

การบำบัดน้ำเสียชุมชนโดยใช้กากหั่นจากเปลือกสับปรอท

Municipal Wastewater Treatment by Hixtract from Pineapple Rinds

นางสาววิรัชญา	นิพนธ์คำพิงค์
นางสาวฉัตรพร	ธวัชประสิทธิ์
นายประเสริฐ	ฉวีแถม

โครงการพิเศษเป็นส่วนหนึ่งของสารคดีเรื่องสารคดีสิ่งแวดล้อมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

สาขาวิชาเคมีสิ่งแวดล้อม

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

การบำบัดน้ำเสียชุมชนโดยใช้น้ำหมักชีวภาพจากเปลือกสับปะรด

Municipal Wastewater Treatment by Bioextract from Pineapple Rinds

นางสาวขนิษฐา จำนงค์จิตต์

นางสาวจิรพร อินตะพันธ์

นายประเสริฐ จันทพ

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา เคมีสิ่งแวดล้อม

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

**MUNICIPAL WASTEWATER TREATMENT BY BIOEXTRACT
FROM PINEAPPLE RINDS**

MISS KHANITA JUMNONGJIT

MISS JIRAPORN INTAPAN

MR. PRASRET CHANTHEP

**A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE
IN ENVIRONMENTAL CHEMISTRY
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2013**

หัวข้อโครงการพิเศษ การบำบัดน้ำเสียชุมชน โดยใช้น้ำหมักชีวภาพจากเปลือกสับปะรด
Municipal wastewater treatment by bioextract from pineapple rinds




ชื่อนักศึกษา นางสาวนิษฐา จ่านงค์จิตต์
นางสาวจิรพร อินตะพันธ์
นายประเสริฐ จันทพ

ปริญญา วิทยาศาสตร์บัณฑิต

สาขาวิชา เคมีสิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.สุวรรณี จรรยาพูน

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้
โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชา เคมี
สิ่งแวดล้อม ประจำปีการศึกษา 2556

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ.พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย	
อ.กถินสุคนธ์ สุวรรณรัตน์	
ผศ.ดร.สุวรรณี จรรยาพูน	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

หัวข้อโครงการพิเศษ	การบำบัดน้ำเสียชุมชน โดยใช้น้ำหมักชีวภาพจากเปลือกสับปะรด
ชื่อนักศึกษา	นางสาวณิษฐา จำนงค์จิตต์
	นางสาวจิรพร อินตะพันธ์
	นายประเสริฐ จันทพ
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต
สาขาวิชา	เคมีสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา	2556
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.สุวรรณณี จรรยาพูน

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ในการบำบัดน้ำเสียชุมชนโดยใช้น้ำหมักชีวภาพจากเปลือกสับปะรดโดยใช้น้ำหมักชีวภาพชนิดต่างๆ ได้แก่ น้ำหมักชีวภาพจากเปลือกสับปะรดสูตร 1 ,น้ำหมักชีวภาพจากเปลือกสับปะรดสูตร 2 และน้ำหมักชีวภาพจากน้ำตาลทรายแดงสูตร 3 อัตราส่วนของน้ำหมักชีวภาพที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสีย จากผลการทดลองพบว่าการใช้น้ำหมักชีวภาพสูตรที่ 1 มาบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ชุดที่ 1 พบว่าค่าซีโอดีละลายน้ำ (sCOD) เพิ่มขึ้นเนื่องจากสารอินทรีย์ภายในน้ำหมักมาก น้ำหมักชีวภาพสูตรที่ 2 ซึ่งมีปริมาณสารอินทรีย์ลดลงเมื่อใช้บำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ชุดที่ 2 พบว่าค่าซีโอดีที่ละลายน้ำ (sCOD) และซีโอดี (COD) ไม่แตกต่างจากชุดควบคุมที่ไม่เติมน้ำหมักชีวภาพ ส่วนน้ำหมักชีวภาพสูตรที่ 3 ผลการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ชุดที่ 3 พบว่าค่าซีโอดีที่ละลายน้ำ (sCOD) และซีโอดี (COD) ไม่แตกต่างจากชุดควบคุม นั่นคือจุลินทรีย์ในน้ำหมักชีวภาพ ไม่มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสีย

คำสำคัญ : น้ำเสียชุมชน, น้ำเสียสังเคราะห์, น้ำหมักชีวภาพ, เปลือกสับปะรด

Title	Municipal wastewater treatment by bioextract from pineapple rinds
Students	Miss Khanita Jumnongjit Miss Jiraporn Intapan Mr. prasert Chanthep
Degree	Bachelor of Science
Major Program	Environmental Chemistry
Academic Year	2013
Advisor	Asst. Prof. Dr. Suwannee Junyapoon

ABSTRACT

This special project studied a possibility of municipal wastewater treatment by bioextract from pineapple rinds. Bioextract from pineapple rinds (bioextract I), bioextract II and from brown sugar (bioextract III) were investigated. Bioextract ratio was studied to determine the optimum condition for municipal wastewater treatment. The experimental results showed that treatment with bioextract I increase soluble COD (sCOD) value since bioextract I contained more organic matter. sCOD and COD from Treatment with bioextract II were similar to those of control. These results were also similar to treatment with bioextract III. It was found that microorganisms in bioextract could not treat municipal wastewater.

Keywords: municipal wastewater, synthesis wastewater, bioextract, Pineapple rinds

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษเล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากคณะผู้จัดทำได้รับความช่วยเหลือจากผู้มีพระคุณ ดังนี้

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.สุวรรณณี จรรยาพูน อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษ ที่ให้คำปรึกษาและให้คำแนะนำ เสนอแนะให้ให้แนวทางการแก้ไขปัญหา เพื่อให้ผลงานสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ผศ.พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย และอาจารย์กตินสุคนธ์ สุวรรณรัตน์ อาจารย์ประจำสาขาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรรมการสอบโครงการพิเศษที่ช่วยให้คำแนะนำ ชี้แนะข้อบกพร่องและข้อเสนอแนะต่างๆของโครงการพิเศษรวมทั้งตรวจสอบผลงานอย่างละเอียดซึ่งทำให้ผลงานมีความสมบูรณ์มากขึ้น

ขอขอบพระคุณดร.ปราโมทย์ สิริโรจน์ อาจารย์พิเศษ คณะวิทยาศาสตร์ ที่ให้คำแนะนำและให้คำปรึกษาเกี่ยวกับโครงการพิเศษ

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ สาขาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ ที่ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวก ในการทำโครงการพิเศษให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ เจ้าหน้าที่ห้องธุรการ สาขาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ ที่ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวก ในการทำโครงการพิเศษให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณกรุงเทพมหานครและ บริษัท เบสท์แคร์ ไทยแลนด์ ที่ให้ความอนุเคราะห์เกี่ยวกับอุปกรณ์ในการทำโครงการพิเศษและช่วยชี้แนะแนวทางการทำโครงการพิเศษนี้

ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ เพื่อนๆ ที่คอยให้กำลังใจและคอยช่วยเหลือให้โครงการพิเศษสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี รวมถึงบุคคลอื่นๆที่คอยช่วยเหลือ ที่ไม่ได้กล่าวมา ณ ที่นี้

นางสาวชนิษฐา จ้านงค์จิตต์

นางสาวจิรพร อินตะพันธ์

นายประเสริฐ จันท

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VII
สารบัญรูป	XII
คำย่อและสัญลักษณ์	XIV
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 น้ำเสียชุมชน	3
2.1.1 ความหมายน้ำเสียชุมชน	3
2.1.2 แหล่งกำเนิดน้ำเสียชุมชน	3
2.1.3 ลักษณะของน้ำเสียชุมชน	4
2.1.4 การบำบัดน้ำเสีย	13
2.2 น้ำหมักชีวภาพ	14
2.2.1 ความหมายของน้ำหมักชีวภาพ	14
2.2.2 ชนิดของน้ำหมักชีวภาพ	14
2.2.3 คุณภาพน้ำหมักชีวภาพที่ผลิตโดยใช้ผลไม้เป็นวัสดุหลัก	15
2.2.4 ประโยชน์ของน้ำหมักชีวภาพ	16
2.3 บทบาทของจุลินทรีย์ในกระบวนการหมักน้ำหมักชีวภาพ	17
2.3.1 แบคทีเรีย	17
2.3.2 เชื้อรา	20

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4 สับปะรด	21
2.4.1 ถิ่นกำเนิดและการกระจายตัว	22
2.4.2 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์	22
2.4.3 พันธุ์สับปะรด	22
2.4.4 ประโยชน์ของสับปะรด	23
2.4.5 คุณค่าทางโภชนาการของสับปะรด	24
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	26
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	29
3.1 อุปกรณ์และสารเคมี	29
3.1.1 อุปกรณ์	29
3.1.2 สารเคมี	30
3.1.3 วัสดุดิบ	31
3.1.4 แหล่งที่มาของจุลินทรีย์	31
3.2 ขั้นตอนการดำเนินการทดลอง	31
3.2.1 การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์	31
3.2.2 การเตรียมน้ำหมักชีวภาพ	33
3.2.3 ศึกษาประสิทธิภาพของน้ำหมักชีวภาพในการบำบัดน้ำเสียชุมชน	34
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล	40
4.1 ผลการศึกษาคุณลักษณะของน้ำหมักชีวภาพ	40
4.1.1 ผลการศึกษาคุณลักษณะในน้ำหมักชีวภาพจากเปลือกสับปะรด สูตรที่ 1	40
4.1.2 ผลการศึกษาคุณลักษณะในน้ำหมักชีวภาพจากเปลือกสับปะรด สูตรที่ 2	41
4.1.3 ผลการศึกษาคุณลักษณะน้ำหมักชีวภาพสูตรที่ 3	42
4.2 ผลการศึกษ้อัตราส่วนของน้ำหมักชีวภาพที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสีย	45
4.2.1 ผลการศึกษ้อัตราส่วนของน้ำหมักชีวภาพจากเปลือกสับปะรดสูตรที่ 1 ที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ชุดที่ 1	45

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2.2 ผลการศึกษาอัตราส่วนของน้ำหมักชีวภาพจากเปลือกสับประรดสูตรที่ 2 ที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ ชุดที่ 2	48
4.2.3 ผลการศึกษาอัตราส่วนของน้ำหมักชีวภาพสูตรที่ 3 ที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ ชุดที่ 3	52
4.3 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ โดยใช้น้ำหมักชีวภาพชนิดต่างๆ	56
บทที่ 5 สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ	58
5.1 สรุปผลการวิจัย	58
5.2 ข้อเสนอแนะ	58
เอกสารอ้างอิง	59
ภาคผนวก ก	62
ภาคผนวก ข	79
ภาคผนวก ค	99

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ปริมาณน้ำเสียชุมชนของอาคารประเภทต่าง ๆ	4
ตารางที่ 2.2 กลิ่นผิดปกติที่พบในน้ำเสีย	5
ตารางที่ 2.3 ลักษณะน้ำเสียชุมชน	10
ตารางที่ 2.4 คุณค่าทางโภชนาการของสับปะรด	24
ตารางที่ 2.4 (ต่อ) คุณค่าทางโภชนาการของสับปะรด	25
ตารางที่ 3.1 วิธีการวิเคราะห์คุณลักษณะน้ำเสีย	33
ตารางที่ 4.1 ผลการศึกษาสภาวะในน้ำหมักชีวภาพจากเปลือกสับปะรดสูตรที่ 1	40
ตารางที่ ก-1 ปริมาตรของตัวอย่างน้ำและสารเคมีสำหรับหลอดแก้วขนาดต่างๆ	70
ตารางที่ ข-1 กราฟมาตรฐานของปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในน้ำหมักชีวภาพ สูตรที่ 1	80
ตารางที่ ข-2 ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในน้ำหมักชีวภาพ สูตรที่ 1	81
ตารางที่ ข-3 จำนวนเชื้อจุลินทรีย์ในน้ำหมักและค่าพีเอช สูตรที่ 1	81
ตารางที่ ข-4 กราฟมาตรฐานของปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในน้ำหมักชีวภาพ สูตรที่ 2	82
ตารางที่ ข-5 ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในน้ำหมักชีวภาพ สูตรที่ 2	82
ตารางที่ ข-5 (ต่อ) ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในน้ำหมักชีวภาพ สูตรที่ 2	83
ตารางที่ ข-6 จำนวนเชื้อจุลินทรีย์ในน้ำหมักและค่าพีเอชในน้ำหมักชีวภาพ สูตรที่ 2	83
ตารางที่ ข-7 กราฟมาตรฐานของปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในน้ำหมักชีวภาพจาก น้ำตาลทรายแดง สูตรที่ 3	84
ตารางที่ ข-8 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในน้ำหมักชีวภาพ สูตรที่ 3	85
ตารางที่ ข-9 จำนวนเชื้อจุลินทรีย์ในน้ำหมักและค่าพีเอชในน้ำหมักชีวภาพ สูตรที่ 3	86
ตารางที่ ข-10 ค่า OD ₆₀₀ (Optical Density) ของน้ำหมักชีวภาพสูตรที่ 3	86
ตารางที่ ข-11-1 การเปลี่ยนแปลงค่าซีโอดีที่ละลายน้ำได้ (sCOD) ของน้ำเสียสังเคราะห์ชุดที่ 1	87
ตารางที่ ข-11-2 การเปลี่ยนแปลงค่าความขุ่นของน้ำเสียสังเคราะห์สูตรที่ 1	87
ตารางที่ ข-11-3 การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอช (pH) ของน้ำเสียสังเคราะห์สูตรที่ 1	87
ตารางที่ ข-11-4 ค่าอุณหภูมิของน้ำเสียสังเคราะห์สูตรที่ 1	88
ตารางที่ ข-12-1 การเปลี่ยนแปลงค่าซีโอดีที่ละลายน้ำ (sCOD) และซีโอดี (COD) ของน้ำเสียสังเคราะห์ชุดที่ 2 โดยใช้หมักชีวภาพจากเปลือกสับปะรดสูตรที่ 2	89

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ ข-12-2 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ ชุดที่ 2 โดยใช้น้ำหมักชีวภาพจากเปลือกสับประรดสูตรที่ 2	90
ตารางที่ ข-12-3 การเปลี่ยนแปลงค่าการนำไฟฟ้า (EC) ในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ ชุดที่ 2 โดยใช้น้ำหมักชีวภาพจากเปลือกสับประรดสูตรที่ 2	90
ตารางที่ ข-12-4 การเปลี่ยนแปลงค่าออกซิเจนละลาย (DO) ในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ ชุดที่ 2 โดยใช้น้ำหมักชีวภาพจากเปลือกสับประรดสูตรที่ 2	91
ตารางที่ ข-12-5 การเปลี่ยนแปลงค่าความขุ่นในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ ชุดที่ 2 โดยใช้น้ำหมักชีวภาพจากเปลือกสับประรดสูตรที่ 2	91
ตารางที่ ข-12-6 การเปลี่ยนแปลงค่าอุณหภูมิในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ ชุดที่ 2 โดยใช้น้ำหมักชีวภาพจากเปลือกสับประรดสูตรที่ 2	92
ตารางที่ ข-13-1 การเปลี่ยนแปลงค่าซีโอดี ในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ ชุดที่ 3 โดยใช้น้ำหมักชีวภาพสูตรที่ 3	92
ตารางที่ ข-13-1 (ต่อ) การเปลี่ยนแปลงค่าซีโอดี ในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ ชุดที่ 3 โดยใช้น้ำหมักชีวภาพสูตรที่ 3	93
ตารางที่ ข-13-2 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ ชุดที่ 3 โดยใช้น้ำหมักชีวภาพสูตรที่ 3	93
ตารางที่ ข-13-3 การเปลี่ยนแปลงค่าการนำไฟฟ้า (EC) ในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ ชุดที่ 3 โดยใช้น้ำหมักชีวภาพสูตรที่ 3	94
ตารางที่ ข-13-4 การเปลี่ยนแปลงค่าออกซิเจนละลายน้ำ (DO) ในการบำบัดน้ำเสีย สังเคราะห์ ชุดที่ 3 โดยใช้น้ำหมักชีวภาพสูตรที่ 3	95
ตารางที่ ข-13-5 การเปลี่ยนแปลงค่าความขุ่น (Turbidity) ในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ ชุดที่ 3 โดยใช้น้ำหมักชีวภาพสูตรที่ 3	96
ตารางที่ ข-13-6 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ ชุดที่ 3 โดยใช้น้ำหมักชีวภาพสูตรที่ 3	97
ตารางที่ ค-1 ค่าซีโอดีที่ละลายน้ำได้ในน้ำเสียสังเคราะห์สูตรที่ 1	99
ตารางที่ ค-2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าซีโอดีที่ละลายน้ำได้ในน้ำเสียสังเคราะห์ สูตรที่ 1	99

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ ค-2-1 เปรียบเทียบการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าซีโอดีที่ละลายน้ำได้ในน้ำเสียสังเคราะห์สูตรที่ 1	100
ตารางที่ ค-3 ค่าความขุ่นในน้ำเสียสังเคราะห์สูตรที่ 1	101
ตารางที่ ค-4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความขุ่น (NTU) ในน้ำเสียหอพักนักศึกษา	101
ตารางที่ ค-4-1 เปรียบเทียบการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความขุ่น (NTU) ในน้ำเสียหอพักนักศึกษา	102
ตารางที่ ค-5 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในน้ำเสียสังเคราะห์สูตรที่ 1	103
ตารางที่ ค-6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในน้ำเสียสังเคราะห์สูตรที่ 1	103
ตารางที่ ค-6-1 เปรียบเทียบการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในน้ำเสียสังเคราะห์สูตรที่ 1	104
ตารางที่ ค-7 ค่าอุณหภูมิในน้ำเสียสังเคราะห์สูตรที่ 1	105
ตารางที่ ค-8 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าอุณหภูมิในน้ำเสียสังเคราะห์สูตรที่ 1	105
ตารางที่ ค-9 ค่าซีโอดีที่ละลายน้ำ (sCOD) และซีโอดีของน้ำเสียสังเคราะห์ชุดที่ 2 โดยใช้น้ำหมักชีวภาพจากเปลือกสับปะรด	106
ตารางที่ ค-10-1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าซีโอดีที่ละลายน้ำของน้ำเสียสังเคราะห์ ชุดที่ 2 โดยใช้น้ำหมักชีวภาพจากเปลือกสับปะรด	107
ตารางที่ ค-10-2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าซีโอดีของน้ำเสียสังเคราะห์ ชุดที่ 2 โดยใช้น้ำหมักชีวภาพจากเปลือกสับปะรด	107
ตารางที่ ค-11 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของน้ำเสียสังเคราะห์ ชุดที่ 2 โดยใช้น้ำหมักชีวภาพจากเปลือกสับปะรด	108
ตารางที่ ค-12 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของน้ำเสียสังเคราะห์ ชุดที่ 2 โดยใช้น้ำหมักชีวภาพจากเปลือกสับปะรด	108
ตารางที่ ค-13 ค่าการนำไฟฟ้า (EC) ของน้ำเสียสังเคราะห์ชุดที่ 2 โดยใช้น้ำหมักชีวภาพจากเปลือกสับปะรด	109
ตารางที่ ค-14 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าการนำไฟฟ้า (EC) ของน้ำเสียสังเคราะห์ชุดที่ 2 โดยใช้น้ำหมักชีวภาพจากเปลือกสับปะรด	109

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ ค-15 ค่าออกซิเจนละลาย (DO) ของน้ำเสียดังเคราะห์ ชุดที่ 2 โดยใช้น้ำหมักชีวภาพจากเปลือกสับปะรด	110
ตารางที่ ค-16 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าออกซิเจนละลายน้ำ (DO) ของน้ำเสียดังเคราะห์ ชุดที่ 2 โดยใช้น้ำหมักชีวภาพจากเปลือกสับปะรด	110
ตารางที่ ค-17 ค่าความขุ่น (NTU) ของน้ำเสียดังเคราะห์ ชุดที่ 2 โดยใช้น้ำหมักชีวภาพจากเปลือกสับปะรด	111
ตารางที่ ค-18 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความขุ่น (NTU) ของน้ำเสียดังเคราะห์ ชุดที่ 2 โดยใช้น้ำหมักชีวภาพจากเปลือกสับปะรด	111
ตารางที่ ค-19 ค่าอุณหภูมิของน้ำเสียดังเคราะห์ ชุดที่ 2 โดยใช้น้ำหมักชีวภาพ จากเปลือกสับปะรด	112
ตารางที่ ค-20 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าอุณหภูมิของน้ำเสียดังเคราะห์ ชุดที่ 2 โดยใช้น้ำหมักชีวภาพจากเปลือกสับปะรด	112
ตารางที่ ค-21 ค่าซีโอดี ของน้ำเสียดังเคราะห์ ชุดที่ 3 โดยใช้น้ำหมักชีวภาพสูตรที่ 3	113
ตารางที่ ค-22 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าซีโอดีในการบำบัดน้ำเสียดังเคราะห์ ชุดที่ 3 โดยใช้น้ำหมักชีวภาพสูตรที่ 3	113
ตารางที่ ค-22-1 เปรียบเทียบการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าซีโอดีในการบำบัด น้ำเสียดังเคราะห์ชุดที่ 3 โดยใช้น้ำหมักชีวภาพสูตรที่ 3	113
ตารางที่ ค-23 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในการบำบัดน้ำเสียดังเคราะห์ ชุดที่ 3 โดยใช้น้ำหมักชีวภาพจากสูตรที่ 3	115
ตารางที่ ค-24 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในการบำบัดน้ำเสียดังเคราะห์ ชุดที่ 3 โดยใช้น้ำหมักชีวภาพสูตรที่ 3	116
ตารางที่ ค-24-1 เปรียบเทียบการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในการบำบัดน้ำเสียดังเคราะห์ ชุดที่ 3 โดยใช้น้ำหมักชีวภาพสูตรที่ 3	116
ตารางที่ ค-25 ค่าการนำไฟฟ้าในการบำบัดน้ำเสียดังเคราะห์ ชุดที่ 3 โดยใช้น้ำหมักชีวภาพสูตรที่ 3	117
ตารางที่ ค-26 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าการนำไฟฟ้า (EC) ของน้ำเสียดังเคราะห์ชุดที่ 3 โดยใช้น้ำหมักชีวภาพสูตรที่ 3	117

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ ค-26-1 เปรียบเทียบการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าการนำไฟฟ้า (EC) ของน้ำ เสียสังเคราะห์ชุดที่ 3 โดยใช้น้ำหมักชีวภาพสูตรที่ 3	118
ตารางที่ ค-27 ค่าออกซิเจนละลาย (DO) ของน้ำเสียสังเคราะห์ชุดที่ 3 โดยใช้น้ำหมักชีวภาพ สูตรที่ 3	119
ตารางที่ ค-28 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าออกซิเจนละลายน้ำ (DO) ชุดที่ 3	119
ตารางที่ ค-29 ค่าความขุ่นของน้ำเสียสังเคราะห์ชุดที่ 2 โดยใช้น้ำหมักชีวภาพสูตรที่ 3	120
ตารางที่ ค-30 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความขุ่นของน้ำเสียสังเคราะห์ ชุดที่ 3 โดยใช้น้ำหมักชีวภาพจากสูตรที่ 3	121
ตารางที่ ค-30-1 เปรียบเทียบการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความขุ่นของ น้ำเสียสังเคราะห์ชุดที่ 3 โดยใช้น้ำหมักชีวภาพจากสูตรที่ 3	121
ตารางที่ ค-31 ค่าอุณหภูมิของน้ำเสียสังเคราะห์ ชุดที่ 3 โดยใช้น้ำหมักชีวภาพจากสูตรที่ 3	122
ตารางที่ ค-32 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าอุณหภูมิของน้ำเสียสังเคราะห์ ชุดที่ 3 โดยใช้น้ำหมักชีวภาพสูตรที่ 3	122

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 ลักษณะน้ำเสียทางกายภาพ	6
รูปที่ 2.2 แบคทีเรียย้อยโปรตีน Bacillus sp.	17
รูปที่ 2.3 แบคทีเรียผลิตกรดแลคติก Lactobacillus sp.	19
รูปที่ 2.4 แบคทีเรียผลิตกรดอะซิติก Acetobacter sp.	19
รูปที่ 2.5 ยีสต์ Saccharomyces sp.	20
รูปที่ 2.6 ราในสกุล Mucor	21
รูปที่ 2.7 ลักษณะของผลสับปะรด	21
รูปที่ 2.8 ผลพลอยได้และเศษเหลือจากการปลูกสับปะรด และจากการทำสับปะรดกระป๋อง	23
รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ชุดที่ 1 โดยใช้ น้ำหมักชีวภาพจากเปลือกสับปะรด สูตรที่ 1	35
รูปที่ 3.2-1 การบำบัดน้ำเสียโดยใช้น้ำหมักชีวภาพจากเปลือกสับปะรดสูตรที่ 2	36
รูปที่ 3.3 ขั้นตอนการทดลองการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ ชุดที่ 2 โดยใช้น้ำหมักชีวภาพจากเปลือกสับปะรดสูตรที่ 2	37
รูปที่ 3.4 ขั้นตอนการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ชุดที่ 3 โดย ใช้น้ำหมักชีวภาพจากน้ำตาลทรายแดงสูตรที่ 3	39
รูปที่ 4.1 การเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ในน้ำหมักชีวภาพสูตรที่ 1	41
รูปที่ 4.2 การเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ในน้ำหมักชีวภาพสูตรที่ 2	42
รูปที่ 4.3 ลักษณะของฝ้าที่เกิดขึ้นจากการหมักของจุลินทรีย์ในช่วงเวลาต่างๆ	42
รูปที่ 4.4 ลักษณะของเชื้อจุลินทรีย์ที่พบในน้ำหมักชีวภาพจากสูตรที่ 3 โดยใช้กล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า	43
รูปที่ 4.5 ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ในน้ำหมักชีวภาพสูตรที่ 3 วัดโดยวิธี Total plate count และ OD ₆₀₀	44
รูปที่ 4.6 การเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ภายในน้ำหมัก	44
รูปที่ 4.7 การเปลี่ยนแปลงค่าซีโอดีที่ละลายน้ำได้ในน้ำเสียสังเคราะห์ชุดที่ 1	45
รูปที่ 4.8 การเปลี่ยนแปลงค่าความขุ่น (NTU) ในน้ำเสียสังเคราะห์ชุดที่ 1	46
รูปที่ 4.9 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่างในน้ำเสียสังเคราะห์ชุดที่ 1	47
รูปที่ 4.10 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในน้ำเสียสังเคราะห์ชุดที่ 1	47

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.11 การเปลี่ยนค่าซีโอดีละลายน้ำและซีโอดีของน้ำเสียสังเคราะห์ ชุดที่ 2	48
รูปที่ 4.11 (ต่อ) การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ ชุดที่ 2	49
รูปที่ 4.12 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ ชุดที่ 2	49
รูปที่ 4.13 การเปลี่ยนแปลงค่าการนำไฟฟ้า (EC) ในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ชุดที่ 2	50
รูปที่ 4.14 การเปลี่ยนแปลงค่าออกซิเจนละลายน้ำ (DO) ในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ ชุดที่ 2	51
รูปที่ 4.15 การเปลี่ยนแปลงค่าความขุ่น(NTU)ในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ชุดที่ 2	51
รูปที่ 4.16 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของน้ำเสียสังเคราะห์ในช่วงเวลาต่างๆ	52
รูปที่ 4.17 ผลการเปลี่ยนแปลงค่าซีโอดี (COD)ในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ชุดที่ 3	53
รูปที่ 4.18 ผลการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ ชุดที่ 3	54
รูปที่ 4.19 ผลการเปลี่ยนแปลงค่าการนำไฟฟ้า (EC) ในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ชุดที่ 3	54
รูปที่ 4.20 ผลการเปลี่ยนแปลงค่าออกซิเจนละลายน้ำ(DO) และอุณหภูมิในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ชุดที่ 3	55
รูปที่ 4.21 ผลการเปลี่ยนแปลงค่าความขุ่น (NTU) ในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ชุดที่ 3	56
รูปที่ 4.22 ค่าเฉลี่ยของค่า sCOD ในน้ำเสียสังเคราะห์ชุดที่ 1และ 2	57
รูปที่ 4.23 ค่าเฉลี่ยของค่า COD ในน้ำเสียสังเคราะห์ชุดที่ 2และ 3	57
รูปที่ ข-1 กราฟมาตรฐานของปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในน้ำหมักชีวภาพ สูตรที่ 1	80
รูปที่ ข-2 กราฟมาตรฐานของปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในน้ำหมักชีวภาพ สูตรที่ 2	82
รูปที่ ข-3 กราฟมาตรฐานของปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในน้ำหมักชีวภาพ สูตรที่ 3	84

คำย่อและสัญลักษณ์

ก. (g)	กรัม
มก./ล. (mg/L)	มิลลิกรัม/ลิตร
Abs. (Absorbance)	ค่าการดูดกลืนแสง
CFU/mL (Colony Forming Unit/mL)	หน่วยวัดแบคทีเรีย
Kcal	กิโลแคลอรี
Sig	ระดับนัยสำคัญ
SD (Standard deviation)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
$\mu\text{S/cm}$	ไมโครซีเมน/เซนติเมตร
$^{\circ}\text{C}$	องศาเซลเซียส

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

น้ำเป็นทรัพยากรที่มีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิต มนุษย์ใช้ทรัพยากรน้ำในการอุปโภคบริโภคในภาคครัวเรือน อุตสาหกรรม เกษตรกรรม รวมทั้งการคมนาคม ในอดีตแม่น้ำลำคลองมีความอุดมสมบูรณ์ เหมาะกับการอุปโภคบริโภค รวมทั้งเป็นแหล่งที่อยู่อาศัยของสัตว์น้ำหลายชนิด ทำให้คุณภาพชีวิตของชุมชนมีความเป็นอยู่ที่ดี ปัจจุบันการเติบโตของชุมชน การพัฒนาเศรษฐกิจและอุตสาหกรรมได้เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วทำให้มีความต้องการแหล่งน้ำเพิ่มขึ้น ประกอบกับขาดการบำบัดน้ำทิ้งก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำ ทำให้เกิดปัญหาการขาดแคลนทรัพยากรน้ำ กรุงเทพมหานครมีปัญหาน้ำเน่าเสียในแม่น้ำลำคลอง โดยเฉพาะคลองสายหลักนั้นมียุทธศาสตร์สำคัญส่งกลิ่นเหม็น บางแห่งมีสัตว์น้ำตาย เป็นแหล่งเพาะพันธุ์ยุงก่อให้เกิดโรคและความรำคาญต่อชุมชน สาเหตุหลักที่ส่งผลให้แหล่งน้ำมีคุณภาพเสื่อมลง เกิดจากการกระทำของมนุษย์ ได้แก่ น้ำทิ้งจากบ้านเรือน ซึ่งมักจะมีสารอินทรีย์ปนเปื้อนมาด้วย ขยะมูลฝอยและสิ่งปฏิกูลที่ถูกทิ้งลงสู่แม่น้ำลำคลอง น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมที่มีสารพิษตกค้าง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องแก้ไขปัญหาดังกล่าวโดยอาศัยวิธีต่างๆ เช่น การบำบัดน้ำเสีย การบริหารจัดการขยะภายในชุมชน การปลูกฝังจิตสำนึกในการรักษาสิ่งแวดล้อม เป็นต้น

น้ำหมักชีวภาพ (Bioextract; B.E.) เป็นการนำเอาพืชผัก ผลไม้ สัตว์ชนิดต่างๆมาหมักกับน้ำตาลหรือกากน้ำตาลโดยอาศัยจุลินทรีย์ชนิด *Lactobacillus* spp., *Streptococcus* spp. และ *Bacillus* spp. ช่วยสลายสารอินทรีย์ (ศูนย์เทคโนโลยีที่เหมาะสม, 2556) ทำให้คุณสมบัติของน้ำหมักชีวภาพแตกต่างกันไปขึ้นกับองค์ประกอบของวัตถุดิบที่ใช้ น้ำหมักชีวภาพนั้นถือได้ว่าเป็นภูมิปัญญาชาวบ้านที่มีการนำเปลือกผลไม้มาทำการหมักให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่อไปได้ซึ่งเป็นการลดขยะอินทรีย์ที่มีภายในครัวเรือน โดยทั่วไปน้ำหมักชีวภาพนิยมนำไปใช้ประโยชน์ในการบำบัดน้ำเสียเนื่องจากในน้ำหมักชีวภาพนั้นมีเชื้อจุลินทรีย์ที่เหมาะสมกับการใช้บำบัดน้ำเสียและสามารถกำจัดกลิ่นเหม็น นอกจากนี้น้ำหมักชีวภาพสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในด้านเกษตรกรรมคือนำไปใช้เป็นปุ๋ยสำหรับต้นไม้โดยมีคุณสมบัติเร่งการเจริญเติบโตของพืชได้

โรงงานพิเศษนี้ศึกษาความเป็นไปได้ในการบำบัดน้ำเสียชุมชนโดยใช้น้ำหมักชีวภาพโดยใช้เปลือกสับปะรดเป็นแหล่งอาหารของจุลินทรีย์ โดยผลการศึกษาที่ได้จะนำไปประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำเสียชุมชนในลำคลองต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้น้ำหมักชีวภาพจากเปลือกสับปะรดในการบำบัดน้ำเสียชุมชน
2. ศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียชุมชนโดยใช้น้ำหมักชีวภาพจากเปลือกสับปะรด

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1. วิเคราะห์คุณสมบัติของเปลือกสับปะรด ได้แก่ ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด, น้ำหนักแห้งของเปลือกสับปะรด, ค่าการนำไฟฟ้า, พีเอช
2. เตรียมน้ำหมักชีวภาพจากเปลือกสับปะรดหมักในสภาพไร้อากาศโดยใช้เชื้อจุลินทรีย์ทางการค้าและวิเคราะห์พารามิเตอร์ของน้ำหมักชีวภาพ ได้แก่ ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์, ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด และพีเอชในวันที่ 1, 3, 5, 7 และ 9
3. เตรียมน้ำหมักชีวภาพจากน้ำตาลทรายแดงหมักในสภาพไร้อากาศโดยใช้เชื้อจุลินทรีย์ทางการค้าและวิเคราะห์พารามิเตอร์ของน้ำหมักชีวภาพ ได้แก่ ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์, ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด และพีเอช, และอุณหภูมิ ทุกวันเป็นเวลา 7 วัน
4. ศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้น้ำหมักชีวภาพจากเปลือกสับปะรดและน้ำตาลทรายแดงโดยเติมน้ำหมักชีวภาพ 0.5%, 1%, 3% และชุดควบคุมที่ไม่มีการเติมน้ำหมักชีวภาพ โดยวิเคราะห์ค่า DO, Temperature, sCOD, COD, pH, Turbidity และ EC

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถใช้น้ำหมักชีวภาพในการบำบัดน้ำเสียชุมชน
2. ลดปัญหาน้ำเสียในแม่น้ำลำคลอง
3. ลดปริมาณขยะอินทรีย์ภายในชุมชน

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 น้ำเสียชุมชน

2.1.1 ความหมายน้ำเสียชุมชน

น้ำเสียชุมชน (Domestic Wastewater) หมายถึง น้ำเสียที่เกิดจากกิจกรรมประจำวันของประชาชนที่อาศัยอยู่ในชุมชน และกิจกรรมที่เป็นอาชีพ ได้แก่ น้ำเสียที่เกิดจากการประกอบอาหารและชำระล้างสิ่งสกปรกทั้งหลายภายในครัวเรือน และอาคารประเภทต่าง ๆ เป็นต้น (กรมควบคุมมลพิษ, 2556)

2.1.2 แหล่งกำเนิดน้ำเสียชุมชน (กรมควบคุมมลพิษ, 2556)

2.1.2.1 บ้านพักอาศัย น้ำเสียจากบ้านพักอาศัยนั้นเกิดจากเศษอาหาร จากการล้างจานและภาชนะ หรือ จากการปรุงอาหาร รวมถึงสารต่างๆที่เกิดจากการทำความสะอาดเสื้อผ้าสิ่งของต่างๆภายในบ้านและการอาบน้ำ บ้านพักอาศัยส่วนใหญ่จะมีอัตราการระบายน้ำเสียประมาณ 150-216 ลิตร/คน/วันหรือประมาณ 180 ลิตร/คน/วัน

2.1.2.2 ภัตตาคาร มีน้ำเสียเกิดจากห้องครัวและห้องส้วม โดยเฉพาะน้ำมันและไขมันจะมีปริมาณสูงในน้ำเสียจากห้องอาหารหรือภัตตาคาร อันเป็นสาเหตุหนึ่งทำให้เกิดการอุดตันในท่อระบายน้ำเสีย

2.1.2.3 โรงแรม มีน้ำเสียจากห้องน้ำและห้องส้วมจากห้องพัก อาคารสำนักงาน และน้ำเสียจากห้องครัว หรือภัตตาคารภายในโรงแรม

2.1.2.4 กิจกรรมอื่นๆ เช่น สถานบริการ อาคารพาณิชย์ โรงเรียน อาคารชุด ตลาด สถานบริการจำหน่ายน้ำมัน เป็นต้น

ปริมาณน้ำเสียชุมชนจากแหล่งกำเนิดต่างๆ แสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ปริมาณน้ำเสียชุมชนของอาคารประเภทต่าง ๆ

ประเภทอาคาร	หน่วย	ปริมาณน้ำเสีย (ลิตร/หน่วย/ วัน)	ประเภทอาคาร	หน่วย	ปริมาณน้ำเสีย (ลิตร/หน่วย/ วัน)
อาคารสำนักงาน	คน	70	สนามบิน	ผู้โดยสาร	15
โรงพยาบาล	เตียง	1,000	โรงอาหาร	คน	60
โรงแรม	ห้อง	200	บ้านพักอาศัย	คน	300
โรงเรียน	นักเรียน	150	เรือนจำ	คน	450
โรงภาพยนตร์	คน	150	สโมสร	คน	350
ภัตตาคาร	คน	50	ร้านกาแฟ	คน	50
หอพัก	คน	340	ร้านตัดผม	คน	220
ศูนย์การค้า	คน	100	หอประชุม	คน	10
ห้องปฏิบัติการ	คน	50	สถานีบริการ น้ำมัน	คน	40

ที่มา : มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (2542)

2.1.3 ลักษณะของน้ำเสียชุมชน

ลักษณะของน้ำเสียจำแนกออกเป็น 3 ลักษณะ (มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา, 2556) คือ

2.1.3.1 ลักษณะน้ำเสียทางกายภาพ ตัวบ่งชี้คุณภาพของน้ำเสียทางกายภาพ ได้แก่

1) ปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total Solids) ประกอบด้วยปริมาณของแข็งแขวนลอย (Total Suspended Solids, TSS) และปริมาณของแข็งละลาย (Total Dissolved Solids, TDS) ค่าปริมาณของแข็งจะเป็นตัวบ่งชี้ถึงความสกปรกและความหนาแน่นของน้ำเสียได้ และยังสามารถบอกถึงประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียต่างๆ ที่เลือกใช้ในการบำบัดได้

2) กลิ่น ส่วนมากจะมาจากก๊าซที่เกิดจากการย่อยสลายของสารอินทรีย์ในน้ำเสีย เช่น ก๊าซไข่เน่า (H_2S) เกิดจากจุลินทรีย์ชนิดที่ไม่ต้องการออกซิเจนเปลี่ยนสภาพของซัลเฟตไปเป็นซัลไฟด์ ตัวอย่างกลิ่นผิดปกติที่พบในน้ำเสียแสดงในตารางที่ 2.2 ในการกำจัดกลิ่นในน้ำเสียอาจใช้สารเคมีที่สามารถออกซิไดซ์สารที่ทำให้เกิดกลิ่นได้ เช่น คลอรีน หรือการใช้ผงถ่านกัมมันต์ (activated carbon)

ตารางที่ 2.2 กลิ่นผิดปกติที่พบในน้ำเสีย

สารประกอบ	สูตรโครงสร้าง	ลักษณะของกลิ่น
Amines	CH_3NH_2 , $(\text{CH}_3)_3\text{N}$	กลิ่นคาวปลา
Ammonia	NH_3	กลิ่นแอมโมเนีย
Diamines	$\text{NH}_2(\text{CH}_2)_4\text{NH}_2$, $\text{NH}_2(\text{CH}_2)_5\text{NH}_2$	กลิ่นเนื้อเน่า
Hydrogen sulfide	H_2S	กลิ่นไข่เน่า
Mercaptans	CH_3SH , $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3\text{SH}$	กลิ่นสกั้ง
Organic sulfides	$(\text{CH}_3)_2\text{S}$, CH_3SSCH_3	กลิ่นกะหล่ำปลีเน่า
Skatole	$\text{C}_8\text{H}_5\text{NHCH}_3$	กลิ่นอุจจาระ

ที่มา : Tchobanoglous (1979)

3) **อุณหภูมิของน้ำ** เมื่อน้ำมีอุณหภูมิสูงมากกว่าปกติ จะมีผลทำให้ปฏิกิริยาชีวเคมีของจุลินทรีย์สูงขึ้นตามไปด้วย ทำให้ปริมาณออกซิเจนในน้ำถูกใช้เพิ่มมากขึ้น และทำให้การเจริญเติบโตของพืชที่ก่อให้เกิดปัญหาหมอกพิษทางน้ำมีมากกว่าปกติ นอกจากนี้ ยังมีผลให้การละลายของออกซิเจนในน้ำลดลง เนื่องจากค่าอิ่มตัวของออกซิเจนในน้ำจะลดลงเมื่อน้ำมีอุณหภูมิสูงขึ้น

4) **สี (color)** ถ้าเป็นน้ำเสียชุมชน ได้แก่ น้ำเสียจากบ้านเรือน สำนักงาน สถานที่ประกอบธุรกิจการค้า เป็นต้น เมื่อน้ำเสียที่ถูกปล่อยมาจากแหล่งกำเนิดในระยะแรกจะมีสีเทาปนน้ำตาลอ่อนๆ และเมื่อทิ้งระยะเวลาโดยไม่ผ่านการบำบัด จะทำให้กลายเป็นสีเทาหรือเทาเข้ม ในที่สุดจะกลายเป็นสีดำและเมื่อน้ำเสียกลายเป็นสีดำมักเกิดการเน่า น้ำเสียจากกิจการอุตสาหกรรมบางชนิดอาจมีสีต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้ารวมกับน้ำเสียจากชุมชน ส่วนใหญ่จะมีสีเทา สีเทาเข้ม หรือสีดำ เนื่องจากการซัลไฟด์ของโลหะ (Metallic sulfides) ที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาของซัลเฟอร์กับโลหะที่ปนเปื้อนมากับน้ำเสียในสภาวะขาดออกซิเจน (รูปที่ 2.1)

สีของน้ำเสียเป็นปัญหาเนื่องจากโรงงานหลายแห่ง เช่น โรงงานทอผ้า โรงงานสีย้อมและอื่นๆ ปล่อยน้ำเสียออกมา หรือสีเขียวซึ่งเกิดจากการเจริญเติบโตมากผิดปกติของสาหร่าย (algae bloom) ในแหล่งน้ำ ทำให้เกิดผลเสีย คือ จะเป็นตัวกั้นขวางแสงแดดไม่ให้ส่องลงได้น้ำ ทำให้แหล่งน้ำมีสีไม่น่าดู เนื่องจากสามารถมองเห็นสีของน้ำเสียได้ด้วยตาเปล่า



(ก) น้ำเสียที่ถูกปล่อยมาจากแหล่งกำเนิด



(ข) น้ำเสียที่เกิดการย่อยสลายจนเป็นสีดำ

รูปที่ 2.1 ลักษณะน้ำเสียทางกายภาพ

ที่มา: Nationchannel (2554)

5) ความขุ่น เกิดจากการมีสารแขวนลอยที่ลอยอยู่ในน้ำ จะกั้นหรือขวางแสงแดดไม่ให้ส่องลงได้น้ำได้ เช่นเดียวกันกับสี น้ำที่มีความขุ่นมากจะทำให้ยากต่อการกรองน้ำ

2.1.3.2 ลักษณะน้ำเสียทางเคมี

ลักษณะน้ำเสียทางเคมี คือ สารที่อยู่ในน้ำเสียที่จำแนกออกได้ในรูปของสารอินทรีย์ (organics) เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมันและน้ำมัน นิยมทำการตรวจวัดปริมาณสารอินทรีย์ในรูปของ BOD, COD และ TOC และสารอนินทรีย์ (inorganics) เช่น ฟิเอช คลอไรด์ ความเป็นกรด-ด่าง ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส ซัลเฟอร์ โลหะหนัก และก๊าซละลายน้ำ

1) สารอินทรีย์ (Organic Matter) หมายถึง สารที่มีลักษณะที่ทำให้ออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved Oxygen) ลดลงหรือหมดไป เนื่องจากกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยใช้ออกซิเจนโดยจุลินทรีย์ในน้ำที่ต้องการออกซิเจนเพื่อใช้ในการหายใจและดำรงชีพ สารอินทรีย์ที่พบมากในน้ำเสียคือโปรตีน (40 – 60%) คาร์โบไฮเดรต (25 – 50%) และน้ำมันและไขมัน (10%)

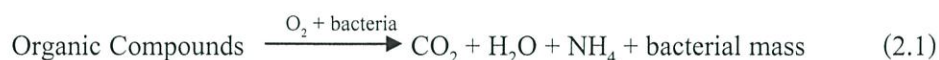
การตรวจวิเคราะห์สารอินทรีย์ในน้ำเสียสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การวิเคราะห์ค่าบีโอดี (Biochemical Oxygen Demand, BOD) ค่าซีโอดี (Chemical Oxygen Demand, COD) ค่าความต้องการออกซิเจนทางทฤษฎี (Theoretical Oxygen Demand, ThOD) สารอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด (Total Organic Carbon, TOC) แต่วิธีที่นิยมใช้คือ การวิเคราะห์ค่า BOD และ COD มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1.1) การวิเคราะห์ค่า BOD (Biochemical oxygen demand, BOD)

ค่า BOD หมายถึง ค่าปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจน อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส และไม่มีแสงสว่าง ใช้บ่งบอกค่า

ความสกปรกของน้ำ การใช้ออกซิเจนของจุลินทรีย์ในการย่อยสลายสารอินทรีย์แบ่งออกเป็น 2 ระยะคือ

ระยะที่ 1 เป็นการออกซิไดส์ของสารประกอบคาร์บอน ดังสมการที่ 2.1



ระยะที่ 2 เป็นการออกซิไดส์ของ แอมโมเนีย (NH_3) ให้เป็นไนไตรท์ (NO_2^-) และไนเตรท (NO_3^-) ตามลำดับ โดยพวก Autotrophic bacteria ชื่อ Nitrifying bacteria ดังสมการ 2.2 – 2.4



1.2) การวิเคราะห์ค่าซีโอดี (Chemical oxygen demand, COD)

ค่า COD หมายถึง ปริมาณออกซิเจนทั้งหมดที่ต้องการเพื่อใช้ในการออกซิไดส์สารอินทรีย์ในน้ำให้กลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ โดยอาศัยหลักการที่ว่าสารอินทรีย์เกือบทั้งหมด สามารถที่จะถูกออกซิไดส์โดยตัวเดิมออกซิเจนอย่างแรงภายใต้สภาวะที่เป็นกรด ดังสมการที่ 2.5 – 2.6



2) สารอนินทรีย์ (Inorganics) สารอนินทรีย์เป็นสารที่มีอยู่ในน้ำเสียทั่วไป ซึ่งจะมีปริมาณมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับชนิดและแหล่งที่มาของน้ำเสียนั้น ๆ โดยทั่วไปสารอนินทรีย์ในน้ำเสียประกอบด้วยกรวด ทราย สารแขวนลอยและสารละลายที่อยู่ในน้ำเสีย การตรวจวัดปริมาณสารอนินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำเสียนั้นมีหลายวิธี เช่น ค่าพีเอช (pH) ค่าความเป็นด่าง (Alkalinity) คลอไรด์ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส ซัลเฟอร์ โลหะหนัก ก๊าซ เป็นต้น

2.1) ค่าพีเอช (pH) เป็นค่าที่สำคัญค่าหนึ่งที่สามารถบ่งชี้ถึงคุณภาพของน้ำว่าจะเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำหรือไม่ ค่า pH จะแสดงถึงความเป็นกรดหรือด่างของน้ำนั้น ซึ่งค่า pH จะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออน (H^+) และไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) และการแตกตัวของน้ำ ดังสมการที่ 2.7



สามารถนำมาเขียนสมการของ Mass action law ได้ดังสมการที่ 2.8

$$[H^+][OH^-]/[H_2O] = K \quad (2.8)$$

ค่า K = ionization constant หรือ ion product ของน้ำจะมีค่าเท่ากับ 1×10^{-14} ที่อุณหภูมิ $25^\circ C$

ดังนั้น ค่า pH คือค่าความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนโดยแสดงอยู่ในรูป $-\log$ ความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออน ดังสมการที่ 2.9 – 2.10

$$pH = -\log_{10}[H^+] \quad (2.9)$$

$$pH + pOH = 14 \quad (2.10)$$

2.2) ค่าความเป็นด่าง (Alkalinity) ค่าความเป็นด่างในน้ำเสียเป็นผลมาจาก OH^- , CO_3^{2-} และ HCO_3^- ของธาตุแคลเซียม แมกนีเซียม โซเดียม โปแตสเซียม หรือแอมโมเนีย แต่ $Ca(HCO_3)_2$ และ $Mg(HCO_3)_2$ จะมีอยู่ในน้ำเสียมากกว่าสารอื่นๆ ซึ่งทำให้มีค่าความเป็นด่างในน้ำเสีย ค่าของความเป็นด่างจะมีความสัมพันธ์กับค่าของ pH คือ ถ้า pH มีค่าต่ำกว่า 4.5 ค่าความเป็นด่างของน้ำเสียจะมีเท่ากับ 0 โดยจะมีค่าความเป็นกรดเท่านั้น หรือถ้า pH มีค่าสูงกว่า 8.3 ค่าความเป็นกรดของน้ำเสียจะมีเท่ากับ 0 โดยจะมีแต่ค่าความเป็นด่างเท่านั้น

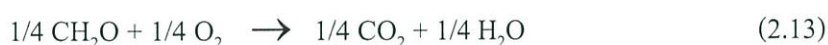
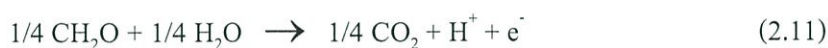
2.3) คลอไรด์ (Chlorides) ในน้ำธรรมชาติจะมีสารคลอไรด์ผสมอยู่ด้วยเสมอ เนื่องจากสารคลอไรด์มาจากดินหรือหินต่างๆ ซึ่งน้ำไหลผ่าน หรือจากชายฝั่งทะเลทั่วไป ค่านี้สามารถใช้บ่งชี้ถึงความสกปรกของน้ำเสียว่ามีมากน้อยเพียงใด และอาจใช้เป็นตัวบ่งชี้ว่ามีน้ำเสียไหลลงแหล่งน้ำนั้นๆหรือไม่ แต่เป็นเพียงการคาดคะเนเท่านั้น

2.4) ไนโตรเจน (Nitrogen) ธาตุไนโตรเจนเป็นธาตุที่จำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตของพวกจุลินทรีย์ ดังนั้นในกระบวนการบำบัดน้ำเสียโดยวิธีทางชีววิทยาจำเป็นต้องมีสารไนโตรเจนพอเพียงในน้ำเสีย ถ้ามีไม่พอจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องเติมสารไนโตรเจนผสมลงไป ในน้ำเสียให้อยู่ในอัตราส่วน $COD : N : P = 150 : 5 : 1$ หรือ $BOD_5 : N : P = 100 : 5 : 1$ แต่ถ้ามีมากเกินไปในแม่น้ำลำคลองหรือบ่อน้ำต่างๆ ก็จะทำให้เกิดปัญหาขึ้นคือจะมีการเจริญเติบโตของสาหร่ายมากในน้ำลำคลองนั้นๆได้

2.5) ฟอสฟอรัส (Phosphorus) ฟอสฟอรัสเป็นธาตุที่จำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตของพวกจุลินทรีย์ต่างๆ เช่นเดียวกับไนโตรเจน ถ้ามีฟอสฟอรัสมากเกินไปในแม่น้ำลำคลองหรือบ่อน้ำต่างๆ จะทำให้มีการเจริญเติบโตของสาหร่ายมาก ซึ่งจะทำให้คุณภาพของน้ำในแม่น้ำลำคลองนั้นๆลดลงไปได้

2.6) โลหะหนัก (Heavy metals) สารเหล่านี้ ได้แก่ นิกเกิล (Ni) แมงกานีส (Mn) โครเมียม (Cr) สังกะสี (Zn) ปรอท (Hg) ทองแดง (Cu) เหล็ก (Fe) ฯลฯ ถ้ามีธาตุเหล่านี้มากเกินไป ในน้ำก็จะเป็นพิษร้ายแรงต่อสิ่งมีชีวิต

2.7) ออกซิเจนที่ละลายน้ำ (Dissolved Oxygen, DO) ออกซิเจนเป็นก๊าซที่มีความสำคัญมากในการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิต เนื่องจากถูกนำไปใช้ในขบวนการต่างๆ เพื่อก่อให้เกิดพลังงาน โดยเฉพาะขบวนการหายใจโดยใช้ ออกซิเจน ดังสมการที่ 2.11 – 2.13



ออกซิเจนเป็นก๊าซที่ละลายน้ำได้น้อย ค่าการละลายจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับค่าอุณหภูมิ ความดัน ความเข้มข้นของออกซิเจนในบรรยากาศ และความเข้มข้นของเกลือต่าง ๆ ดังนั้นค่าความเข้มข้นของออกซิเจนที่ละลายน้ำจะคำนวณได้โดยใช้ Henry's law ดังสมการที่ 2.14

$$P_{a, \text{ oxygen}} = HC_{w, \text{ oxygen}} \quad (2.14)$$

เมื่อ $P_{a, \text{ oxygen}}$ = Partial pressure ของก๊าซออกซิเจน

H = ค่า Henry constant

$C_{w, \text{ oxygen}}$ = ค่าความเข้มข้นของออกซิเจนในน้ำ

ตัวอย่างลักษณะน้ำเสียชุมชนแสดงดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ลักษณะน้ำเสียชุมชน

พารามิเตอร์	หน่วย	ความเข้มข้น		
		น้อย	ปานกลาง	มาก
1. ของแข็งทั้งหมด (Total Solids)	มก./ล.	350	720	1,200
- ของแข็งละลายน้ำ (Dissolved Solids)	มก./ล.	250	500	850
- ของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids)	มก./ล.	100	220	350
2. ปริมาณตะกอนหนัก (Settleable Solids)	มล./ล.	5	10	20
3. ค่าบีโอดี (Biochemical Oxygen Demand; BOD)	มก./ล.	110	220	400
4. ค่าซีโอดี (Chemical Oxygen Demand; COD)	มก./ล.	250	500	1,000
5. ไนโตรเจนทั้งหมด (Total as N)	มก./ล.	20	40	85
- อินทรีย์ไนโตรเจน (Organic N)	มก./ล.	8	15	35
- แอมโมเนีย (Free ammonia)	มก./ล.	12	25	50
- ไนไตรท์ (Nitrites)	มก./ล.	0	0	0
- ไนเตรท (Nitrates)	มก./ล.	0	0	0
6. ฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total as P)	มก./ล.	4	8	15
- สารอินทรีย์ (Organic)	มก./ล.	1	3	5
- สารอนินทรีย์ (Inorganic)	มก./ล.	3	5	10
7. คลอไรด์ (Chloride) ⁽¹⁾	มก./ล.	30	50	100
8. ซัลเฟต (Sulfate) ⁽¹⁾	มก./ล.	20	30	50
9. สภาพด่าง (Alkalinity as CaCO ₃)	มก./ล.	50	100	200
10. ไขมัน (Grease)	มก./ล.	50	100	150
11. Total Coliform	MPN/100ml	10 ⁶ -10 ⁷	10 ⁷ -10 ⁸	10 ⁷ -10 ⁹

หมายเหตุ : (1) เป็นค่าที่เพิ่มจากค่าที่ตรวจพบในน้ำใช้ปกติ

ที่มา : Metcalf & Eddy (1991)

2.1.3.3 ลักษณะน้ำเสียทางชีววิทยา

ประกอบด้วยจุลินทรีย์มากมายหลายชนิดเจือปนอยู่ จุลินทรีย์ที่พบในน้ำเสียทั่วไป ได้แก่ แบคทีเรีย รา สาหร่าย โปรโตซัว และไวรัส เป็นต้น

1) **แบคทีเรีย** เป็นจุลินทรีย์ที่มีเซลล์เดียว ขนาดเล็กไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า มีผนังหุ้มเซลล์ 2 ชั้น ไม่มีเยื่อหุ้มนิวเคลียส ส่วนใหญ่ไม่มีคลอโรฟิลล์ พบอยู่ทั่วไปในสิ่งแวดล้อม ร่างกายของคนและสัตว์ มีรูปร่างได้หลายแบบ เช่น รูปแท่ง รูปทรงกลม รูปขดเป็นวง การดำรงชีวิตของแบคทีเรียต้องใช้เวลาและสารประกอบต่างๆทั้งในรูปของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ ธาตุสำคัญในส่วนประกอบคือคาร์บอน โดยประเภทของแบคทีเรียสามารถแบ่งตามแหล่งคาร์บอนที่ได้มาเป็น 2 ชนิด คือ

- ออโตโทรฟิกแบคทีเรีย (Autotrophic bacteria หรือ Autotroph) เป็นแบคทีเรียที่สร้างอาหารเองได้ โดยได้แหล่งคาร์บอนจากคาร์บอนไดออกไซด์ และได้พลังงานจากแสงอาทิตย์หรือการออกซิเดชันของสารอนินทรีย์

- เฮเทอโรโทรฟิกแบคทีเรีย (Heterotrophic bacteria หรือ Heterotroph) เป็นแบคทีเรียที่ไม่สามารถสร้างอาหารเองได้ โดยได้แหล่งคาร์บอนมาจากสารอินทรีย์ และได้พลังงานจากแสงอาทิตย์

2) **รา (Fungi)** เป็นจุลินทรีย์ที่มีหลายเซลล์ ไม่มีคลอโรฟิลล์ ลักษณะทั่วไปมักเป็นเส้นใยยาวๆ และมีนิวเคลียสหลายอัน ราสามารถเจริญเติบโตได้ดีกว่าแบคทีเรียในสภาวะที่พีเอชต่ำ หรือมีปริมาณไนโตรเจนน้อย สามารถย่อยสลายสารอินทรีย์พวกคาร์โบไฮเดรตได้ดีและยังสามารถย่อยสลายสารที่มีโครงสร้างซับซ้อนได้ดีกว่าแบคทีเรีย

3) **สาหร่าย (Algae)** เป็นจุลินทรีย์มีเซลล์เดียว มีนิวเคลียสเห็นได้ชัด ขนาดใหญ่กว่าแบคทีเรีย มีคลอโรฟิลล์และรงควัตถุซึ่งอาจใช้จำแนกชนิดได้ พบอยู่ตามบริเวณที่มีความชื้นสูง ทั้งในน้ำจืด และน้ำเค็ม

4) **โปรโตซัว (Protozoa)** เป็นจุลินทรีย์ที่มีเซลล์เดียว มีขนาดเล็กไม่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่า มีขนาดใหญ่กว่าแบคทีเรีย บางชนิดอยู่เป็นกลุ่ม (Colony) เซลล์มักมีรูปร่างคงที่มีนิวเคลียสเห็นได้ชัดเจน

5) **ไวรัส (Virus)** เป็นสิ่งมีชีวิตที่มีขนาดเล็กที่สุด ไม่มีลักษณะเป็นเซลล์ ดำรงชีวิตแบบปรสิต สามารถทำให้เกิดโรคกับคน สัตว์ และพืช

2.1.3.4 ผลกระทบของน้ำเสียชุมชนต่อสุขภาพอนามัย (กรมควบคุมมลพิษ, 2556)

โดยทั่วไปเชื้อโรคที่พบในน้ำเสียที่ก่อให้เกิดโรคต่อมนุษย์ได้ มี 4 ชนิด คือ แบคทีเรีย ไวรรัส โปรโตซัว และพยาธิ โดยมีสาเหตุมาจากอุจจาระของมนุษย์ปนมากับน้ำเสีย โรคติดเชื้อจากสิ่งขับถ่ายสามารถติดต่อสู่มนุษย์ มี 2 วิธี คือ เกิดจากเชื้อโรคที่อยู่ในสิ่งขับถ่ายของบุคคลหนึ่งแพร่กระจายออกสู่สิ่งแวดล้อมแล้วเข้าสู่บุคคลอื่น และเกิดจากเชื้อโรคจากสิ่งขับถ่ายเข้าทางปาก โดยที่สัตว์พาหะ เช่น หนูหรือแมลงต่าง ๆ ที่อาศัยสิ่งขับถ่ายในการขยายพันธุ์ จะรับเชื้อโรคเข้าสู่ร่างกาย โดยเชื้ออาจอยู่ในตัว ลำไส้ หรือในเลือดของสัตว์พาหะนั้น โดยที่มนุษย์จะได้รับเชื้อผ่านสัตว์เหล่านั้นอีกทีหนึ่ง ซึ่งองค์การอนามัยโลก (WHO) ได้จำแนกเชื้อโรคตามลักษณะการติดเชื้อออกเป็น 6 ประเภท

- **ประเภทที่ 1** การติดเชื้อไวรัลและโปรโตซัวสามารถทำให้เกิดโรคได้แม้ว่าจะได้รับเชื้อเพียงเล็กน้อย และสามารถติดต่อได้ง่าย ซึ่งการปรับปรุงระบบสุขาภิบาลเพียงอย่างเดียวไม่เพียงพอ จะต้องให้ความรู้เกี่ยวกับสุขภาพควบคู่กันด้วย

- **ประเภทที่ 2** การติดเชื้อจากแบคทีเรีย จะต้องได้รับเชื้อในปริมาณที่มากพอจึงจะทำให้เกิดโรคได้ แต่ติดต่อจากบุคคลหนึ่งไปยังอีกบุคคลหนึ่งได้ยาก เชื้อนี้มีความทนทานต่อสภาพแวดล้อมและสามารถแพร่พันธุ์ได้ดีในที่ที่เหมาะสม ซึ่งการปรับปรุงระบบสุขาภิบาลเพียงอย่างเดียวไม่เพียงพอ จะต้องให้ความรู้เกี่ยวกับสุขภาพควบคู่กันด้วย

- **ประเภทที่ 3** เชื้อชนิดนี้ทำให้เกิดโรคได้ทั้งในระยะแฝงและระยะฝังตัว ได้แก่ ไข่พยาธิ ซึ่งไม่สามารถติดต่อจากบุคคลหนึ่งไปยังอีกบุคคลหนึ่งได้โดยตรง แต่ต้องการสถานที่และสถานะที่เหมาะสมเพื่อเจริญเติบโตเป็นตัวพยาธิและเข้าสู่ร่างกายได้ ดังนั้นการจักระบบสุขาภิบาลที่ดี เช่น การกำจัดสิ่งขับถ่ายที่ถูกต้องจึงเป็นสิ่งสำคัญ จึงเป็นการป้องกันมิให้มีสิ่งขับถ่ายปนเปื้อนสิ่งแวดล้อม

- **ประเภทที่ 4** พยาธิตัวคืดอาศัยอยู่ในลำไส้มนุษย์ ไข่พยาธิจะปนออกมากับอุจจาระ ถ้าการกำจัดสิ่งขับถ่ายไม่เหมาะสม ก็จะทำให้สัตว์จำพวก โค กระบือ และสุกร ได้รับไข่พยาธิจากการกินหญ้าที่มีไข่พยาธิเข้าไป ซึ่งไข่พยาธินี้เมื่อเข้าไปในร่างกายสัตว์แล้วจะกลายเป็นซีสต์ (Cyst) และฝังตัวอยู่ตามกล้ามเนื้อ มนุษย์จะได้รับพยาธิโดยการรับประทานเนื้อสัตว์ดิบ ๆ ดังนั้นการจักระบบสุขาภิบาลที่ดี เช่น การกำจัดสิ่งขับถ่ายที่ถูกต้องจึงเป็นสิ่งสำคัญ จึงเป็นการป้องกันมิให้มีสิ่งขับถ่ายปนเปื้อนสิ่งแวดล้อม

- **ประเภทที่ 5** พยาธิที่มีบางระยะของวงจรชีวิตอยู่ในน้ำ โดยพยาธิเหล่านี้จะมีระยะติดต่อตอนที่อาศัยอยู่ในน้ำ โดยจะเข้าสู่ร่างกายมนุษย์โดยการไชเข้าทางผิวหนังหรือรับประทานสัตว์น้ำที่ไม่ได้ทำให้สุก ดังนั้นการจักระบบสุขาภิบาลที่ดี จึงเป็นการป้องกันมิให้พยาธิเหล่านี้ปนเปื้อนสิ่งแวดล้อม

- **ประเภทที่ 6** การติดเชื้อ โดยมีแมลงเป็นพาหะ แมลงที่เป็นพาหะที่สำคัญ ได้แก่ ยุง แมลงวัน โดยยุงพวก *Culex pipines* จะสามารถสืบพันธุ์ได้น้ำเสีย โดยเชื้อจะติดไปกับตัวแมลง เมื่อสัมผัสอาหารเชื้อก็จะปนเปื้อนกับอาหาร ดังนั้นการจัดระบบสุขาภิบาลที่ดี จึงเป็นการป้องกันพาหะเหล่านี้

ดังนั้น แนวทางหนึ่งในการควบคุมการแพร่กระจายของเชื้อโรค คือ จะต้องจัดระบบสุขาภิบาลตั้งแต่ระดับครัวเรือนไปจนถึงระดับชุมชนให้ถูกหลักสุขาภิบาลและควรมีระบบการจัดการและบำบัดน้ำเสยรวมของชุมชนที่สามารถกำจัดเชื้อโรคในน้ำทิ้งได้ก่อนที่จะระบายลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะหรือออกสู่สิ่งแวดล้อม

2.1.4 การบำบัดน้ำเสีย (กรมควบคุมมลพิษ, 2556)

การเลือกระบบบำบัดน้ำเสียขึ้นกับปัจจัยต่างๆ ได้แก่ ลักษณะของน้ำเสีย ระดับการบำบัดน้ำเสียที่ต้องการ สภาพทั่วไปของท้องถิ่น ค่าลงทุนก่อสร้างและค่าดำเนินการดูแลและบำรุงรักษา และขนาดของที่ดินที่ใช้ในการก่อสร้าง เป็นต้น ทั้งนี้เพื่อให้ระบบบำบัดน้ำเสียที่เลือกมีความเหมาะสมกับแต่ละท้องถิ่น ซึ่งมีสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน การบำบัดน้ำเสียสามารถแบ่งได้ตามกลไกที่ใช้ในการกำจัดสิ่งเจือปนในน้ำเสีย ได้ดังนี้

1) การบำบัดทางกายภาพ (Physical Treatment) เป็นวิธีการแยกเอาสิ่งเจือปนออกจากน้ำเสีย เช่น ของแข็งขนาดใหญ่ กระดาษ พลาสติก เศษอาหาร กรวด ทราย ไขมันและน้ำมัน โดยใช้อุปกรณ์ในการบำบัดทางกายภาพ คือ ตะแกรงดักขยะ ถังดักกรวดทราย ถังดักไขมันและน้ำมัน และถังตกตะกอน ซึ่งจะเป็นการลดปริมาณของแข็งทั้งหมดที่มีในน้ำเสียเป็นหลัก

2) การบำบัดทางเคมี (Chemical Treatment) เป็นวิธีการบำบัดน้ำเสียโดยใช้กระบวนการทางเคมี เพื่อทำปฏิกิริยากับสิ่งเจือปนในน้ำเสีย วิธีการนี้จะใช้สำหรับน้ำเสียที่มีส่วนประกอบอย่างใดอย่างหนึ่งดังต่อไปนี้ คือ ค่าพีเอชสูงหรือต่ำเกินไป มีสารพิษ มีโลหะหนัก มีของแข็งแขวนลอยที่ตกตะกอนยาก มีไขมันและน้ำมันที่ละลายน้ำ มีไนโตรเจนหรือฟอสฟอรัสที่สูงเกินไป และมีเชื้อโรค ทั้งนี้อุปกรณ์ที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางเคมี ได้แก่ ถังกวนเร็ว ถังกวนช้า ถังตกตะกอน ถังกรอง และถังฆ่าเชื้อโรค

3) การบำบัดทางชีวภาพ (Biological Treatment) เป็นวิธีการบำบัดน้ำเสียโดยใช้กระบวนการทางชีวภาพหรือใช้จุลินทรีย์ในการกำจัดสิ่งเจือปนในน้ำเสียโดยเฉพาะสารคาร์บอนอินทรีย์ ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส โดยความสกปรกเหล่านี้จะถูกใช้เป็นอาหารและเป็นแหล่งพลังงานของจุลินทรีย์ในถังเลี้ยงเชื้อเพื่อการเจริญเติบโต ทำให้น้ำเสียมีค่าความสกปรกลดลง โดยจุลินทรีย์เหล่านี้อาจเป็นแบบใช้ออกซิเจน (Aerobic organisms) หรือไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic organisms) ก็ได้ ระบบบำบัดน้ำเสียที่อาศัยหลักการทางชีวภาพ ได้แก่ ระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์

(Activate Sludge, AS) ระบบแผ่นจานหมุนชีวภาพ (Rotating Biological Contactor, RBC) ระบบ คลองวนเวียน (Oxidation Ditch, OD) ระบบบ่อเติมอากาศ (Aerated Lagoon, AL) ระบบ ไพรยกรอง (Trickling Filter) ระบบบ่อบำบัดน้ำเสีย (Stabilization Pond) ระบบยูเอเอสบี (Upflow Anaerobic Sludge Blanket, UASB) และระบบกรองไร้อากาศ (Anaerobic Filter, AF) เป็นต้น นอกจากนี้ การนำน้ำหมักชีวภาพและจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสีย (EM) ก็เป็นอีกทางเลือก หนึ่งที่ใช้จุลินทรีย์ในการบำบัดน้ำเสียโดยเฉพาะน้ำเสียในภาคครัวเรือน

2.2 น้ำหมักชีวภาพ

2.2.1 ความหมายของน้ำหมักชีวภาพ (ไชยวัฒน์, 2553)

น้ำหมักชีวภาพ คือ ของเหลวที่เกิดจากการหมักพืช ผัก ผลไม้ รวมทั้งสมุนไพรกับสารให้ความหวาน เช่น น้ำตาล น้ำผึ้ง ในสภาวะที่มีแบคทีเรียผลิตกรดแลคติก (Lactic acid bacteria)

น้ำหมักชีวภาพอาจมีชื่อเรียกหลากหลาย เช่น น้ำหมักพืช, น้ำสกัดชีวภาพ, น้ำหมักสมุนไพร, น้ำเอ็นไซม์, น้ำจุลินทรีย์, น้ำหมักโปรไบโอติก, น้ำไอออนิกพลาสมา, เซลล์ฟูดซ์

2.2.2 ชนิดของน้ำหมักชีวภาพ (กองเกษตรเคมี, 2545)

น้ำหมักชีวภาพ เป็นภูมิปัญญาท้องถิ่นที่เกิดจากเกษตรกรนำเศษพืช สัตว์ ซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้ในท้องถิ่นไปหมักกับกากน้ำตาล และนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในหลายท้องถิ่น ซึ่งแต่ละท้องถิ่นจะมีการผลิตและการนำน้ำหมักไปใช้แตกต่างกัน ทั้งในเรื่องของวัตถุดิบที่ใช้ กรรมวิธีในการหมัก ระยะเวลาที่หมัก ตลอดจนวิธีใช้กับพืชและการใช้เพื่อวัตถุประสงค์อื่นๆ พอจะแยกชนิดและอัตราส่วนในการผลิตตามวัสดุหลักที่ใช้ผลิตน้ำหมักชีวภาพ ได้ 2 ประเภท ดังนี้ คือ

1. น้ำหมักชีวภาพที่ผลิตจากพืช ได้แก่ ผักต่างๆ ผลไม้ วัชพืช ตลอดจนพืชสมุนไพร
2. น้ำหมักชีวภาพที่ผลิตจากสัตว์ ได้แก่ ปลาเล็กปลาน้อย หอยเชอรี่ เปลือกกุ้ง กระจงคองปู แมลง เศษชิ้นส่วนของสัตว์

กระบวนการที่เกิดขึ้น จุลินทรีย์ต่างๆ มีทั้งที่ต้องการและไม่ต้องการออกซิเจนจะเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วโดยใช้กากน้ำตาลเป็นแหล่งพลังงาน ผลิตเอ็นไซม์ออกมาทำการย่อยสลายสารประกอบอินทรีย์ต่างๆ จากวัสดุที่นำมาใช้เป็นวัสดุหลักในการหมักเหล่านั้นให้มีโมเลกุลเล็กลง บางส่วนถูกนำไปใช้ในการสร้างเซลล์ใหม่ ส่วนที่เหลือจะปะปนอยู่ในรูปของเหลวที่เกิดจากการหมัก ดังนั้นในน้ำหมักชีวภาพที่ได้จะประกอบไปด้วย น้ำ จุลินทรีย์ต่างๆ ทั้งที่มีชีวิตและซากจุลินทรีย์ สารประกอบอินทรีย์ต่างๆ ธาตุอาหารพืช และเศษชิ้นส่วนวัสดุที่นำมาหมัก ปริมาณมาน้อยแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับวัสดุที่นำมาหมัก ชนิดของจุลินทรีย์ที่ทำการย่อยสลาย สภาพแวดล้อมในการหมัก และระยะเวลาที่ทำการหมัก

2.2.3 คุณภาพน้ำหมักชีวภาพที่ผลิตโดยใช้ผลไม้เป็นวัสดุหลัก

น้ำหมักชีวภาพที่หมักโดยใช้ผลไม้ ได้แก่ กกล้วย มะละกอ ฟักทอง สับปะรด ฯลฯ เป็นวัสดุหลักในการหมัก น้ำหมักชีวภาพ จะมีลักษณะเป็นสารละลายสีน้ำตาลเข้ม มีกลิ่นของแอลกอฮอล์ผสมกลิ่นเปรี้ยวของกรดอินทรีย์เมื่อชิมจะมีรสเปรี้ยว

2.2.3.1 คุณสมบัติทั่วไป

- ความเป็นกรดต่ำ อยู่ระหว่าง 3.5 – 5.3
- ค่าการนำไฟฟ้าแตกต่างกันขึ้นกับวัสดุที่นำมาหมัก โดยมีค่าการนำไฟฟ้าอยู่ระหว่าง 1.05 - 9.02 เดซิซีเมน/เมตร
- พบอินทรีย์วัตถุ (กรดฮิวมิก) ละลายอยู่ในน้ำหมักชีวภาพที่ผลิตจากผลไม้ ปริมาณที่พบ 0.03 -1.00%
- ความสมบูรณ์ของการหมัก พิจารณาจากค่า C / N ratio มีค่าระหว่าง 1 / 2 - 70 / 1 ซึ่งถ้า C / N ratio สูง เมื่อนำไปฉีดพ่นบนต้นพืชอาจแสดงอาการใบเหลืองเนื่องจากขาดธาตุไนโตรเจนได้

2.2.3.2 ปริมาณธาตุอาหาร

- ธาตุอาหารหลัก (N, P, K)
 - 1) ไนโตรเจน (% Total N) เป็นองค์ประกอบของโปรตีน คลอโรฟิลล์ เอนไซม์และวิตามินหลายชนิด ช่วยในการเจริญเติบโตของพืช ถ้าใช้พืชหมัก พบไนโตรเจน 0.03 - 1.66 % แต่ถ้าใช้ปลาและหอยหมักจะพบประมาณ 1.06 - 1.70 %
 - 2) ฟอสฟอรัส (% Total P₂O₅) เป็นองค์ประกอบกรดนิวคลีอิก ฟอสโฟลิปิด หรือ ATP และ โคเอนไซม์หลายชนิด ช่วยเร่งการออกดอกและการสร้างเมล็ดในน้ำหมักจากพืช มีตั้งแต่ไม่พบเลยจนถึง 0.4% แต่ในน้ำหมักจากปลาและหอยพบ 0.18 - 1.14 %
 - 3) โพแทสเซียมที่ละลายน้ำได้ (% Water Soluble K₂O) กระตุ้นการทำงานของเอนไซม์หลาย ชนิดที่ทำหน้าที่ในการสร้างแป้ง น้ำตาล และโปรตีน ควบคุมการปิดเปิดของปากใบ ส่งเสริม การเคลื่อนย้ายน้ำตาลจากใบสู่ผล ในน้ำหมักพืชพบ 0.05 - 3.53 % และในน้ำหมักจากปลาและหอยพบ 1.0 - 2.39 %
- ธาตุอาหารรอง (Ca, Mg, S)
 - 1) แคลเซียม เป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์ จำเป็นสำหรับกระบวนการแบ่งเซลล์ และเพิ่มขนาดเซลล์ กระตุ้นการทำงานของเอนไซม์บางชนิด ในน้ำหมักจากพืชพบ 0.05 - 0.49 % และน้ำหมักจากปลาและหอยพบ 0.29 - 1.0%

2) แมกนีเซียมและซัลเฟอร์ เป็นองค์ประกอบของคลอโรฟิลล์ กระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ ที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์แสง ในน้ำหมักจากพืชและปลาพบในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน คือ 0.1- 0.37 %

- ธาตุอาหารเสริม

- 1) เหล็ก ในน้ำหมักจากพืชพบ 30 - 350 ppm และน้ำหมักจากปลาและหอยพบ 500 - 1,700 ppm
- 2) คลอไรด์ น้ำหมักจากพืชและปลาปริมาณเกลือคลอไรด์ สูง 2,000 - 11,000 ppm
- 3) ธาตุอาหารเสริมอื่นๆ ได้แก่ แมงกานีส ทองแดง สังกะสี โบรอน และ โมลิบดีนัม น้ำหมักทั้งจากพืชและปลาพบในปริมาณน้อย มีค่าตั้งแต่ตรวจไม่พบเลย ถึง 130 ppm

2.2.4 ประโยชน์ของน้ำหมักชีวภาพ (ปรัชญา, 2537)

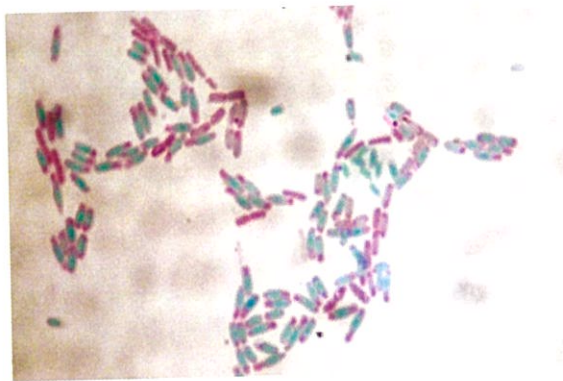
1. เป็นหัวเชื้อปุ๋ยหมัก โดยมีสีน้ำตาลเข้ม รสเปรี้ยว มีค่าความกรดต่างที่ระดับพีเอช 3-4.2 มีสารอาหารในรูปกรดอะมิโน ซึ่งพืชสามารถดูดซึมได้เร็ว เกิดการแลกเปลี่ยนสารอาหารในดิน คือ ไนโตรเจนเป็นสารอาหารสร้างความเจริญเติบโตต่อโครงสร้างลำต้นพืช ฟอสฟอรัสเป็นสารอาหารสร้างความเจริญเติบโตต่อโครงสร้างราก การออกดอกและการติดผล รวมทั้งโพแทสเซียมเป็นสารอาหารสร้างความเจริญเติบโตต่อโครงสร้างของเซลล์พืชและให้ผลผลิตตลอดจนความหวานของผลไม้ ทำให้โครงสร้างของพืชมีความแข็งแรงให้ผลผลิตสูง ทำให้ต้นไม่มีภูมิต้านทานต่อการถูกทำลายของเชื้อโรคแมลงศัตรู
2. เป็นอาหารของพืชและสัตว์ ทำให้พืชออกดอกเร็ว เก็บผลผลิตได้เร็ว ปริมาณผลผลิตมาก ต้นไม้แข็งแรง ปรับสภาพพื้นดินดี ไม่เปรี้ยว อาหารสัตว์นั้นพบว่าหากนำไปใช้กับเป็ด ไก่ ควายจะช่วยทำให้สัตว์แข็งแรง มีภูมิต้านทานโรคสามารถใช้ล้างทำความสะอาดคอกสัตว์เพื่อลดกลิ่นเหม็นได้เป็นอย่างดี
3. บำบัดน้ำเสีย พบว่า หากนำน้ำหมักจากเศษอาหารที่ไม่มีเนื้อสัตว์ปะปน ที่มีอายุการหมักนาน 1 ปีจนได้น้ำหมักสีน้ำตาลใส ไม่มีแอลกอฮอล์ไปใช้บำบัดน้ำเสีย
4. ปรับสมดุลของธรรมชาติและรักษาสิ่งแวดล้อม
5. ป้องกันแมลง น้ำหมักจะมีกลิ่นฉุนช่วยไล่แมลงได้ ทำให้พืชต้านทานโรคและแมลง
6. ย่อยสลายฟางและกำจัดวัชพืช หอยเชอร์รี่ จะเห็นผลได้ใน 7 วัน
7. แปรรูปขยะเหลือใช้ในครัวเรือนให้เกิดประโยชน์

2.3 บทบาทของจุลินทรีย์ในกระบวนการหมักน้ำหมักชีวภาพ (อานัฐ, 2551)

จุลินทรีย์ที่มีในน้ำหมักชีวภาพมีหลายประเภท แต่จุลินทรีย์ที่มีบทบาทสำคัญในกระบวนการหมักน้ำหมักชีวภาพ ได้แก่ แบคทีเรีย เชื้อรา โดยมีบทบาทสำคัญในการย่อยสลายวัสดุอินทรีย์ และเกิดปฏิกิริยาทางชีวเคมีต่างๆ ในการผลิตน้ำหมักชีวภาพ บทบาทของจุลินทรีย์ในกระบวนการหมักน้ำหมักชีวภาพมีดังนี้

2.3.1 แบคทีเรีย แบคทีเรียที่พบในน้ำหมักชีวภาพหลายสายพันธุ์มีบทบาทในการย่อยสลายวัสดุที่ใช้ในการผลิต วัสดุที่ใช้ในการผลิตน้ำหมักชีวภาพเป็นวัสดุอินทรีย์มาจากสิ่งที่มีชีวิตทั้งจากพืชและสัตว์ แบคทีเรียย่อยสลายวัสดุอินทรีย์ทำให้สารประกอบโมเลกุลที่มีขนาดใหญ่ เล็กลง และปลดปล่อยธาตุอาหารออกมาในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ แบคทีเรียที่พบและมีบทบาทมากในน้ำหมักชีวภาพมีดังนี้

2.3.1.1 แบคทีเรียในสกุลบาซิลลัส (*Bacillus* spp.) บทบาทของจุลินทรีย์สกุลนี้ในกระบวนการหมัก คือจัดเป็นพวก Ammonifiers เกี่ยวข้องกับการแปรสภาพอินทรีย์ในโตรเจนให้เป็นอนินทรีย์ในโตรเจน (รูปที่ 2.2) ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการดังกล่าวส่วนใหญ่เป็นแอมโมเนียแบคทีเรียในสกุลบาซิลลัส สามารถผลิตเอนไซม์โปรเทส (Protease) ทำหน้าที่ย่อยโปรตีนให้มีขนาดโมเลกุลเล็กลง โดยมีน้ำเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทางชีวเคมี (Hydrolysis) แปรสภาพโปรตีนให้เป็นโพลีเปปไทด์ (Polypeptides) และแปรสภาพโอลิโกเปปไทด์ (Oligopeptides) ให้เป็นกรดอะมิโน (Amino acids) เอนไซม์นี้ถ้าย่อยโปรตีนในสภาพที่มีอากาศเพียงพอ (Aerobic Proteolysis) จะได้คาร์บอนไดออกไซด์ แอมโมเนีย ซัลเฟต และน้ำ แต่ถ้าย่อยสลายโปรตีนในสภาพที่ปราศจากอากาศจะได้แอมโมเนีย อะมีน คาร์บอนไดออกไซด์ กรดอินทรีย์ Indole Skatole Mercaptans และ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ สารต่างๆ เหล่านี้ก่อให้เกิดกลิ่นเหม็นเน่า (Foul smelling)



รูปที่ 2.2 แบคทีเรียย่อยโปรตีน *Bacillus* sp.

ที่มา: <http://www.idd.go.th/pd6/Microorganism.htm>

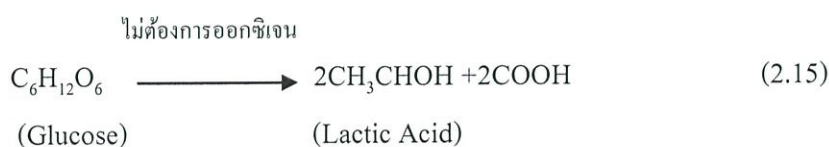
2.3.1.2 กลุ่มแบคทีเรียผลิตกรดแลคติก (Lactic Acid Bacteria) ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของแบคทีเรียกลุ่มนี้เป็น Gram Positive Asporogenous Rod-Shaped Bacteria อยู่ใน Family Lactobacillaceae จะไม่มีการสร้างสปอร์ (Endospore) รูปร่างของเซลล์มีลักษณะเป็นท่อน (รูปที่ 2.3) แบคทีเรียที่ผลิตกรดแลคติกจะมีส่วนเกี่ยวข้องอย่างมากในการผลิตน้ำหมักชีวภาพที่กระบวนการผลิตมีน้ำตาลมาเกี่ยวข้อง แบคทีเรียที่ผลิตกรดแลคติกอาศัยอยู่ในธรรมชาติมากมายหลายแห่ง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในที่ที่มีน้ำตาลชนิดต่างๆ แบคทีเรียกลุ่มนี้สามารถสร้างกรดแลคติก กรดฟอร์มิก เอทานอล และคาร์บอนไดออกไซด์

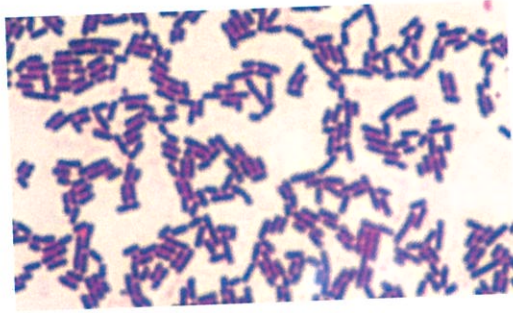
แบคทีเรียชนิดนี้ในพวก Anaerobic หรือ Facultative bacteria ได้แก่ แบคทีเรียในสกุล *Lactobacillus* sp. มีความต้องการสารอาหารพวกสารประกอบอินทรีย์ มีโครงสร้างซับซ้อนพบในกระบวนการหมัก มีการเจริญได้ดีในสภาพที่ไม่มีออกซิเจน แต่ก็มีความสามารถเจริญเพิ่มจำนวนเซลล์ได้ดีในสภาพที่มีออกซิเจนด้วย น้ำตาลเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญของแบคทีเรียชนิดนี้

Lactic acid bacteria แบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม คือกลุ่มที่เรียกว่า Homofermentative bacteria จุลินทรีย์กลุ่มนี้จะให้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นกรดแลคติก (Lactic Acid) เท่านั้น

กลุ่มที่สองเรียกว่า Heterofermentative bacteria หลังจากกระบวนการหมักจะได้กรดแลคติก กรดอะซิติก กรดฟอร์มิก กลีเซอรอล แอลกอฮอล์ และคาร์บอนไดออกไซด์

โดยทั่วไปแล้ว แบคทีเรียที่ผลิตกรดแลคติกจะมีอยู่ในสภาพธรรมชาติทั้งในพืชผักผลไม้ เนื้อสัตว์ และผลิตภัณฑ์นม กรดแลคติกที่ได้นี้มีบทบาทสำคัญในการถนอมอาหารหลายชนิด ผักดองต่างๆ การทำเนยแข็ง จุลินทรีย์ดังกล่าวมีความสามารถทนต่อสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไปได้ดี ทนต่อสภาพความเป็นกรดสูง สภาวะความเป็นกรดสูงนี้จะมีผลกระทบต่อการยับยั้งการเพิ่มจำนวนเซลล์หรือกำจัดจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดการเน่าเสียของอาหาร ปฏิกริยาโดยสรุปของการสร้างกรดแลคติกจากน้ำตาล โดยกลุ่มแบคทีเรีย Lactic Acid Bacteria แสดงในสมการที่ 2.15

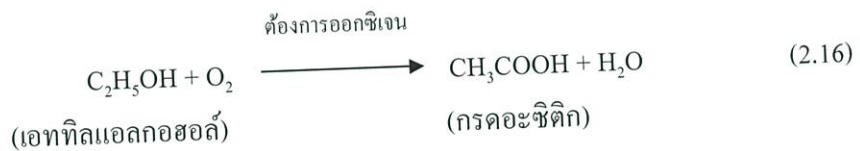




รูปที่ 2.3 แบคทีเรียผลิตกรดแลคติก *Lactobacillus* sp.

ที่มา : <http://www.ldd.go.th/pd6/Microorganism.htm>

2.3.1.3 กลุ่มแบคทีเรียผลิตกรดอะซิติก (Acetic Acid Bacteria) ลักษณะพื้นฐานทางวิทยาของแบคทีเรียกลุ่มนี้เป็นแบคทีเรียรูปแท่ง (Rod) และกลม (Cocci) แกรมลบ (Gram negative aerobic bacteria) อยู่ใน Family Pseudomonadaceae รูปร่างเป็นท่อนแต่มีลักษณะ เช่น รูปรีหรือไม้กระบองโค้งมี Flagella เคลื่อนที่ได้ (รูปที่ 2.4) เป็นพวกที่ต้องการออกซิเจน (Aerobic bacteria) ทนต่อสภาพความเป็นกรดได้ดีในสภาพที่มีค่า pH ของสารละลายต่ำกว่า 5.0 และเจริญอยู่ได้ในที่มีค่า pH ต่ำระหว่าง 3.0-3.5 ได้แก่ แบคทีเรียในสกุล *Acetobacter* sp. บทบาทสำคัญของแบคทีเรียชนิดนี้จะทำหน้าที่แปรสภาพหรือเปลี่ยนเอทานอลให้เป็นกรดอะซิติก โดยปฏิกิริยา Oxidation ในสภาพที่มีออกซิเจน มีปฏิกิริยาโดยสรุปดังสมการที่ 2.16



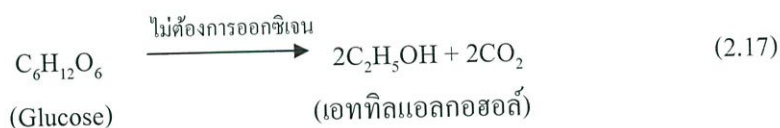
รูปที่ 2.4 แบคทีเรียผลิตกรดอะซิติก *Acetobacter* sp.

ที่มา : <http://vcharkarn.com/varticle/44073>

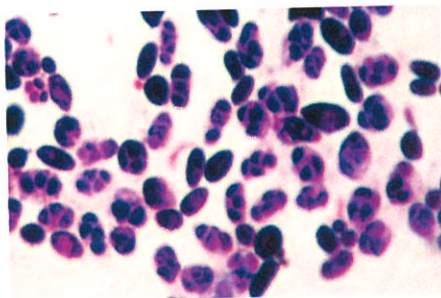
2.3.2 เชื้อรา ราที่มีบทบาทในกระบวนการหมักในน้ำหมักชีวภาพส่วนใหญ่จะเป็นยีสต์ และราที่มีรูปร่างเป็นเส้นใย

2.3.2.1 ยีสต์ (Yeasts) เป็นราเซลล์เดี่ยว มักมีรูปร่างกลมหรือรี สามารถสืบพันธุ์ได้โดยการแตกหน่อ (budding) ซึ่งเป็นแบบไม่อาศัยเพศ อยู่ใน Family Saccharomycetacea เมื่ออายุน้อยจะมีรูปร่างค่อนข้างกลม แต่เมื่ออายุมากจะมีรูปร่างรียาว (รูปที่ 2.5) ยีสต์จะทำให้เกิดกระบวนการหมักโดยเปลี่ยนน้ำตาลให้เป็นเอทิลแอลกอฮอล์และคาร์บอนไดออกไซด์

ยีสต์มีความเกี่ยวข้องในกระบวนการหมักจะมีการสร้าง Ascospores แบบอาศัยเพศอยู่ใน Asci ได้แก่อยีสต์สกุล *Saccharomyces* sp. และ *Candida* sp. เนื่องจากยีสต์มีคุณสมบัติในการหมักน้ำตาลได้ดี ดังนั้นในกระบวนการหมักผักและผลไม้หรือปลาสดร่วมกับกากน้ำตาล (อาจใช้น้ำตาลทรายแดง น้ำตาลอ้อย) ยีสต์จะทำหน้าที่เปลี่ยนน้ำตาลให้เป็นแอลกอฮอล์และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ หลังจากการหมัก 1-2 วัน ดังสมการที่ 2.17



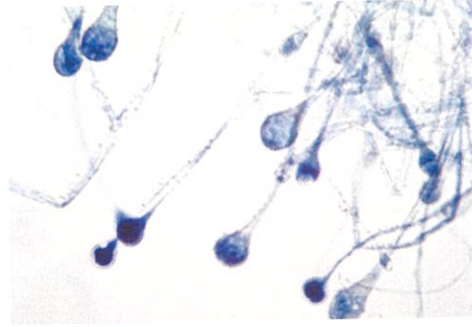
นอกจากนี้จะมีผลิตภัณฑ์ชนิดอื่นออกมาในปริมาณเล็กน้อย ได้แก่ Glycerol, Acetic acid, Organic acids, Amino acids, Purines, Pyrimidines นอกจากนี้ยีสต์จะผลิตวิตามินและฮอร์โมนในระหว่างกระบวนการหมักด้วย ในกระบวนการหมักนั้นจะมีค่าพีเอชมาก แต่ยีสต์สามารถเจริญเติบโตได้ดีในสภาพพีเอชระหว่าง 4.0-6.5 และดำรงชีพอยู่ได้ในสภาพที่มีค่าพีเอชของน้ำหมักระหว่าง 1.5-3.5 จะมีจุลินทรีย์กลุ่มอื่นร่วมทำปฏิกิริยาอยู่ด้วยซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้เป็นกรดอินทรีย์เกิดขึ้นมาก ทำให้ค่าพีเอชของน้ำหมักมีความเป็นกรดสูง สภาวะที่ค่าพีเอชของน้ำหมักมีค่าต่ำนั้นมีผลดีต่อการควบคุมจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดการเน่าเสียได้ และขณะเดียวกันแอลกอฮอล์ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการหมักเป็นปัจจัยหนึ่งที่ควบคุมคุณภาพของน้ำหมักหรือปุ๋ยอินทรีย์น้ำด้วย



รูปที่ 2.5 ยีสต์ *Saccharomyces* sp.

ที่มา: <http://www.ldd.go.th/pd6/Microorganism.htm>

2.3.2.2 ราเส้นใย เป็นจุลินทรีย์พวกที่ต้องการอากาศ พบเห็นได้บริเวณผิวด้านบนของน้ำหมักชีวภาพ (รูปที่ 2.6) ดังนั้นในลักษณะของการทำน้ำหมักชีวภาพ ซึ่งเป็นการหมักที่มีออกซิเจนน้อยสภาพดังกล่าวไม่เหมาะสำหรับการเจริญเติบโตของราเส้นใย จึงมักพบอยู่บนบริเวณผิวน้ำของน้ำหมักชีวภาพ หรือบนพื้นผิวภาชนะมีน้ำตลติดอยู่ ส่วนใหญ่ที่มีบทบาทในกระบวนการหมักน้ำหมักชีวภาพจะอยู่ในกลุ่มรา *Phycomycetes* ได้แก่ ราในสกุล *Mucor* และอื่นๆ



รูปที่ 2.6 ราในสกุล *Mucor*

ที่มา: <http://pathmicro.med.sc.edu/mycology/mycology-5.htm>

2.4 สับปะรด



รูปที่ 2.7 ลักษณะของผลสับปะรด

ที่มา : <http://www.doae.go.th/library/html/detail/Pineappl/Mainpine.htm>

ชื่อวิทยาศาสตร์ (Scientific name) : *Ananus comosus* (L.) Merr.

ชื่อสามัญ (Common name) : Pineapple

วงศ์ (Family) : Bromeliaceae

2.4.1 ถิ่นกำเนิดและการกระจายตัว (คู่มือนักวิชาการส่งเสริมการเกษตร, 2551)

สับปะรดมีถิ่นกำเนิดอยู่ในทวีปอเมริกาใต้ เขตเส้นละติจูด 15 – 30 องศาใต้ และลองจิจูด 40 – 60 องศาตะวันตก ได้แก่ บริเวณตอนกลางและตอนใต้ของประเทศบราซิล รวมทั้งตอนเหนือของอาร์เจนตินาและปารากวัย เนื่องจากเป็นพืชทนแล้งจึงสามารถเติบโตได้ดีในเขตร้อนรวมทั้งประเทศไทย

2.4.2 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ (คู่มือนักวิชาการส่งเสริมการเกษตร, 2551)

- ราก เป็นระบบรากฝอยเหมือนพืชใบเลี้ยงเดี่ยวทั่วไป ระบบรากจะลึกประมาณ 1 เมตร
- ลำต้น มีลักษณะสั้นขนาดลำกระบอก มีความยาวประมาณ 20 – 30 เซนติเมตร ส่วนที่กว้างที่สุดจะกว้างประมาณ 5 เมตร ตามมุมใบจะมีตาที่จะเจริญเป็นหน่อได้ หน่อที่เจริญจากตาบนลำต้นเหนือดินเรียกว่า หน่อข้างหรือหน่ออากาศ ส่วนหน่อที่เจริญมาจากตาบนลำต้นที่ระดับผิวดินหรือใต้ดิน เรียก หน่อดิน

- ใบ มีลักษณะเรียวยาวและมีร่องโค้ง การเรียงตัวของใบจะเป็นแบบเวียนรอบลำต้นมีความสำคัญในการดำรงชีวิตในสภาพที่มีน้ำน้อย ละอองฝนหรือน้ำค้างที่ตกลงมาสัมผัสกับพุ่มใบจะถูกรวบรวมมาไว้ที่ส่วนโคนต้นให้รากในดินหรือรากตามมุมใบใช้ประโยชน์ได้

- ช่อดอก แต่ละช่อดอกย่อยประมาณ 100 – 200 ดอก แกนกลางของช่อดอกเป็นส่วนที่ต่อเนื่องมาจากก้านช่อดอก ซึ่งเป็นเนื้อเยื่อเจริญที่ปลายยอดเดิมของสับปะรด ดอกย่อยแต่ละดอกเป็นดอกสมบูรณ์เพศ จำนวนดอกย่อยที่สร้างขึ้นในแต่ละช่อดอกมีจำนวนมากน้อยเท่าใด สัมพันธ์กับขนาดต้นสับปะรด อาหารสำรอง และความสมบูรณ์ของต้นสับปะรด

- ผล เป็นผลรวม เกิดจากการเชื่อมติดกันของผนังรังไข่และส่วนประกอบของดอกย่อยที่เรียงตัวติดกันบนแกนกลางของช่อดอก ส่วนบนสุดของผลจะเป็นกลุ่มของใบที่เจริญไปพร้อมกับผลและพัฒนาเป็นจุดต่อไป ผลสับปะรดถ้ามีขนาดใหญ่จะมีรูปร่างเป็นแบบกรวย คือ ส่วนโคนผลมีความกว้างมากกว่าส่วนปลายผล ถ้าผลมีขนาดปานกลางจะมีรูปร่างแบบทรงกระบอก และถ้าผลมีขนาดเล็กจะมีรูปร่างแบบทรงกลม (รูปที่ 2.7)

- เมล็ด ผลสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียปกติจะไม่มีเมล็ดเนื่องจากไม่สามารถผสมตัวเองในพันธุ์เดียวกันได้ แต่ผลอาจมีเมล็ดเกิดขึ้นถ้ามีการช่วยผสมข้ามพันธุ์ เมล็ดจะมีขนาดยาวประมาณ 3 - 5 มิลลิเมตรกว้างประมาณ 1 – 2 มิลลิเมตร เปลือกเมล็ดแข็งหนามีสีน้ำตาล

2.4.3 พันธุ์สับปะรด (เดช, 2535)

สับปะรด ที่มีอยู่ในโลกมีหลายพันธุ์ด้วยกัน แต่ที่มีอยู่ในประเทศไทย มีทั้งหมด 5 พันธุ์ คือ

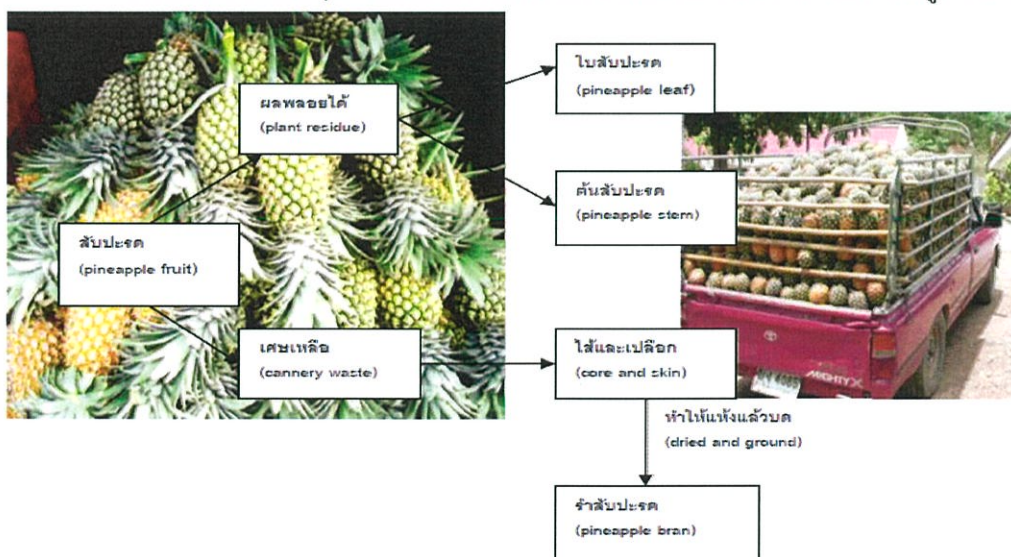
1. พันธุ์อินทรีชนิด ลำต้นใหญ่ ขอบใบมีหนามแหลม โคนงอ สีน้ำตาลแดง ขอบใบมีสีแดง อดน้ำตาลตลอดใบ ผลขนาดเล็ก ตาลึก เนื้อสีเหลืองทอง พันธุ์นี้มีปลูกทั่วไป

2. พันธุ์ขาว ต้นเล็ก ใบสั้นสีเขียวอมเหลือง ใบมีหนามผล มีสีเหลืองทอง
3. พันธุ์ปัตตาเวีย หรือ สับปะรดศรีราชา ทรงพุ่มใหญ่ ใบยาว ขอบใบไม่มีหนาม ยกเว้นปลายใบซึ่งจะมีหนามบ้างเล็กน้อย เป็นพันธุ์ที่ปลูกทั่วไป และใช้แปรรูปเป็นสับปะรดกระป๋องในปัจจุบัน
4. พันธุ์นางแล หรือ พันธุ์น้ำผึ้ง ลักษณะคล้ายๆพันธุ์ปัตตาเวียแต่ผลค่อนข้างกลม ตาใหญ่ ลึกเปลือกบางเมื่อเทียบกับพันธุ์ปัตตาเวีย
5. พันธุ์ภูเก็ต หรือพันธุ์สวี ใบสีเขียวอ่อน ขอบใบมีหนามสีแดง ผลเล็กยาว ตาลึก เนื้อผลสีเหลือง รสหวานกรอบ

2.4.4 ประโยชน์ของสับปะรด (ธงชัย, 2530)

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม มีผลผลิตทางการเกษตรหลายชนิด โดยเฉพาะอย่างยิ่งผลไม้และมีการส่งออกในรูปของผลไม้สดซึ่งมีมูลค่าของสินค้าต่ำและเก็บไม่ได้นาน จึงมีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ด้านอุตสาหกรรมเกษตร เช่น การแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ผลไม้กระป๋องมากขึ้น อย่างไรก็ตาม กระบวนการแปรรูปผลไม้มีของเสียเกิดขึ้นมาก เช่น สับปะรด ของเสียที่เกิดขึ้นได้แก่ เปลือก และแกน โดยโรงงานส่วนใหญ่จะนำเปลือกหรือเศษผลไม้ไปเป็นอาหารสัตว์หรือนำไปฝังกลบ แต่วิธีการฝังกลบต้องใช้ค่าใช้จ่ายสูง และต้องใช้พื้นที่ในการฝังกลบมาก ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้นการนำเปลือกสับปะรดมาใช้ประโยชน์ในการทำน้ำหมักชีวภาพเพื่อการบำบัดน้ำเสีย จึงเป็นการลดของเสียที่เกิดขึ้นได้อีกวิธีหนึ่ง

สับปะรดส่วนต่างๆสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้อย่างกว้างขวางดังแสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 ผลพลอยได้และเศษเหลือจากการปลูกสับปะรด และจากการทำสับปะรดกระป๋อง

ที่มา : สุมน (2547)

1. เนื้อ ใช้รับประทานสดหรือแปรรูปเป็นสับประรดแช่แข็ง สับประรดกวน สับประรดแห้ง แยมสับประรด หรือ บรรจุกระป๋อง และคั้นทำน้ำสับประรด

2. ผลพลอยได้จากเศษเหลือของสับประรดส่วนใหญ่จากอุตสาหกรรมบรรจุกระป๋อง สามารถนำมาแปรรูปทำอย่างอื่นได้ เช่น น้ำเชื่อม, แอลกอฮอล์, น้ำส้มสายชู, ไวน์, อาหารสำหรับเลี้ยงวัว

3. กรดอินทรีย์ 3 ชนิด คือ กรดซิตริก, กรดมาลิก และกรดแอสคอร์บิก

4. ใบ

4.1 เส้นใยจากใบสับประรด นำมาทอเป็นผ้าใยสับประรด ในฟิลิปปินส์เรียกว่า "ผ้าบารอง" ราคาแพง นิยมตัดเป็นชุดสากลประจำของชาติฟิลิปปินส์และไต้หวัน

4.2 เยื่อกระดาษจากใบสับประรด จะได้กระดาษที่มีคุณสมบัติพิเศษ คือ ความบางมาก มีผิวนุ่มเนียน สามารถบิดงอหรือเปลี่ยนรูปร่างได้ง่าย โดยไม่เสียหาย ในหลายประเทศใช้เป็นกระดาษสำหรับพิมพ์ธนบัตร

5. เปลือก เปลือกและแกนกลางซึ่งจะมีน้ำอยู่สูงถึงร้อยละ 90 ส่วนเหลือทิ้งจะมีโปรตีนทั้งหมดประมาณร้อยละ 0.7 เมื่อคุดต่อน้ำหนักสดและมีค่าโปรตีนและถึงร้อยละ 7 เมื่อคุดต่อน้ำหนักแห้งสามารถนำมาใช้เป็นอาหารเลี้ยงวัว ยิ่งเปลือกที่ทิ้งไว้ 2-3 วัน สีสอกเป็นน้ำตาลเทาๆ มีกลิ่นเหม็นเล็กน้อย วัวจะชอบกินมากกว่าเปลือกสด

2.4.5 คุณค่าทางโภชนาการของสับประรด

คุณค่าทางโภชนาการของสับประรดแสดงดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 คุณค่าทางโภชนาการของสับประรด

ธาตุอาหาร	หน่วย	ปริมาณใน 100 กรัม
ค่าโดยประมาณ		
น้ำ	g	86
พลังงาน	kcal	50
โปรตีน	g	0.54
ไขมันทั้งหมด	g	0.12
คาร์โบไฮเดรต	g	13.12
ใยอาหาร	g	1.4
น้ำตาลทั้งหมด	g	9.85

ที่มา : USDA (2013)

ตารางที่ 2.4 (ต่อ) คุณค่าทางโภชนาการของสับปะรด

สารอาหาร	หน่วย	ปริมาณใน100 กรัม
แร่ธาตุ		
แคลเซียม	mg	13
เหล็ก	mg	0.29
แมงกานีส	mg	12
ฟอสฟอรัส	mg	8
โพแทสเซียม	mg	109
โซเดียม	mg	1
สังกะสี	mg	0.12
วิตามิน		
วิตามินซี (ในรูปกรดแอสคอร์บิกทั้งหมด)	mg	47.8
ไรอามิน	mg	0.079
ไรโบฟลาวิน	mg	0.032
ไนอะซิน	mg	0.5
วิตามินบี 6	mg	0.112
โฟเลท (DFE)	µg	18
วิตามินบี 12	µg	0
วิตามินเอ (RAE)	µg	3
วิตามินเอ (IU)	IU	58
วิตามินอี (แอลฟาโทโคเฟอรอล)	mg	0.02
วิตามินดี (D2 + D3)	µg	0
วิตามินดี	IU	0
วิตามินเค (ฟิลโลควิโนน)	µg	0.7
ไขมัน		
กรดไขมัน , (ไขมันอิ่มตัวทั้งหมด)	g	0.009
กรดไขมัน , (total polyunsaturated)	g	0.013
กรดไขมัน , (total monounsaturated)	g	0.04
คอเลสเตอรอล	mg	0

ที่มา : USDA (2013)

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กขกรและคณะ (2555) ศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากน้ำท่วมขังด้วยจุลินทรีย์จากอาหาร โดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์แทนน้ำเสียจากน้ำท่วมขัง แบ่งการทดลองเป็น 3 ชุด คือ 1) ชุดควบคุมไม่มีการเติมจุลินทรีย์ 2) เติมจุลินทรีย์จากอาหาร 1% และ 3) เติมจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ (EM) ของกทท. 1% ลงในน้ำเสีย จากนั้นเก็บตัวอย่างน้ำเสียมาวิเคราะห์ ค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าออกซิเจนที่ละลายน้ำ และค่าซีโอดีที่ละลายน้ำ วันละ 2 ครั้ง เป็นเวลา 13 วัน ผลการทดลองพบว่า ชุดที่ 1 ชุดควบคุม, ชุดที่ 2 เติมจุลินทรีย์จากอาหารและชุดที่ 3 เติม EM กทท. มีประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีที่ละลายน้ำได้เท่ากับ 95.74 % , 95.72% , 95.61% ตามลำดับ ค่าออกซิเจนที่ละลายน้ำมีแนวโน้มลดลง แต่ค่าความเป็นกรด-ด่างมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการบำบัดเพิ่มขึ้น จากผลการศึกษาพบว่าจุลินทรีย์จากอาหารและ EM ของกทท. ไม่ได้เพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียจากน้ำท่วมขัง

พชรพรรณและคณะ (2554) ศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากบ่อพักอาคารด้วยวิธีทางชีวภาพ: กรณีศึกษาอาคารจุฬารณวลัยลักษณ์ 2 คณะวิทยาศาสตร์ สจล. และศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียด้วยการเติมจุลินทรีย์ (EM) โดยลักษณะทางกายภาพและเคมีของน้ำทิ้งจากบ่อพักอาคาร มีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 6.58 – 7.75 ค่าบีโอดี 56 – 114 มก./ล. และซีโอดีที่ละลายน้ำได้ 70 – 166 มก./ล. ปริมาณตะกอนหนัก 15 – 18 มก./ล. ปริมาณของแข็งแขวนลอย 73 -74 มก./ล. ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด 817 – 898 มก./ล. ส่วนซัลไฟด์ 7 – 8.5 มก./ล. น้ำมันและไขมัน 48 – 65 มก./ล. ซึ่งเกินค่ามาตรฐานน้ำทิ้งอาคารประเภท ข ในขณะที่ปริมาณไนโตรเจนในรูปที่เคเอ็น อยู่ในช่วง 0.75 – 1.68 มก./ล. ในการทดลองจะเก็บน้ำทิ้งจากบ่อพักอาคารแบบผสม นำมาใส่ถังจำนวน 5 ใบ . ใบละ 150 ลิตรและเติมจุลินทรีย์ (EM) ในปริมาณ 0, 1, 2, 3 และ 5% เก็บตัวอย่างน้ำมาวิเคราะห์ที่ระยะเวลา 5, 10, 15, 20, 25, 35 และ 45 วัน ผลการศึกษาพบว่าที่ระยะเวลาการบำบัด 45 วันยังไม่เพียงพอต่อการบำบัดน้ำทิ้งให้ได้ตามมาตรฐานน้ำทิ้งของอาคารประเภท ข และประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์วัดในรูปบีโอดีในถังที่เติมจุลินทรีย์ (EM) 1% มีค่าเท่ากับ 78.22% ซึ่งสูงกว่าถังที่เติม (EM) 2%, 3% และ 5% ตามลำดับ ปริมาณของแข็งแขวนลอยในถังทุกใบมีค่าสูงขึ้นตามปริมาณการเติมจุลินทรีย์ที่เติมลงไปในถัง รวมทั้งถังที่ไม่เติม EM จะมีปริมาณของแข็งแขวนลอยเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน แต่มีการเพิ่มขึ้นที่น้อยกว่า นอกจากนี้พบว่าน้ำเสียหลังจากบำบัด 45 วัน จะมีค่ากรดอินทรีย์ระเหยได้และสภาพต่างมากขึ้น

ยุพา (2553) ศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานแป่งมันสำปะหลัง โดยเก็บตัวอย่างน้ำเสียจากโรงงานแป่งมันสำปะหลัง 1 แห่ง ในจังหวัดกำแพงเพชรมาทำการทดลอง 4 การทดลอง แต่ละการทดลองใช้ตัวอย่างน้ำเสียจำนวน 16 ตัวอย่าง ตามชนิดของสูตรจุลินทรีย์ 4 สูตร ได้แก่ จุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ สูตรที่ 1 สูตรที่ 2 สารเร่ง พด.6 สูตรที่ 1 และ สูตรที่ 2 ในอัตราส่วนของจุลินทรีย์

ค่อน้ำ และระยะเวลาการย่อยสลายของจุลินทรีย์ที่แตกต่างกัน โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ตอน ตอนที่ 1 ทำการคม เพื่อหาระดับกลิ่นเหม็นและประสิทธิภาพของจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพและสารเร่งพด.6 ในการลดกลิ่นเหม็นน้ำเสีย โดยใช้อาสาสมัครผู้ทดสอบกลิ่น จำนวน 6 คน และบันทึกผลการตรวจวัด ระดับกลิ่นเหม็นในแบบประเมินผล ตอนที่ 2 เก็บตัวอย่างน้ำเสียก่อนและหลังการใช้ด้วยจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ และสารเร่งพด.6 ในช่วงระยะเวลาการย่อยสลาย 24 ชั่วโมงที่มีระดับกลิ่นเหม็นน้อยที่สุด วิเคราะห์คุณภาพน้ำ ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง สารแขวนลอย บีโอดี และซีโอดี ผลการศึกษาพบว่า (1) ระดับกลิ่นเหม็นหลังการย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ และสารเร่ง พด.6 จากน้ำเสียโรงงานแป้งมันสำปะหลังลดลงทุกสูตร โดยจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ สูตรที่ 1 สูตรที่ 2 สารเร่ง พด.6 สูตรที่ 1 และ สูตรที่ 2 มีค่าเฉลี่ยระดับกลิ่นเหม็น 2.44, 2.56, 3.22 และ 2.72 ตามลำดับ จากค่าระดับกลิ่นเหม็นมากที่สุดในช่วง 5.50 - 6.00 (2) ประสิทธิภาพของจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ สูตรที่ 1 สูตรที่ 2 สารเร่ง พด.6 สูตรที่ 1 และ สูตรที่ 2 ลดกลิ่นเหม็นจากน้ำเสียโรงงานแป้งมันสำปะหลัง ร้อยละ 45.92, 43.33, 25.37 และ 31.29 ตามลำดับ และ (3) หลังจากการบำบัดน้ำเสียโดยจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ และสารเร่ง พด.6 ที่ระยะเวลาการย่อยสลายที่ 24 ชั่วโมง พบว่า ลักษณะน้ำเสียลดลงแต่ยังไม่ได้ตามเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม สรุปได้ว่าประสิทธิภาพของจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ สูตรที่ 1 สามารถลดกลิ่นและบำบัดน้ำเสียได้ดีที่สุด และค่าใช้จ่ายของ พด.6 สูตรที่ 2 มีค่าใช้จ่ายต่ำที่สุด

ลักษณะ (2547) ศึกษาการผลิตน้ำหมักชีวภาพโดยใช้วัตถุดิบเริ่มต้นในการหมักคือ เศษอาหาร 70% เศษกระดูกหมูที่เหลือจากการต้มสกัดน้ำซุ๊ป 10% เปลือกผลไม้ผสม 20% โดยแปรค่ากากน้ำตาล 2 ความเข้มข้นคือ 15 (EM 15) และ 25 (EM 25) มีลิลิตรต่อกิโกรัมเศษอาหาร พบว่าเมื่อหมักได้ 10 วัน จะได้ของเหลวข้น สีน้ำตาลอมแดง มีกลิ่นเปรี้ยวคล้ายแหนม เมื่อหมักต่อไปจนถึง 20 วัน น้ำหมักชีวภาพจะมีลักษณะใสขึ้น มีกลิ่นเช่นเดิม แต่สีออกน้ำตาลเข้มมากขึ้น และเมื่อหมักต่อไปอีกจนครบ 30 วัน พบว่าน้ำหมักที่ได้จะมีลักษณะเช่นเดียวกับเมื่อหมักได้ 20 วัน สำหรับ pH ของน้ำหมักเมื่อใช้กากน้ำตาลความเข้มข้นต่างกัน พบว่าเมื่อหมักครบ 10 วัน จะมี pH 3 เหมือนกัน แต่เมื่อหมักนานกว่า 10 วัน EM 25 จะมี pH สูงขึ้นมากกว่า EM 15 การศึกษาชนิดและจำนวนของจุลินทรีย์ในน้ำหมักชีวภาพ โดยเลี้ยงเชื้อในอาหารต่างๆกัน พบว่าเมื่อเลี้ยงในอาหาร MRS + CaCO₃ ในสถานะที่ไม่มีอากาศ จะพบแบคทีเรียที่สร้างกรดได้ (สังเกตจากบริเวณใสรอบโคโลนี ซึ่งเกิดจากการทำให้ CaCO₃ ละลาย) 10⁶ - 10⁸ CFU/ml และพบยีสต์ 10³ - 10⁵ CFU/ml โดยพบว่าจำนวนจุลินทรีย์ใน EM25 มีมากกว่า EM15 และพบจำนวนจุลินทรีย์มากที่สุดในช่วง 10 วันแรกของการหมัก หลังจากนั้นจำนวนของจุลินทรีย์จะค่อยๆ ลดลง เมื่อเลี้ยงในอาหาร GEAM และ PDA พบว่าชนิดและจำนวนของจุลินทรีย์ที่มีปริมาณแตกต่างจากอาหาร MRS เนื่องจากใช้อาหารและบ่มเชื้อในสถานะที่แตกต่างกัน โดยในอาหาร GEAM และ PDA จะบ่มเชื้อในสถานะมีอากาศ

และการทดลองประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของน้ำหมักชีวภาพ พบว่าน้ำหมักชีวภาพทั้ง EM 15 และ EM 25 สามารถบำบัดน้ำเสียได้ดีกว่าชุดควบคุมซึ่งไม่มีการเติม EM

ตัณฐรัตน์ (2546) ศึกษาประสิทธิภาพการย่อยสลายของจุลินทรีย์ ในน้ำ โดยการตรวจสอบคุณภาพน้ำดังนี้ การวัดค่าความเป็นกรดด่าง, การวัดผลค่าอุณหภูมิของน้ำ, การวิเคราะห์ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ และปริมาณที่จุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสารอินทรีย์ ทดลองโดยนำ EM มาใช้ในการบำบัดน้ำเสีย ณ ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เพื่อตรวจสอบคุณภาพน้ำที่บำบัดโดยใช้ EM กับน้ำที่ไม่ใช้ EM โดยวิเคราะห์ วันที่ 1, 3, 5, 7 และ 14 วัน ผลการศึกษาวันที่ 1 ค่าความเป็นกรดเป็นด่างในน้ำที่ใช้โอเอ็มบำบัดและน้ำที่ไม่ใช้โอเอ็มบำบัดมีค่า 7.14 และ 6.96 วันที่ 3 และ 5 ค่าความเป็นกรดเป็นด่างที่ในน้ำใช้โอเอ็มบำบัดและน้ำที่ไม่ใช้โอเอ็มบำบัดมีค่า 8.33 , 8.51 และ 8.23, 8.35 ในวันที่ 7 และ 14 ค่าความเป็นกรดเป็นด่างในน้ำที่ใช้โอเอ็มบำบัดและน้ำที่ไม่ใช้โอเอ็มบำบัดมีค่า 8.44, 8.41 และ 8.35, 8.47 อุณหภูมิของน้ำกลุ่มที่ใช้โอเอ็มบำบัดและน้ำที่ไม่ใช้โอเอ็มของทุกวันมีค่าไม่ต่างกันทางสถิติโดยมีค่าเฉลี่ยที่ 27-28 องศาเซลเซียส วันที่ 1 ปริมาณออกซิเจนในน้ำ (DO_1) ในน้ำที่ใช้โอเอ็มบำบัดและน้ำที่ไม่ใช้โอเอ็มบำบัดมีค่า 7.867, 6.60 ตามลำดับ วันที่ 3 ปริมาณออกซิเจนในน้ำ (DO_3) ในน้ำที่ใช้โอเอ็มบำบัดและน้ำที่ไม่ใช้โอเอ็มบำบัดมีค่า 8.66, 7.93 ตามลำดับ วันที่ 5, 7, 14 ปริมาณออกซิเจนในน้ำ (DO_5) ในน้ำที่ใช้โอเอ็มบำบัดและน้ำที่ไม่ใช้โอเอ็มบำบัดมีค่า 8.51, 8.44, 8.41 และ 8.35, 8.35, 8.47 ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ปริมาณออกซิเจนในน้ำ (DO_5) ในวันที่ 1, 3 ในน้ำในน้ำที่ใช้โอเอ็มบำบัดและน้ำที่ไม่ใช้โอเอ็มบำบัดมีค่า 5.33, 5.33 และ 5.80, 5.80 ในวันที่ 5 ในน้ำที่ใช้โอเอ็มบำบัดและน้ำที่ไม่ใช้โอเอ็มบำบัดมีค่าเท่ากัน ปริมาณออกซิเจนในน้ำ (DO_5) ในวันที่ 7, 14 ในน้ำที่ใช้โอเอ็มบำบัดและน้ำที่ไม่ใช้โอเอ็มบำบัดมีค่า 5.93, 5.86 และ 5.66, 5.40 ตามลำดับ และสุดท้ายค่าปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสารอินทรีย์ (BOD) ในน้ำที่ใช้โอเอ็มบำบัดและน้ำที่ไม่ใช้โอเอ็มบำบัดในวันที่ 1, 3, 5, 7 และ 14 วันมีค่าดังนี้ 2.43, 3.33, 2.73, 2.86, 2.66 และ 0.80, 2.13, 1.53, 1.93, 2.00 ซึ่งทั้งหมดมีค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$)

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 อุปกรณ์และสารเคมี

3.1.1 อุปกรณ์

- 1) เครื่องยูวีสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ยี่ห้อ Spectronic บริษัท Thermo Fisher Scientific รุ่น GENESYS 10S UV-Vis Spectrophotometer ประเทศสหรัฐอเมริกา
- 2) เครื่องวัดค่าพีเอช (pH meter) ยี่ห้อ Consort บริษัท Consort Bvba รุ่น C860 ประเทศเบลเยียม
- 3) เครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้า ยี่ห้อ Consort บริษัท Consort Bvba รุ่น C860 ประเทศเบลเยียม
- 4) เครื่องวัดความขุ่น (Turbidimeter) ยี่ห้อ HACH บริษัท United States Hach รุ่น 2100P Turbidimeter ประเทศสหรัฐอเมริกา
- 5) เครื่องวัดปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ (DO meter) ภาคนาม ยี่ห้อ HACH บริษัท United States Hach รุ่น Seneion6 ประเทศสหรัฐอเมริกา
- 6) เครื่องชั่งแบบละเอียด 4 ตำแหน่ง บริษัท Denver Instruments ประเทศสหรัฐอเมริกา
- 7) เครื่องชั่งแบบละเอียด 2 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Shimadzu บริษัท Shimadzu Corporation รุ่น ATX ประเทศญี่ปุ่น
- 8) เครื่อง Autoclave ยี่ห้อ Hirayama บริษัท Hirayama Manufacturing Corporation
- 9) รุ่น HA-300MN ประเทศญี่ปุ่น
- 10) เครื่อง Vortex ยี่ห้อ Vortex Genie 2 บริษัท Scientific Industries รุ่น Vortex Genie 2 ประเทศสหรัฐอเมริกา
- 11) เครื่องให้ความร้อน (Hot plate) ยี่ห้อ Fisher Hotplate บริษัท Fisher Scientific ประเทศสหราชอาณาจักร
- 12) เครื่องปั่น ยี่ห้อ มูลิเน็กซ์ บริษัท กรู๊ป เอสอีบี (ประเทศไทย) จำกัด
- 13) ตู้ลามีน่า ยี่ห้อ Issco บริษัท International Scientific Supply ประเทศไทย
- 14) ตู้อบความร้อน ยี่ห้อ Memmert บริษัท Memmert ประเทศเยอรมนี
- 15) ไมโครเวฟ (Microwave) ยี่ห้อ Samsung บริษัท ไทย ชัมซุงอิเลคทรอนิกส์ จำกัด
- 16) ตู้ดูดควัน (Hood)
- 17) ตู้เย็น
- 18) อ่างควบคุมอุณหภูมิ (Water bath)

- 19) เคชิกเคเตอร์
- 20) เครื่องแก้วต่างๆ (Glass wares)
- 21) ถังน้ำพลาสติก
- 22) ผ้าขาวบาง
- 23) กระดาษกรอง Filtration Membrane ขนาด 0.45 μm เส้นผ่านศูนย์กลาง 47 mm

ยี่ห้อ Vertical บริษัท Vertical Chromatography ประเทศไทย

- 24) กระดาษกรองใยแก้ว
- 25) ขวดฉีดน้ำกลั่น (wash bottle)
- 26) ถังหมักพร้อมฝาปิด

3.1.2 สารเคมี

- 1) กรดกำมะถันเข้มข้น (Conc. H_2SO_4) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Fisher Scientific ประเทศสหราชอาณาจักร
- 2) เฮกเซน (n-Hexane) เกรดทางการค้า บริษัท Zen Point ประเทศไทย
- 3) โซเดียมซัลเฟต ปราศจากน้ำ (Sodium Sulfate Anhydrous) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Rankem ประเทศอินเดีย
- 4) โพแทสเซียมไดโครเมต ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba ประเทศอิตาลี
- 5) ซิลเวอร์ซัลเฟต (Ag_2SO_4) เกรด วิเคราะห์ บริษัท Carlo Eeba ประเทศอิตาลี
- 6) เฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟต [$\text{FeNH}_4(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$] เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba ประเทศอิตาลี
- 7) 1,10 – ฟีนันโทโรลีนโมโนไฮเดรต (1,10-Phenanthroline Monohydrate, $\text{C}_5\text{H}_3\text{NCH}:\text{CHC}_5\text{H}_3\text{N} \cdot \text{H}_2\text{O}$) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba ประเทศอิตาลี
- 8) เฟอรัสซัลเฟต ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) เกรดห้องปฏิบัติการ บริษัท Asia Pacific Specially Chemical ประเทศออสเตรเลีย
- 9) โปแตสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต (Potassium Hydrogen Phthalate หรือ KHP) ($\text{KHC}_8\text{H}_4\text{O}_4$) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba ประเทศอิตาลี

3.1.3 วัตถุดิบ

- 1) เปลือกสับปะรด
- 2) น้ำตาลทรายแดง
- 3) น้ำประปา
- 4) น้ำกลั่น
- 5) อาหารสำเร็จรูป Plate Count Agar (Standard Methods Agar) ยี่ห้อ SRL บริษัท

Sisco Research Laboratories Pvt. ประเทศอินเดีย

- 6) น้ำเสียจากเครื่องผลิตปุ๋ยหมักและแก๊สชีวภาพ
- 7) น้ำเสียหอพักนักศึกษาสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

3.1.4 แหล่งที่มาของจุลินทรีย์

โครงการพิเศษนี้ใช้เชื้อจุลินทรีย์ทางการค้า ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ที่มีการคัดเลือกสายพันธุ์ ที่ประกอบด้วย Bacillus sp. , Lactobacillus spp., Yeast sp.

3.2 ขั้นตอนการดำเนินการทดลอง

ศึกษาประโยชน์ของน้ำหมักชีวภาพจากเปลือกสับปะรดโดยจะศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสีย มีวิธีการศึกษาดังนี้

3.2.1 การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์

3.2.1.1 การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ชุดที่ 1

เตรียมโดยใช้น้ำเสียน้ำจากบ่อหอพักนักศึกษา สจล. : เศษอาหารจากโรงอาหารคณะวิทยาศาสตร์ สจล. ในอัตราส่วน 30 ลิตร : 10 ลิตร ผสมลงในถังพลาสติกขนาด 50 ลิตร จากนั้นทำการวิเคราะห์ค่าซีโอดีที่ละลายน้ำได้ (sCOD) ความเป็นกรด-ด่าง อุณหภูมิ ความขุ่น ออกซิเจนที่ละลายในน้ำ และค่าการนำไฟฟ้า

3.2.1.2 การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ชุดที่ 2

น้ำเสียสังเคราะห์เตรียมโดยใช้น้ำเสียจากเครื่องผลิตปุ๋ยหมักและแก๊สชีวภาพ : น้ำจากบ่อหอพักนักศึกษา สจล. ในอัตราส่วน 35.5 ลิตร : 4.5 ลิตร ผสมในถังพลาสติกขนาด 50 ลิตร จากนั้นทำการวิเคราะห์ค่าซีโอดีที่ละลายน้ำได้ (sCOD) ความต้องการออกซิเจนโดยวิธีทางเคมี

(COD) ความเป็นกรด-ด่าง อุณหภูมิ ความขุ่น ออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (DO) และการนำไฟฟ้า ดังตารางที่ 3.1 (ดูรายละเอียดในภาคผนวก ก)

3.2.1.3 การเตรียมน้ำเลี้ยงสังเคราะห์ ชุดที่ 3 (Dague *et al.*, 1998)

1) วัตถุดิบ

- นมผงไขมันไขมันต่ำ	43.2	กรัม
- น้ำแป้ง	20.8	กรัม
- Sodium acetate (CH ₃ COONa)	12.8	กรัม
- Yeast extract	3.2	กรัม
- Ammonium chloride (NH ₄ Cl)	12.16	กรัม
- Urea	6.88	กรัม
- Sodium bicarbonate (NaHCO ₃)	7.04	กรัม
- Potassium dihydrogen phosphate (KH ₂ PO ₄)	96	กรัม
-		

2) วิธีเตรียม

นำนมผงไขมันไขมันต่ำ 43.2 กรัม น้ำแป้ง 20.8 กรัม Sodium acetate (CH₃COONa) 12.8 กรัม Yeast extract 3.2 กรัม Ammonium chloride (NH₄Cl) 12.16 กรัม Urea 6.88 กรัม Sodium bicarbonate (NaHCO₃) 7.04 กรัม และ Potassium dihydrogen phosphate (KH₂PO₄) 96 กรัม ผสมกับน้ำกลั่นจำนวน 160 ลิตร คนจนละลายเป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นทำการวิเคราะห์ ความต้องการออกซิเจนโดยวิธีทางเคมี (COD) ความเป็นกรด-ด่าง อุณหภูมิ ความขุ่น ออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (DO) และการนำไฟฟ้า

ตารางที่ 3.1 วิธีการวิเคราะห์คุณสมบัติลักษณะน้ำเสีย

พารามิเตอร์	วิธีมาตรฐาน
1. ความเป็นกรดและด่าง (pH)	pH Meter
2. ซี โอ ดี (Chemical Oxygen Demand)	Potassium Dichromate Digestion แบบ Closed Reflux
3. ของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids)	กรองผ่านกระดาษกรองใยแก้ว (Glass Fiber Filter Disc)
4. ของแข็งทั้งหมด (Total Solids)	ระเหยแห้งที่อุณหภูมิ 103-105 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
5. ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (Total Dissolved Solids)	ระเหยแห้งที่อุณหภูมิ 103-105 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
6. อุณหภูมิ (Temperature)	เครื่องวัดอุณหภูมิ วัดขณะเก็บตัวอย่างน้ำ
7. ความขุ่น (Turbidity)	เครื่องวัดความขุ่น
8. ค่าออกซิเจนละลายในน้ำ (DO)	เครื่องวัดปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำภาคสนาม
9. ค่าการนำไฟฟ้า (EC)	เครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้า

ที่มา : กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (2553) และ APHA, AWWA and WEF(2012)

3.2.2 การเตรียมน้ำหมักชีวภาพ

3.2.2.1 การทำน้ำหมักชีวภาพจากเปลือกสับปะรด สูตรที่ 1 (น้ำสับปะรด : หัวเชื้อ :

น้ำประปา 4 : 0.01 : 40)

1. ทำการสุ่มตัวอย่างเปลือกสับปะรด ชั่งน้ำหนักของเปลือกสับปะรด 4 กิโลกรัม
2. นำเปลือกสับปะรดใส่เครื่องบดแล้วคั้นน้ำจากเปลือกสับปะรดด้วยผ้าขาวบางจนได้น้ำจากเปลือกสับปะรด
3. ชั่งหัวเชื้อจุลินทรีย์ 10 กรัม และใส่ลงในน้ำจากเปลือกสับปะรดที่ได้จากข้อ 2 ปรับปริมาตรด้วยน้ำประปาจนได้ปริมาตร 40 ลิตร ลงในถังหมักขนาด 50 ลิตร คนให้เข้ากัน ปิดฝาให้สนิท หมักเป็นเวลา 7 วัน และทำการคนทุกวันวันละ 1 ครั้ง
4. ทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของน้ำหมักชีวภาพด้วยพารามิเตอร์ต่างๆ คือ ตรวจสอบปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ด้วยวิธี Total Plate Count, ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด, pH และ Temperature ในวันที่ 0, 1, 3, 5 และ 7

3.2.2.2 การทำน้ำหมักชีวภาพจากเปลือกสับปะรด สูตรที่ 2 (น้ำสับปะรด : หัวเชื้อ : น้ำประปา 1: 0.01: 40)

1. ชั่งน้ำหนักของเปลือกสับปะรด 1 กิโลกรัม
2. นำเปลือกสับปะรดใส่เครื่องบดแล้วคั้นน้ำจากเปลือกสับปะรดด้วยผ้าขาวบางจนได้น้ำจากเปลือกสับปะรด
3. ชั่งหัวเชื้อจุลินทรีย์ 10 กรัมใส่ลงในน้ำจากเปลือกสับปะรดที่ได้จากข้อ 2 ปรับปริมาณด้วยน้ำประปาจนได้ปริมาตร 40 ลิตร ลงในถังหมักขนาด 50 ลิตร คนให้เข้ากัน ปิดฝาให้สนิท หมักเป็นเวลา 7 วัน และทำการคนทุกวันวันละ 1 ครั้ง
4. ทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของน้ำหมักชีวภาพด้วยพารามิเตอร์ต่างๆ คือ ตรวจสอบปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ด้วยวิธี Total Plate Count, ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด, pH และ Temperature ในวันที่ 0, 1, 3, 5 และ 7

3.2.2.3 การทำน้ำหมักชีวภาพจากน้ำตาลทรายแดง สูตรที่ 3 (น้ำตาลทรายแดง : หัวเชื้อ : น้ำประปา 0.4: 0.04: 40)

1. ชั่งน้ำหนักน้ำตาลทรายแดง 400 กรัม และหัวเชื้อจุลินทรีย์ 40 กรัม
2. ใส่น้ำตาลทรายแดงและหัวเชื้อจุลินทรีย์ลงในถังหมักพร้อมกับน้ำกลั่นปริมาณ 40 ลิตร ลงในถังหมัก คนให้เข้ากัน ปิดฝาให้สนิท หมักเป็นเวลา 7 วัน และทำการคนทุกวันวันละ 1 ครั้ง
3. ทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของน้ำหมักชีวภาพด้วยพารามิเตอร์ต่างๆ คือ ตรวจสอบปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ด้วยวิธี Total Plate Count, OD₆₀₀, ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด, pH, และ Temperature ทุกวันเป็นเวลา 7 วัน

3.2.3 ศึกษาประสิทธิภาพของน้ำหมักชีวภาพในการบำบัดน้ำเสียชุมชน

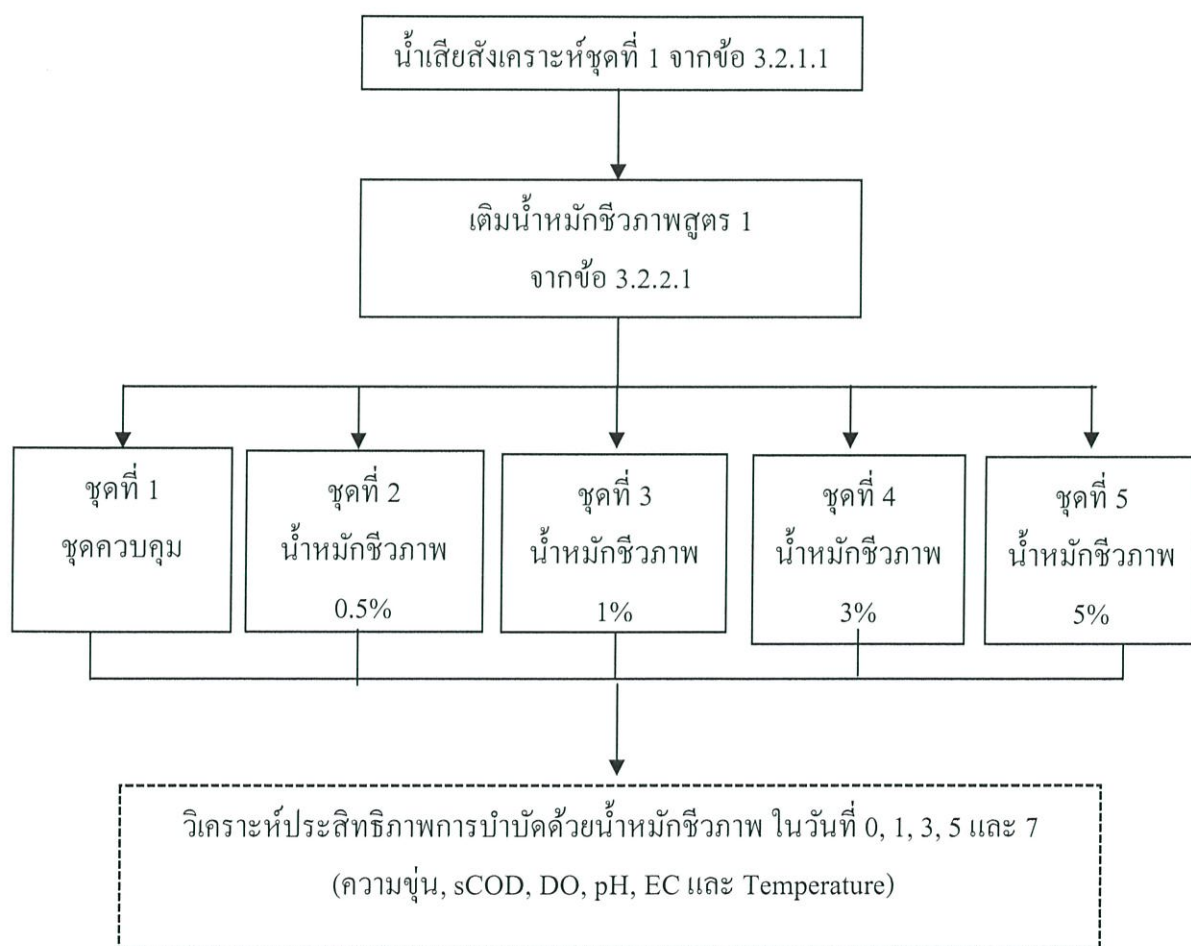
3.2.3.1 ศึกษาอัตราส่วนของน้ำหมักชีวภาพจากเปลือกสับปะรดสูตรที่ 1 ในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ชุดที่ 1

นำน้ำเสียสังเคราะห์ชุดที่ 1 ศึกษาอัตราส่วนของน้ำหมักชีวภาพจากเปลือกสับปะรดที่เหมาะสมกับการบำบัดน้ำเสีย โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 5 ชุดการทดลอง ดังนี้ (รูปที่ 3.1)

- ชุดที่ 1 ชุดควบคุม ใช้น้ำตัวอย่าง 5 ลิตร
- ชุดที่ 2 ชุดน้ำหมักชีวภาพ 0.5 % ใช้น้ำหมักชีวภาพ 0.5% โดยปริมาตร
- ชุดที่ 3 ชุดน้ำหมักชีวภาพ 1 % ใช้น้ำหมักชีวภาพ 1% โดยปริมาตร

ชุดที่ 4 ชุดน้ำหมักชีวภาพ 3 % ใช้ น้ำหมักชีวภาพ 3% โดยปริมาตร
ชุดที่ 5 ชุดน้ำหมักชีวภาพ 5 % ใช้ น้ำหมักชีวภาพ 5% โดยปริมาตร
การทดลองมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

- 1) นำน้ำเสียสังเคราะห์ชุดที่ 1 มาวิเคราะห์พารามิเตอร์น้ำเสีย ได้แก่ sCOD ความเป็นกรด-ด่าง อุณหภูมิ ความขุ่น ออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (DO) และ ค่าการนำไฟฟ้าก่อนนำมาบำบัด
- 2) นำน้ำตัวอย่างใส่ขวดพลาสติกปริมาณ 5 ลิตร
- 3) เติมน้ำหมักชีวภาพจากเปลือกสับประดสูตร 1 ในข้อ 3.2.2.1 ลงในขวดพลาสติก ดังนี้ ไม่มีการเติมน้ำหมักชีวภาพ, 0.5% , 1% , 3% และ 5% ตามลำดับ
- 4) เก็บตัวอย่างนำมาวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ได้แก่ sCOD ความเป็นกรด-ด่าง อุณหภูมิ ความขุ่น ออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (DO) และการนำไฟฟ้า ในวันที่ 0, 1, 3, 5 และ 7



รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ชุดที่ 1 โดยใช้ น้ำหมักชีวภาพ จากเปลือกสับประด สูตรที่ 1

3.2.3.2 ศึกษาอัตราส่วนของน้ำหมักชีวภาพจากเปลือกสับประดสุตรที่ 2 ในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ชุดที่ 2

1) เตรียมน้ำเสียสังเคราะห์จากข้อ 3.2.1.2 ทั้งหมด 4 ถัง (รูปที่ 3.2)

2) ศึกษาอัตราส่วนของน้ำหมักชีวภาพจากเปลือกสับประดสุตร 2 จากข้อ 3.2.2.2 ที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียโดยแบ่งการทดลองออกเป็น 4 ชุดการทดลอง ดังนี้ (รูปที่ 3.3)

ชุดที่ 1 ชุดควบคุม ใช้้ำเสียตัวอย่าง 40 ลิตร ไม่เติมน้ำหมักชีวภาพจากเปลือกสับประด

ชุดที่ 2 ชุดน้ำหมักชีวภาพ 0.5% ใช้น้ำเสียตัวอย่าง 40 ลิตร เติมน้ำหมักชีวภาพจากเปลือกสับประด 5 มิลลิลิตรต่อน้ำเสียสังเคราะห์ 1 ลิตร

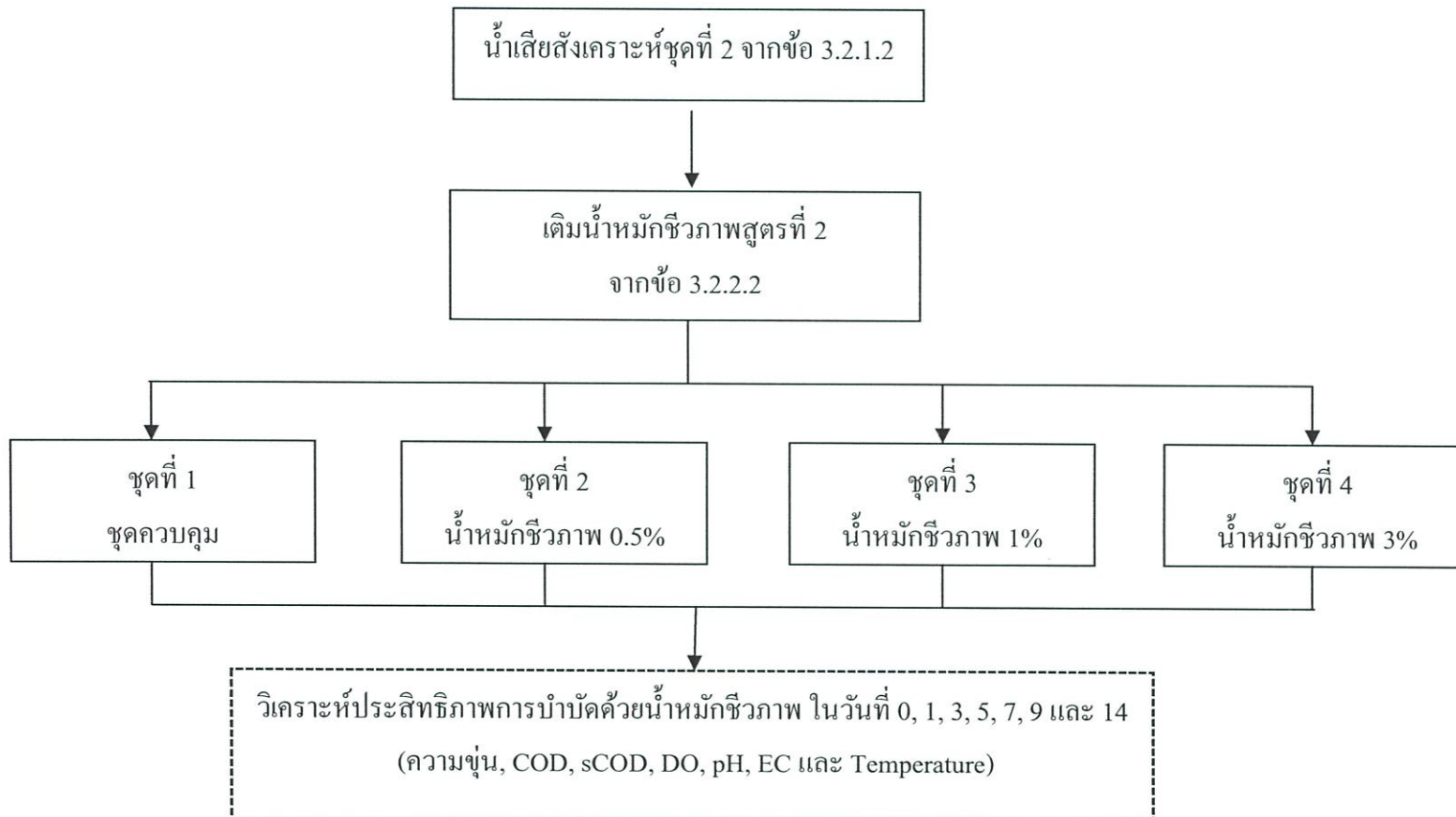
ชุดที่ 3 ชุดน้ำหมักชีวภาพ 1% ใช้น้ำเสียตัวอย่าง 40 ลิตร เติมน้ำหมักชีวภาพจากเปลือกสับประด 10 มิลลิลิตรต่อน้ำเสียสังเคราะห์ 1 ลิตร

ชุดที่ 4 ชุดน้ำหมักชีวภาพ 3% ใช้น้ำเสียตัวอย่าง 40 ลิตร เติมน้ำหมักชีวภาพจากเปลือกสับประด 30 มิลลิลิตรต่อน้ำเสียสังเคราะห์ 1 ลิตร

3) เก็บตัวอย่างน้ำเสียแต่ละชุด มาวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ได้แก่ ความต้องการออกซิเจนโดยวิธีทางเคมีที่ละลายน้ำได้ (sCOD) ความต้องการออกซิเจนโดยวิธีทางเคมี (COD) ความเป็นกรด-ด่าง อุณหภูมิ ความขุ่น ออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (DO) และค่าการนำไฟฟ้า ในวันที่ 0, 1, 3, 5, 7, 9 และ 14



รูปที่ 3.2-1 การบำบัดน้ำเสียโดยใช้น้ำหมักชีวภาพจากเปลือกสับประดสุตรที่ 2



รูปที่ 3.3 ขั้นตอนการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ชุดที่ 2 โดยใช้น้ำหมักชีวภาพจากเปลือกสับประดสูตรที่ 2

3.2.3.3 ศึกษาอัตราส่วนของน้ำหมักชีวภาพจากเปลือกสับประคตสูตรที่ 3 ในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ชุดที่ 3

1) นำน้ำเสียสังเคราะห์จากข้อ 3.2.1.3 แบ่งเป็น 4 ถัง ถังละ 40 ลิตร ไปศึกษาอัตราส่วนของน้ำหมักชีวภาพสูตรที่ 3 จากข้อ 3.2.2.3 ที่เหมาะสมกับการบำบัดน้ำเสียโดยแบ่งการทดลองออกเป็น 4 ชุดการทดลอง ดังนี้ (รูปที่ 3.4)

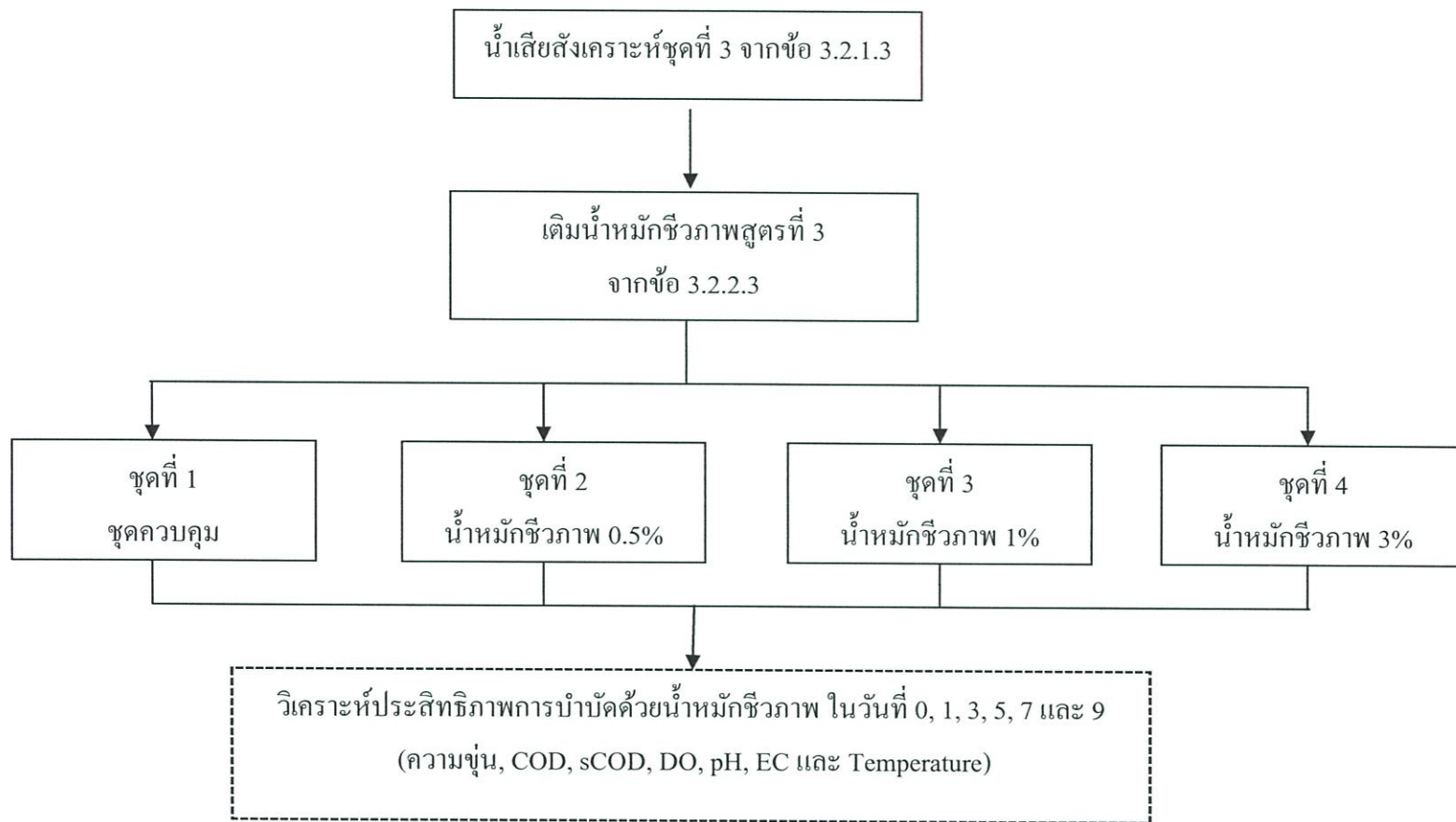
ชุดที่ 1 ชุดควบคุมใช้น้ำเสียตัวอย่าง 40 ลิตร ไม่เติมน้ำหมักชีวภาพ

ชุดที่ 2 ชุดน้ำหมักชีวภาพ 0.5% ใช้น้ำเสียตัวอย่าง 40 ลิตร เติมน้ำหมักชีวภาพ 5 มิลลิลิตรต่อน้ำเสียสังเคราะห์ 1 ลิตร

ชุดที่ 3 ชุดน้ำหมักชีวภาพ 1% ใช้น้ำเสียตัวอย่าง 40 ลิตร เติมน้ำหมักชีวภาพ 10 มิลลิลิตรต่อน้ำเสียสังเคราะห์ 1 ลิตร

ชุดที่ 4 ชุดน้ำหมักชีวภาพ 3% ใช้น้ำเสียตัวอย่าง 40 ลิตร เติมน้ำหมักชีวภาพ 30 มิลลิลิตรต่อน้ำเสียสังเคราะห์ 1 ลิตร

2) เก็บตัวอย่างน้ำเสียแต่ละชุด มาวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ได้แก่ ความต้องการออกซิเจนโดยวิธีทางเคมีที่ละลายน้ำได้ (sCOD) ความต้องการออกซิเจนโดยวิธีทางเคมี (COD) ความเป็นกรด-ด่าง อุณหภูมิ ความขุ่น ออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (DO) และการนำไฟฟ้า ทุกๆ 6 ชั่วโมงในวันที่ 0, 1, 3, 5, และ 7 เก็บตัวอย่างวันละ 1 ครั้ง



รูปที่ 3.4 ขั้นตอนการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ชุดที่ 3 โดยใช้ น้ำหมักชีวภาพจากน้ำตาลทรายแดงสูตรที่ 3

บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

4.1 ผลการศึกษาคุณลักษณะของน้ำหมักชีวภาพ

4.1.1 ผลการศึกษาคุณลักษณะในน้ำหมักชีวภาพจากเปลือกสับประรด สูตรที่ 1

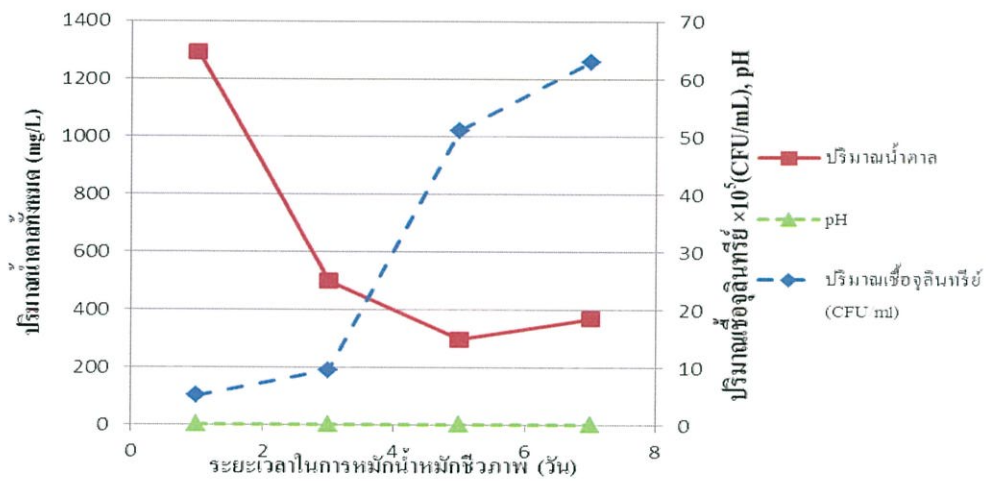
จากศึกษาการทำน้ำหมักชีวภาพจากเปลือกสับประรดโดยใช้อัตราส่วนในการหมัก คือน้ำจากเปลือกสับประรด 4 กิโลกรัม : หัวเชื้อจุลินทรีย์ 10 กรัม : น้ำประปา 40 ลิตร ผลการตรวจนับปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ในน้ำหมักชีวภาพจากเปลือกสับประรดโดยใช้วิธี Total Plate Count (AOAC, 2000) ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดที่เชื้อใช้ในการเจริญเติบโตด้วยวิธีฟินอล-ซัลฟิวริก (Dobois *et al.*, 1956) และค่าพีเอชในน้ำหมักชีวภาพ เพื่อสังเกตสภาวะของการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ในน้ำหมัก ดังตารางที่ 4.1 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข-1-ข-3 ภาคผนวก ข)

ตารางที่ 4.1 ผลการศึกษาสภาวะในน้ำหมักชีวภาพจากเปลือกสับประรดสูตรที่ 1

วันที่การทดลอง	ค่าพีเอช	ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (mg/L)	ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ที่ตรวจพบ (CFU/ml)
1	3.71	1,293.22 ± 7.76	5.51×10 ⁵
3	3.49	499.15 ± 49.96	9.6×10 ⁵
5	3.34	297.87 ± 5.10	51×10 ⁵
7	3.35	368.65 ± 67.32	63×10 ⁵

รูปที่ 4.1 พบว่าการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ภายในน้ำหมักชีวภาพ วันที่ 1-3 มีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเนื่องจากเชื้อจุลินทรีย์อยู่ในระยะเวลาในการเจริญเติบโตแบบ Lag phase ซึ่งเป็นระยะที่จุลินทรีย์มีการปรับตัวให้เข้ากับสิ่งแวดล้อมใหม่ ในวันที่ 3-5 เชื้อจุลินทรีย์มีการเจริญเติบโตในระยะเวลา Logarithmic phase คือมีการเพิ่มขึ้นของปริมาณจุลินทรีย์อย่างรวดเร็วและวันที่ 5-7 เชื้อจุลินทรีย์จะอยู่ในระยะ Stationary phase เป็นระยะที่จุลินทรีย์จะมีปริมาณสูงสุดและคงที่ ส่วนปริมาณน้ำตาลทั้งหมดเริ่มต้นที่ 1,293.22±7.76 มก./ล. ซึ่งลดลงอย่างรวดเร็ว ในวันที่ 1-3 และมีแนวโน้มคงที่ในวันที่ 3 ซึ่งสอดคล้องกับการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ที่มีการนำน้ำตาลไปใช้และค่าพีเอชที่ได้จากการหมักเริ่มต้นมีสภาวะเป็นกรดเนื่องจากคุณสมบัติที่เป็นกรดของ

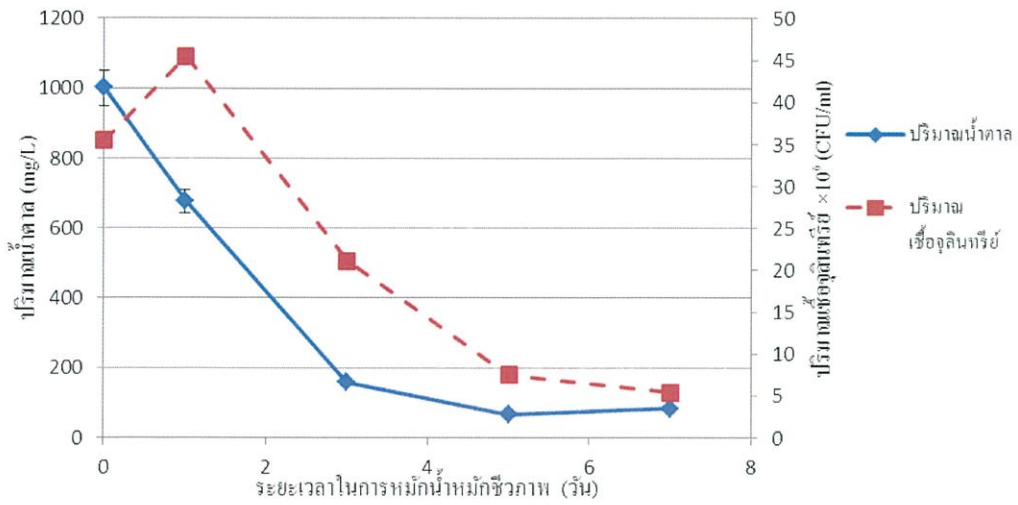
เปลือกสับปะรดและมีแนวโน้มลดลงเนื่องจากจุลินทรีย์มีการย่อยสลายสารอินทรีย์เป็นกรดอินทรีย์ ผลการทดลองสอดคล้องกับงานวิจัยของยูวากรและคณะ (2549) ศึกษา น้ำหมักหมักเปลือกสับปะรด ทั้ง 3 สูตร ที่หมักเป็นเวลา 30 วันในสภาวะไร้ออกซิเจน พบว่าเมื่อเวลาผ่านไป ปริมาณน้ำตาลในน้ำหมักเปลือกสับปะรดจะค่อยๆลดลง เนื่องมาจากน้ำตาลที่ใส่ลงไปในการหมักนั้นเป็นแหล่งคาร์บอนแก่จุลินทรีย์ที่อยู่ในกระบวนการหมัก แสดงว่าปริมาณน้ำตาลที่ลดลงนั้นเป็นผลมาจากจุลินทรีย์ใช้ในการเจริญเติบโต โดยเปลี่ยนน้ำตาลเป็นกรดแลกติกส่งผลให้ค่าพีเอชลดลง



รูปที่ 4.1 การเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ในน้ำหมักชีวภาพสูตรที่ 1

4.1.2 ผลการศึกษาคุณลักษณะในน้ำหมักชีวภาพจากเปลือกสับปะรด สูตรที่ 2

การศึกษากำหนดน้ำหมักชีวภาพจากเปลือกสับปะรดโดยใช้อัตราส่วนในการหมักคือ น้ำเปลือกสับปะรด 1 กิโลกรัม : หัวเชื้อจุลินทรีย์ 10 กรัม : น้ำประปา 40 ลิตร ผลการตรวจนับปริมาณเชื้อจุลินทรีย์โดยใช้วิธี Total Plate Count (AOAC, 2000) ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดที่เชื้อใช้ในการเจริญเติบโตด้วยวิธีฟินอล-ซัลฟิวริก (Dobois *et al.*, 1956) และค่าพีเอช ในน้ำหมักชีวภาพ (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข-4-ข-6 ภาคผนวก ข) จากรูปที่ 4.2 พบว่าปริมาณน้ำตาลเริ่มต้นที่ $1,001.07 \pm 3.7$ มก./ล. ซึ่งมีการลดลงอย่างรวดเร็วในวันที่ 0-3 และมีแนวโน้มคงที่ในวันที่ 3 เนื่องจากเชื้อจุลินทรีย์ใช้น้ำตาลที่อยู่ภายในเปลือกสับปะรดในการเจริญเติบโตซึ่งไม่สอดคล้องกับปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ โดยการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ในวันที่ 0-1 มีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นเล็กน้อยและในวันที่ 2-5 เชื้อจุลินทรีย์มีการเจริญเติบโตลดลง ทั้งนี้อาจเกิดข้อผิดพลาดเนื่องจากเทคนิคและสภาวะในการบ่มที่ใช้ในการตรวจนับปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์



รูปที่ 4.2 การเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ในน้ำหมักชีวภาพสูตรที่ 2

4.1.3 ผลการศึกษาคุณลักษณะน้ำหมักชีวภาพสูตรที่ 3

4.1.3.1 ลักษณะของน้ำหมักชีวภาพสูตรที่ 3

ในวันที่ 0 ของการหมักน้ำหมักชีวภาพ รูปที่ 4.3 (ก) น้ำหมักชีวภาพจากน้ำตาลทรายแดงเริ่มต้นมีลักษณะสีน้ำตาล มีกลิ่น และตะกอนกระจายทั่วถังหมักในวันที่ 2 รูปที่ 4.3 (ข) ภายในถังหมักมีฝ้าสีขาวเกิดขึ้นบริเวณผิวหน้าของน้ำหมักเนื่องจากจุลินทรีย์มีการเจริญเติบโตและวันที่ 4 รูปที่ 4.3 (ค) ภายในถังหมักพบว่ามีฝ้าขาวและตะกอนของน้ำตาลทรายแดงลอยกระจายทั่วบริเวณผิวหน้าของน้ำหมักชีวภาพ



(ก) วันที่ 0



(ข) วันที่ 2

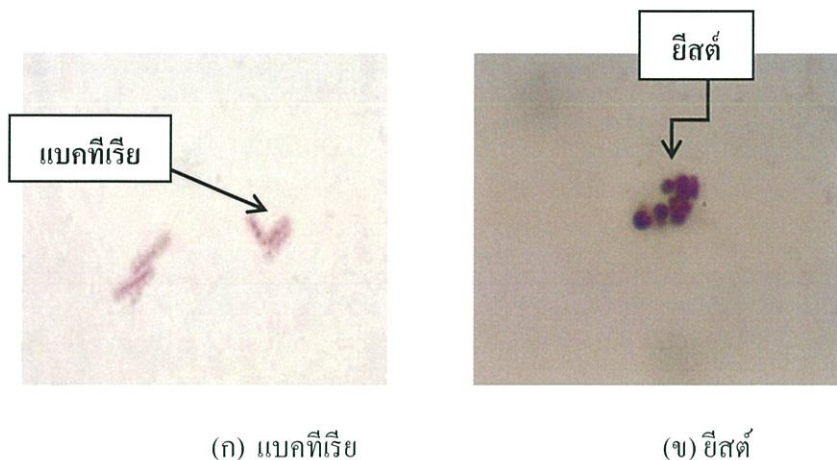


(ค) วันที่ 4

รูปที่ 4.3 ลักษณะของฝ้าที่เกิดขึ้นจากการหมักของจุลินทรีย์ในช่วงเวลาต่างๆ

4.1.3.2 ลักษณะของเชื้อจุลินทรีย์ที่พบในน้ำหมักชีวภาพจากน้ำตาลทรายแดง

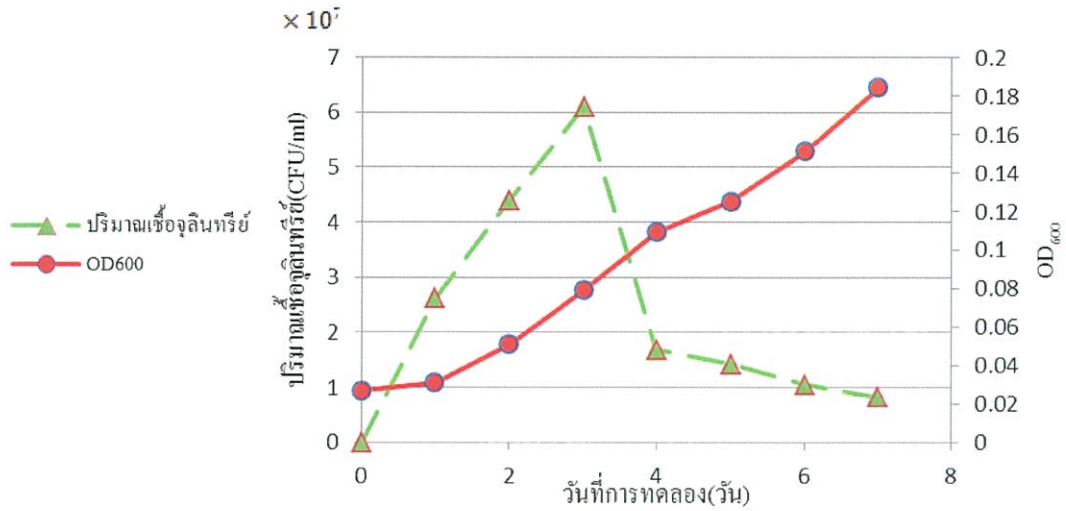
เชื้อจุลินทรีย์จากน้ำหมักชีวภาพ ที่ได้จากการส่องจุลทรรศน์กำลังขยาย 1,000 เท่า พบว่ามีเชื้อแบคทีเรียมีรูปร่างลักษณะเป็นแท่ง จุลินทรีย์ชนิดนี้จะทนความเป็นกรดสูง ดังแสดงในรูปที่ 4.4 (ก) และยีสต์ มีรูปร่างลักษณะเป็นทรงกลมดังแสดงในรูปที่ 4.4 (ข)



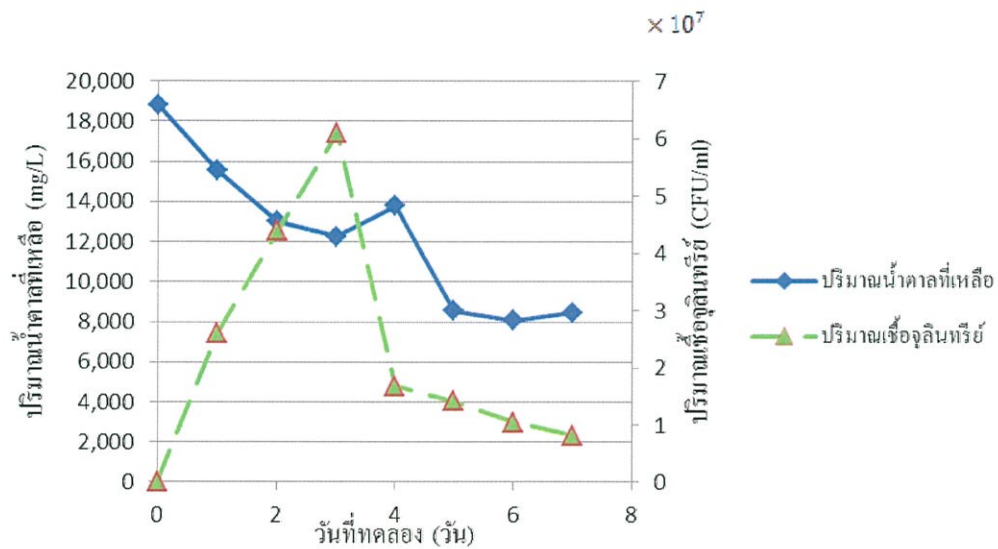
รูปที่ 4.4 ลักษณะของเชื้อจุลินทรีย์ที่พบในน้ำหมักชีวภาพสูตรที่ 3 โดยใช้กล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 1,000 เท่า

4.1.3.3 ผลการศึกษาปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ในน้ำหมักชีวภาพจากสูตรที่ 3

การศึกษาการทำน้ำหมักชีวภาพจากน้ำตาลทรายแดงโดยใช้อัตราส่วนในการหมักคือน้ำตาลทรายแดง 40 กรัม : หัวเชื้อจุลินทรีย์ 40 กรัม : น้ำกลั่น 40 ลิตร ผลการตรวจนับปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ในน้ำหมักชีวภาพจากน้ำตาลทรายแดงโดยใช้วิธี Total Plate Count (AOAC, 2000) ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดที่เชื้อใช้ในการเจริญเติบโตด้วยวิธีฟีนอล-ซัลฟิวริก (Dobois *et al.*, 1956) ค่า Optical density (OD_{600}) และค่าพีเอช ในน้ำหมักชีวภาพเพื่อสังเกตการเจริญเติบโตของเชื้อภายในน้ำหมักชีวภาพ (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข-7-ข-10 ภาคผนวก ข) จากรูปที่ 4.5 แสดงผลการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์วัดโดยวิธี Total Plate Count และ OD_{600} พบว่าการวัดโดยวิธี Total Plate Count เชื้อจุลินทรีย์จะเจริญอย่างรวดเร็วในวันที่ 0 – 3 และมีแนวโน้มลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากเชื้อจุลินทรีย์มีการตายเกิดขึ้น ส่วนผลการวิเคราะห์ด้วยวิธี Optical density (OD_{600}) พบว่าในวันที่ 0-1 เชื้อจุลินทรีย์มีการเจริญเติบโตเล็กน้อยเนื่องจากการปรับตัว (lag phase) ในวันที่ 1-7 มีการเจริญอย่างรวดเร็ว เนื่องจากการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์เข้าสู่ระยะ Log phase จากการวิเคราะห์ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ เป็นการวัดโดยอาศัยการวัดความขุ่นของเชื้อจุลินทรีย์ ดังนั้นจึงไม่สามารถวิเคราะห์ได้ว่าเซลล์แบคทีเรียมีชีวิตหรือไม่ จึงไม่พบ Stationary phase และ Dead phase



รูปที่ 4.5 ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ในน้ำหมักชีวภาพสูตรที่ 3 วัดโดยวิธี Total plate count และ OD₆₀₀



รูปที่ 4.6 การเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ภายในน้ำหมัก

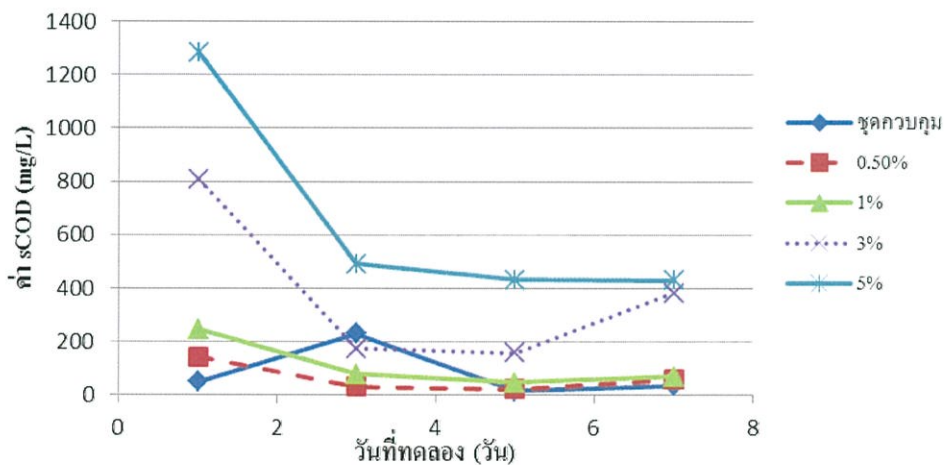
จากรูปที่ 4.6 พบว่าปริมาณน้ำตาลเริ่มต้น $18,815.85 \pm 510.17$ มก./ล. มีการลดลงอย่างรวดเร็ว ในวันที่ 0-3 และในวันที่ 5-7 ปริมาณน้ำตาลมีแนวโน้มคงที่ เนื่องจากเชื้อจุลินทรีย์มีการนำน้ำตาลไปใช้ในการเจริญเติบโต และปริมาณน้ำตาลที่เหลือสุดท้ายเท่ากับ $8,482.21 \pm 418.64$ มก./ล.

4.2 ผลการศึกษาอัตราส่วนของน้ำหมักชีวภาพที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสีย

4.2.1 ผลการศึกษาอัตราส่วนของน้ำหมักชีวภาพจากเปลือกสับประดสุตรที่ 1 ที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ชุดที่ 1

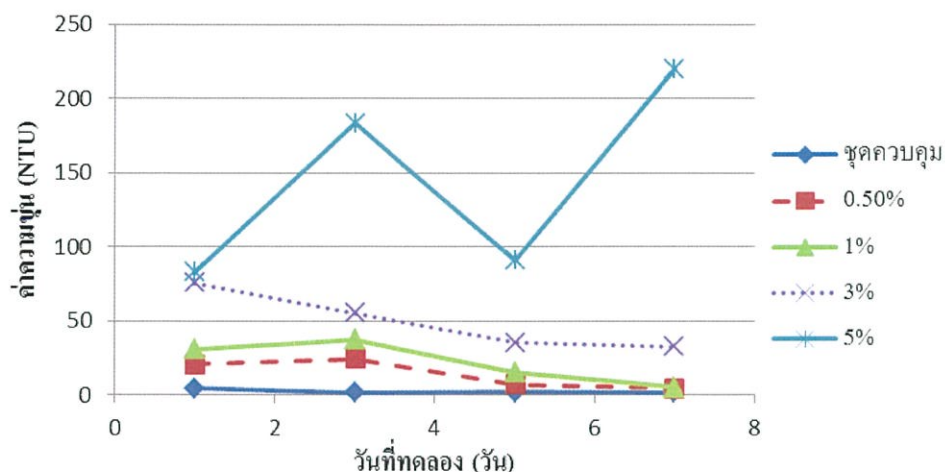
4.2.1.1 ผลการเปลี่ยนแปลงค่าซีโอดีที่ละลายน้ำได้ในน้ำเสียสังเคราะห์ชุดที่ 1

จากการทดลองรูปที่ 4.7 พบว่าในวันที่ 1 ชุดการทดลองที่มีการเติมน้ำหมักมีค่าซีโอดีที่ละลายน้ำได้ ซึ่งมีค่าสูงกว่าชุดควบคุมโดยค่าซีโอดีที่ละลายน้ำได้ (sCOD) จะลดลงตามอัตราส่วนของการเติมน้ำหมักชีวภาพ เมื่อเวลาผ่านไปในวันที่ 3 ค่าซีโอดีที่ละลายน้ำได้ลดลง ผลการทดลองสอดคล้องการงานวิจัยของ พชรพรรณและคณะ (2554) พบว่า ปริมาณ EM มากขึ้นทำให้ปริมาณสารอินทรีย์เริ่มแรกสูงขึ้นแต่เมื่อจุลินทรีย์เริ่มคุ้นเคยกับน้ำเสียจึงเกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ทำให้ปริมาณซีโอดีที่ละลายน้ำได้เริ่มลดลง และในวันที่ 5-7 มีแนวโน้มของค่า sCOD คงที่ (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข-11-1 ภาคผนวก ข) จากการวิเคราะห์ทางสถิติโดยวิธี ANOVA พบว่า ค่าซีโอดีที่ละลายน้ำได้ในน้ำเสียสังเคราะห์ชุดที่ 1 ชุดควบคุมและการเติมน้ำหมักชีวภาพสูตรที่ 0.5 และ 1% ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (ดูรายละเอียดในตารางที่ ค-1-ค-2 ภาคผนวก ค)



รูปที่ 4.7 การเปลี่ยนแปลงค่าซีโอดีที่ละลายน้ำได้ในน้ำเสียสังเคราะห์ชุดที่ 1

4.2.1.2 ผลการเปลี่ยนแปลงค่าความขุ่น ในน้ำเสียน้ำเสียสังเคราะห์ชุดที่ 1



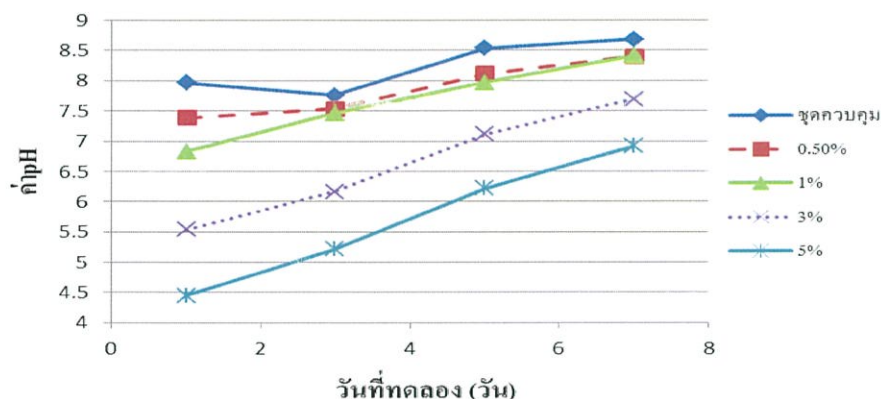
รูปที่ 4.8 การเปลี่ยนแปลงค่าความขุ่นในน้ำเสียสังเคราะห์ชุดที่ 1

รูปที่ 4.8 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าความขุ่นในน้ำเสียสังเคราะห์ชุดที่ 1 พบว่าค่าความขุ่นมีแนวโน้มการลดลง ชุดที่เติมน้ำหมักชีวภาพมีค่าความขุ่นมากกว่าชุดควบคุมซึ่งเปลี่ยนแปลงไปตามอัตราส่วนการเติมน้ำหมักชีวภาพ ส่วนชุดการทดลองเติมน้ำหมักชีวภาพ 5% มีค่าความขุ่นมากที่สุดเนื่องจากการเติมน้ำหมักชีวภาพมากที่สุด (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข 11-2 ภาคผนวก ข) จากการวิเคราะห์ทางสถิติโดยวิธี ANOVA พบว่า ค่าความขุ่นในน้ำเสียสังเคราะห์ชุดที่ 1 ชุดควบคุม เติมน้ำหมักชีวภาพ 0.5% และ 1% ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (ดูรายละเอียดในตารางที่ ค-3-ค-4 ภาคผนวก ค)

4.2.1.3 ผลการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในน้ำเสียสังเคราะห์ชุดที่ 1

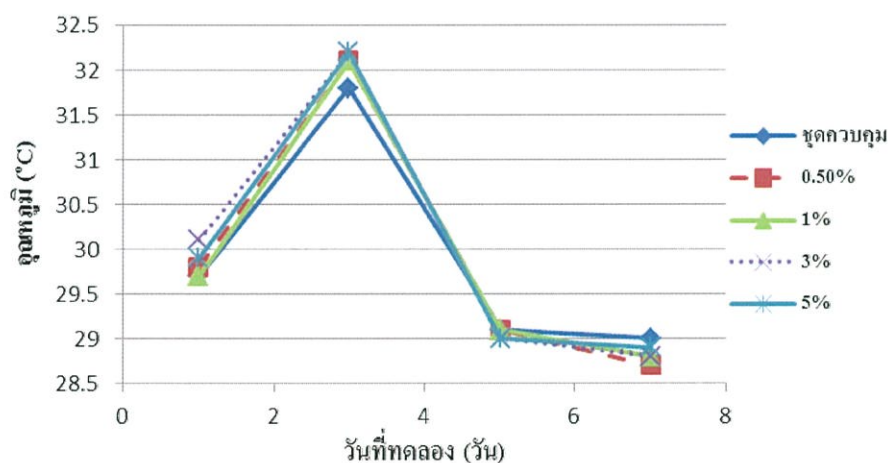
รูปที่ 4.9 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่างในน้ำเสียสังเคราะห์ชุดที่ 1 พบว่าการบำบัดน้ำเสียเป็นเวลา 7 วัน ค่าความเป็นกรด-ด่างในวันแรกชุดควบคุมมีค่ามากที่สุด และชุดเติมน้ำหมักชีวภาพ 5% มีค่าน้อยที่สุด เนื่องจากปริมาณน้ำหมักชีวภาพที่เติมลงไปให้น้ำเสียสังเคราะห์มีค่า pH เป็นกรดจึงส่งผลให้ค่า pH เริ่มต้นของทุกชุดการทดลองมีลดลงตามปริมาณน้ำหมักชีวภาพที่เติม เมื่อระยะเวลาการหมักเพิ่มขึ้นค่า pH มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ พชรพรรณและคณะ (2554) พบว่าเมื่อจุลินทรีย์ย่อยสลายสารอินทรีย์ให้อยู่ในรูปกรดอินทรีย์ระเหยง่ายจะเกิดการย่อยต่อได้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ละลายน้ำอยู่ในรูปไบคาร์เนตและแก๊ส

คาร์บอนไดออกไซด์บางส่วนมีระเหยออกจากรู้น้ำเสียในลักษณะฟองอากาศ จึงมีผลทำให้ค่าพีเอชเพิ่มขึ้น (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข 11-3 ภาคผนวก ข) จากการวิเคราะห์ทางสถิติโดยวิธี ANOVA พบว่าค่าความเป็นกรด-ด่างในน้ำเสียหอพักนักศึกษาในชุดควบคุมและชุดเติมน้ำหมัก 0.5% และ 1% ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (ดูรายละเอียดในตารางที่ ค-5-ค-6 ภาคผนวก ค)



รูปที่ 4.9 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่างในน้ำเสียสังเคราะห์ชุดที่ 1

4.2.1.4 ผลการเปลี่ยนแปลงค่าอุณหภูมิในน้ำเสียสังเคราะห์ชุดที่ 1



รูปที่ 4.10 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในน้ำเสียสังเคราะห์ชุดที่ 1

รูปที่ 4.10 แสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในน้ำเสียหอพักนักศึกษาพบว่าอุณหภูมิในการบำบัดน้ำเสียในชุดควบคุมและชุดเติมน้ำหมักชีวภาพในวันที่ 1-3 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และ วันที่ 3-7 มีแนวโน้มลดลง (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข 11-3 ภาคผนวก ข) จากการวิเคราะห์ทางสถิติโดย

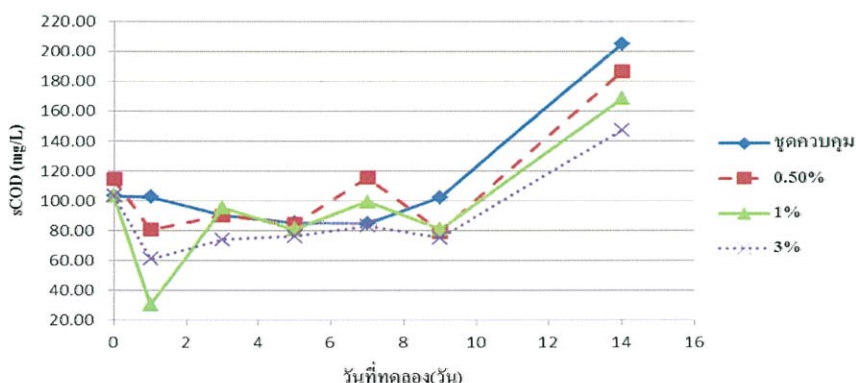
วิธี ANOVA พบว่า ค่าอุณหภูมิในน้ำเสียสังเคราะห์ชุดที่ 1 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (ดูรายละเอียดในตารางที่ ก-7-ก-8 ภาคผนวก ก)

4.2.2 ผลการศึกษาอัตราส่วนของน้ำหมักชีวภาพจากเปลือกสับประดสุตรที่ 2 ที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ ชุดที่ 2

4.2.2.1 ผลการเปลี่ยนแปลงค่าซีโอดีที่ละลายน้ำ (sCOD) และซีโอดี (COD) ของน้ำเสียสังเคราะห์ ชุดที่ 2

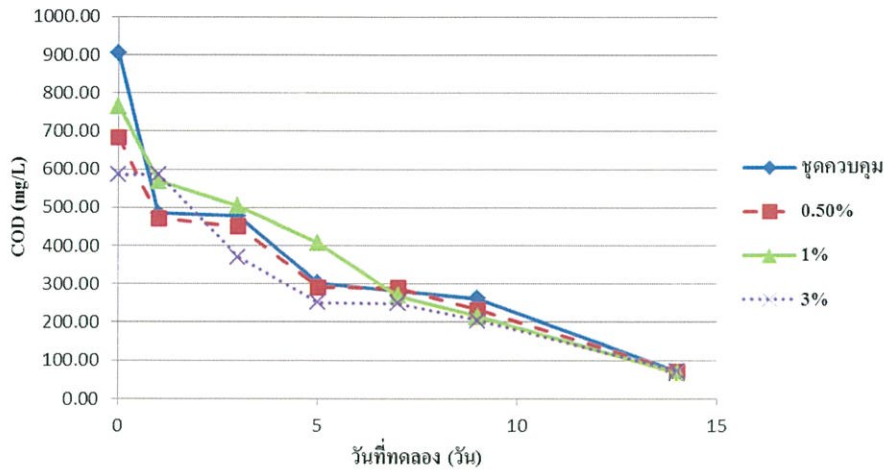
จากรูปที่ 4.11 (ก) ค่าซีโอดีที่ละลายน้ำได้ในวันแรกมีค่าน้อยกว่าค่าซีโอดีเริ่มต้น โดยชุดการทดลองที่เติมน้ำหมักชีวภาพ 1% มีค่าต่ำสุดเนื่องจากภายในน้ำหมักชีวภาพสูตรที่ 2 มีการเติมน้ำจากเปลือกสับประดลดลงเหมาะสมกับความต้องการของจุลินทรีย์ส่งผลให้ปริมาณของจุลินทรีย์เพียงพอต่อการบำบัดน้ำเสีย และวันที่ 1-9 ค่า sCOD มีแนวโน้มคงที่และเพิ่มขึ้นอีกครั้งในวันที่ 9-14 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข 12-1 ภาคผนวก ข) จากการวิเคราะห์สถิติโดยวิธี ANOVA พบว่าค่าซีโอดีที่ละลายน้ำของน้ำเสียสังเคราะห์ชุดที่ 2 โดยใช้ น้ำหมักชีวภาพจากเปลือกสับประดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (ดูรายละเอียดในตารางที่ ค-9-ค-10-1 ภาคผนวก ค)

จากรูปที่ 4.11 (ข) ค่าซีโอดีเริ่มต้นของชุดควบคุมและชุดเติมน้ำหมักชีวภาพ 0.5%, 1% และ 3% เท่ากับ 904.11, 682.24, 765.44 และ 585.17 มก./ล. ตามลำดับ ในวันที่ 1-3 มีค่าซีโอดีลดลงอย่างรวดเร็วและมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องโดยมีค่าซีโอดีสุดท้ายของชุดควบคุมและชุดเติมน้ำหมักชีวภาพ 0.5%, 1% และ 3% เท่ากับ 69.9, 71.26, 68 และ 71.81 มก./ล.ตามลำดับ (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข 12-1 ภาคผนวก ข) จากการวิเคราะห์สถิติโดยวิธี ANOVA พบว่าค่าซีโอดีของน้ำเสียสังเคราะห์ชุดที่ 1 โดยใช้ น้ำหมักชีวภาพจากเปลือกสับประดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (ดูรายละเอียดในตารางที่ ค-10-2 ภาคผนวก ค)



(ก) การเปลี่ยนแปลงค่าซีโอดีที่ละลายน้ำ (sCOD) ของน้ำเสียสังเคราะห์ ชุดที่ 2

รูปที่ 4.11 การเปลี่ยนค่าซีโอดีละลายน้ำและซีโอดีของน้ำเสียสังเคราะห์ ชุดที่ 2

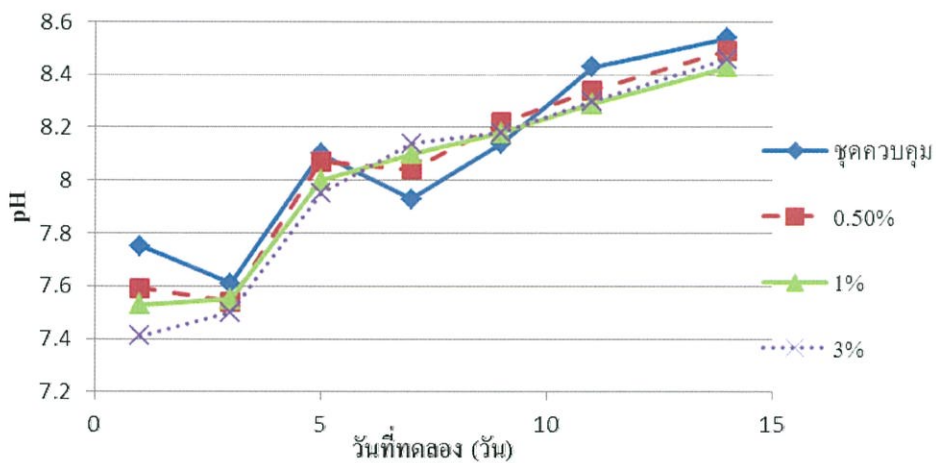


(ข) การเปลี่ยนแปลงซีไอดี (COD) ของน้ำเสียสังเคราะห์ ชุดที่ 2

รูปที่ 4.11 (ต่อ) การเปลี่ยนค่าซีไอดีละลายน้ำและซีไอดีของน้ำเสียสังเคราะห์ ชุดที่ 2

4.2.2.2 ผลการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์

ชุดที่ 2



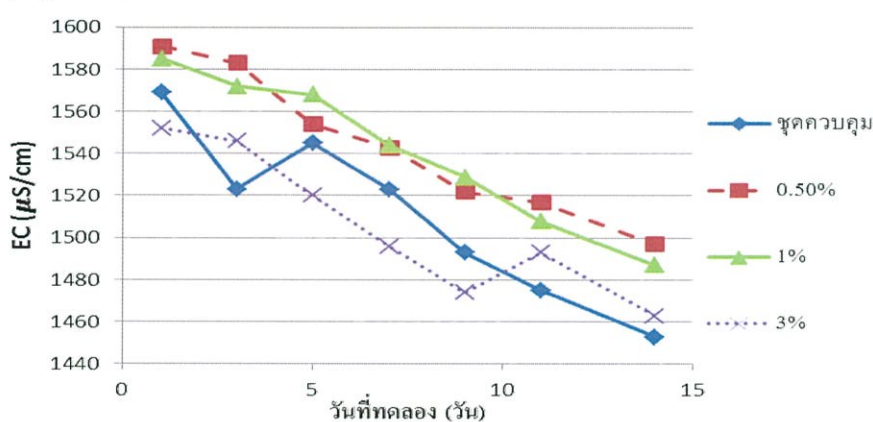
รูปที่ 4.12 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ ชุดที่ 2

ผลการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่างในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ชุดที่ 2 จากรูปที่ 4.12 ชุดเติมน้ำหมักชีวภาพ 3% มีค่าพีเอชน้อยที่สุด เนื่องจากน้ำหมักชีวภาพมีคุณสมบัติเป็นกรด โดยมีค่าพีเอชเท่ากับ 4.35 ส่งผลให้ค่าพีเอชในชุดเติมน้ำหมักชีวภาพ 3% มีค่าต่ำกว่าชุดควบคุม และวันที่ 3-14 มีค่าความเป็นกรด-ด่างเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องซึ่งลักษณะของค่า pH นั้นคล้ายกับการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ชุดที่ 1 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข 12-2 ภาคผนวก ข)

4.2.2.4 ผลการเปลี่ยนแปลงค่าการนำไฟฟ้า (EC) ในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์

ชุดที่ 2

ผลการเปลี่ยนแปลงค่าการนำไฟฟ้าในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ชุดที่ 2 จากรูปที่ 4.13 ในวันแรกค่าการนำไฟฟ้าของชุดเติมน้ำหมัก 0.5% มีค่ามากที่สุดเท่ากับ $1,591 \mu\text{S}/\text{cm}$ และชุดเติมน้ำหมักชีวภาพ 3% มีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ $1,552 \mu\text{S}/\text{cm}$ เมื่อทำการบำบัดน้ำเสียเป็นเวลา 14 วัน ค่าการนำไฟฟ้ามีแนวโน้มลดลง โดยค่าการนำไฟฟ้าของชุดเติมน้ำหมักชีวภาพ 0.5% มีค่ามากที่สุดเท่ากับ $1,497 \mu\text{S}/\text{cm}$ และชุดเติมน้ำหมักชีวภาพ 3% มีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ $1,453 \mu\text{S}/\text{cm}$ (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข 12-3 ภาคผนวก ข) จากการวิเคราะห์ทางสถิติโดยวิธี ANOVA พบว่าค่าการนำไฟฟ้าของน้ำเสียสังเคราะห์ชุดที่ 2 โดยใช้ น้ำหมักชีวภาพจากเปลือกสับประรดสูตรที่ 2 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (ดูรายละเอียดในตารางที่ ค-13-ค-14 ภาคผนวก ค)

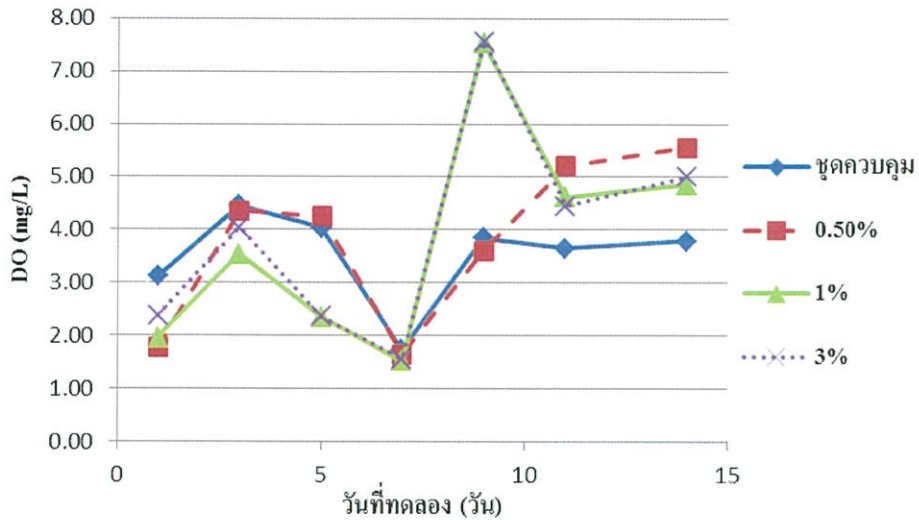


รูปที่ 4.13 การเปลี่ยนแปลงค่าการนำไฟฟ้า (EC) ในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ ชุดที่ 2

4.2.2.5 ผลการเปลี่ยนแปลงค่าออกซิเจนละลายน้ำ (DO) ในการบำบัดน้ำเสีย

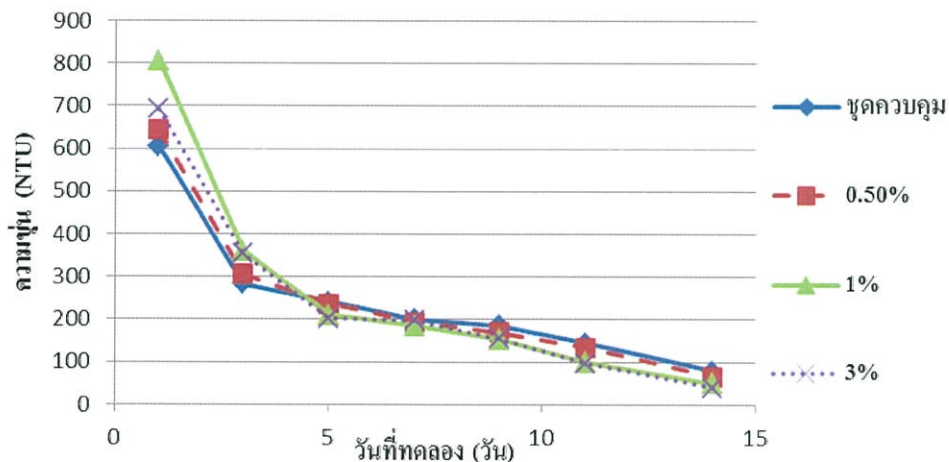
สังเคราะห์ ชุดที่ 2

จากรูปที่ 4.14 ผลการเปลี่ยนแปลงค่าออกซิเจนละลายน้ำในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ ชุดที่ 2 ในวันที่ 1 มีค่าออกซิเจนละลายน้ำเพิ่มขึ้นเนื่องจากจุลินทรีย์มีการย่อยสลายสารอินทรีย์ ซึ่งส่งผลให้ออกซิเจนสามารถละลายน้ำได้เพิ่มมากขึ้น และลดลงในวันที่ 7 เนื่องจากอุณหภูมิมีผลต่อค่าออกซิเจนละลายน้ำลดลงเช่นกัน จากนั้นเมื่อบำบัดจนครบวันที่ 14 ค่า DO มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข 12-4 ภาคผนวก ข) จากการวิเคราะห์ทางสถิติโดยวิธี ANOVA พบว่าค่าออกซิเจนละลายน้ำของน้ำเสียสังเคราะห์ ชุดที่ 2 โดยใช้ น้ำหมักชีวภาพจากเปลือกสับประรดสูตรที่ 2 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (ดูรายละเอียดในตารางที่ ค-15-ค-16 ภาคผนวก ค)



รูปที่ 4.14 การเปลี่ยนแปลงค่าออกซิเจนละลายน้ำ (DO) ในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ ชุดที่ 2

4.2.2.6 ผลการเปลี่ยนแปลงค่าความขุ่น ในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ ชุดที่ 2



รูปที่ 4.15 การเปลี่ยนแปลงค่าความขุ่น(NTU)ในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ ชุดที่ 2

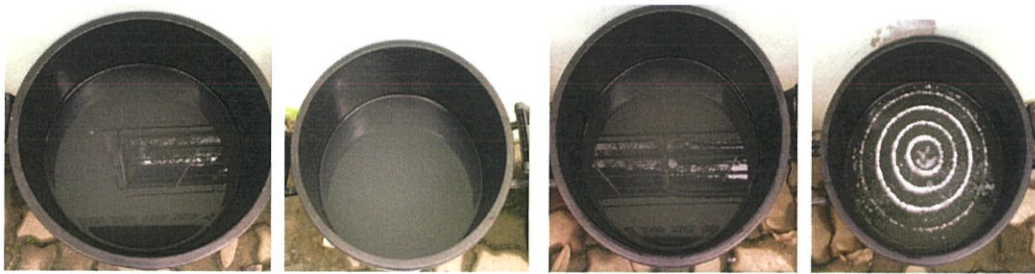
ผลการเปลี่ยนแปลงค่าความขุ่นในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ชุดที่ 2 จากรูปที่ 4.15 ในวันแรกชุดควบคุมมีค่าความขุ่นน้อยที่สุดเท่ากับ 605.3 NTU และ ชุดเติมน้ำหมักชีวภาพ 1% มีค่าความขุ่นมากที่สุดเท่ากับ 806.3 NTU และมีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาการบำบัด โดยวันที่ 14 ชุดเติมน้ำหมักชีวภาพ 3% มีค่าความขุ่นน้อยที่สุดเท่ากับ 40.73 NTU ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ ชุดที่ 1 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข 12-5 ภาคผนวก ข) จากการวิเคราะห์

ทางสถิติโดยวิธี ANOVA พบว่าค่าความขุ่นของน้ำเสียสังเคราะห์ชุดที่ 2 โดยใช้น้ำหมักชีวภาพจากเปลือกสับปะรดสูตรที่ 2 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (ดูรายละเอียดในตารางที่ ก-17-ค-18 ภาคผนวก ค)

4.2.3 ผลการศึกษาอัตราส่วนของน้ำหมักชีวภาพสูตรที่ 3 ที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ชุดที่ 3

4.2.3.1 ลักษณะของน้ำเสียสังเคราะห์ชุดที่ 3

ในวันที่ 0 น้ำเสียสังเคราะห์ชุดที่ 3 มีลักษณะเป็นสีขาวขุ่น ไม่มีกลิ่น ดังรูปที่ 4.16 (ก) เมื่อเติมน้ำหมักชีวภาพในอัตราส่วนที่แตกต่างกันลงไป ในน้ำเสียสังเคราะห์ชุดที่ 3 มีลักษณะเป็นสีขาวขุ่น มีกลิ่นคล้ายน้ำนมเน่า ในวันที่ 5 น้ำเสียมีลักษณะสีขาวขุ่น มีกลิ่นคล้ายน้ำนมเน่า มีฝ้าสีขาวขึ้นเฉพาะจุดเติมน้ำหมักชีวภาพ 3% ดังรูปที่ 4.16 (ข)



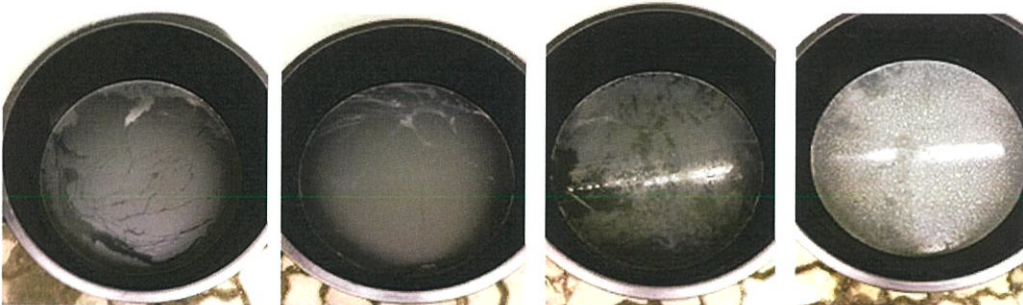
ชุดควบคุม

น้ำหมักชีวภาพ 0.5%

น้ำหมักชีวภาพ 1%

น้ำหมักชีวภาพ 3%

(ก)



ชุดควบคุม

น้ำหมักชีวภาพ 0.5%

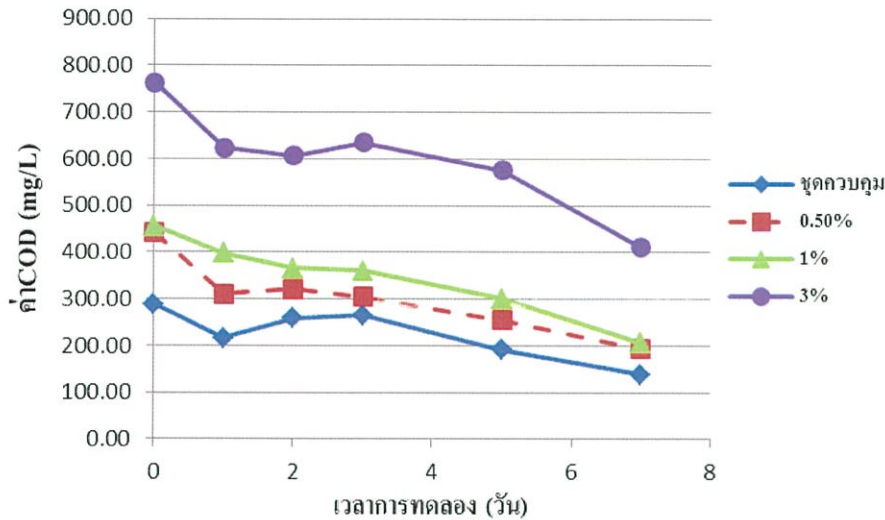
น้ำหมักชีวภาพ 1%

น้ำหมักชีวภาพ 3%

(ข)

รูปที่ 4.16 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของน้ำเสียสังเคราะห์ชุดที่ 3 ในช่วงเวลาต่างๆ

4.2.3.2 ผลการเปลี่ยนแปลงค่าซีโอดี ในการบำบัดเสียสังเคราะห์ ชุดที่ 3



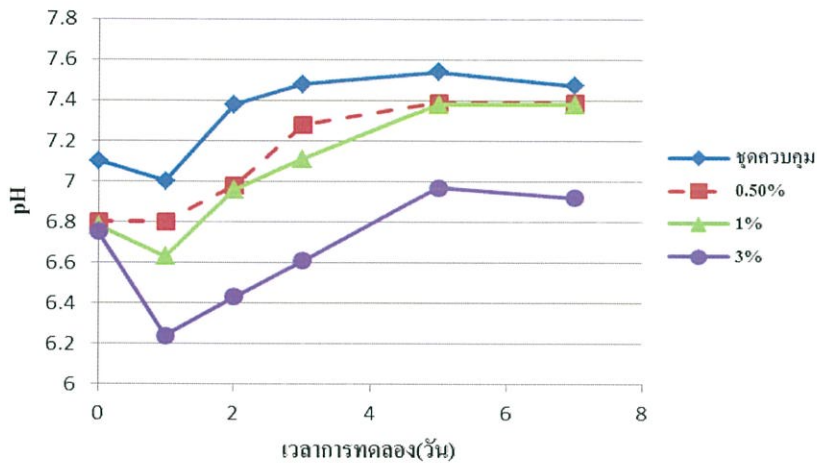
รูปที่ 4.17 ผลการเปลี่ยนแปลงค่าซีโอดี (COD) ในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ ชุดที่ 3

จากการทดลองพบว่า ค่าซีโอดีมีเริ่มต้นเท่ากับ 288 มก./ล. ในวันแรกของการทดลอง พบว่าค่าซีโอดีมีแนวโน้มลดลง โดยค่าซีโอดีชุดการทดลองน้ำหมักชีวภาพ 3% มีค่าซีโอดีสูงที่สุด และค่าซีโอดีของชุดการทดลอง 0.5%, 1% และชุดควบคุม มีค่าใกล้เคียงกันซึ่งค่าซีโอดีในทุกชุด การทดลองจะลดลงตามปริมาณน้ำหมักชีวภาพที่เติมลงในน้ำเสียสังเคราะห์ และในวันที่ 1-7 ค่าซีโอดีมีแนวโน้มการลดลงอย่างต่อเนื่อง ดังรูปที่ 4.17 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข 13-1 ภาคผนวก ข) จากการวิเคราะห์ทางสถิติโดยวิธี ANOVA พบว่า ค่าซีโอดีของน้ำเสียสังเคราะห์ ชุดที่ 3 ในชุดควบคุมเติมน้ำหมักชีวภาพสูตรที่ 3 0.5% และ 1% ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (ดูรายละเอียดในตารางที่ ค-21-ค-22 ภาคผนวก ค)

4.2.3.3 ผลการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในการบำบัดเสียสังเคราะห์ ชุดที่ 3

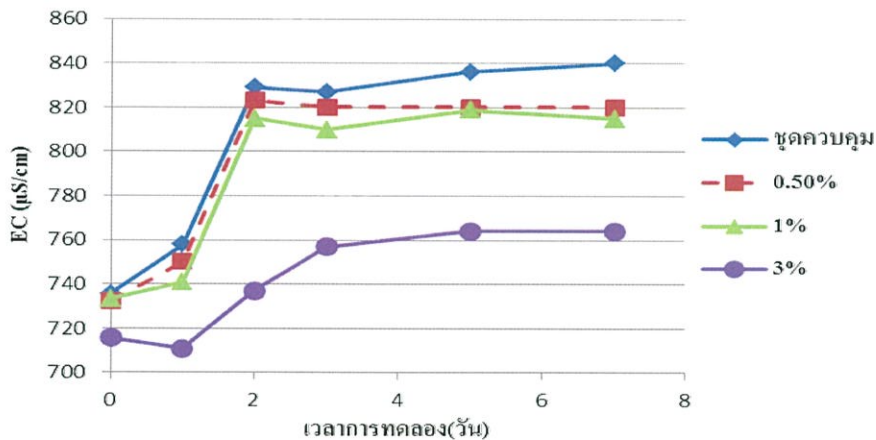
ในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ชุดที่ 3 มีพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 7.1 ซึ่งมีสภาพเป็นกลาง เนื่องจากน้ำหมักชีวภาพในสูตรที่ 3 มีค่าพีเอชสุดท้ายเท่ากับ 3.42 ส่งผลให้การบำบัดมีค่าพีเอชทุกชุดการทดลองมีค่าลดลงตามปริมาณน้ำหมักชีวภาพที่และในวันแรกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับค่าพีเอชในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ชุดที่ 1 และ 2 ดังรูปที่ 4.18 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข 13-2 ภาคผนวก ข) จากการวิเคราะห์ทางสถิติโดยวิธี ANOVA

พบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำเสียสังเคราะห์ชุดที่ 3 ในชุดควบคุมเติมน้ำหมักชีวภาพสูตรที่ 3 0.5% และ 1% ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (ดูรายละเอียดในตารางที่ ก-23-ก-24 ภาคผนวก ก)



รูปที่ 4.18 ผลการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ ชุดที่ 3

4.2.3.4 ผลการเปลี่ยนแปลงค่าการนำไฟฟ้า (EC) ในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ ชุดที่ 3



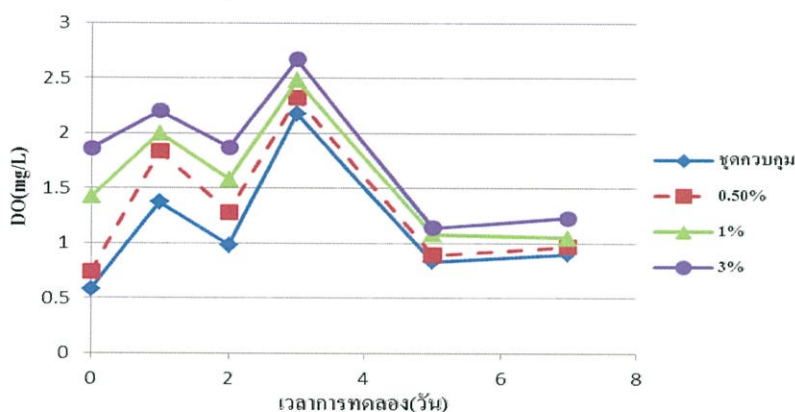
รูปที่ 4.19 ผลการเปลี่ยนแปลงค่าการนำไฟฟ้า (EC) ในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ชุดที่ 3

ค่าการนำไฟฟ้ามีค่าเริ่มต้นอยู่ในช่วง 715-736 $\mu\text{S}/\text{cm}$ และชุดการทดลองทุกชุดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นซึ่งในวันที่ 1-2 ชุดการทดลองเติมน้ำหมักชีวภาพ 0.5%, 1% และชุดควบคุม มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และจะเริ่มคงที่ในช่วงวันที่ 3-7 โดยค่าการนำไฟฟ้าจะแปรผกผันกับปริมาณน้ำหมักชีวภาพที่เติมลงไปดังแสดงในรูปที่ 4.19 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข 13-3 ภาคผนวก ข) จากการวิเคราะห์ทางสถิติโดยวิธี ANOVA พบว่า ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำเสียสังเคราะห์ชุดที่ 3

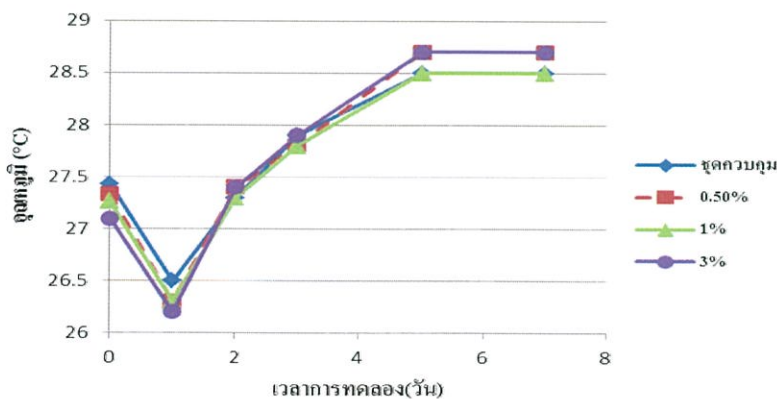
ชุดควบคุมเติมน้ำหมักชีวภาพสูตรที่ 3 0.5% และ 1% ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (ดูรายละเอียดในตารางที่ ค-25-ค-26 ภาคผนวก ค)

4.2.3.5 ผลการเปลี่ยนแปลงค่าออกซิเจนละลายน้ำ (DO) ในการบำบัดเสียสังเคราะห์ ชุดที่ 3

เมื่อเริ่มการบำบัดค่าออกซิเจนละลายน้ำมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในวันแรกเนื่องจากจุลินทรีย์มีการย่อยสลายสารอินทรีย์ทำให้ออกซิเจนละลายน้ำได้เพิ่มขึ้น และในวันที่ 1-7 อุณหภูมิในการเก็บตัวอย่างมีผลให้ค่าออกซิเจนละลายน้ำ เมื่อค่าของอุณหภูมิเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าออกซิเจนลดลง รูปที่ 4.20 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข 13-4 ภาคผนวก ข) จากการวิเคราะห์ทางสถิติโดยวิธี ANOVA พบว่า ค่าออกซิเจนละลายน้ำของน้ำเสียสังเคราะห์ชุดที่ 3 โดยใช้ น้ำหมักชีวภาพสูตรที่ 3 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (ดูรายละเอียดในตารางที่ ค-27-ค-28 ภาคผนวก ค)



(ก) ผลการเปลี่ยนแปลงค่าออกซิเจนละลายน้ำ

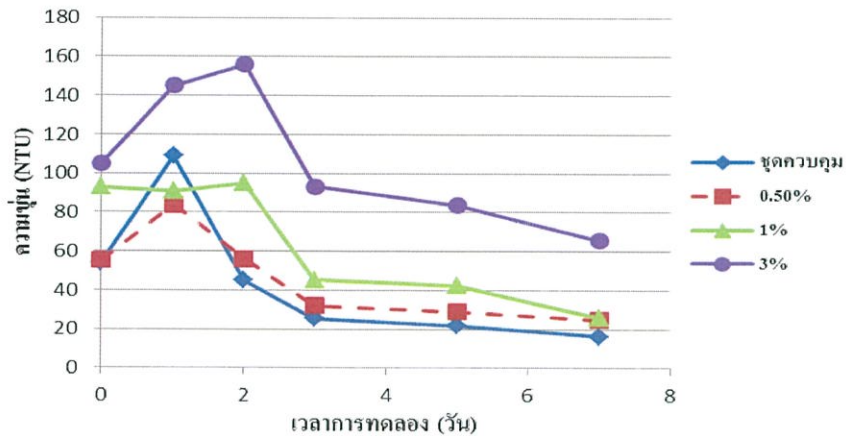


(ข) ผลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

รูปที่ 4.20 ผลการเปลี่ยนแปลงค่าออกซิเจนละลายน้ำ (DO) และอุณหภูมิในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ ชุดที่ 3

4.2.3.6 ผลการเปลี่ยนแปลงค่าความขุ่น ในการบำบัดเสียสังเคราะห์ชุดที่ 3

จากรูปที่ 4.21 ค่าความขุ่นเริ่มต้นของชุดควบคุมมีค่าต่ำสุดและชุดเติมน้ำหมักชีวภาพ 3% มีค่าสูงสุด เท่ากับ 54 และ 105 NTU ตามลำดับ ในวันที่ 1-2 มีแนวโน้มค่าความขุ่นเพิ่มขึ้น ในทุกชุดการทดลอง และวันที่ 2-7 ทุกชุดการทดลองมีแนวโน้มลดลงโดยชุดควบคุมและชุดเติมน้ำหมัก 0.5% และ 1% มีค่าใกล้เคียงกัน (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข 13-5 ภาคผนวก ข)

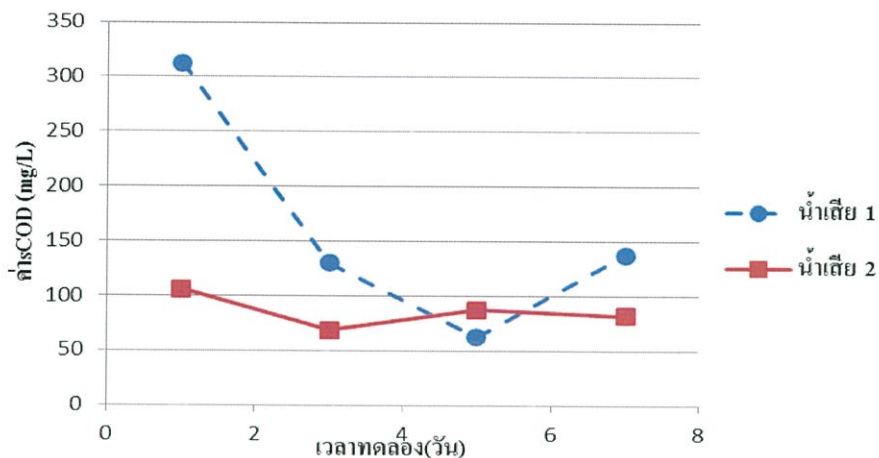


รูปที่ 4.21 ผลการเปลี่ยนแปลงค่าความขุ่น (NTU) ในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ชุดที่ 3

4.3 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้น้ำหมักชีวภาพชนิดต่างๆ

4.3.1 การเปรียบเทียบการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ชุดที่ 1 และ 2 โดยใช้น้ำหมักชีวภาพจากเปลือกสับประรดสูตรที่ 1 และ 2

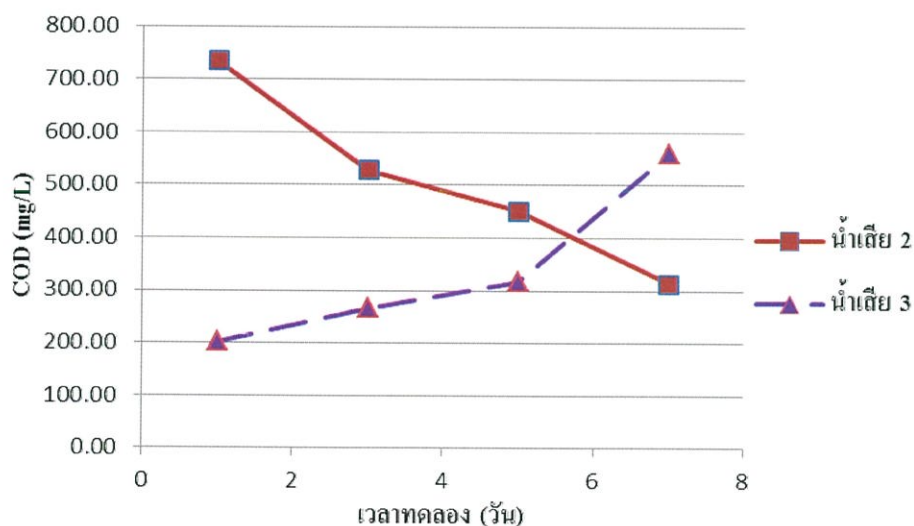
การบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ชุดที่ 1 และ 2 โดยใช้น้ำหมักชีวภาพจากเปลือกสับประรดสูตรที่ 1 และ 2 ตามลำดับ พบว่าค่าซีโอดีที่ละลายน้ำ (sCOD) ของน้ำเสียสังเคราะห์ชุดที่ 1 มีแนวโน้มการลดลงมากกว่าน้ำเสียสังเคราะห์ชุดที่ 2 เนื่องจากจุลินทรีย์ภายในน้ำหมักชีวภาพสูตรที่ 1 มีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์มากกว่าน้ำหมักชีวภาพสูตรที่ 2 ส่งผลให้จุลินทรีย์สามารถย่อยสารอินทรีย์ภายในน้ำเสียสังเคราะห์ได้ในปริมาณมากขึ้น ดังรูปที่ 4.22



รูปที่ 4.22 ค่าเฉลี่ยของค่า sCOD ในน้ำเสียสังเคราะห์ชุดที่ 1 และ 2

4.3.2 การเปรียบเทียบการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ชุดที่ 2 และ 3 โดยใช้น้ำหมักชีวภาพ สูตรที่ 2 และ 3

จากรูปที่ 4.23 พบว่าการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ชุดที่ 2 และ 3 โดยใช้น้ำหมักชีวภาพจากเปลือกสับประรดสูตรที่ 2 และน้ำหมักชีวภาพจากน้ำตาลทรายแดงสูตรที่ 3 ตามลำดับ พบว่าค่าซีโอดี (COD) ของน้ำเสียสังเคราะห์ชุดที่ 2 มีแนวโน้มการลดลงมากกว่าน้ำเสียสังเคราะห์ชุดที่ 3 เนื่องจากจุลินทรีย์ภายในน้ำหมักชีวภาพสูตรที่ 3 ปริมาณจุลินทรีย์มากซึ่งเป็นการเพิ่มสารอินทรีย์ให้แก่ น้ำเสีย จึงส่งผลให้ค่าซีโอดีในน้ำเสียสังเคราะห์ชุดที่ 3 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.23 ค่าเฉลี่ยของค่า COD ในน้ำเสียสังเคราะห์ชุดที่ 2 และ 3

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาอัตราส่วนของน้ำหมักชีวภาพที่เหมาะสมกับการบำบัดน้ำเสีย โดยการศึกษาประกอบด้วย ศึกษาคุณลักษณะของน้ำหมักชีวภาพชนิดต่างๆ เปรียบเทียบคุณลักษณะของน้ำหมักชีวภาพจากเปลือกสับประคกับน้ำตาลทรายแดง และอัตราส่วนของน้ำหมักชีวภาพที่เหมาะสมกับการบำบัดน้ำเสีย ซึ่งสรุปผลการทดลองดังนี้ การใช้น้ำหมักชีวภาพจากเปลือกสับประค สูตร 1, 2 และ 3 ไม่สามารถบำบัดน้ำเสียได้ทั้งนี้อาจเกิดจากปริมาณน้ำจากเปลือกสับประคซึ่งเป็นแหล่งคาร์บอนที่ไม่เหมาะสมกับการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ ดังนั้นเมื่อนำมาบำบัดน้ำเสียจึงพบว่าค่าซีโอดี (COD) และค่าซีโอดีที่ละลายน้ำ (sCOD) มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกับชุดควบคุม

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรศึกษาจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพชนิดอื่นๆ เช่น พ.ด 2 เป็นต้น
2. ควรมีการตรวจหา C/N ratio ในน้ำหมักชีวภาพจากเปลือกผลไม้ชนิดต่างๆ
3. ควรตรวจทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของเชื้อจุลินทรีย์ในสภาวะที่แตกต่างกัน

เอกสารอ้างอิง

- กชกร ปรภายพฤกษ์, ทัดดาว คุณวงศ์, อาศุ อินทรมณี. 2555. การบำบัดน้ำเสียจากน้ำท่วมขังโดยใช้
จุลินทรีย์จากอาหาร วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาเคมีสิ่งแวดล้อม, สถาบันเทคโนโลยี
พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. หน้า 1 - 18
- กรมควบคุมมลพิษ. 2556. น้ำเสียชุมชน. [Online]. Available: www.pcd.go.th/info_serv/water_wt.html#s1 วันที่สืบค้น 19 กรกฎาคม 2556.
- กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. 2553. กำหนดมาตรฐานการระบายน้ำทิ้งจาก
ระบบบำบัดน้ำเสียรวมของชุมชน [Online]. Available: http://www.pcd.go.th/info_serv/reg_std_water04.html#s14 วันที่สืบค้น 11 สิงหาคม 2556.
- กองเกษตรเคมี กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2545. ฮอร์โมนพืชและธาตุอาหาร
พืชในน้ำหมักชีวภาพ. กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด. หน้า 9 - 133
- กรมพัฒนาที่ดิน. 2556. *Saccharomyces* sp. [Online]. Available: <http://www.ldd.go.th/pd6/Microorganism.htm> วันที่สืบค้น 17 สิงหาคม 2556.
- กรมส่งเสริมการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2556. ลักษณะของผลสับปะรด. [Online].
Available: <http://www.doae.go.th/library/html/detail/Pineappl/Mainpine.htm> วันที่สืบค้น
11 กรกฎาคม 2556.
- คู่มือนักวิชาการส่งเสริมการเกษตร. 2551. สับปะรด. พิมพ์ครั้งที่ 1 กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์
ส่งเสริมและจัดการสินค้าเกษตร กรมส่งเสริมการเกษตร.
- ไชยวัฒน์ ไชยสุด. 2553. น้ำหมักชีวภาพ. กรุงเทพมหานคร : บริษัท ไทยเอฟเฟคท์ สตูดิโอ จำกัด
เดช อยู่ชา. 2553. การปลูกสับปะรด. ประจวบคีรีขันธ์ : บริษัท สับปะรดไทย จำกัดและ สำนักงาน
เกษตรจังหวัดประจวบคีรีขันธ์.
- ตัณญรัตน์ จันทร์สุริยศักดิ์. 2546. การใช้โอเอ็มบำบัดน้ำเสีย. คุรุศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาคุรุศาสตร์
เกษตร, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. หน้า 16 - 26
- ธงชัย เนมขุนทด. 2530. การปลูกสับปะรด. พิมพ์ครั้งที่ 1 กรุงเทพมหานคร : โครงการหนังสือ
เกษตรชุมชน. หน้า 5 - 13
- ปรัชญาและคณะ. 2537. เคล็ดลับการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพแบบมีอาชีพ. บริษัท สำนักพิมพ์
เพชรกระรัต จำกัด. หน้า 30

- พชรพรรณ ตามรักษา, วรรัตน์ ทนทรัพย์, สิริธัญญา ไทยสุนทร. 2554. การศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากบ่อพักอาคารด้วยวิธีทางชีวภาพ : กรณีศึกษาอาคารจุฬารณวิทยาลัยดักกษณ์ 2 คณะวิทยาศาสตร์ สจล. วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาเคมีสิ่งแวดล้อม, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. หน้า 19 - 26
- มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา. 2556. น้ำเสียชุมชน. [Online]. Available: http://web.bsru.ac.th/~jumpot/mgt_water/บทที่%2002.doc วันที่สืบค้น 10 สิงหาคม 2556.
- มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. 2542. ปริมาณน้ำเสียชุมชนของอาคารประเภทต่างๆ. [Online]. Available: <http://www2.swu.ac.th/royal/book1/b1c2tble2.html> วันที่สืบค้น 19 กรกฎาคม 2556 .
- ยูพา บุญชิต. 2553. การใช้จุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพและสารเร่งพด.6 เพื่อลดกลิ่นเหม็นและการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานแปงมันสำปะหลัง จังหวัดกำแพงเพชร. [Online]. Available : http://dcms.thailis.or.th/dcms/browse.php?option=show&browse_type=title&titleid=291667&query=%A8%D8%C5%D4%B9%B7%C3%D5%C2%EC%B7%D5%E8%C1%D5%BB%C3%D0%CA%D4%B7%B8%D4%C0%D2%BE&s_mode=any&d_field=&d_start=0000-00-00&d_end=2556-09-22&limit_lang=&limited_lang_code=&order=&order_by=&order_type=&result_id=13&maxid=13 วันที่สืบค้น 20 สิงหาคม 2556.
- ยูวากร ศิริพิทยาและ ปิยาภรณ์ ภาษิตกุล. 2549. การผลิตเอนไซม์โปรติเอสจากจุลินทรีย์ในน้ำหมักเปลือกกล้วยตาก. [Online]. Available : <http://www.pt.tsu.ac.th/rdi/ConAll/Poster18/P14.pdf>. วันที่สืบค้น 17 สิงหาคม 2556.
- ยูวศรี ต่ายคำ. 2555. แบคทีเรียผลิตกรดอะซิติก. [Online]. Available : <http://vcharkarn.com/varticle/44073> วันที่สืบค้น 17 สิงหาคม 2556.
- ศูนย์เทคโนโลยีที่เหมาะสม สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร. 2556. น้ำหมักชีวภาพ. [Online]. Available: [http://atc.snru.ac.th/UserFiles/bioextract\(1\).pdf](http://atc.snru.ac.th/UserFiles/bioextract(1).pdf) วันที่สืบค้น 19 มิถุนายน 2556.
- สำนักงานสิ่งแวดล้อม ภาค15 2553. มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียรวมชุมชน. [Online]. Available : http://km.reo15.net/index.php?option=com_fireboard&Itemid=2&func=view&catid=6&id=23 วันที่สืบค้น 19 กรกฎาคม 2556.
- สิทธิชัย ธีระสุนทรไท. 2547. การศึกษาจุลินทรีย์ในน้ำหมักชีวภาพ และประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสีย. [Online]. Available : http://www.vcharkarn.com/project/upload/0/261_1.pdf วันที่สืบค้น วันที่สืบค้น 12 กรกฎาคม 2556.

- ศุมน โปธิ์จันทร์. 2547. ผลพลอยได้และเศษเหลือจากการปลูกสับปะรดและจากการทำสับปะรด
กระป๋อง. [Online]. Available : http://www.dld.go.th/pvlo_uta/images/stories/report_pine_ap.pdf วันที่สืบค้น 12 กรกฎาคม 2556.
- อานัฐ ตันโซ. 2551. บทบาทของจุลินทรีย์ในกระบวนการหมักน้ำหมักชีวภาพ. [Online]. Available :
<http://www.oknation.net/blog/print.php?id=230977> วันที่สืบค้น 12 กรกฎาคม 2556.
- AoAC. 2000. **Official Method of Analysis of AoAC. International.17th ed.**
AoAC.International.The Unitedstate of America.
- APHA, AWWA and WEF. 2012. **Standard Methods for the Examination of Water & Water
Wastewater.** 22nd Edition United Book Press, Maryland.
- Dague, R.R., Banik, G.C., Ellis, T.G., 1998. **Anaerobic sequencing batch reactor treatment of
dilute wastewater at psychrophilic temperatures.** Water Environ. Res. 70, 155-160.
- Dubois, M., K.A. Gilles, J.K. Hamilton, P.A. Rebers and F. Smith.,1956. **Colorimetric method
for determination of sugars and related substances.** Anal. Chem. 28, 350-356.
- Gatesara Sangsad . 2556. **ประโยชน์ของสับปะรด.** [Online]. Available : <http://gatsara544189105.blogspot.com/> วันที่สืบค้น 12 กรกฎาคม 2556.
- Ho, J., Sung, S. 2009. **Methanogenic activities in anaerobic membrane bioreactors (AnMBR)
treating synthetic municipal wastewater.** Bioresour. Technol. 97: 1640-1649.
- Metcalf and Eddy. 1991. **Wastewater Engineering: Treatment and disposal**, 3d ed., revised
by G. Tchobanoglous and F. Burton. McGraw Hill, Inc., New York.
- Nationchannel. 2554. **ลักษณะน้ำเสียทางกายภาพ.** [Online] Available : <http://77.nationchannel.com/home/194148/> วันที่สืบค้น 22 กรกฎาคม 2556.
- Richard Hunt. 2009. **Mycology** [Online]. Available : <http://pathmicro.med.sc.edu/mycology/mycology-5.htm> วันที่สืบค้น 17 สิงหาคม 2556.
- Tchobanoglous, G. 1979.**Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, Reuse
(2nd ed).** New Delhi: TATA McGraw-Hill. [Online] Available : http://www.ryanprocess.com/bar_screens.html สืบค้นวันที่ 19 กรกฎาคม 2556.
- United States Department of Agriculture. 2013. **คุณค่าทางโภชนาการของสับปะรด.** [Online]
Available : <http://ndb.nal.usda.gov/> สืบค้นวันที่ 17 กรกฎาคม 2556.

ภาคผนวก ก
วิธีการวิเคราะห์

ก-1 การวิเคราะห์ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS) (APHA, AWWA and WEF, 2012)

1) เครื่องมือและอุปกรณ์

1. โถทำแห้ง (Desiccator)
2. ตู้อบ
3. เครื่องชั่งแบบละเอียด 4 ตำแหน่ง
4. กระดาษกรอง GF/C ขนาด 4.7 ซม.
5. ชุดกรองบุชเนอร์
6. เครื่องดูดสุญญากาศ
7. ถ้วยระเหย
8. ปากคีบ

2) การทดลอง

1. นำกระดาษกรอง GF/C ไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 103-105 °C เป็นเวลา 1 ชม. ปล่อยให้เย็นในโถทำแห้ง
2. ชั่งกระดาษกรอง GF/C สมมติมีน้ำหนัก A กรัม วางบนถ้วยระเหย
3. ต่อชุดเครื่องมือสำหรับกรอง ใช้ปากคีบหนีบกระดาษกรอง GF/C วางบนกรวยบุชเนอร์ เปิดเครื่องดูดสุญญากาศ ถ้างกระดาษกรองด้วยน้ำกลั่น 3 ครั้งติดต่อกัน โดยใช้ครั้งละ 20 มล. เปิดเครื่องดูดสุญญากาศต่อให้ดูคน้ำออกจนแห้ง ทิ้งน้ำล้างไป
4. เลือกปริมาณตัวอย่างน้ำที่จะใช้ โดยพิจารณาจากลักษณะน้ำ ถ้าขุ่นมีของแข็งแขวนลอยมาก ควรใช้ปริมาณน้อยๆ แต่ถ้าน้ำใสควรใช้ปริมาณน้ำตัวอย่างให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ (ควรเลือกให้มีค่าของแข็งแขวนลอยที่ติดบนกระดาษกรองไม่เกิน 200 มก. และไม่ควรต่ำกว่า 1 มก. เนื่องจากถ้ามีของแข็งปริมาณมากเกินไปอาจจะจับเอาน้ำไว้) เขย่าตัวอย่างให้เข้ากันดี เทตัวอย่างที่ทราบปริมาณลงกรองโดยค่อยๆ เททีละน้อยอย่างต่อเนื่องจนหมด ใช้น้ำกลั่นฉีดล้างภาชนะที่ใช้ตวงตัวอย่าง เเทลงกรอง และฉีดน้ำกลั่นที่ด้านข้างของกรวยบุชเนอร์รวมทั้งบนกระดาษกรอง GF/C ปล่อยให้เครื่องดูดสุญญากาศดูคน้ำออกจนแห้ง ปิดเครื่อง
5. ใช้ปากคีบหนีบกระดาษกรองขึ้นวางบนถ้วยระเหย นำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 103-105 °C อย่างน้อย 1 ชม. นำออกจากตู้อบปล่อยให้เย็นในโถทำแห้ง ชั่งน้ำหนักกระดาษกรอง สมมติมีน้ำหนัก B กรัม
6. ควรทำข้อ 5 ซ้ำ จนได้น้ำหนักคงที่หรือจนกระทั่งมีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักน้อยกว่า 4% ของน้ำหนักครั้งก่อนหรือประมาณ 0.5 มก.

3) การคำนวณ

$$\text{ของแข็งแขวนลอย (มก./ล.)} = \frac{(B-A)}{C} \times 10^6$$

4) ข้อเสนอแนะและข้อควรระวัง

1. การหาของแข็งแขวนลอย เวลาชั่งตัวอย่างควรเขย่าให้ตัวอย่างเข้ากันดี ควรใช้ปิเปตปากกว้างในการดูดตัวอย่าง
2. ตัวอย่างน้ำที่มีของแข็งแขวนลอยมากๆ ควรเจือจางตัวอย่างก่อนนำมากรองเพื่อกระดาษกรอง GF/C จะได้ไม่ตันและดูดน้ำให้แห้งได้ง่ายๆ
3. กรณีน้ำตัวอย่างเป็นน้ำทะเลหลังจากกรองแล้วต้องใช้น้ำกลั่นล้างตามในปริมาณมากๆ เช่น ถ้ากรองน้ำทะเล 500 มล. ต้องใช้น้ำกลั่นล้างอย่างน้อย 500 มล.
4. ควรใช้ตัวอย่างน้ำในการกรองให้มากที่สุดเท่าที่จะมากได้ เพราะอาจเกิดข้อผิดพลาดได้ง่ายถ้าใช้ตัวอย่างน้อยค่าของแข็งแขวนลอยทั้งหมดอาจพิจารณาเปรียบเทียบกับค่าความขุ่นอย่างคร่าวๆได้

ก-2 การวิเคราะห์ของแข็งละลายน้ำ (TDS) โดยวิธีทำให้แห้งที่ 103-105 °C (APHA, AWWA and WEF, 2012)

1) หลักการทั้งหมด

ตัวอย่างน้ำที่ผ่านกระดาษกรอง GF/C ในถ้วยระเหยทราบน้ำหนัก จะถูกนำไประเหยด้วยไอน้ำจนแห้งแล้วนำไปอบที่ 103-105 °C ทำให้เย็น แล้วชั่งน้ำหนักที่เพิ่มคือน้ำหนักของของแข็งละลายน้ำทั้งหมด หรือ อาจหาได้จากน้ำหนักของแข็งแขวนลอยทั้งหมดมาหักออกจากค่าของแข็งทั้งหมด

2) สิ่งรบกวนการวิเคราะห์

สิ่งรบกวน ได้แก่ พวก แคลเซียม แมกนีเซียม คลอไรด์ และซัลเฟตที่มีปริมาณสูงๆ จะดูดความชื้นได้ง่ายทำให้น้ำหนักเพิ่มขึ้นได้ค่าเกินจริง ดังนั้น ควรใช้เวลาในการทำให้แห้งให้มากขึ้น เก็บในโถทำแห้งนานๆและเวลาชั่งต้องทำอย่างรวดเร็ว อีกอย่างคือ ควรเจือจางตัวอย่างก่อนเสมอ

3) การเก็บและรักษาตัวอย่าง

ควรเก็บตัวอย่างน้ำในขวดแก้วหรือขวดพลาสติกที่จะไม่ทำให้สารแขวนลอยติดที่ข้างภาชนะ ให้นำส่งห้องวิเคราะห์ และควรจะรีบวิเคราะห์ทันที แต่ถ้าไม่สามารถทำได้ให้รักษาตัวอย่างไว้โดยนำไปแช่เย็นที่ 4 °C ทางที่ดีไม่ควรเก็บไว้เกิน 1 วัน แต่ถ้าเก็บไว้เกิน 7 วัน ยายนำตัวอย่างนั้นมาใช้วิเคราะห์อีก ตัวอย่างน้ำที่แช่เย็นไว้เมื่อจะนำมาวิเคราะห์ต้องทิ้งให้หายเย็นอยู่ที่อุณหภูมิห้องเสียก่อน

4) เครื่องมือและอุปกรณ์

1. ถ้วยระเหย (Evaporating dishes) ซึ่งมีความจุ 100 มล. เลือกใช้ข้อใดข้อหนึ่งดังนี้

1.1 ถ้วยกระเบื้อง (Porcelain) เส้นผ่านศูนย์กลาง 90 มล.

1.2 ถ้วยแพลทตินัม (Platinum)

2. เครื่องอ่างน้ำ (Water Bath)

โถทำแห้ง (Desicator) พร้อมสารดูดความชื้นที่จะมีการเปลี่ยนสีให้เห็นเมื่อดูดความชื้นไว้มากๆ เพื่อจะได้นำไปอบไล่ความชื้นออกไปแล้วนำมาใช้ใหม่หรือจะเปลี่ยนสารดูดความชื้นใหม่เลยดูอบ (Oven) ที่มีเครื่องควบคุมอุณหภูมิ

3. เครื่องชั่งละเอียด สามารถชั่งได้ถึง 0.0001 กรัม

4. กระดาษกรอง GF/C (Glass Fiber Filter) ซึ่งไม่มีสารอินทรีย์ติดอยู่ เส้นผ่านศูนย์กลาง

4.7 ซม.

5. ชุดกรอง อย่างใดอย่างหนึ่งตามความเหมาะสม

6. ขวดกรอง (Membrane Filter Funnel)

7. ถ้วยกรองกูช (Gooch Crucible) หรือกรวยบุชเนอร์ ความจุ 100 มล.

8. เครื่องดูดสุญญากาศ (Suction Pump) พร้อมขวดดูดสุญญากาศขนาด 500-1,000 มล.

5) วิธีวิเคราะห์

1. การกรองตัวอย่าง ต่อสายระหว่างปลายท่อดูดของเครื่องดูดและของขวดกรอง วางกระดาษกรอง GF/C บนกรวยบุชเนอร์ เปิดเครื่องดูดสุญญากาศ ล้างกระดาษกรองด้วยน้ำกลั่น 3 ครั้ง ครั้งละ 20 มล. และปล่อยให้ดูดน้ำออกจากกระดาษกรองจนหมด ทิ้งน้ำล้างไป นำตัวอย่างน้ำมาเขย่าให้เข้ากันอย่างดี (เนื่องจากน้ำตัวอย่างที่เหลือในขวดเก็บตัวอย่างจะได้นำไปวิเคราะห์อย่างอื่นได้) ภากรองผ่านกระดาษกรอง GF/C ที่เตรียมไว้ ให้กรองให้มากกว่าปริมาตรที่เลือกใช้ที่จะนำไประเหย (จะใช้น้ำตัวอย่างที่ผ่านกระดาษกรองจากการหาค่าของแข็งแขวนลอยก็ได้)

2. ทำต่อเช่นเดียวกับการหาค่าของแข็งทั้งหมด
3. สามารถหาค่าของแข็งละลายทั้งหมดได้อีกทางหนึ่งคือ หาค่าของแข็งทั้งหมดและของแข็งแขวนลอยทั้งหมด นำมาลบกันผลต่างที่ได้ คือ ค่าของแข็งละลายทั้งหมด

6) การคำนวณ

$$\text{ของแข็งแขวนลอย (มก./ล.)} = \frac{(B - A)}{C} \times 10^6$$

A = น้ำหนักกระดาษกรองอย่างเดี่ยว (กรัม)

B = น้ำหนักกระดาษกรองและของแข็ง (กรัม)

C = ปริมาตรตัวอย่างน้ำ (มล.)

7) ข้อเสนอแนะและข้อควรระวัง

1. การหาของแข็งแขวนลอย เวลาชั่งตัวอย่างควรเขย่าให้ตัวอย่างเข้ากันอย่างดี ควรใช้ปิเปตปากกว้างในการดูดตัวอย่าง
2. ตัวอย่างน้ำที่มีของแข็งแขวนลอยมากๆ ควรเจือจางตัวอย่างก่อนนำมากรองเพื่อกระดาษกรอง GF/C จะได้ไม่ตัน และดูน้ำให้แห้งได้ง่าย
3. กรณีน้ำตัวอย่างเป็นน้ำทะเล หลังจากกรองแล้วต้องใช้น้ำกลั่นล้างตามในปริมาณมากๆ เช่น ถ้ากรองน้ำทะเล 500 มล. เช่นกัน
4. ควรใช้ตัวอย่างน้ำในการกรองให้มากที่สุดเท่าที่จะมากได้ เพราะอาจเกิดข้อผิดพลาดได้ง่ายถ้าใช้ตัวอย่างน้อย
5. ค่าของแข็งแขวนลอยทั้งหมดอาจพิจารณาเปรียบเทียบกับค่าความขุ่นอย่างคร่าวๆได้

ก – 3 การวิเคราะห์ของแข็งทั้งหมด (TS) (APHA, AWWA and WEF, 2012)

1) เครื่องมือและอุปกรณ์

1. ถ้วยระเหย (Porcelain) เส้นผ่านศูนย์กลาง 90 มม.
2. กระบอกตวง ขนาด 100 มิลลิลิตร
3. เครื่องชั่งแบบละเอียด 4 ตำแหน่ง
4. เครื่องอังไอน้ำ (water bath)
5. ตู้อบ (oven)
6. โถดูดความชื้น (Desiccators)

2) การทดลอง

1. นำถ้วยระเหยไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 103 – 105 °C
2. เมื่อจะใช้ นำถ้วยระเหยมาชั่งน้ำหนัก สมมุติน้ำหนัก A กรัม
3. เขย่าตัวอย่างน้ำให้เข้ากันให้ดี เทตัวอย่างน้ำที่ทราบปริมาณแน่นอนลงในถ้วยระเหยนี้ (การเลือกปริมาณตัวอย่างน้ำ ควรเลือกให้เหมาะสมโดยพิจารณาจากลักษณะน้ำและแหล่งที่มา) นำไประเหยบนเครื่องอังน้ำที่ปรับอุณหภูมิไว้ที่ 100 °C จนแห้ง ปริมาตรตัวอย่างที่พอเหมาะ ควรเหลือกากแห้งภายหลังการอบอยู่ในช่วง 10 – 200 มก.

4. ปลอ่ยทิ้งให้เย็นในโถทำแห้ง ชั่งน้ำหนัก สมมุติเป็น B กรัม

5. ควรทำตามข้อ 3 – 4 ซ้ำ จนได้น้ำหนักคงที่ หรือจนกระทั่งมีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักน้อยกว่า 4 % ของน้ำหนักก่อนหรือประมาณ 0.5 มก.

3) การคำนวณ

$$\text{ของแข็งทั้งหมด (มก./ล.)} = \frac{(B - A)}{C} \times 10^6$$

A = น้ำหนักกระดาศกรงอย่างเดียว (กรัม)

B = น้ำหนักกระดาศกรงและของแข็ง (กรัม)

C = ปริมาตรตัวอย่างน้ำ (มล.)

ก-4 วิธีวิเคราะห์ไขมันและน้ำมันในธรรมชาติและน้ำสะอาด แบบสกัดด้วยกรวยแยก (Partition Gravimetric Method) (APHA, AWWA and WEF, 2012)

1) เครื่องมือ

1. กรวยแยก (Separatory Funnel) ขนาด 500 มล. ซึ่งล้างด้วยเฮกเซนประมาณ 15 มล. ไว้ก่อน
2. ถ้วยระเหย (Evaporating Disc)
3. เครื่องอ่างน้ำ (Water bath)
4. กระจกทรง ขนาด 11 ซม. เบอร์ 40
5. กรวยกรอง (funnel)
6. บีกเกอร์ ขนาด 600 มล. และ 100 มล. ซึ่งล้างด้วยเฮกเซนประมาณ 15 มล. ไว้ก่อน
7. เครื่องชั่งละเอียด

2) สารเคมี

1. กรดกำมะถันเข้มข้น (Conc. H_2SO_4)
2. เฮกเซน (n-Hexane) หรือฟริออน
3. โซเดียมซัลเฟต ปราศจากน้ำ (Sodium Sulfate Anhydrous)

3) วิธีวิเคราะห์

1. เติตัวอย่างน้ำที่รู้ปริมาตรจำนวนหนึ่ง (500 มล. หรือน้อยกว่า) ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 600 มล. เติมกรดกำมะถันเข้มข้น จนพีเอชน้อยกว่า 2 (หรือประมาณ 2 มล. ต่อตัวอย่างน้ำ 1 ลิตร)
2. เติตัวอย่างน้ำจากบีกเกอร์ใส่กรวยแยก เติมเฮกเซนจำนวน 10 – 15 มล. เขย่าอย่างแรง ประมาณ 2 นาที ตั้งทิ้งไว้ สารผสมจะแยกชั้น ชั้นเฮกเซนจะอยู่ส่วนบน ส่วนตัวอย่างน้ำจะอยู่ส่วนล่าง
3. ถ่ายชั้นตัวอย่างน้ำไว้ในบีกเกอร์เดิม เพื่อนำมาสกัดอีก
4. ถ่ายชั้นของเฮกเซน ซึ่งมีไขมันและน้ำมันละลายอยู่ ผ่านกรวยกรองที่มีโซเดียมซัลเฟตบนกระดาษกรองลงในถ้วยระเหยซึ่งได้ทำให้แห้งและมีน้ำหนักคงที่และได้ชั่งน้ำหนักไว้แล้ว สมมติเป็น A กรัม
5. ทำการสกัดซ้ำ ด้วยวิธีเดียวกันนี้อีกหลายครั้ง จนกระทั่งไขมันและน้ำมันถูกสกัดออกจากตัวอย่างหมด
6. นำถ้วยระเหยซึ่งมีเฮกเซนและไขมันและน้ำมันละลายอยู่ ไประเหยเฮกเซนออกบนเครื่องอ่างน้ำที่อุณหภูมิ 70 °C จนแห้งปราศจากความชื้น แล้วปล่อยให้เย็นในโถทำแห้ง ประมาณ 30 นาที แล้วชั่งน้ำหนักสมมติเป็น B กรัม

หมายเหตุ หากชั้นของตัวทำละลายมีน้ำปนอยู่ ให้ถ่ายเฮกเซนที่มีน้ำมันไขมันลงในบีกเกอร์ขนาด 100 มล. ใส่โซเดียมซัลเฟตลงไป จนได้สารละลายใส หรือโซเดียมซัลเฟตจับตัวกันดี กิ่งไปกลิ้งมาได้ไม่เหลวและควรใส่โซเดียมซัลเฟตไปบนกระดาษกรองด้วย แล้วจึงเทตัวทำละลายที่ใสผ่านกระดาษกรอง เพื่อให้มีดชั้นแตกออก และโซเดียมซัลเฟตจับกับน้ำ

4) การคำนวณ

$$\text{ไขมันและน้ำมัน (มก./ลิตร)} = \frac{(B-A) \times 10^6}{\text{ปริมาตรตัวอย่างน้ำ (มล.)}}$$

5) ข้อเสนอแนะและข้อควรระวัง

ควรใช้โซเดียมซัลเฟตให้มากเกินไปในการจับกับน้ำ เพื่อไม่ให้มีน้ำปนอยู่ในถ้วย

ก-5 ซีไอดีที่ละลายในน้ำ (โดยวิธีรีฟลักซ์แบบปิด) (APHA, AWWA and WEF, 2012)

1) เครื่องมือและอุปกรณ์

1. หลอดย่อย (Digestion Vessels) เป็นหลอดแก้วบอโรซิลิเกต (Borosilicate) ซึ่งใช้เลี้ยงเชื้อขนาด 16x100 หรือ 20x150 หรือ 25x150 มม. มีฝาพลาสติกเกลียวซึ่งทำด้วย TEE
2. บล็อก (Block) หรือที่ใส่หลอดแก้วแบบตัน ทำด้วยอลูมิเนียม ความลึกของช่องใส่หลอดประมาณ 45-50 มม. การให้ความร้อนเพื่อต้มย่อยสลายกระทำโดยวางบล็อกบนเตาแผ่น
3. ตู้อบ (Oven) สามารถควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ประมาณ 150 ± 2 °C
4. บิวเรต
5. ขวดรูปกรวยขนาด 125 มล.

2) สารเคมี

1. สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมต ความเข้มข้น 0.1 นอร์มัล

ซึ่งสารละลายมาตรฐานปฐมภูมิ (primary standard) โพแทสเซียมไดโครเมต 4.913 กรัม ซึ่งถูกทำให้แห้งในเตาอุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในโถทำให้แห้ง ใส่ไปในน้ำกลั่นประมาณ 500 มล. ค่อยๆเติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 167 มล. เติมเมอร์คิวริกซัลเฟต 33.3 กรัม คนให้ละลาย ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง แล้วเจือจางให้มีปริมาตรเป็น 1,000 มล. ด้วยน้ำกลั่น

2. กรดซัลฟิวริกรีเอเจนต์

ละลายซิลเวอร์ซัลเฟต (Ag_2SO_4) 8.8 กรัม ลงในกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 1 ลิตร ทิ้งไว้ 1 - 2 วัน เพื่อให้ซิลเวอร์ซัลเฟตละลายได้ทั้งหมดก่อนนำไปใช้

3. เฟอโรอินดิเคเตอร์

ละลายไอร์ออน (II) ซัลเฟตเฮปตาไฮเดรต ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) 0.695 กรัม และ 1,10 ฟีนแอนโทโร-ลีน โมโนไฮเดรต [1,10 phenanthroline monohydrate ($\text{C}_{12}\text{H}_8\text{H}_2\text{N}_2\text{O}$)] 1.485 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วทำให้เจือจางเป็น 100 มล.

4. สารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต (FAS) ความเข้มข้น 0.1 นอร์มัล

ละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตเฮกซะไฮเดรต [$\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$] 39.2 กรัม ในน้ำกลั่นประมาณ 500 มล. เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 20 มล. คนให้ละลายทิ้งให้เย็น แล้วเติมน้ำกลั่นจนมีปริมาตรเป็น 1,000 มล. สารละลายนี้ต้องเทียบมาตรฐานกับสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมตที่ใช้ในการย่อยสลายทุกครั้งที่น่ามาใช้ เติมสารเคมีตามตารางที่ ก - 1 ในภาชนะย่อยสลายแต่ใช้น้ำกลั่นแทนตัวอย่าง ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง แล้วไทเทรตด้วย FAS ใช้เฟอโรอินดิเคเตอร์ 0.05 - 0.1 มล. ทำประมาณ 1 - 2 หลอด ไทเทรตจนถึงจุดยุติสีจะเปลี่ยนจากฟ้าอมเขียวเป็นสีน้ำตาลแดง

3) การคำนวณ

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต (FAS)

$$\text{โมลาริตีของ FAS} = \frac{\text{ปริมาตรของ } \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \times 0.1}{\text{ปริมาตร FAS ที่ใช้ในเทรต}}$$

ตารางที่ ก-1 ปริมาตรของตัวอย่างน้ำและสารเคมีสำหรับหลอดแก้วขนาดต่างๆ

ขนาดของภาชนะย่อยสลาย	ตัวอย่างน้ำ (มล.)	สารละลายในการย่อยสลาย (มล.)	กรดซัลฟิวริกรีเอเจนต์ (มล.)	ปริมาตรทั้งหมด (มล.)
หลอดย่อยสลาย				
16 × 100 มม.	2.5	1.5	3.5	7.5
20 × 150 มม.	5.0	3.0	7.0	15.0
25 × 150 มม.	10.0	6.0	14.0	30.0

5. สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไฮโครเจนพทาเลต

ละลายโพแทสเซียมไฮโครเจนพทาเลต ($\text{HOOC}_6\text{H}_4\text{COOK}$) ซึ่งอบที่ 120 องศาเซลเซียส จนมีน้ำหนักคงที่ 425 มก. ในน้ำกลั่น เจือจางจนได้ปริมาตร 1,000 มล.

4) วิธีวิเคราะห์

ต้องล้างหลอดแก้วและฝาปิดด้วยสารละลายกรดกำมะถัน 20% เสมอทุกครั้งก่อนใช้งาน

1. เลือกขนาดของหลอดแก้วสำหรับต้มซีโอดีให้เหมาะสม

ถ้าตัวอย่างน้ำมีซีโอดีต่ำให้เลือกใช้หลอดแก้วขนาด 25x150 มม. (ปริมาตรตัวอย่างน้ำ 10 มล.) ถ้าซีโอดีค่อนข้างสูงให้ใช้หลอดแก้วขนาด 20x150 มม. (ปริมาตรตัวอย่างน้ำ 5 มล.) และถ้าซีโอดีสูงสามารถใช้หลอดแก้วขนาด 16x100 มม. (ปริมาตรตัวอย่างน้ำ 2.5 มล.) ในที่นี้ขอแนะนำว่าไม่จำเป็นต้องใช้หลอดหลายขนาดใช้เพียง 2 ขนาดคือ 25x150 มม. สำหรับหาซีโอดีที่มีค่าต่ำและขนาด 20x150 มม. สำหรับหาซีโอดีที่มีค่าสูง ถ้าตัวอย่างมีค่าสูงมากก็ให้เจือจางตัวอย่างน้ำก่อน

2. การเลือกปริมาตรตัวอย่างน้ำ

ถ้าเป็นน้ำสะอาด น้ำธรรมชาติหรือน้ำที่มีค่าซีโอดีต่ำ (<40 มก./ล.) ควรใช้ตัวอย่างน้ำ 10 มล. โดยใช้หลอดแก้วขนาด 25x150 มม. แต่ถ้ามีค่าซีโอดีสูงกว่านั้นให้ใช้หลอดแก้วขนาด 20x150 มม. โดยเลือกใช้ปริมาณตัวอย่างน้ำมากที่สุด 5 มล. หรือใช้น้อยกว่า แล้วเติมน้ำกลั่นเป็น 5 มล. และถ้าตัวอย่างน้ำมีค่าซีโอดีสูงมากต้องเจือจางตัวอย่างน้ำก่อนนำมาใช้ ควรประมาณค่าซีโอดีของตัวอย่างน้ำอย่างคร่าวๆ ก่อนเพื่อที่จะได้เลือกใช้ปริมาณตัวอย่างได้อย่างเหมาะสม การประมาณค่าซีโอดีสามารถทำได้โดยพิจารณาจากลักษณะตัวอย่างน้ำ แหล่งที่มาของน้ำ และจากค่า Rapid COD การเลือกขนาดตัวอย่างน้ำที่จะใช้วิเคราะห์ให้เหมาะสมอาจดูได้จากตารางที่ 14.1 ในทางปฏิบัติ ควรเลือกใช้ปริมาณตัวอย่างน้ำให้ผลต่างของ FAS ที่ใช้ในการไทเทรตแบลงค์และตัวอย่างน้ำอยู่ระหว่าง 1-5 มล.

3. น้ำตัวอย่างลงในหลอดแก้วขนาดเหมาะสม เติมน้ำย่อยสลายหรือโปแตสเซียมไดโครเมต ตามด้วยกรดกำมะถันอย่างช้าๆ ถ้าใช้ปริมาณตัวอย่างน้ำน้อยกว่าที่แสดงไว้ในตารางให้เติมน้ำกลั่นให้ครบตามจำนวน) ปิดฝาให้แน่นและเขย่าผสมกันให้ดีสำหรับแบลงค์ใช้น้ำกลั่นแล้วทำเหมือนตัวอย่างทุกอย่าง

4. วางหลอดแก้วในบล็อก แล้วใส่ตุ้บ ตั้งอุณหภูมิไว้ที่ $150 \pm 2^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

5. เมื่อครบ 2 ชั่วโมงแล้ว นำออกจากตุ้บปล่อยให้เย็น

6. เทสารละลายออกจากหลอดแก้วลงในขวดรูปกรวย ใช้น้ำกลั่นฉีดล้างสารละลายในหลอดแก้วให้หมดแล้วเทรวมลงในขวดรูปกรวย เติมเฟอโรอินอินดิเคเตอร์ 2-3 หยด แล้วไทเทรตด้วยสารละลายมาตรฐาน FAS สีของสารละลายจะค่อยๆ เปลี่ยนจากสีเหลือง → เขียวอมเหลือง → ฟ้า → น้ำตาล → แดงซึ่งแสดงว่าถึงจุดยุติ จดปริมาณ FAS ที่ใช้ไทเทรต

5) การคำนวณ

$$\text{ซีไอดี (มก.O}_2\text{/มล.)} = \frac{(A-B) \times M \times 8000}{\text{ปริมาตรตัวอย่างน้ำ (มล.)}}$$

โดย	A	=	มล. ของFASที่ใช้ในการไทเทรตแบลงค์
	B	=	มล. ของFASที่ใช้ในการไทเทรตตัวอย่างน้ำ
	M	=	โมลาริตีของFAS

ตารางที่ ก-6 วิธีวิเคราะห์ออกซิเจนละลายน้ำโดยวิธีเมมเบรนอิเล็กโทรด (APHA, AWWA and WEF, 2012)

1) หลักการ

ระบบเมมเบรนอิเล็กโทรดที่ใช้หาออกซิเจนละลายน้ำไม่ว่าจะเป็นแบบโพลารोगราฟิค (polarographic) หรือแบบกัลวานิก (galvanic) จะประกอบด้วยอิเล็กโทรด 2 อันซึ่งทำด้วยโลหะภายในบรรจุอิเล็กโทรไลต์ (electrolyte) ซึ่งแยกจากตัวอย่างน้ำด้วยเมมเบรน ซึ่งยอมให้ออกซิเจนผ่านและกั้นมิให้สิ่งแปลกปลอมผ่านเข้าไปในสภาวะที่มีความสมดุลย์กระแสไฟฟ้าหรือศักย์ไฟฟ้าที่วัดได้สามารถเทียบตามความสัมพันธ์ได้กับความเข้มข้นของออกซิเจนละลาย โดยกระแสไฟฟ้าที่แพร่ผ่านเข้าไปจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของโมเลกุลออกซิเจนในตัวอย่าง

2) วิธีวิเคราะห์

1. การสอบเทียบเครื่องมือ (Calibration) โดยทั่วไปจะทำการ Calibration เมมเบรนอิเล็กโทรด โดยอ่านค่าออกซิเจนในอากาศหรือในตัวอย่างน้ำที่ทราบความเข้มข้นของออกซิเจนละลาย
2. การวัดออกซิเจนละลายน้ำของตัวอย่าง
 - 2.1 เปิดเครื่องวัดออกซิเจนละลายน้ำ ก่อนใช้เครื่องเป็นเวลา 5 นาที จากนั้นทำความสะอาดโพรบวัดออกซิเจนละลายน้ำ (DO) ด้วยน้ำกลั่น ใช้กระดาษทิชชูซับเบาๆบริเวณปลายโพรบ
 - 2.2 จุ่มโพรบลงในน้ำตัวอย่าง กด READ รอค่าออกซิเจนละลายน้ำนิ่งโดยสังเกตบริเวณหน้าจอของเครื่องจะขึ้นคำว่า Stability จดค่า DO ล้างโพรบด้วยน้ำกลั่น ใช้กระดาษทิชชูซับเบาๆบริเวณปลายโพรบ และทำการวัดน้ำตัวอย่างต่อไป
 - 2.3 เมื่อใช้งานเสร็จล้างโพรบอีกครั้ง ซับด้วยกระดาษทิชชูบริเวณปลายโพรบและปิดเครื่อง

ก-7 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด โดยวิธี Phenol-sulfuric Method (APHA, AWWA and WEF, 2012)

1) สารเคมี

1. กรดซัลฟิวริก (reagent grade 95.5%, specific gravity 1.84)
2. เตรียมฟีนอล 5% โดยน้ำหนัก โดยชั่งฟีนอล 5 กรัม ละลายในน้ำกลั่นปริมาตร 95 มิลลิลิตร เก็บสารละลายในขวดสีชา
3. เตรียมสารละลายกลูโคสมาตรฐาน โดยชั่งน้ำตาลกลูโคส 0.04 กรัม มาละลายในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรสุดท้ายเป็น 100 มิลลิลิตร ได้สารละลายกลูโคสเข้มข้น 400 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร

2) วิธีวิเคราะห์

1. ปิเปิดสารละลายที่เจือจางแล้ว 1 มิลลิลิตร ใส่งในหลอดทดลอง เติมสารละลายฟีนอล 5% 1 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน
2. เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 5 มิลลิลิตร ลงไปอย่างรวดเร็ว โดยปล่อยกรดลงไปผิวหน้าของของเหลวโดยตรงจะทำให้การผสมเกิดขึ้นได้เร็วกว่าการค่อยๆ ปล่อยลงข้างๆ
3. ตั้งหลอดทดลองของสารผสมนี้ไว้เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นเขย่าแล้วนำมาบ่มในอ่างน้ำที่ควบคุมอุณหภูมิ 25-30 °C เป็นเวลาประมาณ 10-20 นาที
4. นำไปวัดค่าคลื่นแสงที่ความยาวคลื่น 490 นาโนเมตร
5. นำค่า OD ที่ได้มาเทียบกับกราฟมาตรฐานเพื่อหาความเข้มข้นของน้ำตาลในสารละลายตัวอย่าง หรือคำนวณได้จาก

$$\text{ความเข้มข้นของกลูโคส (กรัม/ลิตร)} = \frac{(\text{ค่า OD}) \times (\text{อัตราสารเจือจาง})}{(\text{ความชันของกราฟมาตรฐาน}) \times (1,000)}$$

3) การทำกราฟมาตรฐานน้ำตาลกลูโคส

1. เจือจางสารละลายกลูโคสให้มีระดับความเข้มข้นเท่ากับ 0, 10, 20, 40, 50 และ 80 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ดูดสารละลายที่เจือจางแล้ว 1 มิลลิลิตร ใส่งในหลอดทดลอง เติมสารละลายฟีนอล 5% 1 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน
2. เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 5 มิลลิลิตร ลงไปอย่างรวดเร็ว โดยปล่อยกรดลงไปผิวหน้าของของเหลวโดยตรงจะทำให้การผสมเกิดขึ้นได้เร็วกว่าการค่อยๆ ปล่อยลงข้างๆ
3. ตั้งหลอดทดลองของสารผสมนี้ไว้เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นเขย่าแล้วนำมาบ่มในอ่างน้ำที่ควบคุมอุณหภูมิ 25-30 °C เป็นเวลาประมาณ 10-20 นาที
4. นำไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 490 นาโนเมตร
5. นำค่า OD ที่ได้มาเขียนกราฟมาตรฐาน

ก-8 วิธีวิเคราะห์ด้วยเครื่องวัดความขุ่นแบบเนฟฟีโลมิเตอร์ (APHA, AWWA and WEF. 2012)

1) หลักการของวิธีเนฟฟีโลเมตริก

วัดความขุ่นโดยเปรียบเทียบความเข้มข้นของแสงที่กระจัดกระจายของตัวอย่างกับสารมาตรฐานภายใต้สภาวะเดียวกัน ความเข้มข้นของแสงที่กระจัดกระจายมากก็จะมีค่าความขุ่นมาก สารละลายความขุ่นมาตรฐานที่ใช้คือ ฟอร์มาซิน โพลีเมอร์ (Formazin Polymer) ประกอบด้วยสารละลาย 2 อย่างคือ สารละลายไฮดราซีนซัลเฟต (Hydrazine Sulfate) กับสารละลายเฮกซะเมทิลีนเตตระมิน (Hexamethylenetetramine)

2) สิ่งรบกวนการวิเคราะห์

สิ่งรบกวนการวิเคราะห์มีดังนี้

1. สิ่งนำเปื้อนและตกตะกอนหยาบ ซึ่งตกตะกอนเร็ว
2. เครื่องแก้วที่สกปรก มีรอยขีดข่วน
3. ฟองอากาศ
4. การสั่นสะเทือนที่ไปรบกวนผิวน้ำ
5. ตัวอย่างน้ำที่มีสีซึ่งเป็นสิ่งจริง ที่เกิดจากสารซึ่งละลายน้ำ ดูดซึมแสงทำให้ค่าความขุ่นที่

วัดต่ำไป

3) การเก็บและรักษาตัวอย่าง

ในการเก็บตัวอย่างน้ำควรจะรีบวัดความขุ่นเลย แต่ถ้าไม่สามารถทำได้ให้เก็บไว้ในที่มืดและไม่ควรเกิน 24 ชั่วโมง และก่อนวัดความขุ่นต้องเขย่าให้ตัวอย่างเข้ากันอย่างดีก่อน

4) เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องวัดความขุ่นแบบเนฟฟีโลมิเตอร์

เครื่องวัดต้องสามารถวัดค่าความแตกต่างของความขุ่นได้ 0.02 NTU หรือน้อยกว่าในกรณีที่มีความขุ่นมีค่าน้อยกว่า 1 เอ็นทียู ตัวอย่างของเครื่องวัดประเภทนี้ได้แก่ เครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ HACH

2. หลอดวัดตัวอย่างน้ำ (Sample Tubes)

หลอดวัดตัวอย่างน้ำต้องเป็นแก้วใสไม่มีสี ต้องดูแลให้สะอาดอยู่เสมอทั้งด้านนอกด้านในอย่าให้มีรอยขีดข่วน

5) สารเคมี

1. น้ำกลั่นที่ใสไม่มีความขุ่น

นำน้ำกลั่นกรองผ่านแผ่นกรองเมมเบรนขนาด 0.2 ไมครอน ใช้น้ำนี้เพื่อเตรียมสารละลายความขุ่นมาตรฐานและการเจือจางตัวอย่าง

2. สารละลายสต็อกความขุ่นมาตรฐาน 4,000 NTU

2.1 ละลาย Hydrazine Sulfate ($N_2H_4H_2SO_4$) 2.50 กรัมในน้ำกลั่น 200 มล.

2.2 ละลาย Hexamethylenetetramine 25.00 กรัมในน้ำกลั่น 100 มล.

2.3 นำสารละลายข้อ 2.1 และ 2.2 มาผสมกันและเติมน้ำกลั่นจนได้ 500 มล. นำเข้าสู่ควบคุมอุณหภูมิที่ $20-22^{\circ}C$ เป็นเวลา 48 ชม. (สามารถเก็บได้ 6-12 เดือน)

3. สามารถเตรียมสารละลายมาตรฐานความขุ่นต่างๆได้โดยนำสารละลายสต็อกความขุ่น 4,000 NTU มาเจือจางดังนี้

ความขุ่น (NTU)	ปริมาตรของสารละลายสต็อกที่เจือจางให้เป็น 100 มล.
1,000	25
500	12.5
100	2.5
50	1.25
10	2.5
5	1.25
1	0.25

6) วิธีวิเคราะห์

1. เปิดเครื่องวัดความขุ่นและเตรียมเครื่องตามคู่มือการใช้ และวัดความขุ่นของน้ำตัวอย่างตามวิธีของเครื่องนั้นๆ
2. น้ำตัวอย่างต้องเขย่าให้เข้ากันดีก่อนเทใส่หลอดวัดตัวอย่างเพื่อนำไปวัดความขุ่น
3. เครื่องวัดความขุ่นบางรุ่นจะมีสารละลายมาตรฐานความขุ่นมาให้แล้วต้องมีการตรวจเช็คว่าคุณภาพหรือไม่โดยเทียบกับสารละลายมาตรฐานความขุ่นที่เตรียมขึ้น
4. ถ้าตัวอย่างน้ำมีความขุ่นเกินที่เครื่องจะวัดได้ให้เจือจางตัวอย่างน้ำลงก่อน

7) ข้อเสนอแนะและข้อควรระวัง

หลอดวัดตัวอย่าง ต้องระวังอย่าให้มีรอยขีดข่วน เมื่อใช้เสร็จแล้วให้ล้างด้วยน้ำประปา ก่อน แล้วนำมาเช็ดครดโครมิกเพื่อแก้วจะได้ใส ไม่เป็นฝ้า เมื่อนำมาใช้ให้ล้างด้วยน้ำประปาและฉีดล้างด้วยน้ำกลั่น

ก-9 วิธีตรวจนับจำนวนเชื้อแบคทีเรียทั้งหมดโดยวิธี **Pour plate technique** (AoAC, 2000)

การวิเคราะห์ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด (Total Plate Count) ตามวิธีของ

1) อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. จานเพาะเชื้อ (Petri dish)*
2. หลอดทดลองขนาด 10 มิลลิลิตรพร้อมฝาปิด* (Test tube)
3. ปิเปต ขนาด 1 มิลลิลิตร
4. ตู้บ่มเชื้อ
5. หม้อนึ่งความดัน

หมายเหตุ : * จะต้องทำการอบฆ่าเชื้อในตู้อบลมร้อน (Hot air oven) ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

2) อาหารเลี้ยงเชื้อและสารละลายสำหรับเจือจาง

การเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ

ชั่งอาหารเลี้ยงเชื้อ Plate Count Agar (PCA) ปริมาณ 23.5 กรัม ละลาย และ ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 1000 มิลลิลิตร นำไปต้มจนอาหารเลี้ยงเชื้อละลายจนหมด จากนั้นนำไปฆ่าเชื้อในหม้อนึ่งความดันที่อุณหภูมิ 121-124 °C เป็นเวลา 15 นาที อาหารเลี้ยงเชื้อที่ได้จะมีค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 7.0 ± 0.2 ที่อุณหภูมิ 2 °C

3) วิธีการวิเคราะห์

1. ใช้ปิเปตดูดน้ำตัวอย่าง ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลองที่บรรจุน้ำกลั่น 9 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันด้วยเครื่องปั่นผสม (Vortex mixer) จะได้สารละลายตัวอย่างที่เจือจาง 1: 10 หรือ 10^{-1}
2. ใช้ปิเปตดูดสารละลายจากข้อ 1 ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลองที่บรรจุสารละลายบัฟเฟอร์เปปโตน 9 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันด้วยเครื่องปั่นผสม (Vortex mixer) จะได้สารละลายตัวอย่างที่เจือจาง 1: 100 หรือ 10^{-2} จนได้ระดับเจือจางของสารละลายตัวอย่างที่ต้องการ
3. ใช้ปิเปตดูดสารละลายตัวอย่างที่ระดับความเจือจางต่างๆ ลงในจานเพาะเชื้อ จานละ 1 มิลลิลิตร โดยในแต่ละระดับความเจือจางจะทำ 2 จาน โดยเริ่มจากระดับความเข้มข้นต่ำสุด
4. เทอาหารเลี้ยงเชื้อ PCA ที่ยังเหลืออยู่ซึ่งมีอุณหภูมิประมาณ 50-60 °C ลงในจานเพาะเชื้อที่มีสารละลายตัวอย่าง ปริมาณจานละ 15-20 มิลลิลิตร ภายใน 1-5 นาที

5. ผสมสารละลายตัวอย่างและอาหาร เลี้ยงเชื้อให้เข้ากันดี วางทิ้งไว้ให้อาหารแข็งตัว

จากนั้นคว่ำจานอาหารเลี้ยงเชื้อลง แล้วนำไปบ่มในตู้บ่มที่อุณหภูมิ $37 \pm 2^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 48 ± 3 ชั่วโมง

4) การตรวจนับโคโลนีและการรายงานผล

หลังจากบ่มจานเพาะเชื้อครบตามกำหนดเวลาแล้ว ตรวจนับจำนวนโคโลนีบนจานเพาะเชื้อที่มีจำนวนโคโลนีอยู่ระหว่าง 30-300 โคโลนี หาค่าจำนวนโคโลนีเฉลี่ยจากทั้งสองจานเพาะเชื้อ รายงานการตรวจนับในหน่วยจำนวนโคโลนีต่อตัวอย่าง 1 มิลลิลิตร (CFU/ml)

ก-10 การย้อมสีแบบ Gram stain (APHA, AWWA and WEF, 2012)

1) อุปกรณ์

1. เชื้ออายุ 18-24 ชม.
2. สีย้อม Methylene blue, safranin, crystal violet
3. น้ำยาแกรมไอโอดีน (Gram's iodine)
4. แอลกอฮอล์ 95%
5. สไลด์
6. ลวดเขี่ยเชื้อ (loop)
7. ตะเกียงแอลกอฮอล์
8. กระจกเข็ดเลนส์
9. กล้องจุลทรรศน์

2) วิธีวิเคราะห์

การเตรียมสไลด์

สไลด์ที่ใช้ย้อมสีแบบที่เรียกต้องสะอาด วิธีการทำความสะอาดโดยใช้นิ้วแตะสบู่หรือผงซักฟอกที่เปียกน้ำ ถูบริเวณผิวสไลด์ให้ทั่ว ทิ้งไว้พอหมาด ใช้ผ้านุ่มและสะอาดเช็ดคราบสบู่ออกให้หมด การตรวจว่าสไลด์สะอาดหรือไม่ โดยหยดน้ำสะอาดลงไปบนสไลด์ ถ้าสไลด์สะอาดหยดน้ำจะแผ่กระจาย

3) วิธีทดลอง

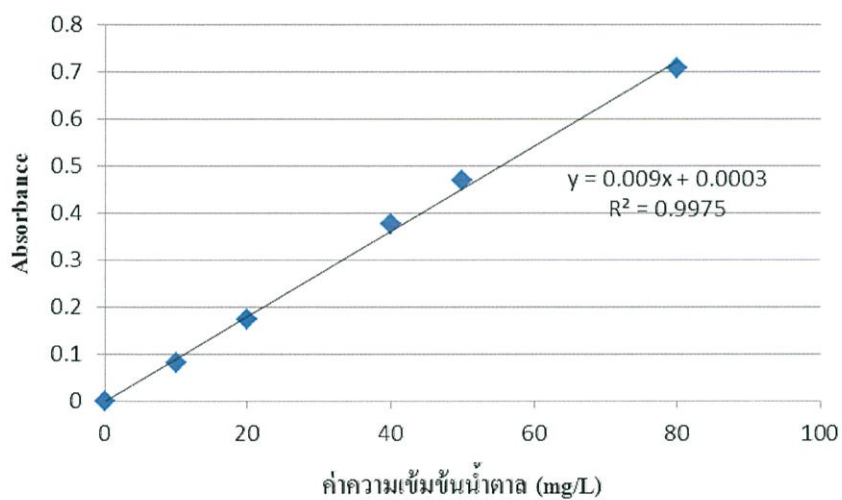
1. หยดสี methyleneblue ลงบนสไลด์ให้ท่วมรอยสเมียร์ของเชื้อ ทิ้งไว้นาน 1 นาที
2. ล้างสีออกด้วยน้ำยาแกรมไอโอดีน แล้วหยคน้ำยาแกรมไอโอดีนให้ท่วมรอยสเมียร์ และทิ้งไว้นาน 1 นาที ล้างน้ำยาไอโอดีนออกด้วยน้ำและล้างอีกครั้งด้วยแอลกอฮอล์ 95 % จนน้ำยาล้างไม่มีสีติดออกมา (ใช้เวลาไม่เกิน 20 นาที ให้ล้างออกด้วยน้ำทันที)
3. ย้อมทับ (counterstain) ด้วยสี Safranin นาน 1 นาที
4. ล้างด้วยน้ำก๊อก แล้วปล่อยให้สไลด์แห้ง หรือซับให้แห้งด้วยกระดาษซับ
5. ตรวจสอบผลโดยใช้กล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 100 เท่า ถ่ายรูปเซลล์แบคทีเรียพร้อมทั้งเปรียบเทียบความแตกต่างของสีที่ติดตัวเซลล์

ภาคผนวก ข

ผลการทดลอง

ตารางที่ ข-1 กราฟมาตรฐานของปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในน้ำหมักชีวภาพ สูตรที่ 1

ความเข้มข้น (mg/L)	Absorbance
10	0.082
20	0.173
40	0.377
50	0.469
80	0.708



รูปที่ ข-1 กราฟมาตรฐานของปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในน้ำหมักชีวภาพ สูตรที่ 1

ตารางที่ ข-2 ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในน้ำหมักชีวภาพ สูตรที่ 1

วันที่	ครั้ง	ปริมาณน้ำตาล (mg/L)			
		Abs.	น้ำตาล	\bar{X}	SD
1	1	0.588	1,300.60	1,293.22	7.76
	2	0.581	1,285.11		
	3	0.585	1,293.96		
3	1	0.247	546.34	499.15	49.96
	2	0.202	446.80		
	3	0.228	504.31		
5	1	0.132	291.97	297.87	5.10
	2	0.136	300.82		
	3	0.136	300.82		
7	1	0.179	395.93	368.65	67.32
	2	0.189	418.05		
	3	0.132	291.97		

ตารางที่ ข-3 จำนวนเชื้อจุลินทรีย์และค่าพีเอชในน้ำหมัก สูตรที่1

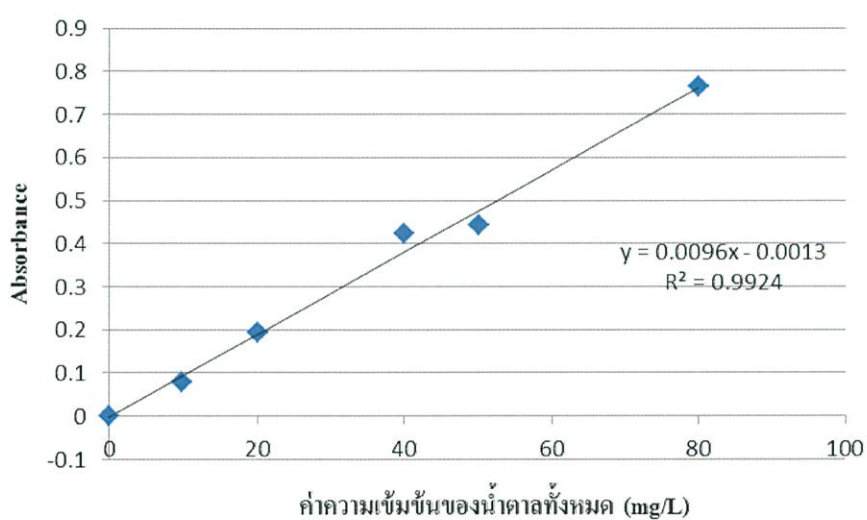
วันที่	pH	จำนวนโคโลนี (colony)		ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ (CFU/ml)
		Plate 1	Plate 2	
1	3.71	46	57	51.5×10^5
3	3.49	96	-	96×10^5
5	3.34	56	46	51×10^5
7	3.35	55	71	63×10^5

หมายเหตุ : การทดลองหาปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ใช้ระดับการเจือจาง $1: 10^5$

- คือ contaminated

ตารางที่ ข-4 กราฟมาตรฐานของปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในน้ำหมักชีวภาพ สูตรที่ 2

ความเข้มข้น (mg/L)	Absorbance
0	0
10	0.08
20	0.194
40	0.422
50	0.443
80	0.764



รูปที่ ข-2 กราฟมาตรฐานของปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในน้ำหมักชีวภาพ สูตรที่ 2

ตารางที่ ข-5 ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในน้ำหมักชีวภาพ สูตรที่ 2

ตัวอย่าง คือ น้ำจากเปลือกสับปะรด

ครั้งที่	ปริมาณน้ำตาล (mg/L)			
	Abs.	น้ำตาล	\bar{X}	SD
1	0.468	15,016.04	14,395.72	625.737
2	0.449	14,406.42		
3	0.429	13,764.71		

ตารางที่ ข-5 (ต่อ) ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในน้ำหมักชีวภาพ สูตรที่ 2

ตัวอย่าง คือ น้ำหมักชีวภาพ

วันที่	ครั้งที่	ปริมาณน้ำตาล (mg/L)			
		Abs.	น้ำตาล	\bar{X}	S.D.
0	1	0.466	996.79	1,001.07	3.70
	2	0.469	1,003.21		
	3	0.469	1,003.21		
1	1	0.341	729.41	677.36	36.30
	2	0.317	678.07		
	3	0.292	624.60		
3	1	0.077	164.71	158.29	19.01
	2	0.081	173.26		
	3	0.064	136.90		
5	1	0.641	68.56	67.13	1.70
	2	0.61	65.24		
	3	0.632	67.59		
7	1	0.768	82.14	83.10	2.24
	2	0.762	81.50		
	3	0.801	85.67		

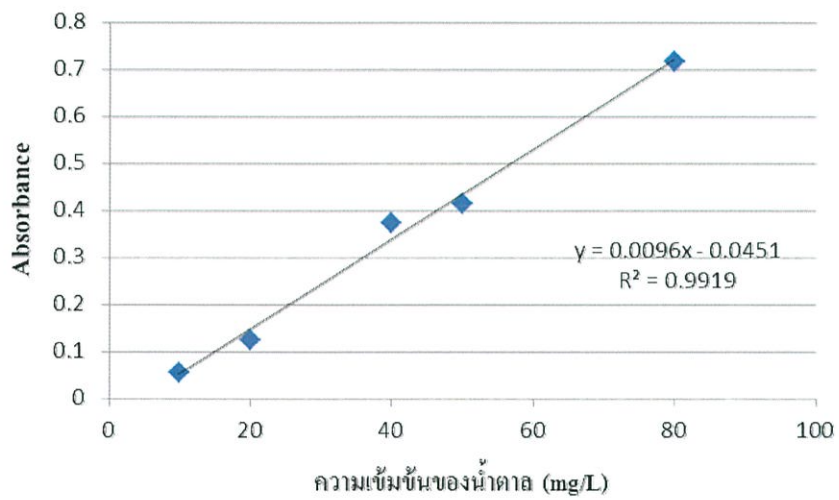
ตารางที่ ข-6 จำนวนเชื้อจุลินทรีย์ในน้ำหมักและค่าพีเอชในน้ำหมักชีวภาพ สูตรที่ 2

วันที่	pH	จำนวนโคโลนี (colony)		ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ (CFU/ml)
		Plate1	Plate2	
0	3.76	38*	33*	35.5×10^6
1	3.98	46*	45*	45.5×10^6
3	3.9	210**	212**	21.1×10^6
5	4.18	68**	87**	7.75×10^6
7	4.35	56**	52**	5.4×10^6

หมายเหตุ * ระดับการเจือจาง $1:10^6$ ** ระดับการเจือจาง $1:10^5$

ตารางที่ ข-7 กราฟมาตรฐานของปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในน้ำหมักชีวภาพ สูตรที่ 3

ความเข้มข้น (mg/L)	Absorbance
10	0.056
20	0.124
40	0.374
50	0.414
80	0.717



รูปที่ ข-3 กราฟมาตรฐานของปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในน้ำหมักชีวภาพ สูตรที่ 3

ตารางที่ ข-8 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในน้ำหมักชีวภาพ สูตรที่ 3

วันที่	ครั้ง	ปริมาณน้ำตาล (mg/L)			
		Abs.	น้ำตาล	เฉลี่ย	SD
0	1	0.596	20,476.41	18,815.85	510.17
	2	0.513	17,624.83		
	3	0.534	18,346.31		
1	1	0.483	16,594.14	15,540.54	1276.90
	2	0.411	14,120.48		
	3	0.463	15,907.01		
2	1	1.389	23,860.51	23,001.60	748.78
	2	1.309	22,486.26		
	3	1.319	22,658.04		
3	1	0.526	12,047.64	12,246.14	206.56
	2	0.544	12,459.92		
	3	0.534	12,230.87		
4	1	0.690	15,803.94	13,796.00	1849.49
	2	0.586	13,421.90		
	3	0.531	12,162.16		
5	1	0.445	7,644.30	8,549.02	998.16
	2	0.560	9,619.79		
	3	0.488	8,382.96		
6	1	0.730	8,360.05	8,085.20	286.99
	2	0.708	8,108.11		
	3	0.680	7,787.45		
7	1	0.773	8,852.50	8,482.21	418.64
	2	0.701	8,027.94		
	3	0.748	8,566.19		

ตารางที่ ข-9 จำนวนเชื้อจุลินทรีย์และค่าพีเอชในน้ำหมักชีวภาพ สูตรที่ 3

วันที่	พีเอช	จำนวนโคโลนี (colony)		ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ (CFU/ml)
		Plate1	Plate2	
0	5.71	0	0	0
1	4.93	253	269	2.61×10^5
2	4.37	44	46	4.5×10^5
3	3.98	60	62	6.1×10^5
4	3.70	168	168	1.68×10^5
5	3.51	104	180	1.42×10^5
6	3.44	115	95	1.05×10^5
7	3.42	75	89	0.82×10^5

หมายเหตุ ระดับการเจือจาง $1:10^5$

ตารางที่ ข-10 ค่า OD₆₀₀ (Optical Density) ของน้ำหมักชีวภาพ สูตรที่ 3

วันที่	OD ₆₀₀			\bar{X}	SD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
0	0.028	0.029	0.024	0.027	0.006
1	0.031	0.031	0.031	0.031	0.002
2	0.043	0.052	0.059	0.051	0.016
3	0.080	0.081	0.078	0.079	0.002
4	0.111	0.110	0.108	0.109	0.005
5	0.122	0.125	0.129	0.125	0.006
6	0.148	0.156	0.148	0.148	0.002
7	0.182	0.185	0.185	0.184	0.002

ตารางที่ ข-11-1 การเปลี่ยนแปลงค่าซีโอดีที่ละลายน้ำได้ (sCOD) ของน้ำเสียสังเคราะห์ชุดที่ 1

วันที่	ค่าซีโอดี (mg/l)				
	ชุดควบคุม	0.50%	1%	3%	5%
1	51.2	142.88	248.16	807.84	1283.04
3	231.264	33.264	80.784	174.24	491.04
5	16	24	48	160	432
7	36.8	59.2	70.4	384	431

ตารางที่ ข-11-2 การเปลี่ยนแปลงค่าความขุ่นของน้ำเสียสังเคราะห์ชุดที่ 1

วันที่	ค่าความขุ่น (NTU)				
	ชุดควบคุม	0.50%	1%	3%	5%
1	4.55	20.86	31.03	75.46	83.13
3	1.87	24.6	37.5	55.3	183.33
5	2	7.44	15.4	35.25	91.1
7	1.57	4.33	5.33	32.5	220

ตารางที่ ข-11-3 การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอช (pH) ของน้ำเสียสังเคราะห์ชุดที่ 1

วันที่	ค่าพีเอช				
	ชุดควบคุม	0.50%	1%	3%	5%
1	7.96	7.39	6.83	5.54	4.45
3	7.75	7.54	7.46	6.16	5.21
5	8.53	8.12	7.97	7.11	6.22
7	8.68	8.4	8.41	7.69	6.91

ตารางที่ ข-11-4 ค่าอุณหภูมิของน้ำเสียสังเคราะห์ชุดที่ 1

วันที่	ค่าอุณหภูมิ (°C)				
	ชุดควบคุม	0.50%	1%	3%	5%
1	29.7	29.8	29.7	30.1	29.9
3	31.8	32.1	32.1	32.2	32.2
5	29.1	29.1	29.1	29	29
7	29	28.7	28.8	28.8	28.9

ตารางที่ ข-12-1 การเปลี่ยนแปลงค่าซีโอดีที่ละลายน้ำ (sCOD) และซีโอดี (COD) ของน้ำเสียสังเคราะห์ชุดที่ 2 โดยใช้น้ำหมักชีวภาพจากเปลือกสับปะรดสูตรที่ 2

วันที่	วันที่	sCOD (mg/L)				COD (mg/L)			
		ชุดควบคุม	0.50%	1%	3%	ชุดควบคุม	0.50%	1%	3%
1	6/9/2556	103.17	114.26	103.17	103.17	904.11	682.24	765.44	585.17
3	8/9/2556	102.61	80.43	30.51	61.01	485.33	471.47	568.53	586.53
5	10/9/2556	90.13	90.13	95.47	74.13	477.33	450.67	504	370.67
7	12/9/2556	85.37	84.23	80.84	76.32	302.45	291.15	407.04	251.57
9	14/9/2556	84.80	115.33	99.5	183.17	281.54	289.45	269.1	248.75
11	16/9/2556	102.33	79.15	80.84	75.19	261.18	232.92	214.83	204.65
14	19/9/2556	205.09	186.59	168.59	147.15	69.9	71.26	68	71.81

ตารางที่ ข-12-2 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ ชุดที่ 2 โดยใช้น้ำหมักชีวภาพจากเปลือกสับประคตสูตรที่ 2

วันที่	วันที่	ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)			
		ชุดควบคุม	0.50%	1%	3%
1	6/9/2556	7.75	7.59	7.53	7.41
3	8/9/2556	7.61	7.54	7.55	7.50
5	10/9/2556	8.10	8.07	8.00	7.95
7	12/9/2556	7.93	8.04	8.10	8.14
9	14/9/2556	8.14	8.22	8.18	8.18
11	16/9/2556	8.43	8.34	8.29	8.30
14	19/9/2556	8.54	8.49	8.43	8.46

ตารางที่ ข-12-3 การเปลี่ยนแปลงค่าการนำไฟฟ้า (EC) ในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ ชุดที่ 2 โดยใช้น้ำหมักชีวภาพจากเปลือกสับประคตสูตรที่ 2

วันที่	วันที่	การนำไฟฟ้า ($\mu S/cm$)			
		ชุดควบคุม	0.5%	1%	3%
1	6/9/2556	1569	1591	1585	1552
3	8/9/2556	1523	1583	1572	1546
5	10/9/2556	1545	1554	1568	1520
7	12/9/2556	1523	1543	1544	1496
9	14/9/2556	1493	1522	1529	1474
11	16/9/2556	1475.00	1517	1508	1493
14	19/9/2556	1453	1497	1487	1463

ตารางที่ ข-12-4 การเปลี่ยนแปลงค่าออกซิเจนละลาย (DO) ในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ ชุดที่ 2 โดยใช้น้ำหมักชีวภาพจากเปลือกสับประรดสูตรที่ 2

วันที่	วันที่	ออกซิเจนละลายน้ำ (mg/L)			
		ชุดควบคุม	0.5%	1%	3%
1	6/9/2556	3.12	1.78	1.97	2.38
3	8/9/2556	4.46	4.36	3.54	4.04
5	10/9/2556	4.04	4.26	2.35	2.37
7	12/9/2556	1.73	1.65	1.53	1.56
9	14/9/2556	3.84	3.61	7.53	7.56
11	16/9/2556	3.65	5.21	4.62	4.45
14	19/9/2556	3.79	5.56	4.86	5.00

ตารางที่ ข-12-5 การเปลี่ยนแปลงค่าความขุ่นในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ ชุดที่ 2 โดยใช้น้ำหมักชีวภาพจากเปลือกสับประรดสูตรที่ 2

วันที่	วันที่	ความขุ่น (NTU)			
		ชุดควบคุม	0.5%	1%	3%
1	6/9/2556	605.3	643	806.3	692
3	8/9/2556	283.6	306	360.6	354
5	10/9/2556	242	236	210	202
7	12/9/2556	200	193	185	198
9	14/9/2556	186	169	153	155
11	16/9/2556	145	134	100	97
14	19/9/2556	79.6	66.07	49.37	40.73

ตารางที่ ข-12-6 การเปลี่ยนแปลงค่าอุณหภูมิในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ ชุดที่ 2 โดยใช้น้ำหมักชีวภาพจากเปลือกส้มประดู่สุตรที่ 2

วันที่	วันที่	อุณหภูมิ			
		ชุดควบคุม	0.5%	1%	3%
1	6/9/2556	31.63	31.70	31.63	31.63
3	8/9/2556	30.90	30.80	30.70	30.70
5	10/9/2556	29.30	30.60	31.40	31.80
7	12/9/2556	29.57	29.67	29.67	29.87
9	14/9/2556	27.80	27.60	28.40	28.70
11	16/9/2556	29.10	28.50	28.80	29.20
14	19/9/2556	29.00	28.70	28.50	29.10

ตารางที่ ข-13-1 การเปลี่ยนแปลงค่าซีโอดี ในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ ชุดที่ 3 โดยใช้น้ำหมักชีวภาพสุตรที่ 3

วันที่	เวลา	ค่าซีโอดี (mg/L)			
		ชุดควบคุม	0.5%	1%	3%
0	11.30 น.	288	523.2	456	763.2
	17.30 น.	273.6	305.76	321.6	561
	23.30 น.	321.6	324	448.32	633.6
	5.30 น.	307.2	355.2	345.6	508.8
1	11.30 น.	216	312	398.4	624
	17.30 น.	320	392	417.6	595.2
	23.30 น.	270.4	328	382.4	678.4
	5.30 น.	334.4	424	419.2	686
2	11.30 น.	257.6	318.4	365.6	606.4
	17.30 น.	278.4	686.4	382.4	619.73
	23.30 น.	264	321.6	356.8	675.2
	5.30 น.	230.4	595.2	387.2	531.2

ตารางที่ ข-13-1(ต่อ) การเปลี่ยนแปลงค่าซีโอดี (COD) ในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ ชุดที่ 3 โดยใช้หมักชีวภาพสูตรที่ 3

วันที่	เวลา	ค่าซีโอดี (mg/L)			
		ชุดควบคุม	0.5%	1%	3%
3	11.30 น.	264.96	304.96	359.89	635.52
5	11.30 น.	191.4336	255.68	301.26	575.44
7	11.30 น.	138.72	194.208	207.26	411.264

ตารางที่ ข-13-2 การเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ ชุดที่ 3 โดยใช้หมักชีวภาพสูตรที่ 3

วันที่	เวลา	ค่าความเป็นกรด-ด่าง			
		ชุดควบคุม	0.5%	1%	3%
0	11.30 น.	7.10	6.8	6.78	6.75
	17.30 น.	6.84	6.75	6.63	6.14
	23.30 น.	6.84	6.74	6.59	6.20
	5.30 น.	6.75	6.61	6.21	6.21
1	11.30 น.	7.00	6.80	6.63	6.24
	17.30 น.	7.10	6.76	6.84	6.34
	23.30 น.	7.35	7.14	6.91	6.42
	5.30 น.	7.39	7.26	7.05	6.48
2	11.30 น.	7.38	6.98	6.96	6.43
	17.30 น.	7.41	7.19	7.02	6.47
	23.30 น.	7.46	7.20	7.04	6.50
	5.30 น.	7.44	7.22	7.06	6.55
3	11.30 น.	7.48	7.28	7.11	6.61
5	11.30 น.	7.54	7.39	7.38	6.97
7	11.30 น.	7.47	7.39	7.38	6.92

ตารางที่ ข-13-3 การเปลี่ยนแปลงค่าการนำไฟฟ้า (EC) ในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ ชุดที่ 3 โดยใช้ น้ำหมักชีวภาพสูตรที่ 3

วันที่	เวลา	ค่าการนำไฟฟ้า ($\mu S/cm$)			
		ชุดควบคุม	0.5%	1%	3%
0	11.30 น.	735.67	732.3	733.33	715.66
	17.30 น.	742	739	734	711
	23.30 น.	745	745	739	714
	5.30 น.	745	737	714	711
1	11.30 น.	758	750	741	711
	17.30 น.	796	787	784	710
	23.30 น.	825	812	795	712
	5.30 น.	830	824	813	721
2	11.30 น.	829	823	815	737
	17.30 น.	836	819	818	740
	23.30 น.	839	829	820	746
	5.30 น.	833	821	812	743
3	11.30 น.	827	820	810	757
5	11.30 น.	836	820	819	764
7	11.30 น.	840	820	815	764

ตารางที่ ข-13-4 การเปลี่ยนแปลงค่าออกซิเจนละลายน้ำ (DO) ในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์
ชุดที่ 3 โดยใช้น้ำหมักชีวภาพสูตรที่ 3

วันที่	เวลา	ค่าออกซิเจนละลายน้ำ (mg/L)			
		ชุดควบคุม	0.5%	1%	3%
0	11.30 น.	0.58	0.74	1.42	1.86
	17.30 น.	2.25	2.69	2.71	3.12
	23.30 น.	2.53	2.37	2.203	1.86
	5.30 น.	1.44	2.156	2.066	1.89
1	11.30 น.	1.37	1.83	2.00	2.2
	17.30 น.	1.46	1.9	2.14	2.27
	23.30 น.	1.56	1.96	2.21	2.33
	5.30 น.	1.31	1.22	1.06	0.81
2	11.30 น.	0.98	1.28	1.58	1.87
	17.30 น.	0.72	0.88	1.0	1.14
	23.30 น.	1.59	1.52	1.46	1.48
	5.30 น.	1.78	1.73	1.64	1.67
3	11.30 น.	2.18	2.32	2.48	2.67
5	11.30 น.	0.83	0.89	1.08	1.14
7	11.30 น.	0.9	0.97	1.05	1.23

ตารางที่ ข-13-5 การเปลี่ยนแปลงค่าความขุ่น (Turbidity) ในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ ชุดที่ 3
โดยใช้น้ำหมักชีวภาพสูตรที่ 3

วันที่	เวลา	ความขุ่น (NTU)			
		ชุดควบคุม	0.5%	1%	3%
0	11.30 น.	54	55.3	93	105
	17.30 น.	67	71.3	73	90.3
	23.30 น.	66	76.3	87.3	145.3
	5.30 น.	75	76.3	93	112.3
1	11.30 น.	109	84	91	145
	17.30 น.	78	92	112	145
	23.30 น.	94.3	98	115.7	142
	5.30 น.	67	62	101	153
2	11.30 น.	45	56	95	156
	17.30 น.	39	44.3	64.3	134
	23.30 น.	37.54	43	56.2	125
	5.30 น.	32.2	35.1	52.4	112
3	11.30 น.	25.4	32.1	45.2	93.2
5	11.30 น.	21.83	29.1	42.4	83.8
7	11.30 น.	16.26	24.93	25.86	65.76

ตารางที่ ข-13-6 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ ชุดที่ 3 โดยใช้หมักชีวภาพสูตรที่ 3

วันที่	เวลา	อุณหภูมิ (°C)			
		ชุดควบคุม	0.5%	1%	3%
0	11.30 น.	27.43	27.33	27.26	27.1
	17.30 น.	27.1	27	27.1	27.2
	23.30 น.	26.53	26.4	26.4	26.36
	5.30 น.	26.2	26.2	26.3	26.3
1	11.30 น.	26.5	26.3	26.3	26.2
	17.30 น.	26.6	26.7	26.7	26.6
	23.30 น.	26.7	26.7	26.6	26.7
	5.30 น.	26.7	26.7	26.7	26.8
2	11.30 น.	27.3	27.4	27.3	27.4
	17.30 น.	27.1	27.2	27.2	27.2
	23.30 น.	27.7	27.5	27.6	27.7
	5.30 น.	26.77	26.63	26.73	26.86
3	11.30 น.	27.9	27.8	27.8	27.9
5	11.30 น.	28.5	28.7	28.5	28.7
7	11.30 น.	28.5	28.7	28.5	28.7

ภาคผนวก ค

การวิเคราะห์ทางสถิติ

ตารางที่ ก-1 ค่าซีโอดีที่ละลายน้ำได้ในน้ำเสียสังเคราะห์ชุดที่ 1

วันที่	ค่าซีโอดีที่ละลายน้ำได้ (mg/l)				
	ชุดควบคุม	0.5%	1%	3%	5%
1	51.2	142.88	248.16	807.84	1283.04
3	231.264	33.264	80.784	174.24	491.04
5	16	24	48	160	432
7	36.8	59.2	70.4	384	431

H_0 : น้ำหมักชีวภาพที่ให้ค่าซีโอดีที่ละลายน้ำไม่แตกต่างกัน

H_1 : น้ำหมักชีวภาพที่ให้ค่าซีโอดีที่ละลายน้ำแตกต่างกัน

ตารางที่ ก-2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าซีโอดีที่ละลายน้ำได้ในน้ำเสียสังเคราะห์ชุดที่ 1

ANOVA					
sCOD	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1061062.705	4	265265.676	4.634	.012
Within Groups	858681.861	15	57245.457		
Total	1919744.566	19			

การวิเคราะห์โดยโปรแกรม SPSS พบว่าค่า Sig. เท่ากับ .012 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 จึงปฏิเสธ H_0 สรุปว่า น้ำหมักชีวภาพที่ใช้อย่างน้อย 2 ชุด ให้ค่าซีโอดีที่ละลายน้ำได้ในน้ำเสียสังเคราะห์ชุดที่ 1 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และเมื่อวิเคราะห์ต่อด้วยวิธี Tukey พบว่า ชุดน้ำหมักชีวภาพ 0.5%, 1% และชุดควบคุม เป็นชุดการทดลองที่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ดังตารางที่ ก-2-1

ตารางที่ ค-2-1 เปรียบเทียบการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าซีโอดีที่ละลายน้ำได้ในน้ำเสีย

สังเคราะห์ชุดที่ 1

Multiple Comparisons

Dependent Variable: sCOD

Tukey HSD

(I) dilluted	(J) dilluted	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
control	0.5%	18.98000	169.18253	1.000	-503.4429	541.4029
	1%	-28.02000	169.18253	1.000	-550.4429	494.4029
	3%	-297.70400	169.18253	.430	-820.1269	224.7189
	5%	-575.45400*	169.18253	.028	-1097.8769	-53.0311
0.5%	control	-18.98000	169.18253	1.000	-541.4029	503.4429
	1%	-47.00000	169.18253	.999	-569.4229	475.4229
	3%	-316.68400	169.18253	.372	-839.1069	205.7389
	5%	-594.43400*	169.18253	.022	-1116.8569	-72.0111
1%	control	28.02000	169.18253	1.000	-494.4029	550.4429
	0.5%	47.00000	169.18253	.999	-475.4229	569.4229
	3%	-269.68400	169.18253	.523	-792.1069	252.7389
	5%	-547.43400*	169.18253	.038	-1069.8569	-25.0111
3%	control	297.70400	169.18253	.430	-224.7189	820.1269
	0.5%	316.68400	169.18253	.372	-205.7389	839.1069
	1%	269.68400	169.18253	.523	-252.7389	792.1069
	5%	-277.75000	169.18253	.495	-800.1729	244.6729
5%	control	575.45400*	169.18253	.028	53.0311	1097.8769
	0.5%	594.43400*	169.18253	.022	72.0111	1116.8569
	1%	547.43400*	169.18253	.038	25.0111	1069.8569
	3%	277.75000	169.18253	.495	-244.6729	800.1729

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

ตารางที่ ค-3 ค่าความขุ่นในน้ำเสียดังเคราะห์ชุดที่ 1

วันที่	ค่าความขุ่น (NTU)				
	ชุดควบคุม	0.50%	1%	3%	5%
1	4.55	20.86	31.03	75.46	83.13
3	1.87	24.6	37.5	55.3	183.33
5	2	7.44	15.4	35.25	91.1
7	1.57	4.33	5.33	32.5	220

H_0 : น้ำหมักชีวภาพที่ให้ค่าความขุ่นไม่แตกต่างกัน

H_1 : น้ำหมักชีวภาพที่ให้ค่าความขุ่นแตกต่างกัน

ตารางที่ ค-4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความขุ่น (NTU) ในน้ำเสียดังเคราะห์ชุดที่ 1

NTU	ANOVA				
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	52598.573	4	13149.643	12.351	.000
Within Groups	15969.508	15	1064.634		
Total	68568.081	19			

การวิเคราะห์โดยโปรแกรม SPSS พบว่าค่า Sig. เท่ากับ .000 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 จึงปฏิเสธ H_0 สรุปว่า น้ำหมักชีวภาพที่ใช้อย่างน้อย 2 ชุด ให้ค่าความขุ่นในน้ำเสียดังเคราะห์ชุดที่ 1 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และเมื่อวิเคราะห์ต่อด้วยวิธี Turkey พบว่าชุดน้ำหมักชีวภาพ 5% เป็นชุดการทดลองที่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ดังตารางที่ ค-4-1

ตารางที่ ค-4-1 เปรียบเทียบการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความขุ่น (NTU) ในน้ำเสีย

ตั้งเคราะห์ชุดที่ 1

Multiple Comparisons

Dependent Variable: NTU

Tukey HSD

(I) diluted	(J) diluted	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
control	0.5%	-11.81000	23.07199	.985	-83.0546	59.4346
	1%	-19.81750	23.07199	.907	-91.0621	51.4271
	3%	-47.13000	23.07199	.294	-118.3746	24.1146
	5%	-141.89250*	23.07199	.000	-213.1371	-70.6479
0.5%	control	11.81000	23.07199	.985	-59.4346	83.0546
	1%	-8.00750	23.07199	.997	-79.2521	63.2371
	3%	-35.32000	23.07199	.560	-106.5646	35.9246
	5%	-130.08250*	23.07199	.000	-201.3271	-58.8379
1%	control	19.81750	23.07199	.907	-51.4271	91.0621
	0.5%	8.00750	23.07199	.997	-63.2371	79.2521
	3%	-27.31250	23.07199	.760	-98.5571	43.9321
	5%	-122.07500*	23.07199	.001	-193.3196	-50.8304
3%	control	47.13000	23.07199	.294	-24.1146	118.3746
	0.5%	35.32000	23.07199	.560	-35.9246	106.5646
	1%	27.31250	23.07199	.760	-43.9321	98.5571
	5%	-94.76250*	23.07199	.007	-166.0071	-23.5179
5%	control	141.89250*	23.07199	.000	70.6479	213.1371
	0.5%	130.08250*	23.07199	.000	58.8379	201.3271
	1%	122.07500*	23.07199	.001	50.8304	193.3196
	3%	94.76250*	23.07199	.007	23.5179	166.0071

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

ตารางที่ ค-5 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในน้ำเสี้ยวสังเคราะห์ชุดที่ 1

วันที่	ค่าพีเอช				
	ชุดควบคุม	0.50%	1%	3%	5%
1	7.96	7.39	6.83	5.54	4.45
3	7.75	7.54	7.46	6.16	5.21
5	8.53	8.12	7.97	7.11	6.22
7	8.68	8.4	8.41	7.69	6.91

H_0 : น้ำหมักชีวภาพที่ให้ค่าความเป็นกรด-ด่างไม่แตกต่างกัน

H_1 : น้ำหมักชีวภาพที่ให้ค่าความเป็นกรด-ด่างแตกต่างกัน

ตารางที่ ค-6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในน้ำเสี้ยวสังเคราะห์ชุดที่ 1

ANOVA					
pH	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	17.221	4	4.305	7.203	.002
Within Groups	8.966	15	.598		
Total	26.186	19			

การวิเคราะห์โดยโปรแกรม SPSS พบว่าค่า Sig. เท่ากับ .002 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 จึงปฏิเสธ H_0 สรุปว่า น้ำหมักชีวภาพที่ใช้อย่างน้อย 2 ชุด ให้ค่าความเป็นกรด-ด่างในน้ำเสี้ยวสังเคราะห์ชุดที่ 1 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และทำการวิเคราะห์ต่อด้วยวิธี Turkey พบว่า ชุดน้ำหมักชีวภาพ 0.5%, 1% และชุดควบคุม เป็นชุดการทดลองที่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับชุดน้ำหมักชีวภาพ 5% ดังตารางที่ ค-4-1

ตารางที่ ค-6-1 เปรียบเทียบการวิเคราะห์หาค่าความแปรปรวนของค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในน้ำเสี้ยว
ตั้งเคราะห์ชุดที่ 1

Multiple Comparisons

Dependent Variable: pH

Tukey HSD

(I) dilluted	(J) dilluted	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
control	0.5%	.36750	.54667	.959	-1.3206	2.0556
	1%	.56250	.54667	.838	-1.1256	2.2506
	3%	1.60500	.54667	.066	-.0831	3.2931
	5%	2.53250*	.54667	.003	.8444	4.2206
0.5%	control	-.36750	.54667	.959	-2.0556	1.3206
	1%	.19500	.54667	.996	-1.4931	1.8831
	3%	1.23750	.54667	.210	-.4506	2.9256
	5%	2.16500*	.54667	.009	.4769	3.8531
1%	control	-.56250	.54667	.838	-2.2506	1.1256
	0.5%	-.19500	.54667	.996	-1.8831	1.4931
	3%	1.04250	.54667	.355	-.6456	2.7306
	5%	1.97000*	.54667	.019	.2819	3.6581
3%	control	-1.60500	.54667	.066	-3.2931	.0831
	0.5%	-1.23750	.54667	.210	-2.9256	.4506
	1%	-1.04250	.54667	.355	-2.7306	.6456
	5%	.92750	.54667	.465	-.7606	2.6156
5%	control	-2.53250*	.54667	.003	-4.2206	-.8444
	0.5%	-2.16500*	.54667	.009	-3.8531	-.4769
	1%	-1.97000*	.54667	.019	-3.6581	-.2819
	3%	-.92750	.54667	.465	-2.6156	.7606

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

ตารางที่ ค-7 ค่าอุณหภูมิในน้ำเสียสังเคราะห์ชุดที่ 1

วันที่	ค่าอุณหภูมิ (°C)				
	ชุดควบคุม	0.50%	1%	3%	5%
1	29.7	29.8	29.7	30.1	29.9
3	31.8	32.1	32.1	32.2	32.2
5	29.1	29.1	29.1	29	29
7	29	28.7	28.8	28.8	28.9

H_0 : น้ำหมักชีวภาพที่ให้ค่าอุณหภูมิไม่แตกต่างกัน

H_1 : น้ำหมักชีวภาพที่ให้ค่าอุณหภูมิแตกต่างกัน

ตารางที่ ค-8 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าอุณหภูมิในน้ำเสียสังเคราะห์ชุดที่ 1

Temp	ANOVA				
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.047	4	.012	.005	1.000
Within Groups	33.103	15	2.207		
Total	33.150	19			

การวิเคราะห์โดยโปรแกรม SPSS พบว่าค่า Sig. เท่ากับ 1.000 ซึ่งมากกว่า 0.05 จึงปฏิเสธ H_0 สรุปว่า น้ำหมักชีวภาพที่ใช้อย่างน้อย 2 ชุด ให้ค่าอุณหภูมิในน้ำเสียสังเคราะห์ชุดที่ 1 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ ค-9 ค่าซีโอดีที่ละลายน้ำ (sCOD) และซีโอดีของน้ำเสียสังเคราะห์ชุดที่ 2 โดยใช้น้ำหมักชีวภาพจากเปลือกสับปะรด

วันที่	sCOD (mg/L)				COD (mg/L)			
	ชุดควบคุม	0.50%	1%	3%	ชุดควบคุม	0.50%	1%	3%
1	103.17	114.26	103.17	103.17	904.11	682.24	765.44	585.17
3	102.61	80.43	30.51	61.01	485.33	471.47	568.53	586.53
5	90.13	90.13	95.47	74.13	477.33	450.67	504	370.67
7	85.37	84.23	80.84	76.32	302.45	291.15	407.04	251.57
9	84.80	115.33	99.5	183.17	281.54	289.45	269.1	248.75
11	102.33	79.15	80.84	75.19	261.18	232.92	214.83	204.65
14	205.09	186.59	168.59	147.15	69.9	71.26	68	71.81

H_0 : น้ำหมักชีวภาพที่ให้ค่าซีโอดีที่ละลายน้ำและซีโอดี ไม่แตกต่างกัน

H_1 : น้ำหมักชีวภาพที่ให้ค่าซีโอดีที่ละลายน้ำและซีโอดี แตกต่างกัน

ตารางที่ ค-10-1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าซีโอดีที่ละลายน้ำของน้ำเสียสังเคราะห์ชุดที่ 2 โดยใช้ น้ำหมักชีวภาพจากเปลือกสับปะรด

sCOD	ANOVA				
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1059.050	3	353.017	.202	.894
Within Groups	41943.314	24	1747.638		
Total	43002.363	27			

การวิเคราะห์โดยโปรแกรม SPSS พบว่าค่า Sig. เท่ากับ .894 ซึ่งมากกว่า 0.05 จึงปฏิเสธ H_1 สรุปว่า น้ำหมักชีวภาพที่ใช้อย่างน้อย 2 ชุด ให้ค่าซีโอดีที่ละลายน้ำของน้ำเสียสังเคราะห์ชุดที่ 2 โดยใช้ น้ำหมักชีวภาพจากเปลือกสับปะรดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ ค-10-2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าซีโอดีของน้ำเสียสังเคราะห์ชุดที่ 2 โดยใช้ น้ำหมักชีวภาพจากเปลือกสับปะรด

COD	ANOVA				
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	24744.160	3	8248.053	.164	.919
Within Groups	1205952.181	24	50248.008		
Total	1230696.341	27			

การวิเคราะห์โดยโปรแกรม SPSS พบว่าค่า Sig. เท่ากับ .919 ซึ่งมากกว่า 0.05 จึงปฏิเสธ H_1 สรุปว่า น้ำหมักชีวภาพที่ใช้อย่างน้อย 2 ชุด ให้ค่าซีโอดีของน้ำเสียสังเคราะห์ชุดที่ 2 โดยใช้ น้ำหมักชีวภาพจากเปลือกสับปะรดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ ค-11 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของน้ำเสียสังเคราะห์ชุดที่ 2 โดยใช้น้ำหมักชีวภาพจากเปลือกกล้วยประด

วันที่	ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)			
	ชุดควบคุม	0.5%	1%	3%
1	7.75	7.59	7.53	7.41
3	7.61	7.54	7.55	7.50
5	8.10	8.07	8.00	7.95
7	7.93	8.04	8.10	8.14
9	8.14	8.22	8.18	8.18
11	8.43	8.34	8.29	8.30
14	8.54	8.49	8.43	8.46

H_0 : น้ำหมักชีวภาพที่ให้ค่าความเป็นกรด-ด่างไม่แตกต่างกัน

H_1 : น้ำหมักชีวภาพที่ให้ค่าความเป็นกรด-ด่างแตกต่างกัน

ตารางที่ ค-12 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของน้ำเสียสังเคราะห์ชุดที่ 2 โดยใช้น้ำหมักชีวภาพจากเปลือกกล้วยประด

pH	ANOVA				
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.026	3	.009	.065	.978
Within Groups	3.156	24	.131		
Total	3.181	27			

การวิเคราะห์โดยโปรแกรม SPSS พบว่าค่า Sig. เท่ากับ .978 ซึ่งมากกว่า 0.05 จึงปฏิเสธ H_0 สรุปว่า น้ำหมักชีวภาพที่ใช้อย่างน้อย 2 ชุด ให้ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำเสียสังเคราะห์ชุดที่ 2 โดยใช้น้ำหมักชีวภาพจากเปลือกกล้วยประดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ ค-13 ค่าการนำไฟฟ้า (EC) ของน้ำเสียสังเคราะห์ชุดที่ 2 โดยใช้น้ำหมักชีวภาพจากเปลือกสับปะรด

วันที่	การนำไฟฟ้า ($\mu S/cm$)			
	ชุดควบคุม	0.50%	1%	3%
1	1569	1591	1585	1552
3	1523	1583	1572	1546
5	1545	1554	1568	1520
7	1523	1543	1544	1496
9	1493	1522	1529	1474
11	1475.00	1517	1508	1493
14	1453	1497	1487	1463

H_0 : น้ำหมักชีวภาพที่ให้ค่าการนำไฟฟ้าไม่แตกต่างกัน

H_1 : น้ำหมักชีวภาพที่ให้ค่าการนำไฟฟ้าแตกต่างกัน

ตารางที่ ค-14 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าการนำไฟฟ้า (EC) ของน้ำเสียสังเคราะห์ชุดที่ 2 โดยใช้น้ำหมักชีวภาพจากเปลือกสับปะรด

ANOVA					
EC	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	8169.821	3	2723.274	2.050	.134
Within Groups	31874.857	24	1328.119		
Total	40044.679	27			

การวิเคราะห์โดยโปรแกรม SPSS พบว่าค่า Sig. เท่ากับ .134 ซึ่งมากกว่า 0.05 จึงปฏิเสธ H_0 สรุปว่า น้ำหมักชีวภาพที่ใช้อย่างน้อย 2 ชุด ให้ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำเสียสังเคราะห์ชุดที่ 2 โดยใช้น้ำหมักชีวภาพจากเปลือกสับปะรดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ ค-15 ค่าออกซิเจนละลาย (DO) ของน้ำเสียสังเคราะห์ ชุดที่ 2 โดยใช้ น้ำหมักชีวภาพจากเปลือกสับปะรด

วันที่	ออกซิเจนละลายน้ำ (mg/L)			
	ชุดควบคุม	0.50%	1%	3%
1	3.12	1.78	1.97	2.38
3	4.46	4.36	3.54	4.04
5	4.04	4.26	2.35	2.37
7	1.73	1.65	1.53	1.56
9	3.84	3.61	7.53	7.56
11	3.65	5.21	4.62	4.45
14	3.79	5.56	4.86	5.00

H_0 : น้ำหมักชีวภาพที่ให้ค่าออกซิเจนละลายน้ำไม่แตกต่างกัน

H_1 : น้ำหมักชีวภาพที่ให้ค่าออกซิเจนละลายน้ำแตกต่างกัน

ตารางที่ ค-16 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าออกซิเจนละลายน้ำ (DO) ของน้ำเสียสังเคราะห์ ชุดที่ 2 โดยใช้ น้ำหมักชีวภาพจากเปลือกสับปะรด

ANOVA					
DO	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.558	3	.186	.063	.979
Within Groups	70.485	24	2.937		
Total	71.043	27			

การวิเคราะห์โดยโปรแกรม SPSS พบว่าค่า Sig. เท่ากับ .979 ซึ่งมากกว่า 0.05 จึงปฏิเสธ H_1 สรุปว่า น้ำหมักชีวภาพที่ใช้อย่างน้อย 2 ชุด ให้ค่าออกซิเจนละลายน้ำของน้ำเสียสังเคราะห์ชุดที่ 2 โดยใช้ น้ำหมักชีวภาพจากเปลือกสับปะรดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ ค-17 ค่าความขุ่น (NTU) ของน้ำเสียสังเคราะห์ ชุดที่ 2 โดยใช้น้ำหมักชีวภาพจากเปลือกสับปะรด

วันที่	ความขุ่น (NTU)			
	ชุดควบคุม	0.50%	1%	3%
1	605.3	643	806.3	692
3	283.6	306	360.6	354
5	242	236	210	202
7	200	193	185	198
9	186	169	153	155
11	145.00	134	100	97
14	79.6	66.07	49.37	40.73

H_0 : น้ำหมักชีวภาพที่ให้ค่าความขุ่นไม่แตกต่างกัน

H_1 : น้ำหมักชีวภาพที่ให้ค่าความขุ่นแตกต่างกัน

ตารางที่ ค-18 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความขุ่น (NTU) ของน้ำเสียสังเคราะห์ ชุดที่ 2 โดยใช้น้ำหมักชีวภาพจากเปลือกสับปะรด

ANOVA					
NTU	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1595.602	3	531.867	.012	.998
Within Groups	1074174.766	24	44757.282		
Total	1075770.368	27			

การวิเคราะห์โดยโปรแกรม SPSS พบว่าค่า Sig. เท่ากับ .998 ซึ่งมากกว่า 0.05 จึงปฏิเสธ H_0 สรุปว่า น้ำหมักชีวภาพที่ใช้อย่างน้อย 2 ชุด ให้ค่าความขุ่นของน้ำเสียสังเคราะห์ชุดที่ 2 โดยใช้น้ำหมักชีวภาพจากเปลือกสับปะรดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ ค-19 ค่าอุณหภูมิของน้ำเสียสังเคราะห์ ชุดที่ 2 โดยใช้น้ำหมักชีวภาพจากเปลือกสับปะรด

วันที่	ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)			
	ชุดควบคุม	0.50%	1%	3%
1	31.63	31.70	31.63	31.63
3	30.90	30.80	30.70	30.70
5	29.30	30.60	31.40	31.80
7	29.57	29.67	29.67	29.87
9	27.80	27.60	28.40	28.70
11	29.10	28.50	28.80	29.20
14	29.00	28.70	28.50	29.10

H_0 : น้ำหมักชีวภาพที่ให้ค่าอุณหภูมิไม่แตกต่างกัน

H_1 : น้ำหมักชีวภาพที่ให้ค่าอุณหภูมิแตกต่างกัน

ตารางที่ ค-20 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าอุณหภูมิของน้ำเสียสังเคราะห์ ชุดที่ 2 โดยใช้
น้ำหมักชีวภาพจากเปลือกสับปะรด

Temp	ANOVA				
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1.257	3	.419	.232	.873
Within Groups	43.362	24	1.807		
Total	44.618	27			

การวิเคราะห์โดยโปรแกรม SPSS พบว่าค่า Sig. เท่ากับ .873 ซึ่งมากกว่า 0.05 จึงปฏิเสธ H_0 สรุปว่า น้ำหมักชีวภาพที่ใช้อย่างน้อย 2 ชุด ให้ค่าอุณหภูมิของน้ำเสียสังเคราะห์ชุดที่ 1 โดยใช้
น้ำหมักชีวภาพจากเปลือกสับปะรดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ ก-21 ค่าซีโอดี ของน้ำเสียสังเคราะห์ชุดที่ 3 โดยใช้น้ำหมักชีวภาพสูตรที่ 3

วันที่	เวลา	ค่าซีโอดี (mg/L)			
		ชุดควบคุม	0.5%	1%	3%
0	11.30 น.	288	523.2	456	763.2
	17.30 น.	273.6	305.76	321.6	561
	23.30 น.	321.6	324	448.32	633.6
	5.30 น.	307.2	355.2	345.6	508.8
1	11.30 น.	216	312	398.4	624
	17.30 น.	320	392	417.6	595.2
	23.30 น.	270.4	328	382.4	678.4
	5.30 น.	334.4	424	419.2	686
2	11.30 น.	257.6	318.4	365.6	606.4
	17.30 น.	278.4	686.4	382.4	619.73
	23.30 น.	264	321.6	356.8	675.2
	5.30 น.	230.4	595.2	387.2	531.2
3	11.30 น.	264.96	304.96	359.89	635.52
5	11.30 น.	191.4336	255.68	301.26	575.44
7	11.30 น.	138.72	194.208	207.26	411.264

H_0 : น้ำหมักชีวภาพที่ให้ค่าซีโอดีไม่แตกต่างกัน

H_1 : น้ำหมักชีวภาพที่ให้ค่าซีโอดีแตกต่างกัน

ตารางที่ ก-22 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าซีโอดีในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ชุดที่ 3 โดยใช้
น้ำหมักชีวภาพสูตรที่ 3

ANOVA					
COD	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	948851.364	3	316283.788	42.396	.000
Within Groups	417772.442	56	7460.222		
Total	1366623.806	59			

การวิเคราะห์โดยโปรแกรม SPSS พบว่าค่า Sig. เท่ากับ .000 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 จึงปฏิเสธ H_0 สรุปว่า น้ำหมักชีวภาพที่ใช้อย่างน้อย 2 ชุด ให้ค่าซีโอดีของน้ำเสียสังเคราะห์ชุดที่ 3 โดยใช้ น้ำหมักชีวภาพจากน้ำคาลทรายแดงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ ก-22-1 เปรียบเทียบการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าซีโอดีในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ชุดที่ 3 โดยใช้ น้ำหมักชีวภาพสูตรที่ 3

Multiple Comparisons

Dependent Variable: COD

Tukey HSD

(I) ratio	(J) ratio	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
Control	0.5%	-103.76896 [*]	31.53881	.009	-187.2802	-20.2578
	1%	-102.45443 [*]	31.53881	.010	-185.9656	-18.9432
	3%	-342.40243 [*]	31.53881	.000	-425.9136	-258.8912
0.5%	Control	103.76896 [*]	31.53881	.009	20.2578	187.2802
	1%	1.31453	31.53881	1.000	-82.1967	84.8257
	3%	-238.63347 [*]	31.53881	.000	-322.1447	-155.1223
1%	Control	102.45443 [*]	31.53881	.010	18.9432	185.9656
	0.5%	-1.31453	31.53881	1.000	-84.8257	82.1967
	3%	-239.94800 [*]	31.53881	.000	-323.4592	-156.4368
3%	Control	342.40243 [*]	31.53881	.000	258.8912	425.9136
	0.5%	238.63347 [*]	31.53881	.000	155.1223	322.1447
	1%	239.94800 [*]	31.53881	.000	156.4368	323.4592

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

การวิเคราะห์ด้วยวิธี Tukey พบว่าชุดน้ำหมักชีวภาพ 0.5%, 1% และ 3% เป็นชุดการทดลองที่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม

ตารางที่ ค-23 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในการบำบัดน้ำเสียถังเกราะห้ชุดที่ 3 โดยใช้น้ำหมัก
ชีวภาพสูตรที่ 3

วันที่	เวลา	ค่าความเป็นกรด-ด่าง			
		ชุดควบคุม	0.5%	1%	3%
0	11.30 น.	7.10	6.8	6.78	6.75
	17.30 น.	6.84	6.75	6.63	6.14
	23.30 น.	6.84	6.74	6.59	6.20
	5.30 น.	6.75	6.61	6.21	6.21
1	11.30 น.	7.00	6.80	6.63	6.24
	17.30 น.	7.10	6.76	6.84	6.34
	23.30 น.	7.35	7.14	6.91	6.42
	5.30 น.	7.39	7.26	7.05	6.48
2	11.30 น.	7.38	6.98	6.96	6.43
	17.30 น.	7.41	7.19	7.02	6.47
	23.30 น.	7.46	7.20	7.04	6.50
	5.30 น.	7.44	7.22	7.06	6.55
3	11.30 น.	7.48	7.28	7.11	6.61
5	11.30 น.	7.54	7.39	7.38	6.97
7	11.30 น.	7.47	7.39	7.38	6.92

H_0 : น้ำหมักชีวภาพที่ให้ค่าความเป็นกรด-ด่างไม่แตกต่างกัน

H_1 : น้ำหมักชีวภาพที่ให้ค่าความเป็นกรด-ด่างแตกต่างกัน

ตารางที่ ค-24 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในการบำบัดน้ำเสีย
สังเคราะห์ ชุดที่ 3 โดยใช้ น้ำหมักชีวภาพสูตรที่ 3

ANOVA					
pH	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	4.578	3	1.526	20.197	.000
Within Groups	4.231	56	.076		
Total	8.809	59			

การวิเคราะห์โดยโปรแกรม SPSS พบว่าค่า Sig. เท่ากับ .000 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 จึงปฏิเสธ H_0
สรุปว่า น้ำหมักชีวภาพที่ใช้อย่างน้อย 2 ชุด ให้ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำเสียสังเคราะห์ชุดที่ 3
โดยใช้น้ำหมักชีวภาพจากน้ำตาลทรายแดงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ ค-24-1 เปรียบเทียบการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในการ
บำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ ชุดที่ 3 โดยใช้ น้ำหมักชีวภาพสูตรที่ 3

Multiple Comparisons

Dependent Variable: pH

Tukey HSD

(I) ratio	(J) ratio	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
Control	0.5%	.20267	.10037	.193	-.0631	.4684
	1%	.33067*	.10037	.009	.0649	.5964
	3%	.75467*	.10037	.000	.4889	1.0204
0.5%	Control	-.20267	.10037	.193	-.4684	.0631
	1%	.12800	.10037	.582	-.1378	.3938
	3%	.55200*	.10037	.000	.2862	.8178
1%	Control	-.33067*	.10037	.009	-.5964	-.0649
	0.5%	-.12800	.10037	.582	-.3938	.1378
	3%	.42400*	.10037	.001	.1582	.6898
3%	Control	-.75467*	.10037	.000	-1.0204	-.4889
	0.5%	-.55200*	.10037	.000	-.8178	-.2862
	1%	-.42400*	.10037	.001	-.6898	-.1582

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

การวิเคราะห์ด้วยวิธี Tukey พบว่าชุดน้ำหมักชีวภาพ 1% และ 3% เป็นชุดการทดลองที่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม

ตารางที่ ค-25 ค่าการนำไฟฟ้าในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ชุดที่ 3 โดยใช้ น้ำหมักชีวภาพสูตรที่ 3

วันที่	เวลา	ค่าการนำไฟฟ้า ($\mu S/cm$)			
		ชุดควบคุม	0.5%	1%	3%
0	11.30 น.	735.67	732.3	733.33	715.66
	17.30 น.	742	739	734	711
	23.30 น.	745	745	739	714
	5.30 น.	745	737	714	711
1	11.30 น.	758	750	741	711
	17.30 น.	796	787	784	710
	23.30 น.	825	812	795	712
	5.30 น.	830	824	813	721
2	11.30 น.	829	823	815	737
	17.30 น.	836	819	818	740
	23.30 น.	839	829	820	746
	5.30 น.	833	821	812	743
3	11.30 น.	827	820	810	757
5	11.30 น.	836	820	819	764
7	11.30 น.	840	820	815	764

H_0 : น้ำหมักชีวภาพที่ให้ค่าการนำไฟฟ้าไม่แตกต่างกัน

H_1 : น้ำหมักชีวภาพที่ให้ค่าการนำไฟฟ้าแตกต่างกัน

ตารางที่ ค-26 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าการนำไฟฟ้า (EC) ของน้ำเสียสังเคราะห์ชุดที่ 3 โดยใช้ น้ำหมักชีวภาพสูตรที่ 3

EC	ANOVA				
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	45323.830	3	15107.943	11.417	.000
Within Groups	74106.486	56	1323.330		
Total	119430.315	59			

การวิเคราะห์โดยโปรแกรม SPSS พบว่าค่า Sig. เท่ากับ .000 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 จึงปฏิเสธ H_0 สรุปว่า น้ำหมักชีวภาพที่ใช้อย่างน้อย 2 ชุด ให้ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำเสียสังเคราะห์ชุดที่ 2 โดยใช้ น้ำหมักชีวภาพจากน้ำตาลทรายแดงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ ก-26-1 เปรียบเทียบการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าการนำไฟฟ้า (EC) ของน้ำเสียสังเคราะห์ชุดที่ 3 โดยใช้ น้ำหมักชีวภาพสูตรที่ 3

Multiple Comparisons

Dependent Variable: EC

Tukey HSD

(I) ratio	(J) ratio	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
Control	0.5%	9.22467	13.28322	.899	-25.9478	44.3971
	1%	16.95600	13.28322	.582	-18.2165	52.1285
	3%	70.66733*	13.28322	.000	35.4949	105.8398
0.5%	Control	-9.22467	13.28322	.899	-44.3971	25.9478
	1%	7.73133	13.28322	.937	-27.4411	42.9038
	3%	61.44267*	13.28322	.000	26.2702	96.6151
1%	Control	-16.95600	13.28322	.582	-52.1285	18.2165
	0.5%	-7.73133	13.28322	.937	-42.9038	27.4411
	3%	53.71133*	13.28322	.001	18.5389	88.8838
3%	Control	-70.66733*	13.28322	.000	-105.8398	-35.4949
	0.5%	-61.44267*	13.28322	.000	-96.6151	-26.2702
	1%	-53.71133*	13.28322	.001	-88.8838	-18.5389

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

การวิเคราะห์ด้วยวิธี Turkey พบว่าชุดน้ำหมักชีวภาพ 3% เป็นชุดการทดลองที่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับชุดการทดลอง 0.5%, 1% และชุดควบคุม

ตารางที่ ค-27 ค่าออกซิเจนละลาย (DO) ของน้ำเสียดังเคราะห์ชุดที่ 3 โดยใช้น้ำหมักชีวภาพสูตรที่ 3

วันที่	เวลา	ค่าออกซิเจนละลายน้ำ (mg/L)			
		ชุดควบคุม	0.5%	1%	3%
0	11.30 น.	0.58	0.74	1.42	1.86
	17.30 น.	2.25	2.69	2.71	3.12
	23.30 น.	2.53	2.37	2.203	1.86
	5.30 น.	1.44	2.156	2.066	1.89
1	11.30 น.	1.37	1.83	2.00	2.2
	17.30 น.	1.46	1.9	2.14	2.27
	23.30 น.	1.56	1.96	2.21	2.33
	5.30 น.	1.31	1.22	1.06	0.81
2	11.30 น.	0.98	1.28	1.58	1.87
	17.30 น.	0.72	0.88	1.0	1.14
	23.30 น.	1.59	1.52	1.46	1.48
	5.30 น.	1.78	1.73	1.64	1.67
3	11.30 น.	2.18	2.32	2.48	2.67
5	11.30 น.	0.83	0.89	1.08	1.14
7	11.30 น.	0.9	0.97	1.05	1.23

H_0 : น้ำหมักชีวภาพที่ให้ค่าออกซิเจนละลายน้ำไม่แตกต่างกัน

H_1 : น้ำหมักชีวภาพที่ให้ค่าออกซิเจนละลายน้ำแตกต่างกัน

ตารางที่ ค-28 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าออกซิเจนละลายน้ำ (DO) ชุดที่ 3 โดยใช้ น้ำหมักชีวภาพสูตรที่ 3

ANOVA					
DO	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1.353	3	.451	1.273	.293
Within Groups	19.848	56	.354		
Total	21.202	59			

การวิเคราะห์โดยโปรแกรม SPSS พบว่าค่า Sig. เท่ากับ .293 ซึ่งมากกว่า 0.05 จึงปฏิเสธ H_0 สรุปว่า น้ำหมักชีวภาพที่ใช้อย่างน้อย 2 ชุด ให้ค่าออกซิเจนละลายน้ำของน้ำเสียสังเคราะห์ชุดที่ 2 โดยใช้ น้ำหมักชีวภาพจากเปลือกสับปะรดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ ค-29 ค่าความขุ่นของน้ำเสียสังเคราะห์ชุดที่ 2 โดยใช้ น้ำหมักชีวภาพสูตรที่ 3

วันที่	เวลา	ความขุ่น (NTU)			
		ชุดควบคุม	0.5%	1%	3%
0	11.30 น.	54	55.3	93	105
	17.30 น.	67	3	73	90.3
	23.30 น.	66	76.3	87.3	145.3
	5.30 น.	75	76.3	93	112.3
1	11.30 น.	109	84	91	145
	17.30 น.	78	92	112	145
	23.30 น.	94.3	98	115.7	142
	5.30 น.	67	62	101	153
2	11.30 น.	45	56	95	156
	17.30 น.	39	44.3	64.3	134
	23.30 น.	37.54	43	56.2	125
	5.30 น.	32.2	35.1	52.4	112
3	11.30 น.	25.4	32.1	45.2	93.2
5	11.30 น.	21.83	29.1	42.4	83.8
7	11.30 น.	16.26	24.93	25.86	65.76

H_0 : น้ำหมักชีวภาพที่ให้ค่าความขุ่นไม่แตกต่างกัน

H_1 : น้ำหมักชีวภาพที่ให้ค่าความขุ่นแตกต่างกัน

ตารางที่ ค-30 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความขุ่นของน้ำเสียสังเคราะห์ ชุดที่ 3 โดยใช้ น้ำหมักชีวภาพจากสูตรที่ 3

Turbidity	ANOVA				
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	40572.448	3	13524.149	18.961	.000
Within Groups	39942.239	56	713.254		
Total	80514.687	59			

การวิเคราะห์โดยโปรแกรม SPSS พบว่าค่า Sig. เท่ากับ .000 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 จึงปฏิเสธ H_0 สรุปว่า น้ำหมักชีวภาพที่ใช้อย่างน้อย 2 ชุด ให้ค่าความขุ่นของน้ำเสียสังเคราะห์ชุดที่ 3 โดยใช้ น้ำหมักชีวภาพจากน้ำตาลทรายแดงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ ค-30-1 เปรียบเทียบการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความขุ่นของน้ำเสียสังเคราะห์ ชุดที่ 3 โดยใช้ น้ำหมักชีวภาพจากสูตรที่ 3

Multiple Comparisons

Dependent Variable: Turbidity

Tukey HSD

(I) ratio	(J) ratio	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
Control	0.5%	-3.48000	9.75195	.984	-29.3021	22.3421
	1%	-21.32200	9.75195	.140	-47.1441	4.5001
	3%	-65.34200*	9.75195	.000	-91.1641	-39.5199
0.5%	Control	3.48000	9.75195	.984	-22.3421	29.3021
	1%	-17.84200	9.75195	.271	-43.6641	7.9801
	3%	-61.86200*	9.75195	.000	-87.6841	-36.0399
1%	Control	21.32200	9.75195	.140	-4.5001	47.1441
	0.5%	17.84200	9.75195	.271	-7.9801	43.6641
	3%	-44.02000*	9.75195	.000	-69.8421	-18.1979
3%	Control	65.34200*	9.75195	.000	39.5199	91.1641
	0.5%	61.86200*	9.75195	.000	36.0399	87.6841
	1%	44.02000*	9.75195	.000	18.1979	69.8421

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

การวิเคราะห์ด้วยวิธี Tukey พบว่าชุดน้ำหมักชีวภาพ 3% เป็นชุดการทดลองที่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับชุดการทดลอง 0.5%, 1% และชุดควบคุม

ตารางที่ ค-31 ค่าอุณหภูมิของน้ำเสียสังเคราะห์ชุดที่ 3 โดยใช้น้ำหมักชีวภาพจากสูตรที่ 3

วันที่	เวลา	อุณหภูมิ (°C)			
		ชุดควบคุม	0.5%	1%	3%
0	11.30 น.	27.43	27.33	27.26	27.1
	17.30 น.	27.1	27	27.1	27.2
	23.30 น.	26.53	26.4	26.4	26.36
	5.30 น.	26.2	26.2	26.3	26.3
1	11.30 น.	26.5	26.3	26.3	26.2
	17.30 น.	26.6	26.7	26.7	26.6
	23.30 น.	26.7	26.7	26.6	26.7
	5.30 น.	26.7	26.7	26.7	26.8
2	11.30 น.	27.3	27.4	27.3	27.4
	17.30 น.	27.1	27.2	27.2	27.2
	23.30 น.	27.7	27.5	27.6	27.7
	5.30 น.	26.77	26.63	26.73	26.86
3	11.30 น.	27.9	27.8	27.8	27.9
5	11.30 น.	28.5	28.7	28.5	28.7
7	11.30 น.	28.5	28.7	28.5	28.7

H_0 : น้ำหมักชีวภาพที่ให้ค่าอุณหภูมิไม่แตกต่างกัน

H_1 : น้ำหมักชีวภาพที่ให้ค่าอุณหภูมิแตกต่างกัน

ตารางที่ ค-32 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าอุณหภูมิของน้ำเสียสังเคราะห์ ชุดที่ 3 โดยใช้
น้ำหมักชีวภาพสูตรที่ 3

ANOVA					
Temperature	Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.020	3	.007	.012	.998
Within Groups	31.590	56	.564		
Total	31.610	59			

การวิเคราะห์โดยโปรแกรม SPSS พบว่าค่า Sig. เท่ากับ .998 ซึ่งมากกว่า 0.05 จึงปฏิเสธ H_1 สรุปว่า น้ำหมักชีวภาพที่ใช้อย่างน้อย 2 ชุด ให้ค่าอุณหภูมิของน้ำเสียสังเคราะห์ ชุดที่ 3 โดยใช้ น้ำหมักชีวภาพจากน้ำตาลทรายแดง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%