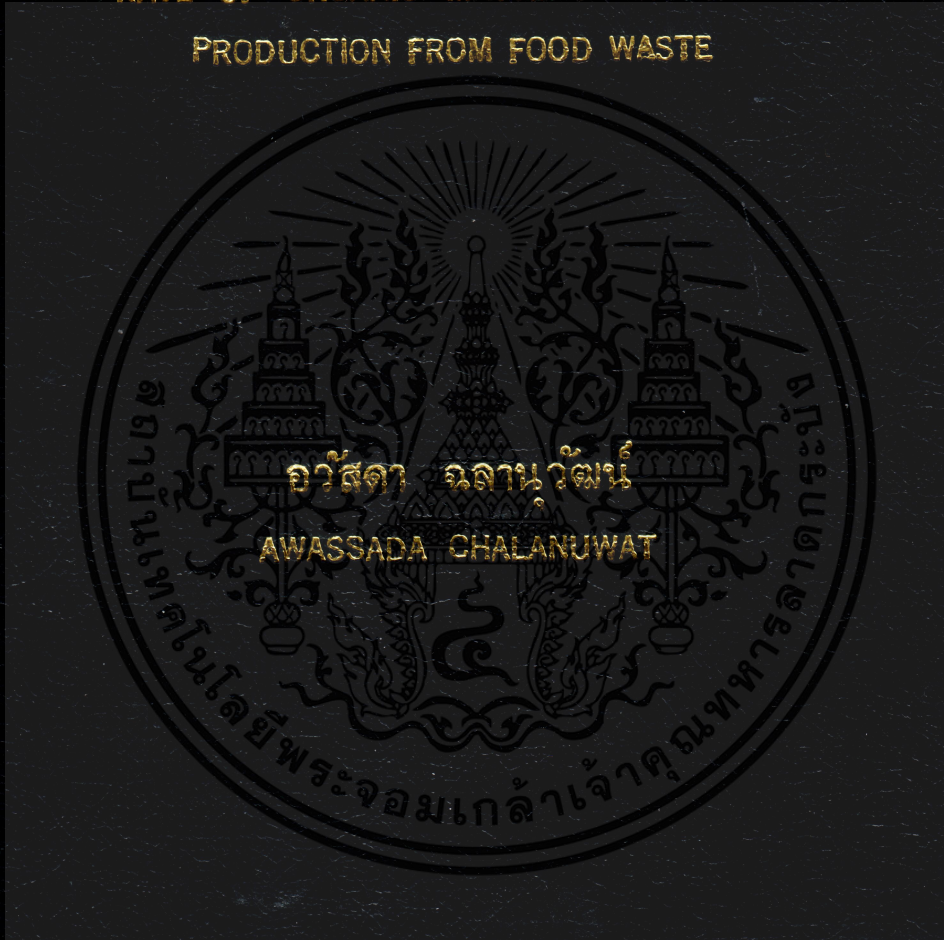


อิทธิพลของระยะเวลาเก็บกักและอัตราการบ่อนอินทรีย์สาร
ต่อการผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหาร

INFLUENCE OF HYDRAULIC RETENTION TIME AND LOADING
RATE OF ORGANIC MATTERS ON BIOGAS
PRODUCTION FROM FOOD WASTE



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ
บัณฑิตวิทยาลัย

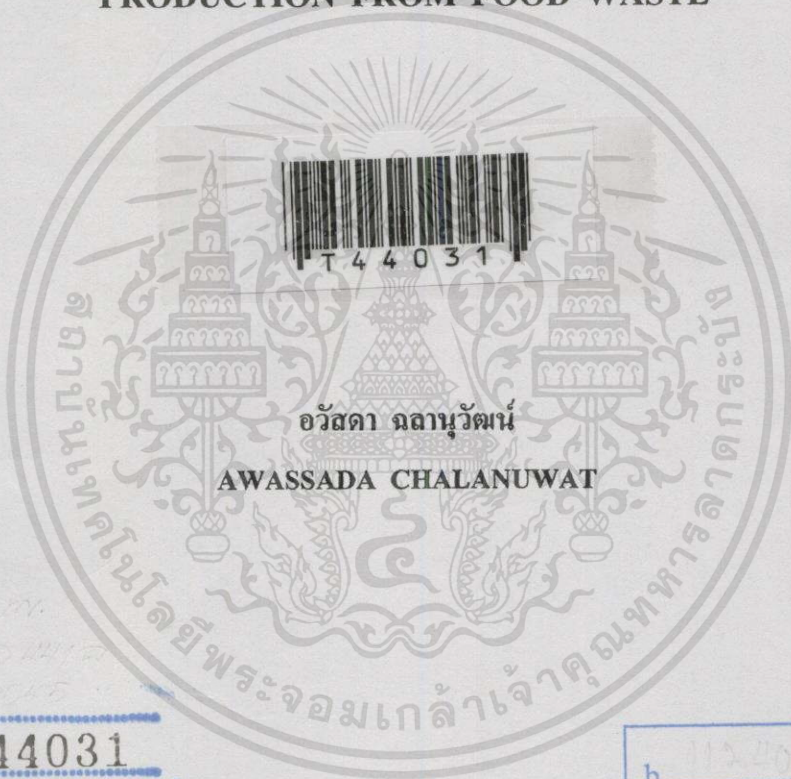
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2545

ISBN 974-648-665-9

อิทธิพลของระยะเวลาเก็บกักและอัตราการป้อนอินทรีย์สาร
ต่อการผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหาร

INFLUENCE OF HYDRAULIC RETENTION TIME AND LOADING
RATE OF ORGANIC MATTERS ON BIOGAS
PRODUCTION FROM FOOD WASTE



อัสดา ฉลานุวัฒน์
AWASSADA CHALANUWAT

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 44031
วัน, เดือน, ปี..... 22 ต.ค. 2545

b.....
i.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่ พ.ศ.2545 เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลง ISBN 974-648-665-9 ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**INFLUENCE OF HYDRAULIC RETENTION TIME AND LOADING
RATE OF ORGANIC MATTERS ON BIOGAS
PRODUCTION FROM FOOD WASTE**



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE IN BIOTECHNOLOGY
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES**

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อ **2002** ยานเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลง **ISBN 974-648-665-9** เจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2002

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกร ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารผู้ทรงลิขสิทธิ์เป็นไป

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์

อิทธิพลของระยะเวลาเก็บกักและอัตราการป้อนอินทรีย์สารต่อการผลิต
ก๊าซชีวภาพจากเศษอาหาร

INFLUENCE OF HYDRAULIC RETENTION TIME AND LOADING
RATE OF ORGANIC MATTERS ON BIOGAS PRODUCTION FROM
FOOD WASTE

ชื่อนักศึกษา

นางสาวอัสดา จุลานุกวัฒน์

รหัสประจำตัว

40065207

ปริญญา

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา

เทคโนโลยีชีวภาพ

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์

ดร.ปราโมทย์

ศิริโรจน์

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม

รศ.ดร.คุณณี

ชนะบริพัฒน์

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ลายมือชื่อ
รศ.มาลินี	คณิตยาภรณ์
ดร.ปราโมทย์	ศิริโรจน์
รศ.ดร.คุณณี	ชนะบริพัฒน์
ผศ.วันชัย	สุทธิพันธุ์
รศ.อรไท	สุขเจริญ

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ 22 มีนาคม 2545 เวลา 10.30 น. เป็นต้นไป

สถานที่สอบ ณ อาคารจุฬารณวลัยตึกยล 1 ชั้น 4 ห้อง 424



วันที่ 20 เดือน พฤษภาคม พ.ศ. ๒๕๔๕

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

หัวข้อวิทยานิพนธ์	อิทธิพลของระยะเวลาเก็บกักและอัตราการป้อนอินทรีย์สาร ต่อการผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหาร
นักศึกษา	นางสาววศดา ฉลาณุวัฒน์
รหัสประจำตัว	40065207
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	เทคโนโลยีชีวภาพ
พ.ศ.	2545
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	ดร. ปราโมทย์ ศิริโรจน์
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วมรศ.ดร.	ศุภณี ธนะบริพัทธ์

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาอิทธิพลของระยะเวลาเก็บกัก (hydraulic retention time, HRT) อัตราการป้อนอินทรีย์สาร (organic loading rate, OLR) และความถี่ในการเติมของเหลวต่อประสิทธิภาพการกำจัดอินทรีย์สารและปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น ในการย่อยสลายเศษอาหารด้วยระบบถังหมักไร้อากาศ โดยศึกษาการย่อยสลายของเศษอาหารที่มีปริมาณของแข็ง 4 % ในถังหมักขนาดความจุ 9.63 ลิตร จำนวน 4 ถัง โดยกำหนดสภาวะต่าง ๆ กันคือ ทดลองที่ HRT 10, 15, 20 และ 25 วัน ซึ่งเทียบได้กับ OLR 14.10, 9.40, 7.05 และ 5.58 gCOD/L.d ตามลำดับ เมื่อมีความถี่ในการเติมของเหลว 1 วัน/ครั้ง และ OLR 14.95, 9.97, 7.47 และ 5.92 gCOD/L.d ตามลำดับ เมื่อมีความถี่ในการเติมของเหลว 3 วัน/ครั้ง ผลการศึกษาพบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดอินทรีย์สารมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อมี HRT มากขึ้น (OLR น้อยลง) และความถี่ในการเติมของเหลวมากขึ้นที่ HRT 20 วัน (OLR 7.05 gCOD/L.d) และมีความถี่ในการเติมของเหลว 1 วัน/ครั้ง มีปริมาณก๊าซชีวภาพเกิดขึ้นเฉลี่ย 2.60 l/d โดยมีองค์ประกอบของก๊าซมีเทน 60.56 % และมีประสิทธิภาพการกำจัด COD, TS, TVS และ VFA เท่ากับ 56.48, 52.39, 70.38 และ 27.03 % ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และIต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Influence of Hydraulic Retention Time and Loading Rate of Organic Matters on Biogas Production From Food Waste
Student	Miss Awassada Chalanuwat
Student ID.	40065207
Degree	Master of Science
Programme	Biotechnology
Year	2002
Thesis Advisor	Dr. Pramote Sirirote
Thesis Co-advisor	Associate Professor Dr. Dusanee Thanaboripat

ABSTRACT

This research emphasized on the optimum operating conditions of anaerobic digester for the treatment of food waste. The influence of hydraulic retention time (HRT), organic loading rate (OLR) and frequency of feeding rate on the efficiencies of anaerobic digestion and total gas production was studied. The food waste at 4 % TS concentration was digested in each four digesters with capacity of 9.63 liters. The operational conditions were varied : HRT at 10, 15, 20 and 25 days, corresponding to OLR of 14.10, 9.40, 7.05 and 5.58 gCOD/l.d respectively at frequency of feeding rate of 1 day interval, and OLR 14.95, 9.97, 7.47 and 5.92 gCOD/l.d respectively at frequency of feeding rate of 3 days interval. The results revealed that the efficiency of organic matter removal was increased when HRT increased (OLR is decreased) and also frequency of feeding rate is increased. When HRT was at 20 days (OLR 7.05 gCOD/l.d) and frequency of feeding rate at 1 day interval, the total gas production was 2.60 l/d, percentage of methane content was 60.56 % and efficiencies of COD, TS, TVS and VFA reduction were 56.48, 52.39, 70.38 and 27.03 % respectively.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างดี ด้วยคำปรึกษา จากดร.ปราโมทย์ ศิริโรจน์ อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.ศุภณี ธนะบริพัฒน์ อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ให้ความกรุณา คำแนะนำ รวมทั้งตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์ ขอกราบขอบพระคุณ รศ.มาลินี ตันติยาภรณ์ ประธานกรรมการวิทยานิพนธ์ ผศ. วันชัย สุทธิหนู่น กรรมการวิทยานิพนธ์ผู้ทรงคุณวุฒิภายใน และรศ. อรไท สุขเจริญ กรรมการวิทยานิพนธ์ผู้ทรงคุณวุฒิจากภายนอก ที่ได้กรุณา สละเวลาในการตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้เสร็จสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ ที่ได้ให้ทุนสนับสนุนการทำวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย ที่ได้ให้ทุนสนับสนุนการทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์ครั้งนี้

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณเพื่อน ๆ พี่ ๆ และน้อง ๆ นักศึกษาทุกคน รวมทั้งเจ้าหน้าที่ภาควิชาชีววิทยาประยุกต์ และเจ้าหน้าที่ภาควิชาจุลชีววิทยา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการทำวิจัยครั้งนี้

ท้ายที่สุดนี้ หากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความดีและก่อประโยชน์แก่ส่วนรวม ผู้วิจัยขอแสดงความดีทั้งปวงให้แก่บิดาและมารดา ตลอดจนคณาจารย์ทุกท่านที่ช่วยส่งเสริมให้ผู้วิจัยได้มีความรู้ความสามารถและประสบความสำเร็จในการศึกษา

อวิศดา ฉลานวัฒน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญภาพ.....	VIII
รายการคำย่อ.....	X
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของวิทยานิพนธ์.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 กระบวนการย่อยสลายอินทรีย์สารในสภาวะไร้อากาศ.....	3
2.2 จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องในกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ.....	6
2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศ.....	10
2.4 ระบบถังหมักแบบไร้อากาศ.....	17
2.5 คุณสมบัติและลักษณะการนำก๊าซชีวภาพมาใช้งานด้านต่าง ๆ.....	21
บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	24
3.1 แหล่งจุลินทรีย์.....	24
3.2 เศษอาหาร.....	24
3.3 ระบบถังหมัก.....	24
3.4 เครื่องมือและอุปกรณ์.....	27
3.5 การดำเนินงานวิจัย.....	28
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	33
4.1 คุณสมบัติของเศษอาหาร.....	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2 ผลการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของระบบทั้งหมด.....	34
4.3 การผลิตก๊าซชีวภาพและองค์ประกอบของก๊าซ.....	48
4.4 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นต่อน้ำหนักมวลอินทรีย์สาร.....	53
4.5 การวิเคราะห์และเปรียบเทียบผล.....	57
บทที่ 5 วิจัยผลการทดลอง.....	62
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	66
บรรณานุกรม.....	68
ภาคผนวก.....	73
ภาคผนวก ก.....	74
ภาคผนวก ข.....	88
ประวัติผู้เขียน.....	96

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องในการย่อยสลายอินทรีย์สารในสภาวะไร้อากาศ.....	7
2.2 จุลินทรีย์ที่สร้างก๊าซมีเทน.....	8
2.3 ปริมาณสารอาหารรองที่จำเป็น.....	12
2.4 ความเข้มข้นที่กระตุ้นและยับยั้งของแคตไอออนโลหะเบา.....	13
2.5 แคตไอออนเพิ่มความเป็นพินิก(synergism) และแคตไอออนลดความเป็นพินิก(antagonism).....	13
2.6 ความเข้มข้นของโลหะหนักที่เป็นพิษต่อการย่อยสลายแบบไร้อากาศ.....	14
2.7 คุณสมบัติของก๊าซชีวภาพ.....	22
3.1 ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในแต่ละการทดลอง เมื่อมีความถี่ในการเติมของเหลว 1 วัน/ครั้ง.....	29
3.2 ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในแต่ละการทดลอง เมื่อมีความถี่ในการเติมของเหลว 3 วัน/ครั้ง.....	29
4.1 คุณสมบัติของเศษอาหารลักษณะของเหลว.....	33
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า BOD และ COD ของเศษอาหารลักษณะของเหลว.....	34
4.3 ค่าเฉลี่ยพีเอชของของเหลวในระบบเมื่อมีความถี่ในการเติมของเหลว 1 วัน/ครั้ง.....	35
4.4 ค่าเฉลี่ยพีเอชของของเหลวในระบบเมื่อมีความถี่ในการเติมของเหลว 3 วัน/ครั้ง.....	35
4.5 ค่าเฉลี่ย COD ของของเหลวในระบบเมื่อมีความถี่ในการเติมของเหลว 1 วัน/ครั้ง.....	36
4.6 ค่าเฉลี่ย COD ของของเหลวในระบบเมื่อมีความถี่ในการเติมของเหลว 3 วัน/ครั้ง.....	36
4.7 ค่าเฉลี่ย TS ของของเหลวในระบบเมื่อมีความถี่ในการเติมของเหลว 1 วัน/ครั้ง.....	39
4.8 ค่าเฉลี่ย TS ของของเหลวในระบบเมื่อมีความถี่ในการเติมของเหลว 3 วัน/ครั้ง.....	39
4.9 ค่าเฉลี่ย TVS ของของเหลวในระบบเมื่อมีความถี่ในการเติมของเหลว 1 วัน/ครั้ง.....	42
4.10 ค่าเฉลี่ย TVS ของของเหลวในระบบเมื่อมีความถี่ในการเติมของเหลว 3 วัน/ครั้ง.....	42
4.11 ค่าเฉลี่ย VFA ของของเหลวในระบบเมื่อมีความถี่ในการเติมของเหลว 1 วัน/ครั้ง.....	45
4.12 ค่าเฉลี่ย VFA ของของเหลวในระบบเมื่อมีความถี่ในการเติมของเหลว 3 วัน/ครั้ง.....	45
4.13 ค่าเฉลี่ย TA ของของเหลวในระบบเมื่อมีความถี่ในการเติมของเหลว 1 วัน/ครั้ง.....	48
4.14 ค่าเฉลี่ย TA ของของเหลวในระบบเมื่อมีความถี่ในการเติมของเหลว 3 วัน/ครั้ง.....	48
4.15 การผลิตก๊าซชีวภาพและองค์ประกอบของก๊าซที่เกิดขึ้น เมื่อมีความถี่ในการเติม ของเหลว 1 วัน/ครั้ง.....	50
4.16 การผลิตก๊าซชีวภาพและองค์ประกอบของก๊าซที่เกิดขึ้น เมื่อมีความถี่ในการเติม ของเหลว 3 วัน/ครั้ง.....	50
4.17 อัตราการผลิตก๊าซต่ออำนาจหนักรวมอินทรีย์สารที่เติมเข้าระบบ เมื่อมีความถี่ในการ เติมของเหลว 1 วัน/ครั้ง (ภายใต้สภาวะมาตรฐาน).....	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.18 อัตราการผลิตก๊าซต่อน้ำหนักมวลอินทรีย์สารที่เดิมเข้าระบบ เมื่อมีความถี่ในการเติมของเหลว 3 วัน/ครั้ง (ภายใต้สภาวะมาตรฐาน).....	55
4.19 อัตราการผลิตก๊าซต่อน้ำหนักมวลอินทรีย์สารที่ถูกกำจัด เมื่อมีความถี่ในการเติมของเหลว 1 วัน/ครั้ง (ภายใต้สภาวะมาตรฐาน).....	56
4.20 อัตราการผลิตก๊าซต่อน้ำหนักมวลอินทรีย์สารที่ถูกกำจัด เมื่อมีความถี่ในการเติมของเหลว 3 วัน/ครั้ง (ภายใต้สภาวะมาตรฐาน).....	57
4.21 ผลสรุปการทดลอง เปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ และปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นในระบบถังหมักทั้ง 4 การทดลอง เมื่อมีความถี่ในการเติมของเหลว 1 วัน/ครั้ง.....	58
4.22 ผลสรุปการทดลอง เปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ และปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นในระบบถังหมักทั้ง 4 การทดลอง เมื่อมีความถี่ในการเติมของเหลว 3 วัน/ครั้ง.....	59
5.1 การเปรียบเทียบปริมาณก๊าซทั้งหมดที่ผลิตได้ และประสิทธิภาพการกำจัดอินทรีย์สารกับงานวิจัยอื่น.....	65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 ขั้นตอนการย่อยสลายนินทรีย์สารในสภาวะไร้อากาศ และจุลินทรีย์ที่ทำหน้าที่ในแต่ละ ขั้นตอน.....	4
2.2 การย่อยสลายนินทรีย์สารในสภาวะไร้อากาศ และสัดส่วนของก๊าซมีเทนจากการหมัก แอซีเตต.....	5
2.3 กรรมวิธีในการกวนของเหลวในถังหมัก.....	16
2.4 ถังหมักไร้อากาศแบบอัตราการกำจัดต่ำ.....	18
2.5 ถังหมักไร้อากาศแบบอัตราการกำจัดสูง.....	18
2.6 ถังหมักไร้อากาศแบบอัตรากำจัดสูงที่มีการแยกตะกอน.....	19
2.7 ระบบถังหมักไร้อากาศแบบสัมผัส.....	19
2.8 ระบบถังหมักไร้อากาศแบบสองเฟส.....	20
2.9 ประโยชน์ที่ได้รับจากการประยุกต์ใช้ก๊าซชีวภาพ(มีเทน)	23
3.1 ถังหมักที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ.....	25
3.2 แผนภาพของระบบถังหมัก.....	25
3.3 สัดส่วนขนาดถังหมัก.....	26
3.4 ระบบถังเก็บก๊าซชีวภาพ.....	27
3.5 ลักษณะของเข็มเก็บก๊าซและหลอดสูญญากาศ.....	31
3.6 การเก็บตัวอย่างก๊าซ.....	31
3.7 แผนภูมิสรุปขั้นตอนวิธีการทดลอง.....	32
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า BOD และ COD ของเศษอาหารในลักษณะของเหลว.....	34
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า COD และ HRT เมื่อมีความถี่ในการเติมของเหลว 1 วัน/ครั้ง.....	37
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า COD และ HRT เมื่อมีความถี่ในการเติมของเหลว 3 วัน/ครั้ง.....	37
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า COD และ OLR เมื่อมีความถี่ในการเติมของเหลว 1 วัน/ครั้ง.....	38
4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า COD และ OLR เมื่อมีความถี่ในการเติมของเหลว 3 วัน/ครั้ง.....	38
4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า TS และ HRT เมื่อมีความถี่ในการเติมของเหลว 1 วัน/ครั้ง.....	40
4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า TS และ HRT เมื่อมีความถี่ในการเติมของเหลว 3 วัน/ครั้ง.....	40
4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า TS และ OLR เมื่อมีความถี่ในการเติมของเหลว 1 วัน/ครั้ง.....	41
4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า TS และ OLR เมื่อมีความถี่ในการเติมของเหลว 3 วัน/ครั้ง.....	41
4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า TVS และ HRT เมื่อมีความถี่ในการเติมของเหลว 1 วัน/ครั้ง.....	43
4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า TVS และ HRT เมื่อมีความถี่ในการเติมของเหลว 3 วัน/ครั้ง.....	43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ VIII อ่างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า TVS และ OLR เมื่อมีความถี่ในการเติมของเหลว 1 วัน/ครั้ง.....	44
4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า TVS และ OLR เมื่อมีความถี่ในการเติมของเหลว 3 วัน/ครั้ง.....	44
4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า VFA และ HRT เมื่อมีความถี่ในการเติมของเหลว 1 วัน/ครั้ง.....	46
4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า VFA และ HRT เมื่อมีความถี่ในการเติมของเหลว 3 วัน/ครั้ง.....	46
4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า VFA และ OLR เมื่อมีความถี่ในการเติมของเหลว 1 วัน/ครั้ง.....	47
4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า VFA และ OLR เมื่อมีความถี่ในการเติมของเหลว 3 วัน/ครั้ง.....	47
4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างการผลิตก๊าซชีวภาพและการผลิตก๊าซมีเทน กับ HRT เมื่อมีความถี่ในการเติมของเหลว 1 วัน/ครั้ง.....	51
4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างการผลิตก๊าซชีวภาพและการผลิตก๊าซมีเทน กับ HRT เมื่อมีความถี่ในการเติมของเหลว 3 วัน/ครั้ง.....	51
4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างการผลิตก๊าซชีวภาพและการผลิตก๊าซมีเทน กับ OLR เมื่อมีความถี่ในการเติมของเหลว 1 วัน/ครั้ง.....	52
4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างการผลิตก๊าซชีวภาพและการผลิตก๊าซมีเทน กับ OLR เมื่อมีความถี่ในการเติมของเหลว 3 วัน/ครั้ง.....	52
4.22 ความสัมพันธ์ระหว่าง HRT กับปริมาณก๊าซทั้งหมดที่เกิดขึ้น และประสิทธิภาพการกำจัด COD ของระบบ เมื่อมีความถี่ในการเติมของเหลว 1 วัน/ครั้ง.....	60
4.23 ความสัมพันธ์ระหว่าง HRT กับปริมาณก๊าซทั้งหมดที่เกิดขึ้น และประสิทธิภาพการกำจัด COD ของระบบ เมื่อมีความถี่ในการเติมของเหลว 3 วัน/ครั้ง.....	60
4.24 ความสัมพันธ์ระหว่าง OLR กับปริมาณก๊าซทั้งหมดที่เกิดขึ้น และประสิทธิภาพการกำจัด COD ของระบบ เมื่อมีความถี่ในการเติมของเหลว 1 วัน/ครั้ง.....	61
4.25 ความสัมพันธ์ระหว่าง OLR กับปริมาณก๊าซทั้งหมดที่เกิดขึ้น และประสิทธิภาพการกำจัด COD ของระบบ เมื่อมีความถี่ในการเติมของเหลว 3 วัน/ครั้ง.....	61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา. IX อังอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการคำย่อ

HRT = hydraulic retention time

OLR = organic loading rate

BOD = biochemical oxygen demand

COD = chemical oxygen demand

TS = total solids

TVS = total volatile solids

VFA = volatile fatty acid

TA = total alkalinity



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของวิทยานิพนธ์

นับตั้งแต่ พ.ศ. 2513 เป็นต้นมา โลกเริ่มประสบกับวิกฤตการณ์พลังงาน อันเนื่องมาจากราคาน้ำมันดิบที่เพิ่มสูงขึ้นอยู่ตลอดเวลาและปริมาณการผลิตที่ลดลง ทำให้นานาประเทศต้องเร่งพัฒนาแหล่งพลังงานอื่น ๆ เพื่อใช้แทนน้ำมัน แหล่งพลังงานที่ได้รับความสนใจมากที่สุดได้แก่พลังงานทดแทน (renewable energy) ซึ่งมีอยู่หลายรูปแบบ เช่น ก๊าซชีวภาพ (biogas) แสงอาทิตย์ ลม คลื่น เป็นต้น ก๊าซชีวภาพเป็นพลังงานทดแทนอย่างหนึ่งที่ได้รับความสนใจในปัจจุบัน (สุเมธ. 2522) การผลิตก๊าซชีวภาพนอกจากจะได้ก๊าซชีวภาพซึ่งใช้เป็นพลังงานเชื้อเพลิงได้แล้ว ยังสามารถแก้ปัญหามลพิษ โดยลดปริมาณของเสียที่เป็นสารอินทรีย์ที่ปล่อยออกไปสู่สิ่งแวดล้อมได้อีกด้วย

มีการนำก๊าซชีวภาพมาใช้อย่างกว้างขวางในชนบทของหลายประเทศ เช่น จีน อินเดีย และเกาหลี (Hohlfeld and Sasse. 1985) ซึ่งการผลิตก๊าซชีวภาพสามารถนำของเสียชนิดต่าง ๆ มาใช้ได้ เช่น ขยะ(สมชาย. 2530) กากมะเขือเทศ (สุพรรณิ. 2536) มูลสุกร (บุญบา. 2537) ฟางข้าว (Somayaji and Khanna. 1994) น้ำกากสำ (Goyal et. al. 1996) เปลือกกล้วยและเปลือกสับปะรด (Bardiya et. al. 1996) เป็นต้น

ในประเทศเกาหลีนั้นมีปริมาณเศษอาหารเหลือทิ้งอยู่ 30 % ของปริมาณขยะเทศบาลทั้งหมด ได้มีการนำเศษอาหารมาผลิตก๊าซชีวภาพขึ้น (Cho and Park. 1995) ส่วนในประเทศไทยพบว่าปริมาณเศษอาหารอยู่ 39.25 % ของปริมาณขยะเทศบาลทั้งหมด (กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน. 2542) โดยเฉพาะอย่างยิ่งตามร้านอาหารต่าง ๆ มีเศษอาหารเหลือทิ้งอยู่เป็นจำนวนมาก ส่วนมากจะนำไปใช้เป็นอาหารสำหรับเลี้ยงสุกร จึงมีความน่าสนใจที่จะนำเศษอาหารมาผลิตก๊าซชีวภาพถือว่าเป็นแนวทางการจัดการของเสียที่ดีอีกแนวทางหนึ่ง ซึ่งการนำเศษอาหารจากร้านอาหารมาย่อยสลายในสภาวะไร้อากาศ จะทำให้ได้ก๊าซมีเทนเป็นผลผลิตจากกระบวนการนี้

การเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการอาจทำได้ 2 แนวทางคือ ทางด้านจุลชีววิทยา และทางด้านวิศวกรรมศาสตร์ การเพิ่มประสิทธิภาพด้านจุลชีววิทยาอาจทำได้หลายวิธี เช่น การคัดเลือกกลุ่มแบคทีเรียที่มีประสิทธิภาพในการสร้างก๊าซมีเทนได้สูง และการหมักที่อุณหภูมิสูง ส่วนในทางด้านวิศวกรรมอาจทำได้โดยการออกแบบระบบถังหมักและควบคุมกระบวนการหมักให้อยู่ในสภาวะที่เป็นไปตามความต้องการของจุลินทรีย์ให้มากที่สุด

การศึกษาดังนี้เป็นการศึกษาถึงระยะเวลาเก็บกักและอัตราการป้อนอินทรีย์สารที่เหมาะสมต่อการผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหารในระดับห้องปฏิบัติการ เพื่อเป็นแนวทางในการนำ

เทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพมาประยุกต์ใช้ในระดับภาคสนามได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งจำเป็นต้องศึกษาเพื่อให้เข้าใจถึงพื้นฐานทางวิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับการผลิตก๊าซชีวภาพ และศึกษาเพื่อให้ได้ระบบที่มีประสิทธิภาพสูงสุดโดยจำเป็นต้องศึกษาถึงปัจจัยต่าง ๆ ในระดับห้องปฏิบัติการให้เหมาะสมก่อนที่จะนำมาปรับใช้ในระดับภาคสนามต่อไป

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

- 1) เพื่อศึกษาระยะเวลาเก็บกัก อัตราการป้อนอินทรีย์สาร และความถี่ในการเติมของเหลวที่เหมาะสมต่อการผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหาร
- 2) เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหารภายในระบบถังหมัก

1.3 ขอบเขตการวิจัย

- 1) ศึกษาผลของระยะเวลาการเก็บกัก อัตราการป้อนอินทรีย์สารและความถี่ในการเติมของเหลวต่อปริมาณและคุณภาพของก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น
- 2) ศึกษาประสิทธิภาพของการย่อยสลายเศษอาหารในส่วนของปริมาณออกซิเจนที่ต้องการใช้ออกซิไดซ์สารอินทรีย์ (chemical oxygen demand, COD) ปริมาณของแข็งทั้งหมด (total solids, TS) ปริมาณของแข็งระเหยได้ (total volatile solids, TVS) และรวมถึงในส่วนของปริมาณและองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) ทราบถึงระยะเวลาเก็บกัก อัตราการป้อนอินทรีย์สารและความถี่ในการเติมของเหลวที่เหมาะสมต่อการผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหาร
- 2) ทราบถึงสถานะที่มีผลต่อการเกิดก๊าซชีวภาพจากเศษอาหาร และสามารถนำข้อมูลที่ได้มาใช้ในการควบคุมการทำงานของระบบถังหมักเพื่อการศึกษาในรายละเอียดต่อไป
- 3) เป็นแนวทางในการนำเทคโนโลยีชีวภาพมาใช้ เพื่อกำจัดเศษอาหารเหลือทิ้งในระดับภาคสนาม เป็นการลดปัญหาสิ่งแวดล้อมได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ก๊าซชีวภาพ หมายถึง ก๊าซที่ได้จากการย่อยสลายสารอินทรีย์ต่าง ๆ ในสภาวะไร้อากาศ โดยมีจุลินทรีย์หลายชนิดเป็นตัวย่อยสลาย ก๊าซชีวภาพเป็นก๊าซผสมระหว่างก๊าซมีเทน (CH_4) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เป็นส่วนใหญ่ นอกจากนี้อาจจะมีก๊าซไนโตรเจน ก๊าซออกซิเจน ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ปนอยู่บ้างเล็กน้อย แต่ก๊าซที่เกิดจากกระบวนการหมักจะมีปริมาณที่แตกต่างกัน ขึ้นกับวัตถุดิบที่ใช้ และสภาวะของกระบวนการหมัก แต่โดยทั่วไปองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพมีดังต่อไปนี้

ก๊าซมีเทน	55-65 %
ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	35-45 %
ก๊าซไนโตรเจน	0-8 %
ก๊าซออกซิเจน	0-1 %
ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์	0-1 %

ก๊าซชีวภาพที่สามารถใช้เป็นพลังงานเชื้อเพลิงได้ จะต้องมีส่วนประกอบไม่น้อยกว่า 50 % (Economic and Social Commission for Asia and the Pacific, 1984)

2.1 กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้อากาศ

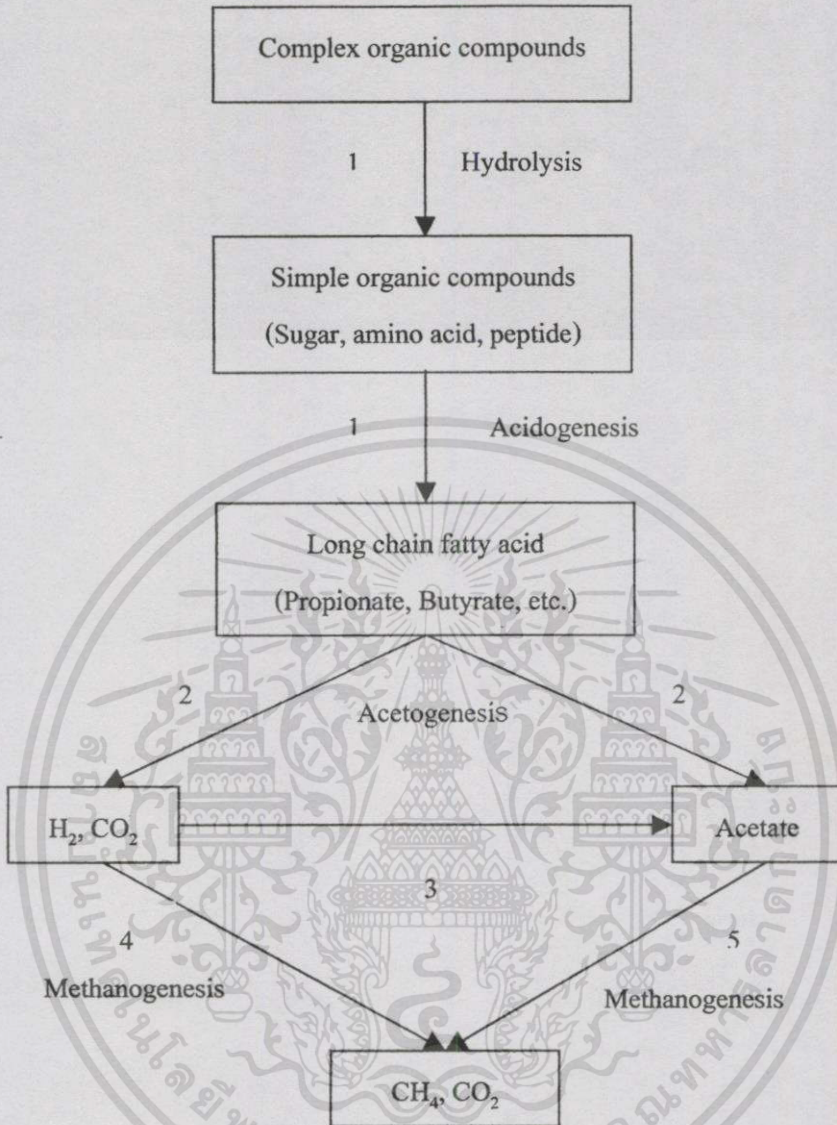
ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้อากาศ ใช้จุลินทรีย์หลายจำพวกในการย่อยสลาย ซึ่งสามารถแบ่งขั้นตอนได้เป็น 3 ขั้นตอน (ภาพที่ 2.1) (Price and Cheremisinoff, 1981)

2.1.1 Hydrolysis

สารอินทรีย์ในสภาวะที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่ จำพวกคาร์โบไฮเดรต ไขมัน และโปรตีนถูกแบคทีเรียจำพวก hydrolytic bacteria ปล่อยเอนไซม์ออกมาภายนอกเซลล์ (extracellular enzyme) เพื่อย่อยสลายกลายเป็น โมเลกุลเล็ก เช่น น้ำตาล โมเลกุลเดี่ยว กรดอะมิโน เพปไทด์

2.1.2 Acidogenesis และ Acetogenesis

สารอินทรีย์จากขั้นตอนแรกจะถูกดูดซึมเข้าสู่เซลล์และย่อยสลายภายในเซลล์ ทำให้ได้กรดอินทรีย์ โดยแบคทีเรียสร้างกรด (acidogenic bacteria) ซึ่งกรดอินทรีย์ที่ได้มีหลายชนิด เช่น กรดแอสติก (acetic acid) กรดโพรพิโอนิก (propionic acid) กรดบิวทิริก (butyric acid) และกรดฟอร์มิก (formic acid) ซึ่งกรดอินทรีย์ที่ไม่ใช่กรดแอสติกเหล่านี้ จะถูกเปลี่ยนให้เป็นกรดแอสติก โดย acetogenic bacteria นอกจากนี้ยังได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไฮโดรเจนด้วย



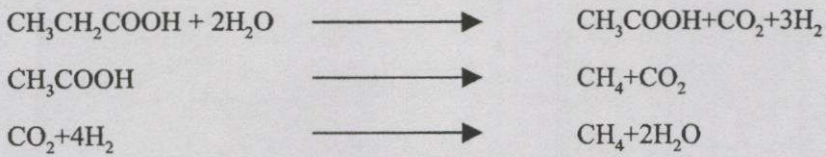
1. Fermentative bacteria
2. H₂-producing acetogenic bacteria
3. H₂-consuming acetogenic (homoacetogenic bacteria)
4. CO₂-reducing methanogenic bacteria
5. Acetoclastic methanogenic bacteria

ภาพที่ 2.1 ขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้อากาศ และจุลินทรีย์ที่ทำหน้าที่ในแต่ละ
ไม่ว่ากรณีใดๆที่ขั้นตอนหนึ่งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

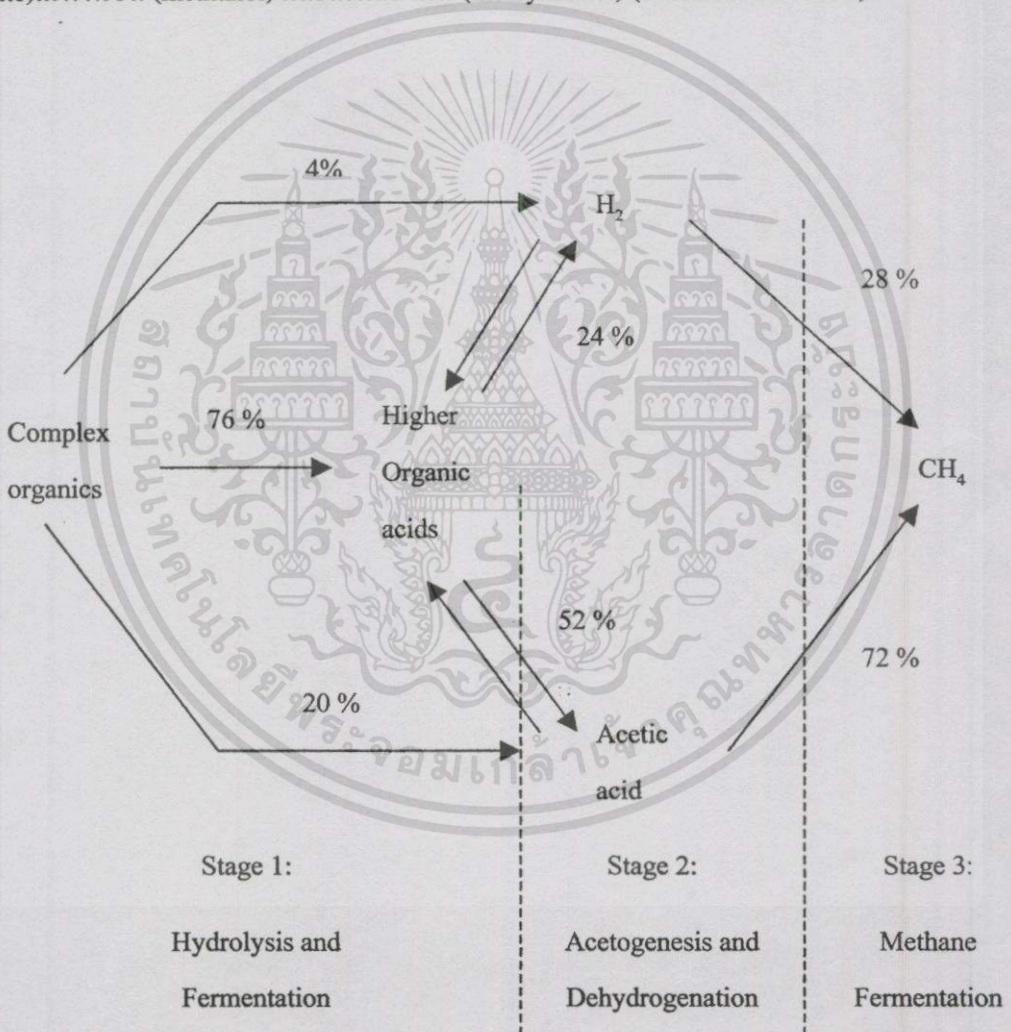
ที่มา : Price and Cheremisinoff (1981)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Barker (1985) ได้เสนอขั้นตอนของปฏิกิริยาทางชีวเคมีของการเกิดก๊าซมีเทนไว้ดังนี้



ก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นพบว่ามีสองในสามมาจากการใช้แอซีเตต ดังแสดงในภาพที่ 2.2 นอกจากนี้จะเกิดจากปฏิกิริยารีดักชันของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และบางส่วนอาจเกิดจากฟอร์มेट (formate) เมทานอล (methanol) และเมทิลลามีน (methylamine) (Balch et. al. 1979)



ภาพที่ 2.2 การย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้อากาศและสัดส่วนของก๊าซมีเทนจากการหมัก

ที่มา : Speece (1983)

2.1.3 Methanogenesis

ในขั้นตอนนี้แบคทีเรียจำพวก methanogen เช่น CO_2 - reducing methanogenic bacteria, acetoclastic methanogenic bacteria ทำการย่อยสลายกรดอินทรีย์อื่นได้แก่ กรดแอสिटิก ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซไฮโดรเจน โดยนำสารเหล่านี้ไปใช้เป็นสารอาหารและแหล่งพลังงาน การย่อยสลายในขั้นตอนนี้จะได้ผลิตภัณฑ์ที่สำคัญคือ ก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

2.2 จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องในกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ

จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องในกระบวนการย่อยสลายอินทรีย์สารต่าง ๆ ในการผลิตก๊าซชีวภาพนี้ อาศัยการทำงานของจุลินทรีย์หลายชนิด ซึ่งจุลินทรีย์เหล่านี้สามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ ๆ (Economic and Social Commission for Asia and the Pacific, 1984) คือ

2.2.1 Non Methanogenic Bacteria

เป็นจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับขั้นตอน hydrolysis และขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์ จุลินทรีย์พวกนี้เจริญเติบโตได้ดีในช่วงพีเอช 4.0-6.5 และส่วนใหญ่เป็นแบคทีเรียที่ดำรงชีวิตอยู่ได้ทั้งในสภาวะที่มีอากาศและไร้อากาศ (facultative anaerobic bacteria) ทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงที่สภาวะแวดล้อมต่าง ๆ ได้ดี มีอัตราการเจริญเติบโตสูง แบคทีเรียในกลุ่มนี้ได้แก่ fermentative bacteria, hydrogen producing acetogenic bacteria และ homoacetogenic bacteria (Novaes, 1986) ตัวอย่างของจุลินทรีย์ในกลุ่มนี้แสดงไว้ในตารางที่ 2.1

2.2.2 Methanogenic Bacteria

จุลินทรีย์ในกลุ่มนี้จะเกี่ยวข้องกับขั้นตอนการผลิตก๊าซมีเทน ซึ่งส่วนใหญ่เป็นพวกที่สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ในสภาวะไร้อากาศเท่านั้น (obligate anaerobic bacteria) จุลินทรีย์เหล่านี้เจริญเติบโตได้ดีในช่วงพีเอช 6.5 - 7.5 ถ้าพีเอชสูงกว่า 8 จุลินทรีย์จะหยุดทำงาน (Sprott *et. al.* 1985) และการผลิตก๊าซมีเทนจะลดลงเมื่อพีเอชต่ำลงด้วย มีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงสภาวะแวดล้อมได้น้อยกว่าพวกแรก และมีอัตราการเจริญเติบโตช้ากว่า ระยะเวลาในการแบ่งตัว (doubling time) อยู่ระหว่าง 4-6 วัน ตัวอย่างของจุลินทรีย์ในกลุ่มนี้ แสดงไว้ในตารางที่ 2.2

จุลินทรีย์ทั้งสองกลุ่มนี้ สามารถจำแนกเป็น 4 กลุ่มย่อย คือ

- 1) Fermentative bacteria ทำหน้าที่ในขั้นตอน hydrolysis และขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์ จุลินทรีย์กลุ่มนี้จะผลิตเอนไซม์ออกมานอกเซลล์เพื่อย่อยสลายสารที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ เช่น เซลลูโลส แป้ง โปรตีน และสารโมเลกุลใหญ่อื่น ๆ ให้เป็นสารที่มีขนาดโมเลกุลเล็กลง เช่น น้ำตาล กรดอะมิโน กรดไขมัน สารต่าง ๆ เหล่านี้จะผ่านเข้าไปในเซลล์ และถูกเปลี่ยนไปเป็นสารต่าง ๆ เช่น แอซิเตต (acetate) โพรพิโอเนต (propionate) แล็กเตต (lactate) บิวทิเรต (butyrate) และเอทานอล (ethanol) เป็นต้น ผลผลิตที่ได้ในขั้นตอนนี้ขึ้นอยู่กับสารตั้งต้น และสภาวะที่จุลินทรีย์

ตารางที่ 2.1 จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้อากาศ

	Species	Substrate degraded	Fermentation products
1. Hydrolysis and acidogenesis			
Aerobes	<i>Pseudomonas</i>	nutritionally highly	
	<i>Micrococcus</i>	verlatiles	lactate
Facultative	<i>Bacillus</i>		
Anaerobes	<i>Streptococcus</i>	starch maltose	lactate
	<i>Lactobacillus</i>	numerous sugars	acetate
	<i>Escherichia</i>	numerous sugars	
	<i>Clostridia</i>		succinate, acetate
	<i>Ruminococcus</i>	cellulose, cellobiose	ethanol, hydrogen
Anaerobes	<i>Bacteroides</i>	hemicellulose, pectin	formate
	<i>Butyrivibrio</i>	starch	butyrate, lactate
	<i>Megasphaera</i>	lactate, glucose	branched VFA hydrogen
	<i>Selenomonas</i>	other sugars	acetate, propionate, lactate, hydrogen
	<i>Desulfovibrio</i>	lactate, malate	acetate
	<i>Bifidobacteria</i>	proteins	VFA
	<i>Propionibacterium</i>	amino-acids	propionate
	<i>Peptostreptococcus</i>		
	<i>Anaerovibrio</i>		
2. Acetogenesis			
2.1 Hydrogen producing acetogenic			
Bacteria	<i>Desulfovibrio</i>		acetate
	<i>Selenomonas</i>		(when associated with methanogens)
	<i>Ruminococcus</i>	see above	
	<i>Clostridium</i>		
		fatty acids	
	neutral end products		
"S"microorganism			
	<i>Syntrophobacter wolinii</i>	monocarboxylic	acetate
	<i>Syntrophomonas wolfei</i>	C ₄ -C ₈ fatty acids	
2.2 Homoacetogenic bacteria			
	<i>Clostridium aceticum</i>		
	<i>Clostridium formicoaceticum</i>		
	<i>Clostridium thermoautotrophicum</i>	CO ₂ +H ₂	acetate
	<i>Acetobacterium woodii</i>		
	<i>Acetogenium kivui</i>		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ที่มา : Marty (1984)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 จุลินทรีย์ที่สร้างก๊าซมีเทน

Species	Morphology	Substrates
<i>Methanobacterium formicum</i>	long rods	H ₂ , formate
<i>bryantii</i>	to filaments	H ₂
<i>thermoautotrophicum</i>		
<i>Methanobrevibacter ruminantium</i>	lancet-shaped cocci	H ₂ , formate
<i>smithii</i>	short rods	H ₂
<i>arboriphilus</i>		
<i>Methanococcus vannielii</i>	motile irregular small cocci	H ₂ , formate
<i>voltae</i>		H ₂ , formate
<i>thermolithotrophicus mazei</i>	Pseudosarcina	H ₂ , methanol methylamines, acetate
<i>Methanomicrobium mobile</i>	motile short rods	H ₂ , formate
<i>Methanobacterium cariaci</i>	motile irregular small cocci	H ₂ , formate
<i>marisnigri</i>		
<i>Methanospirillum hungatei</i>	motile regular curved rods	H ₂ , formate
<i>Methanosarcina barkeri</i>	irregular cocci as single cells	H ₂ , acetate methanol
	packets, pseudoparenchyma	methylamines
<i>Methanothrix soehngenii</i>	rods to long filaments	acetate
<i>Methanogehermus fervidus</i>	non-motile rods	H ₂

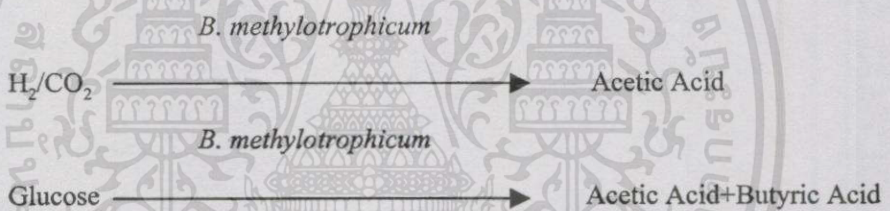
ที่มา : Taylor (1982)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เจริญเติบโต ในสภาวะที่มีก๊าซไฮโดรเจนต่ำ จุลินทรีย์จะผลิตสารอินทรีย์พวกแอสีเตต ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจน แต่ในสภาวะแวดล้อมที่มีก๊าซไฮโดรเจนสูง จุลินทรีย์จะผลิตโพรพิโอเนต แลคเตต และเอทานอล เป็นต้น จุลินทรีย์ในกลุ่มนี้ ได้แก่ แบคทีเรียที่อยู่ใน Family Streptococcaceae, Enterobacteriaceae Bacillaceae และ Lactobacillaceae (Holland *et. al.* 1987) แบคทีเรียเหล่านี้ พบว่ามีอยู่ประมาณ 10^8 - 10^9 เซลล์ต่อมิลลิลิตร (Toerien *et. al.* 1967)

2) Hydrogen – producing acetogenic bacteria จุลินทรีย์ในกลุ่มนี้จะทำหน้าที่ย่อยสลายโพรพิโอเนต เอทานอล และกรดอินทรีย์อื่น ๆ ที่มีโมเลกุลใหญ่กว่าแอสีเตตให้ได้เป็นแอสีเตต ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไฮโดรเจน ตัวอย่างของแบคทีเรียในกลุ่มนี้ ได้แก่ *Syntrophomonas wolfei* และ *Syntrophus buswellii*

3) Homoacetogenic acteria จุลินทรีย์ในกลุ่มนี้เป็นพวกที่ใช้ก๊าซไฮโดรเจน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในการเจริญเติบโต และผลิตแอสีเตตออกมาเพียงอย่างเดียว และถ้าใช้สารประกอบที่มีคาร์บอนหลายอะตอม เช่น กรดแลคติก ไพรูเวต เฮกโซส จะผลิตทั้งบิวทาเรตและแอสีเตตผสมกัน จุลินทรีย์ที่พบมากในกลุ่มนี้ คือ *Acetobacterium woodii*, *Butyribacterium methylotrophicum* และ *Clostridium thermoaceticum* (Novaes. 1986)



4) Methanogenic bacteria เป็นจุลินทรีย์ที่สร้างก๊าซมีเทน จุลินทรีย์กลุ่มนี้เป็นพวก obligate anaerobe คือสามารถเจริญเติบโตได้ในสภาวะไร้อากาศเท่านั้น จุลินทรีย์เหล่านี้จะสลายแอสีเตต ก๊าซไฮโดรเจน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จนได้ผลผลิตสุดท้ายอยู่ในสถานะก๊าซ จุลินทรีย์ที่สร้างก๊าซมีเทนจะใช้สารอินทรีย์ง่าย ๆ และสารประกอบอนินทรีย์เป็นสับสเตรท จุลินทรีย์กลุ่มนี้สามารถเจริญเติบโตได้ทั้งในช่วงอุณหภูมิปานกลาง (15-40 องศาเซลเซียส) และช่วงอุณหภูมิสูง (55-65 องศาเซลเซียส) พิเศษที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตและการผลิตก๊าซมีเทนอยู่ในช่วง 6.8-7.2

methanogenic bacteria สามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ CO_2 -reducing methanogen (methanogen ที่สร้างก๊าซมีเทนจากการรีดิวซ์ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์โดยไฮโดรเจน) และ acetogenic methanogen (methanogen ที่สร้างก๊าซมีเทนจากหมู่เมทิลในโมเลกุลของแอสีเตต) ตัวอย่างของจุลินทรีย์ในกลุ่มนี้ได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.2 เฉพาะแบคทีเรียสกุล *Methanothrix* และ *Methanosarcina* สามารถใช้ เมทานอล เมทิลลามีน และแอสีเตต แต่ไม่ใช่ฟอร์มเมต นอกจากนี้ยังสามารถใช้คาร์บอนไดออกไซด์ได้เล็กน้อย (Holland *et. al.* 1987)

2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศ

เนื่องจากในระบบการย่อยสลายแบบไร้อากาศ ประกอบด้วยแบคทีเรีย 2 ชนิดคือ พวกที่ทำหน้าที่ในการสร้างกรด และพวกที่ทำหน้าที่ในการสร้างก๊าซมีเทน ดังนั้นเพื่อควบคุมระบบให้ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพจึงจำเป็นต้องทำให้แบคทีเรียต่าง ๆ เหล่านี้ อยู่ในสภาวะสมดุลกัน ซึ่งขึ้นกับปัจจัย 2 ประการคือ ปัจจัยทางสิ่งแวดล้อม (environmental factor) และปัจจัยทางด้านการทำงาน (operational factor) (Lawrence. 1971)

2.3.1 ปัจจัยทางสิ่งแวดล้อม

2.3.1.1 พีเอช

พีเอชเป็นสิ่งที่ใช้บ่งชี้สภาวะภายในถังหมักไร้อากาศได้ แต่ปัญหาถือเป็นค่าที่เปลี่ยนแปลงช้า ในขณะที่กรดไขมันระเหยง่ายเพิ่มมากขึ้น แต่ค่าพีเอชกลับเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย อันเนื่องมาจากผลของการบัฟเฟอร์ของความเป็นด่างภายในถังหมัก ดังนั้นการใช้ค่าพีเอชสำหรับการแก้ไขสภาวะภายในถังหมักอาจจะไม่ทันการ เมื่อเปรียบเทียบกับความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยง่ายที่เกิดขึ้น แต่อย่างไรก็ดีค่าพีเอชก็ยังเป็นสิ่งสำคัญในการควบคุมระบบการหมักแบบไร้อากาศ ดังรายงานของ Barker (1941) และ McCarty (1964) ที่กล่าวว่าระบบจะทำงานได้ดีในช่วงพีเอชระหว่าง 6.6-7.6 หรือต่ำกว่านี้คือ พีเอชเท่ากับ 6.4 (Barker. 1956) แต่ค่าที่เหมาะสมจะอยู่ประมาณ 7.0-7.2 ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Heukelekian and Heinemann (1939) ; Andrews (1969) นอกเหนือจากช่วงพีเอชดังกล่าวแล้วการหมักแบบไร้อากาศจะมีประสิทธิภาพลดลง และที่พีเอช 6.2 และต่ำกว่านี้การทำงานของระบบจะล้มเหลวเพราะไฮโดรเจนไอออน (H^+) จะกลายเป็นพิษต่อแบคทีเรียที่ผลิตก๊าซมีเทน ซึ่ง McCarty and McKinney (1961a) ได้จัด H^+ ไว้อยู่ในพวกแคตไอออนที่เป็นพิษ

2.3.1.2 ความเป็นด่าง

เป็นเครื่องบ่งชี้ถึงปริมาณ buffering capacity ของระบบ ซึ่งมีความสามารถในการต้านทานการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอช (สุรพล. 2530) สำหรับค่าความเป็นด่างไบคาร์บอเนตที่เหมาะสม เพื่อที่จะให้มีความสามารถในการบัฟเฟอร์อย่างเพียงพอ อยู่ในช่วงระหว่าง 2,500-5,000 mg/l (Graef and Andrews. 1974)

2.3.1.3 ความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยง่าย

ปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายมีความสำคัญในการตรวจสอบสถานะสมดุลของระบบ กรดไขมันระเหยง่ายเกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ของแบคทีเรียจำพวกสร้างกรด ซึ่งจะถูกแบคทีเรียอีกกลุ่มหนึ่งคือพวกที่สร้างก๊าซมีเทนนำไปใช้เป็นการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นานถัดไปก็ใช้ประโยชน์ด้านการศึกษาอีกกลุ่มสร้างก๊าซมีเทนนำไปใช้เป็นสารอาหารแหล่งพลังงาน ปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายจะมีส่วนสำคัญต่อค่าพีเอชของระบบ คือเมื่อมีปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายสูงขึ้นพีเอชจะต่ำลง สำหรับระบบที่มีความเสถียรของกรดไขมันระเหยง่ายไม่ควรเกิน 4,000 mg/l (สุรพล. 2530)

Buswell and Mueller (1952) กล่าวว่ากรดไขมันระเหยง่ายภายในถังหมักจะต้องไม่เกิน 2,000 mg/l ถ้ามีค่าเกินนี้จะมีผลทำให้ปริมาตรก๊าซลดลง และอาจจะยับยั้งขั้นตอนการเกิดมีเทน โดยไม่คำนึงถึงที่เอชเลยและการเติมค่าเข้าไปก็ไม่ช่วยให้ดีขึ้น

2.3.1.4 อุณหภูมิ

อุณหภูมิเป็นสิ่งสำคัญในระบบการหมักไร้อากาศ เนื่องจากในขณะที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้น อัตราการทำปฏิกิริยาก็จะเร็วขึ้นด้วย (Pfeffer. 1974 ; Cooney and Wise. 1975 ; Therkelson and Carlson. 1979) ทำให้ระยะเวลาในการหมักลดลง

อุณหภูมิที่ใช้ในการหมักแบบไร้อากาศ แบ่งได้เป็น 2 ช่วงคือ

1) Mesophilic temperature อุณหภูมิจะอยู่ระหว่าง 21 องศาเซลเซียส- 40 องศาเซลเซียส ส่วนอุณหภูมิที่เหมาะสมในช่วงนี้คือ 35 องศาเซลเซียส- 40 องศาเซลเซียส

2) Thermophilic temperature อุณหภูมิจะอยู่ระหว่าง 40 องศาเซลเซียส- 60 องศาเซลเซียส ส่วนอุณหภูมิที่เหมาะสมในช่วงนี้คือ 53 องศาเซลเซียส- 60 องศาเซลเซียส

มีรายงานว่า การย่อยสลายสารอินทรีย์เป็นก๊าซมีเทนในสภาวะไร้อากาศ สามารถเกิดขึ้นตั้งแต่ช่วงอุณหภูมิ 0-55 องศาเซลเซียส แต่เพื่อความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์ถึงหมักจึงควรทำงานในช่วง mesophilic และ thermophilic เท่านั้น (สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. 2524) การหมักในช่วงอุณหภูมิสูงจะดีกว่าการหมักในช่วงอุณหภูมิต่ำ เช่น การย่อยสลายสารอินทรีย์ที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส จะสูงกว่าการย่อยสลายในช่วง 35 องศาเซลเซียส อยู่ 1.9 เท่า (Bryant. 1979) แต่ระบบหมักที่อุณหภูมิสูงมีข้อเสียคือ thermophilic bacteria ทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิได้ไม่ดีเท่า mesophilic bacteria การควบคุมระบบจึงมีความเสี่ยงสูงต่อการล้มเหลวของระบบ และยังสิ้นเปลืองพลังงานในการควบคุมอุณหภูมิของถังหมักให้ได้ 55 องศาเซลเซียส

2.3.1.5 สารอาหาร

แบคทีเรียที่ย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้อากาศ ต้องการสารอาหารหลายชนิด ซึ่งแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ สารอาหารหลัก (macronutrient) และสารอาหารรอง (micronutrient หรือ trace element) โดยสารอาหารหลักได้แก่ คาร์บอน (C) ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) และกำมะถัน (S) โดยแบคทีเรียต้องการคาร์บอนในส่วนของสารสังเคราะห์พลังงาน ส่วนไนโตรเจนจะเป็นสารอาหารในการสังเคราะห์โปรตีน และฟอสฟอรัสเป็นสารอาหารที่สำคัญในการสังเคราะห์กรดนิวคลีอิก (McCarty and McKinney. 1961b ; Gosh *et. al.* (1978) พบว่าแบคทีเรียต้องการสารอินทรีย์ในอัตราส่วน C:N ประมาณ 20-30:1 ส่วนสารอาหารรองได้แก่ แคลเซียม (Ca) แมกนีเซียม (Mg) สังกะสี (Zn) แมงกานีส (Mn) ทองแดง (Cu) โคบอลต์ (Co) เหล็ก (Fe) และนิกเกิล (Ni) หน้าที่ของสารอาหารรองได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ปริมาณสารอาหารรองที่จำเป็น

สารอาหาร	ความเข้มข้น (g/l)	ผล
Fe ²⁺	0.2	ต่อโครงสร้างฟิล์มชีว (biofilm) การตกตะกอนของซัลไฟด์
Ni ²⁺	0.01	สร้าง F ₄₂₀ Co factor ในพวก methanogen
	0.006	เพิ่มกิจกรรมของจุลินทรีย์
SO ₄ ²⁻	0.02	เพิ่มกิจกรรมของจุลินทรีย์
CO ²⁺	0.03	เพิ่มกิจกรรมของจุลินทรีย์

ที่มา : สุรพล (2530)

2.3.1.6 สารพิษ

สารบางอย่างถ้ามีในถังหมักมากเกินไป จะเป็นพิษต่อแบคทีเรีย ซึ่งระดับความเป็นพิษจะขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของสารพิษ ตัวอย่างของสารพิษต่าง ๆ มีดังนี้

1) กรดไขมันระเหยง่าย

กรดไขมันระเหยง่ายมีผลต่อจุลินทรีย์ในถังหมักแบบไร้อากาศ เพราะกรดไขมันระเหยง่ายมีผลต่อค่าพีเอชภายในถังหมัก แต่เดิมพบว่าถ้ากรดไขมันระเหยง่ายมีความเข้มข้นมากกว่า 2,000 mg/l จะเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ผลิตก๊าซมีเทน ทำให้อัตราการผลิตก๊าซมีเทนน้อยลง McCarty and McKinney(1961b) ได้ทำการทดลอง พบว่าแม้มีกรดไขมันระเหยง่ายสูงถึง 10,000 mg/l ในรูปกรดแอซิดิก จะไม่เป็นพิษโดยตรงต่อแบคทีเรีย ถ้ามีปริมาณของสารที่จะปรับสภาพ (buffering capacity) เพียงพอ ถ้ามีไม่เพียงพอจะมีผลทำให้พีเอชลดต่ำลง จนแบคทีเรียไม่สามารถทนอยู่ได้

2) แคลไออนของโลหะเบา

กรดไขมันระเหยง่ายที่ผลิตขึ้นจะมีผลทำให้พีเอชลดลง การควบคุมจึงเกี่ยวข้องกับการเติมเบสเพื่อรักษาพีเอชให้เป็นกลาง ในการทำเช่นนี้ต้องระวัง เพราะแคลไออนของโลหะเบาที่เกี่ยวข้องกับเบสเกือบทั้งหมดสามารถมีผลเป็นพิษต่อแบคทีเรีย ความเป็นพิษของมันมีปฏิกิริยาที่ซับซ้อน แคลไออนเหล่านี้ได้แก่ โซเดียม โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีสิส โดยขึ้นอยู่กับปริมาณของแคลไออนด้วยว่ามีปริมาณมากน้อยเพียงใด ดังแสดงในตารางที่ 2.4

ความเป็นพิษของแคลไออนแต่ละชนิดจะรุนแรงไม่เท่ากัน แคลไออนที่มีวาเลนซ์เท่ากับ 1 จะมีพิษต่อแบคทีเรียน้อยกว่าแคลไออนที่มีวาเลนซ์เท่ากับ 2 ซึ่งพิษของ Ca⁺⁺ และ Mg⁺⁺ จะมากกว่าพิษของ Na⁺ และ K⁺ ถึง 10 เท่า ดังนั้นพิษของแคลไออนจะเพิ่มขึ้น เมื่อมีวาเลนซ์สูงขึ้น ไม่ว่าจะผลิตความเป็นพิษของแคลไออนนั้นสามารถลดลงได้ กล่าวคือเมื่อมีแคลไออนซึ่งเป็นพิษต่อแบคทีเรียชนิด 1 ใช้อากาศอยู่นิดหนึ่ง ถ้ามีแคลไออนอีกชนิดหนึ่งอยู่ด้วยจะทำให้ความเป็นพิษ

ของแคตไอออนชนิดแรกลดลงได้ ปรากฏการณ์เช่นนี้เรียกว่า antagonism แต่ในทางตรงกันข้าม แคตไอออนบางชนิดจะไปเพิ่มพิษของอีกชนิดหนึ่งเมื่ออยู่ร่วมกัน ปรากฏการณ์เช่นนี้เรียกว่า synergism ดังแสดงในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.4 ความเข้มข้นที่กระตุ้นและยับยั้งของแคตไอออนโลหะเบา

แคตไอออน	ความเข้มข้น (mg/l)		
	กระตุ้น	เริ่มยับยั้ง	ยับยั้งอย่างรุนแรง
Na ⁺	100-200	3,500-5,500	8,000
K ⁺	200-400	2,500-4,500	12,000
Ca ²⁺	100-200	1,500-4,500	8,000
Mg ²⁺	75-150	1,000-1,500	3,000

ที่มา : McCarty (1964)

ตารางที่ 2.5 แคตไอออนเพิ่มความเข้มข้นพิษ(synergism)และแคตไอออนลดความเป็นพิษ(antagonism)

แคตไอออน	เพิ่มความเข้มข้นพิษ (synergism)	ลดความเป็นพิษ (antagonism)
แอมโมเนียม (N)	Ca Mg K	Na
Ca	แอมโมเนียม (N) Mg	K Na
Mg	แอมโมเนียม (N) Mg	K Na
K	-	K Na
Na	แอมโมเนียม (N) Ca Mg	K

ที่มา : EPA (1979)

3) โลหะหนัก

โลหะหนักเป็นพิษต่อแบคทีเรียที่ความเข้มข้นต่ำมาก ๆ ตามที่แสดงไว้ในตารางที่ 2.6 ความเป็นพิษอย่างรุนแรงนี้ไม่จำเป็นว่าจะทำให้เกิดปัญหาในถังหมักแบบไร้อากาศ เพราะว่าส่วนที่ละลายเท่านั้นที่เป็นพิษ และความเข้มข้นละลายของโลหะหนักสามารถลดลงจนไม่เป็นพิษ โดยการแยกสารที่เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า ตกผลึกด้วยซัลไฟด์ (Lawrence *et. al.* 1964) ถ้าซัลไฟด์ที่เกิดขึ้นเองไม่เพียงพอควรเติมเฟอร์รัสซัลเฟตไปกำจัดได่างสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ (Lawrence and McCarty, 1965) โดยวิธีนี้ซัลไฟด์ส่วนเกินที่เกิดขึ้นจะถูกดึงออกจากสารละลายโดยเหล็ก ถ้ามีโลหะหนักเพิ่มขึ้นในถังหมักจะเกิดการดึงซัลไฟด์จากเหล็ก เนื่องจากเหล็กซัลไฟด์ละลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้มากที่สุดในกลุ่มโลหะหนักซัลไฟด์ ทรายเท่าที่พีเอชมากกว่า 6.4 เหล็กที่ถูกปล่อยออกมาจะตกผลึกในรูปเหล็กคาร์บอเนต ดังนั้นจึงกันความเป็นพิษจากเหล็กละลาย

ตารางที่ 2.6 ความเข้มข้นของโลหะหนักที่เป็นพิษต่อการย่อยสลายแบบไร้อากาศ

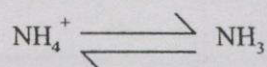
โลหะหนัก	ความเข้มข้น (mg/l)		
	ขั้วยังการทำงาน	เป็นพิษ	หยุดการทำงาน
Cr ³⁺	130	260	<200
Cr ⁶⁺	110	420	<180
Cu	40	70	<50
Ni	10	30	>30
Cd	-	>20	>10
Pb	340	>340	>250
Zn	400	600	<1,700

ที่มา :Hayes and Theis (1978)

4) ก๊าซบางชนิด เช่น

ก. ซัลไฟด์ ซึ่งซัลไฟด์ที่มีอยู่ในระบบกำจัดแบบไร้อากาศเกิดจากซัลไฟด์ที่มีอยู่ในน้ำทิ้งที่เข้าสู่ระบบกำจัด หรือเกิดจากการย่อยสลายของจุลชีพ ซึ่งการย่อยสลายซัลเฟตหรือการย่อยสลายโปรตีน ซัลไฟด์ละลายเท่านั้นที่เป็นพิษเพราะเข้าถึงเซลล์ โลหะหนักทำปฏิกิริยากับซัลไฟด์สร้างผลิตภัณฑ์ที่ไม่ละลายขึ้น ดังนั้นการเติมโลหะ เช่น เหล็กสามารถลดความเป็นพิษของซัลไฟด์ละลายซัลไฟด์สามารถแยกออกในรูปก๊าซ H₂S ดังนั้นความเข้มข้นของซัลไฟด์ละลายขึ้นอยู่กับทั้งพีเอชของของเหลวและส่วนประกอบของก๊าซ สำหรับการตรวจสอบผลความเป็นพิษที่เป็นไปได้ต้องพิจารณาปัจจัยเหล่านี้ทั้งหมด (Lawrence *et. al.* 1964) และ McCarty (1964) พบว่าแบคทีเรียซึ่งไม่ใช้อากาศสามารถทนต่อปริมาณของซัลไฟด์ที่ละลายน้ำ ที่ความเข้มข้น 50-100 mg/l ได้และที่ความเข้มข้น 200 mg/l ถ้าได้มีการทำให้คุ้นเคย (acclimation) ก่อน แบคทีเรียจะสามารถทนได้ แต่ถ้าความเข้มข้นมากกว่า 200 mg/l จะเป็นพิษต่อแบคทีเรีย

ข. แอมโมเนีย ซึ่งแอมโมเนียเป็นอีกสารหนึ่งที่เกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไร้อากาศ ซึ่งสามารถเป็นพิษต่อแบคทีเรีย แอมโมเนียมาจากการย่อยสลายโปรตีน ซึ่งในโตรเจนอาจจะอยู่ในรูปของ แอมโมเนียมไอออน(NH₄⁺) หรือก๊าซแอมโมเนีย(NH₃) โดยทั้งสองนี้จะมีผลเสียต่อกัน ดังนั้นการเติมของแอมโมเนียจะต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ ตัวนี้จะเปลี่ยนไปเปลี่ยนมาได้ ขึ้นอยู่กับพีเอชด้วย ดังสมการ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งถ้าพีเอชต่ำกว่า 7.2 จะมี NH_4^+ มากกว่า ถ้าพีเอชสูงกว่า 7.2 จะมี NH_3 มากกว่า ซึ่งจะยับยั้งการทำงาน และเป็นพิษต่อแบคทีเรียชนิดที่ไม่ใช้อากาศมากกว่า NH_4^+ แอมโมเนีย เมื่ออยู่ในรูปของ NH_3 จะยับยั้งเมื่อมีความเข้มข้นสูงเพียงพอซึ่งอยู่ระหว่าง 1,500-3,000 mg/l ที่พีเอชสูงกว่า 7.2 แต่ที่ความเข้มข้นสูงกว่า 3,000 mg/l แล้ว NH_3 เพียงอย่างเดียวจะเป็นพิษรุนแรงไม่ว่าพีเอชจะเท่าใดก็ตาม (McCarty, 1964)

2.3.2 ปัจจัยทางด้านการทำงาน

2.3.2.1 ระยะเวลาเก็บกัก

เป็นปัจจัยที่สำคัญอย่างหนึ่งในการควบคุมประสิทธิภาพของกระบวนการหมักก๊าซชีวภาพ อัตราการย่อยสลายในกระบวนการหมักแบบไร้อากาศจะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาเก็บกักอินทรีย์สาร จนถึงค่าสูงสุดค่าหนึ่ง ต่อจากนั้นก็ลดลง แต่ถ้าระยะเวลาเก็บกักน้อยเกินไปจะมีผลทำให้ตะกอนแบคทีเรียหลุดออกจากระบบได้มาก จนกระทั่งถึงขั้นหนึ่งที่แบคทีเรียถูกล้างออกจากระบบในอัตราที่เร็วกว่าแบคทีเรียจะเพิ่มจำนวนขึ้น ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้ระบบล้มเหลว นอกจากนี้ระยะเวลาเก็บกักจะเป็นปัจจัยหลักในการออกแบบระบบการหมัก กล่าวคือระยะเวลาเก็บกักเป็นระยะเวลาที่ของเสียอยู่ในถังหมัก สามารถหาได้โดยการหารปริมาณถังหมักด้วยปริมาณของของเสียที่เติมลงในถังหมักต่อหน่วยเวลา (สุพรรณิ, 2536)

2.3.2.2 อัตราการป้อนอินทรีย์สาร

เป็นปัจจัยที่มีความสำคัญที่สุด ที่กำหนดความสามารถในการบำบัดน้ำเสีย การปรับอัตราการป้อนอินทรีย์สารให้มีค่าแตกต่างกันทำได้โดยการเปลี่ยนอัตราการไหลของเสียที่ไหลผ่านถังหมักหรือเปลี่ยนค่าความเข้มข้นของของแข็งหรือความเข้มข้นของสารอินทรีย์ที่ใส่เข้าไป ซึ่งการเปลี่ยนอัตราการป้อนอินทรีย์สารจะมีผลต่อระยะเวลาเก็บกัก (สุพรรณิ, 2536)

2.3.2.3 การกวน

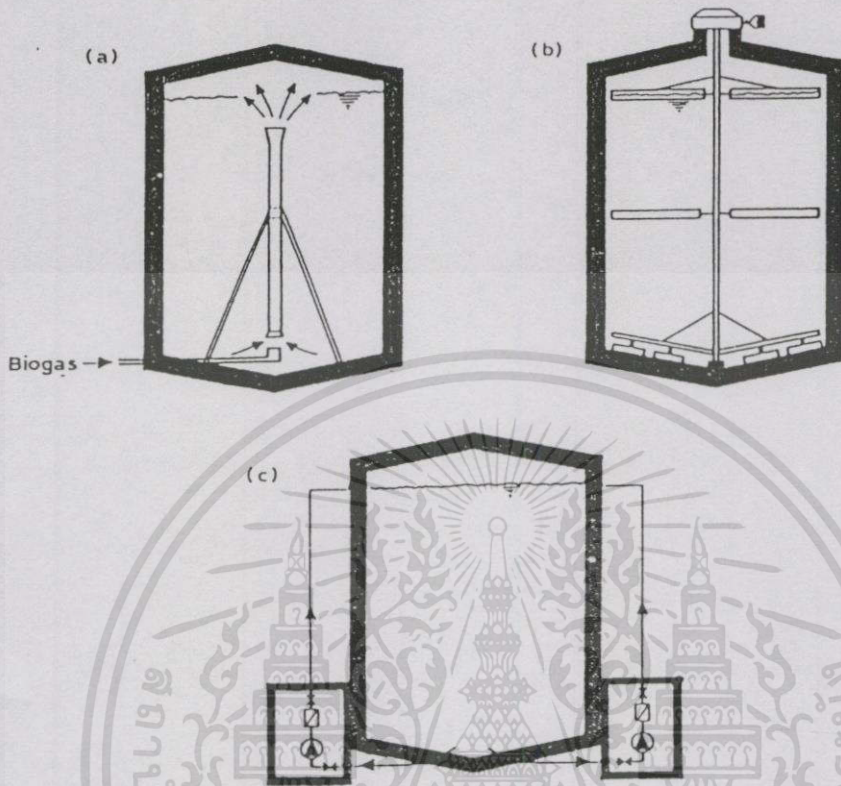
การกวนเป็นปัจจัยสำคัญในระบบการย่อยสลายแบบไร้อากาศ เนื่องจากทำให้เกิดการสัมผัสระหว่างสารอาหารกับจุลินทรีย์ เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบด้วย และป้องกันการเกิดการสะสมของอินทรีย์สารตามจุดต่าง ๆ ของถังหมัก และทำให้ของเหลวภายในถังหมักมีสภาพเป็นเนื้อเดียวกัน

กรรมวิธีในการกวนของเหลวในถังหมักมีหลายวิธีดังแสดงในภาพที่ 2.3

1) ใช้การสูบผ่านท่อหน้า (pumping draft tube)

2) ใช้เครื่องกวน (mechanical mixing)

3) หมุนเวียนตะกอนด้วยปั๊ม (recycling of sludge by pump)



ภาพที่ 2.3 กรรมวิธีในการกวนของเหลวในถังหมัก

- a) ใช้การสูบผ่านท่อหน้า (pumping draft tube)
- b) ใช้เครื่องกวน (mechanical mixing)
- c) หมุนเวียนตะกอนด้วยปั๊ม (recycling of sludge by pump)

ที่มา : Hobson and Wheatley (1993)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 ระบบถังหมักแบบไร้อากาศ

เพ็ชรพร (2537) ได้แบ่งชนิดและประเภทของถังหมักแบบไร้อากาศดังนี้

2.4.1 ถังหมักไร้อากาศแบบธรรมดา

ระบบถังหมักไร้อากาศระบบที่ใช้กันแพร่หลาย ในการย่อยสลายตะกอนจากระบบตะกอนเร่ง (activated sludge) ระบบกำจัดประกอบด้วย ถังหมักซึ่งส่วนใหญ่เป็นคอนกรีตมีฝาปิดเพื่อเก็บความร้อน กลิ่น และก๊าซเพื่อระบายก๊าซจากระบบ ระบบถังหมักแบบธรรมดามี 2 แบบคือ

2.4.1.1 ถังหมักไร้อากาศชนิดอัตราจำกัดต่ำ

ภายในถังไม่มีเครื่องกวน ทำให้ตะกอนหนักจมลงก้นถัง ตะกอนเบาลอยอยู่ชั้นบน ชั้นตะกอนเบาจะหนาหลายฟุตซึ่งเป็นการลดปริมาตรถัง และทำให้เกิดการลัดวงจร (short circuit) ได้ง่ายอีกด้วย ของเหลวและตะกอนในถังหมักจะแยกออกเป็นส่วน ๆ ได้แก่ (1) scum layer เป็นชั้นของตะกอนที่ลอยตัว เนื่องจากมีรูพรุนหรือมีฟองก๊าซเกาะอยู่ (2) supernatant เป็นชั้นของน้ำที่ตะกอนแยกตัวออก (3) active layer เป็นชั้นที่มีการย่อยสลายตะกอน แบคทีเรียส่วนใหญ่จะเจริญเติบโตในชั้นนี้ และ(4) stabilized solids เป็นตะกอนที่ย่อยสลายแล้ว และตกลงสู่ก้นถัง ส่วนก๊าซที่เกิดขึ้นจากกระบวนการย่อยสลายซึ่งส่วนใหญ่เป็นก๊าซมีเทน และคาร์บอน ไดออกไซด์จะลอยสู่ส่วนบนของถังซึ่งจะช่วยขยาย active layer ทำให้การย่อยสลายตะกอนเป็นไปอย่างรวดเร็ว แสดงดังภาพที่ 2.4

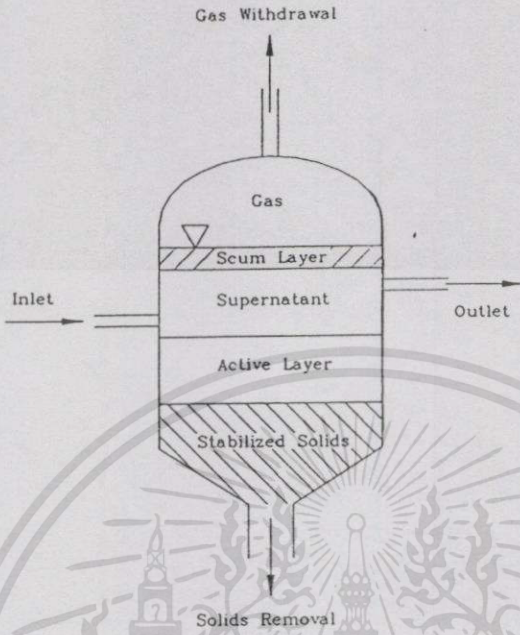
2.4.1.2 ถังหมักไร้อากาศชนิดอัตราจำกัดสูง

ภายในถังมีเครื่องกวนเพื่อให้เกิดการผสมอย่างทั่วถึง (completely mixed) ในถังแบบนี้มีการลัดวงจร (short circuit) น้อยลง ทำให้ระยะเวลาที่น้ำทิ้งที่จำเป็นน้อยลง และประสิทธิภาพดี เนื่องจากจุดชีพสัมผัสกับของเสียได้ทั่วถึงยิ่งขึ้น แต่น้ำเสียที่ออกจากถังหมักชนิดนี้จำเป็นต้องมีการแยกตะกอนจุดชีพออกก่อน สามารถลดปริมาณของแข็งทั้งหมดได้ประมาณ 40 % ซึ่งจะเปลี่ยนไปในรูปก๊าซชีวภาพและตะกอนที่ย่อยแล้ว จะมีความเข้มข้นประมาณครึ่งหนึ่งของตะกอนที่ยังไม่ผ่านการบำบัด เนื่องจากการเจริญเติบโตของจุดชีพชนิดไม่ใช้อากาศนั้นช้ามาก ดังนั้นจึงต้องการระยะเวลาเก็บกักน้ำนานประมาณ 10-30 วัน แสดงดังภาพที่ 2.5 และ 2.6

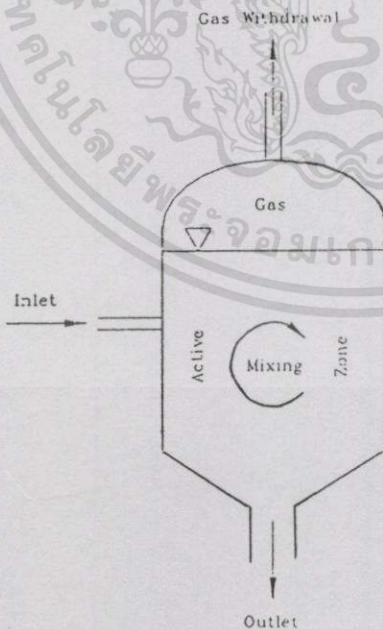
2.4.2 ถังหมักไร้อากาศแบบสัมผัส

เป็นถังหมักที่ดัดแปลงมาจากถังหมักชนิดอัตราจำกัดสูง ใช้ในการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียซึ่งอาจเป็นของแข็งหรือสารละลายก็ได้ ในบางครั้งอาจเป็นถังแบบมีการหมุนเวียนตะกอนหรือไม่มีก็ได้ แต่นิยมใช้แบบมีการหมุนเวียนตะกอน ดังนั้นถังหมักแบบสัมผัสนี้จึงมีส่วนประกอบที่คล้ายคลึงกับระบบตะกอนเร่งแบบไร้อากาศ (anaerobic activated sludge) การที่ถังหมักมีการหมุน

เวียนตะกอนทำให้อาจใช้ได้กับน้ำเสียที่มีความเข้มข้นไม่สูงมาก ในทางปฏิบัติระดับของค่า COD ที่เหมาะสม คือ 4,000-50,000 mg/l แสดงดังภาพที่ 2.7

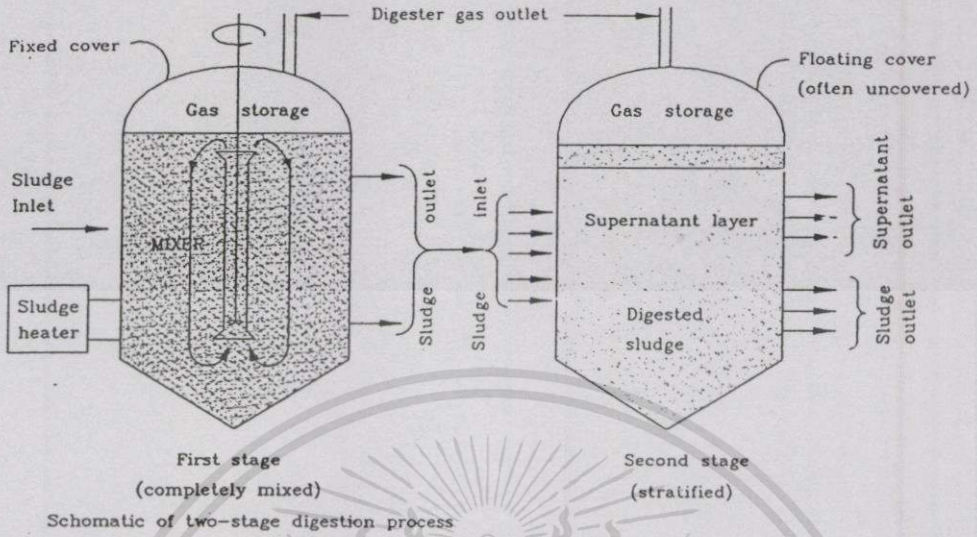


ภาพที่ 2.4 ถังหมักไร้อากาศแบบอัตราการกำจัดต่ำ
ที่มา : เพ็ชรพร (2537)



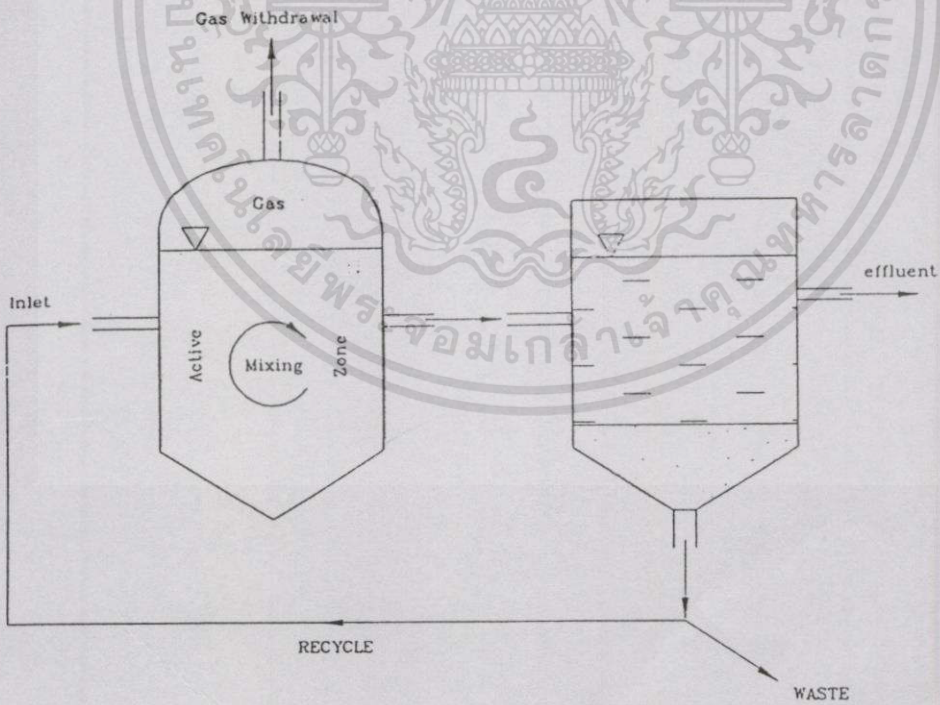
ภาพที่ 2.5 ถังหมักไร้อากาศแบบอัตราการกำจัดสูง
ที่มา : เพ็ชรพร (2537)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.6 ถังหมักไร้อากาศแบบอัตราค่าจัดสูงที่มีการแยกตะกอน

ที่มา : เพ็ชรพร (2537)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ภาพที่ 2.7 ระบบถังหมักไร้อากาศแบบสัมผัสและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

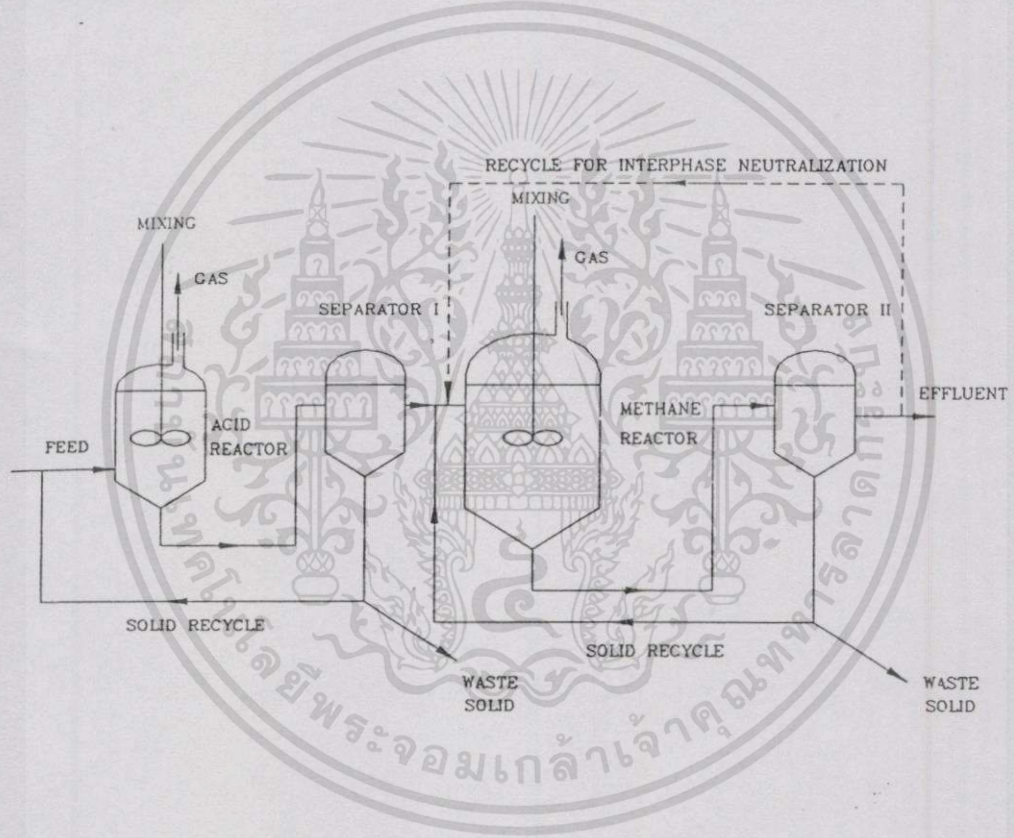
ที่มา : เพ็ชรพร (2537)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3 ถังหมักไร้อากาศแบบสองเฟส

เป็นการแยกถังหมักออกเป็นสองส่วนตามลักษณะการทำงานของจุลชีพแบบไม่ใช้อากาศ เพื่อความสะดวกในการควบคุมสภาวะแวดล้อมให้เหมาะสมกับจุลชีพแต่ละชนิด ซึ่งแสดงให้เห็น ส่วนประกอบของถังหมักแบบสองเฟส ที่ใช้ค่าความเป็นกรดเป็นด่างเป็นตัวกำหนดและควบคุม แบนที่เร็วในถังหมัก ถังใบแรกมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างประมาณ 6 จะมีแต่แบคทีเรียประเภทสร้าง กรด ส่วนถังใบที่สองซึ่งค่าความเป็นกรดเป็นด่างประมาณ 7 จะมีแบคทีเรียสร้างก๊าซมีเทน การ ควบคุมความเป็นกรดเป็นด่างแบบอัตโนมัติเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับถังใบแรกเท่านั้น ก๊าซไฮโดรเจนที่ สร้างขึ้นในถังใบแรกจะถูกปล่อยทิ้งออกไปเพื่อไม่ให้เกิดการสะสมตัวจนเป็นพิษต่อแบคทีเรียสร้าง กรด แสดงดังภาพที่ 2.8



ภาพที่ 2.8 ระบบถังหมักไร้อากาศแบบสองเฟส

ที่มา : เพ็ชรพร (2537)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 คุณสมบัติและลักษณะการนำก๊าซชีวภาพมาใช้งานด้านต่าง ๆ

ตารางที่ 2.7 แสดงถึงคุณสมบัติของก๊าซชีวภาพ ก๊าซชีวภาพสามารถนำมาใช้แทนพลังงานในรูปแบบต่าง ๆ ได้ ซึ่งจากการเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงชนิดอื่น ๆ ได้ดังนี้ (ปรากฏ. 2528)

ก๊าซชีวภาพ	1.0 m. ³
เทียบเท่าถ่านไม้	2.5 kg.
เทียบเท่าก๊าซหุงต้ม (LPG)	0.5 kg.
เทียบเท่าน้ำมันก๊าด	0.75 l.

ก๊าซชีวภาพสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้หลายประการ ดังนี้ (มรกด. 2534 ; อุดม. 2531)

- 1) เป็นก๊าซในการหุงต้มในเตาแก๊สหุงต้ม อัตราการใช้ก๊าซชีวภาพเท่ากับ 1 ft.³/hr.
- 2) นำไปใช้เป็นพลังงานแสงสว่างในตะเกียงแก๊สอัตราการใช้ก๊าซชีวภาพเท่ากับ 2.5 ft.³/hr.
- 3) นำไปใช้ในเครื่องยนต์บางชนิดในรถจักรยานยนต์ อัตราการใช้ก๊าซชีวภาพเท่ากับ 15-20 ft.³/hr.
- 4) ให้ความร้อนในการอบแห้ง หรือความอบอุ่นแก่ลูกสัตว์
- 5) ใช้กับตู้เย็นที่ใช้น้ำแข็ง อัตราการใช้ก๊าซชีวภาพเท่ากับ 2.5-3.5 ft.³/hr.
- 6) หม้อต้มน้ำด้วยแก๊ส (10 แรงม้า) อัตราการใช้ก๊าซชีวภาพเท่ากับ 250 ft.³/hr.

ฉะนั้นก๊าซชีวภาพจึงสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้หลายประการ ดังแสดงในภาพที่ 2.9 นอกจากนี้ยังมีการนำก๊าซชีวภาพมาใช้ร่วมกับ dual fuel engine คือการนำก๊าซชีวภาพมาใช้ร่วมกับน้ำมัน หรืออาจกล่าวได้ว่าใช้ส่วนผสมของก๊าซชีวภาพและอากาศผ่านเข้าไปตามท่อไอดีไปยังกระบอกสูบ เมื่ออัดได้อุณหภูมิและความดันก็ฉีดน้ำมันเข้าไปทำการเผาไหม้กับเครื่องยนต์ดีเซลต่างๆ (ปรากฏ. 2528)

เมื่อก๊าซชีวภาพมีประโยชน์ต่อชีวิตประจำวันอย่างมาก เราจึงควรมีการศึกษาทางด้านนี้อย่างจริงจัง ประกอบกับพยายามนำมาประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวันให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้

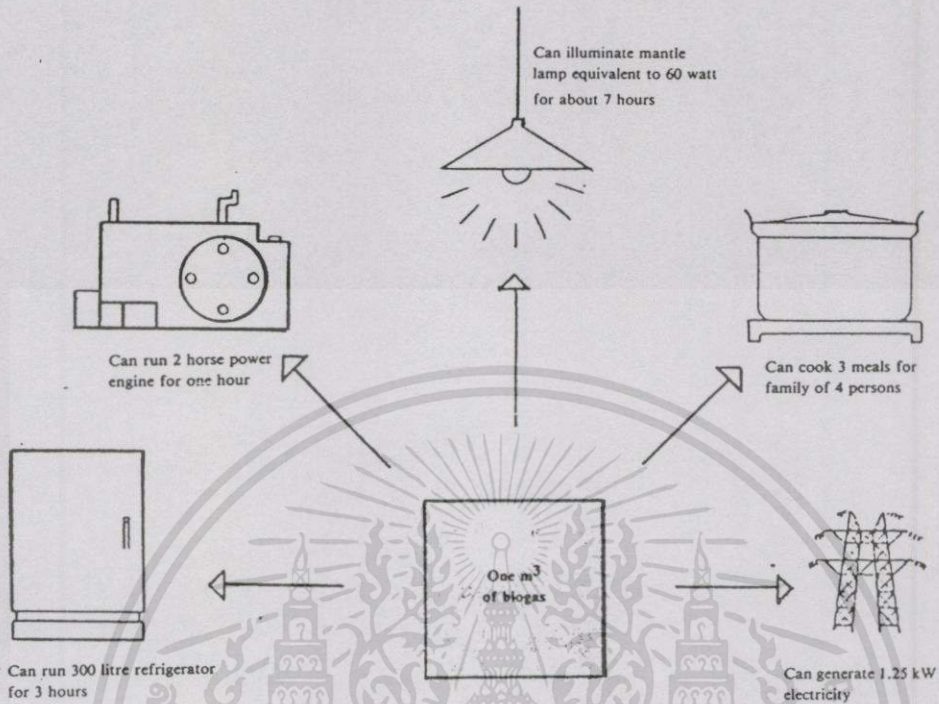
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.7 คุณสมบัติของก๊าซชีวภาพ

ก๊าซ	องค์ประกอบ	%	คุณสมบัติการเผาไหม้			
			ค่าความร้อน kW/m ³	ความหนาแน่น kg/m ³	อัตราการเผาไหม้ cm ³ /s	ความต้องการอากาศ
มีเทน	CH ₄	100	9.94	0.554	43	9.5
โพรเพน	C ₃ H ₈	100	25.96	1.560	57	23.8
บิวเทน	C ₄ H ₁₀	100	34.02	2.077	45	30.9
ก๊าซธรรมชาติ	CH ₄ , H ₂	65:35	7.52	0.384	60	7.0
Town gas	H ₂ , CH ₄ , N ₂	50:26:24	4.07	0.411	82	3.7
ก๊าซชีวภาพ	CH ₄ , CO ₂	60:40	5.96	0.940	40	5.7

ที่มา : Sassoc (1988)



ภาพที่ 2.9 ประโยชน์ที่ได้รับจากการประยุกต์ใช้ก๊าซชีวภาพ (มีเทน)

ที่มา : Economic and Social Commission for Asia and the Pacific (1984)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.1 แหล่งจุลินทรีย์

จุลินทรีย์ที่ใช้ในการทดลองคือ เชื้อจุลินทรีย์ผลิตก๊าซมีเทน ซึ่งมีลักษณะเป็นเชื้อผสม จากห้องปฏิบัติการภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน กรุงเทพฯ ฯ

3.2 เศษอาหาร

ตัวอย่างเศษอาหารได้จากโรงอาหารคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน กรุงเทพฯ ฯ เศษอาหารที่เก็บมาได้นำไปบดละเอียดด้วยเครื่องบด เก็บที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส

3.3 ระบบถังหมัก

ถังหมักในระดับห้องปฏิบัติการที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ เป็นชนิดที่มีการกวนผสมอย่างสมบูรณ์ (continuous stirred tank reactor, CSTR) ดังแสดงในภาพที่ 3.1 ซึ่งประกอบด้วยทั้งหมด 4 ส่วนดังนี้

3.3.1 ถังหมัก

ถังหมักมีลักษณะเป็นท่อพีวีซีเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 เซนติเมตร สูง 47 เซนติเมตร ด้านบนและด้านล่างของท่อปิดสนิทด้วยแผ่นพีวีซี โดยมีปริมาตรความจุ 13.04 ลิตร ปริมาตรการหมัก 9.63 ลิตร จำนวน 4 ถัง เจาะถังด้านข้างเป็นท่อน้ำล้น ส่วนด้านบนของถังเจาะเป็นท่อสำหรับป้อนของเหลวและท่อน้ำก๊าซ ภายในถังหมักจะมีการกวนผสมด้วยใบพัดต่อกับมอเตอร์ที่มีความเร็วในการหมุนประมาณ 70 รอบต่อนาที ซึ่งควบคุมด้วยการใช้เครื่องตั้งเวลา ตั้งไว้ให้ทำงาน 15 นาที หยุด 15 นาที เพื่อป้องกันไม่ให้มอเตอร์ทำงานหนัก ก๊าซชีวภาพที่ได้จะผ่านท่อวางและท่อรูปตัวยู (U) ที่ใช้เป็นจุดในการเก็บตัวอย่างก๊าซไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบ และวัดปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นโดยการแทนที่น้ำ ซึ่งแผนภาพของระบบถังหมักและสัดส่วนขนาดถังหมักแสดงได้ดังภาพที่ 3.2 และ 3.3

3.3.2 มอเตอร์

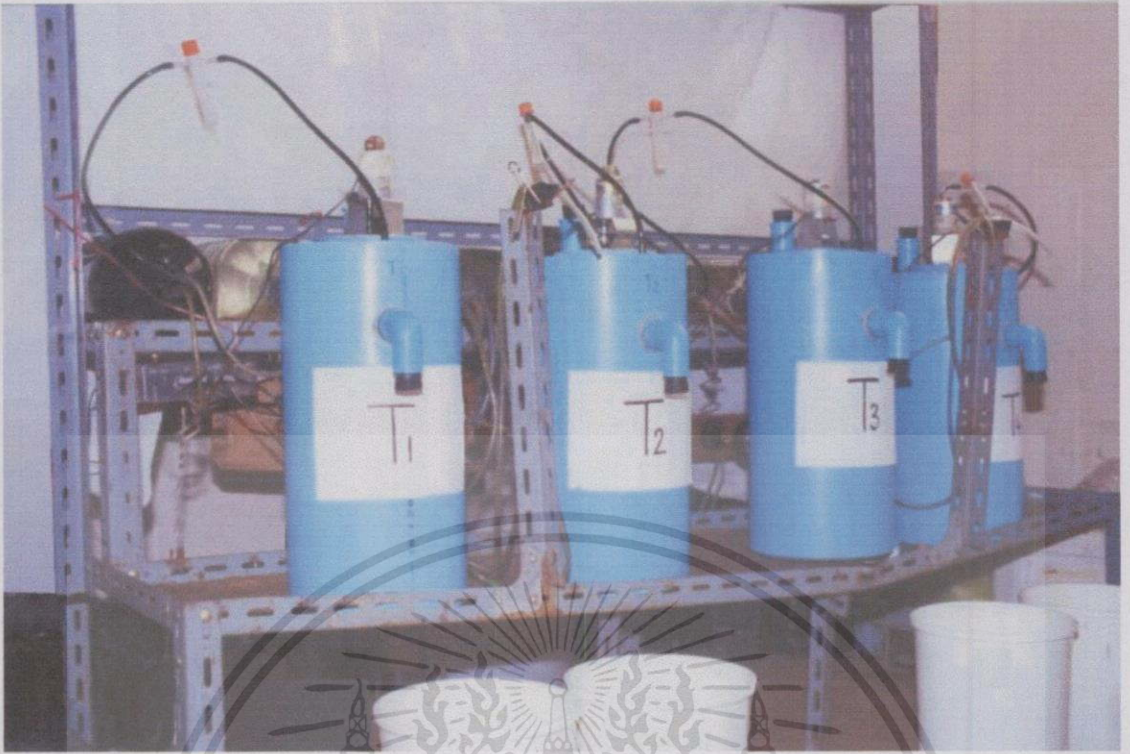
มอเตอร์ที่ใช้กวนเพื่อให้ของเหลวในถังหมักมีการกวนผสมอย่างทั่วถึง มีความเร็วรอบประมาณ 70 รอบต่อนาที และขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้ากระแสตรงขนาดไฟ 12 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะในรูปแบบใดก็ตาม อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

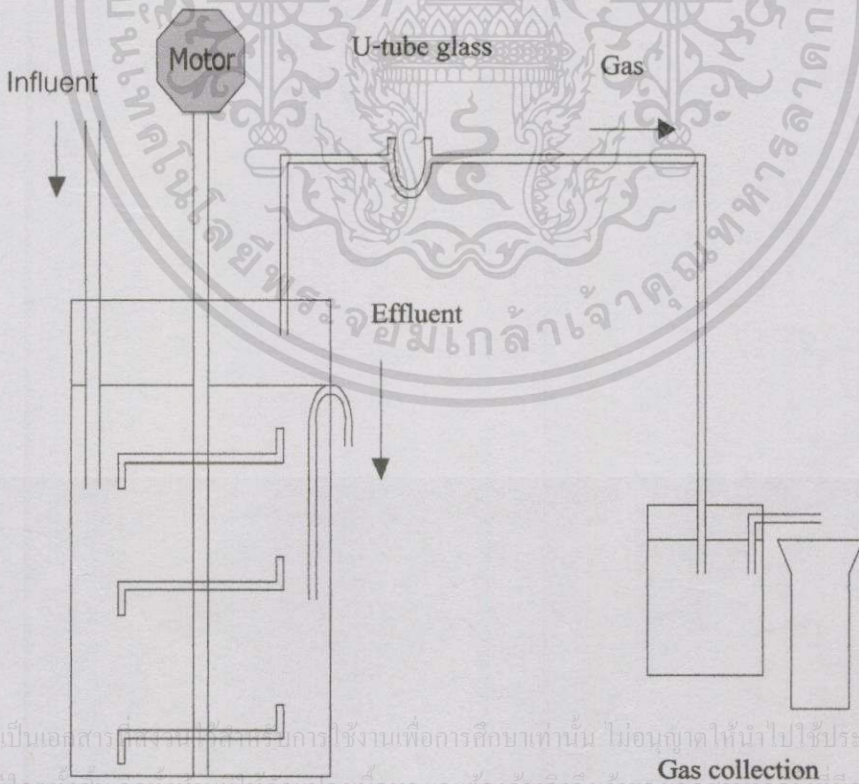
3.3.3 เครื่องตั้งเวลา

เครื่องตั้งเวลาที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของมอเตอร์ มีลักษณะเป็นแผงวงจรไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะในรูปแบบใดก็ตาม อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



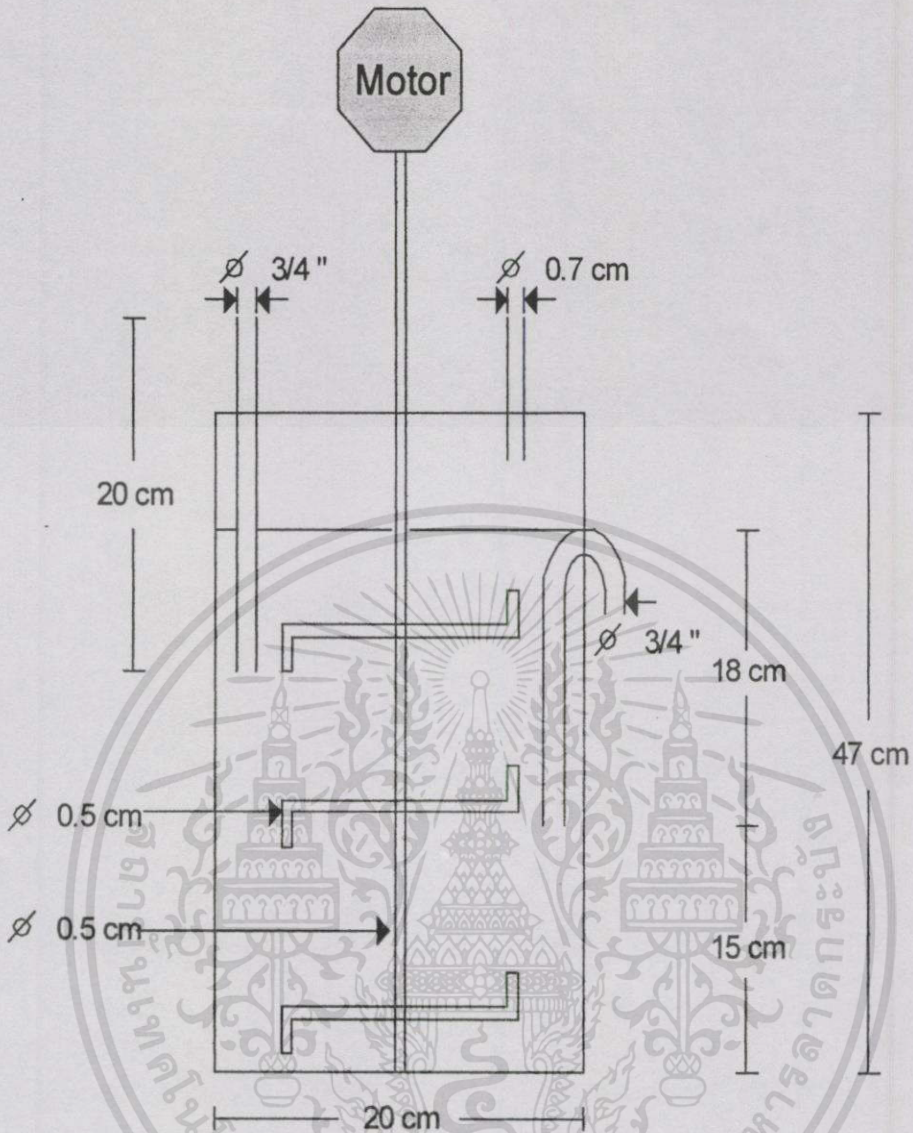
ภาพที่ 3.1 ถังหมักที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 3.2 แผนภาพของระบบถังหมัก

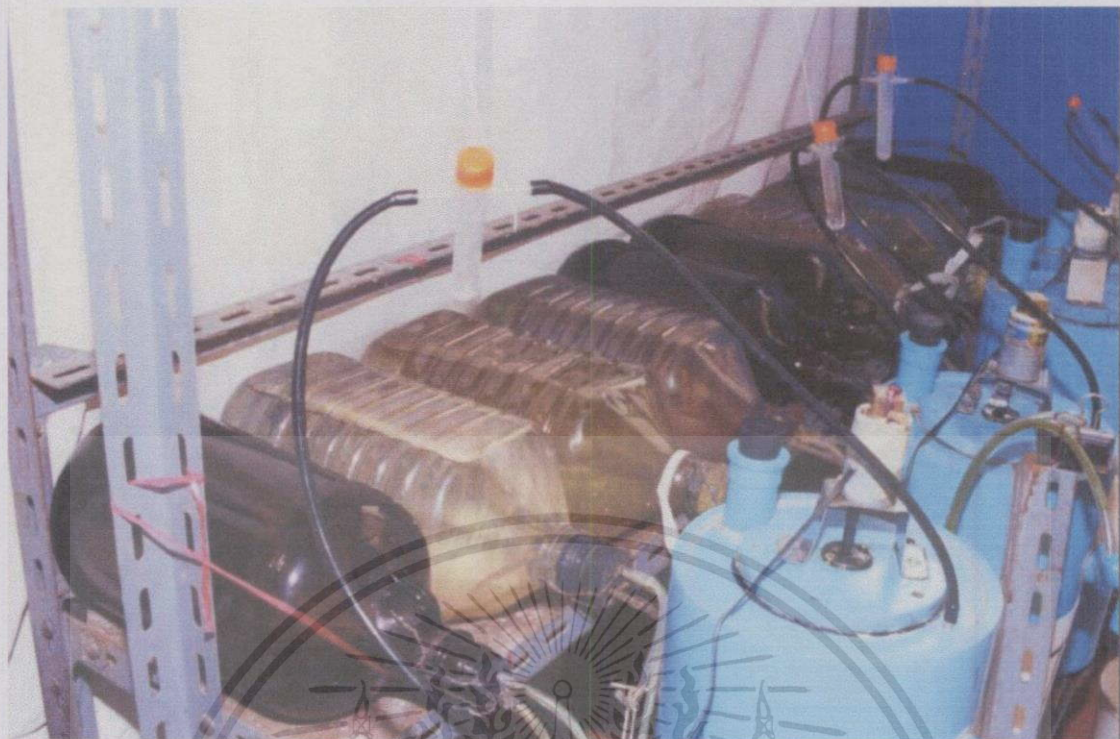
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.3 สัดส่วนขนาดถังหมัก

3.3.4 ถังเก็บก๊าซชีวภาพ

ถังเก็บก๊าซชีวภาพมีลักษณะเป็นขวดพลาสติกขนาดความจุ 5 ลิตร วางในแนวนอนปากขวดปิดด้วยจุกยางเจาะรูและใส่แท่งแก้ว 3 แท่ง ขนาด 0.5 เซนติเมตร แท่งหนึ่งต่อกับสายยางที่นำก๊าซออกมาจากถังหมัก ส่วนอีกแท่งต่อเข้ากับสายยาง งอตรงส่วนกลางของแท่งแก้วให้ปลายของแท่งแก้วแตะส่วนล่างของขวด เพื่อนำน้ำที่ถูกแทนที่ด้วยก๊าซออกจากระบบเก็บก๊าซ วัดปริมาตรก๊าซที่เกิดขึ้นได้โดยการวัดปริมาตรน้ำที่ถูกแทนที่ด้วยก๊าซ และแท่งสุดท้ายสำหรับปล่อยก๊าซออกจากถังเมื่อเติมน้ำเข้าสู่ถัง โดยงอตรงส่วนกลางของแท่งแก้วให้ปลายของแท่งแก้วแตะด้านบนของขวด ซึ่งรูปภาพแสดงระบบถังเก็บก๊าซชีวภาพแสดงได้ดังภาพที่ 3.4



ภาพที่ 3.4 ระบบถังเก็บก๊าซชีวภาพ

3.4 เครื่องมือและอุปกรณ์

- 1) เครื่องวัดค่าพีเอช (Hach รุ่น sension 1)
- 2) เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง (Sartorius รุ่น B-3100S)
- 3) เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง (Sartorius รุ่น 2842)
- 4) เครื่องบดป่น (Microsent รุ่น JP 87)
- 5) เต้าเผา (Carbolite รุ่น CSF 1200)
- 6) ตู้อบ (WTB binder รุ่น FD 53)
- 7) โถดูดความชื้น (Glaswerk Wertheim รุ่น GL 32)
- 8) เต้าไฟฟ้า (Barnstead/Thermolyne รุ่น SP 4692026)
- 9) เครื่องกวน
- 10) เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (Hach รุ่น DR/4000V)
- 11) เครื่องหมุนเหวี่ยง (Jouan รุ่น M 14.11)
- 12) ชุดย่อยไนโตรเจน (Gerhardt รุ่น Vapodest 30)
- 13) เครื่องกลั่นไนโตรเจน (Gerhardt รุ่น TT)
- 14) เครื่องก๊าซโครมาโตกราฟฟี (Varian รุ่น 3600 CX)
- 15) ตู้เย็นอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

16) ตู้แช่แข็งอุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส

3.5 การดำเนินงานวิจัย

3.5.1 การเตรียมวัตถุดิบเพื่อป้อนเข้าสู่ถังหมัก

ซึ่งเศษอาหารจำนวน 157 g ค่อน้ำประปา 843 ml ดังแสดงในภาคผนวก ข และผสมให้เข้ากันโดยใช้เครื่องบดปั่น แล้วปรับให้ได้พีเอชประมาณ 7 ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 20 % ของเหลวที่เตรียมไว้จะมีปริมาณของแข็งทั้งหมดอยู่ประมาณ 4 % ใช้ป้อนเข้าสู่ถังหมัก

3.5.2 การวิเคราะห์คุณสมบัติของสารละลายเศษอาหารที่มีค่า TS ประมาณ 4%

นำตัวอย่างสารละลายเศษอาหารมาวิเคราะห์หาค่าต่าง ๆ ดังนี้

- 1) พีเอช
 - 2) Biochemical oxygen demand (BOD) ปริมาณของแข็งทั้งหมด (total solids, TS) และปริมาณของแข็งระเหยได้ (total volatile solids, TVS)
 - 3) Chemical oxygen demand (COD) โดยวิธี Dichromate reflux method
 - 4) ปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่าย (volatile fatty acid, VFA) และความเป็นด่างทั้งหมด (total alkalinity, TA) โดยวิธีไทเทรต
 - 5) ปริมาณไนโตรเจน (total nitrogens) โดยวิธี Micro-kjeldahl
 - 6) ปริมาณฟอสฟอรัส (total phosphorus) โดยวิธี Colorimetric method
- เทคนิคในการวิเคราะห์ทั้งหมด ทำตามวิธีของธงชัยและวิบูลย์ลักษณ์ (2540) และวิธี Standard method for examination of water and wastewater (Arnold *et. al.* 1992) ดังแสดงในภาคผนวก ก นอกจากนี้ยังได้ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างสารละลายเศษอาหารที่มีค่า TS 4% วิเคราะห์หาค่า BOD และ COD เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่า BOD และ COD ของเศษอาหาร

3.5.3 การทดสอบระบบถังหมัก

การตรวจสอบรอยรั่วเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่ง เพราะระบบนี้จะต้องเป็นระบบปิดอย่างแท้จริง มิฉะนั้นแล้วก๊าซจะออกมาตามรอยรั่วต่าง ๆ เป็นเหตุให้แรงดันมีไม่มากพอที่จะแทนที่น้ำในระบบเก็บก๊าซชีวภาพ การตรวจสอบทำได้โดยการเติมน้ำเข้าไปในถังหมักแล้วสังเกตการรั่วซึมจากทุกด้าน ส่วนการตรวจสอบการรั่วของก๊าซที่อาจเกิดขึ้น โดยใช้น้ำสบู่แล้วเป่าลมเข้าถังหมัก จากนั้นดูดรอยรั่วทุกทางด้วยการใช้กาวซิลิโคนและการเชื่อมด้วยเส้นพิวรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

3.5.4 การทดลอง

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ การทดลองเพื่อศึกษาอิทธิพลของระยะเวลาเก็บกักและอัตราการป้อนอินทรีย์สารต่อการผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหาร โดยมีการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 1) ระยะเวลาเก็บกัก (HRT)
- 2) อัตราการป้อนอินทรีย์สาร (OLR)
- 3) ความถี่ในการเติมของเหลว

3.5.4.1 ระยะเริ่มต้นของถังหมัก

ในการทดลองใช้ถังหมักแบบ CSTR ขนาดความจุ 13.04 ลิตร ปริมาตรการหมัก 9.63 ลิตรจำนวน 4 ถัง แต่ละถังจะเริ่มต้นดำเนินระบบโดยการเติมตะกอนจุลินทรีย์ผลัดมีเทนจำนวน 40 % ของปริมาตรการหมัก และเติมเศษอาหารในลักษณะของเหลวที่เตรียมไว้ลงไปจนเต็มปริมาตรการหมักของถังหมัก

การป้อนของเหลวเข้าสู่ถังหมักเป็นแบบกึ่งต่อเนื่อง (semi-continuous) คือมีการเติมของเหลวใหม่ลงไปเมื่อมีการเก็บของเหลวออกจากถังหมัก โดยปริมาตรการเติมของเหลวใหม่เท่ากับปริมาตรของเหลวที่เก็บจากถังหมัก เป็นการรักษาระดับปริมาตรของเหลวในถังหมักให้คงที่ที่ 9.63 ลิตรตลอดการทดลอง โดยในแต่ละการทดลองจะมีพารามิเตอร์ต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 3.1 และตารางที่ 3.2 โดยมีความถี่ในการเติมของเหลว 1 วัน/ครั้ง และ 3 วัน/ครั้ง

ตารางที่ 3.1 ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในแต่ละการทดลอง เมื่อมีความถี่ในการเติมของเหลว 1 วัน/ครั้ง

Parameter	Treatment 1	Treatment 2	Treatment 3	Treatment 4
HRT (day)	10	15	20	25
Fow rate (l/d)	0.96	0.64	0.48	0.38
OLR (g COD/l.d)	14.10	9.40	7.05	5.58
% TS	4	4	4	4

ตารางที่ 3.2 ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในแต่ละการทดลอง เมื่อมีความถี่ในการเติมของเหลว 3 วัน/ครั้ง

Parameter	Treatment 1	Treatment 2	Treatment 3	Treatment 4
HRT (day)	10	15	20	25
Fow rate (l/3 d)	2.89	1.93	1.44	1.15
OLR (g COD/l.d)	14.95	9.97	7.47	5.92
% TS	4	4	4	4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.4.2 ระยะเก็บข้อมูล

นำตัวอย่างของเหลวที่เข้าและออกจากถังหมักไปวิเคราะห์ค่าพีเอช, COD, TS, TVS, VFA และ TA ทำการวิเคราะห์ทุก 3 วัน จนระบบถังหมักเข้าสู่ภาวะสมดุลพิจารณาจากปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพในแต่ละวันเริ่มมีปริมาณคงที่ นำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์หลังจากระบบถังหมักเข้าสู่ภาวะสมดุลมาคำนวณหาประสิทธิภาพของระบบ รวมถึงความสัมพันธ์ของก๊าซที่เกิดขึ้นต่อน้ำหนักมวลอินทรีย์สาร

บันทึกปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นทุกวันในรูปของปริมาตรก๊าซทั้งหมด (total gas) จากระบบเก็บก๊าซที่อาศัยหลักการแทนที่น้ำมีหน่วยเป็นลิตรต่อวัน ส่วนการเก็บตัวอย่างก๊าซเพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซ จะทำการเก็บตัวอย่างก๊าซสัปดาห์ละครั้ง โดยการดูดเก็บก๊าซด้วยหลอดสูญญากาศ (venoject tube) แล้วนำไปวิเคราะห์หาปริมาณก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพโดยใช้เครื่องก๊าซโครมาโตกราฟฟี เปรียบเทียบกับก๊าซมีเทนมาตรฐาน 99.8 % จะได้ปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นในแต่ละถังหมัก ในการเก็บตัวอย่างก๊าซชีวภาพเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณก๊าซมีเทน จะเก็บก๊าซจากหลอดแก้วรูปตัวยู ซึ่งมีจุกยางที่มีคุณสมบัติปิดตัวเองได้สนิทครอบอยู่ โดยใช้เข็มสองปลายที่ติดกับตัวยึด (holder) ซึ่งมีลักษณะกลวงคล้ายกระบอกสูบ (ภาพที่ 3.5) ส่วนภาพที่ 3.6 แสดงการเก็บตัวอย่างก๊าซ เมื่อจะทำการเก็บตัวอย่างนำหลอดสูญญากาศสอดเข้าไปในส่วนกลางนี้ ปลายเข็มด้านหนึ่งแทงทะลุเข้าไปในจุกยางที่ครอบหลอดแก้วรูปตัวยู ปลายอีกด้านหนึ่งแทงเข้าไปในส่วนบนของหลอดสูญญากาศ ก๊าซในระบบเก็บก๊าซจะเข้ามาในหลอดสูญญากาศโดยอาศัยแรงดูด จากนั้นดึงหลอดสูญญากาศออกจากเข็มสองปลาย นำตัวอย่างก๊าซไปวิเคราะห์หาปริมาณก๊าซมีเทน โดยใช้เครื่องก๊าซโครมาโตกราฟฟีภายใต้สภาวะการทดลองดังแสดงในภาคผนวก ก

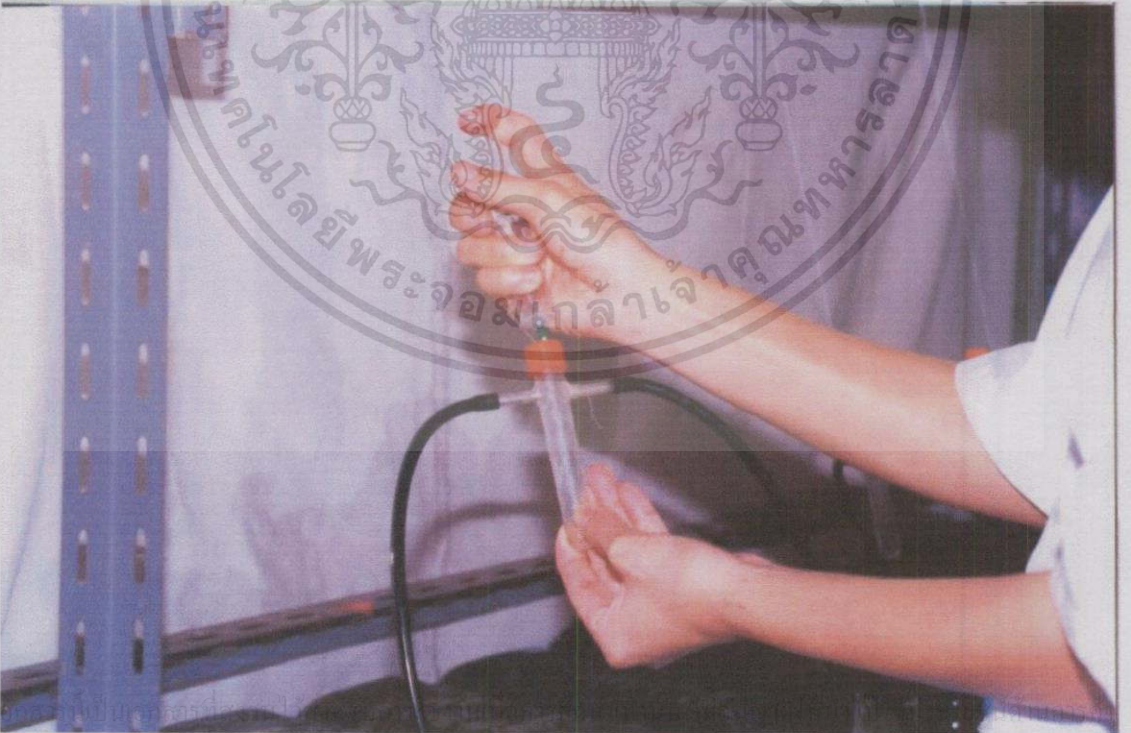
ภาพที่ 3.7 แสดงถึงแผนภูมิสรุปขั้นตอนวิธีการทดลอง โดยนำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์มาคำนวณหาประสิทธิภาพของระบบ รวมถึงความสัมพันธ์ของก๊าซที่เกิดขึ้นต่อน้ำหนักมวลอินทรีย์สาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



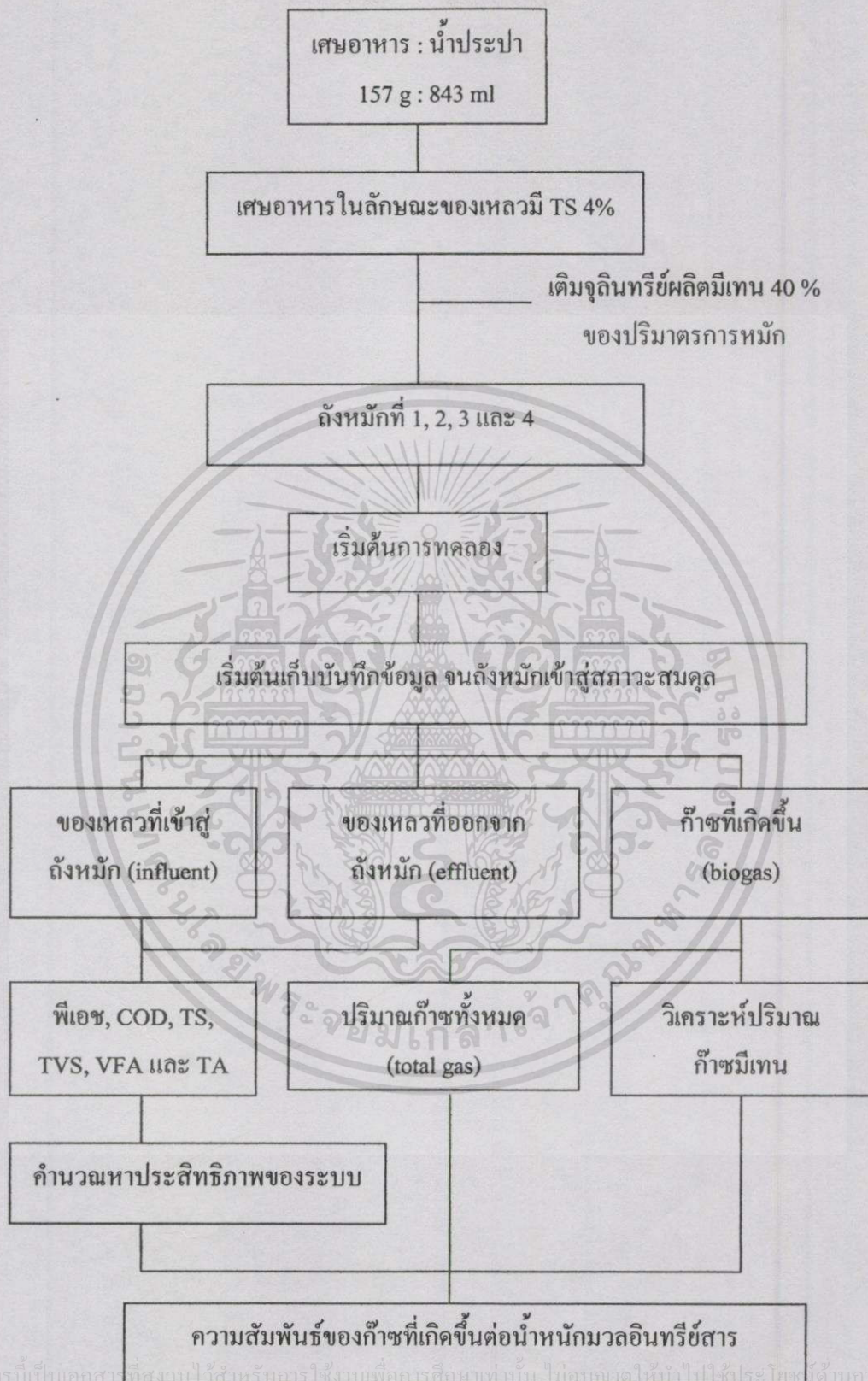
ภาพที่ 3.5 ลักษณะของเข็มเก็บก๊าซและหลอดสุญญากาศ



ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 3.6 การเก็บตัวอย่างก๊าซ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 3.7 แผนภูมิสรุปขั้นตอนวิธีการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 คุณสมบัติของเศษอาหาร

การทดลองนี้เป็นการใช้สารละลายเศษอาหารที่มีค่า TS ประมาณ 4 % เพื่อป้อนเข้าสู่ถังหมัก เมื่อนำของเหลวดังกล่าวไปวิเคราะห์หาค่าต่าง ๆ พบว่ามีค่าพีเอชอยู่ 4-5 ค่า BOD, COD, TS, TVS, VFA และ TA อยู่ 100.63, 145.15, 40.75, 28.68, 1.98 และ 1.33 g/l ตามลำดับ มีปริมาณไนโตรเจน และฟอสฟอรัส อยู่ 2.94 และ 0.22% (ตารางที่ 4.1) และนำมาปรับพีเอชให้เป็น 7.00

ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติของสารละลายเศษอาหารที่มีค่า TS ประมาณ 4 %

Parameter	ความเข้มข้น
พีเอช	4-5
BOD (g/l)	100.63
COD (g/l)	145.15
TS (g/l)	40.75
TVS (g/l)	28.68
VFA (g/l)	1.98
TA (g/l)	1.33
Nitrogen (%)	2.94
Phosphorus (%)	0.22
BOD:COD	0.7
BOD:N:P	100:29.21:2.18

เมื่อนำค่า BOD และ COD ของสารละลายเศษอาหารจำนวน 9 ตัวอย่างมาหาความสัมพันธ์ พบว่าได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.2 และภาพที่ 4.1 ซึ่งสรุปเป็นความสัมพันธ์ที่ได้แสดงดังสมการต่อไปนี้

$$Y = 0.5621 X$$

โดย Y = ความเข้มข้น BOD (g/l)

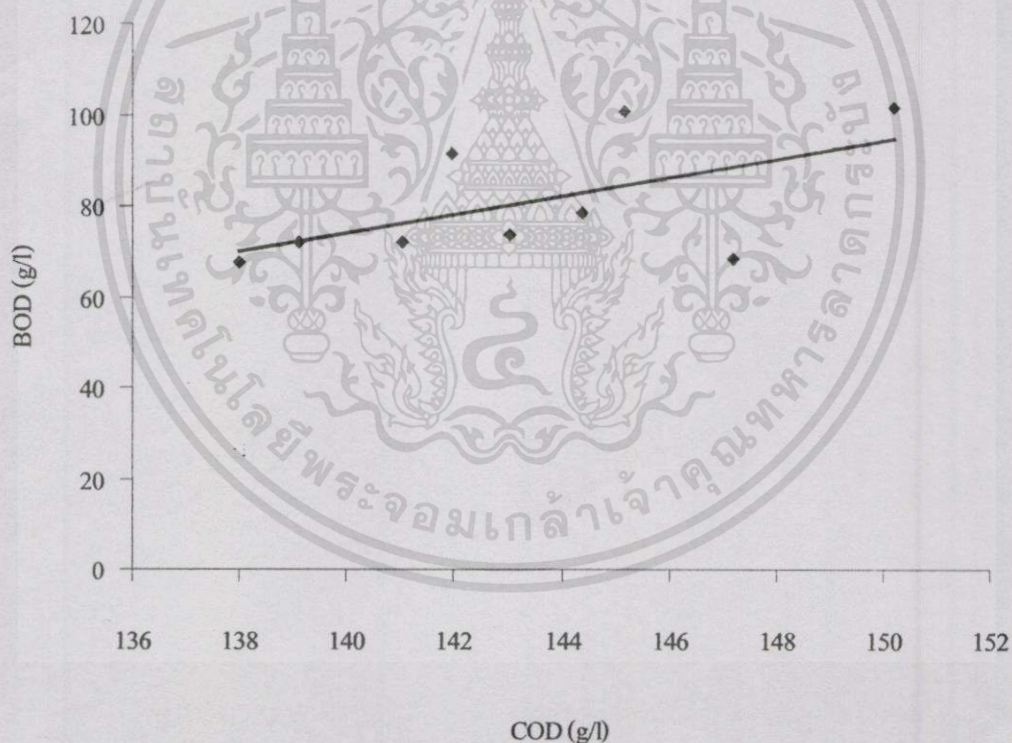
X = ความเข้มข้น COD (g/l)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า BOD และ COD ของสารละลายเศษอาหาร

Sample	BOD (g/l)	COD (g/l)
1	101.28	150.20
2	68.33	147.20
3	100.63	145.15
4	78.47	144.38
5	73.40	143.03
6	91.46	141.96
7	72.04	141.04
8	72.10	139.10
9	67.46	138.00
ค่าเฉลี่ย	80.57	143.34



ภาพที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า BOD และ COD ของสารละลายเศษอาหาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

4.2 ผลการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของระบบทั้งหมด

ในระหว่างการทดลอง ตัวอย่างของเหลวที่เข้าและออกจากถังหมักจะถูกนำไปวิเคราะห์หาค่าพีเอช, COD, TS, TVS, VFA และ TA จนระบบเข้าสู่สภาวะสมดุล เมื่อปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้นเริ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คงที่ จึงเริ่มเก็บข้อมูลเพื่อศึกษาประสิทธิภาพของระบบรวมถึงความสัมพันธ์ของก๊าซที่เกิดขึ้นต่อน้ำหนักมวลอินทรีย์สาร โดยใช้ระยะเวลาในการทดลองทั้งสิ้น 4 เดือน

4.2.1 พีเอช (pH)

ค่าเฉลี่ยพีเอชของของเหลวในระบบ เมื่อมีความถี่ในการเติมของเหลว 1 และ 3 วัน/ครั้ง ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.3 และตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.3 ค่าเฉลี่ยพีเอชของของเหลวในระบบเมื่อมีความถี่ในการเติมของเหลว 1 วัน/ครั้ง

Parameter	Treatment 1	Treatment 2	Treatment 3	Treatment 4
HRT (day)	10	15	20	25
OLR(g COD/l.d)	14.10	9.40	7.05	5.58
Influent	7.00	7.00	7.00	7.00
Effluent	6.60	6.64	6.69	6.73

ตารางที่ 4.4 ค่าเฉลี่ยพีเอชของของเหลวในระบบเมื่อมีความถี่ในการเติมของเหลว 3 วัน/ครั้ง

Parameter	Treatment 1	Treatment 2	Treatment 3	Treatment 4
HRT (day)	10	15	20	25
OLR(g COD/l.d)	14.95	9.97	7.47	5.92
Influent	7.00	7.00	7.00	7.00
Effluent	6.52	6.48	6.52	6.62

จะเห็นได้ว่าค่าพีเอชของของเหลวที่ออกจากระบบมีค่าใกล้เคียงกัน คืออยู่ในช่วง 6.60-6.73 และ 6.48-6.62 เมื่อมีความถี่ในการเติมของเหลว 1 และ 3 วัน/ครั้ง

นอกจากนี้เมื่อดำเนินระบบโดยมีความถี่ในการเติมของเหลว 3 วัน/ครั้ง พบว่าของเหลวในระบบมีค่าพีเอชลดลงต่ำถึง 6.2 ในทุกการทดลองจึงจำเป็นต้องมีการปรับพีเอชด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 20 % เพื่อรักษาระดับค่าพีเอชให้มีค่าประมาณ 7 เมื่อดำเนินระบบโดยมีความถี่ในการเติมของเหลว 1 วัน/ครั้งพบว่าของเหลวในระบบมีค่าพีเอชไม่ต่ำกว่า 6.2 จึงไม่จำเป็นต้องปรับค่าพีเอช

4.2.2 ปริมาณออกซิเจนที่ต้องการใช้ออกซิไดซ์อินทรีย์สาร (chemical oxygen demand, COD)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ค่าเฉลี่ย COD ของของเหลวในระบบ เมื่อมีความถี่ในการเติมของเหลว 1 และ 3 วัน/ครั้ง ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.5 และตารางที่ 4.5

ความสัมพันธ์ระหว่างค่า COD และ HRT เมื่อมีความถี่ในการเติมของเหลว 1 และ 3 วัน/ครั้ง ได้แสดงไว้ในภาพที่ 4.2 และภาพที่ 4.3 ส่วนความสัมพันธ์ระหว่างค่า COD และ OLR เมื่อมีความถี่ในการเติมของเหลว 1 และ 3 วัน/ครั้ง ได้แสดงไว้ในภาพที่ 4.4 และภาพที่ 4.5

เมื่อเปรียบเทียบในแต่ละการทดลอง พบว่าเมื่อดำเนินระบบโดยมีความถี่ในการเติมของเหลว 1 วัน/ครั้ง จะมีประสิทธิภาพการกำจัด COD สูงกว่าเมื่อดำเนินระบบโดยมีความถี่ในการเติมของเหลว 3 วัน/ครั้ง นอกจากนี้ประสิทธิภาพการกำจัด COD มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อมี HRT มากขึ้น หรือมี OLR น้อยลง จะเห็นได้ว่าเมื่อดำเนินระบบโดยมีความถี่ในการเติมของเหลว 1 วัน/ครั้ง โดยใช้ HRT 10 วัน สามารถลด COD จาก 141.43 g/l เหลือ 75.30 g/l นั่นคือมีประสิทธิภาพการกำจัด COD ค่าที่สุด คือ 46.76 % และเมื่อใช้ HRT มากขึ้น พบว่าประสิทธิภาพการกำจัด COD สูงขึ้น โดยที่ HRT 25 วัน จะมีประสิทธิภาพการกำจัด COD สูงที่สุด คือ 60.42 %

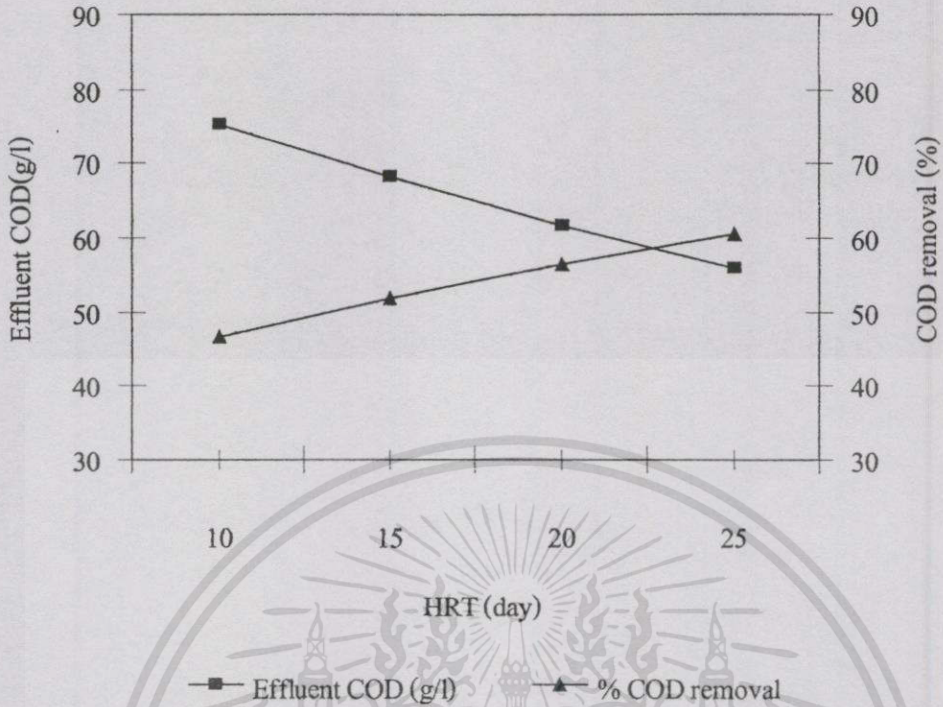
เมื่อดำเนินระบบโดยมีความถี่ในการเติมของเหลว 3 วัน/ครั้ง โดยใช้ HRT 10 วัน สามารถลด COD จาก 149.96 g/l เหลือ 89.30 g/l นั่นคือมีประสิทธิภาพการกำจัด COD ค่าที่สุด คือ 40.45 % และเมื่อใช้ HRT มากขึ้น พบว่าประสิทธิภาพการกำจัด COD สูงขึ้น โดยที่ HRT 25 วัน จะมีประสิทธิภาพการกำจัด COD สูงที่สุด คือ 58.75 %

ตารางที่ 4.5 ค่าเฉลี่ย COD ของของเหลวในระบบเมื่อมีความถี่ในการเติมของเหลว 1 วัน/ครั้ง

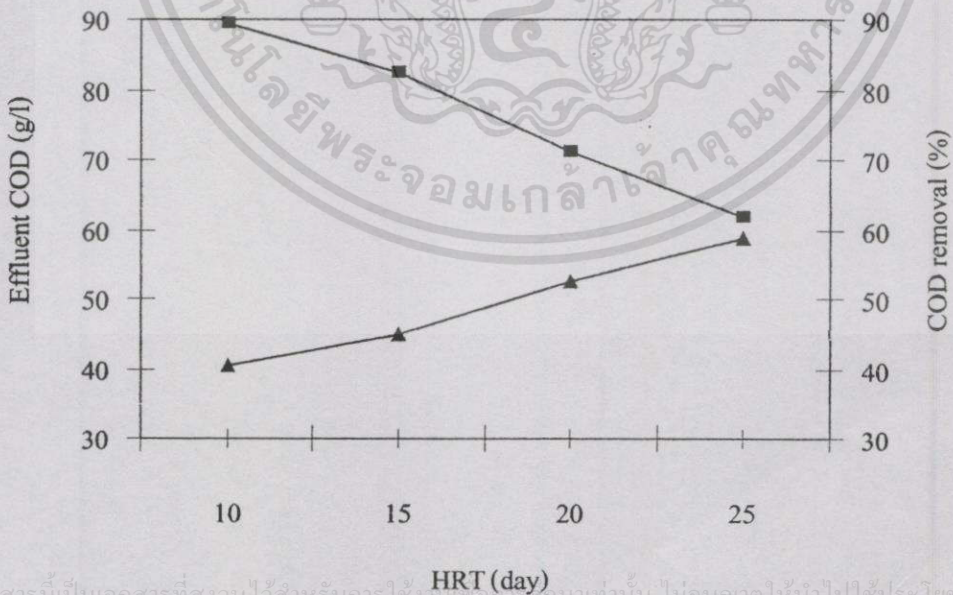
Parameter	Treatment 1	Treatment 2	Treatment 3	Treatment 4
HRT (day)	10	15	20	25
OLR(g COD/l.d)	14.10	9.40	7.05	5.58
Influent (g/l)	141.43	141.43	141.43	141.43
Effluent (g/l)	75.30	68.13	61.55	55.98
COD removal (%)	46.76	51.83	56.48	60.42

ตารางที่ 4.6 ค่าเฉลี่ย COD ของของเหลวในระบบเมื่อมีความถี่ในการเติมของเหลว 3 วัน/ครั้ง

Parameter	Treatment 1	Treatment 2	Treatment 3	Treatment 4
HRT (day)	10	15	20	25
OLR(g COD/l.d)	14.95	9.97	7.47	5.92
Influent (g/l)	149.96	149.96	149.96	149.96
Effluent (g/l)	89.30	82.45	71.22	61.86
COD removal (%)	40.45	45.02	52.51	58.75

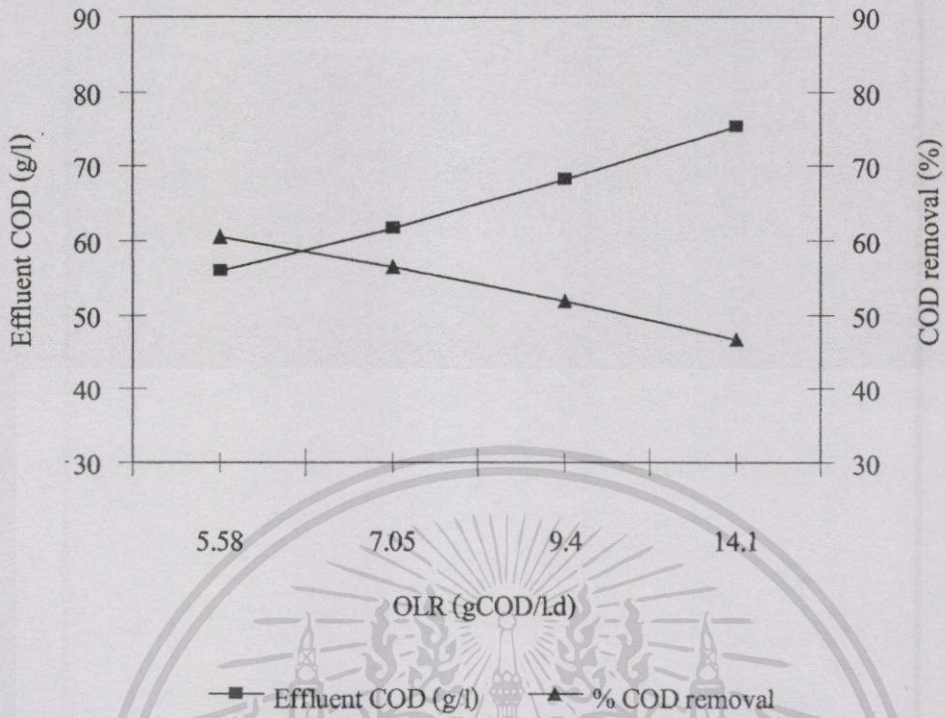


ภาพที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า COD และ HRT เมื่อมีความถี่ในการเติมของเหลว 1 วัน/ครั้ง

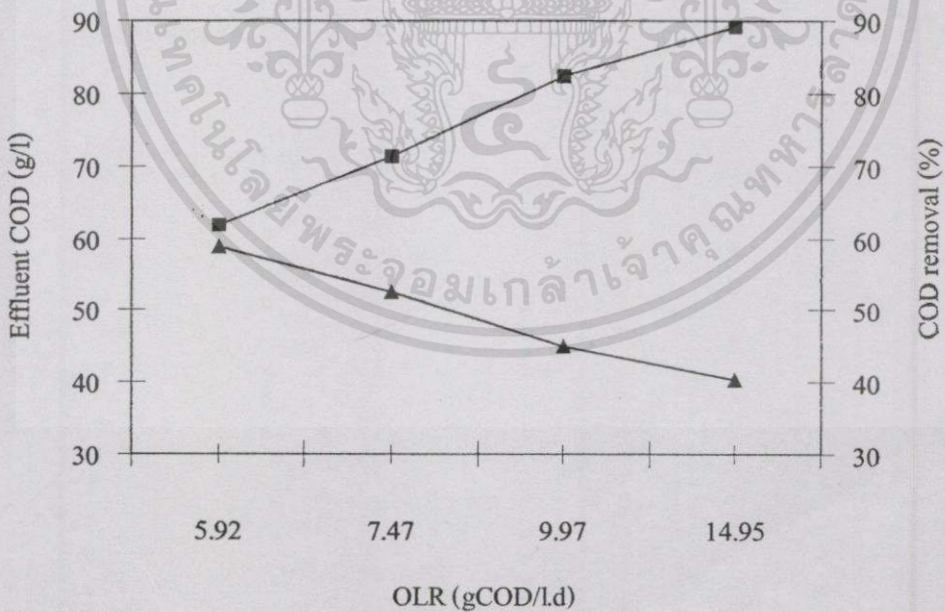


ภาพที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า COD และ HRT เมื่อมีความถี่ในการเติมของเหลว 3 วัน/ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า COD และ OLR เมื่อมีความถี่ในการเติมของเหลว 1 วัน/ครั้ง



ภาพที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า COD และ OLR เมื่อมีความถี่ในการเติมของเหลว 3 วัน/ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 ปริมาณของแข็งทั้งหมด (total solids, TS)

ค่าเฉลี่ย TS ของของเหลวในระบบ เมื่อมีความถี่ในการเติมของเหลว 1 และ 3 วัน/ครั้ง ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.7 และตารางที่ 4.8

ความสัมพันธ์ระหว่างค่า TS และ HRT เมื่อมีความถี่ในการเติมของเหลว 1 และ 3 วัน/ครั้ง ได้แสดงไว้ในภาพที่ 4.6 และภาพที่ 4.7 ส่วนความสัมพันธ์ระหว่างค่า TS และ OLR เมื่อมีความถี่ในการเติมของเหลว 1 และ 3 วัน/ครั้ง ได้แสดงไว้ในภาพที่ 4.8 และภาพที่ 4.9

เมื่อเปรียบเทียบในแต่ละการทดลอง พบว่าเมื่อดำเนินการระบบโดยมีความถี่ในการเติมของเหลว 1 วัน/ครั้ง จะมีประสิทธิภาพการกำจัด TS สูงกว่าเมื่อดำเนินการระบบโดยมีความถี่ในการเติมของเหลว 3 วัน/ครั้ง จะเห็นได้ว่าเมื่อดำเนินการระบบโดยมีความถี่ในการเติมของเหลว 1 วัน/ครั้ง โดยใช้ HRT 10 วัน สามารถลด TS จาก 42.97 g/l เหลือ 25.36 g/l นั่นคือมีประสิทธิภาพการกำจัด TS ต่ำที่สุด คือ 40.98% และเมื่อใช้ HRT มากขึ้น พบว่ามีประสิทธิภาพการกำจัด TS สูงขึ้น โดยที่ HRT 25 วัน จะมีประสิทธิภาพการกำจัด TS สูงที่สุด คือ 54.60 %

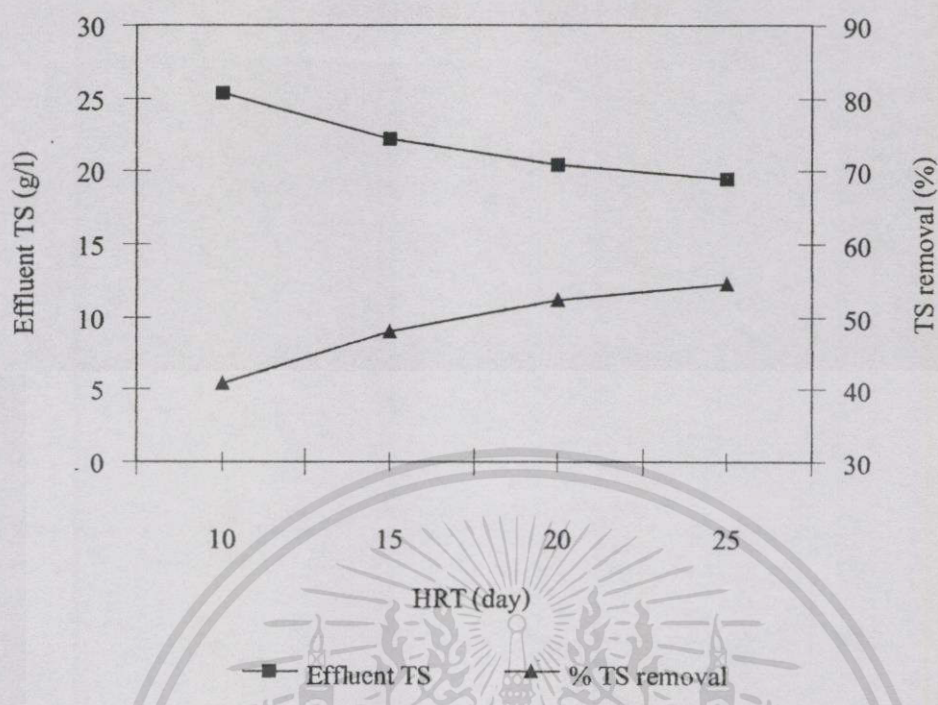
เมื่อดำเนินการระบบโดยมีความถี่ในการเติมของเหลว 3 วัน/ครั้ง โดยใช้ HRT 10 วัน สามารถลด TS จาก 41.35 g/l เหลือ 27.87 g/l นั่นคือมีประสิทธิภาพการกำจัด TS ต่ำที่สุด คือ 32.60 % และเมื่อใช้ HRT มากขึ้น พบว่ามีประสิทธิภาพการกำจัด TS สูงขึ้น โดยที่ HRT 25 วัน จะมีประสิทธิภาพการกำจัด TS สูงที่สุด คือ 52.49 %

ตารางที่ 4.7 ค่าเฉลี่ย TS ของของเหลวในระบบเมื่อมีความถี่ในการเติมของเหลว 1 วัน/ครั้ง

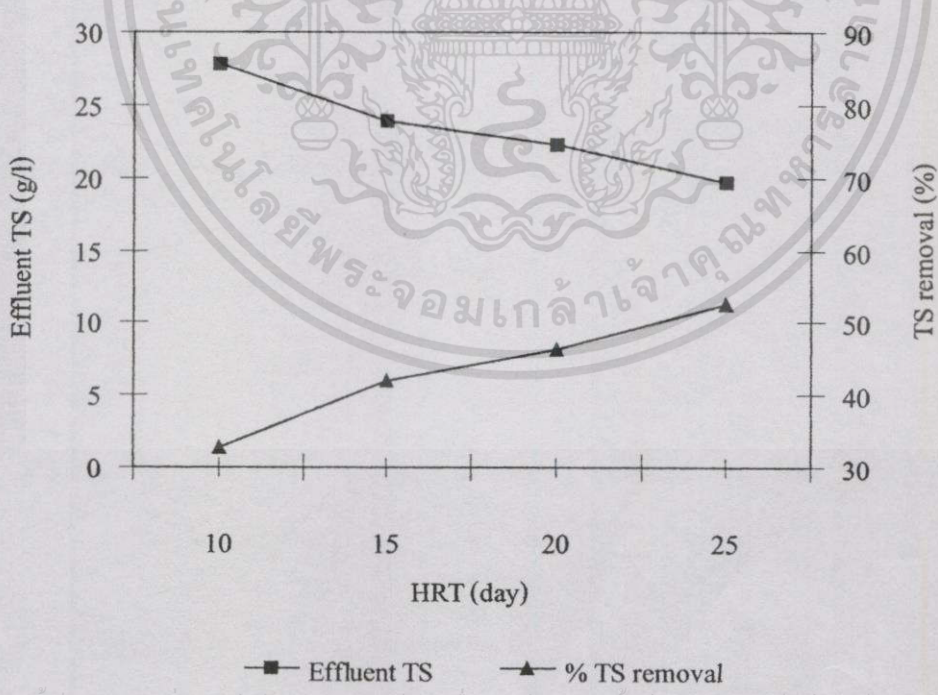
Parameter	Treatment 1	Treatment 2	Treatment 3	Treatment 4
HRT (day)	10	15	20	25
OLR(g COD/L.d)	14.10	9.40	7.05	5.58
Influent (g/l)	42.97	42.97	42.97	42.97
Effluent (g/l)	25.36	22.29	20.46	19.51
TS removal (%)	40.98	48.13	52.39	54.60

ตารางที่ 4.8 ค่าเฉลี่ย TS ของของเหลวในระบบเมื่อมีความถี่ในการเติมของเหลว 3 วัน/ครั้ง

Parameter	Treatment 1	Treatment 2	Treatment 3	Treatment 4
HRT (day)	10	15	20	25
OLR(g COD/L.d)	14.95	9.97	7.47	5.92
Influent (g/l)	41.35	41.35	41.35	41.35
Effluent (g/l)	27.87	23.95	22.21	19.65
TS removal (%)	32.60	42.07	46.29	52.49

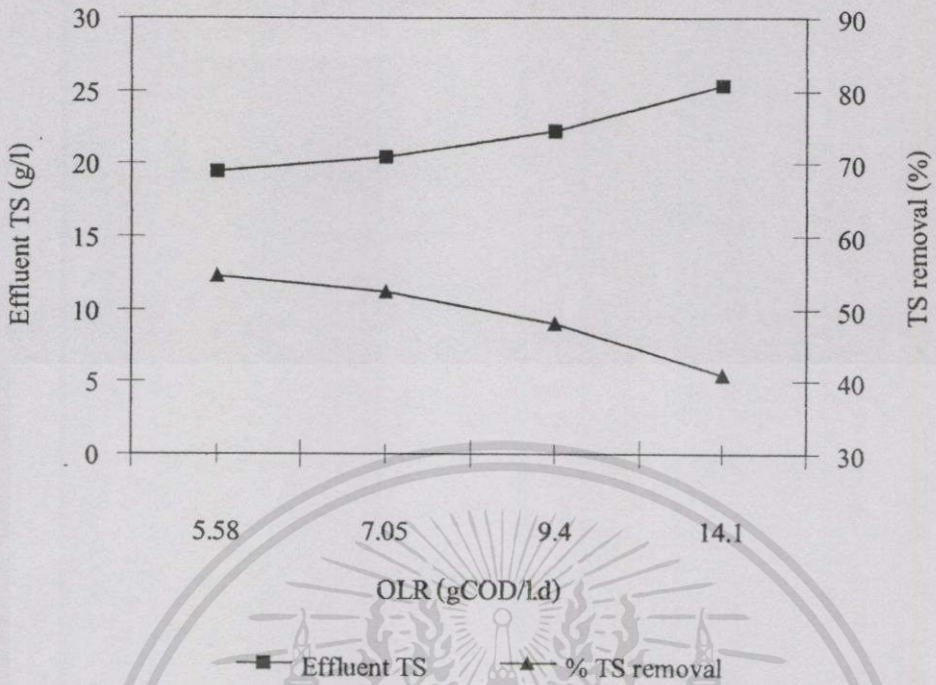


ภาพที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า TS และ HRT เมื่อมีความถี่ในการเติมของเหลว 1 วัน/ครั้ง

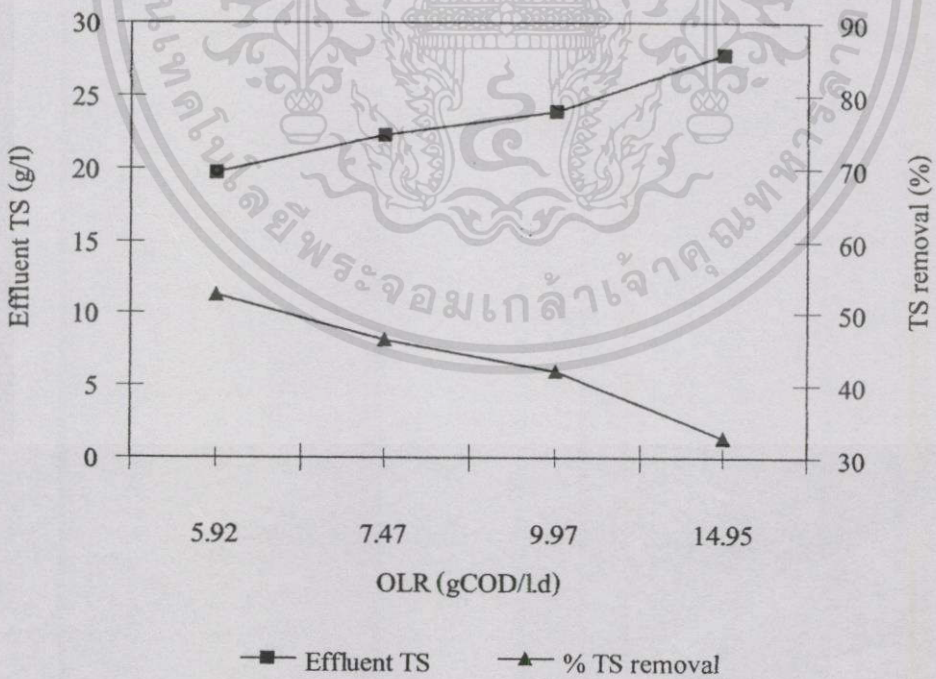


ภาพที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า TS และ HRT เมื่อมีความถี่ในการเติมของเหลว 3 วัน/ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า TS และ OLR เมื่อมีความถี่ในการเติมของเหลว 1 วัน/ครั้ง



ภาพที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า TS และ OLR เมื่อมีความถี่ในการเติมของเหลว 3 วัน/ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.4 ปริมาณของแข็งระเหยได้ (total volatile solids, TVS)

ค่าเฉลี่ย TVS ของของเหลวในระบบ เมื่อมีความถี่ในการเติมของเหลว 1 และ 3 วัน/ครั้ง ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.9 และตารางที่ 4.10

ความสัมพันธ์ระหว่างค่า TVS และ HRT เมื่อมีความถี่ในการเติมของเหลว 1 และ 3 วัน/ครั้ง ได้แสดงไว้ในภาพที่ 4.10 และภาพที่ 4.11 ส่วนความสัมพันธ์ระหว่างค่า TVS และ OLR เมื่อมีความถี่ในการเติมของเหลว 1 และ 3 วัน/ครั้ง ได้แสดงไว้ในภาพที่ 4.12 และภาพที่ 4.13

เมื่อเปรียบเทียบในแต่ละการทดลอง พบว่าเมื่อดำเนินระบบโดยมีความถี่ในการเติมของเหลว 1 วัน/ครั้ง จะมีประสิทธิภาพการกำจัด TVS สูงกว่าเมื่อดำเนินระบบโดยมีความถี่ในการเติมของเหลว 3 วัน/ครั้ง จะเห็นได้ว่าเมื่อดำเนินระบบโดยมีความถี่ในการเติมของเหลว 1 วัน/ครั้ง โดยใช้ HRT 10 วัน สามารถลด TVS จาก 27.38 g/l เหลือ 10.68 g/l นั่นคือมีประสิทธิภาพการกำจัด TVS ต่ำที่สุด คือ 60.99 % และเมื่อใช้ HRT มากขึ้น พบว่ามีประสิทธิภาพการกำจัด TVS สูงขึ้น โดยที่ HRT 25 วัน จะมีประสิทธิภาพการกำจัด TVS สูงที่สุด คือ 74.83 %

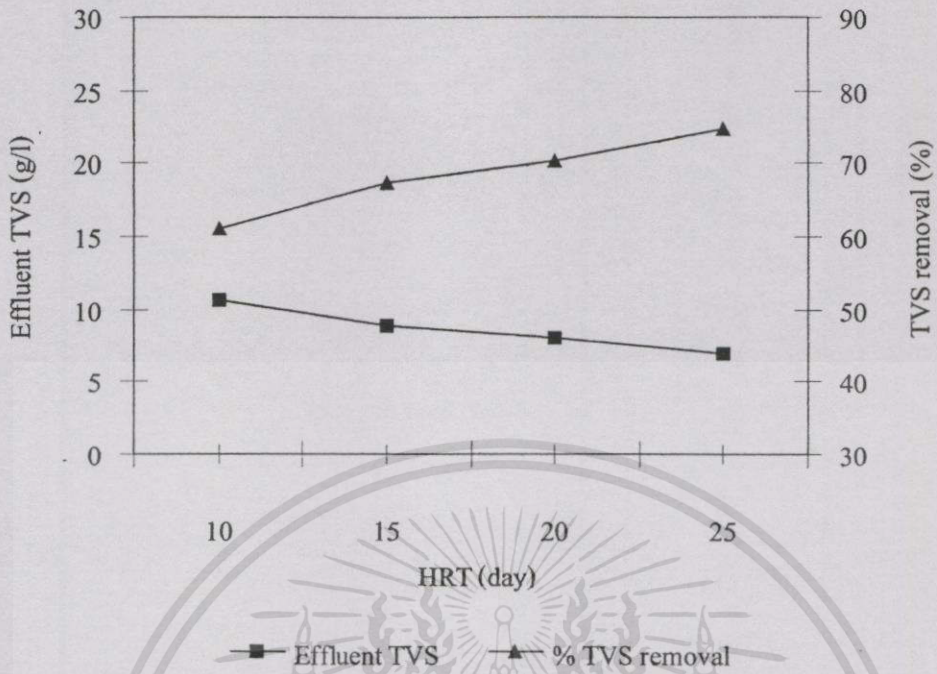
เมื่อดำเนินระบบโดยมีความถี่ในการเติมของเหลว 3 วัน/ครั้ง โดยใช้ HRT 10 วัน สามารถลด TVS จาก 28.20 g/l เหลือ 13.63 g/l นั่นคือมีประสิทธิภาพการกำจัด TVS ต่ำที่สุด คือ 51.66 % และเมื่อใช้ HRT มากขึ้น พบว่ามีประสิทธิภาพการกำจัด TVS สูงขึ้นโดยที่ HRT 25 วัน จะมีประสิทธิภาพการกำจัด TVS สูงที่สุด คือ 73.97 %

ตารางที่ 4.9 ค่าเฉลี่ย TVS ของของเหลวในระบบเมื่อมีความถี่ในการเติมของเหลว 1 วัน/ครั้ง

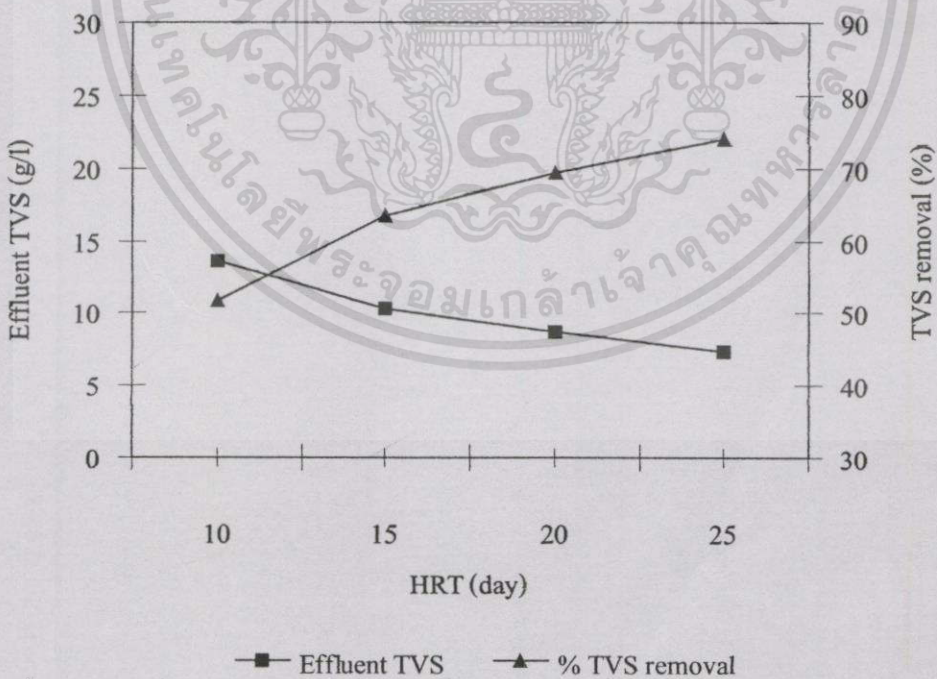
Parameter	Treatment 1	Treatment 2	Treatment 3	Treatment 4
HRT (day)	10	15	20	25
OLR(g COD/L.d)	14.10	9.40	7.05	5.58
Influent (g/l)	27.38	27.38	27.38	27.38
Effluent (g/l)	10.68	8.92	8.11	6.89
TVS removal (%)	60.99	67.42	70.38	74.83

ตารางที่ 4.10 ค่าเฉลี่ย TVS ของของเหลวในระบบเมื่อมีความถี่ในการเติมของเหลว 3 วัน/ครั้ง

Parameter	Treatment 1	Treatment 2	Treatment 3	Treatment 4
HRT (day)	10	15	20	25
OLR(g COD/L.d)	14.95	9.97	7.47	5.92
Influent (g/l)	28.20	28.20	28.20	28.20
Effluent (g/l)	13.63	10.34	8.64	7.34
TVS removal (%)	51.66	63.33	69.36	73.97

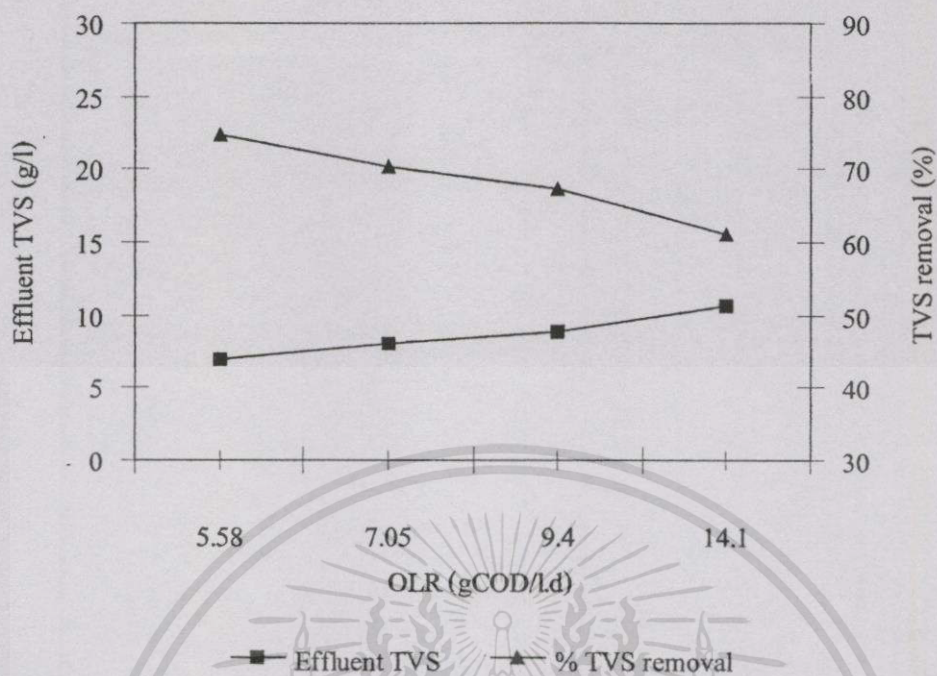


ภาพที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า TVS และ HRT เมื่อมีความถี่ในการเติมของเหลว 1 วัน/ครั้ง

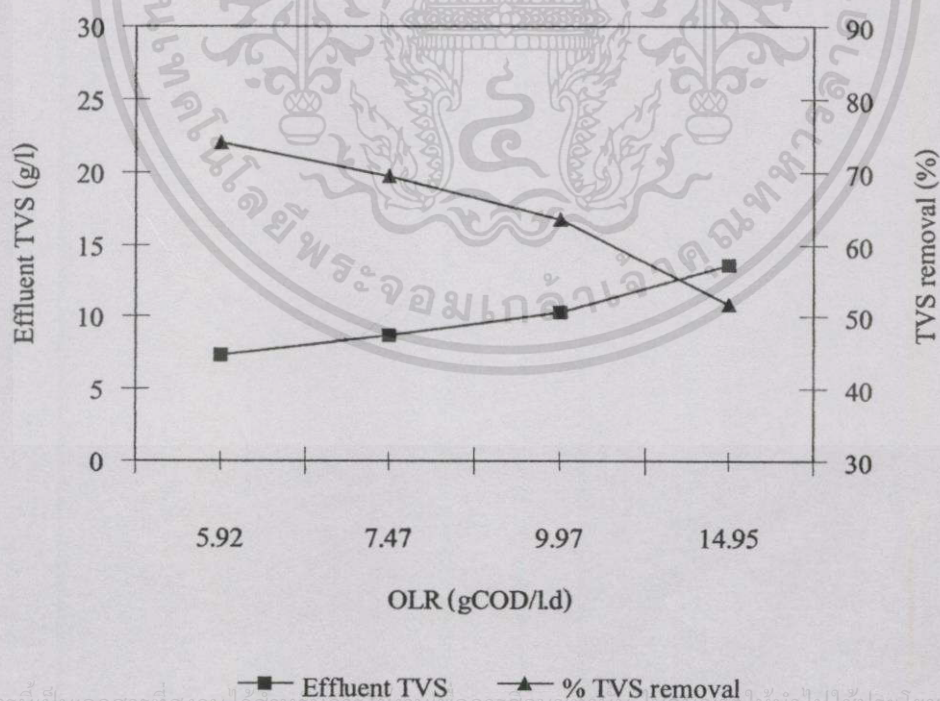


ภาพที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า TVS และ HRT เมื่อมีความถี่ในการเติมของเหลว 3 วัน/ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า TVS และ OLR เมื่อมีความถี่ในการเติมของเหลว 1 วัน/ครั้ง



ภาพที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า TVS และ OLR เมื่อมีความถี่ในการเติมของเหลว 3 วัน/ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.5 ปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่าย (volatile fatty acid, VFA)

ค่าเฉลี่ย VFA ของของเหลวในระบบ เมื่อมีความถี่ในการเติมของเหลว 1 และ 3 วัน/ครั้ง ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.11 และตารางที่ 4.12

ความสัมพันธ์ระหว่างค่า VFA และ HRT เมื่อมีความถี่ในการเติมของเหลว 1 และ 3 วัน/ครั้ง ได้แสดงไว้ในภาพที่ 4.14 และภาพที่ 4.15 ส่วนความสัมพันธ์ระหว่างค่า VFA และ OLR เมื่อมีความถี่ในการเติมของเหลว 1 และ 3 วัน/ครั้ง ได้แสดงไว้ในภาพที่ 4.16 และภาพที่ 4.17

เมื่อเปรียบเทียบในแต่ละการทดลอง พบว่าเมื่อดำเนินระบบโดยมีความถี่ในการเติมของเหลว 1 วัน/ครั้ง จะมีประสิทธิภาพการกำจัด VFA สูงกว่าเมื่อดำเนินระบบโดยมีความถี่ในการเติมของเหลว 3 วัน/ครั้ง จะเห็นได้ว่าเมื่อดำเนินระบบโดยมีความถี่ในการเติมของเหลว 1 วัน/ครั้ง โดยใช้ HRT 10 วัน สามารถลด VFA จาก 2.22 g/l เหลือ 1.68 g/l นั่นคือมีประสิทธิภาพการกำจัด VFA ต่ำที่สุด คือ 24.32 % และเมื่อใช้ HRT มากขึ้น พบว่ามีประสิทธิภาพการกำจัด VFA สูงขึ้น โดยที่ HRT 25 วัน จะมีประสิทธิภาพการกำจัด VFA สูงที่สุด คือ 28.83 %

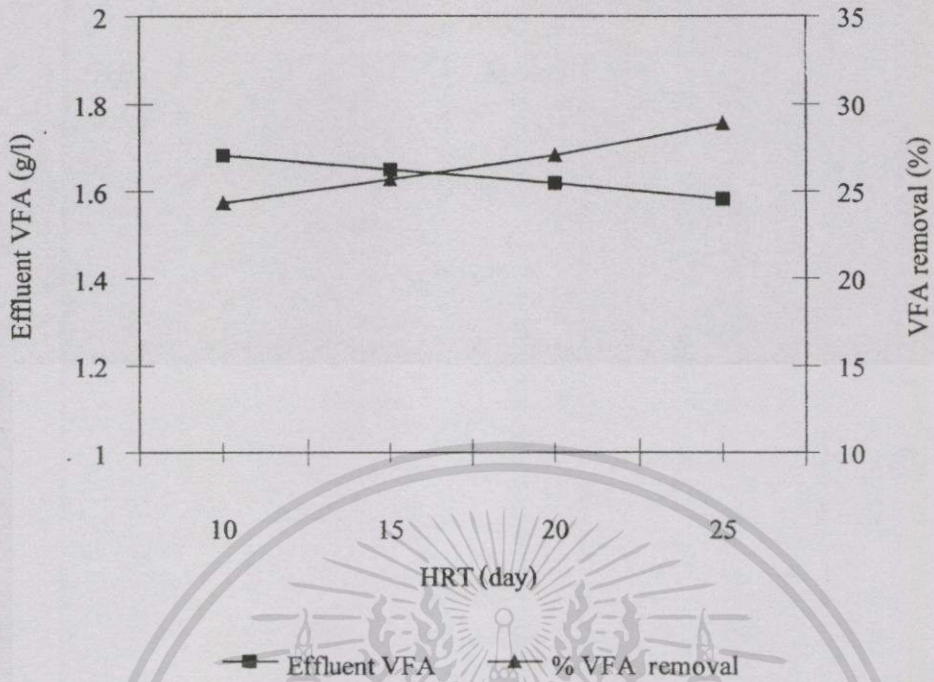
เมื่อดำเนินระบบโดยมีความถี่ในการเติมของเหลว 3 วัน/ครั้ง โดยใช้ HRT 10 วัน สามารถลด VFA จาก 2.21 g/l เหลือ 1.87 g/l นั่นคือมีประสิทธิภาพการกำจัด VFA ต่ำที่สุด คือ 15.38 % และเมื่อใช้ HRT มากขึ้น พบว่ามีประสิทธิภาพการกำจัด VFA สูงขึ้น โดยที่ HRT 25 วัน จะมีประสิทธิภาพการกำจัด VFA สูงที่สุด คือ 19.91 %

ตารางที่ 4.11 ค่าเฉลี่ย VFA ของของเหลวในระบบเมื่อมีความถี่ในการเติมของเหลว 1 วัน/ครั้ง

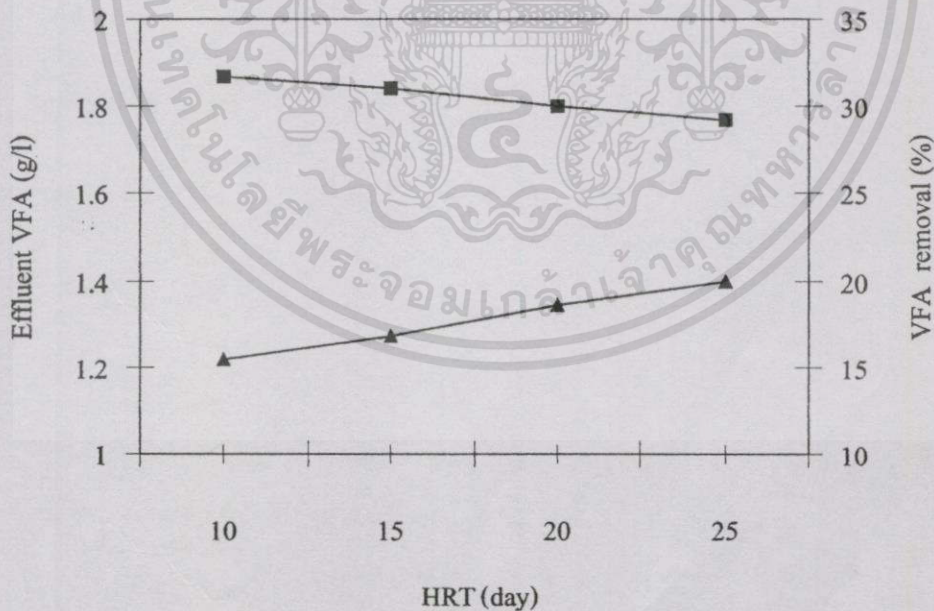
Parameter	Treatment 1	Treatment 2	Treatment 3	Treatment 4
HRT (day)	10	15	20	25
OLR(g COD/l.d)	14.10	9.40	7.05	5.58
Influent (g/l)	2.22	2.22	2.22	2.22
Effluent (g/l)	1.68	1.65	1.62	1.58
VFA removal (%)	24.32	25.68	27.03	28.83

ตารางที่ 4.12 ค่าเฉลี่ย VFA ของของเหลวในระบบเมื่อมีความถี่ในการเติมของเหลว 3 วัน/ครั้ง

Parameter	Treatment 1	Treatment 2	Treatment 3	Treatment 4
HRT (day)	10	15	20	25
OLR(g COD/l.d)	14.95	9.97	7.47	5.92
Influent (g/l)	2.21	2.21	2.21	2.21
Effluent (g/l)	1.87	1.84	1.80	1.77
VFA removal (%)	15.38	16.74	18.55	19.91

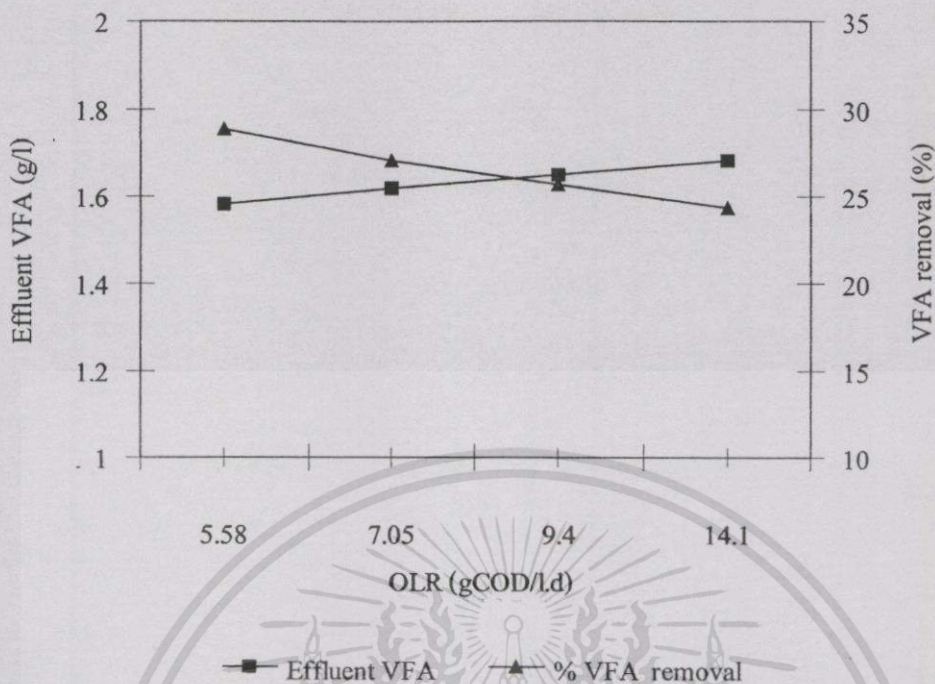


ภาพที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า VFA และ HRT เมื่อมีความถี่ในการเติมของเหลว 1 วัน/ครั้ง

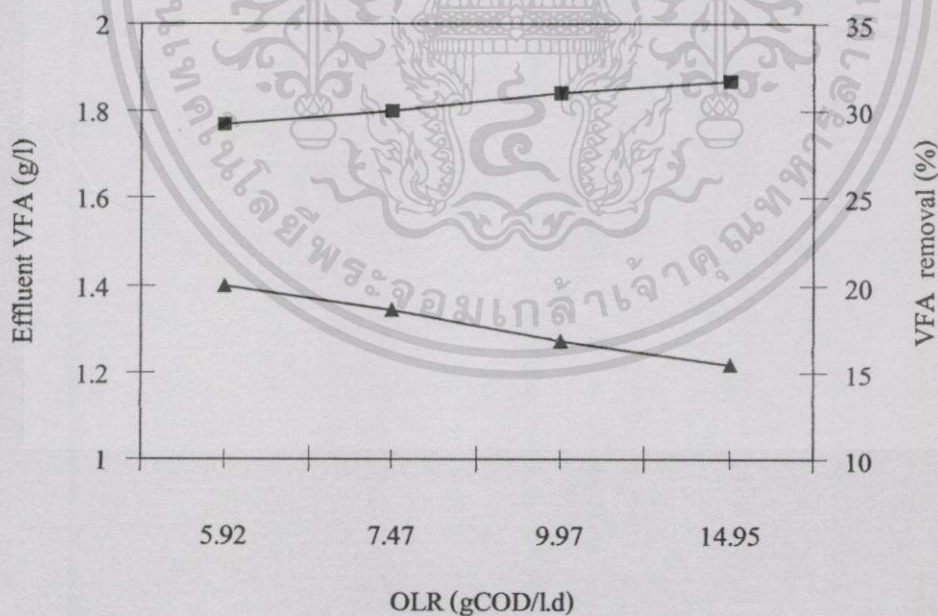


ภาพที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า VFA และ HRT เมื่อมีความถี่ในการเติมของเหลว 3 วัน/ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า VFA และ OLR เมื่อมีความถี่ในการเติมของเหลว 1 วัน/ครั้ง



ภาพที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า VFA และ OLR เมื่อมีความถี่ในการเติมของเหลว 3 วัน/ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.6 ปริมาณความเป็นด่างทั้งหมด (total alkalinity, TA)

ค่าเฉลี่ย TA ของของเหลวในระบบ เมื่อมีความถี่ในการเติมของเหลว 1 และ 3 วัน/ครั้ง ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.13 และตารางที่ 4.14

จะเห็นว่าค่าเฉลี่ยของของเหลวที่ออกจากระบบมีค่าใกล้เคียงกัน คืออยู่ในช่วง 2.74-3.13 และ 2.51-2.73 เมื่อมีความถี่ในการเติมของเหลว 1 และ 3 วัน/ครั้ง

ตารางที่ 4.13 ค่าเฉลี่ย TA ของของเหลวในระบบเมื่อมีความถี่ในการเติมของเหลว 1 วัน/ครั้ง

Parameter	Treatment 1	Treatment 2	Treatment 3	Treatment 4
HRT (day)	10	15	20	25
OLR(g COD/l.d)	14.10	9.40	7.05	5.58
Influent (g/l)	1.48	1.48	1.48	1.48
Effluent (g/l)	2.99	2.93	3.13	2.74

ตารางที่ 4.14 ค่าเฉลี่ย TA ของของเหลวในระบบเมื่อมีความถี่ในการเติมของเหลว 3 วัน/ครั้ง

Parameter	Treatment 1	Treatment 2	Treatment 3	Treatment 4
HRT (day)	10	15	20	25
OLR(g COD/l.d)	14.95	9.97	7.47	5.92
Influent (g/l)	1.97	1.97	1.97	1.97
Effluent (g/l)	2.58	2.70	2.73	2.51

4.3 การผลิตก๊าซชีวภาพและองค์ประกอบของก๊าซ

ในระหว่างการทดลองจะทำการบันทึกการผลิตก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน โดยทำการบันทึกข้อมูลก๊าซชีวภาพทั้งหมดที่เกิดขึ้นต่อวัน คิดเป็นค่าเฉลี่ยก๊าซทั้งหมดที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน และทำการวิเคราะห์แยกองค์ประกอบของก๊าซ โดยพิจารณาก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นทั้งหมด (total gas production) และก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้น (methane production)

การผลิตก๊าซชีวภาพและองค์ประกอบของก๊าซที่เกิดขึ้น เมื่อมีความถี่ในการเติมของเหลว 1 และ 3 วัน/ครั้ง ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.15 และตารางที่ 4.16

ความสัมพันธ์ระหว่างการผลิตก๊าซชีวภาพและการผลิตก๊าซมีเทน กับ HRT เมื่อมีความถี่ในการเติมของเหลว 1 และ 3 วัน/ครั้ง ได้แสดงไว้ในภาพที่ 4.18 และภาพที่ 4.19 ส่วนความสัมพันธ์ระหว่างการผลิตก๊าซชีวภาพและการผลิตก๊าซมีเทน กับ OLR เมื่อมีความถี่ในการเติมของเหลว 1 และ 3 วัน/ครั้ง ได้แสดงไว้ในภาพที่ 4.20 และภาพที่ 4.21

4.3.1 ปริมาณก๊าซทั้งหมดที่เกิดขึ้น (total gas production)

ปริมาณก๊าซทั้งหมดที่ได้จากการแทนที่น้ำ โดยวัดปริมาตรน้ำที่ถูกแทนที่ในแต่ละวันจะได้ ปริมาตรก๊าซทั้งหมดในหน่วยลิตรต่อวัน เมื่อคิดเป็นค่าเฉลี่ยของก๊าซที่เกิดขึ้นในแต่ละวันภายใต้ สภาวะการทดลอง (room condition) แสดงในตารางที่ 4.15 และตารางที่ 4.16 และเมื่อเปรียบเทียบ ในแต่ละการทดลอง พบว่าเมื่อดำเนินระบบโดยมีความถี่ในการเติมของเหลว 1 วัน/ครั้ง จะมีปริมาณ ก๊าซทั้งหมดเกิดขึ้นสูงกว่าเมื่อดำเนินระบบโดยมีความถี่ในการเติมของเหลว 3 วัน/ครั้ง จะเห็นได้ว่า เมื่อดำเนินระบบโดยมีความถี่ในการเติมของเหลว 1 วัน/ครั้ง โดยใช้ HRT 10 วัน จะมีปริมาณก๊าซ ทั้งหมดเกิดขึ้นสูงสุด คือ 3.91 l/d และเมื่อใช้ HRT มากขึ้น พบว่ามีปริมาณก๊าซทั้งหมดเกิด ขึ้นลดลง โดยที่ HRT 25 วัน จะมีปริมาณก๊าซทั้งหมดเกิดขึ้นต่ำที่สุด คือ 2.06 l/d เมื่อดำเนินระบบ โดยมีความถี่ในการเติมของเหลว 3 วัน/ครั้ง โดยใช้ HRT 10 วัน จะมีปริมาณก๊าซทั้งหมดเกิดขึ้น สูงที่สุด 2.70 l/d และเมื่อใช้ HRT มากขึ้น พบว่ามีปริมาณก๊าซทั้งหมดเกิดขึ้นลดลง โดยที่ HRT 25 วัน จะมีปริมาณก๊าซทั้งหมดเกิดขึ้นต่ำที่สุด คือ 1.96 l/d

ปริมาณก๊าซทั้งหมดที่ผลิตได้ เมื่อนำมาคิดเป็นค่าเฉลี่ยของก๊าซที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน โดย คำนวณที่สภาวะมาตรฐาน (standard temperature and pressure, STP) (วิธีวิเคราะห์แสดงในภาค ผผนวก ข) แสดงในตารางที่ 4.15 และตารางที่ 4.16 และเมื่อเปรียบเทียบในแต่ละการทดลอง พบว่า เมื่อดำเนินระบบโดยมีความถี่ในการเติมของเหลว 1 วัน/ครั้ง จะมีปริมาณก๊าซทั้งหมดเกิดขึ้นสูง กว่าเมื่อดำเนินระบบโดยมีความถี่ในการเติมของเหลว 3 วัน/ครั้ง จะเห็นได้ว่าเมื่อดำเนินระบบโดย มีความถี่ในการเติมของเหลว 1 วัน/ครั้ง โดยใช้ HRT 10 วัน จะมีปริมาณก๊าซทั้งหมดเกิดขึ้นสูงที่ สุด คือ 3.54 l/d และเมื่อใช้ HRT มากขึ้น พบว่ามีปริมาณก๊าซทั้งหมดเกิดขึ้นลดลง โดยที่ HRT 25 วัน จะมีปริมาณก๊าซทั้งหมดเกิดขึ้นต่ำที่สุด คือ 1.86 l/d เมื่อดำเนินระบบโดยมีความถี่ใน การเติมของเหลว 3 วัน/ครั้ง โดยใช้ HRT 10 วัน จะมีปริมาณก๊าซทั้งหมดเกิดขึ้นสูงที่สุด 2.44 l/d และเมื่อใช้ HRT มากขึ้น พบว่ามีปริมาณก๊าซทั้งหมดเกิดขึ้นลดลง โดยที่ HRT 25 วัน จะมี ปริมาณก๊าซทั้งหมดเกิดขึ้นต่ำที่สุด คือ 1.77 l/d

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.15 การผลิตก๊าซชีวภาพและองค์ประกอบของก๊าซที่เกิดขึ้น เมื่อมีความถี่ในการเติมของ
เหลว 1 วัน/ครั้ง

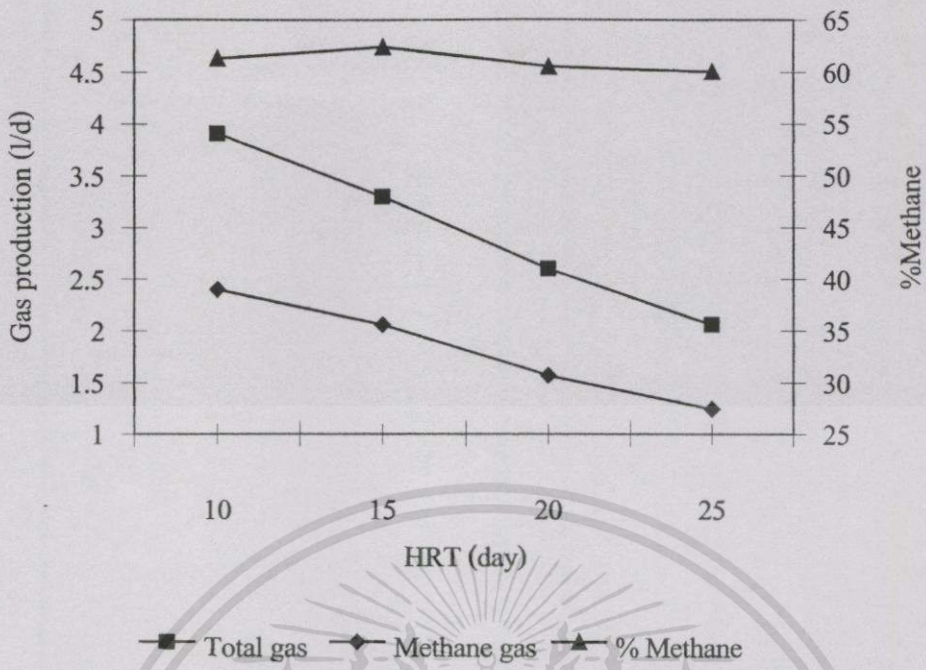
Parameter	Treatment 1	Treatment 2	Treatment 3	Treatment 4
HRT (day)	10	15	20	25
OLR(g COD/l.d)	14.10	9.40	7.05	5.58
Total gas production (l/d)				
(room condition)	3.91	3.30	2.60	2.06
Total gas production (l/d)				
(STP)	3.54	2.98	2.35	1.86
Methane production (l/d)				
(room condition)	2.40	2.06	1.57	1.24
Methane production (l/d)				
(STP)	2.17	1.86	1.42	1.12
% Methane	61.33	62.43	60.56	60.04

ตารางที่ 4.16 การผลิตก๊าซชีวภาพและองค์ประกอบของก๊าซที่เกิดขึ้น เมื่อมีความถี่ในการเติมของ
เหลว 3 วัน/ครั้ง

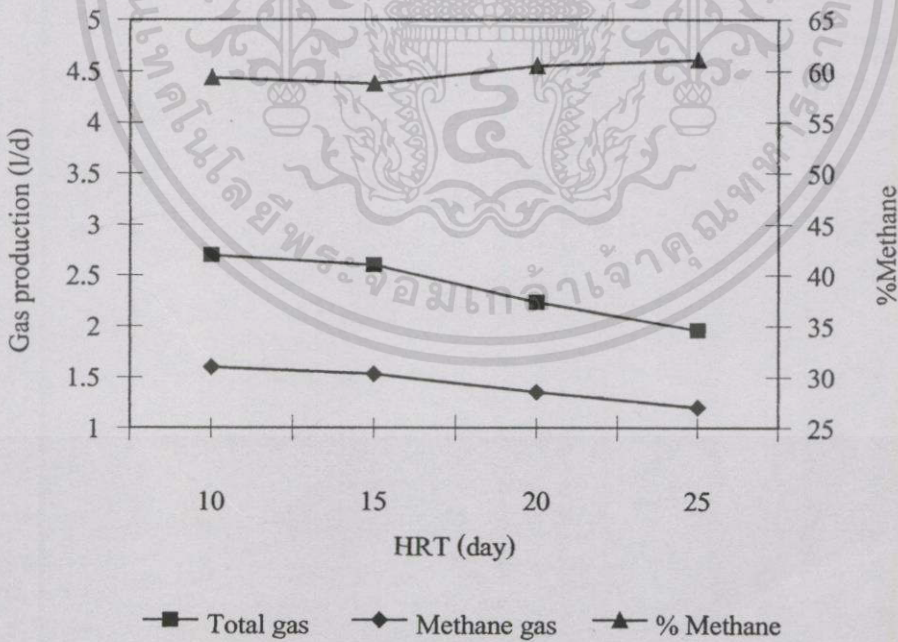
Parameter	Treatment 1	Treatment 2	Treatment 3	Treatment 4
HRT (day)	10	15	20	25
OLR(g COD/l.d)	14.95	9.97	7.47	5.92
Total gas production (l/d)				
(room condition)	2.70	2.60	2.24	1.96
Total gas production (l/d)				
(STP)	2.44	2.35	2.03	1.77
Methane production (l/d)				
(room condition)	1.60	1.53	1.35	1.20
Methane production (l/d)				
(STP)	1.45	1.38	1.23	1.08
% Methane	59.34	58.77	60.49	61.08

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

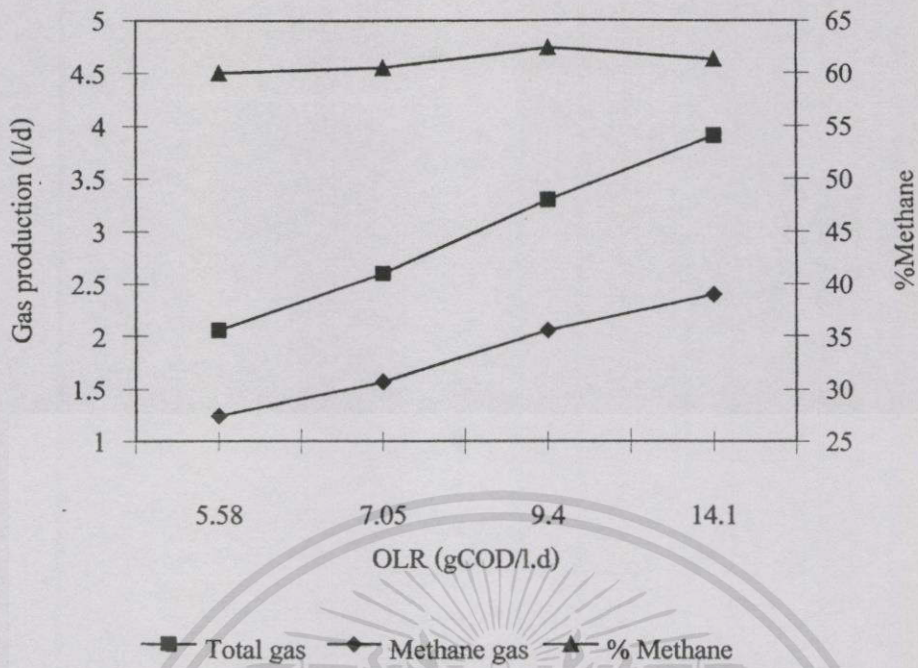


ภาพที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างการผลิตก๊าซชีวภาพและการผลิตก๊าซมีเทน กับ HRT เมื่อมีความถี่ในการเติมของเหลว 1 วัน/ครั้ง

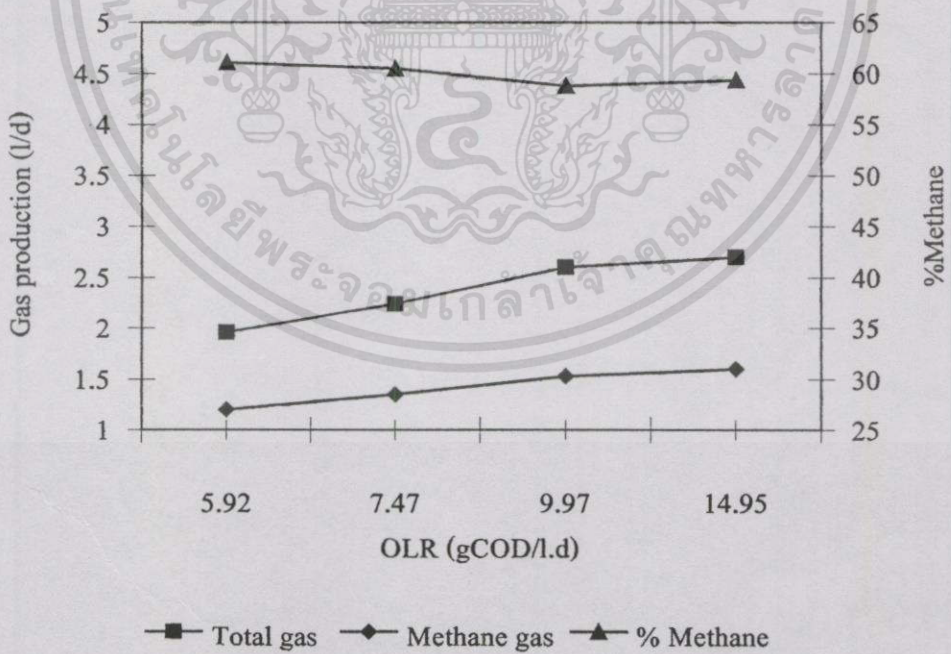


ภาพที่ 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างการผลิตก๊าซชีวภาพและการผลิตก๊าซมีเทน กับ HRT เมื่อมีความถี่ในการเติมของเหลว 3 วัน/ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างการผลิตก๊าซชีวภาพและการผลิตก๊าซมีเทน กับ OLR เมื่อมีความถี่ในการเติมของเหลว 1 วัน/ครั้ง



ภาพที่ 4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างการผลิตก๊าซชีวภาพและการผลิตก๊าซมีเทน กับ OLR เมื่อมีความถี่ในการเติมของเหลว 3 วัน/ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 ปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้น (methane production)

ปริมาณก๊าซมีเทนภายใต้สภาวะการทดลอง (room condition) แสดงในตารางที่ 4.15 และ ตารางที่ 4.16 และเมื่อเปรียบเทียบในแต่ละการทดลอง พบว่าเมื่อดำเนินระบบโดยมีความถี่ในการเติมของเหลว 1 วัน/ครั้ง จะมีปริมาณก๊าซมีเทนสูงกว่าเมื่อดำเนินระบบโดยมีความถี่ในการเติมของเหลว 3 วัน/ครั้ง จะเห็นได้ว่าเมื่อดำเนินระบบโดยมีความถี่ในการเติมของเหลว 1 วัน/ครั้ง โดยใช้ HRT 10 วัน จะมีปริมาณก๊าซมีเทนเกิดขึ้นสูงที่สุด คือ 2.40 l/d และเมื่อใช้ HRT มากขึ้น พบว่าจะมีปริมาณก๊าซมีเทนเกิดขึ้นลดลง โดยที่ HRT 25 วัน จะมีปริมาณก๊าซมีเทนเกิดขึ้นต่ำที่สุด คือ 1.24 l/d เมื่อดำเนินระบบโดยมีความถี่ในการเติมของเหลว 3 วัน/ครั้ง โดยใช้ HRT 10 วัน จะมีปริมาณก๊าซมีเทนเกิดขึ้นสูงที่สุด 1.60 l/d และเมื่อใช้ HRT มากขึ้น พบว่าจะมีปริมาณก๊าซมีเทนเกิดขึ้นลดลง โดยที่ HRT 25 วัน จะมีปริมาณก๊าซมีเทนเกิดขึ้นต่ำที่สุด คือ 1.20 l/d

การวิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพด้วยก๊าซโครมาโตกราฟฟี (แสดงในภาคผนวก ก) เมื่อคิดเป็นค่าเฉลี่ยของปริมาณก๊าซมีเทน (%CH₄) ในก๊าซทั้งหมดที่เกิดขึ้น ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.15 และตารางที่ 4.16 จะเห็นได้ว่าองค์ประกอบของก๊าซมีเทนมีค่าใกล้เคียงกัน คืออยู่ในช่วง 60.04-62.43 % และ 58.77-61.08 % เมื่อมีความถี่ในการเติมของเหลว 1 และ 3 วัน/ครั้ง

4.4 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นต่อน้ำหนักมวลอินทรีย์สาร

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นต่อน้ำหนักมวลอินทรีย์สาร พิจารณาเป็นก๊าซชีวภาพที่เกิดต่อน้ำหนักมวลอินทรีย์สารที่เติมเข้าระบบ (gas production per organic weight addition) และก๊าซชีวภาพที่เกิดต่อน้ำหนักมวลอินทรีย์สารที่ถูกกำจัด (gas production per organic weight removal)

4.4.1 อัตราการผลิตก๊าซต่อน้ำหนักมวลอินทรีย์สารที่เติมเข้าระบบ (gas production per organic weight addition) ภายใต้สภาวะมาตรฐาน

อัตราการผลิตก๊าซต่อน้ำหนักมวลอินทรีย์สารที่เติมเข้าระบบ เมื่อมีความถี่ในการเติมของเหลว 1 และ 3 วัน/ครั้ง (ภายใต้สภาวะมาตรฐาน) ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.17 และตารางที่ 4.18

1) อัตราการผลิตก๊าซทั้งหมดต่อน้ำหนักมวลอินทรีย์สารที่เติมเข้าระบบ

จะเห็นได้ว่าเมื่อดำเนินระบบโดยมีความถี่ในการเติมของเหลว 1 วัน/ครั้ง พบว่าอัตราการผลิตก๊าซทั้งหมดต่อน้ำหนักมวลอินทรีย์สารที่เติมเข้าระบบไม่แตกต่างกันอย่างชัดเจน ระบบสามารถผลิตก๊าซทั้งหมดได้ 0.026-0.035 l/g COD added, 0.086-0.114 l/g TS added, 0.135-0.179 l/g TVS added และ 1.661-2.205 l/g VFA added

เมื่อดำเนินระบบโดยมีความถี่ในการเติมของเหลว 3 วัน/ครั้ง พบว่าอัตราการผลิตก๊าซทั้งหมดคือน้ำหนักมวลอินทรีย์สารที่เติมเข้าระบบไม่แตกต่างกันอย่างชัดเจน ระบบสามารถผลิตก๊าซทั้งหมดได้ 0.017-0.031 l/g COD added, 0.061-0.113 l/g TS added, 0.090-0.165 l/g TVS added และ 1.150-2.108 l/g VFA added

2) อัตราการผลิตก๊าซมีเทนต่อน้ำหนักมวลอินทรีย์สารที่เติมเข้าระบบ

จะเห็นได้ว่าเมื่อดำเนินระบบโดยมีความถี่ในการเติมของเหลว 1 วัน/ครั้ง พบว่าอัตราการผลิตก๊าซมีเทนต่อน้ำหนักมวลอินทรีย์สารที่เติมเข้าระบบไม่แตกต่างกันอย่างชัดเจน ระบบสามารถผลิตก๊าซมีเทนได้ 0.016-0.021 l/g COD added, 0.053-0.069 l/g TS added, 0.083-0.108 l/g TVS added และ 1.019-1.335 l/g VFA added

เมื่อดำเนินระบบโดยมีความถี่ในการเติมของเหลว 3 วัน/ครั้ง พบว่าอัตราการผลิตก๊าซมีเทนต่อน้ำหนักมวลอินทรีย์สารที่เติมเข้าระบบไม่แตกต่างกันอย่างชัดเจน ระบบสามารถผลิตก๊าซมีเทนได้ 0.010-0.019 l/g COD added, 0.036-0.069 l/g TS added, 0.053-0.101 l/g TVS added และ 0.682-1.288 l/g VFA added

ตารางที่ 4.17 อัตราการผลิตก๊าซต่อน้ำหนักมวลอินทรีย์สารที่เติมเข้าระบบ เมื่อมีความถี่ในการเติมของเหลว 1 วัน/ครั้ง (ภายใต้สภาวะมาตรฐาน)

Parameter	Treatment 1	Treatment 2	Treatment 3	Treatment 4
HRT (day)	10	15	20	25
OLR(g COD/l.d)	14.10	9.40	7.05	5.58
Total gas production per				
g COD added (l/g COD)	0.026	0.033	0.035	0.035
g TS added (l/g TS)	0.086	0.108	0.114	0.114
g TVS added (l/g TVS)	0.135	0.170	0.179	0.179
g VFA added (l/g VFA)	1.661	2.097	2.205	2.205
Methane production per				
g COD added (l/g COD)	0.016	0.021	0.021	0.021
g TS added (l/g TS)	0.053	0.067	0.069	0.068
g TVS added (l/g TVS)	0.083	0.106	0.108	0.107
g VFA added (l/g VFA)	1.019	1.309	1.335	1.324

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.18 อัตราการผลิตก๊าซต่อน้ำหนักมวลอินทรีย์สารที่เติมเข้าระบบ เมื่อมีความถี่ในการเติมของเหลว 3 วัน/ครั้ง (ภายใต้สภาวะมาตรฐาน)

Parameter	Treatment 1	Treatment 2	Treatment 3	Treatment 4
HRT (day)	10	15	20	25
OLR(g COD/l.d)	14.95	9.97	7.47	5.92
Total gas production per				
g COD added (l/g COD)	0.017	0.024	0.028	0.031
g TS added (l/g TS)	0.061	0.089	0.102	0.113
g TVS added (l/g TVS)	0.090	0.130	0.150	0.165
g VFA added (l/g VFA)	1.150	1.661	1.914	2.108
Methane production per				
g COD added (l/g COD)	0.010	0.014	0.017	0.019
g TS added (l/g TS)	0.036	0.052	0.062	0.069
g TVS added (l/g TVS)	0.053	0.076	0.091	0.101
g VFA added (l/g VFA)	0.682	0.976	1.158	1.288

4.4.2 อัตราการผลิตก๊าซต่อน้ำหนักมวลอินทรีย์สารที่ถูกกำจัด (gas production per organic weight removal) ภายใต้สภาวะมาตรฐาน

อัตราการผลิตก๊าซต่อน้ำหนักมวลอินทรีย์สารที่ถูกกำจัด เมื่อมีความถี่ในการเติมของเหลว 1 และ 3 วัน/ครั้ง (ภายใต้สภาวะมาตรฐาน) ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.19 และตารางที่ 4.20

1) อัตราการผลิตก๊าซทั้งหมดต่อน้ำหนักมวลอินทรีย์สารที่ถูกกำจัด

จะเห็นได้ว่าเมื่อดำเนินระบบโดยมีความถี่ในการเติมของเหลว 1 วัน/ครั้ง พบว่าอัตราการผลิตก๊าซทั้งหมดต่อน้ำหนักมวลอินทรีย์สารที่ถูกกำจัดไม่แตกต่างกันอย่างชัดเจน ระบบสามารถผลิตก๊าซทั้งหมดได้ 0.056-0.064 l/g COD removal, 0.209-0.225 l/g TS removal, 0.221-0.254 l/g TVS removal และ 6.829-8.169 l/g VFA removal

เมื่อดำเนินระบบโดยมีความถี่ในการเติมของเหลว 3 วัน/ครั้ง พบว่าอัตราการผลิตก๊าซทั้งหมดต่อน้ำหนักมวลอินทรีย์สารที่ถูกกำจัดไม่แตกต่างกันอย่างชัดเจน ระบบสามารถผลิตก๊าซทั้งหมดได้ 0.042-0.054 l/g COD removal, 0.189-0.221 l/g TS removal, 0.174-0.223 l/g TVS removal และ 7.475-10.586 l/g VFA removal

การศึกษานี้เป็นการศึกษาเบื้องต้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) อัตราการผลิตก๊าซมีเทนต่อน้ำหนักมวลอินทรีย์สารที่ถูกกำจัด

จะเห็นได้ว่าเมื่อคำนวณระบบโดยมีความถี่ในการเติมของเหลว 1 วัน/ครั้ง พบว่าอัตราการผลิตก๊าซมีเทนต่อน้ำหนักมวลอินทรีย์สารที่ถูกกำจัดไม่แตกต่างกันอย่างชัดเจน ระบบสามารถผลิตก๊าซมีเทนได้ 0.034-0.040 l/g COD removal, 0.128-0.140 l/g TS removal, 0.136-0.157 l/g TVS removal และ 4.188-5.100 l/g VFA removal

เมื่อคำนวณระบบโดยมีความถี่ในการเติมของเหลว 3 วัน/ครั้ง พบว่าอัตราการผลิตก๊าซมีเทนต่อน้ำหนักมวลอินทรีย์สารที่ถูกกำจัดไม่แตกต่างกันอย่างชัดเจน ระบบสามารถผลิตก๊าซมีเทนได้ 0.025-0.033 l/g COD removal, 0.112-0.131 l/g TS removal, 0.103-0.136 l/g TVS removal และ 4.436-6.466 l/g VFA removal

ตารางที่ 4.19 อัตราการผลิตก๊าซต่อน้ำหนักมวลอินทรีย์สารที่ถูกกำจัด เมื่อมีความถี่ในการเติมของเหลว 1 วัน/ครั้ง (ภายใต้สภาวะมาตรฐาน)

Parameter	Treatment 1	Treatment 2	Treatment 3	Treatment 4
HRT (day)	10	15	20	25
OLR(g COD/l.d)	14.10	9.40	7.05	5.58
Total gas production per				
g COD removal (l/g COD)	0.056	0.064	0.061	0.057
g TS removal (l/g TS)	0.209	0.225	0.217	0.209
g TVS removal (l/g TVS)	0.221	0.252	0.254	0.239
g VFA removal (l/g VFA)	6.829	8.169	8.160	7.648
Methane production per				
g COD removal (l/g COD)	0.034	0.040	0.037	0.034
g TS removal (l/g TS)	0.128	0.140	0.131	0.125
g TVS removal (l/g TVS)	0.136	0.157	0.154	0.143
g VFA removal (l/g VFA)	4.188	5.100	4.942	4.592

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.20 อัตราการผลิตก๊าซที่หน้าหมักมวลอินทรีย์สารที่ถูกกำจัด เมื่อมีความถี่ในการเติมของเหลว 3 วัน/ครั้ง (ภายใต้สภาวะมาตรฐาน)

Parameter	Treatment 1	Treatment 2	Treatment 3	Treatment 4
HRT (day)	10	15	20	25
OLR(g COD/l.d)	14.95	9.97	7.47	5.92
Total gas production per				
g COD removal (l/g COD)	0.042	0.054	0.054	0.053
g TS removal (l/g TS)	0.189	0.211	0.221	0.215
g TVS removal (l/g TVS)	0.174	0.206	0.216	0.223
g VFA removal (l/g VFA)	7.475	9.924	10.315	10.586
Methane production per				
g COD removal (l/g COD)	0.025	0.032	0.033	0.032
g TS removal (l/g TS)	0.112	0.124	0.128	0.131
g TVS removal (l/g TVS)	0.103	0.121	0.131	0.136
g VFA removal (l/g VFA)	4.436	5.832	6.420	6.466

4.5 การวิเคราะห์และเปรียบเทียบผล

ผลสรุปการทดลอง เปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ และปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นในระบบถึงหมักทั้ง 4 การทดลอง เมื่อมีความถี่ในการเติมของเหลว 1 และ 3 วัน/ครั้ง ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.21 และตารางที่ 4.22

ความสัมพันธ์ระหว่าง HRT กับปริมาณก๊าซทั้งหมดที่เกิดขึ้น และประสิทธิภาพการกำจัด COD ของระบบ เมื่อมีความถี่ในการเติมของเหลว 1 และ 3 วัน/ครั้ง ได้แสดงไว้ในภาพที่ 4.22 และภาพที่ 4.23 ส่วนความสัมพันธ์ระหว่าง OLR กับปริมาณก๊าซทั้งหมดที่เกิดขึ้น และประสิทธิภาพการกำจัด COD ของระบบ เมื่อมีความถี่ในการเติมของเหลว 1 และ 3 วัน/ครั้ง ได้แสดงไว้ในภาพที่ 4.24 และภาพที่ 4.25 จะเห็นได้ว่าจุดที่เส้นกราฟตัดกัน คือจุดสมดุลระหว่างปริมาณก๊าซทั้งหมดที่เกิดขึ้นและประสิทธิภาพการกำจัด COD ของระบบ ดังนั้นสภาวะที่เหมาะสมในการทำงานของระบบ คือที่ HRT 20 วัน (OLR 7.05 gCOD/l.d) และมีความถี่ในการเติมของเหลว 1 วัน/ครั้ง สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ 2.60 l/d และมีประสิทธิภาพการกำจัด COD 56.48 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.21 ผลสรุปการทดลอง เปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ และปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นในระบบถังหมักทั้ง 4 การทดลอง เมื่อมีความถี่ในการเติมของเหลว 1 วัน/ครั้ง

Parameter	Treatment 1	Treatment 2	Treatment 3	Treatment 4
HRT (day)	10	15	20	25
OLR(g COD/l.d)	14.10	9.40	7.05	5.58
พีเอช				
Influent (g/l)	7.00	7.00	7.00	7.00
Effluent (g/l)	6.60	6.64	6.69	6.73
COD				
Influent (g/l)	141.43	141.43	141.43	141.43
Effluent (g/l)	75.30	68.13	61.55	55.98
Removal (%)	46.76	51.83	56.48	60.42
TS				
Influent (g/l)	42.97	42.97	42.97	42.97
Effluent (g/l)	25.36	22.29	20.46	19.51
Removal (%)	40.98	48.13	52.39	54.60
TVS				
Influent (g/l)	27.38	27.38	27.38	27.38
Effluent (g/l)	10.68	8.92	8.11	6.89
Removal (%)	60.99	67.42	70.38	74.83
VFA				
Influent (g/l)	2.22	2.22	2.22	2.22
Effluent (g/l)	1.68	1.65	1.62	1.58
Removal (%)	24.32	25.68	27.03	28.83
TA				
Influent (g/l)	1.48	1.48	1.48	1.48
Effluent (g/l)	2.99	2.93	3.13	2.74
Total gas production (l/d)	3.91	3.30	2.60	2.06
Total gas production (l/l.d)	0.406	0.342	0.270	0.214
Methane production (l/d)	2.40	2.06	1.57	1.24
Methane production (l/l.d)	0.249	0.214	0.163	0.129
% Methane	61.33	62.43	60.56	60.04

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

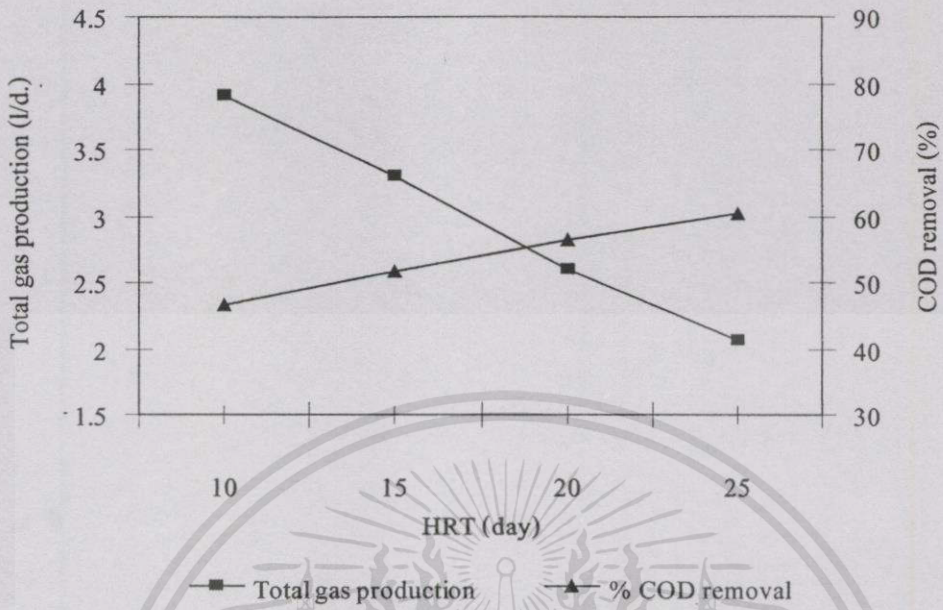
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.22 ผลสรุปการทดลอง เปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ และปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นในระบบถังหมักทั้ง 4 การทดลอง เมื่อมีความถี่ในการเติมของเหลว 3 วัน/ครั้ง

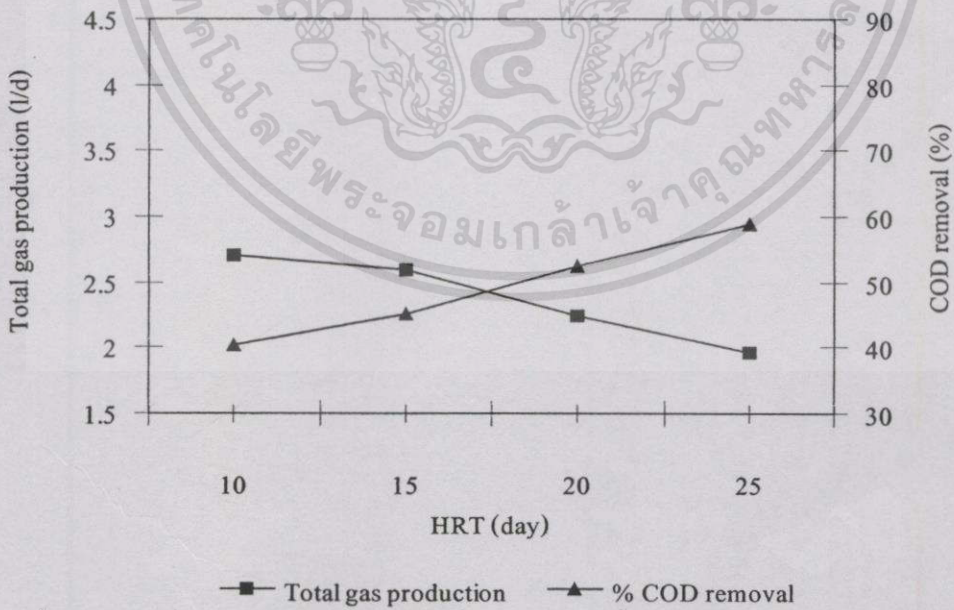
Parameter	Treatment 1	Treatment 2	Treatment 3	Treatment 4
HRT (day)	10	15	20	25
OLR(g COD/l.d)	14.95	9.97	7.47	5.92
พีเอช				
Influent	7.00	7.00	7.00	7.00
Effluent	6.52	6.48	6.52	6.62
COD				
Influent (g/l)	149.96	149.96	149.96	149.96
Effluent (g/l)	89.30	82.45	71.22	61.86
Removal (%)	40.45	45.02	52.51	58.75
TS				
Influent (g/l)	41.35	41.35	41.35	41.35
Effluent (g/l)	27.87	23.95	22.21	19.65
Removal (%)	32.60	42.07	46.29	52.49
TVS				
Influent (g/l)	28.20	28.20	28.20	28.20
Effluent (g/l)	13.63	10.34	8.64	7.34
Removal (%)	51.66	63.33	69.36	73.97
VFA				
Influent (g/l)	2.21	2.21	2.21	2.21
Effluent (g/l)	1.87	1.84	1.80	1.77
Removal (%)	15.38	16.74	18.55	19.91
TA				
Influent (g/l)	1.97	1.97	1.97	1.97
Effluent (g/l)	2.58	2.70	2.73	2.51
Total gas production (l/d)	2.70	2.60	2.24	1.96
Total gas production (l/l.d)	0.28	0.27	0.23	0.20
Methane production (l/d)	1.60	1.53	1.35	1.20
Methane production (l/l.d)	0.17	0.16	0.14	0.12
% Methane	59.34	58.77	60.49	61.08

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

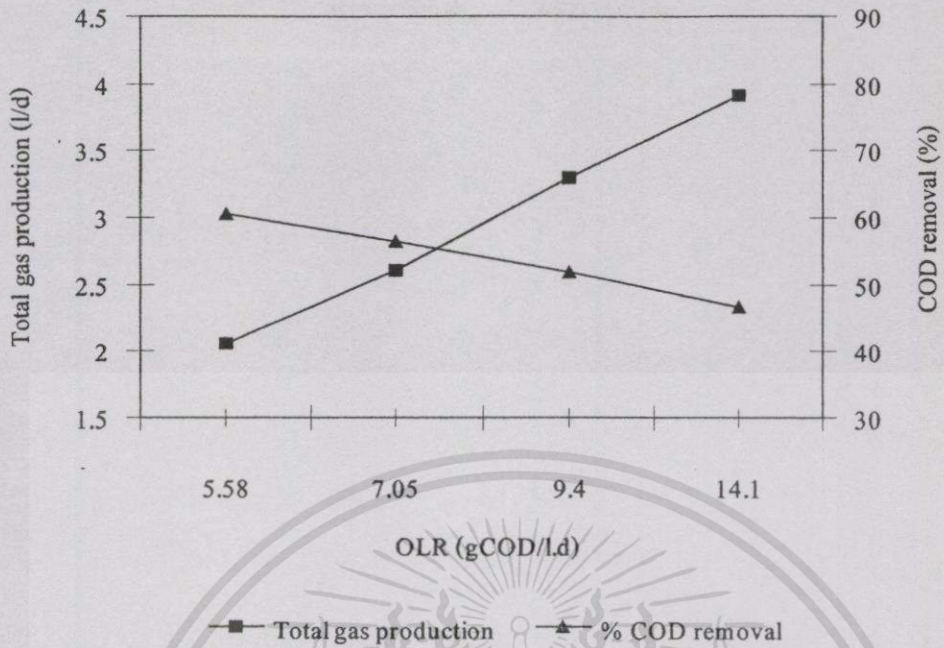


ภาพที่ 4.22 ความสัมพันธ์ระหว่าง HRT กับปริมาณก๊าซทั้งหมดที่เกิดขึ้น และประสิทธิภาพการกำจัด COD ของระบบ เมื่อมีความถี่ในการเติมของเหลว 1 วัน/ครั้ง

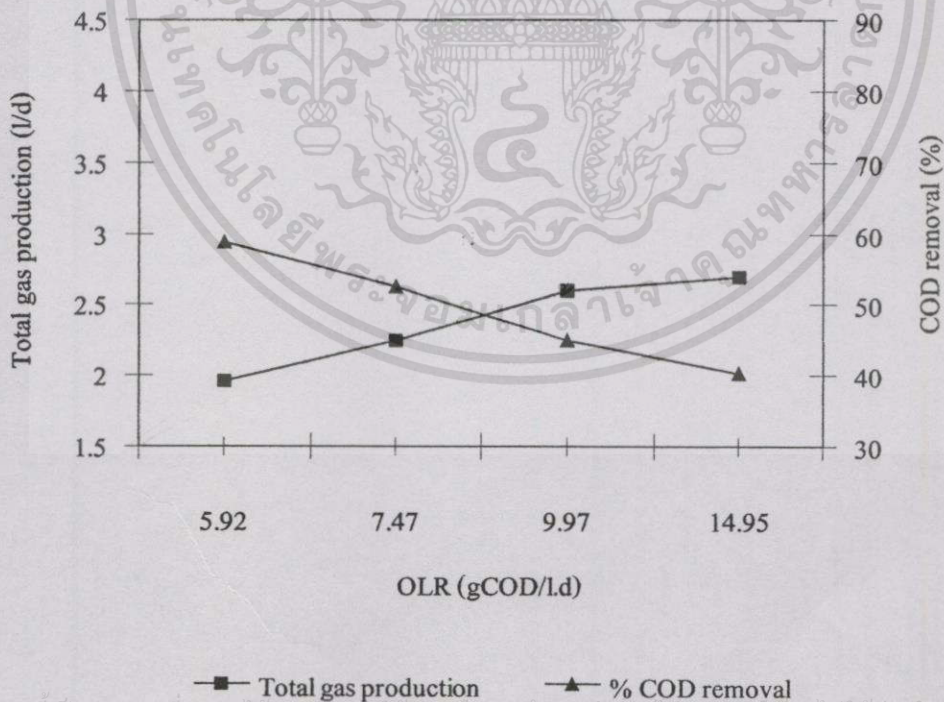


ภาพที่ 4.23 ความสัมพันธ์ระหว่าง HRT กับปริมาณก๊าซทั้งหมดที่เกิดขึ้น และประสิทธิภาพการกำจัด COD ของระบบ เมื่อมีความถี่ในการเติมของเหลว 3 วัน/ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.24 ความสัมพันธ์ระหว่าง OLR กับปริมาณก๊าซทั้งหมดที่เกิดขึ้น และประสิทธิภาพการกำจัด COD ของระบบ เมื่อมีความถี่ในการเติมของเหลว 1 วัน/ครั้ง



ภาพที่ 4.25 ความสัมพันธ์ระหว่าง OLR กับปริมาณก๊าซทั้งหมดที่เกิดขึ้น และประสิทธิภาพการกำจัด COD ของระบบ เมื่อมีความถี่ในการเติมของเหลว 3 วัน/ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

วิจารณ์ผลการทดลอง

ตัวอย่างเศษอาหารที่เก็บจากโรงอาหารประกอบด้วยข้าว พืชผักและเนื้อสัตว์ต่าง ๆ มีความแตกต่างกัน จึงจำเป็นต้องเก็บตัวอย่างเป็นปริมาณมาก เพื่อตัวอย่างเศษอาหารที่ใช้ในการทดลองจะได้มีสารประกอบต่าง ๆ ใกล้เคียงกันมากที่สุด จากนั้นเศษอาหารจะถูกนำมาเจือจางด้วยน้ำประปาให้ได้ของเหลวมีค่าปริมาณของแข็ง (TS) ประมาณ 4 % เพื่อป้อนเข้าสู่ระบบถังหมัก ซึ่งมีค่า TS ใกล้เคียงกับการทดลองของ Mata-Alvarez *et. al.* (1992) ที่ใช้ขยะจากเทศบาลสดมาเจือจางให้ได้ของเหลวมีค่า TS 4 %

จากการวิเคราะห์คุณสมบัติของสารละลายเศษอาหารที่ใช้ป้อนเข้าสู่ระบบ พบว่ามีอัตราส่วนระหว่าง BOD:COD ประมาณ 0.7 เป็นพารามิเตอร์ที่ชี้ให้เห็นถึงความสามารถในการบำบัดโดยใช้วิธีทางจุลชีววิทยา สำหรับอัตราส่วน BOD:N:P ของสารละลายเศษอาหารมีค่าประมาณ 100:29.21:2.18 เป็นอัตราส่วนที่สามารถบำบัดด้วยกระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศ โดยไม่จำเป็นต้องเติมธาตุอาหารเพิ่มเติมให้แก่ระบบ เพราะอัตราส่วนของ BOD:N:P ที่ใช้สำหรับการย่อยสลายแบบไร้อากาศ โดยทั่วไปมีค่า 100 :1.1:0.2 ถ้ามีธาตุไนโตรเจนและฟอสฟอรัสต่ำกว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมนี้ ประสิทธิภาพในการย่อยสลายอินทรีย์สารและผลิตภัณฑ์ชีวภาพจะลดต่ำลง หนึ่งถ้ามีธาตุไนโตรเจนมากเกินไปก็จะเป็นพิษต่อแบคทีเรียหรือเปลี่ยนแปลงสภาพแบคทีเรียได้ เช่น ตะกอนแบคทีเรียลอยตัวหลุดออกจากระบบได้ (สุเมธ. 2530) สำหรับค่าไนโตรเจนและฟอสฟอรัสของเศษอาหารมีค่า 2.94 และ 0.22 % ซึ่งใกล้เคียงกับการทดลองของ Mata-Alvarez *et. al.* (1992) ที่รายงานว่าขยะจากตลาดสดมีปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสอยู่ 2.8 และ 0.28 % นอกจากนี้สมการความสัมพันธ์ระหว่างค่า BOD และ COD ที่ได้ ทำให้สามารถประเมินค่า BOD หรือ COD ได้ เมื่อทราบเพียงค่าใดค่าหนึ่งเท่านั้น โดยในการทดลองได้วิเคราะห์ค่า COD ของของเหลวในระบบเท่านั้น แต่สามารถประเมินได้ว่าจะมีค่า BOD อยู่เท่าใด และยังพบว่าองค์ประกอบของเศษอาหารในลักษณะของเหลวมีอินทรีย์สารที่สามารถย่อยสลายได้ง่าย และมีอินทรีย์สารที่ไม่สามารถย่อยสลายในทางชีววิทยาอยู่น้อย

ในระหว่างการทดลอง ตัวอย่างของเหลวที่เข้าและออกจากระบบจะถูกนำไปวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ จนระบบเข้าสู่สภาวะสมดุล พบว่าปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นเริ่มจะคงที่ใช้เวลาประมาณ 1 เดือน จึงทำการเก็บข้อมูลต่อไปอีกประมาณ 1 เดือน เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของระบบ ซึ่งถือว่าระบบสามารถปรับตัวได้รวดเร็ว เนื่องจากจุลินทรีย์เริ่มต้นที่ใช้ในระบบมีการปรับสภาพ (acclimate) กับเศษอาหารที่ป้อนเข้าสู่ระบบได้ ในการทดลองนี้เริ่มต้นระบบโดยใช้จุลินทรีย์เริ่ม

คืนในปริมาณ 40 % ของปริมาณการหมักตามข้อเสนอแนะของ Hobson and Wheatly (1993) ที่แนะนำว่าควรใส่ในปริมาณไม่น้อยกว่า 10 % ของปริมาณการหมัก

จากผลการทดลองพบว่าประสิทธิภาพการกำจัดอินทรีย์สารในรูป COD, TS, TVS และ VFA มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อมีระยะเวลาเก็บกัก (HRT) มากขึ้น (อัตราการป้อนอินทรีย์สาร (OLR) น้อยลง) ทั้งนี้เนื่องจากระบบที่มี HRT หรือมี OLR สูง จะมีปริมาณอินทรีย์สารที่เข้าสู่ระบบมาก ทำให้แบคทีเรียไม่สามารถกำจัดอินทรีย์สารได้หมดจึงมีอินทรีย์สารเหลืออยู่ในระบบมาก เป็นเหตุให้ประสิทธิภาพในการกำจัดอินทรีย์สารน้อย แต่เมื่อดำเนินระบบโดยมี HRT มากขึ้น หรือมี OLR น้อยลงจะช่วยให้ประสิทธิภาพการกำจัดอินทรีย์สารสูงขึ้น เพราะว่าแบคทีเรียมีเวลาที่จะเมตาบอลิซึม (metabolize) อินทรีย์สารต่าง ๆ ทำให้ของเหลวที่ออกจากระบบมีอินทรีย์สารเหลืออยู่น้อยลง นอกจากนี้ความถี่ในการเติมของเหลวก็มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดอินทรีย์สาร จะเห็นได้ว่าเมื่อดำเนินระบบโดยมีความถี่ในการเติมของเหลวน้อยลง ประสิทธิภาพการกำจัดอินทรีย์สารจะลดลง ทั้งนี้เนื่องจากระบบที่มีความถี่ในการเติมของเหลวน้อย แต่อัตราการป้อนอินทรีย์สารต่อวันเท่ากัน เมื่อแบคทีเรียได้รับอินทรีย์สารมากทำให้การย่อยสลายอินทรีย์สารเกิดขึ้นมาก มีผลให้พีเอชลดต่ำลง ซึ่งมีผลต่อการทำงานของแบคทีเรีย ทำให้ไม่สามารถกำจัดอินทรีย์สารได้หมด ถ้าประสิทธิภาพการกำจัดอินทรีย์สารน้อย

ประสิทธิภาพการกำจัด COD ของระบบมีค่าอยู่ในช่วง 40.45-60.42 % ระบบถังหมักแบบที่มีการกวนผสมอย่างสมบูรณ์ (CSTR) เป็นที่นิยมใช้ในการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการ จุลินทรีย์แขวนลอยอยู่ในของเหลว ทำให้ประสิทธิภาพการกำจัด COD ต่ำ ดังเช่นในการทดลองของ Mata-Alvarez and Blabes (1988) พบว่าการบำบัดของเสียจากสุกร โดยระบบถังหมักแบบ CSTR มีประสิทธิภาพการกำจัด COD สูงสุดเพียง 44 %

ประสิทธิภาพการกำจัด TS และ TVS พบว่าเมื่อดำเนินระบบโดยมี HRT น้อยลง หรือมี OLR สูงขึ้น ทำให้มีปริมาณอินทรีย์สารเข้าสู่ระบบมากขึ้น และเมื่อทำการทดลองเป็นเวลานานขึ้น เกิดการตกตะกอนของแข็งมากขึ้น ส่งผลกระทบต่อการกวนเพราะของเหลวมีความหนืดมากขึ้น ทำให้อินทรีย์สารที่เข้าสู่ระบบสามารถสัมผัสกับแบคทีเรียได้ไม่ทั่วถึง แบคทีเรียย่อยสลายอินทรีย์สารได้ยาก ซึ่งเป็นผลทำให้ประสิทธิภาพการกำจัด TS และ TVS น้อยลง

ปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่าย (VFA) ของของเหลวที่ออกจากระบบ พบว่าอยู่ในช่วง 1.58-1.87 g/l ซึ่งอยู่ในช่วงที่ระบบสามารถทำงานได้ดี เพราะว่าการกรดอินทรีย์ที่เกิดจากการย่อยสลายอินทรีย์สารของแบคทีเรียจำพวกสร้างกรด จะถูกแบคทีเรียกลุ่มสร้างก๊าซมีเทนนำไปใช้เพื่อผลิตก๊าซมีเทนต่อไป โดยทั่วไปกรดอินทรีย์ระเหยง่ายในถังหมักไม่ควรเกิน 2,000-3,000 mg/l (Buswell and Mueller, 1952) มิฉะนั้นจะทำให้ปริมาณก๊าซมีเทนลดลง

สำหรับการเปลี่ยนแปลงของความเป็นด่าง ซึ่งให้เห็นว่าเมื่อของเหลวเข้าสู่ระบบ จะถูกย่อยสลายทำให้เกิดสภาพความเป็นด่างเพิ่มขึ้น ซึ่งเกิดจากการย่อยสลายโปรตีนเกิดแอมโมเนียและ

คาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งจะทำปฏิกิริยากับน้ำเป็นแอมโมเนียมไบคาร์บอเนต ค่าความเป็นด่างของของเหลวที่ออกจากระบบจึงมีค่าเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับสมชาย (2530) จากการทดลองพบว่าปริมาณความเป็นด่างทั้งหมด (TA) ของของเหลวที่ออกจากระบบอยู่ในช่วง 2.51-3.13 g/l ซึ่งอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการเกิดปฏิกิริยาของระบบ สำหรับปริมาณความเป็นด่างที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 2,500-5,000 mg/l (Graef and Andrews. 1974)

ในช่วงแรกของการทดลองได้ดำเนินการระบบโดยมีความถี่ในการเติมของเหลว 3 วัน/ครั้ง ตามแผนงานการดำเนินงานวิจัยในการเสนอหัวข้อวิทยานิพนธ์ พบว่าค่าพีเอชมีค่าลดลงต่ำถึง 6.2 ในทุกการทดลอง จึงจำเป็นต้องมีการปรับค่าพีเอช ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 20 % เพื่อรักษาค่าพีเอชให้เป็นกลางตามข้อเสนอแนะของ Andrews (1969) ที่กล่าวว่าหากหมักแบบไร้อากาศจะมีประสิทธิภาพลดลงเมื่อมีค่าพีเอชน้อยกว่า 6.2 จึงมีแนวความคิดที่จะเปลี่ยนการดำเนินการระบบโดยมีความถี่ในการเติมของเหลวเป็น 1 วัน/ครั้ง พบว่าของเหลวที่ออกจากระบบมีค่าพีเอชไม่ต่ำกว่า 6.2 จึงไม่จำเป็นต้องปรับค่าพีเอช โดยมีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 6.60-6.73 เป็นพีเอชที่อยู่ในช่วงที่เหมาะสม ดังรายงานของ McCarty (1964) ที่กล่าวว่าระบบจะทำงานได้ดีในช่วงพีเอชระหว่าง 6.6-7.6

เมื่อพิจารณาถึงปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น พบว่ามีค่าลดลงเมื่อมี HRT มากขึ้น (OLR น้อยลง) กล่าวคือมีปริมาณก๊าซชีวภาพสูงขึ้นตาม OLR ของระบบ สอดคล้องกับการศึกษาของ ธนินยา (2540) และ บุญบา (2537) ทั้งนี้เพราะว่าเมื่อมี HRT มากขึ้น หรือมี OLR น้อยลง จุลินทรีย์อยู่ในระบบนาน ทำให้ต้องใช้พลังงานในการดำรงชีวิต ดังนั้นอินทรีย์สารส่วนใหญ่จะถูกย่อยสลายนำไปใช้เป็นพลังงาน ซึ่งทำให้การสร้างเซลล์ใหม่มีน้อย (Young and McCarty. 1969) นอกจากนี้เมื่อดำเนินการระบบโดยมีความถี่ในการเติมของเหลวมากกว่า จะมีปริมาณก๊าซชีวภาพสูงมากขึ้น เนื่องจากแบคทีเรียจะได้รับอินทรีย์สารอย่างต่อเนื่อง ปฏิกิริยาเกิดขึ้นได้อย่างสม่ำเสมอ

จากแผนการทดลองที่ได้ออกแบบให้มี HRT ต่าง ๆ กัน คือ 10, 15, 20 และ 25 วัน ผลการทดลองพบว่าเมื่อดำเนินการระบบโดยมี HRT น้อยที่สุดคือ 10 วัน สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้สูงที่สุด จึงมีแนวความคิดทดลองดำเนินการระบบโดยมี HRT 5 วัน พบว่าปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นมีแนวโน้มลดลงเรื่อย ๆ จนต่ำสุดประมาณ 0.10 l/d ส่วนการเปลี่ยนแปลงของค่าพีเอช พบว่ามีแนวโน้มลดลงเรื่อย ๆ เช่นกัน โดยมีค่าพีเอชลดลงต่ำถึง 5.01 ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อดำเนินการระบบโดยมี HRT น้อยเกินไป ทำให้มีปริมาณอินทรีย์สารเข้าสู่ระบบในปริมาณมากเกินไป ทำให้เกิดสภาพ overload จุลินทรีย์จะถูกดึงออกจากถังหมัก (wash out) ปริมาณจุลินทรีย์ในระบบจะลดลงเรื่อย ๆ จนในที่สุดจะถึงจุดที่ไม่มีจุลินทรีย์ในจำนวนที่เพียงพอที่จะย่อยสลายอินทรีย์สารหรือของเสียที่ใส่เข้าไปได้ทัน จึงเกิดการล้มเหลวของระบบ ดังนั้นสภาวะที่เหมาะสมในการทำงานของถังหมัก คือที่ HRT 20 วัน (OLR 7.05 gCOD/L.d) และมีความถี่ในการเติมของเหลว 1 วัน/ครั้ง โดยพิจารณาจากภาพที่ 4.22 จะเห็นได้ว่าจุดที่เส้นกราฟแสดงปริมาณก๊าซทั้งหมดที่ผลิตได้ตัดกับเส้นกราฟ

แสดงประสิทธิภาพการกำจัด COD คือจุดสมดุลระหว่างสองค่าดังกล่าว ซึ่งคือจุดที่เหมาะสมในการทำงานของระบบ

เนื่องจากงานวิจัยในเรื่องการนำเศษอาหารมาผลิตก๊าซชีวภาพเป็นเรื่องที่ค่อนข้างใหม่ จึงยังมีผู้วิจัยไม่มากนัก แม้แต่ในต่างประเทศเองก็ตาม สำหรับประเทศไทยยังไม่พบว่ามีผู้ทำการศึกษาในเรื่องนี้มาก่อน มีเพียงแต่งานวิจัยของศักดิ์ชัย (2527) และสมชาย (2530) ได้ทำการศึกษา นำขยะมาผลิตก๊าซชีวภาพ เมื่อนำมาเปรียบเทียบกันดังแสดงในตารางที่ 5.1 พบว่าในการทดลองนี้มีปริมาณก๊าซทั้งหมดที่ผลิตได้ในแต่ละวันต่อปริมาตรถังหมักสูงกว่างานวิจัยของสมชาย (2530) แต่ต่ำกว่างานวิจัยของศักดิ์ชัย (2527) เนื่องจากสารอาหารที่ป้อนเข้าสู่ถังหมักต่างชนิดกัน โดยในงานวิจัยของสมชาย (2530) มีอัตราการป้อนสารอาหารที่ต่ำกว่าในการทดลอง โดยมีค่า COD ที่ใช้ป้อนเข้าสู่ถังหมักอยู่ในช่วงประมาณ 5,000 mg/l ส่วนในงานวิจัยของศักดิ์ชัย (2527) มีการควบคุมอุณหภูมิของถังหมักและระบบการป้อนสารอาหารเป็นแบบต่อเนื่องจึงมีปริมาณก๊าซที่ผลิตได้สูงกว่า

ตารางที่ 5.1 การเปรียบเทียบปริมาณก๊าซทั้งหมดที่ผลิตได้และประสิทธิภาพการกำจัดอินทรีย์สารกับงานวิจัยอื่น

	ผลจากการทดลองนี้	ศักดิ์ชัย (2527) ¹	สมชาย (2530) ²
HRT (day)	20	15	3.49
OLR	TS 4 % (COD 145.15g/l)	TS 5 % (COD 62.52 g/l)	TS 3.55 % (COD 5 g/l)
Total gas production (l/l.d)	0.270	1.025	0.138
COD removal (%)	56.48	50.28	76.78
TS removal (%)	52.39	60.40	86.67
TVS removal (%)	70.38	73.01	85.48

¹ การผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะ โดยกระบวนการชีวภาพแบบไร้อากาศ 1 ชั้นตอน

² การผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะ โดยกระบวนการชีวภาพแบบไร้อากาศ 2 ชั้นตอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาอิทธิพลของระยะเวลาเก็บกักและอัตราการป้อนอินทรีย์สารต่อการผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหาร ปรากฏผลการศึกษาดังนี้

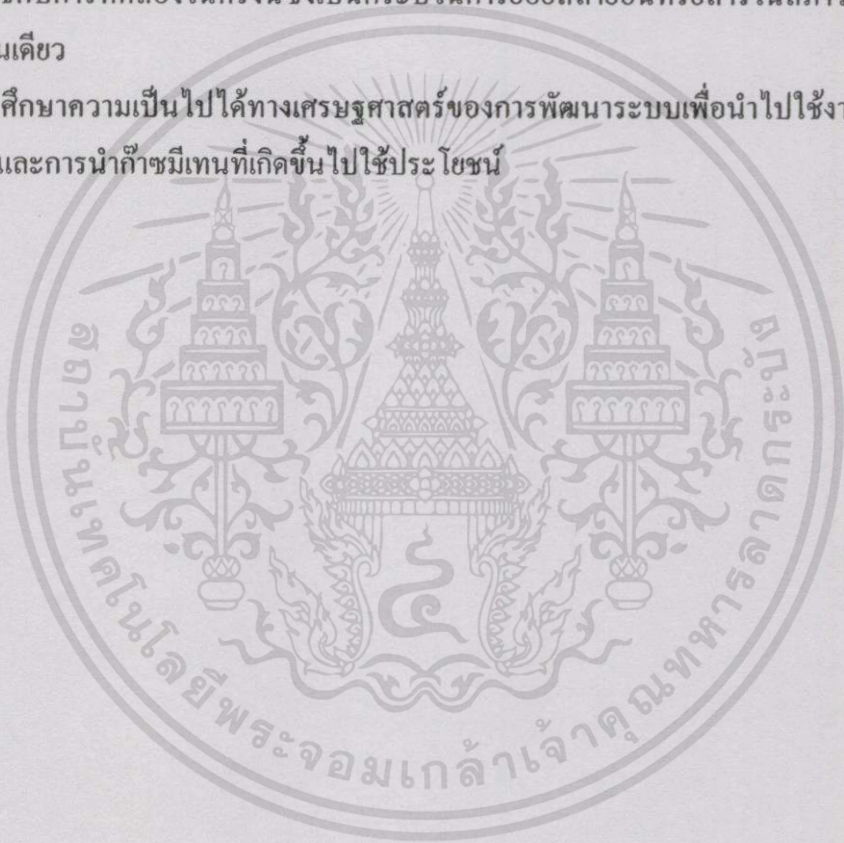
1. คุณสมบัติของสารละลายเศษอาหารที่ใช้ป้อนเข้าสู่ถังหมักมีค่าต่าง ๆ ดังนี้ ค่า BOD, COD, TS, TVS, VFA และ TA อยู่ 100.63, 145.15, 40.75, 28.68, 1.98 และ 1.33 g/l ตามลำดับ มีปริมาณไนโตรเจน และฟอสฟอรัส อยู่ 2.94 และ 0.22% และนำมาปรับพีเอชให้เป็น 7.00
2. ประสิทธิภาพการกำจัดอินทรีย์สาร พบว่ามีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อมีระยะเวลาเก็บกักมากขึ้น (อัตราการป้อนอินทรีย์สารน้อยลง) และมีความถี่ในการเติมของเหลวมากขึ้น กล่าวคือเมื่อดำเนินระบบโดยมีความถี่ในการเติมของเหลว 1 วัน/ครั้ง ที่ HRT 25 วัน เทียบได้กับ OLR 5.58 g COD/L.d มีประสิทธิภาพการกำจัด COD, TS, TVS และ VFA สูงที่สุด คือ 60.42, 54.60, 74.83 และ 28.83 % ตามลำดับ
3. การเปลี่ยนแปลงของปริมาณความเป็นด่างทั้งหมด (TA) พบว่าค่า TA ของของเหลวที่ออกจากระบบมีค่าเพิ่มขึ้น กล่าวคืออยู่ในช่วง 2.51-3.13 g/l ซึ่งถือว่าอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการทำงานของระบบ
4. การเปลี่ยนแปลงของค่าพีเอช พบว่าเมื่อดำเนินระบบโดยมีความถี่ในการเติมของเหลว 3 วัน/ครั้ง ค่าพีเอชมีค่าลดลงต่ำถึง 6.2 จึงจำเป็นต้องมีการปรับพีเอชเพื่อรักษาพีเอชให้มีค่าเป็นกลาง แต่เมื่อดำเนินระบบโดยมีความถี่ในการเติมของเหลว 1 วัน/ครั้ง ค่าพีเอชอยู่ในช่วง 6.60-6.73 ซึ่งถือว่าอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการทำงานของจุลินทรีย์ในระบบ
5. ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น พบว่ามีค่าลดลงเมื่อมีระยะเวลาเก็บกักมากขึ้น (อัตราการป้อนอินทรีย์สารน้อยลง) และมีความถี่ในการเติมของเหลวน้อยลง กล่าวคือเมื่อดำเนินระบบโดยมีความถี่ในการเติมของเหลว 1 วัน/ครั้ง ที่ HRT 10 วัน เทียบได้กับ OLR 14.10 g COD/L.d มีปริมาณก๊าซชีวภาพสูงที่สุด คือ 3.91 l/d
6. สภาวะที่เหมาะสมในการทำงานของถังหมัก คือที่ HRT 20 วัน เทียบได้กับ OLR 7.05 g COD/L.d และมีความถี่ในการเติมของเหลว 1 วัน/ครั้ง สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้เฉลี่ย 2.60 l/d โดยมีองค์ประกอบของก๊าซมีเทน 60.56 % และมีประสิทธิภาพการกำจัด COD, TS, TVS และ VFA เท่ากับ 56.48, 52.39, 70.38 และ 27.03 % ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสรุปผลการวิจัยถึงอิทธิพลของระยะเวลาเก็บกักและอัตราการป้อนอินทรีย์สารต่อการผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหาร มีข้อเสนอแนะเพิ่มเติมดังนี้

1. ของเหลวที่ออกจากระบบถังหมักยังมีอินทรีย์สารสูงเกินกว่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ ดังนั้นควรจะมีการศึกษาถึงการนำของเหลวดังกล่าวไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตรกรรม
2. ศึกษาถึงระยะเวลาในการกวนต่าง ๆ เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดอินทรีย์สารและอัตราการผลิตก๊าซของระบบ
3. ศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหารโดยกระบวนการย่อยสลายอินทรีย์สารในสภาวะไร้อากาศแบบ 2 ขั้นตอน เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดอินทรีย์สารและอัตราการผลิตก๊าซกับการทดลองในครั้งนี้ซึ่งเป็นกระบวนการย่อยสลายอินทรีย์สารในสภาวะไร้อากาศแบบขั้นตอนเดียว
4. ศึกษาความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ของการพัฒนาระบบเพื่อนำไปใช้งานในระดับภาคสนาม และการนำก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นไปใช้ประโยชน์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน. 2542. การศึกษาความเหมาะสมก่อนการลงทุนในการผลิตก๊าซมีเทนจากขยะชุมชน เพื่อเป็นเชื้อเพลิงพลังงาน ในเขต อ.เมือง จ.นครราชสีมา และ กรุงเทพฯ. กรุงเทพฯ : สำนักงานศึกษาค้นคว้าและพัฒนาพลังงาน กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม.
- ธงชัย พรรณสวัสดิ์ และวิบูลย์ลักษณ์ วิสุทธีศักดิ์. 2540. คู่มือวิเคราะห์น้ำทิ้ง. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ : สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ธนิยา เกาศล. 2540. “สภาวะการทำงานที่เหมาะสมของถังหมักไร้อากาศในการบำบัดตะกอน.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- บุษบา ธรรมประเสริฐ. 2537. “การกำจัดของเสียจากสุกร โดยใช้ระบบหมักแบบ UASB.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ปราการ บุญช่วยดี. 2528. “รูปแบบและการสร้างประกอบระบบหมักผลิตและใช้ก๊าซชีวภาพ.” กรุงเทพฯ : กองนโยบายและวางแผนพลังงาน สำนักงานพลังงานแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและการพลังงาน.
- เพชรพร คุณวานากิจ. 2537. การควบคุมดูแลระบบบำบัดน้ำเสีย. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- มรกต ดันดีเจริญ. 2534. “ก๊าซชีวภาพ.” กรุงเทพฯ : ศูนย์ฝึกอบรมพลังงาน สำนักงานพลังงานแห่งชาติ.
- ศักดิ์ชัย โอภาสวัฑชัย. 2527. “การย่อยสลายและการผลิตก๊าซชีวภาพของขยะแบบไร้ออกซิเจน โดยแบคทีเรียชนิดชอบความร้อน.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. 2524. “แนวทางการกำจัดน้ำกากส่าจาก โรงงานสุรากรมสรรพสามิต ตอนที่ 2.
- สมชาย เข็มธีรสกุล. 2530. “การผลิตก๊าซมีเทนจากขยะโดยกระบวนการชีวภาพแบบไร้อากาศ 2 ขั้นตอน.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

- สุพรรณดี ชาญประเสริฐ. 2536. “ผลของระยะเวลาเก็บกักและอัตราการป้อนอินทรีย์สารต่อการหมักกากมะเขือเทศแบบอับอากาศ 2 ชั้นตอน.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาชีววิทยาประยุกต์ บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร.
- สุรพล สายพานิช. 2530. “กระบวนการเร่งตะกอนคอนแทกต์สเตบิลไลเซชันแบบแอนแอโรบิก.” รายงานผลการวิจัย. กรุงเทพฯ : สถาบันวิจัยและพัฒนาของคณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สุเมธ ชวเดช. 2522. “การผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลสัตว์โดยถังหมักแบบบรรจุตัวกลาง.” รายงานผลการวิจัย. กรุงเทพฯ : กองวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมฝ่ายวิจัยสิ่งแวดล้อมและนิเวศน์วิทยา สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย.
- สุเมธ ชวเดช. 2530. “ระบบหมักก๊าซชีวภาพ UASB.” หน้า 1-12. ใน เอกสารประกอบคำบรรยายเรื่องการออกแบบและพัฒนาเครื่องปฏิกรณ์ก๊าซชีวภาพ. กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- อุดม เชื้อน้อย. 2531. “การผลิตและการใช้ก๊าซชีวภาพ.” กรุงเทพฯ : กองสุขาภิบาล กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข.
- Andrews, J. F. 1969. “Dynamic Model of the Anaerobic Digestion Process.” *Proc. Amer. Soc. Civil. Engr.* 95 : 5-10.
- Arnold, E.G. et. al. 1992. **Standard Methods for the Examination of Waste and Waste Water**, 18 th. New York : American Public Health Association.
- Balch, W.E. et. al. 1979. “Methanogens : Revaluation of a Unique Biological Group.” *Microbiol. Rev.* 43 : 260-296.
- Bardiya, N.et. al. 1996. “Biomethanation of Banana Peel and Pineapple Waste.” *Biores. Technol.* 58 : 73-76.
- Barker, H.A. 1941. “Studies on the Methane Fermentation and Biochemical Activities of *Methanobacterium omelianskill.*” *J. Biol. Chem.* 51 : 131-153.
- Barker, H.A. 1956. “Biological Formation of Methane.” *Ind. Eng. Chem.* 48(9) : 1438-1443.
- Barker, H.A. 1985. **Bacterial Fermentation**. New York : John Wiley and Sons.
- Bryant, M.P. 1979. “Microbial Methane Production Theoretical Aspects.” *J. Anim. Sci.* 48(1) : 193-201.
- Buswell, A.M., and Mueller, H. F. 1952. “Mechanisms of Methane Fermentation.” *Ind. Eng. Chem.* 44(3) : 550-552.

- Cho, J.K. and Park, S.C. 1995. "Biochemical Methane Potential and Solid State Anaerobic Digestion of Korean Food Wastes." **Biores. Technol.** 52 : 245-253.
- Cooney, C.L. and Wise, D.L. 1975. "Thermophilic Anaerobic Digestion of Solid Wastes for Fuel Gas Production." **Biotechnol. Bioeng.** 17 : 1119-1135.
- Economic and Social Commission for Asia and the Pacific. 1984. **Updated Guidebook on Biogas Development. Energy Resources Development Series No. 27.** New York : United Nation.
- EPA. 1979. **Design Manual for Sludge Treatment and Disposal.** Washington, D.C. : U. S. Environmental Protection Agency.
- Gosh, S.et. al. 1978. "Anaerobic Process." **J. Water Poll. Control Fed.** 50(10) : 307-313.
- Goyal, S.K. et. al. 1996. "Diphasic Fixed-Film Biomethanation of Distillery Spentwash." **Biores. Technol.** 56 : 239-244.
- Graef, S.P. and Andrews, J.F.1974. "Stability and Control of Anaerobic Digestion." **J. Water Poll. Control Fed.** 46(4) : 666-683.
- Hayes, T.P. and Theis, T.L. 1978. "The Distribution of Heavy Metals in Anaerobic Digestion." **J. Water Poll. Control Fed.** 50(1) : 307-313.
- Heukelekian, H. and Heinemann, B. 1939. "Studies on the Methane Producing Bacteria II Enmeration in the Digesting Sewage Solids." **J. New. Work.** 11(3) : 436-444.
- Holland, K.T. *et.al.* 1987. **Anaerobic Bacteria.** New York : Chapman and Hall.
- Hobson, P.N. and Wheatly, A.D. 1993. **Anaerobic Digestion : Modern Theory and Practice.** New York : Elsevier Applied Science.
- Hohlfeld, J. and Sasse.1985. **Production and Developing Counties.** Germany : Dt. Ges. for Technology Zusammenarbeit (GTZ) GmbH.
- Lawrence, A.W. 1971. "Anaerobic Biological Waste Treatment System, Agricultural Waste : Principle and Guideline for Practical Solutions." Proc. Cornell Univ. Conf. Agric. Wastes Management.
- Lawrence, A.W. et. al. 1964. "The Effect of Sulfides on Anaerobic Treatment." 343-357. In **Proceeding of the 19 th Industrial Waste Conference,** Purdue University. Michigan : Ann Arbor Science.
- Lawrence, A.W. and McCarty, P.L. 1965. "The Role of Sulfide in Preventing Heavy Metal Toxicity in Anaerobic Treatment." **J. Water Poll. Control Fed.** 37(1) : 392-409.

- Mata-Alvarez, J. and Blabes, P. 1988. "A Kinetic Study of the Anaerobic Digestion of Piggery Wastes Using Down-Flow Stationary Fixed-Bed Reactor." **Appl. Microbiol.** 28(5) : 311-315.
- Mata-Alvarez, J. et. al. 1992. "Anaerobic Digestion of the Barcelona Central Food Market Organic Wastes : Experimental Study." **Biores. Technol.** 39 : 39-48
- Marty, B. 1984. "Microbiology of Anaerobic Digestion." 72-89. In Bruce, A.M. Kouzeli, A. and Newman, P.J.(editors). **Anaerobic Digestion of Sewage Sludge and Organic Agricultural Wastes.** New York : Elsevier Applied Science .
- McCarty, P.L. 1964. "Anaerobic Waste Treatment Fundamental Part 1, 2, 3, 4." **Public Works.** 95(9) : 107-115.
- McCarty, P.L. and McKinney, R.E. 1961a. "Salt Toxicity in Anaerobic Digestion." **J. Water Poll. Control Fed.** 33(4) : 399-415.
- McCarty, P.L. and McKinney, R.E. 1961b. "Volatile Acid Toxicity in Anaerobic Digestion." **J. Water Poll. Control Fed.** 33(3) : 223-235.
- Novaes, R.F. 1986. "Microbiology of Anaerobic Digestion." **Water Sci. Technol.** 18(12) : 1-14.
- Pfeffer, J.T. 1974. "Temperature Effects on Anaerobic Fermentation of Domestic Refuse." **Biotechnol. Bioeng.** 16 : 771-787.
- Price, E.C. and Cheremisinoff, P.N. 1981. **Production and Utilization.** Michigan : Ann Arbor Science.
- Sass, L. 1988. **Biogas Plants : Design and Details of Simple Biogas Plant.** 2 nd. USA. : Vieweg and son(GTZ) Eschborn.
- Somayaji, D. and Khanna, S. 1994. "Biomethanation of Rice and Wheat Straw." **World J. Microbiol. Biotechnol.** 10 : 521-523.
- Speece, R.E. 1983. "Anaerobic Biotechnology for Industrial Wastewater Treatment." **Env. Sci. Technol.** 17(9) : 1085-1099.
- Sprott, G.D. et. al. 1985. "Proton Motive Forces as a Function of the pH at which *Methanobacterium bryantii* is Grown." **J. Microbiol.** 31 : 1031-034.
- Taylor, G.T. 1982. "The Methanogenic Bacteria." **Prog. Ind. Microbiol.** 16 : 231-329.
- Therkelson, H.H. and Carlson, D.A. 1979. "Thermophilic Anaerobic Digestion of a Strong Complex Substrate." **J. Water Poll. Control Fed.** 51(7) : 1949-1964.

Toerien, D.F. et. al. 1967. "The Bacterial Nature of the Acid Forming Phase of Anaerobic Digestion." **Water Res.** 1 : 497-507.

Young, J.C. and McCarty P.L. 1969. "The Anaerobic Filter for Waste Treatment." **J. Water Poll. Fed.** 41(5) : 160-173.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก. การวิเคราะห์

1. Chemical oxygen demand (COD) โดยวิธีของ ธงชัยและวิบูลย์ลักษณ์ (2540)

การวิเคราะห์หาค่า COD โดยวิธีรีฟลักซ์แบบปิด (closed reflux) มีหลักการเช่นเดียวกับวิธีรีฟลักซ์แบบเปิด อินทรีย์สารที่ระเหยจะสามารถถูกออกซิไดซ์ได้มากกว่าในระบบเปิดเพราะมีเวลาสัมผัสกับสารออกซิไดซ์ได้นานกว่า ก่อนทำการทดลองทุกครั้งควรตรวจสอบฝาปิดหลอดแก้วว่ามีรอยแตกหรือไม่ ฝาจุกของหลอดทดลองที่อาจเกิดชำรุดในขณะที่ทำการย่อยสลายในเตาอบจะทำให้เกิดการปนเปื้อนและทำให้มีการสูญหายของอินทรีย์สารได้ ดังนั้นจึงควรที่จะต้องระมัดระวังสำหรับการย่อยสลายในเตาอบจะใช้อุณหภูมิที่ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง การเลือกขนาดของหลอดที่ใช้ขึ้นอยู่กับความไว (sensitivity) ที่ต้องการ

สารเคมี

1. สารละลายมาตรฐานโพตัสเซียมไดโครเมต 0.0167 M ละลาย $K_2Cr_2O_7$ 4.913 g ซึ่งถูกทำให้แห้งในเตาอบอุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น ใส่ไปในน้ำกลั่นประมาณ 500 ml ค่อย ๆ เติมกรด H_2SO_4 เข้มข้น 167 ml เติม $HgSO_4$ 33.3 g คนให้ละลายตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง แล้วเจือจางให้มีปริมาตรเป็น 1,000 ml ด้วยน้ำกลั่น
2. กรดซัลฟิวริกเรเจนต์ ละลาย Ag_2SO_4 22 g ลงในกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 1 ขวด ซึ่งมีน้ำหนัก 4.0 kg (ต้องใช้เวลาในการละลาย 1-2 วัน)
3. สารละลายเฟอโรอินอินดิเคเตอร์ ละลาย $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ 0.695 g และ 1,10 phenanthroline monohydrate 1.485 g ในน้ำกลั่นแล้วเจือจางปริมาตรเป็น 100 ml
4. สารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต 0.1 M ละลาย $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot H_2O$ 39.2 g ในน้ำกลั่นประมาณ 500 ml เติมกรด H_2SO_4 เข้มข้น 20 ml คนให้ละลาย ทิ้งไว้ให้เย็นแล้วเติมน้ำกลั่นจนมีปริมาตรเป็น 1,000 ml สารละลายนี้ต้องเทียบมาตรฐานกับสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมตที่ใช้ในการย่อยสลายทุกครั้งที่นำมาใช้ เติมสารเคมีตามตารางผนวกที่ 1 ในภาชนะย่อยสลายแต่ใช้น้ำกลั่นแทนตัวอย่างน้ำ ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง แล้วไทเทรตด้วยละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต ใช้เฟอโรอินเป็นอินดิเคเตอร์ 1-2 หยด ทำประมาณ 1-2 หลอด ไทเทรตจนถึงจุดยุติสีจะเปลี่ยนจากฟ้ามเขียวเป็นสีน้ำตาลแดง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่จำกัดสิทธิ์ในสิ่งที่ปรากฏในเอกสารฉบับนี้ ผู้ใช้สามารถนำเอกสารไปใช้ซ้ำได้โดยไม่ต้องแจ้งเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{Molality of } Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 = \frac{\text{ml } K_2Cr_2O_7 \times 0.25}{\text{ml } Fe(NH_4)_2(SO_4)_2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการวิเคราะห์

- ล้างหลอดย่อยสลายและฝาจุกด้วยกรดซัลฟิวริก 20 % ก่อนนำไปใช้ เพื่อป้องกันการปนเปื้อนด้วยอินทรีย์สาร
- เลือกใช้ปริมาตรของตัวอย่างน้ำและสารเคมีที่เหมาะสม ตามตารางผนวกที่ 1
- นำตัวอย่างน้ำมาใส่หลอดย่อยสลายหรือแอมพูล เดิมสารละลายที่ใช้ในการย่อยสลาย ซึ่งได้แก่สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมต
- ค่อย ๆ เทกรดซัลฟิวริกหรือเจเนดให้ไหลลงก้นหลอดแก้ว เพื่อให้ชั้นของกรดอยู่ใต้ชั้นตัวอย่างน้ำและสารละลายในการย่อยสลาย
- ปิดจุกหลอดแก้วให้แน่น หรือถ้าใช้แอมพูลก็ให้เชื่อมให้สนิท แล้วคว่ำหลอดแก้วไปมาหลาย ๆ ครั้งเพื่อผสมให้เข้ากันอย่างทั่วถึง
- นำหลอดทดลองเหล่านี้ไปใส่เครื่องย่อยสลาย (block digester) หรือเตาอบ ซึ่งทำได้ทำให้อุ่นถึงอุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียสก่อน ใช้เวลารีฟลักซ์ 2 ชั่วโมง แล้วทิ้งให้เย็นถึงอุณหภูมิห้อง โดยนำหลอดทดลองมาวางไว้ในที่วางหลอดทดลอง
- เปิดฝาจุก แล้วจึงใส่แท่งแม่เหล็กที่หุ้มด้วยทีเอฟอี (TFE covered magnetic bar) ถ้าใช้แอมพูลให้เทของผสมลงไปในภาชนะที่ใหญ่กว่าเพื่อนำไปไทเทรต เดิมเฟอโรอินอินดิเคเตอร์ประมาณ 1-2 หยด คนโดยใช้เครื่องกวนชนิดใช้แม่เหล็ก (magnetic stirrer) อย่างรวดเร็วในขณะที่ไทเทรตด้วยสารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต 0.1 M จุดยุติจะเปลี่ยนอย่างรวดเร็วจากฟ้าอมเขียวเป็นน้ำตาลแดง ถึงแม้บางครั้งสีฟ้าอมเขียวอาจจะกลับมาปรากฏอีกในหลายนาทีถัดมา และในลักษณะเดียวกันให้ทำรีฟลักซ์และไทเทรตแบลนด์ที่มีรีเอเจนต์กับน้ำกลั่นในปริมาตรเท่ากับตัวอย่างน้ำด้วย

ตารางผนวกที่ 1 ปริมาณตัวอย่างและรีเอเจนต์ที่ใช้สำหรับขนาดต่าง ๆ ของภาชนะที่ใช้ในการย่อยสลาย

ขนาดของภาชนะ ย่อยสลาย	ตัวอย่างน้ำ ml	สารละลายใน การย่อยสลาย	กรดซัลฟิวริกหรือเจเนด ml	ปริมาตรทั้งหมด ml
หลอดย่อยสลาย				
16 x 100 mm	2.5	1.5	3.5	7.5
20 x 150 mm	5.0	3.0	7.0	15.0
25 x 150 mm	10.0	6.0	14.0	30.0
แอมพูลมาตรฐาน				
10 ml	2.5	1.5	3.5	7.5

การคำนวณ

$$\text{mg/l COD} = \frac{(A-B) \times M \times 8,000}{\text{ml sample}}$$

- เมื่อ A = ml $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2$ ที่ใช้ในการไทเทรตแบบลงค้
 B = ml $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2$ ที่ใช้ในการไทเทรตตัวอย่างน้ำ
 M = Molality of $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2$

2. Biochemical oxygen demand (BOD) โดยวิธีของ Arnold *et. al* 1992

BOD คือปริมาณออกซิเจนที่แบคทีเรียใช้ในการย่อยสลายอินทรีย์สาร ชนิดที่ย่อยสลายได้ ภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจนจากกระบวนการนี้ แบคทีเรียจะได้รับพลังงานเพื่อใช้ในการเจริญเติบโต และแบ่งเซลล์ ค่า BOD นี้จะบอกถึงคุณลักษณะของน้ำเสียนั้นว่ามีอินทรีย์สารปนอยู่มาก ค่า BOD ก็จะมากด้วย และในทำนองเดียวกันถ้ามีอินทรีย์สารปนอยู่น้อยค่า BOD ก็จะน้อย

สารเคมี

1. น้ำกลั่นบริสุทธิ์ น้ำกลั่นที่ใช้ต้องเป็นน้ำกลั่นคุณภาพสูงปราศจากคลอรีน อัลคาไลนิตี้ กรดและอินทรีย์สาร มีทองแดงไม่เกิน 0.01 mg/l
2. สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ ละลาย KH_2PO_4 8.5 g K_2HPO_4 21.75 g $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 33.4 g และ NH_4Cl 1.7 g ในน้ำกลั่นประมาณ 500 ml แล้วเจือจางปริมาตรเป็น 1,000 ml
3. สารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต ละลาย $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 22.5 g ในน้ำกลั่นแล้วเจือจางปริมาตรเป็น 1,000 ml
4. สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ ละลาย CaCl_2 ที่อบแห้ง 27.5 g ในน้ำกลั่นแล้วเจือจางปริมาตรเป็น 1,000 ml
5. สารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์ ละลาย $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 0.25 g ในน้ำกลั่นแล้วเจือจางปริมาตรเป็น 1,000 ml
6. สารละลายกรดและด่าง 1 N สำหรับใช้ปรับค่าพีเอชให้เป็นกลาง
7. สารละลายโซเดียมซัลไฟด์ 0.025 N ละลาย $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ที่อบแห้ง 1.575 g ในน้ำกลั่นแล้วเจือจางปริมาตรเป็น 1,000 ml สารละลายนี้ไม่คงที่สลายตัวได้ง่าย จึงควรเตรียมเฉพาะเวลาที่ต้องการใช้เท่านั้น
8. การเติมน้ำเชื้อ (seeding) การเติมน้ำเชื้อเพื่อให้มีจำนวนแบคทีเรียเพียงพอในการย่อยสลายอินทรีย์สารในน้ำเสีย น้ำเสียประเภทอินทรีย์สาร เช่นน้ำโสโครกจากบ้านเรือน น้ำล้างคอกสุกร ซึ่งมีแบคทีเรียอยู่เป็นจำนวนมากแล้วไม่จำเป็นต้องเติมน้ำเชื้อลงไปอีกทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างน้ำที่มีเชื้อแบคทีเรียอยู่น้อยหรือไม่มีเลย เช่น น้ำทิ้งที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยคลอรีน น้ำทิ้งที่มีอุณหภูมิสูง น้ำที่เป็นกรดหรือด่างแรง น้ำเชื่อมมาตรฐาน เตรียมได้จากน้ำโสโครกจากบ้านเรือนที่ปล่อยให้ตกตะกอน และใส่ไว้ในตู้อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24-36 ชั่วโมง จึงดูดเอาน้ำส่วนบนมาใช้โดยทั่วไปใช้น้ำเชื่อมมาตรฐาน 1-2 ml ค่อน้ำเชื้อเจือจาง 1,000 ml

น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมหลายชนิด ที่มีอินทรีย์สารที่มีเชื้อแบคทีเรียจากน้ำโสโครก จากบ้านเรือนไม่สามารถย่อยสลายได้ในกรณีเช่นนี้ จะต้องเตรียมน้ำเชื้อจากดินทำให้เชื้อเคยชินกับน้ำทิ้งชนิดนั้นเสียก่อน หรือเก็บจากแหล่งรับน้ำ ใต้จุดที่ทิ้งน้ำเสีย นั้น (โดยปกตินิยมเก็บที่ระยะ 2-3 กม.) การทำให้เชื้อเคยชินกับน้ำเสียที่ต้องการหา นั้นทำได้โดยการเป่าอากาศให้น้ำโสโครก หรือจากแหล่งน้ำทิ้ง แล้วค่อย ๆ เพิ่มปริมาณน้ำเสียที่ต้องการหา BOD ลงไปทุกวัน จนกระทั่งได้เชื้อที่เคยชินกับน้ำเสีย นั้นเจริญขึ้นจนเป็นที่น่าพอใจ

การวิเคราะห์ แบ่งได้ 2 วิธีคือ

1. Direct method ใช้ในกรณีที่ตัวอย่างมีค่า BOD 5 วัน ไม่เกิน 7 mg/l ไม่จำเป็นต้องนำน้ำตัวอย่างมาเจือจางสามารถหาค่า BOD ได้เลย
2. Dilution method ใช้ในกรณีที่น้ำตัวอย่างมีค่า BOD 5 วัน เกินกว่า 7 mg/l จำเป็นต้องนำน้ำตัวอย่างมาเจือจางก่อน

วิธีการวิเคราะห์ Dilution method

1. การเตรียมน้ำสำหรับใช้เจือจาง
 - 1.1 ตวงน้ำกลั่นให้มากกว่าปริมาตรที่ต้องใช้ 1,000 ml ใส่ลงในภาชนะที่สะอาด
 - 1.2 เติมสารละลายฟอสเฟตบัพเฟอร์ แมกนีเซียมซัลเฟต แคลเซียมคลอไรด์ และเพอริคลอไรด์ ใช้สารละลายแต่ละชนิด 1 ml ค่อน้ำเจือจาง 1,000 ml
 - 1.3 เป่าอากาศ (aerate) ที่สะอาด เพื่อเพิ่มปริมาณสารละลายออกซิเจนให้กับน้ำเจือจางเป็นเวลาอย่างน้อย 1 ชั่วโมง
 - 1.4 เติมน้ำเชื้อ (seed) 2 ml ค่อน้ำที่ใช้เจือจาง 1,000 ml ในกรณีที่น้ำตัวอย่างจำเป็นต้องใช้
2. การเตรียมตัวอย่างน้ำที่จะวิเคราะห์
 - 2.1 ตัวอย่างน้ำที่เป็นด่างหรือกรดจะต้องปรับให้เป็นกลางคือพีเอชประมาณ 7 ด้วย H_2SO_4 หรือ $NaOH$ 1 N แล้วแต่กรณี
 - 2.2 ตัวอย่างน้ำที่มีสารประกอบคลอรีนส่วนเหลือ โดยปกติถ้าตั้งตัวอย่างน้ำทิ้งไว้ 1-2 ชั่วโมง คลอรีนส่วนที่เหลือก็จะสลายตัวไป แต่ถ้าตัวอย่างน้ำที่ปรับให้เป็นกลางแล้วยังมีคลอรีนส่วนเหลืออยู่มากต้องกำจัดโดยการใส่โซเดียมซัลไฟด์ การหาปริมาณคร่าว ๆ ของโซเดียมซัลไฟด์ที่จะเติมทำได้โดยใช้ตัวอย่างน้ำ 100-1,000 ml เติมกรดแอสซิดิก (1+1) หรือกรดซัลฟิวริก (1+500)

10 ml แล้วไทเทรตด้วยโซเดียมซัลไฟต์ 0.025 N ใช้น้ำแบ่งเป็นอินดิเคเตอร์ก็จะทราบปริมาณโซเดียมซัลไฟต์ที่จะต้องใส่ แล้วจึงนำตัวอย่างน้ำที่กำจัดคลอรีนส่วนเกินแล้วไปหาค่า BOD ต่อไป

2.3 ตัวอย่างน้ำที่มีโลหะหนักหรือสารเป็นพิษชนิดอื่นปนอยู่ จะต้องศึกษาและกำจัดออกก่อนแล้วแต่กรณีเป็นพิเศษ

3. การเจือจาง

3.1 เลือก % ตัวอย่างในการเจือจางที่คาดว่าจะให้ค่า BOD อยู่ในช่วงที่กำหนด แล้วจึงเลือก % ตัวอย่างเจือจางที่สูงกว่าและต่ำกว่าที่อยู่ติดกันไปอีก 2 ชั้น ตามตารางผนวกที่ 2 ดังนั้นจำเป็นต้องรู้ค่า BOD โดยประมาณของน้ำเสียก่อน

3.2 ค่อย ๆ รินน้ำเจือจาง 700-800 ml ในกระบอกตวงขนาด 1,000 ml โดยพยายามอย่าให้มีฟองอากาศ

3.3 เติมตัวอย่างน้ำจำนวนที่ต้องการ แล้วเติมน้ำเจือจางจนปริมาตรเป็น 1,000 ml

3.4 ใช้แท่งแก้วคนให้เข้ากัน อย่าให้มีฟองอากาศ

3.5 ค่อย ๆ รินใส่ขวด BOD 3 ขวด ปิดจุกนำไปเก็บไว้ในตู้ 20 องศาเซลเซียส 2 ขวด ส่วนขวดที่เหลือนำไปหา DO ทันทีเพื่อทราบค่า DO ที่จุดเริ่มต้น (D_1)

3.6 ทำเช่นเดียวกันตั้งแต่ ข้อ 3.2 ถึงข้อ 3.5 สำหรับ % ตัวอย่างเจือจางที่ต่ำกว่าและสูงกว่า การหาปริมาณ DO ที่จุดเริ่มต้นโดยวิธี Azide modification of the iodometric method ดังที่จะกล่าวต่อไป

การเพาะเลี้ยง (incubation) โดยเก็บ 2 ขวดของแต่ละ % ตัวอย่างเจือจางในตู้เย็นมีอุณหภูมิ 20 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน จึงนำออกมาหาปริมาณ DO (D_2) เหมือนการหาปริมาณ DO ที่จุดเริ่มต้น

การลดปริมาณ DO เนื่องจากน้ำเชื้อ

ในกรณีที่มีการเติมน้ำเชื้อ (seed) ลงในน้ำกลั่นสำหรับเจือจางจะต้องหาปริมาณ DO ที่ลดลงเนื่องจากน้ำเชื้อในน้ำเจือจาง แล้วนำไปคิดคำนวณเทียบตาม % ของน้ำเชื้อที่ใช้ในการเจือจางตัวอย่างน้ำ โดยปกติแล้วปริมาณ DO ที่ลดลงเนื่องจากน้ำเชื้อไม่ควรเกิน 1 mg/l

การควบคุมคุณภาพน้ำเจือจาง

รินน้ำกลั่นที่ใช้เจือจางแต่ไม่ได้ใส่น้ำเชื้อลงในขวด BOD 2 ใบ ปิดจุกแล้วเอาขวดหนึ่งเพาะที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ส่วนอีกขวดหนึ่งหาปริมาณ DO ทันที ผลต่างของปริมาณ DO ที่ได้ในตอนแรกและตอนหลัง (5 วัน) จะเป็นเครื่องชี้ให้เห็นคุณภาพของน้ำกลั่นที่ใช้เป็นน้ำเจือจางถ้าปรากฏว่าปริมาณ DO ลดลง ผลที่ได้ไม่ควรเป็น black correction ปกติแล้วปริมาณ DO ไม่ควรลดลงเกินกว่า 0.2 ml หรือที่คิดแล้วไม่ควรเกิน 0.1 ml

การพิจารณาผลเพื่อใช้คำนวณค่า BOD

ผลที่น่าเชื่อถือจะใช้คำนวณต่อไปนั้น จะต้องมีค่าปริมาณ DO เหลืออยู่อย่างน้อย 1 ml/l และต้องมีการลดปริมาณ DO ลงไปอย่างน้อย 2 ml/l จึงจะทำให้ค่า BOD ที่คำนวณออกมาได้นั้น ถูกต้องที่สุด

การคำนวณ

1. กรณีไม่เติมเชื้อ

$$\text{mg/l BOD} = \frac{D_1 - D_2}{P}$$

2. ในกรณีที่เติมเชื้อ

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

เมื่อ D_1 = DO ของตัวอย่างที่ทำการเจือจางแล้วเป็นเวลา 15 นาที ของวันที่ 0

D_2 = DO ของตัวอย่างที่ทำการเจือจางแล้วและบ่มเป็นเวลา 5 วัน

P = อัตราส่วนของตัวอย่างที่ใช้ต่อตัวอย่างที่เจือจางแล้ว

B_1 = DO ของหัวเชื้อคูลัม (seed control) ก่อนการบ่ม

B_2 = DO ของหัวเชื้อคูลัม (seed control) หลังการบ่ม 5 วัน

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

ตารางผนวกที่ 2 ช่วงค่า BOD ที่วัดได้ตามค่า % ตัวอย่างของการเจือจาง

ช่วง BOD	% ตัวอย่าง
20,000 -70,000	0.01
10,000 -25,000	0.02
4,000 -14,000	0.05
2,000 -7,000	0.10
1,000-3,500	0.20
400-1,4000	0.50
200-700	1.00
100-350	2.00
40-140	5.00
20-70	10.00
10-35	20.00
4-14	50.00
0-7	100.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. Dissolved oxygen (DO) โดยวิธี Oxide modification of iodometric

วิธีนี้เหมาะสำหรับการหาปริมาณสารละลายออกซิเจนในน้ำโสโครก น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม น้ำในแม่น้ำลำคลอง แต่ใช้ไม่ได้กับน้ำที่มีอนุภาคของเหล็กที่มีวาเลนซ์สองเกินกว่า 1 mg/l หรือสารที่เป็นตัวเติมหรือลดออกซิเจนปนอยู่

สารเคมี

1. สารละลายแมงกานีสซัลเฟต ละลาย $\text{MnSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 400 g หรือ $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 480 g ในน้ำกลั่น เจือจางปริมาตรเป็น 1,000 ml
2. สารละลายอัลคาไล-ไฮโอไดค์-ไฮไซค์ ละลาย NaOH 500 g และ NaI 135 g ในน้ำกลั่น เจือจางปริมาตรเป็น 1,000 ml แล้วเติม NaN_3 10 g ที่ละลายในน้ำกลั่น 40 ml เก็บใส่ขวดสีชา
3. กรดซัลฟิวริกเข้มข้น
4. สารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต 0.025 N ใช้ในการไทเทรต ละลาย $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 6.205 g ในน้ำกลั่นที่ต้มเดือดใหม่ ๆ และปล่อยให้เย็นเจือจางปริมาตรเป็น 1,000 ml สารละลายนี้สามารถเก็บรักษาให้คงสภาพอยู่ได้ โดยการเติม NaOH 0.4 g/l สารละลายมาตรฐานนี้ 1 ml มีค่าเท่ากับสารละลายออกซิเจน (DO) 0.200 mg
5. น้ำแข็ง ละลายแข็งมัน 5 g ในน้ำกลั่นประมาณ 50 ml ค่อย ๆ เทลงในน้ำกลั่นประมาณ 800 ml ต้มจนเป็นเนื้อเดียวกัน เติมน้ำจนได้ปริมาตร 1,000 ml ปล่อยให้เดือดประมาณ 5 นาที ปล่อยให้เย็นเติมกรด salicylic 1.25 g เพื่อป้องกันน้ำแข็งบูด

วิธีการวิเคราะห์

1. จากตัวอย่างที่เก็บได้ในขวด 300 ml เติมสารละลายแมงกานีสซัลเฟต 2 ml
2. เติมสารละลายอัลคาไล-ไฮโอไดค์-ไฮไซค์ ตามลงไปทันที 2 ml ให้ปลายปิเปตจมอยู่ในน้ำตัวอย่าง
3. ปิดจุกกระวังอย่าให้มีฟองอากาศติดอยู่ในขวด จับขวดคว่ำพลิกไปมาให้ขวดตั้งขึ้นและลงสลับกันอย่างน้อย 15 ครั้ง ตั้งปล่อยให้ไว้ให้ตกตะกอนที่เกิดขึ้นนอนกัน
4. ค่อย ๆ เปิดจุก แล้วเติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้นลงไปทันที 2 ml ให้กรดไหลลงไปตามคอขวดแล้วปิดจุกค่อย ๆ เขย่าจนกระทั่งตะกอนละลายหมด
5. ตวงสารละลายที่ได้ 203 ml ใส่ลงในพลาสติกขนาด 500 ml (ปริมาตร 203 ml แทนปริมาตรของตัวอย่างน้ำจริง ๆ 200 ml เนื่องจากปริมาตรของตัวอย่างน้ำถูกแทนที่ด้วยน้ำยาทั้งหมด 4 ml คือแมงกานีสซัลเฟต 2 ml และอัลคาไล-ไฮโอไดค์-ไฮไซค์ 2 ml ที่เติมลงไปในช่วงขนาด 300 ml ส่วนปริมาตรของกรดซัลฟิวริก 2 ml ที่เติมลงไปตอนหลังไม่นำมาคิด เพราะ oxidized floc ที่เกิดไม่ถูกแทนที่ ดังนั้นปริมาตรที่จะนำมาเพื่อไทเทรตจึงควรเป็น $200 \times 300 = 203 \text{ ml}$

6. ไทเทรตด้วยสารละลายมาตรฐานโซเดียมไทโอซัลเฟต 0.025 N จนได้สีเหลืองอ่อน ๆ แล้วเติมน้ำแข็ง 1-2 หยด ไทเทรตจนกระทั่งสีน้ำเงินหายไป

การคำนวณ

เนื่องจาก 1 ml ของโซเดียมไทโอซัลเฟต 0.025 N ที่ใช้ไทเทรตจะเท่ากับปริมาณ DO 0.200 mg เพราะฉะนั้น 1 ml ของโซเดียมไทโอซัลเฟตจะเท่ากับ 1 mg/l ของ DO เมื่อใช้ปริมาตรของตัวอย่าง 200 ml ในการไทเทรต

4. Total solids (TS) โดยวิธีของ Arnold *et. al* 1992

ปริมาณของแข็งทั้งหมด (total solids) หมายถึง ปริมาณสารที่เหลืออยู่ในภาชนะหลังจากระเหยน้ำออกจากสารตัวอย่างจนหมด แล้วนำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 103 - 105 องศาเซลเซียส จนกระทั่งน้ำหนักคงที่ ปล่อยให้เย็นในเดซิเคเตอร์ แล้วชั่งน้ำหนักของแข็งในภาชนะนั้น จะได้ปริมาณของของแข็งทั้งหมด

วิธีการวิเคราะห์

1. การเตรียมจานระเหยต้องอบแห้งที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส ประมาณ 1 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นในเดซิเคเตอร์ แล้วชั่งน้ำหนักที่แน่นอน
2. เลือกใช้ปริมาตรน้ำตัวอย่างให้เหมาะสม
3. ค่อย ๆ รินน้ำตัวอย่างที่ต้องการหาของแข็งทั้งหมดใส่ในจานระเหย นำไประเหยน้ำ ออกให้หมดบน water bath หรือ hot plate นำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่ ปล่อยให้เย็นในเดซิเคเตอร์
4. ชั่งน้ำหนักจานระเหยทันที น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นคือน้ำหนักของปริมาณของแข็งทั้งหมด ซึ่งคำนวณออกในเทอมของ mg/l

การคำนวณ

$$\text{mg/l Total solids} = \frac{\text{mg total solids} \times 1,000}{\text{ml sample}}$$

5. Total volatile solids (TVS) โดยวิธีของ Arnold *et. al* 1992

ของแข็งระเหย (total volatile solids) หมายถึง ปริมาณของสารที่ระเหยไปได้ที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส ส่วนใหญ่เป็นอินทรีย์สารส่วนตะกอนที่เหลืออยู่ไม่สลายไป เรียกว่าปริมาณของแข็งคงตัว (fix solids)

วิธีการวิเคราะห์

1. นำจานระเหยที่ได้จากการหาปริมาณของแข็งทั้งหมดแล้ว นำไปเผาในเตาเผา (muffle furnace) ที่ตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 550 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่ (ประมาณ 15-20 นาที)
2. ปล่อยให้เย็นลงเท่ากับอุณหภูมิห้องในเคชิกเคเตอร์ ซึ่งหาน้ำหนักของแข็งที่เหลืออยู่ (fix solids)

การคำนวณ

$$\text{mg/l Fix solids} = \frac{\text{mg fix solids} \times 1,000}{\text{ml sample}}$$

$$\text{mg/l Total volatile solids} = \text{mg/l total solids} - \text{mg/l fix solids}$$

6. Volatile fatty acid (VFA) และ Total alkalinity (TA) โดยวิธีของธงชัยและวิบูลย์ลักษณ์ (2540)

วิธีนี้เป็นวิธีหยาบ ๆ ค่าที่ได้ไม่แม่นยำนัก ไม่ควรนำไปใช้ในงานวิเคราะห์ที่ต้องการความละเอียด แต่สามารถนำไปใช้ในการควบคุมระบบ เพื่อที่จะได้ทราบถึงการทำงานของจุลินทรีย์ในระบบ ใช้เวลาในการทดลองไม่เกิน 1 ชั่วโมง โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. หาสภาพค่าทั้งหมดที่พีเอช 4 โดยวิธีการไทเทรตแบบโพเทนชิอเมตริก
2. ต้มไล่กรดคาร์บอนิก
3. ไทเทรตกลับจากพีเอช 4 ไปเป็น 7 เพื่อหาสภาพค่าของกรดระเหยง่าย (volatile acid alkalinity) และสภาพค่าของเบส (base alkalinity) แล้วจึงคำนวณหาค่า VFA ต่อไป

สารเคมี

1. สารละลายมาตรฐานกรดซัลฟิวริก 0.5 M
2. สารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.5 M

วิธีการวิเคราะห์

1. นำตัวอย่างใส่ในหลอดทดลองและไปเข้าเครื่องแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (centrifuge) ที่ความเร็วรอบประมาณ 7,000 รอบ/นาที เป็นเวลา 10 นาที เพื่อแยกตะกอนออกจากน้ำ จากนั้นนำเอาส่วนใสที่อยู่ส่วนบนมา 50-200 ml ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 300 ml วัดค่าพีเอชของตัวอย่างน้ำไทเทรตตัวอย่างน้ำจนถึงพีเอช 4 ด้วยน้ำยามาตรฐานกรดซัลฟิวริก 0.5 M บันทึกปริมาตรกรดมาตรฐานที่ใช้ สมมุติ = A (ml) สำหรับการไทเทรตต่อไป
2. ไทเทรตตัวอย่างน้ำต่อไปจนพีเอชถึง 3.3-3.5 ไม่ต้องบันทึกปริมาตรกรดที่ใช้ จากนั้นนำไปต้มจนเดือดประมาณ 2-3 นาที กรดคาร์บอนิกจะถูกไล่ออกไป

3. ปรับพีเอชให้เป็น 4.0 ด้วยสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.5 M จดปริมาณสารละลายมาตรฐานที่ใช้ในการไทเทรตกลับ ตั้งแต่พีเอช 4 ถึง 7 ซึ่งจะเป็นสภาพต่างเนื่องจากกรกระเหยง่าย (volatile acid alkalinity) สมมุติปริมาณสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ = B (ml)

การคำนวณ

$$\text{สภาพต่างทั้งหมด (mg/l คัดในรูป CaCO}_3\text{)} = \frac{A \times \text{Molality of H}_2\text{SO}_4 \times 50 \times 1,000}{\text{ml sample}}$$

$$\text{สภาพต่างVFA (mg/l คัดในรูป CaCO}_3\text{)} = \frac{B \times \text{Molality of NaOH} \times 50 \times 1,000}{\text{ml sample}}$$

ก) กรณีที่ 1 : ถ้าสภาพต่าง VFA น้อยกว่า 180 mg/l

$$\text{VFA (mg/l คัดในรูปกรดแอสติก)} = \text{สภาพต่าง VFA} \times 1.0$$

ข) กรณีที่ 2 : ถ้าสภาพต่าง VFA มากกว่า 180 mg/l

$$\text{VFA (mg/l คัดในรูปกรดแอสติก)} = \text{สภาพต่าง VFA} \times 1.5$$

7. Total nitrogens โดยวิธีของธงชัยและวิบูลย์ลักษณ์ (2540)

การวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด หมายถึงผลบวกระหว่างออร์แกนิกไนโตรเจนและแอมโมเนียไนโตรเจน สำหรับการวิเคราะห์หาออร์แกนิกไนโตรเจนถ้าไม่ได้แยกแอมโมเนียไนโตรเจนออกเสียก่อน ผลที่ได้จะนับเป็นไนโตรเจนทั้งหมด

ออร์แกนิกไนโตรเจนที่จะกล่าวถึงนี้หาได้โดยวิธีเจลดาคาล์ มีเมอร์คิวรี (II) ซัลเฟตเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (catalyst) ซึ่งจะเปลี่ยนพวกออร์แกนิกไนโตรเจนเป็นแอมโมเนียมซัลเฟต หลังจากการย่อยสลายด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้นที่มีโพแทสเซียมซัลเฟตเป็นตัวเพิ่มจุดเดือดให้สูงขึ้นถึง 344-371 องศาเซลเซียส หลังจากการย่อยสลายแล้วให้เจือจางส่วนที่เหลือภายในขวดเจลดาคาล์แล้วทำให้เป็นด่างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น นำไปกลั่นโดยมีสารละลายกรดบอริกเป็นตัวดูดกลืน

สารเคมี

1. สารละลายสำหรับการย่อยสลาย (digestion solution) ละลาย K_2SO_4 134 g ในน้ำ 650 ml ผสมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 200 ml แล้วละลายเมอร์คิวรี (II) ออกไซด์แดง [red mercury (II) oxide, H_2O] 2 g ในกรดซัลฟิวริก 3 N ค่อย ๆ เติมลงในสารละลายโพแทสเซียมซัลเฟต แล้วเจือ

เจือจนเป็นสารที่ใสจนใช้แว่นขยายส่องเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

2. ฟีนอล์ฟทาลีนอินดิเคเตอร์

3. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ - โซเดียมไทโอซัลเฟต (sodium hydroxide-sodium thiosulphate reagent) ละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 500 g และโซเดียมไทโอซัลเฟตเพนตาไฮเดรต ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) 25 g ในน้ำกลั่นแล้วเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1,000 ml

4. สารละลายอินดิเคเตอร์ผสม (mixed indicator) ละลายเมทิลเรดอินดิเคเตอร์ 200 mg ในเอทิลแอลกอฮอล์ (95%) 100 ml ละลายเมทิลีนบลู 100 mg ในเอทิลแอลกอฮอล์ (95%) 50 ml แล้วผสมสารละลายทั้ง 2 ชนิดนี้เข้าด้วยกัน สารละลายนี้ควรเตรียมทุก ๆ เดือน

5. สารละลายอินดิเคติงบอริกแอซิด (indicating boric acid solution) ละลายกรดบอริก 20 g ในน้ำกลั่นเพียงเล็กน้อย เติมนิโคเตเตอร์ผสม (mixed indicator) ลงไป 10 ml แล้วเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1,000 ml

6. สารละลายมาตรฐานกรดซัลฟูริก 0.01 M

วิธีการวิเคราะห์

1. ควงดตัวอย่างน้ำโดยให้มีปริมาตรที่เหมาะสมดังรายละเอียดที่แสดงไว้ในตารางผนวกที่ 3 ใส่ลงในขวดเจลาห์ลใส่ลูกแก้ว 3-4 เม็ด
2. เติมสารละลายสำหรับย่อยสลายออร์แกนิกในโตรเจน 50 ml

ตารางผนวกที่ 3 ปริมาตรของตัวอย่างน้ำที่เหมาะสม

ออร์แกนิกในโตรเจนในตัวอย่างน้ำ (mg/l)	ปริมาณของตัวอย่างน้ำ (ml)
0-1	500.0
1-10	250.0
10-20	100.0
20-50	50.0
50-100	25.0

3. คัมเคียวจนได้สารละลายใส เคียวต่อไปอีก 20-30 นาที ทิ้งให้เย็น แล้วเติมน้ำกลั่นลงไป 300 ml

4. ทำให้เป็นด่าง ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ - โซเดียมไทโอซัลเฟต ประมาณ 50 ml โดยใช้ฟีนอล์ฟทาลีนเป็นอินดิเคเตอร์ แล้วนำไปกลั่นลงในสารละลายอินดิเคติงบอริกแอซิด 50 ml จนได้ปริมาตรทั้งหมดเป็น 200 ml

5. ทำส่วนที่กลั่นได้ให้เย็น นำไปไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟูริก 0.01 M โดยใช้อินดิเคเตอร์ผสม 2-3 หยด จดปริมาตรของกรดซัลฟูริกมาตรฐานที่ใช้ไว้

การคำนวณ

$$\text{Total nitrogens (mg/l)} = \frac{(A-B) \times M \times 1,000 \times 28}{\text{ml sample}}$$

- เมื่อ A = ml สารละลายกรดซัลฟูริกที่ใช้สำหรับตัวอย่างน้ำ
 B = ml สารละลายกรดซัลฟูริกที่ใช้สำหรับเบลงค์
 M = Molality ของสารละลายกรดซัลฟูริกมาตรฐานที่ใช้

8. Total phosphorus โดยวิธีของชงชัยและวิบูลย์ลักษณ์ (2540)

การวิเคราะห์หาปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดจะหาในรูปออร์โทฟอสเฟตทั้งหมด โดยแบ่งได้เป็น 2 ขั้นตอน คือ

8.1 การย่อยสลายขั้นแรกโดยวิธีกรดซัลฟูริกในทริก

สารเคมี

1. กรดซัลฟูริกเข้มข้น
2. กรดไนตริกเข้มข้น
3. สารละลายฟีนอล์ฟทาเลอินอินดิเคเตอร์
4. โซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 M

วิธีการวิเคราะห์

ใส่ตัวอย่างน้ำจำนวนพอเหมาะประมาณ 25-100 ml ลงในขวดไมโครเจลคาห์ล ใส่กรดซัลฟูริกเข้มข้น 1 ml และกรดไนตริกเข้มข้น 5 ml ตามลงไป นำไปย่อยสลายบนเครื่องย่อยได้ปริมาตร 1 ml และย่อยสลายต่อไปเพื่อไล้กรดไนตริกจนกว่าสารละลายไม่มีสี ทำให้เย็นและเติมน้ำกลั่นประมาณ 20 ml ใส่ฟีนอล์ฟทาเลอินอินดิเคเตอร์ 1 หยด (0.05ml) เติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 M ลงไปที่ละน้อย ๆ จนสารละลายมีสีชมพูอ่อน

ถ้าสารละลายนี้ข้น ให้กรองก่อนแล้วถ่ายลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 ml ใช้น้ำกลั่นล้างสารละลายที่ติดตามขวดเจลคาห์ล จนแน่ใจว่าล้างหมด รวมน้ำที่ใช้ล้างทั้งหมดลงในสารละลายที่อยู่ในขวดวัดปริมาตรและเติมน้ำกลั่นลงไปจนถึงขีดจะได้ปริมาตร 100 ml เก็บสารละลายนี้ไว้สำหรับหาฟอสฟอรัสต่อไป

8.2 การวิเคราะห์หาปริมาณฟอสฟอรัสโดยวิธีกรดแอสคอร์บิก

เอ็กสาร แอมโมเนียม โมลิบเดต (ammonium molybdate) และ โพแทสเซียมแอนติโมนิเตต (potassium antimonyl tartrate) จะทำปฏิกิริยากับสารละลายออร์โทฟอสเฟต (orthophosphate) เพื่อ

จางในสถานะที่เป็นกรด เกิดเป็นสารใหม่ซึ่งทำปฏิกิริยากับกรดแอสคอร์บิก แล้วได้สาร โมลิบดีนัมสีฟ้า (molybdenum blue) โดยวิธีนี้จะวัดฟอสฟอรัสได้ระหว่าง 0.01-1.3 mg/l

สารเคมี

1. เอทิลแอลกอฮอล์ (ethyl alcohol) 95 % หรือ ไอโซโพรพิล (isopropyl)
2. กรดซัลฟิวริก 2.5 M
3. สารละลายแอนติโมนิโพลีแทสเซียมคาเตรด ละลาย $K(SbO)C_4H_4O_6 \cdot 1/2H_2O$ จำนวน 1.3715 g ในน้ำกลั่น 400 ml จากนั้นเจือจางปริมาตรเป็น 1,000 ml เก็บรักษาไว้ในขวดกันแสงที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส
4. สารละลายแอมโมเนียมโมลิบเดต ละลาย $(NH_4)_6Mo_7O_{24} \cdot 4H_2O$ จำนวน 20 g ในน้ำกลั่น 500 ml เก็บรักษาไว้ในขวดพลาสติกที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส
5. กรดแอสคอร์บิก 0.1 M ละลายกรดแอสคอร์บิกจำนวน 1.76 g ในน้ำกลั่น 100 ml สารละลายนี้จะคงตัวประมาณ 1 สัปดาห์ ถ้าเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส
6. สารเคมีรวม (combined reagent) นำสารเคมีที่กล่าวมาแล้วข้างต้นตั้งแต่น้ำ 2-5 มาผสมกัน โดยใช้ส่วนผสมแต่ละชนิดดังนี้
 - ข้อ 2 จำนวน 50 ml
 - ข้อ 3 จำนวน 5 ml
 - ข้อ 4 จำนวน 15 ml
 - ข้อ 5 จำนวน 30 ml

ก่อนผสมให้ทั้งสารละลายแต่ละชนิดไว้จนได้อุณหภูมิห้อง แล้วจึงนำมาผสมกันตามลำดับ โดยต้องผสมให้เข้ากันทุกครั้งเมื่อเติมส่วนผสมแต่ละชนิด หลังจากที่ได้ผสมสารละลายลงไป ถ้าขุ่นให้เขย่าและตั้งทิ้งไว้ 2-3 นาที จนสารละลายใสจึงนำไปใช้ สารละลายรวมนี้จะคงตัวอยู่ 4 ชั่วโมง และถ้าเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส จะคงตัวอยู่อย่างน้อย 1 สัปดาห์

7. สารละลายสต็อกฟอสเฟต (stock phosphate solution) ละลาย KH_2PO_4 (anhydrous potassium dihydrogen phosphate) จำนวน 219.5 mg ในน้ำกลั่นจำนวนพอเหมาะแล้วเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตรเป็น 1,000 ml สารละลายนี้ 1 ml จะมีปริมาณฟอสฟอรัส 50.0 μg

8. สารละลายมาตรฐานฟอสเฟต (standard phosphate solution) นำสารละลายจากข้อ 7 มาจำนวน 50 ml เจือจางด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตรเป็น 1,000 ml สารละลายนี้ 1 ml จะมีปริมาณฟอสฟอรัส 2.50 μg

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

วิธีการวิเคราะห์

1. วิธีการสร้างกราฟมาตรฐาน ใช้สารละลายมาตรฐานฟอสเฟตจากข้อ 8 ในจำนวนที่มีฟอสฟอรัสตามต้องการ และนำไปผ่านการย่อยสลายขั้นแรกเช่นเดียวกับตัวอย่างในข้อ 8.1 ในหัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อวิธีการวิเคราะห์ ตั้งแต่ขั้นตอนการใส่กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 1 ml จนจบ จะได้สารละลายมาตรฐานพร้อมที่จะนำไปใช้ต่อไป

เตรียมสารละลายมาตรฐาน 20 ml ซึ่งมีปริมาณฟอสฟอรัสต่าง ๆ กันตั้งแต่ 0.3 – 2.0 µg/l ในขวดเออร์เลนเมเยอร์ ใช้น้ำกลั่น 20 ml เป็นแบลนค์ แล้วเตรียมแต่ละตัวอย่างกับแบลนค์ดังต่อไปนี้

- ใส่เอทิลแอลกอฮอล์ 1 ml เขย่าให้เข้ากัน ใช้แอลกอฮอล์ชนิดเดียวกันตลอดการวิเคราะห์ ใส่สารเคมีรวมจากข้อ 6 จำนวน 1 ml เขย่าให้เข้ากันดีแล้ว ตั้งทิ้งไว้ 10 นาที เพื่อให้เกิดสีเต็มที่ จึงนำไปอ่านค่าแอมซอร์ฟเบนซ์ด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ เขียนกราฟโดยให้ความเข้มข้นหน่วยเป็น µg อยู่ในแกนนอน และค่าแอมซอร์ฟเบนซ์อยู่ในแกนตั้งในกระดาษกราฟธรรมดา จะได้เส้นตรง

2. นำตัวอย่างที่ผ่านวิธีการย่อยสลายมา 20 ml ใส่ในขวดเออร์เลนเมเยอร์ ทำเช่นเดียวกับสารละลายมาตรฐานในข้อ 1 ข้างบน โดยเริ่มตั้งแต่ใส่เอทิลแอลกอฮอล์ 1 ml จดอ่านค่าแอมซอร์ฟเบนซ์ แล้วนำค่าแอมซอร์ฟเบนซ์ของตัวอย่างไปอ่านค่าฟอสฟอรัสจากกราฟมาตรฐาน

การคำนวณ

$$\text{Total phosphorus (mg/l)} = \frac{\text{mg phosphorus} \times 1,000}{\text{ml sample}}$$

9. การวิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซ

การวิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพคือ การวิเคราะห์ปริมาณก๊าซมีเทนโดยใช้เครื่องโครมาโตกราฟฟี Varian รุ่น 3600CX ภายใต้สภาวะการทดลองดังนี้

คอลัมน์ Rtx 502.2 เป็น capillary column หน้า 0.25 ไมโครเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.32 มิลลิเมตร ความยาว 105 เมตร

เครื่องตรวจวัดแบบ Flame Ionization detector (FID)

อุณหภูมิ คอลัมน์ 130 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิ injection port 150 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิ detector 220 องศาเซลเซียส

carrier gas ที่ใช้คือ อาร์กอน อัตราการไหล 40 มิลลิลิตรต่อนาที

วิธีการวิเคราะห์

การฉีดตัวอย่างก๊าซโดยใช้ syringe แบบ gas tight syringe ขนาด 1 มิลลิลิตร ฉีดก๊าซจากหลอดสูญญากาศที่ใส่เก็บตัวอย่างก๊าซมา 1 มิลลิลิตร ฉีดเข้าเครื่องก๊าซโครมาโตกราฟฟี คำนวณหาร้อยละของก๊าซมีเทนโดยเทียบร้อยละของพื้นที่ใต้พีคของก๊าซมีเทนมาตรฐาน 99.8 %

ภาคผนวก ข.

การคำนวณ

1. การคำนวณการเตรียมเศษอาหารในลักษณะของเหลว โดยมีค่า TS 4 %

สมมุติต้องการเตรียมของเหลวที่มี TS 4 % โดยที่เศษอาหารมีความชื้น 74.5 % มี TS 25.5 %

การคำนวณ

TS 4 g จะต้องเติมน้ำ 96 ml

TS 25.5 g จะต้องเติมน้ำ $(96/4) \times 25.5 = 612$ ml

ดังนั้นในเศษอาหาร 100 g จะต้องเติมน้ำเพิ่มอีก $612 - 74.5 = 537.5$ ml

น้ำหนักรวมทั้งหมดประมาณ $100 + 537.5 = 637.5$ ml

ต้องการให้ได้ปริมาตรทั้งหมด 1,000 ml

ดังนั้นจะต้องใช้เศษอาหาร $= (100/637.5) \times 1,000 = 156.9$ g

และต้องเติมน้ำลงไป $= (537.5/100) \times 156.9 = 843.3$ ml

2. การคำนวณอัตราการป้อนอินทรีย์สาร (OLR)

$$\text{OLR (g/l.d)} = \frac{\text{ปริมาณของเหลวที่เข้าสู่ระบบ (l/d)} \times \text{ค่า COD ของของเหลวที่เข้าสู่ระบบ (g/l)}}{\text{ปริมาตรความจุของเหลวของถังหมัก (l)}}$$

$$= \frac{QS}{V}$$

$$= \frac{So}{\text{HRT}}$$

ตัวอย่างการคำนวณ

ค่า COD ของของเหลวที่เข้าสู่ระบบ = 141.43 g/l

ปริมาณของเหลวที่เข้าสู่ระบบ = 0.96 l/d

ปริมาตรความจุของเหลวของถังหมัก = 9.63 l

$$\text{OLR} = \frac{0.96 \times 141.43}{9.63}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีอื่น ๆ ก็คำนวณในทำนองเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การคำนวณประสิทธิภาพการกำจัดของระบบ (% Removal)

$$\text{ประสิทธิภาพการกำจัด (\%)} = \frac{(\text{อินทรีย์สารที่เข้าระบบ} - \text{อินทรีย์สารที่ออกจากระบบ}) \times 100}{\text{อินทรีย์สารที่เข้าระบบ}}$$

ตัวอย่างการคำนวณ

3.1 ประสิทธิภาพการกำจัด COD ของระบบ (%)

$$\text{COD ที่เข้าระบบ} = 141.43 \text{ g/l}$$

$$\text{COD ที่ออกจากระบบ} = 75.30 \text{ g/l}$$

$$\begin{aligned} \text{ประสิทธิภาพในการกำจัด COD ของระบบ} &= \frac{(141.43 - 75.30) \times 100}{141.43} \\ &= 46.76 \% \end{aligned}$$

ในกรณีอื่น ๆ ก็คำนวณในทำนองเดียวกัน

3.2 ประสิทธิภาพการกำจัด TS ของระบบ (%)

$$\text{TS ที่เข้าระบบ} = 42.97 \text{ g/l}$$

$$\text{TS ที่ออกจากระบบ} = 25.36 \text{ g/l}$$

$$\begin{aligned} \text{ประสิทธิภาพในการกำจัด TS ของระบบ} &= \frac{(42.97 - 25.36) \times 100}{42.97} \\ &= 40.98 \% \end{aligned}$$

ในกรณีอื่น ๆ ก็คำนวณในทำนองเดียวกัน

3.3 ประสิทธิภาพการกำจัด TVS ของระบบ (%)

$$\text{TVS ที่เข้าระบบ} = 27.38 \text{ g/l}$$

$$\text{TVS ที่ออกจากระบบ} = 10.68 \text{ g/l}$$

$$\begin{aligned} \text{ประสิทธิภาพในการกำจัด TVS ของระบบ} &= \frac{(27.38 - 10.68) \times 100}{27.38} \\ &= 60.99 \% \end{aligned}$$

ในกรณีอื่น ๆ ก็คำนวณในทำนองเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 ประสิทธิภาพการกำจัด VFA ของระบบ (%)

$$\text{VFA ที่เข้าระบบ} = 2.22 \text{ g/l}$$

$$\text{VFA ที่ออกจากระบบ} = 1.68 \text{ g/l}$$

$$\begin{aligned} \text{ประสิทธิภาพในการกำจัด VFA ของระบบ} &= \frac{(2.22-1.68) \times 100}{2.22} \\ &= 24.32 \% \end{aligned}$$

ในกรณีอื่น ๆ ก็คำนวณในทำนองเดียวกัน

4. การคำนวณปริมาณก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทนที่เกิดต่อน้ำหนักอินทรีย์สารที่เข้าระบบ

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดต่อน้ำหนักอินทรีย์สารที่เข้าระบบ} \\ &= \frac{\text{ปริมาณก๊าซทั้งหมดที่เกิดต่อวัน (l/d)}}{\text{ของเหลวที่เข้าระบบ (l/d) x ค่าอินทรีย์สารที่เข้าระบบ (g/l)}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดต่อน้ำหนักอินทรีย์สารที่เข้าระบบ} \\ &= \frac{\text{ปริมาณก๊าซทั้งหมดที่เกิดต่อวัน (l/d) x \% CH_4}}{\text{ของเหลวที่เข้าระบบ (l/d) x ค่าอินทรีย์สารที่เข้าระบบ (g/l)}} \end{aligned}$$

ตัวอย่างการคำนวณ

4.1 ปริมาณก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทนที่เกิดต่อน้ำหนัก COD ที่สภาวะ STP

$$\text{ปริมาณก๊าซทั้งหมดโดยเฉลี่ยที่สภาวะ STP} = 3.54 \text{ l/d}$$

$$\text{ปริมาณของเหลวที่เข้าระบบ โดยเฉลี่ย} = 0.96 \text{ l}$$

$$\text{ค่า COD ของของเหลวที่เข้าระบบโดยเฉลี่ย} = 141.43 \text{ g/l}$$

$$\text{ปริมาณก๊าซมีเทน (\% CH}_4\text{)} = 61.33 \%$$

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดต่อน้ำหนัก COD} &= \frac{3.54}{0.96 \times 141.43} \\ &= 0.026 \text{ l/g COD added} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดต่อน้ำหนัก COD} &= \frac{3.54 \times 0.6133}{0.96 \times 141.43} \\ &= 0.016 \text{ l/g COD added} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ปริมาณก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทนที่เกิดต่อน้ำหนัก TS ที่สภาวะ STP

$$\text{ปริมาณก๊าซทั้งหมดโดยเฉลี่ยที่สภาวะ STP} = 3.54 \text{ l/d}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 \text{ปริมาณของเหลวที่เข้าระบบโดยเฉลี่ย} &= 0.96 \text{ l} \\
 \text{ค่า TS ของของเหลวที่เข้าระบบโดยเฉลี่ย} &= 42.97 \text{ g/l} \\
 \text{ปริมาณก๊าซมีเทน (\% CH}_4\text{)} &= 61.33 \% \\
 \text{ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดต่อน้ำหนัก TS} &= \frac{3.54}{0.96 \times 42.97} \\
 &= 0.086 \text{ l/g TS added} \\
 \text{ปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดต่อน้ำหนัก TS} &= \frac{3.54 \times 0.6133}{0.96 \times 42.97} \\
 &= 0.053 \text{ l/g TS added}
 \end{aligned}$$

ในกรณีอื่น ๆ ก็คำนวณในทำนองเดียวกัน

4.3 ปริมาณก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทนที่เกิดต่อน้ำหนัก TVS ที่สภาวะ STP

$$\begin{aligned}
 \text{ปริมาณก๊าซทั้งหมดโดยเฉลี่ยที่สภาวะ STP} &= 3.54 \text{ l/d} \\
 \text{ปริมาณของเหลวที่เข้าระบบโดยเฉลี่ย} &= 0.96 \text{ l} \\
 \text{ค่า TVS ของของเหลวที่เข้าระบบโดยเฉลี่ย} &= 27.38 \text{ g/l} \\
 \text{ปริมาณก๊าซมีเทน (\% CH}_4\text{)} &= 61.33 \% \\
 \text{ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดต่อน้ำหนัก TVS} &= \frac{3.54}{0.96 \times 27.38} \\
 &= 0.135 \text{ l/g TVS added} \\
 \text{ปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดต่อน้ำหนัก TVS} &= \frac{3.54 \times 0.6133}{0.96 \times 27.38} \\
 &= 0.083 \text{ l/g TVS added}
 \end{aligned}$$

ในกรณีอื่น ๆ ก็คำนวณในทำนองเดียวกัน

4.4 ปริมาณก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทนที่เกิดต่อน้ำหนัก VFA ที่สภาวะ STP

$$\begin{aligned}
 \text{ปริมาณก๊าซทั้งหมดโดยเฉลี่ยที่สภาวะ STP} &= 3.54 \text{ l/d} \\
 \text{ปริมาณของเหลวที่เข้าระบบโดยเฉลี่ย} &= 0.96 \text{ l} \\
 \text{ค่า VFA ของของเหลวที่เข้าระบบโดยเฉลี่ย} &= 2.22 \text{ g/l} \\
 \text{ปริมาณก๊าซมีเทน (\% CH}_4\text{)} &= 61.33 \% \\
 \text{ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดต่อน้ำหนัก VFA} &= \frac{3.54}{0.96 \times 2.22} \\
 &= 1.661 \text{ l/g VFA added}
 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดต่อน้ำหนัก VFA} &= \frac{3.54 \times 0.6133}{0.96 \times 2.22} \\ &= 1.019 \text{ l/g VFA added} \end{aligned}$$

ในกรณีอื่น ๆ ก็คำนวณในทำนองเดียวกัน

5. การคำนวณปริมาณก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทนที่เกิดต่อน้ำหนักอินทรีย์สารที่ถูกกำจัด

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดต่อน้ำหนักอินทรีย์สารที่ถูกกำจัด} \\ = \end{aligned} \frac{\text{ปริมาณก๊าซทั้งหมดที่เกิดต่อวัน (l/d)}}{Q(S_0 - S)}$$

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดต่อน้ำหนักอินทรีย์สารที่ถูกกำจัด} \\ = \end{aligned} \frac{\text{ปริมาณก๊าซทั้งหมดที่เกิดต่อวัน (l/d)} \times \% \text{CH}_4}{Q(S_0 - S)}$$

เมื่อ Q = ปริมาณของเหลวที่เข้าสู่ระบบ โดยเฉลี่ยต่อวัน (l/d)

S_0 = ปริมาณมวลอินทรีย์สารของของเหลวที่เข้าสู่ระบบ โดยเฉลี่ยต่อวัน (g/l)

S = ปริมาณมวลอินทรีย์สารของของเหลวที่ออกจากระบบ โดยเฉลี่ยต่อวัน (g/l)

ตัวอย่างการคำนวณ

5.1 ปริมาณก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทนที่เกิดต่อน้ำหนัก COD ที่ถูกกำจัดที่สถานะ STP

ปริมาณก๊าซทั้งหมดโดยเฉลี่ยที่สถานะ STP = 3.54 l/d

ปริมาณของเหลวที่เข้าระบบโดยเฉลี่ย = 0.96 l

ค่า COD ของของเหลวที่เข้าระบบโดยเฉลี่ย = 141.43 g/l

ค่า COD ของของเหลวที่ออกจากระบบโดยเฉลี่ย = 75.30 g/l

ปริมาณก๊าซมีเทน (% CH₄) = 61.33 %

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดต่อน้ำหนัก COD ที่ถูกกำจัด} &= \frac{3.54}{0.96 \times (141.43 - 75.30)} \\ &= 0.056 \text{ l/g COD removal} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดต่อน้ำหนัก COD ที่ถูกกำจัด} &= \frac{3.54 \times 0.6133}{0.96 \times (141.43 - 75.30)} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่เอ = 0.034 l/g COD removal ในการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ในกรณีอื่น ๆ ก็คำนวณในทำนองเดียวกัน อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ปริมาณก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทนที่เกิดต่อน้ำหนัก TS ที่ถูกกำจัดที่สภาวะ STP

ปริมาณก๊าซทั้งหมดโดยเฉลี่ยที่สภาวะ STP = 3.54 l/d

ปริมาณของเหลวที่เข้าระบบโดยเฉลี่ย = 0.96 l

ค่า TS ของของเหลวที่เข้าระบบโดยเฉลี่ย = 42.97 g/l

ค่า TS ของของเหลวที่ออกจากระบบโดยเฉลี่ย = 25.36 g/l

ปริมาณก๊าซมีเทน (% CH₄) = 61.33 %

ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดต่อน้ำหนัก TS ที่ถูกกำจัด = $\frac{3.54}{0.96 \times (42.97 - 25.36)}$

= 0.209 l/g TS removal

ปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดต่อน้ำหนัก TS ที่ถูกกำจัด = $\frac{3.54 \times 0.6133}{0.96 \times (42.97 - 25.36)}$

= 0.128 l/g TS removal

ในกรณีอื่น ๆ ก็คำนวณในทำนองเดียวกัน

5.3 ปริมาณก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทนที่เกิดต่อน้ำหนัก TVS ที่ถูกกำจัดที่สภาวะ STP

ปริมาณก๊าซทั้งหมดโดยเฉลี่ยที่สภาวะ STP = 3.54 l/d

ปริมาณของเหลวที่เข้าระบบโดยเฉลี่ย = 0.96 l

ค่า TVS ของของเหลวที่เข้าระบบโดยเฉลี่ย = 27.38 g/l

ค่า TVS ของของเหลวที่ออกจากระบบโดยเฉลี่ย = 10.68 g/l

ปริมาณก๊าซมีเทน (% CH₄) = 61.33 %

ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดต่อน้ำหนัก TVS ที่ถูกกำจัด = $\frac{3.54}{0.96 \times (27.38 - 10.68)}$

= 0.221 l/g TVS removal

ปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดต่อน้ำหนัก TVS ที่ถูกกำจัด = $\frac{3.54 \times 0.6133}{0.96 \times (27.38 - 10.68)}$

= 0.136 l/g TVS removal

ในกรณีอื่น ๆ ก็คำนวณในทำนองเดียวกัน

5.4 ปริมาณก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทนที่เกิดต่อน้ำหนัก VFA ที่ถูกกำจัดที่สภาวะ STP

ปริมาณก๊าซทั้งหมดโดยเฉลี่ยที่สภาวะ STP = 3.54 l/d

ปริมาณของเหลวที่เข้าระบบโดยเฉลี่ย = 0.96 l

ค่า VFA ของของเหลวที่เข้าระบบโดยเฉลี่ย = 2.22 g/l

ค่า VFA ของของเหลวที่ออกจากระบบโดยเฉลี่ย = 1.68 g/l

ปริมาณก๊าซมีเทน (% CH₄) = 61.33 %

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดต่อน้ำหนัก VFA ที่ถูกกำจัด} &= \frac{3.54}{0.96 \times (2.22-1.68)} \\ &= 6.829 \text{ l/g VFA removal} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดต่อน้ำหนัก VFA ที่ถูกกำจัด} &= \frac{3.54 \times 0.6133}{0.96 \times (2.22-1.68)} \\ &= 4.188 \text{ l/g VFA removal} \end{aligned}$$

ในกรณีอื่น ๆ ก็คำนวณในทำนองเดียวกัน

6. การคำนวณการเปลี่ยนปริมาตรก๊าซที่สภาวะการทดลองเป็นปริมาตรก๊าซที่สภาวะมาตรฐาน (standard temperature and pressure, STP)

สภาวะการทดลองคือ - ที่อุณหภูมิห้อง 30-33 องศาเซลเซียส เฉลี่ย 31.5 (304.65 K)

- ที่ความดันของก๊าซในระบบเก็บก๊าซ (P₁)

สภาวะมาตรฐาน (STP) - ที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส (273.15 K)

- ที่ความดัน 1 บรรยากาศ (1.013 x 10⁵ N/m²)

จากสูตร
$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} \quad (1)$$

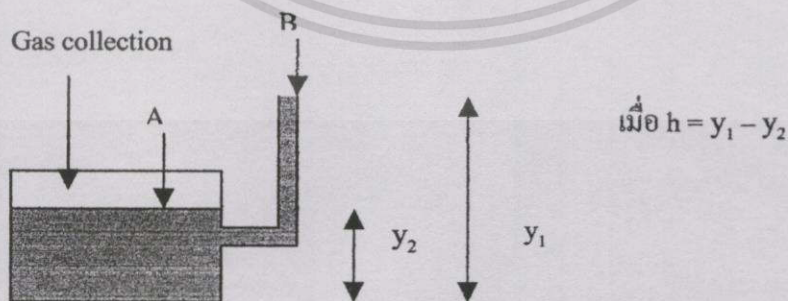
เมื่อ

P₁, P₂ = ความดันก๊าซที่สภาวะทดลองและที่ STP ตามลำดับ

T₁, T₂ = อุณหภูมิ (K) ที่สภาวะทดลองและที่ STP ตามลำดับ

V₁, V₂ = ปริมาตรก๊าซที่สภาวะทดลองและที่ STP ตามลำดับ

คำนวณเปลี่ยนปริมาตรก๊าซที่สภาวะทดลอง เป็นปริมาตรก๊าซที่สภาวะมาตรฐานได้ดังนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ภาพผนวกที่ 1 แสดงความดันของก๊าซในระบบเก็บก๊าซของการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพผนวกที่ 1 สามารถหาค่า P_1 ได้ดังนี้

ความดันที่จุด A = ความดันที่จุด B

$$P_1 + \rho g y_2 = P_2 + \rho g y_1$$

$$P_1 = P_2 + \rho g (y_1 - y_2)$$

$$P_1 = P_2 + \rho g h \quad \text{_____ (2)}$$

โดยที่ $P_2 = 1.013 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ หรือ 1 atm

$$\rho = 1,000 \text{ kg/m}^3$$

$$g = 9.8 \text{ m/s}^2$$

h = ความสูงของก๊าซที่อยู่ในระบบเก็บก๊าซ (m) ได้จากการทดลอง

ตัวอย่างการคำนวณ

- วัดปริมาณก๊าซชีวภาพที่สภาวะทดลองได้ 3.91 l/d

- วัดความสูงของก๊าซที่อยู่ในระบบเก็บก๊าซได้ $9.0 \times 10^{-2} \text{ m}$

แทนค่าในสมการที่ (2) $P_1 = (1.013 \times 10^5) + (1,000 \times 9.8 \times 9.0 \times 10^{-2})$

$$= 102,182.0 \text{ N/m}^2$$

$$= 1.00 \text{ atm}$$

หาค่าความสัมพันธ์ระหว่าง V_1 และ V_2 จากสมการที่(1)

จาก
$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

$$V_2 = \frac{P_1 V_1 T_2}{T_1 P_2}$$

เมื่อ P_1 = ความดันที่สภาวะทดลอง ($102,182.0 \text{ N/m}^2$)

P_2 = ความดันที่สภาวะ STP ($101,300 \text{ N/m}^2$)

T_1 = อุณหภูมิที่สภาวะทดลอง (304.65 K)

T_2 = อุณหภูมิที่สภาวะ STP (273.15 K)

V_1 = ปริมาตรก๊าซที่สภาวะทดลอง (3.91 l)

$$\text{แทนค่า } V_2 = \frac{102,182.0 \times 3.91 \times 273.15}{101,300.0 \times 304.65}$$

$$= 3.54 \text{ l}$$

จะได้ปริมาตรก๊าซที่สภาวะ STP = 3.54 l/d

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ในกรณีอื่น ๆ ก็คำนวณในทำนองเดียวกัน

ประวัติผู้เขียน

นางสาวอัสดา ฉลานวัฒน์ เกิดเมื่อวันที่ 30 กันยายน 2515 ที่จังหวัดกรุงเทพฯ สำเร็จการศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต (สัตวศาสตร์) จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เมื่อปีการศึกษา 2537 และเข้าศึกษาต่อหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีชีวภาพ) เมื่อปีการศึกษา 2540 จนถึง พ.ศ. 2544



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้