

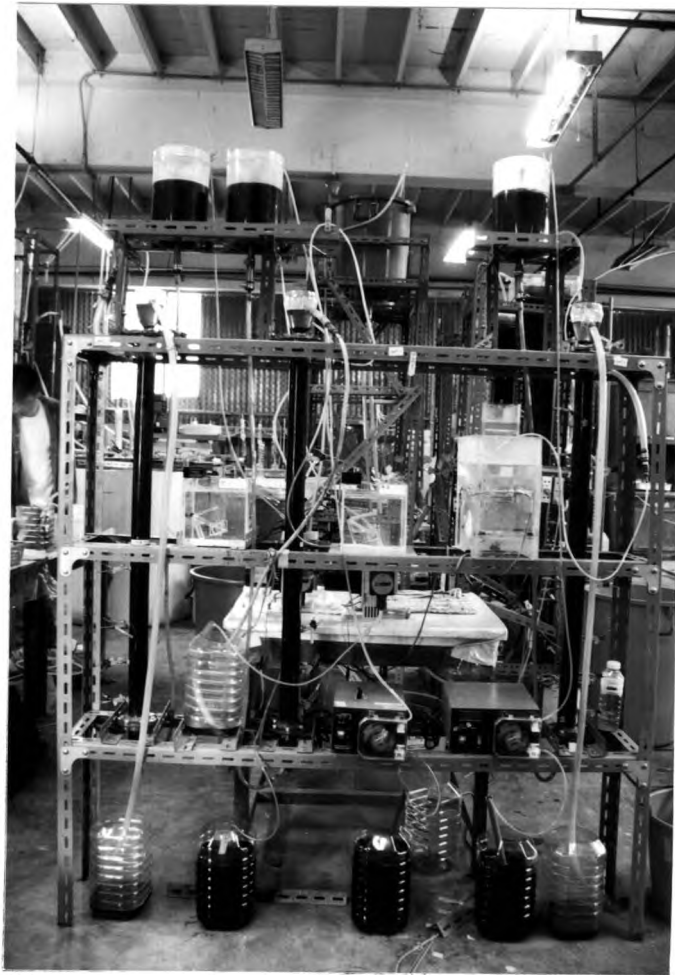
## ผลการทดลองและการวิจารณ์

## 4.1 ผลการดำเนินการวิจัย

ในช่วงแรกของการทดลองวิจัยนี้ ได้ใช้ถังปฏิกรณ์และเชื้อตะกอนจุลินทรีย์จากงานวิจัยของเนตรนภา (2539) ลักษณะถังปฏิกรณ์และอุปกรณ์แยกสามสถานะจึงเป็นเช่นเดียวกัน มีปริมาตรถังเท่ากับ 2 ลิตร เนื่องจากกำหนดเวลากักน้ำของระบบให้เป็น 12 ชั่วโมง ดังนั้นอัตราการไหลจึงเป็น 4 ลิตร/วัน ส่วนเชื้อตะกอนจุลินทรีย์ได้มาจากระบบเดิมของเนตรนภา (2539) ซึ่งมีเหลือเพียง 1 ลิตร รวมกับเชื้อจากระบบของทวีชัย (2540) อีกประมาณ 2 ลิตร มาผสมรวมกัน แล้วจึงแบ่งใส่ถังยูเอเอสบีใหม่ เพื่อให้ลักษณะเชื้อตะกอนจุลินทรีย์เหมือนกันทั้ง 3 ถังตั้งแต่เริ่มต้น ส่วนถังสร้างกรดได้ทำขึ้นใหม่สำหรับระบบทั้ง 3 ชุด ไม่ได้มีการเติมเชื้อตะกอนจุลินทรีย์ใดๆ ทั้งสิ้น เริ่มเดินระบบด้วยถังเปล่า ปล่อยให้เกิดการหมักตามธรรมชาติ โดยเพียงแต่รักษาระยะเวลากักน้ำเสียให้เป็น 12 ชั่วโมง เท่านั้น จากนั้นเริ่มป้อนน้ำเสียเข้าสู่ระบบ การติดตั้งอุปกรณ์ในการทดลองจริงของการทดลองกับน้ำย้อมสีดำ แสดงในรูปที่ 4.1 การเริ่มเดินระบบได้เลือกใช้ค่าความเข้มข้นซีโอดีที่ 1,000 มก./ล. เนื่องจากเชื้อตะกอนจุลินทรีย์จากทั้ง 2 แหล่ง เป็นเชื้อที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียความเข้มข้นสูง และใช้ความเข้มข้นเริ่มต้นประมาณ 25 SU แล้วค่อยๆ เพิ่มสีไปเรื่อยๆ เมื่อระบบสามารถลดสีลงได้

อย่างไรก็ตาม ในการทดลองชุดแรกนี้มีอุปสรรคเกิดขึ้นหลายประการ โดยเฉพาะปัญหาการรั่วซึมของน้ำและก๊าซตามรอยต่อ เนื่องจากถังยูเอเอสบีแบบนี้มีจุดต่อเชื่อมมากเกินไป คือ มีลักษณะเป็นปะเก็นและใช้น็อตเป็นตัวยึด ทำให้ก๊าซและน้ำสามารถรั่วไปได้ตามรูเจาะของน็อตเหล่านี้ได้ อีกทั้งท่อนำก๊าซก็อยู่ต่ำกว่าท่อน้ำออก ทำให้การควบคุมการรั่วซึมยังมีความสำคัญมากขึ้น แต่กลับเป็นสิ่งที่ทำได้ยากกว่า ดังนั้นเมื่อเก็บข้อมูลพารามิเตอร์ที่ต้องการสำหรับการทดลองกับน้ำเสียสีดำจนครบแล้ว จึงได้ทำการเปลี่ยนถังยูเอเอสบีเป็นแบบใหม่ ซึ่งรายละเอียดได้กล่าวไปแล้วในบทที่ 3 รูปที่ 3.1 โดยยังคงกำหนดให้มีเวลากักน้ำเท่าเดิมคือ 12 ชั่วโมง เนื่องจากลักษณะถังที่เปลี่ยนแปลงไป ทำให้ปริมาตรในส่วนตกตะกอนของอุปกรณ์แยกสามสถานะเพิ่มขึ้นมากกว่าเดิม รวมทั้งในส่วนทางน้ำเข้าด้วยเช่นกัน ปริมาตรรวมของถังยูเอเอสบีแบบใหม่จึงมีค่าประมาณ 3 ลิตร ดังนั้น จึงจำเป็นต้องทำการปรับอัตราการไหลของน้ำเสียใหม่เป็น 6 ลิตร/วัน รวมทั้งปริมาตรกักน้ำในถังสร้างกรดก็เปลี่ยนจาก 2 เป็น 3 ลิตร ทั้งนี้เพื่อรักษาระยะเวลากักน้ำให้เป็น 12 ชั่วโมง เช่นเดิมทั้งในถังสร้างกรดและ

ถังยูเอเอสบี น้ำเสียที่เตรียมในแต่ละวัน ยังคงรักษาความเข้มข้นต่างๆ เช่นที่กำหนด เพียงแต่ ปริมาณที่เตรียมในแต่ละวันเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.1 การติดตั้งอุปกรณ์ในการทดลองกับน้ำย้อมสีดำ

นอกจากนี้ จากการทดลองบำบัดน้ำเสียสีด้าพบว่า ค่าความเข้มข้นแป้งมันที่เปลี่ยนแปลงทั้ง 3 ค่า คือ 500 1,000 และ 1,500 มก./ล. ไม่ใช่ช่วงความเข้มข้นที่เหมาะสม คือสูงเกินไป ดังนั้น ในการทดลองกับน้ำเสียสีอื่นที่เหลือ จึงได้เลือกใช้ช่วงความเข้มข้นใหม่เป็น 0 200 และ 500 มก./ล. และยังได้เพิ่มการทดลองอีก 2 การทดลอง คือ 1) การทดลองกับน้ำเสียสีน้ำเงินสังเคราะห์เอง โดยการนำเฉพาะผงสีที่ใช้ในการผสมเป็นสีย้อมสีน้ำเงินเช่นเดียวกับในการทดลองที่ 3 มาละลายน้ำ โดยไม่เติมสารช่วยย้อมหรือสารเคมีที่ใช้ในการย้อมอื่นๆ ทั้งนี้จุดประสงค์ก็เพื่อศึกษาถึงผลของสารเคมีที่ละลายน้ำในน้ำย้อมจริงว่ามีผลต่อการลดสีโดยแบคทีเรียหรือไม่ และ 2) การทดลองเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น โดยใช้ค่าความเข้มข้นของแป้งมันที่ 500 มก./ล. จุดประสงค์คือ เพื่อศึกษาถึงประสิทธิภาพการลดสีเมื่อความเข้มข้นแตกต่างกัน ทั้งนี้เนื่องมาจากสาเหตุ 2 ประการ ประการแรก คือ ความสงสัยที่ว่า ความเข้มข้น 150 SU

จะมากเกินไปจนเป็นพิษต่อแบคทีเรียหรือไม่ และประการที่ 2 คือ ข้อมูลน้ำเสียจริงของโรงงาน  
 ที่ไปเก็บน้ำเสียมาทำการทดลอง ในระยะหลังพบว่าความเข้มข้นลดลง โดยส่วนใหญ่จะอยู่ในช่วง  
 ไม่เกิน 100 SU ดังนั้น จึงได้เพิ่มการทดลองที่ 5 นี้ขึ้นมา สรุปลำดับการทดลองทั้งหมดที่  
 เปลี่ยนแปลงและเพิ่มเติมจากตารางที่ 3.1 ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 สรุปลำดับการทดลอง

การทดลอง	สีย้อม	UASB ชุดที่	ความเข้มข้นสี (SU)	ความเข้มข้นแป้งมัน (มก./ล.)	ปริมาณน้ำที่ใช้ (ลิตร/วัน)	เวลากักน้ำ (ชั่วโมง)
1	น้ำย้อมสีดำ 1	1	150	500	4	12
		2	150	1,000	4	12
		3	150	1,500	4	12
	น้ำย้อมสีดำ 2	1	150	500	4	12
		2	150	1,000	4	12
		3	150	1,500	4	12
2	น้ำย้อมสีแดง	1	150	0	6	12
		2	150	200	6	12
		3	150	500	6	12
3	น้ำย้อมสีน้ำเงิน	1	150	0	6	12
		2	150	200	6	12
		3	150	500	6	12
4	น้ำย้อมสีน้ำเงิน (สังเคราะห์)	1	150	0	6	12
		2	150	200	6	12
		3	150	500	6	12
5	น้ำย้อมสีน้ำเงิน (สังเคราะห์)	1	100	500	6	12
		2	50	500	6	12
		3	0	500	6	12



#### 4.1.1 การทดลองที่ 1 น้ำย้อมสีดำ

##### 4.1.1.1 ลักษณะน้ำเสีย

น้ำย้อมสีดำที่ใช้ในการทดลองนี้มีความจำเป็นที่จะต้องใช้ถึง 2 ชนิด ทั้งนี้เนื่องจากการเก็บน้ำสีดำในครั้งแรกประมาณไว้สำหรับพอใช้เป็นเวลา 3 เดือน แต่เนื่องจากความไม่ชำนาญในการเดินระบบและการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ทำให้ไม่สามารถแก้ปัญหาและเก็บข้อมูลได้ครบถ้วนเวลา จึงต้องทำการเก็บน้ำย้อมใหม่อีกครั้งหนึ่ง ทำให้ลักษณะน้ำเสียมีความแตกต่างกันไปบ้าง แต่ก็ถือว่าเป็นโหนดสีดำอยู่ ลักษณะน้ำย้อมสีดำดังแสดงข้างล่าง

	ความเข้มข้น(SU)	ซีโอดี (มก./ล.)	พีเอช
น้ำย้อมสีดำ 1	6,600	2,500	9.4
น้ำย้อมสีดำ 2	3,300	2,250	9.8

การจัดอุปกรณ์ในการเดินระบบของการทดลองนี้ได้กล่าวไปแล้วในหัวข้อ 4.1 รูปที่ 4.1

ผลการทดลองในการทดลองกับน้ำย้อมสีดำนี้ แสดงในตารางที่ 4.3 ซึ่งแสดงทั้งค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน โดยตารางนี้จะเป็นค่าเฉลี่ยเฉพาะข้อมูลของน้ำย้อมสีดำ 2

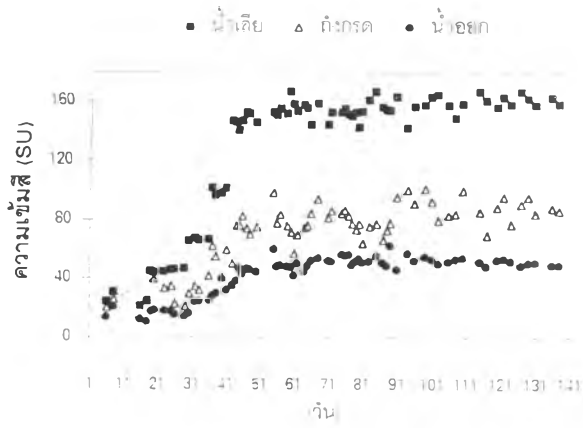
ตารางที่ 4.3 สรุปค่าเฉลี่ยของตัวแปรต่างๆ จากการทดลองที่ 1 (น้ำย้อมสีดำ)

ตัวแปรที่วัด	UASB ชุดที่ 1 (แ่งมัน 500 มก./ล.)			UASB ชุดที่ 2 (แ่งมัน 1,000 มก./ล.)			UASB ชุดที่ 3 (แ่งมัน 1,500 มก./ล.)			
	น้ำเสีย	ถังกรด	น้ำออก	น้ำเสีย	ถังกรด	น้ำออก	น้ำเสีย	ถังกรด	น้ำออก	
พีเอช (pH)	เฉลี่ย	8.45	6.88	7.24	8.46	6.65	7.47	8.49	6.45	7.41
	n=30 SD.	0.16	0.12	0.21	0.15	0.17	0.23	0.16	0.16	0.23
อุณหภูมิ (Temperature) (องศาเซลเซียส)	เฉลี่ย	31.2	30.5	30.8	31.2	30.4	31.2	31.2	30.5	31.1
	n=30 SD.	1.2	0.9	1.1	1.2	1.0	1.4	1.2	1.0	1.3
โออาร์พี (ORP) (มิลลิโวลท์)	เฉลี่ย		-353	-358		-349	-360		-341	-359
	n=26 SD.		15	19		12	19		13	10
ความเข้มข้น (SU)	เฉลี่ย	159	86	52	156	83	46	157	92	49
	n=21 SD.	6	10	3	6	11	3	6	10	5
ประสิทธิภาพการลดสี (%) *	เฉลี่ย		45	67		47	71		41	69
	n=21 SD.		6	3		7	2		6	3
ซีโอดี (COD) (มิลลิกรัม/ลิตร)	เฉลี่ย	646	413	168	1,172	729	147	1,675	1,140	172
	n=20 SD.	23	48	26	74	90	22	53	205	29
ประสิทธิภาพการกำจัด ซีโอดี (%) **	เฉลี่ย		36	74		38	87		32	90
	n=20 SD.		8	4		8	2		12	2
ปริมาณซีโอดีที่ถูกกำจัด (กรัม/วัน) ***	เฉลี่ย			0.98			2.33			3.87
	n=20 SD.			0.16			0.3			0.77
สภาพด่างทั้งหมด (มิลลิกรัม/ลิตร CaCO <sub>3</sub> )	เฉลี่ย	458	621	657	616	832	907	791	998	1,150
	n=17 SD.	8	19	61	13	33	31	26	63	53
กรดไขมันระเหย (VFA) (มิลลิกรัม/ลิตร CaCO <sub>3</sub> )	เฉลี่ย	129	254	215	173	401	282	223	563	363
	n=17 SD.	13	25	29	13	27	21	21	42	46
อัตราส่วนกรดไขมันระเหย ต่อสภาพด่างทั้งหมด	เฉลี่ย			0.327			0.311			0.315
	n=17 SD.			0.024			0.020			0.029
ปริมาณคาร์บอนรวม (TC) (ส่วนในล้านส่วน)										
ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ (IC) (ส่วนในล้านส่วน)										
ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ (TOC) (ส่วนในล้านส่วน)	เฉลี่ย			33.8			34.8			29.1
	n=10 SD.			2.4			3.2			3.9
ปริมาณก๊าซทั้งหมด (ลิตร/วัน)	เฉลี่ย			0.07			0.55			1.26
	n=7 SD.			0.01			0.07			0.21
ก๊าซมีเทน (%)				97.2			92			85
อัตราการผลิตก๊าซมีเทน (ลิตร/กรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด)				0.07			0.21			0.27
				-			-			-

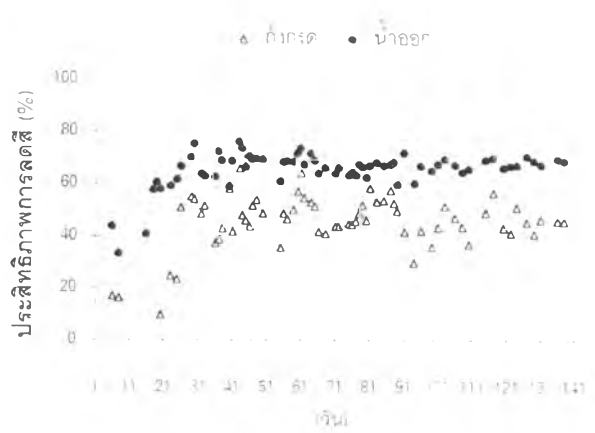
\* ประสิทธิภาพการลดสีทั้งในถังกรดและในน้ำออกคิดเทียบจากความเข้มข้นในน้ำเสีย

\*\* ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีทั้งในถังกรดและในน้ำออกคิดเทียบจากค่าซีโอดีในน้ำเสีย

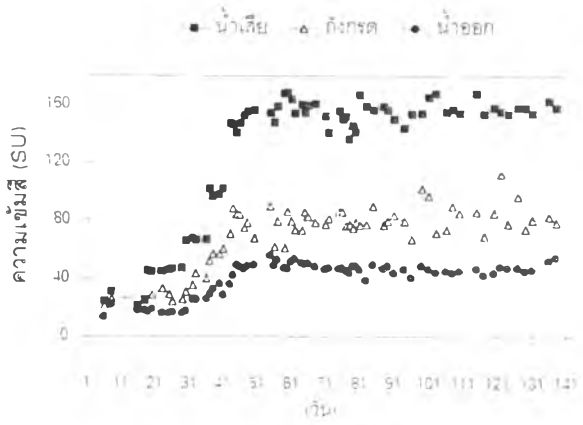
\*\*\* ปริมาณซีโอดีที่ถูกกำจัดทั้งหมดในถังซีโอดีในถังกรด โดยถือว่าเป็นค่าซีโอดีที่เข้าถังถังแ่งมัน



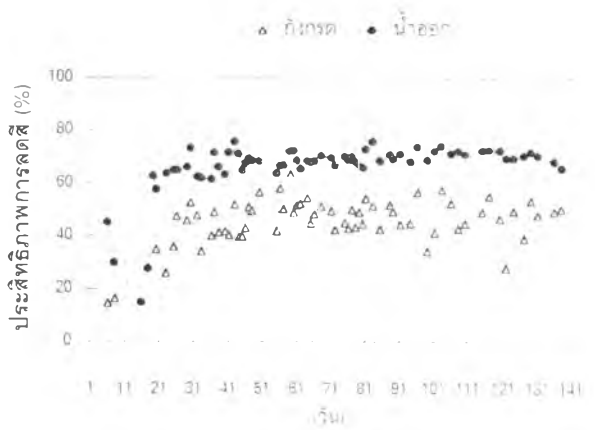
(ก) ยูเอเอสบีชุดที่ 1



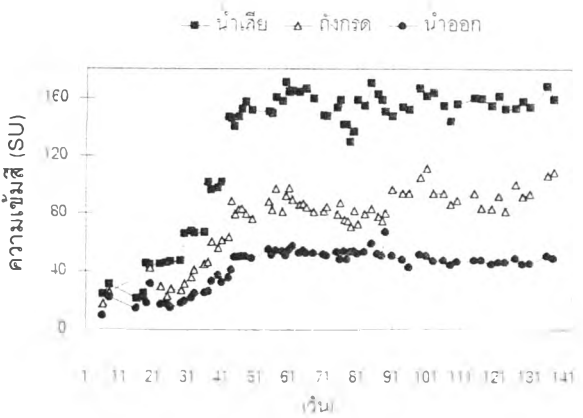
(ก) ยูเอเอสบีชุดที่ 1



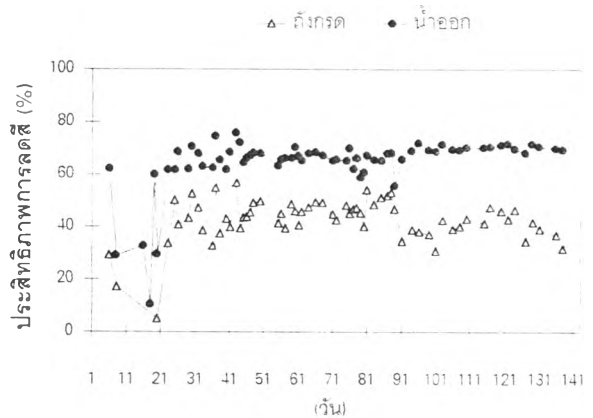
(ข) ยูเอเอสบีชุดที่ 2



(ข) ยูเอเอสบีชุดที่ 2



(ค) ยูเอเอสบีชุดที่ 3



(ค) ยูเอเอสบีชุดที่ 3

รูปที่ 4.2 ค่าความเข้มข้น  
ตลอดการทดลองที่ 1

รูปที่ 4.3 ประสิทธิภาพการลดสี  
ตลอดการทดลองที่ 1

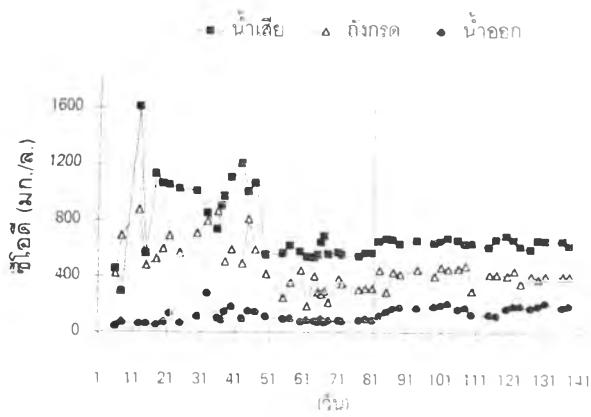
## 2) ซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัด

จากตารางที่ 4.3 ค่าซีโอดีเฉลี่ยในน้ำเสียที่เตรียมสำหรับยูเอเอสบีชุดที่ 1 เท่ากับ 646 มก./ล. และเท่ากับ 1,172 และ 1,672 มก./ล. ในชุดที่ 2 และ 3 ตามลำดับ ซึ่งเป็นผลรวมของค่าซีโอดีของแป้งมันที่เติมให้และค่าซีโอดีของน้ำย้อมสี ส่วนในถังสร้างกรดของยูเอเอสบีชุดที่ 1 มีค่าซีโอดีเท่ากับ 413 มก./ล. และในชุดที่ 2 เท่ากับ 729 มก./ล. และ 1,140 มก./ล. ในชุดที่ 3 ค่าซีโอดีในน้ำออกของยูเอเอสบีทั้ง 3 ชุด กลับมีค่าใกล้เคียงกันดังนี้ คือ เท่ากับ 168 147 และ 172 มก./ล. ในยูเอเอสบีชุดที่ 1 2 และ 3 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ชัดในรูปที่ 4.4

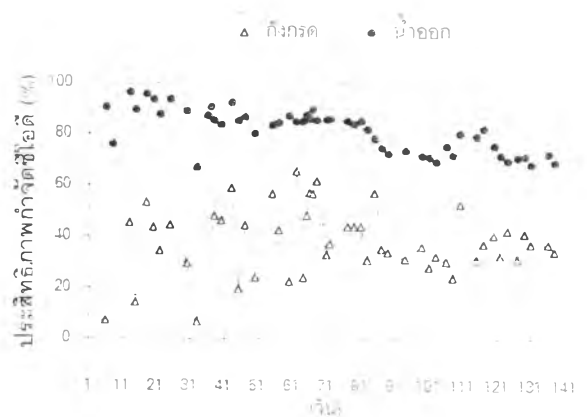
จะเห็นว่า ค่าซีโอดีในน้ำเสียเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อมีการเปลี่ยนน้ำย้อม ทั้งนี้เพราะน้ำย้อมสีดำ 2 มีความเข้มข้นน้อยกว่าน้ำย้อมสีดำ 1 ทำให้น้ำย้อมสีดำ 2 ต้องการการเจือจางน้อยกว่า จึงมีค่าซีโอดีมากกว่าน้ำย้อมสีดำ 1 ส่วนค่าซีโอดีในถังสร้างกรดค่อนข้างแปรปรวน โดยเฉพาะในยูเอเอสบีชุดที่ 3 มีความแปรปรวนมากที่สุด ทั้งนี้จะเป็นเพราะความเข้มข้นของแป้งมันมาก ทำให้น้ำในถังสร้างกรดมีลักษณะเป็นเมือกเหนียวและมีสกัมมาก ต้องคอยตักสกัมและเมือกเหนียวที่ลอยบนผิวหน้าออกบ้าง เพื่อป้องกันเมือกเหนียวที่มากเกินไปจนล้นเข้าไปในท่อน้ำล้น เป็นเหตุให้เกิดการอุดตันตามข้อต่อของท่อน้ำน้ำเข้าถึงยูเอเอสบี การกำจัดสกัมและเมือกเหนียวด้วยวิธีนี้ไม่ได้ทำสม่ำเสมอเป็นประจำ ทำเป็นครั้งคราวเท่าที่จำเป็นเท่านั้น ซึ่งในช่วงแรกไม่ได้พิจารณาถึงผลกระทบที่มีต่อค่าซีโอดี แต่ในช่วงหลังเห็นว่าการเก็บน้ำตัวอย่างจากถังสร้างกรดชุดที่ 2 และ 3 มักจะมีปัญหาคือ มีเมือกเหนียวๆ ปนมา มากบ้างน้อยบ้าง ในขณะที่ยูเอเอสบีชุดที่ 1 จะค่อนข้างใสกว่า จึงเชื่อว่าค่าซีโอดีที่แปรปรวนมากอาจเกิดจากสาเหตุนี้ก็ได้ จึงได้ทำการตักสกัมและเมือกเหนียวในถังสร้างกรดทุกวันเว้นวัน ทำให้น้ำตัวอย่างที่เก็บได้มีความใสสม่ำเสมอมากขึ้น ค่าซีโอดีที่ได้ก็มีความแปรปรวนน้อยลง

ส่วนค่าซีโอดีในน้ำออกค่อนข้างคงที่ตลอดการทดลอง โดยมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อมีการเปลี่ยนเป็นน้ำย้อมสีดำ 2 จะเห็นว่าถึงแม้ความเข้มข้นแป้งมันจะเพิ่มขึ้น แต่ค่าซีโอดีในน้ำออกของยูเอเอสบีทั้ง 3 ชุดก็ยังคงใกล้เคียงกัน และเป็นค่าที่ใกล้เคียงกับค่าซีโอดีของน้ำย้อมที่เจือจางแล้ว จึงอาจอธิบายได้ว่า ระบบยูเอเอสบีนี้ไม่สามารถลดซีโอดีของน้ำย้อมลงได้อย่างชัดเจนเท่าใดนัก

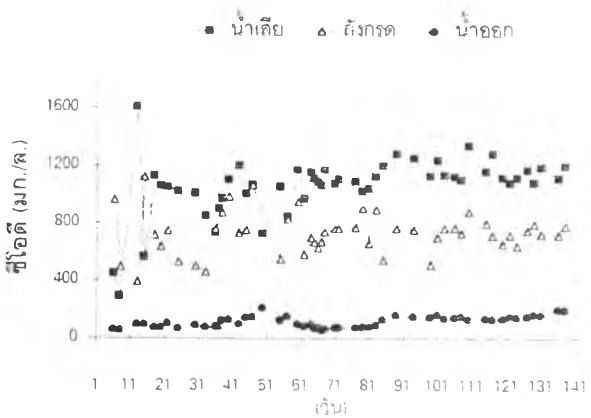




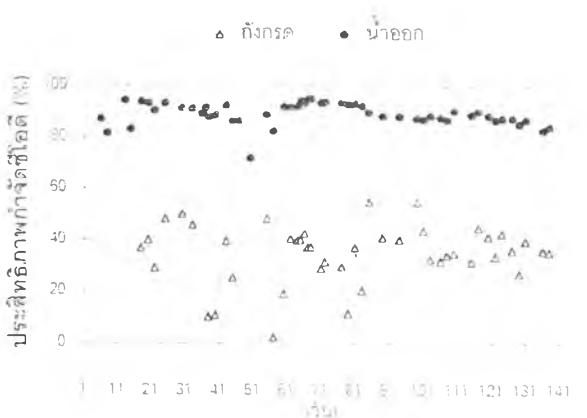
(ก) ยูเอเอสบีชุดที่ 1



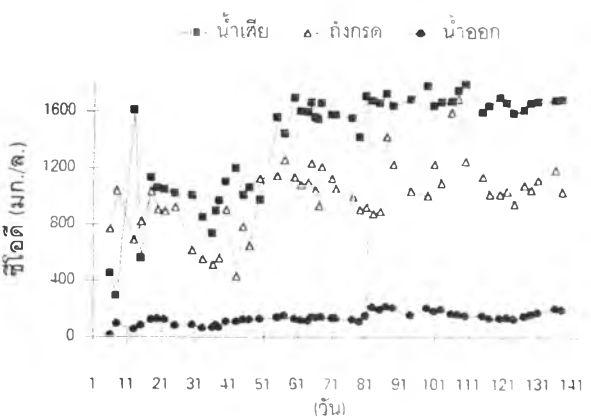
(ก) ยูเอเอสบีชุดที่ 1



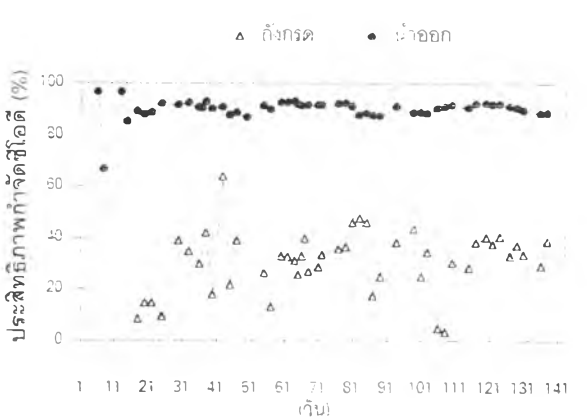
(ข) ยูเอเอสบีชุดที่ 2



(ข) ยูเอเอสบีชุดที่ 2



(ค) ยูเอเอสบีชุดที่ 3



(ค) ยูเอเอสบีชุดที่ 3

(เปลี่ยนไปใช้น้ำย้อมสีดำ 2 ในวันที่ 81 ของการทดลอง)

(เปลี่ยนไปใช้น้ำย้อมสีดำ 2 ในวันที่ 81 ของการทดลอง)

รูปที่ 4.4 ค่าซีโอดีตลอดการทดลองที่ 1

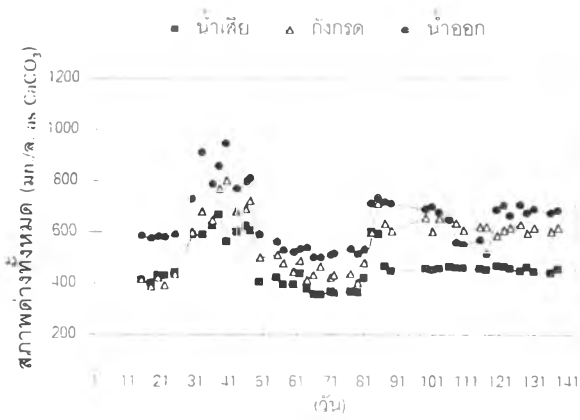
รูปที่ 4.5 ประสิทธิภาพกำจัดซีโอดีตลอดการทดลองที่ 1

ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี (จากตารางที่ 4.3) ของระบบยูเอเอสบีชุดที่ 1 เทียบร้อยละ 74 และเท่ากับร้อยละ 87 และ 90 ในยูเอเอสบีชุดที่ 2 และ 3 ตามลำดับ จะเห็นว่าประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีกลับเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นซีโอดีในน้ำเสียเพิ่มขึ้น ซึ่งในการบำบัดน้ำเสียทั่วไปแล้วยูเอเอสบีชุดที่ 1 ควรจะมีประสิทธิภาพการกำจัดที่มากกว่านี้ นั่นคือค่าซีโอดีในน้ำออกส่วนใหญ่ น่าจะเป็นค่าซีโอดีของน้ำย้อมซึ่งระบบยูเอเอสบีไม่สามารถกำจัดลงได้ ระบบยูเอเอสบีชุดที่ 1 จึงยังคงมีซีโอดีในน้ำออกค่อนข้างมากเมื่อเทียบกับในน้ำเสียที่เตรียม ทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีต่ำกว่าชุดอื่นๆ ส่วนในถังสร้างกรดมีสภาพการกำจัดซีโอดีร้อยละ 36 38 และ 32 ในชุดที่ 1 2 และ 3 ตามลำดับ จากรูปที่ 4.5 จะเห็นว่าประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีรวมทั้งระบบของยูเอเอสบีชุดที่ 2 และ 3 ค่อนข้างคงที่ ในขณะที่ชุดที่ 1 มีความแปรปรวนเล็กน้อย และมีประสิทธิภาพต่ำกว่าอย่างเห็นได้ชัด ส่วนประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีในถังสร้างกรด มีความแปรปรวนมากโดยเฉพาะในช่วงแรกของการทดลองแล้วค่อยๆ แปรปรวนน้อยลงในตอนท้ายของการทดลอง ทั้งนี้เนื่องมาจากเหตุผลเดียวกันกับค่าซีโอดีในถังสร้างกรดที่ได้กล่าวไปแล้วข้างต้น

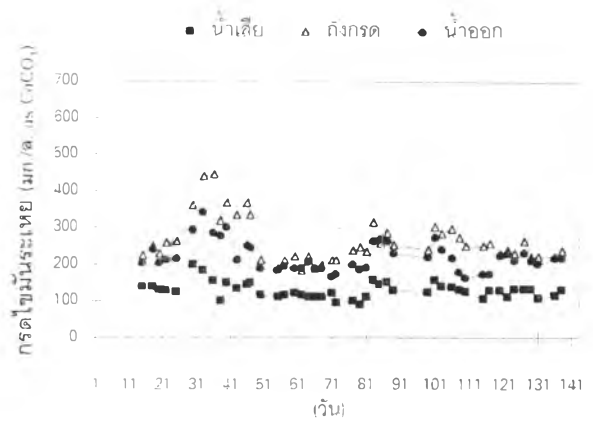
### 3) สภาพด่างทั้งหมดและกรดไขมันระเหย

สภาพด่างทั้งหมดของระบบยูเอเอสบีชุดที่ 1 ในน้ำเสีย ถึงสร้างกรดและน้ำออก เท่ากับ 458 621 และ 657 มก./ล. ในเทอมของแคลเซียมคาร์บอเนต ตามลำดับ ในยูเอเอสบีชุดที่ 2 เท่ากับ 616 832 และ 907 มก./ล. ในเทอมของแคลเซียมคาร์บอเนต ตามลำดับ และในยูเอเอสบีชุดที่ 3 เท่ากับ 791 998 และ 1,150 มก./ล. ในเทอมของแคลเซียมคาร์บอเนต ตามลำดับ สภาพด่างทั้งหมดในน้ำเสียนั้นมีค่าต่างกัน เพราะมีการเติมเป็นสัดส่วนกับความเข้มข้นซีโอดีในน้ำเสีย นอกจากนี้ จะเห็นว่าสภาพด่างทั้งหมดเพิ่มขึ้นทั้งในถังสร้างกรดและในน้ำออกค่อนข้างมาก โดยสภาพด่างในถังสร้างกรดเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 30 ของสภาพด่างในน้ำเสีย ส่วนในน้ำออกก็เพิ่มขึ้นอีกเป็นร้อยละ 45 โดยประมาณ ของสภาพด่างทั้งหมดในน้ำเสีย ข้อมูลสภาพด่างทั้งหมดตลอดการทดลองแสดงในรูปที่ 4.6 ทั้งนี้ น่าจะเป็นเพราะการทำงานของแบคทีเรียบางชนิด เช่นอาจเป็นแบคทีเรียรีดิคูลัสเฟด ที่มีการผลิตไบคาร์บอเนตเมื่อย่อยสารอินทรีย์ได้แบบสมบูรณ์ (ตารางที่ 2.6)

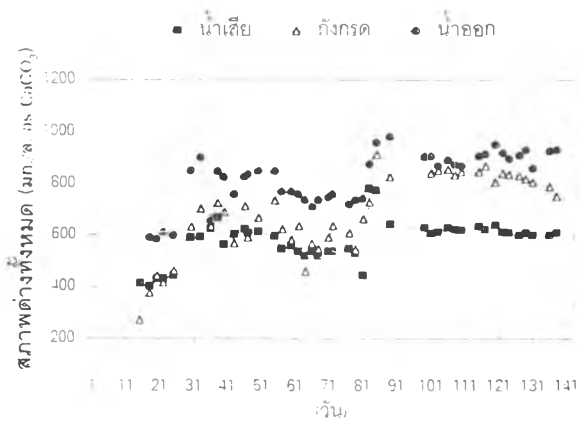
ปริมาณกรดไขมันระเหยในน้ำเสียของยูเอเอสบีชุดที่ 1 เท่ากับ 129 มก./ล. ในเทอมของแคลเซียมคาร์บอเนต และในถังสร้างกรดและน้ำออกเท่ากับ 254 และ 215 มก./ล. ในเทอมของแคลเซียมคาร์บอเนต ตามลำดับ ส่วนในยูเอเอสบีชุดที่ 2 เท่ากับ 173 401 และ 282 มก./ล. ในเทอมของแคลเซียมคาร์บอเนต ในน้ำเสีย ถึงสร้างกรดและน้ำออกตามลำดับ และยูเอเอสบีชุดที่ 3 เท่ากับ 223 563 และ 363 มก./ล. ในเทอมของแคลเซียมคาร์บอเนต



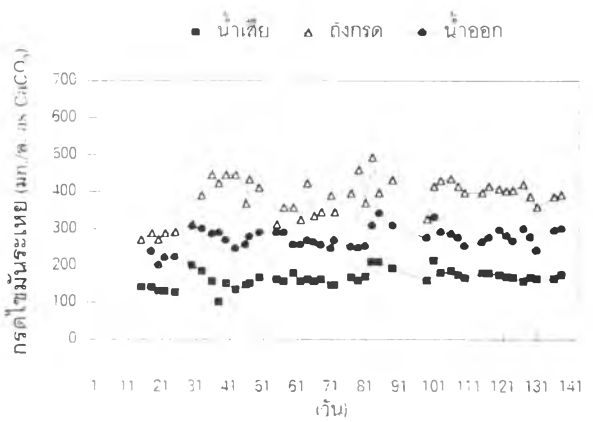
(ก) ยูเอเอสบีชุดที่ 1



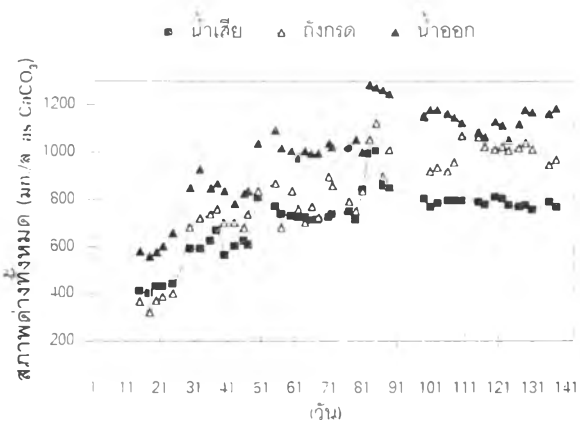
(ก) ยูเอเอสบีชุดที่ 1



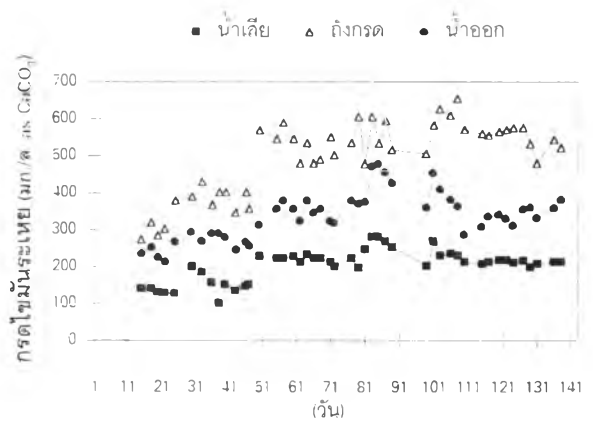
(ข) ยูเอเอสบีชุดที่ 2



(ข) ยูเอเอสบีชุดที่ 2



(ค) ยูเอเอสบีชุดที่ 3



(ค) ยูเอเอสบีชุดที่ 3

รูปที่ 4.6 สภาพต่างทั้งหมด  
ตลอดการทดลองที่ 1

รูปที่ 4.7 ปริมาณกรดไข่มุระเหย  
ตลอดการทดลองที่ 1

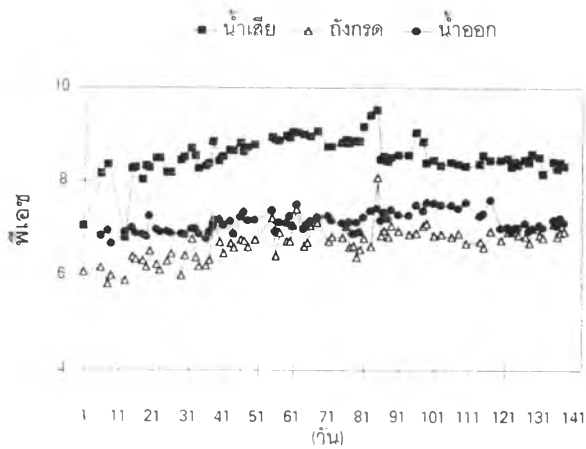
ตามลำดับ พบว่ามีการเพิ่มของกรดไขมันระเหยในถังสร้างกรดค่อนข้างมากในยูเอเอสบีทั้ง 3 ชุด โดยเฉพาะเมื่อความเข้มข้นของแบง์มันที่เติมให้เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เพราะในถังสร้างกรดแบบที่เรียสร้างกรดจะย่อยแบง์มันที่เติมให้แล้วผลิตกรดไขมันระเหยออกมา ดังนั้นเมื่อเติมแบง์มันให้มาก แบบที่เรียสร้างกรดมีอาหารมากก็ผลิตกรดไขมันระเหยออกมามาก ปริมาณกรดไขมันระเหยในถังสร้างกรดที่มากขึ้นส่งผลให้ค่าพีเอชในถังสร้างกรดของยูเอเอสบีชุดที่ 3 ต่ำกว่าชุดที่ 2 และ ชุดที่ 2 ต่ำกว่า ชุดที่ 1 ปริมาณกรดไขมันระเหยตลอดการทดลองแสดงในรูปที่ 4.7

#### 4) พีเอชและอัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพ่างทั้งหมด

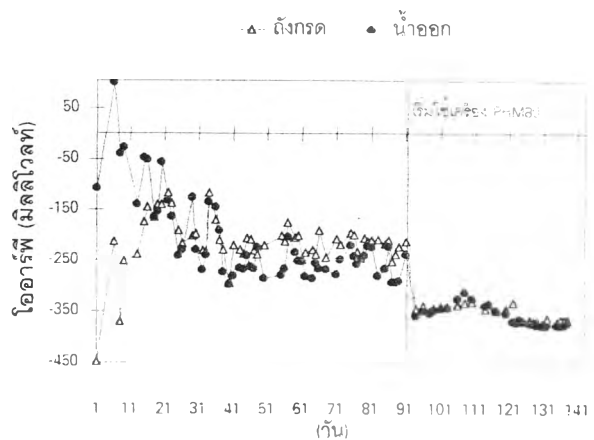
จากตารางที่ 4.3 ระบบยูเอเอสบีชุดที่ 1 มีค่าพีเอชเฉลี่ยในน้ำเสียเท่ากับ 8.45 ในถังสร้างกรดเท่ากับ 6.88 และในน้ำออกเท่ากับ 7.24 ในขณะที่ระบบยูเอเอสบีชุดที่ 2 ค่าพีเอชเฉลี่ยเท่ากับ 8.46 6.65 และ 7.47 ตามลำดับ และระบบยูเอเอสบีชุดที่ 3 เท่ากับ 8.49 6.45 และ 7.41 ตามลำดับ ค่าพีเอชตลอดการทดลองแสดงในรูปที่ 4.8 จะเห็นว่า ค่าพีเอชในถังสร้างกรดจะมีค่าลดต่ำลงจากน้ำเสียที่เตรียม เนื่องจากมีการสร้างกรดไขมันระเหยในถังสร้างกรด ทำให้พีเอชลดลง และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างยูเอเอสบีทั้ง 3 ชุด จะเห็นว่าที่ความเข้มข้นแบง์มันที่เติมให้มากขึ้น ค่าพีเอชในถังสร้างกรดจะยิ่งลดลง ทั้งนี้เพราะมีการสร้างกรดไขมันระเหยมากขึ้น ส่วนค่าพีเอชในน้ำออกกลับแตกต่างกันไปคือ น้ำออกของยูเอเอสบีชุดที่ 1 มีค่าพีเอชเฉลี่ยต่ำที่สุด ในขณะที่ชุดที่ 2 และ 3 มีค่าใกล้เคียงกัน ทั้งนี้เมื่อพิจารณาค่าอัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพ่างทั้งหมดของระบบยูเอเอสบีทั้ง 3 ชุด ซึ่งมีค่าดังต่อไปนี้คือ 0.327 ในน้ำออกของยูเอเอสบีชุดที่ 1 และ เท่ากับ 0.311 ในชุดที่ 2 และ 0.315 ในชุดที่ 3 จะเห็นว่ามีความสัมพันธ์กันคือ ในระบบยูเอเอสบีชุดที่ 1 ที่มีค่าอัตราส่วนนี้มากที่สุด จึงมีค่าพีเอชต่ำที่สุด ส่วนในชุดที่ 2 และ 3 มีค่าอัตราส่วนนี้ใกล้เคียงกัน ดังนั้น ค่าพีเอชจึงใกล้เคียงกันด้วย

#### 5) โออาร์พี

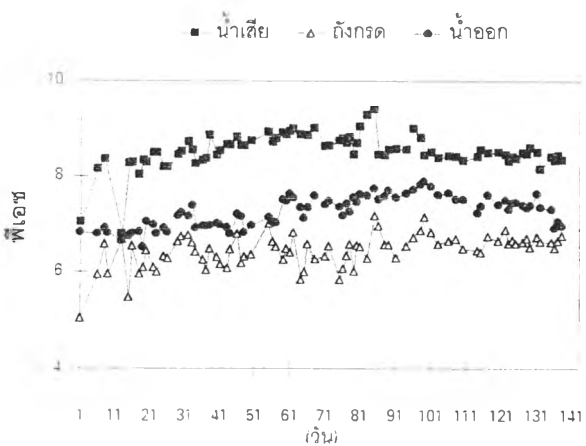
เมื่อพิจารณารูปที่ 4.9 ซึ่งแสดงค่าโออาร์พีตลอดการทดลอง จะเห็นว่าในช่วงแรกที่เริ่มเดินระบบ ค่าโออาร์พีมีลักษณะแปรปรวนสูง และในถังสร้างกรดก็ให้ค่าโออาร์พีที่เป็นลบมากกว่าน้ำออก แต่เมื่อเดินระบบไปได้ประมาณ 1 เดือน ค่าโออาร์พีก็เริ่มสม่ำเสมอและแสดงค่าเป็นลบตามที่ระบบไร้อากาศควรจะเป็น โดยในช่วงแรกนี้ได้อิเล็กโทรดและเครื่องวัดโออาร์พียี่ห้อ Metrohm รุ่น 744 pH Meter แต่เมื่อถึงวันที่ 91 ของการทดลอง อิเล็กโทรดได้เสียหายไปไม่สามารถใช้งานได้ จึงได้เปลี่ยนไปใช้เครื่องวัดโออาร์พีและอิเล็กโทรดยี่ห้อ Radiometer รุ่น



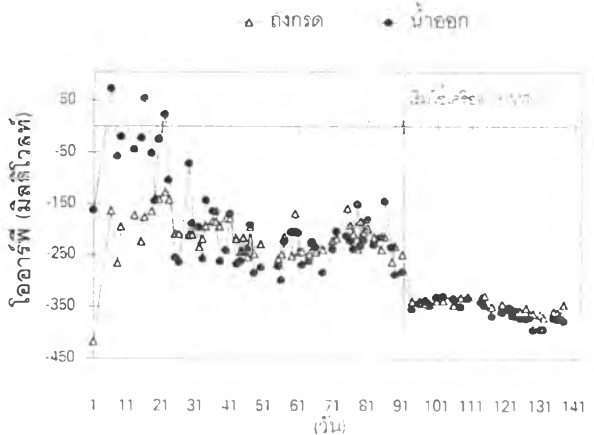
(ก) ยูเอเอสบิชุดที่ 1



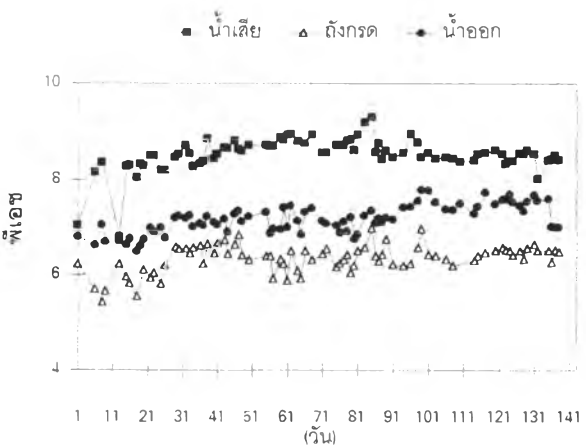
(ก) ยูเอเอสบิชุดที่ 1



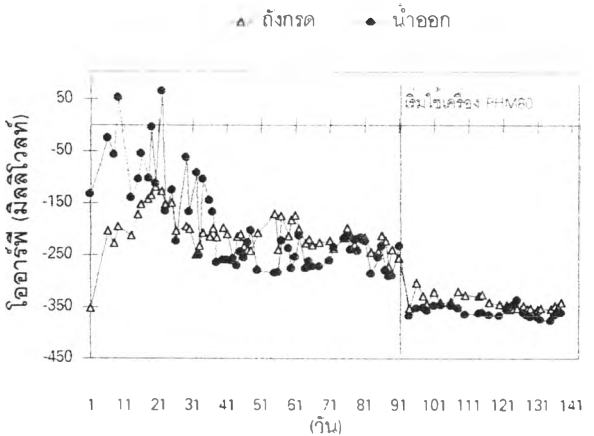
(ข) ยูเอเอสบิชุดที่ 2



(ข) ยูเอเอสบิชุดที่ 2



(ค) ยูเอเอสบิชุดที่ 3



(ค) ยูเอเอสบิชุดที่ 3

รูปที่ 4.8 ค่าฟอสเฟตตลอดการทดลองที่ 1

รูปที่ 4.9 ค่าไดออกซิเจนตลอดการทดลองที่ 1

PHM80 ซึ่งปรากฏว่าให้ค่าโออาร์พีที่แตกต่างไปค่อนข้างมาก คือประมาณ 100 มิลลิโวลท์ แสดงให้เห็นว่า เครื่องวัดโออาร์พีที่แตกต่างก็อาจทำให้ค่าโออาร์พีที่วัดได้แตกต่างกันได้ อย่างไรก็ตามการพิจารณาจึงดูที่แนวโน้มเป็นสำคัญ ดังนั้นค่าโออาร์พีเฉลี่ยในตารางที่ 4.3 จึงนำเฉพาะข้อมูลจากการวัดด้วยเครื่องของ Radiometer เท่านั้นมาเฉลี่ย ค่าโออาร์พีเฉลี่ยในถังสร้างกรดของยูเอเอสบีชุดที่ 1 เท่ากับ -353 มิลลิโวลท์ และในน้ำออกเท่ากับ -358 มิลลิโวลท์ สำหรับชุดที่ 2 มีค่าโออาร์พีเฉลี่ย -349 และ -360 มิลลิโวลท์ ตามลำดับ ในขณะที่ชุดที่ 3 มีค่าโออาร์พีเฉลี่ยเท่ากับ -341 และ -359 มิลลิโวลท์ตามลำดับ จะเห็นวาค่าโออาร์พีในถังสร้างกรดจะมีค่าเป็นลบน้อยกว่าในน้ำออกเสมอ แต่จะอย่างไรก็ยังถือว่าน้อยกว่าอย่างไม่มีนัยสำคัญเท่าใดนัก เรียกได้ว่าค่าโออาร์พีเฉลี่ยทั้ง 6 ค่าที่กล่าวมา มีค่าใกล้เคียงกันจนไม่สามารถบอกได้ถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าโออาร์พีกับการลดสี หรือความเข้มข้นแป้งมันที่เติมให้แต่อย่างใด

#### 6) ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์รวม (TOC)

ในการทดลองนี้ได้วัดค่าปริมาณคาร์บอนอินทรีย์รวม เฉพาะในน้ำออกจากระบบแล้วเท่านั้น (รูปที่ 4.10) จากตารางที่ 4.3 ค่าปริมาณคาร์บอนอินทรีย์รวมโดยเฉลี่ยของน้ำออกจากระบบยูเอเอสบีชุดที่ 1 เท่ากับ 33.8 มก./ล. และเท่ากับ 34.8 และ 29.1 มก./ล. ในระบบยูเอเอสบีชุดที่ 2 และ 3 ตามลำดับ ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์รวมนี้สามารถคิดปรับเทียบเป็นค่าซีโอดีได้ เนื่องจากทั้ง 2 ค่าเป็นค่าที่แสดงถึงสารอินทรีย์ในน้ำเช่นเดียวกัน ความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ทั้ง 2 ค่านี้ คือ อัตราส่วนค่าซีโอดีต่อค่าปริมาณคาร์บอนอินทรีย์รวมในทางทฤษฎีเท่ากับ 2.67 (ภาคผนวก ข) ดังนั้น เมื่อพิจารณาเทียบกับค่าซีโอดีในน้ำออกของยูเอเอสบีทั้ง 3 ชุดแล้ว กลับไม่ค่อยเป็นไปในแนวทางเดียวกัน เพราะค่าซีโอดีเฉลี่ยของน้ำออกทั้ง 3 ชุดมีค่าใกล้เคียงกัน แต่สำหรับค่าปริมาณคาร์บอนอินทรีย์รวมในชุดที่ 3 กลับมีค่าน้อยที่สุด ถึงจะแม้ว่าจะไม่เดินชดเชยก็ตาม ในขณะที่อีก 2 ชุดมีค่าใกล้เคียงกัน และอัตราส่วนระหว่างค่าซีโอดีต่อค่าปริมาณคาร์บอนอินทรีย์รวมในน้ำออกกลับมีค่าไม่ต่ำกว่า 4 ทั้ง 3 ชุด โดยเฉพาะในชุดที่ 3 ที่อัตราส่วนนี้มากกว่า 5 เสียด้วยซ้ำ ซึ่งในการทดลองนี้ไม่สามารถบอกได้ว่ามีสาเหตุมาจากอะไร นอกจากว่ามีการรบกวนการวัดซีโอดีที่มีลักษณะสม่ำเสมอ เพราะค่าซีโอดีและปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ที่วัดได้มีความสม่ำเสมอ

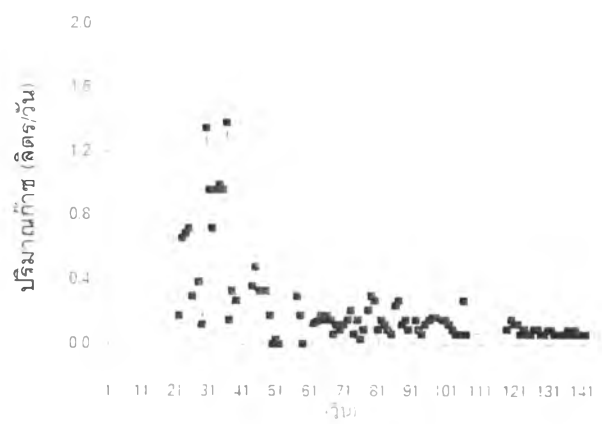
## 7) ก๊าซมีเทน

ในระบบไร้อากาศ ก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่คือก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ( $\text{CO}_2$ ) และก๊าซมีเทน ( $\text{CH}_4$ ) จากตารางที่ 4.3 ค่าเฉลี่ยของปริมาณก๊าซทั้งหมดที่เกิดขึ้นในยูเอเอสบี ชุดที่ 1 เท่ากับ 0.07 ลิตร/วัน ในชุดที่ 2 เท่ากับ 0.55 ลิตร/วัน และเท่ากับ 1.26 ลิตร/วัน ในชุดที่ 3 จากรูปที่ 4.11 แสดงปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นทั้งหมดตลอดการทดลอง เนื่องจากในการทดลองมีทั้งการเริ่มเดินระบบ และยังมีช่วงการแก้ไขปัญหาการรั่วซึมที่เกิดขึ้น จะเห็นว่าในช่วงเดือนแรก สามารถเก็บข้อมูลปริมาณก๊าซได้ แต่ปริมาณก๊าซมีความแปรปรวนมาก และในชุดที่ 2 ยังมีการรั่วซึมเป็นระยะๆ รวมทั้งมีปัญหาคารกตัวของเชื้อตะกอนจุลินทรีย์และมีการอุดตัน จึงได้ทำการหมุนเวียนน้ำเพื่อเพิ่มความเร็วการไหลขึ้นของน้ำ แต่ปรากฏว่าการหมุนเวียนน้ำทำให้ปริมาณก๊าซลดลงมากจนเกือบจะไม่มีก๊าซเกิดขึ้น อย่างไรก็ตาม ในช่วงแรกของการหมุนเวียนน้ำไม่ได้พิจารณาว่าการที่ปริมาณก๊าซลดลงมีสาเหตุมาจากการหมุนเวียนน้ำ แต่เข้าใจว่าเกิดการรั่วซึม เพราะพารามิเตอร์ตัวอื่นและประสิทธิภาพต่างๆ ของระบบยังคงไม่เปลี่ยนแปลง จึงไม่เชื่อว่าการหมุนเวียนน้ำจะเป็นสิ่งยับยั้งการทำงานของแบคทีเรีย ต่อมาในภายหลังได้ค้นพบโดยบังเอิญว่า เมื่อหยุดหมุนเวียนน้ำและยังไม่ทันได้แก้ไขหารอยรั่วซึมหนีของก๊าซ ก็ปรากฏว่ามีก๊าซเกิดขึ้น จึงได้ตรวจสอบและสรุปได้ว่าการหมุนเวียนน้ำทำให้ปริมาณก๊าซชีวภาพเกิดขึ้นน้อย แต่สาเหตุเป็นเพราะสาเหตุใดนั้นยังไม่สามารถบอกได้ ดังนั้นจึงได้หยุดการหมุนเวียนน้ำในยูเอเอสบีทุกชุด ทำให้มีก๊าซชีวภาพเกิดขึ้น แล้วทำการเก็บข้อมูลจำนวนหนึ่งที่เพียงพอสำหรับหาค่าเฉลี่ยได้ก่อนที่จะยุติการทดลองชุดนี้ไป ค่าเฉลี่ยของปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นในตารางที่ 4.3 จึงใช้ข้อมูลเฉพาะในช่วงสุดท้ายเท่านั้น รายละเอียดของการจัดการต่างๆ ในการทดลองนี้ได้กล่าวไว้ในบันทึกการทดลอง (ภาคผนวก จ)

เปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทนที่ทำการวัดได้นั้น ในยูเอเอสบีชุดที่ 1 วัดได้ร้อยละ 97.2 ในชุดที่ 2 เท่ากับร้อยละ 92 และร้อยละ 85 ในชุดที่ 3 จะเห็นว่าเมื่อความเข้มข้นแ่งมันเพิ่มขึ้น เปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทนลดลง แสดงว่า ที่ความเข้มข้นแ่งมันน้อย ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นอาจจะละลายน้ำได้มาก ทำให้มีสัดส่วนก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาเทียบกับปริมาณซีโอดีที่ถูกกำจัดแล้ว อัตราการผลิตก๊าซมีเทนต่อปริมาณซีโอดีที่ถูกกำจัดกลับเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นแ่งมันเพิ่มขึ้น โดยมีอัตราการผลิตก๊าซมีเทนเท่ากับ 0.07 ลิตร/กรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด ส่วนยูเอเอสบีชุดที่ 2 เท่ากับ 0.21 ลิตร/กรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด และเท่ากับ 0.27 ลิตร/กรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด ในยูเอเอสบีชุดที่ 3 แสดงว่าในชุดที่มีความเข้มข้นแ่งมัน 500 มก./ล. มีการทำงานของแบคทีเรียสร้างมีเทนน้อยกว่าในชุดที่มีมีแ่งมัน 1,000 และ 1,500 มก./ล.



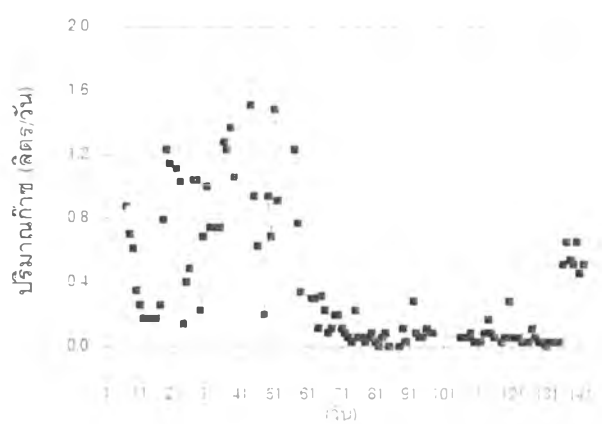
(ก) ยูเอเอสปีชุดที่ 1



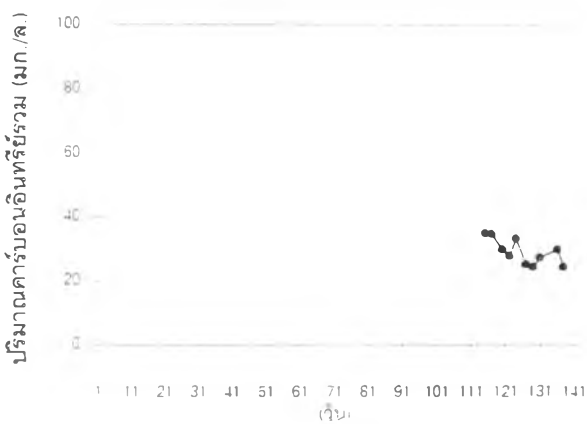
(ก) ยูเอเอสปีชุดที่ 1



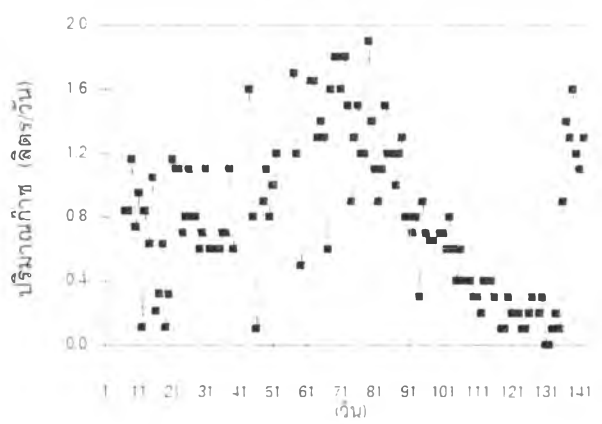
(ข) ยูเอเอสปีชุดที่ 2



(ข) ยูเอเอสปีชุดที่ 2



(ค) ยูเอเอสปีชุดที่ 3



(ค) ยูเอเอสปีชุดที่ 3

รูปที่ 4.10 ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์รวม  
ตลอดการทดลองที่ 1

รูปที่ 4.11 ปริมาณก๊าซชีวภาพ  
ตลอดการทดลองที่ 1



## 4.1.2 การทดลองที่ 2 น้ำย้อมสีแดง

### 4.1.2.1 ลักษณะน้ำเสีย

การทดลองในชุดนี้ได้ทำการเก็บน้ำเสียจากโรงงานเดิมและจากขั้นตอนที่ 1 ของการย้อมเช่นเดียวกับน้ำย้อมสีดำ นอกจากนี้ยังได้ชื่อของสีย้อมที่ผสมในน้ำย้อมสีแดงนี้ด้วย โดยน้ำย้อมสีแดงนี้เป็นการผสมกันของสีย้อม 3 ชนิด คือ สีแดง สีส้ม และสีน้ำเงิน ในสัดส่วนต่างๆ กัน โดยสีที่เป็นสีหลักของน้ำย้อมนี้คือ สีแดง Ciba Red FNR มีสัดส่วน 86.7% ของปริมาณสีทั้งหมดที่ผสมเป็นน้ำย้อมนี้ ซึ่งไม่สามารถหาสูตรโครงสร้างของสีชนิดนี้ได้ เนื่องจากทางบริษัท Ciba-Giegy ผู้ผลิตสีไม่ได้เปิดเผยสูตรโครงสร้างของสี แต่จากชื่อทางการค้านี้ พอจะบอกได้ว่าเป็นสีรีแอคทีฟที่มีโครงสร้างของกลูเมรีแอคทีฟแบบ aminofluorotriazine ซึ่งเป็น monofunctional ลักษณะน้ำย้อมสีแดงได้แสดงไว้ในข้างล่างต่อไปนี้

ความเข้มข้น (SU)	1,000
ซีไอที (มก./ล.)	2,700
พีเอช	9.4
คลอไรด์ (มก./ล.)	60,000

เนื่องจากน้ำย้อมนี้มีความเข้มข้นต่ำกว่าในน้ำย้อมสีดำ ทำให้การเตรียมเป็นน้ำเสียมีการเจือจางน้อย ดังนั้นในน้ำเสียที่เตรียมจึงมีคลอไรด์ในน้ำค่อนข้างสูงอยู่ และกระบวนการวิเคราะห์การหาคลอรีนด้วย การแก้ไขการรบกวนดังกล่าวได้ทำตามวิธีใน Standard Method นอกจากนี้ค่าพีเอชของน้ำย้อมสีแดงนี้สูงมาก ทำให้จำเป็นต้องทำการปรับพีเอชน้ำย้อมสีเข้มให้เป็นกลางก่อนที่จะทำการเจือจางและเติมแหล่งคาร์บอนและสารอาหาร โดยการปรับพีเอชได้ใช้กรดซัลฟูริกเข้มข้นเป็นสารปรับพีเอช โดยเติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 2 มิลลิลิตร ต่อน้ำย้อมสีเข้ม 1 ลิตร ในการปรับพีเอชแต่ละครั้ง

การจัดอุปกรณ์ในการเดินระบบของการทดลองนี้ได้เปลี่ยนแปลงไปจากการทดลองที่ 1 เล็กน้อย เนื่องจากต้องการเปลี่ยนถึงปฏิกรณ์ยูเอเอสบีเป็นแบบใหม่ (รายละเอียดลักษณะถึงยูเอเอสบีได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 3) ถึงยูเอเอสบีแบบใหม่มีจุดต่อเชื่อมน้อยและการถอดหรือประกอบใหม่ทำได้ง่าย การรวบรวมก๊าซก็ทำได้ง่ายกว่า และสวนตกตะกอนยังมีปริมาณมาก ทำให้ไม่เกิดปัญหาการหลุดออกของตะกอนจุลินทรีย์เลย แม้ว่าจะมีการยกตัวของตะกอนจุลินทรีย์เป็นครั้งคราว การจัดอุปกรณ์ในการทดลองกับน้ำย้อมสีแดงแสดงในรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 การติดตั้งอุปกรณ์ในการทดลองกับน้ำย้อมสีแดง

เนื่องจากในการทดลองที่ 1 ช่วงความเข้มข้นแป้งมันที่เดิมให้ไม่เหมาะสม จึงได้มีความมุ่งหมายที่จะเปลี่ยนช่วงความเข้มข้นใหม่ดังที่แสดงไว้ในตารางที่ 4.1 แต่เนื่องจากพิจารณาเห็นว่า การเจือจางน้ำย้อมสีนี้มีน้อยกว่าสีดำ นั่นคือจะมีปริมาณน้ำย้อมในน้ำเสียที่เตรียมมากกว่าในการทดลองที่ 1 จึงไม่แน่ใจว่าช่วงความเข้มข้นแป้งมันเดิมอาจจะส่งผลต่อการลดสีอย่างมีนัยสำคัญก็ได้ ดังนั้นในช่วงแรกของการทดลองจึงยังคงใช้ความเข้มข้นแป้งมันเช่นเดิมเป็นเวลาประมาณ 16 วัน แล้วจึงเปลี่ยนความเข้มข้นแป้งมันให้เป็นไปตามที่กำหนดไว้ใหม่ คือ ชุดที่ 1 ไม่เติมแป้งมันให้ ชุดที่ 2 เติมแป้งมันให้ 200 มก./ล. ส่วนชุดที่ 3 เติม 500 มก./ล.

ผลการทดลองในการทดลองกับน้ำย้อมสีแดงนี้ แสดงในตารางที่ 4.4 ซึ่งแสดงทั้งค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน โดยตารางนี้จะเป็นค่าเฉลี่ยเฉพาะข้อมูลของน้ำย้อมสีแดงในช่วงที่ระบบได้ดำเนินการทดลองตามที่กำหนดในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.4 สรุปค่าเฉลี่ยของตัวแปรต่างๆ จากการทดลองที่ 2 (น้ำย้อมสีแดง)

ตัวแปรที่วัด	UASB ชุดที่ 1 (แบ่งมัน 0 มก./ล.)			UASB ชุดที่ 2 (แบ่งมัน 200 มก./ล.)			UASB ชุดที่ 3 (แบ่งมัน 500 มก./ล.)			
	น้ำเสีย	ถังกรด	น้ำออก	น้ำเสีย	ถังกรด	น้ำออก	น้ำเสีย	ถังกรด	น้ำออก	
พีเอช (pH)	เฉลี่ย	7.62	8.25	8.01	7.78	7.41	7.34	7.89	6.99	7.24
	n=23 SD.	0.21	0.07	0.1	0.24	0.15	0.07	0.2	0.17	0.08
อุณหภูมิ (Temperature) (องศาเซลเซียส)	เฉลี่ย	29.7	29.7	29.9	30.0	29.8	30.0	30.0	29.8	29.9
	n=23 SD.	0.5	0.4	0.4	0.5	0.3	0.4	0.4	0.4	0.5
โอรพี (ORP) (มิลลิโวลท์)	เฉลี่ย		-351	-388		-379	-382		-380	-384
	n=25 SD.		9	10		6	7		8	4
ความเขมสิ (SU)	เฉลี่ย	152	144	92	151	136	64	154	132	66
	n=25 SD.	3	6	13	3	7	8	4	8	7
ประสิทธิภาพการลดสี (%) *	เฉลี่ย		5	39		10	58		14	57
	n=25 SD.		4	8		5	6		5	4
ซีโอดี (COD) (มิลลิกรัม/ลิตร)	เฉลี่ย	408	329	298	619	458	368	940	719	519
	n=15 SD.	14	33	18	19	39	26	23	57	77
ประสิทธิภาพการกำจัด ซีโอดี (%) **	เฉลี่ย		19	27		26	40		23	45
	n=15 SD.		7	4		6	5		6	8
ปริมาณซีโอดีที่ถูกกำจัด (กรัม/วัน) ***	เฉลี่ย			0.19			0.54			1.2
	n=15 SD.			0.17			0.31			0.63
สภาพด่างทั้งหมด (มิลลิกรัม/ลิตร CaCO <sub>3</sub> )	เฉลี่ย	509	598	630	570	693	773	674	867	942
	n=23 SD.	41	34	31	40	38	38	48	67	41
กรดไขมันระเหย (VFA) (มิลลิกรัม/ลิตร CaCO <sub>3</sub> )	เฉลี่ย	198	198	205	218	267	276	249	375	367
	n=23 SD.	13	14	13	12	12	13	17	34	30
อัตราส่วนกรดไขมันระเหย ต่อสภาพด่างทั้งหมด	เฉลี่ย			0.325			0.358			0.389
	n=23 SD.			0.014			0.012			0.027
ปริมาณคาร์บอนรวม (TC) (ส่วนในล้านส่วน)	เฉลี่ย	218.9	207.0	204.5	255.4	258.4	250.8	319.3	351.3	342.6
	n=6 SD.	10.8	8.9	6.7	10.6	8.4	6.5	10.2	18.7	14.4
ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ (IC) (ส่วนในล้านส่วน)	เฉลี่ย	114.7	133.6	142.2	128.4	155.0	171.0	151.8	182.8	193.7
	n=6 SD.	9.5	7.4	5.9	8.1	6.4	6.1	8.1	9.1	4.4
ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ (TOC) (ส่วนในล้านส่วน)	เฉลี่ย	104.2	73.5	62.4	127.0	103.4	79.8	167.5	168.5	148.9
	n=6 SD.	6.5	7.8	7.6	5.6	12.0	9.1	7.6	22.5	14.8
ปริมาณก๊าซทั้งหมด (ลิตร/วัน)				0			0			0
ก๊าซมีเทน (%)				-			-			-
อัตราการผลิตก๊าซมีเทน (ลิตร/กรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด)				-			-			-

\* ประสิทธิภาพการลดสีทั้งในถังกรดและในน้ำออกคิดเทียบจากความเขมสิในน้ำเสีย

\*\* ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีทั้งในถังกรดและในน้ำออกคิดเทียบจากซีโอดีในน้ำเสีย

\*\*\* ปริมาณซีโอดีที่ถูกกำจัดคิดเทียบจากซีโอดีในถังกรด โดยถือว่าเป็นซีโอดีที่เข้าถังด้วยเอเอสจี

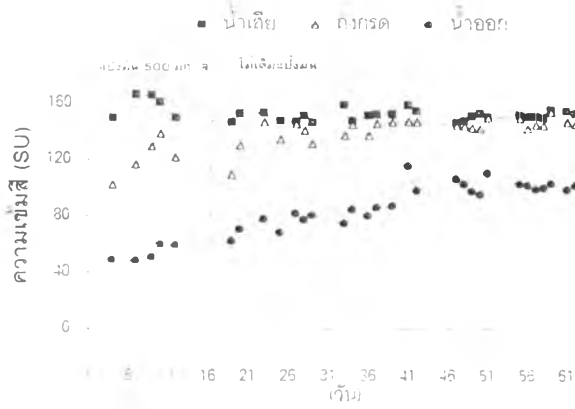
#### 4.1.2.2 วิจารณ์ผลการทดลอง

##### 1) ความเข้มข้นและประสิทธิภาพการลดสี

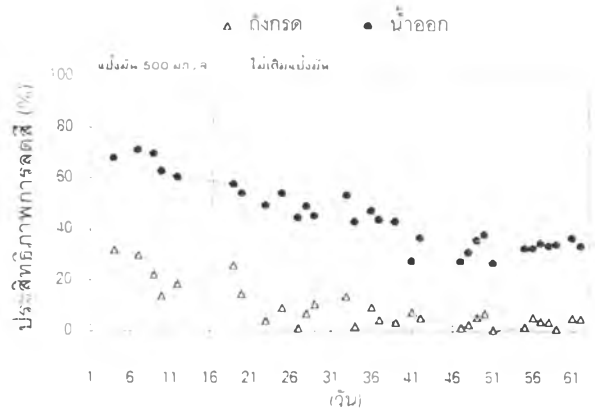
จากข้อมูลในตารางที่ 4.4 แสดงค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นสีในน้ำเสียที่เตรียมให้กับยูเอเอสบีทั้ง 3 ชุด คือ 152 151 และ 154 SU ในชุดที่ 1 2 และ 3 ตามลำดับ ส่วนในถังสร้างกรดมีความเข้มข้นสีในชุดที่ 1 เท่ากับ 144 SU ชุดที่ 2 เท่ากับ 136 SU และในชุดที่ 3 เท่ากับ 132 SU ส่วนน้ำออกมีความแตกต่างจากการทดลองที่ 1 คือ ในชุดที่ 1 มีค่าสูงกว่าชุดอื่นคือเท่ากับ 92 SU และเท่ากับ 64 และ 66 SU ในชุดที่ 2 และ 3 ตามลำดับ จากรูปที่ 4.13 ซึ่งแสดงค่าความเข้มข้นสีตลอดการทดลอง จากรูปจะเห็นว่าความเข้มข้นสีในน้ำออกทั้ง 3 ชุดมีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกันในช่วง 16 วันแรกที่ยังใช้ค่าความเข้มข้นแ่งมันเช่นเดิมอยู่ แสดงให้เห็นว่าความต้องการแ่งมันที่ต้องเติมให้ไม่จำเป็นต้องสูงกว่า 500 มก./ล. ดังนั้นจึงได้เปลี่ยนความเข้มข้นแ่งมันที่เดิมให้ดังกล่าว จะเห็นได้ว่า ในยูเอเอสบีชุดที่ 1 ความเข้มข้นสีของน้ำออกค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนกระทั่งเมื่อถึงสถานะคงตัว ส่วนในยูเอเอสบีชุดที่ 2 และ 3 ก็เป็นเช่นเดียวกัน แต่การเพิ่มขึ้นของสีน้อยกว่าในชุดที่ 1 แสดงว่าแบคทีเรียในถังสร้างมีเทนต้องการคาร์บอนอื่นที่ย่อยง่ายเป็นอาหารสำหรับขั้นตอนการลดสี ดังนั้นเมื่อไม่มีการเติมแ่งมันให้ การลดสีจึงทำได้น้อยลง

ส่วนความเข้มข้นสีในถังสร้างกรดมีความแปรปรวนมาก โดยเฉพาะในช่วง 16 วันแรก ทำให้ไม่สามารถบอกได้ว่าความเข้มข้นแ่งมันในช่วง 500 ถึง 1,500 มก./ล. จะมีอิทธิพลต่อการลดสีที่แตกต่างกันของยูเอเอสบีทั้ง 3 ชุดหรือไม่ แต่เมื่อมีการปรับความเข้มข้นแ่งมันที่เติมให้แล้ว จะเห็นว่า ในชุดที่ 1 ความเข้มข้นสีในถังสร้างกรดเมื่อเข้าสู่สถานะคงตัวจะใกล้เคียงกับน้ำเสียที่เตรียมให้ ในขณะที่ชุดที่ 2 มีความเข้มข้นสีในถังสร้างกรดน้อยกว่าในชุดที่ 1 และในชุดที่ 3 ที่มีความเข้มข้นสีต่ำที่สุด ทั้งนี้เพราะสาเหตุเดียวกับแบคทีเรียในถังสร้างมีเทน คือ แบคทีเรียในถังสร้างกรดต้องการอาหารจากแหล่งคาร์บอนอื่นนอกจากสี จึงจะมีความสามารถในการลดสีได้ดีขึ้น

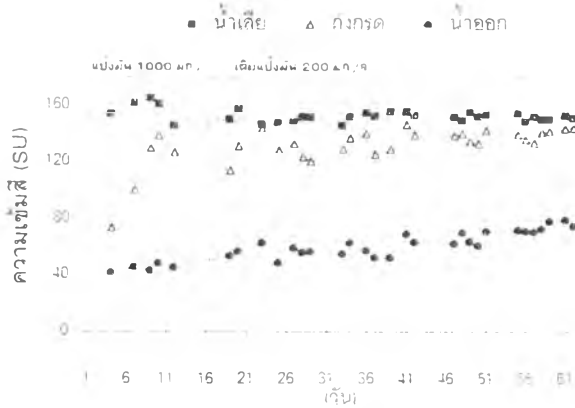
เมื่อกกล่าวเป็นประสิทธิภาพการลดสีแล้ว ในถังสร้างกรดมีประสิทธิภาพเฉลี่ยร้อยละ 5 10 และ 14 ในระบบยูเอเอสบีชุดที่ 1 2 และ 3 ตามลำดับ ส่วนประสิทธิภาพรวมเมื่อผ่านขั้นตอนการสร้างมีเทนในถังยูเอเอสบีในชุดที่ 1 เฉลี่ยร้อยละ 39 และเป็นร้อยละ 58 และ 57 สำหรับชุดที่ 2 และ 3 ตามลำดับ จะเห็นว่าประสิทธิภาพการลดสีมีความแตกต่างเมื่อใช้ความเข้มข้นแ่งมันในช่วงที่กำหนด จะเห็นได้ในรูปที่ 4.14 ว่า ประสิทธิภาพการลดสีในถังสร้างกรดจะแปรปรวนมากในช่วง 16 วันแรก และเมื่อเข้าสู่สถานะคงตัวของการใช้ความเข้มข้น



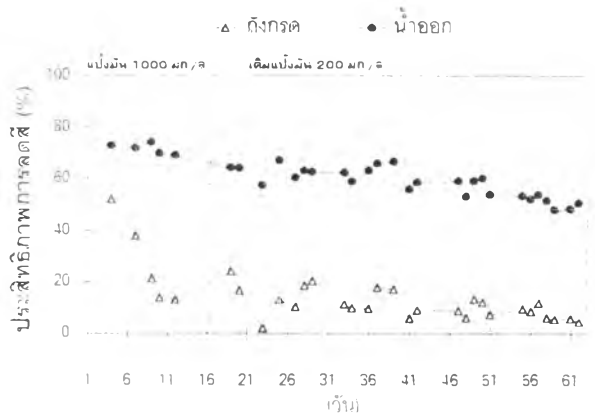
(ก) ยูเอเอสบีชุดที่ 1



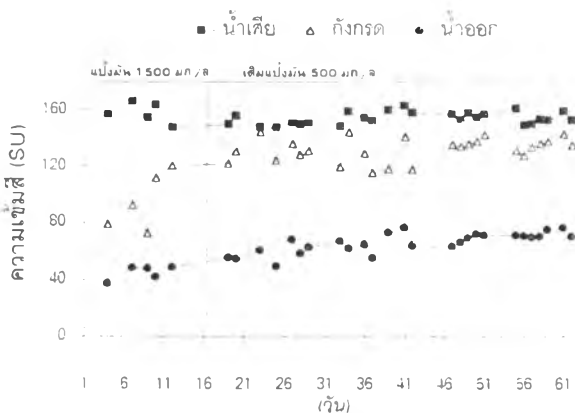
(ก) ยูเอเอสบีชุดที่ 1



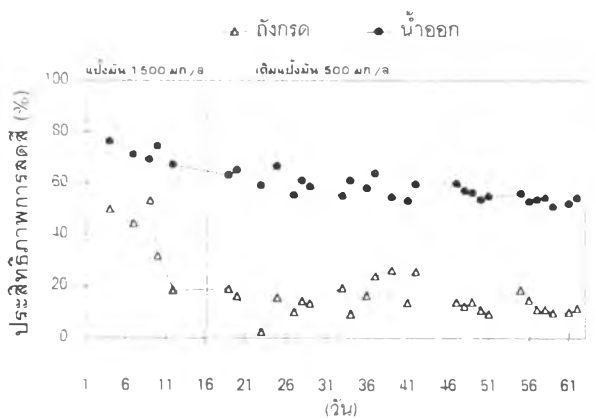
(ข) ยูเอเอสบีชุดที่ 2



(ข) ยูเอเอสบีชุดที่ 2



(ค) ยูเอเอสบีชุดที่ 3



(ค) ยูเอเอสบีชุดที่ 3

รูปที่ 4.13 ค่าความเข้มข้น  
ตลอดการทดลองที่ 2

รูปที่ 4.14 ประสิทธิภาพการลดสี  
ตลอดการทดลองที่ 2

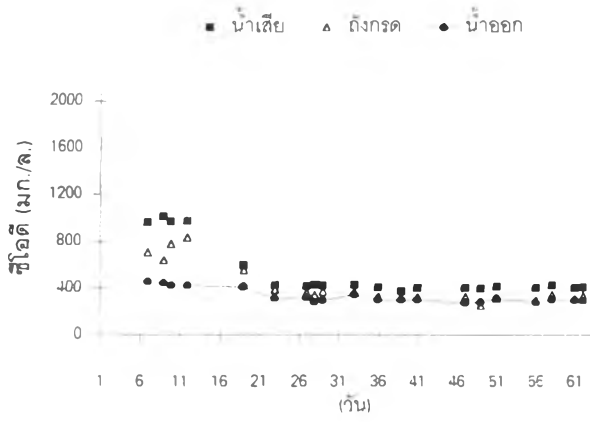
แ่งมันใหม่ ประสิทธิภาพการลดสีก็ค่อนข้างคงที่ โดยในชุดที่ 1 ประสิทธิภาพการลดสีในถังสร้างกรดมีน้อยมากหรือแทบไม่มีเลย ส่วนในชุดที่ 2 ก็มีประสิทธิภาพในถังสร้างกรดมากกว่าชุดที่ 3 พอสมควร จึงกล่าวได้ว่า ประสิทธิภาพการลดสีในถังสร้างกรดมีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นแ่งมันที่เติมให้

ส่วนประสิทธิภาพการลดสีรวมทั้งระบบนั้น จะเห็นว่าเมื่อมีการเปลี่ยนความเข้มข้นแ่งมันที่เติมให้แล้ว ประสิทธิภาพการลดสีในยูเอเอสบีทั้ง 3 ชุด จะลดลงจากในช่วง 16 วันแรก โดยในยูเอเอสบีชุดที่ 1 จะมีประสิทธิภาพลดลงจากในช่วง 16 วันแรกค่อนข้างมาก คือจากประมาณร้อยละ 70 ลงเหลือร้อยละ 39 เมื่อระบบเข้าสู่สถานะคงตัว ส่วนในชุดที่ 2 และ 3 จะลดลงจาก 16 วันแรกน้อยกว่าในชุดที่ 1 โดยในชุดที่ 3 จะดูเหมือนมีการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด ถ้าพิจารณาจะเห็นว่า ในชุดที่ 3 นั้น มีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นแ่งมันจาก 1,500 มาเป็น 500 มก./ล. ในขณะที่ชุดที่ 1 เปลี่ยนแปลงจาก 500 เป็น 0 มก./ล. จึงเป็นการยืนยันข้อสังเกตที่ว่า ความเข้มข้นแ่งมันที่เติมให้ในช่วง 500 ถึง 1,500 มก./ล. มีผลต่อการเปลี่ยนแปลง ประสิทธิภาพการลดสีค่อนข้างน้อย ส่วนความเข้มข้นแ่งมันที่เติมให้ในช่วง 0 ถึง 500 มก./ล. มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพการลดสีอย่างเห็นได้ชัด

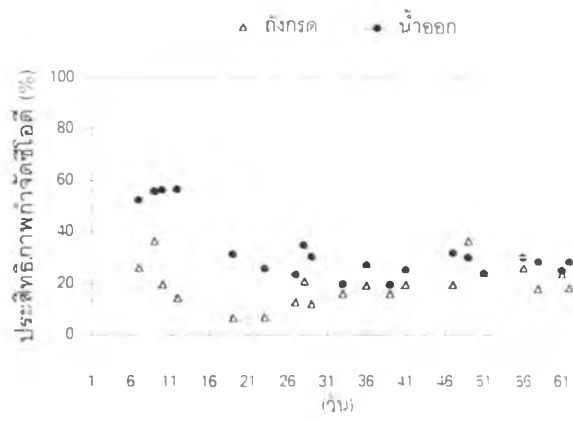
## 2) ซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัด

จากตารางที่ 4.4 ค่าซีโอดีเฉลี่ยในน้ำเสียที่เตรียมสำหรับยูเอเอสบีชุดที่ 1 เท่ากับ 408 มก./ล. และเท่ากับ 619 และ 940 มก./ล. ในชุดที่ 2 และ 3 ตามลำดับ ซึ่งเป็นผลรวมของค่าซีโอดีของแ่งมันที่เติมให้และค่าซีโอดีของน้ำย้อมสี ส่วนในถังสร้างกรดของยูเอเอสบีชุดที่ 1 มีค่าซีโอดีเท่ากับ 329 มก./ล. และในชุดที่ 2 เท่ากับ 458 มก./ล. และ 719 มก./ล. ในชุดที่ 3 ค่าซีโอดีในน้ำออกของยูเอเอสบีทั้ง 3 ชุด เป็นดังนี้คือ เท่ากับ 298 368 และ 519 มก./ล. ในยูเอเอสบีชุดที่ 1 2 และ 3 ตามลำดับ

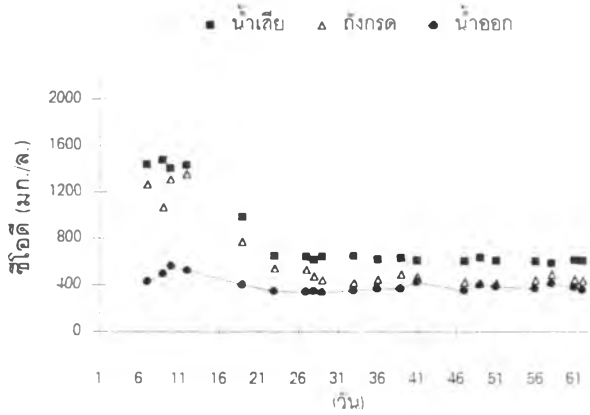
ค่าซีโอดีตลอดการทดลองแสดงในรูปที่ 4.15 โดยใน 16 วันแรกเป็นค่าซีโอดีของความเข้มข้นแ่งมัน 500 ถึง 1,500 มก./ล. รวมกับสี เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นแ่งมันที่เติมให้แล้ว ในเวลาเพียงไม่กี่วันค่าซีโอดีทั้งในถังสร้างกรดและน้ำออกก็เริ่มคงที่ โดยในชุดที่ 1 ที่ไม่ได้มีการเติมแหล่งคาร์บอนให้ ค่าซีโอดีในถังสร้างกรดและในน้ำออกจะใกล้เคียงกับน้ำเสีย แสดงว่ามีการกำจัดซีโอดีน้อยมากในยูเอเอสบีชุดที่ 1 นี้ ส่วนในชุดที่ 2 ก็คล้ายกับในชุดที่ 1 เพียงแต่การกำจัดซีโอดีในถังสร้างกรดดูเหมือนจะมีมากกว่าชุดที่ 1 และในชุดที่ 3 จะมีลักษณะที่ผิดปกติเล็กน้อย คือค่าซีโอดีในถังสร้างกรดจะมีความแปรปรวนเล็กน้อยเมื่อเทียบกับในชุดที่ 1 และ 2 ที่ค่อนข้างคงที่ นอกจากนี้ค่าซีโอดีในน้ำออกของชุดที่ 3 หลังจากวันที่



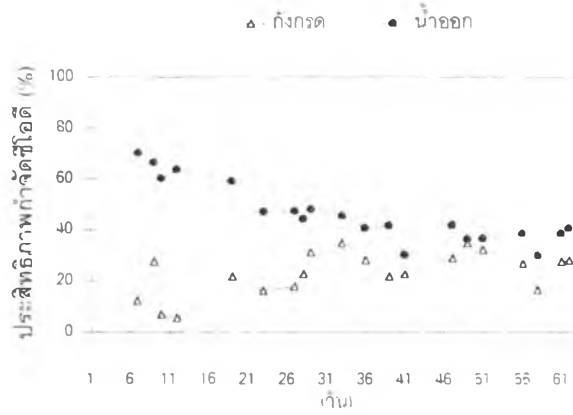
(ก) ยูเอเอสบีชุดที่ 1



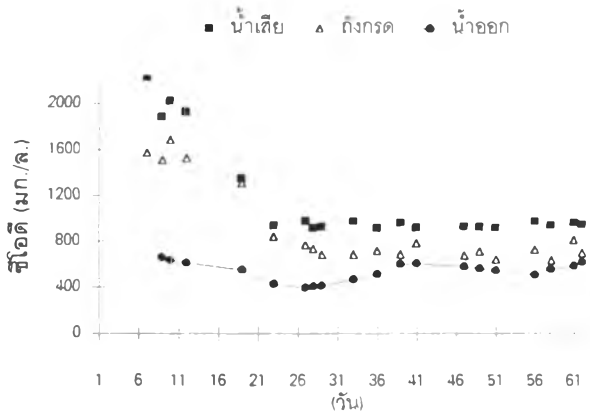
(ก) ยูเอเอสบีชุดที่ 1



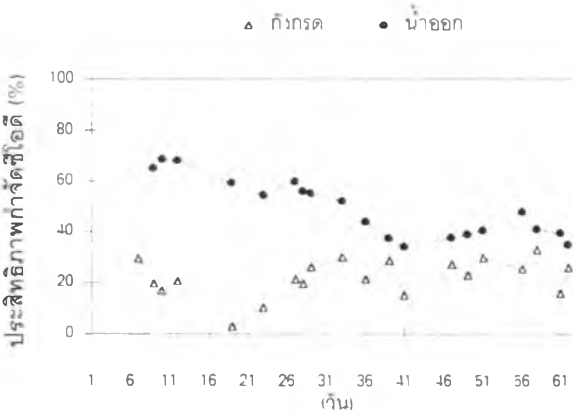
(ข) ยูเอเอสบีชุดที่ 2



(ข) ยูเอเอสบีชุดที่ 2



(ค) ยูเอเอสบีชุดที่ 3



(ค) ยูเอเอสบีชุดที่ 3

รูปที่ 4.15 ค่าซีโอดีตลอดการทดลองที่ 2

รูปที่ 4.16 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีตลอดการทดลองที่ 2

16 ไปแล้วมีลักษณะลดต่ำลงอยู่ในระดับประมาณ 400 มก./ล. แต่แล้วกลับค่อยๆ เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนคงที่และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 519 มก./ล. ดังที่กล่าวไปแล้วข้างต้น ซึ่งไม่สามารถบอกได้ว่าเป็นเพราะสาเหตุใด และเมื่อพิจารณาเฉพาะค่าซีโอติในน้ำออกทั้ง 3 ชุดตั้งแต่เริ่มการทดลองแล้ว จะเห็นว่าถึงแม้จะมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นแป้งมันที่เติมให้ แต่ค่าซีโอติในน้ำออกกลับมีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก จึงอาจกล่าวได้ว่า ระบบยูเอเอสบีนี้สามารถกำจัดซีโอติของแป้งมันที่เติมให้ได้ค่อนข้างดี

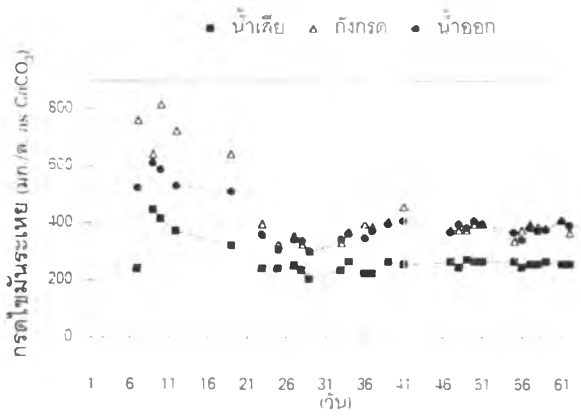
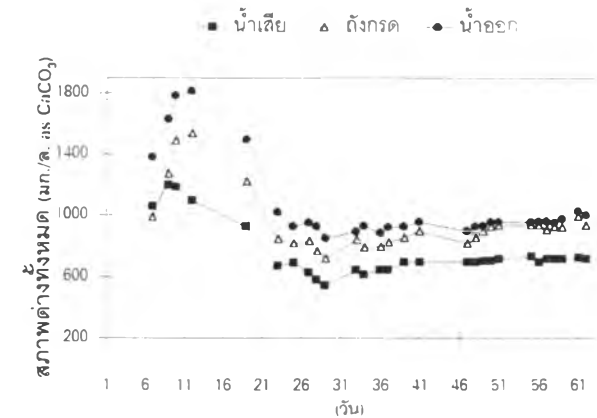
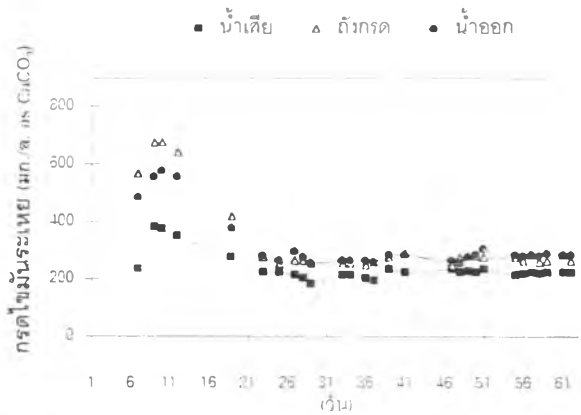
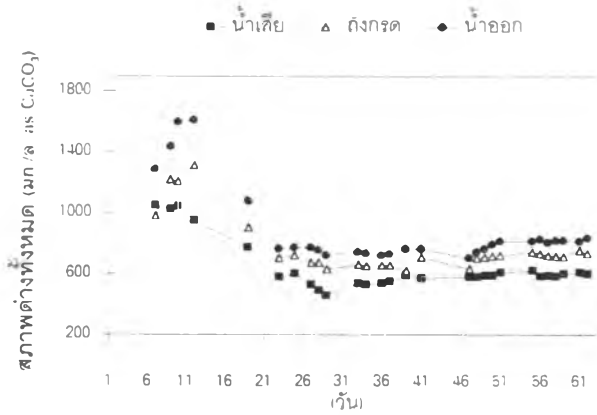
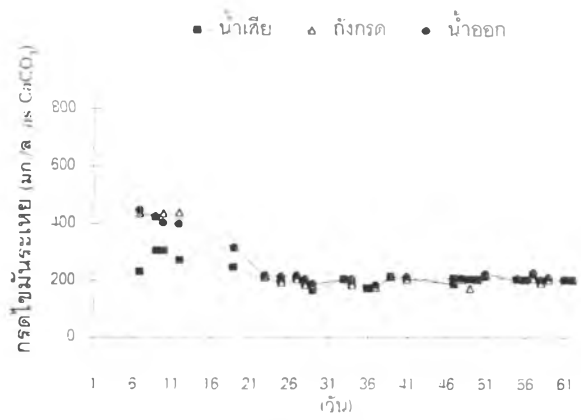
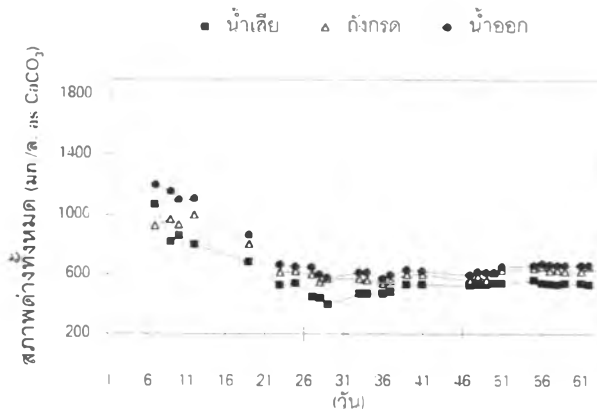
ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอติ (จากตารางที่ 4.4) ของระบบยูเอเอสบีชุดที่ 1 เทียบร้อยละ 27 และเทียบกับร้อยละ 40 และ 45 ในยูเอเอสบีชุดที่ 2 และ 3 ตามลำดับ ส่วนในถังสร้างกรดมีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอติร้อยละ 19 26 และ 23 สำหรับยูเอเอสบีชุดที่ 1 2 และ 3 ตามลำดับ จะเห็นว่าประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอติกลับเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นแป้งมันที่เติมให้ในน้ำเสียเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะในชุดที่ 1 ที่ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอติค่อนข้างต่ำ เนื่องจากซีโอติที่มีในน้ำมีแต่ค่าซีโอติของน้ำย้อม เมื่อพิจารณารูปที่ 4.16 จะเห็นว่าในช่วง 16 วันแรก ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอติทั้งระบบค่อนข้างสูง ทั้งนี้เพราะมีความเข้มข้นแป้งมันที่เติมให้มาก แล้วจึงค่อยๆ ลดลง เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการกำจัดซีโอติในถังสร้างกรดพบว่า ค่อยๆ ลดลงจากวันแรกๆ เช่นกัน และมีลักษณะลดลงต่ำสุดในช่วงที่ทำการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นแหล่งคาร์บอน ทั้งนี้เนื่องจากเนื่องมาจากระบบกำลังปรับตัวรับกับความเข้มข้นแป้งมันใหม่ และเมื่อผ่านไประยะหนึ่ง ประสิทธิภาพการกำจัด ซีโอติในถังสร้างกรดทั้ง 3 ชุดก็เพิ่มขึ้นและเริ่มสม่ำเสมอเมื่อเข้าสู่สถานะคงตัว แต่ยังคงมีความแปรปรวนของข้อมูลอยู่พอสมควร เนื่องจากเป็นลักษณะของถังสร้างกรดที่มีการหมักตามธรรมชาติ แต่ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอติในน้ำออกมีลักษณะแตกต่างกันไปบ้าง ตรงที่ในช่วงที่มีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นแป้งมัน ข้อมูลประสิทธิภาพไม่ได้มีการสะดุดใดๆ เช่นในถังสร้างกรดเลย และยังคงมีความสม่ำเสมอของข้อมูลมากกว่าด้วย แสดงว่าถังยูเอเอสบีมีความสามารถในการกำจัดซีโอติค่อนข้างคงที่



### 3) สภาพด่างทั้งหมดและกรดไขมันระเหย

สภาพด่างทั้งหมดของระบบยูเอเอสบีชุดที่ 1 ในน้ำเสีย ถึงสร้างกรดและน้ำออก เท่ากับ 509 598 และ 630 มก./ล. ในเทอมของแคลเซียมคาร์บอเนต ตามลำดับ ในยูเอเอสบีชุดที่ 2 เท่ากับ 570 693 และ 773 มก./ล. ในเทอมของแคลเซียมคาร์บอเนต ตามลำดับ และในยูเอเอสบีชุดที่ 3 เท่ากับ 674 867 และ 942 มก./ล. ในเทอมของแคลเซียมคาร์บอเนต ตามลำดับ เนื่องจากน้ำย้อมสีแดงนี้มีสภาพด่างทั้งหมดก่อนการปรับพีเอชค่อนข้างสูง อีกทั้งหลังจากทำการปรับพีเอชแล้วไม่ได้วัดสภาพด่างทั้งหมดเป็นเท่าไร แต่เนื่องจากทำการปรับให้เป็นกลางคือพีเอชประมาณ 7 การเติมสารบัฟเฟอร์ให้ระบบ จึงยังคงใช้สัดส่วนเช่นเดิมคือ ซีโอดีต่อบัฟเฟอร์เท่ากับ 2 โดยยัดซีโอดีที่เข้าสู่ระบบเป็นหลัก ทำให้สภาพด่างทั้งหมดที่วัดได้ค่อนข้างสูง เพราะเป็นสภาพด่างที่เกิดจากสารบัฟเฟอร์ที่เติมให้รวมกับสภาพด่างที่มีอยู่แล้วในน้ำ จากข้อมูลค่าเฉลี่ยจะเห็นว่าสภาพด่างทั้งหมดเพิ่มขึ้น ทั้งในถังสร้างกรดและในน้ำออกค่อนข้างมาก เช่นเดียวกับในการทดลองที่ 1 โดยสภาพด่างในถังสร้างกรดเพิ่มเป็นประมาณร้อยละ 20 ถึง 30 ของสภาพด่างในน้ำเสีย ส่วนในน้ำออกก็เพิ่มขึ้นเกือบร้อยละ 40 โดยประมาณ ของสภาพด่างทั้งหมดในน้ำเสีย ข้อมูลสภาพด่างทั้งหมดตลอดการทดลองแสดงในรูปที่ 4.17 จะเห็นว่า การเพิ่มขึ้นของสภาพด่างทั้งหมดมีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นแป้งมันที่เติมให้ คือ ในชุดที่ 3 จะมีการเปลี่ยนแปลงมากที่สุด และในชุดที่ 1 มีการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด

ปริมาณกรดไขมันระเหยเฉลี่ยในน้ำเสียของยูเอเอสบีชุดที่ 1 เท่ากับ 198 มก./ล. ในเทอมของแคลเซียมคาร์บอเนต และในถังสร้างกรดและน้ำออกเท่ากับ 198 และ 205 มก./ล. ในเทอมของแคลเซียมคาร์บอเนต ตามลำดับ ส่วนในยูเอเอสบีชุดที่ 2 เท่ากับ 218 267 และ 276 มก./ล. ในเทอมของแคลเซียมคาร์บอเนต ในน้ำเสีย ถึงสร้างกรดและน้ำออกตามลำดับ และยูเอเอสบีชุดที่ 3 เท่ากับ 249 375 และ 367 มก./ล. ในเทอมของแคลเซียมคาร์บอเนต ตามลำดับ ปริมาณกรดไขมันระเหยตลอดการทดลองแสดงในรูปที่ 4.18 จะเห็นว่าทั้งค่าเฉลี่ยและข้อมูลที่แสดงในชุดที่ 1 แสดงให้เห็นว่า ปริมาณกรดไขมันระเหยแทบจะไม่มีเปลี่ยนแปลงเลยทั้งในถังสร้างกรดและน้ำออก กล่าวได้ว่า ระบบยูเอเอสบีไม่สามารถสร้างกรดไขมันระเหยจากแหล่งคาร์บอนเพียงแหล่งเดียวคือสีได้ ส่วนในยูเอเอสบีชุดที่ 2 ก็มีการสร้างกรดไขมันระเหยเพิ่มขึ้นบ้างในถังสร้างกรด แต่ที่น่าประหลาดคือ ปริมาณกรดไขมันระเหยในน้ำออกกลับไม่ลดลงไป เส้นกราฟที่แสดงปริมาณกรดไขมันระเหยในถังสร้างกรดและในน้ำออกก็แสดงถึงปริมาณที่ใกล้เคียงกัน ในขณะที่ค่าเฉลี่ยแสดงว่าในน้ำออกมีปริมาณมากกว่าในถังสร้างกรดด้วยซ้ำ ในยูเอเอสบีชุดที่ 3 ก็เช่นเดียวกัน แต่ค่าเฉลี่ยแสดงว่าปริมาณกรดไขมันระเหยในน้ำออกต่ำกว่าในถังสร้างกรดอยู่เล็กน้อย แสดงว่าในการทดลองกับน้ำย้อมสีแดงนี้ ถึงยูเอเอสบีไม่สามารถลดปริมาณกรดไขมันระเหยจากในถังสร้างกรดลงได้



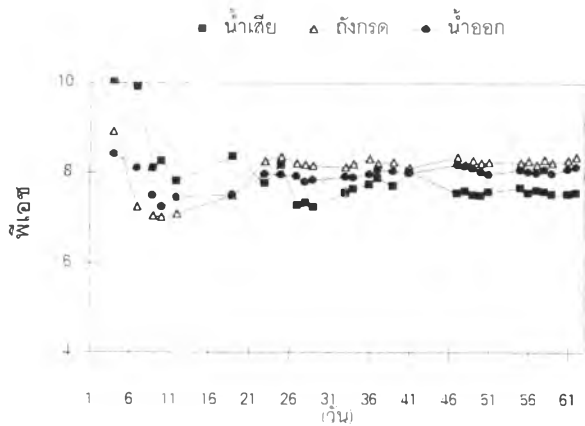
รูปที่ 4.17 สภาพต่างทั้งหมด  
ตลอดการทดลองที่ 2

รูปที่ 4.18 ปริมาณกรดไข่มุ่ระเหย  
ตลอดการทดลองที่ 2

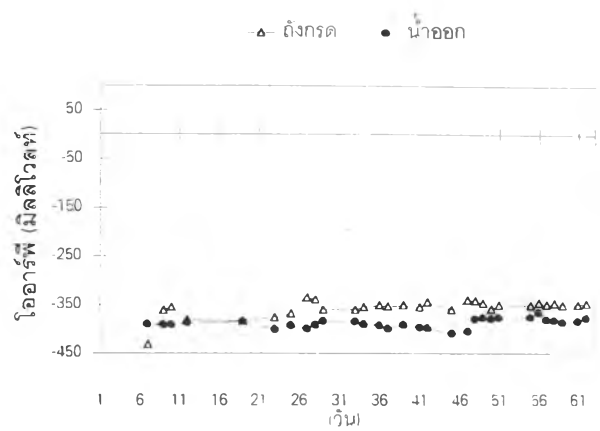
#### 4) พีเอชและอัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมด

จากตารางที่ 4.4 ระบบยูเอเอสบีชุดที่ 1 มีค่าพีเอชเฉลี่ยในน้ำเสียเท่ากับ 7.62 ในถังสร้างกรดเท่ากับ 8.25 และในน้ำออกเท่ากับ 8.01 ในขณะที่ระบบยูเอเอสบีชุดที่ 2 ค่าพีเอชเฉลี่ยเท่ากับ 7.78 7.41 และ 7.34 ตามลำดับ และระบบยูเอเอสบีชุดที่ 3 เท่ากับ 7.89 6.99 และ 7.24 ตามลำดับ ค่าพีเอชตลอดการทดลองแสดงในรูปที่ 4.19 จะเห็นว่าในช่วงแรกไม่ได้มีการปรับพีเอชให้กับน้ำย้อมนี้ก่อนที่จะนำมาผสมเป็นน้ำเสีย ปรากฏว่าในยูเอเอสบีชุดที่ 2 (ยังเติมแอมโมเนีย 1,000 มก./ล.) และ ชุดที่ 3 (เติมแอมโมเนีย 1,500 มก./ล.) สามารถปรับพีเอชให้ลงมาอยู่ในระดับที่เป็นกลางด้วยตัวมันเองได้ แต่ในชุดที่ 1 ไม่สามารถทำได้ โดยน้ำออกมีพีเอชประมาณ 8 ซึ่งไม่เหมาะสมต่อแบคทีเรียสร้างมีเทนเป็นอย่างยิ่ง จึงได้ทำการปรับพีเอชน้ำย้อมตั้งแต่นั้น และเมื่อได้ทำการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นแอมโมเนียแล้ว จะเห็นได้ว่า ค่าพีเอชในถังสร้างกรดของทั้ง 3 ชุด มีการเพิ่มขึ้นจากเดิม โดยเฉพาะในยูเอเอสบีชุดที่ 1 ที่ไม่ได้เติมแอมโมเนียให้ มีพีเอชในถังสร้างกรดสูงถึง 8.25 โดยเฉลี่ย ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากไม่มีการสร้างกรดไขมันระเหยเพิ่มขึ้นเลยในถังสร้างกรด แต่กลับมีการผลิตสภาพต่างทั้งหมดเพิ่มขึ้น ในขณะที่ชุดที่ 2 และ 3 ค่าพีเอชในถังสร้างกรดจะลดลงจากในน้ำเสีย ทั้งนี้เพราะมีการย่อยแอมโมเนียที่เติมให้แล้วเปลี่ยนเป็นกรดไขมันระเหย ทำให้พีเอชลดลงได้ แต่อย่างไรก็ตามเนื่องจากแอมโมเนียที่เติมให้นี้ถือว่ามีค่าความเข้มข้นค่อนข้างน้อย ทำให้กรดไขมันระเหยที่สร้างขึ้นจัดว่าเป็นปริมาณน้อย ประกอบกับมีการผลิตสภาพต่างทั้งหมดเพิ่มขึ้น ทำให้ค่าพีเอชในถังสร้างกรดยังคงอยู่ในระดับพีเอชที่เป็นกลาง

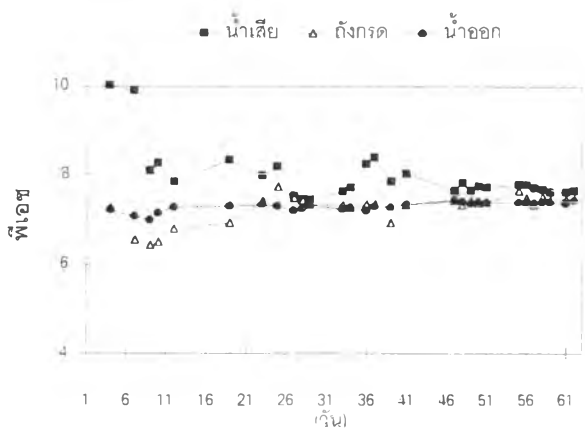
ส่วนพีเอชในน้ำออกมีค่าค่อนข้างคงที่ตลอดการทดลอง ในยูเอเอสบีทั้ง 3 ชุด และมีแนวโน้มที่แตกต่างจากการทดลองที่ 1 คือ ค่าพีเอชในน้ำออกกลับมีค่าสูงในชุดที่มีการเติมแอมโมเนียน้อย ทั้งนี้เพราะในการทดลองนี้ มีสภาพต่างทั้งหมดของน้ำย้อมเองเข้ามาเกี่ยวในขณะที่แหล่งคาร์บอนสำหรับสร้างกรดไขมันระเหยมีน้อย และยังมีสภาพที่ถึงยูเอเอสบีไม่สามารถลดปริมาณกรดไขมันระเหยจากถังสร้างกรดลงได้ ประกอบกันทั้ง 3 ประการ ทำให้ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชและความเข้มข้นแอมโมเนียที่เติมให้แตกต่างไปจากการทดลองที่ 1 เมื่อพิจารณาค่าอัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมดของยูเอเอสบีทั้ง 3 ชุด ซึ่งมีค่าดังต่อไปนี้คือ 0.325 ในน้ำออกของยูเอเอสบีชุดที่ 1 และ เท่ากับ 0.358 ในชุดที่ 2 และ 0.389 ในชุดที่ 3 จะเห็นว่ามีค่าความสัมพันธ์กันคือ ในระบบยูเอเอสบีชุดที่ 1 ที่มีค่าอัตราส่วนนี้น้อยที่สุด คือ มีปริมาณกรดไขมันระเหยน้อยเมื่อเทียบกับสภาพต่างทั้งหมด ทำให้ค่าพีเอชน้ำออกสูงที่สุด ส่วนในชุดที่ 2 และ 3 ที่มีค่าอัตราส่วนนี้สูงขึ้นตามลำดับ ก็มีค่าพีเอชในน้ำออกต่ำลงตามลำดับเช่นกัน



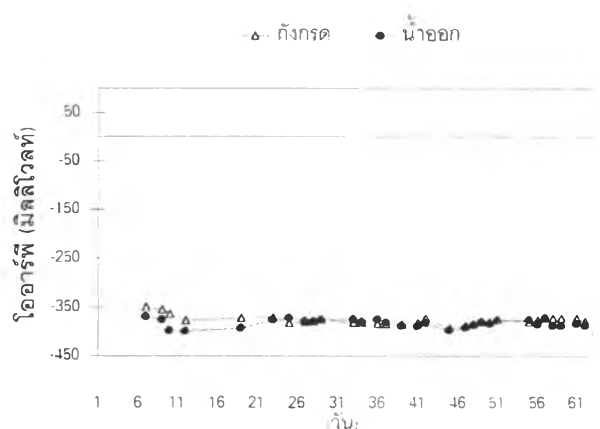
(ก) ยูเอเอสบีชุดที่ 1



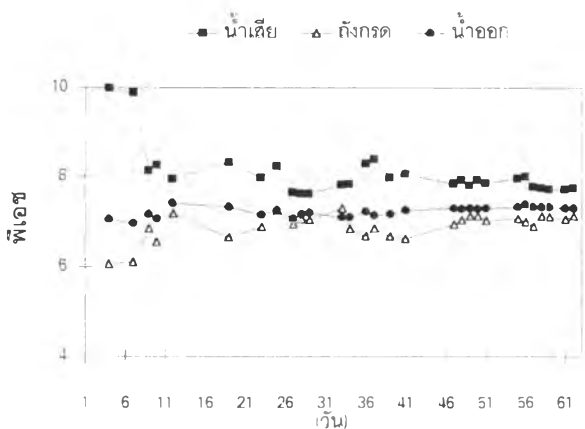
(ก) ยูเอเอสบีชุดที่ 1



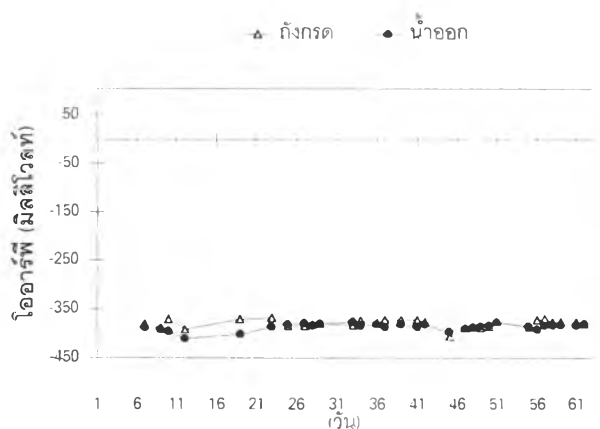
(ข) ยูเอเอสบีชุดที่ 2



(ข) ยูเอเอสบีชุดที่ 2



(ค) ยูเอเอสบีชุดที่ 3



(ค) ยูเอเอสบีชุดที่ 3

รูปที่ 4.19 ค่าฟอสเฟตตลอดการทดลองที่ 2

รูปที่ 4.20 ค่าไออาร์พีตลอดการทดลองที่ 2

## 5) โออาร์พี

การวัดโออาร์พีในการทดลองนี้ยังคงใช้อิเล็กโทรดและเครื่องวัดของ Radiometer เช่นเดิม ค่าโออาร์พีตลอดการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.20 จะเห็นว่า ค่าโออาร์พีมีความแปรปรวนน้อยทั้งในถังสร้างกรดและในน้ำออก ในยูเอเอสบีชุดที่ 1 ที่ไม่ได้มีการเติมแอมโมเนียให้ ค่าโออาร์พีในถังสร้างกรดมีความแตกต่างกับค่าโออาร์พีในน้ำออกให้เห็นพอสมควร และมีค่าเป็นลบน้อยกว่าในน้ำออก เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยจากตารางที่ 4.4 ค่าโออาร์พีเฉลี่ยในถังสร้างกรดเท่ากับ -351 มิลลิโวลต์ และในน้ำออกเท่ากับ -388 มิลลิโวลต์ ในขณะที่ชุดที่ 2 และ 3 มีลักษณะคล้ายกันคือ ค่าโออาร์พีในถังสร้างกรดและในน้ำออกไม่ค่อยแตกต่างกันเท่าไรนัก โดยค่าเฉลี่ยในถังสร้างกรดของยูเอเอสบีชุดที่ 2 เท่ากับ -379 มิลลิโวลต์ และในน้ำออกเท่ากับ -382 มิลลิโวลต์ ส่วนยูเอเอสบีชุดที่ 3 มีค่าโออาร์พีเฉลี่ยในถังสร้างกรดเท่ากับ -380 มิลลิโวลต์ และในน้ำออกเท่ากับ -384 มิลลิโวลต์ กล่าวได้ว่าค่าโออาร์พีในถังสร้างกรดมีความสัมพันธ์กับแอมโมเนียที่เติมให้ คือ ถ้ามีการเติมแอมโมเนียให้แม้ว่าจะมีปริมาณ 200 หรือ 500 มก./ล. ก็ไม่ทำให้ค่าโออาร์พีเฉลี่ยในถังสร้างกรดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญเท่าใดนัก แต่ถ้าไม่มีการเติมแอมโมเนียให้จะทำให้ค่าโออาร์พีในถังสร้างกรดมีความเป็นลบน้อยลง เมื่อพิจารณาจากการทำงานของถังสร้างกรดและถังยูเอเอสบีแล้ว ค่าโออาร์พีในชุดที่ 1 ทั้งในถังสร้างกรดและในน้ำออกไม่ควรจะมีค่าเป็นลบมากดังที่เป็นอยู่ เพราะประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีและการลดสีไม่สูงเท่าไรนัก แสดงว่าการทำงานของระบบไม่อาจกล่าวได้ว่าดี แต่ค่าโออาร์พีกลับแสดงถึงสภาวะที่เป็นระบบไร้อากาศที่ดี ทั้งนี้อาจเป็นเพราะสาเหตุของค่าพีเอชในน้ำก็ได้ เพราะค่าโออาร์พีมีความเกี่ยวข้องกับค่าพีเอชคือ ในสภาวะที่มีปฏิกิริยารีดอกซ์แบบเดียวกัน ถ้าพีเอชสูงขึ้นจะทำให้ค่าโออาร์พีเป็นบวกน้อยลง (หรือเป็นลบมากขึ้น) ในยูเอเอสบีชุดที่ 1 มีพีเอชค่อนข้างสูงทั้งในถังสร้างกรดและในน้ำออก ที่อาจเป็นสาเหตุให้ค่าโออาร์พีเป็นลบมากดังที่กล่าว

## 6) ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์รวม (TOC) ปริมาณคาร์บอนรวม (TC) และปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ (IC)

ในการทดลองนี้ได้ทำการวัดค่าปริมาณคาร์บอนอินทรีย์รวมทั้งในน้ำเสีย ถังสร้างกรด และน้ำออกด้วย และนอกจากนี้ยังได้สนใจเก็บค่าปริมาณคาร์บอนรวม (TC) และปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ (IC) ด้วย ทั้งนี้เนื่องจากการวัดปริมาณคาร์บอนอินทรีย์รวม จะทำการวัดปริมาณคาร์บอนรวมและปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ด้วยอยู่แล้ว จากนั้นจึงเอาค่าทั้ง 2 ค่ามาลบกันเป็นค่าปริมาณคาร์บอนอินทรีย์รวม (TOC) นั่นเอง แต่ในการทดลองที่ 1 จะทำการเก็บ

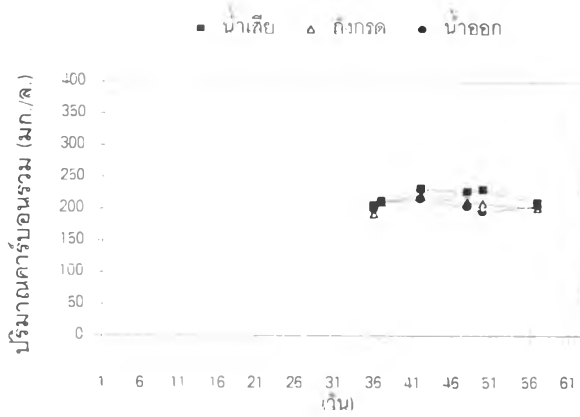
ตัวอย่างรวมกันประมาณ 1 สัปดาห์แล้วจึงนำไปวัดพร้อมกันทีเดียว ทำให้จำเป็นต้องรักษาสภาพน้ำตัวอย่างด้วยการเติมกรดไฮโดรคลอริก (HCl) เข้มข้น แล้วแช่ตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสไว้ ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์จึงถูกทำลายไปด้วยกรดที่เติมให้ ดังนั้น ในการทดลองที่ 1 จึงพิจารณาแต่ค่าปริมาณคาร์บอนอินทรีย์รวมเท่านั้น ส่วนในการทดลองนี้ได้ทำการวิเคราะห์พารามิเตอร์นี้โดยเก็บตัวอย่างและวัดในวันเดียวกันเลย ไม่จำเป็นต้องรักษาสภาพน้ำตัวอย่างด้วยกรด ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์และปริมาณคาร์บอนรวมทั้งหมดในน้ำจึงสามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพน้ำได้ อย่างไรก็ตาม การวิเคราะห์พารามิเตอร์เหล่านี้จำเป็นจะต้องกรองตัวอย่างน้ำเพื่อกำจัดของแข็งแขวนลอยออกเสียก่อน เพราะไม่เช่นนั้นจะทำให้เครื่องมืออุดตันเสียหายได้ แต่แหล่งคาร์บอนที่เติมให้กับน้ำเสียที่เตรียมในการทดลองนี้เตรียมจากแป้งมันละลายน้ำร้อน ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์รวมในน้ำเสียที่เตรียมส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของแข็งแขวนลอย และถูกกรองออกไปก่อนที่จะทำการวัด ทำให้ปริมาณคาร์บอนรวม และปริมาณคาร์บอนอินทรีย์รวมของน้ำเสียไม่สามารถสื่อความหมายได้อย่างชัดเจน

#### ปริมาณคาร์บอนรวม (TC)

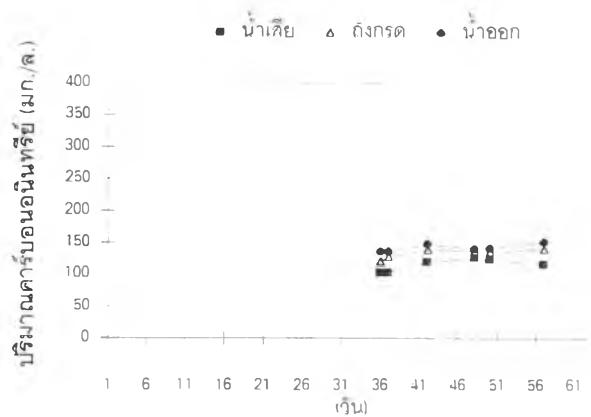
จากตารางที่ 4.4 ค่าปริมาณคาร์บอนรวมเฉลี่ยในน้ำเสียของยูเอเอสบีชุดที่ 1 เท่ากับ 218.9 มก./ล. ในถังสร้างกรดเท่ากับ 207.0 มก./ล. และในน้ำออกเท่ากับ 204.5 มก./ล. สำหรับในยูเอเอสบีชุดนี้ไม่ได้มีการเติมแป้งมันให้ ดังนั้นค่าปริมาณคาร์บอนรวมในน้ำเสียจึงเป็นค่าที่มีอยู่จริงในน้ำเสีย ส่วนในชุดที่ 2 ที่มีการเติมคาร์บอนให้ 200 มก./ล. มีค่าปริมาณคาร์บอนรวมเฉลี่ยในน้ำเสียที่ผ่านการกรองแล้วเท่ากับ 255.4 มก./ล. และเท่ากับ 258.4 มก./ล. และ 250.8 มก./ล. ในถังสร้างกรดและน้ำออกตามลำดับ และในชุดที่ 3 ที่มีการเติมคาร์บอนให้ 500 มก./ล. มีค่าปริมาณคาร์บอนรวมเฉลี่ยในน้ำเสียที่ผ่านการกรองแล้วเท่ากับ 319.3 มก./ล. และเท่ากับ 351.3 มก./ล. และ 342.6 มก./ล. ในถังสร้างกรดและน้ำออกตามลำดับ เมื่อพิจารณารูปที่ 4.21 ในยูเอเอสบีชุดที่ 1 และ 2 นั้น ปริมาณคาร์บอนรวมในน้ำเสียในถังสร้างกรด และในน้ำออกมีค่าใกล้เคียงกัน แต่ในชุดที่ 3 ปริมาณคาร์บอนรวมในน้ำเสียมีค่าน้อยกว่าในถังสร้างกรดและในน้ำออก เพราะปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ส่วนใหญ่ถูกกรองออกไปก่อนทำการวัด

#### ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ (IC)

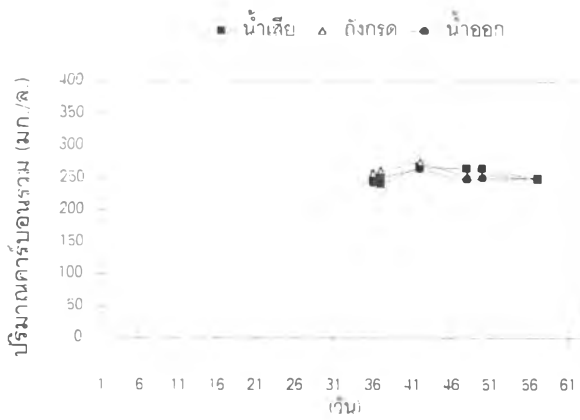
จากตารางที่ 4.4 ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์เฉลี่ยในยูเอเอสบีชุดที่ 1 ในน้ำเสียเท่ากับ 114.7 มก./ล. ในถังสร้างกรดเท่ากับ 133.6 มก./ล. และในน้ำออกเท่ากับ 142.2 มก./ล. ส่วนในชุดที่ 2 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 128.4 155.0 และ 171.0 มก./ล. ตามลำดับ และใน



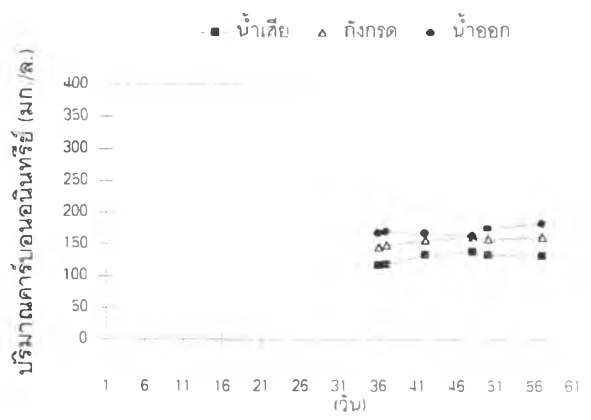
(ก) ยูเอเอสบิชุดที่ 1



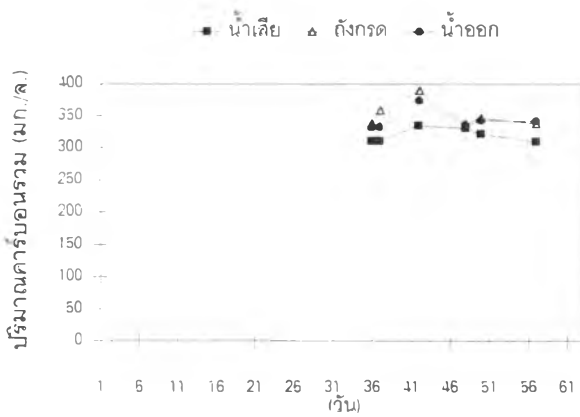
(ก) ยูเอเอสบิชุดที่ 1



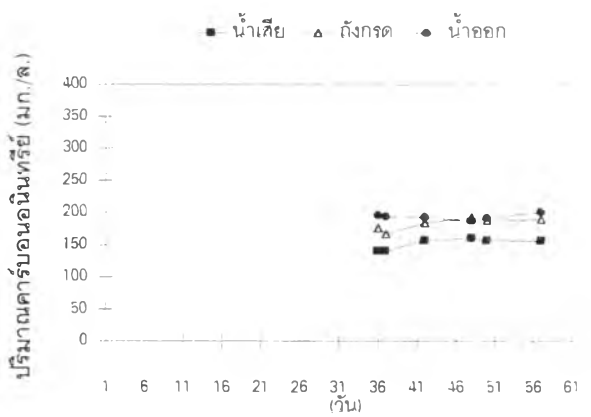
(ข) ยูเอเอสบิชุดที่ 2



(ข) ยูเอเอสบิชุดที่ 2



(ค) ยูเอเอสบิชุดที่ 3



(ค) ยูเอเอสบิชุดที่ 3

รูปที่ 4.21 ปริมาณคาร์บอนรวม (TC) ตลอดการทดลองที่ 2

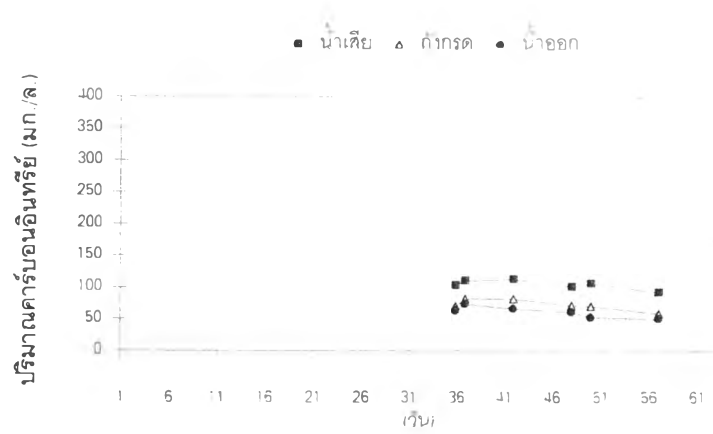
รูปที่ 4.22 ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ (IC) ตลอดการทดลองที่ 2

ยูเอเอสบีซูดที่ 3 มีปริมาณคาร์บอนอินทรีย์เฉลี่ยเท่ากับ 151.8 182.8 และ 193.7 มก./ล. ในน้ำเสีย ถึงสร้างกรด และในน้ำออกตามลำดับ จากรูปที่ 4.22 ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์มีการเพิ่มขึ้นมากทั้งในถึงสร้างกรดและในน้ำออกเมื่อเทียบกับน้ำเสียที่เตรียมให้ การเปลี่ยนแปลงปริมาณคาร์บอนอินทรีย์นี้มีลักษณะเช่นเดียวกับการเปลี่ยนแปลงสภาพต่างทั้งหมด ทั้งนี้ ในทางทฤษฎีคาร์บอนอินทรีย์ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของคาร์บอเนต ( $\text{CO}_3$ ) หรือไบคาร์บอเนต ( $\text{HCO}_3$ ) ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของสภาพต่างทั้งหมดที่วัดได้ และเนื่องจากตัวอย่างน้ำทั้งหมดที่เก็บวัดมีค่าพีเอชไม่สูงกว่า 8.3 แสดงว่าสภาพต่างทั้งหมดในน้ำจะอยู่ในรูปของสารประกอบไบคาร์บอเนตเป็นส่วนใหญ่ ดังนั้น ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์จึงสามารถเปรียบเทียบที่สภาพต่างทั้งหมดได้ การเพิ่มขึ้นของปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในถึงสร้างกรดและในน้ำออกจึงอาจมีสาเหตุเดียวกับสภาพต่างทั้งหมดเช่นกัน คือ น่าจะมีการทำงานของแบคทีเรียที่ผลิตสารไบคาร์บอเนตจากการย่อยสารอินทรีย์

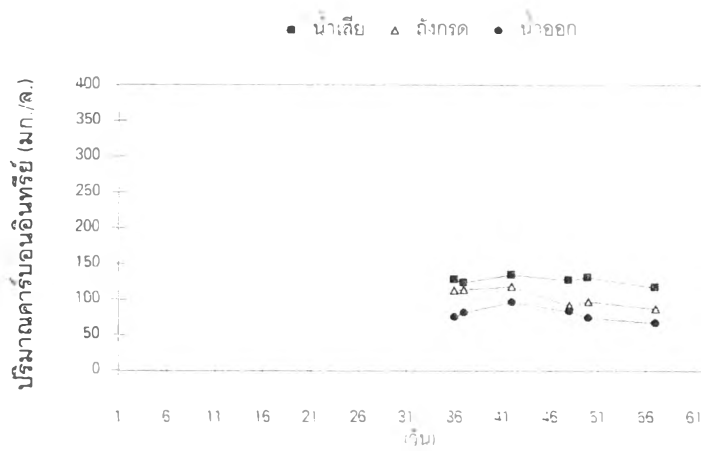
#### ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์รวม (TOC)

จากตารางที่ 4.4 ในยูเอเอสบีซูดที่ 1 ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์รวมในน้ำเสียมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 104.2 มก./ล. ในถึงสร้างกรดเท่ากับ 73.5 มก./ล. และในน้ำออกเท่ากับ 62.4 มก./ล. ในยูเอเอสบีซูดที่ 2 น้ำเสียมีปริมาณคาร์บอนอินทรีย์รวมเท่ากับ 127.0 มก./ล. ในถึงสร้างกรดเท่ากับ 103.4 มก./ล. และในน้ำออกเท่ากับ 79.8 มก./ล. ส่วนยูเอเอสบีซูดที่ 3 มีปริมาณคาร์บอนอินทรีย์รวมเท่ากับ 167.5 168.5 และ 148.9 มก./ล. ในน้ำเสีย ถึงสร้างกรด และน้ำออกตามลำดับ รูปที่ 4.23 แสดงปริมาณคาร์บอนอินทรีย์รวมตลอดการทดลอง เมื่อพิจารณาในยูเอเอสบีซูดที่ 1 ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์รวมที่วัดได้เป็นปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ที่มีอยู่แล้วในน้ำย้อมซึ่งก็คือ สีย้อมเป็นส่วนใหญ่รวมกับสารช่วยย้อมที่เป็นสารอินทรีย์อีกเล็กน้อย จะเห็นว่าการลดลงทั้งในถึงสร้างกรดและในน้ำออก โดยเมื่อเทียบเป็นประสิทธิภาพการกำจัดปริมาณคาร์บอนอินทรีย์แล้วมีค่าประมาณร้อยละ 40 ซึ่งมากกว่าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเสียอีก สาเหตุน่าจะมาจากการวิเคราะห์หาคาซีโอดีมีความผิดพลาดในจุดใดจุดหนึ่ง อย่างไรก็ตามในการทดลองนี้ยังหาสาเหตุไม่พบ แต่ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ที่ลดลงทั้งในถึงสร้างกรดและในน้ำออกของซูดที่ 1 นี้ สามารถอธิบายได้ 2 สาเหตุคือ แบคทีเรียในระบบนี้สามารถย่อยสีย้อมสีแดงนี้ลงได้บ้าง และอีกกรณีคือมีสารอินทรีย์อื่นๆ นอกจากสีย้อมเองในน้ำย้อมนี้มากพอสมควร ทำให้แบคทีเรียสามารถลดสารอินทรีย์ลงได้ หรือทั้ง 2 สาเหตุรวมกัน

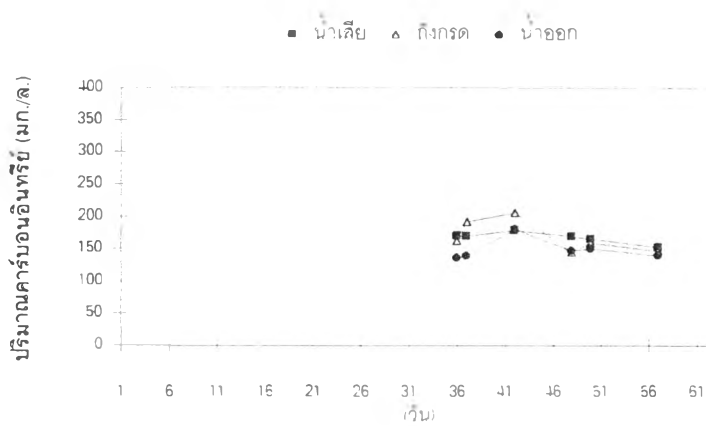




(ก) ยูเอเอสปีชุดที่ 1



(ข) ยูเอเอสปีชุดที่ 2

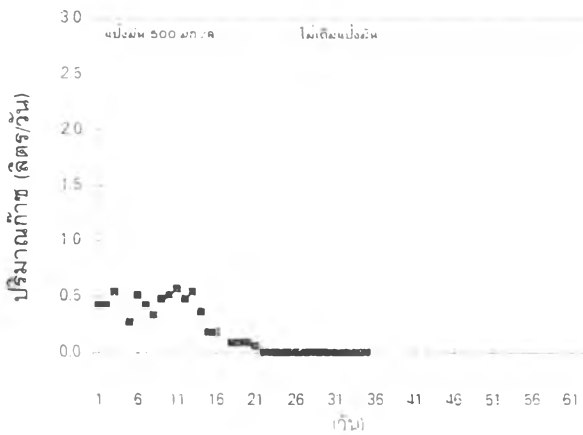


(ค) ยูเอเอสปีชุดที่ 3

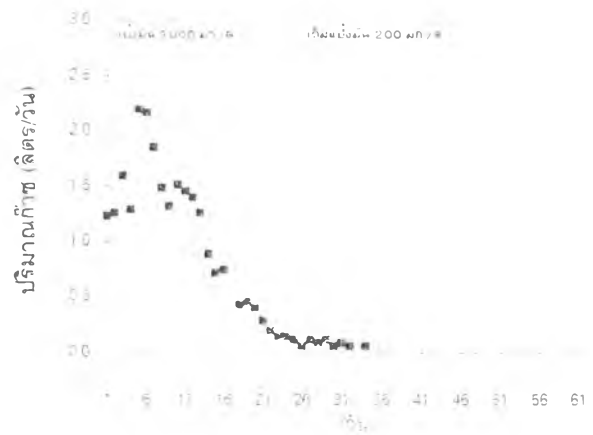
รูปที่ 4.23 ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ตลอดการทดลองที่ 2

7) ก๊าซมีเทน

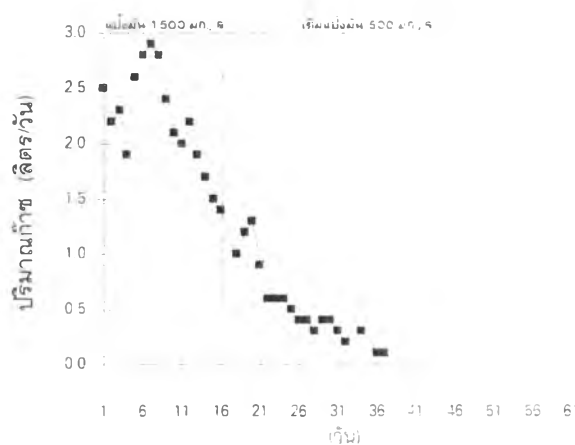
ในการทดลองนี้ได้มีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นแ่งมันที่เดิมให้ ทำให้ปริมาณก๊าซมีเทนยังมีปริมาณน้อยลงไปอีก จากรูปที่ 4.24 จะเห็นว่าในช่วงแรกที่ยังไม่ได้มีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นแ่งมันนั้น (คือช่วง 500-1,500 มก./ล.) ปริมาณก๊าซยังมีความแตกต่างกันระหว่างยูเอเอสบีทั้ง 3 ชุด จากนั้นเมื่อเริ่มเปลี่ยนความเข้มข้นแ่งมันให้เป็นช่วง 0-200 มก./ล. ปริมาณก๊าซก็เริ่มลดลงเรื่อยๆ จนกระทั่งไม่มีก๊าซเกิดขึ้นเลยในยูเอเอสบีทั้ง 3 ชุด ดังนั้นในช่วงที่ระบบเข้าสู่สถานะคงตัว ปริมาณก๊าซทั้งหมดของระบบจึงมีค่าเท่ากับศูนย์ ทั้งนี้จะเป็นเพราะการทำงานของแบคทีเรียสร้างมีเทนลดลงหรือแทบไม่มีเลย แต่จะเห็นว่ายังมีการลดสีและคาสีโอดีลงได้อยู่ แสดงว่ามีการทำงานของแบคทีเรียชนิดอื่นอยู่ในระบบนี้ด้วยที่สามารถลดสีได้



(ก) ยูเอเอสบีชุดที่ 1



(ข) ยูเอเอสบีชุดที่ 2



(ค) ยูเอเอสบีชุดที่ 3

รูปที่ 4.24 ปริมาณก๊าซชีวภาพตลอดการทดลองที่ 2

### 4.1.3 การทดลองที่ 3 น้ำย้อมสีน้ำเงิน

#### 4.1.3.1 ลักษณะน้ำเสีย

การทดลองในชุดนี้ยังคงใช้น้ำเสียจากโรงงานเดิมและจากขั้นตอนที่ 1 ของการย้อมเซน เดิม โดยน้ำย้อมสีน้ำเงินนี้เป็นการผสมกันของสีย้อม 3 ชนิด คือ สีน้ำเงิน สีแดง และสีเหลือง ในสัดส่วนต่างๆ กัน โดยสีที่เป็นสีหลักของน้ำย้อมนี้คือ สีน้ำเงิน Ciba Navy r-G มีสัดส่วน 73.9% ของปริมาณสีทั้งหมดที่ผสมเป็นน้ำย้อมนี้ ซึ่งไม่สามารถหาสูตรโครงสร้างของสีชนิดนี้ ได้เช่นกัน ลักษณะน้ำย้อมสีน้ำเงินได้แสดงไว้ในข้างล่างต่อไปนี้

ความเข้มข้น (SU)	2,550
ซีโอติ (มก./ล.)	1.650
พีเอช	9.95
คลอไรด์ (มก./ล.)	250

ในการเตรียมน้ำย้อมสีน้ำเงินนี้ในขั้นตอนการย้อมของโรงงาน ได้มีการเติมสารประกอบเกลือคลอไรด์ในปริมาณเท่ากับในน้ำย้อมสีแดง แต่น้ำเสียชนิดนี้ก็กลับมีคลอไรด์ในน้ำน้อยกว่า น้ำเสียสีดำนาก ดังนั้น ในการทดลองกับน้ำย้อมสีน้ำเงินนี้จึงไม่มีการรบกวนจากคลอไรด์ แต่ค่าพีเอชของน้ำย้อมสีน้ำเงินนี้สูงมากเช่นกัน ทำให้ต้องทำการปรับพีเอชน้ำย้อมสีเข้มให้เป็นกลางก่อนเช่นกัน โดยการปรับพีเอชได้ใช้กรดซัลฟูริกเข้มข้นเป็นสารปรับพีเอช โดยเติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 2.78 มิลลิลิตร ต่อน้ำย้อมสีเข้ม 1 ลิตร

การจัดอุปกรณ์ในการเดินระบบของการทดลองนี้เป็นเช่นเดียวกับในการทดลองที่ 2 คือ มีการเติมแป้งมันในช่วงความเข้มข้นเดียวกับในการทดลองกับน้ำย้อมสีแดง การจัดอุปกรณ์ในการทดลองกับน้ำย้อมสีน้ำเงินแสดงในรูปที่ 4.25 เนื่องจากในการทดลองที่ 2 พบว่า ปริมาณก๊าซชีวภาพได้หายไปจนไม่มีเลย ทั้งที่ในชุดที่ 2 และ 3 มีการเติมแป้งมันให้และมีการกำจัดแหล่งคาร์บอนจากแป้งมันนั้น แต่กลับไม่มีก๊าซชีวภาพเกิดขึ้น ทำให้เชื่อว่าแบคทีเรียสร้างมีเทนในเชื้อตะกอนจุลินทรีย์ในถังยูเอเอสบีนี้จะเสียสภาพการทำงานไปแล้ว จึงได้ทำการเปลี่ยนเชื้อตะกอนจุลินทรีย์ใหม่ เป็นเชื้อที่ได้จากระบบยูเอเอสบีในงานวิจัยของทวีชัย (2540) แทน และเริ่มเดินระบบใหม่ด้วยความเข้มข้นแป้งมันที่เติมให้เท่ากับ 500 มก./ล. ซึ่งเป็นค่าความเข้มข้นที่ค่อนข้างต่ำ เนื่องจากเชื้อที่นำมานี้ถูกเก็บไว้โดยไม่ได้ใช้บำบัดน้ำเสียใดๆ เป็นเวลานานพอสมควร และยังคงใช้น้ำย้อมสีแดงผสมเป็นน้ำเสียสำหรับป้อนเข้าสู่ระบบ โดยเริ่มต้นในอัตรา

ส่วนเจือจาง 1:20 แล้วค่อยๆ เพิ่มจนเป็น 1:10 เมื่อเห็นว่ามีผลลดสีและการกำจัดซีโอดีได้ค่อนข้างคงที่แล้ว จึงเปลี่ยนเป็นน้ำย้อมสีน้ำเงินและดำเนินการทดลองต่อไป



รูปที่ 4.25 การติดตั้งอุปกรณ์ในการทดลองกับน้ำย้อมสีน้ำเงิน

ผลการทดลองในการทดลองกับน้ำย้อมสีน้ำเงินนี้ แสดงในตารางที่ 4.5 ซึ่งแสดงทั้งค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน โดยตารางนี้จะเป็นค่าเฉลี่ยเฉพาะข้อมูลของการทดลองที่เปลี่ยนเป็นน้ำย้อมสีน้ำเงินแล้วและใช้ค่าความเข้มข้นแป้งมันในช่วง 0 ถึง 500 มก./ล. เช่นเดียวกับการทดลองที่ 2

ตารางที่ 4.5 สรุปค่าเฉลี่ยของตัวแปรต่างๆ จากการทดลองที่ 3 (น้ำย้อมสีน้ำเงิน)

ตัวแปรที่วัด	UASB ชุดที่ 1 (แ่งมัน 0 มก./ล.)			UASB ชุดที่ 2 (แ่งมัน 200 มก./ล.)			UASB ชุดที่ 3 (แ่งมัน 500 มก./ล.)			
	หน้าเสีย	ถึงกรด	นำออก	หน้าเสีย	ถึงกรด	นำออก	หน้าเสีย	ถึงกรด	นำออก	
พีเอช (pH)	เฉลี่ย	7.45	7.67	7.48	7.57	7.14	7.32	7.79	6.83	7.14
	n=18 SD.	0.05	0.08	0.08	0.06	0.06	0.04	0.4	0.1	0.06
อุณหภูมิ (Temperature) (องศาเซลเซียส)	เฉลี่ย	29.8	29.7	30.0	29.9	29.7	30.0	29.8	29.7	29.9
	n=18 SD.	0.7	0.6	0.7	0.7	0.6	0.7	0.7	0.6	0.6
โออาร์พี (ORP) (มิลลิโวลท์)	เฉลี่ย		-328	-357		-367	-377		-370	-379
	n=18 SD.		19	7		5	3		4	4
ความเข้มข้น (SU)	เฉลี่ย	152	142	79	154	132	73	155	121	69
	n=19 SD.	2	4	2	3	4	2	2	5	3
ประสิทธิภาพการลดสี (%) *	เฉลี่ย		6	48		14	52		22	56
	n=19 SD.		2	2		3	2		3	2
ซีโอดี (COD) (มิลลิกรัม/ลิตร)	เฉลี่ย	96	96	98	300	234	160	602	439	202
	n=13 SD.	7	6	8	11	15	13	12	36	21
ประสิทธิภาพการกำจัด ซีโอดี (%) **	เฉลี่ย		-2	-3		22	47		27	67
	n=13 SD.		11	11		7	4		6	3
ปริมาณซีโอดีที่ถูกกำจัด (กรัม/วัน) ***	เฉลี่ย			-0.01			0.44			1.42
	n=13 SD.			0.04			0.12			0.23
สภาพด่างทั้งหมด (มิลลิกรัม/ลิตร CaCO <sub>3</sub> )	เฉลี่ย	347	371	392	408	503	539	507	673	757
	n=18 SD.	12	12	17	11	24	26	11	19	28
กรดไขมันระเหย (VFA) (มิลลิกรัม/ลิตร CaCO <sub>3</sub> )	เฉลี่ย	117	124	133	134	185	177	162	300	252
	n=18 SD.	8	10	9	9	10	13	5	16	17
อัตราส่วนกรดไขมันระเหย ต่อสภาพด่างทั้งหมด	เฉลี่ย			0.338			0.329			0.333
	n=18 SD.			0.015			0.012			0.013
ปริมาณคาร์บอนรวม (TC) (ส่วนในล้านส่วน)	เฉลี่ย	131.5	131.4	135.8	161.7	181.3	172.0	223.1	256.9	223.3
	n=7 SD.	4.1	4.1	3.3	8.8	7.3	11.9	12.3	10.1	9.0
ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ (IC) (ส่วนในล้านส่วน)	เฉลี่ย	91.3	98.2	103.6	106.5	126.6	143.0	131.7	153.9	206.7
	n=7 SD.	3.9	3.5	4.1	4.6	6.4	6.9	5.0	4.9	9.3
ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ (TOC) (ส่วนในล้านส่วน)	เฉลี่ย	40.2	33.3	32.2	55.3	54.7	29.0	91.4	103.0	16.5
	n=7 SD.	1.9	1.5	2.1	5.1	7.0	7.3	9.6	10.6	2.8
ปริมาณก๊าซทั้งหมด (ลิตร/วัน)	เฉลี่ย			0			0			0.30
	n=19 SD.			-			-			0.07
ก๊าซมีเทน (%)				-			-			86
				-			-			-
อัตราการผลิตก๊าซมีเทน (ลิตร/กรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด)				-			-			0.18
				-			-			-

\* ประสิทธิภาพการลดสีทั้งในถึงกรดและในนำออกคิดเทียบจากความเข้มข้นในหน้าเสีย

\*\* ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีทั้งในถึงกรดและในนำออกคิดเทียบจากค่าซีโอดีในหน้าเสีย

\*\*\* ปริมาณซีโอดีที่ถูกกำจัดคิดเทียบจากค่าซีโอดีในถึงกรด โดยถือว่าเป็นค่าซีโอดีที่เข้าถังยูเอเอสบี

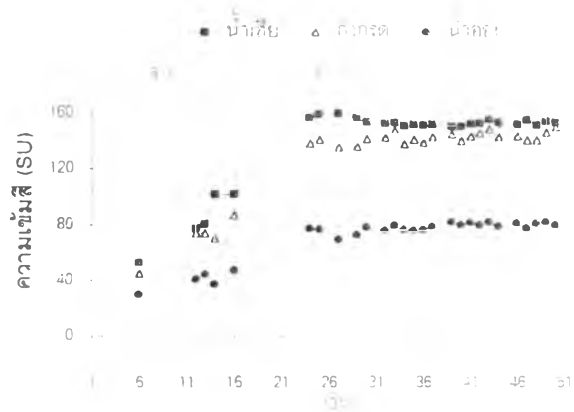
#### 4.1.3.2 วิจารณ์ผลการทดลอง

##### 1) ความเข้มข้นและประสิทธิภาพการลดสี

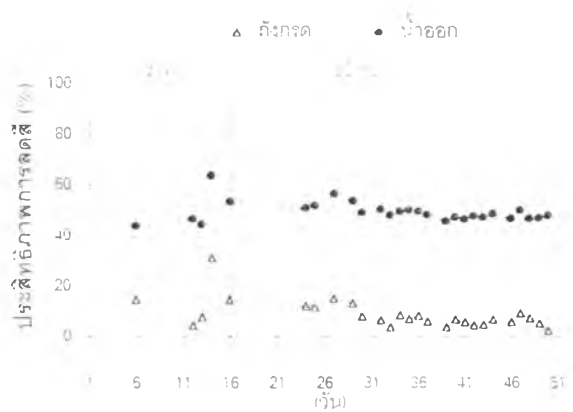
จากข้อมูลในตารางที่ 4.5 ค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นสีในน้ำเสียที่เตรียมให้กับยูเอเอสบีชุดที่ 1 เท่ากับ 152 และเท่ากับ 154 และ 155 SU ในชุดที่ 2 และ 3 ตามลำดับ ส่วนในถังสร้างกรดมีความเข้มข้นสีในชุดที่ 1 เท่ากับ 142 SU ชุดที่ 2 เท่ากับ 132 SU และในชุดที่ 3 เท่ากับ 121 SU ส่วนน้ำออกในชุดที่ 1 มีค่าสูงกว่าชุดอื่นคือเท่ากับ 79 SU และเท่ากับ 73 และ 69 SU ในชุดที่ 2 และ 3 ตามลำดับ เมื่อพิจารณารูปที่ 4.26 ซึ่งแสดงค่าความเข้มข้นสีตลอดการทดลอง โดยในช่วงเดือนแรกของการทดลองเป็นการเริ่มเดินระบบกับเชื้อตะกอนจุลินทรีย์ใหม่ด้วยน้ำย้อมสีแดง แต่ไม่ได้ผสมให้มีความเข้มข้นแดงจนถึง 150 SU ก็เริ่มการทดลองด้วยน้ำย้อมสีน้ำเงิน จากรูปจะเห็นว่าความเข้มข้นสีทั้งในถังสร้างกรดและน้ำออกเข้าสู่สถานะคงตัวอย่างรวดเร็ว มีค่าความแปรปรวนน้อย (จากตารางที่ 4.5)

ความเข้มข้นสีในถังสร้างกรดในยูเอเอสบีชุดที่ 1 มีค่าลดลงไปจากน้ำเสียเพียงเล็กน้อย ในขณะที่ชุดที่ 2 ก็มีความเข้มข้นสีลดลงไปมากกว่าในชุดที่ 1 และเช่นเดียวกันคือในชุดที่ 3 ลดมากกว่าชุดที่ 2 แสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นสีมีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นแป้งมันที่เติมให้ คือความเข้มข้นสีในถังสร้างกรดจะลดลงเมื่อความเข้มข้นแป้งมันเพิ่มขึ้น และความเข้มข้นสีในน้ำออกก็มีลักษณะเช่นเดียวกัน คือ ความเข้มข้นสีในน้ำออกมีค่าลดลงเมื่อความเข้มข้นแป้งมันเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เพราะสาเหตุที่ได้กล่าวไปแล้วในการทดลองที่ 2 คือแบคทีเรียต้องการคาร์บอนที่ย่อยง่ายเป็นอาหารในขั้นตอนการลดสีนั่นเอง จึงเป็นสาเหตุให้การลดสีมีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นแป้งมันที่เติมให้

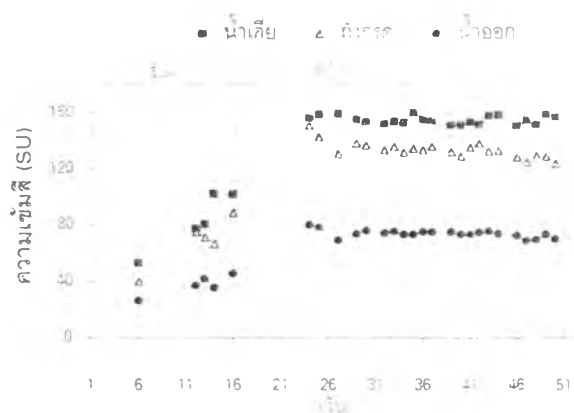
ประสิทธิภาพการลดสีตลอดการทดลองแสดงในรูปที่ 4.27 จะเห็นว่าในช่วงแรกของการทดลองที่ยังใช้น้ำย้อมสีแดงอยู่ ประสิทธิภาพการลดสีจะมีความแปรปรวนพอสมควร เนื่องจากยังอยู่ในช่วงของการเริ่มเดินระบบ จากนั้นเมื่อเดินระบบไปได้ระยะหนึ่งและเปลี่ยนน้ำย้อมเป็นสีน้ำเงิน รวมทั้งเปลี่ยนความเข้มข้นแป้งมันแล้ว ประสิทธิภาพการลดสีทั้งในถังสร้างกรดและในน้ำออกก็เริ่มคงที่ เช่นเดียวกับความเข้มข้นสีที่กล่าวแล้วข้างต้น โดยในถังสร้างกรดมีประสิทธิภาพเฉลี่ยร้อยละ 6 14 และ 22 ในระบบยูเอเอสบีชุดที่ 1 2 และ 3 ตามลำดับ ส่วนประสิทธิภาพรวมเมื่อผ่านขั้นตอนการสร้างมีเทนในถังยูเอเอสบีนั้นในชุดที่ 1 เฉลี่ยร้อยละ 48 และเป็นร้อยละ 52 และ 56 สำหรับยูเอเอสบีชุดที่ 2 และ 3 ตามลำดับ จะเห็นว่าประสิทธิภาพการลดสีในถังสร้างกรดมีความแตกต่างกัน เมื่อใช้ความเข้มข้นแป้งมันแตกต่างกันในช่วงที่กำหนด ส่วนประสิทธิภาพการลดสีรวมก็มีความแตกต่างกันค่อนข้างน้อยกว่า



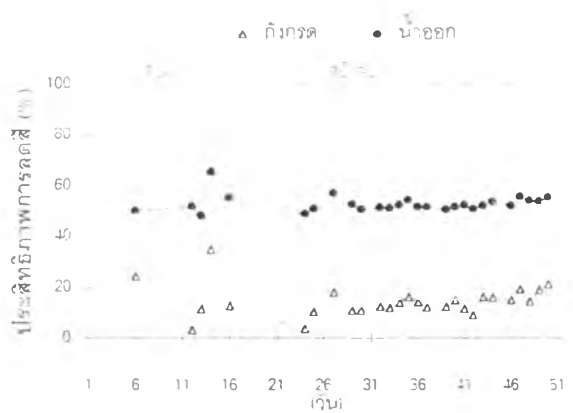
(ก) ยูเอเอสปีชุดที่ 1



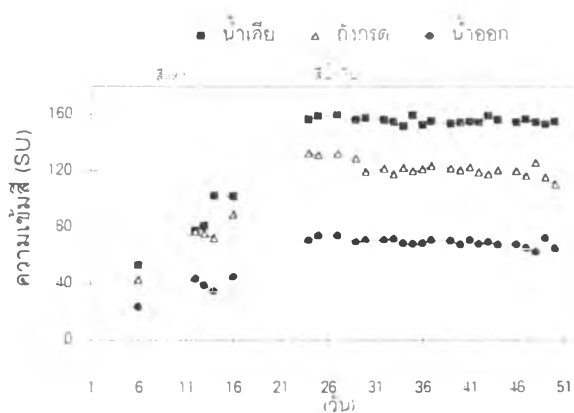
(ง) ยูเอเอสปีชุดที่ 1



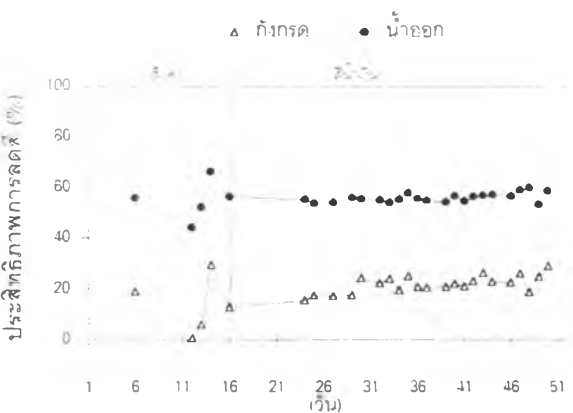
(ข) ยูเอเอสปีชุดที่ 2



(ฉ) ยูเอเอสปีชุดที่ 2



(ค) ยูเอเอสปีชุดที่ 3



(ช) ยูเอเอสปีชุดที่ 3

รูปที่ 4.26 ค่าความเข้มข้น  
ตลอดการทดลองที่ 3

รูปที่ 4.27 ประสิทธิภาพการลดสี  
ตลอดการทดลองที่ 3

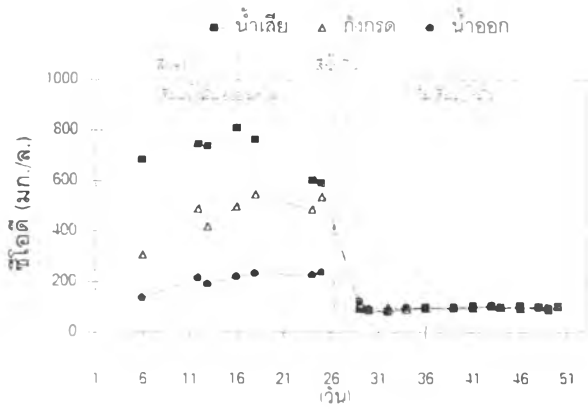
## 2) ซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัด

จากตารางที่ 4.5 ค่าซีโอดีเฉลี่ยในน้ำเสียที่เตรียมสำหรับยูเอเอสบีชุดที่ 1 เท่ากับ 96 มก./ล. และเท่ากับ 300 และ 602 มก./ล. ในชุดที่ 2 และ 3 ตามลำดับ เป็นผลรวมของค่าซีโอดีของแป้งมันที่เติมให้และค่าซีโอดีของน้ำย้อมสี ส่วนในถังสร้างกรดของยูเอเอสบีชุดที่ 1 มีค่าซีโอดีเท่ากับ 96 มก./ล. และในชุดที่ 2 เท่ากับ 234 มก./ล. และ 439 มก./ล. ในชุดที่ 3 ค่าซีโอดีในน้ำออกของยูเอเอสบีทั้ง 3 ชุด เป็นดังนี้คือ เท่ากับ 98 160 และ 202 มก./ล. ในยูเอเอสบีชุดที่ 1 2 และ 3 ตามลำดับ

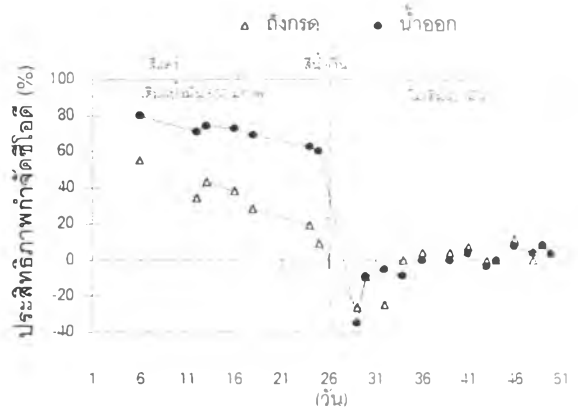
ค่าซีโอดีตลอดการทดลองแสดงในรูปที่ 4.28 โดยในช่วงเดือนแรกที่เป็นารเริ่มต้นระบบกับน้ำย้อมสีแดง จะเตรียมแป้งมันประมาณ 500 มก./ล. ให้กับยูเอเอสบีทั้ง 3 ชุดเหมือนกัน ค่าซีโอดีที่แสดงในรูปของยูเอเอสบีทั้ง 3 ชุดจึงมีลักษณะที่คล้ายคลึงกัน และเมื่อเริ่มต้นระบบด้วยน้ำย้อมสีน้ำเงิน ค่าซีโอดีก็เปลี่ยนแปลงไปตามแป้งมันที่เติมให้และมีค่าคงที่ค่อนข้างรวดเร็ว โดยเฉพาะในยูเอเอสบีชุดที่ 1 ที่มีค่าซีโอดีในน้ำเสีย ถึงสร้างกรดและในน้ำออก แทบจะไม่แตกต่างกัน แสดงว่าไม่มีการกำจัดซีโอดีเลย ส่วนในยูเอเอสบีชุดที่ 2 นั้น ก็มีการลดลงของซีโอดีในถังสร้างกรดและในน้ำออกตามลำดับ ทั้งนี้เพราะมีการเติมแป้งมันที่ย่อยสลายได้ในยูเอเอสบีชุดที่ 3 ก็เช่นเดียวกัน แต่ค่าซีโอดีในถังสร้างกรดกลับมีความแปรปรวนมากกว่าในชุดที่ 2 ก็เพราะแบคทีเรียในถังสร้างกรดได้รับแป้งมันมากขึ้น มีการหมักตามธรรมชาติของถังสร้างกรดมากขึ้น ส่วนค่าซีโอดีในน้ำออกค่อนข้างคงที่ทั้ง 3 ชุด

ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี (จากตารางที่ 4.5) ในถังสร้างกรดของระบบยูเอเอสบีชุดที่ 1 เท่ากับร้อยละ -2 และเท่ากับร้อยละ 22 และ 27 ในยูเอเอสบีชุดที่ 2 และ 3 ตามลำดับ ส่วนในน้ำออกมีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีร้อยละ -3 47 และ 67 สำหรับยูเอเอสบีชุดที่ 1 2 และ 3 ตามลำดับ เมื่อพิจารณารูปที่ 4.29 โดยเฉพาะในยูเอเอสบีชุดที่ 1 ที่ไม่ได้มีการเติมแป้งมันให้ ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีมีค่าต่ำมากจนบางครั้งก็ติดลบเล็กน้อย ซึ่งแสดงว่าค่าซีโอดีในถังสร้างกรดและในน้ำออกมีค่าเพิ่มขึ้นจากน้ำเสียที่เตรียมให้ หรือมองอีกด้านหนึ่งคือ ค่าซีโอดีไม่ลดลง แสดงว่าแบคทีเรียไม่สามารถลดค่าซีโอดีในน้ำเสียที่ไม่ได้มีการเติมแป้งมันให้ลงได้ ส่วนประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีในถังสร้างกรดของยูเอเอสบีชุดที่ 2 และ 3 ค่อนข้างแปรปรวน ซึ่งเป็นลักษณะของถังสร้างกรดที่มีการหมักตามธรรมชาติ ส่วนในน้ำออกกลับมีประสิทธิภาพค่อนข้างคงที่ และจะเห็นว่าประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีกลับเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นแป้งมันที่เติมให้ในน้ำเสียเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ก็เพราะแบคทีเรียสามารถย่อยแป้งมันที่เติมให้ได้ แต่ไม่สามารถย่อยสารอินทรีย์จากสีย้อมในน้ำเสียที่ไม่ได้เติมแป้งมันให้ได้

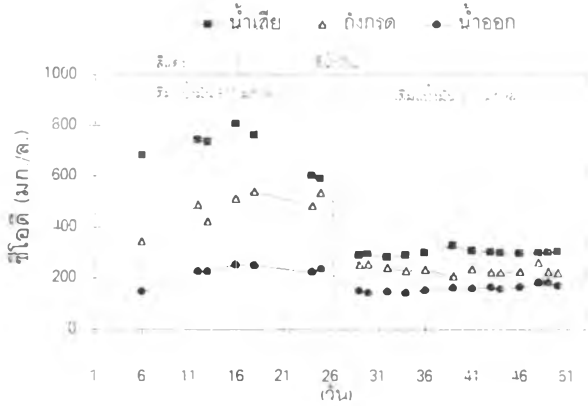




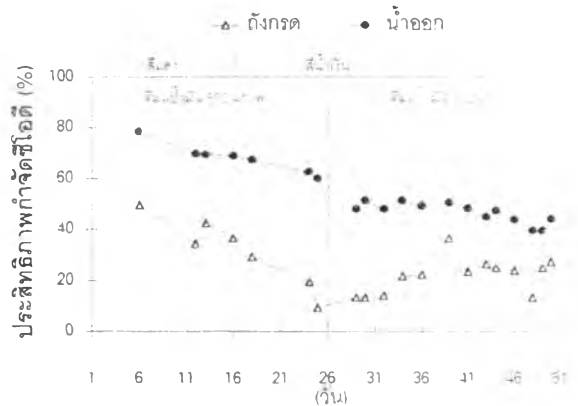
(ก) ยูเอเอสบีชุดที่ 1



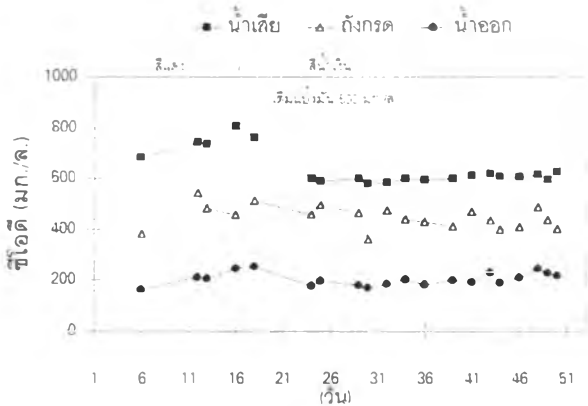
(ก) ยูเอเอสบีชุดที่ 1



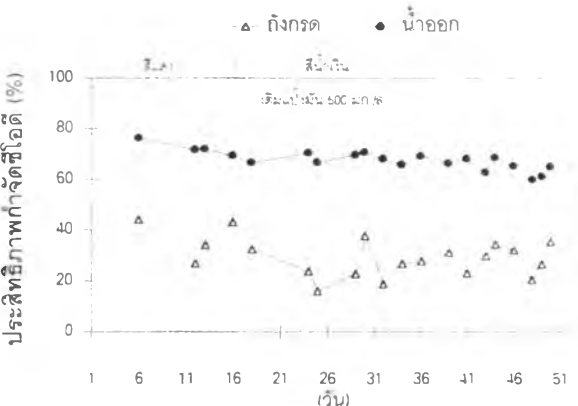
(ข) ยูเอเอสบีชุดที่ 2



(ข) ยูเอเอสบีชุดที่ 2



(ค) ยูเอเอสบีชุดที่ 3



(ค) ยูเอเอสบีชุดที่ 3

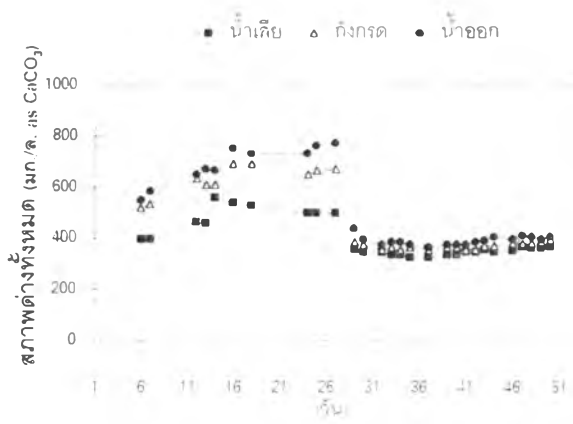
รูปที่ 4.28 ค่าซีไอดีตลอดการทดลองที่ 3

รูปที่ 4.29 ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีตลอดการทดลองที่ 3

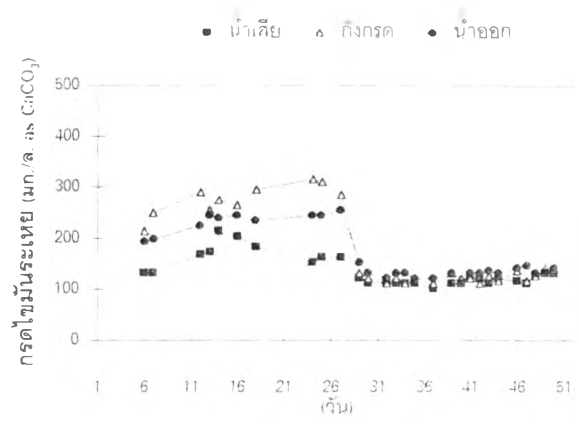
### 3) สภาพต่างทั้งหมดและกรดไขมันระเหย

จากตารางที่ 4.5 สภาพต่างทั้งหมดของระบบยูเอเอสบีชุดที่ 1 ในน้ำเสีย ถึงสร้างกรดและน้ำออกเท่ากับ 347 371 และ 392 มก./ล. ในเทอมของแคลเซียมคาร์บอเนต ตามลำดับ ในชุดที่ 2 เท่ากับ 408 503 และ 539 มก./ล. ในเทอมของแคลเซียมคาร์บอเนต ตามลำดับ และในชุดที่ 3 เท่ากับ 507 673 และ 757 มก./ล. ในเทอมของแคลเซียมคาร์บอเนต ตามลำดับ และเช่นกันที่น้ำย้อมสีน้ำเงินนี้มีสภาพต่างทั้งหมดก่อนการปรับพีเอชค่อนข้างสูง หลังจากการปรับพีเอชน้ำย้อมให้เป็นกลางแล้ว การเติมสารบีฟเฟอร์ให้ระบบยังคงใช้สัดส่วนเช่นเดิม โดยยัดซีโอไลท์ที่เข้าสู่ระบบเป็นหลัก ทำให้สภาพต่างทั้งหมดที่วัดได้ค่อนข้างสูง เพราะเป็นสภาพต่างที่มีอยู่แล้วในน้ำย้อม จากข้อมูลค่าเฉลี่ยจะเห็นว่าสภาพต่างทั้งหมดเพิ่มขึ้นทั้งในถึงสร้างกรดและในน้ำออก โดยเฉพาะในยูเอเอสบีชุดที่ 3 มีสภาพต่างทั้งหมดเพิ่มขึ้นในน้ำออกถึงเกือบร้อยละ 50 ของสภาพต่างทั้งหมดในน้ำเสีย ในชุดที่ 2 มีการเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 30 ในขณะที่ชุดที่ 1 มีการเพิ่มขึ้นของสภาพต่างน้อยที่สุด คือประมาณร้อยละ 10 เท่านั้น ข้อมูลสภาพต่างทั้งหมดตลอดการทดลองแสดงในรูปที่ 4.30 และเช่นกันที่จะพิจารณาแผนกราฟในช่วงเดือนหลังของการทดลองที่เป็นการทดลองกับน้ำย้อมสีน้ำเงิน จะเห็นว่าการเพิ่มขึ้นของสภาพต่างทั้งหมดมีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นแป้งมันที่เติมให้ คือ ในชุดที่ 3 จะมีการเปลี่ยนแปลงมากที่สุด และในชุดที่ 1 มีการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด แสดงว่าการทำงานของแบคทีเรียที่ผลิตไบคาร์บอเนตมีมากขึ้นเมื่อมีการเติมแป้งมันให้มากขึ้น เนื่องจากมีอาหารให้มากขึ้นนั่นเอง

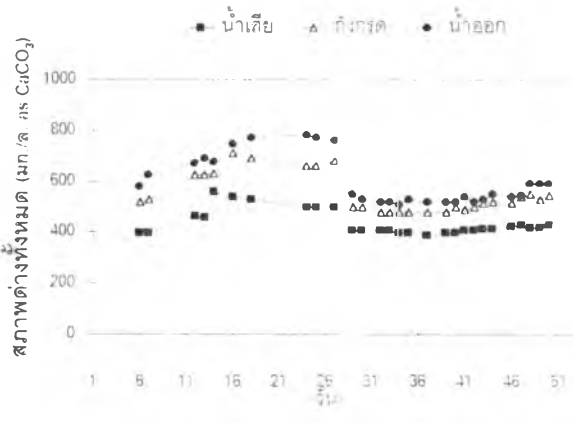
ปริมาณกรดไขมันระเหยเฉลี่ยในน้ำเสียของยูเอเอสบีชุดที่ 1 เท่ากับ 117 มก./ล. ในเทอมของแคลเซียมคาร์บอเนต และในถึงสร้างกรดและน้ำออกเท่ากับ 124 และ 133 มก./ล. ในเทอมของแคลเซียมคาร์บอเนต ตามลำดับ ส่วนในยูเอเอสบีชุดที่ 2 เท่ากับ 134 185 และ 177 มก./ล. ในเทอมของแคลเซียมคาร์บอเนต ในน้ำเสีย ถึงสร้างกรดและน้ำออกตามลำดับ และชุดที่ 3 เท่ากับ 162 300 และ 252 มก./ล. ในเทอมของแคลเซียมคาร์บอเนตตามลำดับ ปริมาณกรดไขมันระเหยตลอดการทดลองแสดงในรูปที่ 4.31 จะเห็นว่าทั้งค่าเฉลี่ยและข้อมูลที่แสดงในชุดที่ 1 แสดงให้เห็นว่า ปริมาณกรดไขมันระเหยมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยในถึงสร้างกรดและในน้ำออกเมื่อเทียบกับในน้ำเสีย โดยค่าเฉลี่ยแสดงค่าที่เพิ่มขึ้นทั้งในถึงสร้างกรดและในน้ำออก นั่นคือไม่มีการกำจัดกรดไขมันระเหยในถึงยูเอเอสบี ต่างกับในชุดที่ 2 และ 3 ที่มีปริมาณกรดไขมันระเหยเพิ่ม ในถึงสร้างกรดและลดลงในถึงยูเอเอสบี การเปลี่ยนแปลงของปริมาณกรดไขมันระเหยในน้ำเสีย ถึงสร้างกรดและน้ำออกนี้มีความแตกต่างกันชัดเจนมากขึ้นเมื่อความเข้มข้นของแป้งมันที่เติมให้สูงมากขึ้นเช่นเดียวกับสภาพต่างทั้งหมด ทั้งนี้พอจะกล่าวได้ว่าการเติมแป้งมันให้กับระบบมากขึ้น ทำให้มีการทำงานของแบคทีเรียเพิ่มขึ้น (แบคทีเรียใน



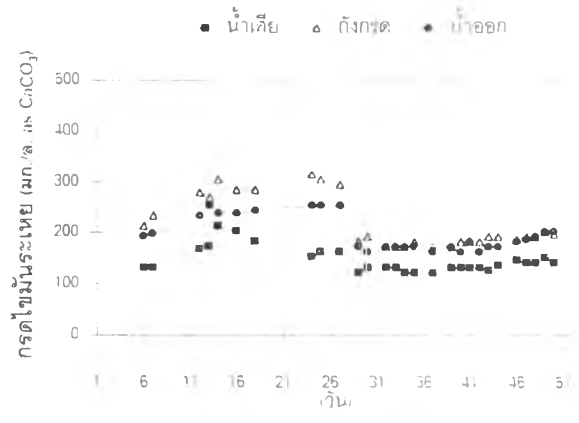
(ก) ยูเอเอสบีชุดที่ 1



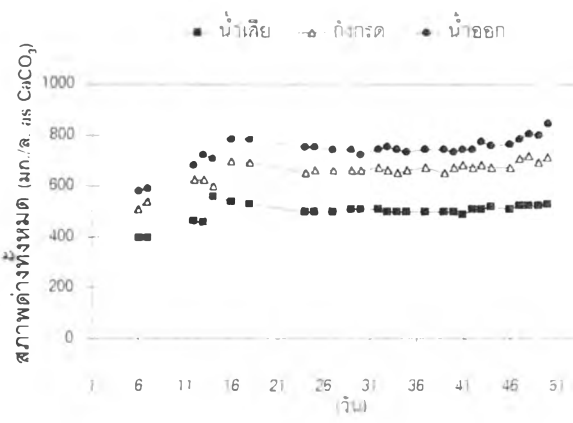
(ก) ยูเอเอสบีชุดที่ 1



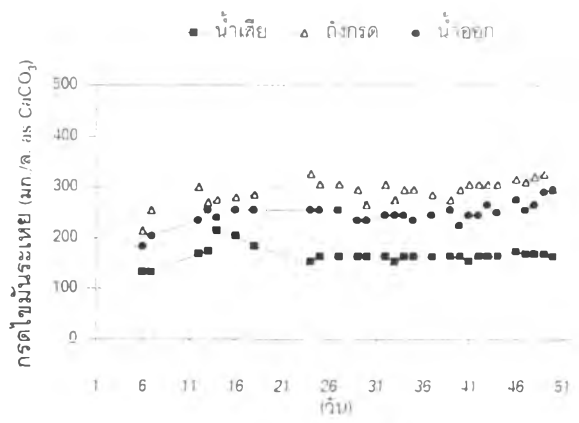
(ข) ยูเอเอสบีชุดที่ 2



(ข) ยูเอเอสบีชุดที่ 2



(ค) ยูเอเอสบีชุดที่ 3



(ค) ยูเอเอสบีชุดที่ 3

รูปที่ 4.30 สภาพต่างทั้งหมด  
ตลอดการทดลองที่ 3

รูปที่ 4.31 ปริมาณกรดไขมันระเหย  
ตลอดการทดลองที่ 3

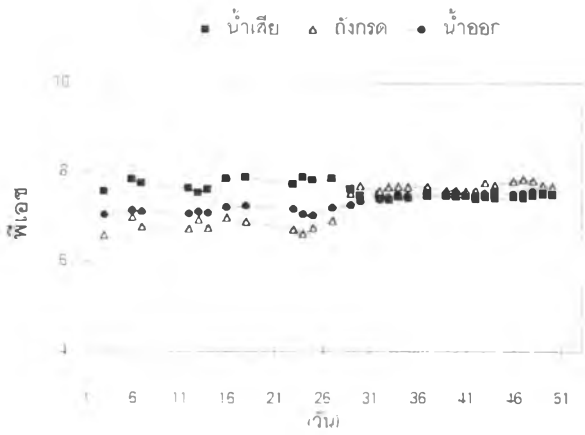
ถึงสร้างกรดผลิตกรดไขมันระเหยเพิ่มขึ้น และแบคทีเรียในถึงสร้างมีเทนใช้กรดไขมันระเหยเป็นสารอาหารได้มากขึ้น) ในขณะที่ในชุดที่ 1 ที่ไม่ได้มีการเติมแหล่งคาร์บอนให้ ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในถึงสร้างกรดและในน้ำออกแทบจะไม่แตกต่างจากในน้ำเสียเทาไคนัก แสดงว่าไม่มีการทำงานของแบคทีเรียในการย่อยสารอินทรีย์

#### 4) พีเอชและอัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพ่างทั้งหมด

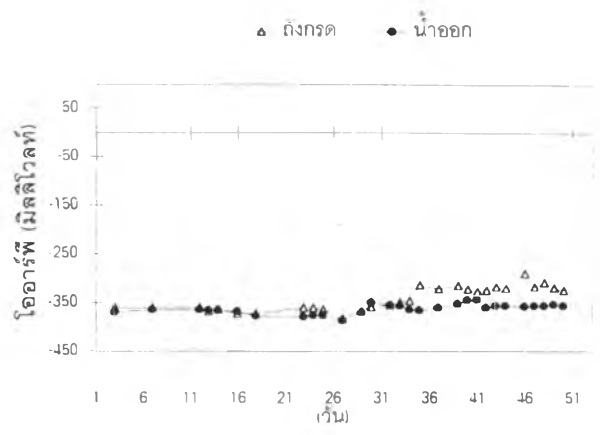
จากตารางที่ 4.5 ระบบยูเอเอสบีชุดที่ 1 มีค่าพีเอชเฉลี่ยในน้ำเสียเท่ากับ 7.45 ในถึงสร้างกรดเท่ากับ 7.65 และในน้ำออกเท่ากับ 7.48 ในขณะที่ยูเอเอสบีชุดที่ 2 ค่าพีเอชเฉลี่ยเท่ากับ 7.57 7.14 และ 7.32 ตามลำดับ และชุดที่ 3 เท่ากับ 7.79 6.83 และ 7.14 ตามลำดับ ค่าพีเอชตลอดการทดลองแสดงในรูปที่ 4.32 จะเห็นว่าในช่วงเดือนแรกของการทดลองนี้ ค่าพีเอชในน้ำเสีย ถึงสร้างกรดและน้ำออก มีความแตกต่างกันให้เห็นได้ชัด โดยในถึงสร้างกรดมี พีเอชต่ำกว่าในน้ำเสียและในน้ำออก คาดว่าเป็นเพราะมีการสร้างกรดไขมันระเหยขึ้น และเมื่อมีการปรับเข้าสู่การทดลองที่ต้องการแล้ว ในชุดที่ 1 จะเห็นว่าค่าพีเอชไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก โดยในถึงสร้างกรดจะสูงที่สุด ทั้งนี้จะเป็นเพราะมีสภาพ่างทั้งหมดในน้ำเพิ่มขึ้นในขณะที่กรดไขมันระเหยมีการเพิ่มขึ้นไม่เพียงพอ ทำให้พีเอชมีค่าสูงขึ้น ส่วนในชุดที่ 2 มีความเปลี่ยนแปลงของค่าพีเอชให้เห็นบ้างเล็กน้อย โดยที่ในถึงสร้างกรดมีค่าต่ำที่สุดทั้งนี้ก็เพราะมีการสร้างกรดไขมันระเหย และมีการใช้ไปในถึงยูเอเอสบีทำให้พีเอชกลับสูงขึ้นเล็กน้อยในน้ำออก และเช่นเดียวกันในชุดที่ 3 ก็มีลักษณะเดียวกับในชุดที่ 2 แต่มีความแตกต่างของพีเอชชัดเจนมากขึ้น ค่าพีเอชในน้ำออกมีค่าค่อนข้างคงที่ตลอดการทดลองทั้ง 3 ชุด และมีแนวโน้มที่ค่าพีเอชในน้ำออกสูงในชุดที่มีการเติมแป้งมันน้อย ทั้งนี้เป็นเช่นเดียวกับการทดลองกับน้ำย้อมสีแดง เพราะในการทดลองนี้มีสภาพ่างทั้งหมดของน้ำย้อมเองเข้ามาเกี่ยว แต่เมื่อพิจารณาค่าอัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพ่างทั้งหมดของยูเอเอสบีทั้ง 3 ชุด ซึ่งมีค่าดังต่อไปนี้คือ 0.338 ในน้ำออกของยูเอเอสบีชุดที่ 1 และ เท่ากับ 0.329 ในชุดที่ 2 และ เท่ากับ 0.333 ในชุดที่ 3 จะเห็นว่าในการทดลองนี้ไม่มีความสัมพันธ์กันระหว่างค่าอัตราส่วนนี้กับพีเอชในน้ำออก แสดงว่าสภาพ่างทั้งหมดน่าจะมอิทธิพลกับพีเอชมากกว่าค่าอัตราส่วนนี้

#### 5) โออาร์พี

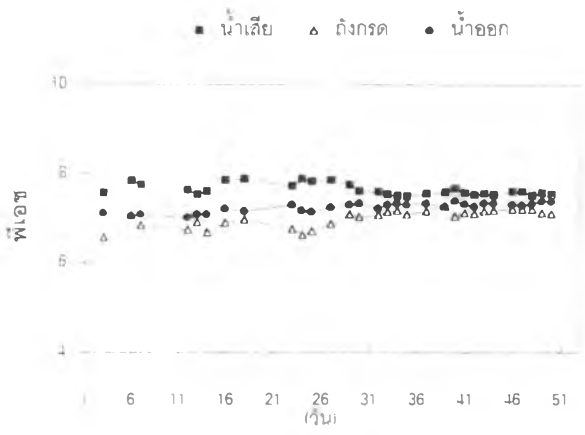
จากตารางที่ 4.5 ในยูเอเอสบีชุดที่ 1 ค่าโออาร์พีเฉลี่ยในถึงสร้างกรดเท่ากับ -328 มิลลิโวลท์ และในน้ำออกเท่ากับ -357 มิลลิโวลท์ ในขณะที่ชุดที่ 2 และ 3 มีลักษณะคล้ายกันคือ ค่าโออาร์พีในถึงสร้างกรดและในน้ำออกไม่ค่อยแตกต่างกันเท่าไรนัก โดยค่าเฉลี่ยในถึงสร้างกรดของชุดที่ 2 เท่ากับ -367 และในน้ำออกเท่ากับ -377 มิลลิโวลท์ ส่วนชุดที่ 3 มีค่า



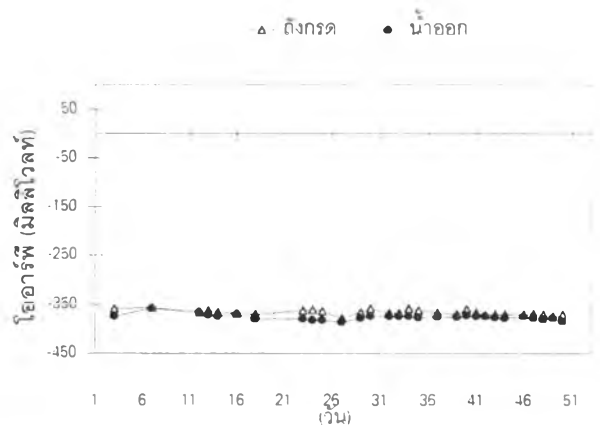
(ก) ยูเอเอสบีชุดที่ 1



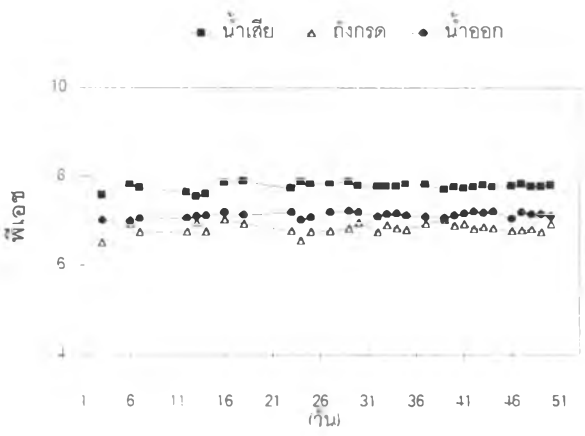
(ก) ยูเอเอสบีชุดที่ 1



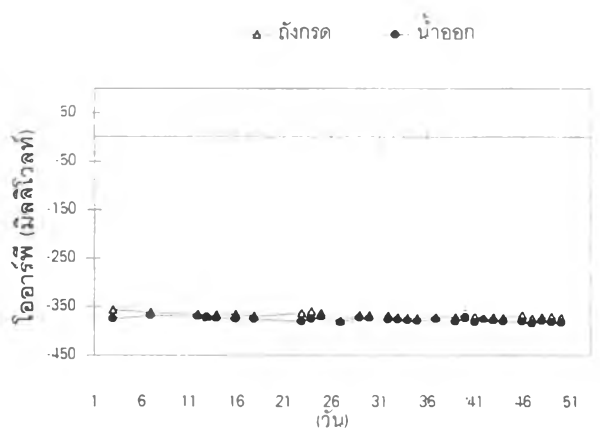
(ข) ยูเอเอสบีชุดที่ 2



(ข) ยูเอเอสบีชุดที่ 2



(ค) ยูเอเอสบีชุดที่ 3



(ค) ยูเอเอสบีชุดที่ 3

รูปที่ 4.32 ค่าฟอสฟอรัสตลอดการทดลองที่ 3

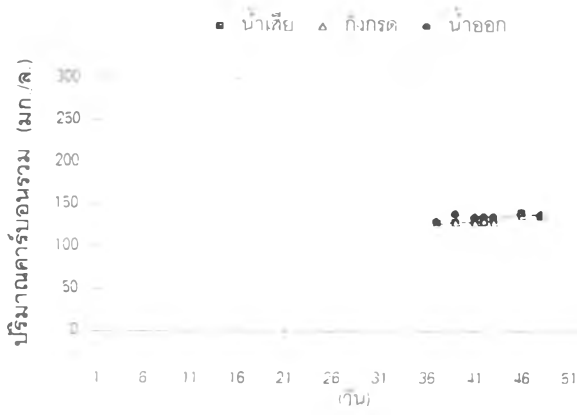
รูปที่ 4.33 ค่าไออาร์พีตลอดการทดลองที่ 3

ไออาร์พีเฉลี่ยในถังสร้างกรดเท่ากับ -370 และในน้ำออกเท่ากับ -379 มิลลิโวลท์ จะเห็นว่าค่าไออาร์พีทั้งในถังสร้างกรดและในน้ำออก มีค่าเป็นลบเพิ่มมากขึ้นเมื่อความเข้มข้นแป้งมันที่เติมให้สูงขึ้น เพียงแต่ค่าเฉลี่ยในชุดที่ 2 เทียบกับชุดที่ 3 แล้ว ไม่ถือว่าแตกต่างกันอย่างมีนัย ค่าไออาร์พีตลอดการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.33 จะเห็นว่าค่าไออาร์พีในถังสร้างกรดแทบจะไม่มี ความแตกต่างกับค่าไออาร์พีในน้ำออก ยกเว้นแต่ในชุดที่ 1 ที่มีความแตกต่างให้เห็นบ้าง และมีค่าเป็นลบน้อยกว่าในน้ำออก ทั้งนี้อาจมีสาเหตุจากผลของพีเอชที่มีต่อค่าไออาร์พีรวม ด้วยดังเช่นในการทดลองที่ 2

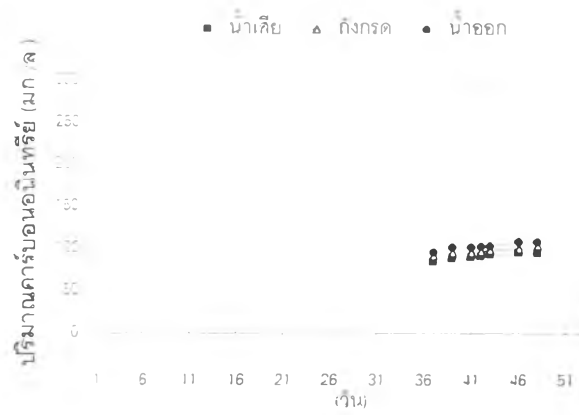
#### 6) ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์รวม (TOC) ปริมาณคาร์บอนรวม (TC) และปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ (IC)

##### ปริมาณคาร์บอนรวม (TC)

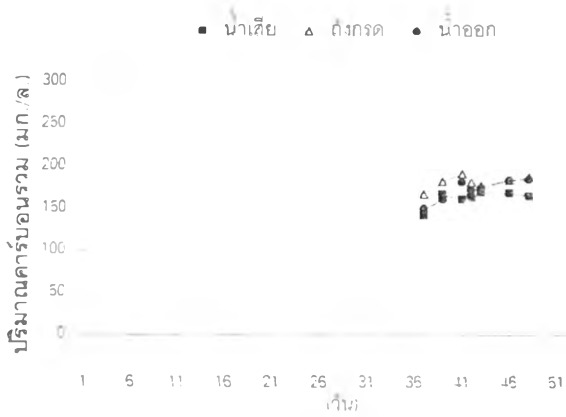
จากตารางที่ 4.5 ค่าปริมาณคาร์บอนรวมเฉลี่ยในน้ำเสียของยูเอเอสบีชุดที่ 1 เท่ากับ 131.5 มก./ล. ในถังสร้างกรดเท่ากับ 131.4 มก./ล. และในน้ำออกเท่ากับ 135.8 มก./ล. ส่วนในชุดที่ 2 มีค่าปริมาณคาร์บอนรวมเฉลี่ยในน้ำเสียที่ผ่านการกรองแล้วเท่ากับ 161.7 มก./ล. ในถังสร้างกรดเท่ากับ 181.3 มก./ล. และในน้ำออกเท่ากับ 172.0 มก./ล. และในชุดที่ 3 มีค่าปริมาณคาร์บอนรวมเฉลี่ยเท่ากับ 223.1 256.9 และ 223.3 มก./ล. ในน้ำเสียถังสร้างกรด และน้ำออกตามลำดับ ในชุดที่ 1 ที่ไม่ได้มีการเติมแป้งมันให้ ดังนั้นค่าปริมาณคาร์บอนรวมในน้ำเสียจึงเป็นค่าที่มีอยู่จริงในน้ำเสีย จากค่าเฉลี่ยจะเห็นว่า แทบจะไม่มี การเปลี่ยนแปลงปริมาณคาร์บอนรวมในยูเอเอสบีชุดนี้เลย แสดงว่าคาร์บอนในยูเอเอสบีชุดนี้ไม่มีการเปลี่ยนรูปเป็นก๊าซหนีหายไปจากระบบได้เลย ส่วนในชุดที่ 2 และ 3 กลับมีปริมาณคาร์บอนรวมเพิ่มขึ้นในถังสร้างกรดแล้วลดลงในน้ำออก ทั้งนี้เพราะความเป็นจริงแล้ว ปริมาณคาร์บอนรวมของน้ำเสียในยูเอเอสบีทั้ง 2 ชุดนี้ ควรจะมากกว่านี้เพราะมีส่วนหนึ่งของคาร์บอนในน้ำที่ถูกกรองออกไปก่อนแล้วด้วยความจำเป็น การลดลงของปริมาณคาร์บอนอินทรีย์เมื่อเทียบระหว่างค่าในน้ำออกและในถังสร้างกรด แสดงว่าปริมาณคาร์บอนรวมในยูเอเอสบี 2 ชุดนี้ มีบางส่วนที่ถูกย่อยกลายเป็นก๊าซหนีหายไปจากน้ำได้ ปริมาณคาร์บอนรวมตลอดการทดลองแสดงในรูปที่ 4.34



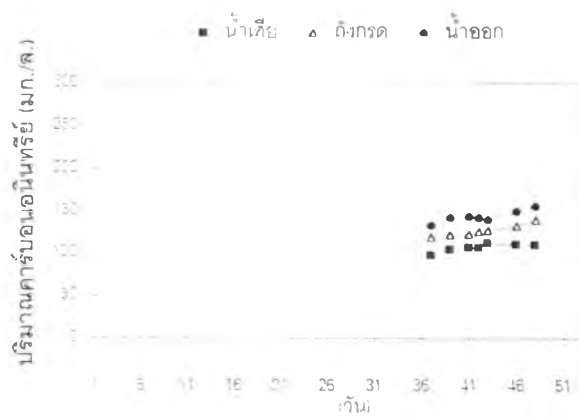
(ก) ยูเอเอสปีชุดที่ 1



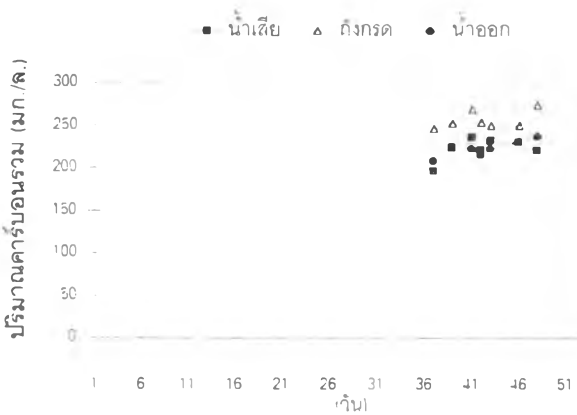
(ก) ยูเอเอสปีชุดที่ 1



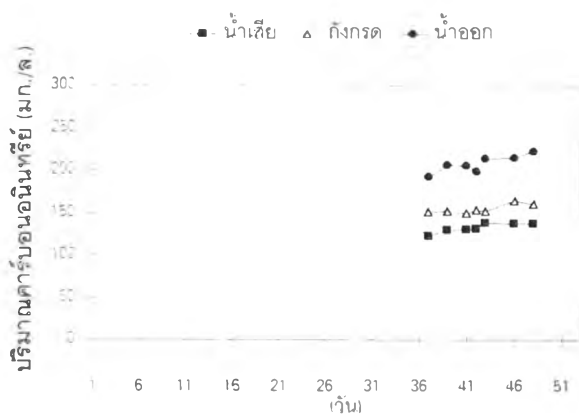
(ข) ยูเอเอสปีชุดที่ 2



(ข) ยูเอเอสปีชุดที่ 2



(ค) ยูเอเอสปีชุดที่ 3



(ค) ยูเอเอสปีชุดที่ 3

รูปที่ 4.34 ปริมาณคาร์บอนรวม (TC) ตลอดการทดลองที่ 3

รูปที่ 4.35 ปริมาณคาร์บอนอนินทรีย์ (IC) ตลอดการทดลองที่ 3

### ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ (IC)

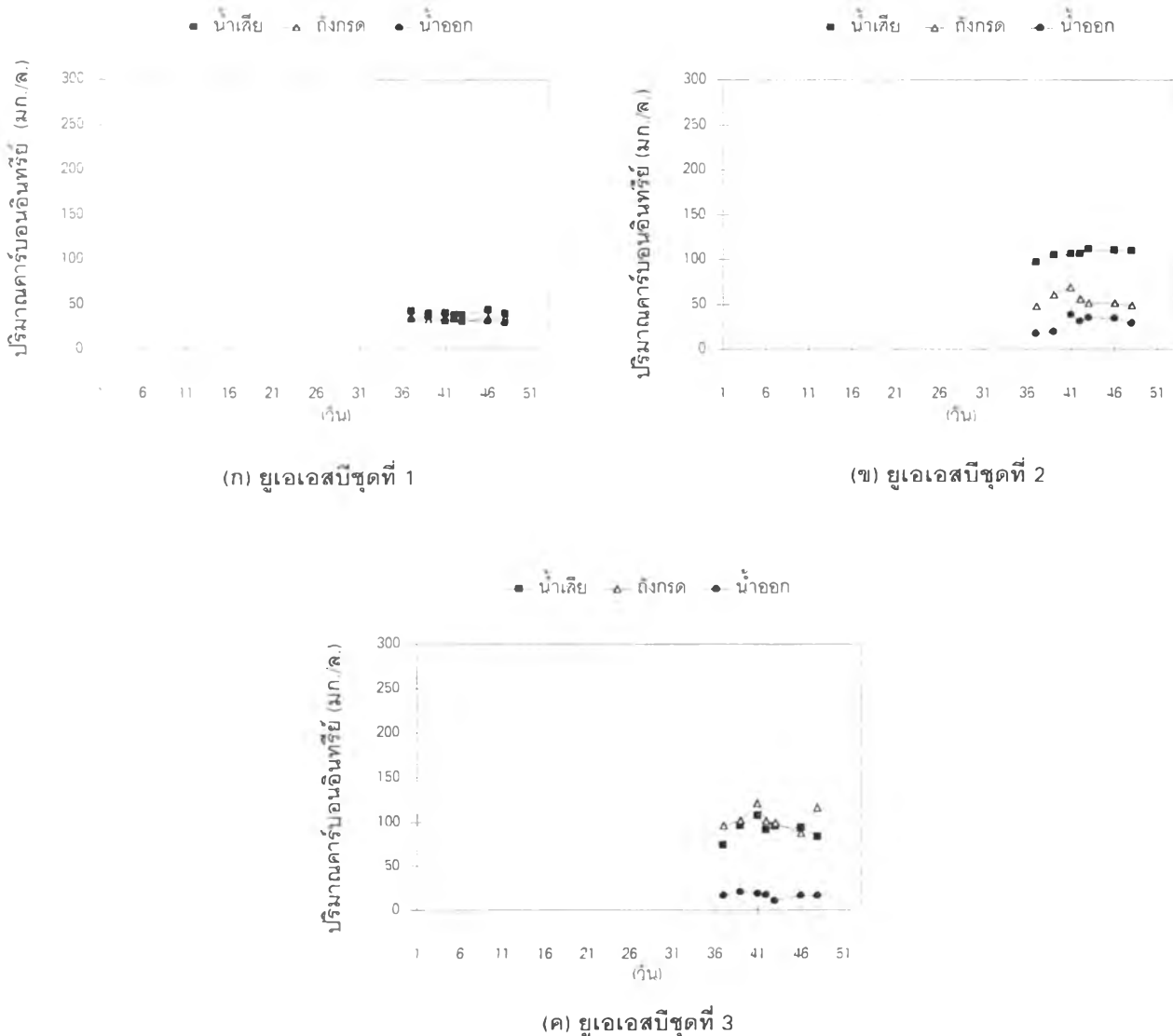
จากตารางที่ 4.5 ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์เฉลี่ยในยูเอเอสบีชุดที่ 1 ในน้ำเสียเท่ากับ 91.3 มก./ล. ในถังสร้างกรดเท่ากับ 98.2 มก./ล. และในน้ำออกเท่ากับ 103.6 มก./ล. ส่วนในชุดที่ 2 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 106.5 126.6 และ 143.0 มก./ล. ตามลำดับ และในยูเอเอสบีชุดที่ 3 มีปริมาณคาร์บอนอินทรีย์เฉลี่ยเท่ากับ 131.7 153.9 และ 206.7 มก./ล. ในน้ำเสียถึงสร้างกรด และในน้ำออกตามลำดับ จากรูปที่ 4.35 ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์มีการเพิ่มขึ้นทั้งในถังสร้างกรดและในน้ำออกเมื่อเทียบกับน้ำเสียที่เตรียมให้ โดยในชุดที่ 1 ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย แต่ในชุดที่ 2 และ 3 มีการเพิ่มมากอย่างเห็นได้ชัด การเปลี่ยนแปลงปริมาณคาร์บอนอินทรีย์นี้ มีลักษณะเช่นเดียวกับการเปลี่ยนแปลงสภาพต่างทั้งหมดที่ได้กล่าวมาแล้ว อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาในชุดที่ 2 พบว่าปริมาณคาร์บอนรวมในน้ำออกลดลงจากในถังสร้างกรดเพียงเล็กน้อย แต่ปริมาณก๊าซชีวภาพกลับไม่มีเลย และเมื่อพิจารณารวมกับปริมาณคาร์บอนรวมทั้งหมดในยูเอเอสบีชุดที่ 3 แล้ว จะกล่าวได้ว่าคาร์บอนในระบบปริมาณหนึ่งถูกเปลี่ยนเป็นคาร์บอนอินทรีย์ และเป็นปริมาณที่มากพอสมควรด้วย

### ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์รวม (TOC)

จากตารางที่ 4.5 ในยูเอเอสบีชุดที่ 1 ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์รวมในน้ำเสียมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 40.2 มก./ล. ในถังสร้างกรดเท่ากับ 33.3 มก./ล. และในน้ำออกเท่ากับ 32.2 มก./ล. ในยูเอเอสบีชุดที่ 2 น้ำเสียมีปริมาณคาร์บอนอินทรีย์รวมเท่ากับ 55.3 มก./ล. ในถังสร้างกรดเท่ากับ 54.7 มก./ล. และในน้ำออกเท่ากับ 29.0 มก./ล. ส่วนยูเอเอสบีชุดที่ 3 มีปริมาณคาร์บอนอินทรีย์รวมเท่ากับ 91.4 103.0 และ 16.5 มก./ล. ในน้ำเสีย ถึงสร้างกรด และน้ำออกตามลำดับ รูปที่ 4.36 แสดงปริมาณคาร์บอนอินทรีย์รวมตลอดการทดลอง เมื่อพิจารณาในยูเอเอสบีชุดที่ 1 ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์รวมที่วัดได้เป็นปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ที่มีอยู่แล้วในน้ำย่อย ซึ่งก็คือสีย้อมเป็นส่วนใหญ่รวมกับสารช่วยย่อยที่เป็นสารอินทรีย์อีกเล็กน้อย จะเห็นว่าการลดลงเล็กน้อยในถังสร้างกรดและในน้ำออก ซึ่งจะต่างกับค่าซีไอดีที่ไม่ลดลงและยังมีการเพิ่มขึ้นเล็กน้อยด้วยซ้ำ และในยูเอเอสบีชุดที่ 2 และ 3 ก็พิจารณาแต่ในถังสร้างกรดและในน้ำออก เพราะปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในน้ำเสียไม่สามารถสื่อความหมายได้ถูกต้อง นั่นคือในชุดที่ 2 มีการลดลงของคาร์บอนอินทรีย์เกือบร้อยละ 50 แต่กลับไม่มีก๊าซชีวภาพเกิดขึ้นในระบบเลย จึงคาดว่าคาร์บอนอินทรีย์ที่หายไปดังกล่าวเปลี่ยนรูปเป็นคาร์บอนอินทรีย์ โดยเฉพาะในชุดที่ 3 ที่มีการลดลงของคาร์บอนอินทรีย์สูงถึงเกือบร้อยละ 85 แต่มีปริมาณก๊าซเพียงเล็กน้อยและมีคาร์บอนอินทรีย์เพิ่มสูงมาก ยิ่งเป็นการแสดงให้เห็นว่าคาร์บอนอินทรีย์ส่วนใหญ่ถูกย่อยแล้วเปลี่ยนไปอยู่ในรูปคาร์บอนอินทรีย์มากกว่าที่จะเปลี่ยนไปเป็นก๊าซชีวภาพ



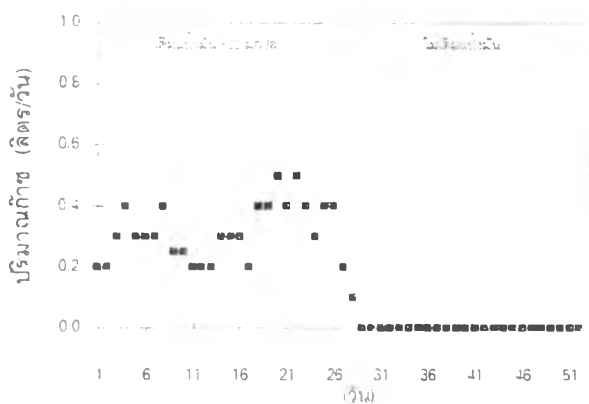
นอกจากนี้ เมื่อเทียบความสัมพันธ์ของค่าซีไอดีและค่าปริมาณคาร์บอนอินทรีย์รวมแล้ว ปรากฏว่ามีความผิดปกตอย่างมาก คือในชุดที่ 1 มีอัตราส่วนซีไอดีต่อปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ ในน้ำออกประมาณ 3 ส่วนชุดที่ 2 มีอัตราส่วนนี้มากกว่า 5 เล็กน้อย และในชุดที่ 3 มีอัตราส่วนนี้สูงถึงเกือบ 13 เท่า แสดงว่าการวิเคราะห์ซีไอดีมีการผิดพลาดที่ใดที่หนึ่ง ซึ่งในที่สุดได้ค้นพบว่า มีสารรบกวนการวิเคราะห์ซีไอดีในน้ำตัวอย่างจากระบบบำบัดจริง นั่นคือ ชัลไฟด์ เมื่อทำการวิเคราะห์หาชัลไฟด์แล้วปรากฏว่ามีปริมาณค่อนข้างสูง และสามารถให้ค่าซีไอดี อย่างมีนัยสำคัญได้ ซึ่งสามารถใช้ตอบคำถามในเรื่องอัตราส่วนค่าซีไอดีต่อคาร์บอนอินทรีย์ ในน้ำที่ค่อนข้างสูง ตั้งแต่ในการทดลองที่ 1 ได้ว่า น่าจะเป็นเพราะมีสารชัลไฟด์เกิดขึ้นในการทดลองวิจัยนี้



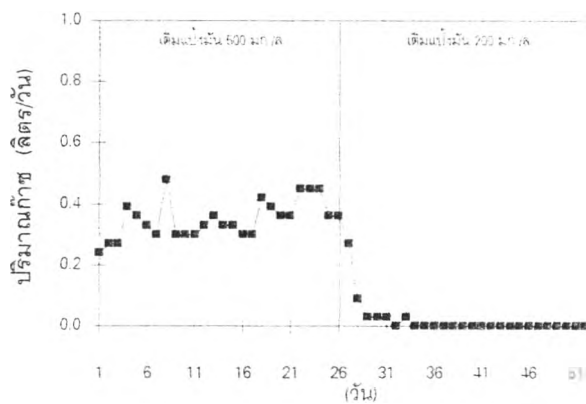
รูปที่ 4.36 ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ (TOC) ตลอดการทดลองที่ 3

7) ก๊าซมีเทน

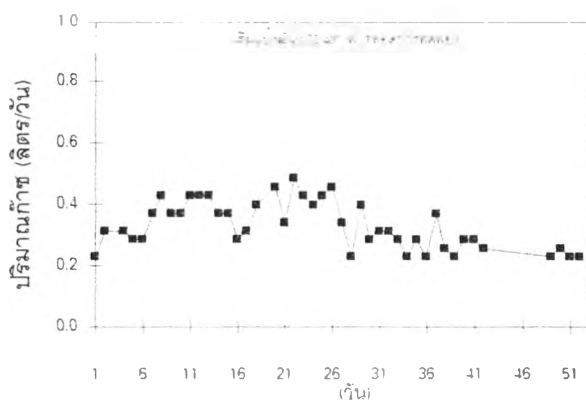
ในการทดลองนี้เมื่อได้มีการเปลี่ยนเชื้อตะกอนจุลินทรีย์ในถังยูเอเอสบีแล้ว ปรากฏว่า ปริมาณก๊าซในชุดที่ 1 และ 2 ยังคงเป็นศูนย์อยู่ แต่ในชุดที่ 3 มีปริมาณก๊าซเกิดขึ้นให้ตรวจวัดได้ โดยมีปริมาณก๊าซเฉลี่ย 0.3 ลิตร/วัน จากรูปที่ 4.37 จะเห็นว่าในช่วงแรกที่เลี้ยงเชื้อแบคทีเรียใหม่ด้วยน้ำย้อมสีแดงและแป้งมันที่ 500 มก./ล. นั้น มีก๊าซชีวภาพเกิดขึ้นในปริมาณหนึ่ง ซึ่งให้เห็นว่าในการทดลองที่ 2 มีการสูญเสียการทำงานของแบคทีเรียที่สร้างมีเทน (ไม่มีก๊าซชีวภาพแม้แต่ในยูเอเอสบีชุดที่ 3 ที่เติมแป้งมัน 500 มก./ล.) และเมื่อเปลี่ยนมาใช้ น้ำย้อมสีน้ำเงินและความเข้มข้นแป้งมันเป็นตามที่ต้องการแล้ว ปรากฏว่าในชุดที่ 1 และ 2 ปริมาณก๊าซลดลงอย่างรวดเร็วและหายไปในที่สุด ในขณะที่ชุดที่ 3 มีการลดลงเพียงเล็กน้อย เมื่อเริ่มเปลี่ยนเป็นน้ำย้อมสีน้ำเงิน จากนั้นก็เริ่มคงที่เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว ค่าเปอร์เซ็นต์มีเทนทำการวิเคราะห์เฉพาะในยูเอเอสบีชุดที่ 3 มีเปอร์เซ็นต์มีเทนเท่ากับร้อยละ 86 ทำให้มีอัตราการผลิตก๊าซมีเทนเท่ากับ 0.18 ลิตร/กรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด



(ก) ยูเอเอสบีชุดที่ 1



(ข) ยูเอเอสบีชุดที่ 2



(ค) ยูเอเอสบีชุดที่ 3

รูปที่ 4.37 ปริมาณก๊าซชีวภาพตลอดการทดลองที่ 3

#### 4.1.4 การทดลองที่ 4 น้าย้อมสีน้ำเงินสังเคราะห์

##### 4.1.4.1 ลักษณะน้ำเสีย

การทดลองในชุดนี้มีจุดประสงค์เพื่อทดลองดูว่า สารช่วยย้อมต่างๆ ที่มีในน้าย้อมจะส่งผลต่อประสิทธิภาพการลดสีหรือไม่ โดยใช้ผงสีย้อมมาละลายน้ำก่อนที่จะเติมแป้งมันและสารอาหารให้ สีย้อมที่นำมาผสมนี้ได้ใช้ผงสีชนิดเดียวกับที่ผสมในน้าย้อมสีน้ำเงินในการทดลองที่ 3 รวมทั้งอัตราส่วนการผสมก็เป็นเช่นเดียวกัน (ผงสีนี้ได้รับความอนุเคราะห์จากทางโรงงานที่ไปเก็บน้ำเสีย) จุดประสงค์อีกประการก็เพื่อใช้เปรียบเทียบกับ การทดลองที่ 3 ด้วย น้าย้อมสีน้ำเงินสังเคราะห์นี้ยังคงเป็นการผสมกันของสีย้อม 3 ชนิด คือ สีน้ำเงิน สีแดง และสีเหลือง โดยสีที่เป็นสีหลักของน้าย้อมนี้คือ สีน้ำเงิน Ciba Navy r-G เช่นเดิม และยังคงเจือจางให้มีความเข้มข้นประมาณ 150 SU ในการทดลองนี้ ยูเอเอสบีชุดที่ 1 ที่ไม่มีการเติมแป้งมันให้ จะเป็นชุดที่ไม่มีแหล่งคาร์บอนอื่นๆ นอกจากสีย้อมอย่างแท้จริง

การจัดอุปกรณ์ในการเดินระบบของการทดลองนี้เป็นเช่นเดียวกับในการทดลองที่ 3 (รูปที่ 4.25) ผลการทดลองในการทดลองกับน้าย้อมสีน้ำเงินสังเคราะห์นี้ แสดงในตารางที่ 4.6 ซึ่งแสดงทั้งค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน โดยตารางนี้จะเป็นค่าเฉลี่ยเฉพาะข้อมูลของการทดลองที่เข้าสู่สถานะคงตัวแล้ว

ตารางที่ 4.6 สรุปค่าเฉลี่ยของตัวแปรต่างๆ จากการทดลองที่ 4 (น้ำย้อมสีน้ำเงินสังเคราะห์)

ตัวแปรที่วัด	UASB ชุดที่ 1 (แบ่งมัน 0 มก./ล.)			UASB ชุดที่ 2 (แบ่งมัน 200 มก./ล.)			UASB ชุดที่ 3 (แบ่งมัน 500 มก./ล.)			
	น้ำเสีย	ถังกรด	น้ำออก	น้ำเสีย	ถังกรด	น้ำออก	น้ำเสีย	ถังกรด	น้ำออก	
พีเอช (pH)	เฉลี่ย	6.84	6.98	6.84	7.25	6.33	6.7	7.79	6.04	6.54
	n=17 SD.	0.08	0.12	0.07	0.07	0.09	0.08	0.08	0.13	0.07
อุณหภูมิ (Temperature) (องศาเซลเซียส)	เฉลี่ย	29.5	29.6	29.9	29.5	29.5	30.0	29.5	29.5	29.9
	n=17 SD.	0.6	0.4	0.5	0.6	0.4	0.5	0.6	0.4	0.4
โออาร์พี (ORP) (มิลลิโวลต์)	เฉลี่ย		-157	-301		-340	-346		-332	-347
	n=16 SD.		11	10		3	3		7	4
ความเข้มข้น (SU)	เฉลี่ย	152	152	97	152	134	70	153	124	66
	n=16 SD.	2	2	4	2	4	2	2	8	2
ประสิทธิภาพการลดสี (%) *	เฉลี่ย		0	36		12	54		18	57
	n=16 SD.		1	2		3	1		5	1
ซีโอดี (COD) (มิลลิกรัม/ลิตร)	เฉลี่ย	47	59	59	250	190	91	549	420	129
	n=12 SD.	4	8	7	4	11	7	13	32	12
ประสิทธิภาพการกำจัด ซีโอดี (%) **	เฉลี่ย		-27	-26		24	64		23	76
	n=12 SD.		10	7		4	3		6	3
ปริมาณซีโอดีที่ถูกกำจัด (กรัม/วัน) ***	เฉลี่ย			0			0.6			1.75
	n=12 SD.			0.02			0.05			0.19
สภาพด่างทั้งหมด (มิลลิกรัม/ลิตร CaCO <sub>3</sub> )	เฉลี่ย	62	68	81	136	173	197	246	279	352
	n=17 SD.	7	6	6	8	8	86	5	12	10
กรดไขมันระเหย (VFA) (มิลลิกรัม/ลิตร CaCO <sub>3</sub> )	เฉลี่ย	26	28	37	58	101	86	91	210	149
	n=17 SD.	3	4	3	7	5	5	6	10	10
อัตราส่วนกรดไขมันระเหย ต่อสภาพด่างทั้งหมด	เฉลี่ย			0.453			0.453			0.424
	n=17 SD.			0.024			0.026			0.032
ปริมาณคาร์บอนรวม (TC) (ส่วนในล้านส่วน)	เฉลี่ย	35.1	38.8	41.0	86.4	97.0	83.6	157.9	180.6	132.6
	n= 6 SD.	1.8	2.9	1.8	4.8	3.9	1.6	6.0	7.8	4.1
ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ (IC) (ส่วนในล้านส่วน)	เฉลี่ย	15.6	17.1	20.5	34.8	37.8	54.9	65.0	54.0	99.6
	n= 6 SD.	1.6	1.7	1.3	1.9	1.5	1.6	1.6	5.1	4.0
ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ (TOC) (ส่วนในล้านส่วน)	เฉลี่ย	19.5	21.8	20.5	51.6	59.1	28.7	92.9	126.5	33.0
	n= 6 SD.	0.4	1.5	1.7	3.4	2.5	1.6	5.6	9.6	1.5
ปริมาณก๊าซทั้งหมด (ลิตร/วัน)	เฉลี่ย			0			0.04			0.42
	n=17 SD.			-			0.02			0.07
ก๊าซมีเทน (%)				-			-			98.2
				-			-			-
อัตราการผลิตก๊าซมีเทน (ลิตร/กรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด)				-			-			0.24
				-			-			-

\* ประสิทธิภาพการลดสีทั้งในถังกรดและในน้ำออกคิดเทียบจากความเข้มข้นในน้ำเสีย

\*\* ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีทั้งในถังกรดและในน้ำออกคิดเทียบจากค่าซีโอดีในน้ำเสีย

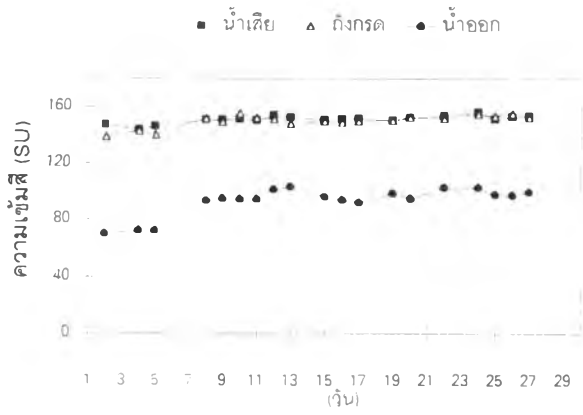
\*\*\* ปริมาณซีโอดีที่ถูกกำจัดคิดเทียบจากค่าซีโอดีในถังกรด โดยถือว่าเป็นค่าซีโอดีที่เข้าถังบูเอเลน

#### 4.1.4.2 วิจารณ์ผลการทดลอง

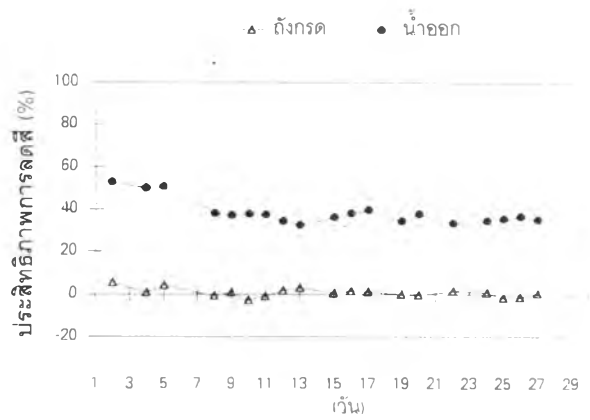
##### 1) ความเข้มข้นและประสิทธิภาพการลดสี

จากตารางที่ 4.6 ค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นสีในน้ำเสียที่เตรียมให้กับยูเอเอสบีชุดที่ 1 เท่ากับ 152 และเท่ากับ 152 และ 153 SU ในชุดที่ 2 และ 3 ตามลำดับ ส่วนในถังสร้างกรดมีความเข้มข้นสีในชุดที่ 1 เท่ากับ 152 SU ชุดที่ 2 เท่ากับ 134 SU และในชุดที่ 3 เท่ากับ 124 SU ส่วนน้ำออกในชุดที่ 1 มีความเข้มข้นสีค่อนข้างสูงคือเท่ากับ 97 SU และเท่ากับ 70 และ 66 SU ในชุดที่ 2 และ 3 ตามลำดับ เมื่อพิจารณารูปที่ 4.38 ซึ่งแสดงค่าความเข้มข้นสีตลอดการทดลอง จะเห็นว่าเมื่อผ่านสัปดาห์แรกของการทดลองแล้วความเข้มข้นสีเริ่มสม่ำเสมอขึ้น เมื่อพิจารณาความเข้มข้นสีในถังสร้างกรดของยูเอเอสบีชุดที่ 1 แล้ว จะเห็นว่าแทบจะไม่มีเปลี่ยนแปลงจากน้ำเสียเตรียมเข้าเลย ในขณะที่ชุดที่ 2 และ 3 มีความเข้มข้นสีในถังสร้างกรดต่ำลงตามลำดับ แสดงว่ามีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นแป้งมันที่เติมให้ ส่วนความเข้มข้นสีในน้ำออกของชุดที่ 1 ค่อยๆ เพิ่มขึ้นในสัปดาห์แรกและเริ่มคงที่โดยมีค่าเฉลี่ยสูงกว่าอีก 2 ชุด อย่างเห็นได้ชัด แต่มีความแปรปรวนเล็กน้อย ในขณะที่ชุดที่ 2 และ 3 มีค่าค่อนข้างคงที่มาก ความเข้มข้นสีในน้ำออกนี้มีความสัมพันธ์กับแป้งมันที่เติมให้แน่นอน คือ เมื่อไม่มีการเติมแป้งมันให้ ความเข้มข้นสีในถังสร้างกรดไม่สามารถลดลงได้เลย และในน้ำออกก็มีความเข้มข้นสีสูงกว่าในชุดที่มีการเติมแป้งมันให้ แสดงว่าแบคทีเรียต้องการแป้งมันเป็นอาหารในการลดสีในน้ำเสีย และเมื่อมีการเติมแป้งมันให้ ความเข้มข้นสีในน้ำออกก็มีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นแป้งมันที่เติมให้ คือในชุดที่มีความเข้มข้นแป้งมันมากที่สุดความเข้มข้นสีในถังสร้างกรดและในน้ำออกต่ำที่สุด

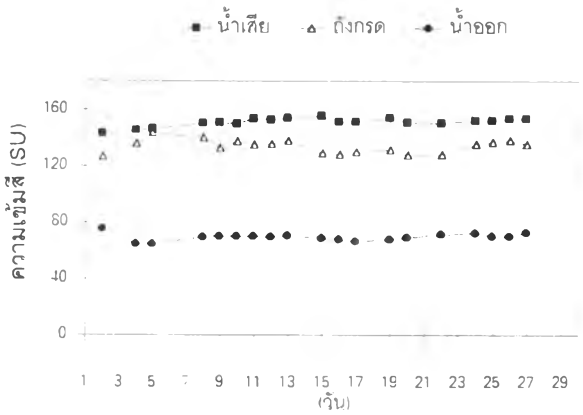
ส่วนประสิทธิภาพการลดสีในถังสร้างกรดเฉลี่ยร้อยละ 0 12 และ 18 ในระบบยูเอเอสบีชุดที่ 1 2 และ 3 ตามลำดับ ส่วนประสิทธิภาพรวมเมื่อผ่านขั้นตอนการสร้างมีเทนในถังยูเอเอสบีนั้นในชุดที่ 1 เฉลี่ยร้อยละ 36 และเป็นร้อยละ 54 และ 57 สำหรับยูเอเอสบีชุดที่ 2 และ 3 ตามลำดับ จากรูปที่ 4.39 แสดงประสิทธิภาพการลดสีตลอดการทดลอง จะเห็นว่าประสิทธิภาพการลดสีในถังสร้างกรดมีความแตกต่างกัน เมื่อความเข้มข้นแป้งมันแตกต่างกันในช่วงที่กำหนด โดยในชุดที่ 1 ประสิทธิภาพในถังสร้างกรดค่อนข้างคงที่และมีค่าใกล้เคียง 0 คือแทบไม่มีการลดสีในถังสร้างกรดนั่นเอง ทั้งนี้อาจเป็นเพราะแทบจะไม่มีกากหมักเกิดขึ้นในถังเลย แต่ในชุดที่ 2 และ 3 มีความแปรปรวนบ้างเพราะมีการหมักแป้งมันที่เติมให้นั่นเอง ส่วนประสิทธิภาพการลดสีรวมก็มีความแตกต่างกัน โดยในชุดที่ 1 ประสิทธิภาพค่อยๆ ลดลงในสัปดาห์แรกและเริ่มคงที่และมีค่าต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับยูเอเอสบีชุดอื่นๆ แต่จะเห็นได้ถึงความแตกต่างค่อนข้างน้อยระหว่างยูเอเอสบีชุดที่ 2 และ 3 เช่นเดียวกับในการทดลองที่ 3 ทั้งนี้อาจเป็นเพราะแบคทีเรียในถังสร้างมีเทนสามารถลดสีได้แม้จะมีปริมาณแป้งมันน้อยๆ



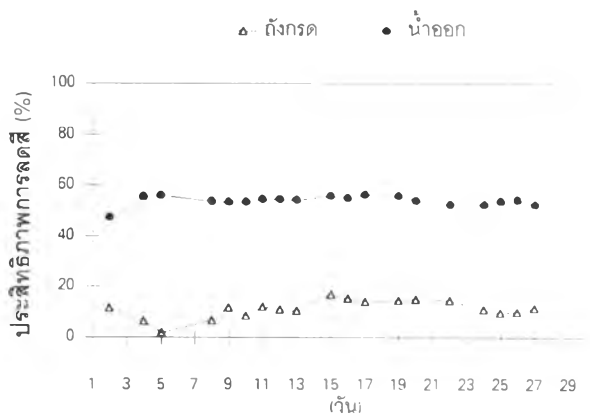
(ก) ยูเอเอสปีชุดที่ 1



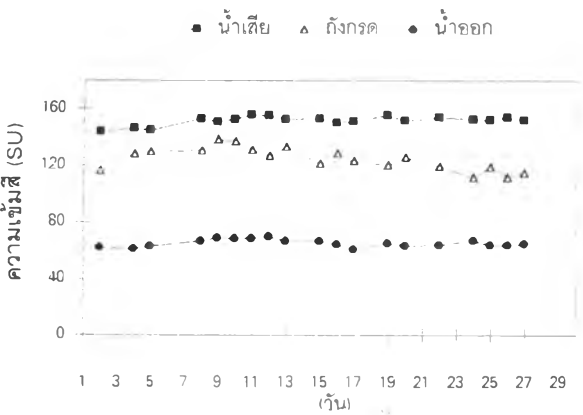
(ก) ยูเอเอสปีชุดที่ 1



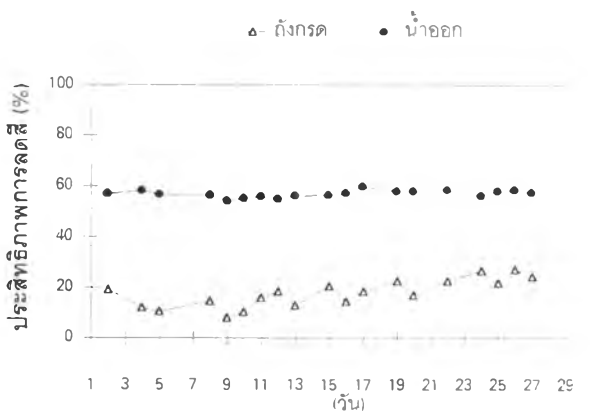
(ข) ยูเอเอสปีชุดที่ 2



(ข) ยูเอเอสปีชุดที่ 2



(ค) ยูเอเอสปีชุดที่ 3



(ค) ยูเอเอสปีชุดที่ 3

รูปที่ 4.38 ค่าความชื้นสี  
ตลอดการทดลองที่ 4

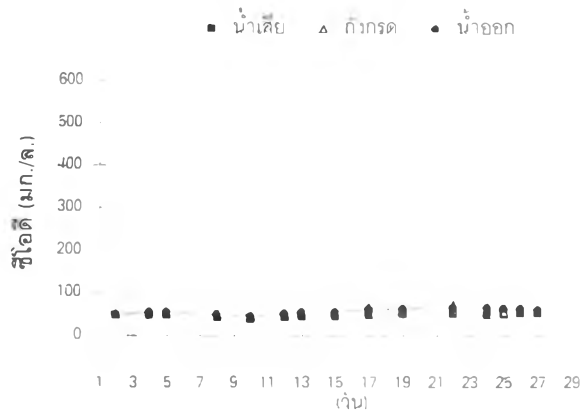
รูปที่ 4.39 ประสิทธิภาพการลดสี  
ตลอดการทดลองที่ 4

## 2) ซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัด

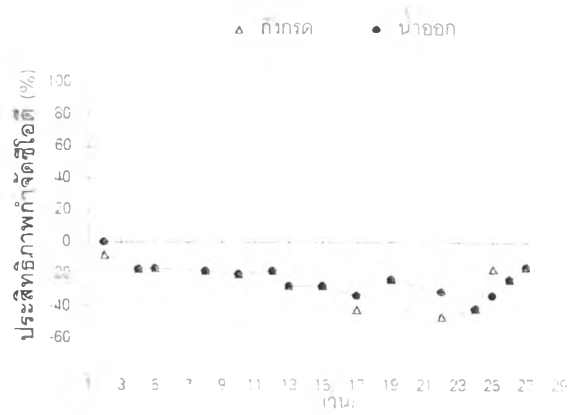
จากตารางที่ 4.6 ค่าซีโอดีเฉลี่ยในน้ำเสียที่เตรียมสำหรับยูเอเอสบีชุดที่ 1 เท่ากับ 47 มก./ล. นับว่าเป็นซีโอดีของสีย้อมเท่านั้นอย่างแท้จริง และเท่ากับ 250 และ 549 มก./ล. ในชุดที่ 2 และ 3 ตามลำดับ ส่วนในถังสร้างกรดของยูเอเอสบีชุดที่ 1 มีค่าซีโอดีเท่ากับ 59 มก./ล. และในชุดที่ 2 เท่ากับ 190 มก./ล. และ 420 มก./ล. ในชุดที่ 3 ค่าซีโอดีในน้ำออกของยูเอเอสบีทั้ง 3 ชุด เป็นดังนี้คือ เท่ากับ 59 91 และ 129 มก./ล. ในยูเอเอสบีชุดที่ 1 2 และ 3 ตามลำดับ

ค่าซีโอดีตลอดการทดลองแสดงในรูปที่ 4.40 จะเห็นว่าในยูเอเอสบีชุดที่ 1 ค่าซีโอดีทั้งในน้ำเสีย ถึงสร้างกรดและในน้ำออกมีค่าใกล้เคียงกันมาก และยังมีค่ามากกว่าในน้ำเสียที่เตรียมด้วยเล็กน้อย กล่าวได้ว่าขั้นตอนการสร้างกรดและถังยูเอเอสบีไม่สามารถกำจัดซีโอดีของสีย้อมลงได้ และยังอาจมีการผลิตซัลไฟด์ที่ทำให้มีค่าซีโอดีในถังสร้างกรดและในน้ำออกมากกว่าในน้ำเสีย ส่วนในยูเอเอสบีชุดที่ 2 และ 3 มีการลดลงของค่าซีโอดีทั้งในถังสร้างกรดและในน้ำออกตามปกติ เนื่องจากมีการย่อยสลายแป้งมันที่เติมให้มันเอง โดยค่าซีโอดีมีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นแป้งมันที่เติมให้ นอกจากนี้ระบบยังเข้าสู่สถานะคงตัวได้ค่อนข้างเร็ว คือ ตั้งแต่เริ่มสัปดาห์ที่ 2 ของการทดลองนี้ แสดงให้เห็นว่า การเปลี่ยนแปลงลักษณะน้ำเสียโดยไม่เปลี่ยนแปลงความเข้มข้นแป้งมันที่เติมให้ แบคทีเรียในระบบนี้สามารถปรับตัวเข้ากับลักษณะน้ำเสียนั้นได้อย่างรวดเร็ว

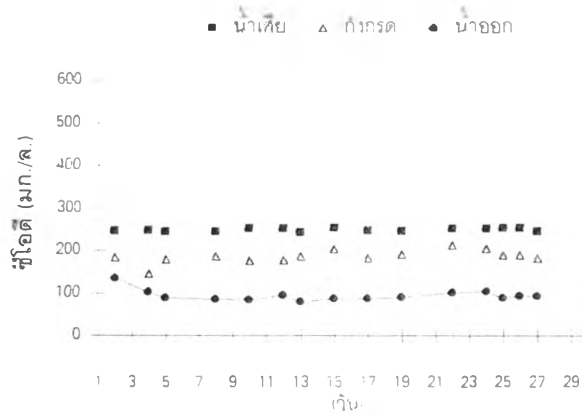
ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี (จากตารางที่ 4.6) ในถังสร้างกรดของระบบยูเอเอสบีชุดที่ 1 เท่ากับร้อยละ -27 และเท่ากับร้อยละ 24 และ 23 ในยูเอเอสบีชุดที่ 2 และ 3 ตามลำดับ ส่วนในน้ำออกมีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีร้อยละ -26 64 และ 76 สำหรับยูเอเอสบีชุดที่ 1 2 และ 3 ตามลำดับ เมื่อพิจารณารูปที่ 4.41 โดยเฉพาะในยูเอเอสบีชุดที่ 1 ที่ไม่ได้มีการเติมแป้งมันให้ ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีมีค่าต่ำมากจนติดลบตลอดการทดลอง ทั้งนี้เพราะค่าซีโอดีมีการเพิ่มขึ้น ทั้งในถังสร้างกรดและในน้ำออกเล็กน้อยตลอดการทดลอง ซึ่งนอกจากจะหมายถึงว่าไม่มีการกำจัดซีโอดีแล้วยังมีการสร้างซีโอดีขึ้นมาได้ด้วยสาเหตุของปรากฏการณ์นี้อาจเป็นเพราะมีซัลไฟด์เกิดขึ้น จากการทำงานของแบคทีเรียในระบบรบกวนการวัดค่าซีโอดี ทำให้ค่าซีโอดีมากขึ้น ส่งผลให้ประสิทธิภาพมีค่าติดลบ ส่วนประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีในถังสร้างกรดของยูเอเอสบีชุดที่ 2 และ 3 ค่อนข้างแปรปรวนแต่มีค่าใกล้เคียงกันโดยเฉพาะค่าเฉลี่ย ส่วนในน้ำออกกลับมีประสิทธิภาพค่อนข้างคงที่ และจะเห็นว่าประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีกลับเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นแป้งมันที่เติมให้ในน้ำเสียเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เพราะซีโอดีส่วนใหญ่เป็นแป้งมันที่ย่อยได้ง่ายกว่าซีโอดีจากสีย้อมนั่นเอง



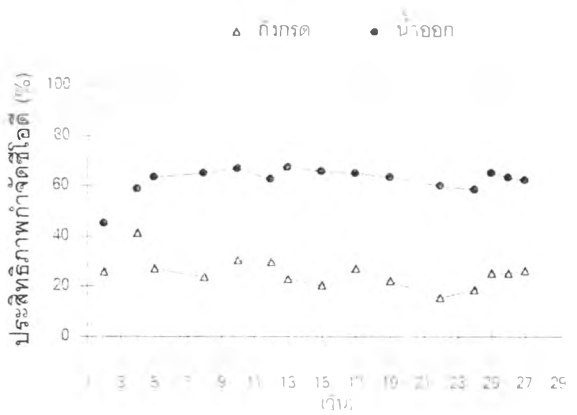
(ก) ยูเอเอสบีชุดที่ 1



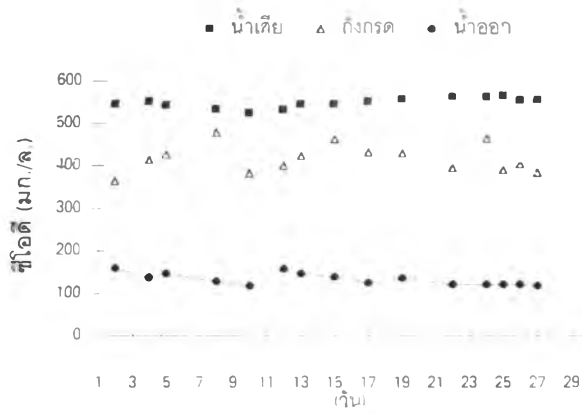
(ก) ยูเอเอสบีชุดที่ 1



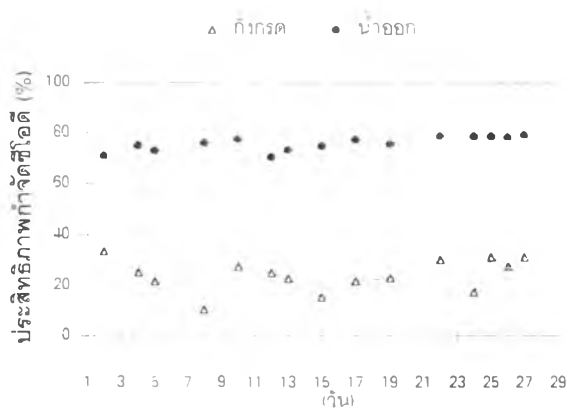
(ข) ยูเอเอสบีชุดที่ 2



(ข) ยูเอเอสบีชุดที่ 2



(ค) ยูเอเอสบีชุดที่ 3



(ค) ยูเอเอสบีชุดที่ 3

รูปที่ 4.40 ค่าซีโอดีตลอดการทดลองที่ 4

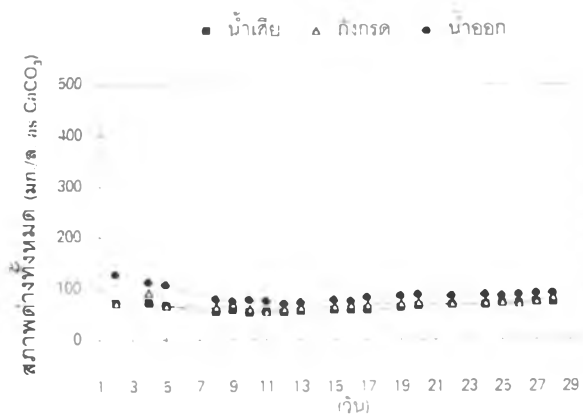
รูปที่ 4.41 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีตลอดการทดลองที่ 4



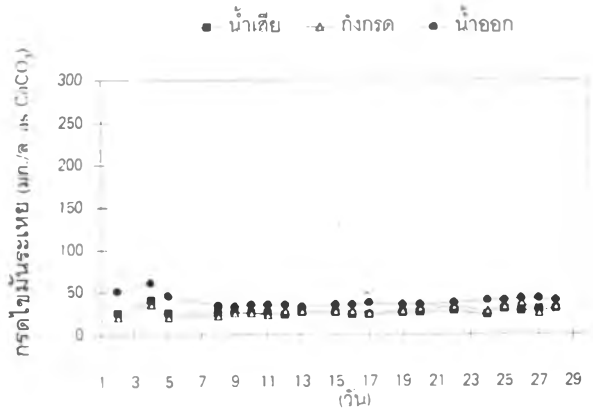
### 3) สภาพต่างทั้งหมดและกรดไขมันระเหย

จากตารางที่ 4.6 สภาพต่างทั้งหมดของระบบยูเอเอสบีชุดที่ 1 ในน้ำเสีย ถึงสร้างกรดและน้ำออกเท่ากับ 62 68 และ 81 มก./ล. ในเทอมของแคลเซียมคาร์บอเนต ตามลำดับ ในยูเอเอสบีชุดที่ 2 เท่ากับ 136 173 และ 197 มก./ล. ในเทอมของแคลเซียมคาร์บอเนต ตามลำดับ และในยูเอเอสบีชุดที่ 3 เท่ากับ 246 279 และ 352 มก./ล. ในเทอมของแคลเซียมคาร์บอเนต ตามลำดับ ในการทดลองนี้เป็นการเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์อย่างแท้จริง ดังนั้นสภาพต่างทั้งหมดในน้ำนี้ จึงเป็นสภาพต่างที่เกิดจากการเติมให้และมีอยู่แล้วในน้ำประปาที่ใช้เตรียมเท่านั้น จากข้อมูลค่าเฉลี่ยจะเห็นว่าสภาพต่างทั้งหมดเพิ่มขึ้นทั้งในถังสร้างกรดและในน้ำออก โดยเฉพาะใน ยูเอเอสบีชุดที่ 2 และ 3 มีสภาพต่างทั้งหมดเพิ่มขึ้นในน้ำออกถึงร้อยละ 40 ของสภาพต่างทั้งหมดในน้ำเสีย ในขณะที่ชุดที่ 1 มีการเพิ่มขึ้นของสภาพต่างน้อยที่สุดคือประมาณร้อยละ 30 ของสภาพต่างทั้งหมดในน้ำเสีย ข้อมูลสภาพต่างทั้งหมดตลอดการทดลองแสดงในรูปที่ 4.42 จะเห็นว่าสภาพต่างทั้งหมดในยูเอเอสบีชุดที่ 1 มีค่าค่อนข้างต่ำ เนื่องจากไม่ได้มีการเติมบัฟเฟอร์ให้ แต่ยังคงมีการเพิ่มขึ้นทั้งในขั้นตอนการสร้างกรดและในถังยูเอเอสบี ในยูเอเอสบีชุดที่ 2 และ 3 ก็เช่นกัน แต่การเปลี่ยนแปลงในชุดที่ 3 เห็นชัดที่สุดแสดงว่ามีการทำงานของแบคทีเรียที่ผลิตไบคาร์บอเนต จึงทำให้มีสภาพต่างเพิ่มขึ้น และแบคทีเรียประเภทนี้ยังมีความสามารถเพิ่มขึ้นเมื่อมีแอมโมเนียมากขึ้น พิจารณาได้จากสัดส่วนการเพิ่มขึ้นของสภาพต่างมากเมื่อมีการเติมแอมโมเนียให้ สภาพต่างทั้งหมดมีค่าคงที่ตลอดการทดลอง ทั้งในถังสร้างกรดและในน้ำออกตั้งแต่เริ่มสัปดาห์ที่ 2 ของการทดลอง เนื่องจากระบบเข้าสู่สถานะคงตัวค่อนข้างรวดเร็ว

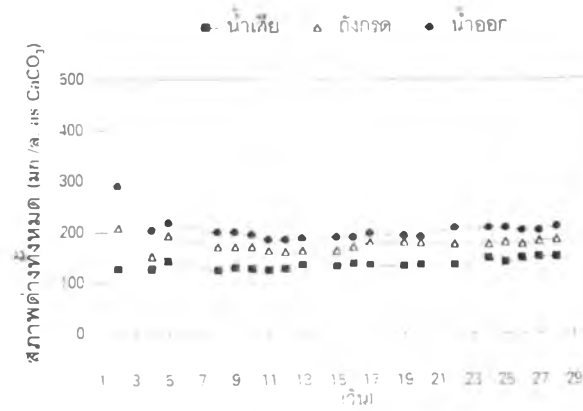
จากตารางที่ 4.6 ปริมาณกรดไขมันระเหยเฉลี่ยของยูเอเอสบีชุดที่ 1 เท่ากับ 26 28 และ 37 มก./ล. ในเทอมของแคลเซียมคาร์บอเนต ในน้ำเสีย ถึงสร้างกรดและน้ำออกตามลำดับ ส่วนในยูเอเอสบีชุดที่ 2 เท่ากับ 58 101 และ 86 มก./ล. ในเทอมของแคลเซียมคาร์บอเนต ตามลำดับ และยูเอเอสบีชุดที่ 3 เท่ากับ 91 210 และ 149 มก./ล. ในเทอมของแคลเซียมคาร์บอเนตตามลำดับ ปริมาณกรดไขมันระเหยตลอดการทดลองแสดงในรูปที่ 4.43 จะเห็นว่าทั้งค่าเฉลี่ยและข้อมูลที่แสดงในชุดที่ 1 แสดงให้เห็นว่า ปริมาณกรดไขมันระเหยมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย แสดงว่าแทบจะไม่มีการสร้างกรดไขมันระเหยในถังสร้างกรด และไม่มีการใช้ไปในถังสร้างมีเทน ทั้งนี้เพราะแบคทีเรียในถังสร้างกรดไม่สามารถสร้างกรดไขมันระเหยได้จากแหล่งคาร์บอนที่เป็นสีย้อมนั่นเอง ต่างกับในชุดที่ 2 และ 3 ที่มีปริมาณกรดไขมันระเหยเพิ่มในถังสร้างกรดและลดลงในถังยูเอเอสบี และเช่นเดียวกับสภาพต่างทั้งหมดเมื่อความเข้มข้นของแอมโมเนียที่เติมให้สูงมากขึ้น การเปลี่ยนแปลงของปริมาณกรดไขมันระเหยในน้ำเสีย ถึงสร้างกรดและน้ำออกนี้มีความแตกต่างชัดเจนมากขึ้น ทั้งนี้พอจะกล่าวได้ว่า



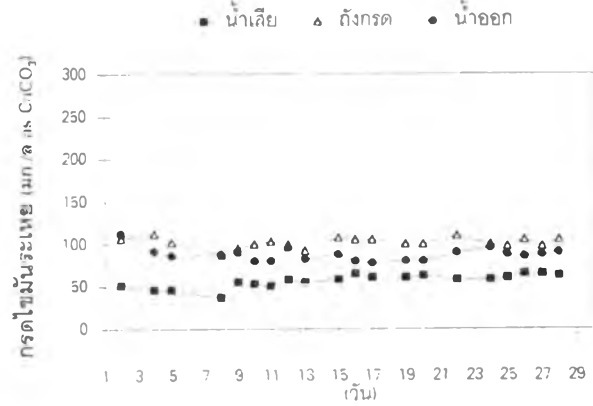
(ก) ยูเอเอสบีชุดที่ 1



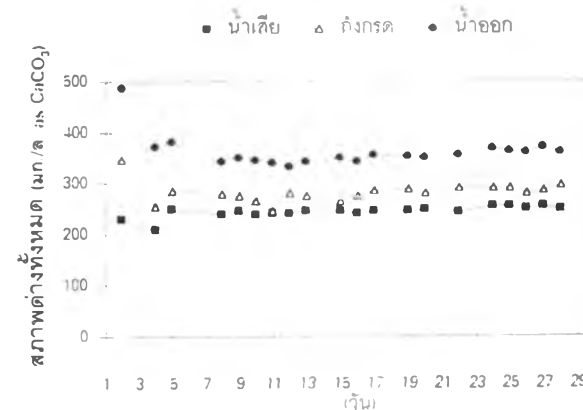
(ก) ยูเอเอสบีชุดที่ 1



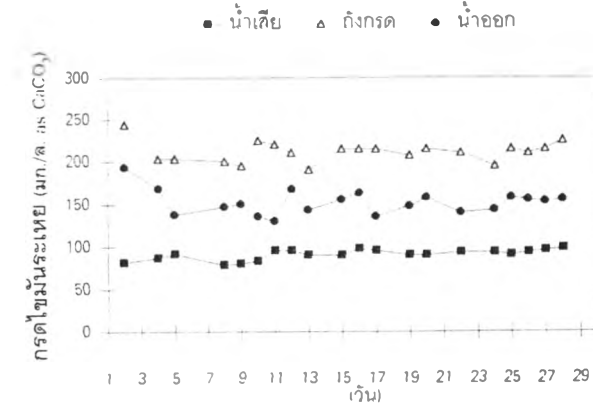
(ข) ยูเอเอสบีชุดที่ 2



(ข) ยูเอเอสบีชุดที่ 2



(ค) ยูเอเอสบีชุดที่ 3



(ค) ยูเอเอสบีชุดที่ 3

รูปที่ 4.42 สภาพต่างทั้งหมด  
ตลอดการทดลองที่ 4

รูปที่ 4.43 ปริมาณกรดไขมันระเหย  
ตลอดการทดลองที่ 4

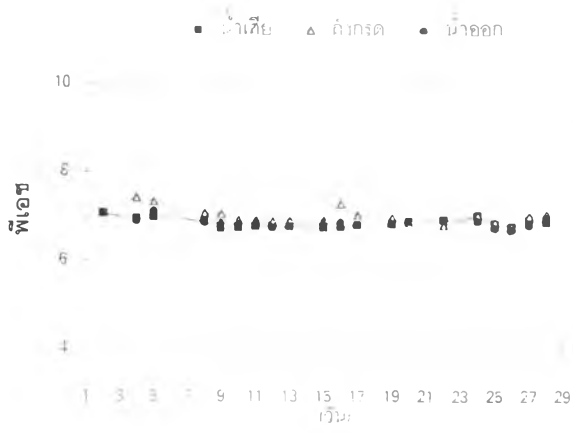
การเติมแป้งมันให้กับระบบมากขึ้น ทำให้การทำงานของแบคทีเรียก็เพิ่มขึ้น เปรียบเทียบได้กับในชุดที่ 1 ที่ไม่ได้มีการเติมแป้งมันให้ ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในถังสร้างกรดและในน้ำออกแทบจะไม่แตกต่างจากในน้ำเสียเท่าใดนัก

#### 4) พีเอชและอัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพ่างทั้งหมด

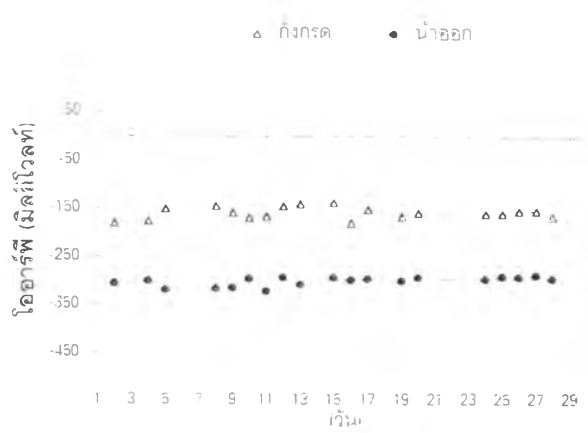
จากตารางที่ 4.6 ระบบยูเอเอสบีชุดที่ 1 มีค่าพีเอชเฉลี่ยในน้ำเสียเท่ากับ 6.84 ในถังสร้างกรดเท่ากับ 6.98 และในน้ำออกเท่ากับ 6.84 ในขณะที่ระบบยูเอเอสบีชุดที่ 2 ค่าพีเอชเฉลี่ยเท่ากับ 7.25 6.33 และ 6.70 ตามลำดับ และระบบยูเอเอสบีชุดที่ 3 เท่ากับ 7.79 6.04 และ 6.54 ตามลำดับ ค่าพีเอชตลอดการทดลองแสดงในรูปที่ 4.44 ในยูเอเอสบีชุดที่ 1 จะเห็นว่าค่าพีเอชแทบจะไม่เปลี่ยนแปลงเพียงแต่ในถังสร้างกรดจะสูงที่สุด ทั้งนี้จะเป็นเพราะมีสภาพ่างทั้งหมดในน้ำเพิ่มขึ้น ในขณะที่กรดไขมันระเหยมีการเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยทำให้พีเอชมีค่าสูงขึ้น ส่วนในชุดที่ 2 และ 3 มีการเปลี่ยนแปลงของค่าพีเอชที่แตกต่างไปจากชุดที่ 1 คือ ในถังสร้างกรดจะมีพีเอชต่ำที่สุด ทั้งนี้ก็เพราะมีการสร้างกรดไขมันระเหยจากแป้งมันที่เติมให้ และมีการใช้ไปในถังยูเอเอสบีทำให้พีเอชกลับสูงขึ้นเล็กน้อยในน้ำออก นอกจากนี้ จะเห็นว่าค่าพีเอชในถังสร้างกรดมีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นแป้งมันที่เติมให้ คือ เมื่อความเข้มข้นมากค่าพีเอชจะต่ำลงเพราะกรดไขมันระเหยที่เพิ่มขึ้น ค่าพีเอชในน้ำออกก็เช่นเดียวกัน คือมีค่าต่ำในชุดที่มีการเติมแป้งมันให้มาก เมื่อพิจารณาอัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพ่างทั้งหมดของยูเอเอสบีทั้ง 3 ชุด ซึ่งมีค่าดังต่อไปนี้คือ 0.453 ในน้ำออกของยูเอเอสบีชุดที่ 1 และ เท่ากับ 0.453 ในชุดที่ 2 และ เท่ากับ 0.424 ในชุดที่ 3 จะเห็นว่าความสัมพันธ์ของอัตราส่วนนี้ผิดไปจากในการทดลองที่ 2 คือ เมื่ออัตราส่วนนี้มากกลับทำให้ค่าพีเอชมาก แสดงว่าอัตราส่วนนี้ส่งผลต่อค่าพีเอชในการทดลองนี้น้อยกว่าปริมาณกรดไขมันระเหย

#### 5) ไออาร์พี

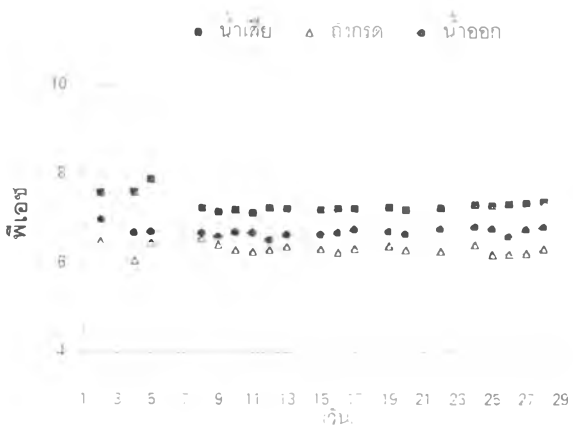
จากตารางที่ 4.6 ค่าไออาร์พีเฉลี่ยในถังสร้างกรดของยูเอเอสบีชุดที่ 1 เท่ากับ -157 มิลลิโวลต์ และในน้ำออกเท่ากับ -301 มิลลิโวลต์ ในขณะที่ชุดที่ 2 และ 3 มีลักษณะคล้ายกันคือ ค่าไออาร์พีในถังสร้างกรดและในน้ำออกไม่ค่อยแตกต่างกันเท่าไรนัก โดยค่าเฉลี่ยในถังสร้างกรดของยูเอเอสบีชุดที่ 2 เท่ากับ -340 มิลลิโวลต์ และในน้ำออกเท่ากับ -346 มิลลิโวลต์ ส่วนยูเอเอสบีชุดที่ 3 มีค่าไออาร์พีเฉลี่ยเท่ากับ -332 และ -347 มิลลิโวลต์ ตามลำดับ จะเห็นว่าเมื่อความเข้มข้นแป้งมันที่เติมให้สูงขึ้นค่าไออาร์พีในน้ำออกมีค่าเป็นลบมากขึ้น และเป็นเช่นเดียวกันในถังสร้างกรด ค่าไออาร์พีตลอดการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.45 จะเห็นว่า



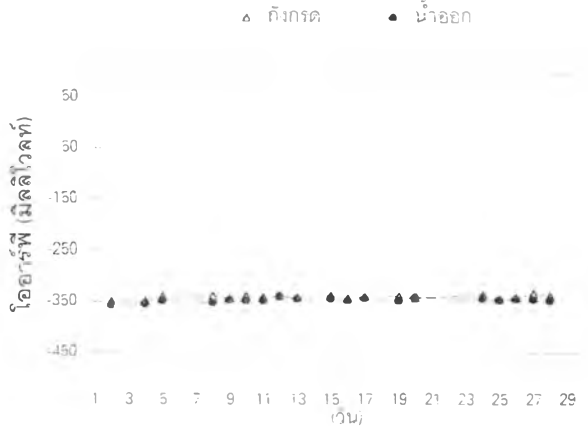
(ก) ยูเอเอสบีชุดที่ 1



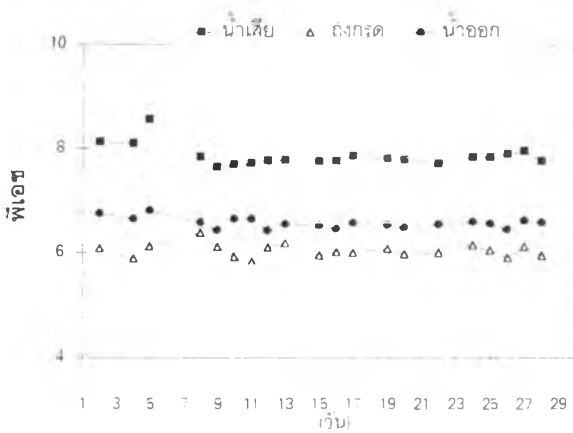
(ก) ยูเอเอสบีชุดที่ 1



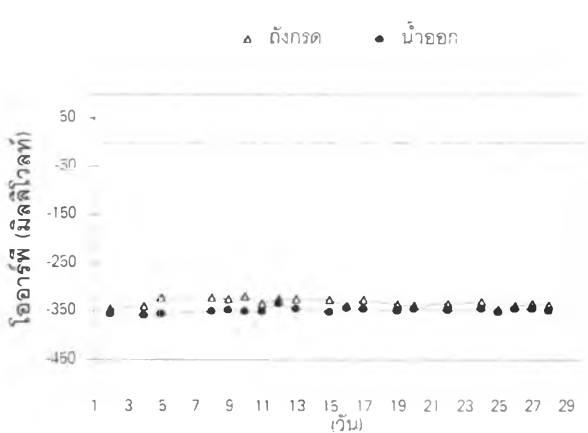
(ข) ยูเอเอสบีชุดที่ 2



(ข) ยูเอเอสบีชุดที่ 2



(ค) ยูเอเอสบีชุดที่ 3



(ค) ยูเอเอสบีชุดที่ 3

รูปที่ 4.44 ค่าพีเอชตลอดการทดลองที่ 4

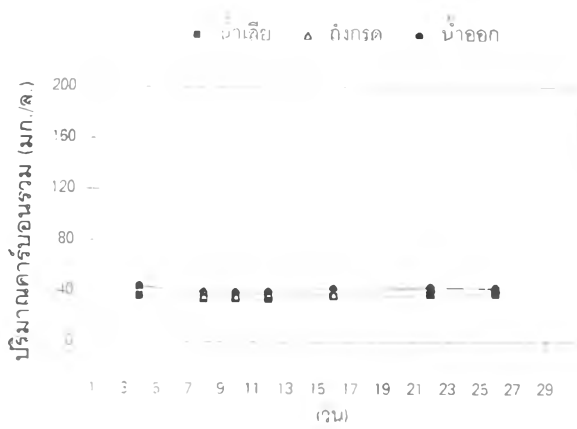
รูปที่ 4.45 ค่าโออาร์พีตลอดการทดลองที่ 4

ค่าไออาร์พีในถังสร้างกรดและน้ำออกของยูเอเอสบีชุดที่ 1 มีความแตกต่างกันมาก โดยในถังสร้างกรดมีค่าเป็นลบน้อยและแสดงถึงสภาวะของระบบไร้อากาศที่ไม่สมบูรณ์ ทั้งนี้เพราะในชุดที่ 1 ไม่มีแหล่งคาร์บอนเลยนอกจากสีย้อม ทำให้จุลินทรีย์ในถังสร้างกรดไม่สามารถทำงานได้ดี ส่วนการที่ค่าไออาร์พีในถังสร้างกรดของชุดที่ 3 น้อยกว่าในชุดที่ 2 เล็กน้อยทั้งที่ความเข้มข้นแป้งมันมากกว่า อาจจะเป็นเพราะผลจากค่าพีเอชในชุดที่ 3 ที่มีค่าต่ำกว่า ทำให้ค่าไออาร์พีเป็นลบน้อยกว่า

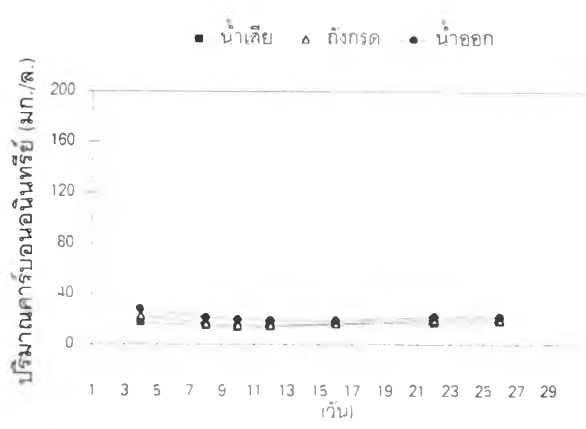
#### 6) ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์รวม (TOC) ปริมาณคาร์บอนรวม (TC) และปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ (IC)

##### ปริมาณคาร์บอนรวม (TC)

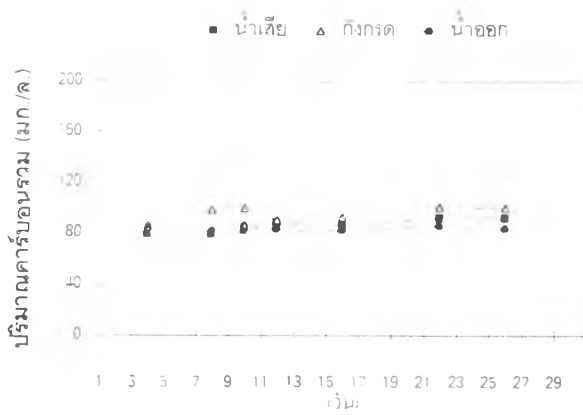
จากตารางที่ 4.6 ค่าปริมาณคาร์บอนรวมเฉลี่ยในน้ำเสียของยูเอเอสบีชุดที่ 1 เท่ากับ 35.1 มก./ล. ในถังสร้างกรดเท่ากับ 38.8 และในน้ำออกเท่ากับ 41.0 มก./ล. ส่วนในชุดที่ 2 มีค่าปริมาณคาร์บอนรวมเฉลี่ยในน้ำเสียที่ผ่านการกรองแล้วเท่ากับ 86.4 ในถังสร้างกรดเท่ากับ 97.0 และในน้ำออกเท่ากับ 83.6 มก./ล. และในชุดที่ 3 เท่ากับ 157.9 180.6 และ 132.6 มก./ล. ตามลำดับ ในชุดที่ 1 ไม่ได้มีการเติมแป้งมันให้และยังเป็นการสังเคราะห์น้ำเสียเอง ดังนั้นค่าปริมาณคาร์บอนรวมในน้ำเสีย จึงเป็นปริมาณคาร์บอนของสีย้อมและสภาพต่างที่เติมให้เท่านั้น จากค่าเฉลี่ยจะเห็นว่า ปริมาณคาร์บอนรวมเมื่อน้ำเสียนี้ผ่านการบำบัดกลับมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย แสดงว่าคาร์บอนในยูเอเอสบีชุดนี้นอกจากจะไม่มีการเปลี่ยนรูปเป็นก๊าซหนีหายไปจากระบบแล้ว ยังมีการผลิตเพิ่มขึ้นมาอีก ส่วนในชุดที่ 2 และ 3 กลับมีปริมาณคาร์บอนรวมเพิ่มขึ้นในถังสร้างกรดแล้วลดลงในน้ำออก ทั้งนี้เพราะสาเหตุเดียวกับการทดลองที่ผ่านมา คือ ปริมาณคาร์บอนรวมของน้ำเสียในยูเอเอสบีทั้ง 2 ชุดนี้ มีส่วนหนึ่งถูกกรองออกไปก่อนแล้วด้วยความจำเป็น ปริมาณคาร์บอนรวมตลอดการทดลองแสดงในรูปที่ 4.46 จะเห็นว่าการเปลี่ยนแปลงระหว่างปริมาณคาร์บอนรวมในน้ำเสีย ถังสร้างกรด และในน้ำออกของยูเอเอสบีชุดที่ 1 มีน้อยกว่าในชุดที่ 2 และ 3 ตามลำดับ ทั้งนี้ น่าจะเป็นเพราะในถังสร้างมีเทนของชุดที่ 2 และ 3 มีการเปลี่ยนรูปคาร์บอนในน้ำให้กลายเป็นก๊าซหนีหายไปจากน้ำได้ ทำให้ปริมาณคาร์บอนรวมในน้ำลดลง และการเปลี่ยนแปลงนี้ในยูเอเอสบีชุดที่ 3 มีมากกว่าชุดที่ 2 ทั้งนี้เพราะมีการเติมแป้งมันที่ถูกย่อยให้กลายเป็นก๊าซได้ง่ายมากกว่าชุดที่ 2



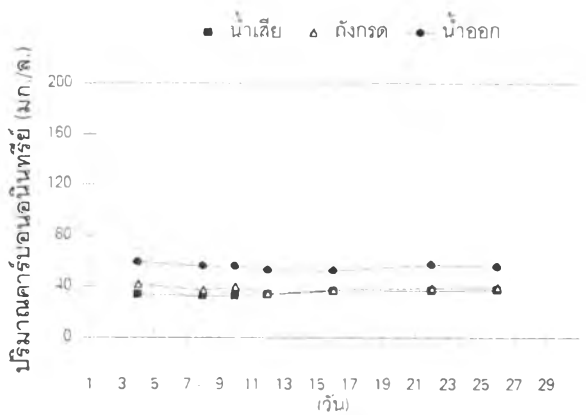
(ก) ยูเอเอสบิชุดที่ 1



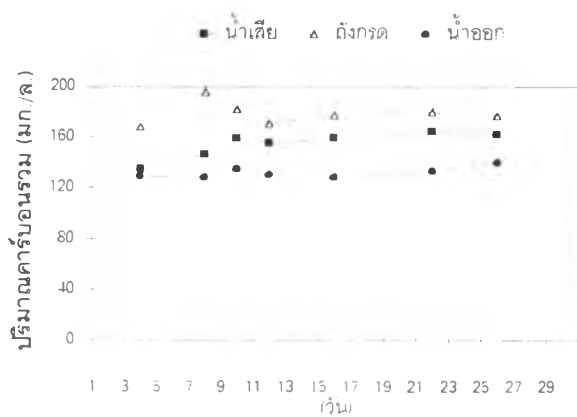
(ก) ยูเอเอสบิชุดที่ 1



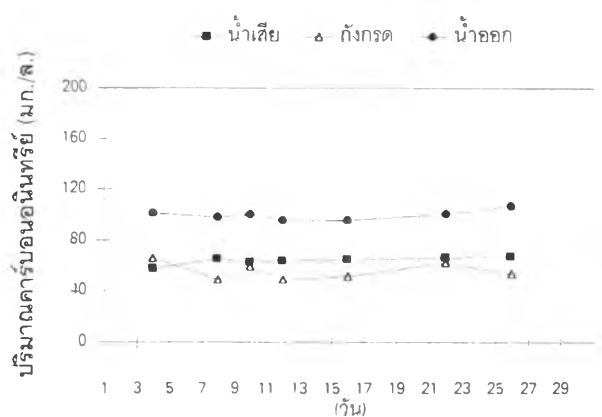
(ข) ยูเอเอสบิชุดที่ 2



(ข) ยูเอเอสบิชุดที่ 2



(ค) ยูเอเอสบิชุดที่ 3



(ค) ยูเอเอสบิชุดที่ 3

รูปที่ 4.46 ปริมาณคาร์บอนรวม (TC)  
ตลอดการทดลองที่ 4

รูปที่ 4.47 ปริมาณคาร์บอนอนินทรีย์ (IC)  
ตลอดการทดลองที่ 4

### ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ (IC)

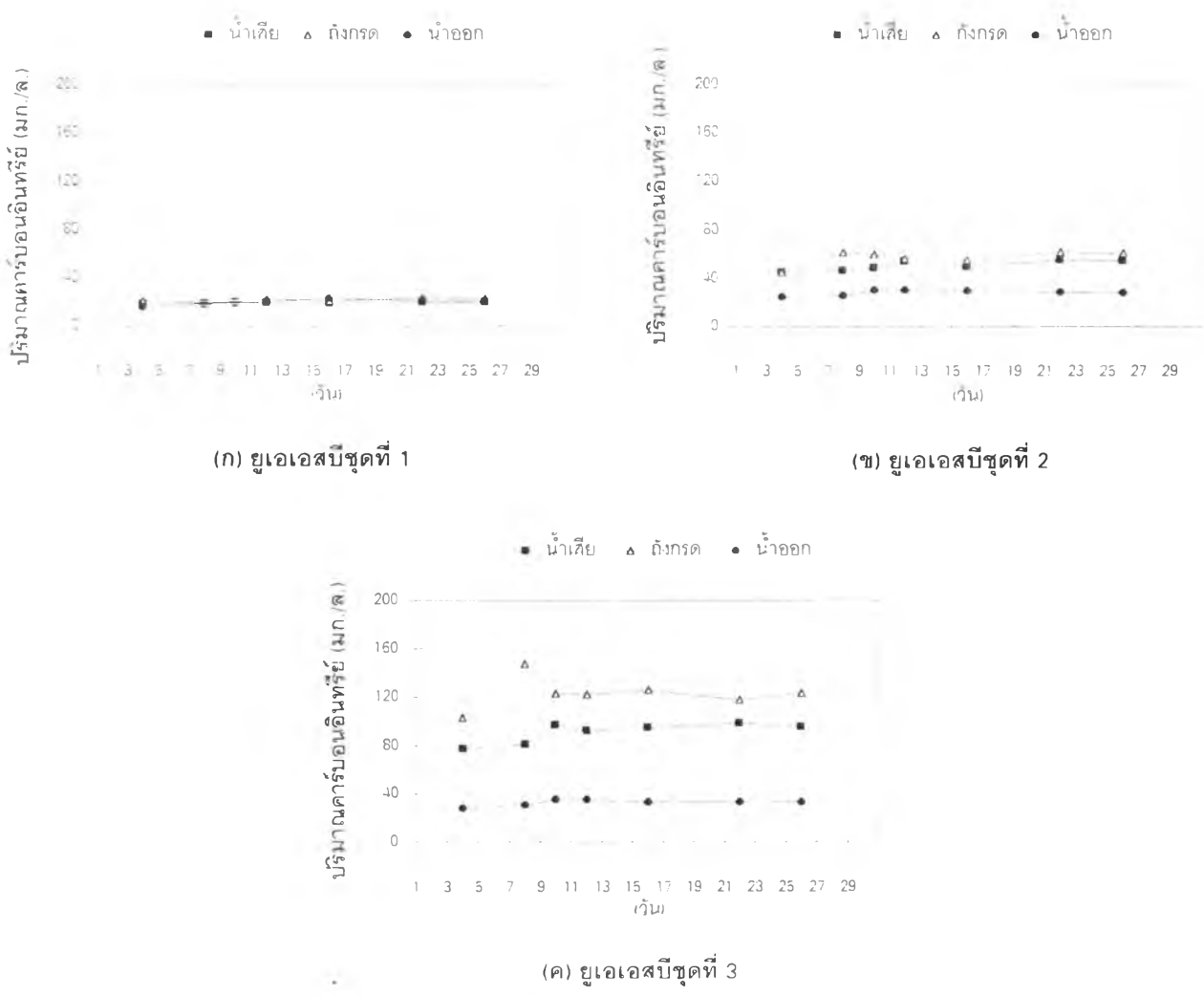
จากตารางที่ 4.6 ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์เฉลี่ยในยูเอเอสบีชุดที่ 1 ในน้ำเสียเท่ากับ 15.6 มก./ล. ในถังสร้างกรดเท่ากับ 17.1 มก./ล. และในน้ำออกเท่ากับ 20.5 มก./ล. ส่วนในชุดที่ 2 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 34.8 37.8 และ 54.9 มก./ล. ในน้ำเสีย ในถังสร้างกรด และในน้ำออก ตามลำดับ และในยูเอเอสบีชุดที่ 3 มีปริมาณคาร์บอนอินทรีย์เฉลี่ยเท่ากับ 65.0 54.0 และ 99.6 มก./ล. ตามลำดับ จากรูปที่ 4.47 ในยูเอเอสบีชุดที่ 1 และ 2 ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์มีการเพิ่มขึ้นทั้งในถังสร้างกรดและในน้ำออกเมื่อเทียบกับน้ำเสียที่เตรียมให้ โดยในชุดที่ 1 มีปริมาณคาร์บอนอินทรีย์เพิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่ก็ส่งผลให้ปริมาณคาร์บอนรวมเพิ่มขึ้น แต่ในชุดที่ 2 การเพิ่มขึ้นในถังสร้างกรดมีน้อยและไปเพิ่มมากในถังยูเอเอสบี ส่วนในชุดที่ 3 นั้นกลับแตกต่างออกไป คือมีการลดลงในถังสร้างกรด ซึ่งทั้งในชุดที่ 2 และ 3 น่าจะมีสาเหตุมาจากการเสียสภาพต่างไปกับปริมาณกรดไขมันระเหยที่มีมากขึ้น เพื่อรักษาระดับพีเอชให้เป็นกลาง จากนั้นก็กลับเพิ่มมากขึ้นในถังยูเอเอสบีเพราะมีการใช้กรดไขมันระเหยไป

### ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์รวม (TOC)

จากตารางที่ 4.6 ในยูเอเอสบีชุดที่ 1 ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์รวมในน้ำเสียมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 19.5 มก./ล. ในถังสร้างกรดเท่ากับ 21.8 มก./ล. และในน้ำออกเท่ากับ 20.5 มก./ล. ในยูเอเอสบีชุดที่ 2 น้ำเสียมีปริมาณคาร์บอนอินทรีย์รวมเท่ากับ 51.6 ในถังสร้างกรดเท่ากับ 59.1 และในน้ำออกเท่ากับ 28.7 มก./ล. ส่วนยูเอเอสบีชุดที่ 3 มีปริมาณคาร์บอนอินทรีย์รวมเท่ากับ 92.9 126.5 และ 33.0 มก./ล. ในน้ำเสีย ถังสร้างกรด และน้ำออกตามลำดับ รูปที่ 4.48 แสดงปริมาณคาร์บอนอินทรีย์รวมตลอดการทดลอง เมื่อพิจารณาในยูเอเอสบีชุดที่ 1 ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์รวมที่วัดได้เป็นปริมาณคาร์บอนอินทรีย์จากสีย้อมเท่านั้น จะเห็นว่าการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยทั้งในถังสร้างกรดและในน้ำออกเมื่อเทียบกับน้ำเสียที่เตรียม แสดงว่าไม่มีการย่อยสลายคาร์บอนอินทรีย์ในน้ำเสียที่มีแต่สีย้อมเป็นแหล่งคาร์บอนนี้ แต่กลับมีการสร้างคาร์บอนอินทรีย์เพิ่มขึ้น ซึ่งในที่นี้ไม่สามารถบอกได้แน่ชัดว่าการสร้างคาร์บอนอินทรีย์นี้ใช้แหล่งคาร์บอนจากที่ใด ส่วนในชุดที่ 2 พิจารณาแต่ในถังสร้างกรดและในน้ำออก แสดงให้เห็นว่ามีการกำจัดคาร์บอนอินทรีย์จากในถังสร้างกรดถึงร้อยละ 50 โดยประมาณ แต่ปริมาณคาร์บอนรวมกลับลดลงเพียงเล็กน้อยจากในถังสร้างกรด แสดงว่ามีการเปลี่ยนรูปคาร์บอนอินทรีย์เป็นคาร์บอนอนินทรีย์เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งตรงกับที่ปริมาณก๊าซเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อย ส่วนในชุดที่ 3 มีการลดลงของคาร์บอนอินทรีย์จากถังสร้างกรดประมาณร้อยละ 75 แต่ปริมาณปริมาณก๊าซชีวภาพเกิดขึ้นค่อนข้างน้อย ทั้งนี้เพราะมีความสัมพันธ์กับค่าปริมาณคาร์บอนรวม (TC) ที่ลดลงในปริมาณไม่มาก แต่คาร์บอนอินทรีย์กลับเพิ่มสูงมาก ยังเป็น

การแสดงให้เห็นว่า คาร์บอนอินทรีย์ส่วนใหญ่ถูกย่อยแล้วเปลี่ยนไปอยู่ในรูปคาร์บอนอินทรีย์มากกว่าที่จะถูกย่อยกลายเป็นก๊าซชีวภาพ

เมื่อเทียบความสัมพันธ์ของค่าซีไอดีและค่าปริมาณคาร์บอนอินทรีย์รวมแล้ว เมื่อพิจารณาในน้ำเสียที่เตรียมของชุดที่ 1 ซึ่งคาร์บอนอินทรีย์ในน้ำมีแต่สีย้อม มีอัตราส่วนซีไอดีต่อปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ประมาณ 2.4 แต่ในน้ำออกกลับมีอัตราส่วนนี้เกือบเท่ากับ 3 ส่วนชุดที่ 2 มีอัตราส่วนนี้มากกว่า 3 เล็กน้อย และในชุดที่ 3 มีอัตราส่วนนี้เกือบเท่ากับ 4 แสดงว่ามีสารรบกวนการวิเคราะห์ซีไอดีในน้ำตัวอย่างก็คือ ซัลไฟด์ โดยในชุดที่ 3 น่าจะมีซัลไฟด์มากกว่าชุดที่ 2 และมากกว่าชุดที่ 1 ทั้งนี้ เพราะแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตที่ผลิตซัลไฟด์ ต้องการแหล่งคาร์บอนเป็นสารให้อิเลกตรอนในการผลิตซัลไฟด์ ดังนั้นเมื่อมีการเติมแป้งมันให้มากก็มีอาหารสำหรับแบคทีเรียชนิดนี้มาก ทำให้มีการผลิตซัลไฟด์ออกมามากในชุดที่ 3 และรบกวนค่าซีไอดีดังที่กล่าว

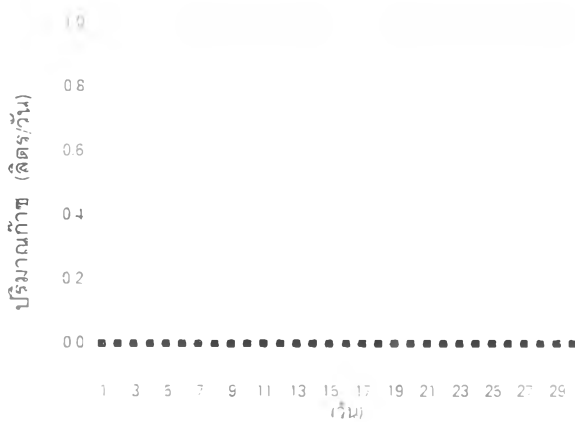


รูปที่ 4.48 ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ (TOC) ตลอดการทดลองที่ 4

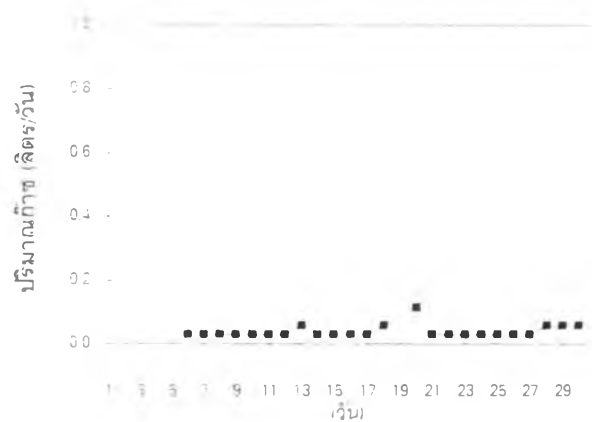


## 7) ก๊าซมีเทน

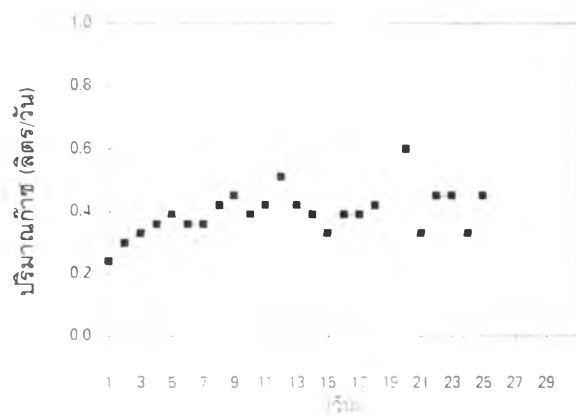
ในการทดลองนี้ปรากฏว่าปริมาณก๊าซในชุดที่ 1 ยังคงเป็นศูนย์อยู่ แต่ในชุดที่ 2 เริ่มมีปริมาณก๊าซเกิดขึ้นให้ตรวจวัดได้แต่มีเพียงเล็กน้อย โดยมีปริมาณก๊าซเฉลี่ย 0.04 ลิตร/วัน ส่วนในชุดที่ 3 กลับมีปริมาณก๊าซเกิดขึ้นมากกว่าในการทดลองที่ 3 ก่อนหน้านั้น คือมีปริมาณก๊าซเฉลี่ย 0.42 ลิตร/วัน จากรูปที่ 4.48 จะเห็นว่าในชุดที่ 1 นั้นไม่มีปริมาณก๊าซเกิดขึ้นเลย ซึ่งก็สัมพันธ์กับปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ที่ไม่เปลี่ยนแปลง ส่วนในชุดที่ 2 ปริมาณก๊าซค่อนข้างคงที่และต่ำมาก สัมพันธ์กับปริมาณคาร์บอนรวมที่ลดลงเพียงเล็กน้อยในชุดที่ 2 ในชุดที่ 3 ปริมาณก๊าซมีมากขึ้นอย่างเห็นได้ชัด เพราะมีการเติมแป้งมันให้มากที่สุด ดังนั้น ค่าเปอร์เซ็นต์มีเทนจึงทำการวิเคราะห์เฉพาะในยูเอเอสบีชุดที่ 3 มีเปอร์เซ็นต์มีเทนเท่ากับร้อยละ 98.2 ทำให้มีอัตราการผลิตก๊าซมีเทนเท่ากับ 0.24 ลิตร/กรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด



(ก) ยูเอเอสบีชุดที่ 1



(ข) ยูเอเอสบีชุดที่ 2



(ค) ยูเอเอสบีชุดที่ 3

รูปที่ 4.49 ปริมาณก๊าซชีวภาพตลอดการทดลองที่ 4

#### 4.1.5 การทดลองที่ 5 เปลี่ยนแปลงความเข้มข้น

##### 4.1.5.1 ลักษณะน้ำเสีย

การทดลองในชุดนี้มีจุดประสงค์เพื่อทดลองดูว่า ความเข้มข้นต่างๆ กัน จะส่งผลต่อประสิทธิภาพการลดสีหรือไม่ โดยยังคงใช้น้ำย้อมสีน้ำเงินสังเคราะห์เช่นเดียวกับในการทดลองที่ 4 แต่ใช้อัตราการเจือจางไม่เท่ากันเพื่อเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นเป็น 100 และ 50 SU และกำหนดให้มียูเอสบี 1 ชุดเป็นชุดควบคุม คือ ไม่เติมสีย้อมใดๆ เลย และควบคุมแบ่งมันให้มีความเข้มข้น 500 มก./ล. เท่ากันทุกชุด

การจัดอุปกรณ์ในการเดินระบบของการทดลองนี้ยังคงเป็นเช่นเดิม (รูปที่ 4.50) ผลการทดลองในการทดลองเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นแสดงในตารางที่ 4.7 ซึ่งแสดงทั้งค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน โดยตารางนี้จะเป็นค่าเฉลี่ยเฉพาะข้อมูลของการทดลองที่เข้าสู่สถานะคงตัวแล้ว



รูปที่ 4.50 การติดตั้งอุปกรณ์ในการทดลองเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น

ตารางที่ 4.7 สรุปค่าเฉลี่ยของตัวแปรต่าง ๆ จากการทดลองที่ 5 (เปลี่ยนแปลงความเข้มข้น)

ตัวแปรที่วัด	UASB ชุดที่ 1 (ความเข้มข้น 100 SU)			UASB ชุดที่ 2 (ความเข้มข้น 50 SU)			UASB ชุดที่ 3 (ความเข้มข้น 0 SU)			
	น้ำเสีย	ถังกรด	น้ำออก	น้ำเสีย	ถังกรด	น้ำออก	น้ำเสีย	ถังกรด	น้ำออก	
พีเอช (pH)	เฉลี่ย	7.81	6.27	6.78	7.81	6.29	6.77	7.84	6.23	6.75
	n=14 SD.	0.05	0.1	0.06	0.06	0.05	0.07	0.05	0.09	0.06
อุณหภูมิ (Temperature) (องศาเซลเซียส)	เฉลี่ย	30.1	29.8	30.2	30.3	30.0	30.3	30.2	29.9	30.1
	n=14 SD.	0.9	0.5	0.4	0.7	0.6	0.5	0.9	0.6	0.4
โออาร์พี (ORP) (มิลลิโวลท์)	เฉลี่ย		-332	-345		-334	-347		-340	-342
	n=14 SD.		5	6		4	3		3	3
ความเข้มข้น (SU)	เฉลี่ย	106	90	47	56	34	21	-	-	-
	n=11 SD.	1	5	2	2	4	1	-	-	-
ประสิทธิภาพการลดสี (%) *	เฉลี่ย		15	56		39	63		-	-
	n=11 SD.		4	1		9	2		-	-
ซีโอดี (COD) (มิลลิกรัม/ลิตร)	เฉลี่ย	536	351	89	521	348	78	509	352	55
	n=10 SD.	6	39	10	6	30	7	6	44	7
ประสิทธิภาพการกำจัด ซีโอดี (%) **	เฉลี่ย		35	83		33	85		31	89
	n=10 SD.		7	2		5	2		9	1
ปริมาณซีโอดีที่ถูกกำจัด (กรัม/วัน) ***	เฉลี่ย			1.57			1.62			1.78
	n=10 SD.			0.21			0.19			0.27
สภาพด่างทั้งหมด (มิลลิกรัม/ลิตร CaCO <sub>3</sub> )	เฉลี่ย	263	286	357	267	294	363	265	294	373
	n=14 SD.	3	18	7	4	8	6	5	10	7
กรดไขมันระเหย (VFA) (มิลลิกรัม/ลิตร CaCO <sub>2</sub> )	เฉลี่ย	91	179	147	89	190	148	85	194	152
	n=14 SD.	5	12	9	5	8	7	6	10	11
อัตราส่วนกรดไขมันระเหย ต่อสภาพด่างทั้งหมด	เฉลี่ย			0.382			0.407			0.407
	n=14 SD.			0.108			0.018			0.026
ปริมาณคาร์บอนรวม (TC) (ส่วนในล้านส่วน)	เฉลี่ย	156.9	171.9	128.4	152.5	170.3	124.2	147.4	175.3	123.8
	n=6 SD.	3.0	6.5	3.3	6.8	5.0	2.7	2.3	8.6	1.4
ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ (IC) (ส่วนในล้านส่วน)	เฉลี่ย	69.2	56.5	100.3	70.6	54.4	103.1	71.0	56.1	106.4
	n=6 SD.	2.2	3.9	2.4	2.1	4.1	2.6	1.5	5.1	0.9
ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ (TOC) (ส่วนในล้านส่วน)	เฉลี่ย	87.7	115.4	28.0	81.9	115.8	21.1	76.4	119.1	17.4
	n=6 SD.	3.4	5.6	1.0	5.3	6.4	1.0	2.2	11.5	1.3
ปริมาณก๊าซทั้งหมด (ลิตร/วัน)	เฉลี่ย			0.38			0.42			0.47
	n=14 SD.			0.06			0.05			0.05
ก๊าซมีเทน (%)				97.5			98			97.2
				-			-			-
อัตราการผลิตก๊าซมีเทน (ลิตร/กรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด)				0.24			0.25			0.26
				-			-			-

\* ประสิทธิภาพการลดสีทั้งในถังกรดและในน้ำออกคิดเทียบจากความเข้มข้นในน้ำเสีย

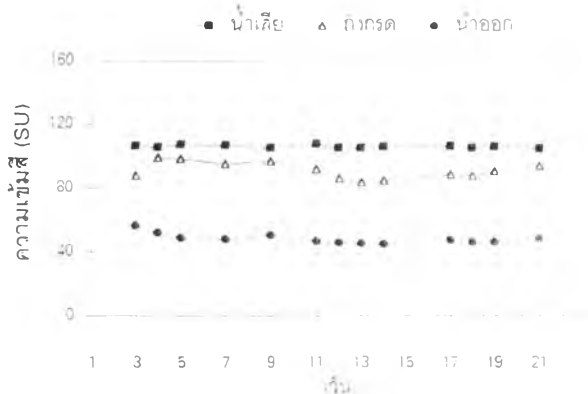
\*\* ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีทั้งในถังกรดและในน้ำออกคิดเทียบจากค่าซีโอดีในน้ำเสีย

\*\*\* ปริมาณซีโอดีที่ถูกกำจัดคิดเทียบจากค่าซีโอดีในถังกรด โดยถือว่าเป็นค่าซีโอดีที่เข้าถังบิวเอเอสบี

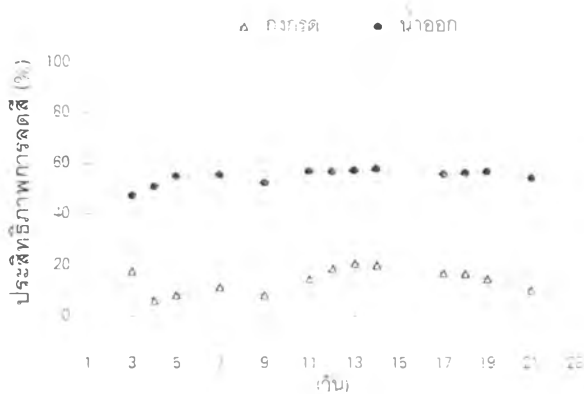
4.1.5.2 วิจารณ์ผลการทดลอง

1) ความเข้มข้นและประสิทธิภาพการลดสี

จากตารางที่ 4.7 ค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นในน้ำเสียที่เตรียมให้กับยูเอเอสบีชุดที่ 1 เท่ากับ 106 และเท่ากับ 56 SU ในชุดที่ 2 ส่วนในชุดที่ 3 ไม่ได้มีการเติมสีให้ ในถังสร้างกรดมีความเข้มข้นในชุดที่ 1 เท่ากับ 90 SU และชุดที่ 2 เท่ากับ 34 SU ส่วนน้ำออกในชุดที่ 1 เท่ากับ 47 SU และเท่ากับ 21 SU ในชุดที่ 2 เมื่อพิจารณารูปที่ 4.51 จะเห็นว่าในช่วงสัปดาห์แรกของการทดลอง ความเข้มข้นในน้ำออกทั้งในชุดที่ 1 และ 2 ค่อยๆ ลดลงจนเมื่อเข้าสู่สัปดาห์ที่ 2 ทั้งในถังสร้างกรดและในน้ำออก ความเข้มข้นก็เริ่มคงที่และสม่ำเสมอขึ้น ความเข้มข้นในถังสร้างกรดและในน้ำออกมีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นที่เตรียมให้ในน้ำเสีย คือในชุดที่มีความเข้มข้นในน้ำเสียสูง ก็จะมีค่าความเข้มข้นในถังสร้างกรดและในน้ำออกสูงกว่าชุดที่มีความเข้มข้นในน้ำเสียต่ำกว่า



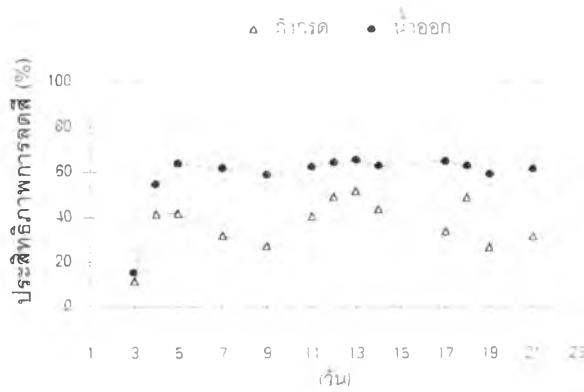
(ก) ยูเอเอสบีชุดที่ 1



(ก) ยูเอเอสบีชุดที่ 1



(ข) ยูเอเอสบีชุดที่ 2



(ข) ยูเอเอสบีชุดที่ 2

รูปที่ 4.51 ค่าความเข้มข้นตลอดการทดลองที่ 5

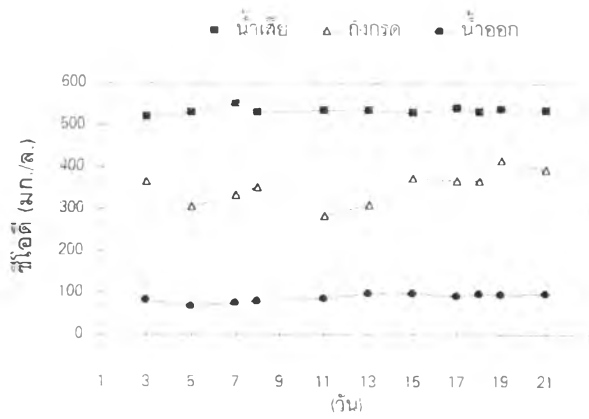
รูปที่ 4.52 ประสิทธิภาพการลดสีตลอดการทดลองที่ 5

ส่วนประสิทธิภาพการลดสีในถังสร้างกรดเฉลี่ยร้อยละ 15 และ 39 ในระบบยูเอเอสบี ชุดที่ 1 2 ตามลำดับ ส่วนประสิทธิภาพรวมเมื่อผ่านขั้นตอนการสร้างมีเทนในถังยูเอเอสบีนั้น ในชุดที่ 1 เฉลี่ยร้อยละ 56 และร้อยละ 63 สำหรับยูเอเอสบีชุดที่ 2 จากรูปที่ 4.52 จะเห็นว่าประสิทธิภาพการลดสีในถังสร้างกรดมีความแตกต่างกัน เมื่อความเข้มข้นในน้ำเสียที่เตรียมให้แตกต่างกัน โดยในชุดที่ 1 ประสิทธิภาพในถังสร้างกรดจะต่ำกว่าในชุดที่ 2 อย่างเห็นได้ชัด แต่ประสิทธิภาพการลดสีรวมในชุดที่ 1 จะต่ำกว่าในชุดที่ 2 เล็กน้อย แสดงว่าความเข้มข้นในน้ำเสียที่เตรียมให้มีผลต่อประสิทธิภาพการลดสีในถังสร้างกรดมาก ทั้งนี้อาจเป็นเพราะมีการรบกวนของสีย้อมต่อการทำงานของแบคทีเรียในถังสร้างกรดบ้าง แต่แทบจะไม่มีมีการรบกวนในถังสร้างมีเทน ทั้งนี้จะเป็นเพราะปริมาณเชื้อแบคทีเรียในถังสร้างมีเทนมากกว่าในถังสร้างกรดมาก ทำให้มีความสามารถในการรับภาระความผิดปกติต่างๆ ในน้ำเสียได้ดีกว่า

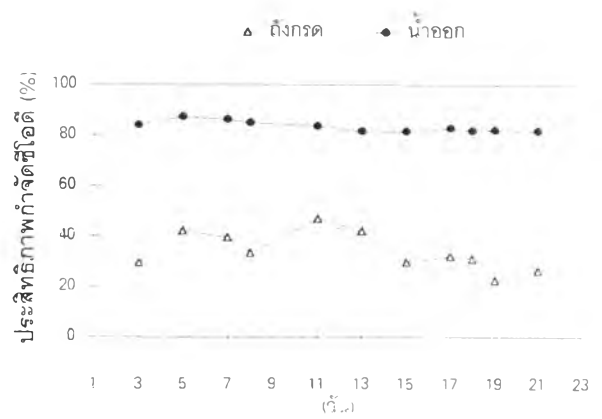
## 2) ซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัด

จากตารางที่ 4.7 ค่าซีโอดีเฉลี่ยในน้ำเสียที่เตรียมสำหรับยูเอเอสบีชุดที่ 1 เท่ากับ 536 มก./ล. และเท่ากับ 521 และ 509 มก./ล. ในชุดที่ 2 และ 3 ตามลำดับ จะเห็นว่าค่าซีโอดีในน้ำเสียของยูเอเอสบีชุดที่ 1 และ 2 นี้เป็นค่าซีโอดีของแป้งมันที่เติมให้ 500 มก./ล. รวมกับ ซีโอดีของสีย้อม ส่วนในชุดที่ 3 เป็นซีโอดีของแป้งมันที่เติมให้เพียงอย่างเดียว (เพราะไม่เติมสี) ในถังสร้างกรดของยูเอเอสบีชุดที่ 1 มีค่าซีโอดีเท่ากับ 351 มก./ล. ในชุดที่ 2 เท่ากับ 348 มก./ล. และเท่ากับ 352 มก./ล. ในชุดที่ 3 ส่วนค่าซีโอดีในน้ำออกของทั้ง 3 ชุด เป็นดังนี้คือ เท่ากับ 89 78 และ 55 มก./ล. ในยูเอเอสบีชุดที่ 1 2 และ 3 ตามลำดับ ค่าซีโอดีตลอดการทดลองแสดงในรูปที่ 4.53 จะเห็นว่าค่าซีโอดีในยูเอเอสบีทั้ง 3 ชุด มีลักษณะที่คล้ายคลึงกันและมีค่าที่ใกล้เคียงกันโดยเฉพาะในถังสร้างกรด ที่มีลักษณะแปรปรวนเล็กน้อย แต่ค่าซีโอดีในน้ำออกของยูเอเอสบีชุดที่ 1 จะมากกว่าในชุดที่ 2 และชุดที่ 2 มากกว่า ชุดที่ 3 เนื่องจากการเติมสีย้อมนั่นเอง คือในชุดที่ 1 ที่มีการเติมสีย้อมให้มากก็จะมีซีโอดีเหลือในน้ำมากกว่าชุดที่ 2 ที่มีการเติมให้น้อยลง และมากกว่าในชุดที่ 3 ที่ไม่มีการเติมสีย้อมให้ ทั้งนี้เพราะแบคทีเรียในระบบไม่สามารถย่อยซีโอดีจากสีย้อมลงได้ หรือได้ก็เพียงเล็กน้อย

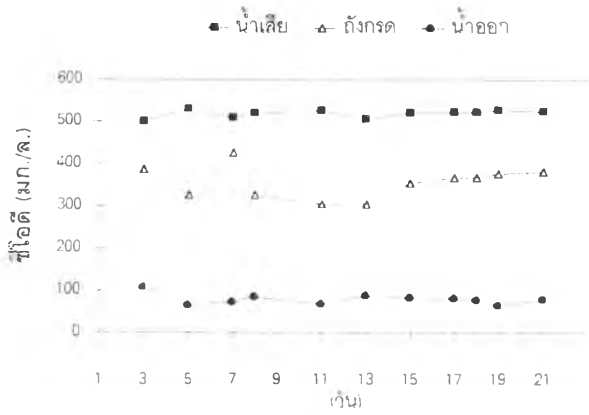
ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี (จากตารางที่ 4.7) ในถังสร้างกรดของระบบยูเอเอสบีชุดที่ 1 เท่ากับร้อยละ 35 และเท่ากับร้อยละ 33 และ 31 ในยูเอเอสบีชุดที่ 2 และ 3 ตามลำดับ ส่วนในน้ำออกมีประสิทธิภาพร้อยละ 83 85 และ 89 สำหรับยูเอเอสบีชุดที่ 1 2 และ 3 ตามลำดับ เมื่อพิจารณารูปที่ 4.54 จะเห็นว่าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีในถังสร้างกรดของยูเอเอสบีทั้ง 3 ชุด มีรูปแบบที่คล้ายคลึงกันและมีความแปรปรวนที่ใกล้เคียงกัน ส่วนประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีรวมมีความสม่ำเสมอเกือบจะตลอดการทดลอง และมีความแตก



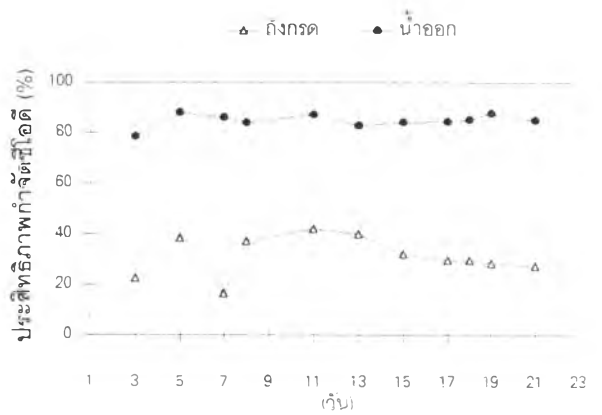
(ก) ยูเอเอสบีชุดที่ 1



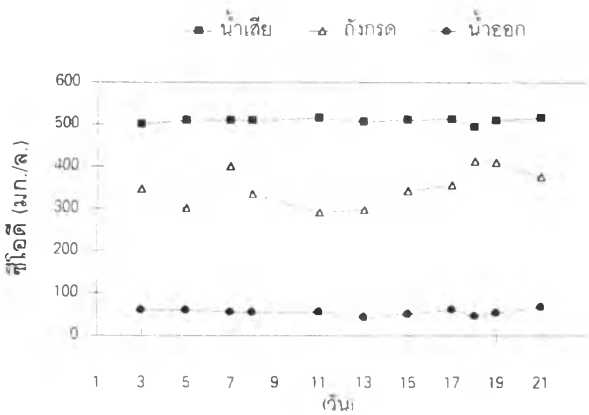
(ก) ยูเอเอสบีชุดที่ 1



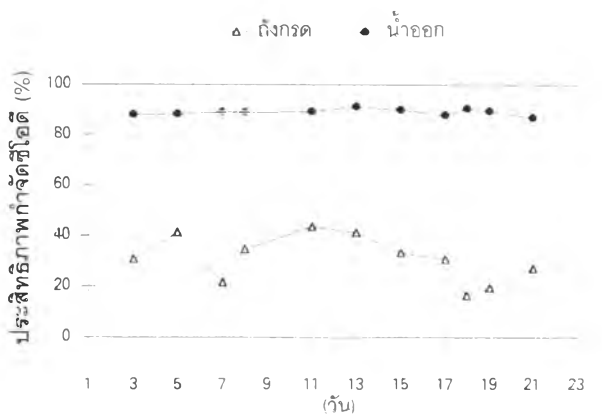
(ข) ยูเอเอสบีชุดที่ 2



(ข) ยูเอเอสบีชุดที่ 2



(ค) ยูเอเอสบีชุดที่ 3



(ค) ยูเอเอสบีชุดที่ 3

รูปที่ 4.53 ค่าซีไอดีตลอดการทดลองที่ 5

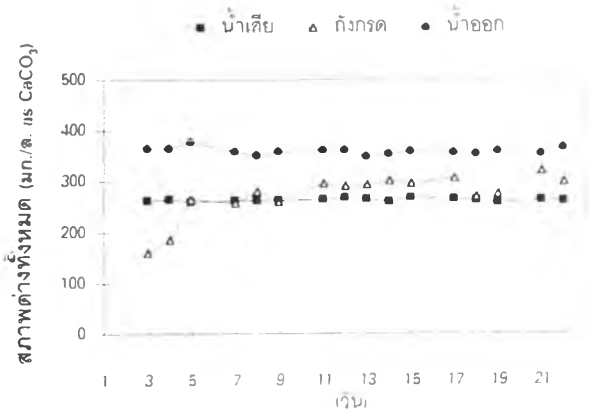
รูปที่ 4.54 ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีตลอดการทดลองที่ 5

ต่างกันน้อยมากตามความแตกต่างของความเข้มข้นที่เตรียมให้ในน้ำเสีย แสดงว่าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอไซด์ขึ้นกับความเข้มข้นแ่งมันที่เติมให้มากกว่าความเข้มข้น โดยความเข้มข้นอิทธิพลก็เพราะปริมาณซีโอไซด์จากสีย้อมที่เติมให้เท่านั้น

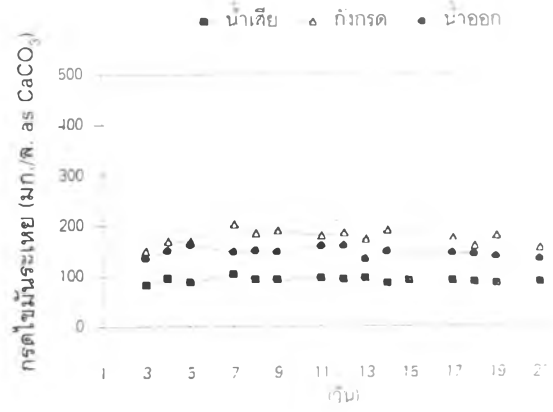
### 3) สภาพด่างทั้งหมดและกรดไขมันระเหย

จากตารางที่ 4.7 สภาพด่างทั้งหมดของระบบยูเอเอสบีชุดที่ 1 ในน้ำเสีย ถึงสร้างกรดและน้ำออกเท่ากับ 263 286 และ 357 มก./ล. ในเทอมของแคลเซียมคาร์บอเนต ตามลำดับ ในยูเอเอสบีชุดที่ 2 เท่ากับ 267 294 และ 363 มก./ล. ในเทอมของแคลเซียมคาร์บอเนต ตามลำดับ และในยูเอเอสบีชุดที่ 3 เท่ากับ 265 294 และ 373 มก./ล. ในเทอมของแคลเซียมคาร์บอเนต ตามลำดับ ในการทดลองนี้เป็นการเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์อย่างแท้จริงเช่นกัน ดังนั้นสภาพด่างทั้งหมดในน้ำนี้จึงเป็นสภาพด่างที่เกิดจากการเติมให้ และมีค่าใกล้เคียงกันทั้ง 3 ชุด เพราะเติมให้ด้วยปริมาณที่เท่ากัน จากข้อมูลค่าเฉลี่ยจะเห็นว่าสภาพด่างทั้งหมดในถังสร้างกรดและในน้ำออก มีการเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับการทดลองที่ผ่านมา โดยในชุดที่ 3 ที่ไม่ได้มีการเติมสี มีการเพิ่มขึ้นของสภาพด่างทั้งหมดในน้ำออกประมาณร้อยละ 40 ของสภาพด่างทั้งหมดในน้ำเสีย ข้อมูลสภาพด่างทั้งหมดตลอดการทดลองแสดงในรูปที่ 4.55 จะเห็นว่ามีลักษณะการเปลี่ยนแปลงที่คล้ายคลึงกันในยูเอเอสบีทั้ง 3 ชุด แสดงว่าการเปลี่ยนแปลงสภาพด่างขึ้นกับความเข้มข้นแ่งมันที่เติมให้มากกว่าความเข้มข้น ทั้งนี้ เพราะแบคทีเรียใช้สารอินทรีย์ที่ถูกย่อยไปในการสร้างไบคาร์บอเนตทำให้สภาพด่างเพิ่มขึ้น

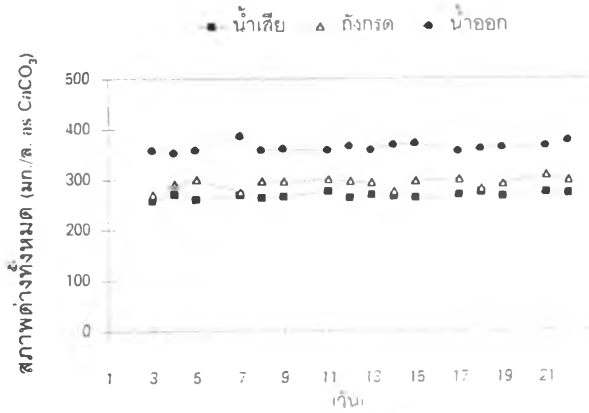
จากตารางที่ 4.7 ปริมาณกรดไขมันระเหยเฉลี่ยในน้ำเสีย ในถังสร้างกรดและน้ำออกของยูเอเอสบีชุดที่ 1 เท่ากับ 91 179 และ 147 มก./ล. ในเทอมของแคลเซียมคาร์บอเนต ตามลำดับ ส่วนในยูเอเอสบีชุดที่ 2 เท่ากับ 89 190 และ 148 มก./ล. ในเทอมของแคลเซียมคาร์บอเนต ตามลำดับ และยูเอเอสบีชุดที่ 3 เท่ากับ 85 194 และ 152 มก./ล. ในเทอมของแคลเซียมคาร์บอเนตตามลำดับ ปริมาณกรดไขมันระเหยตลอดการทดลองแสดงในรูปที่ 4.56 จะเห็นว่าทั้งค่าเฉลี่ยและเส้นกราฟต่างก็แสดงให้เห็นว่า ปริมาณกรดไขมันระเหยในยูเอเอสบีทั้ง 3 ชุดมีลักษณะที่คล้ายคลึงกันและมีปริมาณใกล้เคียงกัน นั่นคือมีการเพิ่มขึ้นในถังสร้างกรดและมีการลดลงในน้ำออกเพราะมีการใช้ไป เพียงแต่ในถังสร้างกรดของยูเอเอสบีชุดที่ 1 (ความเข้มข้น 100 SU) จะมีปริมาณกรดไขมันระเหยต่ำที่สุด ทั้งนี้ น่าจะเป็นเพราะว่าถังสร้างกรดของยูเอเอสบีชุดนี้ไม่ได้รับการเติมแ่งมันให้ตั้งแต่การทดลองที่ 2 ทำให้มีจุลินทรีย์ในถังสร้างกรดชุดนี้ค่อนข้างน้อย จึงมีประสิทธิภาพในการสร้างกรดไขมันระเหยต่ำกว่าชุดอื่น และอาจเป็นเพราะการรบกวนของสีย้อมต่อการทำงานของแบคทีเรียในถังสร้างกรดด้วยก็ได้



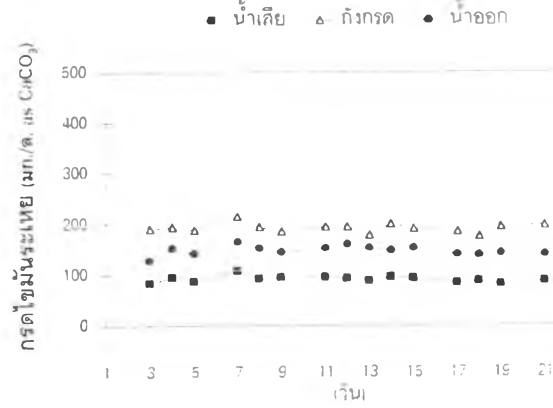
(ก) ยูเอเอสบีชุดที่ 1



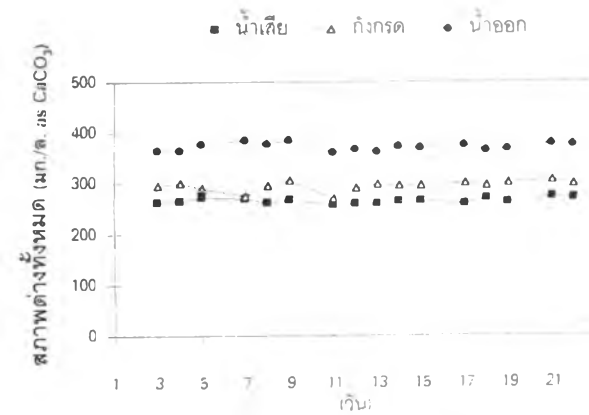
(ก) ยูเอเอสบีชุดที่ 1



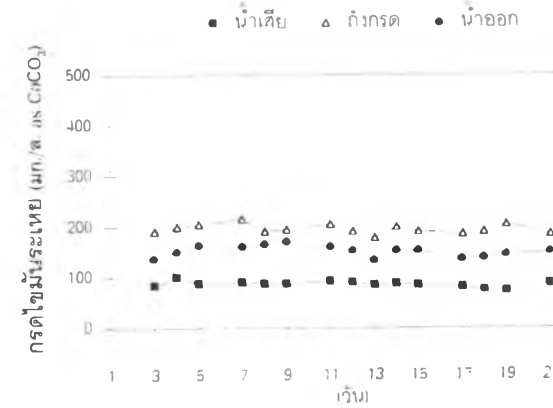
(ข) ยูเอเอสบีชุดที่ 2



(ข) ยูเอเอสบีชุดที่ 2



(ค) ยูเอเอสบีชุดที่ 3



(ค) ยูเอเอสบีชุดที่ 3

รูปที่ 4.55 สภาพต่างทั้งหมด  
ตลอดการทดลองที่ 5

รูปที่ 4.56 ปริมาณกรดไขมันระเหย  
ตลอดการทดลองที่ 5



อย่างไรก็ตาม ปริมาณกรดไขมันระเหยในยูเอเอสบีทั้ง 3 ชุดถือว่ามีค่าใกล้เคียงกัน จึงน่าจะกล่าวได้ว่าปริมาณกรดไขมันระเหย มีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นแป้งมันมากกว่า ความเข้มข้นที่เปลี่ยนแปลง

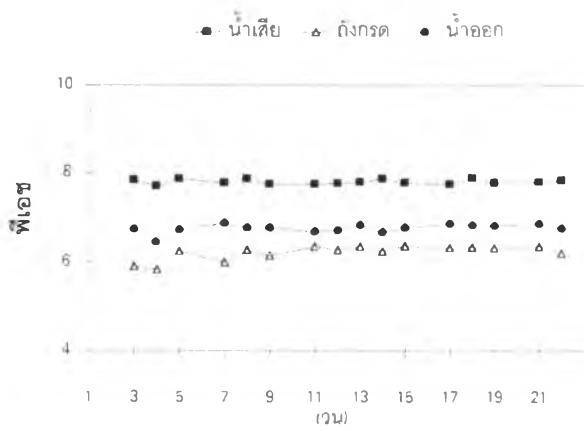
#### 4) พีเอชและอัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมด

จากตารางที่ 4.7 ระบบยูเอเอสบีชุดที่ 1 มีค่าพีเอชเฉลี่ยในน้ำเสียเท่ากับ 7.81 ในถังสร้างกรดเท่ากับ 6.27 และในน้ำออกเท่ากับ 6.78 ในขณะที่ระบบยูเอเอสบีชุดที่ 2 ค่าพีเอชเฉลี่ยเท่ากับ 7.81 6.29 และ 6.77 ตามลำดับ และระบบยูเอเอสบีชุดที่ 3 เท่ากับ 7.84 6.23 และ 6.75 ตามลำดับ ค่าพีเอชตลอดการทดลองแสดงในรูปที่ 4.57 จะเห็นว่ามีกรดลดลงในถังสร้างกรดเพราะมีการสร้างกรดไขมันระเหยเพิ่มขึ้น และค่าพีเอชกลับเพิ่มขึ้นในน้ำออกเพราะมีการใช้กรดไขมันระเหยไป และเมื่อพิจารณายูเอเอสบีเปรียบเทียบกันทั้ง 3 ชุด จะเห็นว่ามีลักษณะคล้ายคลึงกันทั้ง 3 ชุด เช่นเดียวกับพารามิเตอร์อื่นๆ ที่ได้กล่าวมาแล้ว กล่าวได้ว่าค่าพีเอชมีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นแป้งมันที่เติมให้มากกว่าความเข้มข้น

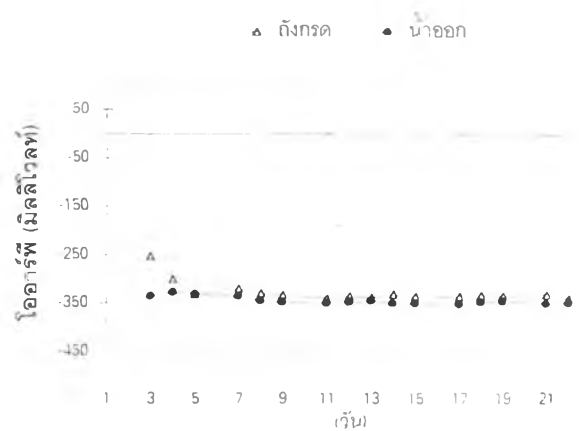
ส่วนค่าอัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมดของยูเอเอสบีทั้ง 3 ชุด ซึ่งมีค่าดังต่อไปนี้คือ 0.382 ในน้ำออกของยูเอเอสบีชุดที่ 1 และ เท่ากับ 0.407 ในชุดที่ 2 และ เท่ากับ 0.407 ในชุดที่ 3 จะเห็นว่าความสัมพันธ์ของอัตราส่วนนี้ค่อนข้างใกล้เคียงกันทั้ง 3 ชุด ทั้งนี้เพราะปริมาณกรดไขมันระเหยและสภาพต่างทั้งหมดก็ใกล้เคียงกัน ส่งผลให้ค่าพีเอชมีค่าที่ใกล้เคียงกันทั้ง 3 ชุดเช่นกัน

#### 5) โออาร์พี

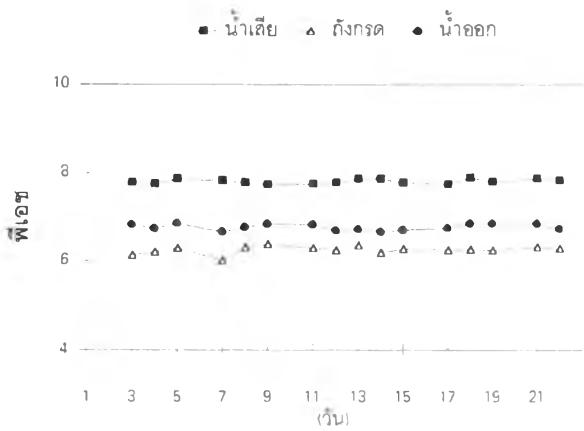
จากตารางที่ 4.7 ค่าโออาร์พีเฉลี่ยในถังสร้างกรดของยูเอเอสบีชุดที่ 1 เท่ากับ -332 มิลลิโวลต์ และในน้ำออกเท่ากับ -345 มิลลิโวลต์ ในชุดที่ 2 ค่าเฉลี่ยในถังสร้างกรดเท่ากับ -334 มิลลิโวลต์ และในน้ำออกเท่ากับ -347 มิลลิโวลต์ ส่วนยูเอเอสบีชุดที่ 3 มีค่าโออาร์พีเฉลี่ยในถังสร้างกรดเท่ากับ -340 มิลลิโวลต์ และในน้ำออกเท่ากับ -342 มิลลิโวลต์ จะเห็นว่าเมื่อมีการเติมสีย้อมให้กับระบบ ค่าโออาร์พีในถังสร้างกรดจะมีความแตกต่างกับค่าโออาร์พีในน้ำออกอยู่บ้าง ค่าโออาร์พีตลอดการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.58 จะเห็นว่าค่าโออาร์พีในถังสร้างกรดและน้ำออกของยูเอเอสบีชุดที่ 1 และ 2 เส้นกราฟทั้ง 2 เส้น จะแสดงถึงความแตกต่างเล็กน้อยแต่ก็ยังไม่ถึงกับทับกัน แต่ในยูเอเอสบีชุดที่ 3 เส้นกราฟเกือบทับกันสนิท แสดงให้เห็นว่า สีย้อมมีผลต่อการทำงานของจุลินทรีย์ในถังสร้างกรดด้วยไม่มากนักน้อยเมื่อเทียบกับชุดที่ไม่ได้เติมสีที่ถึงแม้จะมีการเติมแป้งมันให้เท่ากัน



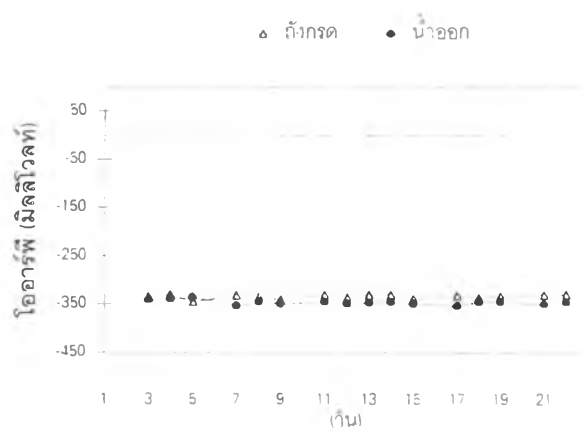
(ก) ยูเอเอสบิชุดที่ 1



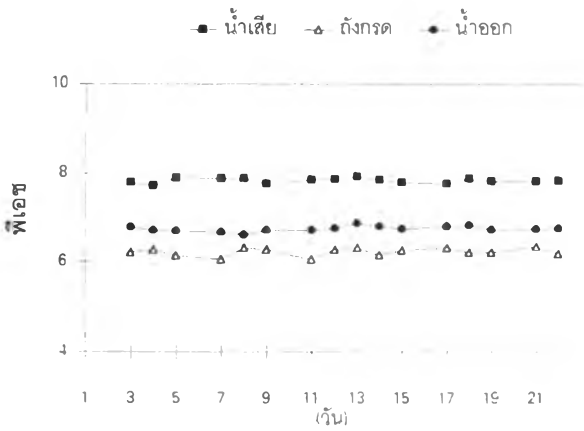
(ก) ยูเอเอสบิชุดที่ 1



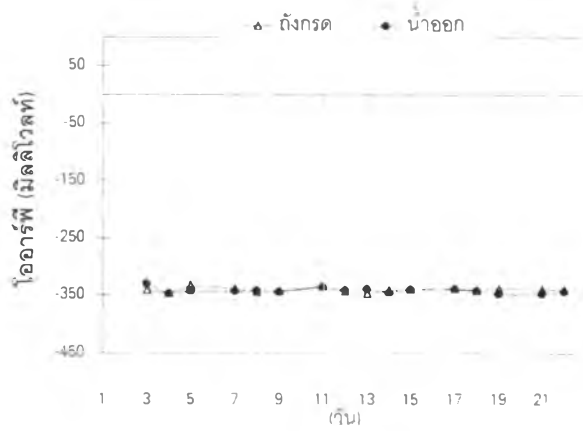
(ข) ยูเอเอสบิชุดที่ 2



(ข) ยูเอเอสบิชุดที่ 2



(ค) ยูเอเอสบิชุดที่ 3



(ค) ยูเอเอสบิชุดที่ 3

รูปที่ 4.57 ค่าฟอสเฟตตลอดการทดลองที่ 5

รูปที่ 4.58 ค่าไนโตรเจนแอมโมเนียตลอดการทดลองที่ 5

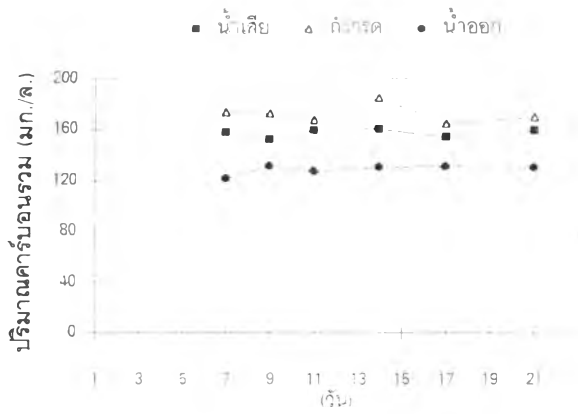
## 6) ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์รวม (TOC) ปริมาณคาร์บอนรวม (TC) และปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ (IC)

### ปริมาณคาร์บอนรวม (TC)

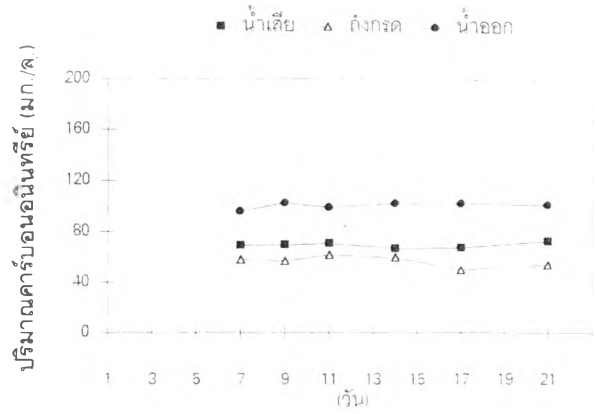
จากตารางที่ 4.7 ค่าปริมาณคาร์บอนรวมเฉลี่ยในน้ำเสียของยูเอเอสบีชุดที่ 1 เท่ากับ 156.9 มก./ล. ในถังสร้างกรดเท่ากับ 171.9 มก./ล. และในน้ำออกเท่ากับ 128.4 มก./ล. ส่วนในชุดที่ 2 มีค่าปริมาณคาร์บอนรวมเฉลี่ยในน้ำเสียเท่ากับ 152.5 มก./ล. ในถังสร้างกรดเท่ากับ 170.3 มก./ล. และในน้ำออกเท่ากับ 124.2 มก./ล. และในชุดที่ 3 มีค่าปริมาณคาร์บอนรวมเฉลี่ยในน้ำเสียที่ผ่านการกรองแล้วเท่ากับ 147.4 ในถังสร้างกรด 175.3 และในน้ำออกเท่ากับ 123.8 มก./ล. จะเห็นว่าค่าปริมาณคาร์บอนรวมในน้ำเสียมีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นที่เตรียมให้ ทั้งนี้ก็เนื่องจากเป็นปริมาณคาร์บอนของแป้งมันรวมกับสีย้อม ทำให้ปริมาณคาร์บอนรวมในชุดที่ 1 มากกว่า ชุดที่ 2 และชุดที่ 3 ตามลำดับ ส่วนปริมาณคาร์บอนรวมในถังสร้างกรดไม่มีรูปแบบความสัมพันธ์ให้เห็นเด่นชัด แต่ปริมาณคาร์บอนในน้ำออกมีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นเช่นเดียวกับน้ำออก แต่ความแตกต่างมีไม่มากนัก ปริมาณคาร์บอนรวมตลอดการทดลองแสดงในรูปที่ 4.59 จะเห็นว่าการเปลี่ยนแปลงระหว่างปริมาณคาร์บอนรวมในน้ำเสีย ถังสร้างกรด และในน้ำออกของยูเอเอสบีทั้ง 3 ชุด มีลักษณะที่คล้ายคลึงกัน ทั้งนี้จะเป็นเพราะอิทธิพลของความเข้มข้นแป้งมันที่เติมให้เท่ากันนั่นเอง

### ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ (IC)

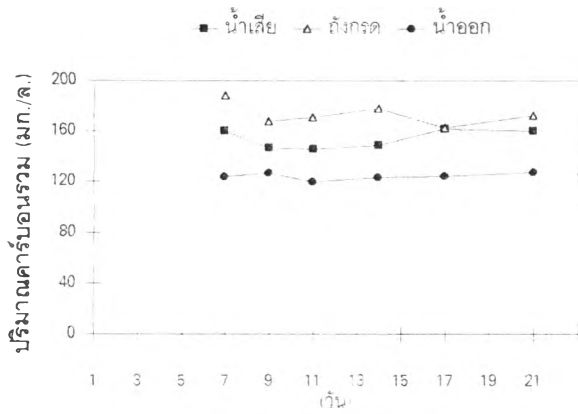
จากตารางที่ 4.7 ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์เฉลี่ยในยูเอเอสบีชุดที่ 1 ในน้ำเสียเท่ากับ 69.2 มก./ล. ในถังสร้างกรดเท่ากับ 56.5 มก./ล. และในน้ำออกเท่ากับ 100.3 มก./ล. ส่วนในชุดที่ 2 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 70.6 54.4 และ 103.1 มก./ล. ตามลำดับ และในยูเอเอสบีชุดที่ 3 มีปริมาณคาร์บอนอินทรีย์เฉลี่ยเท่ากับ 71.0 56.1 และ 106.4 มก./ล. ในน้ำเสีย ถังสร้างกรด และในน้ำออกตามลำดับ จะเห็นว่า ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์มีการลดลงในถังสร้างกรดแล้วเพิ่มขึ้นค่อนข้างมากในน้ำออก ซึ่งมีลักษณะเดียวกับยูเอเอสบีชุดที่ 3 ในการทดลองที่ 4 อีกทั้งในยูเอเอสบีทั้ง 3 ชุดนี้รวมทั้งยูเอเอสบีชุดที่ 3 ในการทดลองที่ 4 ยังมีปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ที่ใกล้เคียงกันด้วย จากรูปที่ 4.60 ก็เป็นเช่นเดียวกับปริมาณคาร์บอนรวมคือ ในยูเอเอสบีทั้ง 3 ชุดมีการเปลี่ยนแปลงของคาร์บอนอินทรีย์ในรูปแบบเดียวกัน และมีปริมาณที่ใกล้เคียงกัน แสดงให้เห็นว่า การเปลี่ยนแปลงของคาร์บอนอินทรีย์มีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นแป้งมันที่เติมให้มากกว่าความเข้มข้น ทั้งนี้ก็เพราะแบคทีเรียจะต้องใช้แหล่งคาร์บอนในการสร้างคาร์บอนอินทรีย์นั่นเอง



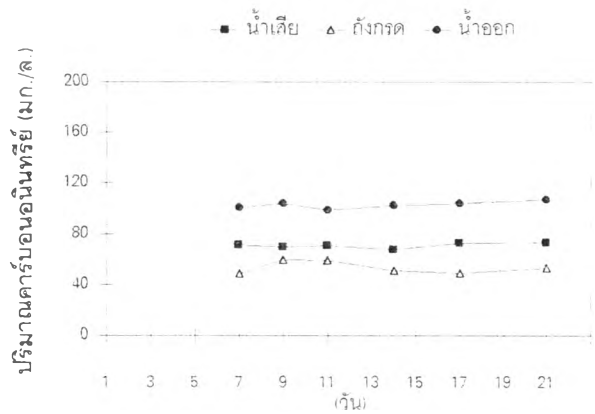
(ก) ยูเอเอสบิชุดที่ 1



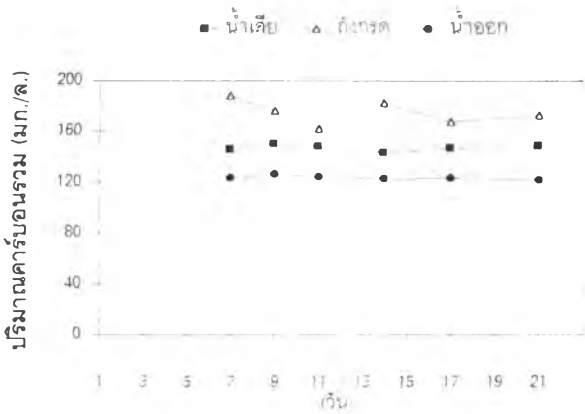
(ก) ยูเอเอสบิชุดที่ 1



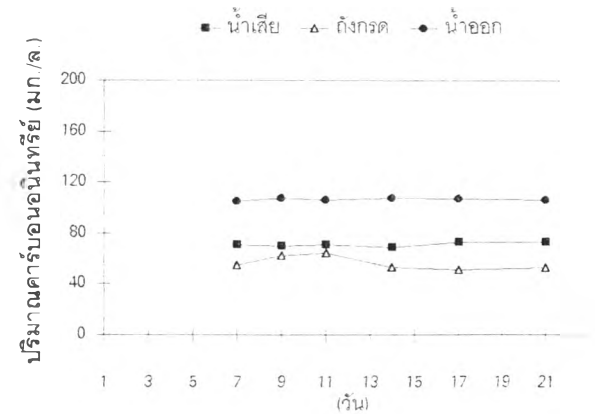
(ข) ยูเอเอสบิชุดที่ 2



(ข) ยูเอเอสบิชุดที่ 2



(ค) ยูเอเอสบิชุดที่ 3



(ค) ยูเอเอสบิชุดที่ 3

รูปที่ 4.59 ปริมาณคาร์บอนรวม (TC) ตลอดการทดลองที่ 5

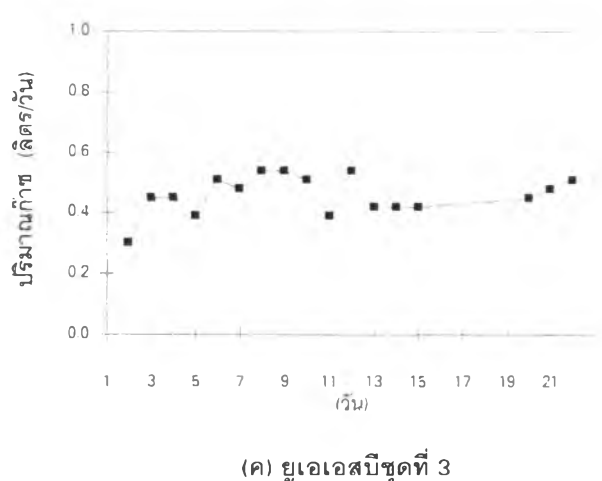
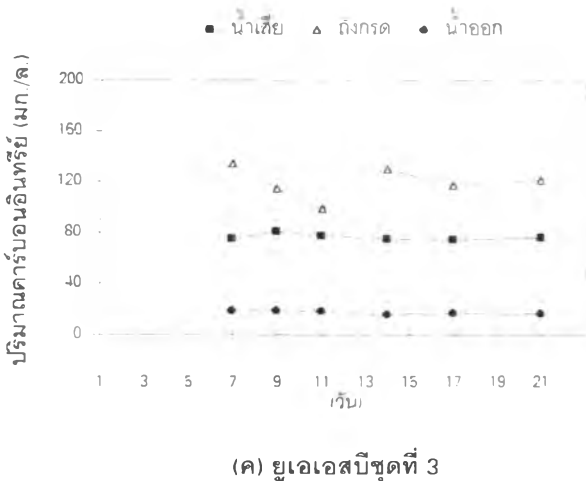
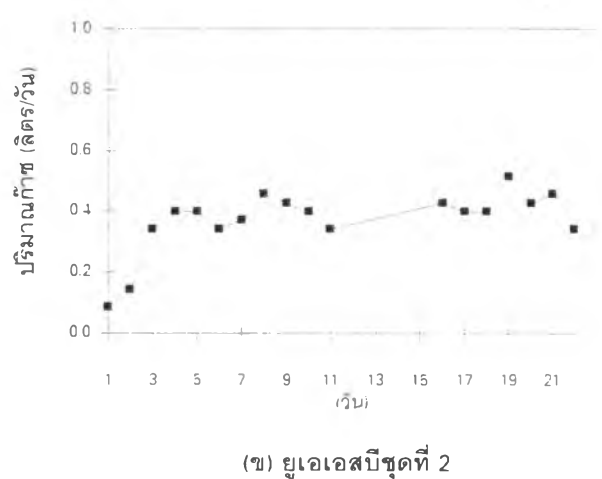
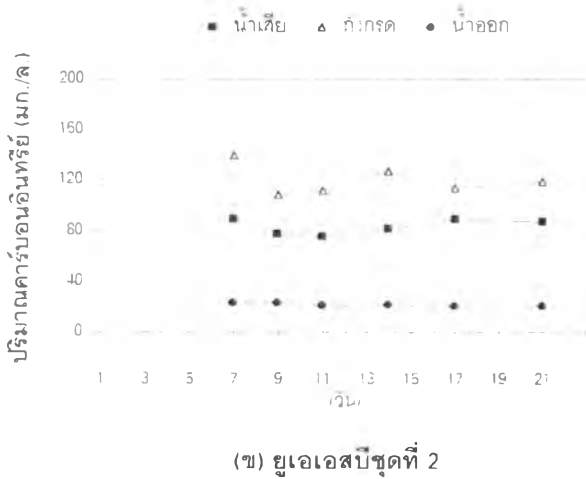
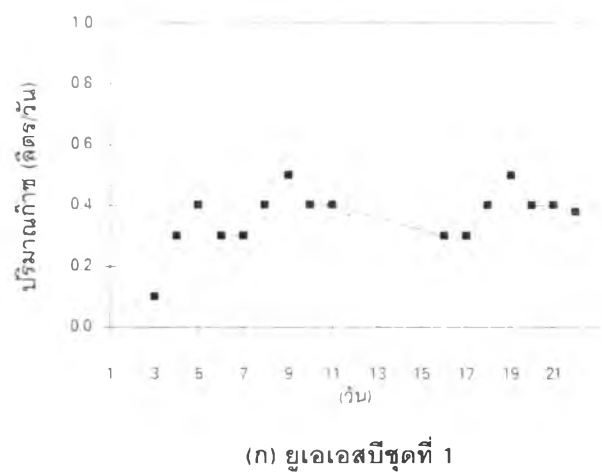
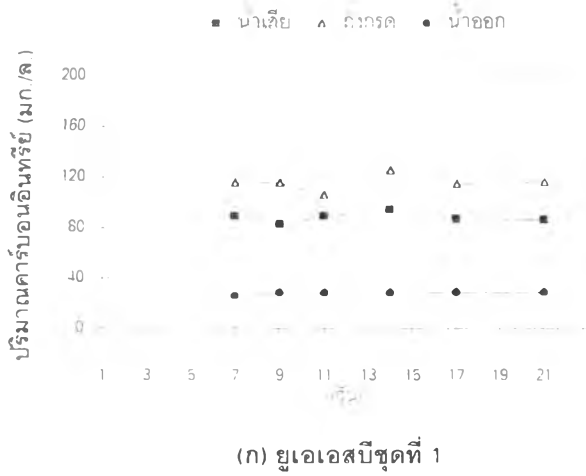
รูปที่ 4.60 ปริมาณคาร์บอนอนินทรีย์ (IC) ตลอดการทดลองที่ 5

## ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์รวม (TOC)

จากตารางที่ 4.7 ในยูเอเอสบีชุดที่ 1 ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์รวมในน้ำเสียมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 87.7 มก./ล. ในถังสร้างกรดเท่ากับ 115.4 มก./ล. และในน้ำออกเท่ากับ 28.0 มก./ล. ในยูเอเอสบีชุดที่ 2 น้ำเสียมีปริมาณคาร์บอนอินทรีย์รวมเท่ากับ 81.9 มก./ล. ในถังสร้างกรดเท่ากับ 115.8 มก./ล. และในน้ำออกเท่ากับ 21.1 มก./ล. ส่วนยูเอเอสบีชุดที่ 3 มีปริมาณคาร์บอนอินทรีย์รวมเท่ากับ 76.4 119.1 และ 17.4 มก./ล. ในน้ำเสีย ถังสร้างกรด และน้ำออกตามลำดับ รูปที่ 4.61 แสดงปริมาณคาร์บอนอินทรีย์รวมตลอดการทดลอง เมื่อพิจารณาปริมาณคาร์บอนอินทรีย์รวมในถังสร้างกรด จะเห็นว่ามีปริมาณที่ใกล้เคียงกัน ทั้งนี้เพราะในถังสร้างกรดยังไม่มาจะช่วยกำจัดคาร์บอนอินทรีย์สักเท่าไร ทำให้ยังมีค่าที่ใกล้เคียงกันอยู่ แต่ในน้ำออกมีปริมาณเฉลี่ยที่แตกต่างกันพอสมควร คือมีการลดลงในยูเอเอสบีชุดที่ 1 2 และ 3 ตามลำดับเช่นกัน แสดงว่าปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ที่ถูกกำจัดในยูเอเอสบีชุดที่ไม่ได้มีการเติมสีให้มียามากกว่าในชุดที่มีการเติมสีให้ ทั้งนี้ก็เพราะแบคทีเรียไม่สามารถกำจัดคาร์บอนอินทรีย์จากสีย้อมลงได้มากนัก ทำให้ในชุดที่ไม่มีการเติมสีย้อมให้คาร์บอนอินทรีย์เหลือในน้ำออกน้อยที่สุด

## 7) ก๊าซมีเทน

ในการทดลองนี้ปรากฏว่าปริมาณก๊าซเฉลี่ยในชุดที่ 1 เท่ากับ 0.38 ลิตร/วัน ในชุดที่ 2 มีปริมาณก๊าซเฉลี่ย 0.42 ลิตร/วัน ส่วนในชุดที่ 3 มีปริมาณก๊าซเฉลี่ย 0.47 ลิตร/วัน จะเห็นว่าปริมาณก๊าซเฉลี่ยเพิ่มขึ้นในชุดที่มีการเติมสีน้อยลงตามลำดับ จากรูปที่ 4.62 จะเห็นว่าปริมาณก๊าซของทั้ง 3 ชุดมีลักษณะเดียวกันอีกเช่นกัน เพียงแต่ค่าเฉลี่ยได้แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างเล็กน้อยดังที่ได้กล่าวไปแล้ว แสดงว่าปริมาณก๊าซมีความสัมพันธ์กับปริมาณแป้งมันที่เติมให้เป็นส่วนใหญ่ การเติมสีย้อมก็มีผลกระทบต่อปริมาณก๊าซด้วยพอสมควร และค่าเปอร์เซ็นต์มีเทนทำการวิเคราะห์ในยูเอเอสบีชุดที่ 1 มีเปอร์เซ็นต์มีเทนเท่ากับร้อยละ 97.5 ทำให้อัตราการผลิตก๊าซมีเทนเท่ากับ 0.24 ลิตร/กรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด ในชุดที่ 2 มีเปอร์เซ็นต์มีเทนเท่ากับร้อยละ 98.0 ทำให้อัตราการผลิตก๊าซมีเทนเท่ากับ 0.25 ลิตร/กรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด ส่วนในชุดที่ 3 มีเปอร์เซ็นต์มีเทนเท่ากับร้อยละ 97.2 ทำให้อัตราการผลิตก๊าซมีเทนเท่ากับ 0.26 ลิตร/กรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด จะเห็นว่าอัตราการผลิตก๊าซมีเทนก็มีความสัมพันธ์กับปริมาณความเข้มข้นที่เตรียมในน้ำเสียด้วยบ้างเช่นกัน นั่นอาจแสดงให้เห็นว่าสีย้อมอาจรบกวนการทำงานของแบคทีเรียที่สร้างมีเทนบ้างเล็กน้อย แต่อัตราการผลิตก๊าซมีเทนทั้ง 3 ชุด ก็มีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ดังนั้น อิทธิพลส่วนใหญ่ น่าจะเป็นความเข้มข้นแป้งมันมากกว่า



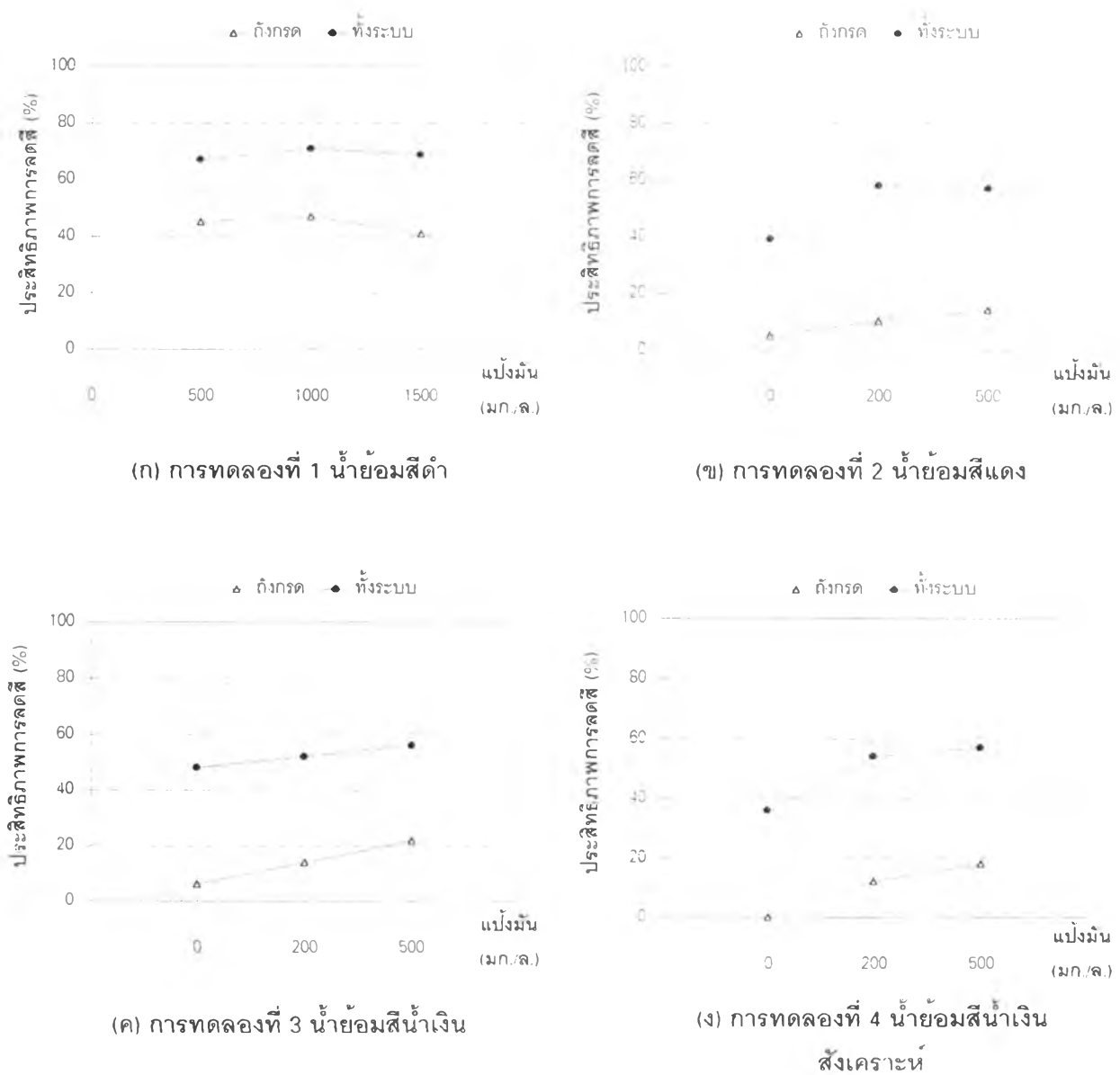
รูปที่ 4.61 ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ (TOC) ตลอดการทดลองที่ 5

รูปที่ 4.62 ปริมาณก๊าซชีวภาพ ตลอดการทดลองที่ 5

## 4.2 ประสิทธิภาพการลดสี

จากงานวิจัยของ Carliell (1995) ที่ได้ระบุว่า อัตราการลดสีด้วยแบคทีเรียในระบบไร้อากาศ จะมีการเพิ่มขึ้นอย่างมากเมื่อมีการเติมคาร์บอนที่ย่อยง่าย (labile carbon) เป็นแหล่งอาหารให้ โดยแบคทีเรียจะใช้สีเป็นสารรับอิเล็กตรอนในกระบวนการย่อยอาหาร ดังนั้นการวิจัยนี้จึงได้ตั้งสมมติฐานที่ว่า การเพิ่มแหล่งคาร์บอนที่ปริมาณต่างๆ กัน น่าจะมีผลต่อกระบวนการลดสี โดยแหล่งคาร์บอนที่ใช้ก็คือ แป้งมันต์ที่ได้กลวไปแล้ว

### 4.2.1 ผลของความเข้มข้นแป้งมันกับการลดสี



รูปที่ 4.63 ประสิทธิภาพการลดสีกับความเข้มข้นแป้งมันต์ที่เติมให้

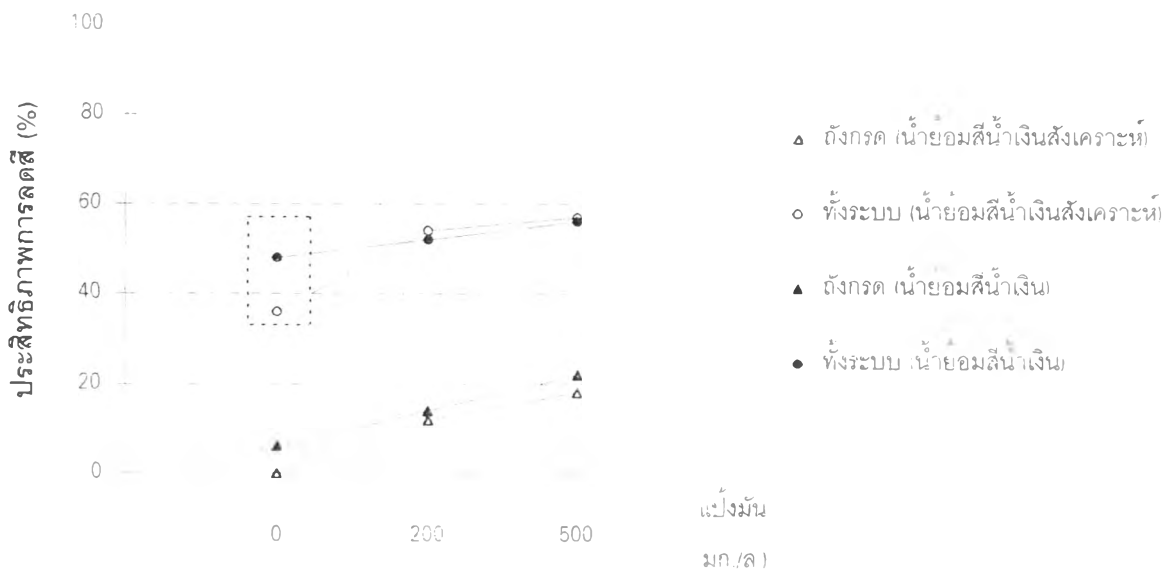
เมื่อพิจารณารูปที่ 4.63 จะเห็นว่า การเติมแบริ่งมันมีผลต่อการลดสี โดยทำให้ประสิทธิภาพการลดสีแตกต่างจากการไม่เติมอย่างเห็นได้ชัด และประสิทธิภาพการลดสีเมื่อเติมแบริ่งมัน 500 มก./ล. ค่อนข้างใกล้เคียงกับ เมื่อเติมแบริ่งมัน 200 มก./ล. โดยมากกว่าอยู่เล็กน้อย (รูปที่ 4.63(ข) ถึง (ง)) ส่วนในรูปที่ 4.63(ก) ซึ่งมีการเติมแบริ่งมันให้ตั้งแต่ 500-1,500 มก./ล. จะเห็นว่า ประสิทธิภาพการลดสีก็แทบไม่แตกต่างกันด้วยเช่นกัน จึงคาดว่าช่วงความเข้มข้นแบริ่งมันที่จะต้องเติมให้สำหรับการบำบัดน้ำเสียที่มีสีขุ่น ไม่จำเป็นต้องมากกว่า 500 มก./ล. ดังนั้น จึงอาจกล่าวได้ว่า กระบวนการลดสีด้วยระบบไร้อากาศมีความต้องการแหล่งคาร์บอนที่ย่อยง่าย เพื่อให้ประสิทธิภาพการลดสีดีขึ้น แต่ต้องการที่ความเข้มข้นไม่มากนัก

#### 4.2.2 ผลของคาร์บอนอื่นที่ไม่ใช่แบริ่งมันในน้ำขุ่นกับการลดสี

ในหัวข้อนี้ เลือกการพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างการทดลองกับน้ำขุ่นสีน้ำเงิน ที่เป็นน้ำขุ่นจริงกับน้ำขุ่นสังเคราะห์ ซึ่งเมื่อเตรียมเป็นน้ำเสียที่จะเข้าสู่ระบบแล้ว ความแตกต่างของแหล่งคาร์บอนในน้ำก็คือ ในน้ำเสียที่เตรียมจากน้ำขุ่นจริงจะมีแหล่งคาร์บอน 3 แหล่งคือ จากสารเคมีที่เติมเป็นส่วนผสมในการขุ่นบางชนิด จากตัวสีขุ่นเอง และจากแบริ่งมันที่เติมให้ ส่วนในน้ำเสียที่เตรียมจากน้ำขุ่นสังเคราะห์จะมีเพียง 2 แหล่งคือ จากสีขุ่นเอง และจากแบริ่งมันที่เติมให้ เมื่อพิจารณาค่าซีโอดีของน้ำเสียที่เตรียมจากน้ำขุ่นจริงและไม่มีการเติมแบริ่งมัน มีค่าประมาณ 96 มก./ล. (ตารางที่ 4.5) ส่วนค่าซีโอดีของน้ำเสียที่เตรียมจากน้ำขุ่นสังเคราะห์ (ตารางที่ 4.6) มีค่าประมาณ 47 มก./ล. ดังนั้น ค่าซีโอดีของแหล่งคาร์บอนอื่นในน้ำขุ่นจริงน่าจะมีประมาณ 50 มก./ล. การเปรียบเทียบแสดงในรูปที่ 4.64

จะเห็นว่าประสิทธิภาพการลดสีในถังสร้างกรดของชุดทดลองกับน้ำขุ่นจริง มีมากกว่าน้ำขุ่นสังเคราะห์ ทั้งนี้เพราะในน้ำขุ่นจริงยังมีแหล่งคาร์บอนอื่นนอกจากสีและแบริ่งมันที่เติมให้ ทำให้มีความเข้มข้นแหล่งคาร์บอนรวมมากกว่าในน้ำขุ่นสังเคราะห์ โดยเฉพาะในชุดที่ 1 ของการทดลองกับน้ำขุ่นสีน้ำเงินสังเคราะห์ ที่มีประสิทธิภาพการลดสีในถังสร้างกรดเท่ากับ 0 นั่นคือจุลชีพในถังสร้างกรดไม่สามารถลดสีลงได้เลย เมื่อแหล่งคาร์บอนในน้ำมีแต่จากสีขุ่นเท่านั้น ส่วนชุดที่ 2 และ 3 ก็มีลักษณะคล้ายกันคือ ในน้ำขุ่นจริงจะมีประสิทธิภาพการลดสีในถังสร้างกรดมากกว่าน้ำขุ่นสังเคราะห์ แสดงว่าความเข้มข้นคาร์บอนอื่นนอกจากสีและแบริ่งมันในน้ำขุ่นจริง ก็มีผลต่อประสิทธิภาพการลดสีในถังสร้างกรดด้วย



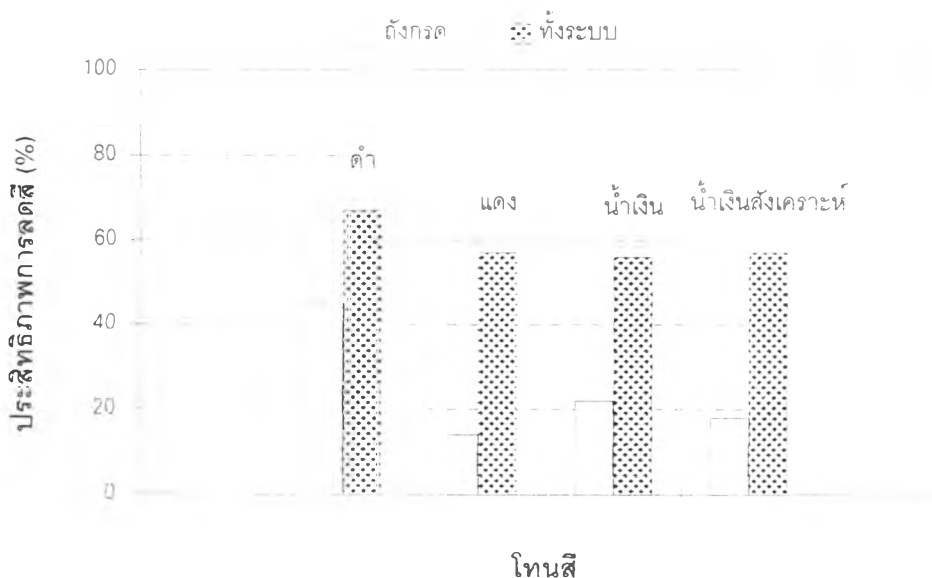


รูปที่ 4.64 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการลดสีระหว่างน้ำย้อมจริง และน้ำย้อมสังเคราะห์

เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการลดสีรวมทั้งระบบเฉพาะในชุดที่ 1 (ที่ไม่มีการเติมแป้งมัน) ของทั้ง 2 การทดลอง ก็มีลักษณะเช่นเดียวกับประสิทธิภาพการลดสีในถังสร้างกรด คือ ในชุดทดลองกับน้ำย้อมจริงมีประสิทธิภาพพรอมมากกว่าในชุดทดลองกับน้ำย้อมสังเคราะห์ เพราะสาเหตุเดียวกันคือ ในน้ำย้อมจริงมีแหล่งคาร์บอนอื่นนอกจากสี แต่ก็ยังมีจุดที่ไม่สามารถอธิบายได้ว่าทำไมในชุดที่ 1 ของการทดลองกับน้ำย้อมสังเคราะห์ แบคทีเรียในถังสร้างมีเทนจึงสามารถลดสีลงได้ถึง 36% ทั้งที่ไม่มีแหล่งคาร์บอนอื่นนอกจากสีเลย หรืออาจเป็นเพราะว่าแบคทีเรียในถังสร้างมีเทนสามารถสลายสีได้บ้าง โดยไม่จำเป็นต้องใช้แหล่งคาร์บอนที่ข้อย่างง่ายเป็นสารให้อิเล็กตรอน แต่ประสิทธิภาพการลดสีที่ได้น้อยกว่าการมีแหล่งคาร์บอนอื่น ส่วนในชุดที่ 2 และ 3 ของทั้ง 2 การทดลอง กลับมีประสิทธิภาพการลดสีรวมใกล้เคียงกัน จึงกล่าวได้ว่า เมื่อไม่มีการเติมแป้งมันให้ แหล่งคาร์บอนในน้ำย้อมจริงจึงมีบทบาทในการลดสีอย่างเห็นได้ชัด แต่เมื่อมีการเติมแป้งมัน ประสิทธิภาพการลดสีจะขึ้นกับความเข้มข้นแป้งมันที่เติมให้มากกว่า เนื่องจากความเข้มข้นของแหล่งคาร์บอนอื่นในน้ำย้อมจริง (ประมาณ 50 มก./ล.) เมื่อเทียบกับความเข้มข้นแป้งมันที่เติมให้แล้ว (ประมาณ 200 และ 500 มก./ล.) ทำให้ความเข้มข้นของแหล่งคาร์บอนอื่นในปริมาณดังกล่าวส่งผลต่อการลดสีน้อยลง นอกจากนี้ในการทดลองเปรียบเทียบระหว่างน้ำย้อมจริงและน้ำย้อมสังเคราะห์นี้ ทำให้กล่าวได้ว่าสารเคมีที่เป็นสารช่วยย้อมในน้ำย้อมจริง ไม่ได้ส่งผลกระทบต่อการทำงานของแบคทีเรียในระบบบำบัดของงานวิจัยนี้

#### 4.2.3 ผลของโตนสีกับการลดสี

ในการศึกษาการวิจัยนี้ ได้เลือก 3 โตนสีที่มีการใช้มากในโรงงานที่เป็นผู้อนุเคราะห์น้ำเสียให้ คือ สีดำ สีแดง และสีน้ำเงิน เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการลดสีทั้ง 3 สี ที่ความเข้มข้นแ่งมัน 500 มก./ล. ซึ่งเป็นความเข้มข้นที่มีประสิทธิภาพการลดสีดีที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 4.65



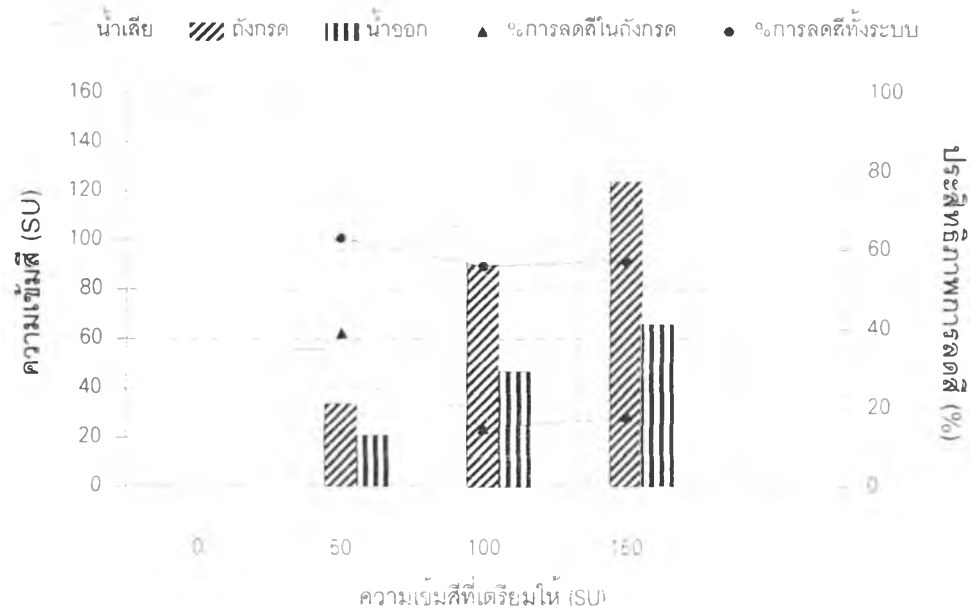
รูปที่ 4.65 ประสิทธิภาพการลดสีในแต่ละโตนสี  
ที่ความเข้มข้นแ่งมัน 500 มก./ล.

จะเห็นว่า นอกจากสีดำแล้ว ประสิทธิภาพการลดสีทั้งในถังสร้างกรดและรวมทั้งระบบค่อนข้างใกล้เคียงกัน ถึงแม้ว่าแต่ละโตนสีที่ใช้ในการวิจัยนี้ จะมีสัดส่วนการเจือจางแตกต่างกัน ซึ่งทำให้ปริมาณเนื้อสีในน้ำเสียที่เตรียมต่างกันก็ตาม แต่จะเห็นว่าไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการลดสี เป็นการสนับสนุนว่าประสิทธิภาพการลดสีขึ้นกับความเข้มข้นแ่งมันที่เติมให้มากกว่า

ส่วนในการทดลองกับน้ำย้อมสีดำนั้น ถึงแม้ว่าจะมีประสิทธิภาพรวมในการลดสีค่อนข้างสูงกว่าสีอื่น แต่ประสิทธิภาพการลดสีในถังสร้างกรดก็สูงมากกว่าสีอื่นค่อนข้างมากเช่นกัน ทั้งนี้ น่าจะเป็นเพราะสีดำอาจมีการเสื่อมสลายตัวของสีได้ง่ายกว่าสีอื่นๆ ทำให้มีการลดลงของสีมากตั้งแต่ในขั้นตอนการสร้างกรด ทั้งที่ไม่มีการเติมเชื้อจุลินทรีย์ใดๆ ให้ ในขณะที่สีอื่น (สีแดง และสีน้ำเงิน) ซึ่งคาดว่าไม่เสื่อมสลายง่ายเท่ากับสีดำ จึงมีการลดลงของสีในถังสร้างกรดน้อยกว่าที่เกิดในการทดลองกับน้ำย้อมสีดำ

#### 4.2.4 ผลของความเข้มข้นกับการลดสี

ในการทดลองเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นในการทดลองที่ 5 (หัวข้อ 4.1.5) เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับยูเอเอสบีชุดที่ 3 ในการทดลองที่ 4 (หัวข้อ 4.1.4) ซึ่งมีการเติมแหล่งคาร์บอนคือ แอ่งมัน ให้ในปริมาณที่เท่ากัน คือ 500 มก./ล. จะแสดงได้ในรูปข้างล่างต่อไปนี้



รูปที่ 4.66 ประสิทธิภาพการลดสีที่ความเข้มข้นในน้ำเสียที่เตรียมต่าง ๆ กัน

จะเห็นว่าความเข้มข้นในน้ำออกจะมีค่าสูงขึ้น เมื่อความเข้มข้นในน้ำเสียที่เตรียมสูงขึ้น แสดงว่าความสามารถในการลดสีของระบบบำบัดแบบไร้อากาศในงานวิจัยนี้ ไม่สามารถลดสีให้หมดไปได้ นั่นคือ ถ้าต้องการให้มีความเข้มข้นเหลือในน้ำออกน้อยที่สุดก็ต้องให้มีความเข้มข้นเข้าในน้ำเสียน้อยๆ นั่นเอง อย่างไรก็ตามนั้นไม่ใช่วิธีการที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียที่มีสีจากโรงฟอกย้อม จุดอ่อนดังกล่าวนี้จะได้เสนอข้อแนะนำต่างๆ ในบทที่ 5 ต่อไป

จากรูปที่ 4.66 เส้นกราฟแสดงประสิทธิภาพการลดสีในชุดทดลองทั้ง 3 ชุด มีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกัน โดยในชุดที่ความเข้มข้นในน้ำเสียเท่ากับ 50 SU มีประสิทธิภาพการลดสีรวมค่อนข้างสูงกว่าชุดอื่น ทั้งนี้อาจเป็นเพราะมีการลดสีค่อนข้างมากในถังสร้างกรดไปแล้ว คล้ายในการทดลองกับน้ำย้อมสีดำที่ได้กล่าวไปแล้วในหัวข้อ 4.2.3 คือถ้ามีการลดสีได้มากในถังสร้างกรดแล้ว ประสิทธิภาพการลดสีรวมน่าจะมากขึ้น อย่างไรก็ตาม กลไกการลดสีในถังสร้างกรดขึ้นกับปัจจัยอะไรบางอย่างนั้น ยังไม่เป็นที่ทราบแน่ชัด

### 4.3 การรบกวนการวิเคราะห์ค่าซีไอดี

ในทางทฤษฎีแล้ว ค่าปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ (TOC) และค่าซีไอดีเป็นค่าที่แสดงถึงปริมาณสารอินทรีย์ที่มีในน้ำด้วยกันทั้งคู่ เพียงแต่วิธีการวิเคราะห์และหลักการแตกต่างกัน ดังนั้น ค่าทั้ง 2 ค่า จึงสามารถเปรียบเทียบกันได้ คือ อัตราส่วนซีไอดีต่อปริมาณคาร์บอนอินทรีย์มีค่าประมาณ 2.67 แต่ในการวิจัยนี้ เมื่อเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนนี้ในน้ำออกจากระบบแล้วปรากฏว่าอัตราส่วนนี้ล้วนแต่มีค่ามากกว่า 2.67 ทั้งสิ้น ดังแสดงในตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 เปรียบเทียบค่าซีไอดีและปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในน้ำออกจากระบบบำบัดของทุกการทดลองในงานวิจัยนี้

การทดลอง	ยูเอเอสบี	การเติม แป้งมัน (มก./ล.)	ปริมาณสารที่วิเคราะห์ได้ในน้ำออก			
			COD (มก./ล.)	TOC (มก./ล.)	COD/TOC	ซีไอดี (มก./ล.)
น้ำย้อมสีดำ	ชุดที่ 1	500	168	33.8	5.0	ไม่ได้วิเคราะห์
	ชุดที่ 2	1,000	147	34.8	4.2	ไม่ได้วิเคราะห์
	ชุดที่ 3	1,500	172	29.1	5.9	ไม่ได้วิเคราะห์
น้ำย้อมสีแดง	ชุดที่ 1	0	298	62.4	4.8	ไม่ได้วิเคราะห์
	ชุดที่ 2	200	368	79.8	4.6	ไม่ได้วิเคราะห์
	ชุดที่ 3	500	519	148.9	3.5	ไม่ได้วิเคราะห์
น้ำย้อมสีน้ำเงิน	ชุดที่ 1	0	98	32.2	3.0	7.0
	ชุดที่ 2	200	160	29.0	5.5	38.8
	ชุดที่ 3	500	202	16.5	12.2	53.1
น้ำย้อมสีน้ำเงิน สังเคราะห์	ชุดที่ 1	0	59	20.5	2.9	1.3
	ชุดที่ 2	200	91	28.7	3.2	5.3
	ชุดที่ 3	500	129	33.0	3.9	6.8
เปลี่ยนแปลง ความเข้มข้น	ชุดที่ 1	500	89	28.0	3.2	5.7
	ชุดที่ 2	500	78	21.1	3.7	5.1
	ชุดที่ 3	500	55	17.4	3.2	5.4

จากตารางที่ 4.8 แสดงว่าค่าซีโอดีที่วิเคราะห์ได้มีค่าเกินความจริง แต่เนื่องจากการวิเคราะห์พารามิเตอร์ทั้ง 2 ตัว ได้ทำการวัดเป็นประจำและค่าที่ได้ก็มีความสม่ำเสมอ ดังนั้นจึงไม่น่าจะเป็นความผิดพลาดจากการวิเคราะห์ ซึ่งจนถึงในการทดลองที่ 3 (สีน้ำเงิน) จึงได้ทดลองวิเคราะห์หาปริมาณซัลไฟด์ เพราะเป็นสารรบกวนการวิเคราะห์ซีโอดีตัวหนึ่ง พบว่ามีปริมาณซัลไฟด์ค่อนข้างมากในระบบ คือในชุดที่ 3 มีประมาณ 53.1 มก./ล. (ในรูปของซัลไฟด์ทั้งหมด) จะเห็นว่าอัตราส่วนของซีโอดีต่อปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ของน้ำออกชุดนี้สูงถึง 12.2 สารซัลไฟด์ที่เกิดขึ้นนี้เป็นสารรบกวนการวิเคราะห์ซีโอดี คือจะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในสารโปแตสเซียมไดโครเมตด้วยเช่นกันดังสมการข้างล่าง



น้ำหนักโมเลกุล      32    64

นั่นคือ ซัลไฟด์ 1 มก. จะให้ซีโอดีเท่ากับ  $64/32 = 2$  มก./ล.

ดังนั้น จึงปรับค่าซีโอดีที่วิเคราะห์ได้ในตารางที่ 4.8 แล้วทำการเปรียบเทียบอัตราส่วนระหว่างค่าซีโอดีกับค่าปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ใหม่ ดังแสดงในตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 เปรียบเทียบค่าซีโอดีที่ปรับใหม่และปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในน้ำออกจากระบบบำบัด ของการทดลองที่ 3 4 และ 5

การทดลอง	ยูเอเอสบี	ความเข้มข้น COD (มก./ล.)			TOC	COD <sup>(2)</sup> /TOC
		ที่วิเคราะห์ได้	จากซัลไฟด์ (1)	ปรับใหม่ (2)		
น้ำย้อมสีน้ำเงิน	ชุดที่ 1	98	14.0	84.0	32.2	2.6
	ชุดที่ 2	160	77.6	82.4	29.0	2.8
	ชุดที่ 3	202	106.2	95.8	16.5	5.8
น้ำย้อมสีน้ำเงิน สังเคราะห์	ชุดที่ 1	59	2.6	56.4	20.5	2.8
	ชุดที่ 2	91	10.6	80.4	28.7	2.8
	ชุดที่ 3	129	13.6	115.4	33.0	3.5
เปลี่ยนแปลง ความเข้มข้น	ชุดที่ 1	89	11.4	77.6	28.0	2.8
	ชุดที่ 2	78	10.2	67.8	21.1	3.2
	ชุดที่ 3	55	10.8	44.2	17.4	2.5

(1) COD ที่เกิดจากสารซัลไฟด์ : เท่ากับ 2 มก. COD/มก. ซัลไฟด์

(2) COD ที่ปรับแล้ว : COD ที่วิเคราะห์ได้ - COD ที่เกิดจากซัลไฟด์

เมื่อทำการปรับค่าซีโอดีแล้ว จะเห็นว่าอัตราส่วนระหว่างค่าซีโอดีกับปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ มีค่าใกล้เคียงกับค่าทางทฤษฎีมากขึ้น แสดงว่าการวิเคราะห์ค่าซีโอดีมีการรบกวนจากสารซัลไฟด์จริง แต่ในการทดลองชุดที่ 3 ของการทดลองกับน้ำย้อมสีน้ำเงิน ค่าอัตราส่วนนี้ยังสูงถึง 5.8 ทั้งที่ทำการปรับค่าซีโอดีแล้วก็ตาม ทั้งนี้เนื่องมาจาก ในชุดนี้มีปริมาณซัลไฟด์ค่อนข้างมาก ทำให้การวิเคราะห์จำเป็นต้องใช้ตัวอย่างน้อยลง จึงอาจส่งผลให้มีความผิดพลาดจากการวัดได้ นอกจากนี้การวิเคราะห์ปริมาณซัลไฟด์ได้ทำการทดลองละ 2 ครั้ง ทำให้ข้อมูลที่ได้ยังขาดความน่าเชื่อถืออยู่บ้าง อย่างไรก็ตาม ก็ได้ทำการปรับค่าซีโอดีในถังสร้างกรดไปด้วยเช่นกัน ดังแสดงในตารางที่ 4.10 โดยทำการปรับเฉพาะค่าซีโอดีของการทดลองที่ 3 4 และ 5 เท่านั้น

ตารางที่ 4.10 ปริมาณซัลไฟด์และค่าซีโอดีที่ปรับแล้วในถังสร้างกรด ของการทดลองที่ 3 4 และ 5

การทดลอง	ยูเอเอสบี	การเติม แป้งมัน (มก./ล.)	ปริมาณ ซัลไฟด์ (มก./ล.)	ความเข้มข้น COD (มก./ล.)		
				ที่วิเคราะห์ได้	จากซัลไฟด์ (1)	ปรับใหม่ (2)
น้ำย้อมสีน้ำเงิน	ชุดที่ 1	0	5.5	96	11.0	85.0
	ชุดที่ 2	200	30.8	234	61.6	172.4
	ชุดที่ 3	500	45.8	439	91.6	347.4
น้ำย้อมสีน้ำเงิน สังเคราะห์	ชุดที่ 1	0	0.96	59	1.9	57.1
	ชุดที่ 2	200	7.36	190	14.7	175.3
	ชุดที่ 3	500	7.66	420	15.3	404.7
เปลี่ยนแปลง ความเข้มข้น	ชุดที่ 1	500	5.62	351	11.2	339.8
	ชุดที่ 2	500	7.5	348	15.0	333.0
	ชุดที่ 3	500	9.26	352	18.5	333.5

(1) COD ที่เกิดจากสารซัลไฟด์ : เท่ากับ 2 มก. COD/มก. ซัลไฟด์

(2) COD ที่ปรับแล้ว : COD ที่วิเคราะห์ได้ - COD ที่เกิดจากซัลไฟด์

การวิเคราะห์ซีโอดีของตัวอย่างน้ำจากระบบบำบัดต่างๆ มักจะไม่ค่อยนึกถึงการรบกวนการวิเคราะห์ที่เกิดจากซัลไฟด์ ทั้งนี้เพราะซัลไฟด์จะเกิดจากแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตใช้ซัลเฟตเป็นสารรับอิเล็กตรอนในการย่อยอาหารแล้วผลิตซัลไฟด์ขึ้นมา ซึ่งในระบบบำบัดแบบไร้อากาศที่มีใช้งานจริงและในการวิจัยต่างๆ มักจะไม่เกิดแบคทีเรียชนิดนี้ เพราะส่วนใหญ่จะใช้ระบบไร้

อากาศในการบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นอินทรีย์สูงและไม่มีซัลเฟต สาเหตุที่การทดลองนี้เกิดซัลไฟด์เป็นปริมาณค่อนข้างมากนี้ แสดงว่าต้องมีแหล่งซัลเฟตให้กับแบคทีเรียชนิดนี้ ซึ่งแหล่งซัลเฟตที่จะเกิดจากการเติมให้ก็มีเพียงกรดซัลฟูริกเข้มข้นที่ใช้ปรับพีเอช แต่จากปริมาณที่ใช้ปรับพีเอชในน้ำย้อมสีน้ำเงิน (ประมาณ 1 มล. / น้ำเสียที่เตรียม 6 ลิตร) และในน้ำย้อมสีแดง (ประมาณ 1.8 มล. / น้ำเสียที่เตรียม 6 ลิตร) จะเห็นว่ามีการเติมซัลเฟตให้กับน้ำย้อมสีน้ำเงินน้อยกว่าน้ำย้อมสีแดงด้วยซ้ำ ดังนั้นแหล่งซัลเฟตน่าจะมาจากตัวน้ำย้อมเอง แสดงว่าน้ำย้อมนี้อาจเป็นสีที่มีกลุ่มรีแอคทีฟเป็นกลุ่มไวนิลซัลโฟเนตก็ได้ ซึ่งก่อนที่จะเข้าทำปฏิกิริยากับเส้นใย จะเข้าทำปฏิกิริยากับไฮดรอกไซด์ก่อนแล้วปล่อยสารโซเดียมซัลเฟต ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) ออกมา จากนั้นจึงค่อยเข้าทำปฏิกิริยากับเส้นใยแบบ nucleophilic addition ทำให้ในน้ำย้อมมีซัลเฟตมาก ในขณะที่น้ำย้อมสีแดงน่าจะเป็นสีที่มีกลุ่มรีแอคทีฟที่เข้าทำปฏิกิริยากับเส้นใยแบบ nucleophilic substitution ไม่ใช่กลุ่มไวนิลซัลโฟเนต ทำให้ไม่มีซัลเฟตมากในน้ำย้อมที่ผ่านการย้อมมาแล้ว แต่กลับมีสารพวกเฮไลต์ออกมามากแทนเพราะปฏิกิริยาแทนที่ดังกล่าว ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะน้ำย้อมคือ มีคลอไรด์ค่อนข้างสูง

นอกจากนี้ เมื่อเปรียบเทียบกับ การทดลองกับน้ำย้อมสีน้ำเงินสังเคราะห์ ซึ่งเป็นสีชนิดเดียวกับในการทดลองน้ำย้อมสีน้ำเงิน ปรากฏว่ามีซัลไฟด์เกิดขึ้นประมาณ 6-7 มก./ล. เท่านั้น เพราะในการทดลองนี้ไม่ได้มีการปรับพีเอชด้วยกรดแต่อย่างใด และอีกประการหนึ่งคือ สีในน้ำย้อมสังเคราะห์นี้ยังไม่ได้ผ่านการทำปฏิกิริยากับไฮดรอกไซด์อ่อน จึงไม่มีการปล่อยโซเดียมซัลเฟตออกมาจากกลุ่มไวนิลซัลโฟเนต ดังนั้นซัลเฟตในน้ำเสียที่เตรียมจึงมีมาจากน้ำประปาและแป้งมันที่ใช้เตรียมเท่านั้น ซึ่งมีปริมาณน้อยทำให้มีการผลิตซัลไฟด์ออกมาน้อยกว่า

#### 4.4 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี

เมื่อได้ทำการปรับค่าซีโอดีทั้งในถังสร้างกรด และในน้ำออก ดังที่กล่าวไปแล้วในหัวข้อที่ผ่านมา ตารางที่ 4.9 และ 4.10 ค่าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี จึงต้องทำการปรับเปลี่ยนด้วยเช่นกัน ดังแสดงในตารางที่ 4.11 โดยสามารถปรับได้เฉพาะในการทดลองที่ 3 4 และ 5 เท่านั้น ส่วนในการทดลองที่ 1 และ 2 ที่แสดงในตาราง ยังคงเป็นค่าเดิม เพราะไม่ได้ทำการวิเคราะห์หาปริมาณซัลไฟด์

ตารางที่ 4.11 ค่าซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัดที่ทำการปรับใหม่

การทดลอง	ยูเอเอสบี	แป้งมัน (มก./ล.)	ความเข้มข้น COD (มก./ล.)			ประสิทธิภาพ การกำจัด COD (%)	
			น้ำเข้า	ถังกรด	น้ำออก	ในถังกรด	ทั้งระบบ
น้ำย้อมสีดำ	ชุดที่ 1	500	646	413	168	36	74
	ชุดที่ 2	1,000	1,172	729	147	38	87
	ชุดที่ 3	1,500	1,675	1,140	172	32	90
น้ำย้อมสีแดง	ชุดที่ 1	0	408	329	298	19	27
	ชุดที่ 2	200	619	458	368	26	40
	ชุดที่ 3	500	940	719	519	23	45
น้ำย้อมสีน้ำเงิน	ชุดที่ 1	0	96	85.0	84.0	11	13
	ชุดที่ 2	200	300	172.4	82.4	43	73
	ชุดที่ 3	500	602	347.4	95.8	42	84
น้ำย้อมสีน้ำเงิน สังเคราะห์	ชุดที่ 1	0	47	57.1	56.4	-21	-20
	ชุดที่ 2	200	250	175.3	80.4	30	68
	ชุดที่ 3	500	549	404.7	115.4	26	79
เปลี่ยนแปลง ความเข้มข้น	ชุดที่ 1	500	536	339.8	77.6	37	86
	ชุดที่ 2	500	521	333.0	67.8	36	87
	ชุดที่ 3	500	509	333.5	44.2	34	91

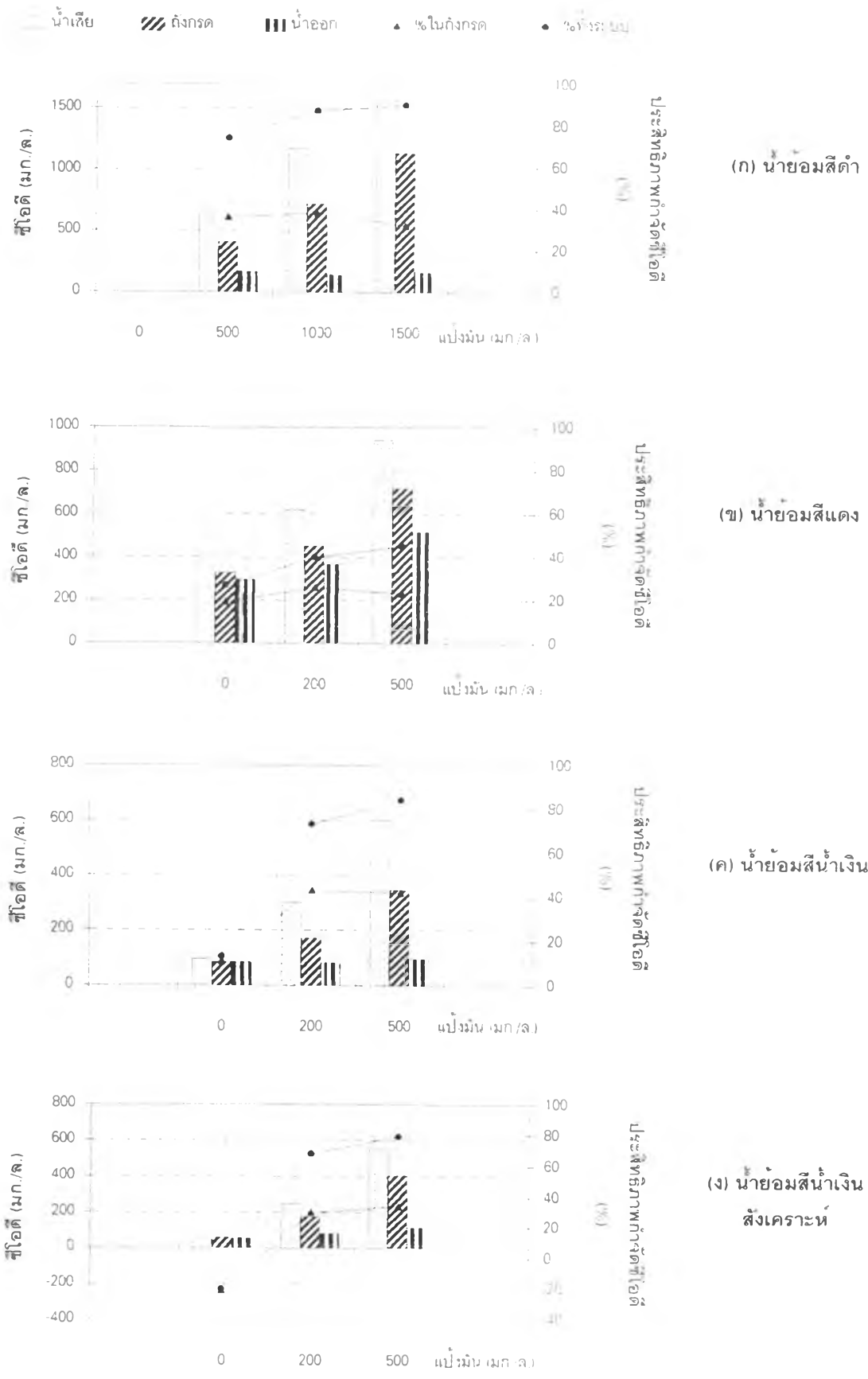


#### 4.4.1 ผลของความเข้มข้นแป้งมันกับการกำจัดซีโอดี

จากรูปที่ 4.67 จะเห็นว่า มีความคล้ายคลึงกับประสิทธิภาพการลดสี นั่นคือ เมื่อความเข้มข้นแป้งมันที่เติมให้มากขึ้น ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีก็มากขึ้น แม้แต่ในการทดลองกับน้ำย้อมสีดำที่ต้องเติมแป้งมันถึง 1,500 มก./ล. แนวโน้มก็ยังเป็นเช่นเดียวกัน ในการทดลองกับน้ำย้อมสีน้ำเงินจะเห็นว่า ในชุดที่ไม่ได้มีการเติมแป้งมันให้กลับมีซีโอดีในน้ำออกเพิ่มขึ้นจากในน้ำเสียในปริมาณเล็กน้อย ซึ่งก็ทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเป็นลบ ถึงแม้จะทำการปรับค่าซีโอดีแล้วก็ตาม ทั้งนี้อาจเป็นเพราะมีการสลายตัวของเซลแบคทีเรียด้วยก็ได้ เนื่องจากในยูเอเอสบีชุดนี้ แทบจะไม่มีสารอาหารที่ใช้ได้ง่ายให้แก่แบคทีเรียเลย ทำให้จำนวนแบคทีเรียที่ตายและหลุดออกมากับน้ำออกอาจมีมากขึ้น จนทำให้ค่าซีโอดีในน้ำออกสูงกว่าน้ำเข้าเล็กน้อย หรืออาจเกิดจากความผิดพลาดในการวิเคราะห์หาปริมาณซิลไฟด์ก็เป็นได้

นอกจากนี้ในการทดลองน้ำย้อมสีแดง ชุดที่ไม่ได้มีการเติมแป้งมันให้ก็มีประสิทธิภาพต่ำมาก และประสิทธิภาพรวมก็มากกว่าในถังสร้างกรดเพียงเล็กน้อย ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่าในน้ำย้อมจริงยังมีแหล่งคาร์บอนอื่นอยู่บ้างเล็กน้อย ซึ่งเมื่อเทียบกับน้ำย้อมสีน้ำเงินที่มีการเจือจางมากกว่าแล้ว น้ำย้อมสีแดงจะยังมีแหล่งคาร์บอนอื่นในน้ำมากกว่า ทำให้การกำจัดซีโอดียังคงปรากฏอยู่บ้างในการทดลองชุดนี้ (ไม่ติดลบ)

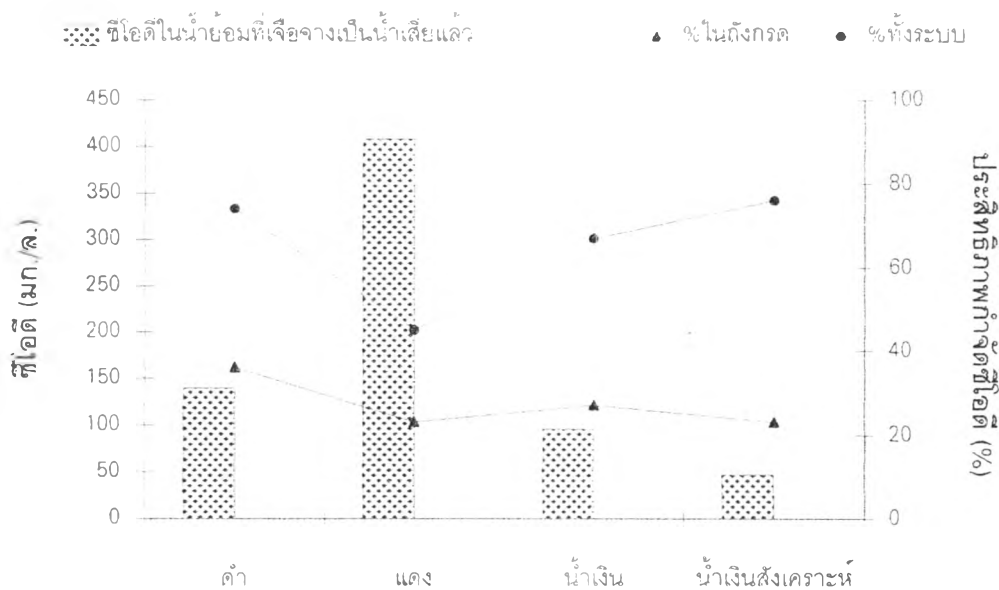
ส่วนประสิทธิภาพในถังสร้างกรดของทุกการทดลอง มีความแตกต่างจากประสิทธิภาพการกำจัดรวมอยู่บ้าง คือ จะมีประสิทธิภาพค่อนข้างน้อยในชุดที่ไม่ได้เติมแป้งมัน ทั้งนี้เพราะจุลชีพในถังสร้างกรดไม่สามารถย่อยซีโอดีที่มีแต่จากน้ำย้อมลงได้มากนัก และเมื่อเทียบกับการเติมแป้งมันให้ ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีในถังสร้างกรดจะมีมากขึ้น แต่ประสิทธิภาพนี้กลับใกล้เคียงกันถึงแม้จะเติมแป้งมันความเข้มข้นต่างกัน (200 และ 500 มก./ล.)



รูปที่ 4.67 ประสิทธิภาพการกำจัดชีโอดีที่ความเข้มข้นแป้งมันต่าง ๆ

#### 4.4.2 ผลของโหนดกับการกำจัดซีไอดี

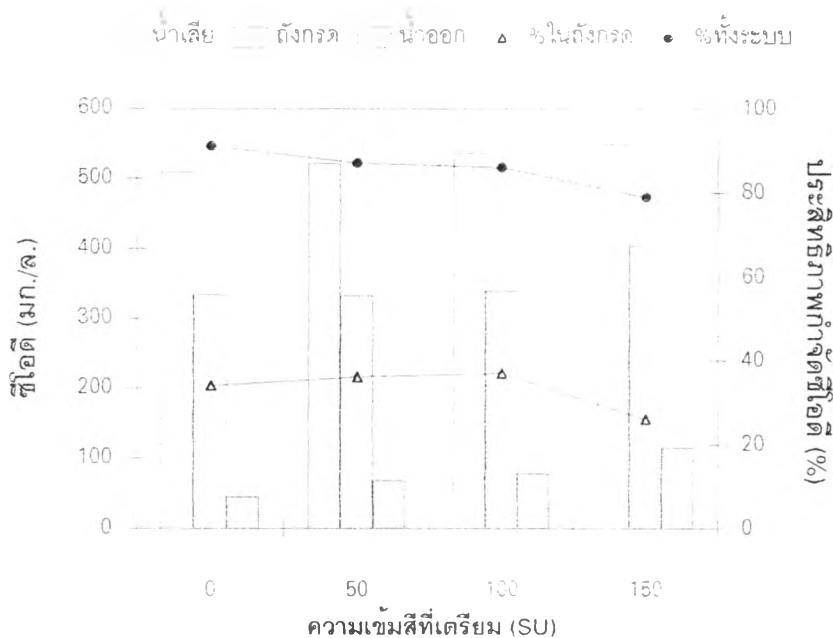
ในแต่ละโหนด มีประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีแตกต่างกันไป โดยความแตกต่างของประสิทธิภาพขึ้นกับซีไอดีของน้ำย้อมเป็นหลัก เมื่อพิจารณารูปที่ 4.68 จะเห็นว่า สีแดงเป็นสีที่มีประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีต่ำที่สุด เพราะเป็นสีที่มีอัตราการเจือจางน้อยที่สุด จึงมีซีไอดีของน้ำย้อมเอง (ไม่รวมแป้งมันที่เติมให้) มากที่สุด เนื่องจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศไม่สามารถย่อยสสารที่เกิดจากการแตกสลายพันธะของสีให้สมบูรณ์ได้ ทำให้น้ำออกจะยังคงมีซีไอดีจากสีหรือส่วนประกอบของสีหลงเหลืออยู่ โดยเฉพาะในการทดลองกับน้ำย้อมสีแดงจากรูปที่ 4.67 จะเห็นได้ว่า ซีไอดีของน้ำออกจากระบบสูงกว่าสีย้อมอื่นๆ ดังนั้น ในการทดลองกับสีย้อมที่มีซีไอดีสูงจะส่งผลให้ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีต่ำ แต่ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีในถังสร้างกรดกลับมีค่าใกล้เคียงกัน โดยในการทดลองกับสีดำมีประสิทธิภาพมากกว่าสีอื่นเล็กน้อย อาจเป็นเพราะสีดำมีการเจือจางมากที่สุดทำให้การรบกวนจากสีต่อจุลชีพในถังสร้างกรดมีน้อยที่สุด ทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีสูงกว่าสีอื่น



รูปที่ 4.68 ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีในแต่ละโหนด  
ที่ความเข้มข้นแป้งมัน 500 มก./ล.

#### 4.4.3 ผลของความเข้มข้นกับการกำจัดซีโอดี

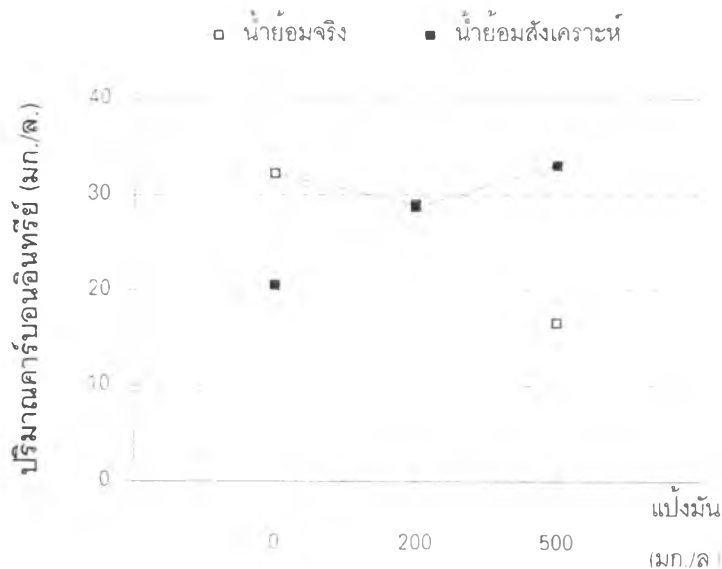
จากการทดลองที่เปลี่ยนแปลงความเข้มข้นเป็น 0 50 และ 100 เปรียบเทียบกับ 150 SU ที่ความเข้มข้นแ่งมัน 500 มก./ล. ค่าเฉลี่ยของค่าซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีแสดงในรูปที่ 4.69 จะเห็นว่า ค่าซีโอดีในน้ำเสียน้ำที่เตรียมเพิ่มมากขึ้นเมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ก็เพราะค่าซีโอดีของสีย้อมที่ผสมเพิ่มขึ้นเพื่อเพิ่มความเข้มข้นเอง แต่เส้นกราฟที่แสดงประสิทธิภาพกลับมีค่าลดลงเมื่อความเข้มข้นเพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากซีโอดีของสีย้อมที่หลงเหลือในน้ำออกมากในจุดที่มีการเติมสีย้อมมาก และเมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีในถังสร้างกรดแล้วจะเห็นว่า ในจุดที่มีความเข้มข้นถึง 150 SU มีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีในถังสร้างกรดค่อนข้างต่ำ แต่เมื่อความเข้มข้นต่ำลงคือตั้งแต่ 100 SU จนถึงต่ำสุดคือไม่เติมสี มีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีในถังสร้างกรดใกล้เคียงกัน และยังใกล้เคียงกับการทดลองน้ำย้อมสีต่ำที่ได้กล่าวไปในหัวข้อที่ผ่านมา แสดงว่าความเข้มข้นของสีย้อมในน้ำ (ไม่ใช่ความเข้มข้น) มีผลต่อการกำจัดซีโอดีในถังสร้างกรด หรืออาจมีผลรบกวนต่อจุลชีพในถังสร้างกรด



รูปที่ 4.69 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีที่ความเข้มข้นในน้ำเสียน้ำที่เตรียมต่างๆ กัน

#### 4.4.4 ความสามารถของแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตในการกำจัดซีโอดี

จากที่ได้กล่าวไปแล้วว่าในการทดลองที่ 3 มีสารซัลไฟด์เพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด โดยเฉพาะในชุดที่มีการเติมแป้งมัน ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่า มีการทำงานของแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตเกิดขึ้นรวมด้วย และที่น่าสนใจคือ ในการทดลองกับน้ำย้อมสังเคราะห์ควรจะมีการกำจัดสารอินทรีย์ได้ดีกว่าในการทดลองกับน้ำย้อมจริง ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี (ตารางที่ 4.11) จะเห็นว่าในการทดลองกับน้ำย้อมจริงกลับมีประสิทธิภาพดีกว่าทั้งในถึงสร้างกรดและประสิทธิภาพทั้งระบบ นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาค่าปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ (TOC) ของทั้ง 2 การทดลอง (การทดลองที่ 3 และ 4) โดยเฉพาะในชุดที่ 3 จะเห็นวาทรงกันข้ามไป (รูปที่ 4.70) นั่นคือ ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในน้ำออกของการทดลองกับน้ำย้อมจริง (16 มก./ล.) น้อยกว่าในน้ำย้อมสังเคราะห์ (33 มก./ล.) ถึง 2 เท่า แสดงว่าในการทดลองกับน้ำย้อมจริงกลับมีการกำจัดสารอินทรีย์ได้ดีกว่า



รูปที่ 4.70 เปรียบเทียบปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในน้ำออกของการทดลองกับน้ำย้อมจริงและน้ำย้อมสังเคราะห์

ดังนั้น อาจกล่าวได้ว่า แบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตที่มีมากในการทดลองกับน้ำย้อมจริงสามารถใช้คาร์บอนอินทรีย์จากแป้งมันในการผลิตซัลไฟด์อย่างมีนัยสำคัญ รวมทั้งใช้คาร์บอนอินทรีย์จากสีย้อมบางส่วนด้วย เพราะค่าปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในน้ำออกของชุดที่ 3 (16.5 มก./ล.) มีน้อยกว่าปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในน้ำเสียที่เตรียมของชุดที่ 1 ในน้ำเสียสังเคราะห์ (19.5 มก./ล.) ซึ่งถือได้ว่าเป็นค่าปริมาณอินทรีย์จากสีย้อมเพียงอย่างเดียว ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ของทั้ง 2 การทดลอง ได้แสดงในตารางที่ 4.12

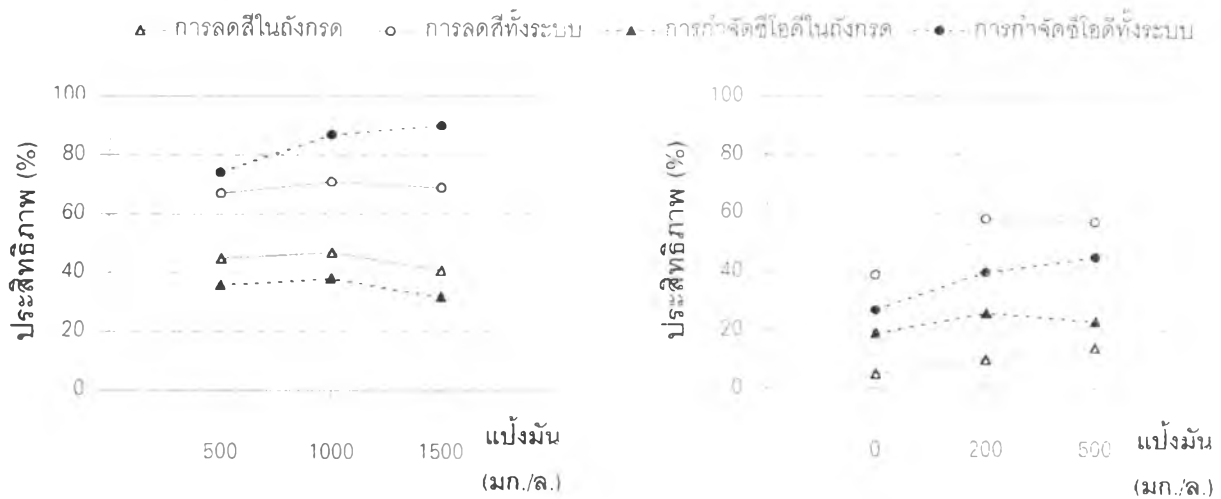
ตารางที่ 4.12 ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในการทดลองน้ำย้อมสีน้ำเงินและน้ำย้อมสีน้ำเงินสังเคราะห์

การทดลอง	ยูเอเอสบีชุดที่ 1			ยูเอเอสบีชุดที่ 2			ยูเอเอสบีชุดที่ 3		
	น้ำเสีย	ถังกรด	น้ำออก	น้ำเสีย	ถังกรด	น้ำออก	น้ำเสีย	ถังกรด	น้ำออก
น้ำย้อมสีน้ำเงิน	40.2	33.3	32.2	55.3	54.7	29.0	91.4	103.0	16.5
น้ำย้อมสีน้ำเงินสังเคราะห์	19.5	21.8	20.8	51.6	59.1	28.7	92.9	126.5	33.0

ถึงแม้ว่า Carliell (1997) ได้กล่าวไว้ว่า แบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตนี้จะแย่งใช้อาหารกับแบคทีเรียสร้างมีเทน และทำให้ระบบบำบัดไร้อากาศไม่สามารถลดสีในน้ำเสียที่มีซัลเฟตสูงๆ ได้ แต่จากการทดลองเปรียบเทียบระหว่างน้ำย้อมจริงกับน้ำย้อมสังเคราะห์ในงานวิจัยนี้แล้ว จะเห็นว่า การทำงานของแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตมีความแตกต่างกันอย่างชัดเจนทั้ง 2 การทดลอง (เปรียบเทียบจากปริมาณซัลไฟด์ที่เกิดขึ้น) แต่การลดสีกลับยังคงใกล้เคียงกันมาก นอกจากนี้ ยังพบว่า สิ่งที่แตกต่างกันระหว่าง 2 การทดลองคือ ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี แสดงว่าการทำงานของแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตในระบบนี้ไม่น่าจะรบกวนการลดสี และยังช่วยกำจัดสารอินทรีย์ได้เพิ่มขึ้นด้วย

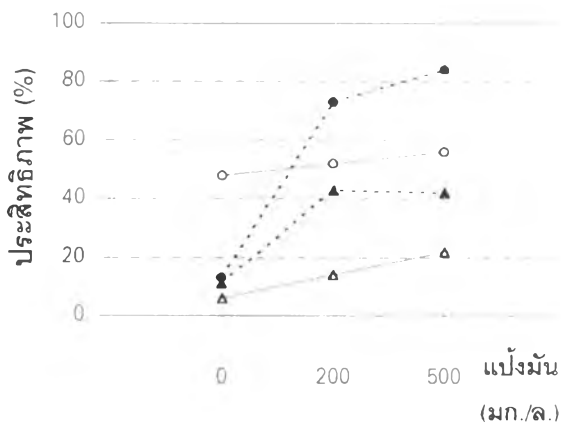
#### 4.4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของการลดสีกับการกำจัดซีโอดี

จากรูปที่ 4.71 จะเห็นว่า ประสิทธิภาพการลดสีในชุดที่เติมแอมโมเนีย จะมีค่าใกล้เคียงกัน แต่ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีกลับมีค่ามากขึ้นเมื่อความเข้มข้นแอมโมเนียเพิ่มขึ้น ส่วนในชุดที่ไม่มีการเติมแอมโมเนีย จะมีประสิทธิภาพทั้งการลดสีและการกำจัดซีโอดีต่ำที่สุด หรือแทบจะไม่กำจัดเลย ดังนั้น จึงไม่น่าจะมีความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการลดสีและการกำจัดซีโอดีที่ชัดเจนนัก เพียงแต่ระบบไร้อากาศที่ต้องการลดสีในน้ำเสียมีสีย่อมควรจะมีการเติมแหล่งคาร์บอนที่ง่ายบ้าง จะทำให้ระบบมีประสิทธิภาพดีขึ้น นอกจากนี้ยังแสดงให้เห็นว่าระบบไร้อากาศที่ลดสีในน้ำเสียมีสีย่อมยังสามารถกำจัดซีโอดีได้ดีตามปกติอีกด้วย

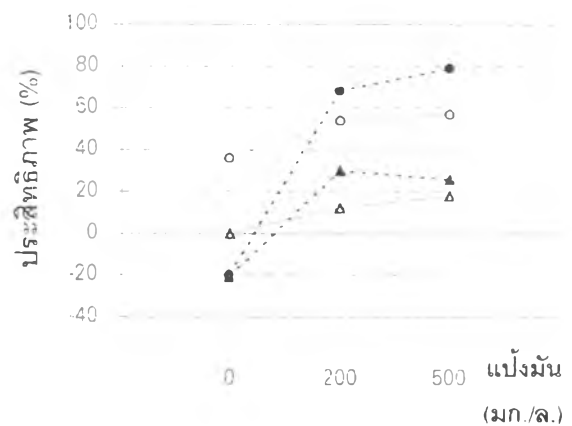


(ก) การทดลองที่ 1 น้ำย้อมสีดำ

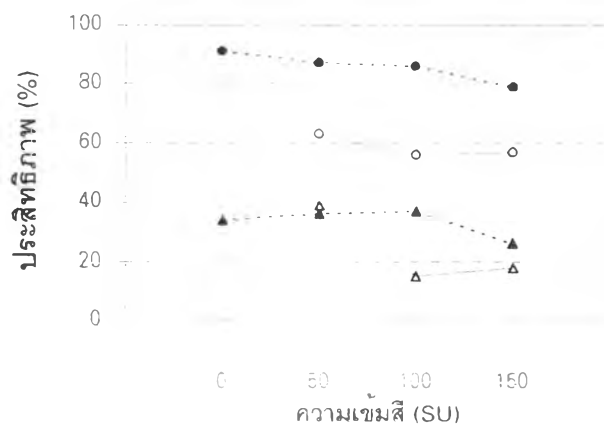
(ข) การทดลองที่ 2 น้ำย้อมสีแดง



(ค) การทดลองที่ 3 น้ำย้อมสีน้ำเงิน



(ง) การทดลองที่ 4 น้ำย้อมสีน้ำเงินสังเคราะห์



(จ) การทดลองที่ 5 เปลี่ยนแปลงความขุ่นสี

รูปที่ 4.71 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของการลดสีกับการกำจัดซีโอดี

## 4.5 การเปลี่ยนแปลงของคาร์บอนทั้งหมดในถังสร้างมีเทน

### 4.5.1 ดุลคาร์บอนในถังสร้างมีเทน

โดยส่วนใหญ่แล้วในงานวิจัยเกี่ยวกับระบบไร้อากาศที่ผ่านมา การดุลคาร์บอนในระบบมักจะสนใจการดุลคาร์บอนอินทรีย์เท่านั้น และการดุลคาร์บอนอินทรีย์ดังกล่าวก็ใช้วิธีการดุลค่าซีโอดีนั่นเอง โดยพิจารณาว่าคาร์บอนอินทรีย์ที่ถูกแบคทีเรียใช้ไปจะเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของก๊าซชีวภาพเท่านั้น ดังนั้นสามารถใช้ค่าซีโอดีและปริมาณก๊าซชีวภาพในการดุลคาร์บอนอินทรีย์ได้ แต่สำหรับในงานวิจัยนี้ ได้กล่าวไปแล้วว่ามีการรบกวนค่าซีโอดีจากซัลไฟด์ที่เกิดขึ้น ถึงแม้ว่าการคำนวณค่าซีโอดีจากปริมาณซัลไฟด์ทั้งหมดจะสามารถกระทำได้ แต่การวิเคราะห์หาปริมาณซัลไฟด์ที่เกิดขึ้นไม่ได้ทำทุกการทดลอง อีกทั้งไม่ได้วิเคราะห์เป็นประจำ ทำให้ไม่มีข้อมูลที่นำเชื่อถือในการนำมาคำนวณหาค่าซีโอดีจากซัลไฟด์ที่แน่นอนได้ การใช้ค่าซีโอดีในการดุลคาร์บอนในงานวิจัยนี้จึงไม่เหมาะสม นอกจากนี้ปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นในบางการทดลองก็มีน้อยมากหรือไม่มีก๊าซเกิดขึ้นเลยตลอดการทดลอง ดังนั้นเมื่อพิจารณาจากค่าซีโอดีและปริมาณก๊าซแล้วจะกลายเป็นว่า มีคาร์บอนอินทรีย์สูญหายไปจากระบบค่อนข้างมาก โดยไม่สามารถอธิบายได้ จึงได้เปลี่ยนไปเป็นการดุลคาร์บอนทั้งหมดแทน ด้วยการพิจารณาค่าปริมาณคาร์บอนทั้งหมด (TC) ร่วมกับปริมาณก๊าซชีวภาพ

การดุลคาร์บอนในงานวิจัยนี้ทำการดุลคาร์บอนเพียงแคในถังสร้างมีเทนเท่านั้น ทั้งนี้เพราะระบบยูเอเอสบีที่ใช้เป็นแบบ 2 ขั้นตอน คือมีขั้นตอนการสร้างกรด และขั้นตอนการสร้างมีเทน ทั้ง 2 ขั้นตอนต่างก็มีการย่อยสารอินทรีย์และผลิตก๊าซชีวภาพเช่นกัน แต่ในขั้นตอนการสร้างกรดมีน้อยกว่ามาก และยังเป็นระบบเปิดไม่ได้ทำการเก็บปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น ดังนั้น การดุลคาร์บอนในขั้นตอนนี้จึงไม่สามารถทำได้ นอกจากนี้ การวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนทั้งหมดในน้ำเสียที่เตรียมก็จะต้องกรองเอาสารแขวนลอยออกก่อน อนุภาคแขวนลอยของแบง์มันที่เติมให้บางส่วนจึงถูกกรองออกไปก่อนด้วย ทำให้ไม่สามารถนำปริมาณคาร์บอนทั้งหมดในน้ำเสียมารวมพิจารณาได้ด้วย จึงมีเพียงการดุลคาร์บอนในถังสร้างมีเทนเท่านั้น โดยคาร์บอนที่เข้าสู่ถังสร้างมีเทน คือ ปริมาณคาร์บอนที่วิเคราะห์จากจุดเก็บตัวอย่างในถังสร้างกรด ส่วนคาร์บอนที่ออกจากถังสร้างมีเทน ก็วิเคราะห์จากจุดเก็บตัวอย่างน้ำออกจากระบบนั่นเอง

การดุลคาร์บอนในงานวิจัยนี้ สามารถทำได้เฉพาะตั้งแต่การทดลองที่ 2 เป็นต้นไปเท่านั้น ทั้งนี้เพราะในการทดลองกับน้ำย้อมสีดำ ได้ทำการวิเคราะห์เฉพาะค่าปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ (TOC) ในน้ำออกจากระบบเท่านั้น ไม่ได้สนใจค่าปริมาณคาร์บอนทั้งหมด เนื่องจากใน



การทดลองนี้ยังไม่ทราบปัญหาการรบกวนค่าซีโอดี และเข้าใจไปว่าคาร์บอนที่สูญหายไปจากการดูดคาร์บอนอินทรีย์ คือ ปริมาณก๊าซชีวภาพที่รั่วไหลไปจากส่วนใดส่วนหนึ่งของการเก็บวิเคราะห์ปริมาณก๊าซ จึงไปมุ่งแก้ปัญหาที่จุดนั้นมากกว่าที่จะเห็นความสำคัญของปริมาณคาร์บอนทั้งหมด นอกจากนี้ยังมีความเข้าใจไปว่าคาร์บอนอินทรีย์ที่หายไปจนไม่สามารถวิเคราะห์ค่าซีโอดีได้ จะเกิดขึ้นเพียงกรณีเดียว คือ ถูกเปลี่ยนไปอยู่ในรูปก๊าซชีวภาพหลุดออกไปจากน้ำเท่านั้น

ผลของการดูดคาร์บอนในถังสร้างมีเทนแสดงไว้ในตารางที่ 4.13 ถึง 4.16 โดยการพิจารณาเป็นหน่วยเดียวกันคือ โมล/วัน การพิจารณาเป็นหน่วย โมล/วัน มีข้อดีคือ ทำให้ไม่จำเป็นต้องทราบว่าปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ หรือก๊าซมีเทนแต่ละชนิดอยู่ในปริมาณที่แน่นอนเท่าใด เพราะก๊าซทั้ง 2 ชนิดต่างก็มีปริมาตรต่อโมลเท่ากันที่สภาวะเดียวกัน และก๊าซดังกล่าว 1 โมล ก็เกิดจากคาร์บอน 1 โมล เช่นเดียวกันทั้ง 2 ชนิด

ตารางที่ 4.13 ดูดคาร์บอนในถังสร้างมีเทนของการทดลองที่ 2 (น้ำย้อมสีแดง)

ปริมาณคาร์บอน	ยูเอเอสบีชุดที่ 1 (ไม่เติมแป้งมัน)		ยูเอเอสบีชุดที่ 2 (เติมแป้งมัน 200 มก./ล.)		ยูเอเอสบีชุดที่ 3 (เติมแป้งมัน 500 มก./ล.)	
	(มก./ล.)	(โมล/วัน)	(มก./ล.)	(โมล/วัน)	(มก./ล.)	(โมล/วัน)
ปริมาณคาร์บอน ในน้ำเข้า	207.0	0.1035	258.4	0.1292	351.3	0.1757
ปริมาณคาร์บอน ในน้ำออก	204.5	0.1023	250.8	0.1254	342.6	0.1713
ปริมาณคาร์บอนที่ถูกกำจัดไป	2.5	0.0013	7.6	0.0038	8.7	0.0043
ปริมาณก๊าซชีวภาพ	0 (ลิตร/วัน)	0	0 (ลิตร/วัน)	0	0 (ลิตร/วัน)	0
ปริมาณคาร์บอนที่วัดไม่ได้		0.0013		0.0038		0.0043
- คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ		1.2		2.9		2.5

ตารางที่ 4.14 ดุลคาร์บอนในถังสร้างมีเทนของการทดลองที่ 3 (หน่วยมสีน้าเงิน)

ปริมาณคาร์บอน	ยูเอเอสปีชุดที่ 1 (ไม่เติมแ่งมัน)		ยูเอเอสปีชุดที่ 2 (เติมแ่งมัน 200 มก./ล.)		ยูเอเอสปีชุดที่ 3 (เติมแ่งมัน 500 มก./ล.)	
	(มก./ล.)	(โมล/วัน)	(มก./ล.)	(โมล/วัน)	(มก./ล.)	(โมล/วัน)
ปริมาณคาร์บอน ในน้ำเข้า	131.4	0.0657	181.3	0.0907	256.9	0.1285
ปริมาณคาร์บอน ในน้ำออก	135.8	0.0679	172.0	0.0860	223.3	0.1117
ปริมาณคาร์บอนที่ถูกกำจัดไป	-4.4	-0.0022	9.3	0.0047	33.6	0.0168
ปริมาณก๊าซชีวภาพ	0 (ลิตร/วัน)	0	0 (ลิตร/วัน)	0	0.30 (ลิตร/วัน)	0.0125
ปริมาณคาร์บอนที่วัดไม่ได้		-0.0022		0.0047		0.0043
- คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ		-3.3		5.1		3.3

ตารางที่ 4.15 ดุลคาร์บอนในถังสร้างมีเทนของการทดลองที่ 4 (หน่วยมสีน้าเงินสังเคราะห์)

ปริมาณคาร์บอน	ยูเอเอสปีชุดที่ 1 (ไม่เติมแ่งมัน)		ยูเอเอสปีชุดที่ 2 (เติมแ่งมัน 200 มก./ล.)		ยูเอเอสปีชุดที่ 3 (เติมแ่งมัน 500 มก./ล.)	
	(มก./ล.)	(โมล/วัน)	(มก./ล.)	(โมล/วัน)	(มก./ล.)	(โมล/วัน)
ปริมาณคาร์บอน ในน้ำเข้า	38.8	0.0194	97.0	0.0485	180.6	0.0903
ปริมาณคาร์บอน ในน้ำออก	41.0	0.0205	83.6	0.0418	132.6	0.0663
ปริมาณคาร์บอนที่ถูกกำจัดไป	-2.2	-0.0011	13.4	0.0067	48.0	0.0240
ปริมาณก๊าซชีวภาพ	0 (ลิตร/วัน)	0	0.04 (ลิตร/วัน)	0.00167	0.42 (ลิตร/วัน)	0.0175
ปริมาณคาร์บอนที่วัดไม่ได้		-0.0011		0.0050		0.0065
- คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ		-5.7		10.4		7.2

ตารางที่ 4.16 ดูลคาร์บอนในถังสร้างมีเทนของการทดลองที่ 5 (เปลี่ยนแปลงความเข้มข้น)

ปริมาณคาร์บอน	ยูเอเอสบีชุดที่ 1 (ความเข้มข้น 100 su)		ยูเอเอสบีชุดที่ 2 (ความเข้มข้น 50 su)		ยูเอเอสบีชุดที่ 3 (ไม่เติมสี)	
	(มก./ล.)	(โมล/วัน)	(มก./ล.)	(โมล/วัน)	(มก./ล.)	(โมล/วัน)
ปริมาณคาร์บอน ในน้ำเข้า	171.9	0.0860	170.3	0.0852	175.3	0.0877
ปริมาณคาร์บอน ในน้ำออก	128.4	0.0642	124.2	0.0621	123.8	0.0619
ปริมาณคาร์บอนที่ถูกกำจัดไป	43.5	0.0218	46.1	0.0231	51.5	0.0258
ปริมาณก๊าซชีวภาพ	0.38 (ลิตร/วัน)	0.0158	0.42 (ลิตร/วัน)	0.0175	0.47 (ลิตร/วัน)	0.0196
ปริมาณคาร์บอนที่วัดไม่ได้		0.0059		0.0056		0.0062
- คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ		6.9		6.5		7.0

รายละเอียดการคำนวณในตารางที่ 4.13-4.16

$$\text{ปริมาณคาร์บอนทั้งหมด (โมล/วัน)} = \frac{\text{ปริมาณคาร์บอนรวม (มก./ล.)} \times \text{อัตราการป้อนน้ำ (6 ลิตร/วัน)}}{1000 \text{ (มก./ก.)} \times \text{น้ำหนักโมเลกุลของคาร์บอน}}$$

$$\text{ปริมาณก๊าซชีวภาพ (โมล/วัน)} = \frac{\text{ปริมาณก๊าซชีวภาพ (ลิตร/วัน)}}{24.0 \text{ (ลิตร/โมล ที่ 1 atm 20}^\circ\text{C)}}$$

$$\text{ปริมาณคาร์บอนที่ถูกกำจัด} = \text{ปริมาณคาร์บอนในน้ำเข้า} - \text{ปริมาณคาร์บอนในน้ำออก}$$

$$\text{ปริมาณคาร์บอนที่วัดไม่ได้} = \text{ปริมาณคาร์บอนที่ถูกกำจัด} - \text{ปริมาณก๊าซชีวภาพ}$$

$$\text{คิดเป็นเปอร์เซ็นต์} = \frac{\text{ปริมาณคาร์บอนที่วัดไม่ได้} \times 100}{\text{ปริมาณคาร์บอนรวมในน้ำเข้า}}$$

จากตารางทั้ง 4 ตารางข้างต้น จะเห็นว่าปริมาณคาร์บอนที่วัดไม่ได้เมื่อเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ของปริมาณคาร์บอนทั้งหมดที่เข้าระบบแล้ว ถือว่ามีสัดส่วนค่อนข้างน้อย แสดงว่าการวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนทั้งหมดมีความผิดพลาดค่อนข้างน้อย แต่อย่างไรก็ตาม การติดตามปริมาณคาร์บอนส่วนที่วัดไม่ได้นี้จะได้กล่าวถึงในหัวข้อต่อไป

4.5.2 การละลายน้ำของก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น

เนื่องจากในงานวิจัยนี้ มีการผลิตก๊าซชีวภาพเกิดขึ้นน้อยมาก อีกทั้งเปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทนกลับสูงมาก คือ ส่วนใหญ่จะมากกว่า 90% ดังนั้น จึงคาดว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นอาจจะละลายน้ำกลับลงไปได้มากกว่าปกติ โดยเฉพาะในระบบไร้อากาศที่บำบัดน้ำเสีย ความเข้มข้นสารอินทรีย์ต่ำๆ ดังเช่นในงานวิจัยนี้ จึงได้ตั้งสมมติฐานการคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การละลายน้ำของก๊าซชีวภาพที่เกิดจากระบบบำบัดไร้อากาศนี้ โดยดัดแปลงมาจากแนวคิดของ รศ.ดร. มั่นสิน ดันทุลเวศม์, 2540 ดังต่อไปนี้



สมมติว่าคาร์บอนของสารอินทรีย์ที่ถูกกำจัด C มก.	= C/12	มิลลิโมล
เมื่อเปลี่ยนเป็นก๊าซชีวภาพทั้งหมดจะเกิดก๊าซมีเทน (CH <sub>4</sub> )	0.5C/12	มิลลิโมล
และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO <sub>2</sub> )	0.5C/12	มิลลิโมล

ดังนั้น จะเกิดก๊าซมีเทน = 0.5C/12 มิลลิโมล = 0.5C x 16/12 = 0.67C มก.  
 = 0.5C x 24.0/12 = 1C มล.  
 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ = 0.5C x 44/12 = 1.83C มก.  
 = 0.5C x 24.0/12 = 1C มล.  
 (ก๊าซ 1 มิลลิโมล มีปริมาตรเท่ากับ 24.0 มล. ที่ 1 ATM 20°C)

กำหนดให้ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ละลายน้ำเป็น D%  
 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ละลายน้ำ (CO<sub>2</sub>)<sub>L</sub> = 1.83CD/100 มก. ....(1)  
 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เหนือผิวน้ำ (CO<sub>2</sub>)<sub>g</sub> = 1C(100-D)/100 มล.

กำหนดให้ ก๊าซมีเทนไม่ละลายน้ำเลย  
 ก๊าซมีเทนเหนือผิวน้ำ (CO<sub>2</sub>)<sub>g</sub> = 1C มล.

ดังนั้น ความดันพาร์เซียลของคาร์บอนไดออกไซด์ =  $\frac{1C(100-D)/100}{[1C(100-D)/100] + 1C}$   
 = (100-D)/(200-D)

จากกฎของเฮนรี (Henry's Law)

$$\begin{aligned} \text{ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ละลายน้ำ (CO}_2\text{)}_L &= 1723 \times \text{ความดันพาร์เซิลCO}_2 \\ &= 1723 \times (100-D)/(200-D) \end{aligned}$$

ซึ่งเท่ากับสมการ (1) ดังนั้น

$$1723 \times (100-D)/(200-D) = 1.83CD/100$$

จะได้ 
$$(100-D) = \frac{1.83CD \times 200}{100 \times 1723} - \frac{1.83CD^2}{100 \times 1723}$$

เทอมของ  $(1.83CD^2)/(100 \times 1723)$  มีค่าน้อยมาก จึงสมมติว่าเท่ากับศูนย์

ดังนั้น 
$$(100-D) = \frac{1.83CD \times 200}{100 \times 1723}$$

$$D = 100 / (2.12 \times 10^{-3} C + 1) \dots \dots \dots (2)$$

ลองคำนวณโดยกำหนดค่า C ต่างๆ กัน ได้ดังนี้

เมื่อ	C = 1	จะได้	D = 99.8	ความดันพาร์เซิลCO <sub>2</sub> = 0.002
	C = 5	จะได้	D = 99.0	ความดันพาร์เซิลCO <sub>2</sub> = 0.01
	C = 10	จะได้	D = 97.9	ความดันพาร์เซิลCO <sub>2</sub> = 0.02
	C = 20	จะได้	D = 95.9	ความดันพาร์เซิลCO <sub>2</sub> = 0.04
	C = 30	จะได้	D = 94.0	ความดันพาร์เซิลCO <sub>2</sub> = 0.06
	C = 50	จะได้	D = 90.4	ความดันพาร์เซิลCO <sub>2</sub> = 0.09
	C = 80	จะได้	D = 85.5	ความดันพาร์เซิลCO <sub>2</sub> = 0.13
	C = 100	จะได้	D = 82.5	ความดันพาร์เซิลCO <sub>2</sub> = 0.15
	C = 250	จะได้	D = 65.4	ความดันพาร์เซิลCO <sub>2</sub> = 0.26
	C = 500	จะได้	D = 48.5	ความดันพาร์เซิลCO <sub>2</sub> = 0.34
	C = 1000	จะได้	D = 32.1	ความดันพาร์เซิลCO <sub>2</sub> = 0.40

จะเห็นว่า เมื่อมีการย่อยสารอินทรีย์ในปริมาณน้อยๆ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจะละลายน้ำได้เกือบทั้งหมด แต่เปอร์เซ็นต์การละลายน้ำจะลดลงเมื่อมีการย่อยสารอินทรีย์มากขึ้น ดังนั้น จึงสามารถใช้อธิบายเหตุการณ์ที่เปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทนที่วัดได้ในงานวิจัยนี้สูงมาก นั่นคือ เพราะก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นสามารถละลายน้ำได้มากนั่นเอง

เมื่อกลับมาพิจารณาการละลายน้ำของก๊าซมีเทนบ้าง โดยเพิ่มข้อกำหนดให้ก๊าซมีเทน  
มีสามารถละลายน้ำได้ A% การคำนวณจะเป็นดังต่อไปนี้

กำหนดให้ ก๊าซมีเทนละลายน้ำเป็น A%

$$\text{ก๊าซมีเทนละลายน้ำ } (\text{CH}_4)_L = 0.67CA/100 \quad \text{มก. ....(3)}$$

$$\text{ก๊าซมีเทนเหนือผิวน้ำ } (\text{CH}_4)_g = 1C(100-A)/100 \quad \text{มล.}$$

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น ความดันพาร์เซิลของมีเทน} &= \frac{1C(100-A)/100}{1C(100-D)/100 + 1C(100-A)/100} \\ &= (100-A)/(200-D-A) \end{aligned}$$

จากกฎของเฮนรี (Henry's Law)

$$\begin{aligned} \text{ก๊าซมีเทนละลายน้ำ } (\text{CH}_4)_L &= 23.7 \times \text{ความดันพาร์เซิลCH}_4 \\ &= 23.7 \times (100-A)/(200-D-A) \end{aligned}$$

ซึ่งเท่ากับสมการ (3) ดังนั้น

$$23.7 \times (100-A)/(200-D-A) = 0.67CA/100$$

$$\text{จะได้} \quad (100-A) = \frac{0.67CA \times (200-D-A)}{100 \times 23.7}$$

$$\text{เท่ากับ} \quad 100 = \frac{0.67CA \times (200-D-A)}{100 \times 23.7} + A \quad \text{.....(4)}$$

นอกจากนี้

$$\begin{aligned} \text{ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ละลายน้ำ } (\text{CO}_2)_L &= 1723 \times \text{ความดันพาร์เซิลCO}_2 \\ &= 1723 \times (100-D)/(200-D-A) \end{aligned}$$

ซึ่งเท่ากับสมการ (1) ดังนั้น

$$1723 \times (100-D)/(200-D-A) = 1.83CD/100$$

$$\text{จะได้} \quad (100-D) = \frac{1.83CD \times (200-D-A)}{100 \times 1723}$$

$$\text{เท่ากับ} \quad 100 = \frac{1.83CD \times (200-D-A) + D}{100 \times 1723} \dots\dots\dots(5)$$

จากสมการ (4) และ (5) สามารถนำมาคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์การละลายน้ำของคาร์บอนไดออกไซด์ (D) และเปอร์เซ็นต์การละลายน้ำของมีเทน (A) ได้ โดยกำหนดปริมาณคาร์บอนที่ถูกกำจัด (C) โดยขั้นแรกทำการลอง Trial & Error สมการ (4) โดยกำหนดค่า C และใช้ค่า D จากการคำนวณโดยสมการ (1) เพื่อหาค่า A ออกมา จากนั้นนำค่า A ที่ได้ และค่า C ที่กำหนด ไป Trial & Error สมการ (5) เพื่อหาค่า D จากนั้นก็นำค่า D ที่ได้กลับมา Trial & Error สมการ (4) อีกครั้ง ทำซ้ำไปอย่างนี้จนกว่าจะได้ค่า A และ D ที่ตรงกันทั้ง 2 สมการ ดังตัวอย่างต่อไปนี้

#### ตัวอย่างการคำนวณ

ที่ปริมาณคาร์บอนที่ถูกกำจัด (C) เท่ากับ 50 มก./ล.

จากสมการ (1) ได้ค่า D เท่ากับ 90.4%

นำไป Trial & Error สมการ (4) ครั้งที่ 1 ได้ ค่า A เท่ากับ 57.7%

นำไป Trial & Error สมการ (5) ครั้งที่ 1 ได้ ค่า D เท่ากับ 97.7%

นำไป Trial & Error สมการ (4) ครั้งที่ 2 ได้ ค่า A เท่ากับ 66.2%

นำไป Trial & Error สมการ (5) ครั้งที่ 2 ได้ ค่า D เท่ากับ 98.1%

นำไป Trial & Error สมการ (4) ครั้งที่ 3 ได้ ค่า A เท่ากับ 66.9%

นำไป Trial & Error สมการ (5) ครั้งที่ 3 ได้ ค่า D เท่ากับ 98.2%

นำไป Trial & Error สมการ (4) ครั้งที่ 4 ได้ ค่า A เท่ากับ 67.1%

นำไป Trial & Error สมการ (5) ครั้งที่ 4 ได้ ค่า D เท่ากับ 98.2%

เพราะฉะนั้น ที่ปริมาณคาร์บอนที่ถูกกำจัด เท่ากับ 50 มก./ล.

เปอร์เซ็นต์การละลายน้ำของคาร์บอนไดออกไซด์ (D) เท่ากับ 98.2%

และเปอร์เซ็นต์การละลายน้ำของมีเทน (A) เท่ากับ 67.1%

เมื่อลองคำนวณที่ปริมาณคาร์บอนที่ถูกกำจัดต่างๆ กัน จะพบลักษณะการเปลี่ยนแปลงของค่า A และ D ดังแสดงข้างล่างต่อไปนี้

ปริมาณคาร์บอน ที่ถูกกำจัด (C) (มก./ล.)	เปอร์เซ็นต์การ ละลายน้ำ CO <sub>2</sub> (D) (%)	ความดันพาร์ เชียล CO <sub>2</sub> atm.	เปอร์เซ็นต์การ ละลายน้ำ CH <sub>4</sub> (A) (%)	ความดันพาร์ เชียล CH <sub>4</sub> atm.
1	100	0	100	0
5	100	0	100	0
10	100	0	100	0
20	100	0	100	0
30	100	0	100	0
50	98.2	0.05	67.1	0.95
80	94.8	0.08	40.7	0.92
100	92.6	0.10	31.9	0.90
250	77.1	0.21	11.2	0.79
500	57.8	0.31	4.9	0.69
1000	36.9	0.39	2.15	0.61

จะเห็นว่า ที่ปริมาณคาร์บอนที่ถูกกำจัดตั้งแต่ 0 ถึง 30 มก./ล. ทั้งก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซมีเทนสามารถละลายน้ำได้ทั้งหมด นั่นคือ เมื่อมีการย่อยสสารอินทรีย์ในปริมาณต่างๆ ก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นสามารถละลายน้ำได้ดี ดังนั้น จึงได้ลองใช้การคำนวณดังกล่าวข้างต้น เพื่อหาปริมาณก๊าซมีเทนที่ละลายน้ำในงานวิจัยนี้ ดังแสดงค่าในตารางที่ 4.17 ซึ่งตัวอย่างการคำนวณก็เป็นเช่นเดียวกันคือ ประมวลค่า D โดยพิจารณาจากการข้อมูลข้างต้น แล้ว Trial & Error สมการ (4) และ (5) จนกว่าจะได้ค่าที่ตรงกันทั้ง 2 สมการ การกำหนดค่า D ที่ใกล้เคียงมากที่สุดจะทำให้จำนวนครั้งของการ Trial & Error น้อยลงได้



ตารางที่ 4.17 เปรียบเทียบปริมาณก๊าซมีเทนละลายน้ำที่คำนวณได้กับปริมาณคาร์บอนที่วัดไม่ได้

การทดลอง	หน่วย	ยูเอเอสบี		
		ชุดที่ 1 (ไม่เติมแบริ่งมัน)	ชุดที่ 2 (เติมแบริ่งมัน 200 มก./ล.)	ชุดที่ 3 (เติมแบริ่งมัน 500 มก./ล.)
<b>น้ำย้อมสีแดง</b>				
ปริมาณคาร์บอนที่วัดไม่ได้	(โมล/วัน)	0.0013	0.0038	0.0043
เปอร์เซ็นต์ CO <sub>2</sub> ละลายน้ำ (D)	(%)	100.0	100.0	100.0
เปอร์เซ็นต์ CH <sub>4</sub> ละลายน้ำ (A)	(%)	100.0	100.0	100.0
ปริมาณ CH <sub>4</sub> ที่ละลายน้ำ	(โมล/วัน)	0.0013	0.0038	0.0043
<b>น้ำย้อมสีน้ำเงิน</b>				
ปริมาณคาร์บอนที่วัดไม่ได้	(โมล/วัน)	-0.0022	0.0047	0.0043
เปอร์เซ็นต์ CO <sub>2</sub> ละลายน้ำ (D)	(%)		100.0	96.2
เปอร์เซ็นต์ CH <sub>4</sub> ละลายน้ำ (A)	(%)		100.0	49.0
ปริมาณ CH <sub>4</sub> ที่ละลายน้ำ	(โมล/วัน)		0.0047	0.0083
<b>น้ำย้อมสีน้ำเงินสังเคราะห์</b>				
ปริมาณคาร์บอนที่วัดไม่ได้	(โมล/วัน)	-0.0011	0.0050	0.0065
เปอร์เซ็นต์ CO <sub>2</sub> ละลายน้ำ (D)	(%)		100.0	93.3
เปอร์เซ็นต์ CH <sub>4</sub> ละลายน้ำ (A)	(%)		100.0	34.3
ปริมาณ CH <sub>4</sub> ที่ละลายน้ำ	(โมล/วัน)		0.0067	0.0081
(เติมแบริ่งมัน 500 มก./ล.)				
		ความเข้มข้น 100 SU	ความเข้มข้น 50 SU	ความเข้มข้น 0 SU
<b>เปลี่ยนแปลงความเข้มข้น</b>				
ปริมาณคาร์บอนที่วัดไม่ได้	(โมล/วัน)	0.0059	0.0056	0.0062
เปอร์เซ็นต์ CO <sub>2</sub> ละลายน้ำ (D)	(%)	94.0	93.2	92.4
เปอร์เซ็นต์ CH <sub>4</sub> ละลายน้ำ (A)	(%)	37.0	33.9	31.3
ปริมาณ CH <sub>4</sub> ที่ละลายน้ำ	(โมล/วัน)	0.0081	0.0081	0.0080

ตัวอย่างการคำนวณในตารางที่ 4.17

ในการทดลองกับน้ำย้อมสีน้ำเงินสังเคราะห์ ยูเอเอสบีชุดที่ 3

ที่ปริมาณคาร์บอนที่ถูกกำจัด (C) เท่ากับ 93.5 มก./ล.  
 ลอกกำหนดค่าเปอร์เซ็นต์การละลายน้ำของ CO<sub>2</sub> (D) เท่ากับ 93%

นำไป Trial & Error สมการ (4) ครั้งที่ 1 ได้ ค่า A เท่ากับ	34.2%
นำไป Trial & Error สมการ (5) ครั้งที่ 1 ได้ ค่า D เท่ากับ	93.3%
นำไป Trial & Error สมการ (4) ครั้งที่ 2 ได้ ค่า A เท่ากับ	34.3%
นำไป Trial & Error สมการ (5) ครั้งที่ 2 ได้ ค่า D เท่ากับ	93.3%

เพราะฉะนั้น ที่ปริมาณคาร์บอนที่ถูกกำจัด เท่ากับ 93.5 มก./ล..

เปอร์เซ็นต์การละลายน้ำของคาร์บอนไดออกไซด์ (D)	เท่ากับ 93.3%
และเปอร์เซ็นต์การละลายน้ำของมีเทน (A)	เท่ากับ 34.3%

นำค่า A ไปแทนในสมการ (3) เพื่อหาค่ามีเทนละลายน้ำ (CH<sub>4</sub>)<sub>g</sub> จะได้

$$\begin{aligned}
 (\text{CH}_4)_{\text{g}} &= 0.67CA/100 \\
 &= \frac{0.67 \times (93.5) \times 34.3}{100} && \text{มก./ล.} \\
 &= \frac{0.67 \times (93.5) \times 34.3 \times 6}{100 \times 16 \times 1000} && \text{โมล/วัน} \\
 &= 0.0081 && \text{โมล/วัน}
 \end{aligned}$$

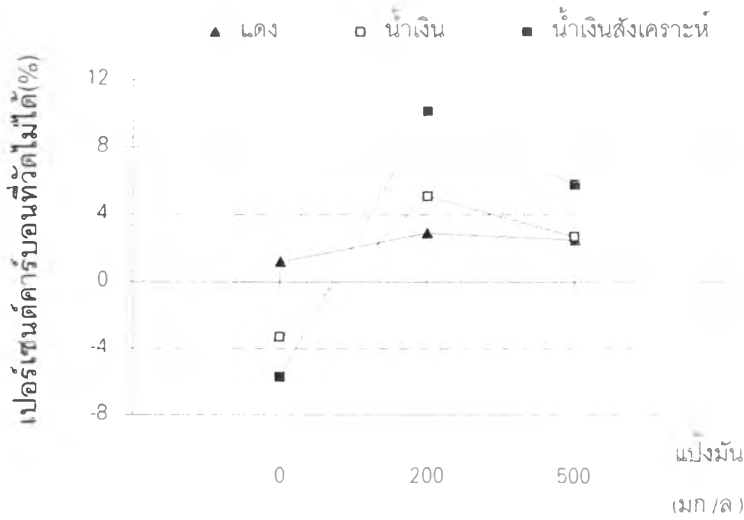
จะเห็นว่าในชุดที่ไม่มีก๊าซเกิดขึ้น เช่นการทดลองกับน้ำย้อมสีแดง ปริมาณคาร์บอนที่วัดไม่ได้มีค่าใกล้เคียงกับปริมาณก๊าซมีเทนละลายน้ำที่คำนวณได้ จึงสามารถอธิบายได้ว่า ในชุดการทดลองที่มีการกำจัดสารอินทรีย์ปริมาณน้อยๆ ก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจะละลายน้ำได้มากหรือละลายเกือบทั้งหมด ทำให้ไม่สามารถวัดปริมาณก๊าซชีวภาพได้ และเมื่อมีการเก็บน้ำตัวอย่างออกมาสัมผัสกับบรรยากาศภายนอก ซึ่งมีความดันพาร์เชียลของก๊าซมีเทนต่ำมากคือแทบจะไม่มีเลย ก๊าซมีเทนในน้ำจึงสามารถหนีหายไปจากน้ำตัวอย่างได้ ทำให้การวิเคราะห์

ปริมาณคาร์บอนทั้งหมด (TC) ส่วนหนึ่งในน้ำตัวอย่างหายไป และอาจใช้อธิบายการที่เปอร์เซ็นต์คาร์บอนที่วัดไม่ได้มีค่าติดลบได้ว่า ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศที่ละลายกลับลงไปทำให้มีปริมาณคาร์บอนทั้งหมดเพิ่มขึ้นได้เล็กน้อย

ส่วนในชุดที่มีก๊าซชีวภาพเกิดขึ้น จะเห็นว่า ปริมาณก๊าซมีเทนละลายน้ำมากกว่าปริมาณคาร์บอนที่วัดไม่ได้ ทั้งนี้ สามารถอธิบายได้ 2 กรณี คือ 1) ปริมาณมีเทนที่ละลายน้ำหนีหายไปจากน้ำตัวอย่างได้ไม่หมด และ 2) เป็นจุดอ่อนจากการคำนวณ เนื่องจากสมการที่ใช้คำนวณนี้ เปอร์เซ็นต์การละลายน้ำของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จะขึ้นกับปริมาณคาร์บอนที่ถูกกำจัดและเปอร์เซ็นต์การละลายน้ำของก๊าซมีเทนเท่านั้น แต่ในความเป็นจริงแล้วยังมีค่าพีเอชและสภาพต่างทั้งหมดในน้ำที่มีผลต่อการละลายน้ำของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ด้วย ดังนั้น เปอร์เซ็นต์มีเทนในสมการซึ่งก็ขึ้นกับการละลายน้ำของคาร์บอนไดออกไซด์ด้วย จึงอาจมีความคลาดเคลื่อนได้เช่นกัน

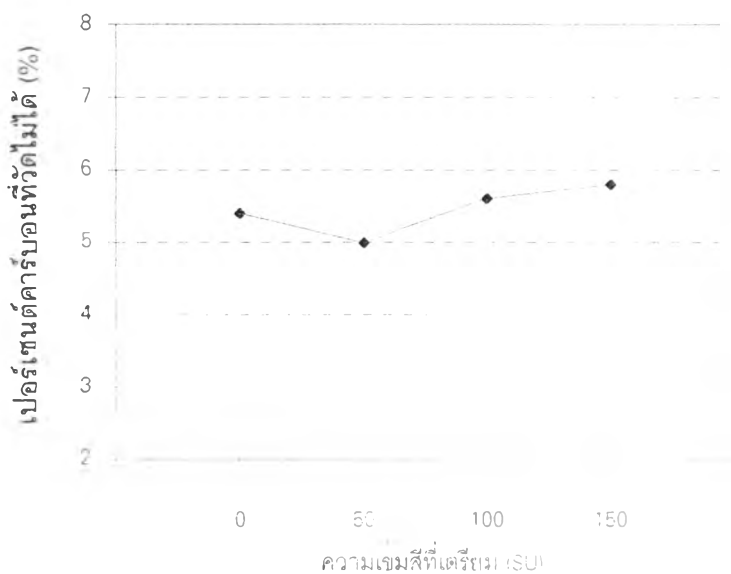
ดังนั้น สมการคำนวณดังกล่าวจึงเป็นเพียงแนวทางที่ชี้ให้เห็นว่า ในระบบบำบัดแบบไร้อากาศที่มีการย่อยสลายสารอินทรีย์ในปริมาณต่ำ ๆ ก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจะละลายน้ำได้มาก แม้แต่ก๊าซมีเทน ทำให้ปริมาณก๊าซที่จะเข้าสู่เครื่องวัดปริมาณก๊าซมีเทนน้อยมากหรือแทบจะไม่มีเลย

เมื่อพิจารณาเปอร์เซ็นต์คาร์บอนที่วัดไม่ได้ของการทดลองกับน้ำย้อมสีน้ำเงิน (ตารางที่ 4.14) และสีน้ำเงินสังเคราะห์ (ตารางที่ 4.15) เมื่อเปรียบเทียบเฉพาะชุดที่มีการเติมแป้งมัน คือ ชุดที่ 2 และ 3 จะเห็นว่า เปอร์เซ็นต์คาร์บอนที่วัดไม่ได้ในชุดที่ 2 มากกว่า ชุดที่ 3 ซึ่งสอดคล้องกับการละลายของก๊าซมีเทนดังที่ได้กล่าวมา คือ ในชุดที่ 2 ซึ่งมีคาร์บอนอินทรีย์น้อยกว่า จะมีการละลายของก๊าซมีเทนเป็นเปอร์เซ็นต์มากกว่าชุดที่ 3 และหนีหายไปเมื่อสัมผัสถูกบรรยากาศในขณะที่เก็บตัวอย่างและทำการวิเคราะห์ ทำให้เปอร์เซ็นต์คาร์บอนที่วัดไม่ได้มีมากกว่า ส่วนในการทดลองกับน้ำย้อมสีแดง ซึ่งคาดว่าแบคทีเรียสร้างมีเทนได้สูญเสียการทำงานไปบ้างแล้ว ทำให้การกำจัดสารอินทรีย์มีน้อย และค่อนข้างใกล้เคียงกัน ดังนั้น ก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นจึงน่าจะมีปริมาณน้อยและละลายน้ำเกือบทั้งหมด ทำให้ทั้ง 3 ชุด ของการทดลองกับน้ำย้อมสีแดงมีเปอร์เซ็นต์คาร์บอนที่วัดไม่ได้ใกล้เคียงกัน และมีน้อยกว่าในการทดลองกับน้ำย้อมสีน้ำเงิน ดังแสดงในรูปที่ 4.72



รูปที่ 4.72 เปอร์เซนต์คาร์บอนที่วัดไม่ได้กับความเข้มข้นน้ำมันที่เติมให้

เนื่องจากปริมาณคาร์บอนที่วัดไม่ได้มีสาเหตุส่วนหนึ่งจากปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นน้อยแต่ละลายน้ำได้มาก และปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นน้อยก็มีความสัมพันธ์กับน้ำมันที่เติมให้ ดังนั้น เมื่อพิจารณาเปอร์เซนต์ปริมาณคาร์บอนที่วัดไม่ได้ในชุดการทดลองที่เปลี่ยนแปลงความเข้มข้น แต่ปริมาณน้ำมันที่เติมให้ 500 มก./ล. เท่ากันทุกชุด (รูปที่ 4.73) จะเห็นว่าเปอร์เซนต์ดังกล่าวแทบจะไม่แตกต่างกันเลย แสดงให้เห็นว่าในการทดลองกับน้ำย้อมเดียวกัน เปอร์เซนต์ของปริมาณคาร์บอนที่วัดไม่ได้จะมีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นน้ำมันที่เติมให้มากกว่าความเข้มข้น ทั้งนี้ เพราะเปอร์เซนต์คาร์บอนที่วัดไม่ได้เกี่ยวข้องกับการละลายน้ำของก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจากการย่อยน้ำมันนั่นเอง



รูปที่ 4.73 เปอร์เซนต์คาร์บอนที่วัดไม่ได้กับความเข้มข้นในน้ำเสี้ยวที่เตรียม

#### 4.5.3 การเพิ่มขึ้นของปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ (IC)

จากที่ได้กล่าวไปแล้วในหัวข้อที่ผ่านมา การดูแลคาร์บอนในระบบ มีปริมาณคาร์บอนที่วัดไม่ได้ค่อนข้างน้อย ถือได้ว่าการวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนในรูปแบบต่างๆ มีความผิดพลาดเกิดขึ้นน้อย แสดงว่าเราสามารถติดตามการเปลี่ยนรูปของคาร์บอนได้เกือบทั้งหมด และในงานวิจัยนี้พบว่า ทุกการทดลองจะมีการเพิ่มขึ้นของปริมาณคาร์บอนอินทรีย์อย่างเห็นได้ชัด และมีการเพิ่มมากในชุดการทดลองที่มีการเติมแป้งมันให้ เมื่อพิจารณาว่าการเพิ่มขึ้นของปริมาณคาร์บอนอินทรีย์น่าจะมีความสัมพันธ์กับปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ที่ถูกกำจัด จึงได้เปรียบเทียบข้อมูลดังกล่าวและได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.18 - 4.21

ตารางที่ 4.18 ปริมาณคาร์บอนรวม (TC) ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ (IC) และปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ (TOC) ของการทดลองที่ 2 น้ำย้อมสีแดง

	ยูเอเอสบีชุดที่ 1			ยูเอเอสบีชุดที่ 2			ยูเอเอสบีชุดที่ 3		
	TC	IC	TOC	TC	IC	TOC	TC	IC	TOC
ในถังสร้างกรด (มก./ล.)	207.0	133.6	73.5	258.4	155.0	103.4	351.3	182.8	168.5
ในน้ำออก (มก./ล.)	204.5	142.2	62.4	250.8	171.0	79.8	342.6	193.7	148.9
ผลต่าง (มก./ล.)	2.5	8.6	11.1	7.6	16.0	23.6	8.7	10.9	19.6
เปอร์เซ็นต์เทียบกับคาร์บอนอินทรีย์ที่ถูกกำจัด	23	77	100	32	68	100	44	56	100

ตารางที่ 4.19 ปริมาณคาร์บอนรวม (TC) ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ (IC) และปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ (TOC) ของการทดลองที่ 3 น้ำย้อมสีน้ำเงิน

	ยูเอเอสบีชุดที่ 1			ยูเอเอสบีชุดที่ 2			ยูเอเอสบีชุดที่ 3		
	TC	IC	TOC	TC	IC	TOC	TC	IC	TOC
ในถังสร้างกรด (มก./ล.)	131.4	98.2	33.3	181.3	126.6	54.7	256.9	153.9	103.0
ในน้ำออก (มก./ล.)	135.8	103.6	32.2	172.0	143.0	29.0	223.3	206.7	16.5
ผลต่าง (มก./ล.)	-4.4	5.4	1.1	9.3	16.4	25.7	33.6	52.8	86.5
เปอร์เซ็นต์เทียบกับคาร์บอนอินทรีย์ที่ถูกกำจัด	-400	491	100	36	64	100	39	61	100

ตารางที่ 4.20 ปริมาณคาร์บอนรวม (TC) ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ (IC) และปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ (TOC) ของการทดลองที่ 4 น้าย้อมสีน้ำเงินสังเคราะห์

	ยูเอเอสบีชุดที่ 1			ยูเอเอสบีชุดที่ 2			ยูเอเอสบีชุดที่ 3		
	TC	IC	TOC	TC	IC	TOC	TC	IC	TOC
ในถังสร้างกรด (มก./ล.)	38.8	17.1	21.8	97.0	37.8	59.1	180.6	54.0	126.5
ในน้ำออก (มก./ล.)	41.0	20.5	20.5	83.6	54.9	28.7	132.6	99.6	33.0
ผลต่าง (มก./ล.)	-2.2	3.4	1.3	13.4	17.1	30.4	48.0	45.6	93.5
เปอร์เซ็นต์เทียบกับคาร์บอนอินทรีย์ที่ถูกกำจัด	-169	262	100	44	56	100	51	49	100

ตารางที่ 4.21 ปริมาณคาร์บอนรวม (TC) ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ (IC) และปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ (TOC) ของการทดลองที่ 5 เปลี่ยนแปลงความเข้มข้น

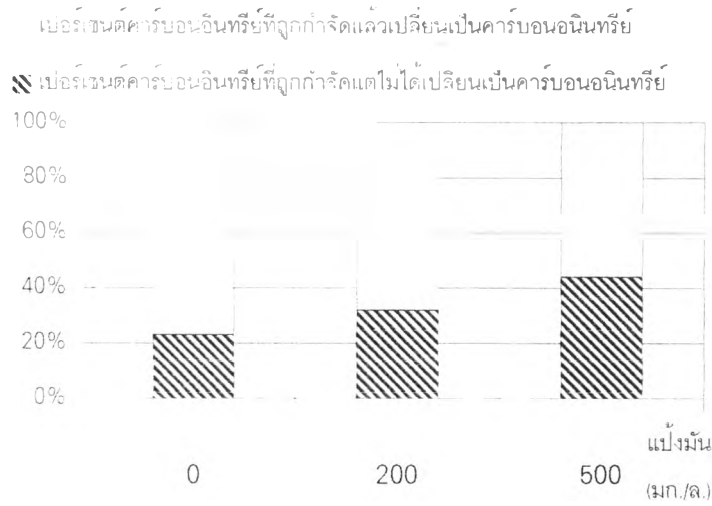
	ยูเอเอสบีชุดที่ 1			ยูเอเอสบีชุดที่ 2			ยูเอเอสบีชุดที่ 3		
	TC	IC	TOC	TC	IC	TOC	TC	IC	TOC
ในถังสร้างกรด (มก./ล.)	171.9	56.5	115.4	170.3	54.4	115.8	175.3	56.1	119.1
ในน้ำออก (มก./ล.)	128.4	100.3	28.0	124.2	103.1	21.1	123.8	106.4	17.4
ผลต่าง (มก./ล.)	43.5	43.8	87.4	46.1	48.7	94.7	51.5	50.3	101.7
เปอร์เซ็นต์เทียบกับคาร์บอนอินทรีย์ที่ถูกกำจัด	50	50	100	49	51	100	51	49	100

เมื่อพิจารณาตัวเลขต่างๆ ในตารางที่ 4.18 ถึง 4.21 ข้างต้น จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่า คาร์บอนอินทรีย์ที่ถูกกำจัดไป ส่วนหนึ่งน่าจะเปลี่ยนรูปเป็นคาร์บอนอินทรีย์ และอีกส่วนหนึ่งกลายเป็นก๊าซชีวภาพไป (สำหรับชุดที่มีก๊าซชีวภาพเกิดขึ้น) จากตารางที่ 4.18 ในการทดลองกับสีแดง จะเห็นว่าในชุดที่ไม่ได้เติมแบคทีเรียให้มีการเปลี่ยนรูปไปเป็นคาร์บอนอินทรีย์ถึง 77% ของคาร์บอนอินทรีย์ที่ถูกกำจัดไป แสดงว่าการย่อยคาร์บอนอินทรีย์ในถังสร้างมีเทนส่วนใหญ่จะไม่ใช้การทำงานของแบคทีเรียสร้างมีเทน เพราะปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นแทบจะไม่มีหรือมีน้อยมาก ดังนั้น จึงน่าจะเป็นแบคทีเรียชนิดอื่นที่สามารถย่อยสารอินทรีย์แล้วผลิตคาร์บอนอินทรีย์ขึ้นมาได้ เช่น แบคทีเรียรีดิคัลเฟต ซึ่งจะผลิตไปคาร์บอนเนตขึ้นมา

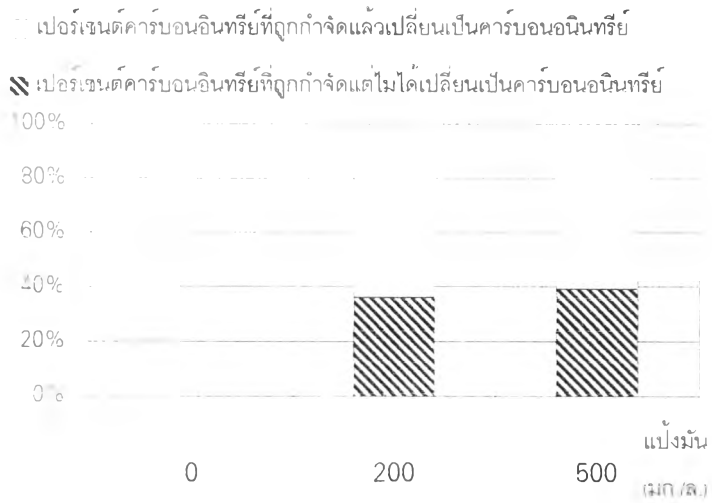
นอกจากนี้ ยังมีความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ของปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นกับความเข้มข้นแอมโมเนียที่เติมให้ พิจารณาได้ในรูปที่ 4.74 จะเห็นว่าเปอร์เซ็นต์คาร์บอนอินทรีย์ที่ผลิตเพิ่มขึ้นมาจะลดลงเมื่อความเข้มข้นแอมโมเนียที่เติมให้มากขึ้น และเป็นลักษณะนี้เช่นเดียวกันทั้ง 3 การทดลอง (การทดลองที่ 2 ถึง 4) แสดงว่าในระบบที่มีแอมโมเนียที่เติมให้น้อยๆ จะมีการทำงานของแบคทีเรียชนิดอื่นที่ไม่ได้สร้างมีเทนมากกว่าและยังมีผลิตภัณฑ์เป็นคาร์บอนอินทรีย์อีกด้วย

และเมื่อเติมแอมโมเนียให้มากขึ้น แบคทีเรียสร้างมีเทนทำงานได้มากขึ้นจึงผลิตก๊าซชีวภาพจากการย่อยสลายอินทรีย์มากขึ้น ทำให้สัดส่วนการเปลี่ยนคาร์บอนอินทรีย์ที่ถูกกำจัดเป็นคาร์บอนอินทรีย์จึงน้อยลง และเมื่อพิจารณาว่า 50% ของคาร์บอนอินทรีย์ที่ถูกกำจัดเปลี่ยนเป็นก๊าซชีวภาพซึ่งมีเปอร์เซ็นต์มีเทนมากกว่า 90% เกือบทุกการทดลอง ดังนั้นคาร์บอนอินทรีย์อีก 50% จึงควรเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ แต่ปริมาณนี้กลับไปแสดงในค่าปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นแทน จึงอาจกล่าวได้ว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สามารถเปลี่ยนรูปเป็นไบคาร์บอเนตได้เกือบทั้งหมด แต่จะด้วยกลไกใดนั้นไม่สามารถอธิบายได้ เพราะมีความขัดแย้งกันอยู่ เนื่องจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายน้ำสามารถเปลี่ยนไปเป็นกรดคาร์บอนิก ( $H_2CO_3$ ) ได้เพียง 0.16% เท่านั้น (Snoeyink and Jenkins, 1980) และจากนั้นกรดคาร์บอนิกก็จะแตกตัวให้ไบคาร์บอเนต ( $HCO_3^-$ ) ได้ต่อไป ดังนั้นการเปลี่ยนรูปก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายน้ำให้เป็นไบคาร์บอเนตได้เกือบทั้งหมดนั้น จึงเป็นเพียงข้อสันนิษฐานเท่านั้น ยังไม่สามารถพิสูจน์ว่าเป็นจริงได้ในงานวิจัยนี้

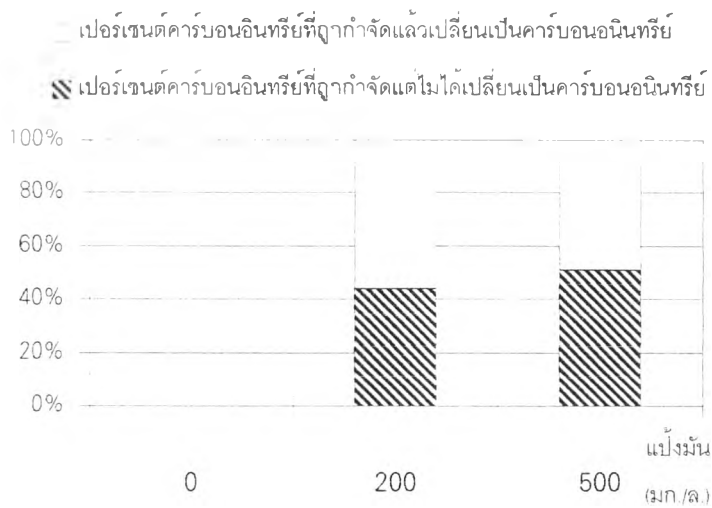
และเมื่อทำการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนรูปคาร์บอนอินทรีย์ที่ถูกกำจัด ในชุดยูเอเอสบีที่มีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นในน้ำเสียที่เตรียม โดยมีการเติมแอมโมเนีย 500 มก./ล. เท่ากัน ปรากฏว่า คาร์บอนอินทรีย์ที่ถูกกำจัดมีการเปลี่ยนเป็นคาร์บอนอินทรีย์ในระดับใกล้เคียงกันทุกความเข้มข้น (รูปที่ 4.75) แสดงว่าในการทดลองกับน้ำย้อมชนิดเดียวกัน สัดส่วนการเปลี่ยนรูปคาร์บอนอินทรีย์ที่ถูกกำจัด จะขึ้นกับความเข้มข้นแอมโมเนียที่เติมให้มากกว่าความเข้มข้น ซึ่งในชุดการทดลองที่เติมแอมโมเนีย 500 มก./ล. นี้ มีสัดส่วนการเปลี่ยนคาร์บอนอินทรีย์ที่ถูกกำจัดให้เป็นคาร์บอนอินทรีย์ประมาณ 50% เป็นการสนับสนุนว่าความเข้มข้นของสีย้อมในน้ำเสีย ไม่ได้ส่งผลกระทบต่อการทำงานของแบคทีเรียในระบบนี้



(ก) นายอมสีแดง



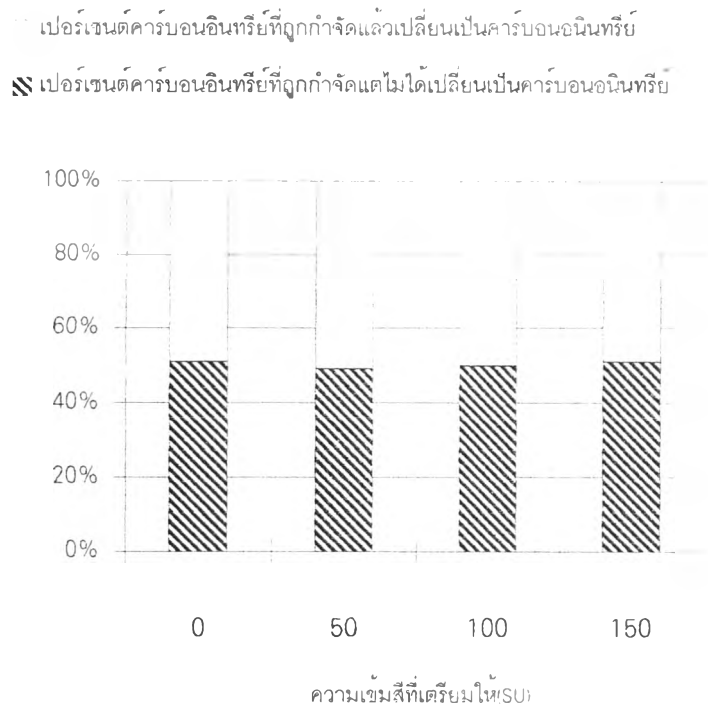
(ข) นายอมสีน้ำเงิน



(ข) นายอมสีน้ำเงิน  
สังกะยะห์

รูปที่ 4.74 เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนรูปคาร์บอนอินทรีย์ที่ถูกกำจัด  
กับความเข้มข้นแ่งมันที่เติมให้

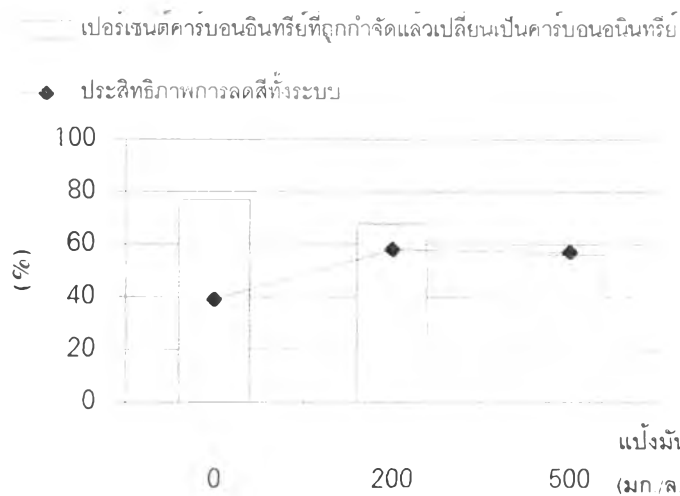




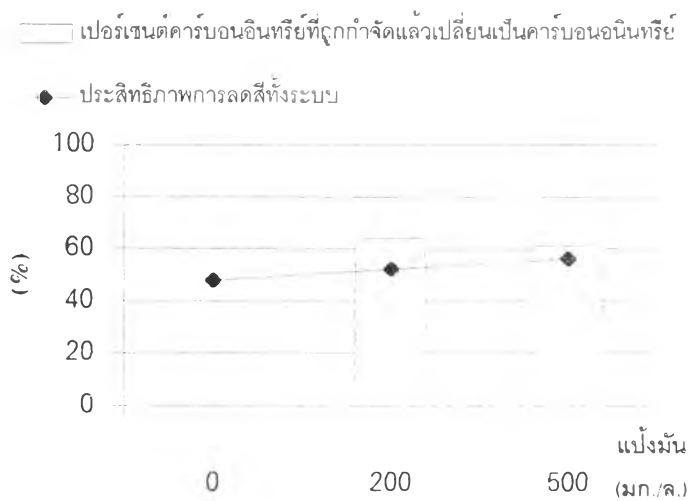
รูปที่ 4.75 เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนรูปคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกกำจัดกับความเข้มข้นสีในน้ำเสียที่เตรียม

เมื่อนำเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์เป็นปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ ไปหาความสัมพันธ์กับการลดสี (รูปที่ 4.76) จะเห็นว่าทุกการทดลองมีแนวโน้มที่ประสิทธิภาพการกำจัดสีมากขึ้น เมื่อเปอร์เซ็นต์ดังกล่าวลดลง แต่ทั้งนี้ ก็เป็นเพราะปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เพิ่มขึ้นมีความสัมพันธ์กับปริมาณแอมโมเนียที่เติมให้นั่นเอง ดังนั้น อาจกล่าวได้ว่าทั้ง 2 พารามิเตอร์มีความสัมพันธ์กันแบบทางอ้อม คือ ดังก็มีความสัมพันธ์ที่ขึ้นกับความเข้มข้นแอมโมเนียที่เติมให้เหมือนกัน

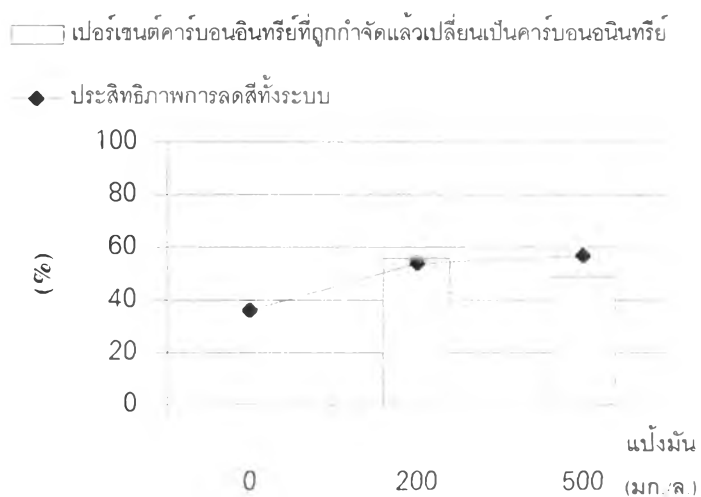
เมื่อพิจารณาเฉพาะชุดที่ไม่ได้เติมแอมโมเนีย จะเห็นว่ายังมีการลดสีอยู่ในระดับพอสมควรระดับหนึ่งทั้ง 3 การทดลอง ทั้งที่ไม่มีการย่อยสลายอินทรีย์เกิดขึ้นสักเท่าไรนัก แต่กลับมีการผลิตคาร์บอนไดออกไซด์มากขึ้นดังที่กล่าวไปแล้วในตารางที่ 4.18 ถึง 4.21 แสดงว่าการลดสีในยูเอเอสบีชุดที่ไม่ได้มีการเติมแอมโมเนีย เป็นการทำงานของแบคทีเรียที่ไม่ได้สร้างมีเทนเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งอาจเป็นแบคทีเรียที่สามารถผลิตคาร์บอนไดออกไซด์ด้วย



(ก) น้ำย้อมสีแดง



(ข) น้ำย้อมสีน้ำเงิน



(ค) น้ำย้อมสีน้ำเงิน  
สังกะสี

รูปที่ 4.76 ความสัมพันธ์ระหว่างคาร์บอนอินทรีย์กับการลดสี

และเมื่อเติมแอมโมเนียในระดับ 200 มก./ล. ซึ่งถือว่าเป็นปริมาณที่ยังน้อยอยู่ ก็ยังไม่มีการผลิตก๊าซเกิดขึ้นหรือมีก็เพียงเล็กน้อย แต่การลดสีมีมากขึ้นกว่าในชุดที่ไม่ได้เติมแอมโมเนียอย่างเห็นได้ชัด แสดงว่าการลดสีส่วนใหญ่เป็นเพราะแบคทีเรียที่ไม่ได้สร้างมีเทนอีกเช่นกัน และก็อาจไม่ใช่แบคทีเรียที่ผลิตคาร์บอนไดออกไซด์ด้วย เนื่องจากมีการเปลี่ยนรูปคาร์บอนอินทรีย์เป็นคาร์บอนไดออกไซด์น้อยลง ดังนั้น การลดสีในระบบจึงน่าจะเป็นการทำงานของแบคทีเรียกลุ่มที่เหลือ คือ พวกที่สร้างกรด ซึ่งยังสามารถลดสีได้เพิ่มขึ้นเมื่อมีแอมโมเนียเพิ่มขึ้น

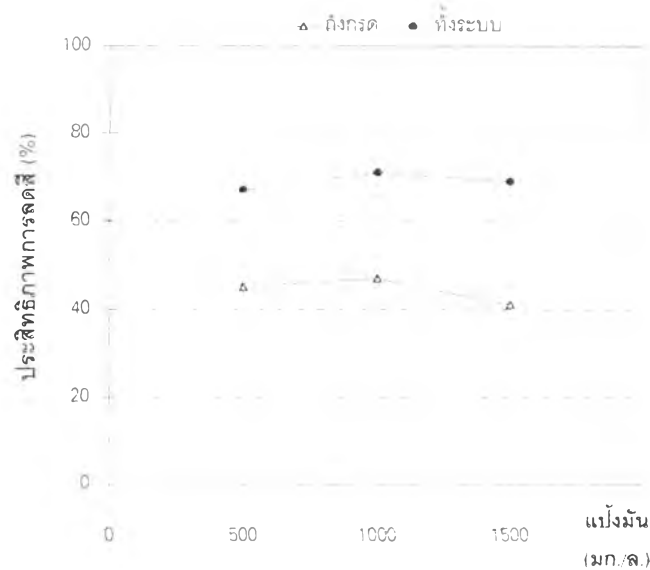
เมื่อมีการเติมแอมโมเนียถึงระดับ 500 มก./ล. ประสิทธิภาพการลดสีเพิ่มขึ้นอีกเล็กน้อย แต่กลับมีปริมาณก๊าซเกิดขึ้นพอสมควร และเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ลดลง แสดงว่าการลดสีที่เพิ่มขึ้นอาจมีสาเหตุได้ 2 กรณีคือ เกิดจากการทำงานของแบคทีเรียสร้างมีเทน หรือแบคทีเรียที่ไม่ได้สร้างมีเทนมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นเมื่อได้รับแอมโมเนียเพิ่มขึ้นอย่างใดอย่างหนึ่ง หรืออาจเกิดรวมกันทั้ง 2 กรณี แต่เมื่อมีการเติมแอมโมเนียให้มากกว่า 500 มก./ล. (ในการทดลองกับน้ำขี้มอดดำ) กลับพบว่าการลดสีแทบจะไม่เปลี่ยนแปลง แต่มีปริมาณก๊าซเพิ่มขึ้น จึงอาจกล่าวได้ว่า การทำงานของแบคทีเรียสร้างมีเทนที่เพิ่มขึ้น (มีปริมาณก๊าซชีวภาพเพิ่มขึ้น) ไม่ได้มีประสิทธิภาพในการลดสีเพิ่มขึ้น แต่ทำให้คาร์บอนอินทรีย์เปลี่ยนรูปไปเป็นก๊าซมากกว่าเป็นคาร์บอนไดออกไซด์

จึงอาจสรุปได้ว่า ในน้ำเสียสีย้อมชนิดหนึ่งๆ ที่มีการเติมแอมโมเนียให้น้อยๆ หรือไม่เติม การทำงานของแบคทีเรียส่วนใหญ่ จะเป็นการลดสีในน้ำเสียโดยแบคทีเรียที่ไม่ได้สร้างมีเทน และไม่คอยมีการย่อยสลายอินทรีย์เท่าไรนัก นอกจากนี้ การเติมแอมโมเนียทำให้แบคทีเรียที่ไม่ได้สร้างมีเทนนี้มีประสิทธิภาพการลดสีมากกว่าการไม่เติม ส่วนในน้ำเสียสีย้อมที่มีแอมโมเนียที่เติมให้มากกว่า 500 มก./ล. จะยังคงมีการลดสีอยู่ในระดับหนึ่ง แต่การทำงานส่วนใหญ่จะเป็นการย่อยสลายอินทรีย์โดยแบคทีเรียที่สร้างมีเทน ทำให้ในระบบที่มีการเติมแอมโมเนียมากขึ้น การลดสีก็ยังคงเป็นเช่นเดิม แต่มีปริมาณก๊าซเพิ่มขึ้น ดังนั้น การลดสีด้วยระบบไร้อากาศนี้ จึงไม่จำเป็นต้องมีการเติมแอมโมเนียให้มากกว่า 500 มก./ล.

#### 4.6 กลไกการลดสีด้วยระบบไร้อากาศ

ในงานวิจัยที่ผ่านมากที่เกี่ยวกับการลดสีชนิดอะโซ (-N=N-) และมีการวิเคราะห์โครงสร้างสี และผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการสลายตัวของสี (Carliell et al., 1995 ; Oxspring et al., 1996 ; Razo-Flores et al., 1997) ส่วนใหญ่แล้วมักจะระบุว่า มีการสลายพันธะของสีนี้ด้วยการทำหน้าที่เป็นสารรีดิวซ์อิเล็กตรอนตัวสุดท้าย เข้าไปรีดิวซ์อิเล็กตรอนจากสารโคเอนไซม์ที่ถูกรีดิวซ์มาแล้ว NADH และ FADH<sub>2</sub> แล้วเกิดเป็นสารประกอบประเภทอะมีนขึ้นมา (-NH<sub>2</sub>-) แสดงว่าจำเป็นจะต้องมีสารให้อิเล็กตรอนที่จะสามารถให้อิเล็กตรอนกับโคเอนไซม์ทั้ง 2 ตัวก่อน เพื่อให้อยู่ในสภาพถูกรีดิวซ์ แล้วจึงมีการถ่ายเทอิเล็กตรอนไปให้กับพันธะอะโซของสีอีกที ดังนั้นในงานวิจัยเหล่านี้ มักจะมีการเติมสารให้อิเล็กตรอน เช่น กลูโคส หรือ แป้ง ฯลฯ (Carliell et al., 1995 ; Nigam et al., 1996 ; Knapp และ Newby, 1995) หรือไม่ก็มีการผสมน้ำเสียที่มีสีย้อมร่วมกับน้ำเสียชุมชนเป็นบางส่วนเพื่อให้มีแหล่งคาร์บอน (Randall, 1993)

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้มีสมมติฐานที่ว่า ถ้ามีการเติมสารให้อิเล็กตรอนมากขึ้น การสลายพันธะสีย่อมก็น่าจะมากขึ้นจนหมดได้ แต่จากผลการทดลองที่ได้เสนอไปแล้ว แสดงให้เห็นว่าในการทดลองกับน้ำย้อมสีดำไม่สามารถลดสีลงได้มากกว่า 70% และการเติมแป้งมันให้มากถึง 1,500 มก./ล. ก็ไม่ทำให้การลดสีมีประสิทธิภาพมากขึ้นสักเท่าไร รูปที่ 4.77 ซึ่งในงานวิจัยของ Knapp และ Newby (1995) ก็มีลักษณะแบบนี้เช่นเดียวกัน



รูปที่ 4.77 ประสิทธิภาพการลดสีในการทดลองกับน้ำย้อมสีดำ

นอกจากนี้ ในชุดทดลองน้ำย้อมสังเคราะห์ ที่ไม่มีการเติมแป้งมันให้เลย (ยูเอเอสบีชุดที่ 1 ของการทดลองที่ 4) กลับมีการลดสีได้ถึง 36% ในถังสร้างมีเทน (ข้อมูลในตารางที่ 4.6) จากผลการทดลองที่ได้กล่าวมา แสดงว่าการลดลงของสีย้อมในกระบวนการบำบัดแบบไร้อากาศ อาจไม่จำเป็นที่สีจะต้องทำหน้าที่เป็นสารรับอิเล็กตรอนเพียงอย่างเดียว และต้องรับอิเล็กตรอนจากสารให้อิเล็กตรอนที่เติมให้เสมอไป

จากงานวิจัยของ Razo-Flores และคณะ (1997) ได้ศึกษาการกำจัดสีย้อม Azodisalicylate (ADS) และพบว่า มี สาร 5-aminosalicylic acid ซึ่งเป็นสารอะโรมาติกอะมีนที่เป็นองค์ประกอบของโครงสร้างสี ADS เพียงเล็กน้อยในน้ำที่ผ่านการบำบัด แสดงว่าสารอะโรมาติกอะมีนชนิดนี้สามารถย่อยสลายได้สมบูรณ์ในสภาวะไร้อากาศ นอกจากนี้ ในการทดลองกับสี ADS โดยไม่มีการเติมน้ำตาลกลูโคสให้ กลับพบว่ามี การลดลงของสีชนิดนี้ถึง 88% (เปรียบเทียบกับ การทดลองที่เติมกลูโคสให้สามารถลดสีได้ถึง 95%) ดังนั้น Razo-Flores และคณะ จึงได้กล่าวว่า การลดลงของสีชนิดนี้ไม่จำเป็นต้องมีสารให้อิเล็กตรอนจากภายนอกที่เติมให้ก็ได้ เพราะแบคทีเรียใช้สาร 5-aminosalicylic acid เป็นสารให้อิเล็กตรอนในการสลายพันธะสีได้

จากที่ได้กล่าวไปแล้วข้างต้น จึงอาจจะใช้ในการอธิบายการลดสีในชุดที่ไม่ได้มีการเติมแป้งมันให้เลยได้ คือ แบคทีเรียอาจใช้เซลล์แบคทีเรียที่ตายเนื่องจากสภาวะมีสารอาหารน้อย (endogenous) เป็นแหล่งคาร์บอนตั้งต้นในการย่อยสลายสี แล้วแบคทีเรียก็ใช้สารประกอบอะมีนที่เกิดจากการสลายตัวของสีโมเลกุลแรกๆ เป็นสารให้อิเล็กตรอนในการสลายพันธะอะโซของสีโมเลกุลต่อไป แต่ขั้นตอนในลักษณะนี้จึงมีข้อจำกัดที่ แหล่งคาร์บอนจากเซลล์ที่ตายข้อมีปริมาณไม่มาก และสารอะโรมาติกอะมีนก็เป็นสารที่ย่อยสลายได้ค่อนข้างยาก โดยเฉพาะในสภาวะไร้อากาศ (เนื่องจากแบคทีเรียในสภาวะไร้อากาศไม่สามารถย่อยสลายสารอะโรมาติกอะมีนได้ดีเท่ากับแบคทีเรียที่ใช้อากาศ) ดังนั้น จึงทำให้ประสิทธิภาพการลดสีในชุดที่ไม่ได้เติมแป้งมันให้น้อยกว่าชุดที่เติมแป้งมันให้

ส่วนการเติมแป้งมันให้มากขึ้นแต่การลดสีกลับไม่เพิ่มขึ้นเท่าใดนัก Razo-Flores และคณะ (1997) ได้อธิบายไว้เช่นกันว่า คาร์บอนที่เพิ่มขึ้นจะช่วยเพิ่มการทำงานของแบคทีเรียสร้างมีเทนเท่านั้น ซึ่งก็สอดคล้องกับในงานวิจัยนี้ เพราะการเติมแป้งมันให้มากขึ้นมีผลทำให้ปริมาณก๊าซชีวภาพมีมากขึ้นเท่านั้น ในกรณีนี้จึงกล่าวได้ว่า แบคทีเรียที่สร้างมีเทนอาจจะไม่ใช่แบคทีเรียที่ทำหน้าที่ลดสีส่วนใหญ่ในน้ำเสีย

จากการทดลองที่ 3 ในชุดที่มีการเติมแป้งมันให้ทั้ง 2 ชุด ซึ่งคาดว่าจะมีการทำงานของแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตร่วมด้วยในระบบ (เนื่องจากมีปริมาณซัลไฟด์ประมาณ 40-50 มก./ล.) กลับไม่ได้ทำให้ประสิทธิภาพการลดสีมากกว่าในการทดลองที่ 4 ที่เป็นน้ำย้อมสีเดียวกัน แต่มีปริมาณซัลไฟด์เกิดขึ้นน้อยกว่ามาก (ประมาณ 10 มก./ล.) ดังแสดงในตารางที่ 4.22 แสดงว่า แบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตไม่ได้รับกวนการลดสีในน้ำเสีย และยังไม่ใช่แบคทีเรียที่ลดสีส่วนใหญ่ในน้ำเสียเช่นกัน ดังนั้น จึงน่าจะเป็นแบคทีเรียอีกกลุ่มหนึ่งที่สามารถลดสีในน้ำเสียลงได้ เช่น แบคทีเรียสร้างกรด เป็นต้น

ตารางที่ 4.22 ประสิทธิภาพการลดสีในยูเอเอสบีชุดที่ 2 และ 3 ของการทดลองที่ 3 และ 4

การทดลองที่	ยูเอเอสบีชุดที่ 2 (เติมแป้งมัน 200 มก./ล.)	ยูเอเอสบีชุดที่ 3 (เติมแป้งมัน 500 มก./ล.)
3. น้ำย้อมสีน้ำเงิน	52	56
4. น้ำย้อมสีน้ำเงินสังเคราะห์	54	57

นอกจากนี้ การที่ไม่สามารถลดสีให้หมดไปได้ไม่ว่าจะเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นแหล่งคาร์บอนที่เติมให้หรือ ความเข้มข้นในน้ำเสียที่เตรียมก็ตาม อาจเป็นเพราะการลดสีมีความสัมพันธ์กับระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาก็คือ มีระยะเวลาในการทำปฏิกิริยานานมากกว่าเวลากักน้ำในระบบ ทำให้ยังมีสีบางส่วนที่ยังไม่ได้ทำปฏิกิริยาหลงเหลือไปกับน้ำออก หรืออาจเรียกได้ว่าสีย้อมเหล่านี้มีครึ่งชีวิต (half life) ค่อนข้างนาน

ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่า สีที่มีพันธะอะโซจะทำหน้าที่เป็นสารรับอิเล็กตรอน โดยสารให้อิเล็กตรอนอาจไม่จำเป็นต้องมาจากแหล่งคาร์บอนที่ย่อยได้ง่ายเท่านั้น อาจมาจากผลผลิตของการสลายตัวของสีเอง หรือจากการย่อยเซลที่ตายเนื่องจากมีอาหารน้อยก็ได้ แต่ประสิทธิภาพการลดสีจะแตกต่างกัน เพราะความยากง่ายของการย่อยสารให้อิเล็กตรอนดังกล่าวต่างกั นนั่นเอง และการลดสีก็ไม่จำเป็นต้องใช้สารให้อิเล็กตรอนในปริมาณมากๆ ด้วย ซึ่งเป็นข้อดีในการนำไปใช้ประโยชน์ในงานบำบัดน้ำเสียจริง และการใช้ระยะเวลาในการกักน้ำของระบบให้นานมากกว่างานวิจัยนี้ อาจทำให้มีประสิทธิภาพการลดสีดีขึ้น