บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิจารณ์

4.1 ผลการดำเนินการวิจัย

ในช่วงแรกของการทดลองวิจัยนี้ ได้ใช้ถังปฏิกรณ์และเชื้อตะกอนจุลินทรีย์จากงานวิจัยของเบกพล(2542) ลักษณะถังปฏิกรณ์และอุปกรณ์แยกสามสถานะจึงเป็นชุดเดียวกัน โดยมีปริมาตร 2.5 ลิตร และมีการติดตั้งถังสร้างกรดขนาด 2.5 ลิตรเพิ่มเข้ามา โดยกำหนดเวลากักน้ำของถังสร้างกรดเท่ากับ 24 ชั่วโมงและเวลากักน้ำของระบบยูเอเอสบีเท่ากับ 24 ชั่วโมงเช่นกัน ส่วนเชื้อตะกอนจุลินทรีย์นำมาจากโรงงานทำเส้นก๋วยเตี๋ยวซอเฮง โดยนำเชื้อมา 3.4 ลิตร แบ่งเป็น 3 ส่วนเท่า ๆ กัน ใส่ในถังยูเอเอสบีทั้ง 3 ถัง จากนั้นใช้น้ำตาลทรายเป็นสารอาหารป้อนให้กับถังยูเอเอสบีชุดที่ 1 และ 2 ส่วนถังยูเอเอสบีชุดที่ 3 ใช้นมถั่วเหลือง 100 เปอร์เซ็นต์ ตรา วีซอยเป็นสารอาหาร โดยการป้อนสารอาหารให้กับระบบทีละน้อย เริ่มต้นจากซีโอดีประมาณ 500 มก./ล.จนถึง 1,000 มก./ล. ในระยะนี้ใช้เวลาประมาณ 2 เดือน จากนั้นจึงเริ่มผสมน้ำชะมูลฝอยให้แก่ระบบทีละน้อย เริ่มต้นจากซีโอดี 250 จนถึง 1,000 มก./ล. โดยในถังยูเอเอสบีชุดที่ 1/1 จะทำการค่อย ๆ ลดปริมาณน้ำตาลทรายลงจนกระทั่งเหลือแต่การป้อนน้ำชะมูลฝอยเข้าระบบยูเอเอสบีชุดที่ 1/1 เพียงอย่างเดียวเท่านั้น ช่วงนี้ใช้เวลาอีกประมาณ 2 เดือน แล้วจึงเริ่มการทดลองการทดลองที่ 1 โดยระยะเวลาที่ใช้ในการทดลองที่ 1 ใช้เวลาประมาณ 2 เดือน จากนั้นเริ่มการทดลองที่ 2 โดยเปลี่ยนความเข้มข้นของสารอาหารที่ใช้จาก 1,000 มก./ล. เป็น 2,000 มก./ล. ทำการทดลองเป็นเวลา 1 เดือน ส่วนการทดลองที่ 3 เพิ่มความเข้มข้นของสารอาหารจาก 2,000 มก./ล. เป็น 4,000 มก./ล.โดยทำการทดลองเป็นระยะเวลารวม 1 เดือนเช่นกัน หลังจากทำการทดลองที่ 3 เสร็จสิ้นแล้วจึงทำการทดลองเพื่อหากระบวนการ AOPs ที่เหมาะสม ซึ่งจะนำมาใช้บำบัดน้ำชะมูลฝอยร่วมกับระบบยูเอเอสบีในการทดลองที่ 4 โดยการทดลองนี้ใช้เวลาเพียง 2 อาทิตย์เท่านั้น เมื่อทำการทดลองเสร็จแล้วจะได้ชนิดและความเข้มข้นของสารอาหารร่วมที่เหมาะสมที่จะนำไปใช้ในการทดลองที่ 4

ในการทดลองที่ 4 เป็นการประยุกต์นำเอากระบวนการ AOPs มาใช้ร่วมกับการเติมสารอาหารร่วมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำชะมูลฝอย โดยนำน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดด้วยกระบวนการ AOPs ที่เหมาะสมนำมาป้อนเข้าระบบยูเอเอสบีชุดที่ 4/2 และ 4/3 โดยระบบยูเอเอสบีชุด

ที่ 1/3 มีการเติมสารอาหารร่วมด้วยความเข้มข้นที่เหมาะสมลงในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดด้วยกระบวนการ AOPs ก่อนป้อนเข้าระบบยูเอเอสบีชุดที่ 4/3 โดยการทดลองที่ 4 นี้ ใช้เวลาในการทำการทดลองประมาณ 2 เดือน

4.1.1 ลักษณะสมบัติของน้ำชะมูลฝอยที่ใช้ในการทดลอง

น้ำชะมูลฝอยที่ใช้ในการทดลองได้นำมาจากสถานฝังกลบมูลฝอยของเทศบาลปทุมธานี ตั้งอยู่ที่อำเภอ ลาดหลุมแก้ว จังหวัด ปทุมธานี สถานฝังกลบแห่งนี้ดำเนินการมาได้ 8 ปี และยังคงใช้งานอยู่ ซึ่งตลอดการทำวิจัย ได้ไปเก็บน้ำชะมูลฝอยทั้งหมด 4 ครั้ง เมื่อเก็บน้ำชะมูลฝอยมาแล้ว ได้ทำการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติเพื่อเป็นตัวแทนของน้ำชะมูลฝอยในครั้งนั้น ๆ ดังนั้นค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในตารางที่ 4.1 จึงแสดงเป็นช่วงระหว่างค่าน้อยที่สุดถึงมากที่สุดในการเก็บน้ำชะมูลฝอยทั้งหมด 4 ครั้ง

ตารางที่ 4.1 ลักษณะสมบัติของน้ำชะมูลฝอยที่สถานฝังกลบเทศบาลปทุมธานี อำเภอลาด-หลุมแก้ว จ.ปทุมธานี

ลักษณะสมบัติ	หน่วย	ค่าระหว่าง
พีเอช	-	8.0-8.3
ซีโอดี	มก./ล.	4500-6200
บีโอดี 5วัน	มก./ล.	200-340
สี	เอสยู	980-1650
ทีเคเอ็น	มก./ล. ไนโตรเจน	1980-2240
แอมโมเนีย	มก./ล. ไนโตรเจน	1540-2010
ไนเทรต	มก./ล. ไนโตรเจน	3.46-4.68
ไนไทรต์	มก./ล. ไนโตรเจน	0.75-1.64
ฟอสฟอรัสทั้งหมด	มก./ล. ฟอสฟอรัส	3.5-7.2
สภาพด่าง	มก./ล.หินปูน	5380-5900
กรดไขมันระเหย	มก./ล.หินปูน	1300-1800
ของแข็งแขวนลอย	มก./ล.	200-260

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2 ผลการทดลองชุดที่ 1 อัตราส่วนน้ำชะมูลฝอยต่อสารอาหารร่วม 1:1

การทดลองชุดนี้ใช้เวลาเดินระบบทั้งหมด 67 วัน ระยะเวลา 30 วันแรกเป็นช่วงให้เชื้อในระบบปรับตัวให้เข้ากับน้ำชะมูลฝอยที่ความเข้มข้นประมาณ 1,000 มก.ซีโอดี/ล. เนื่องจากพีเอชของน้ำชะมูลฝอยมีค่าสูงคือประมาณ 8.0 ถึง 8.3 ดังนั้นก่อนทำการป้อนน้ำเสียเข้าระบบจึงมีการปรับพีเอชโดยใช้กรดฟอสฟอริคให้เท่ากับ 7.0 เสียก่อน เพื่อทำให้พีเอชน้ำออกอยู่ในช่วงที่เหมาะสมกับการทำงานของแบคทีเรียเมทธาโนเจนคือระหว่าง 6.8-7.4 การนำข้อมูลมาหาค่าเฉลี่ยต่าง ๆ ใช้ช่วงวันที่ 31ถึง 67 ของการเดินระบบ ค่าเฉลี่ยของตัวแปรต่าง ๆ จากการทดลองแสดงในตารางที่ 4.2

4.2.1 ซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัด

จากรูปที่ 4.1 แสดงค่าซีโอดีของระบบยูเอเอสบีแต่ละชุดตลอดการทดลองที่ 1 เมื่อนำมาหาค่าเฉลี่ยจะได้ค่าเฉลี่ยของซีโอดีดังตารางที่ 4.2 โดยค่าเฉลี่ยซีโอดีในน้ำเข้าของชุดควบคุมคือระบบยูเอเอสบีชุดที่ 1/1 มีค่าเท่ากับ 1123 มก./ล. ซึ่งเป็นซีโอดีที่ได้จากน้ำชะมูลฝอยล้วน ๆ ส่วนค่าซีโอดีน้ำเข้าของระบบยูเอเอสบีชุดที่ 1/2 ที่มีการเติมน้ำตาลทรายและระบบยูเอเอสบีชุดที่ 1/3 ที่มีการเติมนมถั่วเหลืองเป็นสารอาหารร่วม มีค่าเท่ากับ 2204 มก./ล. และ 2359 มก./ล. ตามลำดับ

จากผลการทดลองพบว่า ถังสร้างกรดในชุดควบคุม ชุดที่ 1/2และชุดที่ 1/3 มีค่าซีโอดีได้เฉลี่ยเท่ากับ 993 1116 และ 1129มก./ล.ตามลำดับ ส่วนค่าซีโอดีในน้ำออกจากระบบยูเอเอสบีทั้ง 3 ชุด เป็นดังนี้คือ เท่ากับ 920 856 และ 943 มก./ล. ในระบบยูเอเอสบีชุดที่ 1/1 1/2 และ 1/3 ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.2 เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพเฉลี่ยในการกำจัดซีโอดี พบว่าในถังสร้างกรดของชุดควบคุมมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี เท่ากับ 12 % ส่วนถังสร้างกรดของระบบยูเอเอสบีชุดที่ 1/2 และ 1/3 มีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีถึง 49 %และ 52% สำหรับประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีในน้ำออกของยูเอเอสบีทั้ง 3 ชุด เท่ากับ 18% 61% และ 60% ตามลำดับ ซึ่งจะพบว่า การกำจัดซีโอดีรวมในระบบส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นในถังสร้างกรด โดยในชุดควบคุมมีการกำจัดซีโอดีในถังสร้างกรด 12 % ส่วนในถังยูเอเอสบีจะมีการกำจัดซีโอดีเพิ่มอีกเพียง 6% ส่วนในระบบยูเอเอสบีชุดที่ 1/2 และ 1/3 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีในถังสร้างกรดเท่ากับ 49% และ 52 % ตามลำดับ ส่วนในถังยูเอเอสบีของระบบชุดที่ 1/2 และ 1/3 จะมีการกำจัดซีโอดีรวมเพิ่มอีก 12 % และ 8% เท่านั้น

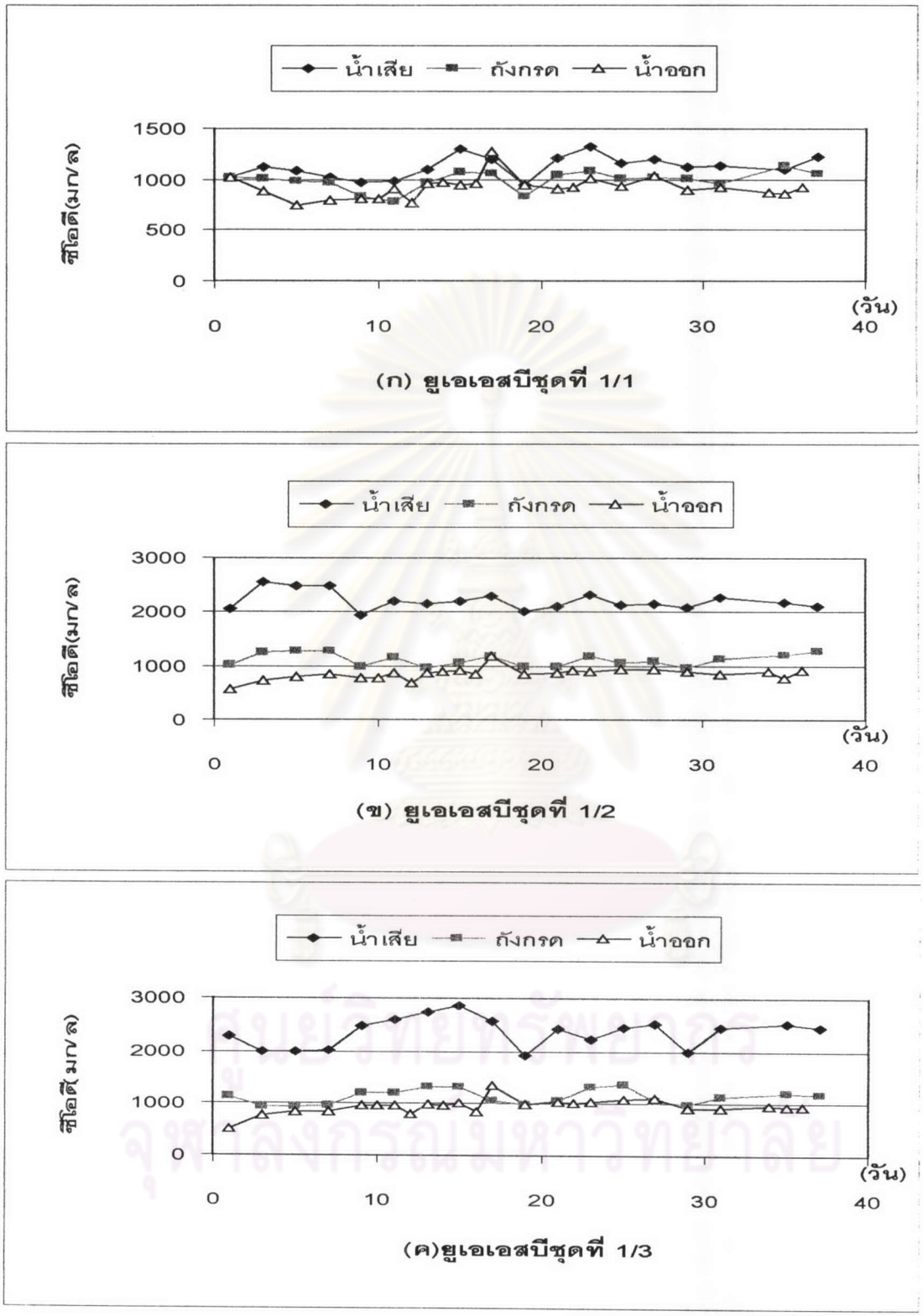
ตารางที่ 4.2 สรุปค่าเฉลี่ยของตัวแปรต่างๆ จากการทดลองที่ 1

ตัวแปรที่วัด	UASB ชุดที่ 1 ไม่เติมสารอาหารร่วม			UASB ชุดที่ 2 (น้ำตาลทราย 1,000 มก./ล.)			UASB ชุดที่ 3 (นมถั่วเหลือง 1,000 มก./ล.)		
	น้ำเสีย	ถังกรด	น้ำออก	น้ำเสีย	ถังกรด	น้ำออก	น้ำเสีย	ถังกรด	น้ำออก
พีเอช (pH) เฉลี่ย	7.00	6.96	7.27	7.00	6.87	7.15	7.00	6.82	7.33
n=18 SD.		0.02	0.06		0.05	0.08		0.04	0.07
อุณหภูมิ (Temperature) เฉลี่ย	29.6	29.6	30.3	29.6	29.6	30.3	29.6	29.6	30.3
(องศาเซลเซียส) n=18 SD.	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
โออาร์พี (ORP) เฉลี่ย		-323	-342		-348	-348		-359	-365
(มิลลิโวลท์) n=18 SD.		17	13		15	12		11	17
ซีโอดี(COD) เฉลี่ย	1123	993	920	2204	1116	856	2359	1129	943
(มก./ล.) n=24 SD.	109	95	107	168	111	113	275	141	145
ประสิทธิภาพการกำจัด เฉลี่ย		12	18		49	61		52	60
ซีโอดี(COD)รวม * SD.									
ประสิทธิภาพการกำจัด เฉลี่ย		12	18		1	24		-	16
ซีโอดี(COD) * * SD.									
ความเข้มสี (SU) เฉลี่ย	112.189	111.441	108.552	121.267	105.304	91.491	159.623	111.731	103.196
n=24 SD.	12.88	12.009	12.777	15.298	10.633	11.977	37.428	11.642	13.495
ประสิทธิภาพการลดสี เฉลี่ย		1	3		6	18		1	8
(%) *** SD.									
บีโอดี(BOD) เฉลี่ย	51		46	1292		45	1352		64
n=7 SD.	10		10	301		15	240		18
ประสิทธิภาพการกำจัด เฉลี่ย			10			97			95
บีโอดี(BOD) SD.									
สภาพด่างทั้งหมด เฉลี่ย	1444	1490	1544	1403	1487	1568	1577	1637	1708
(มก./ล. $CaCO_3$) n=7 SD.	91	89	52	62	73	53	28	111	52
กรดไขมันระเหย(VFA) เฉลี่ย	327	298	285	341	430	306	411	428	372
(มก./ล. $CaCO_3$) n=7 SD.	41	37	32	45	25	18	32	60	54
อัตราส่วนกรดไขมันระเหยเฉลี่ย	0.226	0.200	0.185	0.243	0.289	0.195	0.261	0.261	0.218
ต่อสภาพด่างทั้งหมด SD.									
ปริมาณก๊าซทั้งหมด เฉลี่ย						0.115			0.099
(ลิตร) n=12 SD.						0.022			0.012
ก๊าซมีเทน (%)						67			63

*ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีทั้งในถังสร้างกรดและในน้ำออกคิดเทียบจากซีโอดีในน้ำเสีย

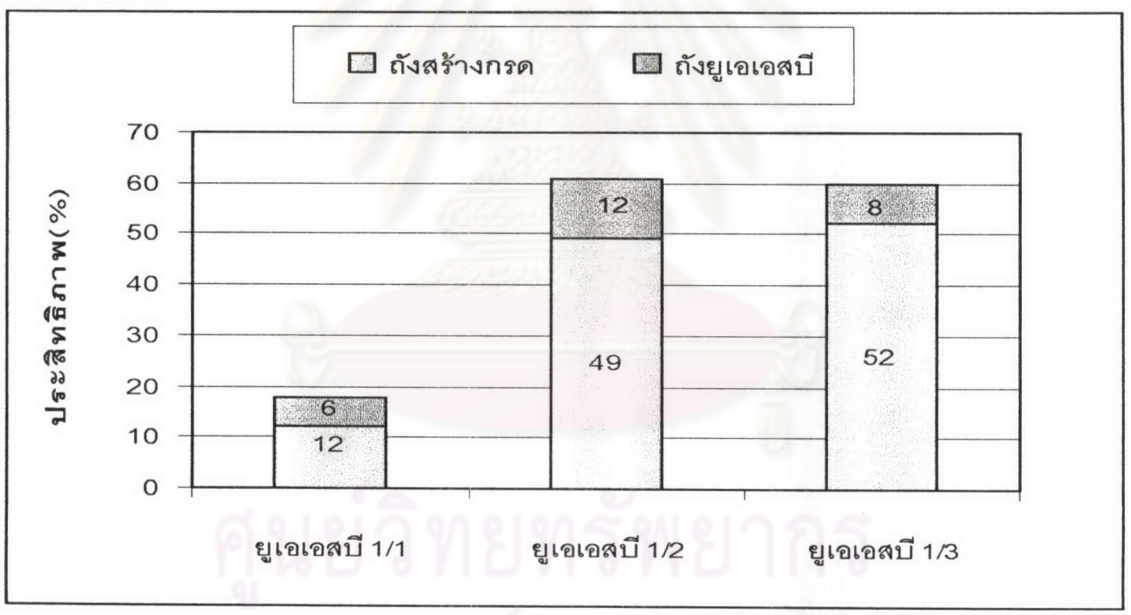
**ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีทั้งในถังสร้างกรดและในน้ำออกคิดเทียบจากซีโอดีในน้ำเสียของ UASB ชุดที่ 1

***ประสิทธิภาพการกำจัดสีทั้งในถังสร้างกรดและในน้ำออกคิดเทียบจากสีในน้ำเสียของ UASB ชุดที่ 1

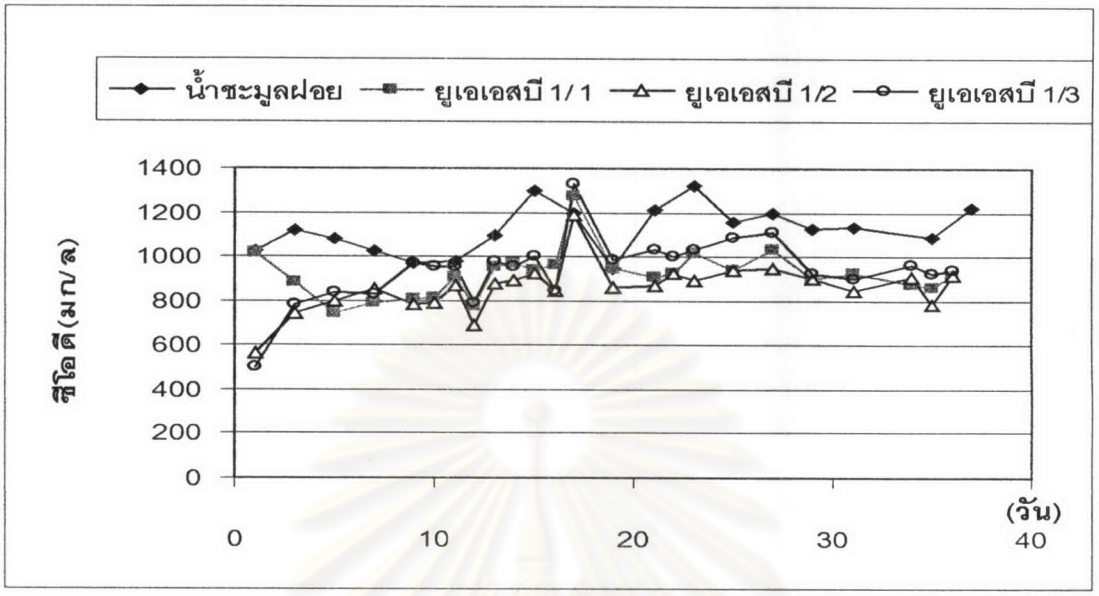


รูปที่ 4.1 ค่าซีโอดีตลอดการทดลองที่ 1

ประสิทธิภาพเฉลี่ยในการกำจัดซีโอดีของระบบยูเอเอสบีชุดที่ 1/2 และ 1/3 มีค่าสูงกว่าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของระบบยูเอเอสบีชุดที่ควบคุมมาก แต่เมื่อพิจารณาค่าซีโอดีในน้ำออกของระบบยูเอเอสบีชุดที่ 1/1 1/2 และ 1/3 ดังรูปที่ 4.2 แล้วพบว่า ระบบยูเอเอสบีชุดที่ 1/2 ซึ่งเติมน้ำตาลทรายเข้มข้น 1000 มก.ซีโอดี/ล.เป็นสารอาหารร่วม มีค่าซีโอดีน้ำออกเฉลี่ยน้อยที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 856 มก./ล. ส่วนระบบยูเอเอเอสบีชุดควบคุมและชุดที่ 1/3 มีค่าซีโอดีเฉลี่ยน้ำออกเท่ากับ 920 และ 943 มก./ล ตามลำดับ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า การเติมน้ำตาลทรายเข้มข้น 1000 มก.ซีโอดี/ล.เป็นสารอาหารร่วมมีส่วนช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีของน้ำชะมูลฝอย ส่วนการเติมนมถั่วเหลืองเข้มข้น 1000 มก.ซีโอดี/ล.เป็นสารอาหารร่วมทำให้ซีโอดีเฉลี่ยในน้ำออกของระบบยูเอเอสบีชุดที่ 1/3 มีค่ามากกว่าซีโอดีเฉลี่ยในน้ำออกของระบบชุดควบคุม แสดงว่าไม่มีประโยชน์ในการเติมนมถั่วเหลืองเข้มข้น 1000มก.ซีโอดี/ล.เป็นสารอาหารร่วม เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีของน้ำชะมูลฝอย



รูปที่ 4.2ประสิทธิภาพเฉลี่ยการกำจัดซีโอดีของระบบยูเอเอสบีชุดต่าง ๆ ของการทดลองที่1

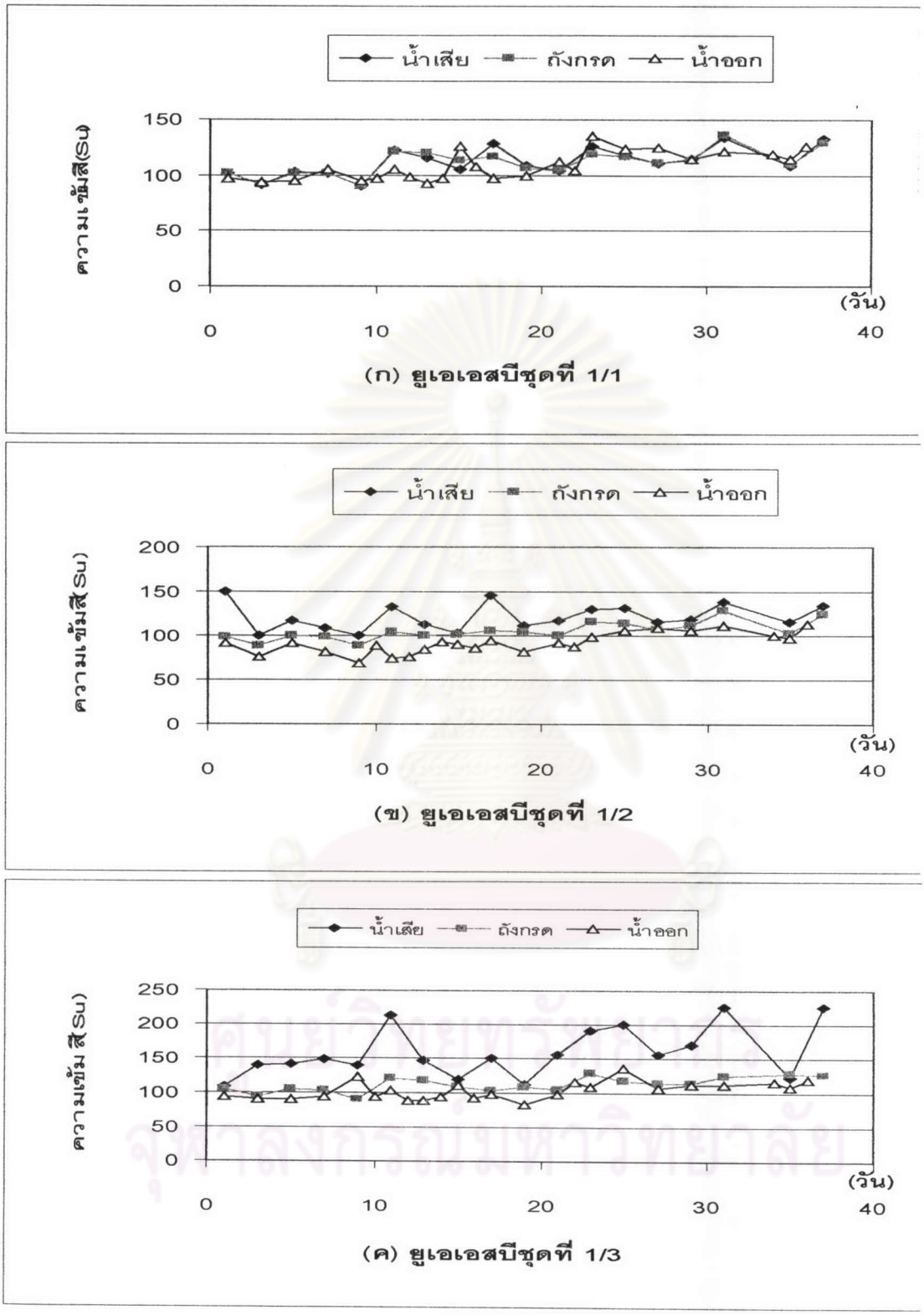


รูปที่ 4.3 สรุปค่าซีโอดีของการทดลองที่ 1

4.2.2 ความเข้มสีและประสิทธิภาพการลดสี

จากรูปที่ 4.4 แสดงค่าความเข้มสีของระบบยูเอเอสบีแต่ละชุดตลอดการทดลองที่ 1 เมื่อนำมาหาค่าเฉลี่ยจะได้ค่าเฉลี่ยความเข้มสีดังตารางที่ 4.2 โดยค่าเฉลี่ยของความเข้มสีในน้ำชะมูลฝอยที่เตรียมให้กับยูเอเอสบีทั้ง 3 ชุด คือ 112 121 และ 160 SU ในชุดที่ 1/1 1/2 และ 1/3 ตามลำดับ ส่วนในถังสร้างกรดมีความเข้มสีในชุดที่ 1/1เท่ากับ 111 SU ชุดที่ 1/2 เท่ากับ 105 SU และในชุดที่ 1/3 เท่ากับ 112 SU และในน้ำออกมีความเข้มสีชุดที่ 1/1 เท่ากับ 109 SU ส่วนชุดที่ 1/2 และ 1/3 มีความเข้มสีเท่ากับ 91 SU และ 103 SU ตามลำดับ

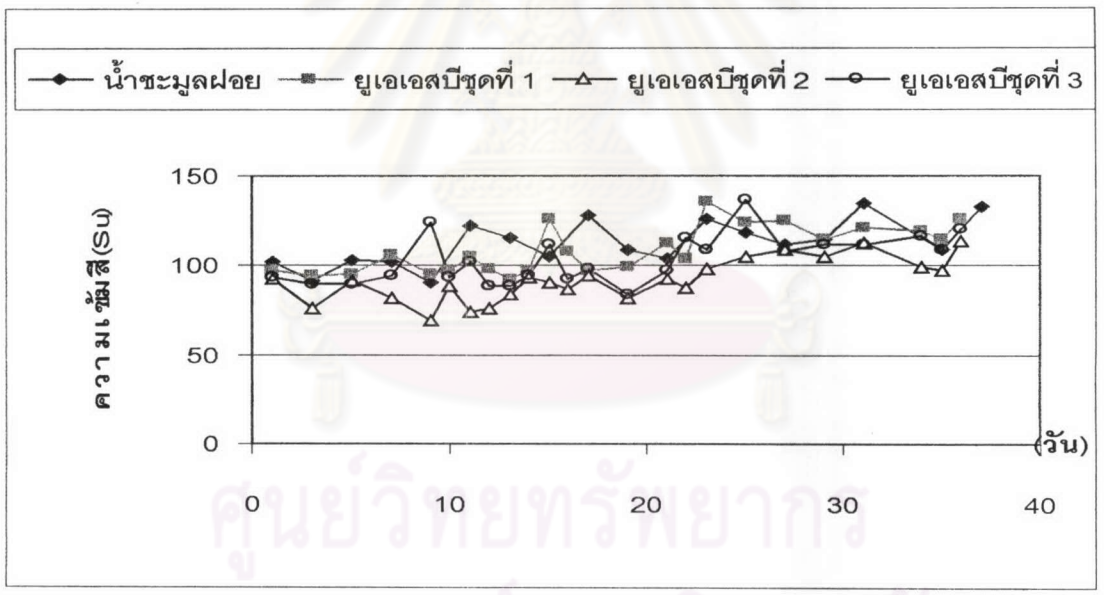
สาเหตุที่ความเข้มสีในน้ำชะมูลฝอยที่เข้าระบบยูเอเอสบีชุดที่ 1/3 มีความเข้มสีมากกว่าน้ำเสียที่เข้าระบบชุดที่ 1/1 และ 1/2 เนื่องจากมีความขุ่นของอนุภาคน้ำนมถั่วเหลือง แม้ว่าก่อนนำไปวัดสีจะทำการกรองด้วยกระดาษ GF/C ก่อนแล้วก็ตาม แต่อนุภาคน้ำนมถั่วเหลืองบางส่วนสามารถหลุดลอดไปได้ ทำให้รบกวนการวัดสีด้วยเครื่อง สเปคโตรโฟโตมิเตอร์ สำหรับน้ำออกจากระบบยูเอเอสบีชุดที่ 1/3 จะไม่พบปัญหานี้ เนื่องจากอนุภาคน้ำนมอาจถูกย่อยสลายหรือเกิดการดูดติดเซลล์แบคทีเรียที่อยู่ในถังยูเอเอสบี



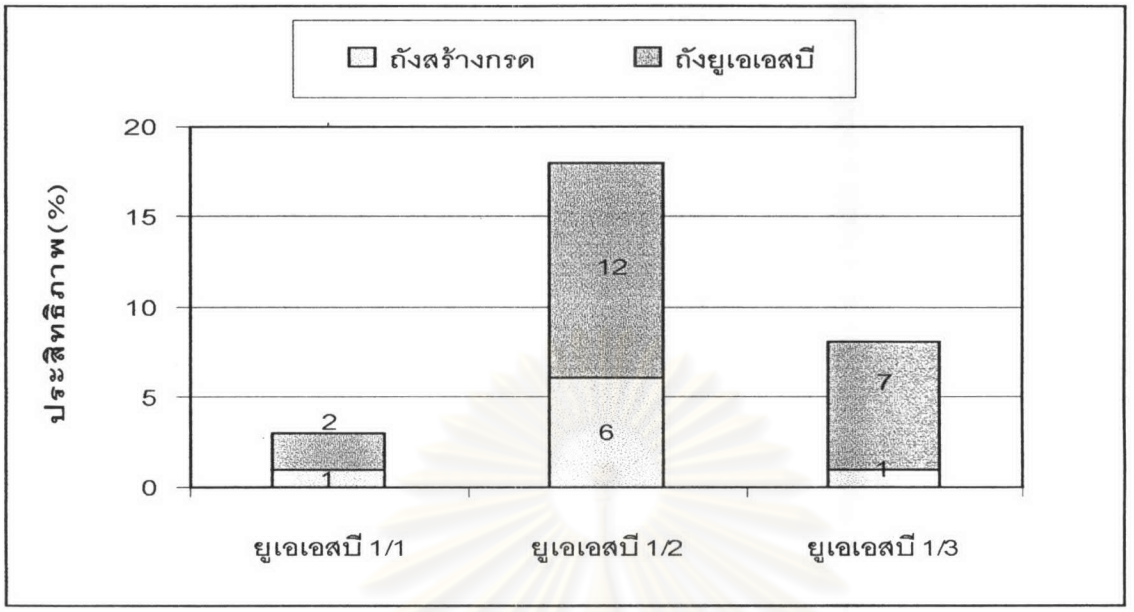
รูปที่ 4.4 ค่าความเข้มสีตลอดการทดลองที่ 1

เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการลดสีในรูปที่ 4.6 ถังสร้างกรดของระบบชุดที่ 1/1 1/2 และ 1/3 มีประสิทธิภาพการลดสีเท่ากับ 1% 6 % และ 1 % ตามลำดับ ส่วนประสิทธิภาพการลดสีของระบบเมื่อผ่านการบำบัดด้วยถังยูเอเอสบีของชุดที่ 1/1 1/2 และ 1/3 คือ 3 % 18 % และ 8 % ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.5 ซึ่งเป็นกราฟสรุปผลของความเข้มสีของระบบยูเอเอสบีชุดต่าง ๆ พบว่า การเติมสารอาหารร่วมในระบบมีส่วนช่วยในการลดสี เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพเฉลี่ยในการลดสีดังรูปที่ 4.6 ระบบชุดที่ 1/2 ซึ่งเติมน้ำตาลทรายเข้มข้น 1,000 มก.ซีโอดี/ล. สามารถลดสีโดยเฉลี่ยได้ดีกว่าระบบชุดที่ 1/1 ซึ่งเป็นชุดควบคุมถึง 15% ส่วนระบบชุดที่ 1/3 ซึ่งเติมนมถั่วเหลืองเข้มข้น1,000 มก.ซีโอดี/ล.แม้จะลดสีได้น้อยกว่าระบบชุดที่ 1/2 แต่ยังสามารถลดสีเฉลี่ยได้มากกว่าชุดควบคุม 5 % และเมื่อสังเกตประสิทธิภาพการลดสีของถังสร้างกรดและถังยูเอเอสบีแล้วจะพบว่า สีส่วนใหญ่จะถูกกำจัดในถังยูเอเอสบีมากกว่าถังสร้างกรด



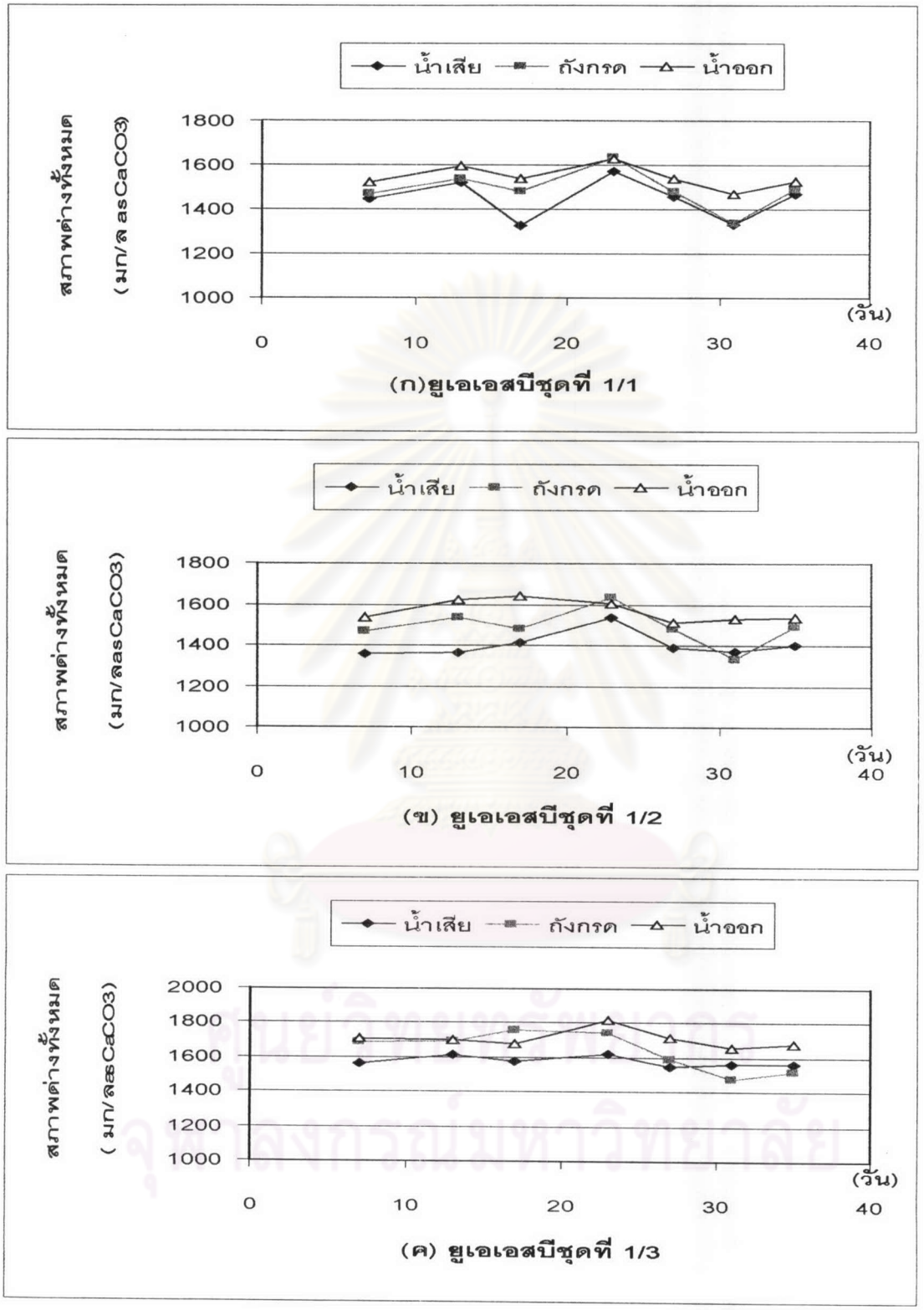
รูปที่ 4.5 สรุปค่าความเข้มสีของระบบยูเอเอสบีชุดต่าง ๆ ตลอดการทดลองที่ 1



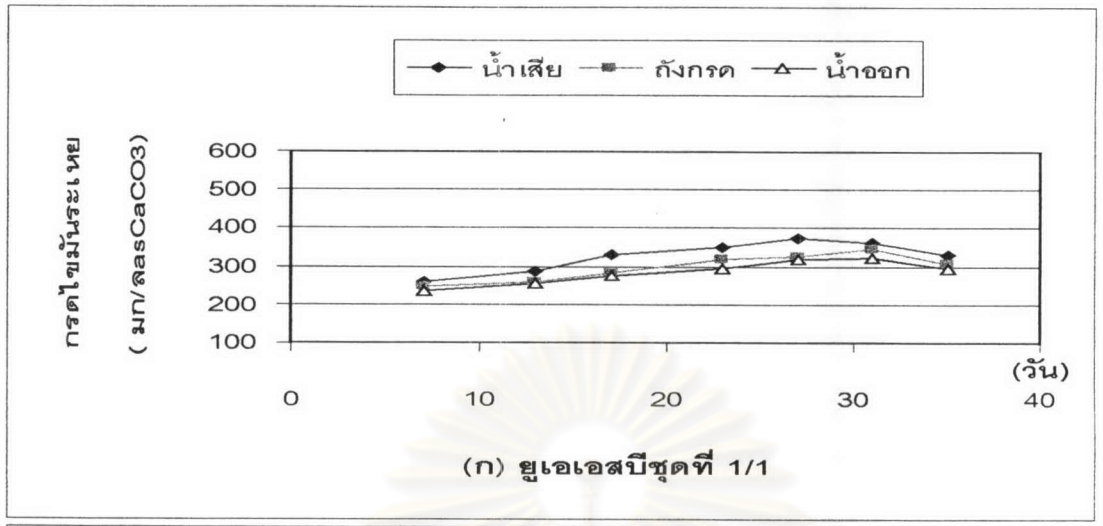
รูปที่ 4.6 ประสิทธิภาพเฉลี่ยในการกำจัดสีของระบบยูเอเอสบีชุดต่าง ๆ ของการทดลองที่ 1

4.2.3 สภาพด่างทั้งหมดและกรดไขมันระเหย

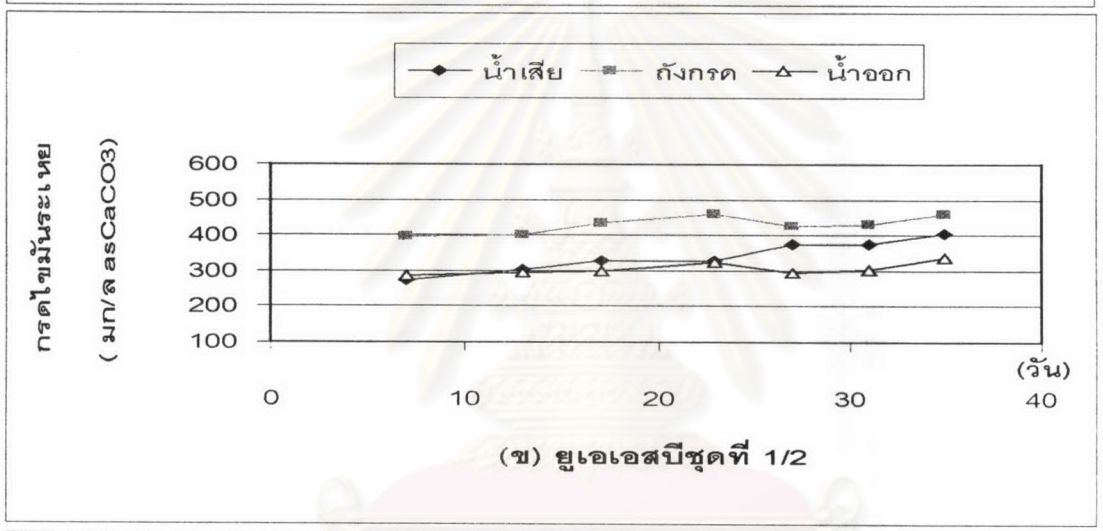
จากรูปที่ 4.7และ 4.8 แสดงค่าสภาพความเป็นด่างทั้งหมดและค่ากรดไขมันระเหยตลอดการทดลองที่ 1เมื่อนำมาหาค่าเฉลี่ยจะได้ค่าเฉลี่ยของสภาพด่างทั้งหมดและค่ากรดไขมันระเหย ดังตารางที่ 4.4 โดยสภาพด่างทั้งหมดเฉลี่ยของระบบยูเอเอสบีชุดที่ 1/1 ในน้ำเสีย ถังสร้างกรดและน้ำออก เท่ากับ 1444 1490 และ 1544 มก./ล.ในเทอมของแคลเซียมคาร์บอเนต ตามลำดับ ในระบบยูเอเอสบีชุดที่ 1/2 เท่ากับ 1403 1487 และ 1568 มก./ล.ในเทอมของแคลเซียมคาร์บอเนต ตามลำดับ และในระบบยูเอเอสบีชุดที่ 1/3 เท่ากับ 1577 1637 และ 1708 มก./ล.ในเทอมของแคลเซียมคาร์บอเนต ตามลำดับ พบว่าในระบบยูเอเอสบีชุดที่ 1/1 ซึ่งเป็นชุดควบคุม มีการเพิ่มขึ้นของสภาพด่างในถังสร้างกรดเท่ากับ 3% ของสภาพด่างในน้ำเสีย ส่วนในน้ำออกมีสภาพด่างเพิ่มขึ้น 7 % ของสภาพด่างในน้ำเสีย ในถังยูเอเอสบีชุดที่ 1/2 สภาพด่างในถังสร้างกรดและในน้ำออกเพิ่มขึ้นเท่ากับ 6 %และ 12% ของสภาพด่างในน้ำเสีย ตามลำดับ ส่วนในถังยูเอเอสบีชุดที่ 1/3 สภาพด่างในถังสร้างกรดและในน้ำออกเพิ่มขึ้นเท่ากับ 4 %และ 8% ของสภาพด่างในน้ำเสีย ตามลำดับ สาเหตุที่สภาพด่างทั้งหมดมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยทั้งในถังสร้างกรดและในน้ำออก น่าจะเป็นเพราะการทำงานของแบคทีเรียบางชนิด เช่น แบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต ที่มีการผลิตไบคาร์บอเนต เมื่อย่อยสารอินทรีย์ได้แบบสมบูรณ์



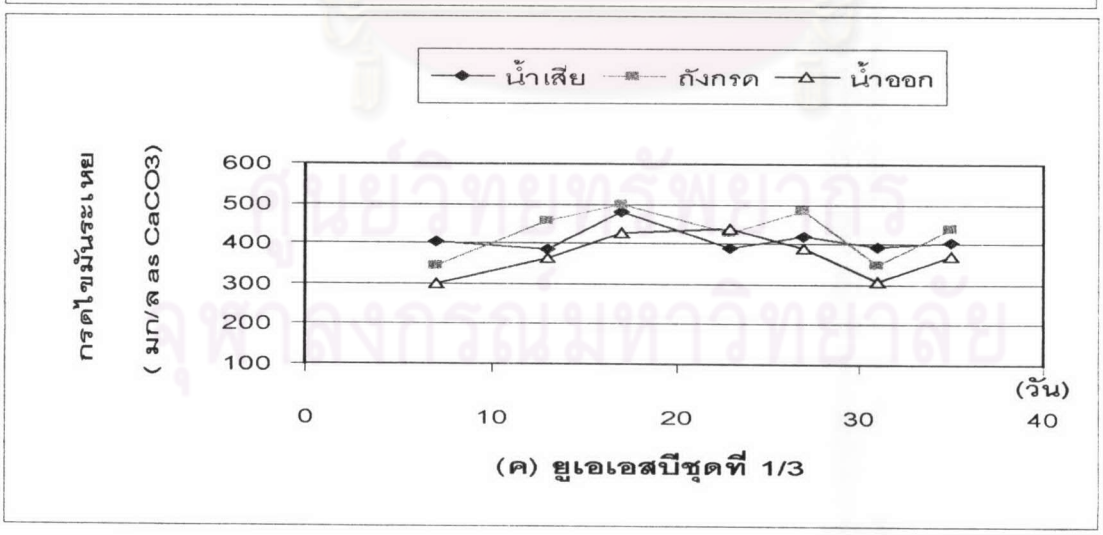
รูปที่ 4.7สภาพด่างทั้งหมดตลอดการทดลองที่ 1



(ก) ยูเอเอสบีชุดที่ 1/1



(ข) ยูเอเอสบีชุดที่ 1/2



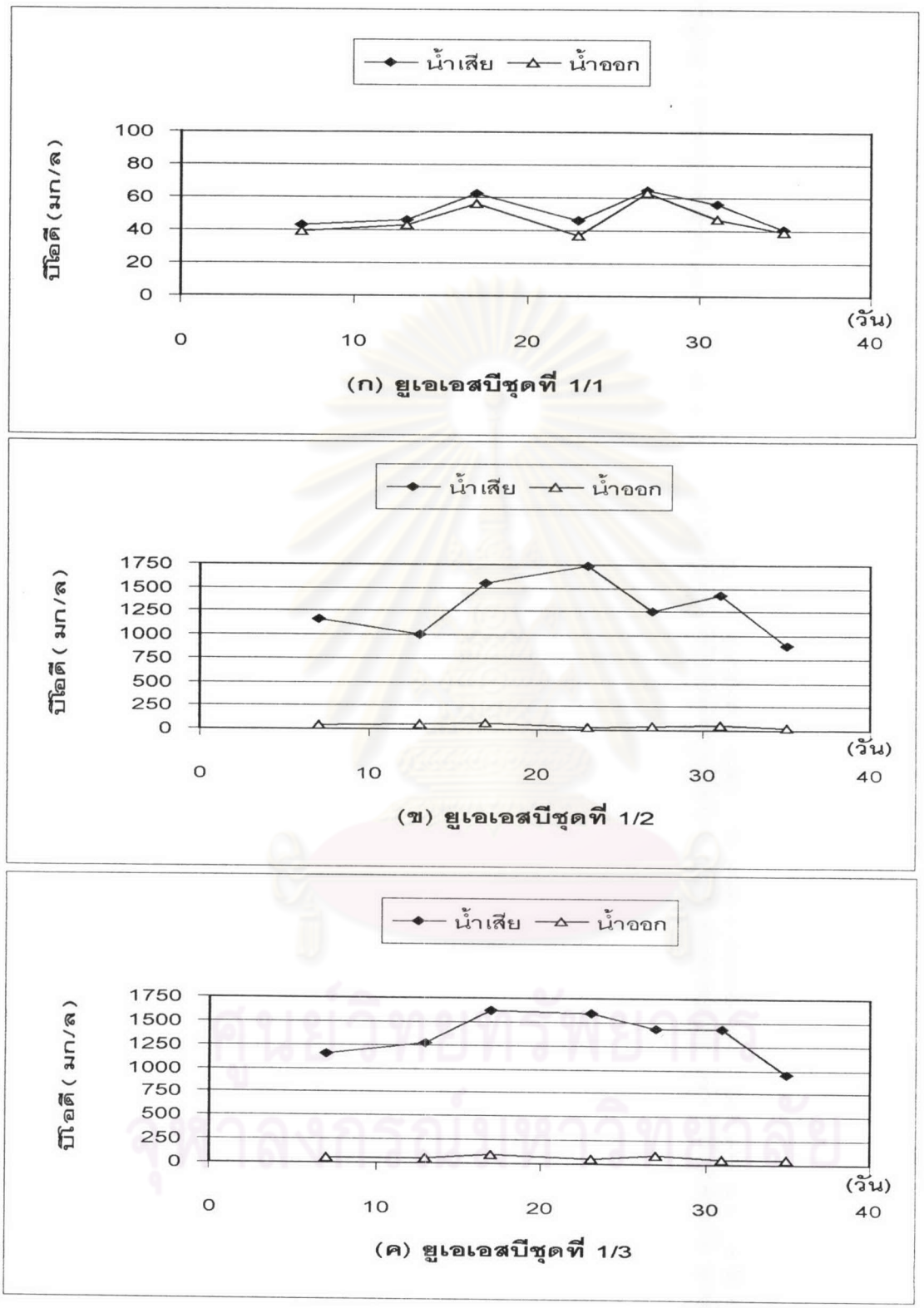
(ค) ยูเอเอสบีชุดที่ 1/3

รูปที่ 4.8 ค่ากรดไขมันระเหยตลอดการทดลองที่ 1

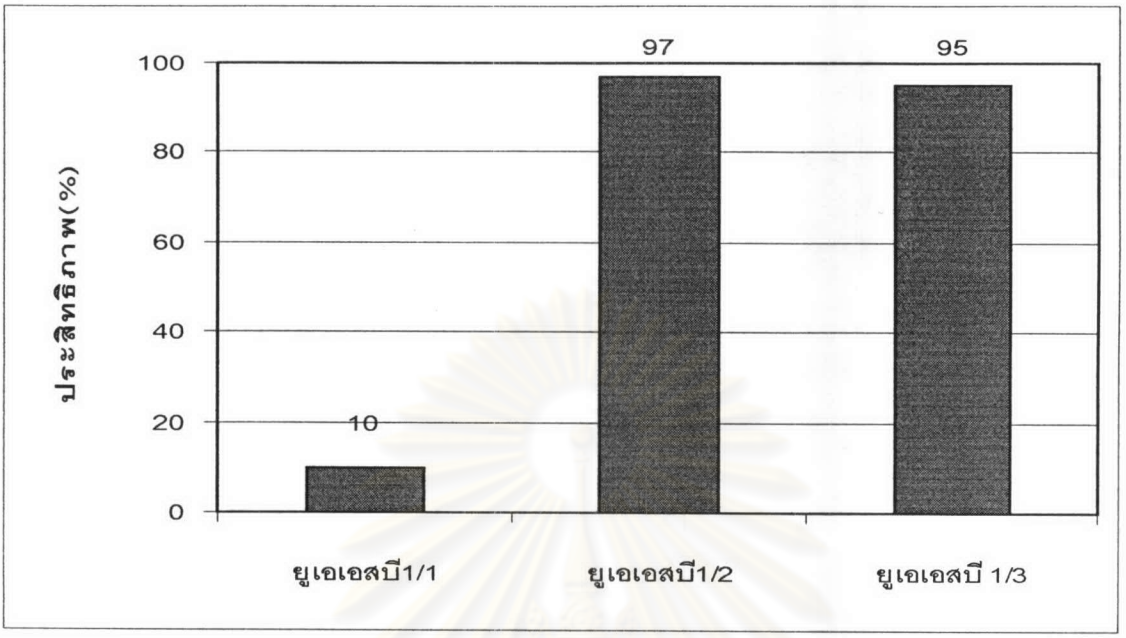
ปริมาณกรดไขมันระเหยเฉลี่ยในน้ำเสียของระบบยูเอเอสบีชุดที่ 1/1 เท่ากับ 327 มก./ล.ในเทอมของแคลเซียมคาร์บอเนต ในถังสร้างกรดและน้ำออกเท่ากับ 298 และ285 มก./ล. ในเทอมของแคลเซียมคาร์บอเนต ตามลำดับ ส่วนในระบบยูเอเอสบีชุดที่ 1/2 มีค่ากรดไขมันระเหยในน้ำชะมูลฝอยถังสร้างกรด และน้ำออก เท่ากับ 341 430 และ 306 มก./ล.ในเทอมของแคลเซียม-คาร์บอเนต ตามลำดับ และระบบยูเอเอสบีชุดที่ 1/3 เท่ากับ 411 428 และ 372 มก./ล.ในเทอมของแคลเซียมคาร์บอเนต ตามลำดับ สาเหตุที่กรดไขมันระเหยในถังสร้างกรดของระบบยูเอเอสบีชุดที่ 1/1 กลับมีค่าลดลง อาจเป็นเพราะมีการใช้กรดไขมันระเหยในถังสร้างกรดโดยแบคทีเรียบางชนิดหรืออาจเป็นเพราะความคลาดเคลื่อนในการทดลองหากรดไขมันระเหยโดยวิธีไตเตรต ซึ่งอาจเกิดความคลาดเคลื่อนได้เพราะจุดยุติไม่แน่นอนเมื่อมีสารบางตัวในน้ำเสีย เช่น ซัลไฟด์ไอออน เมื่อเติมกรดลงไปจะกลายเป็นไฮโดรเจนซัลไฟด์ซึ่งเป็นก๊าซหนีออกจากน้ำ แต่การทำปฏิกิริยาของกรดกับซัลไฟด์ไม่ได้เกิดขึ้นทั่วถึงอย่างรวดเร็ว ดังนั้นกรดที่เติมลงไปและยังไม่ได้ทำปฏิกิริยาจะทำให้พีเอชลดลง เมื่อปฏิกิริยาเกิดขึ้นไฮโดรเจนจะถูกใช้ไป ทำให้พีเอชกลับสูงขึ้นมาอีกทำให้สังเกตจุดยุติได้ยาก กรดไขมันระเหยในน้ำออกของระบบยูเอเอสบีชุดที่ 1/1 มีค่าลดลงน่าจะเป็นเพราะว่ากรดไขมันระเหยถูกนำไปใช้โดยแบคทีเรียพวกเมทธาโนเจน ส่วนในระบบยูเอเอสบีชุดที่ 1/2 และ 1/3 มีแนวโน้มเดียวกันคือ ค่ากรดไขมันระเหยจะเพิ่มขึ้นในถังสร้างกรด แต่จะมีค่าลดลงในน้ำออก สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากมีการย่อยสลายสารอาหารร่วมให้กลายเป็นกรด ไขมันระเหยในถังสร้างกรด ปริมาณกรดไขมันระเหยในถังสร้างกรดจึงเพิ่มขึ้น แต่เมื่อผ่านถังยูเอเอสบีทำให้กรดไขมันระเหยถูกใช้โดยแบคทีเรียผลิตมีเทน (Methanogens) ทำให้ปริมาณกรดไขมันระเหยในน้ำออกลดลง

4.2.4 บีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัด

จากรูปที่ 4.9 ค่าบีโอดีเฉลี่ยของระบบยูเอเอสบี ชุดที่ 1/1 ในน้ำชะมูลฝอย และน้ำออก เท่ากับ 51 และ 46 มก./ล.ตามลำดับ ระบบยูเอเอสบีชุดที่ 1/2 เท่ากับ 1292 และ 45 มก./ล.ตามลำดับ ส่วนระบบยูเอเอสบีชุดที่ 1/3 มีค่าเท่ากับ 1352 และ 64 มก./ล.ตามลำดับ จากรูปที่ 4.10 เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีของน้ำออกเทียบกับบีโอดีของน้ำเข้า ประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีของระบบยูเอเอสบีชุดที่ 1/1 เท่ากับ 10% ส่วนในระบบยูเอเอสบีชุดที่ 1/2 มีประสิทธิภาพในการกำจัดบีโอ-ดีเท่ากับ 97% ส่วนในระบบยูเอเอสบีชุดที่ 1/3 มีประสิทธิภาพในการกำจัดบีโอดีเท่ากับ 95 %

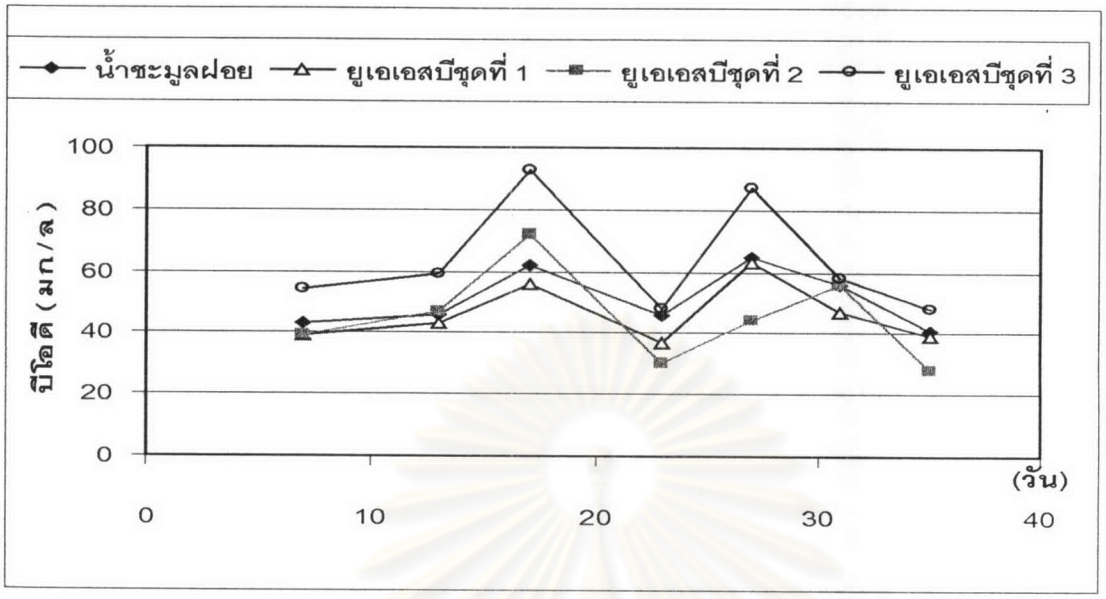


รูปที่ 4.9 แสดงค่าบีโอดีของระบบยูเอเอสบีชุดต่าง ๆ ตลอดการทดลองที่ 1



รูปที่ 4.10 ประสิทธิภาพเฉลี่ยในการกำจัดบีโอดีของถังยูเอเอสบีชุดต่าง ๆของการทดลองที่ 1

เมื่อพิจารณาค่าบีโอดีในน้ำออกจากรูปที่ 4.11 ระบบยูเอเอสบีชุดที่ 1/2 มีค่าบีโอดีเฉลี่ยน้ำออกน้อยที่สุด เท่ากับ 45 มก./ล. ส่วนระบบยูเอเอสบีชุดที่ 1/1 และชุดที่ 1/3 มีค่าบีโอดีเฉลี่ยในน้ำออกเท่ากับ 46 และ 64 มก./ล.ตามลำดับ ดังนั้นสรุปได้ว่า การเติมน้ำตาลทรายเข้มข้น 1000 มก./ล. เป็นสารอาหารร่วมมีส่วนช่วยในการลดบีโอดีของน้ำชะมูลฝอยเล็กน้อย ส่วนการเติมนมถั่วเหลืองเข้มข้น 1000 มก./ล. เป็นสารอาหารร่วมไม่มีส่วนช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดบีโอดีแต่อย่างใด แต่กลับทำให้ค่าบีโอดีในน้ำออกมีค่าเพิ่มขึ้น สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เพราะว่าระบบยูเอเอสบีชุดที่ 1/3 ไม่สามารถย่อยบีโอดีของนมถั่วเหลืองที่เติมเข้าไปเป็นสารอาหารร่วมได้หมด เมื่อเปรียบเทียบบีโอดีน้ำออกของระบบยูเอเอสบีชุดที่ 1/3 กับ บีโอดีในน้ำออกของระบบยูเอเอสบีชุดที่ 1/2 พบว่านมถั่วเหลืองเป็นสารที่ย่อยได้ยากกว่าน้ำตาลทราย เนื่องจากที่เวลากักเท่ากัน บีโอดีในน้ำออกของระบบยูเอเอสบีชุดที่ 1/2 เหลือน้อยกว่าบีโอดีในน้ำออกของระบบยูเอเอสบีชุดที่ 1/3



รูปที่ 4.11 ค่าบีโอดีน้ำออกของระบบยูเอเอสบีต่าง ๆตลอดการทดลองที่ 1

4.2.5 ของแข็งแขวนลอยและของแข็งระเหยง่าย

จากรูปที่ 4.12และ4.13 เมื่อนำมาหาค่าเฉลี่ยดังตารางที่4.3 จะพบว่าปริมาณของแข็งแขวนลอยและของแข็งระเหยง่ายในน้ำเข้าของระบบยูเอเอสบีชุดที่ 1/2 และ1/3 มีค่ามากกว่าของระบบยูเอเอสบีชุดที่ 1/1 สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากเมื่อละลายน้ำตาลทรายลงในน้ำเสีย อาจมีน้ำตาลทรายบางส่วนที่ละลายไม่หมดทำให้อยู่ในรูปของของแข็งแขวนลอยและของแข็งระเหยง่ายในน้ำเสีย ส่วนนมถั่วเหลืองนั้นจะพบว่ามีค่าของแข็งแขวนลอยและของแข็งระเหยง่ายในน้ำเสียเพิ่มขึ้นจากเดิมมาก เนื่องจากเวลานำไปกรอง อนุภาคของนมถั่วเหลืองซึ่งเป็นคอลลอยด์บางส่วนไม่สามารถผ่านกระดาษ GF/C

ในถังสร้างกรดของระบบยูเอเอสบีชุดที่ 1/1 ของแข็งแขวนลอยและของแข็งระเหยง่ายมีค่าลดลงเนื่องมีการเกิดการตกตะกอนเกิดขึ้นในถังสร้างกรด ส่วนในถังสร้างกรดของระบบยูเอเอสบีชุดที่ 1/2 และ 1/3 มีค่าของแข็งแขวนลอยและของแข็งระเหยง่ายเพิ่มขึ้น สาเหตุมาจากการเกิดเมือกขึ้นในถังสร้างกรด นอกจากนี้ยังมีสิ่งมีชีวิตพวกหนอนและลูกน้ำอาศัยอยู่ด้วยทำให้ในการตักน้ำจากถังสร้างกรดขึ้นไปวัดค่าของแข็งแขวนลอยและของแข็งระเหยง่ายจะมีสิ่งเหล่านี้ปนเปื้อนไปบ้าง

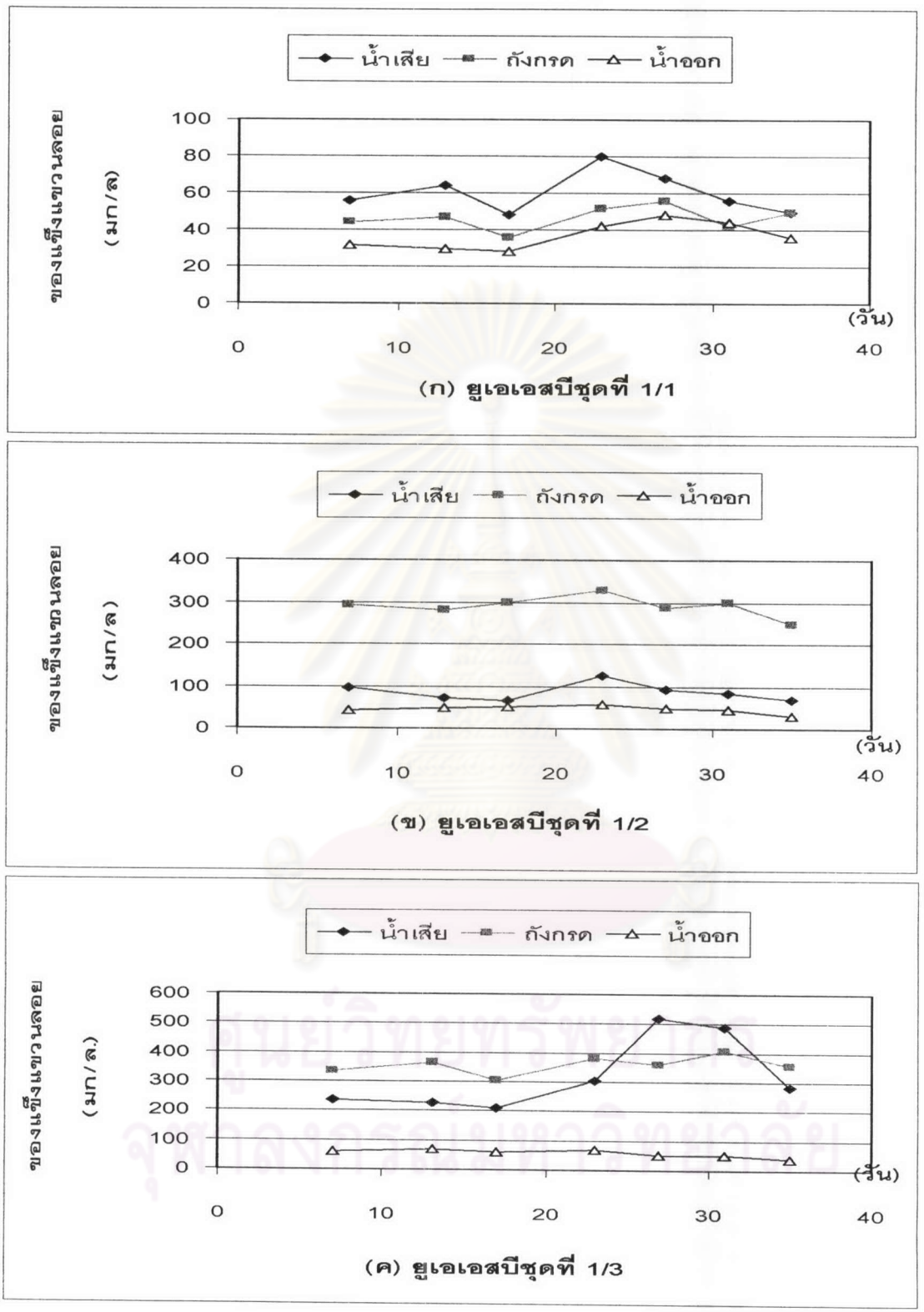
ตารางที่ 4.3 ค่าเฉลี่ยของแข็งแขวนลอยและของแข็งระเหยง่ายตลอดการทดลองที่ 1

พารามิเตอร์	UASB ชุดที่ 1/1			UASB ชุดที่ 1/2			UASBชุดที่ 1/3		
	น้ำเข้า	ถังกรด	น้ำออก	น้ำเข้า	ถังกรด	น้ำออก	น้ำเข้า	ถังกรด	น้ำออก
ของแข็งแขวนลอย เฉลี่ย	60	47	37	86	290	46	325	359	57
(มก./ล.) n=7 SD	11	7	8	20	24	9	127	32	11
ของแข็งระเหยง่าย เฉลี่ย	42	32	27	69	236	36	295	325	38
(มก./ล.) n=7 SD	9	5	5	15	20	7	116	29	7
อัตราส่วน vss/ss	0.70	0.68	0.73	0.80	0.81	0.78	0.91	0.91	0.67

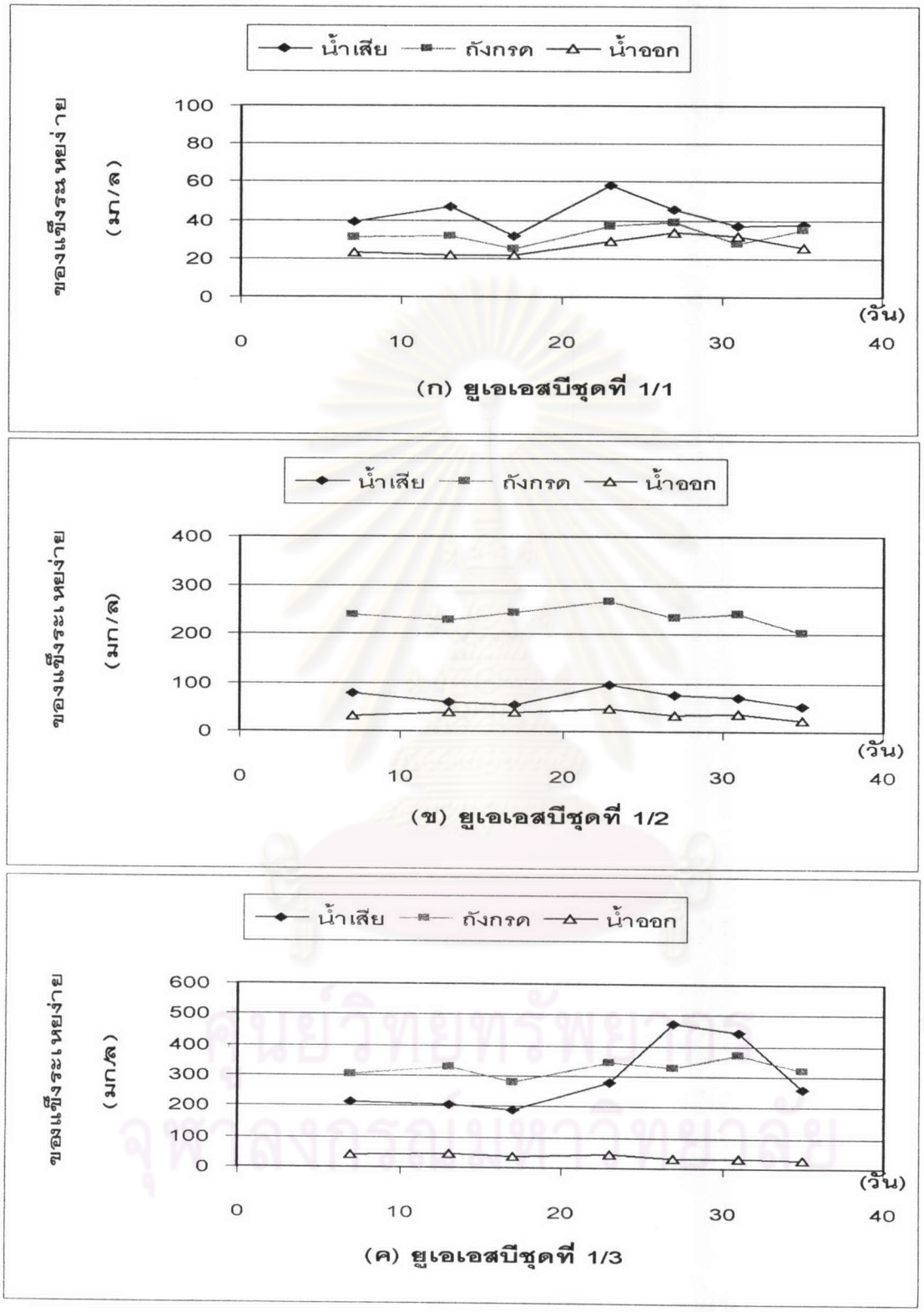
สำหรับค่าของแข็งแขวนลอยและของแข็งระเหยง่ายในน้ำออก พบว่าในระบบยูเอเอสบีชุดที่ 1/2 และ 1/3 มีค่าสูงกว่าในระบบยูเอเอสบีชุดที่ 1/1 สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากระบบยูเอเอสบีชุดที่ 1/2 และ 1/3 มีการกำจัดซีโอดีในปริมาณมากกว่าในระบบยูเอเอสบีชุดที่ 1/1 ดังนั้นปริมาณเซลล์แบคทีเรียที่เพิ่มขึ้นและปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นในถังย่อมสูงกว่าของระบบยูเอเอสบีชุดที่ 1/1 เมื่อเป็นเช่นนี้ย่อมทำให้เกิดปริมาณของแข็งแขวนลอยและของแข็งระเหยง่ายมากกว่า นอกจากนี้ก๊าซที่เกิดขึ้นยังอาจทำให้เกิดการฟุ้งกระจายของของแข็งเหล่านี้ในระบบขึ้นด้วย จึงทำให้ระบบชุดที่ 1/2 และ1/3มีปริมาณของแข็งแขวนลอยและของแข็งระเหยง่ายในน้ำออกมากกว่าระบบยูเอเอสบีชุดที่1/1

4.2.6 พีเอช

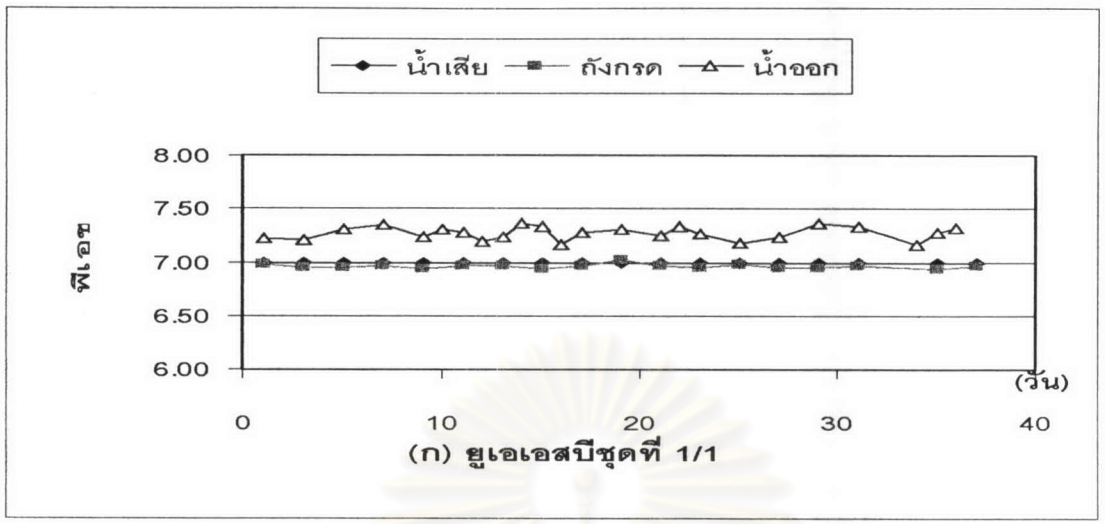
การเดินระบบทั่วไป ถ้าน้ำเสียมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะสมบัติน้อย ไม่มีสารพิษอื่นแปลกปลอมเข้ามา หรือไม่มีปริมาณสารตัวใดเปลี่ยนแปลงกระทันหัน การเดินระบบจะทำได้ง่าย โอกาสที่ระบบจะเสียสมดุลย์หรือทำงานผิดปรกติจนถึงขั้นทำให้ระบบล้มเหลวมีน้อย สำหรับระบบไร้ออกซิเจนที่น้ำเข้าระบบมีลักษณะสมบัติค่อนข้างคงที่ ปัจจัยหนึ่งที่ทำให้การทำงานของระบบเปลี่ยนแปลงได้ก็คือ พีเอช เพราะแบคทีเรียเมทธาโนเจนเป็นแบคทีเรียที่ทำงานได้ดีในช่วงพีเอชแคบ ๆ เท่านั้น ถ้าหากมีผลกระทบใด ๆ ที่ทำให้แบคทีเรียเมทธาโนเจนทำงานได้น้อยลง ไม่สามารถเปลี่ยนกรดเป็นก๊าซมีเทนได้ทัน กรดจะสะสมตัวอยู่ในระบบ ทำให้พีเอชลดลงอย่างรวดเร็ว ย้อนกลับมาเป็นอันตรายต่อแบคทีเรียเมทธาโนเจน โอกาสที่ระบบล้มเหลวเป็นไปได้สูง เกิดได้ในเวลาที่รวดเร็ว หากระบบล้มเหลวในลักษณะเช่นนี้ต้องใช้เวลาในการฟื้นตัวนาน จึงต้องมีการวัดพีเอชในระบบอย่างสม่ำเสมอ โดยรูปที่ 4.14 แสดงค่าพีเอชตลอดการทดลองที่ 1



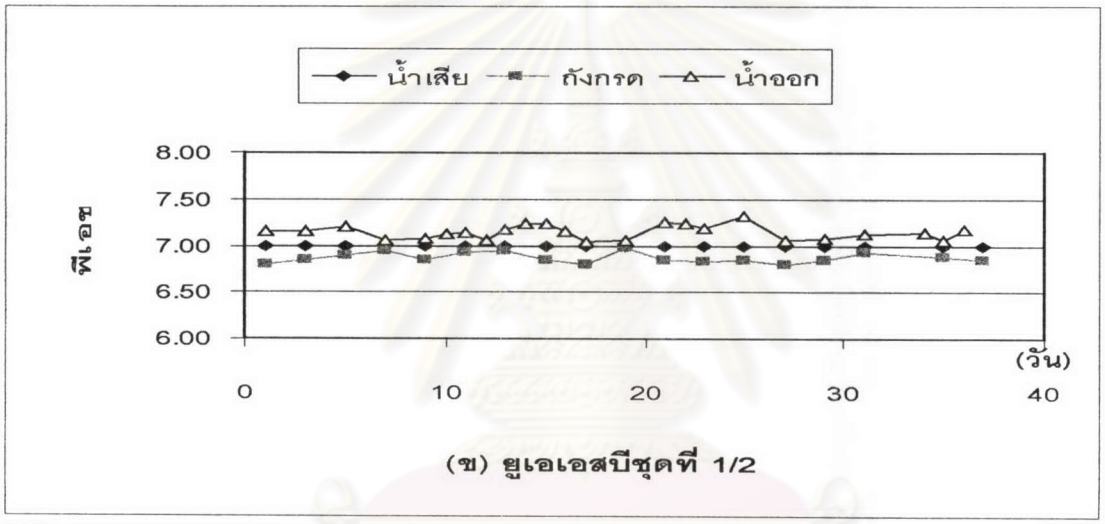
รูปที่ 4.12 ค่าของแข็งแขวนลอยตลอดการทดลองที่ 1



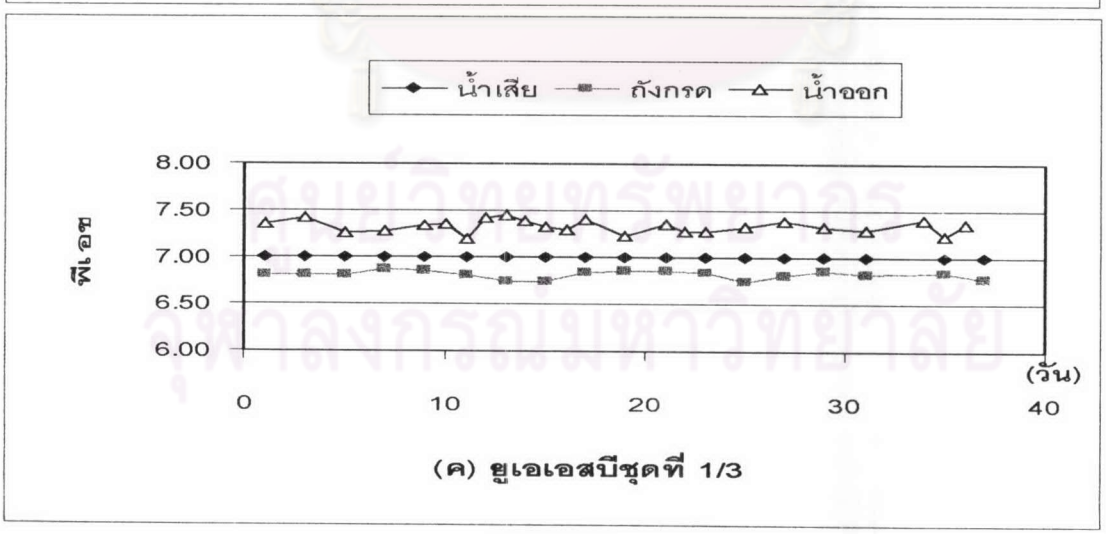
รูปที่ 4.13 ค่าของแข็งระเหยง่ายตลอดการทดลองที่ 1



(ก) ยูเอเอสบีชุดที่ 1/1



(ข) ยูเอเอสบีชุดที่ 1/2



(ค) ยูเอเอสบีชุดที่ 1/3

รูปที่4.14 ค่าพีเอชตลอดการทดลองที่ 1

ค่าพีเอชตลอดการทดลองที่ 1 สำหรับถังยูเอเอสบีชุดที่ 1/1 พบว่ามีค่าพีเอชเท่ากับ 7.00 ในน้ำเสียเข้าระบบ เท่ากับ 6.96 ในถังสร้างกรดและเท่ากับ 7.27 ในน้ำออก ในขณะที่ระบบยูเอเอสบีชุดที่ 1/2 มีค่าพีเอชเฉลี่ยเท่ากับ 7.00 6.87 และ 7.15 ตามลำดับ และระบบยูเอเอสบีชุดที่ 1/3 เท่ากับ 7.00 6.82 และ 7.33 ตามลำดับ สาเหตุที่ในน้ำเข้าระบบทั้ง 3 ชุดต่างมีพีเอชเท่ากับ 7 เนื่องจากถูกปรับพีเอชด้วยกรดฟอสฟอริค เพื่อให้น้ำออกจากระบบมีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 6.8 ถึง 7.4 ซึ่งเป็นค่าพีเอชที่เหมาะสมสำหรับแบคทีเรียเมทธาโนเจน จากค่าพีเอชที่ได้จากการทดลองจะพบว่า ค่าพีเอชในถังสร้างกรดจะมีค่าลดต่ำลงจากน้ำเสียที่เตรียม เนื่องจากมีการสร้างกรดไขมันระเหยในถังสร้างกรด ทำให้พีเอชลดลง และเมื่อเปรียบเทียบค่าพีเอชในน้ำออกของระบบแต่ละชุดพบว่า พีเอชน้ำออกของระบบชุดที่ 1/3 จะมีค่าสูงกว่าน้ำออกจากระบบอื่น ๆ เนื่องจากในน้ำนมถั่วเหลืองมีโปรตีน ซึ่งเมื่อถูกย่อยสลายจะให้ค่าความเป็นด่างออกมา ดังสมการ

$$C_{10}H_{19}O_3N + 4.69\ H_2O \Longrightarrow 5.74CH_4 + 2.45CO_2 + 0.2C_5H_7O_2N + 0.8NH_4HCO_3$$

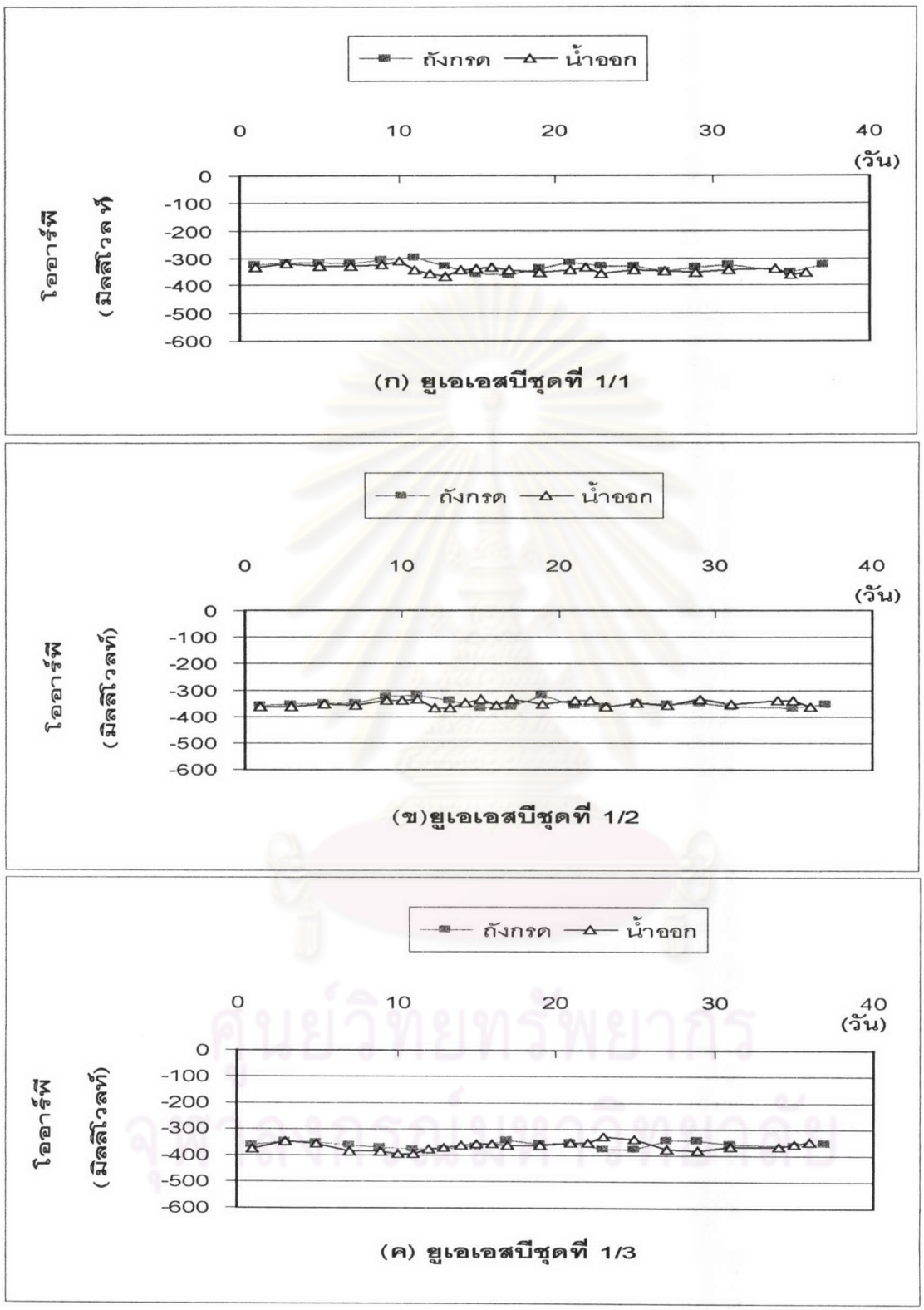
ซึ่งแอมโมเนียมไบคาร์บอเนตสามารถแตกตัวให้ค่าไบคาร์บอเนตออกมาได้ และถ้าค่าแอมโมเนียมีค่ามากพอที่จะทำปฏิกิริยากับคาร์บอนไดออกไซด์กลายเป็นแอมโมเนียมไบคาร์บอเนตดังสมการ

$$NH_3 + H_2O + CO_2 \Longleftrightarrow NH_4HCO_3$$

4.2.7 โออาร์พี

ลักษณะของระบบไร้ออกซิเจนจะมีค่าโออาร์พีเป็นลบ หรือผลของปฏิกิริยาเคมีโดยรวมในระบบมีสารที่เป็นตัวให้อิเลคตรอนมากกว่าตัวรับอิเลคตรอน หากมีสารรับอิเลคตรอนอื่น ๆ เช่น ออกซิเจนละลายอยู่จะทำให้ค่าโออาร์พีที่วัดได้เป็นลบน้อยลง

จากรูปที่ 4.15 แสดงค่าโออาร์พีของระบบยูเอเอสบีชุดต่าง ๆ ตลอดการทดลองที่ 1 การที่ระบบทุกชุดมีค่าโออาร์พีเป็นลบ แสดงถึงลักษณะการทำงานของระบบว่ามีสภาวะแบบไร้ออกซิเจนอย่างที่ควรเป็น ความแตกต่างของค่าโออาร์พีในแต่ละชุดไม่แตกต่างกันมากนักคือ ระบบยู-เอเอสบีชุดที่ 1 มีค่าโออาร์พีในถังสร้างกรดเท่ากับ –323 มิลลิโวลท์ และมีค่าเท่ากับ –342 มิลลิโวลท์ในน้ำออก ส่วนใน



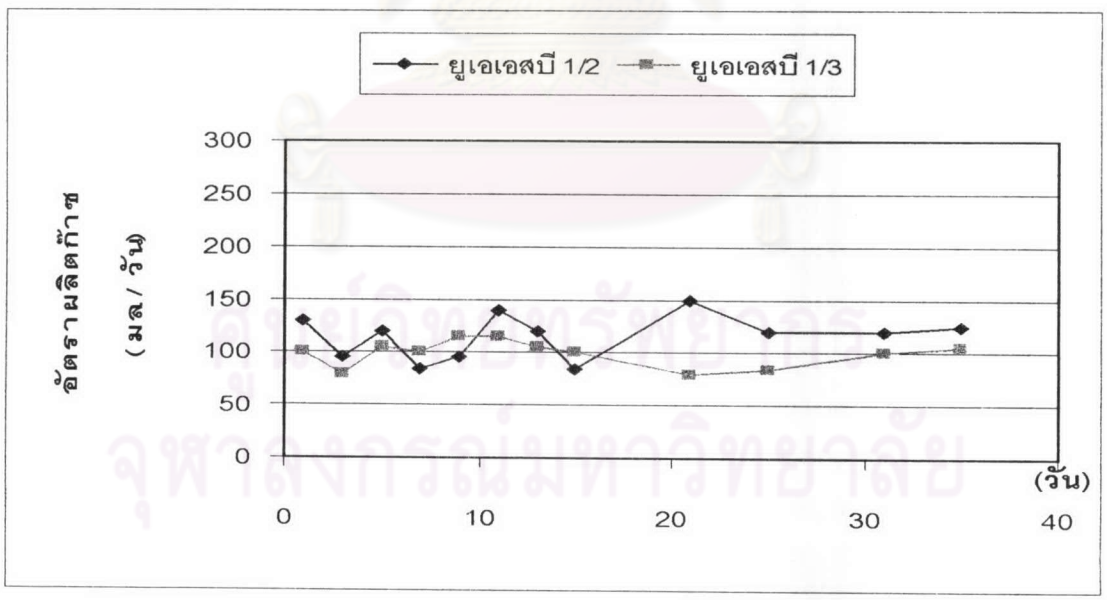
รูปที่ 4.15 ค่าโออาร์พีตลอดการทดลองที่ 1

ส่วนในระบบยูเอเอสบีชุดที่ 2 มีค่าโออาร์พีในถังสร้างกรดและในน้ำออกเท่ากันคือเท่ากั –348 มิลลิโวลท์ ในระบบยูเอเอสบีชุดที่ 3 มีค่าโออาร์พีในถังสร้างกรดและในน้ำออกเท่ากับ –359 และ –365 มิลลิโวลท์ ตามลำดับ

4.2.8 ก๊าซมีเทน

ในระบบไร้อากาศ ก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่คือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซมีเทน จากตารางที่ 4.2 พบว่าในระบบยูเอเอสบีชุดที่ 1 ไม่มีก๊าซเกิดขึ้นหรืออาจจะเกิดขึ้นน้อยมากจนไม่สามารถเก็บได้ เนื่องจากก๊าซอาจจะเกิดการละลายน้ำเป็นส่วนใหญ่ ส่วนในระบบยูเอเอสบีชุดที่ 1/2 มีค่าเฉลี่ยปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นเท่ากับ 0.115 ลิตร/วัน และเท่ากับ 0.099 ลิตร/วัน ในชุดที่ 1/3

จากรูปที่ 4.16 แสดงอัตราการผลิตก๊าซในแต่ละวันตลอดการทดลองที่ 1 โดยเปอร์เซนต์ก๊าซมีเทนที่ทำการวัดได้นั้น ในระบบยูเอเอสบีชุดที่ 1/2 เท่ากับ 67 % ส่วนในระบบยูเอเอสบีชุดที่ 1/3 วัดได้ 63 %



รูปที่ 4.16 อัตราผลิตก๊าซต่อวันตลอดการทดลองที่ 1

4.2.9 อุณหภูมิ

งานวิจัยชุดนี้ อุปกรณ์ทั้งหมดอยู่ในร่มและไม่ได้ออกมบบให้มีการควบคุมอุณหภูมิ แต่จากการทดลองเห็นได้ว่า อุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก และไม่มีความแตกต่างระหว่างระบบที่ใช้สารอาหารต่างชนิดกัน การนำเสนอผลของอุณหภูมิ เพื่อแสดงถึงช่วงในการทำงานของระบบที่ใช้ทดลองว่าอยู่ที่ประมาณ 30 องศาเซลเซียส ตลอดการทดลองมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิน้อยมาก

4.3 ผลการทดลองชุดที่ 2 อัตราส่วนน้ำชะมูลฝอยต่อสารอาหารร่วม 1:2

การทดลองชุดนี้ใช้เวลาเดินระบบทั้งหมด 35 วัน ระยะเวลา 10 วันแรกเป็นช่วงให้เชื้อในระบบปรับตัวให้เข้ากับการเติมสารอาหารร่วมที่ความเข้มข้นประมาณ 2,000 มก.ซีโอดี/ล. เนื่องจากพีเอชของน้ำชะมูลฝอยมีค่าสูงประมาณ 8.0-8.3 ดังนั้นก่อนจะทำการป้อนน้ำเสียเข้าระบบจึงมีการปรับพีเอชโดยใช้กรดฟอสฟอริคให้เท่ากับ 7.0 เสียก่อน เพื่อทำให้พีเอชน้ำออกอยู่ในช่วงที่เหมาะสมกับการทำงานของแบคทีเรียเมทธาโนเจนคือระหว่าง 6.8-7.4 การนำข้อมูลมาหาค่าเฉลี่ยต่าง ๆ ใช้ช่วงวันที่ 11-25 ของการเดินระบบ ค่าเฉลี่ยของตัวแปรต่าง ๆ จากการทดลองแสดงในตารางที่ 4.4

4.3.1 ซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัด

จากรูปที่ 4.17 แสดงค่าซีโอดีของระบบยูเอเอสบีแต่ละชุดตลอดการทดลองที่ 2 เมื่อนำมาหาค่าเฉลี่ยของซีโอดีดังตารางที่ 4.4 ได้ค่าเฉลี่ยซีโอดีในน้ำเข้าของชุดควบคุมคือ ระบบยูเอเอสบีชุดที่ 2/1 มีค่าเท่ากับ 1091 มก./ล. ซึ่งเป็นซีโอดีที่ได้จากน้ำชะมูลฝอยล้วน ๆ ส่วนค่าซีโอดีน้ำเข้าของระบบยูเอเอสบีชุดที่ 2/2 ซึ่งเติมน้ำตาลทรายและระบบยูเอเอสบีชุดที่ 2/3 ซึ่งเติมนมถั่วเหลืองเป็นสารอาหารร่วมมีค่าเท่ากับ 3237 มก./ล. และ 3547 มก./ล. ตามลำดับ

ส่วนซีโอดีเฉลี่ยในถังสร้างกรดพบว่า ถังสร้างกรดชุดควบคุมมีค่าซีโอดีเฉลี่ย 1037 มก./ล. ส่วนในชุดที่ 2/2 และ 2/3 มีค่าซีโอดีเฉลี่ย เท่ากับ 1563 มก./ล. และ 1617 มก./ล. ส่วนค่าซีโอดีในน้ำออกของ ระบบยูเอเอสบีทั้ง 3 ชุดเป็นดังรูปที่ 4.18 โดยมีค่าซีโอดีเฉลี่ยน้ำออกเท่ากับ 900 903 และ 970 ในยูเอเอสบีชุดที่ 2/1 2/ 2 และ 2/3 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.4 สรุปค่าเฉลี่ยของตัวแปรต่างๆ จากการทดลองที่ 2

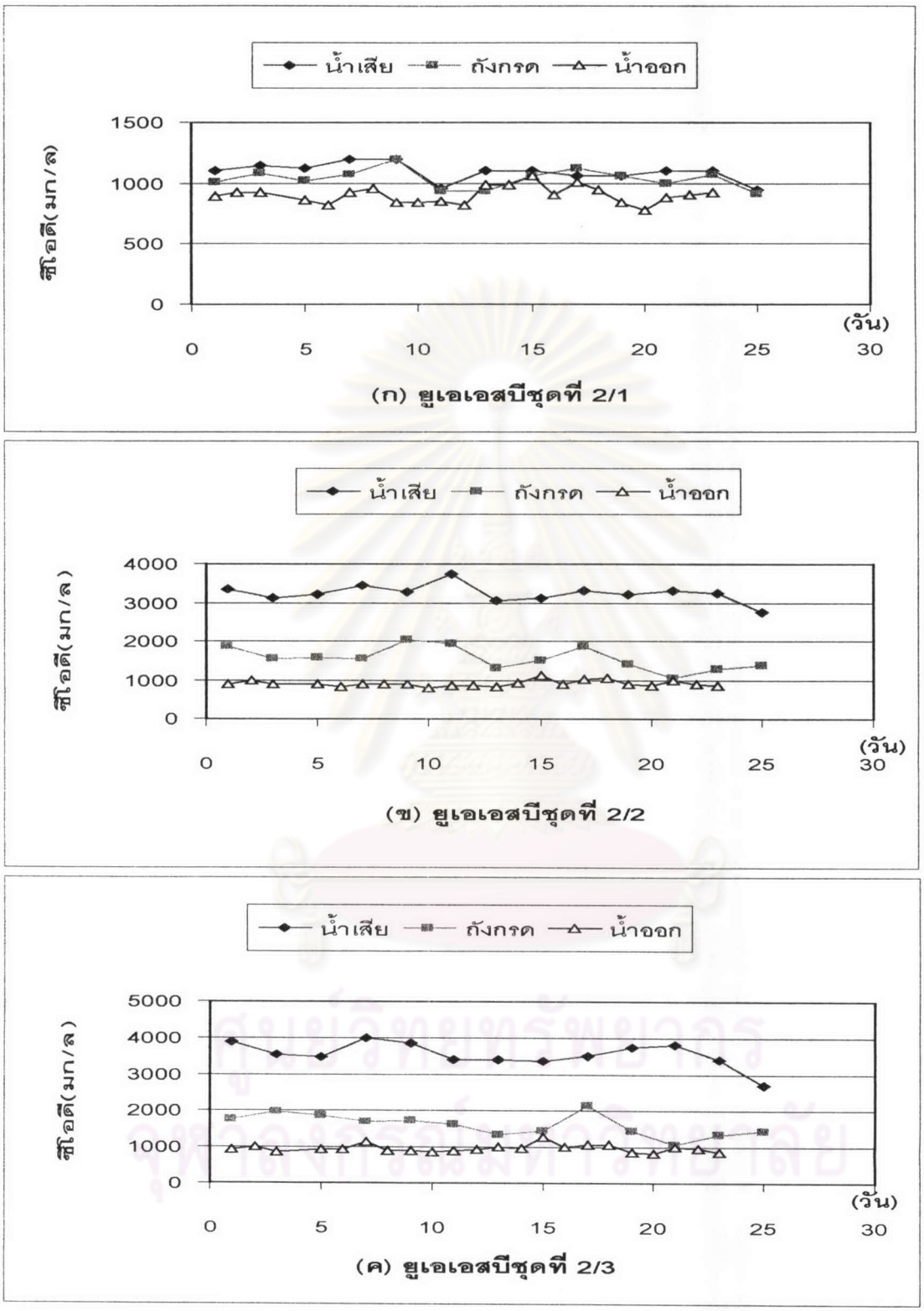
ตัวแปรที่วัด	UASB ชุดที่ 1 ไม่เติมสารอาหารร่วม			UASB ชุดที่ 2 (น้ำตาลทราย 2,000 มก./ล.)			UASB ชุดที่ 3 (นมถั่วเหลือง 2,000 มก./ล.)		
	น้ำเสีย	ถังกรด	น้ำออก	น้ำเสีย	ถังกรด	น้ำออก	น้ำเสีย	ถังกรด	น้ำออก
พีเอช (pH) เฉลี่ย	7.00	6.96	7.28	7.00	6.80	7.13	7.00	6.81	7.29
n=22 SD.		0.02	0.07		0.02	0.08		0.04	0.06
อุณหภูมิ (Temperature) เฉลี่ย	29.7	29.7	30.5	29.7	29.7	30.5	29.7	29.7	30.5
(องศาเซลเซียส) n=22 SD.	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
โออาร์พี (ORP) เฉลี่ย		-321	-332		-360	-372		-378	-396
(มิลลิโวลท์) n=22 SD.		13	11		14	11		12	18
ซีโอดี(COD) เฉลี่ย	1091	1037	900	3237	1563	903	3547	1617	970
(มก./ล.) n=23 SD.	77	81	70	224	295	82	333	296	104
ประสิทธิภาพการกำจัด เฉลี่ย		5	18		52	72		54	73
ซีโอดี(COD)รวม * SD.									
ประสิทธิภาพการกำจัด เฉลี่ย		5	18			17			11
ซีโอดี(COD) * * SD.									
ความเข้มสี (SU) เฉลี่ย	107.552	104.179	104.094	108.759	97.906	93.708	202.056	110.521	97.95
n=23 SD.	9.553	9.211	10.135	10.739	8.189	7.974	23.378	15.319	8.406
ประสิทธิภาพการลดสี เฉลี่ย		4	4		9	14		-3	8
(%) *** SD.									
บีโอดี(BOD) เฉลี่ย	66		36	2130		64	2035		73
n=7 SD.	13		6	187		12	219		11
ประสิทธิภาพการกำจัด เฉลี่ย			45			3			-
บีโอดี(BOD) SD.									
สภาพด่างทั้งหมด เฉลี่ย	1462	1510	1543	1443	1486	1564	1600	1760	1855
(มก./ล. $CaCO_3$) n=7 SD.	80	54	47	54	48	60	98	146	126
กรดไขมันระเหย(VFA) เฉลี่ย	254	245	225	287	414	349	334	430	322
(มก./ล. $CaCO_3$) n=7 SD.	49	47	52	71	58	44	66	60	31
อัตราส่วนกรดไขมันระเหยเฉลี่ย	0.174	0.162	0.146	0.199	0.279	0.223	0.209	0.244	0.174
ต่อสภาพด่างทั้งหมด SD.									
ปริมาณก๊าซทั้งหมด เฉลี่ย						0.437			0.318
(ลิตร/วัน) n=12 SD.						0.019			0.024
ก๊าซมีเทน (%)						52			64

*ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีทั้งในถังสร้างกรดและในน้ำออกคิดเทียบจากซีโอดีในน้ำเสีย

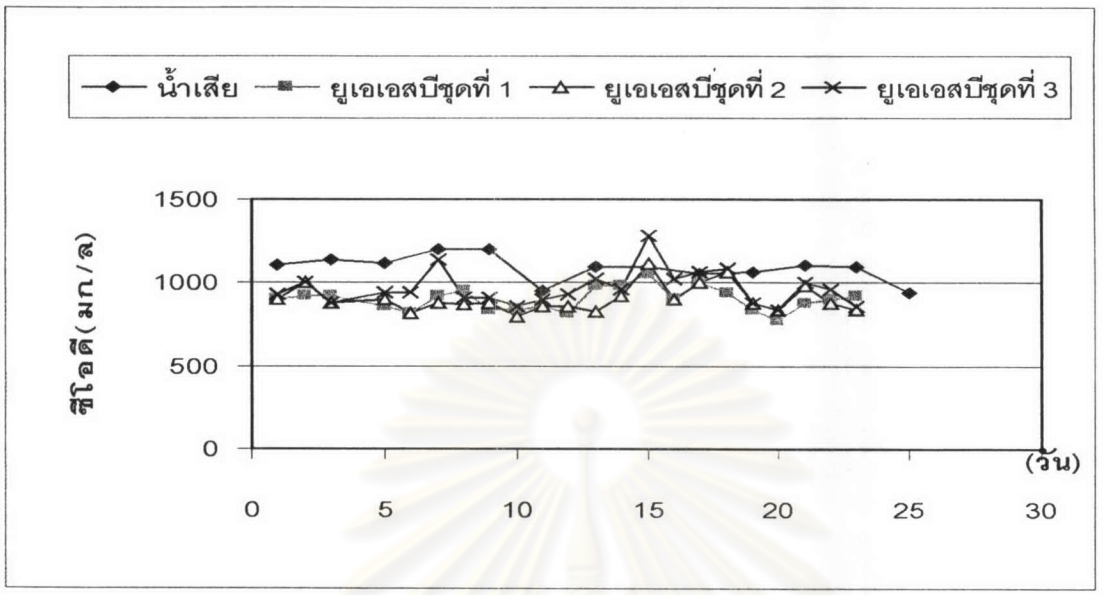
**ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีทั้งในถังสร้างกรดและในน้ำออกคิดเทียบจากซีโอดีในน้ำเสียของ UASB ชุดที่ 1

***ประสิทธิภาพการกำจัดสีทั้งในถังสร้างกรดและในน้ำออกคิดเทียบจากสีในน้ำเสียของ UASB ชุดที่ 1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.17 ค่าซีโอดีตลอดการทดลองที่ 2

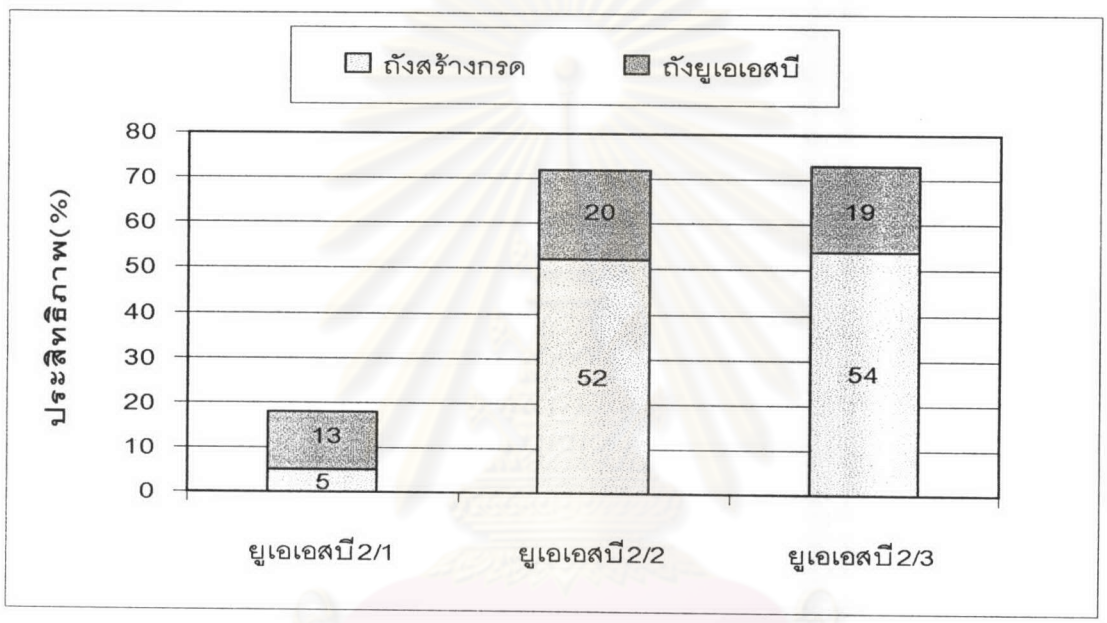


รูปที่ 4.18 สรุปค่าซีโอดีน้ำออกของยูเอเอสบีชุดต่าง ๆ ตลอดการทดลองที่ 2

เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีจากรูปที่ 4.19 พบว่าในถังสร้างกรดของชุดควบคุมมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีเท่ากับ 5 % ส่วนถังสร้างกรดของชุดที่ 2/2 และ 2/3 มีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี 52 %และ 54% สำหรับประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีในน้ำออกของระบบยูเอเอสบีทั้ง 3 ชุด เท่ากับ 18% 72% และ 73% ในระบบยูเอเอสบีชุดที่ 2/1 2/2 และ 2/3 ตามลำดับ จากการทดลองพบว่าซีโอดีของสารอาหารร่วมส่วนใหญ่ถูกกำจัดในถังสร้างกรด โดยในถังยูเอเอสบีชุดควบคุมมีการกำจัดซีโอดีเพิ่มอีก 13% ส่วนในถังยูเอเอสบีของระบบชุดที่ 2/2 และ 2/3 มีการกำจัดซีโอดีเพิ่มอีก 20 % และ 19% เท่านั้น แต่เมื่อเปรียบเทียบกับการทดลองที่ 1 พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีในถังยูเอเอสบีมีมากขึ้น สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากการเพิ่มความเข้มข้นของสารอาหารร่วมที่เติมเข้าไป ทำให้ซีโอดีที่เหลือออกจากถังสร้างกรดเข้าถังยูเอเอสบีมีค่าเพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงเกิดการย่อยสลายซีโอดีในถังยูเอเอสบีเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีในถังยูเอเอสบีจึงเพิ่มขึ้นด้วย

ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีในระบบยูเอเอสบีชุดที่ 2/2 และ 2/3 มีค่าสูงกว่าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของระบบยูเอเอสบีชุดควบคุมมาก แต่เมื่อพิจารณาค่าซีโอดีในน้ำออกของระบบยูเอเอสบีชุดที่ 2/1 2/2 และ 2/3 จากรูปที่ 4.18 แล้วพบว่า ระบบยูเอเอสบีชุดที่ 2/1 ซึ่งเป็นชุดควบคุม มีค่าซีโอดีน้ำออกเฉลี่ยน้อยที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 900 มก./ล. ส่วนระบบยูเอเอสบีชุดที่ 2/2 และชุดที่ 2/3

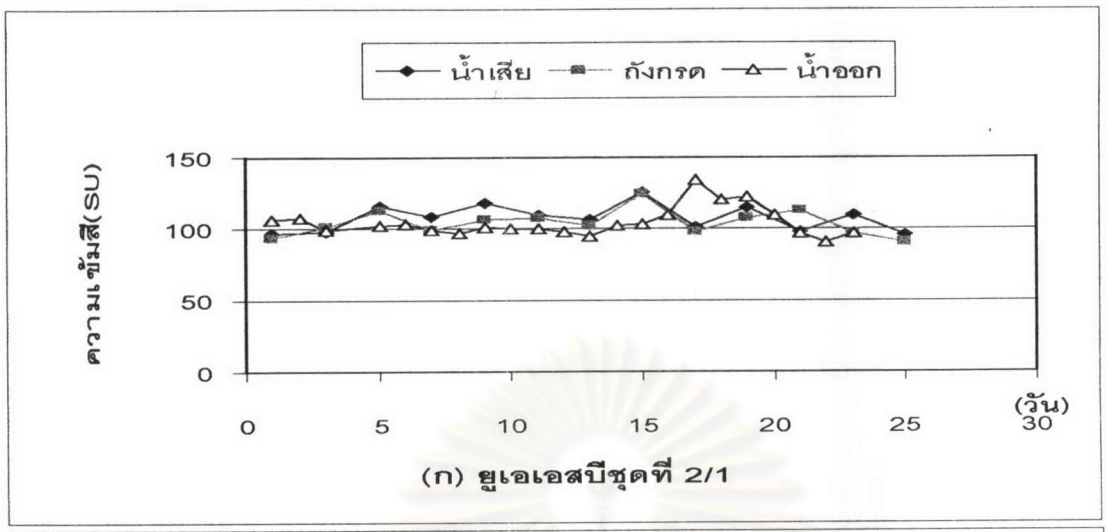
มีค่าซีโอดีเฉลี่ยน้ำออกเท่ากับ 903 และ 970 มก./ล ตามลำดับ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า การเติมน้ำตาล-ทรายและนมถั่วเหลืองเข้มข้น 2000 มก.ซีโอดี/ล.เป็นสารอาหารร่วมในการทดลองที่ 2 ไม่มีส่วนช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีของน้ำชะมูลฝอย และเมื่อเทียบกับผลการทดลองที่ 1 แล้ว พบว่าค่าซีโอดีของน้ำที่ออกจากระบบมีค่าเพิ่มขึ้น เหตุผลที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากสารอาหารร่วมที่เติมเข้าไปในระบบถูกย่อยสลายไม่หมด จึงเหลือค่าซีโอดีจากสารอาหารร่วมในน้ำออกมากกว่าการทดลองที่ 1



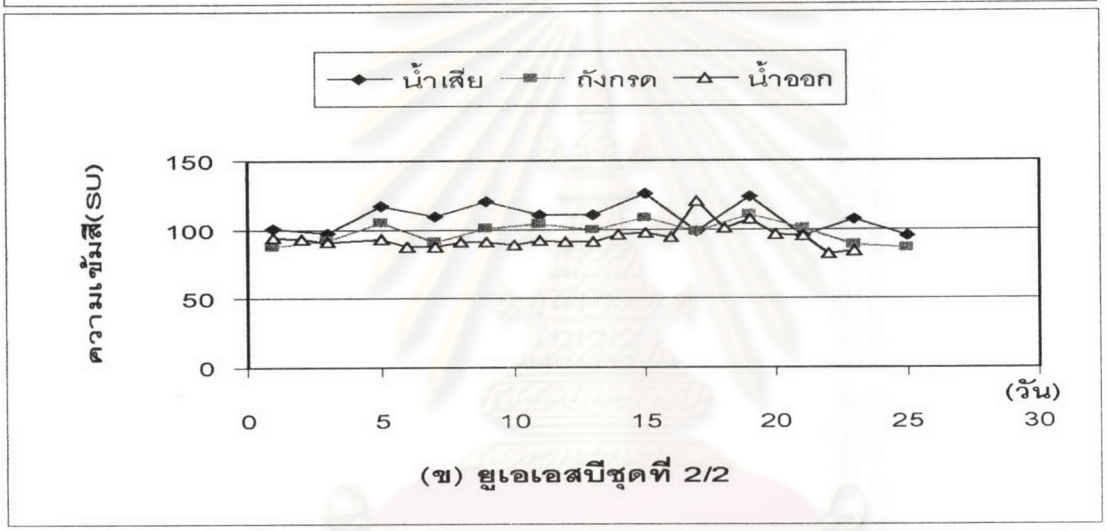
รูปที่ 4.19 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของระบบยูเอเอสบีต่าง ๆ ตลอดการทดลองที่ 2

4.3.2 ความเข้มสีและประสิทธิภาพการลดสี

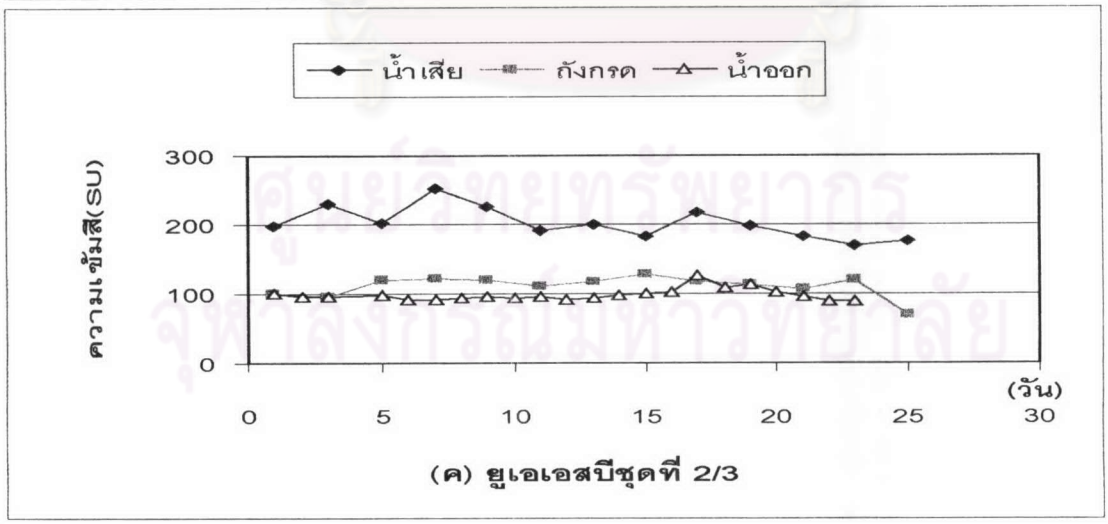
จากรูปที่ 4.20 แสดงค่าความเข้มสีของระบบยูเอเอสบีแต่ละชุดตลอดการทดลองที่ 2 เมื่อนำมาหาค่าเฉลี่ยจะได้ค่าเฉลี่ยความเข้มสีดังตารางที่ 4.4 โดยค่าเฉลี่ยของความเข้มสีในน้ำชะมูลฝอยที่เตรียมให้กับยูเอเอสบีทั้ง 3 ชุด คือ 108 109 และ 202 SU ในชุดที่ 2/1 2/2 และ 2/3 ตามลำดับ ส่วนในถังสร้างกรดมีความเข้มสีในชุดที่ 2/1 เท่ากับ 104 SU ชุดที่ 2/2 เท่ากับ 98 SU และในชุดที่ 2/3 เท่ากับ 111 SU สำหรับรูปที่ 4.21 ค่าน้ำออกชุดที่ 2/1 มีความเข้มสีเท่ากับ 104 SU ส่วนชุดที่ 2/2 และ 2/3 มีความเข้มสีเท่ากับ 94 SU และ 98 SU ตามลำดับ



(ก) ยูเอเอสบีชุดที่ 2/1



(ข) ยูเอเอสบีชุดที่ 2/2

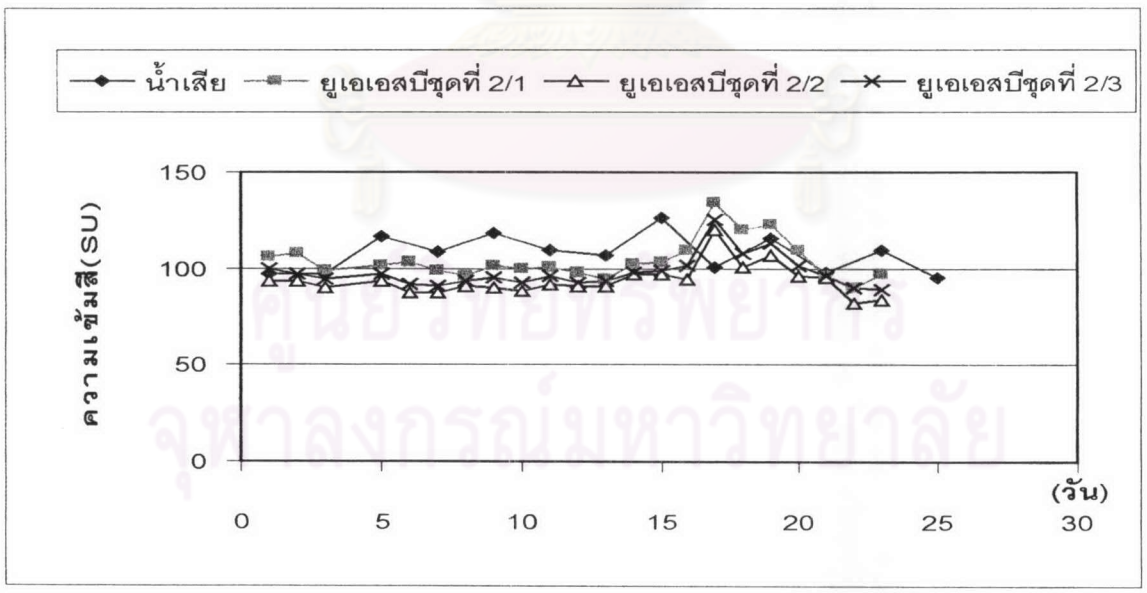


(ค) ยูเอเอสบีชุดที่ 2/3

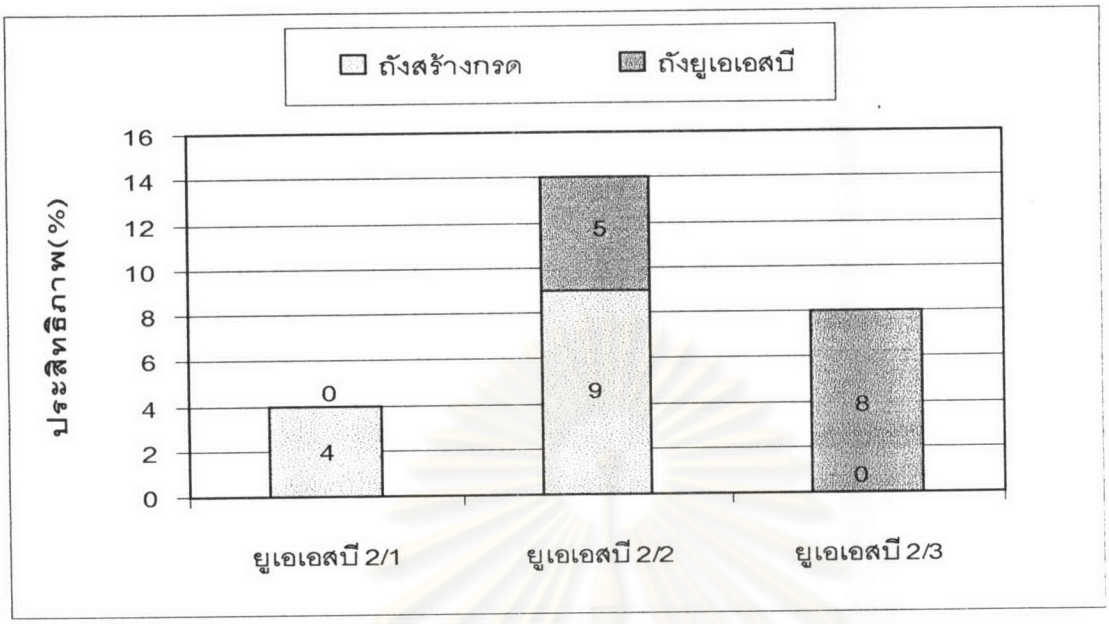
รูปที่ 4.20 ความเข้มสีตลอดการทดลองที่ 2

เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการลดสีจากรูปที่ 4.22 พบว่าถังสร้างกรดของระบบยูเอเอสบีชุดที่ 2/1 และ 2/2 มีประสิทธิภาพการลดสีเท่ากับ 4% และ 9 % แต่ในถังสร้างกรดของระบบยูเอเอสบีชุดที่ 2/3 ปรากฏว่ามีความเข้มสีเพิ่มขึ้น 3 % เหตุผลที่ความเข้มสีเพิ่มขึ้นเนื่องจากอนุภาคของนมถั่วเหลืองในถังสร้างกรดที่ยังย่อยสลายไม่หมดเมื่อนำไปกรองด้วยกระดาษ GF/C จะมีอนุภาคของนมถั่วเหลืองบางส่วนผ่านการกรองเข้ามาทำให้เกิดความขุ่นซึ่งเป็นสิ่งที่รบกวนการวิเคราะห์การวัดสีด้วยเครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ ทำให้ความเข้มสีมีค่าเพิ่มขึ้น ส่วนประสิทธิภาพการลดสีของระบบเมื่อผ่านการบำบัดด้วยถังยูเอเอสบีของชุดที่ 2/1 2/2 และ 2/3 คือ 4 % 14 % และ 8 % ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.22

จากผลการทดลองจะเห็นว่า การเติมสารอาหารร่วมเข้าไปในระบบมีส่วนช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพในการลดสี โดยระบบชุดที่ 2/2 ซึ่งเติมน้ำตาลทรายเข้มข้น 2,000 มก.ซีโอดี/ล. สามารถลดสีได้ดีกว่าระบบชุดที่ 2/1 ซึ่งเป็นชุดควบคุมถึง 10% ส่วนระบบชุดที่ 2/3 ซึ่งเติมนมถั่วเหลืองเข้มข้น 2,000 มก.ซีโอดี/ล.แม้จะลดสีได้น้อยกว่าระบบชุดที่ 2 แต่ก็ยังสามารถลดสีได้มากกว่าชุดควบคุม 4 % เมื่อสังเกตประสิทธิภาพการลดสีของถังสร้างกรดและถังยูเอเอสบีของระบบชุดที่ 2/2 ซึ่งมีการเติมน้ำตาลทรายเป็นสารอาหารร่วมแล้วพบว่า ความเข้มสีส่วนหนึ่งจะถูกกำจัดในถังสร้างกรด



รูปที่ 4.21 สรุปค่าความเข้มสีของน้ำออกของยูเอเอสบีชุดต่าง ๆ ตลอดการทดลองที่ 2

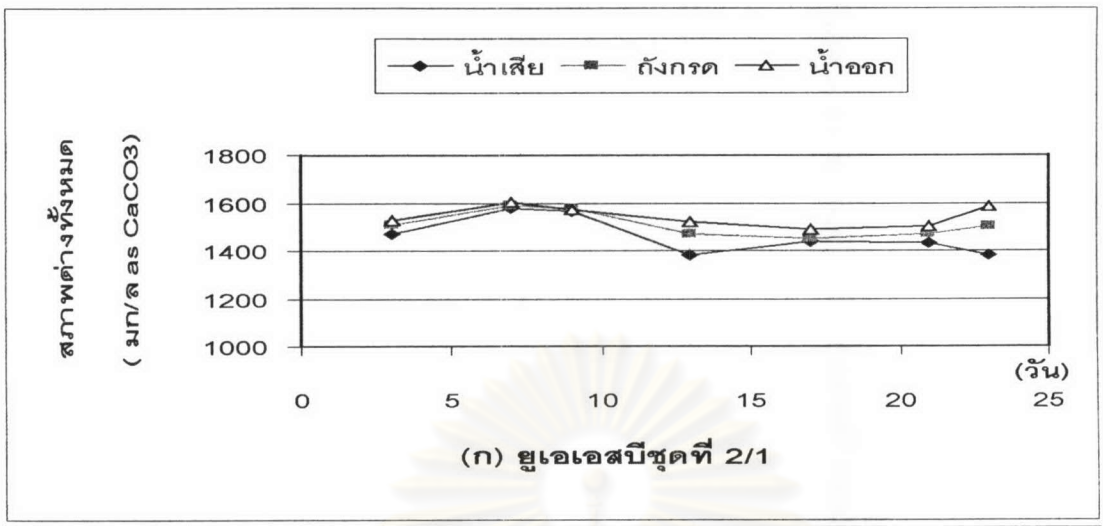


รูปที่ 4.22 ประสิทธิภาพเฉลี่ยในการกำจัดสีของระบบยูเอเอสบีชุดต่าง ๆ ของการทดลองที่ 2

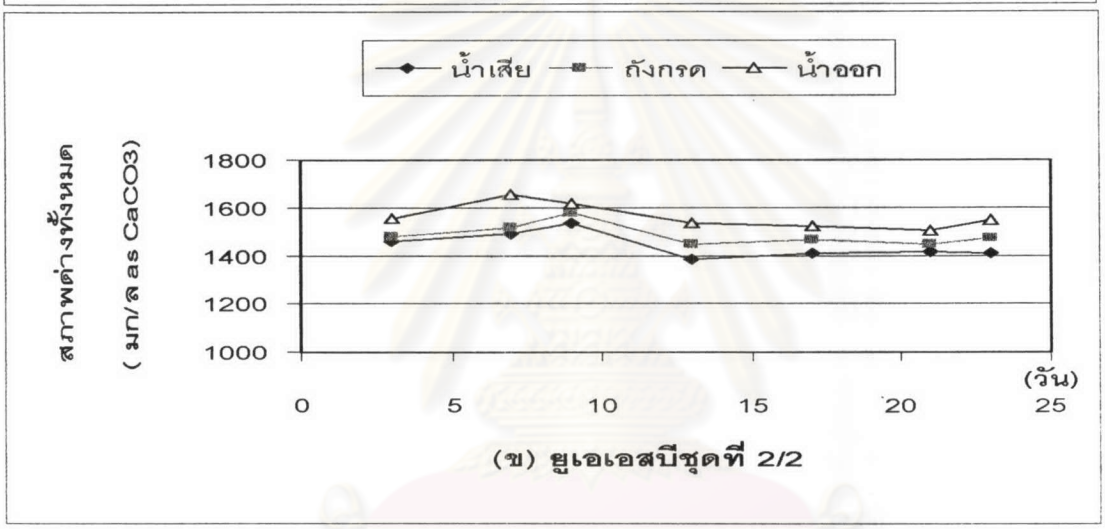
ถ้าหากเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดสีของการทดลองที่ 2 กับการทดลองที่ 1 สรุปได้ว่าประสิทธิภาพในการกำจัดสีแทบจะไม่ต่างกันเลย

4.3.3 สภาพด่างทั้งหมดและกรดไขมันระเหย

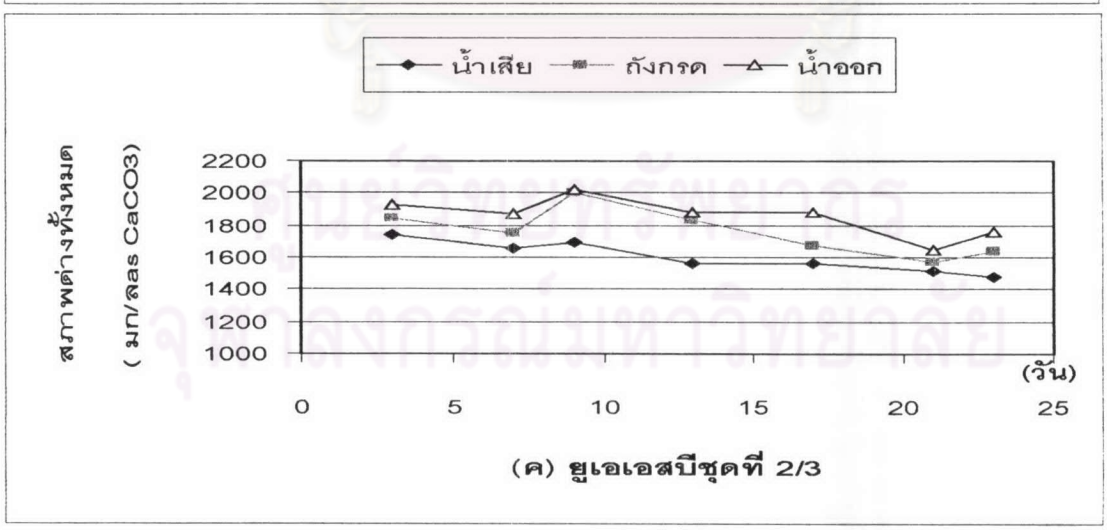
จากรูปที่ 4.23 และ 4.24 แสดงค่าสภาพความเป็นด่างทั้งหมดและค่ากรดไขมันระเหยตลอดการทดลองที่ 2 เมื่อนำมาหาค่าเฉลี่ยจะได้ค่าเฉลี่ยของสภาพด่างทั้งหมดและค่ากรดไขมันระเหย ดังตารางที่ 4.4 ค่าสภาพด่างทั้งหมดของระบบยูเอเอสบีชุดที่ 2/1 ในน้ำเสีย ถังสร้างกรดและน้ำออก เท่ากับ 1462 1510 และ1543 มก./ล.ในเทอมของแคลเซียมคาร์บอเนต ตามลำดับ ระบบยูเอเอสบีชุดที่ 2/2 เท่ากับ 1443 1486 และ 1564 มก./ล.ในเทอมของแคลเซียมคาร์บอเนต ตามลำดับ และในระบบยูเอเอสบีชุดที่ 2/3 เท่ากับ 1600 1760 และ 1855 มก./ล.ในเทอมของแคลเซียมคาร์บอเนต ตามลำดับ พบว่าในระบบยูเอเอสบีชุดที่ 2/1 ซึ่งเป็นชุดควบคุม มีการเพิ่มขึ้นของสภาพด่างในถังสร้างกรดเท่ากับ 3% ของสภาพด่างในน้ำเสีย ส่วนในน้ำออกมีสภาพด่างเพิ่มขึ้น 6 % ของสภาพด่างในน้ำเสีย สำหรับถังยูเอเอสบีชุดที่ 2/2 สภาพด่างในถังสร้างกรดและในน้ำออกเพิ่มขึ้นเท่ากับ 3 %และ 8% ของสภาพด่างในน้ำเสีย ตามลำดับ ส่วนในถังยูเอเอสบีชุดที่ 2/3 สภาพด่างในถังสร้างกรดและในน้ำออก



(ก) ยูเอเอสบีชุดที่ 2/1

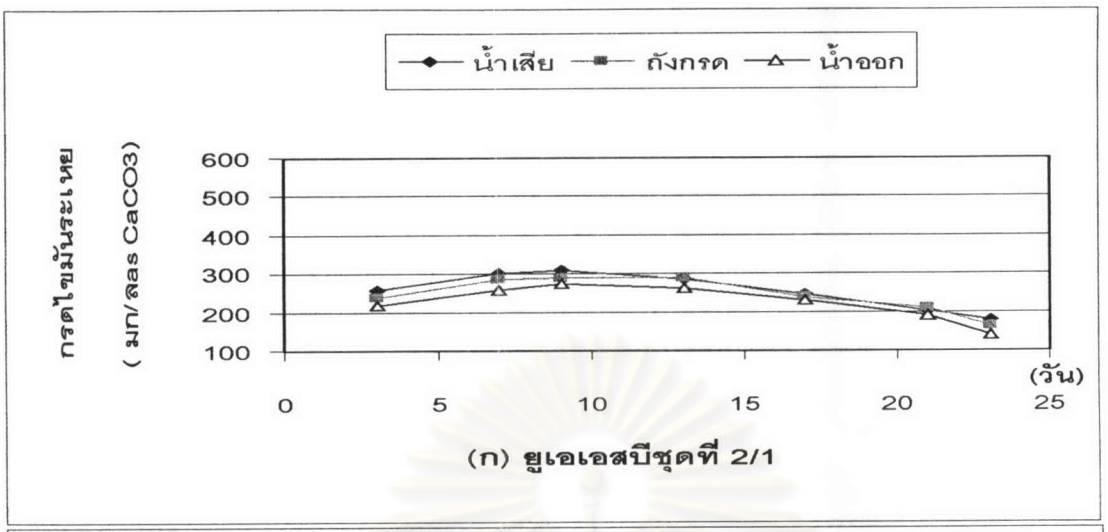


(ข) ยูเอเอสบีชุดที่ 2/2

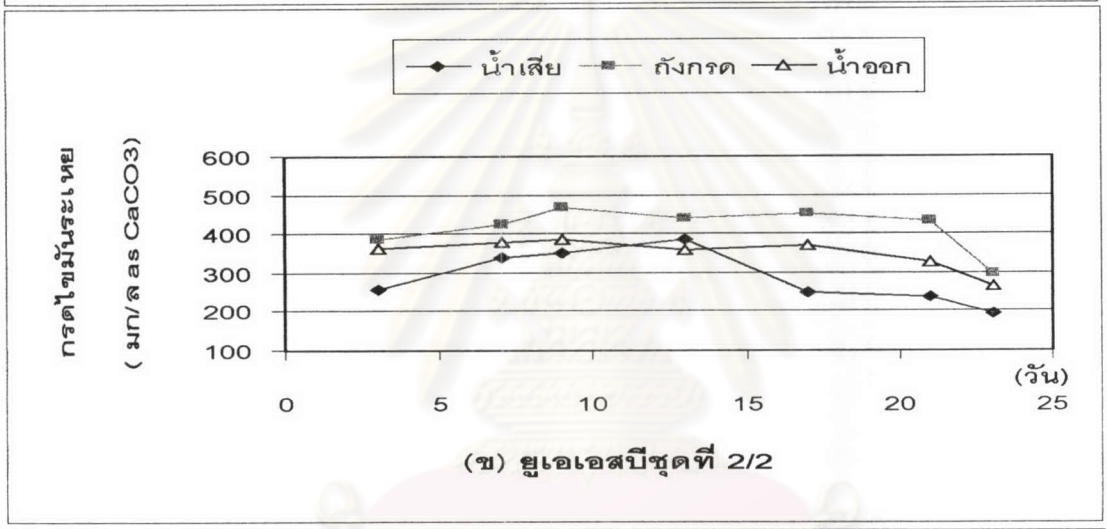


(ค) ยูเอเอสบีชุดที่ 2/3

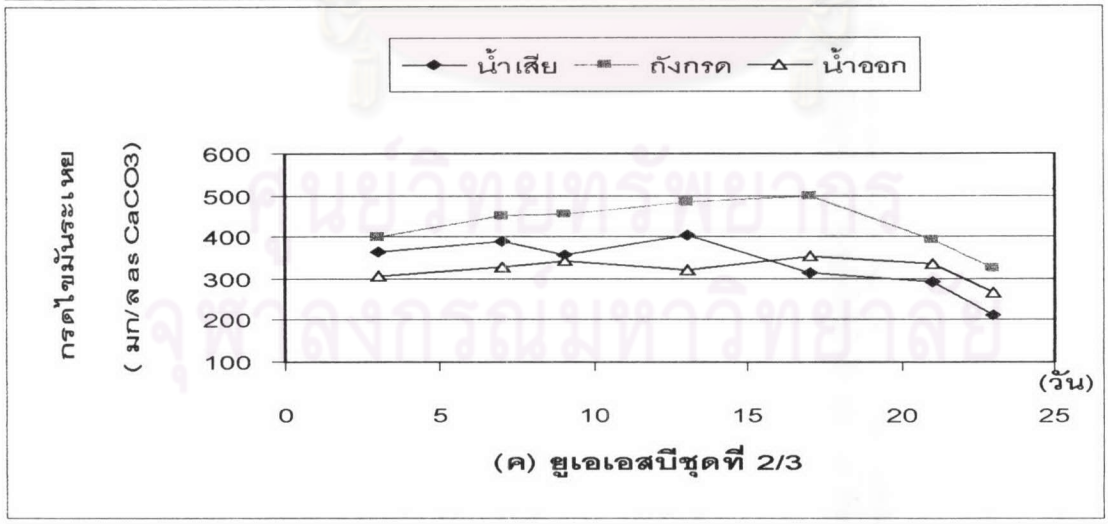
รูปที่ 4.23 ค่าสภาพด่างทั้งหมดตลอดการทดลองที่ 2



(ก) ยูเอเอสบีชุดที่ 2/1



(ข) ยูเอเอสบีชุดที่ 2/2



(ค) ยูเอเอสบีชุดที่ 2/3

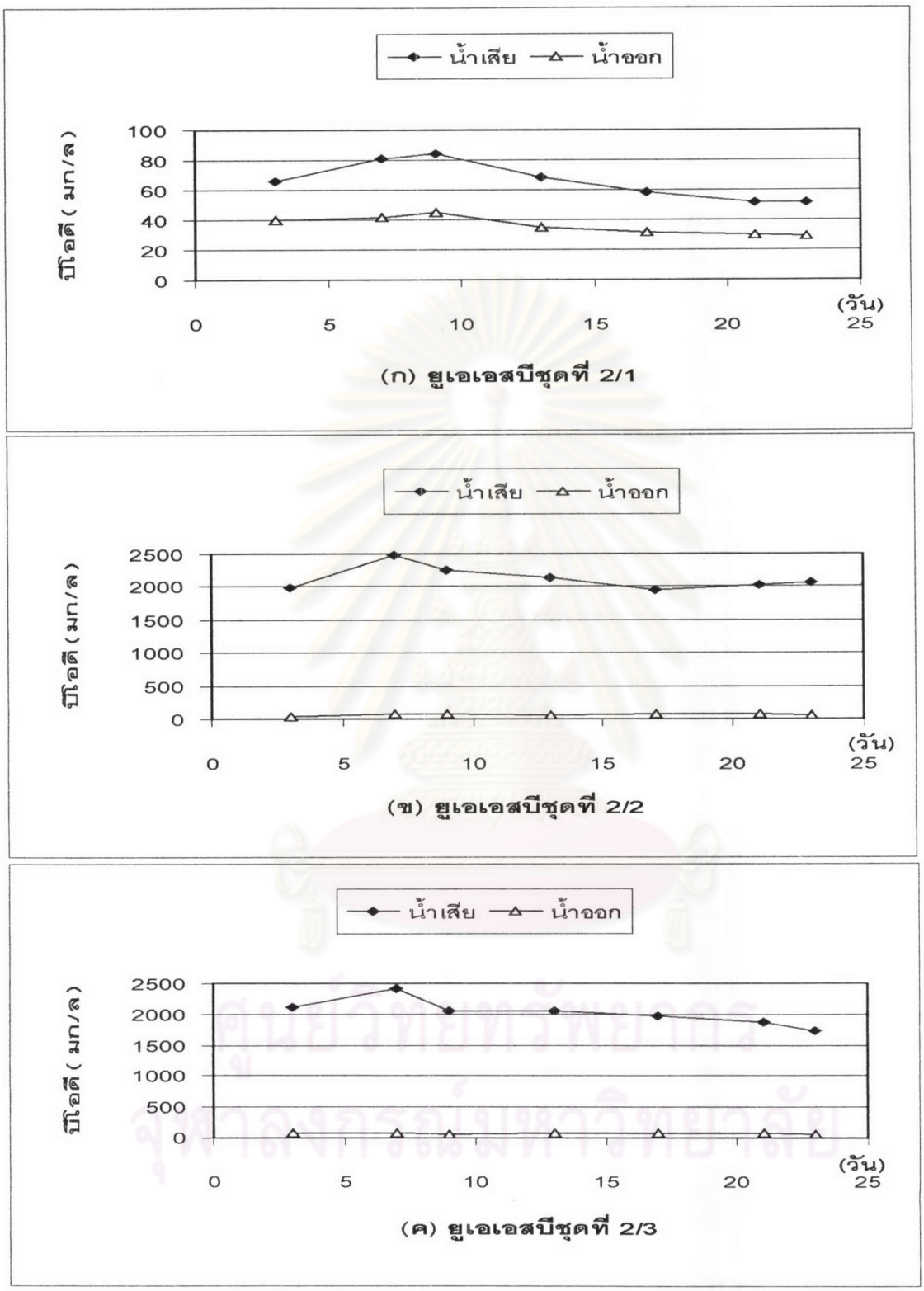
รูปที่ 4.24 ค่ากรดไขมันระเหยตลอดการทดลองที่ 2

เพิ่มขึ้นเท่ากับ 10%และ16% ของสภาพด่างในน้ำเสีย ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบสภาพด่างของการทดลองที่ 2 กับการทดลองที่ 1 พบว่า สภาพด่างในระบบยูเอเอสบีชุดที่ 2/3 ของการทดลองที่ 2 มีค่ามากกว่าสภาพด่างในการทดลองที่ 1 ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีที่ว่า โปรตีนเมื่อถูกย่อยสลายจะให้สภาพด่างออกมา ดังนั้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของนมถั่วเหลืองจึงทำให้สภาพด่างเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

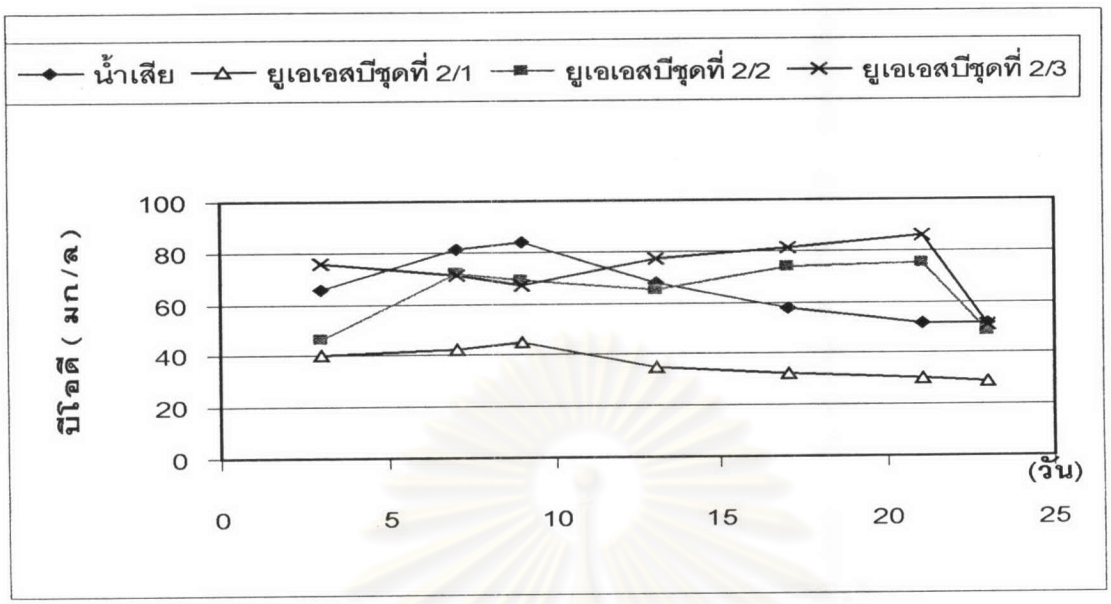
ปริมาณกรดไขมันระเหยในน้ำเสียของยูเอเอสบีชุดที่ 2/1 เท่ากับ 254 มก./ล.ในเทอมของแคลเซียมคาร์บอเนตในถังสร้างกรดและในน้ำออกเท่ากับ 245 และ225 มก./ล.ในเทอมของแคลเซียมคาร์บอเนต ตามลำดับ ส่วนในระบบยูเอเอสบีชุดที่ 2/2 มีค่าเท่ากับ 287 414 และ 349 มก./ล.ในเทอมของแคลเซียมคาร์บอเนตในน้ำเสีย ถังสร้างกรดและน้ำออกตามลำดับ ส่วนระบบยูเอเอสบีชุดที่ 2/3 เท่ากับ 334 430 และ 322 มก./ล.ในเทอมของแคลเซียมคาร์บอเนตในน้ำเสีย ถังสร้างกรดและน้ำออก ตามลำดับ จากการทดลองพบว่าในถังสร้างกรดของยูเอเอสบีชุดที่ 2/1 กลับมีค่ากรดไขมันระเหยลดลง อาจเป็นเพราะมีการใช้กรดไขมันระเหยในถังสร้างกรดโดยแบคทีเรียบางชนิดหรืออาจเป็นเพราะความคลาดเคลื่อนในการทดลองหากรดไขมันระเหยโดยวิธีไตเตรต เมื่อเปรียบเทียบกับการทดลองที่ 1 พบว่า ปริมาณกรดไขมันระเหยในถังสร้างกรดของระบบยูเอเอสบีชุดที่ 2/2 และ 2/3 ในการทดลองที่ 2 นี้กลับมีค่าน้อยกว่าในการทดลองที่ 1 เล็กน้อย ทั้ง ๆ ที่มีการเติมสารอาหารมากกว่า สาเหตุที่เป็นเช่นนี้อาจเป็นเพราะน้ำชะมูลฝอยที่ใช้ในการเตรียมน้ำเสียในการทดลองที่ 2 เก็บมาคนละครั้งกับน้ำชะมูลฝอยที่ใช้ในการทดลองที่ 1 ทำให้มีคุณลักษณะของน้ำแตกต่างกัน โดยน้ำชะมูลฝอยที่ใช้เตรียมน้ำเสียในการทดลองที่ 2 นี้มีกรดไขมันระเหยน้อยกว่าน้ำชะมูลฝอยที่ใช้ในการทดลองที่ 1 ถึง 300 มก./ล.ในเทอมของแคลเซียมคาร์บอเนต

4.3.4 บีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัด

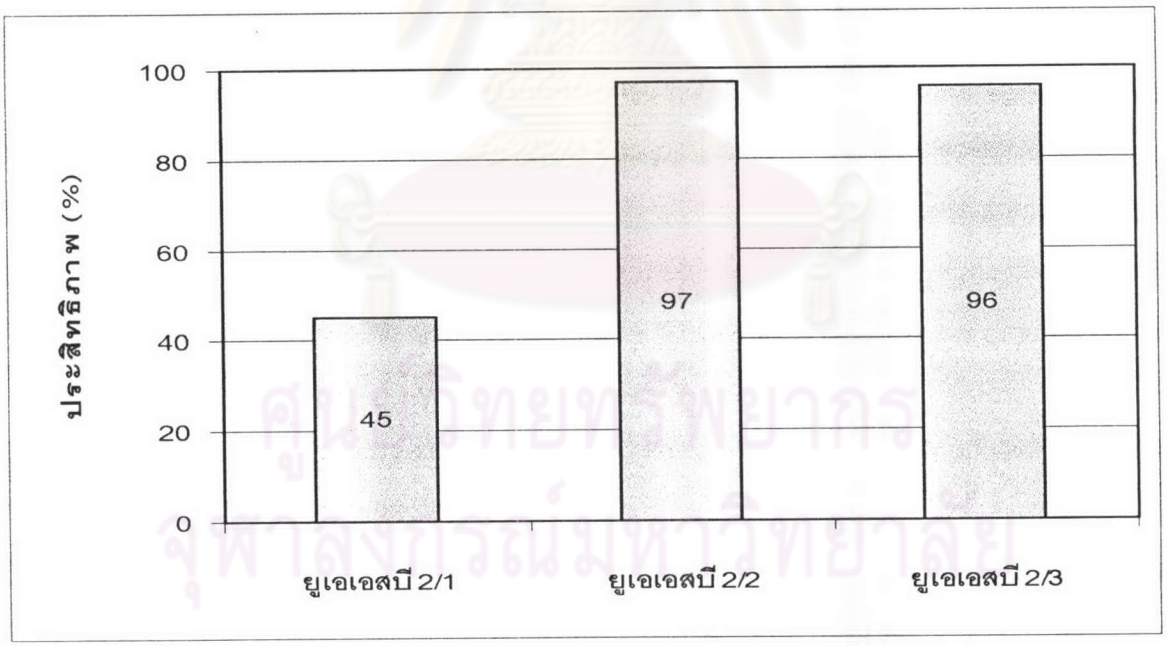
จากรูปที่ 4.25 และ 4.26 แสดงค่าบีโอดีของระบบยูเอเอสบีชุดต่าง ๆ เมื่อนำมาหาค่าเฉลี่ยจะได้ค่าบีโอดีเฉลี่ยของระบบยูเอเอสบีชุดที่ 2/1 ในน้ำเสีย และน้ำออก เท่ากับ 66 และ 36 มก./ล.ตามลำดับ ระบบยูเอเอสบีชุดที่ 2/2 เท่ากับ 2130 และ 64 มก./ล.ตามลำดับ ส่วนระบบยูเอเอสบีชุดที่ 2/3 มีค่าเท่ากับ 2035 และ 73 มก./ล.ตามลำดับ จากรูปที่ 4.27 เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีของน้ำออก พบว่าประสิทธิภาพเป็นดังนี้ ประสิทธิภาพการกำจัดของระบบชุดที่ 2/1 เท่ากับ 45% ส่วนในระบบชุดที่ 2/2และ 2/3 มีประสิทธิภาพเฉลี่ยในการกำจัดบีโอดี 97% และ 96% ตามลำดับ



รูปที่ 4.25 สรุปค่าบีโอดีน้ำออกของระบบยูเอเอสบีชุดต่าง ๆ ตลอดการทดลองที่ 2



รูปที่ 4.26 ค่าบีโอดีน้ำออกตลอดการทดลองที่ 2



รูปที่ 4.27 ประสิทธิภาพในการกำจัดบีโอดีของระบบยูเอเอสบีชุดต่าง ๆ ในการทดลองที่ 2

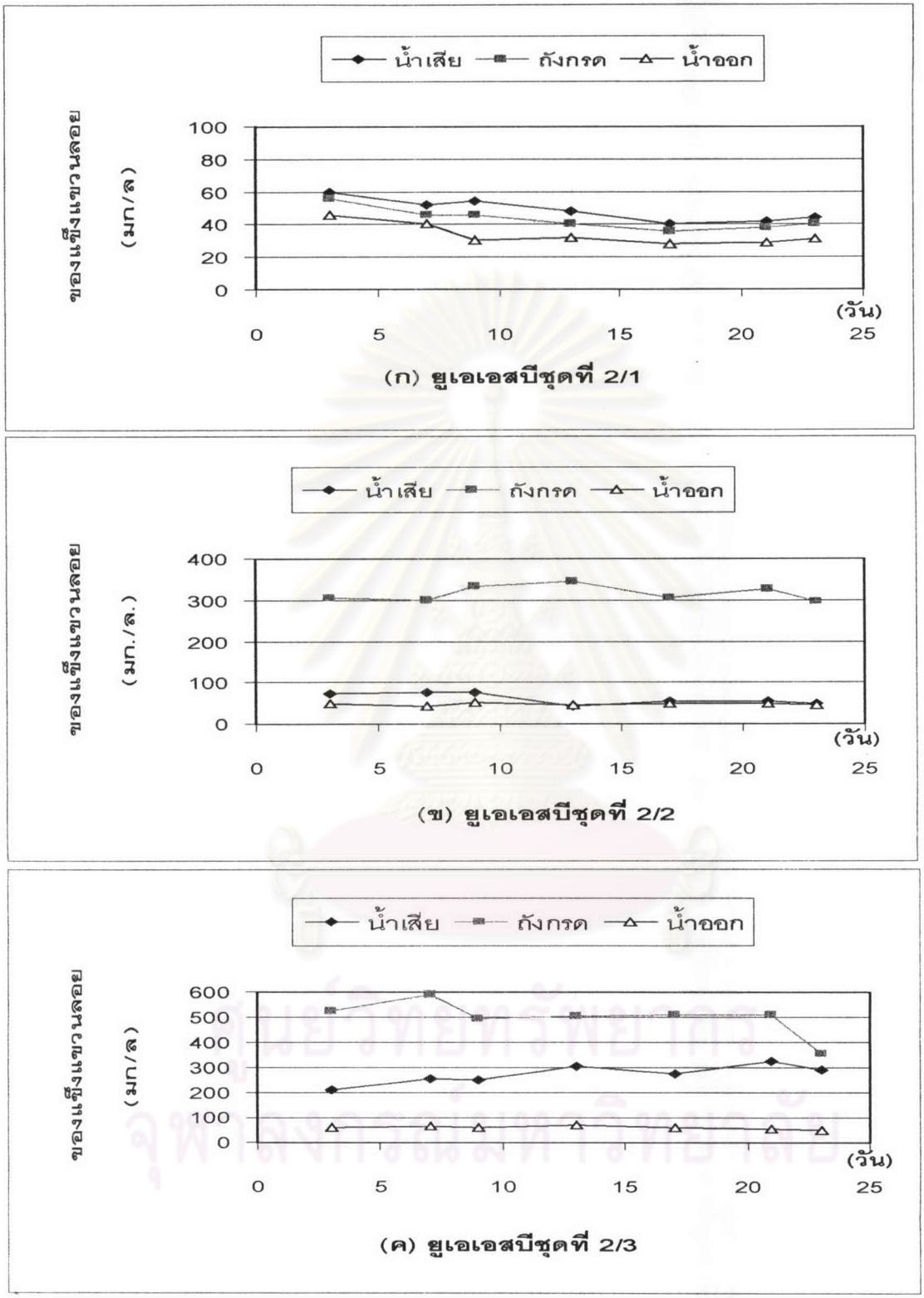
ถึงแม้ประสิทธิภาพในการกำจัดบีโอดีของระบบยูเอเอสบีชุดที่ 2/2 ซึ่งเติมน้ำตาลเข้มข้น 2,000 มก.ซีโอดี/ล.และระบบยูเอเอสบีชุดที่ 2/3 ซึ่งเติมนมถั่วเหลืองเข้มข้น 2,000 มก.ซีโอดี/ล. ต่างมีประสิทธิภาพในการกำจัดบีโอดีสูงกว่าระบบชุดที่ 2/1 มาก แต่เมื่อพิจารณาค่าบีโอดีเฉลี่ยของน้ำออกจากระบบยูเอเอสบีชุดที่ 2/2 และ 2/3 พบว่ามีค่ามากกว่าบีโอดีเฉลี่ยของน้ำออกของระบบชุดควบคุม แสดงว่าการเติมสารอาหารร่วมที่อัตราส่วนโดยซีโอดีของน้ำชะมูลฝอยต่อสารอาหารร่วมเท่ากับ 1:2 ไม่มีส่วนช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดบีโอดี สาเหตุเพราะระบบชุดที่ 2/2 และ 2/3 ต่างไม่สามารถย่อยบีโอดีของสารอาหารร่วมที่เติมลงไปได้หมด

4.3.5 ของแข็งแขวนลอยและของแข็งระเหยง่าย

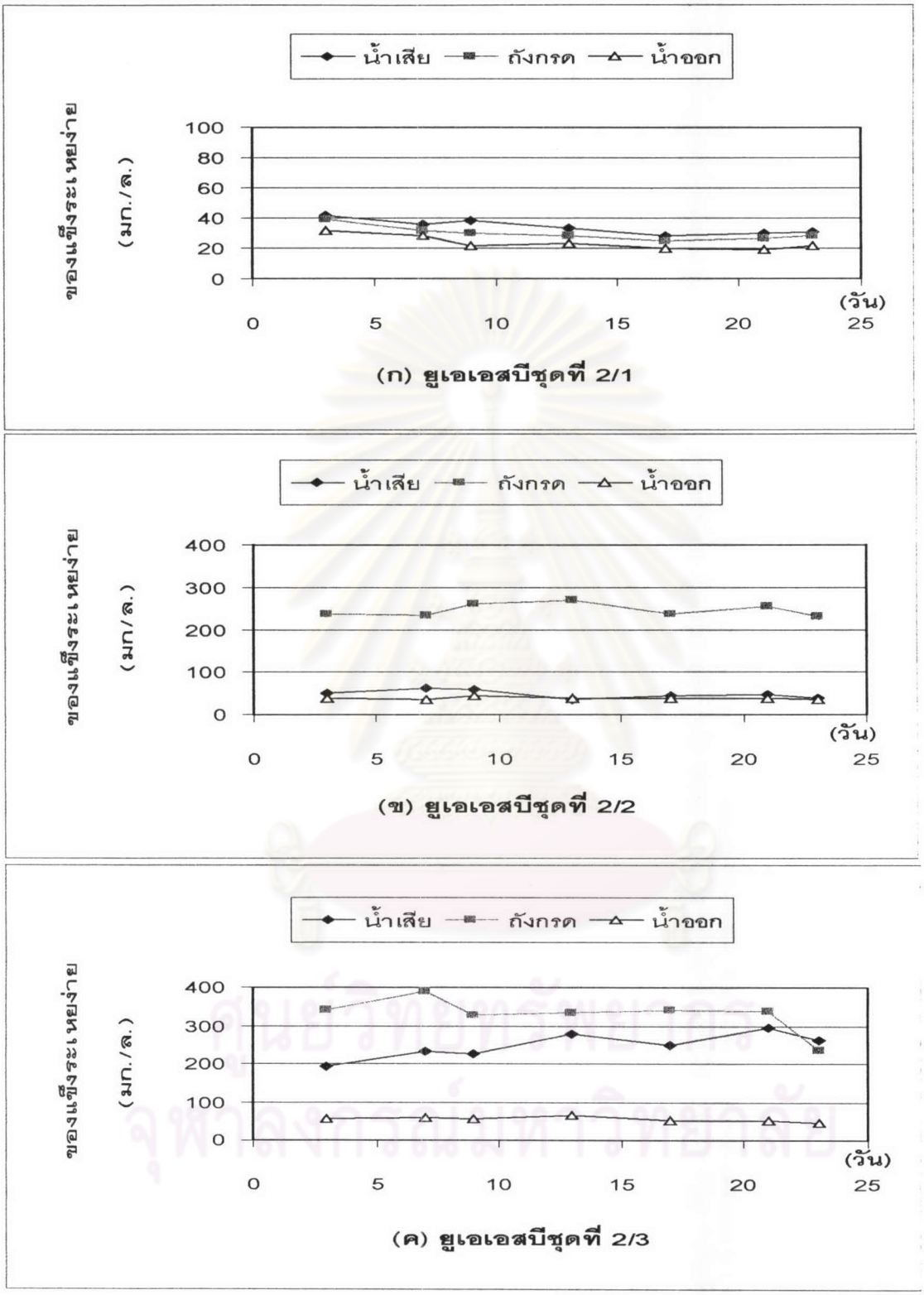
จากรูปที่ 4.28 และ 4.29 ซึ่งแสดงค่าของแข็งแขวนลอยและของแข็งระเหยง่ายของระบบยูเอเอสบีชุดต่าง ๆ ตลอดการทดลองที่ 2 เมื่อนำมาหาค่าเฉลี่ยจะได้ค่าดังตารางที่ 4.5 โดยพบว่าปริมาณของแข็งแขวนลอยและของแข็งระเหยง่ายในน้ำเข้าของระบบยูเอเอสบีชุดที่ 2/2 และ 2/3 มีค่ามากกว่าของระบบยูเอเอสบีชุดที่ 2/1 โดยเหตุผลที่เป็นเช่นนี้ได้อธิบายในหัวข้อ 4.2.5 แล้ว

ในถังสร้างกรดของระบบยูเอเอสบีชุดที่ 2/1 ของแข็งแขวนลอยและของแข็งระเหยง่ายมีค่าลดลงเนื่องจากมีการตกตะกอนเกิดขึ้นในถังสร้างกรด ส่วนในถังสร้างกรดของระบบยูเอเอสบีชุดที่ 2/2 และ 2/3 มีค่าของแข็งแขวนลอยและของแข็งระเหยง่ายเพิ่มขึ้น สาเหตุมาจากการเกิดเมือกขึ้นในถังสร้างกรด นอกจากนี้ยังมีสิ่งมีชีวิตพวกหนอนและลูกน้ำอาศัยอยู่ด้วยทำให้ในการตักน้ำจากถังสร้างกรดขึ้นไปวัดค่าของแข็งแขวนลอยและของแข็งระเหยง่ายจะมีสิ่งเหล่านี้ปนเปื้อนไปบ้าง

สำหรับค่าของแข็งแขวนลอยและของแข็งระเหยง่ายในน้ำออก พบว่าในระบบชุดที่ 2/2 และ 2/3 มีค่าสูงกว่าในระบบชุดที่ 2/1 และเมื่อเทียบค่าของแข็งแขวนลอยและของแข็งระเหยง่ายจากการทดลองที่ 1 และการทดลองที่ 2 พบว่ามีค่าเพิ่มขึ้น สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากค่าของของแข็งแขวนลอยและของแข็งระเหยง่ายมีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณซีโอดีที่ถูกกำจัดในถังยูเอเอสบี เมื่อมีการกำจัดซีโอดีเพิ่มขึ้นก็จะทำให้ปริมาณเซลล์แบคทีเรียและปริมาณก๊าซที่อยู่ในถังยูเอเอสบีเพิ่มขึ้นทำให้เกิดปริมาณของแข็งแขวนลอยและของแข็งระเหยง่ายมากขึ้นนอกจากนี้ก๊าซที่เกิดขึ้นยังทำให้เกิดการฟุ้งกระจายของของแข็งเหล่านี้ในระบบขึ้นด้วย จึงทำให้ระบบชุดที่ 2/2 และ2/3 มีปริมาณของแข็งแขวนลอยและของแข็งระเหยง่ายในน้ำออกมากกว่าระบบยูเอเอสบีชุดที่ 2/1 และเมื่อเทียบการ



รูปที่ 4.28 ค่าของแข็งแขวนลอยตลอดการทดลองที่ 2



รูปที่ 4.29 ค่าของแข็งระเหยง่ายตลอดการทดลองที่ 2

และเมื่อเทียบการทดลองที่ 2 กับการทดลองที่ 1 แล้วค่าของแข็งแขวนลอยและของแข็งระเหยง่ายในน้ำออกของการทดลองที่ 2 ย่อมมีค่ามากกว่าการทดลองที่ 1

ตารางที่ 4.5 ค่าเฉลี่ยของแข็งแขวนลอยและของแข็งระเหยง่ายของการทดลองที่ 2

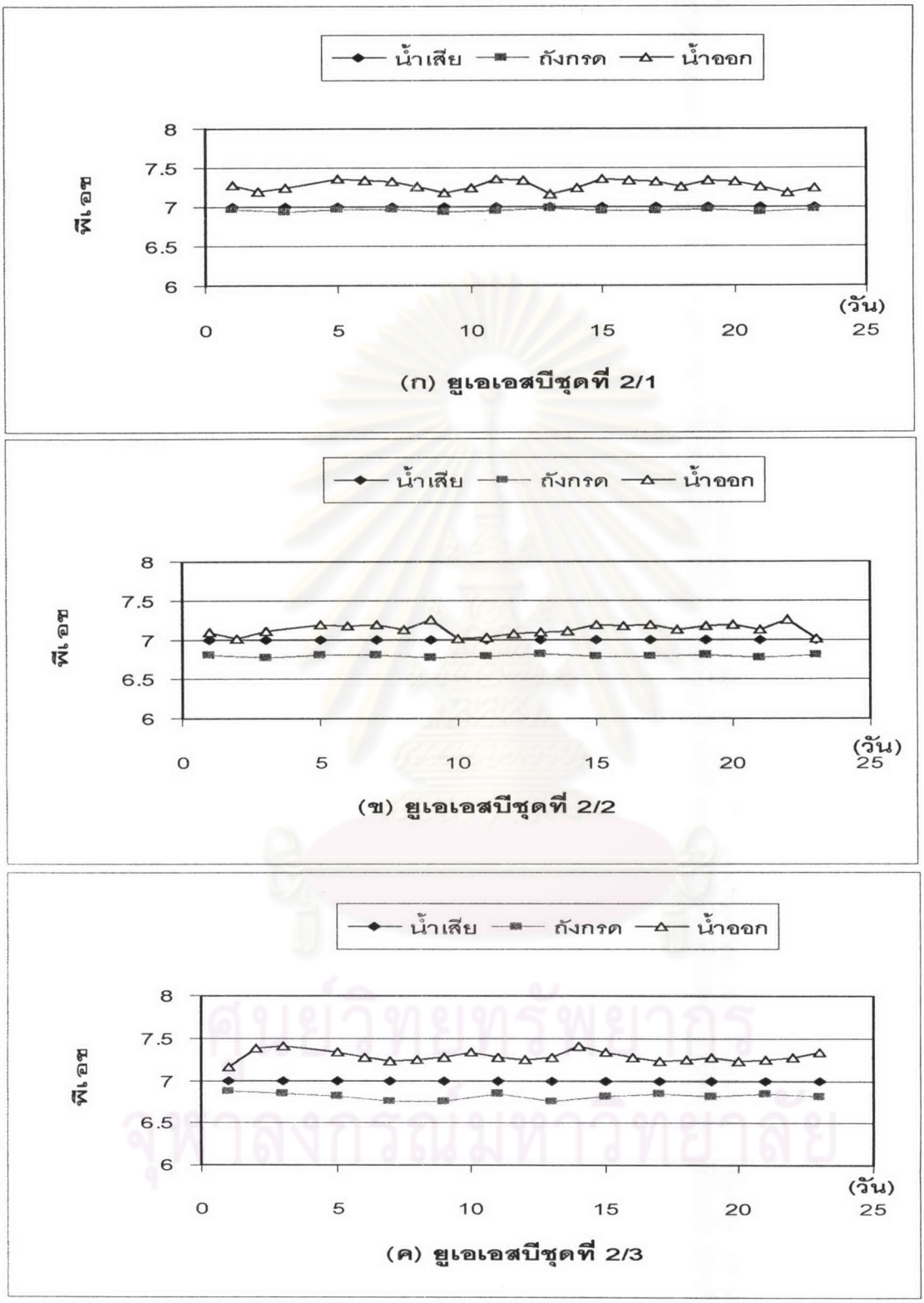
พารามิเตอร์	UASB ชุดที่ 2/1			UASB ชุดที่ 2/2			UASBชุดที่ 2/3		
	น้ำเข้า	ถังกรด	น้ำออก	น้ำเข้า	ถังกรด	น้ำออก	น้ำเข้า	ถังกรด	น้ำออก
ของแข็งแขวนลอย เฉลี่ย	48	43	34	64	316	47	273	499	61
(มก./ล.) n=7 SD	7	7	4	14	20	3	38	71	7
ของแข็งระเหยง่าย เฉลี่ย	32	30	24	48	246	39	247	330	55
(มก./ล.) n=7 SD	5	5	3	10	15	3	35	46	7
อัตราส่วน vss/ss	0.67	0.70	0.71	0.75	0.78	0.83	0.90	0.66	0.90

4.3.6 พีเอช

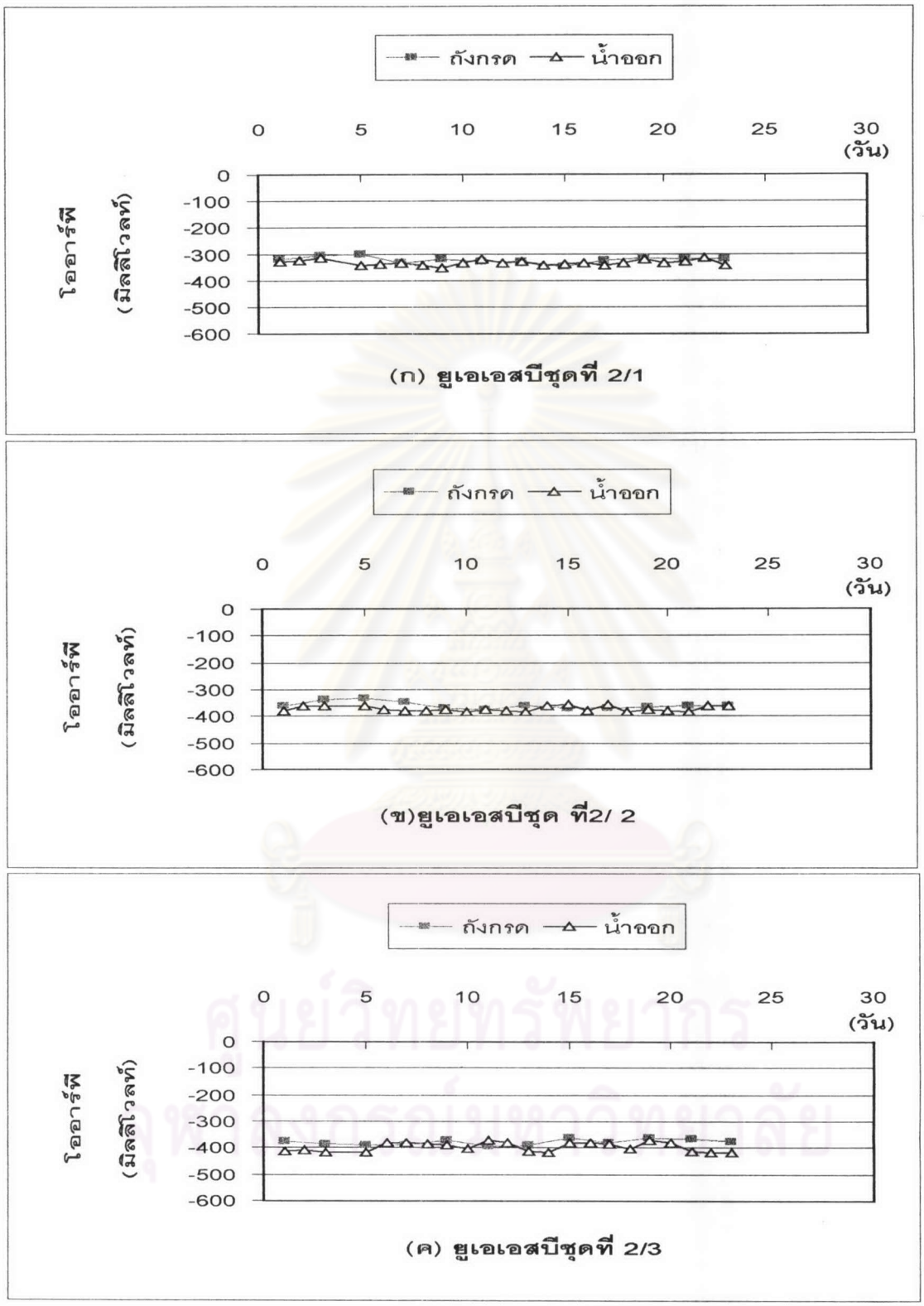
การทดลองที่ 2 นี้จะทำการปรับพีเอชของน้ำเสียที่จะป้อนเข้าระบบทั้ง 3 ชุดให้เท่ากับ 7 เพื่อให้ค่าพีเอชน้ำออกอยู่ในช่วงที่เหมาะสมกับการทำงานของแบคทีเรียเมทธาโนเจนคือระหว่าง 6.8-7.4 โดยค่าพีเอชตลอดการทดลองที่ 2 แสดงดังรูปที่ 4.30 สำหรับถังยูเอเอสบีชุดที่ 2/1 พบว่ามีค่าพีเอชในน้ำเสียเข้าระบบ เท่ากับ 6.96 ในถังสร้างกรดและเท่ากับ 7.28 ในน้ำออก ในขณะที่ระบบยูเอเอสบีชุดที่ 2/2 มีค่าพีเอชเฉลี่ยเท่ากับ 6.80 และ 7.13 ตามลำดับ และระบบยูเอเอสบีชุดที่ 2/3 เท่ากับ 6.81 และ 7.29 ตามลำดับ จะเห็นว่าเมื่อเทียบกับการทดลองที่ 1 แล้ว พีเอชแตกต่างกันน้อยมาก สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจากน้ำเสียมีสภาพความเป็นด่างสูงซึ่งเป็นบัฟเฟอร์ช่วยไม่ให้ระบบมีการเปลี่ยนแปลงของพีเอชมากนัก

4.3.7 โออาร์พี

จากรูปที่ 4.31 พบว่าค่าโออาร์พีของระบบยูเอเอสบีชุดที่ 2/1 มีค่าโออาร์พีในถังสร้างกรดเท่ากับ –321 มิลลิโวลท์ และมีค่าเท่ากับ –332 มิลลิโวลท์ในน้ำออก สำหรับระบบยูเอเอสบีชุดที่ 2/2 มีค่า



รูปที่ 4.30 ค่าพีเอชตลอดการทดลองที่ 2

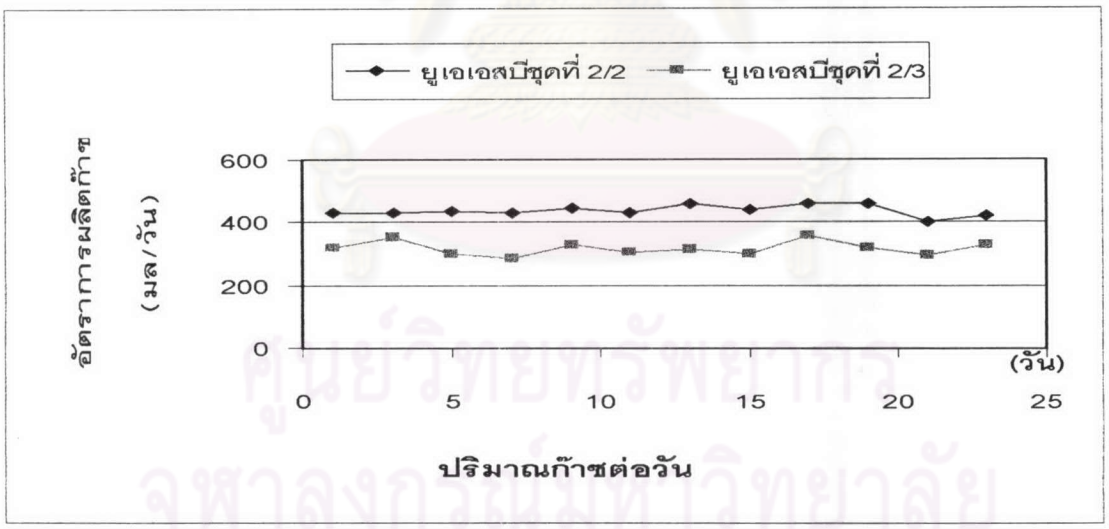


รูปที่ 4.31 ค่าโออาร์พีตลอดการทดลองที่ 2

โออาร์พีในถังสร้างกรดและในน้ำออกเท่ากับ –360และ-372 มิลลิโวลท์ ตามลำดับ ส่วนในระบบยูเอเอสบีชุดที่ 2/3 มีค่าโออาร์พีในถังสร้างกรดและในน้ำออกเท่ากับ –378 และ –396 มิลลิโวลท์ ตามลำดับ ซึ่งค่าโออาร์พีเหล่านี้แสดงว่าระบบไร้อากาศอยู่ในสภาวะที่ดี

4.3.8 ก๊าซมีเทน

ในระบบไร้อากาศ ก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่คือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซมีเทน จากรูปที่ 4.32 พบว่าในระบบยูเอเอสบีชุดที่ 2/1 ไม่มีก๊าซเกิดขึ้นหรืออาจจะเกิดขึ้นน้อยมากจนไม่สามารถเก็บได้ เนื่องจากก๊าซอาจจะเกิดการละลายน้ำเป็นส่วนใหญ่ ส่วนในระบบยูเอเอสบีชุดที่ 2/2 มีค่าเฉลี่ยปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นเท่ากับ 0.437 ลิตร/วัน และเท่ากับ 0.318 ลิตร/วัน ในชุดที่ 2/3 เมื่อเทียบอัตราการผลิตก๊าซของการทดลองที่ 2 กับการทดลองที่ 1 จะพบว่ามีอัตราการผลิตก๊าซเพิ่มขึ้น เนื่องจากน้ำที่ออกจากถังสร้างกรดของการทดลองที่ 2 เหลือค่าซีโอดีมากกว่าน้ำออกจากถังสร้างกรดของการทดลองที่ 1 ทำให้ถังยูเอเอสบีของการทดลองที่ 2 ต้องย่อยสลายซีโอดีมากกว่า ปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นจึงมากกว่า



รูปที่ 4.32 อัตราการผลิตก๊าซของระบบยูเอเอสบีชุดต่าง ๆ ตลอดการทดลองที่ 2

สำหรับเปอร์เซนต์ก๊าซมีเทนที่ทำการวัดได้นั้น ในระบบยูเอเอสบีชุดที่ 2/2 เท่ากับ 52 % ส่วนในระบบยูเอเอสบีชุดที่ 2/3 วัดได้ 64 % เมื่อเปรียบเทียบกับการทดลองที่ 1 เปอร์เซนต์ก๊าซมีเทนในระบบยูเอเอสบีชุดที่ 2/2 กลับลดลง แต่เปอร์เซนต์ก๊าซมีเทนในระบบยูเอเอสบีชุดที่ 2/3 มีค่าเพิ่มขึ้น

4.3.9 อุณหภูมิ

ในการทดลองชุดที่ 2 ยังคงวัดอุณหภูมิควบคู่ไปกับการวัดพีเอช เช่นเดียวกับการทดลองชุดที่ 1 โดยอุณหภูมิที่วัดได้ตลอดการทดลองนั้นค่อนข้างคงที่คืออยู่ในช่วงประมาณ 30 องศาเซลเซียสเท่ากับการทดลองชุดที่ 1 ผลของอุณหภูมิที่คงที่ตลอดทั้ง 2 ชุดการทดลอง มีค่าเท่าเดิม ดังนั้นระบบจึงทำงานตลอดเวลาที่ทำการทดลองได้โดยไม่มีผลกระทบจากเรื่องอุณหภูมิแปรปรวน

4.4 ผลการทดลองชุดที่ 3 อัตราส่วนน้ำชะมูลฝอยต่อสารอาหารร่วม 1:4

การทดลองชุดนี้ใช้เวลาเดินระบบทั้งหมด 37 วัน ระยะเวลา 10 วันแรกเป็นช่วงให้เชื้อในระบบปรับตัวให้เข้ากับการเติมสารอาหารร่วมที่ความเข้มข้นประมาณ 4,000 มก.ซีโอดี/ล. เนื่องจากพีเอชของน้ำชะมูลฝอยมีค่าสูงประมาณ 8.0-8.3 ดังนั้นก่อนทำการป้อนน้ำเสียเข้าระบบจึงปรับพีเอชโดยใช้กรดฟอสฟอริคให้เท่ากับ 7.0 เสียก่อน เพื่อทำให้พีเอชน้ำออกอยู่ในช่วงที่เหมาะสมกับการทำงานของแบคทีเรียเมทธาโนเจนคือ ระหว่าง 6.8-7.4 การนำข้อมูลมาหาค่าเฉลี่ยต่าง ๆ ใช้ช่วงวันที่ 11-25 ของการเดินระบบ ค่าเฉลี่ยของตัวแปรต่าง ๆ จากการทดลองแสดงในตารางที่ 4.6

4.4.1 ซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัด

จากรูปที่ 4.33 แสดงค่าซีโอดีของระบบยูเอเอสบีแต่ละชุดตลอดการทดลองที่ 3 เมื่อนำมาหาค่าเฉลี่ยของซีโอดีดังตารางที่ 4.6 ได้ค่าเฉลี่ยซีโอดีในน้ำเข้าของระบบชุดควบคุมคือ ระบบยูเอเอสบีชุดที่ 3/1 มีค่าเท่ากับ 1028 มก./ล. ส่วนค่าซีโอดีน้ำเข้าของระบบยูเอเอสบีชุดที่ 3/2 ซึ่งเติมน้ำตาลทรายเป็นสารอาหารร่วมและระบบยูเอเอสบีชุดที่ 3/3 ซึ่งเติมนมถั่วเหลืองเป็นสารอาหารร่วม มีค่าเท่ากับ 5342 มก./ล. และ 5244 มก./ล. ตามลำดับ สำหรับค่าซีโอดีเฉลี่ยในถังสร้างกรดพบว่า ถังสร้างกรดชุดควบคุมมีค่าซีโอดีเฉลี่ย 959 มก./ล. ระบบยูเอเอสบีชุดที่ 3/2 และ 3/3 มีค่าซีโอดีเฉลี่ย เท่ากับ 1583 มก./ล. และ 1640 มก./ล. ส่วนค่าซีโอดีในน้ำออกของยูเอเอสบีทั้ง 3 ชุดเป็นดังนี้คือ เท่ากับ 938 926 และ 991 ในยูเอเอสบีชุดที่ 3/1 3/2 และ 3/3 ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพเฉลี่ยการกำจัดซีโอดีของแต่ละระบบยูเอเอสบีจากรูปที่ 4.34 พบว่าในถังสร้างกรดของชุดควบคุมมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีเท่ากับ 8 % ส่วนถังสร้างกรดของระบบ

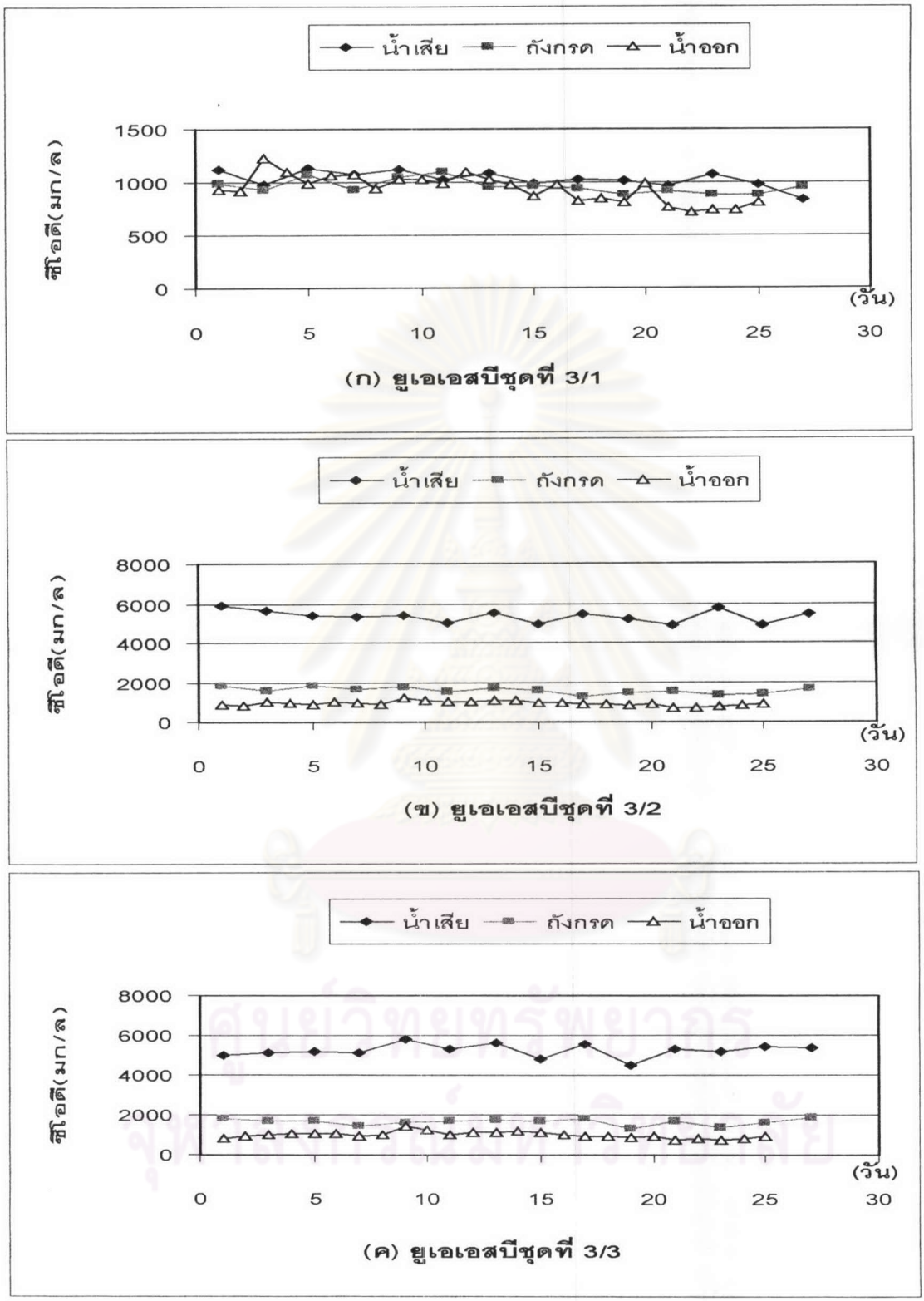
ตารางที่ 4.6 สรุปค่าเฉลี่ยของตัวแปรต่างๆ จากการทดลองที่ 3

ตัวแปรที่วัด		UASB ชุดที่ 1 ไม่เติมสารอาหารร่วม			UASB ชุดที่ 2 (น้ำตาลทราย 4,000 มก./ล.)			UASB ชุดที่ 3 (นมถั่วเหลือง 4,000 มก./ล.)		
		น้ำเสีย	ถังกรด	น้ำออก	น้ำเสีย	ถังกรด	น้ำออก	น้ำเสีย	ถังกรด	น้ำออก
พีเอช (pH)	เฉลี่ย		6.96	7.28		6.70	7.04		6.75	7.34
	SD.		0.02	0.06		0.02	0.08		0.04	0.07
อุณหภูมิ (Temperature)	เฉลี่ย	29.7	29.7	30.3	29.7	29.7	30.3	29.7	29.7	30.3
(องศาเซลเซียส)	SD.	0.7	0.7	0.6	0.7	0.7	0.6	0.7	0.7	0.6
โออาร์พี (ORP)	เฉลี่ย		-322	-333		-362	-374		-381	-407
(มิลลิโวลท์)	SD.		12	12		14	12		12	17
ซีโอดี(COD)	เฉลี่ย	1028	959	938	5342	1583	926	5244	1640	991
(มก./ล.)	SD.	80	69	131	328	181	119	341	161	158
ประสิทธิภาพการกำจัด	เฉลี่ย		8	9		70	83		69	81
ซีโอดี(COD)รวม *	SD.									
ประสิทธิภาพการกำจัด	เฉลี่ย		8	9			10			4
ซีโอดี(COD) * *	SD.									
ความเข้มสี (SU)	เฉลี่ย	96.282	98.381	96.961	98.513	90.493	84.937	238.891	101.498	90.337
	SD.	4.049	4.194	8.027	6.613	6.229	8.606	51.313	10.052	6.472
ประสิทธิภาพการลดสี	เฉลี่ย		-	0		6	12		-	6
(%) ***	SD.									
บีโอดี(BOD)	เฉลี่ย	58		26	3249		53	3311		62
	SD.	12		8	340		17	384		12
ประสิทธิภาพการกำจัด	เฉลี่ย			55			9			0
บีโอดี(BOD)	SD.									
สภาพด่างทั้งหมด	เฉลี่ย	1345	1537	1606	1346	1483	1598	1448	1751	1903
(มก./ล. $CaCO_3$)	SD.	120	99	94	102	67	79	39	101	99
กรดไขมันระเหย(VFA)	เฉลี่ย	448	402	312	447	534	355	474	525	350
(มก./ล. $CaCO_3$)	SD.	55	56	68	77	67	46	75	40	32
อัตราส่วนกรดไขมันระเหยเฉลี่ย		0.333	0.262	0.194	0.332	0.36	0.222	0.327	0.300	0.184
ต่อสภาพด่างทั้งหมด	SD.									
ปริมาณก๊าซทั้งหมด	เฉลี่ย						0.443			0.296
(ลิตร/วัน)	SD.						0.02			0.025
ก๊าซมีเทน (%)							51			73

*ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีทั้งในถังสร้างกรดและในน้ำออกคิดเทียบจากซีโอดีในน้ำเสีย

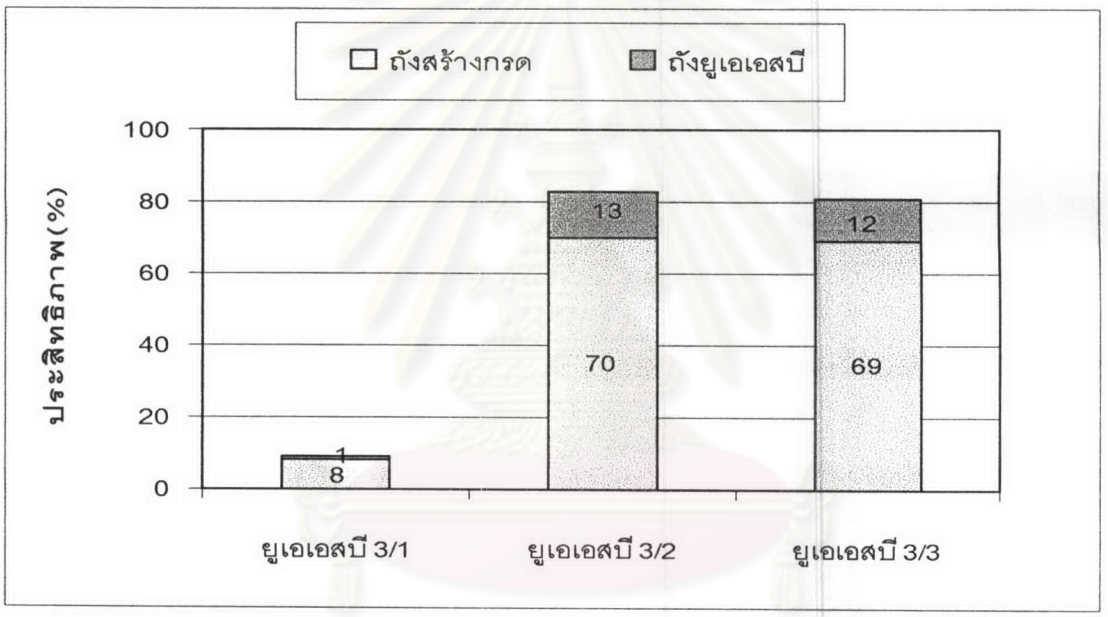
**ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีทั้งในถังสร้างกรดและในน้ำออกคิดเทียบจากซีโอดีในน้ำเสียของ UASB ชุดที่ 1

***ประสิทธิภาพการกำจัดสีทั้งในถังสร้างกรดและในน้ำออกคิดเทียบจากสีในน้ำเสียของ UASB ชุดที่ 1



รูปที่4.33 ค่าซีโอดีตลอดการทดลองที่ 3

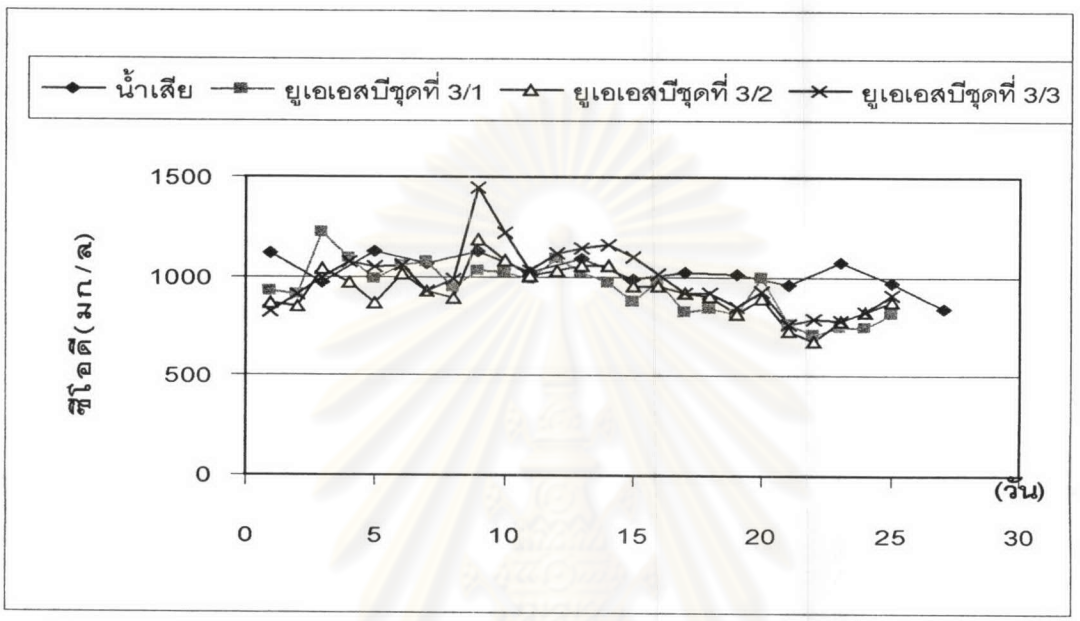
ยูเอเอสบีชุดที่ 3/2 และ 3/3 มีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเท่ากับ 70 %และ 69% ส่วนประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีในน้ำออกของยูเอเอสบีทั้ง 3 ชุด เท่ากับ 9% 83% และ 81% ตามลำดับ จากการทดลองพบว่าซีโอดีของสารอาหารร่วมส่วนใหญ่ถูกกำจัดในถังสร้างกรด ส่วนถังยูเอเอสบีชุดควบคุมมีการกำจัดซีโอดีเพิ่มอีก 1% ในถังยูเอเอสบีของระบบชุดที่ 3/2 และ 3/3 มีการกำจัดซีโอดีเพิ่มอีก 13 % และ 12% เท่านั้น เมื่อเปรียบเทียบกับการทดลองที่ 2 ซึ่งมีการเติมสารอาหารร่วมเข้มข้น 2000 มก. ซีโอดี/ล.กับการทดลองที่ 3 ที่มีการเติมสารอาหารร่วมเข้มข้น 4000 มก.ซีโอดี/ล. พบว่าค่าซีโอดีน้ำออกจากถังสร้างกรดของการทดลองที่ 2 และการทดลองที่ 3 ไม่แตกต่างกันมากนัก แสดงว่าถังสร้างกรดมีเวลากักน้ำมากพอจนทำให้ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่แตกต่างกันของทั้ง 2 การทดลองไม่มีผลต่อถังสร้างกรด กล่าวคือถังสร้างกรดมีความเสถียรต่อภาระบรรทุกสารอินทรีย์ในช่วงดังกล่าว



รูปที่ 4.34 ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีของระบบยูเอเอสบีต่าง ๆ ของการทดลองที่ 3

เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของระบบยูเอเอสบีชุดต่างๆ พบว่า ระบบยูเอเอสบีชุดที่ 3/1 3/2 และ 3/3 มีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีเท่ากับ 9% 83% และ 81% ตามลำดับ โดยประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีของระบบยูเอเอสบีชุดที่ 3/2 และ 3/3 สูงกว่าประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีของชุดควบคุมมาก แต่เมื่อพิจารณาค่าซีโอดีในน้ำออกของระบบยูเอเอสบีแต่ละชุด ดังแสดงในรูปที่ 4.35 พบว่า ระบบยูเอเอสบีที่เติมน้ำตาลทรายและนมถั่วเหลืองเป็นสารอาหารร่วมเข้มข้น 4000 มก.ซีโอดี /ล. ต่างมีค่าซีโอดีน้ำออกมากกว่าซีโอดีน้ำออกของชุดควบคุม จึงสรุปได้ว่าการเติมสารอาหารร่วมในการทดลองที่ 3 ไม่ได้ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีของน้ำชะมูลฝอยและเมื่อ

เปรียบเทียบกับผลการทดลองที่ 1 และ 2 แล้ว พบว่า ค่าซีโอดีในน้ำออกมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากสารอาหารร่วมที่เติมเข้าไปในระบบถูกย่อยสลายไม่หมด จึงเหลือค่าซีโอดีจากสารอาหารร่วมในน้ำออกมากกว่าการทดลองที่ 1 และ 2 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีจึงลดลง

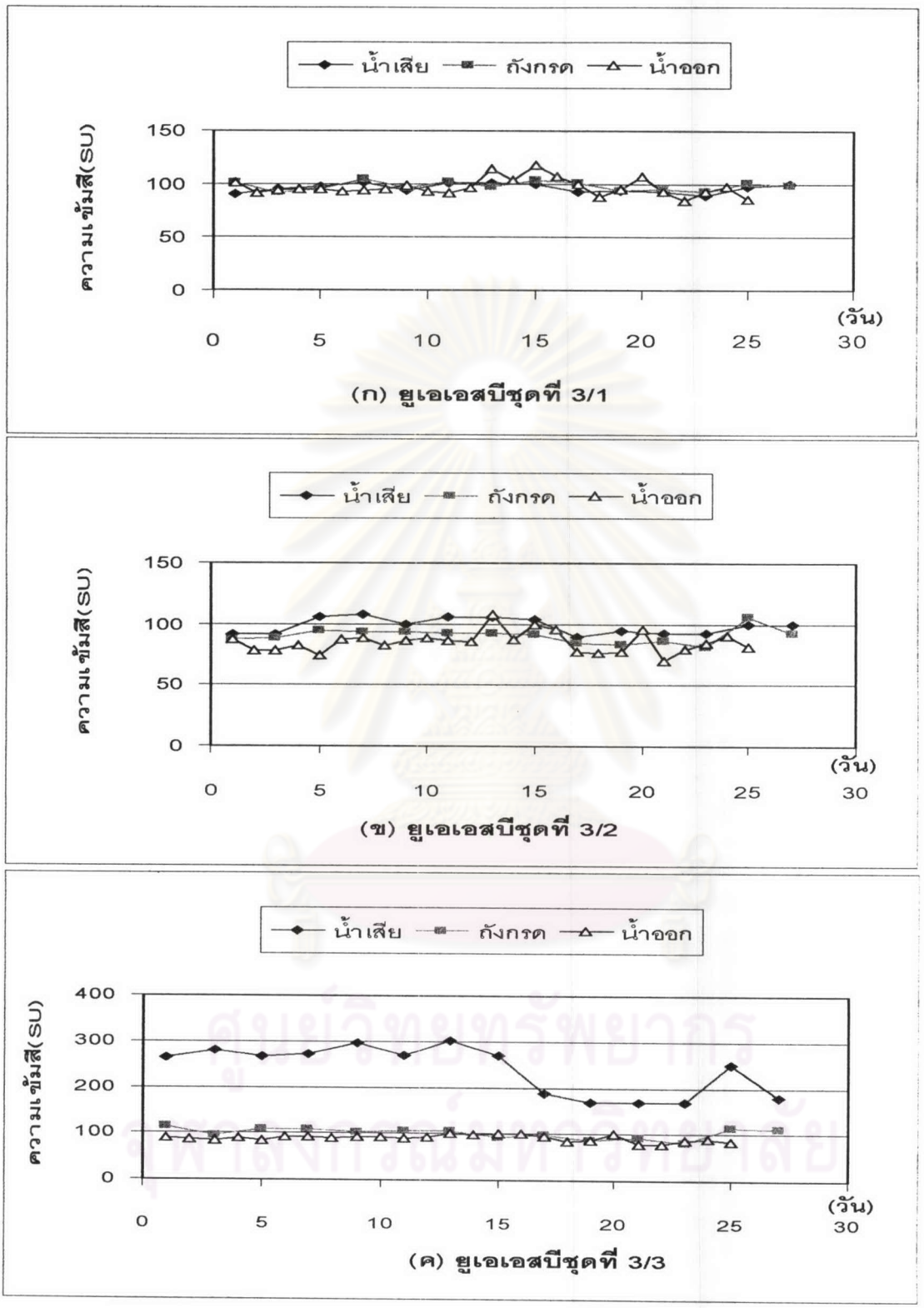


รูปที่ 4.35 ค่าซีโอดีในน้ำออกจากระบบยูเอเอสบีชุดต่าง ๆตลอดการทดลองที่ 3

จากการทดลองทั้ง 3 ชุดการทดลอง ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของการทดลองที่ 1 ซึ่งเป็นการเติมน้ำตาลทรายเป็นสารอาหารร่วมที่ความเข้มข้น 1000 มก.ซีโอดี/ล. ดีที่สุด โดยมีค่าซีโอดีเฉลี่ยในน้ำออกจากระบบน้อยกว่าซีโอดีเฉลี่ยน้ำออกจากระบบชุดควบคุม 7%

4.4.2 ความเข้มสีและประสิทธิภาพการลดสี

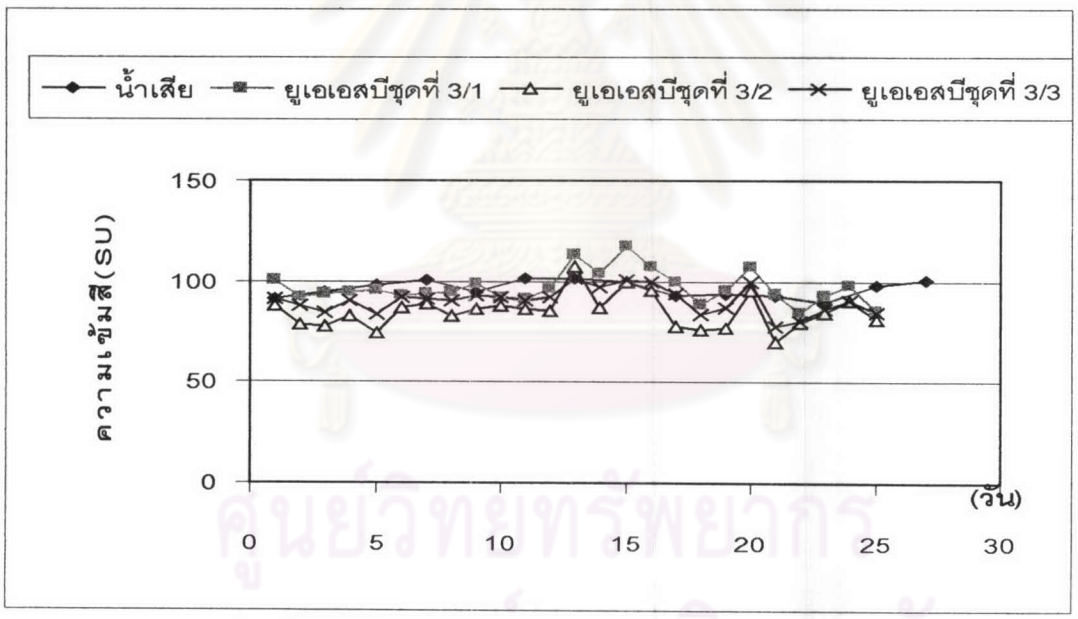
จากรูปที่ 4.36 แสดงค่าความเข้มสีของระบบยูเอเอสบีแต่ละชุดตลอดการทดลองที่ 3 เมื่อนำมาหาค่าเฉลี่ยจะได้ค่าเฉลี่ยความเข้มสีดังข้อมูลในตารางที่ 4.6 โดยค่าเฉลี่ยของความเข้มสีในน้ำชะมูลฝอยที่เตรียมให้กับระบบยูเอเอสบีทั้ง 3 ชุด เท่ากับ 96 99 และ 239 SU ในระบบยูเอเอสบีชุดที่ 3/1 3/2 และ 3/3 ตามลำดับ ส่วนถังสร้างกรดมีความเข้มสีชุดที่ 3/1เท่ากับ 98 SU ชุดที่ 3/2 เท่ากับ 91 SU และชุดที่ 3/3 เท่ากับ 102 SU สำหรับน้ำออกมีความเข้มสีชุดที่ 3/1 เท่ากับ 97 SU ส่วนชุดที่ 3/2



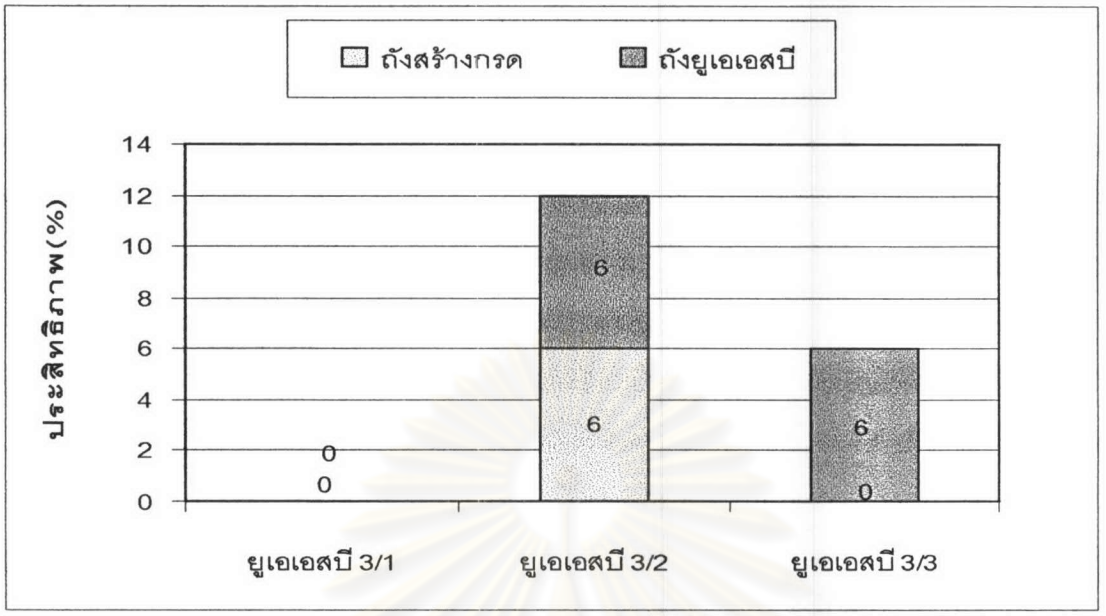
รูปที่ 4.36 ค่าความเข้มสีตลอดการทดลองที่ 3

และ 3/3 มีความเข้มสีเท่ากับ 85 SU และ 90 SU ตามลำดับ ความเข้มสีในระบบยูเอเอสบีชุดต่าง ๆ ตลอดการทดลองที่ 3 แสดงในรูปที่ 4.37

จากรูปที่ 4.38 เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการลดสี ถังสร้างกรดของระบบชุดที่ 3/1 ไม่สามารถลดค่าความเข้มสีลงได้ ส่วนถังสร้างกรดของระบบชุดที่ 3/2 มีประสิทธิภาพการลดสีเท่ากับ 6 % แต่ในถังสร้างกรดของระบบชุดที่ 3/3 ปรากฏว่ามีความเข้มสีเพิ่มขึ้น 5 % เหตุผลที่ความเข้มสีเพิ่มขึ้นเนื่องจากอนุภาคของนมถั่วเหลืองในถังสร้างกรดที่ยังย่อยสลายไม่หมดรบกวนการวัดสี ส่วนประสิทธิภาพการลดสีของระบบเมื่อผ่านการบำบัดด้วยถังยูเอเอสบีของชุดที่ 3/1 3/2 และ 3/3 แสดงในรูปที่ 4.36 โดยเท่ากับ 0 % 12 % และ 6 % ตามลำดับ



รูปที่ 4.37 สรุปค่าความเข้มสีในน้ำออกของระบบยูเอเอสบีชุดต่าง ๆ ตลอดการทดลองที่ 3



รูปที่ 4.38 ประสิทธิภาพในการกำจัดสีของระบบยูเอเอสบีต่าง ๆ ในการทดลองที่ 3

เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการกำจัดสีของการทดลองที่ 1 2 และ 3 จะพบว่าประสิทธิภาพการกำจัดสีไม่ได้มีส่วนสัมพันธ์กับความเข้มข้นของสารอาหารร่วมที่เติมลงไป แต่ชนิดของสารอาหารร่วมที่เติมลงไปในน้ำเสียมีผลต่อการกำจัดสี โดยการเติมน้ำตาลทรายเป็นสารอาหารร่วมให้ประสิทธิภาพการกำจัดสีดีที่สุดคือประมาณ 12 %ถึง 18 % ส่วนการเติมนมถั่วเหลืองเป็นสารอาหารร่วมให้ประ-สิทธิภาพในการกำจัดสีประมาณ 4% ถึง 11% ส่วนระบบชุดควบคุมซึ่งไม่มีการเติมสารอาหารร่วมให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสีได้ไม่เกิน 4%

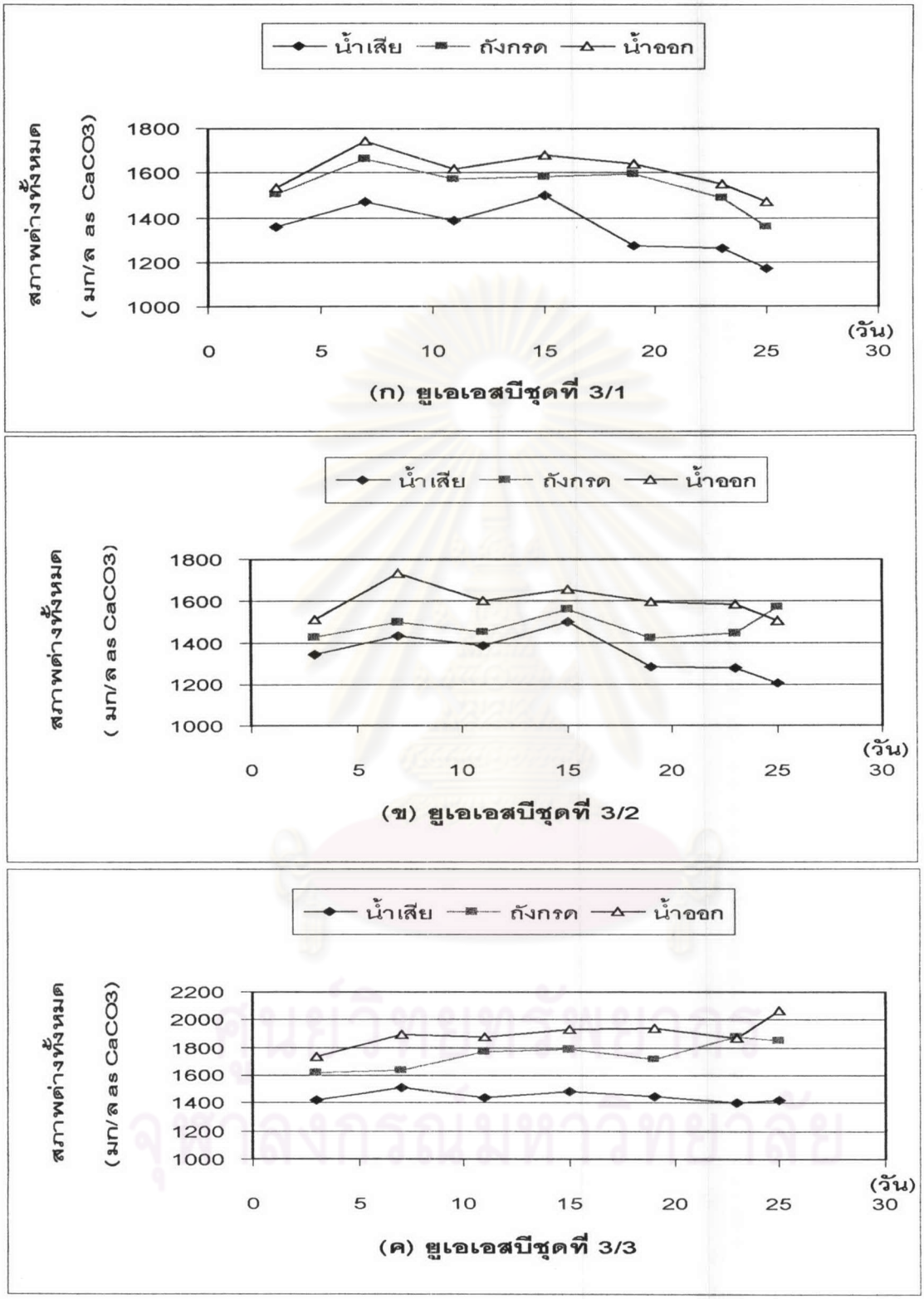
4.4.3 สภาพด่างทั้งหมดและกรดไขมันระเหย

จากรูปที่ 4.39 และ 4.40 แสดงค่าสภาพความเป็นด่างทั้งปมดและค่ากรดไขมันระเหยตลอดการทดลองที่ 3 เมื่อนำมาหาค่าเฉลี่ยจะได้ค่าเฉลี่ยของสภาพด่างทั้งหมดและค่ากรดไขมันระเหย ดังข้อมูลในตารางที่ 4.6 โดยค่าสภาพด่างทั้งหมดของระบบยูเอเอสบีชุดที่ 3/1 ในน้ำเสีย ถังสร้างกรดและน้ำออก เท่ากับ 1345 1537 และ1606 มก./ล.ในเทอมของแคลเซียมคาร์บอเนตตามลำดับ ในยูเอเอสบีชุดที่ 3/2 เท่ากับ 1346 1483 และ 1598 มก./ล.ในเทอมของแคลเซียมคาร์บอเนตตามลำดับ และในยูเอเอสบีชุดที่ 3/3 เท่ากับ 1448 1751 และ 1903 มก./ล.ในเทอมของแคลเซียมคาร์บอเนตตามลำดับ จากการทดลองพบว่าในระบบยูเอเอสบีชุดที่ 3/1 ซึ่งเป็นชุดควบคุม มีการเพิ่มขึ้นของสภาพด่างในถัง

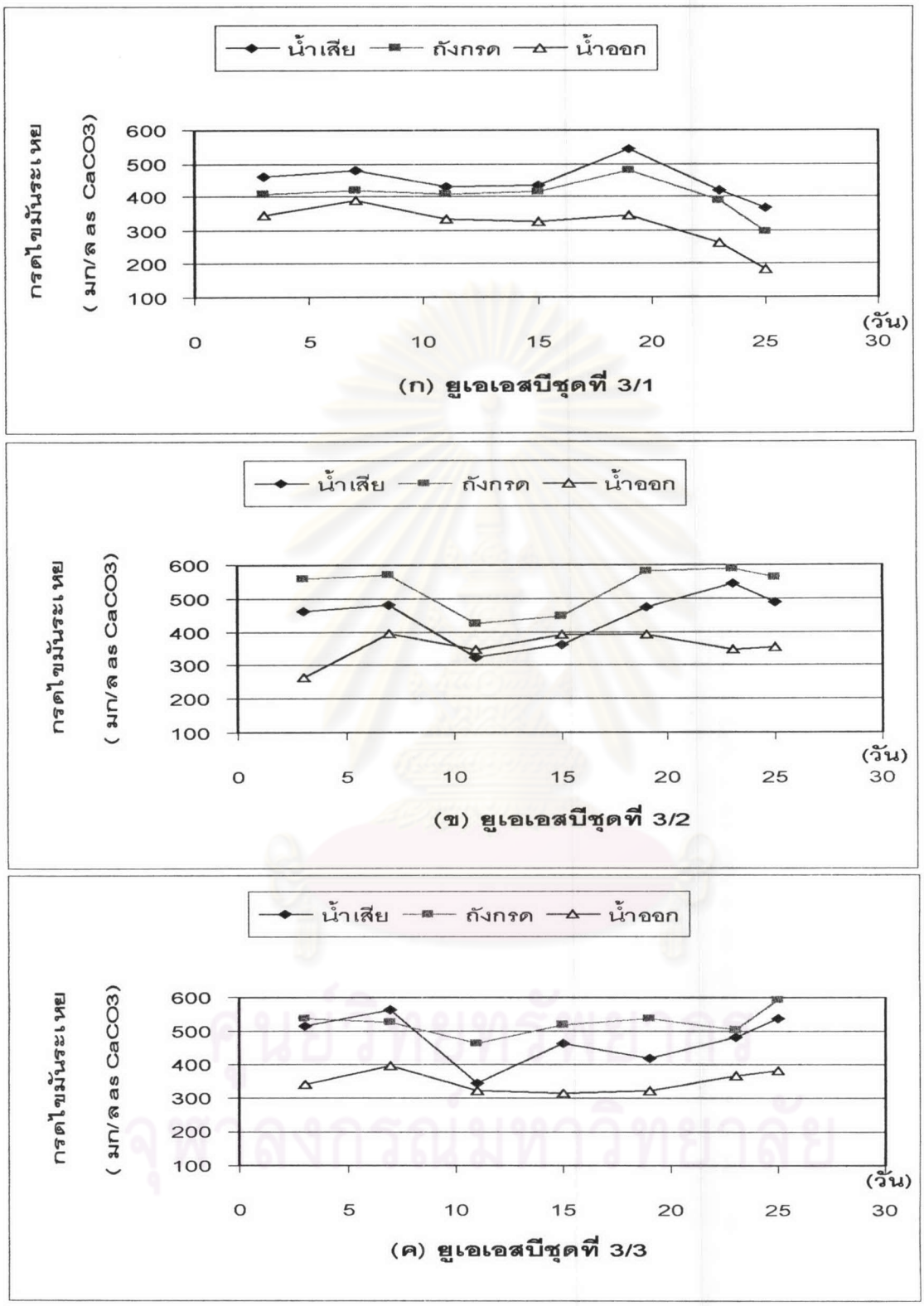
สร้างกรดเท่ากับ 12% ของสภาพด่างในน้ำเสีย ส่วนในน้ำออกมีสภาพด่างเพิ่มขึ้น 19% ของสภาพด่างในน้ำเสีย สำหรับระบบยูเอเอสบีชุดที่ 3/2 สภาพด่างในถังสร้างกรดและในน้ำออกเพิ่มขึ้นเท่ากับ 10 %และ 19% ของสภาพด่างในน้ำเสียตามลำดับ ส่วนระบบยูเอเอสบีชุดที่ 3/3 สภาพด่างในถังสร้างกรดและในน้ำออกเพิ่มขึ้นเท่ากับ 21%และ 31% ของสภาพด่างในน้ำเสีย ตามลำดับ โดยสภาพด่างของระบบยูเอเอสบีชุดต่าง ๆ ตลอดการทดลองที่ 3 แสดงในรูปที่ 4.39 เมื่อเปรียบเทียบสภาพด่างของการทดลองที่ 1 2 และ 3 พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณนมถั่วเหลืองในน้ำเสียมากขึ้นยิ่งทำให้ค่าสภาพความเป็นด่างเพิ่มขึ้นซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีที่ว่า โปรตีนเมื่อถูกย่อยสลายจะให้สภาพด่างออกมา ดังนั้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของนมถั่วเหลืองจึงทำให้สภาพด่างเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

รูปที่ 4.40 แสดงปริมาณกรดไขมันระเหยของระบบยูเอเอสบีชุดต่างๆ ตลอดการทดลองที่ 3 โดยปริมาณกรดไขมันระเหยในน้ำเสียของระบบยูเอเอสบีชุดที่ 3/1 เท่ากับ 448 มก./ล.ในเทอมของแคลเซียมคาร์บอเนต และในถังสร้างกรดและในน้ำออกเท่ากับ 402 และ 312 มก./ล.ในเทอมของแคลเซียมคาร์บอเนต ตามลำดับ ส่วนในระบบยูเอเอสบีชุดที่ 3/2 เท่ากับ 447 534 และ 355 มก./ล. ในเทอมของแคลเซียมคาร์บอเนต ในน้ำเสีย ถังสร้างกรดและน้ำออกตามลำดับ และยูเอเอสบีชุดที่ 3/3 เท่ากับ 474 525 และ 350 มก./ล.ในเทอมของแคลเซียมคาร์บอเนตในน้ำเสีย ถังสร้างกรดและน้ำออก ตามลำดับ ซึ่งจากการทดลองพบว่าปริมาณกรดไขมันระเหยในถังสร้างกรดเพิ่มขึ้น เนื่องจากมีการย่อยสลายสารอาหารร่วมให้กลายเป็นกรดไขมันระเหย ส่วนในน้ำออกมีค่ากรดไขมันระเหยลดลงเพราะกรดไขมันระเหยถูกใช้โดยแบคทีเรียชนิดเมทธาโนเจน (Methanogens)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.39 ค่าสภาพด่างทั้งหมดตลอดการทดลองที่ 3



รูปที่ 4.40 ค่ากรดไขมันระเหยตลอดการทดลองที่ 3

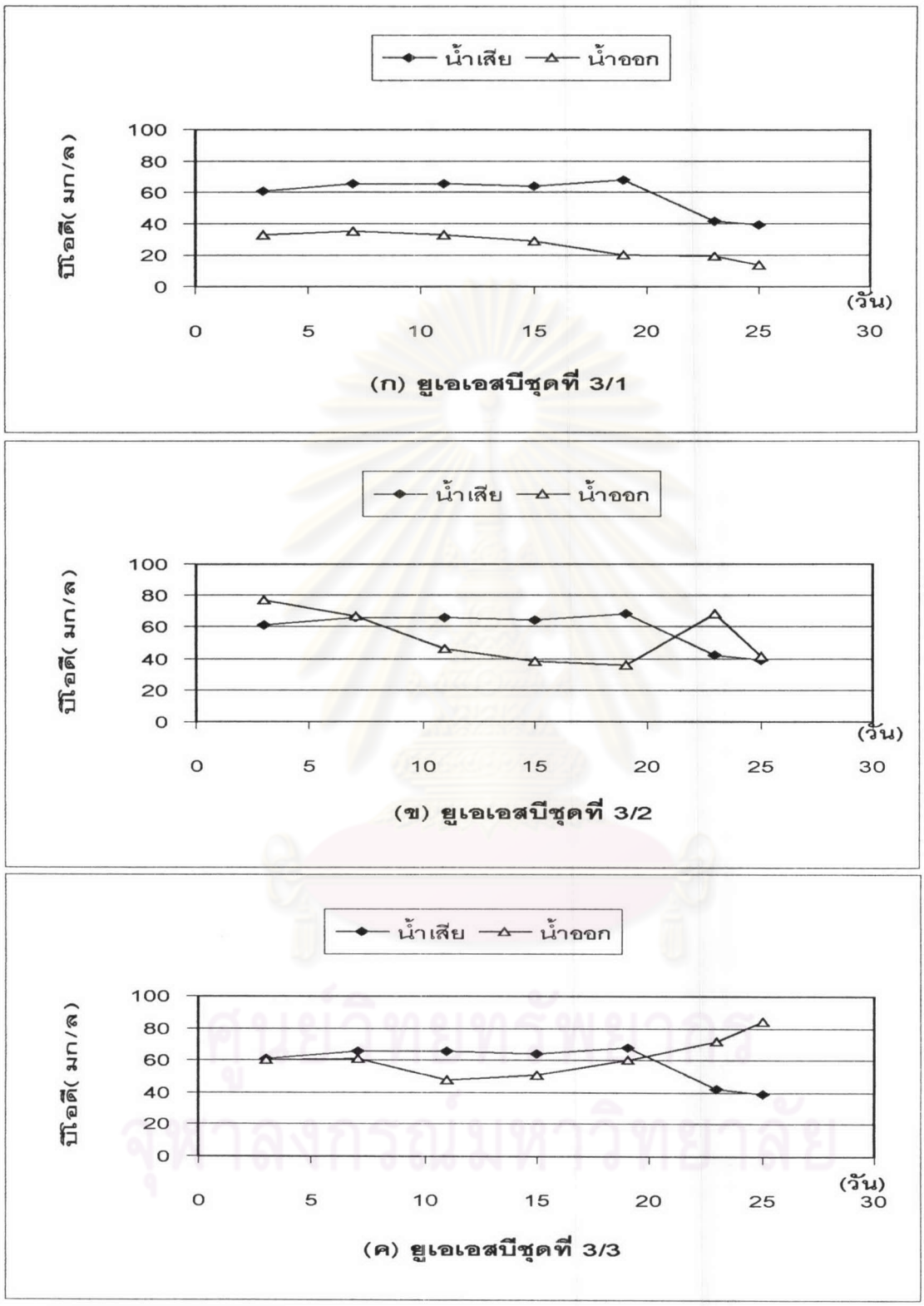
4.4.4 บีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัด

รูปที่ 4.41 แสดงค่าบีโอดีของระบบยูเอเอสบีชุดต่าง ๆ ตลอดการทดลองที่ 3 โดยบีโอดีเฉลี่ยของระบบยูเอเอสบีชุดที่ 3/1 ในน้ำเสีย และน้ำออก เท่ากับ 58 และ 26 มก./ล.ตามลำดับ สำหรับระบบยูเอเอสบีชุดที่ 3/2 เท่ากับ 3249 และ 53 มก./ล.ตามลำดับ ส่วนระบบยูเอเอสบีชุดที่ 3 มีค่าเท่ากับ 3311 และ 62 มก./ล.ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดี จะได้ประสิทธิภาพดังนี้ ประสิทธิภาพการกำจัดของระบบยูเอเอสบีชุดที่ 3/1 เท่ากับ 55% ส่วนในระบบยูเอเอสบีชุดที่ 3/2 และชุดที่ 3/3 มีประสิทธิภาพในการกำจัดบีโอดีเท่ากัน โดยมีค่าเท่ากับ 98 % โดยประสิทธิภาพเฉลี่ยในการกำจัดบีโอดีของระบบยูเอเอสบีชุดต่าง ๆ แสดงในรูปที่ 4.42

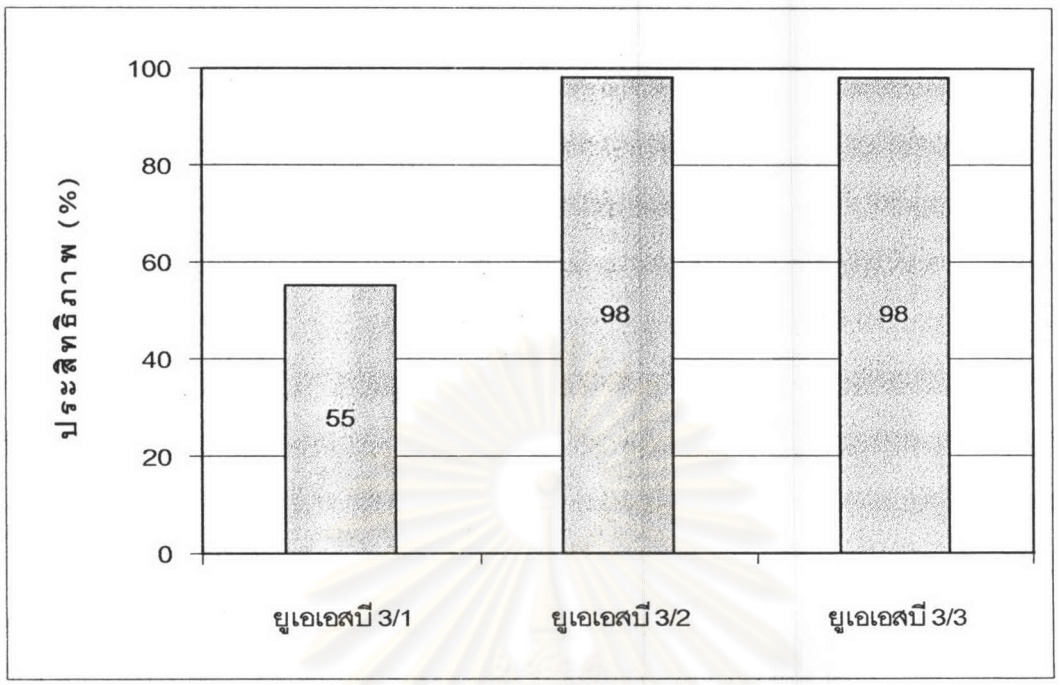
ถึงแม้ประสิทธิภาพในการกำจัดบีโอดีของระบบยูเอเอสบีชุดที่ 3/2 ซึ่งเติมน้ำตาลเข้มข้น 4,000 มก.ซีโอดี/ล.และระบบยูเอเอสบีชุดที่ 3/3 ซึ่งเติมนมถั่วเหลืองเข้มข้น 4,000 มก.ซีโอดี/ล. ต่างมีประสิทธิภาพในการกำจัดบีโอดีสูงกว่าระบบชุดที่ 3/1 มาก แต่เมื่อพิจารณารูปที่ 4.43 พบว่าค่า บีโอดีเฉลี่ยของน้ำออกจากระบบยูเอเอสบีชุดที่ 3/2 และ 3/3 มีค่ามากกว่าบีโอดีเฉลี่ยของน้ำออกของระบบชุดควบคุม แสดงว่าการเติมสารอาหารร่วมที่อัตราส่วนโดยซีโอดีของน้ำชะมูลฝอยต่อสารอาหารร่วมเท่ากับ 1:2 ไม่มีส่วนช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดบีโอดี สาเหตุเพราะระบบชุดที่ 3/2 และ 3/3 ต่างไม่สามารถย่อยบีโอดีของสารอาหารร่วมที่เติมลงไปได้หมด

4.4.5 ของแข็งแขวนลอยและของแข็งระเหยง่าย

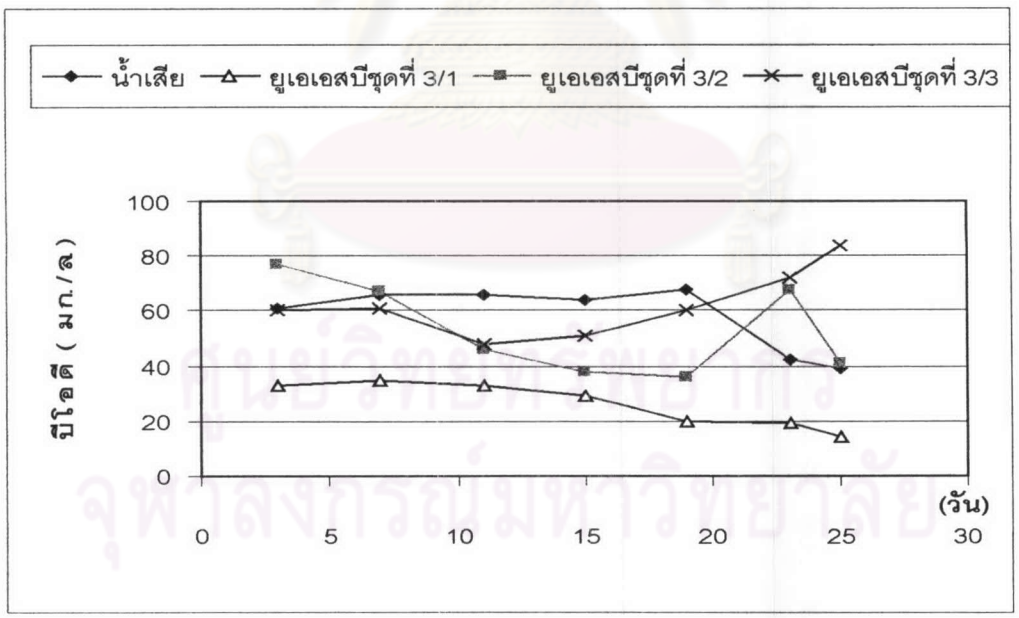
จากรูปที่ 4.44 และ 4.45 ซึ่งแสดงค่าของแข็งแขวนลอยและของแข็งระเหยง่ายของระบบยูเอเอสบีชุดต่าง ๆ ตลอดการทดลองที่ 3 เมื่อนำมาหาค่าเฉลี่ยจะได้ค่าดังตารางที่ 4.7 โดยปริมาณของแข็งแขวนลอยและของแข็งระเหยง่ายในน้ำเข้าของระบบยูเอเอสบีชุดที่ 3/2 และ 3/3 มีค่ามากกว่าของระบบยูเอเอสบีชุดที่ 3/1 โดยเหตุผลที่เป็นเช่นนี้ได้อธิบายในหัวข้อ 4.2.5 แล้ว



รูปที่ 4.41 ค่าบีโอดีตลอดการทดลองที่ 3



รูปที่ 4.42ประสิทธิภาพในการกำจัดบีโอดีของระบบยูเอเอสบีต่าง ๆ ในการทดลองที่ 3



รูปที่ 4.43 สรุปค่าบีโอดีในน้ำออกของระบบยูเอเอสบีชุดต่าง ๆ ตลอดการทดลองที่ 3

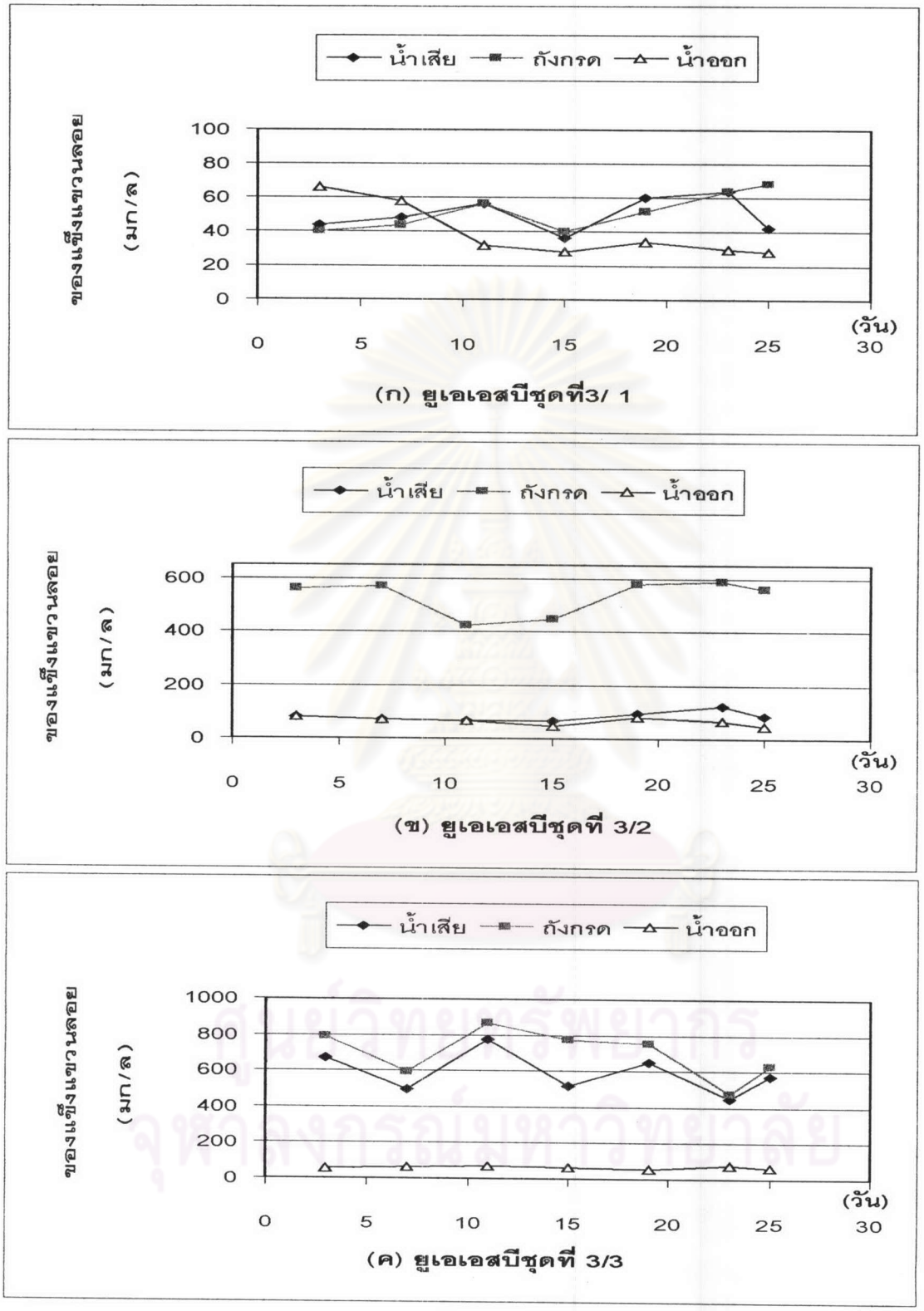
ในถังสร้างกรดของระบบยูเอเอสบีชุดที่ 3/1 ของแข็งแขวนลอยและของแข็งระเหยง่ายมีค่าลดลง เนื่องจากเกิดการตกตะกอนขึ้นในถังสร้างกรด ส่วนในถังสร้างกรดของระบบยูเอเอสบีชุดที่ 3/2 และ 3/3 มีค่าของแข็งแขวนลอยและของแข็งระเหยง่ายเพิ่มขึ้น สาเหตุมาจากการเกิดเมือกขึ้นในถังสร้างกรด นอกจากนี้ยังมีสิ่งมีชีวิตพวกหนอนและลูกน้ำอาศัยอยู่ด้วยทำให้ในการตักน้ำจากถังสร้างกรดขึ้นไปวัดค่าของแข็งแขวนลอยและของแข็งระเหยง่ายจะมีสิ่งเหล่านี้ปนเปื้อนไปบ้าง

สำหรับค่าของแข็งแขวนลอยและของแข็งระเหยง่ายในน้ำออก พบว่าในระบบยูเอเอสบีชุดที่ 3/2 และ 3/3 มีค่าสูงกว่าในระบบยูเอเอสบีชุดที่ 3/1 และเมื่อเทียบค่าของแข็งแขวนลอยและของแข็งระเหยง่ายของการทดลองที่ 1 และการทดลองที่ 2 แล้วพบว่ามีค่าเพิ่มขึ้น สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากค่าของของแข็งแขวนลอยและของแข็งระเหยง่ายมีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณซีโอดีที่ถูกกำจัดในถังยูเอเอสบี เมื่อมีการกำจัดซีโอดีเพิ่มขึ้นก็จะทำให้ปริมาณเซลล์แบคทีเรียและปริมาณก๊าซที่อยู่ในถังยูเอเอสบีเพิ่มขึ้นทำให้เกิดปริมาณของแข็งแขวนลอยและของแข็งระเหยง่ายมากขึ้น นอกจากนี้ก๊าซที่เกิดขึ้นยังทำให้เกิดการฟุ้งกระจายของของแข็งเหล่านี้ในระบบ จึงทำให้ระบบยูเอเอสบีชุดที่ 3/2 และ 3/3 มีปริมาณของแข็งแขวนลอยและของแข็งระเหยง่ายในน้ำออกมากกว่าระบบยูเอเอสบีชุดที่ 3/1

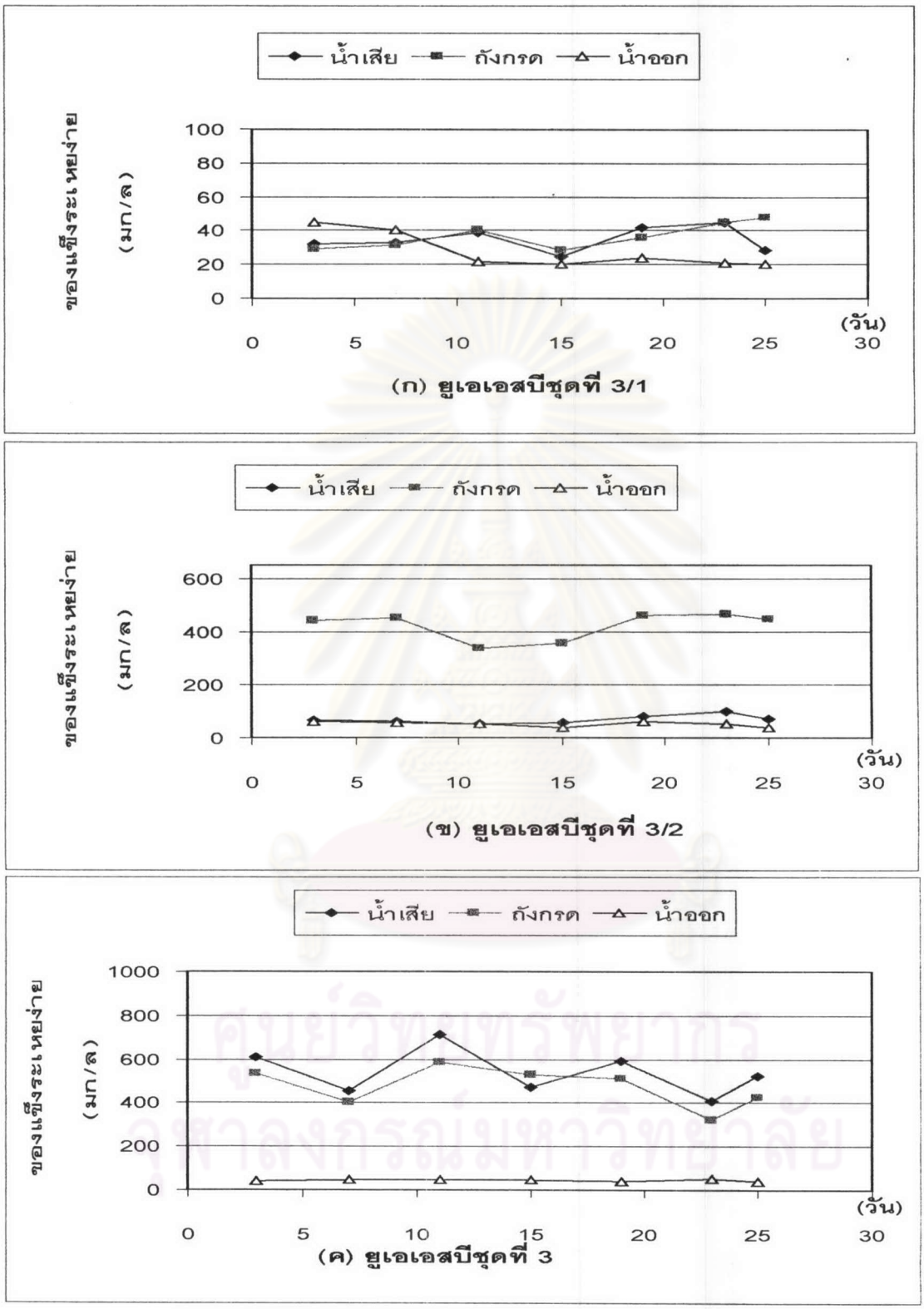
ตารางที่ 4.7 ค่าเฉลี่ยของแข็งแขวนลอยและของแข็งระเหยง่ายของการทดลองที่ 3

พารามิเตอร์	UASB ชุดที่ 3/1			UASB ชุดที่ 3/2			UASBชุดที่ 3/3		
	น้ำเข้า	ถังกรด	น้ำออก	น้ำเข้า	ถังกรด	น้ำออก	น้ำเข้า	ถังกรด	น้ำออก
ของแข็งแขวนลอย เฉลี่ย	50	52	39	84	534	65	591	697	64
(มก./ล.) n=7 SD	10	11	16	21	67	14	116	135	6
ของแข็งระเหยง่าย เฉลี่ย	35	37	27	69	422	51	539	473	45
(มก./ล.) n=7 SD	7	8	11	17	53	12	106	92	4
อัตราส่วน vss/ss	0.67	0.70	0.71	0.75	0.78	0.83	0.90	0.66	0.90

เมื่อเปรียบเทียบการทดลองที่ 3 กับการทดลองที่ 1 และ 2 แล้วค่าของแข็งแขวนลอยและของแข็งระเหยง่ายในน้ำออกของการทดลองที่ 3 มีค่าใกล้เคียงดับการทดลองที่ 2 เนื่องจากค่าเฉลี่ยของการกำจัดซีโอดีโดยถังยูเอเอสบีชุดที่ 3/2 และ 3/3 ของการทดลองที่ 2 และการทดลองที่ 3 นั้นมีค่าใกล้เคียงกัน



รูปที่ 4.44 ค่าของแข็งแขวนลอยตลอดการทดลองที่ 3



รูปที่ 4.45 ค่าของแข็งระเหยง่ายตลอดการทดลองที่ 3

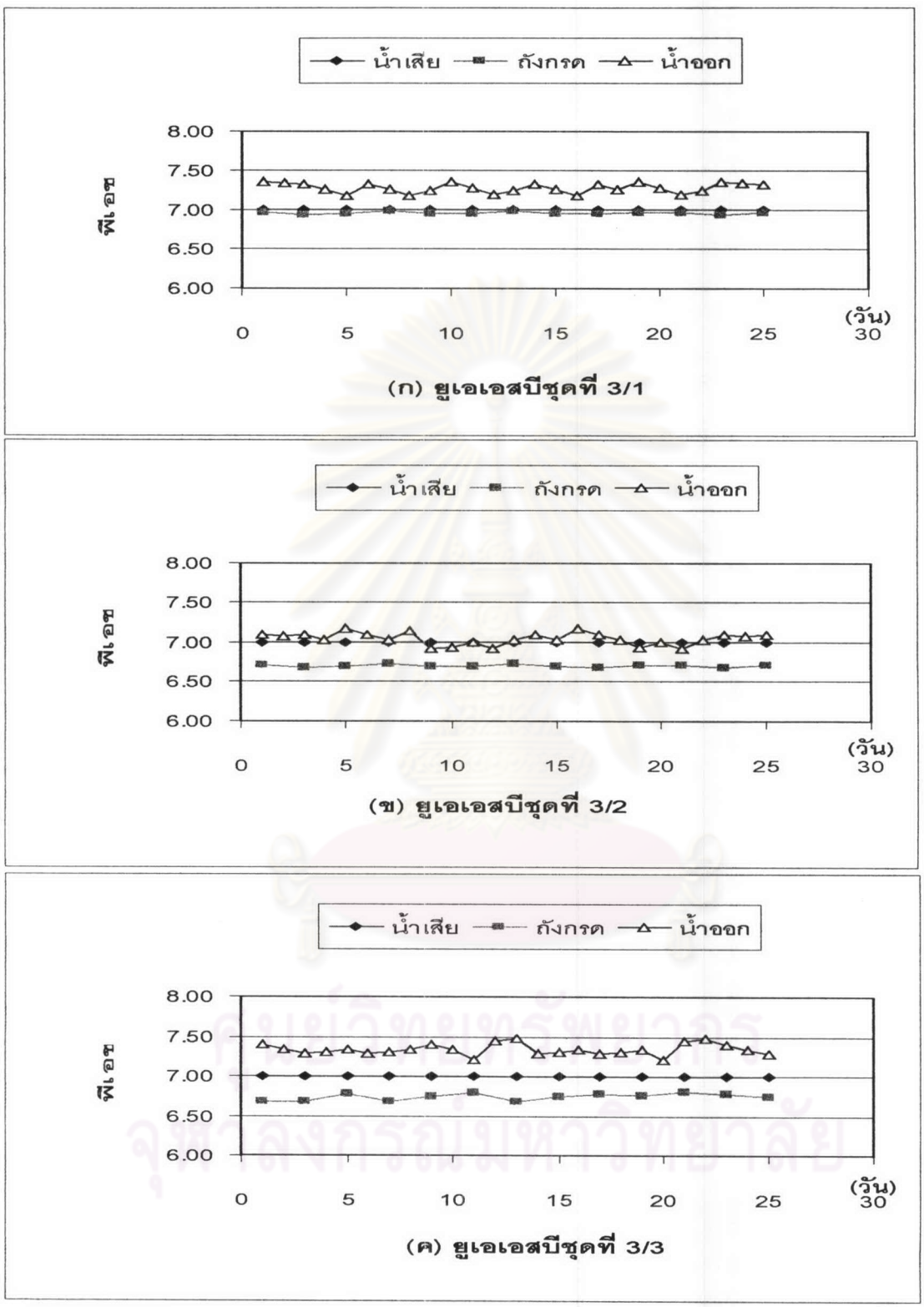
4.4.6 พีเอช

การทดลองที่ 3 มีการปรับพีเอชของน้ำเสียที่ป้อนเข้าระบบทั้ง 3 ชุดให้เท่ากับ 7 เพื่อให้ค่าพีเอชน้ำออกอยู่ในช่วงที่เหมาะสมกับการทำงานของแบคทีเรียเมทธาโนเจน โดยอยู่ระหว่าง 6.8-7.4 โดยค่าพีเอชตลอดการทดลองที่ 3 ของระบบยูเอเอสบีชุดต่าง ๆ แสดงในรูปที่ 4.46 สำหรับถังยูเอเอสบีชุดที่ 3/1 พบว่ามีค่าพีเอชในน้ำเสียเข้าถังสร้างกรด เท่ากับ 6.96 และเท่ากับ 7.28 ในน้ำออก ในขณะที่ระบบยูเอเอสบีชุดที่ 3/2 มีค่าพีเอชเฉลี่ยเท่ากับ 6.70 และ 7.04 ในถังสร้างกรดและน้ำออก ตามลำดับ และระบบยูเอเอสบีชุดที่ 3/3 เท่ากับ 6.75 และ 7.34 ในถังสร้างกรดและน้ำออก ตามลำดับ เมื่อเทียบกับการทดลองที่ 1 แล้ว พีเอชแตกต่างกันน้อยมาก สาเหตุที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องมาจากน้ำเสียมีสภาพความเป็นด่างสูงซึ่งเป็นบัฟเฟอร์ช่วยไม่ให้ระบบมีการเปลี่ยนแปลงของพีเอชมากนัก

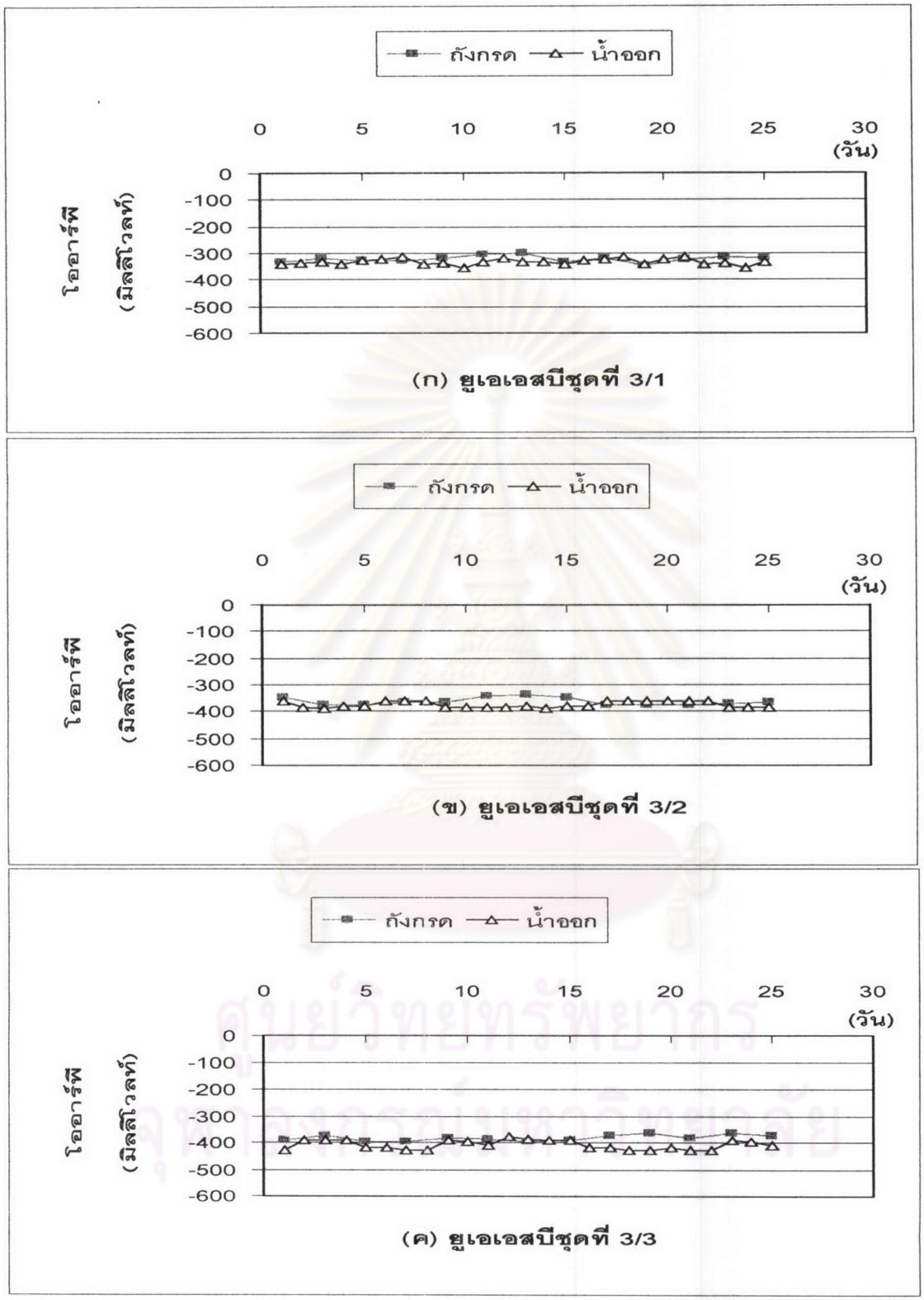
4.4.7 โออาร์พี

จากตารางที่ 4.6 และรูปที่ 4.47 พบว่าค่าโออาร์พีของระบบยูเอเอสบีชุดที่ 3/1 มีค่าโออาร์พีในถังสร้างกรดเท่ากับ –322 มิลลิโวลท์ และมีค่าเท่ากับ –333 มิลลิโวลท์ในน้ำออก ส่วนในระบบยูเอเอสบีชุดที่ 3/2 มีค่าโออาร์พีในถังสร้างกรดและในน้ำออกเท่ากับ–362และ-374 มิลลิโวลท์ ตามลำดับ ส่วนในระบบยูเอเอสบีชุดที่ 3 มีค่าโออาร์พีในถังสร้างกรดและในน้ำออกเท่ากับ –381 และ –407 มิลลิโวลท์ ตามลำดับ ซึ่งค่าโออาร์พีเหล่านี้แสดงว่าระบบไร้อากาศอยู่ในสภาวะที่ดี

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.46 ค่าพีเอชตลอดการทดลองที่ 3

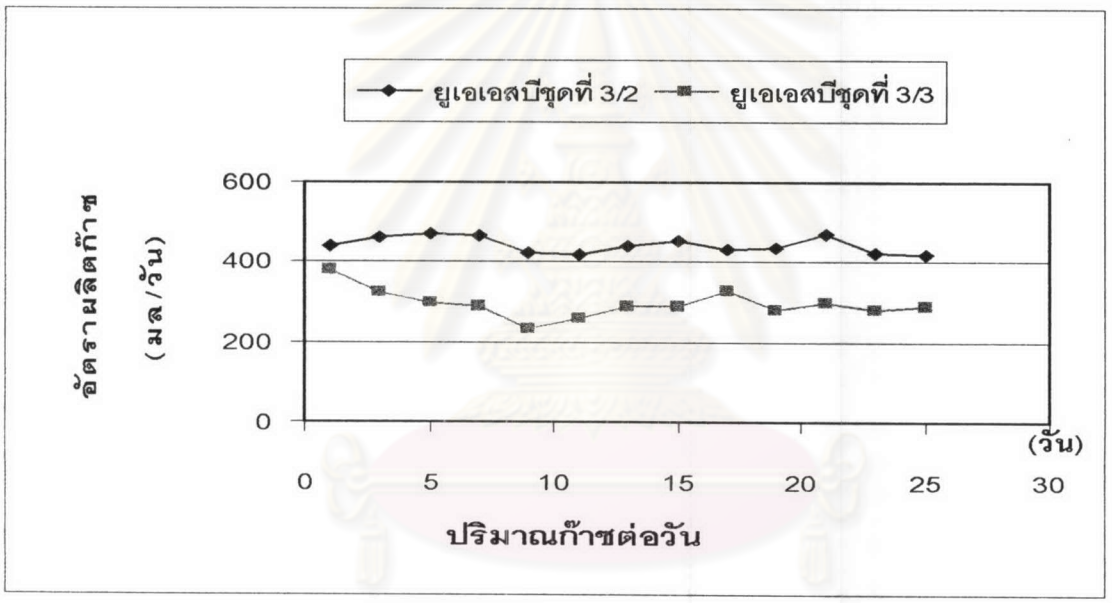


รูปที่ 4.47 ค่าโออาร์พีตลอดการทดลองที่ 3

4.4.8 ก๊าซมีเทน

จากรูปที่ 4.38 และตารางที่ 4.6 พบว่าในระบบยูเอเอสบีชุดที่ 3/1 ไม่มีก๊าซเกิดขึ้นหรืออาจเกิดขึ้นน้อยมากจนไม่สามารถเก็บได้ เนื่องจากก๊าซเกิดการละลายน้ำเป็นส่วนใหญ่ ส่วนในระบบยูเอเอสบีชุดที่ 3/2 มีค่าเฉลี่ยปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นเท่ากับ 0.443 ลิตร/วัน และเท่ากับ 0.296 ลิตร/วัน ในระบบยูเอเอสบีชุดที่ 3/3

เมื่อเทียบอัตราการผลิตก๊าซของการทดลองที่ 3 กับการทดลองที่ 2และการทดลองที่ 1 พบว่ามีอัตราการผลิตก๊าซของระบบยูเอเอสบีชุดที่ 3/2 มีค่ามากกว่าชุดที่ 3/3 เนื่องจาก เปอร์เซนต์ก๊าซมีเทนของระบบยูเอเอสบีชุดที่ 2 มีน้อยกว่าชุดที่ 3



รูปที่ 4.48 สรุปอัตราผลิตก๊าซโดยยูเอเอสบีชุดต่าง ๆ ตลอดการทดลองที่ 3

สำหรับเปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทนที่วัดได้นั้น ในระบบยูเอเอสบีชุดที่ 3/2 เท่ากับ 51 % ส่วนในระบบยูเอเอสบีชุดที่ 3/3 วัดได้ 73 % เมื่อเปรียบเทียบกับการทดลองที่ 1 และ 2 แล้ว เปอร์เซนต์ก๊าซมีเทนในระบบยูเอเอสบีชุดที่ 3/2 กลับลดลง แต่เปอร์เซนต์ก๊าซมีเทนในระบบยูเอเอสบีชุดที่ 3/3 มีค่าเพิ่มขึ้น สาเหตุที่เปอร์เซนต์ก๊าซมีเทนในระบบยูเอเอสบีชุดที่ 3/2 ลดลงเมื่อมีการเติมปริมาณน้ำตาลทรายเป็นสารอาหารร่วมเพิ่มขึ้น เพราะว่าเมื่อความเข้มข้นของน้ำตาลทรายน้อย ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นละลายน้ำได้มาก ทำให้มีสัดส่วนก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพเพิ่มขึ้น แต่เมื่อมีการผลิตก๊าซมากขึ้นทำให้ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายในน้ำเกิดการอิ่มตัว ทำให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ส่วนที่เหลือ

ทำให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ส่วนที่เหลือต้องอยู่ในรูปก๊าซ ดังนั้นเปอร์เซนต์ก๊าซมีเทนจึงน้อยลง สำหรับถังยูเอเอสบีชุดที่ 3 ซึ่งมีเปอร์เซนต์ก๊าซมีเทนเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของนมถั่วเหลืองที่เติมเข้าไปในระบบ อาจเกิดจากการย่อยสลายนมถั่วเหลืองทำให้เกิดแอมโมเนียในปริมาณมากพอที่จะทำปฏิกิริยากับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายในน้ำดังสมการข้างล่าง และเมื่อคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำถูกใช้ไปจึงทำให้คาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศละลายน้ำได้ดีขึ้น ทำให้ความดันย่อยของคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศน้อยลง ดังนั้นเปอร์เซนต์มีเทนในอากาศจึงเพิ่มขึ้น

สมการแสดงการทำปฏิกิริยาของแอมโมเนียกับคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำ

$$NH_3 + H_2O + CO_2 \Longleftrightarrow NH_4HCO_3$$

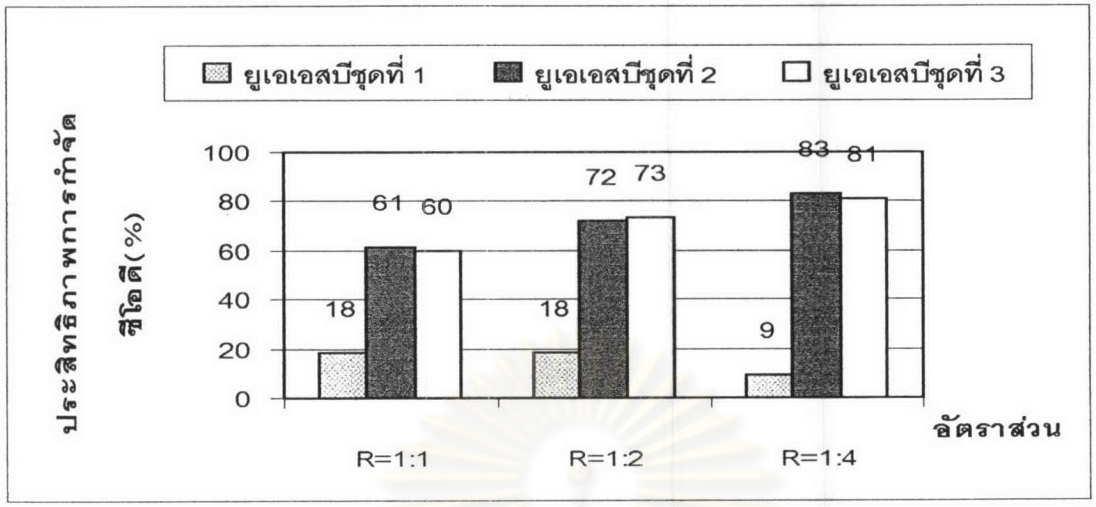
4.4.9 อุณหภูมิ

ตลอดการทดลองที่ 3 นี้ อุณหภูมิในแต่ละถังมีค่าค่อนข้างคงที่ตลอดการทดลองคือ ประมาณ 30 องศาเซลเซียส และเมื่อเปรียบเทียบกับการทดลองที่ 1 และ 2 แล้ว พบว่า อุณหภูมิใกล้เคียงกัน คือ ประมาณ 30 องศาเซลเซียส ดังนั้น อุณหภูมิจึงไม่มีผลกระทบต่อการทดลองทั้ง 3 ชุดการทดลอง

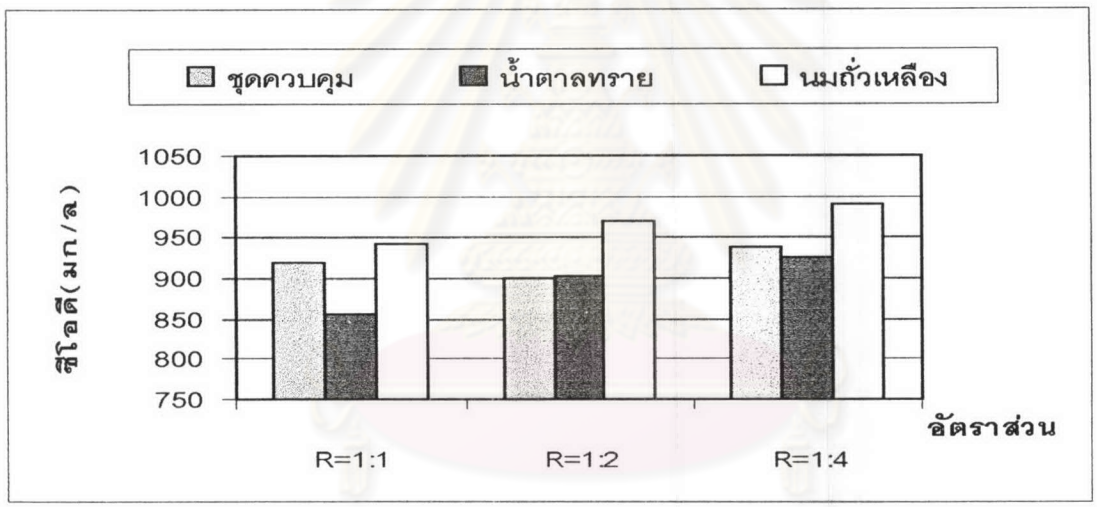
4.5 สรุปผลการทดลองการเติมสารอาหารร่วมเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำชะมูลฝอยโดยระบบยูเอเอสบีแบบมีถังสร้างกรด

4.5.1 ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี

จากการทดลองที่ 1 2 และ 3 ซึ่งมีการใช้สารอาหารร่วม 2 ชนิด คือ น้ำตาลทรายและนมถั่วเหลือง เติมด้วยอัตราส่วนน้ำชะมูลฝอยต่อสารอาหารร่วมเท่ากับ 1:1 1:2 และ 1:4 โดยใช้ความเข้มข้นของน้ำชะมูลฝอยประมาณ 1000 มก.ซีโอดี/ล. จากรูปที่ 4.49 และ 4.50 พบว่า การเติมน้ำตาลทรายเป็นสารอาหารร่วม โดยใช้อัตราส่วนน้ำชะมูลฝอยต่อสารอาหารร่วมเท่ากับ 1:1 ทำให้ค่าซีโอดีเฉลี่ยในน้ำออกจากระบบมีค่าน้อยที่สุด โดยมีค่าซีโอดีเฉลี่ยในน้ำออกน้อยกว่าซีโอดีในน้ำออกของระบบชุดควบคุม 7 % ส่วนการเติมน้ำตาลทรายที่อัตราส่วนอื่น ๆ และการเติมนมถั่วเหลืองเป็นสารอาหารร่วมที่อัตราส่วนต่าง ๆที่ทดลองกลับทำให้ ค่าซีโอดีเฉลี่ยในน้ำออกจากระบบมีค่ามากขึ้น สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากซีโอดีของสารอาหารร่วมบางส่วนย่อยสลายไม่หมด



รูปที่ 4.49 ประสิทธิภาพเฉลี่ยในการกำจัดซีโอดีโดยการเติมสารอาหารร่วมที่อัตราส่วนต่าง ๆ



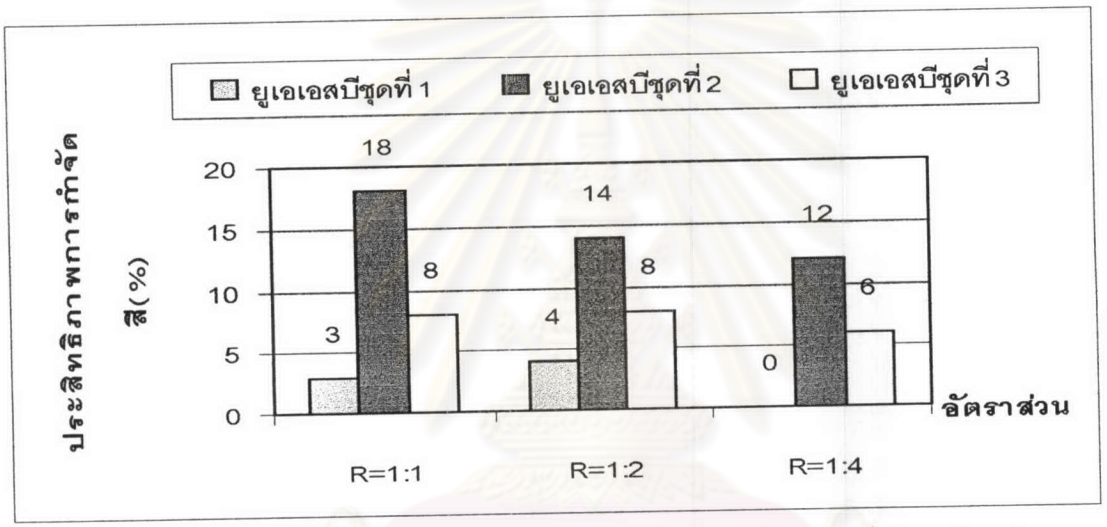
รูปที่ 4.50 สรุปค่าซีโอดีเฉลี่ยในน้ำออกของการทดลองที่ 1 2 และ 3

4.5.2 ประสิทธิภาพในการกำจัดสี

จากรูปที่ 4.51 สรุปประสิทธิภาพเฉลี่ยในการกำจัดสีของการทดลองที่ 1 2 และ 3 พบว่า การเติมน้ำตาลทรายเป็นสารอาหารร่วมที่อัตราส่วนน้ำซะมูลฝอยต่อสารอาหารร่วมเท่ากับ 1:1 ให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสีดีที่สุด คือ มีประสิทธิภาพเท่ากับ 18% เมื่อเพิ่มปริมาณสารอาหารร่วมเป็นอัตราส่วนน้ำซะมูลฝอยต่อสารอาหารร่วมเท่ากับ 1:2 และ 1:4 ปรากฏว่าประสิทธิภาพไม่ได้เพิ่มขึ้น แต่มีค่าใกล้เคียงกัน คือประมาณ 12 %ถึง 18 % ในการเติมน้ำนมถั่วเหลืองเป็นสารอาหารร่วมนั้น ให้ประ

สิทธิภาพในการกำจัดสีน้อยกว่าการเติมน้ำตาลทราย คือให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสีประมาณ 6 % ถึง 8 % โดยอัตราส่วนการเติมไม่มีส่วนช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดสี

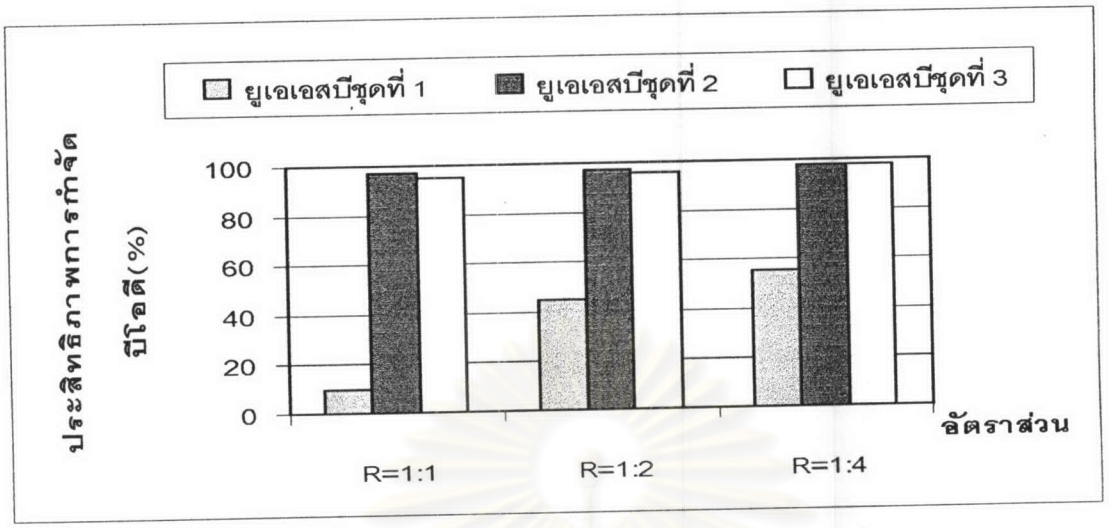
สรุปก็คือ การเติมสารอาหารร่วมมีส่วนช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดสี โดยประสิทธิภาพในการกำจัดสีขึ้นอยู่กับชนิดของสารอาหาร่วมที่เติมมากกว่าที่จะขึ้นกับปริมาณความเข้มข้นที่เติม เป็นไปได้ว่าการเติมสารอาหารร่วมที่ความเข้มข้น 1000 มก.ซีโอดี/ล. นี้เป็นความเข้มข้นที่มากเกินพอสำหรับการช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดสี ดังนั้นถึงแม้มีการเพิ่มปริมาณสารอาหารร่วมจึงไม่เกิดประโยชน์แต่อย่างใด



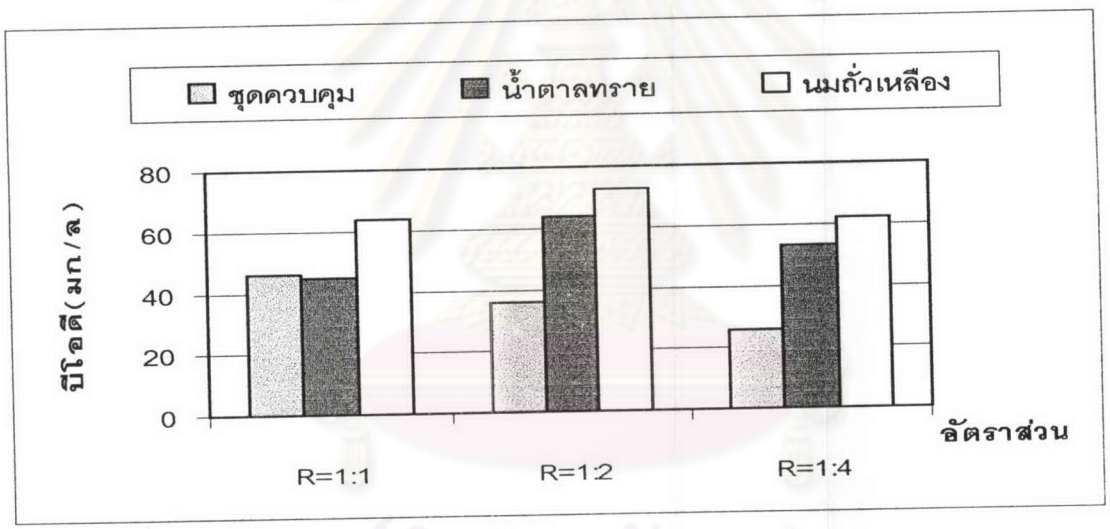
รูปที่ 4.51 ประสิทธิภาพการกำจัดสี โดยการเติมสารอาหารร่วมที่อัตราส่วนต่าง ๆ

4.5.3 ประสิทธิภาพในการกำจัดบีโอดี

จากรูปที่ 4.52 และรูปที่ 4.53 พบว่า ระบบยูเอเอสบีซึ่งเติมสารอาหารร่วมโดยใช้น้ำตาลทรายและนมถั่วเหลืองที่อัตราส่วนต่าง ๆ มีประสิทธิภาพในการกำจัดบีโอดีมากกว่าชุดควบคุมมาก แต่เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยของบีโอดีน้ำออกพบว่า ค่าเฉลี่ยบีโอดีน้ำออกของระบบยูเอเอสบีซึ่งเติมน้ำตาลทรายเข้มข้น 1000 มก.ซีโอดี/ล.มีค่าน้อยที่สุด แต่เมื่อเทียบกับบีโอดีน้ำออกของชุดควบคุมแล้วไม่แตกต่างกันมากนัก และเมื่อเพิ่มอัตราส่วนน้ำตาลทรายและนมถั่วเหลืองในน้ำชะมูลฝอยมากขึ้น ปรากฏว่าค่าบีโอดีน้ำออกยิ่งเพิ่มขึ้น แสดงว่าการเติมสารอาหารร่วมไม่มีส่วนช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดบีโอดีมากนัก



รูปที่ 4.52 ประสิทธิภาพเฉลี่ยการกำจัดบีโอดีของการทดลองที่ 1 2 และ 3



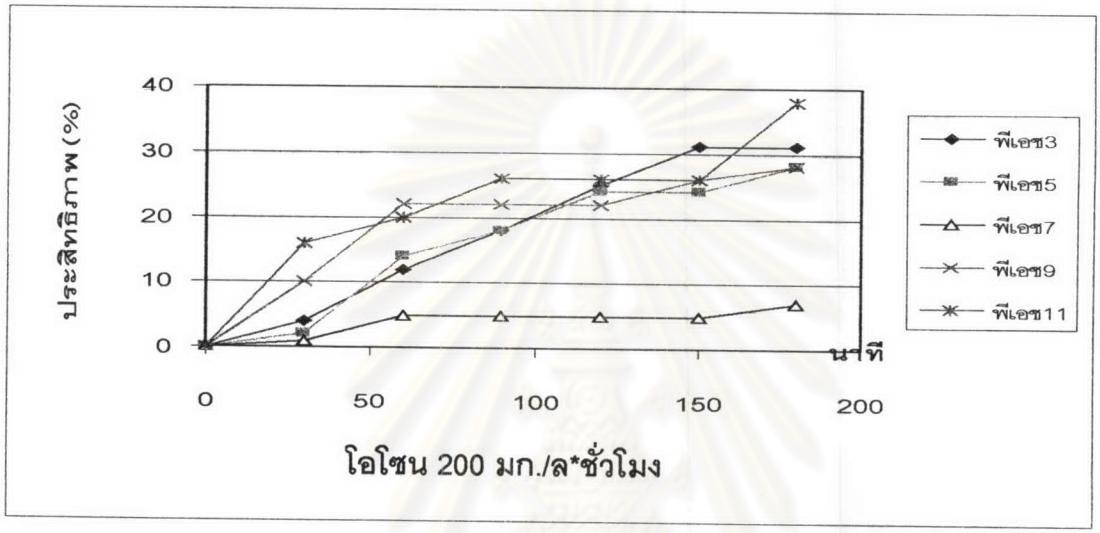
รูปที่ 4.53 สรุปค่าบีโอดีในน้ำออกของการทดลองที่ 1 2 และ 3

สรุปก็คือ การเติมสารอาหารร่วมไม่มีส่วนช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดบีโอดี เมื่อเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของสารอาหารร่วมมากขึ้นยิ่งทำให้ประสิทธิภาพลดลง เพราะระบบยูเอเอสบีไม่สามารถย่อยบีโอดีจากสารอาหารร่วมได้หมด

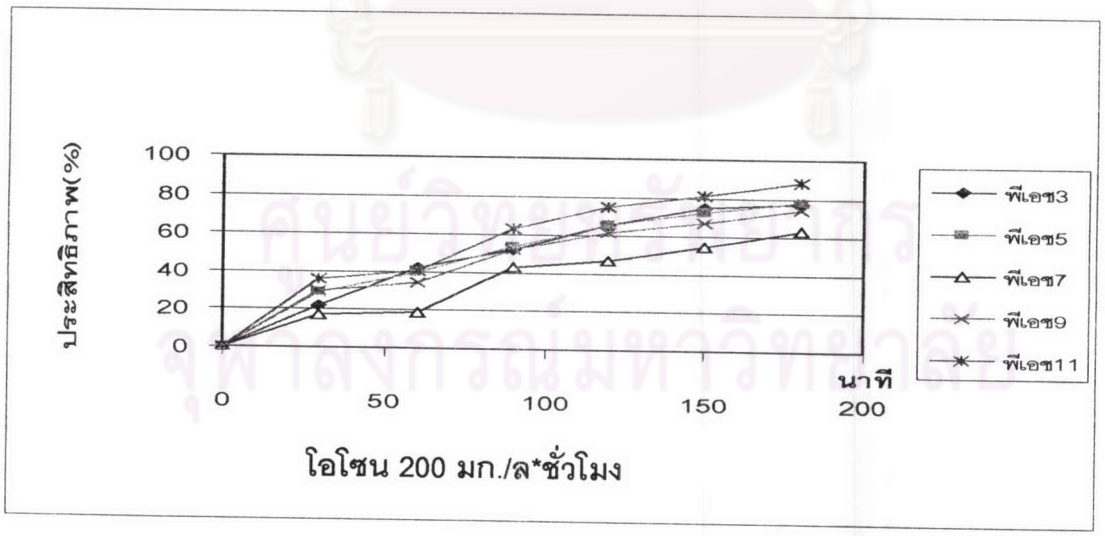
4.6 ผลการทดลองการบำบัดน้ำชะมูลฝอยด้วยโอโซน

4.6.1 การหาค่าพีเอชที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำชะมูลฝอยด้วยโอโซน

ในขั้นตอนนี้เป็นการเติมก๊าซโอโซนด้วยอัตรา 200 มก./ล.*ชั่วโมงด้วยเวลาตั้งแต่ 30 นาทีถึง 180 นาที ที่พีเอช 3, 5, 7, 9และ 11 ผลที่ได้เป็นดังรูปที่ 4.54 และ 4.55



รูปที่ 4.54 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีโดยเติมโอโซน 200 มก./ล.*ชั่วโมงที่พีเอชต่าง ๆ

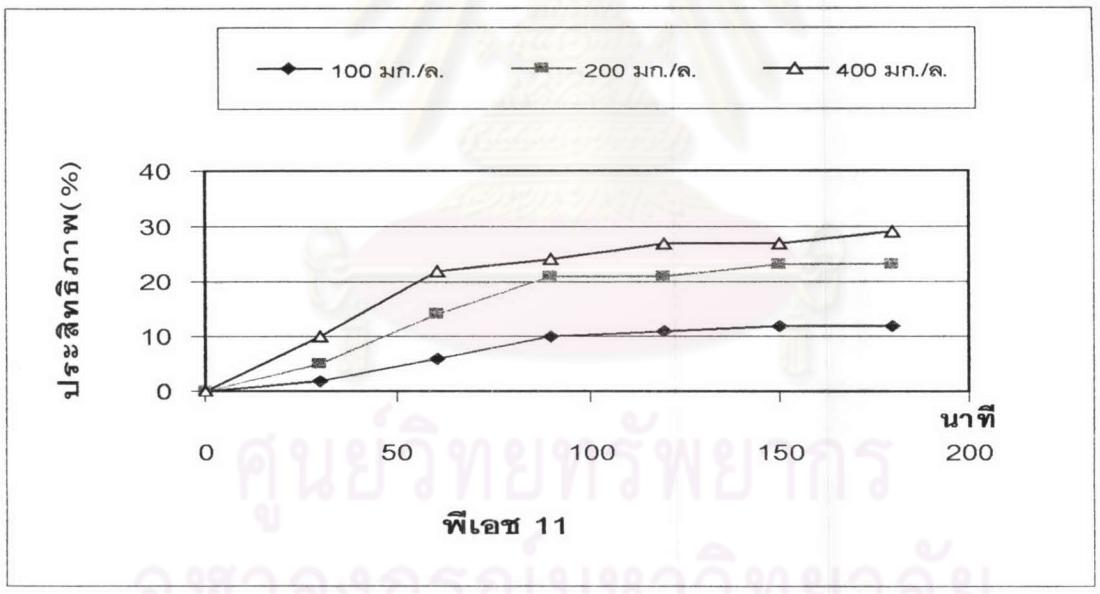


รูปที่ 4.55 ประสิทธิภาพการกำจัดสีโดยเติมโอโซน 200 มก./ล.*ชั่วโมงที่พีเอชต่าง ๆ

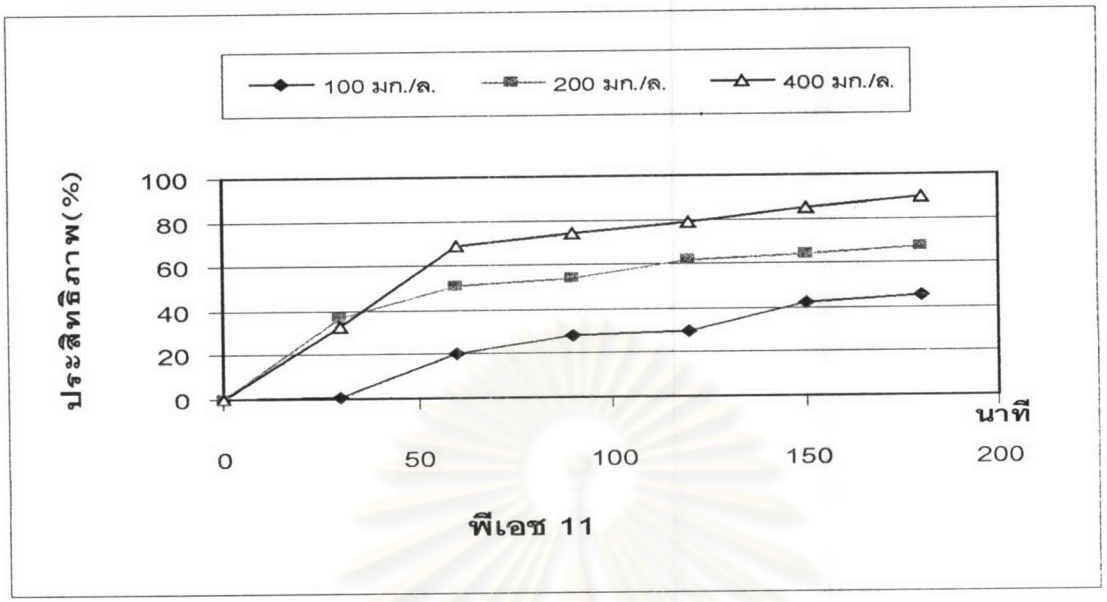
จากการทดลองในขั้นตอนนี้พบว่า การเติมก๊าซโอโซนด้วยอัตรา 200 มก./ล.*ชั่วโมง มีประสิทธิภาพในการบำบัดดีที่พีเอชสูงและต่ำ สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เพราะที่พีเอชสูง ๆ ปริมาณไฮดรอกไซด์ไอออนซึ่งเป็นตัวเร่งการแตกตัวของโอโซนให้กลายเป็นไฮดรอกซิล เรดิคอล มีมาก โอโซนจึงแตกตัวได้ดี ส่วนที่พีเอชต่ำ สภาพด่างไบคาร์บอเนตซึ่งเป็นตัวยับยั้งการแตกตัวของโอโซนให้กลายเป็นไฮดรอกซิล เรดิคอล จะอยู่ในรูปกรดคาร์บอนิค และในน้ำชะมูลฝอยอาจมีกรดฮิวมิกบางตัว ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวเร่งการแตกตัวของโอโซนให้กลายเป็นไฮดรอกซิล เรดิคอล ส่วนที่พีเอช 7 มีสภาพด่างไบคาร์บอเนตอยู่มาก จึงเกิดการยับยั้งการแตกตัวของโอโซน ประสิทธิภาพจึงต่ำ

4.6.2 การหาเวลาและปริมาณความเข้มข้นของโอโซนที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำชะมูลฝอย

ขั้นตอนนี้เป็นการเติมโอโซนที่พีเอช 11 โดยอัตราการเติมโอโซนเท่ากับ 100 ,200 และ400 มก./ล.*ชั่วโมงตั้งแต่เวลา 30 ถึง180 นาที ผลการทดลองเป็นดังรูปที่ 4.56 และ 4.57



รูปที่ 4.56 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีโดยการเติมโอโซน 100 200และ400 มก./ล.*ชั่วโมง ที่พีเอช11

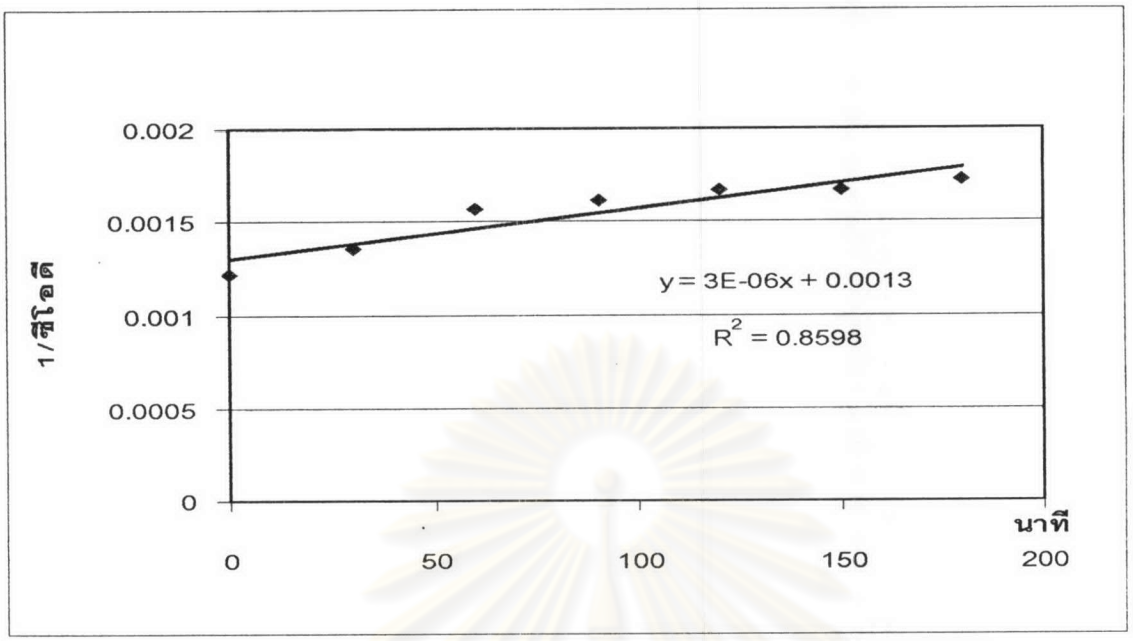


รูปที่ 4.57 ประสิทธิภาพการกำจัดสีโดยการเติมโอโซน 100 200และ400 มก./ล.*ชั่วโมง ที่พีเอช11

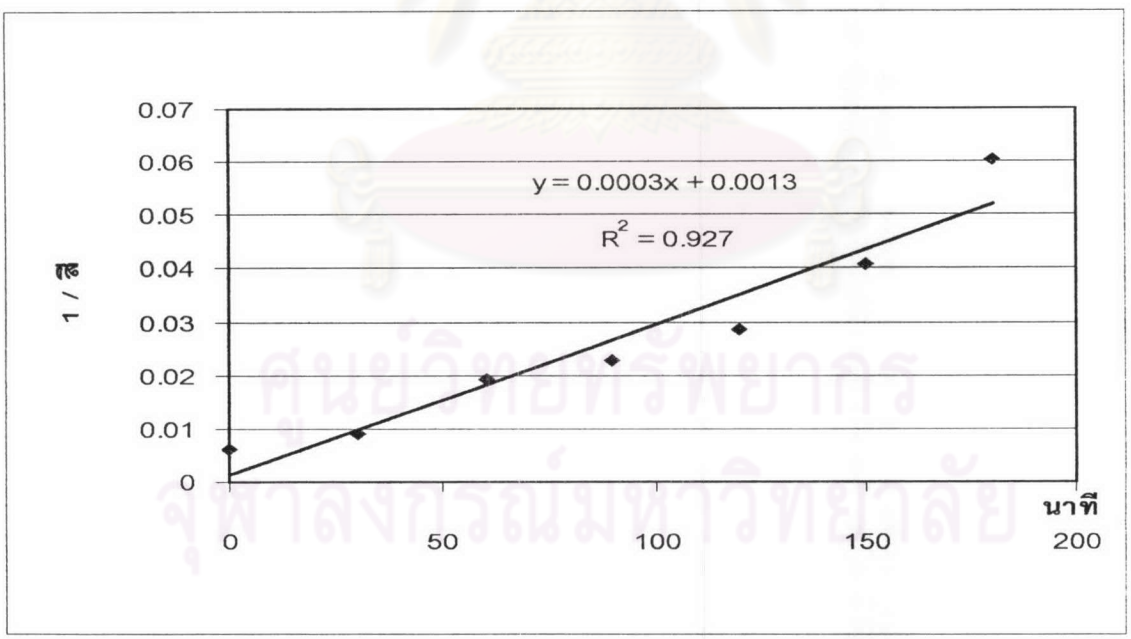
จากผลการทดลองสรุปได้ว่า การเติมโอโซนด้วยอัตรา 400 มก./ล.*ชั่วโมง ที่พีเอช 11 เวลาในการทำเติม 180 นาทีให้ประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีและสีได้สูงที่สุด คือ 29% และ 90 %ตามลำดับ

เมื่อนำค่าซีโอดีและเวลามาพลอตกราฟ โดยใช้แกนนอนเป็นเวลาและแกนตั้งเป็นค่าส่วนกลับของซีโอดี จะได้กราฟดังรูปที่ 4.58 จากกราฟพบว่าการลดลงของค่าซีโอดีเทียบกับเวลาเป็นปฏิกิริยาลำดับสอง โดยมีค่าคงที่เฉพาะของอัตราของปฏิกิริยาลำดับสองเท่ากับ 3×10^{-6} ลิตร/มก.ซีโอดี. นาที

ในทำนองเดียวกัน ถ้านำค่าความเข้มสีและเวลามาพลอตกราฟ โดยแกนนอนเป็นเวลาและแกนตั้งเป็นค่าส่วนกลับของความเข้มสี จะได้กราฟดังรูปที่ 4.59 จากกราฟพบว่าการลดลงของค่าความเข้มสีเทียบกับเวลาเป็นปฏิกิริยาลำดับสองเช่นกัน โดยมีค่าคงที่เฉพาะของอัตราของปฏิกิริยาลำดับสองเท่ากับ 3×10^{-4} 1/เอสยู. นาที



รูปที่ 4.58 การหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนกลับของซีโอดีและเวลาของการเติมโอโซนเข้มข้น 400 มก./ล.*ชั่วโมงที่พีเอช 11

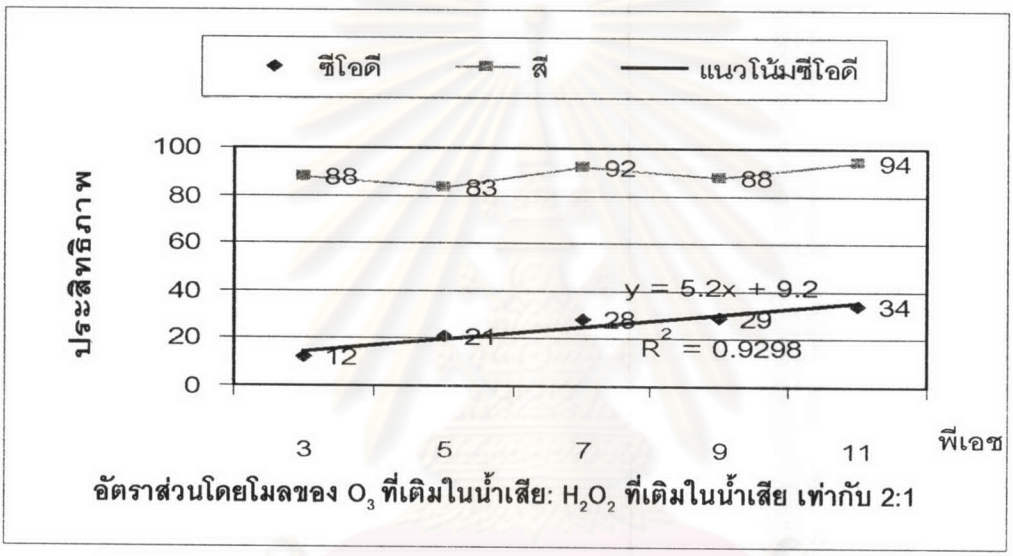


รูปที่ 4.59 การหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนกลับของความเข้มสีและเวลาของการเติมโอโซนเข้มข้น 400 มก./ล.*ชั่วโมงที่พีเอช 11

4.7 การบำบัดน้ำชะมูลฝอยด้วยโอโซนร่วมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

4.7.1 การหาพีเอชที่เหมาะสมของการบำบัดน้ำชะมูลฝอยโดยใช้โอโซนร่วมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

ขั้นตอนนี้เป็นการเติมโอโซนด้วยอัตรา 200 มก./ล.*ชั่วโมง โดยใช้เวลาตั้งแต่ 30 นาทีถึง 180 นาที โดยใช้อัตราส่วนโดยโมลของ O_3 ที่เติมในน้ำเสีย : H_2O_2 ที่เติมในน้ำเสีย เท่ากับ 2:1 ที่พีเอช 3, 5, 7, 9และ 11 ผลที่ได้เป็นดังรูปที่ 4.60



รูปที่ 4.60 แสดงประสิทธิภาพการบำบัดสีและซีโอดีในการบำบัดน้ำชะมูลฝอยโดยโอโซนร่วมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ด้วยอัตราส่วนโดยโมลของ O_3 ที่เติมในน้ำเสีย: H_2O_2 ที่เติมในน้ำเสีย เท่ากับ 2:1 โดยเติม O_3 ด้วยอัตรา 200 มก./ล.*ชั่วโมง ด้วยเวลา 180 นาที ที่พีเอช 3 5 7 9 และ 11

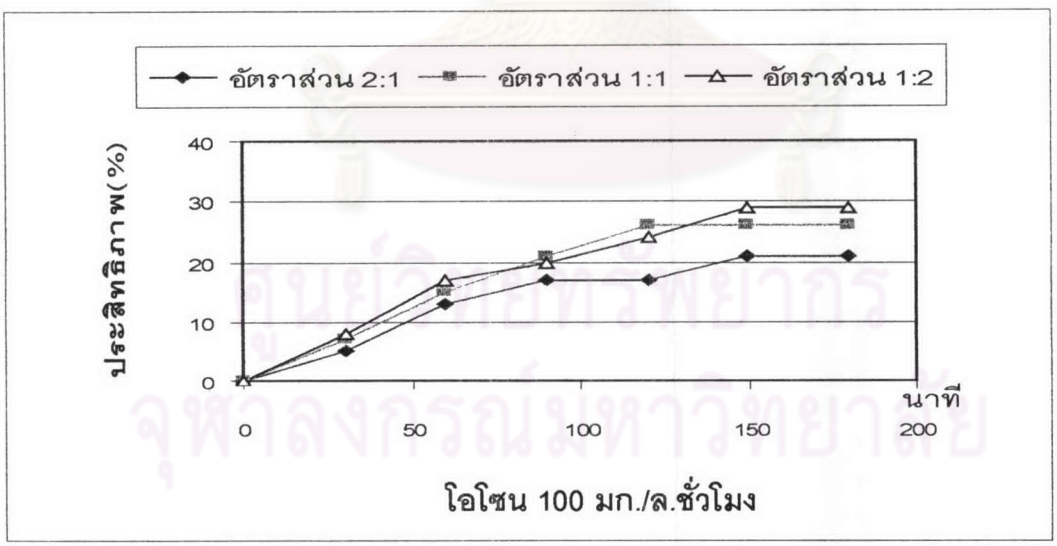
จากรูปที่ 4.60 พบว่าที่พีเอชเท่ากับ 11 ประสิทธิภาพของการกำจัดซีโอดีและความเข้มสีของน้ำชะมูลฝอยด้วยโอโซนร่วมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จะดีที่สุด โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีเท่ากับ 34% และประสิทธิภาพในการกำจัดสีเท่ากับ 94% เมื่อสังเกตความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีและพีเอชในการทดลองนี้พบว่าความสัมพันธ์เป็นแบบเส้นตรง ดังสมการ

ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี (%) = 5.2(pH) + 9.2

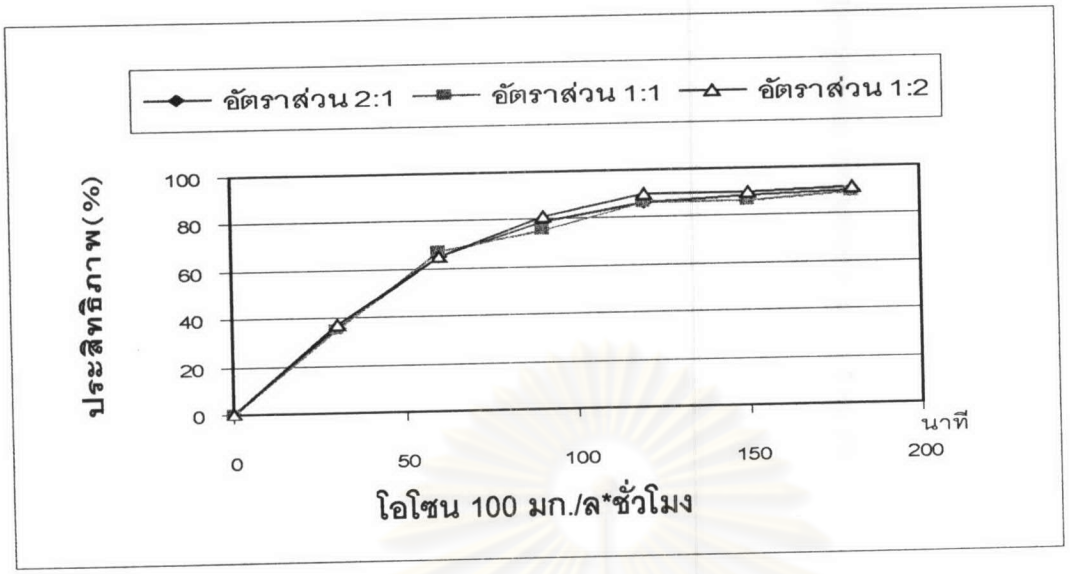
เมื่อสังเกตประสิทธิภาพการกำจัดสีและซีโอดีของน้ำชะมูลฝอยที่พีเอชต่าง ๆ พบว่าที่ทุก ๆ พีเอช ประสิทธิภาพในการกำจัดสีมีค่าสูงใกล้เคียงกัน คือประมาณ 88 % ถึง 94% ดังนั้นพีเอชไม่น่ามีผลต่อการกำจัดสี แต่พีเอชมีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี เมื่อมีการเพิ่มพีเอชมากขึ้นแนวโน้มของประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีก็สูงมากขึ้นตามไปด้วย สาเหตุเนื่องจากการใช้โอโซนร่วมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ตัวเร่งการแตกตัวของโอโซนคือ HO_2^- ดังนั้นจึงไม่ต้องใช้ OH^- เป็นตัวเร่งการแตกตัว ทำให้ที่พีเอชต่าง ๆ มีประสิทธิภาพในการบำบัดใกล้เคียงกัน แต่อย่างไรก็ตามที่พีเอชต่ำ ๆ ประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีจะมีค่าต่ำกว่าที่พีเอชสูง เนื่องจากไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์แตกตัวเป็น HO_2^- ได้น้อยลง

4.7.2 การหาความเข้มข้น อัตราส่วนโดยโมลของ O_3 ที่เติมในน้ำเสีย: H_2O_2 ที่เติมในน้ำเสีย และเวลาที่เหมาะสมที่พีเอช 11 ของการบำบัดน้ำชะมูลฝอยโดยใช้โอโซนร่วมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

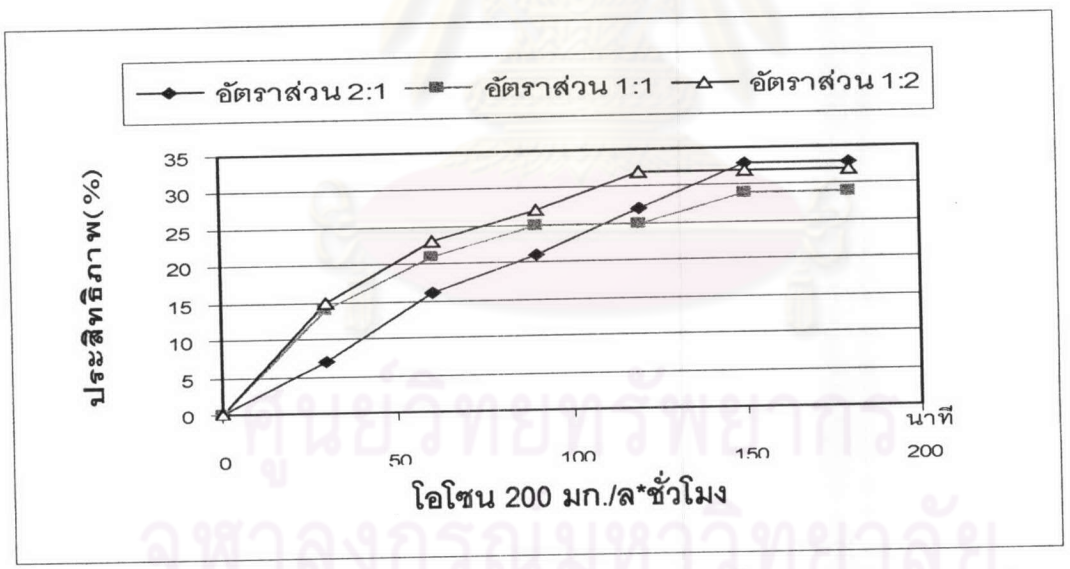
ในขั้นตอนนี้เป็นการใช้โอโซนร่วมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่พีเอช11 โดยใช้ความเข้มข้นของโอโซนเท่ากับ 100 200 และ 400 มก./ล.*ชั่วโมง โดยเวลาในการเติมตั้งแต่ 30 นาทีถึง 180 นาที โดยใช้อัตราส่วนโดยโมลของ $O_3 : H_2O_2$ เท่ากับ 2:1 1:1 และ 1:2 ผลที่ได้เป็นดังรูปที่ 4.61 ถึง 4.66



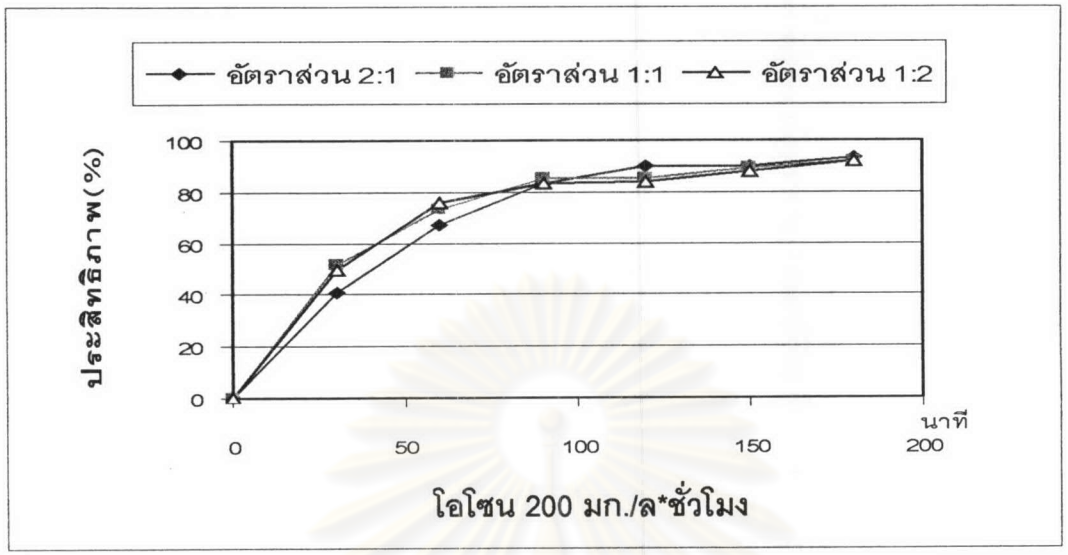
รูปที่ 4.61 แสดงประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีในการบำบัดน้ำชะมูลฝอยโดยโอโซนร่วมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่พีเอช 11 โดยการเติมโอโซนที่ความเข้มข้นเข้มข้น 100มก./ล.*ชม. ด้วยอัตราส่วนโดยโมลของ O_3ที่เติมในน้ำเสีย :H_2O_2 ที่เติมในน้ำเสียเท่ากับ 2:1 1:1 และ 1:2 ที่เวลาตั้งแต่ 30 ถึง 180 นาที



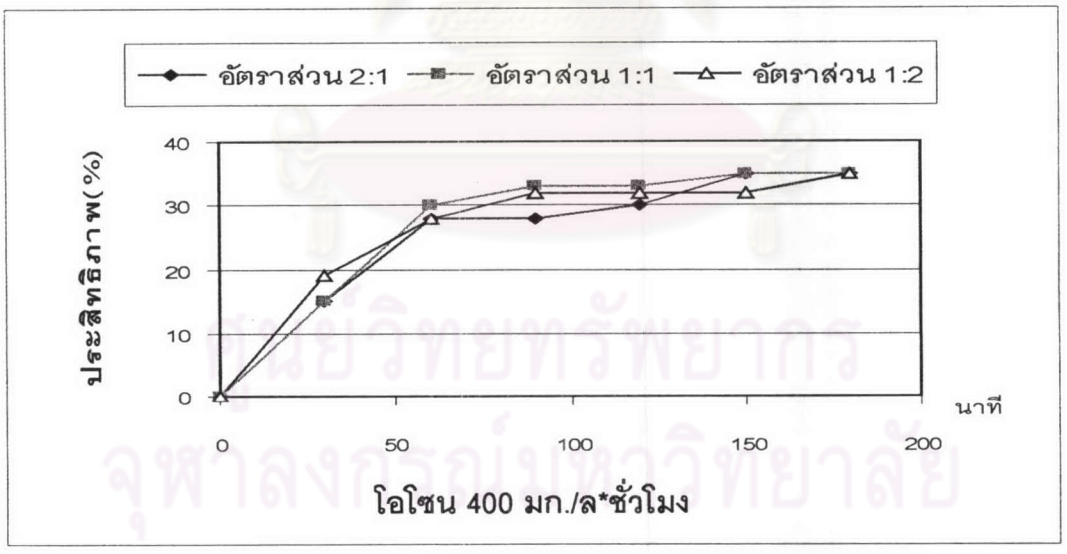
รูปที่ 4.62 แสดงประสิทธิภาพการบำบัดสีในการบำบัดน้ำชะมูลฝอย โดยโอโซนร่วมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่พีเอช 11 โดยการเติมโอโซนที่ความเข้มข้นเข้มข้น 100 มก./ล.*ชม. ด้วยอัตราส่วนโดยโมลของ O_3ที่เติมในน้ำเสีย : H_2O_2 ที่เติมในน้ำเสีย เท่ากับ 2:1 1:1 และ 1:2 ที่เวลาตั้งแต่ 30 ถึง 180 นาที



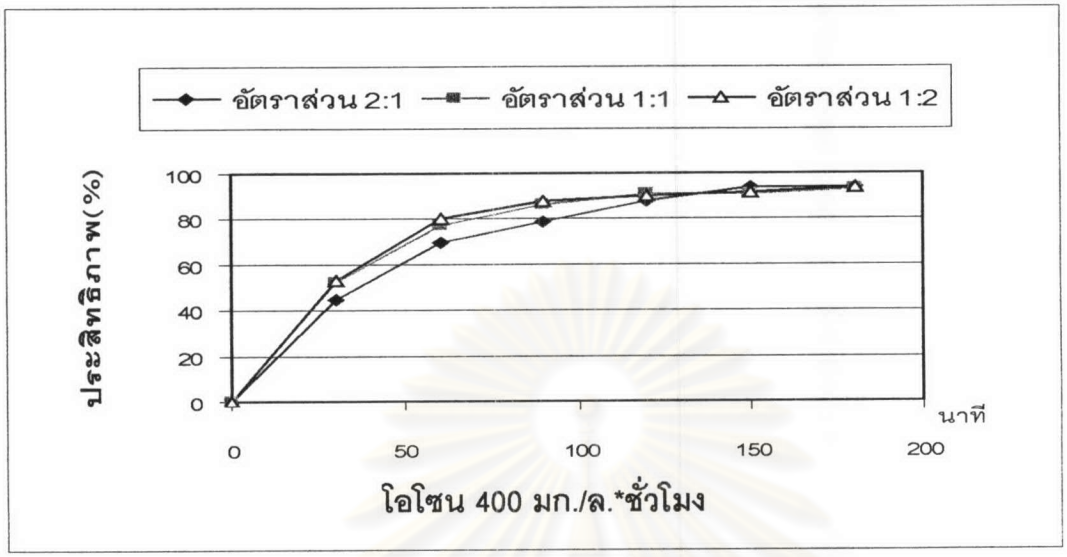
รูปที่ 4.63 แสดงประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีในการบำบัดน้ำชะมูลฝอย โดยโอโซนร่วมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่พีเอช 11 โดยการเติมโอโซนที่ความเข้มข้นเข้มข้น 200 มก./ล.*ชม. ด้วยอัตราส่วนโดยโมลของ O_3 ที่เติมในน้ำเสีย : H_2O_2 ที่เติมในน้ำเสีย เท่ากับ 2:1 1:1 และ 1:2 ที่เวลาตั้งแต่ 30 ถึง 180 นาที



รูปที่ 4.64 แสดงประสิทธิภาพการบำบัดสีในการบำบัดน้ำชะมูลฝอย โดยโอโซนร่วมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่พีเอช 11 โดยการเติมโอโซนที่ความเข้มข้นเข้มข้น 200 มก./ล.*ชม. ด้วยอัตราส่วนโดยโมลของ O_3 ที่เติมในน้ำเสีย : H_2O_2 ที่เติมในน้ำเสีย เท่ากับ 2:1 1:1 และ 1:2 ที่เวลาตั้งแต่ 30 ถึง 180 นาที



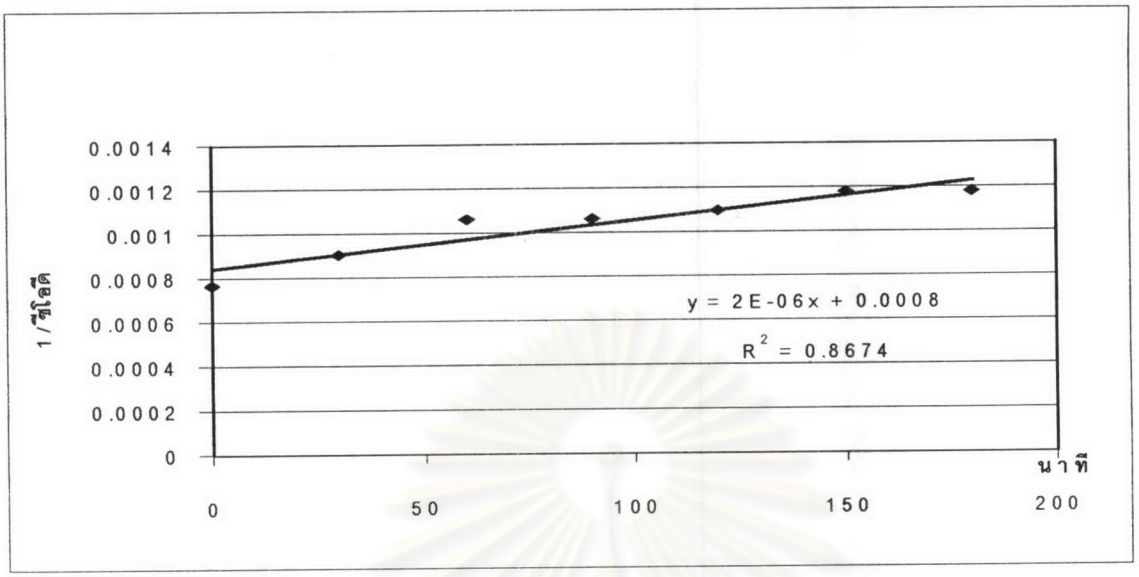
รูปที่ 4.65 แสดงประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีในการบำบัดน้ำชะมูลฝอย โดยโอโซนร่วมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่พีเอช 11 โดยการเติมโอโซนที่ความเข้มข้นเข้มข้น 400 มก./ล.*ชม. ด้วยอัตราส่วนโดยโมลของ O_3 ที่เติมในน้ำเสีย : H_2O_2 ที่เติมในน้ำเสีย เท่ากับ 2:1 1:1 และ 1:2 ที่เวลาตั้งแต่ 30 ถึง 180 นาที



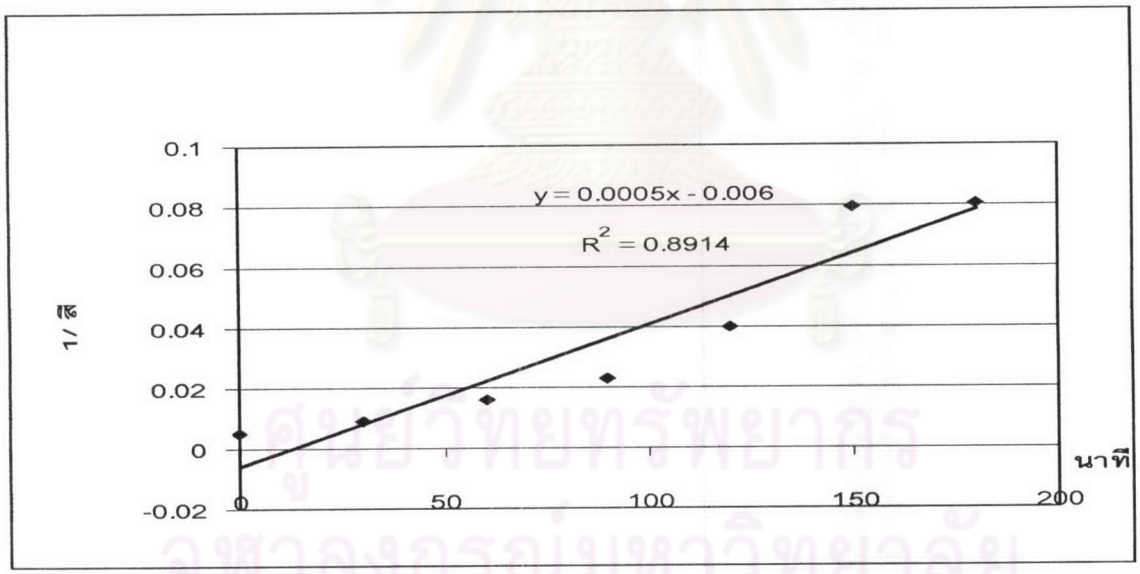
รูปที่ 4.66 แสดงประสิทธิภาพการบำบัดสีในการบำบัดน้ำชะมูลฝอยโดยโอโซนร่วมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่พีเอช 11 โดยการเติมโอโซนที่ความเข้มข้นเข้มข้น 400 มก./ล.*ชม. ด้วยอัตราส่วนโดยโมลของ O_3:ที่เติมในน้ำเสีย : H_2O_2 ที่เติมในน้ำเสีย เท่ากับ 2:1 1:1 และ 1:2 ที่เวลาตั้งแต่ 30 ถึง180นาที

จากผลการทดลองสรุปได้ว่า การใช้โอโซนร่วมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ที่พีเอช 11 โดยเติมโอโซนด้วยอัตรา 400 มก./ล.*ชั่วโมง ด้วยอัตราส่วนโดยโมลของ O_3 ที่เติมในน้ำเสีย : H_2O_2 ที่เติมในน้ำเสีย เท่ากับ 2:1 เวลาในการทำเติม 150 นาทีให้ประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีและสีได้สูงที่สุด คือ 35% และ 94 %ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.67 และรูปที่ 4.68 พบว่าการลดลงของค่าซีโอดีเทียบกับเวลาเป็นปฏิกิริยาลำดับสอง โดยมีค่าคงที่เฉพาะของอัตราของปฏิกิริยาลำดับสองเท่ากับ 2×10^{-6} ลิตร/มก.ซีโอดี. นาที ส่วนการลดลงของค่าความเข้มสีเทียบกับเวลาเป็นปฏิกิริยาลำดับสองเช่นกัน โดยมีค่าคงที่เฉพาะของอัตราของปฏิกิริยาลำดับสองเท่ากับ 5×10^{-4} 1/เอสยู. นาที



รูปที่4.67 การหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนกลับของซีโอดีและเวลาของการเติมโอโซนด้วยอัตรา 400 มก./ล.*ชั่วโมงโดยใช้อัตราส่วน O_3: H_2O_2 เท่ากับ 2:1 ที่พีเอช 11



รูปที่ 4.68 การหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนกลับของความเข้มสีและเวลาของการเติมโอโซนด้วยอัตรา 400 มก./ล.*ชั่วโมงโดยใช้อัตราส่วน O_3: H_2O_2 เท่ากับ 2:1 ที่พีเอช 11

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดสีและซีโอดีโดยการเติมโอโซนด้วยอัตรา 400 มก./ล*ชั่วโมงที่พีเอช 11 เวลาในการเติมโอโซน 180 นาทีเทียบกับการใช้โอโซนร่วมกันไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ โดยเติมโอโซน 400 มก./ล.*ชั่วโมงและใช้อัตราส่วน O_3 ที่เติมในน้ำเสีย :H_2O_2 ที่เติมในน้ำเสีย เท่ากับ 2:1 ที่พีเอช 11 เวลาในการเติมโอโซน 150 นาที พบว่าการใช้โอโซนร่วมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีและซีโอดีมากกว่าเล็กน้อย เนื่องจากการใช้โอโซนร่วมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์สามารถแตกตัวให้ไฮดรอกซิล เรดิคอลมากกว่าการใช้โอโซนเพียงอย่างเดียวที่พีเอชสูง โดยโอโซน 2 โมเลกุลสามารถแตกตัวให้ไฮดรอกซิล เรดิคอล 2 โมเลกุล ในขณะที่การเติมโอโซนอย่างเดียวที่พีเอชสูงต้องใช้โอโซน 3 โมเลกุล จึงแตกตัวให้ไฮดรอกซิล เรดิคอล 2 โมเลกุล ดังสมการ

สมการแสดงการแตกตัวของโอโซนเมื่อใช้ร่วมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

$$2O_3 + H_2O_2 \Longrightarrow 2OH^0 + 3O_2$$

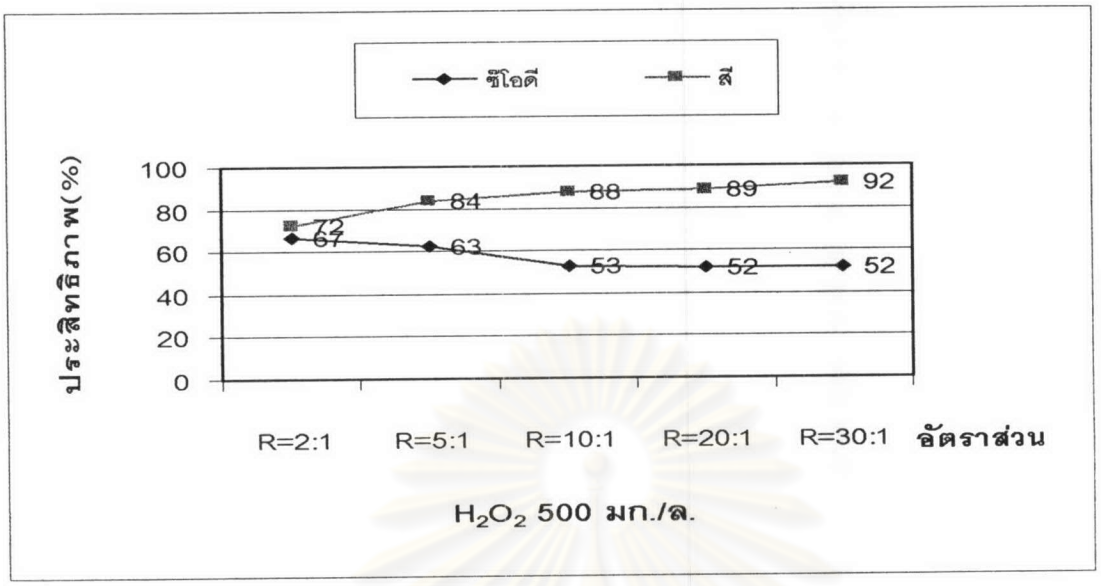
สมการแสดงการแตกตัวของโอโซนที่พีเอชสูง

$$3O_3 + OH^- + H^+ \Longrightarrow 2OH^0 + 4O_2$$

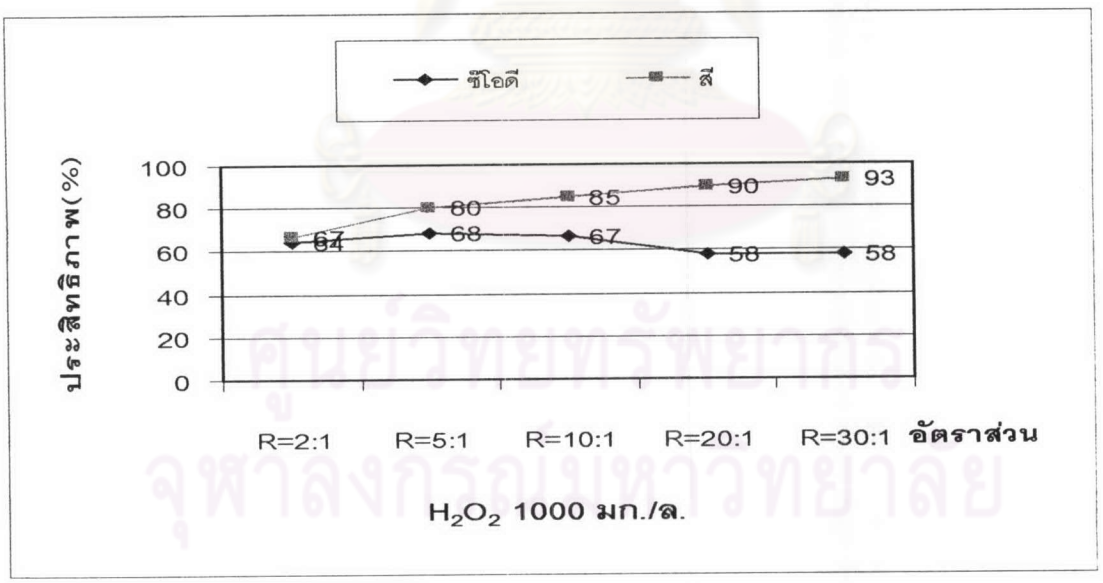
4.8 การบำบัดน้ำชะมูลฝอยด้วยปฏิกิริยาเฟนตัน

4.8.1 การหาความเข้มข้นของ H_2O_2 และอัตราส่วนโดยโมลของ H_2O_2 : Fe^{2+} ที่เหมาะสม

ขั้นตอนนี้จะทำการเติม H_2O_2 ที่ความเข้มข้น 500 1000 1500 และ 2000 มก./ล.โดยใช้อัตราส่วนโดยโมล ของH_2O_2 : Fe^{2+} เท่ากับ 2:1 5:1 10:1 20:1 และ 30:1 โดยทำปฏิกิริยาที่พีเอช 3 เป็นเวลา 180 นาที โดยผลการทดลองเป็นดังรูปที่ 4.69 ถึง 4.72

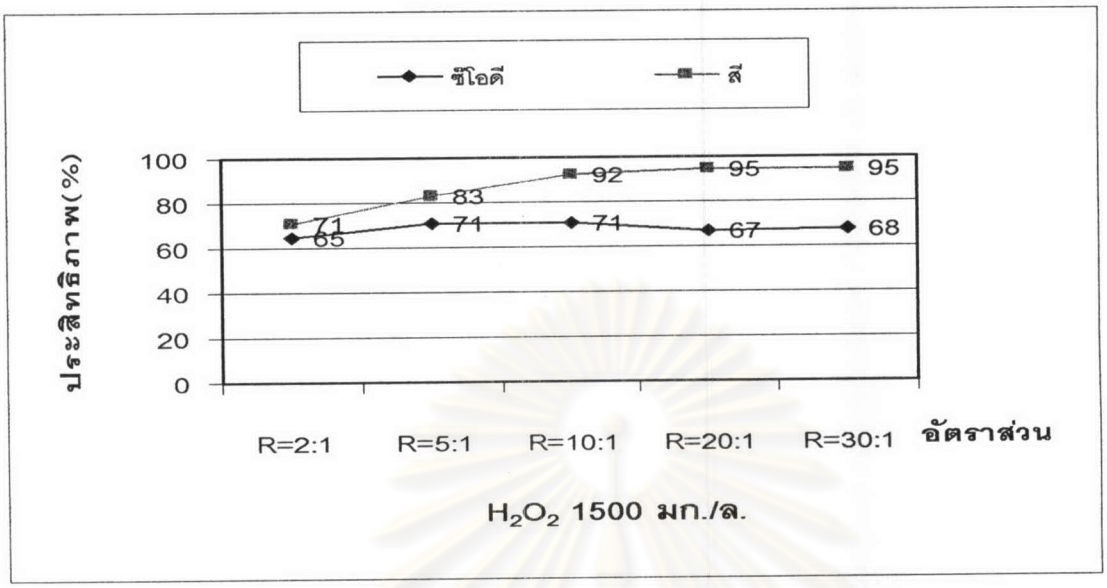


รูปที่ 4.69 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำชะมูลฝอยโดยการเติม H_2O_2 ที่ความเข้มข้น 500มก./ล. ด้วยอัตราส่วนโดยโมล ของH_2O_2 : Fe^{2+} เท่ากับ 2:1 5:1 10:1 20:1 และ 30:1 โดยทำปฏิกิริยาที่พีเอช 3 เป็นเวลา 180 นาที

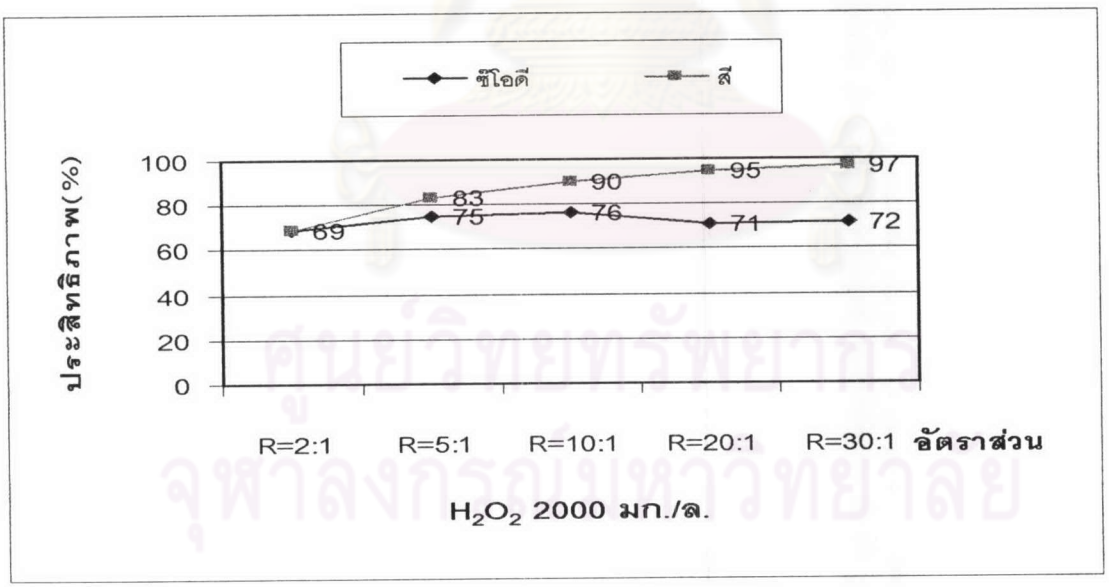


รูปที่ 4.70 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำชะมูลฝอยโดยการเติม H_2O_2 ที่ความเข้มข้น1000มก./ล. ด้วยอัตราส่วนโดยโมล ของH_2O_2 : Fe^{2+} เท่ากับ 2:1 5:1 10:1 20:1 และ 30:1 โดยจะทำปฏิกิริยาที่พีเอช 3 เป็นเวลา 180 นาที

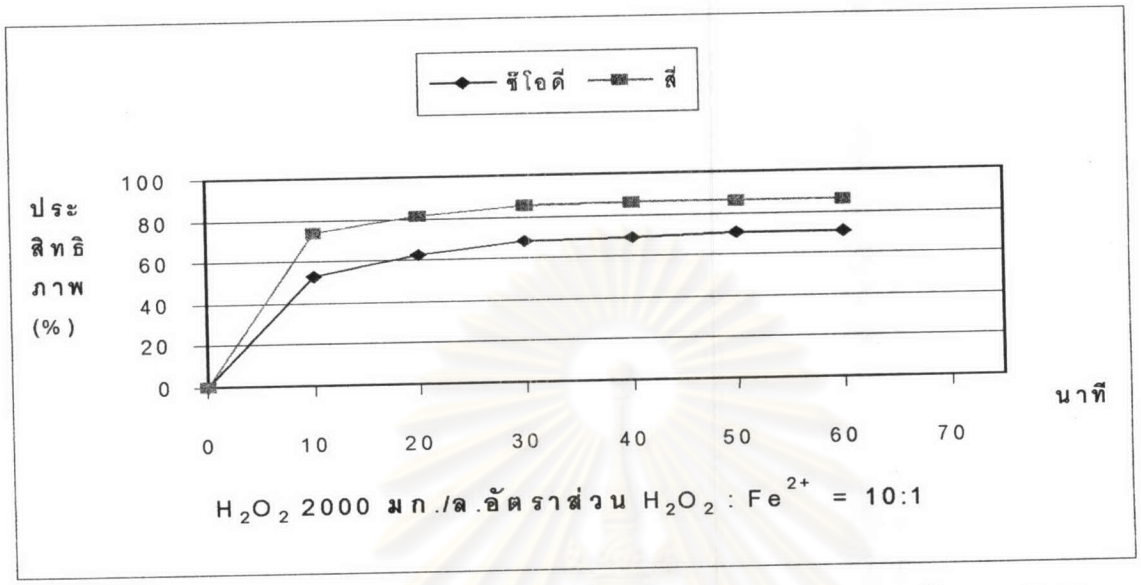
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.71 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำชะมูลฝอยโดยการเติม H_2O_2 ที่ความเข้มข้น1500มก./ล. ด้วยอัตราส่วนโดยโมล ของH_2O_2 : Fe^{2+} เท่ากับ 2:1 5:1 10:1 20:1 และ 30:1 โดยจะทำปฏิกิริยาที่พีเอช 3 เป็นเวลา 180 นาที



รูปที่ 4.72 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำชะมูลฝอยโดยการเติม H_2O_2 ที่ความเข้มข้น2000มก./ล. ด้วยอัตราส่วนโดยโมล ของH_2O_2 : Fe^{2+} เท่ากับ 2:1 5:1 10:1 20:1 และ 30:1 โดยจะทำปฏิกิริยาที่พีเอช 3 เป็นเวลา 180 นาที



รูปที่ 4.73 แสดงประสิทธิภาพการบำบัดน้ำชะมูลฝอยโดยการเติม H_2O_2 ที่ความเข้มข้น 2000 มก./ล.ด้วยอัตราส่วนโดยโมล ของH_2O_2 : Fe^{2+} เท่ากับ 10:1โดยจะทำปฏิกิริยาที่พีเอช 3 เป็นเวลาตั้งแต่ 10 ถึง 60 นาที

จากการทดลองหาความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และอัตราส่วนโดยโมลของ H_2O_2 ต่อ Fe^{2+}ที่เหมาะสม พบว่าปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีสูงสุดคือ 2000 มก./ล. อัตราส่วนโดยโมลของ H_2O_2 : Fe^{2+} ที่ใช้เท่ากับ 10:1 โดยการการบำบัดน้ำชะมูลฝอยที่พีเอช 3 เวลาในการทำปฏิกิริยาที่เหมาะสมเท่ากับ 30 นาที เพราะถึงจะทำปฏิกิริยานานกว่านี้ ประสิทธิภาพในการลดซีโอดีและสีของปฏิกิริยาเฟนตัน ก็เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

เมื่อเปรียบเทียบ AOPs วิธีต่าง ๆ ดังตารางที่ 4.8 พบว่า การใช้โอโซนและการใช้โอโซนร่วมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ สามารถลดสีของน้ำชะมูลฝอยได้อย่างมีประสิทธิภาพ เมื่อเปรียบเทียบค่าคงที่เฉพาะของอัตราของปฏิกิริยาลำดับสองของทั้ง 2 วิธี พบว่าการใช้โอโซนร่วมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่อัตราการเติมโอโซนเท่ากับ 400 มก./ล.อัตราส่วน O_3 ที่เติมในน้ำเสีย: H_2O_2 ที่เติมในน้ำเสีย เท่ากับ 2 : 1 โดยทำปฏิกิริยาที่พีเอช 3 มีค่าคงที่เฉพาะของอัตราของปฏิกิริยาลำดับสองเท่ากับ $5X10^{-4}$ 1/เอสยู. นาที ส่วนค่าคงที่เฉพาะของอัตราปฏิกิริยาลำดับสองของการเติมโอโซนที่พีเอช 11 เท่ากับ $3x\ 10^{-4}$ 1/เอสยู. นาที ดังนั้นในการลดสีการใช้โอโซนร่วมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จึงใช้เวลาน้อย

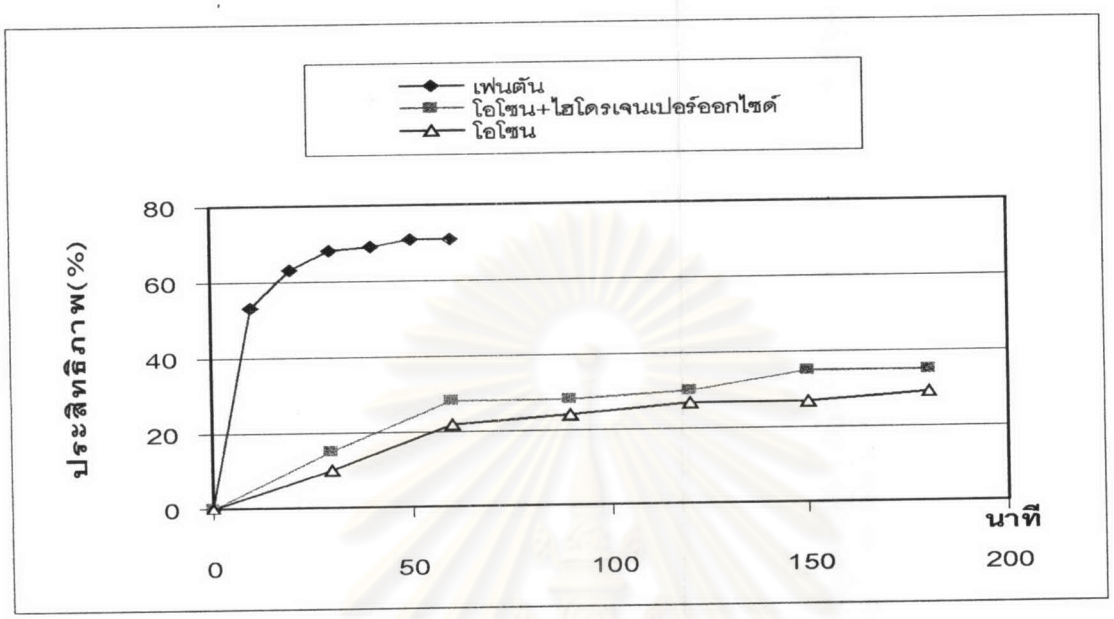
กว่า แต่อย่างไรก็ตามวิธีทั้ง 2 นี้ต่างมีประสิทธิภาพน้อยในการกำจัดซีโอดี ในการกำจัดซีโอดีปฏิกิริยาเฟนตันเป็นวิธีที่ให้ประสิทธิ-ภาพในการกำจัดซีโอดีมากที่สุด ส่วนวิธีการเติมโอโซนและวิธีการใช้โอโซนร่วมกับไฮโดรเจนเปอร์-ออกไซด์ให้ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีไม่ดีนัก สาเหตุเนื่องจากการละลายน้ำของโอโซนในการทดลองนี้มีค่าน้อยดังแสดงในภาคผนวก ฏ นอกจากนี้ในน้ำชะมูลฝอยมีค่าสภาพความเป็นด่างไบคาร์บอเนตมาก ซึ่งสภาพความเป็นด่างไบคาร์บอเนตนี้จะไปยับยั้งการแตกตัวของโอโซนให้กลายเป็นไฮดรอกซิล เรดิคอล ดังนั้นปฏิกิริยาการออกซิไดซ์ในน้ำชะมูลฝอยส่วนใหญ่จึงเกิดจากโมเลกุลของโอโซนเข้าทำปฏิกิริยาโดยตรงกับมลสารในน้ำชะมูลฝอย แต่โอโซนมีความแรงในการออกซิไดซ์ ต่ำกว่าไฮดรอกซิล เรดิคอลมาก นอกจากนี้ยังเลือกทำปฏิกิริยากับมลสารบางตัวเท่านั้น ทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีในน้ำชะมูลฝอยจึงต่ำ สำหรับปฏิกิริยาเฟนตันนั้น สามารถเกิดไฮดรอกซิล เรดิคอลได้โดยไม่เกิดผลกระทบจากสภาพด่างไบคาร์บอเนต นอกจากนี้การกำจัดสีและซีโอดีบางส่วนอาจเกิดจากการจับตัวเป็นตะกอนของเหล็กเฟอริก ทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีในน้ำชะมูลฝอยจึงมีมากกว่า ปริมาณO_3ละลายน้ำทั้งหมด

ตารางที่4.8เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำชะมูลฝอยโดยใช้กระบวนการAOPsต่าง ๆ

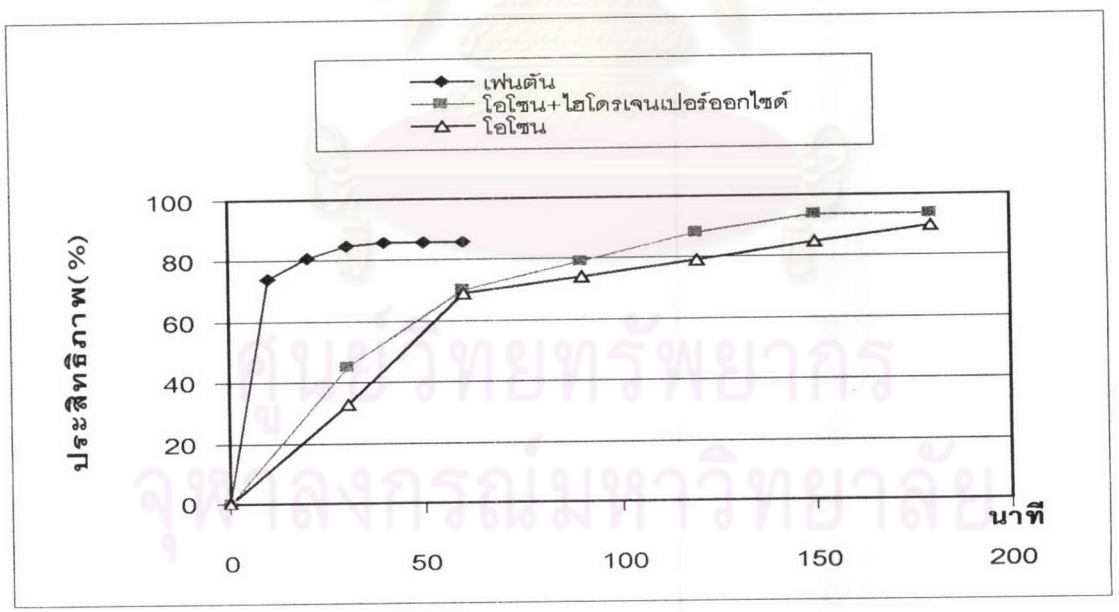
Method	อัตราการเติมโอโซน (มก./ล.)	ปริมาณO_3ละลายน้ำทั้งหมด* (Cxt :มก.)	ปริมาณH_2O_2ที่เติม (มก.)	ปริมาณ$FeSO_4$ที่เติม (ก.)	Time (min.)	%COD removal	%Color removal	BOD/COD
O_3	400	3.795	-	-	180	27	85	0.058
$O_3+H_2O_2$	400	2.951	354	-	150	35	94	0.069
Fenton	-		2000	0.893	30	68	85	0.297

* มาจากการคำนวณในภาคผนวก ฏ

เมื่อนำกระบวนการ AOPs ต่าง ๆ จากตารางที่ 4.8 มาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีและสี ผลการทดลองเป็นดังรูปที่ 4.74 และ 4.75 ตามลำดับ โดยประสิทธิภาพในการบำบัดสีของปฏิกิริยาเฟนตันน้อยกว่ากระบวนการเติมโอโซนและการใช้โอโซนร่วมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เล็กน้อย แต่ประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีของปฏิกิริยาเฟนตันมีมากกว่าอีก 2 กระบวนการอย่างชัดเจน



รูปที่ 4.74 ประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีโดยกระบวนการ AOPs ต่างๆ



รูปที่ 4.75 ประสิทธิภาพในการบำบัดสีโดยกระบวนการ AOPs ต่างๆ

4.9 ผลการทดลองชุดที่ 4 การบำบัดน้ำชะมูลฝอยโดยปฏิกิริยาเฟนตันร่วมกับการเติมสารอาหารร่วม

การทดลองชุดนี้ใช้เวลาเดินระบบทั้งหมด 69 วัน ระยะเวลา 30 วันแรกเป็นช่วงให้เชื้อในระบบปรับตัวให้เข้ากับน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดขั้นต้นด้วยปฏิกิริยาเฟนตัน โดยปฏิกิริยาเฟนตันที่เลือกมาทดลองจะใช้ความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เท่ากับ 2000 มก./ล.และเฟอรัสซัลเฟตเท่ากับ 1.634 ก./ล.ที่พีเอช 3 จากนั้นทำการกวนด้วยความเร็ว 125 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 30 นาที รอให้เกิดการตกตะกอนอีก 30 นาที แล้วจึงนำส่วนที่เป็นน้ำใสมาปรับพีเอชให้เท่ากับ 7.5 โดยใช้โซเดียม-ไฮดรอกไซด์ ทิ้งไว้ให้ตกตะกอนอีก 30 นาทีจึงนำน้ำเสียที่ได้มาแบ่งเป็น 2 ส่วน ส่วนหนึ่งป้อนเข้าระบบยูเอเอสบีชุดที่ 4/2 อีกส่วนหนึ่งนำมาเติมน้ำตาลทรายเข้มข้น 250 มก.ซีโอดี/ล.แล้วจึงป้อนเข้าระบบยูเอเอสบีชุดที่ 4/3 สำหรับยูเอเอสบีชุดที่ 4/1 เป็นชุดควบคุม ซึ่งเป็นระบบที่ป้อนน้ำชะมูลฝอยโดยไม่ได้รับการบำบัดขั้นต้นด้วยปฏิกิริยาเฟนตัน นำมาปรับพีเอชให้เท่ากับ 7 ด้วยกรดฟอสฟอริค การนำข้อมูลมาหาค่าเฉลี่ยต่าง ๆ ใช้ช่วงวันที่ 31-69 ของการเดินระบบ ค่าเฉลี่ยของตัวแปรต่าง ๆ จากการทดลองแสดงในตารางที่ 4.9

4.9.1 ซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัด

จากรูปที่ 4.76 แสดงค่าซีโอดีของระบบยูเอเอสบีแต่ละชุดตลอดการทดลองที่ 4 เมื่อนำมาหาค่าเฉลี่ยของซีโอดีดังตารางที่ 4.9 ได้ค่าเฉลี่ยซีโอดีในน้ำเข้าของชุดควบคุม คือ ระบบยูเอเอสบีชุดที่ 4/1 มีค่าเท่ากับ 997 มก./ล. ซึ่งเป็นซีโอดีที่ได้จากน้ำชะมูลฝอยล้วน ๆ ส่วนค่าซีโอดีในน้ำเข้าของระบบยูเอเอสบีชุดที่ 4/2 และ 4/3 ต้องทำการบำบัดขั้นต้นด้วยปฏิกิริยาเฟนตันก่อน โดยปฏิกิริยาเฟนตันสามารถลดค่าซีโอดีเฉลี่ยจาก 997 มก./ล.จนเหลือเท่ากับ 215 มก./ล. จากนั้นแบ่งน้ำเสียส่วนหนึ่งมาป้อนเข้าระบบยูเอเอสบีชุดที่ 4/2 อีกส่วนหนึ่งนำมาเติมน้ำตาลทรายเข้มข้นประมาณ 250 มก.ซีโอดี/ล. แล้วจึงป้อนเข้าระบบยูเอเอสบีชุดที่ 4/3 โดยค่าซีโอดีเฉลี่ยของน้ำเสียที่เข้าระบบยูเอเอสบีชุดที่ 4/2 และ 4/3 มีค่าเท่ากับ 215 มก./ล. และ 472 มก./ล. ตามลำดับ สำหรับถังสร้างกรดในชุดควบคุมมีค่าซีโอดีเฉลี่ย เท่ากับ 970 มก./ล. ในชุดที่ 4/2 และ 4/3 มีค่าซีโอดีเฉลี่ย เท่ากับ 196 มก./ล.และ 212 มก./ล.ตามลำดับ ส่วนค่าซีโอดีเฉลี่ยในน้ำออกของยูเอเอสบีทั้ง 3 ชุดเป็นดังรูปที่ 4.77 โดยเท่ากับ 883 149 และ 176 มก./ล.ในระบบยูเอเอสบีชุดที่ 4/1 4/2 และ 4/3 ตามลำดับ

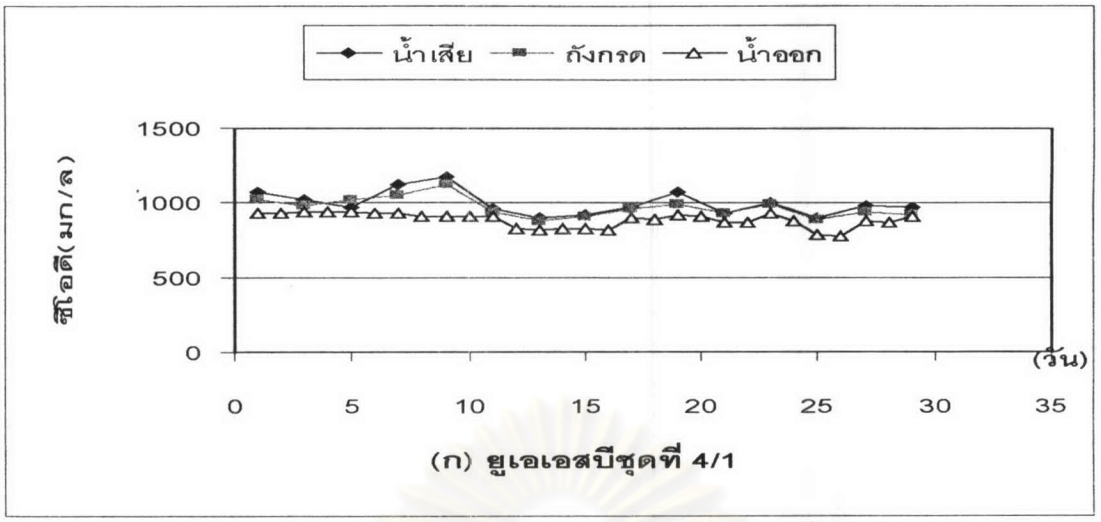
ตารางที่ 4.9 สรุปค่าเฉลี่ยของตัวแปรต่างๆ จากการทดลองที่ 4

ตัวแปรที่วัด		UASB ชุดที่ 1 ไม่เติมสารอาหารร่วม			UASB ชุดที่ 2 (บำบัดขั้นต้นด้วยเฟนตัน)			UASB ชุดที่ 3 (เฟนตันและเติมสารอาหารร่วม)		
		น้ำเสีย	ถังกรด	น้ำออก	น้ำเสีย	ถังกรด	น้ำออก	น้ำเสีย	ถังกรด	น้ำออก
พีเอช (pH)	เฉลี่ย	7	6.96	7.31	7.5	6.88	7.28	7.5	6.82	7.14
	SD.		0.02	0.07		0.05	0.05		0.04	0.08
อุณหภูมิ (Temperature)	เฉลี่ย	30	30	30.6	30	30	30.6	30	30	30.6
(องศาเซลเซียส)	SD.	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
โออาร์พี (ORP)	เฉลี่ย		-328	-338		-310	-321		-326	-332
(มิลลิโวลท์)	SD.		16	13		17	17		17	17
ซีโอดี(COD)	เฉลี่ย	997	970	883	215	196	149	472	212	176
(มก./ล.)	SD.	83	68	49	56	49	20	56	54	65
ประสิทธิภาพการกำจัด	เฉลี่ย		3	11		9	31		55	63
ซีโอดี(COD)รวม *	SD.									
ความเข้มสี (SU)	เฉลี่ย	123.815	123.333	119.235	17.992	17.6	12.772	18.435	17.665	12.443
	SD.	8.896	9.399	7.865	1.432	1.668	3.087	1.377	1.391	2.754
ประสิทธิภาพการลดสี	เฉลี่ย		0	4	85	86	90		77	90
(%) **	SD.									
บีโอดี(BOD)	เฉลี่ย	39		32	64		23	271		31
	SD.	8		6	14		4	93		6
ประสิทธิภาพการกำจัด	เฉลี่ย			18			64			89
บีโอดี(BOD)	SD.									
ปริมาณก๊าซทั้งหมด	เฉลี่ย									
(ลิตร/วัน)	SD.									
ก๊าซมีเทน (%)										

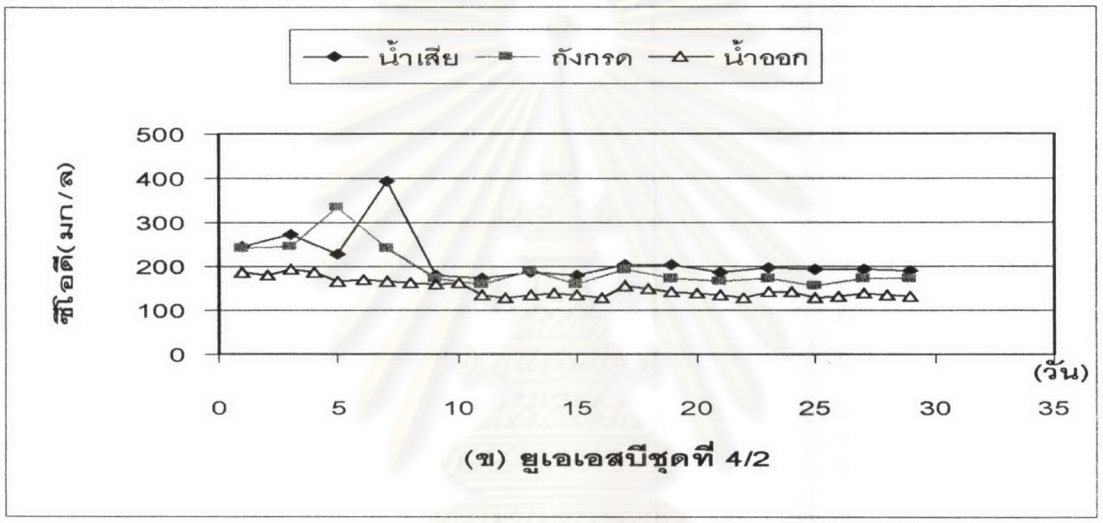
*ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีทั้งในถังสร้างกรดและในน้ำออกคิดเทียบจากซีโอดีในน้ำเสีย

**ประสิทธิภาพการกำจัดสีทั้งในถังสร้างกรดและในน้ำออกคิดเทียบจากสีในน้ำเสียของ UASB ชุดที่ 1

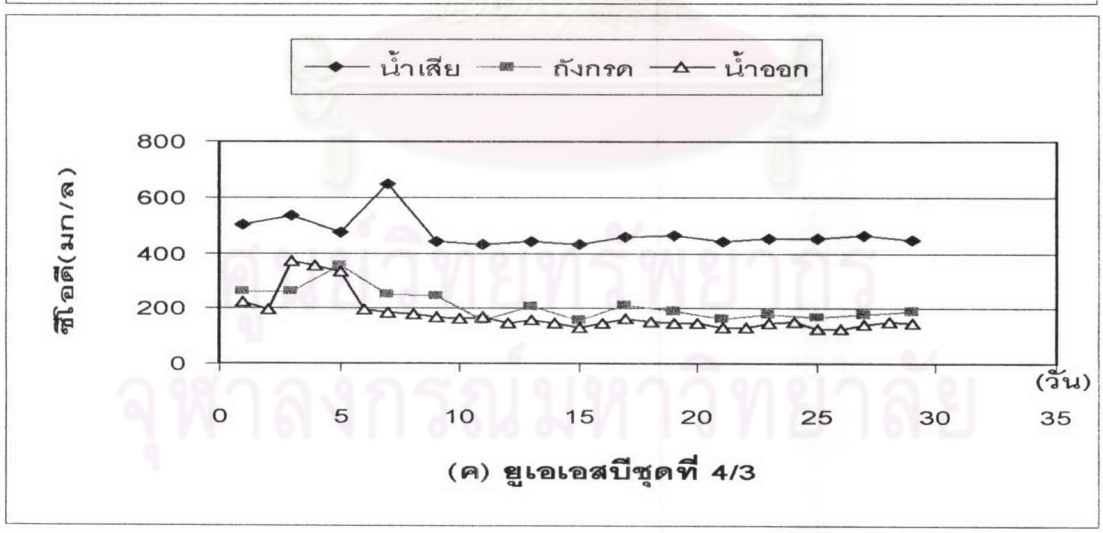
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(ก) ยูเอเอสบีชุดที่ 4/1

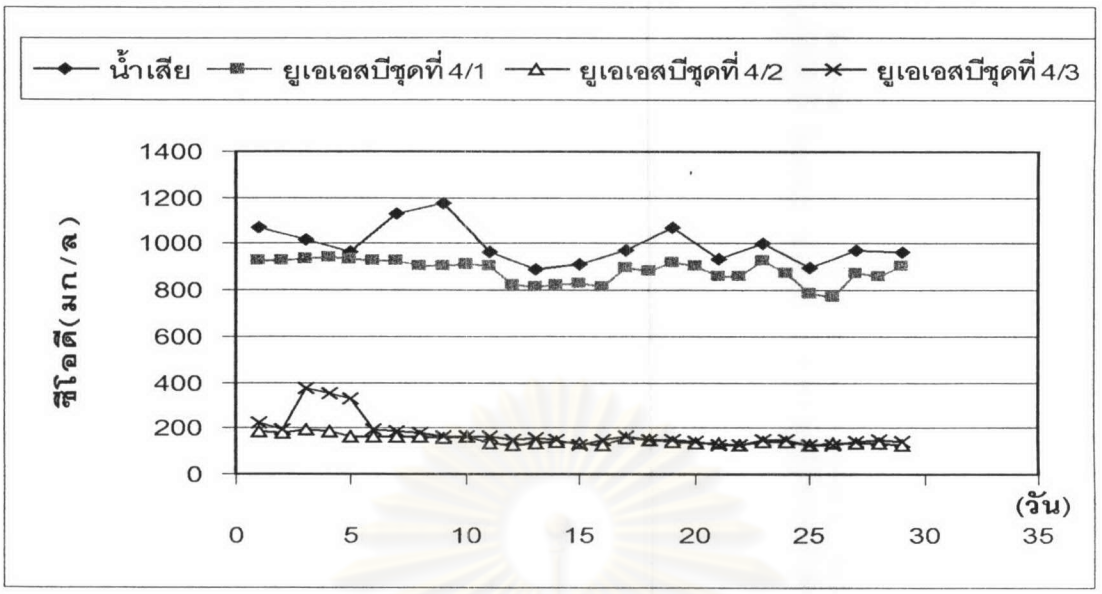


(ข) ยูเอเอสบีชุดที่ 4/2



(ค) ยูเอเอสบีชุดที่ 4/3

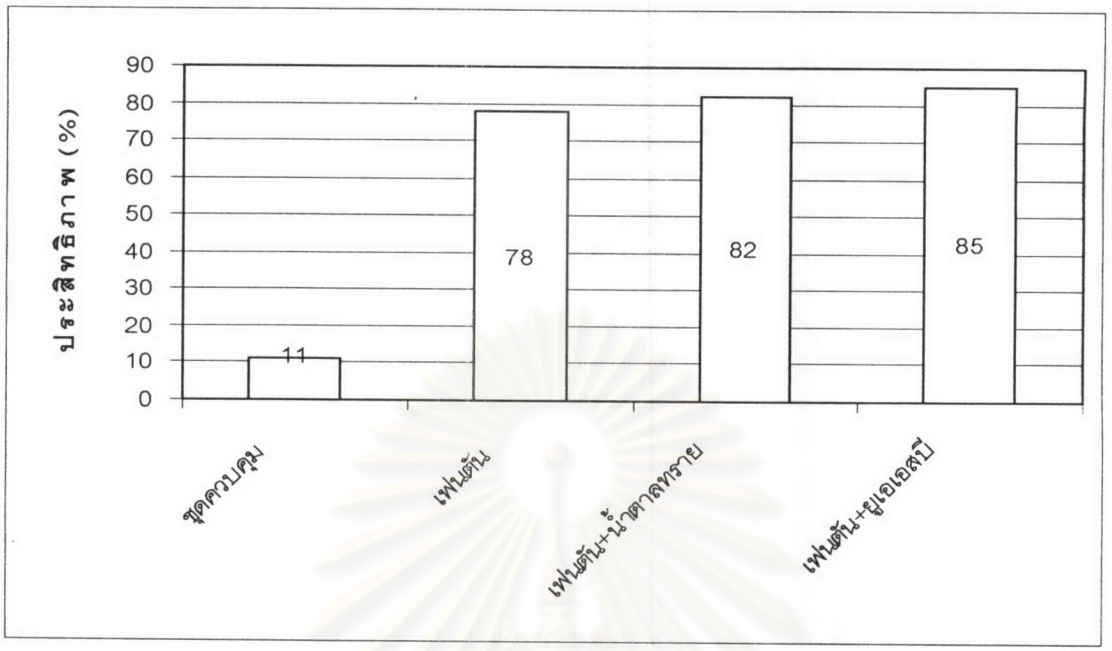
รูปที่ 4.76 ค่าซีโอดีตลอดการทดลองที่ 4



รูปที่ 4.77 แสดงค่าซีโอดีในน้ำออกของระบบยูเอเอสบีชุดต่าง ๆ ตลอดการทดลองที่ 4

เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเฉลี่ยจากรูปที่ 4.78 ถังสร้างกรดของชุดควบคุมมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีเท่ากับ 3 % ส่วนถังสร้างกรดของชุดที่ 4/2 และ 4/3 มีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเท่ากับ 9 %และ 55% ตามลำดับ สำหรับประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเฉลี่ยในน้ำออกของระบบยูเอเอสบีทั้ง 3 ชุดเท่ากับ 11% 31% และ 63% ในระบบชุดที่ 4/1 4/2 และ4/3 ตามลำดับ ถ้าหากเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของถังสร้างกรดกับถังยูเอเอสบีในระบบชุดเดียวกัน พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีในถังสร้างกรดของระบบยูเอเอสบีชุดที่ 4/1 และ 4/2 มีค่าน้อย แสดงว่า ซีโอดีที่ถูกกำจัดส่วนใหญ่ถูกกำจัดในถังยูเอเอสบี ส่วนประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีในถังสร้างกรดของระบบชุดที่ 4/3 มีค่าสูง เนื่องจากสารอาหารร่วมที่เติมเข้าไปย่อยได้ง่าย ดังนั้นสารอาหารร่วมส่วนใหญ่จึงถูกย่อยสลายในถังสร้างกรด

ถึงแม้ว่าประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีของระบบยูเอเอสบีชุดที่ 4/3 มีค่ามากที่สุด แต่ถ้าหากเปรียบเทียบค่าซีโอดีเฉลี่ยในน้ำออกของระบบยูเอเอสบีแต่ละชุด พบว่าค่าซีโอดีในน้ำออกของระบบยูเอเอสบีชุดที่ 4/2 มีค่าน้อยที่สุด แสดงว่าการเติมน้ำตาลทรายไม่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีของน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดขั้นต้นด้วยปฏิกิริยาเฟนตัน

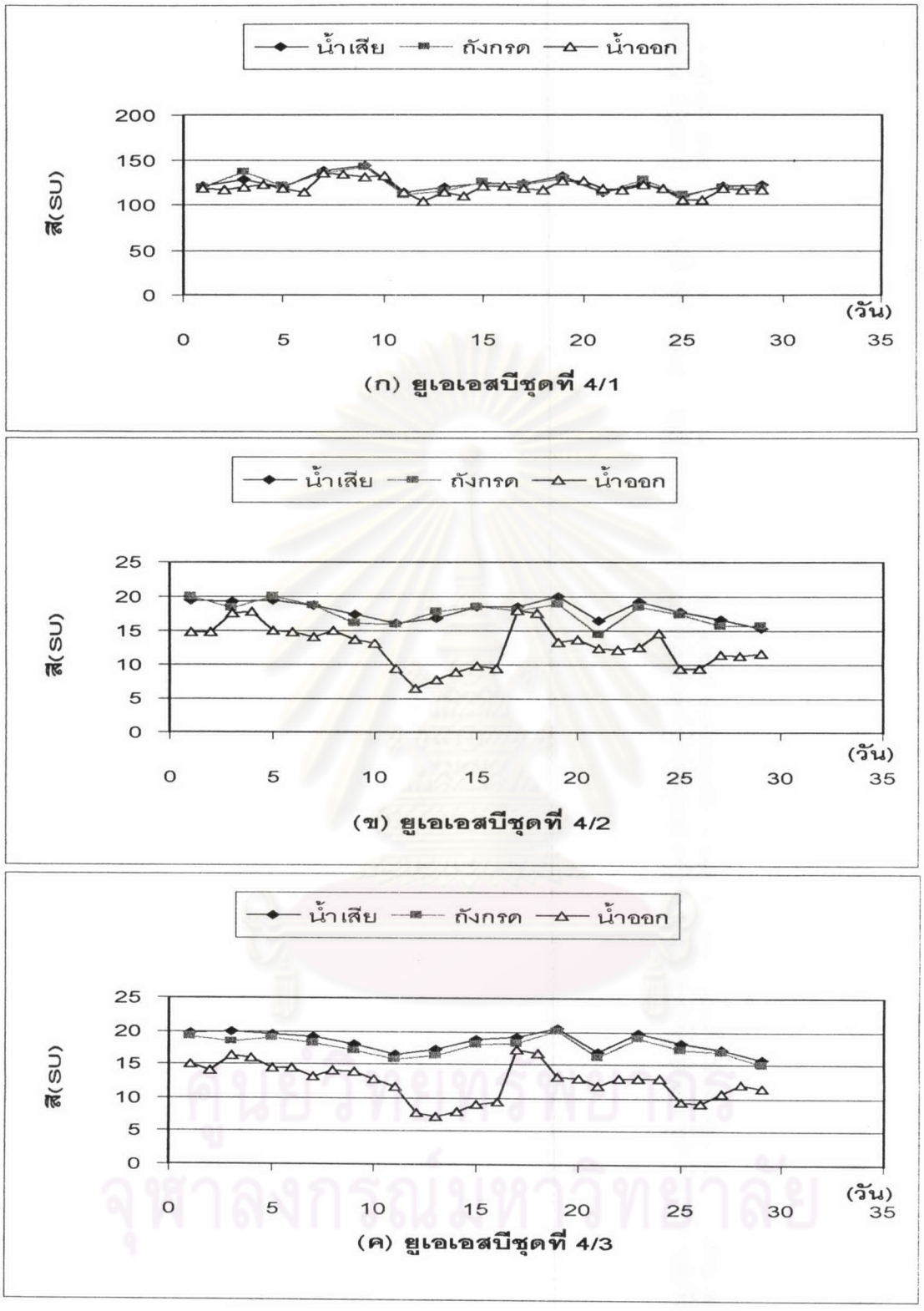


รูปที่ 4.78 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีด้วยวิธีต่าง ๆ จากการทดลองที่ 4

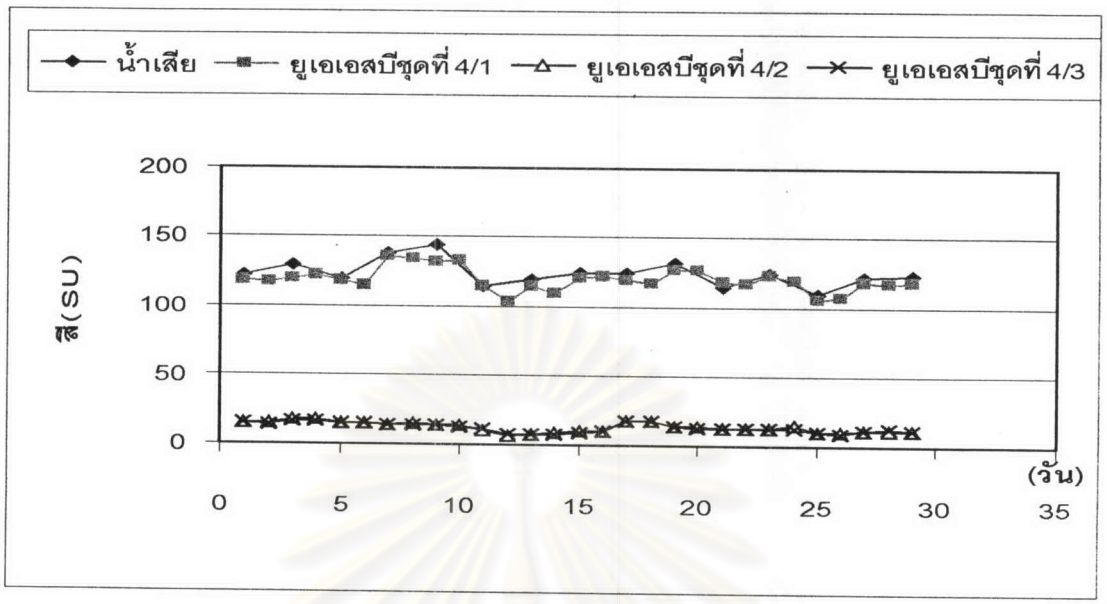
4.9.2 ความเข้มสีและประสิทธิภาพการลดสี

จากรูปที่ 4.79 แสดงค่าความเข้มสีของระบบยูเอเอสบีชุดต่าง ๆ ตลอดการทดลองที่ 4 เมื่อนำมาหาค่าเฉลี่ยจะได้ข้อมูลดังตารางที่ 4.9 โดยค่าเฉลี่ยของความเข้มสีในน้ำชะมูลฝอยที่เตรียมให้กับระบบยูเอเอสบีทั้ง 3 ชุด เท่ากับ 124 18 และ 44 SU ในระบบยูเอเอสบีชุดที่ 4/1 4/2 และ 4/3 ตามลำดับ ส่วนถังสร้างกรดมีความเข้มสีในระบบยูเอเอสบีชุดที่ 4/1 เท่ากับ 123 SU ชุดที่ 4/2 เท่ากับ 18 SU และชุดที่ 4/3 เท่ากับ 29 SU สำหรับค่าความเข้มสีของน้ำออกของระบบยูเอเอสบีชุดต่าง ๆ แสดงในรูป 4.80 โดยความเข้มสีชุดที่ 4/1 เท่ากับ 119 SU ส่วนชุดที่ 4/2 และ 4/3 มีความเข้มสีเท่ากับ 13 SU และ 12 SU ตามลำดับ

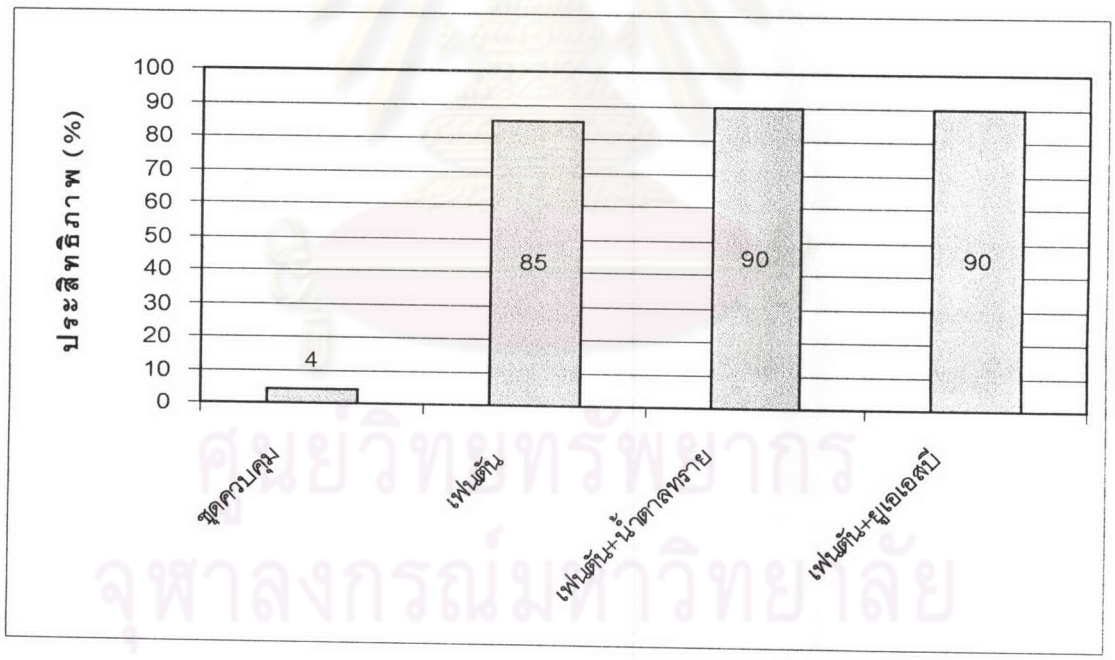
จากรูปที่ 4.81 เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการลดสีในถังสร้างกรดของระบบยูเอเอสบีชุดที่ 4/1 พบว่าไม่สามารถลดสีลงได้ ส่วนน้ำออกจากระบบยูเอเอสบีชุดที่ 4/1 ประสิทธิภาพการลดสีเท่ากับ 4 % สำหรับระบบยูเอเอสบีชุดที่ 4/2 และ 4/3 เมื่อผ่านการบำบัดขั้นต้นด้วยปฏิกิริยาเฟนตันแล้ว ความเข้มสีลดลง 85% เมื่อนำน้ำเสียนี้ป้อนเข้าถังสร้างกรดของระบบยูเอเอสบีชุดที่ 4/2 ประสิทธิภาพการกำจัดสีเพิ่มขึ้นเป็น 86% และเมื่อผ่านถังยูเอเอสบีของระบบชุดที่ 4/2 ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นเป็น



รูปที่ 4.79 ค่าความเข้มสีตลอดการทดลองที่ 4



รูปที่ 4.80 แสดงค่าความเข้มสีในน้ำออกของระบบยูเอเอสบีชุดต่าง ๆ ตลอดการทดลองที่ 4



รูปที่ 4.81 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดสีโดยใช้วิธีต่าง ๆ ในการทดลองที่ 4

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

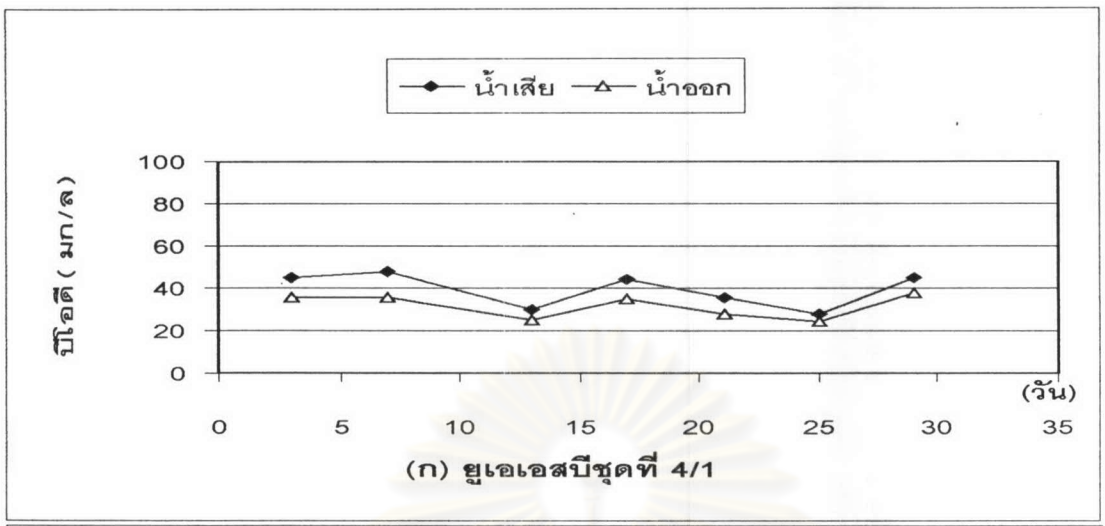
90% ส่วนน้ำเสียที่เติมน้ำตาลทรายที่ความเข้มข้น 250 มก.ซีโอดี/ล. จะมีความเข้มสีเพิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่เมื่อออกจากระบบยูเอเอสบีชุดที่ 4/3 แล้ว มีประสิทธิภาพการกำจัดสีเท่ากับ 90%

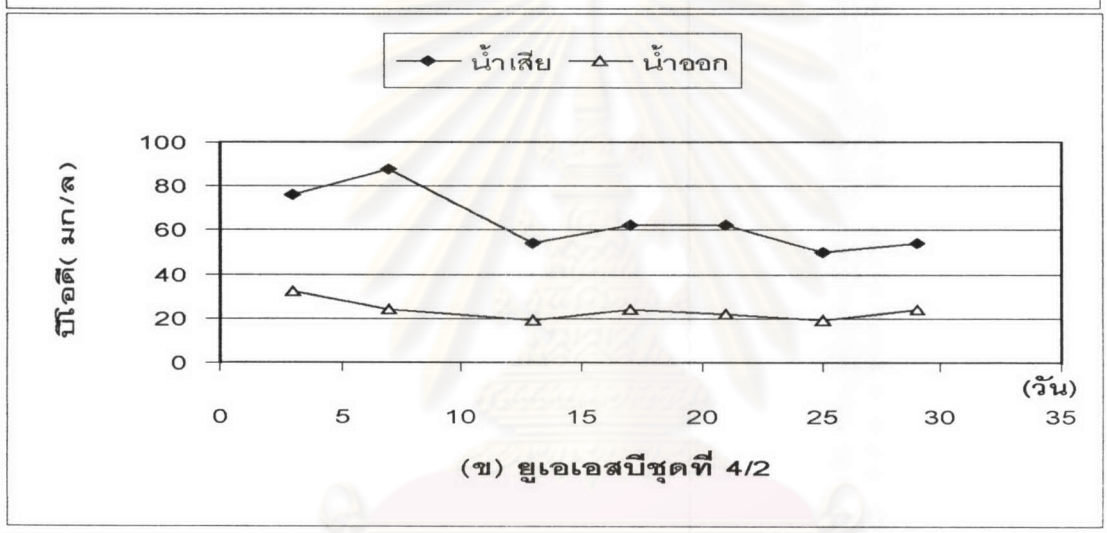
จากรูปที่ 4.81 และข้อมูลในตารางที่ 4.9 สรุปได้ว่า การกำจัดสีส่วนใหญ่เกิดจากปฏิกิริยาเฟน-ตัน ส่วนการเติมสารอาหารร่วมในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดขั้นต้นด้วยปฏิกิริยาเฟนตันแล้วจึงป้อนเข้าระบบยูเอเอสบีไม่มีส่วนช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพในการลดสี

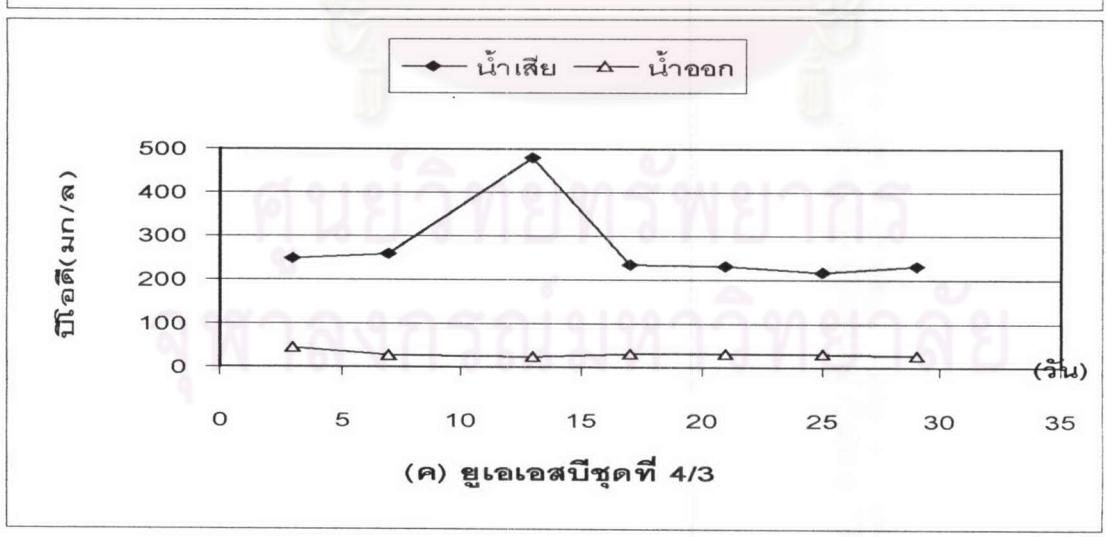
4.9.3 บีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัด

จากรูปที่ 4.82 แสดงค่าบีโอดีของระบบยูเอเอสบีชุดต่าง ๆ ตลอดการทดลองที่ 4 โดยบีโอดีเฉลี่ยของระบบยูเอเอสบีชุดที่ 4/1 ในน้ำเสีย และน้ำออก เท่ากับ 39 และ 32 มก./ล.ตามลำดับ ส่วนระบบยูเอเอสบีชุดที่ 4/2 เท่ากับ 64 และ 23 มก./ล.ตามลำดับ และระบบยูเอเอสบีชุดที่ 4/3 มีค่าเท่ากับ 271 และ 31 มก./ล.ตามลำดับ จากรูปที่ 4.83 เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดี จะได้ประสิทธิภาพดังนี้ ประสิทธิภาพการกำจัดของระบบชุดที่ 4/1 เท่ากับ 18% ส่วนในระบบชุดที่ 4/2 มีค่าในการกำจัด 64% ส่วนในระบบยูเอเอสบีชุดที่ 4/3 ปรากฏว่าบีโอดีของน้ำออกมีค่าในการกำจัดบีโอดีเท่ากับ 89%

จากผลการทดลอง เมื่อนำน้ำเสียไปบำบัดขั้นต้นด้วยปฏิกิริยาเฟนตันแล้วปรากฏว่าค่าบีโอดีของน้ำเสียเพิ่มขึ้น โดยเพิ่มขึ้นจากบีโอดีเฉลี่ย 39 มก./ล. เพิ่มขึ้นเป็นบีโอดีเฉลี่ย 64 มก./ล. ในเบื้องต้นคาดว่าสาเหตุของการเพิ่มบีโอดีอาจจะเนื่องจากการรบกวนการวิเคราะห์ของสารประกอบพวกไอร์ออน(II) ซัลไฟด์ จึงทำการหาค่าไอดีโอดีเพื่อแก้ค่าการรบกวนที่เกิดขึ้น แต่ผลที่ได้ปรากฏว่า ค่าบีโอดีของน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดด้วยปฏิกิริยาเฟนตันก็ยังมีค่ามากกว่าค่าบีโอดีจากน้ำเข้าอยู่ดี ซึ่งแสดงว่าปฏิกิริยาเฟนตันมีส่วนช่วยในการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะน้ำชะมูลฝอยให้มีความสามารถในการถูกย่อยสลายทางชีวภาพได้ง่ายขึ้น

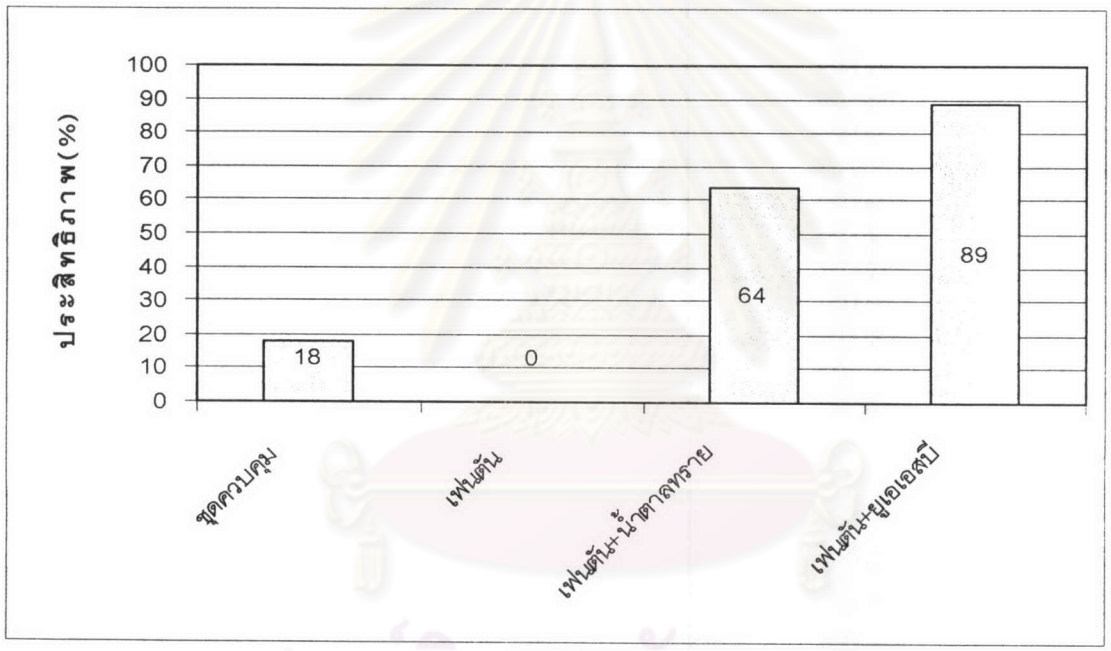






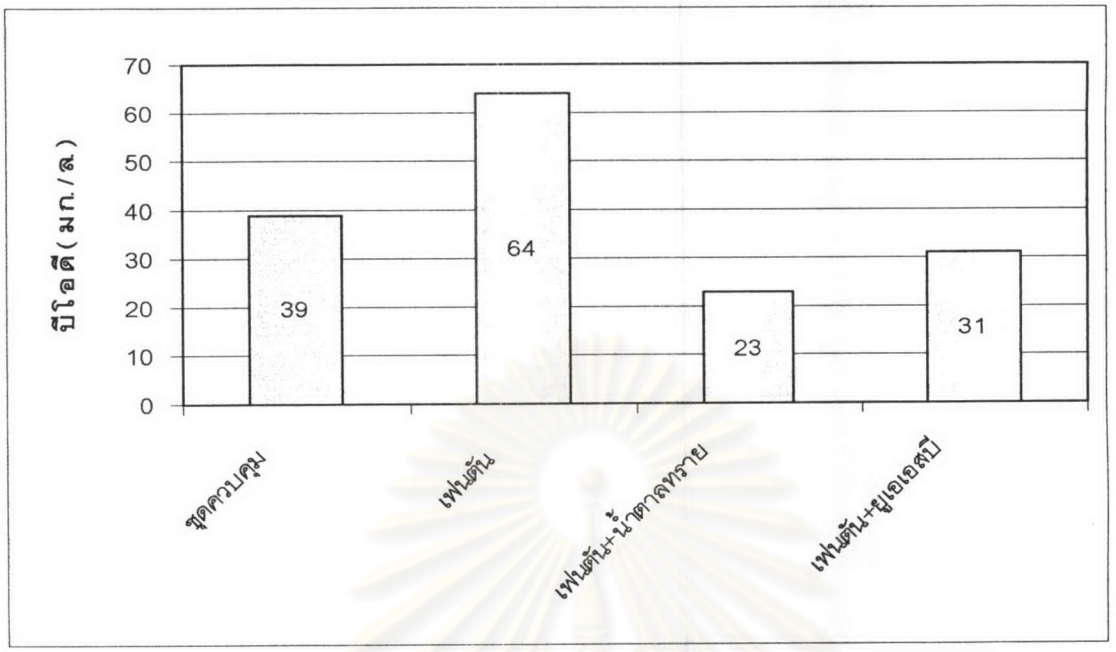
รูปที่ 4.82 ค่าบีโอดีตลอดการทดลองที่ 4

เมื่อพิจารณาบีโอดีเฉลี่ยของน้ำเสียที่ออกจากระบบยูเอเอสบีชุดที่ 4/1 4/2 และ 4/3 ดังรูปที่ 4.84 พบว่าค่าบีโอดีเฉลี่ยของน้ำออกจากระบบยูเอเอสบีชุดที่ 4/2 มีค่าน้อยที่สุด คือมีค่าเท่ากับ 23 มก./ล. ส่วนค่าบีโอดีเฉลี่ยในน้ำออกของระบบยูเอเอสบีชุดที่ 4/1 และ 4/3 มีค่าใกล้เคียงกันคือ 32 และ 31 มก./ล.ตามลำดับ ซึ่งค่าบีโอดีน้ำออกของระบบยูเอเอสบีชุดที่ 4/2 ที่มีค่าน้อยกว่าบีโอดีเฉลี่ยในน้ำออกระบบยูเอเอสบีชุดที่ 1 เป็นการยืนยันว่าการบำบัดด้วยปฏิกิริยาเฟนตันช่วยทำให้น้ำชะมูลฝอยมีคุณลักษณะในการย่อยสลายทางชีวภาพง่ายขึ้น



รูปที่ 4.83 เปรียบเทียบประสิทธิภาพเฉลี่ยในการกำจัดบีโอดีของวิธีต่าง ๆตลอดการทดลองที่ 4

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

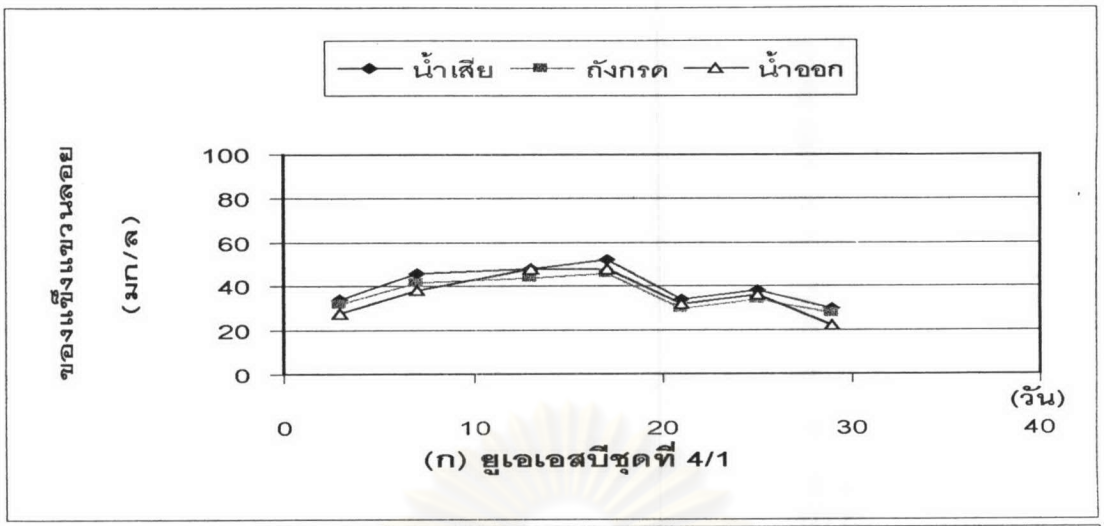


รูปที่ 4.84 แสดงค่าบีโอดีเฉลี่ยในน้ำออกของระบบยูเอเอสบีชุดต่าง ๆ ตลอดการทดลองที่ 4

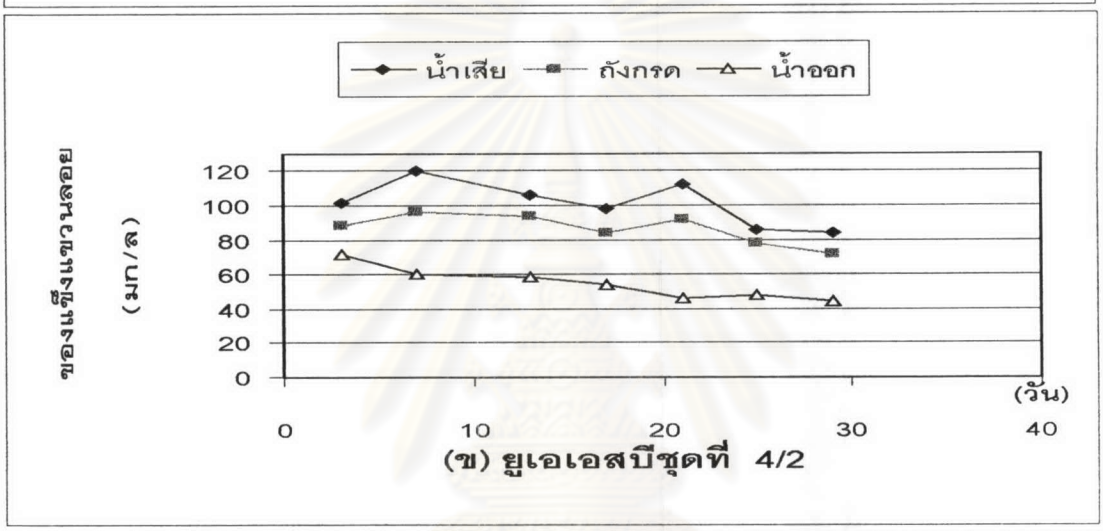
4.9.4 ของแข็งแขวนลอยและของแข็งระเหยง่าย

จากรูปที่ 4.85 และ 4.86 ซึ่งแสดงค่าของแข็งแขวนลอยและของแข็งระเหยง่ายของระบบยูเอเอสบีชุดต่าง ๆ ตลอดการทดลองที่ 4 เมื่อนำมาหาค่าเฉลี่ยจะได้ค่าดังตารางที่ 4.10 โดยปริมาณของแข็งแขวนลอยและของแข็งระเหยง่ายในน้ำเข้าของระบบยูเอเอสบีชุดที่ 4/2 และ 4/3 มีค่ามากกว่าของระบบยูเอเอสบีชุดที่ 4/1 สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เพราะมีตะกอนเหล็กบางส่วนที่ยังแขวนลอยอยู่ในน้ำหลังจากทำการบำบัดด้วยปฏิกิริยาเฟนตัน

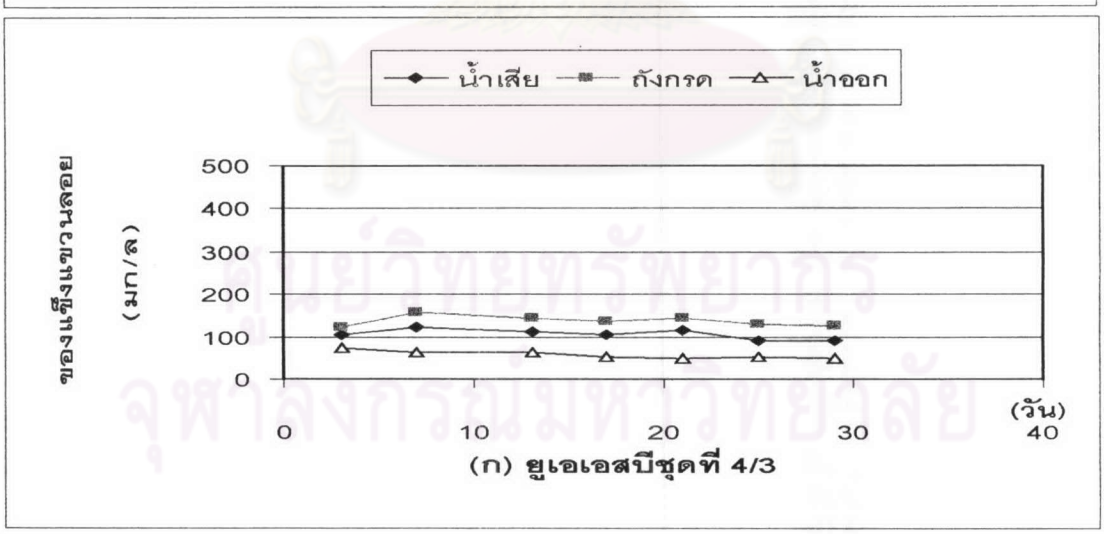
ในถังสร้างกรดของระบบยูเอเอสบีชุดที่ 4/1และ 4/2 ของแข็งแขวนลอยและของแข็งระเหยง่ายมีค่าลดลง เนื่องจากเกิดการตกตะกอนเกิดขึ้นในถังสร้างกรด ส่วนในถังสร้างกรดของระบบยูเอเอสบีชุดที่ 4/3 มีค่าของแข็งแขวนลอยและของแข็งระเหยง่ายเพิ่มขึ้น สาเหตุมาจากการเกิดเมือกขึ้นในถังสร้างกรด นอกจากนี้ยังมีสิ่งมีชีวิตพวกหนอนและลูกน้ำอาศัยอยู่ด้วยทำให้ในการตักน้ำจากถังสร้างกรดขึ้นไปวัดค่าของแข็งแขวนลอยและของแข็งระเหยง่ายจะมีสิ่งเหล่านี้ปนเปื้อนไปบ้าง



(ก) ยูเอเอสบีชุดที่ 4/1

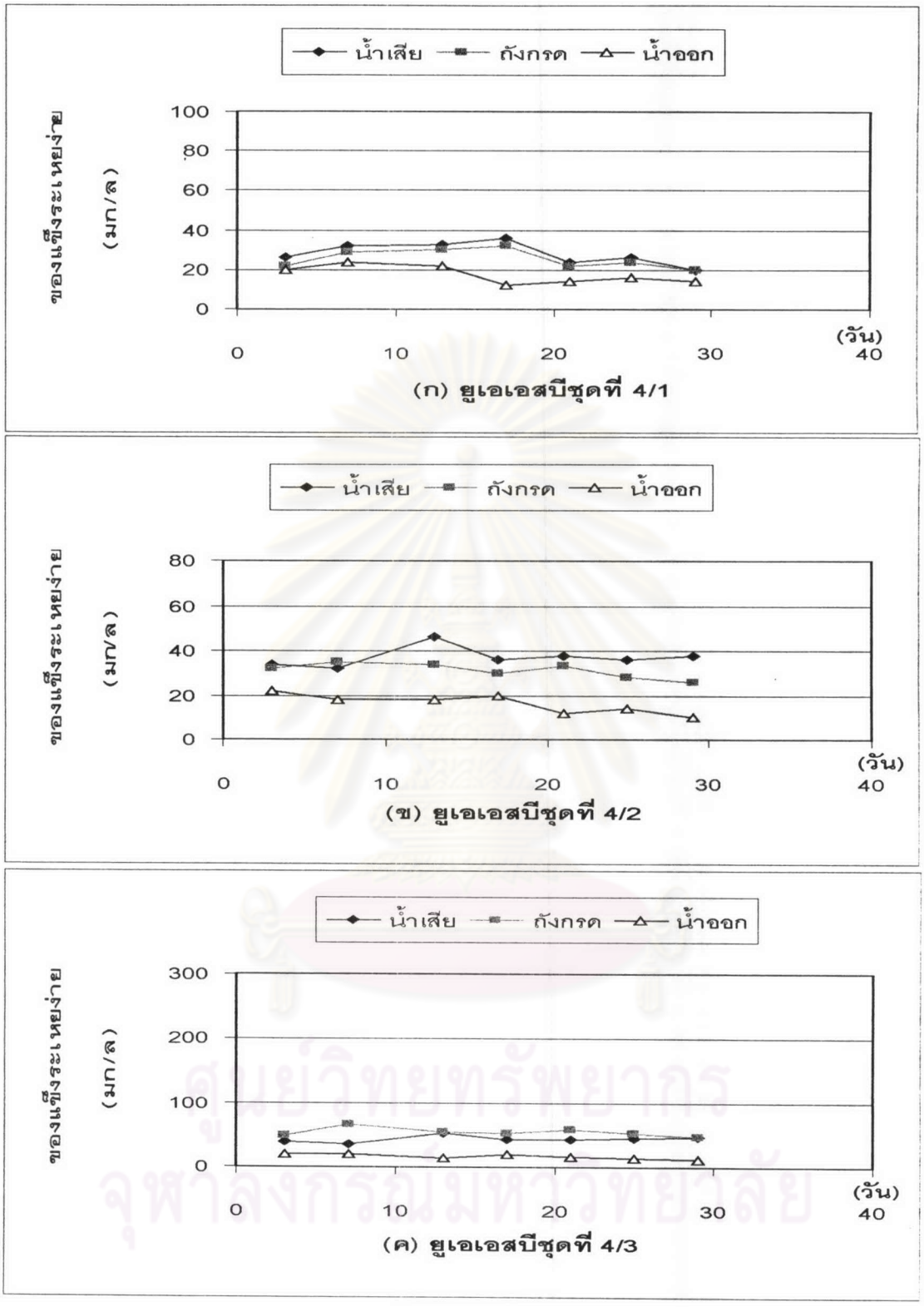


(ข) ยูเอเอสบีชุดที่ 4/2



(ก) ยูเอเอสบีชุดที่ 4/3

รูปที่ 4.85 ค่าของแข็งแขวนลอยตลอดการทดลองที่ 4



รูปที่ 4.86 ค่าของแข็งระเหยง่ายตลอดการทดลองที่ 4

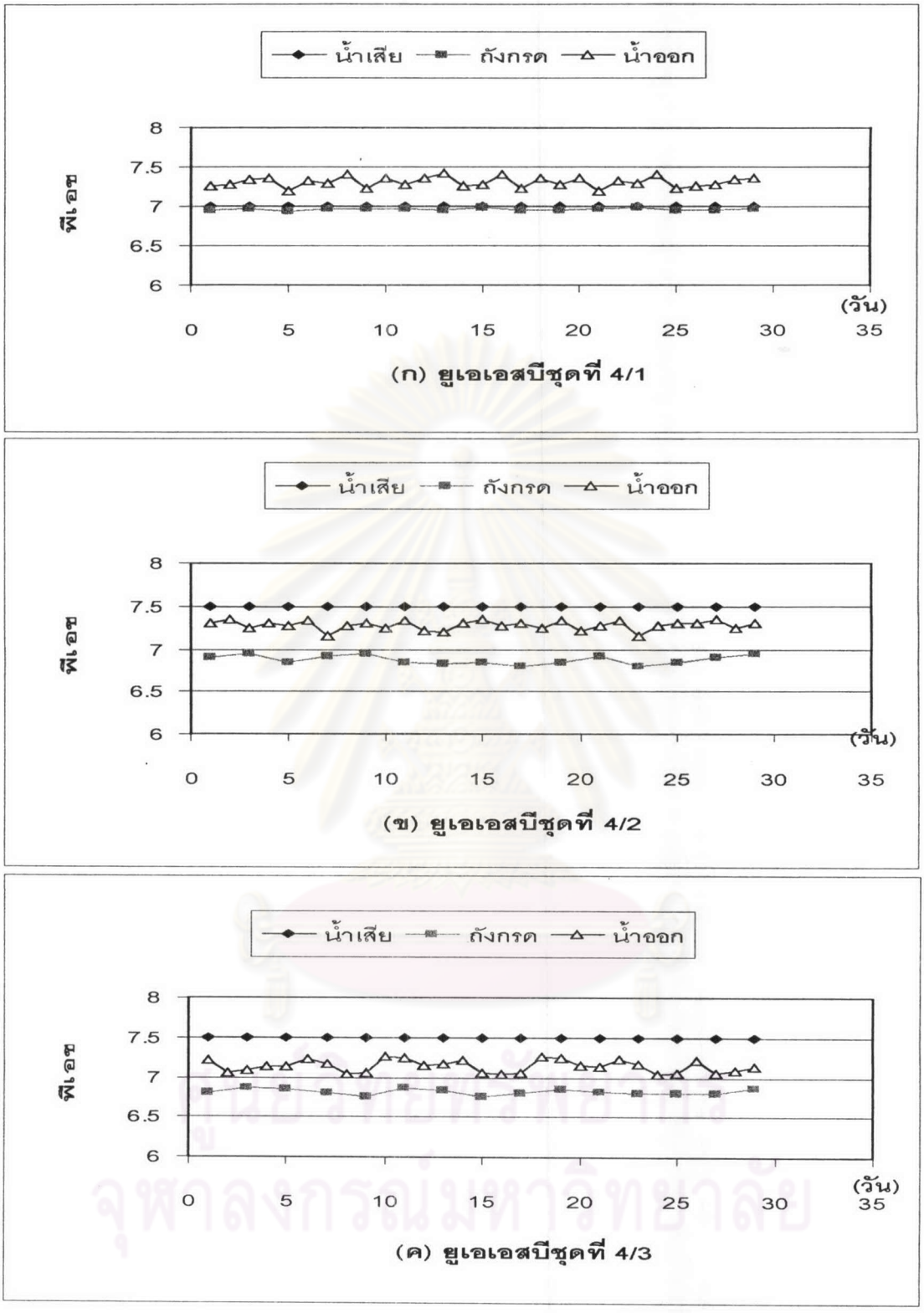
สำหรับค่าของแข็งแขวนลอยและของแข็งระเหยง่ายในน้ำออก พบว่าในระบบยูเอเอสบีชุดที่ 4/2 และ 4/3 มีค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำออกสูงกว่าในระบบยูเอเอสบีชุดที่ 4/1 เมื่อพิจารณาจากค่าของแข็งแขวนลอยลบด้วยของแข็งระเหยง่ายแล้ว คาดว่าน่าจะเกิดจากตะกอนของเหล็กที่แขวนลอยในน้ำปนออกไป และเมื่อพิจารณาค่าของของแข็งระเหยง่ายในน้ำออกของระบบยูเอเอสบีชุดที่ 4/1 4/2 และ 4/3 แล้วจะพบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน เพราะถังยูเอเอสบีแต่ละถังต่างย่อยสลายซีโอดีได้ใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 4.10 ค่าเฉลี่ยของแข็งแขวนลอยและของแข็งระเหยง่ายของการทดลองที่ 4

พารามิเตอร์	UASB ชุดที่ 1			UASB ชุดที่ 2			UASBชุดที่ 3		
	น้ำเข้า	ถังกรด	น้ำออก	น้ำเข้า	ถังกรด	น้ำออก	น้ำเข้า	ถังกรด	น้ำออก
ของแข็งแขวนลอย เฉลี่ย	40	37	36	101	86	55	107	139	58
(มก./ล.) n=15 SD	8	7	9	13	9	6	12	12	6
ของแข็งระเหยง่าย เฉลี่ย	28	26	17	37	31	16	43	54	17
(มก./ล.) n=15 SD	6	5	5	4	3	4	5	7	3
อัตราส่วน vss/ss	0.70	0.70	0.47	0.37	0.36	0.29	0.40	0.39	0.29

4.9.5 พีเอช

การทดลองที่ 4 นี้จะทำการปรับพีเอชของน้ำเสียที่จะป้อนเข้าระบบยูเอเอสบีชุดที่ 1 ให้เท่ากับ 7 และพีเอชน้ำเข้าของระบบยูเอเอสบีชุดที่ 2 และ 3 ให้เท่ากับ 7.5 เพื่อให้ค่าพีเอชน้ำออกอยู่ในช่วงที่เหมาะสมกับการทำงานของแบคทีเรียเมทธาโนเจนคือระหว่าง 6.8-7.4 โดยค่าพีเอชตลอดการทดลองที่ 4 แสดงในรูปที่ 4.87 โดยถังยูเอเอสบีชุดที่ 4/1 มีค่าพีเอชในถังสร้างกรดเท่ากับ 6.96 และเท่ากับ 7.31 ในน้ำออก ในขณะที่ระบบยูเอเอสบีชุดที่ 4/2 มีค่าพีเอชเฉลี่ยเท่ากับ 6.88 และ 7.28 ในถังสร้างกรดและในน้ำออกตามลำดับ และระบบยูเอเอสบีชุดที่ 4/3 เท่ากับ 6.82 และ 7.14 ตามลำดับ



รูปที่ 4.87 ค่าพีเอชตลอดการทดลองที่ 4

4.9.6 โออาร์พี

จากตารางที่ 4.9 และรูปที่ 4.88 พบว่าค่าโออาร์พีของระบบยูเอเอสบีชุดที่ 4/1 มีค่าโออาร์พีในถังสร้างกรดเท่ากับ –328 มิลลิโวลท์ และมีค่าเท่ากับ –338 มิลลิโวลท์ในน้ำออก ส่วนในระบบยูเอเอส-บีชุดที่ 4/2 มีค่าโออาร์พีในถังสร้างกรดและในน้ำออกเท่ากับ –310 และ-321 มิลลิโวลท์ ตามลำดับ ส่วนในระบบยูเอเอสบีชุดที่ 4/3 มีค่าโออาร์พีในถังสร้างกรดและในน้ำออกเท่ากับ –326 และ –332 มิลลิโวลท์ ตามลำดับ ซึ่งค่าโออาร์พีเหล่านี้แสดงว่าระบบไร้อากาศอยู่ในสภาวะที่ดี

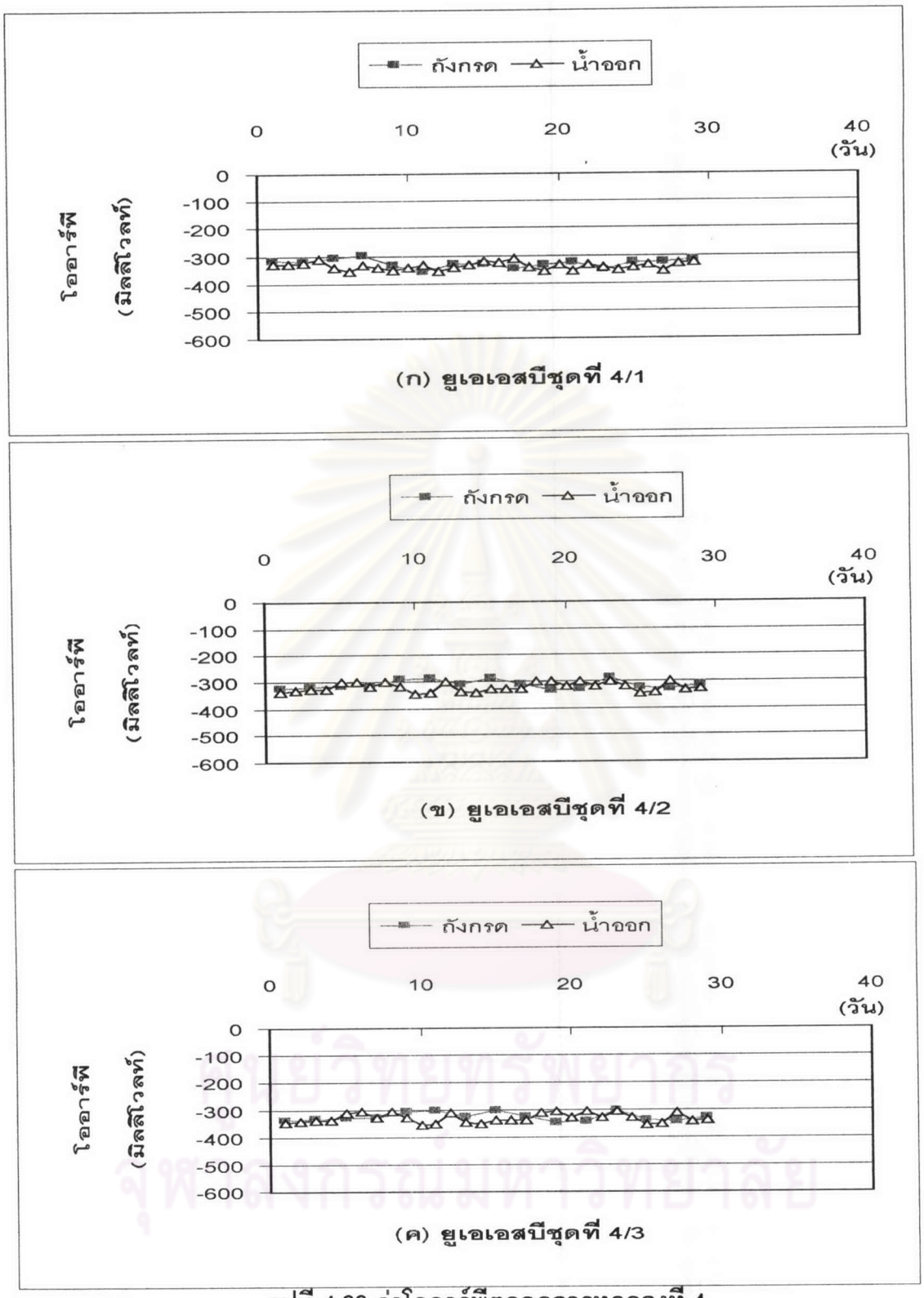
4.9.7 ก๊าซมีเทน

จากการทดลองที่ 4 นี้ ระบบยูเอเอสบีทั้ง 3 ชุดไม่มีก๊าซเกิดขึ้น หรืออาจมีก๊าซเกิดขึ้นแต่มีน้อยจนไม่สามารถเก็บได้ สาเหตุที่ก๊าซเกิดน้อยเพราะมีการกำจัดซีโอดีในถังยูเอเอสบีน้อย

4.9.8 อุณหภูมิ

ตลอดการทดลองที่ 4 อุณหภูมิในแต่ละถังมีค่าค่อนข้างคงที่ตลอดการทดลองคือ ประมาณ 30 องศาเซลเซียส และเมื่อเปรียบเทียบกับการทดลองที่ 1 2 และ 3 แล้ว พบว่า อุณหภูมิใกล้เคียงกัน ดังนั้นอุณหภูมิจึงไม่มีผลกระทบต่อการทดลองทั้ง 4 ชุด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.88 ค่าโออาร์พีตลอดการทดลองที่ 4

4.10 การเปลี่ยนแปลงของซีโอดีทั้งหมดในถังยูเอเอสบี

4.10.1 การดุลซีโอดีในถังยูเอเอสบี

การดุลซีโอดีในงานวิจัยนี้ทำการดุลซีโอดีเพียงแค่ในถังยูเอเอสบีเท่านั้น ทั้งนี้เพราะระบบยูเอเอสบีที่ใช้เป็นแบบมี 2 ขั้นตอน คือขั้นตอนการสร้างกรด และขั้นตอนการสร้างมีเทน โดยทั้ง 2 ขั้นตอนต่างก็มีการย่อยสารอินทรีย์และผลิตก๊าซชีวภาพเช่นกัน แต่ในขั้นตอนการสร้างกรดเป็นระบบเปิดไม่ได้ทำการเก็บปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น ดังนั้น การดุลซีโอดีในขั้นตอนนี้จึงไม่สามารถทำได้

ผลของการดุลซีโอดีในถังยูเอเอสบีแสดงไว้ในตารางที่ 4.11 ถึง 5.14 โดยการพิจารณาเป็นหน่วยเดียวกันคือ มก.ซีโอดี/วัน

การพิจารณาซีโอดีของก๊าซมีเทนทำได้โดยพิจารณาสมการเคมี โดย

$$CH_4 + 2O_2 \Longrightarrow CO_2 + 2H_2O$$

ก๊าซมีเทน 1 โมล มีค่าซีโอดีเท่ากับ 64 กรัม

$$\text{ปริมาณก๊าซมีเทน} = \frac{\text{ปริมาณก๊าซชีวภาพ (ลิตร/วัน) X 64000 (มก.ซีโอดี/ลิตร)X เปอร์เซนต์ก๊าซมีเทน}}{\text{24.0 (ลิตร/โมล ที่ 1 บรรยากาศ 20 องศาเซลเซียส)X100}}$$

ปริมาณซีโอดีทั้งหมด (มก.ซีโอดี/วัน)= ค่าซีโอดีน้ำเข้า(มก.ซีโอดี/ล.)X อัตราการป้อนน้ำ(2.5 ลิตร/วัน)

ปริมาณซีโอดีที่ถูกกำจัด = ปริมาณซีโอดีในน้ำเข้า -ปริมาณซีโอดีในน้ำออก

ปริมาณซีโอดีที่วัดไม่ได้= ปริมาณซีโอดีที่ถูกกำจัด – ปริมาณก๊าซชีวภาพ

$$\text{คิดเป็นเปอร์เซนต์} = \frac{\text{ปริมาณซีโอดีที่วัดไม่ได้ X 100}}{\text{ปริมาณซีโอดีทั้งหมด}}$$

ตารางที่ 4.11 ดุลซีโอดีในถังยูเอเอสบีของการทดลองที่ 1

ปริมาณซีโอดี	ยูเอเอสบีชุดที่ 1 (มก.ซีโอดี/วัน)	ยูเอเอสบีชุดที่ 2 (มก.ซีโอดี/วัน)	ยูเอเอสบีชุดที่ 3 (มก.ซีโอดี/วัน)
ปริมาณซีโอดีในน้ำเข้า	2483	1116	1129
ปริมาณซีโอดีในน้ำออก	2300	856	943
ปริมาณซีโอดีที่ถูกกำจัด	183	260	186
เปอร์เซนต์มีเทน		67	63
ปริมาณก๊าซชีวภาพ	0	206	166
ปริมาณซีโอดีที่วัดไม่ได้ -คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ	7.4	4.8	1.8

ตารางที่ 4.12 ดุลซีโอดีในถังยูเอเอสบีของการทดลองที่ 2

ปริมาณซีโอดี	ยูเอเอสบีชุดที่ 1 (มก.ซีโอดี/วัน)	ยูเอเอสบีชุดที่ 2 (มก.ซีโอดี/วัน)	ยูเอเอสบีชุดที่ 3 (มก.ซีโอดี/วัน)
ปริมาณซีโอดีในน้ำเข้า	1037	1563	1617
ปริมาณซีโอดีในน้ำออก	900	903	970
ปริมาณซีโอดีที่ถูกกำจัด	137	660	647
เปอร์เซนต์มีเทน		52	64
ปริมาณก๊าซชีวภาพ	0	606	543
ปริมาณซีโอดีที่วัดไม่ได้ -คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ	13.2	3.5	6.4

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.13 ดุลซีโอดีในถังยูเอเอสบีของการทดลองที่ 3

ปริมาณซีโอดี	ยูเอเอสบีชุดที่ 1 (มก.ซีโอดี/วัน)	ยูเอเอสบีชุดที่ 2 (มก.ซีโอดี/วัน)	ยูเอเอสบีชุดที่ 3 (มก.ซีโอดี/วัน)
ปริมาณซีโอดีในน้ำเข้า	959	1583	1640
ปริมาณซีโอดีในน้ำออก	938	926	991
ปริมาณซีโอดีที่ถูกกำจัด	21	657	649
เปอร์เซนต์มีเทน		51	73
ปริมาณก๊าซชีวภาพ	0	603	576
ปริมาณซีโอดีที่วัดไม่ได้ -คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ	2.2	3.4	4.5

ตารางที่ 4.14 ดุลซีโอดีในถังยูเอเอสบีของการทดลองที่ 4

ปริมาณซีโอดี	ยูเอเอสบีชุดที่ 1 (มก.ซีโอดี/วัน)	ยูเอเอสบีชุดที่ 2 (มก.ซีโอดี/วัน)	ยูเอเอสบีชุดที่ 3 (มก.ซีโอดี/วัน)
ปริมาณซีโอดีในน้ำเข้า	970	196	212
ปริมาณซีโอดีในน้ำออก	883	149	176
ปริมาณซีโอดีที่ถูกกำจัด	87	47	36
เปอร์เซนต์มีเทน			
ปริมาณก๊าซชีวภาพ	0	0	0
ปริมาณซีโอดีที่วัดไม่ได้ -คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ	9.0	24.0	17.0

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.10.2 การละลายน้ำของก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น

ในระบบบำบัดแบบไร้อากาศ เมื่อมีการย่อยสลายซีโอดีจะมีการผลิตก๊าซชีวภาพเกิดขึ้นด้วย แต่ก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นนี้ไม่ได้กลายเป็นก๊าซหลุดออกไปทั้งหมด แต่จะมีบางส่วนซึ่งละลายน้ำ ซึ่งการละลายน้ำของก๊าซจะมีผลอย่างมาก เมื่อนำระบบไร้อากาศมาบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสารอินทรีย์ต่ำ ๆ ดังนั้นจึงได้ตั้งสมมุติฐานการคคำนวณหาเปอร์เซนต์การละลายน้ำของก๊าซชีวภาพที่เกิดจากระบบไร้อากาศนี้ โดยดัดแปลงมาจากวิธีของโสภา ชินเวชกิจวาณิชย์ , 2540

จาก ขั้นตอนการสร้างกรดของระบบไร้อากาศ

ในขั้นตอนนี้ แบคทีเรียสร้างกรดสามารถย่อยสลายกลูโคส 1 โมเลกุล ให้กลายเป็นกรดอะซิติก 2 โมเลกุล ไฮโดรเจน 4 โมเลกุล และคาร์บอนไดออกไซด์ 2 โมเลกุลดังสมการ

$$C_6H_{12}O_6 + 2H_2O \Longrightarrow 2\,CH_3COOH + 2H_2 + 2CO_2$$

จากนั้นแบคทีเรียพวกเมทธาโนเจนจะย่อยสลายไฮโดรเจนและกรดอะซิติกกลายเป็นก๊าซมีเทน ดังสมการ

$$CH_3COOH \Longrightarrow CH_4 + CO_2$$

$$4H_2 + CO_2 \Longrightarrow CH_4 + 2H_2O$$

เมื่อรวมสมการทั้ง 3 จะได้สมการดังต่อไปนี้

$$C_6H_{12}O_6 \Longrightarrow 3\,CH_4 + 3CO_2$$

กลูโคส 1 โมลมีซีโอดีเท่ากับ 192 กรัม ดังสมการ

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \Longrightarrow 6CO_2 + 4H_2O$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

มีเทน 1 โมลมีซีโอดีเท่ากับ 64 กรัม ดังสมการ

$$CH_4 + 2O_2 \Longrightarrow CO_2 + 2H_2O$$

ดังนั้นซีโอดี 192 กรัม จะเกิดก๊าซมีเทนขึ้น 3 โมล

สมมุติให้ซีโอดีถูกกำจัด C มิลลิกรัมจะได้เท่ากับ C/192 มิลลิโมลของกลูโคส
เมื่อเปลี่ยนเป็นก๊าซชีวภาพทั้งหมดจะเกิดมีเทนเท่ากับ 3C/192 = C/64 มิลลิโมล
เกิดเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ C/64 มิลลิโมล
เปลี่ยนหน่วยก๊าซมีเทนเป็นน้ำหนักจะได้เท่ากับ Cx16/64 = 0.25C มิลลิกรัม
เปลี่ยนหน่วยก๊าซมีเทนเป็นปริมาตรจะได้เท่ากับ Cx24/64 =0.375C มิลลิลิตร
ในทำนองเดียวกันจะได้คาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ Cx44/64 =0.6875C มิลลิกรัม
และได้คาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ Cx24/64 = 0.375C มิลลิลิตร

กำหนดให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ละลายน้ำได้ D%
จะได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ละลายน้ำ $(CO_2)_L = 0.6875CD/100$ มิลลิกรัม- - - - -(1)
และได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในรูปก๊าซ $(CO_2)_g = 0.375C(100-D)/100$ มิลลิลิตร

สมมุติให้ก๊าซมีเทนไม่ละลายน้ำ
ก๊าซมีเทนเหนือผิวน้ำ$(CH_4)_g = 0.375C$ มิลลิลิตร
ดังนั้นความดันพาร์เชียลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ =

$$\frac{0.375C(100-D)/100}{0.375C(100-D)/100 + 0.375C}$$

$$= (100-D)/(200-D)$$

จากกฎของเฮนรี จะได้
$(CO_2)_L$ = 1723 x ความดันพาร์เชียลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์
$=1723 \times (100-D)/(200-D)$
ซึ่งเท่ากับสมการที่ (1) ดังนั้น

$$1723 \times (100-D)/(200-D) = 0.6875CD/100$$

จะได้ $(100-D) = \frac{0.6875CD \times 200}{100 \times 1723} - \frac{0.6875CD2}{100 \times 1723}$

เทอมของ $(0.6875CD^2)/(100 \times 1723)$ มีค่าน้อยมากจึงสมมุติเท่ากับศูนย์

ดังนั้น $(100-D) = \frac{0.6875CD \times 200}{100 \times 1723}$

$$D = 100/(7.98 \times 10^{-4} C + 1) \text{ ---------- (2)}$$

ลองคำนวณค่าซีโอดีต่าง ๆ กันได้ดังนี้

เมื่อ C = 20 จะได้ D = 98.4 ความดันพาร์เชียลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ = 0.016

C = 50 จะได้ D = 96.2 ความดันพาร์เชียลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ = 0.04

C = 100 จะได้ D = 92.6 ความดันพาร์เชียลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ = 0.07

C = 200 จะได้ D = 86.2 ความดันพาร์เชียลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ = 0.14

C = 400 จะได้ D = 75.8 ความดันพาร์เชียลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ = 0.24

C = 600 จะได้ D = 67.6 ความดันพาร์เชียลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ = 0.32

C = 1000 จะได้ D = 55.6 ความดันพาร์เชียลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ = 0.44

เมื่อมีการย่อยสารอินทรีย์ในปริมาณน้อย ๆ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจะละลายน้ำได้เกือบทั้งหมด แต่เปอร์เซนต์การละลายน้ำจะลดลงเมื่อมีการย่อยสลายสารอินทรีย์มากขึ้น

เมื่อพิจารณาการละลายน้ำของก๊าซมีเทนเข้าร่วมด้วย โดยกำหนดให้ก๊าซมีเทนสามารถละลายน้ำได้ A% การคำนวณจะเป็นดังนี้

กำหนดให้ก๊าซมีเทนละลายน้ำเป็น A%

ก๊าซมีเทนละลายน้ำ $(CH_4)_L = 0.25\ CA/\ 100$ ----------(3)

ก๊าซมีเทนเหนือผิวน้ำ $(CH_4)_g = 0.375C\ (100-A)/100$

ความดันพาร์เชียลของก๊าซมีเทน = $\dfrac{0.375C\ (100-A)/100}{0.375C\ (100-D)/100 + 0.375C\ (100-A)/100}$

$= (100-A)/(200-D-A)$

จากกฎของเฮนรี่

ก๊าซมีเทนละลายน้ำ = 23.7 x ความดันพาร์เชียลของก๊าซมีเทน

$= 23.7 \times (100-A)/(200-D-A)$

ซึ่งเท่ากับสมการ (3) ดังนั้น

$23.7 \times (100-A)/(200-D-A) = 0.25\ CA/\ 100$

จัดรูป จะได้ $100 = \dfrac{0.25CA \times (200-D-A)}{100 \times 23.7} + A$ ---------- (4)

นอกจากนี้

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ละลายน้ำ $(CO_2)_L$ = 1723 x ความดันพาร์เชียลของคาร์บอนไดออกไซด์

$= 1723 \times (100-D)/(200-D-A)$

ซึ่งเท่ากับสมการที่ (1) ดังนั้น

$1723 \times (100-D)/(200-D-A) = 0.6875CD/100$

จะได้

$100 = \dfrac{0.6875CD \times (200-D-A)}{100 \times 23.7} + D$ ---------- (5)

จากสมการ (4) และ (5) สามารถหาค่า A และ D ได้ โดยการกำหนดค่าซีโอดีที่ถูกกำจัดคือค่า C และใช้ค่า D จากจากคำนวณโดยสมการที่ 1 จากนั้น นำมาแทนค่าใน สมการที่ (4)จะได้ค่า A จากนั้นนำค่า A ที่ได้ไปแทนในสมการที่ (5) จะได้ค่า D ค่าใหม่ออกมา นำค่า D ที่ได้นี้แทนใน สมการที่(4) จะได้ A ไปแทนในสมการที่ (5) อีกครั้ง ทำวนไปเรื่อย ๆ จนกว่าจะได้ค่า A และ D ที่ตรงกันทั้ง 2ค่า

เมื่อลองคำนวณปริมาณซีโอดีที่ถูกกำจัดต่าง ๆ กัน จะพบลักษณะการเปลี่ยนแปลงของค่า A และ D ดังตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณซีโอดีที่ถูกกำจัดกับเปอร์เซนต์การละลายน้ำของก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์

ปริมาณซีโอดีที่ถูกกำจัด (มก./ล.)	เปอร์เซนต์การละลายน้ำของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (%)	เปอร์เซนต์การละลายน้ำของก๊าซมีเทน (%)
20	100	100
50	99.92	96.10
100	99.62	90.97
200	95.37	43.79
400	87.14	20.40
600	79.49	12.79
1000	66.44	6.97

จะเห็นว่า ปริมาณซีโอดีถ้าถูกกำจัดน้อยกว่า 100 มก./ล.แล้ว ทั้งก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซมีเทนละลายน้ำเกือบหมด แต่อย่างไรก็ตามสมการที่ใช้ในการคำนวณหาค่าเปอร์เซนต์การละลายน้ำของก๊าซนี้ยังมีความคลาดเคลื่อนอยู่บ้าง เนื่องจากไม่ได้คำนึงถึงพีเอชและสภาพด่างทั้งหมดในน้ำที่มีผลต่อการละลายของคาร์บอนไดออกไซด์ ดังนั้น สมการคำนวณดังกล่าวนี้จึงเป็นเพียงแนวทางชี้ให้เห็นว่า ในระบบบำบัดแบบไร้อากาศที่มีการย่อยสลายซีโอดีในปริมาณต่ำ ๆ ก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจะละลายน้ำได้มาก แม้แต่ก๊าซมีเทน ทำให้ปริมาณก๊าซที่จะเข้าสู่เครื่องวัดปริมาตรมีน้อยมากหรือแทบจะไม่มีเลย

จากการทดลองที่ 4 พบว่าถังเก็บก๊าซไม่มีก๊าซเกิดขึ้นเลย สาเหตุน่าจะเป็นเพราะก๊าซเกิดการละลายน้ำดังที่อธิบายไว้ข้างบน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย