

ผลของสภาวะการเดินระบบที่มีต่อการผลิตสารโพลีไฮดรอกซีอัลคาโนเอท
ในภาคตะกอนระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานสุราแบบที่ใช้
ไมโครฟิลเตรชันเมมเบรนในถังปฏิกรณ์ชีวภาพ



นางสาว ทศติยาภรณ์ สุดาจิต

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา)

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2548

ISBN 974-53-2687-9

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**EFFECT OF OPERATING CONDITIONS ON THE PRODUCTION OF
POLYHYDROXYALKANOATE (PHA) IN SLUDGE GENERATED FROM
A DISTILLERY WASTEWATER TREATMENT SYSTEM USING
MICROFILTRATION MEMBRANE BIOREACTOR**



Miss Tutiyaporn Sudajit

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Environmental Science**

(Inter-Department)

Graduate School

Chulalongkorn University

Academic Year 2005

ISBN 974-53-2687-9

ทุติยาภรณ์ สุดาจิต : ผลของสภาวะการเดินระบบที่มีต่อการผลิตสาร โพลีไฮดรอกซี อัลคาโนเอทในภาค
ตะกอนระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานสุราแบบที่ใช้ไมโครฟิลเตรชันเมมเบรนในถังปฏิกรณ์ชีวภาพ
(EFFECT OF OPERATING CONDITIONS ON THE PRODUCTION OF
POLYHYDROXYALKANOATE (PHA) IN SLUDGE GENERATED FROM A DISTILLERY
WASTEWATER TREATMENT SYSTEM USING MICROFILTRATION MEMBRANE
BIOREACTOR) อ.ที่ปรึกษา: ผศ. ดร. ชวลิต รัตนธรรมสกุล, อ.ที่ปรึกษาร่วม: ผศ. ดร. ชาญวิทย์
โฆษิตานนท์, 178 หน้า. ISBN 974-53-2687-9

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลของสภาวะการเดินระบบที่มีต่อการผลิตสาร โพลีไฮดรอกซีอัลคาโนเอทใน
ภาคตะกอนระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรมแบบที่ใช้ไมโครฟิลเตรชันเมมเบรนในถังปฏิกรณ์ชีวภาพ ทำ
การทดลองโดยใช้ระบบที่จัดสร้างขึ้น น้ำกากสำที่ใช้ในการทดลองคือน้ำกากสำที่ออกจากหมักโดยตรง นำมา
เจือจางด้วยน้ำ ในงานวิจัยแบ่งเป็น 3 การทดลอง โดยการทดลองที่ 1 ศึกษาผลของอายุตะกอนต่อการผลิต PHA
โดยเปรียบเทียบระหว่างค่าอายุตะกอน 50 วัน และ 100 วัน การทดลองที่ 2 ศึกษาผลของรอบระยะเวลาการเติม
อากาศต่อการผลิต PHA ระหว่างรอบการเติมอากาศ 60 นาที และ 90 นาที การทดลองที่ 3 ศึกษาผลของความ
เข้มข้นของน้ำเสียต่อการผลิต PHA โดยควบคุมความเข้มข้นน้ำเสียซีโอดีเท่ากับ 1,000 มก./ล. และ 1,500 มก./ล.

ผลการทดลองพบว่า การทดลองที่ 1 ภาคตะกอนจากระบบที่มีค่าอายุตะกอน 50 วัน และ 100 วัน
สามารถผลิต PHA ได้ 0.28 และ 0.41 % ของน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ระบบสามารถกำจัดฟอสฟอรัสได้ 90.77
และ 97.00% ตามลำดับ กำจัดกรดไขมันระเหยง่ายได้ 89.40 และ 95.42% ตามลำดับ และกำจัดซีโอดีได้ 89.76
และ 94.34% ตามลำดับ

จากการทดลองที่ 2 ภาคตะกอนจากระบบที่มีรอบระยะเวลาการเติมอากาศ 60 นาที และ 90 นาที
สามารถผลิต PHA ได้ 0.48 และ 0.44% ของน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ระบบสามารถกำจัดฟอสฟอรัสได้ 97.01 และ
96.68% ตามลำดับ กำจัดกรดไขมันระเหยง่ายได้ 93.19 และ 92.54% ตามลำดับ และกำจัดซีโอดีได้ 94.77 และ
94.89% ตามลำดับ

และการทดลองที่ 3 ภาคตะกอนจากระบบที่มีความเข้มข้นของน้ำเสียซีโอดีเท่ากับ 1,000 มก./ล. และ
1,500 มก./ล. สามารถผลิต PHA ได้ 0.49 และ 1.11% ของน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ระบบสามารถกำจัดฟอสฟอรัส
ได้ 97.34 และ 96.72% ตามลำดับ กำจัดกรดไขมันระเหยง่ายได้ 93.57 และ 87.57% ตามลำดับ และกำจัดซีโอดีได้
94.85 และ 94.44% ตามลำดับ

จากการทดลองทั้งหมด สามารถสรุปได้ว่า สภาวะในการเดินระบบ MBR ในการนำภาคตะกอนมาใช้ในการ
การสกัด PHA ให้ได้ปริมาณสูงสุด คือ ใช้ระยะเวลาการเติมอากาศ 60 นาที อายุตะกอน 100 วัน และความเข้มข้นของ
น้ำเสียซีโอดีเท่ากับ 1,500 มก./ล. ซึ่ง MBR นับว่าเป็นทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจสำหรับการนำภาคตะกอนมาใช้สกัด
PHA เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป

สาขาวิชา.....วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา).....ลายมือชื่อนิติศ.....ทุติยาภรณ์ สุดาจิต

ปีการศึกษา.....2548.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4689081220 : MAJOR ENVIRONMENTAL SCIENCE

KEY WORD : PHA / SLUDGE / MBR / DISTILLERY WASTEWATER

TUTIYAPORN SUDAJIT : EFFECT OF OPERATING CONDITIONS ON THE PRODUCTION OF POLYHYDROXYALKANOATE (PHA) IN SLUDGE GENERATED FROM A DISTILLERY WASTEWATER TREATMENT SYSTEM USING MICROFILTRATION MEMBRANE BIOREACTOR. THESIS ADVISOR: ASST. PROF. CHAVALIT RATANATAMSKUL, Ph.D., THESIS COADVISOR: ASST.PROF. CHARNWIT KOSITANONT, Ph.D., 178 pp. ISBN 974-53-2687-9

This research aims to study effect of operating conditions on the production of polyhydroxyalkanoate (PHA) in sludge generated from a distillery wastewater treatment system using microfiltration membrane bioreactor. In this study, the system operated in the pilot scale. The wastewater for this system is distillery slop came from distillers and was diluted by water. The research on PHA production by MBR was divided into 3 experiments. The first experiment studied the effect of sludge age between 50 and 100 days. The second experiment studied the effect of intermittent aeration period between 60 and 90 minutes period. And the third experiment studied the effect of COD loading in wastewater between 1,000 and 1,500 mg/l

From the first experiment, it was found that sludge from the system with sludge age of 50 and 100 days produced 0.28, and 0.41% (w/w) of PHA, respectively. The removal percentages for phosphorus were 90.77, and 97.00%, respectively; for VFAs were 89.40, and 95.42%, respectively; and for COD were 89.76, and 94.34%, respectively.

The second experiment, it was found that sludge from the system with 60 and 90 minutes aeration period produced 0.48, and 0.44% (w/w) of PHA, respectively. The removal percentages for phosphorus were 97.01, and 96.68%, respectively; for VFAs were 93.19, and 92.54%, respectively; and for COD were 94.77, and 94.89%, respectively.

The third experiment, it was found that sludge from the system with 1,000 and 1,500 mg/l COD produced 0.49, and 1.11% (w/w) of PHA, respectively. The removal percentages for phosphorus were 97.34, and 96.72%, respectively; for VFAs were 93.57, and 87.57%, respectively; and for COD were 94.85, and 94.44%, respectively.

From overall experiments, the in MBR operation for highest PHA production in this research is the 60 minutes intermittent aeration period under 100 days sludge age and 1,500 mg/l COD. Therefore, MBR is a challenge system for PHA production from sludge.

Field of study....Environmental Science (Inter-Department)...Student's signature.....*Tutiyaoporn Sudajit*
 Academic year.....2005.....Advisor's signature.....*Chavalit Ratanatamskul*
 Co-advisor's signature.....*C. Kositanont*

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชวลิต รัตนธรรมสกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชาญวิทย์ โหมยิตานนท์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ผู้ซึ่งให้โอกาสอันดีในการทำงานวิจัยครั้งนี้ และได้ให้ความรู้ คำแนะนำ รวมถึงการดูแลต่างๆ ด้วยดีตลอดมา ขอขอบพระคุณที่ท่านได้เสียสละแรงกายแรงใจและเวลาอันมีค่าอย่างไม่เห็นแก่เหน็ดเหนื่อยมาโดยตลอด

ขอขอบคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่าน อาจารย์ประจำหลักสูตรสาขาวิชา วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม รวมทั้งคณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไปทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิ์-ประสาทวิชาความรู้ และให้คำปรึกษาเป็นอย่างดี

ขอขอบคุณ โรงแรมบันยันทรี และ บัณฑิตวิทยาลัย สำหรับเงินทุนสนับสนุนการทำวิจัยในครั้งนี้ และขอขอบคุณ บริษัท สุราแสงโสม จำกัด และ บริษัท คาร์สเบิร์ก (ไทยแลนด์) จำกัด สำหรับการเอื้อเฟื้อเพื่อนำเสียที่นำมาใช้ในการวิจัย และข้อมูลต่างๆ ด้วยดี

ขอขอบคุณ คุณสุภารัตน์ที่ร่วมกันแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นในระหว่างทำการทดลอง คุณจันทิมา คุณสุรัชนา และคุณพัฒนัศมาที่เสียสละเวลามาช่วยด้านเอกสาร คุณกิตติภูมิและคุณนฤชัยสำหรับความช่วยเหลือด้านแรงงาน และขอขอบคุณ คุณสามารถที่เสียสละเวลาในการทำสไลด์และช่วยแก้ไข ปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นกับเครื่องคอมพิวเตอร์รวมทั้งคอยให้กำลังใจและความช่วยเหลือในทุกๆ ด้าน อย่างดีเสมอมา

ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ และน้องๆ หลักสูตรสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมทุกคน ที่ได้แลกเปลี่ยนความรู้ ข้อคิดเห็น คำแนะนำต่างๆ รวมทั้งคอยให้กำลังใจ และความห่วงใยตลอด ระยะเวลาที่ทำวิทยานิพนธ์

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณบิดามารดาที่ได้มอบความรักและความห่วงใยและทุกสิ่งทุกอย่างแก่ผู้วิจัย และรวมถึงกำลังใจจากน้องๆ และญาติๆ ที่ทำให้วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี คุณความดีและประโยชน์ทั้งปวงอันเกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ขอมอบแต่ครอบครัวของผู้วิจัย ทุกประการ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูป.....	ฎ
คำอธิบายคำย่อ.....	ด
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	6
1.3 สมมติฐานของงานวิจัย.....	6
1.4 ขอบเขตของงานวิจัย.....	6
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	7
บทที่ 2 ตำรวเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 โพลีไฮดรอกซีอัลคานอเอท (Polyhydroxyalkanoate, PHA).....	8
2.1.1 ความหมายของ PHA.....	8
2.1.2 การค้นพบ PHA.....	8
2.1.3 โครงสร้างของ PHA.....	11
2.1.4 PHA กับการกำจัดฟอสฟอรัสทางชีวภาพ.....	13
2.2 น้ำเสียจากโรงงานสุรา.....	17
2.2.1 โรงงานสุรา.....	17
2.2.2 กรรมวิธีการผลิตสุรา.....	18
2.2.3 ลักษณะน้ำทิ้งจากโรงงานสุรา.....	21
2.2.4 การบำบัดน้ำกากส่า.....	22
2.3 ระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานสุราแบบที่ใช้ไมโครฟิลเตรชันเมมเบรน ในถังปฏิกรณ์ชีวภาพ.....	29
2.3.1 ระบบตะกอนเร่ง.....	29
2.3.1.1 กลไกการทำงานของระบบ.....	30

2.3.1.2	องค์ประกอบในการทำงานของระบบ.....	31
2.3.1.3	จุดชีววิทยาของระบบ.....	33
2.3.1.4	ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของระบบ.....	34
2.3.1.5	ข้อดีและข้อเสียของระบบ.....	37
2.3.2	เมมเบรนเทคโนโลยีและไมโครฟิลเตรชันเมมเบรน.....	38
2.3.2.1	กระบวนการเมมเบรน.....	38
2.3.2.2	กระบวนการแยกสารของเมมเบรน.....	41
2.3.2.3	ไมโครฟิลเตรชันเมมเบรน.....	42
2.3.3	เมมเบรนในถังปฏิกรณ์ชีวภาพ.....	43
2.3.3.1	ขั้นตอนของระบบ.....	43
2.3.3.2	ข้อดีของกระบวนการเมมเบรนในถังปฏิกรณ์ชีวภาพ.....	45
2.4	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	46
บทที่ 3 แผนการวิจัยและการดำเนินงานวิจัย		
3.1	แผนการวิจัย.....	54
3.1.1	ลักษณะและแหล่งที่มาของน้ำเสียที่ใช้ในระบบ.....	55
3.1.2	ลักษณะและแหล่งที่มาของจุลินทรีย์ที่ใช้ในระบบ.....	55
3.1.3	การดำเนินการทดลอง.....	56
3.2	เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการเดินระบบ.....	56
3.3	ระบบการทำงานของถังปฏิกรณ์.....	58
3.3.1	น้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง.....	58
3.3.2	การควบคุมการทำงานของระบบ.....	59
3.4	วิธีดำเนินการวิจัย.....	60
3.4.1	การเดินระบบ.....	60
3.4.2	การเก็บตัวอย่างและพารามิเตอร์น้ำที่ทำการตรวจวิเคราะห์.....	61
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการวิเคราะห์ผล		
4.1	การศึกษาผลของค่าอายุตะกอนต่อปริมาณ PHA ที่สะสม.....	64
4.1.1	ผลของค่าอายุตะกอนต่อปริมาณ PHA ที่สะสม.....	65
4.1.2	ปริมาณ PHA ที่สะสมและจำนวนเซลล์.....	66

4.1.3	ปริมาณ PHA ที่สะสมและค่าฟอสฟอรัสที่กำจัด.....	75
4.1.4	ปริมาณ PHA ที่สะสมและค่ากรดไขมันระเหยง่ายที่กำจัด.....	78
4.1.5	ปริมาณ PHA ที่สะสมและกลูโคสที่กำจัด.....	81
4.1.6	ปริมาณ PHA ที่สะสมและค่าซีโอดีที่กำจัด.....	82
4.2	การศึกษาผลของระยะเวลาการเติมอากาศต่อปริมาณ PHA ที่สะสม.....	85
4.2.1	ผลของระยะเวลาการเติมอากาศต่อปริมาณ PHA ที่สะสม.....	86
4.2.2	ปริมาณ PHA ที่สะสมและจำนวนเซลล์.....	87
4.2.3	ปริมาณ PHA ที่สะสมและค่าฟอสฟอรัสที่กำจัด.....	96
4.2.4	ปริมาณ PHA ที่สะสมและค่ากรดไขมันระเหยง่ายที่กำจัด.....	99
4.2.5	ปริมาณ PHA ที่สะสมและกลูโคสที่กำจัด.....	101
4.2.6	ปริมาณ PHA ที่สะสมและค่าซีโอดีที่กำจัด.....	102
4.3	การศึกษาผลของความเข้มข้นของน้ำเสียต่อปริมาณ PHA ที่สะสม.....	105
4.3.1	ผลของความเข้มข้นของน้ำเสียต่อปริมาณ PHA ที่สะสม.....	106
4.3.2	ปริมาณ PHA ที่สะสมและจำนวนเซลล์.....	107
4.3.3	ปริมาณ PHA ที่สะสมและค่าฟอสฟอรัสที่กำจัด.....	117
4.3.4	ปริมาณ PHA ที่สะสมและค่ากรดไขมันระเหยง่ายที่กำจัด.....	120
4.3.5	ปริมาณ PHA ที่สะสมและกลูโคสที่กำจัด.....	123
4.3.6	ปริมาณ PHA ที่สะสมและค่าซีโอดีที่กำจัด.....	123
4.4	การวิเคราะห์ปริมาณ PHA ที่สะสมและสภาวะต่างๆ ของระบบ.....	127
4.5	ผลการวิเคราะห์โครงสร้างโมเลกุล PHA.....	130
4.6	ศักยภาพของระบบ MBR ในการผลิต PHA.....	133
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ		
5.1	สรุปผลการทดลอง.....	134
5.2	ข้อเสนอแนะ.....	135
รายการอ้างอิง.....		136
ภาคผนวก.....		142
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....		178

สารบัญญัตินี้

	หน้า
ตารางที่ 2.1	กลุ่มของจุลินทรีย์ที่สามารถสังเคราะห์ PHA ในธรรมชาติได้..... 9
ตารางที่ 2.2	แสดงจำนวนโรงงาน เงินลงทุนและคนงานรวมของโรงงานสุรา แต่ละประเภท พ.ศ. 2548..... 17
ตารางที่ 2.3	การเปรียบเทียบราคาค่าใช้จ่ายในการกำจัดน้ำกากส่าโดยวิธีต่างๆ พร้อมกับแสดงข้อดีและข้อเสีย..... 26
ตารางที่ 2.4	เปรียบเทียบกระบวนการเมตาบอลิซึมของพีเอโอกับจีเอโอ..... 47
ตารางที่ 2.5	ผลกระทบของแหล่งคาร์บอนต่ออีบีพีอาร์..... 48
ตารางที่ 3.1	แสดงคุณลักษณะของน้ำกากส่าสดของโรงงานสุราแสงโสม..... 55
ตารางที่ 3.2	วิธีวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ..... 62
ตารางที่ 4.1	จำนวนเซลล์ในถังปฏิกรณ์ของชุดการทดลองที่ 1..... 67
ตารางที่ 4.2	ตารางแสดงค่าสัดส่วนระหว่าง PHA ที่สะสมกับจำนวนเซลล์ในถังปฏิกรณ์ ของชุดการทดลองที่ 1..... 67
ตารางที่ 4.3	ฟอสฟอรัสที่ถูกกำจัดและประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัส ของชุดการทดลองที่ 1..... 75
ตารางที่ 4.4	กรดไขมันระเหยง่ายที่ถูกกำจัดและประสิทธิภาพการกำจัดกรดไขมันระเหยง่าย ของชุดการทดลองที่ 1..... 78
ตารางที่ 4.5	ซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของชุดการทดลองที่ 1..... 82
ตารางที่ 4.6	จำนวนเซลล์ในถังปฏิกรณ์ของชุดการทดลองที่ 2..... 88
ตารางที่ 4.7	ตารางแสดงค่าสัดส่วนระหว่าง PHA ที่สะสมกับจำนวนเซลล์ในถังปฏิกรณ์ ของชุดการทดลองที่ 2..... 88
ตารางที่ 4.8	ฟอสฟอรัสที่ถูกกำจัดและประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัส ของชุดการทดลองที่ 2..... 96
ตารางที่ 4.9	กรดไขมันระเหยง่ายที่ถูกกำจัดและประสิทธิภาพการกำจัดกรดไขมันระเหยง่าย ของชุดการทดลองที่ 2..... 99
ตารางที่ 4.10	ซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของชุดการทดลองที่ 2..... 102
ตารางที่ 4.11	จำนวนเซลล์ในถังปฏิกรณ์ของชุดการทดลองที่ 3..... 108
ตารางที่ 4.12	ตารางแสดงค่าสัดส่วนระหว่าง PHA ที่สะสมกับจำนวนเซลล์ในถังปฏิกรณ์ ของชุดการทดลองที่ 3..... 108
ตารางที่ 4.13	ฟอสฟอรัสที่ถูกกำจัดและประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัส ของชุดการทดลองที่ 3..... 117

ตารางที่ 4.14	กรดไขมันระเหยง่ายที่ถูกกำจัดและประสิทธิภาพการกำจัดกรดไขมันระเหยง่าย ของชุดการทดลองที่ 3.....	120
ตารางที่ 4.15	ซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของชุดการทดลองที่ 3.....	124



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1.1 ขวดและถ้วยที่ผลิตจาก PHA.....	4
รูปที่ 1.2 บรรจุภัณฑ์ที่ผลิตจาก PHA.....	4
รูปที่ 1.3 ถ้วยกาแฟที่ผลิตจาก PHA.....	4
รูปที่ 1.4 บัตรเครดิตที่ผลิตจาก PHA.....	4
รูปที่ 1.5 แท็บปลาและเส้นใยที่ผลิตจาก PHA.....	4
รูปที่ 1.6 วัฏจักร PHA.....	5
รูปที่ 2.1 วัฏจักรการสังเคราะห์และการสลาย PHB.....	11
รูปที่ 2.2 สูตรโครงสร้างของ PHA.....	12
รูปที่ 2.3 แบบจำลองของ Comau-Wentzel.....	16
รูปที่ 2.4 แบบจำลองของ Mino.....	16
รูปที่ 2.5 สถิติปริมาณการเสียภาษีสุรา.....	18
รูปที่ 2.6 แผนผังแสดงกรรมวิธีการผลิตสุรา.....	20
รูปที่ 2.7 แผนผังการทำงานของระบบเอเอส.....	29
รูปที่ 2.8 ปฏิกริยาการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ที่เกิดขึ้นในกระบวนการบำบัดทางชีววิทยา แบบไม่ต่อเนื่อง.....	31
รูปที่ 2.9 ลักษณะโมดูลของเมมเบรนเส้นใยกลาง.....	38
รูปที่ 2.10 เปรียบเทียบการกรองน้ำผ่านแผ่นกรองธรรมดา กับแผ่นเมมเบรน.....	39
รูปที่ 2.11 ตัวอย่างโมเลกุล/อนุภาคที่สามารถแยกได้โดยการใช้กระบวนการเมมเบรน และการกรอง.....	40
รูปที่ 2.12 หลักการทำงานของกระบวนการเมมเบรน.....	41
รูปที่ 2.13 สองรูปแบบหลักของการใช้งาน MBR.....	44
รูปที่ 2.14 ปริมาณ PHA จากกตะกอนที่ช่วงแอโรบิกและแอนแอโรบิก.....	50
รูปที่ 3.1 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบที่ใช้ไมโครฟิลเตรชันเมมเบรนในถังปฏิกรณ์ชีวภาพ ที่ใช้ในการทดลอง.....	54
รูปที่ 3.2 น้ำเสียที่ใช้ในระบบ.....	58
รูปที่ 3.3 แสดงผังการทำงานของระบบ.....	59
รูปที่ 4.1 กราฟแสดง MLVSS ของชุดการทดลองที่ 1.....	64
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงปริมาณ PHA (%) จากเชื้อจุลินทรีย์ในถังปฏิกรณ์ ของชุดการทดลองที่ 1.....	65
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงจำนวนเซลล์ทั้งหมดในถังปฏิกรณ์ของชุดการทดลองที่ 1.....	68

รูปที่ 4.4 ปริมาณ PHA (%) และจำนวนเซลล์ทั้งหมดของชุดการทดลองที่ 1 อายุตะกอน 50 วัน.....	69
รูปที่ 4.5 ปริมาณ PHA (%) และจำนวนเซลล์ทั้งหมดของชุดการทดลองที่ 1 อายุตะกอน 100 วัน.....	69
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงจำนวนเซลล์ที่สะสม PHA ในถังปฏิกรณ์ของชุดการทดลองที่ 1.....	70
รูปที่ 4.7 ปริมาณ PHA (%) และจำนวนเซลล์ที่สะสม PHA ของชุดการทดลองที่ 1 อายุตะกอน 50 วัน.....	71
รูปที่ 4.8 ปริมาณ PHA (%) และจำนวนเซลล์ที่สะสม PHA ของชุดการทดลองที่ 1 อายุตะกอน 100 วัน.....	71
รูปที่ 4.9 กราฟแสดงจำนวนเซลล์ที่สะสม โพลีฟอสเฟตในถังปฏิกรณ์ ของชุดการทดลองที่ 1.....	73
รูปที่ 4.10 ปริมาณ PHA (%) และจำนวนเซลล์ที่สะสม โพลีฟอสเฟตของชุดการทดลองที่ 1 อายุตะกอน 50 วัน.....	73
รูปที่ 4.11 ปริมาณ PHA (%) และจำนวนเซลล์ที่สะสม โพลีฟอสเฟตของชุดการทดลองที่ 1 อายุตะกอน 100 วัน.....	74
รูปที่ 4.12 ฟอสฟอรัสทั้งหมดในระบบของชุดการทดลองที่ 1.....	75
รูปที่ 4.13 ปริมาณ PHA (%) และ ΔP (มก./ล.) ของชุดการทดลองที่ 1 อายุตะกอน 50 วัน.....	76
รูปที่ 4.14 ปริมาณ PHA (%) และ ΔP (มก./ล.) ของชุดการทดลองที่ 1 อายุตะกอน 100 วัน.....	77
รูปที่ 4.15 กรดไขมันระเหยง่ายในระบบของชุดการทดลองที่ 1.....	78
รูปที่ 4.16 ปริมาณ PHA (%) และ ΔVFA (มก./ล.) ของชุดการทดลองที่ 1 อายุตะกอน 50 วัน.....	79
รูปที่ 4.17 ปริมาณ PHA (%) และ ΔVFA (มก./ล.) ของชุดการทดลองที่ 1 อายุตะกอน 100 วัน.....	80
รูปที่ 4.18 ค่าซีไอดีในระบบของชุดการทดลองที่ 1.....	82
รูปที่ 4.19 ปริมาณ PHA (%) และ ΔCOD (มก./ล.) ของชุดการทดลองที่ 1 อายุตะกอน 50 วัน.....	84
รูปที่ 4.20 ปริมาณ PHA (%) และ ΔCOD (มก./ล.) ของชุดการทดลองที่ 1 อายุตะกอน 100 วัน.....	84
รูปที่ 4.21 กราฟแสดง MLVSS ของชุดการทดลองที่ 2.....	85

รูปที่ 4.22 กราฟแสดงปริมาณ PHA (%) จากเชื้อจุลินทรีย์ในถังปฏิกรณ์ ของชุดการทดลองที่ 2.....	86
รูปที่ 4.23 กราฟแสดงจำนวนเซลล์ทั้งหมดในถังปฏิกรณ์ของชุดการทดลองที่ 2.....	89
รูปที่ 4.24 ปริมาณ PHA (%) และจำนวนเซลล์ทั้งหมดของชุดการทดลองที่ 2 อายุตะกอน 50 วัน.....	90
รูปที่ 4.25 ปริมาณ PHA (%) และจำนวนเซลล์ทั้งหมดของชุดการทดลองที่ 2 อายุตะกอน 100 วัน.....	90
รูปที่ 4.26 กราฟแสดงจำนวนเซลล์ที่สะสม PHA ในถังปฏิกรณ์ของชุดการทดลองที่ 2.....	91
รูปที่ 4.27 ปริมาณ PHA (%) และจำนวนเซลล์ที่สะสม PHA ของชุดการทดลองที่ 2 ระยะเวลาการเติมอากาศ 60 นาที.....	92
รูปที่ 4.28 ปริมาณ PHA (%) และจำนวนเซลล์ที่สะสม PHA ของชุดการทดลองที่ 2 ระยะเวลาการเติมอากาศ 90 นาที.....	92
รูปที่ 4.29 กราฟแสดงจำนวนเซลล์ที่สะสม โพลีฟอสเฟตในถังปฏิกรณ์ ของชุดการทดลองที่ 2.....	94
รูปที่ 4.30 ปริมาณ PHA (%) และจำนวนเซลล์ที่สะสม โพลีฟอสเฟตของชุดการทดลองที่ 2 ระยะเวลาการเติมอากาศ 60 นาที.....	94
รูปที่ 4.31 ปริมาณ PHA (%) และจำนวนเซลล์ที่สะสม โพลีฟอสเฟตของชุดการทดลองที่ 2 ระยะเวลาการเติมอากาศ 90 นาที.....	95
รูปที่ 4.32 ฟอสฟอรัสทั้งหมดในระบบของชุดการทดลองที่ 2.....	96
รูปที่ 4.33 ปริมาณ PHA (%) และ ΔP (มก./ล.) ของชุดการทดลองที่ 2 ระยะเวลาการเติมอากาศ 60 นาที.....	97
รูปที่ 4.34 ปริมาณ PHA (%) และ ΔP (มก./ล.) ของชุดการทดลองที่ 2 ระยะเวลาการเติมอากาศ 90 นาที.....	98
รูปที่ 4.35 กรดไขมันระเหยง่ายในระบบของชุดการทดลองที่ 2.....	99
รูปที่ 4.36 ปริมาณ PHA (%) และ ΔVFA (มก./ล.) ของชุดการทดลองที่ 2 ระยะเวลาการเติมอากาศ 60 นาที.....	100
รูปที่ 4.37 ปริมาณ PHA (%) และ ΔVFA (มก./ล.) ของชุดการทดลองที่ 2 ระยะเวลาการเติมอากาศ 90 นาที.....	101
รูปที่ 4.38 ค่าซีไอดีในระบบของชุดการทดลองที่ 2.....	102

รูปที่ 4.39 ปริมาณ PHA (%) และ Δ COD (มก./ล.) ของชุดการทดลองที่ 2 ระยะเวลาการเติมอากาศ 60 นาที.....	104
รูปที่ 4.40 ปริมาณ PHA (%) และ Δ COD (มก./ล.) ของชุดการทดลองที่ 2 ระยะเวลาการเติมอากาศ 90 นาที.....	104
รูปที่ 4.41 กราฟแสดง MLVSS ของชุดการทดลองที่ 3.....	105
รูปที่ 4.42 กราฟแสดงปริมาณ PHA (%) จากเชื้อจุลินทรีย์ในถังปฏิกรณ์ ของชุดการทดลองที่ 3.....	106
รูปที่ 4.43 กราฟแสดงจำนวนเซลล์ทั้งหมดในถังปฏิกรณ์ของชุดการทดลองที่ 3.....	110
รูปที่ 4.44 ปริมาณ PHA (%) และจำนวนเซลล์ทั้งหมดของชุดการทดลองที่ 3 ความเข้มข้นของน้ำเลี้ยงซีไอดี 1,000 มก./ล.....	110
รูปที่ 4.45 ปริมาณ PHA (%) และจำนวนเซลล์ทั้งหมดของชุดการทดลองที่ 3 ความเข้มข้นของน้ำเลี้ยงซีไอดี 1,500 มก./ล.....	111
รูปที่ 4.46 กราฟแสดงจำนวนเซลล์ที่สะสม PHA ในถังปฏิกรณ์ ของชุดการทดลองที่ 3.....	112
รูปที่ 4.47 ปริมาณ PHA (%) และจำนวนเซลล์ที่สะสม PHA ของชุดการทดลองที่ 3 ความเข้มข้นของน้ำเลี้ยงซีไอดี 1,000 มก./ล.....	113
รูปที่ 4.48 ปริมาณ PHA (%) และจำนวนเซลล์ที่สะสม PHA ของชุดการทดลองที่ 3 ความเข้มข้นของน้ำเลี้ยงซีไอดี 1,500 มก./ล.....	113
รูปที่ 4.49 กราฟแสดงจำนวนเซลล์ที่สะสม โพลีฟอสเฟตในถังปฏิกรณ์ ของชุดการทดลองที่ 3.....	115
รูปที่ 4.50 ปริมาณ PHA (%) และจำนวนเซลล์ที่สะสม โพลีฟอสเฟตของชุดการทดลองที่ 3 ความเข้มข้นของน้ำเลี้ยงซีไอดี 1,000 มก./ล.....	115
รูปที่ 4.51 ปริมาณ PHA (%) และจำนวนเซลล์ที่สะสม โพลีฟอสเฟตของชุดการทดลองที่ 3 ความเข้มข้นของน้ำเลี้ยงซีไอดี 1,500 มก./ล.....	116
รูปที่ 4.52 ฟอสฟอรัสทั้งหมดในระบบของชุดการทดลองที่ 3.....	117
รูปที่ 4.53 ปริมาณ PHA (%) และ Δ P (มก./ล.) ของชุดการทดลองที่ 3 ความเข้มข้นของน้ำเลี้ยงซีไอดี 1,000 มก./ล.....	118
รูปที่ 4.54 ปริมาณ PHA (%) และ Δ P (มก./ล.) ของชุดการทดลองที่ 3 ความเข้มข้นของน้ำเลี้ยงซีไอดี 1,500 มก./ล.....	119

รูปที่ 4.55 กรดไขมันระเหยง่ายในระบบของชุดการทดลองที่ 3.....	120
รูปที่ 4.56 ปริมาณ PHA (%) และ Δ VFA (มก./ล.) ของชุดการทดลองที่ 3 ความเข้มข้นของน้ำเสียซีโอดี 1,000 มก./ล.....	121
รูปที่ 4.57 ปริมาณ PHA (%) และ Δ VFA (มก./ล.) ของชุดการทดลองที่ 3 ความเข้มข้นของน้ำเสียซีโอดี 1,500 มก./ล.....	122
รูปที่ 4.58 ค่าซีโอดีในระบบของชุดการทดลองที่ 3.....	123
รูปที่ 4.59 ปริมาณ PHA (%) และ Δ COD (มก./ล.) ของชุดการทดลองที่ 3 ความเข้มข้นของน้ำเสียซีโอดี 1,000 มก./ล.....	125
รูปที่ 4.60 ปริมาณ PHA (%) และ Δ COD (มก./ล.) ของชุดการทดลองที่ 3 ความเข้มข้นของน้ำเสียซีโอดี 1,500 มก./ล.....	126
รูปที่ 4.61 ปริมาณ PHA ที่สะสมจากการทดลองทั้งหมด.....	127
รูปที่ 4.62 สเปกตรัมที่วิเคราะห์โดยวิธี 1 H NMR spectroscopy จากกากตะกอน.....	131
รูปที่ 4.63 สเปกตรัมที่วิเคราะห์โดยวิธี 1 H NMR spectroscopy ของสารมาตรฐาน PHB.....	131
รูปที่ 4.64 สเปกตรัมที่วิเคราะห์โดยวิธี 13 C NMR spectroscopy จากกากตะกอน.....	132
รูปที่ 4.65 สเปกตรัมที่วิเคราะห์โดยวิธี 13 C NMR spectroscopy ของสารมาตรฐาน PHB.....	132

คำอธิบายคำย่อ

คำย่อ	คำอธิบาย
AS	activated sludge เป็นกระบวนการบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยาที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย ประกอบด้วยถังเติมอากาศและถังตกตะกอนเป็นหลัก และมีการหมุนเวียนสลัดจ์ส่วนหนึ่งจากถังตกตะกอนกลับเข้าสู่ถังเติมอากาศ
COD	chemical oxygen demand หรือ ความต้องการออกซิเจนเชิงเคมี หมายถึง ปริมาณออกซิเจนที่ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ด้วยวิธีการทางเคมี
GAO	glycogen accumulating organisms หมายถึงกลุ่มของจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่ในกระบวนการแอนแอโรบิก-แอโรบิก แต่ไม่สามารถสะสมฟอสเฟตในเซลล์ได้มากเท่ากับฟีโอโอ โดยใช้พลังงานในการสะสม PHA จากกลัยโคเจนในเซลล์
MBR	membrane bioreactor เป็นระบบเอเอสรูปแบบหนึ่งที่ถูกพัฒนาขึ้น โดยใช้แผ่นเยื่อแทนถังตกตะกอน ซึ่งรูพรุนที่มีขนาดเล็กของแผ่นเยื่อสามารถกักจุลินทรีย์ในระบบไม่ให้ออกไปกับน้ำทิ้งได้ จึงทำให้ระบบมีความเข้มข้นของแข็งแขวนลอยสูงกว่าระบบทั่วไป
PAO	polyphosphate accumulating organisms หรือ poly-P bacteria หมายถึงกลุ่มของจุลินทรีย์ที่สามารถจับใช้ฟอสฟอรัสได้มากกว่าจุลินทรีย์ปกติ โดยกระบวนการที่ฟีโอโอจะเจริญเติบโตได้ดีต้องเป็นภาวะแอนแอโรบิก-แอโรบิก
PHA	Polyhydroxyalkanoate เป็นโพลีเอสเทอร์ของกรดไฮดรอกซีอัลคานอยิก (HA) ที่สร้างขึ้นโดยจุลินทรีย์หลายชนิดสะสมไว้ใช้เป็นแหล่งคาร์บอนและพลังงานของเซลล์เพื่อใช้ในภาวะที่ขาดแคลนอาหารและเป็นแหล่งอาหารสำรอง
PHB	Polyhydroxybuterate เป็นสารโพลีเมอร์ที่สำคัญรูปแบบหนึ่งของ PHA ที่มีสารตั้งต้นเป็นอะซิเตท
RBCOD	readily biodegradable COD หมายถึง ซีโอดีส่วนที่ละลายน้ำซึ่งจุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ได้ทันทีและรวดเร็วโดยไม่ต้องแปรรูปเป็นอย่างอื่นที่มีขนาดโมเลกุลเล็กกลง
TP	total phosphorus หมายถึง ฟอสฟอรัสทั้งหมด ซึ่งอาจอยู่ในรูปของออร์โธฟอสเฟต ทั้งที่ละลายและไม่ละลายในน้ำ โพลีฟอสเฟต อินทรีย์ฟอสเฟต และอนินทรีย์ฟอสเฟต
VFAs	volatile fatty acids หรือกรดไขมันระเหยง่าย เป็นกรดไขมันโมเลกุลเล็กที่มีพันธะสั้น (Short Chained Volatile Fatty Acids, SCVFA) เช่น กรดอะซิติก กรดโพรพิอิก เป็นต้น

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ

ปัจจุบันอุตสาหกรรมสุร่าเป็นอุตสาหกรรมหนึ่งที่สำคัญของประเทศไทย และเป็นอุตสาหกรรมที่นำรายได้เข้าสู่ประเทศ ในประเทศไทยมีโรงงานเกี่ยวกับสุร่าอยู่ 56 โรงงาน (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2548) ปัญหาหลักของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสุร่าก็คือ น้ำกากสำ (slop) และของเหลือจากกระบวนการต้ม กลั่น หมัก ตลอดจนน้ำล้างต่างๆ

น้ำกากสำ (distillery slop) เป็นน้ำทิ้งที่ออกจากหอกลิ้นประเภท mash column ในการกลั่นสุร่าโดยวัตถุดิบที่ใช้ในการหมักสุร่า ได้แก่ กากน้ำตาล (sugar cane molasses) จากการศึกษาพบว่าปริมาณความเข้มข้นสูงทั้งสารอินทรีย์และอนินทรีย์ (Kato and Tsuchida, 1981) นอกจากนี้ยังมีสีน้ำตาลเข้ม ซึ่งเกิดจากสารคาราเมล (caramel) ในน้ำกากสำ สารคาราเมลนี้เกิดจากปฏิกิริยาโพลีเมอไรเซชัน (Polymerization) ในกระบวนการผลิตน้ำตาล ดังนั้นสารคาราเมลจึงมีน้ำหนักโมเลกุลสูง แต่ไม่ทราบโครงสร้างที่แน่นอน โดยทั่วไปเรียกสารประกอบพวกนี้ว่า เมลานอยดินสีน้ำตาล (brown melanoidin) สารเมลานอยดินจะอยู่ในสภาพคอลลอยด์และมีประจุลบ

การบำบัดน้ำกากสำในปัจจุบัน จะใช้กระบวนการบำบัดแบบกระบวนการเคมีกายภาพ (Physicochemical process) เช่น การดูดซับผิว กระบวนการโคแอกกูเลชัน – ฟล็อกกูเลชัน เป็นต้น ซึ่งกระบวนการต่างๆ เหล่านี้ไม่สามารถแก้ปัญหาน้ำเสียที่มีน้ำกากสำเจือปนได้เพียงพอ และมีค่าใช้จ่ายสูง (Shah, 1997) นอกจากนี้ยังมีการเริ่มนำกระบวนการทางชีวภาพมาใช้ เช่น ระบบโปรยกรอง ระบบตะกอนเร่ง เป็นต้น และเริ่มเป็นที่นิยมเพราะสามารถรับภาระได้สูง สามารถปรับเปลี่ยนภาระได้ดี และสามารถลดขนาดของถังปฏิกรณ์ลงได้ แต่ก็ยังมีข้อเสียคือแบคทีเรียยังไม่สามารถกำจัดสีของน้ำกากสำบางชนิดได้เพียงพอ จึงได้นำแนวคิดและเทคโนโลยีในการบำบัดน้ำเสียจากโรงฟอกย้อมที่ใช้ระบบเมมเบรนในถังตกตะกอนชีวภาพซึ่งสามารถกำจัดสีย้อมได้สำเร็จมาแล้ว (Buckley, 1992) มาปรับปรุงและประยุกต์ใช้กับระบบบำบัดน้ำเสียที่มีน้ำกากสำจากโรงงานสุร่า

ระบบนี้มีการนำเอาแผ่นเยื่อที่มีขนาดรูพรุนเล็กมากมาใช้ ทำให้จุลชีพที่เกี่ยวข้องกับการบำบัดน้ำเสียมีความหลากหลายอยู่ในระบบ โดยจุลชีพเหล่านี้ มีกลุ่ม PAOs (Phosphate Accumulating Organisms) อยู่ด้วยซึ่งมีความสามารถในการสะสมฟอสฟอรัสได้สูง จึงมีแนวคิดที่จะนำกากตะกอนมาสกัด PHA เพื่อนำมาใช้ประโยชน์ในการผลิตพลาสติกที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (biodegradable plastic) ทดแทนการใช้พลาสติกที่ผลิตจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี ซึ่งพลาสติกดังกล่าวไม่สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ หรือย่อยสลายได้แต่ต้องใช้เวลาาน วิธีที่ใช้ในการกำจัดพลาสติกเหล่านี้คือ การนำกลับมาใช้ใหม่ การฝังดิน และการเผาทำลาย ก็ไม่สามารถช่วยแก้ปัญหาได้ในระยะยาวและมีข้อจำกัดอยู่มาก นอกจากนี้ยังเป็นปัจจัยสำคัญที่นำไปสู่ปัญหาสิ่งแวดล้อมในปัจจุบัน (รัตนศิริ มุทิตากุล, 2538)

PHA (Polyhydroxyalkanoate) เป็นโพลีเอสเตอร์ที่จุลินทรีย์บางชนิดสร้างและสะสมภายในแกรนูล เพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงานและคาร์บอนซึ่งเทียบได้กับไกลโคเจนที่สะสมในสัตว์ชั้นสูง หรือแป้งที่สะสมในพืช (Bloembergen และคณะ, 1986) PHA มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับคุณสมบัติของ PP และ PE และยังสามารถนำมาขึ้นรูปได้ (Holmes, 1989) PHA มีข้อดีกว่า PP และ PE คือ สามารถถูกย่อยสลายได้ในธรรมชาติโดยจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ ที่มีเอนไซม์เอสเตอเรส (esterase) และดีโพลิเมอร์เรส (depolymerase) ซึ่ง PHA ถูกจัดอยู่ในกลุ่มพลาสติกที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพอย่างสมบูรณ์ (biodegradable thermoplastic) ผลจากการย่อยสลายได้สารที่ไม่มีอันตราย เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และกรดคาร์บอกซิลิก (Evans และ Sikdar, 1990) นอกจากนี้ PHA ยังมีสมบัติที่เข้ากันได้กับสิ่งมีชีวิต (biocompatibility) จึงสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในทางการแพทย์ได้

ในการใช้ PHA สามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภท ดังนี้

- 1.) การประยุกต์ใช้ด้านบรรจุภัณฑ์หรือวัสดุใช้สอย (รูปที่ 1.1 – 1.4)
 - ใช้ผลิตขวดแชมพู
 - ใช้ทำวัสดุที่ใช้ครั้งเดียวทิ้ง เช่น ผ้าอ้อม ผ้าอนามัย ค้ำมิด โคน เป็นต้น
 - ใช้ทำบรรจุภัณฑ์ประเภทถุง ภาชนะบรรจุอาหารสำเร็จรูป แผ่นฟิล์มถนอมอาหาร
 - ใช้ทำแผ่นกรองอากาศ ทำจากแกรนูลของส่วนผสม โพลีเอทิลีน 90 % และ PHBV 10 %
 - ทำวัสดุอื่นๆ เช่น ที่วางลูกกอล์ฟ กาวที่ละลายด้วยความร้อน สารเคลือบผิว แผ่นฟิล์ม บัตรเครดิต วัสดุเส้นใย

2.) การประยุกต์ใช้ทางการเกษตร

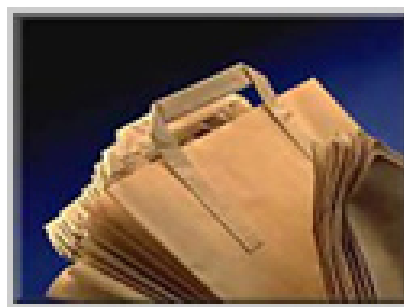
- ใช้เป็นวัสดุผลิตแคปซูลบรรจุยาฆ่าแมลง ยาฆ่าวัชพืช หรือปุ๋ย โดยเมื่อโปรยลงในแปลงเพาะปลูกจะถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ที่อยู่ในดิน แล้วตัวยาก็จะถูกปล่อยออกมาทีละน้อย ช่วยให้ประหยัดค่าแรงและค่าใช้จ่ายในการฉีดยาป้องกันโรครวมทั้งการใส่ปุ๋ย
- ใช้ทำแคปซูลบรรจุยาป้องกันโรค เช่น ยาถ่ายพยาธิ วัคซีนป้องกันโรคระบาด เป็นต้น ช่วยให้ประหยัดเวลาและค่าใช้จ่ายในการกระตุ้นซ้ำ
- ทำแท็บปลา (รูปที่ 1.5) สำหรับใช้ในน้ำทะเลได้เป็นเวลานาน และสามารถกำจัดเมื่อเลิกใช้โดยทิ้งลงน้ำได้เลย เนื่องจากสามารถย่อยสลายได้อย่างรวดเร็ว

3.) การประยุกต์ใช้ทางการแพทย์และเภสัชกรรม

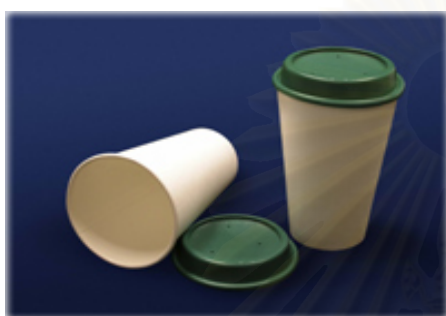
- วัสดุทางด้านศัลยกรรม เช่น หลอดเลือดเทียม กระดูกเทียม เข็มเย็บผ้า ไหมเย็บแผล ผ้าซับเลือด เป็นต้น
- แคปซูลบรรจุยา เพื่อให้แคปซูลถูกย่อยสลายอย่างช้าๆ ในร่างกาย ทำให้ร่างกายได้รับยาครั้งละน้อยเป็นเวลานาน
- ด้านทันตกรรม ใช้เป็นวัสดุตัวนำที่ทำให้เกิดการสร้างเนื้อเยื่อขึ้นใหม่ในโรคด้านปริทันต์ (periodontitis)
- ใช้ร่วมกับคอมพิวเตอร์ในการคุณภาพอัลตราซาวด์
- ใช้ในการบำบัดผู้ที่ติดแอลกอฮอล์ และ โรค narcolepsy
- ใช้ PHA เป็นสารตั้งต้นในการผลิต *R(-)-3-hydroxybutyric acids* ซึ่งสารนี้เป็นส่วนประกอบสำคัญที่พบในเลือดโดยปกติ มีความเข้มข้นระหว่าง 0.3 และ 1.3 มิลลิโมลาร์ สาร *R(-)-3-hydroxybutyric acids* สามารถใช้เป็น chiral building blocks สำหรับสังเคราะห์สารเคมีบริสุทธิ์ เช่น ยาปฏิชีวนะ วิตามิน และ ฟีโรโมน (pheromone) PHB สามารถถูกไฮโดรไลซ์เป็น *R(-)-3-hydroxybutyric acids* ได้อย่างรวดเร็ว ซึ่ง *R(-)-3-hydroxybutyric acids* ถูกนำไปใช้ในการสังเคราะห์ยาโดยบริษัท Mercks ได้แก่ยา anti-glaucoma มีชื่อทางการค้าว่า “Truspot” (Reddy และคณะ, 2003)



รูปที่ 1.1 ขวดและถ้วยที่ผลิตจาก PHA



รูปที่ 1.2 บรรจุภัณฑ์ที่ผลิตจาก PHA



รูปที่ 1.3 ถ้วยกาแฟที่ผลิตจาก PHA



รูปที่ 1.4 บัตรเครดิตที่ผลิตจาก PHA

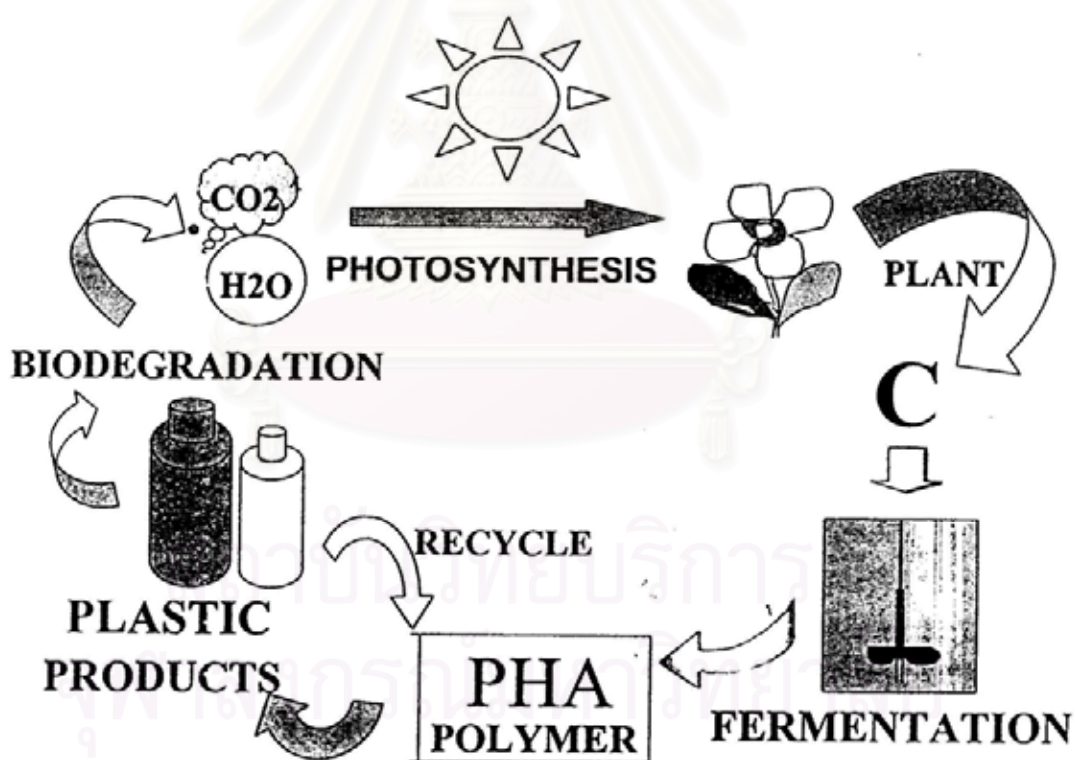


รูปที่ 1.5 แหจับปลาและเส้นใยที่ผลิตจาก PHA

นอกจากสมบัติในการถูกย่อยสลายได้อย่างสมบูรณ์ด้วยวิธีการชีวภาพ และสามารถนำมาใช้ทดแทนพลาสติกจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมีบางชนิดได้ ยังสามารถผลิต PHA ได้จากวัตถุดิบที่เป็นทรัพยากรที่ผลิตขึ้นทดแทนได้ใหม่ (renewable resources) ซึ่งเป็นข้อดีอีกประการหนึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับพลาสติกที่ได้จากวัตถุดิบประเภทฟอสซิล ซึ่งใช้เวลานานมากในการสร้างทดแทนขึ้นมาใหม่และไม่สามารถถูกย่อยสลายได้ วัฏจักร PHA แสดงในรูปที่ 1.6 เริ่มจากการผลิต PHA จากวัตถุดิบทางการเกษตรโดยกระบวนการหมัก จุลินทรีย์จะสร้างและสะสมแกรนูล

ของ PHA ที่ได้จากกระบวนการเมตาบอลิซึมของเซลล์ จากนั้นนำ PHA มาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์พลาสติกต่างๆ หลังจากผ่านการใช้งานแล้ว PHA อาจจะถูกกำจัดเช่นเดียวกับขยะประเภทของแข็งทั่วไป เมื่อเกิดการย่อยสลายโดยธรรมชาติจะได้เป็นปุ๋ยที่มีแหล่งอินทรีย์คาร์บอนที่สมบูรณ์ ช่วยเพิ่มปริมาณน้ำ รักษาปริมาณสารอาหารในดิน และสามารถยับยั้งการเกิดโรคพืชบางชนิดได้ เมื่อย่อยสลายสมบูรณ์จะได้น้ำและคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเป็นวัตถุดิบที่ใช้สำหรับกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืช และนำกลับมาใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับ PHA ต่อไป

ดังนั้น แนวความคิดในการนำกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานสุรามาใช้สกัด PHA นอกจากจะสามารถนำ PHA ที่ได้มาใช้ประโยชน์แล้ว ยังสามารถช่วยลดปัญหาในการกำจัดกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียอีกด้วย



รูปที่ 1.6 วัฏจักร PHA

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อเปรียบเทียบและศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของสารโพลีสไตรออลซีอีแอลคาโนเอท ที่สกัดได้จากกากตะกอนระบบบำบัดน้ำเสีย โรงงานสุราแบบที่ใช้ไมโครฟิลเตรชันเมมเบรน ในถึงปฏิกรณ์ชีวภาพ กับสภาวะต่างๆ ของระบบ คือ ช่วงเวลาการเติมอากาศ อายุตะกอน และความเข้มข้นของน้ำเสีย

1.3 สมมติฐานของงานวิจัย

เมื่อระบบบำบัดน้ำเสีย โรงงานสุราแบบที่ใช้ไมโครฟิลเตรชันเมมเบรนในถึงปฏิกรณ์ชีวภาพ มีสภาวะของระบบแตกต่างกัน คือ รอบระยะเวลาการเติมอากาศเป็นช่วงๆ อายุตะกอน และความเข้มข้นของน้ำเสีย ปริมาณสาร โพลีสไตรออลซีอีแอลคาโนเอทที่สกัดได้จากกากตะกอนจะแตกต่างกัน

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

1.) ทำการเดินระบบบำบัดน้ำเสียแบบที่ใช้ไมโครฟิลเตรชันเมมเบรนในถึงปฏิกรณ์ชีวภาพ โดยน้ำเสียในการทดลองนี้ใช้น้ำกากส่าจากกระบวนการผลิตสุรา โรงงานบริษัท แสงโสม จำกัด มีระยะเวลาในการเดินระบบครั้งละประมาณ 1 เดือน สภาวะการเดินระบบมีดังนี้คือ

- รอบระยะเวลาการเติมอากาศเป็นช่วงๆ คือ 60 นาที และ 90 นาที
- อายุตะกอน 50 วัน และ 100 วัน
- ความเข้มข้นของน้ำเสียซีไอดี 1000 มก./ล. และ 1500 มก./ล.

2.) การหาปริมาณสารโพลีสไตรออลซีอีแอลคาโนเอทจากกากตะกอนในแต่ละสภาวะการเดินระบบ ทำการเก็บกากตะกอนบริเวณถึงปฏิกรณ์ วิเคราะห์ 2 ครั้งต่อสัปดาห์ ส่วนการหาโครงสร้างสารโพลีสไตรออลซีอีแอลคาโนเอท วิเคราะห์ 1 ครั้งต่อ 4 สัปดาห์

3.) พารามิเตอร์ในการวิเคราะห์น้ำได้แก่ ฟอสฟอรัสทั้งหมด กลูโคส และกรดไขมันระเหยง่าย

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.) ทำให้ทราบสภาวะที่เหมาะสมในการสกัด PHA เพื่อให้ได้ปริมาณสูงสุดจากระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานสุราแบบที่ใช้ไมโครฟิลเตรชันเมมเบรนในถึงปฏิกรณ์ชีวภาพ
- 2.) ช่วยลดปัญหาในการกำจัดกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานสุราแบบที่ใช้ไมโครฟิลเตรชันเมมเบรนในถึงปฏิกรณ์ชีวภาพ และเป็นการนำกากตะกอนมาใช้ให้เกิดประโยชน์มากที่สุด
- 3.) PHA ที่ได้สามารถนำมาใช้ในการผลิตพลาสติกที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ช่วยลดปัญหาการผลิตและการกำจัดพลาสติกสังเคราะห์ ซึ่งส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม
- 4.) เพื่อเป็นต้นแบบในการสกัด PHA จากกากตะกอนระบบบำบัดน้ำเสียอื่นๆ ต่อไป



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

สำรวจเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 โพลีไฮดรอกซีอัลคาโนเอท (Polyhydroxyalkanoate, PHA)

2.1.1 ความหมายของ PHA

Polyhydroxyalkanoate หรือ PHA เป็นโพลิเอสเทอร์ของกรดไฮดรอกซีอัลคาโนอิก (HA) ที่สร้างขึ้นโดยจุลินทรีย์หลายชนิดสะสมไว้ใช้เป็นแหล่งคาร์บอนและพลังงานภายใต้ภาวะที่จำกัดสารอาหารบางอย่าง เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส ซัลเฟอร์ หรือออกซิเจน แต่มีแหล่งคาร์บอนมากเกินไป เพื่อใช้ในภาวะที่ขาดแคลนอาหารและเป็นแหล่งอาหารสำรอง (Anderson and Dawes, 1990) โดย PHA ที่สังเคราะห์ขึ้นจะถูกเก็บสะสมไว้ในรูปของแกรนูลภายในไซโตพลาสซึมของเซลล์ จำนวนและขนาดของแกรนูลในแต่ละเซลล์จะแตกต่างกันตามชนิดของจุลินทรีย์ โดยจุลินทรีย์ที่สามารถสังเคราะห์ PHA มีมากมาย เช่น *Pseudomonas*, *Alcaligenes eutrophus*, *Azotobacter vinelandii*, *Rhodococcus ruber*, *Methylotrophs* และ *Escherichia coli* เป็นต้น (Lee, 1996) ในสภาพธรรมชาติพบว่ามีจุลินทรีย์หลายกลุ่มที่สามารถสังเคราะห์และสะสม PHA ได้ดังแสดงในตารางที่ 2.1 (Byrom, 1987)

2.1.2 การค้นพบ PHA

PHA ตัวแรกที่ถูกค้นพบคือ โพลีไฮดรอกซีบิวทีเรท (Polyhydroxybuterate) หรือ PHB พบในเซลล์ของ *Bacillus megaterium* โดยนักวิทยาศาสตร์ชาวฝรั่งเศสชื่อ Lemoigne (1926) ซึ่งได้ทำการศึกษาวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีและสังเกตการสร้าง PHB ของ *Bacillus megaterium* พบว่าเกี่ยวข้องกับการเกิดสปอร์ (sporulation) ที่มีการสะสมของก้อนไขมัน (lipid inclusion) ในช่วงการเจริญของแบคทีเรีย เพื่อเป็นแหล่งคาร์บอนและพลังงานภายในเซลล์ ซึ่งการสร้างและเกิดจากการถูกจำกัดสารอาหารที่จำเป็น

ตารางที่ 2.1 กลุ่มของจุลินทรีย์ที่สามารถสังเคราะห์ PHA ในธรรมชาติได้ (Byrom, 1987)

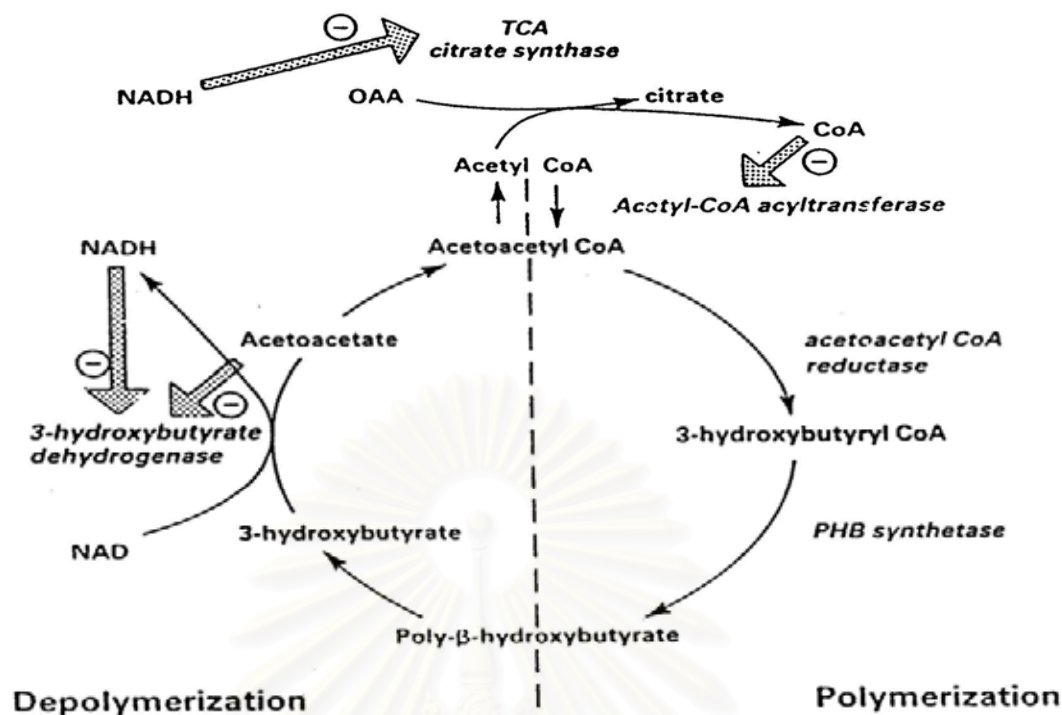
Acinetobacter	Gamphosphaeria	Photobacterium
Actinomycetes	Haemophilus	Pseudomonas
Alcaligenes	Halobacterium	Rhizobium
Aphanothece	Hyphomicrobium	Rhodobacter
Aquaspirillum	Lamprocystis	Rhodospirillum
Azospirillum	Lampropedia	Sphaerotilus
Azotobacter	Leptotrix	Spirillum
Bacillus	Methylobacterium	Spirulina
Beggiatoa	Methylocystis	Streptomyces
Beijerinckia	Methylosinus	Syntrophomonas
Caulobacter	Micrococcus	Thiobacillus
Chlorofrexeus	Microcoleus	Thiocapsa
Chlorogloea	Microcystis	Thiocystis
Chromatium	Moraxella	Thiodictyon
Chromobacterium	Mycoplana	Thiopedia
Crostridium	Nitrobacter	Thiosphaera
Derxia	Nitrococcus	Vibrio
Ectothiorhodospira	Nocardia	Xanthobacter
Escherichia	Oceanospirillum	Zoogloea
Ferrobactillus	Paracoccus	

Wallen และ Rodwedder (1974) รายงานการค้นพบ PHA ชนิดอื่นนอกจาก PHB โดยค้นพบเฮเทอร์โรโพลิเมอร์ที่สกัดได้ในส่วนคลอโรฟอร์มของ activated sewage sludge โดยพบว่า PHA ประกอบด้วย 3-ไฮดรอกซีบิวทีเรท และ 3-ไฮดรอกซีวาเลอเรทเป็นองค์ประกอบหลัก และมีกรดไฮดรอกซีที่มีคาร์บอนจำนวน 6-7 อะตอม เป็นองค์ประกอบรอง โดยเฮเทอร์โรโพลิเมอร์ที่ได้นี้มีจุดหลอมเหลวต่ำกว่า PHB และไม่ละลายในเอทานอลร้อนเช่นเดียวกับโฮโมโพลิเมอร์ ส่วน Finedley และ White (1983) ได้ตรวจสอบโพลิเมอร์ที่สกัดจากตะกอนทะเลที่ได้จากการวิเคราะห์โดยใช้ capillary gas-chromatography (GC) พบ 3-ไฮดรอกซีบิวทีเรท และ 3-ไฮดรอกซีวาเลอเรท ส่วนโพลิเมอร์ที่สกัดได้จาก *Bacillus megaterium* พบ 3-ไฮดรอกซีบิวทีเรท ประมาณ 95 %,

3-ไฮดรอกซีเฮปตะโนเอท ประมาณ 3 %, 3-ไฮดรอกซีออกตะโนเอท ประมาณ 2 % และพบกรด 3-ไฮดรอกซีอื่นๆ อีกเล็กน้อย

ในขณะที่เดียวกันได้มีผู้ศึกษาการย่อยสลายของ PHB พบว่าเกี่ยวข้องกับกระบวนการย่อยสลายโพลีเมอร์ (depolymerization) ภายในเซลล์และการหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ (polymerization) ดังรูปที่ 2.1 ซึ่งแสดงการสังเคราะห์และการย่อยสลายของ PHB ภายใต้ภาวะที่มีแหล่งคาร์บอนมากเกินไป พบว่ามีจุลินทรีย์หลายชนิดมีเอนไซม์ที่ควบคุมการเมตาบอลิซึมของ PHB คือ อะซิติลโค เอ เอริทรานเฟอเรส (Acetyl CoA acryl tranferase) ซึ่งจะถูกยับยั้ง (inhibit) โดยโคเอนไซม์ เอ อิสระ (free coenzyme A) ที่มีความเข้มข้นสูง ภายใต้ภาวะสมดุลระดับ CoASH จะสูง ทำให้การสร้าง PHB ถูกยับยั้ง แต่ในภาวะถูกจำกัดสารอาหาร (nutrient limitation) และมีแหล่งคาร์บอนมากเกินไป จะมีการสร้าง NADH ขึ้นมายับยั้งเอนไซม์ซิเตรทซินเทส (citrate synthase) ทำให้ระดับของเอนไซม์อะซิติลโค เอ (acetyl CoA) สูงขึ้นถึงระดับที่สามารถยับยั้ง CoASH ทำให้เกิดปฏิกิริยารวมกัน (condensation) ของอะซิโตะอะซิติลโคเอ (acetoacetyl CoA) นำไปสู่การสังเคราะห์ PHB ขึ้น (polymerization)

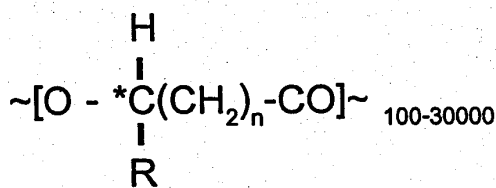
ส่วนการย่อยสลายโพลีเมอร์ถูกควบคุมผ่านการออกซิเดชันของสายโมโนเมอร์ (3-hydroxybutyrate monomer) โดยเอนไซม์ 3-ไฮดรอกซีบิวทีเรตดีไฮโดรจีเนส (3-hydroxybutyrate dehydrogenase) จะยับยั้งการเกิดอะเซโตะอะซิเตท (acetoacetate) และ NADH ทำให้ได้ 3HB อิสระ ซึ่งการควบคุมของวัฏจักรทั้งหมดนี้ เกิดขึ้นเชื่อมโยงกับวัฏจักร TCA ในเซลล์จุลินทรีย์ทั่วไป



รูปที่ 2.1 วัฏจักรการสังเคราะห์และการสลาย PHB (Byrom, 1987)

2.1.3 โครงสร้างของ PHA

PHA มีโครงสร้างเป็นโพลีเอสเตอร์สายตรง (aliphatic polyesters) ที่ประกอบด้วย ฆาตุคาร์บอน ออกซิเจน และไฮโดรเจน สูตรโครงสร้างทั่วไปแสดงดังรูปที่ 2.2 โมโนเมอร์ของสาย โพลีเมอร์ต่อกันแบบหัวต่อหาง โดยโมโนเมอร์ในกลุ่มไฮดรอกซีเชื่อมต่อกันด้วยพันธะเอสเตอร์ ระหว่างหมู่คาร์บอกซิลิกของโมโนเมอร์ตัวแรกกับหมู่ไฮดรอกซีของโมโนเมอร์ตัวถัดไปตรง ตำแหน่งบีต้าคาร์บอน ซึ่งจะเป็นไครัลคาร์บอน (chiral carbon) ที่แสดงโครงสร้างเป็น R-configuration หมู่อัลคิล (R) อาจจะเป็นแบบพันธะไม่อิ่มตัว (unsaturated) แบบอะโรมาติก (aromatic) แบบฮาโลเจน (halogen) หรือแบบแตกกิ่งก้าน (branched) ได้ (Madison และ Huisman, 1999)



รูปที่ 2.2 สูตรโครงสร้างของ PHA (Lee, 1996)

~ คือพันธะเอสเทอร์

*C คือตำแหน่งปีศาจคาร์บอน

เมื่อ n = 1	R = ไฮโดรเจน (H)	สารนี้คือ โพลี (3-ไฮดรอกซีโพรพิโอเนต)	; P(3HP)
	R = เมทิล (CH ₃)	สารนี้คือ โพลี (3-ไฮดรอกซีบิวทีเรต)	; P(3HB)
	R = เอทิล (C ₂ H ₅)	สารนี้คือ โพลี (3-ไฮดรอกซีวาเลอเรต)	; P(3HV)
	R = โพรพิล (C ₃ H ₇)	สารนี้คือ โพลี (3-ไฮดรอกซีเฮกซะโนเอต)	; P(3HHx)
	R = บิวทิล (C ₄ H ₉)	สารนี้คือ โพลี (3-ไฮดรอกซีเฮปตะโนเอต)	; P(3HH)
	R = เพนทิล (C ₅ H ₁₁)	สารนี้คือ โพลี (3-ไฮดรอกซีออกตะโนเอต)	; P(3HO)
	R = เฮกซิล (C ₆ H ₁₃)	สารนี้คือ โพลี (3-ไฮดรอกซีโนนาโนเอต)	; P(3HN)
	R = เฮปทิล (C ₇ H ₁₅)	สารนี้คือ โพลี (3-ไฮดรอกซีเดคาโนเอต)	; P(3HD)
	R = ออกทิล (C ₈ H ₁₇)	สารนี้คือ โพลี (3-ไฮดรอกซีอันเดคาโนเอต)	; P(3HUD)
	R = โนทิล (C ₉ H ₁₉)	สารนี้คือ โพลี (3-ไฮดรอกซีโดเดคาโนเอต)	; P(3HDD)
เมื่อ n = 2	R = ไฮโดรเจน (H)	สารนี้คือ โพลี (4-ไฮดรอกซีบิวทีเรต)	; P(4HB)
เมื่อ n = 3	R = ไฮโดรเจน (H)	สารนี้คือ โพลี (5-ไฮดรอกซีวาเลอเรต)	; P(5HV)

2.1.4 PHA กับการกำจัดฟอสฟอรัสทางชีวภาพ

การกำจัดฟอสฟอรัสทางชีวภาพสามารถทำได้โดยการสร้างสภาพแวดล้อมที่ทำให้เกิดการคัดพันธุ์ของแบคทีเรียที่สามารถสะสมฟอสฟอรัสได้เป็นพิเศษ ซึ่งเรียกว่า โพลี-พี แบคทีเรีย (poly-P bacteria) หรือ พีเอโอ (phosphate accumulating organisms, PAOs) โดยผ่านกระบวนการแอนแอโรบิก-แอโรบิก จนเกิดการคัดพันธุ์แบคทีเรียชนิดนี้ขึ้น โดยปกติเซลล์จุลชีพจะมีฟอสฟอรัสเป็นส่วนประกอบร้อยละ 1.5 ถึง 2 ของน้ำหนักตัวแห้ง และในการระบายสลัดจ์ส่วนเกินออกจากระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพทั่วไป สามารถกำจัดฟอสฟอรัสได้เพียงร้อยละ 10 ถึง 30 ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนซีโอดีต่อฟอสฟอรัสในน้ำเข้า การเก็บรวบรวมสลัดจ์ และวิธีการบำบัด แต่พีเอโอเป็นแบคทีเรียที่สามารถสะสมฟอสฟอรัสไว้ภายในเซลล์ได้มากกว่าปริมาณที่เซลล์ต้องการใช้ในการเจริญเติบโตหรือที่เรียกว่า “การจับใช้ฟอสฟอรัสฟุ่มเฟือย (luxury phosphorus uptake)” โดยพีเอโอสามารถจับใช้ฟอสฟอรัสได้ร้อยละ 4 ถึง 12 ของน้ำหนักตัวแห้ง ทำให้การระบายสลัดจ์ออกจากระบบนี้สามารถกำจัดฟอสฟอรัสได้มากกว่าระบบธรรมดา 2.5 ถึง 4 เท่า (WEF และ ACSE, 1992)

เดิมเชื่อกันว่าแบคทีเรียกลุ่มพีเอโอมีอยู่เพียงประเภทเดียว คือ *Acinetobacter* แต่จากการศึกษาของ Brodisch และ Joyner (1983) พบว่า *Acinetobacter* ไม่ได้เป็นแบคทีเรียเพียงชนิดเดียวที่สามารถสะสมฟอสฟอรัสได้ แต่ยังมีแบคทีเรียชนิดอื่นอีก คือ *Aeromonas* และ *Pseudomonas* ซึ่งพบในปริมาณที่สูงถึงร้อยละ 50 ของแบคทีเรียชนิดแอโรบิกทั้งหมดในระบบ และกลับพบว่ามีแบคทีเรีย *Acinetobacter* เพียงร้อยละ 15 เท่านั้น ส่วน Randall และคณะ (1992) พบว่าในการกำจัดฟอสฟอรัสมีแบคทีเรียชนิด *Aeromonas/Vibrio*, *Pseudomonas* และ *Coliform* ในปริมาณที่มากกว่า *Acinetobacter* ซึ่งมีเพียงร้อยละ 5 ของแบคทีเรียทั้งหมดเท่านั้น ส่วน Kavanaugh และ Randall (1994) ได้ทำการศึกษาชนิดของแบคทีเรียในกระบวนการกำจัดธาตุอาหารทางชีวภาพ (biological nutrient removal, BNR) พบแบคทีเรีย 4 ชนิดที่เกี่ยวข้องกับการกำจัดฟอสฟอรัสทางชีวภาพ คือ *Aeromonas/Vibrio*, *Pseudomonas*, *Coliform* และ *Acinetobacter* โดยแบคทีเรีย 3 ชนิดแรกถูกพบในปริมาณที่มากกว่า *Acinetobacter* ซึ่งถูกพบเพียงร้อยละ 5 ของจำนวนแบคทีเรียทั้งหมด

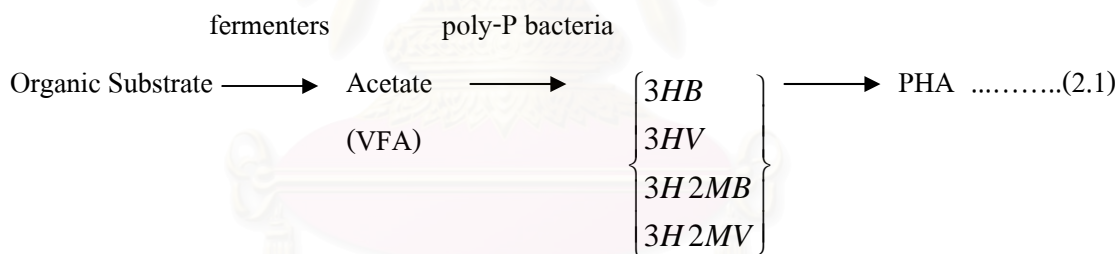
Stante และคณะ (1997) ได้ทำการทดลองในระบบอิมปีฟิอาร์โดยวิธีเอสปีอาร์ พบว่า *Lampropedia* spp. มีการสะสมฟอสฟอรัสและ PHA ซึ่งเป็นลักษณะที่สำคัญของพีเอโอ ส่วน Johwan และคณะ (2002) ได้ทำการทดลองในระบบอิมปีฟิอาร์โดยวิธีเอสปีอาร์เช่นกัน พบว่า จุลินทรีย์ที่มีการสะสมฟอสฟอรัสซึ่งเป็นกลุ่มเด่นในระบบ ได้แก่ *Rhodocyclus* sp. และ *Dechlorimonas* sp. นอกจากนี้ Chuang และ Ouyang (2000) ได้ทำการทดลองหาสัดส่วนของ

Heterotrophs และพีเอโอในระบบแอนแอโรบิก-แอโรบิกในกระบวนการกำจัดธาตุอาหารทางชีวภาพ พบว่าสัดส่วนของพีเอโอเป็น 12% ของ Heterotrophs และพีเอโอรวมกัน

กลไกการกำจัดฟอสฟอรัสโดยการจับใช้อย่างฟุ่มเฟือยสามารถอธิบายได้ดังนี้

1.) สภาวะแอนแอโรบิก

ในสภาวะแอนแอโรบิกจะเกิดการหมัก (fermentation) เป็นขั้นตอนแรก โดยจุลชีพจะเปลี่ยนคาร์บอนอินทรีย์ไปเป็นกรดไขมันระเหยง่าย (volatile fatty acids, VFA) ชนิดที่มีคาร์บอนน้อยๆ เช่น กรดอะซิติก กรดไพรูวิก กรดบิวทิริก เป็นต้น ต่อมาแบคทีเรียกลุ่มพีเอโอจะดูดซึมกรดไขมันระเหยง่ายนี้เข้าไปในเซลล์ โดยส่วนหนึ่งจะถูกนำไปใช้ในกระบวนการเมตาบอลิซึมโดยตรง และอีกส่วนหนึ่งจะถูกเก็บสะสมไว้เป็นอาหารสำรองในรูปพีเอชเอ (poly- β -hydroxyalkanoates, PHA) ซึ่งอยู่ในรูปของ 3-hydroxybutyrate (3HB), 3-hydroxyvalerate (3HV), 3-hydroxy-2-methylbutyrate (3H2MB), 3-hydroxy-2-methylvalerate (3H2MV) แสดงดังสมการที่ 2.1 (Satoh และคณะ, 1998) นอกจากนี้ยังพบว่าใน PHA มี 3HV และ 3HB เป็นองค์ประกอบหลัก



ทั้งนี้แบคทีเรียจะต้องใช้พลังงานจากการย่อยสลาย ATP (adenosine triphosphate) มาใช้ในการสะสม PHA ดังสมการที่ 2.2

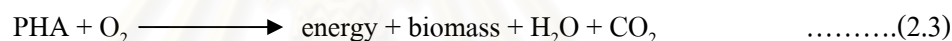


จากสมการข้างต้นสามารถอธิบายได้ว่า เมื่อ ATP สลายตัวจะปล่อยออร์โทฟอสเฟตออกมานอกเซลล์ เกิดสารประกอบ ADP (adenosine diphosphate) และพลังงานส่วนหนึ่ง ซึ่งก็คือพลังงานที่แบคทีเรียนำไปใช้ในการสะสม PHA ซึ่ง Wentzel และคณะ (1985) พบว่ากลไกดังกล่าวจะเกิดขึ้นได้ดีเป็นพิเศษเมื่อใช้กรดไขมันระเหยง่ายชนิดที่มีโมเลกุลน้อยๆ เช่น อะซิเตท

นอกจากนี้ Liu (1994) ได้พบว่าในกระบวนการที่มีขั้นตอนแอนแอโรบิก-แอโรบิกนั้น ไม่ว่าระบบจะมีหรือไม่มีจุลินทรีย์กลุ่มฟีเอโอก็ตาม ระบบจะสามารถสร้าง PHA จากการจับใช้กรดไขมันระเหยง่ายในช่วงแอนแอโรบิกได้อยู่ดี โดยความแตกต่างของระบบที่มีและไม่มีฟีเอโอก็คือแหล่งพลังงานที่ใช้เท่านั้น ซึ่งระบบที่มีฟีเอโอจะใช้พลังงานจากการแตกตัวของโพลีฟอสเฟต ส่วนอีกระบบที่ไม่มีฟีเอโอจะใช้พลังงานจากกลัยโคเจนในเซลล์โดยแบคทีเรียดังกล่าวจะเป็นแบคทีเรียที่สะสมกลัยโคเจนหรือแบคทีเรียกลุ่มจีเอโอ (glycogen accumulating organisms, GAOs)

2.) สภาวะแอโรบิก

ในสภาวะแอโรบิก PHA ที่ถูกเก็บสะสมไว้ภายในเซลล์จะถูกย่อยสลายโดยการดึงเอาออกซิเจนจากภายนอกเซลล์มาใช้ ทำให้เกิดเซลล์ใหม่และพลังงาน พร้อมกับการปล่อยน้ำและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา ดังสมการที่ 2.3 (Grabriel, 1994)



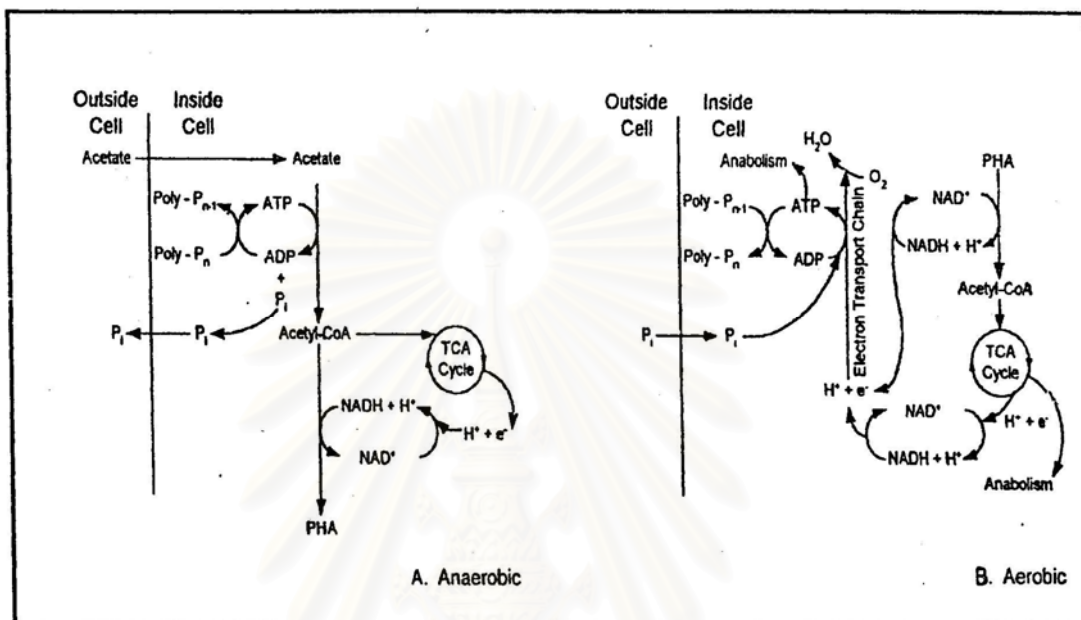
พลังงานใหม่ที่ได้นี้จะถูกใช้ในการดึงออร์โธฟอสเฟตจากนอกเซลล์มารวมกับ ADP ภายในเซลล์ และเก็บสะสมพลังงานไว้ในรูป ATP (ซึ่งเป็นรูปที่มีศักย์พลังงานสูงกว่า) ไว้ใช้ในโอกาสต่อไป ดังสมการที่ 2.4 (Satoh และคณะ, 1998)



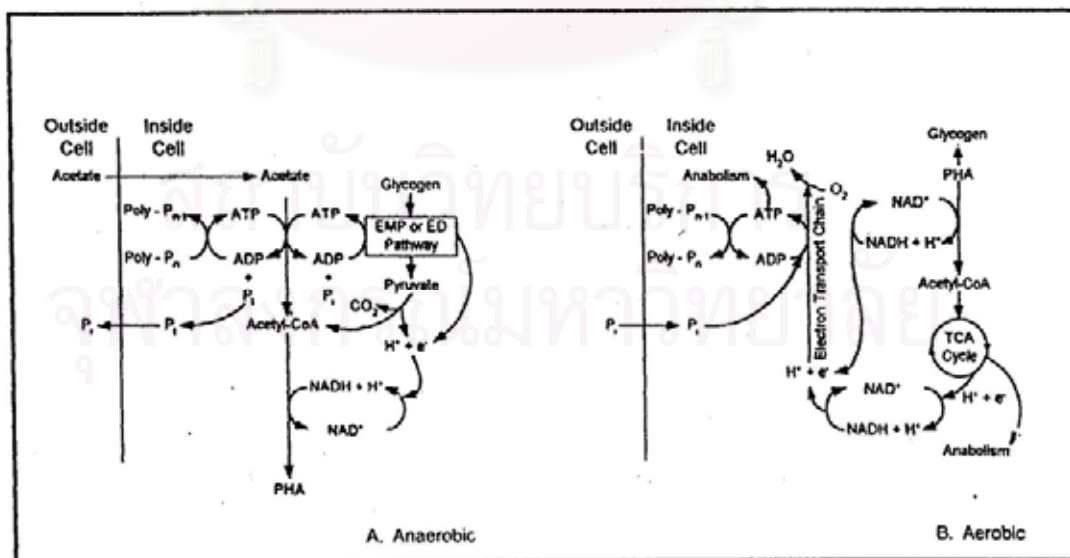
ภายใต้สภาวะแอโรบิกที่เกิดขึ้นต่อจากสภาวะแอนแอโรบิกนี้จะเกิดการเก็บกักฟอสฟอรัสไว้ภายในเซลล์มากกว่าปริมาณที่ต้องการสำหรับการเจริญเติบโต จึงมีการกำจัดฟอสฟอรัสเกิดขึ้นดังที่ได้กล่าวมาแล้ว นอกจากนี้จะเห็นได้ว่า การกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำเสียโดยวิธีนี้ยังเป็นการกำจัดคาร์บอนอินทรีย์ในน้ำเสียไปด้วยในขณะเดียวกัน

แบบจำลองที่ใช้อธิบายการสะสม PHA ที่สำคัญมี 2 แบบคือ แบบจำลองของ Comau-Wentzel และแบบจำลองของ Mino (Grady และคณะ, 1999) โดยแบบจำลองของ Comau-Wentzel กล่าวถึงแหล่งที่มาของ Reducing Power ว่าเกิดจากการออกซิไดซ์อะซิเตทบางส่วนผ่านวัฏจักร TCA (Tricarboxylic acid) โดย Reducing Power ที่ผลิตขึ้นมานี้จะใช้ในการเปลี่ยนรูปอะซิเตทที่เหลือไปเป็น PHA ดังรูป 2.3

ส่วนแบบจำลองของ Mino กล่าวถึงแหล่งที่มาของ Reducing Power ว่าเกิดจากการสลายกลัยโคเจนภายในเซลล์ผ่านทาง ED (Enter-Doudoroff) หรือ EPM (Embden-Meyerhof pathway) และในสภาวะที่มีออกซิเจนจะสะสมกลัยโคเจนคืนจากการสลาย PHA ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.3 แบบจำลองของ Comau-Wentzel (Grady และคณะ, 1999)



รูปที่ 2.4 แบบจำลองของ Mino (Grady และคณะ, 1999)

2.2 นำเสียจากโรงงานสุรา

2.2.1 โรงงานสุรา

โรงงานสุรา ตามพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 ได้แบ่งประเภทที่เกี่ยวกับโรงงานสุราออกเป็น 3 ประเภทคือ

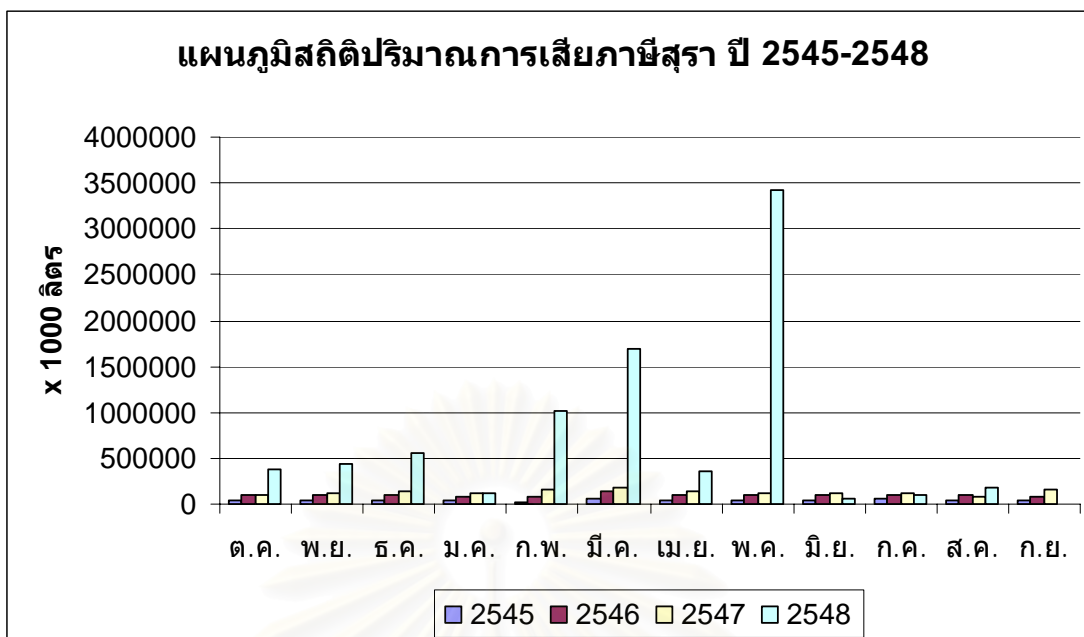
- 1.) ประเภทที่ 016 โรงงานต้ม กลั่น หรือผสมสุรา
- 2.) ประเภทที่ 017 โรงงานผลิตเอทิลแอลกอฮอล์ ซึ่งมีไซเอทิลแอลกอฮอล์ ที่ผลิตจากกากซัลไฟด์ในการทำเชื้อกระดาษ
- 3.) ประเภทที่ 018 โรงงานทำหรือผสม สุราจากผลไม้

ซึ่งในปัจจุบันสามารถแจกแจงรายละเอียดโรงงานสุราในประเทศไทยได้ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 แสดงจำนวน โรงงาน เงินลงทุน และคนงานรวมของโรงงานสุราแต่ละประเภท พ.ศ. 2548 (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2548)

ประเภทโรงงาน	จำนวนโรงงาน (โรงงาน)	เงินลงทุน (ล้านบาท)	คนงานรวม (คน)
16	25	11,650.63	4,894
17	6	4,145.72	615
18	25	1,067.72	516
รวมทั้งสิ้น	56	16,864.07	6,025

โรงงานสุราจะกระจายไปตามภูมิภาคต่างๆ ของประเทศ แต่แหล่งผลิตใหญ่คือในเขตกรุงเทพมหานคร และปริมณฑล ในเขตลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนล่าง และลุ่มน้ำท่าจีนตอนล่าง โดยมีขบวนการผลิตที่ดูจากปริมาณการผลิตที่แจ้งเสียภาษีของกรมสรรพสามิต ซึ่งแสดงดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 สถิติปริมาณการเสียภาษีสุรา (กรมสรรพสามิต, 2548)

2.2.2 กรรมวิธีการผลิตสุรา

สุราเป็นเครื่องดื่มที่ได้จากการผสมแอลกอฮอล์ น้ำ และส่วนผสมอื่นๆ เพื่อให้มีรสชาติและสีแตกต่างกันไป สุราแบ่งตามประเภทของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตรวบรวมไว้ได้ 3 ประเภท คือ

- 1.) สุราที่ผลิตจากเมล็ดธัญพืช (Grain Distillates) ได้แก่ สุราประเภท สก๊อตวิสกี (Scotch Whiskey) ผลิตจากเมล็ดธัญพืชต่างๆ เช่น ข้าวเหนียว ข้าวเจ้า ข้าวบาเลย์ เป็นต้น
- 2.) สุราที่ผลิตจากผลไม้ (Fruit Distillates) เช่น สับปะรด องุ่น เป็นต้น ได้แก่สุราประเภท ไวน์ (Wine) บรัันดี (Brandy) แชมเปญ (Champagne)
- 3.) สุราที่ผลิตจากกากน้ำตาล (Molasses Distillates) เช่น สุราขาว สุราผสม รัม (Rum) เป็นต้น

โดยสุราที่เป็นจุดสนใจในวิทยานิพนธ์นี้คือ สุราที่ผลิตจากกากน้ำตาล ซึ่งกระบวนการผลิตสุราจากกากน้ำตาลแบ่งได้ 4 ขั้นตอนใหญ่ๆ (รูปที่ 2.6) ได้ดังนี้

2.1.1.1 การหมักกากน้ำตาล (Fermentation)

กากน้ำตาล (Molasses) เป็นผลิตภัณฑ์เหลือจากการผลิตของโรงงานน้ำตาล ซึ่งเป็นส่วนที่ไม่สามารถตกผลึกได้ต่อไปอีก มีสีน้ำตาลหรือดำเข้ม มีปริมาณน้ำตาลอยู่ประมาณร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก อัตราความเข้มข้นของน้ำตาลที่เหมาะสมในการหมักประมาณร้อยละ 16 โดยน้ำหนัก ดังนั้นการหมักจึงต้องเจือจางกากน้ำตาลด้วยน้ำ 3 เท่า แล้วจึงใส่เชื้อหมัก (Yeast) และอาหารเสริม การหมักใช้เวลาประมาณ 48 ชั่วโมง จะได้แอลกอฮอล์ร้อยละ 8 – 10 โดยปริมาตร ส่วนผสมของแอลกอฮอล์ภายหลังการหมักเรียกว่า เบียร์ (Beer) หรือ แมช (Mash) หรือน้ำสำ ซึ่งจะถูกส่งต่อไปยังหอกลั่น

2.1.1.2 การกลั่นแอลกอฮอล์ (Distillation)

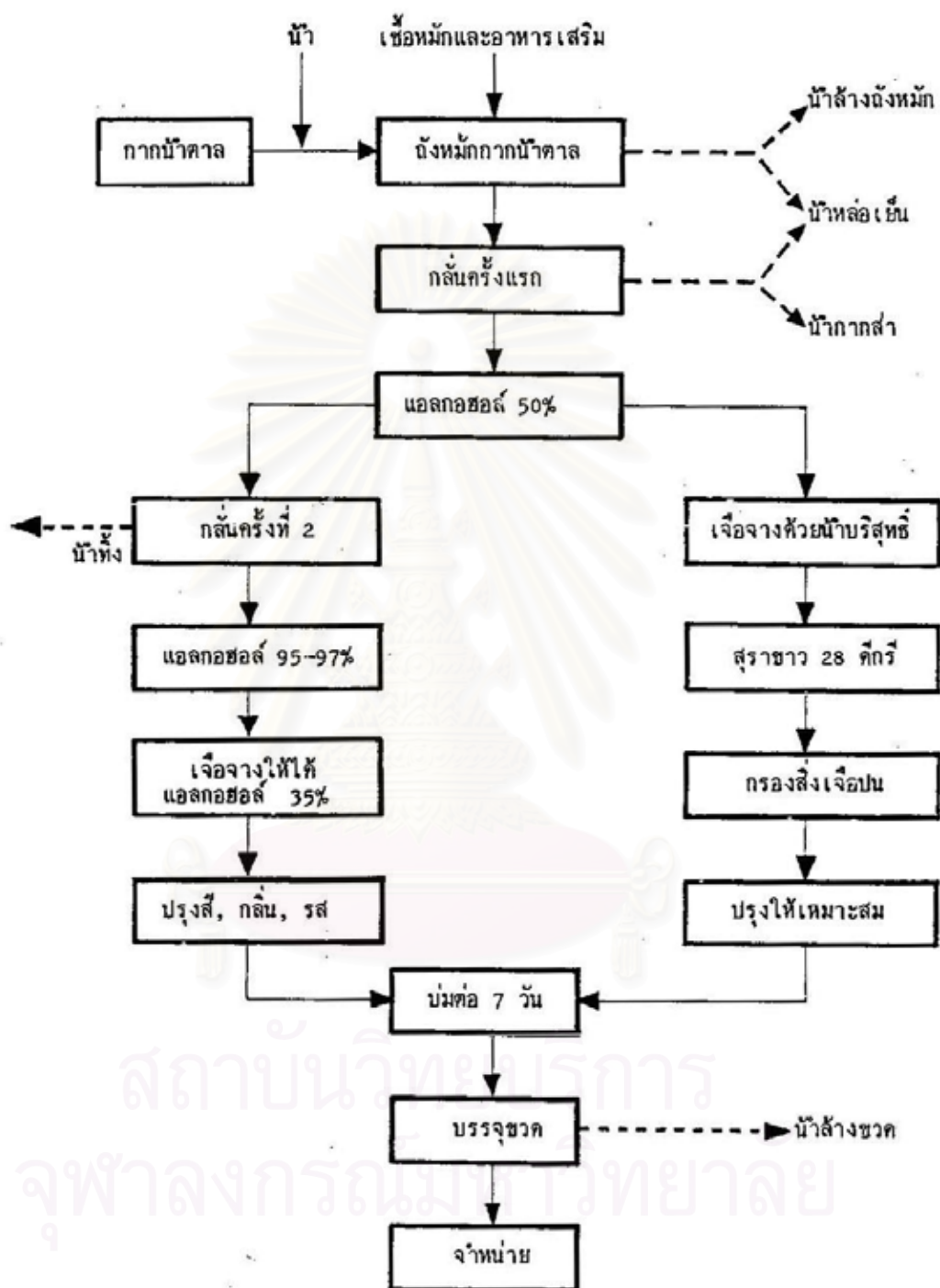
น้ำสำถูกส่งมายังหอกลั่นแรก เพื่อกลั่นแยกแอลกอฮอล์ออกมา ได้แอลกอฮอล์ประมาณร้อยละ 50 ส่วนหนึ่งของที่กลั่นได้นี้ถูกนำไปผลิตสุราขาว และอีกส่วนหนึ่งจะถูกส่งไปกลั่นในขั้นต่อไป เพื่อให้ได้แอลกอฮอล์บริสุทธิ์ร้อยละ 95 – 97 โดยปริมาตร

2.1.1.3 การผลิตสุราขาว (Raw Alcohol Production)

ส่วนหนึ่งของแอลกอฮอล์ร้อยละ 50 โดยปริมาตรที่ได้จากการกลั่นครั้งแรก จะถูกนำมาเจือจางด้วยน้ำบริสุทธิ์เพื่อให้มีความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ร้อยละ 28 โดยปริมาตร หรือ 28° (degree) เรียกว่า สุราขาว จากนั้นกรองเศษผงและสิ่งเจือปนออก ปิ้งให้เหมาะสมและนำมาบ่มต่อประมาณ 7 วัน แล้วนำไปบรรจุขวดเพื่อจำหน่ายต่อไป

2.1.1.4 การผลิตสุราผสม (Blended Liquor Production)

นำแอลกอฮอล์บริสุทธิ์ร้อยละ 95 – 97 โดยปริมาตรที่ได้จากการกลั่นครั้งที่สอง มาเจือจางด้วยน้ำให้มีความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ร้อยละ 35 โดยปริมาตร หรือ 35° (degree) แล้วเติมสี ยาสมุนไพร และส่วนประกอบอื่นๆ เพื่อให้ได้กลิ่นหอมและรสชาติตามความต้องการ จากนั้นนำมากรองและบ่มต่อประมาณ 7 วัน ก่อนบรรจุขวดเพื่อจำหน่ายต่อไป



รูปที่ 2.6 แผนผังแสดงกรรมวิธีการผลิตสุรา (มาลี, 2530)

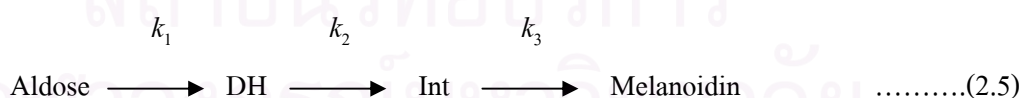
2.2.3 ลักษณะน้ำทิ้งจากโรงงานสุรา

น้ำเสียจากโรงงานสุรา แบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

- 1.) น้ำเสียประเภทเจือจาง ได้แก่ น้ำล้างขวด น้ำที่มีอุณหภูมิสูง น้ำล้างพื้น
- 2.) น้ำเสียประเภทเข้มข้น ได้แก่ น้ำกากสำ น้ำเสียที่มีอุณหภูมิสูง ได้แก่ น้ำจากการพ่นเข้า (Blow Down) เครื่องกำเนิดไอน้ำ และน้ำที่ใช้สำหรับหล่อเย็นในหม้อสำหรับทำให้น้ำกลายเป็นไอ (Condenser) ของเครื่องกลั่นสุรา

น้ำทิ้งของโรงงานสุราส่วนใหญ่มาจากระบวนการผลิตสุราในแต่ละขั้นตอน โดยมีน้ำกากสำเป็นน้ำเสียส่วนใหญ่ของโรงงาน ซึ่งได้มาจากเครื่องกลั่นสุรา ลักษณะของน้ำกากสำจะอยู่ในรูปของเหลวสีน้ำตาล สีน้ำตาลเข้มในน้ำกากสำนั้น เกิดจากสองสาเหตุด้วยกัน คือ เกิดจากสีของคาราเมลจากน้ำตาลชนิดต่างๆ ที่มีเหลือในกากน้ำตาลที่ยังไม่ได้ใช้ในการหมักแอลกอฮอล์ เป็นสารที่ไม่มีธาตุไนโตรเจน และเกิดจากสารเมลานอยดิน ซึ่งเป็นสารที่มีธาตุไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ เกิดจากการรวมตัวระหว่างน้ำตาลชนิดต่างๆ กับกรดอะมิโนชนิดต่างๆ ภายใต้ อุณหภูมิสูง โดยผ่านกระบวนการปฏิกิริยาบราวน์นิ่ง (Browning Reaction) จึงมีผลทำให้กากน้ำตาล และน้ำกากสำมีสีน้ำตาลเข้มด้วย สารเหล่านี้เป็นสารที่ถูกย่อยสลายได้ยาก จึงเป็นปัญหาในการกำจัดก่อนที่จะปล่อยลงสู่แหล่งน้ำ

เมลานอยดิน (melanoidin) เกิดจากน้ำตาลและกรดอะมิโนทำปฏิกิริยากันตามปฏิกิริยาบราวน์นิ่ง (Browning Reaction) โดยปฏิกิริยาปฏิกิริยาบราวน์นิ่งที่มีสารตั้งต้นเป็นกลูโคส สามารถสรุปเป็นปฏิกิริยาหลักๆ ได้เป็น 3 ขั้นตอน ดังสมการ 2.5



DH คือ 3-deoxyhexosulose ในปฏิกิริยาที่สารตั้งต้นเป็นกลูโคส และ Int คือสารประกอบที่ขึ้นกับชนิดของสารตั้งต้น ในที่นี้คือ 3,4-dideoxyheosulose-3-one อัตราการเกิดเมลานอยดินนั้นจะขึ้นกับ k_1 และ k_2 ส่วนโครงสร้างของเมลานอยดินนั้นจะขึ้นกับสารตั้งต้น Int นอกจากนี้แล้ว ปริมาณการเกิดสารเมลานอยดินยังแปรผันตรงกับอุณหภูมิ และแปรผกผันกับความชื้นอีกด้วย เราสามารถพบเมลานอยดินได้ในอาหาร หรือ เครื่องดื่มที่ผ่านกระบวนการผลิต

ที่เกี่ยวข้องกับความร้อน เช่น กาแฟ และชา เป็นต้น (University of Leeds, 2002 และ INSTITUTO DEL FRIO, 2002)

น้ำกากส่าแบ่งได้ 2 ชนิด คือ กากส่าขาว ได้จากการใช้ข้าวเหนียวเป็นวัตถุดิบในการผลิต และกากส่าแดง ซึ่งได้จากกระบวนการผลิตที่ใช้กากน้ำตาลเป็นวัตถุดิบ น้ำกากส่าจากโรงงานสุราเกือบทุกแห่งในประเทศไทยเป็นชนิดกากส่าแดง มีสีน้ำตาลเข้มหรือดำ มีฤทธิ์เป็นกรด และมีความเข้มข้นของปริมาณสารอินทรีย์สูง โดยปกติที่อัตราการผลิต 4,500 เท/วัน (1 เท = 20 ลิตร) จะมีปริมาณน้ำกากส่าประมาณ 300 ลบ.ม./วัน หรือมีปริมาณน้ำกากส่าประมาณ 3.5 เท่า ของอัตราการผลิต (มาลี, 2530)

2.2.4 การบำบัดน้ำกากส่า

เนื่องจากน้ำกากส่าในโรงงานผลิตแอลกอฮอล์และสุราทำให้เกิดปัญหามลภาวะของแม่น้ำลำคลองที่ถูกปนเปื้อน จำเป็นต้องผ่านขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพของน้ำกากส่าที่เป็นน้ำทิ้งเสียก่อน โดยการแยกสิ่งสกปรกต่างๆ ตลอดจนสีน้ำตาลเข้มของน้ำกากส่านั้น ให้มีปริมาณลดลงจนอยู่ในระดับที่ไม่ก่อให้เกิดปัญหา มลภาวะในแหล่งน้ำระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมและแหล่งชุมชนต่างๆ จะเป็นแบบใดนั้นขึ้นอยู่กับความเหมาะสมที่ต้องการบำบัด ตลอดจนสภาพที่จะใช้ในการสร้างระบบ โดยระบบที่นิยมใช้ได้แก่ กระบวนการบำบัดทางเคมีและทางชีวภาพ

2.2.4.1 กระบวนการบำบัดทางเคมี

การตกตะกอนสีน้ำกากส่าด้วยสารเคมี (Chemical Coagulation) โดยใช้สารเคมีชนิดต่างๆ เช่น สารส้ม ปูนขาว และเฟอร์ริกคลอไรด์ (FeCl_3) โดยสารเคมีที่เหมาะสมที่สุดในการตกตะกอนสีน้ำกากส่าด้วยสารเคมี คือ สารส้ม รองลงมาคือ เฟอร์ริกคลอไรด์ (FeCl_3) และปูนขาว นอกจากนี้ การกำจัดสีของเมลาโนยดินด้วยวิธีการทางเคมียังมีอีกหลายรูปแบบซึ่งใช้ค่าใช้จ่ายสูง เช่น การดูดซับด้วยแอคติเวเต็ดคาร์บอน หรือการตกตะกอนด้วยสารเคมีบางอย่าง เช่น แอมโมเนียมซัลเฟต เฟอร์ริกซัลเฟต และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ แต่ต้องเสียค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง

2.2.4.2 กระบวนการบำบัดทางชีวภาพ

เนื่องจากกระบวนการบำบัดทางเคมีที่ได้กล่าวมาแล้วมีค่าใช้จ่ายในการบำบัดสูง การบำบัดทางชีวภาพจึงกำลังเป็นที่นิยมในปัจจุบัน ซึ่งงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการบำบัดน้ำกากส่าโดยวิธีทางชีวภาพ โดยร่วมกับกระบวนการบำบัดไร้ออกซิเจน มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

Watanabe และคณะ (1982) รายงานว่า เห็ด *Corioides ap.* No. 20 สามารถกำจัดสื่อน้ำกากส่าได้ 80 % เมื่อเลี้ยงในอาหารเชื้อที่ประกอบด้วยแอมโมเนียมซัลเฟต $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 1.5 กรัม ในสารละลายสีเมลานอยดินที่สังเคราะห์ขึ้นเองด้วยวิธีการข้างต้นปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร pH 6.4 ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 สัปดาห์ การกำจัดสื่พบที่เกิดจากเอนไซม์ภายในเซลล์ (intercellular enzyme) ซึ่งสามารถสกัดได้จากสายใยของเห็ดที่กำลังเจริญเติบโต เอนไซม์นี้ชื่อว่า ซอร์โบสออกซิเดส (Sorbos Oxidase) ปฏิกิริยาของเอนไซม์นี้จะไปออกซิไดซ์กลูโคสให้ได้ แอคทีฟออกซิเจน (Active Oxygen) และ แอคทีฟออกซิเจนนี้จะไปกำจัดสีเมลานอยดิน

สันทัด (2527) พบว่า เชื้อราสายพันธุ์ D 90 ที่อยู่ในกลุ่ม Deuteromycetes สามารถลดความเข้มข้นน้ำตาลได้ 90 % ในเวลา 10 วัน เมื่อมีการเติมน้ำตาลกลูโคส 2.5 % และยีสต์สกัด 0.2 % ที่ pH 6.0 และมีปริมาณเชื้อเริ่มต้นไม่ต่ำกว่า 0.15 % และเมื่อนำเชื้อราไปทำการลดความเข้มข้นน้ำกากส่าสด น้ำกากส่าหลังผ่านระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ และน้ำกากส่าหลังผ่านระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้อากาศ พบว่า น้ำกากส่าสดเหมาะสมที่สุดสำหรับเชื้อรา D 90 ซึ่งสามารถลดความเข้มข้นน้ำกากส่าได้ 91.0 % ในเวลา 10 วัน และยังคงระดับบีโอดีได้ 81.0 % ในเวลา 12 วัน ในขณะที่น้ำกากส่าหลังผ่านระบบน้ำเสียแบบไร้อากาศ และระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้อากาศ ลดความเข้มข้นน้ำกากส่าได้เพียง 65 และ 60 % ตามลำดับ และลดระดับ บีโอดี ได้ 85.5 และ 93.4 % ตามลำดับ

Sirianuntapiboon และคณะ (1988) ได้นำราสายพันธุ์ D-90 ที่ได้จากการคัดพันธุ์ในประเทศไทยมาทำการศึกษากำจัดสื่อน้ำกากส่า โดยใช้กากส่าจากโรงงานผลิตเอทานอลที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบกรองไร้อากาศ และใช้อากาศตามลำดับ จากการทดลองใช้รา D-90 กำจัดสื่อน้ำกากส่าจากโรงงานผลิตเอทานอลที่ผสมด้วยกลูโคส 2.5% โซเดียมไนเตรท 0.2% โพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต 0.1 % แมกนีเซียมซัลเฟต 0.05% ปรับ pH เท่ากับ 6.0 เลี้ยงที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส พบว่า เมื่อการทดลองใช้น้ำกากส่าที่ไม่ได้ใส่สารอาหารลงไปพบว่ารา D-90 สามารถกำจัดสื่อน้ำกากส่าได้เพียง 17.5 % และในสภาวะที่ไม่ได้ฆ่าเชื้อจะสามารถกำจัดสื่ได้ 70 % ในเวลา 11 วัน และลดค่าบีโอดี ได้ 90 % ในเวลา 15 วัน เมื่อทำการกำจัดสีเมลานอยดินในระบบ

กึ่งต่อเนื่อง (Fedbatch) พบว่าสามารถกำจัดสีน้ำกากส่าได้ประมาณ 80 % ในเวลา 10 วัน และลดค่าบีโอดีได้ 70%

Ohmomo และคณะ (1988) พบว่าแบคทีเรียไม่ต้องใช้ออกซิเจน ในกลุ่มของ lactic acid bacteria สามารถลดความเข้มข้นน้ำกากส่าได้ 30 % ซึ่งมีค่าต่ำกว่าความสามารถในการลดความเข้มข้นของเชื้อราในกลุ่ม Basidiomycetes และ Ascomycetes การเจริญและความสามารถในการลดความเข้มข้นน้ำกากส่านั้นไม่ต้องการออกซิเจน ซึ่งไม่เหมาะสมต่อการบำบัดน้ำกากส่าในอุตสาหกรรม และพบว่าเมื่อนำแบคทีเรียไม่ต้องการอากาศนี้ไปตรึงด้วยเจลแคลเซียมอัลจิเนต จะสามารถลดความเข้มข้นน้ำกากส่าได้เพิ่มขึ้น 1.6 เท่า ของการใช้เซลล์อิสระ ทั้งนี้เนื่องจากการที่นำเซลล์ของแบคทีเรียไปใส่ในเจลนั้น เป็นการปรับสภาวะแวดล้อมให้เหมาะสมแก่เชื้อมากยิ่งขึ้น นอกจากนี้ เซลล์ที่ถูกตรึงนั้นยังสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีกหลายครั้ง ทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำกากส่าลงไปได้อีก ต่อมาจึงได้คัดเลือกจุลินทรีย์พวกกึ่งไม่ใช้อากาศ (Facultative anaerobe) ที่มีความสามารถกำจัดน้ำกากส่า (melanoidin – decolorizing activity) หรือ MDA จากบ่อเก็บน้ำกากส่าในโรงงานผลิตเอทานอล พบว่ามีแบคทีเรียบางสายพันธุ์ที่มีความสามารถในการกำจัดสีน้ำกากส่าโดยเฉพาะ *Lactobacillus hilgardii* สายพันธุ์ W-NS สามารถกำจัดสีน้ำกากส่าได้ 28 % เมื่อเลี้ยงเชื้อในอาหารเลี้ยงเชื้อที่ประกอบด้วย กลูโคส 1.0 % ยีสต์ 0.2 % เปปโตน 0.3 % โปรแตสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต 0.1% แมกนีเซียม 0.05% ปรับ pH เท่ากับ 7.3 เลี้ยงเชื้อที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน พบว่ากำจัดสีน้ำกากส่าได้เพิ่มมากขึ้นเป็น 40 % ส่วนเมื่อเลี้ยง *Lactobacillus hilgardii* สายพันธุ์ W-NS ที่ตรึงเซลล์ด้วยแคลเซียมอัลจิเนตแล้ว ในอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีกลูโคส 1 % ปรับ pH 5.0 เลี้ยงเชื้อที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส พบว่าสามารถกำจัดสีน้ำกากส่าได้ 90 % ในเวลา 1 เดือน ในระหว่างนี้ต้องเติมเปปโตน 0.05 % ลงในน้ำกากส่าด้วย และเมื่อทำการทดลองในถังหมักแบบคอลัมน์ (Column-types reactor) จะไม่สามารถบำรุงรักษาเชื้อไว้ได้ และการกำจัดสีน้ำกากส่าจะลดลงครึ่งหนึ่งในเวลา 5 วัน ถ้าความเป็นด่างเท่ากับ 7.3 การกำจัดสีก็จะลดลงอีก

สำหรับในประเทศไทย น้ำกากส่าจากโรงงานสุรามีความเข้มข้นมาก มีค่าบีโอดีสูงประมาณ 35,000 มก./ล. ซึ่งเข้มข้นกว่าน้ำไฮโดรคอกจากชุมชนกว่า 200 เท่า ซีโอดีประมาณ 100,000 – 150,000 มก./ล. มีฤทธิ์เป็นกรด (pH 4.2) มีไนโตรเจนประมาณ 1,500 มก./ล. P_2O_5 200 มก./ล. และ K_2O ประมาณ 1,000 มก./ล. มีสีดำเข้ม จึงยากต่อการกำจัดโดยวิธีทางชีววิทยา แต่จากการศึกษาและรวบรวมของ ดร.สุจินต์ พนาปวุฒิกุล (2543) มีอยู่ 8 วิธี โดยสามารถเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของแต่ละวิธีการได้ดังนี้ และแสดงดังตารางที่ 2.3

1.) บ่อเก็บกักและลานตาก (Storage Lagoon and Land Application)

วิธีนี้เป็นการเก็บน้ำกากส่า 6 เดือนในฤดูฝนในบ่อเก็บกัก จากนั้นทำการระบายน้ำกากส่าจากบ่อเก็บกักแล้วนำมาผสมกับน้ำกากส่าในฤดูแล้งอีก 6 เดือน รวม 12 เดือน แล้วไปนำตากแห้งบนลาน อัตราระเหยอยู่ระหว่าง 4-5 มม./วัน วิธีนี้จะใช้พื้นที่มาก คือประมาณ 150 ไร่ สำหรับน้ำเสียอัตราประมาณ 400 ลบ.ม./วัน ค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียโดยวิธีนี้อยู่ในเกณฑ์ประมาณ 2-3 บาท/ลบ.ม. ของน้ำกากส่า ซึ่งนับว่าถูกมาก มักใช้กับน้ำเสียที่มีความเข้มข้นไม่จำกัด แต่มีข้อเสียคือต้องใช้ที่ดินมาก

วิธีการเก็บกักน้ำกากส่าแบบบ่อเก็บกักและลานตากนี้ อาจมีปัญหาในเรื่องกลิ่นหากเป็นน้ำกากส่าสด เพราะสภาพกรดจะทำให้เกิดกลิ่นเหม็นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ จึงต้องป้องกันด้วยการเติมปูนขาวในบ่อตอนแรกเริ่มการใช้บ่อเก็บกัก หรือหากมีน้ำกากส่าค้างแล้วก็อาจสูบน้ำออกจากบ่อกรดมาบ่อต่าง เพื่อให้สะเทินได้แล้วย้ายกลับมาบ่อกรดเดิมได้ ทำให้บ่อทั้งหมดเป็นต่าง ปัญหากลิ่นก็จะหมดไป

2.) วิธีใช้น้ำกากส่าโดยตรงทางเกษตร (Direct Agricultural Use)

เนื่องจากน้ำกากส่ามีคุณค่าอาหารหลัก (N, P, K) อยู่ จึงนำไปทดลองเพื่อเพิ่มผลผลิตทางการเกษตร เช่น ข้าว พืชผลต่างๆ โดยการบรรทุกรถไปใส่ในนาแปลงหน้าในฤดูแล้งในอัตราที่เหมาะสม ต่อมาเมื่อฝนตกจะทำการไถโดยรอบให้น้ำเสียคลุกเคล้าในดิน แม้ค่าพีเอชในน้ำกากส่าจะเป็นกรดบ้างก็ตาม แต่ในดินมี Buffering Capacity ประกอบกับปริมาณน้ำกากส่าที่ใช้อยู่ในปริมาณไม่สูง จึงไม่ทำให้เกิดผลเสียหายต่อพืชได้ อัตราการใช้น้ำกากส่าสดอยู่ในเกณฑ์ประมาณ 10 – 50 ลบ.ม./ไร่ของนาข้าว แล้วแต่ชนิดของข้าว นอกจากนี้ได้ทำการทดลองกับพืชผักสวนครัวไม้ประดับ ไม้ผล และ ไม้ยืนต้น อีกกว่า 50 ชนิดก็พบว่าได้ผลดีเช่นกัน

ปัญหาโลหะหนักและสารพิษในน้ำกากส่าและกากส่าแห้งมีในระดับต่ำมากจนไม่เกิดผลเสียหายต่อพืช และแม้ว่าจะใช้น้ำกากส่าในอัตราสูงเป็น 4 – 5 เท่าของอัตราปกติก็ไม่พบว่าเกิดปัญหากับพืชแต่อย่างใด

3.) การใช้กากสำราดถนนลูกรังเพื่อลดฝุ่น (Road Spray)

วิธีนี้เป็นไปตามความต้องการของท้องถิ่น น้ำกากสำราดถนนลูกรังขนาดจุก 12 ลบ.ม. จะราดได้ไกล 0.5 กม. สำหรับถนนกว้าง 8 ม. และจะไม่มีฝุ่นเป็นระยะเวลา 14 วัน ไม่มีปัญหาเรื่องกลิ่น เพราะน้ำกากสำราดจะมีกลิ่นหอมของน้ำตาลไหม้ ไม่มีผลกระทบต่อยวดยานพาหนะที่ขับขีไปมา เพราะจะแห้งภายใน 3-4 ชั่วโมงเท่านั้น แต่มีข้อเสียคือ ใช้ได้เฉพาะฤดูแล้งเท่านั้น ค่าใช้จ่ายในการขนส่งน้ำกากสำราดทางรถบรรทุกอยู่ในเกณฑ์ประมาณ 10 บาท/ลบ.ม. ของน้ำกากสำราดต่อระยะทางขนส่ง 10 กม. (ไป-กลับ 20 กม.)

ตารางที่ 2.3 การเปรียบเทียบราคาค่าใช้จ่ายในการกำจัดน้ำกากสำราดโดยวิธีต่างๆ พร้อมกับแสดงข้อดีและข้อเสีย (สุจินต์, 2543)

วิธีการบำบัดน้ำกากสำราด	ผลตอบแทนสุทธิ บาท/ลบ.ม.	ข้อดี	ข้อเสีย
การทำบ่อเก็บกักและลานตาก	<ul style="list-style-type: none"> ▪ -3 (หากขายปุ๋ยไม่ได้) ▪ +17 (หากขายปุ๋ยได้) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ ได้ปุ๋ยอินทรีย์เข้มข้นมาใช้ ▪ ลงทุนระยะแรกต่ำมาก ▪ ดำเนินการง่าย 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ ใช้เนื้อที่ประมาณ 150 ไร่ สำหรับน้ำเสีย 400 ลบ.ม./วัน ▪ ฤดูฝนหากมีฝนตกมาก ต้องมีการสูบน้ำกลับไปที่เก็บไว้ในบ่อเก็บกัก
ใช้ในการเกษตรโดยตรง	<ul style="list-style-type: none"> ▪ -2 (ค่าขนส่ง) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ เป็นปุ๋ยอินทรีย์ 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ มีค่าดำเนินการอยู่บ้างในระยะแรก
ราดถนน	<ul style="list-style-type: none"> ▪ -10 (ไม่ได้คำตอบ) ▪ 0 (ได้คำตอบ) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ ได้แก้มลภาวะเกี่ยวกับฝุ่น ▪ ลงทุนระยะแรกต่ำมาก 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ ใช้ได้ในฤดูแล้งเท่านั้น ▪ ต้องขนส่งทางรถ
ใช้เป็นอาหารปลา	<ul style="list-style-type: none"> ▪ -15 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ เป็นอาหารทางอ้อมแก่ปลา 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ ใช้จำนวนน้อยมาก ▪ ใช้ได้เฉพาะฤดูแล้งเมื่อดินแห้งรถเข้าไปได้

ตารางที่ 2.3 (ต่อ) การเปรียบเทียบราคาค่าใช้จ่ายในการกำจัดน้ำกากส่าโดยวิธีต่างๆ พร้อมกับแสดงข้อดีและข้อเสีย (สุจินต์, 2543)

วิธีการบำบัดน้ำกากส่า	ผลตอบแทนสุทธิบาท/ลบ.ม.	ข้อดี	ข้อเสีย
การทำปุ๋ยหมัก	<ul style="list-style-type: none"> ▪ -50 (หากขายปุ๋ยไม่ได้) ▪ -20 (หากขายปุ๋ยได้) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ ได้ปุ๋ยอินทรีย์หรืออาหารเสริมในดินมาใช้ ▪ ลงทุนระยะแรกต่ำและไม่ขาดทุน ▪ หากใช้ร่วมกับการย่อยแบบไร้อากาศจะมีต้นทุนถูกกว่าระบบเอเอส 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ ใช้เนื้อที่มากพอสมควร ▪ การลงทุนดำเนินการสูง
การหมักและเลี้ยงตะกอน	<ul style="list-style-type: none"> ▪ -120 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ ได้กากขี้เเทนมาใช้ประมาณ 80 บาท/ลบ.ม. ▪ ใช้เนื้อที่น้อย 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ การลงทุนดำเนินการสูง ▪ ยังมีปัญหาเรื่องสีและความเข้มข้นไม่ได้มาตรฐาน
ระบบเอเอส	<ul style="list-style-type: none"> ▪ -200 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ ได้ปุ๋ยอินทรีย์เหลวมาใช้ ▪ ใช้เนื้อที่น้อย 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ การลงทุนดำเนินการสูง
การเคี้ยวและการเผา	<ul style="list-style-type: none"> ▪ -300 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ ใช้เนื้อที่น้อย ▪ ได้ผลพลอยได้ เช่น ความร้อน และน้ำกลับมาใช้ได้บ้าง แต่ไม่คุ้มต่อการลงทุน 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ การลงทุนดำเนินการสูง ▪ มีปัญหามลภาวะทางอากาศ

4.) การใช้น้ำกากส่าทำปุ๋ยหมัก (Composting)

น้ำกากส่าสดหรือผ่านการหมักแบบไร้ออกซิเจนมาแล้วอาจนำมาใช้ทำปุ๋ยหมักได้ ซึ่งวิธีการทำปุ๋ยหมักได้แก่ การนำเศษพืช เช่น ชานอ้อย เปลือกและขุยมะพร้าว จี้เสี้ยว ผักตบชวา มากองไว้แล้วเติมสารยูเรีย เชื้อจุลินทรีย์ไบโอเนค จากนั้นฉีดน้ำกากส่าไปบนกองเศษพืช แล้วใช้รถไถให้คลุกเคล้ากันอย่างสม่ำเสมอ การหมักใช้เวลา 1 เดือน เชื้อจุลินทรีย์จะทำลายสารอินทรีย์ต่างๆ ให้สลายตัวไป และทำให้เกิดพลังงานความร้อนระหว่าง 60 – 70 องศาเซลเซียส ทำให้น้ำระเหยไปได้มาก เศษพืช 1 ตัน จะระเหยน้ำกากส่าได้วันละ 280 ล. ดังนั้นวิธีนี้จะไม่มีน้ำเสียไหลล้นลงแหล่งน้ำสาธารณะได้ เพราะจะเป็นการระเหยน้ำให้หมดไป

5.) วิธีการหมักแบบก๊าซชีวภาพ (Anaerobic Digestion)

วิธีนี้เป็นการหมักน้ำกากส่าในถังปิดมิดชิด เพื่อให้เชื้อจุลินทรีย์ทำลายสารอินทรีย์ในสภาพไร้อากาศ จะได้ผลพลอยได้เป็นไบโอแก๊ส เกิดแก๊สมีเทนที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ ซึ่งสามารถนำมาทดแทนน้ำมันเตาในเครื่องกำเนิดไอน้ำ เพื่อใช้ไอน้ำในการกลั่นและหมัก หลังจากหมักค่าบีโอดีจะลดลงไปประมาณ 90 % น้ำกากส่า 1 ลบ.ม. จะได้แก๊สมีเทนประมาณ 20 ลบ.ม. ซึ่งให้ความร้อนเทียบเท่ากับน้ำมันเตาประมาณ 20 ล. ผลประโยชน์ที่ได้จากระบบนี้ เมื่อหักค่าใช้จ่ายแล้วจะได้เงินตอบแทนประมาณ 80 บาท/ลบ.ม. ของน้ำกากส่า การใช้วิธีการนี้ถึงแม้ว่าบีโอดีจะลดลงไปบ้างแล้วแต่ที่เหลือก็ยังเข้มข้นอยู่และต้องนำไปกำจัดในขั้นต่อไปด้วยวิธีที่เหมาะสมต่อไป

6.) วิธีเอเอส (Activated Sludge)

วิธีนี้ได้บำบัดน้ำกากส่าโดยวิธีทางชีววิทยา โดยมีการเติมออกซิเจน แต่เนื่องจากน้ำกากส่าเข้มข้นทั้งค่าบีโอดีและสี จึงต้องเสียค่าน้ำ ค่าไฟฟ้า และสารเคมีในอัตราที่สูงมาก โดยค่าไฟฟ้าอยู่ในเกณฑ์ระหว่าง 20 – 50 บาท/ลบ.ม. และอัตราการกำจัดสีระหว่าง 100 – 200 บาท/ลบ.ม. ซึ่งรวมค่าไฟฟ้าและสารเคมีอยู่ในอัตราเฉลี่ยประมาณ 200 บาท/ลบ.ม. ซึ่งนับว่าสูงมาก แต่ข้อดีของวิธีนี้ก็คือ ใช้เนื้อที่น้อย เหมาะสำหรับโรงงานที่มีพื้นที่จำกัด

7.) วิธีการเคี้ยวและเผา (Evaporation and Incineration)

วิธีการนี้ทำได้โดยนำน้ำกากส่าไปเคี้ยวให้แห้ง ปริมาตรของน้ำจะระเหยไปโดยใช้น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิงในการเคี้ยว เมื่อของแข็งเข้มข้นก็นำไปเข้าเตาเผาให้เผาไหม้ไป ความร้อนที่เกิดขึ้นส่วนหนึ่งนำไปใช้พลังงานในหม้อต้มสุรา และได้ผลพลอยได้เช่น ธาตุโพแทสเซียม ซึ่งอาจนำไปจำหน่ายให้โรงงานแก้วต่อไป

แต่ผลพลอยได้ที่ได้นี้ไม่คุ้มกับการลงทุนในการสร้างระบบกำจัดวิธีนี้ เพราะมีปัญหาเนื่องจากเป็นเทคโนโลยีที่ทันสมัยมากต้องพึ่งนักวิชาการจากต่างประเทศ จุดเผาไหม้ของกากน้ำตาลก็ดำเกินไปที่จะเผาไหม้กากน้ำตาลที่มาจากอ้อย ทำให้เศษเปลือกของแข็งเกาะติดข้างปล่องไม่สามารถเผาไหม้ให้หมดได้ ทำให้ต้องหยุดเดินเครื่องอยู่บ่อยๆ นอกจากนั้นเศษกากของแข็งมักจะอุดตันในท่อที่ส่งไปเข้าเตาเผาสำหรับค่าใช้จ่ายของการใช้ระบบนี้สูงถึงประมาณ 200 – 300 บาท/ลบ.ม. และยังก่อให้เกิดมลภาวะทางอากาศอีกด้วย

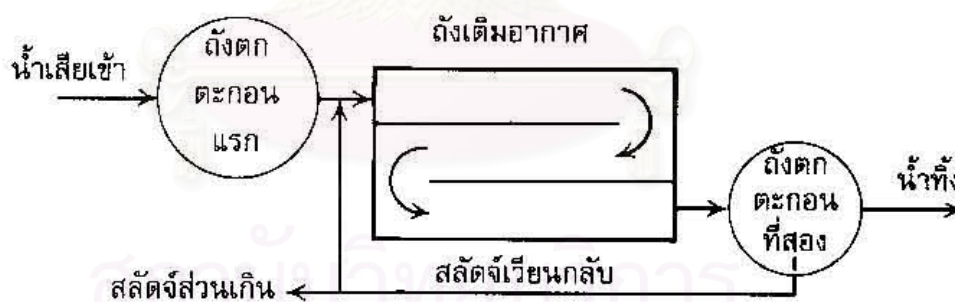
2.3 ระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานสุราแบบที่ใช้ไมโครฟิลเตรชันเมมเบรนในถังปฏิกรณ์ชีวภาพ

2.3.1 ระบบตะกอนเร่ง

ระบบตะกอนเร่ง หรือระบบเอเอส (Activated Sludge) ได้เริ่มใช้โดย Arden & Lockett ในปี 1914 กระบวนการนี้ใช้กันเรื่อยมาจนถึงปัจจุบันอย่างแพร่หลายในการบำบัดน้ำเสีย แม้ว่ากระบวนการแยกดีเวตสลัดจ์จะมีหลายแบบ แต่ก็มียอดประกอบที่เหมือนกันดังนี้

- 1.) ใช้จุลินทรีย์ที่จับตัวเป็นฟล็อกได้ กำจัดสารอาหารละลายจากน้ำเสีย
- 2.) ใช้การตกตะกอนแยกจุลินทรีย์ออกจากน้ำเสียก่อนที่จะปล่อยน้ำเสียทิ้ง
- 3.) เวียนตะกอนจุลินทรีย์ที่เข้มข้นจากถังตกตะกอนกลับไปยังถังเดิมอากาศ
- 4.) การทำงานของกระบวนการขึ้นอยู่กับอายุเฉลี่ยของจุลินทรีย์ (Mean Cell Residence time : MCRT) ที่อยู่ในระบบ

ส่วนประกอบที่จำเป็นของระบบนี้คือถังเดิมอากาศ ถังตกตะกอน และระบบเวียนตะกอน กลับจากถังตกตะกอนไปยังถังเดิมอากาศ ส่วนหนึ่งของตะกอนจุลินทรีย์จะถูกทิ้งออกจากระบบ เพื่อรักษาอายุเฉลี่ยของจุลินทรีย์ ที่ต้องการ แผนผังการทำงานแสดงดังรูปที่ 2.7

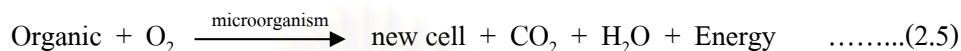


รูปที่ 2.7 แผนผังการทำงานของระบบเอเอส (ธีระ, 2539)

ระบบเอเอส เป็นระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจนระบบหนึ่ง ซึ่งมีการปรับปรุงการใช้งานหลายรูปแบบ อาศัยการเปลี่ยนแปลงภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ อายุสลัดจ์ และการปรับปรุงแบบทางกายภาพ ซึ่งมีผลกับการคัดพันธุ์ สภาวะการดำรงชีพของจุลินทรีย์ และการทำงานของระบบ ตามลำดับ โดยแต่ละรูปแบบมีข้อดี และข้อเสียแตกต่างกัน แต่ล้วนมีองค์ประกอบในการทำงานเหมือนกัน

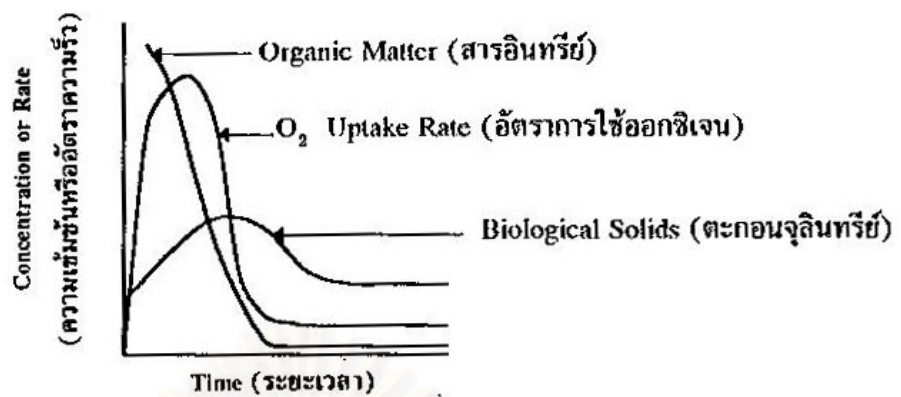
2.3.1.1 กลไกการทำงานของระบบ

กระบวนการเอเอส ประกอบด้วยสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กมากมายหลายชนิดที่ถูกควบคุมให้เจริญเติบโตอยู่ในน้ำ ซึ่งมีออกซิเจนอิสระละลายอยู่และจะต้องมีสารอินทรีย์ที่สามารถใช้เป็นอาหารและแหล่งพลังงานในการดำรงชีวิตได้อีกด้วย ปฏิกริยาทางชีวเคมีของกระบวนการสามารถเขียนได้ดังสมการ 2.5



มลสาร (Pollutants) ที่อยู่ในน้ำเสียจะถูกจุลินทรีย์ใช้เป็นอาหารและเจริญเติบโตขยายพันธุ์ต่อไป ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะแยกออกสู่บรรยากาศ ส่วนน้ำจะผสมออกไปกับน้ำที่บำบัดแล้ว พลังงานก็จะถูกจุลินทรีย์ใช้ในการดำรงชีวิต สรุปลแล้วมลสารซึ่งส่วนใหญ่ได้แก่สารอินทรีย์ต่างๆ ในน้ำเสียจะถูกเปลี่ยนมาเป็นมวลจุลินทรีย์ที่หนักกว่าน้ำสามารถแยกออกได้ง่ายด้วยการตกตะกอนในถังตกตะกอน น้ำเสียจะถูกจุลินทรีย์นำสารอินทรีย์ต่างๆ มาใช้จนหมดก็จะเป็นน้ำที่สะอาดพอที่จะปล่อยทิ้งได้โดยไม่เกิดการเน่าเหม็น ในการใช้สารอาหารหรือในการย่อยสลาย (Break Down) สารอินทรีย์ของจุลินทรีย์อาจจะมีการทำงานร่วมกันหลายชนิดก็ได้ โดยจุลินทรีย์บางชนิดเริ่มทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ซับซ้อน (Complex organics) ก่อน จากนั้นก็จะมีจุลินทรีย์ชนิดอื่นๆ ย่อยสลายสารอินทรีย์ส่วนที่เหลือ หรือมีฉะนั้นก็อาจจะเป็นการนำเอาผลหรือของเสีย ที่เกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ชนิดอื่นมาทำการย่อยสลายต่อจนเป็นสารที่ไม่สามารถย่อยได้อีกต่อไป (End products) ลักษณะของการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ในการทำงานของกระบวนการแบบทำงานเป็นครั้งๆ (Batch-process) สามารถแสดงได้ตามรูปที่ 2.8

จากรูปที่ 2.8 จะเห็นว่าเมื่อเริ่มการทำงาน ค่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำเสียจะมีค่าสูง ส่วนจุลินทรีย์จะมีค่าความเข้มข้นต่ำและมีอัตราการใช้ออกซิเจนต่ำ ต่อจากนั้นเมื่อจุลินทรีย์เริ่มทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ก็จะเริ่มใช้ออกซิเจนมากขึ้น และเจริญเติบโตเป็นผลให้มีจำนวนจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ครั้นเมื่ออาหารเริ่มขาดแคลนจนไม่เพียงพอในการดำรงชีพของจุลินทรีย์ ปริมาณจุลินทรีย์และอัตราการต้องการออกซิเจนจะลดลงตามลำดับ แต่สำหรับในระบบบำบัดน้ำเสียจริงซึ่งมีน้ำไหลเข้าระบบอย่างต่อเนื่อง จุลินทรีย์ก็จะย่อยสลายสารอินทรีย์และเพิ่มปริมาณอยู่ตลอดเวลา และมีอัตราการใช้ออกซิเจนสูงตลอดเวลาเช่นเดียวกัน

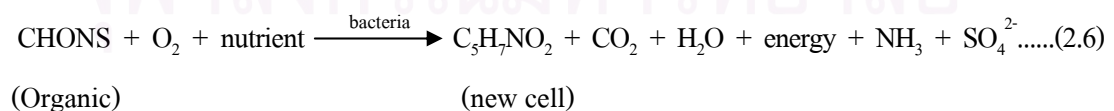


รูปที่ 2.8 ปฏิกริยาการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ที่เกิดขึ้นในกระบวนการบำบัดทางชีววิทยาแบบไม่ต่อเนื่อง (สุภกษม, 2539)

2.3.1.2 องค์ประกอบในการทำงานของระบบ

1.) การกำจัดสารอินทรีย์คาร์บอน

โดยจุลินทรีย์ชนิดต้องการออกซิเจน (aerobe) และชนิดที่อยู่ได้ทั้งที่มีและไม่มีออกซิเจน (facultative anaerobe) ที่สามารถจับตัวเป็นฟลอค และปริมาณมากพอ แขนงลอยสัมผัสกับน้ำเสียในถังเดิมอากาศด้วยระบบการกวน และ/หรือ ระบบเติมอากาศ โดยขั้นตอนจะเกิดอย่างต่อเนื่องในถังเดิมอากาศ คือ จุลินทรีย์จะส่งเอนไซม์มาย่อยสลายสารอินทรีย์คาร์บอนในน้ำเสียให้มีโมเลกุลเล็กลง จนดูดซึมผ่านผนังเซลล์ได้ (Transfer Step) จะถูกเปลี่ยนรูปด้วยกระบวนการออกซิเดชันโดยใช้ออกซิเจนอิสระที่เติมให้แก่ระบบ (Conversion Step) และขยายพันธุ์เพิ่มจำนวนขึ้น พร้อมกับได้ผลผลิตต่างๆ ปฏิกริยาชีวเคมีแสดงดังสมการ 2.6



2.) การตกตะกอน

เมื่อน้ำออกจากถังเติมอากาศสารอินทรีย์จะถูกใช้ไปเกือบหมด จุลชีพจะมีพลังงานลดลง เมื่อเกิดการชนกันจะรวมตัวเป็นตะกอนขนาดใหญ่ขึ้น เรียกว่า ฟลอค (Floc) โดยใช้ถังตกตะกอนแยกตะกอนจุลชีพไม่ให้หลุดไปกับน้ำออก ซึ่งจะสามารถควบคุมจำนวนจุลชีพภายในระบบได้ตามต้องการ และจะปล่อยแต่น้ำใสส่วนบนให้ไหลล้นออกจากระบบออกไป

3.) การหมุนเวียนตะกอนสลัดจ์

การเวียนสลัดจ์จุลชีพเข้มข้นจากกันถึงตกตะกอนกลับไปยังถังเติมอากาศ เพื่อช่วยในการควบคุมความเข้มข้นของจุลชีพในถังเติมอากาศ และรักษาประสิทธิภาพการบำบัดของระบบ โดยควบคุมอัตราส่วนการเวียนสลัดจ์กลับ

4.) อายุเฉลี่ยสลัดจ์จุลชีพในระบบ และอัตราส่วนน้ำหนักรวมอินทรีย์ต่อจุลชีพ

อายุเฉลี่ยสลัดจ์จุลชีพในระบบ (Sludge age : θ_c) และอัตราส่วนน้ำหนักรวมอินทรีย์ต่อจุลชีพ (F/M Ratio) มีความสำคัญต่อการทำงานของระบบโดยตรง สามารถควบคุมได้โดยการระบายตะกอนส่วนเกินทิ้ง ด้วยการสูบออกจากกันถึงตกตะกอน หรือถังเติมอากาศโดยตรง

ถ้าจุลชีพมีอายุสลัดจ์ต่ำ หรือ F/M สูง จะเกิดสลัดจ์ส่วนเกินมาก จุลชีพจะใช้สารอินทรีย์และเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว จนไม่รวมตัวเป็นฟลอค ซึ่งตกตะกอนได้ยาก และน้ำออกยังมีปริมาณสารอินทรีย์สูง การเพิ่มอายุสลัดจ์ ระบบจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์สูงขึ้น จนถึงค่าหนึ่ง

ถ้าจุลชีพมีอายุสลัดจ์สูง หรือ F/M ต่ำ แม้จะเกิดสลัดจ์ส่วนเกินทิ้งน้อย แต่จุลชีพในระบบ จะมีจำนวนมาก จนเกิดการขาดอาหาร และจะรวมตัวเป็น ฟลอคปลายแหลม (Pin Point Floc) หลุดออกไปกับน้ำออก ทำให้ระบบกลับมีประสิทธิภาพด้อยลงได้ ฉะนั้นการออกแบบและควบคุมระบบที่ดี จึงควรมีอายุสลัดจ์เหมาะสมกับรูปแบบของระบบ และไม่ต่ำหรือสูงจนเกินไป

2.3.1.3 จุลชีววิทยาของระบบ

จุลินทรีย์ที่มีในระบบเอเอส สามารถจำแนกออกเป็น 4 ประเภทใหญ่ ได้ดังนี้

1.) จุลินทรีย์สร้างฟลอค (Floc forming microorganisms)

เป็นจุลินทรีย์ที่มีบทบาทสำคัญมากในระบบเอเอส เพราะเป็นจุลินทรีย์หลักที่ใช้ในการกำจัดน้ำเสียและสามารถจับตัวรวมกัน เป็นกลุ่มก้อนแยกตัวออกจากน้ำที่บำบัดแล้วได้ง่าย เรียกว่า “ฟลอค” จุลินทรีย์ประเภทนี้ส่วนใหญ่ ได้แก่ แบคทีเรีย และโปรโตซัว ฟังไจบางชนิด

2.) แซฟโพรไฟท์ (Saprophytes)

เป็นจุลินทรีย์ที่รับผิดชอบต่อการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ส่วนใหญ่ของจุลินทรีย์กลุ่มนี้ได้แก่ แบคทีเรีย ซึ่งมักเป็นพวกสร้างฟลอคแซฟโพรไฟท์ สามารถแบ่งย่อยออกได้เป็น 2 ชนิด คือ แซฟโพรไฟท์แบบปฐมภูมิ (Primary) ทำหน้าที่ในการย่อยสลายสารอาหาร (Substrate) ให้กลายเป็นสารประกอบโมเลกุลเล็ก และ แซฟโพรไฟท์แบบทุติยภูมิ (Secondary) ทำหน้าที่ช่วยให้เกิดการย่อยสลายสารประกอบโมเลกุลเล็กที่สร้างโดยแซฟโพรไฟท์แบบปฐมภูมิให้สมบูรณ์และได้ผลสุดท้ายของปฏิกิริยาคือ คาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ

3.) จุลินทรีย์ทำลาย (Predator)

เป็นจุลินทรีย์ที่กินจุลชีพด้วยกันเองเป็นอาหาร ซึ่งจุลินทรีย์ชนิดนี้มีขนาดใหญ่กว่าหรือมีศักยภาพที่สูงกว่า จะกินจุลินทรีย์ที่มีขนาดเล็ก ทำให้จุลินทรีย์ทำลาย มีความสำคัญกับระบบเอเอส กล่าวคือช่วยให้น้ำออกจากระบบบำบัดได้

4.) จุลินทรีย์ก่อกวน (Nuisance microorganisms)

เป็นจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดปัญหาในการทำงาน ของระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอเอส เป็นแบคทีเรียชนิดที่เป็นเส้นใยหรือฟังไจบางชนิด ที่มีรูปร่างยาวด้วยเส้นใย ทำให้เกิดการจมตัวไม่ลงของตะกอน

2.3.1.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของระบบ

1.) ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำเสีย

เนื่องจากสารอินทรีย์ในน้ำเสียเป็นอาหารของจุลินทรีย์ในกระบวนการเอเอส ดังนั้นหากความเข้มข้นของสารอินทรีย์เปลี่ยนแปลงมากจะมีผลต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในระบบ โดยอาจจะทำให้มีอัตราส่วนของอาหารต่อจุลินทรีย์สูง (มีอาหารมาก) ทำให้จำนวนจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จนมีลักษณะเติบโตกระจายอยู่ทั่วไป (Dispersed growth) แทนที่จะรวมตัวกันเป็นกลุ่มกันที่ดี (Floc) เป็นผลให้ตะกอนได้ไม่ดี น้ำออกขุ่นและมีค่าสารอินทรีย์หรือ บีโอดีเหลืออย่างสูง (มีอาหารน้อย) จนทำให้จำนวนจุลินทรีย์เจริญเติบโตลดน้อยลง ซึ่งถึงแม้ตะกอนจุลินทรีย์จะตกตะกอนได้เร็วแต่ก็ไม่สามารถจับตะกอนเล็กๆ ตกลงมาได้หมด ทำให้น้ำที่ออกจากถังตกตะกอนขุ่น

2.) อาหารเสริม

จุลินทรีย์ต้องการอาหารเสริม (Nutrients) ซึ่งได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และเหล็ก นอกเหนือจากสารอินทรีย์ต่างๆ ซึ่งนำมาใช้เป็นพลังงานปกติ แร่ธาตุเหล่านี้มีอยู่ครบในน้ำเสียจากชุมชน (Domestic wastewater) แต่อาจจะมีไม่พอในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม การขาดอาหารเสริมที่สำคัญเหล่านี้ จะทำให้จุลินทรีย์ที่สร้างฟลอคเติบโตได้ไม่ดี จนทำให้จุลินทรีย์ชนิดที่เป็นเส้นใย (Filamentous) เจริญเติบโตได้มากกว่า ซึ่งจะทำให้เอเอสตกตะกอนได้ยากและเกิดเป็นชั้นตะกอนอัดขึ้นมาสูงในถังตกตะกอน และอาจจะล้นไหลออกมากับน้ำจากระบบไม่สามารถทำงานต่อไปได้อีกได้ นอกจากนี้การที่จุลินทรีย์หลายชนิดเจริญเติบโตได้ไม่ดีจะทำให้ประสิทธิภาพในการทำงานต่างๆ ของระบบต่ำอีกด้วย ปกติจะควบคุมให้บีโอดี 100 กก. ต้องมีไนโตรเจน 5 กก. ฟอสฟอรัส 1 กก. และเหล็ก 0.5 กก.

3.) ออกซิเจนละลายในน้ำ

ในถังเติมอากาศจะต้องมีค่าออกซิเจนละลายน้ำระหว่าง 1 ถึง 2 มก./ล. ซึ่งปริมาณของอากาศหรือออกซิเจนที่ใช้เพื่อรักษาค่าความเข้มข้นของออกซิเจนละลายน้ำนี้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ หากอุณหภูมิสูงจุลินทรีย์สามารถทำงานได้มากก็จะต้องการออกซิเจนมาก นอกจากนั้นที่อุณหภูมิสูงออกซิเจนจะมีค่าการละลายน้ำอิ่มตัว (Saturation valve) ต่ำ จึงทำให้ต้องเพิ่มออกซิเจนให้กับระบบมากขึ้น เมื่ออุณหภูมิของน้ำในถังเติมอากาศสูง ในทำนองเดียวกันหากอุณหภูมิต่ำก็

ทำให้มีความต้องการเติมอากาศน้อยกว่าที่อุณหภูมิสูง ในการที่จะรักษาระดับความเข้มข้นของออกซิเจน ละลายน้ำที่ค่าเท่ากัน

4.) ระยะเวลาในการบำบัด

ระยะเวลาที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียในถังเติมอากาศ จะต้องมากพอเพียงพอที่จุลินทรีย์จะใช้ในการย่อยสลายมลสารต่างๆ หากมีระยะเวลาดำเนินไปสารที่ย่อยยากๆ จะถูกย่อยไม่ถึงขั้นสุดท้าย ทำให้ค่าบีโอดีเหลืออยู่ในน้ำเสียมาก สำหรับระยะเวลาในถังตกตะกอนชั้นสองก็เช่นเดียวกัน หากมีน้อยเกินไปก็จะทำให้เอเอสตกตะกอนได้ไม่ดี แต่ถ้านานเกินไปก็จะทำให้ระบบขาดออกซิเจนและเน่าได้

5.) ค่า pH

พีเอช (pH) เป็นค่าแสดงความเป็นกรด – ด่าง ค่าพีเอชเท่ากับ 7 ถือว่าเป็นกลาง ถ้าน้อยกว่า 7 ถือว่าเป็นกรด และถ้ามากกว่า 7 ถือว่าเป็นด่าง แบคทีเรียเจริญเติบโตได้ดีที่ค่าพีเอชระหว่าง 6.5 – 8.5 ถ้าพีเอชมีค่าน้อยกว่า 6.5 รา (Fungi) จะเจริญเติบโตได้ดีกว่าแบคทีเรียทำให้ประสิทธิภาพต่ำลงและตกตะกอนได้ไม่ดี ส่วนที่ค่าพีเอชสูงจะทำให้ฟอสฟอรัสแยกตัวออกมาน้ำ (Precipitate) และจุลินทรีย์ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ทำให้ระบบทำงานได้ไม่ดีเช่นกัน แต่ถ้าพีเอชมีค่าต่ำมากหรือสูงมากจุลินทรีย์จะตายหมด ไม่สามารถดำรงชีพต่อไปได้

6.) สารเป็นพิษ

สารเป็นพิษแบ่งออกได้เป็นสองจำพวก คือ แบบพิษเฉียบพลัน (Acute toxicity) ซึ่งจุลินทรีย์จะตายหมดภายในระยะเวลาไม่กี่ชั่วโมง และแบบพิษออกฤทธิ์ช้า (Chronic toxicity) ซึ่งใช้เวลานานและค่อยๆ ตาย พิษเฉียบพลัน สามารถสังเกตได้ง่ายเนื่องจากมีผลเกิดขึ้นรวดเร็ว สารพิษจำพวกนี้ได้แก่ ไซยาไนด์, อาร์เซนิก เป็นต้น สำหรับสารพิษออกฤทธิ์ช้า เช่น ทองแดง และโลหะหนักต่างๆ จุลินทรีย์จะสะสมเอาไว้ภายในเซลล์จนเกิดเป็นพิษและตายในที่สุด นอกจากนั้นอาจจะเกิดจากสารอินทรีย์ก็ได้ เช่น แอมโมเนียมีค่าความเข้มข้นสูงกว่า 500 มก./ล. เป็นต้น

7.) อุณหภูมิ

อุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญในการทำงาน และการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในกระบวนการเอเอส โดยทั่วไปการเพิ่มอุณหภูมิขึ้นทุก 10 องศาเซลเซียส จะทำให้จุลินทรีย์เจริญเติบโตเพิ่มขึ้นอีกเท่าตัว จนถึงอุณหภูมิประมาณ 37 องศาเซลเซียส จากนั้นอุณหภูมิจะร้อนเกินไปจนจุลินทรีย์เจริญเติบโตน้อยลงอย่างรวดเร็ว

การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมียังมีผลต่อการทำงานในถังตกตะกอนชั้นสอง โดยพบว่าทุกอุณหภูมิต่ำ ตะกอนจะตกได้ดีกว่าอุณหภูมิสูง และถ้าอุณหภูมิในถังตกตะกอนมีการเปลี่ยนแปลงแตกต่างกันเกิน 2 องศาเซลเซียส จะทำให้เกิดการไหลวนของน้ำ เนื่องจากมีความหนาแน่นแตกต่างกัน ซึ่งเรียกว่า การไหลเนื่องจากความหนาแน่น (Density current)

8.) การกวน

ภายในถังเติมอากาศจะต้องมีการกวนอย่างทั่วถึง เพื่อป้องกันมิให้ตะกอนจุลินทรีย์ตกตะกอน และเพื่อให้จุลินทรีย์ได้สัมผัสกับน้ำเสียที่ส่งเข้ามาบำบัดโดยใช้เป็นอาหาร และลดมลสารต่างๆ รวมทั้งจะได้จับตัวกันเป็นฟล็อกที่ดี การกวนที่ถูกต้องจะป้องกันมิให้น้ำเสียไหลลัดวงจร และทำให้ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดมลสารสูง การกวนที่สมบูรณ์ในถังเติมอากาศแบบกวนสมบูรณ์ (Completely mixed) จะต้องมีค่าเอ็มแอลเอสเอส และค่าความเข้มข้นออกซิเจนละลายน้ำสม่ำเสมอทั่วทั้งถัง

9.) อัตราการไหลของน้ำเสีย

การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของน้ำเสียที่ส่งเข้าระบบบำบัด มีผลโดยตรงต่อการทำงานของกระบวนการทางชีววิทยา และในถังตกตะกอนหากน้ำเสียมีอัตราการไหลเพิ่มมากขึ้น และระยะเวลาในการตกตะกอนในถังตกตะกอนชั้นสองลดลงด้วย ทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของระบบลดลง ส่วนอัตราการไหลที่น้อยเกินไปก็มีผลเสียเช่นเดียวกัน ดังนั้น จึงควรมีการควบคุมให้มีการส่งน้ำเสียเข้ามาบำบัดอย่างสม่ำเสมอ ในอัตราที่ใกล้เคียงกับที่ได้ออกแบบไว้เช่น อาจจะเป็นบ่อพักเก็บกัก (Equalizing tank) เป็นต้น

2.3.1.5 ข้อดีและข้อเสียของระบบ

1.) ข้อดีของระบบ

- ข้อดีที่สำคัญของกระบวนการเอเอส ก็คือการผลิตน้ำออกที่มีคุณภาพสูง เมื่อเทียบกับกระบวนการบ่อเติมอากาศ สามารถลดความเข้มข้นของสารละลายในปริมาณเท่ากัน โดยใช้ถังปฏิกรณ์ที่มีปริมาตรเล็กกว่ามาก ขณะที่ผลิตน้ำออกที่เกือบไม่มีของแข็งแขวนลอย
- การทำงานสามารถควบคุมได้ โดยปรับปริมาณการทิ้งของตะกอนก็สามารถปรับค่าเวลาตกเก็บเซลล์ เพื่อให้ได้คุณภาพของน้ำออกที่ต้องการ
- ระบบเอเอสค่อนข้างมีความต้านทานต่อภาระเฉียบพลัน และสามารถผลิตน้ำออกที่ยอมรับได้ เมื่อกระแสเข้าแบบพลวัต (dynamic) แต่ถ้าอยู่ภายใต้สภาพคงตัวจะทำงานได้ดีกว่า
- เนื่องจากมีปริมาตรน้อยกว่าบ่อเติมอากาศ ระบบเอเอสจะได้รับอิทธิพลของการถ่ายเทความร้อนจากบรรยากาศน้อยกว่า จึงมีอุณหภูมิค่อนข้างสม่ำเสมอ แต่ถ้าอุณหภูมิเปลี่ยนก็อาจชดเชยด้วยการปรับอายุเฉลี่ยของจุลินทรีย์

2.) ข้อเสียของระบบ

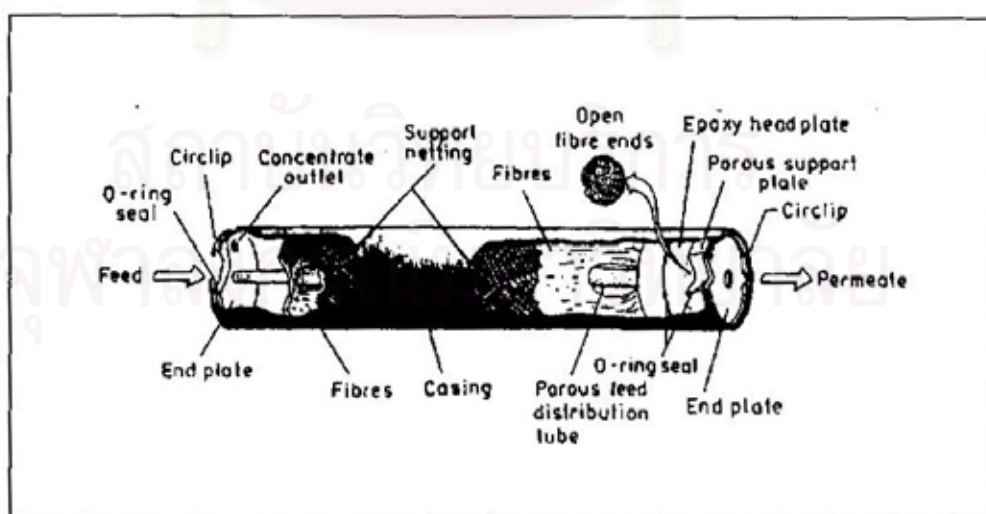
- ข้อเสียที่สำคัญเกี่ยวกับการควบคุม ความซับซ้อนของกระบวนการทำให้ยุ่งยากต่อการควบคุมคุณภาพของกระแสออกให้ได้ตามต้องการ
- การสนองต่อการเปลี่ยนแปลงกระทันหันค่อนข้างช้า จึงจำกัดการใช้วิธีการควบคุมอัตโนมัติบางแบบ
- ค่าลงทุนและดำเนินการอยู่ในกลุ่มสูงสุดของการดำเนินการชีวเคมี

2.3.2 เมมเบรนเทคโนโลยีและไมโครฟิลเตรชันเมมเบรน

เมมเบรนเทคโนโลยีมีพื้นฐานมาจากเทคโนโลยีการแยกความเข้มข้น (Separation-Concentration technology) และใช้คุณลักษณะแบบการปรับปรุงคุณภาพทางกายภาพ (Physical treatment) ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำ การกรองด้วยเมมเบรน (Membrane Filtration) จะแยกสาร (ตัวถูกละลาย หรือ ของแข็ง) ออกโดยการไหลผ่านของน้ำ โดยมีแรงดันผ่านเมมเบรน (Transmembrane pressure) เป็นแรงขับเคลื่อน ซึ่งแบ่งออกเป็น ไมโครฟิลเตรชัน (Micro-Filtration : MF) อัลตราฟิลเตรชัน (Ultra-Filtration : UF) นาโนฟิลเตรชัน (Nano-Filtration : NF) และ ออสโมซิสผันกลับ (Reverse Osmosis : RO)

2.3.2.1 กระบวนการเมมเบรน

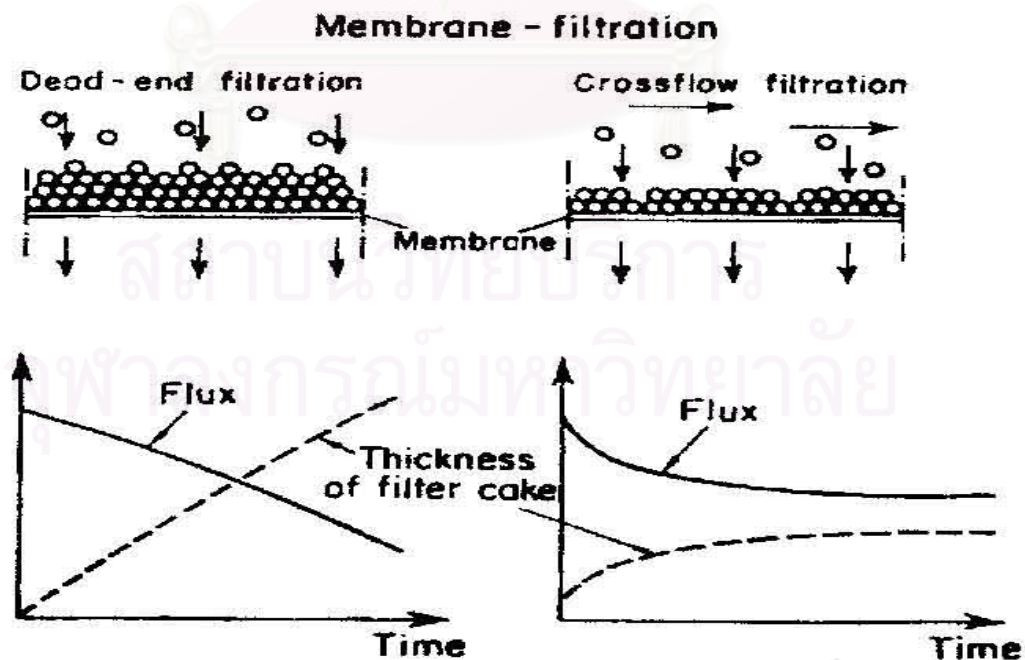
เมมเบรน คือ แผ่นฟิล์มบางๆ ของสารอินทรีย์สังเคราะห์หรือสารอนินทรีย์ ที่จะทำให้เกิดการแยกตัวอย่างละเอียดของอนุภาคในของไหล ซึ่งของไหลในที่นี้คือก๊าซและของเหลว เมมเบรนมีได้หลายรูปร่าง เช่น แผ่นเรียบ หลอดซึ่งมีหลายขนาด และ Hollow fiber ซึ่งที่เส้นผ่านศูนย์กลางภายในน้อยกว่าสิบเท่าของมิลลิเมตร โดยทั่วไปแล้ว เมมเบรนที่ทำจากสารอนินทรีย์จะมีความต้านทานต่อความดันและสารเคมี โดยเฉพาะการฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีน แต่มีความยุ่งยากและราคาแพงกว่า เมมเบรนที่ทำจากสารอินทรีย์จะมีความยืดหยุ่นดีกว่า และสามารถใส่ไว้ในระบบที่มีเนื้อที่จำกัด ซึ่งจะได้พื้นที่ผิวต่อปริมาตรมาก ส่วนประกอบต่างๆ ของเมมเบรนแสดงดังรูปที่ 2.9



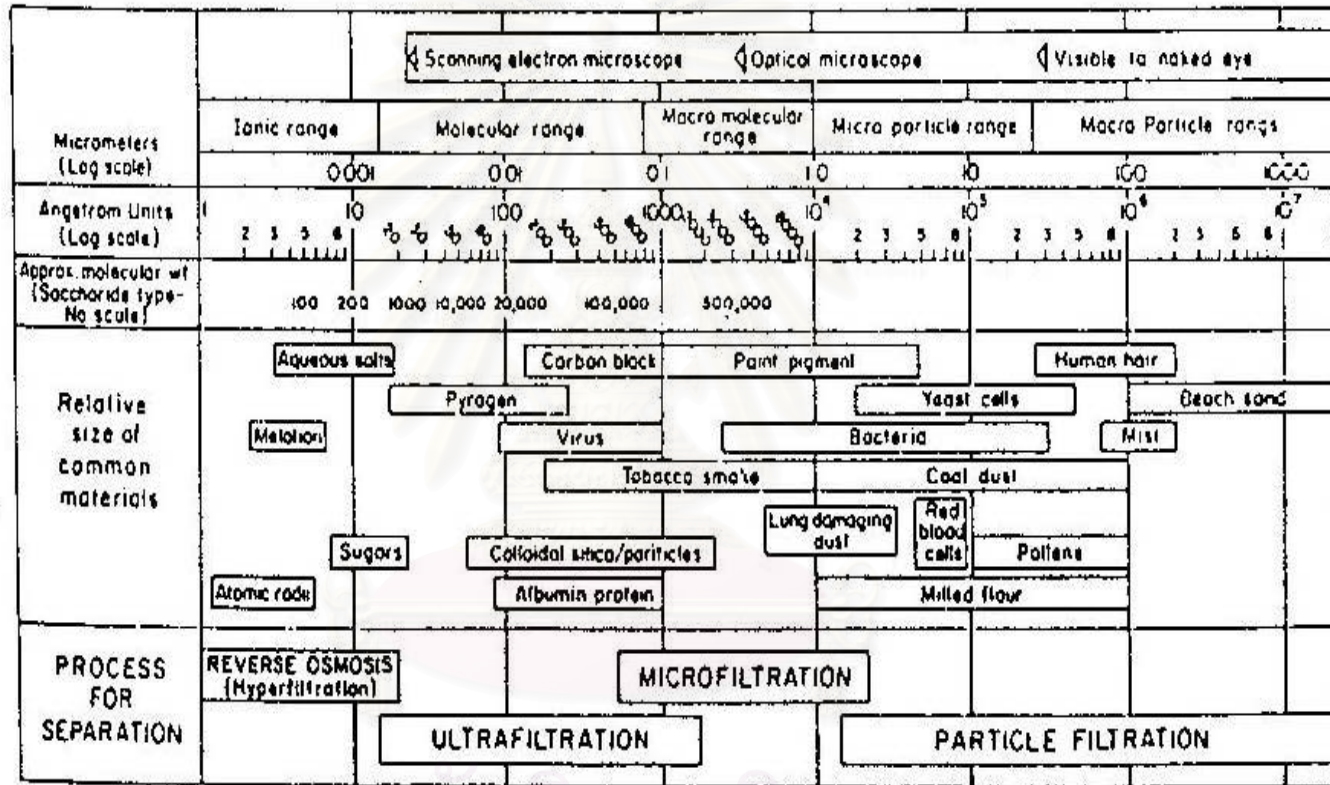
รูปที่ 2.9 ลักษณะ โมดูลของเมมเบรนเส้นใยกลาง (Rautenbach and Albrecht, 1989)

กระบวนการเมมเบรน (Membrane process) เป็นกระบวนการที่ใช้แผ่นเมมเบรนเพื่อแยกสาร หรือทำสารให้บริสุทธิ์ขึ้น สำหรับสารละลายหรือก๊าซผสม กระบวนการเมมเบรนถูกค้นพบมานานกว่า 30 ปีแล้ว และมีการพัฒนาขึ้นมาเป็นลำดับ จนปัจจุบันนี้มีการใช้กระบวนการในอุตสาหกรรมต่างๆ โดยอาจนำไปใช้แทนกระบวนการแยกธรรมดา หรือใช้เสริมในกระบวนการเดิม

หลักการสำคัญของกระบวนการเมมเบรน คือ จะต้องมีความดันที่ทำให้สารละลายไหลผ่านแผ่นเมมเบรนและเกิดการแยก เช่น ผลต่างของความเข้มข้น หรือผลต่างของความดัน การกรองโดยใช้แผ่นเมมเบรนนี้มีข้อแตกต่างจากการกรองธรรมดา รูปที่ 2.10 เปรียบเทียบการกรองน้ำผ่านแผ่นเมมเบรนกับแผ่นกรองธรรมดา จะเห็นว่าทิศทางการไหลของน้ำแตกต่างกัน ทำให้การกรองแบบธรรมดามีการอุดตันของอนุภาคเร็วกว่าการกรองผ่านเมมเบรน ซึ่งกล่าวได้ว่าอาจเป็นแผ่นเมมเบรนที่มีการสังเคราะห์หรือผลิตขึ้น (Synthetic membranes) หรือมาจากธรรมชาติก็ได้ ลักษณะที่สำคัญที่สุดของแผ่นเมมเบรนคือ มีคุณสมบัติในการเลือกผ่านสารเป็นผลมาจากโครงสร้างทางเคมี หรือทางกายภาพ ซึ่งอาจพิจารณาได้จากการมีความตึงเครียดระหว่างแผ่นเมมเบรนกับสารนั้นๆ หรือจากขนาดของรูพรุน หรือจากการมีประจุของแผ่นเมมเบรน เป็นต้น ซึ่งรูปที่ 2.11 แสดงขนาดโมเลกุลหรืออนุภาคที่สามารถแยกได้โดยการใช้กระบวนการเมมเบรนและการกรอง



รูปที่ 2.10 เปรียบเทียบการกรองน้ำผ่านแผ่นกรองธรรมดากับแผ่นเมมเบรน (Rearick และคณะ, 1995)



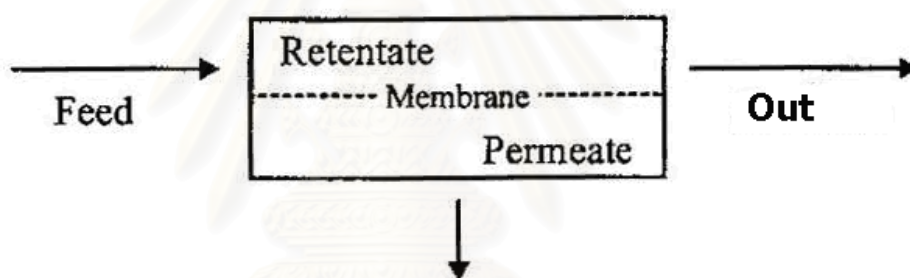
รูปที่ 2.11 ตัวอย่างโมเลกุล/อนุภาคที่สามารถแยกได้โดยการใช้กระบวนการเมมเบรนและการกรอง

(Vigneswaran และคณะ, 1991)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.3.2.2 กระบวนการแยกสารของเมมเบรน

ความสามารถในการแยกสารขึ้นอยู่กับขนาดช่องว่าง (pore size) หรือ การคัดสรรด้วยน้ำหนักโมเลกุล (Molecular Weight Cut-off) ของเมมเบรน โดยอาศัยกลไก 2 ชนิด คือ การกรองดัดค้ำ (Sieve Effect) และการแพร่ผ่าน (Diffusion Effect) ซึ่งสามารถนำมาใช้เพิ่มความเข้มข้นหรือทำให้สารบริสุทธิ์ขึ้น หลักการสำคัญของกระบวนการเมมเบรน ก็คือ จะต้องมีความเข้มข้นที่ทำให้สารละลายไหลผ่านและเกิดการแยก เช่น ผลต่างของความเข้มข้น ผลต่างของความดัน แผ่นเยื่อเมมเบรนที่ใช้งานในปัจจุบันจะตั้งครေးห้ขึ้นจากสารโพลีเมอร์และสารประกอบอื่นๆ เช่น เซลลูโลสอะซิเตต เซลลูโลสไนเตรท โพลีเอไมด์ เป็นต้น และในปัจจุบันได้มีการนำกระบวนการเมมเบรนเข้ามาใช้ในงานอุตสาหกรรมมากมาย รวมทั้งในการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมอย่างมีประสิทธิภาพอีกด้วย



รูปที่ 2.12 หลักการทำงานของกระบวนการเมมเบรน

หลักการพื้นฐานในระบบการแยกความแตกต่าง ขึ้นอยู่กับขนาดของเมมเบรน และขนาดของอนุภาคที่จะถูกแยก การแบ่งประเภทจะขึ้นอยู่กับขนาดและน้ำหนักโมเลกุลของอนุภาคที่สามารถแยกได้

ไมโครฟิลเตรชัน ใช้สำหรับแยกอนุภาคที่มีขนาดอยู่ในช่วงประมาณ $0.5 - 10 \mu\text{m}$ ที่ความดัน 1 bar อนุภาคแขวนลอยจะถูกกั้นด้วยผิวหน้าของเมมเบรน หลังจากผ่านแผ่นเยื่อแล้วตัวทำละลายและสารแขวนลอยที่มีขนาดเล็กกว่ารูพรุนจะสามารถผ่านแผ่นเยื่อไปได้ ซึ่งเรียกระหว่างนี้ว่า เอมิเอต (Permeate) ส่วนสารแขวนลอยที่ไม่สามารถผ่านแผ่นเยื่อไปได้เพราะมีขนาด

อนุภาคใหญ่กว่ารูพรุนจะถูกกักไว้ซึ่งเรียกว่า รีเทนเตต (Retentate) แสดงดังรูปที่ 2.12 ซึ่งปัจจัยหลักที่ทำให้ประสิทธิภาพของไมโครฟิลเตรชันลดลงคือ การอุดตันภายในรูพรุน คอลลอยด์สามารถสะสมตัวอยู่บนผิวหน้าของเมมเบรนระหว่างรู ในบางเวลาอนุภาคของคอลลอยด์จะปิดกั้นรูพรุนได้อย่างสมบูรณ์จะลดความสามารถในการกรอง การล้างย้อน (Backwashing) เป็นเทคนิคหนึ่งในการแก้ปัญหา

2.3.2.3 ไมโครฟิลเตรชันเมมเบรน

เนื่องจากสารแขวนลอยทั้งของแข็งที่สามารถจมตัวได้เองและคอลลอยด์ จะต้องถูกกำจัดออกไปจากน้ำเสีย ซึ่งในปัจจุบันมีวิธีการต่างๆ ที่ใช้สำหรับการแยกสารแขวนลอยออกจากน้ำ เช่น การตกตะกอน, ไฮโดรไซโคลอน, กรองด้วยแรงดัน เป็นต้น ซึ่งไมโครฟิลเตรชันเป็นหนึ่งในวิธีการเหล่านี้ที่ใช้สำหรับกำจัดความขุ่นออกจากน้ำ ซึ่งสามารถกำจัดตะกอนละเอียด และคอลลอยด์ออกจากน้ำได้

ไมโครฟิลเตรชันเป็นการกรองสารที่มีขนาดระหว่าง 0.1 μm ถึง 20 μm โดยทั่วไปไมโครฟิลเตรชันจะสามารถเคลื่อนย้ายจุลชีพออกจากน้ำได้ เช่น แบคทีเรีย, ฟังไจ, สปอร์, ยีสต์ และไวรัสบางชนิด ที่มีขนาดอยู่ในช่วงที่กรองได้ การกรองจะเป็นผลมาจาก 2 หลักการ คือ ผลจากขนาดของอนุภาคหรือโมเลกุล และเนื่องจากแรงดันที่สามารถพาวัสดุต่างๆ ผ่านเมมเบรนไปได้

ตัวกลางของไมโครฟิลเตรชันมีหลากหลายวัสดุและวิธีการผลิต ซึ่งจะแบ่งเป็นโดยสมบูรณ์ (absolute) และบางส่วน (nominal) ขึ้นอยู่กับเปอร์เซ็นต์ในการจับอนุภาคที่มีขนาดใกล้เคียง หรือมากกว่าอนุภาคที่กำหนดในค่ามาตรฐานของตัวกลาง

เยื่อเมมเบรนโดยทั่วไปจะเป็นตัวกลางโดยสมบูรณ์ ซึ่งผลิตมาจากโพลีเมอร์หลากหลายชนิด โลหะ และเซรามิก ตัวกลางบางส่วนจะประกอบด้วยตัวกลางที่ทำจากใยแก้วเส้นใยโพลีเมอร์ เป็นต้น แต่อย่างไรก็ดี ตัวกลางโดยสมบูรณ์นั้นจะสมบูรณ์ในช่วงเวลาหนึ่งเท่านั้น เพราะแบคทีเรียสามารถเจริญเติบโตได้

2.3.3 เมมเบรนในถังปฏิกรณ์ชีวภาพ

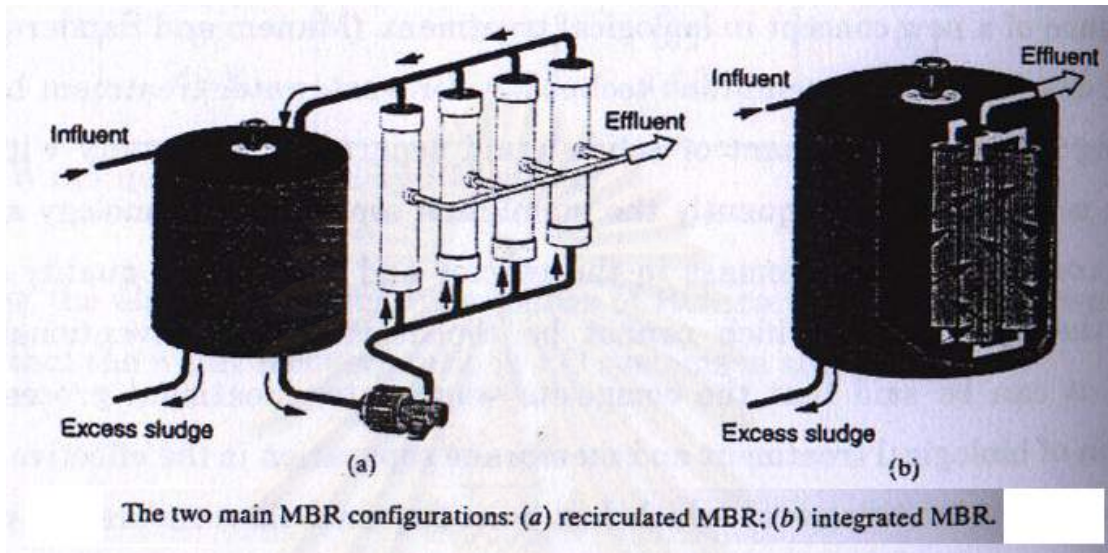
ระบบบำบัดแบบชีวภาพเป็นรูปแบบสำคัญในการบำบัดคุณภาพน้ำ และนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ สำหรับน้ำเสียชุมชนและอุตสาหกรรม ประสิทธิภาพของระบบชีวภาพจะขึ้นกับปัจจัยสำคัญคือ ความเข้มข้นของมวลชีวภาพ (Biomass) ในถังปฏิกรณ์ ความพยายามที่จะพัฒนากระบวนการบำบัดน้ำเสียโดยทางชีววิทยาเป็นเวลามากกว่า 100 ปี คือ การเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของจุลินทรีย์ โดยการแยกส่วนของแข็งและของเหลว และหมุนเวียนกลับส่วนของมวลชีวภาพ หรือโดยการพัฒนาตัวกลางเคลื่อนที่หรือไม่เคลื่อนที่ สำหรับเป็นตัวยึดจุลินทรีย์ เนื่องด้วยการพัฒนาอย่างรวดเร็วของเมมเบรนในปัจจุบัน ทำให้เกิดแนวคิดใหม่สำหรับการบำบัดน้ำเสียแบบชีวภาพ (Osamu, 2001)

ในการพัฒนาความรู้ในด้านเมมเบรนสำหรับในช่วงไม่นานมานี้ ได้ข้อสรุปเกี่ยวกับการใช้แทนที่การแยกของแข็ง-ของเหลว ด้วยแรงโน้มถ่วง หรือถึงตกตะกอน ด้วยเหตุนี้ เทคโนโลยีในการแยกสารด้วยเมมเบรนสามารถรักษาระดับความเข้มข้นสูงของมวลชีวภาพในถังปฏิกรณ์ และได้คุณภาพสูงในการบำบัดน้ำในเวลาเดียวกัน ซึ่งไม่สามารถทำได้ด้วยวิธีดั้งเดิม โดยเฉพาะอย่างยิ่งระบบนี้สามารถเรียกได้ว่าระบบบำบัดน้ำเสียแบบผสม (Composite wastewater treatment process) ตัวอย่างเช่น การรวมการบำบัดแบบชีวภาพและเมมเบรน เป็นระบบที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดสำหรับระบบบำบัดน้ำเสียที่ต้องการรักษาคุณสมบัติของระบบ เทคโนโลยีใหม่นี้ให้ข้อดีเช่น เสถียรภาพ กะทัดรัด และคุณภาพน้ำหลังการบำบัด เป็นต้น เหนือกว่ากระบวนการดั้งเดิมที่ใช้ในปัจจุบัน

2.3.3.1 ชั้นตอนของระบบ

เมมเบรนในถังปฏิกรณ์ชีวภาพ (Membrane Bioreactor : MBR) สามารถให้คำจำกัดความได้ว่า คือ การรวมระบบพื้นฐานสองระบบ (การย่อยสลายเชิงชีวภาพ และ การแยกสารด้วยเมมเบรน) เข้าสู่ระบบเดียว โดยสารแขวนลอยและจุลินทรีย์จะทำหน้าที่ย่อยสลายทางชีวภาพ และถูกแยกออกจากน้ำที่ต้องการบำบัดด้วยการกรองผ่านเมมเบรน มวลชีวภาพทั้งหมดยังคงอยู่ในระบบ รวมถึงสามารถควบคุมอายุของจุลินทรีย์ในถังปฏิกรณ์ได้อย่างดีเยี่ยม และลดปริมาณเชื้อในน้ำออก

การใช้งานโดยทั่วไปมีอยู่ 2 รูปแบบ แบบแรกถึงปฏิกรณ์ชีวภาพ และเมมเบรนจะทำงานร่วมกันภายนอก ส่วนอีกแบบหนึ่งส่วนของเมมเบรนจะถูกรวมไว้ในถังปฏิกรณ์ซึ่งแสดงตามรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 สองรูปแบบหลักของการใช้งาน MBR (Osamu, 2001)

ในกรณีแรก น้ำเข้าจะไหลสู่ถังปฏิกรณ์ชีวภาพ ซึ่งจะสัมผัสกับมวลชีวภาพ ของผสมนี้จะถูกสูบจากถังปฏิกรณ์ภายใต้แรงดันไปถูกรองผ่านเมมเบรน น้ำส่วนที่ผ่านเมมเบรนจะไหลออกจากระบบ ในขณะที่มวลชีวภาพทั้งหมดจะถูกนำกลับไปสู่ถังปฏิกรณ์ ตะกอนส่วนเกินจะถูกสูบออกเพื่อควบคุมอายุตะกอนให้คงที่ และเมมเบรนจะถูกทำความสะอาดด้วยการล้างย้อนกลับ (Backwashing) ล้างด้วยสารเคมี หรือ ชัดด้วยฟองอากาศ

ส่วนกรณีหลัง น้ำเข้าจะถูกสูบเข้าถังปฏิกรณ์ชีวภาพ เพื่อสัมผัสกับมวลชีวภาพ และกรองด้วยเมมเบรน การทำความสะอาดสามารถทำได้โดยอากาศ อากาศจะถูกปล่อยเข้าไปจากทางด้านล่างของชุดเมมเบรน เพื่อกำจัดสิ่งอุดตันที่ผิวหน้าของเมมเบรนด้วยการยกตัวของฟองอากาศ (Airlift effect) การใช้งานแบบกรองขนานกับทิศทางการไหล (Cross flow) และฟองอากาศจะช่วยป้องกันสิ่งตกค้างของตะกอนที่จะอุดตันผิวหน้าของเมมเบรน และอากาศยังถูกใช้สำหรับการออกซิเดชันสสาร และการสันดาปภายในของจุลินทรีย์ น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วจะไหลออกจากถังด้วยการดูดผ่านเมมเบรน ซึ่งในปัจจุบันการใช้เมมเบรนทั้ง ไมโครฟิลเตรชัน และ อัลตราฟิลเตรชัน จะใช้รูปแบบนี้

2.3.3.2 ข้อดีของกระบวนการเมมเบรนในถังปฏิกรณ์ชีวภาพ

ข้อดีประการสำคัญที่สุดของระบบนี้คือ คุณภาพของน้ำที่ผ่านการบำบัด เนื่องด้วยระบบมีขีดความสามารถในการบำบัดแบบชีววิทยา และกำจัดเชื้อโรคในน้ำออก

การแยกอย่างสมบูรณ์ระหว่างเวลาเก็บกักทางชลศาสตร์ (Hydraulic Retention Time : HRT) และ เวลาเก็บกักสารแขวนลอย (Suspended solid Retention Time : SRT) นำไปสู่การควบคุมปฏิริยาทางชีวภาพอย่างเหมาะสมและคุ้มค่าที่สุด และมีเสถียรภาพสูงในการใช้งาน การควบคุมอายุตะกอนได้อย่างสมบูรณ์เป็นจุดสำคัญที่จะสามารถเพิ่มปริมาณจุลินทรีย์ที่เจริญเติบโตช้า เช่น ไนตริฟายอิงแบคทีเรีย นอกจากนี้ ด้วยความเข้มข้นมวลชีวภาพที่สูงกว่า จะนำไปสู่ความสามารถที่มากกว่าระบบเอเอสทั่วไปที่ใช้การแยกสารด้วยแรงโน้มถ่วง เนื่องจากเหตุผลนี้ระบบจะมีขนาดเล็กลง และเนื่องจากเมมเบรนสามารถรักษาสารที่ถูกละลายที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงไว้ได้ จึงทำให้เป็นการเพิ่มการย่อยสลายทางชีวภาพในถังปฏิกรณ์

ข้อดีของเมมเบรนในถังปฏิกรณ์ชีวภาพ เมื่อเปรียบเทียบกับระบบแบบดั้งเดิมสามารถแจกแจงได้ ดังต่อไปนี้

- 1.) สามารถกำจัดสารแขวนลอยได้อย่างสมบูรณ์ และคุณภาพของน้ำที่ผ่านการบำบัดไม่ขึ้นกลับเสถียรภาพของตะกอน
- 2.) แบคทีเรียและไวรัส จะถูกกำจัดได้ด้วยตัวของเมมเบรนเอง โดยคุณสมบัติทางพลวัตของเมมเบรน (Dynamic membrane)
- 3.) จุลินทรีย์ที่เจริญเติบโตช้าสามารถรักษาไว้ในถังปฏิกรณ์ด้วยอายุตะกอนที่นาน
- 4.) จุลินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายสารพิษ สามารถเจริญเติบโตและดำรงชีพอยู่ได้
- 5.) ด้วยปริมาณของเอ็มแอลเอสเอสที่มากกว่า ทำให้มีขีดความสามารถในการบำบัดสูง และเกิดตะกอนส่วนเกินน้อยกว่า

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

รัตนศิริ (2538) ทำการแยกเชื้อจากแหล่งธรรมชาติ จำนวน 30 ชนิด แล้วนำมาหาปริมาณ PHB ที่ได้สูงสุดพบว่า สายพันธุ์ BA-019 ที่แยกได้สามารถสร้างและสะสม PHB ได้ปริมาณสูงสุดเท่ากับ 13.21 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักเซลล์แห้ง เมื่อเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีน้ำตาลซูโครส 10 ก./ล. เป็นแหล่งคาร์บอน ซึ่งเมื่อนำเชื้อ BA-019 มาตรวจลักษณะทางสัณฐานวิทยาและสมบัติทางชีวเคมีพบว่า เชื้อสายพันธุ์ BA-019 จัดอยู่ในแบคทีเรียกลุ่ม *Bacillus*

ต่อมา สุปริญญา (2546) ได้ทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการผลิต PHB โดยเชื้อ *Bacillus* sp. BA-019 พบว่า เมื่อแหล่งคาร์บอนคือแป้งที่ผ่านการย่อยและน้ำตาลกลูโคส เชื้อ *Bacillus* sp. BA-019 เจริญเติบโตและผลิต PHB ได้เท่าๆ กัน คือ 49.64 และ 49.68% ต่อน้ำหนักเซลล์แห้งตามลำดับ จึงเลือกใช้แป้งที่ผ่านการย่อยเป็นแหล่งคาร์บอนเนื่องจากมีราคาถูก และเมื่อศึกษาปัจจัยอื่นๆ พบว่าภาวะที่เหมาะสมที่จะทำให้ *Bacillus* sp. BA-019 ผลิต PHB ได้สูงสุดคือ อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส, ความเร็วรอบของการเขย่าในอากาศ 200 รอบต่อนาที และ pH เท่ากับ 7.0

อรรถกร (2541) ทำการเพาะเลี้ยงเซลล์ *Pseudomonas oleovorans* ATCC 29347 ในอาหารสูตรเกลือแร่ที่มีแหล่งคาร์บอน 3 รูปแบบ คือ กลูโคส (10 มก./ล.), โซเดียมออกตะโนเอท (1.66 ก./ล.) และกลูโคส (10 ก./ล.) ร่วมกับโซเดียมออกตะโนเอท (1.66 ก./ล.) แล้วศึกษาถึงปริมาณ PHA พบว่า ในอาหารที่มีกลูโคสเป็นแหล่งคาร์บอนอย่างเดียว ได้ปริมาณ PHA สูงสุดประมาณ 13.8 กรัมเปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักแห้ง (%w/w), ในอาหารที่มีโซเดียมออกตะโนเอทเป็นแหล่งคาร์บอน ได้ปริมาณ PHA สูงสุดประมาณ 33.3% (w/w) ส่วนในอาหารที่มีกลูโคสร่วมกับโซเดียมออกตะโนเอทเป็นแหล่งคาร์บอน ได้ปริมาณ PHA สูงสุดประมาณ 26.9% (w/w) นอกจากนี้ยังพบว่า เซลล์สามารถสร้าง PHA ได้ในช่วงการเจริญเติบโตแบบทวีคูณได้ปริมาณสูงสุด หลังจากนั้นความสามารถของการสังเคราะห์จะลดลงเมื่อเซลล์เข้าสู่ระยะการเจริญคงที่

Mino และคณะ (1998) พบจุลชีพกลุ่มใหม่ในระบบอิมปีฟิอาร์ ที่ให้กลูโคสเป็นแหล่งคาร์บอนและสะสมกัลัยโคเจน โดยให้ชื่อว่า “G-Bacteria” หรือ “Glycogen Accumulating Organisms, GAOs” มีการเปรียบเทียบกระบวนการเมตาบอลิซึมของ PAOs และ GAOs ดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 เปรียบเทียบกระบวนการเมตาบอลิซึมของฟิเอ โอกับจีเอโอ (Mino และคณะ, 1998)

Metabolism	PAOs	GAOs
<i>In anaerobic phase</i>		
Uptake of external organic substrate	+	+
Consumption of intracellular glycogen	+	+
Accumulation of intracellular PHA	+	+
Consumption of intracellular polyphosphate and consequent release of orthophosphate	+	-
<i>In aerobic phase</i>		
Recovery of intracellular glycogen	+	+
Consumption of stored PHA	+	+
Growth	+	+
Recovery of intracellular polyphosphate	+	-

Jeon และคณะ (2001) ได้ทดลองเติมกลูโคสและกรดอะซิติกในระบบอีบีฟิอาร์แบบ เอสบีอาร์ พบว่าจีเอโอไม่ได้เป็นกลุ่มเด่นในระบบที่เติมกลูโคสร่วมกับกรดอะซิติก และยังพบอีกว่า การเติมกลูโคสร่วมกับกรดอะซิติก ทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสสูงมากกว่าการเติม กลูโคสหรือกรดอะซิติกอย่างเดียว

Randall และคณะ (1997) ได้ทดลองเลี้ยงเชื้อในระบบเอสบีอาร์ แอนแอโรบิก-แอโรบิก โดยใช้คาร์โบไฮเดรตและกลูโคส พบว่า ฟิเอโอสะสมฟอสฟอรัสได้ร้อยละ 3.7 และ 6 ตามลำดับ สรุปได้ว่า แหล่งคาร์บอนแต่ละชนิดมีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัส และเมื่อใช้กรด ไขมันระเหยง่ายชนิดต่างๆ เป็นแหล่งคาร์บอนได้ผลดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 ผลกระทบของแหล่งคาร์บอนต่ออีบีพีอาร์ (Randall และคณะ, 1997)

Substrate	mg Pi / mmol C
Acetate	1.59
Succinate	1.98
Valerate	1.71
Isovalerate	2.84
Glucose	-2.70
Propionate	-2.49

เฉลิมราช และสุนันท์ (2545) ทำการศึกษาการสังเคราะห์ PHA จากการตะกอนที่เกิดจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบเอเอส โดยศึกษาปัจจัยที่มีผลคือ ชนิดของกากตะกอนและชนิดของสารอาหาร ซึ่งใช้กากตะกอนจากถังปฏิกรณ์แบบเป็นกะ แอนแอโรบิก-แอโรบิก 2 แบบ คือ กระบวนการหนึ่งใช้น้ำเสียอะซิเตท ความเข้มข้นซีไอดี 1,500 มก./ล. (ASBR) อีกกระบวนการใช้กลูโคสความเข้มข้น 1,000 มก./ล. (GSBR) ส่วนชนิดของสารอาหารที่ใช้มี 4 ชนิด ได้แก่ อะซิเตท กลูโคส กลูโคสต่ออะซิเตท 2:1 และกลูโคสต่ออะซิเตท 1:2 ระบบที่ใช้คือถังปฏิกรณ์แบบแบตช์ที่มีปริมาตรขนาด 10 ลิตร โดยผลการทดลองพบว่า กากตะกอนจาก ASBR ซึ่งใช้น้ำเสียมาจากอะซิเตทสามารถสะสม PHA ได้มากกว่ากากตะกอนจาก GSBR ที่ใช้น้ำเสียจากกลูโคสในทุกสารอาหารที่ทดลอง โดยปริมาณ PHA ที่ได้เรียงตามสารอาหารคือ อะซิเตท กลูโคสต่ออะซิเตท 1:2 กลูโคสต่ออะซิเตท 2:1 และกลูโคส ได้ PHA เท่ากับ 19.8%, 14.9%, 12.8% และ 8.9% โดยน้ำหนักตามลำดับ ส่วนกากตะกอนจาก GSBR มีการสะสม PHA ไม่แตกต่างกันในทุกสารอาหารที่ใช้ คือมีค่าอยู่ในช่วง 5.2-5.9 %

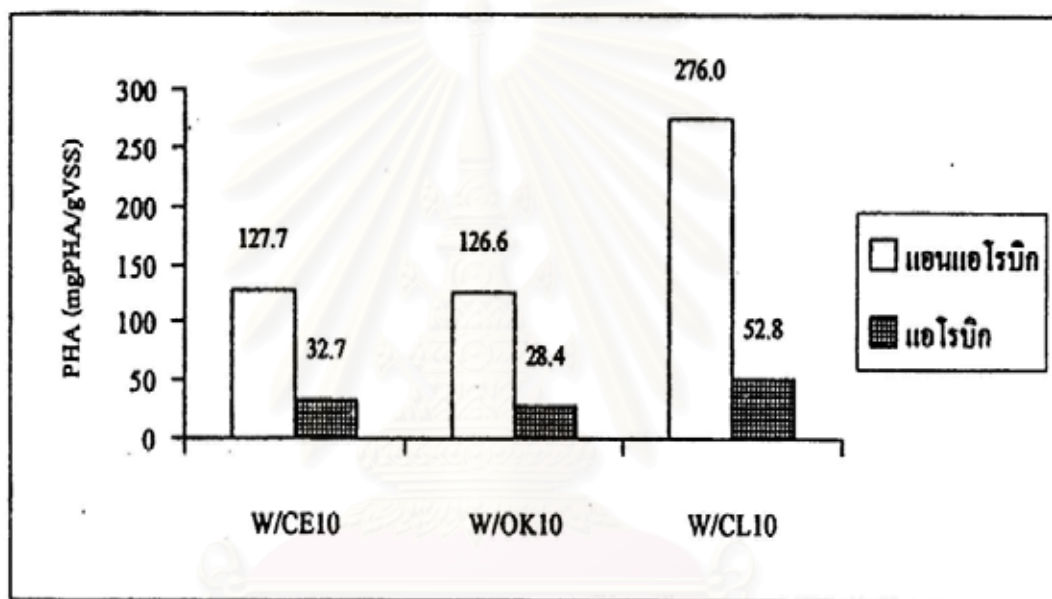
อร (2542) ทำการศึกษาผลของการเติมออร์โธฟอสเฟตที่ขั้นตอนแอโรบิกต่อการกำจัดฟอสฟอรัสทางชีวภาพโดยกระบวนการเอสบีอาร์ แบบแอนแอโรบิก-แอโรบิก โดยในการทดลองใช้น้ำเสียสังเคราะห์ สารอาหารที่ให้อยู่ในรูปของ RBCOD ใช้อะซิเตทเป็นแหล่งซีไอดี ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาค่ากรดไขมันระเหยง่ายซีไอดี ฟอสฟอรัส และ PHA จากกากตะกอนด้วยผลการทดลองดังกล่าวสรุปได้ว่า ค่ากรดไขมันระเหยง่ายที่เข้าสู่ระบบมีค่าอยู่ในช่วง 75-590 มก./ล. (ตามอัตราส่วนของการทดลองแต่ละชุด) เมื่ออยู่ในช่วงแอนแอโรบิกเหลืออยู่เพียง 12-159 มก./ล. แสดงว่ากรดไขมันระเหยง่ายถูกใช้ไปเกือบหมดในช่วงแอนแอโรบิก ค่าซีไอดีที่เข้าสู่ระบบมีค่าอยู่ในช่วง 86-696 มก./ล. เมื่ออยู่ในช่วงแอนแอโรบิกเหลืออยู่เพียง 2-35 มก./ล. มีประสิทธิภาพในการ

กำจัดซีโอดีเท่ากับ 99-100 % ทั้งนี้เป็นเพราะสารอาหารที่ใช้อยู่ในรูปของ RBCOD จึงทำให้จุลินทรีย์ในระบบสามารถนำไปใช้ได้ทั้งหมด ส่วนการศึกษาค่าฟอสฟอรัสในระบบและปริมาณ PHA สอดคล้องกันในทุกการทดลอง และปริมาณ PHA ในระบบที่สถานะแอนแอโรบิกจะมีค่าสูงกว่าที่สถานะแอโรบิกทุกการทดลองเช่นเดียวกัน

บุญกร (2542) ทำการศึกษาผลของการเติมออร์โธฟอสเฟตภายหลังการดูดซึมกรดไขมันระเหยง่ายของจุลินทรีย์ในระบบในขั้นตอนแอนแอโรบิกของระบบเอสปีอาร์ แบบแอนแอโรบิก-แอโรบิก โดยในการทดลองใช้น้ำเสียสังเคราะห์ สารอาหารที่ใช้อยู่ในรูปของ RBCOD ใช้อะซิเตทเป็นแหล่งซีโอดี การทดลองนี้ได้ทำการศึกษาค่ากรดไขมันระเหยง่ายซีโอดี ฟอสฟอรัส และ PHA ซึ่งผลการศึกษาดังกล่าวสามารถสรุปได้ว่า ค่ากรดไขมันระเหยง่ายที่เข้าสู่ระบบมีค่าอยู่ในช่วง 73-635 มก./ล. (ตามการทดลองแต่ละชุด) และเมื่ออยู่ในช่วงแอนแอโรบิกพบว่ามีค่ากรดไขมันระเหยง่ายหลงเหลืออยู่เพียง 0-25 มก./ล. แสดงว่ากรดไขมันระเหยง่ายถูกใช้หมดไปในช่วงแอนแอโรบิก ค่าซีโอดีที่เข้าสู่ระบบมีค่าอยู่ในช่วง 86-696 มก./ล. เมื่ออยู่ในช่วงแอนแอโรบิกเหลืออยู่เพียง 2-27 มก./ล. มีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี เท่ากับ 99-100% เนื่องจากสารอาหารที่ใช้อยู่ในรูปของ RBCOD จึงทำให้จุลินทรีย์ในระบบสามารถนำไปใช้ได้ทั้งหมด และแสดงว่าจุลินทรีย์ในระบบเป็นพวกฟิเอโอเป็นส่วนใหญ่เพราะซีโอดีถูกจับใช้ไปจนหมดตั้งแต่อยู่ในช่วงแอนแอโรบิก ส่วนค่าฟอสฟอรัสและ PHA พบว่า ในชุดการทดลองที่มีสัดส่วนของฟอสฟอรัสในระบบมากที่สุดจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสสูงที่สุด และมีการสะสม PHA มากที่สุดด้วย และการศึกษายังพบว่า การสะสมของ PHA จะสูงขึ้นในช่วงแอนแอโรบิกและลดลงเมื่อเข้าสู่สถานะแอโรบิก

นภาพร (2542) ศึกษาการยืดระยะเวลาการเติมอากาศในช่วงแอโรบิกของกระบวนการกำจัดฟอสฟอรัสทางชีวภาพแบบแอนแอโรบิก/แอโรบิก เพื่อให้กากตะกอนมีปริมาณลดลงแต่ในขณะเดียวกันยังคงมีประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสสูง ทำการทดลองโดยใช้ถังปฏิกรณ์ซึ่งประกอบด้วย ถังแอนแอโรบิก ถังแอโรบิก และถังตกตะกอน น้ำเสียที่ใช้เป็นน้ำเสียสังเคราะห์ที่สามารถย่อยสลายได้โดยวิธีทางชีวภาพอย่างรวดเร็ว (RBCOD) มีอะซิเตทเป็นแหล่งซีโอดีประกอบด้วย 3 การทดลองคือ การทดลองที่มีแหล่งคาร์บอนมากเกินพอ (CE) แหล่งคาร์บอนพอดีต่อการกำจัด (OK) และแหล่งคาร์บอนจำกัด (CL) มีระยะเวลาภายใต้สถานะแอนแอโรบิก 2 ชั่วโมง และแอโรบิก 4 ชั่วโมง ใช้หัวเชื้อจากกากตะกอนระบบบำบัดน้ำเสียสี่พระยารวมกับเชื้อฟิเอโอสายพันธุ์ *Pseudomonas fluorescens* ผลการทดลองพบว่า ที่อายุตะกอน 5 วัน ระบบไม่สามารถทำให้เกิดการกำจัดฟอสฟอรัสได้ แต่ที่อายุตะกอน 10 วัน ระบบสามารถกำจัดฟอสฟอรัสได้ดี นอกจากนี้ยังพบว่า ที่สถานะแอนแอโรบิกจะมีการสะสม PHA มากกว่าที่สถานะแอโรบิกทุกการทดลอง แสดง

ดังรูปที่ 2.14 โดยปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายและซีโอดี จะถูกจุลินทรีย์ในระบบถูกจับใช้หมดไป ในช่วงแอนแอโรบิก ปริมาณ PHA จากกากตะกอนเท่ากับ 3.69%, 3.57% และ 7.90% สำหรับระบบ CE, OK และ CL ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณฟอสฟอรัสในกากตะกอน และเมื่อทำการยืดระยะเวลาการเติมอากาศ พบว่า ค่าที่เหมาะสมของระยะเวลาการเติมอากาศคือ เท่ากับ 9, 5 และ 6.5 ชั่วโมง สำหรับการทดลอง CE, OK และ CL ตามลำดับ ซึ่งถ้ายืดระยะเวลาการเติมอากาศของแต่ละการทดลองออกไปอีกก็ไม่ทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสและ PHA ในกากตะกอนเปลี่ยนแปลง แต่อาจทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำออกมีค่าสูงขึ้นหากมีการปลดปล่อยฟอสฟอรัสออกมาอีกครั้ง



รูปที่ 2.14 ปริมาณ PHA จากกากตะกอนที่ช่วงแอนแอโรบิกและแอโรบิก (นภาพร, 2542)

Montgomery (1990) ได้ศึกษาถึงผลของการยืดระยะเวลาในการเติมอากาศในการกำจัดฟอสฟอรัสทางชีวภาพด้วยกระบวนการแอนแอโรบิก-แอโรบิก เป็นการศึกษาด้วยชุดทดลองในห้องปฏิบัติการแบบต่อเนื่อง มีระยะเวลาในการเติมอากาศเป็น 5, 10 และ 22 ชั่วโมง หลังจากจากระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวแล้วจะนำสลัดจ์มาทำการทดลองแบบแบตช์ต่ออีก โดยที่มีรูปแบบการทำงานเป็นช่วงแอนแอโรบิก 2 ชั่วโมง และแอโรบิก 4 ชั่วโมง

ผลการทดลองพบว่า การกำจัดซีโอดีในแต่ละชุดการทดลองมีค่าไม่แตกต่างกัน ส่วนการกำจัดฟอสฟอรัสที่เกิดขึ้นพบว่าที่ระยะเวลาการเติมอากาศสั้นๆ มีการกำจัดได้ดีกว่าและกำจัด

ฟอสฟอรัสได้เลวลงเมื่อยืดเวลาการเติมอากาศ สำหรับสารประกอบอินทรีย์ในรูปของคาร์โบไฮเดรตในสลัดจ์ เมื่อวัดในช่วงปลายแอนแอโรบิกจะลดลงในทุกๆ การทดลอง และเมื่อทำการหาปริมาณฟอสฟอรัสที่มีอยู่ภายในเซลล์ของสลัดจ์ที่ระยะเวลาการเติมอากาศต่างๆ พบว่ามีค่าลดลงถ้าระยะเวลาการเติมอากาศยาวนานขึ้น

ส่วนผลการทดลองแบบแบดซ์ที่นำเอาสลัดจ์ที่ผ่านการยืดเวลาการเติมอากาศมาทดลองนั้นพบว่า ทุกๆ การทดลองจะมีลักษณะในการกำจัดฟอสฟอรัสคล้ายคลึงกัน แต่สลัดจ์ที่ผ่านระยะเวลาการเติมอากาศนานที่สุดมีประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสน้อยที่สุด

จากผลการทดลองดังกล่าว ทำให้สามารถสรุปได้ว่า ระยะเวลาการเติมอากาศสั้นจะมีความสามารถในการกำจัดฟอสฟอรัสได้ดีกว่าที่ระยะเวลาเติมอากาศนาน

Brdjanovic และคณะ (1998) ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของการยืดระยะเวลาในการเติมอากาศที่มากเกินไป ต่อกระบวนการกำจัดฟอสฟอรัสทางชีวภาพ โดยกระบวนการแอนแอโรบิก-แอโรบิกแบบเอสปีอาร์ในห้องปฏิบัติการ ซึ่งในการทดลองได้เริ่มต้นเดินระบบที่มีระยะเวลาในวัฏจักร 6 ชั่วโมง (I) โดยมีระยะเวลาในช่วงแอนแอโรบิก 2.25 ชั่วโมง และช่วงแอโรบิก 2.25 ชั่วโมงเช่นกัน จนกระทั่งระบบเข้าสู่สถานะคงตัวแล้วจะเริ่มวัฏจักรใหม่ที่มีระยะเวลาในช่วงแอนแอโรบิกเท่าเดิมแต่ยืดระยะเวลาช่วงแอโรบิกเป็น 26.25 ชั่วโมง รวมระยะเวลาใน 1 วัฏจักรเป็น 30 ชั่วโมง และเมื่อดำเนินการครบรอบวัฏจักรแล้วจะกลับไปเริ่มวัฏจักรเดิมที่มีระยะเวลาใน 1 วัฏจักร 6 ชั่วโมง (II) อีกครั้ง

จากการทดลองพบว่า เมื่อระบบเข้าสู่สถานะคงตัว สามารถกำจัดฟอสฟอรัสได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในช่วงแอนแอโรบิกเกิดการปลดปล่อยฟอสฟอรัสได้อย่างรวดเร็ว มีการใช้อะซิเตทได้ภายในระยะเวลาไม่ถึง 1 ชั่วโมง กลัยโคเจนภายในเซลล์ถูกใช้ไปและ PHB ถูกสร้างขึ้น เมื่อเข้าสู่ช่วงแอโรบิกจะมีการจับใช้ฟอสฟอรัสเข้ามาไว้ในเซลล์ในขณะที่ PHB ลดลง ส่วนกลัยโคเจนถูกสังเคราะห์ขึ้นอีกครั้งจนมีปริมาณเท่ากับค่าเดิมในตอนเริ่มต้น สำหรับอัตราการใช้ออกซิเจนที่พบนั้นจะมีอัตราสูงในช่วงต้นๆ ของการเติมอากาศและค่อยๆ ลดลงจนคงที่เมื่อไม่มีการจับใช้ฟอสฟอรัส เมื่อทำการยืดเวลาเป็น 30 ชั่วโมงต่อ 1 วัฏจักรแล้ว พบว่าในช่วงแอนแอโรบิกและแอโรบิกในตอนเริ่มต้นการเติมอากาศ 2.25 ชั่วโมงแรกมีลักษณะเหมือนกับของวัฏจักร 6 ชั่วโมง (I) แต่หลังจากยืดการเติมอากาศออกไปอีกพบว่า PHB ลดลงเหลือเพียงเล็กน้อย และคงที่จนกระทั่งสิ้นสุดการยืดเวลาการเติมอากาศ เหมือนกับอัตราการใช้ออกซิเจนซึ่งคงที่เช่นกัน ส่วนกลัยโคเจนนั้นพบว่ามีค่าลดลงอีกประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ หลังจากที่ได้สังเคราะห์ขึ้นมาอีกครั้งในตอนเริ่มต้นของการ

เดิมอากาศ ต่อมาได้ทำการทดลองโดยใช้วัฏจักร 6 ชั่วโมง (II) อีกครั้งพบว่า ในช่วงแอนแอโรบิกมีการปลดปล่อยฟอสฟอรัสขึ้นแต่เป็นไปอย่างช้าๆ เช่นเดียวกับการใช้อะซิเตท ซึ่งใช้เวลามากกว่า 1 ชั่วโมงจึงจะหมด กลัยโคเจนภายในเซลล์ถูกใช้ไปและ PHB ถูกสร้างขึ้นแต่ไม่เท่ากับ PHB ที่สร้างในวัฏจักร 6 ชั่วโมง (I) ก่อนการยืดเวลาการเติมอากาศ เมื่อเข้าสู่ช่วงแอนแอโรบิกมีการจับใช้ฟอสฟอรัสเข้ามาไว้ภายในเซลล์น้อยลงและเป็นไปอย่างช้าๆ PHB ที่สร้างขึ้นในช่วงแอนแอโรบิกถูกใช้ไปทำให้ลดลง กลัยโคเจนถูกสังเคราะห์ขึ้นอีกครั้งจนมีปริมาณเท่ากับตอนเริ่มต้นวัฏจักรนี้

จากการเปรียบเทียบการทดลองของวัฏจักร 6 ชั่วโมง (I) ก่อนทำการยืดเวลาเติมอากาศกับวัฏจักร 6 ชั่วโมง (II) หลังการยืดเวลาเติมอากาศ มีข้อแตกต่างกัน 2 ข้อหลักคือ การจับใช้ฟอสฟอรัสในช่วงแอนโรบิกเกิดขึ้นไม่สมบูรณ์ในวัฏจักร 6 ชั่วโมง (II) หลังการยืดเวลาเติมอากาศ เพราะไม่สามารถสร้าง PHB ได้ดีเท่ากับที่สร้างในวัฏจักร 6 ชั่วโมง (I) ก่อนทำการยืดเวลาเติมอากาศ จึงทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดคลดลง และอัตราทุกๆ อัตราของวัฏจักร (I) ก่อนการยืดเวลาเติมอากาศมีค่าสูงกว่าของวัฏจักรหลัง (II) จากการยืดเวลาเติมอากาศ

สรุปผลการทดลองได้ว่า การยืดเวลาในช่วงแอนโรบิกไม่ทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสลดลง แต่จะส่งผลทำให้วัฏจักรถัดไปมีประสิทธิภาพลดลง ทั้งนี้เพราะการยืดเวลาเติมอากาศทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของการเก็บกลัยโคเจนภายในเซลล์ กล่าวคือมีกลัยโคเจนลดลงและสร้าง PHB ได้ลดลง

ภาคัลย์ (2547) ศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำกากส่า โดยใช้ไมโครฟิลเตรชันเมมเบรนในถังปฏิกรณ์ชีวภาพภายใต้การเติมอากาศแบบเป็นช่วงๆ โดยใช้ระบบที่จัดสร้างขึ้น และน้ำกากส่าจากโรงงานสุรา แบ่งการทดลองเป็น 3 การทดลอง คือ การทดลองที่ 1 ศึกษาผลของการเติมอากาศต่อการดำเนินการของระบบ ใช้ระยะเวลาการเติมอากาศ 60 นาที และ 90 นาที การทดลองที่ 2 ศึกษาผลของภาระอินทรีย์ ใช้น้ำเสียความเข้มข้นซีโอดีเท่ากับ 440 มก./ล., 500 มก./ล. และ 750 มก./ล. และการทดลองที่ 3 ศึกษาผลของอายุตะกอน ใช้อายุตะกอน 25 วัน และ 50 วัน โดยผลการทดลองที่ 1 พบว่า ระบบที่ใช้ระยะเวลาการเติมอากาศ 60 นาที สามารถกำจัดซีโอดีได้ 94.38% และกำจัดฟอสฟอรัสได้ 97.43% ซึ่งไม่แตกต่างกับระบบที่ใช้ระยะเวลาการเติมอากาศ 90 นาที ที่สามารถกำจัดซีโอดีได้ 94.80% และกำจัดฟอสฟอรัสได้ 97.43% การทดลองที่ 2 พบว่า ค่าความเข้มข้นของน้ำเสียทั้ง 3 ค่ายังไม่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการกำจัดมลสารของระบบ โดยระบบที่ใช้ซีโอดีสูงสุดคือ 750 มก./ล. มีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเท่ากับ 93.33% และกำจัดฟอสฟอรัสได้ 98.05% ส่วนการทดลองที่ 3 เมื่อใช้อายุตะกอน 25 วันและ 50 วัน พบว่า อายุตะกอนที่เพิ่มขึ้นมีผลต่อการกำจัดซีโอดีและความแข็งแรงของเชื้อจุลินทรีย์ โดยที่อายุตะกอน 25 วันและ

50 วันมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีเท่ากับ 93.33% และ 96.67% ตามลำดับ ส่วนประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสมีค่าไม่ต่างกัน โดยมีค่าเท่ากับ 98.05% และ 98.32% สำหรับระบบที่ใช้อายุตะกอน 25 วัน และ 50 วันตามลำดับ ซึ่งค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียของระบบมีค่าเท่ากับ 220 บาท/ลบ.ม

ณัฐพันธ์ (2545) ทำการศึกษาประสิทธิภาพและกลไกในการกำจัดซีโอดี ในโตรเจน และฟอสฟอรัสของระบบถังปฏิกรณ์เมมเบรนชีวภาพแบบแอนน็อกซิก-แอนแอโรบิก-แอโรบิก โดยคำนึงถึงผลของอัตราการแบ่งน้ำเสียเข้าส่วนแอนน็อกซิกต่อส่วนไร้ออกซิเจนและอายุสลัดจ์ที่มีต่อระบบ ในการทดลองใช้น้ำเสียสังเคราะห์ ค่าซีโอดี 325 มก./ล. ค่าฟอสฟอรัสทั้งหมด 7.9 มก./ล. และในโตรเจน 35.8 mg TKN/l ผลการทดลองพบว่า อัตราการแบ่งน้ำเสียไม่มีผลต่อการกำจัดซีโอดี และฟอสฟอรัส อายุตะกอนที่เพิ่มขึ้นจาก 40 วันเป็น 80 วัน ไม่ทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสลดลง แต่ทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสในเซลล์เพิ่มขึ้นจาก 8.4% ที่อายุตะกอน 40 วัน เป็น 10.7% ที่อายุตะกอน 80 วัน ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีสูงกว่า 97% ประสิทธิภาพในการกำจัดที่เคเอ็นสูงกว่า 95% และมีประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสสูงกว่า 80% โดยมีค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียเท่ากับ 171 บาท/ลบ.ม

นัทกาญจน์ (2546) ทำการศึกษากำจัดซีโอดี ในโตรเจน และฟอสฟอรัส โดยใช้ระบบถังปฏิกรณ์เมมเบรนชีวภาพแบบแอนน็อกซิก-แอนแอโรบิก-แอโรบิก ในการทดลองใช้น้ำเสียจากศูนย์การค้า ควบคุมอายุตะกอน 40 วัน ผลการทดลองพบว่า ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี 92-95% ประสิทธิภาพในการกำจัดที่เคเอ็น 86-91% และประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัส 62-92% โดยมีค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียเท่ากับ 182 บาท/ลบ.ม.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

แผนการวิจัยและการดำเนินงานวิจัย

3.1 แผนการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการนำกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบที่ใช้ไมโครฟิลเตรชันเมมเบรนในถังปฏิกรณ์ชีวภาพมาสกัด PHA เพื่อทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ PHA กับสภาวะต่างๆ ของระบบ คือ

- 1.) อายุตะกอน 50 วัน และ 100 วัน
- 2.) รอบระยะเวลาการเติมอากาศเป็นช่วงๆ คือ 60 นาที และ 90 นาที
- 3.) ความเข้มข้นของน้ำเสียซีโอดี 1000 มก./ล. และ 1500 มก./ล.

โดยน้ำเสียในการทดลองนี้ใช้น้ำกากล่าจากระบวนการผลิตสุรา โรงงานบริษัท แสงโสม จำกัด มีระยะเวลาในการเดินระบบครั้งละประมาณ 1 เดือน พารามิเตอร์ในการวิเคราะห์น้ำได้แก่ ฟอสฟอรัสทั้งหมด กลูโคส และกรดไขมันระเหยง่าย ซึ่งชุดการทดลองทั้งหมดติดตั้งและดำเนินการอยู่ที่ตึกเคมี 3 คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ภาพของระบบที่ใช้แสดงดังรูปที่ 3.1 ส่วนการวิเคราะห์ PHA และการวิเคราะห์น้ำ กระทำที่ห้องปฏิบัติการสิ่งแวดล้อม สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.1 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบที่ใช้ไมโครฟิลเตรชันเมมเบรนในถังปฏิกรณ์ชีวภาพที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1 ลักษณะและแหล่งที่มาของน้ำเสียที่ใช้ในระบบ

น้ำเสียในการทดลองนี้ นำมาจากน้ำกากส่าจากกระบวนการผลิตสุรา โรงงานบริษัท แสงโสม จำกัด (แห่งที่ 3) ตั้งอยู่เลขที่ 139 หมู่ที่ 5 ต.บ้านหลวง อ.คอนคม จ.นครปฐม มีปริมาตรประมาณ 350 ลบ.ม./วัน ซึ่งน้ำเสียที่ใช้มีลักษณะสมบัติตามตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงคุณลักษณะของน้ำกากส่าสดของโรงงานสุราแสงโสม

ตัวแปร	ค่า	หน่วย	ตัวแปร	ค่า	หน่วย
พีเอช	4.70	-	ฟอสเฟต (PO_4^{3-})	0.11	มก./ล.
บีโอดี ₅	26,000	มก./ล.	ซัลเฟต (SO_4^{2-})	1,535	มก./ล.
ซีโอดี	105,440	มก./ล.	ไนโตรเจนรวม	1,880	มก./ล.
ความเป็นด่าง (ในรูปหินปูน)	3,250	มก./ล.	โพแทสเซียม (K^+)	8,750	มก./ล.
ของแข็งทั้งหมด	107,520	มก./ล.	แคลเซียม (Ca^{2+})	2,800	มก./ล.
ของแข็งแขวนลอย	3,440	มก./ล.	โซเดียม (Na^+)	427	มก./ล.
กรดไขมันระเหยง่าย (ในรูปอะซิติค)	1,947	มก./ล.	ของแข็งระเหยง่าย	84,675	มก./ล.

3.1.2 ลักษณะและแหล่งที่มาของจุลินทรีย์ที่ใช้ในระบบ

เชื้อจุลินทรีย์ในการทดลองครั้งนี้ ควรเป็นเชื้อจุลินทรีย์ที่มีความคุ้นเคยกับน้ำเสียที่มีแอลกอฮอล์เจือปนอยู่ ดังนั้นในการทดลองนี้จึงใช้เชื้อที่มาจากเชื้อในระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานเบียร์คาร์ลเบิร์ก อ.วังน้อย จ.อยุธยา โดยนำมาจากส่วนบ่อกักเลือกเชื้อ (Selection Pond) หรือส่วนที่นำเชื้อมาสัมผัสกับน้ำเสียก่อนเข้าสู่ระบบ

3.1.3 การดำเนินการทดลอง

การดำเนินการทดลอง แบ่งเป็น 3 ชุดการทดลอง คือ

- 1.) ชุดการทดลองที่ 1 : อายุตะกอน 50 วัน และ 100 วัน
- 2.) ชุดการทดลองที่ 2 : รอบระยะเวลาการเติมอากาศเป็นช่วงๆ คือ 60 นาที และ 90 นาที
- 3.) ชุดการทดลองที่ 3 : ความเข้มข้นของน้ำเสียซีไอดี 1000 มก./ล. และ 1500 มก./ล.

ซึ่งรายละเอียดของสภาวะต่างๆ ในแต่ละชุดการทดลอง จะกล่าวต่อไปในหัวข้อ 3.4.1.2 ส่วนการเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ จะกล่าวต่อไปในหัวข้อ 3.4.2

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการเดินระบบ

1.) ไมโครฟิลเตรชันเมมเบรน (Microfiltration Membrane : MF) ของ “Mitsubishi Rayon” มีรายละเอียดของผลิตภัณฑ์ ดังต่อไปนี้

- ชื่อทางการค้า “Sterapore™” (Ultrafilter for high concentrated solution of suspended solids)

- รุ่น (Model) : UMF. 424SLI

- Lot No.98 1001 4248 x 19

- ขนาดรูพรุน (Pore size) : ขนาด 0.1 μm .

- พื้นที่ผิวการกรอง : 4 ตารางเมตร

- วัสดุเมมเบรนเป็นชนิด “Polyethylene Hollow Fiber Membrane” (Hydrophilic)

2.) ชุดเมมเบรน (Module Unit) สร้างขึ้นจากท่อพีวีซี

3.) ถังปฏิกรณ์ชีวภาพ : ทำจากเหล็ก (Mild steel) ฉาบด้วยกาอีพอกซี (epoxy) ขนาด 500x500x850 มม. ปริมาตร 212 ลิตร ปริมาตรประสิทธิภาพ 200 ลิตร จำนวน 4 ถัง (Common wall)

4.) ถังพัก-จ่ายน้ำเสีย : ทำจากเหล็ก (Mild steel) ฉาบด้วยกาอีพอกซี (epoxy) ขนาด 700x100x850 มม. ปริมาตร 595 ลิตร ปริมาตรประสิทธิภาพ 560 ลิตร จำนวน 2 ถัง (Common wall)

5.) ถังรับน้ำทิ้งจากระบบ : ถังน้ำขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 650x680x6.0 มม. ปริมาตร 200 ลิตร จำนวน 2 ถัง

6.) ไบโควน : เครื่องกวนผสมความเร็วต่ำ (Appx.) 100 RPM. 220V 50 Hz จำนวน 4 ชุด

7.) เครื่องสูบน้ำแบบปริดสาย (Peristaltic Pump) 4 เครื่อง

8.) ชุดเครื่องเติมอากาศ 1 ชุด ได้แก่ เครื่องอัดอากาศ วาล์วบังคับความดัน ท่อพีวีซี-ยาง

9.) อุปกรณ์และวัสดุสำหรับงานทางไฟฟ้า ได้แก่

- ตู้ควบคุม (Control Panel) สำหรับติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมต่างๆ ของ SQ.-D 1 ตู้
- วัสดุอุปกรณ์ไฟฟ้าเพื่อการต่อควบคุมระบบ เช่น ตัวตัดวงจร หรือ ปุ่มกด ตัวสัมผัส รีเลย์

ฟิวส์ สายไฟฟ้า และอุปกรณ์เดินสายไฟ

- วงจรควบคุมเวลา หน่วงเวลา 1 – 5 นาที ควบคุมการเติมอากาศ และเติมอากาศความเร็วสูง
- วงจรควบคุมเวลา ควบคุมวงจรไฟฟ้าของมอเตอร์ขับเคลื่อนเครื่องสูบน้ำ ควบน้ำซึมผ่านเมมเบรน

ออกจากถังปฏิกรณ์เป็นช่วงๆ

- มาตรฐานไฟฟ้า วัสดุกำลังงานไฟฟ้ารวมในการทำงานของระบบ

10.) เครื่องมือและอุปกรณ์การวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการต่างๆ เช่น บีกเกอร์ หลอดทดลอง ปิเปต เครื่องแก้ว สารเคมีต่างๆ เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ฯลฯ สำหรับการวิเคราะห์ค่าตัวแปร และพารามิเตอร์ต่างๆ

3.3 ระบบการทำงานของถังปฏิกรณ์

3.3.1 น้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง

ใช้น้ำเสียจริงจากบ่อกักน้ำเสียกระบวนการผลิตของโรงงานสุรา (รูปที่ 3.2 แสดงน้ำเสียที่นำมาจากโรงงานสุราที่ใช้ในการทดลอง) นำมาเจือจางกับน้ำให้ได้ค่าซีโอดีตามที่แต่ละชุดการทดลองกำหนดในถังพักน้ำเสีย และทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบ โดยแผนการเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำจะกล่าวถึงในหัวข้อ 3.4.2 ต่อไป

น้ำเสียจากถังพักน้ำเสียจะถูกจ่ายเข้าสู่ถังปฏิกรณ์อย่างต่อเนื่อง ซึ่งควบคุมด้วยวาล์วกลุกลอย และปริมาณน้ำเสียจะต้องมีเพียงพอสำหรับใช้ในการทดลองอย่างต่อเนื่องตลอดการทดลอง



รูปที่ 3.2 น้ำเสียที่ใช้ในระบบ

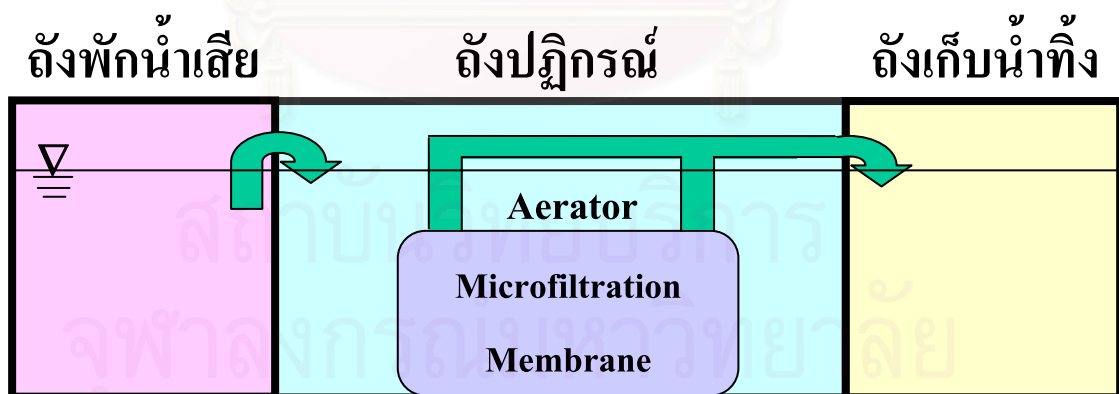
3.3.2 การควบคุมการทำงานของระบบ

น้ำเสียจากถังพักน้ำเสียจะถูกจ่ายเข้าสู่ถังปฏิกรณ์อย่างต่อเนื่อง โดยใช้เครื่องสูบน้ำสูบน้ำเสียจากถังพักน้ำเสียเข้าสู่ถังปฏิกรณ์ ควบคุมการไหลเข้าของน้ำที่ 100 ลิตร/วัน

ในส่วนของถังปฏิกรณ์ จะบรรจุ Microfiltration Membrane อยู่ภายใน โดย Mixer จะเดินตลอดเวลา ส่วนการเติมอากาศในถังปฏิกรณ์จะทำงานตาม Timer ที่ตั้งไว้ (เติมอากาศ 60 นาที หยุด 60 นาที หรือเติมอากาศ 90 นาที หยุด 90 นาที)

น้ำที่ออกจากระบบจะถูกสูบออกโดยเครื่องสูบน้ำ ควบคุมการไหลของน้ำเท่ากับน้ำเข้าคือ 100 ลิตร/วัน ซึ่งจะถูกนำไปเก็บรวบรวมไว้ที่ถังรับน้ำทิ้งจากระบบต่อไป แผนผังของระบบแสดงดังรูปที่ 3.3

ในส่วนของการระบายน้ำสลัดจ์ออก ควบคุมการทำงานด้วยวาล์วมือ อยู่บริเวณด้านล่างของถังปฏิกรณ์ ปริมาณการระบายตามที่แต่ละชุดการทดลองกำหนด



รูปที่ 3.3 แสดงผังการทำงานของระบบ

3.4 วิธีดำเนินการวิจัย

3.4.1 การเดินระบบ

3.4.1.1 ขั้นเริ่มการทำงานของระบบ

- ใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์จากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานเบียร์คาร์สเบิร์กเพื่อเริ่มการทำงานของระบบ โดยกำหนดให้ค่า MLVSS ในถังปฏิกรณ์เริ่มต้นอยู่ในช่วงประมาณ 1,500 – 2,500 มก./ล.
- เดินระบบด้วยการทำงานแบบเติมอากาศเป็นช่วงๆ โดยใช้รอบการเติมอากาศที่ 60 นาที และหยุดเติมอากาศ 60 นาที
- ทำการวิเคราะห์พารามิเตอร์น้ำต่างๆ และเดินระบบจนกระทั่งระบบอยู่ในสภาวะคงตัว (Steady State)

3.4.1.2 ขั้นตอนการดำเนินการทดลอง

การดำเนินการทดลอง แบ่งเป็น 3 ชุดการทดลอง โดยในแต่ละชุดการทดลองใช้ระยะเวลาประมาณ 30 วัน ควบคุมให้ระบบอยู่ในสภาวะคงตัวตลอดการทดลอง (MLVSS อยู่ในช่วงประมาณ 1,000 – 2,000 มก./ล.) แต่ละชุดการทดลองมีสภาวะดังนี้

1.) ชุดการทดลองที่ 1 : อายุตะกอน 50 วัน และ 100 วัน

- กำหนดให้ระบบมีทำงานแบบเติมอากาศเป็นช่วงๆ (Intermittent Aeration Period) 60/60 นาที
- กำหนดให้มีอายุตะกอนเท่ากับ 50 วันในถังปฏิกรณ์ที่ 1 และ 100 วันในถังปฏิกรณ์ที่ 2
- ป้อนน้ำเสียที่ควบคุมค่าซีโอดีเท่ากับ 1,000 มก./ล.
- ตรวจสอบวัดค่าพารามิเตอร์และวิเคราะห์ตัวแปรต่างๆ ของระบบตามที่กำหนดไว้ในหัวข้อ 3.4.2 ตั้งแต่เริ่มเดินระบบจนครบช่วงเวลาการทดลอง

2.) ชุดการทดลองที่ 2 : รอบระยะเวลาการเติมอากาศ 60 นาที และ 90 นาที

- กำหนดให้ระบบมีทำงานแบบเติมอากาศเป็นช่วงๆ (Intermittent Aeration Period) 60/60 นาที ในถังปฏิกรณ์ที่ 1 และ 90/90 นาทีในถังปฏิกรณ์ที่ 2
- ใช้อายุตะกอนที่เหมาะสมจากชุดการทดลองที่ 1 โดยพิจารณาจากปริมาณ PHA สูงสุดที่สกัดได้จากกากตะกอนของระบบและประสิทธิภาพการทำงานของระบบควบคู่กัน
- ป้อนน้ำเสียที่ควบคุมค่าซีโอดีเท่ากับ 1,000 มก./ล.
- ตรวจสอบค่าพารามิเตอร์และวิเคราะห์ตัวแปรต่างๆ ของระบบตามที่กำหนดไว้ในหัวข้อ 3.4.2 ตั้งแต่เริ่มเดินระบบจนครบช่วงเวลาการทดลอง

3.) ชุดการทดลองที่ 3 : ความเข้มข้นของน้ำเสียซีโอดี 1,000 และ 1,500 มก./ล.

- ใช้รอบระยะเวลาการเติมอากาศที่เหมาะสมจากชุดการทดลองที่ 2 โดยพิจารณาจากปริมาณ PHA สูงสุดที่สกัดได้จากกากตะกอนของระบบและประสิทธิภาพการทำงานของระบบควบคู่กัน
- ใช้อายุตะกอนที่เหมาะสมจากชุดการทดลองที่ 1 โดยพิจารณาจากปริมาณ PHA สูงสุดที่สกัดได้จากกากตะกอนของระบบและประสิทธิภาพการทำงานของระบบควบคู่กัน
- ป้อนน้ำเสียที่ควบคุมค่าซีโอดีเท่ากับ 1,000 มก./ล. ในถังปฏิกรณ์ที่ 1 และ 1,500 มก./ล. ในถังปฏิกรณ์ที่ 2
- ตรวจสอบค่าพารามิเตอร์และวิเคราะห์ตัวแปรต่างๆ ของระบบตามที่กำหนดไว้ในหัวข้อ 3.4.2 ตั้งแต่เริ่มเดินระบบจนครบช่วงเวลาการทดลอง

3.4.2 การเก็บตัวอย่างและพารามิเตอร์น้ำที่ทำการตรวจวิเคราะห์

พารามิเตอร์ต่างๆ ที่ทำการตรวจวิเคราะห์ แสดงดังตารางที่ 3.2 (วิธีวิเคราะห์แสดงในภาคผนวก ค) โดยวิเคราะห์ทุกพารามิเตอร์ 2 ครั้งต่อสัปดาห์ จำนวน 3 ชั่วโมง การวิเคราะห์โครงสร้างโมเลกุล PHA จะวิเคราะห์ 1 ครั้งตลอดการทดลอง ซึ่งการเก็บตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ในพารามิเตอร์ที่ 1-3 เก็บบริเวณน้ำเข้า น้ำออก และถังปฏิกรณ์ ส่วนพารามิเตอร์ที่ 4-7 เก็บตัวอย่างที่บริเวณถังปฏิกรณ์

ตารางที่ 3.2 วิธีวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์
ฟอสฟอรัสทั้งหมด	Vanadomolybdophosphoric acid colorimetric method (APHA, AWWA, และ WPCI, 1995)
กลูโคส	Enzyme colorimetric method*
กรดไขมันระเหยง่าย	Direct titration (Ripley และคณะ, 1986)
ซีโอดี	Close reflux method (APHA, AWWA, และ WPCI, 1995)
ปริมาณ PHA	Gas Chromatography (Liu, 1997)
โครงสร้างโมเลกุล PHA	NMR (Nuclear Magnetic Resonance) spectroscopy**
เซลล์ที่สะสม PHA	poly- β -hydroxybutyric Acid Stain (Seeley, 1972)
เซลล์ที่สะสมโพลีฟอสเฟต	Volutin Stain (Seeley, 1972)

หมายเหตุ * วิเคราะห์โดยวิธี Enzyme colorimetric method ตามวิทยานิพนธ์ปริญญา
มหาบัณฑิตของวิระพงษ์ พรประสาทผล (2545)

** วิเคราะห์โดยวิธี NMR (Nuclear Magnetic Resonance) spectroscopy ตาม
วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิตของอรุณ ชาญชัยเชาว์วิวัฒน์ (2536)

บทที่ 4

ผลการวิจัยและการวิเคราะห์ผล

การศึกษาวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาผลของสภาวะการเดินระบบที่มีต่อการผลิต PHA ใน กากตะกอนระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานสุราแบบที่ใช้ไมโครฟิลเตรชันเมมเบรนในถังปฏิกรณ์ ชีวภาพ ใช้น้ำกากส่าที่ออกจากหมักกลั่นโดยตรงจากโรงงานสุราแสงโสม โดยในงานวิจัยนี้แบ่งเป็น 3 การทดลอง คือ การทดลองที่ 1 ศึกษาผลของอายุตะกอนต่อการผลิต PHA โดยเปรียบเทียบ ระหว่างอายุตะกอน 50 วัน และ 100 วัน การทดลองที่ 2 ศึกษาผลของรอบระยะเวลาการ เติบโตอากาศต่อการผลิต PHA ระหว่างรอบการเติบโตอากาศ 60 นาที และ 90 นาที การทดลองที่ 3 ศึกษา ผลของความเข้มข้นของน้ำเสียต่อการผลิต PHA โดยควบคุมความเข้มข้นน้ำเสียซีโอดีเท่ากับ 1,000 มก./ล. และ 1,500 มก./ล.

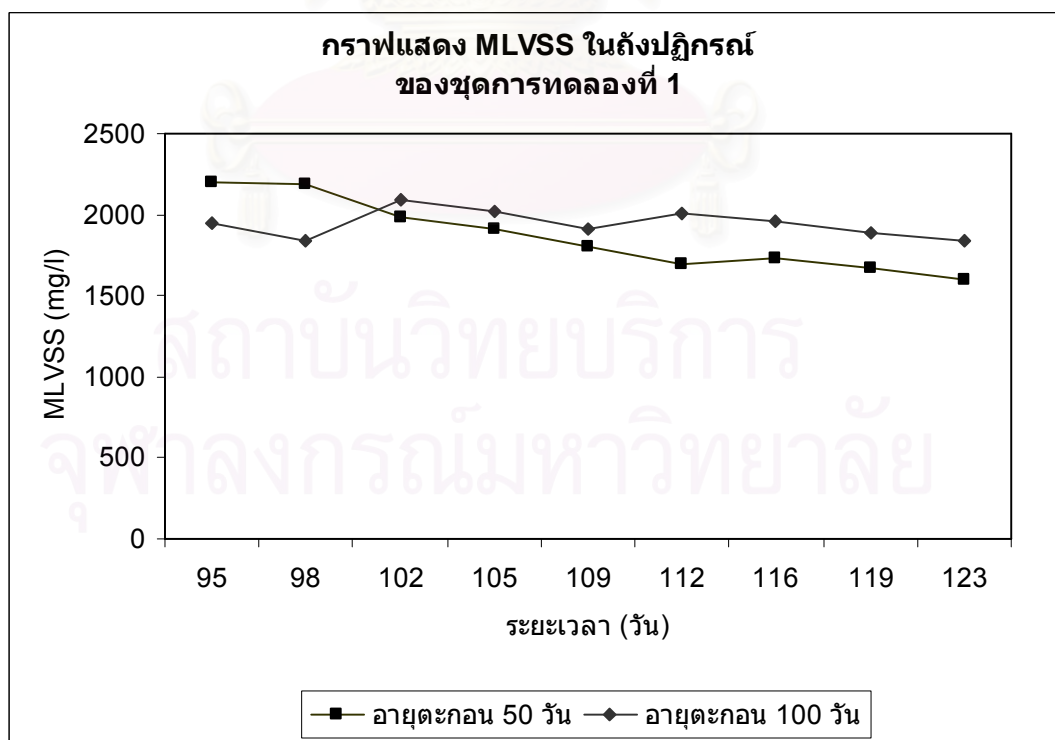
ในแต่ละการทดลอง ทำการศึกษาปริมาณ PHA ที่สกัดได้จากกากตะกอนของแต่ละสภาวะ จำนวนเซลล์ในระบบ, ฟอสฟอรัส, กรดไขมันระเหยง่าย, กลูโคส และซีโอดีในระบบ ซึ่งผลการ ตรวจวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ทั้งหมดแสดงในภาคผนวก ก ซึ่งได้ทำการเก็บตัวอย่างเมื่อระบบอยู่ใน สภาวะคงตัว และทำการเก็บตัวอย่างในขณะที่อยู่ในช่วงแอนเอโรบิกของระบบ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.1 การศึกษาผลของอายุตะกอนต่อปริมาณ PHA ที่สะสม

การวิจัยขั้นตอนนี้เป็นการศึกษาสภาวะในการเดินระบบ คือ อายุตะกอน 50 วัน และ 100 วัน ที่มีผลต่อปริมาณ PHA ที่สกัดได้จากกากตะกอนระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานสุราแบบที่ใช้ไมโครฟิลเตรชันเมมเบรนในถังปฏิกรณ์ชีวภาพ โดยใช้ระยะเวลาการเดิมอากาศ 60 นาที ค่าความเข้มข้นน้ำเสียซีโอดีเท่ากับ 1,000 มก./ล. (ชุดการทดลองที่ 1)

จากการทดลองนี้ เริ่มเก็บตัวอย่างหลังจากระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวเมื่อวันที่ 95 ของการเดินระบบจนถึงวันที่ 123 โดยพิจารณาจากค่าของปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ (MLVSS) ในถังปฏิกรณ์ คืออยู่ในช่วง 1,500 - 2,500 มก./ล. ดังแสดงในรูปที่ 4.1 ซึ่งพบว่าค่า MLVSS ของระบบที่อายุตะกอน 100 วันมีค่าสูงกว่าระบบที่มีอายุตะกอน 50 วัน เนื่องจากมีการทิ้งตะกอนส่วนเกินน้อยกว่านั่นเอง และในวันที่ 98-102 ของการเดินระบบ MLVSS ของระบบที่มีอายุตะกอน 100 วันเพิ่มสูงขึ้น แสดงว่าเป็นช่วงที่จุลินทรีย์สามารถเจริญเติบโตได้ดี ส่วนระบบที่มีอายุตะกอน 50 วัน MLVSS ลดลงเล็กน้อย แสดงว่าจุลินทรีย์เจริญเติบโตได้ไม่ดีนักในช่วงนี้ แต่เมื่อพิจารณาโดยรวมของแต่ละระบบ ถือว่าระบบอยู่ในสภาวะคงตัว

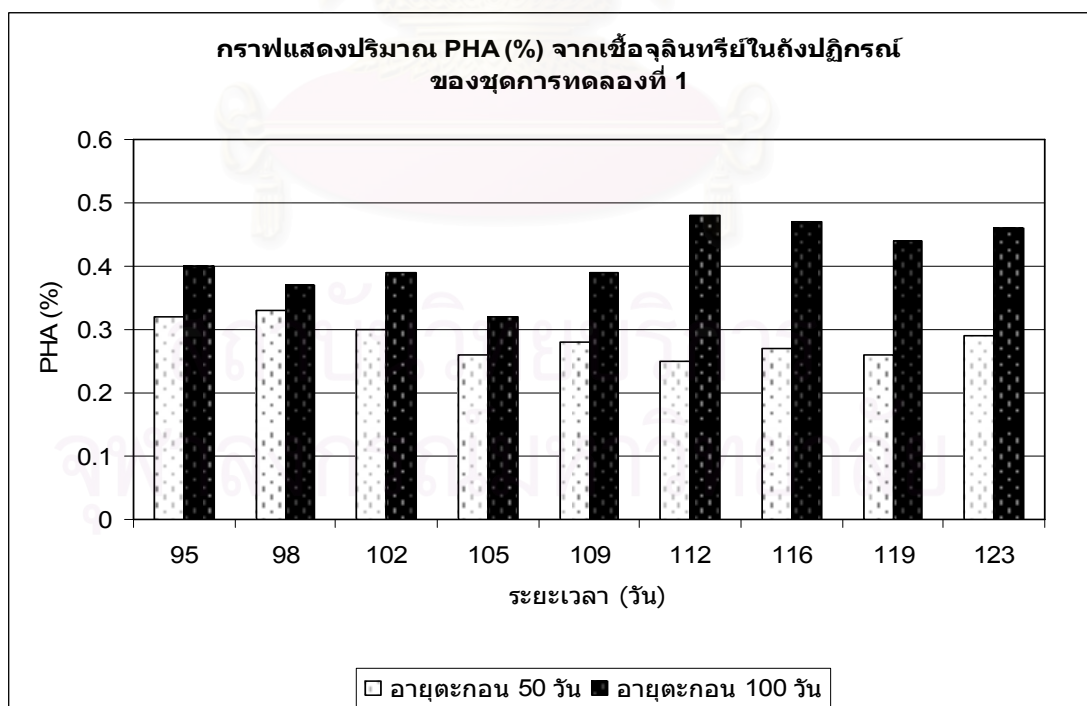


รูปที่ 4.1 กราฟแสดง MLVSS ของชุดการทดลองที่ 1

4.1.1 ผลของอายุตะกอนต่อปริมาณ PHA ที่สะสม

อายุตะกอน (Sludge Age) มีความสำคัญต่อการทำงานของระบบและมีผลต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในระบบโดยตรง กล่าวคือ ถ้าระบบมีอายุตะกอนต่ำ จะเกิดตะกอนส่วนเกินมาก จุลินทรีย์จะใช้สารอินทรีย์และเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วจนไม่รวมตัวกันเป็นฟลอค น้ำออกจะยังมีปริมาณสารอินทรีย์สูง แต่ถ้าอายุตะกอนมากเกินไป จุลินทรีย์ในระบบจะมีจำนวนมาก จนเกิดการขาดสารอาหารและรวมตัวกันเป็นฟลอคหลุดออกไปกับน้ำออก ส่งผลกระทบถึงประสิทธิภาพของระบบและการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้ ดังนั้นเพื่อการควบคุมระบบและการเจริญของจุลินทรีย์ในระบบที่ดีจึงควรมีอายุตะกอนที่เหมาะสม

จากการศึกษาการเดินระบบที่ใช้อายุตะกอน 50 วัน และ 100 วัน ควบคุมระยะเวลาการเติมอากาศที่ 60 นาที และความเข้มข้นของน้ำเสียซีโอดี 1,000 มก./ล. พบว่า ที่อายุตะกอน 50 วัน ปริมาณ PHA ที่จุลินทรีย์สะสมไว้ในเซลล์อยู่ในช่วง 0.25 - 0.33% (w/w) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.28% (w/w) ส่วนที่อายุตะกอน 100 วัน ปริมาณ PHA ที่จุลินทรีย์สะสมไว้ในเซลล์อยู่ในช่วง 0.32 - 0.48% (w/w) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.41% (w/w) ดังแสดงในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงปริมาณ PHA (%) จากเชื้อจุลินทรีย์ในถังปฏิกรณ์ของชุดการทดลองที่ 1

เมื่อพิจารณาจากกราฟ (รูปที่ 4.2) จะเห็นได้ว่า ปริมาณ PHA ที่ได้จากกากตะกอนที่มีอายุตะกอนเท่ากับ 100 วันสูงกว่าอายุตะกอน 50 วันในทุกตัวอย่างที่วิเคราะห์ได้จากการทดลอง โดยในวันที่ 112 ของการทดลอง ปริมาณ PHA ที่ได้สูงถึง 0.48% (w/w) นอกจากนี้ เมื่อทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบปริมาณ PHA ทางสถิติระหว่างอายุตะกอน 50 วัน และ 100 วัน ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่าปริมาณ PHA ของทั้ง 2 การทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ ข.1 ภาคผนวก ข) ซึ่งเป็นผลมาจาก เมื่อมีการเพิ่มอายุตะกอน ปริมาณจุลินทรีย์ในระบบก็เพิ่มมากขึ้น ความต้องการอาหารและการจับใช้สารอาหารต่างๆ ก็เพิ่มมากขึ้น จึงทำให้ปริมาณของ PHA ที่สกัดได้มีปริมาณเพิ่มขึ้นด้วย (ภาคลัญ, 2547)

นอกจากนี้ ผลของการเพิ่มอายุตะกอนที่มีต่อการเพิ่มของปริมาณ PHA ยังสอดคล้องกับการทดลองของเฉลิมราช และสุนันท์ (2545) ที่พบว่า เมื่อระบบ AS มีอายุตะกอนเพิ่มขึ้น ในทุกสารอาหารที่ทดลอง ปริมาณ PHA ที่สกัดได้จากกากตะกอนก็มีค่าเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน

4.1.2 ปริมาณ PHA ที่สะสมและจำนวนเซลล์

เมื่อทำการศึกษาจำนวนเซลล์ทั้งหมด จำนวนเซลล์ที่สะสม PHA และจำนวนเซลล์ที่สะสมโพลีฟอสเฟตของจุลินทรีย์ในถังปฏิกรณ์ตามวิธีของ Seeley (1972) ในชุดการทดลองที่ 1 แปรผันอายุตะกอน 50 วัน และ 100 วัน ควบคุมระยะเวลาการเติมอากาศที่ 60 นาที และความเข้มข้นของน้ำเสียซีโอดีเท่ากับ 1,000 มก./ล. ได้ผลดังตารางที่ 4.1

และเมื่อนำปริมาณ PHA มาหาความสัมพันธ์กับจำนวนเซลล์ทั้งหมด จำนวนเซลล์ที่สะสม PHA และจำนวนเซลล์ที่สะสมโพลีฟอสเฟตที่ของชุดการทดลองที่ 1 ได้ค่าสัดส่วนระหว่าง PHA กับจำนวนเซลล์แสดงดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.1 จำนวนเซลล์ในถังปฏิกรณ์ของชุดการทดลองที่ 1

ระยะเวลา (วัน)	อายุตะกอน 50 วัน ($\times 10^{10}$ เซลล์/ลิตร)			อายุตะกอน 100 วัน ($\times 10^{10}$ เซลล์/ลิตร)		
	เซลล์ ทั้งหมด	เซลล์ที่สะสม PHA	เซลล์ที่สะสม โพลีฟอสเฟต	เซลล์ ทั้งหมด	เซลล์ที่สะสม PHA	เซลล์ที่สะสม โพลีฟอสเฟต
95	34.80	33.40	34.10	37.27	31.99	31.29
98	36.91	34.80	33.05	38.67	28.13	29.88
102	32.34	29.53	29.18	33.40	28.83	28.13
105	29.53	30.59	29.88	29.88	27.77	29.53
109	31.64	28.83	28.48	30.59	26.37	26.02
112	30.23	27.07	27.77	35.51	31.29	29.88
116	33.40	28.48	29.88	34.80	27.77	27.42
119	29.88	24.61	24.61	30.94	27.42	25.66
123	35.16	30.23	28.83	35.51	31.99	27.42
จำนวน	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00
ค่าเฉลี่ย	32.66	29.73	29.53	34.06	29.06	28.36
ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน	2.5980	3.0805	2.7960	3.0822	2.1312	1.9095
ค่าสูงสุด	36.91	34.80	34.10	38.67	31.99	31.29
ค่าต่ำสุด	29.53	24.61	24.61	29.88	26.37	25.66

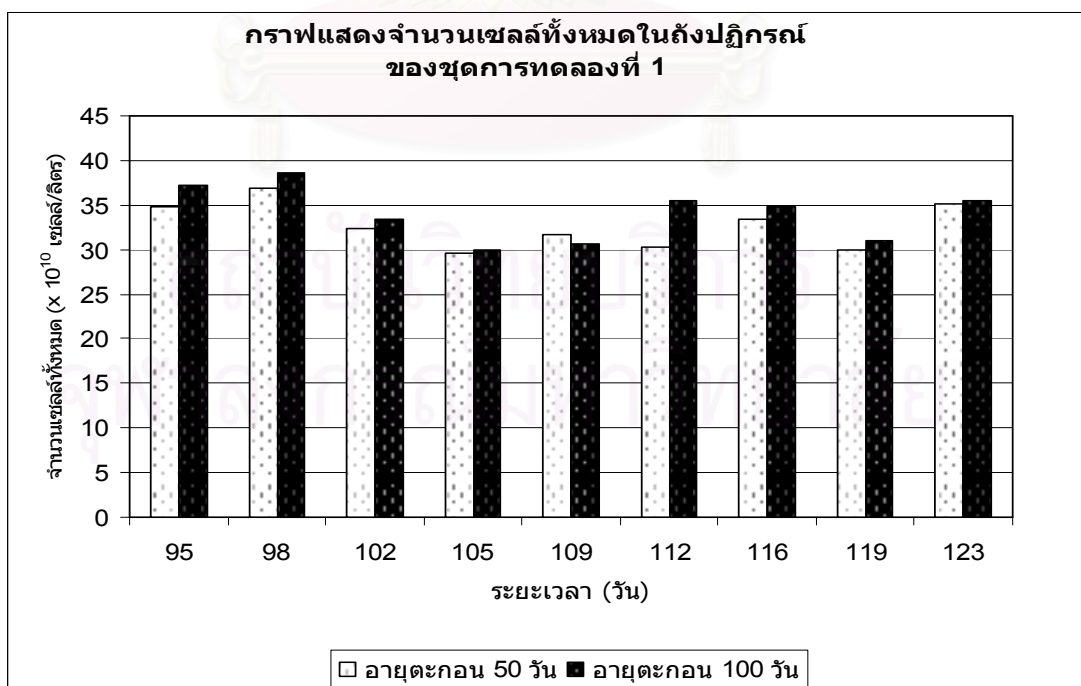
ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงค่าสัดส่วนระหว่างปริมาณ PHA ที่สะสมกับจำนวนเซลล์ในถังปฏิกรณ์ของชุดการทดลองที่ 1

สัดส่วน	อายุตะกอน 50 วัน ($\times 10^{-10}$)	อายุตะกอน 100 วัน ($\times 10^{-10}$)
ปริมาณ PHA (มก./ล.) กับจำนวนเซลล์ทั้งหมด (เซลล์/ล.)	0.008573	0.012038
ปริมาณ PHA (มก./ล.) กับจำนวนเซลล์ที่สะสม PHA (เซลล์/ล.)	0.009418	0.014109
ปริมาณ PHA (มก./ล.) กับจำนวนเซลล์ที่สะสมโพลีฟอสเฟต (เซลล์/ล.)	0.009482	0.014457

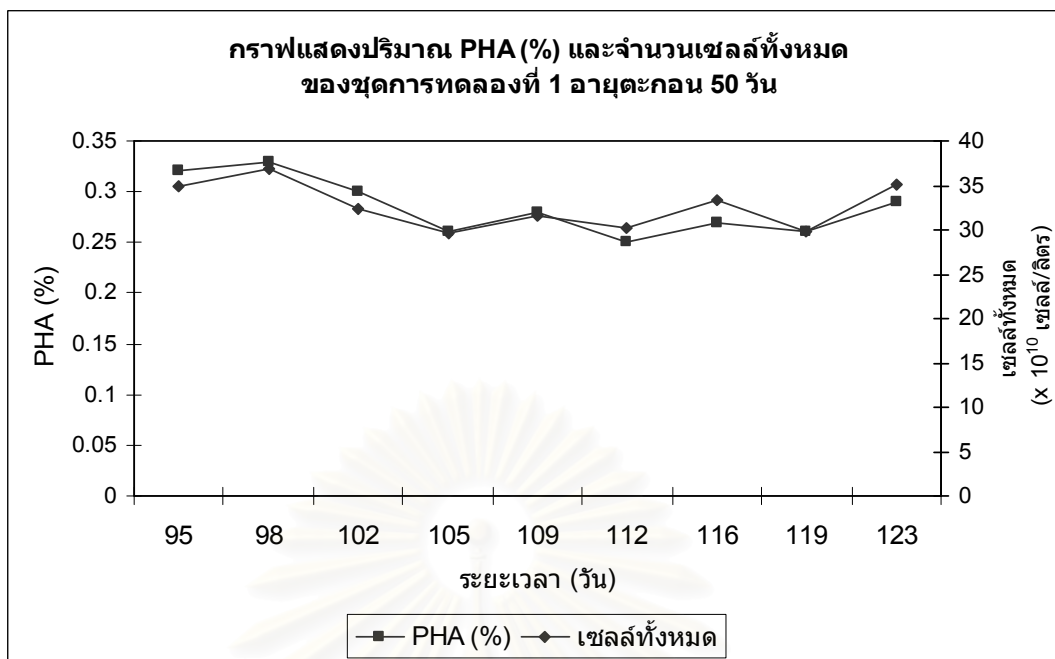
4.1.2.1 ปริมาณ PHA ที่สะสมและจำนวนเซลล์ทั้งหมด

ในงานวิจัยของชุดการทดลองที่ 1 ที่มีการแปรผันอายุตะกอนเท่ากับ 50 วัน และ 100 วัน ได้ทำการวิเคราะห์จำนวนเซลล์ทั้งหมด พบว่า ที่อายุตะกอน 50 วัน มีจำนวนเซลล์ทั้งหมดอยู่ในช่วง $(29.53 \times 10^{10}) - (36.91 \times 10^{10})$ เซลล์/ลิตร มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 32.66×10^{10} เซลล์/ลิตร ส่วนที่อายุตะกอน 100 วัน มีจำนวนเซลล์ทั้งหมดเฉลี่ยมากกว่าที่อายุตะกอน 50 วัน คือมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 34.06×10^{10} เซลล์/ลิตร จำนวนเซลล์ทั้งหมดอยู่ในช่วง $(29.88 \times 10^{10}) - (38.67 \times 10^{10})$ เซลล์/ลิตร ดังแสดงในตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.3

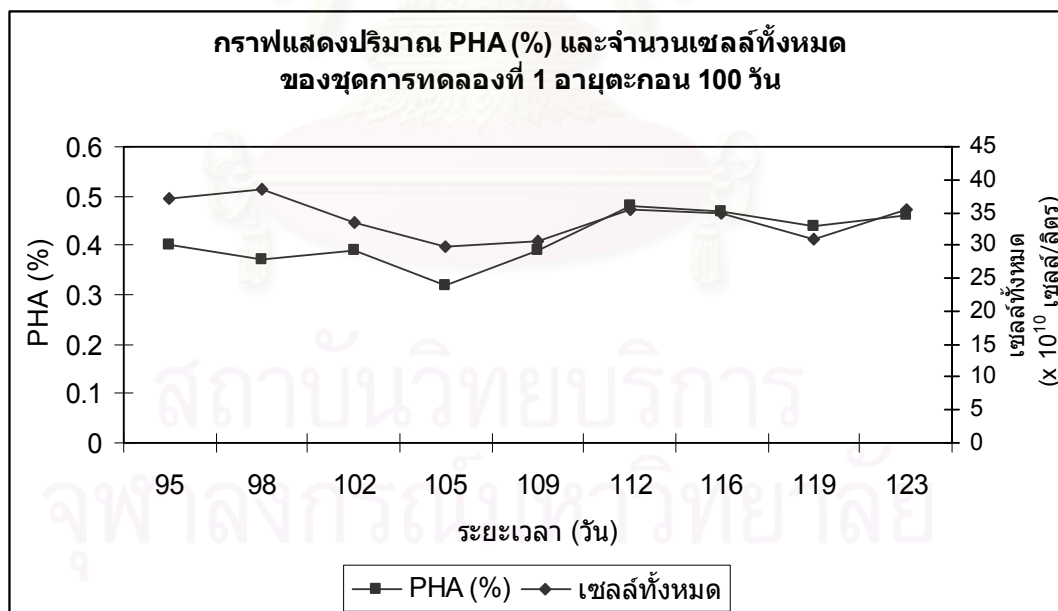
รูปที่ 4.4 และ 4.5 แสดงปริมาณ PHA (%) และจำนวนเซลล์ทั้งหมดของชุดการทดลองที่ 1 จะเห็นว่าปริมาณ PHA ที่สะสมและจำนวนเซลล์ทั้งหมดของชุดการทดลองที่ 1 เป็นไปในทิศทางเดียวกัน และเมื่อพิจารณาสัดส่วนระหว่างปริมาณ PHA ที่สะสมกับจำนวนเซลล์ทั้งหมด (ตารางที่ 4.2) พบว่า ที่อายุตะกอน 100 วัน มีสัดส่วนมากกว่า แสดงว่า ที่อายุตะกอน 100 วัน จุลินทรีย์ในระบบมีความสามารถในการสะสม PHA มากกว่าที่อายุตะกอน 50 วัน ซึ่งเมื่อพิจารณาพร้อมกับค่าเฉลี่ยของจำนวนเซลล์ทั้งหมดที่มีค่าสูงกว่าของอายุตะกอน 100 วัน แล้ว สามารถสรุปได้ว่า ที่อายุตะกอน 100 วัน จุลินทรีย์ทั้งหมดในระบบสามารถเจริญเติบโตและสะสม PHA ได้ดีกว่าที่อายุตะกอน 50 วัน



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงจำนวนเซลล์ทั้งหมดในถังปฏิกรณ์ของชุดการทดลองที่ 1



รูปที่ 4.4 ปริมาณ PHA (%) และจำนวนเซลล์ทั้งหมดของชุดการทดลองที่ 1 อายุตะกอน 50 วัน

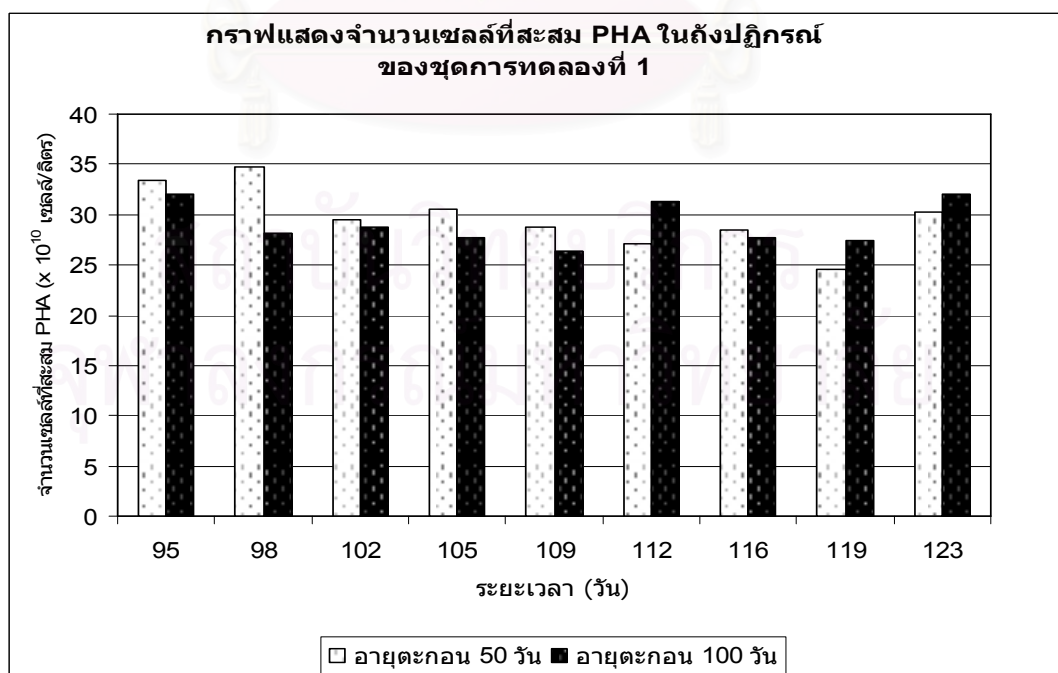


รูปที่ 4.5 ปริมาณ PHA (%) และจำนวนเซลล์ทั้งหมดของชุดการทดลองที่ 1 อายุตะกอน 100 วัน

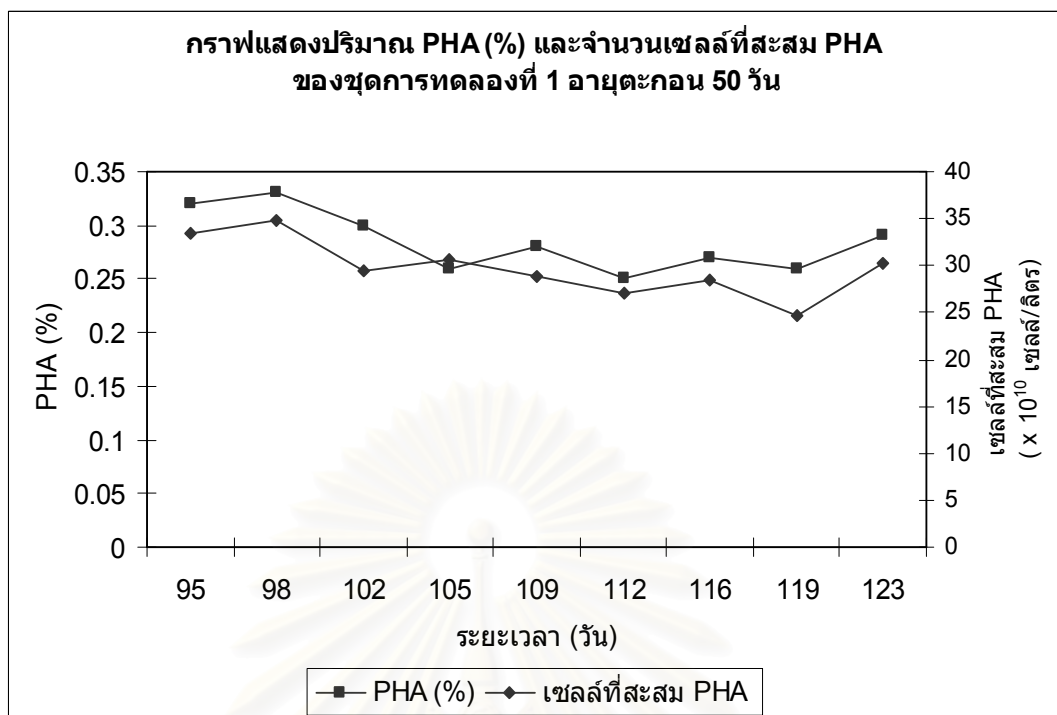
4.1.2.2 ปริมาณ PHA ที่สะสมและจำนวนเซลล์ที่สะสม PHA

ในงานวิจัยของชุดการทดลองที่ 1 ที่มีการแปรผันอายุตะกอนเท่ากับ 50 วัน และ 100 วัน ได้ทำการวิเคราะห์จำนวนเซลล์ที่สะสม PHA พบว่า ที่อายุตะกอน 50 วัน มีจำนวนเซลล์ที่สะสม PHA อยู่ในช่วง $(24.61 \times 10^{10}) - (34.80 \times 10^{10})$ เซลล์/ลิตร มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 29.73×10^{10} เซลล์/ลิตร ส่วนที่อายุตะกอน 100 วัน จำนวนเซลล์ที่สะสม PHA อยู่ในช่วง $(26.37 \times 10^{10}) - (31.99 \times 10^{10})$ เซลล์/ลิตร มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 29.06×10^{10} เซลล์/ลิตร ดังแสดงในตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.6 ซึ่งนับว่าจำนวนเซลล์ที่สะสม PHA ของอายุตะกอน 50 วันและ 100 วัน ใกล้เคียงกัน

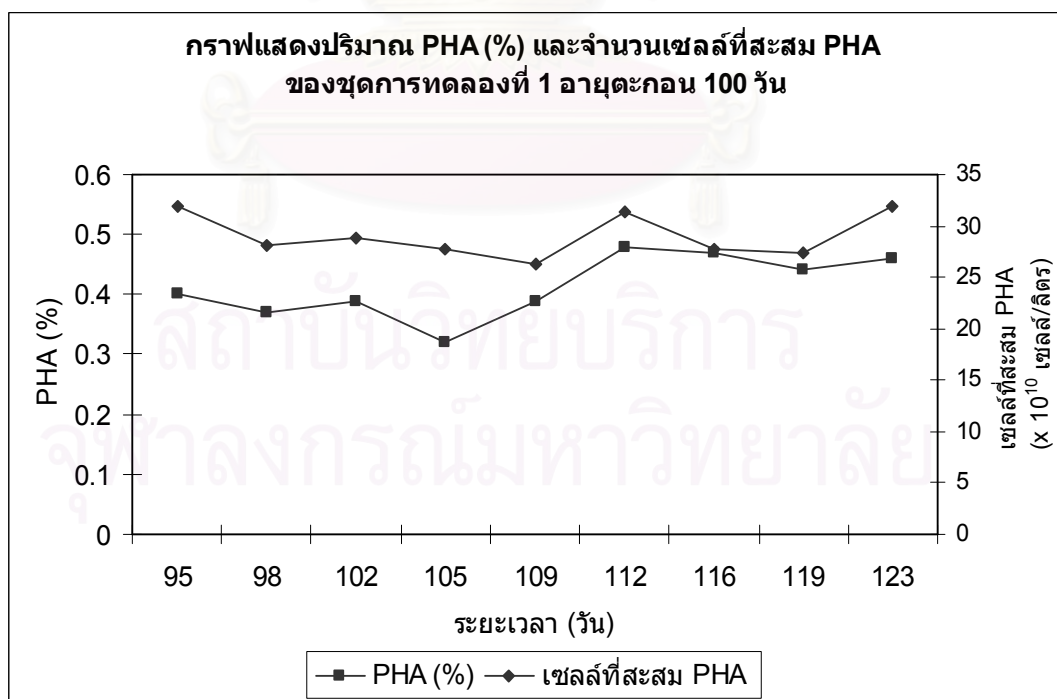
รูปที่ 4.7 และ 4.8 แสดงปริมาณ PHA (%) และจำนวนเซลล์ที่สะสม PHA ของชุดการทดลองที่ 1 ซึ่งจะเห็นว่าปริมาณ PHA ที่สะสมและจำนวนเซลล์ที่สะสม PHA ของชุดการทดลองที่ 1 เป็นไปในทิศทางเดียวกัน และเมื่อพิจารณาสัดส่วนระหว่างปริมาณ PHA ที่สะสมกับจำนวนเซลล์ที่สะสม PHA (ตารางที่ 4.2) พบว่า ที่อายุตะกอน 100 วัน มีสัดส่วนมากกว่าอายุตะกอน 50 วัน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าจุลินทรีย์ที่สามารถสะสม PHA ในเซลล์ได้ของระบบที่อายุตะกอน 100 วันมีความสามารถในการสะสม PHA มากกว่าจุลินทรีย์ที่สามารถสะสม PHA ในเซลล์ของระบบที่อายุตะกอน 50 วัน ซึ่งเมื่อพิจารณาร่วมกับค่าเฉลี่ยของจำนวนเซลล์ที่สะสม PHA ที่มีค่าใกล้เคียงกันแล้ว สามารถสรุปได้ว่า ที่อายุตะกอน 100 วัน จุลินทรีย์ที่สะสม PHA ในระบบสามารถเจริญเติบโตและสะสม PHA ได้ดีกว่าที่อายุตะกอน 50 วัน



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงจำนวนเซลล์ที่สะสม PHA ในถังปฏิกรณ์ของชุดการทดลองที่ 1



รูปที่ 4.7 ปริมาณ PHA (%) และจำนวนเซลล์ที่สะสม PHA ของชุดการทดลองที่ 1 อายุตะกอน 50 วัน

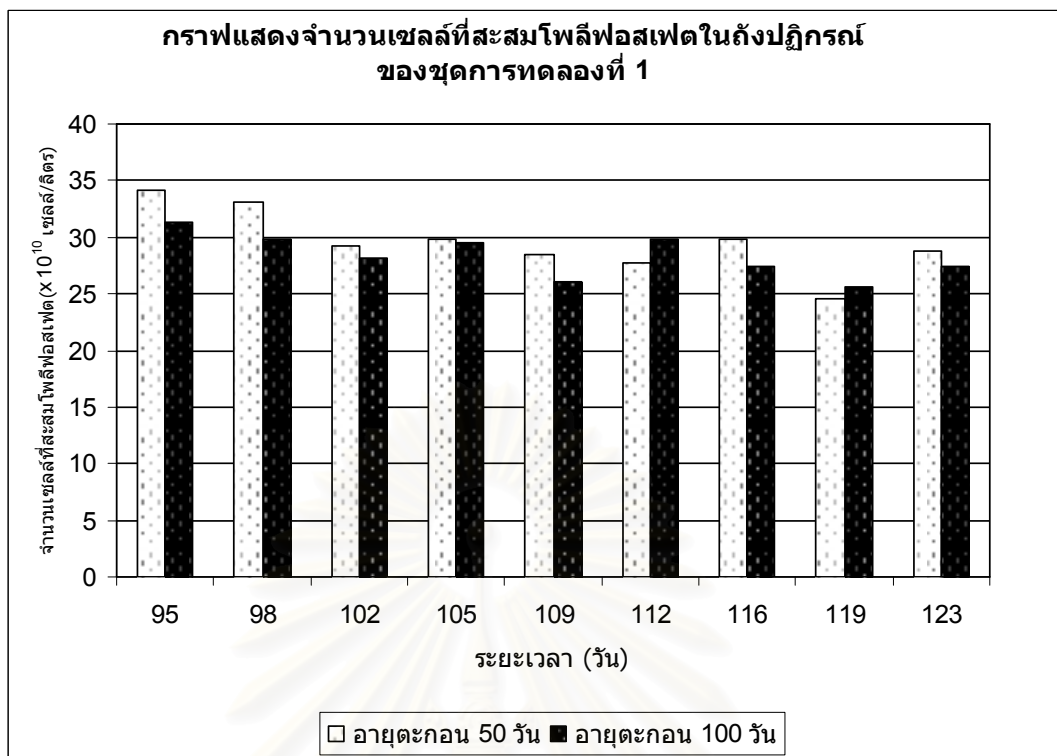


รูปที่ 4.8 ปริมาณ PHA (%) และจำนวนเซลล์ที่สะสม PHA ของชุดการทดลองที่ 1 อายุตะกอน 100 วัน

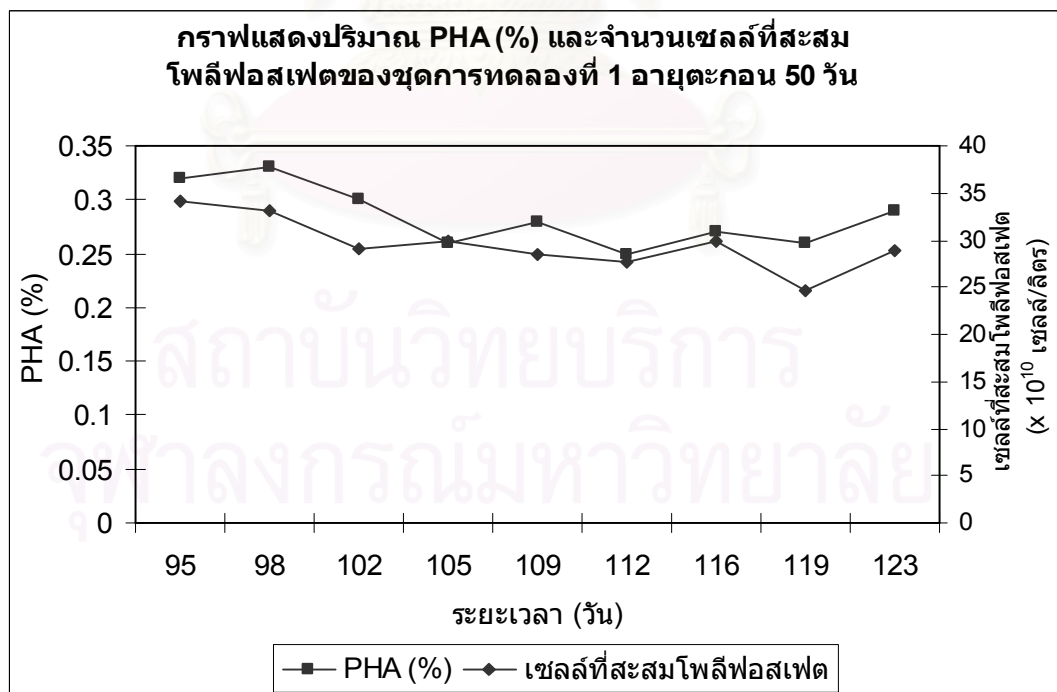
4.1.2.3 ปริมาณ PHA ที่สะสมและจำนวนเซลล์ที่สะสมโพลีฟอสเฟต

เนื่องจากโพลีฟอสเฟตเป็นแหล่งพลังงานของจุลินทรีย์ ดังนั้นจึงพิจารณาหาความสัมพันธ์ระหว่างเซลล์ที่สะสมโพลีฟอสเฟตกับปริมาณ PHA ที่จุลินทรีย์สะสมไว้ในเซลล์ โดยในงานวิจัยของชุดการทดลองที่ 1 ที่มีการแปรผันอายุตะกอนเท่ากับ 50 วัน และ 100 วัน ทำการวิเคราะห์จำนวนเซลล์ที่สะสมโพลีฟอสเฟต พบว่า ที่อายุตะกอน 50 วัน มีจำนวนเซลล์ที่สะสมโพลีฟอสเฟตในช่วง $(24.61 \times 10^{10}) - (34.10 \times 10^{10})$ เซลล์/ลิตร มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 29.53×10^{10} เซลล์/ลิตร ส่วนที่อายุตะกอน 100 วัน มีจำนวนเซลล์ที่สะสมโพลีฟอสเฟตใกล้เคียงกับที่อายุตะกอน 100 วันคือมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 28.36×10^{10} เซลล์/ลิตร และมีจำนวนเซลล์ที่สะสมโพลีฟอสเฟตอยู่ในช่วง $(25.66 \times 10^{10}) - (31.29 \times 10^{10})$ เซลล์/ลิตร ดังแสดงในตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.9

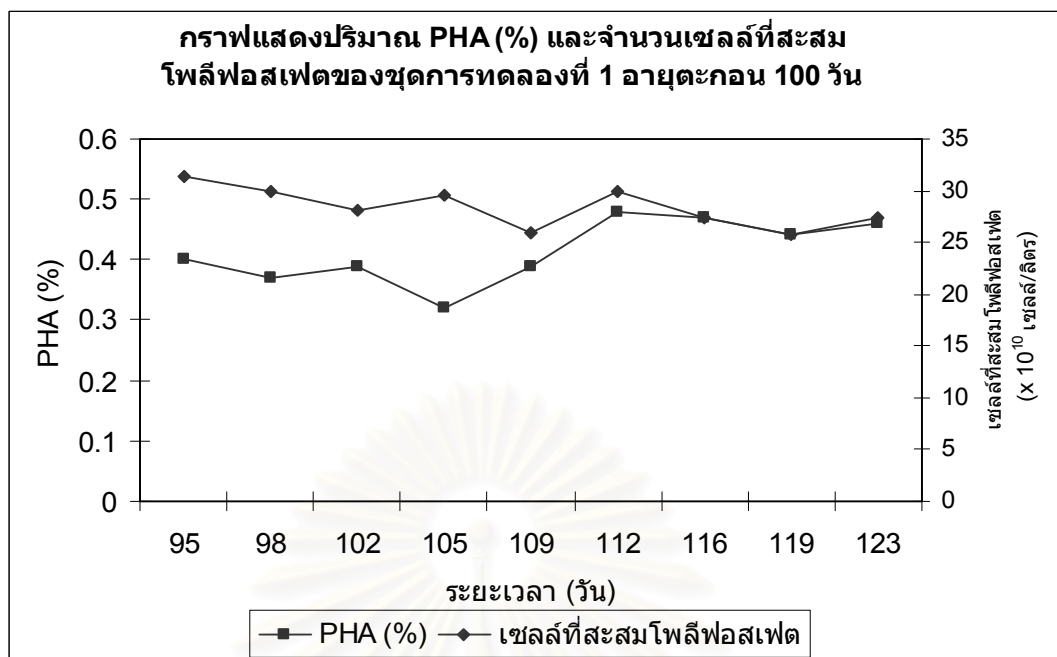
รูปที่ 4.10 และ 4.11 แสดงปริมาณ PHA (%) และจำนวนเซลล์ที่สะสมโพลีฟอสเฟตของชุดการทดลองที่ 1 จะเห็นว่าที่อายุตะกอน 50 วัน และ อายุตะกอน 100 วัน ปริมาณ PHA ที่สะสมและจำนวนเซลล์ที่สะสมโพลีฟอสเฟตเป็นไปในทิศทางเดียวกัน และเมื่อพิจารณาสัดส่วนระหว่างปริมาณ PHA ที่สะสมกับจำนวนเซลล์ที่สะสมโพลีฟอสเฟต (ตารางที่ 4.2) พบว่าที่อายุตะกอน 100 วัน มีสัดส่วนมากกว่าอายุตะกอน 50 วัน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าจุลินทรีย์ที่สามารถสะสมโพลีฟอสเฟตในเซลล์ได้ของระบบที่อายุตะกอน 100 วัน มีความสามารถในการสะสม PHA มากกว่าจุลินทรีย์ที่สามารถสะสมโพลีฟอสเฟตในเซลล์ของระบบที่อายุตะกอน 50 วัน และเมื่อพิจารณาร่วมกับค่าเฉลี่ยของจำนวนเซลล์ที่สะสมโพลีฟอสเฟตที่มีค่าใกล้เคียงกัน จึงสามารถสรุปได้ว่าที่อายุตะกอน 100 วัน จุลินทรีย์ที่สะสมโพลีฟอสเฟตในระบบสามารถเจริญเติบโตและสะสม PHA ได้ดีกว่าที่อายุตะกอน 50 วัน แต่อย่างไรก็ตาม PHA ทั้งหมดที่สะสมไม่ได้มาจากเซลล์ของจุลินทรีย์ที่สะสมโพลีฟอสเฟตได้เพียงกลุ่มเดียว ซึ่งอีกส่วนหนึ่งจะได้มาจากจุลินทรีย์กลุ่มฟิเอโอที่มียูเรียในระบด้วย



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงจำนวนเซลล์ที่สะสม โพลีฟอสเฟตในถังปฏิกรณ์ของชุดการทดลองที่ 1



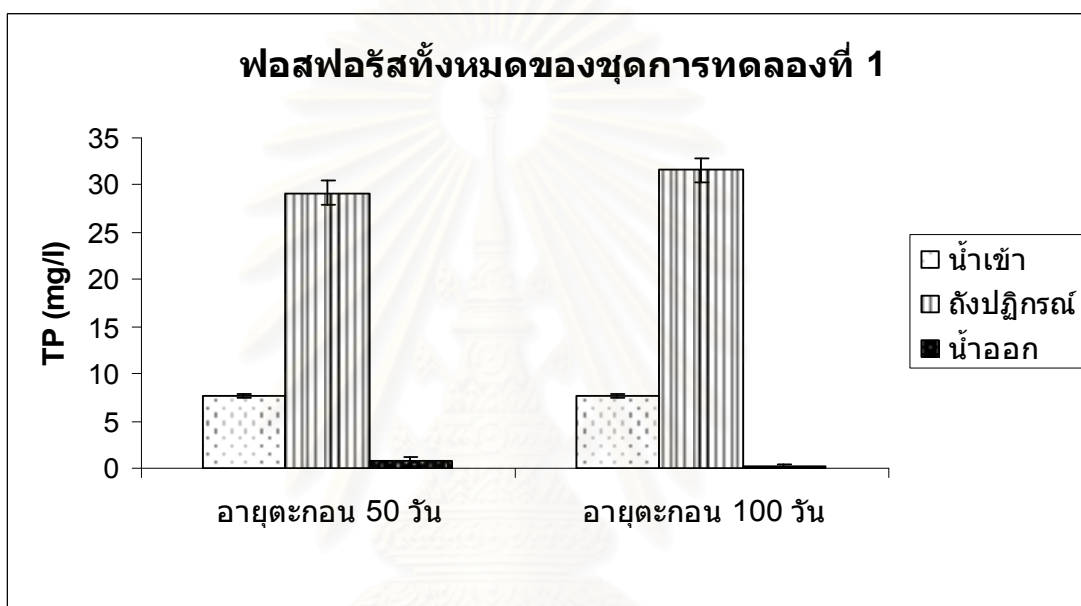
รูปที่ 4.10 ปริมาณ PHA (%) และจำนวนเซลล์ที่สะสม โพลีฟอสเฟตของชุดการทดลองที่ 1
อายุตะกอน 50 วัน



รูปที่ 4.11 ปริมาณ PHA (%) และจำนวนเซลล์ที่สะสม โพลีฟอสเฟตของชุดการทดลองที่ 1 อายุตะกอน 100 วัน

4.1.3 ปริมาณ PHA ที่สะสมและค่าฟอสฟอรัสที่กำจัด

การกำจัดฟอสฟอรัสทางชีวภาพเกิดขึ้นได้โดยการทำงานของจุลินทรีย์กลุ่มฟิเอโอ ซึ่งปริมาณฟอสฟอรัสของระบบที่สภาวะคงตัวของการทดลองที่ 1 ที่มีการแปรผันอายุตะกอนเท่ากับ 50 วัน และ 100 วัน ควบคุมการเติมอากาศ 60 นาที และความเข้มข้นของน้ำเสีย 1,000 มก./ล. แสดงดังรูปที่ 4.12 และตารางที่ 4.3



รูปที่ 4.12 ฟอสฟอรัสทั้งหมดในระบบของชุดการทดลองที่ 1

ตารางที่ 4.3 ฟอสฟอรัสที่ถูกกำจัดและประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสของชุดการทดลองที่ 1

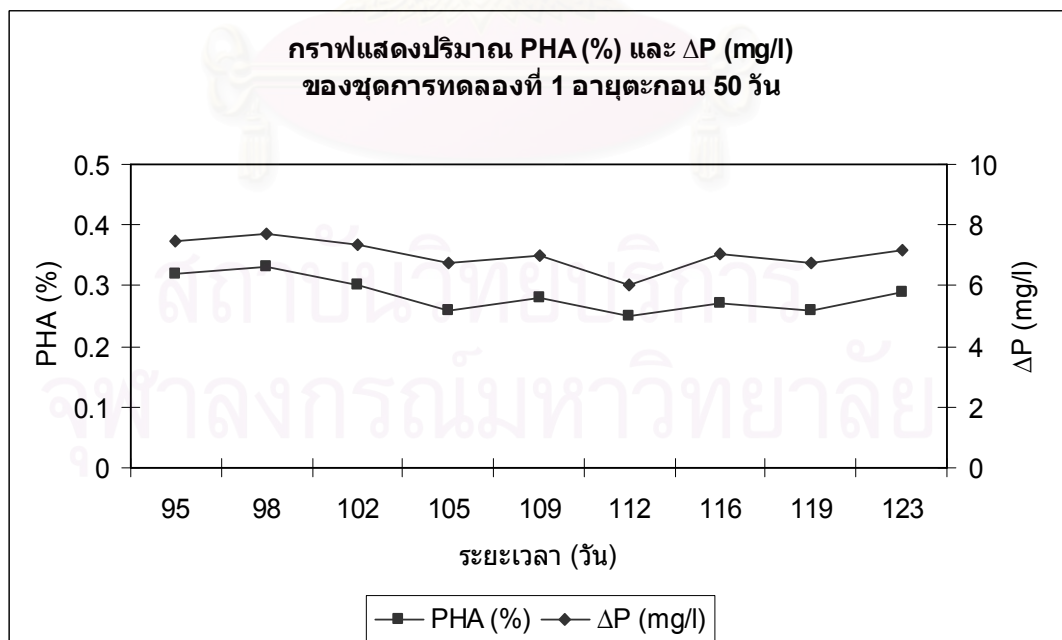
อายุตะกอน	ปริมาณฟอสฟอรัสที่ถูกกำจัด (มก./ล.)	ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัส (%)	PHA/ Δ P
50 วัน	7.03	90.77	0.922160
100 วัน	7.51	97.00	1.319494

เมื่อพิจารณาค่าฟอสฟอรัสในระบบ (รูปที่ 4.12) พบว่า ค่าฟอสฟอรัสในถังปฏิกิริยาของระบบทั้งที่อายุตะกอน 50 วัน และ อายุตะกอน 100 วัน มีค่าสูงมาก แสดงว่าจุลินทรีย์ปล่อยฟอสฟอรัสออกมาในขณะที่จับไขมันระเหยง่ายเพื่อนำไปใช้ในการเจริญเติบโตและ

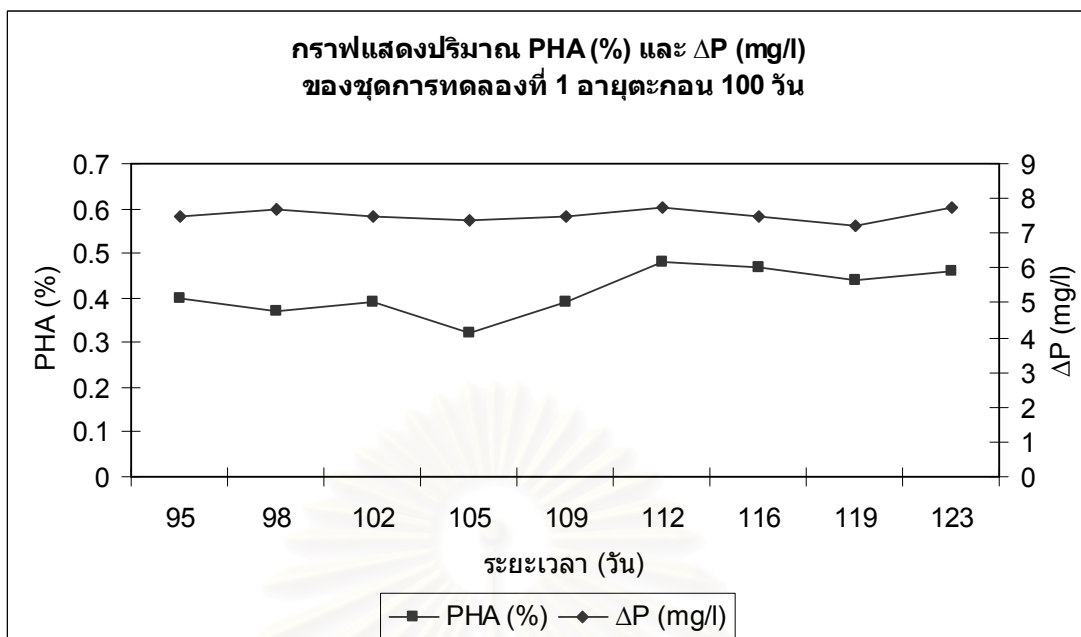
เก็บสะสมเป็น PHA นั้นเอง และเมื่อพิจารณาตารางที่ 4.3 จะเห็นว่า ที่อายุตะกอน 50 วัน และ 100 วัน มีผลต่อการกำจัดฟอสฟอรัสทางชีวภาพของระบบ โดยที่อายุตะกอน 100 วัน มีปริมาณฟอสฟอรัสที่ถูกกำจัดออกจากระบบเท่ากับ 7.51 มก./ล. ซึ่งมากกว่าอายุตะกอน 50 วัน ที่มีปริมาณฟอสฟอรัสที่ถูกกำจัดเท่ากับ 7.03 มก./ล. เมื่อมีปริมาณฟอสฟอรัสเริ่มต้นในระบบเท่ากัน นอกจากนี้ ที่อายุตะกอน 100 วัน ยังมีประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสสูงกว่าอายุตะกอน 50 วันด้วย โดยอายุตะกอน 100 วัน มีค่าประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสเท่ากับ 97.00% ส่วนอายุตะกอน 50 วัน มีค่าประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสเท่ากับ 90.77%

ประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสที่สูงกว่าเมื่อมีอายุตะกอนมากกว่านี้ สอดคล้องกับการทดลองของนภาพร (2542) ที่ทำการทดลองเปรียบเทียบระหว่างอายุตะกอน 5 วัน และ 10 วัน โดยพบว่า เมื่อระบบมีอายุตะกอน 5 วัน ระบบไม่สามารถเกิดการกำจัดฟอสฟอรัสที่ดีได้ เนื่องจากอายุตะกอนที่น้อย การทำงานของจุลินทรีย์กลุ่มฟิเอโอเป็นไปไม่ได้ดีเท่ากับระบบที่มีอายุตะกอน 10 วัน ซึ่งมีอายุตะกอนมากกว่า การกำจัดฟอสฟอรัสจึงดีกว่า

เมื่อนำปริมาณของฟอสฟอรัสที่ถูกใช้ไปมาเปรียบเทียบกับปริมาณ PHA ที่ได้จากการทดลองที่ 1 จะได้ดังรูปที่ 4.13 และ รูปที่ 4.14



รูปที่ 4.13 ปริมาณ PHA (%) และ ΔP (มก./ล.) ของชุดการทดลองที่ 1 อายุตะกอน 50 วัน



รูปที่ 4.14 ปริมาณ PHA (%) และ ΔP (มก./ล.) ของชุดการทดลองที่ 1 อายุตะกอน 100 วัน

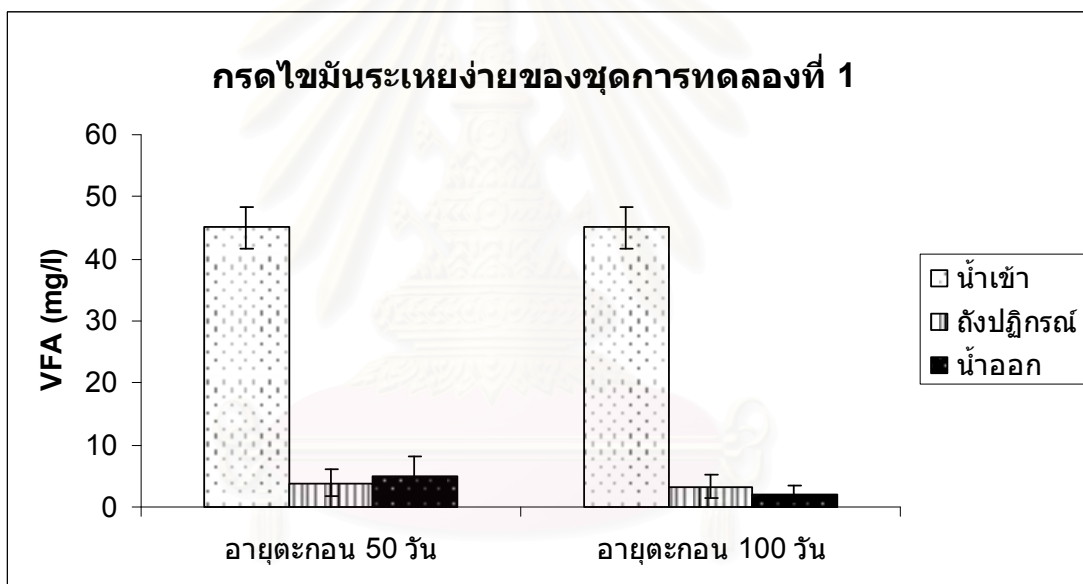
จากรูปที่ 4.13 และ รูปที่ 4.14 จะเห็นว่า ทั้งที่อายุตะกอน 50 วันและ 100 วัน ตลอดระยะเวลาที่ทำการเดินระบบ ปริมาณของฟอสฟอรัสที่ใช้ไปกับปริมาณ PHA ที่สะสมเป็นไปในทิศทางเดียวกัน ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับการทดลองของ Liu และคณะ (1997) และ นภาพร (2542) ที่พบว่าในขณะที่ระบบมีฟอสฟอรัสอยู่สูงจะทำให้จุลินทรีย์กลุ่มฟิเอโอเจริญเติบโตได้ดี จึงทำให้ปริมาณ PHA สูงขึ้นตามไปด้วย

เมื่อพิจารณาสัดส่วนระหว่างปริมาณฟอสฟอรัสที่ถูกใช้ไป (มก./ล.) กับปริมาณ PHA ที่สะสม (มก./ล.) ดังแสดงในตารางที่ 4.3 พบว่าที่อายุตะกอน 100 วัน มีสัดส่วนมากกว่า แสดงว่าที่อายุตะกอน 100 วัน ประสิทธิภาพของการเปลี่ยนฟอสฟอรัสไปเป็น PHA ของระบบมีค่ามากกว่าที่อายุตะกอน 50 วัน ซึ่งเมื่อพิจารณาร่วมกับค่าเฉลี่ยของ ΔP ที่มากกว่าของอายุตะกอน 100 วัน สามารถสรุปได้ว่าระบบที่มีอายุตะกอน 100 วัน สามารถให้ปริมาณ PHA จากกากตะกอนได้มากกว่าระบบที่มีอายุตะกอน 50 วัน

4.1.4 ปริมาณ PHA ที่สะสมและค่ากรดไขมันระเหยง่ายที่กำจัด

กรดไขมันระเหยง่ายหรือ VFAs (Volatile Fatty Acids) เป็นกรดไขมันโมเลกุลเล็กที่มีพันธะสั้น (Short Chained Volatile Fatty Acids, SCVFA) เช่น กรดอะซิติก กรดโพรพิอิก เป็นต้น ซึ่งเป็นแหล่งคาร์บอนสำหรับจุลินทรีย์กลุ่มฟีเอโอเพื่อดูดซึมเข้าสู่เซลล์และใช้ในกระบวนการเมตาบอลิซึม โดยส่วนหนึ่งจะถูกนำไปสร้างเป็น PHA ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานสำรองของเซลล์

ค่าเฉลี่ยของกรดไขมันระเหยง่ายจากการทดลองที่ 1 อายุตะกอน 50 วัน และ 100 วัน ควบคุมระยะเวลาการเติมอากาศที่ 60 นาที และความเข้มข้นของน้ำเสียซีโอดีเท่ากับ 1,000 มก./ล. แสดงดังรูปที่ 4.15 และ ตารางที่ 4.4



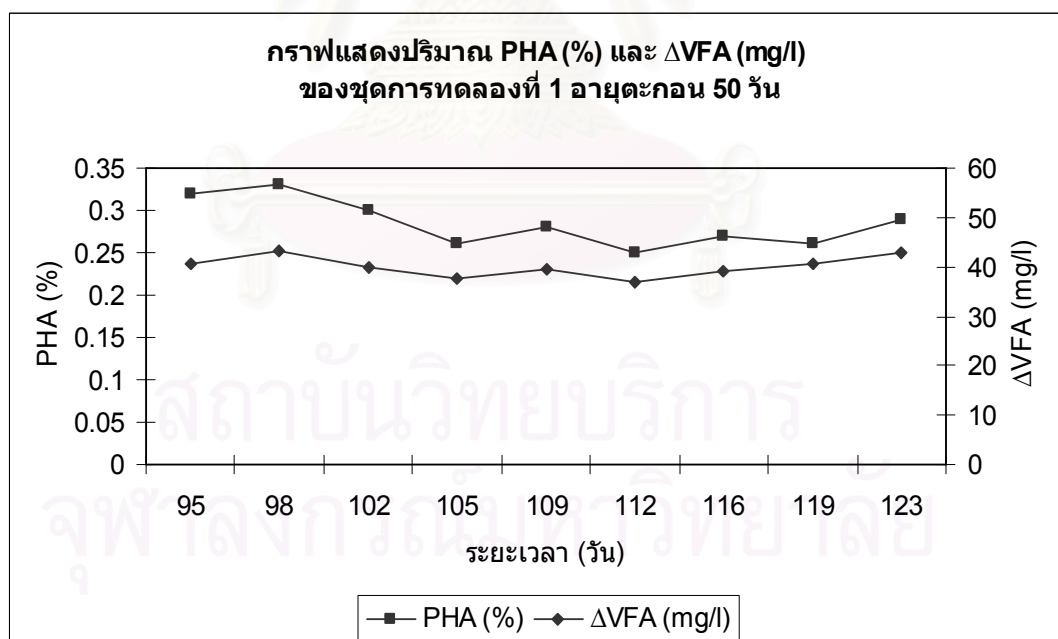
รูปที่ 4.15 กรดไขมันระเหยง่ายในระบบของชุดการทดลองที่ 1

ตารางที่ 4.4 กรดไขมันระเหยง่ายที่ถูกกำจัดและประสิทธิภาพการกำจัดกรดไขมันระเหยง่ายของชุดการทดลองที่ 1

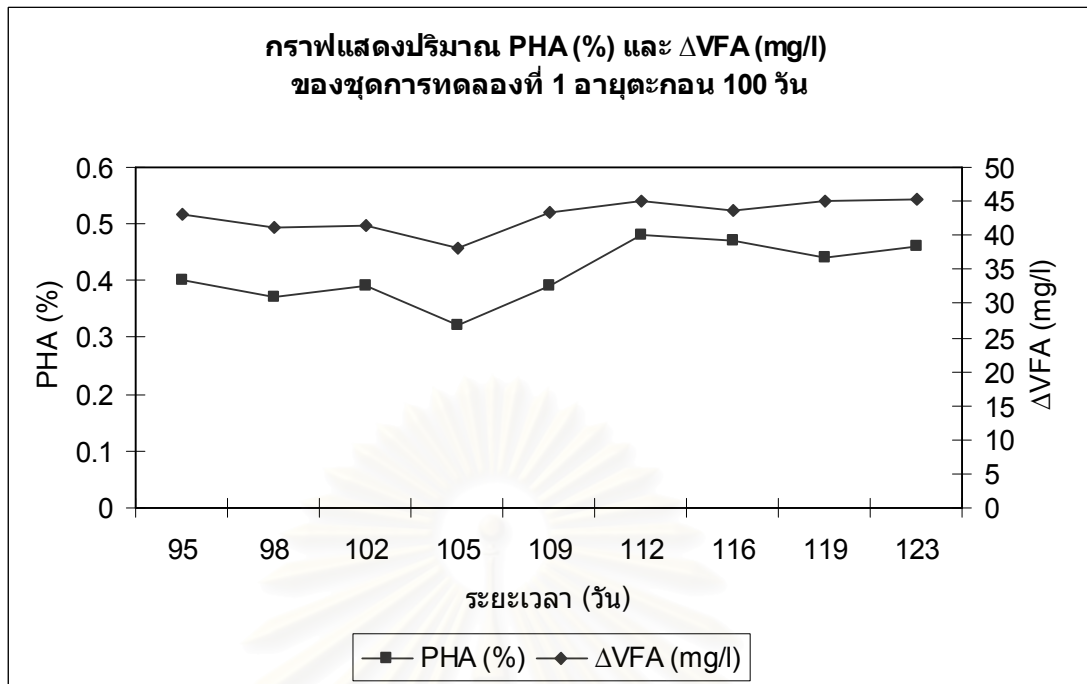
อายุตะกอน	ปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายที่ถูกกำจัด (มก./ล.)	ประสิทธิภาพการกำจัดกรดไขมันระเหยง่าย (%)	PHA/ Δ VFA
50 วัน	40.1	89.40	0.161367
100 วัน	42.89	95.42	0.231127

เมื่อพิจารณาค่ากรดไขมันระเหยง่ายในระบบ (รูปที่ 4.15) พบว่า ทั้งที่อายุตะกอน 50 วัน และอายุตะกอน 100 วัน ค่ากรดไขมันระเหยง่ายในน้ำเข้ามีค่าเท่ากัน แต่ค่ากรดไขมันระเหยง่ายในถังปฏิกรณ์ที่ช่วงแอนแอโรบิกเหลืออยู่น้อยมากเมื่อเทียบกับที่มีอยู่ในน้ำเข้า ซึ่งสอดคล้องกับทั้งการทดลองของอร (2542), นภาพร (2542) และ บุษกร (2542) ที่พบว่าในช่วงแอนแอโรบิก กรดไขมันระเหยง่ายมีค่าเท่ากับ 0 ในทุกชุดการทดลอง โดยอธิบายได้ว่า กรดไขมันระเหยง่ายถูกจุลินทรีย์กลุ่มฟีเอโอจับใช้ไปจนหมดในช่วงแอนแอโรบิกนั่นเอง

และเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดกรดไขมันระเหยง่ายที่อายุตะกอน 50 วัน และ 100 วัน (ตารางที่ 4.4) พบว่าที่อายุตะกอน 100 วัน มีประสิทธิภาพสูงกว่าที่อายุตะกอน 50 วัน และเมื่อนำปริมาณของกรดไขมันระเหยง่ายที่ถูกใช้ไปมาเปรียบเทียบกับปริมาณ PHA ที่สะสมจากการทดลองที่ 1 (รูปที่ 4.16 และ รูปที่ 4.17) พบว่าทั้งที่อายุตะกอน 50 วัน และ 100 วัน ปริมาณของกรดไขมันระเหยง่ายที่ถูกใช้ไปเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับปริมาณ PHA ที่สะสม แสดงว่ากรดไขมันระเหยง่ายถูกนำไปใช้ในการสร้าง PHA ของจุลินทรีย์กลุ่มฟีเอโอในระบบ



รูปที่ 4.16 ปริมาณ PHA (%) และ Δ VFA (มก./ล.) ของชุดการทดลองที่ 1 อายุตะกอน 50 วัน



รูปที่ 4.17 ปริมาณ PHA (%) และ Δ VFA (มก./ล.) ของชุดการทดลองที่ 1 อายุตะกอน 100 วัน

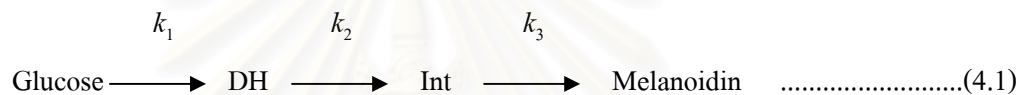
และเมื่อพิจารณาสัดส่วนระหว่างกรดไขมันระเหยง่ายที่ถูกใช้ไป (มก./ล.) กับปริมาณ PHA ที่สะสม (มก./ล.) ดังแสดงในตารางที่ 4.4 พบว่าที่อายุตะกอน 100 วัน มีสัดส่วนมากกว่าที่อายุตะกอน 50 วัน แสดงว่า ที่อายุตะกอน 100 วัน มีประสิทธิภาพในการจับใช้กรดไขมันระเหยง่ายไปเพื่อสะสมเป็น PHA โดยจุลินทรีย์ในระบบมากกว่าที่อายุตะกอน 50 วัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.1.5 ปริมาณ PHA ที่สะสมและกลูโคสที่กำจัด

ในงานวิจัยของชุดการทดลองที่ 1 ที่มีการแปรรูปอายุตะกอนเท่ากับ 50 วัน และ 100 วัน ได้ทำการวิเคราะห์ค่ากลูโคสในถังปฏิกรณ์ พบว่า ตรวจไม่พบกลูโคสทั้งการทดลองที่อายุตะกอน 50 วัน และอายุตะกอน 100 วัน ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่า กลูโคสจากกากน้ำตาลได้ถูกใช้ไปในกระบวนการหมักแอลกอฮอล์โดยยีสต์ และอีกส่วนหนึ่งถูกใช้ไปในการผลิตสารเมลานอยดินตามปฏิกิริยาปฏิกิริยาบราวน์นิ่ง (Browning Reaction) จึงทำให้ไม่มีกลูโคสหลงเหลืออยู่ในระบบ

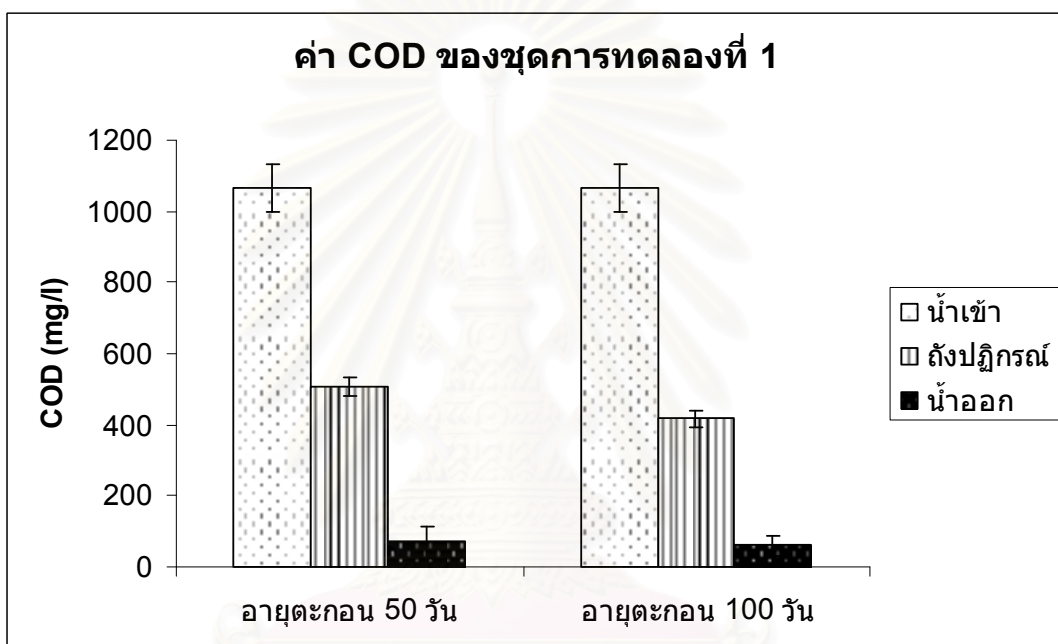
ปฏิกิริยาปฏิกิริยาบราวน์นิ่ง (Browning Reaction) ที่มีสารตั้งต้นเป็นกลูโคส สามารถสรุปเป็นปฏิกิริยาหลักๆ ได้เป็น 3 ขั้นตอน ตามสมการ



DH คือ 3-deoxyhexosulose ในปฏิกิริยาที่สารตั้งต้นเป็นกลูโคส และ Int คือสารประกอบที่ขึ้นกับชนิดของสารตั้งต้น ในที่นี้คือ 3,4-dideoxyheosulose-3-one อัตราการเกิดเมลานอยดินนั้นจะขึ้นกับ k_1 และ k_2 ส่วนโครงสร้างของเมลานอยดินนั้นจะขึ้นกับสารตั้งต้น Int นอกจากนี้แล้วปริมาณการเกิดสารเมลานอยดินยังแปรผันตรงกับอุณหภูมิ และแปรผกผันกับความชื้นอีกด้วย เราสามารถพบเมลานอยดินได้ในอาหาร หรือ เครื่องดื่มที่ผ่านกระบวนการผลิตที่เกี่ยวข้องกับความร้อน เช่น กาแฟ และชา เป็นต้น (University of Leeds, 2002 และ INSTITUTO DEL FRIO, 2002)

4.1.6 ปริมาณ PHA ที่สะสมและค่าซีไอโอดีที่กำจัด

การวัดค่าซีไอโอดีในการทดลองนี้ประกอบด้วย การวัดค่าซีไอโอดีในน้ำเข้า ค่าซีไอโอดีในถังปฏิกรณ์ช่วงแอนแอโรบิก และน้ำออก โดยผลของซีไอโอดีที่ได้จากระบบที่สภาวะคงตัวของ การทดลองที่ 1 ที่มีการแปรผันอายุตะกอนเท่ากับ 50 วัน และ 100 วัน ควบคุมระยะเวลาการเติมอากาศ 60 นาที และความเข้มข้นของน้ำเสีย 1,000 มก./ล. แสดงดังรูปที่ 4.18 และ ตารางที่ 4.5



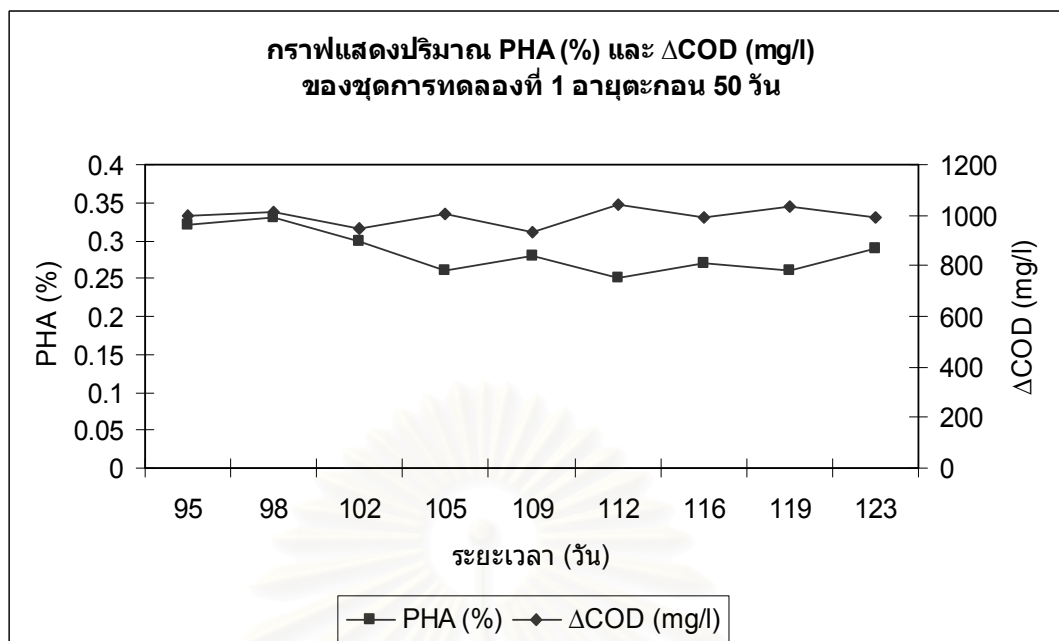
รูปที่ 4.18 ค่าซีไอโอดีในระบบของชุดการทดลองที่ 1

ตารางที่ 4.5 ซีไอโอดีและประสิทธิภาพการกำจัดซีไอโอดีของชุดการทดลองที่ 1

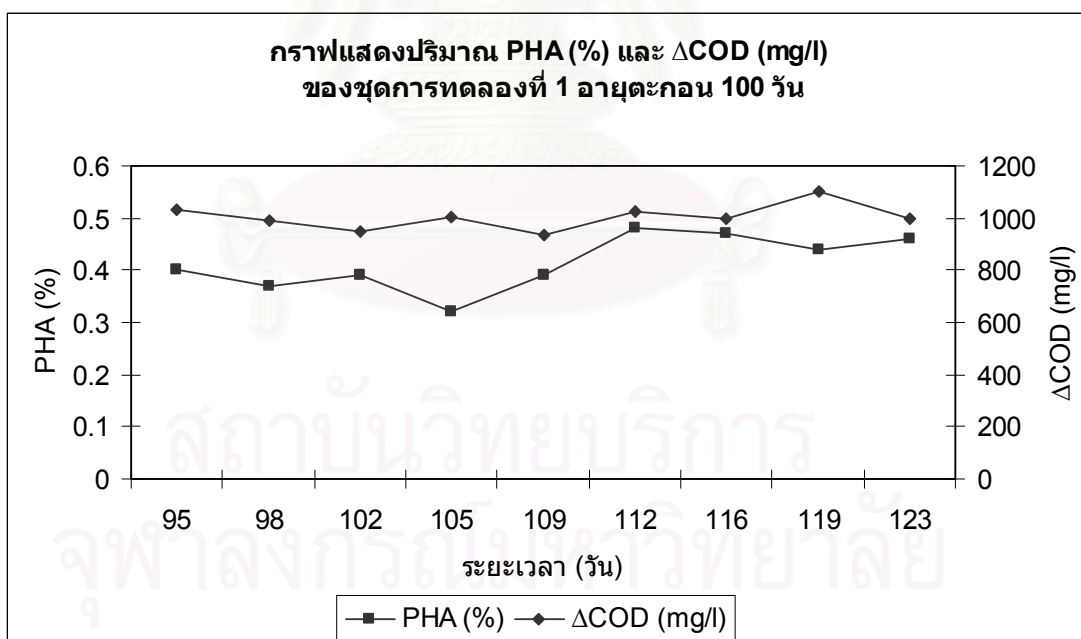
อายุตะกอน	ปริมาณซีไอโอดีที่ถูกกำจัด (มก./ล.)	ประสิทธิภาพการกำจัด ซีไอโอดี (%)	PHA/ Δ COD
50 วัน	993.67	89.76	0.000282
100 วัน	1004.11	94.34	0.000408

เมื่อพิจารณาค่าซีโอดีในระบบ (รูปที่ 4.18) พบว่า ทั้งที่อายุตะกอน 50 วัน และอายุตะกอน 100 วัน ค่าซีโอดีในน้ำเข้ามีค่าเท่ากัน แต่เมื่อพิจารณาปริมาณของซีโอดีที่ถูกใช้ไปในช่วงแอนแอโรบิกจะเห็นว่าที่อายุตะกอน 100 วันมีปริมาณมากกว่า แสดงว่าที่อายุตะกอน 100 วัน จุลินทรีย์ในระบบใช้ซีโอดีในช่วงแอนแอโรบิกได้มากกว่าที่อายุตะกอน 50 วัน ซึ่งจุลินทรีย์ในระบบของทั้ง 2 การทดลองไม่สามารถจับใช้ซีโอดีได้หมดในช่วงแอนแอโรบิก โดยผลการทดลองดังกล่าวไม่เหมือนดังการทดลองของบุษกร (2542) และอร (2542) ที่พบว่า ในถึงปฏิบัติการช่วงแอนแอโรบิกของทุกชุดการทดลอง ค่าซีโอดีถูกใช้ไปจนเกือบหมด (ค่าซีโอดีในถึงปฏิบัติการอยู่ในช่วง 2-35 มก./ล. เมื่อมีค่าซีโอดีของน้ำเข้าอยู่ในช่วง 100-700 มก./ล.) ทั้งนี้เนื่องจากการทดลองของบุษกร (2542) และอร (2542) ใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่ซีโอดีอยู่ในรูปของ RBCOD (Readily Biodegradable COD) ทำให้จุลินทรีย์ในระบบสามารถนำไปใช้ได้ง่ายและรวดเร็วซึ่งจะถูกใช้หมดไปตั้งแต่ในช่วงแอนแอโรบิกแล้ว แต่อย่างไรก็ตาม จากตารางที่ 4.5 จะเห็นได้ว่าซีโอดีที่ถูกใช้ไปทั้งหมดในถึงปฏิบัติการมีค่ามากกว่าที่ถูกใช้ไปในช่วงแอนแอโรบิก แสดงว่า ในการทดลองนี้ จุลินทรีย์ที่สามารถจับใช้ซีโอดีได้ในช่วงแอนแอโรบิกไม่ได้ใช้ซีโอดีไปทั้งหมด แต่ยังมีจุลินทรีย์อีกกลุ่มหนึ่งที่จับใช้ส่วนที่เหลือในช่วงแอนแอโรบิก ทำให้ระบบสามารถกำจัดซีโอดีได้สูงนั่นเอง

เมื่อพิจารณาซีโอดีที่ถูกใช้ไปของระบบ (ตารางที่ 4.5) พบว่า ที่อายุตะกอน 100 วัน ซีโอดีที่ถูกใช้ไปมีค่าเท่าเฉลี่ยเท่ากับ 1004.11 มก./ล. ซึ่งมีค่ามากกว่าอายุตะกอน 50 วัน ที่มีค่าซีโอดีที่ถูกใช้ไปเท่ากับ 993.67 มก./ล. แสดงว่าที่อายุตะกอน 100 วัน จุลินทรีย์สามารถนำซีโอดีไปใช้ได้มากกว่าที่อายุตะกอน 50 วัน ซึ่งสอดคล้องกับฟอสฟอรัสและกรดไขมันระเหยง่ายที่ถูกใช้ไปเช่นเดียวกัน และเมื่อนำค่าซีโอดีที่ถูกใช้ไปมาเปรียบเทียบกับปริมาณ PHA ที่สะสมจากการทดลองที่ 1 (รูปที่ 4.19 และ รูปที่ 4.20) มีบางจุดที่ปริมาณ PHA ที่สะสมและซีโอดีที่ถูกใช้ไปไม่สอดคล้องกัน ทั้งนี้สามารถอธิบายได้ว่า เนื่องจากในระบบไม่ได้มีเพียงจุลินทรีย์เพียงกลุ่มเดียว มีทั้งจุลินทรีย์ที่สามารถสะสม PHA ได้ และกลุ่มที่ไม่สามารถสะสม PHA ซึ่งต่างก็ต้องการใช้ซีโอดีเช่นเดียวกัน ดังนั้นซีโอดีส่วนหนึ่งจึงถูกใช้ไปในการสร้างเซลล์ของจุลินทรีย์ในกลุ่มที่ไม่สามารถสร้าง PHA ด้วย ทำให้ปริมาณซีโอดีที่ถูกใช้ไปบางจุดไม่สอดคล้องกับปริมาณ PHA ที่สะสม แต่เมื่อพิจารณาสัดส่วนระหว่างซีโอดีที่ถูกใช้ไป (มก./ล.) กับค่า PHA ที่สะสม (มก./ล.) ดังแสดงในตารางที่ 4.5 พบว่าที่อายุตะกอน 100 วัน มีสัดส่วนมากกว่า แสดงว่า ที่อายุตะกอน 100 วัน ประสิทธิภาพของการเปลี่ยนซีโอดีไปเป็น PHA ของระบบโดยจุลินทรีย์มีค่ามากกว่าที่อายุตะกอน 50 วันนั่นเอง ดังนั้นระบบที่มีอายุตะกอน 100 วัน จุลินทรีย์กลุ่มที่สามารถสะสม PHA ได้มีความสามารถในการจับใช้ซีโอดีเพื่อเป็นแหล่งอาหารในการทำงานของเซลล์ในการสะสม PHA ได้ดีกว่าระบบที่มีอายุตะกอน 50 วัน



รูปที่ 4.19 ปริมาณ PHA (%) และ Δ COD (มก./ล.) ของชุดการทดลองที่ 1 อายุตะกอน 50 วัน

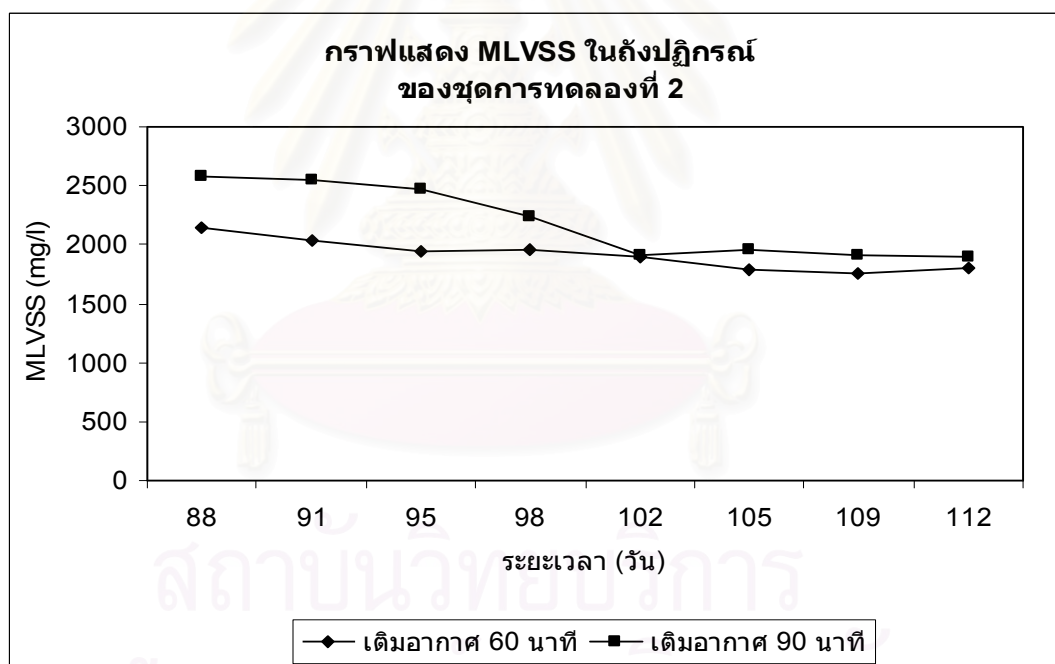


รูปที่ 4.20 ปริมาณ PHA (%) และ Δ COD (มก./ล.) ของชุดการทดลองที่ 1 อายุตะกอน 100 วัน

4.2 การศึกษาผลของระยะเวลาการเติมอากาศต่อปริมาณ PHA ที่สะสม

การวิจัยขั้นตอนนี้เป็นการศึกษาสภาวะในการเดินระบบ คือ ระยะเวลาการเติมอากาศ 60 นาที และ 90 นาที ที่มีผลต่อปริมาณ PHA ที่สกัดได้จากกากตะกอนระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานสุราแบบที่ใช้ไมโครฟิลเตรชันเมมเบรนในถังปฏิกรณ์ชีวภาพ โดยใช้อายุตะกอน 100 วัน ค่าความเข้มข้นน้ำเสียซีไอดีเท่ากับ 1,000 มก./ล. (ชุดการทดลองที่ 2)

จากการทดลองนี้ เริ่มเก็บตัวอย่างหลังจากระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวเมื่อวันที่ 88 ของการเดินระบบจนถึงวันที่ 112 โดยพิจารณาจากค่าของปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ (MLVSS) ในถังปฏิกรณ์ คือ อยู่ในช่วง 1,500 - 2,500 มก./ล. ดังแสดงในรูปที่ 4.21

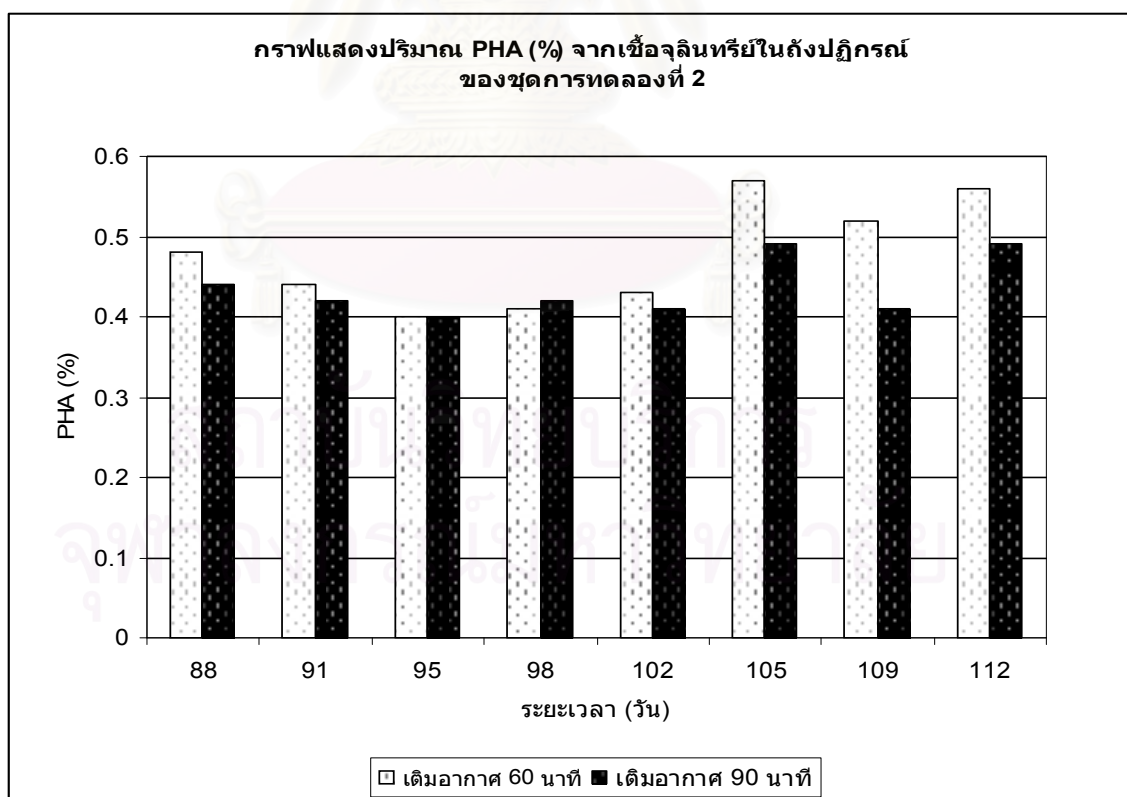


รูปที่ 4.21 กราฟแสดง MLVSS ของชุดการทดลองที่ 2

4.2.1 ผลของระยะเวลาการเติมอากาศต่อปริมาณ PHA ที่สะสม

ระยะเวลาการเติมอากาศของระบบจะต้องมีเพียงพอที่จุลินทรีย์จะใช้ในการจับใช้มลสารต่างๆ ซึ่งหากมีระยะเวลาต่ำเกินไป สารที่อยู่ในระบบอาจจะยังหลงเหลืออยู่หรือเกิดการย่อยได้ไม่สมบูรณ์ แต่ถ้าหากมีระยะเวลาการเติมอากาศมากเกินไปก็จะทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการบำบัดโดยประสิทธิภาพการบำบัดมลสารไม่เปลี่ยนแปลง ดังนั้นเพื่อการควบคุมระบบและการเจริญของจุลินทรีย์ในระบบที่ดีจึงควรมีระยะเวลาการเติมอากาศที่เหมาะสม

จากการศึกษาการเดินระบบที่ใช้ระยะเวลาการเติมอากาศ 60 นาที และระยะเวลาการเติมอากาศ 90 นาที ควบคุมอายุตะกอนที่ 100 วัน และความเข้มข้นของน้ำเสียซีโอดี 1,000 มก./ล. พบว่าที่ระยะเวลาการเติมอากาศ 60 นาที ปริมาณ PHA ที่จุลินทรีย์สะสมไว้ในเซลล์อยู่ในช่วง 0.40 - 0.57% (w/w) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.48% (w/w) ส่วนที่ระยะเวลาการเติมอากาศ 90 นาที ปริมาณ PHA ที่จุลินทรีย์สะสมไว้ในเซลล์อยู่ในช่วง 0.40 - 0.49% (w/w) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.44% (w/w) ดังแสดงในรูปที่ 4.22



รูปที่ 4.22 กราฟแสดงปริมาณ PHA (%) จากเชื้อจุลินทรีย์ในถังปฏิกรณ์ของชุดการทดลองที่ 2

เมื่อพิจารณาจากกราฟ (รูปที่ 4.22) จะเห็นได้ว่า ปริมาณ PHA ที่ได้จากกากตะกอนที่มีระยะเวลาการเติมอากาศ 60 นาที มีค่าใกล้เคียงกันกับระยะเวลาการเติมอากาศ 90 นาที ยกเว้นในช่วงหลังที่แตกต่างกันมากขึ้น แต่เมื่อพิจารณาโดยรวมจากค่าเฉลี่ยที่วิเคราะห์ได้แล้วนับว่าปริมาณ PHA ที่ได้มีค่าใกล้เคียงกัน นอกจากนี้ เมื่อทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบปริมาณ PHA ทางสถิติระหว่างการเติมอากาศ 60 นาที และ 90 นาที ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่าปริมาณ PHA ของทั้ง 2 การทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ ข.2 ภาคผนวก ข) แสดงว่าระยะเวลาการเติมอากาศที่ต่างกันคือ 60 นาทีและ 90 นาทีไม่มีผลต่อการสะสม PHA ในเซลล์ของจุลินทรีย์ในระบบ ทั้งนี้เป็นเพราะระยะเวลาการเติมอากาศ 60 นาทีเพียงพอต่อการจับใช้สารอาหารเพื่อสะสมเป็น PHA ของจุลินทรีย์ในระบบ ซึ่งผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับการทดลองของ Brdjanovic และคณะ (1998) และนภาพร (2542) โดยการทดลองของ Brdjanovic และคณะ (1998) ได้ทำการศึกษาการยึดเวลาการเติมอากาศจาก 2.5 ชั่วโมงเป็น 30 ชั่วโมง พบว่าการกำจัดฟอสฟอรัสคังที่ถึงแม้จะมีการเพิ่มระยะเวลาการเติมอากาศก็ตาม ปริมาณ โพลีฟอสเฟตในระบบไม่เปลี่ยนแปลง ทำให้ปริมาณ PHA มีค่าคงที่เช่นเดียวกัน ส่วนนภาพร (2542) พบว่า ทั้ง 3 การทดลองคือ การทดลองที่ให้มีแหล่งคาร์บอนมากเกินไป, แหล่งคาร์บอนพอดีต่อการกำจัด และแหล่งคาร์บอนจำกัด เมื่อเพิ่มระยะเวลาการเติมอากาศถึงค่าหนึ่งแล้วการกำจัดฟอสฟอรัสจะคงที่ และปริมาณ PHA ในระบบก็คงที่ด้วย

4.2.2 ปริมาณ PHA ที่สะสมและจำนวนเซลล์

เมื่อทำการศึกษาจำนวนเซลล์ทั้งหมด จำนวนเซลล์ที่สะสม PHA และจำนวนเซลล์ที่สะสม โพลีฟอสเฟตของจุลินทรีย์ในถังปฏิกรณ์ตามวิธีของ Seeley (1972) ในชุดการทดลองที่ 2 แปรผันระยะเวลาการเติมอากาศ 60 นาที และระยะเวลาการเติมอากาศ 90 นาที ควบคุมอายุตะกอน 100 วัน และความเข้มข้นของน้ำเสียซีโอดีเท่ากับ 1,000 มก./ล. ได้ผลดังตารางที่ 4.6

และเมื่อนำปริมาณ PHA มาหาความสัมพันธ์กับจำนวนเซลล์ทั้งหมด จำนวนเซลล์ที่สะสม PHA และจำนวนเซลล์ที่สะสม โพลีฟอสเฟตที่ของชุดการทดลองที่ 2 ได้ค่าสัดส่วนระหว่าง PHA กับจำนวนเซลล์แสดงดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.6 จำนวนเซลล์ในถังปฏิกรณ์ของชุดการทดลองที่ 2

ระยะเวลา (วัน)	เติมอากาศ 60 นาที ($\times 10^{10}$ เซลล์/ลิตร)			เติมอากาศ 90 นาที ($\times 10^{10}$ เซลล์/ลิตร)		
	เซลล์ ทั้งหมด	เซลล์ที่สะสม PHA	เซลล์ที่สะสม โพลีฟอสเฟต	เซลล์ ทั้งหมด	เซลล์ที่สะสม PHA	เซลล์ที่สะสม โพลีฟอสเฟต
88	36.21	34.80	27.42	25.66	23.91	24.96
91	33.40	30.23	28.83	29.88	27.42	28.83
95	32.34	27.77	28.83	31.99	29.53	27.77
98	35.51	28.83	33.40	32.34	30.94	29.53
102	29.53	29.18	29.18	34.80	26.72	27.42
105	29.53	28.83	29.18	35.86	29.88	28.13
109	28.48	27.77	26.37	31.99	29.18	25.31
112	30.59	29.88	27.07	35.51	30.23	29.53
จำนวน	8	8	8	8	8	8
ค่าเฉลี่ย	31.95	29.66	28.78	32.26	28.48	27.69
ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน	2.8956	2.2545	2.1462	3.3655	2.3244	1.7503
ค่าสูงสุด	36.21	34.80	33.40	35.86	30.94	29.53
ค่าต่ำสุด	28.48	27.77	26.37	25.66	23.91	24.96

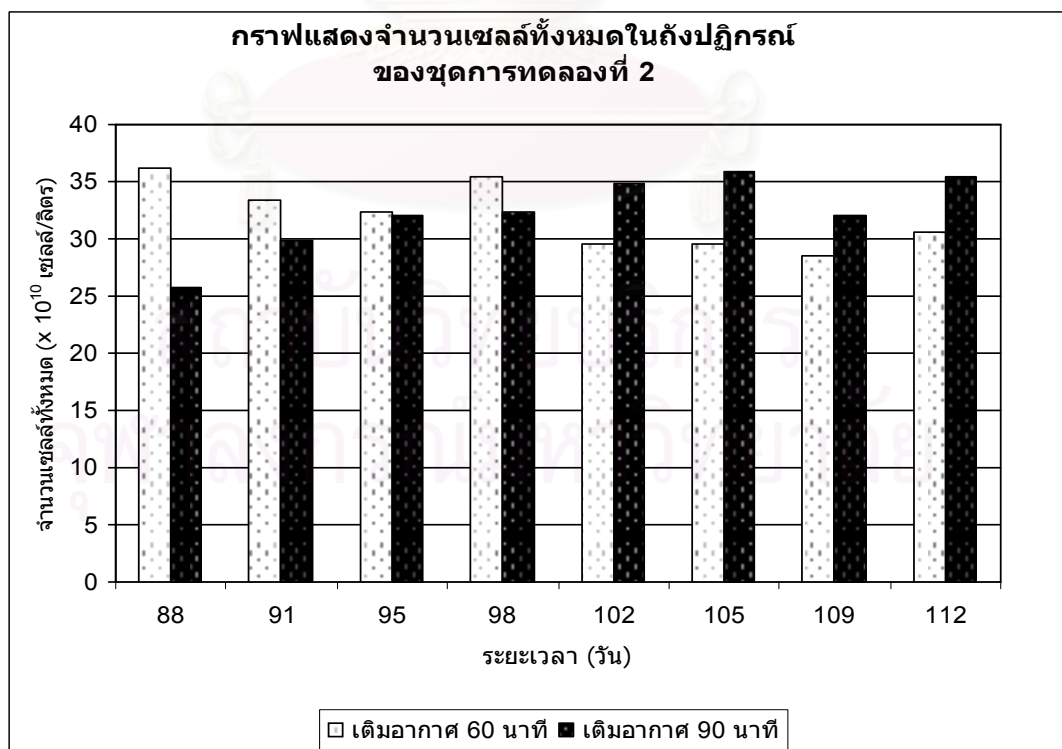
ตารางที่ 4.7 ตารางแสดงค่าสัดส่วนระหว่างปริมาณ PHA ที่สะสมกับจำนวนเซลล์ในถังปฏิกรณ์ของชุดการทดลองที่ 2

สัดส่วน	เติมอากาศ 60 นาที ($\times 10^{-10}$)	เติมอากาศ 90 นาที ($\times 10^{-10}$)
ปริมาณ PHA (มก./ล.) กับจำนวนเซลล์ทั้งหมด (เซลล์/ล.)	0.360433	0.374171
ปริมาณ PHA (มก./ล.) กับจำนวนเซลล์ที่สะสม PHA (เซลล์/ล.)	0.388200	0.423829
ปริมาณ PHA (มก./ล.) กับจำนวนเซลล์ที่สะสม โพลีฟอสเฟต (เซลล์/ล.)	0.400053	0.435939

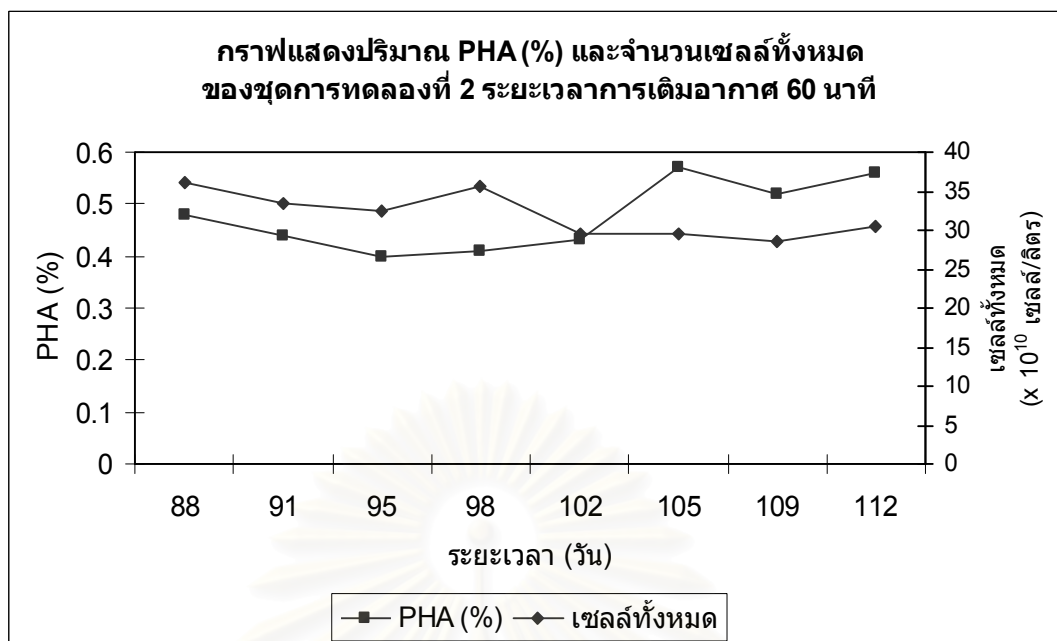
4.2.2.1 ปริมาณ PHA ที่สะสมและจำนวนเซลล์ทั้งหมด

ในงานวิจัยของชุดการทดลองที่ 2 ที่มีการแปรผันระยะเวลาการเติมอากาศ 60 นาที และ 90 นาที ได้ทำการวิเคราะห์จำนวนเซลล์ทั้งหมด พบว่า ที่ระยะเวลาการเติมอากาศ 60 นาที มีจำนวนเซลล์ทั้งหมดอยู่ในช่วง $(28.48 \times 10^{10}) - (36.21 \times 10^{10})$ เซลล์/ลิตร มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 31.95×10^{10} เซลล์/ลิตร ส่วนที่ระยะเวลาการเติมอากาศ 90 นาที มีจำนวนเซลล์ทั้งหมดเฉลี่ยมากกว่า ระยะเวลาการเติมอากาศ 60 นาทีเล็กน้อย คือมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 32.26×10^{10} เซลล์/ลิตร จำนวนเซลล์ทั้งหมดอยู่ในช่วง $(25.66 \times 10^{10}) - (35.86 \times 10^{10})$ เซลล์/ลิตร ดังแสดงในตารางที่ 4.6 และรูปที่ 4.23

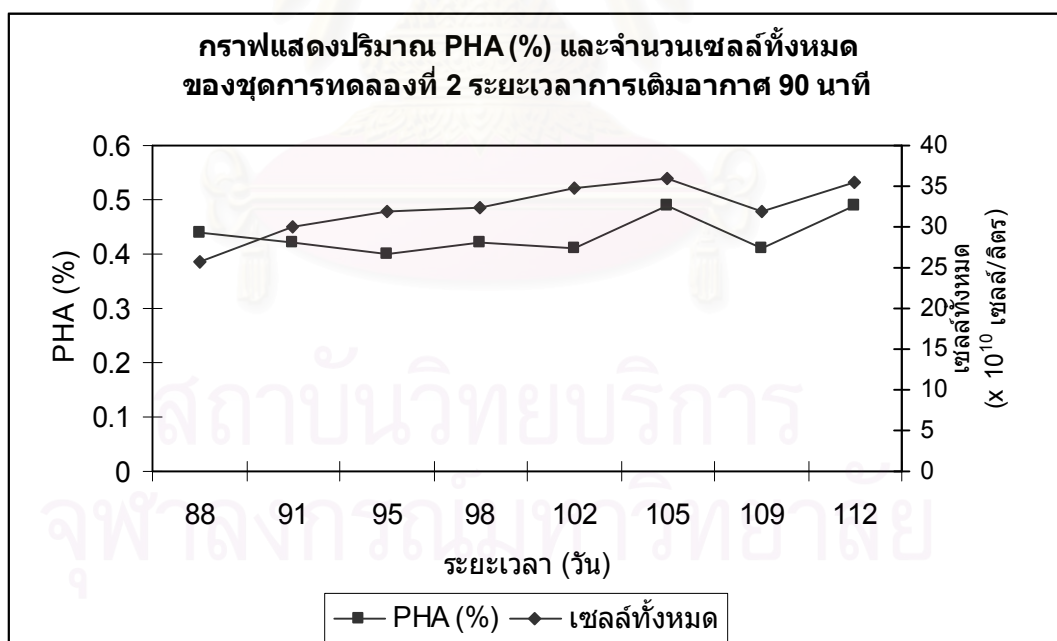
รูปที่ 4.24 และ 4.25 แสดงปริมาณ PHA (%) และจำนวนเซลล์ทั้งหมดของชุดการทดลองที่ 2 ซึ่งจะเห็นว่าปริมาณ PHA ที่สะสมกับจำนวนเซลล์ทั้งหมดเป็นไปในทิศทางเดียวกัน และเมื่อพิจารณาสัดส่วนระหว่างจำนวนเซลล์ทั้งหมดกับปริมาณ PHA ที่สะสม (ตารางที่ 4.7) พบว่า ที่ระยะเวลาการเติมอากาศ 60 นาทีมีสัดส่วนมากกว่า แสดงว่าที่ระยะเวลาการเติมอากาศ 60 นาที จุลินทรีย์ในระบบมีความสามารถในการสะสม PHA ได้มากกว่าที่ระยะเวลาการเติมอากาศ 90 นาที ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า ระยะเวลาการเติมอากาศ 60 นาทีเพียงพอต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ทั้งหมดในระบบเพื่อการสะสม PHA เมื่อเทียบกับการเติมอากาศ 90 นาที



รูปที่ 4.23 กราฟแสดงจำนวนเซลล์ทั้งหมดในถังปฏิกรณ์ของชุดการทดลองที่ 2



รูปที่ 4.24 ปริมาณ PHA (%) และจำนวนเซลล์ทั้งหมดของชุดการทดลองที่ 2 ระยะเวลาการเติมอากาศ 60 นาที

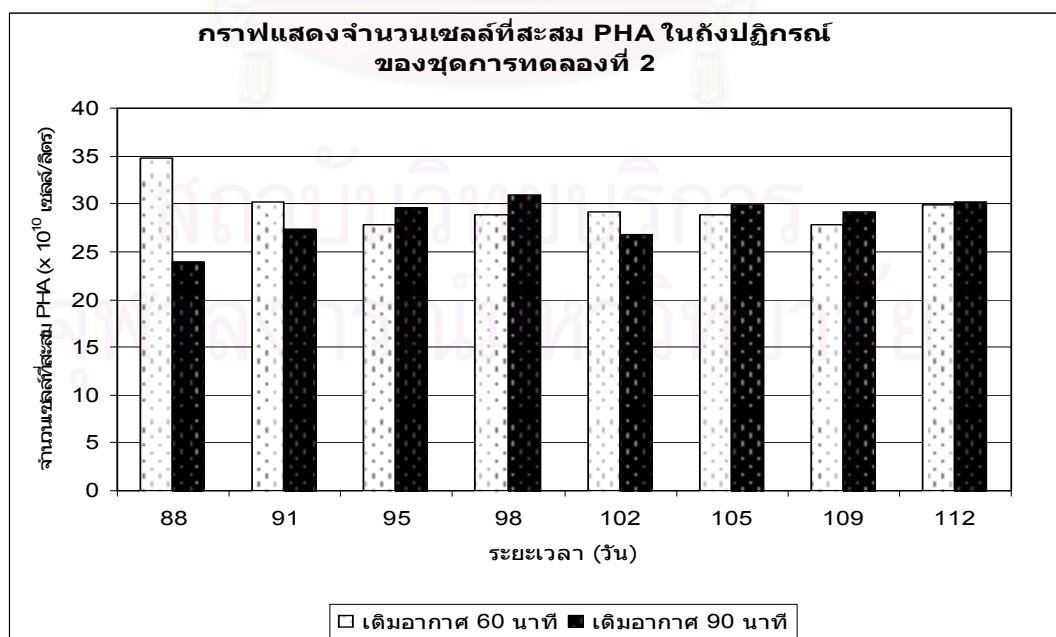


รูปที่ 4.25 ปริมาณ PHA (%) และจำนวนเซลล์ทั้งหมดของชุดการทดลองที่ 2 ระยะเวลาการเติมอากาศ 90 นาที

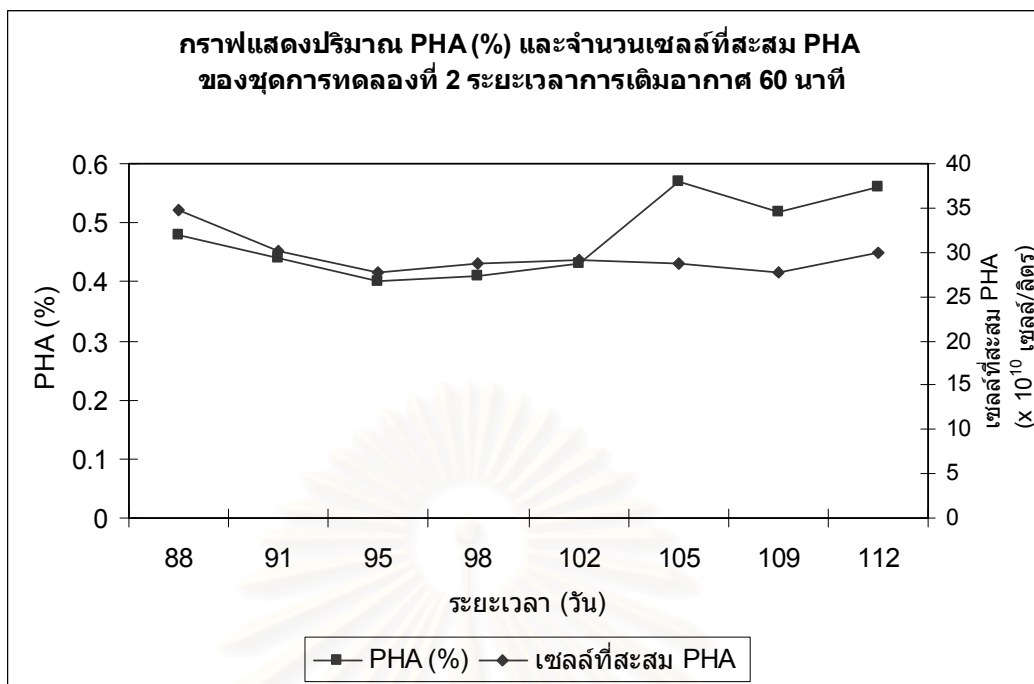
4.2.2.2 ปริมาณ PHA ที่สะสมและจำนวนเซลล์ที่สะสม PHA

ในงานวิจัยของชุดการทดลองที่ 2 ที่มีการแปรผันระยะเวลาการเติมอากาศ 60 นาที และ 90 นาที ได้ทำการวิเคราะห์จำนวนเซลล์ที่สะสม PHA พบว่า ที่ระยะเวลาการเติมอากาศ 60 นาที มีจำนวนเซลล์ที่สะสม PHA อยู่ในช่วง $(27.77 \times 10^{10}) - (34.80 \times 10^{10})$ เซลล์/ลิตร มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 31.95×10^{10} เซลล์/ลิตร ส่วนที่ระยะเวลาการเติมอากาศ 90 นาที มีจำนวนเซลล์ที่สะสม PHA เฉลี่ยน้อยกว่าระยะเวลาการเติมอากาศ 60 นาที คือมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 28.48×10^{10} เซลล์/ลิตร และมีจำนวนเซลล์ที่สะสม PHA อยู่ในช่วง $(23.91 \times 10^{10}) - (30.94 \times 10^{10})$ เซลล์/ลิตร ดังแสดงในตารางที่ 4.6 และรูปที่ 4.26

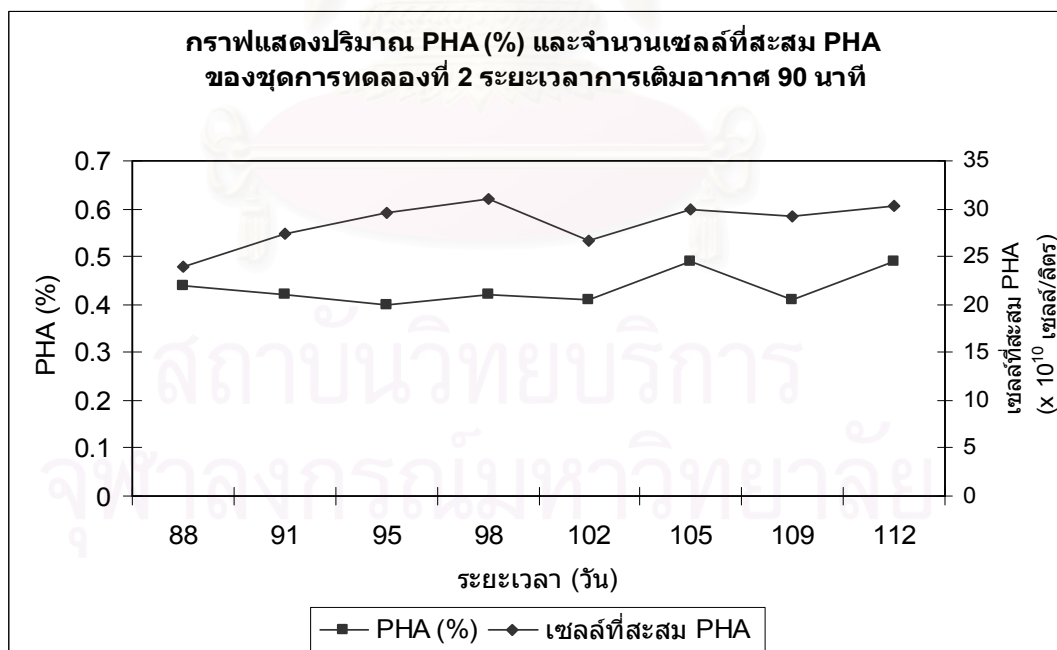
รูปที่ 4.27 และ 4.28 แสดงปริมาณ PHA (%) และจำนวนเซลล์ที่สะสม PHA ของชุดการทดลองที่ 2 ซึ่งพบว่าปริมาณ PHA และจำนวนเซลล์ที่สะสม PHA เป็นไปในทิศทางเดียวกัน และเมื่อพิจารณาสัดส่วนระหว่างปริมาณ PHA กับจำนวนเซลล์ที่มีการสะสม PHA (ตารางที่ 4.7) พบว่าระยะเวลาการเติมอากาศ 60 นาทีที่มีสัดส่วนมากกว่าระยะเวลาการเติมอากาศ 90 นาที แสดงว่าที่ระยะเวลาการเติมอากาศ 60 นาที จุลินทรีย์ในระบบมีความสามารถในการสะสม PHA ได้มากกว่าที่ระยะเวลาการเติมอากาศ 90 นาที และเมื่อพิจารณาร่วมกับค่าเฉลี่ยของจำนวนเซลล์ที่สะสม PHA ที่สูงกว่าของการทดลองที่มีการเติมอากาศ 60 นาที (ตารางที่ 4.6) จึงสามารถสรุปได้ว่าระยะเวลาการเติมอากาศ 60 นาทีเพียงพอต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในระบบเพื่อการสะสม PHA เมื่อเทียบกับระยะเวลาการเติมอากาศ 90 นาที



รูปที่ 4.26 กราฟแสดงจำนวนเซลล์ที่สะสม PHA ในถังปฏิกรณ์ของชุดการทดลองที่ 2



รูปที่ 4.27 ปริมาณ PHA (%) และจำนวนเซลล์ที่สะสม PHA ของชุดการทดลองที่ 2 ระยะเวลาการเติมอากาศ 60 นาที

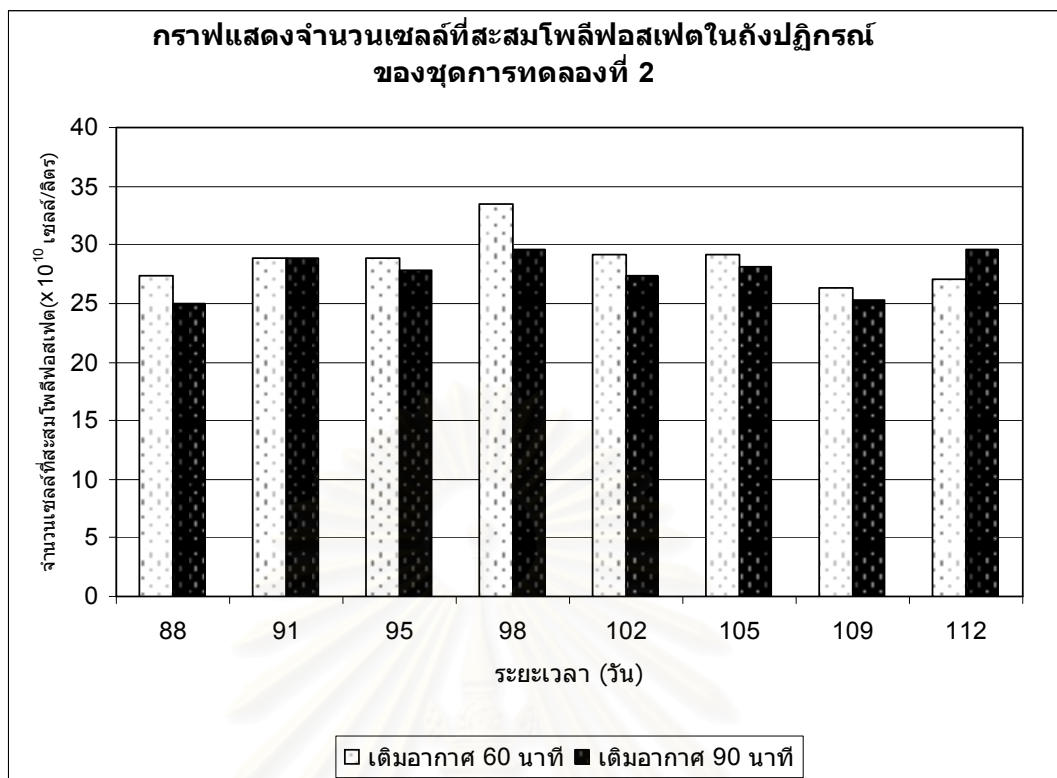


รูปที่ 4.28 ปริมาณ PHA (%) และจำนวนเซลล์ที่สะสม PHA ของชุดการทดลองที่ 2 ระยะเวลาการเติมอากาศ 90 นาที

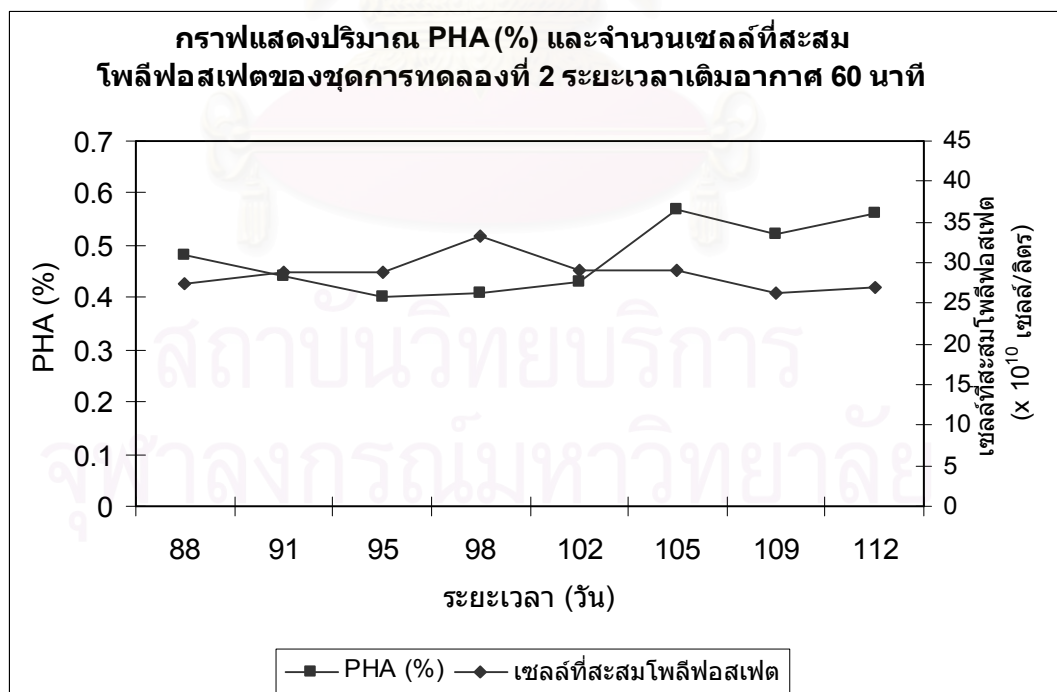
4.2.2.3 ปริมาณ PHA ที่สะสมและจำนวนเซลล์ที่สะสมโพลีฟอสเฟต

เนื่องจากโพลีฟอสเฟตเป็นแหล่งพลังงานของจุลินทรีย์ ดังนั้นจึงพิจารณาหาความสัมพันธ์ระหว่างเซลล์ที่สะสมโพลีฟอสเฟตกับปริมาณ PHA ที่จุลินทรีย์สะสมไว้ในเซลล์ โดยในงานวิจัยของชุดการทดลองที่ 2 ที่มีการแปรผันระยะเวลาการเติมอากาศ 60 นาที และ 90 นาที ได้ทำการวิเคราะห์จำนวนเซลล์ที่สะสมโพลีฟอสเฟต พบว่า ที่ระยะเวลาการเติมอากาศ 60 นาที มีจำนวนเซลล์ที่สะสมโพลีฟอสเฟตอยู่ในช่วง $(26.37 \times 10^{10}) - (33.40 \times 10^{10})$ เซลล์/ลิตร มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 28.78×10^{10} เซลล์/ลิตร ส่วนที่ระยะเวลาการเติมอากาศ 90 นาที มีจำนวนเซลล์ที่สะสมโพลีฟอสเฟตน้อยกว่าที่ระยะเวลาการเติมอากาศ 60 นาทีเล็กน้อย คือมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 27.69×10^{10} เซลล์/ลิตร และมีจำนวนเซลล์ที่สะสมโพลีฟอสเฟตอยู่ในช่วง $(24.96 \times 10^{10}) - (29.53 \times 10^{10})$ เซลล์/ลิตร ดังแสดงในตารางที่ 4.6 และรูปที่ 4.29

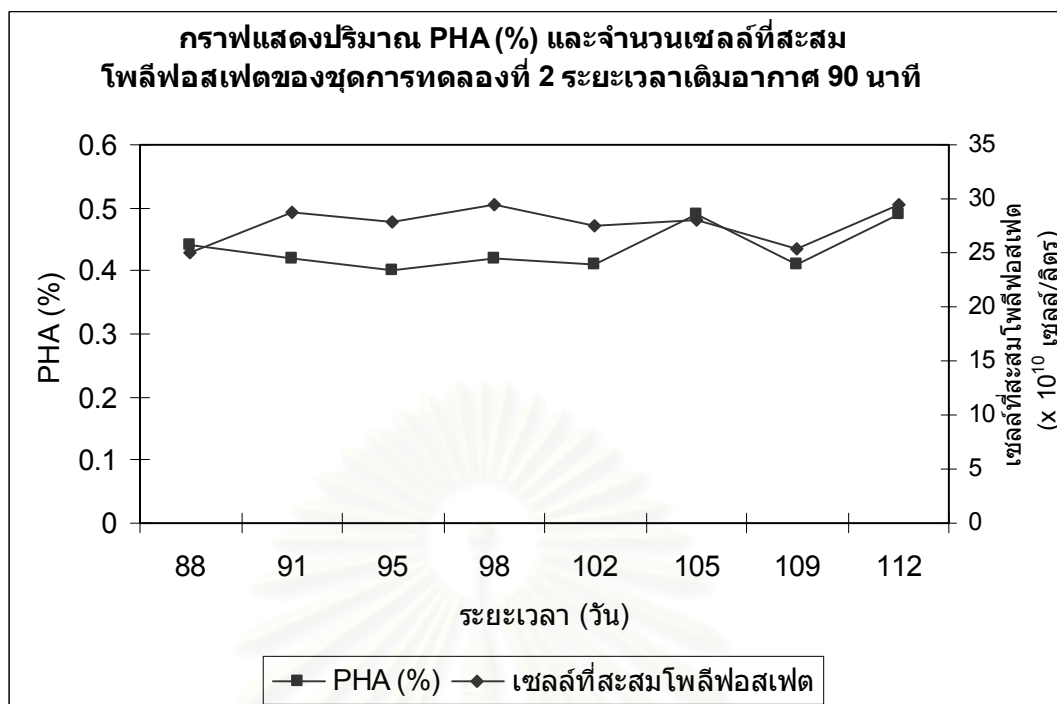
รูปที่ 4.30 และ 4.31 แสดงปริมาณ PHA ที่สะสม (%) และจำนวนเซลล์ที่สะสมโพลีฟอสเฟตของชุดการทดลองที่ 2 พบว่า ปริมาณ PHA ที่สะสมและจำนวนเซลล์ที่สะสมโพลีฟอสเฟตส่วนมากเป็นไปในทิศทางเดียวกัน แต่การทดลองที่ใช้ระยะเวลาการเติมอากาศ 60 นาที มีบางค่าที่ไม่สอดคล้องกัน เนื่องจาก PHA ไม่ได้มาจากจุลินทรีย์กลุ่มฟิโอสเทอริกเพียงกลุ่มเดียว ยังมาจากจุลินทรีย์กลุ่มจีโออีคัส ทำให้ค่าดังกล่าวไม่สอดคล้องกัน แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาสัดส่วนระหว่างปริมาณ PHA ที่สะสมกับจำนวนเซลล์ที่สะสมโพลีฟอสเฟต (ตารางที่ 4.7) พบว่า ระยะเวลาการเติมอากาศ 60 นาทีที่มีสัดส่วนมากกว่าการเติมอากาศ 90 นาที แสดงว่าที่ระยะเวลาการเติมอากาศ 60 นาที จุลินทรีย์ที่สะสมโพลีฟอสเฟตในระบบมีความสามารถในการสะสม PHA ได้มากกว่าที่ระยะเวลาการเติมอากาศ 90 นาที นอกจากนี้เมื่อพิจารณาร่วมกับจำนวนเซลล์ที่สะสมโพลีฟอสเฟตเฉลี่ยของการทดลองที่มีระยะเวลาการเติมอากาศ 60 นาทีที่มีค่ามากกว่าการทดลองที่มีระยะเวลาการเติมอากาศ 90 นาที (ตารางที่ 4.6) จึงสามารถสรุปได้ว่า ระยะเวลาการเติมอากาศ 60 นาทีเพียงพอต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่สามารถสะสมโพลีฟอสเฟตได้ในระบบเพื่อการสะสม PHA เมื่อเทียบกับการเติมอากาศ 90 นาที



รูปที่ 4.29 กราฟแสดงจำนวนเซลล์ที่สะสมโพลีฟอสเฟตในถังปฏิกรณ์ของชุดการทดลองที่ 2



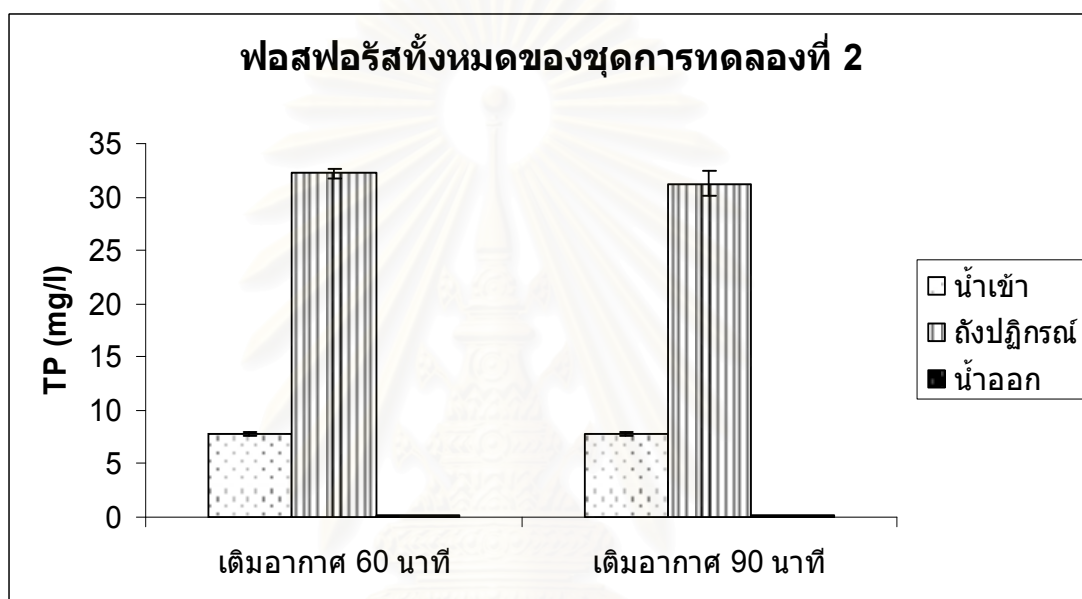
รูปที่ 4.30 ปริมาณ PHA (%) และจำนวนเซลล์ที่สะสมโพลีฟอสเฟตของชุดการทดลองที่ 2
ระยะเวลาการเติมอากาศ 60 นาที



รูปที่ 4.31 ปริมาณ PHA (%) และจำนวนเซลล์ที่สะสม โพลีฟอสเฟตของชุดการทดลองที่ 2 ระยะเวลาการเติมอากาศ 90 นาที

4.2.3 ปริมาณ PHA ที่สะสมและค่าฟอสฟอรัสที่กำจัด

การกำจัดฟอสฟอรัสทางชีวภาพเกิดขึ้นได้โดยการทำงานของจุลินทรีย์กลุ่มพีเอโอ ซึ่งปริมาณฟอสฟอรัสของระบบที่สภาวะคงตัวของการทดลองที่ 2 ที่มีการแปรผันระยะเวลาการเติมอากาศ 60 นาที และ 90 นาที ควบคุมอายุตะกอนเท่ากับ 100 วัน และความเข้มข้นของน้ำเสีย 1,000 มก./ล. แสดงดังรูปที่ 4.32 และ ตารางที่ 4.8



รูปที่ 4.32 ฟอสฟอรัสทั้งหมดในระบบของชุดการทดลองที่ 2

ตารางที่ 4.8 ฟอสฟอรัสที่ถูกกำจัดและประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสของชุดการทดลองที่ 2

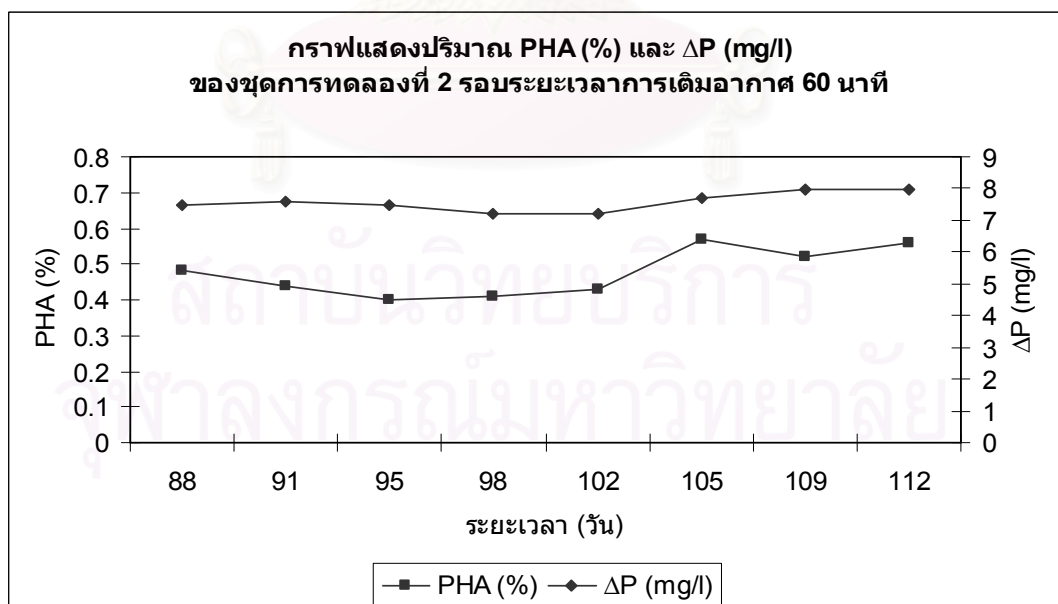
ระยะเวลาการเติมอากาศ	ปริมาณฟอสฟอรัสที่ถูกกำจัด (มก./ล.)	ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัส (%)	PHA/ Δ P
60 นาที	7.58	97.01	1.518906
90 นาที	7.55	96.68	1.597832

เมื่อพิจารณาค่าฟอสฟอรัสในระบบ (รูปที่ 4.32) พบว่าค่าฟอสฟอรัสในถังปฏิกรณ์ของทั้งที่ระยะเวลาการเติมอากาศ 60 นาที และ 90 นาที มีค่าสูงมาก แสดงว่าจุลินทรีย์ปล่อยฟอสฟอรัสออกมาในขณะที่จับใช้กรดไขมันระเหยง่ายเพื่อนำไปใช้ในการเจริญเติบโตและเก็บสะสมเป็น PHA

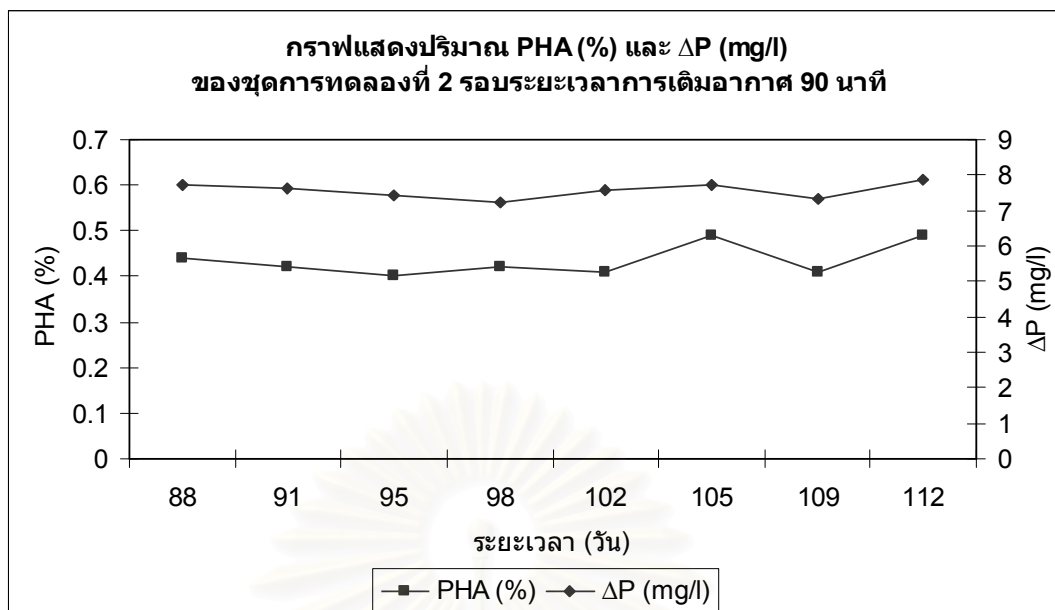
และเมื่อพิจารณาตารางที่ 4.8 จะเห็นว่า ที่ระยะเวลาการเติมอากาศ 60 นาที และ 90 นาที มีผลต่อการกำจัดฟอสฟอรัสทางชีวภาพของระบบ โดยที่ระยะเวลาการเติมอากาศ 60 นาที และ 90 นาที มีปริมาณฟอสฟอรัสที่ถูกกำจัดออกจากระบบเท่ากับ 7.58 มก./ล. และ 7.55 มก./ล. ตามลำดับ ซึ่งนับว่ามีค่าใกล้เคียงกันมาก นอกจากนี้ยังมีประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสใกล้เคียงกันอีกด้วย โดยที่ระยะเวลาการเติมอากาศ 60 นาที และ 90 นาที มีประสิทธิภาพในการกำจัดเท่ากับ 97.01% และ 96.68% ตามลำดับ เมื่อมีปริมาณฟอสฟอรัสเริ่มต้นในระบบเท่ากัน

ประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสที่ใกล้เคียงกันแม้จะมีระยะเวลาการเติมอากาศที่ต่างกันนี้ สอดคล้องกับการทดลองของภาศลัย (2545) และ นภาพร (2542) โดยการทดลองของภาศลัยพบว่า ระบบที่มีการเติมอากาศ 60 นาทีและ 90 นาที ทั้งที่ใช้ความเข้มข้นน้ำเสียซีโอดี 500 และ 750 มก./ล. มีประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสไม่แตกต่างกัน ส่วนการทดลองนภาพร (2542) พบว่าเมื่อมีการยืดเวลาในช่วงแอโรบิกออกไปจนถึงค่าหนึ่งของแต่ละการทดลอง ความสามารถในการกำจัดฟอสฟอรัสก็จะคงที่

เมื่อปริมาณของฟอสฟอรัสที่ถูกใช้ไปมาเปรียบเทียบกับปริมาณ PHA ที่สะสมจากการทดลองที่ 2 จะได้ดังรูปที่ 4.33 และ รูปที่ 4.34



รูปที่ 4.33 ปริมาณ PHA (%) และ ΔP (มก./ล.) ของชุดการทดลองที่ 2 ระยะเวลาการเติมอากาศ 60 นาที



รูปที่ 4.34 ปริมาณ PHA (%) และ ΔP (มก./ล.) ของชุดการทดลองที่ 2 ระยะเวลาการเติมอากาศ 90 นาที

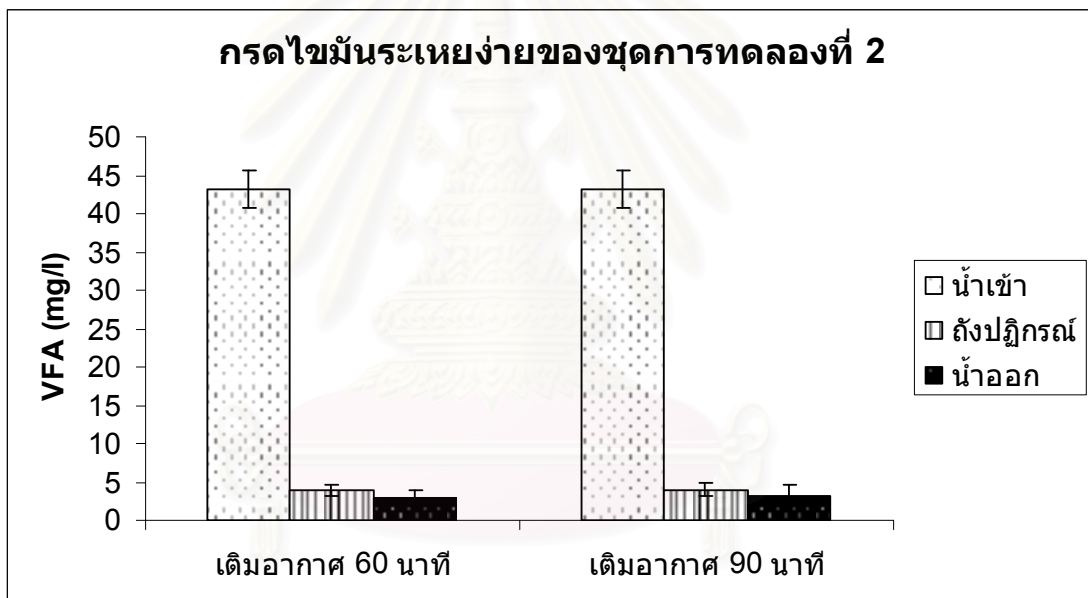
จากรูปที่ 4.33 และ รูปที่ 4.34 จะเห็นว่า ทั้งที่ระยะเวลาการเติมอากาศ 60 นาที และ 90 นาที ตลอดระยะเวลาที่ทำการเดินระบบ ปริมาณของฟอสฟอรัสที่ใช้ไปกับปริมาณ PHA ที่สะสมเป็นไปในทิศทางเดียวกัน ซึ่งผลการทดลองนี้ยังสอดคล้องกับการทดลองของ Liu และคณะ (1997) และ นภาพร (2542) ที่พบว่า ในขณะที่ระบบมีฟอสฟอรัสอยู่สูงจะทำให้จุลินทรีย์กลุ่มฟิเอ โอเจริยูเดบ โด ได้ดี จึงทำให้ปริมาณ PHA สูงขึ้นตามไปด้วย

เมื่อพิจารณาคัดส่วนระหว่างปริมาณฟอสฟอรัสที่ถูกใช้ไป (มก./ล.) กับปริมาณ PHA ที่สะสม (มก./ล.) ของทั้ง 2 ระบบ (ตารางที่ 4.8) จะเห็นว่ามีความใกล้เคียงกันมาก และเมื่อพิจารณา ร่วมกับปริมาณฟอสฟอรัสที่ถูกใช้ไปและประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัส (ตารางที่ 4.8) ที่มีค่าใกล้เคียงกันเช่นกัน จึงสามารถสรุปได้ว่า ระยะเวลาการเติมอากาศ 60 นาที และ 90 นาที ไม่มีผลต่อการกำจัดฟอสฟอรัสและการสะสม PHA ของจุลินทรีย์ที่อยู่ในระบบ ดังนั้นระยะเวลาการเติมอากาศ 60 นาทีเพียงพอต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในระบบเพื่อการสะสม PHA เมื่อเทียบกับระยะเวลาการเติมอากาศ 90 นาที

4.2.4 ปริมาณ PHA ที่สะสมและค่ากรดไขมันระเหยง่ายที่กำจัด

กรดไขมันระเหยง่ายหรือ VFAs (Volatile Fatty Acids) เป็นกรดไขมันโมเลกุลเล็กที่มีพันธะสั้น (Short Chained Volatile Fatty Acids, SCVFA) เช่น กรดอะซิติก กรดโพรพิอิก เป็นต้น ซึ่งเป็นแหล่งคาร์บอนสำหรับจุลินทรีย์กลุ่มฟิเอโอเพื่อดูดซึมเข้าสู่เซลล์และใช้ในกระบวนการเมตาบอลิซึม โดยส่วนหนึ่งจะถูกนำไปสร้างเป็น PHA ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานสำรองของเซลล์

ค่าเฉลี่ยของกรดไขมันระเหยง่ายจากการทดลองที่ 2 ระยะเวลาการเติมอากาศ 60 นาที และ 90 นาที ควบคุมอายุตะกอนเท่ากับ 100 วัน และความเข้มข้นของน้ำเสียซีโอดีเท่ากับ 1,000 มก./ล. แสดงดังรูปที่ 4.35 และ ตารางที่ 4.9



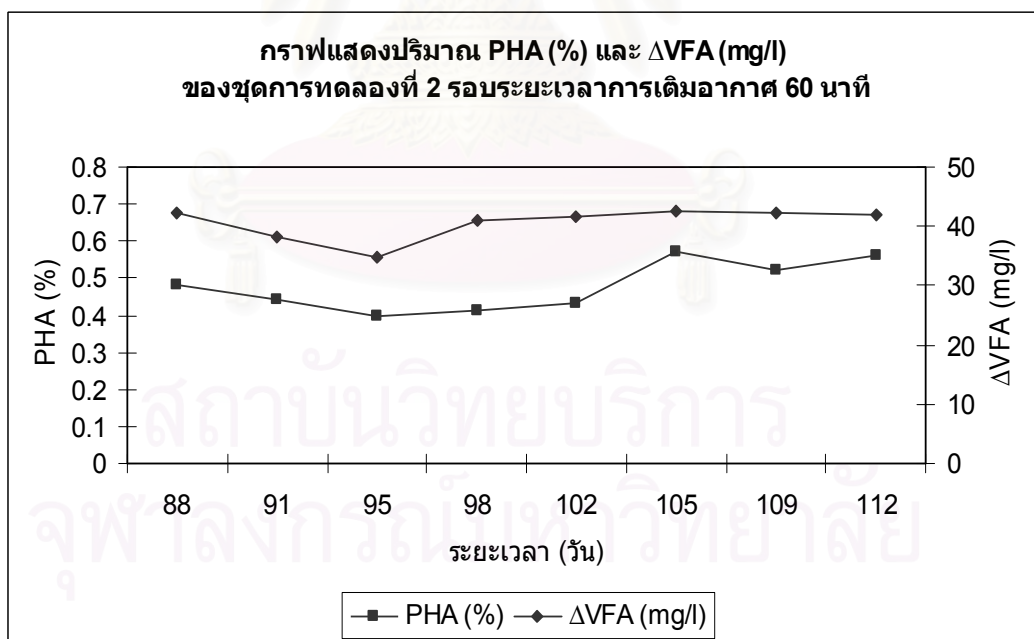
รูปที่ 4.35 กรดไขมันระเหยง่ายในระบบของชุดการทดลองที่ 2

ตารางที่ 4.9 กรดไขมันระเหยง่ายที่ถูกกำจัดและประสิทธิภาพการกำจัดกรดไขมันระเหยง่ายของชุดการทดลองที่ 2

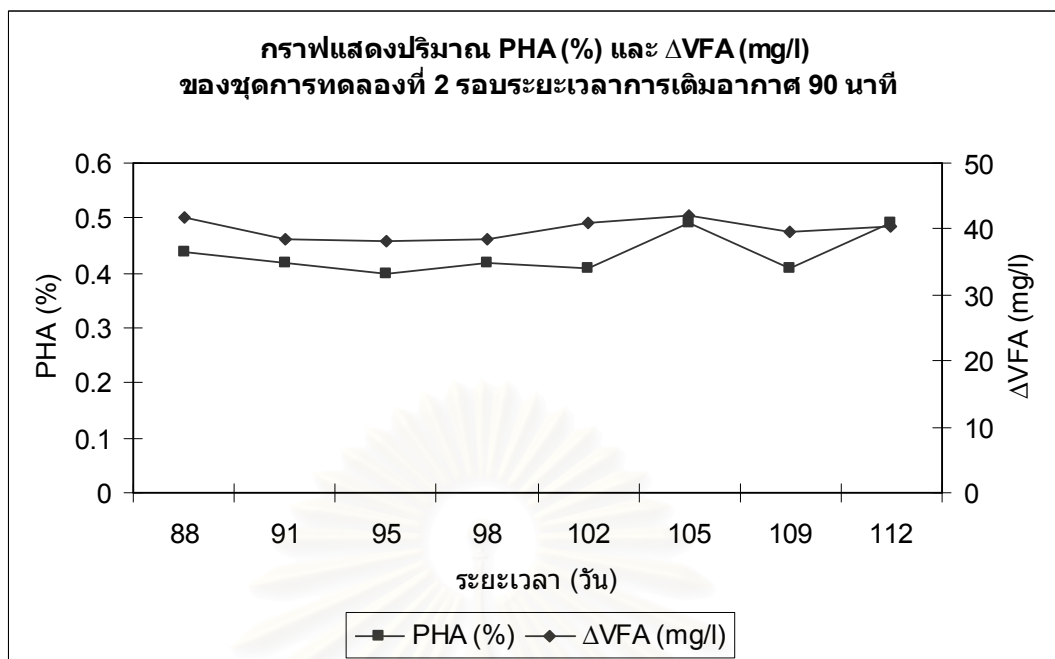
ระยะเวลาการเติมอากาศ	ปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายที่ถูกกำจัด (มก./ล.)	ประสิทธิภาพการกำจัดกรดไขมันระเหยง่าย (%)	PHA/ Δ VFA
60 นาที	40.26	93.19	0.283967
90 นาที	39.93	92.54	0.302297

เมื่อพิจารณาค่ากรดไขมันระเหยง่ายในระบบ (รูปที่ 4.35) พบว่า ทั้งที่ระยะเวลาการเติมอากาศ 60 นาที และ 90 นาที ค่ากรดไขมันระเหยง่ายในน้ำเข้ามีค่าเท่ากัน แต่ค่ากรดไขมันระเหยง่ายในถังปฏิกรณ์ที่ช่วงแอนแอโรบิกเหลืออยู่น้อยมากเมื่อเทียบกับที่มีอยู่ในน้ำเข้า ซึ่งสอดคล้องกับชุดการทดลองที่ 1 และยังสอดคล้องกับการทดลองของอร (2542), นภาพร (2542) และ บุษกร (2542) ที่พบว่าในช่วงแอนแอโรบิก กรดไขมันระเหยง่ายมีค่าเท่ากับ 0 ในทุกชุดการทดลอง โดยอธิบายได้ว่ากรดไขมันระเหยง่ายถูกจุลินทรีย์กลุ่มฟีโอโอบีใช้ไปจนหมดในช่วงแอนแอโรบิกนั่นเอง

และเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดกรดไขมันระเหยง่ายที่ระยะเวลาการเติมอากาศ 60 นาที และ 90 นาที (ตารางที่ 4.9) พบว่าทั้ง 2 ระบบมีค่าใกล้เคียงกัน และเมื่อนำปริมาณของกรดไขมันระเหยง่ายที่ถูกใช้ไปมาเปรียบเทียบกับปริมาณ PHA ที่สะสมจากการทดลองที่ 2 (รูปที่ 4.36 และ รูปที่ 4.37) พบว่าทั้งที่อายุตะกอน 50 วัน และ 100 วัน ปริมาณของกรดไขมันระเหยง่ายที่ถูกใช้ไปเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับปริมาณ PHA ที่สะสม แสดงว่ากรดไขมันระเหยง่ายถูกนำไปใช้ในการสร้าง PHA ของจุลินทรีย์กลุ่มฟีโอโอในระบบ



รูปที่ 4.36 ปริมาณ PHA (%) และ Δ VFA (มก./ล.) ของชุดการทดลองที่ 2 ระยะเวลาการเติมอากาศ 60 นาที



รูปที่ 4.37 ปริมาณ PHA (%) และ Δ VFA (มก./ล.) ของชุดการทดลองที่ 2 ระยะเวลาการเติมอากาศ 90 นาที

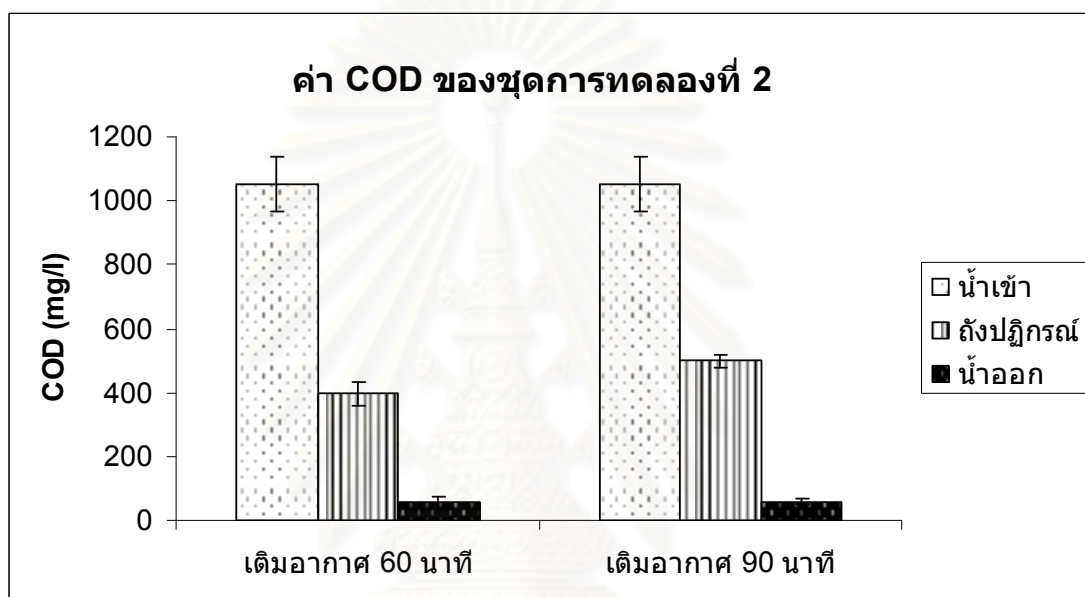
เมื่อพิจารณาสัดส่วนระหว่างกรดไขมันระเหยง่ายที่ถูกใช้ไป (มก./ล.) กับปริมาณ PHA ที่สะสม (มก./ล.) ของชุดการทดลองที่ 2 ดังแสดงในตารางที่ 4.9 พบว่ามีค่าใกล้เคียงกันระหว่างระยะเวลาการเติมอากาศ 60 นาที และ 90 นาที ซึ่งเมื่อพิจารณาร่วมกับปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายที่ถูกกำจัด และประสิทธิภาพการกำจัดกรดไขมันระเหยง่าย (ตารางที่ 4.9) ที่มีค่าใกล้เคียงกันของทั้ง 2 การทดลอง จึงสามารถสรุปได้ว่า ระยะเวลาการเติมอากาศ 60 นาที และ 90 นาที ไม่มีผลต่อการกำจัดกรดไขมันระเหยง่ายและการสะสม PHA ของจุลินทรีย์ที่อยู่ในระบบ ดังนั้นระยะเวลาการเติมอากาศ 60 นาทีเพียงพอต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในระบบเพื่อการสะสม PHA เมื่อเทียบกับระยะเวลาการเติมอากาศ 90 นาที

4.2.5 ปริมาณ PHA ที่สะสมและกลูโคสที่กำจัด

ในงานวิจัยของชุดการทดลองที่ 2 ที่มีการแปรผันระยะเวลาการเติมอากาศ 60 นาที และ 90 นาที ได้ทำการวิเคราะห์ค่ากลูโคสในถังปฏิกรณ์ พบว่า ตรวจไม่พบกลูโคสทั้งการทดลองที่ระยะเวลาการเติมอากาศ 90 นาที และ 90 นาที เช่นเดียวกับผลการทดลองของชุดการทดลองที่ 1 ซึ่งอธิบายไว้ในหัวข้อ 4.1.5

4.2.6 ปริมาณ PHA ที่สะสมและค่าซีโอดีที่กำจัด

การวัดค่าซีโอดีในการทดลองนี้ประกอบด้วย การวัดค่าซีโอดีในน้ำเข้า ค่าซีโอดีในถังปฏิกรณ์ช่วงแอนแอโรบิก และน้ำออก โดยผลของซีโอดีที่ได้จากระบบที่สภาวะคงตัวของการทดลองที่ 2 ที่มีการแปรผันระยะเวลาการเติมอากาศ 60 นาที และ 90 นาที ควบคุมอายุตะกอน 100 วัน และความเข้มข้นของน้ำเสีย 1,000 มก./ล. แสดงดังรูปที่ 4.38 และ ตารางที่ 4.10



รูปที่ 4.38 ค่าซีโอดีในระบบของชุดการทดลองที่ 2

ตารางที่ 4.10 ซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของชุดการทดลองที่ 2

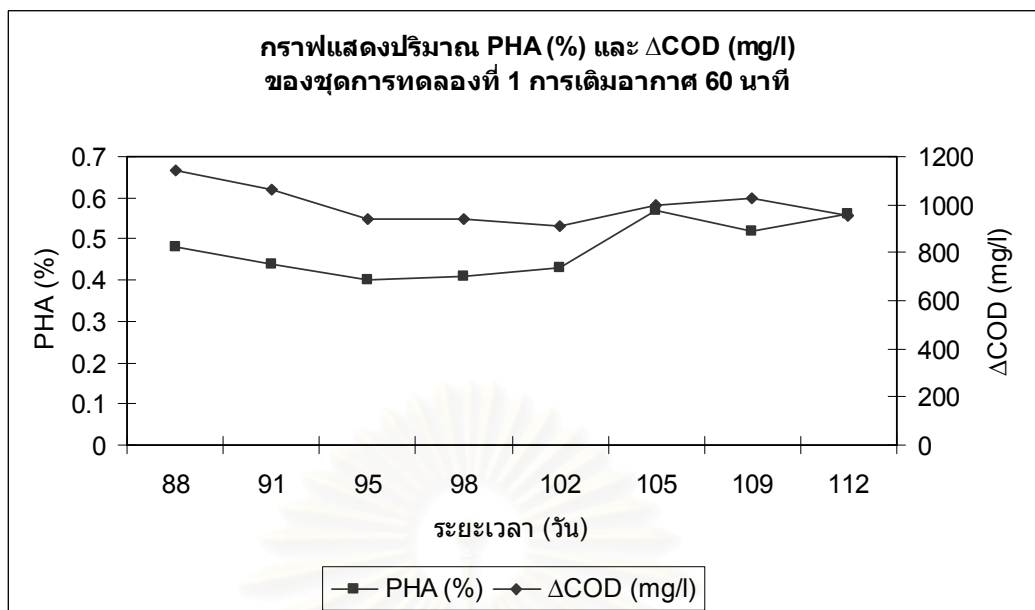
ระยะเวลาการเติมอากาศ	ปริมาณซีโอดีที่ถูกกำจัด (มก./ล.)	ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี (%)	PHA/ Δ COD
60 นาที	997.13	94.77	0.011548
90 นาที	994.88	94.89	0.012131

เมื่อพิจารณาค่าซีโอดีในระบบ (รูปที่ 4.38) พบว่า ทั้งที่ระยะเวลาการเติมอากาศ 60 นาที และ 90 นาที ค่าซีโอดีในน้ำเข้ามีค่าเท่ากัน แต่เมื่อพิจารณาปริมาณของซีโอดีที่ถูกใช้ไปในช่วงแอนแอโรบิกจะเห็นว่าที่ระยะเวลาการเติมอากาศ 60 นาที มีปริมาณมากกว่า แสดงว่าที่ระยะเวลา

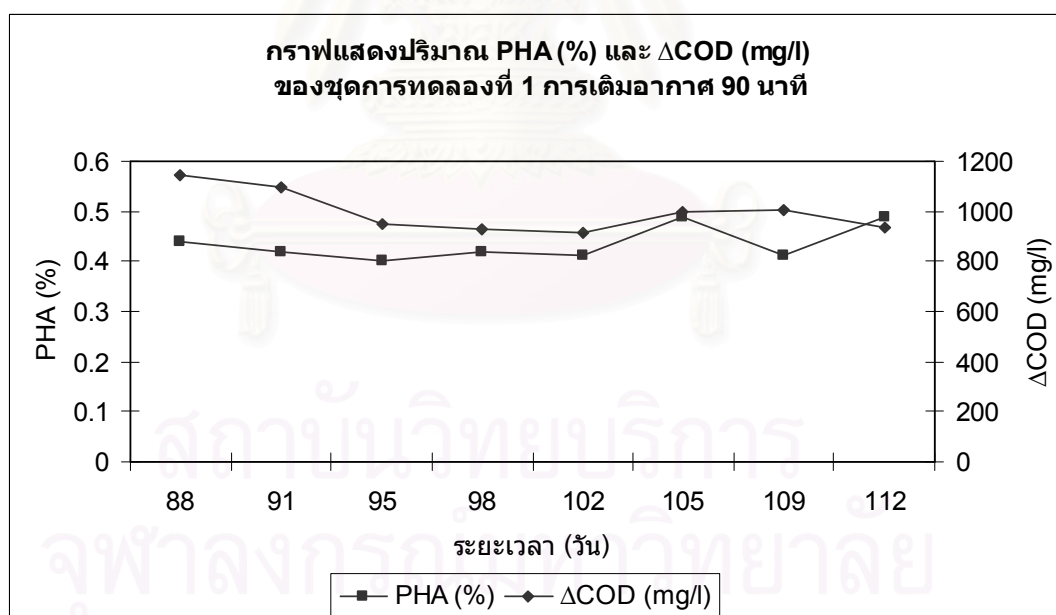
การเติมอากาศ 60 นาที จุลินทรีย์ในระบบที่ใช้ชีโอดีในช่วงแอนแอโรบิกได้มากกว่าที่ระยะเวลาการเติมอากาศ 90 นาที ซึ่งจุลินทรีย์ในระบบของทั้ง 2 การทดลองไม่สามารถจับใช้ชีโอดีได้หมดในช่วงแอนแอโรบิก โดยผลการทดลองดังกล่าวเหมือนกับชุดการทดลองที่ 1 แต่ไม่เหมือนดังการทดลองของบุญกร (2542) และอร (2542) ที่พบว่า ในถังปฏิกรณ์ช่วงแอนแอโรบิกของทุกชุดการทดลอง ค่าชีโอดีถูกใช้ไปจนเกือบหมด (ค่าชีโอดีในถังปฏิกรณ์อยู่ในช่วง 2-35 มก./ล. เมื่อมีค่าชีโอดีของน้ำเข้าอยู่ในช่วง 100-700 มก./ล.) ทั้งนี้เนื่องจากการทดลองของบุญกร (2542) และอร (2542) ใช้ น้ำเสียสังเคราะห์ที่ชีโอดีอยู่ในรูปของ RBCOD (Readily Biodegradable COD) ทำให้จุลินทรีย์ในระบบสามารถนำไปใช้ได้ง่ายและรวดเร็วซึ่งจะถูกใช้หมดไปตั้งแต่ในช่วงแอนแอโรบิกแล้วแต่อย่างไรก็ตาม จากตารางที่ 4.10 จะเห็นได้ว่าชีโอดีที่ถูกใช้ไปทั้งหมดในถังปฏิกรณ์มีค่ามากกว่าที่ถูกใช้ไปในช่วงแอนแอโรบิก แสดงว่า ในการทดลองนี้ จุลินทรีย์ที่สามารถจับใช้ชีโอดีได้ในช่วงแอนแอโรบิกไม่ได้ใช้ชีโอดีไปทั้งหมด แต่ยังมีจุลินทรีย์อีกกลุ่มหนึ่งที่จับใช้ส่วนที่เหลือในช่วงแอนแอโรบิก ทำให้ระบบสามารถกำจัดชีโอดีได้สูงนั่นเอง

เมื่อพิจารณาชีโอดีที่ถูกใช้ไปของระบบ (ตารางที่ 4.10) พบว่า ที่ระยะเวลาการเติมอากาศ 60 นาที ชีโอดีที่ถูกใช้ไปมีค่าเท่าเฉลี่ยเท่ากับ 997.13 มก./ล. ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับระบบที่มีระยะเวลาการเติมอากาศ 90 นาที ซึ่งมีค่าชีโอดีที่ถูกใช้ไปเท่ากับ 994.88 มก./ล. แสดงว่าทั้ง 2 ระบบจุลินทรีย์สามารถนำชีโอดีไปใช้ได้เท่าๆ กันแม้จะมีระยะเวลาการเติมอากาศต่างกันก็ตาม ซึ่งผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับฟอสฟอรัสและกรดไขมันระเหยง่ายที่ถูกใช้ไปเช่นเดียวกัน และเมื่อนำค่าชีโอดีที่ถูกใช้ไปมาเปรียบเทียบกับปริมาณ PHA ที่สะสมจากการทดลองที่ 2 (รูปที่ 4.39 และ รูปที่ 4.40) มีบางจุดที่ปริมาณ PHA ที่สะสมและชีโอดีที่ถูกใช้ไปไม่สอดคล้องกัน ทั้งนี้สามารถอธิบายได้ว่าเนื่องจากในระบบไม่ได้มีเพียงจุลินทรีย์เพียงกลุ่มเดียว มีทั้งจุลินทรีย์ที่สามารถสะสม PHA ได้ และกลุ่มที่ไม่สามารถสะสม PHA ซึ่งต่างก็ต้องการใช้ชีโอดีเช่นเดียวกัน ดังนั้นชีโอดีส่วนหนึ่งจึงถูกใช้ไปในการสร้างเซลล์ของจุลินทรีย์ในกลุ่มที่ไม่สามารถสร้าง PHA ด้วย ทำให้ปริมาณชีโอดีที่ถูกใช้ไปบางจุดไม่สอดคล้องกับปริมาณ PHA ที่สะสม

และเมื่อพิจารณาสัดส่วนระหว่างชีโอดีที่ถูกใช้ไป (มก./ล.) กับปริมาณ PHA ที่สะสม (มก./ล.) ของการทดลองที่ 2 (ตารางที่ 4.10) พบว่าทั้งระบบที่ใช้ระยะเวลาการเติมอากาศ 60 นาที และ 90 นาที มีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งเมื่อพิจารณาร่วมกับปริมาณชีโอดีที่ถูกใช้ไปและประสิทธิภาพการกำจัดชีโอดีของระบบ (ตารางที่ 4.10) ที่มีค่าใกล้เคียงกันเช่นกัน จึงสามารถสรุปได้ว่า ระบบที่มีระยะเวลาการเติมอากาศ 60 นาที และ 90 นาที จุลินทรีย์กลุ่มที่สามารถสะสม PHA มีความสามารถในการจับใช้ชีโอดีเพื่อเป็นแหล่งอาหารในการทำงานของเซลล์ในการสะสม PHA ได้ไม่ต่างกัน



รูปที่ 4.39 ปริมาณ PHA (%) และ Δ COD (มก./ล.) ของชุดการทดลองที่ 2 ระยะเวลาการเติมอากาศ 60 นาที

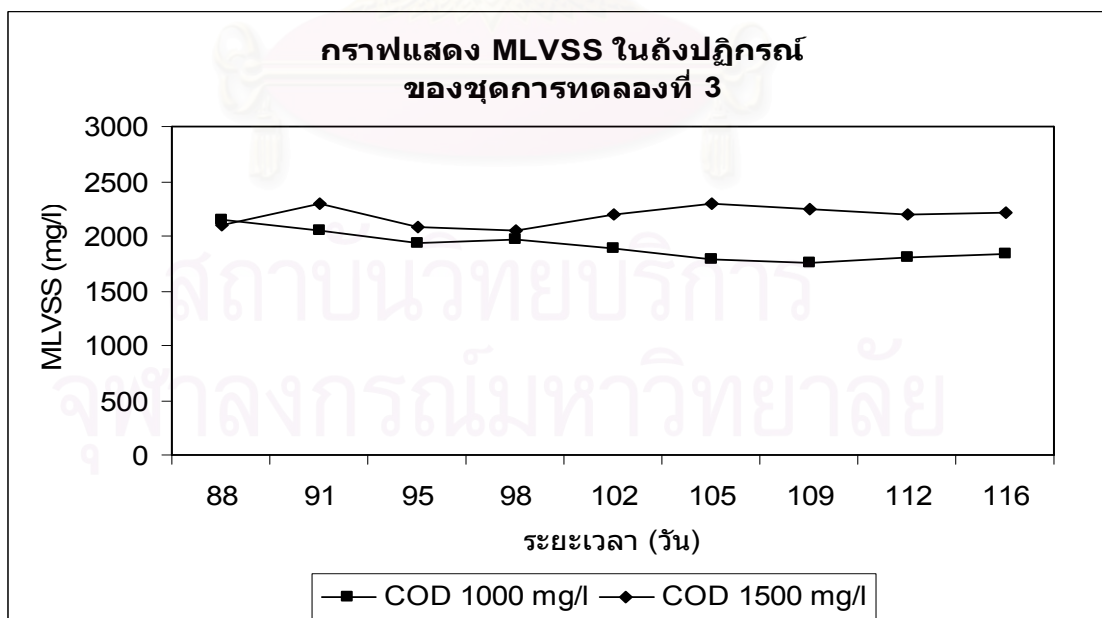


รูปที่ 4.40 ปริมาณ PHA (%) และ Δ COD (มก./ล.) ของชุดการทดลองที่ 2 ระยะเวลาการเติมอากาศ 90 นาที

4.3 การศึกษาผลของความเข้มข้นน้ำเสียต่อปริมาณ PHA ที่สะสม

การวิจัยขั้นตอนนี้เป็นการศึกษาสภาวะในการเดินระบบ คือ ค่าความเข้มข้นน้ำเสียซีโอดี เท่ากับ 1,000 มก./ล. และ 1,500 มก./ล. ที่มีผลต่อปริมาณ PHA ที่สะสมในกากตะกอนระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานสุราแบบที่ใช้ไมโครฟิลเตรชันเมมเบรนในถังปฏิกรณ์ชีวภาพ โดยใช้อายุตะกอน 100 วัน และระยะเวลาการเติมอากาศเท่ากับ 60 นาที (ชุดการทดลองที่ 3)

จากการทดลองนี้ เก็บตัวอย่างหลังจากระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวเมื่อวันที่ 88 ของการเดินระบบจนถึงวันที่ 116 โดยพิจารณาจากค่าของปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ (MLVSS) ในถังปฏิกรณ์ คืออยู่ในช่วง 1,500 - 2,500 มก./ล. ดังแสดงในรูปที่ 4.41 ซึ่งจากค่า MLVSS นี้ แสดงให้เห็นว่าแม้ค่าซีโอดีในน้ำเข้ามีค่าสูงถึง 1,500 มก./ล. จุลินทรีย์ในระบบยังสามารถทนต่อภาวะดังกล่าวได้โดยไม่มีผลต่อการดำรงชีวิตของเซลล์ และยังพบว่าค่า MLVSS ของระบบที่มีความเข้มข้นน้ำเสียซีโอดี 1,500 มก./ล. มีค่าสูงกว่าระบบที่มีค่าความเข้มข้นน้ำเสียซีโอดี 1,000 มก./ล. เนื่องจากมีอาหารให้แก่จุลินทรีย์มากกว่านั่นเอง

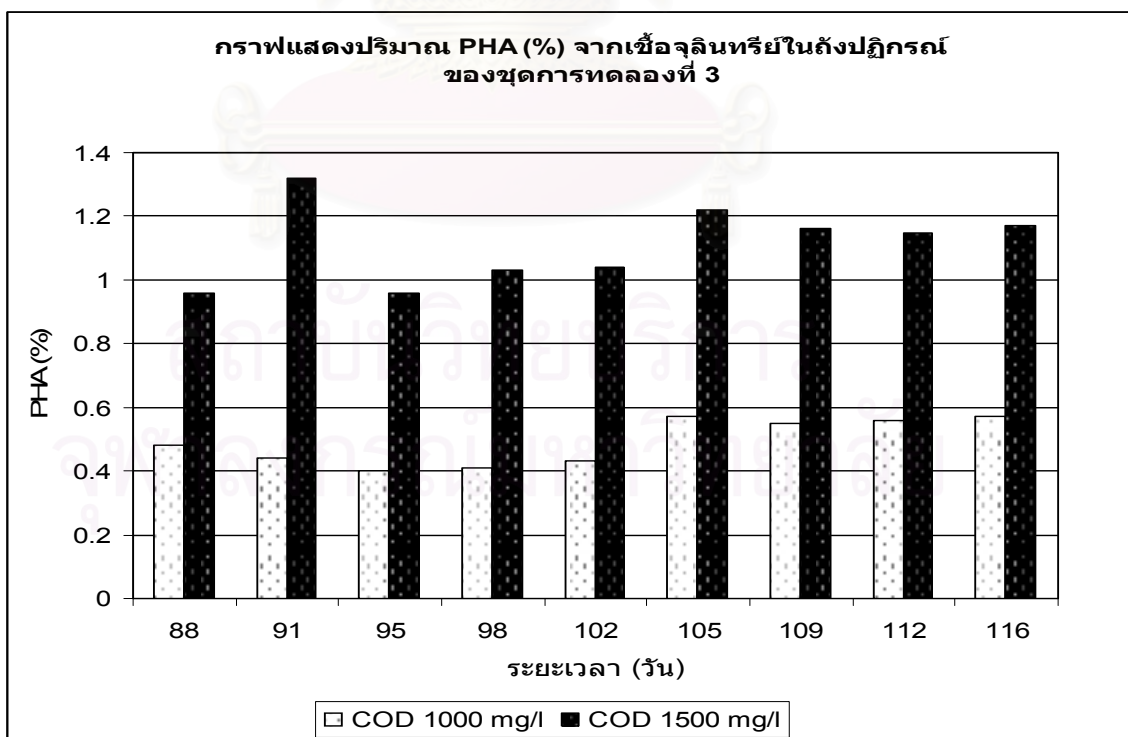


รูปที่ 4.41 กราฟแสดง MLVSS ของชุดการทดลองที่ 3

4.3.1 ผลของความเข้มข้นน้ำเสียต่อปริมาณ PHA ที่สะสม

ปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำมีผลต่อการสะสม PHA ของจุลินทรีย์ กล่าวคือ ถ้ามีปริมาณสารอินทรีย์มาก ที่จุลินทรีย์ในระบบก็จะสามารถจับใช้ในการเปลี่ยนไปเป็นกรดไขมันระเหยง่าย และสะสมในรูปของ PHA ได้มาก แต่ปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำจะต้องอยู่ในขอบเขตที่จุลินทรีย์จะสามารถรองรับได้ด้วย เพราะถ้ามีในปริมาณที่สูงเกินไป จุลินทรีย์ก็จะไม่สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ ดังนั้นในการทดลองนี้จึงทำการศึกษาเปรียบเทียบระบบที่ใช้ความเข้มข้นของน้ำเสียซีโอดี 1,000 มก./ล. และซีโอดี 1,500 มก./ล. ต่อการผลิต PHA ของจุลินทรีย์ในระบบ

จากการศึกษาการเดินระบบที่ใช้ความเข้มข้นของน้ำเสียซีโอดี 1,000 มก./ล. และซีโอดี 1,500 มก./ล. ควบคุมอายุตะกอนที่ 100 วัน และระยะเวลาการเติมอากาศ 60 นาที พบว่า ที่ระบบที่ใช้ความเข้มข้นของน้ำเสียซีโอดี 1,000 มก./ล. ปริมาณ PHA ที่จุลินทรีย์สะสมไว้ในเซลล์อยู่ในช่วง 0.40 - 0.57% (w/w) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.49% (w/w) ส่วนระบบที่ใช้ความเข้มข้นของน้ำเสียซีโอดี 1,500 มก./ล. ปริมาณ PHA ที่จุลินทรีย์สะสมไว้ในเซลล์อยู่ในช่วง 0.96 - 1.32% (w/w) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.11% (w/w) ดังแสดงในรูปที่ 4.42



รูปที่ 4.42 กราฟแสดงปริมาณ PHA (%) จากเชื้อจุลินทรีย์ในถังปฏิกรณ์ของชุดการทดลองที่ 3

เมื่อพิจารณาจากกราฟ (รูปที่ 4.42) จะเห็นได้ว่า ปริมาณ PHA ที่สะสมจากระบบที่ใช้ความเข้มข้นของน้ำเสียซีโอดี 1,000 มก./ล. และความเข้มข้นของน้ำเสียซีโอดี 1,500 มก./ล. มีค่าแตกต่างกันมากในทุกช่วงที่ทำการเก็บตัวอย่าง โดยการทดลองที่ใช้ความเข้มข้นของน้ำเสียซีโอดี 1,000 มก./ล. มีปริมาณ PHA น้อยกว่าการทดลองที่ใช้ความเข้มข้นของน้ำเสียซีโอดี 1,500 มก./ล. นอกจากนี้ เมื่อทำการวิเคราะห์ทางสถิติของปริมาณ PHA ที่สะสมระหว่างระบบที่ใช้ความเข้มข้นของน้ำเสียซีโอดี 1,000 มก./ล. และซีโอดี 1,500 มก./ล. ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่าปริมาณ PHA ที่สะสมของทั้ง 2 การทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ ข.3 ภาคผนวก ข) ทั้งนี้เป็นเพราะการทดลองที่ใช้ความเข้มข้นของน้ำเสียซีโอดี 1,500 มก./ล. มีปริมาณแหล่งอาหารให้แก่จุลินทรีย์ในระบบมากกว่า จุลินทรีย์จึงสามารถจับใช้ในการเจริญเติบโตและสะสมเป็น PHA ในเซลล์ได้มากกว่า ซึ่งการทดลองนี้ที่ใช้ความเข้มข้นของน้ำเสียซีโอดี 1,500 มก./ล. จุลินทรีย์ในระบบยังสามารถทนต่อภาวะดังกล่าวได้โดยไม่มีผลต่อการดำรงชีวิตของเซลล์ ดังนั้น เมื่อมีแหล่งอาหารมากขึ้น การจับใช้สารต่างๆ ก็เพิ่มขึ้นตามไปด้วย

4.3.2 ปริมาณ PHA ที่สะสมและจำนวนเซลล์

เมื่อทำการศึกษาจำนวนเซลล์ทั้งหมด จำนวนเซลล์ที่สะสม PHA และจำนวนเซลล์ที่สะสมโพลีฟอสเฟตของจุลินทรีย์ในถังปฏิกรณ์ตามวิธีของ Seeley (1972) ในชุดการทดลองที่ 3 แปรผันความเข้มข้นของน้ำเสียซีโอดี 1,000 มก./ล. และซีโอดี 1,500 มก./ล. ควบคุมอายุตะกอนที่ 100 วัน และระยะเวลาการเติมอากาศ 60 นาที ได้ผลดังตารางที่ 4.11

และเมื่อนำปริมาณ PHA มาหาความสัมพันธ์กับจำนวนเซลล์ทั้งหมด จำนวนเซลล์ที่สะสม PHA และจำนวนเซลล์ที่สะสมโพลีฟอสเฟตที่ของชุดการทดลองที่ 3 ได้ค่าสัดส่วนระหว่าง PHA กับจำนวนเซลล์แสดงดังตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.11 จำนวนเซลล์ในถังปฏิกรณ์ของชุดการทดลองที่ 3

ระยะเวลา (วัน)	ซีโอดี 1000 มก./ล. ($\times 10^{10}$ เซลล์/ลิตร)			ซีโอดี 1500 มก./ล. ($\times 10^{10}$ เซลล์/ลิตร)		
	เซลล์ ทั้งหมด	เซลล์ที่สะสม PHA	เซลล์ที่สะสม โพลีฟอสเฟต	เซลล์ ทั้งหมด	เซลล์ที่สะสม PHA	เซลล์ที่สะสม โพลีฟอสเฟต
88	36.21	34.80	27.42	40.43	34.80	29.16
91	33.40	30.23	28.83	37.27	35.16	29.21
95	32.34	27.77	28.83	42.19	36.91	29.80
98	35.51	32.34	29.88	39.02	30.59	29.94
102	29.53	29.18	29.18	37.97	28.83	31.64
105	29.53	26.37	28.13	34.45	31.64	32.70
109	28.48	26.37	27.42	37.27	29.88	31.99
112	30.59	28.83	27.07	35.86	29.53	31.99
116	31.64	30.94	28.13	38.32	31.99	33.40
จำนวน	9	9	9	9	9	9
ค่าเฉลี่ย	31.91	29.65	28.32	38.09	32.15	31.09
ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน	2.7106	2.7793	0.9320	2.3120	2.8404	1.5844
ค่าสูงสุด	36.21	34.80	29.88	42.19	36.91	33.40
ค่าต่ำสุด	28.48	26.37	27.07	34.45	28.83	29.16

ตารางที่ 4.12 ตารางแสดงค่าสัดส่วนระหว่างปริมาณ PHA ที่สะสมกับจำนวนเซลล์ในถังปฏิกรณ์
ของชุดการทดลองที่ 3

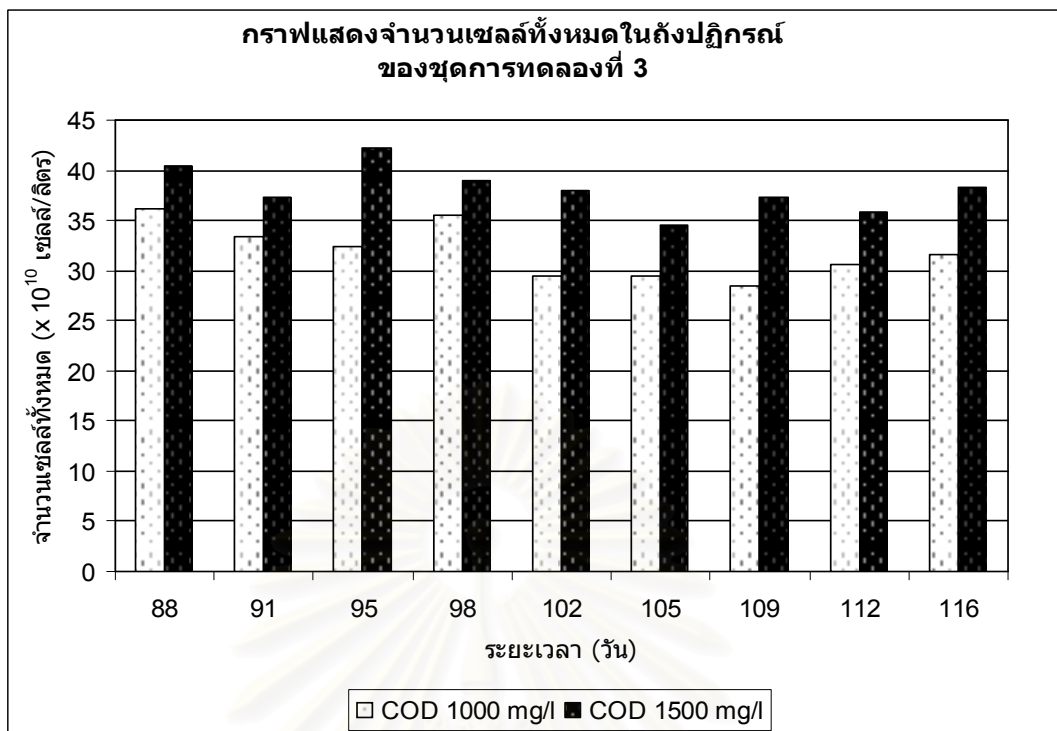
สัดส่วน	ซีโอดี 1,000 มก./ล. ($\times 10^{-10}$)	ซีโอดี 1,500 มก./ล. ($\times 10^{-10}$)
ปริมาณ PHA (มก./ล.) กับจำนวนเซลล์ทั้งหมด (เซลล์/ล.)	0.367108	0.794482
ปริมาณ PHA (มก./ล.) กับจำนวนเซลล์ที่สะสม PHA (เซลล์/ล.)	0.395161	0.941215
ปริมาณ PHA (มก./ล.) กับจำนวนเซลล์ที่สะสมโพลีฟอสเฟต (เซลล์/ล.)	0.413692	0.973193

4.3.2.1 ปริมาณ PHA ที่สะสมและจำนวนเซลล์ทั้งหมด

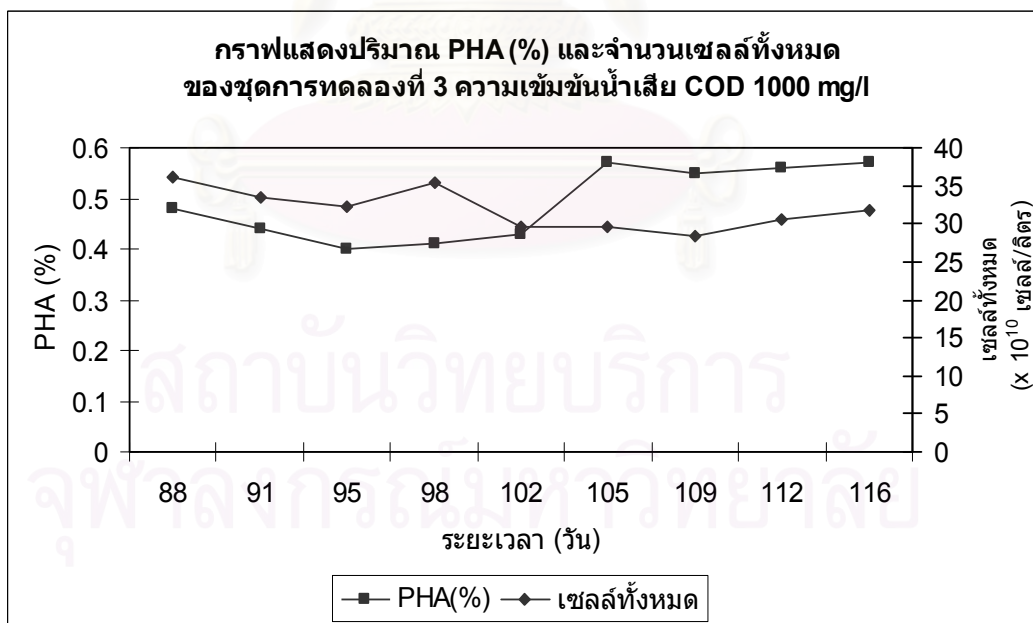
ในงานวิจัยของชุดการทดลองที่ 3 ที่มีการแปรผันความเข้มข้นของน้ำเลี้ยงซีไอดี 1,000 มก./ล. และซีไอดี 1,500 มก./ล. ควบคุมอายุตะกอนที่ 100 วัน และระยะเวลาการเติมอากาศ 60 นาที ได้ทำการวิเคราะห์จำนวนเซลล์ทั้งหมด พบว่า ระบบที่ใช้ความเข้มข้นของน้ำเลี้ยงซีไอดี 1,000 มก./ล. มีจำนวนเซลล์ทั้งหมดอยู่ในช่วง $(28.48 \times 10^{10}) - (36.21 \times 10^{10})$ เซลล์/ลิตร มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 31.91×10^{10} เซลล์/ลิตร ส่วนระบบที่ใช้ความเข้มข้นของน้ำเลี้ยงซีไอดี 1,500 มก./ล. มีจำนวนเซลล์ทั้งหมดเฉลี่ยมากกว่าที่ความเข้มข้นของน้ำเลี้ยงซีไอดี 1,000 มก./ล. ในทุกวันที่เก็บตัวอย่าง โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 38.09×10^{10} เซลล์/ลิตร จำนวนเซลล์ทั้งหมดอยู่ในช่วง $(34.45 \times 10^{10}) - (42.19 \times 10^{10})$ เซลล์/ลิตร ดังแสดงในตารางที่ 4.11 และรูปที่ 4.43

รูปที่ 4.44 และ 4.45 แสดงปริมาณ PHA ที่สะสม (%) และจำนวนเซลล์ทั้งหมดของชุดการทดลองที่ 3 พบว่ามีบางจุดที่ปริมาณ PHA ที่สะสมและจำนวนเซลล์ทั้งหมดในระบบไม่สอดคล้องกัน เนื่องจากเซลล์ทั้งหมดที่อยู่ในระบบไม่ใช่จุลินทรีย์ที่สามารถสะสม PHA ได้ทั้งหมด แต่เมื่อพิจารณาสัดส่วนระหว่างจำนวนเซลล์ทั้งหมดกับปริมาณ PHA ที่สะสม (ตารางที่ 4.12) พบว่า ระบบที่ใช้ความเข้มข้นของน้ำเลี้ยงซีไอดี 1,500 มก./ล. มีสัดส่วนมากกว่าระบบที่ใช้ความเข้มข้นของน้ำเลี้ยงซีไอดี 1,000 มก./ล. ประมาณ 2 เท่า แสดงว่าระบบที่มีความเข้มข้นของน้ำเลี้ยงซีไอดี 1,500 มก./ล. จุลินทรีย์ในระบบมีความสามารถในการจับใช้สารอาหารเพื่อสะสม PHA ได้มากกว่าระบบที่ใช้ความเข้มข้นของน้ำเลี้ยงซีไอดี 1,000 มก./ล. และเมื่อพิจารณาร่วมกับจำนวนเซลล์ทั้งหมดเฉลี่ยที่มากกว่าของการทดลองที่ใช้น้ำเลี้ยงซีไอดี 1,500 มก./ล. (ตารางที่ 4.11) จึงสามารถสรุปได้ว่า ที่ความเข้มข้นของน้ำเลี้ยงซีไอดี 1,500 มก./ล. จุลินทรีย์ทั้งหมดในระบบสามารถจับใช้สารอาหารเพื่อสะสมเป็น PHA ได้มากกว่าระบบที่ใช้ความเข้มข้นของน้ำเลี้ยงซีไอดี 1,000 มก./ล.

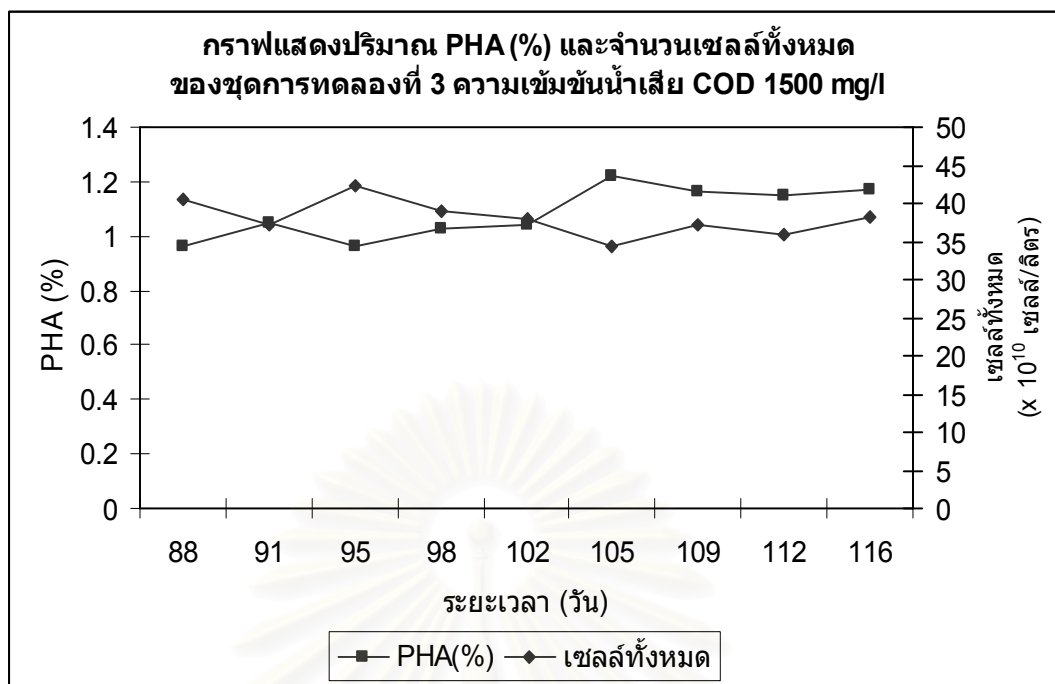
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.43 กราฟแสดงจำนวนเซลล์ทั้งหมดในถังปฏิกรณ์ของชุดการทดลองที่ 3



รูปที่ 4.44 ปริมาณ PHA (%) และจำนวนเซลล์ทั้งหมดของชุดการทดลองที่ 3 ความเข้มข้นของน้ำเสียซีไอดี 1,000 มก./ล.



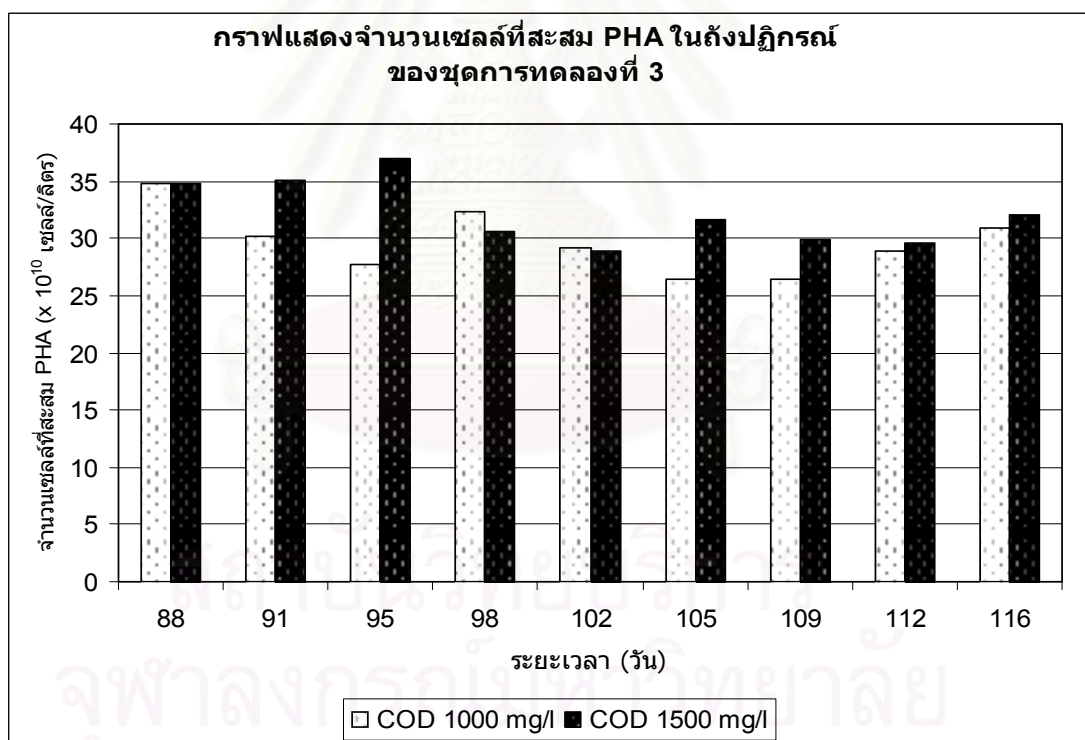
รูปที่ 4.45 ปริมาณ PHA (%) และจำนวนเซลล์ทั้งหมดของชุดการทดลองที่ 3 ความเข้มข้นของน้ำเสียซีโอดี 1,500 มก./ล.

4.3.2.2 ปริมาณ PHA ที่สะสมและจำนวนเซลล์ที่สะสม PHA

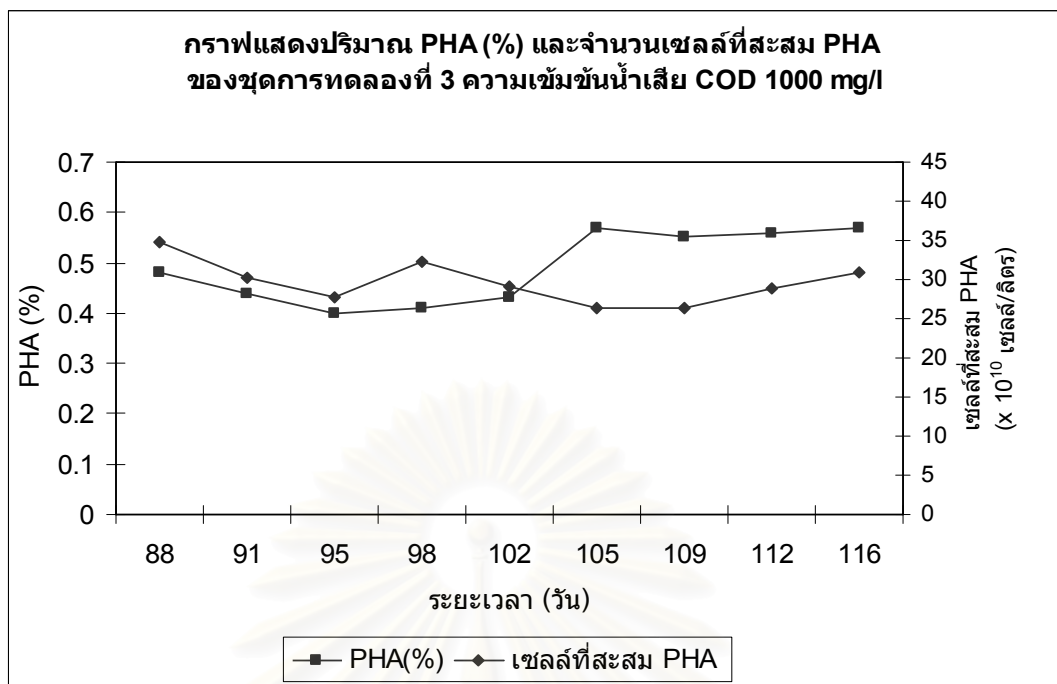
ในงานวิจัยของชุดการทดลองที่ 3 ที่มีการแปรผันความเข้มข้นของน้ำเสียซีโอดี 1,000 มก./ล. และซีโอดี 1,500 มก./ล. ความคมอายุตะกอนที่ 100 วัน และระยะเวลาการเติมอากาศ 60 นาที ได้ทำการวิเคราะห์จำนวนเซลล์ที่สะสม PHA พบว่า ระบบที่ใช้ความเข้มข้นของน้ำเสียซีโอดี 1,000 มก./ล. มีจำนวนเซลล์ที่สะสม PHA อยู่ในช่วง $(26.37 \times 10^{10}) - (34.80 \times 10^{10})$ เซลล์/ลิตร มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 29.65×10^{10} เซลล์/ลิตร ส่วนระบบที่ใช้ความเข้มข้นของน้ำเสียซีโอดี 1,500 มก./ล. มีจำนวนเซลล์ที่สะสม PHA เฉลี่ยมากกว่าระบบที่ใช้ความเข้มข้นของน้ำเสียซีโอดี 1,000 มก./ล. คือมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 32.15×10^{10} เซลล์/ลิตร โดยมีจำนวนเซลล์ที่สะสม PHA อยู่ในช่วง $(28.83 \times 10^{10}) - (36.91 \times 10^{10})$ เซลล์/ลิตร ดังแสดงในตารางที่ 4.11 และรูปที่ 4.46

รูปที่ 4.47 และ 4.48 แสดงปริมาณ PHA (%) และจำนวนเซลล์ที่สะสม PHA ของชุดการทดลองที่ 3 ซึ่งพบว่าในช่วงตั้งแต่วันที่ 105 ของการเดินระบบ ปริมาณ PHA เพิ่มขึ้น แต่จำนวนเซลล์ที่สะสม PHA กลับลดลง แสดงว่า ในช่วงนี้จุลินทรีย์มีความสามารถในการสะสม

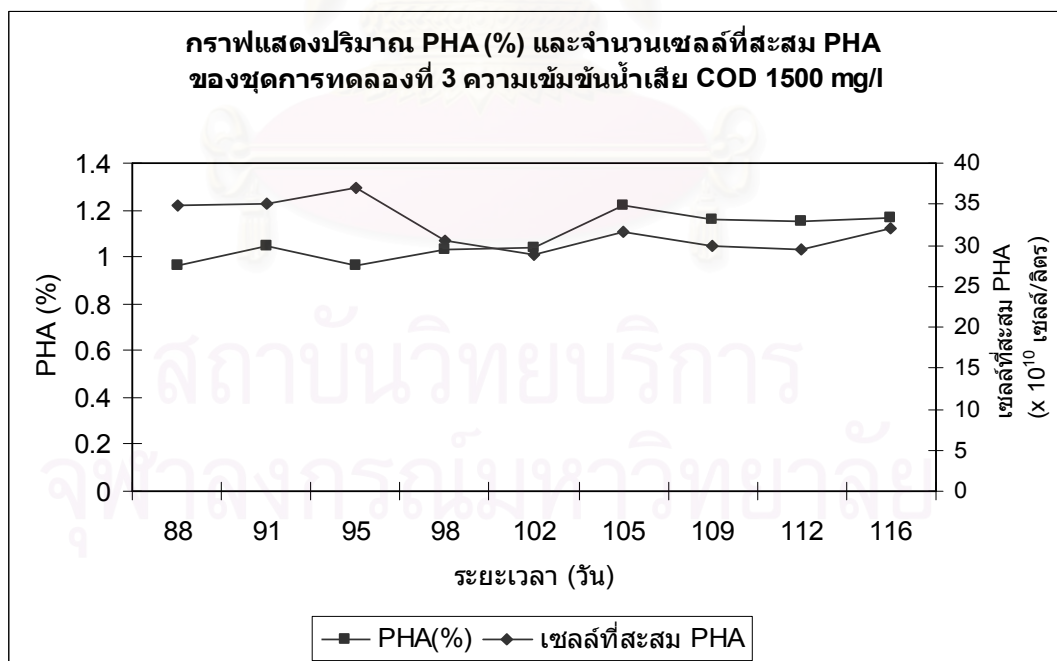
PHA ได้มากกว่าช่วงแรกของการเดินระบบนั่นเอง และเมื่อพิจารณาสัดส่วนระหว่างจำนวนเซลล์ที่สะสม PHA กับปริมาณ PHA (ตารางที่ 4.12) พบว่า ระบบที่ใช้ความเข้มข้นของน้ำเสียซีโอดี 1,500 มก./ล. มีสัดส่วนมากกว่าระบบที่ใช้ความเข้มข้นของน้ำเสียซีโอดี 1,000 มก./ล. ประมาณ 2 เท่า (เช่นเดียวกับจำนวนเซลล์ทั้งหมดของการทดลองนี้) แสดงว่าเซลล์ที่สะสม PHA ของระบบที่ใช้ความเข้มข้นของน้ำเสียซีโอดี 1,500 มก./ล. มีความสามารถในการจับใช้สารอาหารเพื่อสะสม PHA ได้มากกว่าระบบที่ใช้ความเข้มข้นของน้ำเสียซีโอดี 1,000 มก./ล. และเมื่อพิจารณาร่วมกับจำนวนเซลล์ที่สะสม PHA เฉลี่ยที่มากกว่าของการทดลองที่ใช้น้ำเสียซีโอดี 1,500 มก./ล. (ตารางที่ 4.11) จึงสามารถสรุปได้ว่า ระบบที่ใช้ความเข้มข้นของน้ำเสียซีโอดี 1,500 มก./ล. จุลินทรีย์ทั้งหมดในระบบสามารถจับใช้สารอาหารเพื่อสะสม PHA ได้มากกว่าระบบที่ใช้ความเข้มข้นของน้ำเสียซีโอดี 1,000 มก./ล.



รูปที่ 4.46 กราฟแสดงจำนวนเซลล์ที่สะสม PHA ในถังปฏิกรณ์ของชุดการทดลองที่ 3



รูปที่ 4.47 ปริมาณ PHA (%) และจำนวนเซลล์ที่สะสม PHA ของชุดการทดลองที่ 3 ความเข้มข้นของน้ำเสียซีโอดี 1,000 มก./ล.

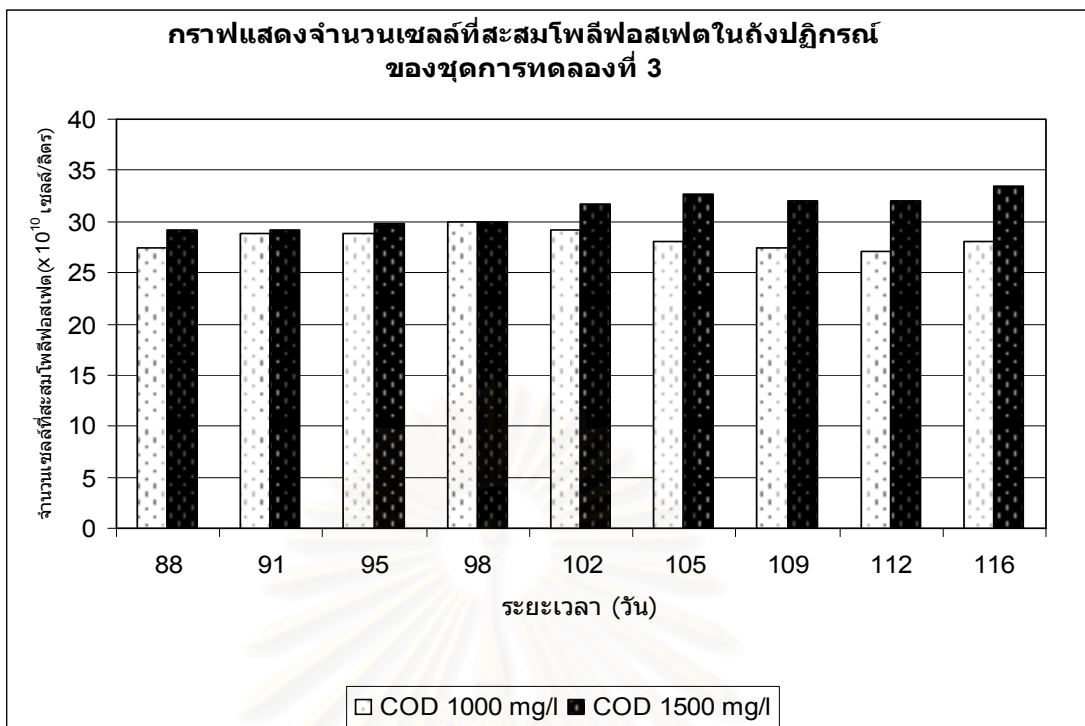


รูปที่ 4.48 ปริมาณ PHA (%) และจำนวนเซลล์ที่สะสม PHA ของชุดการทดลองที่ 3 ความเข้มข้นของน้ำเสียซีโอดี 1,500 มก./ล.

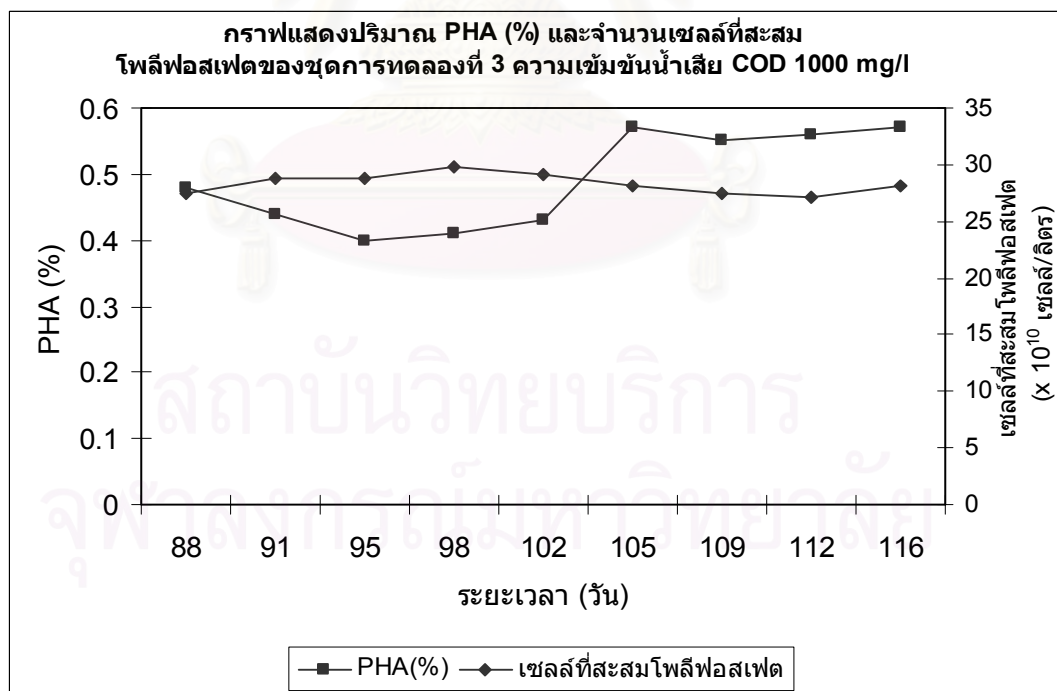
4.3.2.3 ปริมาณ PHA ที่สะสมและจำนวนเซลล์ที่สะสมโพลีฟอสเฟต

เนื่องจากโพลีฟอสเฟตเป็นแหล่งพลังงานของจุลินทรีย์ ดังนั้นจึงพิจารณาหาความสัมพันธ์ระหว่างเซลล์ที่สะสมโพลีฟอสเฟตกับปริมาณ PHA ที่จุลินทรีย์สะสมไว้ในเซลล์ โดยในงานวิจัยของชุดการทดลองที่ 3 ที่มีการแปรผันความเข้มข้นของน้ำเสียซีโอดี 1,000 มก./ล. และซีโอดี 1,500 มก./ล. ควบคุมอายุตะกอนที่ 100 วัน และระยะเวลาการเติมอากาศ 60 นาที ได้ทำการวิเคราะห์จำนวนเซลล์ที่สะสมโพลีฟอสเฟต พบว่า ระบบที่ใช้ความเข้มข้นของน้ำเสียซีโอดี 1,000 มก./ล. มีจำนวนเซลล์ที่สะสมโพลีฟอสเฟตในช่วง $(27.07 \times 10^{10}) - (29.88 \times 10^{10})$ เซลล์/ลิตร มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 28.32×10^{10} เซลล์/ลิตร ส่วนระบบที่ใช้ความเข้มข้นของน้ำเสียซีโอดี 1,500 มก./ล. มีจำนวนเซลล์ที่สะสมโพลีฟอสเฟตมากกว่าระบบที่ใช้ความเข้มข้นของน้ำเสียซีโอดี 1,000 มก./ล. คือมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 31.09×10^{10} เซลล์/ลิตร โดยมีจำนวนเซลล์ที่สะสมโพลีฟอสเฟตในช่วง $(29.16 \times 10^{10}) - (33.40 \times 10^{10})$ เซลล์/ลิตร ดังแสดงในตารางที่ 4.11 และรูปที่ 4.49

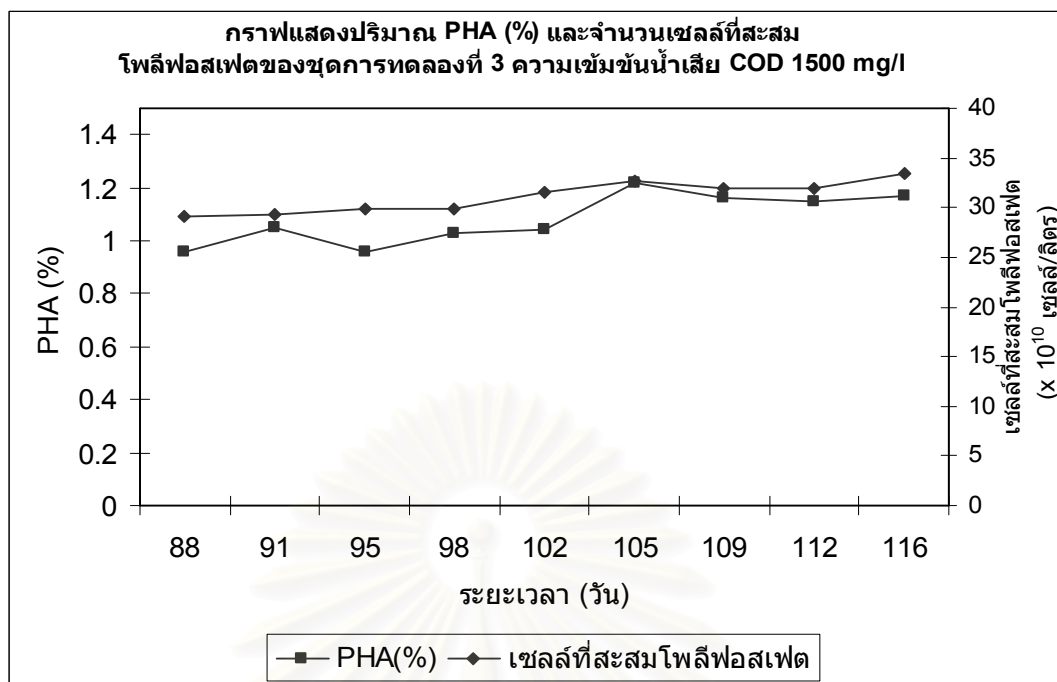
รูปที่ 4.50 และ 4.51 แสดงปริมาณ PHA ที่สะสม (%) และจำนวนเซลล์ที่สะสมโพลีฟอสเฟตของชุดการทดลองที่ 3 ซึ่งพบว่าปริมาณ PHA ที่สะสมและจำนวนเซลล์ที่สะสมโพลีฟอสเฟตเป็นไปในทิศทางเดียวกัน ยกเว้นในช่วงหลังจากวันที่ 105 ของระบบที่ใช้น้ำเสียความเข้มข้นซีโอดี 1,000 มก./ล. ที่พบว่าจำนวนเซลล์คงที่แต่ปริมาณ PHA สะสมเพิ่มขึ้น แสดงว่า PHA ที่สะสมเพิ่มขึ้นมาจากจุลินทรีย์กลุ่มจีเอ โอที่เพิ่มขึ้น และเมื่อพิจารณาสัดส่วนระหว่างจำนวนเซลล์ที่สะสมโพลีฟอสเฟตกับปริมาณ PHA ที่สะสม (ตารางที่ 4.12) พบว่า ระบบที่ใช้ความเข้มข้นของน้ำเสียซีโอดี 1,500 มก./ล. มีสัดส่วนมากกว่าระบบที่ใช้ความเข้มข้นของน้ำเสียซีโอดี 1,000 มก./ล. ประมาณ 2 เท่า (เช่นเดียวกับจำนวนเซลล์ทั้งหมดและจำนวนเซลล์ที่สามารถสะสม PHA ของการทดลองนี้) แสดงว่าเซลล์ที่สะสมโพลีฟอสเฟตของระบบที่ใช้ความเข้มข้นของน้ำเสียซีโอดี 1,500 มก./ล. มีความสามารถในการจับใช้สารอาหารเพื่อสะสม PHA ได้มากกว่าระบบที่ใช้ความเข้มข้นของน้ำเสียซีโอดี 1,000 มก./ล. และเมื่อพิจารณาร่วมกับจำนวนเซลล์ที่สะสมโพลีฟอสเฟตเฉลี่ยที่มากกว่าของการทดลองที่ใช้ซีโอดี 1,500 มก./ล. (ตารางที่ 4.11) จึงสามารถสรุปได้ว่า ระบบที่ความเข้มข้นของน้ำเสียซีโอดี 1,500 มก./ล. จุลินทรีย์ที่สะสมโพลีฟอสเฟตสามารถจับใช้สารอาหารเพื่อสะสม PHA ได้มากกว่าระบบที่ใช้ความเข้มข้นของน้ำเสียซีโอดี 1,000 มก./ล.



รูปที่ 4.49 กราฟแสดงจำนวนเซลล์ที่สะสมโพลีฟอสเฟตในถังปฏิกรณ์ของชุดการทดลองที่ 3



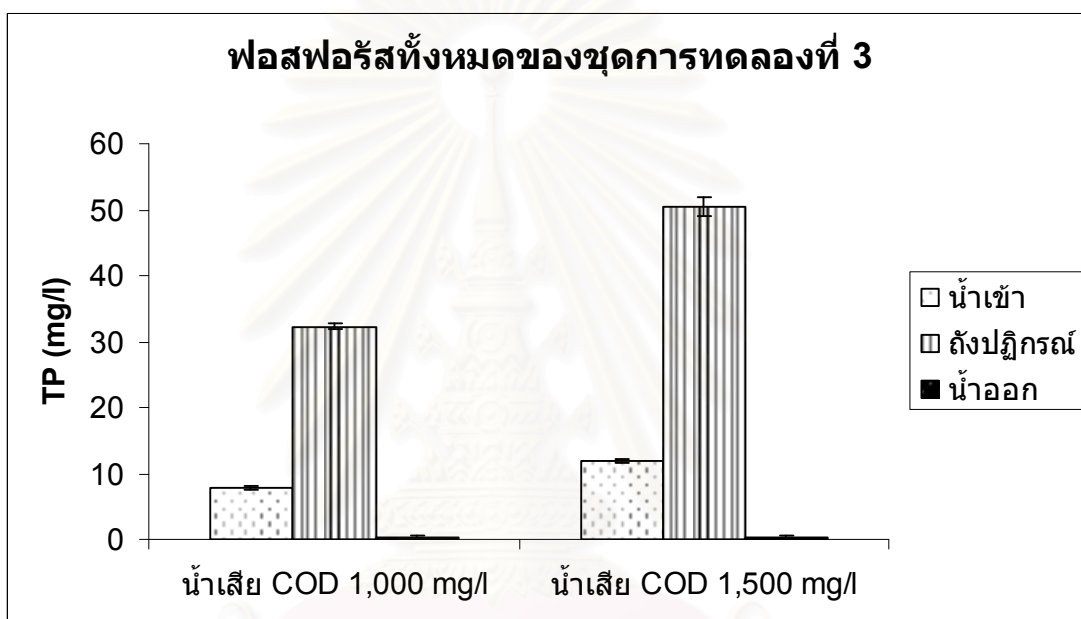
รูปที่ 4.50 ปริมาณ PHA (%) และจำนวนเซลล์ที่สะสมโพลีฟอสเฟตของชุดการทดลองที่ 3 ความเข้มข้นของน้ำเสียซีไอดี 1,000 มก./ล.



รูปที่ 4.51 ปริมาณ PHA (%) และจำนวนเซลล์ที่สะสม โพลีฟอสเฟตของชุดการทดลองที่ 3 ความเข้มข้นของน้ำเสียซีโอดี 1,500 มก./ล.

4.3.3 ปริมาณ PHA ที่สะสมและค่าฟอสฟอรัสที่กำจัด

การกำจัดฟอสฟอรัสทางชีวภาพเกิดขึ้นได้โดยการทำงานของจุลินทรีย์กลุ่มฟิเอโอ ซึ่งปริมาณฟอสฟอรัสของระบบที่สภาวะคงตัวของการทดลองที่ 3 ที่มีการแปรผันความเข้มข้นของน้ำเสียซีไอดี 1,000 มก./ล. และซีไอดี 1,500 มก./ล. ควบคุมอายุตะกอนที่ 100 วัน และระยะเวลาการเติมอากาศ 60 นาที แสดงดังรูปที่ 4.52 และ ตารางที่ 4.13



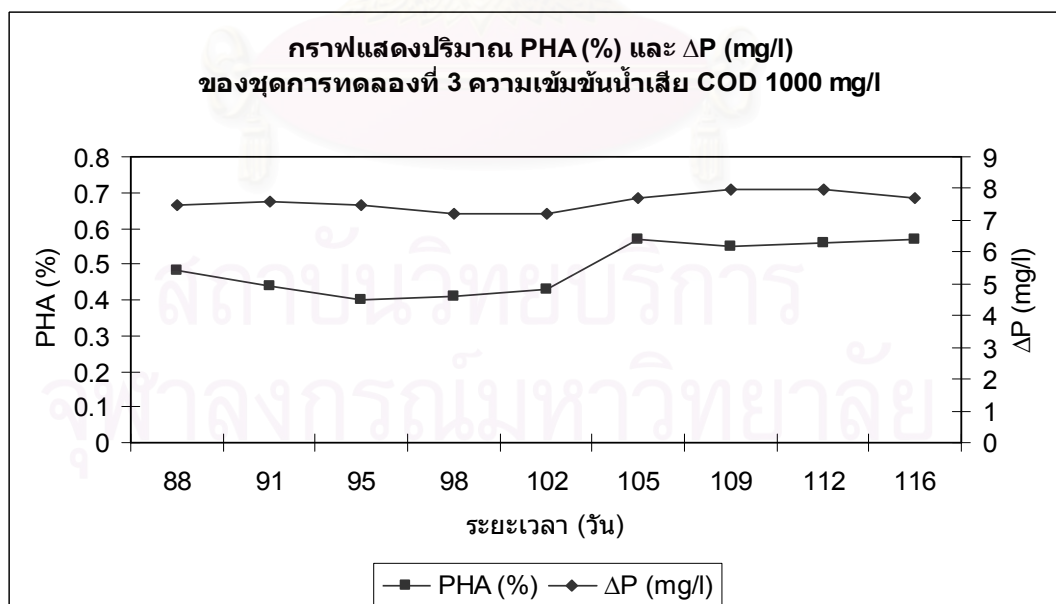
รูปที่ 4.52 ฟอสฟอรัสทั้งหมดในระบบของชุดการทดลองที่ 3

ตารางที่ 4.13 ฟอสฟอรัสที่ถูกกำจัดและประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสของชุดการทดลองที่ 3

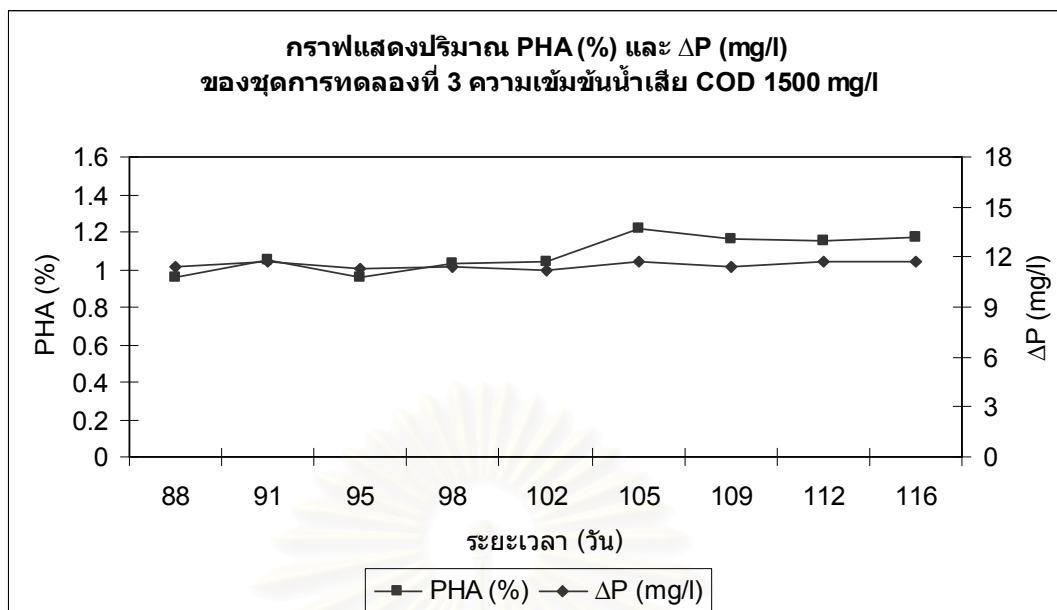
ความเข้มข้นของน้ำเสีย	ปริมาณฟอสฟอรัสที่ถูกกำจัด (มก./ล.)	ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัส (%)	PHA/ Δ P
COD 1,000 มก./ล.	7.60	97.34	1.542243
COD 1,500 มก./ล.	11.52	96.92	2.625916

เมื่อพิจารณาค่าฟอสฟอรัสในระบบ (รูปที่ 4.52) พบว่าฟอสฟอรัสในถังปฏิกรณ์ของระบบ ทั้งระบบที่ใช้ความเข้มข้นของน้ำเสียซีโอดี 1,000 มก./ล. และ ความเข้มข้นของน้ำเสียซีโอดี 1,500 มก./ล. มีค่าสูงมากเมื่อเทียบกับในน้ำเข้า แสดงว่าจุลินทรีย์ปล่อยฟอสฟอรัสออกมาในขณะที่จับใช้ กรดไขมันระเหยง่ายเพื่อนำไปใช้ในการเจริญเติบโตและเก็บสะสมเป็น PHA นั้นเอง และเมื่อ พิจารณาตารางที่ 4.13 จะเห็นว่าระบบที่ใช้ความเข้มข้นของน้ำเสียซีโอดี 1,000 มก./ล. และ ความเข้มข้นของน้ำเสียซีโอดี 1,500 มก./ล. มีผลต่อการกำจัดฟอสฟอรัสทางชีวภาพของระบบ โดยระบบ ที่ใช้ความเข้มข้นของน้ำเสียซีโอดี 1,000 มก./ล. มีปริมาณฟอสฟอรัสที่ถูกกำจัดออกจากระบบเท่ากับ 7.60 มก./ล. ซึ่งน้อยกว่าที่ความเข้มข้นของน้ำเสียซีโอดี 1,500 มก./ล. ที่มีปริมาณฟอสฟอรัสที่ถูก กำจัดเท่ากับ 11.52 มก./ล. เนื่องมาจากค่าฟอสฟอรัสของน้ำเข้าที่ต่างกันนั่นเอง แต่เมื่อพิจารณา ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสของทั้ง 2 การทดลอง พบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน กล่าวคือ ที่ความเข้มข้นของน้ำเสียซีโอดี 1,000 มก./ล. และ ความเข้มข้นของน้ำเสียซีโอดี 1,500 มก./ล. มีประสิทธิภาพ การกำจัดฟอสฟอรัสเท่ากับ 97.34% และ 96.92% ตามลำดับ

เมื่อนำปริมาณของฟอสฟอรัสที่ถูกใช้ไปมาเปรียบเทียบกับปริมาณ PHA ที่สะสมจากการ ทดลองที่ 3 จะได้ดังรูปที่ 4.53 และ รูปที่ 4.54



รูปที่ 4.53 ปริมาณ PHA (%) และ ΔP (มก./ล.) ของชุดการทดลองที่ 3 ความเข้มข้นของน้ำเสียซีโอดี 1,000 มก./ล.



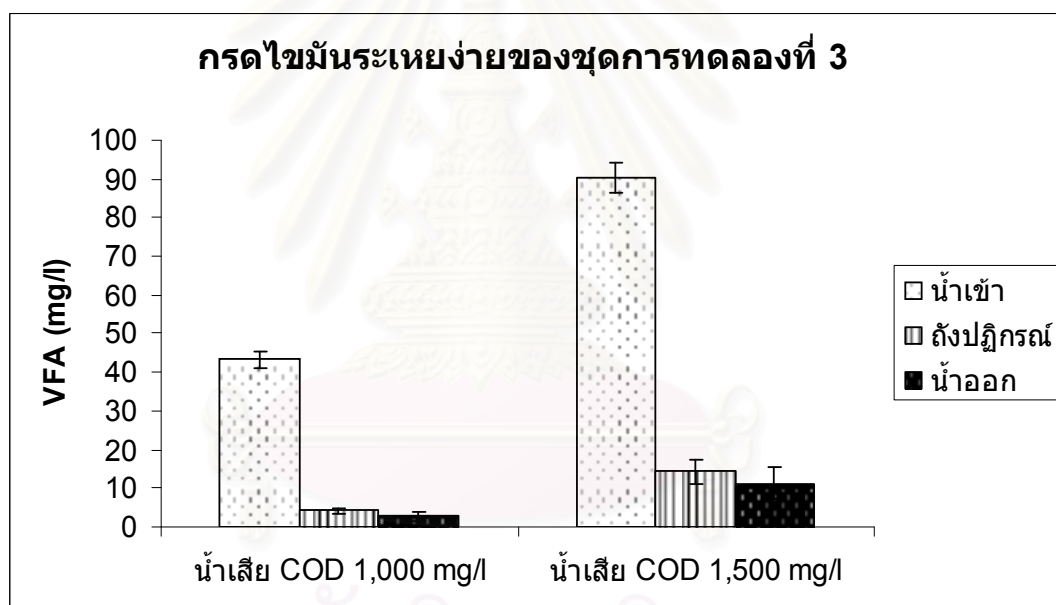
รูปที่ 4.54 ปริมาณ PHA (%) และ ΔP (มก./ล.) ของชุดการทดลองที่ 3
ความเข้มข้นของน้ำเสียซีโอดี 1,500 มก./ล.

จากรูปที่ 4.53 และ รูปที่ 4.54 จะเห็นว่า ทั้งที่ความเข้มข้นของน้ำเสียซีโอดี 1,000 มก./ล. และซีโอดี 1,500 มก./ล. ตลอดระยะเวลาที่ทำการเดินระบบ ปริมาณของฟอสฟอรัสที่ใช้ไปกับ ปริมาณ PHA ที่สะสมเป็นไปในทิศทางเดียวกัน แสดงว่าฟอสฟอรัสถูกใช้ไปในเพื่อสะสมเป็น PHA และเมื่อพิจารณาสัดส่วนระหว่างฟอสฟอรัสที่ถูกใช้ไป (มก./ล.) กับค่า PHA ที่สะสม (มก./ล.) ดังแสดงในตารางที่ 4.13 จะพบว่าระบบที่ใช้ความเข้มข้นของน้ำเสียซีโอดี 1,500 มก./ล. มีสัดส่วนมากกว่าระบบที่ใช้ความเข้มข้นของน้ำเสียซีโอดี 1,000 มก./ล. แสดงว่าระบบที่ใช้ความเข้มข้นของน้ำเสียซีโอดี 1,500 มก./ล. ประสิทธิภาพของการเปลี่ยนฟอสฟอรัสไปเป็น PHA ของระบบดีกว่า ระบบที่ใช้ความเข้มข้นของน้ำเสียซีโอดี 1,000 มก./ล. ซึ่งเมื่อพิจารณาร่วมกับค่าเฉลี่ยของ ΔP ที่มากกว่าของระบบที่ใช้ความเข้มข้นของน้ำเสียซีโอดี 1,500 มก./ล. ทำให้สามารถสรุปได้ว่าระบบที่ใช้ความเข้มข้นของน้ำเสียซีโอดี 1,500 มก./ล. สามารถให้ปริมาณ PHA จากกากตะกอนได้มากกว่า ระบบที่ใช้ความเข้มข้นของน้ำเสียซีโอดี 1,000 มก./ล.

4.3.4 ปริมาณ PHA ที่สะสมและค่ากรดไขมันระเหยง่ายที่กำจัด

กรดไขมันระเหยง่ายหรือ VFAs (Volatile Fatty Acids) เป็นกรดไขมันโมเลกุลเล็กที่มีพันธะสั้น (Short Chained Volatile Fatty Acids, SCVFA) เช่น กรดอะซิติก กรดโพรพิอิก เป็นต้น ซึ่งเป็นแหล่งคาร์บอนสำหรับจุลินทรีย์กลุ่มฟิเอโอเพื่อดูดซึมเข้าสู่เซลล์และใช้ในกระบวนการเมตาบอลิซึม โดยส่วนหนึ่งจะถูกนำไปสร้างเป็น PHA ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานสำรองของเซลล์

ค่าเฉลี่ยของกรดไขมันระเหยง่ายจากการทดลองที่ 3 ที่มีการแปรผันความเข้มข้นของน้ำเสียซีโอดี 1,000 มก./ล. และซีโอดี 1,500 มก./ล. ควบคุมอายุตะกอนที่ 100 วัน และระยะเวลาการเติมอากาศ 60 นาที แสดงดังรูปที่ 4.55 และ ตารางที่ 4.14



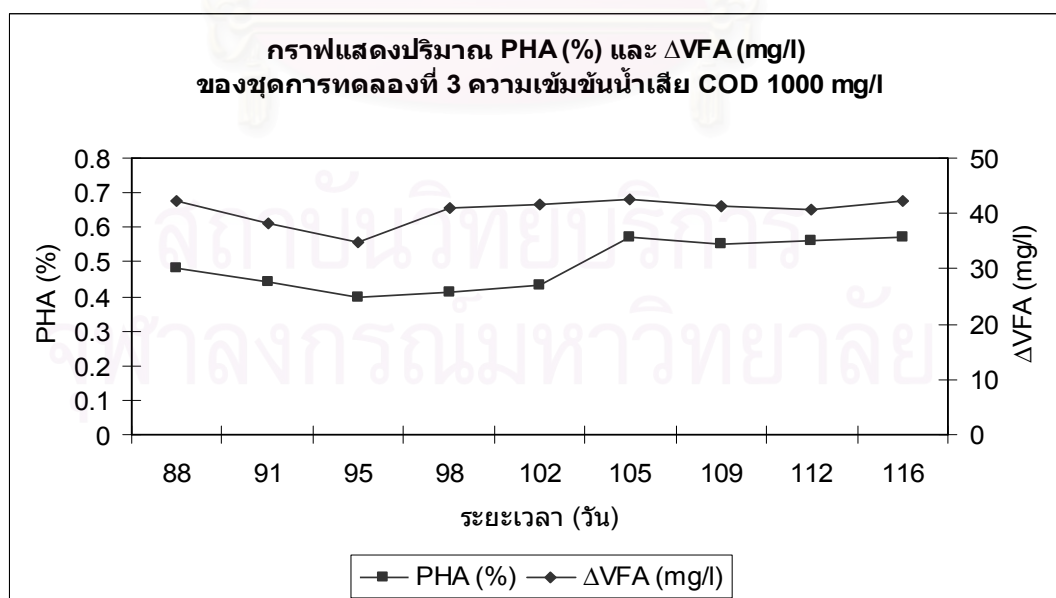
รูปที่ 4.55 กรดไขมันระเหยง่ายในระบบของชุดการทดลองที่ 3

ตารางที่ 4.14 กรดไขมันระเหยง่ายที่ถูกกำจัดและประสิทธิภาพการกำจัดกรดไขมันระเหยง่ายของชุดการทดลองที่ 3

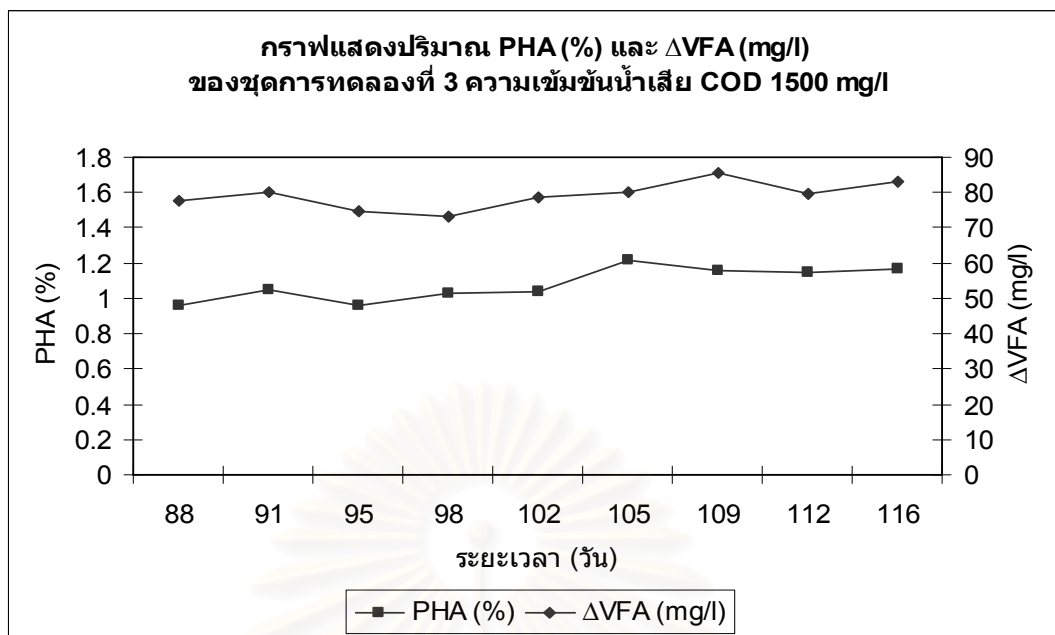
ความเข้มข้นของน้ำเสีย	ปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายที่ถูกกำจัด (มก./ล.)	ประสิทธิภาพการกำจัดกรดไขมันระเหยง่าย (%)	PHA/ Δ VFA
COD 1,000 มก./ล.	40.47	93.57	0.289512
COD 1,500 มก./ล.	79.19	87.57	0.382107

เมื่อพิจารณาค่ากรดไขมันระเหยง่ายในระบบ (รูปที่ 4.55) พบว่าค่ากรดไขมันระเหยง่ายในถังปฏิกรณ์ที่ช่วงแอนแอโรบิกเหลืออยู่น้อยมากเมื่อเทียบกับที่มีอยู่ในน้ำเข้า ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองที่ 1, การทดลองที่ 2 และยังคงสอดคล้องกับการทดลองของอร (2542), นภาพร (2542) และบุษกร (2542) ที่พบว่าในช่วงแอนแอโรบิก กรดไขมันระเหยง่ายมีค่าเท่ากับ 0 ในทุกชุดการทดลอง โดยอธิบายได้ว่า กรดไขมันระเหยง่ายถูกจุลินทรีย์กลุ่มฟีเอโอจับใช้ไปจนหมดในช่วงแอนแอโรบิกนั่นเอง

และเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดกรดไขมันระเหยง่ายของระบบที่ใช้ความเข้มข้นน้ำเสียซีโอดี 1,000 มก./ล. และซีโอดี 1,500 มก./ล. (ตารางที่ 4.14) พบว่าระบบที่ใช้ความเข้มข้นน้ำเสียซีโอดี 1,000 มก./ล. มีประสิทธิภาพสูงกว่าระบบที่ใช้ความเข้มข้นของน้ำเสียซีโอดี 1,500 มก./ล. ทั้งนี้เป็นเนื่องมาจากระบบที่ใช้ความเข้มข้นของน้ำเสีย 1,500 มก./ล. มีปริมาณ VFA ที่เข้าสู่ระบบมากกว่า จึงทำให้ VFA หลงเหลืออยู่ในระบบมากกว่า ประสิทธิภาพในการกำจัด VFA จึงต่ำกว่า และเมื่อนำปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายที่ถูกใช้ไปมาเปรียบเทียบกับปริมาณ PHA ที่สะสมจากการทดลองที่ 3 (รูปที่ 4.56 และ รูปที่ 4.57) พบว่าทั้งระบบที่ใช้ความเข้มข้นของน้ำเสียซีโอดี 1,000 มก./ล. และ ความเข้มข้นของน้ำเสียซีโอดี 1,500 มก./ล. ปริมาณของกรดไขมันระเหยง่ายที่ถูกใช้ไปและปริมาณ PHA ที่สะสมเป็นไปในทิศทางเดียวกัน แสดงว่ากรดไขมันระเหยง่ายถูกนำไปใช้ในการสร้าง PHA ของจุลินทรีย์กลุ่มฟีเอโอในระบบ



รูปที่ 4.56 ปริมาณ PHA (%) และ Δ VFA (มก./ล.) ของชุดการทดลองที่ 3 ความเข้มข้นของน้ำเสียซีโอดี 1,000 มก./ล.



รูปที่ 4.57 ปริมาณ PHA (%) และ Δ VFA (มก./ล.) ของชุดการทดลองที่ 3 ความเข้มข้นของน้ำเสียซีโอดี 1,500 มก./ล.

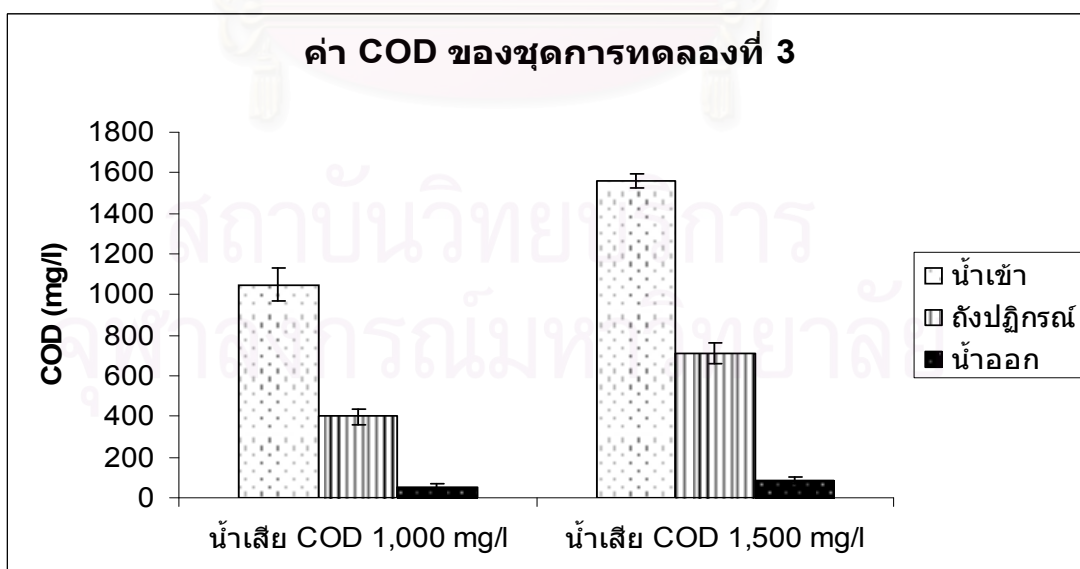
และเมื่อพิจารณาสัดส่วนระหว่างกรดไขมันระเหยง่ายที่ถูกใช้ไป (มก./ล.) กับปริมาณ PHA ที่สะสม (มก./ล.) ของการทดลองที่ 3 ดังแสดงในตารางที่ 4.14 พบว่าระบบที่ใช้ความเข้มข้นของน้ำเสียซีโอดี 1,500 มก./ล. มีสัดส่วนมากกว่าระบบที่ใช้ความเข้มข้นของน้ำเสียซีโอดี 1,000 มก./ล. แสดงว่า ระบบที่ใช้ความเข้มข้นของน้ำเสียซีโอดี 1,500 มก./ล. มีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนกรดไขมันระเหยง่ายเพื่อสะสมเป็น PHA มากกว่าระบบที่ใช้ความเข้มข้นของน้ำเสียซีโอดี 1,000 มก./ล. ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า ระบบที่ใช้ค่าความเข้มข้นของน้ำเสียซีโอดี 1,500 มก./ล. จุลินทรีย์ที่อยู่ในระบบมีความสามารถในการจับใช้กรดไขมันระเหยง่ายเพื่อเปลี่ยนเป็น PHA ได้ดีกว่าระบบที่ใช้ความเข้มข้นของน้ำเสียซีโอดี 1,000 มก./ล.

4.3.5 ปริมาณ PHA ที่สะสมและกลูโคสที่กำจัด

ในงานวิจัยของชุดการทดลองที่ 3 ที่มีการแปรผันความเข้มข้นของน้ำเสียซีไอดี 1,000 มก./ล. และซีไอดี 1,500 มก./ล. ควบคุมอายุตะกอนที่ 100 วัน และระยะเวลาการเติมอากาศ 60 นาที ได้ทำการวิเคราะห์ค่ากลูโคสในถังปฏิกรณ์ พบว่า ตรวจไม่พบกลูโคสทั้งการทดลองที่มีความเข้มข้นของน้ำเสียซีไอดี 1,000 มก./ล. และซีไอดี 1,500 มก./ล. เช่นเดียวกับผลการทดลองของชุดการทดลองที่ 1 และชุดการทดลองที่ 2 ซึ่งอธิบายไว้ในหัวข้อ 4.1.5

4.3.6 ปริมาณ PHA ที่สะสมและค่าซีไอดีที่กำจัด

การวัดค่าซีไอดีในการทดลองนี้ประกอบด้วยการวัดค่าซีไอดีในน้ำเข้า ค่าซีไอดีในถังปฏิกรณ์ช่วงแอนแอโรบิก และน้ำออก โดยผลของซีไอดีที่ได้จากระบบที่สภาวะคงตัวของชุดการทดลองที่ 3 ที่มีการแปรผันความเข้มข้นของน้ำเสียซีไอดี 1,000 มก./ล. และซีไอดี 1,500 มก./ล. ควบคุมอายุตะกอนที่ 100 วัน และระยะเวลาการเติมอากาศ 60 นาที แสดงดังรูปที่ 4.58 และตารางที่ 4.15



รูปที่ 4.58 ค่าซีไอดีในระบบของชุดการทดลองที่ 3

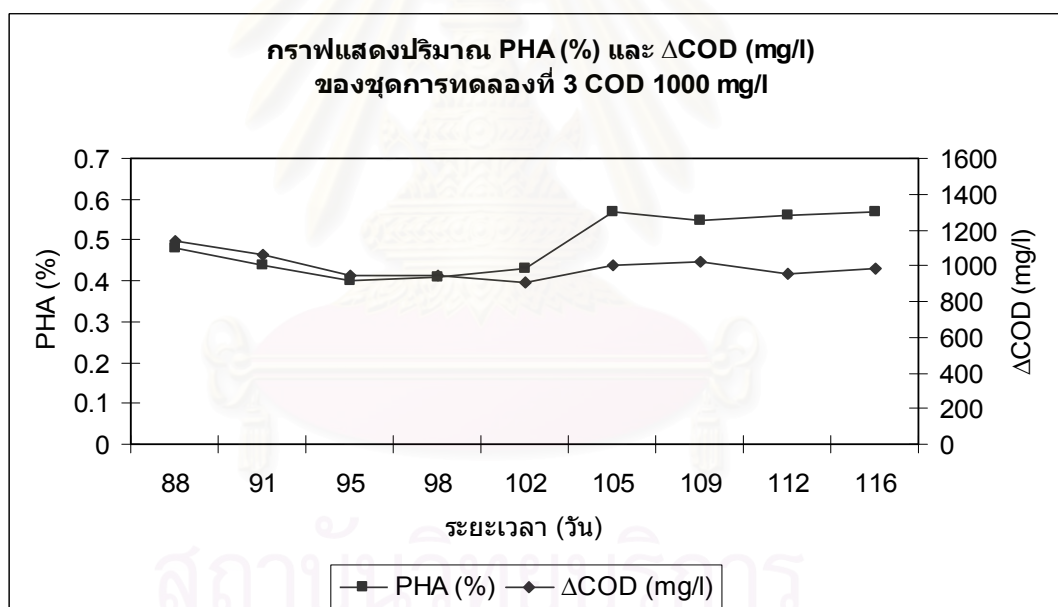
ตารางที่ 4.15 ซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของชุดการทดลองที่ 3

ความเข้มข้นของ น้ำเสีย	ปริมาณซีโอดีที่ถูกกำจัด (มก./ล.)	ประสิทธิภาพการกำจัด ซีโอดี(%)	PHA/ Δ COD
1,000 มก./ล.	995.22	94.85	0.011772
1,500 มก./ล.	1047.56	94.44	0.020576

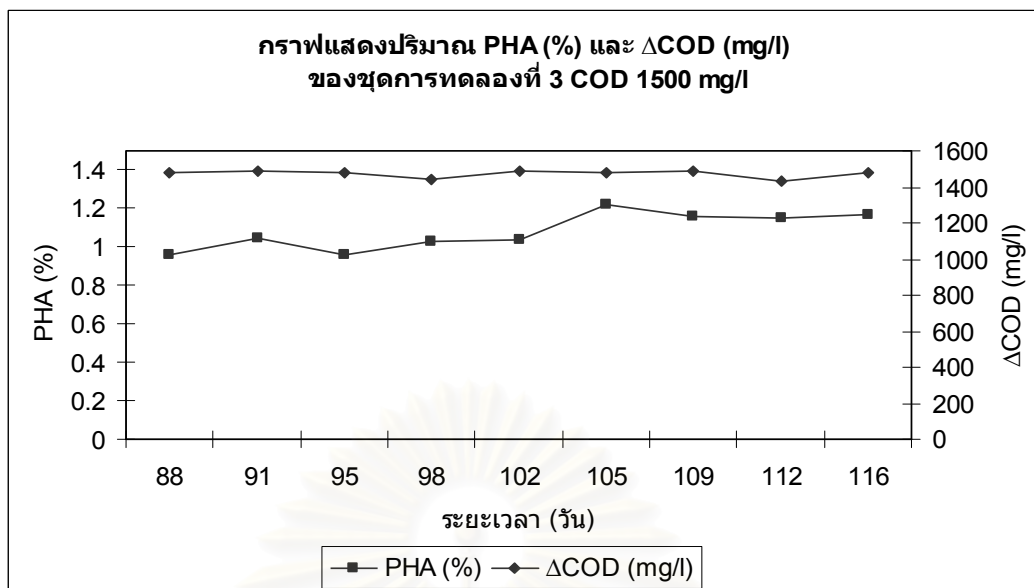
เมื่อพิจารณาค่าซีโอดีในระบบ (รูปที่ 4.58) พบว่า ปริมาณของซีโอดีที่ถูกใช้ไปในช่วง แอนแอโรบิกของระบบที่ใช้ความเข้มข้นของน้ำเสียซีโอดี 1,500 มก./ล. มีปริมาณมากกว่าระบบที่ใช้ ความเข้มข้นของน้ำเสียซีโอดี 1,000 มก./ล. แสดงว่าระบบที่ใช้ความเข้มข้นของน้ำเสียซีโอดี 1,500 มก./ล. จุลินทรีย์ในระบบจับใช้ซีโอดีในช่วงแอนแอโรบิกได้มากกว่าระบบที่ใช้ความเข้มข้นของ น้ำเสียซีโอดี 1,000 มก./ล. แต่อย่างไรก็ตามจุลินทรีย์ในระบบของทั้ง 2 การทดลองไม่สามารถจับใช้ ซีโอดีได้หมดในช่วงแอนแอโรบิก โดยผลการทดลองดังกล่าวเหมือนกับชุดการทดลองที่ 1 และการ ทดลองที่ 2 แต่ไม่เหมือนดังการทดลองของบุญกร (2542) และอร (2542) ที่พบว่า ในถังปฏิกรณ์ช่วง แอนแอโรบิกของทุกชุดการทดลอง ค่าซีโอดีถูกใช้ไปจนเกือบหมด (ค่าซีโอดีในถังปฏิกรณ์อยู่ ในช่วง 2-35 มก./ล. เมื่อมีค่าซีโอดีของน้ำเข้าอยู่ในช่วง 100-700 มก./ล.) ทั้งนี้เนื่องจากการทดลอง ของบุญกร (2542) และอร (2542) ใช้ น้ำเสียสังเคราะห์ที่ซีโอดีอยู่ในรูปของ RBCOD ทำให้จุลินทรีย์ ในระบบสามารถนำไปใช้ได้ง่ายและรวดเร็วซึ่งจะถูกใช้หมดไปตั้งแต่ในช่วงแอนแอโรบิกแล้ว แต่ อย่างไรก็ตาม จากตารางที่ 4.15 จะเห็นได้ว่าซีโอดีที่ถูกใช้ไปทั้งหมดในถังปฏิกรณ์มีค่ามากกว่าที่ถูก ใช้ไปในช่วงแอนแอโรบิก แสดงว่า ในการทดลองนี้ จุลินทรีย์ที่สามารถจับใช้ซีโอดีได้ในช่วง แอนแอโรบิกไม่ได้ใช้ซีโอดีไปทั้งหมด แต่ยังมีจุลินทรีย์อีกกลุ่มหนึ่งที่จับใช้ส่วนที่เหลือในช่วง แอนแอโรบิก ทำให้ระบบสามารถกำจัดซีโอดีได้สูงนั่นเอง

เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของระบบ (ตารางที่ 4.15) พบว่า ระบบที่ใช้ ความเข้มข้นของน้ำเสียซีโอดี 1,000 มก./ล. และ ความเข้มข้นของน้ำเสียซีโอดี 1,500 มก./ล. มีค่า ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีใกล้เคียงกัน คือระบบที่ใช้ความเข้มข้นของน้ำเสียซีโอดี 1,000 มก./ล. และ 1,500 มก./ล. มีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเท่ากับ 94.85% และ 94.44% ตามลำดับ แสดงว่าแม้ ค่าซีโอดีจะเพิ่มขึ้นจาก 1,000 มก./ล. เป็น 1,500 มก./ล. จุลินทรีย์ที่อยู่ในระบบยังสามารถจับใช้ สารอาหารที่มีอยู่ได้อย่างมีประสิทธิภาพเช่นเดียวกัน

เมื่อนำค่าซีโอดีที่ถูกใช้ไปมาเปรียบเทียบกับปริมาณ PHA ที่สะสมจากการทดลองที่ 3 (รูปที่ 4.59 และ รูปที่ 4.60) จะเห็นว่า เป็นไปในทิศทางเดียวกัน และเมื่อพิจารณาสัดส่วนระหว่าง ปริมาณซีโอดีที่ถูกใช้ไป (มก./ล.) กับ PHA ที่สะสม (มก./ล.) ดังแสดงในตารางที่ 4.15 พบว่าระบบ ที่ใช้ความเข้มข้นของน้ำเสียซีโอดี 1,500 มก./ล. มีสัดส่วนมากกว่าระบบที่ใช้ความเข้มข้นของน้ำเสีย ซีโอดี 1,000 มก./ล. แสดงว่าระบบที่ใช้ความเข้มข้นของน้ำเสียซีโอดี 1,500 มก./ล. ประสิทธิภาพของ การเปลี่ยนซีโอดีเพื่อสะสมเป็น PHA ของระบบมีค่ามากกว่าระบบที่ใช้ความเข้มข้นของน้ำเสีย ซีโอดี 1,000 มก./ล. นั่นเอง ดังนั้นระบบที่ใช้ความเข้มข้นของน้ำเสียซีโอดี 1,500 มก./ล. จุลินทรีย์ กลุ่มที่สามารถสะสม PHA ได้มีความสามารถในการจับใช้ซีโอดีเพื่อเป็นแหล่งอาหารในการทำงาน ของเซลล์ในการสะสม PHA ได้มากกว่าระบบที่ใช้ความเข้มข้นของน้ำเสียซีโอดี 1,000 มก./ล.



รูปที่ 4.59 ปริมาณ PHA (%) และ Δ COD (มก./ล.) ของชุดการทดลองที่ 3 ความเข้มข้นของน้ำเสียซีโอดี 1,000 มก./ล.

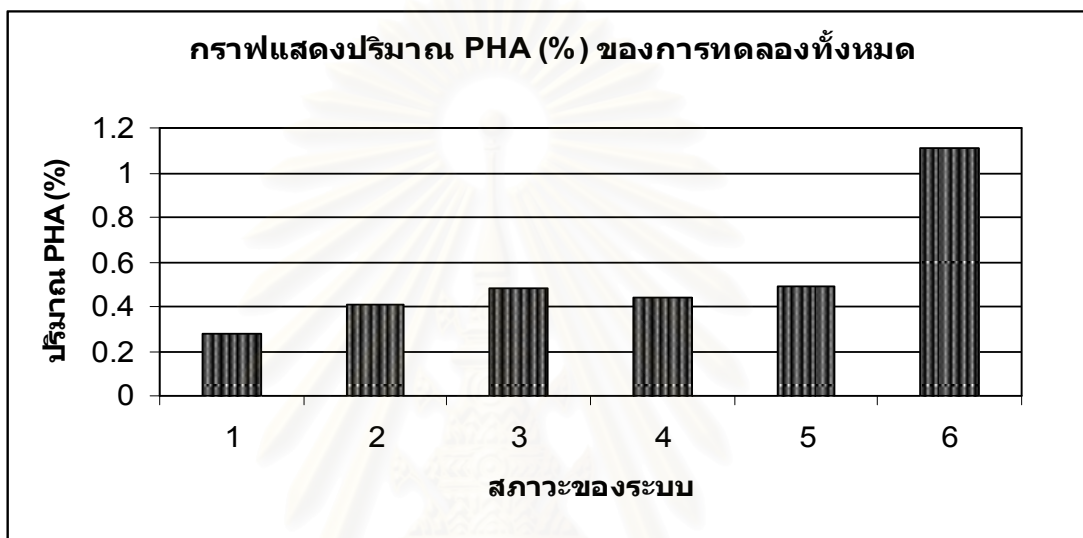


รูปที่ 4.60 ปริมาณ PHA (%) และ Δ COD (มก./ล.) ของชุดการทดลองที่ 3 ความเข้มข้นของน้ำเสียซีโอดี 1,500 มก./ล.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.4 การวิเคราะห์ปริมาณ PHA ที่สะสมและสถานะต่างๆ ของระบบ

จากการทดลองทั้ง 3 การทดลองที่ทำการศึกษาปริมาณ PHA ที่สะสมในระบบบำบัดแบบ MBR โดยใช้น้ำเสียจากโรงงานสุรา เมื่อทำการแปรผันสถานะต่างๆ ของระบบ สามารถสรุปปริมาณ PHA ที่สะสมของการทดลองทั้งหมดแสดงดังรูปที่ 4.61



รูปที่ 4.61 ปริมาณ PHA ที่สะสมจากการทดลองทั้งหมด

โดยมีรายละเอียดสถานะของระบบดังนี้

สถานะของระบบที่ 1 ; อายุตะกอน 50 วัน ระยะเวลาการเติมอากาศ 60 นาที ความเข้มข้นน้ำเสียซีโอดี 1,000 มก./ล.

สถานะของระบบที่ 2 ; อายุตะกอน 100 วัน ระยะเวลาการเติมอากาศ 60 นาที ความเข้มข้นน้ำเสียซีโอดี 1,000 มก./ล.

สถานะของระบบที่ 3 ; อายุตะกอน 100 วัน ระยะเวลาการเติมอากาศ 60 นาที ความเข้มข้นน้ำเสียซีโอดี 1,000 มก./ล.

สถานะของระบบที่ 4 ; อายุตะกอน 100 วัน ระยะเวลาการเติมอากาศ 90 นาที ความเข้มข้นน้ำเสียซีโอดี 1,000 มก./ล.

สถานะของระบบที่ 5 ; อายุตะกอน 100 วัน ระยะเวลาการเติมอากาศ 60 นาที ความเข้มข้นน้ำเสียซีโอดี 1,000 มก./ล.

สภาวะของระบบที่ 6 ; อายุตะกอน 100 วัน ระยะเวลาการเติมอากาศ 60 นาที ความเข้มข้นน้ำเสียซีโอดี 1,500 มก./ล.

จากรูปที่ 4.61 จะเห็นว่า ปริมาณ PHA ที่สะสมของแต่ละสภาวะ สามารถแบ่งได้เป็น 3 กลุ่ม คือ

- 1.) กลุ่มที่ 1 สภาวะของระบบที่ 1 มีปริมาณ PHA ที่สะสมน้อยที่สุด
- 2.) กลุ่มที่ 2 สภาวะของระบบที่ 2-5 มีปริมาณ PHA ที่สะสมปานกลาง ซึ่งทั้ง 4 ระบบมีปริมาณ PHA ที่สะสมใกล้เคียงกัน
- 3.) กลุ่มที่ 3 สภาวะของระบบที่ 6 มีปริมาณ PHA ที่สะสมสูงสุด

เมื่อพิจารณาสภาวะที่แตกต่างกันของระบบที่ให้ปริมาณ PHA ต่างกันใน 3 กลุ่ม จะเห็นว่า กลุ่มที่ 1 แตกต่างจากกลุ่มที่ 2 และ กลุ่มที่ 3 ที่อายุตะกอน โดยกลุ่มที่ 1 มีอายุตะกอนเท่ากับ 50 วัน ส่วนกลุ่มที่ 2 และ 3 มีอายุตะกอนเท่ากับ 100 วัน แสดงว่าอายุตะกอนมีผลต่อการสะสม PHA ของระบบโดยตรง โดยอายุตะกอน 100 วันจะทำให้มีการสะสม PHA มากกว่าอายุตะกอน 50 วัน ซึ่งพบว่า จากผลการทดลองทั้ง 3 ชุดการทดลอง ในทุกการทดลอง อัตราการสะสม PHA ของระบบจะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อมีการเดินระบบถึงวันที่ 105 เป็นต้นไป

สำหรับในกลุ่มที่ 2 (สภาวะของระบบที่ 2-5) มีสภาวะแตกต่างกันในกลุ่ม คือ สภาวะของระบบที่ 2, 3 และ 5 มีระยะเวลาการเติมอากาศ 60 นาที ส่วนสภาวะของระบบที่ 4 มีระยะเวลาการเติมอากาศ 90 นาที โดยสภาวะที่เหมือนกันของระบบคือ อายุตะกอนและความเข้มข้นของน้ำเสีย แต่ยังคงพบว่าในกลุ่มนี้ ปริมาณ PHA ที่สะสมในระบบอยู่ในระดับใกล้เคียงกัน แสดงว่า ระยะเวลาการเติมอากาศ 60 นาทีและ 90 นาที ไม่ส่งผลกระทบต่ออัตราการสะสม PHA ในระบบ

และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบปริมาณ PHA ของกลุ่มที่ 2 และ 3 จะเห็นว่ากลุ่มที่ 3 มีปริมาณ PHA สูงกว่ากลุ่มที่ 2 ซึ่งสภาวะของระบบที่ทำให้ปริมาณ PHA ของกลุ่มที่ 3 สูงกว่ากลุ่มที่ 2 คือ ความเข้มข้นของน้ำเสีย โดยกลุ่มที่ 3 ใช้ความเข้มข้นของน้ำเสียซีโอดีเท่ากับ 1,500 มก./ล. ซึ่งให้ปริมาณ PHA สูงกว่ากลุ่มที่ 2 ที่ใช้ความเข้มข้นของน้ำเสียซีโอดีเท่ากับ 1,000 มก./ล. แสดงว่าความเข้มข้นของน้ำเสียมีผลต่อการสะสม PHA ในระบบโดยตรงเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของน้ำเสีย จาก 1,000 มก./ล. เป็น 1,500 มก./ล. แต่ทั้งนี้ การเพิ่มความเข้มข้นของน้ำเสีย ต้องคำนึงถึงความสามารถในการดำรงชีวิตอยู่ได้ของจุลินทรีย์ในระบบและค่าซีโอดีในน้ำออกด้วย

เมื่อพิจารณาค่าซีโอดีในน้ำออก จากการทดลองของภาคีสย์ (2547) พบว่า ระบบที่ใช้ความเข้มข้นของน้ำเสียซีโอดีเท่ากับ 750 มก./ล. ค่าซีโอดีในน้ำออกมีค่าประมาณ 50 มก./ล. โดยมีค่าอยู่ในช่วง 25-114 มก./ล. และในงานวิจัยนี้ ระบบที่ใช้ความเข้มข้นของน้ำเสียซีโอดีเท่ากับ 1,000 มก./ล. ค่าซีโอดีในน้ำออกมีค่าประมาณ 60 มก./ล. โดยมีค่าอยู่ในช่วง 20-165 มก./ล. ส่วนระบบที่ใช้ความเข้มข้นของน้ำเสียซีโอดีเท่ากับ 1,500 มก./ล. ค่าซีโอดีในน้ำออกมีค่าประมาณ 90 มก./ล. โดยมีค่าอยู่ในช่วง 64-126 มก./ล. ซึ่งเมื่อพิจารณาจากผลของน้ำออกที่มีค่าซีโอดีที่สูงขึ้นในสัดส่วนดังกล่าว ทำให้มีข้อจำกัดในการเลือกใช้ความเข้มข้นของน้ำเสียที่สูงกว่า 1,500 มก./ล. เพราะจะทำให้ค่าซีโอดีในน้ำออกสูงเกินกว่า 120 มก./ล. ซึ่งเป็นมาตรฐานน้ำทิ้งของกรมโรงงานอุตสาหกรรม จึงทำให้การทดลองเลือกใช้ค่าซีโอดีในน้ำเข้าจำกัดที่ 1,500 มก./ล.



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.5 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างโมเลกุล PHA

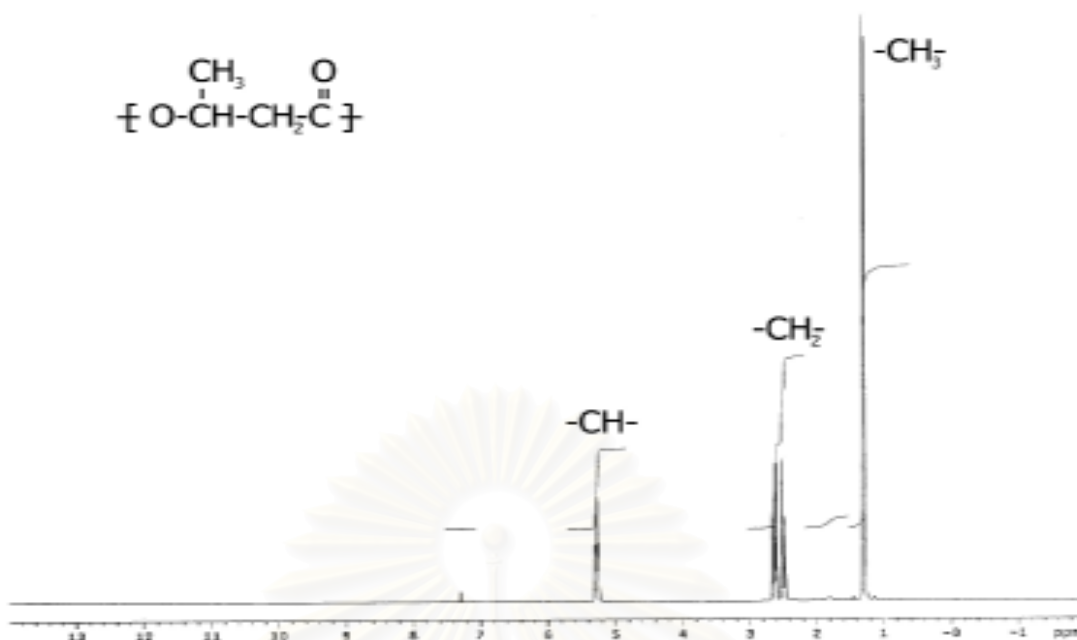
เมื่อนำ PHA บริสุทธิ์ที่สกัดได้จากกากตะกอนระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานสุราแบบที่ใช้ไมโครฟิลเตรชันเมมเบรนในถังปฏิกรณ์ชีวภาพ มาวิเคราะห์โครงสร้างโมเลกุลเปรียบเทียบกับ PHA มาตรฐาน โดยวิธี NMR (Nuclear Magnetic Resonance) spectroscopy ได้ผลดังนี้

4.5.1 ^1H NMR

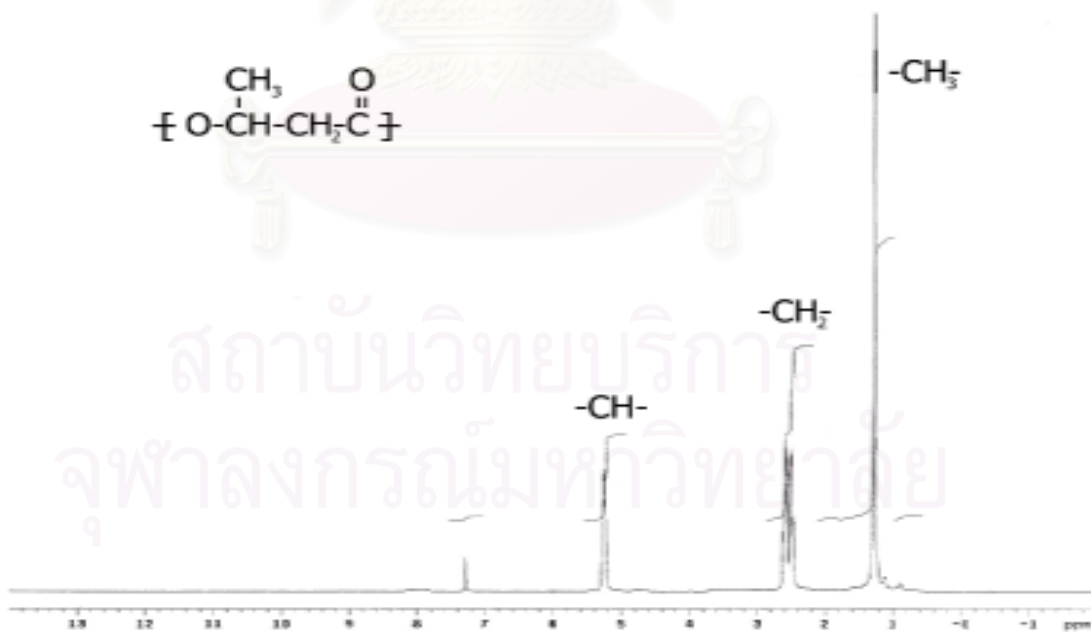
สเปกตรัม ^1H NMR ของ PHA บริสุทธิ์ที่สกัดได้จากกากตะกอน ดังแสดงในรูปที่ 4.62 ประกอบด้วยพีคจากสัญญาณของโปรตอนของหมู่เมทิล ($-\text{CH}_3$) หมู่เมทิลีน ($-\text{CH}_2-$) และหมู่เมไธน ($-\text{CH}-$) ที่ตำแหน่ง 1.3, 2.55 และ 5.25 ppm ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับสเปกตรัม ^1H NMR ของสารมาตรฐาน PHB (รูปที่ 4.63) แสดงว่าสารตัวอย่างที่วิเคราะห์ได้คือโมโนเมอร์ของ PHB

4.5.2 ^{13}C NMR

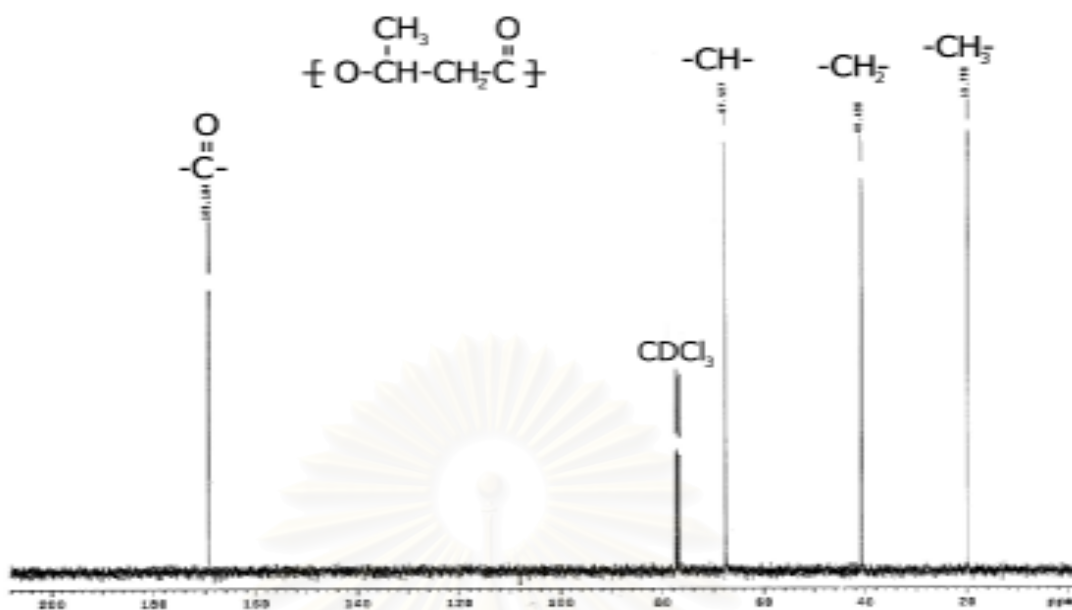
สเปกตรัม ^{13}C NMR ของ PHA บริสุทธิ์ที่สกัดได้จากกากตะกอน ดังแสดงในรูปที่ 4.64 ประกอบด้วยพีคจากสัญญาณ 4 สัญญาณ คือ คาร์บอนจากหมู่เมทิล ที่ตำแหน่ง 19.798 ppm หมู่เมทิลีน ที่ตำแหน่ง 40.496 ppm หมู่เมไธน ที่ตำแหน่ง 65.572 ppm และจากหมู่คาร์บอนิล ที่ตำแหน่ง 169.184 ppm ซึ่งสอดคล้องกับสเปกตรัม ^{13}C NMR ของสารมาตรฐาน PHB (รูปที่ 4.65) ซึ่งประกอบด้วยพีคสัญญาณของคาร์บอนจากหมู่เมทิล หมู่เมทิลีน หมู่เมไธน และหมู่คาร์บอนิล ที่ตำแหน่ง 19.673, 40.339, 67.467 และ 169.067 ppm ตามลำดับ แสดงว่าสารตัวอย่างที่วิเคราะห์ได้คือโมโนเมอร์ของ PHB



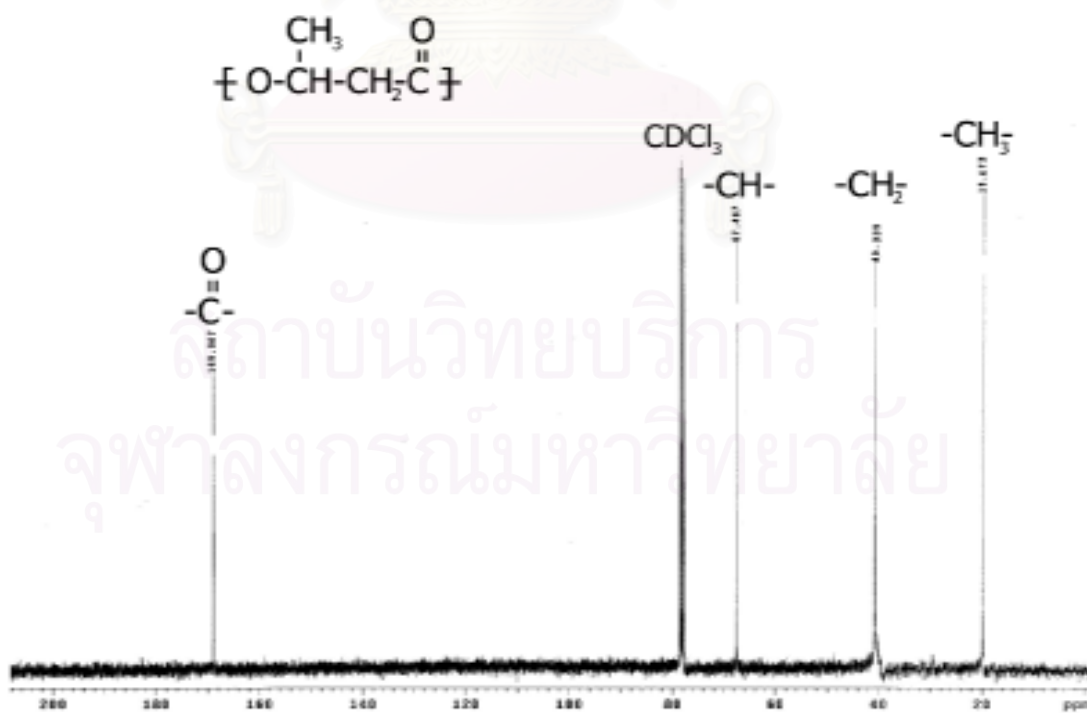
รูปที่ 4.62 สเปกตรัมที่วิเคราะห์โดยวิธี $^1\text{H NMR}$ spectroscopy จากกากตะกอน



รูปที่ 4.63 สเปกตรัมที่วิเคราะห์โดยวิธี $^1\text{H NMR}$ spectroscopy ของสารมาตรฐาน PHB



รูปที่ 4.64 สเปกตรัมที่วิเคราะห์โดยวิธี ^{13}C NMR spectroscopy จากกากตะกอน



รูปที่ 4.65 สเปกตรัมที่วิเคราะห์โดยวิธี ^{13}C NMR spectroscopy ของสารมาตรฐาน PHB

4.6 ศักยภาพของระบบ MBR ในการผลิต PHA

จากการทดลองทั้ง 3 การทดลองที่ทำการศึกษาปริมาณ PHA ที่สะสมในสถานะต่างๆ ของระบบ MBR โดยใช้น้ำเสียจากโรงงานสุราเพื่อหาสถานะสำหรับการนำกากตะกอนจากระบบ MBR มาใช้เพื่อผลิต PHA สามารถสรุปได้ว่า ควรควบคุมอายุตะกอนที่ 100 วัน ใช้ระยะเวลาการเติมอากาศ 60 นาที และความเข้มข้นของน้ำเสียซีโอดีเท่ากับ 1,500 มก./ล.

สำหรับระบบที่ใช้ในการทดลองนี้ เป็นเพียงระบบจำลองที่สร้างขึ้น มีปริมาตรถังปฏิกรณ์เท่ากับ 200 ลิตร โดยเมื่อใช้ระบบที่ควบคุมอายุตะกอน 100 วัน ใช้ระยะเวลาการเติมอากาศ 60 นาที และความเข้มข้นของน้ำเสียซีโอดีเท่ากับ 1,500 มก./ล. จะได้ปริมาณ PHA ที่สะสมในกากตะกอนเท่ากับ 1.11 %(w/w) หรือเท่ากับ 30.26 มก./ล. ซึ่งหากนำระบบนี้ไปใช้จริง ปริมาตรถังปฏิกรณ์จะเพิ่มขึ้น กากตะกอนส่วนเกินก็จะมีปริมาณเพิ่มขึ้นตามไปด้วย และเมื่อนำกากตะกอนส่วนเกินเหล่านี้มาสกัด PHA ก็ทำให้ได้ในปริมาณสูงขึ้นไปด้วย เช่น หากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานสุรามีถังปฏิกรณ์ปริมาตร 2,000,000 ลิตร จะสามารถสกัด PHA ได้ 605.17 กรัมต่อวัน หรือเท่ากับ 220.89 กิโลกรัมต่อปี ซึ่งการทำเช่นนี้จะช่วยแก้ปัญหาการกำจัดกากตะกอนและยังเป็นการนำกากตะกอนมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดอีกด้วย

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 การศึกษาผลของอายุตะกอนต่อปริมาณ PHA

ปริมาณ PHA ที่ได้จากกากตะกอนของระบบที่มีอายุตะกอนเท่ากับ 100 วัน เท่ากับ 0.41% (w/w) ซึ่งมากกว่าปริมาณ PHA ที่ได้จากกากตะกอนของระบบที่มีอายุตะกอนเท่ากับ 50 วัน ที่มีปริมาณ PHA เท่ากับ 0.28% (w/w), ประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสของระบบที่มีอายุตะกอน 100 วัน เท่ากับ 97.00% ซึ่งมากกว่าที่อายุตะกอน 50 วัน ที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัส เท่ากับ 90.77%, ประสิทธิภาพในการกำจัดกรดไขมันระเหยง่ายของระบบที่มีอายุตะกอน 100 วัน เท่ากับ 95.42% ซึ่งมากกว่าที่อายุตะกอน 50 วัน ที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดกรดไขมันระเหยง่ายเท่ากับ 89.40% และประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีของระบบที่มีอายุตะกอน 100 วัน เท่ากับ 94.34% ซึ่งมากกว่าที่อายุตะกอน 50 วัน ที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีเท่ากับ 89.76%

5.1.2 การศึกษาผลของระยะเวลาการเติมอากาศต่อปริมาณ PHA

ปริมาณ PHA ที่ได้จากกากตะกอนของระบบที่มีการเติมอากาศ 60 นาที เท่ากับ 0.48% (w/w) ซึ่งมากกว่าปริมาณ PHA ที่ได้จากกากตะกอนของระบบที่มีการเติมอากาศ 90 นาที ที่มีปริมาณ PHA เท่ากับ 0.44% (w/w), ประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสของระบบที่มีการเติมอากาศ 60 นาที เท่ากับ 97.01% ซึ่งมากกว่าที่มีการเติมอากาศ 90 นาที ที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสเท่ากับ 96.68%, ประสิทธิภาพในการกำจัดกรดไขมันระเหยง่ายของระบบที่มีการเติมอากาศ 60 นาที เท่ากับ 93.19% ซึ่งมากกว่าที่มีการเติมอากาศ 90 นาที ที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดกรดไขมันระเหยง่ายเท่ากับ 92.54% และประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีของระบบที่มีการเติมอากาศ 60 นาที เท่ากับ 94.77% ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับที่มีการเติมอากาศ 90 นาที ซึ่งมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีเท่ากับ 94.89%

5.1.3 การศึกษาผลของความเข้มข้นน้ำเสียต่อปริมาณ PHA

ปริมาณ PHA ที่ได้จากกากตะกอนของระบบที่มีความเข้มข้นน้ำเสียซีโอดีเท่ากับ 1,500 มก./ล. เท่ากับ 1.11% (w/w) ซึ่งมากกว่าปริมาณ PHA ที่ได้จากกากตะกอนของระบบที่มีความเข้มข้นน้ำเสียซีโอดีเท่ากับ 1,000 มก./ล. ที่มีปริมาณ PHA เท่ากับ 0.49% (w/w), ประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสของระบบที่มีความเข้มข้นน้ำเสียซีโอดีเท่ากับ 1,500 มก./ล. เท่ากับ 96.92% ซึ่งใกล้เคียงกับระบบที่มีความเข้มข้นน้ำเสียซีโอดีเท่ากับ 1,000 มก./ล. ที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสเท่ากับ 97.34%, ประสิทธิภาพในการกำจัดกรดไขมันระเหยง่ายของระบบที่มีความเข้มข้นน้ำเสียซีโอดีเท่ากับ 1,500 มก./ล. เท่ากับ 87.57% ซึ่งน้อยกว่าระบบที่มีความเข้มข้นน้ำเสียซีโอดีเท่ากับ 1,000 มก./ล. ที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดกรดไขมันระเหยง่ายเท่ากับ 93.57% และประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีของระบบที่มีความเข้มข้นน้ำเสียซีโอดีเท่ากับ 1,500 มก./ล. เท่ากับ 94.44% ซึ่งใกล้เคียงกับระบบที่มีความเข้มข้นน้ำเสียซีโอดีเท่ากับ 1,000 มก./ล. ที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีเท่ากับ 94.85%

5.1.4 การวิเคราะห์โครงสร้างโมเลกุล PHA

ทั้งสเปกตรัม ^1H NMR และ ^{13}C NMR ของสารตัวอย่างที่สกัดได้จากกากตะกอนในระบบสอดคล้องกับสเปกตรัมของ ^1H NMR และ ^{13}C NMR ของสารมาตรฐาน PHB

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในงานวิจัยนี้มีข้อเสนอแนะเพื่อเป็นแนวทางในการทำวิจัยต่อไปดังนี้

5.2.1 ศึกษาชนิดของจุลินทรีย์ที่สามารถสะสม PHA ได้สูงและนำมาเติมในระบบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิต PHA ทั้งนี้ควรศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของระบบควบคู่กันไป

5.2.2 ศึกษาผลของน้ำเสียประเภทอื่นๆ ที่มีผลต่อการผลิต PHA จากระบบ โดยทำการศึกษาทั้งประเภทของน้ำเสียและความเข้มข้นของน้ำเสีย ซึ่งควรศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของระบบควบคู่กัน นอกจากนี้ยังสามารถศึกษาผลของการเติมจุลินทรีย์ที่สามารถสะสม PHA ได้สูงลงไปในระบบเพื่อให้ได้ปริมาณ PHA ที่สูงขึ้นได้อีกด้วย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2548. ข้อมูลอุตสาหกรรม. [Online]. แหล่งที่มา : <http://www.diw.go.th/> [4 ธันวาคม 2548]
- กรมสรรพสามิต. 2548. สถิติปริมาณที่เสียภาษีสุราปีงบประมาณ 2544 [Online]. แหล่งที่มา : <http://www.exd.mof.go.th/> [4 ธันวาคม 2548]
- เฉลิมราช วันทวิน และ สุนันท์ ศิริรักษ์โสภณ. 2545. การใช้ประโยชน์จากผลิตภัณฑ์ของระบบน้ำเสียแบบแอกติเวตเต็ดสลัดจ์ในการผลิตสารโพลีไฮดรอกซีอะคาโนเอต. วิทยานิพนธ์ปริญญา ดุษฎีบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- ณัฐพันธ์ กลิ่นเกสร. 2545. การกำจัดซีโอดี ในโตรเจน และฟอสฟอรัส ด้วยกระบวนการทางชีวภาพร่วมกับไมโครฟิลเตรชันเมมเบรน. วิทยานิพนธ์ปริญญา มหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ธีระ เกรอด. 2539. วิศวกรรมน้ำเสียและการบำบัดทางชีวภาพ. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- นภาพร ทองคำมาก. 2542. ระยะเวลาการเติมอากาศที่เหมาะสมที่จัดการสลัดจ์ส่วนเกินได้ดีที่สุดในกระบวนการแอนแอโรบิก/แอโรบิก. วิทยานิพนธ์ปริญญา มหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- นัทกาญจน์ ประเสริฐสังข์. 2546. การกำจัดซีโอดี ในโตรเจน และฟอสฟอรัส ด้วยกระบวนการกำจัดธาตุอาหารทางชีวภาพที่มีไมโครฟิลเตรชันเมมเบรนแบบจมตัว. วิทยานิพนธ์ปริญญา มหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- บุษกร อมรวิทย์. 2542. การตอบสนองของกระบวนการกำจัดฟอสฟอรัสทางชีวภาพแบบเอสปีอาร์ต่อการเติมออร์โธฟอสเฟตบางส่วนที่ขั้นตอนแอโรบิก. วิทยานิพนธ์ปริญญา มหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ภาศัลย์ ใจรัมย์. 2547. การประยุกต์ใช้ไมโครฟิลเตรชันในถังปฏิกรณ์ชีวภาพสำหรับบำบัดน้ำเสียจากโรงงานสุรา. วิทยานิพนธ์ปริญญา มหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

- มาลี วิศวจารย์. 2530. การใช้ประโยชน์จากน้ำกากสำโรงงานสุราในการผลิตก๊าซชีวภาพ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- รัตนศิริ มุทิตากุล. 2538. การผลิตพอลิปีตาไฮดรอกซีบิวทีเรต โดยแบคทีเรียสายพันธุ์ BA-019 ที่แยกได้. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาจุลชีววิทยา บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วีระพงษ์ พรประสาทผล. 2545. การผลิตฟรักโตโอลิโกแซ็กคาไรด์โดย *Penicillium* sp. H12 ในการเลี้ยงเชื้อแบบเฟดแบท. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาจุลชีววิทยา บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สันทัต ศิริอนันต์ไพบุณย์. 2527. การคัดเลือกเชื้อราเพื่อใช้ในการฟอกสีของน้ำกากสำโรง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาจุลชีววิทยา บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สุขกษม สุขสถาน. 2539. ผลของอายุตะกอนต่อการกำจัดสีของน้ำเสียโรงงานผลิตเบียร์โดยกระบวนการแอโรบิก-ออกซิก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สุจินต์ พนาปวุฒิกุล. 2543. ผลงานวิจัยการกำจัดน้ำกากสำโรงจากโรงงานสุรา. วิศวกรรมสาร ปีที่ 38 เล่มที่ 1: 88-91.
- สุปริญญา สุขผลพลา. 2546. ปัจจัยที่มีผลต่อการสร้างสปอร์และการผลิตพอลิ-3-ไฮดรอกซีบิวทีเรต โดยเชื้อ *Bacillus* sp. BA-019. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาจุลชีววิทยา บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- อร รุ่งเรืองวัฒน์. 2542. ผลของการเติมออร์โทฟอสเฟตที่ขึ้นตอนแอโรบิกต่อการกำจัดฟอสฟอรัสทางชีวภาพโดยกระบวนการเอสปีอาร์แบบแอนแอโรบิก-แอโรบิก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- อรรถกร ปาละสุวรรณ. 2541. การสังเคราะห์พอลิไฮดรอกซีอัลคาโนเอตจากอาหารที่มีกลูโคสและออกตาโนเอตโดย *Pseudomonas oleovorans* ATCC 29347. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีทางชีวภาพ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- อรุณ ชาญชัยเชาว์วิวัฒน์. 2536. ลักษณะและการสร้าง โพลี-เบต้า-ไฮดรอกซีบิวทีเรต โดย *Alcaligenes* sp. A-04. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาจุลชีววิทยา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ภาษาอังกฤษ

- Anderson, A.J., and Dawes, E.A. 1990. Occurrence, metabolism, metabolic role, and industrial uses of bacterial polyhydroxyalkanoate. Microbial. Rev. 54: 450-472.
- APHA, AWWA, and WPCI. 1995. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 19th ed. Maryland: United Book Press.
- Bloembergen, S., Holden, D.A., Hamer, G.K., Bluhm, T.L., and Marchessault, R.H. 1986. Study of composition and crystallinity of bacterial poly (β -hydroxybutyrate-co- β -hydroxyvalerate). Macromolecules. 19: 2865-2871.
- Brdjanovic, D., Salmét, A., Loosdrecht, M.C.M., Hooijmans, C.M., Alaerts, G.L., and Heijnen, J.J. 1998. Impact of excessive aeration on biological phosphate removal from wastewater. Water Research. 32: 200-208.
- Brodisch, K.E.U., and Joyner, S.J. 1983. The Role of Micro-organisms other than Acinetobacter in Biological Phosphate Removal in Activated Sludge Processes. Wat. Sci. Tech. 15: 117-125.
- Buckley, C.A. 1992. Membranetechnology for treatment of dye house effluents. Water Science and Technology. 25: 203-209.
- Byrom, D. 1987. Polymer synthesis by microorganisms : technology and economics. Trends Biotechnol. 5:246-250.
- Chaug, S.H., and Ouyang, C.F. 2000. The biomass fraction of Heterotrophs and phosphate-accumulating organisms in a nitrogen and phosphorus removal system. Water Research. 34: 2283-2290.
- Evans, D.J., and Sikdar, K.S. 1990. Biodegradable plastics. Chemtech. 5: 38-42.
- Finedley, R.H., and White, D.C. 1983. Polymeric beta-polyhydroxyalkanoate from environmental samples and *Bacillus megaterium*. Appl. Environ. Microbial. 45: 71-78.
- Gabriel, B. 1994. Wastewater Microbiology. New York: Wiley-Liss Inc.
- Grady, C.P.L., Daigger G.T., and Lim, H.C. 1999. Biological wastewater treatment. 2nd ed. New York: Marcel Dekker, Inc.
- Holmes, P.A. 1989. Application of PHB-a microbially produced biodegradable thermoplastic. Phys. Technol. 16: 32-36.
- INSTITUTO DEL FRIO. 2002. Recent Advances in Melanoidin Research : Technological, Chemical and Nutritional Implications. [Online]. Available from : <http://www.if.csic.es.Novedades/cost919/summary.htm> [August 28, 2003]

- Jeon, C.O., Lee, D.S., and Park, J.M. 2001. Enhanced biological phosphorus removal in anaerobic-aerobic sequencing batch reactor : characteristics of carbon metabolism. Wat. Envi. Res. 73: 295-300.
- Johwan, A., Tomotaka, D., Satoshi, T., and Hirata, A. 2002. Characterization of denitrifying phosphate-accumulating organisms cultivate under different electron acceptor conditions using polymerase chain reaction-denaturing gradient gel electrophoresis assay. Water Research. 36: 403-412.
- Kato, H., and Tsuchida, H. 1981. Estimation of melanoidin structure by pyrolysis and oxidation. Prog. Fd. Nutr. Sci. p. 147-156.
- Kavanaugh, R.G., and Randall, C.W. 1994. Bacteria Population in a Biological Nutrient Removal Plant. Wat. Sci. Tech. 29: 25-34.
- Lee, S.Y. 1996. Bacterial polyhydroxyalkanoates. Biotech. Bioeng. 49: 1-14.
- Lemoigne, E.H. 1926. Products of dehydration and of polymerization of poly- β -hydroxybutyric acid. Bull. Soc. Chem. Biol. 8: 770-782.
- Liu, W. 1994. Role of Glycogen in Acetate Uptake and Polyhydroxyalkanoates Synthesis in Anaerobic-Aerobic Activated Sludge with a Minimized Polyphosphate Content. J. Ferment. Biotechnol. 77: 535-540.
- Liu, W., Nakamura, K., and Mino, T. 1997. Internal energy-based competition between polyphosphate and glycogen accumulating bacteria in biological phosphorus removal reactor : effect of P/C feeding ratio. Water Research. 30: 1430-1438.
- Madison, L.L., and Huisman, G.W. 1999. Metabolic engineering of poly-3-hydroxyalkanoate from DNA to plastic. Microbial. Mole. Biol. Rev. 63: 21-53.
- Mino, T., Loosdrecht, M.C.M., and Heijnen, J.J. 1998. Microbiology and biochemistry of the enhanced biological phosphorus removal process. Water Research. 32: 3139-3207.
- Montgomery, C.W.L. 1990. Effect of prolonged aeration on phosphorus removal in the anaerobic-aerobic activated sludge process. Master's Thesis, Department of Environmental Engineering, Asian Institute of Technology.
- Ohmomo, S., Daengsubha, W., Yoshikawa, H., Yui, M., Nozaki, K. Nakajima, T., and Nakamura, I. 1988. Screening of anaerobic bacteria with the ability of decolorize molasses melanoidin. Agric. Biol. Chem. 52: 2429-2435.

- Osamu, O. 2001. Technical transfer textbook for the project on the industrial water technology institute phase 2 : Water and wastewater treatment process. Bangkok: Japan International Cooperation Agency.
- Randall, A.A., Enefield, L.D., and William, H.E. 1997. Introduction of phosphorus removal in an enhanced biological phosphorus removal bacterial population. Water Research. 31: 2869-2877.
- Randall, C.W., Barnard, J.L., and Stensel, H.D. 1992. Design and Retrofit of Wastewater Treatment Plants for Biological Nutrient Removal. Pennsylvania: Technomic Publishing.
- Rautenbach, R., and Albrecht, R. 1989. Membrane Process. Chister UK: John Winley and Sons.
- Rearick, W.A., Farias, L.T., and Goettsch, H.B.G. 1995. Water and salt reuse in the dyehouse. Cotton Incorporated.
- Reddy, C.S.K., Ghai, R., Rashmi, and Kalia, V.C. 2003. Polyhydroxyalkanoate: an overview. Bioresource Technol. 87: 137-146.
- Ripley, L.E., Boyle, J.C., and Converse, J.C. 1986. Improved Alkalimetric Monitoring for Anaerobic Digestion of High-strength Wastes. JWPCE. 58: 406-411.
- Satoh, H., Mino, T., and Matsuo, T. 1998. Uptake of Organic Substrates and Accumulation of Polyhydroxyalkanoates Linked with Intracellular Carbohydrates under Anaerobic Condition in The Biological Excess Phosphate Removal Process. Wat. Sci. Tech. 26: 933-942.
- Seeley, H.W. 1972. Microbes in action. 2nd ed. San Francisco: W.H. Freeman and Company.
- Shah, T. J. 1997. Color removal form textile effluents using a two stage activation process. Master's Thesis, Environmental Engineering Department, Asian Institute of Technology.
- Sirianuntapiboon, S., Somchai, P., Attasampunna, P., and Ohmomo, S. 1988. Microbial decolorization of molasses wastewater by *Mycillia Sterilia* D90. Agric. Biol. Chem. 52: 2041-2045.
- Stante, L., Cellamare, C.M., Malaspina, F., and Bortone, G. 1997. Biological phosphorus removal by pure culture of *Lampropedia* spp. Water Research. 31: 1371-1324.
- University of Leeds. 2002. The effect of amino acids on the browning of wort. [Online]. Available from : <http://www.food.leeds.ac.uk/staff/blw/fmc/examples/browning.htm>
[August 28, 2003]

- Vigneswaran, S., Vigeneswaran, B., and Ben, A.R. 1991. Application of Microfiltration for water and wastewater treatment. Environmental Sanitation Review. 31: 14-19.
- Wallen, L.L., and Rodwedder, W.K. 1974. Polyhydroxyalkanoate from activated sludge. Environ. Sci. Technol. 43: 1473-1480.
- Watanabe, Y., Sugi, R., Tanaka, T., and Hayashida, S. 1982. Enzymatic decolorization of melanodin by *Coriolus* sp. NO 20. Agric. Biol. Chem. 46: 1623-1630.
- WEF and ASCE. 1992. Integrated biological process for nutrient control, Design of municipal wastewater treatment plants volume II. USA: Book Press.
- Wentzel, M.C., Dold, P.L., Ekama, G., and Marais, G.R. 1985. Kinetics of Biological Phosphorus Release. Wat. Sci. Tech. 17: 57-71.



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

ผลการทดลอง

1. ผลการทดลองของชุดการทดลองที่ 1
2. ผลการทดลองของชุดการทดลองที่ 2
3. ผลการทดลองของชุดการทดลองที่ 3



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1. ผลการทดลองของชุดการทดลองที่ 1

ตารางที่ ก.1 ชุดการทดลองที่ 1

ปริมาณ PHA จากเชื้อจุลินทรีย์ในถังปฏิกรณ์

ระยะเวลา (วัน)	อายุตะกอน 50 วัน	อายุตะกอน 100 วัน
95	0.32	0.40
98	0.33	0.37
102	0.30	0.39
105	0.26	0.32
109	0.28	0.39
112	0.25	0.48
116	0.27	0.47
119	0.26	0.44
123	0.29	0.46
จำนวน	9	9
ค่าเฉลี่ย	0.28	0.41
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.0279	0.0529
ค่าสูงสุด	0.33	0.48
ค่าต่ำสุด	0.25	0.32

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก.2 ชุดการทดลองที่ 1
ปริมาณเซลล์จุลินทรีย์ในถังปฏิกรณ์

ระยะเวลา (วัน)	อายุตะกอน 50 วัน ($\times 10^{10}$ เซลล์)			อายุตะกอน 100 วัน ($\times 10^{10}$ เซลล์)		
	เซลล์ ทั้งหมด	เซลล์ที่สะสม PHA	เซลล์ที่สะสม โพลีฟอสเฟต	เซลล์ ทั้งหมด	เซลล์ที่สะสม PHA	เซลล์ที่สะสม โพลีฟอสเฟต
95	34.80	33.40	34.10	37.27	31.99	31.29
98	36.91	34.80	33.05	38.67	28.13	29.88
102	32.34	29.53	29.18	33.40	28.83	28.13
105	29.53	30.59	29.88	29.88	27.77	29.53
109	31.64	28.83	28.48	30.59	26.37	26.02
112	30.23	27.07	27.77	35.51	31.29	29.88
116	33.40	28.48	29.88	34.80	27.77	27.42
119	29.88	24.61	24.61	30.94	27.42	25.66
123	35.16	30.23	28.83	35.51	31.99	27.42
จำนวน	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00
ค่าเฉลี่ย	32.66	29.73	29.53	34.06	29.06	28.36
ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน	2.5980	3.0805	2.7960	3.0822	2.1312	1.9095
ค่าสูงสุด	36.91	34.80	34.10	38.67	31.99	31.29
ค่าต่ำสุด	29.53	24.61	24.61	29.88	26.37	25.66

ตารางที่ ก.3 ชุดการทดลองที่ 1 อายุตะกอน 50 วัน
ค่าฟอสฟอรัสทั้งหมด

ระยะเวลา (วัน)	TP (mg/l)			% การกำจัด	ΔP (mg/l)
	น้ำเข้า	Reactor	น้ำออก		
95	7.72	31.09	0.25	96.79	7.47
98	7.97	30.60	0.25	96.89	7.72
102	7.97	29.11	0.60	92.47	7.37
105	7.47	28.61	0.70	90.58	6.77
109	7.72	28.86	0.72	90.65	7.00
112	7.72	27.00	1.72	77.70	6.00
116	7.47	28.61	0.44	94.06	7.03
119	7.97	28.61	1.20	84.94	6.77
123	7.72	30.10	0.55	92.85	7.17
จำนวน	9	9	9	9	9
ค่าเฉลี่ย	7.75	29.18	0.72	90.77	7.03
ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน	0.1940	1.2420	0.4742	6.0882	0.5010
ค่าสูงสุด	7.97	31.09	1.72	96.89	7.72
ค่าต่ำสุด	7.47	27.00	0.25	77.70	6.00

ตารางที่ ก.4 ชุดการทดลองที่ 1 อายุตะกอน 100 วัน
ค่าฟอสฟอรัสทั้งหมด

ระยะเวลา (วัน)	TP (mg/l)			% การกำจัด	ΔP (mg/l)
	น้ำเข้า	Reactor	น้ำออก		
95	7.72	32.08	0.25	96.74	7.47
98	7.97	31.59	0.27	96.61	7.70
102	7.97	32.58	0.50	93.72	7.47
105	7.47	29.35	0.10	98.61	7.37
109	7.72	30.10	0.25	96.74	7.47
112	7.72	33.57	0.00	99.97	7.72
116	7.47	31.84	0.00	99.95	7.47
119	7.97	30.84	0.74	90.71	7.23
123	7.72	32.33	0.00	99.97	7.72
จำนวน	9	9	9	9	9
ค่าเฉลี่ย	7.75	31.59	0.24	97.00	7.51
ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน	0.1940	1.3013	0.2516	3.1526	0.1690
ค่าสูงสุด	7.97	33.57	0.74	99.97	7.72
ค่าต่ำสุด	7.47	29.35	0.00	90.71	7.23

ตารางที่ ก.5 ชุดการทดลองที่ 1 อายุตะกอน 50 วัน
ค่ากรดไขมันระเหยง่าย

ระยะเวลา (วัน)	VFA (mg/l)			% การกำจัด	Δ VFA (mg/l)
	น้ำเข้า	Reactor	น้ำออก		
95	45.60	1.30	4.80	89.47	40.80
98	43.20	3.80	0.10	99.77	43.10
102	41.60	1.80	1.60	96.15	40.00
105	39.20	0.60	1.60	95.92	37.60
109	45.60	5.40	6.00	86.84	39.60
112	46.00	4.90	9.00	80.43	37.00
116	45.60	6.10	6.40	85.96	39.20
119	48.70	4.20	8.10	83.37	40.60
123	49.60	7.00	6.60	86.69	43.00
จำนวน	9	9	9	9	9.00
ค่าเฉลี่ย	45.01	3.90	4.91	89.40	40.10
ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน	3.2667	2.2322	3.1271	6.5005	2.0940
ค่าสูงสุด	49.60	7.00	9.00	99.77	43.10
ค่าต่ำสุด	39.20	0.60	0.10	80.43	37.00

ตารางที่ ก.6 ชุดการทดลองที่ 1 อายุตะกอน 100 วัน
ค่ากรดไขมันระเหยง่าย

ระยะเวลา (วัน)	VFA (mg/l)			% การกำจัด	Δ VFA (mg/l)
	น้ำเข้า	Reactor	น้ำออก		
95	45.60	2.10	2.60	94.30	43.00
98	43.20	1.80	2.09	95.16	41.11
102	41.60	1.71	0.19	99.54	41.41
105	39.20	0.55	1.00	97.45	38.20
109	45.60	3.20	2.29	94.98	43.31
112	46.00	4.73	1.09	97.63	44.91
116	45.60	5.90	1.99	95.64	43.61
119	48.70	3.60	3.60	92.61	45.10
123	49.60	5.80	4.21	91.51	45.39
จำนวน	9	9	9	9	9.00
ค่าเฉลี่ย	45.01	3.27	2.12	95.42	42.89
ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน	3.2667	1.9015	1.2686	2.5187	2.3258
ค่าสูงสุด	49.60	5.90	4.21	99.54	45.39
ค่าต่ำสุด	39.20	0.55	0.19	91.51	38.20

ตารางที่ ก.7 ชุดการทดลองที่ 1 อายุตะกอน 50 วัน
ค่า COD

ระยะเวลา (วัน)	COD (mg/l)			% การกำจัด	Δ COD (mg/l)
	น้ำเข้า	Reactor	น้ำออก		
95	1102	520	101	91.38	1001.00
98	1055	510	45	90.71	1010.00
102	996	492	50	89.76	946.00
105	1108	550	103	90.52	1005.00
109	985	460	52	88.93	933.00
112	1080	498	41	89.63	1039.00
116	1058	528	68	89.04	990.00
119	1196	511	165	90.05	1031.00
123	1008	506	20	87.80	988.00
จำนวน	9	9	9	9	9
ค่าเฉลี่ย	1065.33	508.33	71.67	89.76	993.67
ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน	66.2967	24.9600	44.3621	1.0763	35.1710
ค่าสูงสุด	1196.00	550.00	165.00	91.38	1039.00
ค่าต่ำสุด	985.00	460.00	20.00	87.80	933.00

ตารางที่ ก.8 ชุดการทดลองที่ 1 อายุตะกอน 100 วัน
ค่า COD

ระยะเวลา (วัน)	COD (mg/l)			% การกำจัด	Δ COD (mg/l)
	น้ำเข้า	Reactor	น้ำออก		
95	1102	450	68	93.83	1034
98	1055	425	66	93.74	989
102	996	390	47	95.28	949
105	1108	401	106	90.43	1002
109	985	405	50	94.92	935
112	1080	382	52	95.19	1028
116	1058	411	60	94.33	998
119	1196	437	93	92.22	1103
123	1008	450	9	99.11	999
จำนวน	9	9	9	9	9
ค่าเฉลี่ย	1065.33	416.78	61.22	94.34	1004.11
ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน	66.2967	25.0788	27.8961	2.3723	49.1845
ค่าสูงสุด	1196.00	550.00	73.00	94.78	1103.00
ค่าต่ำสุด	985.00	382.00	9.00	90.43	935.00

2. ผลการทดลองของชุดการทดลองที่ 2

ตารางที่ ก.9 ชุดการทดลองที่ 2

ปริมาณ PHA จากเชื้อจุลินทรีย์ในถังปฏิกรณ์

ระยะเวลา (วัน)	เติมอากาศ 60 นาที	เติมอากาศ 90 นาที
88	0.48	0.44
91	0.44	0.42
95	0.40	0.40
98	0.41	0.42
102	0.43	0.41
105	0.57	0.49
109	0.52	0.41
112	0.56	0.49
จำนวน	8	8
ค่าเฉลี่ย	0.48	0.44
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.0670	0.0359
ค่าสูงสุด	0.57	0.49
ค่าต่ำสุด	0.40	0.40

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก.10 ชุดการทดลองที่ 2
ปริมาณเซลล์จุลินทรีย์ในถังปฏิกรณ์

ระยะเวลา (วัน)	เติมอากาศ 60 นาที ($\times 10^{10}$ เซลล์)			เติมอากาศ 90 นาที ($\times 10^{10}$ เซลล์)		
	เซลล์ทั้งหมด	เซลล์ที่สะสม PHA	เซลล์ที่สะสม โพลีฟอสเฟต	เซลล์ทั้งหมด	เซลล์ที่สะสม PHA	เซลล์ที่สะสม โพลีฟอสเฟต
88	36.21	34.80	27.42	25.66	23.91	24.96
91	33.40	30.23	28.83	29.88	27.42	28.83
95	32.34	27.77	28.83	31.99	29.53	27.77
98	35.51	28.83	33.40	32.34	30.94	29.53
102	29.53	29.18	29.18	34.80	26.72	27.42
105	29.53	28.83	29.18	35.86	29.88	28.13
109	28.48	27.77	26.37	31.99	29.18	25.31
112	30.59	29.88	27.07	35.51	30.23	29.53
จำนวน	8	8	8	8	8	8
ค่าเฉลี่ย	31.95	29.66	28.78	32.26	28.48	27.69
ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน	2.8956	2.2545	2.1462	3.3655	2.3244	1.7503
ค่าสูงสุด	36.21	34.80	33.40	35.86	30.94	29.53
ค่าต่ำสุด	28.48	27.77	26.37	25.66	23.91	24.96

ตารางที่ ก.11 ชุดการทดลองที่ 2 ระยะเวลาการเติมอากาศ 60 นาที
ค่าฟอสฟอรัสทั้งหมด

ระยะเวลา (วัน)	TP (mg/l)			% การกำจัด	ΔP (mg/l)
	น้ำเข้า	Reactor	น้ำออก		
88	7.97	32.33	0.50	93.77	7.47
91	7.72	32.33	0.13	98.29	7.59
95	7.97	31.84	0.50	93.72	7.47
98	7.47	32.08	0.25	96.68	7.23
102	7.72	32.08	0.49	93.63	7.23
105	7.72	33.08	0.00	99.97	7.72
109	7.97	31.59	0.00	100.00	7.97
112	7.97	32.58	0.00	100.00	7.97
จำนวน	8	8	8	8	8
ค่าเฉลี่ย	7.82	32.24	0.23	97.01	7.58
ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน	0.1846	0.4583	0.2330	2.9545	0.2916
ค่าสูงสุด	7.97	33.08	0.50	100.00	7.97
ค่าต่ำสุด	7.47	31.59	0.00	93.63	7.23

ตารางที่ ก.12 ชุดการทดลองที่ 2 ระยะเวลาการเติมอากาศ 90 นาที
ค่าฟอสฟอรัสทั้งหมด

ระยะเวลา (วัน)	TP (mg/l)			% การกำจัด	ΔP (mg/l)
	น้ำเข้า	Reactor	น้ำออก		
88	7.97	32.08	0.25	96.89	7.72
91	7.72	28.61	0.12	98.42	7.60
95	7.97	31.09	0.55	93.10	7.42
98	7.47	31.59	0.25	96.68	7.23
102	7.72	30.84	0.17	97.77	7.55
105	7.72	32.08	0.00	99.97	7.72
109	7.97	31.59	0.65	91.84	7.32
112	7.97	32.33	0.10	98.74	7.87
จำนวน	8	8	8	8	8
ค่าเฉลี่ย	7.82	31.28	0.26	96.68	7.55
ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน	0.1846	1.1919	0.2254	2.8184	0.2198
ค่าสูงสุด	7.97	32.33	0.65	99.97	7.87
ค่าต่ำสุด	7.47	28.61	0.00	91.84	7.23

ตารางที่ ก.13 ชุดการทดลองที่ 2 ระยะเวลาการเติมอากาศ 60 นาที
ค่ากรดไขมันระเหยง่าย

ระยะเวลา (วัน)	VFA (mg/l)			% การกำจัด	Δ VFA (mg/l)
	น้ำเข้า	Reactor	น้ำออก		
88	44.80	3.00	2.60	94.20	42.20
91	40.40	5.00	2.20	94.55	38.20
95	39.20	4.60	4.39	88.80	34.81
98	43.60	3.91	2.60	94.04	41.00
102	46.00	4.40	4.50	90.22	41.50
105	46.00	3.20	3.40	92.61	42.60
109	42.80	3.20	1.60	96.26	41.20
112	42.80	4.51	2.20	94.86	40.60
จำนวน	8	8	8	8	8.00
ค่าเฉลี่ย	43.20	3.98	2.94	93.19	40.26
ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน	2.4658	0.7620	1.0603	2.5143	2.5710
ค่าสูงสุด	46.00	5.00	4.50	96.26	42.60
ค่าต่ำสุด	39.20	3.00	1.60	88.80	34.81

ตารางที่ ก.14 ชุดการทดลองที่ 2 ระยะเวลาการเติมอากาศ 90 นาที
ค่ากรดไขมันระเหยง่าย

ระยะเวลา (วัน)	VFA (mg/l)			% การกำจัด	Δ VFA (mg/l)
	น้ำเข้า	Reactor	น้ำออก		
88	44.80	3.40	3.10	93.08	41.70
91	40.40	4.52	2.00	95.05	38.40
95	39.20	5.10	1.10	97.19	38.10
98	43.60	3.00	5.20	88.07	38.40
102	46.00	5.50	5.10	88.91	40.90
105	46.00	3.61	3.90	91.52	42.10
109	42.80	3.41	3.30	92.29	39.50
112	42.80	3.57	2.50	94.16	40.30
จำนวน	8	8	8	8	8.00
ค่าเฉลี่ย	43.20	4.01	3.28	92.54	39.93
ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน	2.4658	0.9082	1.4350	3.0490	1.5646
ค่าสูงสุด	46.00	5.50	5.20	97.19	42.10
ค่าต่ำสุด	39.20	3.00	1.10	88.07	38.10

ตารางที่ ก.15 ชุดการทดลองที่ 2 ระยะเวลาการเติมอากาศ 60 นาที
ค่า COD

ระยะเวลา (วัน)	COD (mg/l)			% การกำจัด	Δ COD (mg/l)
	น้ำเข้า	Reactor	น้ำออก		
88	1204	480	63	94.77	1141
91	1153	360	89	92.28	1064
95	1005	397	63	93.73	942
98	997	365	55	94.48	942
102	958	384	48	94.99	910
105	1045	378	45	95.69	1000
109	1068	402	43	95.97	1025
112	990	411	37	96.26	953
จำนวน	8	8	8	8	8
ค่าเฉลี่ย	1052.50	397.13	55.38	94.77	997.13
ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน	85.7921	37.8585	16.4745	1.3057	77.0648
ค่าสูงสุด	1204.00	480.00	89.00	96.26	1141.00
ค่าต่ำสุด	958.00	360.00	37.00	92.28	910.00

ตารางที่ ก.16 ชุดการทดลองที่ 2 ระยะเวลาการเติมอากาศ 90 นาที
ค่า COD

ระยะเวลา (วัน)	COD (mg/l)			% การกำจัด	Δ COD (mg/l)
	น้ำเข้า	Reactor	น้ำออก		
88	1204	529	59	95.10	1145
91	1153	496	61	94.71	1092
95	1005	482	57	94.33	948
98	997	469	71	95.89	926
102	958	491	43	95.51	915
105	1045	511	49	95.31	996
109	1068	507	63	94.10	1005
112	990	502	58	94.14	932
จำนวน	8	8	8	8	8
ค่าเฉลี่ย	1052.50	498.38	57.63	94.89	994.88
ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน	85.79	18.42	8.53	0.67	83.96
ค่าสูงสุด	1204.00	529.00	71.00	95.89	1145.00
ค่าต่ำสุด	958.00	469.00	43.00	94.10	915.00

3. ผลการทดลองของชุดการทดลองที่ 3

ตารางที่ ก.17 ชุดการทดลองที่ 3

ปริมาณ PHA จากเชื้อจุลินทรีย์ในถังปฏิกรณ์

ระยะเวลา (วัน)	COD 1000 mg/l	COD 1500 mg/l
88	0.48	0.96
91	0.44	1.32
95	0.40	0.96
98	0.41	1.03
102	0.43	1.04
105	0.57	1.22
109	0.55	1.16
112	0.56	1.15
116	0.57	1.17
จำนวน	9	9
ค่าเฉลี่ย	0.49	1.11
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.0725	0.1226
ค่าสูงสุด	0.57	1.32
ค่าต่ำสุด	0.40	0.96

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก.18 ชุดการทดลองที่ 3
ปริมาณเซลล์จุลินทรีย์ในถังปฏิกรณ์

ระยะเวลา (วัน)	COD 1000 mg/l (x 10 ¹⁰ เซลล์)			COD 1500 mg/l (x 10 ¹⁰ เซลล์)		
	เซลล์ทั้งหมด	เซลล์ที่สะสม PHA	เซลล์ที่สะสม โพลีฟอสเฟต	เซลล์ทั้งหมด	เซลล์ที่สะสม PHA	เซลล์ที่สะสม โพลีฟอสเฟต
88	36.21	34.80	27.42	40.43	34.80	29.16
91	33.40	30.23	28.83	37.27	35.16	29.21
95	32.34	27.77	28.83	42.19	36.91	29.80
98	35.51	32.34	29.88	39.02	30.59	29.94
102	29.53	29.18	29.18	37.97	28.83	31.64
105	29.53	26.37	28.13	34.45	31.64	32.70
109	28.48	26.37	27.42	37.27	29.88	31.99
112	30.59	28.83	27.07	35.86	29.53	31.99
116	31.64	30.94	28.13	38.32	31.99	33.40
จำนวน	9	9	9	9	9	9
ค่าเฉลี่ย	31.91	29.65	28.32	38.09	32.15	31.09
ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน	2.7106	2.7793	0.9320	2.3120	2.8404	1.5844
ค่าสูงสุด	36.21	34.80	29.88	42.19	36.91	33.40
ค่าต่ำสุด	28.48	26.37	27.07	34.45	28.83	29.16

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก.19 ชุดการทดลองที่ 3 ค่าความเข้มข้นน้ำเสีย COD 1,000 mg/l
ค่าฟอสฟอรัสทั้งหมด

ระยะเวลา (วัน)	TP (mg/l)			% การกำจัด	ΔP (mg/l)
	น้ำเข้า	Reactor	น้ำออก		
88	7.97	32.33	0.50	93.77	7.47
91	7.72	32.33	0.13	98.29	7.59
95	7.97	31.84	0.50	93.72	7.47
98	7.47	32.08	0.25	96.68	7.23
102	7.72	32.08	0.49	93.63	7.23
105	7.72	33.08	0.00	99.97	7.72
109	7.97	31.59	0.00	100.00	7.97
112	7.97	32.58	0.00	100.00	7.97
116	7.72	32.33	0.00	100.00	7.72
จำนวน	9	9	9	9	9
ค่าเฉลี่ย	7.80	32.25	0.21	97.34	7.60
ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน	0.1756	0.4297	0.2315	2.9381	0.2767
ค่าสูงสุด	7.97	33.08	0.50	100.00	7.97
ค่าต่ำสุด	7.47	31.59	0.00	93.63	7.23

ตารางที่ ก.20 ชุดการทดลองที่ 3 ค่าความเข้มข้นน้ำเสีย COD 1,500 mg/l
ค่าฟอสฟอรัสทั้งหมด

ระยะเวลา (วัน)	TP (mg/l)			% การกำจัด	ΔP (mg/l)
	น้ำเข้า	Reactor	น้ำออก		
88	11.95	49.49	0.50	95.85	11.45
91	11.95	52.47	0.25	97.92	11.70
95	12.20	52.72	0.85	93.06	11.35
98	11.70	51.97	0.25	97.88	11.45
102	11.45	48.75	0.25	97.83	11.20
105	11.70	49.49	0.00	100.00	11.70
109	11.95	49.99	0.50	95.85	11.45
112	12.20	49.21	0.50	95.93	11.70
116	11.95	50.48	0.25	97.92	11.70
จำนวน	9	9	9	9	9
ค่าเฉลี่ย	11.89	50.51	0.37	96.92	11.52
ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน	0.2411	1.4998	0.2426	1.9820	0.1845
ค่าสูงสุด	12.20	52.72	0.85	100.00	11.70
ค่าต่ำสุด	11.45	48.75	0.00	93.06	11.20

ตารางที่ ก.21 ชุดการทดลองที่ 3 ค่าความเข้มข้นน้ำเสีย COD 1,000 mg/l
ค่ากรดไขมันระเหยง่าย

ระยะเวลา (วัน)	VFA (mg/l)			% การกำจัด	Δ VFA (mg/l)
	น้ำเข้า	Reactor	น้ำออก		
88	44.80	3.00	2.60	94.20	42.20
91	40.40	5.00	2.20	94.55	38.20
95	39.20	4.60	4.39	88.80	34.81
98	43.60	3.91	2.60	94.04	41.00
102	46.00	4.40	4.50	90.22	41.50
105	46.00	3.20	3.40	92.61	42.60
109	42.80	3.20	1.60	96.26	41.20
112	42.80	4.51	2.20	94.86	40.60
116	43.60	5.40	1.50	96.56	42.10
จำนวน	9	9	9	9	9.00
ค่าเฉลี่ย	43.24	4.14	2.78	93.57	40.47
ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน	2.3104	0.8561	1.1013	2.6061	2.4816
ค่าสูงสุด	46.00	5.40	4.50	96.56	42.60
ค่าต่ำสุด	39.20	3.00	1.50	88.80	34.81

ตารางที่ ก.22 ชุดการทดลองที่ 3 ค่าความเข้มข้นน้ำเสีย COD 1,500 mg/l
ค่ากรดไขมันระเหยง่าย

ระยะเวลา (วัน)	VFA (mg/l)			% การกำจัด	Δ VFA (mg/l)
	น้ำเข้า	Reactor	น้ำออก		
88	94.10	16.40	16.50	82.47	77.60
91	92.00	10.60	12.00	86.96	80.00
95	85.00	19.44	10.20	88.00	74.80
98	89.20	16.20	16.00	82.06	73.20
102	95.00	13.11	16.40	82.74	78.60
105	86.00	14.60	5.90	93.14	80.10
109	95.60	11.40	10.00	89.54	85.60
112	88.70	16.20	8.90	89.97	79.80
116	89.00	11.10	6.00	93.26	83.00
จำนวน	9	9	9	9	9.00
ค่าเฉลี่ย	90.51	14.34	11.32	87.57	79.19
ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน	3.8592	2.9975	4.2062	4.3776	3.7995
ค่าสูงสุด	95.60	19.44	16.50	93.26	85.60
ค่าต่ำสุด	85.00	10.60	5.90	82.06	73.20

ตารางที่ ก.23 ชุดการทดลองที่ 3 ค่าความเข้มข้นน้ำเสีย COD 1,000 mg/l
ค่า COD

ระยะเวลา (วัน)	COD (mg/l)			% การกำจัด	Δ COD (mg/l)
	น้ำเข้า	Reactor	น้ำออก		
88	1204	480	63	94.77	1141
91	1153	360	89	92.28	1064
95	1005	397	63	93.73	942
98	997	365	55	94.48	942
102	958	384	48	94.99	910
105	1045	378	45	95.69	1000
109	1068	402	43	95.97	1025
112	990	411	37	96.26	953
116	1027	429	47	95.42	980
จำนวน	9	9	9	9	9
ค่าเฉลี่ย	1049.67	400.67	54.44	94.85	995.22
ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน	80.7001	36.9730	15.6613	1.2405	72.3132
ค่าสูงสุด	1204.00	480.00	89.00	96.26	1141.00
ค่าต่ำสุด	958.00	360.00	37.00	92.28	910.00

ตารางที่ ก.24 ชุดการทดลองที่ 3 ค่าความเข้มข้นน้ำเสีย COD 1,500 mg/l
ค่า COD

ระยะเวลา (วัน)	COD (mg/l)			% การกำจัด	Δ COD (mg/l)
	น้ำเข้า	Reactor	น้ำออก		
88	1602	801	126	92.13	1476
91	1581	705	95	93.99	1486
95	1576	733	100	93.65	1476
98	1514	762	73	95.18	1441
102	1588	699	99	93.77	1489
105	1562	680	86	94.49	1476
109	1555	722	71	95.43	1484
112	1498	658	68	95.46	1430
116	1541	651	64	95.85	1477
จำนวน	9	9	9	9	9
ค่าเฉลี่ย	1557.44	712.33	86.89	94.44	1470.56
ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน	34.5258	48.5283	20.1274	1.1802	20.6404
ค่าสูงสุด	1602.00	801.00	126.00	95.85	1489.00
ค่าต่ำสุด	1498.00	651.00	64.00	92.13	1430.00

ภาคผนวก ข

ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ

1. การเปรียบเทียบปริมาณ PHA ของชุดการทดลองที่ 1
2. การเปรียบเทียบปริมาณ PHA ของชุดการทดลองที่ 2
3. การเปรียบเทียบปริมาณ PHA ของชุดการทดลองที่ 3



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1. การเปรียบเทียบปริมาณ PHA ของชุดการทดลองที่ 1

ตารางที่ ข.1 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติแบบ Independent Sample T-Test ของชุดการทดลองที่ 1 เปรียบเทียบปริมาณ PHA ระหว่างอายุตะกอน 50 และ 100 วัน

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
PHA	Equal variances assumed	4.672	.046	-6.464	16	.000	-.1289	.01994	-.17116	-.08662
	Equal variances not assumed			-6.464	12.126	.000	-.1289	.01994	-.17228	-.08550

2. การเปรียบเทียบปริมาณ PHA ของชุดการทดลองที่ 2

ตารางที่ ข.2 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติแบบ Independent Sample T-Test ของชุดการทดลองที่ 2 เปรียบเทียบปริมาณ PHA ระหว่างรอบระยะเวลาการเติมอากาศ 60 และ 90 นาที

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
PHA	Equal variances assumed	5.004	.042	1.536	14	.147	.0412	.02686	-.01635	.09885
	Equal variances not assumed			1.536	10.709	.154	.0412	.02686	-.01805	.10055

3. การเปรียบเทียบปริมาณ PHA ของชุดการทดลองที่ 3

ตารางที่ ข.3 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติแบบ Independent Sample T-Test ของชุดการทดลองที่ 3 เปรียบเทียบปริมาณ PHA ระหว่างความเข้มข้นของน้ำเสีย 1,000 และ 1,500 mg/l

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
PHA	Equal variances assumed	3.252	.090	-13.111	16	.000	-.6222	.04746	-.72283	-.52162
	Equal variances not assumed			-13.111	12.984	.000	-.6222	.04746	-.72476	-.51968

ภาคผนวก ค

วิธีวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ

1. การวิเคราะห์กรดไขมันระเหยง่าย
2. การหาปริมาณ PHA
3. การหาโครงสร้างโมเลกุล PHA โดยวิธี NMR (Nuclear Magnetic Resonance) Spectrometry
4. การหาปริมาณกลูโคส
5. การหาจำนวนเซลล์



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1. การวิเคราะห์กรดไขมันระเหยง่าย

การวิเคราะห์กรดไขมันระเหยง่าย ตามวิธีของ Ripley และคณะ (1986) เป็นวิธี Direct Titration ที่ช่วง pH 5.75-4.3 มีวิธีการวิเคราะห์ดังนี้

- 1.) หมุนเหยียงตัวอย่างน้ำเพื่อกำจัดของแข็งออกก่อน
- 2.) นำตัวอย่างน้ำ 50 ml ใส่ในบีกเกอร์ แล้วไทเทรตด้วยสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟิวริก จาก pH เริ่มต้น ไปจนถึง pH 5.75 จดบันทึกปริมาตรกรดที่ใช้
- 3.) ไทเทรตต่อจนได้ pH 4.3 จดบันทึกปริมาตรกรดที่ใช้
- 4.) คำนวณโดยใช้สูตร

$$\text{สภาพด่างกรดไขมันระเหยง่าย (mg/l)} = \frac{\text{มิลลิลิตร } H_2SO_4 \times N \times 60000}{\text{มิลลิลิตรตัวอย่างน้ำ}}$$

เมื่อ N = นอร์มัลลิตีของ H_2SO_4

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2. การหาปริมาณ PHA

การหาปริมาณ PHA ในเซลล์ อ้างอิงตามวิธีของ Liu (1994) ทำได้โดยการสกัด PHA โดยการใช้คลอโรฟอร์มเป็นตัวทำละลาย จากนั้นจึงนำตัวอย่างที่ได้ไปหาปริมาณ PHA โดยการใช้เครื่องก๊าซโครมาโตกราฟี (Gas Chromatography : GC) ซึ่งในการหาปริมาณ PHA ต้องมีการทำกราฟมาตรฐานมาก่อน

ทั้งนี้ การเตรียมตัวอย่างเพื่อหาปริมาณ PHA ในเซลล์ มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1.) นำกากตะกอนไปหมุนเหวี่ยง โดยใช้ความเร็วรอบ 10,000 รอบต่อนาที เป็นเวลาอย่างน้อย 10 นาที เพื่อแยกส่วนที่เป็นเซลล์ออกจากน้ำ จากนั้นนำเซลล์ไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ซึ่งการหาปริมาณ PHA ต้องใช้เซลล์ที่ผ่านการอบแห้งแล้วประมาณ 50 mg

2.) ชั่งน้ำหนักของเซลล์ที่อบแห้งแล้วในขวดทนความดันสูง ให้ได้น้ำหนักประมาณ 50 มิลลิกรัม จดน้ำหนักของเซลล์แห้งที่ใช้ในการทดลองไว้

3.) เติมกรดซัลฟิวริก 15% ในเมทานอล (v/v) ปริมาตร 2 ml

4.) เติม internal standard ปริมาตร 0.1 ml ในที่นี้ใช้สารละลายโซเดียมเบนโซเอท (เตรียมโดยใช้โซเดียมเบนโซเอท 1.695 g ในเมทานอล 100 ml)

5.) เติมคลอโรฟอร์มปริมาตร 2 ml แล้วปิดฝาให้แน่น

6.) นำไปอบที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 3.5 ชั่วโมง แล้วปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

7.) เติมน้ำกลั่น 2 ml ลงในขวด จากนั้นปิดขวดให้แน่น นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าเป็นเวลา 10 นาที เพื่อให้เกิดการแยกชั้น โดยชั้นของสารละลายคลอโรฟอร์มจะแยกตัวจากชั้นของน้ำที่ผสมกับเมทานอลและกรด ซึ่งชั้นของคลอโรฟอร์มจะอยู่ด้านล่างสุด คว้าชั้นคลอโรฟอร์มใส่ในขวดเก็บตัวอย่างและปิดฝาให้แน่น ก่อนนำไปทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC ต่อไป (สามารถเก็บไว้ได้ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 3 สัปดาห์)

8.) ใช้ส่วนที่เป็นคลอโรฟอร์ม 1 μ l ฉีดเข้าเครื่อง GC (ถ้าเก็บตัวอย่างไว้ในตู้เย็น ต้องปล่อยให้สารกลับมามีอุณหภูมิห้องก่อนนำมาวิเคราะห์) โดยใช้สภาวะดังนี้

Column : EGSSX

Column temp. : 140 °C

Injection temp. : 220 °C

Detector temp. : 220 °C

N₂ flow rate : 40 ml/min

9.) นำผลที่ได้ไปเทียบกับกราฟมาตรฐาน

3. การหาโครงสร้างโมเลกุล PHA โดยวิธี NMR (Nuclear Magnetic Resonance) Spectroscopy

ในการหาโครงสร้างโมเลกุล PHA โดยวิธี NMR จะต้องทำการสกัดแยก PHA ออกจากกากตะกอนก่อน แล้วจึงนำฟิล์ม PHA ที่บริสุทธิ์มาวัดด้วยเครื่อง NMR Spectrometry ต่อไป โดยมีขั้นตอนดังนี้

- 1.) นำกากตะกอนมาหมุนเหวี่ยงด้วยความเร็วรอบ 8000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที จากนั้นนำมาปั่นในสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ (คลอโรคซ์) เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วนำมาปั่นที่ความเร็วรอบ 8000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาทีอีกครั้ง เพื่อเก็บตะกอน
- 2.) เก็บเอาส่วนที่เป็นตะกอนมาล้างด้วยอะซิโตนและเอทานอล ตามลำดับ
- 3.) สกัดแยก PHA จากกากตะกอนที่ได้ด้วยคลอโรฟอร์มร้อน โดยวางในน้ำเดือดเป็นเวลา 30 วินาที
- 4.) กรองส่วนใสที่ได้ผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1 จากนั้นนำส่วนใสไประเหยออกที่อุณหภูมิ 80°C
- 5.) นำตัวอย่างจากข้อ 4 มาตกตะกอนด้วยไดเอทิลอีเทอร์ แล้วแยกตะกอนออกด้วยการนำมาปั่นที่ความเร็วรอบ 3000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 นาที
- 6.) นำส่วนของตะกอนมาละลายด้วยคลอโรฟอร์มอีกครั้ง จากนั้นนำมาตกตะกอนซ้ำ 2 ครั้งด้วยไดเอทิลอีเทอร์ แล้วนำไปละลายในคลอโรฟอร์มร้อน 80°C เพื่อทำเป็นฟิล์ม PHA เก็บไว้วิเคราะห์ด้วยเครื่อง NMR Spectrometry ต่อไป
- 7.) นำฟิล์ม PHA ที่ได้มาวัด $^1\text{H-NMR}$ ที่ความถี่ 500 MHz และ $^{13}\text{C-NMR}$ ที่ความถี่ 125 MHz โดยใช้ CDCl_3 (deuterated chloroform) เป็นตัวทำละลายและ TMS (tetramethylsilane) เป็นสารมาตรฐานภายใน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4. การหาปริมาณกลูโคส

การหาปริมาณกลูโคส ใช้วิธี Enzyme colorimetric method โดยมีรายละเอียดดังนี้

สารเคมี

- 1.) Glucose Enzyme Powder : เก็บที่อุณหภูมิ 2-8 °C
- 2.) Glucose Enzyme Diluent : เก็บที่อุณหภูมิ 2-8 °C
- 3.) Glucose Standard (200 mg/dl): เก็บที่อุณหภูมิห้อง
- 4.) Working Reagent เตรียมได้โดยการละลาย Glucose Enzyme Mix Powder (1) ด้วย Enzyme Buffered Diluent (2) มีอายุหลังละลาย 45 วัน เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 2-8 °C

วิธีทำ

- 1.) Incubate Working Reagent ให้ได้อุณหภูมิ 37 °C (5-10 นาที)
- 2.) เตรียม Blank, Standard และ Sample ที่จะวิเคราะห์ดังตาราง

	Test	Standard	Blank	หน่วย
Sample	0.01	-	-	ml
Standard	-	0.01	-	ml
D.W.	-	-	0.01	ml
Working Reagent	1.0	1.0	1.0	ml

- 3.) นำไป incubate ที่อุณหภูมิ 37 °C เป็นเวลา 5 นาที
- 4.) นำไปวัดค่า Absorbance ที่ 505 nm โดยใช้ Reagent Blank ปรับค่าศูนย์
- 5.) นำค่า Absorbance ที่ได้ไปเทียบกับกราฟมาตรฐาน

5. การหาจำนวนเซลล์

ในการหาจำนวนเซลล์จะต้องทำให้เซลล์ที่จับตัวกันอยู่ภายในฟลอคหลุดออกมา แล้วจึงนำส่วนของเซลล์มาข้อมสีเพื่อหาจำนวนเซลล์ที่ต้องการต่อไป ซึ่งการนับจำนวนเซลล์ จะใช้ตัวอย่างปริมาตร 0.1 μl มากระจายเชื่อบนแผ่น slide ในพื้นที่ที่กำหนดไว้ จากนั้นจึงนำมาข้อมแกรม และส่องกล้องเพื่อบันทึกจำนวนเซลล์ที่ต้องการ

การทำให้เซลล์ภายในฟลอคหลุดออกมา ทำได้โดยการนำกากตะกอนปริมาตร 3 ml มาใส่ในหลอดทดลอง ใส่เม็ดแก้วเล็กๆ ลงไป จากนั้นนำไปปั่นด้วยเครื่อง Vortex ใช้ความเร็วรอบสูงสุดเป็นเวลา 3 นาที

วิธีการข้อมสี ใช้ตามวิธีของ Seeley (1972) โดยการทดลองนี้ใช้กล้องจุลทรรศน์ของ Nikon รุ่น Eclipse E200 ซึ่งมีวิธีการดังนี้

การข้อมสีเพื่อหาจำนวนเซลล์ทั้งหมด

- 1.) กระจายเชื่อบนแผ่น slide จากนั้นปล่อยให้แห้ง
- 2.) นำแผ่น slide ผ่านเปลวไฟ 1-2 ครั้ง (heat fix) เพื่อให้เชื่อดีติด slide
- 3.) หยด Safranin O 1-2 หยด
- 4.) ปิดทับด้วย cover glass
- 5.) นำไปส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์หัวน้ำมัน เซลล์จะติดสีแดง

การข้อมสีเพื่อหาจำนวนเซลล์ที่สะสม PHA

- 1.) กระจายเชื่อบนแผ่น slide จากนั้นปล่อยให้แห้ง
- 2.) นำแผ่น slide ผ่านเปลวไฟ 1-2 ครั้ง (heat fix) เพื่อให้เชื่อดีติด slide
- 3.) หยดสี Sudanblack B ให้ทั่วบริเวณที่กระจายเชื้อ ทิ้งไว้ 10-15 นาที
- 4.) เทสีออกแล้วซับให้แห้ง
- 5.) เอียง slide แล้วค่อยๆ หยด Xyolol ลงไป เพื่อไล่สี Sudanblack B ที่มากเกินไป จากนั้นซับให้แห้ง
- 6.) ข้อมทับด้วย Safranin O 15 วินาที
- 7.) ล้างด้วยน้ำกลั่น ซับให้แห้ง
- 8.) นำไปส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์หัวน้ำมัน เซลล์จะติดสีแดง PHA granule จะติดสีดำ

การย้อมสีเพื่อหาจำนวนเซลล์ที่สะสมโพสเฟต

- 1.) กระจายเชื้อบนแผ่น slide จากนั้นปล่อยให้แห้ง
- 2.) นำแผ่น slide ผ่านเปลวไฟ 1-2 ครั้ง (heat fix) เพื่อให้เชื้อติด slide
- 3.) หยด Acidified Aqueous Methylene Blue ลงบนบริเวณที่กระจายเชื้อ 1 หยด
- 4.) ปิดด้วย cover glass
- 5.) นำไปส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์หัวน้ำมัน องค์ประกอบของเซลล์ที่มีโพสเฟตจะติด

สีฟ้า



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวทุติยาภรณ์ สุดาจิต เกิดเมื่อวันที่ 4 กุมภาพันธ์ 2524 ที่จังหวัดขอนแก่น สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2545 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2546



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย