สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การบำบัดน้ำเสียยางพาราด้วยระบบยูเอเอสบี

นางสาวนฤมล จิตราภิรมย์
นางสาวนลินรัตน์ ลิ่มพานิช
นางสาววีริยา วิริยะเขษม

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 62152
วัน,เดือน,ปี 31 ก.ค. 2549
b.....
i.....

โครงงานพิเศษเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Rubber Wastewater Treatment

using Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB)

MissNarumon Jittrapirom

MissNalinrhat Limpanich

MissWeeriya Wiriyakasem

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 2004

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงงานพิเศษเรื่อง การบำบัดน้ำเสียยางพาราด้วยระบบยูเอเอสบี

นักศึกษา นางสาวนฤมล จิตราภิรมย์

นางสาวนลินรัตน์ ลิ่มพานิช

นางสาววีริยา วิริยะเขษม

ภาควิชา เคมี คณะวิทยาศาสตร์

สาขาวิชา เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.ชลอ จารุสุทธิรักษ์

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

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

.....

(ผศ.ดร.ประยงค์ ดวงดี)

หัวหน้าภาควิชาเคมี

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงงานพิเศษเรื่อง การบำบัดน้ำเสียยางพาราด้วยระบบยูเอเอสบี

นักศึกษา นางสาวนฤมล จิตราภิรมย์

นางสาวนลินรัตน์ ลิ่มพานิช

นางสาววีริยา วิริยะเขษม

ภาควิชา เคมี คณะวิทยาศาสตร์

สาขาวิชา เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม

ปีการศึกษา 2547

อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.ชลอ จารุสุทธิรักษ์

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการบำบัดน้ำเสียยางพาราด้วยระบบยูเอเอสบี ซึ่งเป็นระบบบำบัดแบบไร้อากาศที่สามารถรับอัตราภาระสารอินทรีย์ได้สูง และได้ก๊าซชีวภาพเป็นผลิตผล จากการศึกษาคุณลักษณะน้ำเสียยางพารา พบว่ามีคุณลักษณะไม่เหมาะสมต่อการบำบัดด้วยระบบ UASB เนื่องจากมีสภาพความเป็นกรด ของแข็งแขวนลอย และอัตราภาระสารอินทรีย์สูง การบำบัดน้ำเสียขั้นต้นด้วยวิธีการรวมตะกอนทางเคมีด้วย เฟอร์ริกคลอไรด์ ($FeCl_3$) และการเติมปูนขาว ($Ca(OH)_2$) เพื่อลดสภาพความเป็นกรด พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอย , ซีโอดี , ทีเคเอ็น และแอมโมเนียเท่ากับ 63 % , 27 % , 35 % และ 1 % ตามลำดับ การเดินระบบ UASB ด้วยน้ำเสียสังเคราะห์ซึ่งเตรียมจากน้ำตาลซูโครสพบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี, ทีเคเอ็น , กรดอินทรีย์ระเหยง่ายเฉลี่ยเท่ากับ 84 % , 53 % และ 45 % ตามลำดับ ในการบำบัดน้ำเสียยางพาราด้วยระบบ UASB พบว่าการเพิ่มอัตราภาระสารอินทรีย์โดยการเพิ่มอัตราส่วนของน้ำเสียยางพาราต่อน้ำเสียสังเคราะห์ ทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีและอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพลดลง โดยที่อัตราส่วนน้ำเสียยางพาราต่อน้ำเสียสังเคราะห์เท่ากับ 50 : 50 มีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 52 % ผลิตก๊าซชีวภาพได้เฉลี่ยเท่ากับ 153 ลิตรต่อกิโลกรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด ปริมาณก๊าซมีเทนเท่ากับ 50 % และที่อัตราส่วนน้ำเสียยางพาราต่อน้ำเสียสังเคราะห์เท่ากับ 100 : 0 มีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 29 % ผลิตก๊าซชีวภาพได้เฉลี่ยเท่ากับ 29 ลิตรต่อกิโลกรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด ปริมาณก๊าซมีเทนเท่ากับ 41 %

คำสำคัญ : ก๊าซชีวภาพ น้ำเสียยางพารา ยูเอเอสบี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Tile Rubber Wastewater Treatment using Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB)

Name Miss Narumon Jittrapirom

Miss Nalinrhat Limpanich

Miss Weeriya Wiriyakasem

Department Chemistry

Program Environmental Resource Chemistry

Academic Year 2004

Special Project Advisor Dr.Chalor Jarusuttirak

ABSTRACT

This research focused on the study of rubber wastewater treatment using Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB). Rubber wastewater characteristic was inappropriate to feed to the system directly due to high acid condition , suspended solids , and organic load , therefore , pretreatment was necessary. The pretreatment procedures consisted of coagulation and floculation using $FeCl_3$, as well as pH adjustment using lime ($Ca(OH)_2$). The efficiencies in removal of the SS , COD , TKN and ammonia were 63 % , 27 % , 35 % , and 1 % , respectively. As synthetic wastewater , containing sucrose , was solely fed into the reactor , the removal efficiencies of COD , TKN , and VFA were 84 % , 53 % , and 45 % , respectively. An increase of rubber wastewater ratio in the feed , loading to an increase of organic load , caused reduction of COD removal efficiency and biogas production rate. With a ratio of rubber wastewater and synthetic wastewater was 50 : 50 , the removal efficiency of COD was 52 % , approximately , while biogas production rate was 150 L/kgCOD removed and the composition of methane in biogas was found 50 % . As the rubber wastewater was fed up to 100 % , the COD removal efficiency decreased to 29 % , approximately , and biogas production rate dropped to 29 L/kgCOD removed and the composition of methane in biogas was found to be 41 % .

Keywords : Biogas ; Rubber wastewater ; UASB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณดร.ชลอ จารุสุทธิรักษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาที่ให้ความกรุณาเอาใจใส่ช่วยเหลือ แนะนำ แก้ไข และปรับปรุงงานวิจัยอย่างสม่ำเสมอตลอดมา ขอขอบพระคุณดร.อุสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์ อาจารย์กรรมการที่ได้กรุณาคำแนะนำและสละเวลาในการชี้แนะงานวิจัย ขอขอบพระคุณผศ.พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย อาจารย์กรรมการที่ได้กรุณาช่วยเหลือคำแนะนำ สละเวลาในการชี้แนะงานวิจัยและเอื้อเฟื้ออุปกรณ์ต่าง ๆในการวิจัย ขอขอบคุณบริษัทยางทอง ลาเท็กซ์จำกัดที่เอื้อเฟื้อน้ำตัวอย่างในการวิจัย ขอขอบคุณโรงงาน มาลี จำกัดที่เอื้อเฟื้อจุลินทรีย์เริ่มต้นในการเดินระบบพร้อมทั้งคำแนะนำในงานวิจัย ขอขอบคุณสำนักนโยบายและแผนพลังงานที่สนับสนุนทุนวิจัย ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ในการให้คำปรึกษาและความอนุเคราะห์สถานที่และเครื่องมือในงานวิจัย ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ที่ให้คำปรึกษาและความอนุเคราะห์เครื่องมือในการวิจัย ขอขอบคุณเพื่อน ๆ พี่ น้อง และเจ้าหน้าที่ภาควิชาเคมีทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจในการทำวิจัยครั้งนี้

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อและคุณแม่ที่ให้การสนับสนุนและเป็นกำลังใจให้การทำวิจัยครั้งนี้สำเร็จด้วยดี

นางสาวนฤมล จิตราภิรมย์
นางสาวนลินรัตน์ ลิ่มพานิช
นางสาววีริยา วิริยะเขษม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาของโครงงานพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของโครงงานพิเศษ	2
1.4 ขั้นตอนของการวิจัยและวิธีการดำเนินงาน	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	
2.1 การย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะแอนแอโรบิค	4
2.2 การกำจัดของเสียโดยระบบ Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB)	14
2.3 อุตสาหกรรมผลิตน้ำยางข้น	24
2.4 การพิจารณาคุณลักษณะของน้ำเสีย	28
2.5 มาตรฐานน้ำทิ้ง	29
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	30
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	
3.1 น้ำเสียที่ใช้ในการศึกษา	32
3.2 ระบบ Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB)	33
3.3 การทดสอบปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของระบบยูเอเอสบี	40
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผล	
4.1 คุณลักษณะของน้ำเสียยางพารา	41
4.2 การบำบัดน้ำเสียยางพาราขั้นต้น	41
4.3 การศึกษาประสิทธิภาพการทำงานของระบบยูเอเอสบี	44
4.4 การศึกษาประสิทธิภาพของระบบยูเอเอสบีในการบำบัดน้ำเสียยางพารา	46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ 54
เอกสารอ้างอิง 55
ภาคผนวก ก.ผลการทดลอง 57
ภาคผนวก ข. วิธีวิเคราะห์ 75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะแอนแอโรบิค 8
2.2 จุลินทรีย์ที่สร้างก๊าซมีเทน 13
3.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ตัวอย่าง 36
3.2 ปัจจัยควบคุมในการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ 38
3.3 ปัจจัยควบคุมที่ใช้ในการทดลอง 40
4.1 คุณลักษณะของน้ำเสียยางพารา 41
4.2 คุณลักษณะของน้ำเสียยางพาราก่อนและหลังการบำบัด
ด้วยวิธีการตกตะกอนทางเคมี 43
4 .3 คุณลักษณะของน้ำเสียในแต่ละสภาวะ 47

ตารางผนวกที่

ก - 1 คุณภาพน้ำเสียยางพารา 58
ก - 2 ปริมาณเฟอร์ริคคลอไรด์(มิลลิกรัมต่อลิตร)กับปริมาณของแข็งแขวนลอย
ทั้งหมด(มิลลิกรัมต่อลิตร) 58
ก - 3 ปริมาณเฟอร์ริคคลอไรด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ ที่ค่าพีเอชเท่ากับ 7 59
ก - 4 ข้อมูลผลการทดลองของถังปฏิกรณ์ที่ 1 60
ก - 5 ข้อมูลผลการทดลองของถังปฏิกรณ์ที 2 63
ก - 6 ข้อมูลผลการทดลองของถังปฏิกรณ์ที่ 3 66
ก - 7 ปริมาณและองค์ประกอบของก๊าซในถังปฏิกรณ์ที่ 1 69
ก - 8 ปริมาณและองค์ประกอบของก๊าซในถังปฏิกรณ์ที่ 2 71
ก - 9 ปริมาณและองค์ประกอบของก๊าซในถังปฏิกรณ์ที่ 3 73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	ขั้นตอนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ด้วยปฏิกิริยาแบบไม่ใช้ออกซิเจน	5
2.2	ขั้นตอนในการย่อยสลายในสภาวะแอนแอโรบิค	7
2.3	การย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะแอนแอโรบิคและสัดส่วนของก๊าซมีเทนจากการหมักอะซิเตท	12
2.4	ลักษณะภายในถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบี	15
2.5	โครงสร้างของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในถังยูเอเอสบี	24
2.6	กระบวนการผลิตน้ำยางข้น	25
2.7	เครื่องปั่นแยกน้ำยางข้น	27
3.1	ถังปฏิกรณ์แบบยูเอเอสบี	34
3.2	ส่วนประกอบระบบยูเอเอสบีและผังการไหล	35
3.3	ขั้นตอนการทดสอบการทำงานของระบบยูเอเอสบี	39
4.1	ผลของปริมาณเฟอร์ริคคลอไรด์ต่อการกำจัดของแข็งแขวนลอยทั้งหมด	42
4.2	ปริมาณเฟอร์ริคคลอไรด์กับปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดที่พีเอช 7	45
4.3	ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของถังปฏิกรณ์ในช่วงปรับสภาพ	44
4.4	ประสิทธิภาพในการกำจัดทีเคเอ็นในช่วงปรับสภาพ	45
4.5	ประสิทธิภาพในการกำจัดกรดอินทรีย์ระเหยง่ายในช่วงปรับสภาพ	46
4.6	อัตราภาระสารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าสู่ถังปฏิกรณ์แต่ละถัง	47
4.7	การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีแต่ละถังปฏิกรณ์	49
4..8	อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพของแต่ละถังปฏิกรณ์	49
4.9	ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดต่อซีโอดีที่ถูกกำจัด	50
4.10	ปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นในแต่ละถังปฏิกรณ์	51
4.11	ผลของอัตราภาระสารอินทรีย์ต่อการกำจัดซีโอดี	52
4.12	ผลของอัตราภาระสารอินทรีย์ต่อปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้น	52
4.13	ผลของการกำจัดซีโอดีต่อปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้น	53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงงานพิเศษ

ในช่วงที่ผ่านมาจนถึงปัจจุบัน อุตสาหกรรมยางของไทยมีการขยายตัวเพิ่มมากขึ้นตามสภาวะการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจ สมาคมยางพาราไทยมีส่วนให้อุตสาหกรรมยางของประเทศก้าวหน้าไปด้วยดี เริ่มจากการพัฒนาการผลิตยางแผ่นรมควัน ยางแท่งและน้ำยางข้นให้มีคุณภาพตามความต้องการของตลาดทั้งในและต่างประเทศ นอกจากนี้ยังร่วมมือกับชาวสวนยางในการพัฒนาคุณภาพยางซึ่งเป็นวัตถุดิบเบื้องต้น รวมทั้งการพัฒนาอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ยางให้มีคุณภาพตามมาตรฐานสากลในราคาที่สามารถแข่งขันได้ หลายบริษัทได้ประกอบธุรกิจด้านการผลิตอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ยางควบคู่กับการผลิตยางดิบ เช่น การผลิตถุงมือยาง ถุงยางอนามัย ยางยืด สายพานและท่อยาง เป็นต้น ทำให้เทคโนโลยีและการตลาดของอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ยางไทยในช่วงปีที่ผ่านมานี้ก้าวหน้าไปอย่างรวดเร็ว (http://www.mfa.go.th)

เนื่องจากเหตุนี้เอง อุตสาหกรรมยางพาราจึงเป็นต้นเหตุที่ก่อให้เกิดน้ำเสียจำนวนมากโดยเกิดจากกระบวนการต่าง ๆ ได้แก่ การซักล้างผลิตภัณฑ์ น้ำล้างจากกระบวนการผลิต น้ำล้างถังสารเคมี น้ำล้างเครื่องจักร เป็นต้น โดยพบว่าน้ำเสียดังกล่าวมีค่าบีโอดี ซีโอดี และสารแขวนลอยสูงมาก ซึ่งหากปล่อยออกสู่แหล่งน้ำโดยตรงย่อมก่อให้เกิดมลพิษทางสิ่งแวดล้อมอย่างมาก ดังนั้นการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมยางพาราจึงเป็นสิ่งจำเป็นในการป้องกันและควบคุมมลพิษต่าง ๆ มิให้ปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม โดยวิธีการบำบัดสามารถทำได้หลายวิธีด้วยกัน เช่นการใช้ระบบบำบัดแบบตะกอนเร่ง (Activated Sludge, AS) ระบบถังกรองไร้อากาศ (Anaerobic Filter) และระบบจานหมุนชีวภาพ (Rotating Biological Contactor, RBC) เป็นต้น วิธีหนึ่งที่ได้รับความสนใจอย่างมากในปัจจุบัน ได้แก่ การใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบ Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) ซึ่งเป็นระบบที่ใช้จุลินทรีย์เป็นตัวย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้อากาศจนจับตัวเป็นก้อน (granule) เพื่อเพิ่มความสามารถในการตกตะกอนของจุลินทรีย์ป้องกันไม่ให้จุลินทรีย์หลุดออกจากระบบได้ง่าย และเมื่อน้ำเสียไหลเข้าถังปฏิกรณ์ก็จะทำให้เม็ดตะกอนลอยตัวอยู่เป็นชั้น sludge ที่ไม่จม ระบบนี้ไม่ต้องใส่วัสดุตัวกลางที่ให้จุลินทรีย์ยึดเกาะทำให้ช่วยลดค่าใช้จ่ายในการดำเนินการได้มาก นอกจากนี้จุดเด่นของระบบยูเอเอสบี อีกประการหนึ่งได้แก่ การผลิตก๊าซชีวภาพ ซึ่งมีส่วนประกอบหลัก คือ ก๊าซมีเทน (CH_4) ถึงร้อยละ 50 –70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(http://www.efe.or.th) ก๊าซดังกล่าวสามารถนำมาใช้ทดแทนพลังงานเชื้อเพลิงจากแหล่งอื่นๆ เช่น ฟืน ถ่าน น้ำมัน ก๊าซหุงต้มและไฟฟ้า อันเป็นการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน และการใช้พลังงานทดแทนของประเทศส่วนกากที่ได้จากการหมักก๊าซชีวภาพสามารถนำไปใช้เป็นปุ๋ยได้ดีกว่ามูลสัตว์สด ๆ และปุ๋ยคอก หรือนำส่วนที่เหลือไปตากแห้งแล้วนำไปผสมเป็นอาหารสัตว์ได้อีกด้วย (http://www.ku.ac.th)

ดังได้กล่าวมาแล้วระบบบำบัดแบบยูเอเอสบี เป็นระบบที่น่าสนใจและก่อให้เกิดประโยชน์ได้ในหลาย ๆ ด้านเช่น ช่วยลดค่าใช้จ่ายในส่วนของระบบบำบัด ตะกอนจุลินทรีย์สามารถแยกออกจากน้ำเสียได้ง่าย สามารถรับสารอินทรีย์ได้สูงและสามารถนำก๊าซชีวภาพที่ได้ใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้า แต่ในระบบนี้ก็มีข้อเสียคือ จุลินทรีย์ที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียเจริญเติบโตได้ช้า ทำให้ต้องใช้ระยะเวลาในการเริ่มต้นระบบ (start – up) เดินระบบที่ยาวนานและระบบบำบัดน้ำเสียไม่สามารถปรับตัวได้ดีนักต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำเสีย บีโอดี อุณหภูมิและสภาพแวดล้อมอื่น ๆ ดังนั้นการวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการทำงานของระบบยูเอเอสบี ซึ่งได้แก่ อัตราภาระสารอินทรีย์ อันจะเป็นการพัฒนาการบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตยางพาราให้สูงขึ้น รวมทั้งความสามารถในการผลิตก๊าซชีวภาพของระบบยูเอเอสบี การวิจัยนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมยางพาราและน้ำเสียประเภทอื่น ๆ ได้ รวมทั้งสามารถนำก๊าซชีวภาพที่ได้ไปใช้เป็นแหล่งของพลังงานทดแทนต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการทำงานของระบบ Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB)
2. เพื่อทดสอบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานยางพารา
3. เพื่อศึกษาอิทธิพลของอัตราภาระสารอินทรีย์ต่อการบำบัดน้ำเสียโดยระบบยูเอเอสบี
4. เพื่อศึกษาอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพจากการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบยูเอเอสบี

1.3 ขอบเขตของโครงงานพิเศษ

1. จัดทำระบบยูเอเอสบี ในระดับ Lab – scale
2. น้ำเสียที่นำมาศึกษา ได้แก่ น้ำเสียจากโรงงานผลิตน้ำยางข้น
3. ศึกษาคุณลักษณะของน้ำเสียโดยทำการวิเคราะห์คุณลักษณะต่าง ๆ ได้แก่ ซีโอดี บีโอดี ทีเคเอ็น สภาพด่าง และกรดอินทรีย์ระเหยง่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เริ่มต้นเดินระบบโดยใช้เชื้อจุลินทรีย์ตั้งต้นจากระบบบำบัดยูเอเอสบี จากโรงงานอุตสาหกรรมที่เดินระบบยูเอเอสบี อยู่แล้วโดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ซึ่งมีน้ำตาลซูโครสเป็นองค์ประกอบ

5. ศึกษาประสิทธิภาพการทำงานของระบบยูเอเอสบี โดยศึกษาจากการกำจัดสารอินทรีย์ของระบบ

6. ศึกษาอัตราการผลิตและองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพเพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถนำระบบยูเอเอสบี ไปใช้ในการบำบัดน้ำเสียในอุตสาหกรรมยางพาราได้
2. สามารถนำก๊าซชีวภาพที่ได้ไปใช้เป็นพลังงานทดแทนได้
3. สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำเสียประเภทอื่นๆได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและเอกสารที่เกี่ยวข้อง

2.1 การย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะแอนแอโรบิค

2.1.1 ชีวเคมีของการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะแอนแอโรบิค

การย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะแอนแอโรบิคเป็นขบวนการทางชีววิทยา ภายใต้สภาวะที่ไม่มีออกซิเจนและเป็นสภาวะรีดิวซ์ในการเปลี่ยนสารอินทรีย์ไปเป็นก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งได้แบ่งขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีเป็น 3 ขั้นตอนดังรูปที่ 2 - 1

ขั้นที่ 1 การย่อยสลายสารอินทรีย์และการหมักกรดอินทรีย์ (hydrolysis and acidogenesis)

ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่สารอินทรีย์ที่มีโมเลกุลใหญ่ (Polymer) เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีนและไขมันถูกย่อยสลายโดยเอนไซม์ที่เซลล์ของ fermentation bacteria สร้างขึ้น ใช้ย่อยสลายสารอาหารโมเลกุลใหญ่ที่อยู่ภายนอกเซลล์ให้เป็นสารอินทรีย์โมเลกุลเดี่ยว (Monomer) ได้แก่ กลูโคส กรดอะมิโน กรดไขมันและกลีเซอรอล สารเหล่านี้จะถูกหมักไปเป็นกรดอินทรีย์ แอลกอฮอล์ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไฮโดรเจน

ขั้นที่ 2 การเปลี่ยนกรดอินทรีย์เป็นกรดอะซิติค (acetogenesis)

ในขั้นตอนนี้เป็นการเปลี่ยนแอลกอฮอล์และกรดอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ที่เกิดขึ้นในขั้นที่ 1 ได้แก่ กรดโพรพิโอนิค (propionic acid) กรดบิวทิริค (butyric acid) กรดไอโซบิวทิริค (isobutyric acid) กรดไอโซวาเลอริค (isovaleric acid) กรดวาเลอริค (valeric acid) กรดอะซิติก (acetic acid) กรดแลคติก (lactic acid) และกรดฟอร์มิค (formic acid) ไปเป็นอะซิเตท (acetate) และ/หรือฟอร์เมท (formate) มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไฮโดรเจนเกิดขึ้นด้วย โดยอาศัย acetogenes เพราะกรดอะซิติกเป็นกรดอินทรีย์ที่พวก methanogenes สามารถนำไปใช้ได้

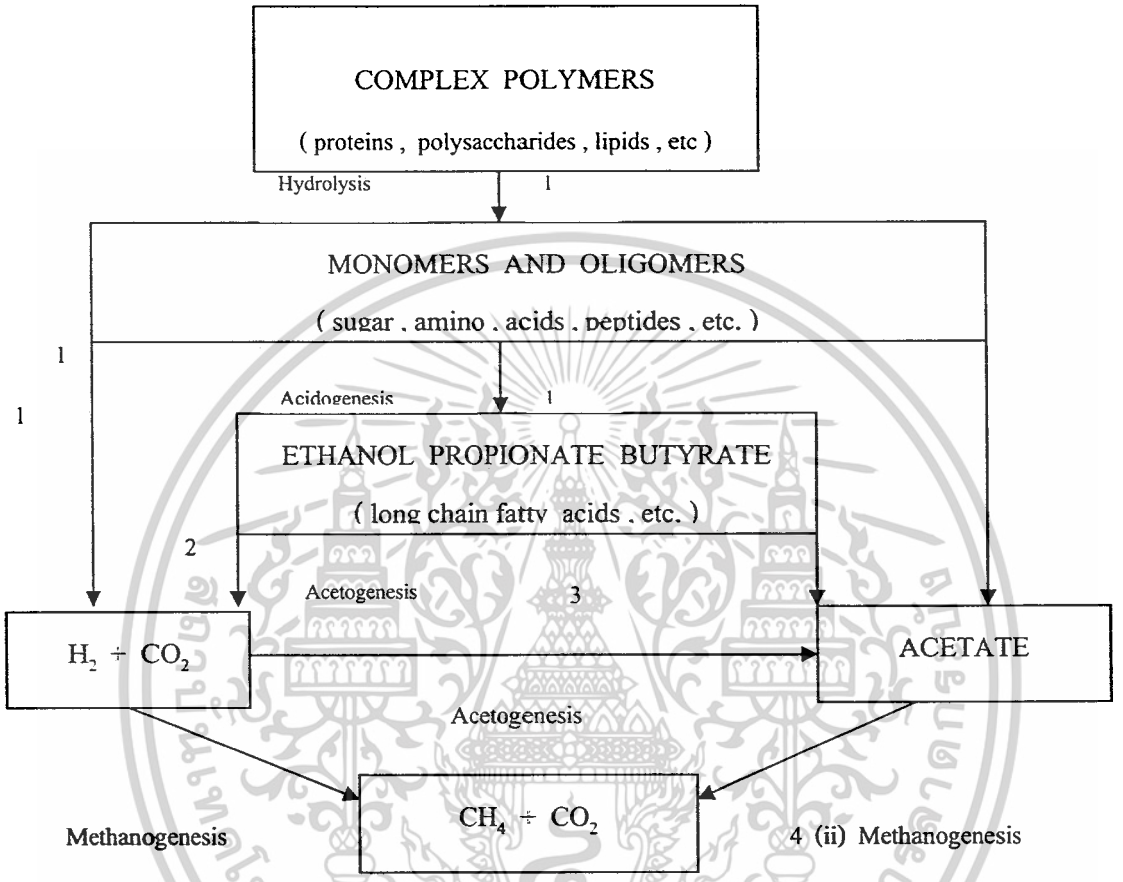
ขั้นที่ 3 การสร้างก๊าซมีเทน (methanogenesis)

กรดอินทรีย์ที่เกิดขึ้นในช่วง acetogenesis จะถูกจุลินทรีย์ในกลุ่ม methanogenic bacteria ย่อยสลายแล้วเปลี่ยนให้เป็นก๊าซต่าง ๆ ก๊าซที่สำคัญได้แก่ ก๊าซมีเทน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ สองในสามของมีเทนที่เกิดขึ้นทั้งหมดมาจากการใช้อะซิเตท นอกเหนือจากนี้จะเกิดจากปฏิกิริยารีดักชันของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และบางส่วนอาจเกิดจากฟอร์เมท เมทธานอล และเมทธิลลามีน

อัตราการเปลี่ยนกรดอินทรีย์ระเหยง่ายไปเป็นก๊าซมีเทน จะเป็นตัวจำกัดการเพิ่มอัตราการรับภาระสารอินทรีย์ (organic loading rate) เนื่องจากการเพิ่มความเข้มข้นของกรดอินทรีย์ระเหย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ง่ายจะทำให้พีเอชลดต่ำลงทำให้ระบบล้มเหลวได้ แต่การกวนผสมก็เป็นสิ่งสำคัญอย่างหนึ่งในการที่จะรักษาความสมดุลในการเปลี่ยนกรดอินทรีย์ระเหยง่ายต่าง ๆ ไปเป็นก๊าซมีเทน



1 : Hydrolytic and non – hydrolytic fermentative

2 : Syntrophic acetogens

3 : Homoacetogens

4 : (i) Hydrogenotrophic methanogens

(ii) Acetoclastic methanogens

รูปที่ 2 - 1 ขั้นตอนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ด้วยปฏิกิริยาแบบไม่ใช้ออกซิเจน

ที่มา : Wilkie and Colleran (1988)

2.1.2 จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะแอนแอโรบิค

กระบวนการย่อยสลายในสภาวะแอนแอโรบิคในแต่ละขั้นตอน ต้องอาศัยการทำงานที่แตกต่างกันของจุลินทรีย์หลายชนิดดังรูปที่ 2 - 2 และตารางที่ 2 - 1 เพราะของเสียที่เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

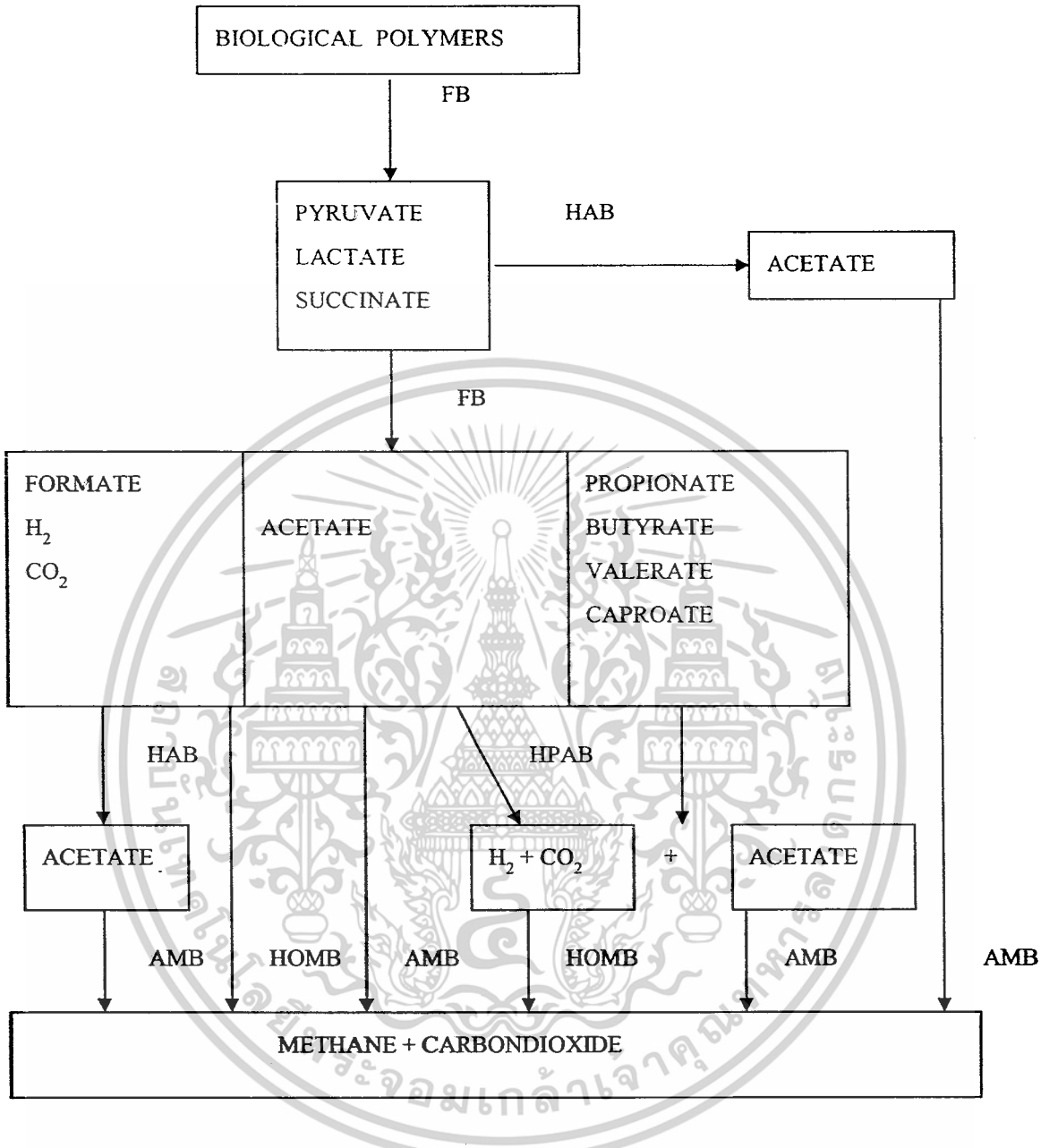
สารอินทรีย์ ส่วนใหญ่เป็นสารประกอบที่มีโมเลกุลใหญ่ เช่น โปรตีน คาร์โบไฮเดรต และไขมัน จุลินทรีย์ที่สร้างก๊าซมีเทนไม่สามารถใช้สารอินทรีย์ที่ซับซ้อนเหล่านี้เพื่อผลิตมีเทนได้ ต้องมี hydrolytic fermentative bacteria และ acetogens ย่อยสลายสารอินทรีย์ให้เป็นสารที่ methanogens ใช้ได้ซึ่งได้แก่ อะซิเตท ก๊าซไฮโดรเจน/ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เมทธานอล เอทธานอล ฟอร์เมท และเมทธิลลามิล สามารถแบ่งจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะแอนแอโรบิคได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ fermentative bacteria , acetogenic bacteria และ methanogenic bacteria

2.1.2.1 Fermentative bacteria

fermentative bacteria เป็นจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการ hydrolysis และ acidogenesis จุลินทรีย์กลุ่มนี้เจริญได้ในช่วงพีเอช (pH) 4.0 – 6.5 ทนต่อการเปลี่ยนแปลงสภาวะแวดล้อมต่าง ๆได้ดี มีอัตราการเจริญเติบโตสูง จุลินทรีย์กลุ่มนี้อาจเป็นได้ทั้งพวก strictly anaerobe และ facultative anaerobe

ในขั้นตอน hydrolysis และ acidogenesis สารประกอบที่มีขนาดใหญ่ (polymer) เช่น เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส เพคติน แป้ง โปรตีนและไขมัน ถูกย่อยสลายในสภาวะไม่มีออกซิเจนเป็นสารอินทรีย์โมเลกุลเดี่ยว (monomer) หรือสารที่มีขนาดโมเลกุลเล็กที่จุลินทรีย์สามารถนำเข้าไปในเซลล์จุลินทรีย์ได้ แล้วสารเหล่านี้จะถูกหมักไปเป็นกรดไขมันที่ระเหยง่าย (volatile fatty acid ,VFA) ได้แก่ บิวทิเรท อะซิเตท โพรพิโอเนท และ/หรือ กรดแลคติก กรดอะมิโน ก๊าซไฮโดรเจน/ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ แอมโมเนีย ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และสารประกอบที่เป็นกลางอื่น ๆ ชนิดของผลผลิตสุดท้ายที่ได้ในขั้นตอนนี้ขึ้นอยู่กับสารตั้งต้นและสภาวะแวดล้อมที่จุลินทรีย์เจริญเติบโต ในสภาวะที่มี partial pressure ของไฮโดรเจนต่ำ จุลินทรีย์จะสร้างสารอินทรีย์พวกอะซิเตท คาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจน แต่ในสภาวะแวดล้อมที่มี partial pressure ของไฮโดรเจนสูง จุลินทรีย์จะผลิตโพรพิโอเนท กรดอินทรีย์อื่น ๆ แลคเตทและเอทธานอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



FB : fermentative bacteria

HAB : homoacetogenic bacteria

HPAB : hydrogen producing acetogenic bacteria

AMB : acetolastic methanogenic bacteria

HOMB : hydrogen oxidizing methanogenic bacteria

รูปที่ 2 - 2 ขั้นตอนในการย่อยสลายในสภาวะแอนแอโรบิค

ที่มา : Garcia (1982)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2 - 1 จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะแอนแอโรบิค

Bacteria		substrate degraded	Fermentation products
1.Hydrolysis and acidogenesis			
Aerobes	*Pseudomonas*	nutritionally highly	
	Micrococcus	versatile , starch	lactate
Facultative	*Bacillus*		
Anaerobes	*Sterptococcus*	starch maltose	lactate
	Lactobacillus	numerous sugars	acetate
	Escherichia	numerous sugars	
Anaerobes	*Clostridia*	cellulose , cellobiose	succinate , acetate ethanol , hydrogen
	Ruminococcus	hemicellulose , pectin	formate
	Bacteroides	starch	butyrate , lactate
	Butyrivibrio	lactate , glucose	branched VFA hydrogen
	Megasphera	other sugars	acetate , propionate , lactate , hydrogen
	Selenompnas	lactate , malate	acetate
	Desulfovibrio	proteins	VFA
	Bifidobacteria	amino-acids	propionate
	Propionibacterium		
	Peptostreptococcus		
	Anaerovibrio		
2. Acetogenesis			acetate
2.1 Hydrogen producing acetogenic			(When associated with
bacteria	*Desulfovibrio*	see above	methanogens)
	Selenomonas		
	Ruminococcus		
	Clostridium	fatty acids	
		neutral and products	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

"S" microorganism	monocarboxylic	
Syntrophobacter wolinii	$C_4 - C_6$ fatty acids	acetate
Syntrophomonas wolfii		
2.2 Homo acetogenic bacteria		
Clostridium aceticum		
Clostridium formicoaceticum	$CO_2 + H_2$	acetate
Clostridium thermoautotrophicum		
Acetobacterium woodii		
Acetogenium kivui	$CO_2 + H_2$	CH_4
3. Methanogenic bacteria	(formate) acetate	
(table 2-2)	methanol methylamines	

ที่มา : Marty (1984)

2.1.2.2 Acetogenic bacteria

ขั้นตอนการผลิตกรดอะซิติค (acetogenesis) เป็นขั้นตอนที่กรดอินทรีย์ที่มีโมเลกุลใหญ่กว่าอะซิเตท และสารประกอบที่เป็นกลาง ซึ่งมีขนาดโมเลกุลใหญ่กว่าเมทธานอลถูกย่อยสลายเป็นอะซิเตท โดยแบคทีเรีย acetogens 2 กลุ่มคือ hydrogen producing acetogenic bacteria และ homoacetogenic bacteria

- Hydrogen producing acetogenic bacteria เป็นแบคทีเรียย่อยสลายกรดไขมันและสารประกอบที่เป็นกลางบางชนิดให้เป็น อะซิเตท ก๊าซไฮโดรเจน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซไฮโดรเจนมีบทบาทสำคัญในการควบคุมปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในถังหมัก เพราะ H^+ ทำให้พีเอชในถังหมักเป็นกรด ก๊าซไฮโดรเจนเป็นสารเริ่มต้นที่ใช้ในการสร้างก๊าซมีเทน และควบคุมอัตราการสร้างก๊าซมีเทนและกรดอะซิติค hydrogen producing acetogenic bacteria อาจจะถูกยับยั้งการเจริญได้ถ้ามีก๊าซไฮโดรเจนภายในถังหมักสะสมอยู่ในปริมาณสูง นั่นคือก๊าซไฮโดรเจนจะเป็นพิษต่อแบคทีเรียเนื่องจากพีเอชเป็นกรด แต่เมื่อมี methanogens อยู่ด้วย methanogens จะใช้ก๊าซไฮโดรเจนไปจึงทำให้ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนในถังหมักมีไม่มากจนถึงระดับที่เกิดพิษได้ ตัวอย่างของจุลินทรีย์ในกลุ่มนี้ได้แก่ "S" microorganism ซึ่งสามารถผลิตอะซิเตทและก๊าซไฮโดรเจนได้จากเอทธานอล เมื่ออยู่ร่วมกับ methanogens ในสภาวะที่มีก๊าซไฮโดรเจนในระดับที่ต่ำโดยการใช้ก๊าซไฮโดรเจนของ methanogens แบคทีเรียหลายชนิดในสกุล *Desulfovibrio* ซึ่งอยู่ร่วมกับ *Methanosarcina barkeri* สามารถย่อยสลายแลคเตทได้ก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในสภาวะที่ไม่มีตัวรับอิเลคตรอน เช่น ซัลเฟต อยู่ด้วย โดยที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

H_2- producing acetogenic bacteria ได้แก่ *Desulfovibrio* ได้ย่อยสลายแลคเตทไปเป็นอะซิเตท และในขั้นต่อไป methanogenic bacteria จะเปลี่ยนอะซิเตทไปเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และมีเทนต่อไป *Syntrophomonas wolfei* สามารถย่อยสลายกรดไขมันได้อะซิเตทและก๊าซไฮโดรเจน หรืออะซิเตท โพรพิโอเนทและก๊าซไฮโดรเจนและ *Syntrophus buswellii* สามารถย่อยสลายสารประกอบวงแหวนพวกเบนโซเอท(benzoate) ได้อะซิเตทและก๊าซไฮโดรเจน

- Homoacetogenic bacteria จุลินทรีย์กลุ่มนี้สร้างอะซิเตทจากสารประกอบที่มีคาร์บอนเพียงหนึ่งอะตอม เช่น ก๊าซไฮโดรเจน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (H_2/CO_2) หรือจากกรดฟอร์มิด และยังสามารถไฮโดรไลซ์สารประกอบที่มีคาร์บอนหลายอะตอม เช่น กรดแลคติค ไพรูเวท (pyruvate) จุลินทรีย์กลุ่มนี้ไม่ผลิตก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในระหว่างการเจริญโดยใช้สารประกอบที่มีคาร์บอนหลายอะตอม ตัวอย่างของจุลินทรีย์กลุ่มนี้ได้แก่ *Clostridium thermoaceticum* ซึ่งเจริญโดยการใช้สารประกอบที่มีคาร์บอนอะตอมเดียว และ *Butyribacterium methylotrophicum* สามารถเจริญได้ทั้งจากการใช้สารประกอบที่มีคาร์บอนอะตอมเดียว (H_2/CO_2) ซึ่งจะผลิตอะซิเตทออกมาเพียงอย่างเดียว และจากการใช้สารประกอบที่มีคาร์บอนหลายอะตอมจะผลิตทั้งบิวทิเรทและอะซิเตทผสมกัน

2.1.2.3 Methanogenic bacteria

แบคทีเรียในกลุ่มนี้เป็นพวกที่สร้างก๊าซมีเทน จัดเป็นแบคทีเรียที่ไม่ต้องการออกซิเจนอย่างแท้จริง (strictly anaerobic bacteria) ออกซิเจนเป็นพิษต่อแบคทีเรียหลายชนิดที่สร้างมีเทน ยกเว้น *Methanothrix* และบางชนิดทนการสัมผัสกับออกซิเจนได้โดยไม่สูญเสียความสามารถในการสร้างก๊าซมีเทน แบคทีเรียกลุ่มนี้เจริญได้ดีที่พีเอช(pH)กลาง ๆ ในช่วง 6.8 - 7.2 ซึ่งมีทั้งที่เป็น mesophile และ thermophile พวก mesophile เจริญได้ที่อุณหภูมิ 15 - 40 °C ในขณะที่พวก thermophile เจริญที่อุณหภูมิ 55 – 65 °C methanogens มีอัตราการเจริญช้ากว่าแบคทีเรีย acidogens และ acetogens เนื่องจาก methanogens ต้องใช้เวลา 3 – 5 วันในการแบ่งเซลล์เพิ่มจำนวนเป็น 2 เท่า และ methanogens มีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาวะแวดล้อมได้น้อยกว่าพวก acidogens และ acetogens จุลินทรีย์กลุ่มนี้สามารถสร้างก๊าซมีเทนจากสารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างง่าย ๆ เพียงไม่กี่ชนิด ได้แก่ กรดอะซิติค และ/หรือ สารประกอบที่มีคาร์บอนเพียงหนึ่งอะตอม เช่น ก๊าซไฮโดรเจน/ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เมทธานอล ฟอร์เมท และเมทธิลลามีน ดังสมการต่อไปนี้

$$4H_2 + CO_2 \longrightarrow CH_4 + 2H_2O$$

$$4HCOOH \longrightarrow CH_4 + 3CO_2 + 2H_2O$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$CH_3COOH \longrightarrow CH_4 + CO_2$$

$$4CH_3OH \longrightarrow 3CH_4 + CO_2 + 2H_2O$$

$$4(CH_3)_3N + H_2O \longrightarrow 9CH_4 + 3CO_2 + 6H_2O + 4NH_3$$

แบคทีเรียกลุ่มนี้ต้องการแอมโมเนียเป็นแหล่งไนโตรเจน ต้องการซัลไฟด์หรือซีททีน (cystein) เป็นแหล่งซัลเฟอร์ และใช้อะซิเตท ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และฟอร์เมทเป็นแหล่งคาร์บอน มีบางชนิดที่เป็น autotrophic ใช้เฉพาะคาร์บอนไดออกไซด์หรือคาร์บอนโมโนออกไซด์ (CO) เป็นแหล่งคาร์บอนเท่านั้น นอกจากนี้ยังต้องการ growth factor เช่น วิตามินบี ซีนทีน ในการเจริญด้วย

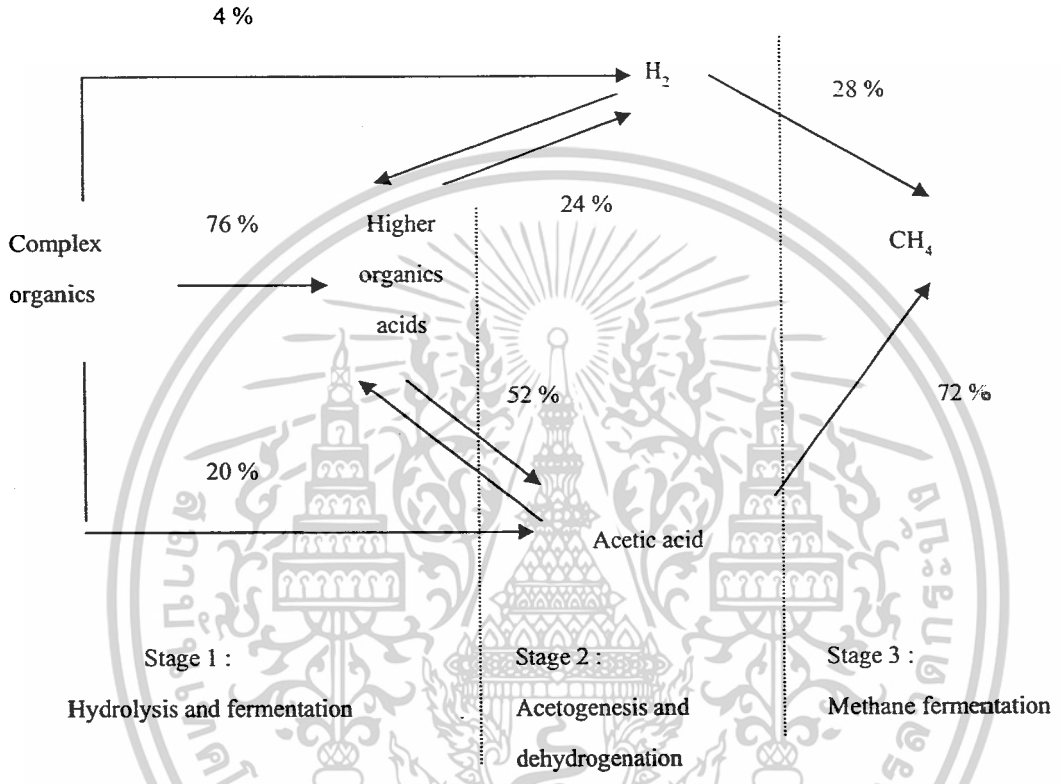
Methanogens สามารถแบ่งได้เป็น methanogens ที่สร้างก๊าซมีเทนจากการรีดิวซ์ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์โดยไฮโดรเจนและ methanogens ที่สร้างก๊าซมีเทนจากหมู่ methyl ในโมเลกุลของอะซิเตท (acetolastic methanogens) โดยทั่วไปสองในสามหรือมากกว่านั้นของมีเทนที่เกิดขึ้นในถังหมักมาจากการใช้อะซิเตทดังแสดงในรูปที่ 2 - 3 ตัวอย่างของจุลินทรีย์กลุ่มนี้ดังแสดงในตารางที่ 2 - 2 methanogens เกือบทุกชนิดสามารถรีดิวซ์คาร์บอนไดออกไซด์ โดยมีไฮโดรเจนเป็นสารให้อิเลคตรอน ในการสร้างก๊าซมีเทน *Methanococcus thermolithotrophicus* และ *Methanosarcina barkeri* ใช้เมทธานอล เมทธิลลามีนและอะซิเตทได้นอกเหนือจากใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์/ก๊าซไฮโดรเจน *Methanothrix soehngenii* เพียงชนิดเดียวที่ใช้อะซิเตทเท่านั้น นอกจากนี้ยังมี methanogenic bacteria อีกหลายชนิดที่สามารถใช้ฟอร์เมทได้ แบคทีเรียเหล่านี้อาจเปลี่ยนฟอร์เมทเป็นก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ แล้วเปลี่ยนก๊าซไฮโดรเจน/ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นมีเทนหรือเปลี่ยนฟอร์เมทเป็นมีเทนโดยตรง เช่น methanogens ในสกุล *Methanobacterium* , *Methanobrevibacter* , *Methanococcus* , *Methanomicrobium* , *Methanogenium* และ *Methanospirillum* ส่วน *Methanobacterium* สามารถใช้ได้ทั้งฟอร์เมทและก๊าซไฮโดรเจน / ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จุลินทรีย์พวกที่ใช้ก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เท่านั้นได้แก่ *Methanobacterium thermoautotrophicum*

การสร้างก๊าซมีเทนของแบคทีเรีย methanogens ถือว่าเป็นคุณสมบัติพิเศษของแบคทีเรียกลุ่มนี้ ความสามารถในการสร้างก๊าซมีเทนขึ้นอยู่กับ Co-factor 2 ชนิดที่แบคทีเรียกลุ่มนี้มีภายในเซลล์ได้แก่ Co-factor M (Co M) และ F_{420} สารทั้งสองชนิดนี้ไม่สามารถตรวจพบได้ในแบคทีเรียชนิดอื่นจึงทำให้แบคทีเรียทั้งหลายไม่สามารถสร้างก๊าซมีเทนได้

Co-factor M มีชื่อว่า 2-mercaptoethane sulphonic acid ($HS\text{-}CH_2\text{-}CH_2\text{-}SO_3$) จะทำงานร่วมกับเอนไซม์ methyl reductase ทำปฏิกิริยากับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ผลที่เกิดขึ้นคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CH_3-Co M (CH_3-S-CH_2-CH_2-SO_3) สารนี้จะถูกรีดิวซ์ต่อไปเป็นก๊าซมีเทน ส่วน F_{420} เป็น Co-factor ของ Felvin ทำหน้าที่เป็นสารให้อิเลคตรอนในการสร้างก๊าซมีเทนกล่าวคือ ปฏิกิริยาระหว่างก๊าซไฮโดรเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ถูกเร่งโดยเอนไซม์ hydrogenase ซึ่งจะรวมกับ F_{420}



รูปที่ 2 - 3 การย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะแอนแอโรบิคและสัดส่วนของก๊าซมีเทนจากการหมักอะซิเตท

ที่มา : Metcalf and Eddy (1991)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2 - 2 จุลินทรีย์ที่สร้างก๊าซมีเทน

Species	Morphology	Substrates
Methanobacterium	long rods	H_2 , formate
Formicicum	to	H_2
Bryantii	filaments	H_2
Thermoautotrophicum		
Methanobrevibacter	lancet-shaped	H_2 , formate
Ruminantium	cocci	H_2 , formate
Smithii	short rods	H_2
Arboriphilus		
Methanococcus	motile irregular	H_2 , formate
Vannielii	small	H_2 , formate
Voltae	cocci	H_2 , formate
Thermolithphicus	Pseudosarcina	H_2 , methanol
Mazei		methylamines , acetate
Methanomicrobium	motile short	H_2 , formate
Mobile	rods	H_2 , formate
Methanobacterium	motile irregular	H_2 , formate
Cariaci	small cocci	
Marisnigri		H_2 , formate
Methanospirillum	motile regular	
Hungatei	curved rods	H_2 , acetate
Methanosarcina	irregular cocci	methanol
Barkeri	as single cells packets ,	methylamines
	pseudoparenchyma	acetate
Methanothrix	rods to	
Soehngenii	long filaments	H_2
Methanogehermus	non-motile	
Fervidus	rods	

ที่มา : Taylor (1982)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3 การอยู่ร่วมกันของจุลินทรีย์ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะแอนแอโรบิค

ในการผลิตก๊าซชีวภาพนั้นเสถียรภาพของระบบ ขึ้นอยู่กับสมดุลของจุลินทรีย์ที่สร้างกรดและสร้างก๊าซมีเทนในการรักษาอาหารสำหรับจุลินทรีย์แต่ละกลุ่ม และขจัดไฮโดรเจนซึ่งยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์และการย่อยสารอินทรีย์ จุลินทรีย์ที่สร้างมีเทนมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงสภาวะแวดล้อมมากกว่าจุลินทรีย์ที่สร้างกรด ดังนั้นเสถียรภาพของระบบการผลิตก๊าซชีวภาพจึงขึ้นอยู่กับจุลินทรีย์ที่สร้างก๊าซมีเทน พีเอชที่เปลี่ยนไปเพียงเล็กน้อย อาจทำให้จุลินทรีย์ที่สร้างก๊าซมีเทนชะงักการเจริญได้ในขณะที่จุลินทรีย์ที่สร้างกรดยังคงเจริญได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งจะทำให้ความเป็นกรด – ด่างในระบบมีค่าต่ำลง จนเป็นอันตรายต่อการดำรงชีวิตของจุลินทรีย์ที่สร้างก๊าซมีเทน ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ระบบเกิดการล้มเหลวในที่สุด

นอกจากจุลินทรีย์ acidogenes และ acetogens จะมีความสำคัญในการย่อยสลายสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ให้เป็นสารที่มีโมเลกุลเล็กลง และอยู่ในรูปที่ methanogenic bacteria สามารถนำไปใช้ในการเจริญและผลิตมีเทนได้แล้ว ยังมีความสำคัญในการช่วยปรับสภาวะแวดล้อมให้เป็นสภาวะรีดิวซ์ ที่เหมาะสมสำหรับการเจริญของ methanogens อีกด้วย จุลินทรีย์ที่สร้างกรดเป็นตัวช่วยลดปริมาณออกซิเจนที่มีอยู่ในระบบและอาจจะสร้างสภาวะรีดิวซ์จากการผลิตกรดอินทรีย์และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทำให้สภาวะในระบบหมักเป็นสภาวะที่ไร้ออกซิเจนมากขึ้น เกิดสภาวะที่เหมาะสมต่อ methanogens ซึ่งเป็นพวกที่ไม่ต้องการออกซิเจน

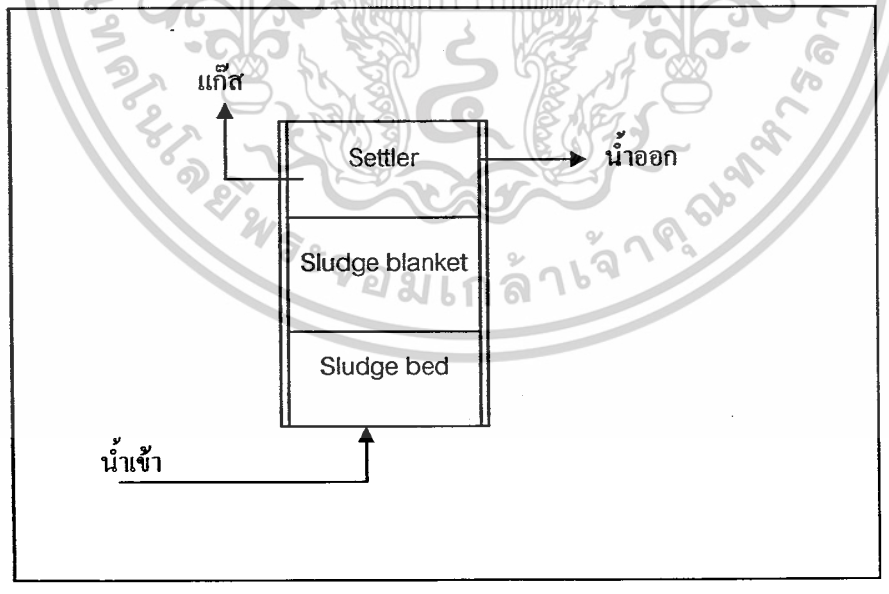
ในทำนองเดียวกันการมี methanogenic bacteria อยู่ในระบบหมักจำเป็นมากสำหรับพวก fermentative bacteria และ acetogens เพราะไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นในช่วง acid fermentation มีผลยับยั้งการทำงานและการเจริญของ acid forming bacteria และยังอาจทำให้จุลินทรีย์เหล่านี้ตาย methanogens ที่มีอยู่ในระบบหมักจะทำหน้าที่เป็นตัวดึงไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นไปใช้ในการผลิตมีเทน ทำให้ปริมาณไฮโดรเจนในระบบหมักลดต่ำลงอยู่ในระดับที่ไม่เป็นอันตรายต่อจุลินทรีย์ที่สร้างกรด นอกจากนี้ methanogens ยังสามารถลดความเข้มข้นของกรดอะซิติคที่เกิดขึ้นโดย acid forming bacteria ในระบบได้ ดังนั้นจึงเป็นการควบคุมความเป็นกรดด่างของระบบด้วย

2.2 การกำจัดของเสียโดยระบบ Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB)

ระบบยูเอเอสบีเป็นเทคโนโลยีที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียที่ได้รับการพัฒนาให้มีการออกแบบที่ไม่ซับซ้อนและไม่ต้องการพลังงานในการใช้ปั๊มเพื่อหมุนเวียนนำ sludge กลับมาใช้อีกและไม่ต้องการตัวกลางในการตรึงจุลินทรีย์ไว้ในถังปฏิกิริยา แต่จะมีตะกอนจุลินทรีย์ (sludge blanket) ที่มีกิจกรรมสูงอยู่ในส่วนล่างของถังปฏิกิริยาใน ถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบีจุลินทรีย์จะจับเกาะกันเองหรือจับกับอนุภาคสารอินทรีย์เป็นกลุ่มก้อน (granule) ขนาด 1 – 5 มิลลิเมตร ที่มีคุณสมบัติในการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตกตะกอนดีมากทำให้ไม่ถูก wash out ออกจากถังหมัก ในกระบวนการนี้ของเสียถูกนำเข้าทางส่วนล่างของถังปฏิกิริยาทำให้ได้สัมผัสกับ granular sludge 2 ชั้น ชั้นล่างส่วนใหญ่เป็นจุลินทรีย์ชนิดเม็ด (granular bacteria) เรียกว่า sludge bed ส่วนชั้นที่ 2 จะเป็นพวกตะกอนเบา (flocculation bacteria) เรียกชั้นนี้ว่า sludge blanket ดังนั้นสารอินทรีย์ส่วนใหญ่จึงถูกเปลี่ยนเป็นก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ การเคลื่อนที่ของของเสียและการเกิดก๊าซชีวภาพจากส่วนล่างขึ้นสู่ด้านบนของถังปฏิกิริยาทำให้เกิดการกวนผสมภายในถังปฏิกิริยาอย่างเพียงพอโดยไม่ต้องอาศัยเครื่องมือกล (mechanical mixing) แต่อย่างใด เป็นผลทำให้อนุภาคตะกอนจุลินทรีย์บางส่วนลอยติดขึ้นไปด้วย แต่ก๊าซที่อยู่ภายในเม็ดตะกอนจุลินทรีย์จะหลุดไปทำให้เม็ดตะกอนจุลินทรีย์ตกกลับลงมาสู่ชั้น sludge bed ได้ เนื่องจากภายในถังปฏิกิริยายูเอเอสบี มีส่วนแยกของแข็งและก๊าซออกจากกัน (gas-solid separator) อยู่ส่วนบนของถังปฏิกิริยา ซึ่งจะแยกก๊าซที่เกิดขึ้นออกจากอนุภาคเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ ทำให้เม็ดตะกอนจุลินทรีย์ตกกลับลงมา (ส่วนประกอบของระบบยูเอเอสบี ดังแสดงในรูปที่ 2 - 4) ดังนั้นถังปฏิกิริยายูเอเอสบี จึงมี retention time ของจุลินทรีย์เพิ่มขึ้น ปริมาณของจุลินทรีย์ต่อหน่วยปริมาตรของถังปฏิกิริยาจึงมากกว่าระบบ down flow fixed film หรือ upflow filter reactor ระบบยูเอเอสบี นี้สามารถใช้ได้กับทั้งน้ำเสียที่มีความสกปรกมากและความสกปรกน้อย



รูปที่ 2 - 4 ลักษณะภายในถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 การเกิดการจับตัวกันเป็นเม็ด (granule) ของตะกอนจุลินทรีย์

การเกิดเม็ดของจุลินทรีย์ที่มีกิจกรรมสูงและสามารถนอนอยู่บริเวณก้นถังหมักได้ดีเป็นเหตุผลที่สำคัญอย่างหนึ่งที่ทำให้ประสบความสำเร็จในการใช้ระบบยูเอเอสบี เม็ดจุลินทรีย์สามารถเกิดได้หลายลักษณะ ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการเกิดตะกอนจุลินทรีย์มีดังนี้

2.2.1.1 ปัจจัยทางสภาวะแวดล้อม

- ปริมาณสารอาหารที่จำเป็นจะต้องเหมาะสมสำหรับการเจริญของจุลินทรีย์
- อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเกิดตะกอนจุลินทรีย์ เนื่องจากกิจกรรมของ methanogenic sludge ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ
- พีเอชควรอยู่ในช่วงที่เหมาะสม คือ 6.6 -7.6
- ชนิดของน้ำเสียที่เข้าสู่ถังปฏิกิริยา โดยเฉพาะองค์ประกอบของน้ำเสีย ได้แก่ สารอินทรีย์ที่จุลินทรีย์สามารถย่อยสลายได้ สารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ที่จุลินทรีย์ย่อยสลายไม่ได้ ปริมาณไอออนต่าง ๆ อิออนซึ่งเป็น divalent cations นอกจากนี้สารประกอบที่ยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ก็มีผลต่อการเกิดตะกอนจุลินทรีย์เช่นกัน

2.2.1.2 คุณสมบัติของจุลินทรีย์เริ่มต้น (seed sludge) ได้แก่ความสามารถในการย่อยสลายสารอินทรีย์ (specific activity) ความสามารถในการตกตะกอนและสภาพธรรมชาติของส่วนแตกหักของจุลินทรีย์

2.2.1.3 ปัจจัยทางสภาวะของกระบวนการเริ่มต้นดำเนินระบบ (start up) เช่น

- การเพิ่มอัตรารับสารอินทรีย์ (loading rates) ถ้าการเพิ่มอัตรารับสารอินทรีย์มากเกินไปจะทำให้เกิด over loading ซึ่งเกิดการ wash out ของของแข็งแขวนลอยออกไปจากระบบ อัตรารับสารอินทรีย์ที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 2 -5 กก.COD/กก.VSS-วัน
- ปริมาณของ seed sludge ที่ใช้ในการเริ่มต้นดำเนินระบบ คำนวณจากปริมาณความเข้มข้นของตะกอน (MLSS) โดยปริมาตรตะกอนที่ใช้สามารถคำนวณจากสูตร

ปริมาณตะกอนที่ใช้(ลิตร) = ปริมาณตะกอนที่ต้องการ(กรัม)/ความเข้มข้นของตะกอนที่เติม

- ระยะเวลาในการกักเก็บจุลินทรีย์อยู่ในถังปฏิกิริยา เนื่องจากระยะเวลากักเก็บจุลินทรีย์มีผลในการควบคุมการดำเนินระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจน โดยเฉพาะเป็นการป้องกันความล้มเหลวของระบบที่เกิดจากการ wash out ดังนั้นจึงต้องให้ระยะเวลากักเก็บจุลินทรีย์อยู่ในถังปฏิกิริยานานกว่าระยะเวลาที่จุลินทรีย์ที่ผลิตมีเทนใช้ในการเพิ่มจำนวนเป็น 2 เท่า
- ระยะเวลาในการกักเก็บน้ำเสียในระบบ ซึ่งจะสัมพันธ์กับขนาดถังปฏิกิริยา อัตราการไหลของน้ำเสียเข้าสู่ถังปฏิกิริยาและระยะเวลากักเก็บจุลินทรีย์ในระบบยูเอเอสบี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

กระบวนการเกิดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในการเจริญโดยใช้สารอาหารที่ประกอบด้วยของผสมของกรดอินทรีย์ระเหยง่าย (volatile fatty acid , VFA) สามารถแบ่งได้ 3 ระยะ

ระยะที่ 1 อัตรารับสารอินทรีย์น้อยกว่า 2 กก.COD/m^3-วัน ในระยะนี้ sludge bed จะมีการกระจายอยู่ภายในถังปฏิกิริยา เนื่องจากเริ่มมีการผลิตก๊าซและมีการเพิ่มอัตรารับน้ำเสียต่อพื้นที่ผิว นอกจากนี้พบว่ามีการเจริญของจุลินทรีย์พวกที่เป็นเส้นสาย ทำให้ความสามารถในการตกตะกอนของจุลินทรีย์ต่ำลง

ระยะที่ 2 อัตรารับสารอินทรีย์ 2 - 5 กก.COD/m^3-วัน ระยะนี้มีการ wash out ของของแข็งแขวนลอยเนื่องจากการเพิ่มอัตราสารอินทรีย์และการผลิตก๊าซที่เพิ่มขึ้น sludge bed ส่วนใหญ่ถูกพัดพาขึ้นสู่ด้านบนและหลุดออกจากถังปฏิกิริยา แต่ส่วนตะกอนจุลินทรีย์ที่หนักจะอยู่ส่วนล่างของถังและมีปริมาณเพิ่มขึ้น ระบบยูเอเอสบี นี้จะมีการคัดเลือกตะกอนจุลินทรีย์ตามน้ำหนักตะกอนจุลินทรีย์ที่มีน้ำหนักมากจะยังคงอยู่ภายในถังซึ่งอาจมีเส้นผ่าศูนย์กลางถึง 5 มม. ปริมาณการเพิ่มขึ้นของ sludge อาจถึง 2 กก.COD /กก.VSS-วัน

ระยะที่ 3 อัตรารับสารอินทรีย์มากกว่า 3 – 5 กก.COD/m^3-วัน ในระยะนี้ปริมาณเม็ดตะกอนจุลินทรีย์มีมากกว่าจุลินทรีย์ที่เกิด wash out หลังจากระยะนี้แล้วอัตราการรับสารอินทรีย์เพิ่มได้สูงถึง 50 กก.COD/m^3 เพราะตะกอนจุลินทรีย์มีความสามารถตกตะกอนได้ดี

2.2.2 การออกแบบระบบยูเอเอสบี

ระบบยูเอเอสบี จะมีประสิทธิภาพสูงเมื่อแบคทีเรียในถังปฏิกรณ์มีลักษณะเป็นเม็ดตะกอน การเกิดเม็ดตะกอนจะขึ้นกับขนาดและรูปทรงของถังปฏิกรณ์ ซึ่งมีหลักการออกแบบระบบดังนี้

1. วิธีป้อนน้ำเสีย เข้าสู่ถังหมักมีความสำคัญมากต่อระบบหมัก การป้อนน้ำเสียเข้าสู่ระบบอาจแบ่งเป็น 2 วิธี คือ

1) การป้อนแบบครั้ง (Intermittant pulse feeding) สำหรับน้ำเสียที่มีค่าซีโอดีสูง (สูงกว่า 10,000 มิลลิกรัมต่อลิตร) คือการสูบน้ำเสียเข้าเป็นระยะสั้นๆ

2) การป้อนแบบตลอดเวลา (Continous feeding) สำหรับน้ำเสียที่มีค่าซีโอดีต่ำ ๆ (ต่ำกว่า 10,000 มิลลิกรัมต่อลิตร)

การป้อนน้ำเสียเข้าระบบหมักแบบต่อเนื่องตลอดเวลา จะมีประสิทธิภาพการบำบัดสูงสุด เพราะสภาวะในถังหมักจะคงที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลง ส่วนการป้อนแบบครั้งจะมีประสิทธิภาพต่ำ เนื่องจากสภาวะต่างๆ เช่นความเข้มข้นของสารอินทรีย์มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ดังนั้นจึงควรใช้การป้อนน้ำเสียแบบต่อเนื่อง นอกจากนี้ควรเพิ่มการกวนผสมในชั้นตะกอนเม็ด และทำให้น้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
62152

เสียกระจายทั่วพื้นที่หน้าตัดของถังปฏิกรณ์ควรมีท่อพ่นน้ำเสียไม่ต่ำกว่า 1 ท่อสำหรับทุกๆ พื้นที่หน้าตัดหนึ่งตารางเมตร

2. สภาพการไหลของน้ำในถังหมัก มีความสำคัญมากต่อการสร้างจุลินทรีย์ชนิดเม็ดในถังปฏิกรณ์ เนื่องจากหากสภาพการไหลไม่เหมาะสมแล้วจุลินทรีย์ในถังจะไม่จับตัวกันเป็นเม็ดตะกอน และจะยกตัวลอยออกจากถังปฏิกรณ์จนหมด ซึ่งทำให้ถังปฏิกรณ์อยู่ในสภาพเสียสมดุล สภาพการไหลของน้ำในถังปฏิกรณ์มีข้อกำหนดดังนี้

- อัตราการไหลต่อพื้นที่หน้าตัด > 0.25 – 0.40 เมตรต่อชั่วโมงแต่ < 2 เมตรต่อชั่วโมง
- อัตราการเกิดก๊าซต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ (Biogas flux) > 0.15 – 0.30 เมตรต่อชั่วโมง

ซึ่งโดยปกติแล้วก้อนจุลินทรีย์จะตกตามน้ำหนักที่มากขึ้นด้วยแรงโน้มถ่วง ตามกฎของสโตคก์ (Stoke 's law) (http://www.uasb.org)

$$v = \frac{2r2g(d-D)}{9N}$$

กำหนดให้ v = ความเร็วในการตกตัว

r = รัศมีของอนุภาคตะกอน

g = ความเร็วของการตกตัวด้วยแรงโน้มถ่วง

d = ความหนาแน่นของอนุภาคตะกอน

D = ความหนาแน่นของน้ำ

3. ปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ในถังปฏิกรณ์ ปริมาณตะกอนจุลินทรีย์มีมากจะส่งผลดีต่อการผลิตก๊าซชีวภาพและการกำจัดสารอินทรีย์ แต่สิ่งที่ควรระวังคือต้องไม่ให้ชั้นของตะกอนเม็ดและชั้นตะกอนเบาอยู่สูงถึง settler เพราะจะทำให้จุลินทรีย์หลุดออกไปกับน้ำที่ล้นออกจากระบบ การออกแบบระบบยูเอเอสบีควรคำนึงถึงปัจจัยที่เกี่ยวข้อง 2 ปัจจัยคือ

1) ค่าซีโอดีน้ำเสียเข้าสู่ระบบมีค่าระหว่าง 5,000 – 15,000 มิลลิกรัมต่อลิตรหรือมากกว่า นี้การออกแบบระบบจะขึ้นอยู่กับอัตราภาระสารอินทรีย์

2) ค่าซีโอดีน้ำเสียเข้าสู่ระบบมีค่าน้อยกว่า 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร การออกแบบระบบจะขึ้นอยู่กับความเร็วของน้ำที่เข้าสู่ระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2.1 การคำนวณการออกแบบระบบที่ขึ้นอยู่กับอัตราภาระสารอินทรีย์

เมื่อน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบมีค่าซีโอดีตั้งแต่ 5,000 – 15,000 มิลลิกรัมต่อลิตร จะมีอัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 4 – 12 กก.COD/ลบ.ม./วัน และมีระยะเวลากักพักชลศาสตร์เท่ากับ 4 –12 ชั่วโมง

- การคำนวณประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดี

  ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดี : $E = (COD_{input} - COD_{output})/COD_{input}$

- การคำนวณอัตราภาระสารอินทรีย์

  อัตราภาระสารอินทรีย์ : $OLR = Q(COD_{input} - COD_{output}) \times 10^3$

- การคำนวณปริมาตรของถังปฏิกรณ์

  ปริมาตรของถังปฏิกรณ์ : $V = (C \times Q)/OLR$

- การคำนวณประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดี

  ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดี : $E = (COD_{input} - COD_{output})/COD_{input}$

- การคำนวณอัตราภาระสารอินทรีย์

  อัตราภาระสารอินทรีย์ : $OLR = Q(COD_{input} - COD_{output}) \times 10^3$

- การคำนวณปริมาตรของถังปฏิกรณ์

  ปริมาตรของถังปฏิกรณ์ : $V = (C \times Q)/OLR$

กำหนดให้ C = ความเข้มข้นของ COD ในน้ำเสีย

Q = อัตราการไหลของน้ำเสีย

- การคำนวณความสูงของถังปฏิกรณ์

  ความสูงของถังปฏิกรณ์ : $H = H_s + H_{se}$

- การคำนวณความสูงของชั้นสลัดจ์ในถังปฏิกรณ์

  ความสูงของชั้นสลัดจ์ : $H_s = V \times HRT$

กำหนดให้ H_s = ความสูงของชั้นสลัดจ์ต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ในถังปฏิกรณ์

H_{se} = ความสูงของพื้นที่ตกตะกอน

HRT = ระยะเวลากักพักชลศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การคำนวณพื้นผิวของถังปฏิกรณ์

  พื้นที่ผิวของถังปฏิกรณ์ : $A = (HRT \times Q)/H$

2.2.2.2 การคำนวณการออกแบบระบบที่ขึ้นอยู่กับความเร็วไหลขึ้นของน้ำเสีย

เมื่อน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบมีค่าซีโอดีน้อยกว่า 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร จะใช้การออกแบบระบบโดยคำนึงถึงอัตราภาระสารอินทรีย์ไม่ได้ เนื่องจากจุลินทรีย์จะจับตัวเป็นเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ได้ยาก แต่อย่างไรก็ตามสามารถออกแบบระบบได้โดยอาศัยหลักเกณฑ์ความเร็วไหลขึ้นของน้ำเสีย

- การคำนวณปริมาตรของถังปฏิกรณ์

  ปริมาตรของถังปฏิกรณ์ : $V = Q \times HRT$

- การคำนวณพื้นที่ของถังปฏิกรณ์

  พื้นที่ของถังปฏิกรณ์ : $A = V \times Q$

2.2.3 การเริ่มต้นดำเนินระบบยูเอเอสบี (Start – up)

กระบวนการเริ่มต้นดำเนินระบบเป็นสิ่งสำคัญ สำหรับการประสบความสำเร็จในการเกิดตะกอนจุลินทรีย์ที่ดีภายในถังยูเอเอสบี

1. พีเอชควรอยู่ในช่วง 6.6 – 7.6
2. อุณหภูมิของระบบควรสูงกว่า 20 องศาเซลเซียส
3. สัดส่วน COD : N : P เท่ากับ 350 : 5 : 1 หากตัวอย่างน้ำเสียมีสารอาหาร (N,P) ไม่เพียงพอตามสัดส่วนดังกล่าวจะต้องเติมสารอาหารเช่น $NH_4H_2PO_4$, KH_2PO_4 , $(NH_4)_2CO_3$ให้แก่ระบบ (http://www.uasb.org)
4. ปริมาณของ seed sludge 10 – 15 กก.VSS/m^3
5. sludge load เริ่มต้น 0.05 – 0.1 กก.COD/กก.VSS-วัน
6. ไม่ควรเพิ่มอัตราการรับสารอินทรีย์เนื่องจากพบว่ากรดอินทรีย์ระเหยง่ายถูกย่อยสลายได้มากกว่า 80%
7. ควรให้มีการ wash – out ของตะกอนจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการตกตะกอนไม่ดี
8. รักษาตะกอนจุลินทรีย์ที่หนักให้อยู่ในถังปฏิกิริยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของระบบ(http://www.uasb.org)

1. อุณหภูมิ

การบำบัดน้ำเสียโดยระบบยูเอเอสบี อุณหภูมิเป็นสิ่งสำคัญต่อการผลิตก๊าซมีเทน ซึ่งจะใช้อุณหภูมิในช่วง

- Psychrophilic range มีช่วงอุณหภูมิ 5 – 15 องศาเซลเซียส
- Mesophilic range มีช่วงอุณหภูมิ 25 – 40 องศาเซลเซียส
- Thermophilic range มีช่วงอุณหภูมิ 50 – 55 องศาเซลเซียส

แต่ละช่วงอุณหภูมิจะมีกลุ่มแบคทีเรียต่างกัน โดยทั่วไปการควบคุมอุณหภูมิในถังปฏิกรณ์นิยมในช่วง Mesophilic เนื่องจากเป็นช่วงที่มีอัตราการย่อยสลายสูงกว่าช่วง Psychrophilic และไม่ต้องใช้พลังงานสูงเมื่อเปรียบเทียบกับช่วง Thermophilic เหตุผลอีกประการหนึ่งคือ Thermophilic เป็นช่วงอุณหภูมิที่แบคทีเรียไม่สามารถทนต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิได้ดี เมื่อเทียบกับช่วงอุณหภูมิอื่น ซึ่งในประเทศไทยอุณหภูมิน้ำเสียก่อนเข้าระบบมักมีอุณหภูมิเฉลี่ยประมาณ 30 องศาเซลเซียส ในถังปฏิกรณ์อุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นอีก 3 – 5 องศาเซลเซียส เนื่องจากความร้อนที่เกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ เพื่อสร้างพลังงานในการดำรงชีวิตของแบคทีเรีย ดังนั้นอุณหภูมิในถังปฏิกรณ์ใกล้เคียงกับช่วง Mesophilic อยู่แล้วจึงไม่จำเป็นต้องให้ความร้อนและมีอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิแต่อย่างไร

2. พีเอช (pH)

ค่าพีเอชมีความสำคัญต่อประสิทธิภาพในกระบวนการย่อยสลายของจุลินทรีย์เป็นอย่างมาก ซึ่งค่าพีเอชที่เหมาะสมสำหรับระบบยูเอเอสบี จะอยู่ในช่วง 6.6 – 7.6 ถ้าในระบบพีเอชต่ำกว่า 6.6 ประสิทธิภาพของแบคทีเรียในกลุ่มสร้างมีเทนจะต่ำลง และถ้าหากมีค่าพีเอชต่ำลงถึง 5.0 จะเป็นอันตรายรุนแรงต่อแบคทีเรียกลุ่มสร้างมีเทน ส่วนแบคทีเรียพวกสร้างกรดมีความสามารถทนต่อสภาพความเป็นกรดได้ต่ำถึง 4.5 โดยไม่เป็นอันตรายเนื่องจากเป็นกลุ่มแบคทีเรียที่ทนต่อสภาพความเป็นกรดได้ดีกว่าแบคทีเรียโดยทั่วไป

3. สภาพด่าง (Alkalinity)

คือความสามารถของน้ำในการรับอนุภาคโปรตอนเป็นมิลลิกรัมต่อลิตรในรูปของ $CaCO_3$ สภาพด่างในน้ำส่วนใหญ่มาจากไบคาร์บอเนต คาร์บอเนตและไฮดรอกไซด์ จำนวนอนุมูลเหล่านี้จะมากหรือน้อยขึ้นกับค่าพีเอช ถ้าในระบบมีค่าสภาพด่างสูงแสดงว่าระบบหมักมีเสถียรภาพ (Buffer capacity) สูง นั่นคือระบบสามารถรักษาพีเอชให้คงอยู่ได้นานต่อการเพิ่มของปริมาณกรด แต่ในทางตรงกันข้ามหากระบบมีค่าสภาพด่างต่ำแสดงว่ามีการสะสมของกรดอินทรีย์ค่อนข้างสูงใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบจะต้องมีเพิ่มการควบคุม เนื่องจากภายในระบบจะเกิดความเป็นกรดได้ง่ายทำให้ระบบล้มเหลว ซึ่งค่าสภาพด่างที่เหมาะสมควรอยู่ในช่วง 2,500 – 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

4. กรดอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile Fatty Acids)

ในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจนจะมีแบคทีเรียอยู่ 2 กลุ่ม กลุ่มแรกจะย่อยสลายสารอินทรีย์แล้วให้กรดอินทรีย์ระเหยง่ายออกมาเป็นของเสีย จากนั้นกลุ่มแบคทีเรียกลุ่มที่สองจะใช้กรดเหล่านี้เป็นอาหาร โดยให้ก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา ในระบบจะมีการสร้างกรดอินทรีย์ระเหยง่ายมากกว่าการใช้กรดอินทรีย์ระเหยง่าย ถ้ามีการสะสมในช่วงแรกค่าสภาพด่างของระบบจะลดลงจนกระทั่งหมดทำให้ค่าพีเอชลดลง แต่ถ้ายังมีการสะสมกรดอยู่อีกค่าพีเอชจะลดลงเรื่อยๆ และหากลดลงถึง 4.5 จะทำให้ระบบเสียสมดุลระหว่าง อะซิโดเจนซิสกับเมทธาโนเจนซิส สามารถสังเกตได้จากกลิ่นเหม็นเปรี้ยวที่รุนแรงและเปอร์เซนต์มีเทนต่ำมากซึ่งโดยปรกติระบบหมักที่สมบูรณ์จะมีก๊าซมีเทนประมาณ 70 % อัตราส่วนของกรดอินทรีย์ระเหยง่าย : สภาพด่างควรมีอัตราส่วนต่ำกว่า 0.3 ถ้าอยู่ในช่วง 0.3 – 0.5 ระบบจะล้มเหลว ถ้ามากกว่า 0.8 จะทำให้การทำงานของเมทธาโนเจนหยุดชะงัก (ยุพา,2547)

5. ธาตุอาหารเสริม (Nutrients)

ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาพไร้ออกซิเจนอิสระโดยจุลินทรีย์นั้น ธาตุที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์มากได้แก่ ไนโตรเจน (N) และฟอสฟอรัส (P) อัตราส่วนที่เหมาะสมในระบบหมักควรมีอัตราส่วน COD : N : P เท่ากับ 350 : 5 : 1 ถ้ามีธาตุไนโตรเจนและฟอสฟอรัสต่ำกว่าค่าที่เหมาะสมนี้ ประสิทธิภาพการย่อยสลายสารอินทรีย์และการผลิตก๊าซชีวภาพจะลดต่ำลง แต่ถ้ามีธาตุไนโตรเจนมากเกินไปก็จะเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ได้ เช่น ตะกอนจุลินทรีย์ลอยตัวหลุดออกจากระบบ นอกจากธาตุไนโตรเจนและฟอสฟอรัสแล้ว ธาตุอื่นๆ ที่มีความจำเป็นต่อขบวนการย่อยสลายได้แก่ Ca , Mg , Mo , Co และ Fe แต่จุลินทรีย์ต้องการน้อยมาก ดังนั้นธาตุเหล่านี้โดยทั่วไปจึงมีเพียงพอในน้ำเสียอยู่แล้ว ในทางปฏิบัติจึงคำนึงถึงปริมาณธาตุไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเท่านั้น ถ้าตรวจวิเคราะห์ว่ามีไม่เพียงพอจำเป็นต้องเพิ่มสารสองตัวดังกล่าวให้เพียงพอ

6. สารพิษ (Toxic substances)

สารอินทรีย์และสารอนินทรีย์เกือบทุกชนิดถ้ามีปริมาณมากเกินไปในระบบหมักก็จะเป็นอันตรายต่อจุลินทรีย์ได้และจะส่งผลให้ปริมาณกรดอินทรีย์ในระบบสูงขึ้น ลักษณะความเป็นพิษมีดังนี้

1. แคทไอออนมีผลด้านพิษต่อระบบมากกว่าแอนไอออน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ไอออนที่มีวาเลนซี่สูงจะส่งผลพิษรุนแรงกว่าไอออนที่มีวาเลนซี่ต่ำ เช่น Ca^{2-} , Mg^{2-}จะเป็นพิษต่อระบบมากกว่า Ca^{+} และ Mg^{-}

3. สารที่มีน้ำหนักอะตอมสูงจะเกิดพิษรุนแรงกว่าสารที่มีน้ำหนักอะตอมต่ำกว่า

4. จุลินทรีย์แต่ละชนิดจะทนต่อความเป็นพิษได้ไม่เท่ากัน

5. สารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างโมเลกุลวงแหวนเบนซีน ซึ่งจุลินทรีย์ย่อยสลายไม่ได้ ถ้ามีมากเกินไปก็จะเป็นพิษต่อจุลินทรีย์

6. จุลินทรีย์สามารถปรับตัวให้สามารถทนต่อสารพิษที่เพิ่มปริมาณสูงขึ้นได้

ในสภาพความเป็นจริงพบว่าในน้ำเสียมีปริมาณสารพิษปะปนอยู่ในปริมาณสูง และประกอบด้วยหลายชนิด แต่น้ำเสียดังกล่าวก็ยังสามารถถูกย่อยสลายได้ในสภาวะไร้ออกซิเจน โดยไม่แสดงความเป็นพิษออกมาให้เห็นชัดเจนนัก ทั้งนี้เนื่องจากในระบบการหมักแบบไร้ออกซิเจนอิสระนี้มีปฏิกิริยาเกิดขึ้นมากมาย เช่น การตกตะกอนสารพิษ (Precipitation) การถูกทำลายให้เปลี่ยนไปเป็นสารรูปอื่น และการรวมตัวของไอออนต่าง ๆ จึงเกิดสภาพลดหรือเสริมความเป็นพิษได้ นอกจากนี้ยังขึ้นกับพีเอชในระบบหมักด้วยซึ่งพีเอชที่เหมาะสมต่อการทำงานของจุลินทรีย์คือช่วง 6.6 - 7.6

2.2.5 จุลินทรีย์ที่ย่อยสลายในสภาวะแอนแอโรบิคในถังยูเอเอสบี

ข้อดีของระบบยูเอเอสบี คือมีปริมาณจุลินทรีย์ที่มีกิจกรรมสูงในถังยูเอเอสบี มากกว่าเมื่อเทียบกับถังปฏิกิริยาแบบไร้ออกซิเจนชนิดอื่น ๆ เนื่องมาจากการที่แบคทีเรียในระบบยูเอเอสบี แต่ละเซลล์เกาะติดรวมกันเป็นเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ ซึ่งมีเส้นผ่าศูนย์กลางหลายมิลลิเมตร เม็ดตะกอนจุลินทรีย์มีหลายชนิดแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดของจุลินทรีย์เริ่มต้น (seed sludge) องค์ประกอบของน้ำเสียและสภาวะที่ใช้ในการเริ่มต้นระบบ ซึ่งโครงสร้างของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์แสดงดังรูปที่ 2 - 5

1. Sarcina granules เม็ดตะกอนชนิดนี้จะพบได้ในอะซิเตทที่มีความเข้มข้นมากกว่า 1 กรัมต่อลิตร

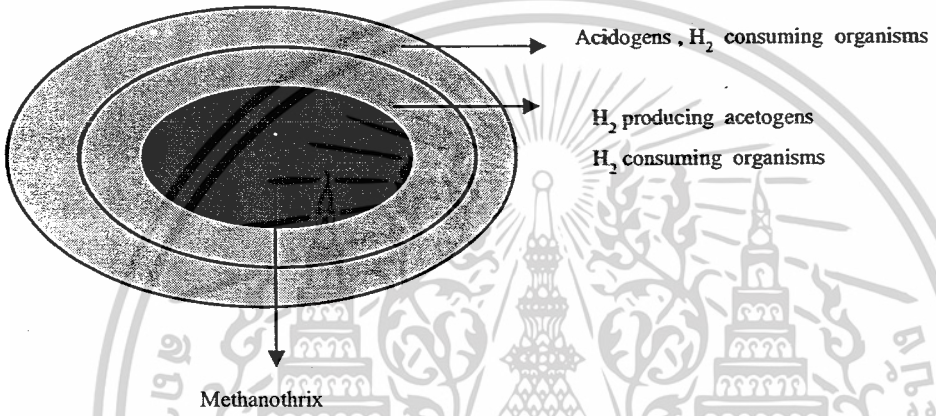
2. Spiky granules มีจุลินทรีย์ขนาดและรูปร่างอย่างเดียวกัน ซึ่งเจริญบนน้ำเสียจากโรงงานแป้งข้าวโพดที่มีแคลเซียมคาร์บอเนต 60 %

3. Filamentous granules ในเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ชนิดนี้จะมีจุลินทรีย์ที่เป็นเส้นสายยาว ได้แก่ *Methanothrix* ซึ่งเจริญบนสารอินทรีย์ระเหยง่าย

4. Rod granules ประกอบด้วย *Methanothrix* สายสั้น ๆ ประมาณ 5 เซลล์ ซึ่งพบในการบำบัดของเสียจากโรงงานน้ำตาล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จุลินทรีย์ที่สร้างมีเทนในการย่อยสลายในสภาพไร้ออกซิเจน ส่วนใหญ่ที่พบได้แก่ *Methanosarcina* และ *Methanothrix* ในขณะที่ *Methanosarcina mazai* เจริญรวมกลุ่มเป็นเม็ด ตะกอนจุลินทรีย์ *Methanothrix soehngenii* ซึ่งเซลล์มีรูปร่างเป็นท่อนมี sheath หุ้มจะรวมกลุ่มเป็น เส้นสายยาว แต่ในสภาวะที่มีความดันสูงจุลินทรีย์ชนิดนี้จะเจริญรวมกลุ่มเป็นสายสั้น ๆ ประมาณ 5 - 10 เซลล์ การย่อยสลายในสภาพไร้ออกซิเจนที่มีความเข้มข้นของอะซิเตทอยู่ในระดับต่ำจะพบ จุลินทรีย์พวก *Methanothrix*



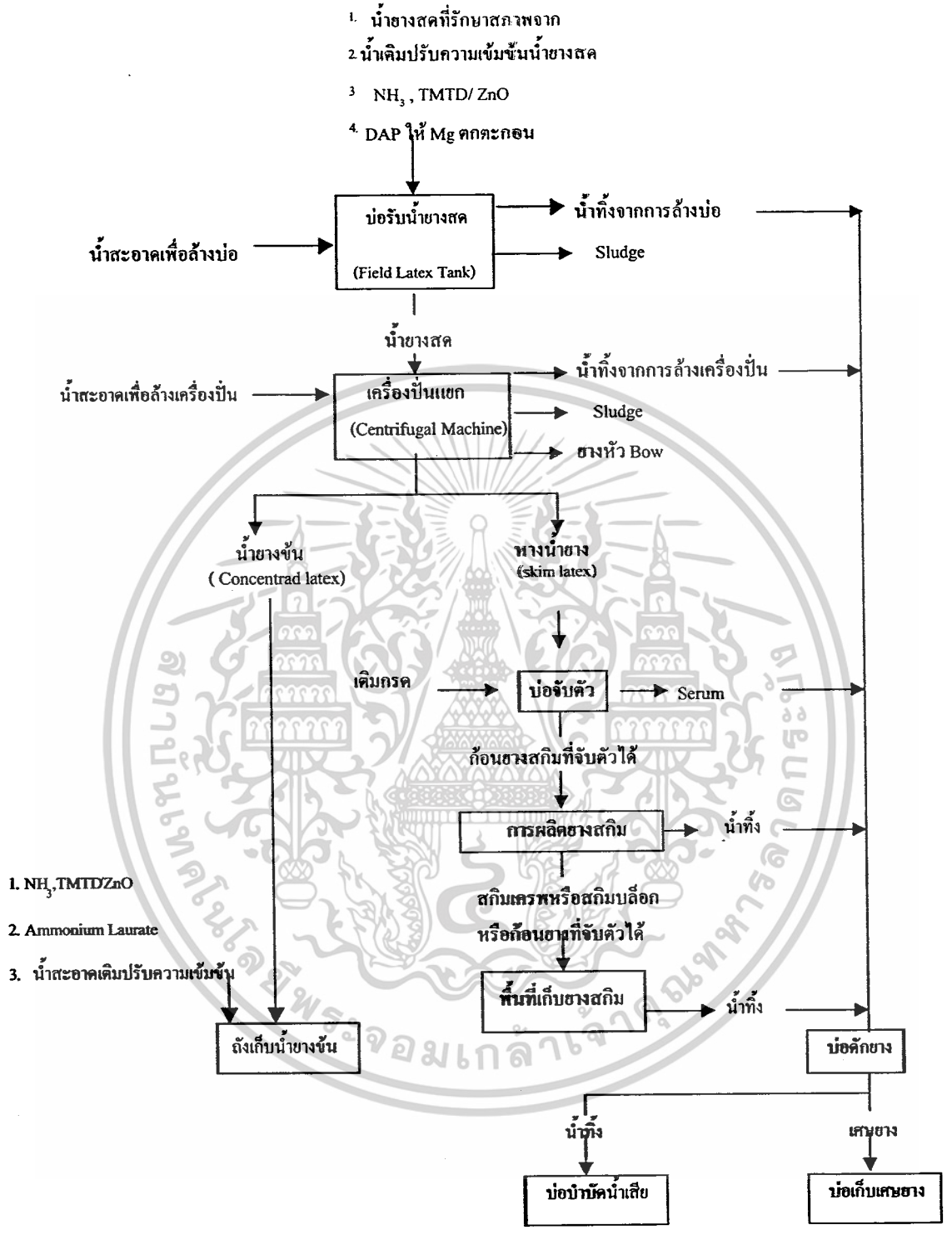
รูปที่ 2 - 5 : โครงสร้างของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในถัง UASB
ที่มา : Macleod และคณะ(1990)

2.3 อุตสาหกรรมผลิตน้ำยางข้น

2.3.1 กระบวนการผลิตน้ำยางข้น (กรมโรงงานอุตสาหกรรม , 2546)

น้ำยางข้นคือน้ำยางที่มีเนื้อยางแห้ง (Dry Rubber Content : DRC) ไม่ต่ำกว่า 60 % ในขณะที่มีเนื้อยางสดมีเนื้อยางแห้งประมาณ 25 – 45 % นอกนั้นมีน้ำเป็นส่วนใหญ่ ดังนั้นจึง ไม่สะดวกในการขนย้ายเพื่อไปทำเป็นผลิตภัณฑ์อื่นต่อ นอกจากนั้นถ้าใช้น้ำยางสดไปขึ้นรูปเป็น ผลิตภัณฑ์ก็จะได้ผลิตภัณฑ์ที่คุณภาพไม่ดี ส่วนใหญ่ผู้ผลิตผลิตภัณฑ์จากน้ำยางต้องการน้ำยางที่มี เนื้อยางไม่ต่ำกว่า 60 % กระบวนการผลิตน้ำยางข้นแสดงในรูปที่ 2 – 6 วัตถุดิบที่ใช้สำหรับผลิตน้ำ ยางข้นคือ น้ำยางสด คนกรีดยางจะทำงานตอนเช้ามืด เมื่อกรีดน้ำยางสดจากต้นแล้ว ชาวสวนจะทำการรักษาสภาพน้ำยางสดไม่ให้จับตัวด้วยแอมโมเนียและTMTD/ZnO (tetramethyl thiuram disulphide/zinc oxide) แล้วบรรจุลงถังหรือรถแท้งค์เพื่อขนส่งไปขายให้โรงงานผลิตน้ำ ยางข้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 : กระบวนการผลิตน้ำยางข้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

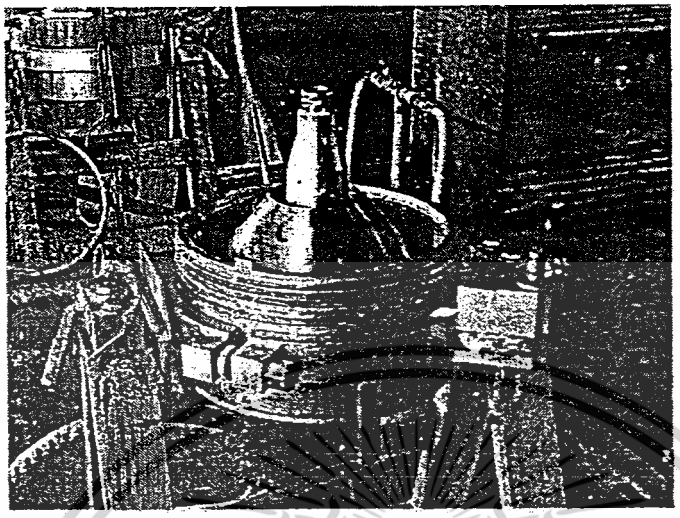
เมื่อถึงโรงงานน้ำยางข้น ชาวสวนจะเทน้ำยางสดจากถังบรรจุหรือรถแท้งค์ผ่านการกรองลงสู่บ่อรับน้ำยางสดของโรงงาน โรงงานจะเก็บตัวอย่างน้ำยางสดนี้เพื่อหาปริมาณเนื้อยางแห้ง (Dry Rubber Content : DRC) และหาปริมาณแอมโมเนีย เพื่อคำนวณเงินที่จะจ่ายให้กับชาวสวน ในการปรับสภาพให้เหมาะสมในกระบวนการปั่น พนักงานจะเติมแอมโมเนียให้น้ำยางสดในบ่อรับน้ำยางให้มีปริมาณแอมโมเนียเกินกว่า 0.4 % โดยน้ำหนัก หากทดสอบว่าน้ำยางสดมีปริมาณแมกนีเซียมสูงซึ่งมีผลต่อคุณสมบัติทางด้านกลศาสตร์ของน้ำยาง (MST,Mechanical Stability Time) ก็จะเติม Diammonium hydrogen phosphate (DHP) เพื่อให้แมกนีเซียมตกตะกอนเป็นขี้แป้ง (sludge) โดยให้ทิ้งข้ามคืน น้ำยางสดที่นำไปปั่นควรมีแมกนีเซียมน้อยกว่า 50 ppm on total solid และเมื่อปั่นแล้วควรมีไม่เกิน 20 ppm on total solid นอกจากนี้ยังต้องนำตัวอย่างน้ำยางสดไปทดสอบหาปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile Fatty Acid : VFA) ถ้าได้น้อยกว่า 0.05 สามารถนำเข้าปั่นได้ แต่ถ้าเกิน 0.05 ก็ไม่ควรนำเข้าเครื่องปั่น บ่อรับน้ำยางสดนี้จะมีการล้างทำความสะอาดทุกวัน

วิธีการสำหรับผลิตน้ำยางข้นมี 4 วิธี คือ วิธีการปั่น (Centrifuging) วิธีการระเหยน้ำ (Evaporation) วิธีการทำให้เกิดครีม (Creaming) และ วิธีการแยกด้วยไฟฟ้า (Electrodecantation) แต่วิธีการปั่นเป็นวิธีที่ได้รับความนิยมมากที่สุด

หลักการของวิธีการปั่นแยกมีดังนี้ เนื่องจากน้ำยางธรรมชาติเป็นสารละลายที่จัดอยู่ในระบบคอลลอยด์ (colloid) ที่ประกอบด้วยส่วนของอนุภาคยางแขวนลอยกระจัดกระจายอยู่ในเซรุ่ม อนุภาคยางเหล่านี้มีการเคลื่อนไหวแบบบราวเนี่ยน (Brownian movement) และเนื่องจากอนุภาคยางเบากว่าเซรุ่ม ดังนั้นอนุภาคยางจึงมีแนวโน้มที่จะลอยตัวสู่ผิวหน้าของน้ำยางอัตราการเคลื่อนของอนุภาคขึ้นอยู่กับการดึงดูดของโลก ซึ่งหากสามารถเพิ่มแรงดึงดูดได้ก็จะช่วยเพิ่มความเร็วในการเคลื่อนที่ของอนุภาคยางด้วย ฉะนั้นการปั่นซึ่งสามารถจะเพิ่มแรงดึงดูดได้เป็น 2,000 ถึง 3,000 เท่าของแรงดึงดูดของโลกจึงสามารถเร่งการเคลื่อนที่ของอนุภาคยางได้ จากหลักการนี้จึงได้ถูกนำมาพิจารณาสร้างเครื่องปั่นน้ำยางเพื่อการผลิตน้ำยางข้น หรือเพื่อการแยกส่วนที่เป็นเนื้อยางออกจากส่วนของเซรุ่มนั่นเอง

ปกติน้ำยางข้นที่ได้จากเครื่องปั่นจะมีความเข้มข้นประมาณ 60 % ของเนื้อยางแห้ง เครื่องปั่นที่ได้ทำการสำรวจมีความสามารถในการปั่นแยกน้ำยางสดได้ ประมาณตั้งแต่ 300 - 500 ลิตรต่อชั่วโมง ลักษณะของเครื่องปั่นแสดงดังรูปที่ 2 . 7 และปกติการเดินเครื่องปั่นจะสามารถเดินติดต่อกันได้อย่างมากครั้งละไม่เกิน 3 ชั่วโมงเพราะจำต้องหยุดเครื่องเพื่อทำความสะอาดล้างพวกขี้แป้งและหัวโบวล์ที่ติดอยู่ในเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 : เครื่องปั่นแยกน้ำยางข้น

การปั่นแยกน้ำยางสดจะได้น้ำยางข้นและหางน้ำยาง (skim latex) น้ำยางข้นที่ผลิตได้จะถูกเติมสารรักษาสภาพตามที่ลูกค้าต้องการเช่น การทำน้ำยางข้นชนิด High Ammonia , HA ก็จะเติมให้น้ำยางข้นมีปริมาณแอมโมเนีย 0.7 % โดยน้ำหนัก ส่วนน้ำยางข้นชนิด Low Ammonia , LA จะเติมให้น้ำยางข้นมีปริมาณมีปริมาณแอมโมเนีย 0.2 % โดยน้ำหนัก และเติม TMTD/ZnOเป็นสารช่วยรักษาสภาพควบคู่ไปด้วย และบางแห่งน้ำยางข้นที่ปั่นได้มีความเข้มข้นมากเกินไป เวลาเก็บก็จะผสมน้ำลงไปเพื่อให้เจือจางลงที่ถังเก็บน้ำยางข้นต้องมีการทำความสะอาดอยู่เสมอ เพราะถ้าทิ้งน้ำยางข้นเหลือค้างไว้ในถังนานๆน้ำยางจะจับตัว ส่วนหางน้ำยางซึ่งยังมีเนื้อยางอยู่ประมาณไม่เกิน 8 % จะถูกแปรสภาพเป็นสกิมบล็อคหรือสกิมเครพ ต่อไป

2.3.2 ปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เกิดกับอุตสาหกรรมผลิตน้ำยางข้น

1. อากาศและกลิ่น โรงงานน้ำยางข้นมักมีปัญหาเรื่องกลิ่นของแอมโมเนียในโรงงาน เพราะแอมโมเนียเป็นสารที่ระเหยง่าย การแก้ปัญหาทำโดยสร้างอาคารโรงงานให้มีระบบถ่ายเทอากาศได้ดีเพื่อให้กลิ่นเหล่านั้นถูกพาออกไปนอกพื้นที่อาคารโรงงาน

2. น้ำเสีย น้ำเสียจากโรงงานน้ำยางข้นเกิดจากหลายขั้นตอนในการผลิตเช่นเกิดจากการล้างบ่อรับน้ำยางสด การล้างเครื่องปั่น เป็นต้น น้ำเสียที่เกิดโรงงานยางจะถูกดักไว้ที่บ่อดักเศษยางเพื่อให้เศษยางลอยขึ้นมา แล้วเศษยางนี้จะถูกเกี่ยวขึ้นมาขายแต่ก็ได้ราคาที่ต่ำกว่า จากนั้นจึงผ่านน้ำเสียไปสู่ระบบบำบัด บ่อบำบัดที่มีปัญหามักมีการเน่าเหม็นซึ่งจะเป็นปัญหากับชาวบ้านซึ่งอยู่ใกล้เคียงโรงงานได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 การพิจารณาคุณลักษณะของน้ำเสีย

น้ำเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตควรมีการพิจารณาคุณลักษณะต่างๆ ดังนี้

1. คุณลักษณะทางด้านกายภาพ
   - อัตราการไหล – ช่วยให้สามารถหาปริมาณของน้ำเสียที่เกิดขึ้นได้
   - อุณหภูมิ – น้ำเสียที่มีอุณหภูมิสูงจะทำลายออกซิเจนที่มีอยู่ในน้ำ
   - ของแข็ง – น้ำเสียที่มีของแข็งปะปนอยู่ด้วยทั้งชนิดที่ละลายน้ำและไม่ละลายน้ำ

คุณสมบัติทางกายภาพชนิดอื่นๆ เช่น สี กลิ่น ความขุ่น เป็นต้น

2. คุณลักษณะทางด้านเคมี
   - ความเป็นกรด – ด่าง
   - สารมีพิษ
   - สารกัมมันตภาพรังสี

3. คุณลักษณะเกี่ยวกับอินทรียสารและชีวภาพ

อินทรียสารในน้ำเสียจะถูกเชื้อจุลินทรีย์ใช้เป็นสารอาหาร ในระยะเริ่มต้นของการย่อยสลายจุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจนอิสระ จะใช้ออกซิเจนในการทำปฏิกิริยา เมื่อออกซิเจนในน้ำเสียหมดลงจุลินทรีย์ชนิดที่ไม่ต้องการออกซิเจนอิสระจะเข้าทำปฏิกิริยาต่อไป การกำจัดน้ำเสียจำเป็นต้องทำการตรวจวิเคราะห์ในด้านต่างๆ ดังนี้คือ

- ออกซิเจนที่ใช้ในปฏิกิริยาชีวภาพ (BOD) หมายถึง ปริมาณของออกซิเจนอิสระในรูปของDOที่จุลินทรีย์ที่ต้องการอากาศใช้ในการย่อยสลายอินทรียสารในเวลา 5 วัน ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ค่า BOD เป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณของอินทรียสารที่ถูกทำลายด้วยปฏิกิริยาของจุลินทรีย์ที่ต้องการอากาศ น้ำเสียที่มีค่า BOD สูง แสดงว่าปริมาณของอินทรียสารที่ก่อให้เกิดความสกปรกเจือปนอยู่มาก จึงมักใช้ค่า BOD มาเป็นตัวบ่งชี้ในการควบคุมการปรับปรุง และกำจัดน้ำโสโครกได้เป็นอย่างดี

- ออกซิเจนที่ใช้ในปฏิกิริยาเคมี (COD) หมายถึง ปริมาณออกซิเจนที่จำเป็นจะต้องใช้ในปฏิกิริยาเคมีแบบออกซิเดชั่น เพื่อทำลายหรือเปลี่ยนแปลงสภาพของสารเจือปนชนิดต่างๆ ที่เป็นสาเหตุของความสกปรก

- จุลินทรีย์ชนิดต่างๆ (Organisms) กรรมวิธีในการปรับปรุงคุณภาพของน้ำเสียขั้นทุติยภูมินิยมใช้ปฏิกิริยาย่อยสลายของจุลินทรีย์ จึงต้องมีการตรวจวิเคราะห์หาชนิดและปริมาณของจุลินทรีย์ที่มีมากับน้ำเสียก่อนเริ่มปรับปรุง เพื่อช่วยให้สามารถดำเนินการต่างๆ ได้ถูกต้องเหมาะสมยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 มาตรฐานน้ำทิ้ง

มาตรฐานน้ำทิ้งตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2539) เรื่องกำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรมกำหนดไว้ดังนี้

ข้อ 22 ห้ามมิให้ระบายน้ำทิ้งออกจากโรงงาน เว้นแต่ได้ทำการอย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่าง ให้มีลักษณะดังต่อไปนี้

1. ค่าของความเป็นกรด – ด่าง อยู่ระหว่าง 5.5 – 9.0
2. Permaganate value ไม่มากกว่า 60 มิลลิกรัม/ลิตร
3. สารที่ละลายได้(Dissolved solids) รวมกันไม่มากกว่า 3,000 มิลลิกรัม/ลิตร
4. ซัลไฟด์คิดเทียบเป็น H_2S ไม่มากกว่า 1 มิลลิกรัม/ลิตร
5. ไซยาไนด์คิดเทียบเป็น HCN ไม่มากกว่า 0.2 มิลลิกรัม/ลิตร
6. สังกะสี (Zn) ไม่มากกว่า 5.0 มิลลิกรัม/ลิตร
7. โครเมียมชนิดเฮ็กซาวาเล้นท์(Hexavalent Chromium) ไม่มากกว่า 0.25 มิลลิกรัม/ลิตร
8. โครเมียมชนิดไตรวาเล้นท์ (Trivalent Chromium) ไม่มากกว่า 0.75 มิลลิกรัม/ลิตร
9. ทองแดง (Cu) ไม่มากกว่า 2 มิลลิกรัม/ลิตร
10. แคดเมียม (Cd) ไม่มากกว่า 0.03 มิลลิกรัม/ลิตร
11. แบเรียม (Ba) ไม่มากกว่า 1 มิลลิกรัม/ลิตร
12. ตะกั่ว (Pb) ไม่มากกว่า 0.2 มิลลิกรัม/ลิตร
13. นิคเกิล (Ni) ไม่มากกว่า 1 มิลลิกรัม/ลิตร
14. แมงกานีส (Mn) ไม่มากกว่า 5 มิลลิกรัม/ลิตร
15. อาร์เซนิค (As) ไม่มากกว่า 0.25 มิลลิกรัม/ลิตร
16. เซเลเนียม (Se) ไม่มากกว่า 0.02 มิลลิกรัม/ลิตร
17. ปรอท (Hg) ไม่มากกว่า 0.005 มิลลิกรัม/ลิตร
18. TAR ไม่มีเลย
19. น้ำมันและไขมัน ไม่มากกว่า 5 มิลลิกรัม/ลิตร
20. ฟอร์มัลดีไฮด์ ไม่มากกว่า 1 มิลลิกรัม/ลิตร
21. ฟีนอล ไม่มากกว่า 1 มิลลิกรัม/ลิตร
22. คลอรีนอิสระ ไม่มากกว่า 1 มิลลิกรัม/ลิตร
23. ยาฆ่าแมลง สารกัมมันตภาพรังสี ไม่มีเลย
24. BOD (20 องศาเซลเซียส, 5 วัน) ไม่มากกว่า 20 มิลลิกรัม/ลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

25. อุณหภูมิของน้ำทิ้งเมื่อระบายลงสู่ลำน้ำสาธารณะ ไม่มากกว่า 40 องศาเซลเซียส

26. สีหรือกลิ่นของน้ำทิ้ง เมื่อระบายลงสู่ลำน้ำสาธารณะแล้วต้องไม่เป็นที่พึงรังเกียจ

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Shigeki และคณะ (1998) ได้ทำการศึกษาการบำบัดน้ำทิ้งจากบ้านเรือนโดยใช้ระบบ UASB กำหนดให้ระยะเวลากักพักชลศาสตร์เท่ากับ 4.7 ชั่วโมง ใช้อุณหภูมิในช่วง 13 - 25 °C เป็นเวลา 6 เดือนพบว่าประสิทธิภาพในการกำจัด COD ได้ 70 % ซึ่งประสิทธิภาพในการกำจัด COD ขึ้นกับความเข้มข้นของน้ำเข้าระบบมากกว่าการควบคุมอุณหภูมิ โมเลกุลของสารอินทรีย์จะถูกดักโดยชั้นตะกอนสลัดจ์ จากนั้นจะเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ที่อุณหภูมิ 25 °C มีประสิทธิภาพในการกำจัด COD ได้ 58 % และที่อุณหภูมิ13 °C ประสิทธิภาพจะลดลงเป็น 33 %

Christian และคณะ (1997) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการย่อยสลายสารอินทรีย์ของระบบ UASB แบบครั้งกับแบบต่อเนื่อง ซึ่งทั้งสองระบบสามารถผลิตก๊าซมีเทนจากกรดอินทรีย์ระเหยได้มากขึ้น ซึ่งน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมจะมีสารประกอบฟีโนลิคปนเปื้อนออกมาและสามารถกำจัด p-cresol ได้โดยการย่อยสลายสมบูรณ์ ได้ผลิตภัณฑ์เป็นก๊าซมีเทน คาร์บอนไดออกไซด์ ไพรโอเนทและกรดอะซิเตท เมื่อมีกรดอินทรีย์ระเหยง่ายจะช่วยกำจัดสารพวก p-cresol ได้พบว่าระบบยูเอเอสบีแบบต่อเนื่องจะสามารถรองรับน้ำเสียที่มีความเป็นพิษต่อเชื้อจุลินทรีย์ อัตราส่วนระหว่าง VFA : COD ที่สามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ได้สมบูรณ์เท่ากับ 2:1 ที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 0.67 วัน

Zafar และคณะ (1996) ได้ทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการบำบัดน้ำเสียที่มีมีเทนปนเปื้อนโดยใช้กระบวนการ UASB เดินระบบแบบต่อเนื่องใช้เวลาในการทดสอบมากกว่า 400 วัน พบว่าในช่วง pH 7.0 –7.3 ไม่มีการสร้างกรดไขมันที่ระเหยง่าย และในการกระบวนการย่อยสลายเมทานอลให้กลายเป็นมีเทนจำเป็นจะต้องมีการควบคุม pH มีประสิทธิภาพในการกำจัด TOC ได้ 80 %

Jhung และคณะ (1995) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบการเดินระบบแบบ UASB และกระบวนการ Fixed film โดยใช้น้ำเสียชนิดต่างๆ คือ น้ำเสียที่มีการปนเปื้อนคาร์โบไฮเดรตและกรดอินทรีย์ที่ระเหยง่ายกับน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูงและต่ำ ซึ่งลักษณะของน้ำเสียชนิดต่าง ๆ จะมีผลต่อเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ น้ำเสียที่มีคาร์โบไฮเดรตปนเปื้อนจะมีอัตราส่วน COD/VA สูง มีการสร้างจุลินทรีย์แบบเส้นใยและเม็ดตะกอนจุลินทรีย์มีการเจริญเติบโต ในการพัฒนาการเกิดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์จะขึ้นกับภาระสารอินทรีย์ของทั้ง 2 กระบวนการ โดยในกระบวนการบำบัดแบบ Fixed film ไม่มีความสามารถในการบำบัดน้ำเสียชนิดต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Fang และคณะ (1999) ได้ทำการศึกษาการย่อยสารประกอบฟีนอลในน้ำเสีย ซึ่งมีความเข้มข้นของสารประกอบฟีนอล 3,000 มิลลิกรัม/ลิตร โดยใช้ระบบ UASB พบว่าที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ในช่วงพีเอช 6.9 – 7.5 และระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 12 ชั่วโมงความเข้มข้นของสารประกอบฟีนอลลดลงเหลือ 1,260 มิลลิกรัม/ลิตร มีประสิทธิภาพในการกำจัดฟีนอลได้ 17 % แต่กิจกรรมทางชีววิทยาของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์จะลดลง เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและอัตราภาระรับสารอินทรีย์ เมื่อนำเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ไปส่องกล้องดูลักษณะรูปร่างแบคทีเรียด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนจะพบว่ามีจุลินทรีย์จำพวก *Syntrophus buswellii* , *Methanothrix* , *Methanospirillum* และ *Methanobrevibacter*

สุจินดา และคณะ ได้ทำการศึกษาดัชนีชี้วัดประสิทธิภาพการหมักกรดในกระบวนการบำบัดแบบไร้อากาศสำหรับน้ำเสียที่มีโปรตีนสูง โดยทำการหมักเป็นเวลา 24 ชั่วโมง และเก็บตัวอย่างมาวิเคราะห์ทุกๆ ชั่วโมง โดยจะได้สารประกอบหลัก คือ กรดอินทรีย์ และแอมโมเนีย โดยกรดอินทรีย์และแอมโมเนียที่เกิดขึ้นนี้มีผลต่อระดับพีเอช ซึ่งกรดอินทรีย์ส่งผลให้ระดับพีเอชลดลง แต่แอมโมเนียส่งผลให้ระดับพีเอชสูงขึ้น และระดับพีเอชหลังการหมักกรดมีแนวโน้มที่จะสูงขึ้น แอมโมเนียที่เกิดขึ้นจะช่วยรักษาสภาวะบัฟเฟอร์ในการหมักกรดทำให้สภาพด่างสูงขึ้น ดังนั้น ดัชนีชี้วัดประสิทธิภาพการหมักกรดในกระบวนการบำบัดแบบไร้อากาศ สำหรับน้ำเสียที่มีโปรตีนสูง ได้แก่ พีเอช กรดอินทรีย์ แอมโมเนีย และสภาพด่าง โดยประสิทธิภาพการหมักกรดสูงจะส่งผลให้ปัจจัยดังกล่าวมีค่าสูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีดำเนินการทดลอง

3.1 น้ำเสียที่ใช้ในการศึกษา

ตัวอย่างน้ำเสียที่ใช้ในการศึกษาแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่

1. น้ำเสียสังเคราะห์ ซึ่งเตรียมได้จากอาหารสังเคราะห์ 1 ลิตร มีองค์ประกอบดังต่อไปนี้

สารเคมี	ปริมาณ
ซูโครส	1.78 กรัม
NH_4Cl	170 มิลลิกรัม
NaH_2PO_4	37 มิลลิกรัม
$MgCl.4H_2O$	9 มิลลิกรัม
KCl	25 มิลลิกรัม
Na_2SO_4	70 มิลลิกรัม
$NaHCO_3$	5 กรัม
Yeast extract	0.1 กรัม
Trace element ประกอบด้วย	1 มิลลิลิตร
- $FeCl_2.H_2O$	2 กรัม
- $ZnCl_2$	50 มิลลิกรัม
- $MnCl_2.4H_2O$	500 มิลลิกรัม
- $CuSO_4$	30 มิลลิกรัม

2. น้ำเสียยางพาราจากโรงงานผลิตน้ำยางข้น จังหวัดระยอง

น้ำเสียยางพาราได้จากโรงงานผลิตน้ำยางข้น ซึ่งน้ำเสียที่ได้เก็บมาจากบ่อปรับสภาพโดยเก็บรักษาสภาพของน้ำโดยแช่ตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ระบบ Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB)

3.2.1 การติดตั้งระบบ Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB)

ถังปฏิกรณ์แบบยูเอเอสบี ในระดับห้องปฏิบัติการที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้มี 3 ถัง แต่ละถังสามารถบรรจุของเหลวปริมาตร 4.86 ลิตร ทำจากพลาสติกอะคริลิคใส ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 54 มิลลิเมตร สูง 120 เซนติเมตร รูปที่ 3.1 แสดงถังปฏิกรณ์แบบยูเอเอสบี และถังควบคุมระดับส่วนบนของถังยูเอเอสบี มีส่วนที่แยกก๊าซและของแข็งออกจากกัน ทำให้ก๊าซที่เกิดขึ้นแยกออกจากเม็ดตะกอนจุลินทรีย์และของเหลวภายในถังปฏิกรณ์ ส่วนเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ตกกลับลงมาสู่ก้นถัง น้ำเสียถูกป้อนเข้าสู่ด้านล่างของถังผ่านถังควบคุมระดับโดยใช้เครื่องสูบน้ำที่สามารถปรับอัตราการไหลได้ น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วจะไหลออกทางด้านบนของถังปฏิกรณ์ ก๊าซชีวภาพที่ได้จะผ่านท่อยางที่ใช้เป็นจุดเก็บตัวอย่าง เพื่อวัดปริมาณและองค์ประกอบของก๊าซที่เกิดขึ้นโดยการแทนที่น้ำ

3.2.2 รูปแบบการเดินระบบ

น้ำเสียจากถังเก็บน้ำ (Influent Tank) ถูกส่งไปยังถังควบคุมระดับด้วยเครื่องสูบน้ำ (ยี่ห้อโพรมิเน้นท์ , ประเทศเยอรมัน) จากนั้นน้ำเสียจากถังควบคุมระดับจะไหลด้วยแรงโน้มถ่วงเข้าถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบีทางด้านล่างของถัง น้ำเสียจะไหลจากด้านล่างขึ้นด้านบนและออกจากถังปฏิกรณ์ลงสู่ถังรวบรวมน้ำทิ้ง (Effluent Tank) ดังรูปที่ 3.2 การเดินระบบ UASB นี้ใช้การป้อนน้ำเข้าสู่ระบบแบบต่อเนื่อง (Continuous Mode)

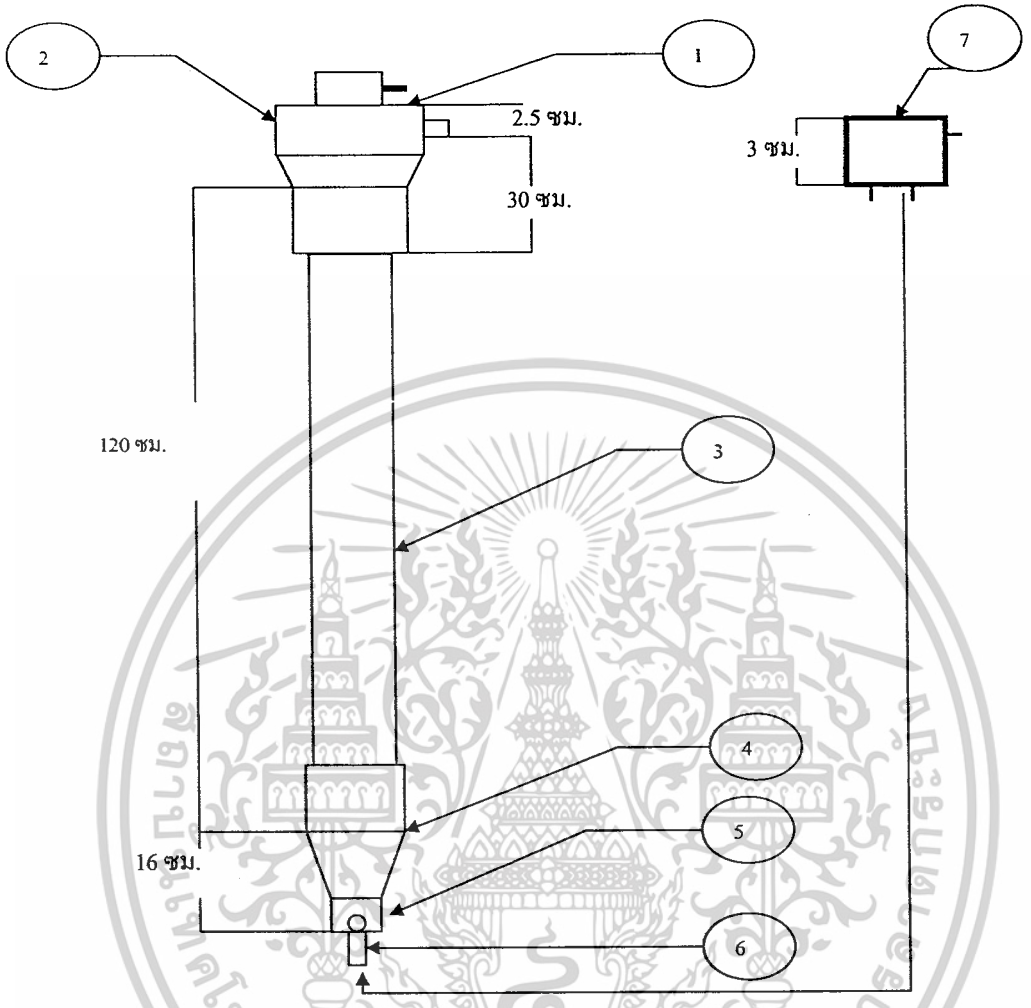
3.2.3 ตะกอนจุลินทรีย์ (Granulated Sludge)

เนื่องจากระบบยูเอเอสบี จำเป็นต้องใช้ตะกอนจุลินทรีย์ในการทำงาน ซึ่งการสร้างตะกอนจุลินทรีย์ดังกล่าวต้องใช้เวลาค่อนข้างนาน ดังนั้นในการศึกษานี้จึงใช้ตะกอนจุลินทรีย์สำเร็จจากระบบยูเอเอสบี ของโรงงานผลิตผลไม้กระป๋องเป็นจุลินทรีย์เริ่มต้นในการเดินระบบ

3.2.4 การบำบัดน้ำเสียขั้นต้นและการปรับสภาพน้ำ

จากการตรวจวิเคราะห์คุณลักษณะน้ำเสียที่ได้จากโรงงานผลิตน้ำยางข้น ซึ่งประกอบด้วย พีเอช , ของแข็งแขวนลอย , ซีโอดี , ทีเคเอ็นและแอมโมเนีย พบว่าคุณลักษณะของน้ำดังกล่าวยังไม่เหมาะสมที่จะป้อนเข้าสู่ระบบยูเอเอสบีดังนั้นจึงทำการบำบัดน้ำเสียขั้นต้นและปรับปรุงคุณลักษณะน้ำก่อนด้วยวิธีการดังนี้

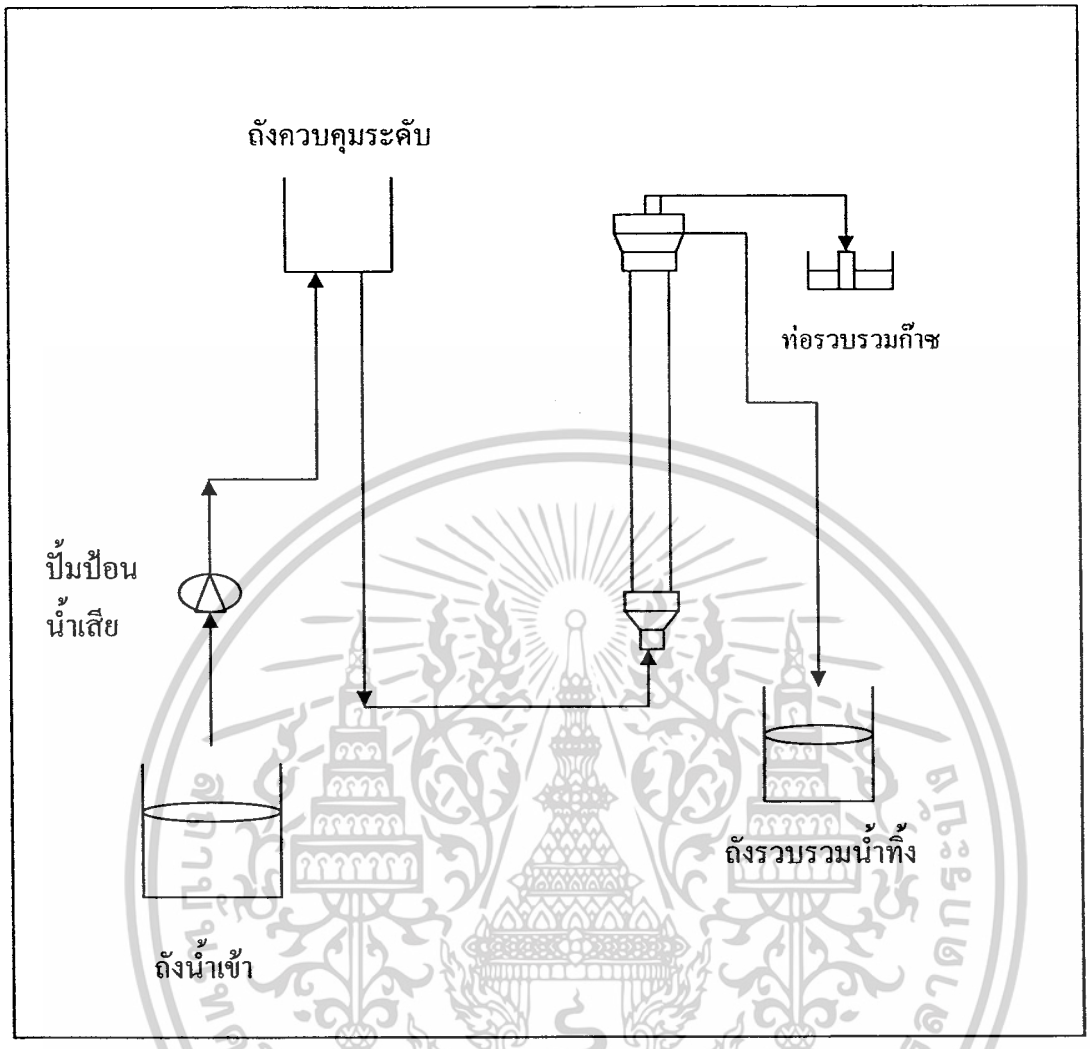
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



1.ฝาบน
2.ท่อพีวีซี
3. ท่ออะคลิลิค เบอร์ 603
4. ท่อพีวีซี
5.วาล์วน้ำ
6. ข้อต่อสายยางน้ำเข้า
7.ถังควบคุมระดับ

รูปที่ 3 . 1 ถังปฏิกรณ์แบบยูเอเอสบี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 ส่วนประกอบของระบบยูเอเอสบี และผังการไหล

1) การรวมตะกอนทางเคมีเพื่อลดปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด

การลดปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด ใช้กระบวนการรวมตะกอนทางเคมี (Coagulation and Flocculation) ด้วยเฟอร์ริคคลอไรด์ ($FeCl_3$) และโพลิเมอร์ประจุลบ (Anion Polymer) และใช้ปูนขาว (10 % $Ca(OH)_2$) ในการปรับค่าพีเอช โดยการศึกษาปริมาณและสภาวะที่เหมาะสมใช้วิธีการจาร์เทสต์ (Jar Test) ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

1. ใช้ปริมาณเฟอร์ริคคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 160 , 200 , 250, 300 และ 400 มิลลิกรัมต่อลิตรหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดโดยจะมีปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดน้อยที่สุด

2. ปรับค่าพีเอชให้อยู่ที่ 5 , 7 , 9 และ11 โดยใช้ปูนขาว (10 % $Ca(OH)_2$) ซึ่งจะคงที่ปริมาณเฟอร์ริคคลอไรด์ที่ความเข้มข้นที่เหมาะสมที่สุดตามข้อ 1

3. วิเคราะห์หาปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เมื่อได้สภาวะที่เหมาะสมทำการแปรผันปริมาณเฟอร์ริคคลอไรด์ เป็น 30 , 40 , 50 , 75 , 100และ150 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้มีปริมาณน้อยลงเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุด

2) <u>กระบวนการหมักกรด (Acidogenesis)</u>

เนื่องจากกระบวนการสร้างก๊าซมีเทนจากจุลินทรีย์กลุ่ม Methanogenesis จำเป็นต้องมีการควบคุมสภาพการทำงานอย่างเคร่งครัด ดังนั้นระบบการทำงานจึงแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน (Two-Stage UASB) ได้แก่ กระบวนการสร้างกรดและกระบวนการสร้างก๊าซมีเทน

โดยกระบวนการหมักกรด มีขั้นตอน ดังนี้

- นำน้ำเสียที่จะใช้ในการทดลองมาทำการหมักในภาชนะปิด
- เติมหัวเชื้อต่อน้ำเสียในอัตราส่วน 10 มิลลิลิตรต่อ 1 ลิตร
- ทำการหมักเป็นเวลา 2 วัน โดยเก็บตัวอย่างน้ำมาทำการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ทุกวัน ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ตัวอย่าง

ปัจจัยที่ศึกษา	วิธีวิเคราะห์
พีเอช	เครื่องวัดพีเอช
ซีโอดี	วิธีรีฟลักซ์แบบปิด
บีโอดี	วิธีแบบเจือจางและการไทเทรต
กรดอินทรีย์ระเหยง่าย	วิธีการกลั่น
ทีเคเอ็น	วิธีการกลั่น
สภาพด่าง	วิธีใช้อินดิเคเตอร์
ปริมาณก๊าซชีวภาพ	การแทนที่น้ำ
องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ	เครื่อง GC - MS

3) <u>การปรับพีเอชและการปรับสภาพด่าง</u>

เนื่องจากระบบยูเอเอสบี โดยเฉพาะกระบวนการสร้างก๊าซมีเทนเป็นระบบที่ค่อนข้างไวต่อสภาวะแวดล้อมและมีโอกาสเสียสมดุลได้สูง ดังนั้นปัจจัยต่างๆ เช่น ค่าพีเอชและสภาพด่าง จะต้องมีการควบคุม โดยค่าพีเอชควรอยู่ในช่วง 6.6 - 7.6 และสภาพด่างควรอยู่ในช่วง 2,500 – 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.5 การเดินระบบยูเอเอสบี

มีขั้นตอนดังนี้ (ดังรูปที่ 3.3)

1. นำตะกอนจุลินทรีย์จากระบบยูเอเอสบี ที่เดินระบบอยู่แล้วเป็นจุลินทรีย์เริ่มต้นระบบในถังปฏิกรณ์ทั้ง 3 ถัง โดยแต่ละถังจะใช้ปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ 1.5 ลิตร

2. ปรับสภาพของระบบทั้ง 3 ถังเพื่อให้เกิดความคุ้นเคยกับน้ำเสียโดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ 100 เปอร์เซ็นต์ที่ผ่านการหมักกรดเป็นเวลา 2 วัน โดยมีปัจจัยควบคุมดังตารางที่ 3.2

3. ทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของระบบ โดยทำการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ดังตารางที่ 3.1

4. เมื่อพบว่าระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวแล้ว ทำการแปรผันสัดส่วนน้ำเสียสังเคราะห์ต่อน้ำเสียยางพารา โดยเพิ่มสัดส่วนน้ำเสียครั้งละ 10 เปอร์เซ็นต์ จนคงที่ที่อัตราส่วนดังนี้

ถังที่	น้ำเสียสังเคราะห์ : น้ำเสียยางพารา
1	100 : 0
2	50 : 50
3	0 : 100

โดยน้ำที่จะป้อนเข้าสู่ระบบจะต้องทำการหมักกรดเป็นเวลา 2 วันเพื่อเตรียมน้ำเสียสำหรับกระบวนการสร้างมีเทนในระบบยูเอเอสบี

5. ทำการวิเคราะห์บีโอดี ซีโอดี ทีเคเอ็น กรดอินทรีย์ระเหยง่าย และสภาพด่างในตัวอย่างน้ำเสียก่อนและหลังเข้าระบบโดยทำการวิเคราะห์ทุกๆวัน เพื่อทดสอบประสิทธิภาพการบำบัดของระบบยูเอเอสบี

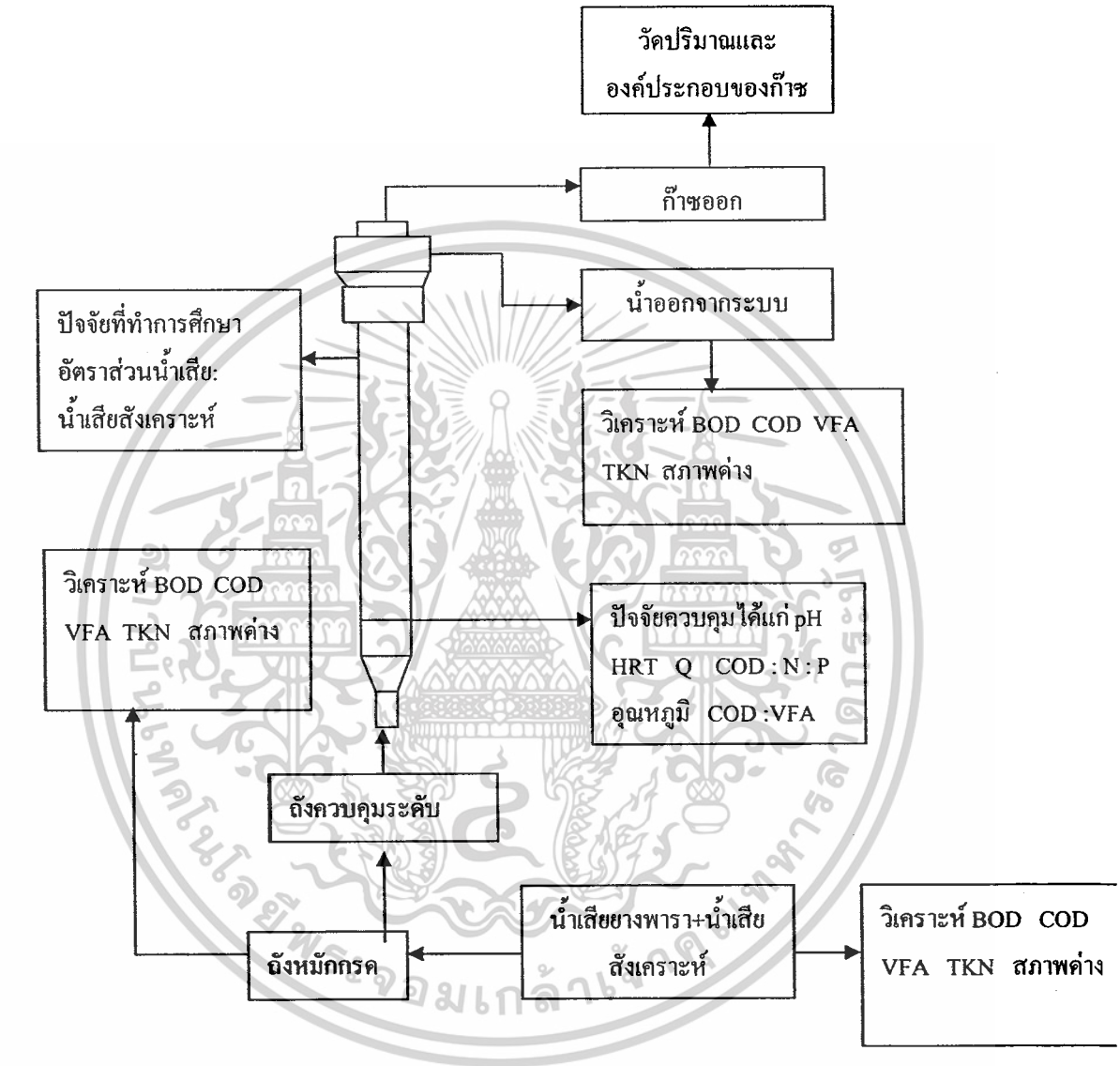
6. เก็บตัวอย่างก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น โดยทำการวัดทั้งปริมาณและองค์ประกอบของก๊าซเพื่อคำนวณหาปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นต่อปริมาณซีโอดีที่ถูกกำจัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 ปัจจัยควบคุมในการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ

ปัจจัยควบคุม	ค่าที่ควบคุม
1. อัตราการไหล	0.2 ลิตรต่อชั่วโมง
2. เวลากักพักชลศาสตร์(HRT)	24 ชั่วโมง
3. พีเอช	6.6 - 7.6
4. COD : N : P	350 : 5 : 1
5. COD : VFA	2 : 1
6. สภาพด่าง	2,500 – 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร
7. อุณหภูมิ	อุณหภูมิห้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 ขั้นตอนการทดสอบการทำงานของระบบยูเอเอสบี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การทดสอบปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของระบบยูเอเอสบี

ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของระบบยูเอเอสบี ที่ทำการศึกษาในงานวิจัยนี้ ได้แก่ อัตราส่วนน้ำเสียสังเคราะห์ต่อน้ำเสียยางพารา และอัตราภาระสารอินทรีย์

1. การเดินระบบจะทำการปรับอัตราน้ำเสียเข้าระบบด้วยอัตราการไหล 0.2 ลิตรต่อชั่วโมง ซึ่งสัมพันธ์กับค่าระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 24 ชั่วโมงและความเร็วไหลขึ้นเท่ากับ 0.087 เมตรต่อชั่วโมง โดยมีปัจจัยควบคุมดังแสดงในตารางที่ 3.3

2. ปัจจัยที่ศึกษา ได้แก่ อัตราส่วนน้ำเสียสังเคราะห์ต่อน้ำเสียยางพารา และอัตราภาระสารอินทรีย์

ตารางที่ 3.3 ปัจจัยควบคุมที่ใช้ในการทดลอง

ปัจจัยควบคุม	ค่าที่ควบคุม
พีเอช	6.6 - 7.6
COD : N : P	350 : 5 : 1
COD : VFA	2 : 1
สภาพด่าง	2,500 - 5,000 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
อุณหภูมิ	อุณหภูมิห้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

4.1 คุณลักษณะของน้ำเสียยางพารา

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการวิเคราะห์คุณลักษณะของน้ำเสียจากกระบวนการผลิตยางพารา พบว่าน้ำเสียยางพารามีค่าพีเอชค่อนข้างต่ำ ซึ่งแสดงลักษณะของความเป็นกรดค่อนข้างสูง ทั้งนี้เนื่องมาจากการปรับสภาพกรดในน้ำเสีย เพื่อการตกตะกอนเนื้อยาง (Latex Coagulation) ปริมาณซีโอดีที่สูงแสดงถึงปริมาณสารอินทรีย์ที่ปนเปื้อนอยู่มากในน้ำเสีย ซึ่งเกิดจากสารอินทรีย์ต่าง ๆ ในน้ำยาง เช่น โปรตีน ปริมาณของแข็งแขวนลอยมีค่าสูง อาจส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของระบบยูเอเอสบี ปริมาณทีเคเอ็นและแอมโมเนียที่พบมากในน้ำเสีย เกิดจากการเติมแอมโมเนียในกระบวนการผลิตเพื่อรักษาสภาพยาง (Latex preservation) รวมทั้งโปรตีนที่อยู่ในน้ำยาง

ตารางที่ 4 . 1 คุณลักษณะของน้ำเสียยางพารา

พารามิเตอร์	หน่วย	ค่าที่วัดได้	ค่าเฉลี่ย
อุณหภูมิ	$^{\circ}$C	33 - 34	33.3 ± 0.6
พีเอช	-	4.41 - 4.56	4.5 ± 0.1
ของแข็งแขวนลอย	mg/L	469 - 480	474 ± 5.5
ซีโอดี	mg/L	13670 - 14350	13623 ± 402
ทีเคเอ็น	mg/L as N	235.47 - 256.48	244.87 ± 10.68
แอมโมเนีย	mg/L	130.53 - 141.68	136.03 ± 5.68

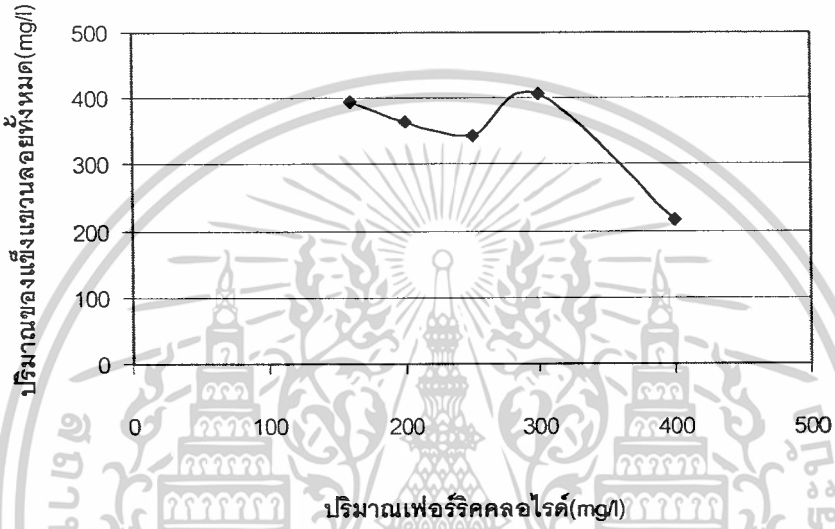
4.2 การบำบัดน้ำเสียยางพาราขั้นต้น

เนื่องจากคุณลักษณะของน้ำเสียไม่เหมาะสมต่อการทำงานของระบบยูเอเอสบี อาจเป็นสาเหตุที่ทำให้ระบบล้มเหลวได้ ดังนั้นในการศึกษานี้ จึงทำการบำบัดน้ำเสียยางพาราขั้นต้นเพื่อปรับสภาพน้ำเสียให้เหมาะสมโดยกระบวนการรวมตะกอนทางเคมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบการรวมตะกอนทางเคมี (Jar Test)

เป็นการศึกษาหาค่าปริมาณเฟอร์ริคคลอไรด์ซึ่งใช้เป็นสารตกตะกอน และค่าพีเอชที่เหมาะสมโดยในขั้นตอนแรกทำการแปรผันปริมาณเฟอร์ริคคลอไรด์ที่ความเข้มข้นเท่ากับ 160 , 200 , 250 , 300 และ 400 มิลลิกรัมต่อลิตร แล้วทำการวัดค่าของแข็งแขวนลอยหลังจากการตกตะกอน ผลการทดลอง แสดงดังรูปที่ 4.1



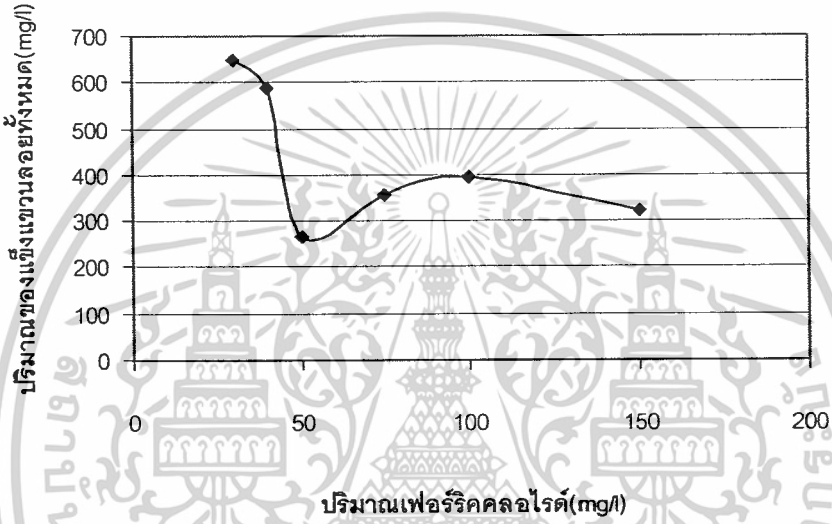
รูปที่ 4.1 ผลของปริมาณเฟอร์ริคคลอไรด์ต่อการกำจัดของแข็งแขวนลอยทั้งหมด

จากผลการทดลองพบว่าปริมาณเฟอร์ริคคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตรจะมีปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดน้อยที่สุดเท่ากับ 216 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่เมื่อพิจารณาปริมาณเฟอร์ริคคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 250 มิลลิกรัมต่อลิตรพบว่าปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 342 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับปริมาณเฟอร์ริคคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังนั้นเพื่อเป็นการลดค่าใช้จ่ายด้านสารเคมีจึงพิจารณาว่าปริมาณเฟอร์ริคคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 250 มิลลิกรัมต่อลิตรเป็นสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการทดสอบในขั้นต่อไป

จากนั้นคงที่ปริมาณเฟอร์ริคคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 250 มิลลิกรัมต่อลิตรโดยปรับพีเอชเป็น 7 ใช้ปูนขาว ($Ca(OH)_2$) เนื่องจากค่าพีเอชที่เหมาะสมสำหรับระบบยูเอเอสบี ควรอยู่ในช่วง 6.6 – 7.6 ดังนั้นจึงเลือกค่าพีเอชเท่ากับ 7 เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุด แปรผันปริมาณเฟอร์ริคคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 30 , 40 , 50 , 75 , 100 และ 150 มิลลิกรัมต่อลิตร ผลการทดลอง แสดงดังรูปที่ 4 . 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.2 พบว่าปริมาณเฟอร์ริคคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตรที่พีเอช เท่ากับ 7 สามารถลดปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดได้ดีที่สุด ดังนั้นในการบำบัดน้ำเสียยางพาราขั้นต้นจึงเลือกใช้สภาวะดังกล่าวในการดำเนินการ ซึ่งผลจากการบำบัดขั้นต้นแสดงในตารางที่ 4.2 ซึ่งพบว่าการตกตะกอนทางเคมีสามารถกำจัดของแข็งแขวนลอยทั้งหมดได้ถึงร้อยละ 63 ซึ่งสารอินทรีย์ในรูปของซีโอดีที่ละลายน้ำบางส่วน ประมาณร้อยละ 27 ถูกบำบัดด้วยกระบวนการนี้



รูปที่ 4.2 ปริมาณเฟอร์ริคคลอไรด์กับปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดที่พีเอช 7

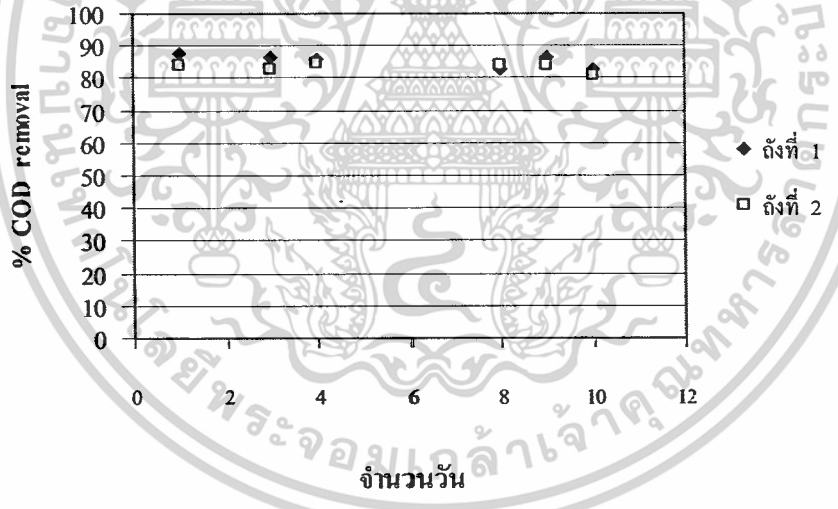
ตารางที่ 4.2 คุณลักษณะของน้ำเสียยางพาราก่อนและหลังการบำบัดด้วยวิธีการตกตะกอนทางเคมี

พารามิเตอร์	หน่วย	ก่อนบำบัด	หลังบำบัด	% การกำจัด
พีเอช	-	4.47	6.56	-
ของแข็งแขวนลอย	mg/L	474	176	63
ซีโอดี	mg/L	13,835	10,125	27
ทีเคเอ็น	mg/L as N	245	160	35
แอมโมเนีย	mg/L	136	134	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การศึกษาประสิทธิภาพการทำงานของระบบยูเอเอสบี

หลังจากมีการติดตั้งระบบยูเอเอสบี เรียบร้อยแล้ว ทำการปรับสภาพของระบบโดยเดินระบบด้วยน้ำเสียสังเคราะห์ 100 เปอร์เซ็นต์ซึ่งมีน้ำตาลซูโครสเป็นส่วนประกอบ เพื่อให้จุลินทรีย์เกิดความคุ้นเคยกับน้ำเสีย ปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำเสียสังเคราะห์ที่เข้าสู่ระบบมีค่าซีโอดีระหว่าง 1,800 – 2,100 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าทีเคเอ็นในน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบอยู่ระหว่าง 120 – 170 มิลลิกรัมต่อลิตร กรดอินทรีย์ระเหยง่ายมีค่า 280 – 320 มิลลิกรัมต่อลิตร ในการปรับสภาพของระบบต้องใช้ระยะเวลาช่วงหนึ่งในการปรับตัวเพื่อเข้าสู่สภาวะคงที่ (steady state) ซึ่งสังเกตได้จากค่าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีหรือปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ค่อนข้างคงที่ จากผลการเดินระบบยูเอเอสบีในช่วงระยะเวลาหนึ่ง แสดงดังรูปที่ 4.3 พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี มีค่าเฉลี่ยร้อยละ 84 ประสิทธิภาพในการกำจัดทีเคเอ็นมีค่าเฉลี่ยร้อยละ 53 แสดงดังรูปที่ 4.4 และประสิทธิภาพในการกำจัดกรดอินทรีย์ระเหยง่ายเฉลี่ยร้อยละ 45 แสดงดังรูปที่ 4.5



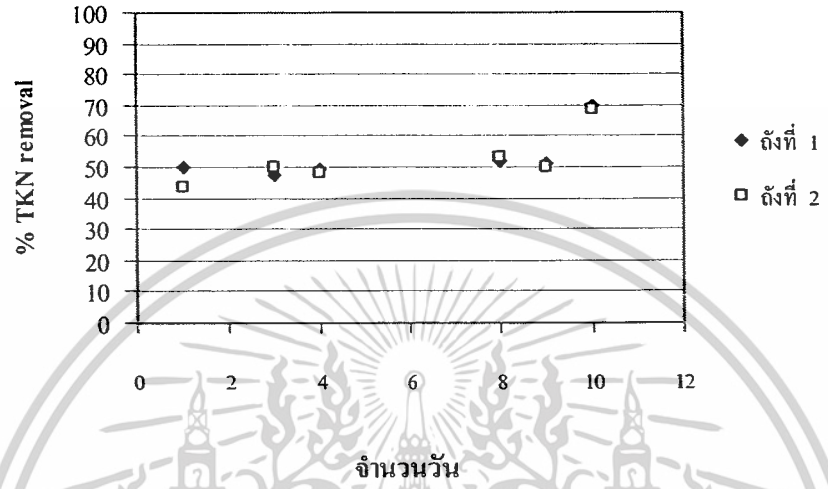
หมายเหตุ : ถังที่ 1 และถังที่ 2 ใช้อัตราส่วนน้ำเสียสังเคราะห์ : น้ำเสียของพาราเท่ากับ 100 : 0

รูปที่ 4.3 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของถังปฏิกรณ์ในช่วงปรับสภาพ

จากรูปแสดงประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของถังปฏิกรณ์ในช่วงปรับสภาพ พบว่าถังปฏิกรณ์ทั้ง 2 ถัง มีอัตราการกำจัดซีโอดีที่ใกล้เคียงกันมาก คือ ถังปฏิกรณ์แต่ละถังมีอัตราการกำจัดเฉลี่ยร้อยละ 84 ทั้งนี้เนื่องจากในระยะการปรับสภาพด้วยน้ำเสียสังเคราะห์ ถังปฏิกรณ์ทั้ง 2 ถังจะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อยู่ภายใต้สภาวะเดียวกันทั้งอัตราภาระสารอินทรีย์ สภาพด่าง พีเอช และทีเคเอ็นที่เข้าสู่ระบบ จึงทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีมีค่าใกล้เคียงกัน



หมายเหตุ : ถังที่ 1 และถังที่ 2 ใช้อัตราส่วนน้ำเสียสังเคราะห์ : น้ำเสียยางพาราเท่ากับ 100 : 0

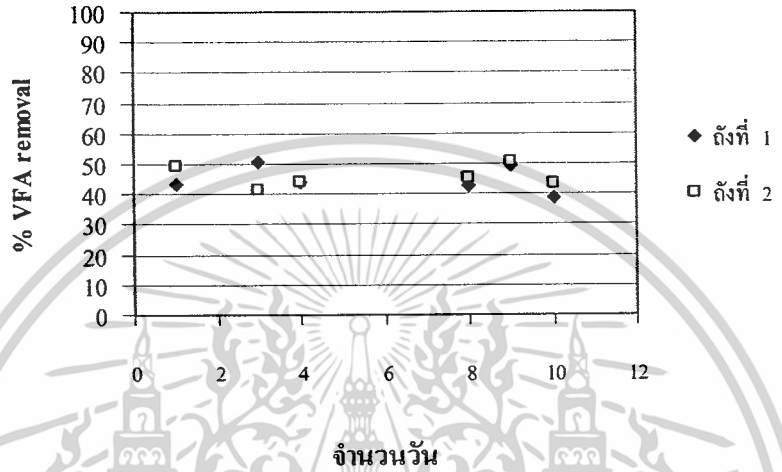
รูปที่ 4.4 ประสิทธิภาพในการกำจัดทีเคเอ็นในช่วงปรับสภาพ

รูปที่ 4.4 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดทีเคเอ็นในช่วงปรับสภาพของถังปฏิกรณ์ทั้ง 2 ถัง โดยน้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ถังปฏิกรณ์เป็นน้ำเสียสังเคราะห์ซึ่งทีเคเอ็นที่เข้าสู่ระบบประมาณ 120 – 170 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนทีเคเอ็นที่ออกจากระบบประมาณ 50 – 80 มิลลิกรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพในการกำจัดทีเคเอ็นเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 53 ซึ่งไนโตรเจนมีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ดังนั้นจึงต้องมีการควบคุมปริมาณทีเคเอ็นให้มีปริมาณที่เหมาะสมเนื่องจากปริมาณทีเคเอ็นมีผลต่อการทำงานของระบบ ซึ่งหากมีมากเกินไปจะยับยั้งการทำงานของจุลินทรีย์ที่สร้างก๊าซมีเทน อีกทั้งยังทำให้จุลินทรีย์หลุดลอยออกนอกระบบอีก (สุเมธ ,2529)

รูปที่ 4.5 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดกรดอินทรีย์ระเหยง่ายในช่วงปรับสภาพ โดยน้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ถังปฏิกรณ์เป็นน้ำเสียสังเคราะห์ ซึ่งปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่ายที่เข้าสู่ระบบประมาณ 280 – 320 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่ายที่ออกจากระบบประมาณ 160 - 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพในการกำจัดปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่ายเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่ายมีความเกี่ยวเนื่องโดยตรงกับสภาพด่าง หากในระบบขาดการควบคุมสภาพบัฟเฟอร์ที่ดี จะส่งผลต่อการทำงานของจุลินทรีย์และทำให้ระบบมีการสร้างก๊าซมีเทนได้น้อยลง



หมายเหตุ : ถังที่ 1 และถังที่ 2 ใช้อัตราส่วนน้ำเสียสังเคราะห์ : น้ำเสียยางพาราเท่ากับ 100 : 0

รูปที่ 4.5 ประสิทธิภาพในการกำจัดกรดอินทรีย์ระเหยง่ายในช่วงปรับสภาพ

4.4 การศึกษาประสิทธิภาพของระบบยูเอเอสบี ในการบำบัดน้ำเสียยางพารา

ในการศึกษาได้แบ่งการทดสอบออกเป็น 3 สภาวะตามอัตราส่วนระหว่างน้ำเสียสังเคราะห์ต่อน้ำเสียยางพารา ดังนี้

ถังที่ 1 อัตราส่วนน้ำเสียสังเคราะห์ต่อน้ำเสียยางพาราเท่ากับ 100 : 0

ถังที่ 2 อัตราส่วนน้ำเสียสังเคราะห์ต่อน้ำเสียยางพาราเท่ากับ 50 : 50

ถังที่ 3 อัตราส่วนน้ำเสียสังเคราะห์ต่อน้ำเสียยางพาราเท่ากับ 0 : 100

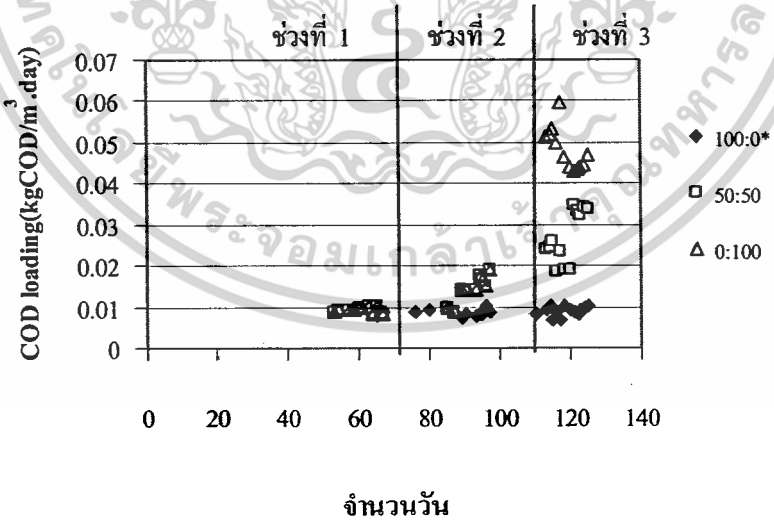
ซึ่งคุณลักษณะของน้ำเสียในแต่ละสภาวะแสดงดังตารางที่ 4.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 คุณลักษณะของน้ำเสียในแต่ละสภาวะ

พารามิเตอร์	อัตราส่วนน้ำเสียสังเคราะห์ต่อน้ำเสียยางพารา		
	100 ต่อ 0	50 ต่อ 50	0 ต่อ 100
ซีโอดี (mg/L)	1760-2180	3200-7200	9000-12000
ทีเคเอ็น (mg/L as N)	120-140	140-170	230-240
กรดอินทรีย์ระเหยง่าย (mg/L)	440-460	470-490	470-495
สภาพด่าง (mg/L as $CaCO_3$)	900-960	830-900	830-860
พีเอช	7.21-7.61	6.50-7.00	6.34-6.63

ในการป้อนน้ำเสียยางพาราเข้าสู่ระบบจะทำการเพิ่มอัตราน้ำเสียยางพาราเข้าไปครั้งละ 10 เปอร์เซ็นต์จนครบที่กำหนดไว้ ซึ่งการเพิ่มปริมาณน้ำเสียยางพาราทีละน้อยจะช่วยทำให้จุลินทรีย์ค่อย ๆ ปรับสภาพให้คุ้นเคยกับน้ำเสียมากขึ้น แต่เนื่องจากค่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์จากน้ำเสียยางพารามีค่าสูงกว่าน้ำเสียสังเคราะห์มาก ดังนั้นการเพิ่มอัตราน้ำเสียยางพาราจึงเป็นการเพิ่มภาระสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบด้วย ดังรูปที่ 4.6 แสดงอัตราภาระสารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าสู่ถังปฏิกรณ์แต่ละถัง



* หมายเหตุ : อัตราส่วนน้ำเสียสังเคราะห์ต่อน้ำเสียยางพารา

รูปที่ 4.6 อัตราภาระสารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าสู่ถังปฏิกรณ์แต่ละถัง

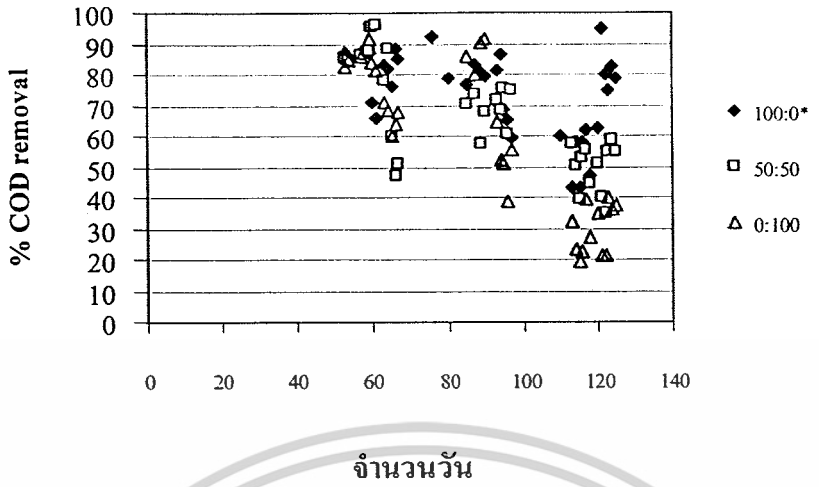
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.6 พบว่าในช่วงที่ 1 เป็นช่วงที่ทำการป้อนน้ำเสียสังเคราะห์เข้าสู่ระบบ เพื่อให้ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว จากนั้นจึงทำการเพิ่มอัตราน้ำเสียยางพาราเข้าสู่ระบบในถังปฏิกรณ์ที่ 2 และ 3 โดยในช่วงแรกอัตราภาระสารอินทรีย์ของถังปฏิกรณ์ทั้ง 3 ถังจะมีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งอัตราภาระสารอินทรีย์มีค่าระหว่าง 0.008-0.01 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ต่อมาเมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว ในช่วงที่ 2 ซึ่งเป็นช่วงที่มีการเพิ่มอัตราส่วนน้ำเสียยางพาราคราวละ 10 เปอร์เซ็นต์ในถังปฏิกรณ์ที่ 2 และ 3 ซึ่งจากรูปจะเห็นได้ว่าอัตราภาระสารอินทรีย์ในถังปฏิกรณ์ที่ 2 และ 3 จะมีค่าใกล้เคียงกัน แต่จะมีค่าสูงกว่าในถังปฏิกรณ์ที่ 1 อัตราภาระสารอินทรีย์ที่สูงขึ้นเกิดจากสารอินทรีย์ในน้ำเสียยางพารา ซึ่งอัตราภาระสารอินทรีย์ในช่วงนี้มีค่าระหว่าง 0.01-0.02 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน จากนั้นในช่วงที่ 3 ซึ่งเป็นช่วงที่อัตราภาระสารอินทรีย์ของทั้ง 3 ถังปฏิกรณ์มีความแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด ทั้งนี้ก็เนื่องมาจากช่วงนี้เป็นช่วงที่มีการคงที่ของอัตราส่วนน้ำเสียในแต่ละถังตามสภาวะในตารางที่ 4.3 โดยอัตราภาระสารอินทรีย์ในถังปฏิกรณ์ที่ 3 จะเพิ่มขึ้นสูงถึง 0.05 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ส่วนอัตราภาระสารอินทรีย์ในถังปฏิกรณ์ที่ 1 และ2 มีค่าดังข้างต้น

4.4.1 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีของแต่ละถังปฏิกรณ์

จากการศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีของแต่ละถังปฏิกรณ์ พบว่าในช่วงแรกของการเดินระบบประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีของถังปฏิกรณ์ทั้ง 3 ถังมีค่าสม่ำเสมอกัน เนื่องจากเป็นช่วงที่มีการป้อนน้ำเสียสังเคราะห์ ซึ่งเป็นสารที่จุลินทรีย์สามารถย่อยสลายได้ง่ายทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีสูง จากนั้นเมื่อเพิ่มอัตราส่วนน้ำเสียยางพาราเข้าสู่ถังปฏิกรณ์ที่ 2 และ 3 ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีลดลง ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีระหว่างถังปฏิกรณ์ที่ 2 และ 3 พบว่าในถังปฏิกรณ์ที่ 2 มีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีมากกว่า เนื่องจากอัตราภาระสารอินทรีย์ในถังปฏิกรณ์ที่ 2 มีค่าน้อยกว่าในถังปฏิกรณ์ที่ 3 ดังนั้นประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีจึงขึ้นอยู่กับอัตราภาระสารอินทรีย์ หรือผลจากคุณลักษณะของน้ำเสียยางพาราที่อาจส่งผลกระทบต่อการทำงานของจุลินทรีย์ แสดงดังรูปที่ 4.7 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีของแต่ละถังปฏิกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

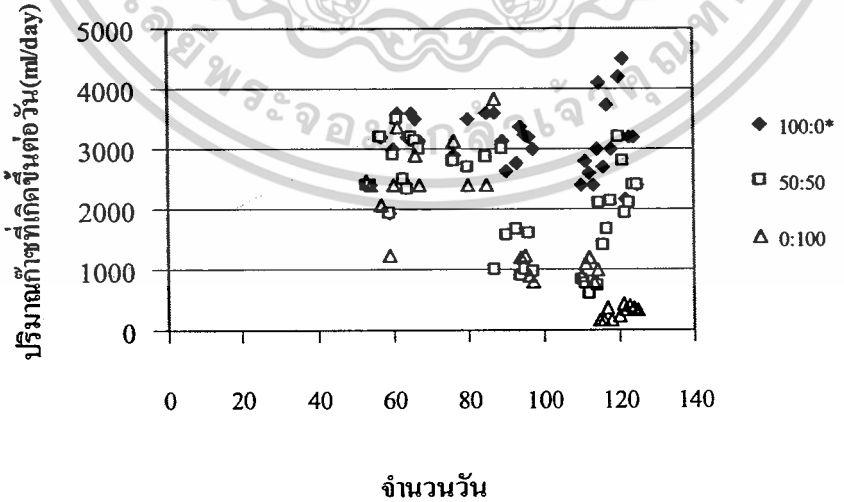


* หมายเหตุ : อัตราส่วนน้ำเสียสังเคราะห์ต่อน้ำเสียยางพารา

รูปที่ 4.7 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีแต่ละถังปฏิกรณ์

4.4.2 อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพของแต่ละถังปฏิกรณ์

อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพขึ้นอยู่กับลักษณะของน้ำเสีย อัตราภาระสารอินทรีย์ และประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี ซึ่งจากการศึกษาพบว่า ถังปฏิกรณ์ที่ 1 มีอัตราการผลิตก๊าซที่เกิดขึ้นต่อวันสูงกว่าถังปฏิกรณ์ที่ 2 และ 3 ทั้งนี้เป็นเพราะน้ำเสียสังเคราะห์ในถังปฏิกรณ์ที่ 1 เป็นน้ำเสียซึ่งย่อยสลายง่าย ไม่มีความเป็นพิษ สารอินทรีย์สามารถถูกเปลี่ยนเป็นก๊าซชีวภาพได้มากกว่าน้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ถังปฏิกรณ์ที่ 2 และ 3 แสดงดังรูปที่ 4.8

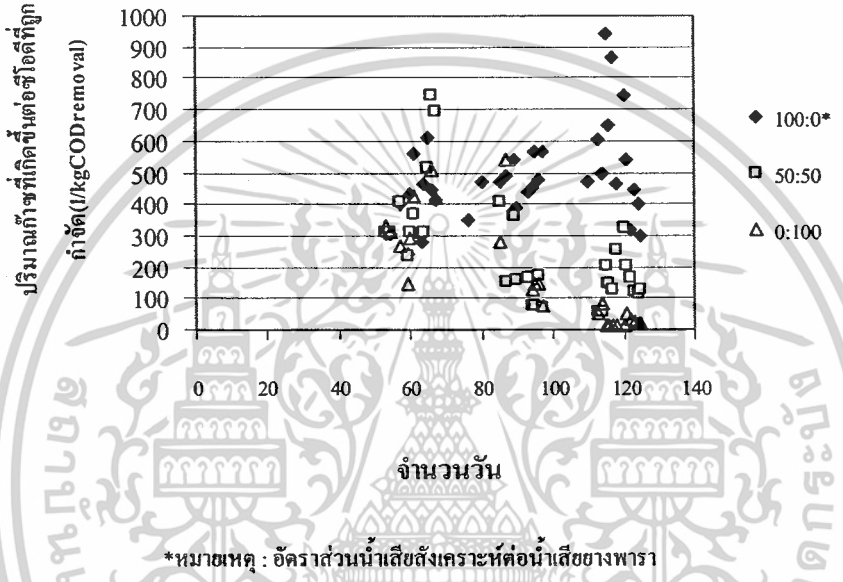


* หมายเหตุ : อัตราส่วนน้ำเสียสังเคราะห์ต่อน้ำเสียยางพารา

รูปที่ 4.8 อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพของแต่ละถังปฏิกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนปริมาณการผลิตก๊าซชีวภาพต่อค่าซีโอดีที่ถูกกำจัด มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงคล้ายคลึงกับอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพของแต่ละถังปฏิกรณ์ ซึ่งประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจะลดต่ำลงตามอัตราภาระสารอินทรีย์ที่เพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการเกิดสภาพ overload และความเข้มข้นของสารพิษในน้ำเสียที่เพิ่มมากขึ้น จึงส่งผลให้จุลินทรีย์ที่สร้างก๊าซมีเทนมีประสิทธิภาพการทำงานที่ลดลง แสดงดังรูปที่ 4.9



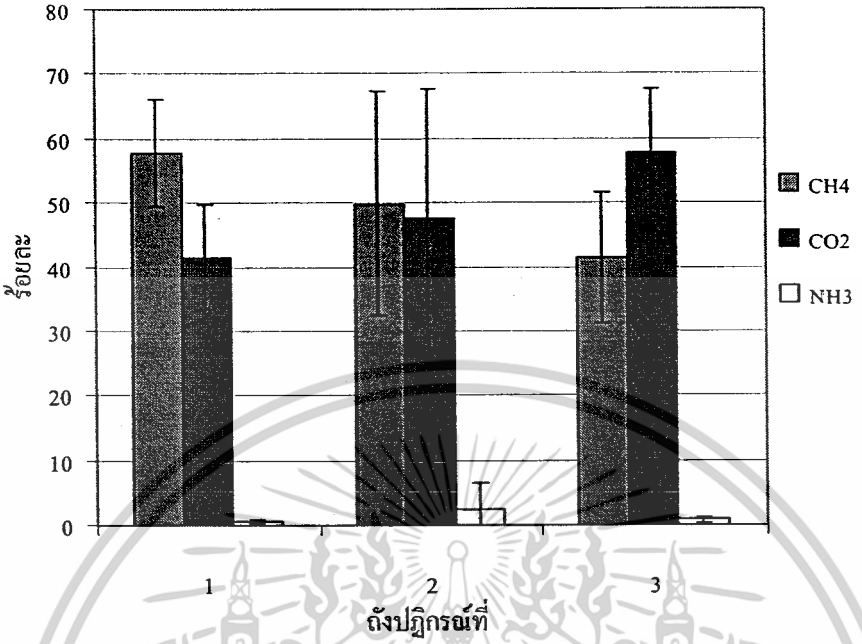
*หมายเหตุ : อัตราส่วนน้ำเสียสังเคราะห์ต่อน้ำเสียยางพารา

รูปที่ 4.9 ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดต่อซีโอดีที่ถูกกำจัด

4.4.3 ปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้น

ก๊าซที่เกิดขึ้นในระบบหมักแบบไร้ออกซิเจนจะประกอบด้วย ก๊าซมีเทน (CH_4) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งจากการศึกษาองค์ประกอบของก๊าซที่เกิดขึ้นพบว่ามีก๊าซมีเทน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซแอมโมเนีย ปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นจะขึ้นอยู่กับอัตราภาระสารอินทรีย์ ซึ่งส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของจุลินทรีย์ที่สร้างก๊าซมีเทน (Methanogenic bacteria) จากรูปที่ 4.10 พบว่าถังปฏิกรณ์แต่ละถังมีปริมาณก๊าซมีเทนที่แตกต่างกัน คือถังปฏิกรณ์ที่ 1 มีสัดส่วนก๊าซมีเทนมากกว่าถังปฏิกรณ์ที่ 2 และ 3 ตามลำดับ เนื่องจากถังปฏิกรณ์ที่ 1 ใช้น้ำเสียสังเคราะห์ซึ่งจุลินทรีย์สามารถย่อยสลายได้ง่าย แตกต่างจากถังปฏิกรณ์ที่ 2 และ 3 ที่มีการเพิ่มอัตราส่วนน้ำเสียยางพารา ซึ่งการเพิ่มอัตราส่วนน้ำเสียยางพาราส่งผลให้ปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นลดลง และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นกับปริมาณก๊าซมีเทนพบว่าปริมาณก๊าซชีวภาพที่มากขึ้นจะมีสัดส่วนของก๊าซมีเทนเพิ่มขึ้นด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

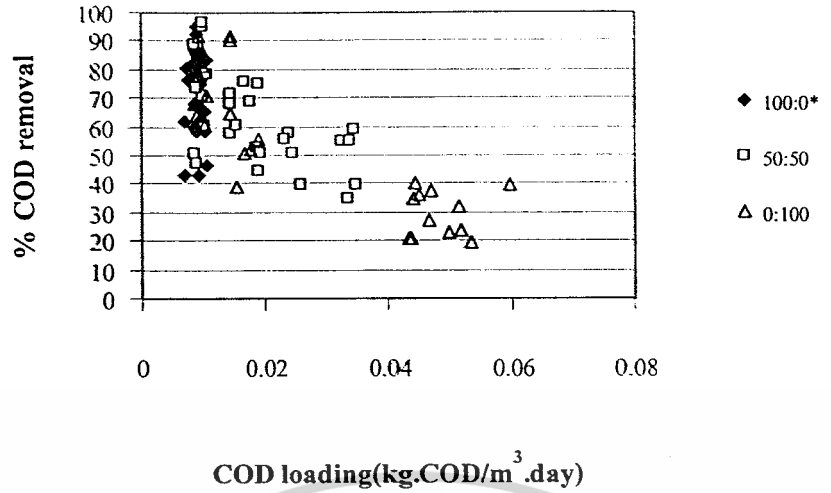


รูปที่ 4.10 ปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นในแต่ละถังปฏิกรณ์

4.4.4 ผลของอัตราภาระสารอินทรีย์ต่อการกำจัดซีโอดี

จากการศึกษาพบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี มีความสัมพันธ์แปรผกผันกับอัตราภาระสารอินทรีย์ เนื่องจากอัตราภาระสารอินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีลดลง จากรูปที่ 4.11 ในช่วงแรกประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีมีค่าใกล้เคียงกันเนื่องจากถังปฏิกรณ์ทั้ง 3 ถังรับอัตราภาระสารอินทรีย์ที่เท่ากัน แต่ระยะต่อมาได้เพิ่มอัตราภาระสารอินทรีย์ที่เข้าสู่ทั้งปฏิกรณ์ที่ 2 และ 3 ทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีของระบบยูเอเอสบีเริ่มลดลง และพบว่าทั้งปฏิกรณ์ที่ 3 ซึ่งรับอัตราภาระสารอินทรีย์มากที่สุดมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีน้อยที่สุด เนื่องจากอัตราภาระสารอินทรีย์ที่เพิ่มมากขึ้นส่งผลให้ประสิทธิภาพการทำงานของจุลินทรีย์ลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

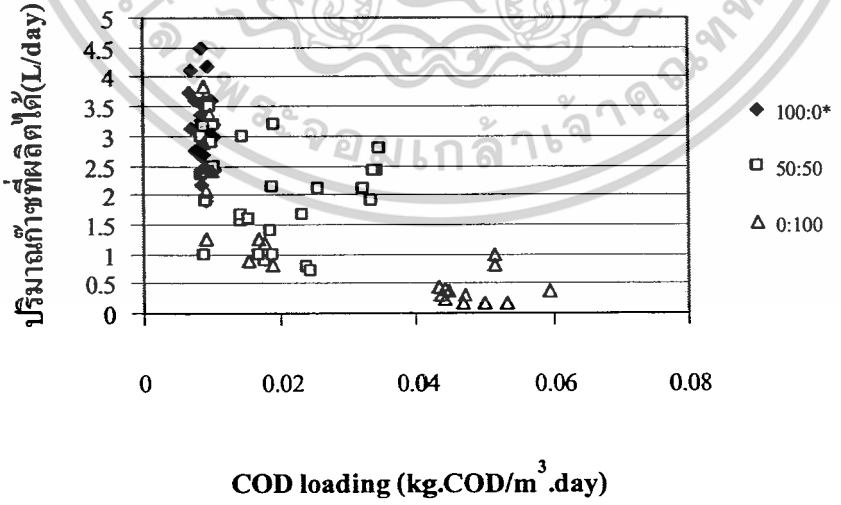


*หมายเหตุ : อัตราส่วนน้ำเสียสังเคราะห์ต่อน้ำเสียยางพารา

รูปที่ 4.11 ผลของอัตราภาระสารอินทรีย์ต่อการกำจัดซีโอดี

4.4.5 ผลของอัตราภาระสารอินทรีย์ต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ

จากการศึกษาพบว่าอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพของระบบยูเอเอสบีมีความสัมพันธ์แปรผกผันกับอัตราภาระสารอินทรีย์ที่เพิ่มขึ้น โดยในถังปฏิกรณ์ที่ 1 มีอัตราภาระสารอินทรีย์ที่ต่ำกว่าถังปฏิกรณ์ที่ 2 และ 3 แต่มีปริมาณก๊าซที่ผลิตได้มากที่สุด ในทางตรงกันข้ามในถังปฏิกรณ์ที่ 3 รับอัตราภาระสารอินทรีย์มากทำให้อัตราการผลิตก๊าซที่เกิดขึ้นน้อยที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากอัตราภาระสารอินทรีย์ที่เพิ่มมากขึ้นจะไปยับยั้งการทำงานของจุลินทรีย์ที่สร้างก๊าซภายในระบบ ซึ่งถ้าอัตราภาระสารอินทรีย์ที่มากเกินไปจะทำให้ระบบล้มเหลวได้



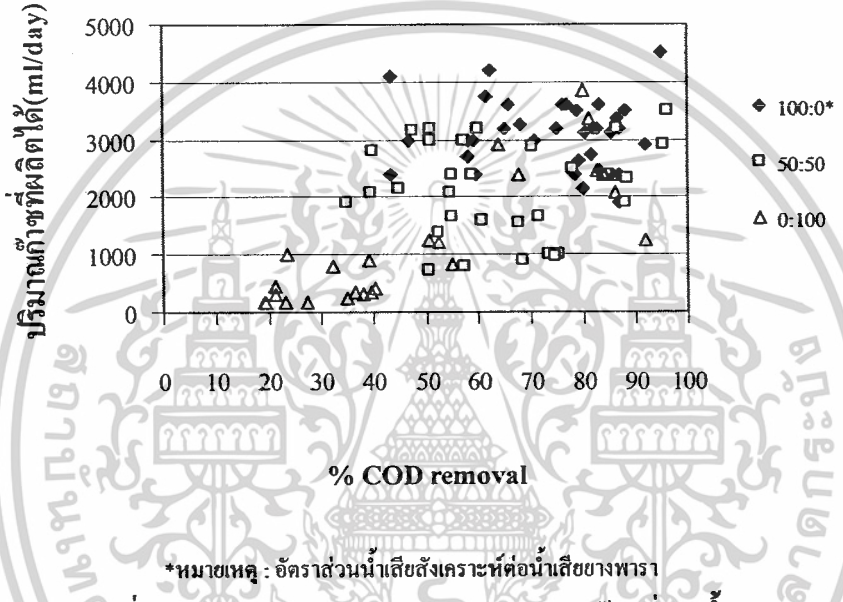
*หมายเหตุ : อัตราส่วนน้ำเสียสังเคราะห์ต่อน้ำเสียยางพารา

รูปที่ 4.12 ผลของอัตราภาระสารอินทรีย์ต่อปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.6 ผลของการกำจัดซีโอดีต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ

โดยทั่วไปแล้วอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพมีความสัมพันธ์โดยตรงกับประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี ซึ่งจากการศึกษาพบว่าเมื่ออัตราภาระสารอินทรีย์เพิ่มขึ้นประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีลดลง ส่งผลให้อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพลดลงเช่นกัน เนื่องจากปริมาณสารอินทรีย์ที่ถูกย่อยสลายได้น้อย ทำให้จุลินทรีย์นำไปใช้ในการสร้างก๊าซชีวภาพได้น้อยลง



*หมายเหตุ : อัตราส่วนน้ำเสียสังเคราะห์ต่อน้ำเสียยางพารา

รูปที่ 4 .13 ผลของการกำจัดซีโอดีต่อปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการทดลอง

1. น้ำเสียจากกระบวนการผลิตยางพารา มีคุณลักษณะไม่เหมาะสมต่อการบำบัดด้วยระบบ UASB เนื่องจากมีสภาพความเป็นกรด สารแขวนลอยและอัตราภาระสารอินทรีย์สูง ดังนั้นจึงควรทำการบำบัดน้ำเสียขั้นต้นและปรับสภาพก่อนการป้อนน้ำเสียเข้าสู่ระบบยูเอเอสบี

2. การบำบัดขั้นต้นด้วยการรวมตะกอนด้วยเฟอร์ริคคลอไรด์ ($FeCl_3$) และปรับพีเอชด้วยปูนขาว ($Ca(OH)_2$) สามารถลดสภาพความเป็นกรด สารแขวนลอยและสารอินทรีย์ในน้ำเสียยางพาราได้ โดยประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอย , ซีโอดี , ทีเคเอ็น , แอมโมเนียเท่ากับ 63 % , 27 % , 35 % และ 1 % ตามลำดับ

3. อัตราภาระสารอินทรีย์มีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของระบบยูเอเอสบีเป็นอย่างมาก กล่าวคือเมื่อระบบรับภาระสารอินทรีย์ในปริมาณสูงจะส่งผลให้ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของระบบลดลง โดยพบว่าเมื่อเพิ่มอัตราส่วนน้ำเสียยางพาราต่อน้ำเสียสังเคราะห์ที่อัตราส่วน100:0 ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีมีค่า 29 % ซึ่งเมื่อเทียบกับอัตราส่วนน้ำเสียยางพาราต่อน้ำเสียสังเคราะห์ที่อัตราส่วน 50 : 50 พบว่ามีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี 52 %

4. จากการศึกษาพบว่าการบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตยางพาราด้วยระบบยูเอเอสบีสามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของน้ำเสีย ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี และอัตราภาระสารอินทรีย์ที่เข้าสู่ระบบ นั่นคือเมื่ออัตราภาระสารอินทรีย์สูงขึ้น ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีลดลง ส่งผลให้ปริมาณก๊าซชีวภาพลดลงด้วย

5. ปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นมีความสัมพันธ์กับปริมาณก๊าซชีวภาพและประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี กล่าวคือเมื่อประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีลดลง ปริมาณก๊าซชีวภาพลดลง ส่งผลให้สัดส่วนปริมาณก๊าซมีเทนลดลงด้วย

ข้อเสนอแนะ

1. ระบบยูเอเอสบี จะมีประสิทธิภาพสูงจึงควรศึกษาสภาวะต่าง ๆ เช่น พีเอช อัตราส่วนกรดอินทรีย์ระเหยง่ายต่อสภาพด่าง ปริมาณทีเคเอ็นและแอมโมเนียในน้ำตัวอย่าง

2. ในการออกแบบระบบควรจะออกแบบระบบให้เหมาะสมกับอัตราภาระสารอินทรีย์

3. ควรศึกษาประสิทธิภาพการทำงานของจุลินทรีย์สร้างก๊าซชีวภาพที่นำมาใช้ในการเดินระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2546 . **อุตสาหกรรมผลิตน้ำยางข้น** .หลักปฏิบัติเพื่อป้องกันมลพิษ. กรุงเทพ ฯ.กรมโรงงานอุตสาหกรรม.

ยุพา ตันทวี. 2547. **การบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน.** เอกสารประกอบการเรียนการสอน วิชาการนำของเสียกลับมาใช้ใหม่. กรุงเทพฯ. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

สุเมธ ชวเดช .2529.**ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนอิสระ.** เอกสารประกอบคำบรรยายเรื่องการควบคุมดูแลระบบบำบัดน้ำเสียแบบชีวภาพของโรงงานประกอบกิจการอาหารและเครื่องดื่ม.กรุงเทพฯ.กรมโรงงานอุตสาหกรรมและกรมส่งเสริมอุตสาหกรรม.

Bhatti , Z.I. , Furukawa , K and Fujita , M. 1996 . Feasibility of methanolic waste treatment in UASB reactors. **Water Research.**30(11) : 2559 – 2568.

Garcia , J.L. Advances on digestion anaerobic.1982. **Symposium Internation Mexico 25 –27 October.**

Herbert , H.P.Fang , T C , Li Y-Y and Chui , H-K.1996. Degradation of phenol in wastewater in an upflow anaerobic sludge blanket reactor.**Water Research.**30(6):1353 – 1360.

Jhung , J.K. and Choi , E.1995. A comparative study of UASB and anaerobic fixed film reactors with development of sludge granulation. **Water Research.**29(1) : 271 –277.

Kennes ,C. , Mendez R. and Lema , J.M.1997. Methanogenic degradation of p- Cresol in batch and in continuous UASB reactors. **Water Research.**31(7) : 1549 – 1554.

Macleod , F.A., S.R. Guiot and Costerton , J.W .1990. Layered structure of bacteria aggregates produced in an upflow anaerobic sludge bed and filter reactor. **Appl. Environ. Microbiol.** 56(6):1589 – 1607.

Marty , B.1984. **Microbiology of anaerobic digestion** . Anaerobic digestion of sewage sludge and organic agricultural wastes ,pp.72-89.In A.M.Bruce,A. Kouzeli – Katsiri and P.J. Newman(eds.).New York:Elsevier Applied Science Publishers.

Metcalf and Eddy . 1991 . **Treatment,Disposal,Reuse.**Wastewater Engineering . New York:McGraw – Hill.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Taylor , G.T.The methanogenic bacteria . 1982 . **Prog.Ind.Microbial** ;16:231 –329.

Uemura , U. and Harada , H. 2000 . Treatment of sewage by a UASB reactor under moderate to low teaperature conditions. **Bioresource Technology**.72(3) : 275 – 282.

Wilkie , A. and Colleran , E.1988. Start – up anaerobic filters containing different support material using pig slurry supernatent.**Biotechnology Letters** ;6:735-740.

เครือข่ายสารสนเทศด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมของประเทศไทย . ก๊าซชีวภาพ [ออนไลน์] . เข้าได้ถึงจาก : http://www.efe.or.th (วันที่ค้นข้อมูล : 16 สิงหาคม 2547)

สมชัย จันทร์สว่าง . การเกิดแก๊สชีวภาพ [ออนไลน์] . เข้าได้ถึงจาก : http://kanchanapisek.or.th (วันที่ค้นข้อมูล : 14 กุมภาพันธ์ 2547)

บุษบา ธรรมประเสริฐ . การกำจัดของเสียโดยใช้ระบบหมักแบบยูเอเอสบี [ออนไลน์] . เข้าได้ถึงจาก : http://www.ku.ac.th (วันที่ค้นข้อมูล : 1 ตุลาคม 2547)

กระทรวงการต่างประเทศ . ยางพาราและผลิตภัณฑ์ยาง [ออนไลน์] . เข้าได้ถึงจาก : http://www.mfa.go.th (วันที่ค้นข้อมูล : 23 สิงหาคม 2547)

Lettinga G. Anaerobic Granular Sludge Bed Technology Pages [ออนไลน์] . เข้าได้ถึงจาก : http://www.uasb.org (วันที่ค้นข้อมูล : 11 กันยายน 2547)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.
ผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก – 1 คุณภาพน้ำเสียยางพารา

พารามิเตอร์	หน่วย	วันที่เก็บตัวอย่าง			ค่าเฉลี่ย
		2i/1/2548	17/2/2548	8/3/2548	
อุณหภูมิ	°C	33	34	33	33.3±0.6
พีเอช	-	4.52	4.41	4.56	4.5±0.1
ของแข็งแขวนลอย	mg/l	480	469	475	474.7±5.5
ซีโอดี	mg/l	14000	13670	13200	13623±402
ทีเคเอ็น	mg/l as N	256.48	235.47	242.67	244.87±10.68
แอมโมเนีย	mg/l	141.68	130.53	135.89	136.03±5.58

ตาราง ก - 2 ปริมาณเฟอร์ริคคลอไรด์ (มิลลิกรัมต่อลิตร)กับปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อลิตร)

ปริมาณเฟอร์ริคคลอไรด์ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อลิตร)
160	394
200	364
250	342
300	408
400	216

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก – 3 ปริมาณเฟอร์ริคคลอไรด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ ที่ค่าพีเอชเท่ากับ 7

ปริมาณเฟอร์ริคคลอไรด์ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อลิตร)
30	648
40	588
50	266
75	358
100	394
150	324

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก-4 ข้อมูลผลการทดลองของถังปฏิกรณ์ที่ 1

วันที่	น้ำเข้า (Influent)							น้ำออก (Effluent)							% การกำจัด			
	Flowrate (L/hr)	COD (mg/L)	BOD (mg/L)	TKN (mg/L as N)	Alkalinity (mg/L as $CaCO_3$)	VFA (mg/L)	pH (-)	Flowrate (L/hr)	COD (mg/L)	BOD (mg/L)	TKN (mg/L as N)	Alkalinity (mg/L as $CaCO_3$)	VFA (mg/L)	pH (-)	COD	BOD	TKN	VFA
15/11/2547	0.2	1900.0	-	120.1	300.0	315.5	7.22	0.2	230.2	-	60.9	373.3	179.3	7.75	87.9	-	50.0	43.2
17/11/2547	0.2	1874.2	-	141.1	306.6	313.3	7.38	0.2	251.0	-	74.2	370.0	155.4	7.64	86.6	-	47.4	50.4
18/11/2547	0.2	1920.3	-	129.8	290.0	319.2	7.26	0.2	268.1	-	65.6	366.5	178.2	7.43	86.0	-	49.5	44.2
22/11/2547	0.2	1797.5	-	126.0	333.0	320.7	7.31	0.2	310.4	-	60.5	346.6	184.1	7.67	82.7	-	52.0	42.6
23/11/2547	0.2	1832.0	-	104.3	280.5	324.4	7.60	0.2	246.7	-	51.2	340.0	165.2	7.89	86.5	-	51.0	49.1
24/11/2547	0.2	1758.1	-	160.8	299.0	330.6	7.43	0.2	306.1	-	48.8	276.6	203.0	7.52	82.6	-	69.6	38.6
6/1/2548	0.2	1885.0	1319.5	128.8	306.6	289.3	7.21	0.2	249.0	45.4	56.0	366.6	132.0	7.43	86.8	-	56.5	54.4
7/1/2548	0.2	1912.0	-	128.8	290.0	321.8	7.75	0.2	280.0	-	72.8	273.3	190.5	7.13	85.4	-	43.5	40.8
10/1/2548	0.2	1895.0	1524	151.2	170.0	329.6	6.37	0.2	245.0	35.6	84.0	134.0	162.4	7.90	87.1	-	44.4	50.7
12/1/2548	0.2	1905.0	-	176.4	190.0	341.5	6.65	0.2	251.0	-	65.4	146.6	119.0	7.37	86.8	-	63.0	65.2
13/1/2548	0.2	2031.0	-	140.0	200.0	225.2	7.69	0.2	593.9	-	69.1	170.0	194.4	8.23	70.8	-	50.7	13.7
14/1/2548	0.2	2035.2	1322.9	151.2	180.0	462.4	7.47	0.2	691.2	44.3	131.6	180.0	207.2	7.88	66.0	-	13.00	55.2
16/1/2548	0.2	2182.4	-	176.4	150.6	217.3	7.42	0.2	370.3	-	92.4	173.4	171.8	8.07	83.0	-	47.6	20.9
17/1/2548	0.2	1760.0	-	-	-	-	7.36	0.2	320.0	-	-	-	-	7.52	81.8	-	-	-
18/1/2548	0.2	1603.9	-	-	-	-	6.99	0.2	383.4	-	-	-	-	7.92	76.1	-	-	-

ตาราง ก-4 ข้อมูลผลการทดลองของถังปฏิกรณ์ที่ 1 (ต่อ)

วันที่	น้ำเข้า (Influent)							น้ำออก (Effluent)							% การกำจัด			
	Flowrate (L/hr)	COD (mg/L)	BOD (mg/L)	TKN (mg/L as N)	Alkalinity (mg/L as $CaCO_3$)	VFA (mg/L)	pH (-)	Flowrate (L/hr)	COD (mg/L)	BOD (mg/L)	TKN (mg/L as N)	Alkalinity (mg/L as $CaCO_3$)	VFA (mg/L)	pH (-)	COD	BOD	TKN	VFA
19/1/2548	0.2	1850.0	-	-	-	-	6.97	0.2	220.3	-	-	-	-	7.99	88.1	-	-	-
20/1/2548	0.2	1834.0	-	-	-	-	7.25	0.2	268.0	-	-	-	-	8.05	85.4	-	-	-
29/1/2548	0.2	1876.0	-	-	-	-	6.87	0.2	149.8	-	-	-	-	7.74	92.0	-	-	-
2/2/2548	0.2	1956.0	-	-	-	-	7.45	0.2	413.0	-	-	-	-	7.93	78.9	-	-	-
7/2/2548	0.2	2074.5	-	125.7	937.8	461.8	7.57	0.2	476.0	-	67.2	837.8	207.2	8.01	77.1	-	46.6	55.1
9/2/2548	0.2	1846.1	-	124.9	954.0	464.9	-	0.2	312.0	-	65.0	899.5	212.3	-	83.1	-	48.0	54.4
11/2/2548	0.2	1487.7	-	127.7	936.7	449.8	7.48	0.2	292.6	-	69.4	937.7	202.1	8.03	80.3	-	45.6	55.1
12/2/2548	0.2	1775.5	-	124.7	945.5	454.8	7.59	0.2	367.9	-	67.2	956.6	195.8	8.12	79.3	-	46.2	57.0
15/2/2548	0.2	1612.0	-	128.8	936.0	444.7	7.61	0.2	297.2	-	72.8	973.6	192.0	8.24	81.6	-	43.5	56.8
16/2/2548	0.2	1778.5	-	123.8	920.0	479.9	-	0.2	240.4	-	62.9	920.0	201.1	-	86.5	-	49.2	58.1
17/2/2548	0.2	1760.0	-	124.2	937.7	456.1	7.44	0.2	560.0	-	63.1	936.0	213.12	8.13	68.2	-	49.2	53.3
18/2/2548	0.2	2150.0	-	129.5	964.0	461.8	7.39	0.2	746.5	-	64.3	886.0	254.3	8.22	65.3	-	50.4	44.9
19/2/2548	0.2	1856.7	-	121.5	932.0	475.4	-	0.2	756.4	-	61.9	954.0	275.3	-	59.3	-	49.1	42.1
4/3/2548	0.2	1764.4	-	128.7	992.0	447.6	7.45	0.2	706.7	-	63.3	942.0	230.2	7.79	59.9	-	50.9	48.6
5/3/2548	0.2	-	-	130.2	966.0	448.2	7.49	0.2	-	-	71.3	936.0	224.2	8.13	-	-	45.2	50.0
6/3/2548	0.2	-	-	127.5	946.0	445.8	7.32	0.2	-	-	73.2	956	220.4	8.20	-	-	42.6	50.6
7/3/2548	0.2	1920.0	-	-	-	-	-	0.2	1091.0	-	-	-	-	8.06	43.2	-	-	-

ตาราง ก-4 ข้อมูลผลการทดลองของถังปฏิกรณ์ที่ 1 (ต่อ)

วันที่	น้ำเข้า (Influent)							น้ำออก (Effluent)							% การกำจัด			
	Flowrate (L/hr)	COD (mg/L)	BOD (mg/L)	TKN (mg/L as N)	Alkalinity (mg/L as $CaCO_3$)	VFA (mg/L)	pH (-)	Flowrate (L/hr)	COD (mg/L)	BOD (mg/L)	TKN (mg/L as N)	Alkalinity (mg/L as $CaCO_3$)	VFA (mg/L)	pH (-)	COD	BOD	TKN	VFA
8/3/2548	0.2	2150.0	-	-	-	-	-	0.2	900.0	-	-	-	-	-	58.1	-	-	-
9/3/2548	0.2	1464.0	-	112.0	947.7	449.3	7.42	0.2	560.0	-	61.6	957.3	221.6	7.74	43.2	-	45.0	50.7
10/3/2548	0.2	1840.0	-	123.2	899.4	472.9	7.50	0.2	978.0	-	67.8	936.3	238.5	7.62	58.1	-	45.0	49.6
11/3/2548	0.2	1440.0	-	124.9	963.7	441.3	7.21	0.2	540.0	-	67.2	967.7	215.7	7.89	61.7	-	46.2	51.1
12/3/2548	0.2	2182.0	-	125.4	936.5	458.7	7.39	0.2	840.0	-	72.8	956.6	227.4	8.01	46.8	-	42.0	50.4
14/3/2548	0.2	1982.0	-	124.3	964.7	440.6	7.42	0.2	812.0	-	69.4	958.9	210.3	7.93	62.5	-	44.1	52.3
15/3/2548	0.2	1820.0	-	132.5	934.7	450.7	7.34	0.2	90.0	-	63.4	944.5	230.7	7.53	95.1	-	52.2	48.8
16/3/2548	0.2	1764.0	-	126.9	953.6	468.9	7.43	0.2	340.0	-	65.7	986.7	218.5	7.76	80.0	-	48.2	53.4
17/3/2548	0.2	1987.0	-	127.6	933.1	434.7	7.25	0.2	494.0	-	61.8	956.8	215.6	7.87	75.1	-	51.6	50.4
18/3/2548	0.2	2002.0	-	132.9	935.7	432.2	7.19	0.2	345.0	-	61.5	960.0	214.9	7.75	82.8	-	53.7	50.3
19/3/2548	0.2	2150.0	-	128.7	945.9	445.0	7.32	0.2	463.0	-	63.2	947.9	222.3	7.90	78.5	-	50.8	50.0

ตาราง ก-5 ข้อมูลผลการทดลองของถังปฏิกรณ์ที่ 2

วันที่	น้ำเข้า (Influent)							น้ำออก (Effluent)							% การกำจัด			
	Flowrate (L/hr)	COD (mg/L)	BOD (mg/L)	TKN (mg/L as N)	Alkalinity (mg/L as $CaCO_3$)	VFA (mg/L)	pH (-)	Flowrate (L/hr)	COD (mg/L)	BOD (mg/L)	TKN (mg/L as N)	Alkalinity (mg/L as $CaCO_3$)	VFA (mg/L)	pH (-)	COD	BOD	TKN	VFA
15/11/2547	0.2	1900.0	-	121.0	300.0	315.5	7.22	0.2	310.0	-	68.5	290.0	159.8	7.30	83.7	-	43.3	49.4
17/11/2547	0.2	1874.2	-	141.1	306.6	313.3	7.38	0.2	324.0	-	70.6	346.6	182.8	7.41	82.7	-	50.0	41.7
18/11/2547	0.2	1920.3	-	129.8	290.0	319.2	7.26	0.2	297.7	-	67.2	373.3	179.4	7.28	84.5	-	48.2	43.8
22/11/2547	0.2	1797.5	-	126.0	333.0	320.7	7.31	0.2	284.7	-	58.7	370.0	174.6	7.33	84.2	-	53.4	45.5
23/11/2547	0.2	1832.0	-	104.3	280.5	324.4	7.60	0.2	293.1	-	52.2	366.6	160.2	7.90	84.0	-	49.9	50.6
24/11/2547	0.2	1758.1	-	160.8	299.0	330.6	7.43	0.2	341.1	-	50.3	383.4	186.9	7.60	80.6	-	68.7	43.5
6/1/2548	0.2	1885.0	1319.5	128.8	306.6	289.3	7.21	0.2	285.0	31.1	92.4	346.6	135.9	7.74	84.9	-	28.3	53.0
7/1/2548	0.2	1912.0	-	128.8	290.0	321.7	7.75	0.2	295.0	-	98.0	270.0	116.5	7.29	84.6	-	23.9	63.8
10/1/2548	0.2	1895.0	1524.0	151.2	170.0	329.6	6.37	0.2	253.0	31.4	61.6	140.4	119.0	7.65	86.7	-	59.3	63.9
12/1/2548	0.2	1905.0	-	176.4	190.0	341.5	6.65	0.2	228.0	-	75.6	130.0	289.3	7.70	88.0	-	57.1	15.3
13/1/2548	0.2	2031.0	-	140.0	200.0	225.2	7.69	0.2	92.3	-	75.6	120.0	188.9	7.70	95.5	-	46.0	16.1
14/1/2548	0.2	2035.2	1322.9	151.2	180.	462.4	7.47	0.2	76.8	23.0	78.4	156.0	318.4	8.65	96.2	-	48.2	31.2
16/1/2548	0.2	2182.4	-	176.4	150.6	217.3	7.42	0.2	476.2	-	100.8	156.6	115.3	8.28	78.2	-	42.9	46.9
17/1/2548	0.2	1760.0	-	-	-	-	7.36	0.2	200.0	-	-	-	-	7.40	88.6	-	-	-
18/1/2548	0.2	2150.0	-	-	-	-	6.99	0.2	854.0	-	-	-	-	7.12	60.3	-	-	-

ตาราง ก-5 ข้อมูลผลการทดลองของถังปฏิกรณ์ที่ 2 (ต่อ)

วันที่	น้ำเข้า (Influent)							น้ำออก (Effluent)							% การกำจัด			
	Flowrate (L/hr)	COD (mg/L)	BOD (mg/L)	TKN (mg/L as N)	Alkalinity (mg/L as $CaCO_3$)	VFA (mg/L)	pH (-)	Flowrate (L/hr)	COD (mg/L)	BOD (mg/L)	TKN (mg/L as N)	Alkalinity (mg/L as $CaCO_3$)	VFA (mg/L)	pH (-)	COD	BOD	TKN	VFA
19/1/2548	0.2	1856.7	-	-	-	-	6.97	0.2	976.5	-	-	-	-	7.05	47.4	-	-	-
20/1/2548	0.2	1764.4	-	-	-	-	7.25	0.2	867.0	-	-	-	-	7.41	50.9	-	-	-
29/1/2548	0.2	-	-	-	-	-	6.87	0.2	-	-	-	-	-	6.98	-	-	-	-
2/2/2548	0.2	-	-	-	-	-	7.45	0.2	-	-	-	-	-	7.53	-	-	-	-
7/2/2548	0.2	2074.5	-	125.7	937.8	461.8	7.27	0.2	609.3	-	67.2	837.8	220.2	7.30	70.6	-	46.6	52.3
9/2/2548	0.2	1846.1	-	124.9	954.0	464.9	-	0.2	488.0	-	65.0	899.5	213.7	-	73.6	-	48.0	54.0
11/2/2548	0.2	3006.5	-	132.2	987.0	475.0	7.09	0.2	1279.3	-	69.4	987.0	229.3	7.21	57.5	-	47.5	51.7
12/2/2548	0.2	2971.6	-	126.6	950.3	478.5	6.87	0.2	956.4	-	67.2	955.6	227.4	7.97	67.8	-	46.9	52.5
15/2/2548	0.2	2985.0	-	126.6	939.7	471.4	6.98	0.2	847.6	-	72.8	986.7	219.5	6.98	71.6	-	42.5	53.4
16/2/2548	0.2	3700.9	-	131.3	955.6	480.1	-	0.2	1158.3	-	62.9	975.0	229.5	-	68.7	-	52.1	52.2
17/2/2548	0.2	3514.3	-	131.6	956.6	483.3	6.84	0.2	858.0	-	67.5	953.0	225.5	7.02	75.6	-	48.7	53.3
18/2/2548	0.2	3201.0	-	140.0	936.5	491.3	6.54	0.2	1256.4	-	112.0	836.0	230.3	6.76	60.8	-	20.0	53.1
19/2/2548	0.2	3958.0	-	151.2	920.8	481.4	-	0.2	1003.0	-	106.4	846.0	302.1	-	74.7	-	29.6	37.2
4/3/2548	0.2	-	-	168.0	836.5	484.3	6.47	0.2	-	-	105.8	832.0	300.7	6.73	-	-	37.0	37.9
5/3/2548	0.2	-	-	166.0	850.7	492.3	6.60	0.2	-	-	98.0	760.0	287.4	7.12	-	-	41.0	41.6

ตาราง ก-5 ข้อมูลผลการทดลองของถังปฏิกรณ์ที่ 2 (ต่อ)

วันที่	น้ำเข้า (Influent)							น้ำออก (Effluent)							% การกำจัด			
	Flowrate (L/hr)	COD (mg/L)	BOD (mg/L)	TKN (mg/L as N)	Alkalinity (mg/L as $CaCO_3$)	VFA (mg/L)	pH (-)	Flowrate (L/hr)	COD (mg/L)	BOD (mg/L)	TKN (mg/L as N)	Alkalinity (mg/L as $CaCO_3$)	VFA (mg/L)	pH (-)	COD	BOD	TKN	VFA
6/3/2548	0.2	-	-	154.6	890.0	485.8	6.79	0.2	-	-	89.6	820.0	252.5	6.99	-	-	42.0	48.0
7/3/2548	0.2	4992.0	-	158.5	-	-	-	0.2	2130.0	-	-	-	-	-	57.3	-	-	-
8/3/2548	0.2	5100.0	-	-	-	-	-	0.2	2520.0	-	-	-	-	-	50.6	-	-	-
9/3/2548	0.2	5400.0	-	134.4	910.3	470.2	6.97	0.2	3264.0	-	58.2	899.6	235.3	7.26	39.6	-	56.7	50.0
11/3/2548	0.2	4860.0	-	145.6	890.7	492.8	6.84	0.2	2173.0	-	82.8	890.3	256.4	7.00	55.3	-	43.1	48.0
12/3/2548	0.2	3948.0	-	131.0	901.6	469.9	7.08	0.2	2184.0	-	65.5	905.0	236.0	7.43	44.7	-	50.0	49.8
14/3/2548	0.2	4014.0	-	136.1	906.5	471.4	6.64	0.2	1976.0	-	69.0	901.0	230. 7	6.98	50.8	-	49.3	51.1
15/3/2548	0.2	7225.0	-	130.1	890.0	456.1	6.97	0.2	4354.0	-	65.5	899.5	233.1	7.12	39.7	-	49.7	48.8
16/3/2548	0.2	6970.0	-	132.2	903.0	447.9	6.85	0.2	4509.0	-	66.8	906.0	224.2	7.04	35.0	-	49.5	49.5
17/3/2548	0.2	6740.0	-	135.5	897.6	467.2	6.98	0.2	3056.0	-	56.8	902.6	232.6	7.09	54.7	-	58.1	50.2
18/3/2548	0.2	7189.0	-	137.4	903.5	456.1	7.03	0.2	2945.5	-	67.7	906.7	229.6	7.35	59.0	-	50.7	49.7
19/3/2548	0.2	7023.0	-	140.3	894.9	470.2	6.87	0.2	3151.5	-	69.1	912.4	231.9	7.11	55.1	-	50.7	50.7

ตาราง ก-6 ข้อมูลผลการทดลองของถังปฏิกรณ์ที่ 3

วันที่	น้ำเข้า (Influent)							น้ำออก (Effluent)							% การกำจัด			
	Flowrate (L/hr)	COD (mg/L)	BOD (mg/L)	TKN (mg/L as N)	Alkalinity (mg/L as $CaCO_3$)	VFA (mg/L)	pH (-)	Flowrate (L/hr)	COD (mg/L)	BOD (mg/L)	TKN (mg/L as N)	Alkalinity (mg/L as $CaCO_3$)	VFA (mg/L)	pH (-)	COD	BOD	TKN	VFA
15/11/2547	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17/11/2547	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18/11/2547	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22/11/2547	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
24/11/2547	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6/1/2548	0.2	1885.0	1319.5	128.8	306.6	289.3	7.21	0.2	324.0	-	92.4	383.4	190.5	7.57	82.8	-	28.3	34.2
7/1/2548	0.2	1912.0	-	128.8	290.0	321.8	7.75	0.2	298.0	-	78.4	250.0	78.0	7.19	84.4	-	39.1	75.8
10/1/2548	0.2	1895.0	1524.0	151.2	170.0	329.6	6.37	0.2	265.0	-	67.2	156.0	242.9	7.30	86.0	-	55.6	26.3
12/1/2548	0.2	1905.0	-	176.4	190.0	341.5	6.65	0.2	154.0	-	64.4	190.0	242.9	7.43	91.9	-	63.5	28.9
13/1/2548	0.2	2031.0	-	140.0	200.0	225.2	7.69	0.2	323.1	-	56.0	196.7	177.8	7.50	84.1	-	60.0	21.1
14/1/2548	0.2	2035.2	1322.9	151.2	180.0	462.4	7.47	0.2	384.0	-	75.6	184.0	374.0	7.92	81.1	-	50.0	19.1
16/1/2548	0.2	2182.4	-	176.4	150.6	217.3	7.42	0.2	634.8	-	104.7	177.0	102.8	7.92	70.9	-	40.6	52.7
17/1/2548	0.2	1760.0	-	-	-	-	7.36	0.2	560.0	-	-	-	-	-	68.2	-	-	-
18/1/2548	0.2	2150.0	-	-	-	-	6.99	0.2	854.0	-	-	-	-	-	60.3	-	-	-

ตาราง ก-6 ข้อมูลผลการทดลองของถังปฏิกรณ์ที่ 3 (ต่อ)

วันที่	น้ำเข้า (Influent)							น้ำออก (Effluent)							% การกำจัด			
	Flowrate (L/hr)	COD (mg/L)	BOD (mg/L)	TKN (mg/L as N)	Alkalinity (mg/L as $CaCO_3$)	VFA (mg/L)	pH (-)	Flowrate (L/hr)	COD (mg/L)	BOD (mg/L)	TKN (mg/L as N)	Alkalinity (mg/L as $CaCO_3$)	VFA (mg/L)	pH (-)	COD	BOD	TKN	VFA
19/1/2548	0.2	1856.7	-	-	-	-	6.97	0.2	667.0	-	-	-	-	-	64.1	-	-	-
20/1/2548	0.2	1764.4	-	-	-	-	7.25	0.2	567.0	-	-	-	-	-	67.9	-	-	-
29/1/2548	0.2	-	-	-	-	-	6.87	0.2	476.0	-	-	-	-	-		-	-	-
2/2/2548	0.2	-	-	-	-	-	7.45	0.2	312.0	-	-	-	-	-		-	-	-
9/2/2548	0.2	1846.1	-	124.9	954.0	464.9	-	0.2	367.9	-	66.1	899.5	222.4	-	80.1	-	47.1	52.2
11/2/2548	0.2	3006.5	-	132.2	987.0	475.0	7.09	0.2	297.0	-	77.3	953.7	225.6	8.12	90.1	-	41.5	52.5
12/2/2548	0.2	2971.6	-	126.6	950.3	478.5	6.87	0.2	240.4	-	71.7	935.0	218.8	7.96	91.9	-	43.4	54.3
15/2/2548	0.2	2985.0	-	126.6	939.7	471.4	6.98	0.2	1054.0	-	71.1	947.0	239.3	7.99	64.7	-	43.8	49.2
16/2/2548	0.2	3700.9	-	131.3	955.6	480.1	-	0.2	1764.0	-	75.6	957.4	231.4	-	52.3	-	42.4	51.8
17/2/2548	0.2	3514.3	-	131.6	956.6	483.3	6.84	0.2	1734.0	-	72.2	984.0	239.3	8.00	50.7	-	45.1	50.5
18/2/2548	0.2	3201.0	-	140.0	936.5	491.3	6.54	0.2	1956.0	-	94.1	852.0	241.5	7.94	38.9	-	32.8	50.8
19/2/2548	0.2	3958.0	-	151.2	920.8	481.4	-	0.2	1770.0	-	89.5	796.0	252.3	-	55.3	-	40.8	47.6
4/3/2548	0.2	-	-	168.0	890.0	484.3	6.67	0.2	-	-	92.4	840.0	268.3	7.89	-	-	45.0	44.6
5/3/2548	0.2	-	-	166.8	850.0	492.3	6.42	0.2	-	-	93.4	755.0	271.5	7.45	-	-	44.0	44.9

ตาราง ก-6 ข้อมูลผลการทดลองของถังปฏิกรณ์ที่ 3 (ต่อ)

วันที่	น้ำเข้า (Influent)							น้ำออก (Effluent)							% การกำจัด			
	Flowrate (l /hr)	COD (mg/L.)	BOD (mg/L.)	TKN (mg/L as N)	Alkalinity (mg/L as $CaCO_3$)	VFA (mg/L.)	pH (-)	Flowrate (l/hr)	COD (mg/L.)	BOD (mg/L.)	TKN (mg/L as N)	Alkalinity (mg/L as $CaCO_3$)	VFA (mg/L.)	pH (-)	COD	BOD	TKN	VFA
6/3/2548	0.2	-	-	154.6	832.0	485.8	6.51	0.2	-	-	87.2	760.0	289.8	7.51	-	-	-	-
7/3/2548	0.2	10752.0	-	-	-	-	-	0.2	7296.0	-	-	-	-	-	32.1	-	-	-
8/3/2548	0.2	10768.0	-	-	-	-	-	0.2	8253.0	-	-	-	-	-	23.4	-	-	-
9/3/2548	0.2	11130.0	-	238.2	846.5	495.6	6.48	0.2	8980.0	-	129.0	820.0	225.9	6.94	19.3	-	-	-
11/3/2548	0.2	12420.0	-	241.4	830.7	496.5	6.34	0.2	7500.0	-	139.9	852.0	232.5	6.89	39.6	-	47.1	52.2
12/3/2548	0.2	9724.0	-	243.6	846.0	473.9	6.63	0.2	7060.0	-	140.7	845.0	244.4	7.14	27.4	-	41.5	52.5
14/3/2548	0.2	9174.0	-	235.4	855.0	491.3	6.49	0.2	5982.0	-	141.8	850.6	212.7	6.74	34.8	-	43.4	54.3
15/3/2548	0.2	9002.0	-	243.0	865.0	492.2	6.44	0.2	7111.58	-	143.0	867.7	226.7	6.81	21.0	-	43.8	49.2
16/3/2548	0.2	9091.0	-	239.3	859.6	493.8	6.31	0.2	7120.0	-	127.5	856.0	245.2	6.77	21.0	-	42.4	51.8
17/3/2548	0.2	9200.0	-	231.8	860.4	490.4	6.43	0.2	5514.0	-	114.1	863.8	247.8	6.80	40.1	-	45.1	50.5
18/3/2548	0.2	9329.0	-	242.1	849.8	495.8	6.38	0.2	5946.5	-	119.1	857.9	246.0	6.75	36.3	-	32.8	50.8
19/3/2548	0.2	9786.0	-	237.8	851.4	489.5	6.40	0.2	6093.0	-	118.9	850.0	242.8	6.90	37.7	-	40.8	47.6

ตาราง ก-7 ปริมาณและองค์ประกอบของก๊าซในถังปฏิกรณ์ที่ 1

วันที่	ก๊าซชีวภาพ					
	ปริมาณ (L/day)	ปริมาณต่อซีโอดีเข้า (ลิตร/ กก.COD)	ปริมาณต่อซีโอดีที่ถูกกำจัด (ลิตร/ กก.COD ที่ถูกกำจัด)	องค์ประกอบของก๊าซ		
				% CH4	%CO2	%NH3
15/11/2547	-	-	-	-	-	-
17/11/2547	-	-	-	-	-	-
18/11/2547	-	-	-	-	-	-
22/11/2547	-	-	-	-	-	-
23/11/2547	-	-	-	-	-	-
24/11/2547	-	-	-	-	-	-
6/1/2548	2.4	2008	306	-	-	-
7/1/2548	2.4	1786	306	-	-	-
10/1/2548	3.2	2721	404	-	-	-
12/1/2548	1.9	1594	242	-	-	-
13/1/2548	3.0	1052	435	-	-	-
14/1/2548	3.6	1085	558	-	-	-
16/1/2548	2.5	1384	283	-	-	-
17/1/2548	3.2	2083	463	84.09	6.11	9.8
18/1/2548	3.6	1956	614	-	-	-
19/1/2548	3.5	3310	447	7.97	49.95	42.08
20/1/2548	3.1	2425	415	-	-	-
29/1/2548	2.9	4034	350	-	-	-
2/2/2548	3.5	1766	473	38.27	24.76	22.33
7/2/2548	3.6	1576	469	9.64	55.05	35.31
9/2/2548	3.6	2404	489	-	-	-
11/2/2548	3.1	2221	544	-	-	-
12/2/2548	2.6	1495	391	-	-	-
15/2/2548	2.8	1936	437	-	-	-
16/2/2548	3.4	2912	455	-	-	-
17/2/2548	3.3	1209	564	-	-	-
18/2/2548	3.2	893	475	-	-	-
19/2/2548	3.0	826	568	-	-	-
4/3/2548	2.4	707	473	-	-	-
5/3/2548	2.8	-	-	-	-	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก-7 ปริมาณและองค์ประกอบของก๊าซในถังปฏิกรณ์ที่ 1(ต่อ)

วันที่	ก๊าซชีวภาพ					
	ปริมาณ (L/day)	ปริมาณต่อซีโอดีเข้า (ลิตร/ กก.COD)	ปริมาณต่อซีโอดีที่ถูกกำจัด (ลิตร/ กก.COD ที่ถูกกำจัด)	องค์ประกอบของก๊าซ		
				% CH4	%CO2	%NH3
6/3/2548	2.6	-	-	-	-	-
7/3/2548	2.4	458	603	-	-	-
8/3/2548	3.0	694	500	-	-	-
9/3/2548	4.1	1525	945	-	-	-
10/3/2548	2.7	575	653	-	-	-
11/3/2548	3.7	1444	867	-	-	-
12/3/2548	3.0	744	466	-	-	-
14/3/2548	4.2	1078	748	-	-	-
15/3/2548	4.5	10417	542	60.9	38.07	1.03
16/3/2548	2.2	1324	316	42.14	56.94	0.92
17/3/2548	3.2	1350	447	-	-	-
18/3/2548	3.2	1932	402	-	-	-
19/3/2548	2.4	1080	296	-	-	-
23/3/2548	-	-	-	58.94	40.58	0.57
1/4/2548	-	-	-	67.08	32.35	0.56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก-8 ปริมาณและองค์ประกอบของก๊าซในถังปฏิกรณ์ที่ 2

วันที่	ก๊าซชีวภาพ					
	ปริมาณ (L/day)	ปริมาณต่อซีโอดีเข้า (ลิตร/ กก.COD)	ปริมาณต่อซีโอดีที่ถูกกำจัด (ลิตร/ กก.COD ที่ถูกกำจัด)	องค์ประกอบของก๊าซ		
				% CH4	%CO2	%NH3
15/11/2547	-	-	-	-	-	-
17/11/2547	-	-	-	-	-	-
18/11/2547	-	-	-	-	-	-
22/11/2547	-	-	-	-	-	-
23/11/2547	-	-	-	-	-	-
24/11/2547	-	-	-	-	-	-
6/1/2548	2.4	1754	313	-	-	-
7/1/2548	2.4	1695	309	-	-	-
10/1/2548	3.2	2635	406	-	-	-
12/1/2548	1.9	1754	239	-	-	-
13/1/2548	2.9	6544	312	-	-	-
14/1/2548	3.5	9494	372	-	-	-
16/1/2548	2.5	1094	305	-	-	-
17/1/2548	2.3	2438	313	84.09	6.11	9.8
18/1/2548	3.2	781	514	-	-	-
19/1/2548	3.2	672	746	7.97	49.95	42.08
20/1/2548	3.0	721	696	-	-	-
29/1/2548	2.8	-	-	-	-	-
2/2/2548	2.7	-	-	38.27	24.76	22.33
7/2/2548	2.8	985	410	9.64	55.05	35.31
9/2/2548	1.0	427	153	-	-	-
11/2/2548	3.0	489	362	-	-	-
12/2/2548	1.6	340	161	-	-	-
15/2/2548	1.7	413	164			
16/2/2548	0.9	162	74	-	-	-
17/2/2548	1.0	243	78	-	-	-
18/2/2548	1.6	265	171	-	-	-
19/2/2548	1.0	204	69	-	-	-
4/3/2548	0.8	-	-	-	-	-
5/3/2548	0.8	-	-	-	-	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก-8 ปริมาณและองค์ประกอบของก๊าซในถังปฏิกรณ์ที่ 2 (ต่อ)

วันที่	ก๊าซชีวภาพ					
	ปริมาณ (L/day)	ปริมาณต่อซีโอดีเข้า (ลิตร/ กก.COD)	ปริมาณต่อซีโอดีที่ถูกกำจัด (ลิตร/ กก.COD ที่ถูกกำจัด)	องค์ประกอบของก๊าซ		
				% CH4	%CO2	%NH3
6/3/2548	0.6	-	-	-	-	-
7/3/2548	0.8	77	58	-	-	-
8/3/2548	0.7	60	58	-	-	-
9/3/2548	2.1	134	205	-	-	-
10/3/2548	1.4	156	144	-	-	-
11/3/2548	1.7	161	130	-	-	-
12/3/2548	2.1	205	254	-	-	-
14/3/2548	3.2	337	327	-	-	-
15/3/2548	2.8	134	203	-	-	-
16/3/2548	1.9	89	163	60.9	38.07	1.03
17/3/2548	2.1	143	119	42.14	56.94	0.92
18/3/2548	2.4	170	118	-	-	-
19/3/2548	2.4	159	129	-	-	-
23/3/2548	-	-	-	34.49	63.68	1.73
1/4/2548	-	-	-	64.61	34.66	0.71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก-9 ปริมาณและองค์ประกอบของก๊าซในถังปฏิกรณ์ที่ 3

วันที่	ก๊าซชีวภาพ					
	ปริมาณ (L/day)	ปริมาณต่อซีโอดีเข้า (ลิตร/ กก.COD)	ปริมาณต่อซีโอดีที่ถูกกำจัด (ลิตร/ กก.COD ที่ถูกกำจัด)	องค์ประกอบของก๊าซ		
				% CH4	%CO2	%NH3
15/11/2547	-	-	-	-	-	-
17/11/2547	-	-	-	-	-	-
18/11/2547	-	-	-	-	-	-
22/11/2547	-	-	-	-	-	-
23/11/2547	-	-	-	-	-	-
24/11/2547	-	-	-	-	-	-
6/1/2548	2.5	1595	331	-	-	-
7/1/2548	2.4	1678	310	-	-	-
10/1/2548	2.1	1635	266	-	-	-
12/1/2548	1.2	1688	148	-	-	-
13/1/2548	2.4	1547	293	-	-	-
14/1/2548	3.4	1823	424	-	-	-
16/1/2548	-	-	-	-	-	-
17/1/2548	-	-	-	-	-	-
18/1/2548	-	-	-	-	-	-
19/1/2548	2.9	906	508	3.61	20.9	75.49
20/1/2548	2.4	882	418	-	-	-
29/1/2548	3.1	1366	-	-	-	-
2/2/2548	2.4	1603	-	-	-	-
7/2/2548	2.4	1709	281	5.87	40.07	54.06
9/2/2548	3.8	2174	541	-	-	-
11/2/2548	-	-	-	-	-	-
12/2/2548	-	-	-	-	-	-
15/2/2548	-	-	-	-	-	-
16/2/2548	1.2	142	129	-	-	-
17/2/2548	1.2	150	146	-	-	-
18/2/2548	0.9	95	149	-	-	-
19/2/2548	0.8	96	78	-	-	-
4/3/2548	0.9	-	-	-	-	-
5/3/2548	1.1	-	-	-	-	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก-9 ปริมาณและองค์ประกอบของก๊าซในถังปฏิกรณ์ที่ 3 (ต่อ)

วันที่	ก๊าซชีวภาพ					
	ปริมาณ (L/day)	ปริมาณต่อซีโอดีเข้า (ลิตร/ กก.COD)	ปริมาณต่อซีโอดีที่ถูกกำจัด (ลิตร/ กก.COD ที่ถูกกำจัด)	องค์ประกอบของก๊าซ		
				% CH4	%CO2	%NH3
6/3/2548	1.2	-	-	-	-	-
7/3/2548	0.8	23	48	-	-	-
8/3/2548	1.0	25	83	-	-	-
9/3/2548	0.2	4	16	-	-	-
10/3/2548	0.2	4	15	-	-	-
11/3/2548	0.4	10	15	-	-	-
12/3/2548	0.2	5	14	-	-	-
14/3/2548	0.2	8	16	-	-	-
15/3/2548	0.5	13	50	54.81	45	0.2
16/3/2548	0.3	9	34	40.35	58.66	1
17/3/2548	0.4	15	23	-	-	-
18/3/2548	0.4	13	22	-	-	-
19/3/2548	0.3	11	18	-	-	-
23/3/2548	-	-	-	40.80	58.52	0.68
1/4/2548	-	-	-	29.81	68.79	1.39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.
วิธีวิเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. การวิเคราะห์หาซีโอดีด้วยวิธีรีฟลักซ์แบบปิด (Closed Reflux, Titrimetric Method)

1.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. หลอดย่อยสลาย (digestion vessels) ใช้แก้วที่ทำด้วยบอโรซิลิเคต (borosilocate culture tubes) ขนาด 16x100 มม. ที่มีฝาเกลียวชนิดทีเอฟอี (Tetrafluoroethylene; TFE)

2. ฮีทติ้งบล็อก (Hrating block)

3. ตู้อบควบคุมอุณหภูมิที่ 150±2 °C

1.2 สารเคมี

1. สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมตสำหรับย่อยสลาย (Standard potassium digestion solution) 0.1 นอร์มัล

2. สารละลายกรดซัลฟูริก

3. สารละลายเฟอร์โรอิน อินดิเคเตอร์

4. สารละลายมาตรฐานเฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟต (FAS) 0.05 นอร์มัล

5. สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต

1.3 วิธีการทดลอง

1. ล้างหลอดแก้วและฝาด้วยกรดซัลฟูริก 20 % ก่อนใช้ทุกครั้ง เพื่อป้องกันการปนเปื้อน

2. หลอดแก้วที่ใช้หาค่าซีโอดีมีหลายขนาด การเลือกใช้ขึ้นกับค่าซีโอดีที่มีในตัวอย่างน้ำ ในกรณีที่ค่าซีโอดีต่ำๆ (<50 มก./ล.) ให้ใช้หลอดแก้วขนาด 25x150 มม. ถ้าค่าซีโอดีสูงใช้ตัวอย่างน้ำปริมาณน้อยจึงใช้หลอดแก้วขนาดเล็ก (16x100 มม.) โดยปกติจะใช้หลอดมาตรฐานที่มีความจุสูงสุด 10 มล. (หรือขนาด 16x100 มม.) เพราะใช้สารเคมีน้อยที่สุด ดังนั้นตัวอย่างน้ำที่มีค่าซีโอดีต่ำมากๆ ค่ามักจะผิดพลาดเนื่องจากปริมาตรน้ำน้อยเกินไป

3. เมื่อเลือกขนาดหลอดแก้วได้แล้วให้ใช้ปริมาตรตัวอย่างน้ำ และสารเคมีตามตารางที่ 1 โดยเติมตัวอย่างน้ำลงในหลอดแก้วแล้วเติมสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมตสำหรับย่อยสลาย แล้วค่อยๆ เติมสารละลายกรดซัลฟูริกให้เกิดชั้นกรดอยู่ที่ก้นแก้ว ปิดฝาให้แน่นพอดี แล้วกลับไปกลับมาเพื่อให้สารละลายผสมกันดี

<u>ข้อควรระวัง</u>

ควรสวมถุงมือเพื่อป้องกันความร้อนขณะกลับหลอดแก้วไปมา และควรผสมสารละลายให้เข้ากันก่อนให้ความร้อนเพื่อป้องกันการระเบิด

4. นำหลอดแก้วใส่ลงในฮีทติ้งบล็อคหรือตู้อบที่ 150 °C แล้วต้มเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้องแล้วนำหลอดแก้ววางลงในขาตั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. เปิดฝาหลอดแก้วแล้วใส่แท่งแม่เหล็กกวนขนาดเล็กๆ ที่หุ้ม TFE แล้วเติมเฟอร์โรอิน อินดิเคเตอร์ 1-2 หยด คนอย่างเร็วบนเครื่องกวนแม่เหล็กแล้วไทเทรตกับ FAS 0.05 นอร์มัล จนกระทั่งสีเปลี่ยนเป็นน้ำตาลแดง หรือเทสารละลายจากหลอดแก้วลงขวดรูปกรวยก็ได้ เพื่อความสะดวกในการไทเทรต แต่ต้องใช้น้ำกลั่นฉีดล้างสารละลายในหลอดแก้วให้หมด

6. ทำแบลงค์ด้วยทุกครั้ง โดยใช้สารเคมีและน้ำกลั่นปริมาตรเท่ากับตัวอย่างน้ำ

ตารางที่ 1 ปริมาตรตัวอย่างน้ำและสารเคมีสำหรับหลอดแก้วขนาดต่างๆ

ขนาดของหลอดย่อยสลาย	ปริมาตรน้ำ (มล.)	ปริมาตรสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมตสำหรับย่อยสลาย (มล.)	สารละลายกรดซัลฟูริก (มล.)	ปริมาตรรวม (มล.)
16x100 มม. หรือหลอดมาตรฐาน 10 มล.	2.5	1.5	3.5	7.5
20x150 มม.	5.0	3.0	7.0	15.0
25x150 มม.	10.0	6.0	14.0	30.0

1.4 การคำนวณ

$$\text{ซีโอดี (มก.}O_2\text{/ล.)} = \frac{(A-B) \times N \times 8000}{\text{ปริมาตรตัวอย่างน้ำ (มล.)}}$$

เมื่อ A = ปริมาณของ FAS ที่ใช้ไทเทรตแบลงค์ (มล.)

B = ปริมาณของ FAS ที่ใช้ไทเทรตด้วยตัวอย่างน้ำ (มล.)

N = ความเข้มข้นของ FAS (นอร์มัล)

2. การหาค่าบีโอดีด้วยวิธีธรรมดา

2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. อ่างควบคุมอุณหภูมิ ที่ 20±1°C
2. เครื่องเติมอากาศ
3. ตู้บ่ม (Incubator) ที่ควบคุมอุณหภูมิได้ 20±1° C และไม่มีแสงเข้าภายใน
4. ขวดบีโอดีพร้อมจุก ขนาดมาตรฐาน 300 มล.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. กระบวกตวงขนาด 1,000 มล.

6. แท่งแก้วสำหรับเจือจางน้ำตัวอย่าง (plunger type mixed rod)

7. เครื่องวัดดีโอแบบเมมเบรน อิเลคโทรด

8. เครื่องแก้วอื่นๆ

2.2 สารเคมี

1. น้ำกลั่น 2 ครั้ง (ต้องมีทองแดงน้อยกว่า 0.1 มก./ล.)

2. สารละลายแคลเซียมคลอไรด์

3. สารละลายเฟอร์ริคคลอไรด์

4. สารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต

5 .สารละลายบัฟเฟอร์ฟอสเฟต พีเอช 7.2

6. หัวเชื้อที่ต้องเติม

7. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

8. สารละลายโซเดียมซัลไฟด์

9. สารละลายกลูโคสและกรดกลูตามิก

2.3 วิธีการทดลอง

น้ำที่ใช้ในการเจือจาง ชุดควบคุม (Blank set)

1. บรรจุน้ำที่ใช้ในการเจือจางลงขวดบีโอดี 2 ขวด ให้เต็มขวดด้วยวิธีกาลักน้ำ และให้ไหลรินลงตามคอขวด

2. ขวดที่ 1 ทำการวัดค่าดีโอทันที เป็นค่า DO_0

3. ขวดที่ 2 นำไปบ่มที่ 20°C เป็นเวลา 5 วัน แล้ววัดค่าดีโอเป็น DO_5 ขณะที่บ่มต้องมีน้ำหล่อบนฝาจุกแก้วและปิดจุกพลาสติกครอบที่จุกแก้วอีกครั้ง เพื่อป้องกันการระเหยของน้ำที่หล่อเหนือจุกแก้ว

4. นำ DO_0 - DO_5 ต้องน้อยกว่า 0.1 มก./ล. ถ้ามากกว่า แสดงว่ามีผลต่อความถูกต้องในการวัด

สารละลายมาตรฐานกลูโคสและกรดกลูตามิก

1. ใช้การเจือจางโดยตรง ปิเปตสารละลายกลูโคสและกลูตามิก มา 5 มล. ลงในขวดบีโอดีเติมน้ำที่ใช้สำหรับการเจือจางลงไปจำนวน 3 ขวด ระวังไม่ให้เกิดฟองอากาศภายใน เช่นเดียวกับการบรรจุน้ำที่ใช้เจือจาง

2. คว่ำ สลับหงายขวดให้เป็นสารละลายเนื้อเดียวกันทั่งทั้งขวด เติมน้ำที่ใช้สำหรับการเจือจางหล่อไว้ที่จุกแก้วด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. วัดค่าดีโอขวดที่ 1 ทันทีเป็นค่า DO_0

4. ขวดที่ 2 และ 3 นำไปบ่มที่ 20°C เป็นเวลา 5 วัน แล้ววัดค่าดีโอเป็น DO_5

5. คำนวณหาค่าบีโอดี

น้ำตัวอย่าง

1. เก็บน้ำตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์มายังห้องปฏิบัติการ

2. ตรวจสอบคุณภาพน้ำทางกายภาพ เช่น สี ความขุ่น กลิ่น ค่าพีเอช ข้อมูลของแหล่งน้ำเพื่อตัดสินใจเลือกเข้มข้นที่เหมาะสมในการเจือจางหรือไม่

3. เตรียมน้ำตัวอย่างตามทฤษฎี เช่น การปรับพีเอช การกำจัดคลอรีนตกค้าง การเจือจาง ฯลฯ จากนั้นจึงถ่ายน้ำลงขวดบีโอดีตามวิธี ชุดละ 3 ขวด โดยขวดที่ 1 ใช้หาค่า DO_0 ทันที อีก 2 ขวดนำไปบ่มที่ 20°C ไว้สำหรับหาค่า DO_5 กรณีที่ไม่ต้องเจือจาง

4. กรณีที่ต้องเจือจางต้องทำ 3 ชุดของความเข้มข้น ดูจากตารางที่ 2

- ให้เติมน้ำที่ใช้สำหรับเจือจางลงในกระบอกตวงขนาด 1 ลิตร ด้วยวิธีกาลักน้ำ ลงประมาณ 500 มล. ปิเปตน้ำตัวอย่างปริมาตรตามตารางที่ 2 ระบุไว้ โดยจุ่มปลายปิเปตลงใต้ผิวน้ำ

- ทำการเติมน้ำสำหรับการเจือจางให้ไหลรินตามข้างกระบอกตวงจนถึง 1 ลิตร

- ใช้แท่งแก้วคนขึ้นลง เบาๆ ให้เป็นสารละลายเนื้อเดียวกันแล้ว เทลงขวดบีโอดีให้ไหลลงตามคอขวดจนเต็ม และไม่มีฟองอากาศเลย เมื่อปิดจุกต้องมีน้ำหล่อค้างอยู่

5. กรณีที่ต้องเติมหัวเชื้อในน้ำตัวอย่างและต้องเจือจาง

- ทำเช่นเดียวกับข้อ 4 แต่ให้เติมหัวเชื้อ 2 มล. ลงน้ำก่อนปรับปริมาตรให้เป็น 1 ลิตร ผสมให้เข้ากันและบรรจุขวดบีโอดีด้วยวิธีเช่นเดียวกัน

- ทำชุดควบคุมที่มีหัวเชื้อเพิ่มอีก 1 ชุด โดยใส่หัวเชื้อ 2 มล. กับน้ำที่ใช้เจือจาง จนได้ 1 ลิตร แต่ไม่ต้องมีน้ำตัวอย่างเช่นกัน

6. วัดค่าดีโอขวดที่ 1 ของแต่ละชุดทันทีเป็นค่า DO_0

7. ขวดที่ 2 และ 3 ของแต่ละชุด นำไปบ่มที่ 20°C เป็นเวลา 5 วัน แล้ววัดค่าดีโอเป็น DO_5

8. คำนวณหาค่าบีโอดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2 การเลือกเจือจางน้ำตัวอย่างให้เหมาะสมในการหาค่าบีโอดี

เมื่อใช้%ของผสม			
%ของผสม	ช่วงค่าบีโอดี	ปริมาตรน้ำตัวอย่าง	ช่วงค่าบีโอดี
0.01	20000-70000	0.01	30000-105000
0.02	10000-35000	0.02	12000-42000
0.05	4000-14000	0.1	6000-21000
0.1	2000-7000	0.2	3000-10500
0.2	1000-3500	0.5	1200-4200
0.5	400-1400	1.0	600-2100
1.0	200-700	2.0	300-1050
2.0	100-350	5.0	120-420
5.0	40-140	10.0	60-210
10.0	20-70	20.0	30-105
20.0	10-35	50.0	12-42
50.0	4-14	100	6-21
100	0-7	300	0-7

2.4 การคำนวณ

ก. เมื่อไม่เจือจาง

$$BOD_5 = DO_0 - DO_5$$

เมื่อ BOD_5 = ค่าความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี (มก./ล.)

DO_0 = ค่าออกซิเจนที่ละลายน้ำได้คำนวณจากการวัดหรือการไทเทรต เมื่อเตรียมน้ำตัวอย่างเสร็จทันที (โดยไม่เจือจาง)

DO_5 = ค่าออกซิเจนที่ละลายน้ำได้คำนวณจากการวัดหรือการไทเทรตเมื่อบ่มครบ 5 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข. เมื่อเจือจางน้ำตัวอย่าง

1. ไม่เติมหัวเชื้อ

$$BOD = \frac{D_1 - D_2}{P}$$

2. เติมหัวเชื้อ

$$BOD = \frac{(D_1 - D_2) - (B_1 - B_2)f}{P}$$

เมื่อ D_1 = ค่าออกซิเจนที่ละลายน้ำเมื่อหาหลังจากเจือจางน้ำแล้ว

D_2 = ค่าออกซิเจนที่ละลายน้ำเมื่อหาหลังจากเจือจางน้ำแล้วและบ่มเป็นเวลา 5 วัน

B_1 = ค่าออกซิเจนที่ละลายน้ำเมื่อเติมหัวเชื้ออย่างเดียวโดยหาทันที

B_2 = ค่าออกซิเจนที่ละลายน้ำเมื่อเติมหัวเชื้ออย่างเดียวโดยหาหลังจากบ่ม 5 วัน

f = อัตราส่วนของหัวเชื้อในน้ำตัวอย่างต่อกลุ่มที่ควบคุม

= (% หัวเชื้อใน D_1)/(% หัวเชื้อใน B_1)

P = สัดส่วนที่ทำการเจือจางน้ำ

3. การวิเคราะห์กรดระเหยง่ายโดยวิธีการกลั่น

กรดระเหยที่ถูกกลั่นออกมาโดยวิธีการนี้ จะอยู่ประมาณ 68-85 % ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของกรดระเหยนั้นๆ และอัตราการกลั่น ดังนั้นจึงถือว่าการกลั่นโดยวิธีนี้ จะได้กรดระเหยง่ายออกมาประมาณ 70 % การปรับค่าที่ได้ให้ถูกต้อง สามารถกระทำได้โดยหาค่ารีโคเวอร์รี่แฟคเตอร์ (recovery factor) มาคูณกับค่าที่วิเคราะห์ได้

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องปั่นเหวี่ยงซึ่งมีหัวสำหรับใส่หลอดขนาด 50 ลบ.ซม.
2. ขวดกลั่นขนาด 500 ลบ.ซม.
3. เครื่องควบแน่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. หลอดอาแคพเตอร์

3.2 สารเคมี

1. กรดซัลฟิวริก H_2SO_4 (1+1)

2. สารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 โมลาร์

3. ฟีนอล์ฟทาลีนอินดิเคเตอร์

4. กรดแอซิติก 200 มก./ลบ.ดม. โดยละลายกรดแอซิติกเข้มข้น 1.9 ลบ.ซม. ในน้ำกลั่นแล้วทำให้เป็น 1 ลบ.ดม. ไทเทรตหาความเข้มข้นที่แน่นอนด้วยสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 โมลาร์

สารแทรกสอด

ในช่วงแรกของการกลั่นจะเกิดก๊าซ H_2S และ CO_2 ปนออกมากับของเหลวซึ่งจะทำให้ค่ากรดระเหยง่ายที่ได้มากกว่าความเป็นจริง แก้ปัญหานี้ได้โดยทิ้งส่วนที่กลั่นออกมา 15 ลบ.ซม. แรกออกไป และการแก้ความคลาดเคลื่อนส่วนนี้รวมอยู่ในค่ารีโคเวอร์รี่แฟคเตอร์

วิธีหาค่ารีโคเวอร์รี่แฟคเตอร์ (Recovery Factor)

ใช้กรดแอซิติกที่เตรียมได้ในข้อ 4 250 ลบ.ซม. กลั่นแล้วไทเทรตกรดแอซิติกส่วนที่กลั่นออกมาด้วยสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 โมลาร์ แล้วคำนวณหาค่ารีโคเวอร์รี่แฟคเตอร์ (f)

$$f = a / b$$

โดยที่ a = ความเข้มข้นกรดแอซิติกที่กลั่นออกมาคำนวณเป็น มก./ลบ.ดม.

b = ความเข้มข้นกรดแอซิติกก่อนกลั่นคำนวณเป็น มก./ลบ.ดม.

3.3 วิธีการทดลอง

1. นำตัวอย่างน้ำ 200 ลบ.ซม. มาเข้าเครื่องปั่นเหวี่ยง 5 นาที เทส่วนที่ใสออกมา 100 ลบ.ซม. ใส่ในขวดกลั่นขนาด 500 ลบ.ซม. เติมน้ำกลั่น 100 ลบ.ซม. ใส่เม็ดแก้ว 3-4 เม็ด แล้วเติมกรดซัลฟูริก H_2SO_4 (1+1) 5 ลบ.ซม. ผสมเข้ากันเพื่อให้กรดกระจายโดยทั่วถึง แล้วนำไปต่อเข้ากับเครื่องกลั่น

2. กลั่นด้วยอัตรา 5 ลบ.ซม. /นาที เก็บส่วนที่กลั่นได้ 150 ลบ.ซม. มาไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 โมลาร์ โดยใช้ฟีนอล์ฟทาลีนเป็นอินดิเคเตอร์ การไทเทรตถ้าทำที่อุณหภูมิสูงประมาณ 95 องศาเซลเซียส เมื่อถึงจุดยุติ จะได้สีชมพูอ่อนคงที่ไม่เปลี่ยนแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การคำนวณ

$$\text{กรดระเหย (มก./ลบ.ดม.คิดในรูปของกรดแอซิติก)} = \frac{\text{ลบ.ซม.สารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์} \times 6000}{\text{ลบ.ซม.ตัวอย่างน้ำ} \times f}$$

4. การวิเคราะห์หาปริมาณทีเคเอ็นไนโตรเจน (TKN)

4.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. ชุดย่อยสลาย (Digestion apparatus) ประกอบด้วยขวดเจลดาห์ล ขนาด 500 มล. และเตาให้ความร้อน (heating mantal) ที่ให้ความร้อน ขนาด 300-400 °C

2. ชุดกลั่น (Distillation apparatus) ประกอบด้วยอุปกรณ์ต่างๆ

4.2 สารเคมี

1. น้ำยาสำหรับย่อยสลาย (Digestion reagent)

2. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์-โซเดียมไทโอซัลเฟต (Sodium hydroxide-sodium thiosulfate reagent)

3. สารละลายฟีนอล์ฟทาลีนอินดิเคเตอร์

4.3 วิธีการทดลอง

1.การเลือกตัวอย่างน้ำ (ขึ้นกับปริมาณอินทรีย์ไนโตรเจนที่คาดว่ามีเจือปนในน้ำเสีย)

Organic-N ในน้ำเสีย (มก./ล.)	ขนาดตัวอย่าง (มล.)
0-1	500
1-10	250
10-20	100
20-50	50
50-100	25

กรณีที่มีสารอินทรีย์ไนโตรเจนมากๆ (20-50 มก./ล.) ให้ใช้วิธีเจือจางให้มีปริมาตรเป็น 300 มล. แล้วปรับพีเอช ให้เป็นกลาง จากนั้นนำใส่ขวดเจลดาห์ล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.การย่อยสลาย (Digestion)

- นำตัวอย่างน้ำซึ่งมีปริมาตรดังข้อ 1 มาเติมน้ำยาสำหรับย่อยสลาย 50 มล. นำไปต้มในตู้ควันเพื่อดูดก๊าซพิษ พวก SO_3 ออก ต้มจนสารละลายใสหรือมีสีเหลืองฟาง ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นจึงเจือจางด้วยน้ำกลั่น 300 มล. ใส่ฟีนอล์ฟทาลีน 0.5 มล. ผสมให้เข้ากันแล้วเติมน้ำยาโซเดียมไฮดรอกไซด์ไทโอซัลเฟต 50 มล. จะเกิดเป็นชั้นของด่าง (alkaline layer) อยู่ที่ก้นขวดนำไปต่อกับเครื่องกลั่น จากนั้น จึงค่อยๆ เขย่าให้เข้ากันดี สีของของผสมจะเป็นสีชมพูอ่อนๆ ถ้ายังไม่เกิดให้เติมน้ำยาโซเดียมไฮดรอกไซด์ลงไปอีก

3. การกลั่น (Distillation)

-นำตัวอย่างน้ำที่ย่อยสลายแล้วมาต่อเข้าเครื่องกลั่น โดยให้ส่วนที่กลั่นออกมาได้ (distillate) จุ่มอยู่ใต้สารละลายกรดบอริก 50 มล. ซึ่งใช้เป็นสารจับแอมโมเนียไนโตรเจน สารละลายที่กลั่นออกมาได้ปริมาตรรวมกัน ประมาณ 200-250 มล. (ในกรณีที่หาโดยวิธีไทเทรตให้ใช้กรดบอริกที่เติมอินดิเคเตอร์)

4.ในการวิเคราะห์ทุกครั้งให้ทำแบลงค์เพื่อหาปริมาณไนโตรเจนในน้ำกลั่น โดยทำทุกขั้นตอนเช่นเดียวกับการหาในตัวอย่าง ยกเว้น ไม่ต้องนำไปย่อยสลาย

5. การไทเทรต (titration)

- นำไปไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟูริก 0.02 นอร์มัล เมื่อถึงจุดยุติสีจะเปลี่ยนจากเขียวเป็นม่วงอ่อน

4.4 การคำนวณ

$$\text{ทีเคเอ็น (มก.N/ล.)} = \frac{(A-B) \times 280}{\text{ปริมาตรตัวอย่างน้ำ(มล.)}}$$

A = ปริมาตรกรดซัลฟูริกที่ใช้กับตัวอย่างน้ำ (มล.)

B = ปริมาตรกรดซัลฟูริกที่ใช้กับแบลงค์ (มล.)

หรือ สารอินทรีย์ไนโตรเจน = ทีเคเอ็น - แอมโมเนียมไนโตรเจน

5. การหาสภาพด่างโดยวิธีใช้อินดิเคเตอร์

5.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. ขวดออร์เลนเมเยอร์ขนาด 250 ลบ.ซม. 2 ใบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ขวดวัดปริมาตร

3. วอลูมเมตริกปิเปตต์ขนาด 50 ลบ.ซม.

4. บิวเรตต์ขนาด 50 ลบ.ซม.

5. บีกเกอร์ขนาด 100 ลบ.ซม.

5.2 สารเคมี

1. น้ำกลั่นที่ปราศจากคาร์บอนไดออกไซด์

2. สารละลายมาตรฐานกรดซัลฟิวริก 0.01 โมล/ลบ.ดม. (1.00ลบ.ซม. =1.00มก.$CaCO_3$)

2. สารละลายฟีนอล์ฟทาลีน

3. สารละลายเมทิลออเรนจ์อินดิเคเตอร์

4. สารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต 0.1 โมล/ลบ.ดม. ละลายโซเดียมไอซัลเฟตเพนต้าไฮเดรต 25 กรัมในน้ำกลั่น แล้วเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตรเป็น 1000 ลบ.ซม.

5.3 วิธีการทดลอง

เลือกใช้ปริมาณน้ำตัวอย่างที่เหมาะสมในการไทเทรต โดยทั่วไปใช้ 50 ลบ.ซม.หรือ 100 ลบ.ซม. ไล่คลอรีนอิสระที่อาจจะมีอยู่ในตัวอย่างน้ำ โดยหยดสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต 0.1 โมล/ลบ.ดม.ลงไป 1 หยด

1. ดูดตัวอย่างน้ำ 10 ลบ.ซม.หรือปริมาตรที่เหมาะสมแล้วทำให้เจือจางด้วยน้ำกลั่นที่ปราศจากคาร์บอนไดออกไซด์จนได้ปริมาตร 100 ลบ.ซม. ใส่ลงในขวดเออร์เลนเมเยอร์และดูดน้ำกลั่น 100 ลบ.ซม. ใส่ลงในขวดเลนเมเยอร์อีกใบหนึ่ง

2. หยดฟีนอล์ฟทาลีนอินดิเคเตอร์ลงไปขวดละ 3 หยด

3. ถ้าตัวอย่างน้ำมีสีชมพูไทเทรตด้วยกรดซัลฟิวริก 0.01 โมล/ลบ.ดม. จนกระทั่งสีชมพูหายไป (ค่าที่อ่านได้ = P)

4. หยดเมทิลออเรนจ์อินดิเคเตอร์ 3 หยดลงในแต่ละขวด

5. ถ้าตัวอย่างมีสีเหลืองเรื่อๆ ไทเทรตต่อไปด้วยกรดซัลฟิวริก 0.01 โมล/ลบ.ดม. กระทั่งสังเกตเห็นสีเริ่มเปลี่ยนเป็นสีส้ม โดยเทียบสีกับในขวดที่มีน้ำกลั่น แสดงว่าถึงจุดสมดุล

6. จดปริมาตรกรดซัลฟิวริก 0.01 โมล/ลบ.ดม. ทั้งหมดที่ใช้ (ค่าที่อ่านได้ =T)

5.4 การคำนวณ

$$\text{สภาพด่างทั้งหมด (มก.ลบ.ดม.}CaCO_3\text{)} = \frac{\text{ลบ.ซม.ของกรดซัลฟิวริกที่ใช้ x 1000}}{\text{ลบ.ซม.ของตัวอย่างน้ำ}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้ P = ปริมาตร(ลบ.ซม.)ของกรดซัลฟิวริก 0.01 โมล/ลบ.ดม.ที่ใช้ในการไทเทรตเมื่อใช้ฟีนอล์ฟทาลีนเป็นอินดิเคเตอร์

T = ปริมาตร(ลบ.ซม.)ของกรดซัลฟิวริก 0.01 โมล/ลบ.ดม.ที่ใช้ในการไทเทรตทั้งหมด

1. ถ้า P = T สภาพด่างไฮดรอกไซด์ = $\frac{T * 1000}{\text{ลบ.ซม.ของตัวอย่างน้ำ}}$

2. ถ้า P>1/2T สภาพด่างไฮดรอกไซด์ = $\frac{(2P - T)* 1000}{\text{ลบ.ซม.ของตัวอย่างน้ำ}}$

สภาพด่างคาร์บอเนต = $\frac{(2P - T)* 1000}{\text{ลบ.ซม.ของตัวอย่างน้ำ}}$

3. ถ้า P=1/2T สภาพด่างคาร์บอเนต = $\frac{2P * 1000}{\text{ลบ.ซม.ของตัวอย่างน้ำ}}$

4. ถ้า P<1/2T สภาพด่างคาร์บอเนต = $\frac{2(P - T)* 1000}{\text{ลบ.ซม.ของตัวอย่างน้ำ}}$

สภาพด่างไบคาร์บอเนต = $\frac{(T - 2P)* 1000}{\text{ลบ.ซม.ของตัวอย่างน้ำ}}$

5. ถ้า P = 0 สภาพด่างคาร์บอเนต = $\frac{T * 1000}{\text{ลบ.ซม.ของตัวอย่างน้ำ}}$

หมายเหตุ 1. สภาพด่างมีหน่วยเป็น มก.ลบ.ดม. $CaCO_3$

2. ถ้ากรดซัลฟิวริกที่ใช้ในการหาสภาพด่างมีความเข้มข้นไม่เท่ากับ 0.01 โมล/ลบ.ดม.

สภาพด่างทั้งหมด (มก.ลบ.ดม.$CaCO_3$) = $\frac{\text{ลบ.ซม.ของกรดที่ใช้} * \text{โมลาริตี}*2*50*1000}{\text{ลบ.ซม.ของตัวอย่างน้ำ}}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. การรวมตะกอนทางเคมี (Jar test)

6.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องจาร์เทสต์
2. ขวดวัดปริมาตรขนาด 600 มิลลิลิตร

6.2 สารเคมี

1. 1 % สารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์
2. 0.05% An- polymer

6.3 วิธีการทดลอง

1. วิเคราะห์น้ำตัวอย่างก่อนทำการทดลอง
2. ตวงน้ำตัวอย่างปริมาณ 400 มิลลิลิตรใส่ในบีกเกอร์จำนวน 4 ใบ
3. เติม 1% สารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์ในแต่ละบีกเกอร์โดยมีสัดส่วนต่างกันดังนี้ 200 250 , 300และ400 มิลลิกรัมต่อลิตร
4. เติม An-polymer จำนวน 2 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำการกวนเร็ว 100 รอบ/นาทีเป็นเวลา 1 นาที จากนั้นกวนช้า 40 รอบ/นาทีเป็นเวลา 20 นาที
5. ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนเป็นเวลา 30 นาที
6. ดูดน้ำใสส่วนบนนำไปวิเคราะห์
7. เลือกปริมาณสารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์ที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดคงที่ไว้แปรผันค่าพีเอช
8. ทำการทดลองเหมือนเดิมโดยแปรผันค่าพีเอชเป็น 5 , 7 , 9และ11
9. เมื่อได้ปริมาณสารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์และช่วงพีเอชที่เหมาะสมแล้ว ทำการปรับค่าปริมาณสารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์เพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้