บทที่ 4

ผลการทดลอง

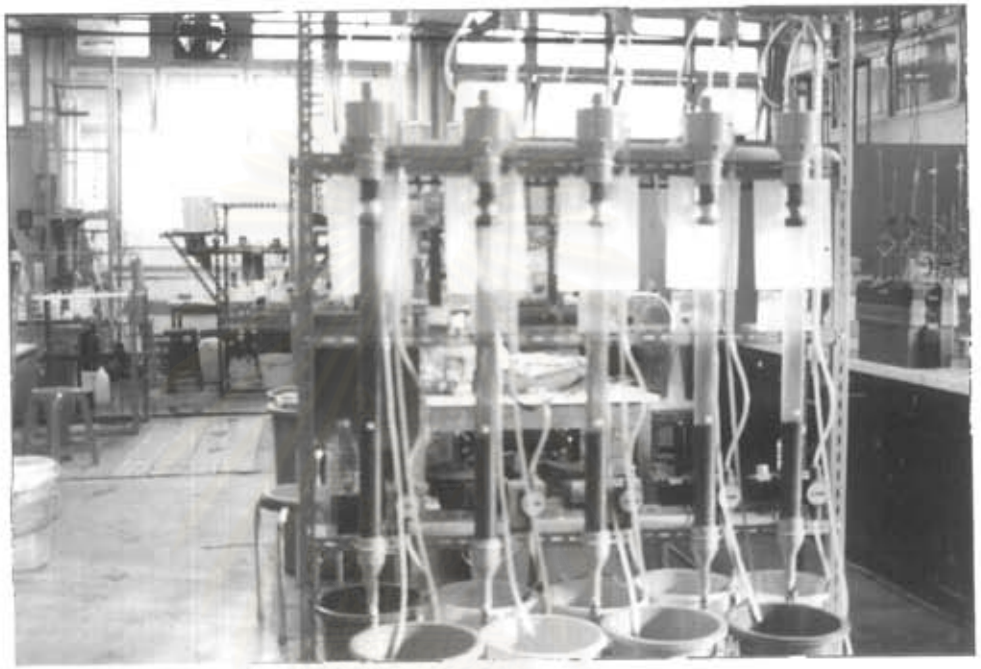
4.1 การทดลองเดินระบบเพื่อหาเวลากัก (HRT) ที่เหมาะสม

เกณฑ์การออกแบบระบบยูเอเอสบีสำหรับงานบำบัดน้ำเสียที่ย่อยได้ง่าย และความเข้มข้นต่ำ ใช้เวลากักน้ำประมาณ 4-6 ชม. (Lettinga,1991) งานวิจัยนี้จึงเลือกใช้ระบบที่มีเวลากักน้ำ 8 ชม. ก่อนเริ่มเดินระบบตามขอบเขตการวิจัย มีการทดลองเดินระบบเพื่อหาเวลากักที่เหมาะสมในการเดินระบบจริง โดยนำถังปฏิกิริยาแต่ละชุดมาจัดเรียงต่อกันแบบอนุกรม น้ำเสียเข้าระบบผ่านถังปฏิกิริยาชุดที่ 1 ไปยังถังที่ 2 และ 3 ตามลำดับ จนถึงถังปฏิกิริยาชุดที่ 5 ทำให้เวลากักน้ำของระบบรวมทั้ง 5 ชุด นานขึ้น เสมือนใช้ถังปฏิกิริยาขนาดใหญ่ที่มีเวลากักน้ำนาน น้ำเสียป้อนเข้าระบบเตรียมจากน้ำย้อมสีแดงเข้มข้น นำมาเจือจางให้มีความเข้มสี 100 เอสยู เติมสารอาหารที่จำเป็น และน้ำตาลทราย 500 มก/ล. (วัดในรูป ซีโอดี)

วัดความเข้มสีน้ำผ่านการบำบัดจากคอลัมน์ (ถังปฏิกิริยา) แต่ละชุด ได้ผลตามลำดับจากชุดที่ 1 - 5 คือ 100 45 27 26 และ 24 เอสยู ขอให้สังเกตสีของน้ำในคอลัมน์แต่ละชุดในรูปที่ 4.1 จะเห็นว่ามีสีเข้มในคอลัมน์ที่ 1 แล้วมีสีจางลงมากในคอลัมน์ที่ 2 และ 3 ส่วนในคอลัมน์ที่ 4 และ 5 สีลดลงกว่าคอลัมน์ที่ 3 เพียงเล็กน้อย แสดงว่ากลไกการกำจัดสีของระบบต้องการเวลานานกว่าการกำจัดสารอินทรีย์ที่ย่อยได้ง่ายทั่วไป จึงพยายามปรับแผนการทดลองการเดินระบบจริงให้ได้เวลากักในถังปฏิกิริยาแต่ละชุดนานกว่าที่คาดไว้เพียง 8 ชม. ในแผนการทดลองเบื้องต้นปัญหาที่ตามมาคือ ชุดทดลองชุดนี้ใช้ถังปฏิกิริยาขนาดปริมาตรความจุ 3 ลิตร ป้อนน้ำเข้าระบบด้วยเครื่องสูบน้ำแบบไดอะแฟรม ปรับอัตราการไหลโดยการปรับความยาวช่วงชักแผ่นไดอะแฟรมที่มีอัตราสูบสูงสุด 20 มล/นาที หากต้องการเวลากัก 24 ชม. ต้องปรับให้เครื่องสูบน้ำทำงานที่อัตราสูบ 2 มล/นาที ซึ่งน้อยเกินไปอัตราสูบจะไม่คงที่ จึงเลือกใช้อัตราสูบต่ำสุดประมาณ 4.2 มล/นาที (ร้อยละ 20 ของอัตราสูบสูงสุด) ได้เวลากักในถังปฏิกิริยาแต่ละชุด 12 ชม.

นอกจากนี้ยังพบว่าบางวันที่เครื่องสูบน้ำดัน ไม่มีการสูบน้ำเข้าระบบ หลังจากเตรียมน้ำใหม่ป้อนเข้าระบบในระยะแรกเห็นได้ชัดว่าน้ำสีส่วนที่สัมผัสเชื้อนานกว่าปกติ (เนื่องจากไม่มีการสูบน้ำเข้าระบบจึงเสมือนว่าเวลากักน้ำนานขึ้น) มีสีจางลงกว่าส่วนที่ไม่สัมผัสเชื้ออย่างเห็นได้ชัด ในรูปที่ 4.2 หลังจากป้อนน้ำเข้าระบบประมาณ 1-2 ชม. น้ำส่วนนี้จะผสมกับน้ำสีส่วนที่มีสีเข้ม

จนมองไม่เห็นความแตกต่าง เป็นการยืนยันว่าถ้าให้เวลาในการทำปฏิกิริยานานมากกว่า 8 ชม. ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อม แต่จากภาพรวมการทำงานของระบบที่นำมาต่ออนุกรมเข้าด้วยกัน การเพิ่มเวลากักให้นานกว่า 24 ชม. ไม่ช่วยกำจัดสีเพิ่มขึ้นมากนัก แต่จะทำให้ต้องใช้ถังปฏิกิริยาขนาดใหญ่เกินความจำเป็น



รูป 4.1 สีในถังปฏิกิริยาแต่ละชุด เมื่อนำทุกระบบต่ออนุกรมกัน

รูปที่ 4.2 สีที่ฉดลงเนื่องจากสัมผัสอยู่กับเชื้อนาน

4.2 ผลการทดลองชุดที่ 1 น้ำย้อมสีแดง

น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองชุดนี้ เก็บจากน้ำย้อมเข้มข้นในกระบวนการย้อมครั้งที่ 1 ของโรงงานฟอกย้อมแห่งหนึ่ง เป็นน้ำย้อมสีแดงเข้มจากการผสมกันของสีย้อม 3 ชนิด ได้แก่ สีแดง สีส้ม และสีน้ำเงิน ในสัดส่วน ต่างๆ กัน สีหลักของน้ำย้อมคือสีแดง Ciba Red FNR มีสัดส่วนร้อยละ 86.7 ของปริมาณสีทั้งหมดที่ใช้ และไม่สามารถหาสูตรโครงสร้างของสีชนิดนี้ได้ เมื่อพิจารณาจากชื่อทางการค้า บอกได้ว่าเป็นสีรีแอกทีฟที่มีโครงสร้างกลุ่มทำปฏิกิริยายึดติดกับเส้นใยแบบ aminofluorotriazing (โสภา, 2540) ซึ่งเป็นสีย้อมที่มีกลุ่มทำปฏิกิริยายึดติดกับเส้นใยเพียงกลุ่มเดียว (monofunctional)

น้ำย้อมเข้มข้นที่เก็บจากโรงงานมีคลอไรด์สูงประมาณ 60,000 มก./ล. หลังจากเจือจางตามขั้นตอนการเตรียมน้ำเพื่อใช้ป้อนเข้าระบบแล้วยังคงมีปริมาณคลอไรด์สูง รบกวนการวิเคราะห์ซีโอดี ต้องแก้ไขการรบกวนดังกล่าวตามวิธีใน Standard Method (1995)

การทดลองชุดนี้ใช้เวลาเดินระบบทั้งสิ้น 180 วัน ระยะเวลา 70 วันแรกเป็นช่วงให้เชื้อในระบบปรับตัวเข้ากับสารอาหารใหม่ และสีย้อม ระบบยังไม่เข้าสู่สภาวะคงตัว การนำข้อมูลมาหาค่าเฉลี่ยต่างๆ ใช้ช่วงวันที่ 71-131 ของการเดินระบบ ค่าเฉลี่ยของตัวแปรต่างๆ จากการทดลองแสดงในตารางที่ 4.1 ช่วงหลังจากวันที่ 131 เป็นช่วงที่จะปิดการทดลอง การเก็บตัวอย่างแต่ละค่าห่างกัน ความพิถีพิถันในการเตรียมน้ำเสียเข้าระบบลดลงเช่น เปลี่ยนจากการเตรียมน้ำใหม่ป้อนเข้าระบบทุกวัน วันละ 6 ลิตร เป็นการเตรียมน้ำมากขึ้นเป็นวันละ 12 ลิตร ให้สามารถเดินระบบได้ 2 วันต่อเนื่อง บางครั้งไม่ล้างถังก่อนการเตรียมน้ำใหม่ แต่การทำเช่นนี้กลับทำให้ค้นพบโดยบังเอิญว่า ประสิทธิภาพการลดสีเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ และน้ำเสียที่เหลืออยู่ในภาชนะเตรียมน้ำมีสีลดลง ซึ่งน่าสนใจ จึงปรับแผนการทดลองสำหรับการทดลองชุดที่ 2 ตามรายละเอียดในหัวข้อ 4.3

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.1 สรุปค่าเฉลี่ยของตัวแปรต่าง ๆ จากการทดลองที่ 1 (น้ำย้อมสีแดง)

ตัวแปรที่วัด			Blank		น้ำตาลทราย		เมธานอล		ไขมัน		โปรตีน	
			น้ำเสีย	น้ำออก	น้ำเสีย	น้ำออก	น้ำเสีย	น้ำออก	น้ำเสีย	น้ำออก	น้ำเสีย	น้ำออก
ความเข้มสี (SU)		เฉลี่ย	103	57	106	49	104	55	114	63	143[1]	33
	n = 24	SD.	3	5	5	6	3	6	9	4	10	5
ประสิทธิภาพการกำจัดสี		เฉลี่ย		45		53		47		45		77
(ร้อยละ)	n = 24	SD.		5		5		6		5		3
พีเอช		เฉลี่ย	7.12	7.49	9.29	7.02	7.13	6.98	7.13	7.03	9.3	7.76
	n = 24	SD.	0.19	0.08	0.19	0.19	0.19	0.11	0.18	0.10	0.20	0.18
อุณหภูมิ		เฉลี่ย	28.9	30.0	28.7	30.0	28.9	30.0	28.9	30.0	28.8	30.0
(องศาเซลเซียส)	n = 24	SD.	0.74	0.83	0.76	0.75	0.76	0.79	0.76	0.76	0.80	0.90
โออาร์พี (ORP)		เฉลี่ย		-251		-283		-289		-294		-315
(มิลลิโวลท์)	n = 25	SD.		19		19		20		17		20
ซีโอดี (COD)		เฉลี่ย	257	228	751	533	647	412	720	368	725	460
(มิลลิกรัม/ลิตร)	n = 23	SD.	26	30	60	32	84	44	170	40	63	68
ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี		เฉลี่ย		11		29		35		45		36
(ร้อยละ)	n = 23	SD.		12		7		12		21		12
สภาพด่างทั้งหมด		เฉลี่ย	532	605	703	747	533	597	536	603	706	814
(มิลลิกรัม/ลิตรas $CaCO_3$)	n = 24	SD.	21	23	16	25	20	22	15	16	20	19
กรดไขมันระเหย		เฉลี่ย	169	172	166	336	169	223	172	224	165	308
(มิลลิกรัม/ลิตรas $CaCO_3$)	n = 24	SD.	17	16	25	19	16	23	16	14	23	21
ปริมาณกาซ (มิลลิลิตร)		เฉลี่ย	ไม่มี		67		100		0.5		206	
	n = 61	SD.	การผลิตกาซ		31		58		0.5		50	
สัดส่วนกาซมีเทน		เฉลี่ย			32		51				56	
(ร้อยละ)	n = 5	SD.			8		1				1	

[1] ตัวอย่างน้ำหลังแยกสิ่งสกปรกด้วยการปั่นหวี่ยง (centrifocal) ยังคงมีความขุ่นจากอนุภาคนมถั่วเหลือง

4.2.1. ความเข้มสี และประสิทธิภาพการลดสี

การเตรียมน้ำสีก่อนเข้าระบบ ใช้วิธีเตรียมโดยผสมสีในถังเดียวกันขนาด 30 ลิตรให้มีความเข้มสี 100 เอสยู จากนั้นจึงแบ่งออกเป็น 5 ถัง ถังละ 6 ลิตร แยกเติมสารอาหารป้อนเข้าแต่ละระบบ การวัดสีน้ำเข้าเก็บตัวอย่างน้ำจากถังเตรียมน้ำแต่ละถัง แล้วจึงนำไปปั่นด้วยความเร็ว 6000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที เพื่อแยกตะกอนแขวนลอยและนำน้ำใสไปวัดสีด้วยเครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ ยี่ห้อ SHIMUDZU รุ่น UV 1201 แล้วคำนวณพื้นที่ใต้กราฟด้วยโปรแกรม UVPC 37 ออกมาเป็นหน่วย เอสยู ได้ค่าเฉลี่ยตามลำดับสารอาหารจาก BLANK น้ำตาลทราย เมธานอล ไขมัน และโปรตีน คือ 103 106 104 114 และ 143 เอสยู ตามลำดับ ดังตารางที่ 4.2 จากลักษณะวิธีการเตรียมน้ำควรได้ค่าความเข้มสีน้ำเข้าระบบประมาณ 100 เอสยู ใกล้เคียงกัน แต่ในระบบที่ใช้ไขมัน และโปรตีน มีค่าสูงกว่าที่ควรจะเป็น เนื่องจากไขมันเมื่อปั่นผสมกับน้ำเสียจะมีลักษณะเป็นสารแขวนลอยขนาดเล็ก สีขาวขุ่นละลายปนกับน้ำ หรืออยู่ในสภาพอีมัลชั่น(emulsion) เมื่อนำตัวอย่างน้ำไปปั่นเหวี่ยงแยกสิ่งสกปรกก่อนการวัดสีด้วยความเร็ว 6000 รอบต่อนาที นาน 15 นาที อนุภาคไขมันขนาดเล็กยังคงหลงเหลืออยู่บ้างและมีผลทำให้ค่าการดูดกลืนคลื่นแสงสูงขึ้น จึงเสมือนว่ามีค่าความเข้มสีสูงขึ้น ส่วนในกรณีของโปรตีนเมื่อเติมน้ำนมถั่วเหลืองลงผสมกับน้ำเสียแม้จะมีสีแดงเป็นพื้นอยู่ แต่จะเห็นสีดังกล่าวเป็นสีขาวขุ่นของอนุภาคน้ำนมปนอยู่ด้วย เมื่อนำไปปั่นแยกสิ่งสกปรก อนุภาคน้ำนมจะยังคงเหลืออยู่ ทำให้ค่าความเข้มสีเข้าระบบเฉลี่ยสูงขึ้นด้วยเหตุผลเดียวกัน แต่หลังจากผ่านระบบยูเอเอสบี อนุภาคไขมันและอนุภาคน้ำนมถูกย่อยสลายไปในกระบวนการบำบัด น้ำที่ออกจากระบบแม้จะมีสีเหลืออยู่แต่ใส ไม่มีความขุ่นรบกวนต่อการวัดสีของน้ำผ่านการบำบัด

ตารางที่ 4.2 ค่าความเข้มสีและประสิทธิภาพการกำจัดสี

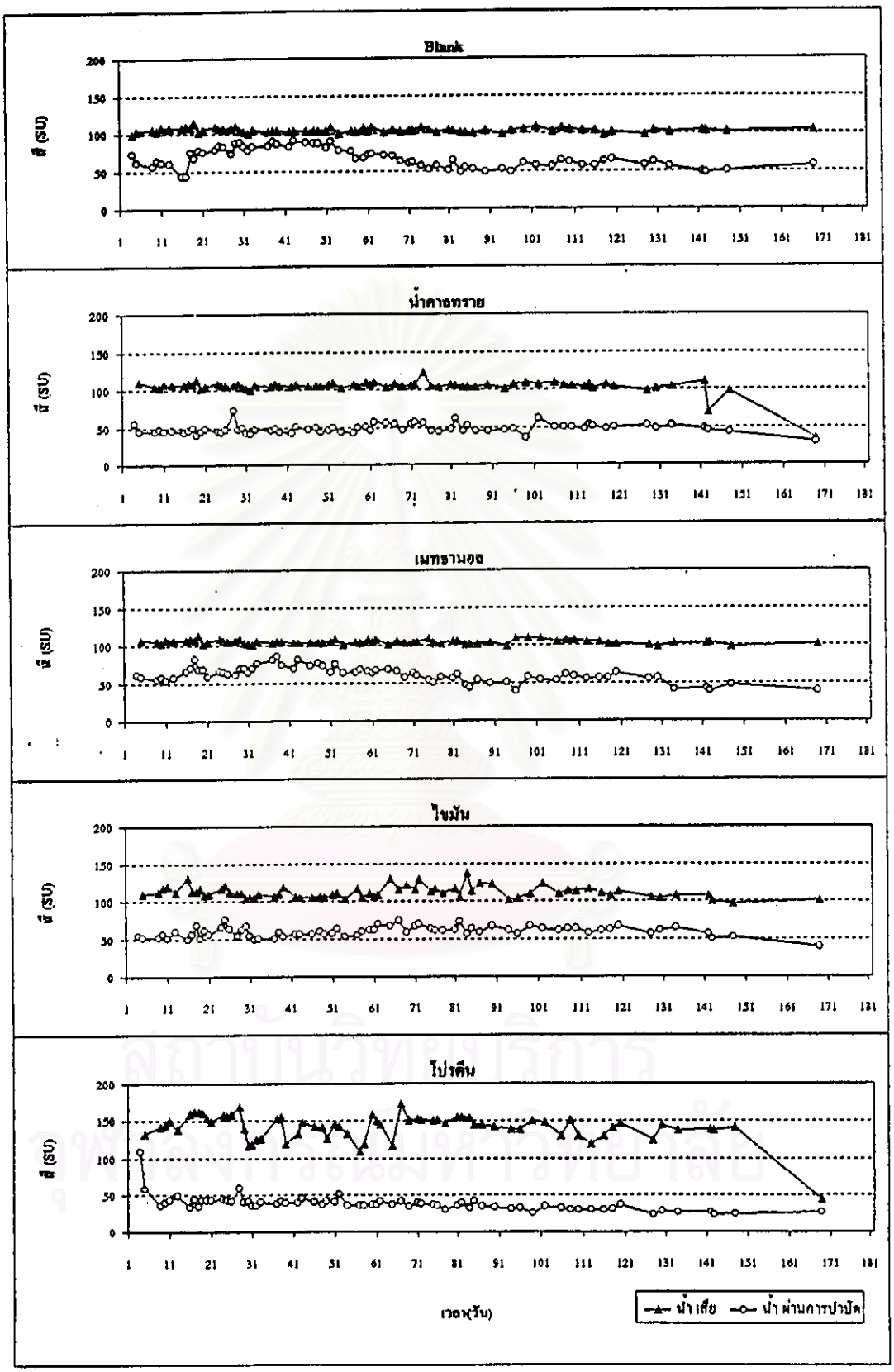
สารอาหาร	ความเข้มสี (เอสยู)		ประสิทธิภาพ
	น้ำเสีย	น้ำผ่านการบำบัด	การกำจัดสี (ร้อยละ)
Blank	103	57	45
น้ำตาลทราย	106	49	53
เมทธานอล	104	55	47
ไขมัน	114[1]	63	45
โปรตีน	143[1]	33	77

[1] ตัวอย่างน้ำมีความขุ่น

เมื่อนำตัวอย่างน้ำผ่านการปาบัดไปแยกสิ่งสกปรกออกด้วยวิธีการเดียวกับการเตรียมตัวอย่างน้ำก่อนการวัดสีของน้ำเสีย พบว่าระบบ Blank ระบบที่ใช้น้ำตาลทราย เมทธานอล ไขมัน และโปรตีน มีค่าความเข้มสีเท่ากับ 57 49 55 63 และ 33 เอสยู ตามลำดับ น้ำผ่านการปาบัดจากระบบที่มีการเติมโปรตีนเป็นสารอาหารเพิ่มมีสีจางลงมากกว่าระบบอื่นอย่างเห็นได้ชัด รองลงมาคือน้ำผ่านการปาบัดจากระบบที่ใช้น้ำตาลทราย และเมทธานอล Blank และไขมัน ประสิทธิภาพการกำจัดสีของระบบBlank ระบบที่ใช้น้ำตาลทราย เมทธานอล ไขมัน และโปรตีน มีค่าเท่ากับร้อยละ 45 53 47 45 และ 77 ตามลำดับ การที่ประสิทธิภาพการกำจัดสีระบบที่ใช้โปรตีนมีค่าสูงถึงร้อยละ 77 เนื่องจากเป็นการคำนวณจากค่าความเข้มสีของน้ำผ่านการปาบัดเทียบกับค่าความเข้มสีน้ำเสีย ซึ่งระบบที่ใช้โปรตีนมีผลจากความขุ่นของอนุภาคน้ำนมทำให้ค่าความเข้มสีน้ำเสียสูงกว่าค่าที่ควรเป็น ผลการคำนวณจึงทำให้ดูเหมือนว่าประสิทธิภาพการกำจัดสีสูงมาก อย่างไรก็ตามเมื่อทดลองคำนวณประสิทธิภาพการกำจัดสีของระบบที่ใช้โปรตีนโดยคำนวณเทียบกับค่าความเข้มสีของน้ำเสียเข้าระบบ Blank (ไม่มีความขุ่น) ได้ประสิทธิภาพการกำจัดสีของระบบลดลงเหลือร้อยละ 68 ซึ่งยังคงมากกว่าระบบอื่น

ก่อนปิดการทดลองชุดที่ 1 ผู้วิจัยพบโดยบังเอิญว่าสีของน้ำเสียมีการลดลงในภาชนะเตรียมน้ำอย่างเห็นได้ชัดเจน (ดังรูปที่ 4.3) เนื่องจากความพิถีพิถันในการเตรียมน้ำเสียน้อยลงดังที่ได้กล่าวมาแล้ว จึงมีการปรับเปลี่ยนแผนการทดลองชุดที่ 2 (น้ำย้อมสีน้ำเงิน) ตามรายละเอียดในหัวข้อ 4.3

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



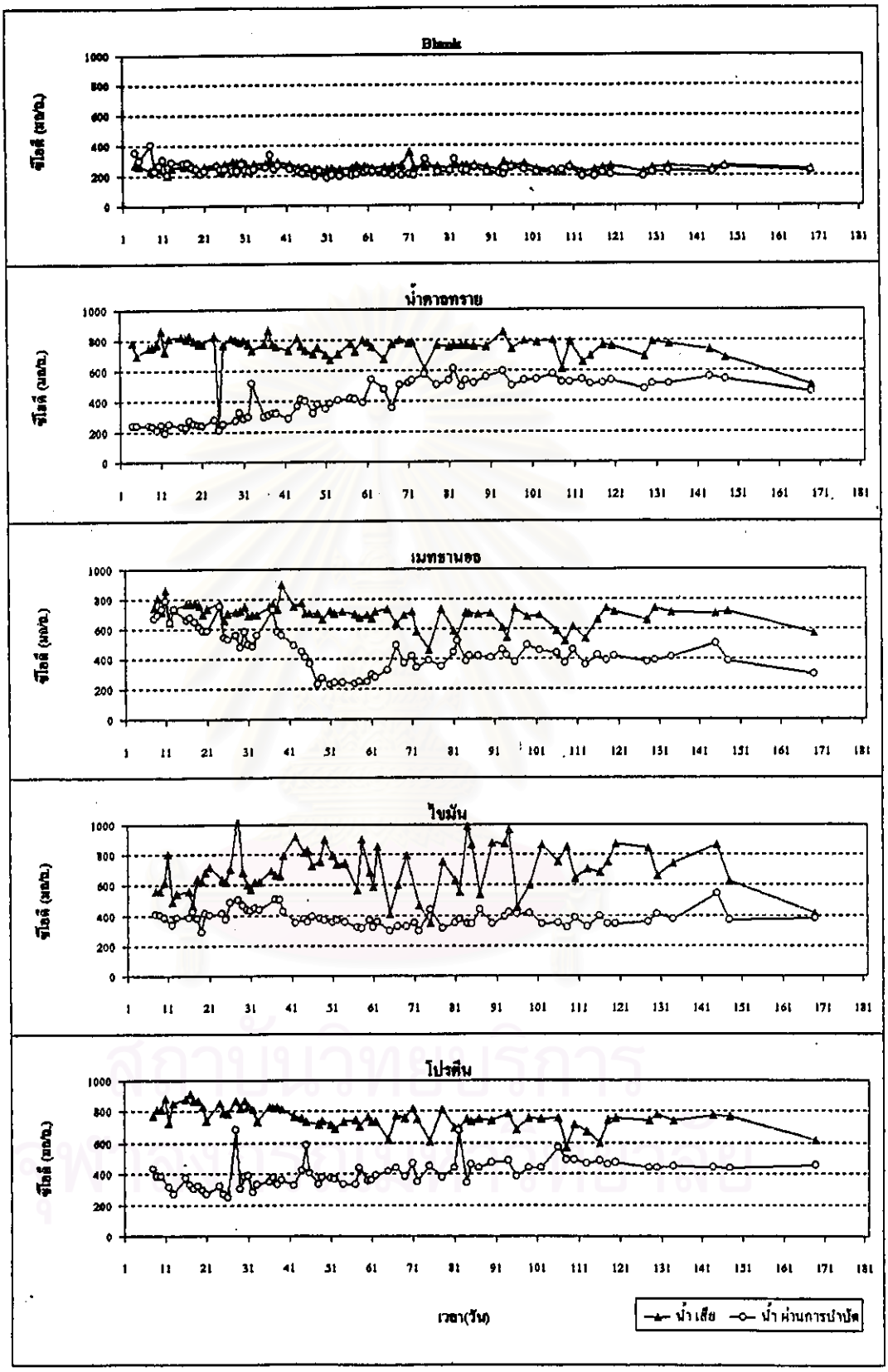
รูปที่ 4.3 ค่าความเข้มสี ตลอดการทดลองที่ 1 น้ำย้อมสีแดง

4.2.2. ซีโอดี และประสิทธิภาพการกำจัด

การวัดซีโอดีของทดลองชุดนี้เป็นการวัดค่าซีโอดีทั้งหมด ไม่มีการกรองตัวอย่างน้ำก่อนการวัด และมีการแก้ความผิดพลาดจากการรบกวนของคลอไรด์ตามวิธี Standard Method (1995) ซีโอดีน้ำย้อมหลังการเจือจางแล้วที่ป้อนเข้ากับระบบ Blank คือ 257 มก./ล. ส่วนระบบที่มีการเติมสารอาหารอื่นเพิ่ม ต้องเติมสารอาหารเพิ่มอีกประมาณ 500 มก./ล. ในการเตรียมน้ำเสียจริงค่าเฉลี่ยซีโอดีเข้าระบบของน้ำตาลทราย เมทธานอล ไขมัน และโปรตีน คือ 751 647 720 และ 725 มก./ล. ตามลำดับ ซึ่งเมทธานอลและไขมันมีความผิดพลาดในขั้นตอนการเตรียมน้ำมาก เนื่องจากเมทธานอลระเหยเร็วและใช้เพียง 0.40 มล./ล. ส่วนไขมันจากกราฟรูปที่ 4.4 เห็นความแปรปรวนในน้ำที่เตรียมเข้าสูงมากเนื่องจากหลายสาเหตุ เช่นใช้ปริมาณน้อยมากเพียง 0.2 มล./ล. ทั้งยังต้องปั่นผสมกับน้ำเสียบางส่วนก่อนแล้วจึงผสมคืน บางครั้งจังหวะการใส่ไขมันลงในเครื่องปั่นทำให้ไขมันติดอยู่บริเวณภาชนะบ้าง หรือเวลาในการปั่นผสมที่แม้จะพยายามใช้เวลาเท่าๆ กัน แต่ก็มีผลทำให้ไขมันผสมแล้วแตกตัวแยกออกมาจากน้ำเสียได้ต่างกัน รวมถึงระยะเวลาหลังจากเตรียมน้ำจนถึงเวลาเก็บตัวอย่างที่ไม่เท่ากันในแต่ละวันล้วนมีผลต่อค่าซีโอดีทั้งสิ้น ค่าซีโอดีของน้ำผ่านการบำบัดรวบรวมไว้ใน ตารางที่ 4.3 ระบบที่มีการเติมสารอาหารเพิ่มทั้ง 4 ระบบ มีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีสูงกว่าระบบ Blank และระบบที่ใช้ไขมันมีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีสูงที่สุดมีค่าเท่ากับร้อยละ 45 ผู้วิจัยสังเกตจากการล้างถังเมื่อเตรียมน้ำใหม่แต่ละวันพบว่าถังเตรียมน้ำที่ใช้ไขมันจะมีคราบเหนียวของไขมันติดอยู่ข้างภาชนะ เมื่อเทียบกับปริมาณที่ใช้เพียง 0.2 มล./ล. ไขมันส่วนที่ติดอยู่ข้างถังน่าจะมีนัยสำคัญ ทำให้ดูเหมือนว่าระบบกำจัดซีโอดีได้มากกว่าระบบอื่น รวมทั้งเมื่อเดินระบบไปนานๆ ปรากฏว่ามีผงสีขาวเป็นผงเล็กๆ ติดอยู่ที่ชั้นเชื้อในระบบจำนวนมาก ซึ่งไม่มีในระบบอื่น แม้จะไม่มีการพิสูจน์ทราบว่าเป็นไขมันหรือเชื้อชนิดอื่นเกิดขึ้น แต่เป็นเหตุผลประกอบว่า การกำจัดซีโอดีในระบบที่ใช้ไขมันมีผลกระทบจากปัจจัยภายนอกที่ไม่ใช่การใช้ซีโอดีของเชื้อในระบบมากกว่าระบบอื่นๆ

ตารางที่ 4.3 ค่าซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี

สารอาหาร	ซีโอดี (มก./ล.)		ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี(ร้อยละ)
	น้ำเสีย	น้ำผ่านการบำบัด	
Blank	257	228	11
น้ำตาลทราย	751	533	29
เมทธานอล	647	412	35
ไขมัน	720	368	45
โปรตีน	725	460	36



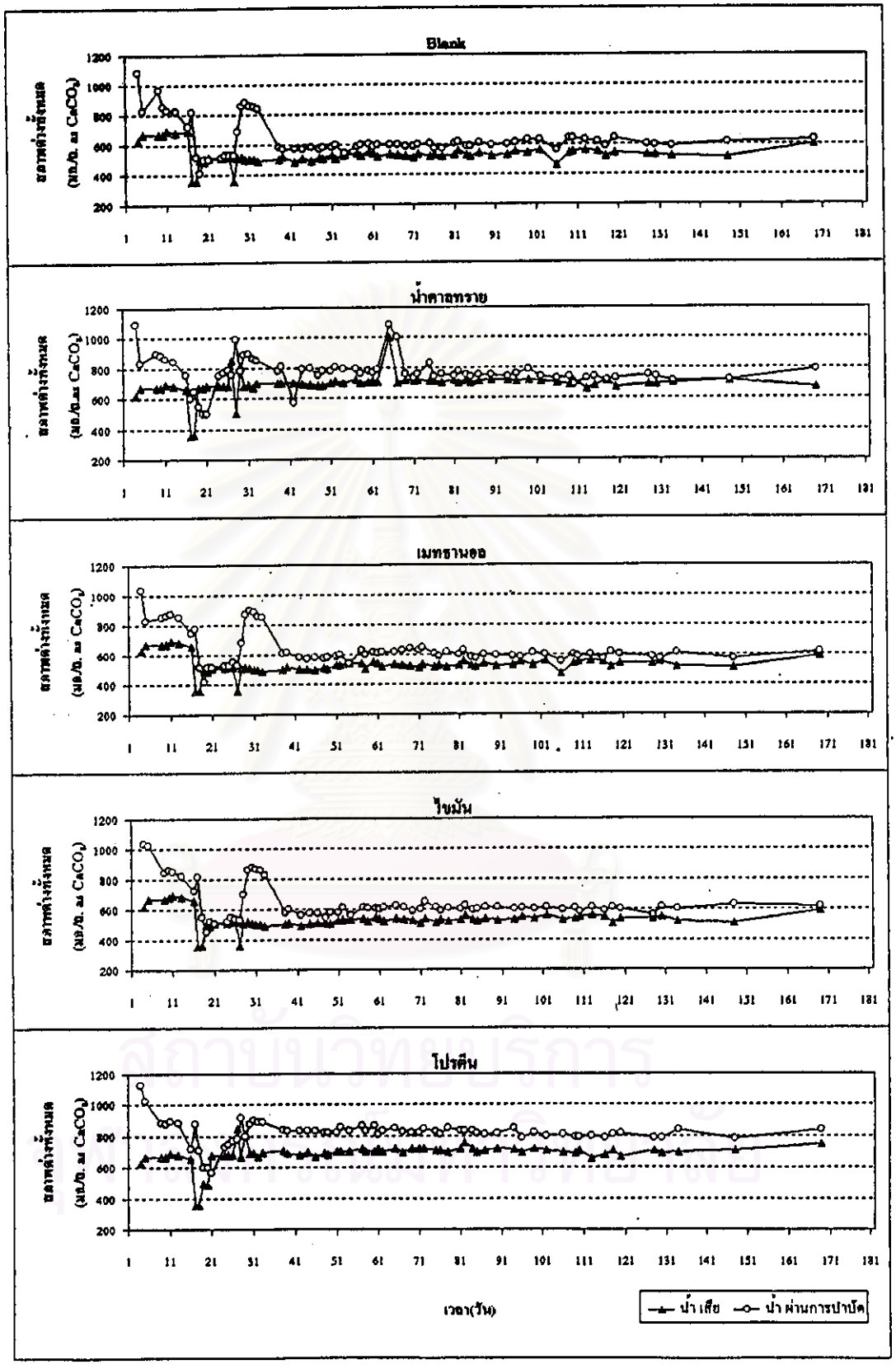
รูปที่ 4.4 ค่าซีโอดี ตลอดการทดลองที่ 1 น้ำย้อมสีแดง

4.2.3. สภาพด่างทั้งหมด และกรดไขมันระเหย

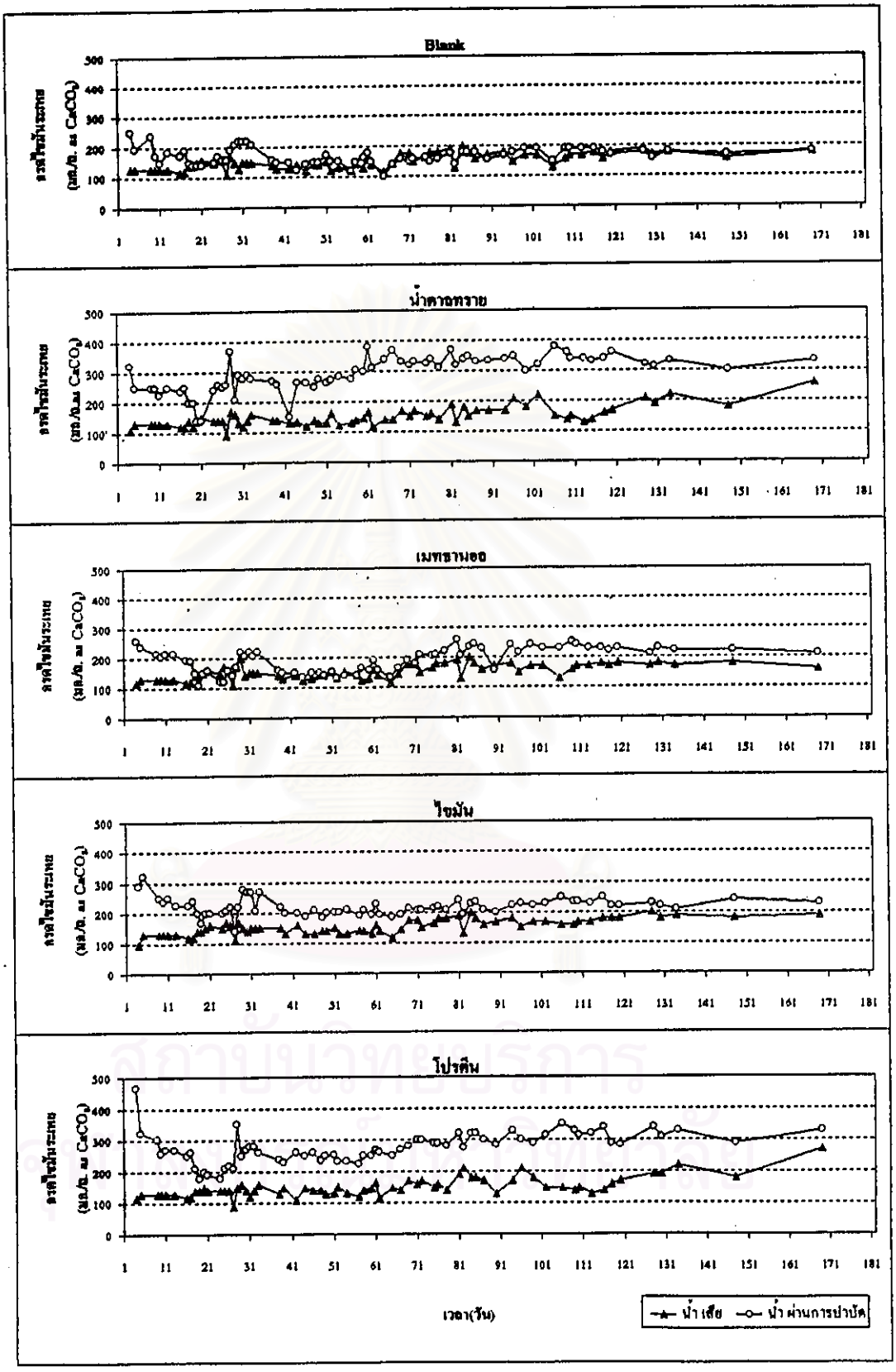
ในการทดลองนี้ น้ำย้อมสีแดงที่เตรียมความเข้มข้น 100 เอสยู มีสภาพด่างทั้งหมด 532 มก./ล. (วัดในเทอมแคลเซียมคาร์บอเนต) กรดไขมันระเหย 169 มก./ล. เมื่อป้อนเข้าระบบในระยะแรก ชุดทดลองที่ใช้น้ำตาลทรายและโปรตีน มีการผลิตกาซได้ดีกว่าระบบอื่นๆ จากการที่ไม่เคยเดินระบบมาก่อนทำให้เกรงไปว่า เมื่อระบบผลิตกาซได้ดีแสดงว่าแบคทีเรียเมทธาโนเจนทำงานได้ดี หากมีผลกระทบที่ทำให้แบคทีเรียเมทธาโนเจนทำงานได้น้อยลง จะมีกรดไขมันระเหยเหลืออยู่มากจนเป็นอันตรายต่อระบบมากกว่าระบบอื่นๆ จึงเติมโซเดียมไบคาร์บอเนตเพิ่มจนมีสภาพด่างทั้งหมดในระบบทั้งสองเป็น 700 มก./ล. ซึ่งแนวการคิดดังกล่าวไม่ถูกต้อง การที่ระบบผลิตกาซได้มากกว่าระบบอื่น มิได้หมายความว่า ระบบนั้นจะมีความอ่อนไหวต่อปัจจัยภายนอกมากกว่าระบบอื่น ดังนั้นในการทดลองชุดที่สอง น้ำย้อมสีน้ำเงินจึงไม่มีการเติมโซเดียม-ไบคาร์บอเนตเพิ่มอีก

สภาพด่างทั้งหมดสุทธิก่อนเข้าระบบเรียงตามลำดับจาก Blank น้ำตาลทราย เมทธานอล ไขมัน และโปรตีน คือ 532 703 533 536 และ 706 มก./ล. (วัดในเทอมแคลเซียมคาร์บอเนต) หลังจากผ่านระบบแล้ว น้ำผ่านการบำบัดจากทุกระบบมีสภาพด่างทั้งหมดเพิ่มขึ้นมากกว่าน้ำเสียเข้าระบบ ดังรูปที่ 4.5 โดยมีสภาพด่างทั้งหมดเท่ากับ 605 747 597 603 และ 814 มก./ล. สภาพด่างที่เพิ่มขึ้นน่าจะมาจากการที่ระบบสามารถผลิตกรดไขมันระเหยได้มากขึ้นและมีการผลิตไบคาร์บอเนตเมื่อย่อยสารอินทรีย์ได้อย่างสมบูรณ์ของแบคทีเรียบางประเภท

น้ำเสียเข้าระบบทุกระบบมีกรดไขมันระเหยประมาณ 165-175 มก./ล. แต่หลังจากผ่านการบำบัดแล้ว บางระบบสามารถผลิตกรดไขมันระเหยเพิ่มได้อย่างมีนัยสำคัญ เรียงตามลำดับจาก Blank น้ำตาลทราย เมทธานอล ไขมัน และโปรตีน คือ 172 336 223 224 และ 308 มก./ล. จากรูปที่ 4.6 เห็นได้ว่าน้ำผ่านการบำบัดของระบบ Blank มีค่ากรดไขมันระเหยเพิ่มขึ้นกว่าน้ำเสียเข้าระบบเพียงเล็กน้อย เป็นไปได้ว่าเนื่องจากสารอินทรีย์ที่มากับน้ำย้อมเป็นสารอินทรีย์ที่ย่อยได้ยาก จุลชีพในระบบไม่สามารถเปลี่ยนเป็นกรดไขมันระเหยได้



รูปที่ 4.5 ค่าสภาพด่างทั้งหมด ตลอดการทดลองที่ 1 น้ำย้อมสีแดง

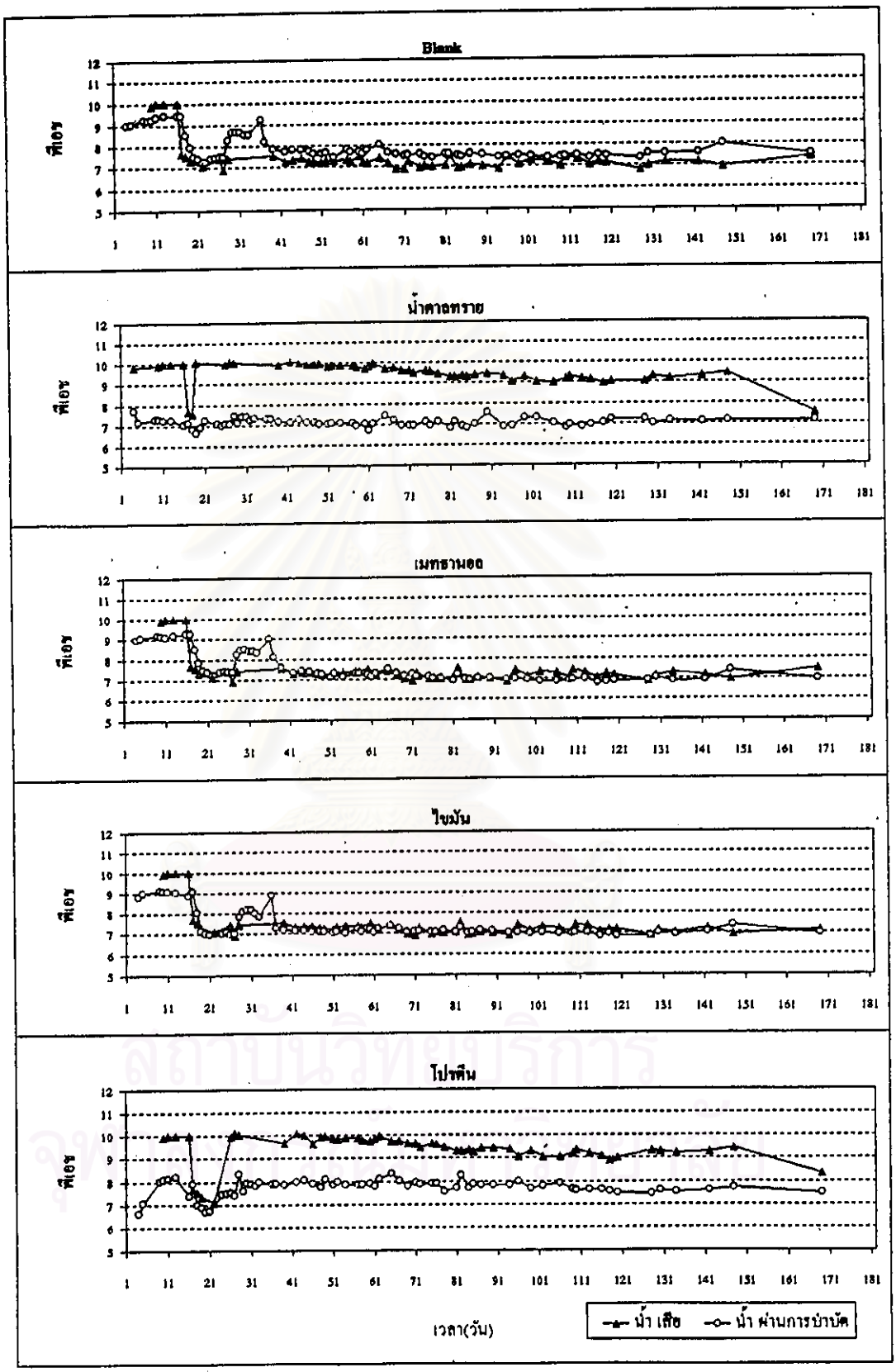


รูปที่ 4.6 ค่ากรดไขมันระเหย ตลอดการทดลองที่ 1 น้ำย้อมสีแดง

4.2.4. พีเอช

การเดินระบบทั่วไป ถ้าน้ำเสียมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะสมบัติน้อย ไม่มีสารพิษอื่นแปลกปลอมเข้ามา หรือไม่มีปริมาณสารตัวใดเปลี่ยนแปลงกระทันหัน การเดินระบบจะทำได้ง่าย โอกาสที่ระบบเสียสมดุลย์ หรือทำงานผิดปรกติจนถึงขั้นทำให้ระบบล้มเหลวมีน้อย สำหรับระบบไร้ออกซิเจนที่น้ำเข้าระบบมีลักษณะสมบัติค่อนข้างคงที่ปัจจัยที่ทำให้การทำงานของระบบเปลี่ยนแปลงได้มากตัวหนึ่งคือ พีเอช เพราะจุลเปราะบางของระบบอยู่ที่แบคทีเรียเมทธาโนเจนซึ่งไวต่อการเปลี่ยนแปลงต่างๆ มาก และทำงานได้ดีในช่วงพีเอชแคบๆ เท่านั้น หากมีผลกระทบใดๆ ที่ทำให้แบคทีเรียเมทธาโนเจนทำงานได้น้อยลง ไม่สามารถเปลี่ยนกรดเป็นกาซมีเทนได้ทันกรดจะสะสมตัวอยู่ในระบบ ทำให้พีเอชลดลงอย่างรวดเร็ว ย้อนกลับมาเป็นอันตรายต่อแบคทีเรียเมทธาโนเจน โอกาสที่ระบบล้มเหลวเป็นไปได้สูง เกิดได้ในเวลาที่รวดเร็ว หากระบบล้มเหลวในลักษณะเช่นนี้ต้องใช้เวลาในการฟื้นตัวนาน จึงต้องมีการวัดพีเอชในระบบอย่างสม่ำเสมอ

ค่าพีเอชตลอดการเดินระบบบำบัดน้ำย้อมสีแดงของระบบที่ใช้สารอาหารแต่ละประเภทแสดงในรูปที่ 4.7 ระบบที่มีการเติมน้ำตาลทรายและโปรตีนมีพีเอชน้ำเสียเฉลี่ยประมาณ 9.3 ส่วนระบบ Blank เมทธานอล และไขมัน มีพีเอชน้ำเสียเฉลี่ยประมาณ 7.13 ลักษณะค่าพีเอชน้ำผ่านการบำบัดจากแต่ละระบบค่อนข้างคงที่ ไม่มีการเปลี่ยนแปลงลดลงมากอย่างที่เกรงว่าอาจเกิดขึ้นได้ โดยน้ำจากระบบ Blank น้ำตาลทราย เมทธานอล ไขมัน และโปรตีน มีพีเอชเท่ากับ 7.49 7.02 6.98 7.03 และ 7.76 ตามลำดับ ระบบที่ไม่มีการเติมสารอาหาร (Blank) มีพีเอชน้ำผ่านการบำบัดสูงกว่าน้ำเสียเข้าระบบ ในขณะที่ระบบที่มีการเติม เมทธานอล และไขมัน พีเอชน้ำเสียและน้ำผ่านการบำบัดมีค่าใกล้เคียงกัน เนื่องจากชุดทดลอง Blank มีปริมาณซีโอดีเข้าระบบต่ำแบคทีเรียไม่สามารถผลิตกรดไขมันระเหยได้มากนัก ไม่ทำให้พีเอชน้ำผ่านการบำบัดลดลง และเป็นไปได้ว่าสีย้อมประเภทนี้หลังการบำบัดอาจทำให้พีเอชน้ำสูงขึ้น เพราะเมื่อพิจารณาจากระบบที่มีการเติมน้ำตาลทราย และโปรตีน ที่มีพีเอชน้ำเสียเข้าระบบใกล้เคียงกัน น้ำผ่านการบำบัดจากระบบที่เติมโปรตีนมีการกำจัดสีได้มากกว่า มีพีเอชสูงกว่าน้ำจากระบบที่เติมน้ำตาลทราย เช่นกัน

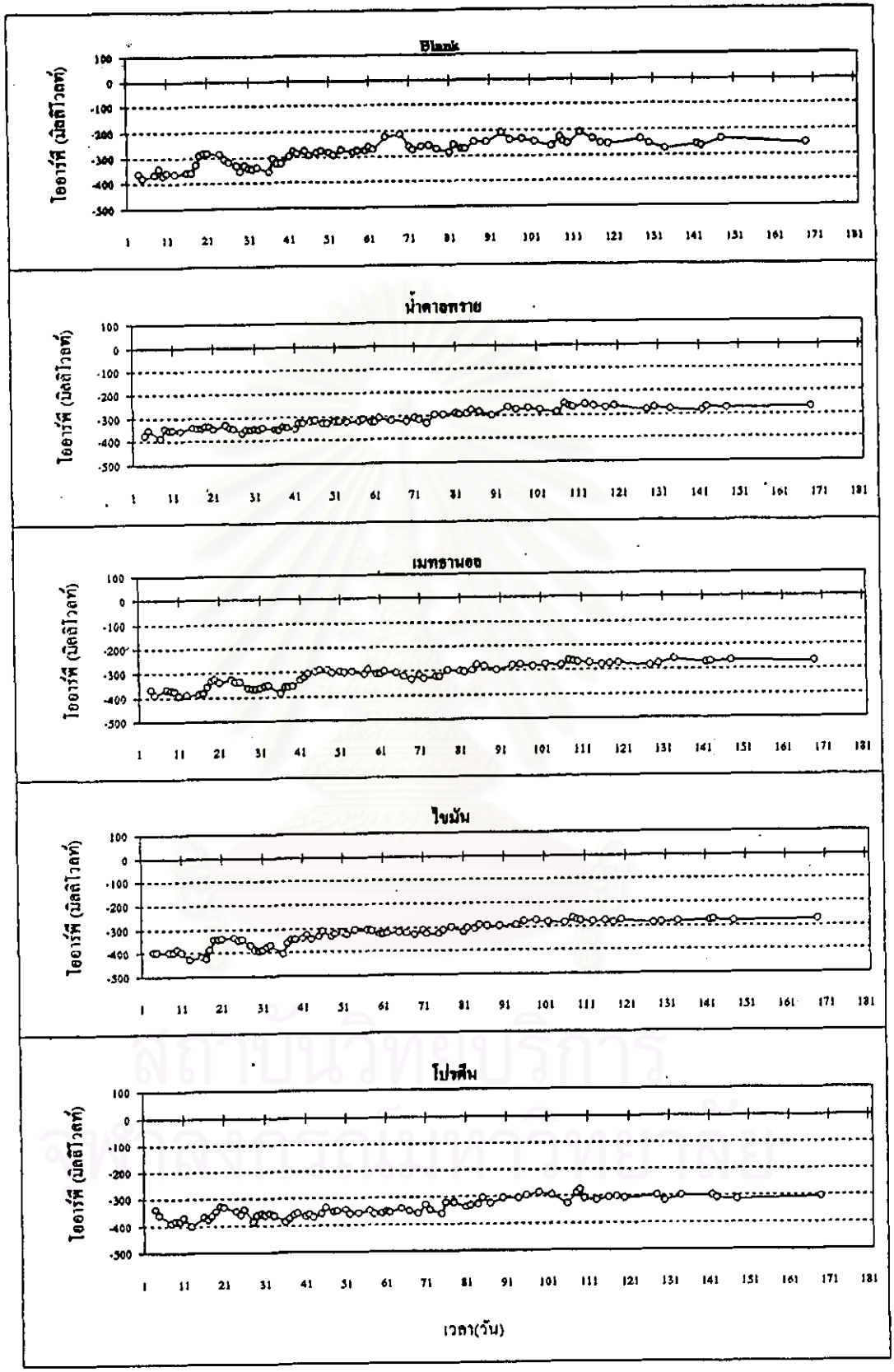


รูปที่ 4.7 ค่าพีเอช ตลอดการทดลองที่ 1 น้ำย้อมสีแดง

4.2.5. โออาร์พี

ลักษณะของระบบไร้ออกซิเจนจะมีค่าโออาร์พีเป็นลบ หรือผลของปฏิกิริยาเคมีโดยรวมในระบบมีสารที่เป็นตัวให้อิเลกตรอนมากกว่าตัวรับอิเลกตรอน หากมีสารรับอิเลกตรอนอื่นๆ เช่น ออกซิเจนละลายอยู่จะทำให้ค่าโออาร์พีที่วัดได้เป็นลบน้อยลง (หรือมีทิศทางเพิ่มขึ้นในทางบวก) การเตรียมน้ำในงานวิจัยนี้ เตรียมจากน้ำประปา ซึ่งมีออกซิเจนละลายอยู่บ้าง และมีค่าโออาร์พีเป็นบวก เมื่อผ่านเข้าระบบ Blank น้ำผ่านการบำบัดมีค่าโออาร์พีเฉลี่ย -251 มิลลิโวลท์ ส่วนน้ำตาลทราย เมทธานอล ไขมัน และโปรตีน มีค่าโออาร์พีเฉลี่ย -283 -289 -294 และ -315 มิลลิโวลท์ ตามลำดับ

การที่ทุกระบบมีค่าโออาร์พีเป็นลบ แสดงถึงลักษณะการทำงานของระบบว่ามีสภาวะแบบไร้ออกซิเจนอย่างที่ควรเป็น ความแตกต่างของค่าโออาร์พีระหว่างระบบที่มีการเติมน้ำตาลทราย เมทธานอล ไขมัน ไม่มีนัยสำคัญมากนัก ส่วนระบบที่ใช้โปรตีนมีค่าโออาร์พีเป็นลบมากกว่าระบบอื่นๆ แสดงถึงการทำงานได้ดีกว่า 3 ระบบดังกล่าวเล็กน้อยเท่านั้น แต่มีการกำจัดสีได้ดีที่สุด เมื่อเทียบกับระบบที่เป็น Blank ซึ่งมีค่าโออาร์พี -251 มิลลิโวลท์ ก็สามารถกำจัดสีลงได้ และการเปลี่ยนแปลงของค่าโออาร์พีแต่ละระบบไม่เป็นสัดส่วนกับประสิทธิภาพการลดสี จึงไม่อาจสรุปแน่นอนลงได้ว่าค่าโออาร์พีเท่าใดจึงเกิดการกำจัดสี หรือค่าโออาร์พีที่เปลี่ยนแปลงไปมีความสัมพันธ์กับประสิทธิภาพการลดสีอย่างไร กล่าวได้เพียงว่าการกำจัดสีย้อมสามารถเกิดได้ในระบบไร้ออกซิเจนที่มีค่าโออาร์พี -250 ถึง -315 มิลลิโวลท์ ส่วนการที่ Blank มีค่าโออาร์พีติดลบน้อยกว่าระบบอื่นๆ นั้นเนื่องมาจากซีโอดีของน้ำเข้าระบบต่ำ จึงไม่เกิดการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนจนถึงระดับที่ทำให้โออาร์พีลดต่ำลงมากได้ และการที่ค่าโออาร์พีของระบบเปลี่ยนแปลงลดลงบ้างในระยะแรกของการเดินระบบ แต่ก็สามารถคงสภาพอยู่ได้นานหลายเดือนตลอดระยะเวลาการเดินระบบ ดังรูปที่ 4.8 แสดงว่าเชื้อในระบบสามารถใช้สารอาหารที่มากับน้ำย้อมชุดนี้และ/หรือเนื้อสีเอง เป็นสารอาหารในการดำรงชีพในสภาวะไร้ออกซิเจนได้ เช่นเดียวกับผลงานวิจัยของ Razo-Flores และคณะ (1997) ที่กล่าวว่า การกำจัดสีย้อมบางประเภทไม่จำเป็นต้องเติมสารอาหารเพิ่ม



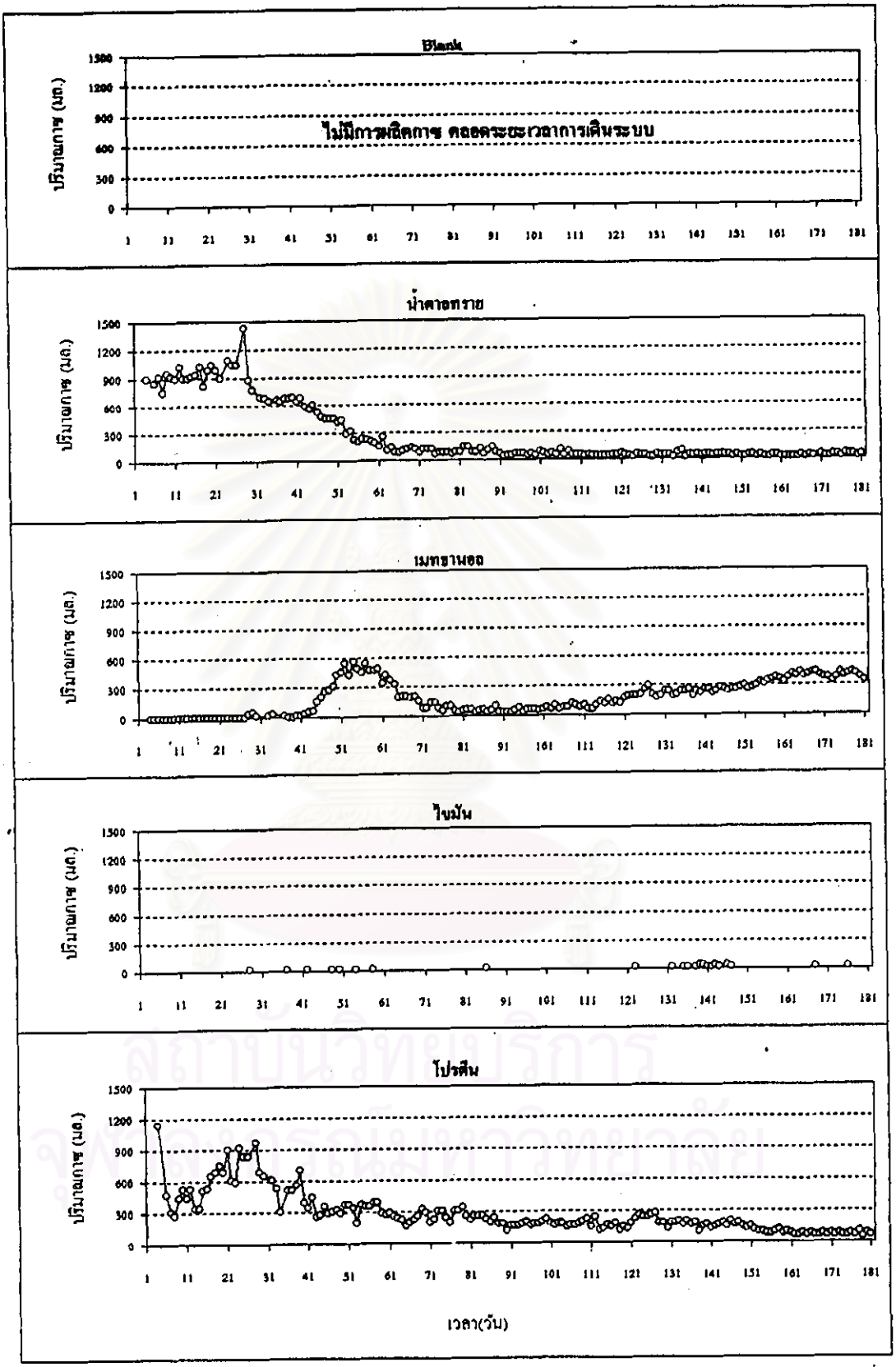
รูปที่ 4.8 ค่าโอดาร์พี ตลอดการทดลองที่ 1 น้ำย้อมสีแดง

4.2.6 ปริมาณกาซชีวภาพ

กาซจากระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจนเรียกว่ากาซชีวภาพ ซึ่งประกอบด้วยกาซหลายชนิด เช่นกาซมีเทน กาซคาร์บอนไดออกไซด์ กาซไนโตรเจน เป็นต้น เนื่องจากมีกาซมีเทนเป็นส่วนประกอบทำให้กาซชีวภาพสามารถติดไฟได้สามารถนำกาซที่ได้ไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในกระบวนการอื่นต่อไป ซึ่งนอกจากจะได้เชื้อเพลิงดังกล่าวแล้ว การลอยตัวหนีออกจากน้ำของกาซที่เกิดขึ้นเป็นกลไกสำคัญในการกวนผสมให้น้ำเสียสัมผัสกับเชื้อในระบบอย่างทั่วถึงโดยไม่ต้องอาศัยพลังงานจากภายนอก ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของระบบ นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงปริมาณกาซชีวภาพที่เกิดขึ้นแต่ละวันสามารถบอกถึงความผิดปรกติที่เกิดขึ้นกับระบบโดยตรง ดังนั้นถึงแม้ว่าไม่ต้องการเก็บกาซที่ได้ไปใช้ แต่ควรมีการออกแบบระบบให้สามารถวัดปริมาณกาซที่เกิดขึ้นได้เพื่อเหตุผลดังกล่าว ซึ่งในงานวิจัยนี้วัดปริมาณกาซที่เกิดขึ้นในแต่ละวันด้วยเครื่องกาซมิเตอร์ (ดัดแปลงจากแบบของ ศักดิ์ชัย ,2527)

ระบบที่ไม่มีการเติมสารอาหารอื่นเพิ่ม (Blank) มีซีโอดีที่มากับน้ำย้อมเพียง 260 มก./ล. ไม่มีการผลิตกาซเกิดขึ้นเลยตลอดระยะเวลาการเดินระบบ แต่ลักษณะเชื้อในระบบไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก ยังคงสภาพเป็นเม็ดอยู่ได้

ระบบที่ใช้น้ำตาลทรายและโปรตีนเป็นสารอาหารเพิ่ม ลักษณะการเปลี่ยนแปลงปริมาณการผลิตกาซแต่ละวันมีรูปแบบคล้ายคลึงกัน กล่าวคือ สามารถผลิตกาซได้มากในช่วงเดือนแรก จากนั้นค่อยๆ ลดลงในเดือนที่ 2 และเริ่มคงที่หลังจากเดินระบบไปประมาณ 3 เดือน (รูปที่ 4.9) ซึ่งอาจเป็นเพราะเชื้อเคยชินกับการใช้สารอาหารประเภทน้ำตาลมาก่อน เมื่อนำมาใช้กับน้ำเสียสีย้อมซึ่งเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีโครงสร้างซับซ้อนและย่อยได้ยากจึงมีผลต่อการทำงานของเชื้อในระบบทำให้ผลิตกาซได้น้อยลง กล่าวอีกนัยหนึ่งคือ เชื้อเมื่อเริ่มเดินระบบในระยะแรกมีคุณภาพดีสามารถใช้สารอาหารเปลี่ยนเป็นกาซได้มากแต่เมื่อนำมาใช้บำบัดน้ำเสียสีย้อมเชื้อมีคุณภาพลดลง ในช่วงวันที่ 71-130 ของการเดินระบบ ระบบที่เติมน้ำตาลทรายผลิตกาซได้เฉลี่ย 67 มล./วัน ระบบที่เติมโปรตีนผลิตกาซได้เฉลี่ย 206 มล./วัน



รูปที่ 4.9 ปริมาณก๊าซชีวภาพ ตลอดการทดลองที่ 1 น้ำย้อมสีแดง

ระบบที่ใช้เมทธานอลเริ่มมีการผลิตกาซหลังจากผ่านไปประมาณ 1 เดือน และผลิตกาซสูงสุดช่วงวันที่ 50-60 ของการเดินระบบ ได้เกือบ 600 มล./วัน แต่หลังจากนั้นกลับลดลงโดยไม่ทราบสาเหตุ และค่อยๆ เพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ช่วงวันที่ 71-130 ผลิตกาซได้เฉลี่ย 100 มล./วัน ส่วนระบบที่ใช้ไขมันเป็นสารอาหารมีการผลิตกาซน้อยมาก เฉลี่ยเพียง 0.5 มล./วัน เท่านั้น ปริมาณกาซที่เกิดขึ้นน้อยจนไม่มีนัยสำคัญ แต่แสดงว่าระบบพยายามปรับตัวเพื่อใช้ไขมันอยู่ตลอดเวลา แม้จะทำได้ไม่ดีนักก็ตาม

ได้ทำการทดลองเก็บกาซที่ผลิตได้จากระบบที่ใช้น้ำตาลทราย เมทธานอล และไขมัน โดยการแทนที่น้ำ แล้วนำไปจุดไฟ พบว่ากาซจากทุกระบบสามารถติดไฟได้ง่าย เปลวไฟสีน้ำเงิน มีความร้อนสูง นำตัวอย่างกาซไปวิเคราะห์หาสัดส่วนกาซมีเทนด้วยเครื่อง gas chromatography ระบบที่ใช้น้ำตาลทราย เมทธานอล และไขมัน มีกาซมีเทนในกาซทั้งหมดคิดเป็นร้อยละ 32 51 และ 56 ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาปริมาณกาซที่เกิดขึ้นจริงเทียบกับปริมาณกาซสูงสุดจากการคำนวณ ดังตารางที่ 4.4 พบว่าระบบ Blank ระบบที่ใช้น้ำตาลทราย และเมทธานอล ปริมาณกาซที่วัดได้น้อยกว่าค่าสูงสุดจากการคำนวณ เข้าใจว่าเกิดจากการสูญเสียซีโอดีไปในรูปอื่นบ้าง เช่นการติดไปกับข้างภาชนะเตรียมน้ำ หรือการตักสกัมม์ทิ้ง ในกรณีของระบบที่ใช้ไขมันปริมาณกาซที่เกิดขึ้นจริงน้อยกว่าค่าจากการคำนวณมาก แสดงให้เห็นว่ามีการสูญเสียซีโอดีในรูปอื่นซึ่งไม่ได้เกิดจากการใช้ของจุลชีพในระบบ ดังได้ตั้งข้อสังเกตไว้ว่าการสูญเสียส่วนใหญ่ของระบบนี้เป็นการติดไปกับภาชนะเตรียมน้ำ ส่วนในกรณีของโปรตีน น้ำผ่านการปาบัดมีสีลดลงมากและต้องทำความสะอาดคอลัมม์มากกว่าระบบอื่น จึงอาจเกิดการผิดพลาดจากการเก็บอากาศภายนอกเข้าไประหว่างการทำความสะอาด

ตารางที่ 4.4 ปริมาณกาซที่เกิดขึ้นและค่าจากการคำนวณ

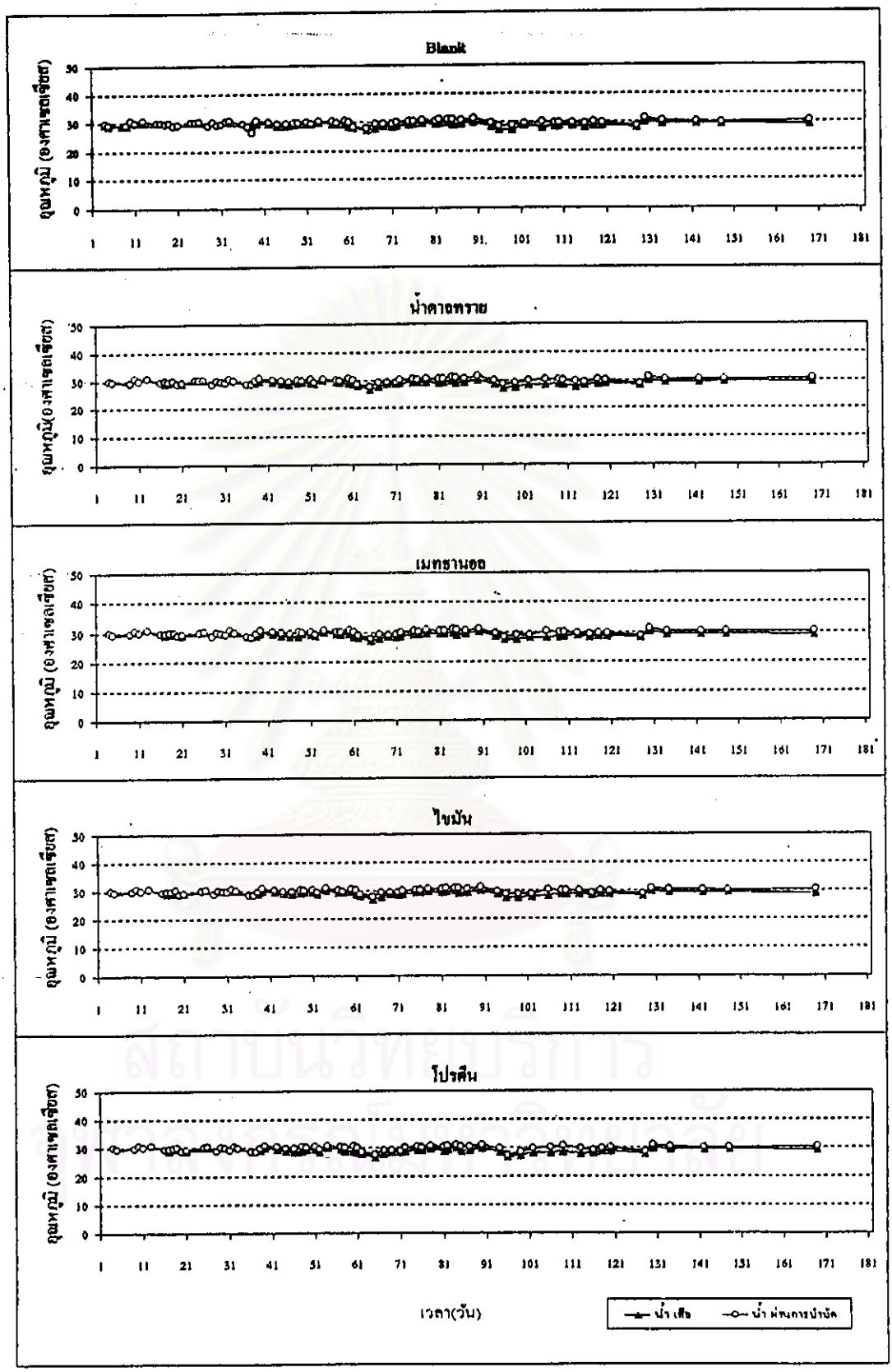
สารอาหาร	ปริมาณกาซ (มล.)	
	จากการทดลอง	จากการคำนวณ
Blank	ไม่มีการผลิตกาซ	20
น้ำตาลทราย	67	153
เมทธานอล	100	165
ไขมัน	0.5	246
โปรตีน	206	185

4.2.7 อุณหภูมิ

งานวิจัยชุดนี้ อุปกรณ์ทั้งหมดอยู่ในร่มและไม่ได้ออกแบบให้มีการควบคุมอุณหภูมิ แต่จากรูปที่ 4.10 เห็นได้ว่าอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก และไม่มีความแตกต่างระหว่างระบบที่ใช้สารอาหารแต่ละชนิด การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมินอกจากจะบอกถึงผลกระทบที่อาจเกิดกับเชื้อในระบบแล้ว ยังใช้ประกอบกับผลการวัดพีเอชด้วย เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนพีเอชที่วัดได้ก็เปลี่ยนไปด้วย หากอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไปมากจะต้องมีการปรับเทียบค่าพีเอชที่วัดได้ (ปัจจุบันเครื่องมือวัดพีเอชสมัยใหม่สามารถชดเชยความเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิได้โดยอัตโนมัติ)

ผลการทดลองจากงานวิจัยนี้ ค่าของอุณหภูมิเป็นพารามิเตอร์ที่ไม่อาจนำไปเชื่อมโยงกับประสิทธิภาพการทำงานของระบบหรือใช้อธิบายกลไกการทำงานต่างๆ ได้มากนัก การนำเสนอผลของอุณหภูมิ เพื่อแสดงถึงช่วงอุณหภูมิในการทำงานของระบบที่ใช้ทดลองว่าอยู่ที่ประมาณ 30 องศาเซลเซียส ตลอดการทดลองมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิน้อยมาก และชี้นำว่าควรมีการหาทางใช้ประโยชน์จากอุณหภูมิน้ำเสียสีย้อม

การบำบัดน้ำเสียในประเทศไทย ได้รับผลการกระทบจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิน้อย การออกแบบระบบต่างๆ มักละเลยอิทธิพลจากอุณหภูมิ แต่น้ำเสียจากโรงงานย้อมผ้า มีลักษณะแตกต่างจากน้ำเสียทั่วไป เพราะมีอุณหภูมิสูงถึง 60-80 องศาเซลเซียส จากการต้มในกระบวนการย้อมผ้าก่อนปล่อยออกเป็นน้ำทิ้ง โรงงานจำเป็นต้องมีบ่อพักน้ำขนาดใหญ่ หรือใช้หอระบายความร้อน ช่วยระบายความร้อนก่อนเข้าระบบบำบัดแบบชีวะทั่วไป ซึ่งสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้น การหาทางใช้ประโยชน์จากความร้อนที่มีอยู่แล้ว เช่น การเลือกใช้ระบบที่เชื้อสามารถทำงานได้ดีที่อุณหภูมิสูง (Thermophilic Bacteria) หรืออื่นๆ จึงเป็นประเด็นที่น่าสนใจ แต่ต้องพึงระลึกว่าประสิทธิภาพของระบบที่เพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นตามเอกสารอ้างอิงจากต่างประเทศนั้นส่วนมากหมายถึงประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี และประสิทธิภาพการผลิตกาซชีวภาพเพิ่มขึ้นในช่วงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ 10-40 องศาเซลเซียสเท่านั้น (Litinga, 1983) ไม่ใช่ประสิทธิภาพการกำจัดสี ในกรณีที่เป็นน้ำเสียสีย้อม หากมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิสูงขึ้นในช่วง 40-80 องศาเซลเซียส ประสิทธิภาพการทำงานของระบบและประสิทธิภาพในการกำจัดสีจะเพิ่มขึ้นด้วยหรือไม่ จำเป็นต้องอาศัยการวิจัยค้นคว้าเพิ่มเติม



รูปที่ 4.10 ค่าอุณหภูมิ ตลอดการทดลองที่ 1 น้ำย้อมสีแดง

4.3 ผลการทดลองชุดที่ 2 สีน้ำเงิน

การเดินระบบชุดที่ 2 ใช้น้ำย้อมจากกระบวนการย้อมขั้นที่ 1 ของโรงงานเดิมที่เก็บตัวอย่างน้ำย้อมสีแดง ทราบข้อมูลจากเจ้าหน้าที่เตรียมการย้อมของโรงงานว่าสีย้อมสีน้ำเงินนี้เรียกว่าสี Dark-Navy ประกอบด้วยสีย้อม 2 ชนิดคือสี Syno Red HF - 6 BN และสี ACDA Black RR โดยมีรายละเอียดการใช้สีย้อมและสารเคมีอื่นๆ ดังนี้

Dye	80 กรัม/ลิตร
โซดาแอช	5 กรัม/ลิตร
โซดาไฟ	1.2 กรัม/ลิตร

น้ำย้อมที่เก็บมามีความเข้มสีสูงมาก ใช้เพียง 750 มิลลิลิตร ต่อการเตรียมน้ำ30 ลิตรหรือประมาณ 1 : 40 ได้ความเข้มสี 100 เอสยู มีปริมาณคลอไรด์ต่ำไม่รบกวนการวิเคราะห์ซีโอดี แต่มีความเป็นด่างสูง น้ำเสียหลังการเจือจางมีพีเอชประมาณ 9.5-10 ซึ่งไม่เหมาะกับการป้อนเข้าระบบยูเอเอสบีโดยตรง

จากการทดลองเดินระบบชุดที่ 1 พบว่าการใช้ระบบยูเอเอสบีบำบัดน้ำย้อมสีแดงที่มีซีโอดีน้ำเสียเข้าระบบประมาณ 700 มก/ล. แม้ไม่มีการเติมด่างเป็นบัฟเฟอร์เพิ่ม พีเอชก็ไม่ลดลงมากนัก ในการทดลองชุดที่ 2 นี้จึงไม่มีการเติมบัฟเฟอร์ ประกอบกับน้ำย้อมสีน้ำเงินหลังการเจือจางให้มีความเข้มสี 100 เอสยู มีพีเอชสูงอยู่แล้วจึงปรับพีเอชลงเล็กน้อยด้วยกรดฟอสฟอริก ให้มีพีเอชประมาณ 8 เพื่อพีเอชไม่สูงเกินไปสำหรับเชื้อ และน่าจะเพียงพอสำหรับการเป็นบัฟเฟอร์ หากใช้วิธีปรับพีเอชลงมาเป็นกลางแล้วเติมบัฟเฟอร์ จะสิ้นเปลืองสารเคมีซ้ำซ้อนโดยไม่จำเป็น

นอกจากนั้น ก่อนปิดการทดลองชุดที่ 1 น้ำย้อมสีแดง สังเกตพบว่ามีการกำจัดสีได้ในถังเตรียมน้ำเข้าที่เตรียมน้ำทิ้งไว้นาน และไม่มีการล้างถัง สีน้ำเสียในถังเตรียมน้ำที่เหลือเมื่อน้ำใกล้หมดลดลงจนเกือบเท่ากับน้ำออกจากระบบบำบัด บางครั้งมีสีจางกว่าด้วยซ้ำ หากพิจารณาในเชิงปริมาณเชื้อที่มีในถังเตรียมน้ำ เทียบกับปริมาณเชื้อในถังปฏิกิริยาแล้วแทบเป็นไปไม่ได้ที่จะกำจัดสีลงได้ เพราะปริมาณเชื้อในถังเตรียมน้ำมีอยู่น้อยมากเมื่อเทียบกับปริมาณเชื้อที่มีอยู่มากมายในถังปฏิกิริยา แสดงว่าการกำจัดสีในถังเตรียมน้ำน่าจะเป็นผลจากเชื้อบางประเภทที่เกิดสะสมตัวขึ้นมาใหม่แต่ในระยะแรก ไม่แสดงผลการกำจัดสีมากนักเพราะมีการล้างทิ้งไปทุกวัน เมื่อมีการปล่อยให้สะสมกันมากขึ้นจึงเห็นการทำงานได้ชัดเจน ซึ่งน่าสนใจมากหากเป็นเช่นนั้นจริง จึงปรับแผน

การทดลองเพื่อใช้กับน้ำย้อมสีน้ำเงินใหม่ โดยเตรียมน้ำใหม่ทุกวันแต่ไม่มีการล้างถัง และมีการวัดพารามิเตอร์บางตัวของน้ำที่เหลืออยู่ในถังเมื่อใกล้หมด (ประมาณ 22 ชม. หลังการเตรียมน้ำ) นอกเหนือจากการวัดน้ำที่เตรียมใหม่และน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้ว ดังนั้นในการทดลองชุดที่ 2 นี้ ได้มีการปรับปรุงแผนการทดลองแตกต่างออกไปจากชุดการทดลองของน้ำย้อมสีแดงดังนี้

1.) ใช้ถังเตรียมน้ำทำหน้าที่เป็นถังกรด ซึ่งต่อไปเรียกถังเตรียมน้ำชุดนี้ว่า ถังกรด เดิมถังเตรียมน้ำชุดนี้มีใช้อยู่แล้วในการทดลองแรก และมีการล้างถังก่อนเตรียมน้ำใหม่ทุกวัน ไม่ให้เชื้อต่างๆ สะสมอยู่ในถัง ถังเตรียมน้ำทำหน้าที่เป็นเพียง ภาชนะใส่น้ำ เท่านั้น แต่ในการทดลองชุดน้ำย้อมสีน้ำเงินนี้ไม่มีการล้างถัง เมื่อน้ำหมดถังใช้น้ำที่เตรียมขึ้นใหม่ในแต่ละวันเติมลงในถังเดิม ปล่อยให้เชื้อเกิดสะสมในถังและมีโอกาสทำปฏิกิริยากับน้ำเสีย ให้ถังทำหน้าที่เป็นถังกรดอ่อนๆ แต่เนื่องจากระดับน้ำในถังเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาจากการสูบป้อนเข้าระบบยูเอเอสบี การเก็บตัวอย่างน้ำในถังกรดไปวิเคราะห์ค่าตัวแปรต่างๆ กำหนดให้เก็บที่เวลา 22 ชม. หลังการเตรียมน้ำ เพราะเป็นเวลาที่น้ำเหลืออยู่น้อย การตกตะกอนของสีต่างๆ เห็นได้ชัดเจน และเรียกตัวอย่างน้ำนี้ว่า น้ำถังกรด จากลักษณะการทำงานของถังกรดแบบนี้ ค่าตัวแปรดังกล่าวเป็นเพียงค่าที่เวลาหนึ่งเท่านั้น ไม่ใช่เป็นตัวแทนของน้ำในถังกรดเฉลี่ยตลอดวัน

2.) ไม่มีการเติมสภาพด่างทั้งหมดเพิ่ม ใช้การปรับพีเอชน้ำเสียก่อนเข้าระบบด้วยกรดฟอสฟอริกให้ได้ประมาณ พีเอช 8 และไม่ต้องเติมสารประกอบฟอสเฟตอีก

3.) เปลี่ยนความเร็วรอบของการปั่นเหวี่ยงในขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างน้ำก่อนการวัดสี โดยใช้ความเร็วรอบสูงขึ้น จากปัญหาความขุ่นจากอนุภาคไขมันและอนุภาคน้ำนมถั่วเหลืองรบกวนการวัดสีน้ำเสียที่เตรียมป้อนเข้าระบบในการทดลองน้ำย้อมสีแดง ทำให้วัดสีน้ำเข้าระบบได้สูงเกินกว่าค่าที่ควรวัดได้ จึงเปลี่ยนความเร็วรอบในการปั่นเหวี่ยงเพื่อแยกอนุภาคความขุ่นจากการปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็ว 6,000 รอบต่อนาที นาน 15 นาที ไปเป็นใช้ความเร็ว 10,000 รอบต่อนาที นาน 20 นาที ทำให้ปัญหาดังกล่าวหมดไป การใช้ความเร็วรอบที่สูงขึ้นไม่มีผลต่อค่าสีของตัวอย่างน้ำใส เช่นน้ำออกจากระบบ ไม่ทำให้การวัดสีได้ค่าน้อยกว่าที่ควรเป็น เพราะสีย้อมที่ใช้เป็นสีที่ละลายน้ำได้ดีมาก ไม่สามารถแยกออกได้ด้วยกระบวนการทางกายภาพ หรือการปั่นเหวี่ยง

ผลการเดินระบบโดยใช้น้ำย้อมสีน้ำเงิน สรุปค่าตัวแปรต่างๆ ได้ดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 สรุปค่าเฉลี่ยตัวแปรต่างๆ การทดลองชุดที่ 2 น้ำย้อมสีน้ำเงิน

ตัวแปรที่วัด			Blank			น้ำตาลทราย			เมทธานอล		
			น้ำเสีย	น้ำอังกรด	น้ำออก	น้ำเสีย	น้ำอังกรด	น้ำออก	น้ำเสีย	น้ำอังกรด	น้ำออก
ความเข้มสี (เอสยู)		เฉลี่ย	101	101	90	101	72	33	101	70	30
	n = 22	SD.	3	4	4	4	7	2	3	12	4
ประสิทธิภาพการกำจัดสี		เฉลี่ย		0	10		30	67		31	70
(ร้อยละ)	n = 18	SD.		0	4		6	3		11	4
พีเอช		เฉลี่ย	8.25	8.13	8.18	8.26	6.86	6.67	8.25	7.63	7.01
	n = 21	SD.	0.10	0.13	0.07	0.10	0.71	0.09	0.10	0.22	0.11
อุณหภูมิ		เฉลี่ย	29.5		30.1	30.2		30.2	29.5		30.1
(องศาเซลเซียส)	n = 21	SD.	0.7		0.8	0.7		0.8	0.7		0.8
โออาร์พี (ORP)		เฉลี่ย			42 [1]			-315			-331
(มิลลิโวลท์)	n = 27	SD.			34			11			13
ซีโอดี (COD)		เฉลี่ย	61	59	49	596	361	92	533	209	93
(มิลลิกรัม/ลิตร)	n = 21	SD.	9	8	11	36	53	15	32	40	17
ประสิทธิภาพการกำจัด		เฉลี่ย		3	20		38	85		61	83
ซีโอดี (ร้อยละ)	n = 21	SD.		10	17		8	2		8	3
สภาพด่างทั้งหมด	n = 18	เฉลี่ย	163	175	218	169	197	271	171	216	268
(มิลลิกรัม/ลิตรas$CaCO_3$)		SD.	9	15	19	8	21	15	9	17	14
กรดไขมันระเหย	n = 18	เฉลี่ย	49	52	65	53	115	104	49	71	93
(มิลลิกรัม/ลิตรas$CaCO_3$)		SD.	7	10	13	8	15	10	7	12	12
ปริมาณกาซ		เฉลี่ย	ไม่มีการผลิตกาซ			530			213		
(มิลลิลิตร)	n =62	SD.				72			95		
สัดส่วนกาซมีเทน		เฉลี่ย				55			57		
(ร้อยละ)	n = 5	SD.				4			5		

[1] ระบบมีโออาร์พีเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเดินระบบ

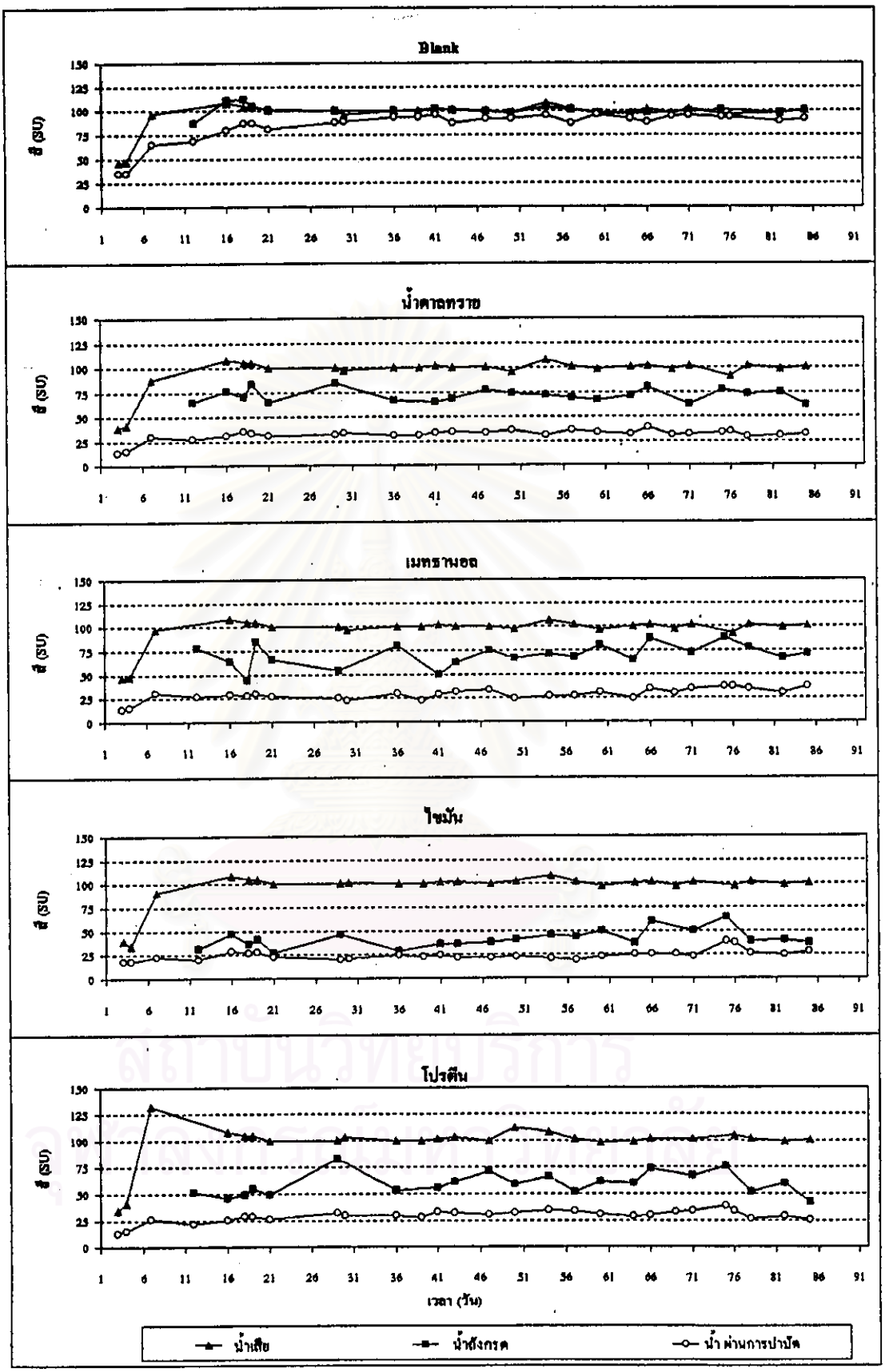
ตารางที่ 4.5 สรุปค่าเฉลี่ยตัวแปรต่างๆ การทดลองชุดที่ 2 น้ำย้อมสีน้ำเงิน (ต่อ)

ตัวแปรที่วัด			ไขมัน			โปรตีน		
			น้ำเสีย	น้ำจังกรด	น้ำออก	น้ำเสีย	น้ำจังกรด	น้ำออก
ความเข้มสี (เอสยู)		เฉลี่ย	102	42	25	103	60	31
	n = 22	SD.	3	9	5	4	11	3
ประสิทธิภาพการกำจัดสี		เฉลี่ย		60	76		42	70
(ร้อยละ)	n =18	SD.		7	4		10	3
พีเอช		เฉลี่ย	8.27	7.32	6.93	8.24	6.98	6.83
	n = 21	SD.	0.09	0.25	0.12	0.11	0.32	0.07
อุณหภูมิ		เฉลี่ย	29.5		30.1	29.4		30.1
(องศาเซลเซียส)	n = 21	SD.	0.6		0.7	0.6		0.7
โออาร์พี (ORP)		เฉลี่ย			-339			-336
(มิลลิโวลท์)	n = 27	SD.			11			13
ซีโอดี (COD)		เฉลี่ย	641	289	115	576	292	109
(มิลลิกรัม/ลิตร)	n = 21	SD.	127	72	26	50	18	18
ประสิทธิภาพการกำจัด				55	82		50	81
ซีโอดี (ร้อยละ)	n = 21			13	5		5	18
สภาพด่างทั้งหมด	n = 18	เฉลี่ย	168	210	266	171	233	304
(มิลลิกรัม/ลิตรasCaCO$_3$)		SD.	8	18	13	7	55	15
กรดไขมันระเหย	n = 18	เฉลี่ย	51	83	96	55	98	110
(มิลลิกรัม/ลิตรasCaCO$_3$)		SD.	7	10	8	9	26	10
ปริมาณกาซ		เฉลี่ย		235			453	
(มิลลิลิตร)	n =62	SD.		89			94	
สัดส่วนกาซมีเทน		เฉลี่ย		49			53	
(ร้อยละ)	n =5	SD.		4			7	

4.3.1 ความเข้มสีและประสิทธิภาพการลดสี

การทดลองชุดที่ 2 เริ่มเดินระบบโดยป้อนน้ำย้อมความเข้มสีต่ำ แล้วค่อยๆ ปรับเป็น 100 เอสยู ตามต้องการ ใช้เวลาประมาณ 15 วัน แต่ระบบที่มีการเติมสารอาหารอื่นเพิ่มแสดงความสามารถในการกำจัดสีให้เหลือน้อยลงได้ตั้งแต่อาทิตย์แรก ในขณะที่ระบบ Blank มีการกำจัดสีได้น้อยมาก น้ำผ่านการปาบัดแปรตามความเข้มสีที่ป้อนเข้า การเดินระบบเป็นเวลานานไม่ช่วยทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดสีของ Blank ดีขึ้น แสดงว่าในการเดินระบบชุดการทดลองที่ 2 นี้ เชื้อในระบบไม่ต้องการเวลาในการปรับตัวให้ชินกับสีย้อมมากนัก ส่วนหนึ่งเป็นเพราะเชื้อมีความเคยชินกับสารอาหารและสีย้อม จากการใช้น้ำย้อมสีแดงมาก่อน

หลังจากเตรียมน้ำใส่ถังกรด (ถังเตรียมน้ำ) เก็บตัวอย่างน้ำไปวัดความเข้มสีเป็นค่าตัวแปรเรียกว่า น้ำเสีย ได้ความเข้มสีเข้าแต่ละระบบใกล้เคียงกันประมาณ 101 - 103 เอสยู สูบน้ำเข้าระบบตามปกติ เมื่อเวลาผ่านไป 22 ชั่วโมง เก็บตัวอย่างน้ำที่เหลือเป็นค่าตัวแปรเรียกแทนว่า น้ำถังกรด พบว่าความเข้มสีน้ำที่เหลือในถังกรดของระบบ Blank น้ำตาลทราย เมทธานอล ไขมัน และโปรตีน มีความเข้มสี 101 72 70 42 และ 60 เอสยู ตามลำดับ แสดงว่าในถังกรดของ Blank ไม่มีการกำจัดสีลงเลย น้ำคงเหลือในถังยังคงมีความเข้มสีเท่ากับน้ำเสียที่เตรียมใหม่ ในขณะที่ถังกรดของระบบที่มีการเติมสารอาหารต่างๆ เพิ่มมีการกำจัดสี และถังกรดที่ใช้ไขมันเป็นสารอาหารสามารถลดสีลงได้มากที่สุด แต่สีที่วัดได้นี้ไม่สามารถใช้เป็นตัวแทนความเข้มสีของน้ำในถังกรดทั้งถังได้ เนื่องจากความเข้มสีน้ำที่เหลือมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา จากเมื่อเริ่มเตรียมน้ำมีความเข้มสีสูงสุด จากนั้นจึงค่อยๆ ลดลง และคงเหลือเท่าที่วัดได้เมื่อเวลาผ่านไป 22 ชั่วโมงเท่านั้น การเก็บค่าความเข้มสีน้ำเหลือในถังกรดเพิ่มขึ้นจากแผนการทดลองเดิมเพื่อเป็นการยืนยันข้อสังเกตที่ว่า ถังกรดสามารถกำจัดสีลงได้อย่างมีนัยสำคัญ จากรูปที่ 4.11 ค่าความเข้มสีน้ำคงเหลือในถังกรดมีความแปรปรวนมาก ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำเสียคงเหลือ และเวลาที่เก็บตัวอย่างน้ำ แม้จะมีการควบคุมให้มีการเก็บน้ำเมื่อเวลาผ่านไป 22 ชั่วโมง เท่ากันทุกวัน แต่ความคลาดเคลื่อนจากการปรับตั้งอัตราสูบของเครื่องสูบน้ำเข้าระบบในแต่ละวันทำให้มีปริมาณน้ำเหลือในถังแต่ละวันไม่เท่ากัน ค่าความเข้มสีที่วัดได้ก็มีความแตกต่างกันค่อนข้างมาก กล่าวได้ว่าความสามารถในการกำจัดสีของถังกรดมีความสัมพันธ์กับปริมาณและเวลาในการทำปฏิกิริยาของน้ำในถังกรดอย่างมาก แสดงว่าเวลาในการทำปฏิกิริยาของน้ำในถังกรดยังไม่มากพอที่กระบวนการกำจัดสีจะดำเนินไปจนมีการเปลี่ยนแปลงน้อยลงได้ คาดว่าหากสามารถเพิ่มเวลากักน้ำในถังกรดให้มากขึ้น อัตราการกำจัดสีจะค่อยๆ ลดลง จนในที่สุดถึงจุดสูงสุดที่ความสามารถของถังกรดทำได้ สีจะลดลงเหลือน้อยกว่านี้ และความแปรปรวนของค่าความเข้มสีจะลดลงด้วย



รูปที่ 4.11 ค่าความเข้มสี ตลอดการทดลองชุดที่ 2 น้ำย้อมสีน้ำเงิน

การที่สีในน้ำเสียจากถังทรดมีความแปรปรวนมาก เป็นความแปรปรวนของค่าสีที่เวลาหนึ่งเท่านั้น โดยเฉลี่ยรวมทั้งวันอาจเปลี่ยนแปลงไม่มากนักจึงไม่มีผลต่อการทำงานของระบบยูเอเอสบี จากรูปที่ 4.11 ลักษณะน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วจากแต่ละระบบ มีค่าความเข้มสีค่อนข้างสม่ำเสมอ ระบบ Blank สีลดลงน้อยมาก น้ำผ่านการบำบัดมีความเข้มสีถึง 90 เอสยู ในขณะที่ระบบที่มีการเติมสารอาหารอื่นเพิ่ม ได้แก่ น้ำตาลทราย เมทธานอล ไขมัน และโปรตีน น้ำผ่านการบำบัดจากระบบยูเอเอสบีมีสีเหลือ 33 30 25 และ 31 เอสยู ตามลำดับ

หากพิจารณาจากตัวเลขค่าความเข้มสีจากตารางที่ 4.6 ดูเหมือนว่าระบบที่มีการเติมสารอาหารแต่ละชนิดเพิ่ม มีความเข้มสีน้ำผ่านการบำบัดไม่แตกต่างกันมากนัก เพียงประมาณ 5 เอสยู เท่านั้น แต่สภาพสีที่ปรากฏ ระบบที่เติมไขมันเป็นสารอาหารมีความเข้มสีเหลือ 25 เอสยู ให้ความรู้สึกเป็นน้ำสะอาด มีสีจางกว่าน้ำเสียสี 30-33 เอสยู ตามความคิดเห็นของผู้ทำวิจัย หากจำเป็นต้องใช้หน่วยการวัดสี แบบเอสยู เป็นเกณฑ์ในการกำหนดมาตรฐานน้ำทิ้งให้ไม่เป็นที่น่ารังเกียจ น้ำเสียที่มีความเข้มสีน้อยกว่า 25 เอสยู น่าจะได้รับการยอมรับมากกว่า

ตารางที่ 4.6 ค่าความเข้มสีและประสิทธิภาพการกำจัดสี

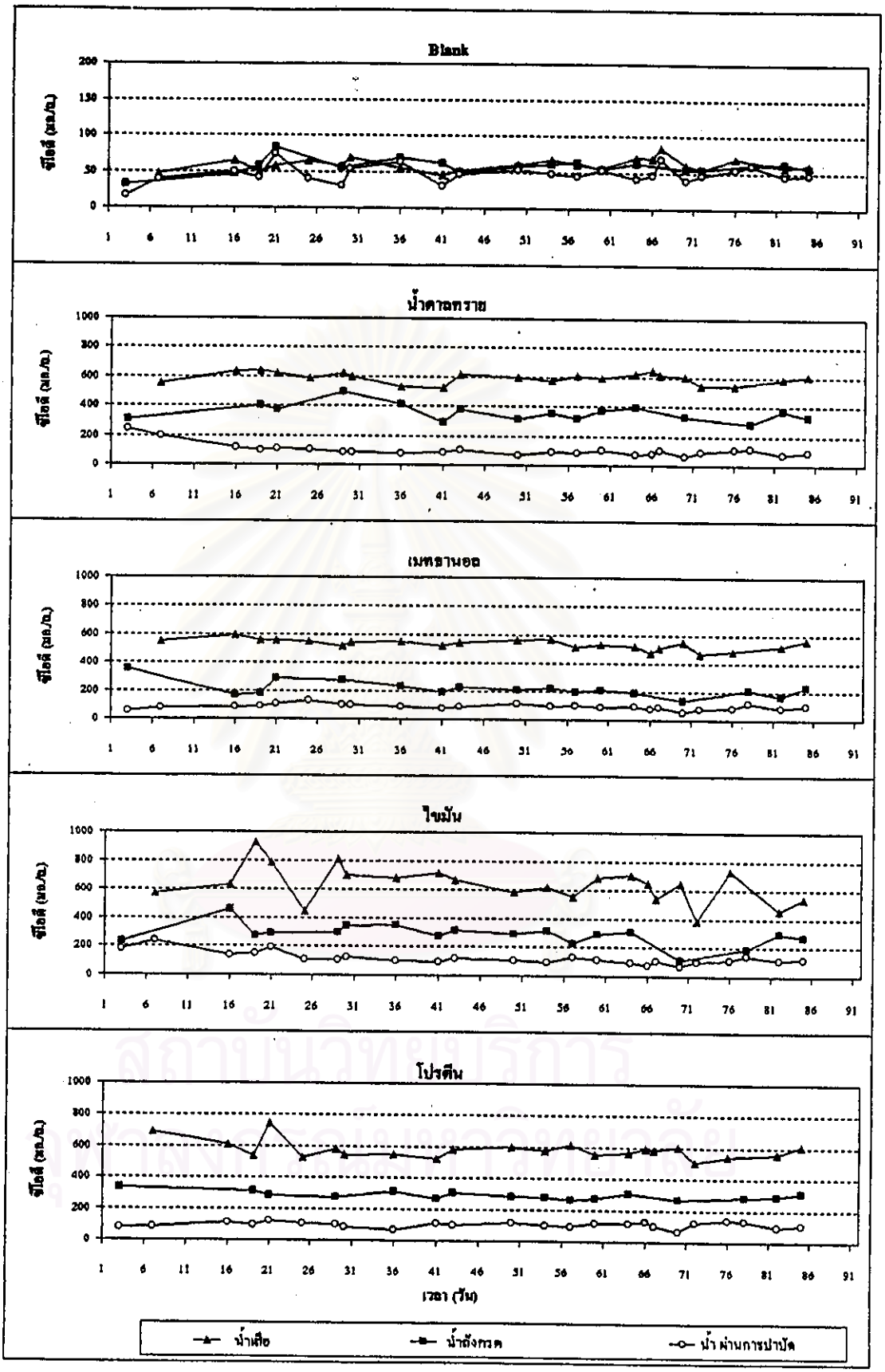
สารอาหาร	ค่าความเข้มสี (เอสยู)			ประสิทธิภาพการกำจัดสี (ร้อยละ)	
	น้ำเสีย	น้ำถังกรด	น้ำออก	ถังกรด	ทั้งระบบ
Blank	101	101	90	0	10
น้ำตาลทราย	101	72	33	30	67
เมทธานอล	101	70	30	31	70
ไขมัน	102	42	25	60	76
โปรตีน	103	60	31	42	70

4.3.2. ซีโอดี และประสิทธิภาพการกำจัด

น้ำย้อมสีน้ำเงินหลังจากเจือจางให้มีความเข้มสี 100 เอสยู มีซีโอดีประมาณ 60 มก./ล. ซึ่งน้อยมากเมื่อเทียบกับความสามารถในการกำจัดซีโอดีของระบบยูเอเอสบี แต่การที่น้ำเข้าระบบมีซีโอดีต่ำไม่ได้หมายความว่า ระบบจะสามารถกำจัดซีโอดีทั้งหมดลงได้ แม้แต่ระบบยูเอเอสบีที่มีประสิทธิภาพสูงในการกำจัดซีโอดี การกำจัดซีโอดีให้เหลือในน้ำทิ้งจากระบบน้อยกว่า 50 มก./ล. เป็นเรื่องที่ทำได้ยาก เพราะโดยธรรมชาติของระบบไร้ออกซิเจนต้องอาศัยปัจจัยหลายอย่าง มีการทำงานร่วมกันของเชื้อหลายชนิด ลักษณะสมบัติของน้ำเสีย รวมทั้งการออกแบบและควบคุมดูแลระบบอย่างใกล้ชิด เท่าที่ผ่านมาการใช้ระบบยูเอเอสบีกำจัดซีโอดีให้เหลือน้อยถึงระดับ 20 มก./ล. เป็นการใช้บำบัดน้ำเสียชุมชนที่ย่อยได้ง่าย และส่วนมากยังอยู่ในขั้นทดลองเท่านั้น การเดินระบบ Blank ที่มีซีโอดีเข้าระบบเพียง 60 มก./ล. และเป็นน้ำเสียสีย้อม จึงเป็นการเดินระบบในสภาพขาดอาหาร แม้ว่าระบบจะสามารถกำจัดสีลงได้บางส่วน แต่ลักษณะเชื้อในระบบเมื่อเดินระบบไปนานๆ เชื้อมีการเปลี่ยนแปลงสีซีดจางลง การจับตัวเป็นเม็ดไม่ดีนัก เชื้อที่ค้างบนเปื่อยยุ่ยเป็นเม็ดเล็กๆ จากการที่ค่าซีโอดีน้อยทำให้ไม่สามารถบอกถึงสภาพระบบว่ามีประสิทธิภาพเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร เพราะไม่ว่าระบบจะทำงานได้ดีขึ้นหรือน้อยลง ก็ไม่ทำให้ซีโอดีน้ำผ่านการบำบัดเปลี่ยนแปลงมากจนเห็นความแตกต่างได้

ค่าซีโอดีน้ำในถังกรดของระบบ Blank หลังจากทิ้งไว้ 22 ชม. แทบไม่มีการเปลี่ยนแปลง ยังคงมีซีโอดีประมาณ 60 มก./ล. เหมือนเมื่อเตรียมน้ำใหม่ เมื่อใช้งานไปนานๆ ถังยังสะอาดไม่มีเชื้อเกิดสะสมที่ข้างถังเหมือนถังที่มีการเติมสารอาหารอื่นเพิ่ม แสดงว่าสารอาหารเฉพาะที่มากับน้ำย้อมสีน้ำเงินนี้ ไม่เพียงพอต่อการเกิดเชื้อในถังกรด และไม่มีการกำจัดสีลงในถังกรด

ระบบที่มีการเติมสารอาหารเพิ่มได้แก่ น้ำตาลทราย เมทธานอล ไขมัน และโปรตีน มีค่าเฉลี่ยซีโอดีเข้าระบบ 596 533 641 และ 576 มก./ล. ตามลำดับ จากรูป 4.12 ค่าซีโอดีน้ำเสียที่เติมไขมันเพิ่ม ยังคงมีความแปรปรวนมากกว่าระบบอื่นๆ เนื่องจากความยุ่งยากในขั้นตอนการเตรียมน้ำเช่นเดียวกับการทดลองชุดที่ 1 แต่ได้พยายามให้มีความแปรปรวนน้อยที่สุดเช่น การเติมไขมันในจังหวะที่เครื่องปั่นผสมทำงานแล้ว ทำให้ไขมันที่ถูกเหวี่ยงขึ้นไปติดฝาปิดด้านบนลดน้อยลง ซึ่งช่วยได้บ้างเล็กน้อย



รูปที่ 4.12 ค่าซีโอดี ตลอดการทดลองชุดที่ 2 น้ำย้อมสีน้ำเงิน

ซีโอดีน้ำเหลือในถังกรดเมื่อเวลาผ่านไป 22 ชม. ในระบบที่ใช้ น้ำตาลทราย เมทธานอล ไขมัน และโปรตีน เฉลี่ยเท่ากับ 361 209 289 และ 292 มก./ล. ตามลำดับ แสดงว่าในถังกรดที่มีการเติมสารอาหารประเภทต่างๆเพิ่ม มีกิจกรรมการใช้ซีโอดีไปบางส่วนในขั้นตอนการทำงานของถังกรด ซึ่งอาจเป็นกระบวนการไฮโดรไลท์ การสร้างกรด การหายใจ การสร้างเซลล์ใหม่ หรือการหายไปในรูปอื่นๆ แต่การใช้ซีโอดีดังกล่าวเกิดขึ้นไปพร้อมๆ กับการกำจัดสี ในขณะที่ระบบ Blank ไม่มีการใช้สารอาหารและไม่มีการกำจัดสี กล่าวได้ว่าสารอาหารที่เติมเพิ่มให้แก่ระบบจึงมีบทบาทในการช่วยกำจัดสีตั้งแต่ในขั้นตอนการทำงานของถังกรด

น้ำทิ้งผ่านการบำบัดจากระบบยูเอเอสบี ในระบบที่ใช้ น้ำตาลทราย เมทธานอล ไขมัน และโปรตีน มีค่าซีโอดีเฉลี่ยเฉลี่ยเท่ากับ 92 93 115 และ 109 มก./ล. ตามลำดับ ความแตกต่างระหว่างประเภทสารอาหารแต่ละชนิดที่ใช้ทดลองไม่มีผลต่อการใช้ซีโอดีของระบบยูเอเอสบี เมื่อระบบปรับตัวให้สามารถใช้สารอาหารแต่ละชนิดได้ เหลือซีโอดีจากแต่ละระบบประมาณ 100 มก./ล. ใกล้เคียงกัน

เมื่อนำค่าซีโอดีของการทดลองชุดที่ 1 (น้ำย้อมสีแดง)มาเปรียบเทียบกับการทดลองชุดที่ 2 (น้ำย้อมสีน้ำเงิน) ดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ค่าซีโอดีระหว่างการทดลองด้วยน้ำย้อมสีแดงกับน้ำย้อมสีน้ำเงิน

สารอาหาร	น้ำย้อมสีแดง			น้ำย้อมสีน้ำเงิน				
	ซีโอดี(มก./ล.)		%กำจัด COD	ซีโอดี(มก./ล.)			% กำจัด COD	
	น้ำเสีย	น้ำออก	ระบบ	น้ำเสีย	น้ำถังกรด	น้ำออก	ถังกรด	ระบบ
Blank	257	228	11	61	59	49	3	20
น้ำตาลทราย	751	533	32	596	361	92	38	85
เมทธานอล	647	412	35	533	209	93	61	83
ไขมัน	720	368	45	641	289	115	55	82
โปรตีน	725	460	36	576	292	109	50	81

%กำจัด COD หมายถึงประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี

จากตารางที่ 4.7 พิจารณาระบบที่ไม่มีการเติมสารอาหาร (Blank) เห็นได้ว่าค่าซีโอดีของน้ำเสียสีแดงและสีน้ำเงินก่อนการเติมสารอาหาร มีค่าต่างกันมาก น้ำย้อมสีแดงมีซีโอดี 257 มก./ล. ในขณะที่น้ำย้อมสีน้ำเงินมีซีโอดีเพียง 60 มก./ล. การเดินระบบด้วยน้ำย้อมทั้งสองโทนสีพบว่าระบบ Blank มีค่าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีต่ำกว่าระบบที่มีการเติมสารอาหารอย่างเห็นได้ชัด โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการทดลองด้วยน้ำย้อมสีน้ำเงินอาจกล่าวได้ว่าระบบ Blank ไม่สามารถกำจัดซีโอดีได้เลย แต่ค่าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีร้อยละ 20 เป็นค่าที่เกิดจากการคำนวณผลต่างซีโอดีของน้ำเสียกับซีโอดีน้ำออกที่มีค่าต่ำ และใกล้เคียงกัน ซึ่งความแตกต่างของค่าซีโอดีในช่วง 50-60 มก./ล. ไม่มีนัยสำคัญ

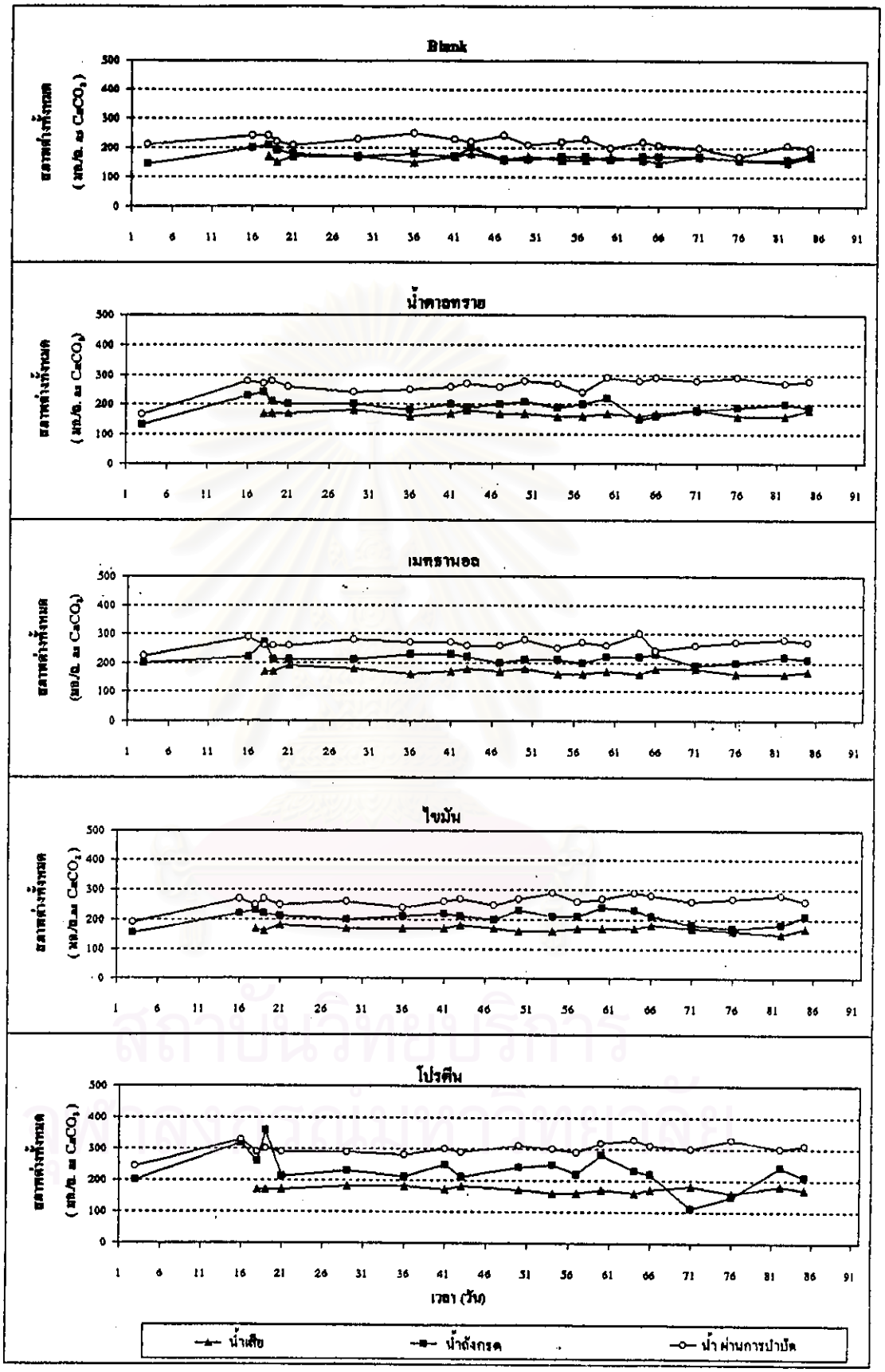
การทดลองกับน้ำย้อมสีน้ำเงิน มีการใช้ถังเตรียมน้ำทำหน้าที่เป็นถังกรดเพิ่มขึ้นมาจากการการทดลองด้วยน้ำย้อมสีแดง ซึ่งจากลักษณะการทำงานของถังกรดที่ระดับน้ำในถังมีการเปลี่ยนแปลงลดลงตลอดเวลา การเก็บตัวอย่างน้ำที่เป็นตัวแทนถังกรดจึงเป็นการเก็บตัวอย่าง ณ เวลาหนึ่งเท่านั้น ค่าซีโอดีที่ได้ไม่ใช่ค่าเฉลี่ยตลอดช่วงระยะเวลาการทำงานของถังกรด อย่างไรก็ตามพบว่ามีการกำจัดซีโอดีเกิดขึ้นในถังกรด เมื่อพิจารณาค่าซีโอดีและค่าประสิทธิภาพการกำจัด น้ำออกของน้ำย้อมสีน้ำเงินมีค่าต่ำกว่าน้ำออกของน้ำย้อมสีแดงอย่างเห็นได้ชัด ส่วนหนึ่งน่าจะเป็นผลมาจากการทำงานของถังกรด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.3.3. สภาพด่างทั้งหมด และกรดไขมันระเหย

การเดินระบบชุดที่ 2 ไม่มีการเติมบัฟเฟอร์เพิ่ม น้ำย้อมก่อนเข้าระบบมีสภาพด่างทั้งหมดประมาณ 170 มก./ล. (วัดในรูปแคลเซียมคาร์บอเนต) ใกล้เคียงกันทุกระบบ น้ำที่เหลือในถังกรดเมื่อเวลาผ่านไป 22 ชม. ของระบบ Blank น้ำตาลทราย เมทธานอล ไขมัน และ โปรตีน มีสภาพด่างทั้งหมดเพิ่มขึ้นเป็น 175 197 216 210 และ 233 มก./ล. น้ำทิ้งจากระบบยูเอเอสบีสภาพด่างทั้งหมดเพิ่มขึ้นเป็น 218 271 268 และ 304 มก./ล. สภาพด่างทั้งหมดที่เพิ่มขึ้นในถังกรดของระบบ Blank ไม่มากนัก เพิ่มขึ้นประมาณ 50 มก./ล. แสดงว่าแม้จะมีซีโอดีเข้าระบบต่ำ แต่เป็นไปได้ว่าระบบใช้เซลล์แบคทีเรียที่ตายในระบบร่วมกับมลสารบางส่วนที่มากับน้ำย้อมเป็นแหล่งอาหาร ย่อยสลายเป็นกรดไขมันระเหยได้ ทำให้สภาพด่างทั้งหมดเพิ่มขึ้นด้วย แต่วัตถุดิบดังกล่าวมีน้อยกว่าระบบที่มีการเติมสารอาหารอื่นๆ เพิ่ม สภาพด่างทั้งหมดจึงเพิ่มขึ้นไม่มากนัก ในขณะที่ระบบที่มีการเติมสารอาหารเพิ่มมีสภาพด่างทั้งหมดในถังกรดเพิ่มประมาณ 30-60 มก./ล. และรวมสุทธิจากระบบยูเอเอสบี เพิ่มขึ้นประมาณ 50-130 มก./ล. การเพิ่มสภาพด่างทั้งหมดในระบบเกิดขึ้นในขณะที่สีลดลงด้วย เป็นไปได้ว่าสภาพด่างที่เพิ่มขึ้นนอกจากจะมาจากความสามารถของเชื้อในระบบแล้ว อาจมาจากสีย้อมที่สลายตัวไปแล้ววัดออกมาได้ในรูปสภาพด่างเช่นกัน การจะทราบว่าสีย้อมที่สลายตัว ไม่แสดงสี ปะปนไปกับน้ำทิ้งในรูปใดต้องใช้เครื่องมือวัดที่สามารถวิเคราะห์โครงสร้างสีได้โดยละเอียด และต้องทราบโครงสร้างโมเลกุลสีย้อมก่อนการบำบัดที่ใช้เพื่อเทียบกับโครงสร้างสีหลังการสลายตัว ซึ่งในงานบำบัดน้ำเสียจริงจากโรงงานแล้วไม่สามารถทำเช่นนั้นได้ น้ำย้อมในบ่อพักน้ำเสียรวมของโรงงานฟอกย้อม มาจากสีย้อมและสารเคมีมากมายที่ไม่สามารถระบุโครงสร้างได้ สิ่งที่ควรให้ความสนใจศึกษาเพิ่มเติมน่าจะเป็นความเป็นพิษของสีย้อมหลังการบำบัดมากกว่า เนื่องจากสีย้อมบางชนิดหลังจากผ่านการบำบัดแล้วมีแนวโน้มว่าจะมีความเป็นพิษมากขึ้น (Bishop, 1994)

จากผลการเดินระบบชุดการทดลองที่ 1 และชุดการทดลองที่ 2 สอดคล้องไปในทิศทางเดียวกันว่า การใช้ระบบไร้ออกซิเจนบำบัดน้ำย้อมสีแดงและสีน้ำเงิน ความเข้มสี 100 เอสยู ที่มีสารอาหารวัดในรูปซีโอดีประมาณ 50-750 มก./ล. ทุกระบบมีสภาพด่างทั้งหมดเพิ่มขึ้น(รูปที่ 4.13) ไม่ว่าจะมีการเติมสารเคมีเพิ่มสภาพด่างทั้งหมดหรือไม่ก็ตาม ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าการใช้ระบบไร้ออกซิเจนแบบยูเอเอสบีบำบัดน้ำเสียสีย้อมภายใต้เงื่อนไขขอบเขตของงานวิจัยนี้ไม่จำเป็นต้องเติมสารเคมีเพื่อเพิ่มสภาพด่างทั้งหมด



รูปที่ 4.13 ค่าสภาพด่างทั้งหมด ตลอดการทดลองชุดที่ 2 น้ำย้อมสีน้ำเงิน

น้ำเสียเข้าระบบทุกระบบมีกรดไขมันระเหยประมาณ 50 มก./ล. ระบบที่เป็น Blank มีปริมาณกรดไขมันระเหยเพิ่มขึ้นในถังกรดน้อยมากจนไม่มีนัยสำคัญ ในขณะที่น้ำผ่านการบำบัดจากระบบยูเอเอสบีมีกรดไขมันระเหยเท่ากับ 65 มก./ล. ซึ่งเป็นการเพิ่มที่น้อยมาก แต่การที่มีค่าเพิ่มขึ้นได้แสดงว่าเชื้อในระบบยังมีการทำงานเปลี่ยนสารอาหารเป็นกรดไขมันระเหยได้บ้าง แม้ว่าจะมีการใช้ซีโอดีไปน้อยมาก แต่อาจใช้เซลล์ที่ตายแล้วเป็นแหล่งอาหารร่วมกับสารอาหารที่มีอยู่ในน้ำเสียสังเคราะห์

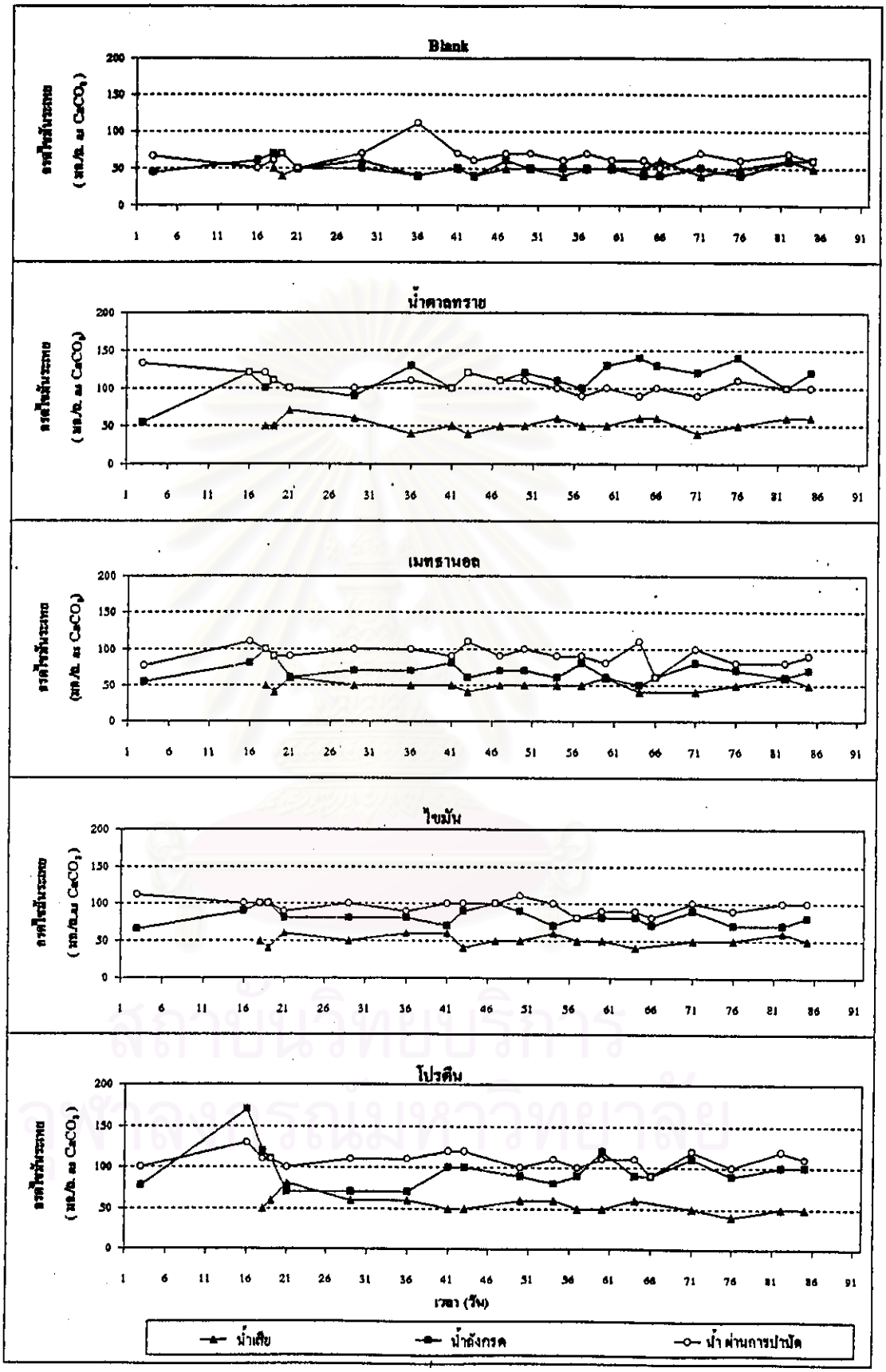
ปริมาณกรดไขมันระเหยในระบบที่มีการเติมน้ำตาลทรายมีลักษณะต่างจากชุดทดลองอื่น ดังตารางที่ 4.8 คือ มีปริมาณกรดไขมันระเหยในถังกรด 115 มก./ล. แล้วมีค่าลดลงหลังผ่านระบบยูเอเอสบี เหลือกรดไขมันระเหย 104 มก./ล. ในขณะที่ระบบที่มีการเติม เมทธานอล ไขมัน และโปรตีน มีกรดไขมันระเหยในถังกรด 71 83 และ 98 มก./ล. แล้วมีค่าเพิ่มขึ้นในน้ำที่ผ่านระบบยูเอเอสบี โดยมีกรดไขมันระเหยในน้ำผ่านการบำบัด 93 96 และ 110 มก./ล. ตามลำดับ แต่ความแตกต่างเชิงปริมาณของกรดไขมันระเหยที่เหลือจากระบบยูเอเอสบี ในช่วง 93-110 มก./ล. ถือว่าใกล้เคียงกันและไม่สามารถบอกความแตกต่างของสารอาหารที่มีต่อประสิทธิภาพในการสร้างกรดไขมันระเหยของระบบยูเอเอสบีได้

ตารางที่ 4.8 ค่าซีโอดี กรดไขมันระเหย และความเข้มสี การทดลองชุดที่ 2

สารอาหาร	ซีโอดี(มก./ล.)			กรดไขมันระเหย (มก./ล.)			ความเข้มสี (เอสยู)		
	น้ำเสีย	น้ำถังกรด	น้ำออก	น้ำเสีย	น้ำถังกรด	น้ำออก	น้ำเสีย	น้ำถังกรด	น้ำออก
Blank	61	59	49	49	52	65	101	101	90
น้ำตาลทราย	569	361	92	53	115	104	101	72	33
เมทธานอล	533	209	93	49	71	93	101	70	30
ไขมัน	641	289	115	51	83	96	102	42	25
โปรตีน	576	292	109	55	98	110	103	60	31

จากรูปที่ 4.14 เส้นกราฟค่ากรดไขมันระเหยในถังกรดของทุกระบบมีความแปรปรวนมากเนื่องจากเป็นการวัดค่ากรดไขมันระเหยที่เวลาหนึ่ง (22 ชม. หลังการเตรียมน้ำ) ยกเว้นในระบบที่เป็น Blank มีความแปรปรวนน้อย เพราะมีค่ากรดไขมันระเหยต่ำจนไม่เห็นการเปลี่ยนแปลงมากนัก จากลักษณะเส้นกราฟแสดงค่ากรดไขมันระเหยของน้ำผ่านการบำบัดออกจากระบบยูเอเอสบีของทุกระบบไม่มีความแปรปรวนตามไปกับลักษณะน้ำจากถังกรด แสดงว่า ไม่ว่าสภาพน้ำในถังกรดในช่วง 24 ชม. มีการเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร แต่ค่าเฉลี่ยรวมตลอดวันของลักษณะน้ำจากถังกรด น่าจะคงที่ ทำให้ไม่เห็นความเปลี่ยนแปลงกรดไขมันระเหยในน้ำผ่านการบำบัดจากระบบยูเอเอสบี แม้จะเดินระบบเป็นเวลานาน หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือ ระบบยูเอเอสบีที่ใช้สามารถรับความแปรปรวนของกรดไขมันระเหยในน้ำที่มาจากถังกรดได้ ทั้งนี้เนื่องจากการเดินระบบในงานวิจัยมีค่าภาระสารอินทรีย์ต่ำ การเปลี่ยนสารอาหารซึ่งมีปริมาณน้อยเป็นกรดไขมันระเหยจึงมีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



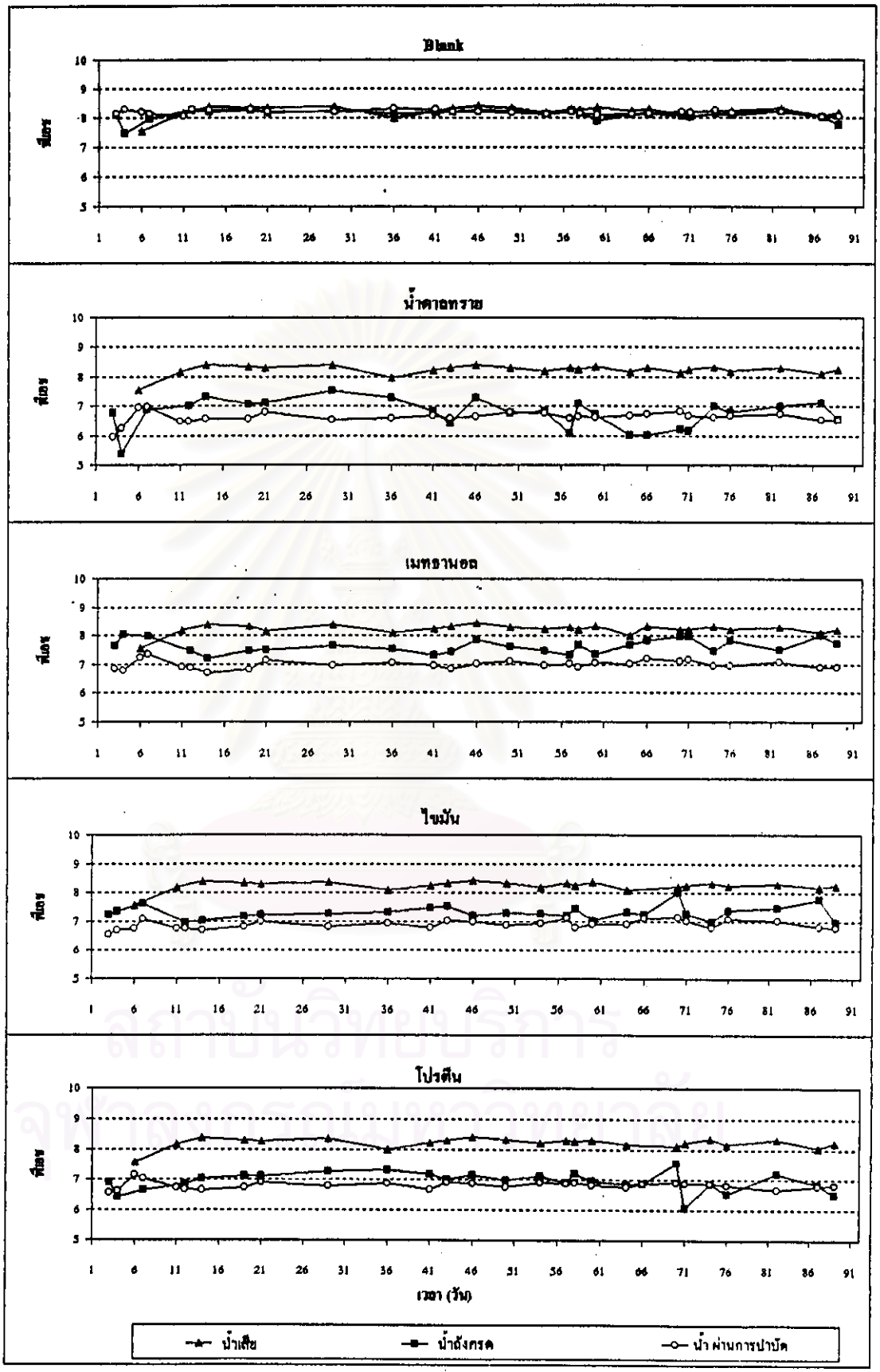
รูปที่ 4.14 ค่ากรดไขมันระเหย ตลอดการทดลองชุดที่ 2 น้ำย้อมสีน้ำเงิน

4.3.4. พีเอช

น้ำเสียสีน้ำเงินก่อนป้อนเข้าทุกระบบมีการปรับพีเอชด้วยกรดฟอสฟอริกมีพีเอชเฉลี่ย 8.25 พีเอชน้ำในถังกรดของระบบ Blank มีการเปลี่ยนแปลงลดลงเล็กน้อยเหลือ พีเอช 8.13 ซึ่งน้อยมากเมื่อเทียบกับระบบอื่นเช่น น้ำตาลทราย เมทธานอล ไขมัน และโปรตีน ที่มีพีเอช 6.86 7.63 7.32 และ 6.98 ตามลำดับ การที่พีเอชในถังที่มีการเติมสารอาหารลดลงมากเนื่องจากในระบบมีสารอาหารที่ย่อยได้ง่าย และเชื้อแบคทีเรียในถังย่อยสารอาหารให้เป็นกรดไขมันระเหยบางประเภท เช่น กรดอะซิติก ทำให้พีเอชต่ำลง สารอาหารประเภทน้ำตาลทรายและโปรตีน (ใช้นมถั่วเหลืองชนิดหวาน มีน้ำตาลเป็นส่วนประกอบร้อยละ 8) สามารถย่อยได้ง่าย มีการเปลี่ยนสารอาหารเป็นกรดไขมันระเหยมากกว่า ทำให้พีเอชลดลงเหลือ 6.86 - 6.98 ในขณะที่เมทธานอล ไขมันย่อยได้ยากกว่าพีเอชจึงไม่ลดลงมากนักโดยมีพีเอช 7.32 - 763 แสดงว่าถังเตรียมน้ำที่ไม่มีการล้างถังเอาเชื้อออกมีการทำงานเป็นถังกรดได้จริง

น้ำผ่านการบำบัดจากระบบยูเอเอสบีชุด Blank น้ำตาลทราย เมทธานอล ไขมัน และโปรตีน มีพีเอช 8.18 6.67 7.01 6.93 และ 6.83 ตามลำดับ ทุกระบบมีพีเอชลดลง เข้าใจว่าเนื่องจากในระบบมีบัฟเฟอร์ต่ำ และการทดลองชุดนี้มีค่าภาระสารอินทรีย์ต่ำทำให้สัดส่วนการละลายน้ำของกาซคาร์บอนไดออกไซด์สูงขึ้น ค่าพีเอชจึงลดลง แต่พีเอชในระบบจึงไม่ลดลงมากเกินไป และมีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนักตลอดระยะเวลาการเดินระบบ (รูปที่ 4.15) แต่ในกรณีของน้ำถังกรด ค่าพีเอชแต่ละวันมีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างมาก เนื่องจากการเก็บตัวอย่างน้ำในถังกรดเป็นการเก็บตัวอย่างน้ำที่เหลือในถังเตรียมน้ำ ณ เวลาหนึ่ง ซึ่งความแตกต่างของปริมาณน้ำที่เหลือไม่เท่ากันในแต่ละวัน เนื่องจากความคลาดเคลื่อนของอัตราสูบของเครื่องสูบน้ำ มีผลต่อค่าพีเอช

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.15 ค่าพีเอช ตลอดการทดลองชุดที่ 2 น้ำย้อมสีน้ำเงิน

การทดลองเดินระบบด้วยน้ำย้อมสีน้ำเงินมีความแตกต่างจากการเดินระบบด้วยน้ำย้อมสีแดงทั้งด้านลักษณะสมบัติของน้ำเสีย และลักษณะของระบบที่ใช้บางประการ เช่นการมีถังกรด และ อื่นๆ ตามรายละเอียดดังกล่าวมาแล้วในหัวข้อ 4.3 อย่างไรก็ตามค่าพีเอชจากการทดลองทั้งสองชุด เมื่อนำมาเปรียบเทียบกันในตารางที่ 4.4 และพิจารณาร่วมกับรูปที่ 4.15 แสดงให้เห็นว่าน้ำเสียสีย้อมบางประเภทเช่นน้ำเสียสีย้อมสีน้ำเงินที่ใช้ในงานทดลองนี้ มีความเป็นไปได้ในการเดินระบบให้มีพีเอชค่อนข้างคงที่ในระดับที่ไม่เป็นอันตรายต่อแบคทีเรียในระบบโดยไม่จำเป็นต้องใช้สารเคมีอื่นเป็นบัฟเฟอร์เพิ่ม ถ้าจัดการวิธีเดินระบบบำบัดน้ำเสียสีย้อมได้อย่างเหมาะสม เช่น ความเข้มข้นสารอาหาร พีเอชน้ำเข้าระบบ และอื่นๆ ระบบสามารถมีพีเอชอยู่ในช่วงที่ต้องการและค่อนข้างสม่ำเสมอเป็นเวลานาน ตลอดระยะเวลาการเดินระบบค่าพีเอชไม่ลดต่ำลงไปมากนักจากช่วงที่เหมาะสมสำหรับแบคทีเรียประเภทเมทธาโนเจนที่พีเอช 6.8 - 7.2 และมีบางระบบที่มีพีเอชเพิ่มสูงขึ้นแทนที่จะลดต่ำลง เช่นระบบ Blank ทั้งสองชุดการทดลอง เนื่องจากมีความเข้มข้นสารอาหารเข้าระบบต่ำกว่าระบบอื่น นอกจากนี้ระบบที่เติมสารอาหารประเภทเมทธานอล และไขมัน ในการบำบัดน้ำย้อมสีแดงก็มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน คือไม่ต้องมีการเติมโซเดียมไบคาร์บอเนตเพิ่ม พีเอชก็ไม่ลดลงมากนัก ส่วนระบบที่ใช้น้ำตาลทรายและโปรตีนชุดการทดลองที่ 1 มีการเติมโซเดียมไบคาร์บอเนตเพิ่ม (จากความที่เกรงไปว่าพีเอชของระบบจะลดต่ำลงมากเกินไป) พบว่าการเติมโซเดียมไบคาร์บอเนตเพิ่มทำให้น้ำเสียเข้าระบบมีพีเอชสูงขึ้น แต่กลับไม่ทำให้น้ำผ่านการบำบัดมีพีเอชสูงขึ้นมากนัก

ตารางที่ 4.9 ค่าพีเอชระหว่างการทดลองด้วยน้ำย้อมสีแดงกับน้ำย้อมสีน้ำเงิน

สารอาหาร	พีเอช				
	น้ำย้อมสีแดง		น้ำย้อมสีน้ำเงิน		
	น้ำเสีย	น้ำผ่านการบำบัด	น้ำเสีย	น้ำถังกรด	น้ำผ่านการบำบัด
Blank	7.12	7.49	8.25	8.13	8.18
น้ำตาลทราย	9.29 [1]	7.02	8.26	6.86	6.67
เมทธานอล	7.13	6.98	8.25	7.63	7.01
ไขมัน	7.13	7.03	8.27	7.32	6.93
โปรตีน	9.3 [1]	7.76	8.24	6.98	6.83

[1] มีการเติมโซเดียมไบคาร์บอเนตเพิ่ม

4.3.5. โออาร์พี

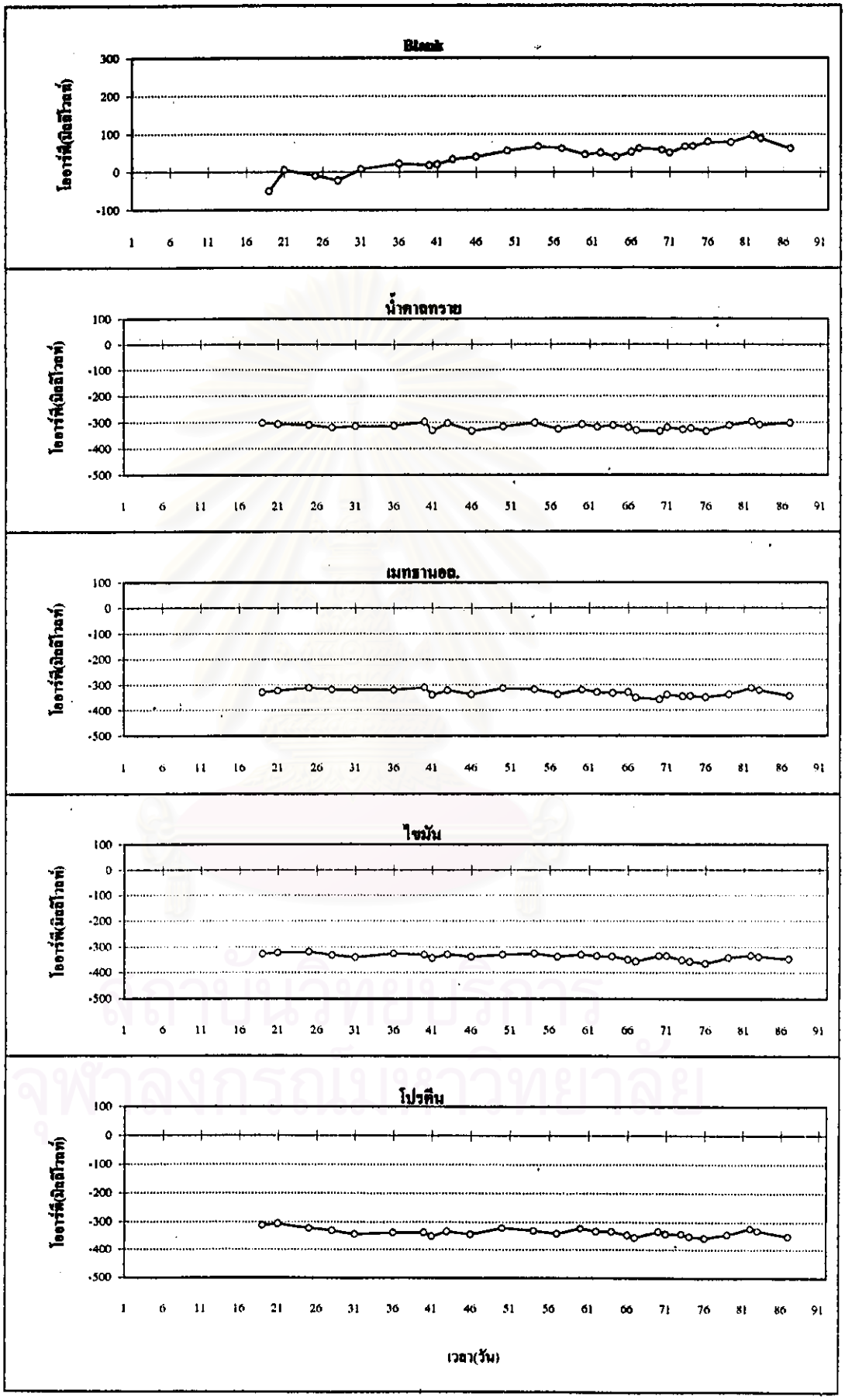
ค่าโออาร์พีของระบบที่เติมสารอาหาร น้ำตาลทราย เมทธานอล ไขมัน และโปรตีน ค่อนข้างคงที่ตลอดการทดลอง เฉลี่ย -315 -331 -339 และ -336 มิลลิโวลท์ ตามลำดับ ความแตกต่างของค่าโออาร์พีจัดว่าน้อย แสดงว่าภาพรวมการทำงานของระบบที่ใช้สารอาหารทั้ง 4 ชนิด ไม่แตกต่างกันมากนัก แต่เป็นที่น่าสังเกตว่าทั้ง 4 ระบบ มีค่าโออาร์พีติดลบมากกว่าในการทดลองชุดที่ 1 (น้ำย้อมสีแดง) ดังตารางที่ 4.10 คาดว่าเนื่องจากการที่มีถังกรดเพิ่มขึ้นทำให้ระบบมีการทำงานดีขึ้น

ระบบที่ไม่มีการเติมสารอาหาร (Blank) มีค่าโออาร์พีต่างจากระบบอื่นๆ มาก โออาร์พีเฉลี่ย 42 มิลลิโวลท์ จากรูปที่ 4.16 โออาร์พีของระบบมีการเปลี่ยนแปลงเป็นบวกเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ค่าเฉลี่ยที่ได้ 42 มิลลิโวลท์ เป็นค่าเฉลี่ยของโออาร์พีที่กำลังเพิ่มขึ้น ไม่ใช่ค่าเฉลี่ยจากโออาร์พีที่มีสภาวะคงที่ การที่โออาร์พีเปลี่ยนจาก -251 มิลลิโวลท์จากการทดลองกับน้ำย้อมสีแดง ไปเป็นค่าบวกเมื่อทดลองกับน้ำย้อมสีน้ำเงิน แสดงว่าระบบ Blank ไม่มีการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไร้ออกซิเจนและมีออกซิเจนละลายจากน้ำประปาที่ใช้ในการเตรียมน้ำเสียเหลืออยู่ ลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่าโออาร์พีเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ แสดงภาพการทำงานของระบบว่ามีซีโอดีน้อยเกินไปจนเชื้อในระบบไม่สามารถใช้สารอาหารที่มีอยู่อย่างจำกัดดำรงสภาพไร้ออกซิเจนต่อไปได้ ไม่เหมือนการใช้น้ำย้อมสีแดงที่ระบบสามารถใช้เพียงมลสารที่มากับน้ำย้อมรักษาสภาพไร้ออกซิเจนและมีค่าโออาร์พีติดลบไว้ได้ตลอดช่วงการเดินระบบ

ตารางที่ 4.10 ค่าโออาร์พีระหว่างการทดลองด้วยน้ำย้อมสีแดงกับน้ำย้อมสีน้ำเงิน

สารอาหาร	โออาร์พีเฉลี่ย (มิลลิโวลท์)	
	น้ำย้อมสีแดง	น้ำย้อมสีน้ำเงิน
Blamk	-251	+42 [1]
น้ำตาลทราย	-283	-315
เมทธานอล	-289	-331
ไขมัน	-294	-339
โปรตีน	-315	-336

[1] ค่าเฉลี่ยของโออาร์พีขณะที่มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.16 ค่าโอดาร์พี ตลอดการทดลองชุดที่ 2 น้ำย้อมสีน้ำเงิน

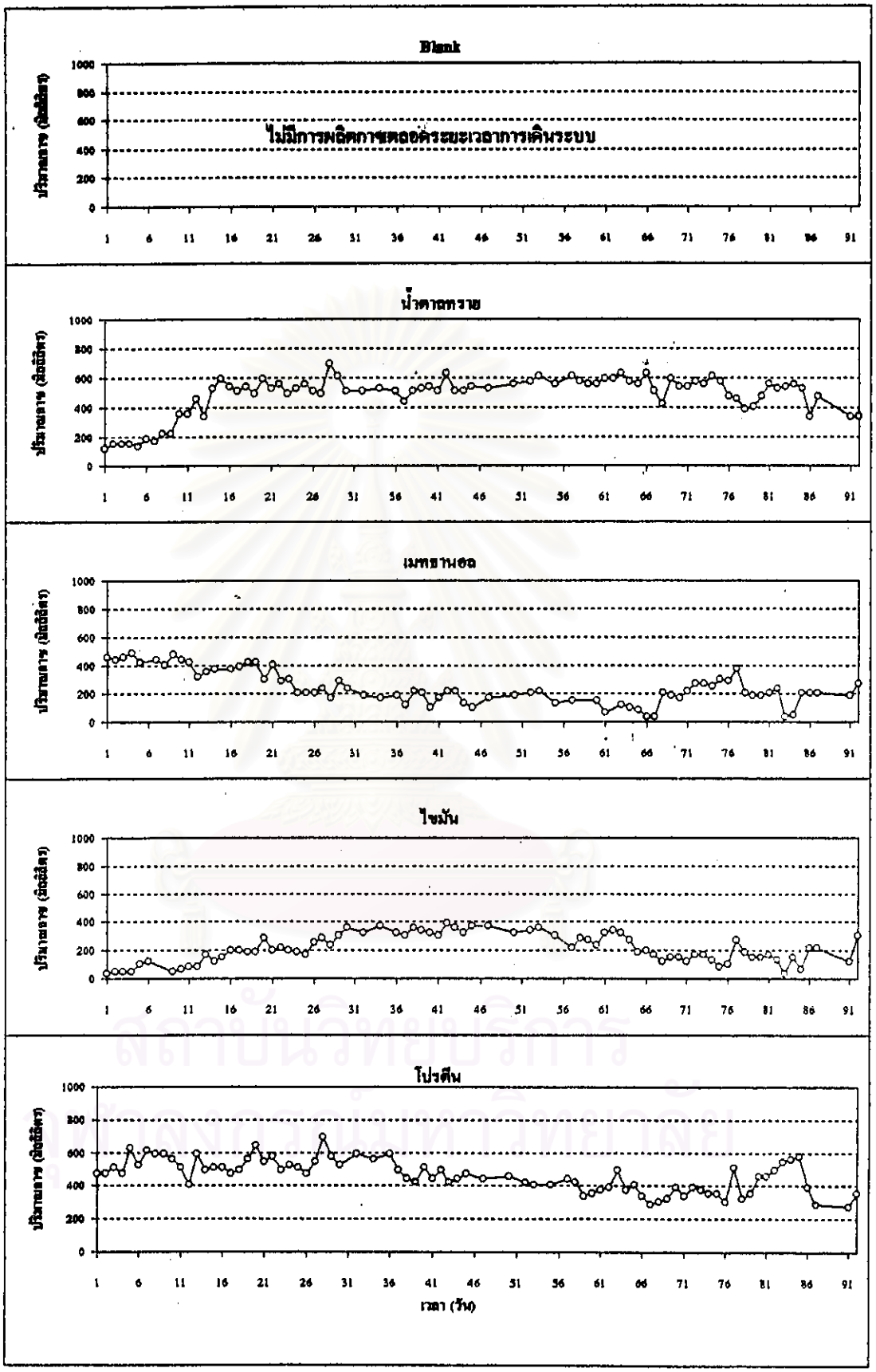
4.3.6 ปริมาณกาซชีวภาพ

หลังจากปิดการทดลองชุดที่ 1 น้ำย้อมสีแดง เริ่มการทดลองชุดที่ 2 โดยใช้น้ำย้อมสีน้ำเงิน และมีการใช้ถังเตรียมน้ำทำหน้าที่เป็นถังกรด เพิ่มขึ้นมาจากการทดลองชุดที่ 1

การเดินระบบต่อเนื่องหลังจากปิดการทดลองชุดที่1 ทำให้เชื้อยังคงคุ้นเคยกับน้ำเสียสีย้อม และสารอาหารแต่ละประเภท ทำให้ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวได้รวดเร็ว ดังรูปที่ 4.17 เช่นระบบที่ใช้น้ำตาลทรายเป็นสารอาหารมีอัตราการผลิตกาซเพิ่มขึ้นและคงที่ภายใน 15วัน ระบบที่มีการเติมสารอาหารเพิ่มทุกระบบสามารถผลิตกาซชีวภาพได้ และมากกว่าการทดลองชุดที่ 1 ดังเปรียบเทียบในตารางที่ 4.11 แม้แต่ไขมันซึ่งไม่มีการผลิตกาซในการทดลองที่ 1 กลับสามารถผลิตกาซขึ้นได้ด้วย โดยระบบที่ใช้น้ำตาลทราย เมทธานอล ไขมัน และโปรตีน ผลิตกาซชีวภาพได้เฉลี่ย 530 213 235 และ 453 มิลลิลิตรต่อวัน ตามลำดับ ความสามารถในการผลิตกาซชีวภาพที่เพิ่มขึ้นนี้น่าจะเป็นผลจากการทำงานของถังกรดมากกว่าที่จะเป็นผลจากการปรับตัวให้คุ้นเคยกับสารอาหารแต่ละชนิด เพราะการทดลองชุดที่ 1 ใช้เวลาเดินระบบนานกว่า 6 เดือน หากแบคทีเรียสามารถปรับตัวให้คุ้นเคยกับสารอาหารได้ ควรเห็นการเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ในช่วงระยะเวลาดังกล่าว หรือเห็นการเปลี่ยนแปลงการผลิตกาซเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ในช่วงระยะเวลาการทดลองชุดที่ 2

ตารางที่ 4.11 ปริมาณกาซที่ผลิตได้ในแต่ละวันของน้ำย้อมสีแดงและน้ำย้อมสีน้ำเงิน

สารอาหาร	น้ำย้อมสีแดง			น้ำย้อมสีน้ำเงิน		
	กรดไขมันระเหย (มก./ล.)	ปริมาณกาซ (มล.)		กรดไขมันระเหย (มก./ล.)	ปริมาณกาซ (มล.)	
		เกิดขึ้นจริง	คำนวณ		เกิดขึ้นจริง	คำนวณ
Blank	172	---	20	65	---	8
น้ำตาลทราย	336	67	153	104	530	353
เมทธานอล	223	100	165	93	213	308
ไขมัน	224	0.5	246	96	235	368
โปรตีน	165	206	185	110	453	327



รูปที่ 4.17 ปริมาณกาซชีวภาพ ตลอดการทดลองชุดที่ 2 น้ำย้อมสีน้ำเงิน

จากตารางที่ 4.11 เห็นได้ชัดว่าการผลิตก๊าซของการทดลองชุดที่ 2 เพิ่มมากกว่าการทดลองชุดที่ 1 มาก แม้จะมีความแตกต่างระหว่างไทนสีของน้ำเสียแต่ส่วนหนึ่งน่าจะมาจากการมีถังกรดเพิ่มขึ้นในการทดลองชุดที่ 2 และการผลิตก๊าซได้มากทำให้มีปริมาณกรดไขมันระเหยเหลืออยู่น้อย มีข้อสังเกตว่า ปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นในระบบที่ใช้น้ำตาลทรายและโปรตีนของการทดลองชุดที่ 2 มีค่าสูงกว่าค่าจากการคำนวณมากเนื่องจากเครื่องมือวัดก๊าซที่ใช้ มีหลักการทำงานโดยให้ก๊าซแทนที่น้ำในกล่องเก็บขนาดเล็ก มีการปรับเทียบปริมาณก๊าซต่อการแทนที่น้ำ 1 ครั้ง แล้วนับจำนวนครั้งของการแทนที่น้ำ เมื่อมีก๊าซปริมาณมากจำนวนครั้งของการแทนที่น้ำก็เพิ่มมากขึ้น ทำให้ค่าความผิดพลาดของปริมาณก๊าซต่อการแทนที่น้ำแต่ละครั้งที่ปรับเทียบไว้สะสมมากขึ้น

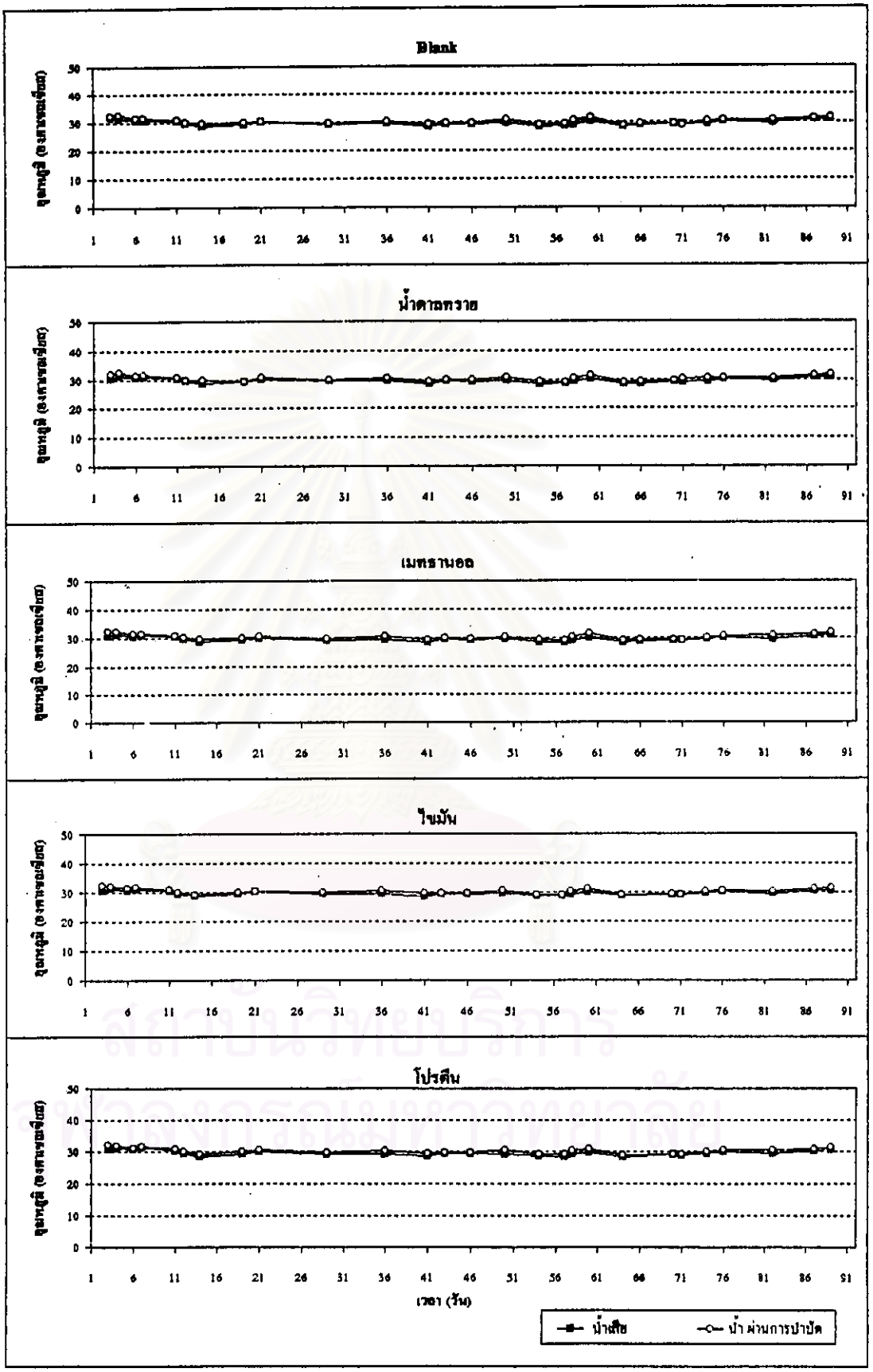
ก๊าซที่เกิดขึ้นจากทุกระบบสามารถจุดไฟติด เปลวไฟสีน้ำเงิน มีความร้อนสูง ผลการวิเคราะห์สัดส่วนก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพดังกล่าวด้วยเครื่อง gas chromatography ก๊าซจากระบบที่ใช้น้ำตาลทราย เมทธานอล ไขมัน และโปรตีน มีสัดส่วนก๊าซมีเทนร้อยละ 55 57 49 และ 53 ตามลำดับ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.3.7 อุณหภูมิ

ในการทดลองชุดที่ 2 ยังคงวัดอุณหภูมิควบคู่ไปกับการวัดพีเอช เช่นเดียวกับการทดลองชุดที่ 1 โดยใช้ชุดทดลองชุดเดิมที่ไม่มีการควบคุมอุณหภูมิ แต่จากรูปที่ 4.18 อุณหภูมิตลอดระยะเวลา 3 เดือนของการเดินระบบ ยังคงที่อยู่ในช่วงประมาณ 30 องศาเซลเซียสเท่ากับการทดลองชุดที่ 1 ผลของอุณหภูมิที่คงที่ตลอดทั้งสองชุดการทดลองไม่สามารถนำไปวิเคราะห์เชื่อมโยงกับสภาพการเปลี่ยนแปลงการทำงานช่วงต่างๆ ของระบบได้ชัดเจนมากนัก แต่การเดินระบบและเก็บผลอุณหภูมินานเกือบ 1 ปี เป็นการยืนยันถึงความเหมาะสมในการนำระบบไร้ออกซิเจนมาใช้ในประเทศไทยมากขึ้น เพราะจะไม่มีผลกระทบจากอุณหภูมิหนาวเย็น หรือการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิมากเหมือนประเทศในเขตหนาวอื่นๆ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.18 อุณหภูมิ ตลอดการทดลองชุดที่ 2 น้ำย้อมสีน้ำเงิน

4.4 อิทธิพลของสารอาหารแต่ละชนิดต่อการทำงานของระบบไร้ออกซิเจน

4.4.1 ข้อดีและปัญหาของการใช้สารอาหารชนิดต่างๆ

การเติมสารอาหารเพิ่มลงในน้ำเสียสีย้อม นอกจากจะหวังผลจากอิทธิพลของสารอาหารในการช่วยลดสีแล้ว สารอาหารแต่ละชนิด ยังให้ผลต่อสภาพระบบโดยรวมต่างกันออกไป เช่น การเกิดเชื้อในระบบป้อนน้ำเข้าก่อนเข้าถังปฏิกิริยา การเกิดสกัมม์ ความยุ่งยากในการเตรียมน้ำเสีย เหล่านี้เป็นต้น ปัญหาต่างๆ ดังกล่าวเห็นได้ชัดในชุดทดลองขนาดเล็กที่ใช้สายยางและรูเจาะทางน้ำเข้าออกจากระบบเล็ก การเกิดสกัมม์เพียงเล็กน้อยจะอุดช่องทางน้ำออก ทำให้น้ำล้นจากระบบ หรือหากไปติดค้างอยู่ในเครื่องสูบน้ำ อาจทำให้เครื่องสูบน้ำไม่สามารถสูบน้ำเสียเข้าชุดทดลองได้ ซึ่งในการเดินระบบขนาดใหญ่ปัญหาบางอย่างจะถูกมองข้ามไป เช่นการเกิดเชื้อในสายส่งน้ำเข้าถังปฏิกิริยาจัดว่าเล็กน้อยมากเมื่อเทียบกับปริมาณน้ำเสียที่ใช้แต่ละวันจนไม่มีผลต่อการทำงานโดยรวมของระบบ และมีโอกาสที่เชื้อเกิดอุดตันในท่อส่งน้ำน้อยกว่าชุดทดลองขนาดเล็ก

ในการเดินระบบขนาดเล็กที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ระบบที่ไม่มีการเติมสารอาหารเพิ่ม (Blank) ไม่มีปัญหาการเกิดเชื้อในสายยางส่งน้ำช่วงจากเครื่องสูบน้ำไปยังถังควบคุมความดันและจากถังควบคุมความดันไปยังคอลัมน์(ถังปฏิกิริยา) เนื่องจากน้ำเสียมีซีโอดีต่ำ เชื้อเกิดในสายยางมีปริมาณน้อยสามารถหลุดไปกับน้ำเสียเข้าสู่คอลัมน์ได้ ไม่เกิดปัญหาสกัมม์อุดที่บริเวณช่องทางน้ำเข้าออก และไม่มีตะไคร่น้ำในคอลัมน์ ส่วนหนึ่งอาจเป็นเพราะระบบชุดนี้ลดสีลงได้น้อย ทำให้แสงแดดส่องผ่านไปยังคอลัมน์ได้น้อยไม่เพียงพอต่อการสังเคราะห์แสงของตะไคร่น้ำ การใช้น้ำเสียสีย้อมเพียงแหล่งเดียวเดินระบบเป็นเวลานานๆ สภาพโดยรวมของระบบยังคงสะอาดไม่เกิดปัญหาสกัมม์ เครื่องสูบน้ำสามารถทำงานต่อเนื่องได้นานหลายเดือนโดยไม่ต้องถอดทำความสะอาด เนื่องจากไม่มีเชื้อไปอุดในเครื่องสูบน้ำ และไม่มีการผลิตกาซชีวภาพตลอดระยะเวลาการเดินระบบไม่ว่าใช้น้ำย้อมสีแดงหรือสีน้ำเงิน การที่ไม่มีกาซเกิดขึ้น นอกจากจะแสดงถึงความไม่สมบูรณ์ของขั้นตอนการย่อยสารอาหารตามกระบวนไร้ออกซิเจนแล้ว ยังไม่มีฟองกาซช่วยกวนผสมให้น้ำเสียสัมผัสกับเชื้อในระบบอย่างทั่วถึงอาจเกิดการไหลลัดวงจรออกไปช่องทางเดียวทำให้ประสิทธิภาพของระบบลดลง

สำหรับชุดทดลองขนาดเล็กที่ต้องมีการเตรียมน้ำเสียใหม่ทุกวัน การใช้น้ำตาลทรายเป็นสารอาหารทำได้สะดวก น้ำตาลทรายสามารถเก็บไว้ได้นาน เมื่อต้องการใช้เพียงชั่งให้ได้น้ำหนักตามต้องการแล้วกวนผสมกับน้ำเสียเท่านั้น แต่ในระบบขนาดใหญ่อาจมีปัญหาการใช้น้ำตาลทราย

เป็นสารอาหารอยู่บ้าง โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับระบบที่มีน้ำไหลต่อเนื่อง ไม่สามารถผสมทีละถังได้ ซึ่งแก้ปัญหาโดยละลายน้ำตาลทรายเก็บไว้ในรูปน้ำหวานเข้มข้นแล้วป้อนเข้าระบบพร้อมกับน้ำเสีย โดยตรง การเติมน้ำตาลทรายในอัตรา 500 มก./ล. วัดในรูปซีโอดี เพิ่มความสามารถในการกำจัดสีขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ การใช้น้ำตาลทรายเป็นสารอาหารสำหรับงานทดลองขนาดเล็กมีปัญหาเรื่องสกัมม์อยู่บ้าง ต้องหมั่นทำความสะอาดช่องทางน้ำเข้าออกจากถังต่างๆ และในสายยางป้อนน้ำเข้าระบบ มักมีปัญหาเชื้อสะสมตัวอยู่ในเครื่องสูบน้ำทำให้อัตราสูบเปลี่ยนแปลง ต้องหมั่นถอดทำความสะอาดทุกเดือน นอกจากนี้ยังมีเชื้อลักษณะเป็นฟิล์มบางๆ เกิดในสายยาง และมีตะไคร่น้ำเกิดในคอลัมน์ด้วย แต่ภาพรวมโดยทั่วไปน้ำตาลทรายเป็นสารอาหารที่สามารถใช้งานได้ดี ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อม ระบบมีการผลิตกาซชีวภาพ สังเกตพบว่าในการทดลองชุดที่ 2 ที่มีการประยุกต์ใช้ถังเตรียมน้ำทำหน้าที่เป็นถังกรดทำให้ปัญหาการเกิดสกัมม์ลดลงกว่าการทดลองชุดที่ 1 มาก แต่ปัญหาการเกิดตะไคร่น้ำยังคงมีอยู่

การใช้เมทธานอลเป็นสารอาหารเพิ่มแก่ระบบในอัตรา 500 มก./ล.ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการลดสีได้ใกล้เคียงกับการใช้น้ำตาลทราย แต่ใช้ในปริมาณที่น้อยกว่าน้ำตาลทราย ข้อด้อยของการใช้เมทธานอลคือ เมทธานอลเป็นสารเคมีที่ระเหยได้เร็ว ติดไฟง่าย เป็นตัวทำละลายที่ดีและมีราคาแพง ในการทดลองขนาดเล็กไม่ต้องคำนึงถึงปัญหาเหล่านี้มากนัก แต่การนำไปใช้ในระบบขนาดใหญ่ อุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการป้อนเมทธานอลเข้าระบบ เช่น ท่อ เครื่องสูบสารเคมี ซีลยางต่างๆ ต้องเลือกใช้ชนิดที่ทนต่อเมทธานอลได้ และปัญหาเรื่องการเก็บรักษาเมทธานอลให้ปลอดภัยจากอัคคีภัย อาจต้องใช้เครื่องจักรที่มีมาตรฐานความปลอดภัยขั้นกันระเบิด (Explosion Proof) หรือไม่ก่อให้เกิดประกายไฟ (Intrinsicly Safe) ซึ่งจะทำให้ชุดอุปกรณ์ดังกล่าวมีราคาสูงขึ้นมาก นอกจากนี้การใช้เมทธานอลที่ระเหยเร็วแต่ใช้ปริมาณน้อย ทำให้มีโอกาสเตรียมน้ำเสียหลาดเคลื่อนจากความเข้มข้นที่ต้องการสูง และต้องใช้พลังงานสูงในการผสมให้เป็นเนื้อเดียวกับน้ำเสีย ในการออกแบบระบบอาจต้องออกแบบให้มีจุดจ่ายเมทธานอลเข้าบริเวณด้านดูดของเครื่องสูบน้ำเสีย เพื่ออาศัยความปั่นป่วนจากเครื่องสูบน้ำช่วยกวนผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน ภาพรวมการใช้เมทธานอลเป็นสารอาหารในการกำจัดสีอยู่ในเกณฑ์พอใช้ ไม่มีปัญหาเรื่องสกัมม์ แต่มีปัญหาการเกิดฟองในถังกรดของชุดการทดลองที่ 2 มีฟองกาซค้างอยู่ในเครื่องสูบน้ำทำให้อัตราสูบเปลี่ยนแปลงง่ายต้องหมั่นเปรียบเทียบ แต่ถ้าใช้ในระบบขนาดใหญ่ปัญหานี้น่าจะหมดไป เมื่อพิจารณาจากหลักความปลอดภัย ความยุ่งยากในการใช้งาน และราคาอุปกรณ์สำหรับป้อนเมทธานอลในระบบบำบัดขนาดใหญ่เทียบกับประสิทธิภาพการกำจัดสีที่เพิ่มขึ้น ควรเลือกใช้สารอาหารอื่นจะเหมาะสมกว่า

ไขมัน เป็นสารอาหารอีกประเภทหนึ่งที่ทดลองใช้เพิ่มให้แก่ระบบ จากการทดลองชุดที่ 1 (น้ำย้อมสีแดง) ประสิทธิภาพการกำจัดสีไม่น่าพอใจนัก แต่ในการทดลองชุดที่ 2 เมื่อมีถังกรดทำงานร่วมกับระบบยูเอเอสบี กลับพบว่าสามารถกำจัดสีลงได้ในเกณฑ์ดีมาก น้ำผ่านการบำบัดมีสีลดลงจนไม่เป็นที่น่ารังเกียจ การที่ไขมันไม่สามารถใช้งานได้ดีในการทดลองกับน้ำย้อมสีแดง สันนิษฐานว่าเกิดจากการที่ไขมันเป็นสารอินทรีย์ย่อยได้ยาก เมื่อใช้ระบบยูเอเอสบีที่มีเวลากักน้ำน้อย แบคทีเรียในระบบไม่สามารถใช้ไขมันได้มากเท่าที่ควร เมื่อมีถังกรดเพิ่มขึ้นในการทดลองชุดที่ 2 ทำให้กระบวนการย่อยไขมันเกิดได้อย่างสมบูรณ์ขึ้น แบคทีเรียใช้ไขมันไปพร้อมๆ กับการกำจัดสีประสิทธิภาพการกำจัดสีจึงเพิ่มขึ้น การใช้ไขมันกับชุดทดลองยูเอเอสบีขนาดเล็กที่ไม่มีถังกรด ทำให้เกิดปัญหาเรื่องสกัมม์ในถังควบคุมความดันและคอลัมน์มาก ต้องหมั่นทำความสะอาดช่องทางน้ำออก แต่การมีถังกรดสามารถแก้ปัญหานี้ให้หมดไปได้ ข้อดีของการใช้ไขมันเป็นสารอาหารคือ ใช้ปริมาณน้อยมาก ราคาถูก เก็บรักษาง่าย ข้อเสียคือ ไขมันที่เติมเข้าไปมักแยกตัวออกจากน้ำเสีย ต้องมีการปั่นผสมให้เป็นเนื้อเดียวกับน้ำเสีย ในชุดทดลองขนาดเล็กสามารถใช้เครื่องปั่นน้ำผลไม้ในการเตรียมน้ำเสียได้ แต่ในระบบขนาดใหญ่ต้องใช้เครื่องบด (Blender) ปั่นผสมไขมันเข้ากับน้ำเสีย การป้อนไขมันเข้าทางด้านดูดของเครื่องสูบน้ำอาจให้การปั่นผสมไม่ดีพอและไขมันจะแยกตัวออกจากน้ำเสียได้ง่าย แบคทีเรียมีโอกาสสัมผัสและใช้ประโยชน์จากไขมันที่แยกตัวออกมาน้อย ทำให้ประสิทธิภาพการทำงานลดลง จากงานวิจัยนี้ ระบบที่ใช้ไขมันในการทดลองกับน้ำย้อมสีแดงลดสีลงได้ไม่มากนัก แต่เมื่อพิจารณาระบบที่ใช้ไขมันกับน้ำย้อมสีน้ำเงินที่มีการใช้ถังกรดร่วมด้วย พบว่าการใช้ไขมันช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดสีได้ แสดงถึงความเป็นไปได้ในการใช้ไขมันเป็นสารอาหารสำหรับงานบำบัดน้ำเสียสีย้อม

สารอาหารประเภทสุดท้ายที่ทดลองเติมให้กับระบบคือ โปรตีน ซึ่งใช้โปรตีนจากนมถั่วเหลือง เนื่องจากจัดหาและเตรียมได้ง่าย การเติมโปรตีนในชุดทดลองขนาดเล็กมีปัญหาเรื่องการเกิดสกัมม์และตะใคร่น้ำในคอลัมม์บ้าง ต้องหมั่นทำความสะอาดช่องทางน้ำเข้าออกอยู่เสมอ การมีถังกรดและการควบคุมปริมาณโปรตีนที่ใช้ช่วยแก้ปัญหาดังกล่าวได้ ข้อดีการใช้โปรตีนที่สังเกตเห็นได้ชัดในงานวิจัยนี้คือ การลดลงของสีเกิดขึ้นได้ในเวลาสั้น การพบประสิทธิภาพการทำงานของถังกรดครั้งแรก พบในถังเตรียมน้ำที่ใช้โปรตีนเป็นสารอาหารทั้งที่มีการล้างถังทุกวัน แสดงว่าการกำจัดสีในระบบที่ใช้โปรตีนเกิดได้รวดเร็ว เป็นไปได้ว่า แม้โปรตีนจะเป็นสารอาหารที่ย่อยได้ยาก แต่การใช้โปรตีนจากนมถั่วเหลืองที่บูดง่ายอาจทำให้เกิดกระบวนการหมักหรือกระบวนการอื่นๆ ที่มีผลต่อการช่วยกำจัดสี ซึ่งขอบเขตของงานวิจัยนี้ไม่ได้เจาะลึกถึงประสิทธิภาพและกลไกการกำจัดสีด้วยกระบวนการดังกล่าว เป็นเพียงการตั้งข้อสังเกตเพื่อเป็นประเด็นในการค้นคว้า

ต่อไป หลังจากเดินระบบนานประมาณ 12 เดือน พบว่าเชื้อในระบบที่เติมโปรตีนมีปริมาณเพิ่มขึ้นมากกว่าระบบที่ใช้สารอาหารชนิดอื่นอย่างเห็นได้ชัด จากปริมาณเชื้อเริ่มต้นประมาณ 700 มล. เพิ่มขึ้นเป็นประมาณ 1 ลิตร ในขณะที่ระบบอื่นสังเกตปริมาณเชื้อที่เพิ่มขึ้นได้น้อยมาก หากพิจารณาเพียงผิวเผินอาจเข้าใจว่าเป็นข้อเสียของการใช้โปรตีน ทำให้มีปริมาณเชื้อในระบบเกิดขึ้นมากและต้องเป็นปัญหาในการจัดการเชื้อส่วนเกิน แต่ในความเป็นจริงแล้วการเพิ่มของเชื้อเพียงประมาณร้อยละ 40 ต่อปี จัดว่าน้อยมาก และยังมีความต้องการเชื้อเพื่อนำไปใช้สำหรับงานบำบัดน้ำเสียประเภทอื่นในประเทศไทยอีกมาก เชื้อที่เกิดขึ้นจึงไม่ใช่ของเสียที่เป็นภาระในการกำจัด แต่เป็นของมีค่า เป็นที่ต้องการของผู้เกี่ยวข้องในงานบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจน

การใช้โปรตีนเป็นสารอาหารเพิ่มให้กับระบบบำบัดที่ไม่มีถังกรดในการบำบัดน้ำย้อมสีแดงให้ประสิทธิภาพการลดสีสูงกว่าการใช้สารอาหารประเภทอื่นๆ เมื่อใช้ในระบบบำบัดที่มีถังกรดของการทดลองชุดที่ 2 (น้ำย้อมสีน้ำเงิน) พบว่าระบบยังคงกำจัดสีได้ดี แต่เมื่อเทียบกับไขมันที่มีประสิทธิภาพการกำจัดสีเพิ่มขึ้นสูงมาก ทำให้ดูเหมือนว่าโปรตีนมีประสิทธิภาพการกำจัดสีเพิ่มขึ้นไม่มากนัก

ข้อเสียของการใช้โปรตีนคือหากไม่มีการควบคุมปริมาณโปรตีนอย่างถูกต้องจะทำให้เกิดการเน่าเสียและมีกลิ่นเหม็น รวมทั้งแหล่งโปรตีนต่างๆ ที่จะนำมาใช้เปลี่ยนสภาพบูดเน่าได้ง่าย ไม่สามารถเก็บไว้ได้นาน ปัญหาอีกประการหนึ่งคือสารอาหารประเภทโปรตีนจัดอยู่ในประเภทก่อให้เกิดสกัมม์ได้ง่าย (Lettinga, 1991) ต้องอาศัยการออกแบบและควบคุมดูแลระบบที่ดี การใช้โปรตีนเป็นสารอาหารเพิ่มสำหรับการเริ่มเดินระบบน่าจะให้ผลดีกว่าการใช้สารอาหารประเภทอื่น ส่วนการใช้งานในระยะยาวขึ้นอยู่กับความสะดวกในการจัดหาแหล่งโปรตีนที่จะนำมาใช้

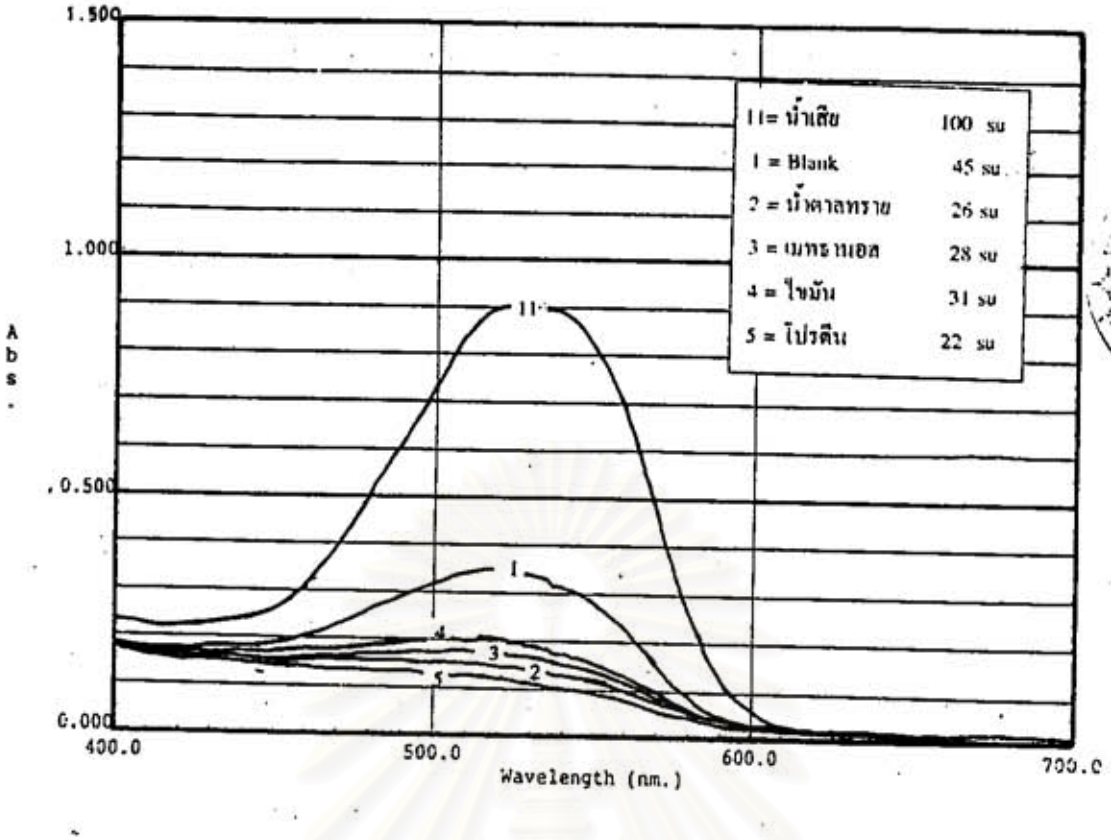
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.4.2 ความสามารถในการกำจัดสี

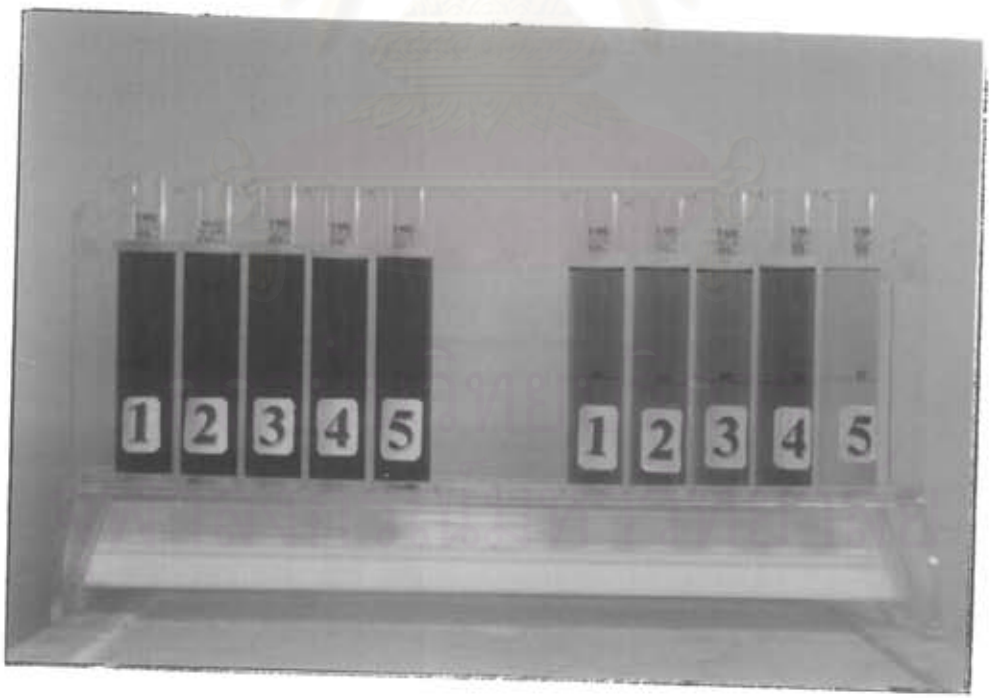
เมื่อนำน้ำย้อมสีแดงก่อนและหลังการบำบัดไปวัดสีด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนคลื่นแสงกับความยาวคลื่น เป็นดังรูปที่ 4.19

จากรูปที่ 4.19 น้ำย้อมสีแดงมีค่าการดูดกลืนคลื่นแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่น 530 นาโนเมตร น้ำผ่านการบำบัดแล้วมีสีลดลง แต่ยังคงมีค่าการดูดกลืนคลื่นแสงสูงสุดที่ 530 นาโนเมตร เช่นเดิม แสดงว่ากลไกการกำจัดสีด้วยระบบไร้ออกซิเจนแบบยูเอเอสบีที่ใช้ เป็นการทำให้มีการแสดงสีเดิมลดลง ไม่ใช่เป็นการเปลี่ยนโทนสีเป็นสีอื่นแล้วเห็นว่าสีเดิมลดลง เช่นในกรณีน้ำจากคอลัมน์ที่ 1 - 4 (รูปที่ 4.20) น้ำผ่านการบำบัดแล้วยังคงมองเห็นเป็นสีแดง แต่สีจางลงกว่าน้ำก่อนการบำบัด และน้ำจากคอลัมน์ที่ 5 ที่ใช้โปรตีนเป็นแหล่งคาร์บอนเสริมนั้นสีจางลงมาก เหมือนกับเป็นสีเหลือง เมื่อพิจารณาประกอบกับกราฟรูปที่ 4.19 พบว่าการเห็นน้ำเป็นสีเหลืองในกรณีนี้มาจากการที่สีแดงลดลงจึงมองเห็นสีเหลืองซึ่งมีอยู่เดิมแต่ถูกสีแดงบดบังไว้ ไม่ใช่เป็นการสลายสีแดงเปลี่ยนเป็นสีเหลืองเพราะหากเป็นการเปลี่ยนโทนสี เส้นกราฟแสดงค่าการดูดกลืนคลื่นแสงในช่วงสีเหลืองที่ความยาวคลื่น 400-430 นาโนเมตร (Zollinger, 1987) จะต้องเพิ่มขึ้น

ในการทดลองชุดที่ 2 (น้ำย้อมสีน้ำเงิน) มีการเปลี่ยนแปลงใช้ถังเตรียมน้ำเข้าระบบทำหน้าที่คล้ายถังกรด และมีการกำจัดสีเกิดขึ้นในถังกรดด้วย จากรูปที่ 4.21 น้ำย้อมสีน้ำเงินก่อนการบำบัดมีค่าการดูดกลืนคลื่นแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่นประมาณ 590 นาโนเมตร ตามการแบ่งของ Zollinger สีที่มีค่าการดูดกลืนคลื่นแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่น 550-600 นาโนเมตร เรียกว่าสีม่วง สีที่มีค่าการดูดกลืนคลื่นแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่น 600-700 นาโนเมตร เรียกว่าสีน้ำเงิน หากจะแบ่งเช่นนั้น ต้องเรียกสีน้ำย้อมที่ใช้ในการทดลองชุดที่ 2 นี้ว่า เป็นน้ำย้อมสีม่วงค่อนข้างไปทางสีน้ำเงิน อย่างไรก็ตามการเรียกชื่อไม่ใช่ประเด็นสำคัญจึงเรียกสั้นๆ ตามสีที่ปรากฏว่า สีน้ำเงิน เมื่อพิจารณารูปแบบการลดลงของสีย้อมสีน้ำเงินหลังผ่านการบำบัดจากแต่ละคอลัมน์ (รูปที่ 4.21) ลักษณะการลดลงของสีย้อมหลังการบำบัดยังคงมีรูปแบบคล้ายสีแดง กล่าวคือ เป็นการลดลงทุกความยาวช่วงคลื่น และค่าการดูดกลืนคลื่นแสงสูงสุดยังคงอยู่ที่ความยาวคลื่นเดียวกับน้ำก่อนการบำบัด โดยมีสีของน้ำในถังกรดและหลังการบำบัดจากระบบยูเอเอสบีดังรูปที่ 4.22



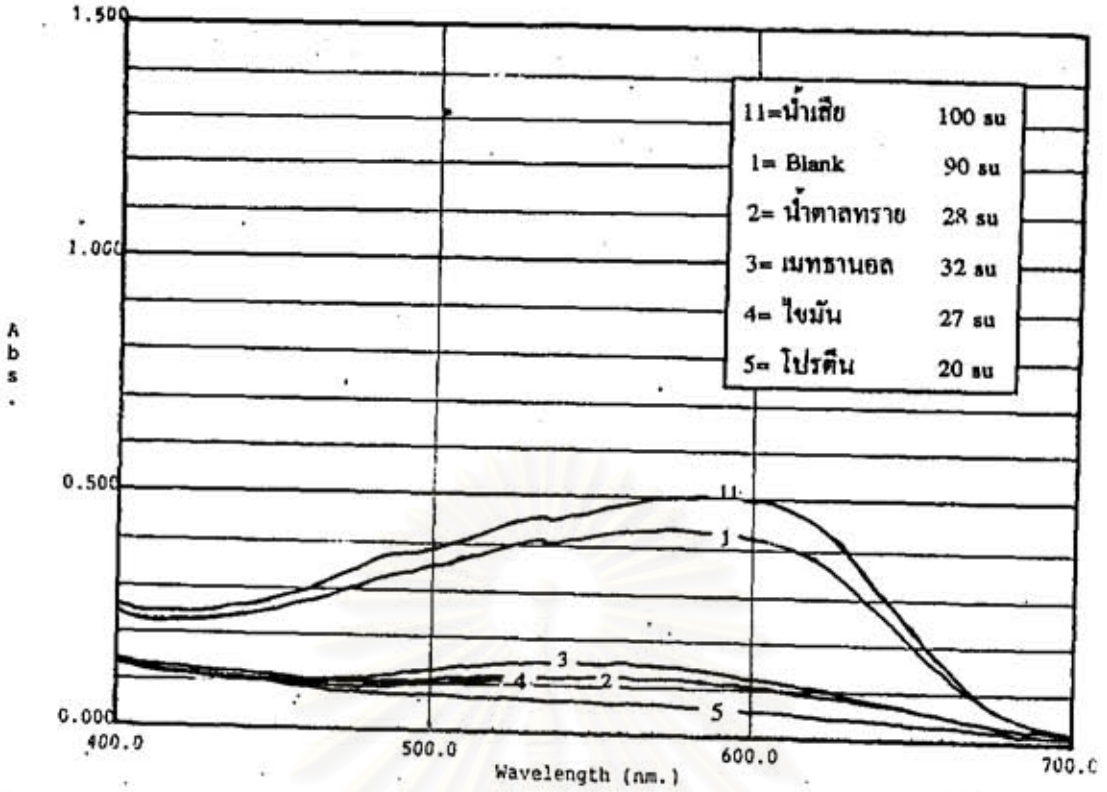
รูปที่ 4.19 ลักษณะน้ำย้อมสีแดง ที่วัดด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์



รูปที่ 4.20 ลักษณะน้ำย้อมสีแดง ก่อนและหลังการบำบัด

ป้ายสีขาว : น้ำเสีย ป้ายสีเหลือง : น้ำผ่านการบำบัด

1 : Blank 2 : น้ำตาลทราย 3 : เมทธานอล 4 : ไขมัน 5 : โปรตีน



รูปที่ 4.21 ลักษณะน้ำย้อมสีน้ำเงิน ที่วัดด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

รูปที่ 4.22 ลักษณะน้ำย้อมสีน้ำเงิน ก่อนและหลังการบำบัด

ป้ายสีขาว : น้ำถังกรด ป้ายสีเหลือง : น้ำผ่านการบำบัด

1 : Blank 2 : น้ำตาลทราย 3 : เมทธานอล 4 : ไขมัน 5 : โปรตีน

จากรูปที่ 4.21 ลักษณะการดูดกลืนคลื่นแสงของน้ำย้อมสีน้ำเงิน มีลักษณะกราฟเบี้ยวมากกว่าสีแดง แสดงว่าน้ำย้อมนี้ประกอบด้วยสีอื่นๆ ในช่วงสีแดงและสีม่วงอยู่มาก (มีค่าการดูดกลืนคลื่นแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่น 500-600 นาโนเมตร) และมีการดูดกลืนคลื่นแสงตลอดช่วงความยาวคลื่น 400-700 นาโนเมตร ในขณะที่น้ำย้อมสีแดงมีการดูดกลืนคลื่นแสงในช่วง 400-600 นาโนเมตรเท่านั้น (รูปที่ 4.19) จากวิธีการวัดสีในหน่วยเอสยู ที่คำนวณค่าความเข้มสีจากพื้นที่ใต้กราฟของความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนคลื่นแสงกับความยาวคลื่นช่วง 400-700 นาโนเมตร น้ำย้อมสีน้ำเงินที่มีความเข้ม 100 เอสยู จึงมีค่าการดูดกลืนคลื่นแสงสูงสุด (peak) ต่ำกว่าน้ำย้อมสีแดงที่มีความเข้มสี 100 เอสยู เท่ากัน

น้ำย้อมสีน้ำเงินที่ถูกกำจัดสีลงไม่มากนัก เช่นน้ำจากระบบ Blank ที่สีลดลงจาก 100 เอสยู เหลือประมาณ 80-90 เอสยู ยังคงมีเส้นกราฟลักษณะเดียวกับน้ำก่อนการบำบัด (รูปที่ 4.21) ส่วนน้ำผ่านการบำบัดจากระบบที่ใช้น้ำตาลทราย เมทธานอล ไขมัน และโปรตีนเป็นสารอาหารมีสีลดลงมาก ค่าความเข้มสีเหลือประมาณ 20 - 30 เอสยู มีค่าการดูดกลืนคลื่นแสงสูงสุดอยู่ในช่วงความยาวคลื่น 550 - 560 นาโนเมตร ในขณะที่สีน้ำย้อมก่อนการบำบัดมีค่าการดูดกลืนคลื่นแสงสูงสุดอยู่ในช่วงความยาวคลื่น 590 นาโนเมตร การเปลี่ยนช่วงความยาวคลื่นที่ดูดกลืนคลื่นแสงสูงสุดดังกล่าว ไม่ได้หมายความว่าน้ำผ่านการบำบัดมีการเปลี่ยนสีจากสีน้ำเงินเป็นสีแดงหรือสีม่วง แต่เป็นเพราะสีน้ำเงินถูกกำจัดลงได้มากกว่า ทำให้ส่วนแสดงสีในช่วงความยาวคลื่น 500 - 560 นาโนเมตร เหลือมาแสดงสีมากกว่า เช่นเดียวกับกรณีน้ำย้อมสีแดง จากรูปที่ 4.22 เห็นการลดลงของสีในถังกรดอย่างชัดเจน ถึงแม้ว่าตัวอย่างน้ำถังกรดเป็นตัวอย่างน้ำที่เหลืออยู่ในถังเตรียมน้ำหลังการเตรียมน้ำใหม่ 22 ชม. ไม่ใช่ตัวแทนลักษณะน้ำในถังกรดตลอดทั้งวัน แต่สีที่ลดลงอย่างมากแสดงถึงความสามารถในการกำจัดสีของถังกรดที่น่าสนใจอย่างยิ่ง

จากลักษณะการลดลงของสีย้อมที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบไร้ออกซิเจนทั้งน้ำย้อมสีแดงและน้ำย้อมสีน้ำเงิน แสดงถึงศักยภาพของระบบไร้ออกซิเจนว่า สามารถกำจัดสีให้เหลือน้อยลงใกล้เคียงน้ำใสได้ เพราะเป็นการลดการแสดงสีลงทุกช่วงความยาวคลื่น ไม่ใช่การเปลี่ยนโทนสีจากสีเดิมแล้วทำให้มีสีอื่นเพิ่มขึ้น

4.4.3 บทบาทของแหล่งคาร์บอนในการกำจัดสี

การทดลองนี้ใช้น้ำเสียสีเข้มจากการย้อมครั้งที่ 1 ของโรงงานฟอกย้อมมาจืดจางให้มีความเข้มสี 100 เอสยู ลักษณะสมบัติของน้ำย้อมสีแดงและน้ำย้อมสีน้ำเงินมีความแตกต่างกันแม้ว่าจะเป็นน้ำเสียจากโรงงานเดียวกัน ดังตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 ลักษณะสมบัติของน้ำเสียสีแดงและสีน้ำเงินก่อนเติมสารอาหาร

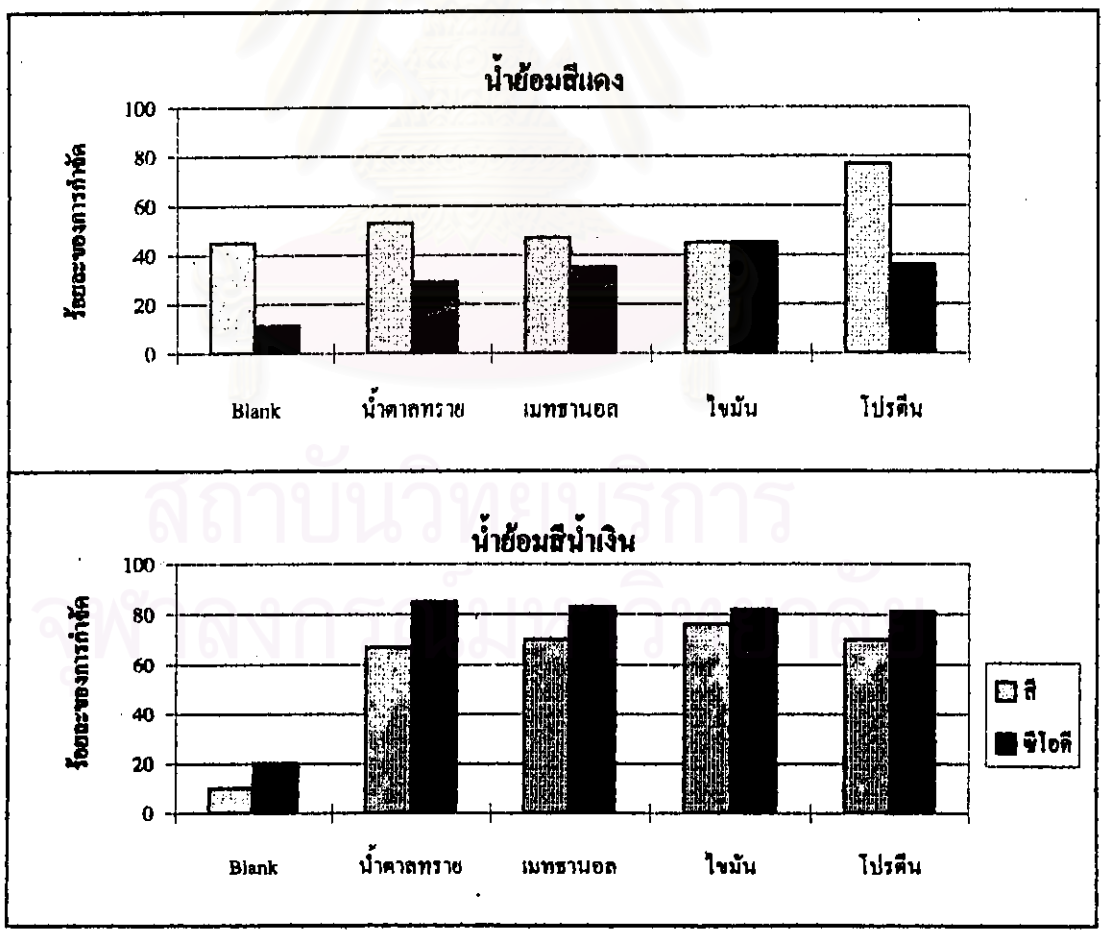
ค่าตัวแปร	น้ำเสีย	
	สีแดง	สีน้ำเงิน
ความเข้มสี (เอสยู)	103	101
พีเอช	7.12	8.25
ซีโอดี (มก./ล.)	257	61
สภาพด่างทั้งหมด (มก./ล.วัดในรูป $CaCO_3$)	532	163
กรดไขมันระเหย (มก./ล.วัดในรูป $CaCO_3$)	169	49
ประสิทธิภาพการกำจัดสี [1] (ร้อยละ)	45	10
ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี [1] (ร้อยละ)	11	20

[1] ประสิทธิภาพของระบบ Blank

ผลการเติมสารให้อิเลกตรอนในรูปสารอาหารประเภทต่างๆ ที่ใช้ปาบัดน้ำย้อมสีแดงและน้ำย้อมสีน้ำเงินได้ผลการทดลองด้านการกำจัดสีและการใช้ซีโอดี ดังตารางที่ 4.13 จากการทดลองปาบัดน้ำย้อมสีแดงพบว่าระบบที่เติมโปรตีนมีการกำจัดสีได้ดีที่สุด โดยกำจัดสีได้ร้อยละ 77 รองลงมาคือระบบที่ใช้น้ำตาลทราย และเมทธานอล กำจัดสีได้ร้อยละ 53 และ 47 ตามลำดับ ส่วนระบบที่ใช้ไขมันได้ผลการกำจัดสีเช่นเดียวกับระบบที่ไม่มีการเติมสารอาหารเพิ่ม (Blank) คือกำจัดสีลงได้ร้อยละ 45 พิจารณาผลการใช้ซีโอดีของระบบ Blank น้ำตาลทราย เมทธานอล ไขมัน และโปรตีน มีการใช้ซีโอดีร้อยละ 11 29 35 45 และ 36 ตามลำดับ เมื่อนำค่าร้อยละของการกำจัดสีและการใช้ซีโอดีเปรียบเทียบกันในรูปที่ 4.23 พบว่าระบบที่มีการเติมสารให้อิเลกตรอนเช่นน้ำตาลทราย เมทธานอล และโปรตีน ทั้ง 3 ระบบมีร้อยละการกำจัดสีและการกำจัดซีโอดีเพิ่มขึ้นมากกว่าระบบ Blank ส่วนในกรณีของระบบที่เติมไขมันมีการกำจัดซีโอดีมากที่สุด ในขณะที่มีประสิทธิภาพการกำจัดสีเท่ากับระบบ Blank แต่จากการเดินระบบจริงที่ใช้ทดลอง การกล่าวว่า

ตารางที่ 4.13 ประสิทธิภาพการกำจัดสีและซีโอดีของการทดลองชุดที่ 1 และ ชุดที่ 2

สารอาหาร	ร้อยละของการกำจัด					
	น้ำย้อมสีแดง		น้ำย้อมสีน้ำเงิน			
	สี (ระบบ)	ซีโอดี (ระบบ)	สี (ถังกรด)	สี (ระบบ)	ซีโอดี (ถังกรด)	ซีโอดี (ระบบ)
Blank	45	11	0	10	3	20
น้ำตาลทราย	53	29	30	67	38	85
เมทธานอล	47	35	31	70	61	83
ไขมัน	45	45	60	76	55	82
โปรตีน	77	36	42	70	50	81



รูปที่ 4.23 ประสิทธิภาพการกำจัดสีและซีโอดีของระบบ

ระบบที่เติมไขมันมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีสูงกว่าระบบอื่น ไม่น่าถูกต้อง เนื่องจากในการเตรียมน้ำใหม่ทุกวัน พบว่ามีปริมาณไขมันติดอยู่บริเวณด้านข้างภาชนะเตรียมน้ำ และต้องล้างทิ้งทุกวัน เมื่อเทียบกับปริมาณไขมันที่ใช้เพียง 1.2 มล.ต่อวัน การสูญเสียไขมันจากการติดไปกับภาชนะเตรียมน้ำน่าจะมีนัยสำคัญ อาจกล่าวได้ว่า การที่ระบบที่เติมไขมันมีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีสูงกว่าระบบอื่นนั้น เนื่องจากการสูญเสียไปในรูปอื่นๆ ที่ไม่ได้เกิดจากการใช้ซีโอดีของเชื้อในระบบ

บทบาทของสารให้อิเลกตรอนที่มีต่อการกำจัดสีย้อมและการใช้ซีโอดีเห็นได้ชัดเจนขึ้นในการทดลองบำบัดน้ำย้อมสีน้ำเงิน จากตารางที่ 4.7 และรูปที่ 4.23 ทุกระบบที่มีการเติมสารอาหารมีประสิทธิภาพการกำจัดสีและการกำจัดซีโอดีมากกว่าระบบ Blank การเห็นความแตกต่างอย่างชัดเจนเนื่องมาจากเหตุผล 2 ประการคือ

1 ลักษณะสมบัติของน้ำย้อมสีน้ำเงินก่อนการเติมสารให้อิเลกตรอน (หรือสารอาหาร) ประเภทต่างๆ มีค่าซีโอดีเพียงประมาณ 60 มก./ล. ซึ่งไม่เพียงพอสำหรับการกำจัดสีย้อมจำนวนมากในน้ำเสีย การเติมสารให้อิเลกตรอนเพิ่มจึงทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดสีเพิ่มขึ้นอย่างมาก ในขณะที่น้ำย้อมสีแดงก่อนการเติมสารอาหารมีซีโอดี ประมาณ 260 มก./ล. แม้จะไม่มีการเติมสารอาหารอื่นเพิ่ม แต่ระบบ Blank ที่ใช้บำบัดน้ำย้อมสีแดงสามารถกำจัดสีลงได้ถึงร้อยละ 45 การเติมสารอาหารเพิ่มให้กับน้ำย้อมสีแดงจึงเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดสีขึ้นได้ไม่มากนัก

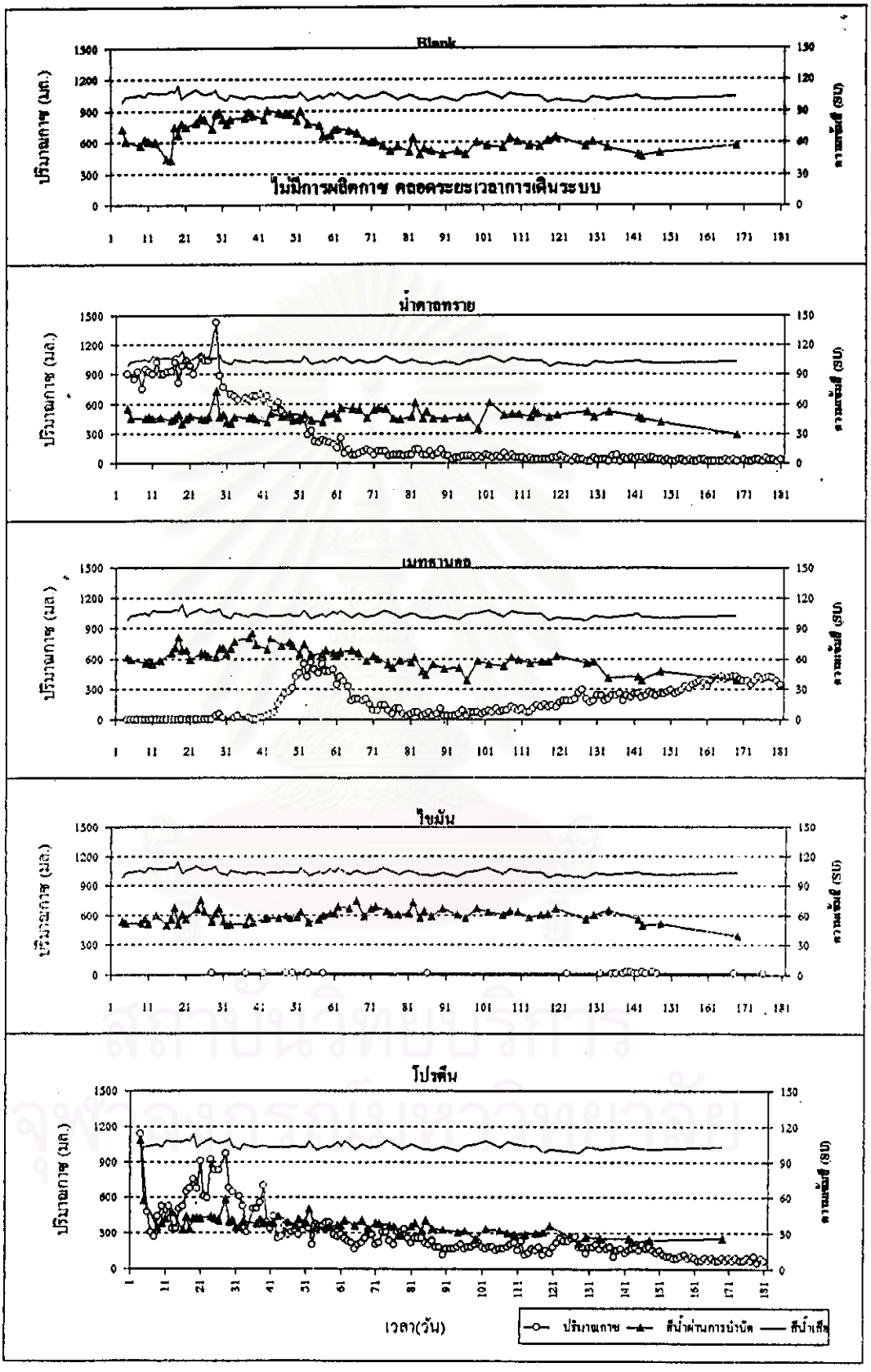
2 ในการทดลองบำบัดน้ำย้อมสีน้ำเงิน มีการใช้ถังเตรียมน้ำทำหน้าที่เป็นถังกรดช่วยให้แบคทีเรียในระบบใช้สารอาหารต่างๆ ได้มากขึ้น มีการผลิตกาซเพิ่มมากขึ้น และมีการกำจัดสีเกิดขึ้นในถังกรดด้วย ทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดสีและการใช้ซีโอดีของระบบที่เติมสารอาหารสูงขึ้น แต่การที่น้ำย้อมสีน้ำเงินก่อนการเติมสารอาหารมีซีโอดีต่ำมาก ทำให้ถังเตรียมน้ำของระบบ Blank ไม่มีการเกิดสะสมตัวของเชื้อและทำหน้าที่เป็นถังกรดเช่นระบบอื่นๆ ได้ ประกอบกับลักษณะเชื้อในคอลัมน์ของระบบ Blank หลังจากเดินระบบเป็นเวลานาน มีแนวโน้มว่าไม่สามารถรักษาสภาพไร้ออกซิเจนไว้ได้ (พิจารณาจากค่าโออาร์พีมีการเปลี่ยนแปลงเป็นบวกเพิ่มขึ้น) ยิ่งทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของระบบ Blank ต่ำกว่าระบบอื่นมาก

4.4.4 การกำจัดสีและการผลิตกาซชีวภาพ

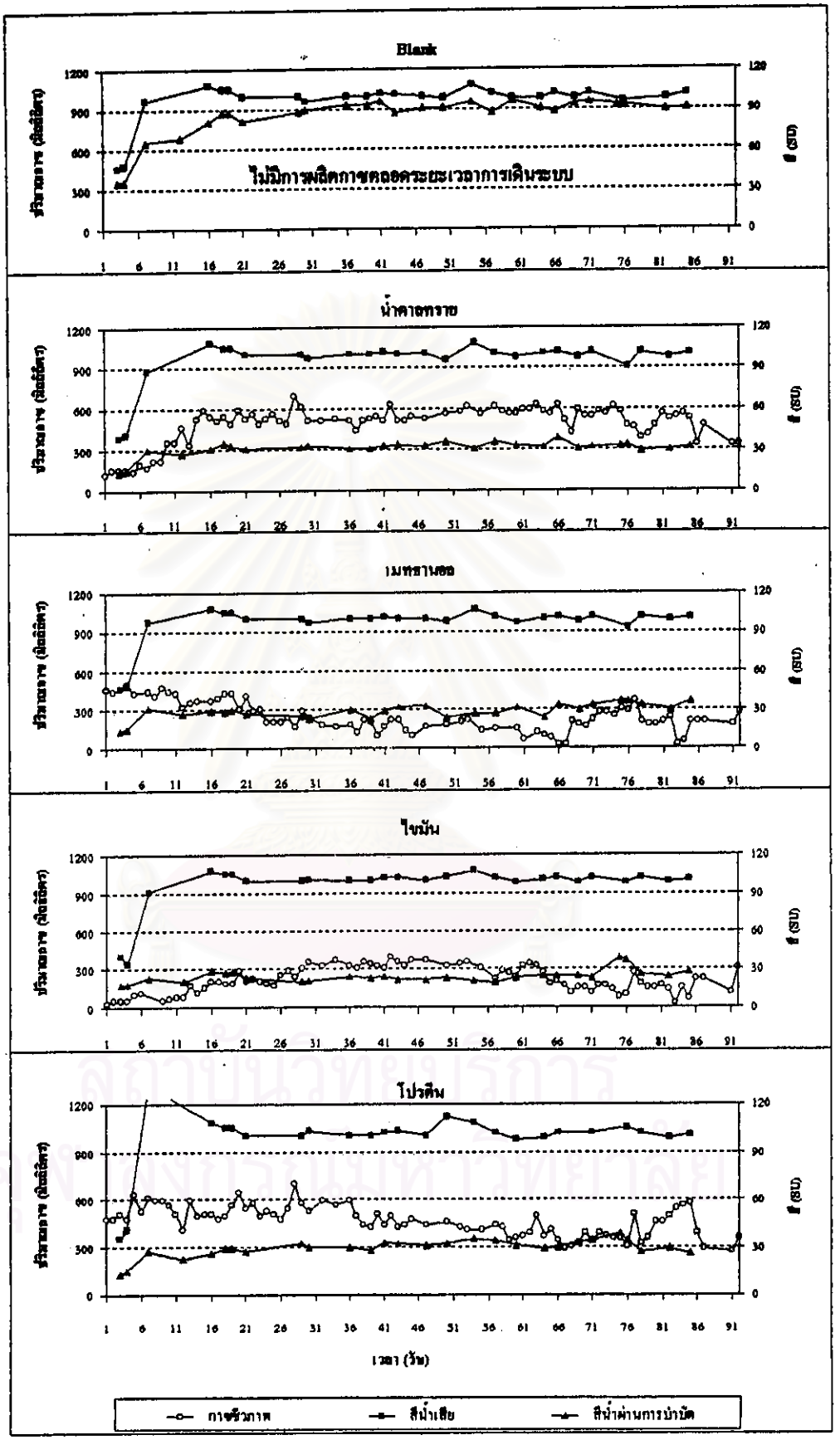
ในกระบวนการไร้ออกซิเจนมีการผลิตกาซชีวภาพในขั้นตอนสุดท้ายของการย่อยสารอาหารจนเป็นภาพลักษณ์ในสายตาบุคคลทั่วไปว่า ระบบไร้ออกซิเจนต้องมีการผลิตกาซชีวภาพ หรือเมื่อกล่าวถึงกาซชีวภาพต้องนึกถึงกระบวนการไร้ออกซิเจน จากการพบว่าสีย้อมสลายไปได้ภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน จึงมีข้อสงสัยว่าการลดลงของสีย้อมเกิดจากการทำงานของแบคทีเรียเมทธาโนเจนที่ทำหน้าที่ผลิตกาซชีวภาพหรือไม่

จากรูปที่ 4.24 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกาซชีวภาพกับค่าความเข้มสีน้ำย้อมหลังการบำบัดของการทดลองชุดที่ 1 (น้ำย้อมสีแดง) ค่าความเข้มสีน้ำเสียเข้าระบบประมาณ 100 เอสยู ทุกระบบ ระบบไม่มีการเติมสารอาหาร (Blank) ไม่มีการผลิตกาซชีวภาพตลอดระยะเวลาการเดินระบบ เช่นเดียวกับระบบที่ใช้ไขมันซึ่งมีการผลิตกาซบ้างแต่น้อยมากจนอาจกล่าวได้ว่าไม่มีการผลิตกาซเช่นกัน แต่ทั้งสองระบบสามารถกำจัดสีลงได้ โดยมีค่าความเข้มสีน้ำผ่านการบำบัดประมาณ 60 เอสยู ใกล้เคียงกัน ส่วนระบบที่ใช้น้ำตาลทราย เมทธานอล และโปรตีน มีการผลิตกาซชีวภาพไปพร้อมๆ กับการกำจัดสี เมื่อดูความเปลี่ยนแปลงปริมาณกาซแต่ละวันเทียบกับค่าความเข้มสีน้ำผ่านการบำบัด พบว่าไม่ว่าการผลิตกาซเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร ค่าความเข้มสีน้ำผ่านการบำบัดยังค่อนข้างคงที่ แม้จะมีการเปลี่ยนแปลงไปบ้าง แต่ไม่สัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงปริมาณกาซ ผลการทดลองด้วยน้ำย้อมสีน้ำเงิน ระบบ Blank ไม่มีการผลิตกาซตลอดระยะเวลาการเดินระบบ เช่นเดียวกับชุดน้ำย้อมสีแดง แต่ระบบสามารถลดสีลงได้เพียงเล็กน้อยเท่านั้น ส่วนระบบที่มีการเติมสารอาหารเพิ่มทั้ง 4 ระบบ ทุกระบบสามารถผลิตกาซและกำจัดสีลงได้มากกว่าการทดลองด้วยน้ำย้อมสีแดง แต่ไม่ได้หมายความว่าการที่ระบบผลิตกาซได้มากขึ้นทำให้มีการกำจัดสีได้มากขึ้น เนื่องจากเมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงปริมาณกาซกับค่าความเข้มสีตลอดระยะเวลาการเดินระบบจากรูปที่ 4.25 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงปริมาณกาซไม่มีความสัมพันธ์กับค่าความเข้มสีน้ำผ่านการบำบัด ดังนั้นความสามารถในการผลิตกาซและกำจัดสีที่เพิ่มขึ้น น่าจะมาจากการมีถังกรดเพิ่มขึ้นมากกว่าจะเป็นการส่งผลซึ่งกันและกัน

จากทั้งสองชุดการทดลองที่แม้จะเปรียบเทียบกันไม่ได้โดยตรง เพราะมีความแตกต่างของการใช้ถังกรด และเป็นน้ำย้อมต่างโทนสี แต่ผลการทดลองยังคงสอดคล้องไปในทางเดียวกันคือการกำจัดสีไม่สัมพันธ์กับปริมาณกาซชีวภาพที่เกิดขึ้น หรืออาจกล่าวได้ว่า แบคทีเรียประเภทเมทธาโนเจนไม่ใช้แบคทีเรียกลุ่มหลักในการทำหน้าที่กำจัดสีย้อม การกำจัดสีย้อมสามารถเกิดขึ้นได้ไม่ว่าจะมีการผลิตกาซชีวภาพหรือไม่ก็ตาม



รูปที่ 4.24 ปริมาณกาซชีวภาพและสีน้ำย้อมสีแดงหลังการบำบัด



รูปที่ 4.25 ปริมาณกาซชีวภาพและสีน้ำย้อมสีน้ำเงินหลังการบำบัด

4.5 ข้อสังเกตเพิ่มเติมจากขอบเขตการวิจัย

4.5.1 การสลองของสีย้อมในถังกรด

ถังกรดเป็นถังที่เกิดปฏิกิริยาขั้นต้นของระบบไร้ออกซิเจน แบคทีเรียต่างๆ จะย่อยสลายสารประกอบโมเลกุลใหญ่เช่น โปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรต ให้เป็นสารประกอบโมเลกุลเล็ก เช่น กรดอะมิโน จากนั้นจะถูกแบคทีเรียสร้างกรดดูดซึมเข้าภายในเซลล์ เพื่อใช้เป็นสารอาหาร และถูกเปลี่ยนเป็นกรดไขมันระเหยเช่นกรดอะซิตริก กรดโพรไพโอนิค และกรดบิวไทริก เป็นต้น ถ้ามีสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมเช่น มีเวลาทำปฏิกิริยานานพอ ไฮโดรเจนมีความดันพาร์เชียลต่ำ มีแบคทีเรียอะซิโตจีนิก กรดไขมันระเหยจะถูกย่อยสลายกลายเป็นกรดอะซิติกต่อไป

ในงานวิจัยนี้ ไม่ได้ออกแบบให้ใช้ระบบไร้ออกซิเจนที่มีถังกรดปรับสภาพน้ำเสียก่อนเข้าระบบมาตั้งแต่ต้น แต่ก่อนปิดการทดลองที่ 1 (น้ำย้อมสีแดง) พบว่ามีการกำจัดสีลงได้อย่างมีนัยสำคัญในถังเตรียมน้ำที่ปล่อยทิ้งไว้โดยไม่ได้ล้างถัง ในการทดลองชุดที่ 2 (น้ำย้อมสีน้ำเงิน) จึงไม่มีการล้างถังเตรียมน้ำ ปล่อยให้มีเชื้อสะสมตัวอยู่ภายในถัง การทำเช่นนั้นเท่ากับเป็นการทำให้ถังเตรียมน้ำทำหน้าที่เป็นถังกรดเพิ่มขึ้น ผลการวิจัยในส่วนการทดลองที่ 1 จึงไม่สามารถนำมาเปรียบเทียบกับผลการวิจัยชุดที่ 2 โดยตรงได้ เนื่องจากมีลักษณะระบบแตกต่างกัน อย่างไรก็ตาม การมีถังกรดเพิ่มขึ้น ไม่ได้ทำให้การทำงานของระบบแตกต่างกันมากจนไม่สามารถเปรียบเทียบกันได้เลย ผลการทดลองยังคงสอดคล้องไปในทิศทางเดียวกัน แต่ระบบที่มีถังกรดมีประสิทธิภาพการทำงานสูงขึ้น กำจัดสีได้มากกว่า ประเด็นที่น่าสนใจอย่างยิ่งคือ ความสามารถในการกำจัดสีของถังกรดสูงกว่าที่คาดไว้มาก โดยเฉพาะช่วงที่น้ำในถังเหลือน้อย (22 ชม. หลังการเตรียมน้ำ) น้ำที่เหลือในถังกรด (หรือถังเตรียมน้ำ) ที่มีการเติมสารอาหารต่างๆ เช่น ไขมัน มีสีจางลงมาก บางวันมีค่าความเข้มสีเพียง 20 เอสยู ซึ่งหากพิจารณาในเชิงปริมาณเชื้อแล้วไม่น่าเป็นไปได้ เนื่องจากในถังกรดมีปริมาณเชื้อน้อยมากเมื่อเทียบกับปริมาณเชื้อในระบบยูเอเอสบี การใช้ถังเตรียมน้ำทำหน้าที่เป็นถังกรด และมีการเตรียมน้ำใหม่ทุกวัน ทำให้ถังกรดนี้แปลกไปกว่าถังในระบบบำบัดน้ำเสียทั่วไปที่มักมีระดับน้ำในถังคงที่หรือเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก (ยกเว้นในถังปรับอัตราการไหล ที่มีอัตราการไหลแปรปรวนมาก) แต่ถังเตรียมน้ำที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีระดับน้ำสูงสุดเมื่อมีการเตรียมน้ำใหม่จากนั้นระดับค่อยๆ ลดลงจากการสูบไปใช้ตลอดวัน เปิดโอกาสให้เชื้อที่เกาะอยู่ข้างถังโผล่พ้นน้ำขึ้นมาสัมผัสอากาศจากนั้นก็กลับมามีระดับน้ำเต็มถังอีกครั้งเมื่อเตรียมน้ำใหม่ ขณะนี้ยังไม่ทราบว่าลักษณะดังกล่าวมีผลต่อการเกิดเชื้อ หรือลักษณะเชื้อในถังหรือไม่อย่างไร แต่

จากการทดลองตักน้ำในถังที่มีการเติมน้ำใหม่ใส่ขวดบีโอดีขนาด 300 มล. ปิดฝาทิ้งไว้ พบว่าการกำจัดสีในขวดยังคงเกิดขึ้นได้ ซึ่งจะกล่าวในรายละเอียดต่อไป

การเกิดเชื้อและการกำจัดสีในถังเตรียมน้ำที่ไม่มีการล้างถัง ซึ่งต่อไปนี้เรียกว่าถังกรด และการกล่าวถึงค่าต่างๆ ของน้ำถังกรด หมายถึงค่าจากตัวอย่างน้ำในถังเตรียมน้ำหลังจากการเตรียมน้ำใหม่ 22 ชม. การเรียกชื่อถังกรด เรียกตามชื่อสารอาหารที่เติม สภาพของถังกรดที่ใช้สารอาหารแต่ละประเภทมีลักษณะและประสิทธิภาพต่างกันดังนี้

<u>ถังกรด Blank</u> ใช้น้ำเสียสีย้อมเพียงอย่างเดียว ไม่มีการเติมสารอาหารอื่นเพิ่ม น้ำเสียมีค่าซีโอดีต่ำประมาณ 60 มก./ล. แม้ไม่มีการล้างถังเป็นเวลานานเท่ากับถังอื่นๆ ถังยังคงสะอาดไม่มีเชื้อเกิดสะสม และไม่มีการกำจัดสี (รูปที่ 4.26)

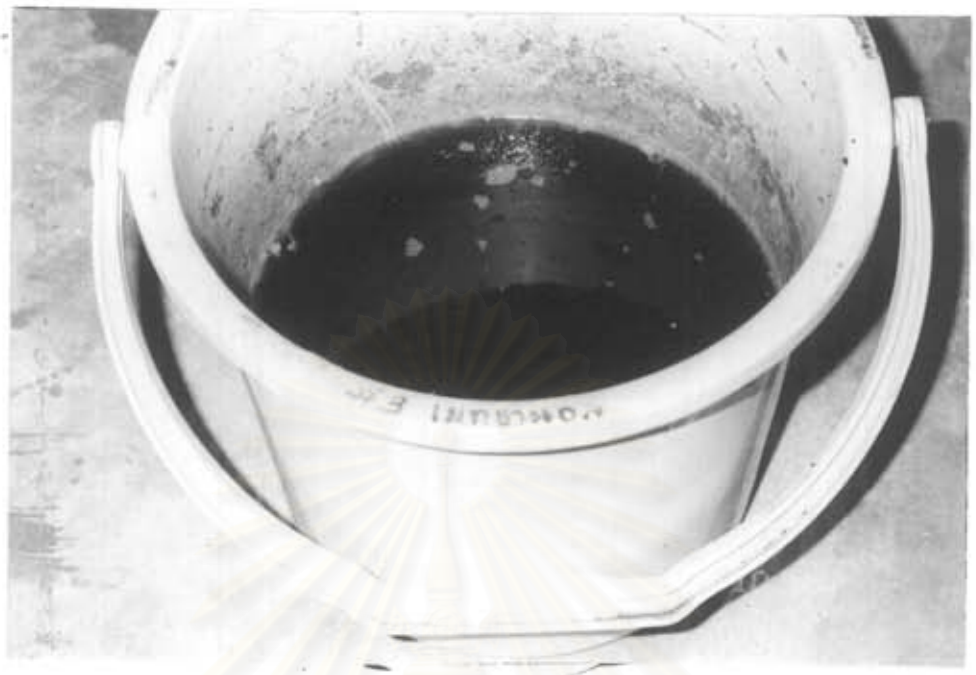
รูปที่ 4.26 สภาพถังเตรียมน้ำเข้าถังปฏิกิริยาที่ 1 (Blank) ขณะทำหน้าที่เป็นถังกรด

<u>ถังกรด เมทธานอก</u> ใช้น้ำเสียสีย้อมและมีการเติมเมทธานอลเพิ่มอีก 500 มก./ล. (วัดในรูปซีโอดี) มีเชื้อเกิดขึ้นที่ข้างถังเล็กน้อยลักษณะบางๆ ไม่เป็นแผ่นฟิล์มเหมือนถังที่ใช้น้ำตาลทราย เชื้อมีสีน้ำตาลอ่อน แต่มีฟองกาซเกิดขึ้นมากกว่าถังอื่นๆ (รูปที่ 4.28) เข้าใจว่าเกิดจากกระบวนการหมัก บางครั้งฟองกาซนี้จะเข้าไปในสายสูบแล้วไปค้างอยู่ในเครื่องสูบน้ำทำให้เครื่องสูบน้ำสูบน้ำเข้าระบบได้น้อยลงต้องหมั่นไล่อากาศทุกครั้งที่เตรียมน้ำใหม่ น้ำในถังกรดมีค่าความเข้มสีเหลือประมาณ 70 เอสยู

<u>ถังกรด ไขมัน</u> ใช้ไขมันจากน้ำมันพืชผสมกับน้ำเสียสีย้อมเพิ่มอีกประมาณ 500 มก./ล. (วัดในรูปซีโอดี) โดยการปั่นด้วยเครื่องปั่นน้ำผลไม้ จากรูปที่ 4.29 เห็นได้ว่ามีเชื้อเกิดที่ข้างถังเป็นแผ่นหนามาก เมื่อแห้งจะม้วนตัวหลุดออกเป็นแผ่นตกอยู่ในถัง ส่วนบนที่สัมผัสอากาศนานมีเชื้อลักษณะคล้ายเชื้อราสีขาวเกิดขึ้นมาก การที่มีเชื้อเกิดขึ้นหนาบริเวณข้างถัง ส่วนหนึ่งน่าจะมาจากการที่โมเลกุลไขมันที่ปั่นผสมกับน้ำแล้ว เมื่อตั้งทิ้งไว้นานๆ มีการแยกตัวออกมาจากน้ำมาเกาะอยู่ข้างถัง ทำให้เกิดเชื้อต่างๆ ได้มาก จากปริมาณเชื้อที่เกิดขึ้น แสดงว่าซีโอดีที่หายไปของน้ำหลังการบำบัดส่วนหนึ่งเกิดจากการเปลี่ยนรูปมาอยู่ในลักษณะแผ่นฟิล์มข้างถังนี้ และจากรูปนี้น่าจะยืนยันถึงการลดลงของซีโอดีของน้ำผ่านการบำบัดจากถังปฏิกิริยาชุดที่ 4 ที่ใช้บำบัดน้ำย้อมสีแดง ว่าส่วนหนึ่งของซีโอดีที่หายไปจากระบบเกิดจากการเกาะติดไปกับข้างถังเตรียมน้ำที่ล้างทิ้งไปทุกวัน ซึ่งแต่ละวันดูเหมือนน้อยมาก แต่หากดูจากรูปนี้แล้วน่าจะมีนัยสำคัญ การที่มีเชื้อเกิดมากบางส่วนก็หลุดลงไปในถังมากเช่นกัน ต้องมีการเทเชื้อก้นถังทิ้งอาทิตย์ละครั้ง ป้องกันไม่ให้เครื่องสูบน้ำตัน แต่การเทเชื้อทิ้งไม่มีผลต่อการทำงานของระบบมากนัก เชื้อใหม่สามารถเกิดสะสมตัวขึ้นได้อย่างรวดเร็วภายในเวลา 1-3 วัน ค่าความเข้มสีของน้ำที่เหลือในถังกรดลดลงเหลือ 42 เอสยู ซึ่งน้อยกว่าถังกรดที่ใช้สารอาหารประเภทอื่น คาดว่าเนื่องจากสัดส่วนของเชื้อที่เกาะอยู่ข้างถังต่อปริมาณน้ำเสียที่เหลืออยู่มีมากกว่าถังกรดอื่น สัดส่วนนี้เป็นเพียงข้อสันนิษฐานเปรียบเทียบเฉพาะปริมาณเชื้อในถังกรดด้วยกันเท่านั้น ไม่อาจนำไปเปรียบเทียบกับปริมาณเชื้อและการทำงานของระบบยูเอเอสบี ส่วนอีกประเด็นหนึ่งที่อาจเป็นไปได้ คือประเภทของเชื้อในถังที่ใช้ไขมัน จากลักษณะการเกาะตัวหนาของไขมันบริเวณข้างถัง ทำให้มีสารอาหารมากและเกิดเชื้อที่มีความหลากหลายทางชีวภาพมากกว่าถังกรดอื่นๆ อาจเชื้อบางประเภทเช่น ฟังไจ หรือเชื้อราอื่นๆ ที่มีบทบาทในการกำจัดสี (Banat et al., 1996) ซึ่งต้องอาศัยการวิจัยเพิ่มเติมเจาะลึกลงไปว่าเป็นเชื้อประเภทใด

<u>ถังกรด น้ำตาลทราย</u> ใช้น้ำเสียสีย้อมและมีการเติมน้ำตาลทรายเพิ่มอีก 500 มก./ล. (วัดในรูปซีโอดี) มีเชื้อบางชนิดเกิดขึ้นลักษณะเป็นแผ่นฟิล์มเกาะอยู่ข้างถัง เมื่อหนามากขึ้นก็หลุดลอกเป็นแผ่นออกมา สุดท้ายต้องมีการเทเชื้อที่หลุดออกมานี้ทิ้งบ้างประมาณเดือนละครั้ง คงเหลือเฉพาะที่เกาะอยู่ข้างถัง เพราะเชื้อที่หลุดออกมาจะเข้าไปค้างอยู่ในเครื่องสูบน้ำ ทำให้สูบน้ำไม่ขึ้น แต่เชื้อที่ทิ้งไปมีปริมาณน้อย ไม่มีผลต่อประสิทธิภาพในการทำงานของถังกรด เชื้อที่ด้านบนมีโอกาสสัมผัสอากาศนานมีสีเข้มกว่าเชื้อด้านล่างถัง (รูปที่ 4.27) น้ำในถังกรดมีความเข้มสีลดลงเหลือ 72 เอสยู

รูปที่ 4.27 สภาพถังเตรียมน้ำเข้าถังปฏิกิริยาที่ 2 (น้ำตาลทราย) ขณะทำหน้าที่เป็นถังกรด



รูปที่ 4.28 สภาพถังเตรียมน้ำเข้าถังปฏิกิริยาที่ 3 (เมทธานอล) ขณะทำหน้าที่เป็นถังกรด

รูปที่ 4.29 สภาพถังเตรียมน้ำเข้าถังปฏิกิริยาที่ 4 (ไขมัน) ขณะทำหน้าที่เป็นถังกรด

<u>ถังกรดโปรตีน</u> ใช้น้ำเสียสีย้อมและมีการเติมโปรตีนเพิ่มอีกประมาณ 500 มก./ล. (วัดในรูปซีโอดี) มีค่าความเข้มสีน้ำในถังกรดประมาณ 60 เอสยู จากรูปที่ 4..30 เชื้อที่เกิดขึ้นเกาะอยู่ข้างถังมีลักษณะเป็นเมือกลื่น สีขาว เป็นแผ่นฟิล์มแต่ไม่หนามากนัก

ผู้วิจัยได้พบความสามารถในการกำจัดสีของถังกรด ในระหว่างการทดลองชุดที่ 1 ทำให้เกิดความคิดดังนี้

1.)การกำจัดสีย้อมสามารถทำได้โดยใช้ถังกรดที่มีการเติมสารอาหารที่เหมาะสม ไม่จำเป็นต้องมีเชื้อที่เลี้ยงเป็นพิเศษ หรือไม่จำเป็นต้องเป็นระบบยูเอเอสบี

2.)การเกิดเชื้อได้โดยบังเอิญในถังเตรียมน้ำ แสดงว่าเชื้อที่เกิดขึ้นและกำจัดสีได้นั้นเป็นเชื้อที่เกิดขึ้นได้ง่าย มีความทนทาน ไม่ต้องการสภาพแวดล้อมจำเพาะ และเกิดได้รวดเร็ว

รูปที่ 4.30 สภาพถังเตรียมน้ำเข้าถังปฏิกิริยาที่ 5 (โปรตีน) ขณะทำหน้าที่เป็นถังกรด

4.5.2 การทดลองกำจัดสีย้อมในขวดบีโอดี

เพื่อเป็นการทดสอบว่า ชนิด และความเข้มข้นของสารอาหารมีผลต่อการลดลงของสีย้อมในถังกรดหรือไม่ รวมทั้งป้องกันการรบกวนจากปัจจัยภายนอกอื่นๆ ที่อาจส่งผลต่อการกำจัดสีในถังกรด ซึ่งเป็นถังเปิด จึงมีการทดลองเก็บน้ำในถังกรดทันทีที่เตรียมใหม่บรรจุลงในขวดบีโอดี ขนาด 300 มิลลิลิตร จนเต็มไม่ให้มีอากาศเหลือในขวด ปิดฝาตั้งทิ้งไว้ ก่อนเก็บน้ำมีการกวนน้ำในถังกรดให้เชื้อในถังกระจายผสมกันก่อน จึงมีเชื้อบางส่วนติดเข้ามาในขวดบีโอดีด้วย หลังจากตั้งทิ้งไว้ 24 ชม. รินน้ำใสส่วนบนทิ้ง ให้เหลือน้ำในขวดสูงประมาณ 2 ซม. แล้วเตรียมน้ำใหม่ให้มีความเข้มข้นสารอาหาร ความเข้มสี และชนิดของสารอาหาร ต่างกัน แบ่งออกเป็น 5 ชุด ชุดละ 5 ขวด รวมทั้งสิ้น 25 ขวด ใช้สารอาหาร 5 ชนิด ได้แก่ Blank น้ำตาลทราย เมทธานอล ไขมัน และโปรตีน แต่ละชุดทดลองมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นสารอาหารและความเข้มสีดังรายละเอียดในตารางที่ 4.14

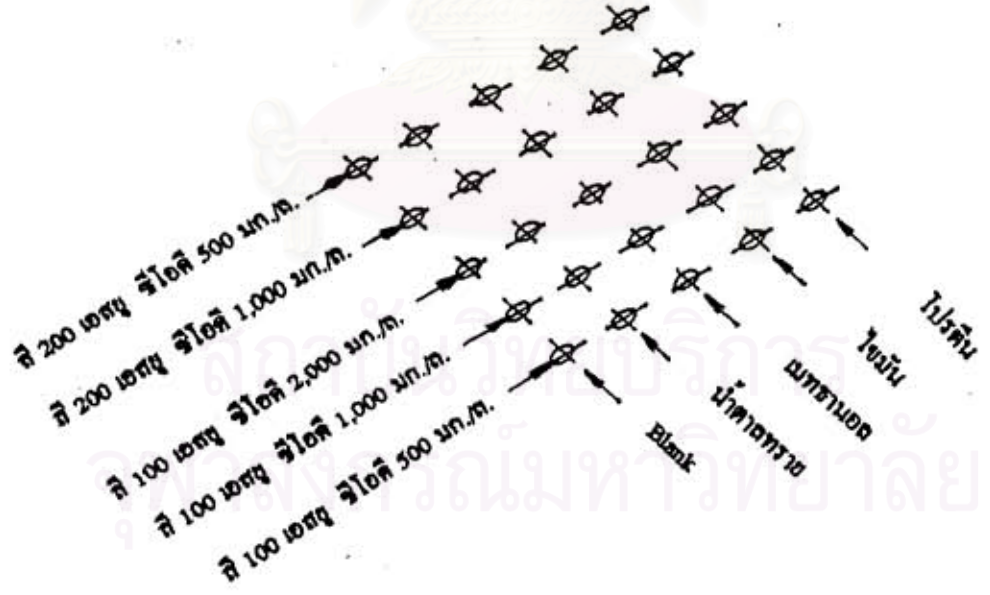
ตารางที่ 4.14 แผนการเปลี่ยนความเข้มข้นสารอาหารและความเข้มสี ในขวดบีโอดี

ชุดที่	ความเข้มสี (เอสยู)	ซีโอดี (มก./ล.)
1	100	500
2	100	1000
3	100	2000
4	200	1000
5	200	500

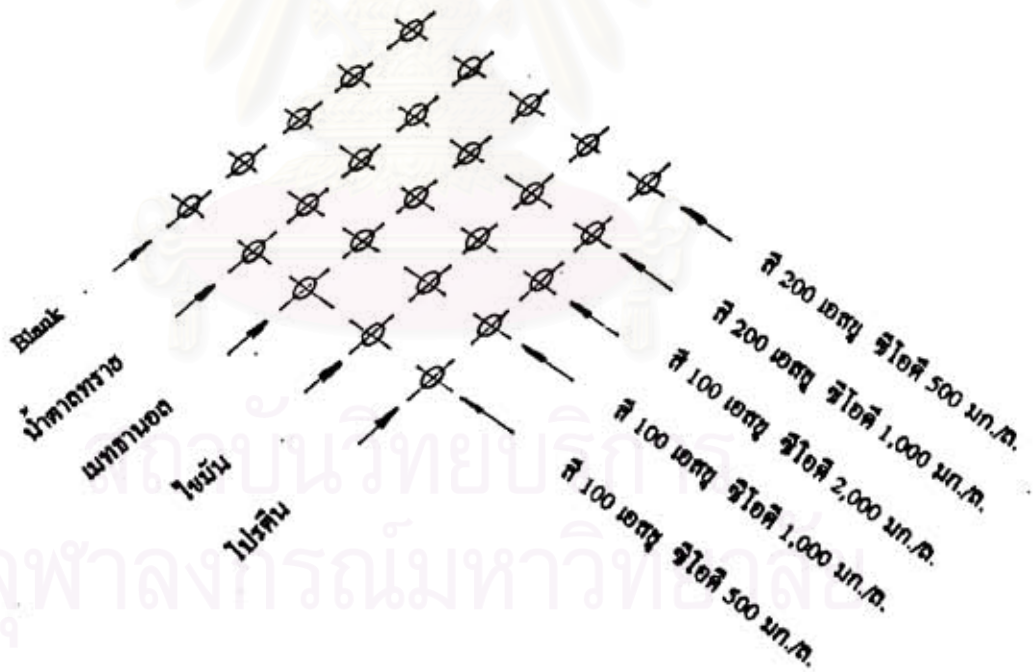
หมายเหตุ แต่ละชุดของการทดลองมีขวดบีโอดี 5 ขวด บรรจุสารอาหารต่าง ๆ คือ Blank (ไม่มีการเติมสารอาหาร) น้ำตาลทราย เมทธานอล ไขมัน และโปรตีน

การทดลองชุดนี้ทำขึ้นเพื่อสังเกตการลดลงของสีย้อมเท่านั้น ไม่มีการวัดค่าตัวแปรใดๆ จากการสังเกตพบว่าสีของน้ำย้อมในขวดบีโอดีชุดที่ไม่มีการเติมสารอาหารยังคงมีสีเข้มเหมือนเดิม รองลงมาคือชุดที่ใช้เมทธานอลและน้ำตาลทราย สีน้ำย้อมในขวดลดลงบ้างแต่ไม่มากนัก ส่วนชุดที่มีการเติมไขมันและโปรตีนลดสีลงได้มากที่สุดจนแทบไม่เหลือสีอยู่เลย (รูปที่ 4.31) และการใช้ไขมันและโปรตีนเข้มข้น 1000 มก./ล. ในการกำจัดสีย้อมค่าความเข้มสี 200 เอสยู มีการกำจัดสีดีกว่าการใช้สารอาหารเพียง 500 มก./ล. ดูเหมือนว่าการเติมสารอาหาร 500 มก./ล. เพียงพอต่อการกำจัดสีความเข้ม 100 เอสยู การเติมสารอาหารเพิ่มขึ้นในช่วง 500-200 มก./ล. ไม่มีความแตกต่างของการลดสีที่สังเกตได้ จากรูปที่ 4.31 เห็นได้ว่ามีปริมาณเชื้อในขวดน้อยมาก แสดงถึงความสามารถในการลดสีของเชื้อที่น่าสนใจอย่างยิ่ง และความแตกต่างของสีที่ลดลงแสดงถึงความแตกต่างในการใช้สารอาหารประเภทต่างๆ อย่างชัดเจน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.31 การจดจองของสีย้อมในขวดบีโอดี



รูปที่ 4.31 การตกตะกอนของสีย้อมในขวดบีโอดี (ต่อ)