ค่าสัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในตะกอนน้ำเสียอุตสาหกรรมด้วยถังหมักแบบไม่ใช้อากาศ

GROWTH COEFFICIENCY OF MICROOGANISMS IN INDUSTRIAL WASTEWATER SLUDGE USING ANAEROBIC REACTOR

สิริณัฏฐ์ กิตติภาสวริทธิ์

ปริมประภา นกศรี

อุมาภรณ์ ชะเอม

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)

สาขาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2561

GROWTH COEFFICIENCY OF MICROOGANISMS IN INDUSTRIAL WASTEWATER SLUDGE USING ANAEROBIC REACTOR

SIRINAT KITTIPASWARIT

PRIMPRAPA NOKSRI

UMAPORN CHA-AIM

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 2018

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ	ค่าสัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในตะกอนน้ำเสียอุตสาหกรรมด้วยถังหมักแบบไม่ใช้อากาศ GROWTH COEFFICIENCY OF MICROOGANISMS IN INDUSTRIAL WASTEWATER SLUDGE USING ANAEROBIC REACTOR
ชื่อนักศึกษา	นางสาวสริณัฏฐ์ กิตติภาสวริทธิ์ รหัสนักศึกษา 58050623 นางสาวปริมประภา นกศรี รหัสนักศึกษา 58050644 นางสาวอุมาภรณ์ ชะเอม รหัสนักศึกษา 58050704
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)
ภาควิชา	เคมี
ปีการศึกษา	2561
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม) ประจำปีการศึกษา 2561

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของลิขสิทธิ์ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

หัวข้อโครงงานพิเศษ	ค่าสัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในตะกอนน้ำเสียอุตสาหกรรมด้วยถังหมักแบบไม่ใช้อากาศ
ชื่อนักศึกษา	นางสาวสิริณัฏฐ์ กิตติภาสวริทธิ์ รหัสนักศึกษา 58050623
	นางสาวปริมประภา นกศรี รหัสนักศึกษา 58050644
	นางสาวอุมาภรณ์ ชะเอม รหัสนักศึกษา 58050704
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)
ภาควิชา	เคมี
ปีการศึกษา	2561
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย

บทคัดย่อ

โครงงานพิเศษเล่มนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในตะกอนน้ำเสียอุตสาหกรรมด้วยการหมักแบบไม่ใช้อากาศ โดยตะกอนน้ำเสียอุตสาหกรรมมีค่าซีโอดีเริ่มต้นประมาณ 40,000 mg/L จึงต้องทำการเจือจางโดยแบ่งชุดการทดลองเพื่อศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์เป็น 6 ชุด ประกอบด้วยชุดการทดลองที่มีอัตราส่วนตะกอนน้ำเสียอุตสาหกรรมต่อน้ำกลั่นเป็น 1:1 ,1:2 ,1:5 ,1:10 และเติมหัวเชื้อจุลินทรีย์(จากน้ำเสียชุมชน) 1% และ 2% ผลการทดลองที่ได้ คือ อัตราการเจือจาง 1:1 มีค่ายีลด์เท่ากับ 0.18 เมื่อทำการเติมหัวเชื้อจุลินทรีย์ 1% และ 2% จะทำให้มีค่ายีลด์เพิ่มขึ้นเป็น 0.39 และ 0.65 ตามลำดับจึงเลือกอัตราการเจือจางที่ 1:1, 1:1+1% และ 1:1+2% มาทำการทดลองในถังหมักแบบไม่ใช้อากาศขนาด 2 ลิตร ใช้ระยะเวลาในการหมักประมาณ 15 วัน และทุกๆ 5 วันจะทำการดึงตัวอย่างมาวิเคราะห์ค่า ซีโอดีทั้งหมด (TCOD) ซีโอดีละลายน้ำ(SCOD) และซีโอดีของตะกอนจุลินทรีย์(CellCOD) และบันทึกปริมาตรแก๊สสะสมในแต่ละวันพบว่าที่อัตราการเจือจาง 1:1 มีปริมาณแก๊สสะสม 310 ml ที่ 1:1+1% และ 1:1+2% มีปริมาณแก๊สสะสมเท่ากับ 920 ml และ 1,060 ml ตามลำดับ เมื่อนำผลที่ได้จากการทดลองคำนวณหาอัตราการผลิตแก๊สชีวภาพต่อปริมาณสารอาหารในรูปซีโอดีในถังหมักที่อัตราการเจือจาง 1:1 มีค่าเท่ากับ 188 ml/gCOD, ที่ 1:1+1% มีค่าเท่ากับ 361 ml/gCOD และที่ 1:1+2% มีค่าเท่ากับ 495 ml/gCOD ซึ่งมีอัตราการผลิตแก๊สชีวภาพต่อปริมาณสารอาหารในรูปซีโอดีสูงที่สุด

คำสำคัญ : ตะกอนน้ำเสียอุตสาหกรรม สัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ถังหมักแบบไม่ใช้อากาศ ปริมาณแก๊สสะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	GROWTH COEFFICIENCY OF MICROOGANISMS IN INDUSTRIAL WASTEWATER SLUDGE USING ANAEROBIC REACTOR
Students	MISS Sirinat Kittipaswarit Student ID 58050588
	MISS Primprapa Noksri Student ID 58050634
	MISS Umaporn Cha-aim Student ID 58050641
Degree	BACHELOR OF SCIENCE (ENVIRONMENTAL CHEMISTRY)
Department	CHEMISTRY
Faculty	SCIENCE
Academic Year	2018
Advisor	Asst.Prof. Pitsamai Chairat-utai

Abstract

This special project objective is to study the growth coefficient of microorganisms in industrial wastewater by using anaerobic reactor. The industrial wastewater has initial COD values estimated to 40,000 mg / L. and will be diluted by dividing into 6 experimental sets to determine the optimal ratio for the growth of microorganisms. The 6 experimental sets have industrial wastewater sludge ratio equal to 1:1 ,1:2 ,1:5 ,1:10 respectively, and added 1% and 2% of seeding (from the community wastewater). The dilution results show that the 1:1 dilution yield was 0.18. When 1% and 2% were added, the yields increased to 0.39 and 0.65 respectively. Dilution rates of 1:1, 1:1 + 1% and 1:1 + 2% were used in 2L fermentation tanks. The fermentation time was about 15 days and samples were extracted to analyze TCOD, SCOD and CellCOD value on every 5 days. The daily accumulated gas volume for a 1:1 dilution was recorded at 310 ml; while for 1:1+1% and 1:1+2%, the accumulated gas content was 920 ml and 1,060 ml. The biogas production rate are recorded as follow: for 1:1 dilution the rate is 188 ml / gCOD; for 1: 1 + 1% the rate is 361 ml/gCOD, and for 1:1+2% the rate is 495 ml/gCOD.

Keywords: Industrial wastewater sludge, Growth coefficient of microorganisms, Anaerobic reactor, Gas accumulation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานพิเศษฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างดีด้วยความช่วยเหลือจากบุคคลหลายฝ่ายด้วยกัน จึงขอขอบพระคุณทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือ

ขอขอบพระคุณ ผศ. พิสมัย ชัยรัตนอุทัย ที่กรุณาให้คำปรึกษาและคำแนะนำ ตลอดจนให้ความช่วยเหลือต่างๆ ในการดำเนินงานโครงงานพิเศษนี้มาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร. สุวรรณี จรรยาพูน และ ดร. กลิ่นสุคนธ์ สุวรรณรัตน์ อาจารย์ภาควิชาเคมีคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้คำแนะนำ และช่วยตรวจสอบเพื่อเพิ่มความสมบูรณ์ให้กับโครงงานพิเศษฉบับนี้

ขอขอบพระคุณบริษัท โกลบอล ยูทิลิตี้ เซอร์วิส จำกัด หน่วยงานสมุทรสาครหรือกัสโก้ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการนำตะกอนน้ำเสียอุสาหกรรม มาใช้ในการทำงานวิจัยและให้ความสนับสนุนโครงงานวิจัยในครั้งนี้เป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณ โรงควบคุมคุณภาพน้ำ ดินแดง กรุงเทพมหานคร ที่ให้ความอนุเคราะห์หัวเชื้อจุลินทรีย์จากน้ำเสียชุมชน มาใช้การทำงานวิจัยจนสำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ได้ดี

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่วิทยาศาสตร์และเจ้าหน้าที่ฝ่ายธุรการ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาสาสตร์ที่ให้ความร่วมมือและอำนวยความสะดวกตลอดจนโครงงานพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอขอบพระคุณ เพื่อนๆ ในสาขาเคมีสิ่งแวดล้อมทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือเป็นอย่างดี และคอยเป็นกำลังใจมาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อและคุณแม่ ทุกท่านที่ให้กำลังใจและให้การสนับสนุนในทุกๆ เรื่องมาโดยตลอด ทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำโครงงานพิเศษฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากโครงงานพิเศษฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

คณะผู้จัดทำ

สิริณัฏฐ์ กิตติภาสวริทธิ์

ปริมประภา นกศรี

อุมาภรณ์ ชะเอม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูปภาพ	ช
สารบัญคำย่อ	ซ
บทที่ 1 บทนำ	1
ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
วัตถุประสงค์งานวิจัย	2
ขอบเขตงานวิจัย	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 ตะกอนหรือสลัดจ์ (Sludge Treatment)	3
2.2 หลักการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศ	4
2.2.1 ขั้นตอนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ของกระบวนการไม่ใช้อากาศ	4
2.2.2 กราฟการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย (growth curve)	5
2.2.3 จลนพลศาสตร์ของกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศ	6
2.3 การควบคุมการทำงานการบำบัดในถังหมักแบบไม่ใช้อากาศ	8
2.3.1 ช่วงเริ่มต้นเดินระบบ	8
2.3.2 ช่วงเดินระบบ (Operation)	10
2.4 ปัจจัยสภาพแวดล้อมที่มีผลต่อการทำงานของแบคทีเรียสร้างมีเทน	11
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง **หน้า**

บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย.....16

3.1 วัสดุอุปกรณ์และสารเคมี.....16

3.1.1 อุปกรณ์.....16

3.1.2 สารเคมี.....17

3.2 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัย.....18

3.2.1 แหล่งที่มาของตะกอนน้ำเสียอุสาหกรรมและหัวเชื้อจุลินทรีย์.....18

3.2.2 ขั้นตอนการวิจัย.....18

3.2.3 การวิเคราะห์.....21

บทที่ 4 ผลการวิจัย.....22

4.1 ผลการศึกษาลักษณะสมบัติของตะกอนน้ำเสียอุตสาหกรรม.....22

4.2 ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าซีโอดีโดยการหมักแบบไม่ใช้อากาศในขวดดูแรนด์.....23

4.3 การคำนวณหาค่ายีลด์ที่แท้จริง (True growth yield) ของตะกอนจุลินทรีย์.....25

4.4 ปริมาณแก๊สชีวภาพสะสมจากกระบวนการหมักแบบไม่ใช้อากาศ.....27

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....29

5.1 สรุปผลการวิจัย.....29

5.2 ข้อเสนอแนะ.....29

เอกสารอ้างอิง.....31

ภาคผนวก.....33

ภาคผนวก ก.....34

ภาคผนวก ข.....40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

3.1 อัตราส่วนการเจือจางตะกอนน้ำเสียต่อน้ำกลั่น+หัวเชื้อจุลินทรีย์ในแต่ละขวด.....19
3.2 วิธีและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....21
4.1 ลักษณะสมบัติของตะกอนน้ำเสียอุตสาหกรรม.....22
4.2 ลักษณะและสมบัติของหัวเชื้อจุลินทรีย์.....23
4.3 ลักษณะตะกอนน้ำเสียอุตสาหกรรมเริ่มต้นที่ใช้ในทดลองในขวดดูแรนด์.....24
4.4 ค่ายีลด์ที่แท้จริงที่วิเคราะห์ได้.....26
ก-1 ปริมาตรตัวอย่างน้ำและสารเคมีสำหรับหลอดแก้วขนาดมาตรฐาน.....36
ข-1 ข้อมูลดิบชุดตะกอนน้ำเสียจากอุตสาหกรรม : น้ำกลั่น (1:1).....41
ข-2 ข้อมูลดิบชุดตะกอนน้ำเสียจากอุตสาหกรรม : น้ำกลั่น (1:10).....43
ข-3 ข้อมูลดิบชุดตะกอนน้ำเสียจากอุตสาหกรรม : น้ำกลั่น (1:2).....45
ข-4 ข้อมูลดิบชุดตะกอนน้ำเสียจากอุตสาหกรรม : น้ำกลั่น (1:5).....47
ข-5 ข้อมูลดิบชุดตะกอนน้ำเสียจากอุตสาหกรรม : น้ำกลั่น+หัวเชื้อจุลินทรีย์จากน้ำเสียชุมชน (1:1+1%).....49
ข-6 ข้อมูลดิบชุดตะกอนน้ำเสียจากอุตสาหกรรม : น้ำกลั่น+หัวเชื้อจุลินทรีย์จากน้ำเสียชุมชน (1:1+2%).....51
ข-7 ข้อมูลดิบตะกอนน้ำเสียอุตสาหกรรมเริ่มต้นครั้งที่ 1.....52
ข-8 ข้อมูลดิบตะกอนน้ำเสียอุตสาหกรรมเริ่มต้นครั้งที่ 2.....52
ข-9 ข้อมูลดิบตะกอนน้ำเสียอุตสาหกรรมเริ่มต้นครั้งที่ 3.....53
ข-10 ข้อมูลดิบหัวเชื้อจุลินทรีย์เริ่มต้น.....53
ข-11 ผลการวิเคราะห์ในถังหมักแบบไม่ใช้อากาศ(ชุดการทดลองที่ 1:1).....58
ข-12 ผลการวิเคราะห์ในถังหมักแบบไม่ใช้อากาศ(ชุดการทดลองที่ 1:1+1%).....59
ข-13ผลการวิเคราะห์ในถังหมักแบบไม่ใช้อากาศ(ชุดการทดลองที่ 1:1+2%).....60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

รูปที่ **หน้า**

2.1 ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในระบบบำบัดน้ำเสีย....4
2.2 กราฟการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย....6
2.3 อัตราการเกิดปฏิกิริยาที่มีความเข้มข้นสารอาหารต่างๆ จากสมการของโมนอด....7
2.4 ลักษณะของกราฟโมนอดที่มีการชะลอการเจริญเติบโตด้วยซับสเตรท....8
3.1 ก. ตะกอนน้ำเสียอุตสาหกรรม ข.หัวเชื้อจุลินทรีย์....18
3.2 ตัวอย่างการสร้างกราฟแสดงการประมาณค่ายีลด์ของจุลินทรีย์....20
3.3 ถังหมักและการเก็บแก๊สชีวภาพ....20
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าซีโอดีทั้งหมด ค่าซีโอดีละลายน้ำและค่าเซลล์ซีโอดีกับเวลา ในการเกิดปฏิกิริยาทางชีวภาพของทุกๆแบตช์แบบไม่และไม่มีการเติมจุลินทรีย์....24
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแก๊สสะสมต่อเวลา....27
ข-1 ชุดตะกอนน้ำเสียจากอุตสาหกรรม : น้ำกลั่น (1:1)....40
ข-2 ชุดตะกอนน้ำเสียจากอุตสาหกรรม : น้ำกลั่น (1:10)....42
ข-3 ชุดตะกอนน้ำเสียจากอุตสาหกรรม : น้ำกลั่น (1:2)....44
ข-4 ชุดตะกอนน้ำเสียจากอุตสาหกรรม : น้ำกลั่น(1:5)....46
ข-5 ชุดตะกอนน้ำเสียจากอุตสาหกรรม : น้ำกลั่น+หัวเชื้อจุลินทรีย์จากน้ำเสียชุมชน (1:1+1%)....48
ข-6 ชุดตะกอนน้ำเสียจากอุตสาหกรรม : น้ำกลั่น+หัวเชื้อจุลินทรีย์จากน้ำเสียชุมชน (1:1+2%)....50
ข-7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเซลล์ซีโอดีกับค่าซีโอดีละลายน้ำเพื่อการกำหนดค่ายีลด์ของตะกอนจุลินทรีย์ในระบบการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศของชุดการทดลอง 1:1....54
ข-8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเซลล์ซีโอดีกับค่าซีโอดีละลายน้ำเพื่อการกำหนดค่ายีลด์ของตะกอนจุลินทรีย์ในระบบการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศของชุดการทดลอง 1:2....54
ข-9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเซลล์ซีโอดีกับค่าซีโอดีละลายน้ำเพื่อการกำหนดค่ายีลด์ของตะกอนจุลินทรีย์ในระบบการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศของชุดการทดลอง 1:5....55
ข-10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเซลล์ซีโอดีกับค่าซีโอดีละลายน้ำเพื่อการกำหนดค่ายีลด์ของตะกอนจุลินทรีย์ในระบบการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศของชุดการทดลอง 1:10....55
ข-11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเซลล์ซีโอดีกับค่าซีโอดีละลายน้ำเพื่อการกำหนดค่ายีลด์ของตะกอนจุลินทรีย์ในระบบการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศของชุดการทดลอง (1:1+1%)....56
ข-12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเซลล์ซีโอดีกับค่าซีโอดีละลายน้ำเพื่อการกำหนดค่ายีลด์ของตะกอนจุลินทรีย์ในระบบการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศของชุดการทดลอง (1:1+1%)....56

เอกสารนี้ใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของผลงานทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญคำย่อ

คำย่อย	คำอธิบาย
pH	ความเป็นกรดด่าง
TCOD	ซีโอดีทั้งหมด
SCOD	ซีโอดีในรูปของสารละลาย
CellCOD	ซีโอดีในรูปเซลล์จุลินทรีย์
SS	ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด
VSS	ปริมาณของแข็งแขวนลอยในรูปของสารอินทรีย์
Y (Yield)	ผลผลิตของจุลินทรีย์ที่ประเมินจากซับสเตรทที่บริโภค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันประเทศไทยมีการพัฒนาให้เป็นยุคไทยแลนด์ 4.0 ที่เปลี่ยนเศรษฐกิจแบบเดิมให้ไปสู่เศรษฐกิจที่ขับเคลื่อนด้วยนวัตกรรม ทำให้ภาคอุตสาหกรรมมีการนำเอานวัตกรรมสมัยใหม่มาใช้เพื่อเป็นการเพิ่มกำลังการผลิตให้กับสินค้าหรือผลิตภัณฑ์ในองค์กร เมื่อมีการผลิตที่เพิ่มขึ้นสิ่งที่ตามมาก็คือ ของเสียในอุตสาหกรรมก็จะยิ่งมีมากเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ หากไม่มีการจัดการหรือการจัดการที่ถูกต้องก็จะทำให้ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เช่นเกิดมลพิษต่างๆ และยังส่งผลกระทบต่อมนุษย์ได้อีกเช่นกันในการจัดการของเสียจากอุตสาหกรรมนั้นหากต้องการให้มีการจัดการที่ถูกต้อง รวดเร็ว จำเป็นที่จะต้องเสียค่าใช้จ่ายในการกำจัดหรือจัดการซึ่งต้องดำเนินการตามแนวทางการจัดการของเสียตามกฎหมายของกรมโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งของเสียอย่างหนึ่งที่เกิดขึ้นก็คือ น้ำเสียที่เกิดขึ้นจากโรงงานอุตสาหกรรมที่มีวิธีการบำบัดหลายวิธีขึ้นอยู่กับประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม สำหรับโรงงานที่อยู่ในการนิคมอุตสาหกรรม นิยมให้บริษัทเอกชนมาบริหารจัดการ เช่น การนิคมอุตสาหกรรมสมุทรสาคร ได้ให้บริษัท โกลบอล ยูทิลิตี้ เซอร์วิส จำกัด (กัสโก้) ซึ่งเป็นหน่วยงานที่รับบำบัดน้ำเสีย ลักษณะทั่วไปของโรงงานอุตสาหกรรมในการนิคมอุตสาหกรรมสมุทรสาครมีโรงงานที่เกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมอาหารจำนวนมากจึงทำการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบบำบัดแบบแอตทิเวตเตดสลัดจ์ (Activated Sludge) ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายแต่วิธีการนี้จะทำให้มีตะกอนจุลินทรีย์ในระบบจำนวนมากและไม่สามารถปล่อยตะกอนจุลินทรีย์นี้ออกสู่สิ่งแวดล้อมได้ ทำให้ต้องมีการกำจัดตะกอนจุลินทรีย์ก่อน เพื่อไม่ให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสร้างปัญหาให้กับชุมชนรอบข้างซึ่งปัญหาหลักคือส่งกลิ่นรบกวน การจัดการปัญหาที่เกิดขึ้นจึงมีการนำตะกอนที่ผ่านการรีดน้ำออกแล้วไปทำปุ๋ย(กรณีที่ไม่มีโลหะหนักปนเปื้อน) การนำไปฝังกลบ หรือนำไปย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศเพื่อให้ได้แก๊สชีวภาพซึ่งถือเป็นการจัดการกับตะกอนจุลินทรีย์ที่ดีวิธีหนึ่ง

จากปัญหาที่เกิดขึ้นทางคณะผู้จัดทำเห็นว่าควรมีการนำตะกอนจุลินทรีย์ไปใช้ผลิตเป็นแก๊สชีวภาพ ด้วยกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศซึ่งจะทำให้เกิดประโยชน์อย่างมาก สามารถนำผลผลิตที่ได้ไปใช้เป็นพลังงานทดแทน ดังนั้นผู้วิจัยจึงนำตะกอนน้ำเสียอุตสาหกรรมมาศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้เป็นสารอาหารเริ่มต้น (Substrate) ในการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศและศึกษาปริมาณแก๊สชีวภาพที่เกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์งานวิจัย

1. ศึกษาสัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในตะกอนน้ำเสียอุตสาหกรรมด้วยการหมักแบบไม่ใช้อากาศ
2. ศึกษาอัตราส่วนตะกอนน้ำเสียอุตสาหกรรมที่เหมาะสมในการผลิตแก๊สชีวภาพ

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1. ค่าสัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ศึกษา คือ ค่ายีลด์ (Yield,Y)
2. อัตราส่วนตะกอนน้ำเสียอุตสาหกรรมที่ศึกษา คือ 1:1, 1:2, 1:5และ1:10 รวมทั้ง การเติมหัวเชื้อจุลินทรีย์ 1% และ 2%
3. ลักษณะสมบัติน้ำเสียที่ศึกษา ประกอบด้วย pH, TCOD, SCOD, SS, VSS, TKN, TP ตามวิธีมาตรฐาน Standard Method for the Examination of Water and Wastewater (APHA , AWWA , 2017)

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบข้อมูลการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์โดยกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศ
2. ทราบอัตราส่วนตะกอนน้ำเสียอุตสาหกรรมที่เหมาะสมในการผลิตแก๊สชีวภาพ
3. สามารถนำตะกอนน้ำเสียอุตสาหกรรมมาใช้ให้เกิดประโยชน์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

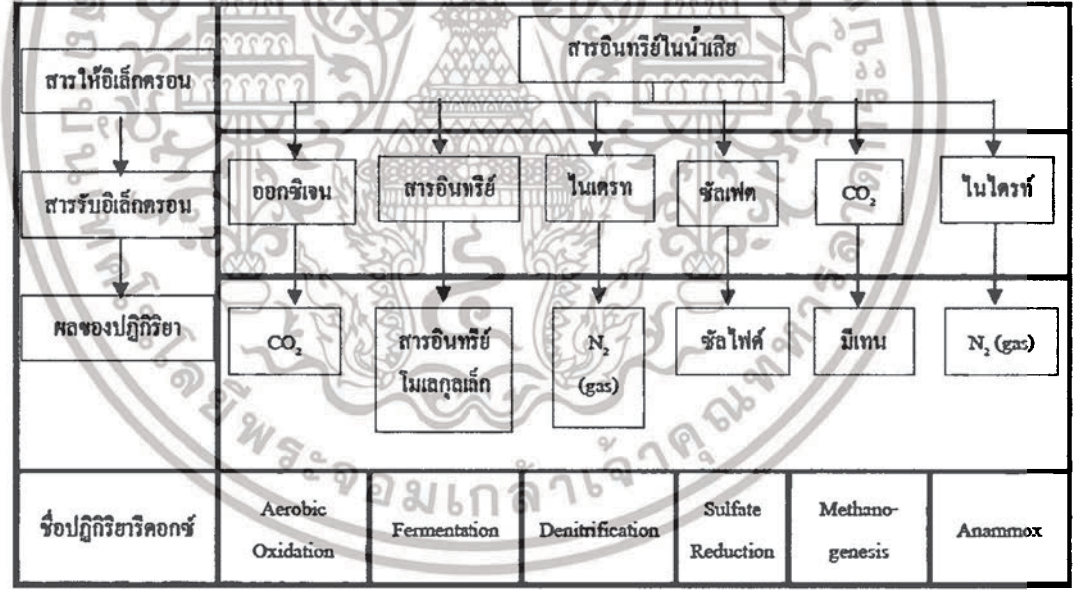
2.1 ตะกอนหรือสลัดจ์ (Sludge Treatment)

คือของแข็งที่แยกออกจากน้ำหรือน้ำเสียและจมตัวสะสมอยู่ด้านล่าง ของแข็งที่เกิดขึ้นเนื่องจากการบำบัดโดยวิธีการทางเคมีและตกตะกอนกลุ่มจุลชีพในระบบบำบัดน้ำเสียแบบชีววิทยาจะเป็นผลพลอยได้จากการบำบัดน้ำเสีย การจัดการแก้ปัญหาตะกอนมีหลายวิธีขึ้นกับลักษณะของตะกอน โดยปกติแล้วจะมีการใช้ประโยชน์เป็นปุ๋ยสำหรับพื้นที่เพาะปลูก(กรณีไม่มีสารปนเปื้อน) หรือนำไปฝังกลบบริเวณที่ทิ้งขยะรวมทั้งการนำไปเผาในสถานที่ทำงานหรือพื้นที่ภายนอก สำหรับตะกอนจุลินทรีย์หรือสลัดจ์จากระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้หลักการทางชีวภาพจะมีตะกอนจุลินทรีย์หรือสลัดจ์เป็นผลผลิตตามมาด้วยเสมอ ซึ่งเป็นผลจากการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ดังนั้นจึงจำเป็นต้องบำบัดสลัดจ์เหล่านั้น เพื่อไม่ให้เกิดปัญหาการเน่าเหม็นของสลัดจ์ที่เป็นการเพิ่มภาวะมลพิษ และยังเพิ่มปริมาณเชื้อโรคด้วย นอกจากนี้การลดปริมาตรของสลัดจ์โดยการกำจัดน้ำออกจากสลัดจ์ ช่วยให้เกิดความสะดวกในการเก็บขนไปกำจัดทิ้งหรือนำไปใช้ประโยชน์อื่นๆ ทั้งนี้ในการบำบัดสลัดจ์ประกอบด้วยกระบวนการหลักๆได้แก่ การทำข้น (Thickener) โดยใช้ถังทำข้นซึ่งมีทั้งที่ใช้กลไกการตกตะกอน (Sedimentation) และใช้กลไกการลอยตัว (Floatation) ทำหน้าที่ในการลดปริมาณสลัดจ์ก่อนส่งไปบำบัดโดยวิธีการอื่นต่อไป การทำให้สลัดจ์คงตัว(Stabilization)โดยการย่อยสลัดจ์ด้วยกระบวนการใช้อากาศ หรือกระบวนการไม่ใช้อากาศ เพื่อทำหน้าที่ในการลดสารอินทรีย์ในสลัดจ์ ทำให้สลัดจ์คงตัวสามารถนำไปทิ้งได้โดยไม่เน่าเหม็น จากนั้นคือการปรับสภาพสลัดจ์ (Conditioning) เพื่อทำให้สลัดจ์มีความเหมาะสมกับการนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป เช่น ทำปุ๋ย การใช้ปรับสภาพดินสำหรับใช้ทางการเกษตร เป็นต้น ขั้นตอนสุดท้ายคือ การรีดน้ำ (Dewatering) เพื่อลดปริมาณสลัดจ์ที่จะนำไปทิ้งโดยการฝังกลบ การเผา หรือนำไปใช้ประโยชน์อื่น ซึ่งทำให้เกิดความสะดวกในการขนส่งโดยอุปกรณ์ที่ใช้ในการรีดน้ำได้แก่ เครื่องกรองสูญญากาศ (Vacuum filter) เครื่องอัดกรอง (Filter press) หรือเครื่องกรองหมุนเหวี่ยง (Centrifuge) รวมถึงการตากสลัดจ์ (Sludge drying bed) (กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติ,2561)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 หลักการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศ

ปฏิกิริยาทั่วไปในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียมีพื้นฐานเดียวกันคือเป็นปฏิกิริยาเคมีแบบ ออกซิเดชัน - รีดักชัน(oxidation-reduction)หรือรีดอกซ์ ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่มีการถ่ายเทอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นระหว่างสารที่ให้อิเล็กตรอนและสารที่รับอิเล็กตรอนสารอินทรีย์หรือมลสารในน้ำเสียจะเป็นสารที่ให้อิเล็กตรอนซึ่งถ้าสารรับอิเล็กตรอนเป็นสารอื่น เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ ไนเตรทหรือซัลเฟต โดยอาศัยจุลินทรีย์ชนิดที่ไม่ใช้ออกซิเจน(Anaerobic - Bacteria) จะย่อยสลายดูดซับ เปลี่ยนรูปของมวลสารต่างๆที่มีอยู่ในน้ำเสียให้มีค่าความสกปรกน้อยลง มวลสารที่มีอยู่ในน้ำเสียจะถูกเปลี่ยนไปเป็นจุลินทรีย์เซลล์ใหม่ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ แก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ และแก๊สมีเทน เนื่องจากปฏิกิริยาชีวเคมีที่เกิดขึ้นในการบำบัดแบบไม่ใช้อากาศจะได้พลังงานน้อย เซลล์ของจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นใหม่จึงมีจำนวนไม่มากเมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการที่ใช้อากาศ ส่วนแก๊สมีเทนที่เกิดขึ้นสามารถนำไปใช้ประโยชน์เป็นเชื้อเพลิงได้ซึ่งเรียกว่าแก๊สชีวภาพ (Biogas) ดังแผนผังที่ 2.1 (มั่นสิน ตัณฑุลเวศน์ , 2542)



รูปที่ 2.1 ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในระบบบำบัดน้ำเสีย (ที่มา: มั่นสิน ตัณฑุลเวศน์, 2542)

2.2.1 ขั้นตอนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ของกระบวนการไม่ใช้อากาศ

กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้อากาศเกิดขึ้น 4 ขั้นตอนตามลำดับ ดังนี้ (มั่นสิน ตัณฑุลเวศน์, 2546)

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. การไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) เป็นการย่อยสลายสารประกอบโมเลกุลใหญ่ เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน ให้กลายเป็นสารประกอบโมเลกุลเล็ก เช่น น้ำตาลกลูโคส กรดอะมิโน กรดไขมัน ขั้นตอนนี้เกิดขึ้นภายนอกเซลล์โดยเอนไซม์ของแบคทีเรียที่ปล่อยออกมาในขั้นตอนนี้ยังไม่มีการลดค่าซีโอดี

2. การสร้างกรด (Acidgenesis) ผลผลิตจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสขั้นตอนที่ 1 จะถูกแบคทีเรียพวกสร้างกรดนำไปใช้เพื่อผลิตกรดไขมันระเหยง่าย (Volatile Fatty Acid : VFA) เช่น กรดแอซีติก กรดโพรไพโอนิก กรดบิวไทริก เป็นต้น ซึ่งเป็นกรดอินทรีย์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำและมีค่าคาร์บอนอะตอมไม่เกิน 5 ตัว

3. การสร้างกรดแอซีติกจากกรดไขมันระเหย (Acetogenesis) กรดไขมันระเหยที่ได้จากการสร้างกรดจะถูกแบคทีเรียอะซีโตจีนิก (Acetogenic Bacteria) เปลี่ยนให้เป็นกรดแอซีติก กรดฟอร์มิก แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และแก๊สไฮโดรเจน ซึ่งเป็นส่วนประกอบสำคัญในการสร้างแก๊สมีเทน ปฏิกิริยานี้มีความสำคัญเนื่องจากเป็นการลดการสะสมของกรดไขมันระเหย ซึ่งการสะสมของกรดไขมันระเหยในปริมาณที่สูงสามารถยับยั้งกระบวนการสร้างมีเทนได้

4. การสร้างแก๊สมีเทน (Methanogenesis) กรดแอซีติก กรดฟอร์มิก แก๊สไฮโดรเจน และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเป็นผลจากปฏิกิริยาของแบคทีเรียที่สร้างกรด จะถูกแบคทีเรียสร้างมีเทน (Methanogenic Becteria) นำไปใช้ในการผลิตแก๊สมีเทนต่อไป

2.2.2 กราฟการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย (growth curve)

การศึกษาการเจริญเติบโตของแบคทีเรียในอาหารเลี้ยงเชื้อ จะสามารถเพิ่มจำนวนได้ที่ระยะเวลาต่างๆ เมื่อนำมาข้อมูลมาเขียนกราฟปริมาณเชื้อเทียบกับเวลา สามารถแบ่งกราฟการเจริญเติบโตได้เป็น 4 ช่วง(อัจฉรา จันทร์ฉาย, 2550) ดังรูปที่ 2.2 คือ

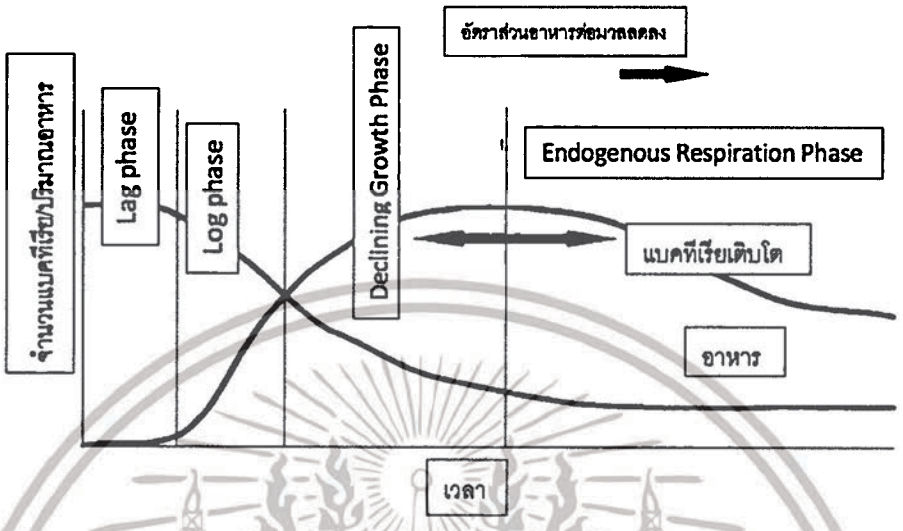
1. Lag phase เป็นระยะที่มีการปรับตัวเข้ากับสิ่งแวดล้อมใหม่ ช่วงนี้แบคทีเรียจะยังไม่เพิ่มจำนวน ไม่แบ่งเซลล์แต่เซลล์จะเตรียมพร้อมสำหรับการเจริญเติบโตมีการสังเคราะห์โพรโทพลาสซึม (protoplasm) ใหม่รวมทั้งเอนไซม์ ดีเอ็นเอ และอาร์เอ็นเอเพื่อใช้ในกระบวนการทางชีวเคมี

2. Log phase หรือ Exponential phase เป็นระยะที่แบคทีเรียมีการแบ่งตัวอย่างรวดเร็วในอัตราคงที่ การแบ่งเซลล์แต่ละครั้งใช้เวลาเท่ากัน ระยะนี้จะมีการเจริญเติบโตมากที่สุด สารอาหารจะถูกใช้ไปอย่างมากและรวดเร็ว และแบคทีเรียจะมีการเพิ่มจำนวนเป็น 2 เท่า

3. Stationary phase หรือ Decline phase เป็นระยะที่แบคทีเรียมีจำนวนสูงสุดและคงที่ไม่มีการเพิ่มจำนวนอีก เนื่องจากอาหารถูกใช้ไปจนเกือบหมด และมีการขับของเสียที่เป็นพิษจากกระบวนการเมทาบอลิซึม (metabolism)

เอกสารนี้ ... ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. Death phase แบคทีเรียจะมีการตายอย่างรวดเร็ว การตายเกิดเนื่องจากอาหารที่ใช้เลี้ยงเซลล์หมดไป และเกิดการสะสมของเสียและสารพิษจากกระบวนการเมทาบอลิซึม



รูปที่ 2.2 กราฟการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย (ที่มา: Thai Nurse Club, 2018)

2.2.3 จลนพลศาสตร์ของกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศ

ในการวิเคราะห์กระบวนการของระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศด้วยการใช้ทฤษฎีจลนพลศาสตร์และทฤษฎีมวลสมดุลมาใช้วิเคราะห์ร่วมกัน ซึ่งการวิเคราะห์มีหลายท่านได้เสนอวิธีวิเคราะห์ระบบดังกล่าว โดยหลักการแล้วต้องพิจารณาถึงขั้นตอนการบำบัดน้ำเสียที่มีตั้งแต่ ไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) ขั้นตอนสร้างกรด (Acid Formation) และขั้นตอนสร้างมีเทน (Methane Formation) เพราะแต่ละขั้นตอนจะมีอัตราเร็วของปฏิกิริยาชีวเคมี และค่าคงที่ปฏิกิริยาแตกต่างกัน ดังนั้นจำเป็นต้องพิจารณาแยกกันเพื่อจะได้สมการจลนพลศาสตร์ ของระบบให้ได้ผลใกล้เคียงความเป็นจริงที่สุด แต่หลายท่านได้พิจารณาถึงขั้นตอนปฏิกิริยาเพียงสองขั้นตอนคือ ขั้นตอนสร้างกรด (Acid Fermentation Stage) และขั้นตอนสร้างมีเทน (Methane Fermentation Stage) และยังมีอีกหลายท่านได้เสนอวิธีวิเคราะห์แบบคิดรวมทั้งระบบ

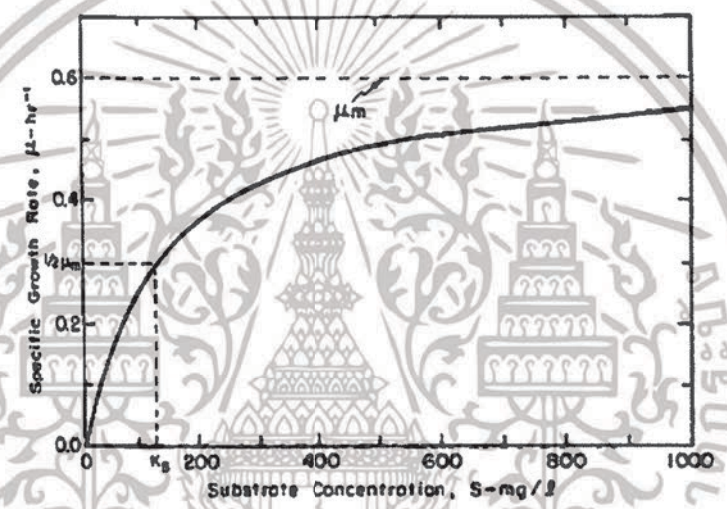
อนึ่งวิธีวิเคราะห์ที่จะได้แสดงไว้นี้จะมีหลายรูปแบบ แต่สุดท้ายก็ได้ผลลัพธ์ใกล้เคียงกันในการวิเคราะห์หลายรูปแบบจะช่วยให้ผู้ศึกษาได้เข้าใจลึกซึ้งยิ่งขึ้นจะได้เข้าใจถึงพฤติกรรมของระบบบำบัดได้อย่างชัดเจน (ดร.เกรียงศักดิ์, 2543)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. **การวิเคราะห์จลนพลศาสตร์ของการบำบัดน้ำเสียและของการเจริญเติบโตจุลชีพด้วยสมการของโมนอด (Monod Equation)** โมนอดได้สร้างสมการที่ใช้แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง S และ μ ดังสมการ 2.11 ดังนี้

$$u = \frac{1}{x} r_{cx} = \frac{u_m \cdot S}{K_s + S} \qquad (2.1)$$

สมการนี้จึงเรียกว่าเป็น สมการของโมนอด ปัจจุบันสมการโมนอดถือได้ว่าเป็นจุดเริ่มต้นทางจลนศาสตร์ของระบบชีวเคมีที่มีแบคทีเรียเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในปฏิกิริยาที่มีการเปลี่ยนรูปของสารอินทรีย์



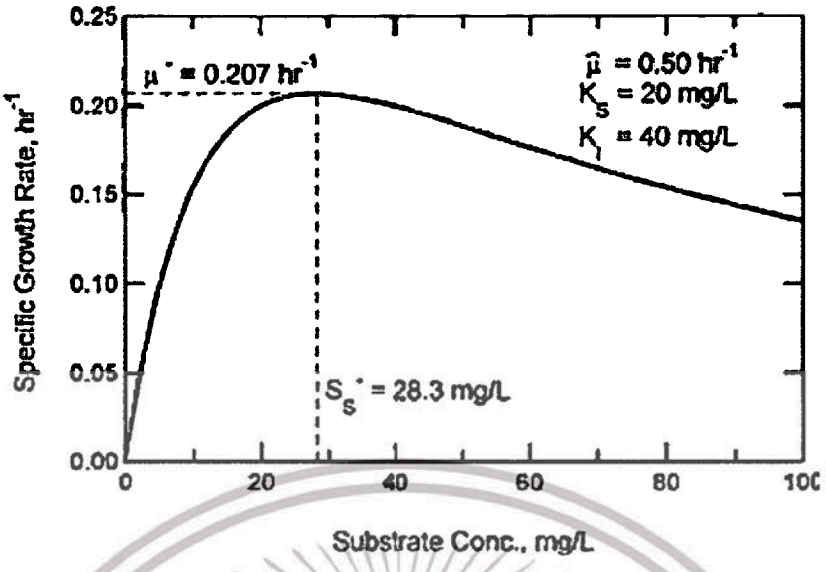
รูปที่ 2.3 อัตราการเกิดปฏิกิริยาที่มีความเข้มข้นสารอาหารต่างๆจากสมการของโมนอด ที่มา Grady และ Lim (1980)

กราฟที่ได้จากสมการโมนอดจะมีลักษณะดังรูป 2.3 เมื่อหาค่าของ μ ในกราฟได้สามารถประมาณค่า K_s โดย K_s เท่ากับความเข้มข้น (S) ที่ทำให้ได้ค่า $\mu = \mu_m/2$

เนื่องจากซับสเตรทบางชนิดที่เมื่อความเข้มข้นสูงขึ้น จะไปจับกับสารประกอบเชิงซ้อนของเอนไซน์กับซับสเตรทได้ดีกว่าเอนไซม์อิสระภายในเซลล์ของจุลินทรีย์ ทำให้การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ถูกยับยั้งหรือเป็นการชะลอการเจริญเติบโต ซึ่งในสมการโมนอดแบบธรรมดาไม่สามารถใช้อธิบายในกรณีเช่นนี้ได้ จึงมีการพัฒนาเป็นกราฟโมนอดแบบที่ชะลอการเจริญเติบโตด้วยซับสเตรท

$$\mu = \frac{\mu_m S}{\left(K_s + S + S^2\right) K_I} \quad \text{โดยที่ } K_I \text{ สัมประสิทธิ์การชะลอตัว} \qquad (2.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 ลักษณะของกราฟโมนอดที่มีการชะลอการเจริญเติบโตด้วยซับสเตรท

ที่มา: Grady และ คณะ,(1999)

จะเห็นได้ว่าเมื่อ K_Iมีค่ามากๆ สมการนี้จะกลายเป็นสมการโมนอดแบบธรรมดานั่นคือซับสเตรทที่มีผลในการชะลอการเจริญเติบโตได้มากจะมีค่า K_I ต่ำ ซับสเตรทที่มีผลน้อยกว่าจะมีค่า K_I สูง

ในกรณีเช่นนี้ทำให้ไม่สามารถหาค่า μ_m ได้จากการทดลอง และค่า K_s จึงเป็นค่าที่หาได้อย่างไม่แม่นยำนักค่า μ สูงสุดของกราฟในรูป จึงเป็นค่า μ ซึ่งได้จากการทดลอง

$$\mu' = \frac{\mu_m}{\left[2\left(K_s / K_I\right)^{0.5} + 1\right]} \qquad (2.3)$$

และ
$$S' = \left(K_s / K_I\right)^{0.5} \qquad (2.4)$$

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

สมการของโมนอด จึงเป็นสมการพื้นฐานในการวิเคราะห์ค่าจลนพลศาสตร์ที่ได้รับการยอมรับและนิยมใช้ในงานวิจัยอื่นๆมากมาย อีกทั้งยังเป็นสมการพื้นฐานที่ใช้ในการพัฒนาสมการอื่นๆ โดยค่าตัวแปรที่นิยมนำมาศึกษา ได้แก่ ค่าคงที่อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุด (Maximum specific growth rate, μ_m) และ ค่าคงที่การอิ่มตัว (Half saturation constant: K_s)

2.3 การควบคุมการทำงานการบำบัดในถังหมักแบบไม่ใช้อากาศ

2.3.1 ช่วงเริ่มต้นเดินระบบ

ในการเริ่มต้นเดินระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศนั้น คุณภาพและปริมาณของเชื้อจุลินทรีย์ที่นำมาใช้ในระบบบำบัดมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง เชื้อจุลินทรีย์ที่นำมาใช้ควรมาจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศที่มีลักษณะและองค์ประกอบใกล้เคียงกันกับน้ำเสียที่ต้องการบำบัด ซึ่งทำให้เชื้อจุลินทรีย์สามารถปรับสภาพเข้ากับน้ำเสียชนิดใหม่ที่ป้อนเข้าสู่ระบบบำบัดได้อย่างรวดเร็วและสามารถทนต่อสารที่เป็นพิษหรือสารที่ยับยั้งการเจริญเติบโตที่มีอยู่ในน้ำเสียได้ หากไม่สามารถหาได้ก็สามารถใช้

เอกสารนี้ ... ไม่ว่ากรณี ...

มูลสัตว์ต่างๆ เช่น มูลโค มูลสุกร เป็นต้น ซึ่งอาจจะต้องใช้ระยะเวลาในการเริ่มต้นเดินระบบนานกว่าวิธีการนำเชื้อจุลินทรีย์ที่ได้จากระบบบำบัดน้ำเสีย ที่มีลักษณะและองค์ประกอบใกล้เคียงกันกับน้ำเสียที่เราต้องการบำบัดมาใช้ นอกจากนั้นแล้วปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ที่ใส่ลงในบ่อบำบัดในช่วงเริ่มต้นเดินระบบบำบัดก็มีความสำคัญเช่นเดียวกัน ซึ่งอาจต้องเติมเชื้อจุลินทรีย์เข้าไปในระบบบำบัดอย่างต่อเนื่องหรือควรเติมเชื้อจุลินทรีย์เมื่อเริ่มต้นเดินระบบให้มีปริมาณมากๆ หรือทำการวนเชื้อจุลินทรีย์กลับเข้าสู่บ่อบำบัดให้เพียงพอ เพื่อย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ระบบบำบัด ซึ่งจะสามารถช่วยลดระยะเวลาที่ใช้ในการเริ่มต้นเดินระบบให้ลดลงได้ ลักษณะและองค์ประกอบของน้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ระบบบำบัดมีความสำคัญต่อการทำงานของเชื้อจุลินทรีย์ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียและการผลิตแก๊สชีวภาพเป็นอย่างมาก โดยมีผลต่อการเพิ่มกิจกรรมหรือยับยั้งกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่อยู่ในระบบ หากน้ำเสียนั้นมีองค์ประกอบเป็นสารอินทรีย์ที่จุลินทรีย์ สามารถย่อยสลายได้ดีก็จะทำให้มีอัตราการผลิตแก๊สชีวภาพสูง ทำให้ได้ปริมาณแก๊สชีวภาพของระบบบำบัดเกิดขึ้นมากแต่ถ้าน้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ระบบนั้นมีองค์ประกอบเป็นพวกที่ย่อยสลายได้ยาก หรือมีสารพิษและโลหะหนักที่เป็นอันตรายต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียก็จะทำให้มีอัตราการผลิตแก๊สชีวภาพเกิดขึ้นน้อยเช่นเดียวกัน นอกจากนี้แล้วปัจจัยธาตุอาหารยังมีความสำคัญในการเจริญเติบโต โดยธาตุอาหารที่มีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ได้แก่ ไนโตรเจน (N) และฟอสฟอรัส (P) รวมถึงธาตุอาหารอื่นๆ (Trace element) ที่มีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์กลุ่มผลิตมีเทนด้วย แต่มีความต้องการในปริมาณที่น้อย เช่น นิเกิล (NI) โคบอลท์ (Co) เหล็ก (Fe) สังกะสี (Zn) ทองแดง (Cu) แมกซีเซียม (Mg) แคลเซียม (Ca) โบรอน (B) เซลีเนียม (Se) ซัลเฟอร์ (S) โปแตสเซียม (K) และ โมดิบดีเนต (Mo) เป็นต้น

การป้อนสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ มีความสำคัญมากโดยเฉพาะในช่วงการเริ่มต้นระบบ ปริมาณสารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าสู่ระบบในช่วงการเริ่มต้นระบบควรมีการป้อนสารอาหารให้เหมาะสมกับจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ที่มีอยู่ภายในระบบบำบัด ทั้งนี้ก็เพื่อให้เกิดความสมดุลระหว่างจุลินทรีย์ทั้ง 2 กลุ่ม ได้แก่ จุลินทรีย์กลุ่มผลิตกรดกับจุลินทรีย์กลุ่มผลิตมีเทน เนื่องจากในการย่อยสลายสารอินทรีย์ไปเป็นแก๊สชีวภาพนั้นต้องอาศัยการทำงานร่วมกันของจุลินทรีย์ทั้ง 2 กลุ่ม ซึ่งจะต้องมีสัดส่วนที่พอดีกัน ถ้ามีปริมาณจุลินทรีย์กลุ่มผลิตกรดสูงกว่า มักทำให้เกิดการสะสมของกรดอินทรีย์ระเหยง่ายและแก๊สชีวภาพที่ได้มักมีองค์ประกอบเป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในปริมาณที่สูง ดังนั้น การเติมสารอินทรีย์ในช่วงเริ่มต้นระบบจึงมีความสำคัญต่อสมดุลของจุลินทรีย์ทั้งสองกลุ่ม การเติมสารอินทรีย์ในช่วงเริ่มต้นระบบในระยะแรกๆ ควรมีการเติมสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบอย่างช้าๆ เพื่อเป็นการปรับสมดุลให้กับระบบให้สามารถรักษาสมดุลของจุลินทรีย์ทั้งสองกลุ่มในระบบไว้ได้ และ

เอกสารนี้ ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำให้ระบบบำบัดสามารถรับภาระการเติมสารอินทรีย์ในระดับที่สูงในระยะเวลาต่อมาได้ดียิ่งขึ้น แต่ถ้ามีการเพิ่มสารอินทรีย์อย่างรวดเร็วเกินไปก็จะทำให้ปริมาณของจุลินทรีย์กลุ่มผลิตกรดที่สามารถเจริญเติบโตได้ดีกว่ามีจำนวนมากกว่าจุลินทรีย์กลุ่มผลิตมีเทนมาก จึงทำให้เกิดกรดอินทรีย์ระเหยง่ายขึ้นในระบบจำนวนมาก จุลินทรีย์กลุ่มผลิตมีเทนจะเจริญเติบโตได้ช้ากว่าไม่สามารถใช้กรดอินทรีย์ระเหยง่ายที่เกิดขึ้นได้ทัน ทำให้เกิดการสะสมของกรดอินทรีย์ระเหยง่ายขึ้นในระบบ เป็นผลให้ค่าความเป็นกรด-ด่าง ในระบบลดต่ำลง จนไม่เหมาะสมต่อการทำงานของจุลินทรีย์กลุ่มผลิตมีเทน ในที่สุดก็จะทำให้ระบบล้มเหลวได้

2.3.2 ช่วงเดินระบบ (Operation)

ในการตรวจสอบการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศในขณะเดินระบบนั้น มีปัจจัยสำคัญ ที่จำเป็นในการตรวจสอบและดูแลระบบให้สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนี้คือ

1. อัตราการผลิตแก๊สมีเทนและองค์ประกอบแก๊สชีวภาพ

อัตราการผลิตแก๊สมีเทนทำให้ทราบถึงความสามารถของเชื้อจุลินทรีย์และประสิทธิภาพของระบบบำบัด การเปลี่ยนแปลงของอัตราการผลิตแก๊สมีเทนมีความสำคัญมาก เนื่องจากเป็นตัวแปรที่สามารถบอกได้ว่า เกิดความผิดปกติกับจุลินทรีย์กลุ่มผลิตมีเทนหากพบว่า อัตราการผลิตแก๊สมีเทนลดลงจุลินทรีย์กลุ่มผลิตมีเทนอาจถูกยับยั้งการทำงาน และในองค์ประกอบของแก๊สชีวภาพควรมีแก๊สมีเทนในช่วง 60-65% ซึ่งจากทฤษฎีแล้วใน การผลิตแก๊สมีเทนที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสนั้น จะได้แก๊สมีเทน 0.35 ลูกบาศก์เมตร/กิโลกรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด

2. ประสิทธิภาพการกำจัดค่าซีโอดี (COD)

ประสิทธิภาพการกำจัดค่าซีโอดี ทำให้ทราบถึงความสามารถของเชื้อจุลินทรีย์ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย โดยปกติแล้วกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศจะสามารถลดค่าซีโอดีได้ หากพบว่าในระบบบำบัดมีประสิทธิภาพการกำจัดค่าซีโอดีลดลงเรื่อยๆและน้อยกว่าร้อยละ 70 แสดงว่าระบบเริ่มมีปัญหาเกิดขึ้น ซึ่งอาจเกิดจากสภาวะแวดล้อมในระบบบำบัดไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ ทำให้การย่อยสลายสารอินทรีย์เกิดขึ้นต่ำ ทั้งนี้ในระบบบำบัดที่ดีควรมีประสิทธิภาพการกำจัดค่าซีโอดีมากกว่าร้อยละ 85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4. ปัจจัยสภาพแวดล้อมที่มีผลต่อการทำงานของแบคทีเรียสร้างมีเทน

(กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2553)

1. อุณหภูมิในการเดินระบบ (operating temperature) แบคทีเรียกลุ่มเมทาโนเจน ไม่สามารถทนต่ออุณหภูมิที่ต่ำมากหรือสูงมากได้ ถ้าหากอุณหภูมิลดลงต่ำกว่า10°C แบคทีเรียจะหยุดทำงาน โดยอุณหภูมิในการเดินระบบแบ่งเป็นสองระดับตามสปีชีส์ของเมทาโนเจน ได้แก่ เมโซฟิลิก (Mesophilic) และเทอร์โมฟิลิก (Thermophilic) และอุณหภูมิที่เหมาะที่เมโซฟิลิก ทำงานได้ดีคือประมาณ 20-45°Cแต่ที่เหมาะสมที่สุดคือช่วง 37- 41°C โดยในช่วงอุณหภูมิระดับนี้แบคทีเรียส่วนใหญ่ในถังหมักจะเป็นเมโซฟิลิกสำหรับเทอร์โมฟิลิกทำงานได้ดีในช่วงอุณหภูมิที่สูงกว่าโดยอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดคือประมาณ 50– 52 °C แต่ก็สามารถทำงานในอุณหภูมิที่สูงขึ้นไปถึง 70 °C

แบคทีเรียเมโซฟิลิกนั้นมีจำนวนสปีชีส์มากกว่าเทอร์โมฟิลิกนอกจากนี้ยังสามารถทนต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมได้ดีกว่าเทอร์โมฟิลิกอีกด้วยทำให้ระบบหมักแก๊สชีวภาพที่ใช้เมโซฟิลิกเสถียรกว่า แต่ขณะเดียวกันอุณหภูมิซึ่งสูงกว่าในระบบที่ใช้เทอร์โมฟิลิกก็เป็นการช่วยเร่งปฏิกิริยาส่งผลให้อัตราการผลิตแก๊สสูงกว่า ข้อเสียอีกข้อของระบบเทอร์โมฟิลิกคือการที่ต้องใช้พลังงานจากภายนอกมาเพิ่มความร้อนให้ระบบทำให้อาจได้พลังงานสุทธิที่ต่ำกว่า

2. ความเป็นกรด-ด่าง (pH Value) ค่าพีเอช ที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตแก๊สชีวภาพคือระหว่าง 7.0 – 7.2 ค่าพีเอชในถังหมักขึ้นอยู่กับช่วงของการหมักด้วย เพราะในช่วงแรกแบคทีเรียที่สร้างกรดจะสร้างกรดเป็นจำนวนมากและทำให้ค่าพีเอชลดลง ซึ่งถ้าหากพีเอชลดลงต่ำกว่า 5 ก็จะหยุดกระบวนการย่อยและหมักทั้งหมด หรืออีกนัยหนึ่งก็คือแบคทีเรียตายเนื่องจากแบคทีเรียกลุ่ม Methanogen นั้นอ่อนไหวต่อความเป็นกรดด่างมากและจะไม่เจริญเติบโตหากพีเอชต่ำกว่า 6.5 ในช่วงท้ายของกระบวนการความเข้มข้นของแอมโมเนียจะมากขึ้นตามการย่อยสลายไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้นซึ่งจะส่งผลให้ค่าพีเอชเพิ่มโดยอาจเกิน 8 จนกระทั่งระบบผลิตเริ่มมีความเสถียรพีเอชจะลดลงอยู่ระหว่าง 6.8 – 8.0

3. อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N Ratio) อัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนของสารอินทรีย์ที่สามารถใช้ผลิตแก๊สชีวภาพคือตั้งแต่ 8– 30 แต่อัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการผลิตแก๊สชีวภาพคือประมาณ 23 ถ้าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน สูงมาก ไนโตรเจนจะถูกแบคทีเรียเมทาโนเจนนำไปใช้เพื่อเสริมโปรตีนให้ตัวเองและจะหมดอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้ได้แก๊สน้อย แต่ถ้าหากC/N Ratio ต่ำมากๆจะทำให้ไนโตรเจนมีมากและไปเกาะกันเป็นแอมโมเนีย แอมโมเนียจะไปเพิ่มค่าพีเอชซึ่งถ้าหากค่าพีเอชสูงถึง8.5ก็จะเริ่มเป็นพิษกับแบคทีเรียเมทาโนเจน นอกจากนี้หาก C/N ratio อยู่นอกเหนือจากช่วง 8-30 จะทำให้มีสัดส่วนปริมาณแก๊สที่ได้เป็นแก๊สอื่นๆ เช่น

เอกสารนี้ ... ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ...

คาร์บอนไดออกไซด์สูงขึ้น มูลสัตว์โดยเฉพาะวัวควายมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่เหมาะสมที่สุด รองลงมาก็ได้แก่พวกดอกจอก ผักตบ และเศษอาหาร ขณะที่ฟางมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่ค่อนข้างจะสูง อย่างไรก็ตามสามารถนำวัตถุดิบที่มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูงมาผสมกับวัตถุดิบที่มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำได้ เพื่อให้ได้วัตถุดิบที่มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนตามที่ต้องการ

4. ปริมาณสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบ(Loading) ปริมาณสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบคือ ปริมาณสารอินทรีย์ที่เราเติมใส่ถังหมักในแต่ละวัน ซึ่งถ้าหากว่าปริมาณที่เติมนั้นมากเกินไปจะส่งผลให้ค่าพีเอชลดลงมากเกินไป(เนื่องจากในช่วงแรกของกระบวนการ acidogenesis กรดจะถูกผลิตขึ้นมา) จนทำให้ระบบล้มเหลวเนื่องจากแบคทีเรียเมทาโนเจนตายหมด ซึ่งหากสิ่งนี้เกิดขึ้นจริงก็จะต้องเริ่มต้นระบบใหม่หมด แต่ถ้าหากปริมาณสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบน้อยแก๊สที่ผลิตได้ก็จะน้อยตามไปด้วย เท่ากับว่าไม่ได้เดินระบบเต็มตามกำลังการผลิต ทำให้ถังหมักมีขนาดใหญ่เกินไปโดยไม่จำเป็น

5. ระยะเวลาการกักเก็บสารอินทรีย์ในถังหมัก (Retention time) ระยะเวลาในการกักเก็บสารอินทรีย์ในถังหมักขึ้นอยู่กับปริมาณ และประเภทของสารอินทรีย์ที่เติมเข้าไปซึ่งมีลักษณะและคุณสมบัติที่แตกต่างกันไป รวมถึงรูปแบบของระบบ/ถังหมักหากระยะเวลาในการกักเก็บสั้นไปก็จะไม่พอสำหรับแบคทีเรียที่จะผลิตแก๊สชีวภาพ นอกจากนี้แบคทีเรียยังจะถูกถ่ายออกจากระบบเร็วเกินไปส่งผลให้จำนวนแบคทีเรียลดลงไป ทำให้แบคทีเรียที่เหลืออยู่ทำการย่อยไม่ทันและอาจทำให้ค่าพีเอชในถังหมักลดลง ขณะเดียวกันการที่ระยะเวลากักเก็บนานเกินไปจะทำให้เกิดตะกอนของสารอินทรีย์ที่แบคทีเรียย่อยสลายแล้วสะสมอยู่ทำให้ถังหมักมีขนาดใหญ่โดยไม่จำเป็น ระยะเวลาในการกักเก็บส่วนใหญ่จะประมาณ 14- 60 วัน ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ คือ ปริมาณของแข็ง อุณหภูมิขนาดและประเภทของถังย่อยสลายและปริมาณสารอินทรีย์ที่เติม ระยะเวลาในการกักเก็บนั้นเป็นตัวบ่งชี้ว่าแบคทีเรียจะมีชีวิตได้นานเท่าไหร่โดยไม่มีการเติมอาหาร เนื่องจากระยะเวลาการกักเก็บนั้นหมายถึงระยะเวลาที่แบคทีเรียต้องการเพื่อย่อยอาหารให้หมด ดังนั้นเมื่อไหร่ก็ตามที่แบคทีเรียยังย่อยอาหารไม่หมดก็หมายความว่าแบคทีเรียจะยังไม่ตายจากการขาดอาหาร

ถังหมักที่ออกแบบสำหรับเติมสารอินทรีย์ปริมาณของแข็งสูง(Total Solid Content) สูงกว่า 20% จะต้องใช้พลังงานมากกว่าในการสูบน้ำตะกอน (slurry) แต่เนื่องจากในระบบที่ปริมาณของแข็งสูงความเข้มข้นของน้ำในถังหมักสูงกว่าพื้นที่ที่ใช้ก็จะน้อยกว่า ในทางกลับกันถังหมักที่มีปริมาณของแข็งต่ำสามารถใช้เครื่องสูบน้ำทั่วไปที่ใช้พลังงานน้อยกว่าสูบน้ำตะกอน แต่ก็ต้องใช้พื้นที่มากกว่าเนื่องจากปริมาตรต่อสารอินทรีย์ที่เติมเข้าไปสูงขึ้น การที่น้ำตะกอนมีความใสกว่าก็ทำให้การหมุนเวียนและ

เอกสารนี้ ... ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระจายตัวของของแบคทีเรียและสารอินทรีย์ดีขึ้นและการที่แบคทีเรียสามารถสัมผัสสารอินทรีย์อย่างทั่วถึงก็ช่วยให้การย่อยและการผลิตแก๊สเร็วขึ้น

6. การคลุกเคล้า (Mixing) การคลุกเคล้าตะกอน น้ำ และสารอินทรีย์ เป็นส่วนที่สำคัญอีกส่วนเพราะจะทำให้แบคทีเรียสัมผัสกับสารอินทรีย์ได้อย่างทั่วถึง ทำให้แบคทีเรียทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้นส่งผลให้การเกิดแก๊สเร็วขึ้นและมากขึ้น นอกจากนี้ยังป้องกันการตกตะกอนและตะกอนลอย(Scum) ซึ่งตะกอนอาจจะไปอุดช่องทางสำหรับระบายของเหลวจากถัง

7. สารอาหาร(Nutrient) สารอาหารที่แบคทีเรียต้องการเพื่อการเจริญเติบโตนอกเหนือไปจากคาร์บอน ยังมีไนโตรเจน ซัลเฟอร์ ฟอสฟอรัส โปแตสเซียม แคลเซียม นอกจากนี้ก็มีธาตุที่จำเป็นในปริมาณน้อยมากๆ เช่น เหล็ก แมงกานีส โมลิบดินัม สังกะสี โคบอลต์ ซิลิเนียม ทังเสตน และนิเกิล เป็นต้น

8. สารยับยั้งและสารพิษ (Inhibiting and Toxic Materials) เช่น กรดไขมันระเหยได้ ไฮโดรเจน หรือ แอมโมเนียม รวมถึงธาตุไอออน สารพิษ โลหะหนัก สารทำความสะอาดต่างๆ เช่นสบู่ น้ำยาล้างต่างๆ และยาปฏิชีวนะสามารถส่งผลยับยั้งการเจริญเติบโตและการผลิตแก๊สของแบคทีเรียได้ ธาตุไอออนในปริมาณน้อย (เช่น โซเดียม โปแทสเซียมแคลเซียม แมกนีเซียม ซัลเฟอร์ แอมโมเนียม) สามารถช่วยกระตุ้นการเติบโตของแบคทีเรียเช่นกัน แต่ถ้าหากปริมาณนั้นมากก็จะส่งผลเป็นพิษได้ ยกตัวอย่างเช่นแอมโมเนียในปริมาณ 50-200 มิลลิกรัมต่อลิตรจะเป็นผลดีช่วยในการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย แต่เมื่อใดที่ความเข้มข้นของแอมโมเนียสูงกว่า 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตรก็จะเริ่มส่งผลเสีย ในทางเดียวกัน โลหะหนักบางประเภท (เช่น ทองแดง นิเกิล โครเมียม สังกะสี ตะกั่ว และอื่นๆ) ในปริมาณน้อยๆที่ช่วยในการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย แต่เมื่อความเข้มข้นสูงก็จะเป็นพิษ

9. อัลคาลินิตี้ (Alkalinity) ความสามารถในการรักษาระดับความเป็นกรด-ด่าง ค่าอัลคาลินิตี้ที่เหมาะสมต่อการหมักมีค่าประมาณ 1000-5000 มิลลิกรัม/ลิตร ในรูปของแคลเซียมคาร์บอร์เนต ($CaCO_3$)

10. กรดอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile fatty acid) เป็นตัวให้อิเล็กตรอนของแบคทีเรียกลุ่มสร้างมีเทนส่วนตัวรับอิเล็กตรอนของแบคทีเรียกลุ่มนี้คือ คาร์บอนไดออกไซด์ทำให้ค่ากรดอินทรีย์ระเหยง่ายมีความสำคัญต่อการผลิตมีเทนมาก แต่ถ้ามีการสร้างกรดอินทรีย์ระเหยมากเกินไปจะทำให้เกิดความเป็นพิษต่อแบคทีเรียได้เนื่องจากค่าพีเอชที่ลดลงทำให้มีความเป็นกรดมาก ดังนั้นเพื่อให้ระบบมีประสิทธิภาพต้องทำการควบคุมกลุ่มแบคทีเรียสร้างกรดและสร้างมีเทนให้ทำงานร่วมกันโดยควบคุมสัดส่วนกรดอินทรีย์ระเหยง่ายต่อสภาพความเป็นด่างในรูปในรูปของไบคาร์บอเนต (VFA/Alk) มีค่าน้อยกว่า 0.4 แสดงว่าระบบมีกำลังบัฟเฟอร์สูง หากอัตราส่วนมีค่ามากกว่า 0.8 แสดงว่ากำลังบัฟเฟอร์ของระบบมีค่าต่ำมาก พีเอชสามารถที่จะลดลงได้อย่างรวดเร็ว ถ้าระบบมีปริมาณกรดอินทรีย์

เอกสารนี้ ... ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระเหยง่าย 8,000 – 10,000 มก./ล. ในรูปของกรดอซิติกจะเป็นพิษต่อระบบถังหมักโดยตรง โดยค่าที่เหมาะสมในกระบวนการหมักแบบไม่ใช้อากาศควรอยู่ในช่วง 50 – 500 มก./ล. ในรูปกรดอะซิติก

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กิตติธัช (2554) ค่าจลนพลศาสตร์ของการผลิตแก๊สชีวภาพจากการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศของน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมัน งานวิจัยนี้ศึกษาค่าสัมประสิทธิ์การเจริญเติบโต (Yield, Y) ของตะกอนจุลินทรีย์ ผลของความเข้มข้นน้ำมันปาล์มต่อการผลิตแก๊สชีวภาพและจลนพลศาสตร์ของ การผลิตแก๊สชีวภาพจากการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศของน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันปาล์มทดลองระดับห้องปฏิบัติการในชุดถังปฏิกิริยาแบบแบตช์ใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่เตรียมขึ้นจากนมขาดมันเนยมีค่าซีโอดี 800 มิลลิกรัมต่อลิตรโดยประมาณ และทำให้ปนเปื้อนด้วยน้ำมันปาล์ม 0, 100, 500, 2,000, 10,000 และ 50,000 มิลลิกรัมต่อลิตรโดยประมาณ ผลการทดลองพบว่า การเติมโซเดียมโดเดซิลซัลเฟต (SDS) มีผลทำให้ค่ายีลด์ลดลง 0.11 เป็น 0.085 การผลิตแก๊สชีวภาพของน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันปาล์ม 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีสูงสุด 75.89, 64.76 ,68.47 เปอร์เซ็นต์ ในการทดลองครั้งที่ 1, 2, 3 ตามลำดับ

กัญญา และคณะ (2557) ศึกษาการผลิตแก๊สชีวภาพจากของเสียในบ่อเกรอะ โดยใช้การหมักของเสียจากบ่อเกรอะร่วมกับวัชพืช 2 ชนิดได้แก่ ผักตบชวาและธูปฤาษี รวมทั้งเชื้อBacillus sp. โดยใช้ส่วนผสมในการหมักด้วยอัตราส่วนที่แตกต่างกันในถังหมักขนาด 9 ลิตร ในสภาพไม่ใช้อากาศจำนวน 30 วัน วัดปริมาตรแก๊สด้วยการแทนที่น้ำ และตรวจวัดปริมาณมีเทนที่เกิดขึ้นโดยการจุดติดไฟ ผลการวิจัยพบว่า การเกิดแก๊สชีวภาพที่ดีที่สุดคือชุดการทดลองที่มีส่วนผสมคิดเป็นร้อยละของของเสียจากบ่อเกรอะ: ธูปฤาษี: เชื้อ Bacillus sp. เป็น 85:15:0 เนื่องจากใช้เวลาในการเกิดแก๊สชีวภาพเร็วกว่าชุดการทดลองอื่น

Loveth and Joseph (2017) งานวิจัยนี้ศึกษาเกี่ยวกับการบำบัดน้ำเสียจากร้านอาหารโดยใช้เทคนิคการย่อยแบบไม่ใช้ออกซิเจน ผลการวิเคราะห์พบว่าสารอาหารที่เจือปนในน้ำเสียจะถูกย่อยสลายได้และมีค่าลดลงอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ และสมการการย่อยสลายสอดคล้องกับจลนพลศาสตร์ลำดับแรก พารามิเตอร์จลนพลศาสตร์ที่คำนวณได้สำหรับกระบวนการย่อยสลายแบบแบตท์มีค่า K = 0.0494 day-1 , Ks = 108.96 mg/L , kd = 0.0282 day-1 , Y = 1.5886 mg/mg , = 0.0789 day-1 ตามลำดับ จลนพลศาสตร์ของอัตราการเจริญเติบโตของมวลชีวภาพและอัตราการใช้สารตั้งต้นพร้อมกับข้อมูลจลนพลศาสตร์ได้ถูกนำมาใช้ในการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับเครื่องปฏิกรณ์แบบไหลต่อเนื่องภายใต้สภาวะที่คงที่แบบเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ ดัดแปลง เผยแพร่ หรือแสวงหาประโยชน์ทางการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ลบข้อความนี้ออก และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Liu และคณะ (2009) ทดลองย่อยสลายเศษอาหารแบบไม่ใช้อากาศในระบบแบบ (batch) พบว่า ที่อัตราส่วนอาหารต่อจุลินทรีย์ (F/M) เท่ากับ 3.1 ได้ผลผลิตของแก๊สชีวภาพ 430 mL/gVS โดย 80 % ของแก๊สชีวภาพจะเกิดขึ้นภายใน 10 วันแรก มีข้อดีคือเป็นระบบที่ไม่ใช้พลังงานในการบำบัดมีเสถียรภาพ และมีแก๊สชีวภาพเป็นผลพลอยได้จากระบบบำบัด แต่อย่างไรก็ตามปฏิกิริยาของการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศเกิดได้ช้าและขั้นตอนที่ซับซ้อน ทำให้การย่อยสลายตะกอนส่วนเกินแบบไม่ใช้อากาศมีข้อจำกัดหลายประการ ได้แก่ ระยะเวลาในการกักเก็บนาน(20-30 วัน) และมีประสิทธิภาพในการบำบัดต่ำ (30-40%) โดยข้อจำกัดเหล่านี้เกิดเนื่องจากกระบวนการไฮโดรไลซิส (hydrolysis) เกิดได้ไม่สมบูรณ์

Zainol (2012) เสนอแบบจำลองจลนพลศาสตร์สำหรับการศึกษากระบวนการย่อยสลายเปลือกกล้วยแบบไม่ใช้อากาศโดยออกแบบระบบบำบัดแบบสองขั้นตอนประกอบด้วย ถังปฏิกรณ์ 2 ใบ คือ ถังสร้างกรดและถังผลิตเมทานอล ตามลำดับ ในการทดลองใช้เวลาในการกักเก็บน้ำ (HRT) เท่ากับ 9 วัน ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (OLR) 4 gTS / l.d สำหรับค่าจลนพลศาสตร์ที่ศึกษาจะได้อัตราการเติบโตของจุลินทรีย์สูงสุด (μmax) และอัตราการย่อยสลาย (K) เท่ากับ 0.111 d-1 และ 0.330 g / g ตามลำดับ ปริมาณการผลิตแก๊สมีเทนได้เท่ากับ 0.326 ลิตร / กรัม COD

Rennuit and Jimenez (2018) ทำการวิจัยโดยการนำตะกอนน้ำเสียชุมชนผสมกับตะกอนจากถังบำบัดแบบไม่ใช้อากาศมาบำบัดสองแบบคือแบบที่หนึ่งจัดเรียงลำดับของถังปฏิกรณ์โดยให้ตะกอนย่อยสลายเริ่มต้นก่อนในถังปฏิกรณ์แบบแอโรบิก (Pre-Treatment Aerobic Digesters) และส่งต่อเข้าถังหมักไม่ใช้อากาศ (Anaerobic Digesters) แบบที่สอง ให้ถังปฏิกรณ์สามถังคือ ขั้นตอนที่หนึ่ง ตะกอนถูกย่อยสลายในถังหมักแบบแอนแอโรบิก โดยมีการกวนผสมจากนั้นส่งต่อเข้าถังหมักแบบแอโรบิก (Inter-Stage) และถูกส่งย่อยสลายขั้นตอนสุดท้ายในถังหมักแบบแอนแอโรบิกที่มีการกวนผสม พบว่าในการจัดเรียงถังปฏิกรณ์แบบที่หนึ่งปริมาณแก๊สชีวภาพที่เกิดขึ้นจะน้อยกว่าแบบที่สอง รวมถึงการกำจัดซีโอดีจะน้อยกว่าด้วย แต่การที่ตะกอนถูกย่อยสลายในถังปฏิกรณ์แบบแอโรบิกมีข้อดีคือ สารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างโมเลกุลซับซ้อนหรือจุลินทรีย์ย่อยสลายยาก ถูกย่อยสลายลงได้มากกว่าการจัดเรียงถังปฏิกรณ์แบบที่สอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 วัสดุอุปกรณ์และสารเคมี

3.1.1 อุปกรณ์

1. ตู้อบความร้อน (Oven) รุ่น UN55 บริษัท Memmert ประเทศเยอรมนี
2. พีเอชมิเตอร์(pH meter) รุ่นUB-10 บริษัทDenver Instrument ประเทศสหรัฐอเมริกา
3. เครื่องกลั่นแอมโมเนีย (distillation apparatus) Distillation รุ่นUnit K-350,BUCHI, ประเทศเยอรมัน
4. เครื่องย่อย (digestion apparatus) พร้อมหลอดเจลดาลห์ รุ่น K-425 Speed Digester, BUCHI, ประเทศเยอรมัน
5. เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (spectrophotometer) ที่ความยาวคลื่น 880 nm (UV/VIS) รุ่น UH5300 บริษัท HITACHI ประเทศญี่ปุ่น
6. เตาให้ความร้อน (hot plate) Cole-Parmer - Stuart UC152, Wolflab, ประเทศสหรัฐอเมริกา
7. เตาให้ความร้อน (heating Block) ที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ที่ 150 ± 2 °C ยี่ห้อ Hanna รุ่น HI839800 ประเทศสหรัฐอเมริกา
8. เครื่องชั่งละเอียด 4-5 ตำแหน่ง ML204, Meteor Toledo, สวิตซ์เซอร์แลนด์
9. เดซิเคเตอร์(Desiccators)
10. เครื่องกรองลดความดัน (Vacuum Filtration Apparatus) รุ่นA-1000s ประเทศจีน
11. กระดาษกรอง Whatman No.42
12. ชุดอุปกรณ์เลี้ยงเชื้อแบบแบตท์ 1 ชุด ประกอบด้วย
    - 12.1 ขวดขนาด 2 ลิตร (Duran)
    - 12.2 กระบอกตวง 1 ลิตร (Cylinder)
    - 12.3 ท่อยางซิลิโคน (Silicone rubber tube)
    - 12.4 วาล์วเปิด ปิดแก๊ส (Gas valve)
    - 12.5 เครื่องกวนสารและแท่งแม่เหล็กกวนสาร (Sterler and megnatic bar)
    - 12.6 อลูมิเนียมฟลอยด์ (Aluminium foil)
    - 12.7 ฐานตั้งหลัก (Stand)
    - 12.8 โอริง (O-ring)
    - 12.9 กะละมัง (Basin)
13. ชุดอุปกรณ์สำหรับศึกษาเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ 1 ชุดประกอบด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

13.1 ขวดแก้วขนาด 250 มิลลิลิตรพร้อมฝาปิด (Duran)

13.2 แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์

14 ชุดอุปกรณ์เครื่องแก้วสำหรับการทดลอง

14.1 บีกเกอร์ (Beaker)

14.2 กระบอกตวง (Cylinder)

14.3 ปิเปต (Pipette)

14.4 หลอดทดลองสำหรับวัดค่าซีโอดี (COD test tube)

14.5 บิวเรต (Buret)

3.1.2 สารเคมี

1. กรดซัลฟิวริก (Sulfuric acid, H2SO4 เข้มข้น 94%) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba ประเทศอิตาลี
2. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide, NaOH) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba ประเทศอิตาลี
3. ฟีนอล์ฟทาลีน Phenolphthalein, C20H14O4 เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba ประเทศอิตาลี
4. เมทิลออเรนจ์ (Methyl orange indicator, C14H14N3NaO3S) บริษัท Carlo Erba ประเทศอิตาลี
5. มิกซ์อินดิเคเตอร์ (Mixed indicator solution) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba ประเทศอิตาลี
6. กรดบอริก Boric acid, (เกรดวิเคราะห์) บริษัท Carlo Erba ประเทศอิตาลี
7. โพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟตแอนไฮดรัส (POTASSIUM DIHYDROGEN ORTHOPHOSPHATE ANHYDROUS, KH2PO4) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba ประเทศอิตาลี
8. แอนติโมนีโพแทสเซียมทาเทรต Antimony Potassium Tartrate เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba ประเทศอิตาลี
9. สารละลายแอมโมเนียมโมลิบเดต (Ammonium molybdate solution) บริษัท Carlo Erba ประเทศอิตาลี
10. กรดแอสคอร์บิค Ascorbic acid, C6H8O6 เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba ประเทศอิตาลี
11. โพแทสเซียมไดโครเมต (Potassium dichromate, K2Cr2O7) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba ประเทศอิตาลี
12. สารละลายเฟอร์โรอินอินดิเคเตอร์ (Ferroin indicator solution เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba ประเทศอิตาลี
13. เฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตเฮกซะไฮเดรต (Ferrous ammonium sulfate hexahydrate) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba ประเทศอิตาลี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

14. โพแทสเซียมไฮโดรเจนพธาเลต (Potassium hydrogen phthalate) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba ประเทศอิตาลี

3.2 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัย

3.2.1 แหล่งที่มาของตะกอนน้ำเสียอุตสาหกรรมและหัวเชื้อจุลินทรีย์

ตะกอนน้ำเสียอุตสาหกรรมได้มาจากตะกอนที่สูบออกมาจากถังตกตะกอนขั้นที่สอง ของระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอดทิเวตสลัดจ์ (Activated Sludge : AS) (ตะกอนอินทรีย์เหล่านี้จะถูกนำมาเข้าเครื่องรีดน้ำออก จากนั้นนำไปตากแห้งเพื่อรอการกำจัดทิ้ง) ของการนิคมอุตสาหกรรมสมุทรสาคร ซึ่งได้รับความอนุเคราะห์จาก บริษัท โกลบอล ยูทิลิตี้ เซอร์วิส จำกัด หน่วยงานสมุทรสาคร เก็บตัวอย่างส่งมาให้ใช้ในงานวิจัยโดยทำการรวบรวมมาให้ 3 ครั้ง ครั้งที่ 1 จำนวน 5 ลิตร นำมาใช้ในการทดลองตั้งแต่วันที่ 23 สิงหาคม-16 กันยายน 2561 ครั้งที่ 2 จำนวน 5 ลิตร นำมาใช้ในการทดลองตั้งแต่วันที่ 16 กันยายน-10 ตุลาคม 2561 ครั้งที่ 3 จำนวน 15 ลิตร นำมาใช้ในการทดลองตั้งแต่วันที่ 14 ตุลาคม-30 พฤศจิกายน 2561 ในการเก็บรักษาตัวอย่างจะแช่ในตู้เย็นอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส สำหรับหัวเชื้อจุลินทรีย์ไปเก็บจากถังหมักไม่ใช้อากาศของ โรงควบคุมคุณภาพน้ำ ดินแดง กรุงเทพมหานคร วันที่ 22 ตุลาคม 2561 จำนวน 6 ลิตร และเก็บรักษาในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ตลอดการวิจัย

3.2.2 ขั้นตอนการวิจัย

นำตะกอนน้ำเสียอุตสาหกรรมใส่กรวยอิมฮอฟฟ์ ขนาด 1,000 mL ทิ้งให้ตกตะกอน 30 นาที พบว่า ไม่มีการตกตะกอนหรือแยกชั้น ลักษณะตะกอนเหนียวข้น มีสีดำและกลิ่นรุนแรง สำหรับหัวเชื้อจุลินทรีย์เมื่อนำมาใส่กรวยอิมฮอฟฟ์เมื่อตั้งทิ้งไว้ 30 นาที พบว่ามีการแยกชั้น ในชั้นน้ำมีปริมาณ 100 mL จากทั้งหมด 1,000 mL ตะกอนมีลักษณะเป็นสีน้ำตาล เนื้อตะกอนค่อนข้างละเอียดมีความข้นมาก และมีกลิ่นเล็กน้อย ดังรูปที่ 3.1

ก. ข.

รูปที่ 3.1 ก. ตะกอนน้ำเสียอุตสาหกรรม ข.หัวเชื้อจุลินทรีย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นจึงทำการถ่ายตะกอนจากกรวยอิมฮอพฟ์โดยตรงมาเจือจางกับน้ำกลั่น เพื่อให้มีอัตราส่วนต่างๆ ที่เหมาะสมในการนำมาผลิตแก๊สชีวภาพ โดยแบ่งการวิจัยเป็น 3 ขั้นตอน

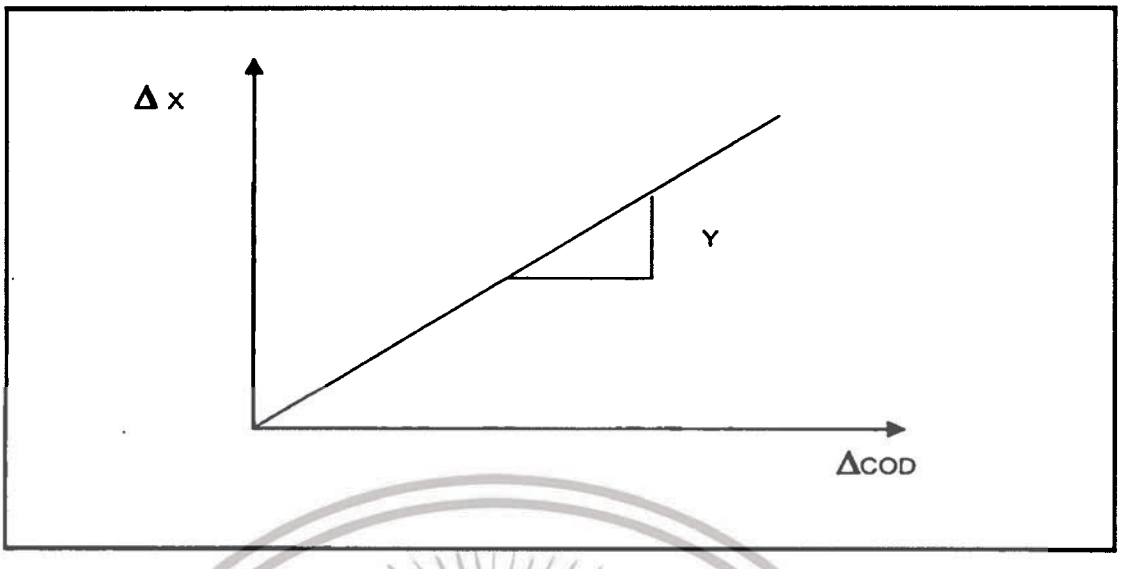
ขั้นตอนที่ 1 : ศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าซีโอดีโดยการหมักแบบไม่ใช้อากาศในขวดดูแรนด์ ขนาด 250 mL ทำการเตรียมตะกอนน้ำเสียมาเจือจางกับน้ำกลั่นทั้งหมด 3 ลิตรโดยมีอัตราส่วน 1:1, 1:2, 1:5 และ1:10 รวมถึงเลือกอัตราส่วน 1:1 มาเติมหัวเชื้อจุลินทรีย์ 1% และ 2% ในแต่ละขวดจะได้สัดส่วนดังตารางที่ 3.1 (นำอลูมิเนียมฟลอยด์ห่อขวดทุกขวด เพื่อป้องกันปฏิกิริยาโฟโตแอตติเวชันของแสงแดดจากภายนอก) และเก็บตัวอย่างในวันที่ 0 , 5 , 8 , 12 , 15 , 19 , 22 , 28 , 35 , 42 และ 49 เพื่อวิเคราะห์ค่า TCOD , SCOD และ CellCOD สำหรับการวิเคราะห์ TKN และ TP เก็บตัวอย่างในวันที่ 0 , 22 และ 49

ชุดการทดลอง	อัตราส่วนการเจือจาง/ขวด ตะกอนน้ำเสีย : น้ำกลั่น+หัวเชื้อจุลินทรีย์ (mL)
1:1*	125 : 125 + 0
1:10*	23 : 227 + 0
1:2**	83 : 167 + 0
1:5**	42 : 208 + 0
1:1+1%**	125 : 125 + 2.5
1:1+2%**	125 : 125 + 5

ตารางที่ 3.1 อัตราส่วนการเจือจางตะกอนน้ำเสียต่อน้ำกลั่น+หัวเชื้อจุลินทรีย์ในแต่ละขวด
*ตะกอนน้ำเสียเก็บมาครั้งที่ 1 ** ตะกอนน้ำเสียเก็บมาครั้งที่ 2

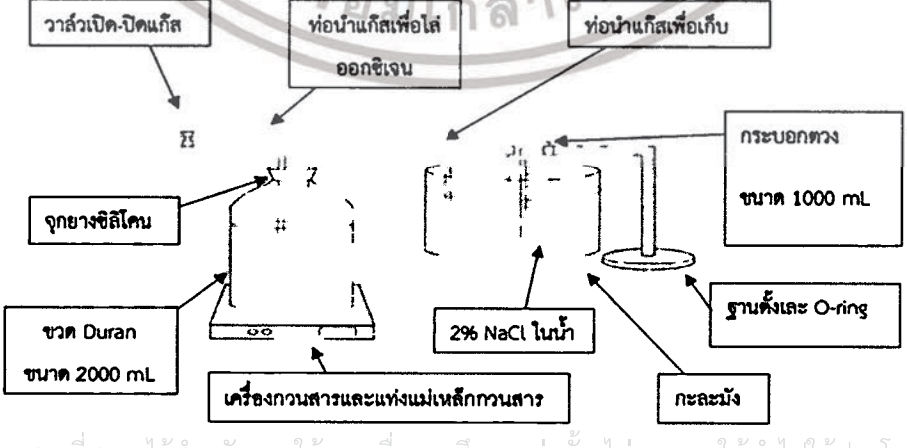
ขั้นตอนที่ 2 ศึกษาการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศและใช้ตะกอนน้ำเสียอุตสาหกรรมเป็นสารอาหาร (substrate) โดยนำผลการเปลี่ยนแปลงค่าซีโอดีมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าผลต่างของเซลล์ซีโอดี (ΔCell COD) เทียบกับค่าผลต่างของซีโอดีละลายน้ำ(ΔSCOD) เพื่อหาค่ายีลด์จากค่าความชันกราฟ ดังรูปที่ 3.2

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 : ตัวอย่างการสร้างกราฟแสดงการประมาณค่ายีลด์ของจุลินทรีย์

ขั้นตอนที่ 3 ศึกษาปริมาณแก๊สชีวภาพที่เกิดขึ้นในถังหมักขนาด 2 L และใช้ตะกอนน้ำเสียอุตสาหกรรมเป็นสารอาหาร โดยเลือกอัตราส่วนการเจือจางด้วยน้ำกลั่น ที่ 1:1 เนื่องจากในอัตราส่วนนี้มีการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์แล้วซึ่งเป็นอัตราส่วนที่ทำการเจือจางน้ำน้อยจึงเหมาะที่จะนำมาศึกษาปริมาณแก๊สรวมถึงอัตราส่วนที่ทำการเติมหัวเชื้อที่ 1 % และ 2% ปริมาณเริ่มต้น 1.8 L นำถังหมักไปไล่อากาศโดยการพ่นแก๊สไนโตรเจนบริเวณช่องว่างด้านบนของถังหมักแก๊สชีวภาพ เป็นเวลา 5 นาที นำไปวางที่อุณหภูมิห้อง ถังหมักทั้ง 3 ใบจะใช้อลูมิเนียมฟลอยด์ห่อเพื่อป้องกันแสงแดด ทำการเก็บตัวอย่างในวันที่ 0, 7 และ 15 ครั้งละ 150 ml นับจากวันที่เริ่มทดลองและสิ้นสุดในวันที่ 15 ในการเก็บแก๊สชีวภาพจะใช้วิธีแทนที่น้ำ ดังรูปที่ 3.3



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.3 ถังหมักและการเก็บแก๊สชีวภาพ

3.2.3 การวิเคราะห์

ตัวอย่างน้ำเสียจะนำมาตรวจวัดพารามิเตอร์ดังต่อไปนี้ พีเอช (pH), อุณหภูมิ (Temp), ซีโอดีทั้งหมด (Total COD), ซีโอดีในรูปของสารละลาย (Soluble COD), ซีโอดีในรูปเซลล์จุลินทรีย์ (CellCOD), ไนโตรเจนทั้งหมด (TKN), ฟอสเฟตทั้งหมด (TP), สภาพด่าง (Alkalinity), กรดไขมันระเหยง่าย (VFA) โดยวิธีวิเคราะห์ตาม Standard Methods for the Examination of waste and wastewater (2017) ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 วิธีและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

พารามิเตอร์	วิธีการทดลอง
ซีโอดี (TCOD, SCOD, CellCOD)	รีฟลักซ์แบบปิด
พีเอช (pH)	วัดด้วย pH มิเตอร์
ฟอสเฟตทั้งหมด (TP)	ย่อยด้วยกรดไนตริกและซัลฟิวริกหาปริมาณออโธฟอสเฟตด้วยวิธีกรดแอสคอบิค
Total Kjeldahl Method (TKN)	ย่อยสลายและไทเทรตหาปริมาณแอมโมเนียตามวิธีKjeldahl Method
SS	การชั่งน้ำหนัก
VSS	การชั่งน้ำหนัก
Alkalinity	Direct titration method
VFA	Direct titration method

หมายเหตุ: รายละเอียดวิธีทดลองอยู่ในภาคผนวก ก.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการวิจัย

ในการทำการวิจัยจะแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน ขั้นตอนที่ 1 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าซีโอดีโดยการหมักแบบไม่ใช้อากาศในขวดดูแรนด์ขนาด 250 mL ขั้นตอนที่ 2 ศึกษาการเจริญเติบโตของตะกอนจุลินทรีย์ในกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศและใช้ตะกอนน้ำเสียอุตสาหกรรมเป็นสารอาหาร (substate) ในขวดดูแรนด์ ขั้นตอนที่3 ศึกษาปริมาณแก๊สชีวภาพที่เกิดขึ้นในถังหมักขนาด 2 L ที่ใช้ตะกอนน้ำเสียอุตสาหกรรมเป็นสารอาหาร โดยเลือกอัตราการเจือจาง ด้วยน้ำกลั่น ที่ 1:1 และเติมหัวเชื้อ 1 % และ 2% ปริมาณเริ่มต้น 1.8 L ได้ผลการวิจัย ดังนี้

4.1 ผลการศึกษาลักษณะสมบัติของตะกอนน้ำเสียอุตสาหกรรม

ตะกอนน้ำเสียที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ มีค่าซีโอดีทั้งหมด (TCOD) ประมาณ 40,000 mg/L และหัวเชื้อตะกอนจุลินทรีย์ ที่นำมาใช้มีค่าความเข้มข้นของแข็งแขวนลอย (SS) ประมาณ 24,000 mg/L ผลการวิเคราะห์ลักษณะของตะกอนน้ำเสีย แสดงดังตารางที่ 4.1-4.2

ตารางที่ 4.1 ลักษณะสมบัติของตะกอนน้ำเสียอุตสาหกรรม

พารามิเตอร์ (mg/L)	ช่วงความเข้มข้น (mg/L)	ค่าเฉลี่ย (mg/L)
pH	7.02 - 7.40	7.21
TCOD	40,983 - 44,345	42,664
SCOD	11,197 - 14,260	12,728
CellCOD	27,494 - 39,625	33,560
SS	53,787 - 64,992	59,390
VSS	22,133 - 23,942	23,038
VSS/SS	0.33 - 0.39	0.36
TKN	429 - 600	514
TP	6 – 8	7

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าตะกอนน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นน้ำเสียที่มีปริมาณสารอินทรีย์ค่อนข้างสูง สารอินทรีย์รูปละลายน้ำ (SCOD) ที่จุลินทรีย์นำไปใช้ได้โดยตรง มากกว่า 10,000 mg/L มี VSS/SSต่ำกว่า 0.8 (เป็นค่าสัดส่วนสารอินทรีย์ที่เหมาะสม (Nges and Liu, 2009) ส่วนสัดส่วน SCOD/N เท่ากับ 24.74 ซึ่งเป็นช่วงที่สามารถใช้ผลิตแก๊สชีวภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นตะกอนน้ำเสียที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้จึงมีความเป็นไปได้สูงที่จะใช้ในการผลิตแก๊สชีวภาพ รวมทั้งพีเอชเริ่มต้นอยู่ในช่วงระหว่าง 7.2-7.5 และ ซึ่งเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียและมีสัดส่วน COD : N : P เท่ากับ 100 : 4.0 : 0.05 บ่งบอกถึงปริมาณสารอาหารที่เหมาะสมซึ่งในตะกอนน้ำเสียมีสัดส่วนของฟอสเฟตต่ำ โดยค่าสัดส่วนที่เหมาะสมอยู่ที่ 100 : 2.1 : 0.6 (กิตติธัช, 2554)

ตารางที่ 4.2 ลักษณะและสมบัติของหัวเชื้อจุลินทรีย์

พารามิเตอร์ (mg/L)	ช่วงความเข้มข้น (mg/L)	ค่าเฉลี่ย (mg/L)
pH	7.18 - 7.20	7.19
TCOD	17,600 – 19,600	18,600
SCOD	2,400 – 3,500	2,950
CellCOD	16,800 – 19,200	18,000
SS	19,900 - 28,550	24,225
VSS	9,400 - 17,500	13,450
VSS/SS	0.47- 0.61	0.54
TKN	182 - 244	213
TP	9.20 - 9.58	9.39

จากตารางที่ 4.2 มีค่า pH อยู่ในช่วง 6.5 – 7.5 ค่าVSS/SS เท่ากับ 0.54 ซึ่งต่ำกว่าค่าที่เหมาะสม เนื่องจากหัวเชื้อที่นำมาใช้เก็บจากถังตกตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนซึ่งมีสารอินทรีย์ค่อนข้างสูง ขณะที่กลุ่มเชื้อจุลินทรีย์ในถังหมักแขวนลอยอยู่ในระบบ จึงทำให้อัตราส่วน VSS/SS ค่อนข้างต่ำ โดยมีสัดส่วน SCOD/N เท่ากับ 13.85 เป็นสัดส่วนที่มีไนโตรเจนจำนวนมากแต่ยังอยู่ในช่วงที่เหมาะต่อการผลิตแก๊สชีวภาพโดยมีค่า COD : N : P เท่ากับ 100 : 7.2 : 0.32 โดยมีค่าทางทฤษฎีเท่ากับ 100 : 2.1 : 0.6 (กิตติธัช, 2554)

4.2 ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าซีโอดีโดยการหมักแบบไม่ใช้อากาศในขวดดูแรนด์

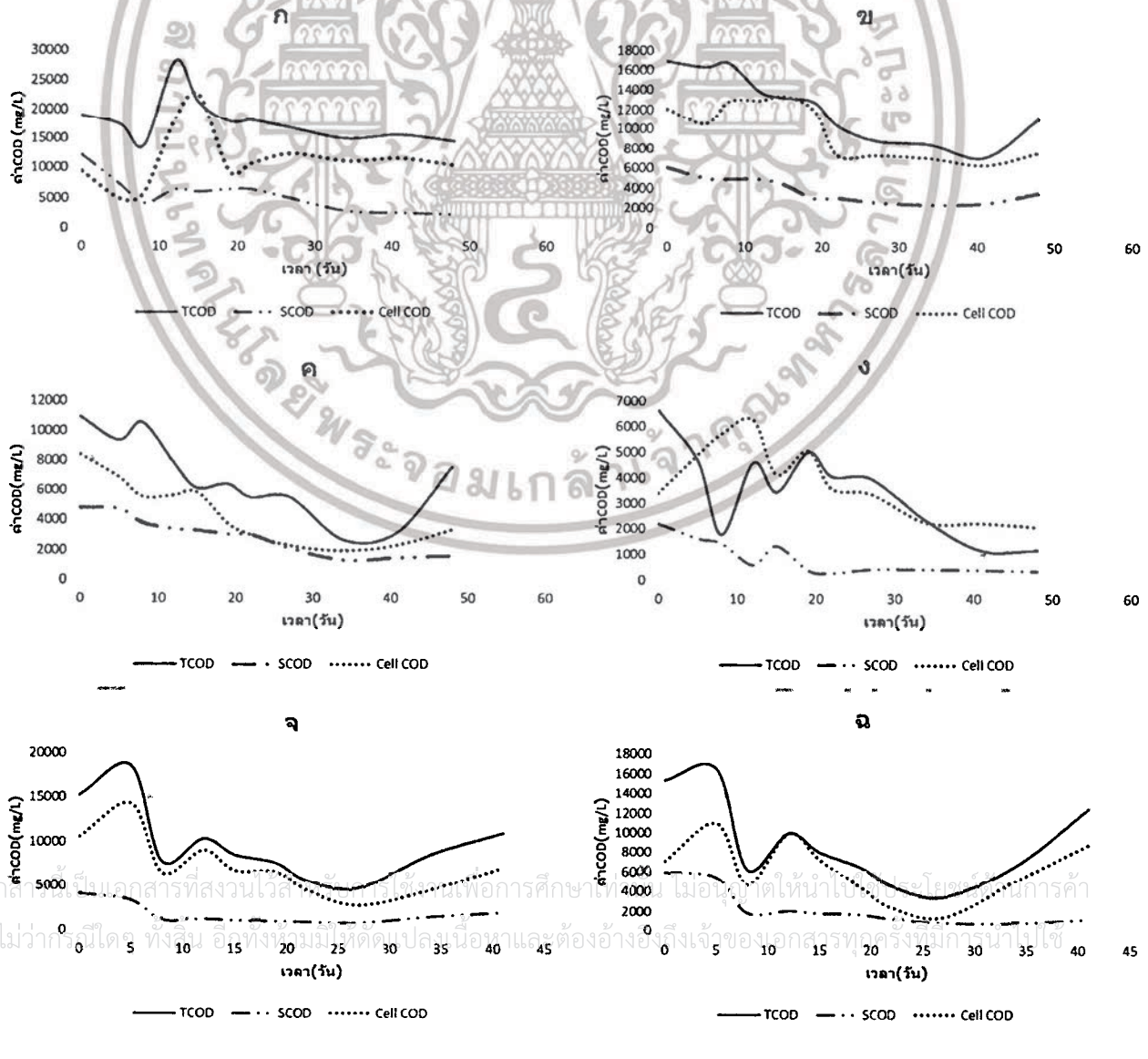
จากการวิเคราะห์ค่า TCOD, SCOD, CellCOD, TKN และTP ในชุดการทดลอง 1:1, 1:2, 1:5 และ 1:10 ชุดที่ทำการเติมหัวเชื้อจุลินทรีย์(ตะกอนน้ำเสียชุมชน) ในอัตราส่วน คือ 1:1+1% และ 1:1+2% ในวันเริ่มต้นจะได้ผลการวิเคราะห์ตังตารางที่ 4.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่4.3 ลักษณะตะกอนน้ำเสียอุตสาหกรรมเริ่มต้นที่ใช้ในทดลองในขวดดูแรนด์

พารามิเตอร์ / ชุดทดลอง	TCOD (mg/L)	SCOD (mg/L)	CellCOD (mg/L)	TKN (mg/L)	TP (mg/L)
กากตะกอน:น้ำ = 1:1	19200	1200	9280	929.6	6.2208
กากตะกอน:น้ำ = 1:10	6440	2160	3360	294	2.5858
กากตะกอน:น้ำ = 1:2	16853	6026	12026	469.28	8.3244
กากตะกอน:น้ำ = 1:5	10933	4827	8410	296.8	5.086
กากตะกอน:น้ำ = 1:1+1%	15360	4160	10560	562.24	7.064
กากตะกอน:น้ำ = 1:1+2%	15360	5760	9360	520.64	7.3804

จากตารางที่ 4.3 จะเห็นได้ว่าค่าซีโอดีเริ่มต้น อยู่ในช่วงประมาณ 20,000 mg/L, 15,000 mg/L, 10,000 mg/L และ 5,000 mg/L เมื่อตรวจวิเคราะห์ตามวันที่กำหนดทั้งหมดจะได้ผลการเปลี่ยนแปลงค่าซีโอดีดังรูปที่ 4.1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าซีโอดีทั้งหมด ค่าซีโอดีละลายน้ำและค่าเซลล์ซีโอดีกับเวลาในการเกิดปฏิกิริยาทางชีวภาพของทุกๆแบตช์แบบเติมและไม่มีการเติมจุลินทรีย์

(ก) = ตะกอนน้ำเสียเจือจางอัตราส่วน1:1 ; (ข) = ตะกอนน้ำเสียเจือจางอัตราส่วน1:2 ;

(ค) = ตะกอนน้ำเสียเจือจางอัตราส่วน1:5 ; (ง) = ตะกอนน้ำเสียเจือจางอัตราส่วน1:10;

(จ) = ตะกอนน้ำเสียเจือจางอัตราส่วน1:1โดยมีหัวเชื้อจุลินทรีย์ 1%

(ฉ) = ตะกอนน้ำเสียเจือจางอัตราส่วน1:1โดยมีหัวเชื้อจุลินทรีย์ 2%

จากรูปที่ 4.1 พบว่าค่าซีโอดีทั้งหมด (TCOD) และค่าซีโอดีละลายน้ำ (SCOD) ซึ่งแสดงถึงปริมาณสารอินทรีย์ที่จุลินทรีย์ใช้เป็นอาหารมีแนวโน้มที่ลดลงเรื่อยๆเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นในทุกๆชุดการทดลอง ขณะที่ค่าเซลล์ซีโอดีจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเนื่องจากจุลินทรีย์มีการกินสารอาหารเข้าไปทำให้ปริมาณสารอินทรีย์ในเซลล์เพิ่มขึ้น ต่างจากค่าซีโอดีละลายน้ำมีปริมาณที่ลดลงเพราะถูกจุลินทรีย์ใช้เป็นอาหาร ซึ่งเป็นไปตามกราฟของการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย (Bacterial growth curve) สำหรับ ที่อัตราส่วนการเจือจาง1:1 ในช่วง 10 วันแรก ค่า TCOD ลดลง อาจเป็นเพราะตะกอนน้ำเสียมีความเข้นข้นสูงมากจุลินทรีย์ในระบบจึงต้องใช้เวลาในการปรับตัวนานกว่าอัตราส่วนอื่นๆ (Lag phase) แต่เมื่อเวลาเพิ่มขึ้น ในช่วง10-20 วัน ปริมาณ CellCOD จะมีค่าเพิ่มขึ้นหรือจุลินทรีย์อยู่ในระยะ Log phase

4.3 การคำนวณหาค่ายีลด์ที่แท้จริง (True growth yield) ของตะกอนจุลินทรีย์

จากข้อมูลที่ได้ในห้องปฏิบัติการสามารถนำไปวิเคราะห์ค่ายีลด์ที่แท้จริงของตะกอนจุลินทรีย์โดยหาได้จากค่าความชันของกราฟ ที่สร้างจากความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างค่าเซลล์ซีโอดีที่เกิดขึ้นต่อผลต่างค่าซีโอดีละลายน้ำที่ถูกใช้เป็นอาหารโดยจุลินทรีย์ ซึ่งแสดงในภาคผนวก ดังรูป ข-1 เมื่อนำมาคำนวณพบว่าค่ายีลด์ที่แท้จริงของตะกอนจุลินทรีย์ของตะกอนน้ำเสียอุตสาหกรรมแบบไม่เติมหัวเชื้อจุลินทรีย์และเติมหัวเชื้อจุลินทรีย์ เป็นดังตารางที่ 4.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ค่ายีลด์ที่แท้จริงที่วิเคราะห์ได้

การย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศของตะกอนจากโรงงานอุตสาหกรรม	ค่ายีลด์ของตะกอนจุลินทรีย์ (True growth yields; Y) (กรัม-ซีโอดีต่อกรัม-ซีโอดี)
1:1	0.1771
1:10	0.346
1:2	0.635
1:5	0.8697
1:1+1%	0.3862
1:1+2%	0.6472

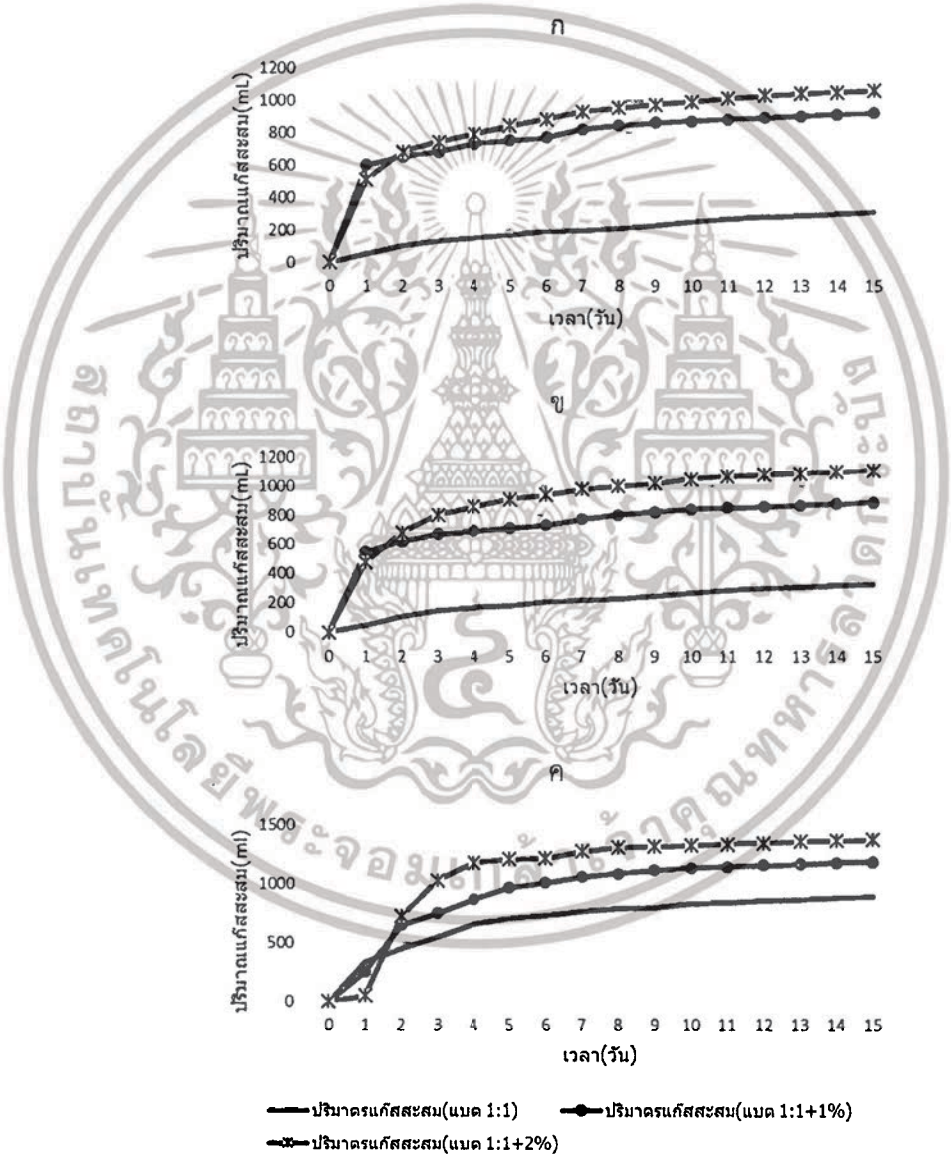
หมายเหตุ : ข้อมูลที่ได้จากการคำนวณรูปในภาคผนวก ข-1

จากตารางที่ 4.4 พบว่าค่ายีลด์ที่แท้จริงของตะกอนจุลินทรีย์ของตะกอนน้ำเสียอุตสาหกรรมที่เจือจาง 1:1 มีค่าเท่ากับ 0.1771 ที่ 1:10 มีค่าเท่ากับ 0.3460 และที่ 1:2 มีค่าเท่ากับ 0.6350 ขณะที่ 1:5 มีค่าเท่ากับ 0.8697 ซึ่งมีค่าสูงสุด เนื่องจาก ตะกอนน้ำเสียที่อัตราการเจือจาง 1:1 และ 1:10 ที่นำมาใช้ทดสอบมีการเก็บรักษาตัวอย่างตะกอนน้ำเสียในตู้เย็นก่อนนำมาใช้ในการทดลองประมาณ 1-2 สัปดาห์ซึ่งเป็นตะกอนน้ำเสียอุตสาหกรรมต่างชุดกับอัตราการเจือจางที่ 1:2 และ 1:5 เป็นตะกอนน้ำเสียอุตสาหกรรมที่ใช้เก็บมาครั้งที่ 2 และนำมาทดลองทันที ทำให้จุลินทรีย์ใช้เป็นแหล่งสารอาหารได้ได้เลย รวมทั้งอัตราการเจือจางที่สูงขึ้นทำให้ปริมาณ SCOD ไม่สูงมากจึงทำให้ค่ายีลด์ของอัตราการเจือจางที่ 1:5 สูงสุดซึ่งจะไม่สามารถเปรียบเทียบต่างชุดกันได้ สำหรับการเติมหัวเชื้อจุลินทรีย์ 1% และ2% ที่อัตราการเจือจาง 1:1 ค่ายิลด์มีค่าเท่ากับ 0.3862 และ 0.6472 โดยเป็นน้ำชุดเดียวกับอัตราส่วนเจือจางที่ 1:2 และ 1:5 ซึ่งค่ายีลด์มีความสอดคล้องกับปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ที่ทำการเติม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ปริมาณแก๊สชีวภาพสะสมจากกระบวนการหมักแบบไม่ใช้อากาศ

การหมักแก๊สชีวภาพจากตะกอนน้ำเสียอุตสาหกรรมโดยการหมักแบบไม่ใช้อากาศ ในถังหมักขนาด 2 ลิตร แบบแบตช์ โดยเลือกอัตราการเจือจางตะกอนน้ำเสียอุตสาหกรรม : น้ำกลั่น ที่ 1:1 และเติมหัวเชื้อ 1 % และ 2% ปริมาณเริ่มต้น 1.8 L ใช้ระยะเวลาในการหมักแก๊สชีวภาพ 15 วัน โดย ทำการทดลอง 3 ซ้ำ มีปริมาณแก๊สสะสมที่เกิดขึ้น ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแก๊สสะสมต่อเวลา

(ก) = การทดลองครั้งที่ 1 ; (ข) = การทดลองครั้งที่ 2 ; (ค) = การทดลองครั้งที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.2 พบว่าในการทดลองครั้งที่ 1 ปริมาณแก๊สชีวภาพสะสมมากที่สุดเท่ากับ 1060 mg/L ซึ่งมาจากอัตราส่วนการเจือจางตะกอนน้ำเสีย 1:1 และเติมหัวเชื้อจุลินทรีย์ 2% ขณะที่การเติมหัวเชื้อ 1% และไม่เติมหัวเชื้อ อัตราส่วน มีปริมาณแก๊สชีวภาพสะสมเท่ากับ 920 และ 310 ตามลำดับ โดยการทดลองทั้ง 3 ครั้งมีปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้นใกล้เคียงกัน จากผลการทดลองมีความสอดคล้องกับค่าสัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์

เมื่อนำผลการทดลองที่ได้ จากรูปที่ 4.2 มาคำนวณหาอัตราการผลิตแก๊สชีวภาพต่อปริมาณสารอาหารในรูปซีโอดีที่เกิดขึ้นในระบบตะกอนน้ำเสียอุตสาหกรรมเจือจาง 1:1 มีอัตราการผลิตแก๊สเท่ากับ 188 ml/gCOD และตะกอนน้ำเสียอุตสาหกรรมที่เติมหัวเชื้อจุลินทรีย์ 1% และ 2%มีอัตราการผลิตแก๊สต่อปริมาณสารอาหารในรูปซีโอดีที่เพิ่มขึ้นเป็น 361 ml/gCOD และ 495 ml/gCOD ตามลำดับ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับค่าทางทฤษฎีเท่ากับ 350 ml/gCOD (ที่มา : สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงานนครพิงค์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2554.) จะเห็นว่า ชุดที่ 1:1 มีค่าต่ำกว่าทฤษฎีและชุดที่ 1:1+2% มีค่าสูงกว่าทฤษฎีส่วนชุดที่ 1:1+1% เป็นชุดที่มีค่าใกล้เคียงทฤษฎี จึงเหมาะที่จะนำไปหมักเพื่อให้ได้แก๊สชีวภาพต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากผลการทดลองทั้งหมดที่ได้กล่าวมาในข้างต้นสามารถสรุปได้ ดังนี้

1) ค่าสัมประสิทธิ์ของการเจริญเติบโตที่ทำการวิเคราะห์ คือค่ายีลด์ที่แท้จริงของตะกอนน้ำเสียอุตสาหกรรมเป็นแหล่งสารอาหาร พบว่าการเจือจางน้ำเสียอุตสาหกรรมมากขึ้นค่ายีลด์จะสูงขึ้น และเมื่อเติมหัวเชื้อจุลินทรีย์จะทำให้ค่ายีลด์เพิ่มขึ้นกว่าการไม่เติมหัวเชื้อ
2) ปริมาณการการผลิตแก๊สสะสมในถังหมักแบบไม่ใช้อากาศขนาด 2 ลิตรแบบแบตช์พบว่าถังหมักที่เจือจางน้ำเสียอุตสาหกรรม 1:1 และเติมหัวเชื้อ1% และ2% พบว่าปริมาณแก๊สชีวภาพสูงสุดในถังที่มีการเติมหัวเชื้อจุลินทรีย์ซึ่งสอดคล้องกับค่ายีลด์ของจุลินทรีย์ที่ทดลองในขวดดูแรนด์ขนาด 250 มิลลิตร
3) อัตราการผลิตแก๊สชีวภาพต่อปริมาณสารอาหารในรูปซีโอดีในถังหมักที่เจือจางน้ำเสียอุตสาหกรรม 1:1 และเติมหัวเชื้อ 1% และ 2% มีค่าดังนี้ 188 mL/g.COD , 361 mL/g.COD และ 495 mL/g.COD ตามลำดับ พบว่าในถังหมักเจือจางน้ำเสียอุตสาหกรรมที่มีการเติมหัวเชื้อ1% และ 2% มีอัตราการผลิตแก๊สชีวภาพต่อปริมาณสารอาหารในรูปซีโอดีสูง

5.2 ข้อเสนอแนะ

1) ในการทดลองควรใช้ตะกอนน้ำเสียอุตสาหกรรมในแต่ละการเจือจางเป็นตะกอนน้ำเสียอุตสาหกรรมเป็นชุดเดียวกันทั้งหมดเพื่อสามารถเปรียบเทียบผลได้โดยการทำซ้ำอาจใช้น้ำในชุดถัดไปได้ในกรณีที่จำเป็น
2) ในการวิเคราะห์ Cell COD ควรมีการวิเคราะห์หาจุลินทรีย์ที่เป็นวิธีที่เป็นมาตรฐานโดยมีการเลี้ยงเชื้อในทางชีววิทยา
3) น้ำที่มีการแช่เย็นหรือรักษาอุณหภูมิที่ 4 °C เป็นวิธีที่ไม่ได้รับการยอมรับในทางชีววิทยา ดังนั้นจึงต้องทำการใช้น้ำที่เก็บมาเลยทันทีโดยไม่ผ่านการเก็บรักษา
4) ควรทำการวิเคราะห์องค์ประกอบแก๊สในระบบด้วย เช่น CH_4 ,CO_2 เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) ควรทำการทดลองแบบต่อเนื่อง (Continuous system) โดยการขยายขนาดไปสู่ระดับ Pilot scale เพื่อพัฒนาสู่การใช้งานจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

กรองแก้ว ทิพยศักดิ์และพิสมัย ชัยรัตนอุทัย. 2559. **การวิเคราะห์น้ำและน้ำเสีย**. กรุงเทพฯ : ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าคุณทหารลาดกระบัง.

กิตติธัช อาจศิริ. 2554. **ค่าจลนพลศาสตร์ของการผลิตก๊าซชีวภาพจากการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศของน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมัน**. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิตสาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. 2546. **คู่มือวิชาการระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ.เล่มที่ 2**. กรุงเทพฯ : ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาลัย.

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. 2549. **การผลิตก๊าซชีวภาพจากของเสียฟาร์มปศุสัตว์และโรงงานอุตสาหกรรม**. กรุงเทพฯ : สำนักวิจัย ค้นคว้าพลังงาน กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน.

กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. 2553. **คู่มือการปฏิบัติงานเกี่ยวกับการออกแบบการผลิตการควบคุมคุณภาพและการใช้ก๊าซชีวภาพ**. กรุงเทพฯ : สำนักเทคโนโลยีความปลอดภัย กรมโรงงานอุตสาหกรรม

เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. 2543. **วิศวกรรมการกำจัดน้ำเสีย**. เล่มที่ 4. นนทบุรี : มหาลัยวิทยาลัยรังสิต.

ธนวัฒน์ ด่านวานิชกุล. 2553. **จลนพลศาสตร์ของการผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะอาหารในถังหมักแบบกวนผสมสมบูรณ์**. กรุงเทพฯ : วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

ธัญลักษณ์ หลักแหลม. 2553. **การปรับปรุงการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศของน้ำสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มด้วยกระบวนการโอโซเนชั่น**. สงขลา : คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์. 2546. **คู่มือวิเคราะห์คุณภาพน้ำ**. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาลัย.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช . 2544. **ประมวลสาระชุดวิชาการจัดการคุณภาพน้ำในโรงงานอุตสาหกรรม** . สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช, นนทบุรี

อัจฉรา จันทร์ฉาย. 2550. **จุลชีววิทยา.** สงขลา : คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา.

การบำบัดกากตะกอนหรือสลัดจ์ [Online]. Available http://www.pcd.go.th/info_serv/water.html สืบค้นวันที่ (8/8/2561)

จลนพลศาสตร์ [Online]. Available https://ajarncharoen.wordpress.com/2011/08/13/batch/ สืบค้นวันที่ (8/8/2561)

สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงาน มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. (2561). อัตราส่วนของเสียผสม : เชื้อตั้งต้น. http://www.erdi.or.th (29/11/61)

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 6.

Loveth, N. Joseph, T. and Onu, C. 2017. Kinetic Modeling of anaerobic Digestion of Restaurant Wastwater : **Journal of Applied Science & Technology** 21(4) : 1-12

Norazwina Zainol, 2012. Kinetics of Biogas Production from Banana Stem Waste : **Biogas** Universiti Malaysia Pahang, Malaysia : 397-408

Rennuit, C. Triolo, JM. Eriksen, S. Jimenez, J. Carrere, H. and Hafner, S.D. 2018. Comparision of pre-and inter-stage aerobic treatment of wastewater sludge: Effects on biogas production and COD removal : **Bioresource Technology**. 247 : 332-339

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

วิธีวิเคราะห์ พารามิเตอร์

การหาค่า pH

ในการหาค่า pH ในน้ำเราจะใช้ pH Meter เป็นเครื่องวัดโดยมีวิธีการวัดดังนี้

1. เสียบสายและ Adapter ของเครื่องวัด pH
2. Calibrate เครื่องโดยเข้า mode standardize แล้วจุ่มอิเลกโทรดลงในบัฟเฟอร์ pH4 แล้วกด enter จากที่ Calibrate ที่ pH4 เสร็จ ให้ทำเช่นเดียวกันอีกที แต่เปลี่ยนสารละลายบัฟเฟอร์ pH7
3. ทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนสารละลายที่จะต้องทำความสะอาดอิเล็กโทรด โดยการฉีดน้ำกลั่นที่อิเล็กโทรด แล้วซับให้แห้งด้วยกระดาษ
4. วัด pH ของน้ำโดยจุ่มอิเล็กโทรดลงในน้ำเสีย รอจนตัวเลขคงที่แล้วบันทึกค่าเอาไว้
5. ทำความสะอาดอิเล็กโทรดด้วยวิธีเดิม แล้วเก็บลงในสารละลาย KCl ที่อยู่ในปลอกของอิเล็กโทรด หากสารละลายมีไม่พอให้เติมลงไปเพิ่ม
6. ถอดสายเก็บอุปกรณ์เรียบร้อย

การวิเคราะห์ซีโอดี

การวิเคราะห์หาซีโอดีด้วยวิธีรีฟลักซ์แบบปิด (Closed Reflux, Titrimetric Method)

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. หลอดย่อยสลาย (Digestion Vessels) ใช้แก้วที่ทำด้วยบอรอซิลิเคต (Borosilicate Culture tube) ขนาด 16x100 mm ที่มีฝาเกลียวชนิดทีเอฟอี (Tetrafluoroethylene; TFE)
2. ฮีทติ้งบล็อค (Heating block) กล่องอลูมิเนียมตันลึก 45-50 mm มีรูขนาดพอดีกับหลอดแก้ว
3. ถุงมือกันกรด
4. ขวดวัดปริมาตร (Volumetric flask)
5. ปิเปต (Transfer Pipette)
6. บิวเรต
7. บีกเกอร์
8. ขวดรูปชมพู่

สารเคมี

1. สารละลายมาตรฐานปฐมภูมิโพแทสเซียมไดโครเมต (primary standard potassium solution) เข้มข้น 0.1 N (0.01667 M)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 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 ทิ้งให้ละลายและปล่อยให้เย็นจึงเจือจางด้วยน้ำกลั่นเป็น 1000 ml

2. สารละลายกรดซัลฟิวริกเติมซิลเวอร์ซัลเฟต (Conc. H_2SO_4 with silver sulfate)
   - ละลายซิลเวอร์ซัลเฟต ($AgSO_4$) 22 g ลงในกรดซัลฟิวริกเข้มข้นซึ่งมีน้ำหนัก 4.1 kg (ปริมาตร 2.5 L) ตั้งทิ้งไว้ 1-2 วัน ซิลเวอร์ซัลเฟตถึงจะละลายหมด
3. สารละลายเฟอโรอินอินดิเคเตอร์ (Ferroin Indicator)
   - ละลาย (1,10- phenanthroline monohydrate $C_{12}H_{18}N_2H_2O$ 1.485 g และเฟอรัส (II)ซัลเฟตเอปตาไฮเดรต ($FeSO_4 . 7H_2O$) 0.695 g ในน้ำกลั่นแล้วเจือจางให้เป็น 100 mL) นำมาทำการเจือจางในสัดส่วน 1 + 4 (เฟอโรอีน 1 ส่วน และน้ำ 4 ส่วน)
4. สารละลายมาตรฐานทุติยภูมิเฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟต (FAS) เข้มข้น 0.10 N
   - สารละลายเฟอรัส (II) แอมโมเนียมซัลเฟต (FAS) ชั่ง $Fe(NH_4)_2 (SO_4)_2 . 6H_2O$ ชนิดเอ.อาร์ (Analytical grade crystal) 39.2 g ในน้ำกลั่นเติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 20 ml ทำให้เย็นแล้วเจือจาง 1000 mL
   - สารละลายนี้ก่อนใช้ต้องนำมาหาความเข้มข้นที่แน่นอนกับสาระลายมาตรฐานปฐมภูมิโพแทสเซียมไดโครเมต
5. สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไฮโดรเจนพาทาเลตความเข้มข้น 5000 mg/L
   - ชั่ง KHP จำนวน 4.250 g ที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียสและทำให้เย็นในโถอบแห้งแล้วละลายในน้ำกลั่นเจือจางเป็น 1 L สารละลายนี้มีซีโอดีเท่ากับ 5000 mgO_2/L หรือมีค่าเท่ากับ 11.76 mgO_2/mg

การทดลองซีโอดี

1. ล้างหลอดแก้วและฝาด้วยกรดซัลฟูริก 20% ก่อนใช้ทุกครั้ง เพื่อป้องกันการปนเปื้อน
2. นำตัวอย่างน้ำที่แช่เย็นออกมาให้เย็นเท่ากับอุณหภูมิห้อง เขย่าให้น้ำตัวอย่างผสมเข้ากันดีแล้วนำมา 2.5 mL ใส่หลอดทดลอง 1 หลอดต่อ 1 ตัวอย่าง (จะต้องเจือจางหรือไม่ขึ้นกับปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำตัวอย่าง) สำหรับแบลงค์ให้ใส่น้ำกลั่นหลอดละ 2.5 mL กรณีที่ต้องการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐานให้เจือจางสาร KHP (เข้มข้น 500 mg/L) ให้มีความเข้มข้นไม่เกิน 300 mg/L ก่อนที่จะนำมาใช้ (หลักการเจือจางจะใช้ขวดวัดปริมาตรปิเปตน้ำมา 50 เติมน้ำกลั่นให้ครบ 100 mL เรียกว่าเป็นการเจือจาง 2 เท่า)
3. นำมาเติมสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต เข้มข้น 0.1 N (primary standard potassium solution) จำนวน 1.5 mL ทุกๆหลอดการทดลอง เขย่าให้เข้ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เติมสารละลายกรดซัลฟูริกที่เติมซิลเวอร์ซัลเฟต (Conc. H2SO4 with silver sulfate) จำนวน 3.5 mL ทุกๆหลอดทดลอง โดยค่อยๆใส่ให้กรดไหลไปตามข้างหลอดไปอยู่ด้านล่าง

ตารางที่ ก-1 ปริมาตรตัวอย่างน้ำและสารเคมีสำหรับหลอดแก้วขนาดมาตรฐาน

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

5. ปิดฝาหลอดให้สนิทค่อยๆเขย่าเพื่อให้สารผสมเข้ากันดี (ควรสวมถุงมือเพื่อป้องกันความร้อนขนาดเขย่า)
6. นำหลอดทดสอบใส่ลงในฮีทติ้งบล็อคที่ 150 ° ± 2°C แล้วต้มเป็นเวลา 2 ชั่วโมงทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้องแล้วนำหลอดแก้ววางลงในขาตั้ง
7. เมื่อครบ 2 ชั่วโมง ให้นำหลอดทดลองออกจากฮีทติ้งบล็อค ทำให้เย็นเท่ากับอุณหภูมิห้อง
8. เปิดฝาหลอดแก้วแล้วเทสารลงในขวดชมพู่ขนาด 50 mL และฉีดล้างสารละลายในหลอดแก้วให้หมด เติมสารละลาย เฟอร์โรอิน อินดิเคเตอร์ 1-2 หยด แล้วนำไปไทเทรตมาตรฐานทุติยภูมิ FAS
9. เมื่อถึงจุดยุติ สารละลายจะเปลี่ยนจากเหลือง เป็น สีเขียวแกมน้ำเงิน และจุดยุติคือสีน้ำตาลปนแดง
10. บันทึกปริมาตรของสารละลายมาตรฐานทุติยภูมิ FAS ที่ใช้ในการไทเทรต
11. นำค่าที่ได้ไปคำนวณ ตามสูตร

การคำนวณ

$$\text{ซีโอดี } (mgO_2/L) = \frac{(A-B)\times N\times 8000}{V}$$

เมื่อ A = ปริมาณ FAS ที่ใช้ไทเทรตแบลงค์ (mL)

B = ปริมาณ FAS ที่ใช้ไทเทรตตัวอย่างน้ำ (mL)

N = ความเข้มข้นของ FAS (N)

V = ปริมาตรตัวอย่างน้ำ (mL)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

12. การควบคุมคุณภาพ ผลการทดลองที่น่าเชื่อถือ

การวิเคราะห์ผลการทดลองที่ได้ว่ามีค่าความถูกต้อง โดยการวิเคราะห์วัสดุอ้างอิงรับรอง (Certified Reference Materials) หรือ วัสดุอ้างอิง (Reference Materials) เพื่อเป็นการทวนสอบให้แน่ใจว่าค่าที่ได้จากการทดลองสารมาตรฐานที่เตรียมขึ้นเองมีความถูกต้อง

เกณฑ์การยอมรับ : ± 10% ของค่าความจริง (ture value) หรือพิจารณาจาก เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องที่คำนวณได้ ควรอยู่ในช่วง 90-110%

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

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. กระดาษใยแก้ว (Glass microfibres filters) 1.2 µm จากบริษัท filtra TECH ประเทศฝรั่งเศส
4. อุปกรณ์กรองแบบลดความดัน
5. โถทำแห้ง (Desiccator)
6. เครื่องแก้วต่างๆ

การวิเคราะห์หาของแข็งทั้งหมด (Total Solid)

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (Total Suspended Solid)

1. นำกระดาษกรองไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 103 -105°C เป็นเวลา 1 ชม. ปล่อยทิ้งให้เย็นในโถทำให้แห้งแล้วชั่งหาน้ำหนัก
2. วางกระดาษกรองลงในกรวยบุชเนอร์ซึ่งต่อเข้ากับเครื่องกรองแบบลดความดันด้วยแรงน้ำ
3. ตวงปริมาตรตัวอย่างน้ำ 10 ml ด้วยกระบอกตวงเทลงในกรวยบุชเนอร์ และเปิดเครื่องกรองแบบลดความดันจนน้ำแห้ง ล้างด้วยน้ำกลั่น 10 ml เปิดเครื่องทิ้งไว้ 3 นาที
4. นำกระดาษกรองระเหยใส่ในโถทำแห้ง เพื่อปล่อยให้เย็น และนำมาชั่งน้ำหนัก
5. ทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 1-4 อีก 1 ครั้ง

การวิเคราะห์หาของแข็งระเหยได้และของแข็งคงตัว (Total Volatile Solid or Fixed Solid)

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

การทดลอง (Volatile Suspended Solid)

1. เผากระดาษกรองและของแข็งจากการทดลองหาของแข็งแขวนลอยทั้งหมดในเตาเผาอุณหภูมิ 550 °C เป็นเวลา 20 นาที
2. นำกระดาษกรองตั้งทิ้งให้เย็นแล้วนำใส่ในโถทำแห้ง เพื่อปล่อยให้เย็น และนำมาชั่งน้ำหนัก
3. ทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 1-2 อีก 1 ครั้ง

วิธีการเตรียมทำระบบหมักแก๊สชีวภาพ (ถังหมัก)

1.) ใช้ตะกอนน้ำเสียอุตสาหกรรมในบ่อหมักแก๊ส เขย่าตัวอย่างให้เข้ากันแล้วนำมาใส่กรวยอิมฮอฟฟ์ขนาด 1000 ml. ตั้งทิ้งไว้ 30 นาที ใช้แท่งแก้วคนข้างๆรอบกรวยเพื่อให้ของแข็งที่เกาะอยู่ข้างกรวยตกลงมาที่ก้นแล้วตั้งทิ้งไว้อีก 15 นาที จดปริมาตรของแข็งจมตัว

2.) นำส่วนตะกอนมาเจือจางให้ได้อัตราส่วนตามชุดที่ 1:1, 1:1+1% และ1:1+2% แล้วใส่ขวดดูแรนด์ขนาด 2,000 ml ทั้ง 3 ขวด โดยใช้ปริมาตรน้ำ 1,800 ml

3.) ใส่แท่งแม่เหล็กกวนและปั่นกวนประมาณ 5 นาที ดึงตัวอย่างทั้งสามขวดมาวัดค่าซีโอดี ค่าไนโตรเจนและฟอสเฟตเริ่มต้น

4.) นำสายยางต่อเข้ากับท่อที่ฝาขวดโดยวัดขนาดให้พอดีเพื่อให้ไปถึงคอลัมป์(กระบอกตวงขนาด 1,000 ml) โดยฝาจะมีท่อสองท่อที่หันออกตรงกันข้ามกันและใต้ฝาจะมีท่อที่ยาวออกมาเล็กน้อยท่ออีกฝั่งต่อสายยางยาวประมาณ 10 cm. เพื่อไปต่อกับวาล์ว โดยฝั่งที่ต่อกับวาล์วท่อที่ใต้ฝา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะต้องต่อสายยางให้ยาวลงไปประมาณครึ่งของขวดดูแรน พันข้อต่อระหว่างท่อกับสายยางและวาล์วด้วยพาราฟิล์มให้แน่น

5.) นำคอลัมป์มาเติมน้ำจนเต็ม เติมน้ำ(NaCl 2%)ในกะละมังและคว่ำคอลัมป์ในกะละมังโดยให้ปากคอลัมป์อยู่เหนือก้นกะละมังเล็กน้อย และให้จมอยู่ใต้น้ำ

6.) พันเกลียวขวดดูแรนด้วยเทปพันเกลียวท่อและปิดฝาที่เตรียมไว้ให้แน่นนำทั้งสองขวดมาไล่แก๊สออกซิเจนโดยการเติมแก๊สไนโตรเจนโดยเสียบท่อแก๊สฝั่งที่มีวาล์วและเปิดวาล์วแก๊สไนโตรเจนใช้เวลาในการไล่ออกซิเจนประมาณ 5 นาที เมื่อครบเวลาจึงปิดวาล์ว และนำไปตั้งบนเครื่องปั่นกวนเปิดเครื่องปั่นกวนไปที่ความเร็ว 750 – 800 รอบต่อนาที

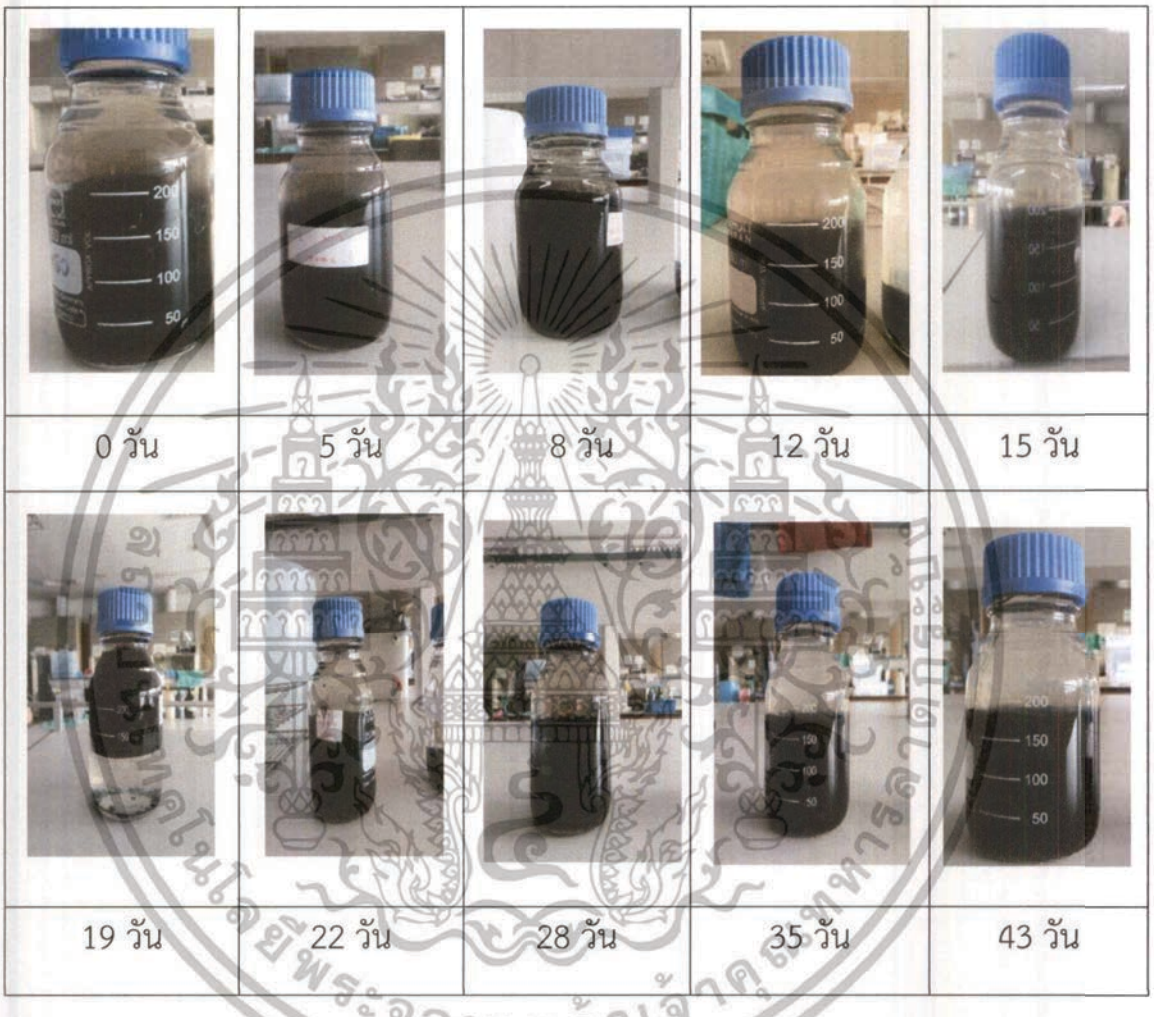
7.) นำท่อที่ต่อจากฝาขวดที่ไม่ได้ต่อกับวาล์วมาเสียบเข้ากับคอลัมป์ พันด้วยพาราฟิล์มตรงที่ต่อ เปิดวาล์วที่คอลัมป์เพื่อให้แก๊สไหลเข้าคอลัมป์ จดบันทึกปริมาตรเริ่มต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ผลการทดลอง

รูปที่ ข-1 ชุดตะกอนน้ำเสียจากอุตสาหกรรม: น้ำกลั่น (1:1)



0 วัน	5 วัน	8 วัน	12 วัน	15 วัน
19 วัน	22 วัน	28 วัน	35 วัน	43 วัน

ชุดการทดลองที่ 1:1 มีตะกอนเป็นจำนวนมากฟองแก๊สจะเริ่มเกิดขึ้นในวันที่ 8 มีการตกตะกอนในวันที่ 12 และใสขึ้นในอย่างชัดเจนตั้งแต่วันที่ 15 เป็นต้นไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-1 ข้อมูลดิบชุดตะกอนน้ำเสียจากอุตสาหกรรม : น้ำกลั่น (1:1)

พารามิเตอร์	TCOD(mg/L)					SCOD(mg/L)					Cell COD(mg/L)				
วันที่	ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	ซ้ำ 3	ค่าเฉลี่ย	SD	ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	ซ้ำ 3	ค่าเฉลี่ย	SD	ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	ซ้ำ 3	ค่าเฉลี่ย	SD
0	19200	18800	19200	19067	230.94	12000	11080	13400	12160	1168	9280	9560	9200	9347	189
5	16800	18400	16800	17333	923.76	7360	6600	7500	7153	484.3	4800	4800	4500	4700	173.2
8	14720	13500	13200	13807	805.07	4160	4160	4000	4107	92.38	5120	5120	7120	5787	1155
12	28160	28000	28200	28120	105.83	6400	6200	6600	6400	200	18720	18600	17600	18307	614.9
15	20800	22000	20800	21200	692.82	6400	5600	6120	6040	406	22400	22600	22400	22467	115.5
19	18240	18240	17250	17910	571.58	6480	6400	6400	6427	46.19	8960	8960	9960	9293	577.4
22	17856	18800	17500	18052	671.8	6336	6780	6060	6392	363.3	10368	9800	12000	10723	1142
27	18128	16128	16128	16795	1154.7	4032	6650	4032	4905	1512	12672	12000	12400	12357	338
34	15264	15264	14400	14976	498.83	2880	2650	2880	2803	132.8	10080	13080	10080	11080	1732
41	15260	15800	15800	15620	311.77	2520	2460	2500	2493	30.55	11200	12300	11200	11567	635.1
48	14400	14560	14560	14507	92.376	2300	2300	2100	2233	115.5	11200	10100	9800	10367	737.1

รูปที่ ข-2 ชุดตะกอนน้ำเสียจากอุตสาหกรรม: น้ำกลั่น (1:10)

0 วัน	5 วัน	8 วัน	12 วัน	15 วัน
19 วัน	22 วัน	28 วัน	35 วัน	43 วัน

ชุดการทดลองที่ 1:10 มีการตกตะกอนอย่างรวดเร็วเนื่องจากมีปริมาณน้ำมาก โดยจะเริ่มเกิดฟองแก๊สในวันที่ 5 น้ำจะใสขึ้นในอย่างชัดเจนตั้งแต่วันที่ 15 เป็นต้นไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-2 ข้อมูลดิบชุดตะกอนน้ำเสียจากอุตสาหกรรม : น้ำกลั่น (1:10)

พารามิเตอร์	TCOD(mg/L)					SCOD(mg/L)					Cell COD(mg/L)				
วันที่	ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	ซ้ำ 3	ค่าเฉลี่ย	SD	ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	ซ้ำ 3	ค่าเฉลี่ย	SD	ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	ซ้ำ 3	ค่าเฉลี่ย	SD
0	6440	7020	6400	6620	346.99	2200	2200	2160	2187	23.09	3360	3460	3400	3407	50.33
5	4760	4400	4800	4653.3	220.3	1520	1520	1820	1620	173.2	4840	4400	5460	4900	532.5
8	1840	1640	1840	1773.3	115.47	1600	1250	1440	1430	175.2	5400	6400	5400	5733	577.4
12	4300	4352	5120	4590.7	459.15	690	550	512	584	93.74	5632	7632	5632	6299	1155
15	3520	3520	3300	3446.7	127.02	1420	1280	1280	1327	80.83	3840	5400	3200	4147	1132
19	4984	5200	4850	5011.3	176.59	400	350	384	378	25.53	6430	4400	4400	5077	1172
22	4032	3900	4240	4057.3	171.41	256	256	280	264	13.86	3560	3560	3660	3593	57.74
27	3916	4000	4000	3972	48.497	440	360	460	420	52.92	3340	3500	3300	3380	105.8
34	2304	2440	2200	2314.7	120.36	440	406	406	417.3	19.63	2640	2040	2040	2240	346.4
41	1280	1020	1160	1153.3	130.13	440	340	400	393.3	50.33	2000	2200	2450	2217	225.5
48	1200	1100	1200	1166.7	57.735	200	450	400	350	132.3	2000	1900	2300	2067	208.2

รูปที่ ข-3 ชุดตะกอนน้ำเสียจากอุตสาหกรรม : น้ำกลั่น (1:2)

0 วัน	6 วัน	9 วัน	12 วัน
15 วัน	19 วัน	22 วัน	27 วัน

ชุดการทดลองที่ 1:2 เกิดฟองแก๊สในวันที่ 9 เริ่มมีการตกตะกอนในวันที่ 6 และใสขึ้นในอย่างชัดเจนตั้งแต่วันที่ 12 เป็นต้นไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-3 ข้อมูลดิบชุดตะกอนน้ำเสียจากอุตสาหกรรม : น้ำกลั่น (1:2)

พารามิเตอร์	TCOD(mg/L)					SCOD(mg/L)					Cell COD(mg/L)				
วันที่	ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	ซ้ำ 3	ค่าเฉลี่ย	SD	ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	ซ้ำ 3	ค่าเฉลี่ย	SD	ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	ซ้ำ 3	ค่าเฉลี่ย	SD
0	16480	16480	17600	16853	646.63	6800	5200	6080	6027	801.3	11840	11800	12480	12040	381.6
5	16200	16000	16540	16247	273.01	6000	4000	4800	4933	1007	9600	14000	8000	10533	3107
8	16560	18620	14800	16660	1912	6240	2080	6240	4853	2402	14560	13520	10400	12827	2165
12	14400	12400	14600	13800	1216.6	4300	4900	5300	4833	503.3	13000	12900	12800	12900	100
15	13600	13600	12400	13200	692.82	5200	4800	3020	4340	1161	14400	12800	12800	13333	923.8
19	12800	16600	8800	12733	3900.4	3200	3200	2400	2933	461.9	9200	12400	14100	11900	2488
22	10080	10240	10660	10327	299.56	3010	2840	3100	2983	132	7670	7840	6440	7317	764
27	9640	8640	8040	8773.3	808.29	2510	2450	2670	2543	113.7	6060	7360	8540	7320	1240
34	8080	8800	8300	8393.3	368.96	2110	2540	2300	2317	215.5	6680	7680	6680	7013	577.4
41	7010	8400	5780	7063.3	1310.8	2400	2400	2550	2450	86.6	6400	6680	5880	6320	406
48	11200	12000	9900	11033	1059.9	3200	4010	3200	3470	467.7	7660	7745	7330	7578	219.2

รูปที่ ข-4 ชุดตะกอนน้ำเสียจากอุตสาหกรรม : น้ำกลั่น (1:5)

0 วัน	6 วัน	9 วัน	12 วัน
15 วัน	19 วัน	22 วัน	27 วัน

ชุดการทดลองที่ 1:5 เริ่มมีการตกตะกอนในวันที่ 6 เริ่มเกิดฟองแก๊สในวันที่ 9 และใสขึ้นในอย่างชัดเจนตั้งแต่วันที่ 12 เป็นต้นไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-4 ข้อมูลดิบชุดตะกอนน้ำเสียจากอุตสาหกรรม : น้ำกลั่น (1:5)

พารามิเตอร์	TCOD(mg/L)					SCOD(mg/L)					CellCOD(mg/L)				
วันที่	ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	ซ้ำ 3	ค่าเฉลี่ย	SD	ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	ซ้ำ 3	ค่าเฉลี่ย	SD	ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	ซ้ำ 3	ค่าเฉลี่ย	SD
0	11680	10560	10560	10933	646.63	4480	5120	4880	4827	323.3	8160	8640	8430	8410	240.6
5	9600	9600	8800	9333.3	461.88	4800	4800	4620	4740	103.9	5600	8600	6400	6867	1553
8	10400	9200	12000	10533	1404.8	4160	3120	4160	3813	600.4	6240	6240	4160	5547	1201
12	8500	7600	7500	7866.7	550.76	3500	3500	3200	3400	173.2	5900	5240	5800	5647	355.7
15	7200	6400	4800	6133.3	1222	1600	4800	3500	3300	1609	6400	6400	4800	5867	923.8
19	8400	5400	5400	6400	1732.1	3200	2600	3340	3047	393.1	3200	3200	4800	3733	923.8
22	5960	4860	5590	5470	559.73	3020	3100	2900	3007	100.7	2860	3260	2800	2973	250.1
27	7800	4800	3900	5500	2042.1	2240	2000	2000	2080	138.6	2500	2110	2130	2247	219.6
34	3680	1280	2880	2613.3	1222	1200	1220	1400	1273	110.2	2000	1840	1840	1893	92.38
41	3600	2680	3200	3160	461.3	1440	1440	1460	1447	11.55	2300	2300	2300	2300	0
48	7640	6680	8350	7556.7	838.11	1600	1680	1450	1577	116.8	3200	3400	3400	3333	115.5

รูปที่ ข-5 ชุดตะกอนน้ำเสียจากอุตสาหกรรม : น้ำกลั่น+หัวเชื้อจุลินทรีย์จากน้ำเสียชุมชน (1:1+1%)

0 วัน	4 วัน	7 วัน	12 วัน
15 วัน	17 วัน	19 วัน	22 วัน

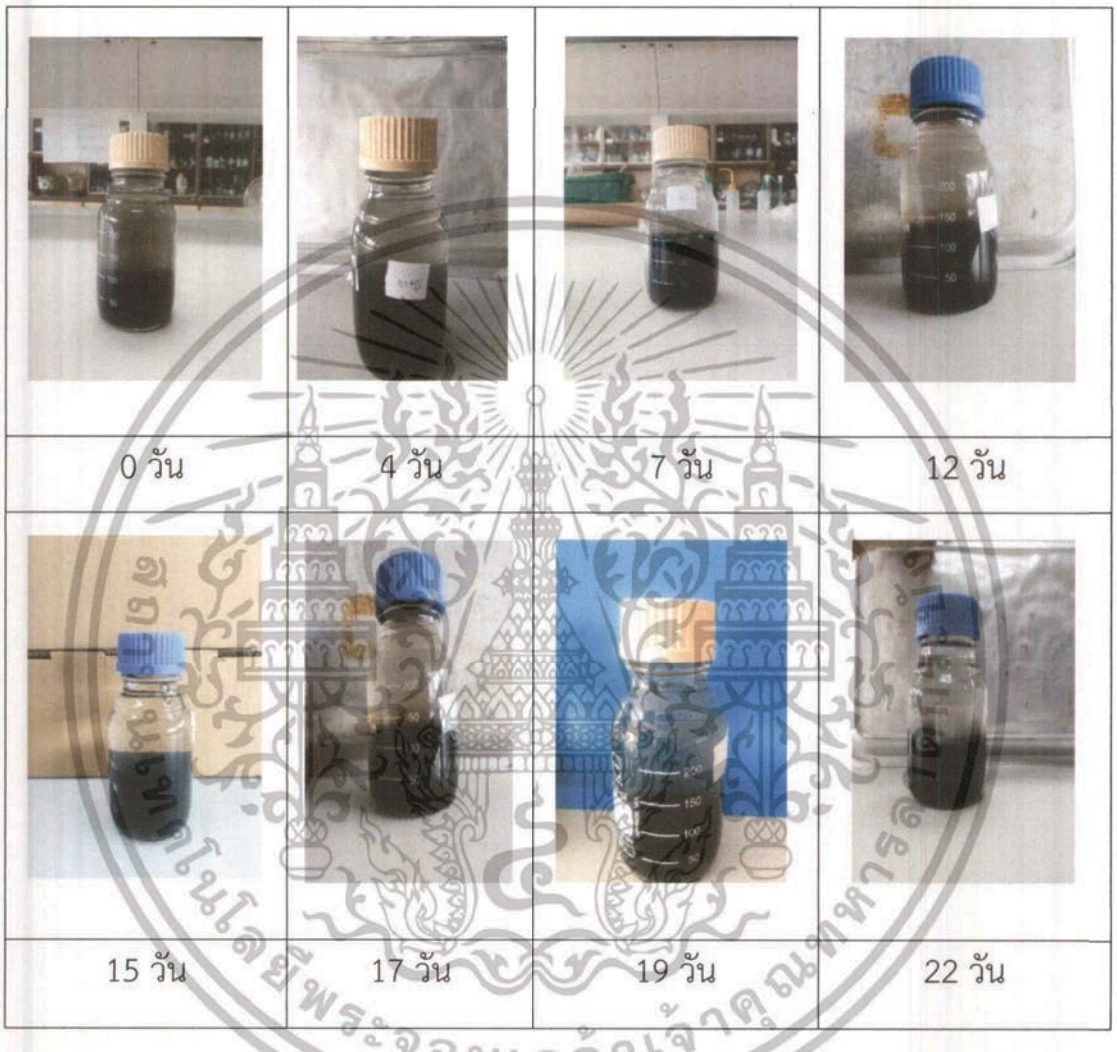
ชุดการทดลองที่ 1:1+1% เกิดฟองแก๊สในวันที่ 4 เริ่มตกตะกอนในวันที่ 4 และใสขึ้นในอย่างชัดเจนตั้งแต่วันที่ 15 เป็นต้นไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-5 ข้อมูลดิบชุดตะกอนน้ำเสียจากอุตสาหกรรม : น้ำกลั่น+หัวเชื้อจุลินทรีย์จากน้ำเสียชุมชน (1:1+1%)

พารามิเตอร์	TCOD(mg/L)					SCOD(mg/L)					Cell COD(mg/L)				
วันที่	ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	ซ้ำ 3	ค่าเฉลี่ย	SD	ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	ซ้ำ 3	ค่าเฉลี่ย	SD	ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	ซ้ำ 3	ค่าเฉลี่ย	SD
0	15360	15500	14880	15247	325.17	4160	4200	4080	4147	61.1	10560	10040	11000	10533	480.6
5	19000	18400	18400	18600	346.41	3440	3500	3400	3447	50.33	14300	14000	14600	14300	300
8	7362	7350	8400	7704	602.78	1152	1250	1100	1167	76.17	6488	6400	6400	6429	50.81
12	10080	11000	9840	10307	612.32	1200	1200	1330	1243	75.06	8990	9100	8860	8983	120.1
15	8800	8800	7800	8466.7	577.35	1100	1060	1060	1073	23.09	6740	6800	6550	6697	130.5
19	7460	6640	8540	7546.7	952.96	920	1230	810	986.7	217.8	6600	6500	6500	6533	57.74
22	5560	5500	5500	5520	34.641	940	880	900	906.7	30.55	4540	4400	4480	4473	70.24
27	3300	4200	6500	4666.7	1650.3	800	820	800	806.7	11.55	2800	2500	3200	2833	351.2
34	8400	8480	8600	8493.3	100.66	1600	1440	1560	1533	83.27	4700	4300	4550	4517	202.1
41	11680	11000	10200	10960	740.81	2080	1880	2100	2020	121.7	7200	6880	6880	6987	184.8

รูปที่ ข-6 ชุดตะอนน้ำเสียจากอุตสาหกรรม : น้ำกลั่น+หัวเชื้อจุลินทรีย์จากน้ำเสียชุมชน (1:1+2%)



0 วัน	4 วัน	7 วัน	12 วัน
15 วัน	17 วัน	19 วัน	22 วัน

ชุดการทดลองที่ 1:1+2% มีฟองแก๊สเกิดขึ้นในวันที่ 4 เริ่มมีการตกตะกอนตั้งต่วันที่ 4 และใสขึ้นในอย่างชัดเจนตั้งแต่วันที่ 7 เป็นต้นไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-6 ข้อมูลดิบชุดตะกอนน้ำเสียจากอุตสาหกรรม : น้ำกลั่น+หัวเชื้อจุลินทรีย์จากน้ำเสียชุมชน (1:1+2%)

พารามิเตอร์	TCOD(mg/L)					SCOD(mg/L)					Cell COD(mg/L)				
วันที่	ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	ซ้ำ 3	ค่าเฉลี่ย	SD	ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	ซ้ำ 3	ค่าเฉลี่ย	SD	ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	ซ้ำ 3	ค่าเฉลี่ย	SD
0	15360	15600	15040	15333	280.95	5760	5600	6500	5953	480.1	7060	7400	6800	7087	300.9
5	16080	17400	16080	16520	762.1	5390	5580	5420	5463	102.1	10870	10000	12000	10957	1003
8	5952	6600	6200	6250.7	326.96	1872	1800	1872	1848	41.57	4080	4080	6080	4747	1155
12	9810	10200	9800	9936.7	228.11	2080	2000	2080	2053	46.19	9800	10100	9800	9900	173.2
15	8040	8000	8000	8013.3	23.094	1800	1600	2000	1800	200	8600	6600	6600	7267	1155
19	6346	6480	6600	6475.3	127.06	1720	1640	1720	1693	46.19	4495	4405	4455	4452	45.09
22	4550	4040	5100	4563.3	530.13	1260	1200	1300	1253	50.33	2430	2560	2400	2463	85.05
27	3200	3200	4080	3493.3	508.07	840	880	880	866.7	23.09	1440	1420	1520	1460	52.92
34	6800	6600	6600	6666.7	115.47	800	800	890	830	51.96	4450	4450	6450	5117	1155
41	13080	12400	12000	12493	546.02	1280	1010	1400	1230	199.7	8850	8680	8800	8777	87.37

ตารางที่ ข-7 ข้อมูลดิบตะกอนน้ำเสียอุตสาหกรรมเริ่มต้นครั้งที่ 1

พารามิเตอร์ mg/L	ผลการทดลอง mg/L			ค่าเฉลี่ย mg/L	SD
	ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	ซ้ำ 3		
pH	7.40	7.35	7.35	7.37	0.03
TCOD	41,600	47,905	43,530	44,345	3,230
SCOD	12,800	14,879	12,432	13,370	1,319
CellCOD	37,440	38,590	35,430	37,153	1,599
SS	47,500	78,400	69,075	64,992	15,849
VSS	11,600	37,600	17,786	22,329	13,582
VSS/SS	0.24	0.48	0.26	0.33	0.13
TKN	561	560	560	560	0.57
TP	8.32	8.62	8.45	8	0.15

ตารางที่ ข-8 ข้อมูลดิบตะกอนน้ำเสียอุตสาหกรรมเริ่มต้นครั้งที่ 2

พารามิเตอร์ mg/L	ผลการทดลอง mg/L			ค่าเฉลี่ย mg/L	SD
	ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	ซ้ำ 3		
pH	7.00	7.02	7.05	7.02	0.02
TCOD	46,600	42,050	40,530	43,060	3,158
SCOD	13,000	13,993	15,786	14,260	1,412
CellCOD	27,840	28,590	26,052	27,494	1,304
SS	57,860	36,700	66,800	53,787	15,457
VSS	21,600	10,800	34,000	22,133	11,609
VSS/SS	0.37	0.29	0.50	0.39	0.10
TKN	599	596	604	600	4.04
TP	4.29	8.62	3.75	6	2.66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-9 ข้อมูลดิบตะกอนน้ำเสียอุตสาหกรรมเริ่มต้นครั้งที่ 3

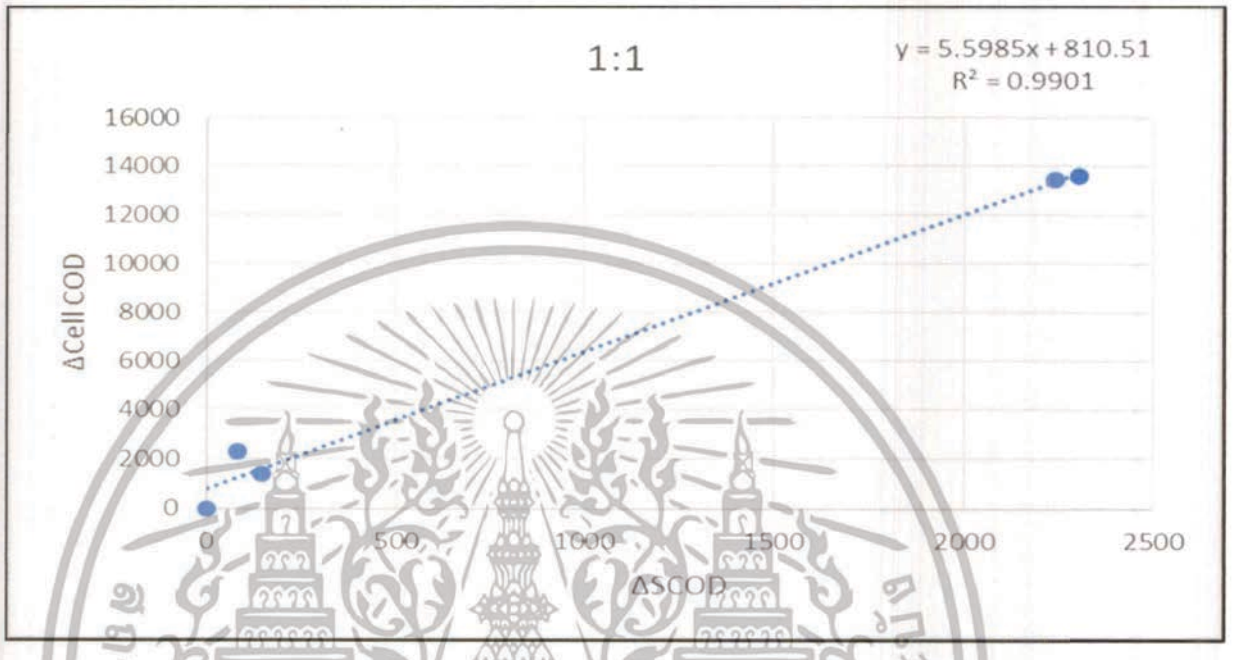
พารามิเตอร์ mg/L	ผลการทดลอง mg/L			ค่าเฉลี่ย mg/L	SD
	ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	ซ้ำ 3		
pH	7.42	7.40	7.39	7.40	0.01
TCOD	43,568	37,782	41,600	40,983	2,942
SCOD	12,800	9,806	10,986	11,197	1,508
CellCOD	41,195	40,240	37,440	39,625	1,951
SS	47,500	78,400	56,100	60,667	15,948
VSS	11,600	37,600	22,627	23,942	13,049
VSS/SS	0.24	0.47	0.40	0.37	0.18
TKN	364	358	366	429	4.16
TP	7.58	7.92	7.76	8	0.17

ตารางที่ ข-10 ข้อมูลดิบหัวเชื้อจุลินทรีย์เริ่มต้น

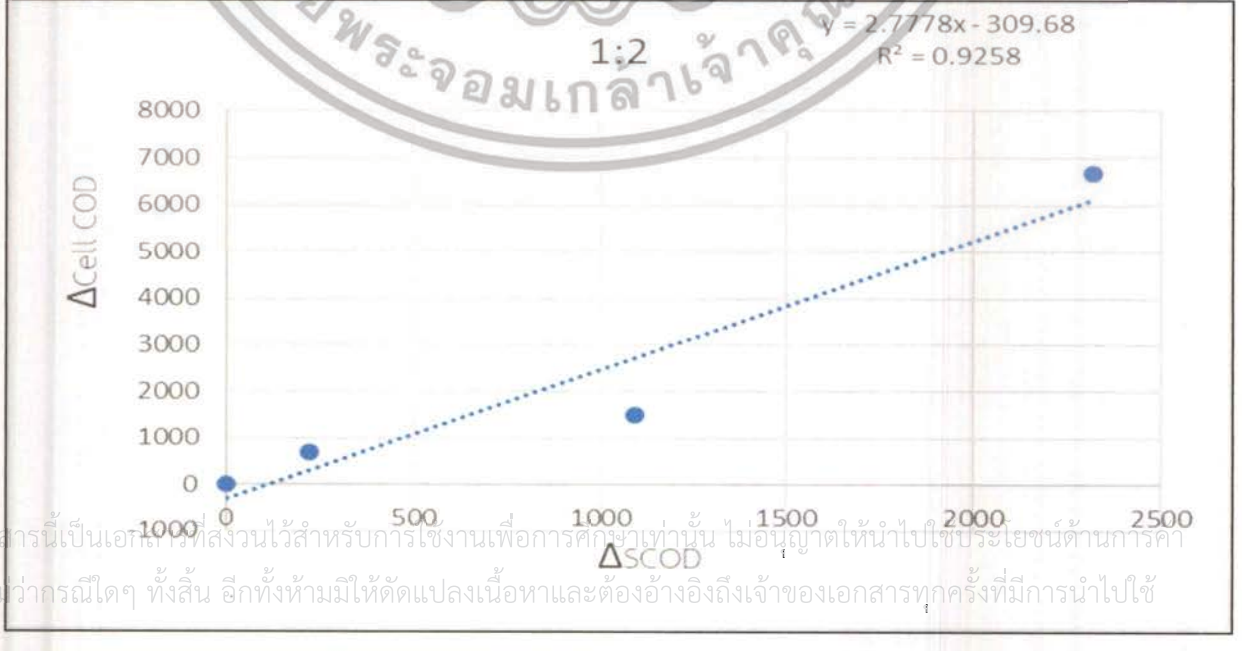
พารามิเตอร์ mg/L	ผลการทดลอง mg/L			ค่าเฉลี่ย mg/L	SD
	ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	ซ้ำ 3		
pH	7.20	7.20	7.18	7.13	0.01
TCOD	17,600	18,400	19,600	18,533	1,007
SCOD	3,200	2,400	3,500	3,033	569
CellCOD	19,200	16,800	17,900	17,967	1,201
SS	28,550	19,900	23,650	24,033	4,338
VSS	17,500	9,400	13,000	13,300	4,058
VSS/SS	0.61	0.47	0.55	0.54	0.07042
TKN	208	182	244	211	31.1341
TP	9.45	9.20	9.58	9	0.19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ข-7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเซลล์ซีโอดีกับค่าซีโอดีละลายน้ำเพื่อการกำหนดค่ายีลด์ของจุลินทรีย์ในระบบการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศของชุดการทดลอง 1:1

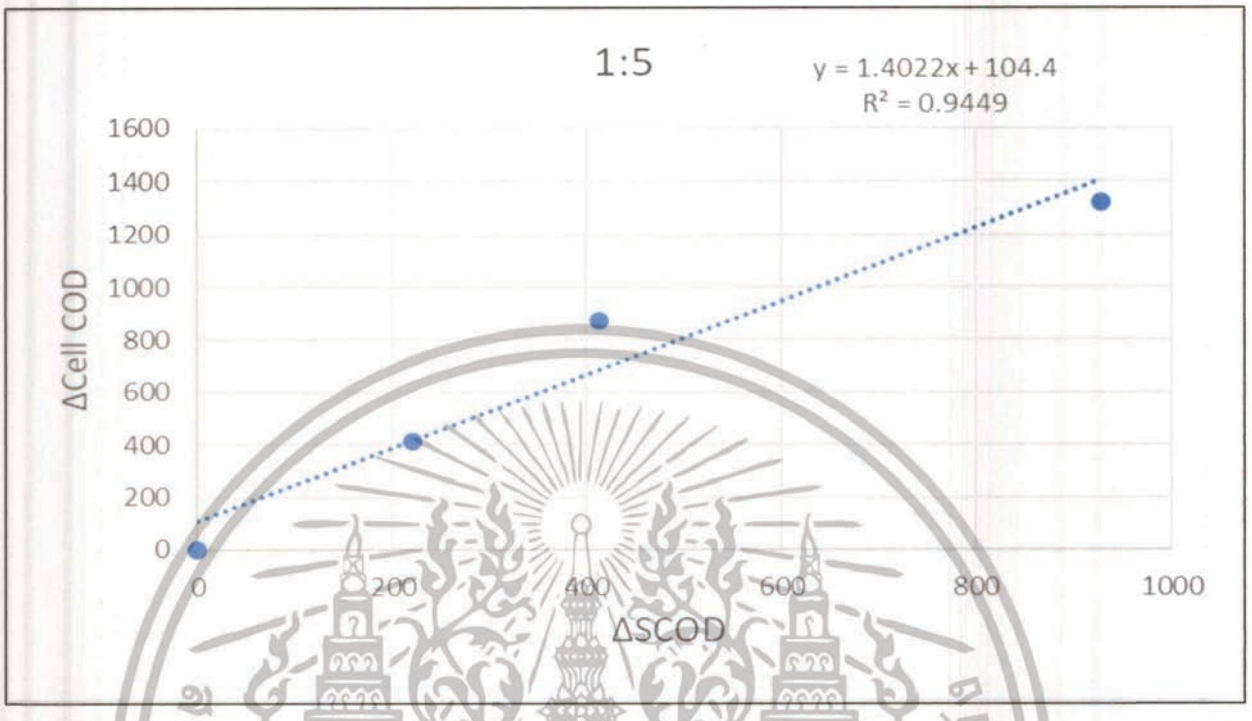


รูปที่ ข-8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเซลล์ซีโอดีกับค่าซีโอดีละลายน้ำเพื่อการกำหนดค่ายีลด์ของตะกอนจุลินทรีย์ในระบบการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศของชุดการทดลอง 1:2

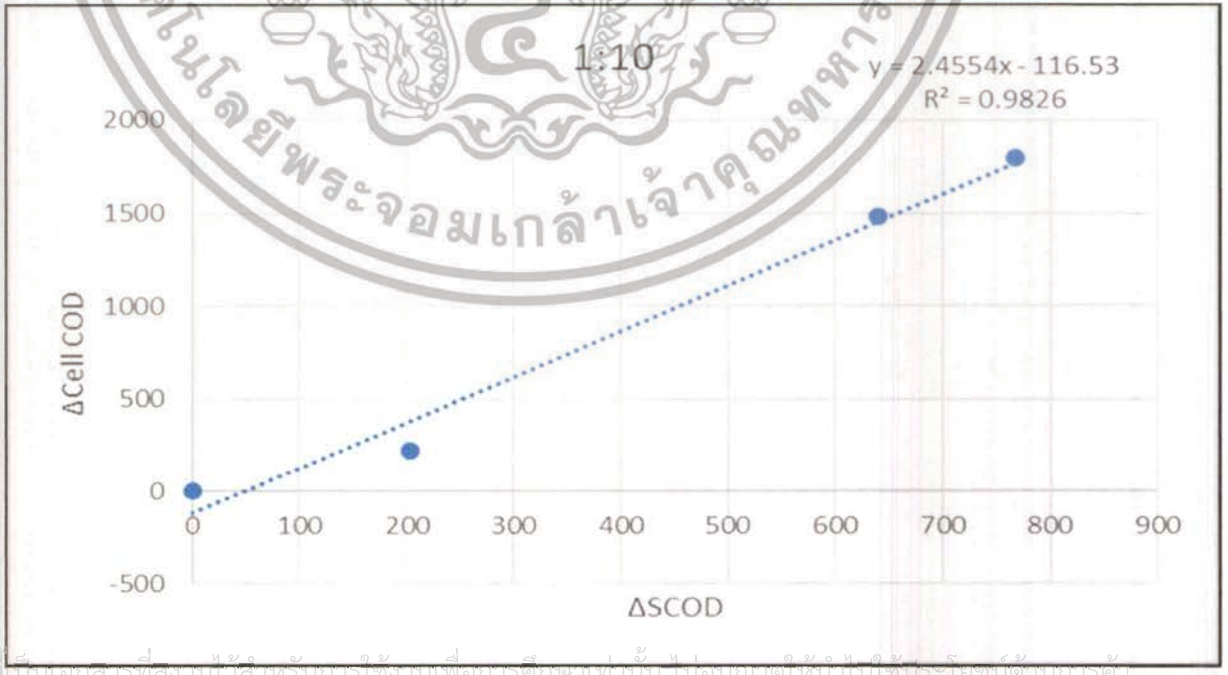


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ข-9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเซลล์ซีโอดีกับค่าซีโอดีละลายน้ำเพื่อการกำหนดค่ายีลด์ของตะกอนจุลินทรีย์ในระบบการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศของชุดการทดลอง 1:5

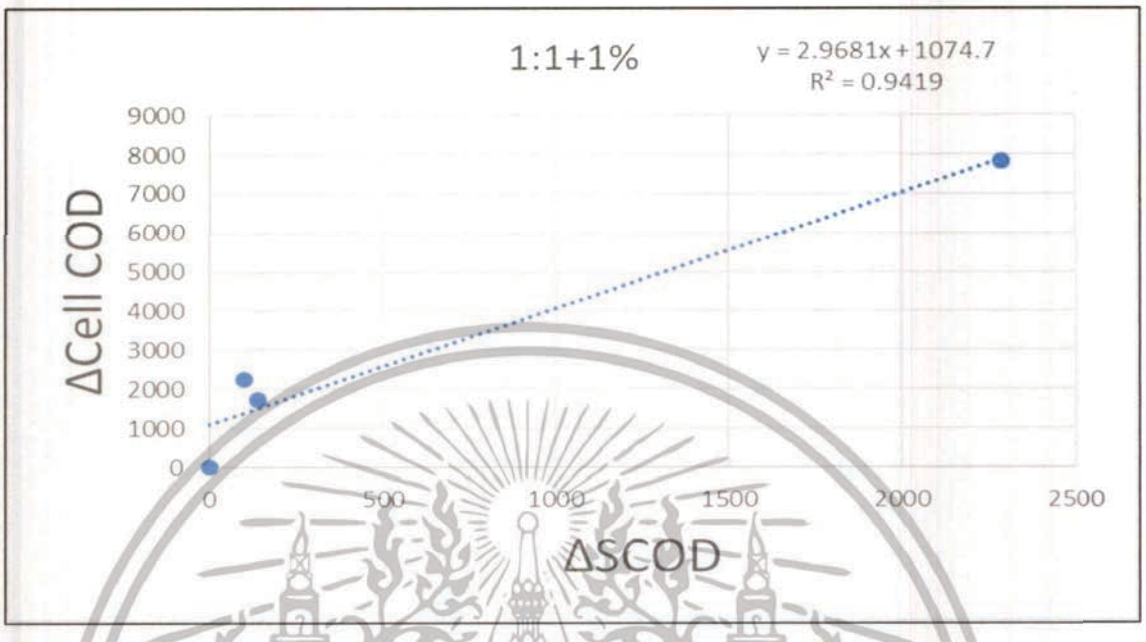


รูปที่ ข-10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเซลล์ซีโอดีกับค่าซีโอดีละลายน้ำเพื่อการกำหนดค่ายีลด์ของตะกอน จุลินทรีย์ในระบบการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศของชุดการทดลอง 1:10

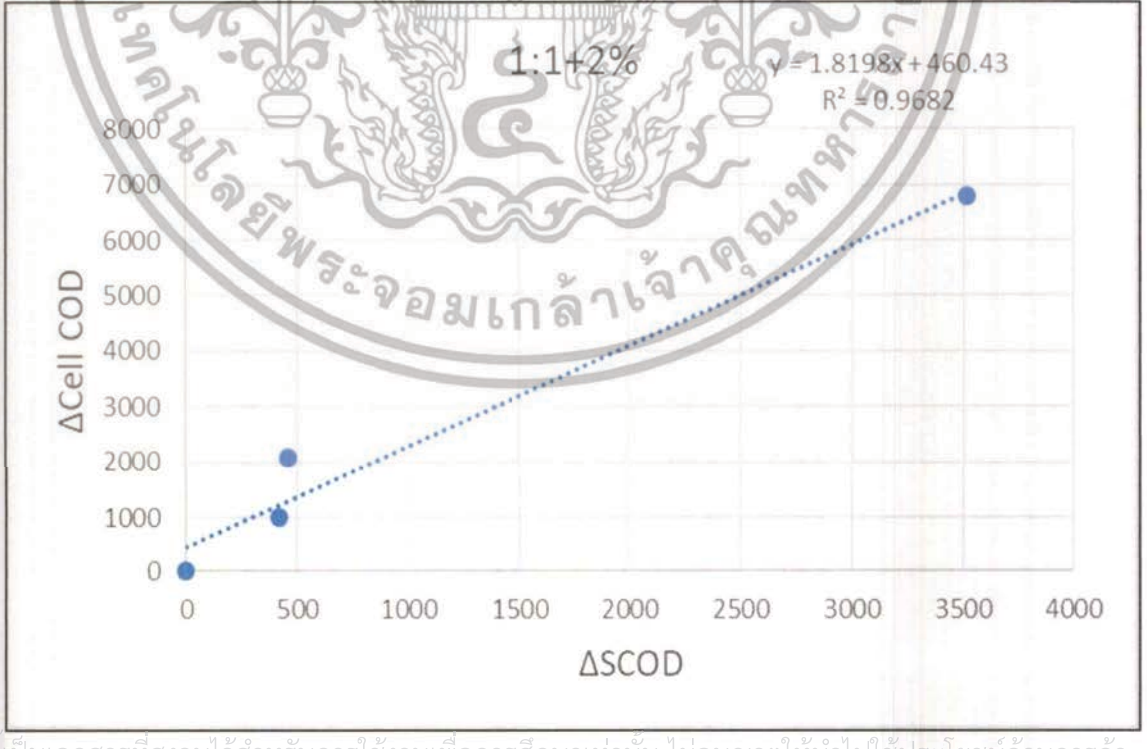


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ข-11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเซลล์ซีโอดีกับค่าซีโอดีละลายน้ำเพื่อการกำหนดค่ายีลด์ของตะกอน จุลินทรีย์ในระบบการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศของชุดการทดลอง 1:1 + 1%



รูปที่ ข-12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเซลล์ซีโอดีกับค่าซีโอดีละลายน้ำเพื่อการกำหนดค่ายีลด์ของตะกอน จุลินทรีย์ในระบบการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศของชุดการทดลอง 1:1 + 2%



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข -11 ผลการวิเคราะห์ในถังหมักแบบไม่ใช้อากาศ (ชุดการทดลองที่ 1:1)

พารามิเตอร์	ชุดการทดลองที่ 1:1														
	วันที่ 0					วันที่ 7					วันที่ 15				
	ซ้ำ1	ซ้ำ2	ซ้ำ3	ค่าเฉลี่ย	SD	ซ้ำ1	ซ้ำ2	ซ้ำ3	ค่าเฉลี่ย	SD	ซ้ำ1	ซ้ำ2	ซ้ำ3	ค่าเฉลี่ย	SD
pH	7.30	7.34	7.27	7.30	0.035	6.86	6.62	6.99	6.82	0.19	6.81	6.78	7.00	6.86	0.119
Temp	31.70	31.60	30.90	31.4	0.436	28.60	29.60	30.50	30	0.95	31.20	31.30	29.90	30.8	0.781
TCOD	18800	16400	20200	18467	1922	16560	13400	16200	15387	1730	13800	14280	20800	16293	3910
SCOD	12133	12800	12800	12578	385	6133	6000	8000	6711	1118	7200	2720	4800	4907	2241.9
CellCOD	13933	9200	8000	10378	3137	13400	12400	9980	11927	1758	4300	12650	16600	11183	6279.8
VFA	450	657	1079	729	321	260	236	280	259	22.03	90	168	335	198	125.2
Alk	1825	1699	3780	2435	1167	875	1093	691	886	201.24	375	450	580	468	103.7
VFA/Alk	0.25	0.39	0.29	0.31	0.07	0.29	0.22	0.41	0.31	0.096	0.24	0.37	0.58	0.40	0.17
TKN	599	605	945	716	198	451	486	547	495	48.58	391	399	1015	602	357.98
TP	6.95	7.06	9.58	7.86	1.49	4.56	6.04	4.68	5.09	0.82	2.66	4.05	5.29	4	1.32

ตารางที่ ข -12 ผลการวิเคราะห์ในถังหมักแบบไม่ใช้อากาศ (ชุดการทดลองที่ 1:1+1%)

พารามิเตอร์	ชุดการทดลองที่ 1:1 +1%														
	วันที่ 0					วันที่ 7					วันที่ 15				
	ซ้ำ1	ซ้ำ2	ซ้ำ3	ค่าเฉลี่ย	SD	ซ้ำ1	ซ้ำ2	ซ้ำ3	ค่าเฉลี่ย	SD	ซ้ำ1	ซ้ำ2	ซ้ำ3	ค่าเฉลี่ย	SD
pH	7.00	7.25	7.25	7.16	0.14	6.92	6.36	6.84	6.71	0.30	6.42	6.64	7.20	6.75	0.40
Temp	29.40	29.60	31.40	30.13	1.1	29.10	29.60	30.50	29.73	0.71	31.2	29.90	30.20	30.43	0.68
TCOD	18360	15660	19400	17807	1930	14300	13400	15940	14547	1288	12430	9280	20000	13903	5510
SCOD	12560	13000	13240	12933.3	345	4560	6000	6400	5653	968	4500	3520	1600	3207	1475
CellCOD	11800	11560	7680	10346.7	2312.5	11600	12400	8400	10800	2117	7580	6460	17080	10373	5835
VFA	600	725	1331	885	391	260	249	293	267.333	23	132	191	460	261	175
Alk	1850	1964	4340	2718	1405.8	700	873	996	856.333	148.7	560	414	1040	671	328
VFA/Alk	0.32	0.37	0.31	0.33	0.03	0.37	0.28	0.29	0.31	0.049	0.24	0.46	0.44	0.38	0.12
TKN	696	683	869	749	104	499	456	579	511	62.42	368	235	1075	559	451.5
TP	8.42	6.39	7.92	7.58	1.06	7.05	5.66	4.14	5.62	1.46	3.45	3.96	6.19	4.53	1.46

ตารางที่ ข -13 ผลการวิเคราะห์ในถังหมักแบบไม่ใช้อากาศ (ชุดการทดลองที่ 1:1+2%)

พารามิเตอร์	ชุดการทดลองที่ 1:1 +2%														
	วันที่ 0					วันที่ 7					วันที่ 15				
	ซ้ำ1	ซ้ำ2	ซ้ำ3	ค่าเฉลี่ย	SD	ซ้ำ1	ซ้ำ2	ซ้ำ3	ค่าเฉลี่ย	SD	ซ้ำ1	ซ้ำ2	ซ้ำ3	ค่าเฉลี่ย	SD
pH	7.00	7.25	7.27	7.17	0.15	6.94	6.45	6.99	6.79	0.30	6.75	6.73	6.80	6.76	0.036
Temp	32.40	29.80	30.40	30.87	1.36	29.80	29.70	29.60	29.7	0.1	31.40	30.40	30.30	30.7	0.608
TCOD	18360	15700	20160	18073	2244	11000	10512	14800	12104	2348	11200	8480	18400	12693	5126
SCOD	12560	13480	12640	12893	509.6	3300	4400	5200	4300	954	2600	1920	3200	2573	640
CellCOD	12160	12880	8400	11147	2406	9860	13000	5200	9353	3925	8660	5980	16200	10280	5299
VFA	300	564	1464	776	610	925	227	340	497	375	53	163	320	179	134
Alk	1732	1893	4285	2637	1429.8	590	1129	796	838	271.98	190	438	860	496	338.74
VFA/Alk	0.17	0.29	0.34	0.27	0.087	0.15	0.20	0.43	0.26	0.149	0.28	0.37	0.37	0.34	0.052
TKN	655	701	892	749	125.68	398	503	588	496	95	208	288	1093	530	489.5
TP	7.97	9.02	7.58	8.19	0.74	5.78	6.75	3.77	5.43	1.52	2.03	4.13	8.33	4.83	3.21