

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. การวิเคราะห์คุณลักษณะน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตนม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ในการศึกษาทดลองได้ทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสียจากโรงงานผลิตนม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ แล้วนำมาวิเคราะห์หองค์ประกอบ การเก็บตัวอย่างน้ำเสียใช้วิธีการเก็บแบบจ้วง โดยทำการเก็บตัวอย่างตั้งแต่เดือนมกราคม ถึง กุมภาพันธ์ 2548 รวมทั้งสิ้น 10 ครั้ง โดยทำการวิเคราะห์พารามิเตอร์ทางสิ่งแวดล้อม โดยมีค่าเฉลี่ยดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 ผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์ทางสิ่งแวดล้อมของน้ำเสียจากโรงงานผลิตนม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พารามิเตอร์	หน่วย	นมปรุงแต่งรสต่างๆ		นมเปรี้ยว	
		ค่าที่วิเคราะห์ได้	ค่าเฉลี่ย	ค่าที่วิเคราะห์ได้	ค่าเฉลี่ย
บีโอดี ₅	มก.ต่อลิตร	1500-2500	2000	1800-2700	2200
ซีโอดี	มก.ต่อลิตร	2000-3500	2750	2000-3500	2750
ดีไอซี	มก.ต่อลิตร	300-550	420	300-550	420
ฟอสฟอรัส	มก.ต่อลิตร	2.0-3.0	2.5	2.0-3.0	2.5
แอมโมเนีย	มก.ต่อลิตร	ND	ND	ND	ND
ทีเคเอ็น	มก.ต่อลิตร	30-45	38	30-45	38
ซีลเฟต	มก.ต่อลิตร	2.0-10.0	6.0	2.0-10.0	6.0
ไขมัน	มก.ต่อลิตร	100-600	350	200-300	250
ของแข็ง	มก.ต่อลิตร	400-700	550	500-600	550
ของแข็งละลาย	มก.ต่อลิตร	1200-2500	1350	1500-2500	2000
ของแข็งทั้งหมด	มก.ต่อลิตร	1200-3000	2100	2000-3000	2500
อุณหภูมิ	องศาเซลเซียส	28-35	31	28-35	31
ความเป็นกรด-ด่าง		6.0-7.0	6.5	2.0-4.0	3
การนำไฟฟ้า	$\mu\text{S}/\text{cm}$	600-900	750	700-800	750
ความขุ่น	NTU	600-800	700	500-600	550

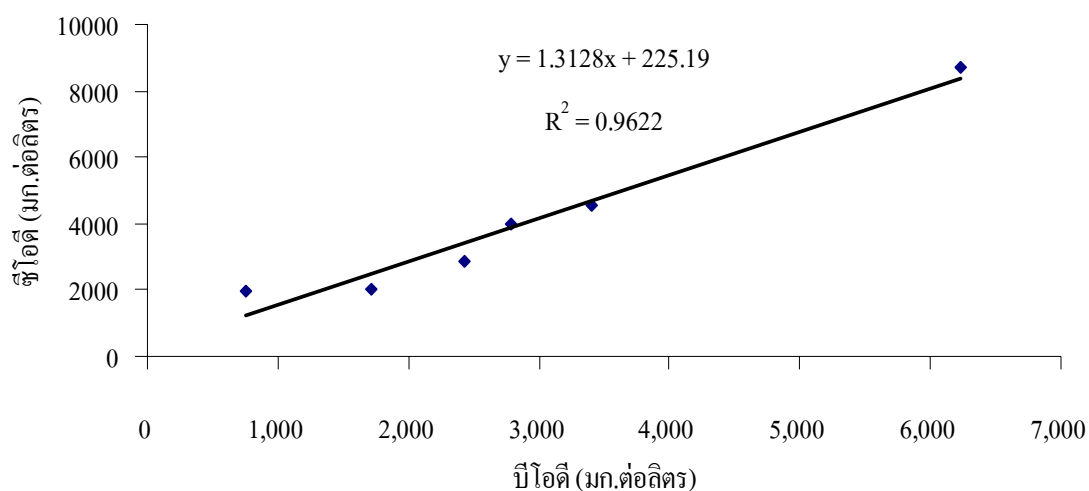
หมายเหตุ: มก. หมายถึง มิลลิกรัม

ND หมายถึง ตรวจไม่พบ

1.1 สัดส่วนบีโอดีต่อเอ็นต่อพี (BOD : N : P) ของน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตนม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จากการศึกษาคุณลักษณะของน้ำเสียโรงงานผลิตนม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ พบว่า อัตราส่วนบีโอดีต่อเอ็นต่อพีของน้ำทิ้งมีค่าประมาณ 100 : 2 : 1 ซึ่งไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียแบบใช้อากาศ ซึ่งปกติต้องการสารอาหารในสัดส่วนบีโอดีต่อเอ็นต่อพีเท่ากับ 100 : 5 : 1 (เสริมพล และไชยยุทธ, 2518) ในการศึกษาครั้งนี้เป็นแบบจำลองไร้อากาศจึงมีความต้องการสารอาหารน้อยกว่าการบำบัดแบบใช้อากาศ โดยทั่วไปสัดส่วนบีโอดีต่อเอ็นต่อพีเท่ากับ 100 : 1.1 : 0.2 จึงเห็นได้ว่าสารอาหารที่มีอยู่ในน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตนมเพียงพอต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียแบบไม่ใช้อากาศ

1.2 สัดส่วนบีโอดีต่อซีโอดีของน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตนม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 22 สัดส่วนบีโอดีต่อซีโอดีของน้ำทิ้งโรงงานผลิตนม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

หมายเหตุ: มก. หมายถึง มิลลิกรัม

จากภาพที่ 21 ค่าความชันของกราฟคือสัดส่วนซีโอดีต่อบีโอดี สามารถสรุปความสัมพันธ์ได้ดังสมการ ซีโอดี = (1.3128) บีโอดี + 225.19 เพราะฉะนั้นสัดส่วนบีโอดีต่อซีโอดีเท่ากับ ส่วนกลับของความชันของกราฟ ซึ่งเท่ากับ $1/1.3128$ เท่ากับ 0.76 แสดงให้เห็นว่าน้ำเสียประกอบด้วยสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้และย่อยสลายไม่ได้ทางชีวภาพ สารประกอบที่ย่อยสลายได้

ทางชีวภาพ เช่น โปรตีน ไขมัน ส่วนสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการผลิตเป็นส่วนที่ย่อยสลายไม่ได้ ทางชีวภาพ เช่น กรดฟอสฟอริก โซเดียมไฮดรอกไซด์ และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ จากการทดลองของ สุชาติ(2538) พบว่าสัดส่วนบีโอดีต่อซีโอดีของน้ำทิ้งโรงงานผลิตนม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ มีค่าประมาณ 0.69 และการทดลองของ Boonthanon (1976) ศึกษาอัตราส่วนบีโอดีต่อซีโอดีของน้ำเสียโรงงานผลิตนมมีค่าเท่ากับ 0.65 ซึ่งจากการทดลองทั้งสองมีค่าใกล้เคียงกับการทดลองในครั้งนี้

1.3 ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตนม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ค่าพีเอชของน้ำทิ้งจากโรงงานนม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ซึ่งจะพิจารณามปรุ้งแต่งรสต่างๆ และนมเปรี้ยวเปรียบเทียบกัน พบว่านมปรุ้งแต่งต่างๆ นั้นมีค่าความเป็นกรด-ด่างประมาณ 6.0-7.0 และนมเปรี้ยวมีค่าความเป็นกรด-ด่างประมาณ 2.0-4.0 แสดงให้เห็นว่านมเปรี้ยวมีค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำเกินไปเนื่องจากไม่อยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียสังเคราะห์แสง (Photosynthetic Bacteria) ในขณะที่นมปรุ้งแต่งรสต่างๆ นั้นมีค่าที่เหมาะสมแล้ว ซึ่งเชื้อแบคทีเรียแบบใช้แสงนั้นเจริญเติบโตได้ดีในช่วงความเป็นกรด-ด่าง 6.0-8.0 และเจริญเติบโตได้ดีในช่วงความเป็นกรด-ด่าง 7.0-7.5 (Shipman *et al.*, 1975) ซึ่งหากต้องการบำบัดน้ำทิ้งที่มาจากกระบวนการผลิตนมเปรี้ยวต้องมีการปรับค่าพีเอชให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมก่อนด้วย โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เจือจาง

1.4 ค่าความเข้มข้นซัลเฟตในน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตนม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ค่าความเข้มข้นของซัลเฟตของน้ำทิ้งจากโรงงานนม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ มีค่าเฉลี่ย 6 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียสังเคราะห์แสง (Photosynthetic Bacteria) ซึ่งความเข้มข้นของซัลเฟตที่สูง จะมีผลในการยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียสังเคราะห์แสงชนิด PnSB (Hansen and Germerden, 1972) ซึ่งจากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าน้ำเสียนี้นี้มีความเข้มข้นของซัลเฟตอยู่ในปริมาณที่ต่ำ ฉะนั้นจึงสามารถนำน้ำเสียจากโรงงานผลิตนม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ไปเป็นสารอาหารให้แก่แบคทีเรียสังเคราะห์แสงกลุ่ม PnSB ได้

2. การหาค่าสัมประสิทธิ์จลนพลศาสตร์ของการย่อยสลายทางชีวภาพ

ความจำเป็นในการควบคุมระบบบำบัดน้ำเสียโดยการออกแบบ ขึ้นกับคุณลักษณะของการย่อยสลายสารอาหารและรูปแบบการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย ซึ่งทำได้โดยควบคุมสภาวะแวดล้อมต่างๆ ได้แก่ ค่าความเป็นกรด-ด่าง ความเข้มแสง และอุณหภูมิ จะเป็นหลักสำคัญที่ทำให้แบคทีเรียเจริญเติบโต และเพื่อให้แน่ใจได้ว่าสามารถควบคุมระบบและแบคทีเรียได้จำเพาะจึงจะสามารถบำบัดได้อย่างมีประสิทธิภาพ จำเป็นต้องควบคุมอัตราการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย ซึ่งเกี่ยวข้องกับค่าสัมประสิทธิ์จลนพลศาสตร์ของการเจริญเติบโตของแบคทีเรียนั่นเอง

2.1 การทดลองแบบแบตช์ (Batch)

ศึกษาหาค่าสัมประสิทธิ์จลนพลศาสตร์ของการย่อยสลายทางชีวภาพของน้ำเสียจากโรงงานผลิตนม ทดลองโดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ ใช้แบคทีเรียสังเคราะห์แสงในการย่อยสลาย ทำการทดลองโดยแบบจำลองในห้องปฏิบัติการ ทำการทดลองแบบแบตช์ (Batch) กำหนดค่าความสกปรกของน้ำเสียเริ่มต้น แล้ววัดการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในรูปของของแข็งแขวนลอย (MLSS) เทียบกับเวลา ในขณะเดียวกันก็วัดค่าการย่อยสลายสารอินทรีย์ในรูปของค่าบีโอดี ซีโอดี และดีไอซี เทียบกับเวลาเช่นเดียวกัน จากนั้นนำค่าที่ได้เหล่านี้ไปคำนวณการหาค่าสัมประสิทธิ์ทางจลนพลศาสตร์ของการย่อยสลายทางชีวภาพ

2.1.1 การทดลองเพื่อหาค่าอัตราการใช้สารอาหารสูงสุดของจุลินทรีย์ (k) และความเข้มข้นของสารอาหารเมื่ออัตราการย่อยสลายสารอาหารเท่ากับครึ่งหนึ่งของอัตราการย่อยสลายสูงสุด (K_m)

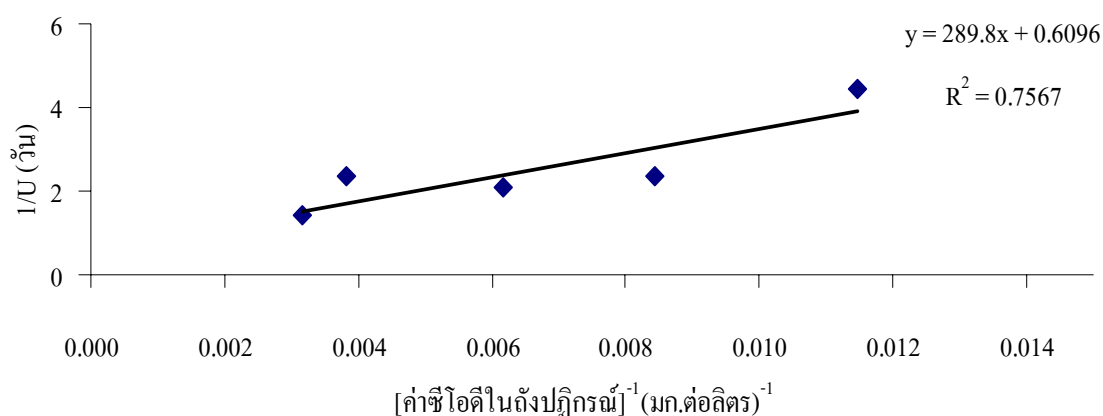
ผลการทดลอง ดังตารางที่ 10 นำไปคำนวณค่า $1/U$ ตามสมการที่ 4 และนำไปค่าไปแทนในสมการมิเชลิสเมนเตน (สมการที่ 3) แล้วจัดรูปใหม่ตามสมการที่ 5 จะได้สมการเส้นตรง นำไปพล็อตกราฟได้ดังภาพที่ 23 จุดตัดแกน X คือค่า $1/K_m$ และความชันของกราฟคือค่า K_m/k ดังนั้นค่า K_m คำนวณได้จากสมการที่ 6 และค่า k คำนวณได้จากสมการที่ 7

ตารางที่ 10 ผลการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์จลนพลศาสตร์แบบแบตซ์เพื่อคำนวณค่าอัตราการย่อยสลายสารอาหารสูงสุดของจุลินทรีย์ และความเข้มข้นของสารอาหารเมื่ออัตราการย่อยสลายสารอาหารเท่ากับครึ่งหนึ่งของอัตราการย่อยสลายสูงสุด

เวลา (วัน)	ค่าซีโอดีในถังปฏิกรณ์ (มก.ต่อลิตร)	ความเข้มข้นตะกอนจุลินทรีย์ (มก.ต่อลิตร)	1/U	[ค่าซีโอดีในถังปฏิกรณ์] ⁻¹ (มก.ต่อลิตร) ⁻¹
0.00	500	345		
0.50	315	405	1.41	0.0032
1.13	262	270	1.86	0.0038
1.50	162	450	2.09	0.0062
2.00	118	430	2.35	0.0084
4.08	87	320	3.76	0.0115

หมายเหตุ: มก. หมายถึง มิลลิกรัม

U หมายถึง อัตราการย่อยสลายสารอาหารจำเพาะ คำนวณค่า U ดังสมการที่ 4



ภาพที่ 23 กราฟเส้นตรงที่ได้จากการทดลองแบบแบตซ์เพื่อคำนวณหาอัตราการย่อยสลายสารอาหารสูงสุดของจุลินทรีย์ และความเข้มข้นของสารอาหารเมื่ออัตราการย่อยสลายสารอาหารเท่ากับครึ่งหนึ่งของอัตราการย่อยสลายสูงสุด

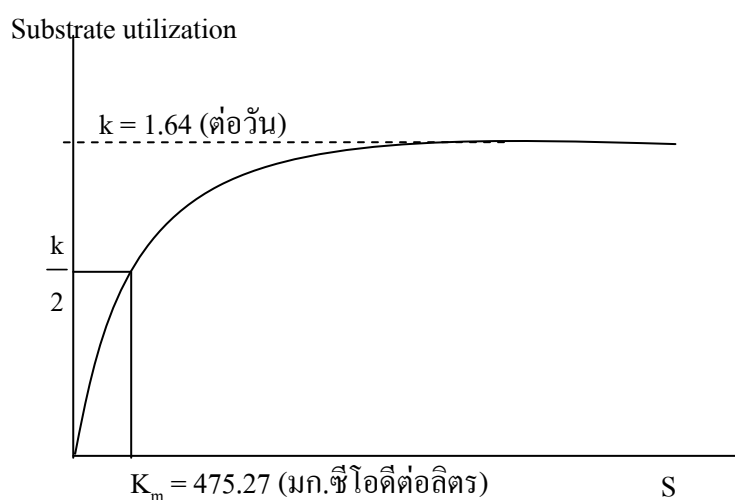
หมายเหตุ: มก. หมายถึง มิลลิกรัม

U หมายถึง อัตราการย่อยสลายสารอาหารจำเพาะ คำนวณค่า U ดังสมการที่ 4

จากสมการเส้นตรงที่ได้จากกราฟความชันของกราฟเท่ากับ 289.8 และ จุดตัดแกน y เท่ากับ 0.6096 สามารถนำมาหาค่าอัตราการย่อยใช้สารอาหารสูงสุดของจุลินทรีย์ และความเข้มข้นของสารอาหารเมื่ออัตราการย่อยสลายสารอาหารเท่ากับครึ่งหนึ่งของอัตราการย่อยสลายสูงสุดได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
 K_m &= \text{ความชันกราฟ} \times k \\
 &= 289.8 \times 1.64 \\
 &= 475.27 \text{ (มก.ซีโอดีต่อลิตร)} \\
 k &= \frac{1}{\text{จุดตัดแกน Y}} \\
 &= \frac{1}{0.6096} \\
 &= 1.64 \text{ (มก.ซีโอดีต่อมก.ตะกอนจุลินทรีย์ต่อวัน)}
 \end{aligned}$$

ความเข้มข้นของสารอาหารเมื่ออัตราการย่อยสลายสารอาหารเท่ากับ ครึ่งหนึ่งของอัตราการย่อยสลายเท่ากับ 475.27 มก.ซีโอดีต่อลิตร และค่าอัตราการย่อยใช้สารอาหาร สูงสุดของจุลินทรีย์ เท่ากับ 1.64 มก.ซีโอดีต่อมก.ตะกอนจุลินทรีย์ต่อวัน ค่าคงที่ทั้งสองค่านี้นำไป หาความสัมพันธ์โดยใช้ สมการมิเชลิสเมนเตน ได้ดังภาพที่ 24



ภาพที่ 24 แสดงกราฟจากสมการมิเชลิสเมนเตน

ที่มา: ดัดแปลงจาก Tom and Paul (1996)

2.1.2 การทดลองเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ (Y) และ อัตราการตายของจุลินทรีย์ (k_d)

ผลการทดลอง ดังตารางที่ 11 นำไปคำนวณค่าตามสมการที่ 13 จะได้สมการเส้นตรงที่มีแกน x คือ dS/Xdt และแกน y คือค่า dX/Xdt ความชันกราฟคือสัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ (Y) และจุดตัดแกน y คืออัตราการตายของจุลินทรีย์ (k_d)

ตารางที่ 11 ผลการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์จลนพลศาสตร์แบบแบดซ์เพื่อคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ และอัตราการตายของจุลินทรีย์

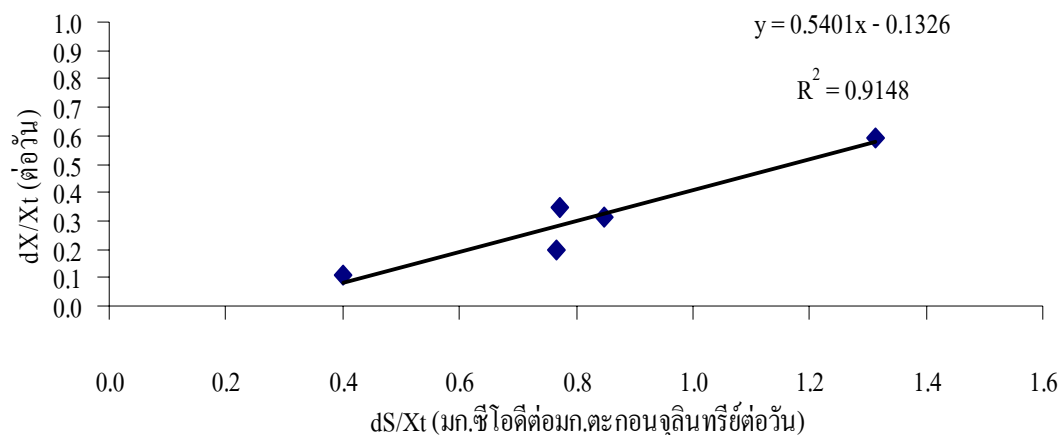
เวลา(วัน)	ความเข้มข้นซีโอดี (มก.ต่อลิตร)	ความเข้มข้นตะกอนจุลินทรีย์ (มก.ต่อลิตร)	dS/Xdt	dX/Xdt
0.00	500	345		
0.50	315	405	1.31	0.59
1.13	262	428	0.77	0.34
1.50	162	450	0.85	0.31
2.00	118	430	0.77	0.20
4.08	87.2	440	0.40	0.11

หมายเหตุ: มก. หมายถึง มิลลิกรัม

S หมายถึง ความเข้มข้นสารอาหาร (มก.ซีโอดีต่อลิตร)

X หมายถึง ความเข้มข้นตะกอนจุลินทรีย์ (มก.ต่อลิตร)

t หมายถึง เวลา (วัน)



ภาพที่ 25 กราฟเส้นตรงที่ได้จากการทดลองแบบแบตช์เพื่อคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ และอัตราการตายของจุลินทรีย์

หมายเหตุ: มก. หมายถึง มิลลิกรัม

S หมายถึง ความเข้มข้นสารอาหาร (มก.ซีโอดีต่อลิตร)

X หมายถึง ความเข้มข้นตะกอนจุลินทรีย์ (มก.ต่อลิตร)

t หมายถึง เวลา (วัน)

จากสมการเส้นตรงที่ได้จากกราฟความชันของกราฟเท่ากับ 0.5401 และจุดตัดแกน y เท่ากับ -0.1326 สามารถนำมาหาค่าสัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ (Y) และอัตราการตายของจุลินทรีย์ (k_d) ได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
 Y &= \text{ความชันของกราฟ} \\
 &= 0.5401 \text{ (มก.ตะกอนจุลินทรีย์ต่อมก.ซีโอดี)} \\
 k_d &= \text{จุดตัดแกน y} \\
 &= 0.1326 \text{ (มก.ตะกอนจุลินทรีย์ที่ลดลงต่อมก.จุลินทรีย์เฉลี่ยในระบบต่อวัน)}
 \end{aligned}$$

สัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์หมายถึงปริมาณจุลินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นต่อปริมาณการย่อยสลายสารอาหาร ในการทดลองนี้เท่ากับ 0.5401 มก.ตะกอนจุลินทรีย์ต่อมก.ซีโอดี ซึ่งใกล้เคียงกับการทดลองของ Qain and Yu (1987) ทำการทดลองเลี้ยงเชื้อแบคทีเรียสังเคราะห์แสงสายพันธุ์ *Rh. spaeroides* ได้ค่าสัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์เท่ากับ 0.55 มก.ตะกอนจุลินทรีย์ต่อมก.ซีโอดี การทดลองของ Nopatnaraporn (1990) ทำการเลี้ยงเชื้อใน

สายพันธุ์เดียวกันได้ค่าสัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์เท่ากับ 0.45 มก.ตะกอนจุลินทรีย์ต่อมก.ซีโอดี และการทดลองของ Somoya *et al.* (1988) ศึกษาค่าสัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตของเชื้อสายพันธุ์ *Rhodobacter capsulatus* ได้เท่ากับ 0.4 มก.ตะกอนจุลินทรีย์ต่อมก.ซีโอดี

การตายของจุลินทรีย์เกิดขึ้นได้เนื่องจากการที่แบคทีเรียใช้สารอาหารที่มีอยู่จนหมดแล้วจึงเริ่มทำการย่อยสลายส่วนประกอบในเซลล์จึงเป็นสาเหตุให้เกิดการตายขึ้น (มันสิน, 2523) อัตราการตายของจุลินทรีย์ ในการทดลองนี้มีค่าเท่ากับ 0.13 มก.ตะกอนจุลินทรีย์ที่ลดลงต่อมก.จุลินทรีย์เฉลี่ยในระบบต่อวัน เมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาอัตราการตายของจุลินทรีย์ของน้ำเสียจากโรงงานผลิตนม โดยใช้การบำบัดแบบใช้อากาศมีค่าเท่ากับ 0.045 มก.ตะกอนจุลินทรีย์ที่ลดลงต่อมก.จุลินทรีย์เฉลี่ยในระบบต่อวัน (เสริมพลและไชยยุทธ, 2518) และ 0.048 มก.ตะกอนจุลินทรีย์ที่ลดลงต่อมก.จุลินทรีย์เฉลี่ยในระบบต่อวัน (อุษกร, 2535) ซึ่งค่าอัตราการตายที่ได้จากการทดลองมีค่าสูงกว่าอัตราการตายของระบบการบำบัดแบบใช้อากาศ และจากการทดลองของ Suwasa (1990) ได้ทำการทดลองหาอัตราการตายของแบคทีเรียสังเคราะห์แสงสายพันธุ์ *Rh. sphaeroides* โดยมีสารอาหารเป็นน้ำกะทิ (coconut cream) ได้ค่าอัตราการตายเท่ากับ 0.0008 มก.ตะกอนจุลินทรีย์ที่ลดลงต่อมก.จุลินทรีย์เฉลี่ยในระบบต่อวัน เห็นได้ว่าค่าอัตราการตายของการทดลองที่ได้มีค่าต่ำมากเนื่องจากน้ำกะทิเป็นสารที่ย่อยสลายได้ยากเนื่องจากมีองค์ประกอบเป็นไขมันอยู่ในปริมาณสูงแบคทีเรียจึงนำสารอาหารไปใช้ในการเจริญเติบโตได้น้อยส่งผลให้มีอัตราการเจริญเติบโตและอัตราการตายต่ำ (มันสิน, 2523) และอีกทั้งในระบบที่มีไขมันอยู่ปริมาณสูงจะยับยั้งการย่อยสลายของจุลินทรีย์ (Suwasa, 1990) ด้วยสาเหตุนี้อัตราการตายของแบคทีเรียที่ใช้น้ำกะทิเป็นสารอาหารจึงต่ำกว่าที่มีนมเป็นสารอาหารของการทดลองนี้

2.1.3 การทดลองเพื่อหาค่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุดของจุลินทรีย์ (μ_m) และค่าความเข้มข้นของสารอาหารเมื่อมีการอัตราการย่อยสลายเท่ากับครึ่งหนึ่งของอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุด (K_s)

ผลการทดลอง ดังตารางที่ 12 นำไปคำนวณค่าตามสมการที่ 14-15 จะได้สมการเส้นตรงที่มีแกน x คือความเข้มข้นตะกอนจุลินทรีย์(มก.ต่อลิตร) และแกน y คือค่า $S(0/(1+k_d \cdot 0))$ ความชันกราฟคือ ส่วนกลับของอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุดของจุลินทรีย์ และจุดตัดแกน y คือ สัดส่วนระหว่างค่าความเข้มข้นของสารอาหารเมื่อมีการอัตราการย่อยสลายเท่ากับครึ่งหนึ่งของอัตราการย่อยสลายสูงสุดกับอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุดของจุลินทรีย์

ลินทรีย์ การคำนวณค่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุดของจุลินทรีย์ และค่าความเข้มข้นของสารอาหารเมื่อมีการอัตราการย่อยสลายเท่ากับครึ่งหนึ่งของอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุด แสดงดังสมการที่ 16 และ 17 ตามลำดับ

ตารางที่ 12 ผลการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์จลศาสตร์แบบแบคซ์เพื่อคำนวณค่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุดของจุลินทรีย์ และค่าความเข้มข้นของสารอาหารเมื่อมีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะเท่ากับครึ่งหนึ่งของอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุด

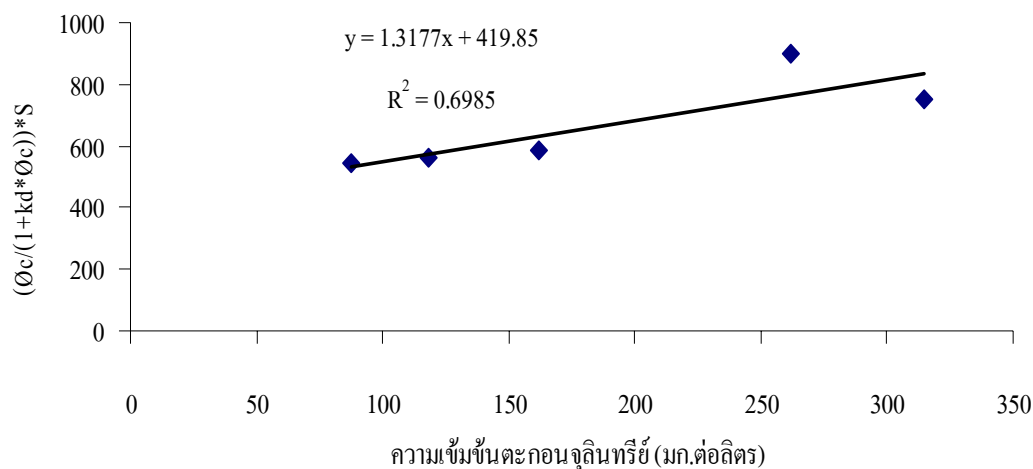
เวลา (วัน)	ความเข้มข้นซีโอดี (มก.ต่อลิตร)	ความเข้มข้นตะกอนจุลินทรีย์ (มก.ต่อลิตร)	$(\theta_c (1+k_d * \theta_c)) * S$
0.00	500	345	
0.50	315	405	749
1.13	262	428	900
1.50	162	450	586
2.00	118	430	564
4.08	87.2	440	546

หมายเหตุ: มก. หมายถึง มิลลิกรัม

θ_c หมายถึง ระยะเวลาที่เก็บตะกอนจุลินทรีย์ในระบบ (วัน)

k_d หมายถึง อัตราการตายของจุลินทรีย์ (วัน)

S หมายถึง ความเข้มข้นของสารอาหาร (มก.ซีโอดีต่อลิตร)



ภาพที่ 26 กราฟเส้นตรงที่ได้จากการทดลองแบบเบคต์เพื่อคำนวณค่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุดของจุลินทรีย์ และค่าความเข้มข้นของสารอาหารเมื่ออัตราการเจริญเติบโตเท่ากับครึ่งหนึ่งของอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุด

หมายเหตุ: มก. หมายถึง มิลลิกรัม

D_c หมายถึง ระยะเวลาที่กักเก็บตะกอนจุลินทรีย์ในระบบ (วัน)

k_d หมายถึง อัตราการตายของจุลินทรีย์ (วัน)

S หมายถึง ความเข้มข้นของสารอาหาร (มก.ซีไอดีต่อลิตร)

จากสมการเส้นตรงที่ได้จากกราฟความชันของกราฟเท่ากับ 1.3177 และจุดตัดแกน y เท่ากับ 419.85 สามารถนำมาคำนวณค่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุดของจุลินทรีย์ และค่าความเข้มข้นของสารอาหารเมื่อมีการอัตราการเจริญเติบโตเท่ากับครึ่งหนึ่งของอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุด

$$\begin{aligned}
 \mu_m &= \frac{1}{\text{ความชันกราฟ}} \\
 &= \frac{1}{1.3177} \\
 &= 0.76 \text{ (มก.ตะกอนจุลินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นต่อมก.ตะกอนจุลินทรีย์เฉลี่ยในระบบต่อวัน)}
 \end{aligned}$$

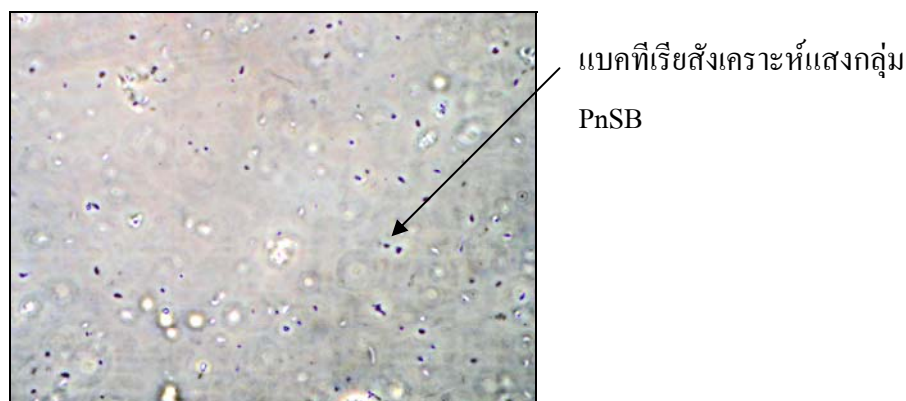
$$\begin{aligned}
 K_s &= \text{จุดตัดแกน } Y \times \mu_m \\
 &= 419.85 \times 0.76 \\
 &= 319.09 \text{ (มก.ซีไอดีต่อลิตร)}
 \end{aligned}$$

อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุดของจุลินทรีย์จะขึ้นอยู่กับชนิดของจุลินทรีย์และสารอาหารเป็นอย่างมาก โดยทั่วไปแล้วสารอาหารที่ย่อยสลายได้ยากจะมีค่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะต่ำ ในทางตรงกันข้ามสารอาหารที่ย่อยสลายง่ายจะมีค่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูง (มันสิน, 2523) ในการทดลองนี้มีค่าเท่ากับ 0.76 มก.ตะกอนจุลินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นต่อมก.ตะกอนจุลินทรีย์เฉลี่ยในระบบต่อวัน ในขณะที่การทดลองของ Suwasa (1990) ทำการศึกษาค่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุดของจุลินทรีย์สังเคราะห์แสงใช้สารอาหารเป็นน้ำกะทิพบว่ามีความอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุดเท่ากับ 0.32 มก.ตะกอนจุลินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นต่อมก.ตะกอนจุลินทรีย์เฉลี่ยในระบบต่อวัน แสดงให้เห็นว่าน้ำเสียจากโรงงานผลิตนมสามารถย่อยสลายโดยแบคทีเรียสังเคราะห์แสงได้ง่ายกว่าน้ำเสียน้ำกะทิ

ความเข้มข้นของสารอาหารเมื่อมีการเจริญเติบโตเท่ากับครึ่งหนึ่งของอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุดขึ้นอยู่กับชนิดของจุลินทรีย์และสารอาหารของจุลินทรีย์ เช่นเดียวกับค่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุดของจุลินทรีย์แต่มีความสัมพันธ์ในทางตรงกันข้าม กล่าวคือหากระบบใดที่ค่าความเข้มข้นของสารอาหารเมื่อมีอัตราการเจริญเติบโตเท่ากับครึ่งหนึ่งของอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุดมีค่ามากแสดงให้เห็นว่าสารอาหารนั้นย่อยสลายได้ยากส่งผลให้จุลินทรีย์มีอัตราการเจริญเติบโตต่ำ สำหรับในการทดลองนี้มีค่าเท่ากับ 319 มก.ซีไอดีต่อลิตร และหากจะเปรียบเทียบการย่อยสลายของน้ำเสียต่างชนิดกันโดยใช้แบคทีเรียประเภทเดียวกันแล้วก็จะสามารถสรุปได้ว่าน้ำเสียชนิดใดที่ย่อยสลายได้ง่ายและเหมาะสมกับแบคทีเรียชนิดนั้นจากการทดลองของ Suwasa (1990) เลี้ยงเชื้อแบคทีเรียสังเคราะห์แสง โดยมีสารอาหารเป็นน้ำกะทิพบว่าแบคทีเรียมีความเข้มข้นของสารอาหารเมื่อมีอัตราการเจริญเติบโตเท่ากับครึ่งหนึ่งของอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุดเท่ากับ 8000 มก.ซีไอดีต่อลิตร แสดงให้เห็นว่าน้ำเสียที่มีองค์ประกอบของนมย่อยสลายได้ง่ายกว่าน้ำเสียที่มีองค์ประกอบของน้ำกะทิและเหมาะสมต่อจุลินทรีย์สังเคราะห์แสงมากกว่า

2.1.4 การตรวจวัดแบคทีเรียในถังปฏิกรณ์ชีวภาพขณะทำการทดลอง

ในระหว่างการทดลองมีการเก็บตัวอย่างเชื้อแบคทีเรียในถังปฏิกรณ์ไปส่งกล้องจุลทรรศน์เพื่อตรวจชนิดของแบคทีเรียได้ผลการทดลองดังภาพที่ 27

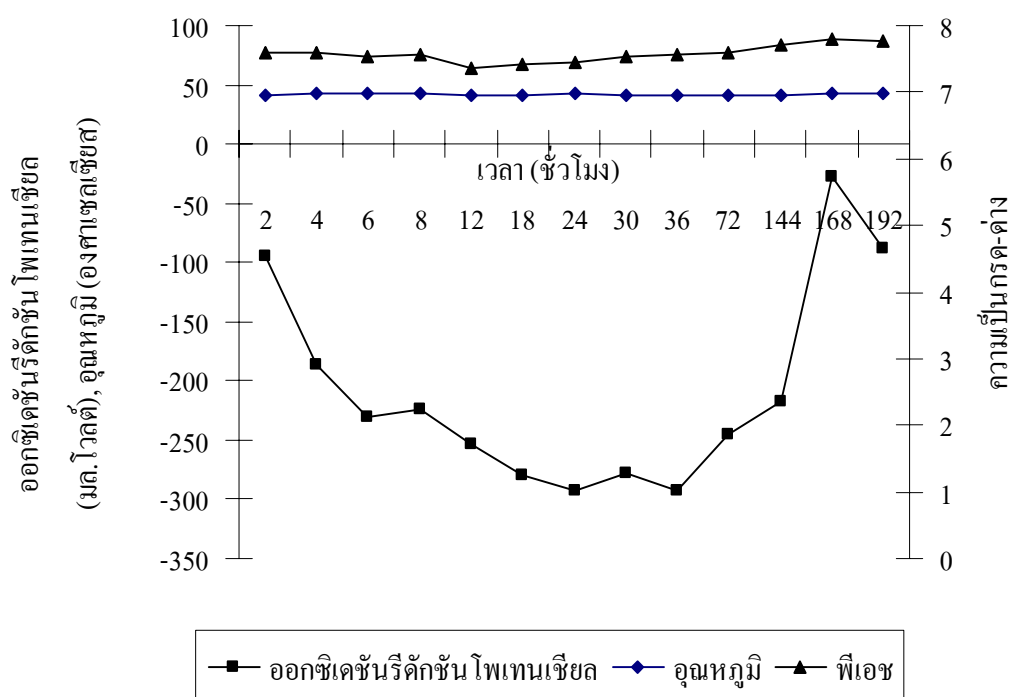


ภาพที่ 27 แสดงการส่องกล้องจุลทรรศน์ตรวจสอบเชื้อแบคทีเรียสังเคราะห์แสงกลุ่ม PnSB
กำลังขยาย 1000 เท่า

จากภาพที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์แสดงให้เห็นเชื้อแบคทีเรียสังเคราะห์แสงกลุ่ม PnSB ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Honda (2005) ดังแสดงในภาพที่ 3 จุลินทรีย์ที่เห็นมีลักษณะเป็นแท่ง ขณะส่องสามารถเห็นการเคลื่อนที่ได้โดยแบคทีเรียชนิดนี้มีลักษณะการเคลื่อนที่เข้าหาแสง และสามารถเคลื่อนที่ได้เฉลี่ย 30 เซนติเมตรต่อวัน (Honda, 2005)

2.1.5 การตรวจวัดค่าออกซิเดชันรีดักชันโพเทนเชียล อุณหภูมิ และค่าความเป็นกรด-ด่าง ในขณะทดลองเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์จลนพลศาสตร์โดยถังปฏิกรณ์แบบเบดซ์

การเปลี่ยนแปลงค่าออกซิเดชันรีดักชันโพเทนเชียล (oxidation reduction potential: ORP) อุณหภูมิ และค่าความเป็นกรด-ด่าง ในขณะทดลองเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์จลนพลศาสตร์โดยถังปฏิกรณ์แบบเบดซ์ แสดงดังภาพที่ 28 ซึ่งในการทดลองไม่มีความเข้มข้นของออกซิเจนละลาย (dissolved oxygen: DO) ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงค่าออกซิเดชันรีดักชันโพเทนเชียลจึงเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของปฏิกิริยาในระบบเท่านั้น



ภาพที่ 28 ค่าออกซิเดชันรีดักชันโพแทสเซียม อุณหภูมิ และค่าความแตกต่าง ในขณะทดลอง เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์จลนพลศาสตร์โดยดั่งปฏิกรณ์แบบแบตช์

จากภาพที่ 28 แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงของค่าออกซิเดชันรีดักชันโพแทสเซียมในถังปฏิกรณ์ ซึ่งเห็นได้ว่าในช่วงแรกของการเปลี่ยนแปลงค่าออกซิเดชันรีดักชันโพแทสเซียมลดลงอย่างรวดเร็ว แสดงให้เห็นว่าระบบการบำบัดเป็นระบบไร้อากาศหาค่าคิดลบ แสดงว่าเกิดปฏิกิริยารีดักชันซึ่งแสดงให้เห็นว่าระบบเกิดปฏิกิริยาแบบไร้อากาศหาค่าคิดลบมากขึ้นแสดงว่าเกิดปฏิกิริยารีดักชันมากขึ้นแสดงให้เห็นว่าระบบมีอัตราการย่อยสลายสารอาหารสูงด้วยสาเหตุที่ในช่วงแรกมีการลดลงอย่างรวดเร็วซึ่งหมายถึงมีอัตราการย่อยสลายสูงนั้นเนื่องจากในระบบมีสารอาหารจำนวนมากเพียงพอแก่การย่อยสลายของจุลินทรีย์ เมื่อเวลาผ่านไปค่าออกซิเดชันรีดักชันโพแทสเซียมเริ่มเพิ่มขึ้นแสดงว่ามีอัตราการย่อยสลายลดลงเนื่องมาจากมีปริมาณสารอาหารในระบบลดน้อยลง

ค่าความแตกต่างในถังมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยแต่ก็อยู่ในช่วง 7.5-8 ซึ่งเป็นช่วงที่แบคทีเรียสังเคราะห์แสงสามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ โดยทำการควบคุมปรับค่าความเป็น

กรด-ด่างด้วยกรดไฮโดรคลอริก (HCl) และโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เจือจาง เมื่อค่าความเป็นกรด-ด่างในถังมีการเปลี่ยนแปลง

อุณหภูมิในถังปฏิกรณ์ชีวภาพไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนักโดยอยู่ในช่วง 40-50 °C ซึ่งแบคทีเรียสังเคราะห์แสงสามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ภายใต้อุณหภูมิที่เกิดขึ้น ซึ่งจากการศึกษาของ Sasikala *et al.* (1993) พบว่าแบคทีเรียสังเคราะห์แสง PnSB สามารถเจริญเติบโตได้ที่อุณหภูมิ 45-50 องศาเซลเซียส

2.2 การทดลองแบบถังปฏิกริยาชนิดเอสบีอาร์

ศึกษาหาค่าสัมประสิทธิ์จลนพลศาสตร์ของการย่อยสลายทางชีวภาพของน้ำเสียจากโรงงานผลิตนม ทดลองโดยใช้น้ำเสียจากโรงงานผลิตนม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ใช้แบคทีเรียสังเคราะห์แสงในการย่อยสลาย ทำการทดลองโดยแบบจำลองในห้องปฏิบัติการ ทำการทดลองแบบถังปฏิกริยาชนิดเอสบีอาร์ (sequencing batch reactor : SBR) กำหนดค่าสัดส่วนสารอาหารและมวลจุลินทรีย์ (F/M) 4 ค่า คือ 0.05, 0.15, 0.3 และ 0.6 ตามลำดับ ระยะเวลาเก็บกัก (HRT) 1 วัน แล้ววัดการเปลี่ยนแปลงปริมาณจุลินทรีย์ในรูปของ MLVSS ในขณะเดียวกันก็วัดสารอินทรีย์ในรูปของค่าซีโอดีเทียบกับเวลาเช่นเดียวกัน จากนั้นนำค่าที่ได้เหล่านี้ไปคำนวณการค่าสัมประสิทธิ์ทางจลนพลศาสตร์ของการย่อยสลายทางชีวภาพ

2.2.1 การทดลองเพื่อหาอัตราการใช้สารอาหารสูงสุด (maximum rate of substrate utilization, k) และค่าความเข้มข้นของสารอาหารที่ครึ่งหนึ่งของอัตราการเจริญเติบโตสูงสุด (Half velocity constant, K_s)

อัตราการใช้สารอาหารสูงสุด (k) เป็นค่าอัตราส่วนระหว่างอัตราการใช้สารอาหารสูงสุดต่อหนึ่งหน่วยมวลของจุลินทรีย์มีหน่วยเป็นต่อวัน และค่าความเข้มข้นของสารอาหารที่ครึ่งหนึ่งของอัตราการเจริญเติบโตสูงสุด (K_s) มีหน่วยเป็น มก.บีโอดีต่อลิตร ได้จากการนำข้อมูลในตารางที่ 13 ไปคำนวณตามสมการที่ 18-22 และนำไปจัดให้อยู่ในรูปสมการเส้นตรงดังสมการที่ 23 จากนั้นนำไปพล็อตกราฟได้ดังภาพที่ 29

ตารางที่ 13 แสดงปริมาณบีโอดี (BOD) ที่ถูกกำจัดและความเข้มข้นตะกอนจุลินทรีย์ (MLVSS) ที่เพิ่มขึ้น ในการหาใช้อัตรการใช้สารอาหารสูงสุด และความเข้มข้นของสารอาหารที่ครั้งหนึ่งของอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุด ของระบบเอสปีอาร์ร่วมกับปฏิกิริยาการสังเคราะห์แสง ในถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบมีเมมเบรนจมตัว

ตะกอนจุลินทรีย์เริ่มต้น (มก.ต่อลิตร)	ตะกอนจุลินทรีย์ที่เวลาสุดท้าย (มก.ต่อลิตร)	ชีโอดีเริ่มต้น (มก.ต่อลิตร)	ชีโอดีที่เวลาสุดท้าย (มก.ต่อลิตร)	$X(HRT)/(S_0 - S)$
1238	1314	1326	31.7	1.09
1247	1330	1451	28.9	1.03
400	498	744	52.1	0.74
454	593	934	86.7	0.84
240	331	758	62.5	0.50
254	362	937	96.9	0.49
149	223	767	88.6	0.30
186	309	797	103.7	0.40

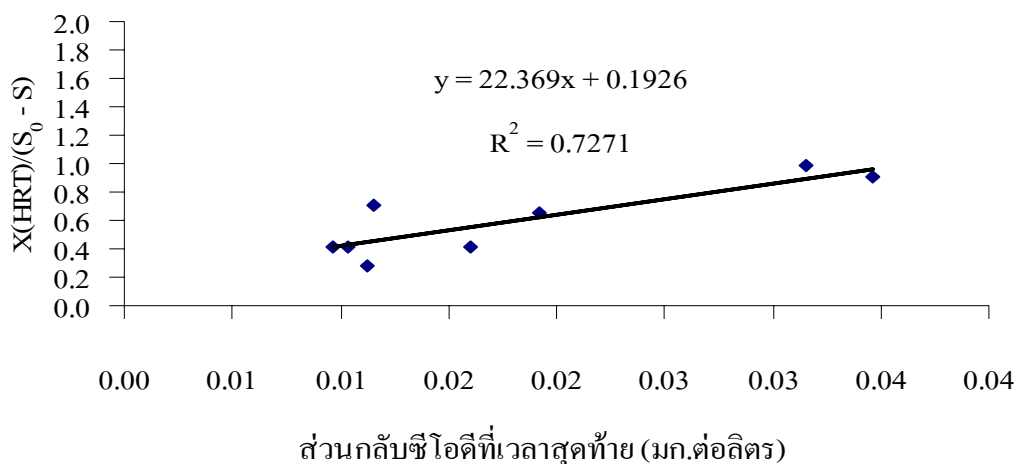
หมายเหตุ: มก. หมายถึง มิลลิกรัม

X หมายถึง ความเข้มข้นตะกอนจุลินทรีย์ (มก.ตะกอนจุลินทรีย์ต่อลิตร)

HRT หมายถึง ระยะเวลาเก็บกักน้ำเสีย (วัน)

S_0 หมายถึง ความเข้มข้นของสารอาหารที่เข้าระบบ (มก.ชีโอดีต่อลิตร)

S หมายถึง ความเข้มข้นของสารอาหาร (มก.ชีโอดีต่อลิตร)



ภาพที่ 29 กราฟเส้นตรงที่ได้จากการทดลองระบบเอสบีอาร์ร่วมกับปฏิกิริยาการสังเคราะห์แสงในถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบมีเมมเบรนจมตัวเพื่อคำนวณค่าอัตราการใช้สารอาหารสูงสุดและความเข้มข้นของสารอาหารที่ครึ่งหนึ่งของอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุดของจุลินทรีย์

หมายเหตุ: มก. หมายถึง มิลลิกรัม

HRT หมายถึง ระยะเวลาเก็บกักน้ำเสีย (วัน)

S_0 หมายถึง ความเข้มข้นของสารอาหารที่เข้าระบบ (มก.ซีโอดีต่อลิตร)

S หมายถึง ความเข้มข้นของสารอาหาร (มก.ซีโอดีต่อลิตร)

X หมายถึง ความเข้มข้นตะกอนจุลินทรีย์ (มก.ตะกอนจุลินทรีย์ต่อลิตร)

จากผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 13 นำมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $(X)(HRT)/(S_0 - S)$ กับ ส่วนกลับซีโอดีที่เวลาสุดท้าย ซึ่งค่าความชันของกราฟคือสัดส่วนระหว่างความเข้มข้นของสารอาหารที่ครึ่งหนึ่งของอัตราการเจริญเติบโตสูงสุดกับอัตราการใช้สารอาหารสูงสุด และมีจุดตัดแกน y คือ ส่วนกลับอัตราการใช้สารอาหารสูงสุด ดังภาพที่ 29 สามารถคำนวณค่าความเข้มข้นของสารอาหารที่ครึ่งหนึ่งของอัตราการเจริญเติบโตสูงสุด และค่าอัตราการใช้สารอาหารสูงสุด ได้ดังสมการที่ 24 และ 25 ตามลำดับ

จากผลการทดลองสามารถหาค่าความเข้มข้นของสารอาหารที่ครึ่งหนึ่งของอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุดได้เท่ากับ 116 มก.ซีโอดีต่อลิตร เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการทดลองโดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ซึ่งเท่ากับ 319 มก.ซีโอดีต่อลิตร แสดงให้เห็นว่าน้ำ

เสียจริงจากโรงงานผลิตนมนี้ย่อยสลายได้ง่ายกว่าน้ำเสียสังเคราะห์ เนื่องมาจากในน้ำเสียสังเคราะห์มีองค์ประกอบของนมเพียงอย่างเดียว ซึ่งจากที่ได้กล่าวมาแล้วว่าองค์ประกอบของนมส่วนใหญ่เป็นสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ยากเช่น โปรตีน และไขมัน ทั้งนี้ น้ำเสียที่มีนมเป็นองค์ประกอบอยู่มากจึงเป็นน้ำเสียที่ย่อยสลายได้ยาก ในขณะที่น้ำเสียจริงนั้น มีองค์ประกอบของสิ่งสกปรกอื่นๆ ที่ย่อยสลายง่ายรวมอยู่ด้วย จึงอาจเป็นสาเหตุให้น้ำเสียสังเคราะห์ย่อยสลายได้ยากกว่าจึงมีค่าความเข้มข้นของสารอาหารที่ครั้งหนึ่งของอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุดสูงกว่าน้ำเสียจริงจากโรงงานผลิตนม และจากการศึกษาพบว่าแบคทีเรียสังเคราะห์แสง PnSB มีอัตราการใช้สารอาหารสูงสุดซึ่งเป็นน้ำเสียจริงจากโรงงานผลิตนม เท่ากับ 5.19 มก.ซีไอดีต่อมก.ตะกอนจุลินทรีย์ต่อวัน

2.2.2 การทดลองเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ (Yield coefficient, Y) และอัตราการตายของจุลินทรีย์ (Decay rate, k_d)

สัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ (Y) เป็นค่าอัตราส่วนระหว่างการเจริญเติบโตต่ออัตราการใช้สารอาหารมีหน่วยเป็น มก.ตะกอนจุลินทรีย์ต่อมก.ซีไอดี และอัตราการตายของจุลินทรีย์ (k_d) มีหน่วยเป็น ต่อวัน ได้จากการนำข้อมูลในตารางที่ 14 ไปคำนวณตามสมการที่ 8-12 และนำไปจัดให้อยู่ในรูปสมการเส้นตรงดังสมการที่ 13 จากนั้นนำไปพล็อตกราฟได้ดังภาพที่ 30

ตารางที่ 14 แสดงปริมาณชีโอดีที่ถูกกำจัดและความเข้มข้นตะกอนจุลินทรีย์(MLVSS) ที่เพิ่มขึ้นในการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ และอัตราการตายของจุลินทรีย์ ของระบบเอสปีอาร์ร่วมกับปฏิกิริยาการสังเคราะห์แสง ในถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบมีเมมเบรนจมตัว

ตะกอนจุลินทรีย์เริ่มต้น (มก.ต่อลิตร)	ตะกอนจุลินทรีย์ที่เวลาสุดท้าย (มก.ต่อลิตร)	ชีโอดีเริ่มต้น (มก.ต่อลิตร)	ชีโอดีที่เวลาสุดท้าย (มก.ต่อลิตร)	(dX/dt)/X	(S ₀ - S)/ X(HRT)
1238	1314	1326	31.7	0.06	1.01
1247	1330	1451	28.9	0.06	1.10
400	498	744	52.1	0.22	1.54
454	593	934	86.7	0.23	1.41
240	331	758	62.5	0.32	2.43
254	362	937	96.9	0.31	2.38
149	223	767	88.6	0.40	3.65
186	309	797	103.7	0.43	2.44

หมายเหตุ: มก. หมายถึง มิลลิกรัม

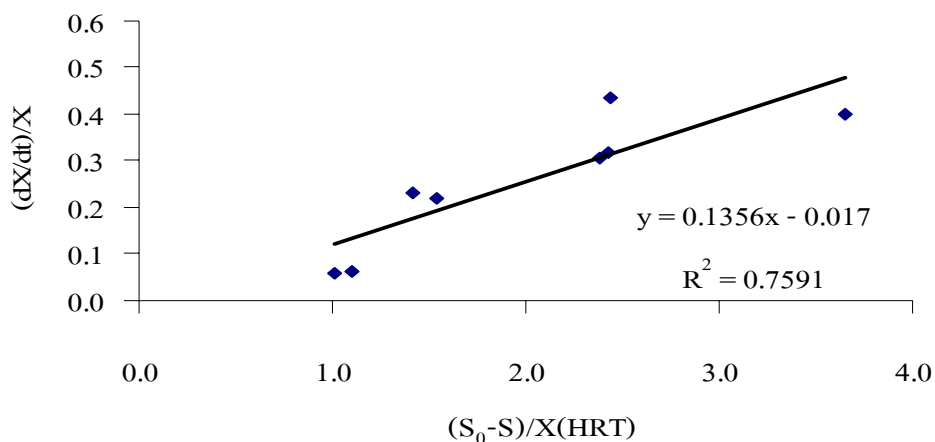
HRT หมายถึง ระยะเวลาเก็บกักน้ำเสีย (วัน)

S₀ หมายถึง ความเข้มข้นของสารอาหารที่เข้าระบบ (มก.ชีโอดีต่อลิตร)

S หมายถึง ความเข้มข้นของสารอาหาร (มก.ชีโอดีต่อลิตร)

X หมายถึง ความเข้มข้นตะกอนจุลินทรีย์ (มก.ตะกอนจุลินทรีย์ต่อลิตร)

t หมายถึง เวลา (วัน)



ภาพที่ 30 กราฟเส้นตรงที่ได้จากการทดลองระบบเอสปีอาร์ร่วมกับปฏิกิริยาการสังเคราะห์แสง ใน ถึงปฏิกิริยชีวภาพแบบมีเมมเบรนจมตัวเพื่อคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตของ จุลินทรีย์ และอัตราการตายของจุลินทรีย์

หมายเหตุ: มก. หมายถึง มิลลิกรัม

HRT หมายถึง ระยะเวลาเก็บกักน้ำเสีย (วัน)

S_0 หมายถึง ความเข้มข้นของสารอาหารที่เข้าระบบ (มก.ซีโอดีต่อลิตร)

S หมายถึง ความเข้มข้นของสารอาหาร (มก.ซีโอดีต่อลิตร)

X หมายถึง ความเข้มข้นตะกอนจุลินทรีย์ (มก.ตะกอนจุลินทรีย์ต่อลิตร)

t หมายถึง เวลา (วัน)

จากผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 14 นำมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ ระหว่าง $(S_0 - S)/(X)(\text{HRT})$ กับ dX/Xdt ค่าความชันของกราฟคือสัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตของ จุลินทรีย์ และมีจุดตัดแกน y คือ อัตราการตายของจุลินทรีย์ ดังภาพที่ 30

จากผลการทดลองค่าสัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์มีผลต่อ ปริมาณมวลจุลินทรีย์ในระบบหากค่าสัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตมีค่ามากแสดงว่าในระบบมีมวล ถูกสร้างขึ้นมาก (มันสิน, 2523) ในการทดลองนี้เท่ากับ 0.14 มก.ตะกอนจุลินทรีย์ต่อมก.ซีโอดี และ เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการทดลองกับน้ำเสียสังเคราะห์พบว่าค่าที่ได้จากน้ำเสีย สังเคราะห์เท่ากับ 0.54 มก.ตะกอนจุลินทรีย์ต่อมก.ซีโอดี ซึ่งมีค่ามากกว่าค่าที่ได้จากการทดลองกับ น้ำเสียจริงจากโรงงานผลิตนม แสดงให้เห็นว่าแบคทีเรียมีการใช้น้ำเสียสังเคราะห์เป็นสารอาหาร เพื่อใช้ในการสร้างเซลล์ได้ดีกว่าน้ำเสียจริงจากโรงงานผลิตนม จากการศึกษาของ Somiya *et al.*

(1988) เลี้ยงแบคทีเรียสังเคราะห์แสงสายพันธุ์ *Rh. capsulatus* ด้วยน้ำเสียชุมชน และ Sawada and Roger (1977) เลี้ยงแบคทีเรียสังเคราะห์แสงสายพันธุ์เดียวกันด้วยกลูโคสพบว่ามีความสัมพันธ์การเจริญเติบโตใกล้เคียงกันคือ 0.36 และ 0.37 มก.ตะกอนจุลินทรีย์ต่อมก.ซีโอดี ตามลำดับ ซึ่งมีค่ามากกว่าสัมพันธ์การเจริญเติบโตที่ได้จากน้ำเสียสังเคราะห์และน้อยกว่าที่ได้จากน้ำเสียจริงจากโรงงานผลิตนม สามารถสรุปได้ว่าแบคทีเรียสังเคราะห์แสงที่มีน้ำเสียชุมชนและกลูโคสเป็นสารอาหารมีการใช้สารอาหารในการสร้างเซลล์มากกว่าระบบที่มีน้ำเสียจริงจากโรงงานเป็นสารอาหารซึ่งส่งผลให้ค่าอายุตะกอนของระบบที่มีสารอาหารเป็นน้ำเสียโรงงานมีค่ามากกว่าเนื่องจากมีตะกอนส่วนเกินเกิดขึ้นน้อยกว่า

จากการทดลองหาค่าอัตราการตายของแบคทีเรียสังเคราะห์แสงกลุ่ม PnSB โดยใช้ น้ำเสียจริงจากโรงงานผลิตนม มีค่าเท่ากับ 0.017 มก.ตะกอนจุลินทรีย์ที่ลดลงต่อมก.ตะกอนจุลินทรีย์เฉลี่ยในระบบต่อวัน การตายของแบคทีเรียเกิดจากการย่อยสลายส่วนประกอบภายในเซลล์เพื่อสร้างพลังงานสำหรับการดำรงชีวิตในระหว่างที่ไม่มีสารอาหารอยู่ภายนอกเซลล์ หรือเมื่อแบคทีเรียย่อยสลายสารอาหารในระบบหมดแล้ว อัตราการตายของแบคทีเรียมีอิทธิพลอย่างมากต่อปริมาณจุลินทรีย์ในระบบ ถ้าค่าอัตราการตายมีค่ามากแสดงว่าพฤติกรรมการทางชีวเคมีมีประสิทธิภาพดีในการย่อยสลายสารอาหารให้เป็นคาร์บอนไดออกไซด์ เมื่อสารอาหารถูกย่อยสลายจนหมดแบคทีเรียจะเริ่มย่อยสลายตัวเองเป็นผลให้มีเซลล์เหลืออยู่ในปริมาณน้อย (มันลิน, 2523) ส่งผลให้ตะกอนส่วนเกินในระบบมีน้อยค่าระยะเวลาการเก็บกักตะกอนในระบบจึงมีค่ามาก ดังนั้น นอกจากอัตราการตายจะบ่งบอกถึงการลดลงของแบคทีเรียในระบบแล้วยังบ่งบอกถึงประสิทธิภาพการย่อยสลายสารอาหารและค่าระยะเวลาการเก็บกักตะกอนของระบบด้วยซึ่งหากระบบใดที่แบคทีเรียมีอัตราการตายสูงแสดงว่าระบบนั้นมีประสิทธิภาพสูงในการย่อยสลายสารอาหาร และมีระยะเวลาการเก็บกักตะกอนสูงด้วย เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่าอัตราการตายที่ได้จากการทดลองโดยใช้ น้ำเสียสังเคราะห์พบว่าค่าที่ได้จากน้ำเสียสังเคราะห์มีค่ามากกว่าซึ่งอาจกล่าวได้ว่าแบคทีเรียสังเคราะห์แสงกลุ่ม PnSB มีความสามารถในการย่อยสลายน้ำเสียสังเคราะห์ดีกว่าน้ำเสียจริง และระบบที่ใช้ น้ำเสียสังเคราะห์มีค่าอายุตะกอนมากกว่าระบบที่ใช้ น้ำเสียจริงจากโรงงานผลิตนม

2.2.3 อัตราการเจริญเติบโตสูงสุดของจุลินทรีย์ (Maximum specific growth rate: μ_m)

อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุดของจุลินทรีย์เป็นค่าผลคูณระหว่างอัตราการใช้อาหารสูงสุด (k) กับสัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ (Y) ดังสมการ

$$\mu_m = k \times Y$$

สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\mu_m = 5.19 \times 0.14$$

= 0.73 (มก.ตะกอนจุลินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นต่อมก.ตะกอนจุลินทรีย์เฉลี่ยในระบบต่อวัน)

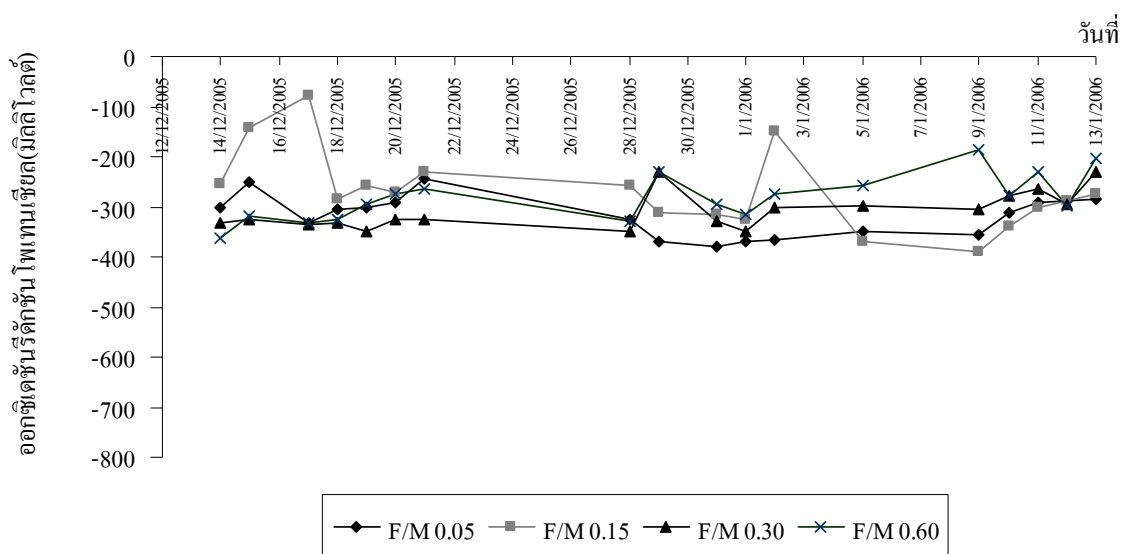
จากผลการทดลองค่าสัมประสิทธิ์ดังกล่าวข้างต้น สามารถนำมาคำนวณค่าอัตราการเติบโตจำเพาะสูงสุดของจุลินทรีย์ คือ 0.73 มก.ตะกอนจุลินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นต่อมก.ตะกอนจุลินทรีย์เฉลี่ยในระบบต่อวัน ค่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุดของจุลินทรีย์มีผลต่อระดับสารอาหารในถังปฏิกรณ์ ถ้าอัตราการเจริญเติบโตสูงส่งผลให้สารอาหารถูกใช้ไปอย่างรวดเร็วความเข้มข้นของสารอาหารในระบบจึงเหลือน้อย ระยะเวลาการกักเก็บน้ำเสียในระบบจึงสั้นตามไปด้วย (มันสิน, 2523) จากการทดลองศึกษาเชื้อแบคทีเรียสังเคราะห์แสงกลุ่ม PnSB ด้วยน้ำเสียสังเคราะห์พบว่าค่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุดมีค่ามากกว่าค่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุดที่ได้จากน้ำเสียจริงจากโรงงานผลิตนมเล็กน้อยการบำบัดน้ำเสียที่มีองค์ประกอบเหมือนกับน้ำเสียสังเคราะห์จึงต้องใช้เวลาในการเก็บกักน้ำเสียมากกว่าการบำบัดน้ำเสียจริงจากโรงงานผลิตนม

2.2.4 การเปลี่ยนแปลงค่า Oxidation-reduction potencial: ORP ในถังปฏิกรณ์

ชีวภาพแบบมีเมมเบรนระหว่างการทดลอง

การเปลี่ยนแปลงค่า Oxidation-reduction potencial: ORP ในถังปฏิกรณ์

ระหว่างการทดลองแสดงดังภาพที่ 31

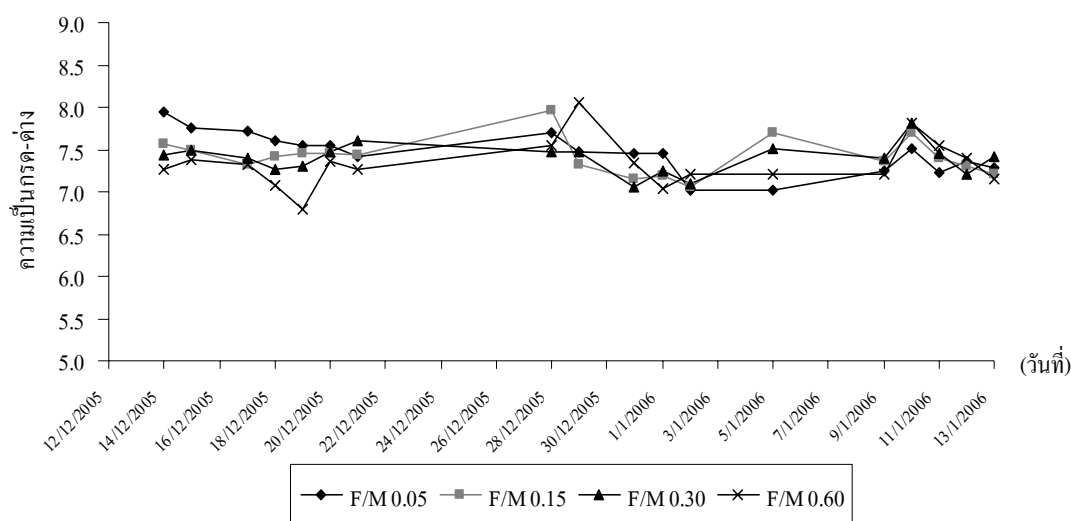


ภาพที่ 31 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าออกซิเดชันรีดักชันโพเทนเชียลในถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบมีเมมเบรนจมตัว

จากภาพที่ 31 แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงของค่าออกซิเดชันรีดักชันโพเทนเชียลในถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบมีเมมเบรนจมตัว ซึ่งได้ทำการทดลองที่ค่า F/M แตกต่างกัน คือ 0.05, 0.15, 0.3 และ 0.6 กก.ปีไอศต็อกก.ตะกอนจุลินทรีย์ต่อวัน ค่าออกซิเดชันรีดักชันโพเทนเชียลจะเกิดการเปลี่ยนแปลงบ้างแต่ก็อยู่ในช่วง -200 ถึง -400 มิลลิโวลต์ ซึ่งจากการศึกษาของ Noparatnaraporn *et al.* (1983) พบว่าเมื่อเลี้ยงแบคทีเรียสังเคราะห์แสงแบบผสม (mix culture) โดยควบคุมค่าออกซิเดชันรีดักชันโพเทนเชียลให้ต่ำกว่า -200 (มิลลิโวลต์) แบคทีเรียสังเคราะห์แสงกลุ่ม PnSB จะเจริญเติบโตเป็นจุลินทรีย์เด่นในระบบ และค่าออกซิเดชันรีดักชันโพเทนเชียลที่ตรวจวัดได้ขณะทดลองแสดงให้เห็นถึงการเกิดปฏิกิริยาแบบไร้อากาศขึ้นในระบบ และเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียสังเคราะห์แสงในกลุ่ม PnSB

2.2.5 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่าง ในถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบมี เมมเบรนระหว่างการทดลอง

การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่าง ในถังปฏิกรณ์ระหว่างการทดลอง
แสดงดังภาพที่ 32



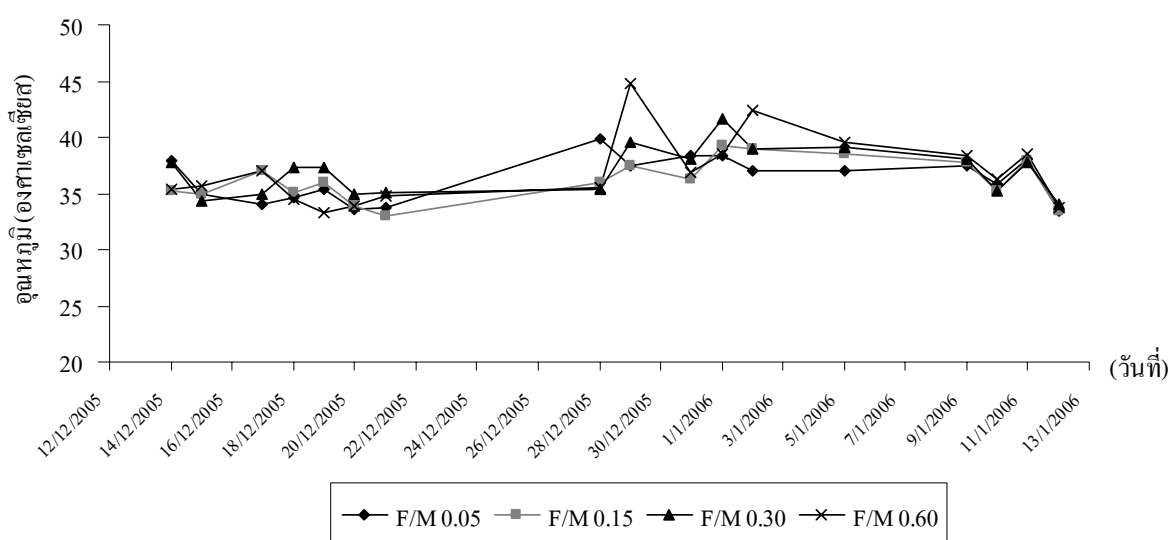
ภาพที่ 32 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่างในถังปฏิกรณ์ชีวภาพ

จากภาพ แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรด-ด่าง ในถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบมีเมมเบรน ซึ่งเห็นได้จากการทดลองที่ค่า F/M แตกต่างกัน คือ 0.05, 0.15, 0.3 และ 0.6 กก.บีโอดีต่อกก.ตะกอนจุลินทรีย์ต่อวัน ค่าความเป็นกรด-ด่าง เกิดการเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 6.5-8.0 ซึ่งในการทดลองมีการควบคุมให้อยู่ในช่วง 7.0-7.5 เนื่องจากค่าความเป็นกรด-ด่าง ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียสังเคราะห์แสงกลุ่ม PnSB นี้คือ 7.0-7.5 (Shipman *et al.*, 1975) หากมีการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่าง ในระบบจะทำการปรับค่าความเป็นกรด-ด่างให้อยู่ในช่วงดังกล่าวด้วย กรดไฮโดรคลอริก และ โซเดียมไฮดรอกไซด์เนื่องจาก การเดินระบบที่ค่า F/M สูงๆ นั้นการเกิดการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่าง เป็นกรดเนื่องจากการเติมน้ำเสียให้แก่ระบบมาก หากเกิดการย่อยสลายไม่ทันน้ำเสียซึ่งมีองค์ประกอบของนมเป็นส่วนใหญ่ นั้นจะเปลี่ยนสภาพเป็นกรดแลคติกทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่าง เกิดการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว จากการทดลองที่ค่า F/M ต่ำๆ นั้นค่าพีเอชที่เปลี่ยนแปลงมีแนวโน้มสูงขึ้นคือเป็นด่าง เนื่องมาจากในระบบมีการเกิดกรด

แลคติกน้อยหรือไม่เกิดเลย แต่ความเป็นกรด-ด่าง ที่เพิ่มขึ้นนั้นเกิดจากปฏิกิริยาการย่อยสลาย เพราะฉะนั้นหากมีการควบคุมค่า F/M ได้เหมาะสมค่าพีเอชในระบบก็จะเกิดการเปลี่ยนแปลงน้อยมากเนื่องจากเกิดการหักล้างกันระหว่างการเกิดสภาพด่างในกระบวนการย่อยสลายและการเกิดสภาพกรดของกรดแลคติก

2.2.6 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ (Temperature) ในถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบมีเมมเบรนระหว่างการทดลอง

การเปลี่ยนแปลงค่าอุณหภูมิในถังปฏิกรณ์ระหว่างการทดลองแสดงดังภาพที่ 33



ภาพที่ 33 แสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบมีเมมเบรน

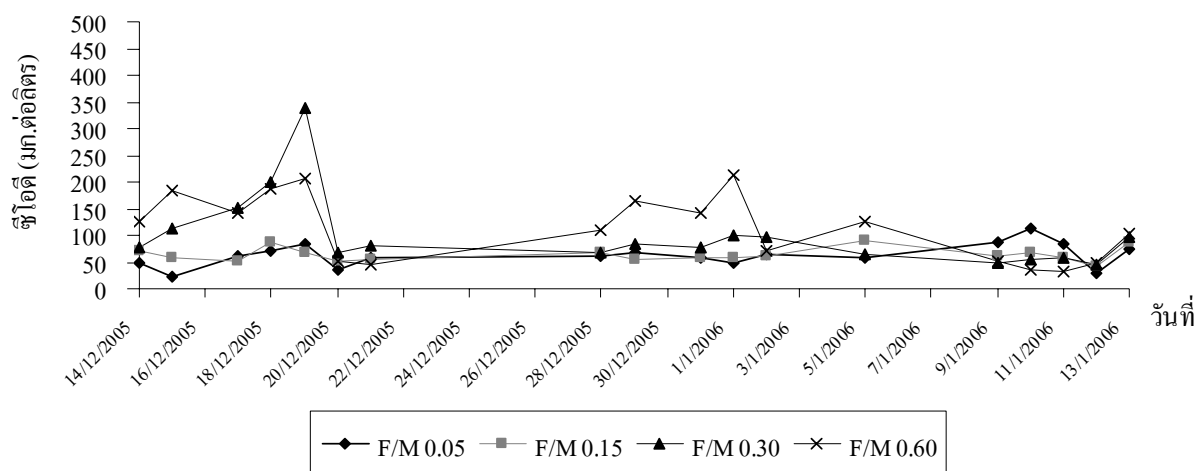
จากภาพแสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบมีเมมเบรน ซึ่งเห็นได้จากการทดลองที่ค่า F/M แตกต่างกัน คือ 0.05, 0.15, 0.3 และ 0.6 (กก.บีโอดีต่อกก.ตะกอนจุลินทรีย์ต่อวัน) อุณหภูมิในแต่ละถังมีค่าใกล้เคียงกัน โดยอยู่ระหว่าง 30-40 องศาเซลเซียส แบคทีเรียที่เจริญเติบโตได้ดีในช่วงอุณหภูมินี้จะเป็นจำพวก Mesophilic bacteria (Tchobanoglous *et al.*, 2003) จากการศึกษาของ Noparatnaraporn *et al.* (1983) เลี้ยงเชื้อ *Rps. Gelatinosa* ในสภาวะไร้อากาศในที่มีแสงพบว่าสามารถเจริญเติบโตได้ดีที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

3. การศึกษาประสิทธิภาพของระบบถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบมีเมมเบรนจมน้ำร่วมกับปฏิกิริยาการสังเคราะห์แสง

3.1 ประสิทธิภาพการกำจัดค่าซีโอดี

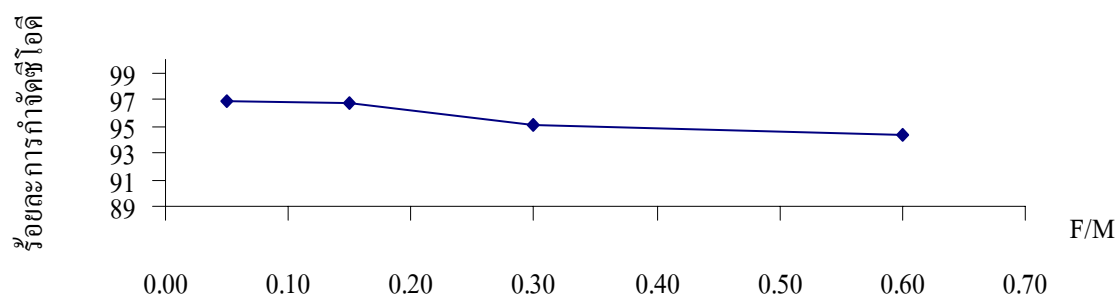
การศึกษาการกำจัดซีโอดีที่ค่า F/M เท่ากับ 0.05, 0.15, 0.3 และ 0.6 ได้แสดงดังภาพที่ 22 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างซีโอดี ที่ผ่านการบำบัดแล้วเทียบกับเวลาที่ค่า F/M ต่างๆ

จากผลการทดลองวิเคราะห์ค่าซีโอดีของน้ำที่ผ่านการบำบัด ดังภาพที่ 34 ตั้งแต่วันที่ 14-20 ค่าซีโอดีที่ออกจากระบบมีค่าผันแปรค่อนข้างมากเนื่องมาจากเป็นช่วงที่จุลินทรีย์มีการปรับสภาพให้เข้ากับน้ำเสียความสามารถในการย่อยสลายสารอินทรีย์จึงยังไม่คงที่ เมื่อผ่านมาในระยะหลังค่าซีโอดีที่ออกจากระบบมีค่าค่อนข้างคงที่แสดงให้เห็นว่าจุลินทรีย์เข้าสู่สภาวะคงตัวแล้วโดยที่ค่า F/M ต่ำความเข้มข้นของซีโอดีที่ผ่านการบำบัดมีค่าน้อยกว่าที่ค่า F/M สูงๆ ที่ค่า F/M เท่ากับ 0.05 ค่าซีโอดีที่ผ่านการบำบัดแล้วมีค่าประมาณ 20-50 มก.ต่อลิตร ที่ค่า F/M เท่ากับ 0.15 ค่า ซีโอดีที่ผ่านการบำบัดแล้วมีค่าประมาณ 60-90 มก.ต่อลิตร ที่ค่า F/M เท่ากับ 0.30 ค่าซีโอดีที่ผ่านการบำบัดแล้วมีค่าประมาณ 100-120 มก.ต่อลิตร และที่ค่า F/M เท่ากับ 0.60 ค่าซีโอดีที่ผ่านการบำบัดแล้วมีค่าประมาณ 150-200 มก.ต่อลิตร สังเกตเห็นได้ว่าหากระบบมีค่า F/M ต่ำก็จะมีความสามารถในการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ดีกว่าระบบที่มีค่า F/M สูง ความสัมพันธ์ระหว่าง ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีและ F/M แสดงดังภาพที่ 35 และ 36

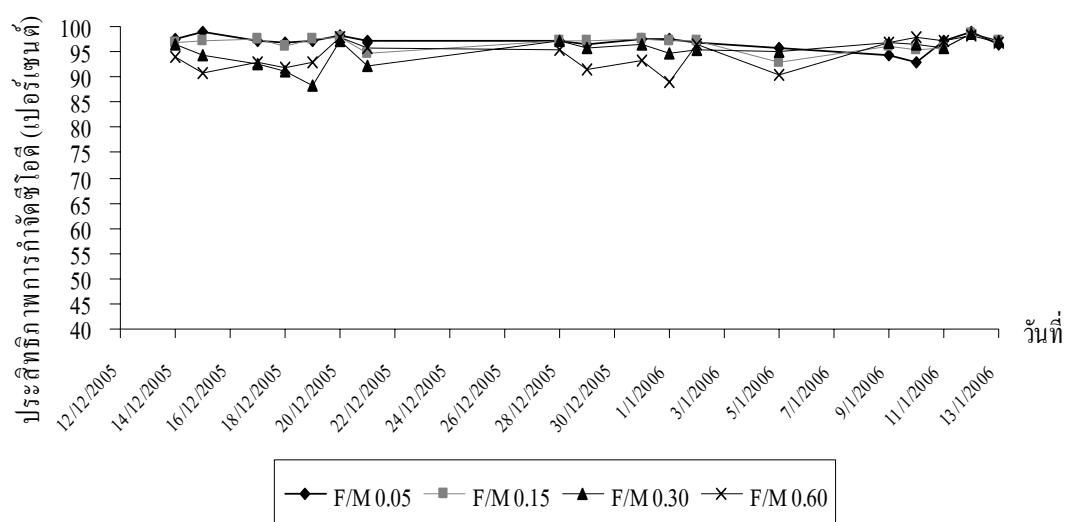


ภาพที่ 34 แสดงผลการทดลองการกำจัดซีโอดีที่ค่า F/M เท่ากับ 0.05, 0.15, 0.3 และ 0.6

จากการทดลองประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยวเดียวกัน แปรผันกับค่า F/M ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีลดลงเมื่อค่า F/M มีค่าเพิ่มขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 35 ในการทดลองนี้ได้ทำการควบคุมค่าความเข้มข้นของซีโอดีที่เข้าสู่ระบบ การเปลี่ยนเพิ่มค่าความเข้มข้นของตะกอนในระบบให้น้อยลงเป็นการลดค่า F/M ให้สูงขึ้น ในขณะที่สารอาหารเท่าเดิม ทำให้สัดส่วนปริมาณสารอินทรีย์ที่เป็นสารอาหารมากกว่าจุลินทรีย์ น้ำทิ้งที่ออกจากระบบจึงมีค่าปริมาณสารอินทรีย์เหลือมาก ค่าซีโอดีที่ออกจากระบบจึงมีค่ามาก ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีในแต่ละ F/M แสดงดังภาพที่ 36 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีที่ F/M เท่ากับ 0.05 โดยภาพรวมแล้วมีค่ามากที่สุด ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีลดลงเรื่อยๆ เมื่อค่า F/M เพิ่มขึ้น และที่ F/M เท่ากับ 0.6 ระบบมีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีต่ำที่สุด



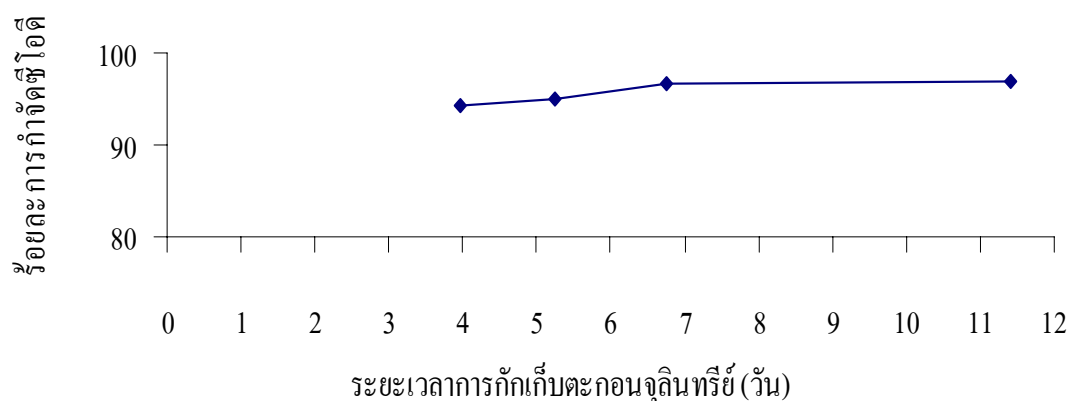
ภาพที่ 35 ประสิทธิภาพการบำบัดชีโอดี ที่ค่า F/M ต่างๆ



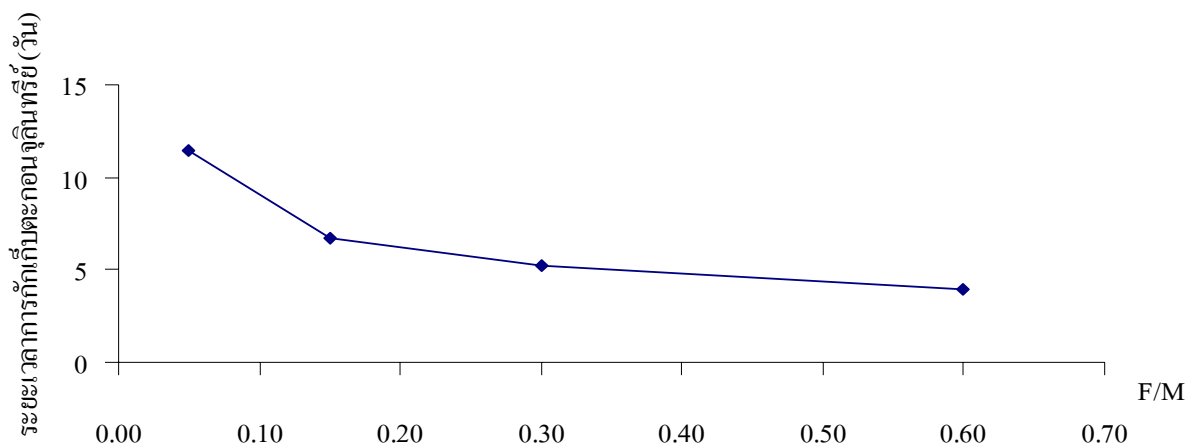
ภาพที่ 36 ประสิทธิภาพการบำบัดชีโอดี ที่แต่ละ F/M

เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพในการกำจัดชีโอดีที่ระยะเวลาใกล้เคียงกัน แปรผันกับ ระยะเวลาที่เก็บตะกอนจุลินทรีย์ในระบบ ประสิทธิภาพการกำจัดชีโอดีเพิ่มขึ้นเมื่อระบบมี ระยะเวลาที่เก็บตะกอนจุลินทรีย์ในระบบเพิ่มขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 37 ซึ่งระยะเวลาที่เก็บ ตะกอนจุลินทรีย์ในระบบมีความสัมพันธ์กับค่า F/M หากในระบบมีค่า F/M สูง จะเป็นสถานะที่มี อาหารมากเกินไปที่จุลินทรีย์เจริญเติบโตอยู่ในช่วงสภาวะการเจริญเติบโตแบบเอ็กโปเนนเชียล (exponential growth phase) (สุชาติ, 2538) เป็นช่วงที่อัตราการเกิดเมตาโบลิซึมในการกำจัด สารอินทรีย์สูงสุด จุลินทรีย์ถูกกระตุ้นมากจึงมีอัตราการเกิดจุลินทรีย์มาก การจะควบคุมระบบให้มี

ค่า F/M คงที่นั้นต้องทิ้งตะกอนจุลินทรีย์ส่วนหนึ่งออก จึงทำให้ระยะเวลาการกักเก็บตะกอนจุลินทรีย์ในระบบมีค่าต่ำ แต่เนื่องจากมีสารอินทรีย์มากเกินไปจุลินทรีย์จึงไม่สามารถย่อยสลายได้หมด ประสิทธิภาพการบำบัดจึงต่ำด้วย ความสัมพันธ์ระหว่างค่า F/M กับระยะเวลาการกักเก็บตะกอนจุลินทรีย์ในระบบ ภาพที่ แสดงดังภาพที่ 38



ภาพที่ 37 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดชีโอดี กับระยะเวลาการกักเก็บตะกอนจุลินทรีย์



ภาพที่ 38 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการกักเก็บตะกอนจุลินทรีย์กับค่า F/M

จากที่ได้กล่าวมาข้างต้นสามารถสรุปได้ว่าระบบจะมีประสิทธิภาพการกำจัดชีโอดีได้ดีที่ค่า F/M ต่ำ หาก F/M ในระบบมีค่าสูงขึ้นประสิทธิภาพการกำจัดชีโอดีก็ยิ่งลดลงเนื่องมาจาก การที่ F/M สูงนั้นแสดงให้เห็นว่าหากมีตะกอนจุลินทรีย์ในระบบคงที่และมีสารอินทรีย์มากแบคทีเรียจะ

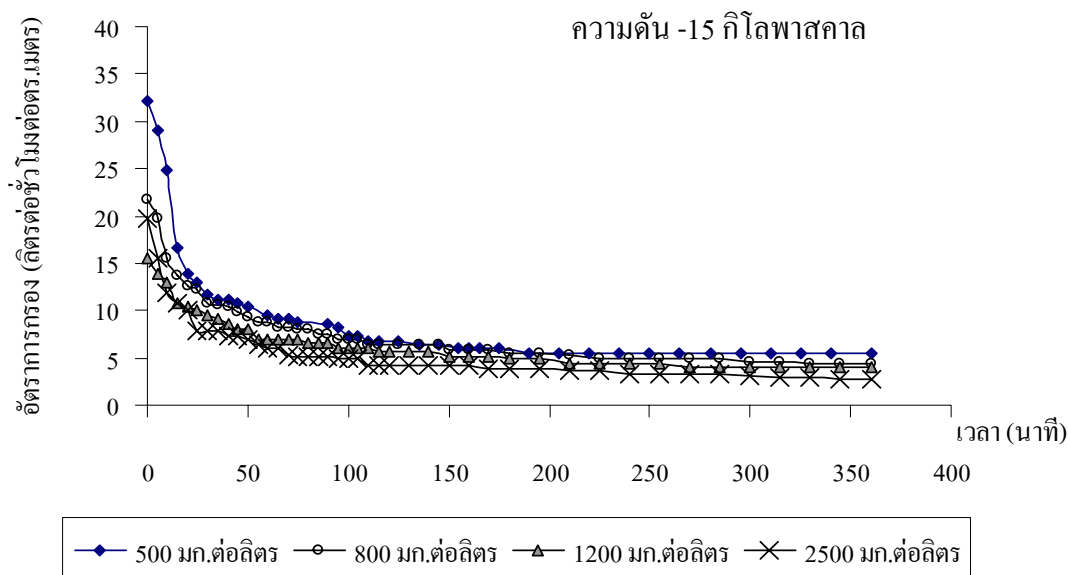
ไม่สามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ได้หมด ในขณะที่ระบบที่มี F/M ต่ำ หากแบคทีเรียมีความสามารถในการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้เท่ากันจะมีสารอินทรีย์ที่ไม่ถูกย่อยสลายน้อยกว่า จึงทำให้ระบบที่มี F/M สูง มีประสิทธิภาพการบำบัดน้อยกว่าระบบที่มี F/M ต่ำ การกำหนดค่า F/M นี้ยังสัมพันธ์กับระยะเวลาที่เก็บตะกอนจุลินทรีย์ในระบบด้วย กล่าวคือในระบบที่มีการให้สารอาหารแก่จุลินทรีย์มากนั้นจุลินทรีย์จะเจริญเติบโตอยู่ในช่วงสภาวะการเจริญเติบโตแบบเอ็กโปเทนเชียล (สุชาติ, 2538) คือมีการสร้างเซลล์มากส่งผลให้ต้องมีการระบายตะกอนออกจากระบบมากเพื่อควบคุมค่า F/M ให้ได้ตามต้องการ ทั้งนี้หากระบบที่มี F/M ต่ำจะมีการสร้างเซลล์น้อยกว่าระบบที่มี F/M สูง ค่าอายุตะกอนจุลินทรีย์ในระบบที่มี F/M ต่ำจึงมีค่ามากกว่าระบบที่มีค่า F/M สูง

ฉะนั้นการพิจารณาเลือกใช้ค่า F/M ของระบบจึงเลือกใช้ค่า F/M ต่ำๆ แต่ทั้งนี้ก็ต้องพิจารณาความเข้มข้นของสารอินทรีย์ของน้ำเสียด้วยหากน้ำเสียมีความเข้มข้นของสารอินทรีย์สูงมากๆ การเลือกใช้ค่า F/M ที่ต่ำมากอาจต้องเลี้ยงตะกอนจุลินทรีย์ให้มีความเข้มข้นสูงมากๆ ซึ่งเชื้อแบคทีเรียสังเคราะห์แสงนี้หากเลี้ยงให้มีความเข้มข้นมากจุลินทรีย์จะได้รับแสงไม่เพียงพอเนื่องมาจากความขุ่นของสารละลายในถังปฏิกรณ์ การเลือกใช้ค่า F/M จึงต้องพิจารณาค่าที่เหมาะสมด้วย และการควบคุมระบบให้มีค่า F/M ต่ำๆ นั้นส่งผลให้ค่าอายุตะกอนสูงจากสาเหตุที่กล่าวมาข้างต้น จึงช่วยลดภาระการกำจัดกากตะกอนจุลินทรีย์ลงได้

4. การศึกษาคุณสมบัติการซึมผ่านของเมมเบรน

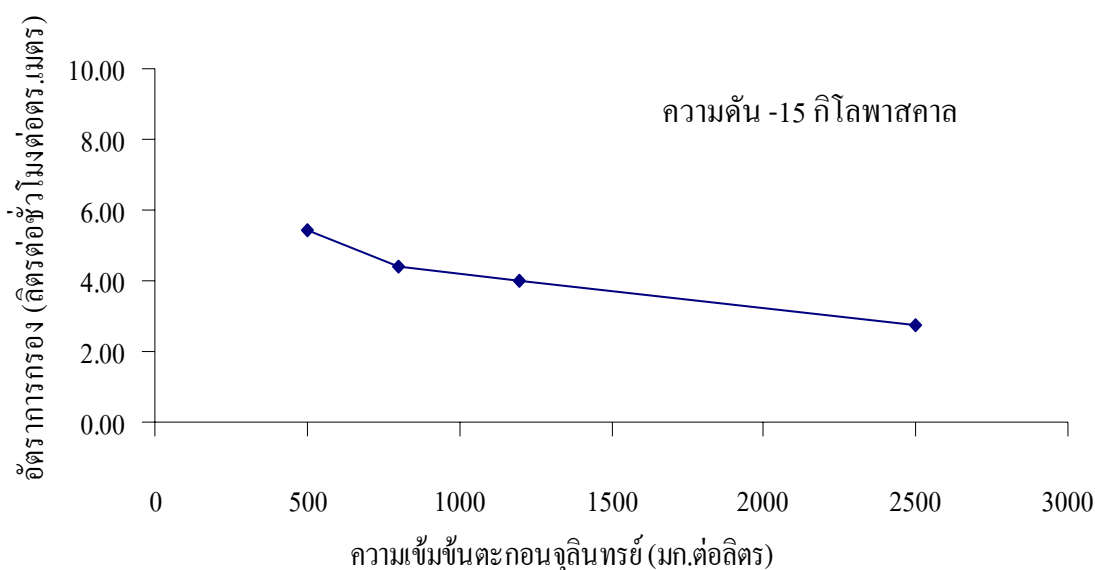
เมมเบรนที่ใช้ในการทดลองเป็นเมมเบรนของบริษัท Kubota ขนาดรูพรุน 0.4 ไมโครเมตร พื้นที่ผิว 0.12 ตารางเมตร การศึกษาคุณสมบัติการซึมผ่านทำการทดลองโดยทดลองนำเมมเบรนไปกรองน้ำที่มีค่าความเข้มข้นของตะกอน 500, 800, 1200 และ 2500 ลิตรต่อชั่วโมงต่อตร.เมตรแล้วทำการวัดอัตราการกรอง (Flux) โดยมีหน่วยเป็นปริมาตรต่อเวลาต่อพื้นที่ผิว ผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 38 จากภาพเห็นได้ว่าทุกๆ ความเข้มข้นของตะกอน ในช่วง 25 นาที แรก อัตราการกรองลดลงอย่างรวดเร็วและค่อยๆ ลดลงทีละน้อยจน นาทีที่ 120 อัตราการกรองคงที่โดยที่ความเข้มข้นตะกอนเท่ากับ 500, 800, 1200 และ 2500 อัตราการกรองคงที่ที่ 5.43, 4.40, 4.01 และ 2.72 (ลิตรต่อชั่วโมงต่อตร.เมตร) ไปเรื่อยจนสิ้นสุดการทดลอง เนื่องจากในช่วงแรกของการกรองเมมเบรนยังสะอาดอยู่อัตราการกรองจึงสูง เมื่อเวลาผ่านไปเกิดอนุภาคไปเกาะที่ผิวเมมเบรนมากขึ้นจึงเกิดการอุดตันขึ้นที่ผิวของเมมเบรน อัตราการกรองจึงลดลง อนุภาคที่เกาะที่ผิวเมมเบรนนี้จะรวมตัวกันเกิดเป็นชั้นเจลขึ้นที่ผิวเมมเบรน แต่ชั้นเจลนี้จะมีขีดจำกัดความหนาของชั้นเจลได้ในระดับหนึ่ง ซึ่งไม่

สามารถหนากว่านี้ได้หากความดันที่ให้แก่มเมเบรนคงที่ค่าหนึ่ง (Marcel, 1997) จึงเป็นสาเหตุให้อัตราการกรองมีค่าคงที่ (constant flux)



ภาพที่ 39 อัตราการกรองของเมมเบรนที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ต่างๆ เทียบกับเวลา

ที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์แต่ละค่าก็จะมีอัตราการกรองผ่านเมมเบรนคงที่ค่าหนึ่ง ในการทดลองนี้ที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 500, 800, 1200 และ 2500 mg/l ความดัน -15 กิโลพาสกาล มีอัตราการกรองผ่านเมมเบรน 5.43, 4.40, 4.01 และ 2.72 ลิตรต่อชั่วโมงต่อตร.เมตร ตามลำดับ แสดงดังภาพที่ 40 เมื่อความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์มากอัตราการกรองคงที่จะมีค่าต่ำ ในขณะที่ความเข้มข้นของตะกอนต่ำอัตราการกรองคงที่จะสูง เนื่องมาจากที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์สูงมีโอกาสที่อนุภาคตะกอนจุลินทรีย์ไปเกาะที่ผิวเมมเบรนสูง จึงส่งผลถึงอัตราการกรองผ่านเมมเบรน เพราะฉะนั้นในระบบที่มีความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ต่ำจึงมีอัตราการกรองคงที่สูงกว่าระบบที่มีความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์สูง



ภาพที่ 40 อัตราการกรองคงที่ของเมมเบรน ที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ต่างๆ กัน ที่ระยะเวลาการกรองในนาที่ที่ 120 เป็นต้นไป

5. การออกแบบระบบถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบมีเมมเบรนจมตัวร่วมกับปฏิกิริยาการสังเคราะห์แสง

โรงงานผลิตนม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์มีน้ำเสียจากกระบวนการผลิตและการล้างอุปกรณ์อื่นๆ ในโรงงานประมาณ 60 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน และมีคุณสมบัติน้ำเสียดังตารางที่ 9 ซึ่งนำค่าบีโอดีของน้ำเสียนำมาเป็นตัวกำหนดค่าภาระสารอินทรีย์ในการออกแบบระบบถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบมีเมมเบรนจมตัวร่วมกับปฏิกิริยาการสังเคราะห์แสง ทั้งนี้ในการออกแบบระบบต้องนำค่าสัมประสิทธิ์จลนศาสตร์ของแบคทีเรียสังเคราะห์แสงกลุ่ม PnSB มาใช้ในการคำนวณการออกแบบด้วย โดยทำการออกแบบเป็นระบบคลองวนเวียน กำหนดให้น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดมีค่าบีโอดีเท่ากับ 20 มก.ต่อลิตร

จากการทดลองพบว่า แบคทีเรียสังเคราะห์แสงกลุ่ม PnSB ที่มีสารอาหารเป็นน้ำเสียจากโรงงานผลิตนม มีค่าสัมประสิทธิ์จลนพลศาสตร์ดังนี้ k เท่ากับ 5.19 มิลลิกรัมชีโอดีต่อตะกอนจุลินทรีย์ต่อวัน, K_s เท่ากับ 116 มิลลิกรัมชีโอดีต่อลิตร, Y เท่ากับ 0.14 มิลลิกรัมตะกอนจุลินทรีย์ต่อมิลลิกรัมบีโอดี, k_d เท่ากับ 0.017 มิลลิกรัมตะกอนจุลินทรีย์ที่ลดลงต่อมิลลิกรัมตะกอนจุลินทรีย์เฉลี่ยในระบบต่อวัน และ μ_m เท่ากับ 0.73 มิลลิกรัมตะกอนจุลินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นต่อมิลลิกรัมตะกอนจุลินทรีย์เฉลี่ยในระบบต่อวัน ค่าที่ได้นำมาจากการศึกษาค่าสัมประสิทธิ์จลนพลศาสตร์ของน้ำเสียจริง

จากโรงงานผลิตนม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์เนื่องจากจะทำให้ได้ค่าที่ใกล้เคียงกับสภาวะการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่สภาวะการทำงานจริงมากที่สุด และจากการศึกษาอัตราการกรองของของเมมเบรนที่แต่ละความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ เลือกความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ในระบบเท่ากับ 1200 มก.ต่อลิตร

5.1 ระยะเวลาที่เก็บตะกอนจุลินทรีย์ในระบบ

$$\begin{aligned} \text{จากสมการ} \quad \frac{1}{\theta_c} &= \mu - k_d \\ \frac{1}{\theta_c} &= \frac{\mu_m S}{K_s + S} - k_d \\ \frac{1}{\theta_c} &= \frac{(0.68 \times 20)}{(116 + 20)} - 0.017 \\ \theta_c &= 12 \text{ วัน} \end{aligned}$$

ระยะเวลาเก็บกักน้ำเสีย

$$\text{จากสมการ} \quad \text{HRT} = \frac{\theta_c \times \frac{Y(S_0 - S)}{X}}{1 + (\theta_c \times k_d)}$$

ค่าตะกอนจุลินทรีย์ที่ใช้ในการเดินระบบ (MLVSS) = $0.8 \times 1200 = 960$ มก./ล.

$$\begin{aligned} \text{HRT} &= \frac{10}{960} \times 0.14 \times (2000 - 20) \times \frac{1}{1 + (0.017 \times 12)} \\ \text{HRT} &= 2.92 \text{ (วัน)} \end{aligned}$$

5.2 ปริมาตรถังปฏิกรณ์ชีวภาพ

$$\begin{aligned} \text{จากสมการ} \quad V &= Q \times \text{HRT} \\ &= 60 \text{ (ลบ.ม./วัน)} \times 3 \text{ (วัน)} \end{aligned}$$

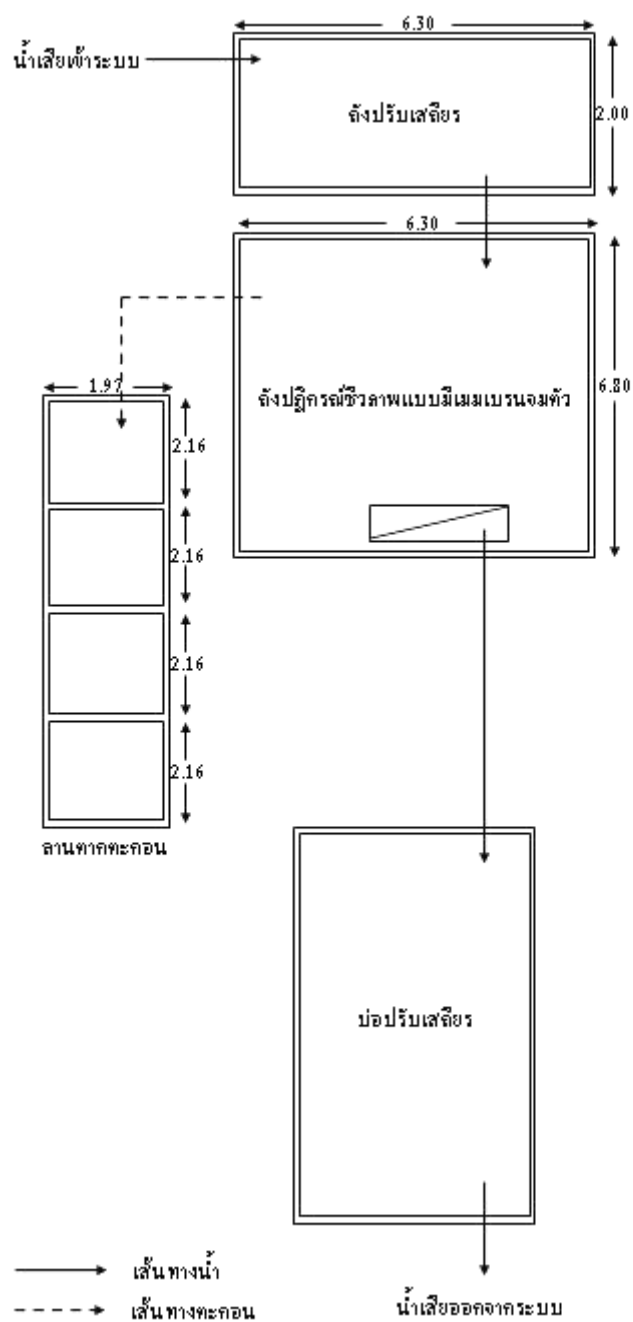
$$= 180 \text{ ลูกบาศก์เมตร}$$

ความกว้าง x ยาว x ลึก เท่ากับ $3.54 \times 3.80 \times 13.40$ เมตร

5.3 พื้นที่ผิวเมมเบรน

จากการทดลองค่าอัตราการกรองที่พบว่าอัตราการกรองที่ของตะกอน
จุลินทรีย์ที่มีความเข้มข้น 1200 มก.ต่อลิตร เท่ากับ 4.01 ลิตรต่อชั่วโมงต่อตร.เมตร ระบบมีอัตราการ
กรอง 180 ลูกบาศก์เมตรต่อ 3 วัน

ดังนั้นพื้นที่ผิวเมมเบรนที่ต้องใช้เท่ากับ 623 ตารางเมตร



ภาพที่ 41 ลักษณะของถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบมีเมมเบรนจมตัว ปริมาตร 180 ลูกบาศก์เมตร พื้นที่ผิวเมมเบรนเท่ากับ 623 ตารางเมตร

6. การเปรียบเทียบระบบถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบมีเมมเบรนจมตัวร่วมกับปฏิกิริยาการสังเคราะห์แสงกับระบบถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบมีเมมเบรนจมตัวอื่นๆ

การเลือกระบบบำบัดน้ำเสียในการบำบัดน้ำเสียนั้นจำเป็นต้องมีการศึกษาข้อดีข้อเสียของระบบที่จะนำมาใช้เพื่อประสิทธิภาพและประโยชน์สูงสุดของผู้ใช้งาน ตารางที่ 5 เป็นการเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียระหว่างระบบถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบมีเมมเบรน จมตัวร่วมกับปฏิกิริยาการสังเคราะห์แสงกับระบบถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบมีเมมเบรนจมตัวอื่นๆ เพื่อประกอบการตัดสินใจในการเลือกใช้ระบบที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียแต่ละชนิด

ตารางที่ 15 การเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียระหว่างระบบถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบมีเมมเบรน จมตัวร่วมกับปฏิกิริยาการสังเคราะห์แสงกับระบบถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบมีเมมเบรนจมตัวอื่นๆ

ระบบ	ข้อดี	ข้อเสีย
ถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบมีเมมเบรนจมตัวร่วมกับปฏิกิริยาการสังเคราะห์แสง	- ระยะเวลาการเก็บกักน้ำเสียสั้นลงจากระบบเดิม - กักตะกอนจุลินทรีย์ไว้ในระบบได้ - ระบบมีเสถียรภาพมากขึ้น - เกิดแก๊สชีวภาพ เช่น ไฮโดรเจน - ไม่เปลืองพลังงานในการเติมอากาศ - ไม่เกิดกลิ่นเหม็น - ควบคุมระบบง่าย - ประสิทธิภาพในการบำบัดสูง	- เกิดการอุดตันของเมมเบรนได้ง่าย - การเลี้ยงตะกอนจุลินทรีย์มีข้อจำกัดเรื่องความเข้มแสงที่ส่องผ่านเข้าไปในถัง - ค่าลงทุนสูง
ถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบมีเมมเบรนจมตัวแบบไม่ใช้อากาศ	- ระยะเวลาการเก็บกักน้ำเสียสั้นลงจากระบบเดิม - ระบบมีเสถียรภาพมากขึ้น - เกิดแก๊สชีวภาพ เช่น มีเทน - ไม่เปลืองพลังงานในการเติมอากาศ - ขยายพื้นที่ข่อยสลายซากได้ - ประสิทธิภาพในการบำบัดสูง	- เกิดการอุดตันของเมมเบรนได้ง่าย - เกิดกลิ่นเหม็น - ระยะเวลาการเก็บกักน้ำเสียนานกว่าระบบแบบใช้อากาศ - ควบคุมระบบยาก - ค่าลงทุนสูง

ตารางที่ 15 (ต่อ)

ระบบ	ข้อดี	ข้อเสีย
ถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบมีเมมเบรนจมตัวแบบใช้อากาศ	- ระยะเวลาการเก็บกักน้ำเสียสั้นลงจากระบบเดิม - ตะกอนจุลินทรีย์ในระบบมาก - รับภาระสารอินทรีย์ได้มาก - ใช้พื้นที่ในการก่อสร้างน้อย - ไม่มีกลิ่น - เกิดการอุดตันของเมมเบรนน้อย - ควบคุมระบบง่าย - ประสิทธิภาพในการบำบัดสูง	- ย่อยสลายสารที่ย่อยสลายยากไม่ได้ - เปลืองพลังงานในการเติมอากาศ - ไม่เกิดแก๊สชีวภาพ - ค่าลงทุนสูง

จากตารางที่ 15 แสดงให้เห็นว่า ระบบถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบมีเมมเบรนจมตัวแบบไม่ใช้อากาศเหมาะสมที่จะนำไปบำบัดน้ำเสียที่เป็นสารย่อยสลายยากหรือน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของสารอินทรีย์สูง ซึ่งหากมีปริมาณสารอินทรีย์ที่สูงมากพอระบบจะผลิตแก๊สชีวภาพในปริมาณที่เพียงพอต่อการนำกลับไปใช้ในรูปพลังงานเชื้อเพลิงในกระบวนการผลิตได้ การใช้เมมเบรนจะช่วยให้ตะกอนจุลินทรีย์ถูกกักอยู่ในถังส่งผลให้ระบบมีเสถียรภาพดีขึ้น แต่อย่างไรก็ดีระบบนี้มักเกิดกลิ่นเหม็น และเกิดการอุดตันของเมมเบรนได้ง่ายเนื่องจากมีความปั่นป่วนภายในถังปฏิกรณ์น้อย ส่วนระบบถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบมีเมมเบรนจมตัวแบบใช้อากาศเหมาะสมกับการบำบัดน้ำเสียที่ย่อยสลายได้ง่ายและโรงงานที่มีอัตราการไหลของน้ำเสียต่อวันมาก อีกทั้งการควบคุมระบบก็ไม่ยุ่งยาก แต่อาจสิ้นเปลืองพลังงานในการเติมอากาศซึ่งนอกจากต้องเติมอากาศให้เพียงพอต่อความต้องการของจุลินทรีย์แล้วยังต้องเติมอากาศเพื่อควบคุมการอุดตันของเมมเบรนอีกด้วย ส่วนระบบที่ทำการศึกษาดูทดลองในครั้งนี้คือระบบถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบมีเมมเบรนจมตัวแบบไม่ใช้อากาศโดยปฏิกิริยาการสังเคราะห์แสง จากการวิเคราะห์ข้อดีข้อเสียเปรียบเทียบกับระบบอื่นๆ ที่กล่าวมาข้างต้นพบว่าระบบนี้มีจุดเด่นคือเกิดแก๊สไฮโดรเจนซึ่งเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญสำหรับการเป็นพลังงานเชื้อเพลิง และไม่เกิดกลิ่นเหม็นอีกทั้งยังไม่ก่อให้เกิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งเป็นแก๊สเรือนกระจกอีกด้วย แต่ระบบนี้มีข้อจำกัดที่การอุดตันของเมมเบรนและตะกอนจุลินทรีย์ต้องการแสงอย่างทั่วถึงทั้งนี้การเลี้ยงตะกอนจุลินทรีย์จึงต้องเลี้ยงที่ความเข้มข้นต่ำจึงทำให้ระยะเวลาการเก็บกักน้ำเสียนานกว่าระบบอื่น แนวทางการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นคือทำการกวนตะกอนจุลินทรีย์

ทางด้านกันดั้มปฏิกรณ์มารับแสงทางด้านบนของถังและเพิ่มพื้นที่ผิวของถังปฏิกรณ์เพื่อให้พื้นที่รับแสงมีมากขึ้น และให้มีการปั่นป่วนของน้ำกระทบที่ผิวเมมเบรนเพื่อควบคุมการอุดตัน ซึ่งการแก้ไขนี้อาจทำให้สามารถเลี้ยงตะกอนจุลินทรีย์ได้ปริมาณมากขึ้นเพื่อลดระยะเวลาการกักเก็บน้ำเสียในระบบและลดการอุดตันของเมมเบรนเพื่อการเดินระบบที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการวิจัย

1. คุณสมบัติน้ำของน้ำเสียโรงงานผลิตนมมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน มีค่าดังนี้

พารามิเตอร์	หน่วย	นมปรุงแต่งรสต่างๆ		นมเปรี้ยว	
		ค่าที่วิเคราะห์ได้	ค่าเฉลี่ย	ค่าที่วิเคราะห์ได้	ค่าเฉลี่ย
บีโอดี ₅	มก.ต่อลิตร	1500-2500	2000	1800-2700	2200
ซีโอดี	มก.ต่อลิตร	2000-3500	2750	2000-3500	2750
ดีไอซี	มก.ต่อลิตร	300-550	420	300-550	420
ฟอสฟอรัส	มก.ต่อลิตร	2.0-3.0	2.5	2.0-3.0	2.5
แอมโมเนีย	มก.ต่อลิตร	ND	ND	ND	ND
ทีเคเอ็น	มก.ต่อลิตร	30-45	38	30-45	38
ซัลเฟต	มก.ต่อลิตร	2.0-10.0	6.0	2.0-10.0	6.0
ไขมัน	มก.ต่อลิตร	100-600	350	200-300	250
ของแข็ง	มก.ต่อลิตร	400-700	550	500-600	550
ของแข็งละลาย	มก.ต่อลิตร	1200-2500	1350	1500-2500	2000
ของแข็งทั้งหมด	มก.ต่อลิตร	1200-3000	2100	2000-3000	2500
อุณหภูมิ	องศาเซลเซียส	28-35	31	28-35	31
ความเป็นกรด-ด่าง		6.0-7.0	6.5	2.0-4.0	3
การนำไฟฟ้า	$\mu\text{S}/\text{cm}$	600-900	750	700-800	750
ความขุ่น	NTU	600-800	700	500-600	550

2. ค่าสัมประสิทธิ์จลนพลศาสตร์ของแบคทีเรียสังเคราะห์แสงกลุ่ม PnSB โดยใช้น้ำเสีย
 โรงงานผลิตนมเป็นสารอาหารมีค่าดังนี้

สัมประสิทธิ์จลนพลศาสตร์	หน่วย	ค่าคงที่
k	มิลลิกรัมชีโอดีต่อตะกอนจุลินทรีย์ต่อวัน	1.64
K_s	มก.ชีโอดีต่อลิตร	319
Y	มก.ตะกอนจุลินทรีย์ต่อมก.ชีโอดี	0.54
k_d	มก.ตะกอนจุลินทรีย์ที่ลดลงต่อมก.ตะกอนจุลินทรีย์ เฉลี่ยในระบบต่อวัน	0.13
μ_m	มก.ตะกอนจุลินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นต่อมก.ตะกอนจุลินท รี์เฉลี่ยในระบบต่อวัน	0.76
K_m	มก.ชีโอดีต่อลิตร	475

3. ค่าสัมประสิทธิ์จลนพลศาสตร์ของแบคทีเรียสังเคราะห์แสงกลุ่ม PnSB โดยใช้น้ำเสีย
 โรงงานผลิตนมเป็นสารอาหารมีค่าดังนี้

สัมประสิทธิ์จลนพลศาสตร์	หน่วย	ค่าคงที่
k	มิลลิกรัมชีโอดีต่อตะกอนจุลินทรีย์ต่อวัน	5.19
K_s	มก.ชีโอดีต่อลิตร	116
Y	มก.ตะกอนจุลินทรีย์ต่อมก.ชีโอดี	0.14
k_d	มก.ตะกอนจุลินทรีย์ที่ลดลงต่อมก.ตะกอนจุลินทรีย์ เฉลี่ยในระบบต่อวัน	0.017
μ_m	มก.ตะกอนจุลินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นต่อมก.ตะกอนจุลินท รี์เฉลี่ยในระบบต่อวัน	0.73

4. ประสิทธิภาพการบำบัดของระบบถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบมีเมมเบรนร่วมกับแบคทีเรีย
 สังเคราะห์แสงกลุ่ม PnSB ขึ้นอยู่กับค่า F/M และค่าอายุตะกอน โดยแปรผกผันกับค่า F/M คือเมื่อ
 F/M สูงประสิทธิภาพการบำบัดจะต่ำ และแปรผันกับค่าอายุตะกอนจุลินทรีย์ จากการทดลองพบว่า
 เมื่อเดินระบบด้วยอัตราค่าภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 0.09 กก.บีโอดีต่อวัน ระยะเวลาการเก็บกักน้ำเสีย

1 วัน ได้ค่า F/M ที่เหมาะสมคือ 0.05 กก.บีโอดีต่อกก.ตะกอนจุลินทรีย์ต่อวัน สามารถบำบัดชีโอดีได้ร้อยละ 97

5. ประสิทธิภาพการกรองของเมมเบรนขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ หากตะกอนจุลินทรีย์มีความเข้มข้นมากอัตราการกรองจะต่ำ และที่ความดันผ่านเมมเบรนคงที่ แต่ละความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์อัตราการกรองจะคงที่ ดังนี้

MLSS (มก.ต่อลิตร)	อัตราการกรองคงที่ (ลิตรต่อชม.ต่อตร.ม.)
500	5.43
800	4.40
1200	4.01
2500	2.72

ข้อเสนอแนะ

1. ศึกษากระบวนการบำบัดน้ำเสียโรงงานผลิตนมโดยระบบถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบมีเมมเบรน ร่วมกับแบคทีเรียสังเคราะห์แสงกลุ่ม PnSB ระดับแบบจำลองขนาดใหญ่ (Pilot scale) โดยนำค่าสัมประสิทธิ์จลศาสตร์ที่ได้จากการทดลองไปใช้ในการออกแบบ และทำงานในสภาพแวดล้อมจริง ใช้แสงอาทิตย์โดยตรงในการเป็นแหล่งพลังงานให้แก่แบคทีเรียสังเคราะห์แสง
2. ศึกษาการดำรงอยู่และการบำบัดน้ำเสียร่วมกันระหว่างแบคทีเรียที่สังเคราะห์แสงกับแบคทีเรียไม่ใช้ออกซิเจนทั่วๆ ไป เพื่อควบคุมให้แบคทีเรียแสงทำงานในตอนกลางวันที่มีแสงส่องถึง และให้แบคทีเรียใช้ออกซิเจนทำงานในเวลากลางคืนเพื่อประสิทธิภาพสูงสุดในการบำบัดน้ำเสีย
3. ศึกษาผลกระทบของแสงอาทิตย์ต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย ผลกระทบของสาหร่ายต่อแบคทีเรียสังเคราะห์แสง และประสิทธิภาพการย่อยสลาย
4. ศึกษาประสิทธิภาพการย่อยสลายน้ำมันและไขมันที่เป็นองค์ประกอบในน้ำเสีย
5. ศึกษาตะกอนที่เกิดขึ้นในระบบและความเป็นไปได้ที่จะนำไปใช้ประโยชน์
6. ศึกษาอัตราการอุดตันของเมมเบรนที่การเดินระบบระยะยาว ทั้งการอุดตันทางชีวภาพและกายภาพ