บทที่ 4
ผลการวิจัยและวิเคราะห์ผล

4.1 คุณสมบัติน้ำเสียเข้าระบบ

ในการวิจัยการประยุกต์ใช้ไมโครฟิลเตรชันเมมเบรน ในถังปฏิกรณ์ชีวภาพสำหรับบำบัดน้ำเสียจากโรงงานสุรา ได้แบ่งการทดลองออกเป็น 3 การทดลอง ในทุกการทดลองใช้น้ำเสียจากบ่อพักน้ำเสีย ที่ออกจากหอกลั่นของโรงงานสุราแสงโสม อ.สามพราน จ.นครปฐม แล้วนำมาเจือจางตามอัตราส่วนที่กำหนดไว้ ซึ่งคุณสมบัติของน้ำเสียที่เข้าระบบในแต่ละการทดลอง ทำการวัดในห้องปฏิบัติการ ทำการทดลองทั้งสิ้น 6 ชุดการทดลอง

โดยการทดลองที่ 1 ทำการทดลองเรื่องรอบการเติมอากาศ ศึกษาผลของชุดการทดลองที่ 1 ใช้รอบการเติมอากาศ 90 นาที และอายุสลัดจ์ 25 วัน ชุดการทดลองที่ 2 ใช้รอบการเติมอากาศ 60 นาที และอายุสลัดจ์ 25 วัน ชุดการทดลองที่ 3 ใช้รอบการเติมอากาศ 90 นาที และอายุสลัดจ์ 25 วัน และ ชุดการทดลองที่ 4 ใช้รอบการเติมอากาศ 60 นาที และอายุสลัดจ์ 25 วัน

ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติน้ำเสียเข้าระบบ การทดลองที่ 1

ชุดการทดลองที่	ซีโอดี (มก./ล.)	ทีเคเอ็น (มก./ล.)	ฟอสฟอรัส (มก./ล.)	สี (ADMI)	เอสเอส (มก./ล.)	พีเอช	ความเป็นด่าง (มก.หินปูน/ล.)
ชุดการทดลองที่ 1	498.19	6.11	8.04	393.44	24.31	8,05	63,13
ชุดการทดลองที่ 2	498.19	6.11	8.04	393.44	24.31	8,05	63,13
ชุดการทดลองที่ 3	389.47	4.65	5.43	377.53	24.35	7.91	77.94
ชุดการทดลองที่ 4	389.47	4.65	5.43	377.53	24.35	7.91	77.94

การทดลองที่ 2 ทำการทดลองเรื่องภาระสารอินทรีย์ ที่มีผลต่อการเดินระบบ เปรียบเทียบผลของ ชุดการทดลองที่ 2 4 และ 6 ซึ่งใช้รอบการเติมอากาศ 60 นาที และอายุสลัดจ์ 25 วัน ทั้ง 3 การทดลอง

ตารางที่ 4.2 คุณสมบัติน้ำเสียเข้าระบบ การทดลองที่ 2

ชุดการทดลองที่	ซีโอดี (มก./ล.)	ทีเคเอ็น (มก./ล.)	ฟอสฟอรัส (มก./ล.)	สี (ADMI)	เอสเอส (มก./ล.)	พีเอช	ความเป็นด่าง (มก.หินปูน/ล.)
ชุดการทดลองที่ 2	498.19	6.11	8.04	393.44	24.31	8,05	63,13
ชุดการทดลองที่ 4	389.47	4.65	5.43	377.53	24.35	7.91	77.94
ชุดการทดลองที่ 6	621.00	8.07	5.56	521.47	34.06	7.32	110.35

การทดลองที่ 3 ศึกษาผลของอายุสลัดจ์ เปรียบเทียบผลการทดลองจากชุดการทดลองที่ 5 ควบคุมอายุสลัดจ์ที่ 50 วัน และชุดการทดลองที่ 6 ควบคุม 25 วัน โดยทั้ง 2 ชุดการทดลองใช้รอบการเติมอากาศ 60 นาที

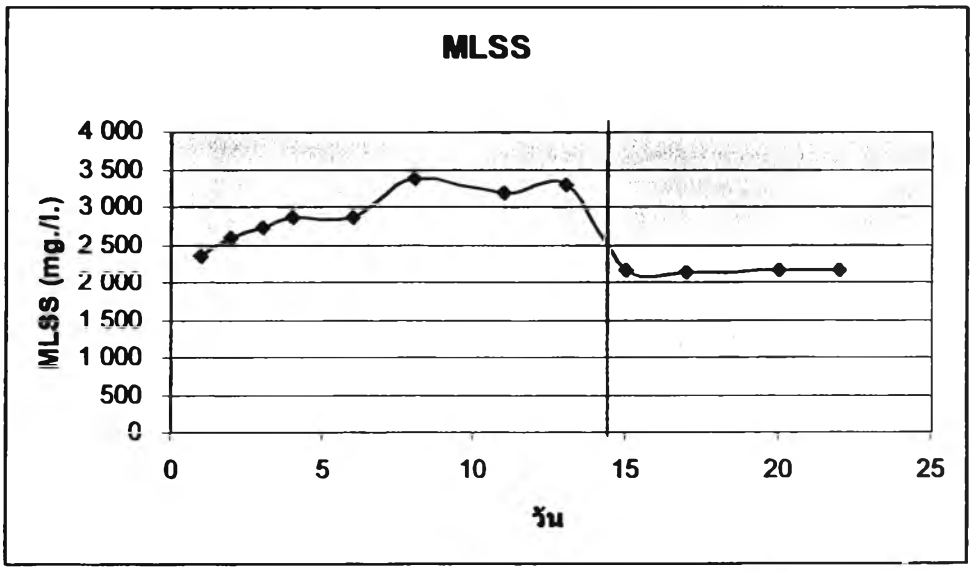
ตารางที่ 4.3 คุณสมบัติน้ำเสียเข้าระบบ การทดลองที่ 3

ชุดการทดลองที่	ซีโอดี (มก./ล.)	ทีเคเอ็น (มก./ล.)	ฟอสฟอรัส (มก./ล.)	สี (ADMI)	เอสเอส (มก./ล.)	พีเอช	ความเป็นด่าง (มก.หินปูน/ล.)
ชุดการทดลองที่ 5	621.00	8.07	5.56	521.47	34.06	7.32	110.35
ชุดการทดลองที่ 6	621.00	8.07	5.56	521.47	34.06	7.32	110.35

4.2 ผลการทดลองทดสอบการเดินระบบ

4.2.1 ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ในถังปฏิกรณ์ชีวภาพ

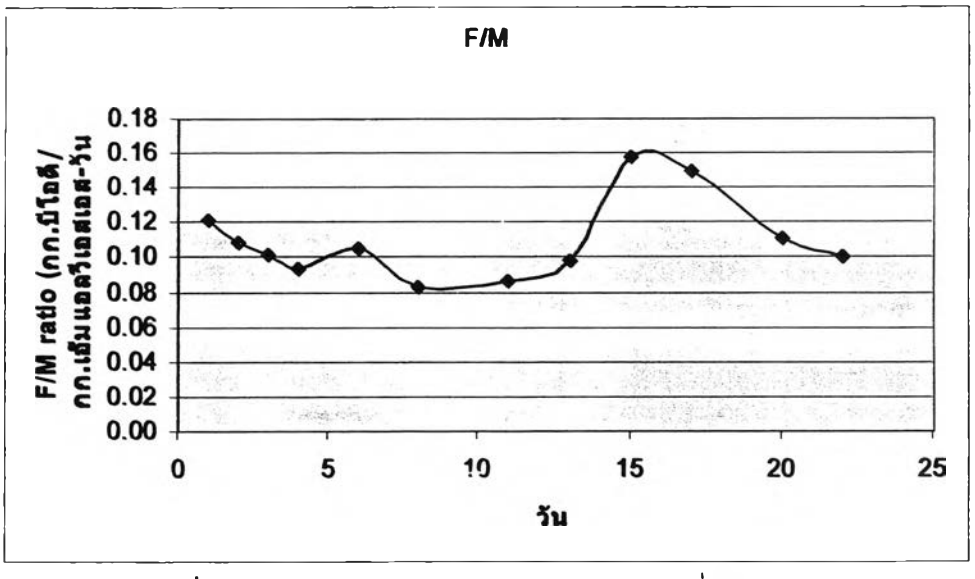
ค่าปริมาณ MLSS เริ่มต้นอยู่ที่ 2,360 มิลลิกรัม/ลิตร โดยเข้าที่สภาวะสมดุลที่ประมาณ 3,200 มิลลิกรัม/ลิตร โดยในวันที่ 14 ของการทดลอง ระบบควบคุมขัดข้องทำให้เกิดการหลุดออกของเชื้อจุลินทรีย์ออกจากระบบบางส่วน ซึ่งทำให้ระดับของสลัดจ์ลดลงมาอยู่ที่ประมาณ 2,200 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งจากรูปที่ 4.1 แสดงว่าเริ่มเข้าสู่สภาวะสมดุลหลังจากวันที่ 15 เป็นต้นไป



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความเปลี่ยนแปลงของปริมาณจุลินทรีย์

4.2.2 **ค่าอัตราสารอินทรีย์ต่อมวลชีวภาพ**

การวัดสภาพระบบในงานวิจัยนี้ดูจากค่าอาหารต่อชีวมวล (อัตราส่วนอาหารต่อมวลจุลชีพ Ratio) ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ระหว่างค่าซีโอดีเข้า อัตราการไหลเข้าระบบ มวลชีวภาพ และปริมาตรของถังปฏิกรณ์ สามารถแสดงความสัมพันธ์ได้ตามรูปที่ 4.2 ดังนี้



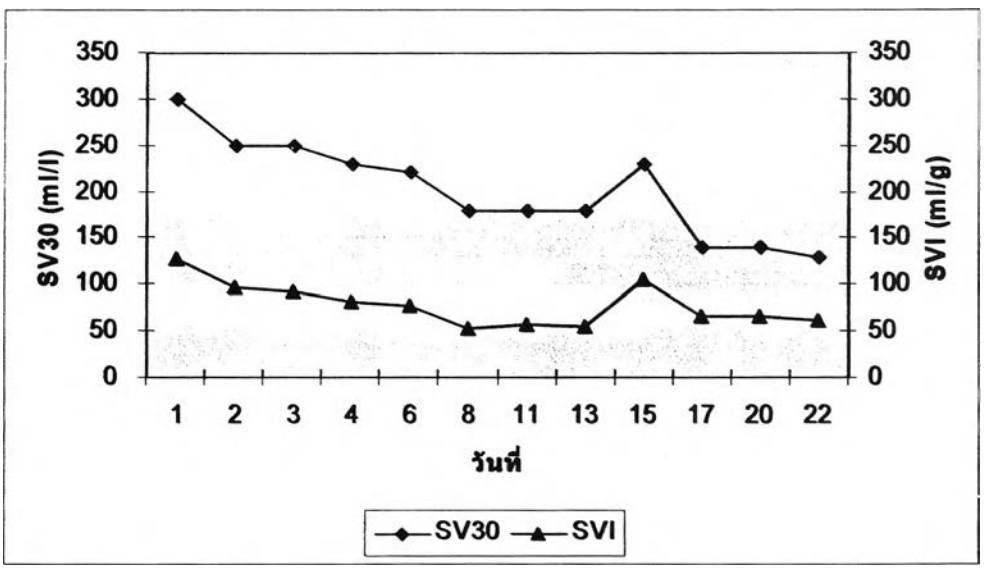
รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ของค่าอาหารต่อชีวมวลที่เข้าสู่ระบบ

จากรูปที่ 4.2 โดยเฉลี่ยจะอยู่ที่ 0.08 – 0.16 กก.บีโอดี/กก.เอ็มแอลวีเอสเอส-วัน แสดงว่า ในบางช่วงเวลา ค่า อัตราส่วนอาหารต่อมวลจุลชีพ ratio มีค่าที่น้อยกว่าเกณฑ์ตามทฤษฎีของระบบเมมเบรนในถังปฏิกรณ์ชีวภาพ ซึ่งค่า อัตราส่วนอาหารต่อมวลจุลชีพ ratio ควรอยู่ระหว่าง 0.1 – 0.4 กก.บีโอดี/กก.เอ็มแอลวีเอสเอส-วัน (Metcalf และ Eddy,2003) ซึ่งแสดงว่าอัตราอาหารต่อจำนวนแบคทีเรีย อยู่ในช่วงที่จุลินทรีย์ขาดแคลนอาหารมากเกินไป

เมื่อพิจารณาในวันที่ 14 พบว่าค่า อัตราส่วนอาหารต่อมวลจุลชีพ ratio สูงขึ้น ทั้งนี้เกิดจากการหลุดออกจากระบบของเชื้อจุลินทรีย์ ทำให้ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ลดลง ในขณะที่ภาระบรรทุกคงที่ ทำให้ค่า อัตราส่วนอาหารต่อมวลจุลชีพ ratio เพิ่มขึ้น ต่อมาเมื่อระบบกลับเข้าสู่สมดุล ค่า อัตราส่วนอาหารต่อมวลจุลชีพ ratio ก็กลับเข้าสู่ระดับเดิม

4.2.3 การตกตะกอนของจุลินทรีย์ในระบบ

สภาพของจุลินทรีย์ในระบบ สังเกตได้จากการจมตัวของสลัดจ์ของระบบ ถ้าจมตัวดีแสดงว่าระบบมีจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์มาก ซึ่งแสดงโดยการค่า Sludge Volume Index (SVI) ซึ่งแสดงไว้ในรูปที่ 4.3 ดังรูป



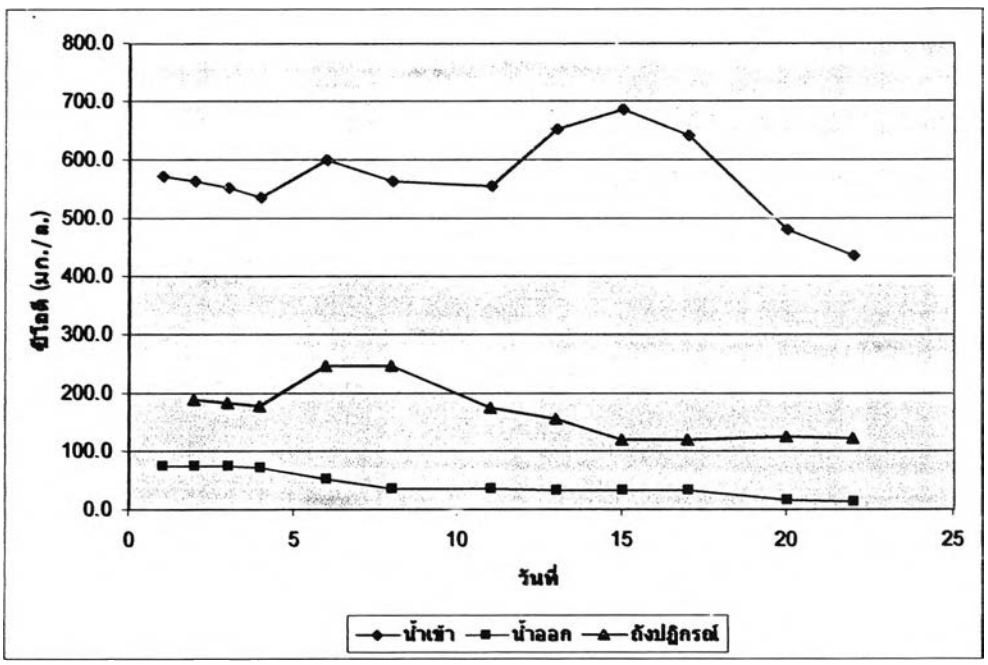
รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ของค่า SV30 และ SVI

จากรูปที่ 4.3 ค่า SV30 มีแนวโน้มลดลง โดยที่ค่าเอ็มแอลเอสเอสของระบบมีค่าเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่า การจมตัวของสลัดจ์สลัดจ์ในระบบ มีความสามารถในการจมตัวได้ดี หรือสามารถตกสลัดจ์ออกจากระบบได้ง่าย ซึ่งสอดคล้องกับค่า SVI ที่ต่ำกว่า 100 มิลลิลิตร/กรัม แสดงว่าสลัดจ์สลัดจ์ในระบบอยู่ในสภาพดี เชื้อสามารถแยกออกโดยการตกสลัดจ์ได้ง่าย

การที่มีค่า SVI ต่ำกว่า 100 มิลลิลิตร/กรัม นั้น จะมีผลช่วยให้การแยกสลัดจ์ออกจากระบบดีขึ้น และยังช่วยลดความเสี่ยงในการเกิดการไม่จมตัวของจุลินทรีย์ในระบบได้อีกด้วย ซึ่งถ้าค่า SVI มากกว่า 250 มิลลิลิตร/กรัม แสดงว่าสลัดจ์ในระบบเกิดการไม่จมตัวขึ้นแล้ว

4.2.4 ความเข้มข้นของซีโอดีในระบบ

ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในที่นี้จะใช้ ค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมี (COD) เป็นตัวแทน โดยปริมาณของสารอินทรีย์จะมาจากน้ำกากส่าจากโรงงานสุราแสงโสม อ.สามพราน จ.นครปฐม ที่ออกจากหอกลั่นโดยตรง มีค่าภาระสารอินทรีย์ ประมาณ 0.25 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ของความเข้มข้นซีโอดีที่เข้า ในถังปฏิกรณ์และออกระบบในแต่ละวัน

จากรูปที่ 4.4 พบว่า ความเข้มข้นซีโอดีที่เข้าสู่ระบบมีค่าอยู่ระหว่าง 400 – 700 มก./ล. ซึ่งแปรเปลี่ยนตามค่าซีโอดีในน้ำกากส่าที่นำมาเจือจาง เมื่อน้ำเสียผ่านเข้าสู่ถังปฏิกรณ์ ค่าความเข้มข้นซีโอดีในน้ำลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากสารอินทรีย์ส่วนใหญ่ในน้ำกากส่า เป็นสารอินทรีย์ที่ย่อยง่าย เช่น น้ำตาล และแอลกอฮอล์ ซึ่งจุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ได้อย่างรวดเร็ว แต่อย่างไรก็ดี ค่าซีโอดีในถังปฏิกรณ์ยังมีค่าสูง แสดงว่ายังเหลือสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายยาก ซึ่งจุลินทรีย์จะทำการย่อยสลายเมื่อ สารอินทรีย์ที่ย่อยง่ายหมดแล้ว และต้องอาศัยเวลาในการย่อย

จากผลการทดลอง จะเห็นได้ว่าเมื่อระบบเข้าสู่สภาวะสมดุลแล้ว ค่า COD ละลายในถังปฏิกรณ์จะมีค่าอยู่น้อยกว่า 200 มก./ล. ในช่วงวันที่ 5 -8 เป็นช่วงที่จุลินทรีย์ในระบบกำลังเจริญเติบโต ค่า COD ที่วัดได้จึงมีค่าสูงกว่า 200 มก./ล. แต่ก็ลดลงมาสู่ระดับต่ำกว่า 200 มก./ล. เมื่อสภาวะระบบเข้าสู่สมดุล ส่วนในวันที่ 1 ที่วัดค่านั้นกระทำในช่วงเริ่มต้น น้ำเสียพึ่งเข้าสู่ระบบจุลินทรีย์ยังอยู่ในสภาวะปรับตัว ค่า COD ที่ได้จึงสูงใกล้เคียงกับค่า COD ของน้ำเข้า

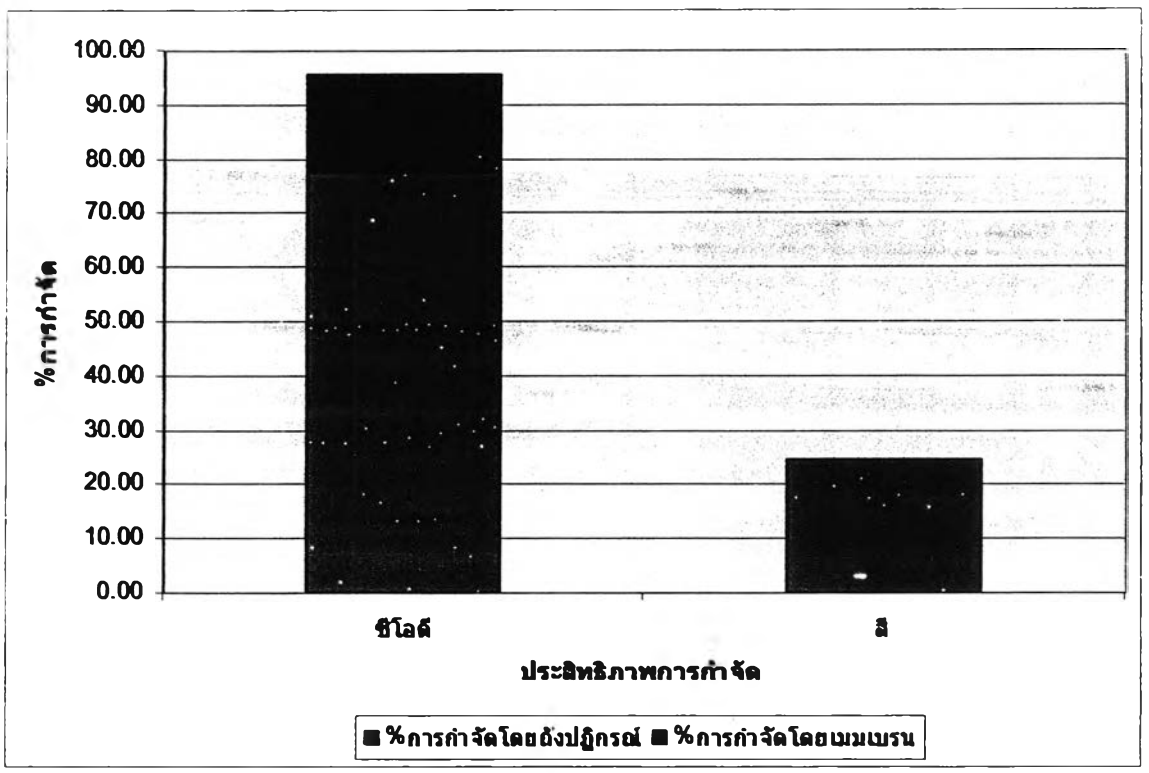
ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีที่สภาวะสมดุลในถังปฏิกรณ์อยู่ที่ 72.22 % น้ำที่ออกจากระบบที่สภาวะคงตัวมีค่าซีโอดีอยู่ระหว่าง 118.31 – 154.29 มก./ล. โดยเฉลี่ยมีค่า 127.90 มก./ล. ซึ่งสูงกว่าค่ามาตรฐานน้ำทิ้งของกรมโรงงานอุตสาหกรรมที่กำหนดว่า ค่าซีโอดีน้ำทิ้งของโรงงานสุราเท่ากับ 120 มก./ล. (ภาคผนวก ช.) ดังนั้นคุณภาพน้ำจากถังปฏิกรณ์เร่งเพียงอย่างเดียวยังไม่สามารถปล่อยลงสู่ทางน้ำสาธารณะได้

จากผลการทดลองที่ได้จะสังเกตว่า เมื่อระบบเข้าสู่สมดุล จุลินทรีย์จะมีความสามารถในการกำจัดสารอินทรีย์ได้มากขึ้น สามารถกำจัดสารอินทรีย์ที่ย่อยง่าย ซึ่งส่วนใหญ่จะมีโมเลกุลเล็ก และสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายยากบางส่วน ซีโอดีจะลดลงมากเมื่อผ่านการกรองด้วยเมมเบรน ซึ่งระดับความเข้มข้นซีโอดีที่ผ่านเมมเบรน จะมีระดับใกล้เคียงกันตั้งแต่เริ่มเดินระบบ โดยหลักการการกำจัดของเมมเบรน อาศัยหลักในการกรอง โดยอนุภาคที่ใหญ่กว่ารูพรุนของเมมเบรน จะถูกกักไว้ สารอินทรีย์ส่วนใหญ่จะมีขนาดใหญ่กว่ารูพรุนของไมโครฟิลเตรชันเมมเบรน ทำให้สามารถกำจัดสารอินทรีย์เหล่านั้นได้ อย่างไรก็ดี จุลินทรีย์ในถังปฏิกรณ์เป็นตัวช่วยเสริมประสิทธิภาพของระบบ ดังจะเห็นจากรูปที่ 4.3 ที่เมื่อระบบเข้าสู่สมดุล ค่าความเข้มข้นซีโอดีที่ออกจากระบบจะมีค่าลดลง สรุปได้ว่าเมมเบรนเป็นกลไกหลักในการกำจัดสารอินทรีย์ โดยมีจุลินทรีย์ในระบบเป็นระบบบำบัดขั้นต้น ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ให้ระบบ

น้ำออกจากระบบที่สภาวะคงตัว มีค่าซีโอดีอยู่ระหว่าง 14.55 – 34.29 มก./ล. โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 26.81 มก./ล. ซึ่งน้อยกว่าค่ามาตรฐานน้ำทิ้งของกรมโรงงานอุตสาหกรรมที่กำหนดค่าซีโอดี น้ำทิ้งไว้ที่ ไม่มากกว่า 120 มก./ล. แสดงว่าน้ำที่ผ่านระบบสามารถปล่อยลงสู่ทางน้ำสาธารณะ

4.2.5 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีในระบบ

ความเข้มข้นสารอินทรีย์หลังผ่านการกรองด้วยเมมเบรน ใช้ค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมี (COD) เช่นกัน ซึ่งเป็นตัวแทนของน้ำที่ผ่านระบบทั้งหมด ซึ่งจะแสดงประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของระบบที่ใช้



รูปที่ 4.5 ประสิทธิภาพการบำบัดของชุดการทดลองทดสอบระบบ

จากการทดลองพบว่า การกำจัดซีโอดีในถังปฏิกรณ์ มีประสิทธิภาพที่สภาวะคงตัว 77.29 % และเมื่อผ่านเมมเบรนประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นเป็น 95.51% ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ซีโอดีส่วนใหญ่ถูกกำจัด

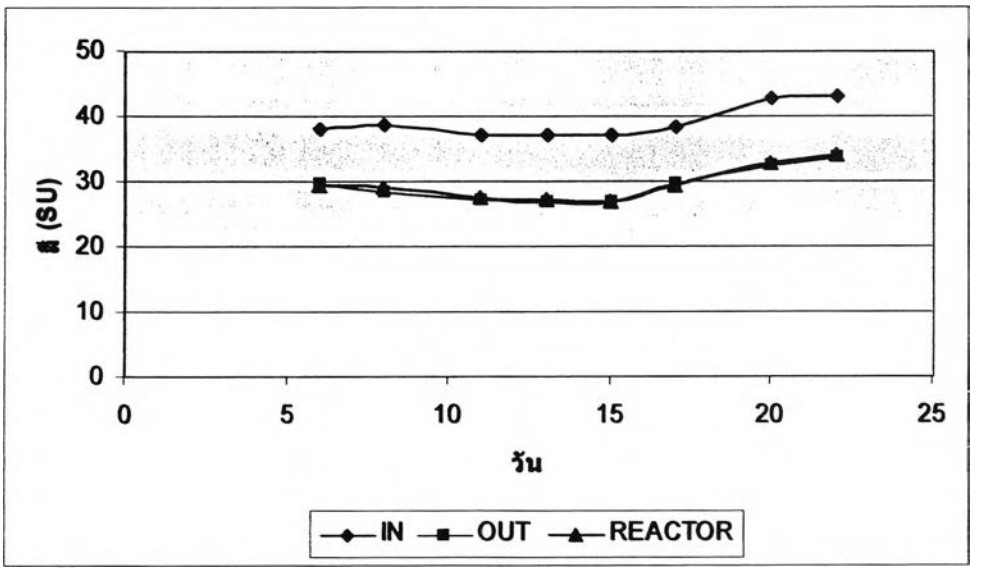
ในถังปฏิกรณ์ เมื่อระบบเข้าสู่สมดุล และน้ำเสียที่ออกจากระบบจะถูกกรองอีกครั้งด้วยเมมเบรน ซึ่งสามารถลดความเข้มข้นสารอินทรีย์ได้ โดยอาศัยกระบวนการกรอง สารอินทรีย์ที่เหลือจากการย่อยสลายในถังปฏิกรณ์ ที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่ จะถูกกักไว้ในถังปฏิกรณ์ ทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของระบบเพิ่มขึ้น

จากรูปที่ 4.5 พบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีในถังปฏิกรณ์เฉลี่ย 77.29% และประสิทธิภาพหลังผ่านการกรองของเมมเบรนเฉลี่ย 96.67% โดยที่เมมเบรนจะให้คุณภาพของน้ำออกที่ใกล้เคียงกัน ไม่ขึ้นกับคุณภาพน้ำเข้า แต่การใช้งานในลักษณะที่ใช้งานเมมเบรนโดยไม่มีระบบเอเอสในถังปฏิกรณ์ จะทำให้ระบบเมมเบรนมีการเสื่อมเร็วขึ้น ซึ่งการใช้ระบบเอเอสในถังปฏิกรณ์นี้เป็นเสมือนการบำบัดน้ำเสียก่อนเข้าสู่ระบบเมมเบรน เพื่อเป็นการลดภาระของเมมเบรนในการกำจัดมลสาร และจากรูปที่ 4.5 ชี้ให้เห็นว่า เมมเบรนเป็นตัวช่วยในการรักษาเสถียรภาพของระบบ และป้องกันภาระวิกฤตที่เข้าสู่ระบบ ที่อาจจะทำให้จุลินทรีย์ในระบบลดประสิทธิภาพลง เมมเบรนจะช่วยรักษาคุณภาพน้ำออกไว้ เพื่อรอการฟื้นฟูระบบในถังปฏิกรณ์ต่อไป

4.2.6 การกำจัดสีของระบบทดลอง

สีของน้ำในระบบนี้ วัดค่าสีโดยใช้เครื่องสเปกโตรโฟโต้มิเตอร์ ที่ค่าความถี่ 400 – 700 นาโนเมตร วัดสีน้ำที่ผ่านการกรองโดยกระดาษกรอง GF/C ขนาด 0.45 ไมโครเมตร เก็บน้ำตัวอย่าง 3 จุด คือ น้ำเข้า น้ำออก และน้ำในถังปฏิกรณ์ ซึ่งแสดงค่าความเข้มสีตามรูปที่ 4.6

จากรูปที่ 4.5 และ 4.6 แสดงว่าการลดลงของสีจะเกิดขึ้นในถังปฏิกรณ์เป็นหลัก การกรองผ่านเมมเบรนไม่มีนัยสำคัญในการกำจัดสี แสดงว่าการลดสีของระบบ สามารถกำจัดสารที่ทำให้เกิดสีได้ ด้วยการกำจัดส่วนที่เป็นสารอินทรีย์ย่อยยากโดยการเพิ่มช่วงเวลาการย่อยสลาย และสารที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่โดยการกรองด้วยเมมเบรน แต่ไม่สามารถกำจัดสารที่ทำให้เกิดสีที่เป็นสารอนินทรีย์และโมเลกุลเล็กกว่า 0.1 ไมโครเมตรได้



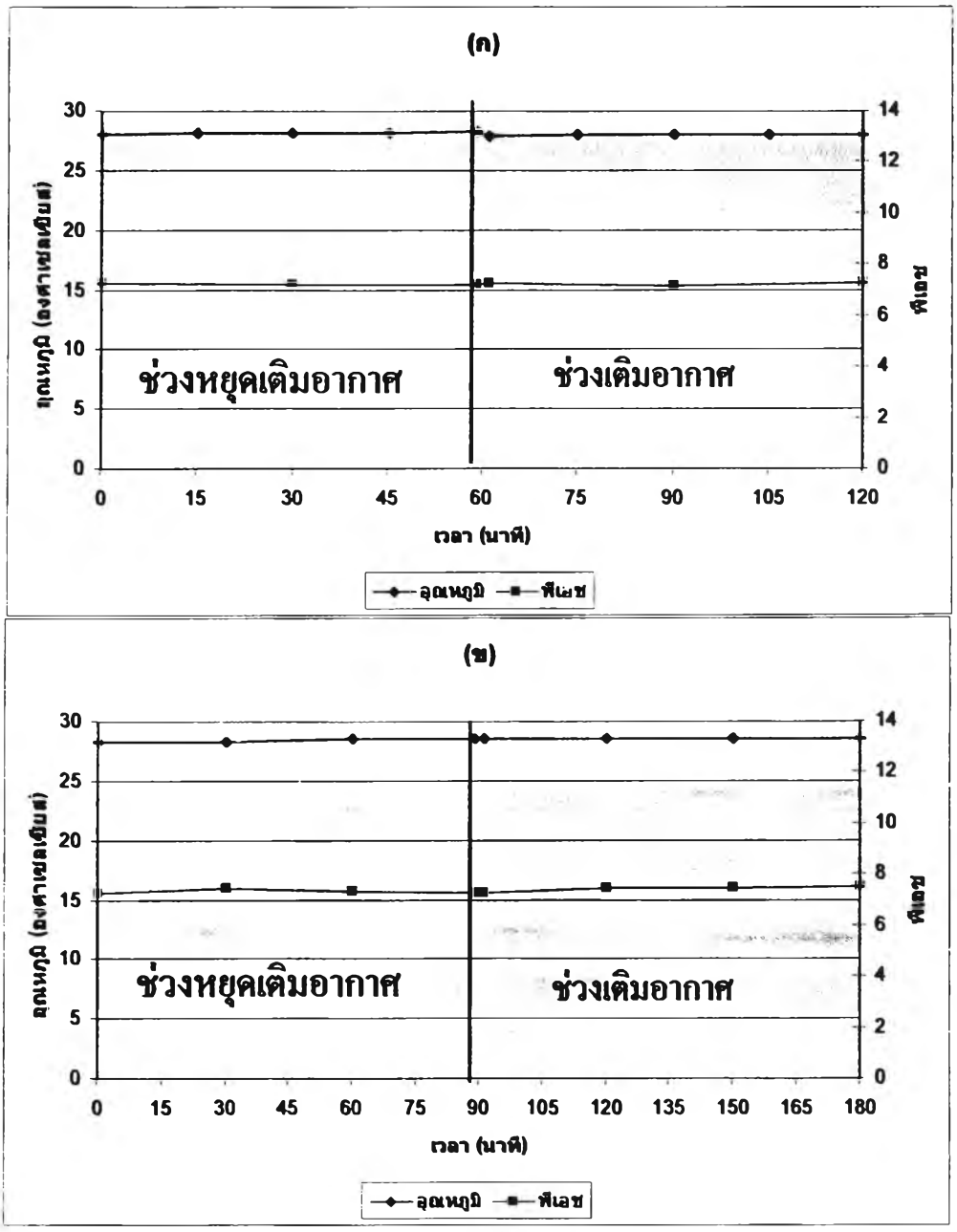
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของความเข้มสีของระบบ

4.3 ผลของรอบการเติมอากาศ

รอบการเติมอากาศที่ใช้ในการวิจัยนี้ มี 2 รูปแบบคือ การเติมอากาศ 60 นาที หยุด 60 นาที และการเติมอากาศ 90 นาที หยุด 90 นาที ซึ่งควบคุมอายุสลัดจ์ที่ 25 วัน ในทุกชุดการทดลอง ดำเนินการทดลองในชุดการทดลองที่ 1 และ 3 ใช้รอบการเติมอากาศแบบ 90 นาที และชุดการทดลองที่ 2 และ 4 ใช้รอบการเติมอากาศแบบ 60 นาที

4.3.1 ผลของรอบการเติมอากาศต่อสภาวะในระบบ

รอบการเติมอากาศที่ใช้ในการทดลอง คือ รอบการเติมอากาศ 60 นาที และ 90 นาที จากการทำการทดลอง ด้วยการจับเวลาและทำการวัดค่าออกซิเจนละลาย อุณหภูมิและพีเอชในระบบ แล้วเก็บน้ำตัวอย่างไปทำการทดลองหาค่าซีโอดี และความเข้มสี โดยที่มีค่าซีโอดีเข้า 500 มก./ล. และระบบมีมวลชีวภาพคงที่ (ภาคผนวก ช)



รูปที่ 4.7 ค่าอุณหภูมิและพีเอชในแต่ละช่วงเวลาของระบบ

(ก) รอบการเติมอากาศ 60 นาที (ข) รอบการเติมอากาศ 90 นาที

จากรูปที่ 4.7 ทั้ง 2 รูปแบบการเติมอากาศไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงพีเอชของระบบ พีเอชของทั้ง 2 รูปแบบการเติมอากาศมีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนอุณหภูมิของทั้งสองชุดการทดลอง มีการเปลี่ยนแปลงตามสภาพอากาศภายนอก ซึ่งเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก อยู่ในระดับ 28 องศาเซลเซียส

ซึ่งแสดงว่าการเติมอากาศเป็นช่วงๆ ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลง พีเอช และอุณหภูมิ ซึ่งสอดคล้องกับสภาวะในระบบ ซึ่งค่าพีเอชและอุณหภูมิ ไม่มีผลกระทบจากรอบการเติมอากาศ

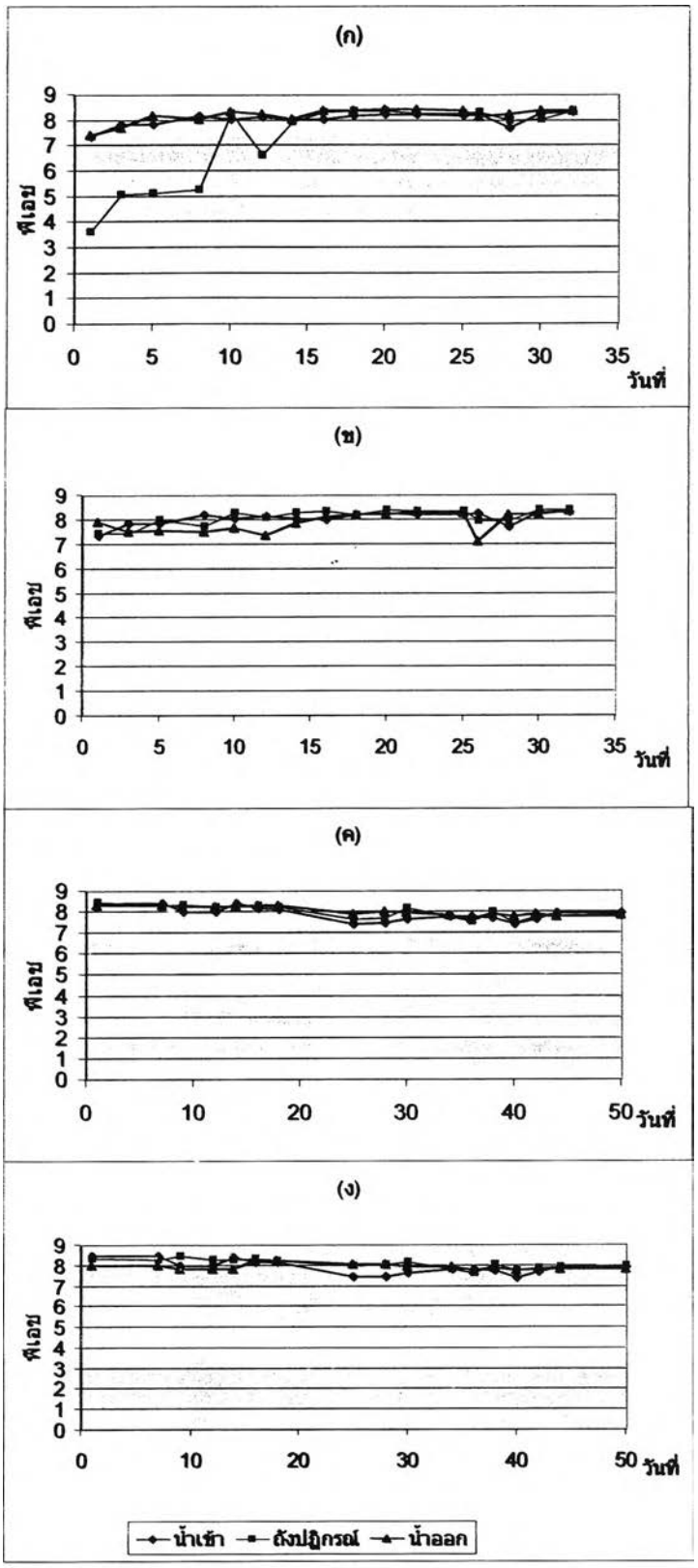
ตารางที่ 4.4 ค่าพีเอชในส่วนต่างๆ ของชุดการทดลองที่ 1 - 4

ชุดการทดลอง		น้ำเข้า	ถังปฏิกรณ์	น้ำออก
1	เฉลี่ย	8.0	7.6	8.1
	ตัวอย่าง	16	16	16
2	เฉลี่ย	8.0	8.0	7.7
	ตัวอย่าง	16	16	16
3	เฉลี่ย	7.8	7.9	8.0
	ตัวอย่าง	17	17	17
4	เฉลี่ย	7.8	8.0	7.9
	ตัวอย่าง	17	17	17

ค่าพีเอชน้ำเสียเจือจางที่เตรียมไว้ที่ค่าอยู่ในช่วงประมาณ 7.8 - 8.0 แปรเปลี่ยนตามความเข้มข้นของน้ำกากส่า ในแต่ละถัง และการเจือจางในอัตราส่วนสูง ผลจากความเป็นกรดของน้ำกากส่า จึงไม่ส่งผลต่อระบบ

เมื่อเติมน้ำเสียเข้าระบบ ในส่วนของถังปฏิกรณ์จะมีแนวโน้มค่าพีเอชสูงขึ้นในทุกชุดการทดลอง อยู่ในช่วงประมาณ 7.8 - 8.0 ซึ่งเหมาะสมแก่การเจริญเติบโตของแบคทีเรีย และเมื่อผ่านการกรองด้วยเมมเบรน ค่าพีเอชมีแนวโน้มสูงขึ้นอีก แต่อย่างไรก็ดี ค่าพีเอชของน้ำออก จะอยู่ประมาณ 7.9 – 8.1 ซึ่งอยู่ในมาตรฐานน้ำทิ้งของกรมโรงงานอุตสาหกรรม (ภาคผนวก ช.)

จากข้อสรุปทั้งหมดแสดงให้เห็นว่า ค่าพีเอชเปลี่ยนแปลงในแนวโน้มเดียวกันในทุกชุดการทดลอง ไม่ว่าจะเติมอากาศรูปแบบใด ชี้ให้เห็นว่า รอบการเติมอากาศที่ใช้ในการทดลองยังไม่ส่งผลต่อสภาพพีเอชในระบบ



รูปที่ 4.8 ค่าพีเอชในชุดการทดลอง

(ก) ชุดการทดลองที่ 1 (ข) ชุดการทดลองที่ 2 (ค) ชุดการทดลองที่ 3 (ง) ชุดการทดลองที่ 4

ค่าโออาร์พี (Oxidation – reduction potential) เป็นค่าที่นิยมใช้ในการควบคุมระบบเติมอากาศเป็นช่วงๆ โดยในสภาวะแอโรบิกสมบูรณ์ ควรมีค่าอยู่ในช่วง 50 ถึง 100 มิลลิโวลท์ และในสภาวะแอนนอกซิกควรมีค่า -50 ถึง -150 มิลลิโวลท์ (ธงชัย, 2544) ในการทดลองเรื่องผลของรอบการเติมอากาศ

ตารางที่ 4.5 ค่าโออาร์พีในส่วนต่างๆ ของชุดการทดลองที่ 1-4 (หน่วย : มิลลิโวลท์)

ชุดการทดลอง		น้ำเข้า	ถังปฏิกรณ์	น้ำออก
1	เฉลี่ย	-52	-55	-59
	ตัวอย่าง	16	16	16
	ค่าบี่องเบน	14	86	16
2	เฉลี่ย	-52	-55	-43
	ตัวอย่าง	16	16	16
	ค่าบี่องเบน	14	18	21
3	เฉลี่ย	-44	-49	-50
	ตัวอย่าง	17	17	17
	ค่าบี่องเบน	18	17	12
4	เฉลี่ย	-44	-54	-45
	ตัวอย่าง	17	17	17
	ค่าบี่องเบน	18	13	8

ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าโออาร์พี มีแนวโน้มเดียวกัน อยู่ในช่วงค่าที่ใกล้เคียงกับสภาวะแอนนอกซิกมากกว่าสภาวะแอโรบิก ซึ่งแสดงว่าระบบมีแนวโน้มเข้าสู่สภาวะแอนนอกซิก เมื่อค่าออกซิเจนละลายลดต่ำลง แต่อย่างไรก็ดี ค่าโออาร์พีในทุกชุดการทดลองมีใกล้เคียงกัน ดังนั้น จึงสรุปได้ว่า รอบการเติมอากาศ ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าโออาร์พี

ความเป็นด่างในระบบ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีที่กล่าวไว้ว่า เมื่อมีการเติมอากาศ จะเป็นการไล่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งก๊าซนี้มีฤทธิ์เป็นกรด เมื่ออยู่ในน้ำในรูปของกรดคาร์บอนิค การกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากระบบ เท่ากับเป็นการลดไฮโดรเจนไอออนอิสระในน้ำ ซึ่งจะทำให้ค่าพีเอชลดลง และเกลือของเบส หรือเบสที่ทำหน้าที่ในการจับไฮโดรเจนอิสระจึงเหลือมากขึ้น ทำให้ความเป็นด่างสูงขึ้น (Sawyer และคณะ 1994) ส่วนในกรณีของชุดการ

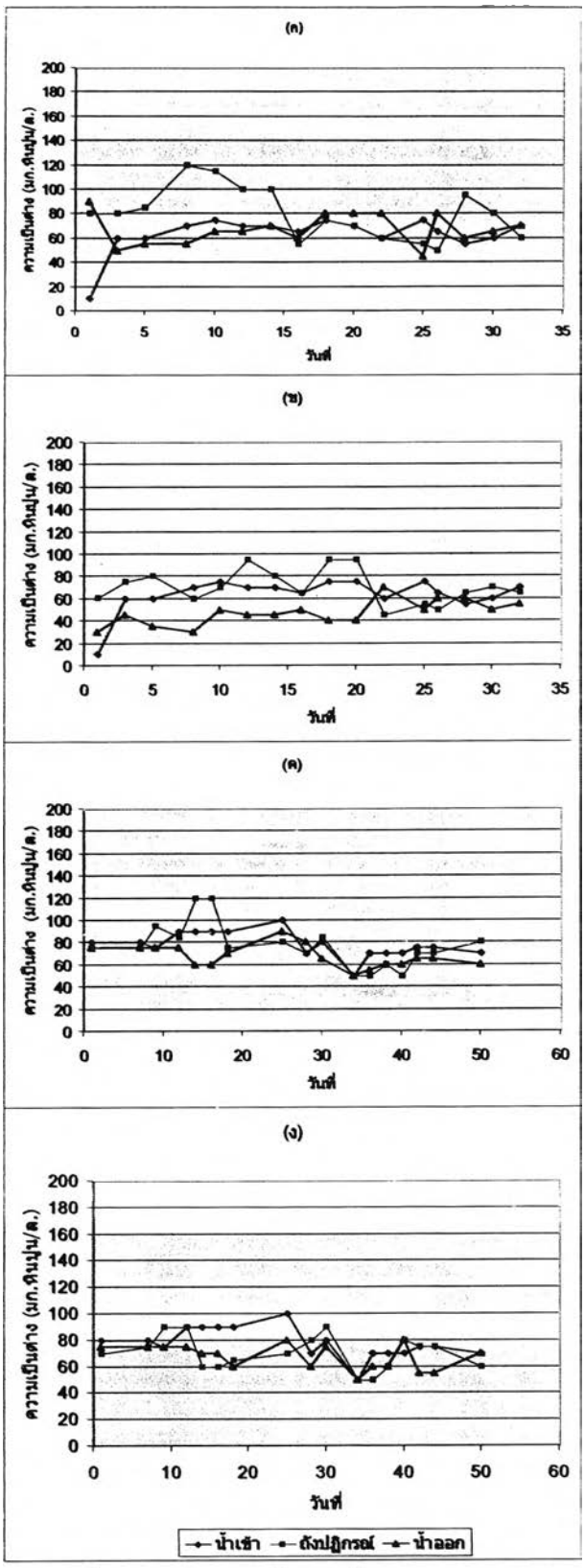
ทดลองที่ 3 และ 4 ที่มีความเป็นด่างลดลงเมื่อเข้าสู่ถังปฏิกรณ์นั้น เนื่องจากความเป็นด่างในระบบมีน้อย จึงต้องใช้ส่วนที่เข้ามากับน้ำเสีย เพื่อรักษาสมดุลกรดเบสในระบบ

ตารางที่ 4.6 ค่าความเป็นด่างในส่วนต่างๆ ของชุดการทดลองที่ 1 – 4 (หน่วย : มก.หินปูน/ลิตร)

ชุดการทดลอง		น้ำเข้า	ถังปฏิกรณ์	น้ำออก
1	เฉลี่ย	63.13	80.00	66.88
	ตัวอย่าง	16	16	16
	ค่าเบี่ยงเบน	15.48	21.53	12.63
2	เฉลี่ย	63.44	70.38	47.19
	ตัวอย่าง	16	16	16
	ค่าเบี่ยงเบน	15.68	15.50	10.95
3	เฉลี่ย	77.81	77.19	66.56
	ตัวอย่าง	16	16	16
	ค่าเบี่ยงเบน	12.11	21.29	10.28
4	เฉลี่ย	77.81	70.63	66.88
	ตัวอย่าง	16	16	16
	ค่าเบี่ยงเบน	12.11	13.40	9.64

จะเห็นว่า ค่าความเป็นด่างในน้ำเข้ากับในถังปฏิกรณ์มีค่าใกล้เคียงกัน แสดงว่าไม่มีกระบวนการที่นำความเป็นด่างไปใช้ แต่ความเป็นด่างลดลงเมื่อผ่านเมมเบรนแล้ว แสดงว่าความเป็นด่างบางส่วน สามารถถูกกักไว้ในถังปฏิกรณ์

จากผลการวิจัยจะเห็นแนวโน้มของค่าความเป็นด่างในทุกการทดลองมีแนวโน้มเดียวกัน ในทุกชุดการทดลอง แสดงว่ารอบการเติมอากาศที่ใช้ในการทดลองไม่มีผลต่อการเปลี่ยนค่าความเป็นด่างในระบบ



รูปที่ 4.9 ค่าความเป็นด่างในชุดการทดลอง

(ก) **ชุดการทดลองที่** 1 (ข) **ชุดการทดลองที่** 2 (ค) **ชุดการทดลองที่** 3 (ง) **ชุดการทดลองที่** 4

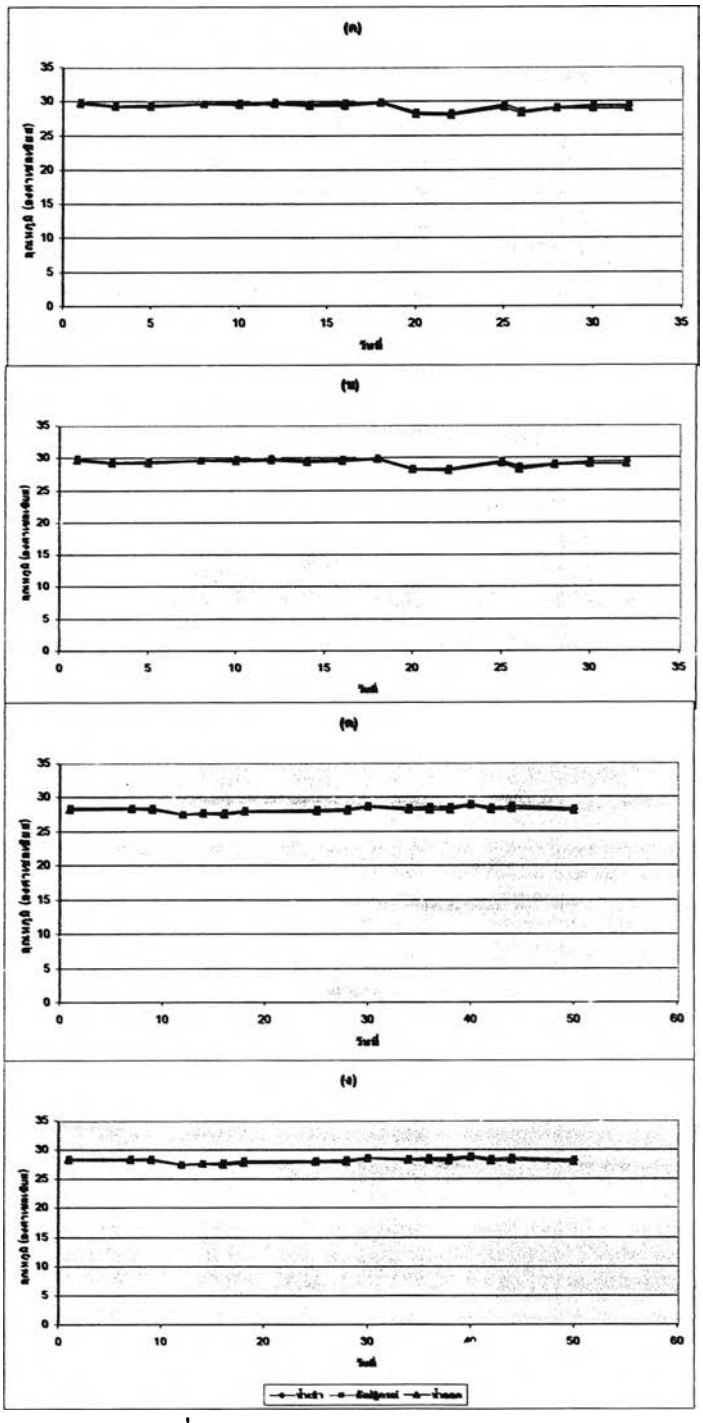
ในงานวิจัยนี้ มิได้มีการควบคุมอุณหภูมิภายในถังปฏิกรณ์ด้วยอุปกรณ์ควบคุม ดังนั้น อุณหภูมิภายในถังปฏิกรณ์จึงเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิบรรยากาศ ในถังปฏิกรณ์มีอุณหภูมิต่ำที่สุด 26.4 องศาเซลเซียส ในช่วงต้นเดือนกุมภาพันธ์ และสูงสุดในช่วงต้นเดือนกรกฎาคม อุณหภูมิเฉลี่ยในถังปฏิกรณ์อยู่ที่ 27 – 29 องศาเซลเซียส ซึ่งอยู่ในช่วงเมโสฟิลิค 25 – 40 องศาเซลเซียส (Metcalf และ Eddy, 2003) อันเป็นช่วงอุณหภูมิปกติในประเทศไทย ซึ่งจากการทดลองพบว่าอุณหภูมิไม่มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบ

ตารางที่ 4.7 อุณหภูมิในส่วนต่างๆ ของชุดการทดลองที่ 1 – 4 (หน่วย : องศาเซลเซียส)

ชุดการทดลอง		น้ำเข้า	ถังปฏิกรณ์	น้ำออก
1	เฉลี่ย	29.4	29.5	29.1
	ตัวอย่าง	16	16	16
	ค่าเบี่ยงเบน	0.54	0.55	0.56
2	เฉลี่ย	29.4	29.5	29.1
	ตัวอย่าง	16	16	16
	ค่าเบี่ยงเบน	0.54	0.54	0.54
3	เฉลี่ย	28.3	28.4	28.1
	ตัวอย่าง	17	17	17
	ค่าเบี่ยงเบน	0.39	0.39	0.35
4	เฉลี่ย	28.3	28.4	28.1
	ตัวอย่าง	17	17	17
	ค่าเบี่ยงเบน	0.39	0.39	0.35

จากตารางที่ 4.7 พบว่าอุณหภูมิของน้ำเข้า น้ำออก และในถังปฏิกรณ์มีค่าไม่ต่างกันมากนัก โดยอุณหภูมิน้ำเข้าและน้ำออกจะมีค่าต่ำกว่าในถังปฏิกรณ์เล็กน้อย เนื่องมาจากภายในถังปฏิกรณ์มีอุปกรณ์เพื่อให้จุลินทรีย์ในระบบแขวนลอยอยู่เสมอ เช่น ใบกวน และเครื่องเติมออกซิเจน ซึ่งอุปกรณ์เหล่านี้เป็นตัวนำความร้อนเข้าสู่ถังปฏิกรณ์ ทำให้ภายในถังปฏิกรณ์มีอุณหภูมิสูงขึ้นกว่าน้ำในส่วนอื่น และน้ำออกจะถูกเก็บไว้ในถังพักพลาสติกจึงมีอุณหภูมิต่ำกว่า แต่เนื่องจากระบบอยู่ในที่โล่งความแตกต่างในด้านอุณหภูมิระหว่างกันจึงมีไม่มาก

อิทธิพลของอุณหภูมิ มาจากอุณหภูมิอากาศภายนอกระบบ เป็นส่วนใหญ่ จะเห็นจากการแปรเปลี่ยนตามฤดูกาลที่ทำการทดลอง ซึ่งการเปลี่ยนแปลงนี้ ยังอยู่ในช่วงเมโสฟิลิค 25 – 40 องศาเซลเซียส ซึ่งไม่ทำให้เชื้อจุลินทรีย์ ต้องปรับสภาพแต่อย่างใด



รูปที่ 4.10 อุณหภูมิในชุดการทดลอง

(ก) **ชุดการทดลองที่** 1 (ข) **ชุดการทดลองที่** 2 (ค) **ชุดการทดลองที่** 3 (ง) **ชุดการทดลองที่** 4

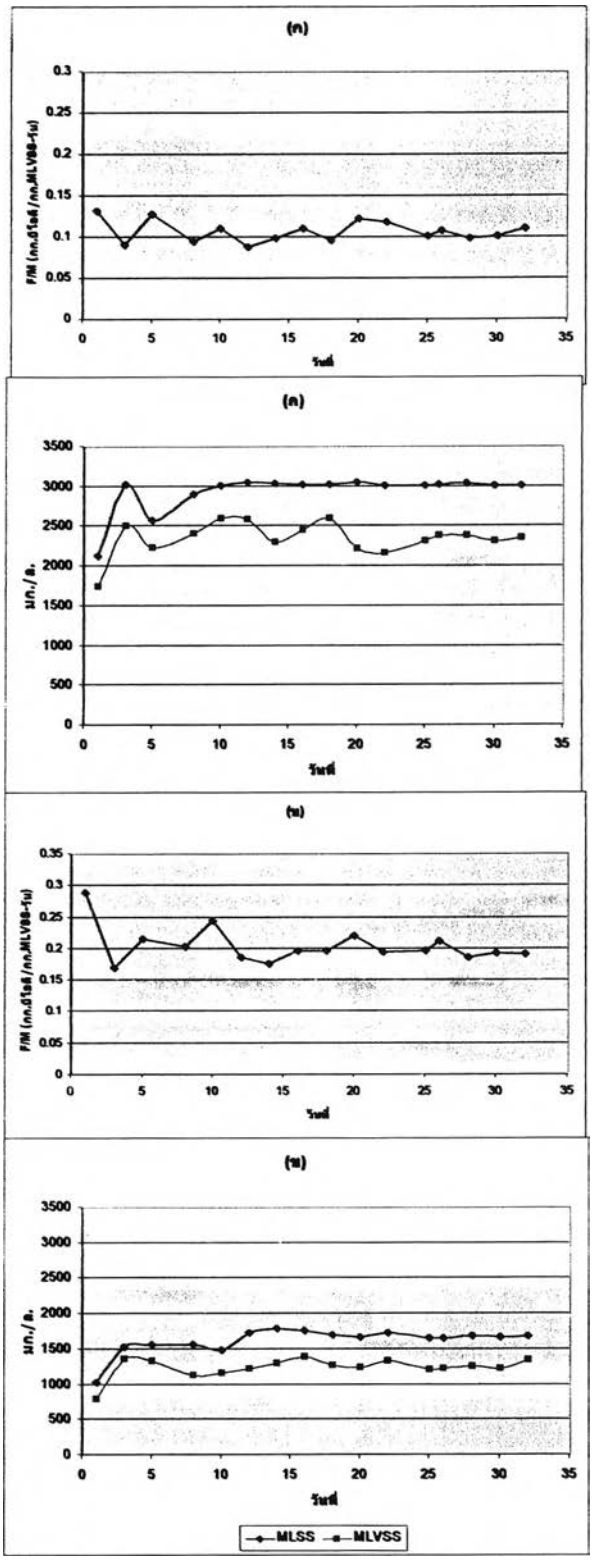
4.3.2 ผลของรอบการเติมอากาศต่อจุลินทรีย์ในระบบ

ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ในระบบ เป็นตัวบ่งบอกสภาพคงตัวของระบบ และยังเป็นตัวบ่งบอกคุณภาพในระบบ สภาพของจุลินทรีย์ซึ่งอยู่ในระบบ เป็นปัจจัยที่มีความสำคัญอย่างมาก ต่อประสิทธิภาพการกำจัดมลสารในถังปฏิกรณ์ ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ แสดงได้ด้วยค่าเอ็มแอลวีเอสเอส ซึ่งแสดงได้ตามตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ค่าเอ็มแอลเอสเอส และเอ็มแอลวีเอสเอส ของชุดการทดลองที่ 1 – 4

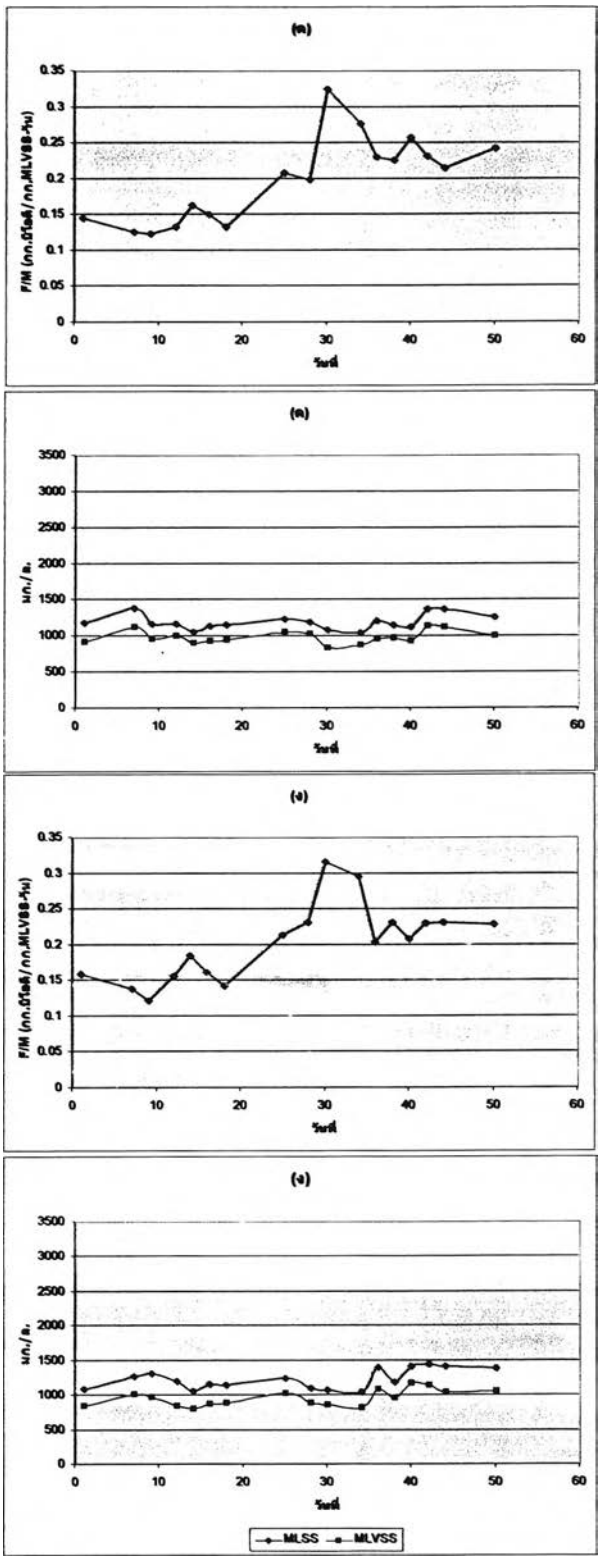
ชุดการทดลอง		เอ็มแอลเอสเอส (มก./ล.)	เอ็มแอลวีเอสเอส (มก./ล.)	วีเอสเอส/เอสเอส	อัตราส่วนอาหารต่อมวลจุลชีพ (กก.บีโอดี/กก.เอ็มแอลวีเอสเอส.วัน)
1	เฉลี่ย	3023	2390	0.79	0.11
	ตัวอย่าง	12	12	12	12
	ค่าเบี่ยงเบน	14.58	142.28	0.05	0.01
2	เฉลี่ย	1700	1273	0.75	0.2
	ตัวอย่าง	11	11	11	11
	ค่าเบี่ยงเบน	45.63	61.65	0.03	0.01
3	เฉลี่ย	1195	987	0.83	0.22
	ตัวอย่าง	12	12	12	12
	ค่าเบี่ยงเบน	102.76	90.07	0.03	0.05
4	เฉลี่ย	1248	984	0.79	0.22
	ตัวอย่าง	12	12	12	12
	ค่าเบี่ยงเบน	149.3	119.05	0.03	0.05

จากตารางที่ 4.8 และรูปที่ 4.11 จะเห็นว่า ชุดการทดลองที่ 1 มีค่าเอ็มแอลวีเอสเอสที่สภาวะคงตัว ประมาณ 2390 มก./ล. โดยสัดส่วนของของแข็งแขวนลอยระเหยง่ายต่อของแข็งแขวนลอยทั้งหมด อยู่ที่ 0.79 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์คุณลักษณะพื้นฐานของระบบเมมเบรนในถังปฏิกรณ์ชีวภาพทั่วไป (0.5 - 0.9, Horng และคณะ, 2005) มีค่า อัตราส่วนอาหารต่อมวลจุลชีพ อยู่ที่ 0.11 กก.บีโอดี/กก.เอ็มแอลวีเอสเอส.วัน ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของระบบไมโครฟิลเตรชันเมมเบรนในถังปฏิกรณ์ (0.1 – 0.4 กก.บีโอดี/กก.เอ็มแอลวีเอสเอส.วัน, Metcalf และ Eddy, 2003) แสดงว่าระบบอยู่ในสภาพเพียงพอต่อการดำเนินระบบ อาหารสำหรับจุลินทรีย์ไม่ขาดแคลน



รูปที่ 4.11 ค่าเอ็มแอลเอสเอส เอ็มแอลวีเอสเอส และอัตราส่วนอาหารต่อมวลจุลชีพ ในชุดการทดลอง

(ก) ชุดการทดลองที่ 1 (ข) ชุดการทดลองที่ 2



รูปที่ 4.11 (ต่อ) ค่าเอ็มแอลเอสเอส เอ็มแอลวีเอสเอส และ อัตราส่วนอาหารต่อมวลจุลชีพ ในชุดการทดลอง

(ค) ชุดการทดลองที่ 3 (ง) ชุดการทดลองที่ 4

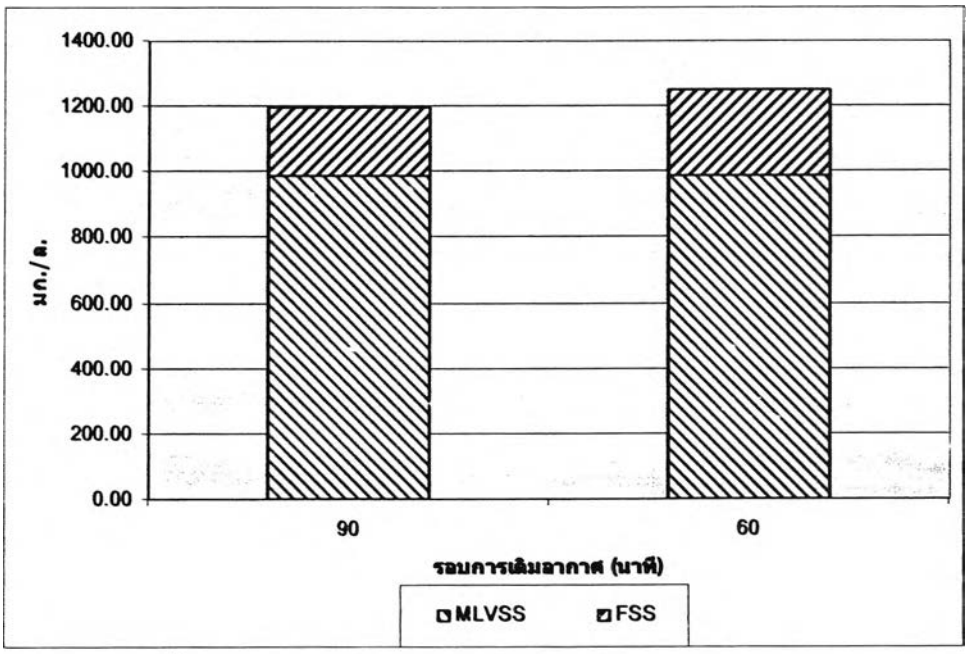
สำหรับ ชุดการทดลองที่ 2 มีค่าเอ็มแอลวีเอสเอสที่สภาวะคงตัว ประมาณ 1273 มก./ล. โดยสัดส่วนของของแข็งแขวนลอยระเหยง่ายต่อของแข็งแขวนลอยทั้งหมด อยู่ที่ 0.75 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์คุณลักษณะพื้นฐานของระบบเมมเบรนในถังปฏิกรณ์ชีวภาพทั่วไป (0.5 - 0.9, Hornและคณะ, 2005) มีค่า อัตราส่วนอาหารต่อมวลจุลชีพ อยู่ที่ 0.20 กก.บีโอดี/กก.เอ็มแอลวีเอสเอส.วัน ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของระบบไมโครฟิลเตรชันเมมเบรนในถังปฏิกรณ์ (0.1 – 0.4 กก.บีโอดี/กก.เอ็มแอลวีเอสเอส.วัน, Metcalf และ Eddy, 2003) แสดงว่าระบบอยู่ในสภาพเพียงพอต่อการดำเนินระบบอาหารสำหรับจุลินทรีย์ไม่ขาดแคลน

เมื่อเปรียบเทียบสภาพจุลินทรีย์ ของชุดการทดลองที่ 1 และ 2 จะพบว่า ปริมาณความเข้มข้นของมวลชีวภาพ (MLVSS) ในระบบของชุดการทดลองที่ 1 มีปริมาณมากกว่าในชุดการทดลองที่ 2 ซึ่งน่าจากปริมาณเชื้อเริ่มต้นที่ต่างกัน ซึ่งความแตกต่างกันในสภาพระบบ หรือประสิทธิภาพการกำจัดมลสาร จะขึ้นกับปริมาณของเชื้อจุลินทรีย์ด้วย ดังนั้นในการเปรียบเทียบผลรอบการเติมอากาศสำหรับ ชุดการทดลองที่ 1 และ 2 นั้น จะมีผลจากความเข้มข้นของเชื้อที่แตกต่างกันนี้ด้วย

ในส่วนของชุดการทดลองที่ 3 มีค่าเอ็มแอลวีเอสเอสที่สภาวะคงตัว ประมาณ 984 มก./ล. โดยสัดส่วนของของแข็งแขวนลอยระเหยง่ายต่อของแข็งแขวนลอยทั้งหมด อยู่ที่ 0.83 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์คุณลักษณะพื้นฐานของระบบเมมเบรนในถังปฏิกรณ์ชีวภาพทั่วไป (0.5 - 0.9, Horng และคณะ, 2005) มีค่า อัตราส่วนอาหารต่อมวลจุลชีพ อยู่ที่ 0.22 กก.บีโอดี/กก.เอ็มแอลวีเอสเอส.วัน ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของระบบไมโครฟิลเตรชันเมมเบรนในถังปฏิกรณ์ (0.1 – 0.4 กก.บีโอดี/กก.เอ็มแอลวีเอสเอส.วัน, Metcalf และ Eddy, 2003) แสดงว่าระบบอยู่ในสภาพเพียงพอต่อการดำเนินระบบอาหารสำหรับจุลินทรีย์ไม่ขาดแคลน

และชุดการทดลองที่ 4 มีค่าเอ็มแอลวีเอสเอสที่สภาวะคงตัว ประมาณ 987 มก./ล. โดยสัดส่วนของของแข็งแขวนลอยระเหยง่ายต่อของแข็งแขวนลอยทั้งหมด อยู่ที่ 0.79 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์คุณลักษณะพื้นฐานของระบบเมมเบรนในถังปฏิกรณ์ชีวภาพทั่วไป (0.5 - 0.9, Horng และคณะ, 2005) มีค่า อัตราส่วนอาหารต่อมวลจุลชีพ อยู่ที่ 0.22 กก.บีโอดี/กก.เอ็มแอลวีเอสเอส.วัน ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของระบบไมโครฟิลเตรชันเมมเบรนในถังปฏิกรณ์ (0.1 – 0.4 กก.บีโอดี/กก.เอ็มแอลวีเอสเอส.วัน, Metcalf และ Eddy, 2003) แสดงว่าระบบอยู่ในสภาพเพียงพอต่อการดำเนินระบบอาหารสำหรับจุลินทรีย์ไม่ขาดแคลน

เมื่อเปรียบเทียบสภาพจุลินทรีย์ ในชุดการทดลองที่ 3 และ 4 จะพบว่า ปริมาณความเข้มข้นของมวลชีวภาพ (MLVSS) มีค่าใกล้เคียงกัน ไม่มีความแตกต่างที่มีนัยสำคัญ ดังนั้นในการเปรียบเทียบผลของรอบการเติมอากาศ โดยใช้ผลจากการดำเนินระบบของทั้ง 2 ชุดการทดลองนี้ จะเป็นผลจากรอบการเติมอากาศเป็นสำคัญ แต่อย่างไรก็ดีในการเปรียบเทียบต่อไป จะใช้ชุดการทดลองที่ 1 – 4 ประกอบกันเพื่อจะได้แนวโน้มที่เห็นได้ชัดเจนขึ้น



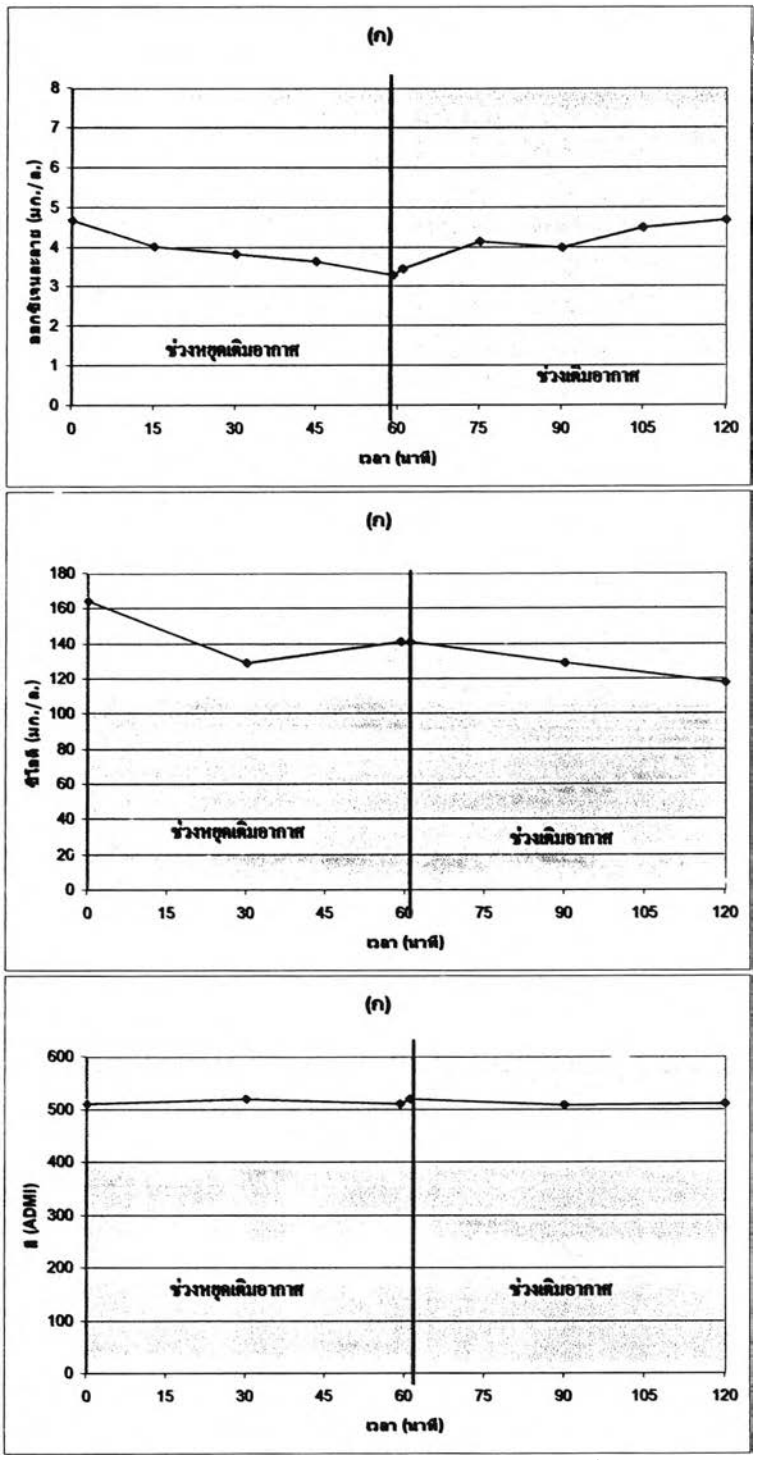
รูปที่ 4.12 ปริมาณ MLVSS และ FSS ในรอบการเติมอากาศ

จากรูปที่ 4.12 จะเห็นว่า ปริมาณมวลชีวภาพ (MLVSS) ทั้งสองระบบที่ใช้รอบการเติมอากาศต่างกัน จะมีแนวโน้มใกล้เคียงกัน และทั้ง 2 รอบการเติมอากาศจะมีของแข็งแขวนลอยคงตัว (FSS) อยู่ในระบบใกล้เคียงกันด้วย แสดงว่าสัดส่วนของเชื้อในระบบต่อของแข็งคงตัวใกล้เคียงกัน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ผลกระทบอันเนื่องจากปริมาณจุลชีพจึงไม่ส่งผลกระทบต่อการทดลอง

4.3.3 ผลของรอบการเติมอากาศต่อการกำจัดมลสารในระบบ

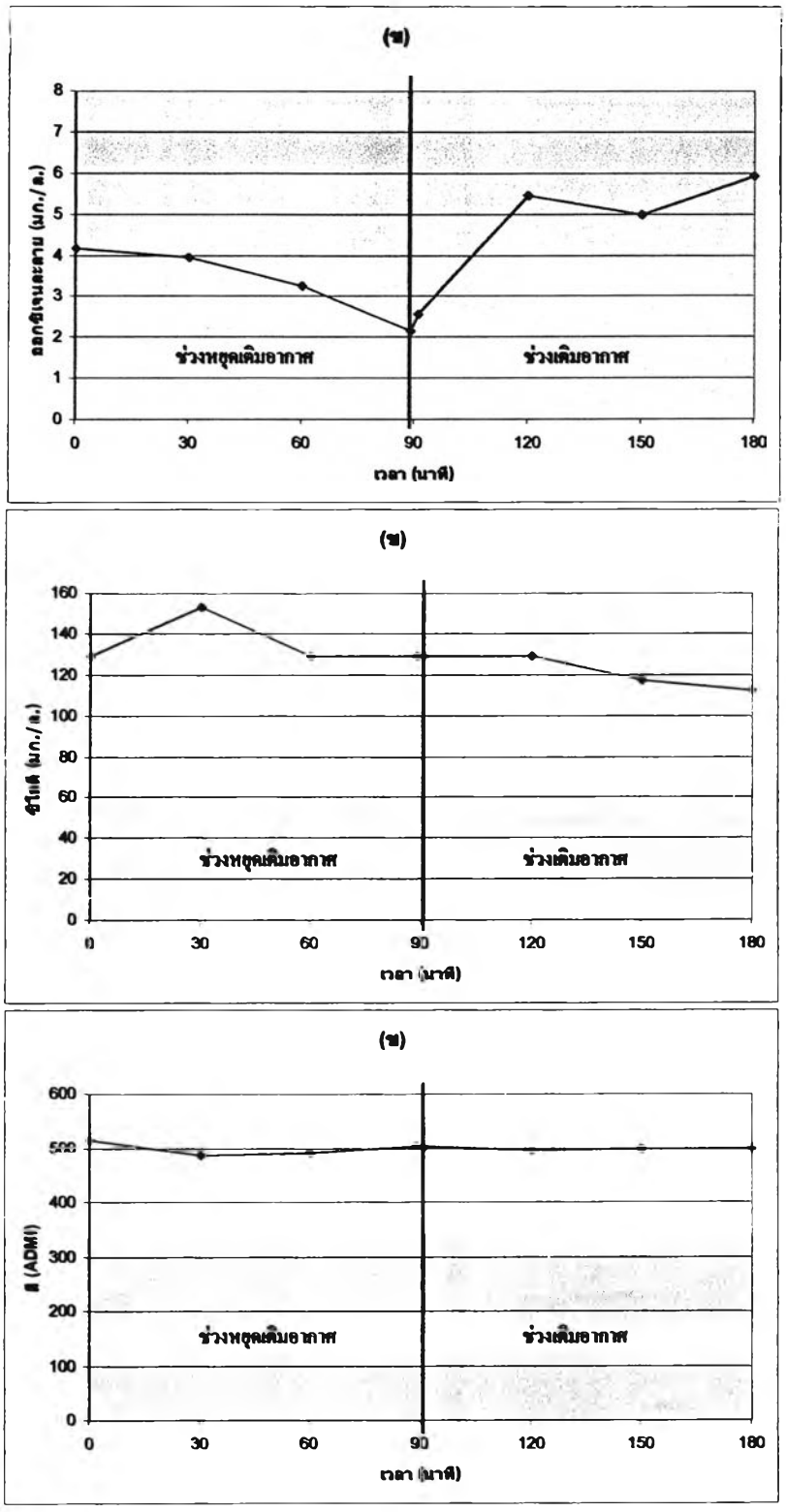
จากการทดสอบค่าการย่อยสลายสารอินทรีย์และสี (ภาคผนวก ช.) ซึ่งเปรียบเทียบผลการบำบัดซีโอดี และสีของระบบ ภายในถังปฏิกรณ์ที่ใช้รอบการเติมอากาศแบบ 60 นาที และ 90

นาที ภายใต้การควบคุมอายุสลัดจ์ที่ 25 วัน และความเข้มข้นซีโอดีเข้าระบบเท่ากับ 500 มก./ล. ซึ่งสามารถแสดงความสัมพันธ์ของการกำจัดซีโอดี และสีได้ ตามรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 ค่าออกซิเจนละลาย ซีโอดี และสีในแต่ละช่วงเวลาที่เติมอากาศในถังปฏิกรณ์

(ก) รอบการเติมอากาศ 60 นาที



รูปที่ 4.13 (ต่อ) ค่าออกซิเจนละลาย ซีโอดี และสีในแต่ละช่วงเวลาที่เติมอากาศในถังปฏิกรณ์

(ข) รอบการเติมอากาศ 90 นาที

จากรูปที่ 4.13 ในรอบการเติมอากาศ 60 นาที จะเห็นว่าค่าการเติมอากาศในช่วงเติมอากาศ และไม่เติมอากาศ มีค่าไม่แตกต่างกันมาก ช่วงเติมอากาศจะมีค่าออกซิเจนละลายตอนเริ่มที่ 3.44 แล้วเพิ่มขึ้นไปที่ระดับ 4.66 โดยจะเห็นว่าช่วงเวลานาทีที่ 30 – 45 ระดับออกซิเจนละลายในระบบค่อนข้างคงที่ทั้งๆ ที่ มีการเติมอากาศอย่างสม่ำเสมอให้แก่ระบบ แสดงว่าในช่วงนั้นระบบได้ใช้ออกซิเจนในกิจกรรมต่างๆ ของจุลินทรีย์ เป็นจำนวนมาก ก่อนจะเพิ่มขึ้นอีก ในช่วงนาทีที่ 45 เป็นต้นไป และในช่วงการหยุดเติมอากาศ ค่าออกซิเจนละลายก็เริ่มลดลงเรื่อย ในอัตราที่สม่ำเสมอจนถึงจุดต่ำสุดที่ก่อนจะเริ่มมีการเติมอากาศอีกครั้ง

สำหรับรอบการเติมอากาศแบบ 90 นาที ในช่วงเติมอากาศจะมีลักษณะเดียวกันกับรอบการเติมอากาศแบบ 60 นาที แต่ระดับของออกซิเจนละลายสูงขึ้น และลดต่ำลงมากกว่า โดยในช่วงที่หยุดเติมอากาศนั้นค่าออกซิเจนลดลงด้วยอัตราสม่ำเสมอ มาอยู่ที่ประมาณ 2 มก./ล. และเมื่อเติมอากาศ ค่าออกซิเจนละลายค่อยๆ เพิ่มขึ้นในช่วง 30 นาทีแรก และไปคงที่ที่ อีก 30 นาที ต่อไป ก่อนจะเพิ่มขึ้นไปที่ระดับประมาณ 6 มก./ลิตร ซึ่งแสดงถึงช่วงการใช้ออกซิเจนที่ช่วงนาทีที่ 30 ถึง 60 เมื่อเปรียบเทียบจะเห็นว่า ช่วงเวลาที่ใช้นี้มีระยะเวลานานกว่า

เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4.13 ความเข้มข้นของซีโอดี ในรอบการเติมอากาศพบว่า ในรอบการเติมอากาศ 60 นาที ในช่วงการเติมอากาศ ซีโอดีจะลดต่ำลงประกอบกับช่วงที่มีระดับออกซิเจนละลายคงที่ แสดงให้เห็นการย่อยสลาย ภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจนของระบบ ซึ่งเป็นกลไกหลักในการย่อยสลายซีโอดีในระบบ และเมื่อพิจารณาที่สภาวะการหยุดเติมอากาศในตอนต้นซีโอดีจะเพิ่มขึ้นเนื่องจากการเติมน้ำเข้าระบบจากถังพักน้ำ แล้วซีโอดีลดลง ก่อนจะค่อยๆ เพิ่มมาคงที่เท่ากับระดับตอนเริ่มเติมน้ำเสียหลังหยุดเติมอากาศ แสดงว่าในช่วงแรก การย่อยสลายซีโอดีอยู่ ก่อนจะลดประสิทธิภาพลงเมื่อระดับออกซิเจนละลายลดต่ำลง แต่เมื่อพิจารณาค่าซีโอดีเปรียบเทียบกับซีโอดีน้ำเข้า จะเห็นว่า ซีโอดีส่วนใหญ่ถูกย่อยสลายอย่างรวดเร็ว และย่อยสลายได้ในทุกสภาวะของระบบ

สำหรับรอบการเติมอากาศแบบ 90 นาที ซีโอดีส่วนใหญ่ที่เข้าสู่ระบบจะถูกกำจัดทันที แสดงว่าส่วนใหญ่เป็นซีโอดีที่กำจัดง่าย และส่วนที่เหลือจะถูกย่อยสลายในช่วงการเติมอากาศ ซึ่งจะเกิดขึ้นหลังการเติมอากาศไปแล้ว 30 นาที ในช่วงการหยุดเติมอากาศซีโอดีจะสูงขึ้นเมื่อน้ำเสียเริ่มป้อนเข้าระบบ แต่จะมาอยู่ระดับค่อนข้างคงที่ในช่วงนาทีที่ 30 เป็นต้นไป แสดงให้เห็นปริมาณซีโอดีที่ย่อยยากที่มีในน้ำเข้า ซึ่งซีโอดีส่วนนี้จะถูกกำจัดเมื่อมีการเติมออกซิเจนต่อไป

และเมื่อพิจารณาที่ความเข้มสีของน้ำ ที่เป็นผลเนื่องจากรอบการเติมอากาศ สีจะมีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงการหยุดเติมอากาศ เนื่องจากการเติมน้ำเสียเข้าสู่ระบบ ส่วนในช่วงการเติมอากาศความเข้มสีจะลดลง ซึ่งแสดงว่าสีส่วนหนึ่ง เป็นสารซีโอดีที่ย่อยสลายได้ยาก ซึ่งจะถูกย่อยสลายได้เฉพาะช่วงการเติมอากาศเท่านั้น และจากรูปที่ 4.13 จะเห็นได้ว่า ความเข้มสีในระบบที่ใช้รอบการเติมอากาศทั้ง 2 แบบ มีแนวโน้มไม่ต่างกัน

เมื่อเปรียบเทียบ รอบการเติมอากาศ 60 นาที และ 90 นาที จะเห็นแนวโน้มที่เหมือนกัน คือ ค่าซีโอดีส่วนใหญ่จะถูกย่อยสลายทันทีที่เข้าสู่ถังปฏิกรณ์ ซึ่งแสดงได้ว่า น้ำเสียที่เข้าระบบส่วนใหญ่ จุลินทรีย์ในระบบสามารถนำไปใช้ได้อย่างรวดเร็ว และซีโอดีจะที่เหลือ จะสูงสุดที่หลังจากเริ่มเติมอากาศไปแล้ว 30 นาที จะลดลงอย่างมากในช่วงการเติมอากาศ แสดงให้เห็นว่า ซีโอดีส่วนที่เหลือ ระบบได้ดำเนินการย่อยในลำดับต่อมา ซึ่งต้องใช้เวลาในการย่อย

ส่วนการลดสีนั้น การเติมอากาศ 60 นาที และ 90 นาที ในการการทำงานแต่ละรอบให้ผลไม่แตกต่างกัน สีที่ถูกลดได้ จะมาจากสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ยาก ซึ่งมีแนวโน้มการกำจัดใกล้เคียงกัน ดังนั้นในการทำงานแต่ละรอบ ของช่วงเวลาการเติมอากาศที่แตกต่างกัน ไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดสี

จากการทดสอบความแตกต่างของพารามิเตอร์ต่างๆ ในส่วนของประสิทธิภาพการกำจัดทางสถิติโดยใช้การทดสอบแบบที (T-test of the differences between two means) เพื่อทดสอบความแตกต่างของพารามิเตอร์ 2 ชุด เพื่อดูนัยสำคัญของความแตกต่างระหว่างประสิทธิภาพของระบบ ภายใต้สภาวะที่กำหนดไว้ในการทดลอง ผลของการทดสอบความแตกต่างของพารามิเตอร์ ที่เป็นผลมาจากรอบการเติมอากาศ ซึ่งแสดงผลการทดสอบตามตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 การทดสอบทางสถิติเกี่ยวกับค่าพารามิเตอร์เปรียบเทียบ ระหว่างรอบการเติมอากาศ 60นาที และ 90 นาที ด้วย T-test

พารามิเตอร์	ชุดการทดลองที่	df	α	Critical Value	t_s	L1	L2	C
COD								
%การกำจัดโดยถัง						-		
ปฏิกรณ์		2	0.		-	15.60	14.33	
	3 และ 4	2	1	1.717	0.073	8	3	S
%การกำจัดโดยเมม		2	0.					
เบรน	3 และ 4	2	1	1.717	0.386	-0.59	0.931	S
TKN								
			0.				14.97	
%การกำจัด	3 และ 4	8	1	1.86	5.091	6.963	9	D
TP								
			0.					
%การกำจัด	**3 และ 4**	8	**1**	1.86	0	-5.447	5.447	S
สี								
%การกำจัดโดยถัง		1	0.					
ปฏิกรณ์	3 และ 4	8	1	1.734	0.201	-5.575	7.04	S
%การกำจัดโดยเมม		1	0.		-		-	
เบรน	3 และ 4	8	1	1.734	4.354	-6.636	2.856	S

df องศาความเป็นอิสระ

α ระดับนัยสำคัญ

Critical Value ค่าที่เปิดได้จากตารางแจกแจงความน่าจะเป็นแบบที

t_s ค่าคำนวณด้วยสมการ $t_s = \dfrac{(\bar{Y}_1 - \bar{Y}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{\sqrt{\frac{1}{n}(s_1^2 + s_2^2)}}$

$L_1 L_2$ Confidence limits

S ประสิทธิภาพต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ

D ประสิทธิภาพต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

จากการคำนวณ T-test ตามตารางที่ 4.9 จะพบว่า รอบการเติมอากาศ 60 และ 90 นาที มีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี ฟอสฟอรัส และสี ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่มีความแตกต่างในประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจน ซึ่งจะทำการวิเคราะห์พารามิเตอร์แต่ละตัวในหัวข้อต่อๆ ไป

4.3.4 ผลของรอบการเติมอากาศต่อการกำจัดของแข็งแขวนลอย

น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองนี้ นำมาจากน้ำกากสาที่ออกมาจากหอกลั่น ซึ่งสารตั้งต้นเป็นน้ำสาที่ได้มาจากน้ำทิ้งจากการตกสลัดจ์น้ำตาลครั้งสุดท้ายแล้ว และในกระบวนการมีการเติมยีสต์เพื่อหมักน้ำตาลให้กลายเป็นแอลกอฮอล์ แล้วจึงนำไปกลั่นที่อุณหภูมิสูง สารแขวนลอยที่เหลือตกค้าง ส่วนใหญ่จะเป็นซากเซลล์ของยีสต์ และจุลินทรีย์ที่ใช้หมัก กากน้ำตาลที่ไหม้และรวมตัวกันเป็นสารโมเลกุลใหญ่แต่ก็มีปริมาณที่น้อย โดยทั่วไปน้ำกากสาจะมีของแข็งแขวนลอยอยู่ในปริมาณเล็กน้อยอยู่แล้ว สารแขวนลอยที่มีจะเป็นฝุ่นผง เศษดิน ที่เจือปนอยู่ในบ่อพัก

จากการวิเคราะห์ค่าของแข็งแขวนลอย พบว่าของแข็งแขวนลอยที่พบมีสีน้ำตาล ความเข้มข้นแสดงในตารางที่ 4.10

จากตารางที่ 4.10 พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดสารแขวนลอยของทุกการทดลองเท่ากับ 100 % ทั้งนี้เนื่องจากขนาดรูพรุนของเมมเบรนเท่ากับ 0.1 ไมครอน ซึ่งเล็กกว่ากระดาษกรองที่ใช้ในการวิเคราะห์ค่าของแข็งแขวนลอยที่ใช้ขนาด 0.45 ไมครอน ดังนั้นอนุภาคที่ผ่านเมมเบรนออกมากับน้ำทิ้งได้จึงไม่สามารถผ่านกระดาษกรองที่ใช้ในการวิเคราะห์ได้ แสดงว่ารอบการเติมอากาศ ๆ ไม่มีผลต่อการกำจัดของแข็งแขวนลอย

ตารางที่ 4.10 ของแข็งแขวนลอย ของชุดการทดลองที่ 1 - 4

ชุดการทดลอง		น้ำเข้า มก./ล.	น้ำออก มก./ล.
1	เฉลี่ย	31.88	0
	ตัวอย่าง	16	16
	ค่าเบี่ยงเบน	9.85	0
2	เฉลี่ย	31.88	0
	ตัวอย่าง	16	16
	ค่าเบี่ยงเบน	9.85	0
3	เฉลี่ย	41.12	0
	ตัวอย่าง	17	17
	ค่าเบี่ยงเบน	14.7	0
4	เฉลี่ย	41.12	0
	ตัวอย่าง	17	17
	ค่าเบี่ยงเบน	14.7	0

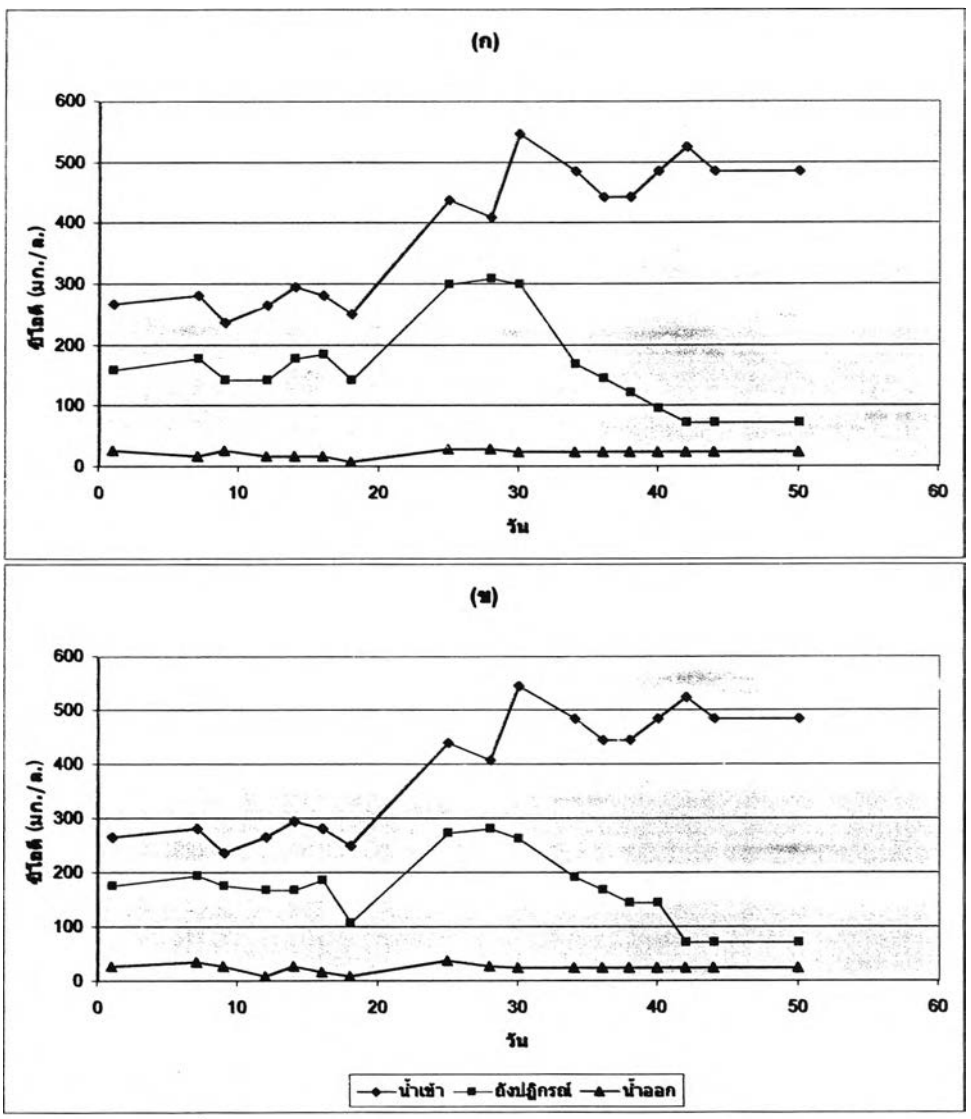
4.3.5 ผลของรอบการเติมอากาศต่อการกำจัดซีโอดี

ค่าซีโอดีของน้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ระบบมาจาก น้ำกากส่าที่ออกจากหอกลั่นของโรงงานสุราแสงโสม จ.นครปฐม ซึ่งมีสารตั้งต้นคือน้ำตาล และผลิตภัณฑ์เป็นแอลกอฮอล์ โดยมีสารเจือปนที่ทำให้เกิดสี เช่น คาราเมล เมลานอยดิน เป็นต้น ซึ่งส่วนใหญ่เป็นซีโอดีที่ย่อยสลายทางชีวภาพได้ไม่ยากนัก ดังนั้นจุลินทรีย์ในระบบจึงสามารถนำไปใช้ได้ ยกเว้นในบางส่วนที่เป็นสารอินทรีย์ที่เกิดการเปลี่ยนแปลงในกระบวนการกลั่น เช่น เมลานอยดิน เป็นสารที่แบคทีเรียย่อยสลายได้ยาก

ค่าซีโอดีเฉลี่ยที่ป้อนเข้าระบบ สำหรับชุดการทดลองที่ 3 - 4 มีค่าประมาณ 440 มิลลิกรัม/ลิตร ในอัตราการป้อนที่ 100 ลิตร/วัน เท่ากันทุกชุดการทดลอง ซึ่งสามารถคิดเป็นอัตราภาระสารอินทรีย์ (Organic Loading Rate, OLR) เท่ากับ 0.22 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ตามลำดับ

ตารางที่ 4.11 ค่าซีโอดีในจากจุดเก็บตัวอย่างต่างๆ ที่สภาวะคงตัวของชุดทดลองที่ 3 และ 4

ชุดการทดลอง		ซีโอดี (มก./ล.)			%การกำจัด	
		น้ำเข้า	ถังปฏิกรณ์	น้ำออก	โดย ถังปฏิกรณ์	โดยรวม
3	เฉลี่ย	439.5	165.25	22.58	56.29	94.8
	ตัวอย่าง	12	12	12	12	12
	ค่าเบี่ยงเบน	89.44	90.93	5.21	22.25	0.92
4	เฉลี่ย	439.5	164.83	23.33	57.18	94.38
	ตัวอย่าง	12	12	12	12	12
	ค่าเบี่ยงเบน	89.44	77.5	6.41	18.45	1.59



รูปที่ 4.14 เปรียบเทียบผลของรอบการเติมอากาศต่อซีโอดี

(ก) รอบการเติมอากาศ 90 นาที (ข) รอบการเติมอากาศ 60 นาที

จากตารางที่ 4.11 จะแสดงค่าซีโอดี ณ ตำแหน่งต่างในระบบ ในชุดการทดลองที่ 3 จะมีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีอยู่ที่ 56.29 % โดยถังปฏิกรณ์ ซึ่งค่าซีโอดีที่สภาวะคงตัวมีค่าอยู่ในช่วง 72 - 309 มก./ล. ซึ่งยังมีช่วงที่เกินมาตรฐานน้ำทิ้งของกรมโรงงานอุตสาหกรรม และเมื่อผ่านเมมเบรน ซีโอดีที่ออกมาจะอยู่ในช่วง 8 - 27 มก./ล. ซึ่งผ่านเกณฑ์น้ำทิ้งของกรมโรงงานอุตสาหกรรม และมีประสิทธิภาพการกำจัดรวมอยู่ที่ 94.80 % ในช่วงวันที่ 25 – 30 มีประสิทธิภาพการบำบัดลดลง แต่ระบบก็กลับมาสู่สภาวะปกติได้ที่วันที่ 34 ซึ่งแม้จะประสิทธิภาพการบำบัดของถังปฏิกรณ์ลดลง ประสิทธิภาพของระบบรวมยังคงที่อยู่ แสดงถึงความสามารถในการรักษาเสถียรภาพระบบของเมมเบรน

ในชุดการทดลองที่ 4 จะมีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีอยู่ที่ 57.18% โดยถังปฏิกรณ์ ซึ่งค่าซีโอดีที่สภาวะคงตัวมีค่าอยู่ในช่วง 72 - 281 มก./ล. ซึ่งยังมีช่วงที่เกินมาตรฐานน้ำทิ้งของกรมโรงงานอุตสาหกรรม และเมื่อผ่านเมมเบรน ซีโอดีที่ออกมาจะอยู่ในช่วง 8 - 36 มก./ล. ซึ่งผ่านเกณฑ์น้ำทิ้งของกรมโรงงานอุตสาหกรรม และมีประสิทธิภาพการกำจัดอยู่ 94.38 % ในช่วงวันที่ 25 – 30 มีประสิทธิภาพการบำบัดลดลง แต่ระบบก็กลับมาสู่สภาวะปกติได้ที่วันที่ 34 ซึ่งแม้จะมีประสิทธิภาพการบำบัดของถังปฏิกรณ์ลดลง ประสิทธิภาพของระบบรวมยังคงที่อยู่ แสดงถึงความสามารถในการรักษาเสถียรภาพระบบของเมมเบรน

เมื่อพิจารณารูปที่ 4.14 จะเห็นว่า เมื่อมีการเพิ่มซีโอดีในน้ำเข้า ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีในถังปฏิกรณ์จะลดลงในช่วงวันที่ 25 – 30 ของการทดลอง จะเห็นได้จากความเข้มข้นซีโอดีในถังปฏิกรณ์สูงขึ้น แต่ก็สามารถกลับสู่สภาวะปกติได้ เมื่อเวลาผ่านไป แสดงว่าระบบมีสามารถในการรับโหลดที่ผันแปรได้ แต่ต้องอาศัยการปรับตัว แต่อย่างไรก็ดีคุณภาพน้ำที่ผ่านเมมเบรนมีคุณภาพใกล้เคียงกันโดยตลอด แสดงว่า ประสิทธิภาพโดยรวมของระบบถูกรักษาไว้ได้ ด้วยการกรองผ่านเมมเบรน ซึ่งช่วงให้คุณภาพน้ำไม่สูงขึ้น แม้ว่าจุลินทรีย์ในถังปฏิกรณ์มีปัญหา

เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองของชุดการทดลองที่ 3 และ 4 ที่มีความเข้มข้นของจุลินทรีย์ใกล้เคียงกัน จากตารางที่ 4.10 พบว่า รอบระยะเวลาการเติมอากาศไม่มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีอย่างมีนัยสำคัญ

นอกจากนั้น การควบคุมค่าอายุสลัดจ์ไว้ที่ 25 วัน ทั้งการทดลองที่ 3 และ 4 ทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีของทั้ง 2 การทดลองไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญด้วย ซึ่งอธิบายได้ด้วยสมการที่ 4.1 และสมการที่ 4.2

$$X = \frac{\theta_c Y(S_0 - S)}{\tau(1 + k_d\theta_c)} \quad (4.1)$$

$$\eta = \frac{(S_0 - S)}{S_0} \quad (4.2)$$

เมื่อ X คือ ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ในส่วนการเติมออกซิเจน (มก./ล.)

θ_c คือ อายุสลัดจ์ (วัน)

Y คือ ค่ายิลด์ของแบคทีเรียในระบบ

S_0 คือ ค่าซีโอดีเข้า (มก./ล.)

S คือ ค่าซีโอดีในถังปฏิกรณ์ (มก./ล.)

τ คือ เวลาเก็บกัก (วัน)

k_d คือ อัตราการสลายตัวของแบคทีเรีย

η คือ ประสิทธิภาพในการกำจัดสารซีโอดี (%)

จากสมการที่ (4-2) จะได้ว่า

$$\eta.S_0 = (S_0 - S) \quad (4.3)$$

และแทนค่าจากสมการที่ 4.3 ในสมการที่ 4.1 จะได้ว่า

$$X = \frac{\theta_c Y\eta S_0}{\tau(1 + k_b\theta_c)} \quad (4.4)$$

ดังนั้น

$$\eta = \frac{x\tau(1 + k_b\theta_c)}{\theta_c Y S_0} \quad (4.5)$$

$$\eta = \frac{X\tau}{YS_0}(1/\theta_c + k_d) \quad (4.6)$$

จากสมการที่ 4.6 เนื่องจากค่ายิลด์ (Y) ค่าอัตราการสลายตัว (k_d) และเวลาเก็บกัก (τ) ของระบบทั้ง 2 ชุดการทดลองมีค่าคงที่ รวมถึงค่าซีโอดีน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบเท่ากัน เนื่องจากมาจาก

บ่อพักเดียวกัน ดังนั้น ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี (η) จึงแปรผกผันกับอายุสลัดจ์ (θ_c) และแปรผันกับความเข้มข้นของจุลินทรีย์ในส่วนการเติมออกซิเจน (X)

เมื่อกำหนดให้ τ / YS_0 เท่ากับค่าคงที่ a ส่วนค่า k_b เท่ากับ b ตามสมการที่ 4.6 จึงจัดรูปสมการใหม่ได้เป็น

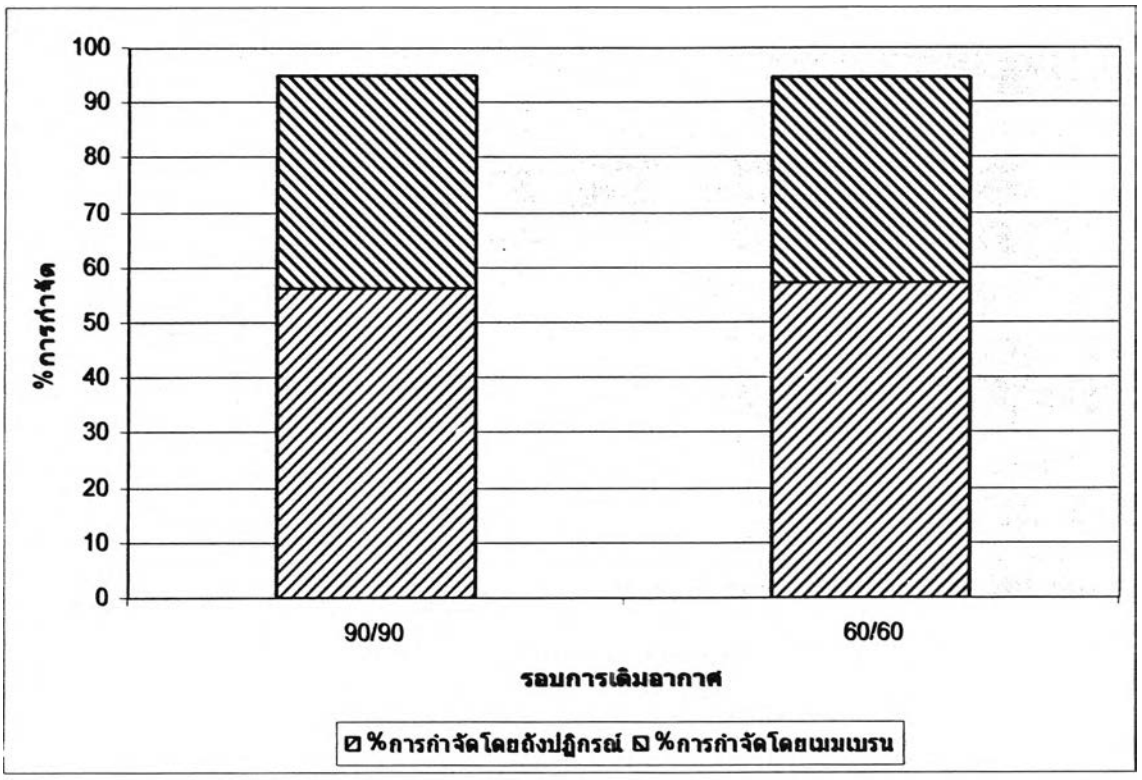
$$\eta = \frac{aX}{\theta_c} + bX \qquad (4.7)$$

ซึ่งในชุดการทดลองที่ 3 และ 4 ได้ควบคุมอายุสลัดจ์ที่ 25 วันเท่ากัน ทำให้ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ในถังปฏิกรณ์มีค่าเท่าๆ กัน ดังนั้นเมื่อแทนค่า θ_c และ X ที่เท่ากันทั้ง 2 ชุดการทดลองในสมการ 4.7 จึงทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีของทั้ง 2 ระบบ ใกล้เคียงกัน

จากทฤษฎีและผลการทดลองที่กล่าวมาแล้วข้างต้น แสดงว่า รอบเวลาการเติมอากาศไม่มีผลต่อการกำจัดสารอินทรีย์ในรูปซีโอดี โดยประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของระบบ สำหรับรอบการเติมอากาศ 60 นาที และ 90 นาที อยู่ที่ 56.29 และ 57.18 มก./ล. ตามลำดับ ซึ่งใกล้เคียงกัน สอดคล้องกับผลการวิจัยของ อริยะ (2543) ซึ่งได้ทำการทดลองกับน้ำเสียชุมชน โดยใช้รอบการเติมอากาศ 90 นาที และ 120 นาที ซึ่งพบว่า รอบการเติมอากาศไม่มีผลต่อการกำจัดสารอินทรีย์ในรูปของซีโอดีในถังปฏิกรณ์เช่นกัน

จากการดุลมวลซีโอดีของระบบ พบว่าค่าซีโอดีที่หายไปในชุดการทดลอง 3 – 4 เท่ากับ 81.81% และ 81.06% ตามลำดับ (การคำนวณอยู่ในภาคผนวก ค) ซีโอดีที่หายไปในระบบ แบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ สารอินทรีย์ที่จุลินทรีย์ในระบบใช้งานไม่ได้ และไม่สามารถผ่านเมมเบรนออกจากระบบได้ ซึ่งจะถูกส่งออกนอกระบบได้จากการทิ้งสลัดจ์ อีกส่วนนึงก็คือ ซีโอดีที่ที่ใช้ในการเปลี่ยนรูปของสารอินทรีย์ไปเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ทางชีวภาพ โดยสารอินทรีย์จะถูกเปลี่ยนเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และเซลล์จุลินทรีย์ โดยเฉพาะระบบเอ็มบีอาร์ซึ่งมีการทิ้งสลัดจ์ส่วนเกินออกจากระบบน้อยกว่าระบบบำบัดแบบเติมอากาศทั่วไป ทำให้สารอินทรีย์ที่ถูกใช้ในการสังเคราะห์เซลล์มีค่าต่ำกว่า ดังนั้นซีโอดีที่หายไปส่วนใหญ่จึงเกิดจากการเปลี่ยนรูปสารอินทรีย์ไปเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีไม่ถูกจำกัด

เนื่องจากอัตราการทิ้งสลัดจ์ที่ลดลง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Wagner และ Rosenwinkel (2000)



รูปที่ 4.15 เปรียบเทียบร้อยละการกำจัดซีโอดีของรอบการเติมอากาศ

เมื่อพิจารณารูปที่ 4.15 การกำจัดซีโอดีด้วยระบบเมมเบรน จะเห็นว่าประสิทธิภาพการกำจัดใกล้เคียงกัน แสดงว่าสารบางส่วนที่แบคทีเรียกำจัดไม่ได้ สามารถถูกกรองได้ด้วยกระบวนการเมมเบรน และจะถูกกำจัดออกจากระบบในทางสลัดจ์ที่ทิ้งไปในแต่ละวัน ส่วนการกำจัดซีโอดีในถังปฏิกรณ์ จะขึ้นอยู่กับปริมาณและคุณภาพของจุลินทรีย์ในระบบ ซึ่งจากผลการทดลองนี้ แสดงให้เห็นว่า ระบบนี้มีความยืดหยุ่นในการรับภาระวิกฤติ ในกรณีที่จุลชีพในถังปฏิกรณ์มีปัญหา ระบบเมมเบรนจะทำหน้าที่รักษาคุณภาพของน้ำออก แต่ถ้าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีในถังปฏิกรณ์ต่ำภาระจะเป็นของระบบเมมเบรน ซึ่งจะเป็นการลดอายุใช้งานของเมมเบรน

4.3.6 ผลของรอบการเติมอากาศต่อการกำจัดไนโตรเจน

ไนโตรเจนในระบบ มาจากน้ำกากส่าที่นำมาเจือจางด้วยน้ำประปา ค่าเฉลี่ยที่เข้าสู่ระบบในแต่ละชุดการทดลองเท่ากับ 4.65 มิลลิกรัม/ลิตร มีอัตราส่วนซีโอดีต่อทีเคเอ็นในแต่ละชุดการทดลองเท่ากับ 94.5 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.12 ค่าทีเคเอ็นและไนเตรต ที่สภาวะคงตัวของชุดทดลองที่ 3 และ 4

ชุดการทดลอง		ทีเคเอ็น (มก./ล.)			%การกำจัด	ไนเตรต (มก./ล.)		
		น้ำเข้า	ถังปฏิกรณ์	น้ำออก		น้ำเข้า	ถังปฏิกรณ์	น้ำออก
3	เฉลี่ย	4.65	7.11	1.08	76.77	0.19	1.86	0.63
	ตัวอย่าง	5	5	5	5	4	4	4
	ค่าเบี่ยงเบน	0.03	0.12	0.15	3.25	0.04	0.10	0.08
4	เฉลี่ย	4.65	7.18	1.59	65.80	0.19	1.66	0.61
	ตัวอย่าง	5	5	5	5	4	4	4
	ค่าเบี่ยงเบน	0.03	0.63	0.16	3.56	0.04	0.45	0.15

ทีเคเอ็นของถังปฏิกรณ์เป็นทีเคเอ็นที่ไม่ได้ผ่านการกรอง เป็นผลรวมของค่าทีเคเอ็นทั้งหมดที่คงอยู่ในระบบ ทั้งในรูปสารประกอบ และเซลล์จุลินทรีย์ จึงทำให้ค่าสูงกว่าน้ำเข้า และมีแนวโน้มสูงขึ้นในทุกชุดการทดลอง เนื่องจากไม่ได้ทำการถ่ายสลัดจ์ที่เหลือจากชุดการทดลองก่อนหน้าทิ้งก่อนเติมเชื้อใหม่ในแต่ละชุดการทดลอง จึงมีการสะสมของไนโตรเจนเพิ่มขึ้น ซึ่งทีเคเอ็นในเซลล์ของแต่ละชุดการทดลองเท่ากับ 0.0061 และ 0.0057 กรัม-ทีเคเอ็น/กรัม-เอ็มแอลวีเอสเอส ตามลำดับ

ทีเคเอ็นในน้ำออก ที่ผ่านการกรองเมมเบรนแล้ว จะมีคุณสมบัติเทียบเท่ากับทีเคเอ็นละลายในน้ำ เนื่องมาจากน้ำหนักโมเลกุลของทีเคเอ็นในน้ำ จะมีน้ำหนักโมเลกุลน้อยกว่า 100,000 ดาลตัน ซึ่งสามารถผ่านรูพรุนของไมโครฟิลเตรชันเมมเบรนได้ (รัตนา, 2543)

จากตารางที่ 4.12 ชุดการทดลองที่ 3 ค่าทีเคเอ็นที่ออกจากระบบที่สภาวะคงตัวมีค่า 0.91 – 1.23 มก./ล. สามารถกำจัดทีเคเอ็นได้ 76.77 % ชุดการทดลองที่ 4 ค่าทีเคเอ็นที่ออกจากระบบที่สภาวะคงตัวมีค่า 1.36 – 1.73 มก./ล. สามารถกำจัดทีเคเอ็นได้ 65.80 % ซึ่งค่าทีเคเอ็นของน้ำออกต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานของกรมโรงงานทั้งหมด สามารถปล่อยน้ำทิ้งสู่ทางน้ำสาธารณะได้

เมื่อพิจารณาค่าไนเตรตในระบบ จะเห็นว่า ในถังปฏิกรณ์มีค่าเพิ่มขึ้นในชุดการทดลองที่ 3 และ 4 เนื่องจากเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชั่น เปลี่ยนไนโตรเจนอินทรีย์ ไปเป็นไนเตรต ซึ่งจะเพิ่มอย่างเห็นได้ชัด แต่ยังมีปริมาณน้อยเมื่อเทียบกับไนโตรเจนทั้งหมด แสดงว่าไนโตรเจนส่วนใหญ่ถูกใช้ในการสร้างเซลล์ของจุลินทรีย์มากกว่า เนื่องปริมาณไนโตรเจนต่อซีโอดีมีค่าน้อย

ระบบไมโครฟิลเตรชันเมมเบรนที่จมตัวในถังปฏิกรณ์ชีวภาพ น้ำเสียเข้าระบบอย่างต่อเนื่องด้วยถังปฏิกรณ์เพียงถังเดียว ในรูปแบบของการเติมอากาศเป็นช่วงๆ 60 หรือ 90 นาที เพื่อสร้างสภาวะสลับกันระหว่างแอโรบิกกับแอนนอกซิค สามารถเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชั่นโดยไนตริไฟอิ้งแบคทีเรีย ออกซิไดส์ ทีเคเอ็นให้กลายเป็นไนไตรท์-ไนเตรต และปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชั่นโดยเฮทเทอโรโทรปแบคทีเรีย รีดิวซ์ไนไตรท์ – ไนเตรตให้กลายเป็นไนโตรเจนแก๊ส ตามลำดับ สลับกันไป เป็นการกำจัดไนโตรเจนออกจากน้ำเสีย ด้วยกระบวนการทางชีวภาพ พร้อมการกำจัดสารอินทรีย์ และการกรองด้วยเมมเบรน ในขั้นตอนเดียวกัน

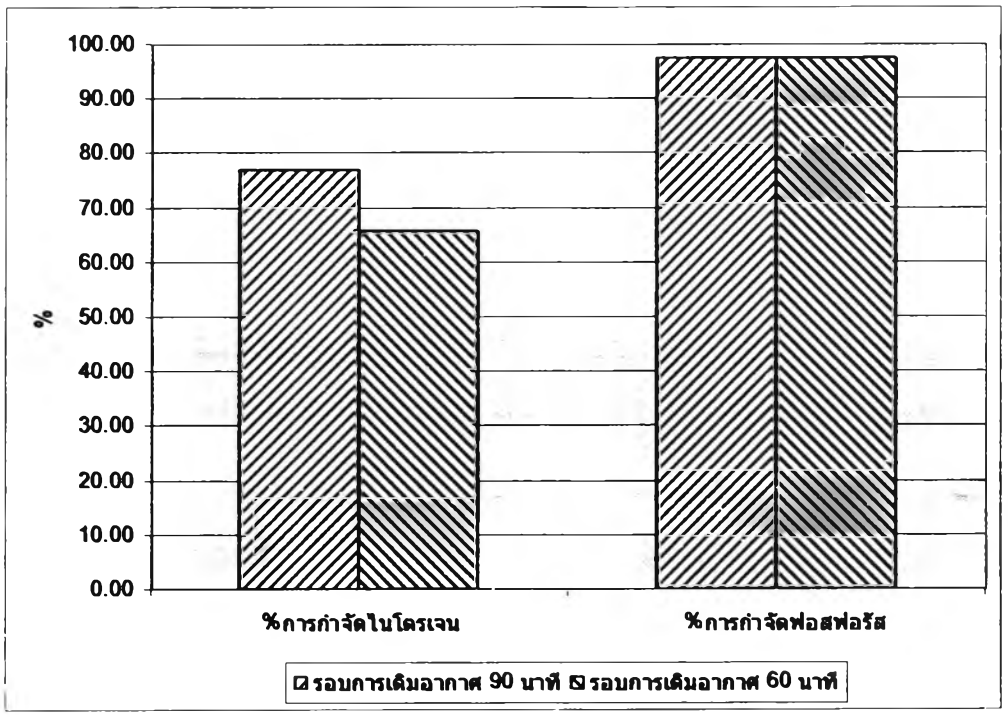
รอบเวลาแอโรบิค และแอนนอกซิค จะเริ่มนับตั้งแต่เมื่อเครื่องเติมอากาศและใบกวนทำงานตามลำดับ แต่สภาวะแอนแอโรบิคและแอนนอกซิคต้องอาศัยค่าออกซิเจนละลาย เป็นตัวบ่งบอกสภาวะของระบบ

สภาวะแอโรบิกแท้ มีค่าดีโอมากกว่า 1 มก./ล. โออาร์พีอยู่ระหว่าง 20 – 60 mv นับจากเริ่มรอบแอโรบิค ซึ่งใช้ช่วงเวลาในการเพิ่มค่าดีโอจาก 0.06 ให้มีค่ามากกว่า 1 มก./ล. ใช้เวลาประมาณ 20 นาที ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชั่น ทีเคเอ็นในน้ำออกจะลดลง ไนเตรตเกิดจะสะสมในถังปฏิกรณ์เพิ่มจากเมื่อสิ้นรอบแอนนอคซิค ทำให้ความเข้มข้นไนเตรตของน้ำออกเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วงค่าหนึ่งๆ ถึงแม้ว่าอาจจะเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชั่นในชั้นสลัดจ์สะสมที่ผิวเมมเบรนได้ แต่เป็นส่วนน้อยมาก

สภาวะแอนนอกซิคแท้ มีค่าดีโอ น้อยกว่า 0.1 มก./ล. โออาร์พีน้อยกว่า 60 – 0 mv. นับเริ่มจากรอบแอนนอกซิคซึ่งใช้เวลา 10 – 20 นาที ในการลดดีโอจาก 3 – 4 ให้ต่ำกว่า 0.1 มก./ล. เกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชั่น ไนเตรตในในน้ำออกจะลดลง และทีเคเอ็นที่เข้ามาอย่างต่อเนื่องจะสะสม

ในถังปฏิกรณ์เมื่อสิ้นรอบแอโรบิค ความเข้มข้นทีเคเอ็นในน้ำออกจะเพิ่มขึ้นในช่วงค่าหนึ่งๆ (อริยะ, 2000)

จากผลการทดลองจะเห็นว่า ค่าทีเคเอ็นในระบบมีค่าลดลง เป็นไปตามกลไกที่กล่าวมาข้างต้น แสดงว่าในระบบมีการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชั่น ซึ่งในรอบการเติมอากาศแบบ 90 นาที หยุด 90 นาที มีประสิทธิภาพในการกำจัดทีเคเอ็นในน้ำออกมากกว่า เนื่องมาจาก ช่วงเวลาในการย่อยสลายนานกว่า



รูปที่ 4.16 เปรียบเทียบผลการกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสจากรอบการเติมอากาศ

4.3.7 ผลของรอบการเติมอากาศต่อการกำจัดฟอสฟอรัส

ฟอสฟอรัสในระบบได้มาจากการผสมน้ำกากส่ากับน้ำประปาเช่นเดียวกับไนโตรเจน มีค่าเฉลี่ย ที่เข้าสู่ระบบในแต่ละชุดการทดลองเท่ากับ 4.96 4.96 5.40 และ 5.40 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ

ตารางที่ 4.13 ค่าฟอสฟอรัสทั้งหมดจากจุดเก็บตัวอย่างต่างๆ ที่สภาวะคงตัวของชุดทดลองที่ 3 และ 4

ชุดการทดลอง		ฟอสฟอรัสทั้งหมด (มก./ล.)			%การกำจัด
		น้ำเข้า	ถังปฏิกรณ์	น้ำออก	
3	เฉลี่ย	5.40	5.71	0.14	97.43
	ตัวอย่าง	5	5	5	5
	ค่าเบี่ยงเบน	0.15	0.07	0.26	4.63
4	เฉลี่ย	5.40	6.04	0.14	97.43
	ตัวอย่าง	5	5	5	5
	ค่าเบี่ยงเบน	0.03	0.63	0.16	3.56

จากตารางที่ 4.13 ชี้ให้เห็นว่า ชุดการทดลองที่ 3 มีค่าฟอสฟอรัส อยู่ระหว่าง 0.01 – 0.60 มก./ล. มีประสิทธิภาพในการบำบัด 97.43% ชุดการทดลองที่ 4 มีค่าฟอสฟอรัส อยู่ระหว่าง 0.01 – 0.60 มก./ล. มีประสิทธิภาพในการบำบัด 97.43% ฟอสฟอรัสส่วนใหญ่จะถูกเซลล์นำไปใช้ในการสังเคราะห์เซลล์ของจุลินทรีย์

ข้อดีอีกประการของการรวบรวมฟอสฟอรัสไว้ในระบบ และระบายทิ้งทางสลัดจ์ในถังปฏิกรณ์ คือ ฟอสฟอรัสนี้ สามารถนำสารพีเอชเอ ที่เกิดจากการสะสมฟอสฟอรัสของจุลินทรีย์ ไปใช้ผลิตเป็นพลาสติกที่ย่อยสลายทางธรรมชาติได้

จากรูปที่ 4.16 และตารางที่ 4.5 จะพบว่ารอบเวลาการเติมอากาศไม่มีผลต่อการกำจัดฟอสฟอรัสโดยรวมของระบบ ซึ่งแสดงว่าอนุภาคของสารประกอบฟอสฟอรัส มีขนาดใหญ่ทำให้อนุภาคเกือบทั้งหมดไม่สามารถผ่านการกรองของเมมเบรนได้ ซึ่งเป็นผลดีอย่างหนึ่งในการรวบรวมฟอสฟอรัสไว้ในสลัดจ์ของระบบ เพื่อเพิ่มประโยชน์ให้แก่สลัดจ์

การกำจัดฟอสฟอรัสทางชีวภาพ โดยพื้นฐานแล้วคือการเอาฟอสฟอรัสออกทิ้งจากระบบในรูปของแข็ง โดยทิ้งไปกับสลัดจ์ส่วนเกิน คือการให้แบคทีเรียสะสมฟอสฟอรัส เพราะฟอสฟอรัสเป็นธาตุที่จำเป็นอีกธาตุหนึ่งสำหรับกรดนิวคลีอิก และเยื่อเมมเบรนของเซลล์ รวมทั้งเอทีพีในเซลล์ จุลินทรีย์จึงใช้ฟอสฟอรัส ในการไปสร้างเป็นองค์ประกอบบางอย่างของสารโมเลกุลใหญ่หลายชนิดในเซลล์ ดังนั้น ฟอสฟอรัสส่วนใหญ่ จะไม่สามารถผ่านการกรองของเมมเบรนได้

4.3.8 ผลของรอบการเติมอากาศต่อการกำจัดสี

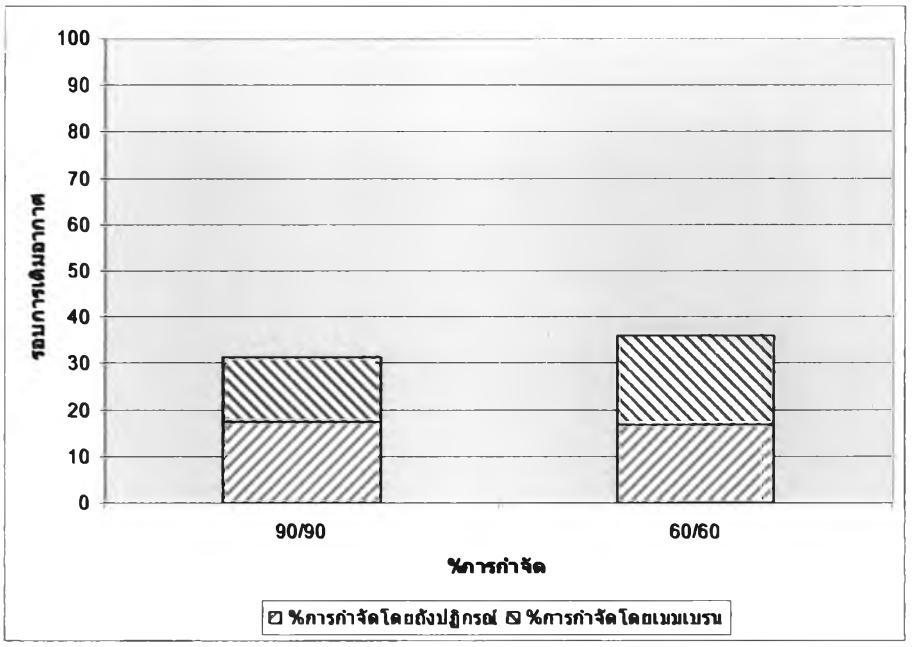
สีของน้ำเสียนี้ มาจากน้ำกากส่าที่ใช้ในการผสม มีสีน้ำตาลเข้ม เมื่อผสมแล้วจะมีสีเหลือง ระบบมีประสิทธิภาพในการบำบัดสี ในแต่ละชุดการทดลอง ดังนี้ 31.34% และ36.08% ตามลำดับ

จากตารางที่ 4.14 พบว่า ชุดการทดลองที่ 3 มีประสิทธิภาพการบำบัดด้วยถังปฏิกรณ์ 17.5 % และโดยรวม 31.34 % ค่าสีเฉลี่ยในถังปฏิกรณ์ และในน้ำออกมีค่า 376.70 และ 313.20 ADMI ชุดการทดลองที่ 4 มีประสิทธิภาพการบำบัดด้วยถังปฏิกรณ์ 16.77 % และโดยรวม 36.08 % ค่าสีเฉลี่ยในถังปฏิกรณ์ และในน้ำออกมีค่า 380.00 และ 291.20 ADMI

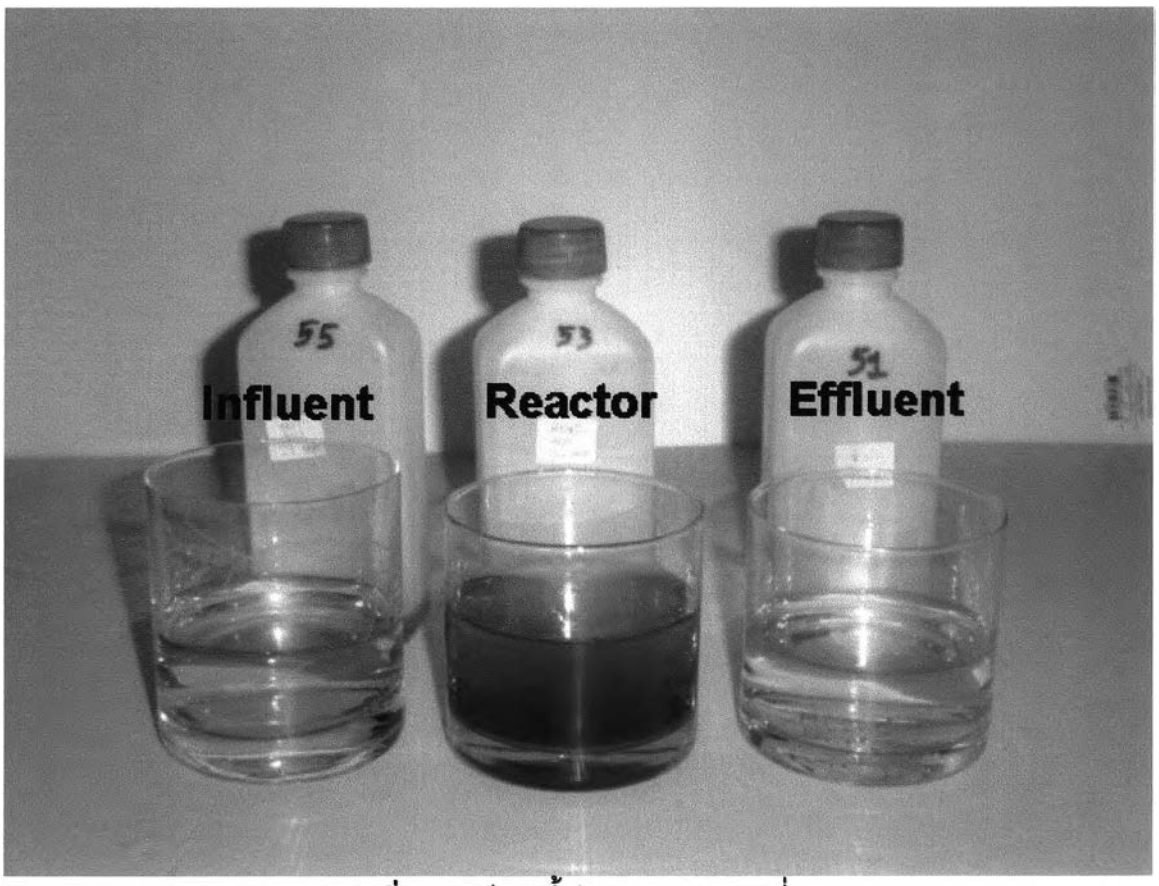
ตารางที่ 4.14 ค่าความเข้มสีในจากจุดเก็บตัวอย่างต่างๆ ที่สภาวะคงตัวของชุดทดลองที่ 3 และ 4

ชุดการทดลอง		สี (ADMI)			%การกำจัด	
		น้ำเข้า	ถังปฏิกรณ์	น้ำออก	โดย ถังปฏิกรณ์	โดยเมมเบรน
3	เฉลี่ย	456.4	376.7	313.2	17.5	31.34
	ตัวอย่าง	12	12	12	12	12
	ค่าเบี่ยงเบน	55.66	48.61	36.47	2.64	0.82
4	เฉลี่ย	456.4	380	291.2	16.77	36.08
	ตัวอย่าง	12	12	12	12	12
	ค่าเบี่ยงเบน	55.66	67.79	33.9	11.2	3.35

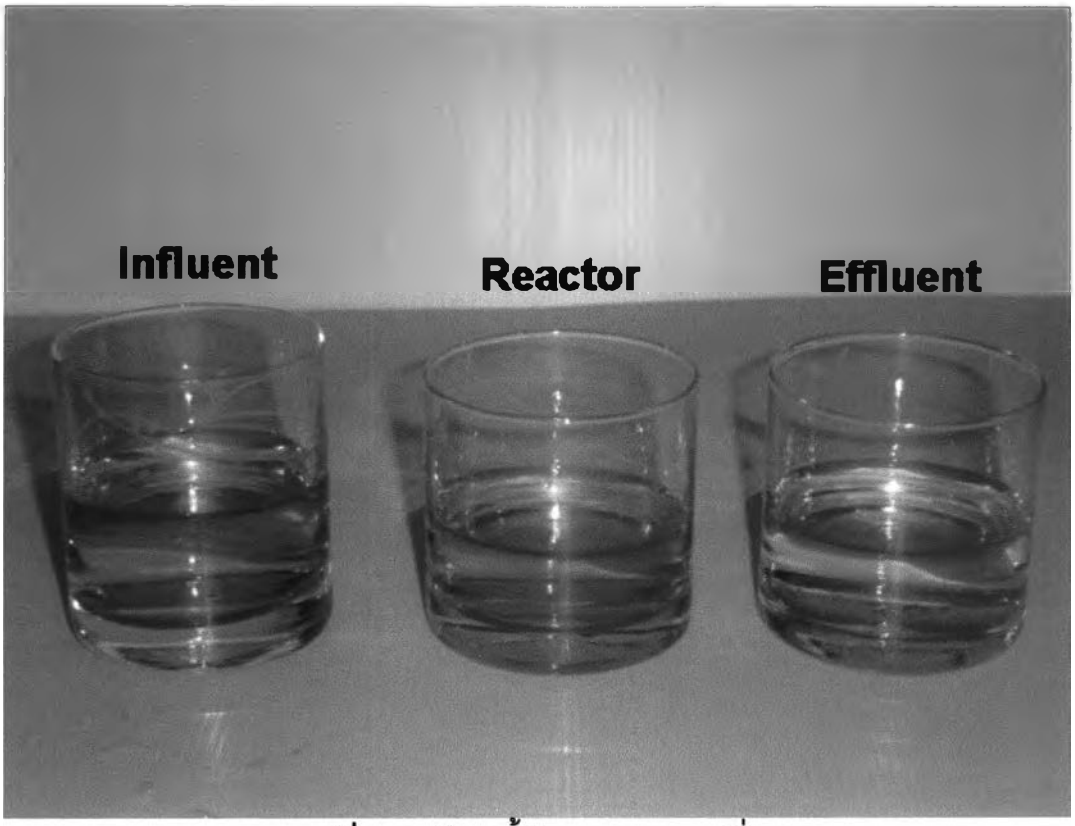
รอบการเติมอากาศไม่มีผลต่อการกำจัดสีอย่างมีนัยสำคัญ แต่จากการทดลองจะพบว่า รอบระยะเวลาในการเติมอากาศที่ 60 นาที สามารถลดสีได้มากกว่า ทั้งนี้ สีส่วนใหญ่ในน้ำเสียที่ใช้ในการทดลองจะเป็นสารละลาย ซึ่งสามารถผ่านการกรองของเมมเบรนได้ และมีความเป็นไปได้ที่จะเป็นสารที่จุลินทรีย์ไม่สามารถนำไปย่อยสลายได้



รูปที่ 4.17 ผลของการกำจัดสีจากส่วนต่างๆ ของรอบการเติมอากาศ

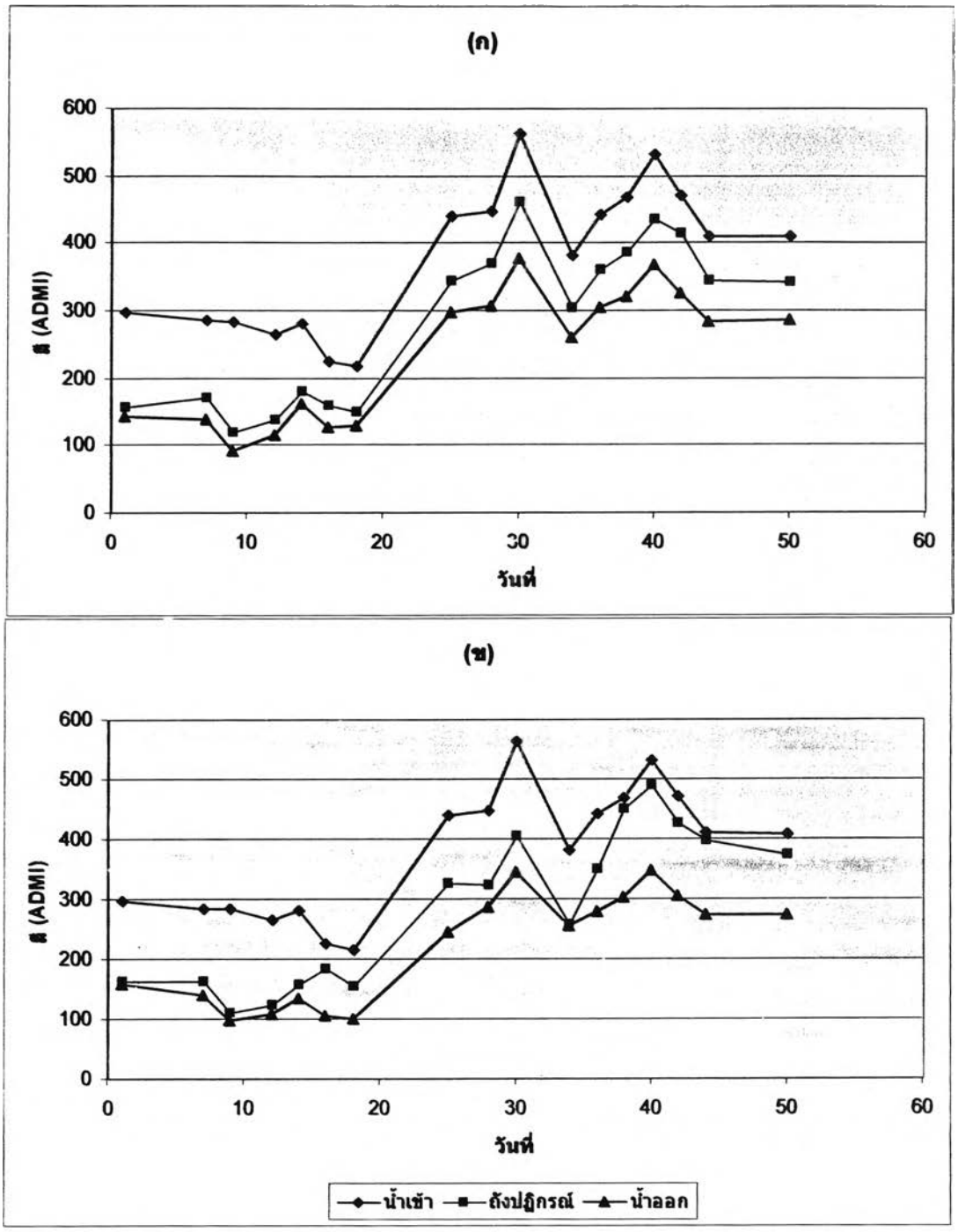


รูปที่ 4.18 สีของน้ำในชุดการทดลองที่ 3



รูปที่ 4.19 สีของน้ำในชุดการทดลองที่ 4

ซึ่งจากตารางที่ 4.9 และผลการทดลองระหว่างชุดการทดลองที่ 3 และ 4 พบว่าประสิทธิภาพไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งแสดงว่า รอบการเติมอากาศไม่มีผลต่อการลดสี ประสิทธิภาพการลดสีเกิดจากองค์ประกอบ 2 ส่วนคือ ส่วนที่จุลินทรีย์ย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายยากที่ทำให้เกิดสี ซึ่งในส่วนนี้รอบการเติมอากาศ 90 นาที มีแนวโน้มในการย่อยสลายได้ดีกว่า อีกส่วนหนึ่งคือ สารที่จุลินทรีย์ย่อยสลายไม่ได้แล้วมีขนาดใหญ่กว่ารูพรุนของเมมเบรน ซึ่งเมมเบรนจะทำการกักไว้ในถังปฏิกรณ์ แล้วระบายออกทางการทิ้งสลัดจ์ต่อไป ส่วนที่เหลือคือ สารที่จุลินทรีย์ย่อยสลายไม่ได้ และมีขนาดเล็กกว่ารูพรุนของเมมเบรน ซึ่งส่วนนี้เป็นส่วนที่ระบบนี้ไม่สามารถกำจัดได้ จะเห็นว่า ที่รอบการเติมอากาศ 90 นาที มีการกำจัดสีได้น้อยลง เนื่องจากรอบการเติมน้ำเสียเข้าระบบ มีเวลานานกว่า สารที่ทำให้เกิดสีส่วนนี้เข้าสู่ระบบได้มากกว่า การกักกันสารส่วนนี้จึงทำได้น้อยกว่า



รูปที่ 4.20 เปรียบเทียบผลของรอบการเติมอากาศต่อความเข้มสี

(ก) รอบการเติมอากาศ 90 นาที (ข) รอบการเติมอากาศ 60 นาที

4.3.9 สรุปผลของรอบการเติมอากาศ

จากการวิเคราะห์จึงพบว่าในการกำจัดซีโอดี ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และสี โดยระบบที่ใช้รอบเวลาการเติมอากาศ 60 นาที และ 90 นาที มีผลไม่แตกต่างกัน ดังนั้น การใช้รอบการเติมอากาศแบบ 60 นาทีจึงเพียงพอแล้วในการใช้งานระบบ ซึ่งมีข้อดีกว่าในด้านการออกแบบทั้งปฏิกรณ์เนื่องด้วยช่วงเวลาการเติมน้ำเสีย และหยุดน้ำเสีย ห่างกันไม่มาก ระดับน้ำในถังปฏิกรณ์จึงมีค่าต่างกันไม่มากด้วย และจากการสังเกต ในรอบการเติมอากาศแบบ 90 นาที มีความแตกต่างของระดับน้ำมากกว่า ซึ่งการออกแบบ ต้องเผื่อปริมาณส่วนนี้เพิ่มเติมในการออกแบบระบบนี้ต่อไป

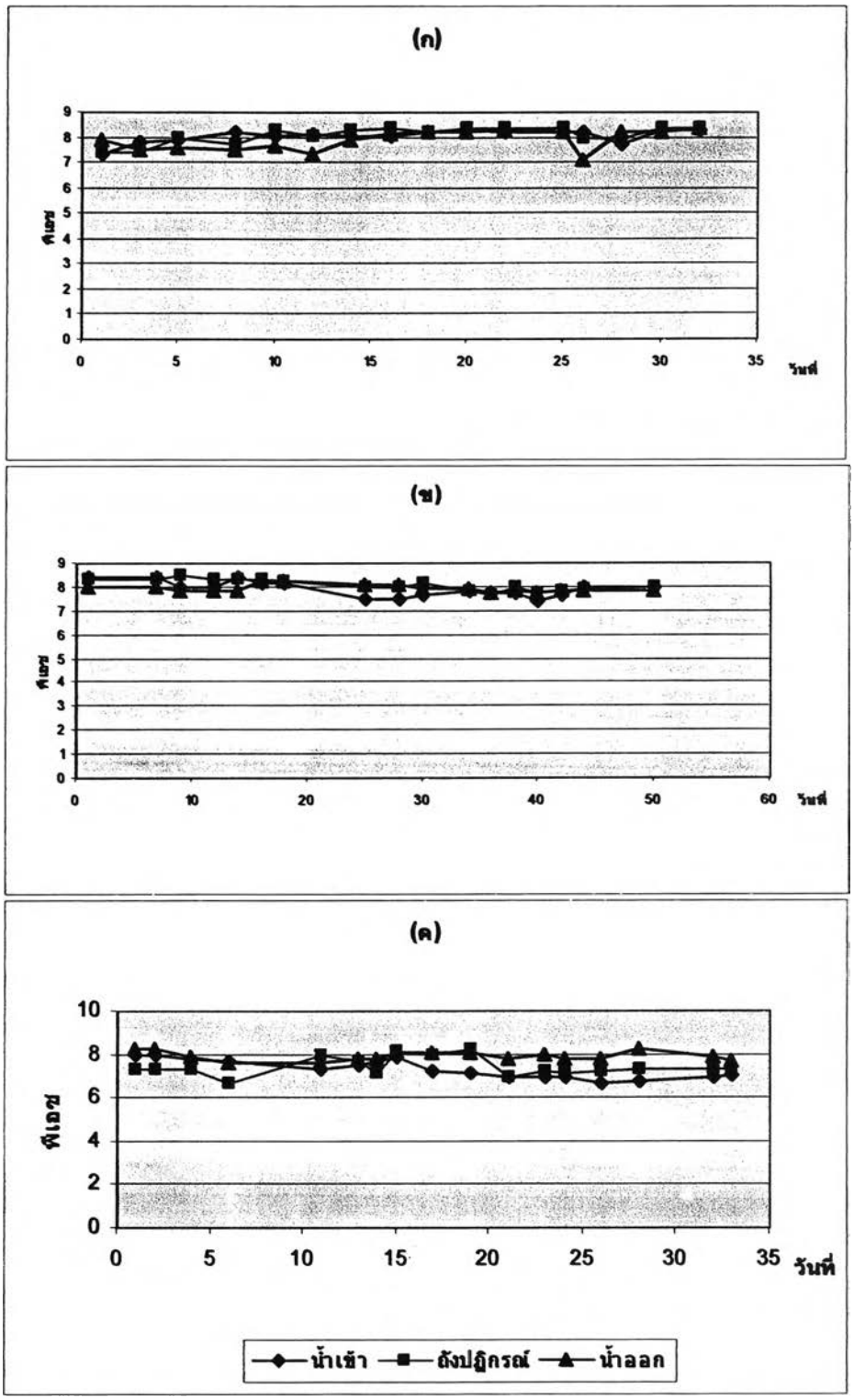
สรุปผลการทดลองที่ 1 ในการวิจัยนี้จึงเลือกการเติมอากาศแบบ 60 นาที ใช้ในการทดลองต่อๆ ไป

4.4 ผลของภาระสารอินทรีย์

ภาระสารอินทรีย์ที่ใช้ในการวิจัยนี้ มี 3 ค่าคือ 0.22 0.25 และ 0.375 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ซึ่งนำผลเปรียบเทียบจากชุดการทดลองที่ 2 4 และ 6 ซึ่งควบคุมอายุสลัดจ์ที่ 25 วัน และใช้รอบการเติมอากาศ 60 นาที ดำเนินการทดลองโดย ชุดการทดลองที่ 2 ใช้ภาระสารอินทรีย์ 0.25 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ชุดการทดลองที่ 4 ใช้ภาระสารอินทรีย์ 0.22 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน และชุดการทดลองที่ 6 ใช้ภาระสารอินทรีย์ 0.375 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน

4.4.1 ผลของรอบภาระสารอินทรีย์ต่อสภาวะในระบบ

ภาระสารอินทรีย์ที่ใช้ในการทดลอง คือ คือ 0.22 0.25 และ 0.375 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน จากการทำการทดลอง และเก็บค่าพารามิเตอร์ควบคุมต่างๆ ได้แก่ พีเอช ความเป็นด่าง และอุณหภูมิ ซึ่งสามารถอธิบายความสัมพันธ์ ต่อไป



รูปที่ 4.21 ค่าพีเอชในชุดการทดลอง

(ก) ชุดการทดลองที่ 2 (ข) ชุดการทดลองที่ 4 (ค) ชุดการทดลองที่ 6

ตารางที่ 4.15 ค่าพีเอชในส่วนต่างๆ ของชุดการทดลองที่ 2 4 และ6

ชุดการทดลอง		น้ำเข้า	ถังปฏิกรณ์	น้ำออก
2	เฉลี่ย	8.0	8.0	7.7
	ตัวอย่าง	16	16	16
4	เฉลี่ย	7.8	8.0	7.9
	ตัวอย่าง	17	17	17
6	เฉลี่ย	7.2	7.3	7.9
	ตัวอย่าง	17	17	17

ค่าพีเอชน้ำเสียเจือจางที่เตรียมไว้ที่ค่าอยู่ในช่วงประมาณ 7.2 - 8.0 แปรเปลี่ยนตามความเข้มข้นของน้ำกากส่า ในแต่ละถัง และการเจือจางในอัตราส่วนสูง ผลจากความเป็นกรดของน้ำกากส่า จึงไม่ส่งผลต่อระบบ แต่แนวโน้มเมื่อค่าภาระสารอินทรีย์เพิ่มขึ้น พีเอชของระบบจะลดต่ำลง แต่ในการวิจัยนี้ ค่าพีเอชยังไม่ลดลงจนเป็นผลต่อระบบ

เมื่อเติมน้ำเสียเข้าระบบ ในส่วนของถังปฏิกรณ์จะมีแนวโน้มค่าพีเอชสูงขึ้นในทุกชุดการทดลอง อยู่ในช่วงประมาณ 7.3 - 8.0 ซึ่งเหมาะสมแก่การเจริญเติบโตของแบคทีเรีย และเมื่อผ่านการกรองด้วยเมมเบรน ค่าพีเอชมีแนวโน้มใกล้เคียงกับพีเอชในถังปฏิกรณ์ แต่อย่างไรก็ดี ค่าพีเอชของน้ำออก จะอยู่ประมาณ 7.7 – 7.9 ซึ่งอยู่ในมาตรฐานน้ำทิ้งของกรมโรงงานอุตสาหกรรม (ภาคผนวก ช.) ซึ่งแสดงว่า ค่าภาระสารอินทรีย์ที่ใช้ในการทดลองนี้ ยังไม่มีผลกระทบต่อค่าพีเอชในระบบ

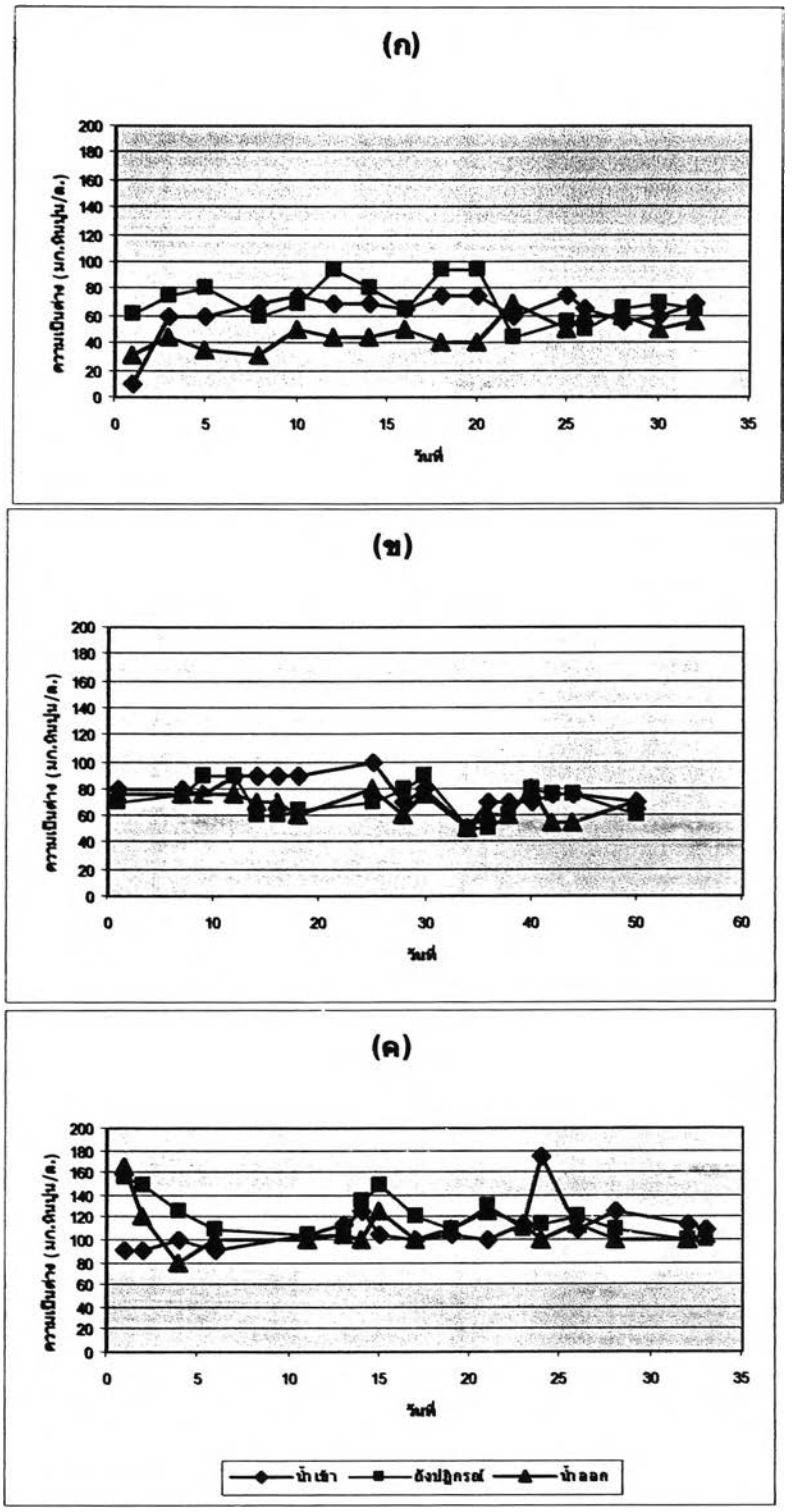
ค่าโออาร์พี (Oxidation – reduction potential) เป็นค่าที่นิยมใช้ในการควบคุมระบบเติมอากาศเป็นช่วงๆ โดยในสภาวะแอโรบิกสมบูรณ์ ควรมีค่าอยู่ในช่วง 50 ถึง 100 มิลลิโวลท์ และในสภาวะแอนนอกซิกควรมีค่า -50 ถึง -150 มิลลิโวลท์ (ธงชัย, 2544) ในการทดลองเรื่องผลของรอบการเติมอากาศ

ตารางที่ 4.16 ค่าโออาร์พีในส่วนต่างๆ ของชุดการทดลองที่ 2 4 และ 6 (หน่วย : มิลลิโวลท์)

ชุดการทดลอง		น้ำเข้า	ถังปฏิกรณ์	น้ำออก
2	เฉลี่ย	-52	-55	-43
	ตัวอย่าง	16	16	16
	ความเบี่ยงเบน	14	18	21
4	เฉลี่ย	-44	-54	-45
	ตัวอย่าง	17	17	17
	ความเบี่ยงเบน	18	13	8
6	เฉลี่ย	-12	-18	-44
	ตัวอย่าง	17	17	17
	ความเบี่ยงเบน	24	23	11

ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าโออาร์พี มีแนวโน้มเดียวกัน อยู่ในช่วงค่าที่ใกล้เคียงกับสภาวะแอนนอกซิกมากกว่าสภาวะแอโรบิก ซึ่งแสดงว่าระบบมีแนวโน้มเข้าสู่สภาวะแอนนอกซิก เมื่อค่าออกซิเจนละลายลดต่ำลง แต่อย่างไรก็ดี ค่าโออาร์พีในทุกชุดการทดลองมีใกล้เคียงกัน ดังนั้น จึงสรุปได้ว่า รอบการเติมอากาศ ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าโออาร์พี

ความเป็นด่างในระบบ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีที่กล่าวไว้ว่า เมื่อมีการเติมอากาศ จะเป็นการไล่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งก๊าซนี้มีฤทธิ์เป็นกรด เมื่ออยู่ในน้ำในรูปของกรดคาร์บอนิค การกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากระบบ เท่ากับเป็นการลดไฮโดรเจนไอออนอิสระในน้ำ ซึ่งจะทำให้ค่าพีเอชลดลง และเกลือของเบส หรือเบสที่ทำหน้าที่ในการจับไฮโดรเจนอิสระจึงเหลือมากขึ้น ทำให้ความเป็นด่างสูงขึ้น (Sawyer และคณะ 1994)



รูปที่ 4.22 ค่าความเป็นด่างในชุดการทดลอง

(ก) **ชุดการทดลองที่** 2 (ข) **ชุดการทดลองที่** 4 (ค) **ชุดการทดลองที่** 6

ตารางที่ 4.17 ค่าความเป็นด่างในส่วนต่างๆ ของชุดการทดลองที่ 2 4 และ 6

(หน่วย : มก.หินปูน/ลิตร)

ชุดการทดลอง		น้ำเข้า	ถังปฏิกรณ์	น้ำออก
2	เฉลี่ย	63.44	70.38	47.19
	ตัวอย่าง	16	16	16
	ค่าเบี่ยงเบน	15.68	15.50	10.95
4	เฉลี่ย	77.81	70.63	66.88
	ตัวอย่าง	16	16	16
	ค่าเบี่ยงเบน	12.11	13.40	9.64
6	เฉลี่ย	111.63	118.44	106.25
	ตัวอย่าง	16	16	16
	ค่าเบี่ยงเบน	19.86	15.89	11.62

จะเห็นว่า ค่าความเป็นด่างในน้ำเข้ากับในถังปฏิกรณ์มีค่าใกล้เคียงกัน แสดงว่าไม่มีกระบวนการที่นำความเป็นด่างไปใช้ แต่ความเป็นด่างลดลงเมื่อผ่านเมมเบรนแล้ว แสดงว่าความเป็นด่างบางส่วน สามารถถูกกักไว้ในถังปฏิกรณ์

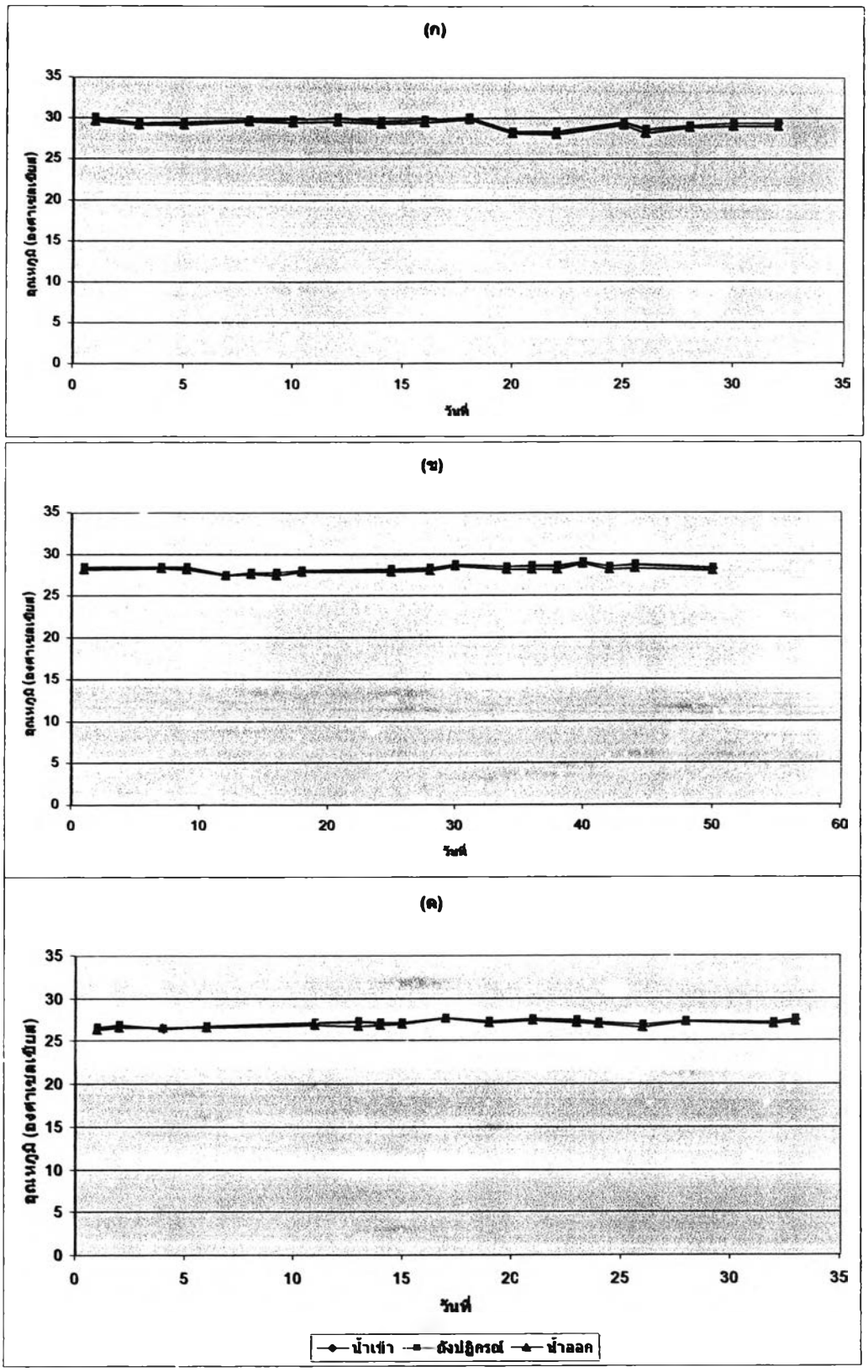
ในงานวิจัยนี้ มิได้มีการควบคุมอุณหภูมิภายในถังปฏิกรณ์ด้วยอุปกรณ์ควบคุม ดังนั้น อุณหภูมิภายในถังปฏิกรณ์จึงเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิบรรยากาศ ในถังปฏิกรณ์มีอุณหภูมิต่ำที่สุด 26.4 องศาเซลเซียส ในช่วงต้นเดือนกุมภาพันธ์ และสูงสุดในช่วงต้นเดือนกรกฎาคม อุณหภูมิเฉลี่ยในถังปฏิกรณ์อยู่ที่ 27 – 29 องศาเซลเซียส ซึ่งอยู่ในช่วงเมโสฟิลิค 25 – 40 องศาเซลเซียส (Metcalf และ Eddy, 2003) อันเป็นช่วงอุณหภูมิปกติในประเทศไทย ซึ่งจากการทดลองพบว่าอุณหภูมิไม่มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบ

ตารางที่ 4.18 อุณหภูมิในส่วนต่างๆ ของชุดการทดลองที่ 2 4 และ 6 (หน่วย : องศาเซลเซียส)

ชุดการทดลอง		น้ำเข้า	ถังปฏิกรณ์	น้ำออก
2	เฉลี่ย	29.4	29.5	29.1
	ตัวอย่าง	16	16	16
	ค่าเบี่ยงเบน	0.54	0.54	0.54
4	เฉลี่ย	28.3	28.4	28.1
	ตัวอย่าง	17	17	17
	ค่าเบี่ยงเบน	0.39	0.39	0.35
6	เฉลี่ย	27.1	27.2	26.9
	ตัวอย่าง	17	17	17
	ค่าเบี่ยงเบน	0.36	0.35	0.36

จากตารางที่ 4.18 พบว่าอุณหภูมิของน้ำเข้า น้ำออก และในถังปฏิกรณ์มีค่าไม่ต่างกันมากนัก โดยอุณหภูมิน้ำเข้าและน้ำออกจะมีค่าต่ำกว่าในถังปฏิกรณ์เล็กน้อย เนื่องมาจากภายในถังปฏิกรณ์มีอุปกรณ์เพื่อให้จุลินทรีย์ในระบบแขวนลอยอยู่เสมอ เช่น ใบกวน และเครื่องเติมออกซิเจน ซึ่งอุปกรณ์เหล่านี้เป็นตัวนำความร้อนเข้าสู่ถังปฏิกรณ์ ทำให้ภายในถังปฏิกรณ์มีอุณหภูมิสูงขึ้นกว่าน้ำในส่วนอื่น และน้ำออกจะถูกเก็บไว้ในถังพักพลาสติกจึงมีอุณหภูมิต่ำกว่า แต่เนื่องจากระบบอยู่ในที่โล่งความแตกต่างในด้านอุณหภูมิระหว่างกันจึงมีไม่มาก

อิทธิพลของอุณหภูมิ มาจากอุณหภูมิอากาศภายนอกระบบ เป็นส่วนใหญ่ จะเห็นจากการแปรเปลี่ยนตามฤดูกาลที่ทำการทดลอง ซึ่งการเปลี่ยนแปลงนี้ ยังอยู่ในช่วงเมโสฟิลิค 25 – 40 องศาเซลเซียส ซึ่งไม่ทำให้เชื้อจุลินทรีย์ ต้องปรับสภาพแต่อย่างใด



รูปที่ 4.23 อุณหภูมิในชุดการทดลอง

(ก) ชุดการทดลองที่ 2 (ข) ชุดการทดลองที่ 4 (ค) ชุดการทดลองที่ 6

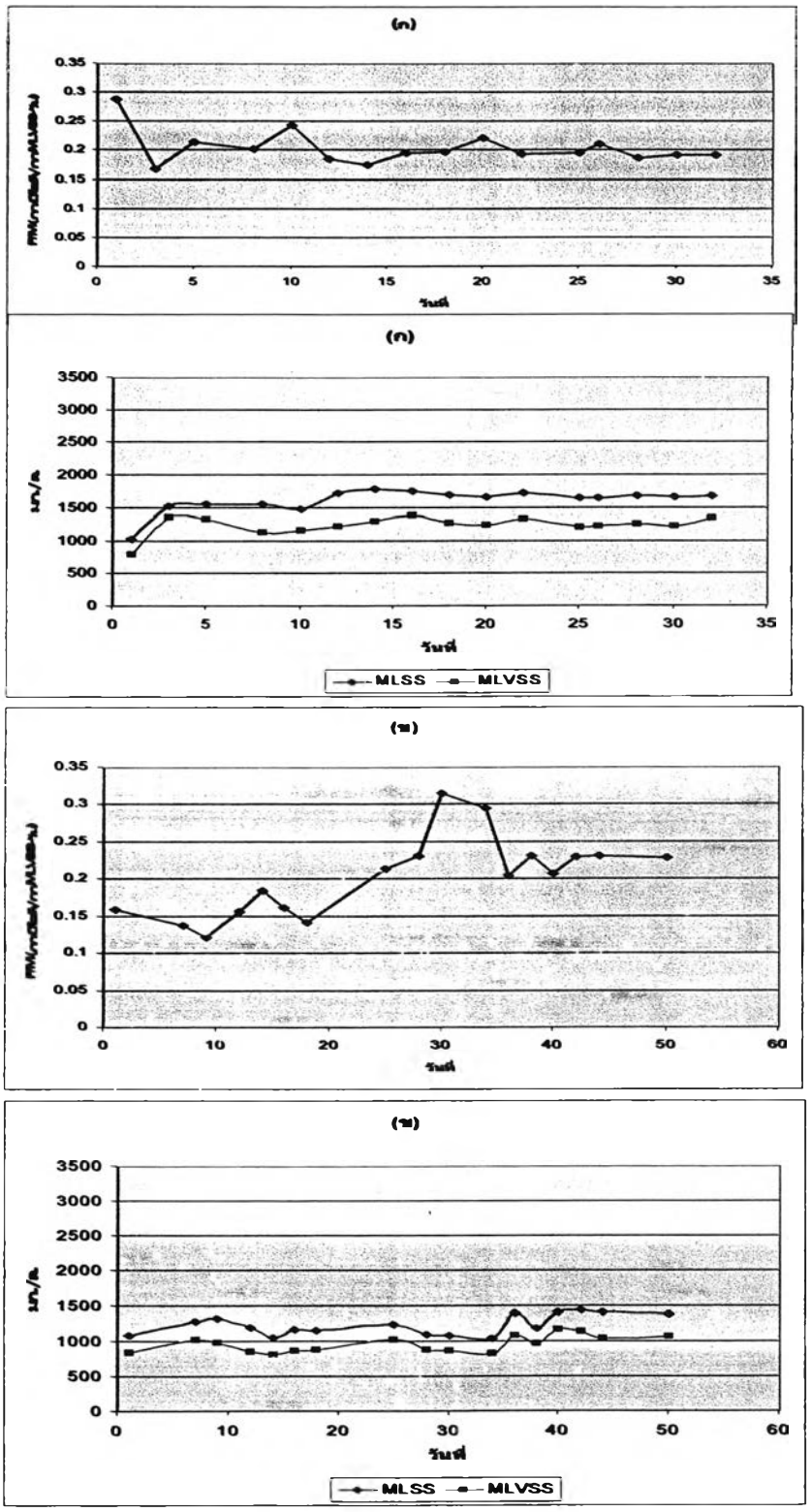
4.4.2 ผลของภาระสารอินทรีย์ต่อจุลินทรีย์ในระบบ

ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ในระบบ เป็นตัวบ่งบอกสภาพคงตัวของระบบ และยังเป็นตัวบ่งบอกประสิทธิภาพของระบบ สภาพของจุลินทรีย์ซึ่งอยู่ในระบบ เป็นปัจจัยที่มีความสำคัญอย่างมากต่อประสิทธิภาพการกำจัดมลสารในถังปฏิกรณ์ ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ แสดงได้ด้วยค่าเอ็มแอลวีเอสเอส ซึ่งแสดงได้ตามตารางที่ 4.19

ตารางที่ 4.19 ค่าเอ็มแอลเอสเอส และเอ็มแอลวีเอสเอส ของชุดการทดลองที่ 2 4 และ 6

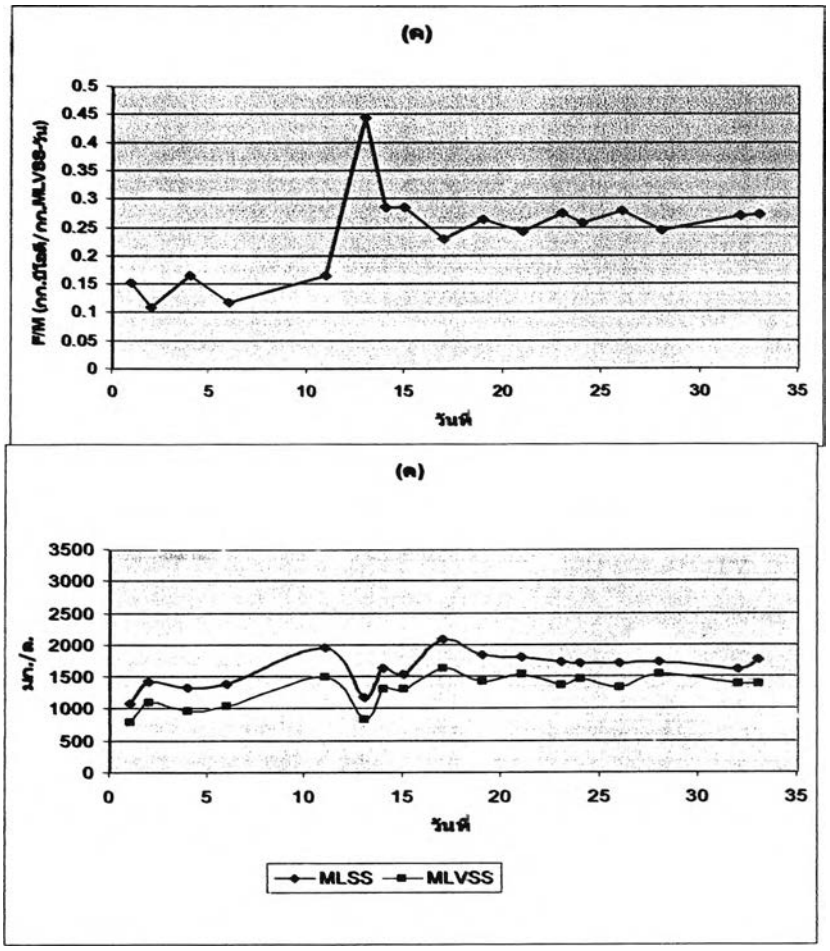
ชุดการทดลอง		MLSS (มก./ล.)	MLVSS (มก./ล.)	VSS/SS	อัตราส่วนอาหารต่อมวลจุลชีพ (กก.บีโอดี/กก.เอ็มแอลวีเอสเอส.วัน)
2	เฉลี่ย	1700	1273	0.75	0.2
	ตัวอย่าง	11	11	11	11
	ค่าเบี่ยงเบน	45.63	61.65	0.03	0.01
4	เฉลี่ย	1248	984	0.79	0.22
	ตัวอย่าง	12	12	12	12
	ค่าเบี่ยงเบน	149.3	119.05	0.03	0.05
6	เฉลี่ย	1748	1427	0.82	0.27
	ตัวอย่าง	11	11	11	12
	ค่าเบี่ยงเบน	145.24	106.76	0.04	0.06

จากตารางที่ 4.19 และรูปที่ 4.24 จะเห็นว่า ชุดการทดลองที่ 2 ที่รับภาระสารอินทรีย์ 0.25 กก.บีโอดี/ลบ.ม.-วัน ที่มีเอ็มแอลวีเอสเอสที่สภาวะคงตัว ประมาณ 1273 มก./ล. โดยสัดส่วนของของแข็งแขวนลอยระเหยง่ายต่อของแข็งแขวนลอยทั้งหมด อยู่ที่ 0.75 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์คุณลักษณะพื้นฐานของระบบเมมเบรนในถังปฏิกรณ์ชีวภาพทั่วไป (0.5 - 0.9, Horngและคณะ, 2005) มีค่า อัตราส่วนอาหารต่อมวลจุลชีพ อยู่ที่ 0.20 กก.บีโอดี/กก.เอ็มแอลวีเอสเอส.วัน ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของระบบไมโครฟิลเตรชันเมมเบรนในถังปฏิกรณ์ (0.1 – 0.4 กก.บีโอดี/กก.เอ็มแอลวีเอสเอส.วัน, Metcalf และ Eddy, 2003) แสดงว่าระบบอยู่ในสภาพเพียงพอต่อการดำเนินระบบอาหารสำหรับจุลินทรีย์ไม่ขาดแคลน



รูปที่ 4.24 ค่าเอ็มแอลเอสเอส เอ็มแอลวีเอสเอส และ อัตราส่วนอาหารต่อมวลจุลชีพ ในชุดการทดลอง

(ก) ชุดการทดลองที่ 2 (ข) ชุดการทดลองที่ 4



รูปที่ 4.24(ต่อ) ค่าเอ็มแอลเอสเอส เอ็มแอลวีเอสเอส และ อัตราส่วนอาหารต่อมวลจุลชีพ ในชุดการทดลอง

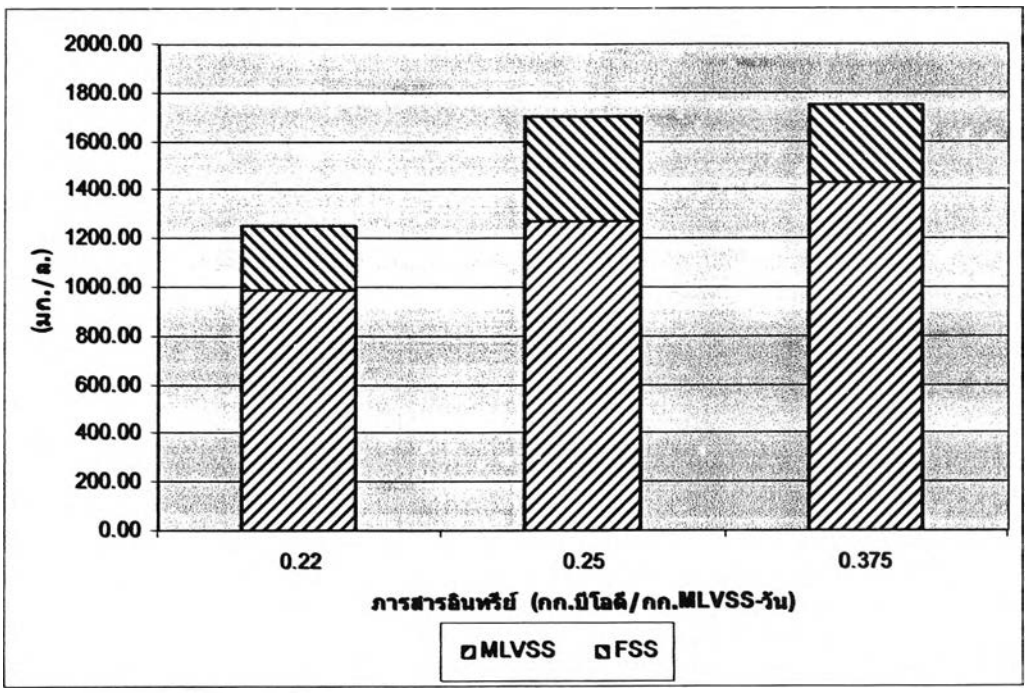
(ค) ชุดการทดลองที่ 6

สำหรับ ชุดการทดลองที่ 4 ที่รับภาระสารอินทรีย์ 0.22 กก.บีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าเอ็มแอลวีเอสเอสที่สภาวะคงตัว ประมาณ 987 มก./ล. โดยสัดส่วนของของแข็งแขวนลอยระเหยง่ายต่อของแข็งแขวนลอยทั้งหมด อยู่ที่ 0.82 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์คุณลักษณะพื้นฐานของระบบเมมเบรนในถังปฏิกรณ์ชีวภาพทั่วไป (0.5 - 0.9, Horng และคณะ, 2005) มีค่า อัตราส่วนอาหารต่อมวลจุลชีพ อยู่ที่ 0.22 กก.บีโอดี/กก.เอ็มแอลวีเอสเอส.วัน ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของระบบไมโครฟิลเตรชันเมมเบรนในถังปฏิกรณ์ (0.1 – 0.4 กก.บีโอดี/กก.เอ็มแอลวีเอสเอส.วัน, Metcalf และ Eddy, 2003) แสดงว่าระบบอยู่ในสภาพเพียงพอต่อการดำเนินระบบ อาหารสำหรับจุลินทรีย์ไม่ขาดแคลน

และชุดการทดลองที่ 6 ที่รับภาระสารอินทรีย์ 0.375 กก.บีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าเอ็มแอลวีเอสเอสที่สภาวะคงตัว ประมาณ 1427 มก./ล. โดยสัดส่วนของของแข็งแขวนลอยระเหยง่ายต่อของแข็งแขวนลอยทั้งหมด อยู่ที่ 0.79 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์คุณลักษณะพื้นฐานของระบบเมมเบรนในถังปฏิกรณ์ชีวภาพทั่วไป (0.5 - 0.9, Hornและคณะ, 2005) มีค่า อัตราส่วนอาหารต่อมวลจุลชีพ อยู่ที่ 0.27 กก.บีโอดี/กก.เอ็มแอลวีเอสเอส.วัน ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของระบบไมโครฟิลเตรชันเมมเบรนในถังปฏิกรณ์ (0.1 – 0.4 กก.บีโอดี/กก.เอ็มแอลวีเอสเอส.วัน, Metcalf และ Eddy, 2003) แสดงว่าระบบอยู่ในสภาพเพียงพอต่อการดำเนินระบบ อาหารสำหรับจุลินทรีย์ไม่ขาดแคลน

ในช่วงวันที่ 12 ของการทดลอง พบว่ามีสลัดจ์ลดลง เนื่องจากเกินไฟดับในบริเวณที่ทดลอง ได้ทำการแก้ไข ปริมาณตะกอนจึงได้กลับมาสู่สภาวะปกติ

เมื่อเปรียบเทียบสภาพจุลินทรีย์ ของชุดการทดลองที่ 2 4 และ 6 จะพบว่า ปริมาณความเข้มข้นของมวลชีวภาพ (MLVSS) มีการเพิ่มขึ้นตามภาระสารอินทรีย์ที่เข้าสู่ระบบ แต่มีแนวโน้มการเพิ่มในอัตราที่ลดลง สังเกตจากค่า อัตราส่วนอาหารต่อมวลจุลชีพ จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แสดงว่า มีสารอินทรีย์ในรูปของซีโอดีเหลือมากขึ้น



รูปที่ 4.25 ปริมาณ MLVSS และ FSS ของแต่ละภาระสารอินทรีย์

จากรูปที่ 4.25 แสดงให้เห็นว่า ปริมาณของมวลชีวภาพของแต่ละภาระสารอินทรีย์ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อภาระสารอินทรีย์เพิ่มขึ้น แต่ปริมาณของแข็งแขวนลอยในถังปฏิกรณ์ของภาระสารอินทรีย์ ที่ 0.25 และ 0.375 กก.บีโอดี/กก.เอ็มแอลวีเอสเอส-วัน มีค่าในระดับเดียวกัน เนื่องจากส่วนของของแข็งแขวนลอยคงตัวมีค่าลดลง ซึ่งแสดงว่าสัดส่วนเชื้อต่อสารคงตัวเพิ่มขึ้น

4.4.3 ผลของภาระสารอินทรีย์ต่อการบำบัดมลสารในระบบ

ในการทดลองที่ 2 นี้ ใช้ผลการเปรียบเทียบ ชุดการทดลองที่ 2 4 และ 6 ที่มีอายุสลัดจ์เท่ากันที่ 25 วัน และรอบการเติมอากาศ 60 นาที ซึ่งมีค่าภาระสารอินทรีย์เข้า 0.22 0.25 และ 37.5 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ตามลำดับ

สภาวะพีเอชในระบบ เมื่อมีการเปลี่ยนภาระบรรทุก มีแนวโน้มใกล้เคียงกัน แต่ความเป็นด่างเพิ่มขึ้นตามภาระสารอินทรีย์แสดงว่า ระบบมีความสามารถในการรักษาสมดุลกรดเบสในระบบได้ แล้วแนวโน้มค่าพีเอชในน้ำออก สูงกว่าน้ำในถังปฏิกรณ์ในทุกชุดการทดลอง แสดงว่าความเป็นกรดเบสในระบบ อยู่ในสภาวะสมดุล และอยู่ในช่วงที่จุลินทรีย์ทำงานได้ และพีเอชในน้ำออกทุกชุดการทดลองอยู่ในมาตรฐานน้ำทิ้งของกรมโรงงานอุตสาหกรรม

ประสิทธิภาพการกำจัดมลสารของแต่ละชุดการทดลอง แสดงไว้ในตารางที่ 4.12 ซึ่งแนวโน้มประสิทธิภาพการบำบัด ใกล้เคียงกัน แสดงว่าระบบมีขีดความสามารถในการรับภาระสารอินทรีย์ทั้ง 3 ค่า

ตารางที่ 4.20 การทดสอบทางสถิติเกี่ยวกับค่าพารามิเตอร์เปรียบเทียบ ระหว่างภาระสารอินทรีย์ที่ 0.22 0.25 และ 0.375 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ด้วย T-test

พารามิเตอร์	ชุดการทดลองที่	df	α	Critical Value	t_s	L1	L2	C
COD								
%การกำจัดโดยถังปฏิกรณ์	2 และ 4	16	0.1	1.746	-1.255	-10.975	1.798	S
%การกำจัดโดยถังปฏิกรณ์	2 และ 6	19	0.1	1.729	13.825	13.523	17.389	S
%การกำจัดโดยเมมเบรน	2 และ 4	21	0.1	1.721	0.521	-0.586	1.095	S
%การกำจัดโดยเมมเบรน	**2 และ 6**	**21**	**0.1**	1.721	**5.15**	**1.076**	2.156	D
TKN								
%การกำจัด	2 และ 4	8	0.1	1.86	10.304	18.832	27.129	D
%การกำจัด	**2 และ 6**	8	**0.1**	1.86	**1.298**	-1.081	**6.074**	S
TP								
%การกำจัด	2 และ 4	7	0.1	1.895	-0.798	-10.136	4.128	S
%การกำจัด	**2 และ 6**	7	**0.1**	1.895	**-1.527**	**-10.161**	**1.094**	S
สี								
%การกำจัดโดยถังปฏิกรณ์	2 และ 4	20	0.1	1.725	0.522	-5.599	10.461	S
%การกำจัดโดยถังปฏิกรณ์	2 และ 6	20	0.1	1.725	-1.052	-12.875	3.12	S
%การกำจัดโดยเมมเบรน	2 และ 4	19	0.1	1.729	0.433	-4.81	8.028	S
%การกำจัดโดยเมมเบรน	2 และ 6	20	0.1	1.725	1.094	-2.415	10.787	S

จากการคำนวณ T-test ตามตารางที่ 4.20 จะพบว่า ภาระสารอินทรีย์ 0.25 0.22 และ 0.375 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ตามลำดับ มีประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัส และสี ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่มีความแตกต่างในประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี และไนโตรเจน ซึ่งจะทำการวิเคราะห์พารามิเตอร์แต่ละตัวในหัวข้อต่อๆ ไป

4.4.4 ผลของภาระสารอินทรีย์ต่อการกำจัดของแข็งแขวนลอย

น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองนี้ นำมาจากน้ำกากส่าที่ออกมาจากหอกลั่น ซึ่งสารตั้งต้นเป็นน้ำส่าที่ได้มาจากน้ำทิ้งจากการตกสลัดจ์น้ำตาลครั้งสุดท้ายแล้ว และในกระบวนการมีการเติมยีสต์เพื่อหมักน้ำตาลให้กลายเป็นแอลกอฮอล์ แล้วจึงนำไปกลั่นที่อุณหภูมิสูง สารแขวนลอยที่เหลือตกค้าง ส่วนใหญ่จะเป็นซากเซลล์ของยีสต์ และจุลินทรีย์ที่ใช้หมัก กากน้ำตาลที่ไหม้และรวมตัวกันเป็นสารโมเลกุลใหญ่แต่ก็มีปริมาณที่น้อย โดยทั่วไปน้ำกากส่าจะมีของแข็งแขวนลอยอยู่ในปริมาณเล็กน้อยอยู่แล้ว สารแขวนลอยที่มีจะเป็นฝุ่นผง เศษดิน ที่เจือปนอยู่ในบ่อพัก

จากการวิเคราะห์ค่าของแข็งแขวนลอย พบว่าของแข็งแขวนลอยที่พบมีสีน้ำตาล ความเข้มข้นแสดงในตารางที่ 4.21

ตารางที่ 4.21 ของแข็งแขวนลอย ของชุดการทดลองที่ 2 4 และ 6

ชุดการทดลอง		น้ำเข้า มก./ล.	น้ำออก มก./ล.
2	เฉลี่ย	31.88	0
	ตัวอย่าง	16	16
	ค่าเบี่ยงเบน	9.85	0
4	เฉลี่ย	41.12	0
	ตัวอย่าง	17	17
	ค่าเบี่ยงเบน	14.7	0
6	เฉลี่ย	32	0
	ตัวอย่าง	17	17
	ค่าเบี่ยงเบน	10.07	0

จากตารางที่ 4.21 พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดสารแขวนลอยของทุกการทดลองเท่ากับ 100 % ทั้งนี้เนื่องจากขนาดรูพรุนของเมมเบรนเท่ากับ 0.1 ไมครอน ซึ่งเล็กกว่ากระดาษกรองที่ใช้ในการวิเคราะห์ค่าของแข็งแขวนลอยที่ใช้ขนาด 0.45 ไมครอน ดังนั้นอนุภาคที่ผ่านเมมเบรนออกมากับน้ำทิ้งได้จึงไม่สามารถผ่านกระดาษกรองที่ใช้ในการวิเคราะห์ได้ แสดงว่าค่าภาระสารอินทรีย์ที่เปลี่ยนแปลง ไม่มีผลต่อการกำจัดของแข็งแขวนลอย

4.4.5 ผลของภาระสารอินทรีย์ต่อการกำจัดซีโอดี

ค่าซีโอดีของน้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ระบบมาจาก น้ำกากสาที่ออกจากหอกลั่นของโรงงานสุราแสงโสม จ.นครปฐม ซึ่งมีสารตั้งต้นคือน้ำตาล และผลิตภัณฑ์เป็นแอลกอฮอล์ โดยมีสารเจือปนที่ทำให้เกิดสี เช่น คาราเมล เมลานอยดิน เป็นต้น ซึ่งส่วนใหญ่เป็นซีโอดีที่จุลินทรีย์ในระบบสามารถนำไปใช้ได้ ยกเว้นในบางส่วนที่เป็นสารอินทรีย์ที่เกิดการเปลี่ยนแปลงในกระบวนการกลั่น เช่น เมลานอยดิน เป็นสารที่แบคทีเรียย่อยสลายได้ยาก หรือกลายสภาพเป็นสารอนินทรีย์

ค่าซีโอดีเฉลี่ยที่ป้อนเข้าระบบ ในชุดการทดลองที่ 2 มีค่าประมาณ 500 มิลลิกรัม/ลิตร สำหรับชุดการทดลองที่ 4 มีค่าประมาณ 440 มิลลิกรัม/ลิตร และชุดทดลองที่ 6 มีค่าประมาณ 750 มิลลิกรัม/ลิตร ในอัตราการป้อนที่ 100 ลิตร/วันเท่ากันทุกชุดการทดลอง ซึ่งสามารถคิดเป็นอัตราภาระสารอินทรีย์ (Organic Loading Rate, OLR) เท่ากับ 0.25 0.22 และ 0.375 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ตามลำดับ

ตารางที่ 4.22 ค่าซีโอดีในจากจุดเก็บตัวอย่างต่างๆ ที่สภาวะคงตัวของชุดทดลองที่ 2 4 และ 6

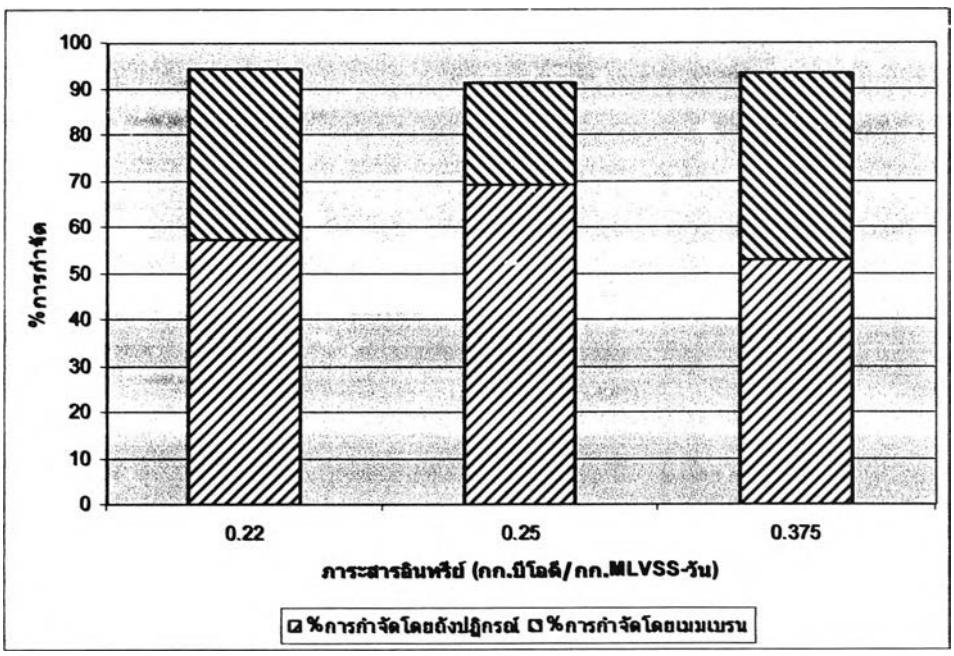
ชุดการทดลอง		ซีโอดี (มก./ล.)			%การกำจัด	
		น้ำเข้า	ถังปฏิกรณ์	น้ำออก	โดย ถังปฏิกรณ์	โดยรวม
2	เฉลี่ย	496.18	153	42.09	69.12	91.35
	ตัวอย่าง	11	11	11	11	11
	ค่าเบี่ยงเบน	34.19	15.34	19.26	3.04	4.51
4	เฉลี่ย	439.5	164.83	23.33	57.18	94.38
	ตัวอย่าง	12	12	12	12	12
	ค่าเบี่ยงเบน	89.44	77.5	6.41	18.45	1.59
6	เฉลี่ย	750	209	25	53.03	93.33
	ตัวอย่าง	11	11	11	11	11
	ค่าเบี่ยงเบน	0	12.61	0	2.77	0

จากตารางที่ 4.22 จะแสดงค่าซีโอดี ณ ตำแหน่งต่างในระบบ เมื่อพิจารณาที่ชุดการทดลองที่ 2 จะมีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีอยู่ที่ 69.12% โดยถังปฏิกรณ์ ซึ่งค่าซีโอดีที่สภาวะคงตัวมีค่าอยู่ในช่วง 109 - 205 มก./ล. ซึ่งยังมีช่วงที่เกินมาตรฐานน้ำทิ้งของกรมโรงงานอุตสาหกรรม

และเมื่อผ่านเมมเบรน ซีโอดีที่ออกมาจะอยู่ในช่วง 28 - 114 มก./ล. ซึ่งผ่านเกณฑ์น้ำทิ้งของกรมโรงงานอุตสาหกรรม และมีประสิทธิภาพการกำจัดรวมอยู่ที่ 91.35 %

ในชุดการทดลองที่ 4 จะมีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีอยู่ที่ 57.18% โดยถังปฏิกรณ์ ซึ่งค่าซีโอดีที่สภาวะคงตัวมีค่าอยู่ในช่วง 72 - 281 มก./ล. ซึ่งยังมีช่วงที่เกินมาตรฐานน้ำทิ้งของกรมโรงงานอุตสาหกรรม และเมื่อผ่านเมมเบรน ซีโอดีที่ออกมาจะอยู่ในช่วง 8 - 36 มก./ล. ซึ่งผ่านเกณฑ์น้ำทิ้งของกรมโรงงานอุตสาหกรรม และมีประสิทธิภาพการกำจัดอยู่ 94.38 % ในช่วงวันที่ 25 – 30 มีประสิทธิภาพการบำบัดลดลง แต่ระบบก็กลับมาสู่สภาวะปกติได้ที่วันที่ 34 ซึ่งแม้จะประสิทธิภาพการบำบัดของถังปฏิกรณ์ลดลง ประสิทธิภาพของระบบรวมยังคงที่อยู่ แสดงถึงความสามารถในการรักษาเสถียรภาพระบบของเมมเบรน

ในชุดการทดลองที่ 6 จะมีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีอยู่ที่ 53.03 % โดยถังปฏิกรณ์ ซึ่งค่าซีโอดีที่สภาวะคงตัวมีค่าอยู่ในช่วง 325 - 400 มก./ล. ซึ่งยังมีช่วงที่เกินมาตรฐานน้ำทิ้งของกรมโรงงานอุตสาหกรรม และเมื่อผ่านเมมเบรน ซีโอดีที่ออกมาจะอยู่ในช่วง 50 มก./ล. ซึ่งผ่านเกณฑ์น้ำทิ้งของกรมโรงงานอุตสาหกรรม และมีประสิทธิภาพการกำจัดอยู่ 93.33 %



รูปที่ 4.26 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีในส่วนต่างๆ ของระบบสำหรับค่าภาระสารอินทรีย์ที่เปลี่ยนไป

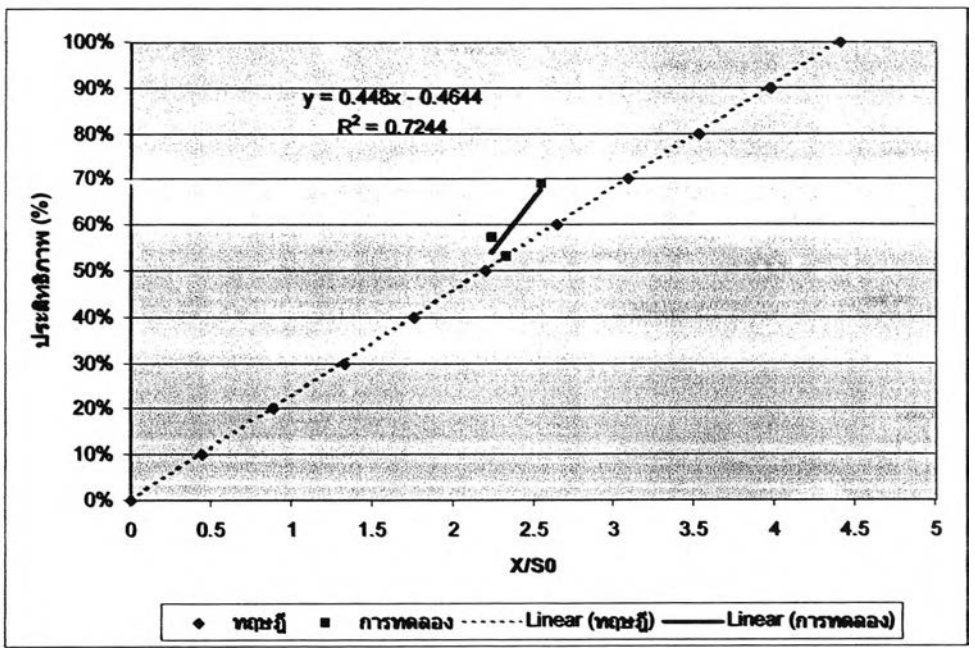
จากตารางที่ 4.20 และผลการกำจัดซีโอดีของชุดการทดลองที่ 2 4 และ 6 จะเห็นว่าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี ใกล้เคียงกัน ซึ่งจากสมการที่ 4.4 และ 4.6

$$X = \frac{\theta_c Y \eta S_0}{\tau(1 + k_b \theta_c)} \tag{4.4}$$

$$\eta = \frac{X\tau}{YS_0}(1/\theta_c + k_d) \tag{4.6}$$

จากสมการที่ 4.6 เนื่องจากค่ายิลด์ (Y) ค่าอัตราการสลายตัว (k_d) และเวลาเก็บกัก (τ) ของระบบทั้ง 3 ชุดการทดลองมีค่าคงที่ รวมถึงค่าอายุสลัดจ์เท่ากัน ดังนั้น ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี (η) จึงแปรผกผันกับค่าซีโอดีเข้าสู่ระบบ (S_0) และแปรผันกับความเข้มข้นของจุลินทรีย์ในส่วนการเติมออกซิเจน (X)

จากภาคผนวก ข สามารถหาค่ายิลด์ (Y) และค่าอัตราการสลายตัว (k_d) และระบบควบคุมเวลาเก็บกัก และอายุสลัดจ์ไว้คงที่ ซึ่งค่ายิลด์ของระบบเมมเบรนในถังปฏิกรณ์ชีวภาพมีค่า 0.38 กรัม-วีเอสเอส/กรัม-ซีโอดี และค่าอัตราการสลายตัวเท่ากับ 0.002 ต่อวัน จึงสามารถสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี กับ ค่าซีโอดีที่เข้าสู่ระบบ และ ความเข้มข้นจุลินทรีย์ในระบบได้ดังรูปที่ 4.25



รูปที่ 4.27 ความสัมพันธ์ของอัตราส่วนมวลชีวภาพต่อซีโอดีเข้า กับประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี

จากทฤษฎีและผลการทดลองที่กล่าวมาแล้วข้างต้น สามารถทำนายค่าประสิทธิภาพที่ระบบจากอัตราส่วนมวลชีวภาพต่อซีโอดีเข้า ได้ประสิทธิภาพ 57.79 50.77 และ 52.91 สำหรับชุดการทดลองที่ 2 4 และ 6 ตามลำดับ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพที่ได้จากการตรวจวัดค่าพารามิเตอร์ ซึ่งเท่ากับ 69.12 57.18 และ 53.03 ซึ่งใกล้เคียงกับประสิทธิภาพการกำจัดทางทฤษฎีของระบบเอเอสทั่วไป แสดงว่าระบบเมมเบรนในถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบเติมอากาศเป็นช่วงๆ มีประสิทธิภาพในการกำจัดตามทฤษฎีของระบบกำจัดแบบสลัดจ์แขวนลอยทั่วไป แต่อย่างไรก็ดีในการทดลองนี้ ทำการทดลองแค่ 1 เท่าของอายุสลัดจ์ ซึ่งทำให้ความถูกต้องของตัวแปรอาจลดลงได้

จากรูปที่ 4.26 จะเห็นแนวโน้มประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีของแต่ละชุดทดลอง โดยชุดการทดลองที่ 2 ที่รับค่าภาระสารอินทรีย์เข้าที่ 0.25 กก.บีโอดี/กก.เอ็มแอลวีเอสเอส-วัน มีประสิทธิภาพสูงสุด ส่วนที่ชุดกาทดลองที่ 6 ที่รับค่าภาระสารอินทรีย์เข้าที่ 0.375 กก.บีโอดี/กก.เอ็มแอลวีเอสเอส-วัน มีประสิทธิภาพลดลง แต่อย่างไรก็ดี จากตารางที่ 4.15 แสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี ในถังปฏิกรณ์ไม่มีความแตกต่างที่มีนัยสำคัญซึ่งกันและกัน ดังนั้นสรุปได้ว่า ช่วงค่าภาระสารอินทรีย์ที่ใช้ในระบบยังไม่ส่งผลยับยั้งหรือเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของระบบ

เมื่อพิจารณารูปที่ 4.27 การกำจัดซีโอดีด้วยระบบเมมเบรน จะเห็นว่าประสิทธิภาพการกำจัดใกล้เคียงกัน แสดงว่าสารบางส่วนที่แบคทีเรียกำจัดไม่ได้ สามารถถูกกรองได้ด้วยกระบวนการเมมเบรน และจะถูกกำจัดออกจากระบบในทางสลัดจ์ที่ทิ้งไปในแต่ละวัน ส่วนการกำจัดซีโอดีในถังปฏิกรณ์ จะขึ้นอยู่กับปริมาณและคุณภาพของจุลินทรีย์ในระบบ ซึ่งจากผลการทดลองนี้ แสดงให้เห็นว่า ระบบนี้มีความยืดหยุ่นในการรับภาระวิกฤติ ในกรณีที่ระบบเอเอสมีปัญหา ระบบเมมเบรนจะทำหน้าที่รักษาคุณภาพของน้ำออก แต่ถ้าประสิทธิภาพของจุลินทรีย์ในถังปฏิกรณ์น้อย ภาระจะเป็นของระบบเมมเบรน ซึ่งจะเป็นการลดอายุใช้งานของเมมเบรน

4.4.6 ผลของภาระสารอินทรีย์ต่อการกำจัดไนโตรเจน

ไนโตรเจนในระบบ มาจากน้ำกากส่าที่นำมาเจือจางด้วยน้ำประปา ค่าเฉลี่ยที่เข้าสู่ระบบในแต่ละชุดการทดลองเท่ากับ 5.29 4.65 และ 8.24 มิลลิกรัม/ลิตร มีอัตราส่วนซีโอดีต่อทีเคเอ็นในแต่ละชุดการทดลอง เท่ากับ 93.8 94.5 และ91.0 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.23 ค่าทีเคเอ็นและไนเตรตที่สภาวะคงตัวของทุกชุดการทดลองที่ 2 4 และ 6

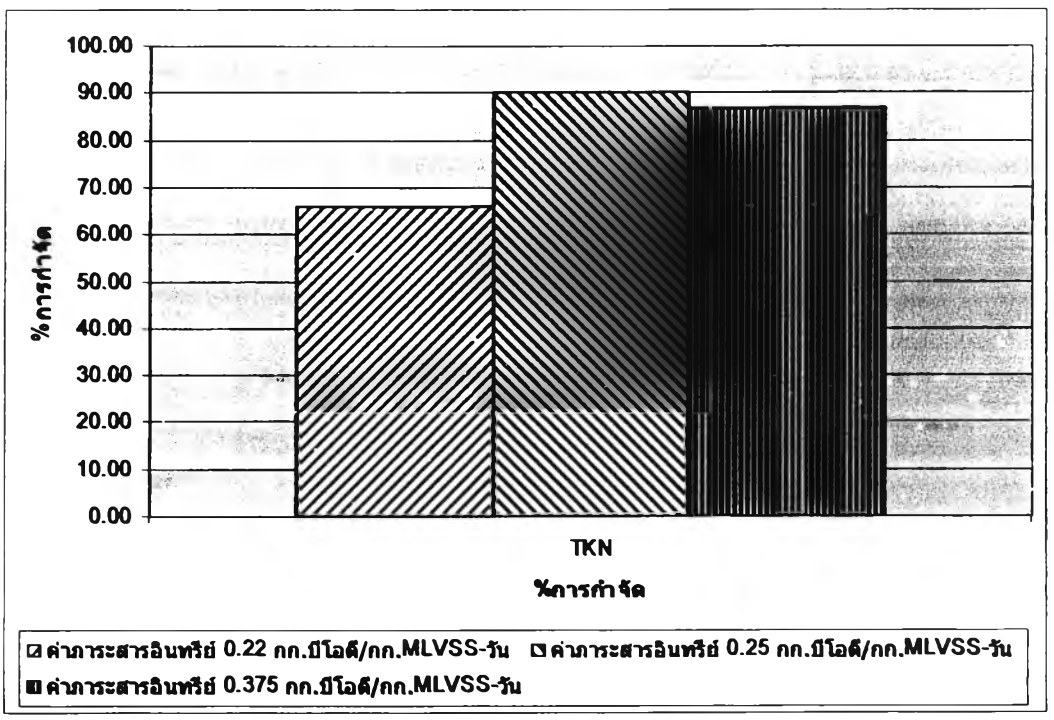
ชุดการทดลอง		ทีเคเอ็น (มก./ล.)			%การกำจัด	ไนเตรต (มก./ล.)		
		น้ำเข้า	ถังปฏิกรณ์	น้ำออก		น้ำเข้า	ถังปฏิกรณ์	น้ำออก
2	เฉลี่ย	5.29	4.95	0.47	90.06	0.45	0.35	0.15
	ตัวอย่าง	3	3	3	3	4	4	4
	ค่าเบี่ยงเบน	2.07	2.13	0.04	3.85	0.09	0.15	0.03
4	เฉลี่ย	4.65	7.18	1.59	65.80	0.19	1.66	0.61
	ตัวอย่าง	5	5	5	5	4	4	4
	ค่าเบี่ยงเบน	0.03	0.63	0.16	3.56	0.04	0.45	0.15
6	เฉลี่ย	8.24	9.03	1.08	86.89	0.40	0.45	0.34
	ตัวอย่าง	6	6	6	6	4	4	4
	ค่าเบี่ยงเบน	0.27	0.22	0.19	2.65	0.06	0.08	0.06

ทีเคเอ็นของถังปฏิกรณ์เป็นทีเคเอ็นที่ไม่ได้ผ่านการกรอง เป็นผลรวมของค่าทีเคเอ็นทั้งหมดที่คงอยู่ในระบบ ทั้งในรูปสารประกอบ และเซลล์จุลินทรีย์ จึงทำให้ค่าสูงกว่าน้ำเข้า และมีแนวโน้มสูงขึ้นในทุกชุดการทดลอง เนื่องจากไม่ได้ทำการถ่ายสลัดจ์ที่เหลือจากชุดการทดลองก่อนหน้าทิ้งก่อนเติมเชื้อใหม่ในแต่ละชุดการทดลอง จึงมีการสะสมของไนโตรเจนเพิ่มขึ้น ซึ่งทีเคเอ็นในเซลล์ของแต่ละชุดการทดลองเท่ากับ 0.0035 0.0057 และ 0.0056 กรัม-ทีเคเอ็น/กรัม-เอ็มแอลวีเอสเอส ตามลำดับ

ทีเคเอ็นในน้ำออก ที่ผ่านการกรองเมมเบรนแล้ว จะมีคุณสมบัติเทียบเท่ากับทีเคเอ็นละลายในน้ำ เนื่องมาจากน้ำหนักโมเลกุลของทีเคเอ็นในน้ำ จะมีน้ำหนักโมเลกุลน้อยกว่า 100,000 ดาลตัน ซึ่งสามารถผ่านรูพรุนของไมโครฟิลเตรชันเมมเบรนได้ (รัตนา, 2543)

จากตารางที่ 4.23 และรูปที่ 4.24 ชุดการทดลองที่ 2 ค่าทีเคเอ็นที่ออกจากระบบที่สภาวะคงตัวมีค่า 0.43 – 0.51 มก./ล. สามารถกำจัดทีเคเอ็นได้ 90.06 % ชุดการทดลองที่ 4 ค่าทีเคเอ็นที่ออกจากระบบที่สภาวะคงตัวมีค่า 1.36 – 1.73 มก./ล. สามารถกำจัดทีเคเอ็นได้ 65.80 % ชุดการทดลองที่ 6 ค่าทีเคเอ็นที่ออกจากระบบที่สภาวะคงตัวมีค่า 0.98 – 1.45 มก./ล. สามารถกำจัดทีเคเอ็นได้ 86.89 % ซึ่งค่าทีเคเอ็นของน้ำออก ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานของกรมโรงงานทั้งหมด สามารถปล่อยน้ำทิ้งสู่ทางน้ำสาธารณะได้

เมื่อพิจารณาค่าไนเตรตในระบบ จะเห็นว่า ในถังปฏิกรณ์มีค่าเพิ่มขึ้นในชุดการทดลองที่ 4 และ6 เนื่องจากเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชั่น เปลี่ยนไนโตรเจนอินทรีย์ ไปเป็นไนเตรต ซึ่งจะเพิ่มอย่างเห็นได้ชัด แสดงว่าไนโตรเจนถูกนำไปใช้ในกระบวนการไนตริฟิเคชั่นมากขึ้น ซึ่งทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนของระบบลดลง ส่วนในชุดการทดลองที่ 2 ค่าไนเตรตค่อนข้างคงที่และมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากสัดส่วนจุลินทรีย์กับธาตุอาหารน้อย ในชุดการทดลองที่ 6 ค่าไนเตรตเพิ่มขึ้นเช่นกัน แต่อยู่ระดับที่ต่ำกว่าทีเคเอ็นค่อนข้างมาก แสดงว่าระบบไม่ได้ก่อให้เกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชั่นมากเท่าไหร่นัก อย่างไรก็ดีการเปลี่ยนแปลงของระดับไนเตรตในระบบ มีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับไนโตรเจนทั้งหมด ดังนั้น การลดไนโตรเจนส่วนใหญ่จึงมาจากการสะสมไนโตรเจนอินทรีย์เพื่อไปเป็นธาตุอาหารในเซลล์



รูปที่ 4.28 ประสิทธิภาพการกำจัดทีเคเอ็น ในแต่ละค่าภาระสารอินทรีย์

เนื่องจากไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบหลักอย่างหนึ่งของเซลล์จุลินทรีย์ การที่เซลล์เจริญเติบโตได้ดี ต้องมีอัตราส่วนซีโอดีต่อไนโตรเจนที่เหมาะสม แต่ในการทดลองพบว่า น้ำเสียที่เข้าสู่ระบบ มีอัตราซีโอดีต่อไนโตรเจน ใกล้เคียงกัน และการย่อยสลายไนโตรเจนนั้นขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของมวลชีวภาพที่มีอยู่ในระบบด้วย ดังจะเห็นได้จากชุดทดลองที่รับค่าภาระสารอินทรีย์ 0.22 กก.บีโอดี/กก.เอ็มแอลวีเอสเอส-วัน ซึ่งมีปริมาณความเข้มข้นมวลชีวภาพต่ำ และอัตราส่วนมวล

ชีวภาพต่อซีโอดีเข้าต่ำ ซึ่งแสดงในรูปที่ 4.28 ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนจึงต่ำลงไปด้วย สรุปค่าภาระสารอินทรีย์เพียงอย่างเดียวไม่สามารถชี้วัดประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนในระบบได้ ต้องประกอบกับค่ามวลชีวภาพที่อยู่ในระบบ ซึ่งถ้าสัดส่วนมากประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนก็จะมากตามไปด้วย

4.4.7 ผลของภาระสารอินทรีย์ต่อการกำจัดฟอสฟอรัส

ฟอสฟอรัสในระบบได้มาจากการผสมน้ำกากส่ากับน้ำประปาเช่นเดียวกับไนโตรเจน มีค่าเฉลี่ย ที่เข้าสู่ระบบในแต่ละชุดการทดลองเท่ากับ 4.96 5.40 5.56 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ

ตารางที่ 4.24 ค่าฟอสฟอรัสทั้งหมดจากส่วนต่างๆ ที่สภาวะคงตัวของชุดทดลองที่ 2 4 และ 6

ชุดการทดลอง		ฟอสฟอรัสทั้งหมด (มก./ล.)			%การกำจัด
		น้ำเข้า	ถังปฏิกรณ์	น้ำออก	
2	เฉลี่ย	4.96	5.89	0.11	96.93
	ตัวอย่าง	3	3	3	3
	ค่าเบี่ยงเบน	2.14	2.57	0.18	5.31
4	เฉลี่ย	5.40	6.04	0.14	97.43
	ตัวอย่าง	5	5	5	5
	ค่าเบี่ยงเบน	0.03	0.63	0.16	3.56
6	เฉลี่ย	5.56	5.71	0.11	98.05
	ตัวอย่าง	6	6	6	6
	ค่าเบี่ยงเบน	0	0.03	0.12	2.23

จากตารางที่ 4.24 ชี้ให้เห็นว่า ชุดการทดลองที่ 2 มีค่าฟอสฟอรัส อยู่ระหว่าง 0 – 0.32 มก./ล. มีประสิทธิภาพในการบำบัด 96.93% ชุดการทดลองที่ 4 มีค่าฟอสฟอรัส อยู่ระหว่าง 0.01 – 0.60 มก./ล. มีประสิทธิภาพในการบำบัด 97.43% ฟอสฟอรัสส่วนใหญ่จะถูกเซลล์นำไปใช้ และบางส่วนรวมตัวเป็นของแข็งซึ่งไม่สามารถผ่านเมมเบรนได้ จึงทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำออกมีค่าน้อย ชุดการทดลองที่ 6 มีค่าฟอสฟอรัส อยู่ระหว่าง 0.05 – 0.40 มก./ล. มีประสิทธิภาพในการบำบัด 98.05%

การกำจัดฟอสฟอรัสทางชีวภาพ โดยพื้นฐานแล้วคือการเอาฟอสฟอรัสออกทิ้งจากระบบในรูปของแข็ง โดยทิ้งไปกับสลัดจ์ส่วนเกิน คือการให้แบคทีเรียสะสมฟอสฟอรัส เพราะฟอสฟอรัสเป็นธาตุที่จำเป็นอีกธาตุหนึ่งสำหรับกรดนิวคลีอิก และเยื่อเมมเบรนของเซลล์ รวมทั้งเอทีพีในเซลล์ จุลินทรีย์จึงใช้ฟอสฟอรัสในการไปสร้างเป็นองค์ประกอบบางอย่างของสารโมเลกุลใหญ่หลายชนิดในเซลล์

ในการกำจัดฟอสฟอรัสในทางชีวภาพนั้น จุลินทรีย์ที่ใช้ในการย่อยสลายฟอสฟอรัส จำเป็นอย่างยิ่งที่จะได้รับสารอาหารที่เพียงพอต่อการทำให้เกิดกระบวนการเมตาบอลิสม์ในเซลล์ ซึ่งสารอาหารที่กล่าวถึงนี้ก็คือ สารอินทรีย์ในรูปของซีโอดี โดยปกติระบบกำจัดฟอสฟอรัสทางชีวภาพจะต้องการสารอินทรีย์ในรูปของซีโอดีประมาณ 2.0 – 2.5 มก.PO_4^-/ 100 มก.ซีโอดีในน้ำเข้า ซึ่งแต่ละชุดการทดลองมีค่า ประมาณ 1 มก.PO_4^-/ 100 มก.ซีโอดีในน้ำเข้า ซึ่งมีปริมาณซีโอดีมากเกินพอ ดังนั้นฟอสฟอรัสจึงอยู่กำจัดออกได้อย่างมากจากระบบ ดังจะเห็นได้ในตารางที่ 4.19 ค่าฟอสฟอรัสที่เหลือออกมามีน้อยมาก จนไม่มีนัยสำคัญกับคุณภาพน้ำอีกต่อไป ดังนั้นประสิทธิภาพการกำจัดของระบบจึงไม่แตกต่างกัน

4.4.8 ผลของภาระสารอินทรีย์ต่อการกำจัดสี

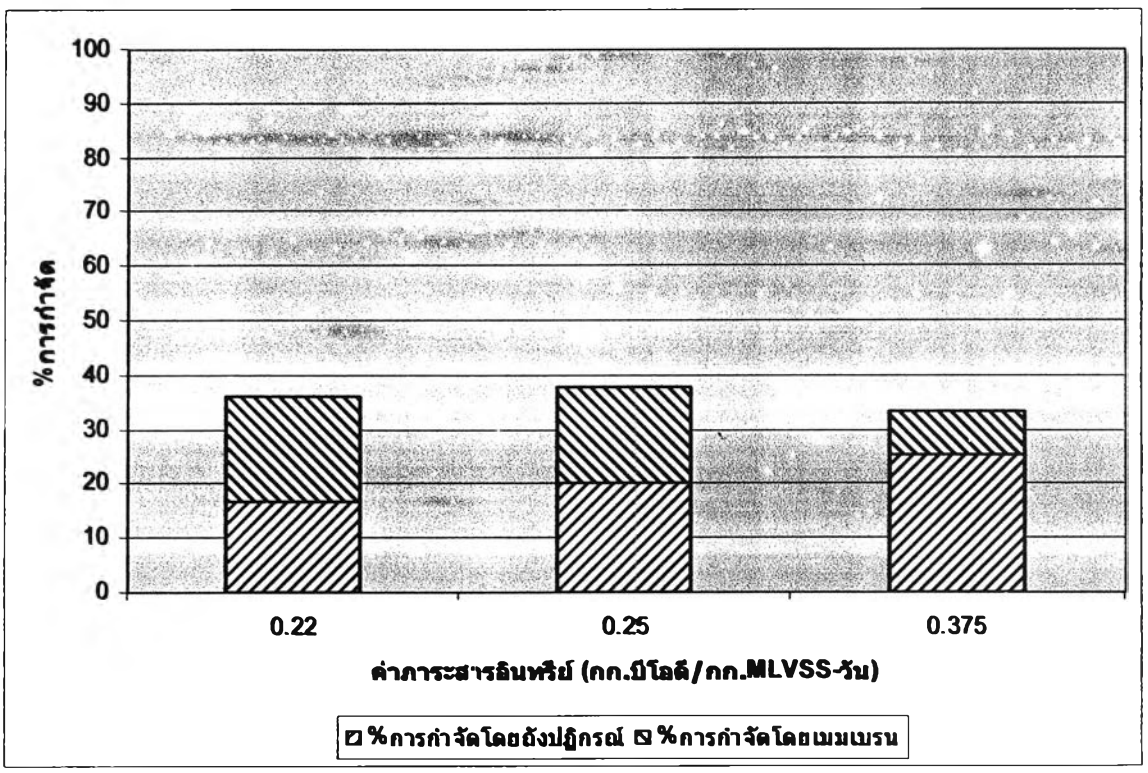
สีของน้ำเสียนี้ มาจากน้ำกากส่าที่ใช้ในการผสม มีสีน้ำตาลเข้ม เมื่อผสมแล้วจะมีสีเหลือง ระบบมีประสิทธิภาพในการบำบัดสี ในแต่ละชุดการทดลอง ดังนี้ 37.69% 36.08% และ33.5 %

ตารางที่ 4.25 ค่าความเข้มสีในจากจุดเก็บตัวอย่างต่างๆ ที่สภาวะคงตัวของชุดทดลองที่ 2 4 **และ** 6

ชุดการทดลอง		สี (ADMI)			%การกำจัด	
		น้ำเข้า	ถังปฏิกรณ์	น้ำออก	โดย ถังปฏิกรณ์	โดยเมมเบรน
2	**เฉลี่ย**	**397**	**313.91**	**244.73**	**20.31**	**37.69**
	ตัวอย่าง	11	11	11	11	11
	ค่าเบี่ยงเบน	34.66	28.93	29.26	10.58	11.3
4	**เฉลี่ย**	**456.4**	**380**	**291.2**	**16.77**	**36.08**
	ตัวอย่าง	12	12	12	12	12
	ค่าเบี่ยงเบน	55.66	67.79	33.9	11.2	3.35
6	**เฉลี่ย**	**605.45**	**452.55**	**402.64**	**25.19**	**33.5**
	ตัวอย่าง	11	11	11	11	11
	ค่าเบี่ยงเบน	17.88	66.35	36.83	11.16	5.78

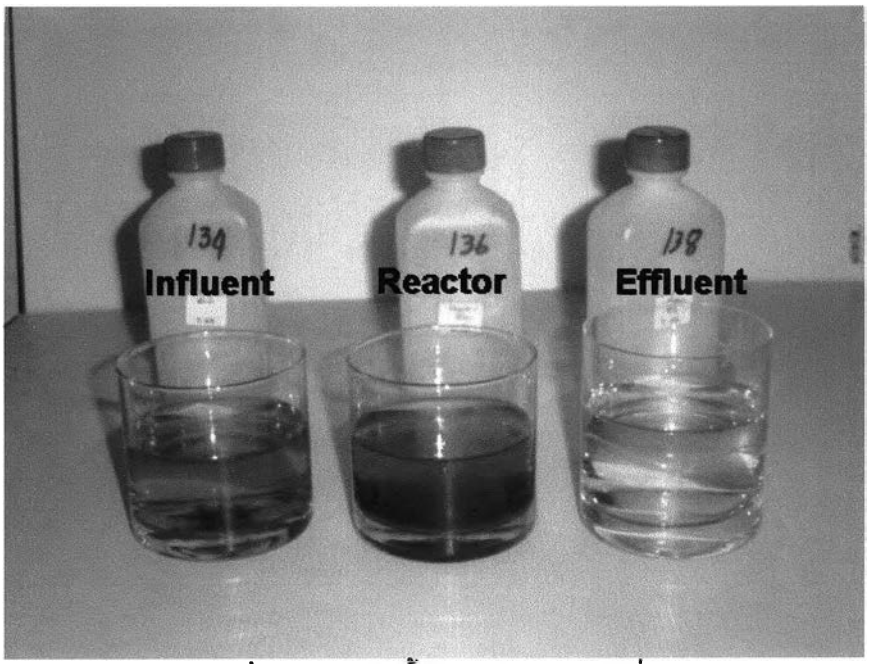
จากตารางที่ 4.25 พบว่า ชุดการทดลองที่ 2 มีประสิทธิภาพการบำบัดด้วยถังปฏิกรณ์ 20.31 % และโดยรวม 37.69 % ค่าสีเฉลี่ยในถังปฏิกรณ์ และในน้ำออกมีค่า 313.91 และ 244.73 ADMI ชุดการทดลองที่ 4 มีประสิทธิภาพการบำบัดด้วยถังปฏิกรณ์ 16.77 % และโดยรวม 36.08 % ค่าสีเฉลี่ยในถังปฏิกรณ์ และในน้ำออกมีค่า 380.00 และ 291.20 ADMI ชุดการทดลองที่ 6 มีประสิทธิภาพการบำบัดด้วยถังปฏิกรณ์ 25.19 % และโดยรวม 33.50 % ค่าสีเฉลี่ยในถังปฏิกรณ์ และในน้ำออกมีค่า 452.55 และ 402.64 ADMI ซึ่งค่าสีในน้ำ ไม่มีค่ามาตรฐานกำหนดในมาตรฐานกรมโรงงานอุตสาหกรรม

ประสิทธิภาพของระบบในการกำจัดสี เมื่อเปลี่ยนค่าภาระบรรทุก ยิ่งค่าภาระบรรทุกมากขึ้น ระบบมีแนวโน้มในการลดสีในถังปฏิกรณ์ได้มากขึ้น ส่วนการลดสีหลังจากผ่านเมมเบรนนั้นมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกัน จากผลการทดลองว่า เมื่อค่าภาระสารอินทรีย์สูงขึ้นจุลินทรีย์สามารถดึงสารที่ทำให้เกิดสีไปใช้ได้มากขึ้น จึงทำให้ประสิทธิภาพในการลดสีในส่วนที่เป็นสารอินทรีย์ย่อยยากลดได้มากขึ้น แต่อย่างไรก็ดี ไม่สามารถลดสีในส่วนที่เป็นสารอนินทรีย์ได้

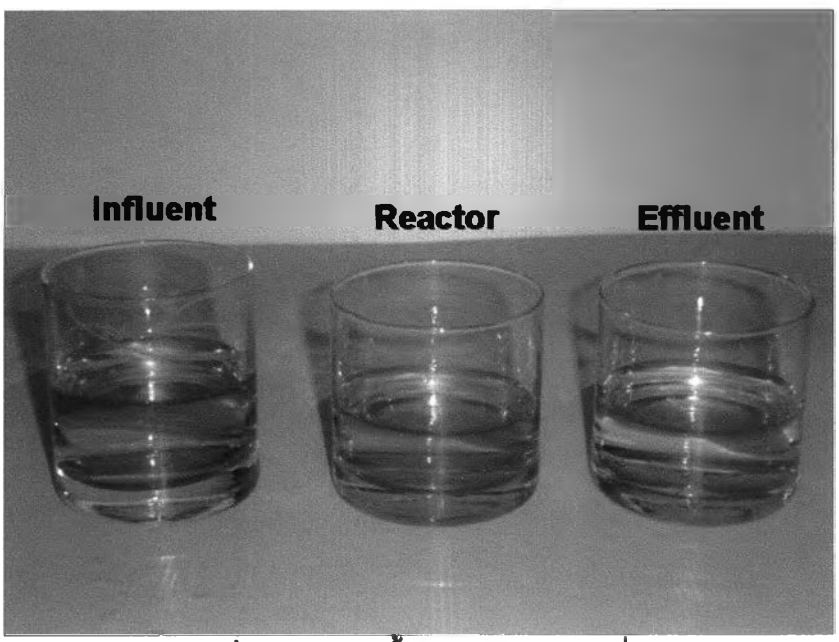


รูปที่ 4.29 ผลของการกำจัดสีจากส่วนต่างๆ ในแต่ละภาระสารอินทรีย์

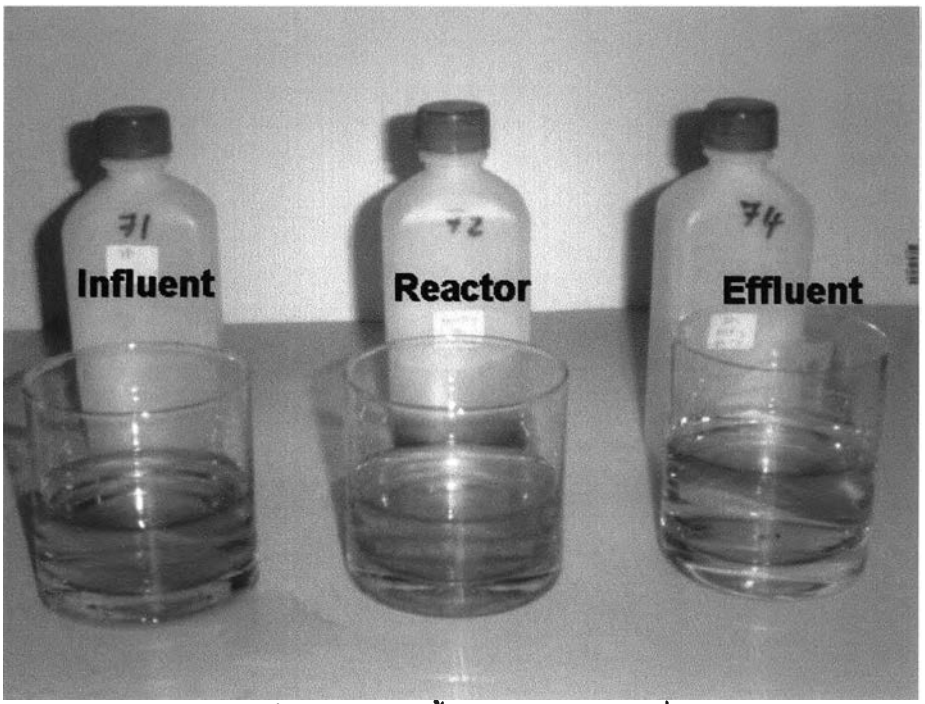
จากการทดลอง สังเกตได้ถึงความสัมพันธ์ของการกำจัดสีในถังปฏิกรณ์ จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพการกำจัดของระบบโดยรวมจะค่อนข้างคงที่ แต่แนวโน้มประสิทธิภาพการกำจัดสีในถังปฏิกรณ์นั้น มีประสิทธิภาพสูงขึ้น ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าเมื่อภาระสารอินทรีย์เพิ่มขึ้น การย่อยสลายสารที่ทำให้เกิดสีจะสูงขึ้นตามไปด้วย



รูปที่ 4.30 **สีของน้ำในชุดการทดลองที่** 2



รูปที่ 4.31 **สีของน้ำในชุดการทดลองที่** 4



รูปที่ 4.32 สีของน้ำในชุดการทดลองที่ 6

4.4.9 สรุปผลของภาระสารอินทรีย์

ค่าภาระสารอินทรีย์ที่เข้าสู่ระบบ รวมถึงไนโตรเจน และฟอสฟอรัส ที่เข้าสู่ระบบนั้น ยังไม่ถึงจุดที่ทำให้ประสิทธิภาพของระบบลดลง ดังนั้นจึงสามารถเพิ่มภาระสารอินทรีย์ขึ้นไปได้อีก ในการทดลองนี้จึงเลือกใช้ ค่าภาระสารอินทรีย์ที่ 0.375 กก.บีโอดี/กก.เอ็มแอลวีเอสเอส-วัน ในการทดลองต่อไป

4.5 ผลของอายุสลัดจ์ในการวิจัย

อายุสลัดจ์ที่ใช้ในการวิจัยนี้ มี 2 ค่าคือ 25 และ 50 วัน ซึ่งนำผลเปรียบเทียบจากชุดการทดลองที่ 5 และ 6 ใช้รอบการเติมอากาศ 60 นาที 6 ใช้ภาระสารอินทรีย์ 0.375 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ดำเนินการทดลองโดย ชุดการทดลองที่ 5 ใช้การควบคุมอายุสลัดจ์ที่ 50 วัน ชุดการทดลองที่ 6 ใช้การควบคุมอายุสลัดจ์ที่ 25 วัน

4.5.1 ผลของอายุสลัดจ์ต่อสภาวะในระบบ

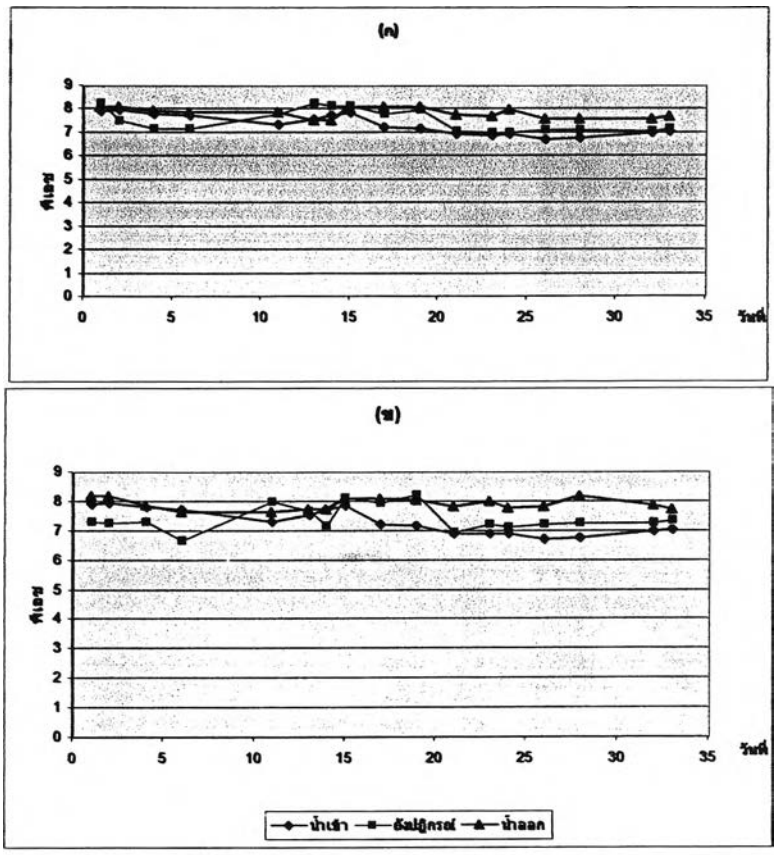
อายุสลัดจ์ที่ใช้ในการวิจัยนี้ มี 2 ค่าคือ 25 และ 50 วัน จากการทำการทดลอง และเก็บค่าพารามิเตอร์ควบคุมต่างๆ ได้แก่ พีเอช ความเป็นด่าง และอุณหภูมิ ซึ่งสามารถอธิบายความสัมพันธ์ ต่อไป

ตารางที่ 4.26 ค่าพีเอชในส่วนต่างๆ ของชุดการทดลองที่ 5 **และ**6

ชุดการทดลอง		น้ำเข้า	ถังปฏิกรณ์	น้ำออก
5	เฉลี่ย	7.2	7.4	7.8
	ตัวอย่าง	17	17	17
6	เฉลี่ย	7.2	7.3	7.9
	ตัวอย่าง	17	17	17

ค่าพีเอชน้ำเสียเจือจางที่เตรียมไว้ที่ค่าอยู่ในช่วงประมาณ 7.2 แปรเปลี่ยนตามความเข้มข้นของน้ำกากส่า ในแต่ละถัง และการเจือจางในอัตราส่วนสูง ผลจากความเป็นกรดของน้ำกากส่า จึงไม่ส่งผลต่อระบบ แต่แนวโน้มเมื่อค่าภาระสารอินทรีย์เพิ่มขึ้น พีเอชของระบบจะลดต่ำลง แต่ในการวิจัยนี้ ค่าพีเอชยังไม่ลดลงจนเป็นผลเสียต่อระบบ

เมื่อเติมน้ำเสียเข้าระบบ ในส่วนของถังปฏิกรณ์จะมีแนวโน้มค่าพีเอชสูงขึ้นในทุกชุดการทดลอง อยู่ในช่วงประมาณ 7.3 - 7.4 ซึ่งเหมาะสมแก่การเจริญเติบโตของแบคทีเรีย และเมื่อผ่านการกรองด้วยเมมเบรน ค่าพีเอชมีแนวโน้มใกล้เคียงกับพีเอชในถังปฏิกรณ์ แต่อย่างไรก็ดี ค่าพีเอชของน้ำออก จะอยู่ประมาณ 7.8 – 7.9 ซึ่งอยู่ในมาตรฐานน้ำทิ้งของกรมโรงงานอุตสาหกรรม (ภาคผนวก ช.) ซึ่งแสดงว่า ค่าภาระสารอินทรีย์ที่ใช้ในการทดลองนี้ ยังไม่มีผลกระทบต่อค่าพีเอชในระบบ



รูปที่ 4.33 ค่าพีเอชในชุดการทดลอง

(ก) ชุดการทดลองที่ 5 (ข) ชุดการทดลองที่ 6

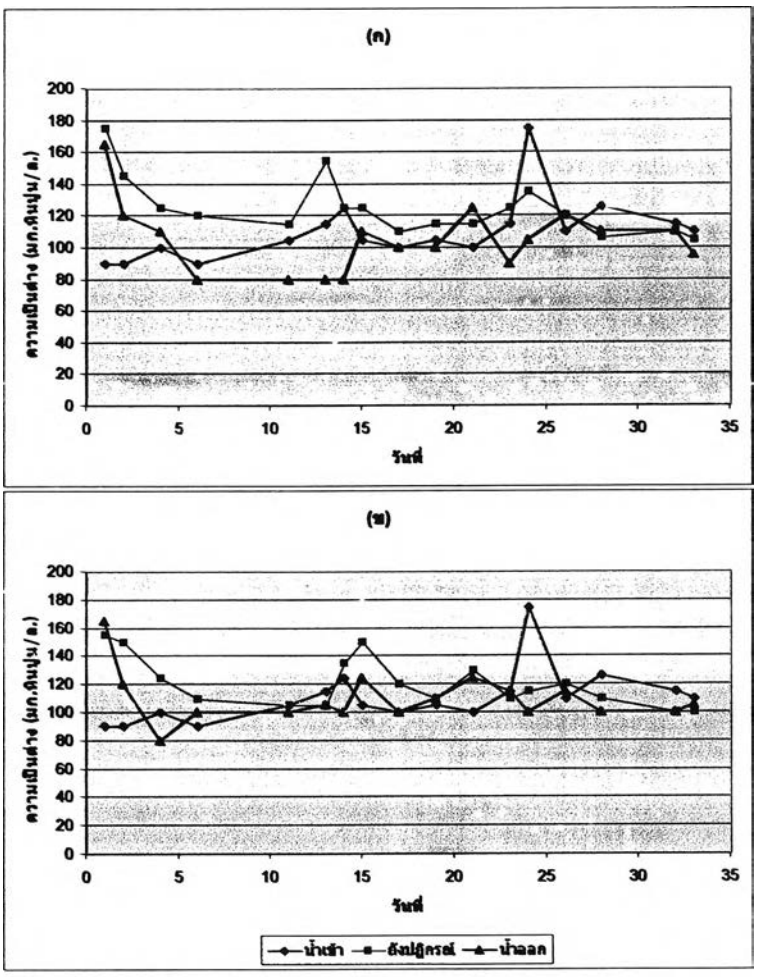
ค่าโออาร์พี (Oxidation – reduction potential) เป็นค่าที่นิยมใช้ในการควบคุมระบบเติมอากาศเป็นช่วงๆ โดยในสภาวะแอโรบิกสมบูรณ์ ควรมีค่าอยู่ในช่วง 50 ถึง 100 มิลลิโวลท์ และในสภาวะแอนนอกซิกควรมีค่า -50 ถึง -150 มิลลิโวลท์ (ชงชัย, 2544) ในการทดลองเรื่องผลของรอบการเติมอากาศ

ตารางที่ 4.27 ค่าโออาร์พีในส่วนต่างๆ ของชุดการทดลองที่ 5 และ 6 (หน่วย : มิลลิโวลท์)

ชุดการทดลอง		น้ำเข้า	ถังปฏิกรณ์	น้ำออก
5	เฉลี่ย	-12	-23	-40
	ตัวอย่าง	17	17	17
	ค่าเบี่ยงเบน	24	27	12
6	เฉลี่ย	-12	-18	-44
	ตัวอย่าง	17	17	17
	ค่าเบี่ยงเบน	24	23	11

ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าโออาร์พี มีแนวโน้มเดียวกัน อยู่ในช่วงค่าที่ใกล้เคียงกับสภาวะแอนนอกซิกมากกว่าสภาวะแอโรบิก ซึ่งแสดงว่าระบบมีแนวโน้มเข้าสู่สภาวะแอนนอกซิก เมื่อค่าออกซิเจนละลายลดต่ำลง แต่อย่างไรก็ดี ค่าโออาร์พีในทุกชุดการทดลองมีใกล้เคียงกัน ดังนั้น จึงสรุปได้ว่า รอบการเติมอากาศ ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าโออาร์พี

ความเป็นด่างในระบบ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีที่กล่าวไว้ว่า เมื่อมีการเติมอากาศ จะเป็นการไล่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งก๊าซนี้มีฤทธิ์เป็นกรด เมื่ออยู่ในน้ำในรูปของกรดคาร์บอนิค การกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากระบบ เท่ากับเป็นการลดไฮโดรเจนไอออนอิสระในน้ำ ซึ่งจะทำให้ค่าพีเอชลดลง และเกลือของเบส หรือเบสที่ทำหน้าที่ในการจับไฮโดรเจนอิสระจึงเหลือมากขึ้น ทำให้ความเป็นด่างสูงขึ้น (Sawyer และคณะ 1994)



รูปที่ 4.34 ค่าความเป็นด่างในชุดการทดลอง

(ก) ชุดการทดลองที่ 5 (ข) ชุดการทดลองที่ 6

ตารางที่ 4.28 ค่าความเป็นด่างในส่วนต่างๆ ของชุดการทดลองที่ 5 และ 6

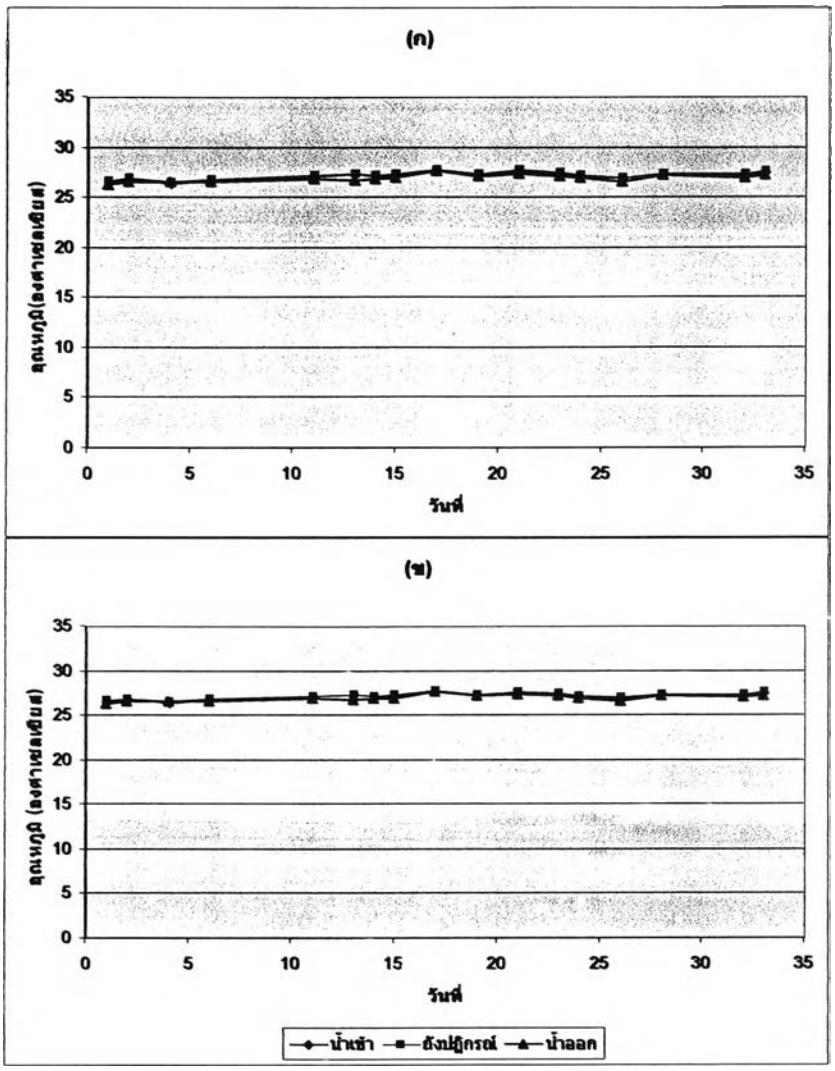
(หน่วย : มก.หินปูน/ลิตร)

ชุดการทดลอง		น้ำเข้า	ถังปฏิกรณ์	น้ำออก
5	เฉลี่ย	111.63	121.94	100.94
	ตัวอย่าง	16	16	16
	ค่าเบี่ยงเบน	19.86	13.69	15.41
6	เฉลี่ย	111.63	118.44	106.25
	ตัวอย่าง	16	16	16
	ค่าเบี่ยงเบน	19.86	15.89	11.62

จะเห็นว่า ค่าความเป็นด่างในน้ำเข้ากับในถังปฏิกรณ์มีค่าใกล้เคียงกัน แสดงว่าไม่มีกระบวนการที่นำความเป็นด่างไปใช้ แต่ความเป็นด่างลดลงเมื่อผ่านเมมเบรนแล้ว แสดงว่าความเป็นด่างบางส่วน สามารถถูกกักไว้ในถังปฏิกรณ์

จากผลการวิจัยจะเห็นแนวโน้มของค่าความเป็นด่างในทุกการทดลองมีแนวโน้มเดียวกันในทุกชุดการทดลอง แสดงว่ารอบการเติมอากาศที่ใช้ในการทดลองไม่มีผลต่อการเปลี่ยนค่าความเป็นด่างในระบบ

ในงานวิจัยนี้ มิได้มีการควบคุมอุณหภูมิภายในถังปฏิกรณ์ด้วยอุปกรณ์ควบคุม ดังนั้นอุณหภูมิภายในถังปฏิกรณ์จึงเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิบรรยากาศ ในถังปฏิกรณ์มีอุณหภูมิต่ำที่สุด 26.4 องศาเซลเซียส ในช่วงต้นเดือนกุมภาพันธ์ และสูงสุดในช่วงต้นเดือนกรกฎาคม อุณหภูมิเฉลี่ยในถังปฏิกรณ์อยู่ที่ 27 – 29 องศาเซลเซียส ซึ่งอยู่ในช่วง เมโสฟิลิค 25 – 40 องศาเซลเซียส (Metcalf และ Eddy, 2003) อันเป็นช่วงอุณหภูมิปกติในประเทศไทย ซึ่งจากการทดลองพบว่าอุณหภูมิไม่มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบ



รูปที่ 4.35 อุณหภูมิในชุดการทดลอง

(ก) ชุดการทดลองที่ 5 (ข) ชุดการทดลองที่ 6

ตารางที่ 4.29 อุณหภูมิในส่วนต่างๆ ของชุดการทดลองที่ 5 และ 6 (หน่วย : องศาเซลเซียส)

ชุดการทดลอง		น้ำเข้า	ถังปฏิกรณ์	น้ำออก
5	เฉลี่ย	27.1	27.2	26.9
	ตัวอย่าง	17	17	17
	ค่าเบี่ยงเบน	0.36	0.35	0.36
6	เฉลี่ย	27.1	27.2	26.9
	ตัวอย่าง	17	17	17
	ค่าเบี่ยงเบน	0.36	0.35	0.36

จากตารางที่ 4.29 พบว่าอุณหภูมิของน้ำเข้า น้ำออก และในถังปฏิกรณ์มีค่าไม่ต่างกันมากนัก โดยอุณหภูมิน้ำเข้าและน้ำออกจะมีค่าต่ำกว่าในถังปฏิกรณ์เล็กน้อย เนื่องมาจากภายในถังปฏิกรณ์มีอุปกรณ์เพื่อให้จุลินทรีย์ในระบบแขวนลอยอยู่เสมอ เช่น ใบกวน และเครื่องเติมออกซิเจน ซึ่งอุปกรณ์เหล่านี้เป็นตัวนำความร้อนเข้าสู่ถังปฏิกรณ์ ทำให้ภายในถังปฏิกรณ์มีอุณหภูมิสูงขึ้นกว่าน้ำในส่วนอื่น และน้ำออกจะถูกเก็บไว้ในถังพักพลาสติกจึงมีอุณหภูมิต่ำกว่า แต่เนื่องจากระบบอยู่ในที่โล่งความแตกต่างในด้านอุณหภูมิระหว่างกันจึงมีไม่มาก

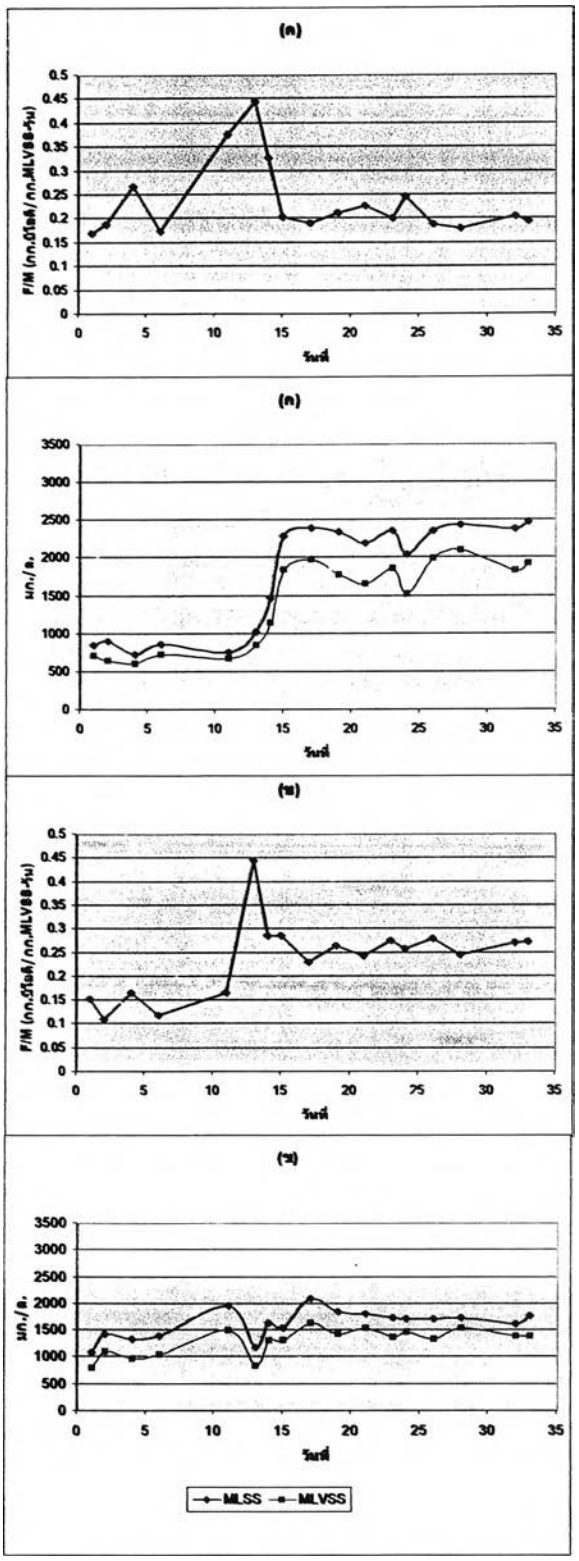
อิทธิพลของอุณหภูมิ มาจากอุณหภูมิอากาศภายนอกระบบ เป็นส่วนใหญ่ จะเห็นจากการแปรเปลี่ยนตามฤดูกาลที่ทำการทดลอง ซึ่งการเปลี่ยนแปลงนี้ ยังอยู่ในช่วง เมโสฟิลิค 25 – 40 องศาเซลเซียส ซึ่งไม่ทำให้เชื้อจุลินทรีย์ ต้องปรับสภาพแต่อย่างใด

4.5.2 ผลของอายุสลัดจ์ต่อจุลินทรีย์ในระบบ

ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ในระบบ เป็นตัวบ่งบอกสภาพคงตัวของระบบ และยังเป็นตัวบ่งบอกคุณภาพในระบบ สภาพของจุลินทรีย์ซึ่งอยู่ในระบบ เป็นปัจจัยที่มีความสำคัญอย่างมาก ต่อประสิทธิภาพการกำจัดมลสารในถังปฏิกรณ์ ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ แสดงได้ด้วยค่าเอ็มแอลวีเอสเอส ซึ่งแสดงได้ตามตารางที่ 4.30

ตารางที่ 4.30 ค่าเอ็มแอลเอสเอส และเอ็มแอลวีเอสเอส ของชุดการทดลองที่ 5 และ 6

ชุดการทดลอง		MLSS (มก./ล.)	MLVSS (มก./ล.)	VSS/SS	อัตราส่วนอาหารต่อมวลจุลชีพ (กก.บีโอดี/กก.เอ็มแอลวีเอสเอส.วัน)
5	**เฉลี่ย**	**2326**	**1849**	**0.79**	**0.25**
	ตัวอย่าง	10	10	10	12
	ค่าเบี่ยงเบน	126.4	169.52	0.04	0.09
6	**เฉลี่ย**	**1748**	**1427**	**0.82**	**0.27**
	ตัวอย่าง	11	11	11	12
	ค่าเบี่ยงเบน	145.24	106.76	0.04	0.06



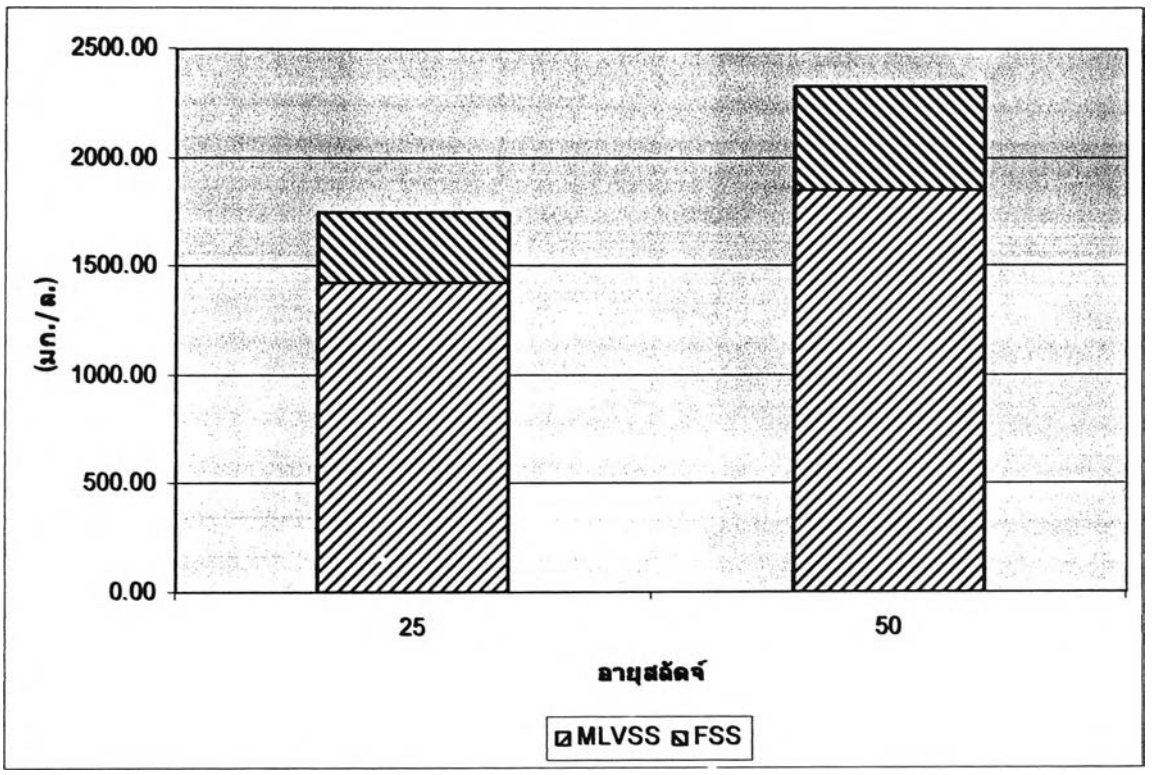
รูปที่ 4.36 ค่าเอ็มแอลเอสเอส เอ็มแอลวีเอสเอส และ อัตราส่วนอาหารต่อมวลจุลชีพ ในชุดการทดลอง

(ก) ชุดการทดลองที่ 5 (ข) ชุดการทดลองที่ 6

จากตารางที่ 4.30 และรูปที่ 4.36 จะเห็นว่า ชุดการทดลองที่ 5 ที่รับภาระสารอินทรีย์ 0.375 กก.บีโอดี/ลบ.ม.-วัน และควบคุมอายุสลัดจ์ 50 วัน มีค่าเอ็มแอลวีเอสเอสที่สภาวะคงตัว ประมาณ 1849 มก./ล. โดยสัดส่วนของของแข็งแขวนลอยระเหยง่ายต่อของแข็งแขวนลอยทั้งหมด อยู่ที่ 0.79 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์คุณลักษณะพื้นฐานของระบบเมมเบรนในถังปฏิกรณ์ชีวภาพทั่วไป (0.5 - 0.9, Horngและคณะ, 2005) มีค่า อัตราส่วนอาหารต่อมวลจุลชีพ อยู่ที่ 0.25 กก.บีโอดี/กก.เอ็มแอลวีเอสเอส.วัน ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของระบบไมโครฟิลเตรชันเมมเบรนในถังปฏิกรณ์ (0.1 – 0.4 กก. บีโอดี/กก.เอ็มแอลวีเอสเอส.วัน, Metcalf และ Eddy, 2003) แสดงว่าระบบอยู่ในสภาพเพียงพอต่อการดำเนินระบบ อาหารสำหรับจุลินทรีย์ไม่ขาดแคลน

และชุดการทดลองที่ 6 ที่รับภาระสารอินทรีย์ 0.375 กก.บีโอดี/ลบ.ม.-วัน และควบคุมอายุสลัดจ์ 25 วัน มีค่าเอ็มแอลวีเอสเอสที่สภาวะคงตัว ประมาณ 1427 มก./ล. โดยสัดส่วนของของแข็งแขวนลอยระเหยง่ายต่อของแข็งแขวนลอยทั้งหมด อยู่ที่ 0.79 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์คุณลักษณะพื้นฐานของระบบเมมเบรนในถังปฏิกรณ์ชีวภาพทั่วไป (0.5 - 0.9, Horngและคณะ, 2005) มีค่า อัตราส่วนอาหารต่อมวลจุลชีพ อยู่ที่ 0.27 กก.บีโอดี/กก.เอ็มแอลวีเอสเอส.วัน ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของระบบไมโครฟิลเตรชันเมมเบรนในถังปฏิกรณ์ (0.1 – 0.4 กก.บีโอดี/กก.เอ็มแอลวีเอสเอส.วัน, Metcalf และ Eddy, 2003) แสดงว่าระบบอยู่ในสภาพเพียงพอต่อการดำเนินระบบ อาหารสำหรับจุลินทรีย์ไม่ขาดแคลน

เมื่อเปรียบเทียบสภาพจุลินทรีย์ ของชุดการทดลองที่ 5 และ 6 จะพบว่า ปริมาณความเข้มข้นของมวลชีวภาพ (MLVSS) มีการเพิ่มขึ้นตามค่าอายุสลัดจ์ สังเกตจากค่า อัตราส่วนอาหารต่อมวลจุลชีพ จะมีแนวโน้มลดลงตามการเพิ่มของอายุสลัดจ์ แสดงให้เห็นว่า เมื่อเพิ่มอายุสลัดจ์ ปริมาณจุลินทรีย์มากขึ้น ความต้องการอาหารจึงมากขึ้นด้วย

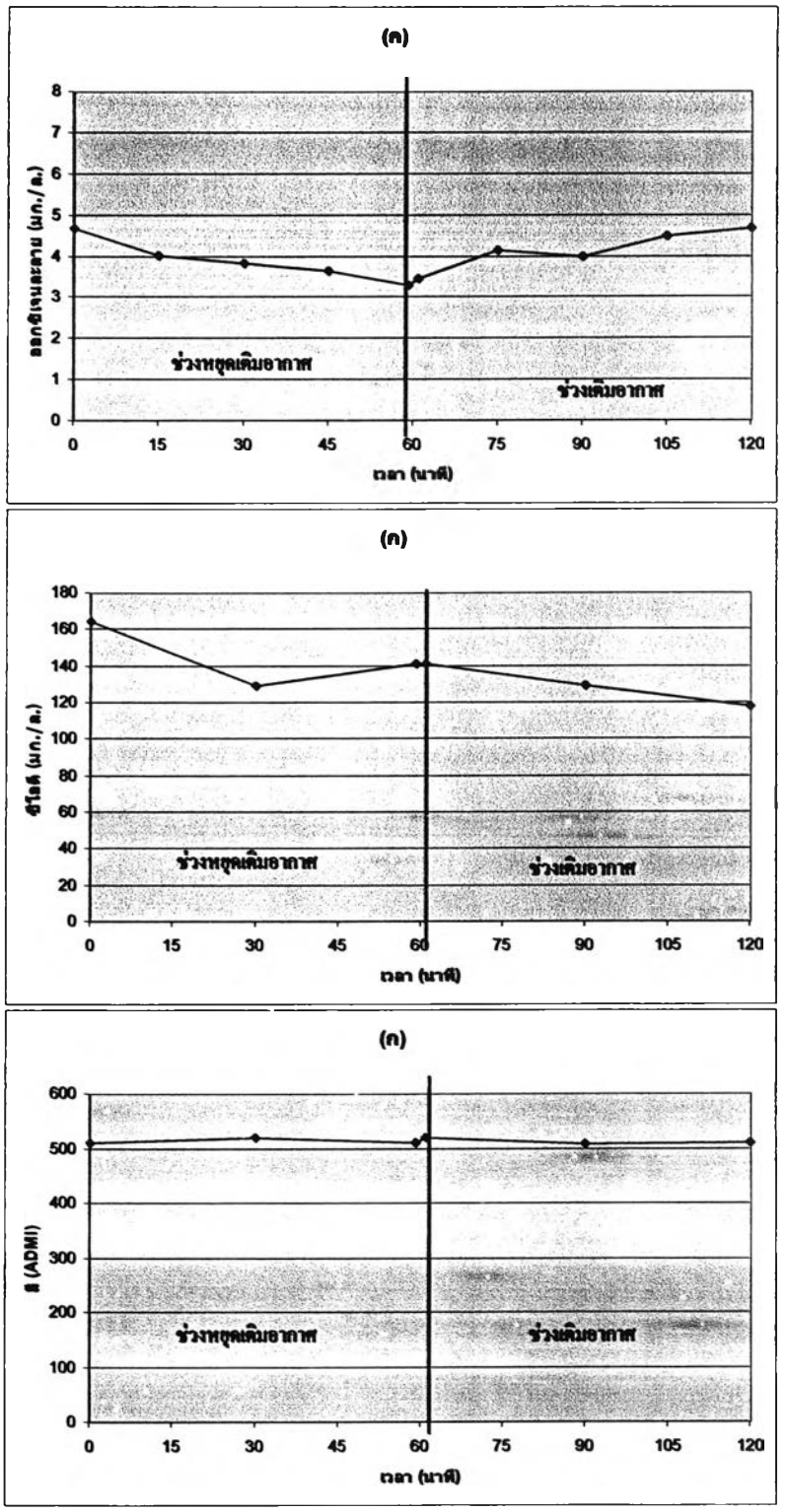


รูปที่ 4.37 ปริมาณ MLVSS และ FSS ของแต่ละอายุสลัดจ์

จากรูปที่ 4.37 จะเห็นว่าเมื่ออายุสลัดจ์เพิ่มขึ้น ค่าเอ็มแอลวีเอสเอสจะเพิ่มขึ้น โดยเป็นการเพิ่มขึ้นทั้งในส่วนของมวลชีวภาพ และของแข็งคงตัว แสดงให้เห็นว่า อายุสลัดจ์ที่เพิ่มขึ้นจะทำให้มวลชีวภาพ และของแข็งคงตัวในถังปฏิกรณ์มีปริมาณมากขึ้น

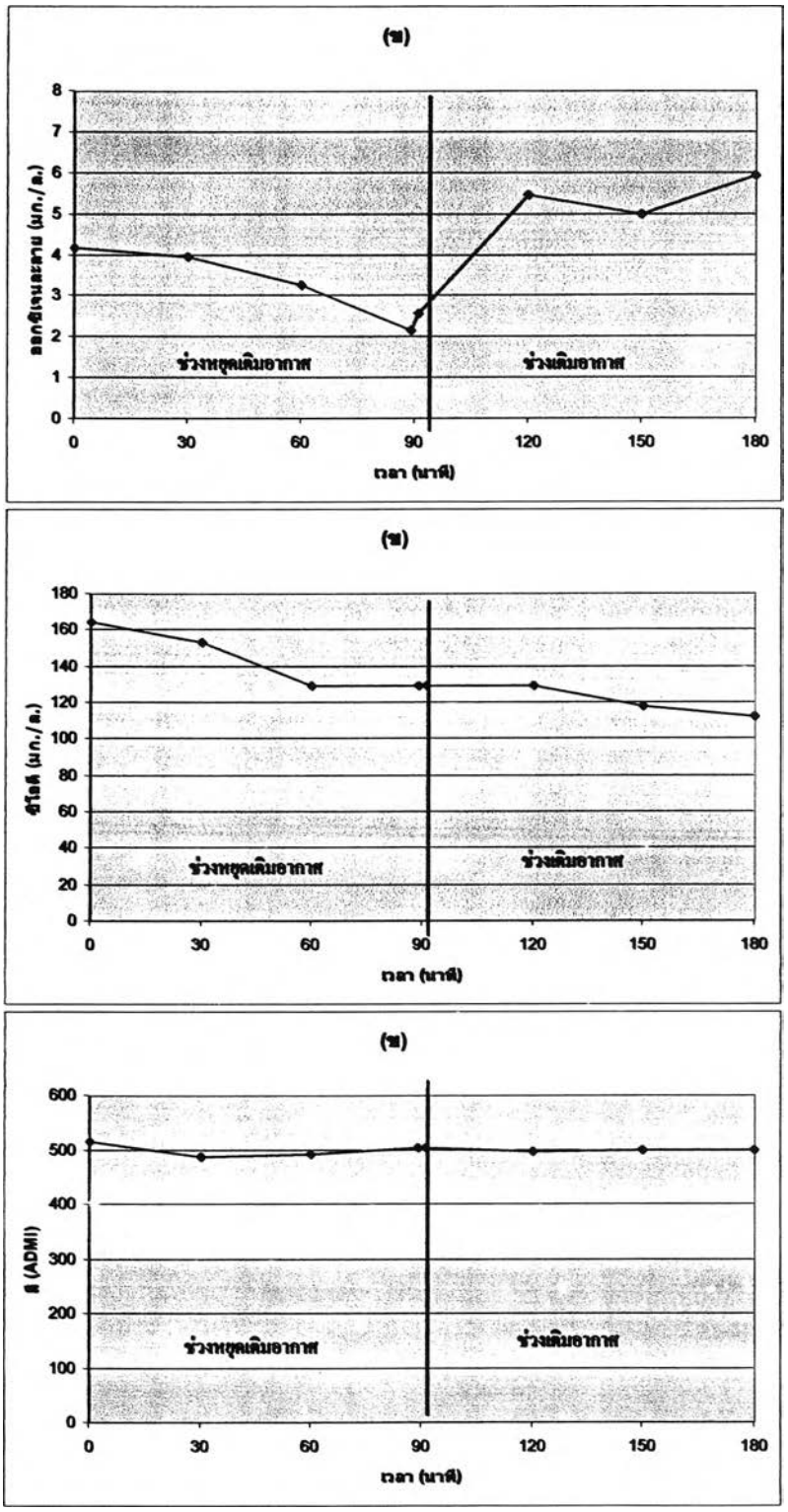
4.5.3 ผลของอายุสลัดจ์ต่อการกำจัด

จากการทดสอบค่าการย่อยสลายสารอินทรีย์และสี (ภาคผนวก ซ.) ซึ่งเปรียบเทียบผลการบำบัดซีโอดี และสีของระบบ ที่ควบคุมอายุสลัดจ์ที่ 25 และ 50 วัน ภายใต้รอบการเติมอากาศ 60 นาที และความเข้มข้นซีโอดีเข้าระบบเท่ากับ 500 มก./ล. ซึ่งสามารถแสดงความสัมพันธ์ของการกำจัดซีโอดี และสีได้ ตามรูปที่ 4.38



รูปที่ 4.38 ค่าออกซิเจนละลาย ซีโอดี และสีในแต่ละช่วงเวลาที่เติมอากาศ

(ก) อายุสลัดจ์ 25 วัน



รูปที่ 4.38 (ต่อ) ค่าออกซิเจนละลาย ซีโอดี และสีในแต่ละช่วงเวลาที่เติมอากาศ

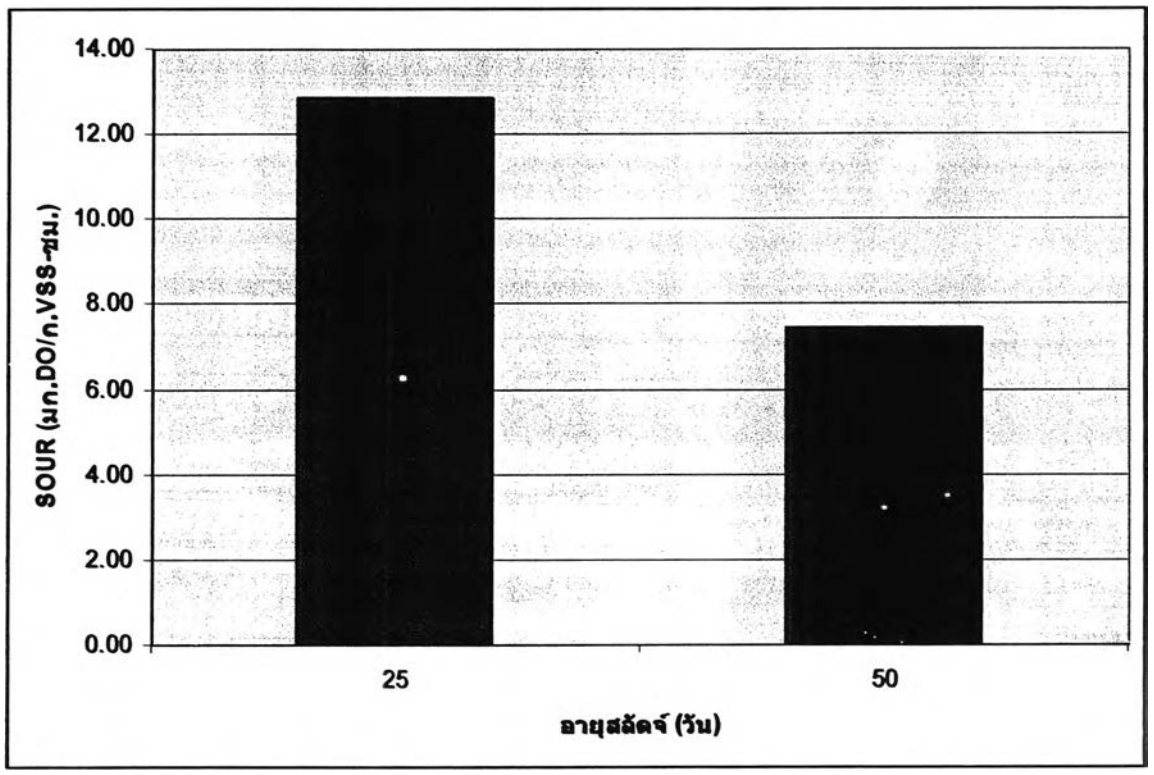
(ข) อายุสลัดจ์ 50 วัน

จากรูปที่ 4.38 ในระบบที่ควบคุมอายุสลัดจ์ 25 วัน จะเห็นว่าค่าการเติมอากาศในช่วงเติมอากาศ และไม่เติมอากาศ มีค่าไม่แตกต่างกันมาก ช่วงเติมอากาศจะมีค่าออกซิเจนละลายตอนเริ่มที่ 3.44 แล้วเพิ่มขึ้นไปที่ระดับ 4.66 โดยจะเห็นว่าช่วงเวลานาทีที่ 30 – 45 ระดับออกซิเจนละลายในระบบค่อนข้างคงที่ทั้งๆ ที่ มีการเติมอากาศอย่างสม่ำเสมอให้แก่ระบบ แสดงว่าในช่วงนั้นระบบได้ใช้ออกซิเจนในกิจกรรมต่างๆ ของจุลินทรีย์ เป็นจำนวนมาก ก่อนจะเพิ่มขึ้นอีก ในช่วงนาทีที่ 45 เป็นต้นไป และในช่วงการหยุดเติมอากาศ ค่าออกซิเจนละลายก็เริ่มลดลง ในอัตราที่สม่ำเสมอ จนถึงจุดต่ำสุดที่ก่อนจะเริ่มมีการเติมอากาศอีกครั้ง แสดงว่าจุลินทรีย์ในระบบนี้ต้องการออกซิเจนค่อนข้างสูง จึงทำให้ออกซิเจนที่หลงเหลือในระบบมีค่าน้อย และไม่ต่างจากช่วงหยุดเติมอากาศมากนัก

สำหรับระบบที่ควบคุมอายุสลัดจ์ 50 วัน ในช่วงเติมอากาศจะมีลักษณะเดียวกันกับระบบที่ควบคุมอายุสลัดจ์ 25 วัน แต่ระดับของออกซิเจนละลายสูงขึ้นเร็วกว่า ในช่วง 30 นาทีแรก และคงที่จนถึงจุดเริ่มหยุดการเติมอากาศ และลดต่ำลงด้วยอัตราการลดที่ลดลง มาอยู่ในระดับเดียวกันกับระบบที่ควบคุมอายุสลัดจ์ 25 วัน โดยในช่วงที่หยุดเติมอากาศนั้นค่าออกซิเจนลดลงด้วยอัตราสม่ำเสมอ มาอยู่ที่ประมาณ 3.5 มก./ล. และเมื่อเติมอากาศ ค่าออกซิเจนละลายค่อยๆ เพิ่มขึ้นในช่วง 15 นาทีแรก และเพิ่มอย่างคงที่ที่ อีก 45 นาที ต่อไป ก่อนจะเพิ่มขึ้นไปที่ระดับมากกว่า 6 มก./ลิตร แสดงให้เห็น ความต้องการในการใช้ออกซิเจนของจุลินทรีย์ในระบบนี้มีค่าน้อยกว่าระบบที่ควบคุมอายุสลัดจ์ 25 วัน ดังจะเห็นได้จากการทดลองในภาคผนวก ง ที่ทำการทดลองหาค่าอัตราการจับใช้ออกซิเจนจำเพาะ ซึ่งของอายุสลัดจ์ที่ 25 วัน มีค่า 12.87 มก.ออกซิเจนละลาย/ก.วีเอสเอส-ชม. ส่วนระบบที่ควบคุมอายุสลัดจ์ที่ 50 วัน มีค่า 7.46 มก.ออกซิเจนละลาย/ก.วีเอสเอส-ชม. เท่านั้น ซึ่งแสดงไว้ดังรูปที่ 4.39

เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4.38 ความเข้มข้นของซีโอดี ในระบบที่ควบคุมอายุสลัดจ์ 25 วัน ในช่วงการเติมอากาศ ซีโอดีจะลดต่ำลงประกอบกับช่วงที่มีระดับออกซิเจนละลายคงที่ แสดงให้เห็นการย่อยสลาย ภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจนของระบบ ซึ่งเป็นกลไกหลักในการย่อยสลายซีโอดีในระบบ และเมื่อพิจารณาที่สภาวะการหยุดเติมอากาศในตอนต้นซีโอดีจะเพิ่มขึ้นเนื่องจากการเติมน้ำเข้าระบบจากถังพักน้ำ แล้วซีโอดีจะลดลง ก่อนจะค่อยๆ เพิ่มมาคงที่เท่ากับระดับตอนต้น แสดงว่าในช่วงแรก การย่อยสลายซีโอดีอยู่ ก่อนจะลดประสิทธิภาพลงเมื่อระดับออกซิเจนละลายลดต่ำลง แต่เมื่อพิจารณาค่าซีโอดีเปรียบเทียบกับซีโอดีน้ำเข้า จะเห็นว่า ซีโอดีส่วนใหญ่ถูกย่อยสลายอย่างรวดเร็ว และย่อยสลายได้ในทุกสภาวะ แสดงว่าซีโอดีส่วนใหญ่ เป็นซีโอดีที่ย่อยสลายง่าย จุลินทรีย์

สามารถนำไปใช้ได้ทันที ที่เข้าสู่ระบบ แต่ระบบเติมอากาศเป็นช่วงๆ จะมีผลในการกำจัดในส่วนซีโอดีที่ย่อยสลายยาก



รูปที่ 4.39 ค่าการใช้ออกซิเจนจำเพาะของจุลินทรีย์

สำหรับระบบที่ควบคุมอายุสลัดจ์ 50 วัน ซีโอดีส่วนใหญ่ที่เข้าสู่ระบบจะถูกกำจัดทันที แสดงว่าส่วนใหญ่เป็นซีโอดีที่กำจัดง่าย และส่วนที่เหลือที่เป็นสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายยากจะถูกย่อยสลายในช่วงการเติมอากาศ ในช่วงการหยุดเติมอากาศซีโอดีจะสูงขึ้นเมื่อน้ำเสียเริ่มป้อนเข้าระบบ แต่จะมาอยู่ระดับค่อนข้างคงที่ในช่วงนาทีที่ 30 เป็นต้นไป แสดงให้เห็นปริมาณซีโอดีที่ย่อยยากที่มีในน้ำเข้า ซึ่งซีโอดีส่วนนี้จะถูกกำจัดเมื่อมีการเติมออกซิเจนต่อไป

และเมื่อพิจารณาที่ความเข้มสีของน้ำ ที่เป็นผลเนื่องจากอายุสลัดจ์ สีจะมีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงการหยุดเติมอากาศ เนื่องจากการเติมน้ำเสียเข้าสู่ระบบ ส่วนในช่วงการเติมอากาศความเข้มสีจะลดลง ซึ่งแสดงว่าสีส่วนหนึ่ง เป็นสารซีโอดีที่ย่อยสลายได้ยาก ซึ่งจะถูกย่อยสลายได้เฉพาะช่วงการเติมอากาศเท่านั้น และจากรูปที่ 4.38 จะเห็นได้ว่า ความเข้มสีในระบบที่ใช้อายุสลัดจ์ทั้ง 2 ค่า มีแนวโน้มไม่ต่างกัน

เมื่อเปรียบเทียบ ระบบที่ควบคุมอายุสลัดจ์ 25 วัน และ 50 วัน จะเห็นแนวโน้มที่เหมือนกัน คือ ค่าซีโอดีส่วนใหญ่จะถูกย่อยสลายทันทีที่เข้าสู่ถังปฏิกรณ์ ซึ่งแสดงได้ว่า น้ำเสียที่เข้าระบบส่วนใหญ่จะเป็นสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ง่าย จุลินทรีย์ในระบบสามารถนำไปใช้ได้อย่างรวดเร็ว และซีโอดีจะที่เหลือ จะสูงสุดที่หลังจากเริ่มเติมอากาศไปแล้ว 30 นาที จะลดลงอย่างมากในช่วงการเติมอากาศ แสดงให้เห็นว่า ซีโอดีส่วนที่เหลือ ระบบได้ดำเนินการย่อยในลำดับต่อมา ซึ่งต้องใช้เวลาในการย่อย

จากภาคผนวก ฉ ซึ่งเป็นการทดลองนำเชื้อที่อายุสลัดจ์ต่างกัน มาเลี้ยงแบบทีละเทโดยเติมน้ำเสียเพียงครั้งเดียว ค่าเอ็มแอลวีเอสเอสคงที่ประมาณ 500 มก./ล. แล้วทำการวัดค่าซีโอดี และสี จะได้กราฟดังรูปที่ 4.40 ซึ่งแสดงให้เห็นแนวโน้มของความสัมพันธ์ของทั้ง 3 พารามิเตอร์ ซึ่งจะเห็นได้ชัดว่า ค่าของสีของน้ำเสียที่ใช้ทดลองไม่ได้มีความสัมพันธ์กับค่าซีโอดี เนื่องจากในทั้ง 2 อายุสลัดจ์ ค่าซีโอดีลดลง แต่ค่าสียังคงที่

จากการคำนวณความสัมพันธ์ในช่วงเริ่มต้น ของทั้ง 2 ชุดการทดลอง ในการทดลองเปรียบเทียบผลของอายุสลัดจ์ ซึ่งมีแนวโน้มของปฏิกิริยาในการจับใช้ซีโอดีในถังปฏิกรณ์แบบลำดับที่ 1 ซึ่งปฏิกิริยาลำดับที่ 1 สามารถหาค่าคงที่การเกิดปฏิกิริยาได้ตามสมการที่ 4.8

$$r = \frac{dC}{dt} = -kC \qquad (4.8)$$

$$\int_{C_0}^{C} \frac{dC}{C} = \int_{0}^{t} -kdt \qquad (4.9)$$

$$\ell n(C/C_0) = -kt \qquad (4.10)$$

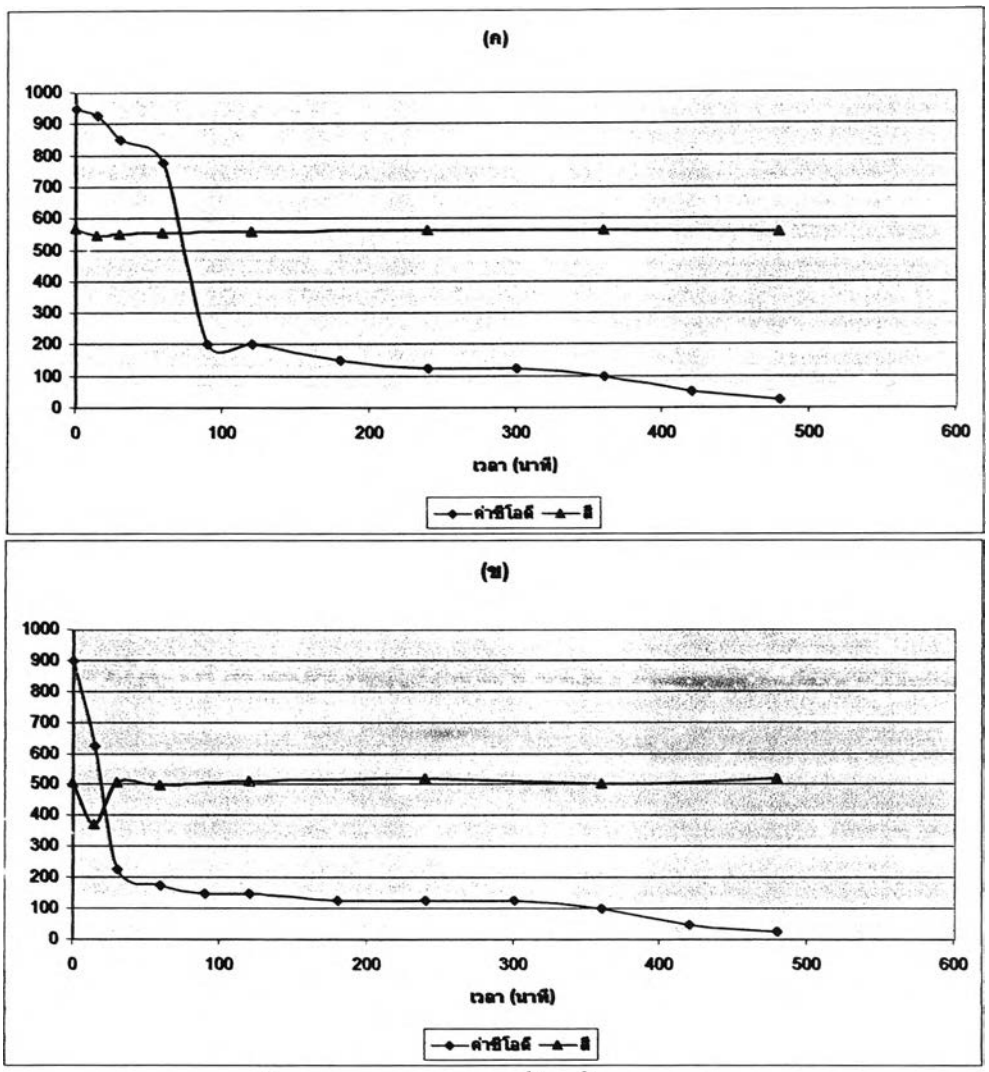
โดยที่ C = ความเข้มข้นซีโอดี ณเวลานั้น

C_0 = ความเข้มข้นซีโอดีเริ่มต้น

t = เวลา

k = ค่าคงที่ปฏิกิริยา

เมื่อนำสมการที่ 4.10 ไปสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง เวลากับค่า $\ln(C/C_0)$ จะสามารถหาค่าคงที่ของปฏิกิริยาได้ โดยได้ทำการคำนวณในภาคผนวก ฉ แล้วปรากฏว่า ค่าคงที่ปฏิกิริยาของระบบที่ควบคุมอายุสลัดจ์ 25 วัน มีค่า 0.0462 ต่อวัน และค่าคงที่ปฏิกิริยาของระบบที่ควบคุมอายุสลัดจ์ 50 วัน มีค่า 0.0035 ต่อวัน ซึ่งสามารถเปรียบได้ตามรูปที่ 4.41

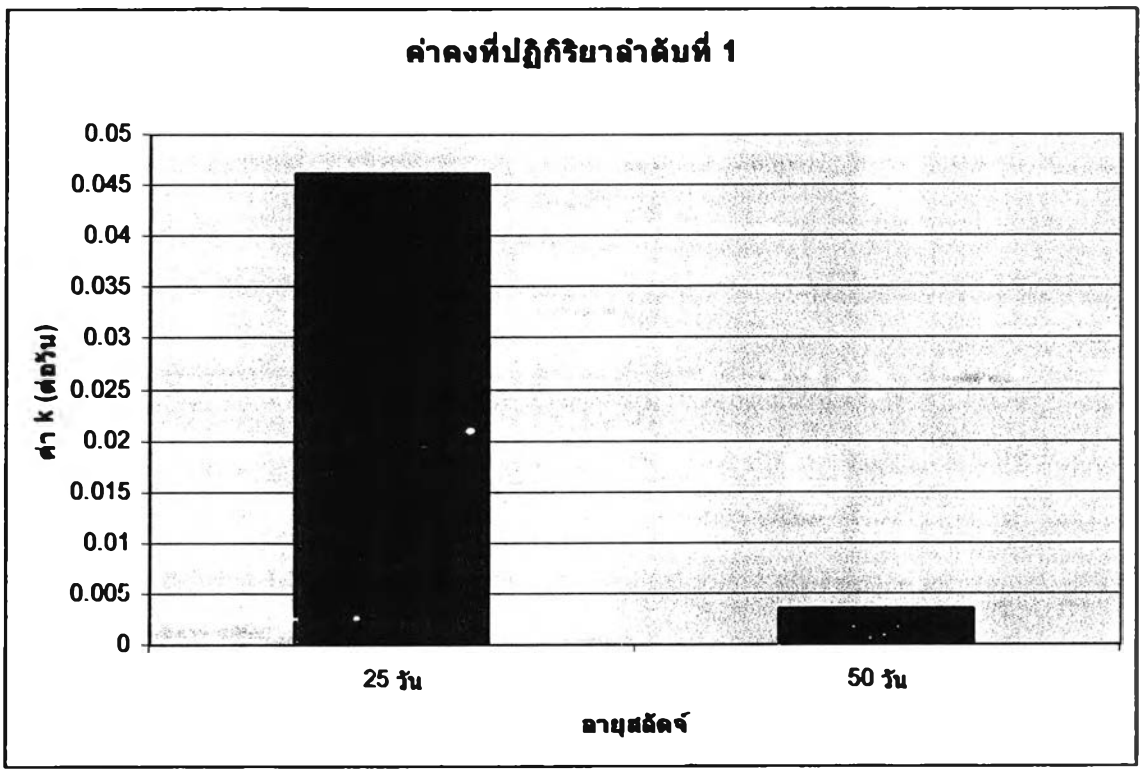


รูปที่ 4.40 ผลการทดลองเลี้ยงเชื้อในแบบทีละเท

(ก) อายุสลัดจ์ 50 วัน (ข) อายุสลัดจ์ 25 วัน

จะเห็นว่าในสัดส่วนปริมาณเชื้อที่เท่ากันอายุสลัดจ์ที่ 25 วัน จะมีอัตราในการสลายสารอินทรีย์ที่สูงกว่า อายุสลัดจ์ 50 วัน อย่างเห็นได้ชัด ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีของการใช้สารอาหาร

ของระบบชีวภาพแบบกวนสมบูรณ์ แต่ในความเป็นจริง อายุสลัดจ์ที่ 50 วัน จะมีปริมาณจุลินทรีย์มากกว่า ซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพระบบสูงขึ้น



รูปที่ 4.41 เปรียบเทียบค่าคงที่ปฏิกิริยาของการย่อยสลายซีโอดี

สรุปได้ว่าค่าสีของน้ำกากส่า มีความเป็นได้ที่จะเป็นสารย่อยยาก ซึ่งแบคทีเรียไม่สามารถใช้ได้ หรืออาจจะเป็นการกลายสภาพไปเป็นสารอนินทรีย์ ซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้ในหอกลั่นสุรา ซึ่งมีความร้อนสูง ซึ่งทำให้โมเลกุลของสารอินทรีย์ แตกตัวกลายเป็นสารอนินทรีย์ได้ ซึ่งจากภาคผนวก จ. จะเห็นได้ว่า ความเข้มข้นสีมีความสัมพันธ์กับค่าของแข็งละลายน้ำ และจากงานวิจัยของ Aoshima และคณะ, 1985 ชี้ให้เห็นว่าสีของน้ำกากส่าไม่สามารถกำจัดได้ด้วยกระบวนการบำบัดทางชีวภาพ

การเปรียบเทียบของอายุสลัดจ์ที่มีต่อการบำบัดนั้น ได้เปรียบเทียบชุดการทดลองที่ 5 ที่ควบคุมอายุสลัดจ์ 50 วัน และชุดการทดลองที่ 6 ที่ควบคุมอายุสลัดจ์ที่ 25 วัน โดยใช้รอบการเติมอากาศ 60 นาที หยุด 60 นาที โดยใช้รูปแบบการวิเคราะห์แบบ T-test ซึ่งผลทดสอบจะเห็นได้ว่า มีความแตกต่างกันในส่วนของประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเท่านั้น

ตารางที่ 4.31 การทดสอบทางสถิติเกี่ยวกับค่าพารามิเตอร์เปรียบเทียบ ระหว่างค่าอายุสลัดจ์ 50 วันและค่าอายุสลัดจ์ 25 วัน ด้วย T-test

พารามิเตอร์	ชุดการทดลองที่	df	a	Critical Value	ts	L1	L2	C
COD								
%การกำจัดโดยถังปฏิกรณ์	5 และ 6	18	0.05	1.734	22.045	16.584	19.416	D
%การกำจัดหลังผ่านแมมเบรน	5 และ 6	18	0.05	1.734	0.000	3.333	3.333	D
TKN								
%การกำจัด	5 และ 6	10	0.05	1.812	0.345	-3.725	5.481	S
TP								
%การกำจัด	5 และ 6	10	0.05	1.812	0.203	-2.136	2.675	S
สี								
%การกำจัดโดยระบบเอเอส	5 และ 6	18	0.05	1.734	-0.059	-7.283	6.806	S
%การกำจัดหลังผ่านแมมเบรน	5 และ 6	18	0.05	1.734	-0.450	-4.924	2.894	S

จากการคำนวณ T-test ตามตารางที่ 4.9 จะพบว่า อายุสลัดจ์ที่ 25 และ 50 วัน มีประสิทธิภาพในการกำจัดทีเคเอ็น ฟอสฟอรัส และสี ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่มีความแตกต่างในประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี ซึ่งจะทำการวิเคราะห์พารามิเตอร์แต่ละตัวในหัวข้อต่อๆ ไป

4.5.4 ผลของรอบอายุสลัดจ์ต่อการกำจัดของแข็งแขวนลอย

น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองนี้ นำมาจากน้ำกากสาที่ออกมาจากหอกลั่น ซึ่งสารตั้งต้นเป็นน้ำสาที่ได้มาจากน้ำทิ้งจากการตกสลัดจ์น้ำตาลครั้งสุดท้ายแล้ว และในกระบวนการมีการเติมยีสต์เพื่อหมักน้ำตาลให้กลายเป็นแอลกอฮอล์ แล้วจึงนำไปกลั่นที่อุณหภูมิสูง สารแขวนลอยที่เหลือตกค้าง ส่วนใหญ่จะเป็นซากเซลล์ของยีสต์ และจุลินทรีย์ที่ใช้หมัก กากน้ำตาลที่ไหม้และรวมตัวกันเป็นสารโมเลกุลใหญ่แต่ก็มีปริมาณที่น้อย โดยทั่วไปน้ำกากสาจะมีของแข็งแขวนลอยอยู่ในปริมาณเล็กน้อยอยู่แล้ว สารแขวนลอยที่มีจะเป็นฝุ่นผง เศษดิน ที่เจือปนอยู่ในบ่อพัก

จากการวิเคราะห์ค่าของแข็งแขวนลอย พบว่าของแข็งแขวนลอยที่พบมีสีน้ำตาล ความเข้มข้นแสดงในตารางที่ 4.32

ตารางที่ 4.32 ของแข็งแขวนลอย ของชุดการทดลองที่ 5 และ 6

ชุดการทดลอง		น้ำเข้า มก./ล.	น้ำออก มก./ล.
5	เฉลี่ย	32	0
	ตัวอย่าง	17	17
	ค่าเบี่ยงเบน	10.07	0
6	เฉลี่ย	32	0
	ตัวอย่าง	17	17
	ค่าเบี่ยงเบน	10.07	0

จากตารางที่ 4.32 พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดสารแขวนลอยของทุกการทดลอง เท่ากับ 100 % ทั้งนี้เนื่องจากขนาดรูพรุนของเมมเบรนเท่ากับ 0.1 ไมครอน ซึ่งเล็กกว่ากระดาษกรองที่ใช้ในการวิเคราะห์ค่าของแข็งแขวนลอยที่ใช้ขนาด 0.45 ไมครอน ดังนั้นอนุภาคที่ผ่านเมมเบรนออกมากับน้ำทิ้งได้จึงสามารถผ่านกระดาษกรองที่ใช้ในการวิเคราะห์ได้ แสดงว่าค่าอายุสลัดจ์ที่เปลี่ยนแปลง ไม่มีผลต่อการกำจัดของแข็งแขวนลอย

4.5.5 ผลของอายุสลัดจ์ต่อการกำจัดซีโอดี

ค่าซีโอดีของน้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ระบบมาจาก น้ำกากส่าที่ออกจากหอกลั่นของโรงงานสุราแสงโสม จ.นครปฐม ซึ่งมีสารตั้งต้นคือน้ำตาล และผลิตภัณฑ์เป็นแอลกอฮอล์ โดยมีสารเจือปนที่ทำให้เกิดสี เช่น คาราเมล เมลานอยดิน เป็นต้น ซึ่งส่วนใหญ่เป็นซีโอดีที่ย่อยสลายทางชีวภาพได้ไม่ยากนัก ดังนั้นจุลินทรีย์ในระบบจึงสามารถนำไปใช้ได้ ยกเว้นในบางส่วนที่เป็นสารอินทรีย์ที่เกิดการเปลี่ยนแปลงในกระบวนการกลั่น เช่น เมลานอยดิน เป็นสารที่แบคทีเรียย่อยสลายได้ยาก

ค่าซีโอดีเฉลี่ยที่ป้อนเข้าระบบ ในชุดการทดลองที่ 5 -6 มีค่าประมาณ 750 มิลลิกรัม/ลิตร ในอัตราการป้อนที่ 100 ลิตร/วัน เท่ากันทุกชุดการทดลอง ซึ่งสามารถคิดเป็นอัตราภาระสารอินทรีย์ (Organic Loading Rate, OLR) เท่ากับ 0.375 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ตามลำดับ

ตารางที่ 4.33 ค่าซีโอดีในจากจุดเก็บตัวอย่างต่างๆ ที่สภาวะคงตัวของทุกการทดลอง

ชุดการทดลอง		ซีโอดี (มก./ล.)			%การกำจัด	
		น้ำเข้า	ถังปฏิกรณ์	น้ำออก	โดย ถังปฏิกรณ์	โดยเมมเบรน
5	เฉลี่ย	750	212.5	25	71.67	96.67
	ตัวอย่าง	10	10	10	10	10
	ค่าเบี่ยงเบน	0	13.18	0	1.76	0
6	เฉลี่ย	750	209	25	53.03	93.33
	ตัวอย่าง	11	11	11	11	11
	ค่าเบี่ยงเบน	0	12.61	0	2.77	0

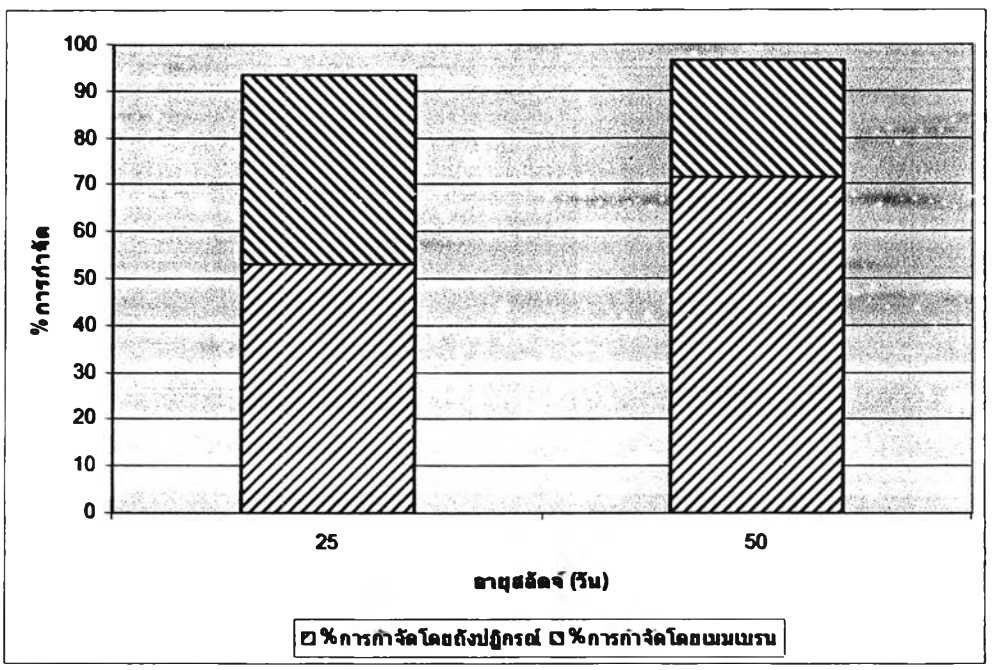
จากตารางที่ 4.33 เมื่อพิจารณาที่ในชุดการทดลองที่ 5 จะมีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีอยู่ที่ 71.67 % โดยถังปฏิกรณ์ ซึ่งค่าซีโอดีที่สภาวะคงตัวมีค่าอยู่ในช่วง 100 - 275 มก./ล. ซึ่งยังมีช่วงที่เกินมาตรฐานน้ำทิ้งของกรมโรงงานอุตสาหกรรม และเมื่อผ่านเมมเบรน ซีโอดีที่ออกมาจะอยู่ในช่วง 25 - 75 มก./ล. ซึ่งผ่านเกณฑ์น้ำทิ้งของกรมโรงงานอุตสาหกรรม และมีประสิทธิภาพการกำจัดอยู่ 96.67 %

ในชุดการทดลองที่ 6 จะมีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีอยู่ที่ 53.03 % โดยถังปฏิกรณ์ ซึ่งค่าซีโอดีที่สภาวะคงตัวมีค่าอยู่ในช่วง 325 - 400 มก./ล. ซึ่งยังมีช่วงที่เกินมาตรฐานน้ำทิ้งของกรมโรงงานอุตสาหกรรม และเมื่อผ่านเมมเบรน ซีโอดีที่ออกมาจะอยู่ในช่วง 50 มก./ล. ซึ่งผ่านเกณฑ์น้ำทิ้งของกรมโรงงานอุตสาหกรรม และมีประสิทธิภาพการกำจัดอยู่ 93.33 %

เมื่อนำประสิทธิภาพและผลการทดลองทั้ง 2 ชุดการทดลองมาเปรียบเทียบกัน จะเห็นว่าระบบที่ควบคุมอายุสลัดจ์ที่ 50 วัน มีประสิทธิภาพที่ดีกว่า อย่างเห็นได้ชัด ระบบที่ควบคุมด้วยอายุสลัดจ์ 25 วัน มีแนวโน้มจะมีผลกระทบจากค่าภาระสารอินทรีย์มากกว่า แสดงว่าอายุสลัดจ์ที่มากขึ้นทำให้ความทนทานของเชื้อมีมากขึ้น ซึ่งเป็นผลดีต่อระบบ

ค่าซีโอดีที่ลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อเข้าสู่ระบบนั้น เนื่องจากกลไกการเก็บสะสมของจุลินทรีย์ในระบบ ทั้งนี้เพราะระบบดำเนินการในสภาวะไม่สมดุล มีการเติมอากาศเป็นช่วงๆ ทำให้จุลินทรีย์ดึงซีโอดีไปเก็บสะสมไว้ในเซลล์ คงเหลือแต่สารอินทรีย์ที่จุลินทรีย์ในระบบไม่สามารถย่อยได้

จากการดุลมวลซีโอดีของระบบ พบว่าค่าซีโอดีที่หายไปในชุดการทดลอง 5 และ 6 เท่ากับ 89.22 และ 82.14% ตามลำดับ (การคำนวณอยู่ในภาคผนวก ค) ซีโอดีที่หายไปในระบบ แบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ สารอินทรีย์ที่จุลินทรีย์ในระบบใช้งานไม่ได้ และไม่สามารถผ่านเมมเบรนออกจากระบบได้ ซึ่งจะถูกส่งออกนอกระบบได้จากการทิ้งสลัดจ์ อีกส่วนหนึ่งก็คือ ซีโอดีที่ที่ใช้ในการเปลี่ยนรูปของสารอินทรีย์ไปเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ทางชีวภาพ โดยสารอินทรีย์จะถูกเปลี่ยนเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และเซลล์จุลินทรีย์ โดยเฉพาะระบบเอ็มบีอาร์ซึ่งมีการทิ้งสลัดจ์ส่วนเกินออกจากระบบน้อยกว่าระบบบำบัดแบบสามัญทำให้สารอินทรีย์ที่ถูกใช้ในการสังเคราะห์เซลล์มีค่าต่ำกว่า ดังนั้นซีโอดีที่หายไปส่วนใหญ่จึงเกิดจากการเปลี่ยนรูปสารอินทรีย์ไปเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีไม่ถูกกำจัดเนื่องจากอัตราการทิ้งสลัดจ์ที่ลดลง เช่นเดียว กับ Wangner และ Rosenwinkel (2000) แต่เนื่องจากปริมาณจุลินทรีย์ที่มากกว่าในชุดการทดลองที่ 5 ซึ่งควบคุมอายุสลัดจ์ 50 วัน ทำให้การใช้ซีโอดี และการย่อยสลายซีโอดี มีค่ามากกว่าชุดการทดลองที่ 6 ที่มีอายุสลัดจ์ 25 วัน



รูปที่ 4.42 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีในส่วนต่างๆ เนื่องจากอายุสลัดจ์

เมื่อพิจารณารูปที่ 4.42 การกำจัดซีโอดีด้วยระบบเมมเบรน จะเห็นว่าประสิทธิภาพการกำจัดใกล้เคียงกัน แสดงว่าสารบางส่วนที่แบคทีเรียกำจัดไม่ได้ สามารถถูกกรองได้ด้วยกระบวนการเมมเบรน และจะถูกกำจัดออกจากระบบในทางสลัดจ์ที่ทิ้งไปในแต่ละวัน ส่วนการกำจัดซีโอดีของระบบเอ

เอส จะขึ้นอยู่กับปริมาณและคุณภาพของจุลินทรีย์ในระบบ ซึ่งจากผลการทดลองนี้ แสดงให้เห็นว่าระบบนี้มีความยืดหยุ่นในการรับภาระวิกฤติ ในกรณีที่ระบบเอเอสมีปัญหา ระบบเมมเบรนจะทำหน้าที่รักษาคุณภาพของน้ำออก แต่ถ้าประสิทธิภาพของระบบเอเอสน้อย ภาระจะเป็นของระบบเมมเบรน ซึ่งจะเป็นการลดอายุใช้งานของเมมเบรน

จากตารางที่ 4.31 พบว่าอายุสลัดจ์มีผลต่อประสิทธิภาพอย่างมีนัยสำคัญต่อการกำจัดซีโอดี ทั้งในส่วนของระบบเอเอส และการกรองด้วยเมมเบรนทั้งนี้แสดงว่าช่วงอายุสลัดจ์ที่ต่างกัน มีผลต่อคุณภาพ และปริมาณความเข้มข้นของเชื้อในสลัดจ์ ซึ่งสามารถแสดงได้ตามสมการ

$$\eta = \frac{S_0 - S}{S_0} \tag{4.2}$$

$$\eta = \frac{X\tau}{YS_0}\left(1/\theta_c + k_d\right) \tag{4.6}$$

เมื่อแทนค่า η จากสมการที่ 4.2 ในสมการที่ 4.6 จะได้

$$\frac{S_0 - S}{S_0 X} = \frac{\tau\left(1/\theta_c + k_d\right)}{YS_0} \tag{4.7}$$

$$\frac{S_0 - S}{X\tau} = \frac{\left(1/\theta_c + k_d\right)}{Y} \tag{4.8}$$

จากสมการที่ 4.8 พบว่าอัตราการการจับใช้สารอาหารจำเพาะมีค่าคงที่ ประมาณ 0.221 และ 0.116 ที่อายุสลัดจ์ 25 และ 50 วันตามลำดับ แล้วเมื่อคูณกลับด้วยค่าความเข้มข้นจุลินทรีย์ที่ได้จากการทดลอง ซึ่งเท่ากับ 1427 และ 1849 มก./ล. ตามลำดับ จะได้อัตราการจับใช้สารอาหารมีค่าใกล้เคียงผลที่ได้จากการทดลอง

จากสมการที่ 4.8 ยังพบอีกว่า ค่าอายุสลัดจ์ที่เพิ่มสูงขึ้นนั้น ทำให้อัตราการจับใช้สารอาหารจำเพาะลดลง และมีแนวโน้มเข้าใกล้ค่า 0.1 แต่เนื่องด้วยความเข้มข้นจุลินทรีย์สูง ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการกำจัดซีโอดี และเมื่อเปรียบเทียบการกำจัดซีโอดีของทั้ง 2 ชุดการทดลอง จะเห็นได้ว่า ร้อยละการกำจัดด้วยถังปฏิกรณ์ หรือด้วยจุลินทรีย์ มีค่ามากกว่าในระดับที่มีนัยสำคัญ ซึ่งสอดคล้องกับความสัมพันธ์ในรูปที่ 4.37

และเมื่อพิจารณาส่วนของเมมเบรน ซึ่งจะรับภาระในการกำจัดซีโอดี ที่เหลือจากการย่อยสลายของจุลินทรีย์ จะเห็นว่า เมื่อพิจารณาเฉพาะ น้ำออกจากระบบเอเอส หรือค่าซีโอดีที่ผ่านการกรองแล้ว ให้เป็นน้ำเข้าระบบเมมเบรน พบว่า ประสิทธิภาพเฉพาะระบบเมมเบรนเท่ากับ 88.19 และ85.59 % ของอายุสลัดจ์ 50 วัน และ 25 วัน ตามลำดับ จะเห็นว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกัน แสดงให้เห็นว่า นอกจากจุลินทรีย์จะย่อยสลายสารอินทรีย์แล้ว ยังสามารถรวบรวมอนุภาคของสสารภายในน้ำเสียให้มีขนาดใหญ่ขึ้น จนทำให้เห็นความแตกต่างของน้ำหลังการกรองของเมมเบรน ซึ่งสรุปได้ว่า อายุสลัดจ์ให้ผลในการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มากขึ้น และทำให้อนุภาคในน้ำมีขนาดใหญ่ขึ้นเพิ่มประสิทธิภาพของการกรองด้วยเมมเบรน

4.5.6 ผลของอายุสลัดจ์ต่อการกำจัดไนโตรเจน

ไนโตรเจนในระบบ มาจากน้ำกากส่าที่นำมาเจือจางด้วยน้ำประปา ค่าเฉลี่ยที่เข้าสู่ระบบในแต่ละชุดการทดลองเท่ากับ 8.24 มิลลิกรัม/ลิตร ทั้ง 2 ชุดการทดลอง มีอัตราส่วนซีโอดีต่อทีเคเอ็นในแต่ละชุดการทดลอง เท่ากับ 91.0 ทั้ง 2 ชุดการทดลอง

ตารางที่ 4.34 ค่าทีเคเอ็นของแต่ละจุดในระบบของทุกชุดการทดลองที่ 5 และ 6

ชุดการทดลอง		ทีเคเอ็น (มก./ล.)			%การกำจัด	ไนเตรต (มก./ล.)		
		น้ำเข้า	ถังปฏิกรณ์	น้ำออก		น้ำเข้า	ถังปฏิกรณ์	น้ำออก
5	เฉลี่ย	8.24	9.19	1.00	87.77	0.40	0.92	0.32
	ตัวอย่าง	6	6	6	6	4	4	4
	ค่าเบี่ยงเบน	0.27	0.4	0.43	5.63	0.06	0.15	0.04
6	เฉลี่ย	8.24	9.03	1.08	86.89	0.40	0.45	0.34
	ตัวอย่าง	6	6	6	6	4	4	4
	ค่าเบี่ยงเบน	0.27	0.22	0.19	2.65	0.06	0.08	0.06

ทีเคเอ็นของถังปฏิกรณ์เป็นทีเคเอ็นที่ไม่ได้ผ่านการกรอง เป็นผลรวมของค่าทีเคเอ็นทั้งหมดที่คงอยู่ในระบบ ทั้งในรูปสารประกอบ และเซลล์จุลินทรีย์ จึงทำให้ค่าสูงกว่าน้ำเข้า และมีแนวโน้มสูงขึ้นในทุกชุดการทดลอง เนื่องจากไม่ได้ทำการถ่ายสลัดจ์ที่เหลือจากชุดการทดลองก่อนหน้าทิ้งก่อนเติมเชื้อใหม่ในแต่ละชุดการทดลอง จึงมีการสะสมของไนโตรเจนเพิ่มขึ้น ซึ่งทีเคเอ็นในเซลล์ของแต่ละชุดการทดลองเท่ากับ 0.0044 และ 0.0056 กรัม-ทีเคเอ็น/กรัม-เอ็มแอลวีเอสเอส ตามลำดับ

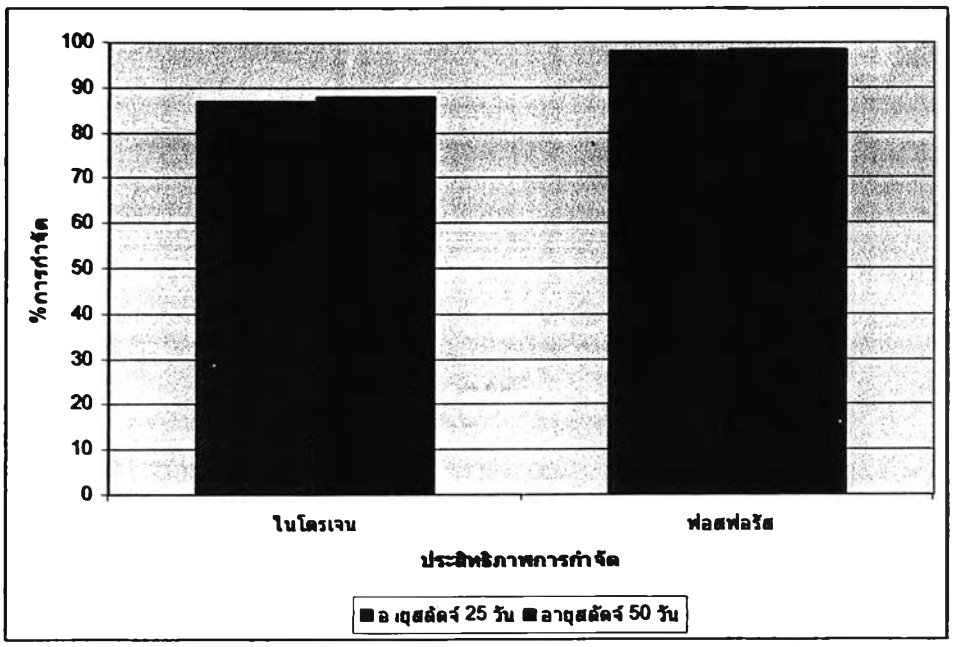
ทีเคเอ็นในน้ำออก ที่ผ่านการกรองเมมเบรนแล้ว จะมีคุณสมบัติเทียบเท่ากับทีเคเอ็นละลายในน้ำ เนื่องมาจากน้ำหนักโมเลกุลของทีเคเอ็นในน้ำ จะมีน้ำหนักโมเลกุลน้อยกว่า 100,000 ดาลตัน ซึ่งสามารถผ่านรูพรุนของไมโครฟิลเตรชันเมมเบรนได้ (รัตนา, 2543)

จากตารางที่ 4.34 และรูปที่ 4.43 ชุดการทดลองที่ 5 ค่าทีเคเอ็นที่ออกจากระบบที่สภาวะคงตัวมีค่า 0.63 – 1.86 มก./ล. สามารถกำจัดทีเคเอ็นได้ 87.77 % ชุดการทดลองที่ 6 ค่าทีเคเอ็นที่ออกจากระบบที่สภาวะคงตัวมีค่า 0.98 – 1.45 มก./ล. สามารถกำจัดทีเคเอ็นได้ 86.89 % ซึ่งค่าทีเคเอ็นของน้ำออก ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานของกรมโรงงานอุตสาหกรรมทั้งหมด สามารถปล่อยน้ำทิ้งสู่ทางน้ำสาธารณะได้

เมื่อพิจารณาค่าไนเตรตในระบบ จะเห็นว่า ในถังปฏิกรณ์มีค่าเพิ่มขึ้นเนื่องจากเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชั่น เปลี่ยนไนโตรเจนอินทรีย์ ไปเป็นไนเตรต แต่อยู่ระดับที่ต่ำกว่าทีเคเอ็นค่อนข้างมาก แสดงว่าระบบไม่ได้ก่อให้เกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชั่นมากเท่าไหร่นัก การลดไนโตรเจนส่วนใหญ่จึงมาจากการสะสมไนโตรเจนอินทรีย์เพื่อไปเป็นธาตุอาหารในเซลล์

จากตารางที่ 4.34 พบว่าอายุสลัดจ์ไม่มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดทีเคเอ็นอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้เนื่องจากการทดลองอยู่ภายใต้รอบการเติมอากาศแบบ 60 นาที หยุด 60 นาที ซึ่งแสดงให้เห็นในผลของรอบการเติมอากาศต่อการกำจัดไนโตรเจนแล้วว่า แทบจะไม่เกิดกลไกการกำจัดขึ้น ดังนั้น ในการทดลองเรื่องอายุสลัดจ์ อายุสลัดจ์ที่ 25 วัน ยังเพียงพอต่อการกำจัดไนโตรเจน

แต่จากการศึกษางานวิจัยก่อนหน้านี้พบว่า ที่ค่าอายุสลัดจ์มีผลต่อการกำจัดไนโตรเจนในระบบ เนื่องจากการควบคุมอายุสลัดจ์ให้สูงขึ้น ซึ่งจะทำให้มีการทิ้งเซลล์ที่น้อยลง ทำให้ปริมาณไนโตรเจนที่นำไปใช้ในการสร้างเซลล์ใหม่ลดลง ซึ่งจะทำให้ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดลดลงน้อยกว่าค่าอายุสลัดจ์ที่ต่ำกว่า



รูปที่ 4.43 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัส เนื่องจากค่าอายุสลัดจ์

4.5.7 ผลของอายุสลัดจ์ต่อการกำจัดฟอสฟอรัส

ฟอสฟอรัสในระบบได้มาจากการผสมน้ำกากส่ากับน้ำประปาเช่นเดียวกับไนโตรเจน มีค่าเฉลี่ย ที่เข้าสู่ระบบในแต่ละชุดการทดลองเท่ากับ 5.56 มิลลิกรัม/ลิตร ทั้ง 2 ชุดการทดลอง

จากตารางที่ 4.35 และรูปที่ 4.39 ชี้ให้เห็นว่า ชุดการทดลองที่ 5 มีค่าฟอสฟอรัส อยู่ระหว่าง 0.01 – 0.42 มก./ล. มีประสิทธิภาพในการบำบัด 98.32% ชุดการทดลองที่ 6 มีค่าฟอสฟอรัส อยู่ระหว่าง 0.05 – 0.40 มก./ล. มีประสิทธิภาพในการบำบัด 98.05%

ตารางที่ 4.35 ค่าฟอสฟอรัสทั้งหมดของแต่ละจุดในระบบของชุดการทดลองที่ 5 และ 6

ชุดการทดลอง		ฟอสฟอรัสทั้งหมด (มก./ล.)			%การกำจัด
		น้ำเข้า	ถังปฏิกรณ์	น้ำออก	
5	เฉลี่ย	5.56	5.74	0.09	98.32
	ตัวอย่าง	6	6	6	6
	ค่าเบี่ยงเบน	0	0.04	0.13	2.37
6	เฉลี่ย	5.56	5.71	0.11	98.05
	ตัวอย่าง	6	6	6	6
	ค่าเบี่ยงเบน	0	0.03	0.12	2.23

จากตารางที่ 4.31 พบว่า อายุสลัดจ์ที่ใช้ในการทดลองไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้เนื่องจากอายุสลัดจ์ที่มากขึ้นทำให้ค่าฟอสฟอรัสในเซลล์ของจุลินทรีย์มีค่ามากขึ้น จึงทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดยังคงสูงอยู่ แม้มีอัตราการทิ้งสลัดจ์ส่วนเกินที่น้อยลง ซึ่งการทิ้งสลัดจ์ส่วนเกินเป็นวิธีการเดียวที่จะระบายฟอสฟอรัสออกจากระบบในการกำจัดฟอสฟอรัสทางชีวภาพสอดคล้องกับการทดลองของ Wentzel และคณะ, 1988 อ้างโดย ณัฐพันธ์ กลิ่นเกสร, 2002 ซึ่งพบว่า อัตราส่วนฟอสฟอรัสในเซลล์จุลินทรีย์มีค่าสูงขึ้น เมื่อมีอายุสลัดจ์เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากอัตราการสลายตัวของพีเอโอมีค่าต่ำ กว่าแบคทีเรียเฮทเทอโรโทรฟในระบบ เมื่อมีอายุสลัดจ์ให้สูงขึ้นจะทำให้สัดส่วนของพีเอโอในระบบสูงขึ้น

จากรูปที่ 4.43 จะเห็นว่าระบบมีความสามารถในการกำจัดฟอสฟอรัสใกล้เคียงกัน ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีที่กล่าวไปข้างต้น ซึ่งแสดงว่า อายุสลัดจ์ที่ 25 วัน เพียงพอในการกำจัดฟอสฟอรัสในการทดลองนี้

4.5.8 ผลของอายุสลัดจ์ต่อการกำจัดสี

สีของน้ำเสียนี้ มาจากน้ำกากส่าที่ใช้ในการผสม มีสีน้ำตาลเข้ม เมื่อผสมแล้วจะมีสีเหลือง ระบบมีประสิทธิภาพในการบำบัดสี ในแต่ละชุดการทดลอง ดังนี้ 29.11% และ33.5 %

ตารางที่ 4.36 ค่าสีของแต่ละจุดในระบบของทุกชุดการทดลอง

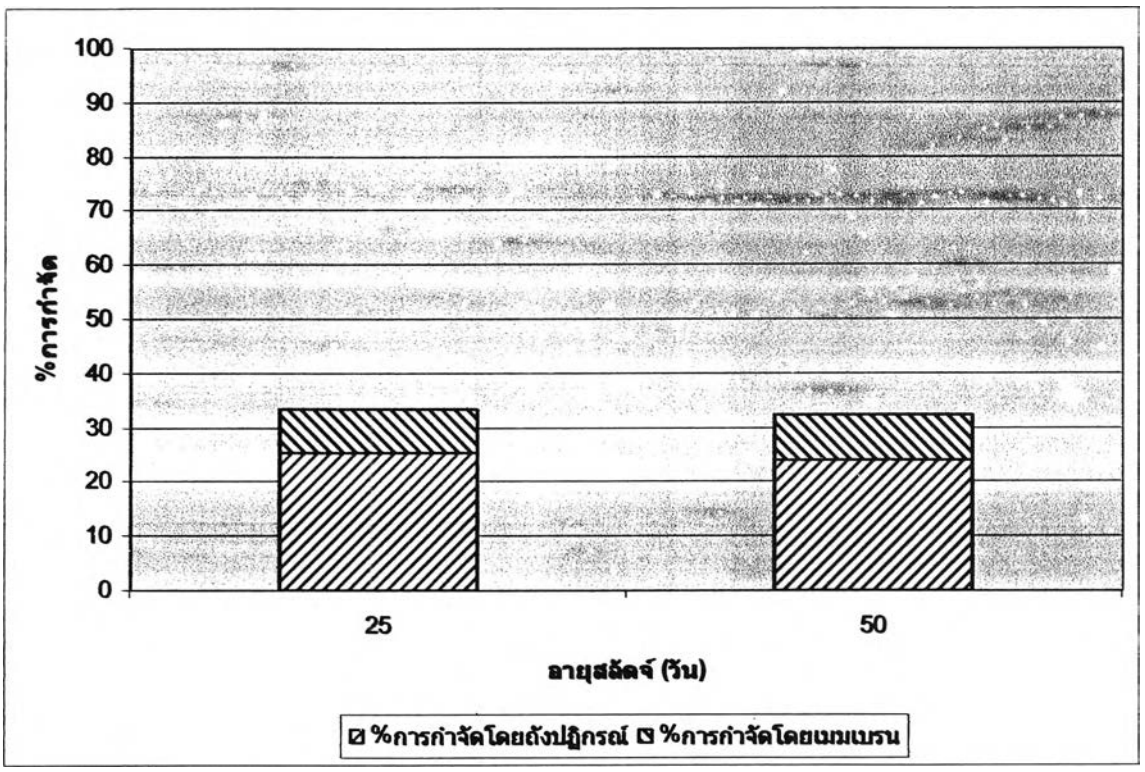
ชุดการทดลอง		สี (ADMI)			%การกำจัด	
		น้ำเข้า	ถังปฏิกรณ์	น้ำออก	โดย ถังปฏิกรณ์	โดยเมมเบรน
5	เฉลี่ย	605.2	459.4	409.8	24.05	32.39
	ตัวอย่าง	10	10	10	10	10
	ค่าเบี่ยงเบน	18.83	36.13	26.02	6.05	3.71
6	เฉลี่ย	605.45	452.55	402.64	25.19	33.5
	ตัวอย่าง	11	11	11	11	11
	ค่าเบี่ยงเบน	17.88	66.35	36.83	11.16	5.78

จากตารางที่ 4.36 และ รูปที่ 4.44 พบว่า ชุดการทดลองที่ 5 มีประสิทธิภาพการบำบัดด้วยถังปฏิกรณ์ 24.05 % และโดยรวม 32.39 % ค่าสีเฉลี่ยในถังปฏิกรณ์ และในน้ำออกมีค่า 459.40 และ 409.80 ADMI ชุดการทดลองที่ 6 มีประสิทธิภาพการบำบัดด้วยถังปฏิกรณ์ 25.19 % และ

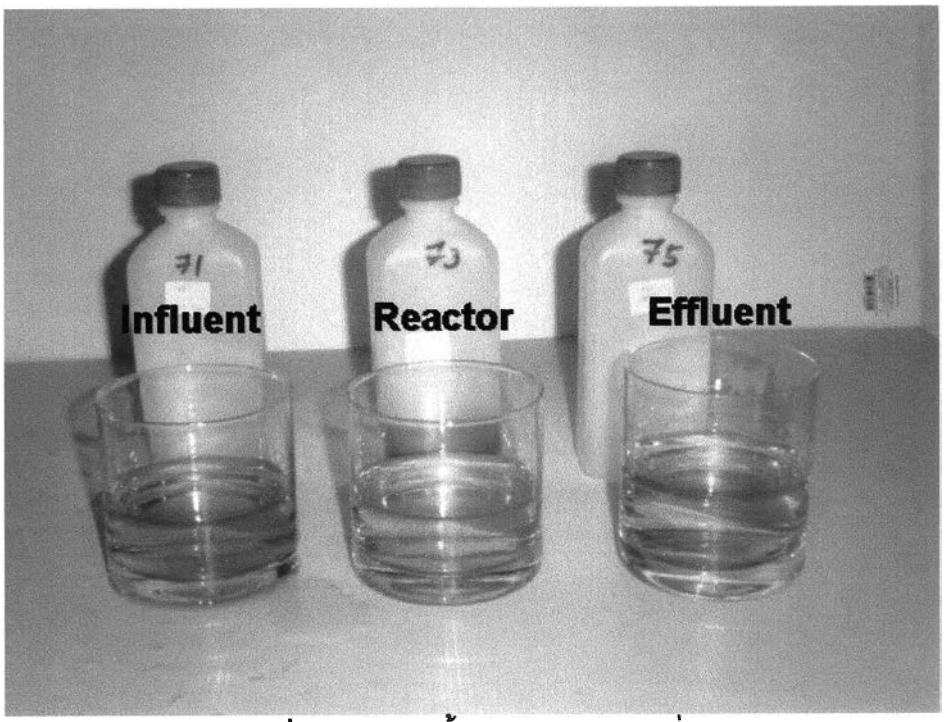
โดยรวม 33.50 % ค่าสีเฉลี่ยในถังปฏิกรณ์ และในน้ำออกมีค่า 452.55 และ 402.64 ADMI ซึ่งค่าสีในน้ำ ไม่มีค่ามาตรฐานกำหนดในมาตรฐานกรมโรงงานอุตสาหกรรม

แต่อย่างไรก็ตามน้ำที่ออกจากระบบ ก็ยังมีสีแม้จะผ่านการกรองด้วยเมมเบรน ขนาดรูพรุน 0.1 ไมครอน แล้วก็ตาม แสดงให้เห็นว่า สีของน้ำส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปสารละลาย ซึ่งจากการหาความสัมพันธ์ของค่าของแข็งละลายน้ำ กับสีของน้ำ จะมีแนวโน้มที่สัมพันธ์กัน (ตามการทดลองในภาคผนวก)

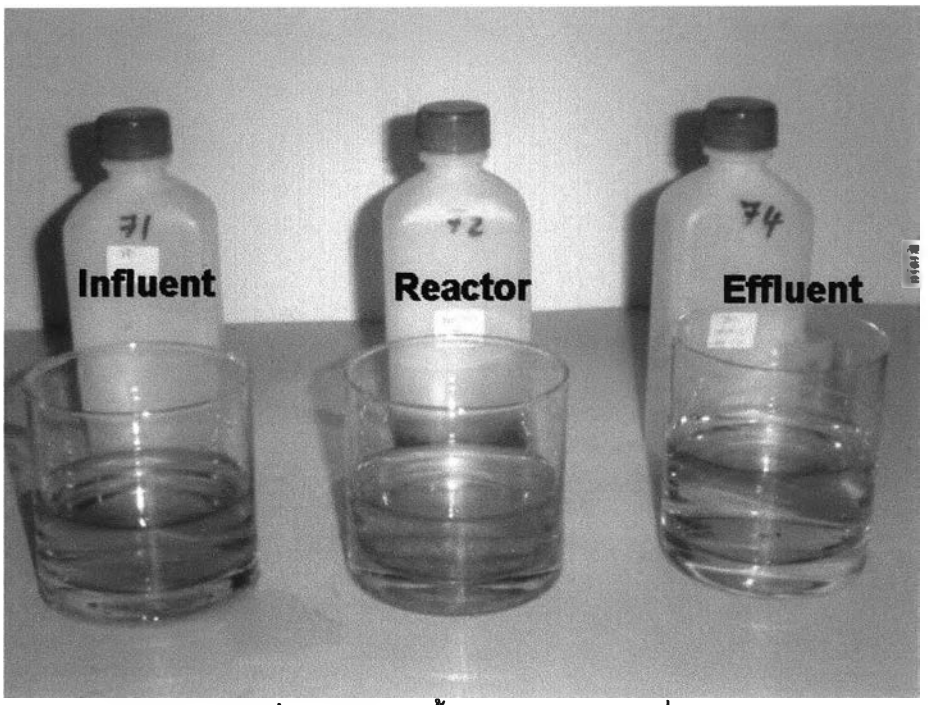
จากตารางที่ 4.31 พบว่าอายุสลัดจ์มีผลอย่างมีนัยสำคัญกับการกำจัดสีในระบบเอเอส แต่ไม่มีผลเป็นนัยสำคัญกับการกรองด้วยเมมเบรน ทั้งนี้เป็นเพราะสีส่วนใหญ่เป็นสารที่จุลินทรีย์ย่อยสลายได้ยาก หรือไม่ได้เลย ทั้งนี้เปรียบเทียบได้จากปริมาณซีโอดีที่ลดลง แต่สีไม่สามารถลดตามได้ รวมทั้งสียังมีขนาดเล็กพอที่จะผ่านการกรองโดยเมมเบรนไปได้อีกด้วย



รูปที่ 4.44 เปรียบประสิทธิภาพการกำจัดสี ที่มีผลมาจากอายุสลัดจ์

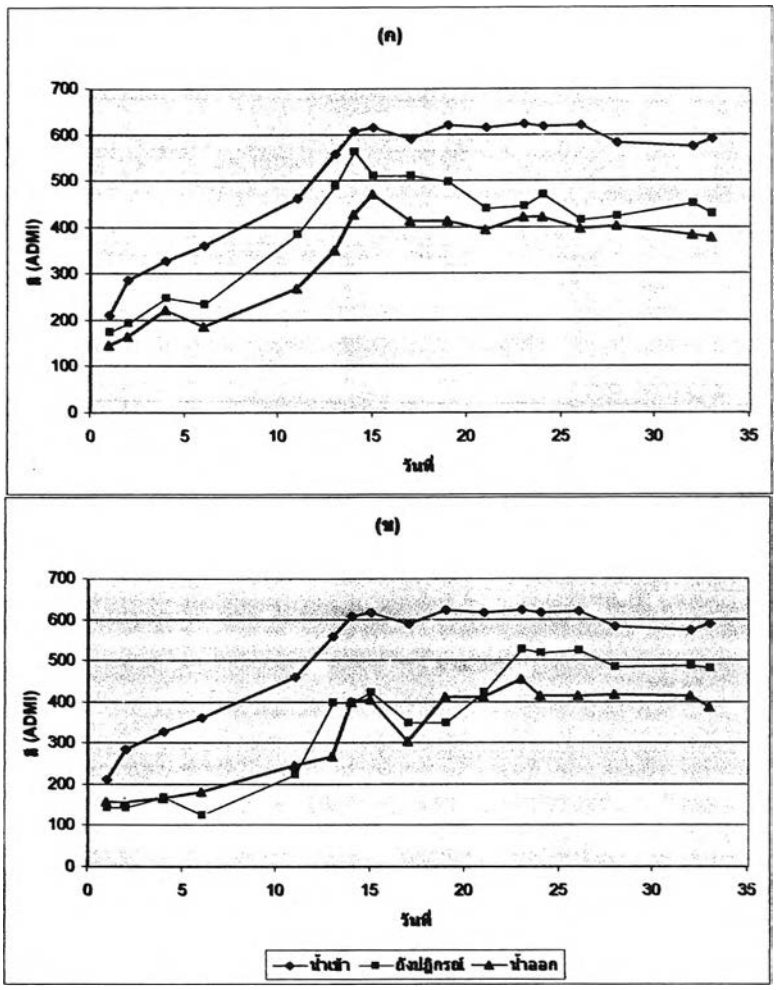


รูปที่ 4.45 สีของน้ำในชุดการทดลองที่ 5



รูปที่ 4.46 สีของน้ำในชุดการทดลองที่ 6

จากรูปที่ 4.44 จะเห็นได้ว่า ประสิทธิภาพการกำจัดสีของอายุสลัดจ์ 25 วันสูงกว่าประสิทธิภาพการกำจัดสีของอายุสลัดจ์ 50 วัน เนื่องจากข้อสรุปที่ว่า สีในน้ำกากส่า เกิดจากสารละลายที่เจือปนในน้ำ ซึ่งแบคทีเรียไม่สามารถย่อยสลายได้ทั้งหมด รวมทั้งมีขนาดเล็กกว่ารูพรุนของเมมเบรนที่ใช้ในระบบ ดังนั้นทางเดียวที่จะลดสารที่ทำให้เกิดสีเหล่านี้คือการระบายทิ้งในการทิ้งสลัดจ์ ซึ่งจะช่วยลดปริมาณสีในระบบ จากผลการทดลอง แสดงว่าอายุสลัดจ์ที่ 25 วัน เพียงพอต่อการกำจัดสีในการทดลองนี้



รูปที่ 4.47 เปรียบเทียบผลของอายุสลัดจ์ต่อการกำจัดสี

(ก) อายุสลัดจ์ 50 วัน (ข) อายุสลัดจ์ 25 วัน

4.5.9 สรุปผลของอายุสลัดจ์

จากผลการทดลองข้างต้นสรุปได้ว่า อายุสลัดจ์ที่ 50 วัน คุณภาพของจุลินทรีย์จะดีกว่าที่ 25 วัน การกำจัดซีโอดี หรือสารอินทรีย์ได้ประสิทธิภาพดีกว่า แต่การกำจัดสีในถังปฏิกรณ์จะด้อยกว่า อายุสลัดจ์ที่ 25 วัน แต่เมื่อผ่านการกรองด้วยเมมเบรนแล้วประสิทธิภาพออกมาใกล้เคียงกัน ดังนั้น ในการใช้งานระบบ จึงเห็นว่า อายุสลัดจ์ที่ 50 วัน จะให้ประสิทธิภาพในการทำงานระบบที่ดีกว่า

จากผลการทดลองทั้งหมดจึงสรุปได้ว่า ระบบที่งานวิจัยนี้เลือกคือ ใช้รอบการเติมอากาศแบบ 60 นาที และอายุสลัดจ์ที่ 50 วัน ใช้สำหรับการดำเนินการระบบ โดยค่าภาระสารอินทรีย์สามารถเพิ่มขึ้นมากกว่า 0.375 กก.บีโอดี/ลบ.ม.-วันได้

4.6 ผลของระบบต่อการทำงานของเมมเบรน

ในการทดลองนี้ได้ใช้รอบการเติมอากาศเป็นช่วง 2 รูปแบบคือ การเติมอากาศ 60 นาที หยุดพักการเติมอากาศ 60 นาที และการเติมอากาศ 90 นาทีหยุด 90 นาที โดยจะสูบน้ำเข้าสู่ระบบในช่วงที่ระบบไม่มีการเติมอากาศ ภายใต้อัตราการไหล 100 ลิตร/วัน หรือมีอัตราการซึมผ่านเมมเบรน 0.025 ลบ.ม./ตร.ม.-วัน

4.6.1 อัตราการกรองน้ำของไมโครฟิลเตรชันเมมเบรน

การสร้างแรงดันเพื่อกรองน้ำผ่านไมโครฟิลเตรชันเมมเบรน บางงานวิจัยที่ผ่านมาใช้ปั๊มหอยโข่งหรือ เฮดความสูงของระดับน้ำ ซึ่งที่ค่าการซึมผ่านหนึ่งๆ ค่าความดันสูญเสียขณะที่เมมเบรนสะอาด (Internal pressure loss) มีค่าไม่สูงนัก แต่ในทางปฏิบัติสลัดจ์จุลินทรีย์ในถังปฏิกรณ์จะสร้างความดันสูญเสีย (External pressure) เพิ่มขึ้นแก่ระบบการกรอง ไม่ว่าจะออกแบบการเติมอากาศ หรือระบบหมุนเวียนดีเพียงใด ฉะนั้นเมื่อความดันสูญเสียที่ผิวเมมเบรนสูงขึ้น อัตราการไหลของปั๊มหอยโข่งจะลดลงไปตามกราฟสมรรถนะของปั๊ม หรือเฮดระดับน้ำการกรองจะสูงขึ้น นั่นคือค่าการซึมผ่าน (Flux) จะลดลงตามสมการ 4.11 หรือปริมาตรถังปฏิกรณ์จะเพิ่มขึ้น ตามลำดับ

$$Flux\left(l/m^2.d\right)=\left(Q\times\left[\left(\min_{on}+\min_{off}\right)/\min_{on}\right]\right)/A \qquad (4.11)$$

โดยที่ Q = อัตราการไหลผ่านระบบ (ลิตร/วัน)

A = พื้นที่ผิวการกรองสุทธิของไมโครฟิลเตรชันเมมเบรน (ตร.ม.)

$\min_{on}$, $\min_{off}$ = ช่วงเวลาในการปั๊มสูบเดิน / หยุด (นาที)

การทำงานจริงการปรับเพิ่มรอบ หรือมีระบบปั๊มสำรอง เพื่อรักษาอัตราการไหลให้คงที่ กระทำได้ไม่ยาก แต่ในงานวิจัยเพื่อขจัดปัญหาดังกล่าว จึงใช้ปั๊มรีดสาย (Peristaltic pump) ซึ่งจัดอยู่ในประเภท "Positive Displacement" มีคุณสมบัติในการควบคุมอัตราการไหลให้คงที่ แม้ความดันสูญเสียในระบบจะเพิ่มขึ้นในช่วงค่าหนึ่งๆ

จากสมการที่ 4.11 อัตราการกรองน้ำของเมมเบรนในการทดลองนี้ คือ 50 ล./ตร.ม.-วัน คงที่ตลอดทุกชุดการทดลอง ควรคุมด้วยปั๊มรีดสายที่ตั้งรอบการสูบน้ำที่ 5 นาทีหยุด 5 นาที

4.6.2 ความเข้มข้นของสลัดจ์จุลินทรีย์ในถังปฏิกรณ์และสลัดจ์สะสมที่ผิวหน้าเมมเบรน

ในสภาวะควบคุมที่เหมาะสม ปริมาณจุลินทรีย์ในระบบจะปรับตัวเพิ่มหรือลด อย่างอิสระไปตามภาระบรรทุกสารอินทรีย์แต่ละการทดลอง จนถึงระดับซึ่งสมดุลกับปริมาณอาหารที่ขาดแคลน กล่าวคือ สารอาหารภายนอก (น้ำเสีย) อาหารสะสมภายในเซลล์ และเซลล์ที่สลายตัว จะเป็นตัวจำกัดการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในระบบ สารอาหารทั้งหมดที่ถูกใช้ไป จะถูกนำไปสร้างเซลล์ทดแทนส่วนที่ตาย รวมถึงเซลล์ที่ถูกแยกออกจากการแขวนลอย มาสะสมค้างที่ผิวหน้าเมมเบรนบางส่วน (ทำนายได้จากความดันสูญเสียในการกรอง ที่สภาพเมมเบรนอุดตันเดียวกัน) ซึ่งจะมีอัตราเร็วและช้า ขึ้นกับความสัมพันธ์ระหว่างค่าการซึมผ่าน ระดับความเข้มข้นสลัดจ์จุลินทรีย์ หรือภาระบรรทุกอินทรีย์ กำลังของระบบสร้างความปั่นป่วนต่อผิวหน้าเมมเบรน (สม่ำเสมอคงที่ในทุกการทดลอง) ช่วยขจัดสลัดจ์จุลินทรีย์ที่เข้าปะทะเมมเบรน ให้ออกคืนกลับสู่การแขวนลอย ฉะนั้นเมื่อตัว

แปรต่างๆ ดังกล่าวมีดุลยภาพซึ่งกันและกันในแต่ละการทดลอง ความเข้มข้นเอ็มแอลวีเอสเอส ในถังปฏิกรณ์จะสม่ำเสมอคงตัวในที่สุด

โดยทฤษฎี ค่าเอ็มแอลเอสเอส (MLSS) ควรปรับเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จากของแข็งคงตัวที่ย่อยสลายไม่ได้ที่เข้ามากับน้ำเสีย และซากผนังเซลล์เฉื่อยจากจุลินทรีย์ที่ตาย ซึ่งจะถูกเมมเบรนกักให้สะสมในถังปฏิกรณ์ ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าเอ็มแอลวีเอสเอส และค่าเอ็มแอลเอสเอส มีค่าคงตัวสม่ำเสมอในช่วงที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว ซึ่งระบบจะทำงานในช่วงการเจริญแบบเอ็นโอจีนัส นิเวศน์ในถังจะมีโปโตซัว และโรติเฟอร์จำนวนมาก ซึ่งกินทั้งแบคทีเรีย และฟล็อคสลัดจ์จุลินทรีย์เป็นอาหาร รวมถึงการสะสมของสลัดจ์จุลินทรีย์ที่ผิวสลัดจ์ส่วนเกินทิ้งไปในตัวบางส่วน การสะสมของสลัดจ์จุลินทรีย์ที่ผิวหน้าเมมเบรนเพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอทีละน้อย ค่อยเป็นค่อยไป จนเมื่อมีการล้างเมมเบรน จะเป็นการนำสลัดจ์ออกจากระบบอีกทางหนึ่ง

จะเห็นว่าเมมเบรนทำหน้าที่เป็น ถังตกสลัดจ์ใบที่ 2 การกรองน้ำผ่านเมมเบรนจะทิ้งสลัดจ์จุลินทรีย์ความเข้มข้นสูงไว้ที่ผิวเมมเบรน กระแสปั่นป่วนที่สร้างแรงเฉือนต่อเมมเบรนจะกำจัดสลัดจ์คืนกลับสู่การแขวนลอย (อริยะ เตกษณานนท์, 2543)

4.6.3 ผลของตัวแปรในการทดลองต่อการทำงานของไมโครฟิลเตรชันเมมเบรน

ค่าความดันในการกรองผ่านไมโครฟิลเตรชันเมมเบรน มีความสัมพันธ์กับค่าพลักซ์ และความเข้มข้นสลัดจ์จุลินทรีย์ ซึ่งสามารถอธิบายได้โดยสมการดังนี้

$$P = P_m + P_d \tag{4.12}$$

$$Flux = \frac{P}{\mu(R_m + R_d)} \tag{4.13}$$

$$P = P_m + P_d = Flux \times \mu(R_m + R_d) \tag{4.14}$$

โดยที่ P_m คือ ความดันสูญเสียในการกรองผ่านเมมเบรน

P_d คือ ความดันสูญเสียจากสลัดจ์สะสมที่ผิวหน้าเมมเบรน

P คือ ความดันสูญเสียรวม

R_m คือ ความต้านทานของเมมเบรน

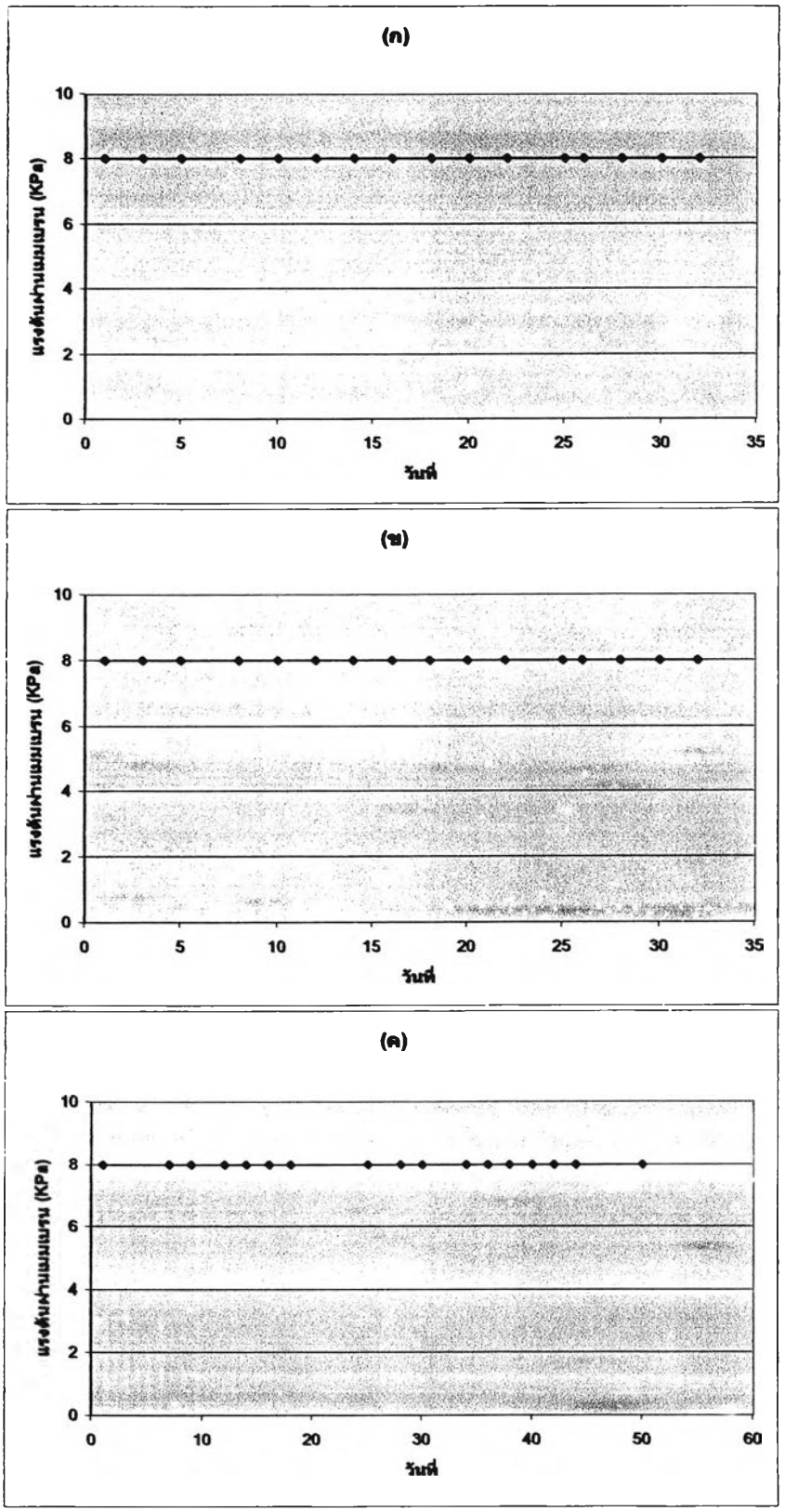
R_d คือ ความต้านทานของสลัดจ์ที่ผิวหน้าเมมเบรน

μ คือ ความหนืดของการไหล

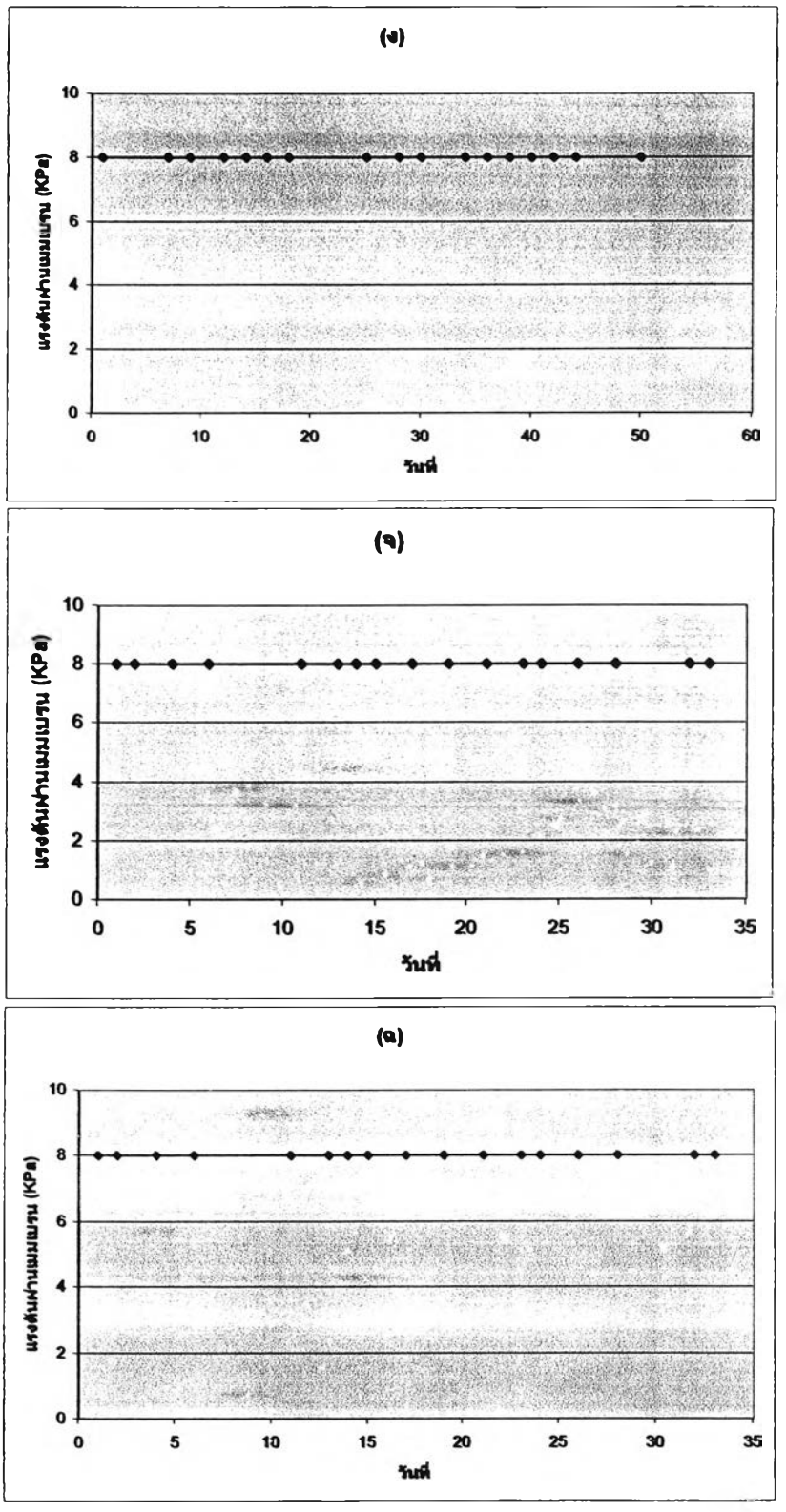
จากสมการที่ 4.14 เมื่อแรงเฉือนซึ่งเกิดจากการเติมอากาศ และการกวนด้วยใบพัด ที่กระทำต่อผิวหน้าเมมเบรนเท่ากัน การออกแบบให้เมมเบรน มีค่าการไหลสูง หรือระบบมีความเข้มข้นสลัดจ์จุลินทรีย์สูง จะส่งผลกระทบกับทั้ง ค่าความดันในการกรองผ่านเมมเบรน และค่าความดันสูญเสียเนื่องจากสลัดจ์สะสม ยังผลให้ความดันสูญเสียรวมของระบบการกรองสูงขึ้น (อริยะ เตกษณานนท์, 2543)

ในการทดลองนี้ ค่าความดันที่สูญเสียรวมจากการกรองมีค่าต่ำกว่า 0.1 บาร์ ซึ่งเป็นสเกลเล็กที่สุดที่เกจวัดของระบบจะวัดได้ แสดงว่า ความดันสูญเสีย ตลอดการทดลองมีค่าประมาณ 8 KPa. ซึ่งแสดงว่า ในการทดลองนี้ยังใช้เวลาไม่นานพอที่จะทำให้ค่าความดันสูญเสียรวมสูงขึ้น จนถึงระดับที่เป็นอุปสรรคของการกรองด้วยเมมเบรน ซึ่งแสดงไว้ในรูปที่ 4.48

ซึ่ง R_m เป็นค่าคงที่ของแผ่นเยื่อ จากการทดลองพบว่า R_m ของแผ่นเยื่อที่ใช้ในการทดลองเท่ากับ 1.44×10^5 ต่อเมตร และสามารถคำนวณค่า R_d จากการทดลองได้เท่ากับ 1.72×10^7 ต่อเมตร เมื่อนำค่าทั้ง 2 มาเปรียบเทียบกัน จะเห็นว่าความต้านทานของสลัดจ์ที่ผิวหน้าเมมเบรน จะมีค่ามากกว่าความต้านทานของเมมเบรนอย่างมาก ซึ่งแสดงความแตกต่างของ R_m และ R_d ได้จากรูปที่ 4.49

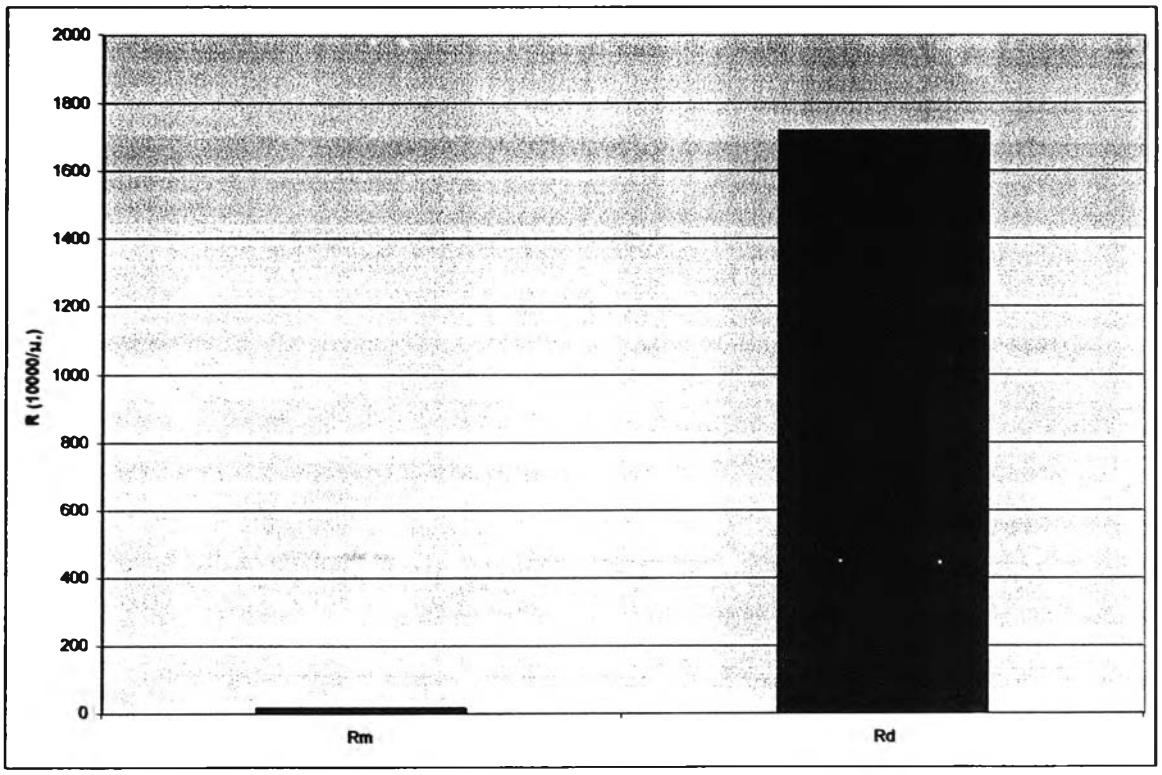


รูปที่ 4.48 ความสัมพันธ์ของความดันผ่านเมมเบรนในชุดการทดลองต่างๆ (ก) ชุดการทดลองที่ 1 (ข) ชุดการทดลองที่ 2 (ค) ชุดการทดลองที่ 3



รูปที่ 4.48(ต่อ) **ความสัมพันธ์ของแรงดันผ่านเมมเบรนในชุดการทดลองต่างๆ**

(ง) ชุดการทดลองที่ 4 (จ) ชุดการทดลองที่ 5 (ฉ) ชุดการทดลองที่ 6



รูปที่ 4.49 ค่าความต้านทานอัตราการกรองของเมมเบรนในระบบ

หมายเหตุ : R_m **คือ ความต้านทานของเมมเบรน**

R_d **คือ ความต้านทานของสลัดจ์ที่ผิวหน้าเมมเบรน**

4.7 การดำเนินการควบคุมระบบ

เนื่องจากในการทดลองต้องการควบคุมอัตราภาระบรรทุกอินทรีย์ และเวลากักของระบบให้คงที่ จึงต้องควบคุมอัตราการไหลของน้ำทิ้ง (ค่าฟลักซ์ของแผ่นเยื่อ) ให้คงที่ จากสมการการกรองของแผ่นเยื่อ

$$J = \frac{\Delta P}{\mu R_t} \qquad (4.14)$$

เมื่อ J คือ อัตราการไหลผ่านแผ่นเยื่อ

ΔP คือ ผลต่างของความดันผิวเมมเบรนด้านป้อนสารกับด้านผ่านการกรอง

μ คือ ความหนืดของสารละลาย

R_f คือ ความต้านทานรวม

เพื่อควบคุมค่าฟลักซ์ให้คงที่ จะต้องปล่อยให้ค่าความดันลดผ่านแผ่นเยื่อเพิ่มขึ้นไปเรื่อยๆ โดยควบคุมไม่ให้ความดันลดผ่านแผ่นเยื่อเกินกว่า 30 กิโลปาสคาล ในงานวิจัยนี้ใช้การล้างเมมเบรนในทุกครั้งที่เปลี่ยนชุดการทดลองใหม่ด้วยน้ำสะอาด และแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.5% โดยน้ำหนัก เป็นเวลา 5 นาที และแช่ต่อด้วยโซเดียมไฮโปรคลอไรด์ 0.8 % โดยปริมาตร เป็นเวลา 5 นาที ในทุกครั้งที่เปลี่ยนชุดการทดลองใหม่ ซึ่งจากการทดสอบค่าฟลักซ์ที่ผ่านเมมเบรน ค่าที่ได้ออกมาเท่ากันทั้ง 2 ชุดเมมเบรน แสดงว่าการทดลองทั้งหมดไม่มีผลที่แตกต่างกันสำหรับเมมเบรน

สำหรับพลังงานที่ใช้ในระบบได้แก่ พลังงานให้แก่เครื่องสูบน้ำชุดการทดลองละ 2 เครื่อง เพื่อสูบน้ำเข้าระบบ และสูบน้ำออกจากระบบ เครื่องกวนน้ำในถังปฏิกรณ์ เครื่องเติมอากาศ ซึ่งใช้พลังงานไฟฟ้าไปเฉลี่ยวันละ 5.80 กิโลวัตต์-ชม. ต่อชุดการทดลอง

4.8 ค่าใช้จ่ายของระบบบำบัด

ค่าใช้จ่ายในการบำบัดของระบบแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ค่าลงทุน (Investment cost) และค่าใช้จ่ายในการดำเนินการระบบ (Operation cost) ซึ่งยังเป็นหัวข้อย่อยๆ ดังนี้

ค่าลงทุน

1. ค่าแผ่นเยื่อไมโครฟิลเตรชันเมมเบรน 4 ตร.ม 2 ชุด	60,000	บาท
2. ระบบถังปฏิกรณ์ พร้อมอุปกรณ์ประกอบ	150,000	บาท
รวม	210,000	บาท
คิดต่อ 1 ชุดทดลอง	105,000	บาท

ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ

1. ค่าไฟฟ้า	5,250	บาท/ปี
2. ค่ากำจัดสลัดจ์ส่วนเกิน (8 ลิตร/วัน; SRT 50 วัน)	876	บาท/ปี
3. ค่าซ่อมแซม บำรุงรักษา(+ 20%ของค่าดำเนินการระบบ)	1,600	บาท/ปี
รวม	7,726	บาท/ปี

ซึ่งที่มาของค่าดำเนินการสามารถอธิบายได้ดังนี้

ค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการดำเนินการระบบ คิดเฉลี่ยต่อ 1 ชุดการทดลอง จะได้อัตราการใช้ไฟฟ้าประมาณ 6 หน่วย/วัน-ชุดการทดลอง คิดเวลาดำเนินการ 365 วัน ค่าไฟฟ้าเฉลี่ยหน่วยละ 2.50 บาท จึงคิดเป็น 5,250 บาท/ปี คิดเป็น 68 % ของค่าดำเนินการทั้งหมด

ค่ากำจัดสลัดจ์ส่วนเกิน คิดจากอายุสลัดจ์ที่ 50 วัน มีสลัดจ์ส่วนเกิน 8 ล./วัน และค่าใช้จ่ายในการกำจัดเท่ากับ 300 บาท ต่อลบ.มสลัดจ์ ซึ่งคิดเป็น 876 บาท/ปี คิดเป็น 12 % ของค่าใช้จ่ายทั้งหมด ซึ่งในความเป็นจริงแล้ว สลัดจ์ที่ออกจากระบบบำบัดน้ำกากส่า มีคุณสมบัติในการทำปุ๋ยหมัก หรือไปผสมเป็นอาหารสัตว์ หรือนำไปสกัดเพื่อผลิตพีเอชเอ ซึ่งยังเป็นสลัดจ์ที่มูลค่าทางเศรษฐกิจอยู่

ค่าซ่อมแซมบำรุงรักษา เนื่องจากระบบนี้ในขั้นตอนการดำเนินงาน ไม่มีเรื่องต้องซ่อมแซมอุปกรณ์ส่วนใด จึงใช้ข้อมูลจากระบบเอเอส ที่มีค่าบำรุงรักษาระบบ 20 % ของค่าดำเนินการ หรือประมาณ 4000 บาท/ปี (กรมควบคุมมลพิษ, 2538)

<u>ข้อกำหนด (Calculation Assumption)</u> (อริยะ, 2543)
กำลังบำบัดน้ำเสีย (Q) 35 ลบ.ม./ปี
อายุการใช้งานเมมเบรน 2 ปี (n) และอายุการใช้งานระบบ 15 ปี (N)
อัตราดอกเบี้ยเงินกู้โครงการสิ่งแวดล้อม 8%ต่อปี (i)

ตารางที่ 4.37 ขั้นตอนการคำนวณและผลการประเมินต้นทุนค่าใช้จ่าย

ขั้นตอนการคำนวณ	
1. มูลค่าปัจจุบันของเมมเบรนซึ่งเปลี่ยนทุก 3ปี ตลอดอายุการใช้งาน 15 ปี (MF_N)	99,641 บาท
2. ต้นทุนสร้าง-ติดตั้ง (ไม่รวมค่าเมมเบรน) (Inv.)	75000 บาท
3. มูลค่าปัจจุบันของค่าใช้จ่ายในการดำเนินระบบ(OP_N)	66130 บาท
4. เงินลงทุนทั้งหมดในโครงการ (Tinv.)	341,345 บาท
5. ค่าใช้หนี้คือเงินต้นรวม ($Tinv_N$)	39,879 บาท/ปี
6. กำลังการบำบัดน้ำเสีย	35 ลบ.ม./ปี
7. ต้นทุนการผลิตไม่รวมค่าเสื่อมราคา	220 บาท/ลบ.ม.
8. ต้นทุนการผลิตรวมค่าเสื่อมราคา	1,139 บาท/ลบ.ม.

สูตรการคำนวณ

$$MF_N = 30{,}000 \times [1+1/(1+i)^3+1/(1+i)^6+1/(1+i)^9+1/(1+i)^{12}]$$

$$OP_N = 7{,}726 \times [(1+i)^N-1]/[i(1+i)^N]$$

$$Tinv = (Inv. + MF_N + OP_N)$$

$$Tinv_N = Tinv \times [i(1+i)^N]/[(1+i)^N-1]$$

ต้นทุนไม่รวมค่าเสื่อมราคา $= OP_N /Q$

ต้นทุนรวมค่าเสื่อมราคา $= Tinv_N/Q$

จากตารางที่ 4.37 พบว่าต้นทุนในการบำบัดไม่รวมค่าเสื่อมราคาของระบบไมโครฟิลเตรชันเมมเบรนที่จมตัวในถังปฏิกรณ์ชีวภาพ เท่ากับ 220 บาท/ลบ.ม. และต้นทุนเมื่อรวมค่าเสื่อมราคาเท่ากับ 1,139 บาท/ลบ.ม. ซึ่งสูงกว่า ระบบของอริยะ (2543) ซึ่งทดลองโดยใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอเอสที่พัฒนาโดยการติดตั้งเมมเบรนไมโครฟิลเตรชันเมมเบรน ขนาดพื้นที่ผิวเมมเบรน 4.0 ตร.ม.ใช้รอบการเติมอากาศ 120 นาที และไม่มีการทิ้งสลัดจ์ออกจากระบบ ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี และไนโตรเจนทั้งหมด ที่สภาวะคงตัวแฝง เท่ากับ 90 % และ 87.6 % ตามลำดับ ซึ่งใช้บำบัดน้ำเสียชุมชน ซึ่งแตกต่างจากน้ำเสียที่ใช้ในการทดลองนี้ ซึ่งคือน้ำกากส่าเจือจาง ระบบดังกล่าว มีต้นทุนการบำบัดไม่รวมค่าเสื่อมราคาที่ 130 บาทต่อลบ.ม.

ซึ่งข้อแตกต่างที่ทำให้ระบบนี้มีต้นทุนสูงกว่า มาจากวัสดุที่ใช้ก่อสร้างถังปฏิกรณ์ รวมถึงปั๊มรีดสาย 4 ตัว เครื่องกวน 4 ตัว เครื่องกวนผสมในบ่อพัก 1 ตัว เครื่องอัดอากาศ ระบบควบคุมอัตโนมัติ และเป็นการคิดจากระบบทดลอง ซึ่งเป็นค่าใช้จ่ายที่ค่อนข้างสูงกว่าระบบทำงานจริง จึงทำให้ค่าใช้จ่ายต่อหน่วยมีค่าสูงขึ้น