

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

4.1 การเริ่มเดินระบบ

การเริ่มเดินระบบในตอนแรกทำเพียง 2 ชุดการทดลอง คือ ที่อัตราไหล 4.8 และ 14.4 ลิตร/วัน โดยนำเชื้อแบคทีเรียที่มีลักษณะเป็นเม็ด เส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1-3 มม. ใส่คอลัมน์ละประมาณ 1.5 ลิตร และป้อนน้ำเสียโดยใช้น้ำสังเคราะห์จากน้ำสับประรดเป็นสารอาหาร เริ่มที่ความเข้มข้นซีไอดี 500 มก./ล. ต่างที่ใช้ต่อซีไอดี คือ 1:1 เพื่อให้แบคทีเรียได้ปรับตัวให้เข้ากับน้ำเสีย แต่น้ำเสียสับประรดเป็นน้ำเสียที่ย่อยง่าย แบคทีเรียสามารถปรับตัวได้เร็ว สังเกตได้จากปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นจนเริ่มคงที่ และน้ำที่ออกค่อนข้างใส ใช้เวลาประมาณ 2 สัปดาห์ จากนั้นจึงเพิ่มความเข้มข้นซีไอดีเป็น 1,000 มก./ล. และเพิ่มอีกทุกๆ 500 มก./ล. จนถึงที่ความเข้มข้นซีไอดี 2,500 มก./ล. ในช่วงนี้ได้ทำการเก็บตัวอย่างเพื่อวัดพารามิเตอร์บางตัวแต่มิได้นำมาแสดง เวลาที่ใช้ในการเริ่มเดินระบบที่อัตราไหล 4.8 ลิตร/วัน ประมาณ 2 เดือน ในขณะที่ อัตราไหล 14.4 ลิตร/วัน ใช้เวลาประมาณ 4 เดือน เพราะที่อัตราไหล 14.4 ลิตร/วัน มีภาวะบรรทุกลสารอินทรีย์มากกว่า เวลาในการกักน้ำน้อยกว่า ทำให้แบคทีเรียต้องใช้เวลาในการปรับตัวสูงกว่ามาก หลังจากระบบเริ่มปรับสภาพให้คงที่แล้ว จึงเปลี่ยนสภาพต่างต่อซีไอดีที่ใช้เป็น 1.5:1 และเริ่มทำการเก็บข้อมูลจริง

ในวันที่ 22 พฤศจิกายน 2543 ได้เริ่มเดินระบบอีก 2 ชุด ที่อัตราไหล 9.6 และ 19.2 ลิตร/วัน โดยวิธีการเริ่มเดินระบบได้ทำเหมือน 2 ชุดก่อน แต่มีปัญหาในการเดินระบบ คือ เมื่อวันที่ 28 พฤษภาคม 2544 ชุดการทดลองที่อัตราไหล 19.2 ลิตร/วัน สายยางที่ป้อนน้ำเสียเข้าระบบได้หลุดออก ทำให้เชื้อแบคทีเรียหลุดออกมานอกระบบ ทำให้ต้องเสียเวลาในการเดินระบบใหม่

ตามแผนการทดลองเดิม การทดลองแบ่งออกเป็น 2 ชุด คือ ชุดที่ 1 เป็นน้ำเสียประเภทคาร์โบไฮเดรต และชุดที่ 2 ใช้น้ำเสียโปรตีน น้ำเสียทั้ง 2 ประเภท จะทำการทดลองภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน คือ ที่ความเข้มข้นซีไอดี 2,500 มก./ล. และแปรค่าภาวะบรรทุกลสารอินทรีย์เป็น 4 , 8 , 12 และ 16 ก./ล.-วัน โดยเปลี่ยนค่าอัตราไหลเป็น 4.8 , 9.6 , 14.4 และ 19.2 ลิตร/วัน ตามลำดับ และในแต่ละภาวะบรรทุกลสารอินทรีย์ จะแปรค่าอัตราส่วนต่างต่อซีไอดี เป็น 1.5:1 , 0.9:1 และ 0.3:1 ตามลำดับ แต่ในชุดของน้ำเสียโปรตีน ไม่สามารถเดินระบบที่อัตราส่วนต่างต่อซีไอดี 1.5:1 ได้

เนื่องจากค่าพีเอชของระบบสูงเกินไป (มากกว่า 9) จนระบบไม่สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ สังเกตได้จากค่าซีโอดีและกรดไขมันระเหยในน้ำออกสูงขึ้นและปริมาณก๊าซเกิดลดลง จึงต้องเปลี่ยนแผนการทดลองใหม่โดยลดค่าอัตราส่วนต่างต่อซีโอดีลงเป็น 0.9:1 , 0.6:1 และ 0.3:1 ตามลำดับ

ระยะเวลาที่ใช้ในการทดลองประมาณ 19 เดือน โดยเริ่มการทดลองในเดือนมิถุนายน 2543 และสิ้นสุดการทดลองในเดือนธันวาคม 2544

4.2 การทดลองโดยใช้น้ำเสียประเภทคาร์โบไฮเดรต

4.2.1 ผลการทดลองในช่วงเดินระบบ

1) ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 4 ก./ล.-วัน

ที่ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 4 ก./ล.-วัน มีอัตราไหลเท่ากับ 4.8 ลิตร/วัน เวลาพักน้ำในถังปฏิกรณ์ 15 ชม. เริ่มทำการทดลองพร้อมกับถังปฏิกรณ์ที่ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 12 ก./ล.-วัน โดยในแผนการทดลองครั้งแรก จะทดลองที่ซีโอดี 5,000 มก./ล. แต่ในการเริ่มเดินระบบต้องใช้ความเข้มข้นซีโอดีต่ำโดยเริ่มจาก 500 มก./ล. เพื่อให้เชื้อแบคทีเรียปรับตัวให้เข้ากับน้ำเสียใหม่ และจะค่อยๆ เพิ่มซีโอดีขึ้น ซึ่งในช่วงนี้ทำให้เสียเวลามากในการเพิ่มซีโอดีให้ได้ 5,000 มก./ล. ตามแผน จึงได้ปรับแผนการทดลองใหม่ให้มีความเข้มข้นของซีโอดีเหลือ 2,500 มก./ล. เริ่มการทดลองเมื่อวันที่ 18 กรกฎาคม 2543 ถึงวันที่ 21 ธันวาคม 2544 รวมระยะเวลาที่ใช้ในการทดลอง 252 วัน ตารางที่ 4.1 แสดงค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ที่วัดได้จากการทดลอง และรูปที่ 4.1 แสดงพารามิเตอร์ที่สำคัญที่วัดได้ตลอดการทดลอง

จากรูป 4.1 ซึ่งแสดงค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ตลอดการทดลอง จะแบ่งเป็นทั้งหมด 4 ช่วง คือ ที่อัตราส่วนต่างต่อซีโอดี 1.5:1 , 0.9:1 , 0.6:1 และ 0.3:1 ตามลำดับ ซึ่งที่อัตราส่วน 0.6:1 ไม่ได้อยู่ในแผนการทดลองแต่เป็นช่วงที่เปลี่ยนอัตราส่วนจาก 0.9:1 ไปเป็น 0.3:1 แต่ในขณะที่ลดอัตราส่วนลงมาที่ 0.6:1 พารามิเตอร์บางตัวมีค่าไม่คงที่ คือ ค่ากรดไขมันระเหยและซีโอดีน้ำออกมีค่าเพิ่มขึ้นในบางวัน และปริมาณก๊าซของระบบลดลงในช่วงแรก ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากในวันแรกของการเปลี่ยนอัตราส่วนได้เปลี่ยนอัตราส่วนจาก 0.9:1 เป็น 0.3:1 ทันที ทำให้แบคทีเรียไม่สามารถปรับตัวให้เข้ากับการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นได้ จึงได้เพิ่มอัตราส่วนขึ้นไปเป็น 0.6:1 ทำให้

ต้องใช้เวลาในช่วงนี้เพื่อให้ระบบเข้าสู่สภาวะคงที่เสียก่อน โดยรูปที่ 4.1 (ก) จะแสดงค่าพีเอชของระบบ เมื่อแปรค่าอัตราส่วนต่างต่อซีโอดีเป็น 1.5:1 , 0.9:1 และ 0.3:1 ค่าพีเอชของน้ำเข้าเท่ากับ 10.8 , 10.6 และ 10.1 ตามลำดับ จะเห็นว่า ค่าที่ได้ค่อนข้างสูงเป็นผลจากการเติมด่างโซเดียมคาร์บอเนตเพื่อเป็นบัฟเฟอร์ให้แก่ระบบ แต่เมื่อผ่านระบบยูเอเอสบีแล้ว ค่าพีเอชของน้ำออกจะลดลงเหลือ 8.0 , 7.1 และ 6.6 ตามลำดับ แสดงว่าโซเดียมคาร์บอเนตที่เติมถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปสารประกอบไบคาร์บอเนตแล้ว ในรูปที่ 4.1 (ข) แสดงค่าสภาพต่างรวมตลอดการทดลองซึ่งจะลดลงตามอัตราส่วนต่างต่อซีโอดีที่เติม และสภาพต่างในน้ำออกจะสูงกว่าในน้ำเข้าเล็กน้อย แสดงว่าระบบสามารถสร้างสภาพตัวเองได้เช่นกัน ส่วนค่ากรดไขมันระเหยในน้ำออกจะมีค่าค่อนข้างต่ำตลอดการทดลอง ดังรูปที่ 4.1 (ค) สอดคล้องกับค่าซีโอดีน้ำออกที่มีค่าต่ำตลอดการทดลองเช่นกัน แสดงในรูปที่ 4.1 (ง) เป็นผลให้ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีค่อนข้างสูง เฉลี่ยประมาณ 98 เปอร์เซ็นต์ (รูปที่ 4.1 (จ)) ส่วนปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นจะเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนต่างต่อซีโอดีที่ลดลงเฉลี่ยเท่ากับ 3.8 , 4.3 และ 5.0 ลิตร/วัน ตามลำดับ (รูปที่ 4.1 (ฉ)) ทั้งนี้เนื่องจากการเติมโซเดียมคาร์บอเนตจะใช้คาร์บอนไดออกไซด์ในระบบมาทำปฏิกิริยาเพื่อให้เกิดสภาพต่างไบคาร์บอเนต ยิ่งถ้าเติมโซเดียมคาร์บอเนตมาก คาร์บอนไดออกไซด์จะถูกใช้มาก เป็นผลให้เหลือก๊าซในระบบน้อย แต่เมื่อพิจารณาอัตราการเกิดมีเทนต่อซีโอดีที่ถูกกำจัด จะเห็นว่า มีค่าค่อนข้างคงที่ในรูป 4.1 (ซ) มีค่าเฉลี่ย 0.32-0.33 ลิตร/กรัม ในรูปที่ 4.1 (ซ) แสดงค่าโออาร์พีตลอดการทดลองจะมีค่าอยู่ในช่วง -150 ถึง -320 มิลลิโวลท์ ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมต่อการทำงานของแบคทีเรียในระบบ

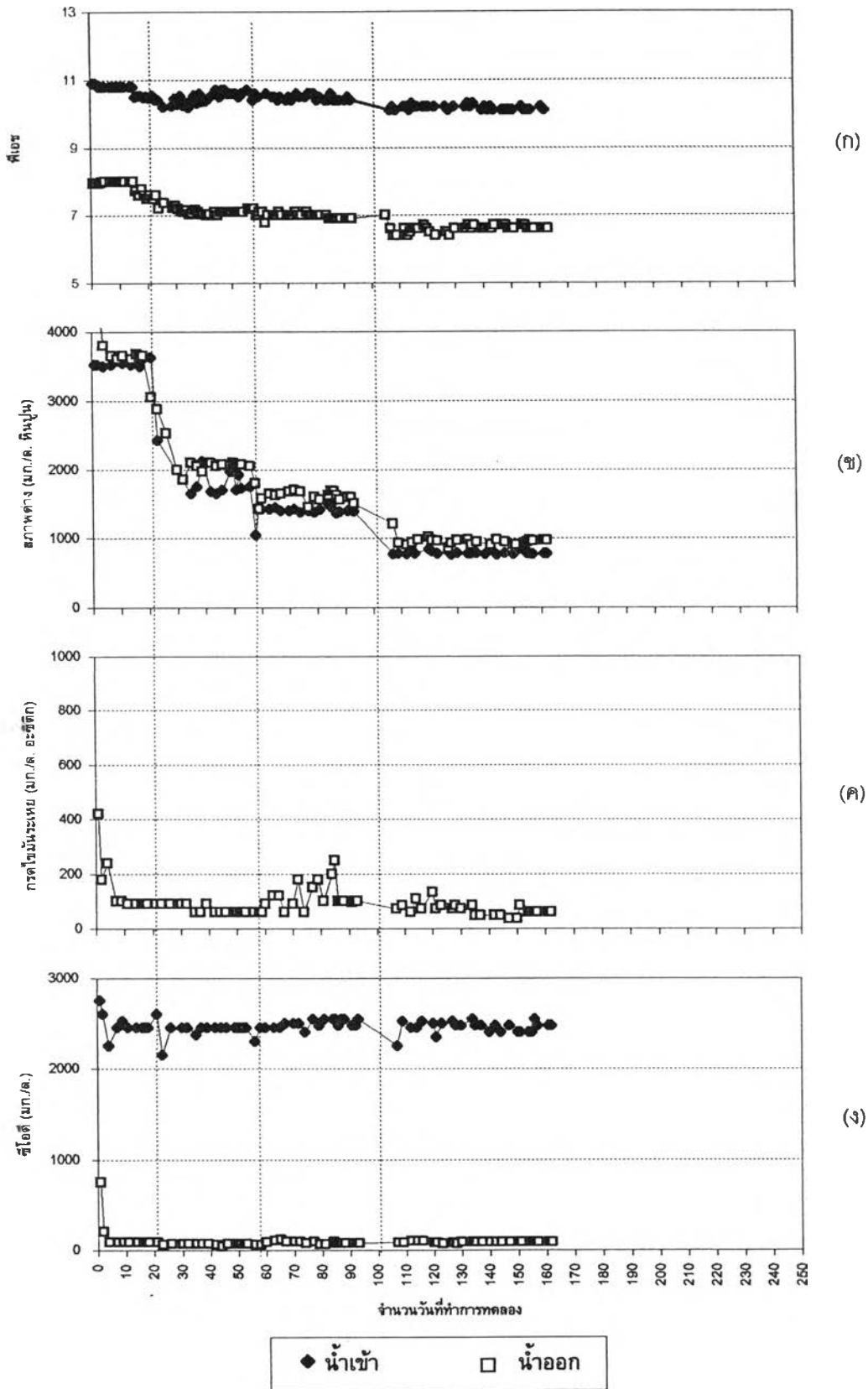
สรุปได้ว่า ที่ภาระบรรทุกระบบอินทรีย์ 4 ก./ล.-วัน ระบบสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพตลอดการทดลอง แม้ว่าจะมีการแปรค่าต่างจาก 785-3525 มก./ล. แคลเซียมคาร์บอเนต ซึ่งทำให้พีเอชเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 6.6-8.0 ก็ไม่มีผลกระทบต่อการทำงานของระบบ

**ตารางที่ 4.1 สรุปผลการทดลองน้ำเสียคาร์โบไฮเดรต
ที่ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 4 ก./ล.-วัน**

พารามิเตอร์	ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 4 ก./ล.-วัน					
	0.3:1		0.9:1		1.5:1	
	เข้า	ออก	เข้า	ออก	เข้า	ออก
อัตราไหล (ลิตร/วัน)	4.8		4.8		4.8	
เวลากักน้ำของถังปฏิกรณ์ (ชม.)	15		15		15	
พีเอช	10.1	6.6	10.6	7.1	10.8	8.0
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)		29		30		30
ไออาร์พี (มิลลิโวลท์)		-255		-230		-290
ซีไอดี (มก./ล.)	2500	90	2450	75	2450	90
ประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดี (%)		96.4		98.2		96.5
สภาพต่างทั้งหมด (มก./ล. หินปูน)	785	958	1950	2075	3525	3650
สภาพต่างไบคาร์บอเนต (มก./ล. หินปูน)		900		2025		3575
กรดไขมันระเหย (มก./ล. กรดอะซิติก)		60		60		90
กรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างไบคาร์บอเนต		0.07		0.03		0.02
ของแข็งแขวนลอย (มก./ล.)		16		30		32
ก๊าซทั้งหมด (ล./วัน)		5		4.3		3.9
มีเทน (%)		76		88		94
คาร์บอนไดออกไซด์ (%)		24		12		6
อัตราผลิตมีเทน(ล.)/ซีไอดีที่ถูกกำจัด(ก.)		0.33		0.32		0.32

ต่างต่อซีไอดี

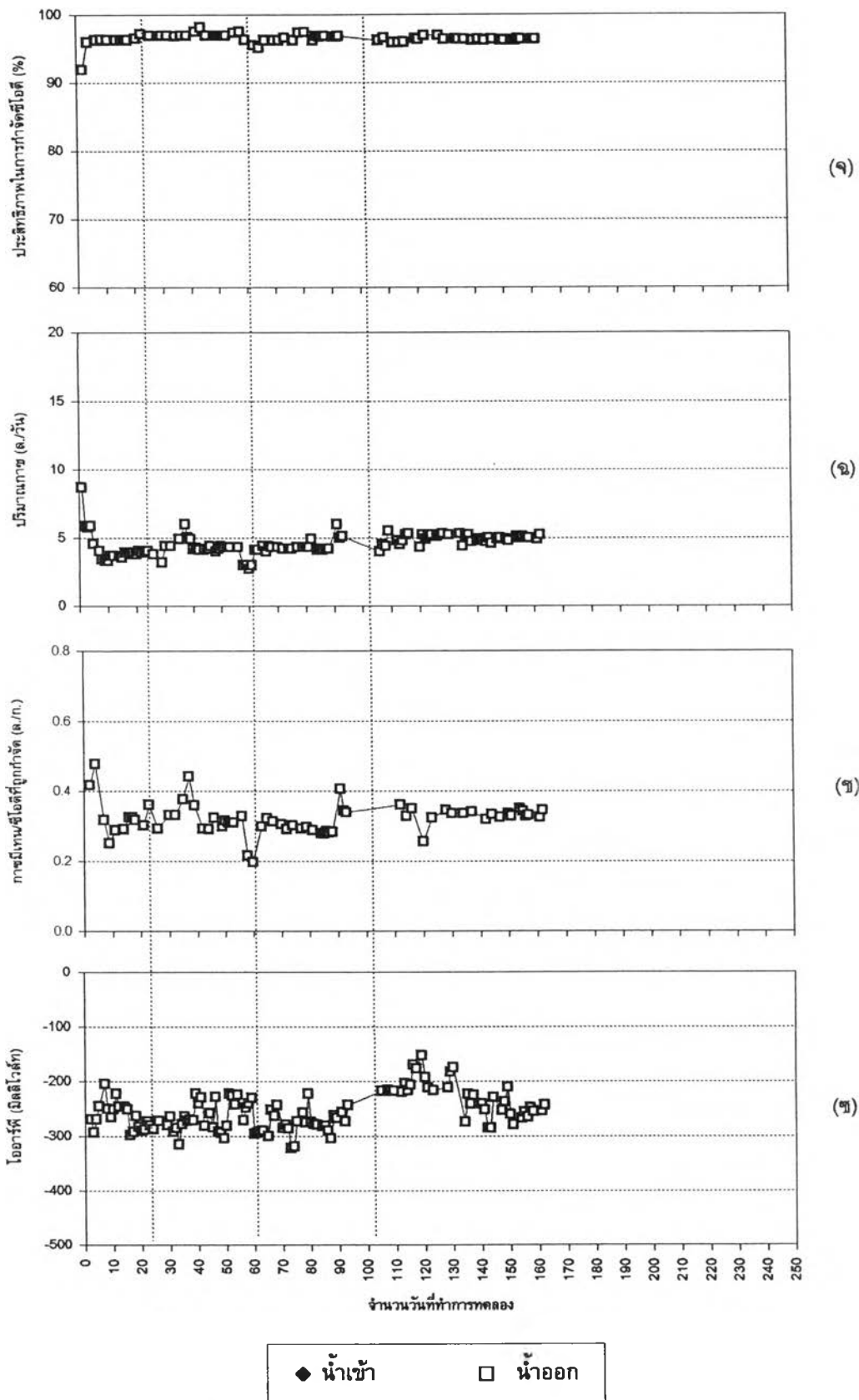
1.5:	0.9:1	0.6:1	0.3:1
------	-------	-------	-------



รูปที่ 4.1 ผลการทดลองน้ำเสียคาร์โบไฮเดรต ที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 4 ก./ล.-วัน

ต่างตอชโอดี

1.5:	0.9:1	0.6:1	0.3:1
------	-------	-------	-------



รูปที่ 4.1 ผลการทดลองน้ำเสียคาร์โบไฮเดรต ที่ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 4 ก./ล.-วัน (ต่อ)

2) ภาวะบรรทุกระบบอินทรีย์ 8 ก./ล.-วัน

ที่ภาวะบรรทุกระบบอินทรีย์ 8 ก./ล.-วัน มีอัตราไหลเท่ากับ 9.6 ลิตร/วัน เวลาที่กักน้ำในถังปฏิกรณ์ 7.5 ชม. ใช้เวลาในการเดินระบบทั้งหมด 191 วัน เริ่มตั้งแต่ 22 พฤศจิกายน 2543 ถึง 31 พฤษภาคม 2544 ตารางที่ 4.2 แสดงค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ที่วัดได้จากการทดลอง และรูปที่ 4.2 แสดงพารามิเตอร์ที่สำคัญที่วัดได้ตลอดการทดลอง

จากรูป 4.2 ซึ่งแสดงค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ตลอดการทดลอง จะแบ่งเป็นทั้งหมด 4 ช่วง ในช่วงแรกเป็นการเริ่มเดินระบบใช้เวลาประมาณ 68 วัน ระบบจึงเริ่มเข้าสู่สภาวะที่คงที่ หลังจากนั้นจึงเริ่มทำตามแผนการทดลองแสดงในช่วงที่สอง สาม และสี่ คือ ที่อัตราส่วนต่างต่อซีไอดี 1.5:1 , 0.9:1 และ 0.3:1 ตามลำดับ โดยจากรูป 4.2 (ก) แสดงค่าพีเอชของระบบ เมื่อแปรค่าอัตราส่วนต่างต่อซีไอดีเป็น 1.5:1 , 0.9:1 และ 0.3:1 ค่าพีเอชของน้ำเข้าเท่ากับ 10.9 , 10.6 และ 10.1 ตามลำดับ จะเห็นว่า ค่าที่ได้ค่อนข้างสูงเป็นผลจากการเติมด่างโซเดียมคาร์บอเนตเพื่อเป็นบัฟเฟอร์ให้แก่ระบบ แต่เมื่อผ่านระบบยูเอเอสบีแล้ว ค่าพีเอชของน้ำออกจะลดลงเหลือ 8.0 , 7.1 และ 6.6 ตามลำดับ แสดงว่าโซเดียมคาร์บอเนตที่เติมถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปสารประกอบไบคาร์บอเนตแล้ว ในรูปที่ 4.2 (ข) แสดงค่าสภาพต่างรวมตลอดการทดลองซึ่งจะลดลงตามอัตราส่วนต่างต่อซีไอดีที่เติม และสภาพต่างในน้ำออกจะสูงกว่าในน้ำเข้าเล็กน้อย แสดงว่าระบบสามารถสร้างสภาพตัวเองได้เช่นกัน ส่วนค่ากรดไขมันระเหยในน้ำออกจะมีค่าค่อนข้างต่ำตลอดการทดลอง ดังรูปที่ 4.2 (ค) สอดคล้องกับค่าซีไอดีน้ำออกที่มีค่าต่ำตลอดการทดลองเช่นกัน แสดงในรูปที่ 4.2 (ง) เป็นผลให้ประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดีค่อนข้างสูง เฉลี่ยประมาณ 94 เปอร์เซ็นต์ (รูปที่ 4.2 (จ)) ส่วนปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นจะเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนต่างต่อซีไอดีที่ลดลง เฉลี่ยเท่ากับ 7.9 , 8.7 และ 10.6 ลิตร/วัน ตามลำดับ (รูปที่ 4.2 (ฉ)) ทั้งนี้เนื่องจากการเติมโซเดียมคาร์บอเนตดังได้กล่าวไว้แล้วในหัวข้อ 1) เมื่อพิจารณาอัตราการเกิดมีเทนต่อซีไอดีที่ถูกกำจัด จะเห็นว่า มีค่าค่อนข้างคงที่ในรูป 4.2 (ซ) มีค่าเฉลี่ย 0.32-0.33 ลิตร/กรัม ในรูปที่ 4.2 (ซ) แสดงค่าโออาร์พีตลอดการทดลองจะมีค่าอยู่ในช่วง -200 ถึง -400 มิลลิโวลท์ ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมต่อการทำงานของแบคทีเรียในระบบ

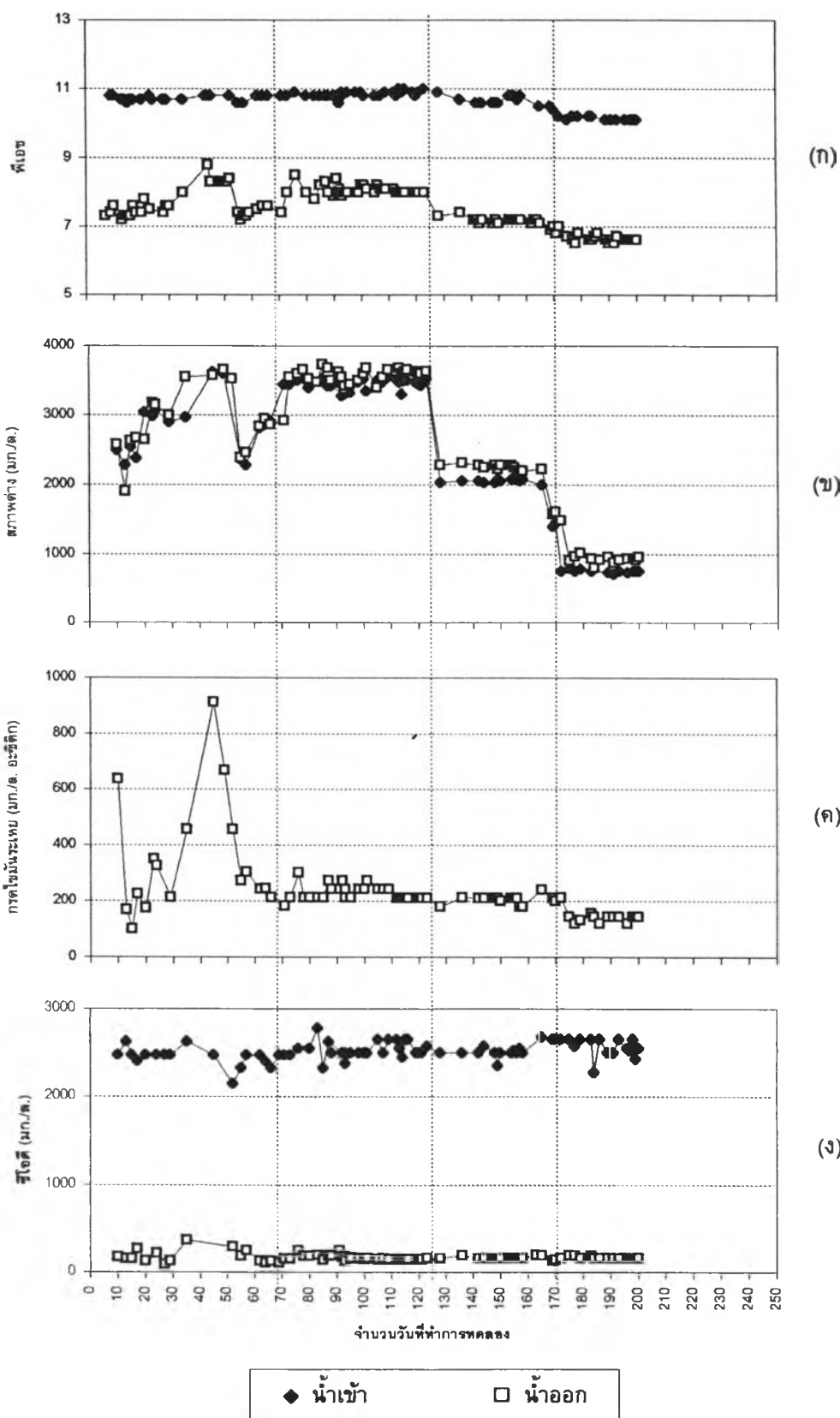
สรุปได้ว่า ที่ภาวะบรรทุกระบบอินทรีย์ 8 ก./ล.-วัน ระบบสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพตลอดการทดลอง แม้ว่าจะมีการแปรค่าต่างจาก 760-3450 มก./ล. แคลเซียมคาร์บอเนต ซึ่งทำให้พีเอชเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 6.6-8.0 ก็ไม่มีผลกระทบต่อการทำงานของระบบ

**ตารางที่ 4.2 สรุปผลการทดลองน้ำเสียคาร์โบไฮเดรต
ที่ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 8 ก./ล.-วัน**

พารามิเตอร์	ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 8 ก./ล.-วัน					
	0.3:1		0.9:1		1.5:1	
	เข้า	ออก	เข้า	ออก	เข้า	ออก
อัตราไหล (ลิตร/วัน)	9.6		9.6		9.6	
เวลากักน้ำของถังปฏิกรณ์ (ชม.)	7.5		7.5		7.5	
พีเอช	10.1	6.6	10.6	7.1	10.9	8
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)		32		30		30
ไออาร์พี (มิลลิโวลท์)		-252		-313		-278
ซีไอดี (มก./ล.)	2550	160	2515	160	2500	160
ประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดี (%)		93.6		93.6		93.6
สภาพต่างทั้งหมด (มก./ล. นินปุณ)	760	940	2075	2225	3450	3600
สภาพต่างไปคาร์บอนเนต (มก./ล. นินปุณ)		820		2060		3425
กรดไขมันระเหย (มก./ล. กรดอะซิติก)		144		198		210
กรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างไปคาร์บอนเนต		0.18		0.10		0.06
ของแข็งแขวนลอย (มก./ล.)		93		47		50
ก๊าซทั้งหมด (ล./วัน)		10.6		8.7		7.9
มีเทน (%)		73		85		94
คาร์บอนไดออกไซด์ (%)		27		15		6
อัตราผลิตมีเทน(ล.)/ซีไอดีที่ถูกกำจัด(ก.)		0.33		0.32		0.33

ค่า: ซีไอดี

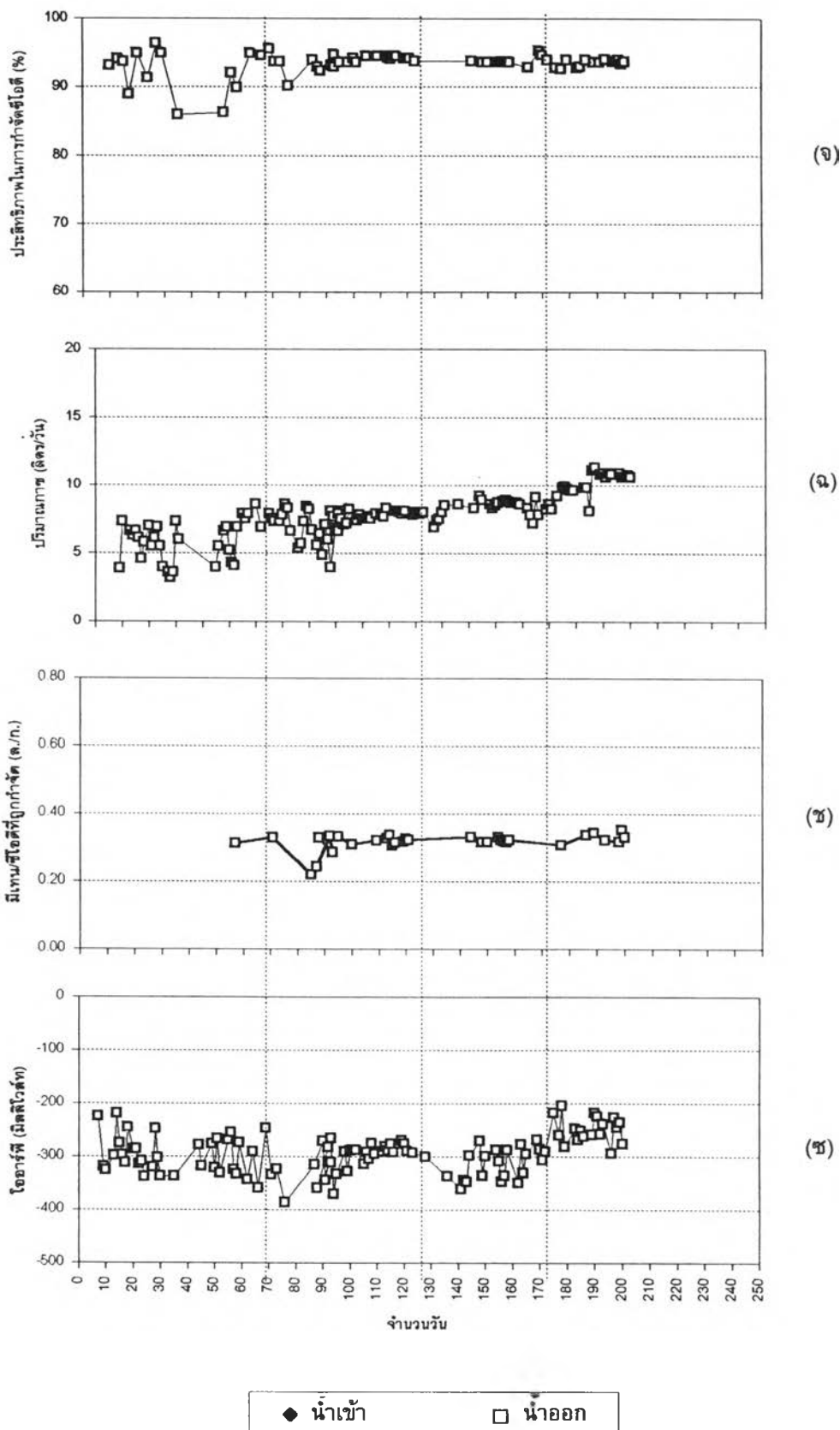
START UP	1.5:1	0.9:1	0.3:1
----------	-------	-------	-------



รูปที่ 4.2 ผลการทดลองน้ำเสียคาร์โบไฮเดรต ที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 8 ก./ล.-วัน

ต่าง:ซีไอดี

START UP	1.5:1	0.9:1	0.3:1
----------	-------	-------	-------



รูปที่ 4.2 ผลการทดลองน้ำเสียคาร์โบไฮเดรตที่ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 8 ก./ล.-วัน (ต่อ)

3) ภาวะบรรทุกลสารอินทรีย์ 12 ก./ล.-วัน

ที่ภาวะบรรทุกลสารอินทรีย์ 12 ก./ล.-วัน มีอัตราไหลเท่ากับ 14.4 ลิตร/วัน เวลาพักน้ำในถังปฏิกรณ์ 5 ชม. เริ่มทำการทดลองพร้อมกับถังปฏิกรณ์ชุดที่ภาวะบรรทุกลสารอินทรีย์ 4 ก./ล.-วัน โดยในแผนการทดลองครั้งแรก จะทดลองที่ซีไอดี 5,000 มก./ล. เช่นเดียวกับภาวะบรรทุกลสารอินทรีย์ 4 ก./ล.-วัน แต่เสียเวลาในช่วงเดินระบบมากเพื่อที่จะให้ได้ค่าซีไอดี 5,000 มก./ล. จึงได้ปรับแผนการทดลองใหม่ให้ความเข้มข้นของซีไอดีน้ำเสียลดลงเท่ากับ 2,500 มก./ล. เริ่มการทดลองเมื่อวันที่ 18 กรกฎาคม 2543 ถึงวันที่ 23 กุมภาพันธ์ 2544 รวมระยะเวลาที่ใช้ในการทดลอง 295 วัน ตารางที่ 4.3 แสดงค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ที่วัดได้จากการทดลอง และรูปที่ 4.3 แสดงพารามิเตอร์ที่สำคัญที่วัดได้ตลอดการทดลอง

จากรูป 4.3 ซึ่งแสดงค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ตลอดการทดลอง จะแบ่งเป็นทั้งหมด 3 ช่วง คือ ที่อัตราส่วนต่างต่อซีไอดี 1.5:1 , 0.9:1 และ 0.3:1 ตามลำดับ โดยรูปที่ 4.3 (ก) , (ข) , (ค) (ง) จะแสดงค่าพีเอช , สภาพต่างรวม , กรดไขมันระเหย และซีไอดีตลอดการทดลอง ซึ่งแนวโน้มของค่าจะเป็นไปในทางเดียวกับค่าที่ได้จากที่ภาวะบรรทุกลสารอินทรีย์ 4 และ 8 ก./ล.-วัน ส่วนรูปที่ 4.3 (จ) เป็นประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดีของระบบเฉลี่ยประมาณ 95 เปอร์เซ็นต์ ส่วนปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นจะเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนต่างต่อซีไอดีที่ลดลง เฉลี่ยเท่ากับ 11.6 , 14.3 และ 16.2 ลิตร/วัน ตามลำดับ (รูปที่ 4.3 (ฉ)) ทั้งนี้เนื่องจากการเติมโซเดียมคาร์บอเนตดังได้กล่าวไว้แล้วในหัวข้อที่ 1) แต่เมื่อพิจารณาอัตราการเกิดมีเทนต่อซีไอดีที่ถูกกำจัด จะเห็นว่า มีค่าค่อนข้างคงที่ในรูป 4.3 (ข) มีค่าเฉลี่ย 0.32-0.33 ลิตร/กรัม ในรูปที่ 4.3 (ข) แสดงค่าไออาร์พีตลอดการทดลองจะมีค่าอยู่ในช่วง -200 ถึง -400 มิลลิโวลท์ ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมต่อการทำงานของแบคทีเรียในระบบ

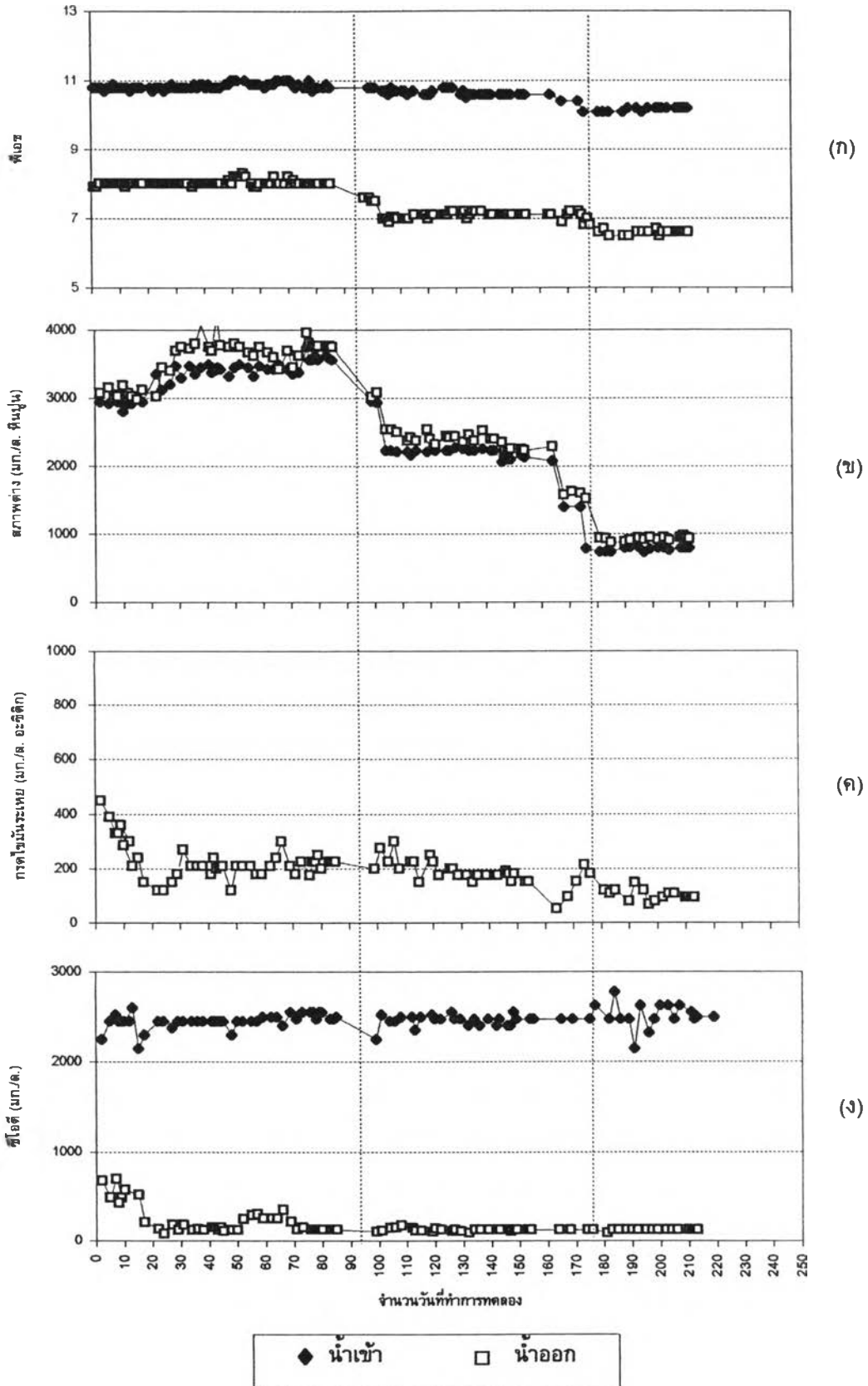
สรุปได้ว่า ที่ภาวะบรรทุกลสารอินทรีย์ 12 ก./ล.-วัน ระบบสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพตลอดการทดลอง แม้ว่าจะมีการแปรค่าต่างจาก 789-3512 มก./ล. แคลเซียมคาร์บอเนต ซึ่งทำให้พีเอชเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 6.6-8.0 ก็ไม่มีผลกระทบทำให้การทำงานของระบบเปลี่ยนแปลง

ตารางที่ 4.3 สรุปผลการทดลองน้ำเสียคาร์โบไฮเดรต
ที่ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 12 ก./ล.-วัน

พารามิเตอร์	ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 12 ก./ล.-วัน					
	0.3:1		0.9:1		1.5:1	
	เข้า	ออก	เข้า	ออก	เข้า	ออก
อัตราไหล (ลิตร/วัน)	14.4		14.4		14.4	
เวลากักน้ำของถังปฏิกรณ์ (ชม.)	5		5		5	
พีเอช	10.2	6.6	10.6	7.1	10.8	8
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)		32		32		29
โออาร์พี (มิลลิโวลท์)		-260		-330		-290
ซีไอดี (มก./ล.)	2500	125	2475	125	2550	125
ประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดี (%)		94.9		94.9		95.1
สภาพต่างทั้งหมด (มก./ล. หินปูน)	789	948	2113	2256	3590	3650
สภาพต่างไบคาร์บอเนต (มก./ล. หินปูน)		871		2088		3462
กรดไขมันระเหย (มก./ล. กรดอะซิติก)		93		168		225
กรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างไบคาร์บอเนต		0.11		0.07		0.06
ของแข็งแขวนลอย (มก./ล.)		76		67		67
ก๊าซทั้งหมด (ล./วัน)		16.2		14.3		11.6
มีเทน (%)		71		82		94
คาร์บอนไดออกไซด์ (%)		29		18		6
อัตราผลิตมีเทน(ล.)/ซีไอดีที่ถูกกำจัด(ก.)		0.33		0.33		0.32

ค่าตั้งซีโอต์

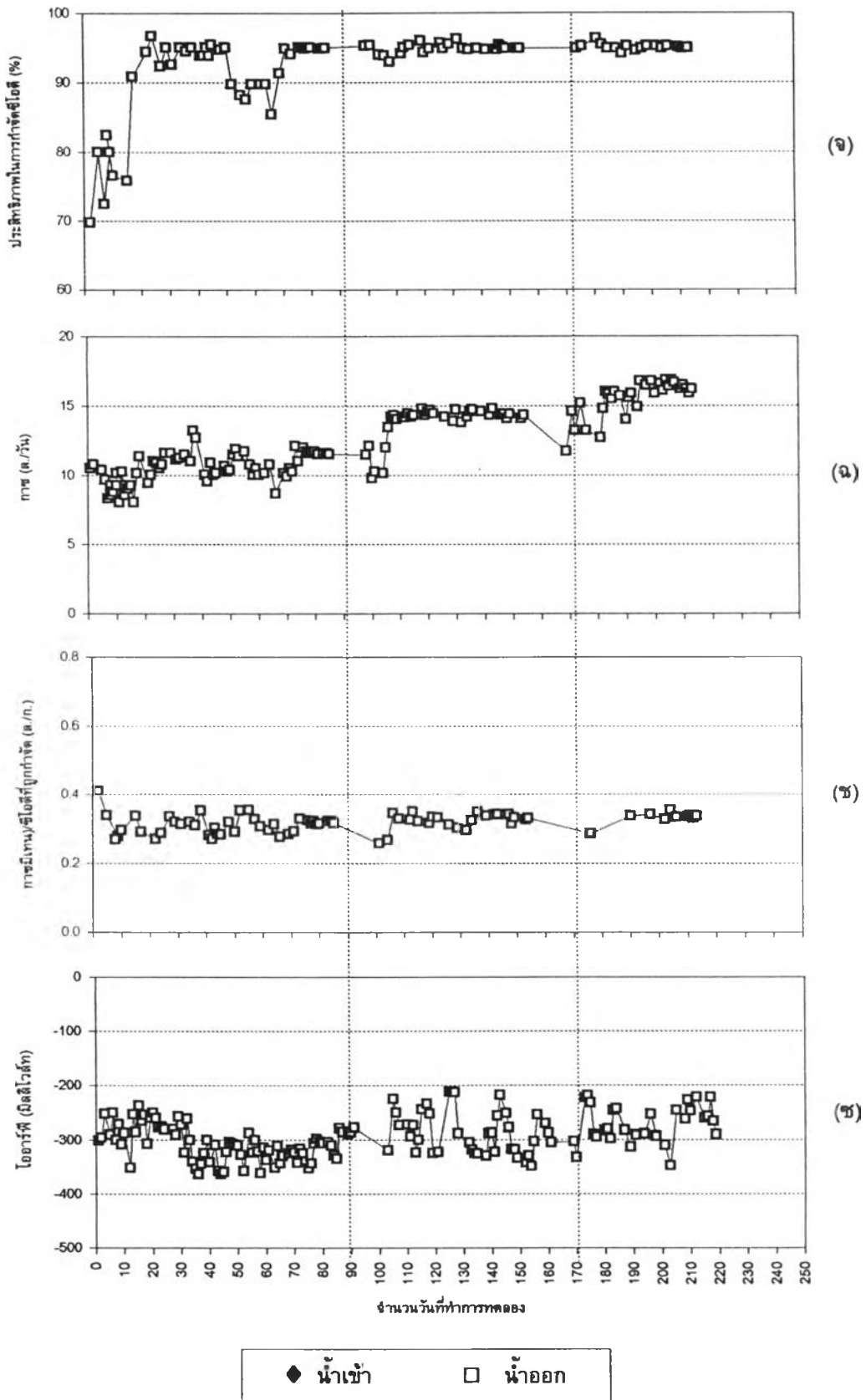
1.5:1	0.9:1	0.3:1
-------	-------	-------



รูปที่ 4.3 ผลการทดลองน้ำเสียคาร์โบไฮเดรตที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 12 ก./ล.-วัน

ต่างต่อซีโอไซด์

1.5:1	0.9:1	0.3:1
-------	-------	-------



รูปที่ 4.3 ผลการทดลองน้ำเสียคาร์โบไฮเดรตที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 12 ก./ล.-วัน (ต่อ)

4) ภาวะบรรทุทุกสารอินทรีย์ 16 ก./ล.-วัน

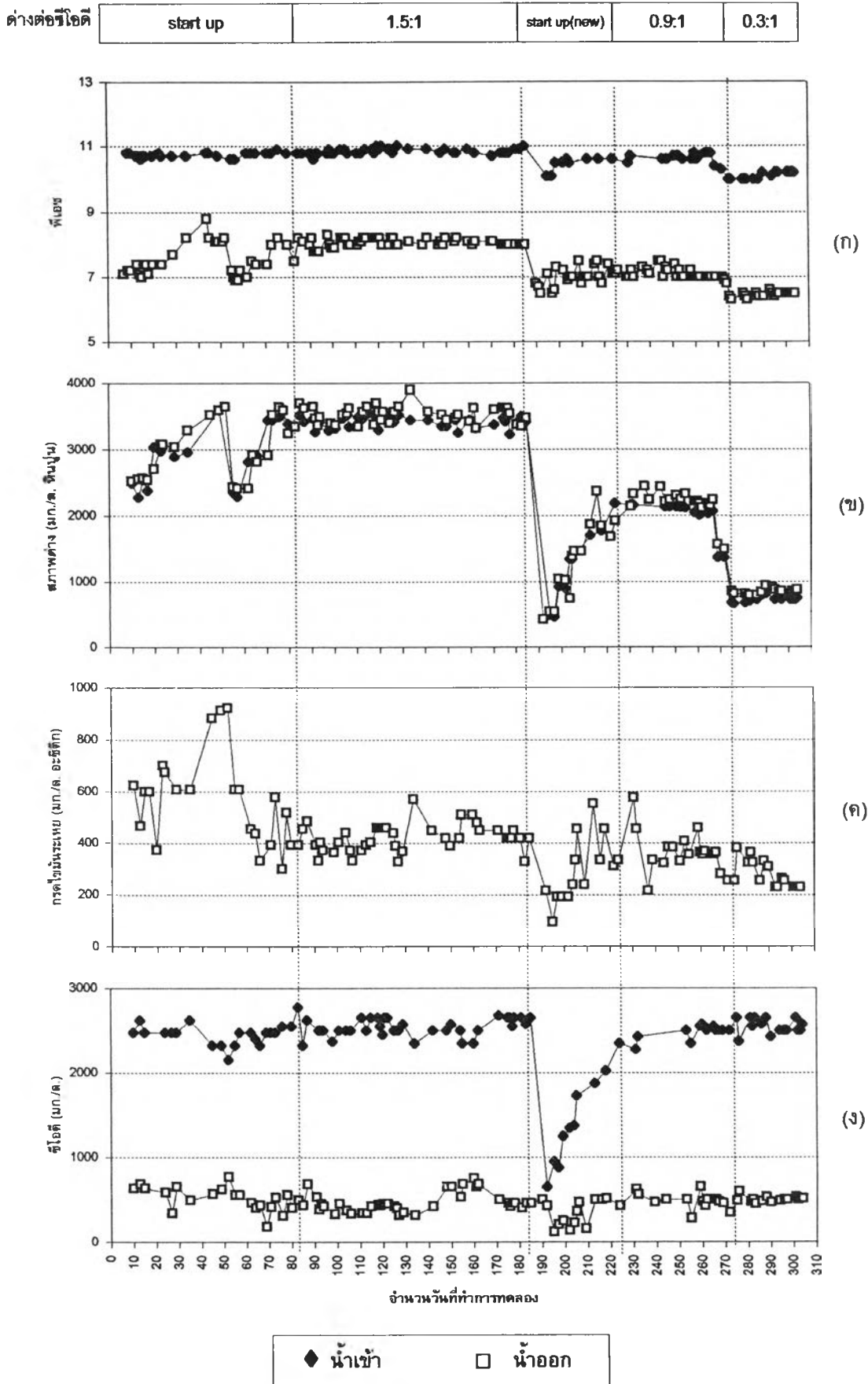
ที่ภาวะบรรทุทุกสารอินทรีย์ 16 ก./ล.-วัน ได้เริ่มการทดลองพร้อมกับถังปฏิกรณ์ที่ภาวะบรรทุทุกสารอินทรีย์ 8 ก./ล.-วัน แต่เนื่องจากภาวะบรรทุทุกสารอินทรีย์ที่ใช้สูงกว่าถึง 2 เท่า ทำให้ต้องเสียเวลาในการเดินระบบนานกว่าจะเข้าสู่สภาวะสมดุล นอกจากนี้ในช่วงเดินระบบที่ต่างต่อซีโอดี 1.5:1 สายยางซึ่งต่อจากถังปรับความดัน (Head Tank) กับชุดปฏิกรณ์ได้หลุดออกมาในช่วงกลางคืน ทำให้เชื้อแบคทีเรียหลุดออกมาจากถังปฏิกรณ์ และต้องเสียเวลาในการเดินระบบใหม่อีกครั้ง รวมใช้เวลาในการเดินระบบทั้งหมด 299 วัน โดยตารางที่ 4.4 แสดงค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ที่วัดได้จากการทดลอง และรูปที่ 4.4 แสดงพารามิเตอร์ที่สำคัญที่วัดได้ตลอดการทดลอง

ตารางที่ 4.4 สรุปผลการทดลองน้ำเสียคาร์โบไฮเดรต
ที่ภาวะบรรทุทุกสารอินทรีย์ 16 ก./ล.-วัน

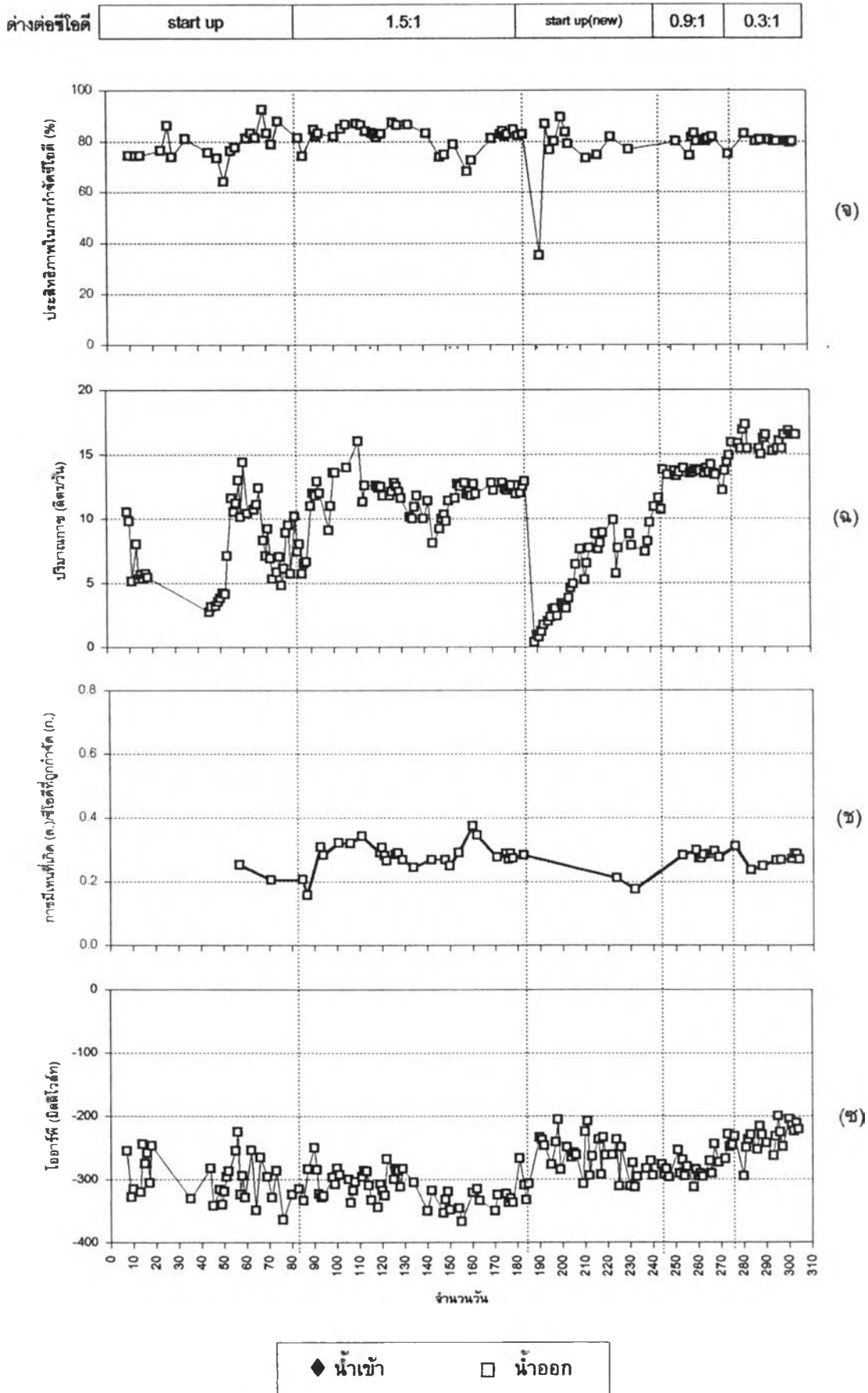
พารามิเตอร์	ภาวะบรรทุทุกสารอินทรีย์ 16 ก./ล.-วัน					
	0.3:1		0.9:1		1.5:1	
	เข้า	ออก	เข้า	ออก	เข้า	ออก
อัตราไหล (ลิตร/วัน)	19.2		19.2		19.2	
เวลากักน้ำของถังปฏิกรณ์ (ชม.)	3.75		3.75		3.75	
พีเอช	10.9	6.5	10.7	7.0	10.9	8.0
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)		32		32		30
ไออาร์พี (มิลลิโวลท์)		-218		-269		-305
ซีโอดี (มก./ล.)	2556	515	2500	492	2590	449
ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี (%)		79.8		80.5		82.6
สภาพต่างทั้งหมด (มก./ล. หินปูน)	730	847	2053	2187	3460	3555
สภาพต่างไบคาร์บอเนต (มก./ล. หินปูน)		655		1888		3255
กรดไขมันระเหย (มก./ล. กรดอะซิติก)		230		360		360
กรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างไบคาร์บอเนต		0.35		0.19		0.11
ของแข็งแขวนลอย (มก./ล.)		136		152		93
ก๊าซทั้งหมด (ล./วัน)		16.6		13.9		12.2
มีเทน (%)		66		81		93
คาร์บอนไดออกไซด์ (%)		34		19		7
อัตราผลิตมีเทน(ล.)/ซีโอดีที่ถูกกำจัด(ก.)		0.28		0.29		0.28

จากรูป 4.4 ซึ่งแสดงค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ตลอดการทดลอง จะแบ่งเป็นทั้งหมด 5 ช่วง คือ ในช่วงแรกเป็นการเริ่มเดินระบบ จะเห็นว่าในประมาณวันที่ 45 ของการทดลองกรดไขมันระเหยสูงขึ้น และปริมาณก๊าซที่เกิดลดลง เป็นช่วงขณะที่เพิ่มอัตราส่วนต่างต่อซีโอดีจาก 1.2:1 เป็น 1.5:1 แบบที่เรียสร้างมีเทนไม่สามารถปรับตัวได้ทัน จึงไม่สามารถนำกรดไขมันระเหยมาใช้ได้หมด จึงลดอัตราส่วนลงมาที่ 1.2:1 ใหม่เพื่อให้แบบที่เรียปรับตัว แล้วจึงค่อยเพิ่มอัตราส่วนเป็น 1.5:1 อีกครั้งและเริ่มเข้าสู่ในช่วงที่สอง ในวันที่ 135 ค่ากรดไขมันระเหยและซีโอดีน้ำออกสูงขึ้นเนื่องจากเป็นช่วงที่มีฝนตกทำให้อากาศเย็นแบบที่เรียสร้างมีเทนไม่สามารถปรับตัวได้ทัน เป็นผลให้ปริมาณก๊าซลดลง แต่หลังจากนั้นระบบก็เข้าสู่ภาวะปกติ แต่ในวันที่ 188 สายยางน้ำเข้าได้หลุดออกเป็นผลให้เชื้อหลุดออกจากถังปฏิกรณ์ จึงต้องทำการเริ่มเดินระบบใหม่ (ช่วงที่ 3) ใช้เวลาประมาณ 45 วัน จึงเริ่มเข้าสู่ช่วงที่ 4 และ 5 คือที่อัตราส่วนต่างต่อซีโอดี 0.9:1 และ 0.3:1 ตามลำดับ รูปที่ 4.4 (ก) จะแสดงค่าพีเอชของระบบ เมื่อแปรค่าอัตราส่วนต่างต่อซีโอดีเป็น 1.5:1 , 0.9:1 และ 0.3:1 ค่าพีเอชของน้ำเข้าเท่ากับ 10.9 , 10.6 และ 10.2 ตามลำดับ จะเห็นว่า ค่าที่ได้ค่อนข้างสูงเป็นผลจากการเติมด่างโซเดียมคาร์บอเนตเพื่อเป็นบัฟเฟอร์ให้แก่ระบบ แต่เมื่อผ่านระบบยูเอเอสบีแล้ว ค่าพีเอชของน้ำออกจะลดลงเหลือ 8.0 , 7.0 และ 6.5 ตามลำดับ แสดงว่าโซเดียมคาร์บอเนตที่เติมถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปสารประกอบไบคาร์บอเนตแล้ว ในรูปที่ 4.4 (ข) แสดงค่าสภาพต่างๆซึ่งจะลดลงตามอัตราส่วนต่างต่อซีโอดีที่เติม และสภาพต่างๆในน้ำออกจะสูงกว่าในน้ำเข้าเล็ก รูปที่ 4.4 (ค) แสดงค่ากรดไขมันระเหยในน้ำออก ซึ่งมีค่าสูงกว่าที่ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์อื่นอย่างเห็นได้ชัด สอดคล้องกับค่าซีโอดีน้ำออกที่มีค่าสูงขึ้นเช่นกัน ดังรูปที่ 4.4 (ง) เป็นผลให้ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีต่ำกว่าที่ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์อื่นๆ เฉลี่ยประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ (รูปที่ 4.4 (จ)) ส่วนปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นจะเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนต่างต่อซีโอดีที่ลดลง เฉลี่ยเท่ากับ 12.6 , 14.3 และ 16.6 ลิตร/วัน ตามลำดับ (รูปที่ 4.4 (ฉ)) ทั้งนี้เนื่องจากการเติมโซเดียมคาร์บอเนตดังกล่าวไว้ในหัวข้อ 1) เมื่อพิจารณาอัตราการเกิดมีเทนต่อซีโอดีที่ถูกกำจัด จะเห็นว่า มีค่าค่อนข้างคงที่ในรูป 4.4 (ซ) มีค่าเฉลี่ย 0.28-0.30 ลิตร/กรัม ในรูปที่ 4.4 (ซ) แสดงค่าไออาร์ที่ตลอดการทดลองจะมีค่าอยู่ในช่วง -200 ถึง -400 มิลลิโวลต์ ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมต่อการทำงานของแบบที่เรียในระบบ

สรุปได้ว่า ที่ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 16 ก./ล.-วัน แม้ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีจะลดลงเหลือเท่ากับ 80-82 เปอร์เซ็นต์ และกรดไขมันระเหยในน้ำออกมากขึ้นเมื่อเทียบกับที่ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์อื่น แต่ต่างที่เดิมให้กับระบบในช่วง 0.3-1.5 ซึ่งทำให้มีสภาพต่าง 789-3512 มก./ล. แคลเซียมคาร์บอเนต และพีเอชอยู่ในช่วง 6.5-8.0 ระบบยังสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพตลอดการทดลอง



รูปที่ 4.4 ผลการทดลองน้ำเสียคาร์โบไฮเดรต ที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 16 ก./ล.-วัน



รูปที่ 4.4 ผลการทดลองน้ำเสียคาร์โบไฮเดรต ที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 16 ก./ล.-วัน (ต่อ)

4.2.2 วิจารณ์ผลการทดลองโดยใช้น้ำเสียประเภทคาร์โบไฮเดรต

1) ซีไอดีและประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดี

ซีไอดีและประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดีเป็นตัวแปรที่แสดงถึงความสามารถในการบำบัดน้ำเสียของระบบ จากตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.5 ซึ่งได้สรุปค่าซีไอดีและประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดีเฉลี่ยของการทดลองน้ำเสียประเภทคาร์โบไฮเดรตตามภาวะบรรทุksารอินทรีย์ต่างๆ พบว่า ความเข้มข้นของซีไอดีในน้ำเข้าจะมีค่าใกล้เคียงกันเนื่องจากเป็นน้ำเสียที่สังเคราะห์ขึ้นเอง และเมื่อผ่านระบบยูเอเอสบีแล้วค่าซีไอดีน้ำออกจะลดลงอย่างมาก แสดงว่าระบบสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและน้ำเสียประเภทคาร์โบไฮเดรตเองก็สามารถย่อยสลายได้ง่าย แม้จะแปรค่าต่างต่อซีไอดี 0.3:1-1.5:1 ก็ไม่มีผลต่อความสามารถในการทำงานของระบบ เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดีจะเห็นว่า ที่ภาวะบรรทุksารอินทรีย์น้ำเข้า 4-12 ก./ล.-วัน ระบบฯ มีประสิทธิภาพในการบำบัดค่อนข้างสูงและใกล้เคียงกัน อยู่ในช่วง 93-98 เปอร์เซ็นต์ แต่ที่ภาวะบรรทุksารอินทรีย์ 16 ก./ล.-วัน ค่าซีไอดีน้ำออกจะสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเจน เป็นผลให้ประสิทธิภาพจะลดลงเหลือเท่ากับ 80 เปอร์เซ็นต์ ที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจากเป็นลักษณะในการทำงานของแบคทีเรีย โดยลักษณะการทำงานของแบคทีเรียก็คือ แบคทีเรียจะดึงสารอาหารมากกักไว้ในเซลล์ก่อนจากนั้นจึงจะทำการย่อยสลาย เมื่อมีสารอาหารจำกัด แบคทีเรียก็จะแย่งสารอาหารกันเพื่อมากกักไว้ในเซลล์ของตน ทำให้สารอินทรีย์ในน้ำเหลืออยู่น้อย แต่ถ้ามีสารอาหารเพิ่มขึ้นจนมากเกินพอ แบคทีเรียก็ไม่จำเป็นต้องแย่งกันดึงสารอาหารเพื่อมากกักไว้ในเซลล์เหมือนกับในระบบที่มีสารอาหารจำกัด จึงทำให้มีสารอินทรีย์เหลืออยู่ในน้ำออกเพิ่มขึ้น

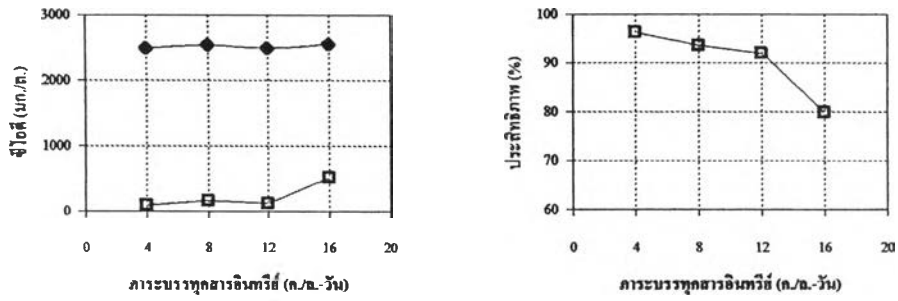
2) กรดไขมันระเหยและอัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่าง

กรดไขมันระเหยและอัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญ สามารถบอกแนวโน้มในการทำงานของระบบได้เป็นอย่างดี ระบบที่ทำงานปกติจะมีความเข้มข้นของกรดอินทรีย์ประมาณ 200-400 มก./ล. อะซิติก แต่ในถังย่อยน้ำเสียบางชนิดอาจทำงานได้ดีแม้จะมีความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยสูงกว่า 1,000 มก./ล.อะซิติก ถ้าระบบมีกำลังบำบัดที่เพียงพอ แต่สิ่งที่ป็นสัญญาณบอกแนวโน้มในการทำงานก็คืออัตราการเพิ่มของความเข้มข้นของกรดไขมันระเหย ถ้าอัตราเพิ่มขึ้นเป็นไปอย่างรวดเร็ว อาจเป็นสัญญาณเตือนถึงแนวโน้มการเสถียรของระบบ แสดงว่ามีบางอย่างเกิดขึ้นทำให้อัตราการเจริญเติบโตของแบคทีเรียสร้างมีเทนช้าลงหรืออัตราการเจริญเติบโตของแบคทีเรียสร้างกรดเพิ่มขึ้น หรือเกิดทั้งสองอย่างพร้อมกัน (มันสิน,2542)

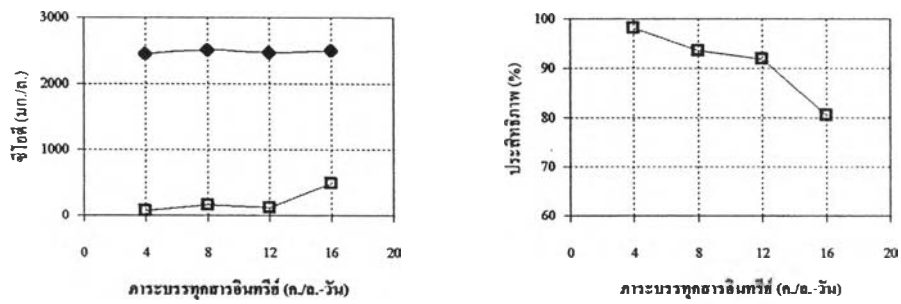
ตารางที่ 4.5 สรุปค่าเฉลี่ยของซีโอดีและประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีของการทดลอง
โดยใช้น้ำเสียประเภทคาร์โบไฮเดรต

ภาวะบรรทุก สารอินทรีย์น้ำเข้า (ก./ล.-วัน)	ต่าง:ซีโอดี	น้ำเข้า (มก./ล.)	น้ำออก (มก./ล.)	ประสิทธิภาพ (%)
4	0.3:1	2,450	90	96.4
	0.9:1	2,450	75	98.2
	1.5:1	2,500	90	96.5
8	0.3:1	2,500	160	93.6
	0.9:1	2,515	160	93.6
	1.5:1	2,550	160	93.6
12	0.3:1	2,550	125	94.9
	0.9:1	2,475	125	94.9
	1.5:1	2,500	125	95.1
16	0.3:1	2,570	515	79.8
	0.9:1	2,500	492	80.5
	1.5:1	2,556	449	82.6

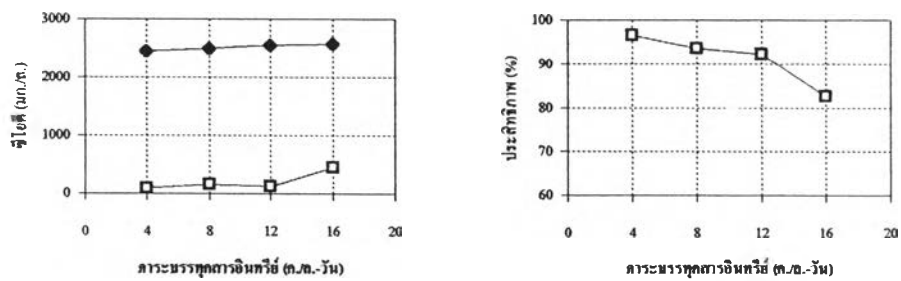
ตารางที่ 4.6 และรูปที่ 4.6 ได้สรุปค่าเฉลี่ยของกรดไขมันระเหยและอัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างในน้ำออกของการทดลองน้ำเสียคาร์โบไฮเดรต พบว่า ความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยมีแนวโน้มจะเพิ่มขึ้นตามภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ที่สูงขึ้น โดยจะมีค่าอยู่ในช่วง 60-360 มก./ล.อะซิติก ซึ่งเป็นค่าปกติที่เกิดขึ้นในระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ การที่กรดไขมันระเหยเพิ่มขึ้นตามภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นนี้เป็นผลมาจากลักษณะการทำงานของแบคทีเรียเช่นเดียวกับที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 1) เนื่องจากกรดไขมันระเหยเป็นส่วนหนึ่งของซีโอดี เมื่อพิจารณาอัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างก็เห็นว่าจะเพิ่มขึ้นตามภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นเช่นกัน แต่เมื่อพิจารณาความแตกต่างของอัตราส่วนต่างต่อซีโอดีที่ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ที่คงที่แล้ว อัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างจะเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนต่างต่อซีโอดีที่ลดลง เนื่องจากปริมาณกรดไขมันระเหยในระบบเท่าเดิมแต่สภาพต่างที่เดิมให้แก่ระบบลดลง



(ก) ต่างต่อซีไอดี 0.3:1



(ข) ต่างต่อซีไอดี 0.9:1



(ค) ต่างต่อซีไอดี 1.5:1



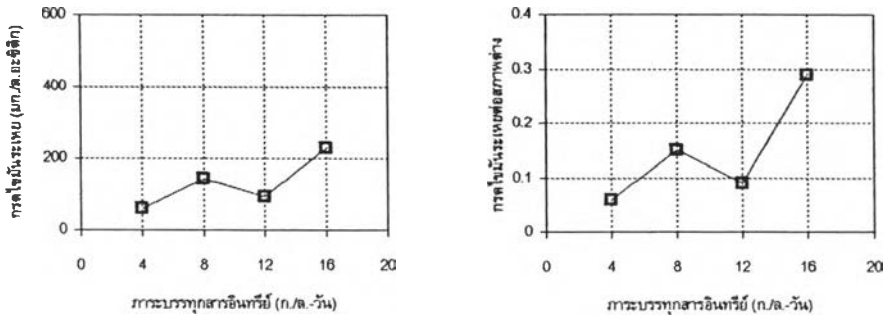
รูปที่ 4.5 ซีไอดีและประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดีโดยใช้น้ำเสียประเภทคาร์โบไฮเดรต

ตารางที่ 4.6 สรุปค่าเฉลี่ยกรดไขมันระเหยและอัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่าง
ในน้ำออกของการทดลองโดยใช้น้ำเสียประเภทคาร์โบไฮเดรต

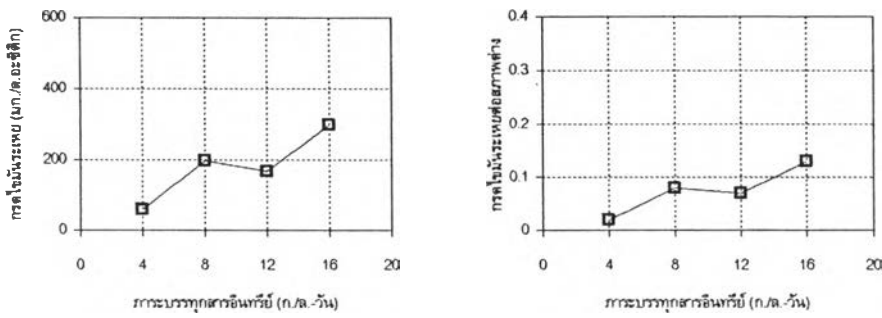
ภาวะบรรทุกลำสารอินทรีย์ (ก./ล.-วัน)	ต่าง:ซีไอดี	กรดไขมันระเหย (มก./ล.อะซิติก)	กรดไขมันระเหย:สภาพต่าง
4	0.3:1	60	0.07
	0.9:1	60	0.03
	1.5:1	90	0.02
8	0.3:1	144	0.18
	0.9:1	198	0.10
	1.5:1	210	0.06
12	0.3:1	93	0.11
	0.9:1	168	0.07
	1.5:1	225	0.06
16	0.3:1	230	0.35
	0.9:1	360	0.19
	1.5:1	360	0.11

3) พีเอชและสภาพต่าง

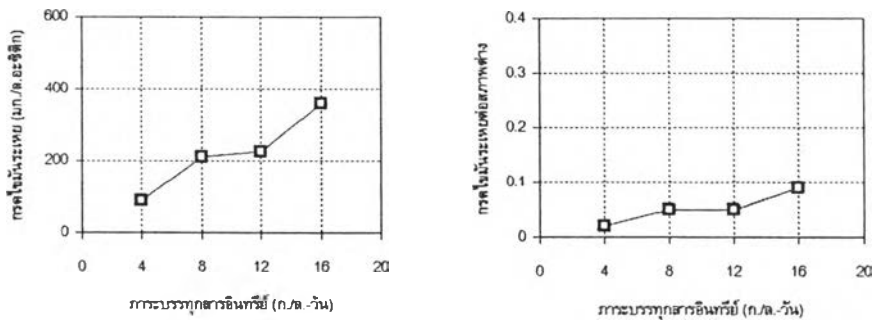
พีเอชและสภาพต่างมีความสำคัญต่อแบคทีเรียในระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ โดยเฉพาะแบคทีเรียสร้างมีเทนซึ่งสามารถเจริญเติบโตได้ดีที่สุดในช่วงพีเอช 6.6-7.4 เท่านั้น ถ้าไม่ควบคุมให้พีเอชเป็นกลางการเติบโตของแบคทีเรียสร้างมีเทนจะถูกยับยั้ง เป็นผลทำให้ระบบเสียสมดุลได้ การรักษาระดับพีเอชให้เป็นกลางต้องอาศัยสภาพต่างเป็นตัวควบคุม หากระบบมีกำลังบำบัดหรือมีสภาพต่างเพียงพอก็จะสามารถรักษาระดับพีเอชไม่ให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วเมื่อมีบางอย่างเกิดขึ้นกับระบบ



(ก) ต่างต่อซีไอดี 0.3:1



(ข) ต่างต่อซีไอดี 0.9:1



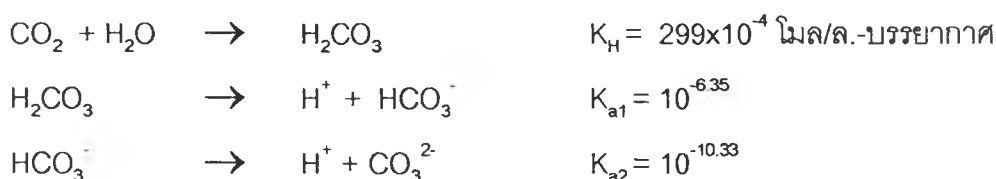
(ค) ต่างต่อซีไอดี 1.5:1

รูปที่ 4.6 กรดไขมันระเหยและอัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างของการทดลองโดยใช้น้ำเสียคาร์โบไฮเดรต

จากตารางที่ 4.7 และรูปที่ 4.7 ได้สรุปค่าพีเอชและสภาพต่างเฉลี่ยของการทดลอง โดยใช้น้ำเสียประเภทคาร์โบไฮเดรต จะเห็นว่า ค่าพีเอชของน้ำเสียมีค่าค่อนข้างสูงอยู่ในช่วง 10.1-10.9 ซึ่งเป็นผลมาจากการเติมโซเดียมคาร์บอเนตเพื่อเพิ่มสภาพต่างให้แก่ระบบ ทำให้มีสภาพต่างต่างส่วนใหญ่อยู่ในรูปคาร์บอเนตไอออน เป็นผลให้ค่าพีเอชค่อนข้างสูง แต่เมื่อผ่านระบบยูเอเอสบี แล้ว ค่าพีเอชในน้ำออกจะลดลงอยู่ในช่วง 6.6-8.0 โดยจะแปรตามอัตราส่วนต่างต่อซีโอดีที่เติม การที่พีเอชมีค่าลดลงนี้เนื่องจากคาร์บอเนตไอออนทำปฏิกิริยากับคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ในระบบ และเปลี่ยนรูปไปเป็นไบคาร์บอเนตไอออน เพื่อให้สามารถเข้าใจได้ง่ายขึ้น จึงขอยกตัวอย่างการคำนวณดังนี้

ตัวอย่างการคำนวณ จากการทดลองที่ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 4 ก./ล.-วัน โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) ที่เติมให้แก่ระบบเท่ากับ 0.3:1 สามารถวัดสภาพต่างได้ 785 มก./ล. หินปูน อุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 30 องศาเซลเซียส

จากกฎของเฮนรีและสมดุลคาร์บอนิก



พิจารณาพีเอชน้ำเข้า

- จากการวิเคราะห์พบว่า น้ำประปาพีเอชเท่ากับ 7.0 และมีสภาพต่างเท่ากับ 86 มก./ล. หินปูน ซึ่งถือว่าน้อยมาก เพื่อความสะดวกจึงไม่ขอนำมาคำนวณ
- สภาพต่างที่วัดได้ในน้ำเข้าเท่ากับ 785 มก./ล. CaCO_3
เทียบเท่ากับ $\text{Na}_2\text{CO}_3 = 785 \times 53/50 = 832$ มก./ล.
หรือเท่ากับ $\text{Na}_2\text{CO}_3 = 832 / (106 \times 1000) = 0.00785$ โมล/ล.
- ในบรรยากาศมีความดันพาร์เชียลของคาร์บอนไดออกไซด์ = $10^{-3.5}$ บรรยากาศ
- จาก Henry's Law : $C^* = K_H \cdot P^*$

ดังนั้น คาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายน้ำ เท่ากับ

$$[\text{H}_2\text{CO}_3^*] = [\text{CO}_{2(aq)}] = K_H \cdot P_{\text{CO}_2} = (299 \times 10^{-4}) \cdot (10^{-3.5}) = 9.455 \times 10^{-6} \text{ โมล/ล.}$$

($[\text{H}_2\text{CO}_3^*]$ คือ ผลรวมของคาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายน้ำรวมกับกรดคาร์บอนิก ซึ่งในน้ำส่วนใหญ่จะพบคาร์บอนไดออกไซด์ละลายน้ำประมาณ 99% ดังนั้นจึงใช้ $[\text{H}_2\text{CO}_3^*]$ เป็นสัญลักษณ์แทน)

ตารางที่ 4.7 พีเอชและสภาพต่างเฉื่อยของการทดลองโดยใช้น้ำเสียคารโบไฮเดรต

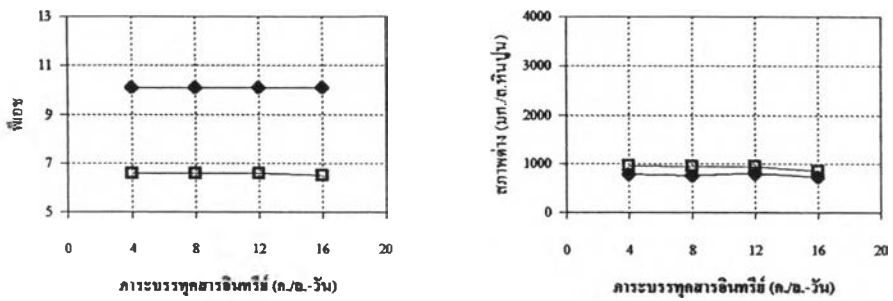
ภาวะบรรทุกลสารอินทรีย์ (ก./ล.-วัน)	ต่าง:ซีโอดี	น้ำเข้า		น้ำออก	
		พีเอช	สภาพต่าง (มก./ล.หินปูน)	พีเอช	สภาพต่าง (มก./ล.หินปูน)
4	0.3:1	10.1	785	6.6	958
	0.9:1	10.6	1,950	7.1	2,075
	1.5:1	10.8	3,525	8.0	3,650
8	0.3:1	10.1	760	6.6	940
	0.9:1	10.6	2,075	7.1	2,225
	1.5:1	10.9	3,450	8.0	3,600
12	0.3:1	10.2	789	6.6	948
	0.9:1	10.6	2,113	7.1	2,256
	1.5:1	10.8	3,590	8.0	3,650
16	0.3:1	10.2	730	6.5	847
	0.9:1	10.7	2,053	7.0	2,187
	1.5:1	10.9	3,460	8.0	3,555

- พิจารณา $[\text{HCO}_3^-]$

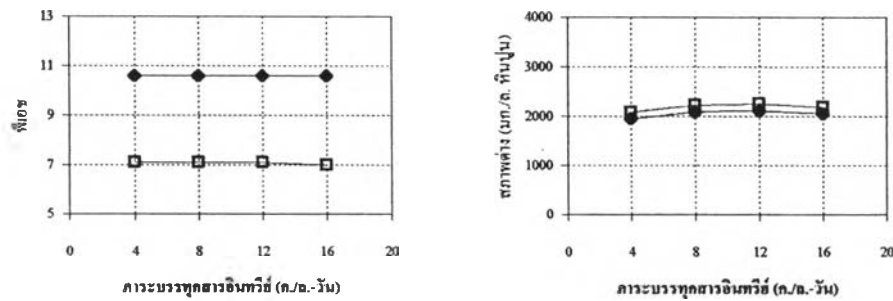
$$\begin{aligned}
 K_{a1} &= \frac{[\text{H}^+][\text{HCO}_3^-]}{[\text{H}_2\text{CO}_3^*]} \\
 [\text{HCO}_3^-] &= \frac{K_{a1}[\text{H}_2\text{CO}_3^*]}{[\text{H}^+]} \\
 &= \frac{10^{-6.35} \times 9.455 \times 10^{-6}}{[\text{H}^+]} \\
 &= \frac{4.223 \times 10^{-12}}{[\text{H}^+]}
 \end{aligned}$$

- พิจารณา $[\text{CO}_3^{2-}]$

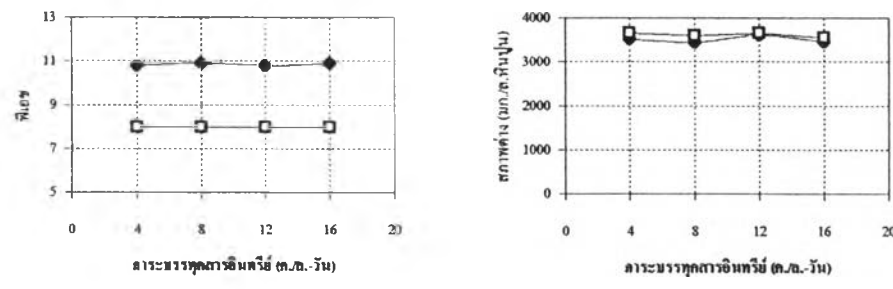
$$\begin{aligned}
 K_{a2} &= \frac{[\text{H}^+][\text{CO}_3^{2-}]}{[\text{HCO}_3^-]} \\
 [\text{CO}_3^{2-}] &= \frac{K_{a2}[\text{HCO}_3^-]}{[\text{H}^+]} \\
 &= \frac{10^{-10.33} \times 4.223 \times 10^{-12}}{[\text{H}^+]^2} \\
 &= \frac{1.975 \times 10^{-12}}{[\text{H}^+]^2}
 \end{aligned}$$



(ก) ต่างต่อซีโอต์ 0.3:1



(ข) ต่างต่อซีโอต์ 0.9:1



(ค) ต่างต่อซีโอต์ 1.5:1

◆ น้ำเข้า □ น้ำออก

รูปที่ 4.7 พีเอชและสภาพต่างรวมโดยใช้น้ำเสียดคาร์โบไฮเดรต

- จากสมมติฐาน

$$[\text{Na}^+] + [\text{H}^+] = [\text{HCO}_3^-] + [\text{CO}_3^{2-}] + [\text{OH}^-]$$

$$0.00785 + [\text{H}^+] = 4.223 \times 10^{-12} / [\text{H}^+] + 1.975 \times 10^{-22} / [\text{H}^+]^2 + 10^{-14} / [\text{H}^+]$$

$$0.00785[\text{H}^+]^2 + [\text{H}^+]^3 = 4.223 \times 10^{-12} [\text{H}^+] + 1.975 \times 10^{-22}$$

$$[\text{H}^+]^3 + 0.00785[\text{H}^+]^2 - 4.223 \times 10^{-12} [\text{H}^+] - 1.975 \times 10^{-22} = 0$$

แก้สมการจะได้ $[\text{H}^+] = 2.69 \times 10^{-10}$ หรือ $\text{pH} = 9.57$ (การทดลองวัดได้ 10.2)

พิจารณาพีเอชน้ำออก

- ความดันพาร์เชียลของคาร์บอนไดออกไซด์ในระบบที่วัดได้ เท่ากับ 0.24

- จาก Henry's Law จะได้

$$[\text{H}_2\text{CO}_3^*] = [\text{CO}_{2(\text{aq})}] = K_H \cdot P_{\text{CO}_2} = (299 \times 10^4) \cdot (0.24) = 7.176 \times 10^{-3} \text{ โมล/ล.}$$

- พิจารณา $[\text{HCO}_3^-]$

$$K_{a1} = [\text{H}^+][\text{HCO}_3^-] / [\text{H}_2\text{CO}_3^*]$$

$$\begin{aligned} [\text{HCO}_3^-] &= K_{a1} [\text{H}_2\text{CO}_3^*] / [\text{H}^+] \\ &= 10^{-6.35} \times 7.176 \times 10^{-3} / [\text{H}^+] \\ &= 3.205 \times 10^{-9} / [\text{H}^+] \end{aligned}$$

- พิจารณา $[\text{CO}_3^{2-}]$

$$K_{a2} = [\text{H}^+][\text{CO}_3^{2-}] / [\text{HCO}_3^-]$$

$$\begin{aligned} [\text{CO}_3^{2-}] &= K_{a2} [\text{HCO}_3^-] / [\text{H}^+] \\ &= 10^{-10.33} \times 3.205 \times 10^{-9} / [\text{H}^+]^2 \end{aligned}$$

$$[\text{CO}_3^{2-}] = 1.499 \times 10^{-19} / [\text{H}^+]^2$$

- จากสมมติฐาน

$$[\text{Na}^+] + [\text{H}^+] = [\text{HCO}_3^-] + [\text{CO}_3^{2-}] + [\text{OH}^-]$$

$$0.00785 + [\text{H}^+] = 3.205 \times 10^{-9} / [\text{H}^+] + 1.499 \times 10^{-19} / [\text{H}^+]^2 + 10^{-14} / [\text{H}^+]$$

$$[\text{H}^+]^3 + 0.00785[\text{H}^+]^2 - 3.205 \times 10^{-9} [\text{H}^+] - 1.499 \times 10^{-19} = 0$$

แก้สมการได้ $[\text{H}^+] = 4.08 \times 10^{-7}$ หรือ $\text{pH} = 6.39$ (การทดลองวัดได้ 6.6)

จะเห็นว่า พีเอชที่ได้จากการคำนวณจะน้อยกว่าที่วัดได้จากการทดลอง เนื่องจากการคำนวณไม่ได้นำอิออนต่างๆ ที่มีอยู่ในระบบมาทำการคำนวณร่วมด้วย ผลการคำนวณจึงอาจผิดพลาดไปบ้าง และประกอบกับพีเอชที่ได้จากการทดลองไม่ได้วัดพีเอชในระบบจริง เป็นการนำน้ำออกจากระบบมาวิเคราะห์โดยเครื่องวัดพีเอช ค่าพีเอชที่วัดได้อาจมากกว่าค่าจริงในระบบเพราะ

ระหว่างนำน้ำตัวอย่างมาวัด คาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายน้ำอยู่จะเคลื่อนที่ไปสู่บรรยากาศเพื่อให้เกิดสมดุลของคาร์บอนไดออกไซด์ใหม่ ค่าที่ได้จากการทดลองจึงมากกว่าค่าที่แท้จริงของระบบ

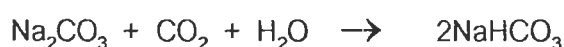
เมื่อพิจารณาค่าสภาพต่าง พบว่า ในน้ำออกจะมีค่าสภาพต่างมากกว่าในน้ำเข้าเล็กน้อย ซึ่งอาจเป็นผลมาจากการเติมยูเรียและสารประกอบฟอสเฟตเพื่อเป็นอาหารเติมพวกไนโตรเจนและฟอสฟอรัสให้แก่แบคทีเรียในอัตราส่วน ซีโอดีต่อไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัส เท่ากับ 100:1.1:0.2 และจากการวิเคราะห์พารามิเตอร์ของน้ำเสียก่อนเติมอาหารเสริมพบว่า ในน้ำเสียมีค่าที่เคเอ็นเท่ากับ 12.5 มก./ล.ไนโตรเจน แต่แบคทีเรียไม่ได้นำไนโตรเจนที่มีอยู่ไปใช้ได้หมด จึงมีไนโตรเจนเหลืออยู่และอยู่ในรูปของแอมโมเนียซึ่งสามารถเพิ่มค่าสภาพต่างได้

4) เปอร์เซนต์ก๊าซที่เกิดขึ้น

ก๊าซที่เกิดขึ้นเป็นผลผลิตที่เกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ จะมีกาชนิดใดเกิดขึ้นบ้างขึ้นกับส่วนประกอบของธาตุที่มีอยู่ในสารอินทรีย์นั้นๆ แต่โดยส่วนใหญ่จะประกอบด้วยก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นหลัก และการทดลองนี้จะสมมติว่าก๊าซที่เกิดขึ้นจะมีเฉพาะก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เท่านั้น

ตารางที่ 4.8 และรูปที่ 4.8 จะสรุปค่าเฉลี่ยของเปอร์เซนต์ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของการทดลองน้ำเสียประเภทคาร์โบไฮเดรต พบว่า เปอร์เซนต์ก๊าซที่เกิดขึ้นจะแปรตามทั้งภาวะบรรทุกสารอินทรีย์และอัตราส่วนต่างต่อซีโอดี ในอันดับแรกจะพิจารณาที่ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ จะเห็นว่า เมื่อภาวะบรรทุกสารอินทรีย์เพิ่มขึ้นเปอร์เซนต์ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นตาม

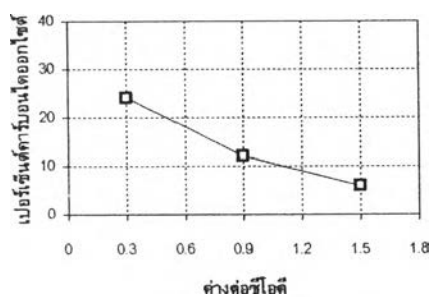
เมื่อพิจารณาที่อัตราส่วนต่างต่อซีโอดีที่แตกต่างกัน พบว่า ที่อัตราส่วนต่างต่อซีโอดีเพิ่มขึ้น เปอร์เซนต์ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจะลดลง เป็นผลมาจากการเติมต่างโซเดียมคาร์บอเนต ดังสมการ



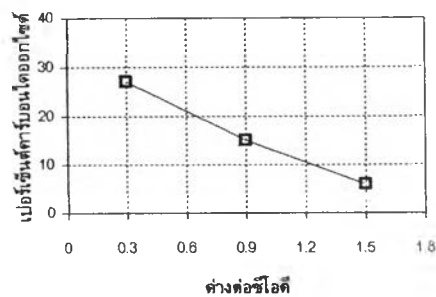
จากสมการ จะได้ว่า โซเดียมคาร์บอเนต 1 โมล จะใช้คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำอย่างละ 1 โมล เพื่อให้เกิดเป็นสารประกอบไบคาร์บอเนต 2 โมล ทำให้คาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำลดลง สมดุลของคาร์บอนไดออกไซด์ในระบบเกิดการเปลี่ยนแปลงโดยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่อยู่เหนือน้ำจะเคลื่อนที่เข้าไปละลายอยู่ในน้ำจนกว่าจะเข้าสู่สมดุลใหม่ เป็นผลให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่อยู่เหนือน้ำลดลง เปอร์เซนต์ก๊าซจึงมีการเปลี่ยนแปลง โดยเปอร์เซนต์คาร์บอนไดออกไซด์จะลดลง ในขณะที่เปอร์เซนต์มีเทนจะเพิ่มขึ้น (จากการที่สมมติว่าในระบบมีก๊าซเพียงสองชนิด คือ มีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์)

ตารางที่ 4.8 สรุปค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากการทดลอง
โดยใช้น้ำเสียคาร์โบไฮเดรต

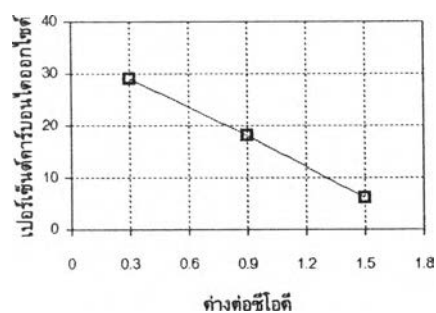
ภาวะบรรทุกลสารอินทรีย์ (ก./ล.-วัน)	เปอร์เซ็นต์การคาร์บอนไดออกไซด์ที่ต่างต่อซีไอดีต่างๆ		
	0.3:1	0.9:1	1.5:1
4	24	12	6
8	27	15	6
12	29	18	6
16	34	19	7



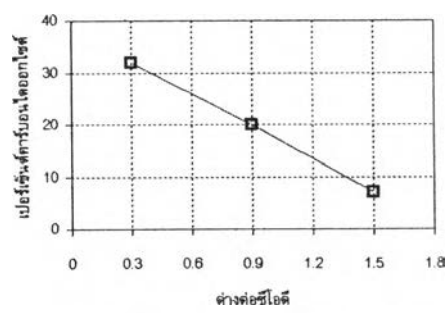
(ก) ภาวะบรรทุกลสารอินทรีย์ 4 ก./ล.-วัน



(ข) ภาวะบรรทุกลสารอินทรีย์ 8 ก./ล.-วัน



(ค) ภาวะบรรทุกลสารอินทรีย์ 12 ก./ล.-วัน



(ง) ภาวะบรรทุกลสารอินทรีย์ 16 ก./ล.-วัน

◆ น้ำเข้า □ น้ำออก

รูปที่ 4.8 เปอร์เซ็นต์การคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากการทดลอง
โดยใช้น้ำเสียคาร์โบไฮเดรต

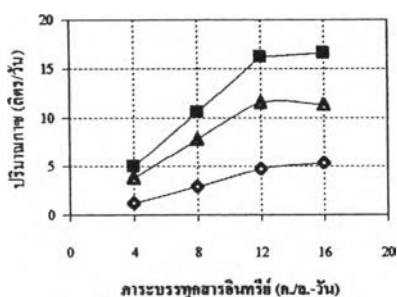
5) ก๊าซที่เกิดขึ้น

ตารางที่ 4.9 และรูปที่ 4.9 ได้สรุปค่าเฉลี่ยของปริมาณก๊าซทั้งหมด ก๊าซมีเทน และ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของการทดลองน้ำเสียประเภทคาร์โบไฮเดรต พบว่า ปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้น จะแปรตามทั้งภาวะบรรทุกสารอินทรีย์และอัตราส่วนต่างต่อซีโอดี ในอันดับแรกจะพิจารณาที่ภาวะ บรรทุกสารอินทรีย์ จะเห็นว่า ปริมาณก๊าซจะเพิ่มขึ้นในอัตราที่ค่อนข้างคงที่จากภาวะบรรทุก สารอินทรีย์ 4-12 ก./ล.-วัน แต่จะเพิ่มขึ้นในอัตราที่ลดลงที่ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 16 ก./ล.-วัน ทั้งนี้เนื่องจากที่ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์นี้ ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีจะลดลงอย่างเห็นได้ชัด เจน เป็นผลให้อัตราการเกิดกาซน้อยลง

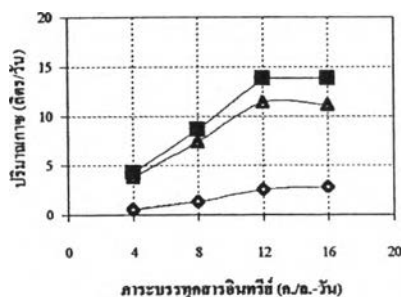
เมื่อพิจารณาที่อัตราส่วนต่างต่อซีโอดีที่แตกต่างกัน พบว่า ถ้าอัตราส่วนต่างต่อซีโอดี เพิ่มขึ้น ปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นจะมีค่าค่อนข้างคงที่ ในขณะที่ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ที่เกิดจะลดลง เป็นผลมาจากการเติมด่างโซเดียมคาร์บอเนตทำให้ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ใน ระบบลดลง ดังได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 4) เมื่อรวมเป็นปริมาณก๊าซทั้งหมดจึงมีค่าน้อยลง

ตารางที่ 4.9 สรุปค่าเฉลี่ยปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นจากการทดลอง
โดยใช้น้ำเสียคาร์โบไฮเดรต

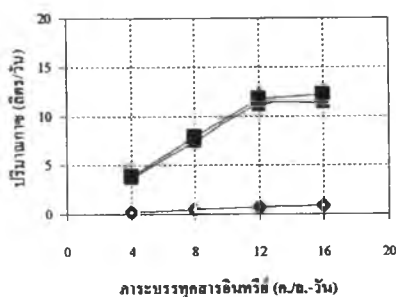
ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ (ก./ล.-วัน)	ต่าง:ซีโอดี	ปริมาณก๊าซ (ลิตร/วัน)		
		มีเทน	คาร์บอนไดออกไซด์	ทั้งหมด
4	0.3:1	3.80	1.20	5.0
	0.9:1	3.78	0.52	4.3
	1.5:1	3.57	0.23	3.8
8	0.3:1	7.74	2.86	10.6
	0.9:1	7.40	1.30	8.7
	1.5:1	7.43	0.47	7.9
12	0.3:1	11.50	4.70	16.2
	0.9:1	11.97	2.63	14.6
	1.5:1	11.84	0.70	12.6
16	0.3:1	10.96	5.64	16.6
	0.9:1	11.26	2.64	13.9
	1.5:1	11.35	0.85	12.2



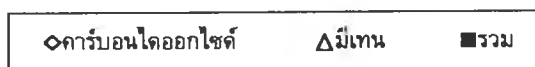
(ก) ต่างต่อซีโอดี 0.3:1



(ข) ต่างต่อซีโอดี 0.9:1



(ค) ต่างต่อซีโอดี 1.5:1



รูปที่ 4.9 ค่าเฉลี่ยปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นจากการทดลอง
โดยใช้น้ำเสียคาร์โบไฮเดรต

6) อัตราการผลิตก๊าซ

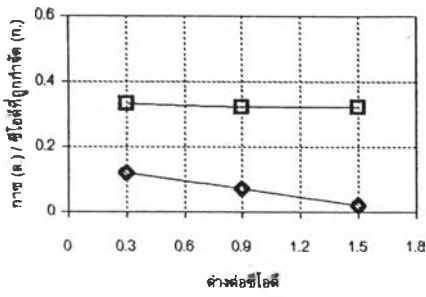
อัตราการผลิตมีเทนเป็นเครื่องวัดโดยตรงของแอกติวิตี้ของแบคทีเรียสร้างมีเทน ถือเป็นเครื่องวินิจฉัยสมรรถนะของระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศที่สำคัญมาก โดยปกติระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศโดยใช้น้ำเสียประเภทคาร์โบไฮเดรตจะมีอัตราการผลิตมีเทนประมาณ 0.35 ลิตร/กรัมของซีโอดีที่ถูกกำจัด อัตราการผลิตมีเทนที่ลดลงถือเป็นสัญญาณบ่งชี้ถึงความผิดปกติที่เกิดขึ้นกับแบคทีเรียสร้างมีเทน ซึ่งสามารถนำไปสู่ความล้มเหลวของระบบได้

ตารางที่ 4.10 และรูปที่ 4.10 ได้สรุปอัตราการผลิตก๊าซที่มีอยู่ในระบบบำบัดโดยใช้น้ำเสียประเภทคาร์โบไฮเดรต พบว่า อัตราการสร้างมีเทนโดยเฉลี่ยประมาณ 0.28-0.33 ซึ่งมีค่าค่อนข้างสูงใกล้เคียงกับค่าปกติ ทั้งนี้เนื่องจากน้ำเสียประเภทนี้สามารถย่อยสลายได้ง่ายและมีพีเอชอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการทำงาน ทำให้แบคทีเรียสร้างมีเทนสามารถทำงานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ

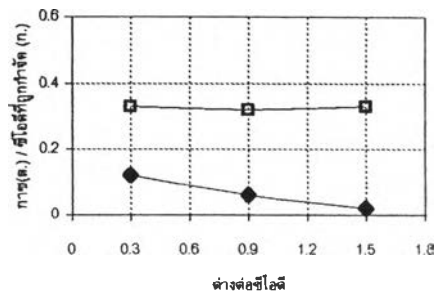
เมื่อพิจารณาอัตราการผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ พบว่า ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ที่เปลี่ยนแปลงไม่ได้ทำให้อัตราการผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แตกต่างกันมากนัก แต่อัตราการผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีแนวโน้มจะลดลงตามอัตราส่วนต่างต่อซีโอดีที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการเติมโซเดียมคาร์บอเนตจะมีการดึงคาร์บอนไดออกไซด์ไปใช้ในการทำปฏิกิริยาดังได้กล่าวแล้วในหัวข้อที่ 4) (เปอร์เซ็นต์ก๊าซที่เกิดขึ้น) ยิ่งเติมต่างมากคาร์บอนไดออกไซด์จะถูกใช้มาก ทำให้อัตราการผลิตน้อยลงตามลำดับ

ตารางที่ 4.10 สรุปค่าเฉลี่ยอัตราการผลิตก๊าซจากการทดลอง
โดยใช้น้ำเสียคาร์โบไฮเดรต

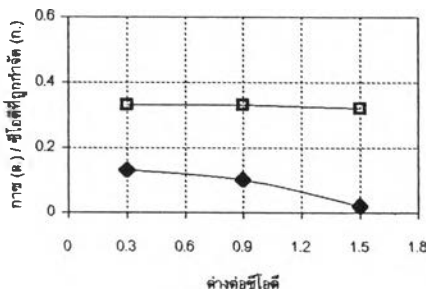
ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์	ต่างซีโอดี	อัตราการผลิตก๊าซต่อซีโอดีที่ถูกกำจัด (ล./ก.)	
		มีเทน	คาร์บอนไดออกไซด์
4	0.3:1	0.33	0.12
	0.9:1	0.32	0.07
	1.5:1	0.32	0.02
8	0.3:1	0.33	0.12
	0.9:1	0.32	0.06
	1.5:1	0.33	0.02
12	0.3:1	0.33	0.13
	0.9:1	0.33	0.10
	1.5:1	0.32	0.02
16	0.3:1	0.28	0.14
	0.9:1	0.29	0.06
	1.5:1	0.28	0.02



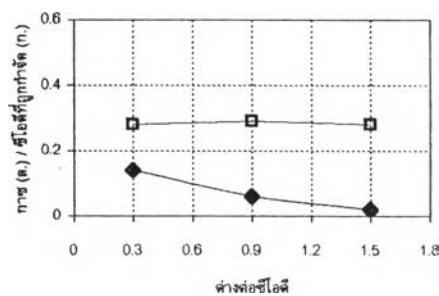
(ก) ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 4 ก./ล.-วัน



(ข) ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 8 ก./ล.-วัน



(ค) ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 12 ก./ล.-วัน



(ง) ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 16 ก./ล.-วัน

□ มีเทน ◆ คาร์บอนไดออกไซด์

รูปที่ 4.10 อัตราการผลิตก๊าซต่อซีไอซีที่ถูกกำจัด ของน้ำเสียคาร์โบไฮเดรต

4.3 ผลการทดลองโดยใช้น้ำเสียโปรตีน

4.3.1 ผลการทดลองในช่วงเดินระบบ

ในตอนแรกได้วางแผนการทดลองเหมือนกับน้ำเสียคาร์โบไฮเดรต คือ ใช้อัตราส่วนต่างต่อซีโอดี 0.3:1 , 0.9:1 และ 1.5:1 แต่เมื่อทำการทดลองจริง ไม่สามารถใช้อัตราส่วน 1.5:1 ได้เนื่องจากทำให้พีเอชของระบบสูง (มากกว่า 9) เป็นผลให้ประสิทธิภาพของระบบลดลง โดยสังเกตจากซีโอดีและกรดไขมันระเหยของระบบสูงขึ้น ปริมาณก๊าซที่เกิดลดลง จึงได้เปลี่ยนแผนการทดลองใหม่ โดยใช้อัตราส่วนต่างต่อซีโอดี 0.3:1 , 0.6:1 และ 0.9:1 ตามลำดับ

(1) ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 4 ก./ล.-วัน

ที่ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 4 ก./ล.-วัน มีอัตราไหลเท่ากับ 4.8 ลิตร/วัน เวลาพักน้ำในถังปฏิกรณ์ 15 ชม. ทำการทดลองโดยใช้ถังปฏิกรณ์และเชื้อแบคทีเรียต่อน้ำเสียประเภทโปรตีน เริ่มการทดลองเมื่อวันที่ 18 กรกฎาคม 2543 ถึงวันที่ 21 ธันวาคม 2544 รวมระยะเวลาที่ใช้ในการทดลอง 252 วัน ตารางที่ 4.11 เป็นการสรุปค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลองและรูปที่ 4.11 แสดงพารามิเตอร์บางส่วนที่วัดได้ตลอดการทดลอง

จากรูปที่ 4.11 ในตอนแรกของการทดลองได้พยายามเพิ่มสภาพต่างของระบบให้ได้อัตราส่วนต่างต่อซีโอดีเท่ากับ 1.5:1 ตามแผนการทดลองที่ได้วางไว้ตั้งแต่ต้น คือใช้อัตราส่วน 0.3:1 , 0.9:1 และ 1.5:1 แต่ไม่สามารถทำได้เนื่องจากค่าพีเอชของระบบสูงมากกว่า 9 เป็นผลให้ประสิทธิภาพของระบบลดลง โดยสังเกตได้จากซีโอดีและกรดไขมันระเหยในน้ำออกที่เพิ่มขึ้น จึงได้เปลี่ยนแผนการทดลองใหม่ โดยใช้อัตราส่วนต่างต่อซีโอดีเป็น 0:1 (ไม่เติมต่างเลย) , 0.3:1 และ 0.9:1 ตามลำดับ ดังนั้นจึงเริ่มต้นที่อัตราส่วนต่างต่อซีโอดี 0.9:1 , 0.3:1 และพยายามลดอัตราส่วนลงไปที่ 0.2:1 แต่ปรากฏว่า พีเอชของระบบลดลงต่ำกว่า 6 เป็นผลให้ค่าซีโอดีและกรดไขมันระเหยในน้ำออกเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ เชื้อแบคทีเรียยังลอยขึ้นและหลุดออกจากถังปฏิกรณ์ไปกับน้ำออกเป็นจำนวนมากอีกด้วย จึงได้เปลี่ยนแผนการทดลองอีกครั้ง โดยเพิ่มอัตราส่วนต่างต่อซีโอดีเป็น 0.6:1 แต่ที่อัตราส่วนนี้ใช้เวลานานมากกว่าระบบจะเข้าสู่สภาวะสมดุล ซีโอดีน้ำออกไม่สามารถลดให้เหลือเท่ากับที่อัตราส่วนอื่นได้ เป็นเพราะเชื้อที่หลุดไปเป็นจำนวนมาก ทำให้แบคทีเรียสร้างมีเทนมีจำนวนไม่มากพอที่จะนำกรดไขมันระเหยไปใช้ได้ทัน จึงได้เติมเชื้อแบคทีเรียให้แก่ถังปฏิกรณ์อีกประมาณ 0.3 ลิตร แต่เชื้อในระบบก็ยังหลุดอีก เนื่องจากเชื้อแบคทีเรียที่เติมให้แก่ระบบเป็นเชื้อที่ไม่ได้รับอาหารมานาน ทำให้เชื้อไม่สามารถปรับตัวให้เข้ากับสภาพของน้ำเสียได้ จึงได้นำเชื้อแบคทีเรียมาเลี้ยงแบบทีละเท (Batch) โดยใช้น้ำเสียโปรตีนเพื่อให้เชื้อคุ้นกับน้ำเสีย

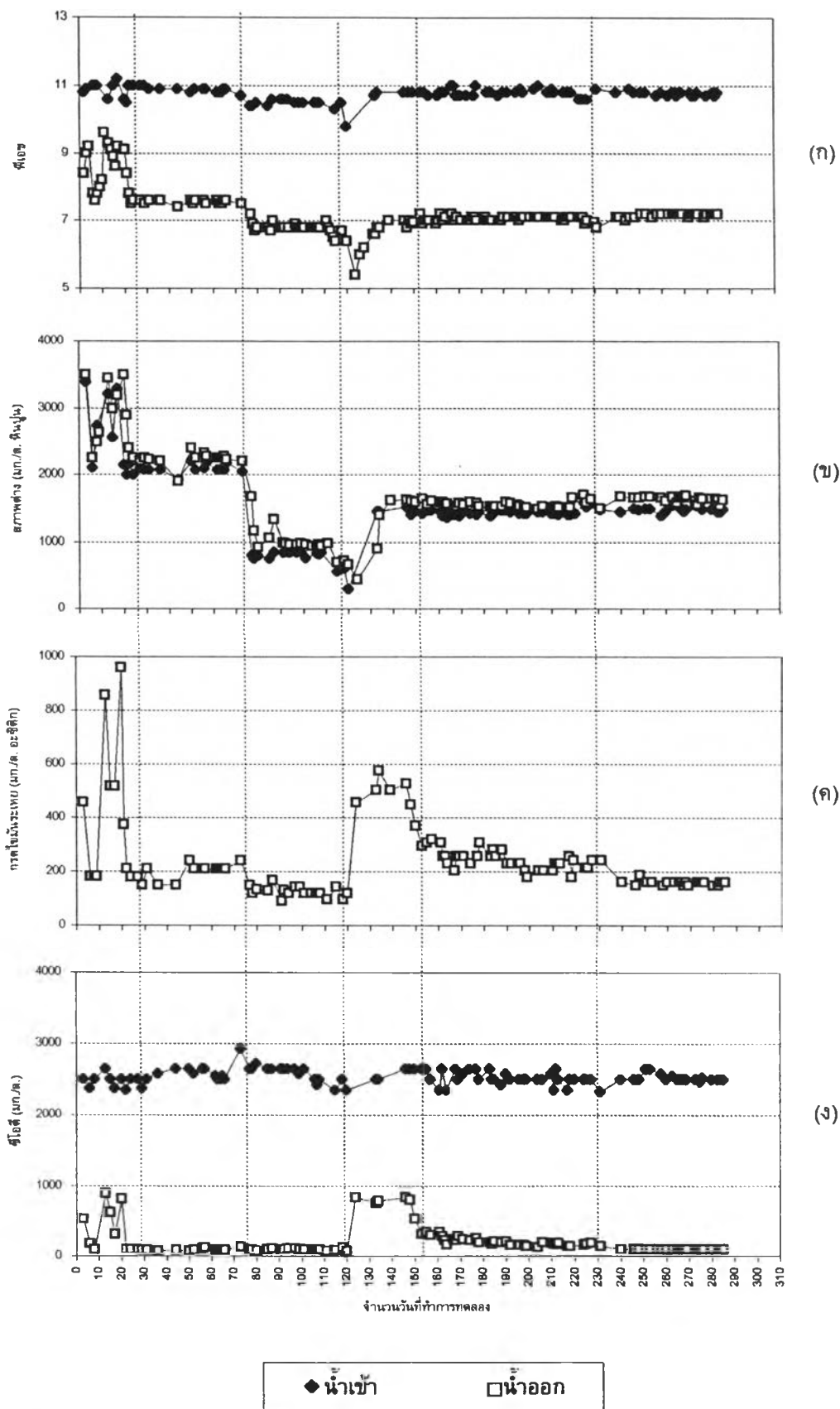
ก่อน ใช้เวลาเลี้ยงประมาณ 1 เดือน หลังจากนั้นจึงนำเชื้อที่ได้นี้เติมเข้าไปในถังปฏิกรณ์อีกครั้ง ประมาณ 0.3 ลิตร ปรากฏว่า เชื้อที่เติมเข้าไปนี้สามารถทำให้ระบบทำงานได้ดีขึ้น ดูได้จากค่า ซีไอดีและกรดไขมันระเหยในน้ำออกลดลงและใช้เวลาไม่นานระบบก็เข้าสู่สภาวะสมดุล

ตารางที่ 4.11 ผลการทดลองน้ำเสียโปรตีน ที่ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 4 ก./ล.-วัน

พารามิเตอร์	ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 4 ก./ล.-วัน					
	0.3:1		0.6:1		0.9:1	
	เข้า	ออก	เข้า	ออก	เข้า	ออก
อัตราไหล (ลิตร/วัน)	4.8		4.8		4.8	
เวลากักน้ำของถังปฏิกรณ์ (ชม.)	15		15		15	
พีเอช	10.5	6.8	10.8	7.2	10.9	7.8
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)		32		28		30
ไออาร์พี (มิลลิโวลท์)		-249		-246		-291
ซีไอดี (มก./ล.)	2475	95	2500	95	2520	80
ประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดี (%)		96.2		96.2		96.8
สภาพต่างทั้งหมด (มก./ล. หินปูน)	830	947	1536	1618	2100	2250
สภาพต่างไบคาร์บอเนต (มก./ล. หินปูน)		847		1484		2075
กรดไขมันระเหย (มก./ล. กรดอะซิติก)		120		161		210
กรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างไบคาร์บอเนต		0.14		0.11		0.10
ของแข็งแขวนลอย (มก./ล.)		63		54		29
ก๊าซทั้งหมด (ล./วัน)		4.4		4.0		3.8
มีเทน (%)		81		88		95
คาร์บอนไดออกไซด์ (%)		19		12		5
อัตราผลิตมีเทน(ล.)/ซีไอดีที่ถูกกำจัด(ก.)		0.32		0.29		0.30

ค่าคงที่ไอต์

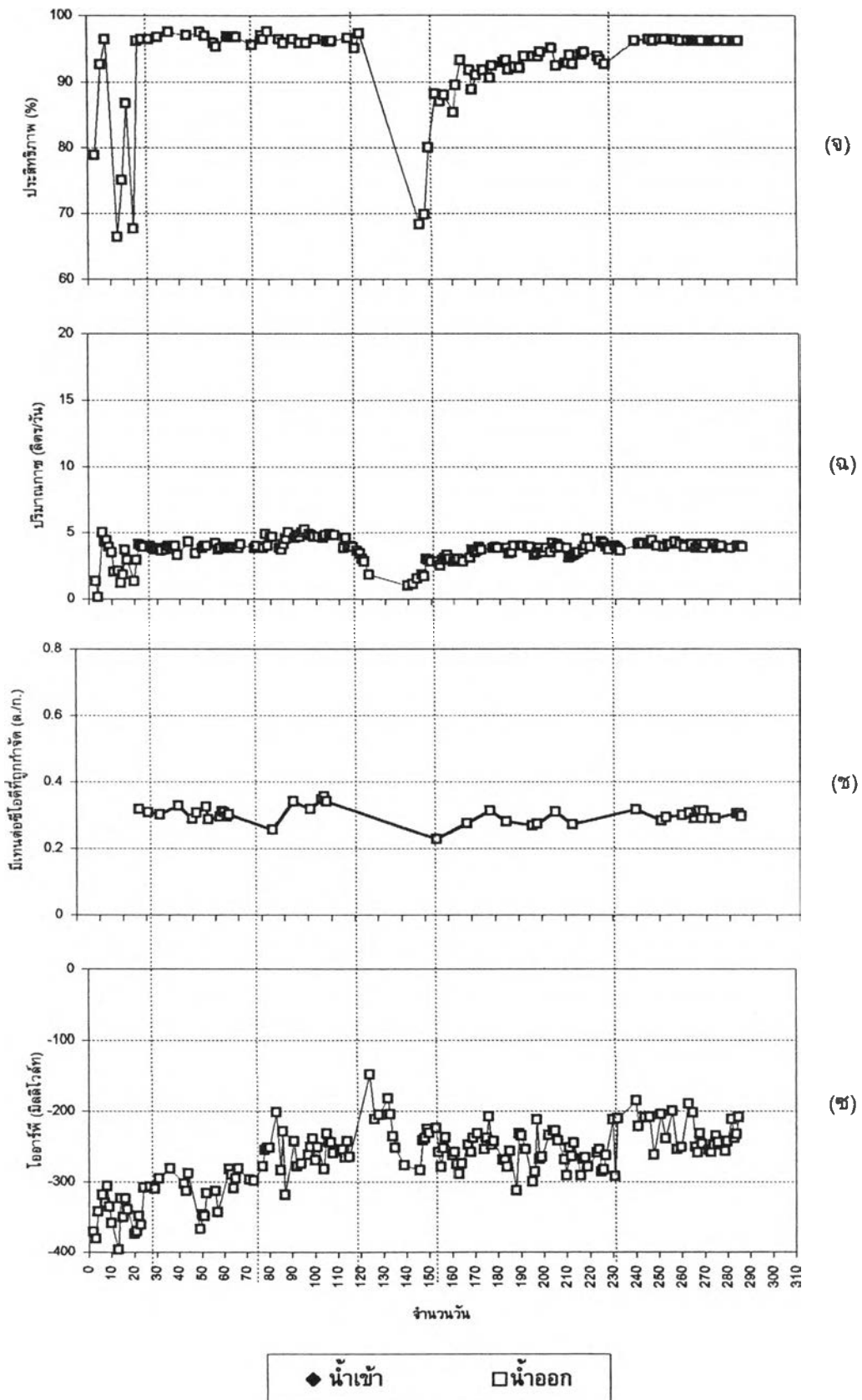
1.5:1	0.9:1	0.3:1	0.2:1	0.6:1
-------	-------	-------	-------	-------



รูปที่ 4.11 ผลการทดลองน้ำเสียโปรตีนที่ภาวะบรรทุกลสารอินทรีย์ 4 ก./ล.-วัน

ค่าคงที่ซีโอไลต์

1.5:1	0.9:1	0.3:1	0.2:1	0.6:1
-------	-------	-------	-------	-------



รูปที่ 4.11 ผลการทดลองน้ำเสียโปรตีนที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 4 ก./ล.-วัน (ต่อ)

โดยรูปที่ 4.11 (ก) แสดงค่าพีเอชของระบบ เมื่อแปรค่าอัตราส่วนต่างต่อซีโอดีเป็น 0.9:1 , 0.6:1 และ 0.3:1 ค่าพีเอชของน้ำเข้าเท่ากับ 10.9 , 10.8 และ 10.6 ตามลำดับ จะเห็นว่า ค่าที่ได้ค่อนข้างสูงเป็นผลจากการเติมต่างโซเดียมคาร์บอเนตเพื่อเป็นบัฟเฟอร์ให้แก่ระบบ แต่เมื่อผ่านระบบยูเอเอสบีแล้ว ค่าพีเอชของน้ำออกจะลดลงเหลือ 7.8 , 7.1 และ 6.8 ตามลำดับ แสดงว่าโซเดียมคาร์บอเนตที่เติมถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปสารประกอบไบคาร์บอเนตแล้ว ในรูปที่ 4.11 (ข) แสดงค่าสภาพต่างรวมตลอดการทดลองซึ่งจะลดลงตามอัตราส่วนต่างต่อซีโอดีที่เติม และสภาพต่างในน้ำออกจะสูงกว่าในน้ำเข้าเล็กน้อย แสดงว่าระบบสามารถสร้างสภาพตัวเองได้เช่นกัน ส่วนค่ากรดไขมันระเหยในน้ำออกจะมีค่าค่อนข้างต่ำ ดังรูปที่ 4.11 (ค) สอดคล้องกับค่าซีโอดี น้ำออกที่มีค่าต่ำตลอดการทดลองเช่นกัน แสดงในรูปที่ 4.11 (ง) เป็นผลให้ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีค่อนข้างสูง เฉลี่ยประมาณ 98 เปอร์เซ็นต์ (รูปที่ 4.11 (จ)) ส่วนปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นจะเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนต่างต่อซีโอดีที่ลดลง (รูปที่ 4.11 (ฉ)) ทั้งนี้เนื่องจากการเติมโซเดียมคาร์บอเนตจะใช้คาร์บอนไดออกไซด์ในระบบมาทำปฏิกิริยาเพื่อให้เกิดสภาพต่างไบคาร์บอเนต ยิ่งถ้าเติมโซเดียมคาร์บอเนตมาก คาร์บอนไดออกไซด์จะถูกใช้มาก เป็นผลให้เหลือก๊าซในระบบน้อย แต่เมื่อพิจารณาอัตราการเกิดมีเทนต่อซีโอดีที่ถูกกำจัด จะเห็นว่า มีค่าค่อนข้างคงที่ในรูป 4.1 (ซ) มีค่าเฉลี่ย 0.31-0.32 ลิตร/กรัม ในรูปที่ 4.11 (ซ) แสดงค่าไออาร์พีตลอดการทดลองจะมีค่าอยู่ในช่วง -200 ถึง -400 มิลลิโวลท์ ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมต่อการทำงานของแบคทีเรียในระบบ

สรุปได้ว่า ที่ภาวะบรรทุกลสารอินทรีย์ 4 ก./ล.-วัน ระบบสามารถบำบัดน้ำเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพ แม้ว่าจะแปรค่าสภาพต่างที่เติมให้แก่ระบบอยู่ในช่วง 830-2100 มก./ล. แคลเซียมคาร์บอเนต ทำให้ค่าพีเอชของระบบเท่ากับ 6.8-7.8

2) ภาวะบรรทุกลสารอินทรีย์ 8 ก./ล.-วัน

การทดลองจะใช้ถังปฏิกรณ์ชุดเดียวกับของน้ำเสียโปรตีน แต่จะเริ่มเลี้ยงเชื้อแบคทีเรียใหม่ เพื่อให้เชื้อได้ปรับตัวให้เข้ากับน้ำเสียโปรตีน ใช้เวลาประมาณ 1 เดือน จึงเริ่มทดลองตามแผน โดยเริ่มที่อัตราส่วนต่างต่อซีโอดี 0.3:1 และเพิ่มเป็น 0.6:1 และ 0.9:1 ตามลำดับ ในการทดลองชุดนี้ใช้เวลาในการทดลองไม่นาน เนื่องจากเชื้อแบคทีเรียในระบบสามารถปรับตัวได้เร็ว ตารางที่ 4.12 เป็นการสรุปค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลองและรูปที่ 4.12 แสดงพารามิเตอร์บางส่วนที่วัดได้ตลอดการทดลอง

ตารางที่ 4.12 ค่าเฉลี่ยผลการทดลองน้ำเสียโปรตีน ที่ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 8 ก./ล.-วัน

พารามิเตอร์	ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 8 ก./ล.-วัน					
	0.3:1		0.6:1		0.9:1	
	เข้า	ออก	เข้า	ออก	เข้า	ออก
อัตราไหล (ลิตร/วัน)	9.6		9.6		9.6	
เวลากักน้ำของถังปฏิกรณ์ (ชม.)	7.5		7.5		7.5	
พีเอช	10.6	6.7	10.8	7.1	10.9	7.7
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)		31		32		30
ไออาร์พี (มิลลิโวลท์)		-232		-254		-298
ซีไอดี (มก./ล.)	2550	160	2500	176	2500	205
ประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดี (%)		94.2		92.9		91.6
สภาพต่างทั้งหมด (มก./ล. นินปุณ)	738	852	1442	1534	2208	2336
สภาพต่างไบคาร์บอเนต (มก./ล. นินปุณ)		725		1364		2126
กรดไขมันระเหย (มก./ล. กรดอะซิติก)		153		204		252
กรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างไบคาร์บอเนต		0.21		0.15		0.11
ของแข็งแขวนลอย (มก./ล.)		79		174		122
ก๊าซทั้งหมด (ล./วัน)		8.9		7.9		6.4
มีเทน (%)		79		88		94
คาร์บอนไดออกไซด์ (%)		21		12		6
อัตราผลิตมีเทน(ล.)/ซีไอดีที่ถูกกำจัด(ก.)		0.31		0.30		0.28

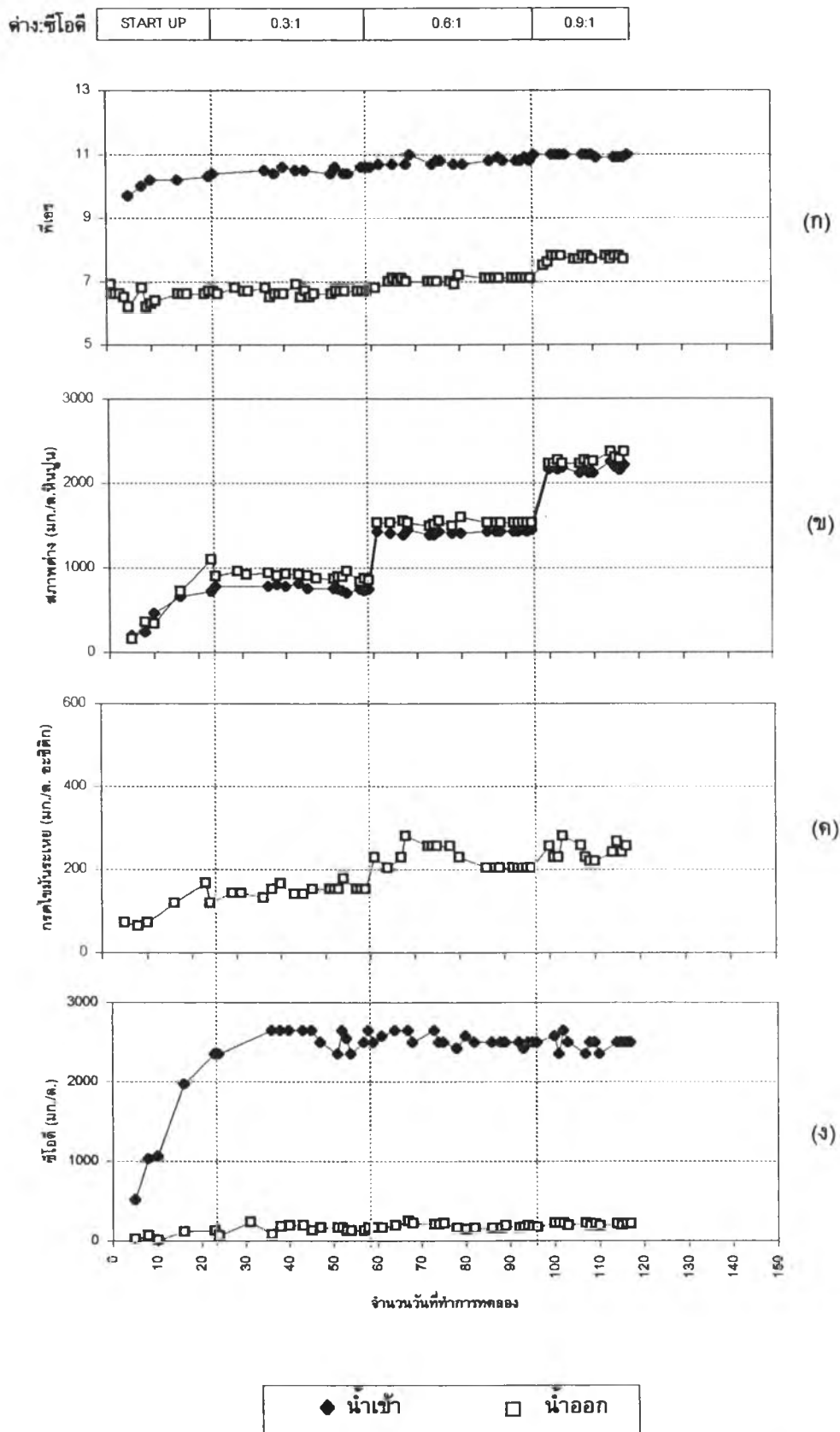
จากรูป 4.6 ซึ่งแสดงค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ตลอดการทดลอง จะแบ่งเป็นทั้งหมด 4 ช่วง ในช่วงแรกเป็นการเริ่มเดินระบบใช้เวลาประมาณ 23 วัน ระบบจึงเริ่มเข้าสู่สภาวะที่คงที่ หลังจากนั้นจึงเริ่มทำตามแผนการทดลองแสดงในช่วงที่สอง สาม และสี่ คือ ที่อัตราส่วนต่างต่อซีไอดี 0.9:1 , 0.6:1 และ 0.3:1 ตามลำดับ โดยจากรูป 4.12 (ก) แสดงค่าพีเอชของระบบ เมื่อแปรค่าอัตราส่วนต่างต่อซีไอดีเป็น 0.9:1 , 0.6:1 และ 0.3:1 ค่าพีเอชของน้ำเข้าเท่ากับ 10.9 , 10.8 และ 10.6 ตามลำดับ จะเห็นว่า ค่าที่ได้ค่อนข้างสูงเป็นผลจากการเติมต่างโซเดียมคาร์บอเนตเพื่อเป็นบัฟเฟอร์ให้แก่ระบบ แต่เมื่อผ่านระบบยูเอเอสบีแล้ว ค่าพีเอชของน้ำออกจะลดลงเหลือ 7.7 , 7.1 และ 6.7 ตามลำดับ แสดงว่าโซเดียมคาร์บอเนตที่เติมถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปสารประกอบไบคาร์บอเนตแล้ว ในรูปที่ 4.12 (ข) แสดงค่าสภาพต่างรวมตลอดการทดลองซึ่งจะลดลงตามอัตราส่วนต่างต่อซีไอดีที่เติม และสภาพต่างในน้ำออกจะสูงกว่าในน้ำเข้าเล็กน้อย แสดงว่าระบบสามารถสร้างสภาพต่างเองได้ ส่วนค่ากรดไขมันระเหยในน้ำออกมีค่าค่อนข้างคงที่ตลอดการ

ทดลอง ดังรูปที่ 4.12 (ค) สอดคล้องกับค่าซีไอได้น้ำออกที่มีค่าต่ำตลอดการทดลองเช่นกัน แสดงในรูปที่ 4.12 (ง) เป็นผลให้ประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดีก่อนข้างคองที่ เฉลี่ยประมาณ 92-94 เปอร์เซ็นต์ (รูปที่ 4.12 (จ)) ส่วนปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นจะเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนต่างต่อซีไอดีที่ลดลง เฉลี่ยเท่ากับ 7.9 , 8.7 และ 10.6 ลิตร/วัน ตามลำดับ (รูปที่ 4.12 (ฉ)) ทั้งนี้เนื่องจากการเติมโซเดียมคาร์บอเนตจะใช้คาร์บอนไดออกไซด์ในระบบมาทำปฏิกิริยาเพื่อให้เกิดสภาพต่างไปคาร์บอเนต ยิ่งถ้าเติมโซเดียมคาร์บอเนตมาก คาร์บอนไดออกไซด์จะถูกใช้มาก เป็นผลให้เหลือก๊าซในระบบน้อย แต่เมื่อพิจารณาอัตราการเกิดมีเทนต่อซีไอดีที่ถูกกำจัด จะเห็นว่า มีค่าค่อนข้างคองที่ในรูป 4.12 (ซ) มีค่าเฉลี่ย 0.28-0.31 ลิตร/กรัม ในรูปที่ 4.12 (ซ) แสดงค่าไออาร์พีตลอดการทดลองจะมีค่าอยู่ในช่วง -200 ถึง -400 มิลลิโวลท์ ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมต่อการทำงานของแบคทีเรียในระบบ

สรุปได้ว่า ที่ภาวะบรรทุกระหว่างอินทรีย์ 8 ก./ล.-วัน ระบบสามารถบำบัดน้ำเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพ แม้ว่าจะแปรค่าสภาพต่างที่เติมให้แก่ระบบอยู่ในช่วง 738-2208 มก./ล. แคลเซียมคาร์บอเนต ทำให้ค่าพีเอชของระบบเท่ากับ 6.7-7.7

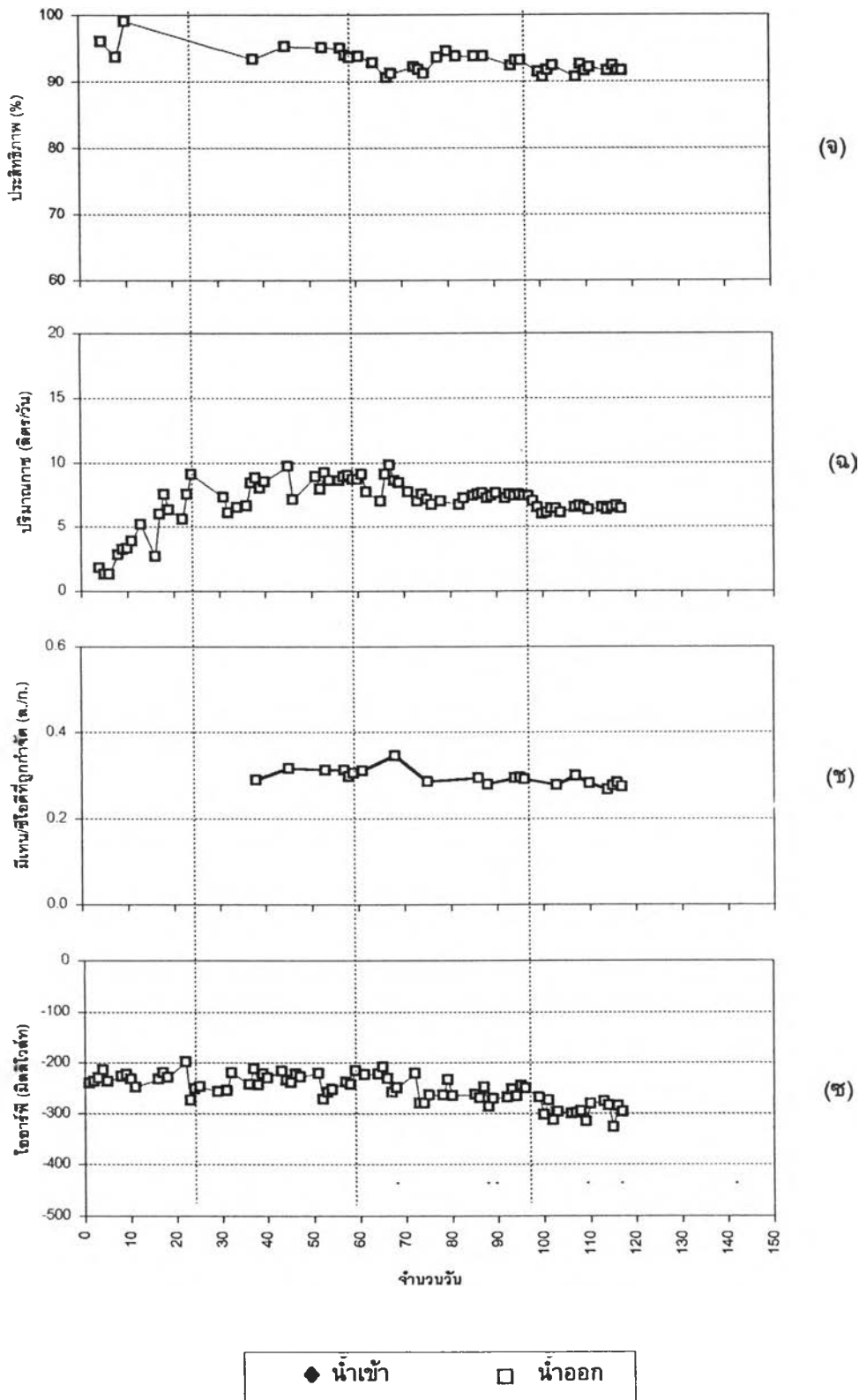
3) ภาวะบรรทุกระหว่างอินทรีย์ 12 ก./ล.-วัน

การทดลองนี้จะใช้ถังปฏิกรณ์ต่อจากน้ำเสียโปรตีน โดยหลังจากสิ้นสุดการทดลองน้ำเสียโปรตีนชุดที่ใช้ภาวะบรรทุกระหว่างอินทรีย์ 12 ก./ล.-วันแล้ว ได้ทำการเปลี่ยนน้ำเสียเป็นน้ำเสียโปรตีนและใช้ความเข้มข้นซีไอดี 2,500 มก./ล. ทั้งนี้ เชื้อแบคทีเรียในระบบไม่สามารถปรับตัวให้เข้ากับน้ำเสียใหม่ได้ทัน เป็นผลให้เชื้อแบคทีเรียลอยและหลุดไปกับน้ำออกเกือบหมดถึงปฏิกรณ์ จึงได้เริ่มเลี้ยงเชื้อแบคทีเรียใหม่ ตารางที่ 4.13 เป็นการสรุปค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลองและรูปที่ 4.13 แสดงพารามิเตอร์บางส่วนที่วัดได้ตลอดการทดลอง



รูปที่ 4.12 ผลการทดลองน้ำเสียโปรตีนที่ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 8 ก./ล.-วัน

ค่า:ซีโอดี START UP 0.3:1 0.6:1 0.9:1



รูปที่ 4.12 ผลการทดลองน้ำเสียโปรตีนที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 8 ก./ล.-วัน (ต่อ)

ตารางที่ 4.13 ผลการทดลองน้ำเสียโปรตีน ที่ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 12 ก./ล.-วัน

พารามิเตอร์	ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 12 ก./ล.-วัน					
	0.3:1		0.6:1		0.9:1	
	เข้า	ออก	เข้า	ออก	เข้า	ออก
อัตราไหล (ลิตร/วัน)	14.4		14.4		14.4	
เวลากักน้ำของถังปฏิกรณ์ (ชม.)	5		5		5	
พีเอช	10.5	6.7	10.8	7.1	10.9	7.7
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)		32		30		30
ไออาร์พี (มิลลิโวลท์)		-226		-270		-284
ซีไอดี (มก./ล.)	2500	220	2456	240	2508	240
ประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดี (%)		91.2		90.1		90.6
สภาพต่างทั้งหมด (มก./ล. หินปูน)	731	867	1417	1529	2158	2386
สภาพต่างไปคาร์บอนเนต (มก./ล. หินปูน)		668		1303		2088
กรดไขมันระเหย (มก./ล. กรดอะซิติก)		239		271		357
กรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างไปคาร์บอนเนต		0.36		0.26		0.17
ของแข็งแขวนลอย (มก./ล.)		150		251		214
ก๊าซทั้งหมด (ล./วัน)		10.5		9.6		8.6
มีเทน (%)		78		87		95
คาร์บอนไดออกไซด์ (%)		22		13		5
อัตราผลิตมีเทน(ล.)/ซีไอดีที่ถูกกำจัด(ก.)		0.25		0.26		0.25

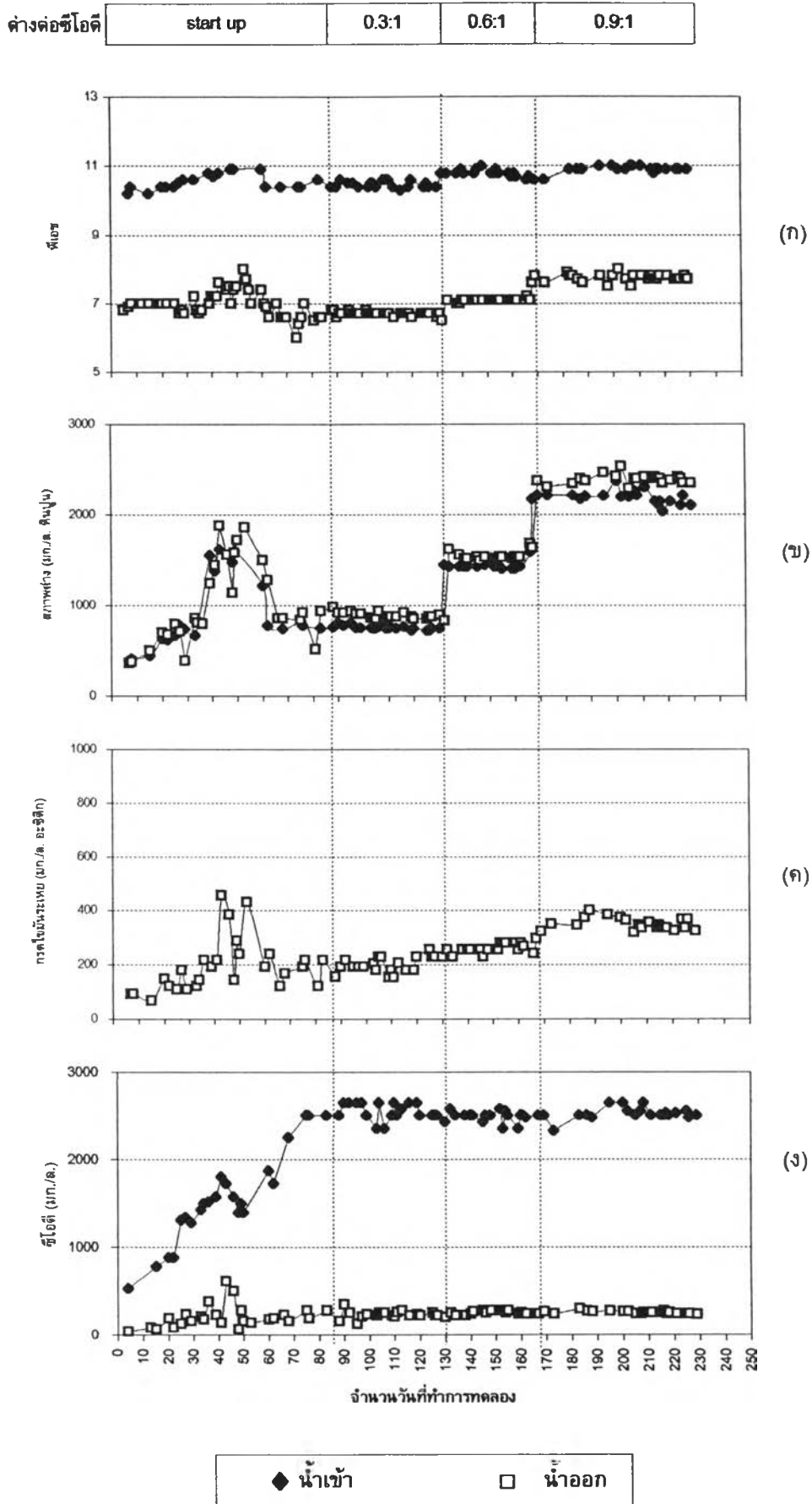
จากรูปที่ 4.13 ซึ่งแสดงค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ตลอดการทดลอง จะแบ่งเป็นทั้งหมด 4 ช่วง คือ ในช่วงแรกเป็นการเริ่มเดินระบบ จะเห็นว่าในประมาณวันที่ 45 ของการทดลองกรดไขมันระเหยสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัด และปริมาณก๊าซที่เกิดลดลง เนื่องจากเพิ่มซีไอดีเร็วเกินไปทำให้แบคทีเรียสร้างมีเทนไม่สามารถปรับตัวได้ทันจึงไม่สามารถนำกรดไขมันระเหยมาใช้ได้หมด แต่เมื่อเวลาผ่านไปกรดไขมันระเหยก็ลดลงเป็นปกติ จากนั้นค่อยๆเพิ่มซีไอดีขึ้นเรื่อยๆ จนถึง 2,500 มก./ล. ในวันที่ 86 จึงเริ่มเข้าสู่ในช่วงที่สอง สามและสี่ ที่อัตราส่วนต่างต่อซีไอดี 0.3:1 , 0.6:1 และ 0.9:1 ตามลำดับ รูปที่ 4.13 (ก) จะแสดงค่าพีเอชของระบบ เมื่อแปรค่าอัตราส่วนต่างต่อซีไอดีเป็น 0.3:1 , 0.6:1 และ 0.9:1 ค่าพีเอชของน้ำเข้าเท่ากับ 10.2 , 10.5 และ 10.9 ตามลำดับ จะเห็นว่าค่าที่ได้ค่อนข้างสูงเป็นผลจากการเติมต่างโซเดียมคาร์บอนเนตเพื่อเป็นบัฟเฟอร์ให้แก่ระบบ แต่เมื่อผ่านระบบยูเอเอสบีแล้ว ค่าพีเอชของน้ำออกจะลดลงเหลือ 6.7 , 7.1 และ 7.7 ตามลำดับแสดงว่า

โซเดียมคาร์บอเนตที่เติมถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปสารประกอบไบคาร์บอเนตแล้ว ในรูปที่ 4.13 (ข) แสดงค่าสภาพต่างรวมตลอดการทดลองซึ่งจะลดลงตามอัตราส่วนต่างต่อซีโอดีที่เติม และสภาพต่างในน้ำออกจะสูงกว่าในน้ำเข้าเล็กน้อย แสดงว่าระบบสามารถสร้างสภาพต่างเองได้ ส่วนค่ากรดไขมันระเหยในน้ำออกจะมีค่าสูงขึ้นตามอัตราส่วนต่างต่อซีโอดีดังรูปที่ 4.13 (ค) เนื่องจากการวิเคราะห์โดยวิธีไตเตรตที่ใช้ช่วงพีเอชจะมีการรบกวนของสภาพต่างในน้ำ รูปที่ 4.13 (ง) แสดงค่าซีโอดีจะเห็นว่าซีโอดีน้ำออกมีค่าต่ำตลอดการทดลอง เป็นผลให้ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีค่อนข้างสูง เฉลี่ยประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์ (รูปที่ 4.13 (จ)) ส่วนปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นจะเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนต่างต่อซีโอดีที่ลดลง ดังรูปที่ 4.13 (ฉ) ทั้งนี้เนื่องจากการเติมโซเดียมคาร์บอเนตจะใช้คาร์บอนไดออกไซด์ในระบบมาทำปฏิกิริยาเพื่อให้เกิดสภาพต่างไบคาร์บอเนต ยิ่งถ้าเติมโซเดียมคาร์บอเนตมาก คาร์บอนไดออกไซด์จะถูกใช้มาก เป็นผลให้เหลือก๊าซในระบบน้อย แต่เมื่อพิจารณาอัตราการเกิดมีเทนต่อซีโอดีที่ถูกกำจัด จะเห็นว่า มีค่าค่อนข้างคงที่ในรูป 4.13 (ข) มีค่าเฉลี่ย 0.29-0.30 ลิตร/กรัม ในรูปที่ 4.13 (ข) แสดงค่าไออาร์พีตลอดการทดลองจะมีค่าอยู่ในช่วง -200 ถึง -300 มิลลิโวลต์ ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมต่อการทำงานของแบคทีเรียในระบบ

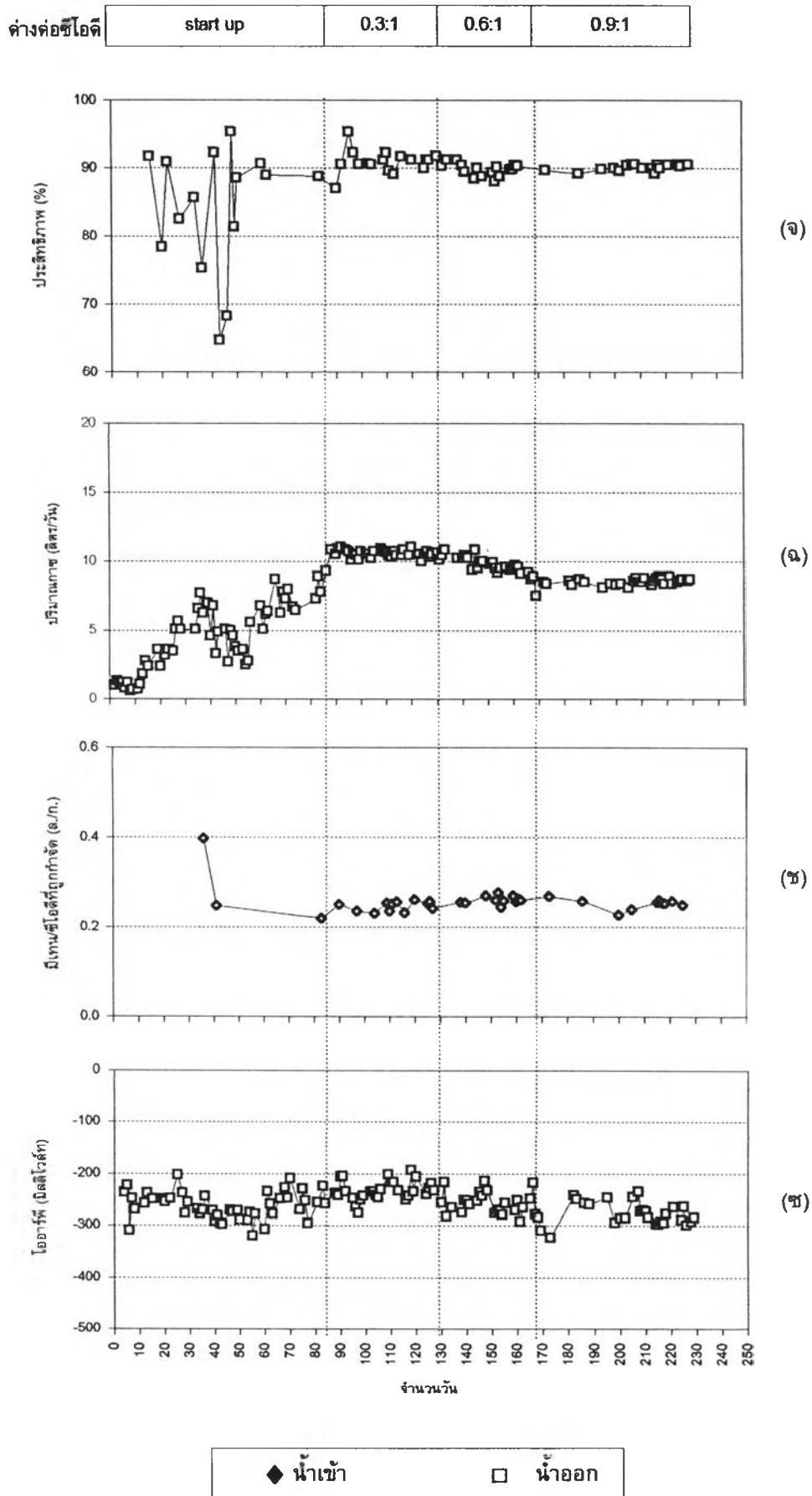
สรุปได้ว่า ที่ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 12 ก./ล.-วัน ระบบสามารถบำบัดน้ำเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพ แม้ว่าจะแปรค่าสภาพต่างที่เติมให้แก่ระบบอยู่ในช่วง 731-2158 มก./ล. แคลเซียมคาร์บอเนต ทำให้ค่าพีเอชของระบบเท่ากับ 6.7-7.7

4) ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 16 ก./ล.-วัน

เนื่องจากมีข้อจำกัดในระยะเวลาของการทดลอง การทดลองนี้จึงใช้ถึงปฏิกรณ์ทั้งหมด 2 ชุด คือที่อัตราส่วนต่างต่อซีโอดีจะใช้ถึงปฏิกรณ์ต่อจากน้ำเสียโปรตีนที่ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 16 ก./ล.-วัน แต่จะเริ่มเลี้ยงเชื้อแบคทีเรียใหม่ เพื่อให้เชื้อได้ปรับตัวให้เข้ากับน้ำเสียโปรตีนใช้เวลาประมาณ 48 วัน จึงเริ่มทดลองตามแผน ส่วนที่อัตราส่วน 0.6:1 และ 0.9:1 จะใช้ถึงปฏิกรณ์ของชุดภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 8 ก./ล.-วัน และทำการเพิ่มอัตราไหลให้ได้ 19.2 ลิตร/วัน และจึงเริ่มทำการทดลอง ผลการทดลองทั้งหมดอยู่ในภาคผนวก แต่ในส่วนนี้จะไม่แสดงผลของการเดินระบบในการเพิ่มอัตราไหลของชุดภาวะบรรทุกสาร 8 ก./ล.-วัน จะแสดงเฉพาะในผลการทดลองที่อัตราส่วนต่างต่อซีโอดีเท่านั้น ตารางที่ 4.14 เป็นการสรุปค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลอง และรูปที่ 4.14 แสดงพารามิเตอร์บางส่วนที่วัดได้ตลอดการทดลอง



รูปที่ 4.13 ผลการทดลองน้ำเสียโปรตีนที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 12 ก./ล.-วัน



รูปที่ 4.13 ผลการทดลองน้ำเสียโปรตีนที่ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 12 ก./ล.-วัน (ต่อ)

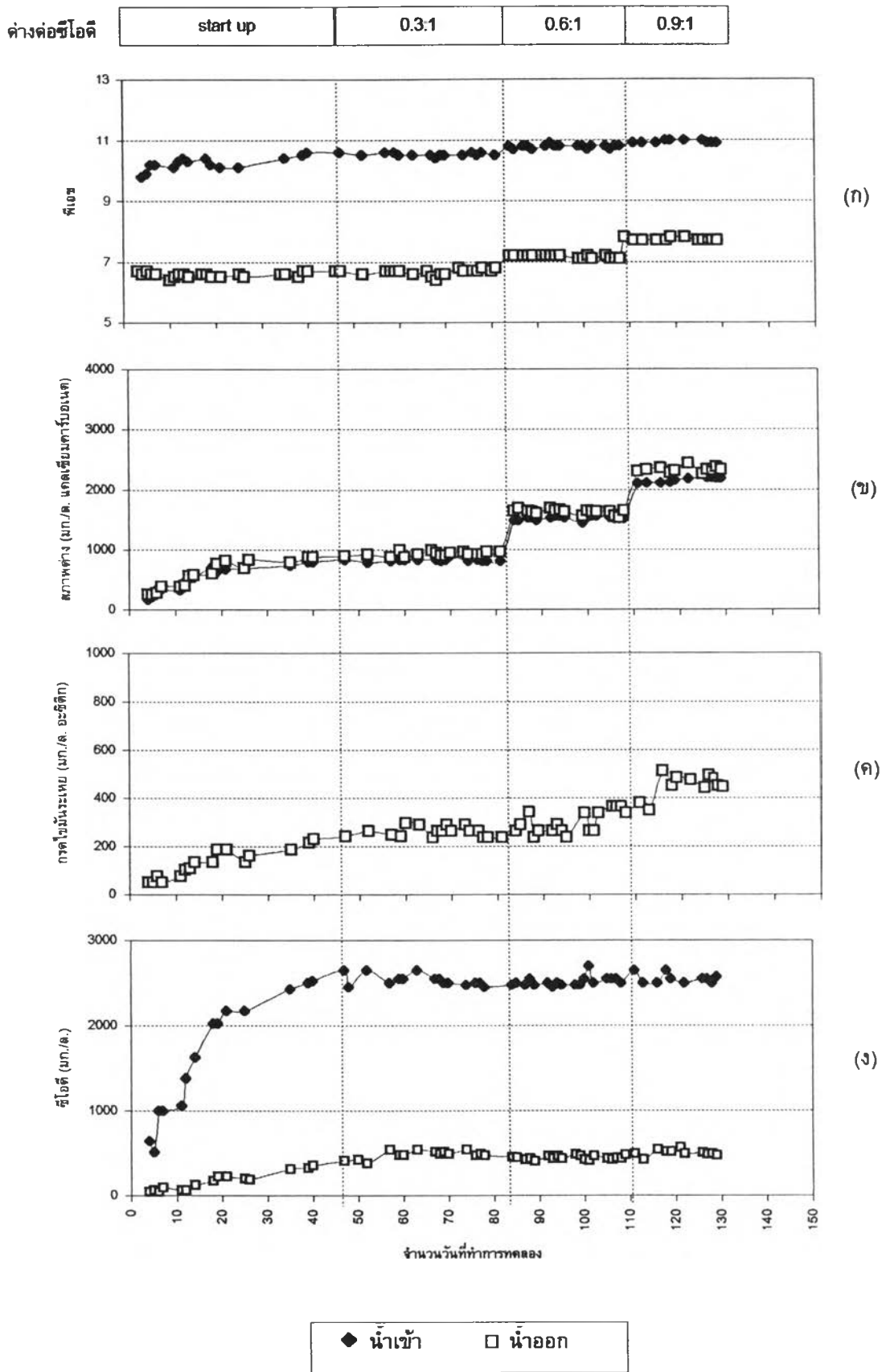
ตารางที่ 4.14 ผลการทดลองน้ำเสียโปรตีน ที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 16 ก./ล.-วัน

พารามิเตอร์	ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 16 ก./ล.-วัน					
	0.3:1		0.6:1		0.9:1	
	เข้า	ออก	เข้า	ออก	เข้า	ออก
อัตราไหล (ลิตร/วัน)	19.2		19.2		19.2	
เวลากักน้ำของถังปฏิกรณ์ (ชม.)	3.75		3.75		3.75	
พีเอช	10.6	6.7	10.8	7.1	10.9	7.7
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)		30		30		29
ไออาร์พี (มิลลิโวลท์)		-215		-220		-254
ซีไอดี (มก./ล.)	2483	477	2500	430	2590	485
ประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดี (%)		80.8		82.8		80.9
สภาพต่างทั้งหมด (มก./ล. หินปูน)	819	936	1514	1651	2189	2332
สภาพต่างไบคาร์บอเนต (มก./ล. หินปูน)		731		1354		1941
กรดไขมันระเหย (มก./ล. กรดอะซิติก)		246		356		469
กรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างไบคาร์บอเนต		0.34		0.28		0.25
ของแข็งแขวนลอย (มก./ล.)		248		239		165
การทั้งหมด (ล./วัน)		12.9		11.6		10.5
มีเทน (%)		77		87		94
คาร์บอนไดออกไซด์ (%)		23		13		6
อัตราผลิตมีเทน(ล.)/ซีไอดีที่ถูกกำจัด(ก.)		0.26		0.25		0.26

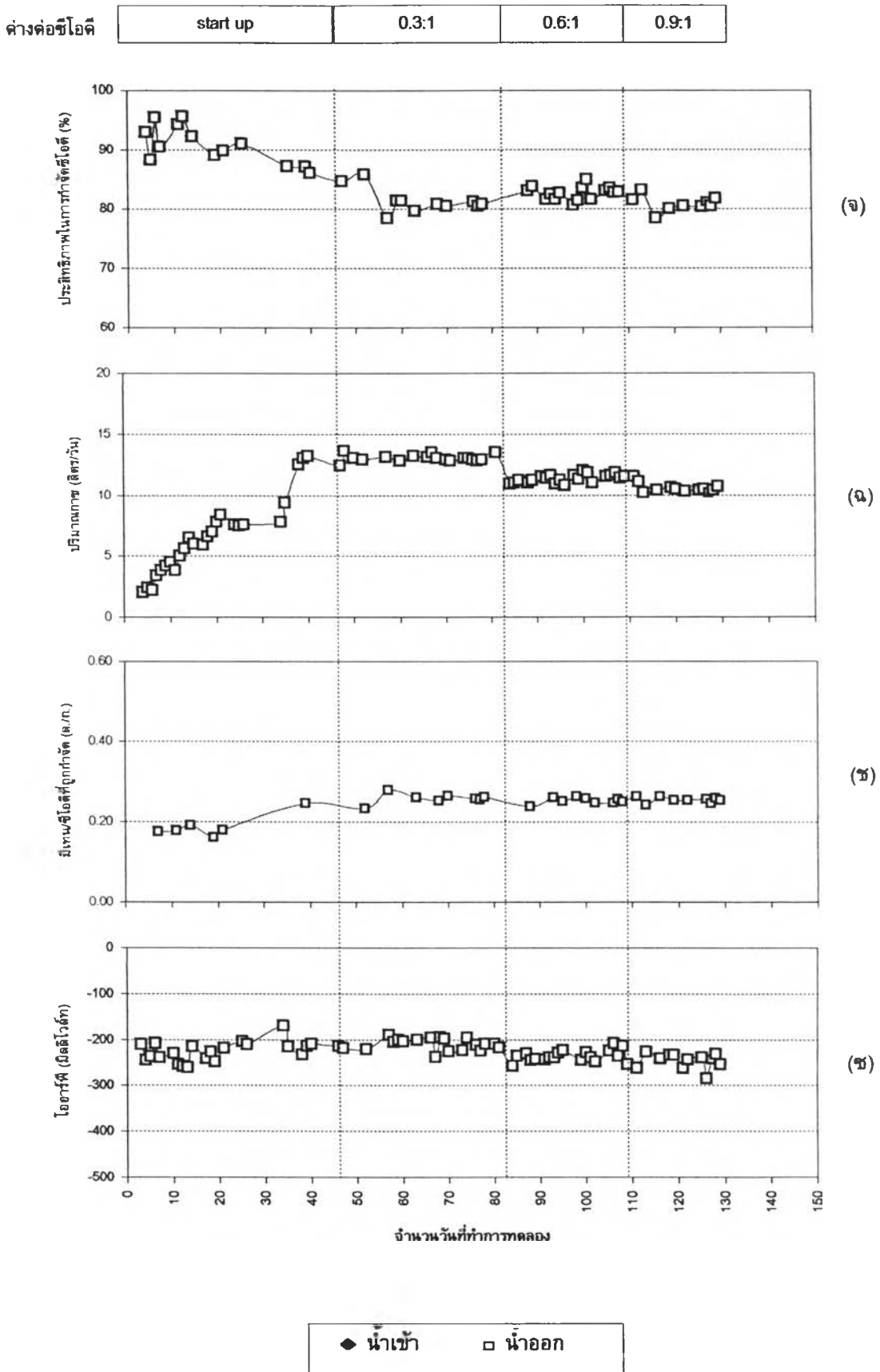
จากรูป 4.14 ซึ่งแสดงค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ตลอดการทดลอง จะแบ่งเป็นทั้งหมด 4 ช่วง คือ ช่วงแรกเป็นการเริ่มเดินระบบ ช่วงที่สอง สามและสี่ คือการเปลี่ยนอัตราส่วนต่างต่อซีไอดี เป็น 0.3:1 , 0.6:1 และ 0.9:1 ตามลำดับ รูปที่ 4.14 (ก) จะแสดงค่าพีเอชของระบบ เมื่อแปรค่าอัตราส่วนต่างต่อซีไอดีเป็น 0.3:1 , 0.6:1 และ 0.9:1 ค่าพีเอชของน้ำเข้าเท่ากับ 10.2 , 10.5 และ 10.9 ตามลำดับ จะเห็นว่า ค่าที่ได้ค่อนข้างสูงเป็นผลจากการเติมด่างโซเดียมคาร์บอเนตเพื่อเป็นบัฟเฟอร์ให้แก่ระบบ แต่เมื่อผ่านระบบยูเอเอสบีแล้ว ค่าพีเอชของน้ำออกจะลดลงเหลือ 6.7 , 7.1 และ 7.7 ตามลำดับ แสดงว่าโซเดียมคาร์บอเนตที่เติมถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปสารประกอบไบคาร์บอเนตแล้ว ในรูปที่ 4.14 (ข) แสดงค่าสภาพต่างรวมตลอดการทดลองซึ่งจะลดลงตามอัตราส่วนต่างต่อซีไอดีที่เติม และสภาพต่างในน้ำออกจะสูงกว่าในน้ำเข้าเล็กน้อย แสดงว่าระบบสามารถสร้างสภาพต่างเองได้ รูปที่ 4.14 (ค) แสดงค่ากรดไขมันระเหยในน้ำออก ซึ่งมีค่าสูงกว่าที่

ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์อื่นอย่างเห็นได้ชัด เนื่องจากสารอินทรีย์ที่เข้ามาในระบบมีปริมาณมาก แบคทีเรียสร้างกรดสามารถย่อยสลายให้กลายเป็นกรดไขมันระเหยได้เร็ว ในขณะที่แบคทีเรียสร้างมีเทนไม่สามารถนำกรดไขมันระเหยที่เกิดขึ้นไปใช้ได้หมด จึงมีกรดไขมันระเหยเหลืออยู่ในระบบมาก สอดคล้องกับค่าซีไอได้น้ำออกที่มีค่าสูงขึ้นเช่นกัน ดังรูปที่ 4.14 (ง) เป็นผลให้ประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอได้น้ำต่ำกว่าที่ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์อื่นๆ เฉลี่ยประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ (รูปที่ 4.14 (จ)) ส่วนปริมาณก๊าซที่เกิดจะลดลงตามอัตราส่วนต่างต่อซีไอได้น้ำที่เพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 4.14 (ฉ) ทั้งนี้เนื่องจากการเติมโซเดียมคาร์บอเนตจะใช้คาร์บอนไดออกไซด์ในระบบมาทำปฏิกิริยาเพื่อให้เกิดสภาพต่างไปคาร์บอเนต ยิ่งถ้าเติมโซเดียมคาร์บอเนตมาก คาร์บอนไดออกไซด์จะถูกใช้มาก เป็นผลให้เหลือก๊าซในระบบน้อย แต่เมื่อพิจารณาอัตราการเกิดมีเทนต่อซีไอได้น้ำที่ถูกกำจัด จะเห็นว่า มีค่าค่อนข้างคงที่ในรูป 4.14 (ซ) มีค่าเฉลี่ย 0.25-0.26 ลิตร/กรัม ในรูปที่ 4.14 (ซ) แสดงค่าไออาร์พีตลอดการทดลองจะมีค่าอยู่ในช่วง -200 ถึง -400 มิลลิโวลท์ ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมต่อการทำงานของแบคทีเรียในระบบ

สรุปได้ว่า ที่ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 16 ก./ล.-วัน ระบบสามารถบำบัดน้ำเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพ แม้ว่าจะแปรค่าสภาพต่างที่เติมให้แก่ระบบอยู่ในช่วง 819-2189 มก./ล. แคลเซียมคาร์บอเนต ทำให้ค่าพีเอชของระบบเท่ากับ 6.7-7.7



รูปที่ 4.14 ผลการทดลองน้ำเสียประเภทโปรตีน ที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 16 ก./ล.-วัน



รูปที่ 4.14 ผลการทดลองน้ำเสียประเภทโปรตีน ที่กระบวนทุกสารอินทรีย์ 16 ก./ล.-วัน (ต่อ

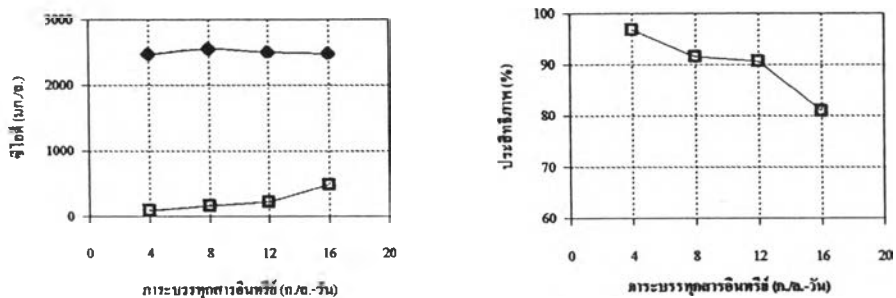
4.3.2 วิจารณ์ผลการทดลองโดยใช้น้ำเสียประเภทโปรตีน

1) ซีโอดีและประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี

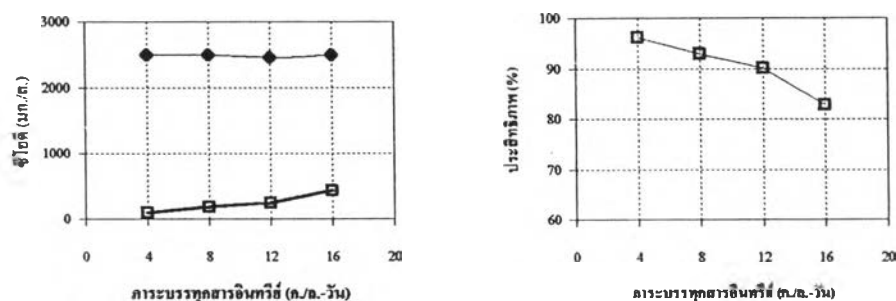
ซีโอดีและประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีเป็นตัวแปรสำคัญที่แสดงถึงความสามารถในการบำบัดน้ำเสียของระบบ จากตารางที่ 4.15 และรูปที่ 4.15 ซึ่งได้สรุปค่าซีโอดีและประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีเฉลี่ยของการทดลองน้ำเสียประเภทโปรตีน พบว่า ความเข้มข้นของซีโอดีในน้ำเข้าจะมีค่าใกล้เคียงกันเนื่องจากเป็นน้ำเสียที่สังเคราะห์ขึ้นเอง และเมื่อผ่านระบบยูเอเอสบีแล้วค่าซีโอดีน้ำออกจะลดลง โดยค่าซีโอดีน้ำออกจะสูงขึ้นตามภาวะบรรทุksารอินทรีย์ที่เพิ่มขึ้น คิดเป็นประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีได้เท่ากับ 80-96 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งการที่ซีโอดีสูงตามภาวะบรรทุksารอินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นนี้มีสาเหตุเช่นเดียวกับที่เกิดขึ้นในการบำบัดน้ำเสียคาร์โบไฮเดรต และแม้จะแปรค่าต่างต่อซีโอดีอยู่ในช่วง 0.3:1-0.9:1 ก็ไม่มีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีของระบบ แสดงว่า สภาพต่างที่เติมให้แก่ระบบมีเพียงพอที่จะรักษาพีเอชไม่ให้เปลี่ยนแปลง

ตารางที่ 4.15 สรุปค่าเฉลี่ยของซีโอดีและประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีของการทดลองโดยใช้น้ำเสียประเภทโปรตีน

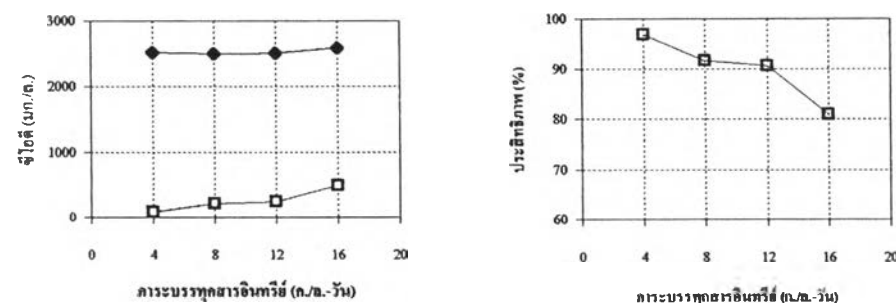
ภาวะบรรทุksารอินทรีย์ (ก./ล.-วัน)	ต่าง:ซีโอดี	น้ำเข้า (มก./ล.)	น้ำออก (มก./ล.)	ประสิทธิภาพ (%)
4	0.3:1	2,475	95	96.2
	0.6:1	2,500	95	96.2
	0.9:1	2,520	80	96.8
8	0.3:1	2,550	160	94.2
	0.6:1	2,500	176	92.9
	0.9:1	2,500	205	91.6
12	0.3:1	2,500	220	91.2
	0.6:1	2,456	240	90.1
	0.9:1	2,508	240	90.6
16	0.3:1	2,483	477	80.8
	0.6:1	2,500	430	82.8
	0.9:1	2,590	485	80.9



(ก) ต่างต่อซีโอดี 0.3:1



(ข) ต่างต่อซีโอดี 0.6:1



(ค) ต่างต่อซีโอดี 0.9:1



รูปที่ 4.15 ซีโอดีและประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีโดยใช้น้ำเสียโปรตีน

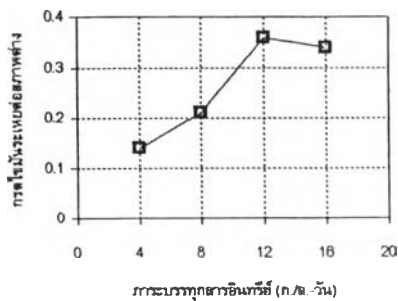
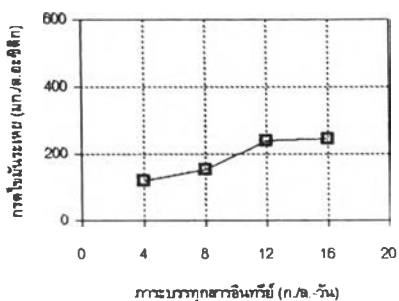
2) กรดไขมันระเหยและอัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่าง

กรดไขมันระเหยและอัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญ สามารถบอกแนวโน้มในการทำงานของระบบได้เป็นอย่างดี ระบบที่ทำงานปกติจะมีความเข้มข้นของกรดอินทรีย์ประมาณ 200-400 มก./ล. อะซิติก แต่ในถังย่อยน้ำเสียบางชนิดอาจทำงานได้ดีแม้จะมีความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยสูงกว่า 1,000 มก./ล.อะซิติก ถ้าระบบมีกำลังบำบัดเพียงพอ สิ่งที่เป็นสัญญาณบอกแนวโน้มในการทำงานของกรดไขมันระเหยก็คืออัตราการเพิ่มของความเข้มข้นของกรดไขมันระเหย ถ้าอัตราเพิ่มขึ้นเป็นไปอย่างรวดเร็ว อาจเป็นสัญญาณเตือนถึงแนวโน้มการเสถียรภาพของระบบ แสดงว่ามีบางอย่างเกิดขึ้นทำให้อัตราการเจริญเติบโตของแบคทีเรียสร้างมีเทนช้าลงหรืออัตราการเจริญเติบโตของแบคทีเรียสร้างกรดเพิ่มขึ้น หรือเกิดทั้งสองอย่างพร้อมกัน ส่วนอัตราส่วนของกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างจะสามารถบอกถึงเสถียรภาพในการทำงานของระบบว่ามีมากน้อยเพียงใดได้โดยถ้าอัตราส่วนมีค่าน้อยกว่า 0.4 แสดงว่าระบบมีเสถียรภาพสูง แต่ถ้าอัตราส่วนมีค่ามากกว่า 0.8 แสดงว่า ระบบมีเสถียรภาพต่ำ และมีแนวโน้มที่จะล้มเหลวได้ง่าย

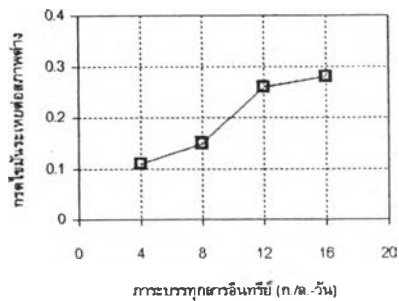
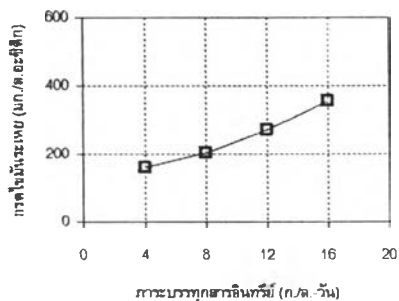
จากตารางที่ 4.16 และรูปที่ 4.16 ได้สรุปค่าเฉลี่ยของกรดไขมันระเหยและอัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างในน้ำออกของการทดลองน้ำเสียโปรตีน พบว่า ความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยจะเพิ่มขึ้นตามภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่เพิ่มขึ้น โดยจะมีค่าอยู่ในช่วง 120-469 มก./ล.อะซิติก เมื่อพิจารณาอัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างพบว่า อัตราส่วนจะเพิ่มขึ้นตามภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่เพิ่มขึ้น แต่เมื่อเปรียบเทียบระหว่างอัตราส่วนต่างที่เดิมต่อซีโอดีพบว่า อัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างจะเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนต่างต่อซีโอดีที่ลดลง เนื่องจากกรดไขมันระเหยที่เกิดไม่แตกต่างกันมากนัก แต่ปริมาณต่างที่เดิมให้แก่ระบบจะลดลงอย่างเห็นได้ชัด

ตารางที่ 4.16 สรุปค่าเฉลี่ยกรดไขมันระเหยและอัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่าง
การทดลองโดยใช้น้ำเสียประเภทโปรตีน

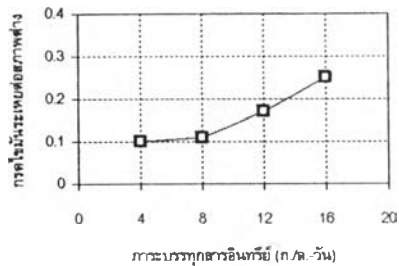
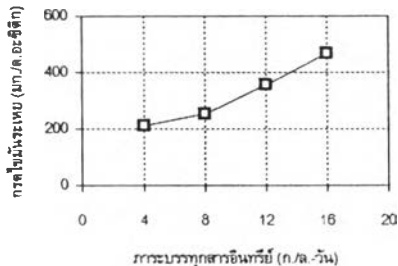
ภาวะบรรจุสารอินทรีย์ (ก./ล.-วัน)	ต่าง:ซีโอดี	กรดไขมันระเหย (มก./ล.อะซิติก)	กรดไขมันระเหย:สภาพต่าง
4	0.3:1	120	0.14
	0.6:1	161	0.11
	0.9:1	210	0.10
8	0.3:1	153	0.21
	0.6:1	204	0.15
	0.9:1	252	0.11
12	0.3:1	239	0.36
	0.6:1	271	0.26
	0.9:1	357	0.17
16	0.3:1	246	0.34
	0.6:1	356	0.28
	0.9:1	469	0.25



(ก) ต่างต่อซีโอดี 0.3:1



(ข) ต่างต่อซีโอดี 0.6:1



(ค) ต่างต่อซีโอดี 0.9:1

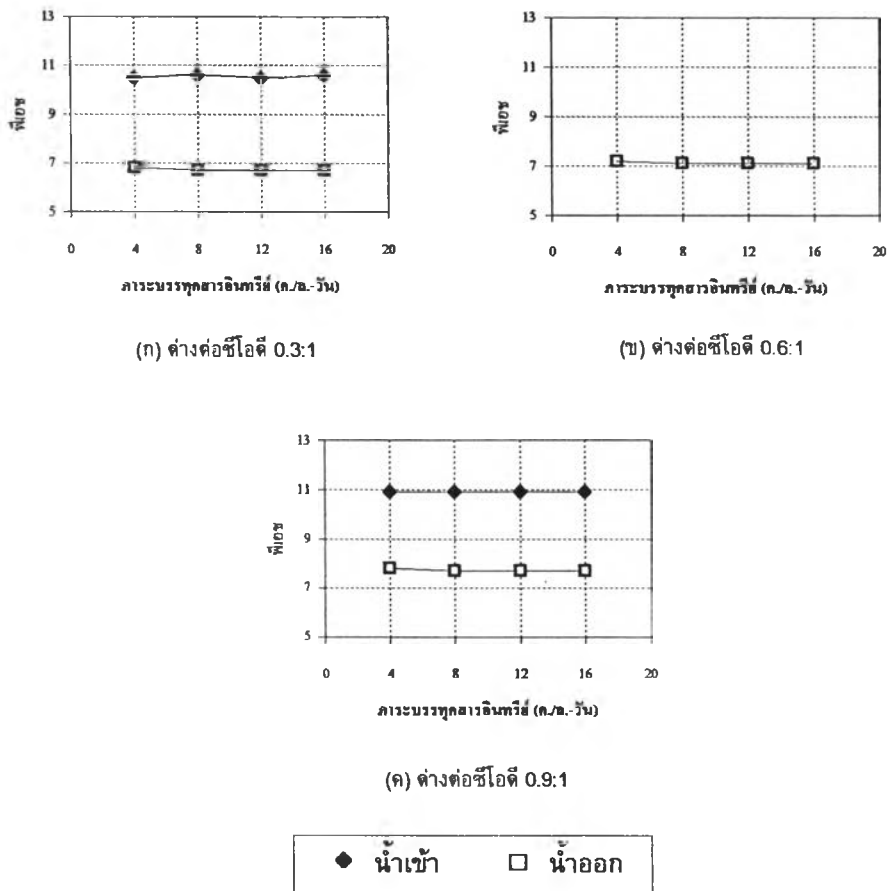
รูปที่ 4.16 กรดไขมันระเหยและอัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างของการทดลองโดยใช้น้ำเสียโปรตีน

3) พีเอชและสภาพต่าง

พีเอชมีความสำคัญต่อแบคทีเรียในระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ โดยเฉพาะแบคทีเรียสร้างมีเทนซึ่งสามารถเจริญเติบโตได้ดีที่สุดในช่วงพีเอช 6.6-7.4 เท่านั้น ถ้าไม่ควบคุมให้พีเอชเป็นกลางการเติบโตของแบคทีเรียสร้างมีเทนจะถูกยับยั้ง เป็นผลทำให้ระบบเสถียรได้ การรักษาระดับพีเอชให้เป็นกลางต้องอาศัยสภาพต่างเป็นตัวควบคุม หากระบบมีกำลังบัฟเฟอร์หรือมีสภาพต่างเพียงพอก็สามารถรักษาระดับพีเอชไม่ให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วเมื่อมีบางอย่างเกิดขึ้นกับระบบ จากตารางที่ 4.17 และรูปที่ 4.17 ได้สรุปค่าพีเอชเฉลี่ยของการทดลองโดยใช้น้ำเสียประเภทโปรตีน จะเห็นว่า ค่าพีเอชของน้ำเสียมีค่าค่อนข้างสูงอยู่ในช่วง 10.5-10.9 ซึ่งเป็นผลมาจากการเติมโซเดียมคาร์บอเนตเพื่อเพิ่มสภาพต่างให้แก่ระบบ ทำให้มีสภาพต่างต่างส่วนใหญ่อยู่ในรูปคาร์บอเนตอิออน แต่เมื่อผ่านระบบยูเอเอสบีแล้ว คาร์บอเนตอิออนถูกเปลี่ยนไปอยู่ในรูปไบคาร์บอเนตอิออน เป็นผลทำให้ค่าพีเอชในน้ำออกจะลดลงอยู่ในช่วง 6.7-7.8 โดยจะแปรตามอัตราส่วนต่างต่อซีโอดีที่เติม

ตารางที่ 4.17 พีเอชเฉลี่ยของการทดลองโดยใช้น้ำเสียโปรตีน

การบรรทุกสารอินทรีย์ (ก./ล.-วัน)	ต่างซีโอดี	พีเอช	
		น้ำเข้า	น้ำออก
4	0.3:1	10.5	6.8
	0.6:1	10.8	7.1
	0.9:1	10.9	7.8
8	0.3:1	10.6	6.7
	0.6:1	10.8	7.1
	0.9:1	10.9	7.8
12	0.3:1	10.5	6.7
	0.6:1	10.8	7.1
	0.9:1	10.9	7.7
16	0.3:1	10.6	6.7
	0.6:1	10.8	7.1
	0.9:1	10.9	7.7



รูปที่ 4.17 ค่าพีเอชที่ได้จากการทดลองโดยใช้น้ำเสียโปรตีน

เมื่อพิจารณาสภาพต่างในตารางที่ 4.18 และรูปที่ 4.18 พบว่า สภาพต่างในน้ำออก จะมากกว่าสภาพต่างในน้ำเข้า เป็นเพราะน้ำเสียประเภทโปรตีนเองสามารถสร้างสภาพต่างเองได้ เนื่องจากมีไนโตรเจนเป็นส่วนประกอบ เมื่อแบคทีเรียย่อยสลายโมเลกุลใหญ่ให้กลายเป็นโมเลกุลที่เล็กลงไนโตรเจนจะถูกเปลี่ยนเป็นแอมโมเนีย และแอมโมเนียนี้จะทำปฏิกิริยากับ คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำเกิดเป็นแอมโมเนียมไบคาร์บอเนต ดังสมการ



จากสมการ แอมโมเนีย 1 โมล (17 กรัม) จะดึงคาร์บอนไดออกไซด์ในระบบมา 1 โมล เพื่อทำปฏิกิริยาเพื่อให้เกิดแอมโมเนียมไบคาร์บอเนต 1 โมล (79 กรัม) (ไบคาร์บอเนตอิออน 61 กรัม) หรือคิดเป็นแอมโมเนีย 1 กรัม จะให้สภาพต่างไบคาร์บอเนตได้ประมาณ 3.6 กรัม

ตัวอย่างการคำนวณ

จากการทดลองโดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์จากนมถั่วเหลืองสำเร็จรูป ซึ่งมีซีไอดีประมาณ 2,500 มก./ล. สามารถวัดค่าที่เคเอ็นได้ประมาณ 57 มก./ล.ไนโตรเจน

สมมติแบคทีเรียใช้สารอินทรีย์และไนโตรเจนในการสร้างส่วนประกอบของเซลล์เท่ากับ 100:1.1

นั่นคือ ซีไอดีจะถูกใช้ไป 250 มก./ล. ในขณะที่ไนโตรเจนจะถูกใช้ = 27.5 มก./ล.

จะเหลือไนโตรเจนในระบบเท่ากับ $57 - 27.5 = 29.5$ มก./ล.

สมมติว่าไนโตรเจนที่เหลืออยู่ถูกเปลี่ยนให้กลายเป็นแอมโมเนียทั้งหมด

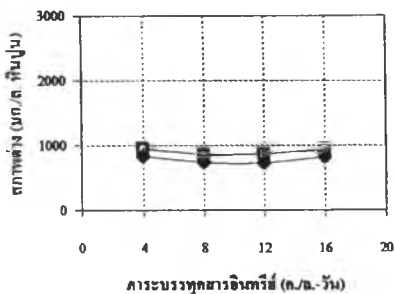
ดังนั้นแอมโมเนียที่เกิด (ไมล) จะเท่ากับปริมาณของไนโตรเจนหรือที่เคเอ็น (ไมล) ที่เหลืออยู่ในน้ำเสีย = $29.5/14 = 2.11$ มิลลิโมล/ล.

จะได้สภาพด่างไบคาร์บอเนตเพิ่มขึ้น = $2.11 \times 61 = 128$ มก./ล.

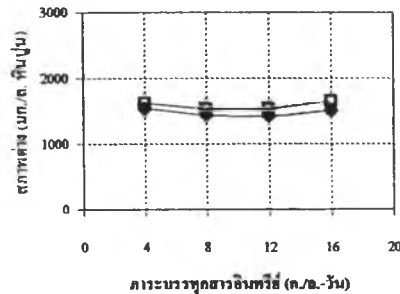
เมื่อเปรียบเทียบผลต่างระหว่างสภาพด่างในน้ำเข้าและสภาพด่างในน้ำออกที่ได้จากการทดลอง ในตารางที่ 4.18 กับสภาพด่างที่ได้จากการคำนวณ จะเห็นว่ามีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นสภาพด่างที่เพิ่มขึ้นก็คือสภาพด่างที่เกิดขึ้นในระบบเนื่องจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีไนโตรเจนเป็นส่วนประกอบนั่นเอง

ตารางที่ 4.18 สภาพด่างที่เกิดขึ้นของการทดลองโดยใช้น้ำเสียโปรตีน

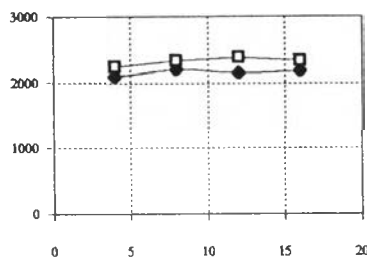
ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ (ก./ล.-วัน)	ด่าง:ซีไอดี	สภาพด่าง (มก./ล.หินปูน)		
		น้ำเข้า	น้ำออก	สภาพด่างที่เพิ่มขึ้น
4	0.3:1	830	947	117
	0.6:1	1,536	1,618	82
	0.9:1	2,100	2,250	150
8	0.3:1	738	852	114
	0.6:1	1,442	1,534	92
	0.9:1	2,208	2,336	128
12	0.3:1	731	867	136
	0.6:1	1,417	1,529	112
	0.9:1	2,158	2,386	218
16	0.3:1	819	936	117
	0.6:1	1,514	1,651	137
	0.9:1	2,189	2,332	143



(ก) ต่างต่อซีโอดี 0.3:1



(ข) ต่างต่อซีโอดี 0.6:1



(ค) ต่างต่อซีโอดี 0.9:1



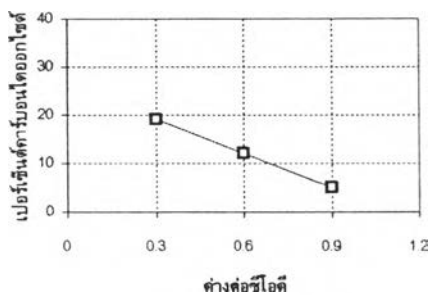
รูปที่ 4.18 สภาพต่างเฉลี่ยของการทดลองโดยใช้น้ำเสียโปรตีน

4) เปอร์เซ็นต์ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้น

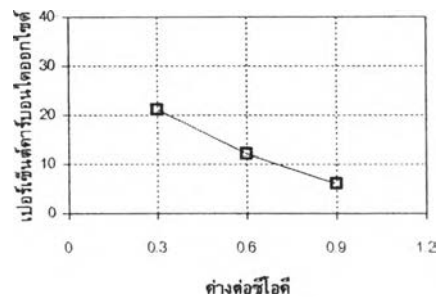
เมื่อพิจารณาเปอร์เซ็นต์ก๊าซซึ่งในงานวิจัยนี้สมมติให้มีก๊าซเกิดขึ้นสองชนิดคือมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งผลรวมของเปอร์เซ็นต์ก๊าซที่เกิดขึ้นเท่ากับร้อยละเปอร์เซ็นต์ ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.19 และรูปที่ 4.19 พบว่า เปอร์เซ็นต์ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะค่อนข้างคงที่ แม้ว่าจะมีการแปรค่าการบรรทุกสารอินทรีย์เป็น 4-16 ก./ล.-วัน แต่เมื่อพิจารณาที่อัตราส่วนต่างต่อซีโอดีที่แตกต่างกัน พบว่า ถ้าอัตราส่วนต่างต่อซีโอดีเพิ่มขึ้น เปอร์เซ็นต์ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจะลดลง เป็นผลมาจากการเติมต่างโซเดียมคาร์บอเนตเช่นเดียวกับที่เกิดขึ้นในน้ำเสียคาร์โบไฮเดรต

ตารางที่ 4.19 สรุปค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากการทดลอง
โดยใช้น้ำเสียโปรตีน

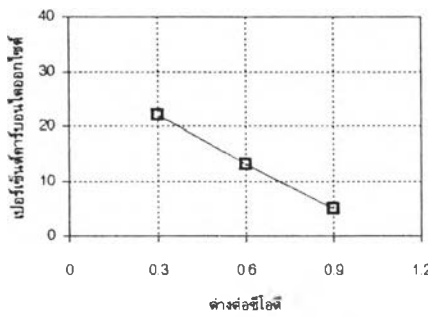
ภาวะบรรจุสารอินทรีย์ (ก./ล.-วัน)	เปอร์เซ็นต์ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่อัตราส่วนต่างต่อซีโอดีต่างๆ		
	0.3:1	0.6:1	0.9:1
4	19	12	5
8	21	12	6
12	22	13	5
16	23	13	4



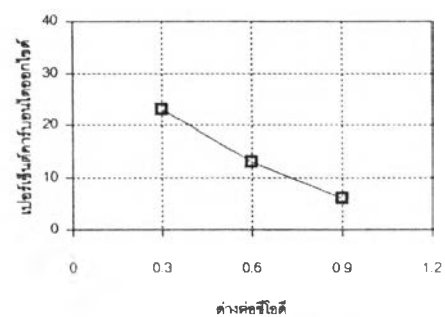
(ก) ภาวะบรรจุสารอินทรีย์ 4 ก./ล.-วัน



(ข) ภาวะบรรจุสารอินทรีย์ 8 ก./ล.-วัน



(ค) ภาวะบรรจุสารอินทรีย์ 12 ก./ล.-วัน



(ง) ภาวะบรรจุสารอินทรีย์ 16 ก./ล.-วัน

◆ น้ำเข้า □ น้ำออก

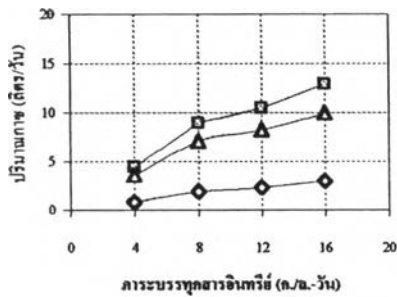
รูปที่ 4.19 เปอร์เซ็นต์คาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากการทดลอง
โดยใช้น้ำเสียโปรตีน

5) ก๊าซที่เกิดขึ้น

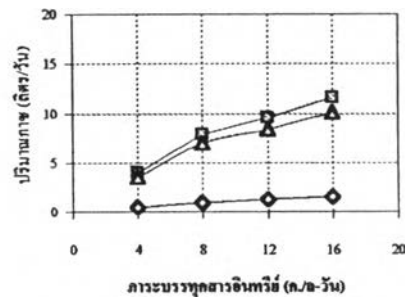
ก๊าซที่เกิดขึ้นเป็นผลผลิตที่เกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ ซึ่งในการทดลองนี้ สมมติว่ามีก๊าซเกิดขึ้นสองชนิดคือมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ ตารางที่ 4.20 และรูปที่ 4.20 จะสรุปค่าเฉลี่ยของก๊าซมีเทน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซทั้งหมดของการทดลองน้ำเสียประเภทโปรตีน พบว่า ปริมาณก๊าซจะเพิ่มขึ้นตามภาวะบรรทุกลสารอินทรีย์ที่สูงขึ้น โดยที่ภาวะบรรทุกลสารอินทรีย์หนึ่งๆ ปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดจะค่อนข้างคงที่ ในขณะที่ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะลดลงตามอัตราส่วนต่างต่อซีโอดีที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากคาร์บอนไดออกไซด์จะถูกใช้ในการทำปฏิกิริยากับโซเดียมคาร์บอเนตเพื่อให้เกิดสารประกอบไบคาร์บอเนต ทำให้ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในระบบลดลง ทำให้ปริมาณก๊าซทั้งหมดลดลงตามไปด้วย

ตารางที่ 4.20 สรุปค่าเฉลี่ยปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นจากการทดลองโดยใช้น้ำเสียโปรตีน

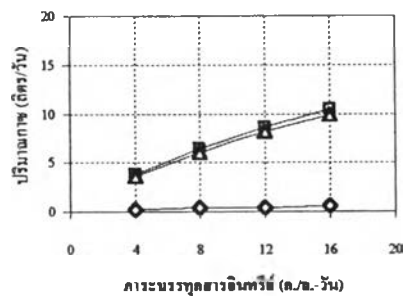
ภาวะบรรทุกลสารอินทรีย์ (ก./ล.-วัน)	ต่าง:ซีโอดี	ปริมาณก๊าซ (ลิตร/วัน)		
		มีเทน	คาร์บอนไดออกไซด์	ทั้งหมด
4	0.3:1	3.56	0.84	4.4
	0.6:1	3.52	0.48	4.0
	0.9:1	3.61	0.19	3.8
8	0.3:1	7.03	1.87	8.9
	0.6:1	6.95	0.95	7.9
	0.9:1	6.02	0.38	6.4
12	0.3:1	8.19	2.31	10.5
	0.6:1	8.35	1.25	9.6
	0.9:1	8.17	0.43	8.6
16	0.3:1	10.20	2.71	12.9
	0.6:1	10.09	1.51	11.6
	0.9:1	10.08	0.42	10.5



(ก) ต่างต่อซีไอดี 0.3:1



(ข) ต่างต่อซีไอดี 0.6:1



(ค) ต่างต่อซีไอดี 0.9:1

◇ คาร์บอนไดออกไซด์ △ มีเทน ■ ก๊าซทั้งหมด

รูปที่ 4.20 ปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นจากการทดลองโดยใช้น้ำเสียโปรตีน

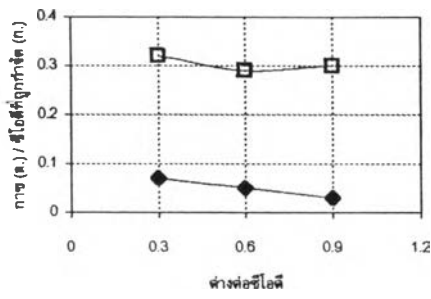
6) อัตราการผลิตก๊าซ

อัตราการผลิตมีเทนเป็นเครื่องวัดโดยตรงของแอกติวิตี้ของแบคทีเรียสร้างมีเทน ถือเป็นเครื่องวินิจฉัยสมรรถนะของระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศที่สำคัญมาก โดยปกติระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศจะมีอัตราการผลิตมีเทนประมาณ 0.35 ลิตร/กรัมของซีไอดีที่ถูกกำจัด อัตราการผลิตมีเทนที่ลดลงถือเป็นสัญญาณบอกเหตุถึงความผิดปกติที่เกิดขึ้นกับแบคทีเรียสร้างมีเทน ซึ่งสามารถนำไปสู่ความล้มเหลวของระบบได้ จากตารางที่ 4.21 และรูปที่ 4.21 ได้สรุปอัตราการผลิตมีเทนของระบบบำบัดโดยใช้น้ำเสียประเภทโปรตีน พบว่า อัตราการสร้างมีเทนจะค่อนข้างคงที่โดยจะมีค่าอยู่ในช่วง 0.25-0.31 ล./ก. ซีไอดีที่ถูกกำจัด แสดงว่าระบบยังสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

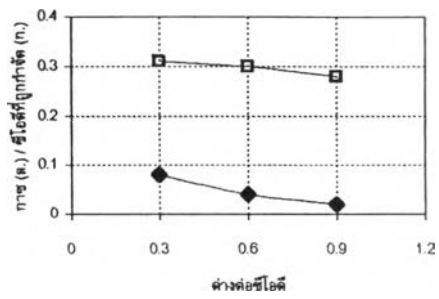
เมื่อพิจารณาอัตราการผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ พบว่า อัตราการผลิตก๊าซมีแนวโน้มจะลดลงตามอัตราส่วนต่างต่อซีโอดีที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการเติมโซเดียมคาร์บอเนตจะมีการดึงคาร์บอนไดออกไซด์ไปใช้ในการทำปฏิกิริยา ถ้ายิ่งเติมต่างมากคาร์บอนไดออกไซด์จะถูกใช้มาก ทำให้อัตราการผลิตน้อยลงตามลำดับ

ตารางที่ 4.21 สรุปค่าเฉลี่ยอัตราการผลิตก๊าซจากการทดลอง
โดยใช้น้ำเสียคาร์โบไฮเดรต

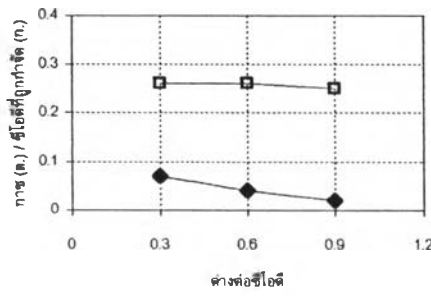
ภาวะบรรจุสารอินทรีย์	ต่าง:ซีโอดี	อัตราการผลิตก๊าซต่อซีโอดีที่ถูกกำจัด (ล./ก.)	
		มีเทน	คาร์บอนไดออกไซด์
4	0.3:1	0.32	0.07
	0.9:1	0.29	0.05
	1.5:1	0.30	0.03
8	0.3:1	0.31	0.08
	0.9:1	0.30	0.04
	1.5:1	0.28	0.02
12	0.3:1	0.26	0.07
	0.9:1	0.26	0.04
	1.5:1	0.25	0.02
16	0.3:1	0.26	0.07
	0.9:1	0.25	0.03
	1.5:1	0.26	0.02



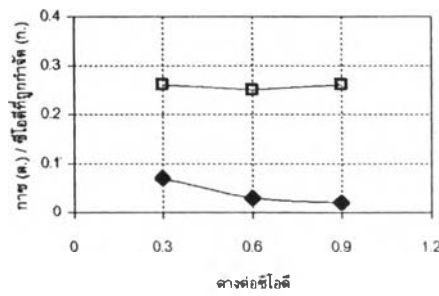
(ก) ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 4 ก./ล.-วัน



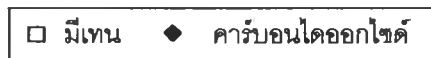
(ข) ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 8 ก./ล.-วัน



(ค) ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 12 ก./ล.-วัน



(ง) ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 16 ก./ล.-วัน



รูปที่ 4.21 อัตราการผลิตก๊าซต่อซีโอดีที่ถูกกำจัด ของน้ำเสียโปรตีน

4.4 เปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างน้ำเสียคาร์โบไฮเดรตและน้ำเสียโปรตีน

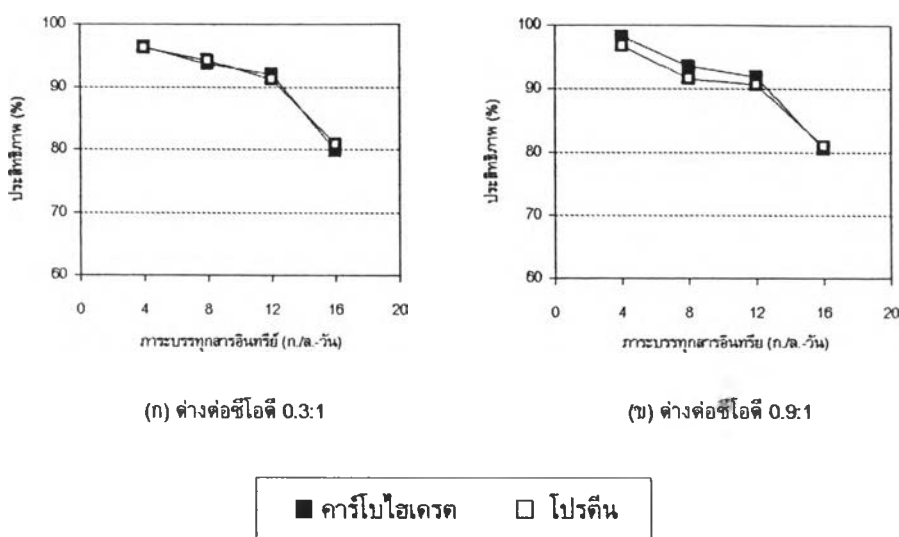
จากการทดลองโดยใช้น้ำเสียสองประเภท คือ น้ำเสียประเภทคาร์โบไฮเดรตและน้ำเสียประเภทโปรตีน โดยพิจารณาที่อัตราส่วนต่างต่อซีโอดีที่ใช้เท่ากัน คือที่อัตราส่วน 0.3:1 และ 0.9:1 ได้ผลการทดลองดังนี้

1) ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี

ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีเป็นตัวแปรที่สามารถบอกถึงความสามารถในการทำงานของระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศได้ จากตารางที่ 4.22 และรูปที่ 4.22 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีของน้ำเสียประเภทคาร์โบไฮเดรตและน้ำเสียประเภทโปรตีน พบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีไม่แตกต่างกันมากนัก แสดงว่า ระบบฯ สามารถบำบัดน้ำเสียทั้ง 2 ประเภท ที่ภาระบรทุกสารอินทรีย์ 4-16 ก./ล.-วัน ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ตารางที่ 4.22 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีของน้ำเสีย 2 ประเภท

ภาระบรทุกสารอินทรีย์ (ก./ล.-วัน)	ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี (%)			
	ที่ต่างต่อซีโอดี 0.3:1		ที่ต่างต่อซีโอดี 0.9:1	
	คาร์โบไฮเดรต	โปรตีน	คาร์โบไฮเดรต	โปรตีน
4	96.4	96.2	98.2	96.8
8	93.6	94.2	93.6	91.6
12	94.9	91.2	94.9	90.1
16	79.8	80.8	80.5	80.9



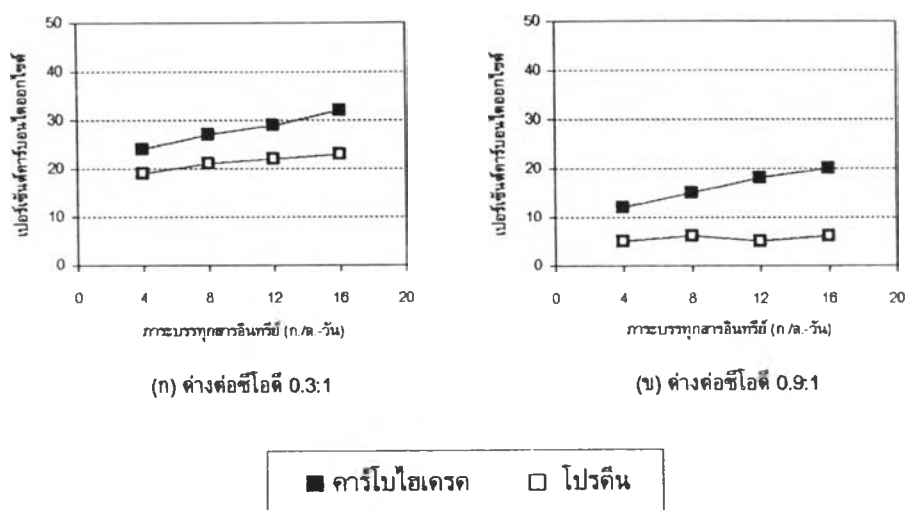
รูปที่ 4.22 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีระหว่างน้ำเสีย 2 ประเภท

2) เพอร์เซ็นต์คาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้น

ตารางที่ 4.23 และรูปที่ 4.23 เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์คาร์บอนไดออกไซด์ที่ได้จากน้ำเสียคาร์โบไฮเดรตและน้ำเสียโปรตีน พบว่า ที่อัตราส่วนต่างต่อซีโอดีที่ใช้เท่ากัน น้ำเสียประเภทโปรตีนจะให้เปอร์เซ็นต์คาร์บอนไดออกไซด์น้อยกว่าน้ำเสียประเภทคาร์โบไฮเดรต เป็นผลมาจากส่วนประกอบในน้ำเสียที่แตกต่างกัน ทำให้เมื่อย่อยสลายแล้วก็จะได้ผลผลิตที่เกิดแตกต่างกัน นอกจากนี้ ในการสร้างสภาพต่างของน้ำเสียประเภทโปรตีน แอมโมเนียจะดึงคาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายอยู่ในน้ำเพื่อใช้ในการทำปฏิกิริยาให้เกิดสารประกอบแอมโมเนียมไบคาร์บอเนต เป็นผลให้คาร์บอนไดออกไซด์ในระบบยิ่งลดลงมากขึ้น

ตารางที่ 4.23 เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์คาร์บอนไดออกไซด์ของน้ำเสีย 2 ประเภท

ภาวะบรรจุสารอินทรีย์ (ก./ล.-วัน)	เปอร์เซ็นต์ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์			
	ที่ต่างต่อซีโอดี 0.3:1		ที่ต่างต่อซีโอดี 0.9:1	
	คาร์โบไฮเดรต	โปรตีน	คาร์โบไฮเดรต	โปรตีน
4	24	19	12	5
8	27	21	15	6
12	29	22	18	5
16	34	23	19	6



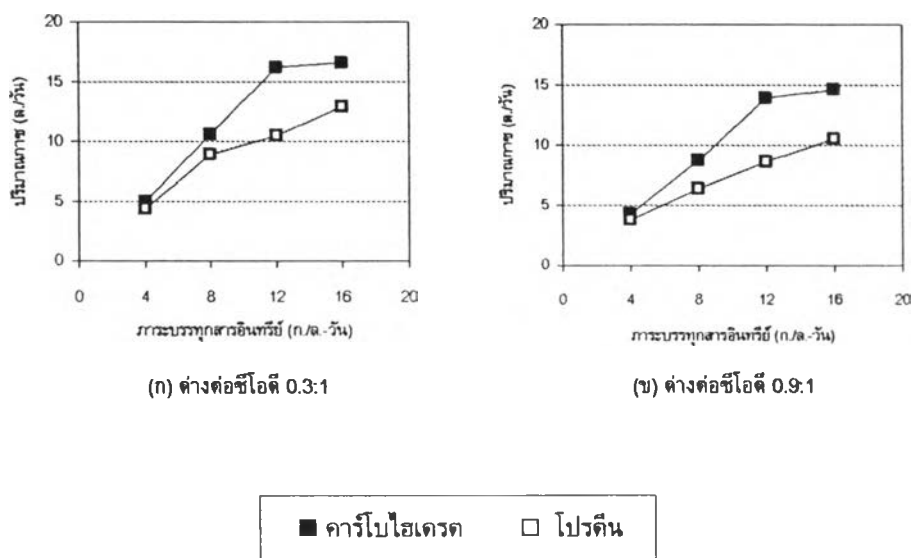
รูปที่ 4.23 เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์คาร์บอนไดออกไซด์ของน้ำเสีย 2 ประเภท

3) ปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้น

ก๊าซชีวภาพเป็นผลผลิตสุดท้ายที่เกิดจากการย่อยสลายของกระบวนการไร้ออกซิเจนจากตารางที่ 4.24 และรูปที่ 4.24 เปรียบเทียบปริมาณก๊าซที่ได้จากน้ำเสียทั้ง 2 ประเภท พบว่า ที่ภาวะบรทุกสารอินทรีย์เดียวกันและอัตราส่วนต่างต่อซีไอดีที่ใช้เท่ากัน น้ำเสียประเภทคาร์บอนไคลเดรตจะให้ปริมาณก๊าซมากกว่าน้ำเสียประเภทโพรตีน ทั้งนี้เป็นผลมาจากส่วนประกอบที่แตกต่างกันของน้ำเสียทั้งสองประเภท เป็นผลให้ปริมาณของก๊าซที่เกิดขึ้นแตกต่างกันไปด้วย

ตารางที่ 4.24 เปรียบเทียบปริมาณก๊าซของน้ำเสีย 2 ประเภท

ภาวะบรทุกสารอินทรีย์ (ก./ล.-วัน)	ปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้น (ลิตร/วัน)			
	ที่ต่างต่อซีไอดี 0.3:1		ที่ต่างต่อซีไอดี 0.9:1	
	คาร์บอนไคลเดรต	โพรตีน	คาร์บอนไคลเดรต	โพรตีน
4	5.0	4.4	4.3	3.8
8	10.6	8.9	8.7	6.4
12	16.2	10.5	14.6	8.6
16	16.6	12.9	13.9	10.5



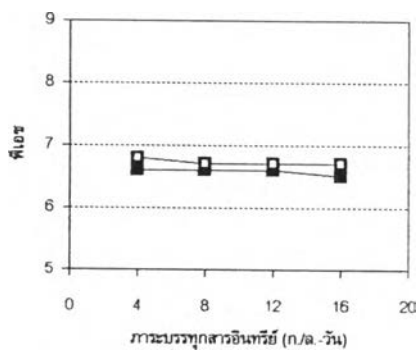
รูปที่ 4.24 เปรียบเทียบปริมาณกาซระหว่างน้ำเสีย 2 ประเภท

4) พีเอช

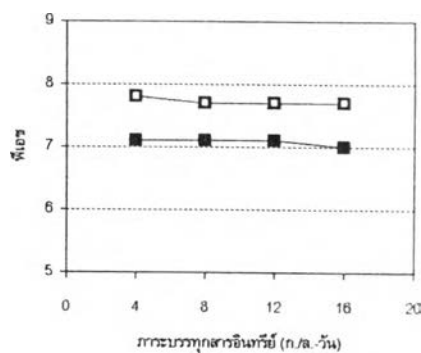
จากตารางที่ 4.25 และรูปที่ 4.25 แสดงการเปรียบเทียบพีเอชของน้ำเสียประเภทคาร์โบไฮเดรตและน้ำเสียประเภทโปรตีนตามลำดับ พบว่า ที่อัตราส่วนต่างต่อซีไอดีที่ใช้เท่ากัน ค่าพีเอชในน้ำออกของน้ำเสียประเภทโปรตีนจะมีค่าสูงกว่าน้ำเสียประเภทคาร์โบไฮเดรตในทุกการทดลอง ทั้งนี้เนื่องจากเปอร์เซ็นต์คาร์บอนไดออกไซด์ที่วัดได้ระหว่างน้ำเสียทั้ง 2 ประเภท ในหัวข้อ 2) พบว่า เปอร์เซ็นต์คาร์บอนไดออกไซด์ของน้ำเสียโปรตีนจะน้อยกว่าน้ำเสียคาร์โบไฮเดรต ทำให้สภาพต่างที่ใช้ในการรักษาสมดุลของคาร์บอนไดออกไซด์น้อยกว่า เมื่อเติมต่างในปริมาณที่เท่ากัน จึงทำให้มีปริมาณต่างที่เหลืออยู่ในระบบฯ ของน้ำเสียโปรตีนสูงกว่าน้ำเสียคาร์โบไฮเดรต เป็นผลให้น้ำเสียโปรตีนมีพีเอชสูงกว่าน้ำเสียคาร์โบไฮเดรต

ตารางที่ 4.25 เปรียบเทียบค่าพีเอชน้ำออกของน้ำเสีย 2 ประเภท

ภาวะบรรจุทุก สารอินทรีย์ (ก./ล.-วัน)	พีเอชที่ต่างต่อซีโอดี 0.3:1				พีเอชที่ต่างต่อซีโอดี 0.9:1			
	น้ำเข้า		น้ำออก		น้ำเข้า		น้ำออก	
	คาร์โบ ไฮเดรต	โปรตีน	คาร์โบ ไฮเดรต	โปรตีน	คาร์โบ ไฮเดรต	โปรตีน	คาร์โบ ไฮเดรต	โปรตีน
4	10.1	10.5	6.6	6.8	10.6	10.9	7.1	7.8
8	10.1	10.6	6.6	6.7	10.6	10.9	7.1	7.8
12	10.2	10.5	6.6	6.7	10.6	10.9	7.1	7.7
16	10.2	10.6	6.5	6.7	10.7	10.9	7.1	7.7



(ก) ต่างต่อซีโอดี 0.3:1



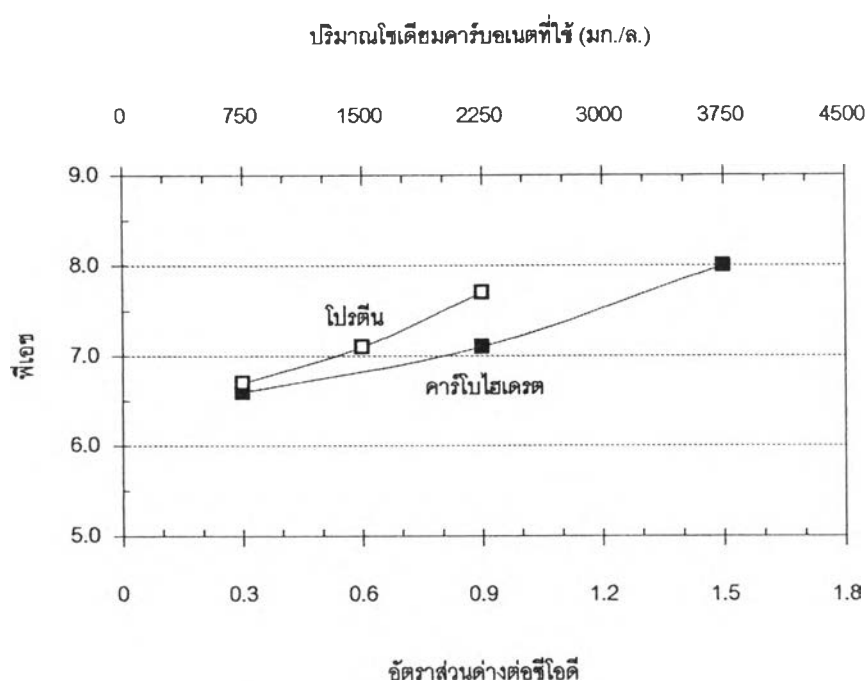
(ข) ต่างต่อซีโอดี 0.9:1



รูปที่ 4.25 เปรียบเทียบพีเอชระหว่างน้ำเสีย 2 ประเภท

5) การเปรียบเทียบความต้องการต่างของน้ำเสียคาร์โบไฮเดรตและน้ำเสียโปรตีน

จากรูปที่ 4.26 ซึ่งแสดงผลของพีเอชที่อัตราส่วนต่างต่อซีโอดีต่างๆ โดยเปรียบเทียบระหว่างน้ำเสียคาร์โบไฮเดรตและน้ำเสียโปรตีน พบว่า ที่พีเอชเท่ากัน น้ำเสียคาร์โบไฮเดรตจะใช้ อัตราส่วนต่างต่อซีโอดีมากกว่าน้ำเสียโปรตีน และเมื่อพีเอชของระบบสูงขึ้นจำนวนเท่าของอัตราส่วนต่างซีโอดีคาร์บอนต่อซีโอดีหรือปริมาณซีโอดีคาร์บอนต่อซีโอดีที่ใช้จะแตกต่างกันมากขึ้น จากรูปสามารถเปรียบเทียบความต้องการต่างซีโอดีคาร์บอนที่แตกต่างกันของน้ำเสียคาร์โบไฮเดรตและน้ำเสียโปรตีนที่พีเอชต่างๆ ได้ดังตารางที่ 4.26



รูปที่ 4.26 ค่าพีเอชในน้ำออกของน้ำเสียคาร์โบไฮเดรตและน้ำเสียโปรตีน

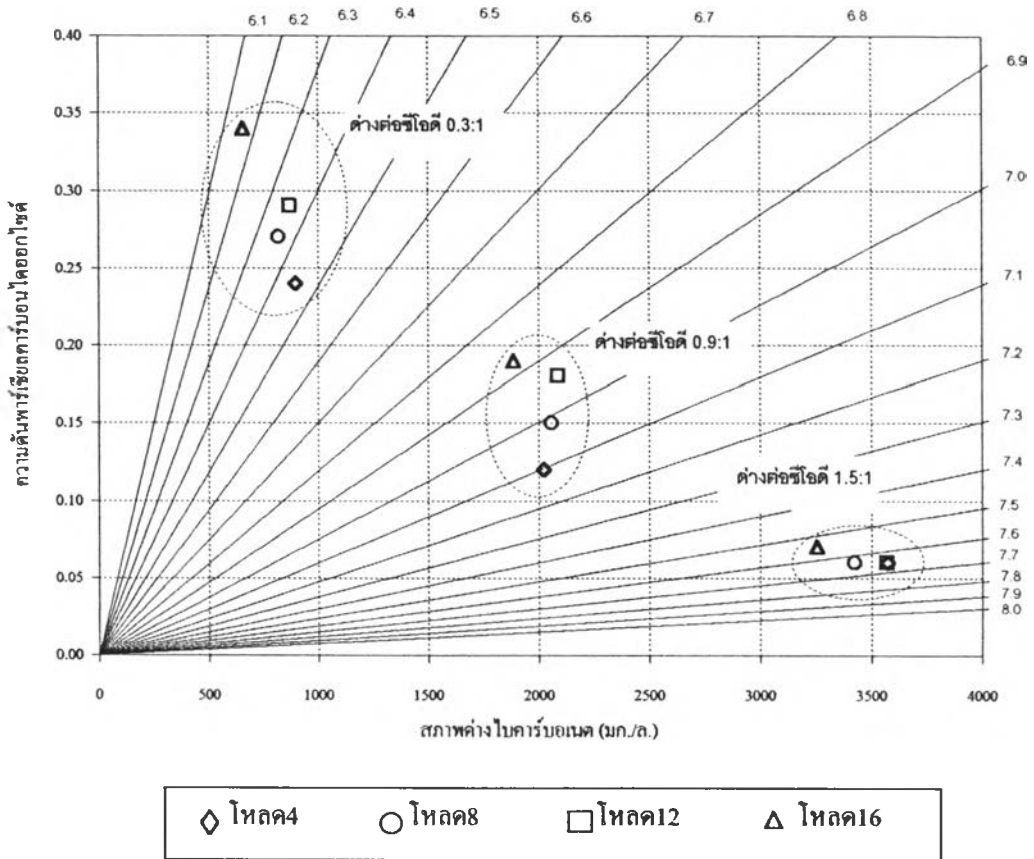
ตารางที่ 4.26 เปรียบเทียบความต้องการต่างซีโอดีคาร์บอนระหว่างน้ำเสียคาร์โบไฮเดรตและน้ำเสียโปรตีน

พีเอช	ความต้องการต่างซีโอดีคาร์บอนโดยประมาณ (มก./ล.)	
	น้ำเสียคาร์โบไฮเดรต	น้ำเสียโปรตีน
6.5	500	500
7.0	2,000	1,250
7.5	3,000	2,000

4.5 การเปรียบเทียบค่าพีเอชที่ได้จากการทดลองเทียบกับค่าพีเอชที่ได้จากความสัมพันธ์ทางทฤษฎีระหว่างความดันพาร์เซี่ยลของคาร์บอนไดออกไซด์ พีเอช และสภาพต่างไปคาร์บอนเนต

จากกราฟความสัมพันธ์ทางทฤษฎีระหว่างความดันพาร์เซี่ยลของคาร์บอนไดออกไซด์ พีเอช และสภาพต่างไปคาร์บอนเนต ดังรูปที่ 2.26 เมื่อนำค่าเปอร์เซ็นต์หรือความดันพาร์เซี่ยลของคาร์บอนไดออกไซด์และค่าสภาพต่างไปคาร์บอนเนตที่ได้จากการทดลองมาพล็อตลงบนกราฟ จะได้ผลลัพธ์คือค่าพีเอช ดังรูปที่ 4.27 และ 4.28 ซึ่งเป็นกราฟของน้ำเสียคาร์โบไฮเดรตและน้ำเสียโปรตีน ตามลำดับ เมื่อนำค่าพีเอชที่ได้จากการทดลองและค่าพีเอชที่อ่านได้จากกราฟรูปที่ 4.27 และ 4.28 มาเปรียบเทียบกันจะได้ดังตารางที่ 4.27 และ 4.28 ตามลำดับ

จากตารางที่ 4.27 เมื่อพิจารณาค่าพีเอชที่ได้จากกราฟจะเห็นว่าเมื่อภาวะบรรทุกลสารอินทรีย์ที่สูงขึ้น ทำให้เปอร์เซ็นต์คาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้น พร้อมกับค่าสภาพต่างไปคาร์บอนเนตที่ลดลง เป็นผลให้ค่าพีเอชที่ลดลง แต่ก็ไม่ได้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และเมื่อเปรียบเทียบค่าพีเอชที่ได้จากการทดลองกับค่าพีเอชที่ได้จากกราฟซึ่งเป็นของน้ำเสียคาร์โบไฮเดรต พบว่า ค่าพีเอชที่ได้จากการทดลองจะค่อนข้างคงที่และมีค่ามากกว่าค่าพีเอชที่ได้จากกราฟ เป็นผลมาจากการวัดพีเอชไม่สามารถวัดจากในระบบจริงได้ แต่เก็บน้ำตัวอย่างออกมาจากระบบและทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่องวัดพีเอช ดังนั้นในระหว่างเก็บและนำน้ำตัวอย่างมาวิเคราะห์จึงอาจจะมีคาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายอยู่ในน้ำบางส่วนหนีออกไปสู่อากาศได้ (เนื่องจากระบบยูเอเอสบีที่ทำการศึกษาเป็นระบบปิด ก๊าซที่เกิดขึ้นจะถูกกักอยู่ภายในถังปฏิกรณ์ไม่สามารถหนีออกสู่อากาศได้ เป็นผลให้ความดันพาร์เซี่ยลของก๊าซในถังปฏิกรณ์จะสูงกว่าในบรรยากาศ และคาร์บอนไดออกไซด์ก็ละลายอยู่ในน้ำได้มาก เมื่อเก็บตัวอย่างน้ำออกมาคาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายในน้ำก็จะหนีสู่อากาศซึ่งมีความดันพาร์เซี่ยลของก๊าซต่ำกว่า) เป็นผลให้พีเอชสูงขึ้น เมื่อเปรียบเทียบผลต่างของค่าพีเอชที่ได้จากการทดลองและพีเอชที่ได้จากกราฟ จะมีผลต่างกันอยู่ในช่วง 0-4.4 % ซึ่งถือเป็นค่าที่น้อยมาก



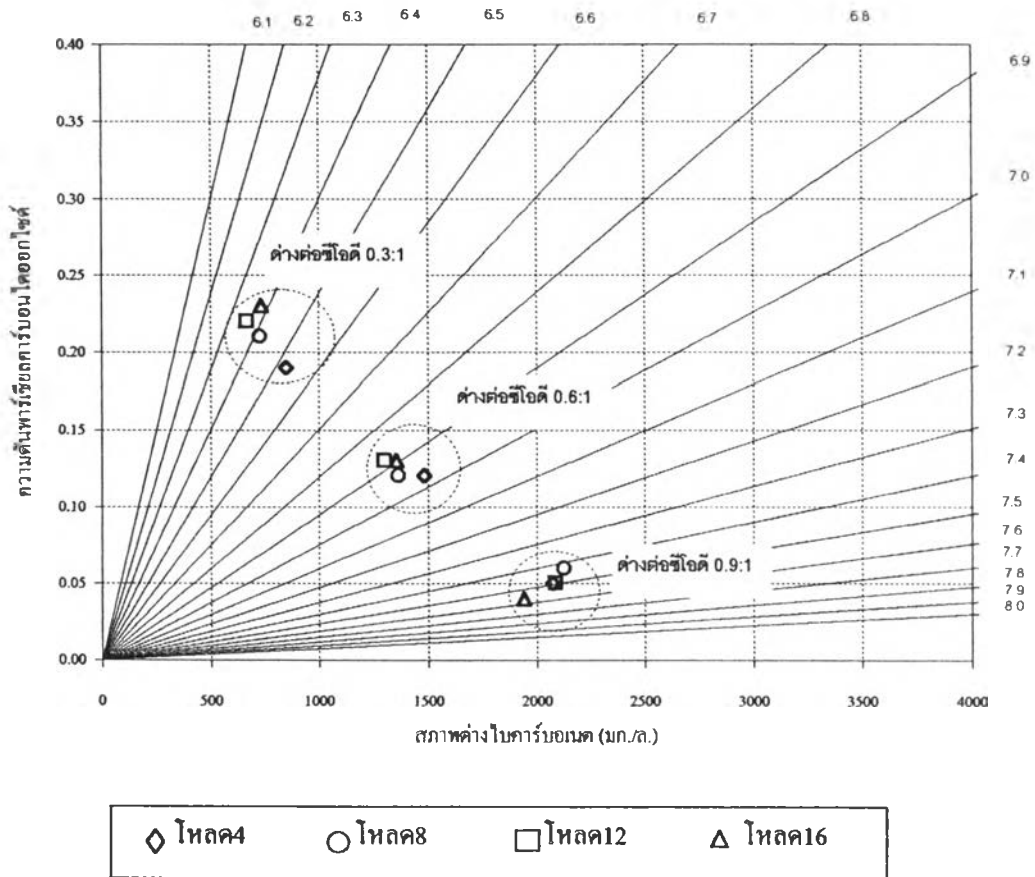
รูปที่ 4.27 การหาค่าพีเอชจากค่าความดันพาร์เชียลของคาร์บอนไดออกไซด์ และสภาพต่างไบคาร์บอเนตจากการทดลองนำบัคน้ำเสียคาร์โบไฮเดรต

ตารางที่ 4.27 การเปรียบเทียบค่าพีเอชที่ได้จากการทดลองกับค่าพีเอชที่ควรจะเป็นจากโมเดล ของน้ำเสียคาร์โบไฮเดรต

ต่าง:ซีโอดี	ภาวะบรรจุทุกสารอินทรีย์ (ก./ล.-วัน)	ค่าที่ได้จากผลการทดลอง			พีเอชที่ได้จากกราฟ ⁽²⁾	ผลต่างของพีเอช (%)
		เปอร์เซ็นต์คาร์บอนไดออกไซด์	สภาพต่างไบคาร์บอเนต ⁽¹⁾ (มก./ล.หินปูน)	พีเอชที่วัดได้		
0.3:1	4	24	900	6.6	6.45	2.3
	8	27	820	6.6	6.36	3.6
	12	29	871	6.6	6.35	3.8
	16	34	655	6.5	6.16	5.2
0.9:1	4	12	2025	7.1	7.10	0
	8	15	2060	7.1	7.01	1.3
	12	18	2088	7.1	6.94	2.2
	16	19	1888	7.0	6.87	1.8
1.5:1	4	6	3575	8.0	7.65	4.4
	8	6	3425	8.0	7.63	4.4
	12	6	3572	8.0	7.65	4.4
	16	7	3255	8.0	7.61	4.4

⁽¹⁾ สภาพต่างไบคาร์บอเนต = สภาพต่างรวม - สภาพต่างเนื่องจากกรดไขมันระเหย

⁽²⁾ ค่าพีเอชที่ได้จากกราฟได้จากพล็อตความดันพาร์เซียลของคาร์บอนไดออกไซด์และสภาพต่างไบคาร์บอเนตที่ได้จากการทดลองลงในกราฟความสัมพันธ์ทางทฤษฎีระหว่างความดันพาร์เซียลของคาร์บอนไดออกไซด์ พีเอช และสภาพต่างไบคาร์บอเนต ดังรูปที่ 4.27



รูปที่ 4.28 การหาค่าพีเอชจากค่าความดันพาร์เซิลของคาร์บอนไดออกไซด์ และสภาพต่างใบคาร์บอนเนตจากการทดลองบำบัดน้ำเสียโปรตีน

สำหรับน้ำเสียโปรตีน พบว่า ที่อัตราส่วนต่างต่อซีโอดีเท่ากัน ภาวะบรรจุสารอินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นไม่ได้ทำให้เปอร์เซ็นต์คาร์บอนไดออกไซด์แตกต่างกัน และค่าพีเอชที่ได้จากทางทฤษฎีก็ไม่ได้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญเช่นเดียวกับน้ำเสียคาร์โบไฮเดรต ดังตารางที่ 4.28

ตารางที่ 4.28 การเปรียบเทียบค่าพีเอชที่ได้จากการทดลองกับค่าพีเอชที่ควรจะเป็นจากโมเดล ของน้ำเสียโปรตีน

ต่าง:ซีโอดี	ภาวะบรรจุสารอินทรีย์ (ก./ล.-วัน)	ค่าที่ได้จากผลการทดลอง			พีเอชที่ได้จากกราฟ ⁽²⁾	ผลต่างของพีเอช (%)
		เปอร์เซ็นต์คาร์บอนไดออกไซด์	สภาพต่างไบคาร์บอเนต ⁽¹⁾ (มก./ล.หินปูน)	พีเอชที่วัดได้		
0.3:1	4	19	847	6.8	6.52	4.1
	8	21	725	6.7	6.41	4.3
	12	22	668	6.7	6.36	5.1
	16	23	731	6.7	6.38	4.8
0.6:1	4	12	1484	7.2	6.97	3.2
	8	12	1364	7.1	6.93	2.4
	12	13	1303	7.1	6.88	3.1
	16	13	1354	7.1	6.89	3.1
0.9:1	4	5	2075	7.8	7.49	4.0
	8	6	2126	7.7	7.42	3.6
	12	5	2088	7.7	7.52	2.3
	16	6	1941	7.7	7.38	4.2

⁽¹⁾ สภาพต่างไบคาร์บอเนต = สภาพต่างรวม - สภาพต่างเนื่องจากกรดไขมันระเหย

⁽²⁾ ค่าพีเอชที่ได้จากกราฟได้จากพล็อตความดันพาร์เซียลของคาร์บอนไดออกไซด์และสภาพต่างไบคาร์บอเนตที่ได้จากการทดลองลงในกราฟความสัมพันธ์ทางทฤษฎีระหว่างความดันพาร์เซียลของคาร์บอนไดออกไซด์ พีเอช และสภาพต่างไบคาร์บอเนต ดังรูปที่ 4.28

4.6 โมเดลที่ใช้คำนวณหาปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์

จากความรู้พื้นฐานที่ว่าคาร์บอนไดออกไซด์ในระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศเป็นผลผลิตที่ได้จากการย่อยสลายสารอินทรีย์ เมื่อมีปริมาณสารอินทรีย์ที่ถูกกำจัดมาก คาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นก็จะมากตาม ดังนั้นคาร์บอนไดออกไซด์จะมากหรือน้อยจึงขึ้นอยู่กับปริมาณซีไอดีที่ถูกกำจัดนั่นเอง และจากแนวคิดของ ดร.มันสิน (2540) ผู้วิจัยได้พัฒนาโมเดลเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณซีไอดีที่ถูกกำจัดและเปอร์เซ็นต์คาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นตามประเภทของน้ำเสีย โดยมีข้อกำหนดดังนี้

ข้อกำหนด

- กำหนดให้น้ำเสียที่ถูกย่อยสลายทั้งหมดมีปริมาตร 1 ลิตร
- ก๊าซที่เกิดขึ้นมี 2 ชนิด คือ มีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์
- อุณหภูมิของระบบฯ มีค่าเท่ากับ 30 องศาเซลเซียส
- เนื่องจากการคำนวณที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายเทสารระหว่างวัฏภาคน้ำและวัฏภาคก๊าซ ดังนั้น ในการพิจารณาหน่วยของปริมาณสารที่เปลี่ยนแปลงรูปไปอยู่ในแต่ละวัฏภาคจะพิจารณาในหน่วยมวลของสารนั้นๆ ซึ่งจะทำให้ง่ายต่อการคำนวณ
- ให้ M_T = จำนวนโมลของมีเทนทั้งหมดที่เกิดขึ้นภายในระบบ
 C_T = จำนวนโมลของคาร์บอนไดออกไซด์ทั้งหมดที่เกิดขึ้นภายในระบบ
 M_1 = จำนวนโมลของมีเทนที่อยู่ในวัฏภาคน้ำ
 C_1 = จำนวนโมลของคาร์บอนไดออกไซด์ที่อยู่ในวัฏภาคน้ำ
 M_g = จำนวนโมลของมีเทนที่อยู่ในวัฏภาคก๊าซ
 C_g = จำนวนโมลของคาร์บอนไดออกไซด์ที่อยู่ในวัฏภาคก๊าซ
- ค่าคงที่ของเฮนรี $K_{CH_4} = 1.24$ มิลลิโมล/ลิตร-บรรยากาศ
 $K_{CO_2} = 29.9$ มิลลิโมล/ลิตร-บรรยากาศ

ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ของระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศจะได้ก๊าซเกิดขึ้น 2 ชนิดคือมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซที่เกิดขึ้นนี้ส่วนหนึ่งจะละลายอยู่ในน้ำและอีกส่วนหนึ่งจะหนีออกไปอยู่ในบรรยากาศเหนือน้ำ ดังนั้นผลรวมของก๊าซที่เกิดขึ้นทั้งหมดในรูปมวลจะเท่ากับมวลของก๊าซที่ละลายอยู่ในน้ำรวมกับมวลของก๊าซที่อยู่เหนือน้ำ จากความสัมพันธ์นี้สามารถเขียนออกมาเป็นสมการได้ดังนี้

ก๊าซมีเทน

$$M_T = M_l + M_g$$

$$M_l = M_T - M_g \quad (4.1)$$

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

$$C_T = C_l + C_g$$

$$C_l = C_T - C_g \quad (4.2)$$

และจากความสัมพันธ์ของก๊าซในบรรยากาศเมื่อคิดในรูปของความดันพาร์เชียลจะได้ว่า

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

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

จากกฎของเฮนรี ที่กล่าวว่า “ความเข้มข้นของก๊าซที่ละลายน้ำจะเท่ากับค่าคงที่ของการละลายคูณด้วยความดันพาร์เชียลของก๊าซนั้น” จะได้ว่า

$$\text{ความเข้มข้นของมีเทนละลายน้ำ, } M_l = K_{H,CH_4} \times P_{CH_4} \quad (4.5)$$

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

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

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

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

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

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

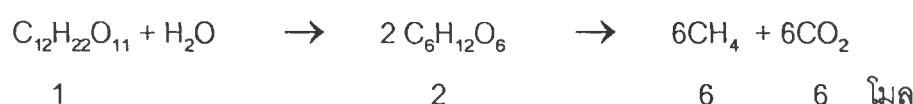
$$C_T - C_g = K_{H,CO_2} \times C_g / (M_g + C_g)$$

$$M_g = K_{H,CO_2} \times C_g / (C_T - C_g) - C_g \quad (4.8)$$

จากข้อกำหนดและสมการที่ 4.1-4.8 สามารถนำไปใช้หาโมเดลที่ใช้ในการคำนวณปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นได้ดังนี้

4.6.1 โมเดลที่ใช้คำนวณปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์จากการย่อยสลายน้ำเสียประเภทคาร์โบไฮเดรต

น้ำเสียที่จัดเป็นประเภทคาร์โบไฮเดรต ได้แก่ น้ำตาลโมเลกุลต่ำหรือกลูโคส คาร์โบไฮเดรตที่มีโมเลกุลที่ซับซ้อนหรือโพลีแซคคาไรด์ เช่น แป้ง เซลลูโลส เมื่อถูกไฮโดรไลซ์แล้วจะเกิดเป็นน้ำตาลโมเลกุลต่ำหรือกลูโคส หลังจากนั้นกลูโคสจะถูกย่อยสลายโดยแบคทีเรียสร้างกรดเกิดผลผลิตสุดท้ายที่ได้ส่วนใหญ่ คือ มีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ โดยคาร์โบไฮเดรตเมื่อย่อยสลายแล้วจะสามารถสร้างมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ได้อย่างละเท่าๆ กัน ดังนั้นในการกำหนดสมการเพื่อที่จะนำไปหาผลผลิตสุดท้ายของการย่อยสลายสารอินทรีย์จึงขอสมมติให้ เป็นน้ำตาลดังสมการข้างล่าง (วราวุฒิ,2532)



สมการออกซิไดซ์สารอินทรีย์ของน้ำตาลคือ



จากสมการทั้งสองข้างต้น จะได้ว่า ในการย่อยสลายน้ำตาล 1 โมล จะต้องการออกซิเจน 12 โมล ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่า ซีไอทีของน้ำตาลเท่ากับ 12 โมล/1โมลน้ำตาล และในการย่อยสลายแบบไม่ใช้

อากาศ น้ำตาล 1 โมล เมื่อถูกย่อยสลายจะให้มีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์อย่างละ 6 โมล ดังนั้น จึงกล่าวได้ว่า ซีโอดีที่ถูกกำจัด 12 โมล เกิดเป็น มีเทน 6 โมล และคาร์บอนไดออกไซด์ 6 โมล

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

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

จะให้ มีเทน, M_T $= C/64$ มิลลิโมล/ล.

คาร์บอนไดออกไซด์, C_T $= C/64$ มิลลิโมล/ล.

การคำนวณหาปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นสามารถทำได้โดยการ trial & error ดังนี้

1. กำหนดค่าซีโอดีที่ถูกกำจัด (C), มก./ล.
2. คำนวณหาค่า M_T และ C_T
3. สมมติ ค่ามีเทนก๊าซที่เกิดขึ้น (M_g), มิลลิโมล/ล. แทนลงในสมการที่ (4.6) จะได้ค่า คาร์บอนไดออกไซด์ก๊าซ (C_g), มิลลิโมล/ล.
4. แทนค่า C_g ลงในสมการ (4.8) จะได้ค่า M_g
5. trial & error ต่อไปจนกว่าจะได้ค่า M_g ที่สมมติเท่ากับค่าที่ได้จากการคำนวณในสมการ (4.8)
6. คำนวณหา P_{CH_4} และ P_{CO_2} จากสมการ (4.3) และ (4.4)
7. คำนวณหา M_i และ C_i หน่วย มิลลิโมล/ล. จากสมการ (4.1) และ (4.2)

เมื่อกำหนดค่าซีโอดีที่ถูกกำจัดต่างๆ จะได้ปริมาณมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้น ดังตารางที่ 4.29 และรูปที่ 4.29 จะเห็นว่า มีเทนจะสามารถละลายน้ำได้น้อยมาก และเมื่อซีโอดีสูงขึ้นมีเทนจะละลายน้ำได้น้อยลง ส่วนปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์จะละลายน้ำได้เพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของซีโอดีที่สูงขึ้น จนถึงที่ความเข้มข้นของซีโอดีประมาณ 10,000 มก./ล. ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายน้ำจะเริ่มคงที่ เนื่องจากถึงจุดอิ่มตัวไม่สามารถละลายต่อไปได้อีก

ตารางที่ 4.29 ปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นจากการแปรค่าซีโอดีที่ถูกกำจัดต่างๆ
โดยใช้น้ำเสียคาร์โบไฮเดรต

ซีโอดีที่ถูกกำจัด		จำนวนโมลของก๊าซทั้งหมดที่เกิดขึ้นจากการย่อยสลาย		จำนวนโมลของก๊าซเหนือน้ำ		จำนวนโมลของก๊าซละลายน้ำ		ความดันพาร์เชียลของก๊าซ	
มก./ล.	มิลลิโมล/ล.	CH ₄	CO ₂	CH ₄	CO ₂	CH ₄	CO ₂	P _{CH₄}	P _{CO₂}
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
250	7.8	3.9	3.9	2.81	0.38	1.1	3.5	0.88	0.12
500	15.6	7.8	7.8	6.82	1.74	1.0	6.1	0.80	0.20
750	23.4	11.7	11.7	10.8	3.78	0.9	7.7	0.74	0.26
1000	31.3	15.6	15.6	14.8	6.50	0.9	9.1	0.69	0.31
1500	46.9	23.4	23.4	22.6	12.7	0.8	11.1	0.64	0.36
2500	78.1	39.1	39.1	38.3	26.8	0.7	12.3	0.59	0.41
5000	156	78.1	78.1	77.4	64.5	0.7	13.6	0.55	0.45
7500	234	117	117	116	103	0.7	14.0	0.53	0.47
10000	313	156	156	156	142	0.6	14.3	0.52	0.48
20000	625	312	312	312	298	0.6	14.6	0.51	0.49
40000	1,250	625	625	624	610	0.6	14.8	0.51	0.49

(1) กำหนด

(2) = (1) / 32

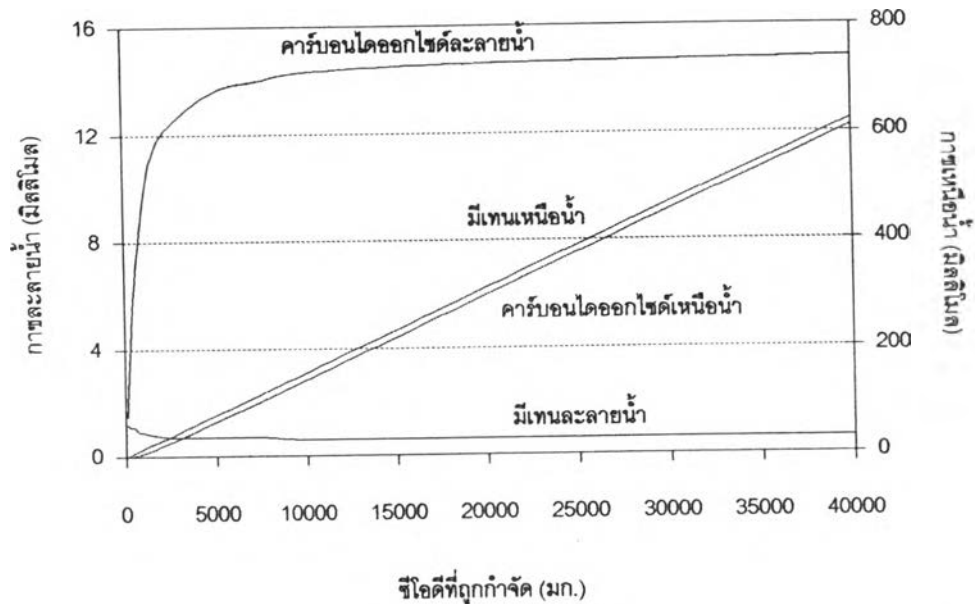
(3) = (1) / 64 หน่วย มิลลิโมล/ล.

(4) = (1) / 64 หน่วย มิลลิโมล/ล.

(5) และ (6) ได้จากการ trial & error จากสมการ (4.6) และ (4.8) หน่วย มิลลิโมล/ล.

(7) และ (8) ได้จาก สมการ (4.5) และ (4.7) ตามลำดับ หน่วย มิลลิโมล/ล.

(9) และ (10) ได้จากสมการ (4.3) และ (4.4) หน่วย บรรยากาศ

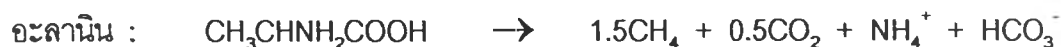


รูปที่ 4.29 ความสัมพันธ์ระหว่างซีโอดีที่ถูกกำจัดและปริมาณกาซที่เกิดขึ้นจากการใช้น้ำเสียคาร์โบไฮเดรต

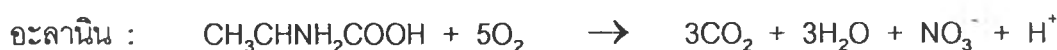
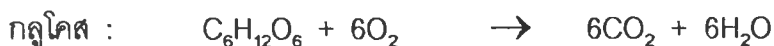
4.6.2 โมเดลที่ใช้คำนวณปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์จากการย่อยสลายน้ำเสียผสมที่มีโปรตีนเป็นส่วนประกอบ

น้ำเสียประเภทโปรตีน เมื่อเข้าสู่ระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนจะถูกไฮโดรไลซ์ให้โมเลกุลมีขนาดเล็กลง กลายเป็นกรดอะมิโน และถูกแบคทีเรียสร้างกรดย่อยสลายให้กลายเป็นกรดไขมันระเหย อะมีน คาร์บอนไดออกไซด์ และกาซไฮโดรเจน และสุดท้ายจะถูกย่อยโดยแบคทีเรียสร้างมีเทนให้เกิดเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ มีเทน และแอมโมเนีย โดยแอมโมเนียจะทำปฏิกิริยากับคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นเพื่อให้เกิดเป็นแอมโมเนียมไบคาร์บอเนต เป็นผลให้สภาพต่างในระบบเพิ่มขึ้น

สำหรับน้ำเสียประเภทโปรตีนโดยทั่วไปจะไม่พบว่ามีเฉพาะโปรตีนทั้งหมด แต่จะมีส่วนผสมของคาร์โบไฮเดรตปนอยู่ด้วย ในปริมาณที่แตกต่างกันขึ้นกับลักษณะน้ำเสีย แต่ในการทดลองนี้จะสมมติว่า ในน้ำเสียมีคาร์โบไฮเดรตอยู่ 50 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจะใช้กลูโคสเป็นตัวแทนสูตรทางเคมี และมีโปรตีนอยู่ 50 เปอร์เซ็นต์ โดยสูตรทางเคมีที่ใช้เป็นตัวแทนคือ กรดอะมิโนที่ชื่อว่า อะลานิน (Alanine) ซึ่งมีสูตรทางเคมีว่า $\text{CH}_3\text{CHNH}_2\text{COOH}$ มีสมการการย่อยสลายดังนี้



สมการออกซิไดซ์สารอินทรีย์



จากสมการทั้งสองข้างต้น จะได้ว่า

การย่อยสลายกลูโคส 1 โมล จะใช้ออกซิเจน 6 โมล หรือซีไอต์ของกลูโคสเท่ากับ 6 โมล/โมลของกลูโคส และในการย่อยสลายกลูโคสแบบไม่ใช้อากาศ 1 โมล จะเกิดเป็นมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์อย่างละ 3 โมล ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่า ซีไอต์ 6 โมลจะเกิดเป็นมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์อย่างละ 3 โมล

ในการย่อยสลายอะลานิน 1 โมลจะใช้ออกซิเจนทั้งหมด 5 โมล หรือซีไอต์ของอะลานินเท่ากับ 5 โมล/โมลของอะลานิน และในการย่อยสลายอะลานินแบบไม่ใช้อากาศ 1 โมล จะเกิดเป็นมีเทน 1.5 โมล คาร์บอนไดออกไซด์ 0.5 โมล แอมโมเนียมและไบคาร์บอเนตอย่างละ 1 โมล ดังนั้นจะกล่าวได้ว่า ซีไอต์ 5 โมล จะเกิดเป็นมีเทน 1.5 โมล เป็นคาร์บอนไดออกไซด์ 0.5 โมล ให้แอมโมเนียมและไบคาร์บอเนตอย่างละ 1 โมล

แต่จากการตั้งสมมติฐาน ว่าน้ำเสียมีกลูโคสและอะลานินอย่างละ 50 เปอร์เซ็นต์

ดังนั้นซีไอต์ 1 โมล จะเป็นซีไอต์จากกลูโคส 0.5 โมล และเกิด $\text{CH}_4 = 0.5 \times 0.5 = 0.25$ โมล

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

เป็นซีไอต์จากอะลานิน 0.5 โมล และเกิด $\text{CH}_4 = 0.5 \times 1.5 / 5 = 0.15$ โมล

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

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

มีเทนที่เกิดขึ้นทั้งหมด เท่ากับ มีเทนที่เกิดจากการย่อยสลายกลูโคสและมีเทนที่เกิดจากการย่อยสลายอะลานิน $= 0.25 + 0.15 = 0.40$ มิลลิโมล

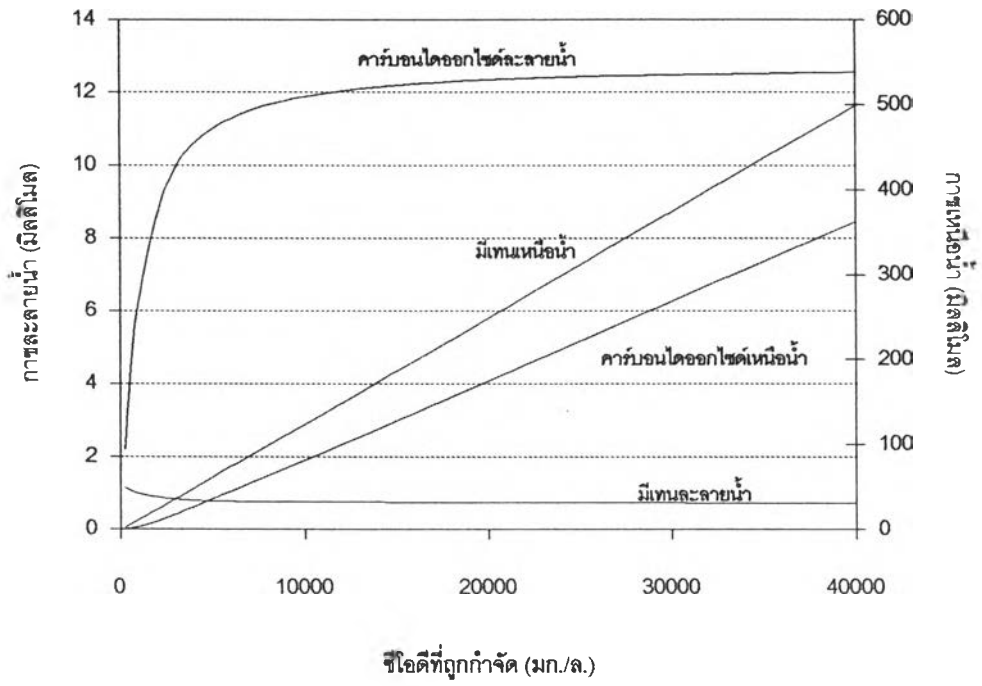
คาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นทั้งหมด เท่ากับ คาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากการย่อยสลายกลูโคส และที่เกิดจากการย่อยสลายอะลามิน = $0.25 + 0.05 = 0.30$ มิลลิโมล

เมื่อกำหนดค่าซีไอดีที่ถูกกำจัดต่างๆ จะสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.30 และรูปที่ 4.30

ตารางที่ 4.30 ปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นจากการแปรค่าซีไอดีที่ถูกกำจัดต่างๆ โดยใช้น้ำเสียโปรตีน

ซีไอดีที่ถูกกำจัด		จำนวนโมลของ CO ₂ ที่เกิดขึ้นจาก		จำนวนโมลของ CH ₄ ที่เกิดขึ้นจาก		จำนวนโมลของก๊าซที่อยู่ใน		จำนวนโมลของก๊าซที่ละลายน้ำ		ความดันพาร์เชียลของก๊าซ	
(มก./ล.)	(มิลลิโมล/ล.)	กลูโคส	อะลามิน	กลูโคส	อะลามิน	CO ₂	CH ₄	CO ₂	CH ₄	P _{CO₂}	P _{CH₄}
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
250	7.81	1.95	0.39	1.95	1.17	0.16	1.98	0.16	1.15	0.07	0.93
500	15.6	3.90	0.78	3.91	2.34	0.78	5.17	0.78	1.08	0.13	0.87
1000	31.3	7.81	1.56	7.81	4.69	3.10	11.5	3.10	0.98	0.21	0.79
2500	78.1	19.5	3.91	19.5	11.7	14.0	30.4	14.0	0.85	0.32	0.68
5000	156	39.1	7.81	39.1	23.4	35.9	61.7	35.9	0.78	0.37	0.63
10000	313	78.1	15.6	78.1	46.9	81.9	124	81.9	0.75	0.40	0.60
20000	625	156	31.2	156.0	93.8	175	249	175	0.73	0.41	0.59
40000	125	313	62.5	312.0	187.5	362	499	362	0.72	0.42	0.58

- (1) กำหนด
- (2) เท่ากับ (1) / 32
- (3) เท่ากับ $0.25 \times (1)$ หน่วย มิลลิโมล/ล.
- (4) เท่ากับ $0.15 \times (1)$ หน่วย มิลลิโมล/ล.
- (5) เท่ากับ $0.25 \times (1)$ หน่วย มิลลิโมล/ล.
- (6) เท่ากับ $0.05 \times (1)$ หน่วย มิลลิโมล/ล.
- (7) และ (8) ได้จากการ trial & error จากสมการ (4.6) และ (4.8) หน่วย มิลลิโมล/ล.
- (9) และ (10) ได้จาก สมการ (4.5) และ (4.7) ตามลำดับ มีหน่วย มิลลิโมล/ล.
- (11) และ (12) ได้จาก สมการ (4.3) และ (4.4) ตามลำดับ มีหน่วย บรรยากาศ



รูปที่ 4.30 ความสัมพันธ์ระหว่างซีโอดีที่ถูกกำจัดและปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นจากการใช้น้ำเสียที่มีส่วนผสมของโปรตีน

4.7 โมเดลที่ใช้ประเมินปริมาณต่าง 3 ชนิด เพื่อสะท้อนคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากการย่อยสลายน้ำเสียคาร์โบไฮเดรต

เพื่อความสะดวกในการนำไปใช้งานในการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ โดยใช้น้ำเสียประเภทคาร์โบไฮเดรต ผู้วิจัยจึงได้พัฒนาโมเดลเพื่อหาปริมาณต่างที่ต้องการในระบบ โดยใช้ค่าที่แตกต่างกัน 3 ชนิด คือ โซเดียมไบคาร์บอเนต โซเดียมคาร์บอเนต และโซเดียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งเป็นสารเคมีที่ใช้กันโดยทั่วไป ดังนี้

4.7.1 โมเดลที่ใช้ประเมินปริมาณโซเดียมไบคาร์บอเนต

การเลือกใช้ค่าที่สามารถให้สภาพต่างไบคาร์บอเนตโดยตรง เช่น โซเดียมคาร์บอเนต เมื่อเติมเข้าไปแล้วจะไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในระบบ ดังนั้นคาร์บอนไดออกไซด์ในระบบจะเท่ากับ คาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากการย่อยสลายอินทรีย์

ดังนั้นในการคำนวณหาปริมาณต่างโซเดียมไบคาร์บอเนตที่ต้องการสามารถคำนวณได้ โดยนำค่าความดันพาร์เชียลของคาร์บอนไดออกไซด์ที่หาได้จากโมเดลปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากการย่อยสลายคาร์โบไฮเดรตจากตารางที่ 4.29 หรือรูปที่ 4.29 และกำหนดค่าพีเอชที่ต้องการ แทนลงในสมการที่ 2.26 ก็จะได้สภาพต่างไบคาร์บอเนตที่ต้องการ ดังตัวอย่างการคำนวณ

ตัวอย่างการคำนวณ ในระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน โดยใช้น้ำเสียประเภทคาร์โบไฮเดรต พบว่าซีไอดีที่ถูกกำจัดประมาณ 2,500 มก./ล. พีเอชของระบบที่ต้องการเท่ากับ 7.0 จะต้องการต่างโซเดียมไบคาร์บอเนตเท่าใด

จากตารางที่ 4.29 ซีไอดีที่ถูกกำจัด 2,500 มก./ล. จะให้ค่าความดันพาร์เชียลของคาร์บอนไดออกไซด์ เท่ากับ 0.35 บรรยากาศ
แทนค่าต่างๆ ลงในสมการ 2.26 จะได้

$$[\text{HCO}_3^-] = \frac{10^{-6.35} \times 29.9 \times 0.35}{10^{-7}}$$

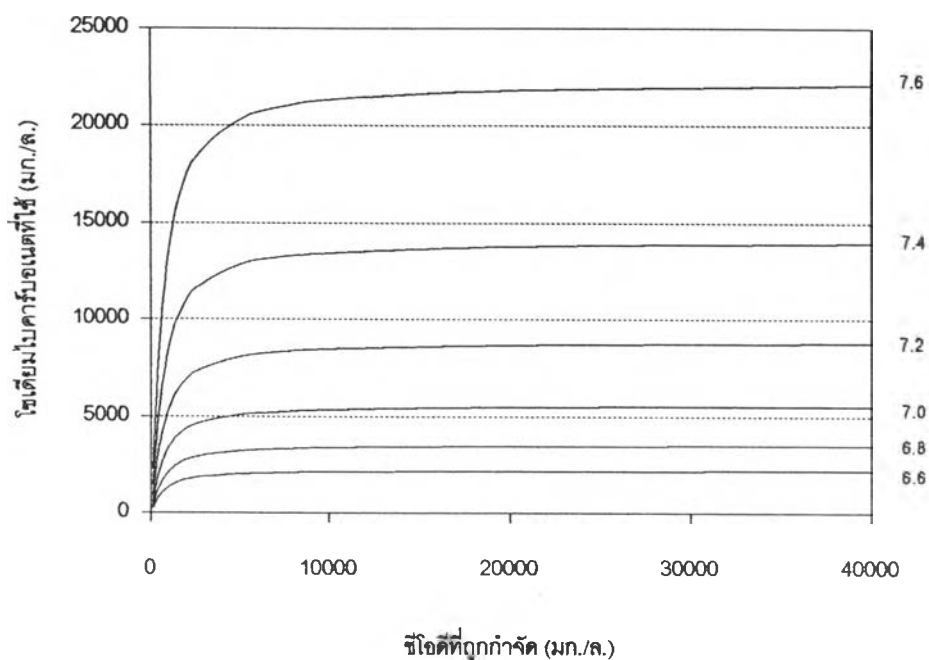
$$= 54.9 \text{ มิลลิโมล}$$

โซเดียมไบคาร์บอเนตที่ต้องการเท่ากับ $54.9 \times 84 = 4612$ มก./ล.

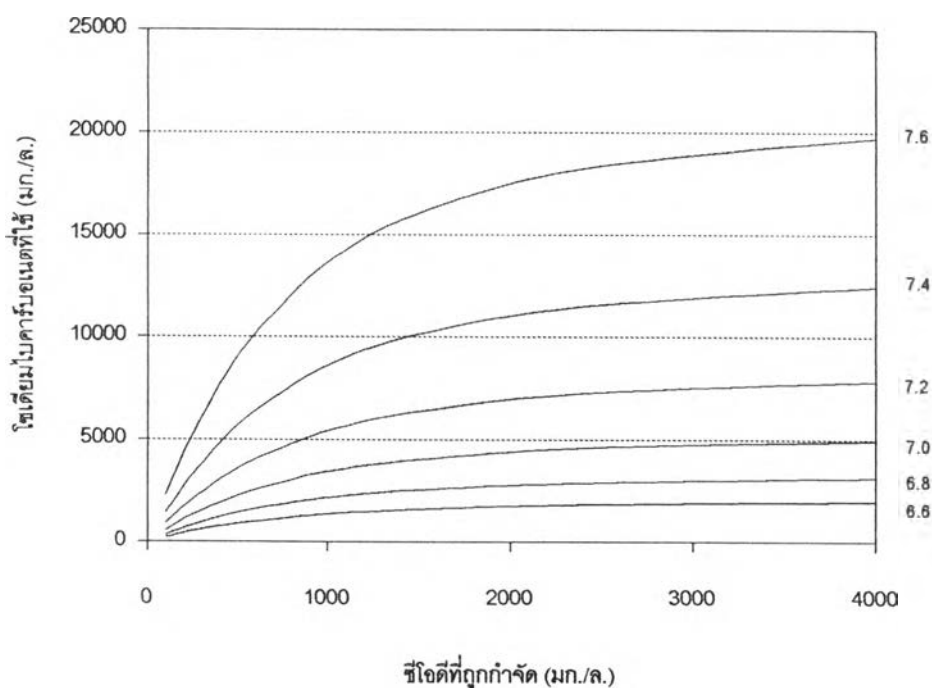
เมื่อแปรค่าซีโอดีที่ถูกกำจัดและพีเอชที่ต้องการให้อยู่ในช่วง 6.6-7.6 จะได้ค่าต่างดังตารางที่ 4.31 และรูปที่ 4.31-4.32 จะเห็นว่า ที่ความเข้มข้นของซีโอดีต่ำๆ สภาพต่างที่ต้องการจะมีเพียงเล็กน้อย แต่เมื่อความเข้มข้นของซีโอดีสูงขึ้น ทำให้มีคาร์บอนไดออกไซด์ละลายอยู่ในน้ำมากขึ้น สภาพต่างที่ต้องการก็จะเพิ่มขึ้นตาม จนถึงที่ซีโอดีที่ถูกกำจัดสูงกว่า 10,000 มก./ล. ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายน้ำเริ่มคงที่ (รูปที่ 4.29) ดังนั้นสภาพต่างที่ต้องการก็จะเริ่มคงที่ด้วย

ตารางที่ 4.31 โซเดียมไบคาร์บอเนตที่ต้องการในระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ
โดยใช้น้ำเสียคาร์โบไฮเดรต

ซีโอดีที่ถูกกำจัด (มก./ล.)	โซเดียมไบคาร์บอเนตที่ต้องการ (มก./ล.) ที่พีเอชต่างๆ					
	6.6	6.8	7.0	7.2	7.4	7.6
100	229	362	575	911	1443	2287
250	528	837	1326	2101	3331	5279
500	906	1436	2275	3606	5716	9059
750	1157	1834	2907	4607	7301	11571
1000	1365	2164	3429	5435	8613	13651
1500	1605	2543	4031	6388	10125	16046
2500	1837	2911	4613	7312	11588	18366
5000	2030	3217	5099	8082	12809	20300
10000	2097	3324	5268	8350	13234	20974
20000	2131	3377	5353	8483	13445	21309
30000	2182	3458	5481	8687	13768	21820
40000	2208	3499	5545	8789	13929	22076



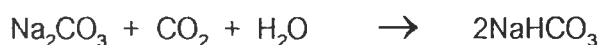
รูปที่ 4.31 โมเดลที่ใช้ประมาณโซเดียมโบคาร์บอเนตที่ต้องการที่ซีไอดีที่ถูกกำจัด 0-40000 มก./ล. ที่พีเอชต่างๆ โดยใช้น้ำเสียคาร์โบไฮเดรต



รูปที่ 4.32 โมเดลที่ใช้ประมาณโซเดียมโบคาร์บอเนตที่ต้องการที่ซีไอดีที่ถูกกำจัด 0-4000 มก./ล. ที่พีเอชต่างๆ โดยใช้น้ำเสียคาร์โบไฮเดรต

4.7.2 โมเดลที่ใช้ประเมินปริมาณโซเดียมคาร์บอเนต

ต่างประเภทคาร์บอเนต เช่น โซเดียมคาร์บอเนต เป็นสารเคมีที่ให้สภาพต่างไปคาร์บอเนตโดยอ้อม โดยเมื่อเติมเข้าไปแล้วจะไปดึงคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นในระบบเพื่อมาทำปฏิกิริยาให้เกิดเป็นสภาพต่างไปคาร์บอเนต ซึ่งเป็นผลให้คาร์บอนไดออกไซด์ในระบบเปลี่ยนแปลง ดังสมการ



หลักในการคำนวณหาเช่นเดียวกับการหาโมเดลของคาร์บอนไดออกไซด์ในหัวข้อที่ 4.6 เพียงแต่ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นในระบบเมื่อใช้ต่างคาร์บอเนต จะต้องนำค่าคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกใช้ไปในการทำปฏิกิริยาซึ่งจะขึ้นกับปริมาณคาร์บอเนตที่ใช้มาหักลบกับคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ด้วย ดังตัวอย่างการคำนวณ

ตัวอย่างการคำนวณ ระบบบำบัดน้ำเสียคาร์โบไฮเดรตมีซีโอดีที่ถูกกำจัด (C) เท่ากับ 2500 มก./ล. ต่างโซเดียมคาร์บอเนตที่เติมเท่ากับ 750 มก./ล.

ค่าคงที่การละลาย, $K_a = 10^{-6.35}$

ค่าคงที่ของเฮนรี $K_{\text{H}\cdot\text{CO}_2} = 29.9$ มิลลิโมล/ล.-บรรยากาศ

$K_{\text{H}\cdot\text{CH}_4} = 1.24$ มิลลิโมล/ล.-บรรยากาศ

มีเทนที่เกิดจากการย่อยสลาย, $M_T = 2500 / 64 = 39.1$ มิลลิโมล

คาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากการย่อยสลาย, $C_G = 2500 / 64 = 39.1$ มิลลิโมล

จากสมการการทำปฏิกิริยาระหว่างโซเดียมคาร์บอเนตและคาร์บอนไดออกไซด์



Na_2CO_3 1 โมล (106 กรัม) จะใช้ CO_2 1 โมล (44 กรัม) เพื่อให้เกิดไปคาร์บอเนต 2 โมล (122 กรัม) หรือ Na_2CO_3 1 กรัม จะใช้ CO_2 เท่ากับ 0.415 กรัม และเกิดไปคาร์บอเนต 1.15 กรัม

ดังนั้น Na_2CO_3 750 มก./ล. = $750 / 106 = 7.1$ มิลลิโมล/ล.

คาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกใช้ในการทำปฏิกิริยากับโซเดียมคาร์บอเนต (C_y) = 7.1 มิลลิโมล/ล.

เกิดไบคาร์บอเนต, HCO_3^- เท่ากับ $2 \times 7.1 = 14.2$ มิลลิโมล/ล.

คาร์บอนไดออกไซด์ที่เหลือหรือที่มีอยู่ในระบบ, $C_T = 39.1 - 7.1 = 32.0$ มิลลิโมล/ล.

แทนค่า M_T และ C_T ลงในสมการ (4.6) และ (4.8) และทำการ Trial & error ตามขั้นตอนการคำนวณที่ได้กล่าวมา จะได้

$$\begin{array}{ll} M_g & = 38.3 \text{ มิลลิโมล} & , & C_g & = 21.3 \text{ มิลลิโมล} \\ M_l & = 0.8 \text{ มิลลิโมล} & , & C_l & = 10.7 \text{ มิลลิโมล} \\ P_{\text{CH}_4} & = 0.64 \text{ บรรยากาศ} & , & P_{\text{CO}_2} & = 0.36 \text{ บรรยากาศ} \end{array}$$

เพื่อหาได้จากการจัดรูปใหม่ของสมการ 2.26 ได้ดังนี้

$$[\text{H}^+] = \frac{K_a K_{\text{CO}_2} P_{\text{CO}_2}}{[\text{HCO}_3^-]} \quad (4.9)$$

แทนค่าต่างๆ ลงไปในสมการ 4.9 จะได้

$$[\text{H}^+] = \frac{10^{-6.35} \times 29.9 \times 0.36}{14.2}$$

จะได้ $[\text{H}^+] = 3.38 \times 10^{-7}$ ดังนั้น $\text{pH} = 6.49$

เมื่อแปรค่าซีโอดีที่ถูกกำจัดและปริมาณต่างโซเดียมคาร์บอเนตที่เติมจะได้อัตราที่ 4.32 และรูปที่ 4.33-4.34 จะเห็นว่าปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ทั้งที่อยู่เหนือน้ำ ที่ละลายน้ำ และความดันพาร์เชียลของก๊าซจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของซีโอดีที่ถูกกำจัดและปริมาณต่างที่เติม ถ้าเติมต่างน้อยคาร์บอนไดออกไซด์จะถูกดึงไปใช้น้อย ทำให้มีคาร์บอนไดออกไซด์เหลืออยู่ในระบบมาก จึงสามารถวัดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ได้มากตาม ดังนั้น ในการคำนวณเพื่อเติมต่างโซเดียมคาร์บอเนตให้แก่ระบบฯ จะต้องคำนึงถึงปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกใช้ไปด้วย

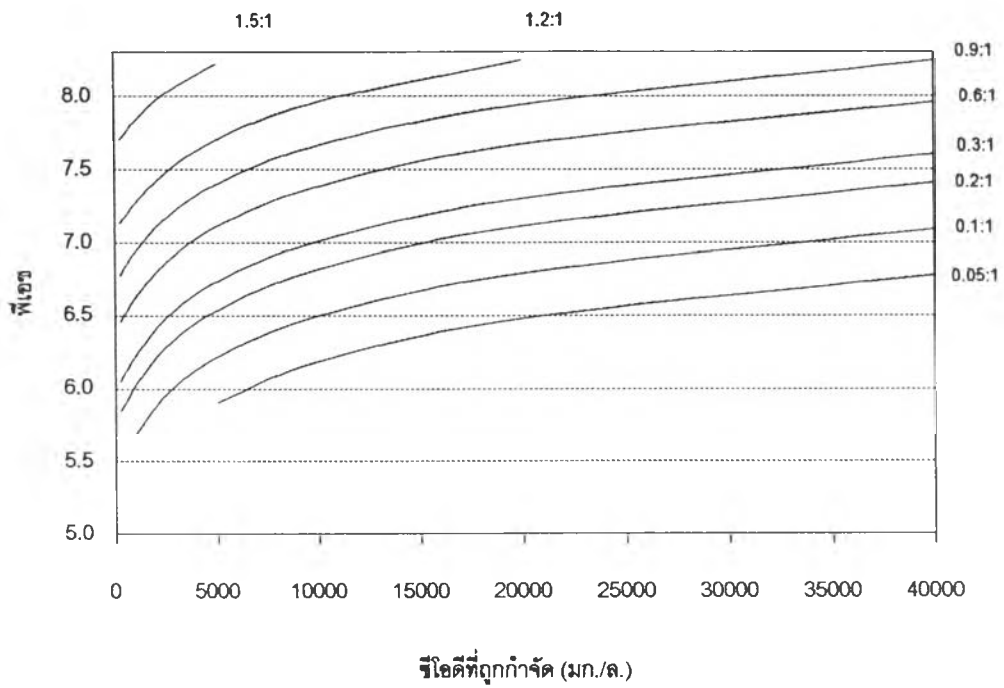
ตารางที่ 4.32 ปริมาณก๊าซและพีเอชที่เกิดขึ้นที่ซีโอไลท์ถูกกำจัดต่าง ๆ โดยใช้น้ำเสีย
คาร์โบไฮเดรต เมื่อเติมโซเดียมคาร์บอเนต

ซีโอไลท์ที่ถูกกำจัด		การเกิด		Na ₂ CO ₃	CO ₂ ที่	CO ₂	การเหนี่ยวนำ		การละลายน้ำ		P _{CH₄}	P _{CO₂}	พีเอช
มก./ล.	มิลลิโมล/ล.	CH ₄	CO ₂	/ซีโอไลท์	ถูกใช้	ที่เหลือ	CH ₄	CO ₂	CH ₄	CO ₂			
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)
250	7.81	3.91	3.91	1.5:1	3.54	0.37	2.68	0.06	1.2	0.3	0.99	0.01	7.70
				1.2:1	2.83	1.08	2.71	0.09	1.2	1.0	0.97	0.03	7.13
				0.9:1	2.12	1.78	2.73	0.16	1.2	1.6	0.95	0.05	6.78
				0.6:1	1.42	2.49	2.76	0.22	1.1	2.3	0.92	0.08	6.46
				0.3:1	0.71	3.20	2.79	0.30	1.1	2.9	0.90	0.10	6.05
500	15.63	7.81	7.81	1.5:1	7.08	0.74	6.60	0.13	1.2	0.6	0.98	0.02	7.74
				1.2:1	5.66	2.15	6.64	0.41	1.2	1.7	0.94	0.06	7.19
				0.9:1	4.25	3.57	6.69	0.71	1.1	2.9	0.90	0.10	6.84
				0.6:1	2.83	4.98	6.74	0.10	1.1	3.9	0.87	0.13	6.52
				0.3:1	1.42	6.40	6.78	0.14	1.0	5.0	0.83	0.17	6.12
1000	31.25	15.63	15.63	1.5:1	14.15	1.47	14.43	0.49	1.2	1.0	0.97	0.03	7.83
				1.2:1	11.32	4.30	14.50	1.50	1.1	2.8	0.91	0.09	7.27
				0.9:1	8.49	7.13	14.57	2.60	1.1	4.5	0.85	0.15	6.94
				0.6:1	5.66	9.96	14.64	3.81	1.0	6.2	0.79	0.21	6.63
				0.3:1	2.83	12.79	14.70	5.11	0.9	7.7	0.74	0.26	6.23
2500	78.13	39.06	39.06	1.5:1	35.38	3.69	37.89	2.11	1.2	1.6	0.95	0.05	8.02
				1.2:1	28.30	10.76	38.00	6.43	1.1	4.3	0.86	0.14	7.48
				0.9:1	21.23	17.84	38.10	11.10	1.0	6.7	0.77	0.23	7.14
				0.6:1	14.15	24.91	38.19	16.06	0.9	8.9	0.70	0.30	6.87
				0.3:1	7.08	31.99	38.27	21.29	0.8	10.7	0.64	0.36	6.49
				0.2:1	4.72	34.35	38.29	23.09	0.8	11.2	0.62	0.38	6.29

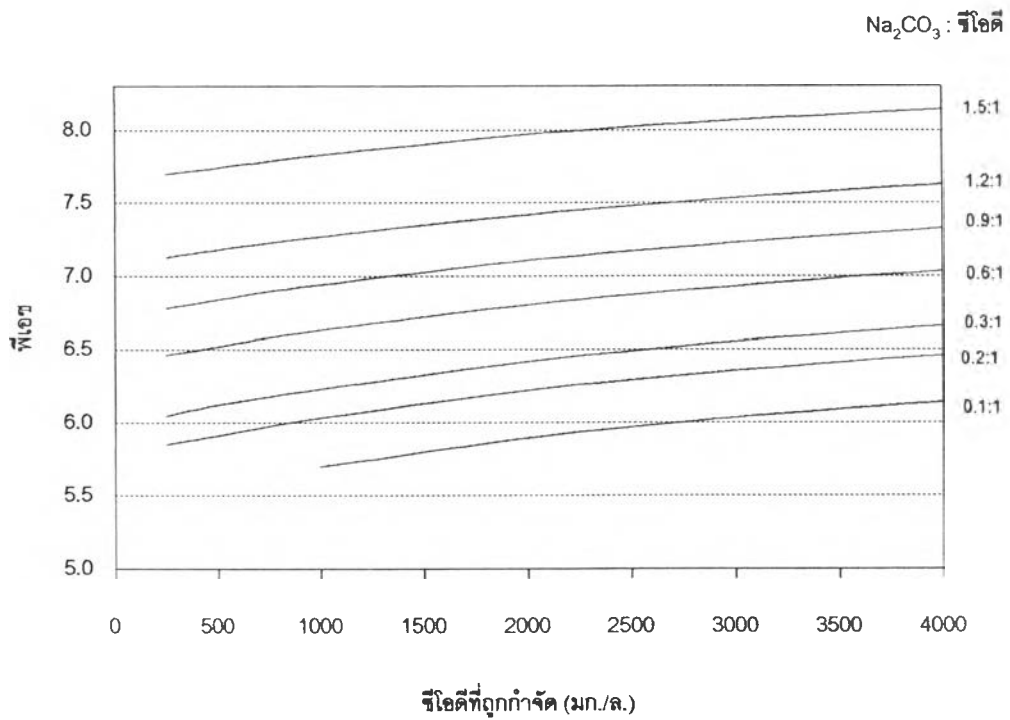
- (1) กำหนด หน่วย มก./ล.
- (2) เท่ากับ (1) / 32 หน่วย มิลลิโมล/ล.
- (3) และ (4) เท่ากับ (1) / 64 หน่วย มิลลิโมล/ล.
- (5) กำหนด
- (6) เท่ากับ (5) x (1) / 106 หน่วย มิลลิโมล/ล.
- (7) เท่ากับ (4) - (6) หน่วย มิลลิโมล/ล.
- (8) และ (9) ได้จากการ Trial & error จากสมการ (4.6) และ (4.8) ตามลำดับ
- (10) และ (11) คำนวณจากสมการ (4.1) และ (4.2) ตามลำดับ
- (12) และ (13) คำนวณจากสมการ (4.3) และ (4.4) ตามลำดับ
- (14) คำนวณจากสมการ (4.9)

ตารางที่ 4.32 ปริมาณก๊าซและพีเอชที่เกิดขึ้นที่ซีโอไลท์ที่ถูกกำจัดต่างๆ โดยใช้น้ำเสีย
คาร์โบไฮเดรต เมื่อเติมโซเดียมคาร์บอเนต (ต่อ)

ซีโอไลท์ที่ถูกกำจัด		การที่เกิด		Na ₂ CO ₃	CO ₂ ที่	CO ₂	การเหนี่ยวนำ		การละลายน้ำ		P _{CH₄}	P _{CO₂}	พีเอช
มก/ล.	มิลลิโมล/ล.	CH ₄	CO ₂	/ซีโอไลท์	ถูกใช้	ที่เหลือ	CH ₄	CO ₂	CH ₄	CO ₂	(12)	(13)	(14)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)
5000	156	78.1	78.1	1.5:1	70.8	7.37	77	5.4	1.16	1.96	0.93	0.07	8.22
				1.2:1	56.6	21.5	77	16.3	1.02	5.22	0.83	0.17	7.70
				0.9:1	42.5	35.7	77	27.8	0.91	7.91	0.74	0.26	7.40
				0.6:1	28.3	49.8	77	39.7	0.82	10.14	0.66	0.34	7.11
				0.3:1	14.2	64.0	77	52.0	0.74	12.01	0.60	0.40	6.74
				0.2:1	9.4	68.7	77	56.1	0.72	12.57	0.58	0.42	6.54
				0.1:1	4.7	73.4	77	60.3	0.70	13.09	0.56	0.44	6.22
0.05:1	2.4	75.8	78	62.4	0.69	13.34	0.55	0.45	5.91				
10000	313	156	156	1.2:1	113	43.0	155	37.3	1.00	5.79	0.81	0.19	7.96
				0.9:1	84.9	71.3	155	62.7	0.88	8.60	0.71	0.29	7.66
				0.6:1	56.6	99.6	155	88.8	0.79	10.87	0.64	0.36	7.38
				0.3:1	28.3	128	156	115	0.71	12.72	0.57	0.43	7.01
				0.2:1	18.9	137	156	124	0.69	13.27	0.56	0.44	6.82
				0.1:1	9.4	147	156	133	0.67	13.78	0.54	0.46	6.50
				0.05:1	4.7	152	156	138	0.66	14.03	0.53	0.47	6.19
20000	625	313	313	1.2:1	226	86.1	312	80	0.99	6.11	0.80	0.20	8.24
				0.9:1	170	143	312	134	0.87	8.98	0.70	0.30	7.94
				0.6:1	113	199	312	188	0.77	11.25	0.62	0.38	7.67
				0.3:1	56.6	256	312	243	0.70	13.09	0.56	0.44	7.30
				0.2:1	37.7	275	312	261	0.67	13.63	0.54	0.46	7.11
				0.1:1	18.9	294	312	280	0.65	14.13	0.53	0.47	6.79
				0.05:1	9.4	303	312	289	0.64	14.37	0.52	0.48	6.48
40000	1250	625	625	0.9:1	340	285	624	276	0.86	9.17	0.69	0.31	8.24
				0.6:1	226	399	624	387	0.77	11.45	0.62	0.38	7.96
				0.3:1	113	512	624	499	0.69	13.28	0.56	0.44	7.60
				0.2:1	75.5	550	624	536	0.67	13.81	0.54	0.46	7.41
				0.1:1	37.7	587	624	573	0.65	14.31	0.52	0.48	7.09
				0.05:1	18.9	606	624	592	0.64	14.55	0.51	0.49	6.78



รูปที่ 4.33 โมเดลความสัมพันธ์ระหว่างซีโอติที่ถูกกำจัด 0-40000 มก./ล. ที่พีเอชและอัตราส่วนโซเดียมคาร์บอเนตต่อซีโอติต่างๆ โดยใช้น้ำเสียคาร์โบไฮเดรต



รูปที่ 4.34 โมเดลความสัมพันธ์ระหว่างซีโอติที่ถูกกำจัด 0-4000 มก./ล. ที่พีเอชและอัตราส่วนโซเดียมคาร์บอเนตต่อซีโอติต่างๆ โดยใช้น้ำเสียคาร์โบไฮเดรต

4.7.3 โมเดลที่ใช้ประเมินปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์

การใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เพื่อเพิ่มสภาพต่างให้แก่ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศก็เป็นการเติมต่างโดยอ้อมเช่นเดียวกับการใช้โซเดียมคาร์บอเนต คือ จะมีการดึงคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากการย่อยสลายสารอินทรีย์มาทำปฏิกิริยากับโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เติมเข้าไปดังสมการ



ดังนั้นในการคำนวณหาปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นในระบบเมื่อใช้ต่างไฮดรอกไซด์ จะต้องนำค่าคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกใช้ไปในการทำปฏิกิริยามาหักลบกับคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากการย่อยสลายเช่นเดียวกับการเติมต่างคาร์บอเนต ดังตัวอย่าง

ตัวอย่างการคำนวณ ระบบบำบัดน้ำเสียคาร์โบไฮเดรตมีซีโอดีที่ถูกกำจัด (C) เท่ากับ 2500 มก./ล. โซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เติมเท่ากับ 750 มก./ล.



NaOH 1 โมล (40กรัม) จะใช้ CO₂ 1 โมล (44 กรัม) เพื่อให้เกิดไบคาร์บอเนต 1 โมล (61 กรัม)
หรือ NaOH 1 กรัม จะใช้ CO₂ เท่ากับ 0.91 กรัม และเกิดไบคาร์บอเนต 1.52 กรัม

ดังนั้น NaOH 750 มก./ล. = $750 / 40 = 18.8$ มิลลิโมล/ล.

จะใช้ CO₂ เท่ากับ 18.8 มิลลิโมล/ล.

เกิดไบคาร์บอเนต, HCO₃⁻ เท่ากับ 18.8 มิลลิโมล/ล.

คาร์บอนไดออกไซด์ที่เหลือหรือที่มีอยู่ในระบบ, C_r = $39.1 - 18.8 = 20.3$ มิลลิโมล/ล.

แทนค่า M_T และ C_T ลงในสมการ (4.6) และ (4.8) และทำการ Trial & error ตามขั้นตอนการคำนวณที่ได้กล่าวมา จะได้

$$\begin{array}{ll} M_o & = 38.4 \text{ มิลลิโมล} \\ M_i & = 0.9 \text{ มิลลิโมล} \\ P_{CH_4} & = 0.75 \text{ บรรยากาศ} \end{array} \quad , \quad \begin{array}{ll} C_o & = 12.7 \text{ มิลลิโมล} \\ C_i & = 7.5 \text{ มิลลิโมล} \\ P_{CO_2} & = 0.25 \text{ บรรยากาศ} \end{array}$$

เพื่อหาการแทนค่าความดันพาร์เชียลของคาร์บอนไดออกไซด์และสภาพต่างไปคาร์บอนेटที่ได้ลงในสมการที่ 4.9 จะได้ว่า

$$[H^+] = \frac{10^{-6.35} \times 29.9 \times 0.25}{18.8}$$

จะได้ $[H^+] = 1.78 \times 10^{-7}$ ดังนั้น $pH = 6.76$

เมื่อแปรค่าซีโอดีที่ถูกกำจัดและปริมาณต่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เติมจะได้ดังตารางที่ 4.33 และรูปที่ 4.35-4.36 จะเห็นว่าปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ทั้งที่อยู่เหนือน้ำ ที่ละลายน้ำ และความดันพาร์เชียลของก๊าซจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของซีโอดีที่ถูกกำจัดและปริมาณต่างที่เติมเช่นเดียวกับการใช้โซเดียมคาร์บอเนต

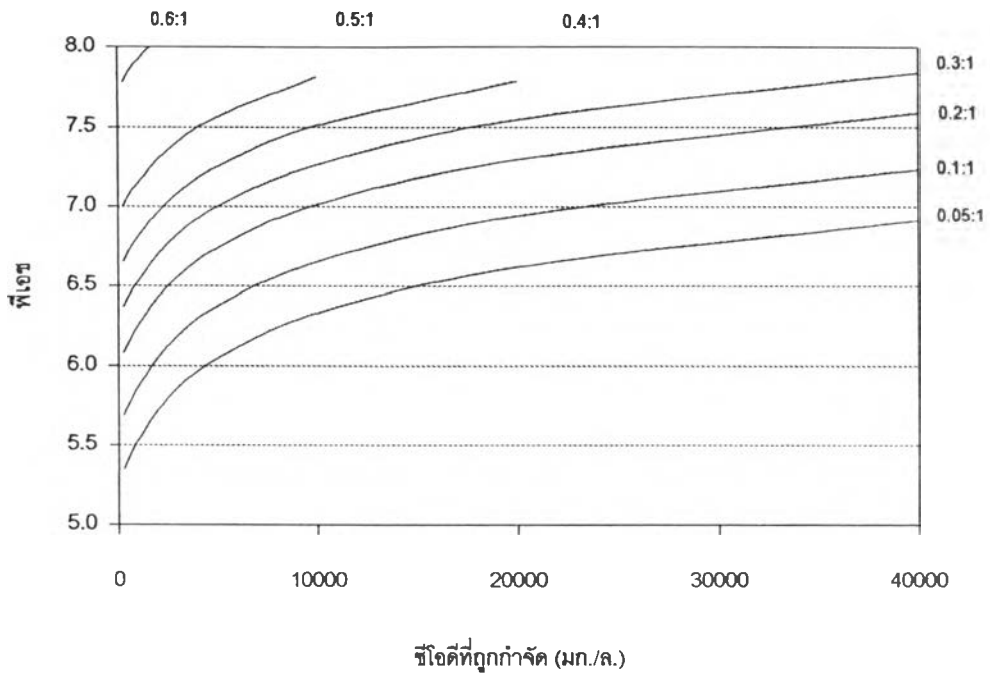
ตารางที่ 4.33 ปริมาณก๊าซและพีเอชที่เกิดขึ้นที่ซีโอไลท์ที่ถูกกำจัดต่างๆ โดยใช้น้ำเสีย
คาร์โบไฮเดรต เมื่อเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์

ซีโอไลท์ที่ถูกกำจัด		การที่เกิด		NaOH /	CO ₂ ที่	CO ₂	การเหนี่ยวนำ		การละลายน้ำ		P _{CH₄}	P _{CO₂}	พีเอช
มก./ล.	มิลลิโมล/ล.	CH ₄	CO ₂	ซีโอไลท์	ถูกใช้	ที่เหลือ	CH ₄	CO ₂	CH ₄	CO ₂			
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)
250	7.81	3.91	3.91	0.6:1	3.75	0.2	2.67	0.01	1.2	0.01	0.995	0.005	7.78
				0.5:1	3.13	0.8	2.70	0.06	1.2	0.07	0.98	0.02	7.01
				0.4:1	2.5	1.4	2.72	0.12	1.2	1.3	0.96	0.04	6.65
				0.3:1	1.88	2.0	2.74	0.18	1.2	1.8	0.94	0.06	6.37
				0.2:1	1.25	2.7	2.77	0.24	1.1	2.4	0.92	0.08	6.08
500	15.63	7.81	7.81	0.6:1	7.50	0.3	6.58	0.06	1.2	0.25	0.99	0.01	7.84
				0.5:1	6.25	1.6	6.62	0.29	1.2	1.3	0.96	0.04	7.06
				0.4:1	5.00	2.8	6.66	0.55	1.1	2.3	0.92	0.08	6.71
				0.3:1	3.75	4.1	6.71	0.82	1.1	3.2	0.89	0.11	6.43
				0.2:1	2.50	5.3	6.75	1.10	1.1	4.2	0.86	0.14	6.14
1000	31.25	15.63	15.63	0.6:1	15.0	0.6	14.40	0.21	1.2	0.4	0.98	0.02	7.92
				0.5:1	12.5	3.1	14.47	1.07	1.1	2.0	0.93	0.07	7.15
				0.4:1	10.0	5.6	14.53	2.00	1.1	3.6	0.88	0.12	6.81
				0.3:1	7.5	8.1	14.60	3.03	1.0	5.1	0.83	0.17	6.53
				0.2:1	5.0	10.6	14.66	4.08	1.0	6.5	0.78	0.22	6.25
2500	78.13	39.06	39.06	0.6:1	37.5	1.6	37.85	0.09	1.2	0.7	0.98	0.02	8.11
				0.5:1	31.2	7.8	37.96	4.58	1.1	3.2	0.89	0.11	7.35
				0.4:1	25.0	14.1	38.05	8.57	1.0	5.5	0.82	0.18	7.02
				0.3:1	18.8	20.3	38.13	12.79	0.9	7.5	0.75	0.25	6.76
				0.2:1	12.5	26.6	38.21	17.30	0.8	9.3	0.69	0.31	6.49
				0.1:1	6.2	32.8	38.27	21.92	0.8	10.9	0.64	0.36	6.13

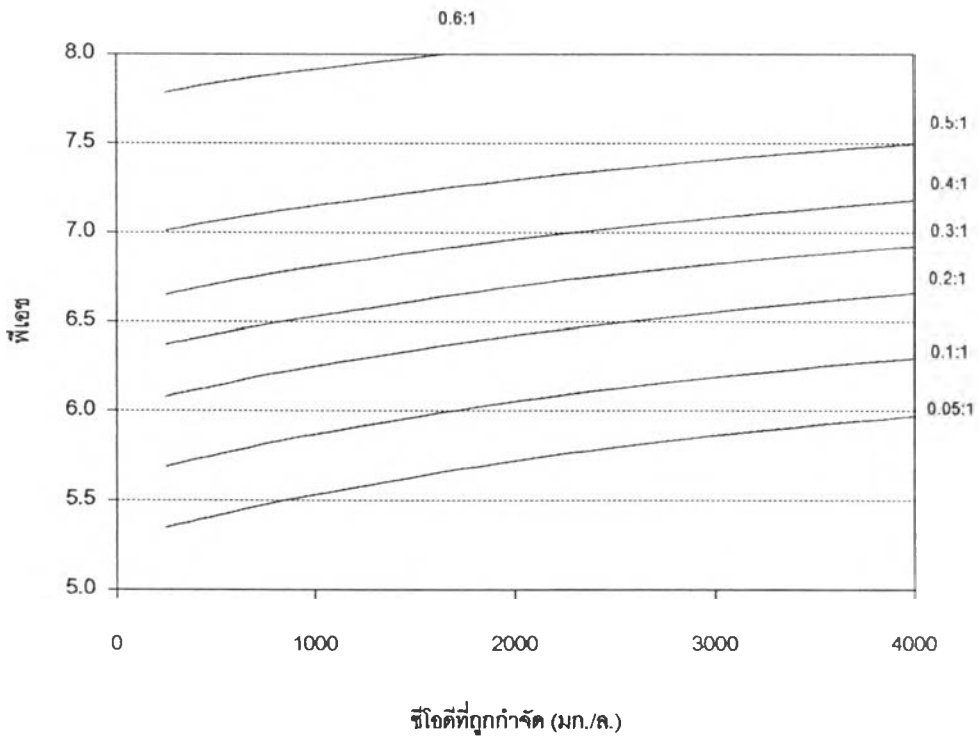
- (1) กำหนด หน่วย มก./ล.
- (2) เท่ากับ (1) / 32 หน่วย มิลลิโมล/ล.
- (3) และ (4) เท่ากับ (1) / 64 หน่วย มิลลิโมล/ล.
- (5) กำหนด
- (6) เท่ากับ (5) x (1) / 40 หน่วย มิลลิโมล/ล.
- (7) เท่ากับ (4) - (6) หน่วย มิลลิโมล/ล.
- (8) และ (9) ได้จากการ Trial & error จากสมการ (4.6) และ (4.8) ตามลำดับ
- (10) , (11) , (12) และ (13) คำนวณจากสมการ (4.1) , (4.2) , (4.3) และ (4.4) ตามลำดับ
- (14) คำนวณจากสมการ (4.9)

ตารางที่ 4.33 ปริมาณก๊าซและพีเอชที่เกิดขึ้นที่ซัลไฟต์ที่ถูกกำจัดต่างๆ โดยใช้น้ำเสีย
คาร์โบไฮเดรต เมื่อเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ (ต่อ)

ซัลไฟต์ที่ถูกกำจัด		การที่เกิด		Na ₂ CO ₃	CO ₂ ที่	CO ₂	การหมักน้ำ		การละลายน้ำ		P _{CH₄}	P _{CO₂}	พีเอช
มก/ล.	มิลลิโมล/ล.	CH ₄	CO ₂	/ ซัลไฟต์	ถูกใช้	ที่เหลือ	CH ₄	CO ₂	CH ₄	CO ₂			
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)
5000	156	78.1	78.1	0.5:1	62.5	15.6	77.05	11.7	1.08	3.9	0.87	0.14	7.57
				0.4:1	50.0	28.1	77.16	21.6	0.97	6.5	0.78	0.22	7.25
				0.3:1	37.5	40.6	77.25	31.9	0.88	8.7	0.71	0.29	7.00
				0.2:1	25.0	53.1	77.32	42.5	0.80	10.6	0.64	0.35	6.74
				0.1:1	12.5	65.6	77.39	53.4	0.73	12.2	0.59	0.41	6.38
				0.05:1	6.3	71.9	77.42	58.9	0.70	12.9	0.57	0.43	6.05
10000	313	156	156	0.5:1	125	31.3	155.2	26.8	1.06	4.4	0.85	0.15	7.82
				0.4:1	100	56.3	155.3	49.1	0.94	7.2	0.76	0.24	7.51
				0.3:1	75	81.3	155.4	71.8	0.85	9.4	0.68	0.32	7.27
				0.2:1	50	106	155.5	94.9	0.77	11.3	0.62	0.38	7.01
				0.1:1	25	131	155.5	118	0.70	12.9	0.57	0.43	6.65
				0.05:1	12.5	144	155.6	130	0.68	13.6	0.54	0.46	6.33
20000	625	313	313	0.4:1	200	112	311.6	105	0.93	7.5	0.75	0.25	7.79
				0.3:1	150	162	311.7	153	0.83	9.8	0.67	0.33	7.55
				0.2:1	100	212	311.7	201	0.75	11.7	0.61	0.39	7.30
				0.1:1	50	262	311.8	249	0.69	13.3	0.56	0.44	6.94
				0.05:1	25	287	311.8	273	0.66	14.0	0.53	0.47	6.62
40000	1250	625	625	0.3:1	300	325	624.2	315	0.82	10.0	0.66	0.34	7.84
				0.2:1	200	425	624.2	413	0.75	11.9	0.60	0.40	7.59
				0.1:1	100	525	624.3	512	0.68	13.5	0.55	0.45	7.24
				0.05:1	50	575	624.3	561	0.65	14.1	0.53	0.47	6.91



รูปที่ 4.35 โมเดลความสัมพันธ์ระหว่างซีโอติที่ถูกกำจัด 0-40000 มก./ล. ที่พีเอช และอัตราส่วนซีโอติต่อไฮดรอกไซด์ต่อซีโอติต่างๆ โดยใช้น้ำเสียคาร์โบไฮเดรต



รูปที่ 4.36 โมเดลความสัมพันธ์ระหว่างซีโอติที่ถูกกำจัด 0-4000 มก./ล. ที่พีเอช และอัตราส่วนซีโอติต่อไฮดรอกไซด์ต่อซีโอติต่างๆ โดยใช้น้ำเสียคาร์โบไฮเดรต

4.8 โมเดลที่ใช้ประเมินปริมาณค่า 3 ชนิด เพื่อสะท้อนคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากการย่อยสลายน้ำเสียผสมที่มีโปรตีน

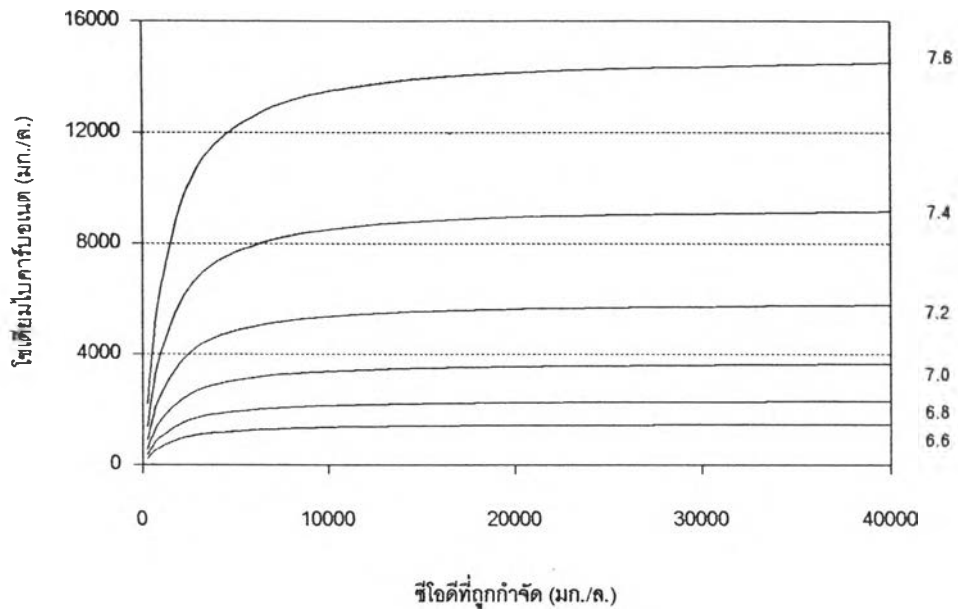
เพื่อความสะดวกในการนำไปใช้งานในการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ โดยน้ำเสียที่ใช้เป็นประเภทที่มีโปรตีนเป็นส่วนประกอบ ผู้วิจัยจึงได้พัฒนาโมเดลเพื่อหาปริมาณค่าที่ต้องการในระบบ โดยใช้ค่าที่แตกต่างกัน 3 ชนิด คือ โซเดียมไบคาร์บอเนต โซเดียมคาร์บอเนต และโซเดียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งเป็นสารเคมีที่ใช้กันโดยทั่วไป ดังนี้

4.8.1 โมเดลที่ใช้ประเมินปริมาณโซเดียมไบคาร์บอเนต

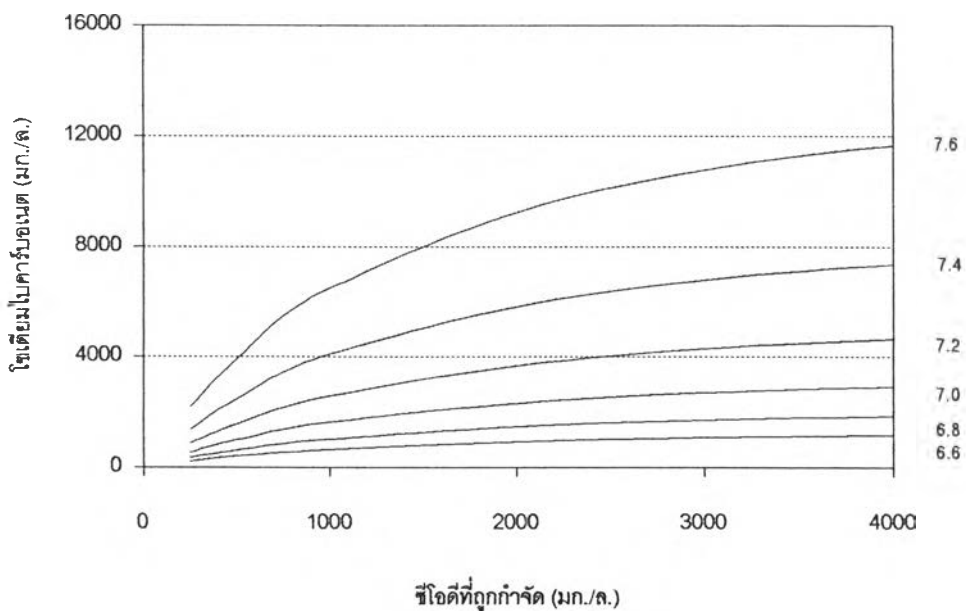
การคำนวณหาปริมาณโซเดียมไบคาร์บอเนตที่ต้องการในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศโดยใช้น้ำเสียที่มีโปรตีนเป็นส่วนประกอบจะเหมือนกับการคำนวณโดยใช้น้ำเสียคาร์โบไฮเดรต โดยนำค่าความดันพาร์เซียของคาร์บอนไดออกไซด์ที่หาได้จากโมเดลปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากการย่อยสลายคาร์โบไฮเดรตจากตารางที่ 4.30 หรือรูปที่ 4.30 และกำหนดค่าพีเอชที่ต้องการ แทนลงในสมการที่ 2.26 ก็จะได้สภาพต่างไบคาร์บอเนตที่ต้องการ และเมื่อแปรค่าซีไอดีที่ถูกกำจัดต่างๆ และให้พีเอชที่ต้องการอยู่ในช่วง 6.6-7.6 จะได้ค่าต่างดังตารางที่ 4.34 และรูปที่ 4.37-4.38

ตารางที่ 4.34 โซเดียมไบคาร์บอเนตที่ต้องการของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ โดยใช้น้ำเสียที่มีส่วนผสมของโปรตีน

ซีไอดีที่ถูกกำจัด (มก./ล.)	โซเดียมไบคาร์บอเนตที่ต้องการ (มก./ล.) ที่พีเอชต่างๆ					
	6.6	6.8	7.0	7.2	7.4	7.6
250	220	348	552	875	1386	2197
500	393	622	986	1563	2477	3926
1000	648	1028	1629	2581	4091	6483
2500	1012	1604	2542	4029	6386	10121
5000	1218	1930	3059	4848	7684	12178
10000	1345	2132	3379	5356	8488	13453
20000	1415	2242	3554	5632	8927	14148
40000	1451	2300	3645	5777	9156	14512



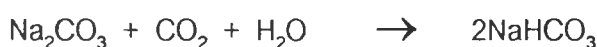
รูปที่ 4.37 โมเดลที่ใช้ประมาณโซเดียมไบคาร์บอเนตที่ต้องการที่ซีโอดีที่ถูกกำจัด 0-40000 มก./ล. ที่พีเอชต่างๆ โดยใช้น้ำเสียที่มีส่วนผสมของโปรตีน



รูปที่ 4.38 โมเดลที่ใช้ประมาณโซเดียมไบคาร์บอเนตที่ต้องการที่ซีโอดีที่ถูกกำจัด 0-4000 มก./ล. ที่พีเอชต่างๆ โดยใช้น้ำเสียที่มีส่วนผสมของโปรตีน

4.8.2 โมเดลที่ใช้ประเมินปริมาณไฮเดียมคาร์บอเนต

ต่างประเภทคาร์บอเนต เช่น โซเดียมคาร์บอเนต เป็นสารเคมีที่ให้สภาพต่างไปคาร์บอเนตโดยอ้อม โดยเมื่อเติมเข้าไปแล้วจะไปดึงคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นในระบบเพื่อมาทำปฏิกิริยาให้เกิดเป็นสภาพต่างไปคาร์บอเนต ซึ่งเป็นผลให้คาร์บอนไดออกไซด์ในระบบเปลี่ยนแปลง ดังสมการ



หลักในการคำนวณทำเช่นเดียวกับการหาโมเดลปริมาณโซเดียมคาร์บอเนตที่ใช้โดยใช้น้ำเสียคาร์โบไฮเดรต นั่นคือปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นในระบบเมื่อใช้ต่างคาร์บอเนต จะเท่ากับคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากการย่อยสลายสารอินทรีย์หักลบด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกใช้ไปในการทำปฏิกิริยาซึ่งจะขึ้นกับปริมาณคาร์บอเนตที่ใช้ ดังตัวอย่างการคำนวณ

ตัวอย่างการคำนวณ ซีไอดีที่ถูกกำจัด 2500 มก./ล. โซเดียมคาร์บอเนตต่อซีไอดีที่ใช้ 0.3:1 หรือ 750 มก./ล. ค่าคงที่การละลาย, $K_a = 10^{-6.35}$

ค่าคงที่ของเฮนรี่, $K_{\text{H},\text{CO}_2} = 29.9$ มิลลิโมล/ล.-บรรยากาศ

$K_{\text{H},\text{CH}_4} = 1.24$ มิลลิโมล/ล.-บรรยากาศ

ซีไอดีที่ถูกกำจัด 2500 มก./ล. เท่ากับ $2500/32 = 78.1$ มิลลิโมล

ซีไอดีที่เกิดจากคาร์โบไฮเดรต เท่ากับ $0.5 \times 78.1 = 39.1$ มิลลิโมล

เกิดเป็น CH_4 เท่ากับ $0.25 \times 78.1 = 19.5$ มิลลิโมล

CO_2 เท่ากับ $0.25 \times 78.1 = 19.5$ มิลลิโมล

ซีไอดีที่เกิดจากอะลาโนน เท่ากับ $0.5 \times 78.1 = 39.1$ มิลลิโมล

เกิดเป็น CH_4 เท่ากับ $0.15 \times 78.1 = 11.7$ มิลลิโมล

CO_2 เท่ากับ $0.05 \times 78.1 = 3.90$ มิลลิโมล

$\text{HCO}_3^- = 0.1 \times 78.1 = 7.81$ มิลลิโมล

Na_2CO_3 ที่เติม 750 มก./ล. = $750 / 106 = 7.1$ มิลลิโมล

จะใช้ CO_2 เท่ากับ 7.1 มิลลิโมล/ล.

สภาพต่างไปคาร์บอนเนตที่เกิด เท่ากับ $2 \times 7.1 = 14.2$ มิลลิโมล

มีเทนที่มีอยู่ในระบบ , $M_T = 19.5 + 11.7 = 31.2$ มิลลิโมล

คาร์บอนไดออกไซด์ที่เหลือหรือที่มีอยู่ในระบบ , $C_T = 19.5 + 3.9 - 7.1 = 16.3$ มิลลิโมล

สภาพต่างไปคาร์บอนเนตที่มีอยู่ในระบบ = $7.81 + 14.16 = 21.97$ มิลลิโมล

แทนค่า M_T และ C_T ลงในสมการ (4.6) และ (4.8) และทำการ Trial & error ตามขั้นตอนการคำนวณที่ได้กล่าวมา จะได้

$$\begin{array}{ll} M_g & = 30.3 \text{ มิลลิโมล} & C_g & = 9.3 \text{ มิลลิโมล} \\ M_l & = 0.95 \text{ มิลลิโมล} & C_l & = 7.04 \text{ มิลลิโมล} \\ P_{CH_4} & = 0.76 \text{ บรรยากาศ} & P_{CO_2} & = 0.24 \text{ บรรยากาศ} \end{array}$$

ค่าพีเอชได้จากการแทนค่าต่างๆ ลงในสมการ 4.9 จะได้

$$[H^+] = \frac{10^{-6.35} \times 29.9 \times 0.24}{21.97}$$

จะได้ $[H^+] = 1.46 \times 10^{-7}$ ดังนั้น $pH = 6.83$

เมื่อแปรค่าซีโอดีที่ถูกกำจัดและปริมาณต่างชนิดของคาร์บอนเนตที่เติมต่างๆ จะได้ดังตารางที่ 4.35 และรูปที่ 4.39-4.40 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบน้ำเสียโปรตีนกับน้ำเสียคาร์โบไฮเดรตโดยพิจารณาที่ซีโอดีที่ถูกกำจัดและอัตราส่วนต่างต่อซีโอดีที่เติมเท่ากัน น้ำเสียโปรตีนจะมีค่าพีเอชสูงกว่าน้ำเสียคาร์โบไฮเดรต ก็เนื่องมาจากน้ำเสียโปรตีนสามารถสร้างสภาพต่างเองได้นั่นเอง

ตารางที่ 4.35 ปริมาณก๊าซและพีเอชที่เกิดขึ้นที่ซีโอดีที่ถูกกำจัดต่าง ๆ โดยใช้น้ำเสียโปรตีนเมื่อเติมโซเดียมคาร์บอเนต

ซีโอดีที่ถูกกำจัด		จำนวนโมลของ CH ₄ ที่เกิดขึ้นจาก		จำนวนโมลของ CO ₂ ที่เกิดขึ้นจาก		NaOH / ซีโอดี	CO ₂ ที่ถูกใช้	CO ₂ ที่เหลือ	จำนวนโมลของก๊าซเหนือน้ำ		จำนวนโมลของก๊าซละลายน้ำ		ความดันพาร์เชียลของก๊าซ		pH
(มก./ล.)	(มิลลิโมล/ล.)	คาร์โบไฮเดรต	โปรตีน	คาร์โบไฮเดรต	โปรตีน				CH ₄	CO ₂	CH ₄	CO ₂	P _{CH₄}	P _{CO₂}	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)
250	7.81	1.95	0.39	1.95	1.17	0.9:1	2.12	0.22	1.89	0.013	1.23	0.21	0.99	0.01	7.75
						0.6:1	1.42	0.93	1.92	0.057	1.20	0.87	0.97	0.03	6.99
						0.3:1	0.71	1.64	1.95	0.10	1.18	1.52	0.95	0.05	6.53
						0.2:1	0.47	1.87	1.96	0.12	1.17	1.74	0.94	0.06	6.36
						0.1:1	0.24	2.11	1.97	0.14	1.16	1.98	0.93	0.07	6.17
500	15.6	3.91	0.78	3.91	2.34	0.9:1	4.25	0.44	5.02	0.07	1.22	0.38	0.99	0.01	7.79
						0.6:1	2.83	1.86	5.08	0.28	1.18	1.57	0.95	0.05	7.03
						0.3:1	1.42	3.27	5.12	0.52	1.13	2.75	0.91	0.09	6.57
						0.2:1	0.94	3.74	5.14	0.61	1.11	3.16	0.89	0.11	6.40
						0.1:1	0.47	4.22	5.16	0.69	1.09	3.52	0.88	0.12	6.22
1000	31.3	7.81	1.56	7.81	4.69	0.9:1	8.49	0.88	11.3	0.25	1.21	0.64	0.98	0.02	7.87
						0.6:1	5.66	3.71	11.4	1.11	1.13	2.65	0.91	0.09	7.10
						0.3:1	2.83	6.54	11.5	2.07	1.05	4.58	0.85	0.15	6.65
						0.2:1	1.89	7.49	11.5	2.34	1.03	5.06	0.83	0.17	6.50
						0.1:1	0.94	8.43	11.5	2.76	1.00	5.79	0.81	0.19	6.30

ตารางที่ 4.35 ปริมาณก๊าซและพีเอชที่เกิดขึ้นที่ซีโอดีที่ถูกกำจัดต่างๆ โดยใช้น้ำเสียโปรตีนเมื่อเติมโซเดียมคาร์บอเนต (ต่อ)

ซีโอดีที่ถูกกำจัด		จำนวนโมลของ CH ₄ ที่เกิดขึ้นจาก		จำนวนโมลของ CO ₂ ที่เกิดขึ้นจาก		NaOH / ซีโอดี	CO ₂ ที่ถูกใช้	CO ₂ ที่เหลือ	จำนวนโมลของก๊าซ เหนือหน้า		จำนวนโมลของก๊าซ ละลายน้ำ		ความดันพาร์เชียลของ ก๊าซ		pH
(มก./ต.)	(มิลลิโมล/ต.)	คาร์โบไฮเดรต	โปรตีน	คาร์โบไฮเดรต	โปรตีน				CH ₄	CO ₂	CH ₄	CO ₂	P _{CH₄}	P _{CO₂}	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)
2500	78.1	19.5	3.91	19.5	11.7	0.9:1	21.2	2.21	30.1	1.13	1.20	1.09	0.96	0.04	8.03
						0.6:1	14.2	9.29	30.2	5.03	1.06	4.27	0.86	0.14	7.29
						0.3:1	7.08	16.36	30.3	9.33	0.95	7.04	0.76	0.24	6.86
						0.2:1	4.72	18.72	30.3	10.86	0.91	7.88	0.74	0.26	6.71
						0.1:1	2.36	21.08	30.4	12.42	0.88	8.68	0.71	0.29	6.53
5000	156	39.1	7.81	39.1	23.4	0.9:1	42.5	4.42	61.3	3.02	1.18	1.41	0.95	0.05	8.22
						0.6:1	28.3	18.6	61.5	13.26	1.02	5.30	0.82	0.18	7.50
						0.3:1	14.2	32.7	61.6	24.23	0.89	8.44	0.72	0.28	7.08
						0.2:1	9.43	37.4	61.7	28.095	0.85	9.36	0.69	0.31	6.93
						0.1:1	4.72	42.2	61.7	31.94	0.82	10.20	0.66	0.34	6.76
10000	313	78.1	15.6	78.1	46.9	0.6:1	56.6	37.2	124	31.16	0.99	6.00	0.80	0.20	7.75
						0.3:1	28.3	65.5	124	56.16	0.85	9.31	0.69	0.31	7.34
						0.2:1	18.9	74.9	124	64.76	0.81	10.25	0.66	0.34	7.19
						0.1:1	9.43	84.3	124	73.26	0.78	11.09	0.63	0.37	7.02

ตารางที่ 4.35 ปริมาณก๊าซและพีเอชที่เกิดขึ้นที่ซีโอไซด์ที่ถูกกำจัดต่างๆ โดยใช้ น้ำเสียโปรตีนเมื่อเติมโซเดียมคาร์บอเนต (ต่อ)

ซีโอไซด์ที่ถูกกำจัด		จำนวนโมลของ CH ₄ ที่เกิดขึ้นจาก		จำนวนโมลของ CO ₂ ที่เกิดขึ้นจาก		NaOH / ซีโอไซด์	CO ₂ ที่ถูกใช้	CO ₂ ที่เหลือ	จำนวนโมลของก๊าซ เหนือ น้ำ		จำนวนโมลของก๊าซ ละลาย น้ำ		ความดันพาร์เชียลของ ก๊าซ		pH
(มก./ล.)	(มิลลิโมล/ล.)	คาร์โบไฮเดรต	โปรตีน	คาร์โบไฮเดรต	โปรตีน				CH ₄	CO ₂	CH ₄	CO ₂	P _{CH₄}	P _{CO₂}	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)
20000	625	156	31.3	156	93.8	0.6:1	113	74.3	249	67.88	0.97	6.40	0.79	0.21	8.02
						0.3:1	56.6	131	249	121	0.83	9.78	0.67	0.33	7.62
						0.2:1	37.7	150	249	139	0.80	10.71	0.64	0.36	7.48
						0.1:1	18.9	169	249	157	0.76	11.56	0.61	0.39	7.30
40000	1250	313	62.50	313	188	0.3:1	113	262	499	252	0.82	10.02	0.66	0.34	7.91
						0.2:1	75.5	299	499	288	0.79	10.95	0.63	0.37	7.77
						0.1:1	37.7	337	499	325	0.75	11.80	0.61	0.39	7.60
						0.05:1	18.9	356	499	344	0.73	12.19	0.59	0.41	7.49

(1) กำหนด หน่วย มก./ล.

(3) เท่ากับ (2) x 0.25 หน่วย มิลลิโมล/ล.

(5) เท่ากับ (2) x 0.25 หน่วย มิลลิโมล/ล.

(7) กำหนด

(9) เท่ากับ (3) + (4) - (8) หน่วย มิลลิโมล/ล.

(12) , (13) ,(14) และ (15) คำนวณจากสมการ (4.1) , (4.2) , (4.3) และ (4.4) ตามลำดับ

(2) เท่ากับ (1) / 32 หน่วย มิลลิโมล/ล.

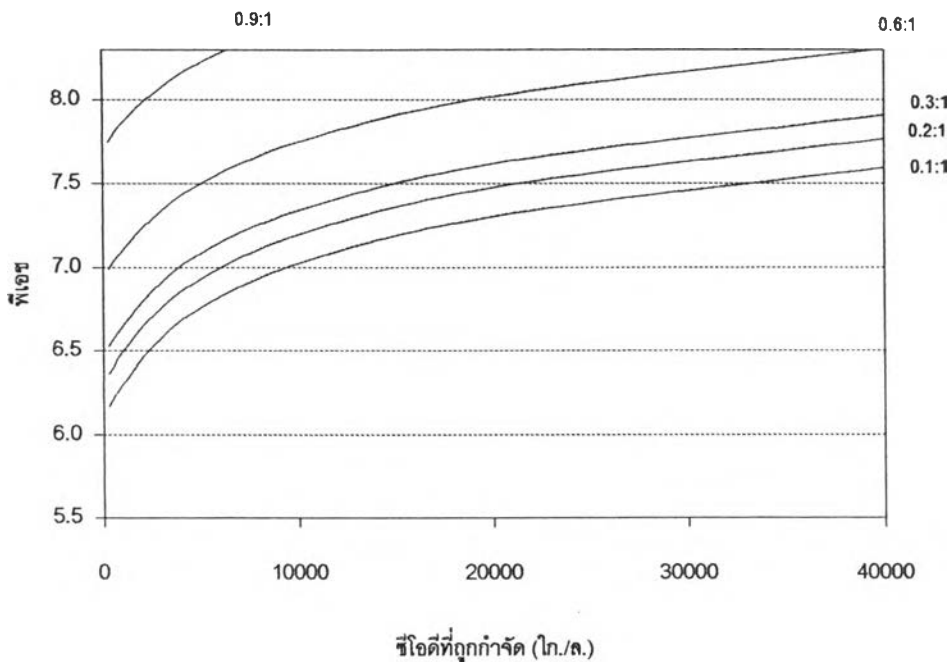
(4) เท่ากับ (2) x 0.15 หน่วย มิลลิโมล/ล.

(6) เท่ากับ (2) x 0.05 หน่วย มิลลิโมล/ล.

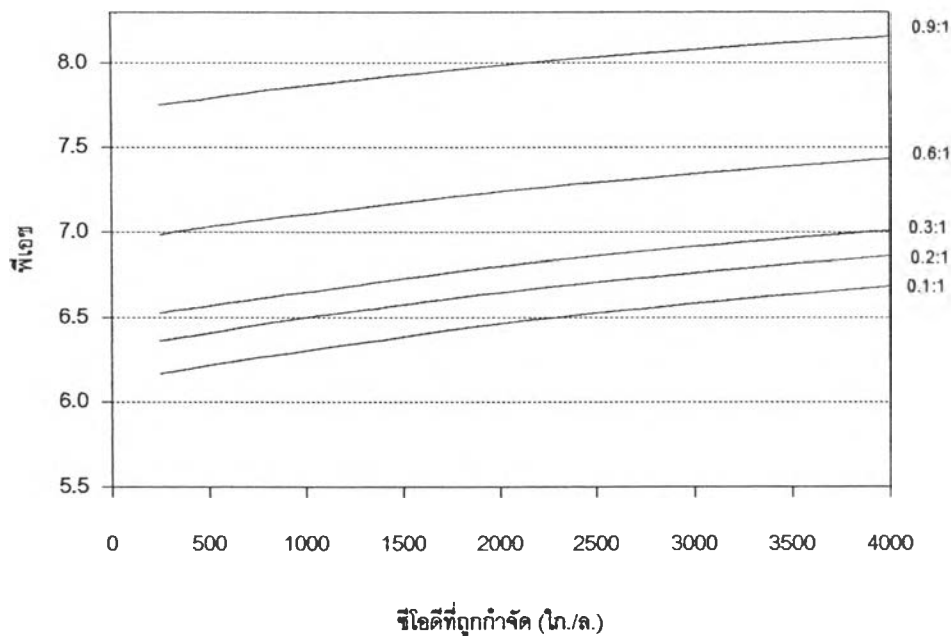
(8) เท่ากับ จำนวนโมลของโซเดียมคาร์บอเนตที่เติม หน่วย มิลลิโมล/ล.

(10) , (11) ได้จากการ Trial & error สมการ (4.6) และ (4.8)

(16) คำนวณจากสมการ (4.9)



รูปที่ 4.39 โมเดลความสัมพันธ์ระหว่างซีไอทีที่ถูกกำจัด 0-40000 มก./ล. ตราส่วนโซเดียมคาร์บอเนตต่อซีไอที และพีเอช โดยใช้น้ำเสียที่มีส่วนผสมของโปรตีน



รูปที่ 4.40 โมเดลความสัมพันธ์ระหว่างซีไอทีที่ถูกกำจัด 0-4000 มก./ล. ตราส่วนโซเดียมคาร์บอเนตต่อซีไอที และพีเอช โดยใช้น้ำเสียที่มีส่วนผสมของโปรตีน

4.8.3 โมเดลที่ใช้ประเมินปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์

การคำนวณโมเดลที่ใช้ประเมินปริมาณต่างโซเดียมไฮดรอกไซด์จะใช้หลักการเดียวกับการคำนวณโมเดลที่ใช้ประเมินปริมาณต่างโซเดียมคาร์บอเนต เนื่องจากในการเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้าไปในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศจะมีการดึงคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากการย่อยสลายสารอินทรีย์มาทำปฏิกิริยากับโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เติมเข้าไปด้วยสมการ



ดังนั้นในการคำนวณหาปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นในระบบเมื่อใช้ต่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ จะต้องนำค่าคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกใช้ไปในการทำปฏิกิริยามาหักลบกับคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากการย่อยสลายเช่นเดียวกับการเติมต่างคาร์บอเนต ดังตัวอย่าง

ตัวอย่างการคำนวณ ระบบบำบัดน้ำเสียคาร์โบไฮเดรตมีซีไอดีที่ถูกกำจัด (C) เท่ากับ 2500 มก./ล. โซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เติมเท่ากับ 750 มก./ล.

ซีไอดีที่ถูกกำจัด 2500 มก./ล. เท่ากับ $2500/32 = 78.1$ มิลลิโมล

ซีไอดีที่เกิดจากคาร์โบไฮเดรต เท่ากับ $0.5 \times 78.1 = 39.1$ มิลลิโมล

เกิดเป็น CH_4 เท่ากับ $0.25 \times 78.1 = 19.5$ มิลลิโมล

CO_2 เท่ากับ $0.25 \times 78.1 = 19.5$ มิลลิโมล

ซีไอดีที่เกิดจากอะลาโนน เท่ากับ $0.5 \times 78.1 = 39.1$ มิลลิโมล

เกิดเป็น CH_4 เท่ากับ $0.15 \times 78.1 = 11.7$ มิลลิโมล

CO_2 เท่ากับ $0.05 \times 78.1 = 3.90$ มิลลิโมล

$\text{HCO}_3^- = 0.1 \times 78.1 = 7.81$ มิลลิโมล

ในการเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์จะมีการดึงคาร์บอนไดออกไซด์มาใช้ในการคำนวณปฏิกิริยาตามสมการ



จากสมการข้างต้น จะได้ว่า NaOH 1 โมล (40กรัม) จะใช้ CO₂ 1 โมล (44 กรัม) เพื่อให้เกิดไบคาร์บอเนต 1 โมล (61 กรัม) หรือ NaOH 1 กรัม จะใช้ CO₂ เท่ากับ 0.91 กรัม และเกิดไบคาร์บอเนต 1.52 กรัม

ดังนั้น NaOH 750 มก./ล. = $750 / 40 = 18.8$ มิลลิโมล/ล.

จะใช้ CO₂ เท่ากับ 18.8 มิลลิโมล/ล.

เกิดไบคาร์บอเนต, HCO₃⁻ เท่ากับ 18.8 มิลลิโมล/ล.

คาร์บอนไดออกไซด์ที่เหลือหรือที่มีอยู่ในระบบ, C_T = $19.5 + 3.9 - 18.8 = 4.7$ มิลลิโมล/ล.

แทนค่า M_T และ C_T ลงในสมการ (4.6) และ (4.8) และทำการ Trial & error ตามขั้นตอนการคำนวณที่ได้กล่าวมา จะได้

$$\begin{array}{ll} M_g & = 30.1 \text{ มิลลิโมล} & , & C_g & = 2.44 \text{ มิลลิโมล} \\ M_l & = 1.15 \text{ มิลลิโมล} & , & C_l & = 2.24 \text{ มิลลิโมล} \\ P_{CH_4} & = 0.93 \text{ บรรยากาศ} & , & P_{CO_2} & = 0.07 \text{ บรรยากาศ} \end{array}$$

พีเอชจากการแทนค่าความดันพาร์เชียลของคาร์บอนไดออกไซด์และสภาพต่างไบคาร์บอเนตที่ได้ลงในสมการที่ 4.9 จะได้ว่า

$$[H^+] = \frac{10^{-6.35} \times 29.9 \times 0.07}{18.8}$$

จะได้ $[H^+] = 4.97 \times 10^{-8}$ ดังนั้น pH = 7.44

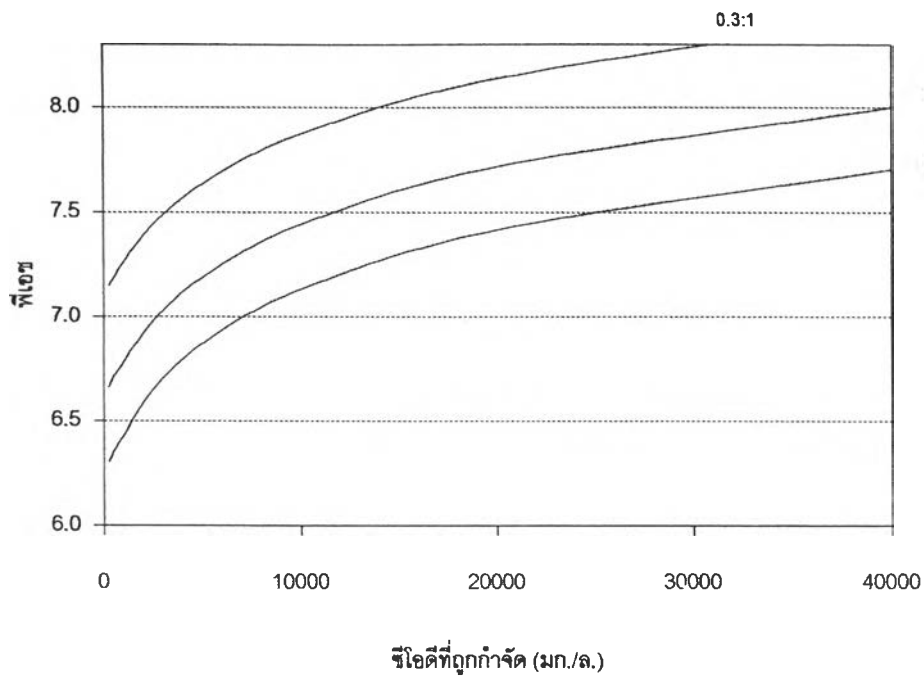
เมื่อแปรค่าซีไอดีที่ถูกกำจัดและปริมาณต่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เติมจะได้ดังตารางที่ 4.36 และรูปที่ 4.41-4.42 จะเห็นว่าปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ทั้งที่อยู่เหนือน้ำ ที่ละลายน้ำ และความดันพาร์เชียลของก๊าซจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของซีไอดีที่ถูกกำจัดและปริมาณต่างที่เติมเช่นเดียวกับการใช้โซเดียมคาร์บอเนต

ตารางที่ 4.36 ปริมาณก๊าซและพีเอชที่เกิดขึ้นที่ซีโอไซด์ที่ถูกกำจัดต่างๆ โดยใช้น้ำเสียคาร์โบโปรตีน เมื่อเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์

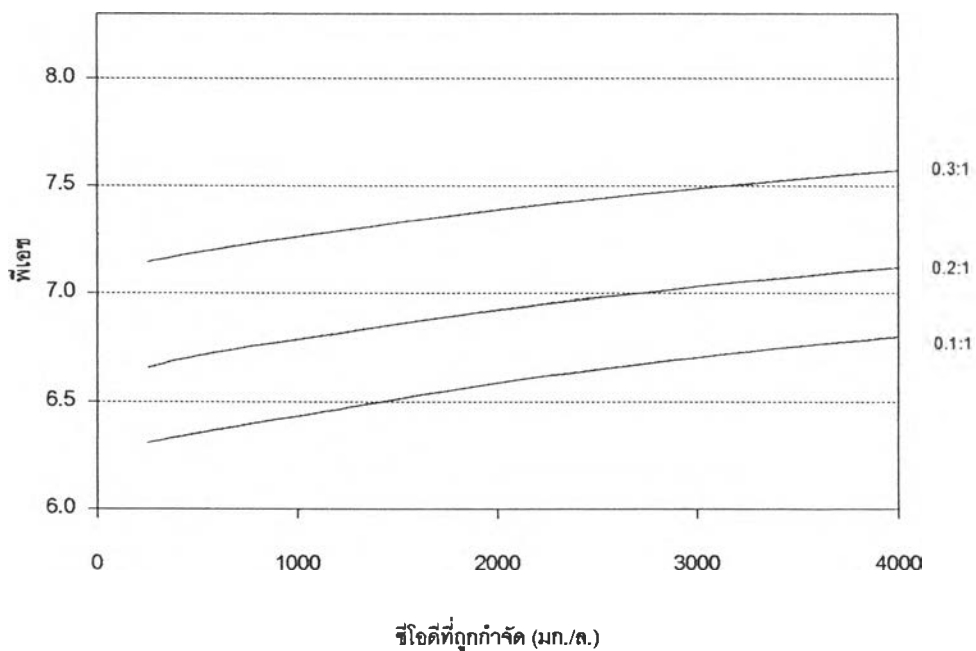
ซีโอไซด์ที่ถูกกำจัด		จำนวนโมลของ CH ₄ ที่เกิดขึ้นจาก		จำนวนโมลของ CO ₂ ที่เกิดขึ้นจาก		NaOH / ซีโอไซด์	CO ₂ ที่ถูกใช้	CO ₂ ที่เหลือ	จำนวนโมลของก๊าซเหนือน้ำ		จำนวนโมลของก๊าซละลายน้ำ		ความดันพาร์เชียลของก๊าซ		pH
(มก./ล.)	(มิลลิโมล/ล.)	คาร์โบไฮเดรต	โปรตีน	คาร์โบไฮเดรต	โปรตีน				CH ₄	CO ₂	CH ₄	CO ₂	P _{CH₄}	P _{CO₂}	
250	7.81	1.95	1.17	1.95	0.39	0.3:1	1.88	0.47	1.90	0.085	1.22	0.44	0.96	0.04	7.15
						0.2:1	1.25	1.09	1.93	0.069	1.20	1.04	0.97	0.03	6.66
						0.1:1	0.63	1.72	1.95	0.11	1.17	1.62	0.95	0.05	6.31
500	15.6	3.91	2.34	3.91	0.78	0.3:1	3.75	0.94	5.04	0.14	1.21	0.80	0.97	0.03	7.19
						0.2:1	2.50	2.19	5.09	0.33	1.16	1.83	0.94	0.06	6.71
						0.1:1	1.25	3.44	5.13	0.55	1.12	2.89	0.90	0.10	6.35
1000	31.2	7.81	4.69	7.81	15.6	0.3:1	7.50	1.88	11.3	0.53	1.18	1.35	0.96	0.04	7.26
						0.2:1	5.00	4.38	11.4	1.31	1.11	3.09	0.90	0.10	6.79
						0.1:1	2.50	6.88	11.5	2.20	1.04	4.82	0.84	0.16	6.43
2500	78.1	19.5	11.7	19.5	39.1	0.3:1	18.8	4.69	30.1	2.44	1.15	2.24	0.93	0.07	7.44
						0.2:1	12.5	10.9	30.2	5.98	1.04	4.94	0.83	0.17	6.98
						0.1:1	6.25	17.2	30.3	9.84	0.94	7.33	0.75	0.25	6.65

ตารางที่ 4.36 ปริมาณก๊าซและพีเอชที่เกิดขึ้นที่ซีโอดีที่ถูกกำจัดต่างๆ โดยใช้ น้ำเสี้ยวคาร์โบรตีน เมื่อเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ (ต่อ)

ซีโอดีที่ถูกกำจัด		จำนวนโมลของ CH ₄ ที่เกิดขึ้นจาก		จำนวนโมลของ CO ₂ ที่เกิดขึ้นจาก		NaOH / ซีโอดี	CO ₂ ที่ ถูกใช้	CO ₂ ที่ เหลือ	จำนวนโมลของก๊าซ เหนือ น้ำ		จำนวนโมลของก๊าซ ละลายน้ำ		ความดันพาร์เชียล ของก๊าซ		pH
(มก./ล.)	(มิลลิโมล/ล.)	คาร์โบ ไฮเดรต	โปรตีน	คาร์โบ ไฮเดรต	โปรตีน				CH ₄	CO ₂	CH ₄	CO ₂	P _{CH₄}	P _{CO₂}	
5000	156	39.1	23.4	39.1	78.1	0.3:1	37.5	9.38	61.4	6.51	1.12	2.87	0.90	0.10	7.63
						0.2:1	25.0	21.9	61.5	15.8	0.99	6.10	0.80	0.20	7.19
						0.1:1	12.5	34.4	61.6	25.6	0.88	8.78	0.71	0.29	6.87
10000	312	78.1	46.9	78.1	156	0.3:1	75.0	18.8	124	15.3	1.10	3.31	0.89	0.11	7.87
						0.2:1	50.0	43.8	124	36.9	0.96	6.86	0.77	0.23	7.44
						0.1:1	25.0	68.8	124	59.1	0.84	9.65	0.68	0.32	7.13
20000	625	156	93.8	156	312	0.3:1	150	37.5	249	33.9	1.09	3.59	0.88	0.12	8.14
						0.2:1	100	87.5	249	80.2	0.94	7.28	0.76	0.24	7.72
						0.1:1	50	138	249	127	0.82	10.10	0.66	0.34	7.41
40000	1250	312	188	312	625	0.2:1	200	175	499	167	0.93	7.51	0.75	0.25	8.00
						0.1:1	100	275	499	265	0.81	10.36	0.65	0.35	7.70



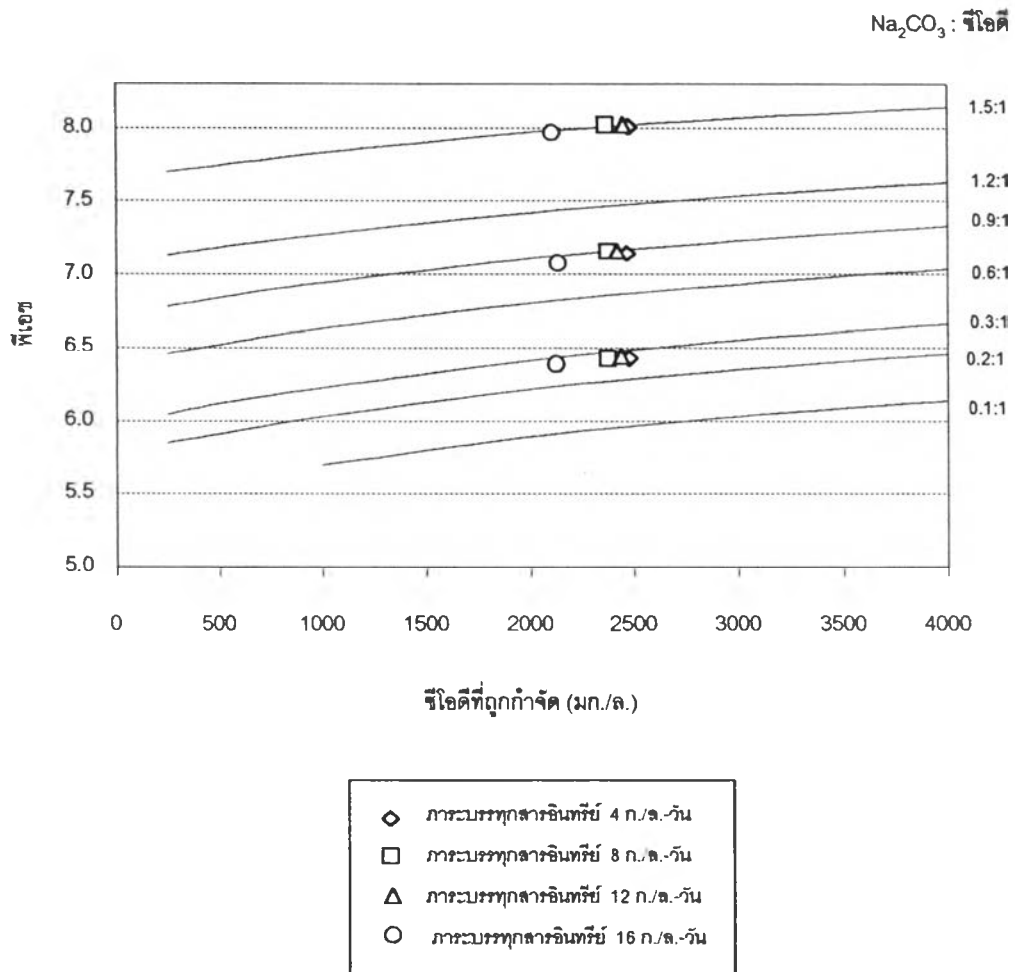
รูปที่ 4.41 โมเดลความสัมพันธ์ระหว่างซีไอดีที่ถูกกำจัด (0-40000 มก./ล.) อัตราส่วนโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อซีไอดี และพีเอช โดยใช้น้ำเสียประเภทโปรตีน



รูปที่ 4.42 โมเดลความสัมพันธ์ระหว่างซีไอดีที่ถูกกำจัด (0-4000 มก./ล.) อัตราส่วนโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อซีไอดี และพีเอช โดยใช้น้ำเสียประเภทโปรตีน

4.9 การเปรียบเทียบพีเอชที่ได้จากการทดลองกับพีเอชที่ได้จากโมเดลความสัมพันธ์ระหว่างซีโอดีที่ถูกกำจัด อัตราส่วนโซเดียมคาร์บอเนตต่อซีโอดี และพีเอช โดยใช้น้ำเสียคาร์โบไฮเดรต

จากโมเดลความสัมพันธ์ระหว่างซีโอดีที่ถูกกำจัด พีเอช และอัตราส่วนโซเดียมคาร์บอเนตต่อซีโอดี ในรูปที่ 4.34 เมื่อพล็อตค่าความสัมพันธ์ระหว่างซีโอดีที่ถูกกำจัด และอัตราส่วนโซเดียมคาร์บอเนตต่อซีโอดีที่ได้จากการทดลองโดยใช้ น้ำเสียคาร์โบไฮเดรตลงในรูป ผลลัพธ์อ่านได้คือค่าพีเอช ดังรูปที่ 4.43 เมื่อนำค่าพีเอชที่ได้มาเปรียบเทียบกับค่าพีเอชที่วัดได้จากการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.37 จะเห็นว่า ค่าพีเอชได้จากการทดลองค่อนข้างจะใกล้เคียงกับโมเดล โดยมีผลต่างของค่าพีเอชเพียง 0-1.5 เปอร์เซ็นต์ และแม้ว่าในการทดลองจะแปรค่าภาวะบรรทุสารอินทรีย์จาก 4-16 ก./ล.-วัน ก็ตาม แต่จากการทดลองก็พบว่าภาวะบรรทุสารอินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นไม่มีผลต่อค่าพีเอชของระบบแต่อย่างใด ดังนั้น จึงน่าจะเป็นไปได้ว่าโมเดลที่สร้างขึ้นนี้น่าจะสามารถนำไปใช้ทำนายความต้องการต่างของระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนในกรณีที่มีน้ำเสียเป็นประเภทคาร์โบไฮเดรตและสารเคมีที่ใช้เป็นโซเดียมคาร์บอเนตซึ่งต้องการคาร์บอนไดออกไซด์มาช่วยในการทำปฏิกิริยาเพื่อให้เกิดสภาพต่างไบคาร์บอเนตได้ แต่อย่างไรก็ตามควรจะทำการศึกษาเพิ่มเติม โดยทดลองแปรค่าความเข้มข้นของซีโอดีน้ำเสียต่างๆ เพื่อที่จะนำค่าที่ได้มาสนับสนุน หรือหาทางปรับปรุงแก้ไขในกรณีที่ค่าที่ได้จากการทดลองไม่ตรงกับโมเดล ซึ่งจะเป็นประโยชน์และเกิดความสะดวกในการจะหาความต้องการต่างที่ความเข้มข้นซีโอดีน้ำเสียต่างๆ ในกรณีใช้โซเดียมคาร์บอเนตเพื่อเพิ่มสภาพต่างให้แก่ระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน



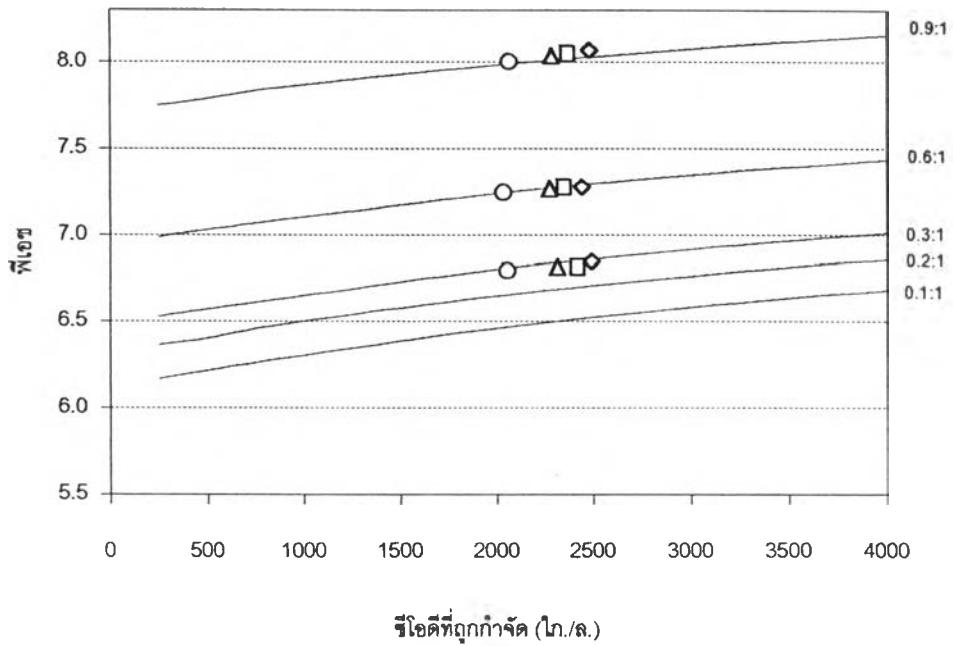
รูปที่ 4.43 การหาพีเอชจากโมเดลความสัมพันธ์ระหว่างซีโอดีที่ถูกกำจัด
พีเอช ที่อัตราส่วนโซเดียมคาร์บอเนตต่อซีโอดีต่างๆ โดยใช้น้ำเสียคาร์โบไฮเดรต

ตารางที่ 4.37 เปรียบเทียบพีเอชที่ได้จากการทดลองโดยใช้น้ำเสียคาร์โบไฮเดรตและพีเอชที่ได้จากโมเดลความสัมพันธ์ของซีโอติที่ถูกกำจัด อัตราส่วนโซเดียมคาร์บอเนตต่อซีโอติ และพีเอชที่ได้สร้างขึ้น

ด่าง:ซีโอติ	ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ (ก./ล.-วัน)	ค่าที่ได้จากผลการทดลอง		ค่าพีเอชโดยประมาณที่ได้จากโมเดลในรูปที่ 2.9	ผลต่างของค่าพีเอชคิดเป็นเปอร์เซ็นต์
		ซีโอติที่ถูกกำจัด (มก./ล.)	ค่าพีเอชที่วัดจากการทดลอง		
0.3:1	4	2410	6.6	6.5	1.5
	8	2390	6.6	6.5	1.5
	12	2375	6.6	6.5	1.5
	16	2041	6.5	6.4	3.0
0.9:1	4	2375	7.1	7.2	1.4
	8	2355	7.1	7.2	1.4
	12	2350	7.1	7.2	1.4
	16	2008	7.0	7.1	1.4
1.5:1	4	2360	8.0	8.0	0
	8	2340	8.0	8.0	0
	12	2425	8.0	8.0	0
	16	2141	8.0	7.9	1.2

4.10 การเปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดลองเทียบกับพีเอชที่ได้จากโมเดลความสัมพันธ์ระหว่างซีโอดีที่ถูกกำจัด อัตราส่วนโซเดียมคาร์บอเนตต่อซีโอดี และพีเอช โดยใช้ น้ำเสียประเภทโปรตีน

เมื่อนำค่าซีโอดีที่ถูกกำจัดและอัตราส่วนต่างต่อซีโอดีที่ใช้มาพล็อตลงในโมเดลความสัมพันธ์ระหว่างซีโอดีที่ถูกกำจัด อัตราส่วนต่างต่อซีโอดี และพีเอช ของน้ำเสียที่มีส่วนผสมของโปรตีนในรูปที่ 4.35 จะแสดงได้ดังรูปที่ 4.44 หรือสรุปได้ดังตารางที่ 4.38 จะเห็นว่าค่าพีเอชที่ได้จากโมเดลจะมีค่าสูงกว่าค่าพีเอชที่ได้จากการทดลอง ทั้งนี้เนื่องจากโมเดลที่คำนวณได้เป็นการสมมติอัตราส่วนผสมระหว่างคาร์โบไฮเดรตและโปรตีนในอัตราส่วน 50:50 ซึ่งอาจจะไม่เท่ากับน้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง แต่อย่างไรก็ดีค่าที่ได้ก็ไม่ได้แตกต่างกันมากนัก ดังนั้นโมเดลที่สร้างขึ้นนี้อาจจะสามารถนำไปใช้ประมาณปริมาณที่ต้องการสำหรับในการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียประเภทโปรตีนได้ แต่อย่างไรก็ตาม สำหรับน้ำเสียโปรตีนซึ่งสามารถสร้างสภาพตัวเองได้ โดยสภาพต่างจะขึ้นกับไนโตรเจนที่มีอยู่ในระบบ เมื่อน้ำเสียถูกย่อยสลายจะให้แอมโมเนียออกมาและแอมโมเนียจะทำปฏิกิริยากับคาร์บอนไดออกไซด์เกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์เช่นเดียวกัน กลายเป็นแอมโมเนียมไบคาร์บอเนตซึ่งจะเพิ่มสภาพต่างให้แก่ระบบ ดังนั้น หากน้ำเสียมีปริมาณไนโตรเจนมาก สภาพต่างที่เกิดขึ้นก็จะมากตาม



- ◇ ภาวะบรรจุสารอินทรีย์ 4 ก./ล.-วัน
- ภาวะบรรจุสารอินทรีย์ 8 ก./ล.-วัน
- △ ภาวะบรรจุสารอินทรีย์ 12 ก./ล.-วัน
- ภาวะบรรจุสารอินทรีย์ 16 ก./ล.-วัน

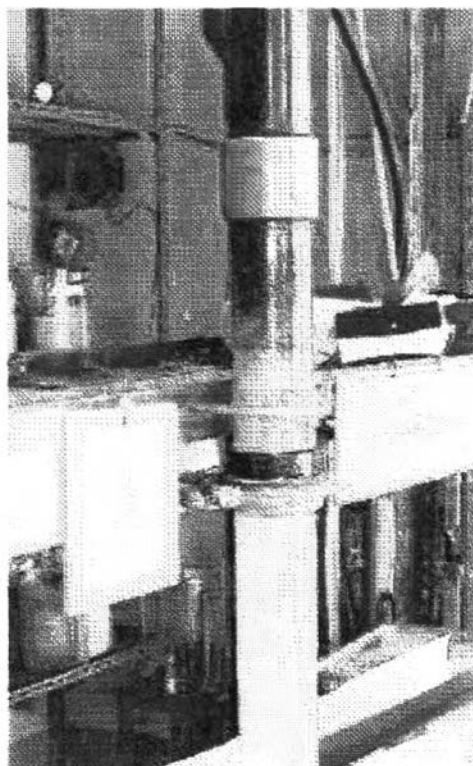
รูปที่ 4.44 การหาค่าพีเอชโมเดลความสัมพันธ์ระหว่างซีโอติที่ถูกกำจัด อัตราส่วนโซเดียมคาร์บอเนตต่อซีโอติ และพีเอช โดยใช้น้ำเสียประเภทโปรตีน

ตารางที่ 4.38 เปรียบเทียบพีเอชที่ได้จากการทดลองโดยใช้น้ำเสียโปรตีน และพีเอชจากโมเดลความสัมพันธ์ของซีโอติที่ถูกกำจัด อัตราส่วนโซเดียมคาร์บอเนตต่อซีโอติ และพีเอชที่ได้สร้างขึ้นจากน้ำเสียโปรตีน

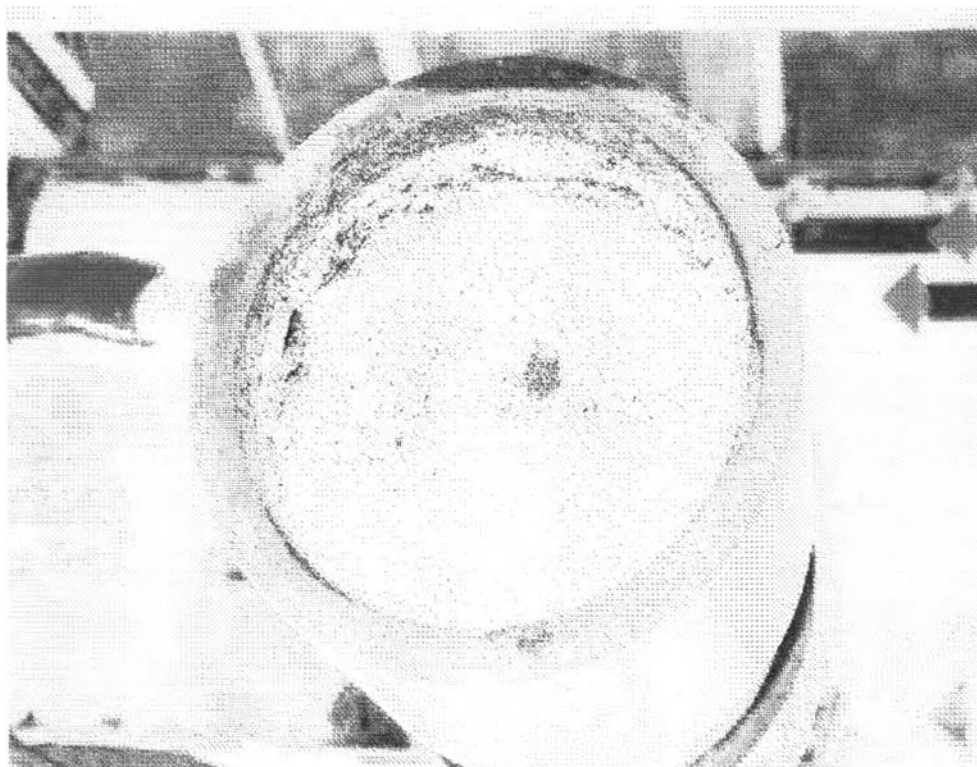
ด่าง:ซีโอติ	ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ (ก./ล.-วัน)	ค่าที่ได้จากผลการทดลอง		ค่าพีเอชโดยประมาณที่ได้จากโมเดลในรูปที่ 2.13	ผลต่างของค่าพีเอชคิดเป็นเปอร์เซ็นต์
		ซีโอติที่ถูกกำจัด (มก./ล.)	ค่าพีเอชที่วัดจากการทดลอง		
0.3:1	4	2380	6.8	6.8	0
	8	2490	6.7	6.8	1.5
	12	2270	6.7	6.8	1.5
	16	2004	6.7	6.7	1.5
0.6:1	4	2405	7.2	7.3	1.4
	8	2324	7.1	7.3	2.8
	12	2216	7.1	7.3	2.8
	16	2070	7.1	7.2	1.4
0.9:1	4	2440	7.8	8.0	2.6
	8	2295	7.7	8.0	3.9
	12	2268	7.7	8.0	3.9
	16	2105	7.7	8.0	3.9

4.11 ปัญหาการลอยตัวของตะกอนสลัดจ์เนื่องจากการใช้น้ำเสียโปรตีน

ในงานวิจัยโดยใช้น้ำเสียประเภทโปรตีนได้พบปัญหาสำคัญที่เกิดขึ้นก็คือ การลอยตัวของตะกอนสลัดจ์ ทำให้ตะกอนสลัดจ์ที่มีอยู่ในถังปฏิกรณ์น้อยลง ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการบำบัดชีโอดีต่ำลง ในที่สุดระบบอาจล้มเหลวได้ และตะกอนส่วนที่ลอยตัวยังไปปิดส่วนแยกกาซ-ตะกอน ทำให้กาซไม่สามารถเข้าไปยังชุดวัดกาซได้ทำให้วัดกาซได้น้อยกว่าที่ควรจะเป็นอีกด้วย ปัญหาการลอยตัวจะเกิดอย่างชัดเจนในชุดการทดลองที่ภาะวะบรทุกสารอินทรีย์ 8 และ 12 ก./ล.-วัน (รูปที่ 4.45 – 4.46) ตะกอนสลัดจ์ที่ลอยตัวขึ้นมานี้มีทั้งตะกอนที่เป็นเม็ดเล็กๆ จะเกาะกันเป็นกลุ่มก่อนลอยขึ้นมาติดที่ผิวน้ำคล้ายสกัมเมื่อทดลองเขี่ยดูพบว่าจะแตกออกและเกิดฟองกาซจำนวนมาก ตะกอนส่วนหนึ่งจะตกลงสู่ด้านล่าง แต่ยังมีบางส่วนที่ยังลอยตัวอยู่ที่ผิวน้ำเช่นเดิม ในการทดลองนี้จึงได้ทำการแก้ไขปัญหาเฉพาะหน้า โดยการติดตั้งชุดกวนภายในถังปฏิกรณ์ ซึ่งมีลักษณะดังรูป 3.3



รูปที่ 4.45 ลักษณะการลอยตัวของตะกอนสลัดจ์เนื่องจากการใช้น้ำเสียโปรตีน



รูปที่ 4.46 การลอยตัวของตะกอนสลัดจ์ที่ผิวหน้าเนื่องจากการใช้น้ำเสียโปรตีน

4.11.1 สาเหตุการลอยตัวของตะกอนสลัดจ์

จากงานวิจัยของ กิตติศักดิ์ , 2539 ซึ่งได้ศึกษาเรื่องการใช้ยูเอเอสบีบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอาหารทะเลแช่แข็ง ซึ่งจัดเป็นน้ำเสียประเภทโปรตีนได้พบปัญหาการลอยตัวของตะกอนสลัดจ์ เช่นเดียวกับการทดลองนี้ และได้สรุปสาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหาการลอยตัวไว้ดังนี้

1. เกิดจากของแข็งแขวนลอยในน้ำเสียซึ่งเป็นอนุภาคที่ย่อยสลายได้ช้าทางชีวภาพ เช่น น้ำเสียประเภทโปรตีน หรือไขมัน โดยอนุภาคดังกล่าวจะถูกเชื้อจุลินทรีย์ดูดซับไว้ (adsorption) ที่ผิวของเม็ดจุลินทรีย์ แต่เนื่องจากอนุภาคดังกล่าวย่อยสลายได้ยาก (O' Rourke, 1968 อ้างถึงใน Hulshoff Pol, 1994) จึงทำให้การติดอยู่ที่ผิวเม็ดจุลินทรีย์ของอนุภาคดังกล่าวไปขัดขวางการย่อยสลายสารอาหารชนิดอื่นของจุลินทรีย์ ก่อให้เกิดผลเสียต่อลักษณะของเม็ดจุลินทรีย์ก็คือ การทะลุผ่านเกิดได้ไม่ดี ทำให้การปลดปล่อยก๊าซที่เกิดขึ้นออกจากเม็ดจุลินทรีย์ได้ไม่ดีอีกด้วย ซึ่งลักษณะดังกล่าวเมื่อเกิดขึ้นนานๆ เข้า จะทำให้มีการสะสมตัวของก๊าซในเม็ดจุลินทรีย์มากขึ้นจนเกิดการลอยตัว (Lettinga et al., 1980)

2. เกิดจากแบคทีเรียชนิดสร้างกรดที่แขวนลอย (Suspended Acidogenic Bacteria, SAB) ซึ่งมีลักษณะเป็นอนุภาคแขวนลอยเช่นเดียวกับในกรณีแรก แต่ต่างกันที่ชนิดของอนุภาค โดยแบคทีเรียชนิดนี้เกิดขึ้นในขั้นตอนแรกที่เป็นขั้นตอนสร้างกรดของระบบยูเอเอสบีที่มี 2 ขั้นตอน และหลุดเข้าไปสู่ถังยูเอเอสบีในขั้นตอนสร้างมีเทน ซึ่งกลไกในการเกิดปัญหาจะเหมือนกับในกรณีแรก โดย SAB จะไปติดอยู่ที่ผิวของเม็ดจุลินทรีย์ในระบบ จากนั้นก็จะขัดขวางการย่อยสลายสารอาหาร และการปลดปล่อยก๊าซที่เกิดขึ้น จนเกิดการลอยตัวในที่สุด (Alphenaar, P.A., 1994)

3. เกิดจากลักษณะน้ำเสียที่เป็นสารอาหารจำพวกโปรตีน (COD:N=10:1) โดยไม่จำเป็นต้องอยู่ในรูปของแข็งแขวนลอย ทำให้เกิดการสร้างเม็ดที่ไม่ดีมีลักษณะเป็นฟู (fluffy) และหลุดออกจากระบบ สาเหตุมาจากเอนไซม์โปรเตส (protease) ในขั้นตอนไฮโดรไลซิสของสารอาหารจำพวกโปรตีนที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ที่ถูกปล่อยออกมาจากแบคทีเรียเพื่อย่อยสลายให้มีโมเลกุลขนาดเล็กลงและสามารถดูดซึมเข้าสู่ภายในเซลล์ได้ ส่งผลต่อลักษณะของเม็ดจุลินทรีย์ ทำให้ได้เม็ดที่มีลักษณะเป็นฟู และมีแนวโน้มในการลอยตัวและหลุดออกจากระบบได้ง่าย (Thaveesri, J., 1994)

จากผลการศึกษา พบว่า ปัญหาการลอยตัวที่เกิดขึ้นที่ภาชนะบรรจุทุกสารอินทรีย์ 8 และ 12 ก./ล.-วัน อาจเกิดได้ทั้งกรณี 1 และ 3 เพราะน้ำเสียที่ใช้เป็นน้ำเสียประเภทโปรตีนและตัวระบบก็เป็นแบบขั้นตอนเดียว และจากการสังเกตเม็ดของตะกอนสลัดจ์พบว่ารอบนอกของเม็ดจะเป็นสีขาวมีลักษณะเป็นฟู ก๊าซที่เกิดขึ้นจะติดอยู่บริเวณนี้และพาตะกอนสลัดจ์ลอยตัวขึ้นไปยังผิวน้ำ

ส่วนที่ภาชนะบรรจุทุกสารอินทรีย์ 16 ก./ล.-วัน เชื้อจะลอยบ้างแต่นานๆ ครั้ง สาเหตุไม่ได้มาจากทั้ง 3 กรณี แต่เนื่องมาจากตัวน้ำเสียเอง ซึ่งจากการสังเกตตัวน้ำเสียพบว่า เมื่อทิ้งไว้ข้ามวันจะเกิดตะกอนเมือกขึ้น และเมื่อสูบล้างไปในถังปฏิกรณ์ตะกอนเมือกนี้จะไปสะสมอยู่ด้านล่างของถัง นานวันเข้าก็จะลอยตัวขึ้นและพาชั้นตะกอนสลัดจ์ที่อยู่ด้านบนลอยไปด้วย และเมื่อใช้ท่อแยง ตะกอนสลัดจ์ก็จะกระจายตัวออกทำให้เมือกแทรกตัวขึ้นมาสู่ผิวน้ำ จากนั้นเมื่อทำการตกเมือกเหล่านั้นออก ตะกอนสลัดจ์ก็จะตกลงไปยังก้นถังปฏิกรณ์เหมือนเดิม ซึ่งสาเหตุการลอยตัวไม่เหมือนกับที่ภาชนะบรรจุทุกสารอินทรีย์ 8 และ 12 ก./ล.-วัน เนื่องจากเชื้อที่ได้จะมีเม็ดค่อนข้างใหญ่ ขนาดประมาณ 3-5 มม. จากการสังเกตเชื้อจะเป็นเม็ดแยกกันอย่างชัดเจนไม่เหนียวและเป็นฟู นอกจากนี้ยังได้นำเชื้อของที่ภาชนะบรรจุทุกสารอินทรีย์ 8 และ 16 ก./ล.-วัน ออกมาทดลองเลี้ยงแบบ

แบทซ์ ก็พบว่า เมื่อทิ้งไว้ข้ามวันที่ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 8 ก./ล.-วัน เชื้อบางส่วนจะลอยขึ้นไปอยู่ที่ผิวน้ำ ในขณะที่ที่ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 16 ก./ล.-วัน เชื้อไม่ลอยแต่อย่างใด

แต่เป็นที่น่าสังเกตว่า ที่ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 4 ก./ล.-วัน ไม่เกิดปัญหาการลอยตัว ซึ่งจากการสังเกตคาดว่าเป็นเพราะมีภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ที่ต่ำ แบคทีเรียสามารถบำบัดน้ำเสียได้ค่อนข้างดี ลักษณะของเชื้อก็แยกตัวเป็นเม็ดชัดเจน ไม่เป็นปุย แต่อย่างไรก็ตาม นี่เป็นเพียงแต่ข้อมูลที่ได้จากการสังเกต ไม่ได้ทำการศึกษาให้เฉพาะลงไป ในงานวิจัยต่อไปจึงควรทำการศึกษาเพิ่มเติม ถึงปัญหาและการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นซึ่งผู้วิจัยขอให้แนวทางแก้ไขดังนี้

4.11.2 แนวทางแก้ไข

จากปัญหาการลอยตัวที่เกิดขึ้น ทำให้ต้องมีการศึกษาและหาแนวทางแก้ไขปัญหาดังกล่าวก่อนที่จะนำระบบยูเอเอสบีไปใช้ในการบำบัดน้ำเสียประเภทนี้ต่อไป แต่เนื่องจากในงานวิจัยนี้ศึกษาเรื่องความต้องการต่างในระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ และไม่ได้ศึกษาต่อเนื่องถึงผลของการลอยตัวของตะกอนสลัดจ์ แต่ปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างการทดลองทำให้ต้องพยายามแก้ไขเพื่อให้ระบบสามารถทำงานได้ต่อไป โดยได้ทำการติดตั้งชุดกวนช้าภายในคอลัมน์ยูเอเอสบีทั้ง 2 คอลัมน์ ซึ่งเป็นการแก้ไขเฉพาะหน้า ส่วนแนวทางแก้ไขที่ดีนั้นจะได้กล่าวถึงดังต่อไปนี้

1. การเพิ่มชุดสร้างกรดเพื่อปรับสภาพน้ำเสียให้เหมาะสมสำหรับแบคทีเรียสร้างมีเทนก่อนจะนำน้ำเข้าสู่ระบบยูเอเอสบี เนื่องจากแบคทีเรียสร้างมีเทนมีอัตราการเจริญเติบโตช้า (การเพิ่มตัวเป็น 2 เท่า) การติดตั้งชุดสร้างกรดซึ่งทำหน้าที่ย่อยสลายสารอินทรีย์ให้กลายเป็นกรดไขมันระเหยโมเลกุลต่ำ ทำให้แบคทีเรียสร้างมีเทนสามารถนำไปย่อยสลายต่อได้สะดวกและทันที
2. ปรับปรุงระบบให้มีการกวนผสมในระบบอย่างสม่ำเสมอ และปรับปรุงระบบแยก 3 สถานะให้สามารถคัดแยกเชื้อ และให้ท่อนำก๊าซมีขนาดกว้างพอที่เชื้อจะไม่อุดตันการถ่ายเทก๊าซไปยังชุดวัดก๊าซ

อย่างไรก็ตาม แนวทางแก้ไขดังกล่าวเป็นเพียงข้อเสนอแนะที่ได้จากข้อมูลจากงานวิจัยที่ได้ผ่านมา การจะพิจารณาเลือกแนวทางแก้ไขใด ควรจะมีการศึกษาทดลองถึงความเหมาะสมให้ละเอียดก่อนที่จะนำไปใช้งานจริง