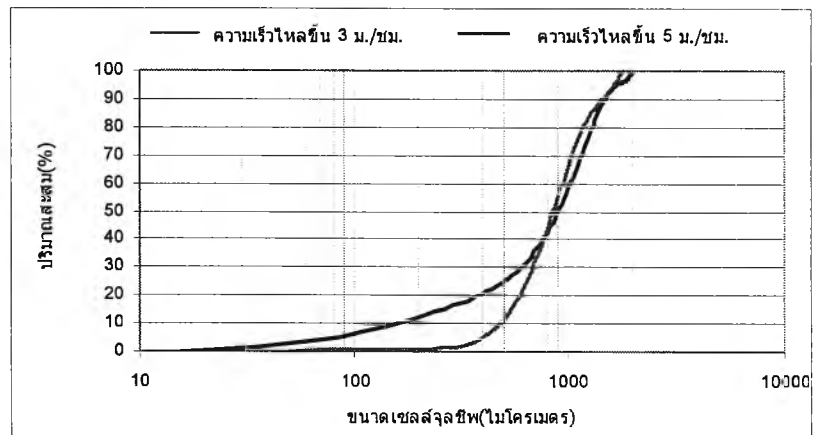
รูปที่ 4.40 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscopy, SEM) บริเวณผิวหน้าและภายในของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์จากถังปฏิกรณ์ชุดที่ 2 ที่ความเร็วไหลขึ้น 5 ม./ชม.

จากรูปที่ 4.39 และ 4.40 เปรียบเทียบลักษณะเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่ความเร็วไหลขึ้นต่างกัน จะเห็นว่าที่ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์เดียวกัน ถึงปฏิกรณ์ชุดที่ 1 ที่มีความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม. ลักษณะผิวภายนอกจะเรียบเนียนกว่าถึงปฏิกรณ์ชุดที่ 2 ที่มีความเร็วไหลขึ้น 5 ม./ชม. ทั้งนี้เนื่องจากความเร็วไหลขึ้นที่มากกว่าจะมีโอกาสที่เม็ดตะกอนเกิดการเสียดสีกันได้มากกว่า ส่วนลักษณะโครงสร้างภายในจะพบว่าที่ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์เดียวกัน ถึงปฏิกรณ์ชุดที่ 1 ที่มีความเร็วไหลขึ้นต่ำกว่าถึงปฏิกรณ์ชุดที่ 2 เม็ดตะกอนจุลินทรีย์มีความหนาแน่นของแบคทีเรียสูงกว่าถึงปฏิกรณ์ชุดที่ 2 ซึ่งสังเกตจากโพรงช่องว่างที่เกิดขึ้นภายในเล็กกว่า แสดงให้เห็นว่า ความเร็วไหลขึ้นมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของลักษณะเม็ดตะกอนจุลินทรีย์บ้างแต่ไม่ชัดเจนนัก

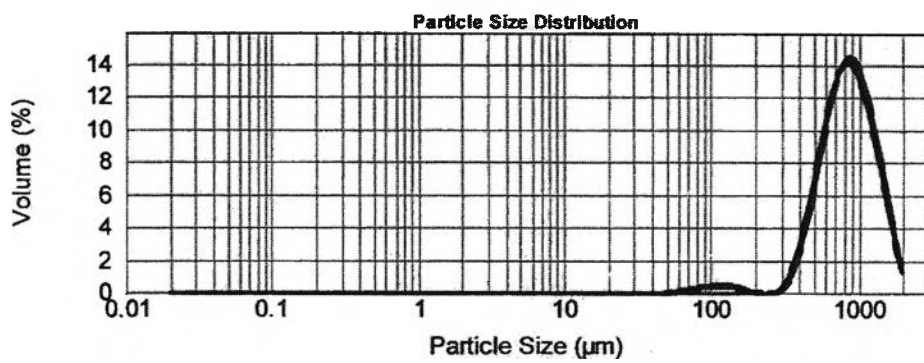
4.6.2 ผลของความเร็วไหลขึ้นที่มีต่อขนาดของเม็ดตะกอนจุลชีพ

งานวิจัยนี้ได้เปรียบเทียบความเร็วไหลขึ้นในถังปฏิกรณ์ระหว่าง 3 และ 5 ม./ชม. โดยที่เม็ดตะกอนเริ่มต้นระบบส่วนใหญ่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1-2 มม. จนกระทั่งการทดลองชุดสุดท้ายพบว่าเม็ดตะกอนจุลชีพบางส่วนฝูกร่อน ดังนั้นผู้วิจัยจึงนำเม็ดตะกอนจุลชีพไปวัดขนาดด้วยเครื่อง Particle Size Analyzer ยี่ห้อ Malvern รุ่น Mastersizer 2000 เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงขนาดเม็ดตะกอนจุลชีพเมื่อสิ้นสุดการทดลอง การวัดขนาดอาศัยหลักการวัดพื้นที่ผิวและปริมาตรของเม็ดตะกอนด้วยระบบเซนเซอร์ที่ส่องแสงมากระทบกับอนุภาคเม็ดตะกอนขณะที่เม็ดตะกอนถูกสูบลไหลผ่านเลนส์ อนุภาคที่มีรูปร่างกลมหรือใกล้เคียง เช่น เม็ดตะกอนจุลชีพจะถูกวัดเป็นค่าใกล้เคียงกับความเป็นจริง ขณะที่อนุภาคที่เป็นฟลอคซึ่งมีรูปร่างที่หลากหลายจะถูกตั้งสมมติฐานว่ามีรูปร่างกลมและคำนวณกลับเป็นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพื่อเป็นค่าตัวแทนของขนาดฟลอค การเปรียบเทียบการกระจายขนาดของเม็ดตะกอนจุลชีพในถังปฏิกรณ์ทั้งสองชุดที่มีความเร็วไหลขึ้นต่างกันั้น แสดงดังภาคผนวก ก เนื่องจากข้อมูลของขนาดเม็ดตะกอนจุลชีพเป็นการกระจายตามขนาดต่างๆ ดังนั้นในการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของขนาดเม็ดตะกอนจุลชีพจึงได้เลือกค่าที่เป็นค่าเฉลี่ยในแต่ละชุดความเร็วไหลขึ้นโดยได้เลือกค่า D10 D50 และ D90 ซึ่งเป็นขนาดของตะกอนจุลชีพที่ปริมาณร้อยละ 10 50 และ 90 ของตะกอนจุลชีพทั้งหมด โดยหากการเปลี่ยนแปลงของค่า D ที่เปอร์เซ็นต์ใดๆ ลดลง แสดงว่ามีตะกอนจุลชีพที่มีขนาดเล็กกว่าในปริมาณสูงขึ้น (ตะกอนจุลชีพขนาดใหญ่มีการแตกตัว) การเปลี่ยนแปลงของ D10 D50 และ D90 ของตะกอนจุลชีพในถังปฏิกรณ์ชุดที่ 1 และ 2 ดังแสดงในรูปที่ 4.41 และจากรูปที่ 4.42 พบว่าที่ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม. พบเม็ดตะกอนจุลชีพที่เล็กที่สุดที่วัดค่าได้ประมาณ 50 ไมโครเมตร ส่วนที่ความเร็วไหลขึ้น 5 ม./ชม. พบเม็ดตะกอนจุลชีพที่เล็กที่สุดที่วัดค่าได้ประมาณ 20 ไมโครเมตร และจากรูปที่ 4.42 จะเห็นว่าที่ความเร็วไหลขึ้น 3 และ 5 ม./ชม. มีปริมาณเม็ดตะกอนจุลชีพที่มีขนาด 50-200 ไมโครเมตรอยู่ 1.61 และ 13.88 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าที่ความเร็ว

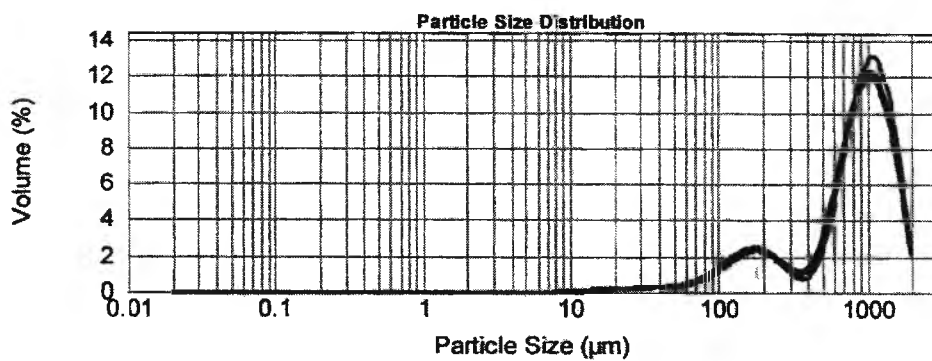
ไหลขึ้น 5 ม./ชม. มีแนวโน้มที่เม็ดตะกอนจุลชีพจะเกิดการแตกสลายและผุกร่อนได้มากกว่าที่ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.



รูปที่ 4.41 แสดงการกระจายตัวของขนาดของเซลล์จุลชีพ



ก) ปริมาณการกระจายของเม็ดตะกอนจุลชีพที่ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.



ก) ปริมาณการกระจายของเม็ดตะกอนจุลชีพที่ความเร็วไหลขึ้น 5 ม./ชม.

รูปที่ 4.42 แสดงปริมาณการกระจายของขนาดเม็ดตะกอนจุลชีพ

จากรูปที่ 4.41 จะเห็นว่าขนาดการกระจายตัวของเม็ดตะกอนจุลชีพที่ค่า D10 ของถังปฏิกรณ์ทั้งสองชุดมีขนาดต่างกันอย่างเห็นได้ชัด แต่ที่ค่า D50 และ D90 มีค่าใกล้เคียงกัน แสดงให้เห็นว่า สปส.ของความไม่สม่ำเสมอ (D60/D10) ที่ความเร็วไหลขึ้น 5 ม./ชม. (ถังปฏิกรณ์ชุดที่ 2) มีความมากกว่าถังปฏิกรณ์ชุดที่ 1 ที่มีความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม. ซึ่งค่า สปส.ของความไม่สม่ำเสมอ แสดงให้เห็นถึงลักษณะการกระจายขนาดของเม็ดตะกอนจุลชีพในระบบ ค่าดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าที่ความเร็วไหลขึ้นมากกว่ามีแนวโน้มที่จะทำให้เม็ดฟูก้อน และแตกสลายได้มากกว่า เนื่องจากความปั่นป่วนที่เกิดขึ้นทำให้เม็ดตะกอนจุลชีพมีโอกาสเกิดการเสียดสีระหว่างกันได้มากขึ้น

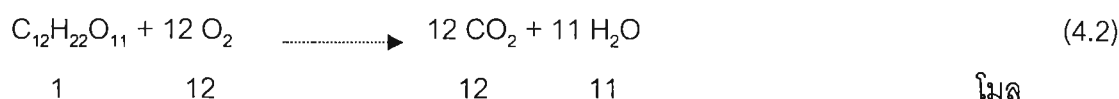
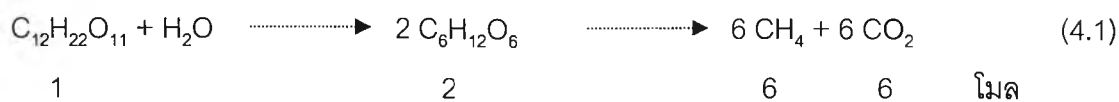
4.7 การวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพ

การบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนจะทำให้เกิดก๊าซขึ้นในระบบ ปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นหลักๆ มี 2 ชนิด คือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซมีเทน ก๊าซต่างๆ จะมีคุณสมบัติละลายน้ำที่ต่างกัน โดยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีความสามารถในการละลายน้ำมากกว่าก๊าซมีเทน จากความสามารถในการละลายน้ำที่แตกต่างกันนี้เองทำให้ปริมาณก๊าซที่วัดได้โดยอุปกรณ์เก็บก๊าซมีค่าต่างกัน แม้ว่าจะผลิตในจำนวนโมลที่เท่ากันก็ตาม

เพื่อทำการพิสูจน์ว่าปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และมีเทนที่เกิดขึ้นจากกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณซีโอดีที่ถูกกำจัด ซึ่งกล่าวถึงในงานวิจัยของสินุช ศศิยศชาติ (2544) โดยมีข้อกำหนดดังแสดงในภาคผนวก ข

การคำนวณหาปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์จากการย่อยน้ำเสียประเภทคาร์โบไฮเดรต

น้ำเสียที่จัดเป็นประเภทคาร์โบไฮเดรต ได้แก่ น้ำตาลโมเลกุลต่ำหรือกลูโคส คาร์โบไฮเดรตที่มีโมเลกุลซับซ้อนหรือโพลีแซคคาไรด์ เช่น แป้ง เซลลูโลส เมื่อถูกไฮโดรไลซ์แล้วจะเกิดเป็นน้ำตาลโมเลกุลต่ำ หรือกลูโคส หลังจากนั้นกลูโคสจะถูกย่อยสลายโดยแบคทีเรียสร้างกรดเกิดผลผลิตสุดท้ายที่ได้ส่วนใหญ่ คือ มีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ โดยคาร์โบไฮเดรตเมื่อย่อยสลายแล้วจะสามารถสร้างมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ได้อย่างละเท่าๆ กัน น้ำกากส่าที่ใช้ในการทำวิจัย จัดว่าเป็นน้ำเสียประเภทคาร์โบไฮเดรต เนื่องจากใช้กากน้ำตาลเป็นวัตถุดิบในการกลั่นสุรา ดังนั้นในการกำหนดสมการเพื่อที่จะนำไปหาผลผลิตสุดท้ายของการย่อยสลายสารอินทรีย์จึงขอสมมติให้เป็นน้ำตาลดั่งสมการข้างล่าง (วรารุณี, 2532)



จากสมการทั้งสองข้างต้น จะได้ว่า ในการย่อยสลายน้ำตาล 1 โมล จะต้องการออกซิเจน 12 โมล ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่า ซีโอดีของน้ำตาลเท่ากับ 12 โมล ต่อ 1 โมลน้ำตาล และในการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน น้ำตาล 1 โมล เมื่อถูกย่อยสลายจะให้มีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์อย่างละ 6 โมล ดังนั้น จึงกล่าวได้ว่า ซีโอดีที่ถูกกำจัด 12 โมล เกิดเป็น มีเทน 6 โมล และคาร์บอนไดออกไซด์ 6 โมล

$$\begin{array}{lcl}
 \text{ดังนั้น ซีโอดีที่ถูกกำจัด 1 มิลลิโมล จะให้} & \text{CH}_4 & = & 0.5 & \text{มิลลิโมล} \\
 & \text{CO}_2 & = & 0.5 & \text{มิลลิโมล}
 \end{array}$$

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

$$\begin{array}{lcl}
 \text{จะให้ มีเทน, } M_T & = & C/64 & \text{มิลลิโมล/ล.} \\
 \text{คาร์บอนไดออกไซด์, } C_T & = & C/64 & \text{มิลลิโมล/ล.}
 \end{array}$$

การคำนวณหาปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นสามารถทำได้โดยการ Trial & error ดังนี้

- 1) กำหนดค่าซีโอดีที่ถูกกำจัด (C), มก./ล.
- 2) คำนวณหาค่า M_T และ C_T
- 3) สมมติ ค่ามีเทนก๊าซที่เกิดขึ้น (M_g), มิลลิโมล/ล. แทนลงในสมการที่ (ข-6) จะได้ค่าคาร์บอนไดออกไซด์ก๊าซ (C_g), มิลลิโมล/ล.
- 4) แทนค่า C_g ลงในสมการ (ข-8) จะได้ค่า Mg
- 5) Trial & error ต่อไปจนกว่าจะได้ค่า Mg ที่สมมติเท่ากับค่าที่ได้จากการคำนวณในสมการ (ข-8)
- 6) คำนวณหา P_{CH_4} และ P_{CO_2} จากสมการ (ข-3) และ (ข-4)
- 7) คำนวณหา MI และ C_I หน่วย มิลลิโมล/ล. จากสมการ (ข-1) และ (ข-2)

การพิสูจน์ก๊าซที่เกิดขึ้นจากการทดลอง แสดงดังตัวอย่าง

ในการทดลองนำบัตน้ำเสียจากสาด้วยระบบอีจีเอสบีพบว่าซีโอดีถูกกำจัด 2,500 มก./ล. สภาพต่างทั้งหมดของน้ำออกจากระบบมีค่า 1,400 มก./ล. หินปูน ที่อุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 30 องศาเซลเซียส คำนวณหาปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้น

วิธีทำ

ทำตามขั้นตอนที่กำหนด

1) ซีโอดีถูกกำจัด (C) 2500 มก./ล. เท่ากับ $2500/32 = 78.125$ มิลลิโมล/ล.

2) ค่าคงที่ของเฮนรีที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

$$- K_{\text{CH}_4} = 1.24 \text{ มิลลิโมล/ลิตร-บรรยากาศ}$$

$$- K_{\text{CO}_2} = 29.9 \text{ มิลลิโมล/ลิตร-บรรยากาศ}$$

3) คำนวณหาค่า M_T และ C_T

$$M_T = C/64 = 2500/64 = 39.06 \text{ มิลลิโมล/ล.}$$

$$C_T = C/64 = 2500/64 = 39.06 \text{ มิลลิโมล/ล.}$$

4) สมมติค่า M_g ในสมการที่ (ข-6) จะได้ค่า C_g และแทนกลับในสมการที่ (ข-8) จะได้ค่า M_g ดังตารางที่ 4.22

ตารางที่ 4.22 การคำนวณการแทนค่าโดยการ Trial & error ในสมการการละลายน้ำของก๊าซ

ค่าสมมติ		ค่าที่ได้	
M'_g (มิลลิโมล/ล.)	C'_g (มิลลิโมล/ล.)	M_g (มิลลิโมล/ล.)	C_g (มิลลิโมล/ล.)
38.0	26.5	36.6	6.45
38.5	27.0	39.9	46.75
<u>38.3</u>	<u>26.8</u>	<u>38.6</u>	<u>24.2</u>
38.4	26.9	39.2	33.7

หมายเหตุ : M'_g และ C'_g เป็นค่าสมมติ

จากการ Trial & error จะได้ $M_g = 38.3$ มิลลิโมล/ล. และ $C_g = 26.8$ มิลลิโมล/ล.

5) คำนวณหา P_{CH_4} และ P_{CO_2}

$$\begin{aligned} P_{\text{CH}_4} &= M_g / (M_g + C_g) \\ &= 38.3 / (38.3 + 26.8) \\ &= 0.59 \quad \text{บรรยากาศ} \end{aligned}$$

$$P_{\text{CO}_2} = C_g / (M_g + C_g)$$

$$= 26.8 / (38.3 + 26.8)$$

$$= 0.41 \quad \text{บรรยากาศ}$$

6) คำนวณหา M_l และ C_l หน่วย มิลลิโมล/ล.

$$M_l = M_T - M_g$$

$$= 39.06 - 38.3$$

$$= 0.76 \quad \text{มิลลิโมล/ล.}$$

เพราะฉะนั้นมีเทนละลายน้ำ 0.76 มิลลิโมล/ล.

$$C_l = C_T - C_g$$

$$= 39.06 - 26.8$$

$$= 12.26 \quad \text{มิลลิโมล/ล.}$$

เพราะฉะนั้นคาร์บอนไดออกไซด์ละลายน้ำ 12.26 มิลลิโมล/ล.

จากตัวอย่างการคำนวณ จะเห็นว่าปริมาณมีเทน และคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากการย่อยสลายสารอินทรีย์นั้น มีเทนจะสามารถละลายน้ำได้น้อยมากเมื่อเทียบกับคาร์บอนไดออกไซด์ ด้วยเหตุนี้ ค่าที่วัดได้จากเครื่อง GC (Gas Chromatography) จึงมีเปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทนมากกว่าเปอร์เซ็นต์ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

4.8 การวิเคราะห์พีเอชและสภาพต่างทั้งหมด

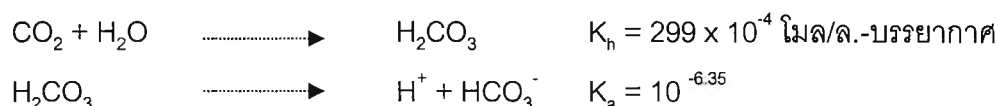
พีเอชและสภาพต่างทั้งหมดในระบบมีความสำคัญต่อแบคทีเรียในระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน โดยเฉพาะแบคทีเรียสร้างมีเทนซึ่งสามารถเจริญเติบโตได้ดีที่สุดในช่วงพีเอช 6.6-7.4 เท่านั้น ถ้าไม่ควบคุมให้เป็นกลาง การเติบโตของแบคทีเรียสร้างมีเทนจะถูกยับยั้งเป็นผลให้ระบบเสียสมดุลได้ การรักษาพีเอชให้เป็นกลางต้องอาศัยสภาพต่างเป็นตัวควบคุม หากระบบมีกำลังบัฟเฟอร์ หรือมีสภาพต่างเพียงพอระบบก็จะสามารถรักษาระดับพีเอชไม่ให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วเมื่อมีบางอย่างเกิดขึ้นกับระบบ แต่การปรับพีเอชด้วยต่างนั้นก่อให้เกิดค่าใช้จ่ายที่มากพอสมควรในการเดินระบบ ดังนั้นในการบำบัดน้ำเสียทางสาธิตที่มีพีเอชต่ำนั้น ในการปรับพีเอชให้เหมาะสมต้องคำนึงถึงความสามารถในการทำงานของระบบ และค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้น

ความต้องการสภาพต่างเพื่อรักษาสมดุลของกรดคาร์บอนิกสามารถคำนวณได้จากทฤษฎีสมดุลของคาร์บอนเนตและกฎของเฮนรี ดังแสดงในภาคผนวก ค

การวิเคราะห์ห้ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง

จากการทดลองที่ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 5 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ปรับสภาพต่างด้วยการเติมโซเดียมไบคาร์บอเนต (NaHCO_3) สามารถวัดสภาพต่างน้ำออกจากระบบได้ 1400 มก./ล. หินปูน อุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 30 องศาเซลเซียส

จากกฎของเฮนรีและสมดุลคาร์บอนิก



พิจารณาพีเอชน้ำออก

- ความดันพาร์เชียลของคาร์บอนไดออกไซด์ในระบบที่คำนวณได้จากตัวอย่างการคำนวณที่ 1 เท่ากับ 0.41 บรรยกาศ
- สภาพต่างที่วัดได้ในน้ำออกเท่ากับ 1400 มก./ล. หินปูน
เทียบเท่ากับ $\text{NaHCO}_3 = 1400 \times (84/50) = 2,358$ มก./ล.
หรือเท่ากับ $\text{NaHCO}_3 = 2352 / (84 \times 1000) = 0.028$ โมล/ล.
- แทนค่าลงในสมการที่ ค-8

$$\begin{aligned} [\text{H}^+] &= K_a K_h \cdot P_{\text{CO}_2} / [\text{HCO}_3^-] \\ &= (10^{-6.35} \times 299 \times 10^{-4} \times 0.41) / 0.028 \\ &= 1.96 \times 10^{-7} \quad \text{โมล/ล.} \\ \text{pH} &= -\log [\text{H}^+] \\ &= -\log (1.96 \times 10^{-7}) \\ &= 6.71 \text{ (การทดลองวัดได้ 6.84)} \end{aligned}$$

จะเห็นว่าพีเอชที่ได้จากการคำนวณจะน้อยกว่าค่าที่วัดได้จากการทดลอง เนื่องจากการคำนวณไม่ได้นำอิออนต่างๆ ที่มีอยู่ในระบบมาทำการคำนวณร่วมด้วย ผลการคำนวณจึงอาจผิดพลาดไปบ้าง ค่าพีเอชที่วัดได้อาจมากกว่าค่าจริงในระบบ เพราะว่า ระหว่างนำน้ำตัวอย่างมาวัด คาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายน้ำอยู่จะเคลื่อนที่ไปสู่บรรยกาศเพื่อให้เกิดสมดุลของคาร์บอนไดออกไซด์ใหม่ ค่าที่ได้จากการทดลองจึงมากกว่าค่าพีเอชจริงของระบบ

การคำนวณหาปริมาณต่างโซเดียมไบคาร์บอเนต

หาปริมาณต่างโซเดียมไบคาร์บอเนต (NaHCO_3) ที่ต้องการใช้ในการปรับพีเอชเพื่อให้เหมาะสมกับการบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน พิจารณาระหว่างพีเอช 7.0 และ 6.8 ที่อุณหภูมิเฉลี่ย 30 องศาเซลเซียส

กำหนดให้

- ความดันพาร์เชียลของคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ 0.41 บรรยากาศ (จากตัวอย่างการคำนวณเรื่องก๊าซชีวภาพ)

$$- K_h = 299 \times 10^{-4} \text{ โมล/ล. - บรรยากาศ}$$

$$- K_a = 10^{-6.35}$$

ปรับพีเอชเป็น 7

พีเอชที่ต้องการเท่ากับ 7 ดังนั้น $[\text{H}^+] = 10^{-7}$ โมล/ลิตร

แทนค่าลงในสมการที่ ค-8

$$\begin{aligned} [\text{HCO}_3^-] &= K_a K_h \cdot P_{\text{CO}_2} / [\text{H}^+] \\ &= (10^{-6.35} \times 299 \times 10^{-4} \times 0.41) / 10^{-7} \\ &= 0.055 \quad \text{โมล/ลิตร} \end{aligned}$$

$$\text{คิดเป็น } \text{HCO}_3^- = 0.055 \times 61 \times 1000 = 3,355 \text{ มก./ล.}$$

$$\text{เปลี่ยนเป็นหน่วย มก./ล. หินปูน} = 3,355 \times (50/61) = 2,750 \text{ มก./ล. หินปูน}$$

$$\text{โซเดียมไบคาร์บอเนตที่ต้องการ} = 0.055 \times 84 \times 1000 = 4,620 \text{ มก./ล.}$$

ปรับพีเอชเป็น 6.8

พีเอชที่ต้องการเท่ากับ 6.8 ดังนั้น $[\text{H}^+] = 10^{-6.8}$ โมล/ลิตร

แทนค่าลงในสมการที่ ค-8

$$\begin{aligned} [\text{HCO}_3^-] &= K_a K_h \cdot P_{\text{CO}_2} / [\text{H}^+] \\ &= (10^{-6.35} \times 299 \times 10^{-4} \times 0.41) / 10^{-6.8} \\ &= 0.035 \quad \text{โมล/ลิตร} \end{aligned}$$

$$\text{คิดเป็น } \text{HCO}_3^- = 0.035 \times 61 \times 1000 = 2,135 \text{ มก./ล.}$$

$$\text{เปลี่ยนเป็นหน่วย มก./ล. หินปูน} = 2,135 \times (50/61) = 1,750 \text{ มก./ล. หินปูน}$$

$$\text{โซเดียมไบคาร์บอเนตที่ต้องการ} = 0.035 \times 84 \times 1000 = 2,940 \text{ มก./ล.}$$

จากตัวอย่างการคำนวณจะเห็นว่าเมื่อทำการปรับพีเอชให้ได้ 7.0 และ 6.8 จะใช้ปริมาณโซเดียมไบคาร์บอเนตต่างกัน $4,620 - 2,940 = 1,680$ มก./ล.

จากการทดลองจริงเติมโซเดียมไบคาร์บอเนต 25 กรัม ต่อ น้ำกากส่าสด 1 ลิตร ในการทดลองเจือจางน้ำกากส่าด้วยน้ำประปา 18 เท่า

ดังนั้นใช้โซเดียมไบคาร์บอเนต $(25/18) \times 1000 = 1,389$ มก./ล.

ในการทดลองจริงน้ำในระบบมีค่าพีเอชเฉลี่ย 6.8 นั้นแสดงว่าระบบอีจีเอสบีนี้ช่วยประหยัดโซเดียมไบคาร์บอเนตที่ต้องใช้ถึง $(2,940 - 1,389) = 1,551$ มก./ล. หรือเท่ากับ 1.55 ก./ล. คิดเป็นร้อยละเท่ากับ $(1,551/2,940) \times 100 = 52.75$ ดังนั้นประหยัดเงินค่าสารเคมีโซเดียมไบคาร์บอเนตเท่ากับ $1.55 \times 18 = 27.9$ บาทต่อลบ.ม.

หมายเหตุ ปี 2546 ราคาสารเคมีโซเดียมไบคาร์บอเนตมีค่า 18 บาท/กิโลกรัม

4.9 ข้อดี และข้อเสียของระบบอีจีเอสบีที่ได้จากงานวิจัย

ข้อดีของระบบอีจีเอสบี ได้แก่

1) สามารถรับภาระบำบัดทุกสารอินทรีย์ได้สูงกว่าระบบ UASB และลดเวลาเก็บกักน้ำเสียในระบบได้มากกว่าระบบ UASB จากการทดลองระบบสามารถรับภาระบำบัดทุกสารอินทรีย์ได้ 5-25 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน เวลาเก็บกักน้ำเสีย 4.8-24 ชั่วโมง

2) ชั้นตะกอนจุลินทรีย์มีการขยายตัวและเกิดการกวนผสมอย่างทั่วถึง จึงช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการสัมผัสกันของน้ำเสียและจุลินทรีย์ รวมทั้งลดปัญหาการไหลลัดทางของน้ำเสียในระบบ

3) ระบบสามารถทำงานได้ดีถึงแม้ว่าจะมีการเพิ่มภาระบำบัดทุกสารอินทรีย์ขึ้นแบบทันทีทันใดเนื่องจากการเวียนน้ำกลับจะช่วยเจือจางความเข้มข้นของน้ำเสียกากส่าก่อนเข้าระบบได้

4) ประหยัดสารเคมีที่ใช้ในการปรับพีเอชน้ำเสียกากส่าก่อนเข้าระบบ จากการทดลองพบว่าสามารถประหยัดสารเคมีโซเดียมไบคาร์บอเนตได้ 1.55 ก./ล. คิดเป็นเงิน 27.9 บาท/ลบ.ม.

5) การเวียนน้ำกลับจะช่วยเจือจางน้ำเข้าระบบเพื่อให้มีลักษณะใกล้เคียงกันทุกจุด ทำให้แบคทีเรียที่อยู่ด้านล่างถึงปฏิกรณ์รับภาระบำบัดทุกสารอินทรีย์ใกล้เคียงกับจุดอื่นๆ ที่อยู่ในถังปฏิกรณ์

6) ระบบอีจีเอสบีเป็นระบบที่ใช้น้ำบำบัดน้ำเสียเบื้องต้นที่มีประสิทธิภาพ

ข้อเสียของระบบซีอีเอสบี ได้แก่

- 1) ใช้พลังงานมากเนื่องจากการเวียนน้ำกลับ
- 2) ความเร็วไหลขึ้นที่สูงประกอบกับปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นมากในระบบที่รับภาระ
บรรทุกสารอินทรีย์สูงเป็นปัจจัยที่ทำให้เม็ดตะกอนจุลินทรีย์หลุดออกจากระบบ

4.10 เกณฑ์การออกแบบที่ได้จากงานวิจัย

1) ถังปฏิกรณ์เป็นรูปทรงกระบอกโดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่อความสูงในส่วนย่อย
สลายเป็น 1 ต่อ 20

- 2) ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 15-25 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน
- 3) เวลาเก็บกัก (Hydraulic retention time, HRT) 4.8-8 ชั่วโมง
- 4) ความเร็วไหลขึ้นในถังปฏิกรณ์ 3-5 ม./ชม.

หมายเหตุ ซีไอดีน้ำเข้ามีค่าเฉลี่ย 5,000 มก./ล.