

การศึกษาค่าจลนพลศาสตร์ของการกำจัดซีโอดีจากน้ำเสียฟาร์ม
สุกรด้วยถังหมักแบบไร้อากาศ

KINETIC STUDY OF COD REMOVAL FROM
WASTEWATER PIGGERY FARM USING ANAEROBIC
REACTOR



โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต(เคมีสิ่งแวดล้อม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2560

การศึกษาค่าจลนพลศาสตร์ของการกำจัดซีโอดีจากน้ำเสียฟาร์ม
สุกรด้วยถังหมักแบบไร้อากาศ
KINETIC STUDY OF COD REMOVAL FROM
WASTEWATER PIGGERY FARM USING ANAEROBIC
REACTOR



โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต(เคมีสิ่งแวดล้อม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

KINETIC STUDY OF COD REMOVAL FROM
WASTEWATER PIGGERY FARM USING ANAEROBIC
REACTOR



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF SCIENCE (ENVIRONMENTAL CHEMISTRY)
DEPARTMENT OF CHEMISTRY, FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2017

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ

การศึกษาค่าจลนพลศาสตร์ของการกำจัดซีไอดีจากน้ำเสียฟาร์ม
สุกรด้วยถังหมักแบบไร้อากาศ
Kinetic Study of COD Removal from Wastewater Piggery
Farm Using Anaerobic Reactor

ชื่อนักศึกษา

นางสาวจิรัชญา ละอองพันธ์ รหัสนักศึกษา 57050575
นางสาวนุชญา เฉลิมพล รหัสนักศึกษา 57050615
นายภูชิต นิมา รหัสนักศึกษา 57050631

ปริญญา

วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)

ภาควิชา

เคมี

ปีการศึกษา

2560

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ. พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้
โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาดุษฎีบัณฑิตกิตติมศักดิ์ (เคมีสิ่งแวดล้อม)
ประจำปีการศึกษา 2560

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร. สุวรรณีย์ จรรยาพูน ประธานกรรมการ	
ดร. กลิ่นสุคนธ์ สุวรรณรัตน์ กรรมการ	
ผศ. พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การศึกษาค่าจลนพลศาสตร์ของการกำจัดซีโอดีจากน้ำเสียฟาร์มสุกรด้วยถังหมักแบบไร้อากาศ		
ชื่อนักศึกษา	นางสาวจิรัชญา ละอองพันธ์	รหัสนักศึกษา	57050575
	นางสาวนุชยา เฉลิมพล	รหัสนักศึกษา	57050615
	นายภูชิต นิมา	รหัสนักศึกษา	57050631
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)		
ภาควิชา	เคมี		
ปีการศึกษา	2560		
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ. พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย		

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีและการผลิตก๊าซชีวภาพด้วยกระบวนการหมักแบบไร้อากาศในถังปฏิกริยาทั้งหมดสองถัง โดยให้น้ำเสียเริ่มต้นมีค่าซีโอดีต่างกันคือ ถังปฏิกริยาใบที่หนึ่งน้ำเสียมีค่าซีโอดีเริ่มต้นสูงมากกว่า 10,000 มก./ล. และถังปฏิกริยาใบที่สองน้ำเสียมีค่าซีโอดีเริ่มต้นต่ำหรือน้อยกว่า 5,000 มก./ล. ใช้ระยะเวลากักเก็บน้ำ 30-40 วัน ควบคุมพีเอชให้อยู่ในช่วง 7.0-8.0 ภายใต้อุณหภูมิห้อง ผลการทดลองพบว่าถังปฏิกริยาใบที่หนึ่งมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีสูงสุดเท่ากับ 78.94% ปริมาณก๊าซสะสมสูงสุด 6,245 มล. และ ถังปฏิกริยาใบที่สองมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี 65% มีปริมาณก๊าซสะสมสูงสุด 1,185 มล. สำหรับค่าจลนพลศาสตร์ที่ศึกษาพบว่า ถังปฏิกริยาใบที่หนึ่ง มีค่า Y เท่ากับ 2.3556 mg/mg, ค่า k_d เท่ากับ 0.25 ต่อวัน ค่า K_s เท่ากับ 4.00 กรัม/ล. และค่า μ_m เท่ากับ 0.090 ต่อชั่วโมง และในถังปฏิกริยาใบที่สอง มีค่า Y เท่ากับ 4.9015 ค่า k_d เท่ากับ 0.1 ต่อวัน ค่า K_s เท่ากับ 2.06 กรัม/ล. และค่า μ_m เท่ากับ 0.090 ต่อชั่วโมง ตามลำดับ

คำสำคัญ : น้ำเสียฟาร์มสุกร ถังหมักแบบไร้อากาศ สัมประสิทธิ์จลนพลศาสตร์

Title	Kinetic Study of COD Removal from Wastewater Piggery Farm Using Anaerobic Reactor
Students	Miss Jiratchaya La-ongpan Student ID 57050575 Miss Noochaya Chalernpol Student ID 57050615 Mr. Phuchit Nima Student ID 57050631
Degree	Bachelor of Science (Environmental Chemistry)
Department	Chemistry
Faculty	Science
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Academic Year	2017
Advisor	Asst. Prof. Pitsamai Chairat-utai

Abstract

This research studies the efficiency of COD removal and biogas production by anaerobic reactor. There are two reactors with different concentration of wastewater, such that the first reactor contained wastewater with initial COD levels higher than 10,000 mg / L. The wastewater in the second reactor had a COD less than 5,000 mg / L. Both reactors have an average water retention time of 30-40 day, with pH falls within 7.0-8.0 range, and stored under room temperature. The result from this experiment shows that the first reactor has the maximum COD removal efficiency of 78.94% with the maximum gas concentration of 6,245 mL. The second reactor has the maximum COD removal efficiency of 65%, with a maximum of 1,185 mL. Effluent had the final COD in the first and second reactors at 1,180, 1,106 mg / L respectively. The kinetic coefficients obtained from this study shows the Y value of the first reactor equals to 2.3556 mg/mg, k_d equals to 0.25 per day, K_s equals to 4.00 g/L and μ_m equals to 0.090 per hour. The second reactors has Y value equals to 4.9015 mg/mg, k_d equals to 0.1 per day, K_s equals to 2.06 g/L and μ_m equals to 0.090 per hour.

Keywords: Wastewater Piggery Farm, Anaerobic reactor, Kinetic coefficient

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างดีด้วยความช่วยเหลือจากบุคคลหลายฝ่ายด้วยกัน จึงขอขอบพระคุณทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือขอขอบพระคุณ ผศ. พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย ที่กรุณาให้คำปรึกษาและคำแนะนำ ตลอดจนให้ความช่วยเหลือต่างๆ ในการดำเนินงานโครงการพิเศษนี้มาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณบริษัททีวีที เอ็นเนอร์ยี่ จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการนำน้ำเสียจากฟาร์มสุกร ฟาร์มประจักษ์ ตำบลปึกธงชัย อำเภอปึกธงชัย จังหวัดนครราชสีมา มาใช้ในการทำงานวิจัยและให้ความสนับสนุนโครงการวิจัยในครั้งนี้เป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่วิทยาศาสตร์และเจ้าหน้าที่ฝ่ายธุรการ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ ที่ให้ความร่วมมือและอำนวยความสะดวกตลอดจนโครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอขอบพระคุณ เพื่อนๆ ในสาขาเคมีสิ่งแวดล้อมทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือเป็นอย่างดี และคอยเป็นกำลังใจมาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อและคุณแม่ ทุกท่านที่ให้กำลังใจและให้การสนับสนุนในทุกๆ เรื่องมาโดยตลอด ทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำโครงการพิเศษฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดีคุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากโครงการพิเศษฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

จิรัชญา ละอองพันธ์
นุชยา เฉลิมพล
ภูษิต นิมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูป.....	ช
สารบัญคำย่อ.....	ฅ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	1
1.3 ขอบเขต.....	1
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 ระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ.....	3
2.2 จลนศาสตร์ของระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ.....	8
2.3 ทฤษฎีจลนพลศาสตร์ของกระบวนการแอนแอโรบิก.....	10
2.4 จลนศาสตร์เคมี.....	12
2.5 มุลส์ตว์ (มุลสุกร).....	13
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	14
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	16
3.1 อุปกรณ์และสารเคมี.....	16
3.2 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัย.....	17
3.3 การดำเนินงานการวิจัย.....	17
3.4 การวิเคราะห์และบันทึกผลการทดลอง.....	18
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล.....	21
4.1 ลักษณะสมบัติน้ำเสียจากฟาร์มสุกร.....	21
4.2 จลนพลศาสตร์การกำจัดซีโอติน้ำเสียจากฟาร์มสุกร.....	21
4.3 ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี.....	23
4.4 ผลการศึกษาของแข็งแขวนลอยระเหยง่าย.....	24
4.5 ปริมาณก๊าซชีวภาพที่วัดได้.....	25
4.6 การวิเคราะห์ข้อมูลหาค่า Y และ k_d	27
4.7 การวิเคราะห์ข้อมูลหาค่า K_s และ μ_m	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	30
เอกสารอ้างอิง.....	31
ภาคผนวก ก วิธีการวิเคราะห์.....	34
ภาคผนวก ข ตารางแสดงผลการทดลอง.....	39
ภาคผนวก ค การคำนวณ.....	60



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ลักษณะสมบัติของแบคทีเรีย.....	6
2.2 ลักษณะทั่วไปของน้ำเสียจากฟาร์มสุกร.....	13
2.3 มาตรฐานน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกร.....	14
3.1 เครื่องมือและวิธีวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี.....	17
4.1 ลักษณะสมบัติน้ำเสียจากฟาร์มสุกรเริ่มต้น.....	21
4.2 อันดับของปฏิกิริยาค่าคงที่ R^2 ในการกำจัดซีโอติน้ำเสียจากฟาร์มสุกร.....	22
ก-1 ปริมาตรตัวอย่างน้ำและสารเคมีสำหรับหลอดแก้วขนาดมาตรฐาน.....	35
ข-1 ผลการทดลองซีโอติในถังปฏิกริยาน้ำเสียที่มีค่าซีโอตี.....	39
เริ่มต้นสูง (Total) และ (Soluble)	
ข-2 ผลการทดลองซีโอติในถังปฏิกริยาน้ำเสียที่มีค่าซีโอตี.....	40
เริ่มต้นต่ำ (Total) และ (Soluble)	
ข-3 ผลการทดลองของแข็งในถังปฏิกริยาที่มีค่าซีโอตีเริ่มต้นสูง.....	41
ข-4 ผลการทดลองของแข็งในถังปฏิกริยาที่มีค่าซีโอตีเริ่มต้นต่ำ.....	42
ข-5 ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอติถังปฏิกริยาน้ำเสียที่มีค่าซีโอตีเริ่มต้นสูง (soluble).....	42
ข-6 ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอติถังปฏิกริยาน้ำเสียที่มีค่าซีโอตีเริ่มต้นสูง (Total).....	43
ข-7 ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอติถังปฏิกริยาน้ำเสียที่มีค่าซีโอตีเริ่มต้นต่ำ (soluble).....	44
ข-8 ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอติถังปฏิกริยาน้ำเสียที่มีค่าซีโอตีเริ่มต้นต่ำ (Total).....	45
ข-9 ปริมาณก๊าซสะสมในถังปฏิกริยา.....	46
ข-10 อันดับปฏิกิริยาของน้ำเสียที่มีค่าซีโอตีเริ่มต้นสูง (Soluble).....	47
ข-11 อันดับปฏิกิริยาของน้ำเสียที่มีค่าซีโอตีเริ่มต้นสูง (Total).....	48
ข-12 อันดับปฏิกิริยาของน้ำเสียที่มีค่าซีโอตีเริ่มต้นต่ำ (Soluble).....	49
ข-13 อันดับปฏิกิริยาของน้ำเสียที่มีค่าซีโอตีเริ่มต้นต่ำ (Total).....	51
ข-14 ตารางแสดงการหาค่าจลนพลศาสตร์ที่มีค่าซีโอตีละลายน้ำเริ่มต้นสูง (Soluble).....	51
ข-15 ตารางแสดงการหาค่าจลนพลศาสตร์ที่มีค่าซีโอตีละลายน้ำเริ่มต้นต่ำ (Soluble).....	52
ข-16 ตารางแสดงปริมาณก๊าซที่ได้ต่อกรัมซีโอตีที่ลดลง.....	52
ในถังปฏิกริยาน้ำเสียที่มีค่าซีโอตีเริ่มต้นสูง	
ข-17 ตารางแสดงปริมาณก๊าซที่ได้ต่อกรัมซีโอตีที่ลดลง.....	53
ในถังปฏิกริยาน้ำเสียที่มีค่าซีโอตีเริ่มต้นต่ำ	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปร่าง

รูปที่	หน้า
2.2 อัตราการเกิดปฏิกิริยาที่มีความเข้มข้นสารอาหารต่างๆจากสมการของโมนอด.....	10
2.3 ลักษณะของกราฟโมนอดที่มีการชะลอการเจริญเติบโตด้วยข้อเสียด.....	11
3.1 การหมักแบบแอนแอโรบิกทดสอบแบบกึ่งต่อเนื่องโดยหลักการแทนที่น้ำ.....	18
3.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $1/\theta_c$ และ $\left(\frac{S_0 - S_e}{Xt}\right)$	19
3.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง θ และ $\frac{1}{S_e}$	20
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln S_0/S_e$ กับ เวลา.....	22
ในถังปฏิกริยาน้ำเสียที่มีค่าซีโอดีในรูปสารละลายเริ่มต้นสูง	
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln S_0/S_e$ กับ เวลา.....	23
ในถังปฏิกริยาน้ำเสียที่มีค่าซีโอดีในรูปสารละลายน้ำเริ่มต้นต่ำ	
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีในรูปสารละลาย % กับ เวลา.....	24
ในถังปฏิกริยาน้ำเสียที่มีค่าซีโอดีเริ่มต้นสูง (Soluble)	
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีในรูปสารละลาย % กับ เวลา.....	24
ในถังปฏิกริยาน้ำเสียที่มีค่าซีโอดีเริ่มต้นต่ำ (Soluble)	
4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของแข็งแขวนลอยระเหยง่ายกับเวลา.....	25
ในถังปฏิกริยาน้ำเสียที่มีค่าซีโอดีเริ่มต้นสูง (Soluble)	
4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของแข็งแขวนลอยระเหยง่ายกับเวลา.....	25
ในถังปฏิกริยาน้ำเสียที่มีค่าซีโอดีเริ่มต้นต่ำ (Soluble)	
4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณก๊าซสะสมกับเวลา.....	26
ในถังปฏิกริยาน้ำเสียที่มีค่าซีโอดีเริ่มต้นสูง	
4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณก๊าซสะสมกับเวลา.....	26
ในถังปฏิกริยาน้ำเสียที่มีค่าซีโอดีเริ่มต้นต่ำ	
4.9 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\frac{S_0 - S_e}{Xt}$ กับ $\frac{1}{\theta_c}$ ในถังปฏิกริยาน้ำเสียที่มีค่าซีโอดีเริ่มต้นสูง.....	27
4.10 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\frac{S_0 - S_e}{Xt}$ กับ $\frac{1}{\theta_c}$ ในถังปฏิกริยาน้ำเสียที่มีค่าซีโอดีเริ่มต้นต่ำ.....	28
4.11 ความสัมพันธ์ระหว่าง K_s กับ μ_m ในถังปฏิกริยาน้ำเสียที่มีค่าซีโอดีเริ่มต้นสูง.....	28
4.12 ความสัมพันธ์ระหว่าง K_s กับ μ_m ในถังปฏิกริยาน้ำเสียที่มีค่าซีโอดีเริ่มต้นต่ำ.....	29
ข-1 ความสัมพันธ์ระหว่าง S_e กับ เวลา (อันดับปฏิกริยาที่ศูนย์).....	54
ในถังปฏิกริยาน้ำเสียที่มีค่าซีโอดีในรูปสารละลายเริ่มต้นสูง(Soluble)	
ข-2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $1/S_e$ กับ เวลา (อันดับปฏิกริยาที่หนึ่ง).....	54
ในถังปฏิกริยาน้ำเสียที่มีค่าซีโอดีในรูปสารละลายเริ่มต้นสูง (Soluble)	
ข-3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln S_0 / S_e$ กับ เวลา (อันดับปฏิกริยาที่สอง).....	55
ในถังปฏิกริยาน้ำเสียที่มีค่าซีโอดีในรูปสารละลายเริ่มต้นสูง (Soluble)	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

รูปที่	หน้า
ข-4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง S_e กับ เวลา (อันดับปฏิกิริยาที่ศูนย์).....	55
ในถึงปฏิกิริยาน้ำเสียที่มีค่าซีโอดีทั้งหมดเริ่มต้นสูง (Total)	
ข-5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $1/S_e$ กับ เวลา (อันดับปฏิกิริยาที่หนึ่ง).....	56
ในถึงปฏิกิริยาน้ำเสียที่มีค่าซีโอดีทั้งหมดเริ่มต้นสูง (Total)	
ข-6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln S_0/S_e$ กับ เวลา (อันดับปฏิกิริยาที่สอง).....	56
ในถึงปฏิกิริยาน้ำเสียที่มีค่าซีโอดีทั้งหมดเริ่มต้นสูง (Total)	
ข-7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง S_e กับ เวลา (อันดับปฏิกิริยาที่ศูนย์).....	57
ในถึงปฏิกิริยาที่มีค่าซีโอดีในรูปสารละลายเริ่มต้นต่ำ (Soluble)	
ข-8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $1/S_e$ กับ เวลา (อันดับปฏิกิริยาที่หนึ่ง).....	57
ในถึงปฏิกิริยาน้ำเสียที่มีค่าซีโอดีในรูปสารละลายเริ่มต้นสูง (Soluble)	
ข-9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln S_0 / S_e$ กับ เวลา (อันดับปฏิกิริยาที่สอง).....	58
ในถึงปฏิกิริยาที่มีค่าซีโอดีในรูปสารละลายเริ่มต้นต่ำ (Soluble)	
ข-10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง S_e กับ เวลา (อันดับปฏิกิริยาที่ศูนย์).....	58
ในถึงปฏิกิริยาที่มีค่าซีโอดีเริ่มต้นต่ำ (Total)	
ข-11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $1/S_e$ กับ เวลา (อันดับปฏิกิริยาที่หนึ่ง).....	59
ในถึงปฏิกิริยาที่มีค่าซีโอดีเริ่มต้นต่ำ (Total)	
ข-12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln S_0/S_e$ กับ เวลา (อันดับปฏิกิริยาที่สอง).....	59
ในถึงปฏิกิริยาที่มีค่าซีโอดีเริ่มต้นต่ำ (Total)	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญคําย่อ

คําย่อ	คําอธิบาย
pH	ความเป็นกรดต่าง
TCOD	ซีโอดีทั้งหมด
SCOD	ซีโอดีในรูปของสารละลาย
SS	ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด
VSS	ปริมาณของแข็งแขวนลอยระเหยง่าย
S_0	ความเข้มข้นซับสเตรทในน้ำเข้า (มก./ล.)
S_e	ความเข้มข้นน้ำออก (มก./ล.)
Y (Yield)	ค่าสัมประสิทธิ์การเจริญเติบโต (มก./มก.)
k_d	อัตราการย่อยสลายเซลล์ (ต่อวัน)
K_s	อัตราการเจริญเติบโตสูงสุด (มก./ล.)
μ_m	อัตราการใช้สารอาหารสูงสุด (ต่อชั่วโมง)
θ	เวลา (วัน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

จากการขยายตัวของฟาร์มสุกรในภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีเพิ่มมากขึ้นทำให้ของเสียได้แก่ มูลสุกร ขยะอินทรีย์จากอาหารสัตว์ที่บริโภคไม่หมด เกิดการสะสมและย่อยสลายปล่อยก๊าซ มีเทน คาร์บอนไดออกไซด์ สู่ชั้นบรรยากาศ ซึ่งมีเทน กับ คาร์บอนไดออกไซด์ เป็น ก๊าซเรือนกระจกที่ส่งผลกระทบต่ออย่างรุนแรงต่อการเกิดภาวะโลกร้อน จึงต้องทำการลดปริมาณการแพร่กระจาย ตามที่ได้มีการกำหนดไว้ในพิธีสารเกียวโต (United Nations Framework Convention on Climate Change : UNFFCCC,1997) อย่างไรก็ตามการควบคุมการแพร่กระจายก๊าซมีเทนกำลังได้รับความสนใจเพิ่มมากขึ้นในปัจจุบัน เนื่องจากก๊าซมีเทนมีค่าศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อน(Global warming potential) มากกว่า ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ถึง 28 เท่า ในช่วงระยะเวลา 100 ปี และสามารถดูดซับรังสีความร้อนได้มากกว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ถึง 84 เท่า ในช่วงระยะเวลาแรก 20 ปี (IPCC,2013) ดังนั้นการลดการแพร่กระจายก๊าซมีเทนจึงมีความสำคัญอย่างมากต่อการลดภาวะโลกร้อน นอกจากนี้ก๊าซมีเทนยังเป็นก๊าซที่สามารถติดไฟได้เองและเกิดการระเบิดได้เองเมื่อมีความเข้มข้น ในบรรยากาศที่ร้อยละ 5-15 (Lide,2013) จากปัญหาดังกล่าวกระทรวงพลังงานจึงได้จัดทำโครงการจัดสรรงบประมาณเพื่อให้การสนับสนุนฟาร์มสุกรขนาดเล็กในการจัดการของเสียที่เกิดขึ้น โดยการใช้วิธีการบำบัดทางชีวภาพแบบไร้อากาศ (Anaerobic digestion) เพื่อเปลี่ยนของเสียต่างๆ ให้ได้เป็นก๊าซมีเทน และรวบรวมก๊าซที่เกิดขึ้นไปใช้ประโยชน์ด้านต่างๆ เช่น ใช้เป็นเชื้อเพลิงในครัวเรือน ในรถยนต์ และส่งเข้าสู่ระบบสายส่งของการไฟฟ้า (สุเจน กรรพฤทธิ์, 2551) โดยระบบบำบัดไร้อากาศที่ฟาร์มสุกรขนาดเล็กนิยมนำไปใช้คือ บ่อหมักไร้ออกซิเจนแบบช้า (Low rate anaerobic) จากข้อมูลปี.ศ. 2560 มีจำนวนบ่อหมักไร้ออกซิเจนเพิ่มขึ้นร้อยละ 65 จึงเป็นแรงจูงใจที่ทำให้ผู้วิจัยสนใจที่จะศึกษา ค่าสัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ และศึกษาจลนพลศาสตร์ของการผลิตก๊าซชีวภาพในบ่อหมัก จากของเสียฟาร์มสุกร

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการพิเศษ

- 1) ศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดซีโอทีในถังปฏิกรณ์ผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียฟาร์มสุกร
- 2) ศึกษาประสิทธิภาพการเปลี่ยนสารอินทรีย์ไปเป็นก๊าซชีวภาพ (Biogas Yield)
- 3) ศึกษาจลนพลศาสตร์ของการผลิตก๊าซชีวภาพในถังปฏิกรณ์ จากน้ำเสียฟาร์มสุกร

1.3 ขอบเขตการวิจัย

- 1) ปริมาณซีโอทีเริ่มต้นที่ทดลองอยู่ในช่วง 10,000 และ 5,000 mg/L
- 2) ปริมาณเซลล์จุลินทรีย์ ที่ใช้มีค่าของแข็งแขวนลอยอยู่ในช่วง ไม่เกิน 50,000 mg/L
- 3) พารามิเตอร์ทางจลนพลศาสตร์ที่ศึกษาคือ ค่าสัมประสิทธิ์การเจริญเติบโต (Yield, Y), ค่าอัตราการย่อยสลายเซลล์ (k_d), อัตราการเจริญเติบโตสูงสุด (K_s) และ อัตราการใช้สารอาหารสูงสุด (μ_m) ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4) ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) เพื่อประเมินศักยภาพการผลิตก๊าซมีเทนและประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีของน้ำเสียฟาร์มสุกร
- 2) เพื่อทราบค่าสัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในน้ำเสียฟาร์มสุกร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ (กรมควบคุมมลพิษ, 2546)

กระบวนการย่อยแบบไม่ใช้อากาศ (Anaerobic Digestion) หมายถึงการเปลี่ยน สารอินทรีย์ ในน้ำเสียหรือในสลัดจ์ให้กลายเป็นก๊าซมีเทน โดยทั่วไปเมื่อกล่าวถึง การบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ มักหมายถึงการย่อยแบบไม่ใช้อากาศและได้ ก๊าซมีเทนเป็นผลผลิตของกระบวนการ กระบวนการย่อยแบบไม่ใช้อากาศเกิดขึ้น 4 ขั้นตอนตามลำดับ ดังนี้ ไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) การสร้างกรดไขมัน ระเหย (Acidogenesis) การสร้างอะซิเตท (Acetogenesis) การสร้างมีเทน (Methanogenesis) โดยขั้นตอนทั้ง 4 ต้องอาศัยแบคทีเรีย 3 ประเภท ได้แก่ แบคทีเรียสร้างกรดไขมันระเหย (Volatile Fatty Acid : VFA) แบคทีเรียสร้างอะซิเตทและแบคทีเรียสร้างมีเทน

2.1.1 ขั้นตอนของปฏิกิริยาการย่อยแบบไม่ใช้อากาศ

ดังได้กล่าวแล้วว่า กระบวนการไม่ใช้อากาศมี 4 ขั้นตอนซึ่งเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง ตามลำดับ ดังนี้ ไฮโดรไลซิส การสร้างกรดไขมันระเหย การสร้างอะซิเตทและการสร้างมีเทนโดยมีรายละเอียด ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ไฮโดรไลซิส (Hydrolysis)

เป็นขั้นตอนการย่อยสลายสารประกอบโมเลกุลใหญ่ เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีนและไขมัน ให้ กลายเป็นสารประกอบโมเลกุลเล็กเช่น น้ำตาล กรดอะมิโน และกรดไขมันชนิดยาวตามลำดับ ขั้นตอน นี้สามารถเกิดขึ้นได้ ภายนอกเซลล์แบคทีเรียโดยอาศัยเอนไซม์ ที่แบคทีเรียปล่อยออกมาใช้ในการย่อย สลายดังกล่าว

ขั้นตอนที่ 2 การสร้างกรดไขมันระเหย (Acidogenesis)

หลังจากขั้นตอนไฮโดรไลซิสสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่จะถูกย่อยให้เล็กลงกลายเป็นสารประกอบ อินทรีย์โมเลกุลเล็กๆเหล่านี้จะถูกแบคทีเรียสร้างกรดขนส่งเข้าสู่เซลล์โดยแบคทีเรียที่ทำหน้าที่ สร้าง กรดในกระบวนการไม่ใช้อากาศเป็นพวก Obligate Anaerobes และ Facultative แต่แบคทีเรียพวก Obligate Anaerobes มีจำนวนมากว่ามากจึงเป็นแบคทีเรียกลุ่มหลักที่ทำหน้าที่ผลิตกรดซึ่งได้แก่ แบคทีเรียหลายๆกลุ่มของ Pseudomonas, Flavobacterium, Alcaligenes, Escherichia และ Aerobacter

หลังจากสารอินทรีย์ถูกขนส่งเข้าสู่เซลล์ แล้วจะถูกนำไปใช้เป็นแหล่งพลังงานและ แหล่ง คาร์บอนโดยผ่านกระบวนการหมักภายในเซลล์เปลี่ยนสารอินทรีย์ที่เข้าสู่ เซลล์ให้เป็นกรดอินทรีย์ ระเหยง่าย คาร์บอนอะตอมไม่เกิน 5 ตัว เช่น กรดอะซิติก กรดโพรพิโอนิก และกรดบิวทริก เป็นต้น

ขั้นตอนที่ 3 การสร้างกรดอะซิติกจากกรดไขมันระเหยอื่นๆ (Acetogenesis)

แบคทีเรียอะซิโตเจนิค (แบคทีเรียสร้างอะซิเตท) มีบทบาทสำคัญในการเป็น ตัวเชื่อมระหว่าง ขั้นตอนการสร้างกรดและขั้นตอนการสร้างมีเทน แบคทีเรียสร้างมีเทนนั้นต้องการซับสเตรต เฉพาะเจาะจงมากได้แก่ กรดอะซิติก กรดฟอร์มิก ไฮโดรเจน เมทานอล และเมทิลามีน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Methylamine) สำหรับกรดไขมันระเหยง่ายที่มีคาร์บอนมากกว่า 2 อะตอมไม่อาจใช้เป็นซับสเตรทในการผลิตมีเทนได้โดยตรงต้องใช้แบคทีเรียอะซิโตนิก (ที่ผลิตไฮโดรเจนได้ ด้วย) มีความสามารถในการย่อยสลายกรดไขมันระเหยที่มีคาร์บอนมากกว่า 2 อะตอมให้กลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ กรดอะซิติกและไฮโดรเจนภายใต้สภาวะที่ไฮโดรเจนมีความดันพาร์เชียลต่ำกว่า 2×10^{-3} บรรยากาศ และต่ำกว่า 9×10^{-3} บรรยากาศสำหรับการย่อยสลายกรดบิวทริกและกรดพรอปิอิก

ดังสมการ 2.1- 2.2



ขั้นตอนที่ 4 การสร้างมีเทน

กรดอะซิติกและไฮโดรเจนจะถูกแบคทีเรียใช้สร้างก๊าซมีเทนภายใต้สภาวะไม่ใช้อากาศ

ดังสมการ 2.3-2.4



กรดไขมันระเหยที่มีคาร์บอนมากกว่า 2 อะตอม ไม่สามารถถูกเปลี่ยนเป็นมีเทน ได้โดยตรง แบคทีเรียต้องเปลี่ยนกรดไขมันระเหยต่างๆ ให้เป็นกรดอะซิติก หรือไฮโดรเจนเสียก่อนจึงจะใช้ ผลิตภัณฑ์ได้นอกจากกรดอะซิติกและไฮโดรเจน แล้ว แบคทีเรียอาจใช้ซับสเตรทอย่างง่ายอีกเพียงไม่กี่ชนิดในการผลิตมีเทน เช่น เมทานอล, กรดฟอร์มิก (HCOOH) ดังสมการ 2.5 – 2.6



2.1.2 ประเภทของแบคทีเรียในกระบวนการย่อยแบบไม่ใช้อากาศ

1. แบคทีเรียสร้างกรดไขมันระเหย (Acidogenic Bacteria)

ในขั้นตอนการสร้างกรดไขมันระเหยของกระบวนการไม่ใช้อากาศ กรดจะผลิตขึ้นโดยแบคทีเรียแบบไม่ใช้อากาศ (Obligate Anaerobes) มากกว่าชนิด Facultative ทั้งนี้เพราะแบคทีเรียชนิดใช้อากาศมีจำนวนมากกว่าแบคทีเรียไม่ใช้อากาศที่มีบทบาทในการสร้างกรดไขมันระเหย ก็คือ กลุ่ม Clostridium ซึ่งมีเมตาบอลิซึมหลายแบบ จึงสามารถใช้สารอาหารทั้งที่เป็น พวกแป้งหรือโปรตีนได้ ผลปฏิกิริยาที่ได้มีหลากหลายชนิดเช่น กรดบิวทริก กรดอะซิติก ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซไฮโดรเจน เอทานอล บิวทานอล อะซิโตน เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีแบคทีเรียในกลุ่ม Propionicbacterium ที่ผลิตกรดพรอปิอิก (Propionic Acid) และกรดอะซิติกจากกรดแลคติก (Fenchel and Finlay 1995, Madigan และคณะ 1997)

2. แบคทีเรียสร้างกรดอะซิติก (Acetogenic Bacteria)

กรดอินทรีย์ระเหยง่ายที่เกิดจากขั้นตอนแรกบางชนิดยังเป็นโมเลกุลใหญ่ที่แบคทีเรียสร้างมีเทนไม่สามารถนำไปใช้เป็นสารอาหารได้จึงต้องมีการเปลี่ยนแปลงสารเหล่านั้นให้กลายเป็นสารอาหารอย่างง่ายสำหรับแบคทีเรียที่สร้างมีเทนเพื่อให้อาจสามารถดูดซึมเข้าไปใช้ได้ ในเซลล์แบคทีเรียที่ย่อยกรดไขมัน ระเหยโมเลกุลใหญ่ให้กลายเป็นกรดอะซิติกไฮโดรเจน และ คาร์บอนไดออกไซด์ได้นั้น สามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิดดังนี้

1) แบคทีเรียผลิตอะซิเตทอย่างเดียว (Homoacetogenic Bacteria)

แบคทีเรียชนิดนี้เป็นแบคทีเรียที่ใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นสารรับอิเล็กตรอนและผลิตกรดอะซิติกขึ้นมาเป็นกระบวนการหายใจแบบไม่ใช้อากาศ ผ่านวิถีชีวเคมี เรียกว่า Acetyl-CoA ตัวอย่างแบคทีเรียชนิดนี้ได้แก่ *Acetobacterium woodii* และ *Clostridium acetivum* สามารถเจริญเติบโตทั้งในแบบออโตโทรฟิก (autotrophic) คือใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นสารรับอิเล็กตรอนและแหล่งคาร์บอนและใช้ก๊าซไฮโดรเจนเป็นสารให้อิเล็กตรอนเพื่อเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์เป็นกรดอะซิติก ดังสมการที่ 2.7



รวมทั้งเจริญเติบโตในแบบเฮเทโรโทรฟิก (Heterotrophic) ก็ได้โดยการหมักน้ำตาลดังสมการ 2.8



แบคทีเรียที่อยู่ในจีนัส *Clostridium* พบอยู่ทั้งในกลุ่มแบคทีเรียที่สร้างกรดไขมัน ระเหยทั่วไป (Acidogenic Bacteria) และกลุ่มแบคทีเรียที่สร้างกรดอะซิติก (Acetogenic Bacteria) แบคทีเรียกลุ่มนี้จึงมีเมตาบอลิซึมหลายแบบดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ลักษณะสมบัติของแบคทีเรียบางกลุ่มในจีโนส

ลักษณะสำคัญ	ผลผลิตและลักษณะอื่น	ชนิด
1. ย่อยคาร์โบไฮเดรต		
ย่อยเซลลูโลส	อะซิเตท, แลคเตท	<i>C. cellobioparum</i>
	ซัลไฟเนท, ไฮโดรเจน, เอทานอล,	<i>C. thermocellum</i>
	คาร์บอนไดออกไซด์	
ย่อยน้ำตาล, แป้งและ	ผลผลิตคือ อะเซโท, บิวทานอล,	<i>C. butyricum</i>
เปคติน (pectin) ได้	เอทานอล, ไฮโซพอรอฟินอล,	<i>C. acetobutylicum</i>
บางชนิดจริง	บิวไทเรต, อะซิเตท, พรอพิโอนาท,	<i>C. pasteurianum</i>
ไนโตรเจนได้	ซัลไฟเนท, ไฮโดรเจน,	<i>C. perfringens</i>
	คาร์บอนไดออกไซด์	<i>C. thermosulfurogenes</i>
ย่อยน้ำตาลให้เป็น	ผลิตอะซิเตทจากคาร์บอนไดออกไซด์	<i>C. aceticum</i>
กรดอะซิติกได้		<i>C. thermoaceticum</i>
		<i>C. formicoaceticum</i>
ย่อยเฉพาะ pentoses	ผลผลิตคือ อะซิเตท, พรอพิโอนาท,	<i>C. methylpentosum</i>
หรือ methylpentoses	n-บิวทานอล, ไฮโดรเจน,	
ได้	คาร์บอนไดออกไซด์	
2. ย่อยโปรตีนและ	ผลผลิตคือ อะซิเตท, กรดไขมันระเหย,	<i>C. sporogenes</i>
กรดอะมิโนได้	แอมโมเนีย, คาร์บอนไดออกไซด์,	<i>C. tetani</i>
	อาจให้ไฮโดรเจน	<i>C. botulinum</i>
อาจย่อยน้ำตาลได้	ผลผลิตคือ บิวไทเรตและอะซิเตท	<i>C. tetanomorphum</i>
	อาจผลิตเอกโซทอกซิน(exotoxins)	
ย่อยสารประกอบที่มี	พรอพิโอนาท, อะซิเตทและ	<i>C. propionicum</i>
คาร์บอน 3 อะตอม	คาร์บอนไดออกไซด์	
3. ย่อยคาร์โบไฮเดรต	อะซิเตท, ฟอเมท, มีโอโซบิวไทเรท	<i>C. bifermentans</i>
หรือกรดอะมิโนได้	และไฮโววาเลอเรทเล็กน้อย	
4. ย่อยพิวรีน	อะซิเตท, purines, formic, acetate	<i>C. acidurici</i>
(purine) ได้	คาร์บอนไดออกไซด์, แอมโมเนีย	
5. ย่อยเอทานอล	ใช้อะซิเตทเป็นสารรับอิเล็กตรอน	<i>C. kluyveri</i>
ให้เป็นกรดไขมันได้		

ที่มา: Medigan et al.,(1997)

2) แบคทีเรียสร้างอะซิเตทที่ผลิตไฮโดรเจนได้ (H₂-Producing Acetogenic Bacteria)

แบคทีเรียชนิดนี้จะใช้กรดไขมันระเหย (ที่ไม่ใช่กรดอะซิติก) หรือแอลกอฮอล์ เป็นสารอาหาร แล้วสร้างกรดอะซิติกและก๊าซไฮโดรเจนซึ่งเป็นสารอาหารของแบคทีเรียสร้างมีเทนขึ้นมา ดังนั้นแบคทีเรียชนิดนี้จึงมีบทบาทสำคัญ เพราะเป็นตัวเชื่อมระหว่างแบคทีเรียสร้างกรดกับแบคทีเรียสร้างมีเทน อย่างไรก็ตามแบคทีเรียชนิดนี้จะไม่เจริญเติบโตเมื่ออยู่ตามลำพังทั้งนี้เพราะเมื่อมีการสะสมของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก๊าซไฮโดรเจนที่ผลิตขึ้นมา (ทำให้มีความดันพาร์เชียลของไฮโดรเจนสูง) ปฏิกริยาสร้างกรดอะซิติกจะไม่สามารถเกิดขึ้นได้ เนื่องจากแบคทีเรียสร้างกรดอะซิติกหยุดการเจริญเติบโต ดังนั้น จะต้องมีการกำจัดไฮโดรเจนก่อนแบคทีเรียสร้างกรดอะซิติกจึงจะเจริญเติบโตได้แบคทีเรียสร้างมีเทนจึงเข้ามามีบทบาทเพราะแบคทีเรียสร้างมีเทนสามารถบริโภคไฮโดรเจนได้

3. แบคทีเรียสร้างมีเทน

แบคทีเรียสร้างมีเทนเป็นแบคทีเรียไม่ใช้ออกาศชนิดเด็ดขาดไม่อาจทนต่อออกซิเจนได้แม้มีปริมาณเพียงเล็กน้อยจัดอยู่ในกลุ่มของแบคทีเรียชนิดเคโมเฮเทโรทรอปดำรงชีวิตอยู่และเจริญเติบโตโดยได้รับพลังงานจากการย่อยสลายสารอินทรีย์

แบคทีเรียกลุ่มนี้สามารถจำแนกออกได้เป็น 3 ชนิด ตามชนิดของสารอาหารที่ใช้ ได้แก่

1) เมทาโนเจนที่บริโภคเฉพาะอะซิเตท (Obligate Acetoclastic Methanogen) เป็นแบคทีเรียสร้างมีเทนที่ใช้กรดอะซิติกเป็นแหล่งพลังงานตามสมการดังนี้



2) เมทาโนเจนที่บริโภคเฉพาะไฮโดรเจน (Obligate Hydrogenotrophic Methanogen หรือ Hydrogen Utilizer) เป็นแบคทีเรียที่ใช้ก๊าซไฮโดรเจนในการผลิตก๊าซมีเทนโดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์เป็นแหล่งคาร์บอนดังสมการ



3) เมทาโนเจนที่บริโภคได้ทั้งไฮโดรเจนและอะซิเตท (Hydrogenotrophic/ Acetoclastic Methanogen) เป็นแบคทีเรียที่สร้างมีเทนได้ทั้งจากกรดอะซิติกหรือก๊าซไฮโดรเจน

2.1.3 ปัจจัยสภาวะแวดล้อมที่มีผลต่อการทำงานของแบคทีเรียสร้างมีเทน

1. อุณหภูมิ

อุณหภูมิในการเดินระบบ (Operating Temperature) เมทาโนเจน ไม่สามารถทนต่ออุณหภูมิที่ต่ำมากหรือสูงมากได้ ถ้าหากอุณหภูมิลดลงต่ำกว่า 10 °C แบคทีเรียจะหยุดทำงานอุณหภูมิในการเดินระบบแบ่งเป็นสองระดับตามสปีชีส์ของเมทาโนเจน ได้แก่ เมโซฟิลิก (Mesophilic) และเทอร์โมฟิลิก (Thermophilic)

1) อุณหภูมิที่เหมาะสมที่เมโซฟิลิกทำงานได้ดีคือประมาณ 20 °C – 45 °C แต่ที่ เหมาะสมที่สุดคือช่วง 37 °C – 41 °C โดยในช่วงอุณหภูมิระดับนี้แบคทีเรียส่วนใหญ่ในถังหมักจะเป็น เมโซฟิลิก

2) เทอร์โมฟิลิก ทำงานได้ดีในช่วงอุณหภูมิที่สูงกว่าโดยอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดคือประมาณ 50 °C – 52 °C แต่ก็สามารถทำงานในอุณหภูมิที่สูงขึ้นไปถึง 70 °C แบคทีเรียเมโซฟิลิก นั้นมีจำนวนสปีชีส์มากกว่าเทอร์โมฟิลิก นอกจากนี้ยัง สามารถทน ต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมได้ดีกว่า เทอร์โมฟิลิกอีกด้วยทำให้ระบบหมักก๊าซชีวภาพที่ใช้เมโซฟิลิก เสถียรกว่า แต่ขณะเดียวกัน อุณหภูมิซึ่งสูงกว่าในระบบที่ใช้เทอร์โมฟิลิกก็เป็นการช่วยเร่งปฏิกิริยาส่งผลให้อัตราการผลิตก๊าซสูงกว่า

2. ความเป็นกรด-ด่าง

ค่าพีเอชที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตก๊าซชีวภาพคือ ระหว่าง 7.0 – 7.2 ค่าพีเอชในถังหมักขึ้นอยู่กับช่วงของการหมักด้วย เพราะในช่วงแรกแบคทีเรียที่สร้าง กรดจะสร้างกรดเป็นจำนวนมาก และทำให้ค่าพีเอชลดลง ซึ่งถ้าหากพีเอชลดลงต่ำกว่า 5 ก็หยุด กระบวนการย่อยและหมักทั้งหมด หรืออีกนัยหนึ่งก็คือแบคทีเรียตาย (Methanogen) นั้นอ่อนไหวต่อความเป็นกรดต่างมาก และจะไม่เจริญเติบโตหากพีเอชต่ำกว่า 6.5 ในช่วงท้ายของกระบวนการ ความเข้มข้นของแอมโมเนียในไอออนจะมากขึ้นตามการย่อยสลายไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้ค่าพีเอชเพิ่มโดยอาจเกิน 8 จนกระทั่งระบบผลิตเริ่มมีความเสถียร พีเอช จะอยู่ระหว่าง 6.8 – 8 โดยทั่วไปกระบวนการไม่ใช้อากาศควรมีสภาพด่าง (Alkalinity) ประมาณ 1,500–2,000 มก./ล. สำหรับย่อยสลายหรือน้ำเสียเข้มข้น ปริมาณสภาพด่างที่พอเพียงขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของซีโอดีที่ย่อยสลายได้

3. กรดไขมันระเหยและสภาพต่าง

โดยปกติกรดไขมันระเหย (VFA) ในถังบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศที่ทำงานได้ดีควรมีค่าประมาณ 20-200 มก. กรดอะซิติกต่อลิตร กรดไขมันระเหยที่สะสมจนมี ความเข้มข้นสูงกว่าระดับที่กล่าวแสดงว่าระบบมีแบคทีเรียสร้างมีเทนน้อยเกินไปหรือแสดงว่าแบคทีเรียสร้างกรดผลิตกรดไขมันระเหยได้เร็วเกินไปกรดไขมันระเหยที่ เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจะเป็นสัญญาณว่าระบบกำลังเสียสมดุล เพราะทำให้พีเอชลดลงจนไม่อยู่ในช่วงที่เหมาะสมของแบคทีเรียที่อยู่ในระบบไม่ว่าจะเป็นแบคทีเรียสร้างมีเทนหรือแบคทีเรียสร้างกรด

4. ธาตุอาหาร

ถึงแม้ว่าเซลล์ของแบคทีเรียที่สร้างขึ้นในกระบวนการไม่ใช้อากาศจะมีน้อย กว่าแบบใช้ออกซิเจน แต่จากอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัสต่อ ซัลเฟอร์ (C:N:P:S) ในเซลล์มีค่าประมาณ 100:10:1:1 จึงจำเป็นต้องรักษา อัตราส่วนนี้ไว้ไม่น้อยกว่านี้

5. สารยับยั้งและสารพิษ

สารยับยั้งและสารพิษ เช่น กรดไขมันระเหยไฮโดรเจน หรือแอมโมเนีย รวมถึงธาตุไอออน สารพิษ โลหะหนัก สารทำความสะอาดต่างๆ เช่น สบู่ น้ำยาล้างต่างๆ และยาปฏิชีวนะ สามารถส่งผลยับยั้งการเจริญเติบโตและการผลิตก๊าซของแบคทีเรียได้ธาตุไอออนในปริมาณน้อย (เช่น โซเดียม โปแตสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม ซัลเฟอร์ แอมโมเนีย) สามารถช่วยกระตุ้นการเติบโตของแบคทีเรียเช่นกัน แต่ถ้าหากปริมาณนั้นมากก็จะส่งผลเป็นพิษได้ยกตัวอย่างเช่นแอมโมเนียในปริมาณ 50-200 มก./ล. จะเป็นผลดีช่วยในการเจริญเติบโตของแบคทีเรียแต่เมื่อใดที่ความเข้มข้นของแอมโมเนียสูงกว่า 1,500 มก./ล. ก็จะเริ่มส่งผลเสียในทางเดียวกันโลหะหนักบางประเภท(เช่น ทองแดง นิเกิล โครเมียม สังกะสี ตะกั่ว และ อื่นๆ) ในปริมาณที่น้อยๆช่วยในการเจริญเติบโตของแบคทีเรียแต่เมื่อความเข้มข้นสูงก็จะเป็นพิษ (กฤษฎา และ กิตติ ,2557)

2.2 จลนศาสตร์ของระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ

กิจกรรมต่างๆ ที่เกิดขึ้นในระหว่างการดำรงชีวิตของจุลินทรีย์การสร้างโมเดลทางจลนศาสตร์ของระบบชีวเคมีจำเป็นต้องจำแนกกิจกรรมต่างๆที่เกิดขึ้นในระหว่างการดำรงชีวิตของจุลินทรีย์ให้ได้เสียก่อนจากนั้นจึงวิเคราะห์จลนศาสตร์ของกิจกรรมเหล่านั้นทีละอย่างให้มีความสัมพันธ์กับพารามิเตอร์หลักของระบบชีวเคมี เช่น ความเข้มข้นของจุลินทรีย์และของซับสเตรต เป็นต้น จลน-เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ศาสตร์ของระบบชีวเคมีต่างประเภทกันจะประกอบด้วยจลนศาสตร์ของกิจกรรม ต่างๆ ของจุลินทรีย์ รวมกันในหลากหลายแง่มุมกิจกรรมต่าง ๆ ของจุลินทรีย์ที่มีชีวิตสามารถจำแนกออกได้เป็น 3 อย่าง ดังนี้

- 1) การเจริญเติบโตของเซลล์ (ใช้หรือบริโภคซับสเตรต)
- 2) การย่อยสลายตัวของเซลล์ซึ่งรวมถึงกิจกรรมทุกอย่างที่ทำให้มวล ชีวภาพลดน้อยลง
- 3) การตาย

สภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมจะทำให้แบคทีเรียมีการเจริญเติบโตอย่างเต็มที่การเติบโตของเซลล์ เป็นการสะท้อนให้เห็นถึงการทำงานของระบบเอนไซม์ที่ใช้ผลิตโมเลกุลต่างๆให้กับไซโตพลาสอย่างไรก็ตามการเพิ่มมวลให้กับไซโตพลาสและการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์มีขีดจำกัด กล่าวคือ เมื่อเติบโตขึ้นถึงขนาดแล้ว เซลล์จะมีการแบ่งตัวทำให้ได้เซลล์ใหม่เกิดขึ้นซึ่งถือว่าเป็นการขยายพันธุ์นั่นเองการเติบโตของจุลินทรีย์อาจแบ่งออกได้เป็น 6 ระยะ ดังนี้

1. ระยะปรับตัว (Lag Phase) จุลินทรีย์กำลังปรับตัวให้เข้ากับสิ่งแวดล้อมใหม่จึง ต้องการเวลาแบ่งตัวมาก ไม่มีการเติบโตเกิดขึ้น ขนาดของเซลล์และอัตราการ เกิดเมตาบอลิซึ่มมีค่าสูงสุด
2. ระยะเร่งเติบโต (Acceleration Phase) เวลาแบ่งตัวสั้นลง และมีอัตราการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น
3. ระยะเจริญเติบโตถึงขีดสุด (Exponential Phase) เวลาแบ่งตัวคงที่และสั้นที่สุด อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะถึงระดับสูงสุดและคงที่ การบริโภคซับสเตรตมีอัตราสูงสุดระยะนี้ถือว่าเป็นสภาวะคงตัว (Steady State) ของเซลล์
4. ระยะลดการเติบโต (Declining Growth หรือ Retardation Phase) ต้องการเวลา แบ่งตัวของเซลล์เพิ่มขึ้นและอัตราการเจริญเติบโตเริ่มลดลงเพราะซับสเตรตมีปริมาณลดลงระยะนี้มีการสะสมของเมตาบอไลต์ที่เป็นพิษเพิ่มขึ้น
5. ระยะพักการเติบโต (Stationary Phase) ไม่มีอาหารหรือซับสเตรตเหลืออีกแล้ว เมตาบอไลต์ที่เป็นพิษมีปริมาณสูง
6. ระยะย่อยสลายตัวเอง (Endogenous Phase) การขาดแคลนอาหารที่อยู่ภายนอก เซลล์ทำให้แบคทีเรียในระยะนี้ต้องย่อยสลายตัวเองเพื่อให้ได้พลังงานสำหรับใช้ดำรงชีวิต (ทำให้ความเข้มข้นของแบคทีเรียมีปริมาณลดลง) อัตราตายของแบคทีเรียอยู่ในระดับสูง และมีการแตกของเซลล์เกิดขึ้นด้วย

การเติบโตเป็นระยะทั้ง 6 ช่วงนี้ไม่ได้เป็นคุณสมบัติ รวมขึ้นพื้นฐานของเซลล์แบคทีเรียทั่วไป กล่าวคือ แบคทีเรียไม่จำเป็นต้องมีการ เติบโตทั้ง 6 ระยะการเพาะเลี้ยงแบคทีเรีย (แบบไม่ต่อเนื่อง) ในถังแบบแบตช์ (Batch Reactor) มีโอกาสจะพบการเติบโตทั้ง 6 ระยะเกิดขึ้นตามลำดับ แต่การเพาะเลี้ยง แบคทีเรียแบบต่อเนื่อง อาจสามารถกำหนดและรักษาระยะเติบโตใหญ่อยู่ในช่วง ใดๆ ที่ต้องการได้

ที่มา : (กรมควบคุมมลพิษ, 2546)

2.3 ทฤษฎีจลนพลศาสตร์ของกระบวนการแอนแอโรบิก

ในการวิเคราะห์กระบวนการของระบบบำบัดแบบไร้อากาศด้วยการใช้ทฤษฎีจลนพลศาสตร์ และทฤษฎีมวลสมดุลมาใช้วิเคราะห์ร่วมกัน มีผู้เสนอวิธีวิเคราะห์ระบบดังกล่าวไว้หลายแบบ โดยหลักการแล้วต้องพิจารณาถึงขั้นตอนการบำบัดน้ำเสียที่มีตั้งแต่ ไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) ขั้นตอนสร้างกรด (Acid Formation) และขั้นตอนสร้างมีเทน (Methane Formation) เพราะแต่ละขั้นตอนจะมีอัตราเร็วของปฏิกิริยาชีวเคมี และค่าคงที่ปฏิกิริยาแตกต่างกัน ดังนั้นจำเป็นต้องพิจารณาแยกกัน เพื่อจะได้สมการจลนพลศาสตร์ของระบบให้ได้ผลใกล้เคียงความเป็นจริงที่สุด แต่หลายท่านได้พิจารณาถึงขั้นตอนปฏิกิริยาเพียงสองขั้นตอนคือ ขั้นตอนหมักสร้างกรด (Acid Fermentation Stage) และขั้นตอนหมักสร้างมีเทน (Methane Fermentation Stage) และยังมีอีกหลายท่านได้เสนอวิธีวิเคราะห์แบบคิดรวมทั้งระบบ

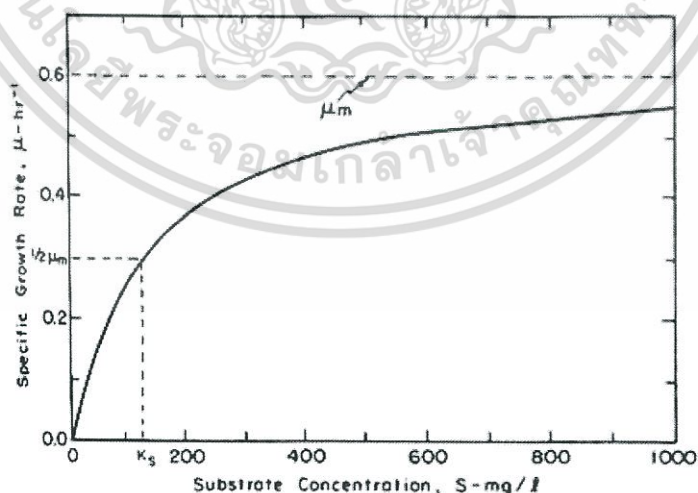
อนึ่งวิธีวิเคราะห์ที่จะได้แสดงไว้จะมีหลายรูปแบบ แต่สุดท้ายก็ได้ผลลัพธ์ใกล้เคียงกัน ในการแสดงวิธีวิเคราะห์หลายรูปแบบจะช่วยให้ผู้ศึกษาได้เข้าใจลึกซึ้งยิ่งขึ้นจะได้เข้าใจถึงพฤติกรรมของระบบบำบัดได้อย่างชัดเจน (ดร.เกรียงศักดิ์, 2543)

2.3.1 การวิเคราะห์จลนพลศาสตร์ของการบำบัดน้ำเสียและการเจริญเติบโตจุลชีวะด้วยสมการของโมนอด (Monod Equation)

โมนอดได้สร้างสมการที่ใช้แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง S และ μ ดังสมการ 2.11 ดังนี้

$$\mu = \frac{1}{x} r_{cx} = \frac{\mu_m \cdot S}{K_s + S} \quad (2.11)$$

สมการนี้จึงเรียกว่า สมการของโมนอด ปัจจุบันสมการโมนอดถือได้ว่าเป็นจุดเริ่มต้นทางจลนศาสตร์ของระบบชีวเคมีที่มีแบคทีเรียเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในปฏิกิริยาที่มีการเปลี่ยนรูปของสารอินทรีย์



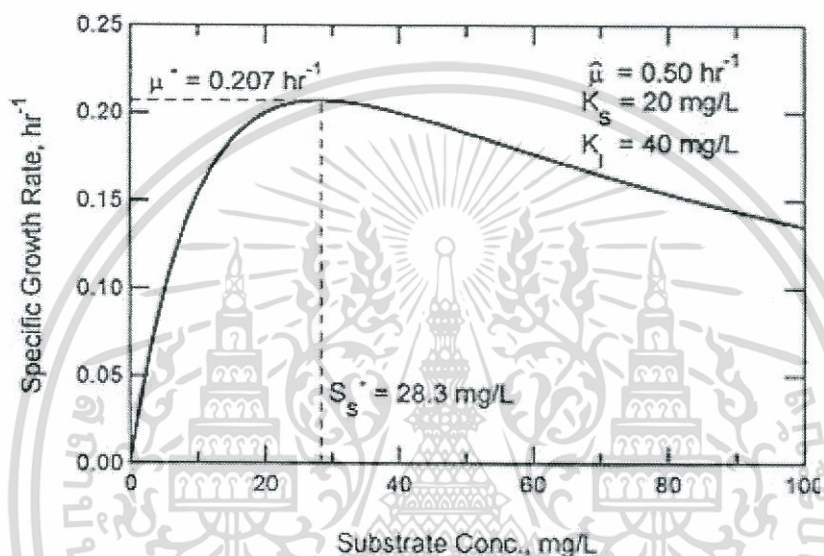
รูปที่ 2.1 อัตราการเกิดปฏิกิริยาที่มีความเข้มข้นสารอาหารต่างๆจากสมการของ โมนอด
ที่มา Grady และ Lim, (1980)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟที่ได้จากสมการโมนอดจะมีลักษณะดังรูป 2.1 เมื่อหาค่าของ μ ในกราฟได้สามารถประมาณค่า K_s โดย K_s เท่ากับความเข้มข้น (S) ที่ทำให้ได้ค่า $\mu = \mu_m/2$

เนื่องจากข้อบกพร่องบางชนิดที่เมื่อความเข้มข้นสูงขึ้น จะไปจับกับสารประกอบเชิงซ้อนของเอนไซม์กับซับสเตรทได้ดีกว่าเอนไซม์อิสระภายในเซลล์ของจุลินทรีย์ ทำให้การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ถูกยับยั้งหรือเป็นการชะลอการเจริญเติบโต ซึ่งในสมการโมนอดแบบธรรมดาไม่สามารถใช้อธิบายในกรณีเช่นนี้ได้ จึงมีการพัฒนาเป็นกราฟโมนอดแบบที่ชะลอการเจริญเติบโตด้วยซับสเตรท

$$\mu = \frac{\mu_m S}{(K_s + S + S^2)K_I} \quad \text{โดยที่ } K_I \text{ สัมประสิทธิ์การชะลอตัว} \quad (2.12)$$



รูปที่ 2.2 ลักษณะของกราฟโมนอดที่มีการชะลอการเจริญเติบโตด้วยซับสเตรท
ที่มา: Grady และ คณะ,(1999)

จะเห็นได้ว่าเมื่อ K_I มีค่ามากๆ สมการนี้จะกลายเป็นสมการโมนอดแบบธรรมดานั้นคือซับสเตรทที่มีผลในการชะลอการเจริญเติบโตได้มากจะมีค่า K_I ต่ำ ซับสเตรทที่มีผลน้อยกว่าจะมีค่า K_I สูง

ในกรณีเช่นนี้ทำให้ไม่สามารถหาค่า μ_m ได้จากการทดลอง และค่า K_s จึงเป็นค่าที่หาได้อย่างไม่แม่นยำนักค่า μ สูงสุดของกราฟในรูป จึงเป็นค่า μ' ซึ่งได้จากการทดลอง

$$\mu' = \frac{\mu_m}{[2(K_s / K_I)^{0.5} + 1]} \quad (2.13)$$

และ
$$S' = (K_s / K_I)^{0.5} \quad (2.14)$$

โดยที่ S เป็นความเข้มข้นของซับสเตรท เมื่อ $\mu = \mu'$

ในงานวิจัยนี้ได้เลือกสมการที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ ได้แก่ สมการของโมนอด ซึ่งเป็นสมการพื้นฐานในการวิเคราะห์ค่าจลนพลศาสตร์ที่ได้รับการยอมรับและนิยมใช้ในงานวิจัยอื่นๆ มากมาย อีกทั้งยังเป็นสมการพื้นฐานที่ใช้ในการพัฒนาสมการอื่นๆ โดยค่าตัวแปรที่ทำการศึกษาได้แก่ ค่าคงที่อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุด (Maximum Specific Growth Rate, μ_m) และ ค่าคงที่การอิ่มตัว (Half Saturation Constant: K_s)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 จลนศาสตร์เคมี

2.4.1 กฎอัตราและอันดับปฏิกิริยา

กฎอัตรา คือ สมการที่แสดงว่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาขึ้นกับความเข้มข้นของสารตั้งต้น ซึ่งเขียนความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นได้ตาม Law of Mass Action ดังสมการ และอัตราการเกิดปฏิกิริยาจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับสารตั้งต้นที่เข้าทำปฏิกิริยากัน โดยสามารถเขียนสมการกฎอัตราได้ดังนี้



ส่วนอันดับปฏิกิริยาเป็นตัวเลขใดๆ (x,y) อาจเป็นตัวเลขจำนวนเต็มหรือเศษส่วน ซึ่งตัวเลขอันดับปฏิกิริยาได้จากการทดลองหาอัตราการเกิดปฏิกิริยาเมื่อเปลี่ยนความเข้มข้นของสารตั้งต้นเท่านั้น โดยอันดับปฏิกิริยาอาจแบ่งออกได้ดังนี้

ปฏิกิริยาอันดับศูนย์

ปฏิกิริยาอันดับศูนย์เป็นปฏิกิริยาที่ศึกษาได้ง่าย มีกฎอัตราแสดงดังสมการที่ 2.16 อัตราการเกิดปฏิกิริยาไม่ขึ้นกับความเข้มข้นของสารตั้งต้นจึงมีอัตราการเกิดคงที่เสมอ

$$R = k(S) \quad 0 = k \quad (2.16)$$

ปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง

ปฏิกิริยาอันดับหนึ่งคือ ปฏิกิริยาที่ต้องการเกิดปฏิกิริยาขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารตั้งต้นยกกำลังหนึ่ง มีกฎอัตราแสดงดังสมการ

$$R = k(A) \quad 1 \quad (2.17)$$

เมื่อสร้างกราฟระหว่างความเข้มข้นกับเวลาจะได้กราฟที่แสดง การลดลงของความเข้มข้นของสารตั้งต้นเมื่อเวลาเปลี่ยนไป และหากสร้างกราฟระหว่าง กับเวลา จะได้กราฟเป็นเส้นตรงที่มีความชันเท่ากับ $(-k)$ และเมื่อเวลาผ่านไปจะลดลง

ปฏิกิริยาอันดับสอง

ปฏิกิริยาอันดับสอง คือปฏิกิริยาที่อัตราการเกิดปฏิกิริยาขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารตั้งต้นยกกำลังสอง หรือขึ้นกับความเข้มข้นของสารตั้งต้นสองชนิด และแต่ละชนิดยกกำลังหนึ่งจึงมีกฎอัตราเป็นไปได้สองแบบ

$$r = k(A) \quad 2 \quad (2.18)$$

$$r = k(A) \quad 1 (B) \quad 1 \quad (2.19)$$

นอกจากอิทธิพลของความเข้มข้นของสารตั้งต้นที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาแล้ว อุณหภูมิก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่สำคัญที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยา อุณหภูมิสารตั้งต้นเพิ่มขึ้น โมเลกุลสารจะมีพลังงานจลน์สูงขึ้น และเคลื่อนที่เร็วขึ้นจึงมีโอกาสในการชนกันมากขึ้น จึงทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเร็วขึ้น (จลนศาสตร์เคมีและสมดุลเคมี, 2553)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 มูลสัตว์ (มูลสุกร) (กรมควบคุมมลพิษ, 2546)

ของเสียที่ได้จากฟาร์มเลี้ยงสัตว์ส่วนใหญ่ ได้แก่ มูลสัตว์ ซึ่งเป็นส่วนที่เป็นของแข็งนั้น ประกอบด้วยเศษของพืชและสัตว์ซึ่งเป็นอาหารที่สัตว์กินเข้าไปแล้วไม่สามารถย่อยหรือนำไปใช้ประโยชน์ได้หมดจึงเหลือเป็นกากที่สัตว์ขับถ่ายออกมา โดยเศษอาหารเหล่านี้ได้ผ่านกระบวนการย่อยสลายไปบางส่วนแล้วในทางเดินอาหาร ดังนั้น ในส่วนที่เป็นมูลสัตว์จึงยังอุดมไปด้วยธาตุอาหารชนิดต่าง ๆ รวมทั้งสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้หลายชนิด ซึ่งเมื่อรวมกันเข้าก็จะมียุคประกอบที่สามารถใช้เป็นธาตุอาหารที่สมบูรณ์ของพืชได้ ส่วนมูลสัตว์แต่ละชนิดจะมีธาตุอาหารชนิดใดมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับชนิดของอาหารที่สัตว์ชนิดนั้นๆ กินเข้าไปเป็นปัจจัยสำคัญรวมทั้งปัจจัยอื่นๆ ได้แก่ ระบบการย่อยอาหารของสัตว์ วิธีการให้อาหารรวมทั้งการจัดการรวบรวมมูลสุกรและของเสียในฟาร์มด้วย จากการศึกษาปริมาณธาตุอาหารพืชที่มีอยู่ในมูลสัตว์ชนิดต่าง ๆ พบว่ามูลสัตว์แต่ละชนิดมีปริมาณธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรองและจุลธาตุอาหารในปริมาณที่แตกต่างกัน

2.5.1 ลักษณะน้ำเสียจากฟาร์มสุกร

ในฟาร์มสุกรของเสียเกิดขึ้นในรูปแบบต่างๆ คือ เศษอาหาร มูลปัสสาวะ น้ำล้างคอก ก๊าซต่างๆ และสารระเหยที่มีกลิ่นจากการสลายตัวของมูลและปัสสาวะที่ขับถ่ายแล้วปริมาณของสิ่งขับถ่ายและลักษณะน้ำเสียที่เกิดขึ้นในฟาร์มแต่ละวัน ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ ขนาดของฟาร์มหรือจำนวนสัตว์ ยืนคอก ลักษณะอาหารและวิธีการให้อาหาร ขนาด ชนิดของสัตว์และประเภทสัตว์ที่เลี้ยง ลักษณะโรงเรือนและระบบการจัดการของเสีย วิธีการทำความสะอาดคอกและปริมาณน้ำที่ใช้ล้างหรือทำความสะอาด โดยปริมาณสิ่งขับถ่ายของสุกรในแต่ละวันจะแตกต่างกันตามขนาดของสุกรด้วย เช่น แม่สุกรกับสุกรขุนที่มีน้ำหนักเท่ากันคือ 90 -120 กิโลกรัม จะขับถ่ายของเสียเท่ากับ 4 และ 12 ลิตรต่อวัน ตามลำดับ

ปริมาณมูลสุกรที่ขับถ่ายออกมาขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ ได้แก่ อายุ น้ำหนักตัว พันธุ์อาหาร ปริมาณน้ำที่กิน ความสามารถในการย่อยอาหาร สิ่งแวดล้อมและการจัดการเกี่ยวกับของเสีย ซึ่งลักษณะน้ำเสียของฟาร์มสุกรโดยทั่วไป น้ำเสียจากฟาร์มสุกรจะมีความเข้มข้นสูงมาก ทั้งในรูปของบีโอดีและธาตุอาหาร (ธงชัย, 2544) ซึ่งเมื่อปล่อยน้ำเสียลงสู่แม่น้ำ จะทำให้เกิดปัญหายูโทรฟิเคชันจากการมีธาตุอาหารไนโตรเจน และหรือฟอสฟอรัสมากเกินไปในแหล่งน้ำปิด

ตารางที่ 2.2 ลักษณะทั่วไปของน้ำเสียจากฟาร์มสุกร

พารามิเตอร์	ค่าพารามิเตอร์
อัตราการเกิดน้ำเสีย	10 – 20 ลิตรต่อวัน
บีโอดี	1,500 – 3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร
ซีโอดี	4,000 – 7,000 มิลลิกรัมต่อลิตร
ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด	2,000 – 4,800 มิลลิกรัมต่อลิตร
ไนโตรเจนในรูปทีเคเอ็น	400 – 800 มิลลิกรัมต่อลิตร
ฟอสฟอรัสทั้งหมด	8 – 17 มิลลิกรัมต่อลิตร
ความเป็นกรดต่างหรือค่าพีเอช	6 - 8

ที่มา:กรมควบคุมมลพิษ (2546)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 มาตรฐานน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกร

พารามิเตอร์	หน่วย	ค่าสูงสุด	
		ประเภท ก.	ประเภท ข.
ความเป็นกรดและด่าง	-	9-5.5	9-5.5
บีโอดี	มิลลิกรัมต่อลิตร	60	100
ซีโอดี	มิลลิกรัมต่อลิตร	300	400
ของแข็งแขวนลอย	มิลลิกรัมต่อลิตร	150	200
ทีเคเอ็น	มิลลิกรัมต่อลิตร	120	200

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ (2546)

หมายเหตุ ประเภท ก ฟาร์มขนาดใหญ่ (ฟาร์มที่มีจำนวนสุกรตั้งแต่ 5,000 ตัวขึ้นไป)

ประเภท ข ฟาร์มขนาดกลาง (ฟาร์มที่มีจำนวนสุกรในช่วง 500 – 5,000 ตัว)

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Liu *et.al.*(2009) ได้ทำการทดลองย่อยสลายเศษอาหารแบบไร้อากาศในระบบแบบแบตช์ (Batch) พบว่า ที่อัตราส่วนอาหารต่อจุลินทรีย์ (F/M) เท่ากับ 3.1 ได้ผลผลิตของก๊าซชีวภาพ 430 mL/gVS โดย 80 % ของก๊าซชีวภาพจะเกิดขึ้นภายใน 10 วันแรก มีข้อดีคือเป็นระบบที่ไม่ใช้พลังงานในการบำบัด มีเสถียรภาพ และมีก๊าซชีวภาพเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการบำบัด แต่อย่างไรก็ตาม ปฏิกิริยาของการย่อยสลายแบบไร้อากาศเกิดได้ช้าและมีขั้นตอนที่ซับซ้อน ทำให้การย่อยสลายตะกอนส่วนเกินแบบไร้ออกซิเจนมีข้อจำกัดหลายประการได้แก่ ระยะเวลาในการกักเก็บนาน (20-30 วัน) และมีประสิทธิภาพในการบำบัดต่ำประมาณ (30-40%) โดยข้อจำกัดเหล่านี้เกิดเนื่องจากกระบวนการไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) เกิดได้ไม่สมบูรณ์

Mosh and Zhany (2010) ได้ทำการทดลองย่อยสลายมูลสัตว์ร่วมกับเศษอาหารโดยใช้อัตราส่วนของมูลสัตว์ที่ไม่ได้ผ่านการกรองต่อเศษอาหารเป็น 68 : 32 % และ 52 : 48 %w/w ได้ผลผลิตของก๊าซชีวภาพ 282 และ 311 L/kg VS ตามลำดับ หลังจากใช้เวลาย่อยสลายเป็น 20 วัน ได้ผลผลิตก๊าซมีเทนเพิ่มเป็น 90 % และ 95 % ตามลำดับ

Rennuit, and Jimenez (2018) ทำการวิจัยโดยการนำตะกอนน้ำเสียชุมชนผสมกับตะกอนจากถังบำบัดแบบไร้อากาศมาบำบัดสองแบบคือแบบที่หนึ่งจัดเรียงลำดับของถังปฏิกรณ์โดยให้ตะกอนย่อยสลายเริ่มต้นก่อนในถังปฏิกรณ์แบบแอโรบิก (Pre-Treatment Aerobic Digesters) และส่งต่อเข้าถังหมักไร้อากาศ (Anaerobic Digesters) แบบที่สอง ให้มีถังปฏิกรณ์สามถังคือ ขั้นตอนที่หนึ่ง ตะกอนถูกย่อยสลายในถังหมักแบบแอนแอโรบิก โดยมีการกวนผสมจากนั้นส่งต่อเข้าถังหมักแบบแอโรบิก (Inter-Stage) และถูกส่งย่อยสลายขั้นตอนสุดท้ายในถังหมักแบบแอนแอโรบิกที่มีการกวนผสม พบว่าในการจัดเรียงถังปฏิกรณ์แบบที่หนึ่งปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจะน้อยกว่าแบบที่สอง รวมถึงการกำจัดซีโอดีจะน้อยกว่าด้วย แต่การที่ตะกอนถูกย่อยสลายในถังปฏิกรณ์แบบแอโรบิกมีข้อดีคือ ทำสารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างโมเลกุลซับซ้อนหรือจุลินทรีย์ย่อยสลายยาก ถูกย่อยสลายลงได้มากกว่าการจัดเรียงถังปฏิกรณ์แบบที่สอง

กัจกร และคณะ (2559) กากมันสำปะหลังเป็นวัสดุเหลือทิ้งในโรงงานอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง ซึ่งสามารถเพิ่มมูลค่าได้โดยการนำไปผลิตไบโอมิเทน เพื่อเป็นแหล่งพลังงานได้อย่างไรก็

ตาม กากมันสำปะหลังจำเป็นต้องผ่านกระบวนการย่อยสลายขั้นต้นก่อน โดยในงานวิจัยนี้ เป็น

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาการเพิ่มศักยภาพการผลิตไบโอมีเทนจากกากมันสำปะหลังโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิกขนาด 160 W ในกระบวนการย่อยสลายขั้น โดยจะศึกษาผลของความเข้มข้นของกากมันสำปะหลัง (0.5-4.0 % w/v) และเวลาในการให้คลื่นอัลตราโซนิก (10-30 min) ต่อลักษณะโครงสร้างทางกายภาพ องค์ประกอบทางเคมี และศักยภาพในการผลิตก๊าซมีเทน ผลการศึกษาพบว่าคลื่นอัลตราโซนิกทำให้โครงสร้างของเส้นใยในกากมันสำปะหลังมีความพรุนและความโปร่งใสเพิ่มขึ้น และเมื่อนำไปทดสอบ ศักยภาพการผลิตไบโอมีเทนแล้วพบว่า สภาวะการทดลองที่ความเข้มข้นของกากมันสำปะหลังร้อยละ 2.25 %w/v และการให้คลื่นอัลตราโซนิก 20 min กับกากมันสำปะหลัง จะให้ผลผลิตมีเทนสูงสุด เท่ากับ 267 mL/CH₄/gVS และสภาวะที่ความเข้มข้นของกากมันสำปะหลังร้อยละ 4.00 % w/v และเวลาการให้คลื่นอัลตราโซนิก 20 min จะให้ค่าผลผลิตมีเทนต่ำสุดเท่ากับ 70.26 ± 7.92 mL CH₄/gVS

Loveth and Joseph, 2017 งานวิจัยนี้ศึกษาเกี่ยวกับการบำบัดน้ำเสียจากร้านอาหาร โดยใช้เทคนิคการย่อยแบบไม่ใช้ออกซิเจน ผลการวิเคราะห์พบว่าสารอาหารที่เจือปนในน้ำเสีย จะถูกย่อยสลายได้และมีค่าลดลงอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ และสมการการย่อยสลายสอดคล้องกับ จลนพลศาสตร์ลำดับแรก พารามิเตอร์จลนพลศาสตร์ที่คำนวณได้สำหรับกระบวนการย่อยสลายแบบ แบตช์มีค่า $K = 0.0494 \text{ day}^{-1}$, $K_s = 108.96 \text{ mg/L}$, $k_d = 0.0282 \text{ day}^{-1}$, $Y = 1.5886 \text{ mg/mg}$, $\mu_{\max} = 0.0789 \text{ day}^{-1}$ ตามลำดับ จลนพลศาสตร์ของอัตราการเจริญเติบโตของมวลชีวภาพและ อัตราการใช้สารตั้งต้นพร้อมกับข้อมูลจลนพลศาสตร์ได้ถูกนำมาใช้ในการพัฒนาแบบจำลองทาง คณิตศาสตร์สำหรับเครื่องปฏิกรณ์แบบไหลต่อเนื่องภายใต้สภาวะที่คงที่แบบเดียวกัน

Norazwina and Karkare, 2012 เสนอแบบจำลองจลนพลศาสตร์สำหรับการศึกษา กระบวนการย่อยสลายกากกล้วยแบบไม่ใช้ออกซิเจน โดยออกแบบระบบบำบัดแบบสองขั้นตอน ประกอบด้วย ถังปฏิกรณ์ 2 ใบ คือ ถังสร้างกรดและถังผลิตมีเทนอล ตามลำดับ ในการทดลองใช้ เวลาในการกักเก็บน้ำ (HRT) เท่ากับ 9 วัน ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (OLR) 4 gTS / L.d สำหรับค่า จลนพลศาสตร์ที่ศึกษาจะได้อัตราการเติบโตของจุลินทรีย์สูงสุด (μ_{\max}) และอัตราการย่อยสลาย (K) เท่ากับ 0.111 d⁻¹ และ 0.330 g / g ตามลำดับ ปริมาณการผลิตก๊าซมีเทนได้เท่ากับ 0.326 ลิตร / กรัม COD

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 อุปกรณ์และสารเคมี

3.1.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. โพแทสเซียมไดโครเมต ($K_2Cr_2O_7$) เกรดวิเคราะห์ จากบริษัท Carlo Erba, UK
2. กรดซัลฟูริกเข้มข้น (Conc. H_2SO_4) เกรดวิเคราะห์ จากบริษัท Fisher Chemical
3. ซิลเวอร์ซัลเฟต (Ag_2SO_4) เกรดวิเคราะห์ จากบริษัทเอเพกซ์เคมีคัล จำกัด
4. เฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟต [$Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$] เกรดวิเคราะห์ จากบริษัทเอเพกซ์เคมีคัล จำกัด
5. เฟอรัสซัลเฟตเฮปตะไฮเดรต ($FeSO_4 \cdot 7H_2O$) เกรดวิเคราะห์ จากบริษัท Merck ประเทศเยอรมันนี
6. พรอทซัลเฟต ($HgSO_4$) เกรดวิเคราะห์ จากบริษัท LoBA ประเทศอินเดีย
7. โพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต (KHP) เกรดวิเคราะห์ จากบริษัท Carlo Erba, UK
8. 1, 10-พีแวนโทโรลีน ($C_{12}H_{18}N_2 \cdot H_2O$) เกรดวิเคราะห์ จากบริษัท Carlo Erba, UK

3.1.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH Meter) จากบริษัท Metrohm รุ่น 827 pH Lab ประเทศสวิตเซอร์แลนด์
2. เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง จากบริษัท Sartorius ประเทศสหรัฐอเมริกา
3. ตู้อบ (Oven) บริษัท Fisher Scientific ประเทศสหรัฐอเมริกา
4. เครื่องย่อย COD (COD Reactor Test Tube Heater) จากบริษัท นีโอนิคส์ จำกัด ประเทศไต้หวัน
5. กระจาดใยแก้ว (Glass Microfibers Filters) 1.2 μm จากบริษัท Filtra TECH ประเทศฝรั่งเศส
6. ขวดซีรัม (Serum) จากบริษัท อิตัลมาร์ (ประเทศไทย) จำกัด ประเทศไทย
7. เครื่องกวนสาร (Hotplate Stirrer) รุ่น HTS-1003 จากบริษัท Automation Service CO.,LTD. ประเทศไทย
8. แท่งแม่เหล็กกวนสาร (Magnetic Bar)
9. อุปกรณ์กรองแบบลดความดัน
10. เข็มฉีดยา (Syringe) ขนาด 10 ml
11. ขวดสุญญากาศ (Suction) ขนาด 1000 ml
12. โถทำแห้ง (Desiccator)
13. กรวยอิมฮอฟฟ์
14. เครื่องแก้วต่างๆสำหรับห้องปฏิบัติการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัย

3.2.1 แหล่งที่มาของน้ำเสีย

น้ำเสียฟาร์มสุกรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ใช้น้ำเสียจากฟาร์มประจักษ์ ตำบลปึกธงชัย อำเภอปึกธงชัย จังหวัดนครราชสีมา โดยเก็บจากบ่อรับน้ำเสียของฟาร์ม ซึ่งรับน้ำเสียจากฟาร์มสุกรที่อยู่บริเวณใกล้เคียงด้วยการสูบมาตามท่อเข้าสู่บ่อรับน้ำ รวมทั้งบางส่วนจะใช้รถบรรทุกขนจากฟาร์มสุกรที่อยู่ห่างไกลมาเทลงในบ่อรับน้ำเสียก่อนที่จะเก็บตัวอย่าง จะมีเครื่องกวนผสมให้เข้ากันอย่างน้อย 30 นาที ถึงจะมีการเก็บตัวอย่างน้ำ

3.3 การดำเนินงานการวิจัย

3.3.1 วิธีการวิเคราะห์น้ำเสีย

วิธีการวิเคราะห์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆของตัวอย่างน้ำเสีย ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 เครื่องมือและวิธีวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์	เครื่องมือ
พีเอช	Electrometric Method	เครื่อง pH meter
อุณหภูมิ	-	เทอร์โมมิเตอร์
Total และ Soluble	Closed Reflux Method Standard method-5220C	เครื่องย่อย COD (COD Reactor Test Tube Heater)
SS,VSS	Standard Method 2540D	ตู้อบ (Oven), เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง

หมายเหตุ: วิธีทำการทดลองทำซ้ำทั้งหมด 2 ซ้ำต่อถึงปฏิบัติการดังแสดงในภาคผนวก ก.

3.3.2 ขั้นตอนการวิจัยโดยใช้ถึงปฏิบัติการบำบัดแบบกึ่งต่อเนื่อง

1. เตรียมน้ำเสียให้มีความเข้มข้นของซีโอดีเริ่มต้นทั้งหมด (Total) มากกว่า 10,000 mg/L และต่ำกว่า 5,000 mg/L

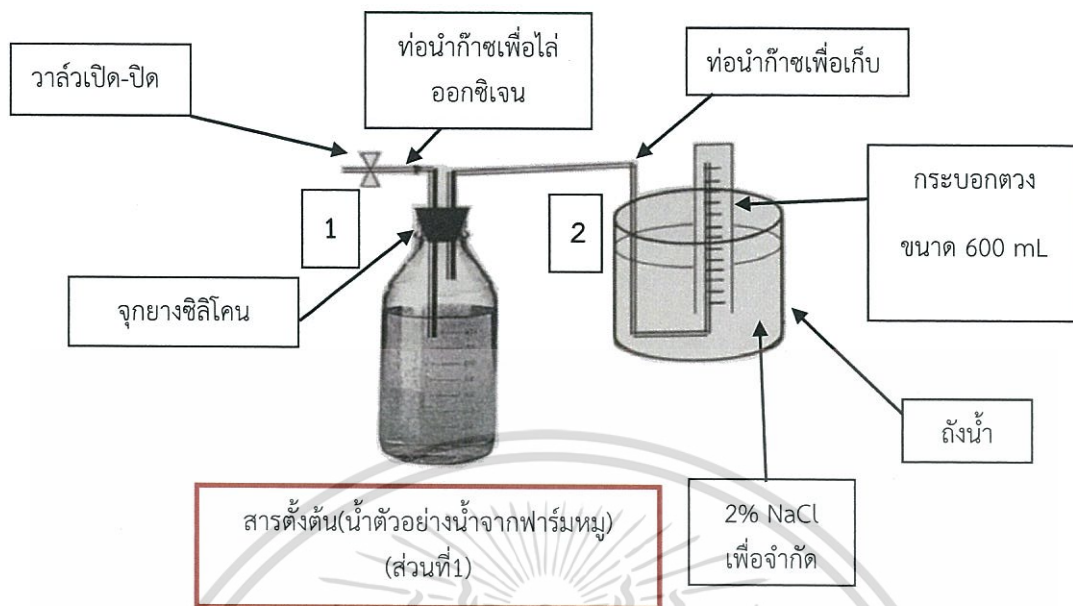
2. ใส่ น้ำเสียลงในถังปฏิบัติการ ขนาด 2 ลิตร หลังจากนั้นเติมตะกอนจุลินทรีย์ ปริมาตร 120 mL ลงในถังปฏิบัติการ (ตะกอนจุลินทรีย์ได้จากการนำน้ำเสียใส่กรวยอิมฮอฟฟ์ ตั้งทิ้งไว้ประมาณ 30 นาที เทส่วนใสออกแล้วไซตะกอนด้านล่างมาใช้)

3. นำถังปฏิบัติการไปโล่อากาศ โดยการพ่นก๊าซไนโตรเจนบริเวณช่องว่างด้านบนของถังปฏิบัติการเป็นเวลา 5 นาที และทำการปิดฝาถังปฏิบัติการด้วยจุกยางซิลิโคนและพันด้วยพาราฟิล์ม นำไปวางที่อุณหภูมิห้องที่ทำการทดลอง 2 ชุด ดังรูปที่ 3.1

4. เก็บตัวอย่างที่เวลา 1, 5, 10, 15, 20, 30, 35 และ 40 วัน ครั้งละ 40 ml นับจากวันที่เริ่มทดลอง (โดยทุกครั้งที่เก็บตัวอย่าง จะเติมน้ำเสียเข้าไปในระบบใหม่ปริมาณ 40 ml) นำมาวิเคราะห์พารามิเตอร์ดังนี้ พีเอช, อุณหภูมิ, ซีโอดีทั้งหมด (Total COD), ซีโอดีละลายน้ำ (Soluble COD), ของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids: SS) และ ของแข็งแขวนลอยระเหยง่าย (Volatile Suspended Solids: VSS) วิธีวิเคราะห์ตาม Standard Methods for the Examination of Waste and Wastewater (AWWA 2012) สำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณก๊าซชีวภาพใช้วิธีแทนที่ใน

เอกสารนี้ได้รับการสนับสนุนจากสำนักงานวิจัยแห่งชาติ (วช.) กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม โดยผู้วิจัยขอขอบคุณเป็นอย่างสูงต่อสำนักงานวิจัยแห่งชาติ (วช.) กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม ที่สนับสนุนทุนวิจัยให้ดำเนินการวิจัยครั้งนี้

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 การหมักแบบแอนแอโรบิกทดสอบแบบกึ่งต่อเนื่อง (Semi Continuous) โดยหลักการแทนที่น้ำ

3.4 การวิเคราะห์ผลการวิจัย

3.4.1 ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี

$$\text{ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี} = \frac{(S_0 - S_e)}{S} \times 100$$

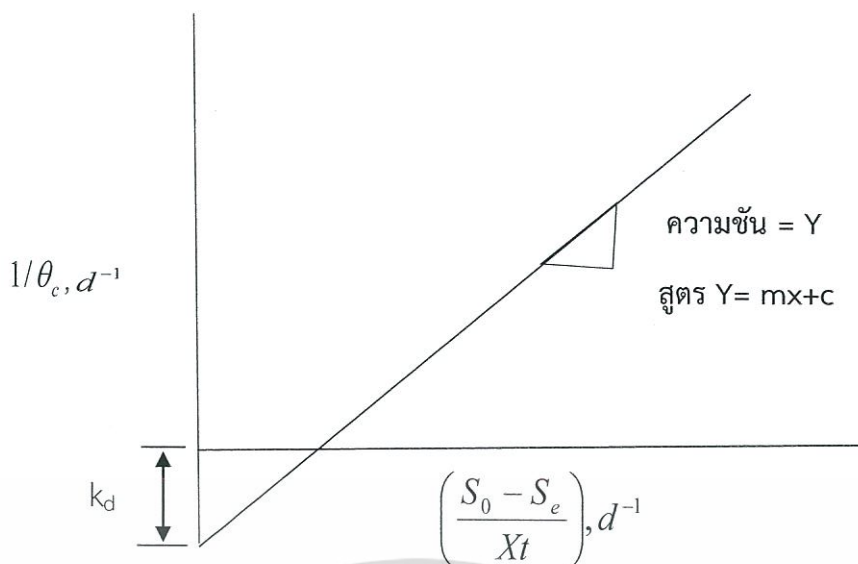
เมื่อ S_0 = ความเข้มข้นของซัสเตรท (COD) น้ำเข้าระบบ

S_e = ความเข้มข้นของซัสเตรท (COD) น้ำที่ออกระบบ

3.4.2 การวิเคราะห์ข้อมูลหาค่า Y และ k_d

1. หาค่าเฉลี่ยของข้อมูลน้ำเข้าระบบและน้ำออกระบบที่ได้จากระบบแอนแอโรบิกแบบกึ่งต่อเนื่อง (Semi Continuous) เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ รายละเอียดผลการทดลองแสดงในตาราง (ภาคผนวก ข-3 ถึง ข-8)

2. สร้างกราฟเพื่อหาค่า Y และ ค่า k_d โดยจะเขียนกราฟระหว่าง $\left(\frac{S_0 - S_e}{Xt}\right)$ ซึ่งมีหน่วยเป็น ต่อวัน (d^{-1}) กับ $1/\theta_c$ ซึ่งมีหน่วยเป็นต่อวัน (d^{-1}) จะได้กราฟเส้นตรงที่มีความชัน = Y ในสูตร $Y = mx + c$ และมีจุดตัดบนแกน Y มีค่าเท่ากับ k_d ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 กราฟระหว่าง $1/\theta_c$ และ $\left(\frac{S_0 - S_e}{Xt}\right)$

3.4.3 การวิเคราะห์ข้อมูลหาค่า K_s และ μ_m

1. พิจารณาการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ (ΔX) ตามเวลาที่เป็นไป (ΔT) ซึ่งแปรผันโดยตรงกับความเข้มข้นของมวลชีวภาพ (X) ณ เวลาใดๆสามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$(\Delta X) \propto (\Delta T) \quad (3.1)$$

และถ้าให้ μ เป็นค่าคงที่ของการเจริญเติบโต

$$\Delta X = \mu X \Delta t \quad (3.2)$$

เมื่อ μ = อัตราการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์

ดังนั้น

$$\mu = \frac{\Delta X}{X \Delta T} \quad (3.3)$$

และ μ มีค่าเป็นไปตามสมการ โมโนด ดังนี้

$$\mu = \mu_m \frac{S_e}{K_s + S_e} \quad (3.4)$$

จากนิยามของค่าอายุมวลชีวภาพ θ สามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$\theta = \frac{(X)}{(\Delta X / \Delta T)} \quad (3.5)$$

ที่สภาวะคงที่เมื่อเปรียบเทียบสมการที่ 3.5 และสมการที่ 3.7 จะได้ว่า

$$\theta = \frac{1}{\mu} \quad (3.6)$$

ดังนั้น

$$\frac{1}{\theta} = \mu_m \frac{S_e}{K_s + S_0} \quad (3.7)$$

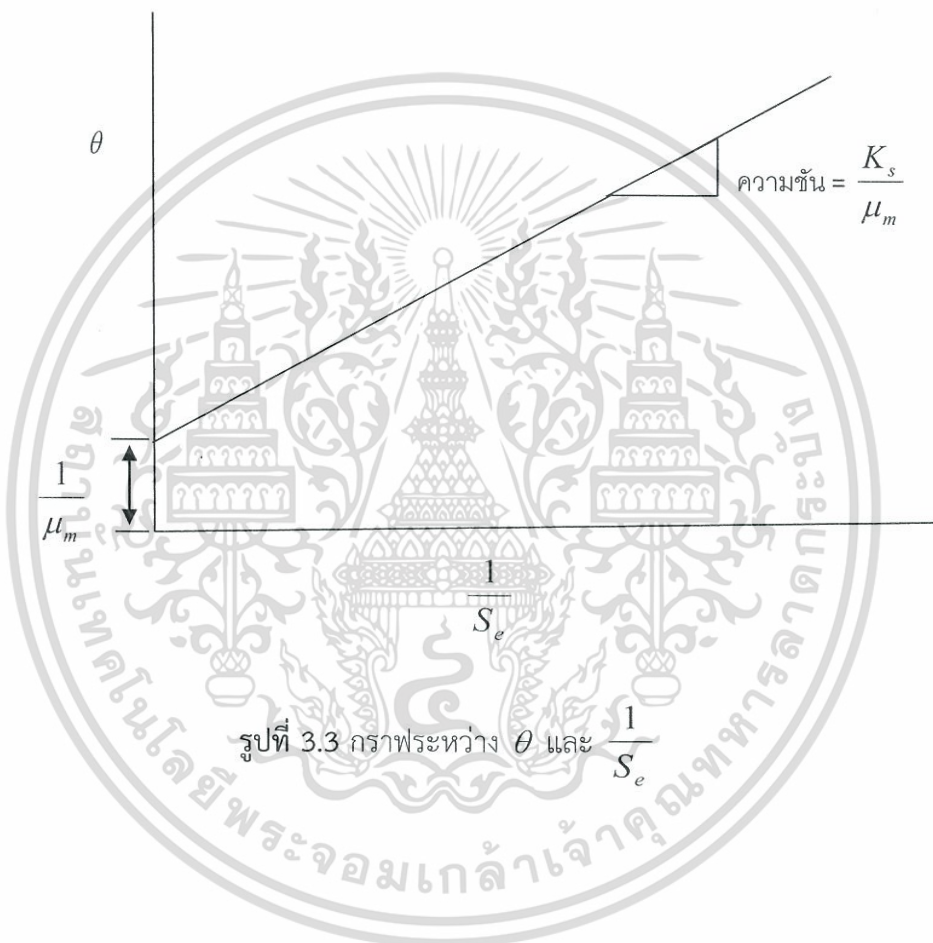
$$\theta_c = \frac{K_s + S_e}{\mu_m S_e} \quad (3.8)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\theta_c = \frac{K_s}{\mu_m S_e} + \frac{1}{\mu_m} \quad (3.9)$$

2. เขียนกราฟระหว่าง K_s และค่า μ_m โดยจะเขียนกราฟระหว่าง $\frac{1}{S_e}$ และ θ จะได้กราฟเส้นตรงที่มี

ความชัน = $\frac{K_s}{\mu_m}$ และมีจุดตัดแกน $Y = \frac{1}{\mu_m}$ ดังรูปที่ 3.3



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

4.1 ลักษณะสมบัติน้ำเสียจากฟาร์มสุกร

ในการวิจัยครั้งนี้จะศึกษาการกำจัดซีโอดีในถังปฏิกริยา 2 ใบ โดยใบที่ 1 ใช้น้ำเสียที่มีค่าซีโอดีเริ่มต้นสูง ใบที่ 2 ใช้น้ำเสียที่มีค่าซีโอดีเริ่มต้นต่ำ โดยมีค่าซีโอดีทั้งหมด (TCOD) เท่ากับ 12,621 mg/L, 4,362 mg/L และซีโอดีในรูปสารละลาย (SCOD) เท่ากับ 4,796 mg/L, 1,636 mg/L ตามลำดับ สำหรับปริมาณจุลินทรีย์ที่เติมลงในถังปฏิกริยาทั้ง 2 ใบ มีค่าความเข้มข้นของแข็งแขวนลอย (SS) เท่ากับ 48,440 mg/L, 42,370 mg/L และ ของแข็งแขวนลอยระเหยง่าย (VSS) เท่ากับ 5,380 mg/L, 1,800 mg/L ตามลำดับ สำหรับค่าพีเอชในถังปฏิกริยาน้ำเสียที่มีค่าซีโอดีเริ่มต้นสูงเท่ากับ 7.1-7.5 และในถังปฏิกริยาน้ำเสียที่มีค่าซีโอดีเริ่มต้นต่ำประมาณ 7.6-7.9 และมีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 27- 30 องศาเซลเซียส ผลการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของน้ำเสียเริ่มต้น ในถังปฏิกริยาทั้ง 2 ใบ แสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ลักษณะสมบัติน้ำเสียจากฟาร์มสุกรเริ่มต้น

พารามิเตอร์ ชุดการ ทดลอง	ค่าซีโอดี ทั้งหมด (TCOD) (mg/L)	ค่าซีโอดีในรูป สารละลาย SCOD (mg/L)	ค่าของแข็ง แขวนลอย SS (mg/L)	ค่าของแข็ง แขวนลอย ระเหยง่าย VSS (mg/L)	ค่าพี เอช (pH)	อุณหภูมิ (°C)
ถังปฏิกริยา ใบที่ 1 (ค่าซีโอดี เริ่มต้นสูง)	12,621	4,796	48,840	5,380	7.10- 7.50	28-30
ถังปฏิกริยา ใบที่ 1 (ค่าซีโอดี เริ่มต้นต่ำ)	4,362	1,636	42,370	1,800	7.60- 7.90	27-30

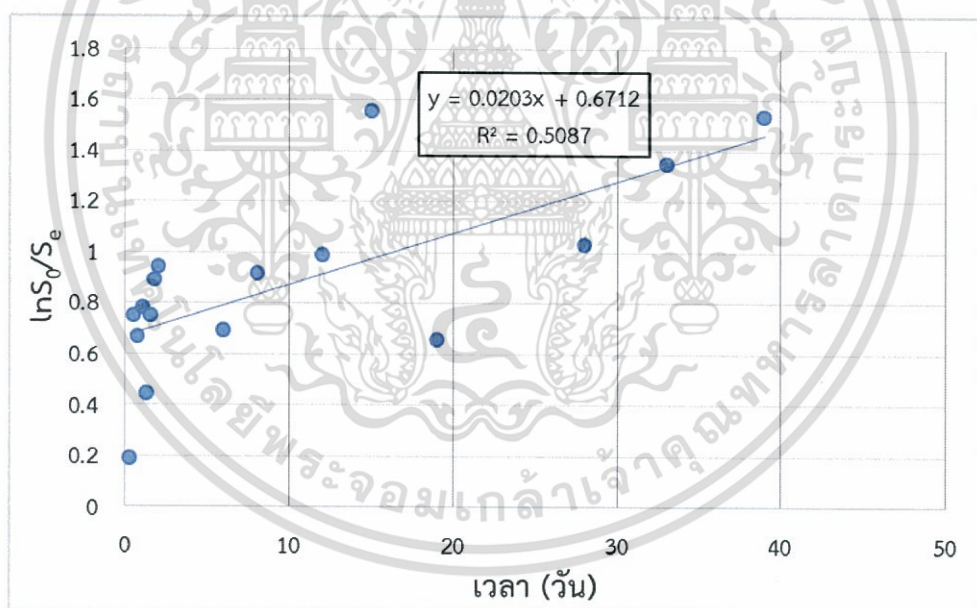
4.2 จลนพลศาสตร์การกำจัดซีโอดีน้ำเสียจากฟาร์มสุกร

การศึกษาจลนพลศาสตร์ปฏิกริยาอันดับศูนย์ หนึ่ง และ สอง พบว่า การกำจัดซีโอดีในรูปสารละลายในถังปฏิกริยาใบที่ 1 และใบที่ 2 สอดคล้องกับจลนพลศาสตร์ปฏิกริยาอันดับสอง โดยมีค่า (K) มากที่สุดจึงทำให้มีปฏิกริยาเกิดขึ้นได้ดีที่สุด และมีค่าคงที่เท่ากับ 2.03×10^{-2} , 2.83×10^{-2} L/mg/day ตามลำดับ ดังตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.1 และ 4.2 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าถังปฏิกริยาน้ำเสียที่มีค่าซีโอดีในรูปสารละลายต่ำ และมีค่าเริ่มต้น 1,636 mg/L มีอัตราการเร็วในการกำจัดซีโอดี ดีกว่าถังปฏิกริยาน้ำเสียที่มีค่าซีโอดีในรูปสารละลายสูงหรือมีค่าเริ่มต้น 4,796 mg/L

ตารางที่ 4.2 อันดับของปฏิกิริยา และค่าคงที่ R^2 ในการกำจัดซีโอดีในรูปสารละลาย

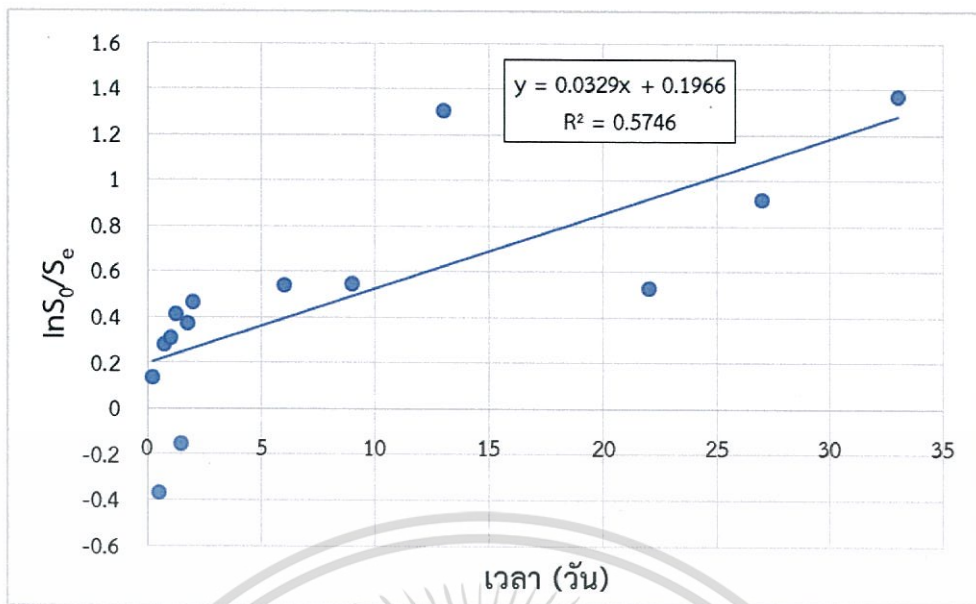
ค่าซีโอดีละลายน้ำ mg/L (Soluble COD)	ค่าคงที่, R^2	อันดับปฏิกิริยา		
		ศูนย์	หนึ่ง	สอง
		mg/L	1/day	L/mg/day
4,796	K	-37.29	0.01×10^{-3}	2.03×10^{-2}
	R^2	4.15×10^{-1}	5.36×10^{-1}	5.09×10^{-1}
1,636	K	-30.59	0.03×10^{-3}	2.83×10^{-2}
	R^2	4.24×10^{-1}	6.76×10^{-1}	5.80×10^{-1}

จากรูปที่ 4.1 และรูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln S_0/S_e$ กับ เวลา ในถังปฏิกิริยาน้ำเสียที่มีค่าซีโอดีในรูปสารละลายเริ่มต้นสูงหรือมีความเข้มข้น 4,796 mg/L และถังปฏิกิริยาน้ำเสียที่มีค่าซีโอดีในรูปสารละลายเริ่มต้นต่ำหรือมีความเข้มข้น 1,636 mg/L เป็นอันดับปฏิกิริยาที่สอง มีค่า R^2 เท่ากับ 5.09×10^{-1} , 5.80×10^{-1} ตามลำดับ และมีค่า K เท่ากับ 2.03×10^{-2} , 2.83×10^{-2} ตามลำดับ ซึ่งมีอัตราการกำจัดซีโอดีที่เหมาะสมสำหรับงานวิจัยนี้ (ดูตารางการคำนวณที่ภาคผนวก ข-14, ข-15 ตามลำดับ)



รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln S_0/S_e$ กับ เวลา ในถังปฏิกิริยาน้ำเสียที่มีค่าซีโอดีในรูปสารละลายเริ่มต้นสูง

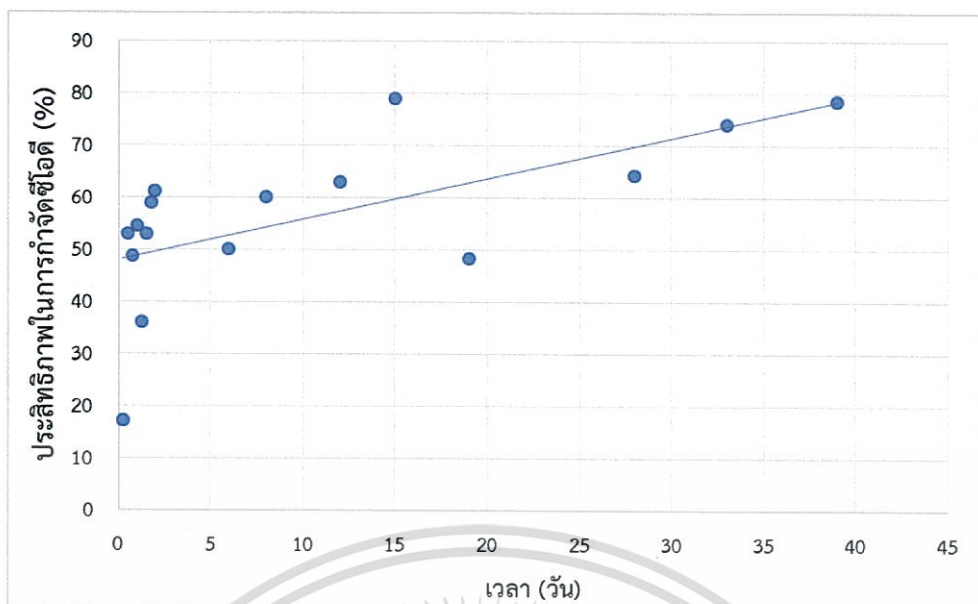
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln S_0/S_e$ กับ เวลา ในถังปฏิกริยาน้ำเสียที่มีค่าซีโอดีในรูปสารละลาย เริ่มต้นต่ำ

4.3 ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี

จากการทดลองพบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีในถังปฏิกริยาที่น้ำเสียเริ่มต้นมีค่าซีโอดีในรูปสารละลาย เท่ากับ 4,796 mg/L และ 1,636 mg/L พบว่า ในช่วง 6 วันแรก ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีมีค่า 50.00 %, 34.86% ตามลำดับ เมื่อผ่านไป 15 วัน ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีสูงสุด เท่ากับ 78.94 % ในถังปฏิกริยาน้ำเสียที่มีค่าซีโอดีเริ่มต้นสูง ขณะที่ในถังปฏิกริยาน้ำเสียที่มีค่าซีโอดีเริ่มต้นต่ำ ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีสูงสุด 65% และใช้เวลาจนถึง 27 วัน ดังรูปที่ 4.5 , 4.6 ตามลำดับ โดยถังปฏิกริยาน้ำเสียที่มีค่าซีโอดีเริ่มต้นสูง จะมีค่าเฉลี่ยการกำจัดซีโอดีสูงกว่าและมีค่า เท่ากับ 78.46 % , 63.93 % ตามลำดับ เนื่องจากในช่วงแรก จุลินทรีย์อยู่ในช่วงระยะปรับตัว (Lag Phase) หลังจากนั้น ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีจะสูงขึ้นทั้ง 2 ถังปฏิกริยา โดยเฉพาะในถังปฏิกริยา น้ำเสียที่มีค่าซีโอดีในรูปสารละลายเริ่มต้นสูงกว่าจะมีปริมาณจุลินทรีย์ในระบบมากกว่าจึงส่งผลให้ ประสิทธิภาพการย่อยสลายดีกว่าถังปฏิกริยาน้ำเสียที่มีค่าซีโอดีเริ่มต้นต่ำ (รายละเอียดการคำนวณดัง ภาคผนวก ข-5, ข-7)



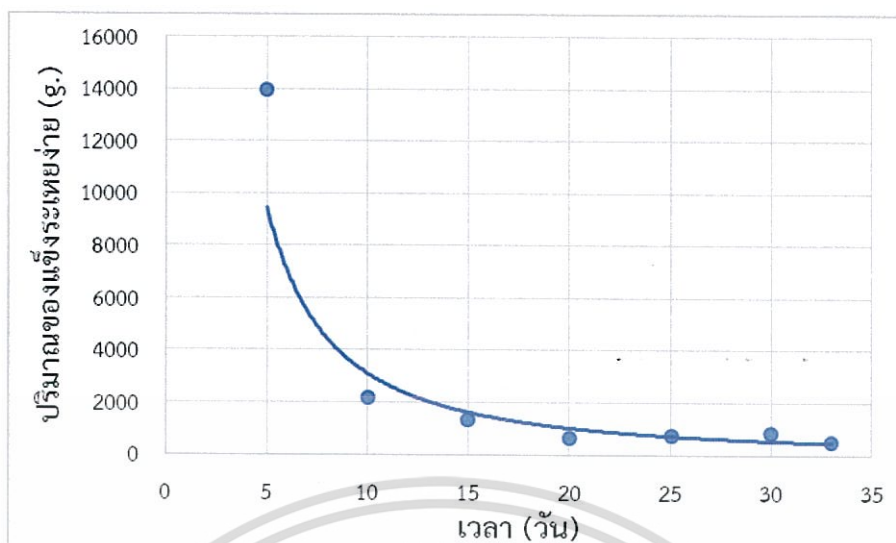
รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีในรูปสารละลาย % กับ เวลา ในถัง ปฏิกริยาน้ำเสียที่มีค่าซีโอดีเริ่มต้นสูง



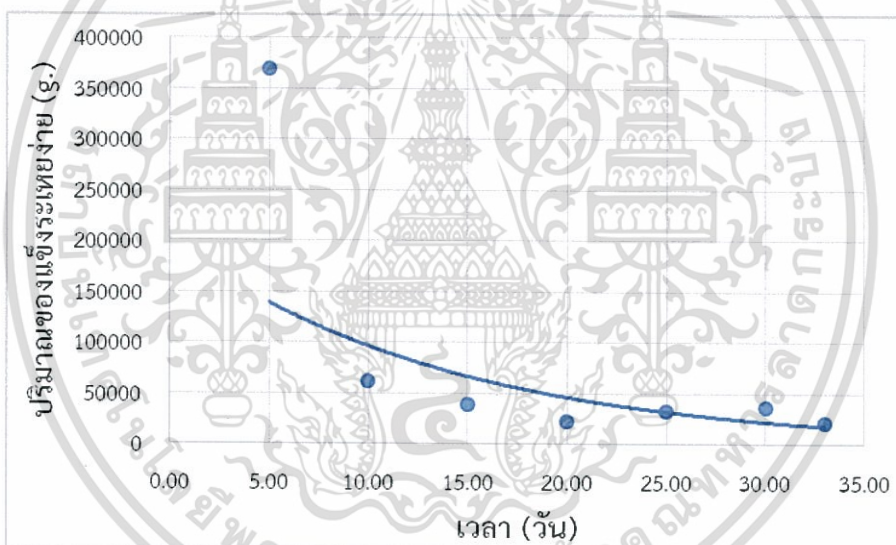
รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีในรูปสารละลาย % กับ เวลา ในถัง ปฏิกริยาน้ำเสียที่มีค่าซีโอดีเริ่มต้นต่ำ

4.4 ผลการศึกษาปริมาณของแข็งแขวนลอยระเหยง่าย (VSS)

จากการทดลองพบว่า ปริมาณของแข็งแขวนลอยระเหยง่าย (VSS) จะมีอัตราลดลงตามเวลาที่เพิ่มขึ้น ในช่วง 5 วันปริมาณของแข็งแขวนลอยระเหยง่ายยังมีปริมาณสูงมากและเมื่อผ่านไป 10 วัน ปริมาณของแข็งแขวนลอยระเหยง่ายจะลดลงเรื่อยๆ เนื่องจากสารอินทรีย์ถูกย่อยสลายโดยกลุ่มจุลินทรีย์เพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ ดังรูปที่ 4.5 กับ 4.6



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของแข็งแขวนลอยระเหยง่ายกับเวลาในถังปฏิกริยาน้ำเสียที่มีค่าซีโอดีเริ่มต้นสูง

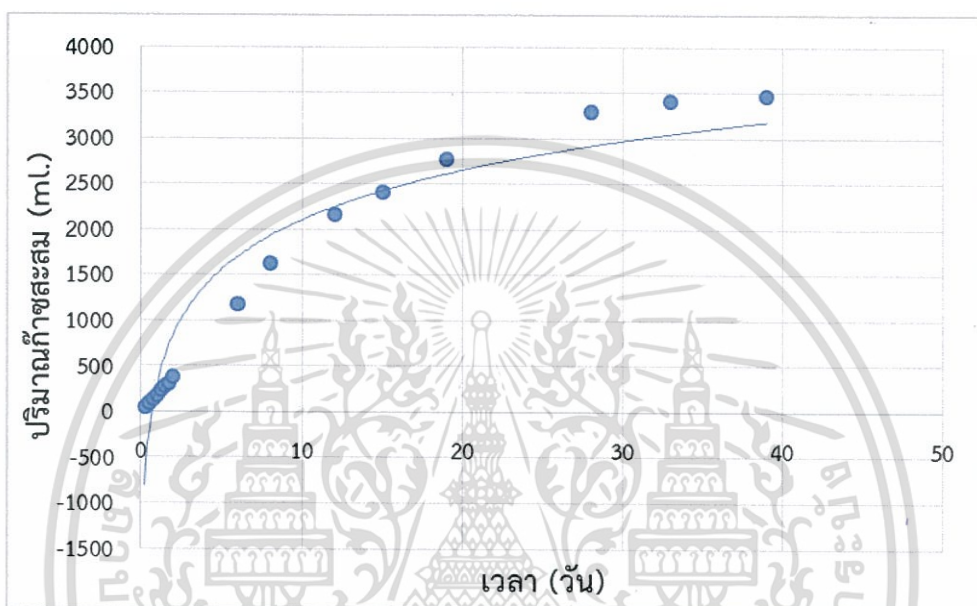


รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของแข็งแขวนลอยระเหยง่ายกับเวลาในถังปฏิกริยาน้ำเสียที่มีค่าซีโอดีเริ่มต้นต่ำ

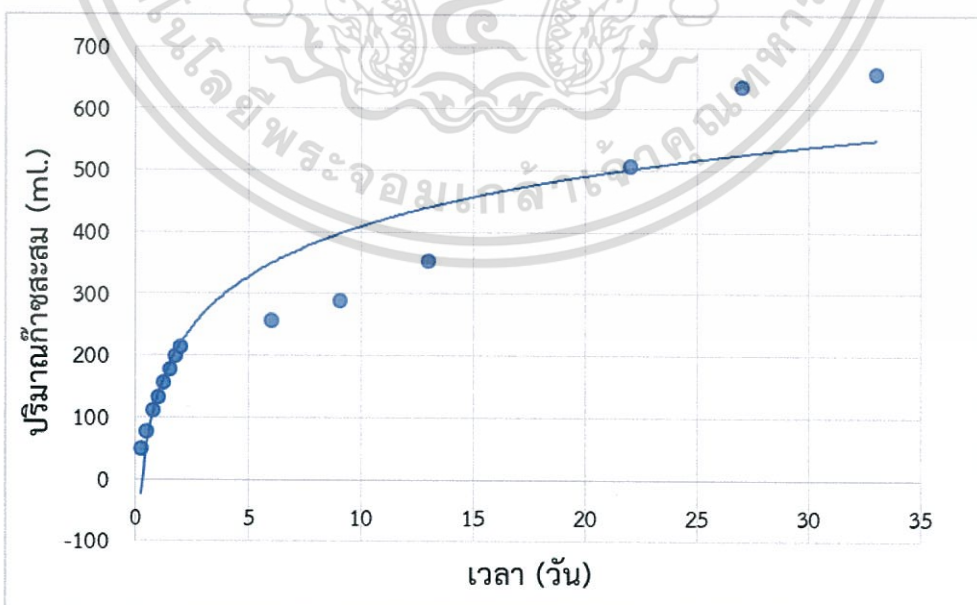
4.5 ปริมาณก๊าซชีวภาพ

จากรูปที่ 4.7, 4.8 เป็นปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมในถังปฏิกริยาน้ำเสียที่มีซีโอดีเริ่มต้นสูง และต่ำ มีค่าเท่ากับ 6245 , 1185 mL ปริมาณก๊าซชีวภาพเฉลี่ยที่ได้ต่อกรัมซีโอดีที่ลดลง (mL/mg COD) ของถังปฏิกริยาน้ำเสียที่มีค่าซีโอดีเริ่มต้นต่ำและถังปฏิกริยาน้ำเสียที่มีค่าซีโอดีเริ่มต้นสูงมีค่าเท่ากับ 0.0972, 0.1973 (mL/mg COD) ตามลำดับ (รายละเอียดการคำนวณดังภาคผนวก ค-1) เนื่องจากผลของการวิจัยปริมาณน้ำเสียที่มีความเข้มข้นที่ต่างกันระหว่างน้ำเสียเริ่มต้นที่มีค่าซีโอดีเริ่มต้นสูงและค่าซีโอดีเริ่มต้นต่ำ พบว่าน้ำเสียที่มีค่าซีโอดีเริ่มต้นสูงมีปริมาณก๊าซสะสมเพิ่มขึ้นในช่วงระยะเวลาเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประมาณ 40 วัน ปริมาณก๊าซจะเพิ่มขึ้นประมาณ 6,000 ml และถึงปฏิกิริยาน้ำเสียที่มีค่าซีโอดีเริ่มต้นต่ำในช่วงระยะเวลาประมาณ 35 วันจะมีปริมาณก๊าซเพิ่มขึ้นประมาณ 1,200 ml เมื่อถึงปฏิกิริยาทั้ง 2 ถึง มีปริมาณก๊าซเพิ่มขึ้นสูงสุดจะบ่งชี้ว่าจุลินทรีย์อยู่ในภาวะคงที่ (Steady State) โดยจะกล่าวได้ว่าถึงปฏิกิริยาน้ำเสียที่มีค่าซีโอดีเริ่มต้นสูงมีปริมาณก๊าซสะสมมากกว่าถึงปฏิกิริยาน้ำเสียที่มีค่าซีโอดีเริ่มต้นต่ำ และมีระยะเวลาในการผลิตก๊าซที่ยาวนานกว่า อาจเป็นเพราะถึงปฏิกิริยาน้ำเสียที่มีค่าซีโอดีเริ่มต้นสูงมีสารอาหารหรือเชื้อจุลินทรีย์จำนวนมากกว่าจึงทำให้มีความสามารถในการผลิตก๊าซได้ดีกว่าถึงปฏิกิริยาน้ำเสียที่มีค่าซีโอดีเริ่มต้นต่ำ



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณก๊าซสะสม กับ เวลา ในถึงปฏิกิริยาน้ำเสียที่มีค่าซีโอดีเริ่มต้นสูง

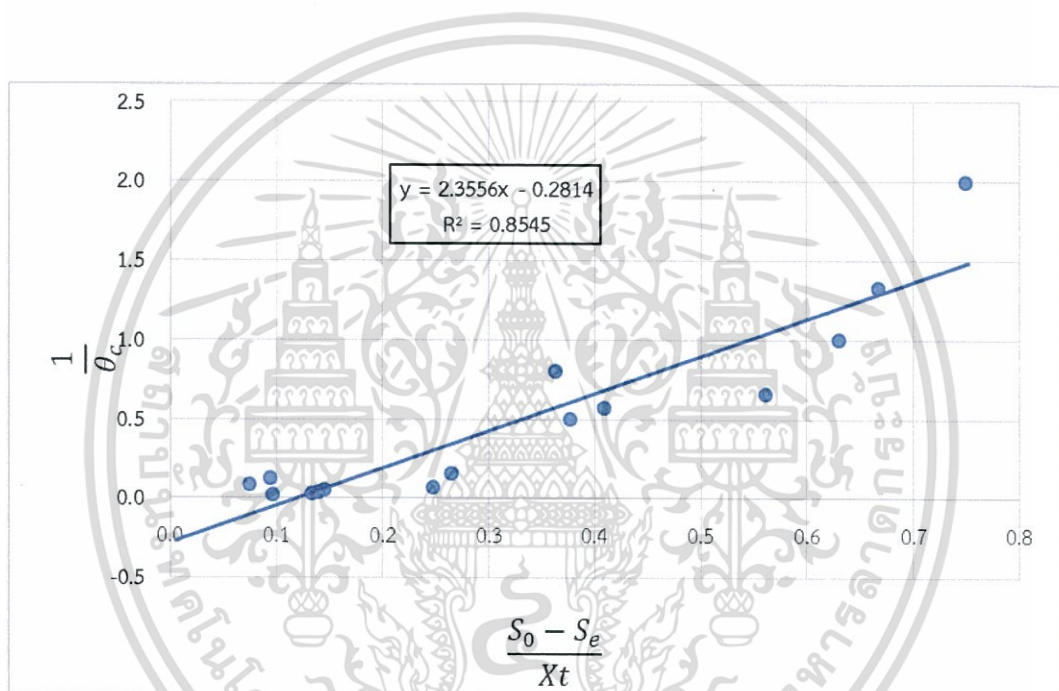


รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณก๊าซสะสม กับ เวลาในถึงปฏิกิริยาน้ำเสียที่มีค่าซีโอดีเริ่มต้นต่ำ

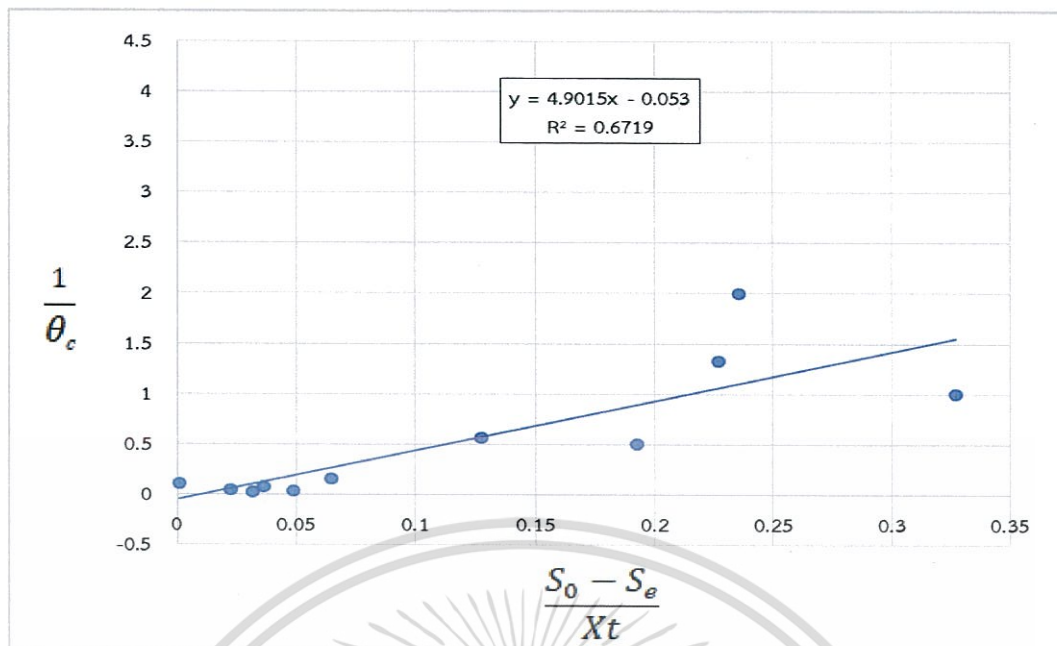
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 การวิเคราะห์ข้อมูลหาค่า Y และ k_d

จากการวิเคราะห์ในรูปแบบที่ 4.11 และ 4.12 เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การเจริญเติบโต (Yield, Y) และอัตราการย่อยสลายเซลล์ (k_d) จะพบว่าในถังปฏิกริยาน้ำเสียที่มีค่าซีโอดีเริ่มต้นสูงและถังปฏิกริยาน้ำเสียที่มีค่าซีโอดีเริ่มต้นต่ำ จะมีค่าสัมประสิทธิ์การเจริญเติบโต (Yield, Y) เท่ากับ 2.3556, 4.9015 mg/mg ตามลำดับ และอัตราการย่อยสลายเซลล์ (k_d) เท่ากับ 0.25, 0.1 d^{-1} ตามลำดับ ทั้งสองถังปฏิกริยา พบว่าถังปฏิกริยา ใบที่ 1 ที่ค่าซีโอดีน้ำเสียเริ่มต้นต่ำ มีค่าสัมประสิทธิ์การเจริญเติบโต (Yield, Y) ต่ำกว่า ถังปฏิกริยา ใบที่ 2 ที่ค่าซีโอดีน้ำเสียเริ่มต้นสูง เนื่องจากสารตั้งต้นในถังปฏิกริยาน้ำเสียที่มีค่าซีโอดีเริ่มต้นต่ำมีพื้นที่ผิวของสารตั้งต้นมีความยืดหยุ่นทำให้เกิดการย่อยสลายได้ง่าย จึงทำให้ ค่าสัมประสิทธิ์การเจริญเติบโต (Yield, Y) ต่ำกว่า (ดูตารางการคำนวณที่ภาคผนวก ข-9, ข-13 ตามลำดับ)



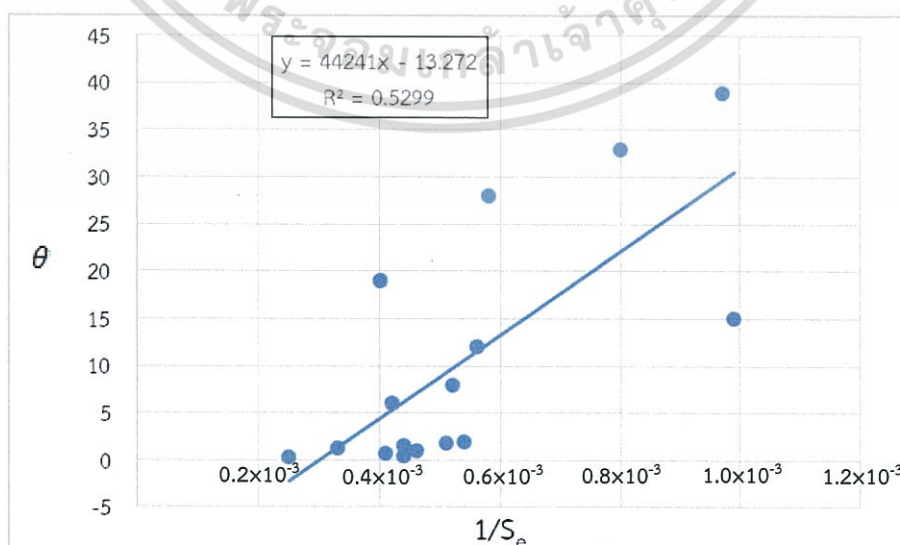
รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\frac{S_0 - S_e}{Xt}$ กับ $\frac{1}{\theta_c}$ ในถังปฏิกริยาน้ำเสียที่มีค่าซีโอดีเริ่มต้นสูง



รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\frac{S_0 - S_e}{Xt}$ กับ $\frac{1}{\theta_c}$ ในถังปฏิกริยาน้ำเสียที่มีค่าซีโอดีเริ่มต้นต่ำ

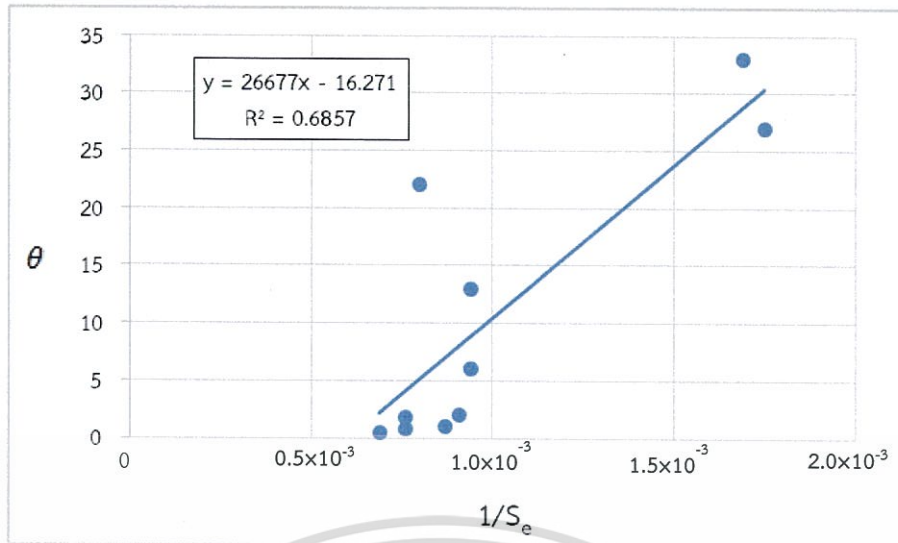
4.7 การวิเคราะห์ข้อมูลหาค่า K_s และ μ_m

จากการวิเคราะห์ในรูปที่ 4.11 และ 4.12 เพื่อหาค่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์ที่ให้อัตราการเจริญเติบโตสูงสุด (K_s) และ อัตราการใช้สารอาหารสูงสุด (μ_m) ถังปฏิกริยาน้ำเสียที่มีค่าซีโอดีเริ่มต้นสูงและถังปฏิกริยาน้ำเสียที่มีค่าซีโอดีเริ่มต้นต่ำ มีค่า K_s เท่ากับ 4.00 , 2.06 g/L ตามลำดับ และมีค่า μ_m เท่ากับ 0.090 , 0.090 h^{-1} ตามลำดับ โดยจะกล่าวได้ว่า ค่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์ที่ให้อัตราการเจริญเติบโตสูงสุด (K_s) ในถังปฏิกริยาน้ำเสียที่มีค่าซีโอดีต่ำ สูงกว่าถังปฏิกริยาน้ำเสียที่มีค่าซีโอดีสูง และมีค่าอัตราการใช้สารอาหารสูงสุด (μ_m) เท่ากันทั้ง 2 ถังปฏิกริยา (ดูตารางการคำนวณในภาคผนวก ข-14, ข-15 ตามลำดับ)



รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่าง K_s กับ μ_m ในถังปฏิกริยาน้ำเสียที่มีค่าซีโอดีเริ่มต้นสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่าง K_s กับ μ_m ในถังปฏิกริยาน้ำเสียที่มีค่าซีโอดีเริ่มต้นต่ำ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและการอภิปรายผล

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการทดลองที่ได้กล่าวมาข้างต้นสามารถสรุปผลได้ดังนี้

1.) อันดับของปฏิกิริยาของถังปฏิกิริยาที่มีค่าซีโอดีเริ่มต้นสูงและถังปฏิกิริยาที่มีค่าซีโอดีเริ่มต้นต่ำสอดคล้องกับจลนพลศาสตร์ปฏิกิริยาอันดับสอง

2.) จากการศึกษาปริมาณของแข็งแขวนลอยระเหยง่าย (VSS) และปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจะเห็นได้ว่า ปริมาณก๊าซชีวภาพเพิ่มขึ้นแต่ปริมาณของแข็งแขวนลอยระเหยง่าย (VSS) จะลดน้อยลง

3.) ในการผลิตก๊าซชีวภาพในระบบการย่อยสลายแบบกึ่งต่อเนื่อง (Semi Continuous) ถึงปฏิกิริยาน้ำเสียที่มีค่าซีโอดีเริ่มต้นสูงมีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพและประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีที่ดีกว่าถังปฏิกิริยาน้ำเสียที่มีค่าซีโอดีเริ่มต้นต่ำ

4.) ค่าจลนพลศาสตร์ในถังปฏิกิริยาที่มีค่าซีโอดีเริ่มต้นสูงและต่ำที่ได้จากงานวิจัยนี้ ได้แก่ ค่า (Yield, Y) เท่ากับ 2.3556, 4.9015 mg/mg ค่า k_d เท่ากับ 0.25, 0.1 ต่อวัน μ_m เท่ากับ 0.090, 0.090 ต่อชั่วโมง และค่า K_s เท่ากับ 4.00, 2.06 กรัม/ลิตร ตามลำดับซึ่งนำไปใช้ในการประเมิน ปริมาณขั้วสเตรทที่ต้องการ และใช้ในการออกแบบถังปฏิกิริยาได้ต่อไป

5.2 ข้อเสนอแนะ

1.) ควรศึกษาค่าจลนพลศาสตร์พารามิเตอร์ตัวอื่นๆ ด้วยสมการแบบไม่เชิงเส้นของ Monod ได้แก่ k_m และ K_s ในหน่วย mg/L ของน้ำเสียฟาร์มสุกร เพื่อนำไปใช้ในการควบคุม ดำเนินการ และนำไปประยุกต์ใช้ในกรณีที่จะนำขั้วสเตรทชนิดอื่นมาใช้ร่วมด้วยกับน้ำเสียฟาร์มสุกร

2.) ควรศึกษาระบบบำบัดแบบกึ่งต่อเนื่อง จะทำให้การเก็บตัวอย่างน้ำเข้าและออกจากระบบ ได้ตามระยะเวลาการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์เพื่อให้การทำงานของระบบบำบัดมีประสิทธิภาพในการทำงานที่ดีและสะดวกยิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- กงจักร ลมวิชัย พรรษา ลิบลับ และวีรชัย อัจหาญ. 2559. การผลิตไบโอมีเทนจากกากมัน
สำปะหลังโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิกในกระบวนการย่อยสลายขั้นต้น : 61-67.
- กิตติธัช อัจศิริ. 2554. ค่าจลนพลศาสตร์ของการผลิตก๊าซชีวภาพจากการย่อยสลายแบบไร้อากาศของน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมัน. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิตสาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. 2546. คู่มือวิชาการระบบบำบัด
น้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ. เล่มที่ 2. กรุงเทพฯ : ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหา
วิทยาลัย.
- กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. 2553. คู่มือการประเมินปริมาณ
น้ำเสียและปริมาณมลพิษจากการเลี้ยงสุกร. กรุงเทพฯ : สำนักงานจัดการคุณภาพน้ำ..
- กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. 2548. มาตรฐานเพื่อควบคุม
การระบายน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกร. [Online]. Available :
http://www.pcd.go.th/info_serv/reg_std_water04.html. วันที่เข้าสืบค้น :
15/12/60.
- กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. 2560. การจัดการมูลสุกรและน้ำ
เสียจากฟาร์มสุกร. [Online]. Available :
http://www.pcd.go.th/info_serv/water_swine.html. วันที่เข้าสืบค้น : 15/12/60
- กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2553. คู่มือการปฏิบัติงานเกี่ยวกับการออกแบบการผลิต การควบคุม
คุณภาพและการใช้ก๊าซชีวภาพ (Biogas) สำหรับโรงงานอุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ :
สำนักเทคโนโลยีความปลอดภัย กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม
- กรองแก้ว ทิพย์ศักดิ์ และพิสมัย ชัยรัตน์อุทัย. 2559. การวิเคราะห์น้ำและน้ำเสีย. กรุงเทพฯ :
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าคุณทหารลาดกระบัง.
- เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. 2543. วิศวกรรมการจัดน้ำเสีย. เล่มที่ 4. นนทบุรี : มหาวิทยาลัยรังสิต.
- กฤษฎา และกิตติ. 2557. “การศึกษาปริมาณก๊าซและคุณภาพน้ำจากการหมักน้ำเสียจากฟาร์ม
ร่วมกับเปลือกกล้วยแบบไร้อากาศ.” โครงการวิจัยหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยนเรศวร.
- สุเจน กรรพทธุ์. 2552. ไฟฟ้าจากมูลสุกรเปลี่ยนมลภาวะให้เป็นไฟฟ้า. [Online] Available :
<http://www.sarakadee.com/2009/07/27/pig-poo>. วันที่สืบค้น : 22/1/61
- อัตรการเกิดปฏิกิริยาเคมี. 2553. จลนศาสตร์เคมีและสมดุลเคมี. สาขาวิชาเคมี, โรงเรียนมหิดล
วิทยานุสรณ์(องค์การมหาชน).
- อภิพล โรจนวิภาต และอรกานต์ ขอดแก้ว. 2556. การศึกษาอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษ
อาหารโดยใช้เครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพ. โครงการพิเศษหลักสูตรวิทยาศาสตร
บัณฑิต สาขาวิชาเคมีสิ่งแวดล้อม ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระ
จอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Charlotte, R. And Julie, J. 2018. Comparison of pre- and inter-stage aerobic treatment of wastewater sludge : Effects on biogas production and COD removal : **Bioresource Technology**. 247 : 332-339.
- Grady, C.P.L. Jr. and Lim, H.C. 1980. "Biological Wastewater Treatment : Theory and Applications "Marcel Dekker, Inc., New York and Basel 6.
- Grady, C.P.L. Jr., Daigger, G.T and Lim, H.C. 1999. "Biological Wastewater Treatment: Second Edition, Marcel Dekker, Inc., New York and Basel.
- Karkare, M.V. and Murthy, Z.V.P. 2012. Kinetic studies on agrochemicals wastewater treatment by aerobic activated sludge process at high MLSS and high speed agitation : **Journal of Industrial and Engineering Chemistry**. 18 : 1301–1307.
- Guangqing, L. Ruihong, Z. Hamed, M.E.M. and Renjie, D. 2009. Effect of feed to inoculum ratios on biogas yields of food and green wastes : **Bioresource Technology**. 100 : 5103-5108.
- Hamed, M. El-Mashad. and Ruihong, Z. 2010. Biogas production from co-digestion of dairy manure and food waste : **Bioresource Technology**. 10(101) : 4021-4028.
- Loveth, N. Joseph, T. and Onu, C. 2017. Kinetic Modeling of anaerobic Digestion of Restaurant Wastewater : **Journal of Applied Science & Technology** 21(4) : 1-12.
- Madigan, T.M. Martinko, J.M. and Parker, J. Brock. 1997. **Biology of Microorganisms**. 8th ed. USA. : Prentice Hall International.
- Rennuit, C. Triolo, JM. Eriksen, S. Jimenez, J. Carrère, H. and Hafner, S.D. 2018. Comparison of pre - and inter-stage aerobic treatment of wastewater sludge: Effects on biogas production and COD removal : **Bioresource Technology**. 247 : 332-339
- Sunwanee, J. and Chairat, S. 2017. Kinetic Model of Biogas Production from Codigestion of Thai Rice Noodle wastewater (Khanomjeen) with Chicken Manure : **Energy Procedia**. 138 : 386-392.



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

วิธีวิเคราะห์ ฟารามิเตอร์

การหาค่าพีเอช

ในการหาค่าพีเอชในน้ำเราจะใช้พีเอชมิเตอร์เป็นเครื่องวัดโดยมีวิธีการวัดดังนี้

1. เสียบสายและ Adapter ของเครื่องวัดพีเอช
2. Calibrate เครื่องโดยเข้า mode standardize แล้วจุ่มอิเล็กโทรดลงในบัฟเฟอร์ พีเอช4 แล้วกด enter จากที่ Calibrate ที่พีเอช 4 เสร็จ ให้ทำเช่นเดียวกันอีกครั้ง แต่เปลี่ยนสารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 7
3. ทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนสารละลายที่จะองค์ความสะอาดอิเล็กโทรด โดยการฉีดน้ำกลั่นที่อิเล็กโทรด แล้วซับให้แห้งด้วยกระดาษ
4. วัดพีเอชของน้ำโดยจุ่มอิเล็กโทรดลงในน้ำเสีย รอจนตัวเลขคงที่แล้วบันทึกค่าเอาไว้
5. ทำความสะอาดอิเล็กโทรดด้วยวิธีเดิม แล้วเก็บลงในสารละลาย KCl ที่อยู่ในปลอกของอิเล็กโทรด หากสารละลายมีไม่พอให้เติมลงไปเพิ่ม
6. ถอดสายเก็บอุปกรณ์เรียบร้อย

การวิเคราะห์ซีโอดี

การวิเคราะห์หาซีโอดีด้วยวิธีฟลักซ์แบบปิด (Closed Reflux, Titrimetric Method)

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. หลอดย่อยสลาย (Digestion Vessels) ใช้แก้วที่ทำด้วยบอโรซิลิเกต (Borosilicate Culture Tube) ขนาด 16x100 mm ที่มีฝาเกลียวชนิดทีเอฟอี (Tetrafluoroethylene; TFE)
2. ฮีทติ้งบล็อก (Heating Block) ถังอลูมิเนียมตัน ลีท 45-50 mm มีรูขนาดพอดีกับหลอดแก้ว
3. ถังมือกันกรด
4. ขวดวัดปริมาตร (Volumetric Flask)
5. ปิเปต (Transfer Pipette)
6. บิวเรต
7. บีกเกอร์
8. ขวดรูปชมพู

สารเคมี

1. สารละลายมาตรฐานปฐมภูมิโพแทสเซียมไดโครเมต (Primary Standard Potassium Solution) เข้มข้น 0.1 N (0.01667 M)
 - นำ $K_2Cr_2O_7$ อบแห้งใน 130 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วชั่งน้ำหนัก $K_2Cr_2O_7$ มา 4.903 g ละลายในน้ำกลั่น 500 ml เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 167 ml เติมปรอทซัลเฟต 33.3 g ที่ให้ละลายและปล่อยให้เย็นจึงเจือจางด้วยน้ำกลั่นเป็น 1000 ml
2. สารละลายกรดซัลฟิวริกเติมซิลเวอร์ซัลเฟต (Conc. H_2SO_4 with Silver Sulfate)
 - ละลายซิลเวอร์ซัลเฟต ($AgSO_4$) 22 g ลงในกรดซัลฟิวริกเข้มข้นซึ่งมีน้ำหนัก 4.1 g (ปริมาตร 2.5 L) ตั้งทิ้งไว้ 1-2 วัน ซิลเวอร์ซัลเฟตถึงจะละลายหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. สารละลายเฟอร์โรอินอินดิเคเตอร์ (Ferroun Indicator)
 - ละลาย (1,10- ฟิเอช Enanthroline Monohydrate $C_{12}H_{18}N_2H_2O$ 1.485 g และเฟอร์รัส (II) ซัลเฟตเอปตาไฮเดรต ($FeSO_4 \cdot 7H_2O$) 0.695 g ในน้ำกลั่นแล้วเจือจางให้เป็น 100 mL) นำมาทำการเจือจางในสัดส่วน 1+4 (เฟอร์โรอิน 1 ส่วน และน้ำ 4 ส่วน)
4. สารละลายมาตรฐานทฤษฎีเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต (FAS) เข้มข้น 0.10 N
 - สารละลายเฟอร์รัส (II) แอมโมเนียมซัลเฟต (FAS) ซั่ง $Fe(NH_4)_2 (SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ ชนิดเอ.อาร์ (Analytical Grade Crystal) 39.2 g ในน้ำกลั่นเติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 20 ml ทำให้เย็นแล้วเจือจาง 1,000 mL
 - สารละลายนี้ก่อนใช้ต้องนำมาหาความเข้มข้นที่แน่นอนกับสารละลายมาตรฐานปฐมภูมิโพแทสเซียมไดโครเมต
5. สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไฮโดรเจนพาทาเลตความเข้มข้น 5,000 mg/L
 - ซั่ง KHP จำนวน 4.250 g ที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส และทำให้เย็นในโถอบแห้งแล้วละลายในน้ำกลั่นเจือจางเป็น 1 L สารละลายนี้มีซีไอดีเท่ากับ 5,000 mgO_2/L หรือมีค่าเท่ากับ 11.76 mgO_2/mg

การทดลองซีไอดี

- 1.) ล้างหลอดแก้วและฝาด้วยกรดซัลฟิวริก 20% ก่อนใช้ทุกครั้ง เพื่อป้องกันการปนเปื้อนดี
- 2.) นำตัวอย่างน้ำที่แช่เย็นออกมาให้เย็นเท่ากับอุณหภูมิห้อง เขย่าให้น้ำตัวอย่างผสมเข้ากันดีแล้วนำมา 2.5 mL ใส่หลอดทดลอง 1 หลอดต่อ 1 ตัวอย่าง (จะต้องเจือจางหรือไม่ขึ้นกับปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำตัวอย่าง) สำหรับแบลนด์ ให้ใส่น้ำกลั่น หลอดละ 2.5 mL กรณีที่ต้องการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐานให้เจือจางสาร KHP (เข้มข้น 500 mg/L) ให้มีความเข้มข้น ไม่เกิน 300 mg/L ก่อนที่จะนำมาใช้ (หลักการเจือจางจะใช้ขวดวัดปริมาตร ปิเปตน้ำมา 50 เติมน้ำกลั่นให้ครบ 100 mL เรียกว่าเป็นการเจือจาง 2 เท่า)
- 3.) นำมาเติมสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต เข้มข้น 0.1 N (Primary Standard Potassium Solution) จำนวน 1.5 mL ทุกๆหลอดการทดลอง เขย่าให้เข้ากัน
- 4.) เติมสารละลายกรดซัลฟิวริกที่เติมซิลเวอร์ซัลเฟต (Conc. H_2SO_4 with Silver Sulfate) จำนวน 3.5 mL ทุกๆหลอดทดลอง โดยค่อยๆใส่ให้กรดไหลไปตามข้างหลอดไปอยู่ด้านล่าง

ตารางที่ ก-1 ปริมาตรตัวอย่างน้ำและสารเคมีสำหรับหลอดแก้วขนาดมาตรฐาน

หลอดย่อยสลาย	ปริมาตรน้ำ (mL)	ปริมาตร $K_2Cr_2O_7$ (mL)	สารละลายกรดซัลฟิวริก (mL)	ปริมาตรรวม (mL)
หลอดแก้วขนาดมาตรฐาน 10 mL	2.50	1.50	3.50	7.50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 5.) ปิดฝาหลอดให้สนิท ค่อยๆเขย่าเพื่อให้สารผสมเข้ากันดี (ควรสวมถุงมือเพื่อป้องกันความร้อนขนาดเขย่า)
- 6.) นำหลอดทดสอบใส่ลงในฮีทติ้งบล็อกที่ $150 \pm 2^{\circ}\text{C}$ แล้วต้มเป็นเวลา 2 ชั่วโมงทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้องแล้วนำหลอดแก้ววางลงในขวด
- 7.) เมื่อครบ 2 ชั่วโมง ให้นำหลอดทดลองออกจากฮีทติ้งบล็อก ทำให้เย็นเท่ากับอุณหภูมิห้อง
- 8.) เปิดฝาหลอดแก้วแล้วเทสารลงในขวดชมพูขนาด 50 mL และฉีดล้างสารละลายในหลอดแก้วให้หมด เติมสารละลาย เฟอร์โรอิน อินดิเคเตอร์ 1-2 หยด แล้วนำไปไทเทรตมาตรฐานทิตริยมิ FAS
- 9.) เมื่อถึงจุดยุติ สารละลายจะเปลี่ยนจากเหลือง เป็น สีเขียวแกมน้ำเงิน และจุดยุติคือสีน้ำตาลปนแดง
- 10.) บันทึกปริมาตรของสารละลายมาตรฐานทิตริยมิ FAS ที่ใช้ในการไทเทรต
- 11.) นำค่าที่ได้ไปคำนวณ ตามสูตร

$$\text{การคำนวณซีโอดี (mgO}_2\text{/L)} = \frac{(A - B) \times N \times 8,000}{V}$$

เมื่อ A = ปริมาณ FAS ที่ใช้ไทเทรตแบบลงค์ (mL)

B = ปริมาณ FAS ที่ใช้ไทเทรตตัวอย่างน้ำ (mL)

N = ความเข้มข้นของ FAS (N)

V = ปริมาตรตัวอย่างน้ำ (mL)

การควบคุมคุณภาพ ผลการทดลองที่น่าเชื่อถือ

การวิเคราะห์ผลการทดลองที่ได้ว่ามีค่าความถูกต้อง โดยการวิเคราะห์จาก สารละลาย โปตัสเซียมไฮโดรเจนเพทาเลต ที่มีปริมาณ COD 500 mgO₂/L เพื่อเป็นการทดสอบให้แน่ใจว่าค่าที่ได้จากการทดลองสารมาตรฐานที่เตรียมขึ้นเองมีความถูกต้อง

เกณฑ์การยอมรับ : $\pm 10\%$ ของค่าความจริง (true value) หรือพิจารณาจาก เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องที่คำนวณได้ ควรอยู่ในช่วง 90-110%

$$\% \text{ความถูกต้อง (Accuracy)} = \frac{\text{ค่าที่ใช้จากการวิเคราะห์}}{\text{ค่าจริง}} \times 100$$

การวิเคราะห์ของแข็ง (Total Solid , Total Suspended Solid and Volatile Suspended Solid)

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง จากบริษัท Sartorius ประเทศสหรัฐอเมริกา
2. ตู้อบ (Oven) บริษัท Fisher Scientific ประเทศสหรัฐอเมริกา
3. กระจาดใยแก้ว (Glass Microfibers Filters) 1.2 μm จากบริษัท Filtra TECH ประเทศฝรั่งเศส
4. อุปกรณ์กรองแบบลดความดัน
5. โถทำแห้ง (Desiccator)
6. เครื่องแก้วต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองของแข็ง

การวิเคราะห์หาของแข็งทั้งหมด (Total Solid)

1. นำถ้วยระเหยไปอบให้แห้งในตู้อบที่อุณหภูมิ 103 – 105°C เป็นเวลา 1 ชม. ปล่อยให้เย็นในโถทำให้แห้งแล้วชั่งน้ำหนัก
2. เขย่าตัวอย่างให้เข้ากัน แล้วตวงปริมาตรตัวอย่าง 10 ml โดยใช้กระบอกตวง
3. นำไปตั้งบนเครื่องอังไอน้ำจนแห้ง แล้วนำเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 103 -105 °C เป็นเวลา 1 ชม.
4. นำถ้วยระเหยใส่ในโถทำให้แห้ง เพื่อปล่อยให้เย็น และนำมาชั่งน้ำหนัก
5. ทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 1-4 อีก 1 ครั้ง

การวิเคราะห์ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (Total Suspended Solid)

1. นำกระดาษกรองไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 103 -105°C เป็นเวลา 1 ชม. ปล่อยให้เย็นในโถทำให้แห้งแล้วชั่งน้ำหนัก
2. วางกระดาษกรองลงในกรวยบุษเนอร์ซึ่งต่อเข้ากับเครื่องกรองแบบลดความดันด้วยแรงน้ำ
3. ตวงปริมาตรตัวอย่างน้ำ 10 ml ด้วยกระบอกตวง เทลงในกรวยบุษเนอร์ และเปิดเครื่องกรองแบบลดความดันจนน้ำแห้ง ล้างด้วยน้ำกลั่น 10 ml เปิดเครื่องทิ้งไว้ 3 นาที
4. นำกระดาษกรองระเหยใส่ในโถทำให้แห้ง เพื่อปล่อยให้เย็น และนำมาชั่งน้ำหนัก
5. ทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 1-4 อีก 1 ครั้ง

การวิเคราะห์หาของแข็งระเหยได้และของแข็งคงตัว (Total Volatile Solid or Fixed Solid)

1. เฝากล้วยระเหยและของแข็งที่ได้จากการระเหยทั้งหมดในเตาเผาอุณหภูมิ 550°C เป็นเวลา 20 นาที
2. นำถ้วยระเหยตั้งทิ้งให้เย็น แล้วนำเข้าในโถทำให้แห้ง เพื่อปล่อยให้เย็น และนำมาชั่งน้ำหนัก
3. ทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 1-2 อีก 1 ครั้ง

การทดลองของแข็งแขวนลอยระเหยง่าย (Volatile Suspended Solid)

1. เฝากกระดาษกรองและของแข็งจากการทดลองหาของแข็งแขวนลอยทั้งหมดในเตาเผาอุณหภูมิ 550 °C เป็นเวลา 20 นาที
2. นำกระดาษกรองตั้งทิ้งให้เย็น แล้วนำเข้าในโถทำให้แห้ง เพื่อปล่อยให้เย็น และนำมาชั่งน้ำหนัก
3. ทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 1-2 อีก 1 ครั้ง

วิธีการเตรียมทำระบบหมักก๊าซชีวภาพ (ถังปฏิกรณ์)

- 1.) ใช้น้ำตัวอย่างจากฟาร์มสุกรในบ่อหมักก๊าซ เขย่าตัวอย่างให้เข้ากันแล้วนำมาใส่กรวยอิมฮอฟฟ์ขนาด 1,000 ml. ตั้งทิ้งไว้ 30 นาที ใช้แท่งแก้วคนข้างๆ กรวยเพื่อให้ของแข็งที่เกาะอยู่ข้างกรวยตกลงมาที่ก้นแล้วตั้งทิ้งไว้อีก 15 นาที จดปริมาตรของแข็งจมตัว
- 2.) เทส่วนใสทิ้ง และนำส่วนที่เป็นของแข็งมาปริมาตร 120 ml. นำมาใส่ในขวดดูแรนขนาด 2,000 ml ทั้ง 2 ขวด
- 3.) นำน้ำตัวอย่างจากบ่อหมักมาเจือจางเพื่อให้ได้ค่าซีไอดี เริ่มต้นถังแรกประมาณ 4,000 mg/l และถังที่สองซีไอดีเริ่มต้นประมาณ 12,000 mg/l เติมใสในถังปฏิกริยาน้ำเสียขวดแรกให้ได้ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาตรรวม 1,800 ml. และขวดที่สองทำเช่นเดียวกัน ควรใส่เกินประมาณ 40 ml. เพื่อนำมาตรวจวัดค่าซีโอดี และค่าของแข็ง

4.) ใส่แท่งแม่เหล็กกวน และนำมาปั่นกวนประมาณ 5 นาที ดึงตัวอย่างในขวดทั้งสองมาวัดค่าซีโอดี และค่าของแข็ง

5.) นำสายยางต่อเข้ากับท่อที่ฝาขวดโดยวัดขนาดให้พอดีเพื่อให้ไปถึงคอลัมป์ โดยฝาจะมีท่อสองท่อที่หันออกตรงกันข้ามกันและใต้ฝาจะมีท่อที่ยาวออกมาเล็กน้อย ท่ออีกฝั่งต่อสายยางยาวประมาณ 10 cm. เพื่อไปต่อกับวาล์ว โดยฝั่งที่ต่อกับวาล์วท่อที่ใต้ฝาจะต้องต่อสายยางให้ยาวลงไปประมาณครึ่งหนึ่งของขวดดูแรน พันข้อต่อระหว่างท่อกับสายยางและวาล์วด้วยพาราฟิล์มให้แน่น

6.) นำคอลัมป์มาเติมน้ำโดยที่ขนาดปิดวาล์วอยู่จนเต็ม เติมน้ำในกะละมังและคว่ำคอลัมป์ในกะละมังโดยให้ปากคอลัมป์อยู่เหนือกันกะละมังเล็กน้อย และให้จมอยู่ใต้น้ำ

7.) พันเกลียวขวดดูแรนด้วยเทปพันเกลียวท่อและปิดฝาที่เตรียมไว้ให้แน่นนำทั้งสองขวดมาไล่ก๊าซออกซิเจนโดยการเติมน้ำในโตรเจนโดยเสียบท่อก๊าซฝั่งที่มีวาล์วและเปิดวาล์วก๊าซในโตรเจนใช้เวลาในการไล่ออกซิเจนประมาณ 5 นาที เมื่อครบเวลาจึงปิดวาล์ว และนำไปตั้งบนเครื่องปั่นกวน เปิดเครื่องปั่นกวนไปที่ความเร็วเบอร์ 5

8.) นำท่อที่ต่อจากฝาขวดที่ไม่ได้ต่อกับวาล์วมาเสียบเข้ากับคอลัมป์ พันด้วยพาราฟิล์มตรงที่ต่อ เปิดวาล์วที่คอลัมป์เพื่อให้ก๊าซไหลเข้าคอลัมป์ จดบันทึกปริมาตรเริ่มต้น

ภาคผนวก ข

ผลการทดลอง

ตารางที่ ข-1 ผลการทดลองซีโอทีในถังปฏิกริยาน้ำเสียที่มีค่าซีโอทีเริ่มต้นสูง (Total) และ (Soluble)

ถังปฏิกริยา	replicate	S _e (mg/L)		เวลา(วัน)
		TCOD	SCOD	
ใบที่ 1 น้ำเสียที่มีค่าซีโอที เริ่มต้นสูง	1	7,936	3,968	0.25
	2	8,192	3,456	
	1	4,967	2,258	0.5
	2	4,967	2,258	
	1	3,997	2,457	0.75
	2	3,509	2,457	
	1	4,130	2,168	1
	2	4,615	2,307	
	1	5,596	3,065	1.25
	2	5,596	3,065	
	1	4,741	2,258	1.5
	2	4,290	2,935	
	1	4,290	1,968	1.75
	2	4,290	1,968	
	1	3,731	1,865	2
	2	3,197	1,865	
	1	4,110	2,397	6
	2	4,338	2,511	
	1	3,837	1,919	8
	2	3,837	1,919	
1	4,064	1,776	12	
2	4,064	1,776		
1	2,626	1,010	15	
2	2,827	1,110		
1	2,368	1,016	19	
2	2,368	1,016		
1	1,141	1,712	28	
2	1,370	1,712		

*หมายเหตุ
(ผลการทดลองมีการ
ประกันคุณภาพโดย %
คุณภาพ อยู่ในช่วง 90-
110% ซึ่งอยู่ในช่วงที่
ยอมรับ)

ตารางที่ ข-1 ผลการทดลองซีโอดีในถังปฏิกริยาน้ำเสียที่มีค่าซีโอดีเริ่มต้นสูง (Total) และ (Soluble)
(ต่อ)

ถังปฏิกริยา	replicate	S _e (mg/L)		เวลา(วัน)
		TCOD	SCOD	
ไบที่ 1 น้ำเสียที่มีค่าซีโอดีเริ่มต้น สูง	1	997	1,246	33
	2	1,246	1,246	
	1	1,180	1,033	39
	2	1,180	1,180	

มีค่าซีโอดีเข้าระบบ (S₀)TCOD,SCOD =12,621, 4,796 mg/L)

ตารางที่ ข-2 ผลการทดลองซีโอดีในถังปฏิกริยาน้ำเสียที่มีค่าซีโอดีเริ่มต้นต่ำ (Total) และ (Soluble)

ถังปฏิกริยา	replicate	S _e (mg/L)		เวลา(วัน)
		TCOD	SCOD	
ไบที่ 2 น้ำเสียมีค่าซีโอดีเริ่มต้น	1	3,802	1,872	0.25
	2	2,340	1,872	
	1	6,297	1,439	0.5
	2	7,196	2,398	
	1	3,299	1,319	0.75
	2	4,197	1,319	
	1	3,200	1,152	1
	2	3,200	1,024	
	1	2,880	1,920	1.25
	2	2,880	1,920	
	1	5,097	2,519	1.5
	2	5,397	2,878	
	1	2,998	1,319	1.75
	2	2,998	1,199	
	1	2,733	1,093	2
	2	3,036	1,093	
1	2,540	1,066	6	
2	2,540	1,066		
1	2,525	1,211	9	
2	3,029	1,211		

***หมายเหตุ**
(ผลการทดลองมีการ
ประกันคุณภาพโดย
%คุณภาพ อยู่ในช่วง
90-110% ซึ่งอยู่ในช่วง
ที่ยอมรับ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-2 ผลการทดลองซีโอดีในถังปฏิกริยาน้ำเสียที่มีค่าซีโอดีเริ่มต้นต่ำ (Total) และ (Soluble) (ต่อ)

ถังปฏิกริยา	replicate	S _e (mg/L)		เวลา(วัน)
		TCOD	SCOD	
ใบที่ 2 น้ำเสียมีค่าซีโอดี เริ่มต้นต่ำ	1	1,184	1,241	13
	2	1,184	1,354	
	1	2,568	1,246	22
	2	2,568	1,246	
	1	1,745	570	27
	2	1,870	570	
	1	1,106	590	33
	2	1,106	737	

มีค่าซีโอดีในระบบ (S₀) TCOD,SCOD =4,362, 1,636 mg/L)

การทดลองของแข็ง

ตารางที่ ข-3 ผลการทดลองของแข็งในถังปฏิกริยาที่มีค่าซีโอดีเริ่มต้นสูง

ถังปฏิกริยา	เวลา (ชม.)	SS (mg/L)	VSS (mg/L)	พีเอช	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)
ใบที่ 1 น้ำเสียที่มีค่าซีโอดี เริ่มต้นสูง	0	48,440	5,380	7.2	27.0
	0.25	48,460	6,330	7.3	28.5
	0.5	49,180	6,780	7.5	29.0
	0.75	46,540	4,680	7.2	29.0
	1	44,820	4,140	7.2	29.5
	1.25	45,970	3,820	7.2	28.0
	1.5	44,280	3,014	7.3	28.5
	1.75	46,320	3,950	7.1	28.0
	2	47,030	3,890	7.1	28.0
	6	42,910	1,510	7.2	28.5
	8	44,530	3,840	7.2	30.0
	12	46,090	3,360	7.2	29.0
	15	41,360	1,020	7.2	29.0
	22	40,340	840	7.2	29.0
	28	40,090	790	7.2	28.0
33	40,340	810	7.2	28.0	
39	42,090	1,000	7.2	28.0	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-4 การทดลองของแข็งในถังปฏิกรณ์ที่มีค่าซีโอดีต่ำ

ถังปฏิกรณ์	เวลา (ชม.)	SS (mg/L)	VSS (mg/L)	พีเอช	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)
ใบที่ 2 น้ำเสียที่มีค่าซีโอดีเริ่มต้นต่ำ	0	42,370	1,800	7.8	27.0
	0.25	42,660	1,790	7.6	27.0
	0.5	43,390	1,670	7.6	29.0
	0.75	42,610	1,860	7.6	29.5
	1	41,430	1,480	7.8	28.0
	1.25	41,620	1,750	7.8	28.5
	1.5	41,120	1,460	7.8	27.0
	1.75	42,120	1,420	7.9	28.0
	2	43,020	1,410	7.8	28.5
	6	42,440	1,470	7.9	30.0
	9	41,560	1,050	7.9	29.0
	13	40,140	1,200	7.9	30.0
	22	41,600	1,500	7.9	29.0
	27	41,780	1,580	7.9	29.0
	33	40,600	1,070	7.9	28.0

ตารางที่ ข-5 ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีถังปฏิกรณ์น้ำเสียที่มีค่าซีโอดีเริ่มต้นสูง (soluble) (มีค่าซีโอดีเข้าระบบ (S_0) = 4,796 mg/L, มีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีเฉลี่ย = 78.46%)

S_e (mg/L)	$S_0 - S_e$	$(S_0 - S_e) / S_0$	เวลา (วัน)	$(S_0 - S_e) / S_0 * 100$
3,968	828	0.1726	0.25	17.2644
2,258	2,538	0.5292	0.50	52.9208
2,457	2,339	0.4877	0.75	48.7734
2,186	2,610	0.5441	1	54.4101
3,065	1,731	0.3610	1.25	36.0988
2,258	2,538	0.5292	1.50	52.9208
1,968	2,828	0.5896	1.75	58.9600

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-5 ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอติถึงปฏิกิริยาน้ำเสียที่มีค่าซีโอติเริ่มต้นสูง (soluble)
(มีค่าซีโอติในระบบ (S_0) = 4,796 mg/L, มีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอติเฉลี่ย = 78.46%) (ต่อ)

S_e (mg/L)	S_0-S_e	S_0-S_e / S_0	เวลา (วัน)	$(S_0-S_e / S_0)*100$
1,865	2,931	0.611	2	61.1036
2,398	2,398	0.5001	6	50.0065
1,919	2,877	0.5999	8	59.9881
1,776	3,020	0.6297	12	62.9691
1,010	3,786	0.7894	15	78.9425
2,483	2,313	0.4823	19	48.2277
1,712	3,084	0.643	28	64.3036
1,246	3,550	0.7402	33	74.02
1,033	3,763	0.7846	39	78.4612

ตารางที่ ข-6 ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอติถึงปฏิกิริยาน้ำเสียที่มีค่าซีโอติเริ่มต้นสูง (Total)
(มีค่าซีโอติในระบบ (S_0) = 12,621 mg/L, มีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอติเฉลี่ย = 90.65%)

S_e (mg/L)	S_0-S_e	S_0-S_e / S_0	เวลา (วัน)	$(S_0-S_e / S_0)*100$
7,936	4,685	0.3712	0.25	37.1207
4,967	7,654	0.6064	0.50	60.6450
3,997	8,624	0.6833	0.75	68.3306
4,130	8,491	0.6728	1	67.2768
5,596	7,025	0.5566	1.25	55.6612
4,741	7,880	0.6244	1.50	62.4356
4,290	8,331	0.6601	1.75	66.0090
3,731	8,890	0.7044	2	70.4388
4,110	8,511	0.6744	6	67.4352

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-6 ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีถึงปฏิกิริยาน้ำเสียที่มีค่าซีโอดีเริ่มต้นสูง (Total)
(มีค่าซีโอดีเข้าระบบ (S_0) = 12,621 mg/L, มีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีเฉลี่ย = 90.65%) (ต่อ)

S_e (mg/L)	$S_0 - S_e$	$S_0 - S_e / S_0$	เวลา (วัน)	$(S_0 - S_e / S_0) * 100$
3,837	8,784	0.6960	8	69.5983
4,064	8,557	0.6780	12	67.7997
2,626	9,995	0.7919	15	79.1934
2,368	10,253	0.8124	19	81.2376
1,141	11,480	0.9096	28	90.9595
997	11,624	0.9210	33	92.1005
1,180	11,441	0.9065	39	90.6505

ตารางที่ ข-7 ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีถึงปฏิกิริยาที่มีค่าซีโอดีเริ่มต้นต่ำ (soluble)
(มีค่าซีโอดีเข้าระบบ (S_0) = 1,636 mg/L, มีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีเฉลี่ย = 63.93%)

S_e (mg/L)	$S_0 - S_e$	$S_0 - S_e / S_0$	เวลา (วัน)	$(S_0 - S_e / S_0) * 100$
1,872	-236	-0.1442	0.25	-14.4175
1,439	197	0.1203	0.50	12.0275
1,319	317	0.1936	0.75	19.3588
1,152	484	0.2958	1	29.5844
1,920	-284	-0.1736	1.25	-17.3594
2,519	-883	-0.5396	1.50	-53.9597
1,319	317	0.1936	1.75	19.3588
1,093	543	0.3318	2	33.1760
1,066	570	0.3487	6	34.8655
1,626	10	0.0062	9	0.6241
1,066	570	0.3487	13	34.8655
1,246	390	0.2384	22	23.8386
570	1,066	0.6516	27	65.1589

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-7 ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอติถึงปฏิกิริยาที่มีค่าซีโอติเริ่มต้นต่ำ (soluble)

(มีค่าซีโอติเข้าระบบ (S_0) = 1,636 mg/L, มีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอติเฉลี่ย = 63.93%) (ต่อ)

S_e (mg/L)	S_0-S_e	S_0-S_e/S_0	เวลา (วัน)	$(S_0-S_e/S_0)*100$
590	1,046	0.6394	33	63.9364

ตารางที่ ข-8 ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอติถึงปฏิกิริยาน้ำเสียที่มีค่าซีโอติเริ่มต้นต่ำ (Total)

(มีค่าซีโอติเข้าระบบ (S_0) = 4,362 mg/L, มีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอติเฉลี่ย = 74.64%)

S_e (mg/L)	S_0-S_e	S_0-S_e/S_0	เวลา (วัน)	$(S_0-S_e/S_0)*100$
3,968	828	0.1726	0.25	17.2644
2,258	2,538	0.5292	0.50	52.9208
2,457	2,339	0.4877	0.75	48.7734
2,186	2,610	0.5441	1	54.4101
3,065	1,731	0.3610	1.25	36.0988
2,258	2,538	0.5292	1.50	52.9208
1,968	2,828	0.5896	1.75	58.9600
1,865	2,931	0.6110	2	61.1036
2,398	2,398	0.5001	6	50.0065
1,919	2,877	0.5999	8	59.9881
1,776	3,020	0.6297	12	62.9691
1,010	3,786	0.7894	15	78.9425
2,483	2,313	0.4823	19	48.2277
1,712	3,084	0.6430	28	64.3036
1,246	3,550	0.7402	33	74.0200
1,033	3,763	0.7846	39	78.4612

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-9 ปริมาณก๊าซสะสมในถังปฏิกริยา

เวลา (วัน)	ปริมาณก๊าซสะสม (mL) ในถังปฏิกริยาน้ำเสียที่มีค่าซีไอ ตีเริ่มต้นสูง	ปริมาณก๊าซสะสม (mL) ในถังปฏิกริยาน้ำเสียที่มีค่าซีไอ ตีเริ่มต้นต่ำ
0.25	95	90
0.50	165	140
0.75	245	200
1	335	240
1.25	415	280
1.50	495	320
1.75	570	360
2	680	385
6	2,115	465
8	2,935	520
12	3,885	635
15	4,335	915
19	4,985	1,145
28	5,925	1,185
33	6,125	-
39	6,245	-

หมายเหตุ: (-) ไม่มีข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-10 อันดับปฏิกิริยาของน้ำเสียที่มีค่าซีโอดีเริ่มต้นสูง (Soluble)

เวลา (วัน)	อันดับปฏิกิริยาที่ศูนย์ (S_e)	อันดับปฏิกิริยาที่หนึ่ง ($1/S_e$)	อันดับปฏิกิริยาที่สอง ($\ln S_0/S_e$)
0.25	3,968	0.00025	0.1895
0.50	2,258	0.00044	0.7533
0.75	2,457	0.00041	0.6689
1	2,186	0.00046	0.7855
1.25	3,065	0.00033	0.4478
1.50	2,258	0.00044	0.7533
1.75	1,968	0.00051	0.8906
2	1,865	0.00054	0.9443
6	2,398	0.00042	0.6933
8	1,919	0.00052	0.916
12	1,776	0.00056	0.9934
15	1,010	0.00099	1.5579
19	2,483	0.00040	0.6583
28	1,712	0.00058	1.0301
33	1,246	0.00080	1.3478
39	1,033	0.00097	1.5353

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-11 อันดับปฏิกิริยาของน้ำเสียที่มีค่าซีโอดีเริ่มต้นสูง (Total)

เวลา (วัน)	ปฏิกิริยาอันดับศูนย์ (S_e)	ปฏิกิริยาอันดับที่หนึ่ง ($1/S_e$)	ปฏิกิริยาอันดับที่สอง ($\ln S_0/S_e$)
0.25	7,936	0.00013	0.4640
0.50	4,967	0.00020	0.9325
0.75	3,997	0.00025	1.1498
1	4,130	0.00024	1.1171
1.25	5,596	0.00018	0.8133
1.50	4,741	0.00021	0.9791
1.75	4,290	0.00023	1.0791
2	3,731	0.00027	1.2187
6	4,110	0.00024	1.1219
8	3,837	0.00026	1.1907
12	4,064	0.00025	1.1332
15	2,626	0.00038	1.5699
19	2,368	0.00042	1.6733
28	1,141	0.00088	2.4035
33	997	0.00100	2.5384
39	1,180	0.00085	2.3698

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-12 อันดับปฏิกิริยาของน้ำเสียที่มีค่าซีโอดีเริ่มต้นต่ำ (Soluble)

เวลา (วัน)	อันดับปฏิกิริยาที่ศูนย์ (S_e)	อันดับปฏิกิริยาที่หนึ่ง ($1/S_e$)	อันดับปฏิกิริยาที่สอง ($\ln S_0/S_e$)
0.25	1,872	0.00053	-0.1347
0.50	1,439	0.00069	0.1281
0.75	1,319	0.00076	0.2152
1	1,152	0.00087	0.3508
1.25	1,920	0.00052	-0.1601
1.50	2,519	0.0004	-0.4315
1.75	1,319	0.00076	0.2152
2	1,093	0.00091	0.4031
6	1,066	0.00094	0.4287
9	1,626	0.00062	0.0063
13	1,066	0.00094	0.4287
22	1,246	0.0008	0.2723
27	570	0.00175	1.0544
33	590	0.00169	1.0199

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-13 อันดับปฏิกิริยาของน้ำเสียที่มีค่าซีโอดีเริ่มต้นต่ำ (Total)

เวลา (วัน)	อันดับปฏิกิริยาที่ศูนย์ (S_e)	อันดับปฏิกิริยาที่หนึ่ง ($1/S_e$)	อันดับปฏิกิริยาที่สอง ($\ln S_0/S_e$)
0.25	3,802	0.00026	0.1373
0.50	6,297	0.00016	-0.3671
0.75	3,299	0.00030	0.2794
1	3,200	0.00031	0.3098
1.25	2,880	0.00035	0.4151
1.50	5,097	0.00020	-0.1558
1.75	2,998	0.00033	0.3749
2	2,733	0.00037	0.4675
6	2,540	0.00039	0.5407
9	2,525	0.00040	0.5468
13	1,184	0.00084	1.3040
22	2,568	0.00039	0.5298
27	1,745	0.00057	0.9162
33	1,106	0.00090	1.3722

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-14 ตารางแสดงการหาค่าจลนพลศาสตร์ที่มีค่าซีโอดีละลายน้ำเริ่มต้นสูง (Soluble)

(มีค่าซีโอดีในระบบ (S_0) = 4,796 mg/L)

S_e	$S_0 - S_e$	$V_{ss} * \theta$	$S_0 - S_e / V_{ss} \theta$	θ	$1/\theta$	$1/S_e$
3,968	828	1,583	0.52	0.25	4	0.00025
2,258	2,538	3,390	0.75	0.50	2.00	0.00044
2,457	2,339	3,510	0.67	0.75	1.33	0.00041
2,186	2,609	4,140	0.63	1	1.00	0.00046
3,065	1,731	4,775	0.36	1.25	0.80	0.00033
2,258	2,538	4,521	0.56	1.50	0.66	0.00044
1,968	2,828	6,913	0.41	1.75	0.57	0.00051
1,865	2,930	7,780	0.38	2	0.50	0.00054
2,398	2,398	9,060	0.26	6	0.16	0.00042
1,919	2,877	30,720	0.09	8	0.13	0.00052
1,776	3,020	40,320	0.07	12	0.08	0.00056
1,010	3,786	15,300	0.25	15	0.07	0.00099
2,483	2,313	15,960	0.14	19	0.05	0.00040
1,712	3,084	22,120	0.14	28	0.04	0.00058
1,246	3,550	26,730	0.13	33	0.03	0.00080
1,033	3,763	39,000	0.10	39	0.03	0.00097

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-15 ตารางแสดงการหาค่าจลนพลศาสตร์ที่มีค่าซีโอดีละลายน้ำเริ่มต้นต่ำ (Soluble)

(มีค่าซีโอดีเข้าระบบ (S_0) = 1,636 mg/L)

S_e	$S_0 - S_e$	$V_{ss} * \theta$	$\frac{S_0 - S_e}{V_{ss} \theta}$	θ	$1/\theta$	$1/S_e$
1,439	197	835	0.23	0.50	2.00	0.00069
1,319	317	1,395	0.22	0.75	1.33	0.00076
1,152	484	1,480	0.32	1	1.00	0.00087
1,319	317	2,485	0.13	1.75	0.57	0.00076
1,093	543	2,820	0.19	2	0.50	0.00091
1,066	570	8,820	0.06	6	0.16	0.00094
1,066	570	15,600	0.03	13	0.08	0.00094
1,246	390	17,380	0.02	22	0.05	0.00080
570	1,066	21,870	0.04	27	0.04	0.00175
590	1,046	33,000	0.03	33	0.03	0.00169

ตารางที่ ข-16 ตารางแสดงปริมาณก๊าซที่ได้ต่อกรัมซีโอดีที่ลดลงในถังปฏิกรณ์น้ำเสียที่มีค่าซีโอดีเริ่มต้นสูง (ml/mgCOD)

เวลา (วัน)	S_e		ปริมาณก๊าซ (ml)	ปริมาณก๊าซที่ได้ (ml) /mgCOD	
	TCOD	SCOD		TCOD	SCOD
5	14,411	7,742	1757.00	0.1219	0.2269
10	12,414	6,131	1655.00	0.1333	0.2699
15	8,383	3,415	926.00	0.1105	0.2712
20	4,490	4,811	756.00	0.1684	0.1571
25	1,140	1,712	520.00	0.4561	0.3037
30	1,402	1,924	392.00	0.2796	0.2037
35	1,785	1,965	160.00	0.0896	0.0814
39	1,416	1,239	80.00	0.0565	0.0646
			เฉลี่ย	0.1770	0.1973

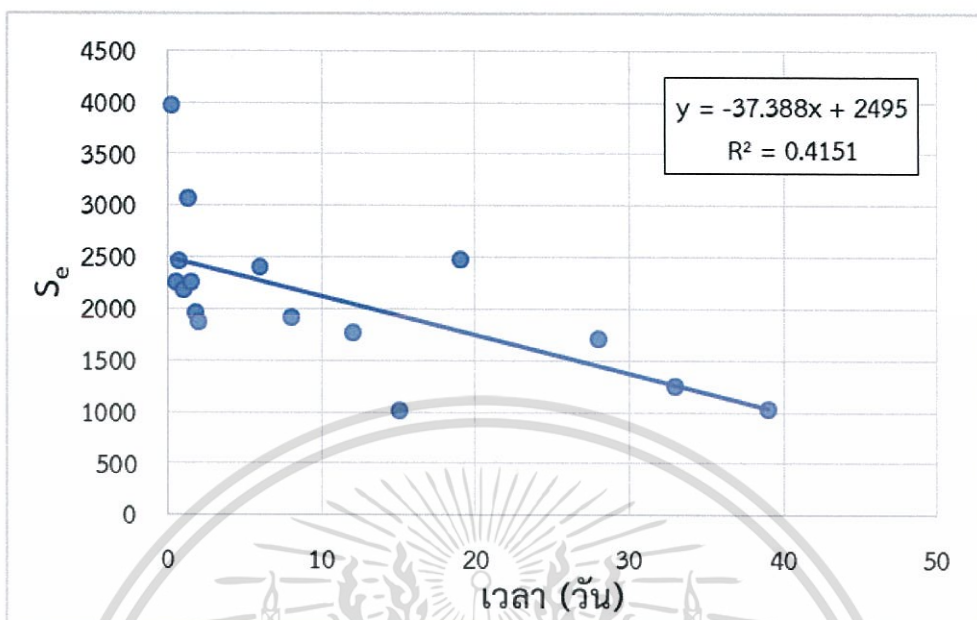
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-17 ตารางแสดงปริมาณก๊าซที่ได้ต่อกรัมซีโอดีที่ลดลงในถังปฏิกริยาน้ำเสียที่มีค่าซีโอดีเริ่มต้นต่ำ (mL/mgCOD)

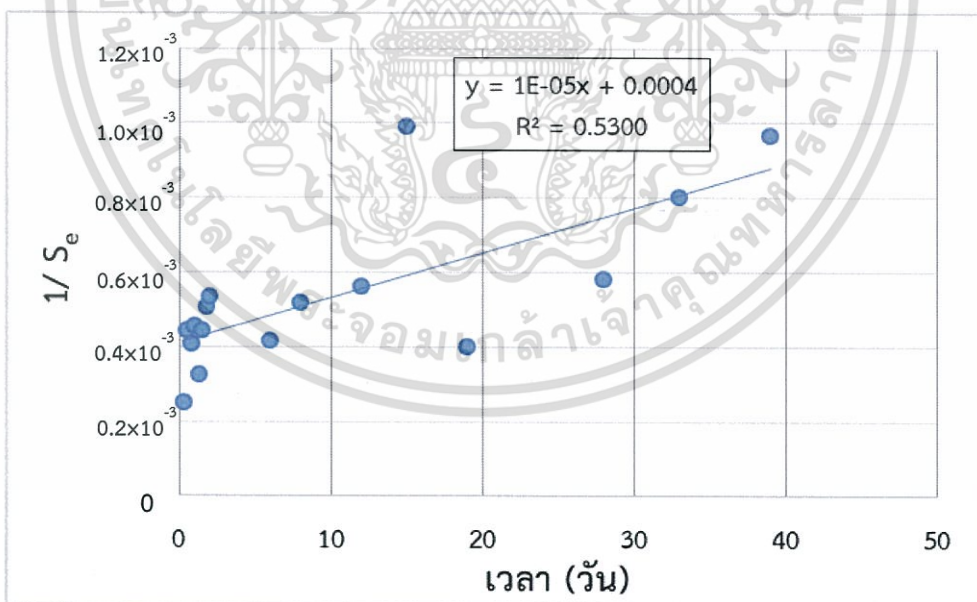
เวลา (วัน)	S _e		ปริมาณก๊าซ (ml)	ปริมาณก๊าซที่ได้ (ml) /mgCOD	
	TCOD	SCOD		TCOD	SCOD
5	10,248	4,283	485	0.0473	0.1132
10	6,221	3,885	103	0.0166	0.0265
15	2,627	1,938	149	0.0567	0.0769
20	2,570	1,245	155	0.0603	0.1245
25	2,912	1,113	200	0.0687	0.1797
30	2,252	941	113	0.0502	0.1201
33	996	531	21	0.0211	0.0395
			เฉลี่ย	0.0458	0.0972

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป ข-1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง S_e กับ เวลา (อันดับปฏิกิริยาที่ศูนย์) ในถังปฏิกิริยาที่มีค่าซีโอดีในรูปสารละลายเริ่มต้นสูง (Soluble)

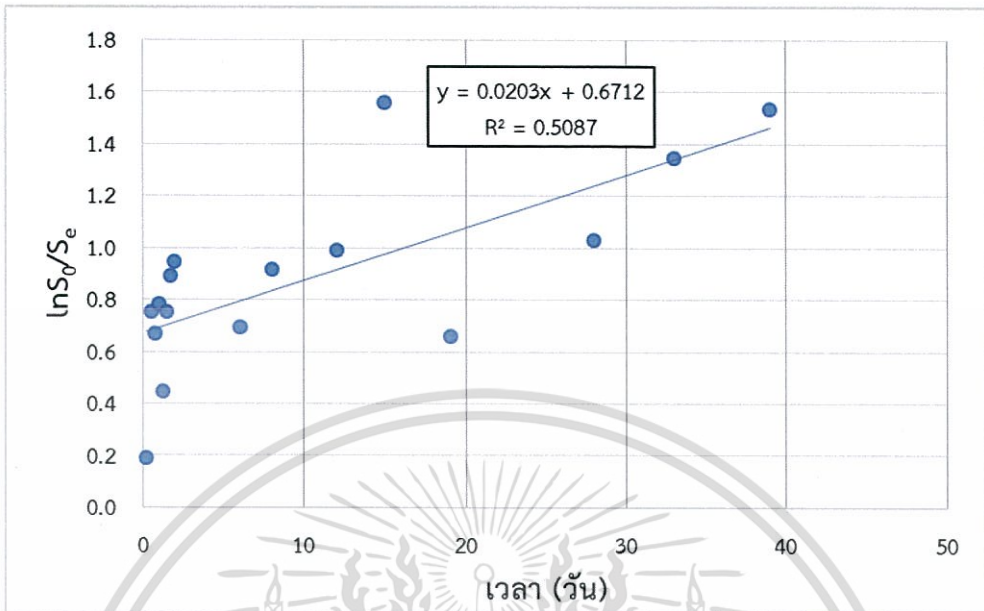


รูปที่ ข-2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $1/S_e$ กับ เวลา (อันดับปฏิกิริยาที่หนึ่ง) ในถังปฏิกิริยาที่มีค่าซีโอดีในรูปของสารละลายเริ่มต้นสูง (Soluble)

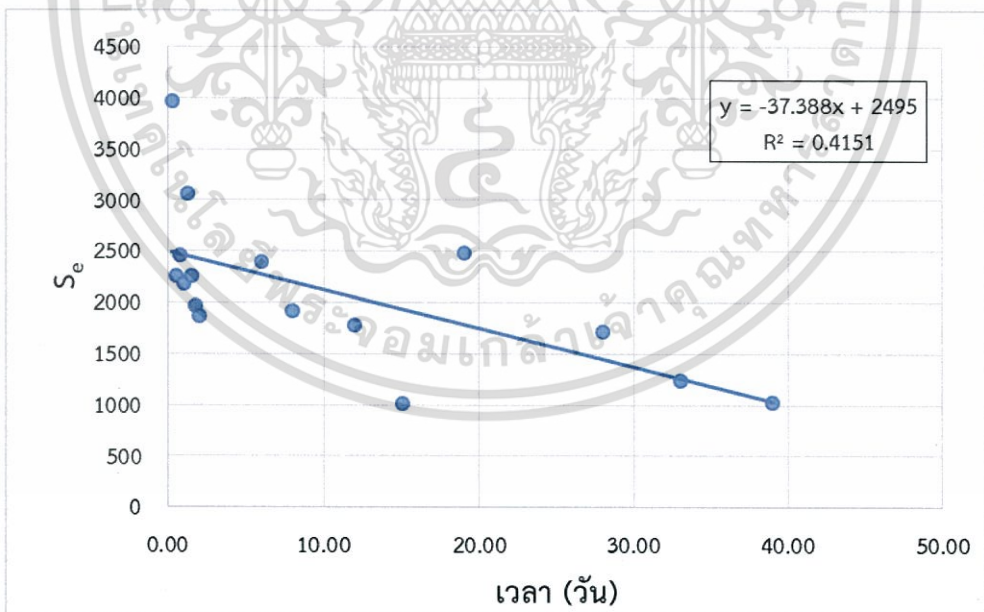


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ข-3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln S_0/S_e$ กับ เวลา (อันดับปฏิกิริยาที่สอง) ในถังปฏิกิริยาที่มีค่าซีไอดีในรูปของสารละลายเริ่มต้นสูง (Soluble)

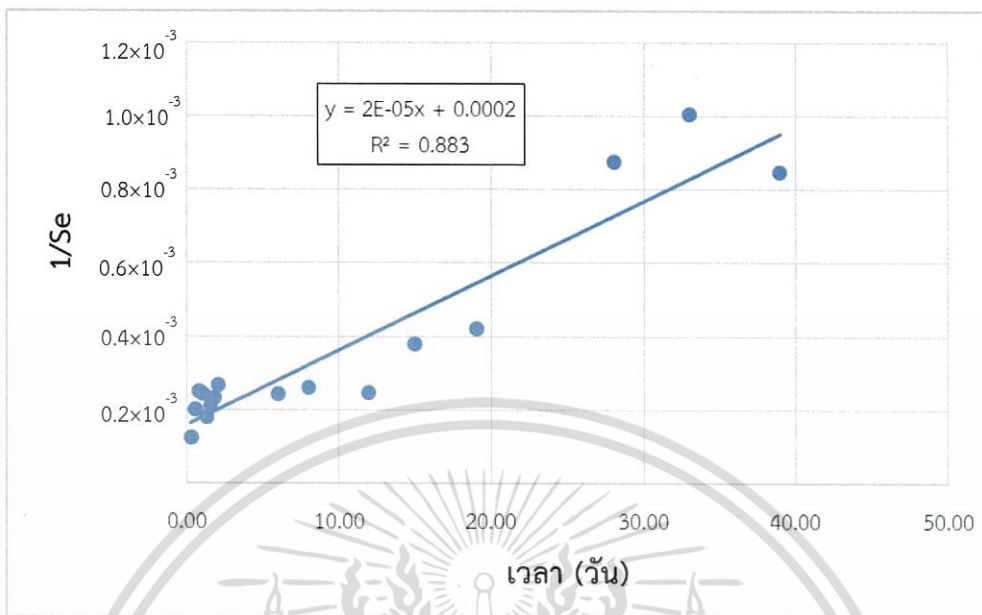


รูปที่ ข-4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง S_e กับ เวลา (อันดับปฏิกิริยาที่ศูนย์) ในถังปฏิกิริยาที่มีค่าซีไอดีเริ่มต้นสูง (Total)

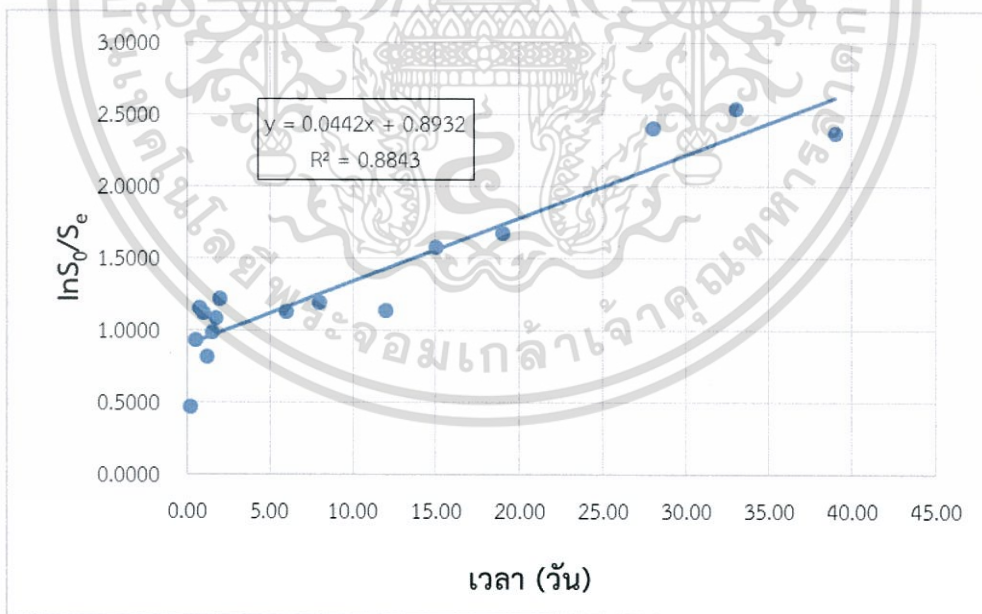


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ข-5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $1/S_e$ กับ เวลา (อันดับปฏิกิริยาที่หนึ่ง) ในถังปฏิกิริยาที่มีค่าซีโอดีเริ่มต้นสูง (Total)

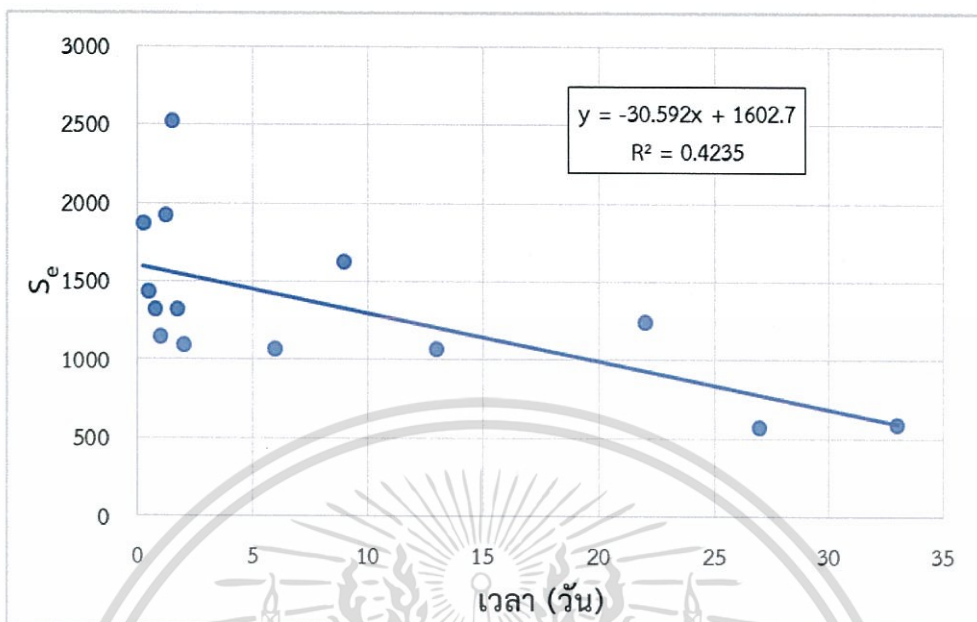


รูปที่ ข-6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln S_0/S_e$ กับ เวลา (อันดับปฏิกิริยาที่สอง) ในถังปฏิกิริยาที่มีค่าซีโอดีเริ่มต้นสูง (Total)

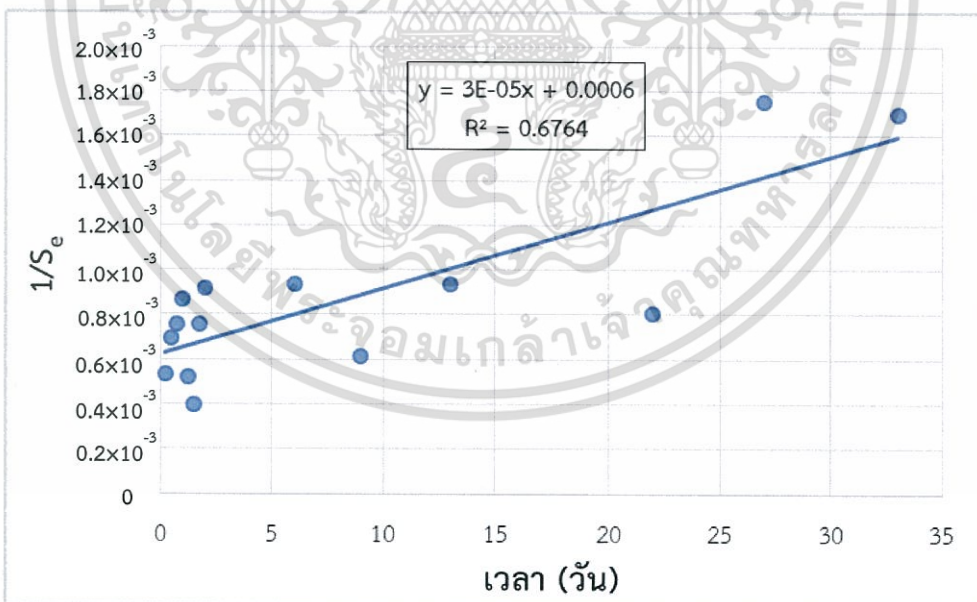


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ข-7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง S_e กับ เวลา (อันดับปฏิกิริยาที่ศูนย์) ในถังปฏิกิริยาที่มีค่าซีโอดี ในรูปสารละลายเริ่มต้นต่ำ (Soluble)

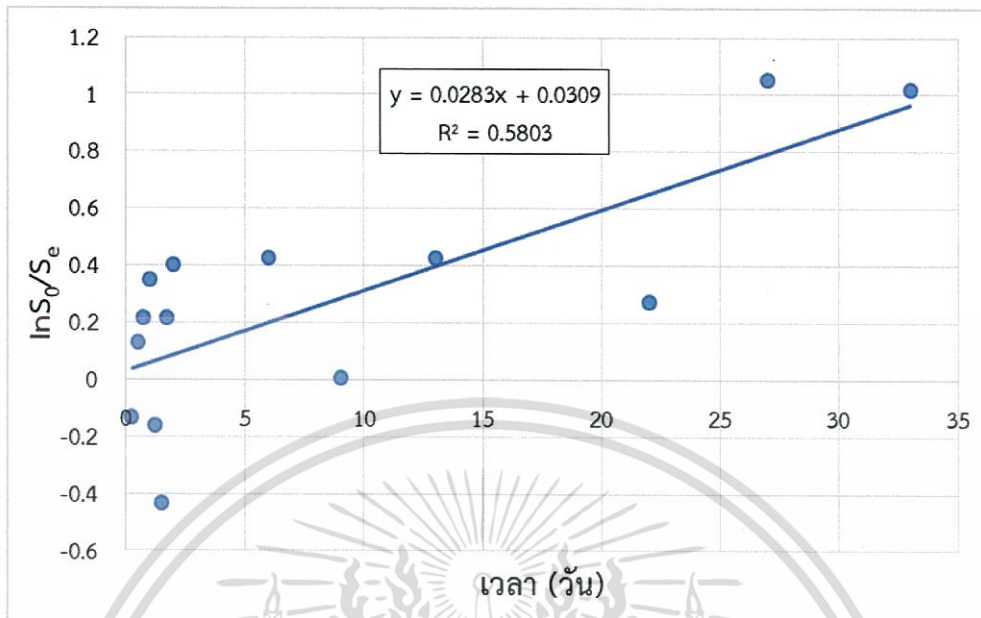


รูปที่ ข-8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $1/S_e$ กับ เวลา (อันดับปฏิกิริยาที่หนึ่ง) ในถังปฏิกิริยาที่มีค่าซีโอดี ในรูปสารละลายเริ่มต้นต่ำ (Soluble)

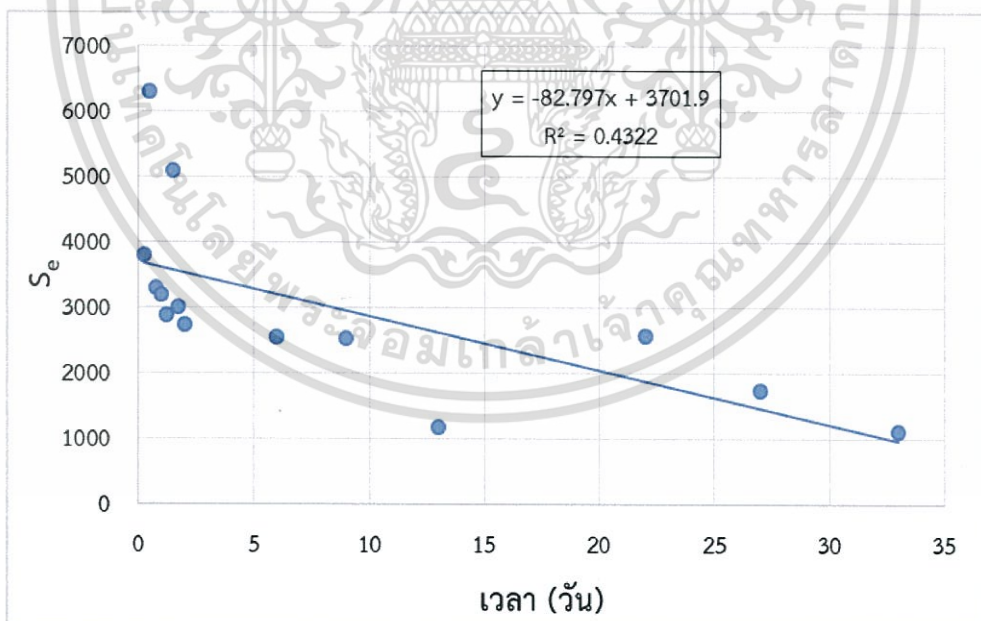


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ข-9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln S_0/S_e$ กับ เวลา (อันดับปฏิกิริยาที่สอง) ในถังปฏิกิริยาที่มีค่าซีโอดีในรูปสารละลายเริ่มต้นต่ำ (Soluble)

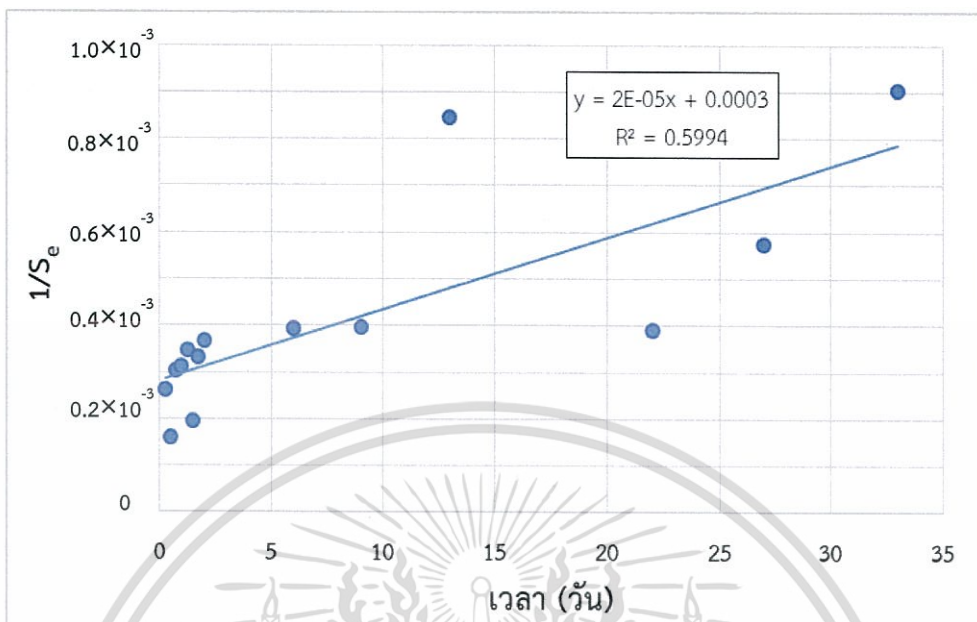


รูปที่ ข-10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง S_e กับ เวลา (อันดับปฏิกิริยาที่ศูนย์) ในถังปฏิกิริยาที่มีค่าซีโอดีเริ่มต้นต่ำ (Total)

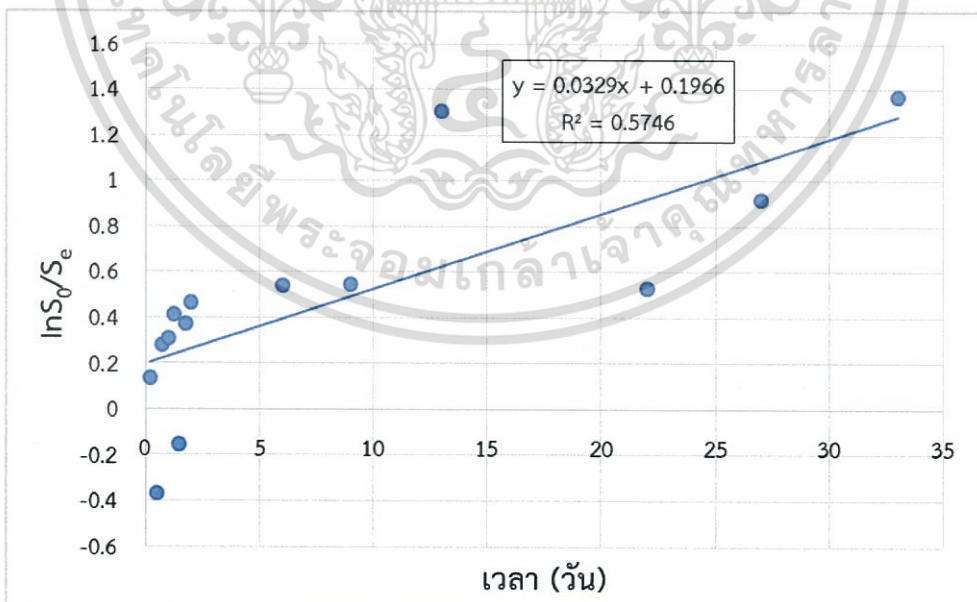


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ข-11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $1/S_e$ กับ เวลา (อันดับปฏิกิริยาที่หนึ่ง) ในถังปฏิกิริยาที่มีค่าซีโอดีเริ่มต้นต่ำ (Total)



รูปที่ ข-12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln S_0/S_e$ กับ เวลา (อันดับปฏิกิริยาที่สอง) ในถังปฏิกิริยาที่มีค่าซีโอดีเริ่มต้นต่ำ (Total)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

การคำนวณ

ค-1 การคำนวณหาปริมาณก๊าซที่วัดต่อมิลลิกรัมซีโอดีที่ลดลงในถังปฏิกรณ์ (mL/mgCOD)

$$\frac{\text{ปริมาณก๊าซที่วัดได้ (ml)}}{\text{mgCOD ที่ลดลง}} = \frac{\text{ปริมาณก๊าซที่วัดได้ (ml)}}{\left[\frac{S_e \text{ (mg)}}{L} \times 1.8 L \right]}$$

อธิบายสมการ

S_e = ซีโอดีออกจากระบบ (mg/L)

1.8 = ขนาดของถังปฏิกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย (L)

เช่น

$$\frac{\text{ปริมาณก๊าซที่วัดได้ (ml)}}{\text{mgCOD ที่ลดลง}} = \frac{1,757 \text{ (ml)}}{\left[\frac{8,006.11 \text{ (mg)}}{L} \times 1.8 L \right]} = 0.1219$$

∴ ปริมาณก๊าซที่วัดได้/mg COD = 0.1219 mL/mgCOD

*หมายเหตุ : ปริมาณก๊าซที่วัดได้และค่าCODที่ลดลง คำนวณเฉลี่ยเป็นเวลาทุกๆ 5 วัน หลังจากนั้นนำมาหาค่าเฉลี่ยจากการคำนวณทั้งหมดแล้วจะได้ผลลัพธ์สุดท้าย (ตารางการคำนวณดังภาคผนวก ข-16, ข-17)

ค-2 การหาประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี รูปของ COD (%)

$$\%COD = \frac{COD_{in} - COD_{out}}{COD_{in}} \times 100$$

อธิบายสมการ

COD in = วัดค่า COD จากน้ำเข้า (mg/L)

COD out = วัดค่า COD จากน้ำออก (mg/L)

แสดงตัวอย่างการคำนวณ

เช่น

$$\%COD = \left[\frac{4,796 - 1,033}{4,796} \times 100 \right] = 78$$

∴ ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี = 78 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้