

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตก๊าซไฮโดรเจนจากน้ำเสียสังเคราะห์



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 107836
วัน,เดือน,ปี 14 พ.ค. 2553

b. 12211291
i.....

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Factors affecting hydrogen production from synthetic wastewater






A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for the Degree of
Bachelor of Science
Department of Chemistry
Faculty of Science
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Academic Year 2006

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง ปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตก๊าซไฮโดรเจนจากน้ำเสียสังเคราะห์
นักศึกษา นางสาวบงกช เสวตไพศาลกุล
นางสาวพรทิพย์ สายสร้อย
นางสาวสุจิตรา คำม่วง
ภาควิชา เคมี
สาขาวิชา เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.อุสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการการตรวจสอบ	ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ ผศ.พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย	
กรรมการ ดร.ชลอ จารุสุทธิรักษ์	
กรรมการ ผศ.ดร.อุสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์	


.....
ผศ.ดร. ประยงค์ ดวงดี
หัวหน้าภาควิชา

ลิขสิทธิ์ของภาควิชา เคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง	ปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตก๊าซไฮโดรเจนจากน้ำเสียสังเคราะห์	
นักศึกษา	นางสาวบงกช	เสวตไพศาลกุล
	นางสาวพรทิพย์	สายสร้อย
	นางสาวสุจิตรา	คำม่วง
ภาควิชา	เคมี	
สาขาวิชา	เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม	
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.อุสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์	

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้ได้ทำการศึกษปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตก๊าซไฮโดรเจนจากน้ำเสียสังเคราะห์ในระบบระบบบำบัดไร้อากาศแบบแบทช์ ซึ่งปัจจัยที่ศึกษามี 2 ปัจจัย ได้แก่ พีเอชและอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจน โดยในช่วงแรกของการทดลอง เป็นการเพิ่มตะกอนจุลินทรีย์ ทำได้โดยการเติมตะกอนจุลินทรีย์ที่เก็บรวบรวมได้จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบยูเอเอสบี ลงในน้ำเสียสังเคราะห์พีเอช 5.5 กำหนดให้อายุกักเก็บตะกอน (SRT) เท่ากับ 10 วัน โดยถังหมักที่ใช้มีขนาด 3 ลิตร จากนั้นทำการเดินระบบจนกระทั่งระบบอยู่ในสภาวะคงตัว ทำการวิเคราะห์ลักษณะของน้ำเสียสังเคราะห์ที่เข้าระบบและน้ำที่ผ่านการบำบัดที่ระยะเวลาต่าง ๆ กัน โดยพารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์ ได้แก่ ปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ พีเอช สภาพค่าง กรดอินทรีย์ระเหย ปริมาณสารอินทรีย์ทั้งหมด และปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้น ทำการศึกษาผลของพีเอชต่อการผลิตก๊าซไฮโดรเจน โดยแปรค่าพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์เป็น 3.5, 4.5, 5.5 และ 6.5 ตามลำดับ ทำการทดลองในขวดซีด้า (Serum bottle) ขนาด 120 มิลลิลิตร กำหนดให้ตะกอนจุลินทรีย์ในขวดมีค่าประมาณ 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำการบ่มเป็นเวลา 4 วัน ที่อุณหภูมิห้อง องค์ประกอบของก๊าซในขวดถูกนำมาวิเคราะห์ภายหลังจากการหมักเป็นเวลา 1 วัน และ 4 วัน ทำการวิเคราะห์ลักษณะของน้ำเสียหลังจากการหมัก 4 วัน จากการทดลองพบว่า การผลิตก๊าซไฮโดรเจนเกิดขึ้นสูงสุดที่พีเอช 5.5 การผลิตก๊าซไฮโดรเจนจะถูกยับยั้งเมื่อพีเอชของน้ำเสียมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 4.5 ส่วนการศึกษาอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจน ทำได้โดยแปรค่าอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจน เป็น 40, 50 และ 60 โดยใช้ น้ำเสียสังเคราะห์พีเอช 5.5 ซึ่งทำการทดลองและวิเคราะห์เช่นเดียวกับการศึกษาพีเอช พบว่าอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่ผลิตก๊าซไฮโดรเจนได้ดีที่สุดคือ 60 รองลงมาคือ 50 และ 40 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title	Factors affecting hydrogen production from synthetic wastewater
Name	Bongkoch Sawetpisankul Ponthip Saysoi Sujitra Khamuang
Department	Chemistry
Program	Environmental Resource Chemistry
Academic Year	2006
Special Project Advisor	Asst. Prof Dr. Usarat Thawornchaisit

ABSTRACT

This special project studied factors affecting hydrogen production from synthetic wastewater using an anaerobic system operated in a batch mode. Factors being studied pH and C:N ratio. In the beginning of the experiment, MLSS concentration was enriched by addition of sludge being collected from UASB system into synthetic wastewater at pH 5.5 with SRT of 10 days. Reactor volume was 3 litres. The reactor was operated until steady state reached. Characterization of synthetic wastewater (Influent) and treated water (effluent) was analyzed at various time. Analyzed parameters were MLSS, pH, alkalinity, VFA, TOC and gas volume. Effect of pH on hydrogen production was studied by varying pH of synthetic wastewater from 3.5 to 4.5, 5.5 and 6.5, respectively. pH studies were conducted in 120 mL serum bottle with MLSS concentration of approximately 1,500 mg/L. Serum bottles were incubated at room temperature for 4 days. Gas composition in the headspace was analyzed after fermentation for 1 day and 4 days. Characteristic of wastewater was analyzed after 4 days. Results showed that highest hydrogen production was occurred at pH 5.5 while hydrogen production was inhibited when pH of wastewater was less than 4.5. Effect of C:N ratio of wastewater on hydrogen production was studied by varying C:N ratio of synthetic wastewater from 40 to 50 and 60, respectively. Study of C:N ratio hydrogen production were conducted in the same manner as pH studies. Result showed that highest hydrogen production was occurred at C:N ratio of 60, following by C:N ratio of 50 and 40, respectively.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความอนุเคราะห์จากบุคคลหลายฝ่าย ทางคณะผู้จัดทำโครงการพิเศษได้รับการอนุเคราะห์ทั้งใจใคร่ขอขอบพระคุณทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือ

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.อุสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการที่ได้ให้คำปรึกษาตลอดจนให้คำแนะนำ แก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ตลอดจนการดำเนินโครงการพิเศษ

ขอขอบพระคุณ ดร.ชลอ จารุสุทธิรักษ์ และ ผศ.พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย ที่ให้คำปรึกษาในการทำโครงการพิเศษครั้งนี้และรวมถึงอาจารย์ทุกท่านที่ให้คำปรึกษาในระหว่างการดำเนินโครงการพิเศษนี้

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการเคมีทุกท่าน เจ้าหน้าที่ธุรการภาควิชาเคมี และนักศึกษาปริญญาโททุกคน ที่ให้คำปรึกษาและมีส่วนช่วยให้โครงการสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และบุคคลในครอบครัวเป็นอย่างสูงที่คอยช่วยเหลือและเป็นกำลังใจที่ดีเสมอมาตลอดจนสำเร็จการศึกษา

คุณค่าและประโยชน์อันใดที่เกิดจากโครงการพิเศษฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

นางสาวบงกช เสวตไพศาลกุล

นางสาวพรทิพย์ สายสร้อย

นางสาวสุจิตรา คำม่วง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญลักษณ์และคำย่อ

MLSS	หมายถึง	Mixed Liquor Suspended Solids
UASB	หมายถึง	Upflow Anaerobic Sludge Blaket
VFA	หมายถึง	Volatile Fatty Acid
SRT	หมายถึง	Solid Retention Time
GC-MS	หมายถึง	Gas Chromatograph - Mass Selective Detector
GC-TCD	หมายถึง	Gas Chromatograph -Thermal Conductivity Detector
TOC	หมายถึง	Total Organic Carbon



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ (ภาษาไทย)	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ)	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สัญลักษณ์และคำย่อ	ง
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ซ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	
2.1 ไฮโดรเจน	4
2.2 การผลิตไฮโดรเจนจากกระบวนการทางเคมี	6
2.3 การผลิตไฮโดรเจนด้วยวิธีทางชีวภาพ	7
2.4 การหมักและการบำบัดน้ำเสีย	13
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	14
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	
3.1 อุปกรณ์และสารเคมี	17
3.2 การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์	18
3.3 การเก็บตัวอย่างจุลินทรีย์ที่ใช้ในการทดลอง	19
3.4 การเพิ่มตะกอนจุลินทรีย์ในห้องทดลอง	19
3.5 การศึกษาผลของพีเอชที่มีต่อการผลิตก๊าซไฮโดรเจน	20
3.6 ศึกษาผลของอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจน	21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.7 สภาวะที่ใช้ในการวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟ	22
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง	
4.1 การเก็บตัวอย่างตะกอนจุลินทรีย์ที่ใช้ในการทดลอง	23
4.2 การเพิ่มตะกอนจุลินทรีย์ในน้ำเสียสังเคราะห์ในน้ำเสียสังเคราะห์	24
4.3 ผลของพีเอชที่มีต่อประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียสังเคราะห์และการผลิตก๊าซไฮโดรเจน	29
4.4 ผลของอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่มีประสิทธิภาพต่อการบำบัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียสังเคราะห์และการผลิตก๊าซไฮโดรเจน	33
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	38
เอกสารอ้างอิง	40
ภาคผนวก ก การเทียบมาตรฐานสารละลาย	44
ภาคผนวก ข วิธีวิเคราะห์	47
ภาคผนวก ค ข้อมูลผลการทดลอง	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 สมบัติทางกายภาพของก๊าซไฮโดรเจน	4
ตารางที่ 2.2 แบคทีเรียที่เจริญแบบไม่ใช้อากาศ	10
ตารางที่ 3.1 ส่วนประกอบของน้ำเสียสังเคราะห์	18



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 การให้พลังงานต่อหน่วยของเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ	5
รูปที่ 2.2 การบวนการหมักสารอินทรีย์โดยแบคทีเรียแบบไม่ใช้แสง	8
รูปที่ 2.3 การเจริญของจุลินทรีย์ที่เพาะเลี้ยงในระบบแบบเบบเบทซ์	13
รูปที่ 3.1 แผนภาพของถังหมักที่ใช้ในการศึกษา	20
รูปที่ 3.2 ขวดชนิดยาที่ใช้ในการศึกษา	21
รูปที่ 4.1 ตะกอนจุลินทรีย์ที่เก็บรวบรวมจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบยูเอเอสบี	23
รูปที่ 4.2 ลักษณะของตะกอนจุลินทรีย์ที่เก็บรวบรวมจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบยูเอเอสบี	24
รูปที่ 4.3 ลักษณะของตะกอนจุลินทรีย์ในถังหมักภายหลังจากการเพิ่มจำนวน 5 สัปดาห์ ที่กำลังขยาย 40 เท่า	24
รูปที่ 4.4 ปริมาณตะกอนจุลินทรีย์และค่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดสารอินทรีย์ในถังหมัก ที่ระยะเวลาต่าง ๆ กัน	25
รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ของกรดอินทรีย์ระเหย สภาพต่างและค่าพีเอชของน้ำเสีย ที่เข้าสู่ระบบและน้ำที่ผ่านการบำบัดที่ระยะเวลาต่าง ๆ กัน	27
รูปที่ 4.6 ปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นที่ระยะเวลาต่าง ๆ กัน	28
รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ของเปอร์เซ็นต์การกำจัดสารอินทรีย์และปริมาณอินทรีย์คาร์บอน ของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบและน้ำที่ผ่านการบำบัดที่พีเอชต่าง ๆ กัน	29
รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ของปริมาณมวลตะกอนจุลินทรีย์ สภาพต่าง และปริมาณกรดอินทรีย์ ของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบและน้ำที่ผ่านการบำบัดที่พีเอชต่าง ๆ กัน	31
รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ของพื้นที่ได้กราฟของก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ระยะเวลาการหมัก 4 วัน ที่พีเอชต่าง ๆ กัน	32
รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ของเปอร์เซ็นต์การกำจัดสารอินทรีย์และปริมาณอินทรีย์คาร์บอน ของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบและน้ำที่ผ่านการบำบัดที่อัตราส่วน C:N ต่าง ๆ กัน	33
รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ของปริมาณมวลตะกอนจุลินทรีย์ สภาพต่าง และกรดอินทรีย์ ระเหยของน้ำที่เข้าสู่ระบบและน้ำที่ผ่านการบำบัดที่อัตราส่วน C:N ต่าง ๆ กัน	35
รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ของพื้นที่ได้กราฟของก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ระยะเวลาการหมัก 4 วัน ที่อัตราส่วน C:N ต่าง ๆ กัน	36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ

ในขณะที่โลกมีความเจริญก้าวหน้ามากขึ้นทุกวัน มนุษย์ก็มีความต้องการปัจจัยต่างๆ เพื่อใช้ในการดำเนินชีวิตเพิ่มมากขึ้น ปัจจัยหนึ่งที่มีความเกี่ยวข้องและจัดว่าเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญมากที่สุดคือพลังงาน เนื่องจากพลังงานจัดเป็นพื้นฐานสำคัญที่เกี่ยวข้องกับการดำรงชีวิต การค้า, การพาณิชย์, เศรษฐกิจและสังคม รวมทั้งความมั่นคงของประเทศ ซึ่งทรัพยากรธรรมชาติที่นำมาใช้เป็นแหล่งพลังงานในปัจจุบันมีหลายรูปแบบ เช่น ถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติ และน้ำมันดิบ ซึ่งทรัพยากรเหล่านี้จัดเป็นทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัด โดยมีจำนวนลดลงตามการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจและจำนวนประชากรที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว นอกจากนี้การใช้ถ่านหิน และน้ำมันดิบเป็นแหล่งพลังงานที่ก่อให้เกิดปัญหามลพิษทางอากาศ จำพวกก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2), ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) และก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ตามมา จากเหตุผลและปัญหาดังกล่าวข้างต้น ทำให้หลาย ๆ ประเทศมีความพยายามที่จะศึกษาวิจัยเพื่อหาแหล่งพลังงานใหม่ขึ้นมาทดแทนแหล่งพลังงานจากทรัพยากรธรรมชาติที่กำลังจะหมดไป

ก๊าซไฮโดรเจนจัดเป็นแหล่งพลังงานทางเลือกหนึ่งที่มีความสนใจ ด้วยเหตุผลที่เป็นพลังงานเชื้อเพลิงที่สะอาด เนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเผาไหม้มีเพียงน้ำและพลังงานความร้อนเท่านั้น นอกจากนี้ก๊าซไฮโดรเจนยังจัดเป็นเชื้อเพลิงที่ให้พลังงานต่อหน่วยสูงสุดเมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงชนิดอื่นๆ (เกรียงศักดิ์, 2549) การผลิตก๊าซไฮโดรเจนนั้นสามารถทำได้หลายวิธี เช่น กระบวนการ steam reforming โดยการฉีดพ่นไอน้ำอุณหภูมิสูงเข้าผสมกับก๊าซธรรมชาติ ทำให้โมเลกุลไฮโดรคาร์บอนเกิดการแตกตัวและปล่อยไฮโดรเจนออกมา ข้อจำกัดที่สำคัญของวิธีนี้คืออุณหภูมิที่ใช้ในการผลิตค่อนข้างสูง รวมทั้งก่อให้เกิดปัญหามลพิษทางอากาศอันเนื่องมาจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) และฝุ่นละออง (สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, 2547) กระบวนการ electrolysis โดยการผ่านกระแสไฟฟ้าลงไปในน้ำเพื่อแยกโมเลกุลของน้ำออกเป็นไฮโดรเจนอะตอมที่ขั้วลบและออกซิเจนอะตอมที่ขั้วบวก วิธีนี้ให้ก๊าซไฮโดรเจนที่มีความบริสุทธิ์สูง แต่มีข้อจำกัดคือ ต้นทุนที่สูงเนื่องจากการใช้กระแสไฟฟ้าจำนวนมาก (สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, 2547) กระบวนการ thermochemistry โดยการใช้สารประกอบปรอท โบรไมด์ และแคลเซียมในกระบวนการผลิต ซึ่งสามารถผลิตก๊าซไฮโดรเจนได้โดยอาศัยความร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 200-780 องศาเซลเซียส แต่มีข้อจำกัดคือ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัญหามลพิษจากการใช้สารประกอบโลหะหนัก (สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, 2547)

งานวิจัยที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่าการบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการทางชีวภาพโดยเฉพาะการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจนเป็นเทคโนโลยีที่สามารถผลิตก๊าซไฮโดรเจนได้ (เกรียงศักดิ์, 2549) โดยกระบวนการนี้จะเกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ให้มีขนาดเล็กลง จากนั้นจุลินทรีย์กลุ่มที่สร้างกรด จะทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ให้เปลี่ยนเป็นกรดอินทรีย์และก๊าซไฮโดรเจน ซึ่งการบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการทางชีวภาพนี้ได้มีการนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายมากขึ้นในปัจจุบันเมื่อเปรียบเทียบกับ การบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการทางเคมี เนื่องจากประหยัดค่าใช้จ่ายและยังสามารถบำบัดน้ำเสียได้ อย่างไรก็ตามด้านความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตก๊าซไฮโดรเจนในการบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการทางชีวภาพยังมีค่อนข้างจำกัด โครงการพิเศษนี้จึงได้ถูกจัดทำขึ้นเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตก๊าซไฮโดรเจนจากน้ำเสียสังเคราะห์ รวมทั้งศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตก๊าซไฮโดรเจนและประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยกระบวนการหมักแบบไร้ออกซิเจน

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตก๊าซไฮโดรเจน จากน้ำเสียสังเคราะห์ในถังหมักแบบแบทช์
2. เพื่อศึกษาผลของค่าพีเอชต่อประสิทธิภาพการผลิตก๊าซไฮโดรเจนจากน้ำเสียสังเคราะห์
3. เพื่อศึกษาผลของอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่อประสิทธิภาพการผลิตก๊าซไฮโดรเจนจากน้ำเสียสังเคราะห์

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1. การเก็บตัวอย่างตะกอนจุลินทรีย์ที่ใช้ในการศึกษาทำการเก็บรวบรวมจากระบบแบบ Upflow Anarobic Sludge Blaket (UASB) จาก บริษัท เพอร์ซิเดนท์ เบเกอร์ จำกัด (มหาชน) นิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง
2. การเพิ่มตะกอนจุลินทรีย์ในห้องทดลอง ทำได้โดยเติมตะกอนจุลินทรีย์ที่เก็บได้จากข้อ 1 ลงในถังหมักที่บรรจุน้ำเสียสังเคราะห์ ทำการเดินระบบแบบไร้ออกซิเจนรวมทั้งทำการปั่นกววน โดยกำหนดให้อายุตะกอนมีค่าเป็น 10 วัน จากนั้นเติมน้ำเสียสังเคราะห์ใหม่ในปริมาณเทียบเท่ากับที่ถ่ายออก เดินระบบจนกระทั่งระบบอยู่ในสภาวะคงตัว โดยพารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ คือ ปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอน พีเอช สภาพต่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรดอินทรีย์ระเหย และ ปริมาณตะกอนจุลินทรีย์

3. ศึกษาผลของค่าพีเอชต่อการผลิตก๊าซไฮโดรเจนจากน้ำเสียสังเคราะห์ ทำได้โดยการแปรค่าพีเอช ของน้ำเสียสังเคราะห์เป็น 3.5, 4.5, 5.5 และ 6.5 โดยทำการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศในถังหมักแบบแบทช์ โดยมีระยะเวลาหมัก 4 วัน จากนั้นนำน้ำมาวิเคราะห์หาลักษณะต่างๆ ของน้ำเสีย โดยพารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์ คือ สภาพต่างกรดอินทรีย์ระเหย พีเอช ปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ และปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอน
4. ศึกษาผลของอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่อการผลิตก๊าซไฮโดรเจนจากน้ำเสียสังเคราะห์ ทำได้โดยแปรค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน เริ่มต้นเป็น 40, 50 และ 60 ทำการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศในถังหมักแบบแบทช์ ซึ่งมีระยะเวลาการหมัก 4 วัน จากนั้นนำน้ำมาวิเคราะห์หาลักษณะต่างๆ ของน้ำเสีย โดยพารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์ คือ สภาพต่าง กรดอินทรีย์ระเหย พีเอช ปริมาณ ตะกอนจุลินทรีย์ และปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงความเป็นไปได้ในการผลิตก๊าซไฮโดรเจนจากน้ำเสียสังเคราะห์
2. ทราบถึงปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตก๊าซไฮโดรเจนจากน้ำเสียสังเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ไฮโดรเจน

ไฮโดรเจนมีเลขอะตอมเท่ากับ 1 สัญลักษณ์ในตารางธาตุคือ “H” พบอยู่ในสถานะก๊าซที่อุณหภูมิและความดันบรรยากาศมาตรฐาน จัดเป็นก๊าซไม่มีสี ไม่มีกลิ่น และติดไฟได้ง่าย เป็นธาตุที่พบในปริมาณมากที่สุดในจักรวาล และพบเป็นส่วนประกอบของสสารแทบทุกชนิดยกตัวอย่างเช่น โมเลกุลของน้ำที่มีไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบอยู่ถึงสองอะตอม ก๊าซไฮโดรเจนถูกค้นพบครั้งแรกโดย T von Hohenheim จากปฏิกิริยาของโลหะหนักกับกรดแก่ (Wikipedia, 2006) สมบัติทางกายภาพสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 สมบัติทางกายภาพของก๊าซไฮโดรเจน (Wikipedia, 2006)

สมบัติทางกายภาพและทางเคมี	ก๊าซไฮโดรเจน
สูตรเคมี	H ₂
น้ำหนักโมเลกุล	2.016
สถานะที่อุณหภูมิและความดันมาตรฐาน	ก๊าซ
จุดเดือด (°C)	-259.14
จุดหลอมเหลว (°C)	-252.87
ความหนาแน่น (g L ⁻¹ ที่ 0°C, 101.325 kPa)	0.08988
ความดันไอ (kPa ที่ 20 °C)	10
ความร้อนของการกลายเป็นไอ (kJ mol ⁻¹)	0.904
ความร้อนของการหลอม (kJ mol ⁻¹)	0.117
ความจุความร้อน (J mol ⁻¹ K ⁻¹ ที่ 25 °C)	28.836

ก๊าซไฮโดรเจนจัดเป็นก๊าซที่ให้พลังงานความร้อนสูง โดยเมื่อนำมาสันดาปกับออกซิเจนแล้วให้ความร้อนกับน้ำ ดังสมการ

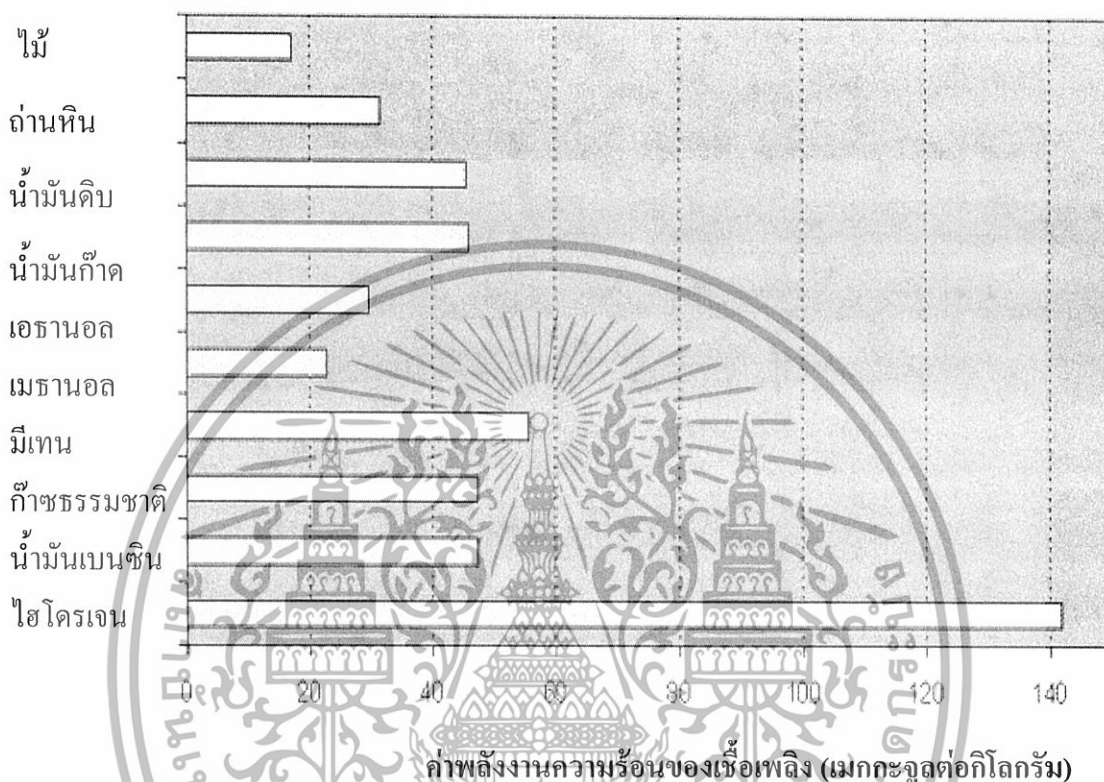


เมื่อเปรียบเทียบการให้พลังงานต่อหน่วยของก๊าซไฮโดรเจนเทียบกับเชื้อเพลิงชนิดอื่นๆ เช่น ไม้ ถ่านหิน น้ำมันดิบ น้ำมันก๊าด แอลกอฮอล์ ก๊าซมีเทน ก๊าซธรรมชาติ และน้ำมันเบนซิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พบว่าเมื่อเปลี่ยนพลังงานเคมีในก๊าซไฮโดรเจนให้เป็นพลังงานไฟฟ้าและความร้อน ก๊าซไฮโดรเจนให้พลังงานต่อหน่วยสูงสุดเมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงชนิดอื่นๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.1

ชนิดเชื้อเพลิง



รูปที่ 2.1 การให้พลังงานต่อหน่วยของเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ (เกรียงศักดิ์, 2549)

ก๊าซไฮโดรเจน ได้ถูกนำมาใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวาง ในอุตสาหกรรมหลายประเภท ตัวอย่างเช่น ใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตแอมโมเนียและสารเคมีอื่นในอุตสาหกรรมเคมี ใช้เป็นสารตั้งต้นในปฏิกิริยาการเพิ่มไฮโดรเจน (hydrogenation) ของไขมันและน้ำมันในอุตสาหกรรมอาหาร แหล่งพลังงาน ใช้ในกระบวนการขจัดกำมะถันในน้ำมันในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี รวมทั้งใช้ในการผลิตอุปกรณ์ทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ เป็นต้น (Kapdan and Kargi, 2006)

นอกจากนี้บทบาทของก๊าซไฮโดรเจน ในฐานะเป็นแหล่งพลังงานทดแทน เป็นหัวข้อที่ได้รับความสนใจเป็นอย่างมากในปัจจุบัน เหตุผลประการหนึ่ง คือไฮโดรเจนจัดเป็นทรัพยากรที่ใช้แล้วไม่สูญสิ้น เนื่องจากป็นธาตุที่มีอยู่ในปริมาณมากที่สุดในจักรวาล และเป็นส่วนประกอบของสสารแทบทุกชนิด ยกตัวอย่างเช่น โมเลกุลของน้ำที่มีไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบอยู่ถึงสองอะตอม นอกจากนี้ก๊าซไฮโดรเจนจัดเป็นเชื้อเพลิงที่สะอาด ไม่ก่อมลพิษให้กับสิ่งแวดล้อม เนื่องจากเป็นเชื้อเพลิงที่ไม่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ ดังนั้นการเผาไหม้จึงไม่ก่อให้เกิดผลิตภัณฑ์ที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ เช่น ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ที่ก่อให้เกิดเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มลพิษต่อสิ่งแวดล้อม โดยเมื่อก๊าซไฮโดรเจนเกิดปฏิกิริยาออกซิไดส์กับออกซิเจน จะได้เพียงพลังงานและน้ำเป็นผลิตภัณฑ์เท่านั้น (กิตติศักดิ์, 2547)

2.2 การผลิตไฮโดรเจนจากกระบวนการทางเคมี

กระบวนการทางเคมี สามารถแบ่งได้ 4 วิธีดังต่อไปนี้คือ

2.2.1. กระบวนการ Steam reforming

เป็นกระบวนการผลิตก๊าซไฮโดรเจนจากก๊าซธรรมชาติ ซึ่งเป็นปฏิกิริยาระหว่างก๊าซไฮโดรคาร์บอนเบาหรือก๊าซธรรมชาติกับน้ำในรูปไอน้ำและมีนิกเกิลเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เนื่องจากต้นทุนต่ำ ข้อเสียของกระบวนการดังกล่าวคือ การก่อให้เกิดมลพิษเนื่องจากสารตกค้างของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ไม่เผาไหม้ คาร์บอนไดออกไซด์และซัลเฟอร์ เป็นต้น (สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, 2547)

2.2.2. กระบวนการ Partial Oxidation

เป็นกระบวนการผลิตก๊าซไฮโดรเจนจากก๊าซธรรมชาติอีกกระบวนการหนึ่ง โดยให้เชื้อเพลิงทำปฏิกิริยากับออกซิเจนที่มีปริมาณจำกัด แต่วิธีนี้ต้นทุนจะสูงกว่าเพราะต้องใช้ออกซิเจนที่บริสุทธิ์เพื่อไม่ให้มีก๊าซอื่นๆ ปนออกมากับก๊าซไฮโดรเจน ซึ่งจะต้องมีกระบวนการแยกก๊าซเหล่านี้่ออกอีกครั้งหนึ่ง (สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, 2547)

2.2.3. กระบวนการ Electrolysis

เป็นวิธีการในการใช้กระแสไฟฟ้าแยกโมเลกุลของน้ำโดยตรง ทำให้ได้ไฮโดรเจนอะตอมและออกซิเจนอะตอม ทั้งนี้อาศัยอิเล็กโทรด (electrode) 2 ขั้วที่ตรงข้ามกัน คืออิเล็กโทรดขั้วบวก (positive electrode) และอิเล็กโทรดขั้วลบ (negative electrode) วิธีการนี้เป็นการผ่านกระแสไฟฟ้าลงไปในน้ำที่ช่วยให้มีความเป็นตัวนำมากขึ้น โดยการเติมสารพวกอิเล็กโทรไลต์ (electrolyte) เช่นกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) หรือโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ลงไป โดยไฮโดรเจนอะตอมจะไปเกาะที่อิเล็กโทรดขั้วลบและออกซิเจนจะไปเกาะที่อิเล็กโทรดขั้วบวก วิธีนี้ต้องการกระแสไฟฟ้าถึง 90 กิโลวัตต์สามารถผลิตก๊าซไฮโดรเจนได้ถึง 1,000 ลูกบาศก์ฟุต โดยวิธีนี้จะให้ก๊าซไฮโดรเจนที่มีความบริสุทธิ์สูง ข้อเสียของวิธีการนี้คือ ต้องการกระแสไฟฟ้าจำนวนมากและมีการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าไปในแต่ละขั้นตอนของการทำอิเล็กโทรไลซิส (electrolysis) และจะต้องทำในสภาวะอุณหภูมิที่สูงกว่า 2,500 องศาเซลเซียส เพื่อแยกโมเลกุลของน้ำให้ได้เป็นไฮโดรเจนและออกซิเจนอะตอม (สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, 2547)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.4. กระบวนการ Thermochemistry

เป็นกระบวนการที่มีพัฒนาการผลิตโดยการใช้สารประกอบปรอทโบรไมด์และแคลเซียม ในกระบวนการผลิต ซึ่งสามารถผลิตก๊าซไฮโดรเจนได้โดยอาศัยความร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 200 – 780 องศาเซลเซียส ข้อดีของกระบวนการนี้คือ สามารถใช้ความร้อนในช่วงที่ถึงปฏิกรณ์ นิวเคลียสสามารถผลิตได้ พลังงานทั้งหมดถูกนำไปใช้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุดและผลผลิตที่ได้สามารถแยกออกได้ง่าย แต่ข้อเสียก็คือ ปัญหามลพิษจากการใช้สารประกอบโลหะหนักอัน ได้แก่ ปรอทและโบรไมด์ (สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, 2547)

2.2.5. วิธีการอื่น ๆ

นอกจากวิธีการข้างต้นนี้ยังมีวิธีการผลิตก๊าซไฮโดรเจน โดยวิธีที่คัดแปลงและพัฒนาอื่น ๆ อีกเช่นวิธี electrolysis ที่อาศัยเซมิคอนดักเตอร์อิเล็กโทรด (semiconductor electrode) ที่ใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์ อิเล็กโทรดที่ใช้เป็นชนิดไททาเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) ที่ต่อเข้ากับแพกติ์นัมอิเล็กโทรด ผ่านวงจรไฟฟ้าภายนอก เมื่ออิเล็กโทรดไททาเนียม ได้รับพลังงานแสงอาทิตย์จะเกิดการเคลื่อนที่ของกระแสไฟฟ้าจากแพกติ์นัมอิเล็กโทรด ไปยังอิเล็กโทรดไททาเนียม โดยอาศัยกระแสไฟฟ้าจากภายนอก เมื่อแยกโดยโมเลกุลของน้ำไปเป็นไฮโดรเจนและออกซิเจนอะตอมแล้วไฮโดรเจนอะตอมจะไปเกาะที่แพกติ์นัมอิเล็กโทรด และออกซิเจนอะตอมจะไปเกาะที่อิเล็กโทรดไททาเนียม เป็นต้น (สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, 2547)

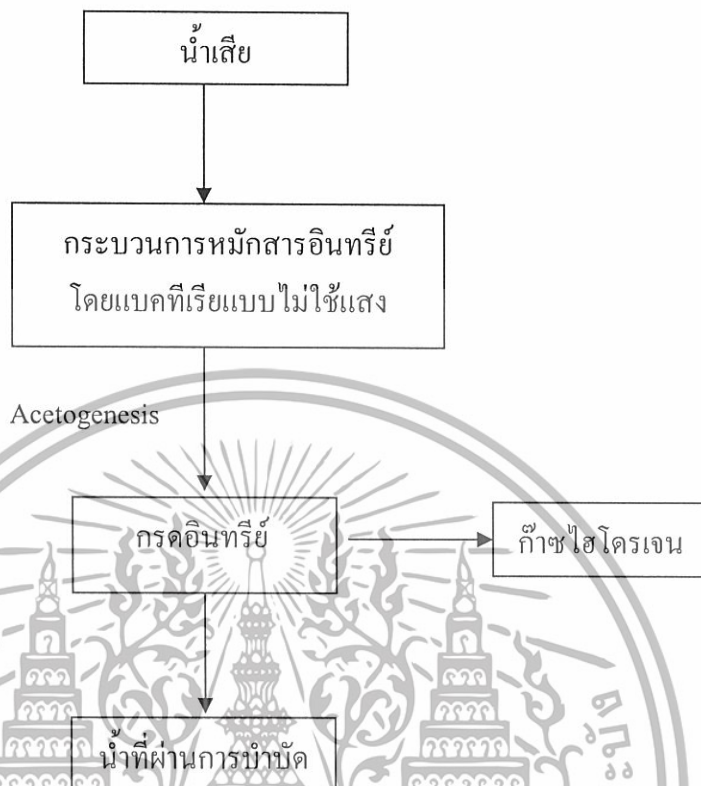
2.3 การผลิตไฮโดรเจนด้วยวิธีทางชีวภาพ

การผลิตก๊าซไฮโดรเจนด้วยกระบวนการทางชีวภาพ เป็นกระบวนการที่ใช้สาหร่ายหรือจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการเปลี่ยนสารตั้งต้น เช่นแสงแดดและน้ำ กากของเสียหรือน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์เป็นส่วนประกอบให้กลายเป็นก๊าซไฮโดรเจน การผลิตก๊าซไฮโดรเจนด้วยกระบวนการทางชีวภาพ สามารถทำได้ 3 วิธีดังนี้

1. กระบวนการสลายตัวของน้ำโดยสาหร่ายในสภาวะที่มีแสง
2. กระบวนการหมักของสารอินทรีย์โดยแบคทีเรียแบบไม่ใช้แสง
3. กระบวนการหมักของสารอินทรีย์โดยแบคทีเรียแบบใช้แสง

เนื่องจากโครงการพิเศษนี้จะทำการศึกษาการผลิตก๊าซไฮโดรเจนจากน้ำเสียสังเคราะห์ โดยใช้กระบวนการหมักของแบคทีเรียในสภาวะที่ไม่มีแสง ดังนั้นในหัวข้อนี้จึงขอกกล่าวในรายละเอียดที่เกี่ยวกับการผลิตก๊าซไฮโดรเจน จากกระบวนการหมักของแบคทีเรียในสภาวะที่ไม่มีแสงเท่านั้น โดยมีแผนภาพแสดงขั้นตอนการหมัก ดังรูปที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



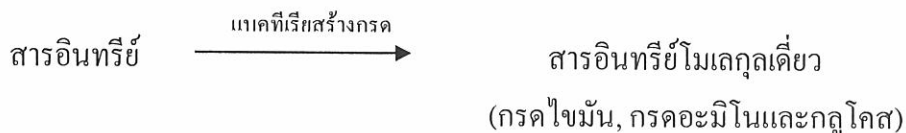
รูปที่ 2.2 กระบวนการหมักสารอินทรีย์โดยแบคทีเรียแบบไม่ใช้แสง
(ดัดแปลงจาก Kapdan และ Kargi 2006)

กระบวนการหมักแบบไม่ใช้แสง เป็นขั้นตอนการหมักโดยอาศัยแบคทีเรียแบบไม่ใช้ออกซิเจน เช่น กลุ่มของ *Enterobacter*, *Bacillus* และ *Clostridium* กระบวนการหมักนี้มีหลักการคล้ายคลึงกับเดียวกับกระบวนการหมักเพื่อผลิตก๊าซมีเทน ต่างกันที่ในกระบวนการหมักเพื่อผลิตก๊าซไฮโดรเจนมีขั้นตอนที่เกี่ยวข้องในกระบวนการหมัก 3 ขั้นตอนหลัก ดังนี้คือ

1. กระบวนการไฮโดรไลซิส (Hydrolysis)

กระบวนการนี้เรียกอีกอย่างว่า กระบวนการแตกสลายโพลิเมอร์ (polymer breakdown) เป็นขั้นตอนที่แบคทีเรียที่ผลิตกรดจะปล่อยเอนไซม์ (external enzyme) ออกมาย่อยสารประกอบที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่ (polymer) เช่น เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส เพคติน แป้ง โปรตีน และไขมัน ให้กลายเป็นสารอินทรีย์โมเลกุลเดี่ยว (monomer) หรือสารที่มีโมเลกุลเล็ก เช่น กลูโคส กรดอะมิโน และกรดไขมัน เพื่อให้สามารถผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ของจุลินทรีย์ และนำเข้าไปในเซลล์จุลินทรีย์ได้ โดยในขั้นตอนนี้จะเป็นการเปลี่ยนสารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างซับซ้อนให้กลายเป็นสารอินทรีย์อย่างง่ายเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



2. กระบวนการอะซีโดเจเนซิส (Acedogenesis)

สารเหล่านี้จะถูกหมักไปเป็นกรดไขมันที่ระเหยง่าย (volatile fatty acid, VFA) ได้แก่ บิวทิเรท อะซิเตท โพรพิโอเนท และหรือ กรดแลคติก กรดอะมิโน ก๊าซไฮโดรเจน/ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ แอมโมเนีย ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และสารประกอบที่เป็นกลางอื่น ๆ ชนิดของผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้ในขั้นตอนนี้ขึ้นอยู่กับสารตั้งต้นและสภาวะแวดล้อมที่จุลินทรีย์เจริญเติบโต ในสภาวะที่มีความดันพาร์เชียลของไฮโดรเจนต่ำ จุลินทรีย์จะสร้างสารอินทรีย์พวกอะซิเตท คาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจน แต่ในสภาวะแวดล้อมที่มีความดันพาร์เชียลของไฮโดรเจนสูง จุลินทรีย์จะผลิตโพรพิโอเนท กรดอินทรีย์อื่น ๆ แลคเตทและเอทานอล

สภาวะความดันพาร์เชียลต่ำ



สภาวะความดันพาร์เชียลสูง

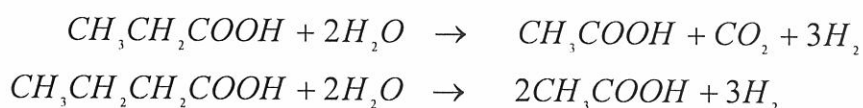


3. กระบวนการอะซีโตเจเนซิส (Acetogenesis)

เป็นขั้นตอนการผลิตกรดอะซิติก นั่นคือ กรดอินทรีย์ที่มีโมเลกุลใหญ่กว่าอะซิเตท และสารประกอบที่เป็นกลาง ซึ่งมีโมเลกุลใหญ่กว่าเมทานอลถูกย่อยสลายเป็นอะซิเตทโดยแบคทีเรีย acetogens 2 กลุ่ม คือ hydrogen producing acetogenic bacteria และ homoacetogenic bacteria แต่จะขอกว่าถึงพวก hydrogen producing acetogenic bacteria เพียงอย่างเดียวเพราะสามารถผลิตก๊าซไฮโดรเจนได้

Hydrogen producing acetogenic bacteria เป็นแบคทีเรียย่อยสลายกรดไขมันและสารประกอบที่เป็นกลางบางชนิดให้เป็น อะซิเตท ก๊าซไฮโดรเจน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซไฮโดรเจนมีบทบาทสำคัญในการควบคุมปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในถังเพราะ H^+ ทำให้พีเอชในถังหมักเป็นกรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



วัตถุดิบที่สามารถนำมาใช้ในการผลิตก๊าซไฮโดรเจนทางชีวภาพ เช่น น้ำเสีย ขยะของเสีย กากตะกอนจากระบบบำบัดแบบไร้อากาศ ส่าเหล้า มูลสัตว์ พืชผลไม้ เป็นต้น (http://www.tu_harbury/aws/bio_h2_e.pdf)

2.3.1 จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับการผลิตก๊าซไฮโดรเจน

แบคทีเรียที่สามารถผลิตก๊าซไฮโดรเจนได้นั้นเป็นแบคทีเรียกลุ่มที่ไม่ใช้แสง โดยแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ แบคทีเรียที่ใช้อากาศและแบคทีเรียที่ไม่ใช้อากาศ โดยในงานวิจัยนี้ ทำการศึกษาในสภาวะไม่ใช้อากาศ ดังนั้นจึงจะขอกกล่าวถึงกลุ่มที่ไม่ใช้อากาศ

ตารางที่ 2.2 แบคทีเรียที่เจริญแบบไม่ใช้อากาศ (Rehm et al,1993)

กลุ่มที่ไม่ใช้อากาศเด็ดขาด	กลุ่มที่ใช้หรือไม่ใช้อากาศ
<i>Clostridium</i>	<i>Enterobacter</i>
<i>Acetobacterium</i>	<i>Bacillus</i>
<i>Butyrivibrio</i>	<i>Escherichia</i>

2.3.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตก๊าซไฮโดรเจน

2.3.2.1 พีเอช (pH)

พีเอชเป็นสิ่งที่ใช้บ่งชี้สภาวะภายในถังหมักไร้อากาศได้ แต่ปัญหาคือเป็นค่าที่เปลี่ยนแปลงช้า ในขณะที่กรดไขมันระเหยง่ายเพิ่มมากขึ้น แต่ค่าพีเอชกลับเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย อันเนื่องมาจากผลของการบัฟเฟอร์ของความเป็นด่างภายในถังหมัก ดังนั้นการใช้ค่าพีเอชสำหรับการแก้ไขสภาวะภายในถังหมักอาจจะไม่ทันการ จึงต้องทำการควบคุมพีเอชในระบบเพื่อแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นดังกล่าว จาก Kapdan และ Kargi (2005) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงพีเอชซึ่งจะมีผลต่อการผลิตก๊าซไฮโดรเจน ก๊าซชีวภาพและกรดอินทรีย์ พีเอชที่สามารถผลิตก๊าซไฮโดรเจนได้ดีที่สุดคือ 5.0-6.0 จากการศึกษาพบว่าพีเอชในช่วงสุดท้ายของการผลิตจะอยู่ที่ 4.0-4.8 ซึ่งจะยับยั้งเอนไซม์ไฮโดรจีเนสที่ใช้ในการผลิตก๊าซไฮโดรเจนโดยที่ช่วงพีเอช 4-6 จะเกิดกรดบิวทิริก ในขณะที่อะซีเตตและบิวทิเลตจะเกิดขึ้นพร้อมกันและมากที่สุดที่พีเอช 6.5-7 ส่วนการเกิดเอทานอลขึ้นอยู่กับสภาวะขณะนั้น ส่วนที่พีเอชต่ำกว่า 4 จะไม่สามารถผลิตก๊าซไฮโดรเจนได้เนื่องจากปฏิกิริยาของจุลินทรีย์จะถูกยับยั้ง และจะเห็นได้ว่าพีเอชมีบทบาทสำคัญมากในการกำหนดวิถีทางการหมักที่จะผลิตก๊าซไฮโดรเจน (Hwang M. H. et al, 2004)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2.2 กรดไขมันระเหยง่าย (Volatile Fatty Acids)

ปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายมีความสำคัญในการตรวจสอบสถานะสมดุลของระบบ กรดไขมันระเหยง่ายเกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ของแบคทีเรียจำพวกกรด ซึ่งจะถูแบคทีเรียกลุ่มสร้างก๊าซมีเทนนำไปใช้เป็นสารอาหารแห่งพลังงาน ปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายจะมีส่วนสำคัญต่อค่าพีเอชของระบบ คือเมื่อมีปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายสูงขึ้นพีเอชจะต่ำลง สำหรับระบบที่มีความเสถียรของกรดไขมันระเหยง่ายไม่ควรเกิน 4,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

กรดไขมันระเหยง่ายภายในถังหมักจะต้องไม่เกิน 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ถ้ามีค่าเกินนี้จะมีผลทำให้ปริมาณก๊าซลดลง

- ถ้า $VFA/B.Alk < 0.4$ แสดงว่าระบบมีกำลังบัฟเฟอร์สูงทำงานได้ดี

- ถ้า $VFA/B.Alk < 0.8$ แสดงว่าระบบมีกำลังบัฟเฟอร์ต่ำ อาจทำให้ระบบมีประสิทธิภาพลดลง หรืออาจล้มเหลวได้

2.3.2.3 สภาพด่าง

สภาพด่างจะบอกให้ทราบถึงว่ามีกำลังบัฟเฟอร์ (buffering capacity) เหลืออยู่เท่าใดในระบบไร้อากาศ ถ้ากำลังบัฟเฟอร์ต่ำปริมาณกรดอินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยจะทำให้ค่าพีเอชลดลงได้อย่างรวดเร็วอย่างมากและเร็ว แต่ถ้ระบบมีสภาพด่างสูงพอ ระบบก็จะสามารถทนต่อการเปลี่ยนแปลงของกรดระเหยง่ายได้ โดยไม่ส่งผลกระทบต่อพีเอชมากนัก ระดับของสภาพด่างควรสูงเท่าใดที่จะทำให้ระบบมีกำลังบัฟเฟอร์ที่เหมาะสมนั้น กำหนดให้ตายตัวได้ยากเพราะขึ้นอยู่กับลักษณะและความเข้มข้นของน้ำเสีย ถ้าน้ำเสียมีความเข้มข้นสูงจะมีโอกาสผลิตคาร์บอนไดออกไซด์ได้มาก อาจเป็นผลให้กำลังบัฟเฟอร์ของระบบเพิ่มขึ้น โดยทั่วไประบบไร้ออกซิเจนควรมีค่าสภาพด่างประมาณ 1,500 – 2,000 มก./ลบ.ดม.

2.3.2.4 สารอาหาร (Nutrients)

แบคทีเรียที่ย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้อากาศ ต้องการสารอาหารหลายชนิด ซึ่งแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ สารอาหารหลักและสารอาหารรอง โดยสารอาหารหลักได้แก่ คาร์บอน ในการผลิตก๊าซไฮโดรเจนโดยกระบวนการหมักนั้น เมื่อใช้คาร์โบไฮเดรตเป็นแหล่งคาร์บอนจะได้กรดอะซีติก กรดบิวทิริก กรดโพรพิโอนิก ส่วนกรดแลคติกจะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อใช้แลคโทสและซูโครสเป็น แหล่งคาร์บอน (Kapdan และ Kargi, 2005) โดยแบคทีเรียต้องการคาร์บอนในส่วนของ การสังเคราะห์พลังงาน ส่วนไนโตรเจนจะเป็นสารอาหารในการสังเคราะห์โปรตีน และฟอสฟอรัส เป็นสารอาหารที่สำคัญในการสังเคราะห์กรดนิวคลีอิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2.5 ระยะเวลาในระบบ (retention time)

retention time เป็นระยะเวลาที่ใช้ในการหมักเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ เป็นสำคัญเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นแบคทีเรียสามารถใช้อาหารใน slurry ได้เร็วขึ้นและในไม่ช้าจึง จำเป็นต้องเติมวัตถุดิบใหม่ลงไปกระบวนการหมักก๊าซชีวภาพที่มีประสิทธิภาพควรมี retention time ที่สั้น

$$\text{Theoretical retention time} = \frac{\text{volume of the digester}}{\text{The daily input}}$$

2.3.2.6 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C:N ratio)

อัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนของการผลิตก๊าซชีวภาพของวัตถุดิบบางชนิด เป็น อัตราส่วนของธาตุหลัก 2 ชนิด ชนิดหนึ่งคือ ธาตุคาร์บอน (ในรูปของคาร์โบไฮเดรต) ส่วนธาตุอีก ชนิดหนึ่งคือ ไนโตรเจน (ในรูปของโปรตีน ไนเตรต และแอมโมเนีย เป็นต้น) ซึ่งธาตุทั้งสองเป็น ธาตุอาหารหลักของเชื้อ แอนแอโรบิกแบคทีเรีย โดยที่คาร์บอนใช้สำหรับสร้างพลังงาน และ ไนโตรเจนสำหรับสร้างโครงสร้างเซลล์ จากการศึกษาในงานวิจัยของ Lin and Lay (2004) พบว่า อัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่ทำให้เกิดปริมาณก๊าซไฮโดรเจนมากที่สุดคือ 47 โดยมี ปริมาณเท่ากับ 179.9 มิลลิลิตร คิดเป็นเปอร์เซ็นต์สัดส่วนโดยน้ำหนัก (%v/v) เท่ากับ 55

2.3.2.7 ปฏิริยาซัลเฟตรีดักชันแบบดิสซิมิลชัน (Dissimilatory sulfate reduction)

ปฏิริยาซัลเฟตรีดักชันแบบดิสซิมิลชัน (Dissimilatory sulfate reduction) คือปฏิริยาที่ เปลี่ยนแปลงซัลเฟตไปเป็นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ด้วยการทำงานของแบคทีเรียกลุ่มซัลเฟต รีดักชัน (Sulfate reducing bacteria) ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จากปฏิริยาซัลเฟตรีดักชันแบบดิสซิมิลชันนี้ จะมีการปล่อยก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ปริมาณมากออกสู่สิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะในดิน ตะกอนมหาสมุทรหรือในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ จะสังเกตเห็นการสะสมก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จากดิน ตะกอนสีดำ รวมทั้งในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน



ซึ่งก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ผลิตออกจากหลาย ๆ ปฏิริยาในวัฏจักรซัลเฟอร์เป็นก๊าซพิษที่มีพิษรุนแรงต่อสิ่งมีชีวิต ในปัจจุบันปฏิริยานี้ได้รับความสนใจในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนเพราะปฏิริยาซัลเฟตรีดักชันนั้นสามารถยับยั้งปฏิริยาการสร้างมีเทนทำให้ระบบการย่อยสลายของบ่อบำบัดน้ำเสียชนิดนี้ล้นมเหลวได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

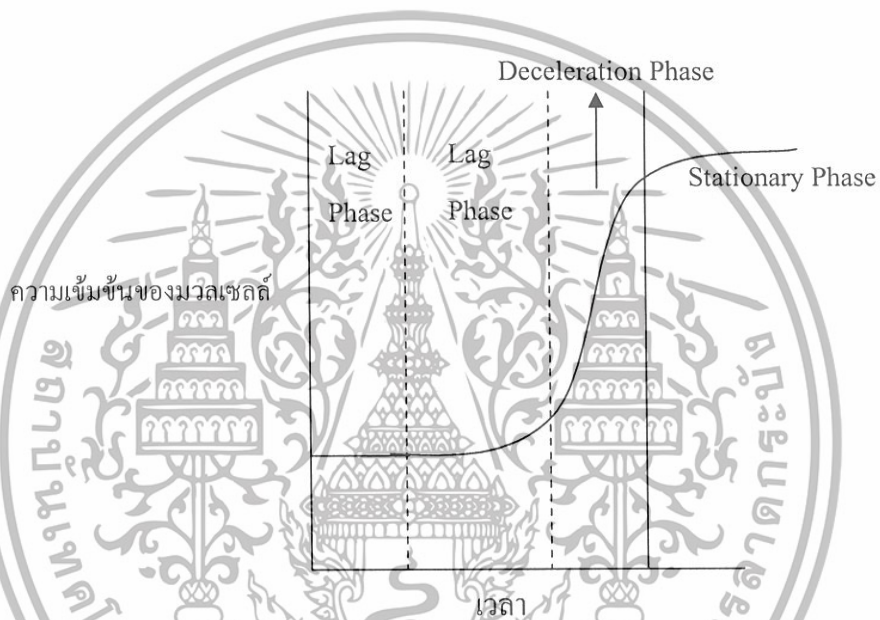
2.4 กระบวนการหมักและการบำบัดน้ำเสีย

2.4.1 การหมัก

การหมักทางชีวเคมี หมายถึง การสร้างพลังงานจากกระบวนการย่อยสลายสารประกอบอินทรีย์โดยมีสารอินทรีย์เป็นทั้งตัวให้และรับอิเล็กตรอน โดยแบ่งออกเป็น 3 แบบ ดังนี้

1. Batch fermentation

เป็นกระบวนการหมักที่ทำโดยเพาะเลี้ยงจุลินทรีย์ในระบบปิดที่มีปริมาณสารอาหารเริ่มต้นจำกัด ทำให้จุลินทรีย์มีรูปแบบการเจริญเติบโตดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 การเจริญของจุลินทรีย์ที่เพาะเลี้ยงในระบบแบทช์ (สมใจ ,2547)

2. Continuous fermentation

เป็นการหมักแบบต่อเนื่องโดยมีการเติมอาหารใหม่และถ่ายอาหารเก่าออกจากระบบในอัตราเดียวกันตลอดเวลา ทำให้จุลินทรีย์สามารถเจริญเพิ่มจำนวนได้อย่างต่อเนื่อง โดยไม่มีข้อจำกัดในเรื่องอาหาร

3. Fed batch fermentation

เป็นการหมักที่มีการเติมสารอาหารบางอย่างเพิ่มลงไปในการใช้เพาะเลี้ยงจุลินทรีย์เป็นระยะๆ เพื่อให้จุลินทรีย์เจริญและใช้สารอาหารอย่างเต็มที่โดยไม่มีการถ่ายอาหารเก่าออก การหมักแบบนี้ส่วนใหญ่ใช้เพื่อแก้ปัญหาเกี่ยวกับข้อจำกัดเรื่องความเข้มข้นของสารอาหารเริ่มต้น ซึ่งถ้าใช้มากไปอาจมีผลยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้ หรืออาจทำให้มีปัญหาในการใช้ออกซิเจนในปริมาณที่เพียงพอได้ยาก (สมใจ ,2547)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 กระบวนการบำบัดน้ำเสีย

กระบวนการบำบัดน้ำเสีย ทำไปเพื่อลดมลภาวะที่เกิดจากการปล่อยน้ำเสียลงสู่แหล่งน้ำ สาธารณะ การเลือกวิธีการและขั้นตอนของกระบวนการบำบัดน้ำเสียขึ้นอยู่กับชนิดของสิ่งเจือปน ในน้ำเสียนั้น ในขณะที่น้ำเสียจากโรงงานมีปริมาณสารอินทรีย์เจือปนในน้ำสูงมาก การบำบัดจึง ต้องใช้วิธีทางชีวภาพมาลดปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ค่าที่แสดงถึงปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำเสีย มีด้วยกัน 2 ค่า คือ บีโอดี (BOD) และ ซีโอดี (COD) ซึ่งบีโอดี (BOD) คือปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ ใช้ไปในช่วงการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ในขณะที่ซีโอดี (COD) คือปริมาณ ออกซิเจนที่ถูกใช้ไปในการออกซิไดส์ สารอินทรีย์ทั้งหมดในน้ำเสีย ซึ่งค่าซีโอดี (COD) จะ มากกว่าบีโอดี (BOD) เสมอ เพราะมีสารอินทรีย์บางอย่างในน้ำที่จุลินทรีย์ย่อยไม่ได้

การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางชีวภาพจะใช้จุลินทรีย์มาเป็นตัวย่อยสลายสารอินทรีย์ที่เจือปนในน้ำเสียวิธีการแบ่งได้เป็น 2 แบบ คือ “แบบใช้อากาศ” (aerobic treatment) และ “แบบไร้ อากาศ” (anaerobic treatment) ถ้าไม่คำนึงถึงเรื่องของค่าใช้จ่ายและสถานที่ตั้งของโรงงานแล้ว การ เลือกใช้วิธีการใดขึ้นอยู่กับปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำเสีย วิธีแบบไร้อากาศ (anaerobic treatment) เพราะสามารถรับมือกับน้ำเสียที่มีค่าบีโอดี (BOD) สูงๆ ได้ดี จุลินทรีย์ในระบบนี้จะเป็นพวก anaerobes และ facultative anaerobes ที่ย่อยสลายสารอินทรีย์โดยกระบวนการหมัก (fermentation) ซึ่งไม่ต้องการอากาศ สามารถกำจัดสารอินทรีย์ไปได้ถึง 80-90 เปอร์เซ็นต์ โดยสารอินทรีย์ส่วนใหญ่จะถูกย่อยสลายกลายเป็นก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ จึงมีตะกอนเกิดขึ้นไม่มากเพราะ เซลล์โตช้า แต่ก็ยังมีข้อจำกัดคือไม่สามารถลดค่าบีโอดี (BOD) ให้เหลือในปริมาณน้อย เช่นเดียวกับการบำบัดแบบใช้อากาศ (aerobic treatment) ได้ และต้องให้น้ำเสียอยู่ในระบบเป็นเวลานาน แต่ ปัจจุบันมีการพัฒนาระบบใหม่ๆ ที่ลดระยะเวลาให้สั้นลง ปัจจุบันนี้แนวโน้มของการผลิตก๊าซ ไฮโดรเจนจากน้ำเสียจึงมุ่งไปที่การใช้กระบวนการหมักโดยอาศัยระบบบำบัดแบบไร้อากาศ

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สุขสมาน สังกะและ อลิศรา (2004) ได้ศึกษาการผลิตไฮโดรเจนทางชีววิธีจากน้ำเสีย อินทรีย์เป็นกระบวนการที่ใช้พลังงานในการผลิต การวิจัยนี้เป็นการศึกษาถึงผลกระทบของค่า ความเป็นกรด-ด่าง สภาพการให้แสง การเขย่า ตัวดึงออกซิเจน ปริมาณของไนโตรเจนและ ฟอสฟอรัส ต่อการผลิตไฮโดรเจนจากน้ำทิ้ง โรงงานแปรงมันสำปะหลัง โดยอาศัยการทำงานร่วมกัน ของกลุ่มจุลินทรีย์และแบคทีเรียสังเคราะห์แสง *Rhodospirillum rubrum* เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม ในการผลิตไฮโดรเจน จากการศึกษาพบว่า สภาวะความเป็นกรด-ด่างเริ่มต้นในกระบวนการ หมักเป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อปริมาณไฮโดรเจนที่ผลิตได้ การทำงานของเอนไซม์ใน โตรจีเนสทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้แสงมีบทบาทต่อกระบวนการผลิตไฮโดรเจน ในขณะที่กลไกการเขย่าส่งเสริมให้กระบวนการผลิตไฮโดรเจนเกิดได้ดีขึ้น แบคทีเรียสายพันธุ์ *Enterobacter aerogenes* มีความสามารถในการดึงออกซิเจนและสร้างสภาวะไร้อากาศได้เช่นเดียวกับการเติมสารเคมี L-cystein ให้กับระบบ ปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่เหมาะสมต่อการผลิตไฮโดรเจนจากน้ำทิ้งของโรงงานแป้งมันสำปะหลังโดยกลุ่มจุลินทรีย์และเชื้อ *R. rubrum* อยู่ในช่วง 0.1-0.2 โมลาร์ และ 0.02-0.04 โมลาร์ ตามลำดับ

Fang และ Liu (2004) ได้ศึกษาการผลิตก๊าซไฮโดรเจนด้วยกระบวนการหมักโดยใช้เชื้อผสมทำการหมักที่อุณหภูมิ 36 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการกักเก็บ 6 ชั่วโมง โดยนำเชื้อจากการหมักชุกโคลสมา 50 มล.มาผสมกับน้ำเลี้ยงสังเคราะห์ทำการแปรค่าพีเอชเป็น 4.0, 4.5, 5.0, 5.5, 6.0, 6.5 และ 7.0 กลูโคสจะเกิดการย่อยได้ดีที่พีเอช 4-7 คือมากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ผลิตภัณฑ์ที่ได้ของก๊าซส่วนใหญ่เป็นพวกกรดไขมัน และที่พีเอช 5.5 สามารถผลิตก๊าซไฮโดรเจนได้ดีที่สุด คือ 64 เปอร์เซ็นต์ของผลผลิต หรือ 2.1 โมล-ไฮโดรเจนต่อโมลกลูโคสส่วนกรดไขมันจะได้กรดอะซิเตต 15.3-34.1 เปอร์เซ็นต์ กรดบิวทิเรตได้ 31.2-46.2 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนั้นจะเป็นกรดไขมันระเหยง่ายและแอลกอฮอล์

Gomez และคณะ (2006) ได้ศึกษาการผลิตก๊าซไฮโดรเจนด้วยกระบวนการหมักจากขยะชุมชนและของเสียจากโรงฆ่าสัตว์ ทำการทดลองโดยนำส่วนของสารอินทรีย์จากขยะเทศบาลที่ไม่ผ่านการฆ่าเชื้อผสมกับของเสียจากโรงฆ่าสัตว์ ในอัตราส่วนเท่ากับ 10 : 1 หมักในถังปฏิกรณ์ โดยใช้ระยะเวลาในการหมักเท่ากับ 3 และ 5 วัน ในช่วงอุณหภูมิเท่ากับ 25-40 องศาเซลเซียสและให้ค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลเท่ากับ -250 และ -350 มิลลิโวลต์ ศึกษาการผลิตก๊าซไฮโดรเจนในระยะแรกพบว่า การผลิตก๊าซไฮโดรเจนมีปริมาณอยู่ในช่วง 52.5 - 71.3 NL kg⁻¹VS_{rem} คิดเป็น 25-27.5 % ของก๊าซชีวภาพทั้งหมด ปริมาณการผลิตก๊าซไฮโดรเจนที่ได้สูงสุดได้มาจากระบบการหมักของสารอินทรีย์จากขยะเทศบาลที่ไม่ผ่านการฆ่าเชื้อผสมกับของเสียจากโรงฆ่าสัตว์โดยใช้ระยะเวลาในการหมัก 3 วัน และใช้รีดอกซ์โพเทนเชียลเท่ากับ -250 มิลลิโวลต์

Hwang et al (2001) ได้ศึกษาการผลิตก๊าซไฮโดรเจนด้วยกระบวนการหมักเอทานอลโดยจะแปรค่าพีเอชเป็น 4.0-4.5, 4.5-5.0 และ 5.0-6.00 ที่ระยะเวลาเก็บทางคลศาสตร์ 3 วัน ที่พีเอช 5 ซึ่งจะได้ก๊าซไฮโดรเจน 100-200 มล./กรัมกลูโคสหรือประมาณ 25-30 เปอร์เซ็นต์ ความผันแปรของก๊าซไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นมาจากโพรพิโอเนตและเมทาโนเจนสามารถแก้ไขได้โดยใช้พีเอชเป็นตัวช่วยยับยั้งปฏิกิริยาของจุลินทรีย์เมทาโนจีนิกและปฏิกิริยาของจุลินทรีย์ส่วนใหญ่จะถูกยับยั้งที่พีเอชต่ำกว่า 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Lin และ Lay (2003) ทำการศึกษาอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่มีผลต่อการผลิตก๊าซไฮโดรเจนโดยกระบวนการหมักของเชื้อ *Microflora* 30 มิลลิลิตรและกลูโคสซึ่งใช้เป็นสารตั้งต้น ปริมาณ 30 มิลลิลิตร ลงในขวดแก้วขนาดเล็ก (Vial) เขย่าให้เข้ากันและเก็บไว้ที่อุณหภูมิประมาณ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 36 ชั่วโมง จากนั้นนำไปวิเคราะห์หาปริมาณก๊าซไฮโดรเจนโดยใช้วิธีแก๊สโครโมโทกราฟี (GC-TCD) หาปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่าย และเอทานอล วัดโดยใช้วิธีแก๊สโครโมโทกราฟี (GC-FID) และปริมาณสภาพความเป็นด่าง สารแขวนลอยระเหยที่ได้ (VSS) และของแข็งทั้งหมด ตามวิธีของสารมาตรฐานของ APHA จากการศึกษาพบว่า ที่อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 47 จะสามารถผลิตก๊าซไฮโดรเจนและมีอัตราการผลิตก๊าซไฮโดรเจนได้มากที่สุด คือ 4.8 โมลไฮโดรเจนต่อโมลของซูโครส และ 270 มิลลิโมลของก๊าซไฮโดรเจนต่อลิตร- วันตามลำดับ

Van และคณะ (2004) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการผลิตก๊าซไฮโดรเจนจากน้ำในเสียในอุตสาหกรรมอาหาร ซึ่งจะมีคาร์โบไฮเดรตมาก โดยน้ำเสียที่จะใช้คือ หาแหล่งจากกระบวนการแปรรูปแอปเปิ้ลมีค่าซีโอดี (COD) 9 กรัมต่อลิตร จากการแปรรูปมันฝรั่งมีค่าซีโอดี (COD) 21 กรัมต่อลิตร จากอุตสาหกรรมขนมหวาน A มีค่าซีโอดี (COD) 0.6 กรัมต่อลิตร จากอุตสาหกรรมขนมหวาน B มีค่าซีโอดี (COD) 20 กรัมต่อลิตร ก๊าซชีววมวลที่เกิดขึ้นทั้งหมดจะได้ก๊าซไฮโดรเจน ประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์ โดยจะได้ก๊าซไฮโดรเจนจากแต่ละอุตสาหกรรมแต่ละชนิดเท่ากับ 0.7 – 0.9 ลิตรของก๊าซไฮโดรเจนต่อลิตร 0.1 ลิตรของก๊าซไฮโดรเจนต่อลิตร 0.4-2 ลิตรของก๊าซไฮโดรเจนต่อลิตร 2.1-2.8 ลิตรของก๊าซไฮโดรเจนต่อลิตร และสามารถลดค่าซีโอดีได้ประมาณ 5-11 เปอร์เซ็นต์

Fan และคณะ (2003) ทำการศึกษาการผลิตก๊าซไฮโดรเจนโดยใช้การหมักกากเบียร์ ในกระบวนการแบบแบบครั้ง โดยจะศึกษาผลของการบำบัดเบื้องต้นของสารตั้งต้นก่อนนำไปใช้ในกระบวนการผลิต, ความเข้มข้นของสารตั้งต้น, พีเอชเริ่มต้น ที่ผลต่อการผลิตก๊าซไฮโดรเจน ซึ่งทำในถังปฏิกรณ์ขนาด 250 มิลลิลิตร จากการศึกษาพบว่า ในการบำบัดเบื้องต้นก่อนนำไปเข้ากระบวนการโดยใช้กรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 0.2 % จะให้ผลผลิต คือก๊าซไฮโดรเจน 60.2 มิลลิลิตรไฮโดรเจนต่อกรัม ส่วนความเข้มข้นเริ่มต้นที่ดีที่สุดคือ ที่ 20 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่าพีเอชค่าที่ดีที่สุดอยู่ที่ในช่วง 6.0 – 7.0 และค่าที่สามารถยอมรับได้อยู่ในช่วง 5.5 – 7.5 โดยให้ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนสูงถึง 68.6 มิลลิลิตรไฮโดรเจนต่อกรัม ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 อุปกรณ์และสารเคมี

3.1.1 อุปกรณ์

1. ตู้อบ (Drying oven) บริษัท Memmert
2. เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง บริษัท Denver Instrument รุ่น TC-254
3. เครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี (GC-TCD)
4. เครื่องวัดพีเอช บริษัท Denver pH meter model รุ่น 215
5. เครื่องปั่นเหวี่ยง บริษัท Sanyo รุ่น CENTAUR 2
6. เครื่องกรองแบบสูญญากาศ บริษัท Gallen kamp รุ่น B165
7. เครื่องปั่นกวน บริษัท Gallenkamp
8. เครื่องแก้วที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ
9. กระดาษกรอง GF/C (glass fiber filter) ยี่ห้อ What man
10. จุกยางเจาะรู 3 อัน
11. แท่งแม่เหล็ก 3 อัน
12. สายยาง
13. ขวดน้ำกลั่น
14. เครื่องวัดปริมาณอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด (TOC)

3.1.2 สารเคมี

1. น้ำกลั่น
2. แคลเซียมคลอไรด์ เกรดวิเคราะห์ บริษัท FLUKA
3. เฟอริกคลอไรด์ เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba Reagent
4. แมกนีเซียมซัลเฟต เกรดวิเคราะห์ บริษัท FLUKA
5. โปแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต เกรดวิเคราะห์ บริษัท Lap-scan Analytical Reagent
6. โซเดียมไฮดรอกไซด์ เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba Reagent
7. โซเดียมซัลไฟด์ เกรดวิเคราะห์ บริษัท FLUKA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

107836

8. ไดโพลแทสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต เกรควิเคราะห์ บริษัท Lap-scan Analytical Reagent
9. ซิลเวอร์ซัลเฟต เกรควิเคราะห์ บริษัท FLUKA
10. กรดซัลฟิวริกเข้มข้น เกรควิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba Reagent
11. เฟอร์โรอินดิเคเตอร์ เกรควิเคราะห์ บริษัท Lap-scan Analytical Reagent
12. โปรทซัลเฟต เกรควิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba Reagent
13. โพลแทสเซียมซัลเฟต เกรควิเคราะห์ บริษัท Lap-scan Analytical Reagent
14. โซเดียมไฮดรอกไซด์ – โซเดียมไทโอซัลเฟต บริษัท FLUKA
15. ฟีนอล์ฟทาลีนอินดิเคเตอร์ เกรควิเคราะห์ บริษัท Lap-scan Analytical Reagent
16. กลูโคสและกรดกลูตามิก เกรควิเคราะห์ บริษัท FLUKA
17. กรดซัลฟิวริก 0.02 N เกรควิเคราะห์ บริษัท Lap-scan Analytical Reagent
18. เมทิลออเรนจ์ เกรควิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba Reagent
19. แอมโมเนียมเฮปตะโมลิบเดต เกรควิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba Reagent

3.2 การเตรียมน้ำเลี้ยงสังเคราะห์

น้ำเลี้ยงสังเคราะห์ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ ทำการเตรียมให้มีปริมาณสารอินทรีย์เข้มข้น 7,000 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีส่วนประกอบของธาตุอาหารอ้างอิงตาม Cheong และ Hansen (2006) ซึ่งมีส่วนประกอบดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ส่วนประกอบของน้ำเลี้ยงสังเคราะห์

สารเคมี	ปริมาณ (mg/L)
glucose	7,000
NaHCO ₃	1,000
NH ₄ Cl	500
MgSO ₄ ·7H ₂ O	320
FeCl ₃	50
NiSO ₄	32
CaCl ₂	50
Na ₂ BO ₇ ·H ₂ O	7
(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ ·4H ₂ O	14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 ส่วนประกอบของน้ำเสียสังเคราะห์ (ต่อ)

สารเคมี	ปริมาณ (mg/L)
ZnCl ₂	23
CoCl. 6H ₂ O	21
CuCl ₂	10
MnCl ₂ . 4H ₂ O	30
K ₂ HPO ₄	17.4
KH ₂ PO ₄	215,545.0 (pH 3.5)
KH ₂ PO ₄	21,554.5 (pH 4.5)
KH ₂ PO ₄	2,155.4 (pH 5.5)
KH ₂ PO ₄	215.5 (pH 6.5)

3.3 การเก็บตัวอย่างจุลินทรีย์ที่ใช้ในการทดลอง

ตะกอนจุลินทรีย์ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ ทำการเก็บรวบรวมจากระบบบำบัดแบบยูเอสบี (Upflow Anarobic Sludge Blaket : UASB) ของบริษัท เพรซิเดนท์ เบเกอรี่ จำกัด (มหาชน) นิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง จังหวัดกรุงเทพมหานคร ที่มีความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์เริ่มต้นประมาณ 18,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

3.4 การเพิ่มตะกอนจุลินทรีย์ในห้องทดลอง

ตะกอนจุลินทรีย์ที่เก็บรวบรวมได้ในหัวข้อที่ 3.3 ถูกนำมาเพิ่มมวลตะกอนโดยใช้ถังหมักแบบแบทช์ โดยมีส่วนประกอบของถังหมักดังแสดงในรูปที่ 3.1 ทำได้โดย

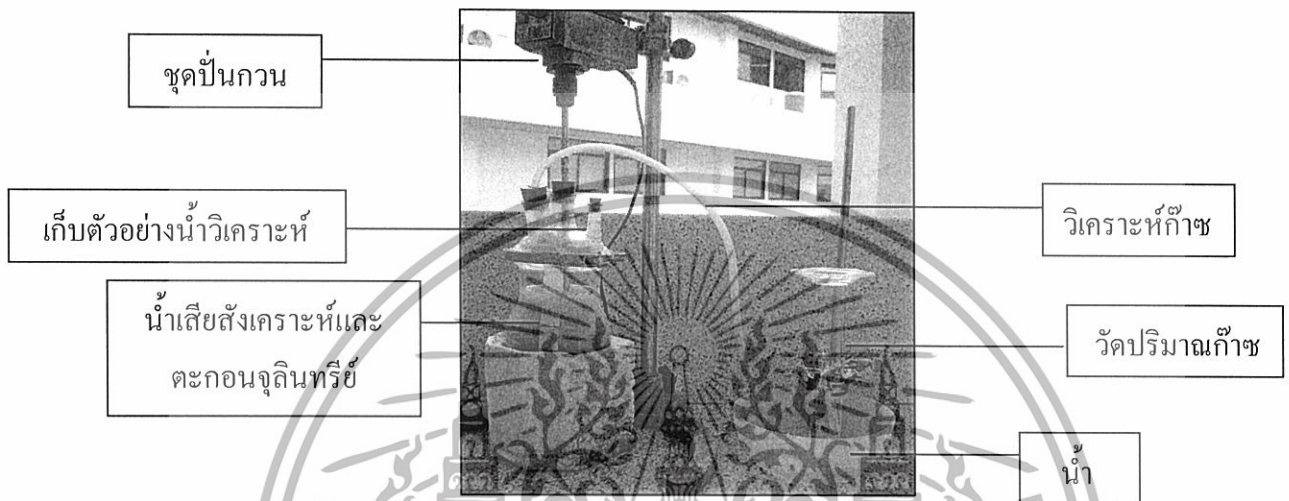
1. เติมตะกอนจุลินทรีย์ที่เก็บได้จากข้อ 3.3 ลงในถังหมักที่บรรจุ น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีพีเอช 5.5 โดยกำหนดให้มีความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ในน้ำเสียสังเคราะห์มีค่าประมาณ 1,500 – 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยปริมาตรของตะกอนจุลินทรีย์ในข้อ 3.3 ที่ต้องเติมลงในถังหมักสามารถคำนวณได้จากสูตรต่อไปนี้

$$\frac{\text{ความเข้มข้นของของตะกอนจุลินทรีย์ในถังหมัก} \times \text{ปริมาตรน้ำเสีย}}{\text{ความเข้มข้นของของตะกอนจุลินทรีย์ในถังหมักจากข้อ 3.3}}$$

2. ปิดฝาถังหมักพร้อมทำการพ่นก๊าซไนโตรเจนเป็นเวลา 15 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ทำการวิเคราะห์คุณลักษณะของน้ำเสียดังเคราะห์ที่ระยะเวลาต่าง ๆ พร้อมทั้งติดตามการเจริญเติบโตของตะกอนจุลินทรีย์โดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบธรรมดาที่กำลังขยาย 40 เท่า



รูปที่ 3.1 แผนภาพของถังหมักที่ใช้ในการศึกษา

ตารางที่ 3.2 วิธีวิเคราะห์สำหรับลักษณะต่าง ๆ ของน้ำ

พารามิเตอร์ที่ต้องการวิเคราะห์	วิธีการวิเคราะห์
ปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอน	เครื่องวัดปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอน ทั้งหมด
สภาพต่าง	วิธีการไทเทรต
กรดอินทรีย์ระเหยง่าย	วิธีการไทเทรต
เอ็มแอลเอสเอส	การกรองและการชั่งน้ำหนัก
ปริมาณก๊าซชีวภาพ	หลักการแทนที่น้ำ
พีเอช	พีเอชมิเตอร์ (pH Meter)
องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ	แก๊สโครมาโทกราฟีเทอร์มอลดีเทคเตอร์

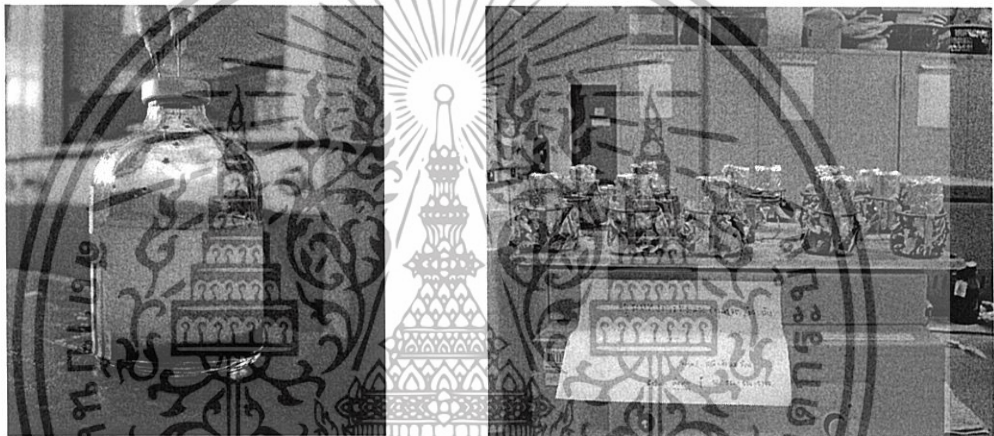
3.5 การศึกษาผลของพีเอชต่อประสิทธิภาพการผลิตก๊าซไฮโดรเจน

1. เติมตะกอนจุลินทรีย์ที่ได้จากหัวข้อ 3.4 ลงในขวดจืดยา ขนาด 120 มิลลิลิตร
2. เติมน้ำเสียดังเคราะห์ที่ผ่านการปรับพีเอชเป็น 3.5 ลงในขวดจืดยาดังแสดงในรูป 3.2 (ก) โดยกำหนดให้มีความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ประมาณ 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร จากนั้นปิดจุกยางและฝาอะลูมิเนียม ฟันก๊าซในโตรเจนเป็นเวลา 15 นาที (รูป 3.2 ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

องค์ประกอบของก๊าซในวันเริ่มต้น โดยพารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์สามารถสรุปได้ ดังแสดงในตารางที่ 3.2

4. นำขวดทดลองที่เหลือหุ้มด้วยกระดาษฟอยด์ แล้วนำไปแช่ด้วยเครื่องแช่ด้วยความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที ดังแสดงในรูปที่ 3.2 (ข) โดยให้มีระยะเวลาการหมัก 4 วัน
5. นำขวดทดลองในข้อที่ 4 ที่ผ่านการหมักแล้ว 4 วัน มาทำการวิเคราะห์หาลักษณะต่าง ๆ ของน้ำเสียและองค์ประกอบของก๊าซ โดยพารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 3.2
6. ทำการทดลองเช่นเดิม แต่เปลี่ยนพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์เป็น 4.5, 5.5 และ 6.5



รูปที่ 3.2 ขวดชนิดยาที่ใช้ในการศึกษา

3.6 ศึกษาผลของอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่อการผลิตก๊าซไฮโดรเจน

1. เติมตะกอนจุลินทรีย์ที่ได้จากข้อ 3.4 ลงในขวดชนิดยา (Serum bottle) ขนาด 120 มิลลิลิตร
2. เติมน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนเป็น 40 ที่ผ่านการปรับพีเอชเป็น 5.5 ลงในขวดชนิดยา โดยกำหนดให้มีความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ประมาณ 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำการปิดจุกยาง และฝาอะลูมิเนียม จากนั้นทำการพ่นก๊าซไนโตรเจนเป็นเวลา 15 นาที
3. แบ่งขวดทดลองเพื่อทำการวิเคราะห์หาลักษณะต่าง ๆ ของน้ำเสียสังเคราะห์และองค์ประกอบของก๊าซในวันเริ่มต้น โดยพารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์ คือ สภาพต่าง กรดอินทรีย์ระเหย พีเอช ปริมาณ ตะกอนจุลินทรีย์และปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. แบ่งขวดทดลองเพื่อทำการวิเคราะห์หาลักษณะต่าง ๆ ของน้ำเสียสังเคราะห์และองค์ประกอบของก๊าซในวันเริ่มต้น โดยพารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์ คือ สภาพต่าง กรดอินทรีย์ระเหย พีเอช ปริมาณ ตะกอนจุลินทรีย์และปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอน
4. นำขวดทดลองที่เหลือหุ้มด้วยกระดาษฟอยล์ แล้วนำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าด้วย ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที โดยให้มีระยะเวลาการหมัก 4 วัน
5. นำขวดทดลองในข้อที่ 4 ที่ผ่านการหมักแล้ว 4 วัน มาทำการวิเคราะห์หาองค์ประกอบของก๊าซ และนำน้ำเสียที่ผ่านการหมักแล้ว 4 วัน นำมาวิเคราะห์หาสภาพต่าง กรดอินทรีย์ระเหย พีเอช ปริมาณ ตะกอนจุลินทรีย์และปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอน
6. ค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่ 50 และ 60 ทำการทดลองเช่นเดียวกับ ข้อ 1- 5

3.7 สภาพที่ใช้ในการวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี

ก๊าซที่เกิดขึ้นในขวดชนิดยา ถูกนำมาวิเคราะห์หาปริมาณพื้นที่ได้กราฟด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (Gas Chromatograph) รุ่น Varian Model GC-CP 3800 ที่มีตัววัดสัญญาณคือ Thermal Conductivity Detector (TCD) ใช้คอลัมน์ Plot fused silica ที่มีเฟสคงที่คือ Molecular Sieve 5A ขนาดของความยาวคอลัมน์เท่ากับ 10 เมตร มีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 0.53 มิลลิเมตร ฟิล์มมีความหนาเท่ากับ 50 ไมโครเมตร โดยตั้งอุณหภูมิของเครื่องดังนี้ อุณหภูมิของ Injector เท่ากับ 100 องศาเซลเซียส เลือก Mode Splitless แก๊สพาที่ใช้คือ แก๊สฮีเลียม ส่วนอุณหภูมิของ Oven ตั้งโปรแกรมอุณหภูมิดังนี้ คืออุณหภูมิเริ่มต้น 50 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที เพิ่มอุณหภูมิขึ้นในอัตรา 10 องศาเซลเซียส/นาที จนถึง 80 องศาเซลเซียส และคงที่ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 นาที อุณหภูมิของ Detector เท่ากับ 150 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตก๊าซไฮโดรเจนจากน้ำเสียสังเคราะห์ในถึงปฏิกิริยาแบบแบคทีเรีย โดยแบ่งขั้นตอนการศึกษาออกเป็น 1) การเก็บตัวอย่างตะกอนจุลินทรีย์ที่ใช้ในการทดลอง 2) การเพิ่มตะกอนของตะกอนจุลินทรีย์ในน้ำเสียสังเคราะห์ 3) การศึกษาผลของพีเอชที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของตะกอนจุลินทรีย์ 4) ศึกษาผลของอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่มีผลต่อการผลิตก๊าซไฮโดรเจนจากน้ำเสียสังเคราะห์ผลการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้

4.1 การเก็บตัวอย่างตะกอนจุลินทรีย์ที่ใช้ในการทดลอง

ตัวอย่างตะกอนจุลินทรีย์ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ทำการเก็บรวบรวมจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบยูเอเอสบี (Upflow Anaerobic Sludge Blanket : UASB) จากถัอกที่ 1 ของบริษัท เพอร์ซิเดนท์ เบเกอร์ จำกัด (มหาชน) นิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร รูปที่ 4.1(ก) โดยตะกอนจุลินทรีย์ที่ได้จากการเก็บตัวอย่าง มีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 4.1 (ข)



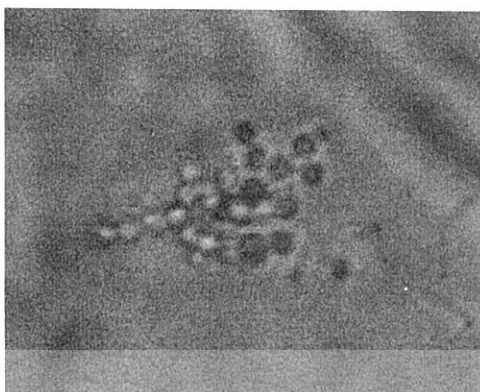
(ก)

(ข)

รูปที่ 4.1 ตะกอนจุลินทรีย์ที่เก็บรวบรวมจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบยูเอเอสบี

จากรูปที่ 4.1 (ข) พบว่า ลักษณะทางกายภาพของตะกอนจุลินทรีย์ที่เก็บรวบรวมได้มีสีดำ ตั้งทิ้งไว้สักครู่จะแยกชั้นกัน ตะกอนสีดำจะจมตัวลงด้านล่างเป็นจำนวนมากโดยตะกอนจะมีลักษณะเป็นเม็ดกลม ตะกอนจุลินทรีย์ที่เก็บรวบรวมได้มีลักษณะแสดงในรูปที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



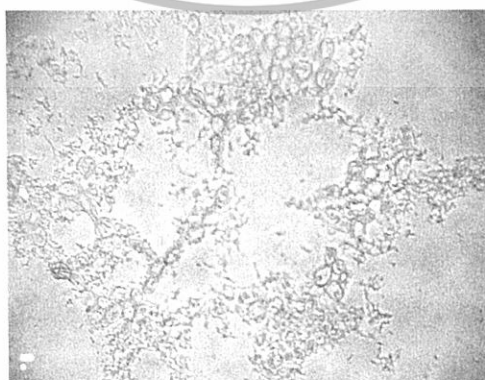
รูปที่ 4.2 ลักษณะของจุลินทรีย์ที่เก็บรวบรวมได้จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบยูเอเอสบี ในวันเริ่มต้นที่กำลังขยาย 40 เท่า

4.2 การเพิ่มตะกอนจุลินทรีย์ในน้ำเสียสังเคราะห์

จุลินทรีย์ที่เก็บรวบรวมได้ในหัวข้อ 4.1 ได้ถูกนำมาเพิ่มจำนวนในน้ำเสียสังเคราะห์ที่พีเอช 5.5 ในถังหมักแบบแบทช์ วัตถุประสงค์การเจริญเติบโตของตะกอนจุลินทรีย์จากปริมาณมวลตะกอนจุลินทรีย์ (Mixed liquor suspended solid, MLSS) นอกจากนี้ทำการตรวจคุณลักษณะของน้ำเสียอื่น ได้แก่ พีเอช สภาพด่าง (Alkalinity) ปริมาณกรดอินทรีย์ระเหย (Volatile Fatty Acid) ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด (Total Organic Carbon) ที่เปลี่ยนแปลง ณ เวลาต่างๆ กัน และทำการติดตามลักษณะของตะกอนจุลินทรีย์โดยกล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 40 เท่า

4.2.1 ลักษณะของตะกอนจุลินทรีย์ในถังหมัก

จากการเพิ่มตะกอนจุลินทรีย์ได้มีการติดตามลักษณะของตะกอนจุลินทรีย์ในถังหมักเมื่อเวลาผ่านไป 5 สัปดาห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์ขนาดกำลังขยาย 40 เท่า ลักษณะดังแสดงในรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 ลักษณะของจุลินทรีย์ในถังปฏิกริยาภายหลังการเพิ่มจำนวน 5 สัปดาห์ที่กำลังขยาย 40 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 ปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ (MLSS) และประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์

จากการติดตามการเพิ่มของมวลตะกอนจุลินทรีย์ในถังหมักและการเปลี่ยนแปลงของประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ในถังหมักที่ระยะเวลาต่างๆกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.4 (ก) และ 4.4 (ข) ตามลำดับ



รูปที่ 4.4 ปริมาณตะกอนจุลินทรีย์และค่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดสารอินทรีย์ในถังหมักที่ระยะเวลาต่าง ๆ กัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.4 (ก) พบว่าปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ในถังหมักมีจำนวนเพิ่มขึ้นเป็น 2,553 มิลลิกรัมต่อลิตร ภายหลังจากการหมัก 3 วัน หลังจากนั้นระบบมีการปรับตัวเข้าสู่สภาวะคงที่ ดังจะเห็นได้จากระดับความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ในถังหมักมีค่าประมาณ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

นอกจากนี้ พบว่าตะกอนจุลินทรีย์ในถังหมักมีการย่อยสลายสารอินทรีย์ ดังจะเห็นได้จากเมื่อเพิ่มระยะเวลาการหมัก ค่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดสารอินทรีย์ในถังหมักมีแนวโน้มคงที่ โดยคิดเป็นประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์เฉลี่ยประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์

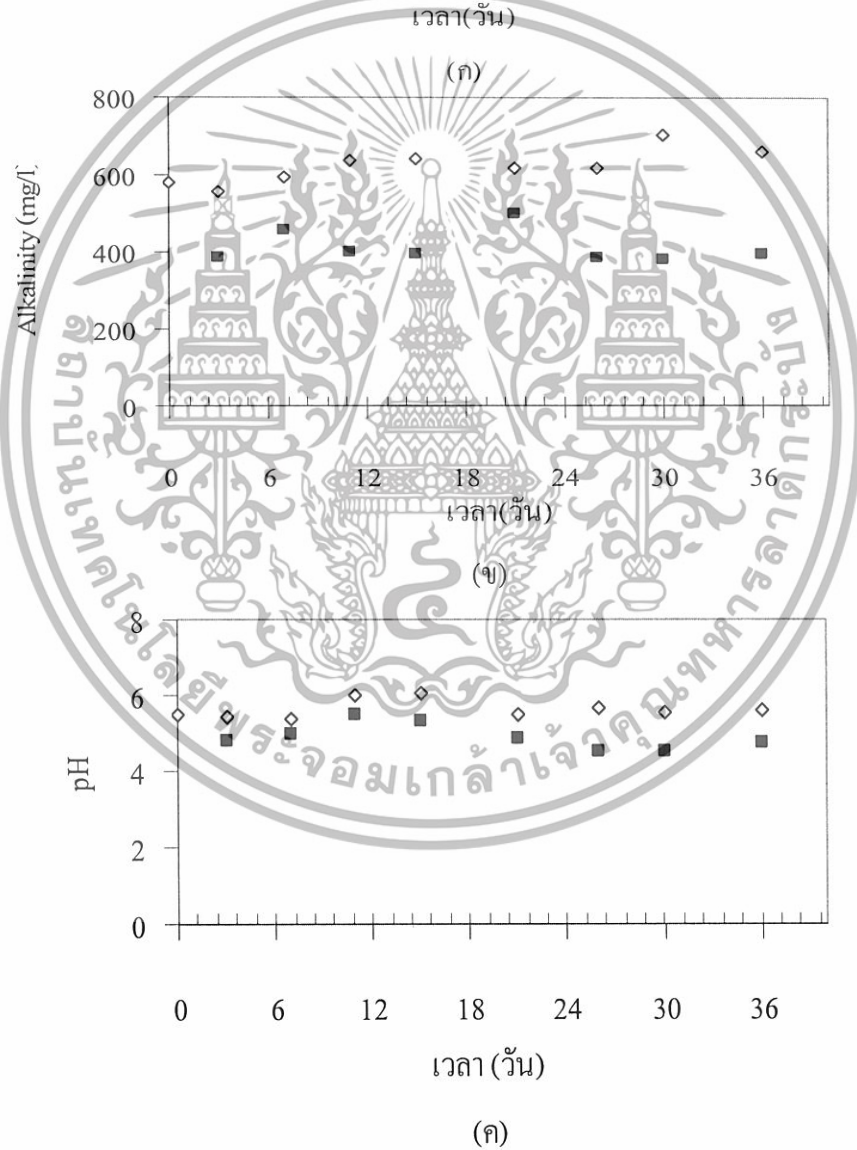
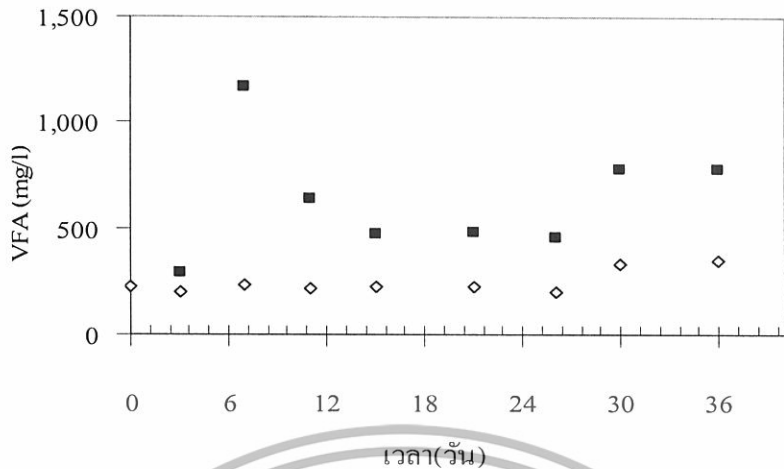
เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ในรูปที่ 4.4 (ก) และค่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดสารอินทรีย์ในรูปที่ 4.4 (ข) พบว่าการเพิ่มขึ้นของปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ในระบบมีการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางเดียวกับประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์โดยปริมาณสารอินทรีย์ทั้งหมดมีค่าลดลงจากโดยเฉลี่ยประมาณ 2,700 มิลลิกรัมต่อลิตรเป็นค่าประมาณ 1,100-1,700 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นค่าการกำจัดสารอินทรีย์ประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ปริมาณ MLSS ก็จะมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 1,640 มิลลิกรัมต่อลิตรเป็น 2,553 มิลลิกรัมต่อลิตร ภายในระยะเวลาการหมัก 3 วัน แสดงให้เห็นว่าตะกอนจุลินทรีย์ที่อยู่ในถังจะมีการใช้สารอินทรีย์เป็นแหล่งของคาร์บอนในการเจริญเติบโต นอกจากนี้เมื่อระยะเวลาในการหมักเพิ่มมากขึ้นจะมีปริมาณตะกอนจุลินทรีย์และมีเปอร์เซ็นต์การกำจัดสารอินทรีย์คงที่ แสดงว่าการเพิ่มตะกอนจุลินทรีย์ในถังหมักอยู่ในสภาวะคงตัว

4.2.3 การเปลี่ยนแปลงของกรดอินทรีย์ระเหย (VFA) สภาพด่าง (Alkalinity) และค่าพีเอช (pH) ในถังหมัก

เมื่อพิจารณาค่าการเปลี่ยนแปลงของกรดอินทรีย์ระเหยในถังหมัก พบว่าค่ากรดอินทรีย์ระเหยของน้ำเสียสังเคราะห์ที่เข้าสู่ระบบมีค่าเฉลี่ยประมาณ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ภายหลังจากการหมักเป็นเวลา 3 วัน ปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยในน้ำที่ผ่านการบำบัดมีค่าเพิ่มขึ้นดังแสดงในรูปที่ 4.5 (ก) แสดงให้เห็นว่า จุลินทรีย์เกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ให้อยู่ในรูปกรดอินทรีย์โดยกระบวนการหมักแบบไร้อากาศ จึงมีผลทำให้ค่ากรดอินทรีย์ระเหยเพิ่มสูงขึ้น

การติดตามสภาพด่างในถังหมักเมื่อระยะเวลาในการหมักเพิ่มขึ้น พบว่า สภาพด่างของน้ำเสียสังเคราะห์ที่เข้าสู่ระบบมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับน้ำที่ผ่านการหมักดังแสดงในรูปที่ 4.5 (ข)

นอกจากนี้พบว่าค่าพีเอชของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบมีค่าลดลง เนื่องจากค่ากรดอินทรีย์ระเหยที่เพิ่มสูงขึ้นส่งผลต่อพีเอชของน้ำเสียที่ผ่านการหมักทำให้มีค่าพีเอชลดลงดังแสดงในรูป 4.5 (ค)



รูปที่ 4.5 กรดอินทรีย์ระเหย (VFA) สภาพต่าง (Alkalinity) และค่าพีเอช (pH) ของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบ (◊) น้ำที่ผ่านการบำบัด (■) ที่ระยะเวลาต่างๆ กัน

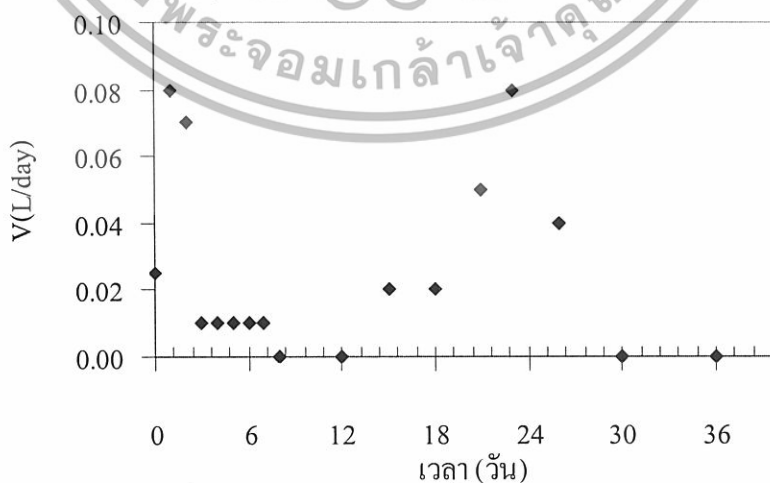
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.5 (ก) ค่ากรดอินทรีย์ระเหยของน้ำเสียสังเคราะห์ที่เข้าสู่ระบบและน้ำเสียที่ผ่านการบำบัด พบว่า ค่าของกรดอินทรีย์ระเหยของน้ำเข้ามีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อน้ำเสียสังเคราะห์ผ่านการบำบัดค่ากรดอินทรีย์มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเทียบกับน้ำเข้า โดยที่ภายหลังการหมักเป็นเวลา 7 วัน ค่ากรดอินทรีย์ระเหยเพิ่มขึ้นสูงสุดจาก 228 มิลลิกรัมต่อลิตรเป็น 1,164 มิลลิกรัมต่อลิตร เนื่องจากในวันที่ 7 ได้ทำการทดลองหากรดอินทรีย์ระเหยโดยใช้วิธีการกลั่น ซึ่งวิธีนี้มีการคุณค่าแฟกเตอร์เพื่อหาประสิทธิภาพในการกลั่น จึงทำให้มีค่ากรดอินทรีย์ระเหยสูงกว่าวันอื่นๆ ซึ่งใช้วิธีการไทเทรต เมื่อพิจารณาสภาพต่างของน้ำเสียสังเคราะห์จากรูป 4.5 (ข) พบว่า ค่าเฉลี่ยสภาพต่างของน้ำเข้าเป็น 600 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อน้ำผ่านการบำบัด สภาพต่างมีแนวโน้มลดลงเมื่อเทียบกับน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบ โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 400 มิลลิกรัมต่อลิตร จากผลดังกล่าวสันนิษฐานได้ว่า จุลินทรีย์เกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ให้อยู่ในรูปกรดอินทรีย์ส่งผลให้ภายหลังการหมักน้ำเสียสังเคราะห์มีค่ากรดอินทรีย์เพิ่มสูงขึ้น ขณะเดียวกันสภาพความเป็นต่างในน้ำจึงลดลงเพื่อรักษาระดับของพีเอชสอดคล้องกับค่าพีเอชของน้ำออกที่มีค่าลดลง

จากรูปที่ 4.5 (ค) พบว่าค่าพีเอชเฉลี่ยของน้ำเสียสังเคราะห์ที่เข้าสู่ระบบมีค่าประมาณ 5.5-6 เมื่อผ่านการหมักเป็นระยะเวลา 3 วัน ค่าพีเอชของน้ำที่ผ่านการบำบัด มีค่าลดลงเมื่อเทียบกับพีเอชของน้ำเข้า ทั้งนี้อาจ เป็นผลเนื่องจากการที่จุลินทรีย์ทำการย่อยสลายสารอินทรีย์คาร์บอนในน้ำเสียให้อยู่ในรูปกรดอินทรีย์ส่งผลให้ค่าพีเอชของน้ำที่ผ่านการบำบัดมีค่าลดลง

4.2.6 ปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้น

ก๊าซที่เกิดขึ้นในระบบทำการติดตามโดยวัดการแทนที่น้ำในกระบอกตวงขนาด 250 มิลลิลิตร ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 ปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นที่ระยะเวลาต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

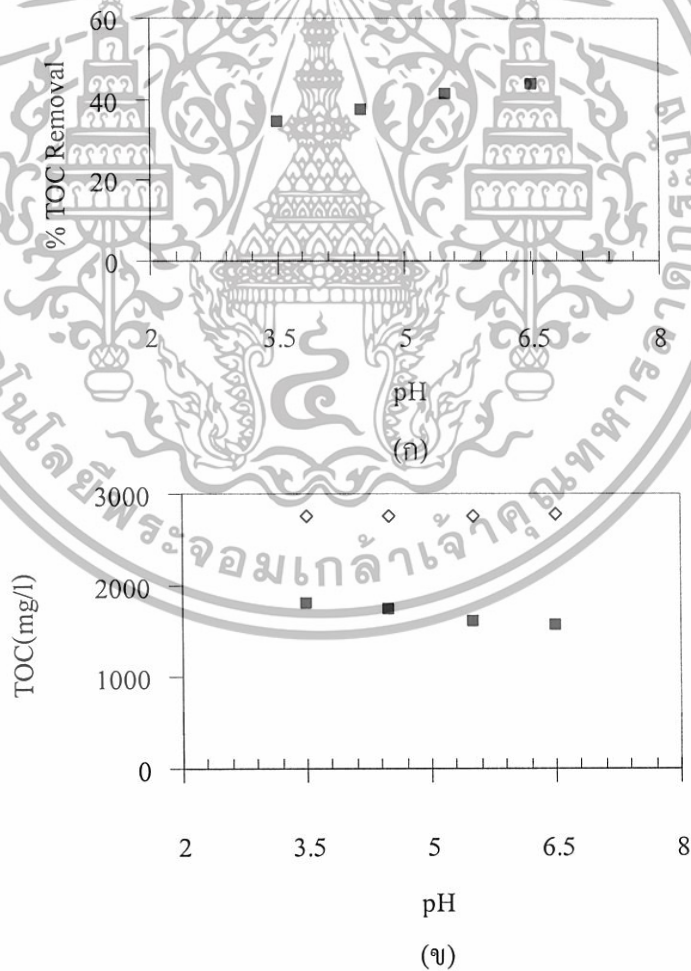
จากรูปที่ 4.6 พบว่าถังหมักเพื่อเพิ่มตะกอนจุลินทรีย์มีก๊าซเกิดขึ้นภายหลังจากการหมัก โดยพบการแทนที่ของก๊าซเกิดขึ้นในถังหมักภายหลังจากการหมักเป็นเวลา 2 วัน อัตราการแทนที่มีค่าเท่ากับ 0.08 ลิตรต่อวัน จากนั้นอัตราการแทนที่น้ำมีแนวโน้มลดลงจนคงที่เป็น 0.02 ลิตรต่อวัน เมื่อระยะเวลาในการเพิ่มตะกอนจุลินทรีย์ในถังหมักเพิ่มสูงขึ้นอัตราการแทนที่น้ำมีแนวโน้มสูงขึ้นอีกครั้งในช่วงสัปดาห์ที่ 2 ของการเพิ่มตะกอนจุลินทรีย์

ภายหลังจากการหมักเป็นเวลา 36 วัน พบว่าระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว ดังจะเห็นได้จากปริมาณตะกอนจุลินทรีย์และเปอร์เซ็นต์การกำจัดสารอินทรีย์คาร์บอนที่คงที่ จากนั้นจึงนำตะกอนจุลินทรีย์ที่ได้ไปทำการศึกษาผลของพีเอชและอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่อไป

4.3 ผลของค่าพีเอชที่มีต่อประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์และการผลิตก๊าซไฮโดรเจน

4.3.1 ผลของพีเอชต่อประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์

จากการศึกษาผลของพีเอชต่อประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ดังแสดงในรูปที่ 4.7



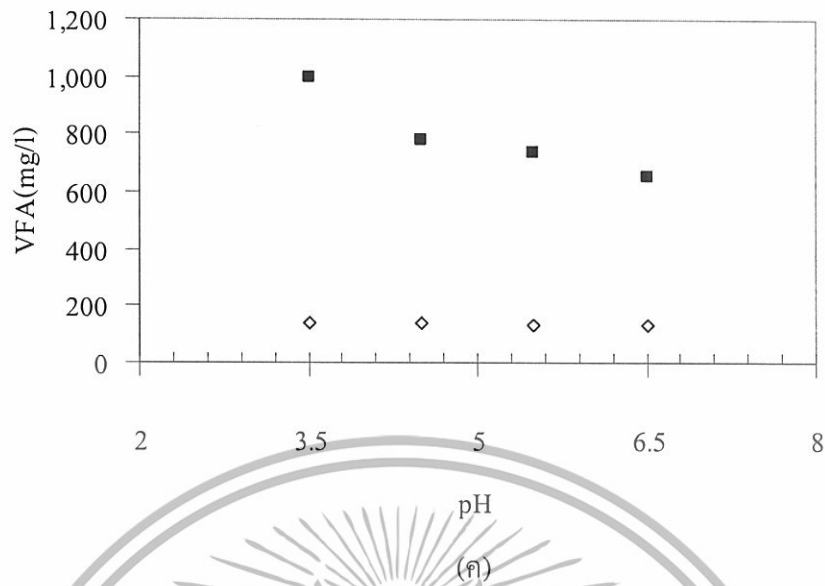
รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ของเปอร์เซ็นต์การกำจัดสารอินทรีย์และปริมาณอินทรีย์คาร์บอนของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบ (◇) น้ำที่ผ่านการบำบัด (■) ที่พีเอชต่างๆ กัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.7 พบว่า เมื่อพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์มีค่าเพิ่มขึ้น จะมีผลทำให้เปอร์เซ็นต์การกำจัดสารอินทรีย์คาร์บอนมีค่ามากขึ้นดังรูปที่ 4.7(ก) โดยประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์คาร์บอนมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 34 % เป็น 44% เมื่อพีเอชของน้ำเสียมีการเปลี่ยนแปลงจาก 3.5 เป็น 6.5 แสดงให้เห็นว่าความสามารถของจุลินทรีย์ในการย่อยสลายสารอินทรีย์คาร์บอนเกิดขึ้นได้ดีในช่วงพีเอช 6.5 มากกว่า พีเอช 3.5 ซึ่งเราอาจจะสังเกตได้จากปริมาณ อินทรีย์คาร์บอนของน้ำที่ผ่านการบำบัดจะมีค่าลดลง ดังรูปที่ 4.7 (ข) โดยพีเอชที่ 6.5 จะมีค่าอินทรีย์คาร์บอนลดลงมากที่สุด คือจาก 2,777 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็น 1,557 มิลลิกรัมต่อลิตร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

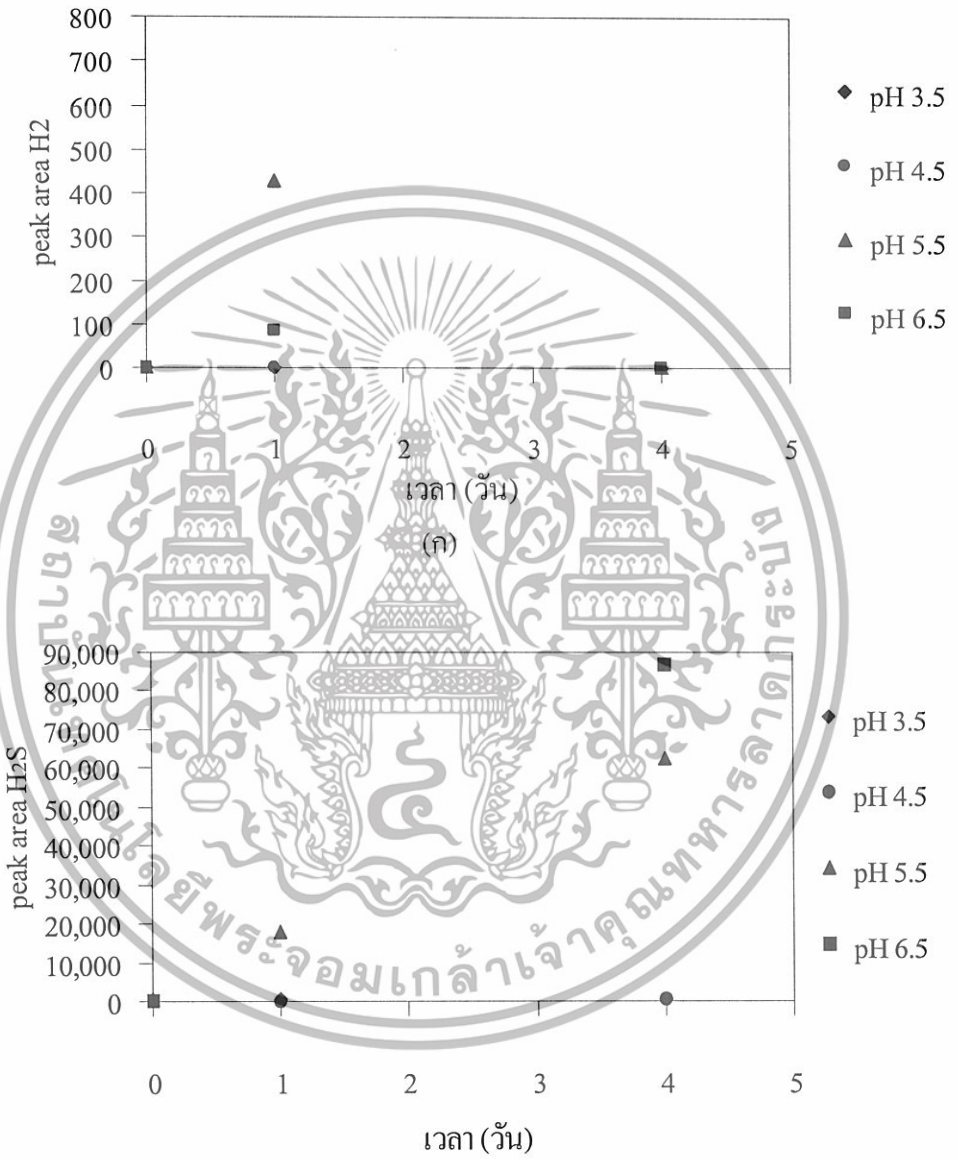


รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณมวลตะกอนจุลินทรีย์ สภาพต่าง และ ปริมาณกรดอินทรีย์ระเหย ของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบ (◇) น้ำที่ผ่านการบำบัด (■) ที่พีเอชต่าง ๆ กัน

เมื่อพิจารณาผลของพีเอชต่อปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ กรดอินทรีย์ระเหยและสภาพต่าง พบว่าปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ในขวดชนิดยาหลังจากการหมักเป็นเวลา 4 วันมีค่าใกล้เคียงกัน กับปริมาณตะกอนจุลินทรีย์เริ่มต้นดังรูปที่ 4.8 (ก) ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ณ พีเอชของน้ำเสียที่ 6 จุลินทรีย์สามารถเจริญเติบโตอยู่ได้พร้อมทั้งมีการใช้สารอินทรีย์คาร์บอนในน้ำเสีย เมื่อพีเอชของ น้ำเสียลดลง ปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ภายหลังการหมัก 4 วัน มีค่าน้อยกว่าเมื่อเทียบกับปริมาณ ตะกอนจุลินทรีย์เริ่มต้น โดยที่พีเอช 3.5 มีอัตราการลดลงของปริมาณตะกอนจุลินทรีย์มากที่สุด คือลดลงจาก 2,033 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็น 1,653 มิลลิกรัมต่อลิตร แสดงให้เห็นว่า ที่ค่าพีเอชต่ำ ๆ จะมีผลทำให้เกิดการยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์บางกลุ่ม และเมื่อพิจารณาพีเอชต่อสภาพ ต่างในน้ำที่ผ่านการบำบัด จะเห็นได้ว่า น้ำที่ผ่านการหมักเป็นเวลา 4 วัน มีสภาพต่างลดลงดังรูป ที่ 4.8 (ข) ทั้งนี้เป็นผลเนื่องจากการหมักระยะเวลา 4 วัน จุลินทรีย์มีการย่อยสลายสารอินทรีย์ใน น้ำเสียสังเคราะห์ให้อยู่ในรูปกรดอินทรีย์ระเหย ดังจะเห็นได้จากรูปที่ 4.8 (ค) พบว่าปริมาณกรด อินทรีย์ระเหยเพิ่มขึ้นในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ผ่านการหมักเป็นเวลา 4 วัน โดยน้ำเสียพีเอช 3.5 มีค่า กรดอินทรีย์ระเหยในน้ำที่ผ่านการบำบัดสูงสุด

4.3.2. ผลของพีเอชต่อองค์ประกอบของก๊าซ

ผลของพีเอชต่อองค์ประกอบของก๊าซภายหลังจากการหมักเป็นเวลา 4 วัน ทำการติดตามโดยใช้แก๊สโครมาโทกราฟเทอร์มอลดีเทคเตอร์ (GC-TCD) ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.9



(ข)

รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ของพื้นที่ใต้กราฟของก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ระยะเวลาหมัก 4 วัน ที่พีเอชต่าง ๆ กัน

จากรูปที่ 4.9 (ก) พบว่าพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์มีผลต่อการเกิดก๊าซไฮโดรเจน โดยที่ก๊าซไฮโดรเจนเกิดขึ้นเมื่อน้ำเสียสังเคราะห์มีค่าพีเอช 5.5 และ 6.5 ภายหลังจากการหมักเป็นเวลา 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

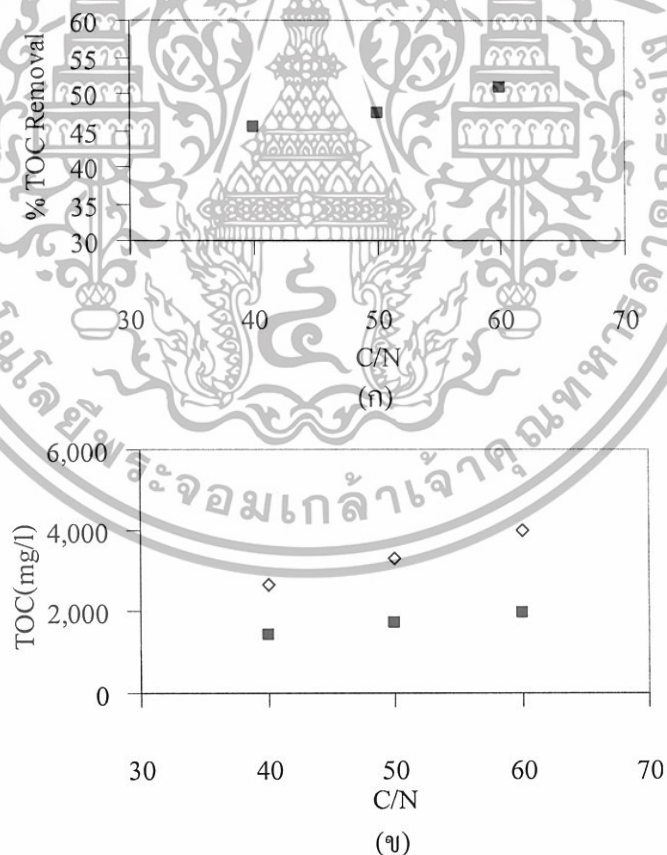
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัน และในขณะที่พีเอชของน้ำเสียมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 4.5 จะไม่พบการเกิดก๊าซไฮโดรเจนในน้ำเสีย เห็นได้ว่าการผลิตก๊าซไฮโดรเจนถูกยับยั้งในทุกพีเอชที่ทำการทดลอง เมื่อระยะเวลาการหมักเพิ่มขึ้นจาก 1 วันเป็น 4 วัน นอกจากก๊าซไฮโดรเจน พบว่ามีการผลิตก๊าซ Unknown ในน้ำเสียตั้งเคราะห์พีเอช 5.5 ภายหลังจากการหมัก 1 วัน และเมื่อนำก๊าซตัวอย่างไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบด้วยเครื่อง GC-MS พบว่าก๊าซ Unknown ดังกล่าวคือ ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) เมื่อระยะเวลาการหมักเพิ่มขึ้น พื้นที่ใต้กราฟของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) มีค่าสูงขึ้นด้วยเช่นกัน โดยเฉพาะในขบวนการบำบัดน้ำเสียพีเอช 5.5 และ 6.5

4.4 ผลของอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่อการบำบัดสารอินทรีย์และการผลิตก๊าซไฮโดรเจน

4.4.1 ผลของอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C:N) ต่อการบำบัดสารอินทรีย์

เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์คาร์บอนในถังหมัก ผลการทดลองที่ได้แสดงในรูปที่ 4.10



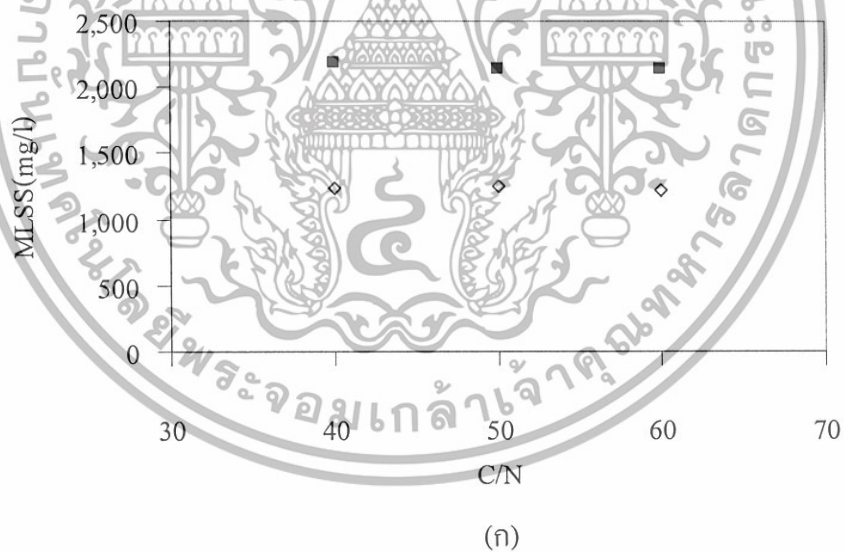
รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ของเปอร์เซ็นต์การกำจัดสารอินทรีย์และปริมาณอินทรีย์คาร์บอนของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบ (◇) น้ำที่ผ่านการบำบัด (■) ที่อัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจน ต่าง ๆ กัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

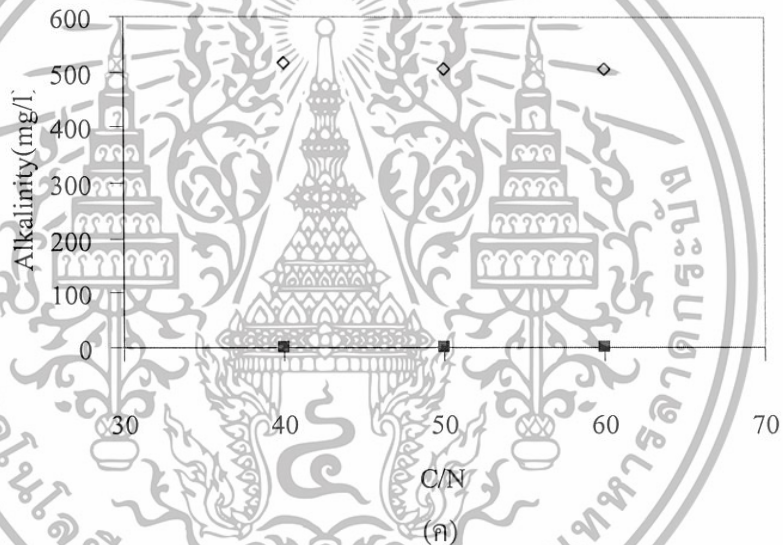
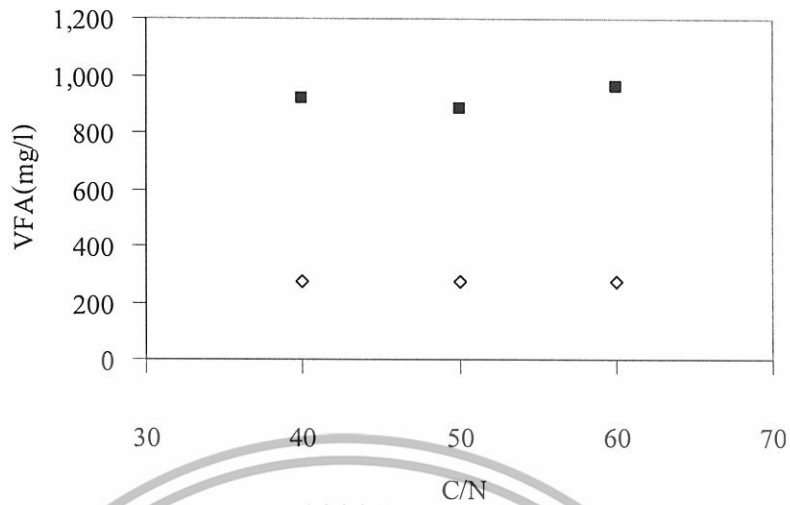
จากรูปที่ 4.10 พบว่า ตะกอนจุลินทรีย์สามารถกำจัดสารอินทรีย์คาร์บอนได้มากที่สุดเมื่อ อัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนมีค่าเท่ากับ 60 ซึ่งเราอาจจะสังเกตได้จากปริมาณ สารอินทรีย์คาร์บอนในน้ำที่ผ่านการบำบัดเป็นเวลา 4 วันจะมีค่าลดลง ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 50 (4.10 ก) โดยประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์เกิดขึ้นน้อยสุด เมื่อน้ำเสียมีอัตราส่วนระหว่างคาร์บอน ต่อไนโตรเจนเท่ากับ 40 จากผลการทดลองประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์มีค่าเท่ากับ 45 เปอร์เซ็นต์

4.4.2 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ สภาพต่าง และกรดอินทรีย์ระเหยที่มีผล ต่อการบำบัดสารอินทรีย์ในถังหมัก

เมื่อพิจารณาถึงการเปลี่ยนแปลงของปริมาณมวลตะกอนจุลินทรีย์ สภาพต่าง และกรด อินทรีย์ระเหยง่ายที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ในถังหมัก ผลการทดลองที่ได้ดัง แสดงในรูปที่ 4.11



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



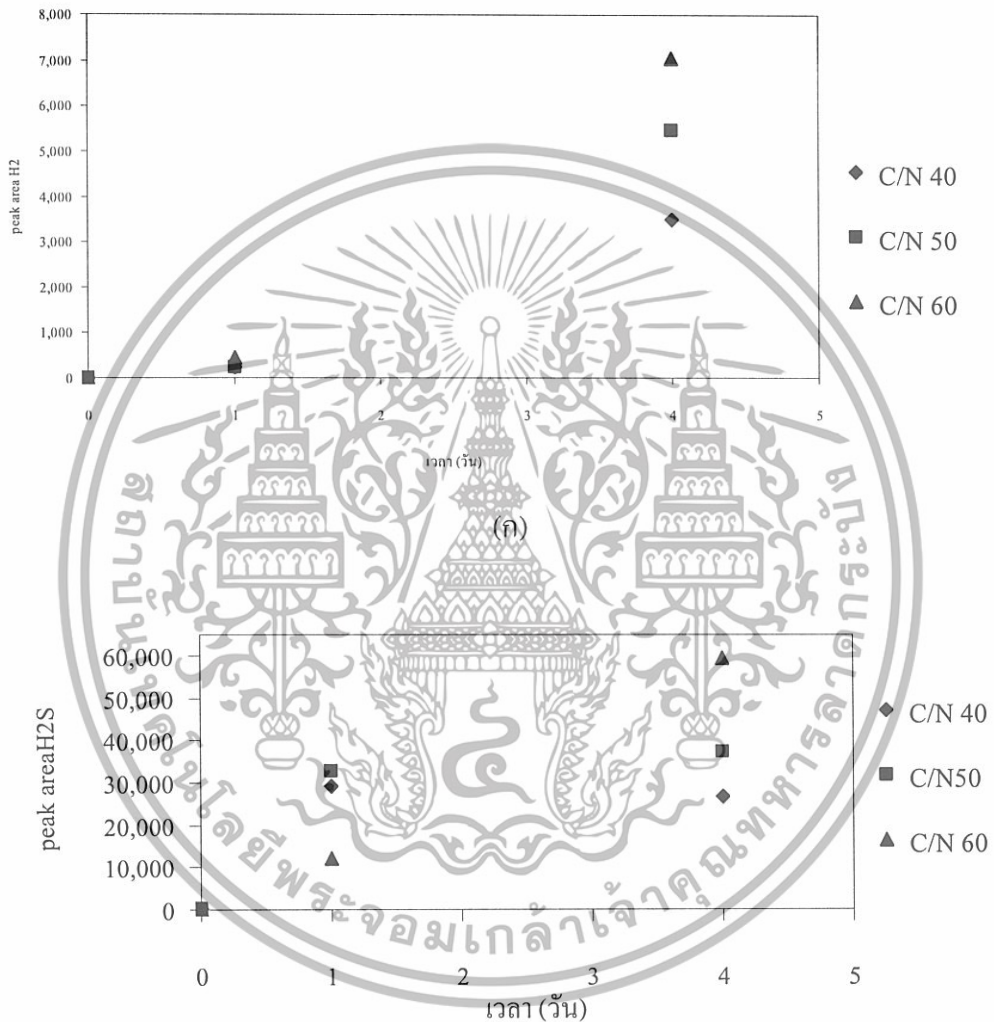
รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ของปริมาณมวลตะกอนจุลินทรีย์ สภาพต่าง และปริมาณกรดอินทรีย์ระเหย ของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบ (◇) น้ำที่ผ่านการบำบัด(■) ที่อัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่าง ๆ กัน

จากรูปที่ 4.11 (ก) พบว่า ทุก ๆ อัตราส่วนปริมาณตะกอนจุลินทรีย์มีอัตราการเจริญเติบโตที่เท่ากัน ซึ่งเมื่อสังเกตปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยรูปที่ 4.11(ข) พบว่ามีค่าที่เพิ่มขึ้นมาก ทั้งนี้เนื่องจากจุลินทรีย์สามารถย่อยสลายสารอินทรีย์คาร์บอนให้อยู่ในรูปของกรดอินทรีย์ และเมื่อสังเกตค่าสภาพรูปที่ 4.11 (ค) พบว่ามีค่าลดลงมาก ทั้งนี้เป็นเพราะสภาพต่างในระบบ นั้นมีหน้าที่ในการปรับสภาวะภายในระบบ ไม่ให้มีความเป็นกรดมากเกินไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.2 ผลของอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่อปริมาณพื้นที่ใต้กราฟของก๊าซไฮโดรเจน และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

เมื่อพิจารณาถึงองค์ประกอบของก๊าซ โดยนำไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบของก๊าซด้วย เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (GC-TCD) ผลการทดลองที่ได้ ดังแสดงในรูปที่ 4.14



(ข)

รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ของพื้นที่ใต้กราฟของก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ที่อัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่าง ๆ กัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.12 (ก) พบว่า ในวันเริ่มต้นของการทดลองไม่มีก๊าซไฮโดรเจนเกิดขึ้นในทุก ๆ อัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจน เมื่อเวลาหมักเพิ่มเป็น 1 วันตรวจพบก๊าซไฮโดรเจนในทุก C:N ratio และเมื่อผ่านการหมักเป็นเวลา 4 วัน พบว่า ความสามารถในการผลิตก๊าซไฮโดรเจนขึ้นอยู่กับอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนในน้ำเสีย โดยก๊าซไฮโดรเจนเกิดขึ้นได้ดีที่สุดในน้ำเสียที่มีอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 60 รองลงไปที่อัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 50 และ 40 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าที่อัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่ 60 จุลินทรีย์จะมีความสามารถในการผลิตก๊าซไฮโดรเจนได้ดีที่สุดในขณะเดียวกัน เมื่อพิจารณารูปที่ 4.12 (ข) พบว่า อัตราการเกิดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับการเกิดก๊าซไฮโดรเจน เนื่องจากการย่อยซัลเฟต คือ การที่ซัลเฟตถูกรีดิวซ์เพื่อรวมเข้าไปในสารประกอบอินทรีย์และเมื่อมีซัลเฟตเพียงพอ จึงเกิดการย่อยเพื่อใช้สำหรับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ไม่มีการจับผลผลิตในรูปรีดิวซ์ เมื่อสารประกอบอินทรีย์ที่มีซัลเฟตสลายตัวภายใต้สภาพแอนแอโรบิก ซัลเฟตถูกปล่อยออกมาในรูป H_2S โดยไม่เปลี่ยนเวเลนซ์ (valence) H_2S สามารถทำให้เกิดปัญหาเพราะกลิ่นและความเป็นพิษภายใต้สภาพแอนแอโรบิกเกิดการออกซิไดส์อย่างรวดเร็วเป็นซัลเฟต เป็นการบรรเทาปัญหาเหล่านี้ ถ้าซัลเฟตไอออนอยู่ในสภาพแอนแอโรบิก แบคทีเรียที่รีดิวซ์ซัลเฟตจะใช้เป็นตัวรับไฮโดรเจนสุดท้ายเกิด H_2S (ซีระ เกรต, 2539)

จากการศึกษาผลของปัจจัยในการผลิตก๊าซทั้งค่าพีเอชและอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนไม่สามารถรายงานผลออกมาในรูปความเข้มข้นได้แต่รายงานผลในรูปของพื้นที่ใต้กราฟ (peak area) เนื่องจากในการวัดปริมาณก๊าซ ไม่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอนของก๊าซมาตรฐานที่นำมาเปรียบเทียบ

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

โครงการพิเศษนี้ทำการศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตก๊าซไฮโดรเจนจากน้ำเสียสังเคราะห์ โดยแบ่งการศึกษาออกเป็น 3 หัวข้อ คือ 1) ศึกษาผลของการเพิ่มตะกอนจุลินทรีย์ในถังหมัก 2) ศึกษาผลของค่าพีเอชต่อการผลิตก๊าซไฮโดรเจนจากน้ำเสียสังเคราะห์ 3) ศึกษาผลของอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่มีผลต่อการผลิตก๊าซไฮโดรเจน ซึ่งสามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

การเพิ่มตะกอนจุลินทรีย์ในถังหมัก ทำได้โดยเติมตะกอนจุลินทรีย์เริ่มต้นที่เก็บรวบรวมได้จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบยูเอสบี ของบริษัท เพอร์ซิเดนที เบเกอร์ จำกัด (มหาชน) ลงในถังหมักที่มีน้ำเสียสังเคราะห์พีเอช 5.5 กำหนดให้มีความเข้มข้นอยู่ที่ประมาณ 1,500 – 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร จากการทดลองพบว่า การเจริญเติบโตของตะกอนจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นในถังหมัก โดยพิจารณาจากปริมาณตะกอนจุลินทรีย์และการกำจัดอินทรีย์คาร์บอน ภายหลังจากการหมักเป็นเวลา 36 วัน พบว่าระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว จากนั้นจึงนำตะกอนจุลินทรีย์ที่ได้ไปทำการศึกษาผลของพีเอชและอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่อไป นอกจากนี้ยังตรวจคุณลักษณะน้ำเสียอื่น ได้แก่ กรดอินทรีย์ระเหย สภาพต่าง และพีเอช มีการติดตามลักษณะตะกอนจุลินทรีย์ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบธรรมดา กำลังขยาย 40 เท่า

ผลของพีเอชต่อการผลิตก๊าซไฮโดรเจนจากน้ำเสียสังเคราะห์ ซึ่งแปรค่าพีเอชเป็น 3.5, 4.5, 5.5 และ 6.5 ทำได้โดยการเติมตะกอนจุลินทรีย์ที่ได้จากการเพิ่มตะกอนจุลินทรีย์ในถังหมัก โดยให้มีความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์เป็น 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร ลงในขวดชนิดยาที่มีน้ำเสียสังเคราะห์ที่พีเอชต่าง ๆ กัน โดยให้มีระยะเวลาการหมัก 1 และ 4 วัน แล้วนำตัวอย่างที่ได้ วิเคราะห์หาองค์ประกอบของก๊าซ พบว่าในภายหลังการหมักเป็นเวลา 1 วันที่พีเอช 5.5 และ 6.5 สามารถผลิตก๊าซไฮโดรเจนได้ที่พีเอช 5.5 จะมีประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซไฮโดรเจนได้มากที่สุด ส่วนที่พีเอช 3.5 และ 4.5 ไม่พบว่าเกิดก๊าซไฮโดรเจน นอกจากนี้พบว่า การผลิตก๊าซไฮโดรเจนสิ้นสุดลงภายหลังจากการหมักเป็นเวลา 4 วัน ในทุกพีเอชที่ทำการทดลอง

ผลของอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่อการผลิตก๊าซไฮโดรเจนจากน้ำเสียสังเคราะห์ โดยแปรอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนเป็น 40, 50 และ 60 และใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีค่าพีเอช 5.5 ในการทดลอง ซึ่งทำการทดลองเช่นเดียวกันกับผลของพีเอช พบว่า ภายหลังการหมักเป็นเวลา 1 วัน ทุกอัตราส่วนพบว่าเกิดก๊าซไฮโดรเจน และภายหลังการหมักเป็นเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา 4 วัน อัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่ 60 มีความสามารถในการผลิตก๊าซไฮโดรเจนได้มากที่สุด รองลงมาคืออัตราส่วนที่ 50 และ 40 ตามลำดับ

ข้อเสนอแนะ

1. ควรทำการทดลองอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนอื่น ๆ
2. ควรมีการปรับใช้น้ำเสียสูตรอื่นในการทดลอง
3. ควรมีการศึกษาโดยใช้น้ำเสียจริงจากโรงงานอุตสาหกรรม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

_____, การย่อยสลายสารอินทรีย์ของกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก:http://www.biotank.co.uk/anaerobic_digestion.htm (วันที่ค้นข้อมูล: 28 กันยายน 2549)

กรมพลังงานธุรกิจ.2549. สถานการณ์น้ำมันเชื้อเพลิงเดือนมกราคม – สิงหาคม 2549. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก:<http://www.dmr.go.th>. (วันที่ค้นข้อมูล: 18 ตุลาคม 2549)

กิตติศักดิ์ หยกทองวัฒนา. 2547. ก๊าซไฮโดรเจน แหล่งพลังงานทดแทนที่ไม่มีวันสูญสิ้น. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก<http://www.vcharkarn.com/include/article/showarticle.php?Aid=163> (วันที่ค้นข้อมูล: 18 ตุลาคม 2549)

เกรียงศักดิ์ เดศประภามงคล.2549. Biohydrogen พลังงานสะอาดจากเทคโนโลยีชีวภาพ [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก:<http://www.thaiscience.com> (วันที่ค้นข้อมูล: 13 ตุลาคม 2549)

เฉลิมชัย วุฒินันท์สุรสิทธิ์และคณะ. 2547 . การบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมแปรรูปอาหารทะเล แซ่แข็งโดยใช้จุลินทรีย์ในระบบเอสบีอาร์. โครงการงานพิเศษปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ฉมาลิสยา ยูอมพพิทักษ์, เทคโนโลยีชีวภาพกับพลังงาน [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก:<http://www.techno.msu.ac.th/bt/pdfdocx/ls/b.doc>(วันที่ค้นข้อมูล: 28 กันยายน 2549)

ธีระ เกรอด.2539. วิศวกรรมน้ำเสียการบำบัดทางชีวภาพ.พิมพ์ครั้งที่ 1.กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วราวุฒิ ครูส่ง และ รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต.2532 . เทคโนโลยีการหมักในอุตสาหกรรม.กรุงเทพฯ: คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.หน้า 152-161.

วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์.2545. คู่มือวิเคราะห์น้ำและน้ำเสียสาขา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ประจำปี 2545-2546 .กรุงเทพมหานคร.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมพงษ์ ธาตาทองสกุล. 2546. ผลของอัตราการเวียนน้ำทิ้งกลับต่อการสร้างตะกอนระบบยูเอเอสบี โดยใช้น้ำเสีย จากโรงงานผลไม้อบแห้ง.วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี.

สมใจ ศิริโชค. 2547. เทคโนโลยีการหมัก.กรุงเทพฯ: ศูนย์สื่อเสริมกรุงเทพ.หน้า 1-12 .

สุขสมาน สังกะและอติศรา เรืองแสง. 2547. ปัจจัยที่ส่งผลต่อการผลิตไฮโดรเจนจากน้ำทิ้ง โรงงานแปรงไม้ล้างหลังโดยกลุ่มจุลินทรีย์และเชื้อ *Rhospirillum rubrum*. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

สุบัณฑิต นิมรัตน์. 2548. จุลชีววิทยาของน้ำเสีย. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 2547. สถานะภาพปัจจุบันและข้อเสนอสู่นาคตด้านเชื้อเพลิงและเทคโนโลยีโลหะและวัสดุ แห่งชาติ. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : 69 – 77.

Fan Y.T., Zhang G.S., and Guo X.Y., 2005. Biohydrogen-production from beer lees biomass by cow dung compost. **Biomass & Bioenergy**.

Fang. H.H.P., and Liu, H. 2001. Effect of hydrogen production from glucose by a mix culture. **Biosourcetchnology** 82 :87-93.

Gomez X., Moran A., and Cuetos M.J. 2006. The production of hydrogen by dark fermentation of municipal solid wastes and slaughterhouse waste : A two-phase process. **Power Sources** 157 : 727-732.

Hwang M.H., Jang N. J. and Seung H., 2004. Anarobic bio-hydrogen production from etanol fermentation: the role of pH. **Biotechnology** 111: 297-309

Kapdan I.K, and. Kargi F., 2005. Bio- hydrogen production from waste materials: **Enzyne and microbial technology** 38 :569-582.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Lin C.Y.,and Lay C.H., 2003. Carbon/nitrogen-ratio effect on fermentative hydrogen production by mixed microflora : **Hydrogen Energy** 29 :41-45.

Rehm H.J., Reed G Puhler A., and Stadler,P.1993.A multi-volumecomprehensive treatise.**Biotechnology** 6:101-134

Van Ginkel S.W., Oh S-E and Logan B.E.,2004. Bio- hydrogen production from food processing and domestic wastewater : **Hydrogen Energy** 30 : 1535-1542.

Wikipedia. 2006. **Hydrogen**. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก <http://en.wikipedia.org/wiki/Hydrogen> (วันที่ค้นข้อมูล: 18 ตุลาคม 2549)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

การเทียบมาตรฐานสารละลาย

การเทียบมาตรฐานสารละลาย H_2SO_4 0.0200 โมล/ลิตร

การเตรียมสารละลายมาตรฐาน โซเดียมคาร์บอเนต 0.0200 โมล/ลิตร

- นำโซเดียมคาร์บอเนตอบให้แห้งในเตาอบที่อุณหภูมิ 260 องศาเซลเซียส ประมาณ 1-1/2 ชม. ทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์ ชั่งน้ำหนัก 1.060 กรัม นำไปละลายในน้ำกลั่น เทในขวดวัดปริมาตรขนาด 1,000 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรโดยการเติมน้ำกลั่นจนถึงขีด 1,000 มิลลิลิตร

- ปิเปตสารละลายมาตรฐาน โซเดียมคาร์บอเนต 0.0200 โมล/ลิตร จำนวน 20 ลบ.ซม ใส่ขวดรูปชมพู่ขนาด 100 ลบ.ซม เติมเมทิลออเรนจอินดิเคเตอร์ 2-3 หยด จะได้สารละลายสีเหลืองแล้วไทเทรตกับสารละลายกรดซัลฟิวริกที่ต้องการทราบความเข้มข้นที่แน่นอน จนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนจากสีเหลืองเป็นสีส้ม อ่านปริมาตรของสารละลายกรดซัลฟิวริกที่ใช้

$$\text{โมล/ลิตร ของ } H_2SO_4 = \frac{\text{ลบ.ซม ของสารละลาย } Na_2CO_3 \times 0.0200}{\text{ลบ.ซม ของสารละลาย } H_2SO_4}$$

การเทียบมาตรฐานสารละลาย NaOH 0.0200 โมล/ลิตร

การเตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.0200 โมล/ลิตร

- นำโซเดียมไฮดรอกไซด์อบให้แห้งในเตาอบที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ประมาณ 2 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์ ชั่งน้ำหนัก 1.60 กรัม นำไปละลายในน้ำกลั่น เทในขวดวัดปริมาตรขนาด 2,000 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรโดยการเติมน้ำกลั่นจนถึงขีด 2,000 มิลลิลิตร

การเตรียม สารละลายมาตรฐาน โพแทสเซียมเอซิดฟอสเฟต 0.0200 โมล/ลิตร

- นำสารโพแทสเซียมเอซิดฟอสเฟตอบให้แห้งในเตาอบที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ประมาณ 2 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์ ชั่งน้ำหนัก 4.085 กรัม นำไปละลายในน้ำกลั่น เทในขวดวัดปริมาตรขนาด 1,000 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรโดยการเติมน้ำกลั่นจนถึงขีด 1,000 มิลลิลิตร

- นำสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.0200 โมล/ลิตร มาไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมเอซิดฟอสเฟต 0.0200 โมล/ลิตร โดยปิเปตสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมเอซิดฟอสเฟต 0.0200 โมล/ลิตร จำนวน 20 ลบ.ซม ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 100 ลบ.ซม. เติมฟีนอล์ฟธาลินอินดิเคเตอร์ 2-3 หยด จะได้สารละลายใสไม่มีสีไทเทรตกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไซค์ที่ต้องการทราบความเข้มข้นแน่นอนจนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนจากไม่มีสีเป็นสีชมพู อ่าน ปริมาตรสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้

$$\text{โมล/ลิตร ของ NaOH} = \frac{\text{ลบ.ชม.ของสารละลาย KHP} \times 0.0200}{\text{ลบ.ชม. ของสารละลาย NaOH}}$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

วิธีการวิเคราะห์

1. การวิเคราะห์หาปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ (MLSS)

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. ถ้วยระเหย (evaporating dishes) ทำด้วยกระเบื้องทองคำขาว หรือแก้วทนไฟ
2. เตาเผา (muffle furnace) ควบคุมอุณหภูมิได้ ในช่วง 500-600 °C
3. เครื่องอ่างไอน้ำ (water bath)
4. ตู้อบ ควบคุมอุณหภูมิได้ที่ 103-105 °C
5. โถทำแห้ง (desiccator)
6. เครื่องชั่งละเอียด (analytical balance) สามารถชั่งได้ถึงทศนิยม 4 ตำแหน่ง
7. กระดาษกรอง GF/C (glass fiber filter) เส้นผ่าศูนย์กลาง 4.7 เซนติเมตร
8. เครื่องกรองบุชเนอร์ (Bucher funnel)
9. เครื่องดูดสุญญากาศ (suction pump) พร้อมขวดดูดสุญญากาศขนาด 500-1000 มิลลิลิตร

การทดลอง

1. นำกระดาษกรองไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 103-105 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นในโถทำแห้ง ชั่งน้ำหนัก
2. วางกระดาษกรองลงในกรวยบุชเนอร์ซึ่งต่อเข้ากับเครื่องดูดสุญญากาศ
3. ตวงปริมาตรตัวอย่างน้ำประมาณ 50-100 มิลลิลิตร (ควรให้มีค่าของแข็งที่ติดบนกระดาษกรองไม่เกิน 200 มิลลิกรัม หรือต่ำกว่า 1 มิลลิกรัม) เทลงในกรวยบุชเนอร์ และเปิดเครื่องดูดสุญญากาศจนน้ำแห้ง ล้างด้วยน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร เปิดเครื่องทิ้งไว้ 3 นาที
4. นำกระดาษกรองไปอบแห้งที่ 103-105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในโถทำแห้งแล้วชั่งน้ำหนักที่แน่นอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณ

$$\text{ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (มก./ล.)} = \frac{(A-B) \times 1,000}{\text{ปริมาตรน้ำตัวอย่าง (มล.)}}$$

$$A = \text{น้ำหนักของกระดวยกรองและสารแขวนลอย (มก.)}$$

$$B = \text{น้ำหนักของกระดวยกรอง (มก.)}$$

2. การวิเคราะห์หาค่าอัลคาไลน์ตี (Alkalinity) และกรดอินทรีย์ระเหย

ในการศึกษานี้เป็นวิธีไตเตรท (Titration method) ซึ่งเป็นวิธีแบบหยาบๆสามารถนำไปใช้ในการควบคุมระบบบำบัดน้ำเสียที่ทำงานภายใต้สภาวะไร้อากาศได้เพื่อที่จะได้ทราบถึงการทำงานของจุลินทรีย์ภายในระบบเนื่องจากใช้เวลาในการวิเคราะห์สั้นกว่าวิธีการอื่นๆ

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องมือวัดความเป็นกรดต่าง
2. บิวเรตขนาด 50 ลบ.ซม.พร้อมขาตั้งและตัวยึด
3. เครื่องกวนโดยใช้แท่งแม่เหล็ก
4. บีกเกอร์ขนาด 250 ลบ.ซม.
5. กระบอกตวงขนาด 100 ลบ.ซม.
6. ขวดรูปชมพูนขนาด 250 มิลลิลิตร
7. เครื่องให้ความร้อน

สารเคมี

1. สารละลายมาตรฐานกรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 0.1 N
2. สารละลายมาตรฐาน โซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.2 N
3. โบรโมกลีซอลกรีน อินดิเคเตอร์

วิธีวิเคราะห์

1. นำตัวอย่างน้ำเสียปริมาตร 100 ลบ.ซม.ใส่ในบีกเกอร์
2. วัดค่าพีเอชของตัวอย่างน้ำเสียด้วย เครื่องวัดพีเอชที่ผ่านการปรับมาตรฐานแล้ว
3. ทำการไตเตรทตัวอย่างน้ำเสียด้วยสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 0.1 N ผสมเข้าด้วยกันด้วยเครื่องกวนโดยใช้แท่งแม่เหล็กจนกระทั่งมีค่าพีเอชเป็น 4 จดบันทึกปริมาตรกรดที่ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ไทเทรตตัวอย่างน้ำต่อจนค่าพีเอชถึง 3.3-3.5 โดยไม่ต้องจดปริมาตรกรดที่ใช้ปรับปริมาตร หลังจากนั้นไปต้มจนเดือดประมาณ 2-3 นาที เพื่อเป็นการไล่กรดคาร์บอนิกออกไป
5. ปรับพีเอชให้เป็น 4 ด้วยสารละลายมาตรฐาน โซเดียมไฮดรอกไซด์ จดปริมาตรสารละลายมาตรฐานที่ใช้ในการไทเทรตกลับตั้งแต่ 4-7

การคำนวณหาค่าอัลคาไลน์นิตี (Alkalinity) ของตัวอย่างน้ำเสีย (มก.ของ CaCO_3)

$$= \frac{\text{ปริมาณ } \text{H}_2\text{SO}_4 \text{ ที่ใช้ในการปรับค่าพีเอชเป็น 4} * (\text{N}_{\text{H}_2\text{SO}_4}) * 50,000}{\text{ปริมาณของน้ำเสียตัวอย่าง}}$$

การคำนวณหากรดอินทรีย์ระเหย (Volatile Fatty Acid) ของตัวอย่างน้ำเสีย (มก.ของ CH_3COOH)

$$= \frac{\text{ปริมาณ NaOH ที่ใช้ในการปรับค่าพีเอชจาก 4 เป็น 7} * \text{N}_{\text{NaOH}} * 50,000}{\text{ปริมาณของน้ำเสียตัวอย่าง}}$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค
ข้อมูลการทดลอง

1. ผลของการเพิ่มตะกอนจุลินทรีย์ในถังหมัก

1.1 ปริมาณมวลตะกอนจุลินทรีย์ในระบบ (MLSS)

วันที่	ครั้งที่	ปริมาตรน้ำ ตัวอย่าง (mL)	น้ำหนักกระดาศ กรองก่อนอบ (g)	น้ำหนักกระดาศ กรองหลังอบ (g)	ปริมาตรของ ตะกอนที่ เหลือ (g)
22 ม.ค. 50	1	20	49.2302	49.2633	0.0331
	2	20	49.7320	49.7667	0.0342
	3	20	49.3587	49.3899	0.0312
25 ม.ค. 50	1	20	37.2747	37.3271	0.0497
	2	20	39.2261	39.2770	0.0509
	3	20	39.2420	39.2946	0.0526
29 ม.ค. 50	1	20	37.2756	37.3218	0.0462
	2	20	39.2236	39.2612	0.0376
	3	20	39.2452	39.2879	0.0427
2 ก.พ. 50	1	20	37.2744	37.3219	0.0475
	2	20	39.2397	39.2839	0.0442
	3	20	39.2400	39.2828	0.0428
6 ก.พ. 50	1	20	37.2762	37.3081	0.0319
	2	20	39.2252	39.2505	0.0353
	3	20	39.2401	39.2738	0.0337
12 ก.พ. 50	1	20	37.2800	37.3704	0.0405
	2	20	39.2255	39.2669	0.0414
	3	20	39.2415	39.2812	0.0397
17 ก.พ. 50	1	20	37.2689	37.3143	0.0451
	2	20	39.2181	39.2600	0.0419
	3	20	39.2337	39.2769	0.0432

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.1 ปริมาณมวลตะกอนจุลินทรีย์ในระบบ (MLSS) (ต่อ)

20 ก.พ. 50	1	20	37.2769	37.3186	0.0417
	2	20	39.2245	39.2415	0.037
	3	20	39.2416	39.2811	0.0415
26 ก.พ. 50	1	20	49.2337	49.2679	0.0342
	2	20	49.7331	49.7682	0.0351
	3	20	49.3588	49.3945	0.0357

1.2 สภาพด่าง (Alkalinity)

วันที่	ครั้งที่	ปริมาตรน้ำตัวอย่าง (mL)	ปริมาตรกรดซัลฟูริกที่ใช้ (mL)	
			น้ำเข้า (Influent)	น้ำออก (Effluent)
22 ม.ค. 50	1	50	29.40	-
	2	50	29.30	-
	3	50	29.30	-
	blank	50	0.1	-
25 ม.ค. 50	1	50	28.2	19.5
	2	50	28.2	19.5
	3	50	28.2	19.5
	blank	50	0.1	0.1
29 ม.ค. 50	1	50	30	23
	2	50	30	23
	3	50	30	23
	blank	50	0.1	0.1
2 ก.พ. 50	1	50	32.2	20.2
	2	50	32.2	20.2
	3	50	32.2	20.2
	blank	50	0.1	0.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 สภาพต่าง (Alkalinity) (ต่อ)

วันที่	ครั้งที่	ปริมาตรน้ำ ตัวอย่าง (mL)	ปริมาตรกรดซัลฟูริกที่ใช้ (mL)	
			น้ำเข้า (Influent)	น้ำออก (Effluent)
6 ก.พ. 50	1	50	32.5	20.0
	2	50	32.5	20.0
	3	50	32.5	20.0
	blank	50	0.1	0.1
12 ก.พ. 50	1	50	32	26.0
	2	50	32	26.0
	3	50	32	26.0
	blank	50	0.1	0.1
17 ก.พ. 50	1	50	32.2	20
	2	50	32.2	20
	3	50	32.1	20
	blank	50	0.1	0.1
20 ก.พ. 50	1	50	35.6	19.3
	2	50	35.7	19.3
	3	50	35.6	19.3
	blank	50	0.1	0.1
26 ก.พ. 50	1	50	33.4	20.0
	2	50	33.3	20.0
	3	50	33.3	20.0
	blank	50	0.1	0.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 กรดอินทรีย์ระเหยง่าย (VFA)

วันที่	ครั้งที่	ปริมาตรน้ำ ตัวอย่าง (mL)	ปริมาตร โขเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ใช้ (mL)	
			น้ำเข้า (Influent)	น้ำออก (Effluent)
22 ม.ค.50	1	150	4.5	-
	2	150	4.6	-
	3	150	4.6	-
	blank	150	0.1	-
25 ม.ค. 50	1	50	41.50	60
	2	50	41.50	60
	3	50	41.40	60
	blank	50	0.1	0.1
29 ม.ค. 50	1	150	4.6	23.1
	2	150	-	-
	3	150	-	-
	blank	150	0.1	0.1
2 ก.พ. 50	1	50	144.1	130
	2	50	144.1	130
	3	50	144.1	130
	blank	50	0.1	0.1
6 ก.พ. 50	1	50	45.0	62.5
	2	50	45.0	62.5
	3	50	45.0	62.5
	blank	50	0.1	0.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 กรดอินทรีย์ระเหยง่าย (VFA) (ต่อ)

วันที่	ครั้งที่	ปริมาตรน้ำ ตัวอย่าง (mL)	ปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ใช้ (mL)	
			น้ำเข้า (Influent)	น้ำออก (Effluent)
12 ก.พ.50	1	50	45	98
	2	50	45	98
	3	50	45	98
	blank	50	0.1	0.1
17 ก.พ.50	1	50	40	90
	2	50	40	90
	3	50	40	90
	blank	50	0.1	0.1
20 ก.พ.50	1	50	42.1	100
	2	50	42.1	100
	3	50	42.1	100
	blank	50	0.1	0.1
26 ก.พ.50	1	50	45	100
	2	50	45	100
	3	50	45	100
	blank	50	0.1	0.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 สารอินทรีย์ทั้งหมด (TOC)

วันที่	ครั้งที่	น้ำเสียดังเคราะห์เข้าระบบ (mg/L)		น้ำที่ผ่านการบำบัด (mg/L)	
		Total carbon	Inorganic carbon	Total carbon	Inorganic carbon
22 ม.ค. 50	1	2,802	3.20	-	-
	2	2,756	2.88	-	-
	3	2,670	3.01	-	-
25 ม.ค. 50	1	2,789	3.11	1254	2.65
	2	3,778	3.01	1,216	2.84
	3	2,801	2.97	1,214	3.33
29 ม.ค. 50	1	2,557	2.89	1,754	2.64
	2	2,758	3.22	1,685	2.73
	3	2,780	2.77	1,716	2.78
17 ก.พ. 50	1	2,775	2.33	1,023	2.46
	2	2,698	2.72	1,114	2.82
	3	2,782	3.12	1,094	2.66
20 ก.พ. 50	1	2,698	3.21	1,315	3.11
	2	2,714	2.68	1,360	2.69
	3	2,782	2.87	1,392	3.33
26 ก.พ. 50	1	2,718	2.82	1,128	2.71
	2	2,762	3.11	1,140	3.05
	3	2,804	2.59	1,252	2.44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ผลของพีเอชที่มีต่อประสิทธิภาพการผลิตก๊าซไฮโดรเจน

2.1 ปริมาณมวลตะกอนจุลินทรีย์ (MLSS)

พีเอช	ครั้งที่	ปริมาตรน้ำ ตัวอย่าง (ล.)	น้ำหนักกระดวยกรอง ก่อนอบ (กรัม)		น้ำหนักกระดวยกรอง หลังอบ (กรัม)		น้ำหนักตะกอน (กรัม)	
			น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
3.5	1	20	37.6807	49.2317	37.7221	49.2655	0.0414	0.0338
	2	20	29.1988	39.6191	29.2396	39.6523	0.0408	0.0332
	3	20	39.6191	27.1955	39.6589	27.2276	0.0398	0.0321
4.5	1	20	31.9101	25.3200	31.9545	27.3570	0.0444	0.0370
	2	20	27.1980	27.3054	27.2406	27.3398	0.0420	0.0344
	3	20	27.3215	37.6850	27.3645	27.3398	0.0430	0.0320
5.5	1	20	27.3054	31.7996	27.3500	31.8343	0.0446	0.0347
	2	20	37.6800	31.4088	37.7220	31.8459	0.0420	0.0371
	3	20	27.9223	37.6800	27.9651	37.7150	0.0428	0.0350
6.5	1	20	31.7896	39.4110	31.8322	39.6520	0.0426	0.0410
	2	20	31.8188	29.1988	31.8633	29.2397	0.0445	0.0409
	3	20	37.6800	26.9387	37.7231	26.9800	0.0431	0.0413
Blank	1	20	37.6800	27.9220	37.7240	27.9500	0.0440	0.0280

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 สภาพด่าง (Alkalinity)

พีเอช	ครั้งที่	ปริมาตรน้ำ ตัวอย่าง (ล.)	ปริมาตรกรดซัลฟิวริกที่ใช้ (มล.)	
			น้ำเข้า	น้ำออก
3.5	1	50	20.0	15.0
	2	50	20.0	15.1
	3	50	20.1	15.1
4.5	1	50	26.0	20.3
	2	50	26.0	20.2
	3	50	26.0	20.2
5.5	1	50	30.1	24.9
	2	50	30.0	24.8
	3	50	30.0	24.8
6.5	1	50	35.1	30.1
	2	50	35.0	30.1
	3	50	35.0	30.1
Blank	1	50	12.7	0.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 กรดอินทรีย์ระเหยง่าย (VFA)

พีเอช	ครั้งที่	ปริมาณน้ำ ตัวอย่าง (ล.)	ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ใช้ (มล.)	
			น้ำเข้า	น้ำออก
3.5	1	50	18.3	130.0
	2	50	18.3	130.0
	3	50	18.3	125.0
4.5	1	50	18.0	103.0
	2	50	18.0	100.0
	3	50	18.1	100.0
5.5	1	50	17.5	95.3
	2	50	17.4	95.3
	3	50	17.4	95.2
6.5	1	50	17.5	85.0
	2	50	17.4	85.0
	3	50	17.4	83.0
Blank	1	50	7.2	100.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 สารอินทรีย์ทั้งหมด (TOC)

พีเอช	ครั้งที่	น้ำนำเสียดังเคราะห์เข้าระบบ (mg/L)		น้ำที่ผ่านการบำบัด (mg/L)	
		Total carbon	Inorganic carbon	Total carbon	Inorganic carbon
3.5	1	2,792	2.81	1,803	2.33
	2	2,780	3.13	1,833	3.11
	3	2,704	3.21	1,802	3.22
4.5	1	2,756	2.78	1,755	2.46
	2	2,745	2.61	1,752	2.71
	3	2,802	3.17	1,702	2.67
5.5	1	2,738	2.91	1,620	3.20
	2	2,756	2.76	1,636	2.81
	3	2,794	3.23	1,591	2.35
6.5	1	2,807	3.14	1,542	2.71
	2	2,751	2.46	1,580	2.34
	3	2,782	2.91	1,558	3.24
Blank	1	343	0.35	257	0.29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ผลของอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่มีต่อประสิทธิภาพการผลิตก๊าซไฮโดรเจน

3.1. ปริมาณมวลตะกอนจุลินทรีย์ (MLSS)

C:N ratio	ครั้งที่	ปริมาตร น้ำตัวอย่าง (ล.)	น้ำหนักกระดวยกรอง ก่อนอบ (กรัม)		น้ำหนักกระดวย กรองหลังอบ (กรัม)		น้ำหนักตะกอน (กรัม)	
			น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
40	1	20	37.1810	36.3737	37.2064	36.4168	0.0254	0.0331
	2	20	39.6191	31.4176	39.6433	31.4596	0.0242	0.0420
	3	20	27.3054	28.8015	27.3300	28.8473	0.0246	0.0458
50	1	20	29.1825	36.8042	29.2072	36.8467	0.0256	0.0425
	2	20	37.7700	26.9242	37.7850	26.9688	0.0250	0.0446
	3	20	31.9101	39.2404	31.9349	39.2820	0.0248	0.0416
60	1	20	37.7706	31.5291	37.7952	31.5699	0.0246	0.0408
	2	20	37.1806	37.3918	37.2033	37.4333	0.0233	0.0415
	3	20	31.7800	39.2245	31.8050	39.2703	0.0250	0.0458
Blank	1	20	25.8745	31.1359	31.9289	31.1679	0.0544	0.0320

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2. สภาพต่าง (Alkalinity)

C:N ratio	ครั้งที่	ปริมาตรน้ำ ตัวอย่าง (ล.)	ปริมาตรกรดซัลฟิวริกที่ใช้ (มล.)	
			น้ำเข้า	น้ำออก
40	1	50	27.5	-
	2	50	27.4	-
	3	50	27.4	-
50	1	50	26.9	-
	2	50	26.8	-
	3	50	26.8	-
60	1	50	26.8	-
	2	50	26.8	-
	3	50	26.8	-
Blank	1	50	7.2	-

3.3. กรดอินทรีย์ระเหยง่าย (VFA)

C:N ratio	ครั้งที่	ปริมาตรน้ำ ตัวอย่าง (ล.)	ปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ (มล.)	
			น้ำเข้า	น้ำออก
40	1	50	35.5	120
	2	50	35.4	115
	3	50	35.4	120
50	1	50	35.5	115
	2	50	35.4	110
	3	50	35.4	115
60	1	50	35.2	125
	2	50	35.2	120
	3	50	35.2	125
Blank	1	50	10.1	100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 สารอินทรีย์ทั้งหมด (TOC)

C:N ratio	ครั้งที่	น้ำที่เสียดังเคราะห์เข้าระบบ (mg/L)		น้ำที่ผ่านการบำบัด (mg/L)	
		Total carbon	Inorganic carbon	Total carbon	Inorganic carbon
40	1	2,663	3.31	1,455	2.32
	2	2,649	2.31	1,460	2.45
	3	2,654	3.21	1,414	2.73
50	1	3,303	3.33	1,792	2.75
	2	3,300	2.21	1,749	2.83
	3	3,357	2.41	1,704	3.01
60	1	3,992	3.20	1,860	3.03
	2	4,009	2.39	2,000	2.33
	3	3,913	2.99	1,990	3.23
Blank	1	343	0.35	257	0.29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้