

การผลิตก๊าซชีวภาพจากการย่อยสลายน้ำมันพืชร่วมกับเศษอาหารแบบไร้อากาศ

นายฐานวุฑฒ์ สํารานุกุลศิลป์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2555

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)

เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository(CUIR) are the thesis authors' files submitted through the Graduate School.

Biogas Production from Anaerobic Digestion of
Vegetable Oil with Food Waste

Mr. Thanawoot Sumransilp

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Environmental Engineering

Department of Environmental Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2012

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การผลิตก๊าซชีวภาพจากการย่อยสลายน้ำมันพืชร่วมกับเศษอาหารแบบไร้อากาศ
โดย	นายฐานวุฑฒ กำราญศิลป์
สาขาวิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศรัณย์ เตชะเสน

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้แก่นักศึกษานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร. บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. ชเรศ ศรีสถิตย์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศรัณย์ เตชะเสน)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชัยพร ภู่งประเสริฐ)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ตะวัน ลิ้มปิยากร)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร. ปธาน บรรจงปรุ)

ฐานวุฒ สำรานุศึลปี : การผลิตก๊าซชีวภาพจากการย่อยสลายน้ำมันพืชร่วมกับเศษอาหารแบบไร้อากาศ.(BIOGAS PRODUCTION FROM ANAEROBIC DIGESTION OF VEGETABLE OIL WITH FOOD WASTE) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ. ดร.ศรัณย์ เตชะเสน, 181 หน้า.

งานวิจัยนี้ศึกษาแนวทางการกำจัดไขมันและน้ำมันร่วมกับเศษอาหารแบบแบทช์ด้วยระบบไร้อากาศเพื่อนำไปสู่การผลิตก๊าซชีวภาพ ทำในระดับห้องปฏิบัติการ (Lab scale) โดยใช้ถังปฏิกรณ์ขวดแก้วปริมาตร 0.5 ลิตร จุน้ำ 0.3 ลิตร ใช้สตัดจ์จากบริษัทปทุมธานีบริวเวอรี จำกัด ความเข้มข้น 20,000 มิลลิกรัมต่อลิตร น้ำมันปาล์มความเข้มข้น 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับเศษข้าว และกากถั่วเหลืองแทนแหล่งสารอินทรีย์คาร์บอนและไนโตรเจน ตามลำดับ โดยใส่เศษข้าวและกากถั่วเหลืองที่ความเข้มข้นรวม 0 1,000 2,000 และ 4,000 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดจากน้ำมันอย่างเดียว น้ำมันร่วมกับข้าว และน้ำมันร่วมกับกากถั่วเหลืองเท่ากับ 0.23 0.43 และ 0.72 ลบ.ม./กก.-วีเอส ตามลำดับ การใส่กากถั่วเหลืองที่ความเข้มข้นสูงขึ้นช่วยทำให้เกิดปริมาณก๊าซชีวภาพเพิ่มมากขึ้น และพบว่าปฏิกิริยาการเกิดก๊าซชีวภาพเป็นปฏิกิริยาอันดับที่หนึ่งโดยค่าคงที่การเกิดก๊าซชีวภาพ (k_1) ของการใส่เศษข้าวและกากถั่วเหลืองใกล้เคียงกันเท่ากับ 0.364 และ 0.390 ต่อวันตามลำดับ แต่การใส่กากถั่วเหลืองมีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพมากกว่าเศษข้าว โดยอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพจากการเติมกากถั่วเหลืองและเศษข้าวเท่ากับ 0.280 และ 0.157 ลบ.ม./กก.-วีเอส-วันตามลำดับ นอกจากนั้นพบว่า การเติมสารลดแรงตึงผิว (Sodium Dodecyl Sulfate หรือ SDS) ที่ความเข้มข้น 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร เพื่อช่วยให้ไขมันละลายน้ำได้สมบูรณ์กลับทำให้ระยะเวลาในการผลิตก๊าซชีวภาพนานขึ้นมากโดยเพิ่มระยะเวลาในการปรับตัวจาก 2 - 3 วัน เพิ่มเป็น 30 - 50 วัน โดยที่ได้ปริมาณก๊าซใกล้เคียงกัน อาจเนื่องมาจากน้ำมันละลายได้มากเกินไปจนยับยั้งปฏิกิริยาทางชีวภาพ

การทิ้งตะกอนและน้ำเสียที่ 10% 20% 50% และ 90% ของปริมาณน้ำตัวอย่าง คิดเป็นค่าอายุตะกอนเท่ากับ 150 75 30 และ 16.7 วัน ตามลำดับ พบว่าที่อายุตะกอน 16.7 วัน มีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพใกล้เคียงกับค่าอายุตะกอนอื่น (0.35 ลบ.ม./กก.-วีเอส) แต่มีค่าคงที่ของปฏิกิริยา (k_1) สูงที่สุด (0.56 ต่อวัน) แต่ใช้ระยะเวลาในการปรับตัว 5 วัน ซึ่งมากกว่าค่าอายุตะกอนอื่นที่ใช้ระยะเวลาในการปรับตัว 2 วัน

ภาควิชา..... วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม..... ลายมือชื่อนิสิต.....
 สาขาวิชา..... วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม..... ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....
 ปีการศึกษา..... 2555.....

##5270277621 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING

KEYWORDS : ANAEROBIC PROCESS / OIL CONTAMINATED WASTEWATER / METHANE GAS / SURFACTANT / MULTIPLE SLUDGES

THANAWOOT SUMRANSILP: BIOGAS PRODUCTION FROM ANAEROBIC DIGESTION OF VEGETABLE OIL WITH FOOD WASTE. ADVISOR: ASST. PROF. SARUN TEJASEN, Ph.D., 181 pp.

This research studied a biogas production from fats and oil anaerobic digestion with food waste. Experiments were performed in lab scale batch reactors, using 0.50 liters Duran bottles with 0.3 liters water. Sludge from Boon Rawd Brewery Co., Ltd. was added at a concentration of 20,000 mg/L with 2,000 mg/L palm oil and rice or soybean waste to represent carbon or nitrogen sources, respectively. Rice or soy waste were tested at concentrations of 0 1,000 2,000 and 4,000 mg/L. The biogas productions of oil, rice with oil, and soybean with oil were 0.23 0.42 and 0.72 m³/Kg-VS, respectively. Result showed that higher biogas productions were obtained with higher soybean concentrations. The biogas production rates followed the first order reaction with waste concentration. The first order constant (k₁) of palm oil with rice and with soybean were 0.390 and 0.364 1/day, respectively. Addition of soy beans produced more biogas than addition of rice, their biogas production rates were 0.280 and 0.157 m³/Kg-VS/day, respectively. Addition of surfactant, Sodium dodecyl sulfate (SDS) at a concentration of 2,000 mg/L to completely dissolved oil into water, resulted in much longer period for biogas production. Lag phase were increased from 2-3 days to 30-50 days with similar biogas volume. This might be results from the inhibition of high soluble oil concentrations in water.

Sludge wastage at 10%, 20%, 50%, and 90% volume were calculated to solids retention times (SRT) of 150, 75, 30, and 16.7 days, respectively. SRT of 16.7 days had the highest k₁ (0.56 1/d) with a similar biogas production rate (0.35 m³/Kg-VS), but had the longest lag period of 5 days, instead of 2 days for other SRT.

Department : Environmental Engineering..... Student's Signature.....

Field of Study : Environmental Engineering..... Advisor's Signature.....

Academic Year : 2012

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยความกรุณาและความช่วยเหลือจากหลายฝ่าย ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศรีณย์ เตชะเสน อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำแนะนำ ข้อคิดเห็น และตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์นี้จนเสร็จสมบูรณ์

กราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ชเรศ ศรีสถิตย์ ที่กรุณาเป็นประธานในการสอบวิทยานิพนธ์ และกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชัยพร ภู่งประเสริฐ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ตะวัน ลิ้มปิยากร และ ดร. ปธาน บรรจงปรุ ที่กรุณาเป็นกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์

คณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทุกท่านที่ได้อบรมสั่งสอนและให้ความรู้

ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่ห้องธุรการ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมทุกท่าน ที่ช่วยให้คำชี้แนะ ให้ความช่วยเหลืองานด้านเอกสาร และอำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือเสมอมา

ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการทุกท่าน ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความอนุเคราะห์และอำนวยความสะดวกในการใช้วัสดุอุปกรณ์ในการทดลอง

ขอขอบพระคุณ บริษัท ปทุมธานีบริวเวอรี่ จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์เชื้อจุลชีพเพื่อใช้ในการทดลอง

ขอขอบพระคุณ ทนุอุคหนุนวิทยานิพนธ์ จากบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้สนับสนุนค่าใช้จ่ายจนวิทยานิพนธ์สำเร็จได้ด้วยดี

ขอขอบคุณ เพื่อนๆ นิสิตมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ช่วยเหลือและให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จด้วยดี

ท้ายที่สุดขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัว ที่ให้ความรัก กำลังใจ และให้การสนับสนุนตลอดมาจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญรูป.....	ฉ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 กระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ.....	4
2.1.1 ปฏิบัติการย่อยสลายสารอินทรีย์ในกระบวนการบำบัดน้ำเสีย แบบไร้อากาศ.....	4
2.1.2 รูปแบบของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ.....	9
2.1.3 สภาวะแวดล้อมที่มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสีย แบบไร้อากาศ.....	10
2.1.4 ข้อดีและข้อเสียของกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ.....	14
2.2 น้ำมันที่ปนเปื้อนในน้ำเสีย.....	16
2.2.1 ไนมันและกรดไขมัน.....	18
2.2.2 สภาพทางกายภาพของน้ำมันและไขมันในน้ำเสีย.....	20
2.2.3 วิธีการกำจัดน้ำมันและไขมัน.....	25

	หน้า
2.3 สารลดแรงตึงผิว (Surfactant).....	26
2.3.1 ชนิดของสารลดแรงตึงผิว.....	28
2.3.2 อิทธิพลที่มีผลต่อการรวมกลุ่มของสารลดแรงตึงผิว.....	29
2.4 การย่อยสลายแบบไร้อากาศ (Anaerobic Sludge Digestion).....	30
2.4.1 ลักษณะของกระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศ.....	30
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	33
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย.....	38
3.1 แผนการทดลอง.....	38
3.2 อุปกรณ์และสารเคมี.....	40
3.2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์.....	40
3.2.2 สารเคมี.....	40
3.3 การดำเนินงานวิจัย.....	42
3.3.1 การทดลองส่วนที่ 1.....	42
3.3.2 การทดลองส่วนที่ 2.....	45
3.4 การหาค่าคงที่ของปฏิกิริยา (k_1).....	47
3.5 การหาค่าไนโตรเจนของการย่อยสลายน้ำมันพืช.....	47
3.6 การออกแบบระบบการย่อยสลายแบบไร้อากาศ.....	49
3.7 พารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์.....	50
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	51
4.1. ลักษณะสมบัติของสารตั้งต้น.....	51
4.1.1 ตะกอนจุลินทรีย์.....	51
4.1.2 ลักษณะและสมบัติของน้ำเสียสังเคราะห์.....	51
4.1.3 สารลดแรงตึงผิว.....	51
4.2. ผลการศึกษาในการทดลองส่วนที่ 1.....	52

	หน้า
4.2.1 ปริมาณก๊าซชีวภาพ.....	52
4.2.2 ตัวอย่างแบบจำลองอัตราการย่อยสลายของของแข็งระเหยง่าย..	59
4.2.3 อุณหภูมิ (Temperature).....	63
4.2.4 ค่าพีเอช (pH).....	63
4.2.5 ค่ากรดไขมันระเหยง่าย.....	63
4.2.6 ค่าของแข็งทั้งหมด (TS).....	65
4.2.7 ค่าของแข็งระเหยง่าย (VS).....	65
4.2.8 ค่าซีโอดี.....	66
4.3. ผลการศึกษาในการทดลองส่วนที่ 2.....	67
4.3.1 ปริมาณก๊าซชีวภาพ.....	67
4.3.2 ตัวอย่างแบบจำลองอัตราการย่อยสลายของของแข็งระเหยง่าย..	79
4.3.3 อายุตะกอน.....	83
4.3.4 อุณหภูมิ (Temperature).....	86
4.3.5 ค่าพีเอช (pH).....	86
4.3.6 ค่ากรดไขมันระเหยง่าย.....	87
4.3.7 ค่าของแข็งทั้งหมด (TS).....	88
4.3.8 ค่าของแข็งระเหยง่าย (VS).....	89
4.3.9 ค่าซีโอดี.....	90
4.3.10 องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ.....	91
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ.....	95
5.1 สรุปผลการวิจัยการทดลองส่วนที่ 1.....	95
5.1.1 การศึกษาผลของการผลิตก๊าซชีวภาพจากการย่อยสลายน้ำมัน พืช.....	95
5.1.2 การศึกษาผลของการใส่สารลดแรงตึงผิว.....	95

	หน้า
5.1.3 การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัด.....	95
5.1.4 การศึกษาปริมาณก๊าซชีวภาพ.....	96
5.1.5 การศึกษาอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ.....	96
5.2 สรุปผลการวิจัยการทดลองส่วนที่ 2.....	96
5.2.1 การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัด.....	96
5.2.2 การศึกษาผลของอายุตะกอน.....	96
5.2.3 การศึกษาปริมาณก๊าซชีวภาพที่อายุตะกอนต่างๆ.....	96
5.2.4 การศึกษาอัตราการย่อยสลาย.....	96
5.2.5 การศึกษาระยะเวลาการปรับตัว.....	97
5.2.6 การศึกษาเปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทน.....	97
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	97
รายการอ้างอิง.....	98
ภาคผนวก.....	102
ภาคผนวก ก ผลการทดลอง.....	103
ก.-1 ปริมาณก๊าซชีวภาพ.....	104
ก.-2 ค่าของแข็งทั้งหมด.....	118
ภาคผนวก ข การหาค่าประกอบของก๊าซชีวภาพ.....	130
ข.-1 ผลการหาค่าประกอบของก๊าซชีวภาพ รอบที่ 1.....	131
ข.-2 ผลการหาค่าประกอบของก๊าซชีวภาพ รอบที่ 2.....	143
ข.-3 ผลการหาค่าประกอบของก๊าซชีวภาพ รอบที่ 3.....	155
ข.-4 ผลการหาค่าประกอบของก๊าซชีวภาพ รอบที่ 4.....	167
ข.-5 ผลการวิเคราะห์ก๊าซมีเทนมาตรฐาน.....	179
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	181

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	ธาตุอาหารเสริมสำหรับระบบบำบัดน้ำเสียแบบ ไร้อากาศ..... 12
2.2	ระดับความเข้มข้นของสารพิษชนิดต่างๆ ที่มีผลต่อจุลินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบ ไร้อากาศ..... 13
2.3	เปรียบเทียบการใช้พลังงานระหว่างกระบวนการแบบใช้อากาศกับกระบวนการแบบ ไร้อากาศ..... 15
2.4	องค์ประกอบของน้ำมันและไขมัน..... 16
2.5	มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน..... 17
2.6	ตำแหน่งและจำนวนพันธะคู่ที่มีผลต่อจุดหลอมเหลวของไขมัน..... 19
2.7	วิธีการบำบัดน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันในรูปที่ละลายน้ำ..... 21
2.8	วิธีการบำบัดน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันในรูปที่เป็นอิมัลชันและไม่มีสารลดแรงดึงผิวผสม..... 22
2.9	วิธีการบำบัดน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันในรูปที่เป็นอิมัลชันและมีสารลดแรงดึงผิวผสม หลังจากการทำลายเสถียรภาพ..... 24
2.10	วิธีการบำบัดน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันในรูปที่ลอยบนผิวน้ำ..... 25
2.11	เปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของระบบย่อยสลดจ์แบบเทอร์โมฟิลิก..... 33
3.1	ลักษณะสมบัติของน้ำมันปาล์ม บริษัท มรกต อินคัสตรีส์ จำกัด มหาชน..... 40
3.2	ลักษณะสมบัติของ Sodium lauryl sulphate..... 41
3.3	องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณของข้าวสาร 100 กรัม..... 41
3.4	องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณของถั่วเหลืองปริมาณ 100 กรัม..... 42
3.5	การผสมสารตัวอย่างในอัตราส่วนต่างๆ..... 44
3.6	การทิ้งน้ำในอัตราส่วนต่างๆ..... 48
3.7	วิธีวิเคราะห์พารามิเตอร์ของน้ำเสีย..... 50
4.1	ค่ากรดไขมันระเหยง่ายการทดลองส่วนที่ 1..... 64

ตารางที่	หน้า
4.2 ค่ากรดไขมันระเหยง่ายการทดลองส่วนที่ 2.....	87
4.3 องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพการทดลองรอบที่ 1.....	91
4.4 องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพการทดลองรอบที่ 2.....	92
4.5 องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพการทดลองรอบที่ 3.....	93
4.6 องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพการทดลองรอบที่ 4.....	94
ก.-1 ค่าของการผลิตก๊าซชีวภาพการทดลองส่วนที่ 1.....	104
ก.-2 ค่าของการผลิตก๊าซชีวภาพการทดลองส่วนที่ 2 รอบที่ 1.....	114
ก.-3 ค่าของการผลิตก๊าซชีวภาพการทดลองส่วนที่ 2 รอบที่ 2.....	115
ก.-4 ค่าของการผลิตก๊าซชีวภาพการทดลองส่วนที่ 2 รอบที่ 3.....	116
ก.-5 ค่าของการผลิตก๊าซชีวภาพการทดลองส่วนที่ 2 รอบที่ 4.....	117
ก.-6 ค่าของแข็งทั้งหมดก่อนเดินระบบ.....	118
ก.-7 ค่าของแข็งทั้งหมดหลังเดินระบบ.....	119
ก.-8 ค่าของแข็งระเหยง่ายก่อนเดินระบบ.....	120
ก.-9 ค่าของแข็งระเหยง่ายหลังเดินระบบ.....	121
ก.-10 ค่าของแข็งทั้งหมดก่อน-หลัง เดินระบบ ส่วนที่ 2 การทดลองรอบที่ 1.....	122
ก.-11 ค่าของแข็งทั้งหมดก่อน-หลัง เดินระบบ ส่วนที่ 2 การทดลองรอบที่ 2.....	123
ก.-12 ค่าของแข็งทั้งหมดก่อน-หลัง เดินระบบ ส่วนที่ 2 การทดลองรอบที่ 3.....	124
ก.-13 ค่าของแข็งทั้งหมดก่อน-หลัง เดินระบบ ส่วนที่ 2 การทดลองรอบที่ 4.....	125
ก.-14 ค่าของแข็งระเหยง่ายก่อน-หลัง เดินระบบ ส่วนที่ 2 การทดลองรอบที่ 1.....	126
ก.-15 ค่าของแข็งระเหยง่ายก่อน-หลัง เดินระบบ ส่วนที่ 2 การทดลองรอบที่ 2.....	127
ก.-16 ค่าของแข็งระเหยง่ายก่อน-หลัง เดินระบบ ส่วนที่ 2 การทดลองรอบที่ 3.....	128
ก.-17 ค่าของแข็งระเหยง่ายก่อน-หลัง เดินระบบ ส่วนที่ 2 การทดลองรอบที่ 4.....	129

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	ปฏิภณาริรคอกซ์ในการบ้ำบดน้ำเสืย.....	4
2.2	ขั้นตอนการข้อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสืยโดยกระบวนการบ้ำบดน้ำเสืยแบบ ไร้อากศ.....	5
2.3	การข้อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์พวกสร้างกรด.....	7
2.4	ระบบบ้ำบดน้ำเสืยแบบไร้อากศแบบต่างๆ.....	9
2.5	ความสัมพันธ์ของอัตราการเจริญเติบโตของแบคทีเรียชนิดสร้างมีเทน.....	10
2.6	การผลั๊กันของอนุภาคน้ำมันเนื่องจากสารลดแรงตึงผิว.....	22
2.7	โครงสร้างโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิว.....	27
2.8	โมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวในการเกิดไมเซลล์.....	27
2.9	แรงระหว่างโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิว.....	29
2.10	ระบบถังข้อยสตั๊ก์แบบชั้นเดียวอัตราสูง.....	31
2.11	ระบบถังข้อยสตั๊ก์แบบสองชั้นตอน.....	32
3.1	ขั้นตอนทั้งหมดของการวิจัย.....	39
3.2	ขั้นตอนการทดลองส่วนที่ 1.....	43
3.3	ขั้นตอนการทดลองส่วนที่ 2.....	46
3.4	การออกแบบระบบการข้อยสตั๊ก์แบบไร้อากศ 1 ชุดตัวอย่าง.....	49
3.5	การออกแบบระบบการข้อยสตั๊ก์แบบไร้อากศหลายชุดตัวอย่าง.....	49
4.1	กราฟมาตรฐานค่าความขุ่น.....	51
4.2	ปริมาณก๊าซชีวภาพของตัวอย่างการทดลอง CO COS และ CS.....	52
4.3	ปริมาณก๊าซชีวภาพของตัวอย่างการทดลอง CR1 CR2 และ CR4.....	53
4.4	ปริมาณก๊าซชีวภาพของตัวอย่างการทดลอง CB1 CB2 และ CB4.....	54
4.5	ปริมาณก๊าซชีวภาพของตัวอย่างการทดลอง OR1 OR2 และ OR4.....	55
4.6	ปริมาณก๊าซชีวภาพของตัวอย่างการทดลอง OB1 OB2 และ OB4.....	56

รูปที่	หน้า
4.7 ปริมาณก๊าซชีวภาพของตัวอย่างการทดลอง OSR1 OSR2 และ OSR4.....	57
4.8 ปริมาณก๊าซชีวภาพของตัวอย่างการทดลอง OSB1 OSB2 และ OSB4.....	58
4.9 ตัวอย่างของแบบจำลองอัตราการย่อยสลายของของแข็งระเหยง่ายของตะกอน จุลินทรีย์ร่วมกับน้ำมันที่ความเข้มข้น 2,000 มก./ล.....	59
4.10 อัตราการย่อยสลายของของแข็งระเหยง่ายของตะกอนจุลินทรีย์ร่วมกับสารลด แรงตึงผิวที่ความเข้มข้น 2,000 มก./ล.....	60
4.11 ปริมาณก๊าซชีวภาพสูงสุดเทียบกับความเข้มข้นของเศษข้าวและกากถั่วเหลือง.....	61
4.12 อัตราการย่อยสลายเทียบกับความเข้มข้นของเศษข้าวและกากถั่วเหลือง.....	61
4.13 อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพเทียบกับความเข้มข้นของเศษข้าวและกากถั่วเหลือง.....	62
4.14 ค่าพีเอชก่อนและหลังการทดลองในส่วนที่ 1.....	63
4.15 ค่าของแข็งทั้งหมดก่อนและหลังการทดลองในส่วนที่ 1.....	65
4.16 ค่าของแข็งระเหยง่ายก่อนและหลังการทดลองในส่วนที่ 1.....	65
4.17 ค่าซี โอดีละลายก่อนและหลังการทดลองในส่วนที่ 1.....	66
4.18 ค่าซี โอดีทั้งหมดก่อนและหลังการทดลองในส่วนที่ 1.....	66
4.19 ปริมาณก๊าซชีวภาพของตะกอนจุลินทรีย์ร่วมกับน้ำมันที่ความเข้มข้น 2,000 มก./ล. โดยมีอัตราการทิ้งน้ำเสีย 10 % 4 รอบของการทดลองส่วนที่ 2.....	67
4.20 ปริมาณก๊าซชีวภาพของตะกอนจุลินทรีย์ร่วมกับน้ำมันที่ความเข้มข้น 2,000 มก./ล. และเศษข้าวที่ความเข้มข้น 1,000 มก./ล. โดยมีอัตราการทิ้งน้ำเสีย 10 % 4 รอบของ การทดลองส่วนที่ 2.....	68
4.21 ปริมาณก๊าซชีวภาพของตะกอนจุลินทรีย์ร่วมกับน้ำมันที่ความเข้มข้น 2,000 มก./ล. และกากถั่วเหลืองที่ความเข้มข้น 1,000 มก./ล. โดยมีอัตราการทิ้งน้ำเสีย 10 % 4 รอบ ของการทดลองส่วนที่ 2.....	69
4.22 ปริมาณก๊าซชีวภาพของตะกอนจุลินทรีย์ร่วมกับน้ำมันที่ความเข้มข้น 2,000 มก./ล. โดยมีอัตราการทิ้งน้ำเสีย 20 % 4 รอบของการทดลองส่วนที่ 2.....	70

รูปที่	หน้า
4.23 ปริมาณก๊าซชีวภาพของตะกอนจุลินทรีย์ร่วมกับน้ำมันที่ความเข้มข้น 2,000 มก./ล. และเศษข้าวที่ความเข้มข้น 1,000 มก./ล. โดยมีอัตราการทิ้งน้ำเสีย 20 % 4 รอบของการทดลองส่วนที่ 2.....	71
4.24 ปริมาณก๊าซชีวภาพของตะกอนจุลินทรีย์ร่วมกับน้ำมันที่ความเข้มข้น 2,000 มก./ล. และกากถั่วเหลืองที่ความเข้มข้น 1,000 มก./ล. โดยมีอัตราการทิ้งน้ำเสีย 20 % 4 รอบของการทดลองส่วนที่ 2.....	72
4.25 ปริมาณก๊าซชีวภาพของตะกอนจุลินทรีย์ร่วมกับน้ำมันที่ความเข้มข้น 2,000 มก./ล. โดยมีอัตราการทิ้งน้ำเสีย 50 % 4 รอบของการทดลองส่วนที่ 2.....	73
4.26 ปริมาณก๊าซชีวภาพของตะกอนจุลินทรีย์ร่วมกับน้ำมันที่ความเข้มข้น 2,000 มก./ล. และเศษข้าวที่ความเข้มข้น 1,000 มก./ล. โดยมีอัตราการทิ้งน้ำเสีย 50 % 4 รอบของการทดลองส่วนที่ 2.....	74
4.27 ปริมาณก๊าซชีวภาพของตะกอนจุลินทรีย์ร่วมกับน้ำมันที่ความเข้มข้น 2,000 มก./ล. และกากถั่วเหลืองที่ความเข้มข้น 1,000 มก./ล. โดยมีอัตราการทิ้งน้ำเสีย 50 % 4 รอบของการทดลองส่วนที่ 2.....	75
4.28 ปริมาณก๊าซชีวภาพของตะกอนจุลินทรีย์ร่วมกับน้ำมันที่ความเข้มข้น 2,000 มก./ล. โดยมีอัตราการทิ้งน้ำเสีย 90 % 4 รอบของการทดลองส่วนที่ 2.....	76
4.29 ปริมาณก๊าซชีวภาพของตะกอนจุลินทรีย์ร่วมกับน้ำมันที่ความเข้มข้น 2,000 มก./ล. และเศษข้าวที่ความเข้มข้น 1,000 มก./ล. โดยมีอัตราการทิ้งน้ำเสีย 90 % 4 รอบของการทดลองส่วนที่ 2.....	77
4.30 ปริมาณก๊าซชีวภาพของตะกอนจุลินทรีย์ร่วมกับน้ำมันที่ความเข้มข้น 2,000 มก./ล. และกากถั่วเหลืองที่ความเข้มข้น 1,000 มก./ล. โดยมีอัตราการทิ้งน้ำเสีย 90 % 4 รอบของการทดลองส่วนที่ 2.....	78
4.31 ตัวอย่างอัตราการย่อยสลายของตะกอนจุลินทรีย์ร่วมกับน้ำมันที่ความเข้มข้น 2,000 มก./ล. ของการทดลองส่วนที่ 2.....	79

รูปที่	หน้า
4.32 ปริมาณก๊าซชีวภาพของการทดลอง 4 รอบ.....	80
4.33 ค่า k_1 ของการทดลอง 4 รอบ.....	81
4.34 ระยะเวลาการปรับตัวของการทดลอง 4 รอบ.....	82
4.35 ค่า k_1 เทียบกับ อายุตะกอน.....	84
4.36 ปริมาณก๊าซชีวภาพเทียบกับอายุตะกอน.....	85
4.37 ระยะเวลาการปรับตัวเทียบกับอายุตะกอน.....	85
4.38 ค่าพีเอชก่อนและหลังการทดลองส่วนที่ 2.....	86
4.39 ค่าของแข็งทั้งหมดก่อนและหลังการทดลองส่วนที่ 2 เมื่อเข้าสู่สภาวะคงที่.....	88
4.40 ค่าของแข็งระเหยง่ายก่อนและหลังการทดลองส่วนที่ 2 เมื่อเข้าสู่สภาวะคงที่.....	89
4.41 ค่าซีโอดีละลายก่อนและหลังการทดลองส่วนที่ 2 เมื่อเข้าสู่สภาวะคงที่.....	90
4.42 ค่าซีโอดีทั้งหมดก่อนและหลังการทดลองส่วนที่ 2 เมื่อเข้าสู่สภาวะคงที่.....	90
ข.-1 ผลการทดลองของตัวอย่าง S10 รอบที่ 1.....	131
ข.-2 ผลการทดลองของตัวอย่าง S20 รอบที่ 1.....	132
ข.-3 ผลการทดลองของตัวอย่าง S50 รอบที่ 1.....	133
ข.-4 ผลการทดลองของตัวอย่าง S90 รอบที่ 1.....	134
ข.-5 ผลการทดลองของตัวอย่าง R10 รอบที่ 1.....	135
ข.-6 ผลการทดลองของตัวอย่าง R20 รอบที่ 1.....	136
ข.-7 ผลการทดลองของตัวอย่าง R50 รอบที่ 1.....	137
ข.-8 ผลการทดลองของตัวอย่าง R90 รอบที่ 1.....	138
ข.-9 ผลการทดลองของตัวอย่าง O10 รอบที่ 1.....	139
ข.-10 ผลการทดลองของตัวอย่าง O20 รอบที่ 1.....	140
ข.-11 ผลการทดลองของตัวอย่าง O50 รอบที่ 1.....	141
ข.-12 ผลการทดลองของตัวอย่าง O90 รอบที่ 1.....	142
ข.-13 ผลการทดลองของตัวอย่าง S10 รอบที่ 2.....	143

รูปที่	หน้า
ข.-14 ผลการทดลองของตัวอย่าง S20 รอบที่ 2.....	144
ข.-15 ผลการทดลองของตัวอย่าง S50 รอบที่ 2.....	145
ข.-16 ผลการทดลองของตัวอย่าง S90 รอบที่ 2.....	146
ข.-17 ผลการทดลองของตัวอย่าง R10 รอบที่ 2.....	147
ข.-18 ผลการทดลองของตัวอย่าง R20 รอบที่ 2.....	148
ข.-19 ผลการทดลองของตัวอย่าง R50 รอบที่ 2.....	149
ข.-20 ผลการทดลองของตัวอย่าง R90 รอบที่ 2.....	150
ข.-21 ผลการทดลองของตัวอย่าง O10 รอบที่ 2.....	151
ข.-22 ผลการทดลองของตัวอย่าง O20 รอบที่ 2.....	152
ข.-23 ผลการทดลองของตัวอย่าง O50 รอบที่ 2.....	153
ข.-24 ผลการทดลองของตัวอย่าง O90 รอบที่ 2.....	154
ข.-25 ผลการทดลองของตัวอย่าง S10 รอบที่ 3.....	155
ข.-26 ผลการทดลองของตัวอย่าง S20 รอบที่ 3.....	156
ข.-27 ผลการทดลองของตัวอย่าง S50 รอบที่ 3.....	157
ข.-28 ผลการทดลองของตัวอย่าง S90 รอบที่ 3.....	158
ข.-29 ผลการทดลองของตัวอย่าง R10 รอบที่ 3.....	159
ข.-30 ผลการทดลองของตัวอย่าง R20 รอบที่ 3.....	160
ข.-31 ผลการทดลองของตัวอย่าง R50 รอบที่ 3.....	161
ข.-32 ผลการทดลองของตัวอย่าง R90 รอบที่ 3.....	162
ข.-33 ผลการทดลองของตัวอย่าง O10 รอบที่ 3.....	163
ข.-34 ผลการทดลองของตัวอย่าง O20 รอบที่ 3.....	164
ข.-35 ผลการทดลองของตัวอย่าง O50 รอบที่ 3.....	165
ข.-36 ผลการทดลองของตัวอย่าง O90 รอบที่ 3.....	166
ข.-37 ผลการทดลองของตัวอย่าง S10 รอบที่ 4.....	167

รูปที่	หน้า
ข.-38 ผลการทดลองของตัวอย่าง S20 รอบที่ 4.....	168
ข.-39 ผลการทดลองของตัวอย่าง S50 รอบที่ 4.....	169
ข.-40 ผลการทดลองของตัวอย่าง S90 รอบที่ 4.....	170
ข.-41 ผลการทดลองของตัวอย่าง R10 รอบที่ 4.....	171
ข.-42 ผลการทดลองของตัวอย่าง R20 รอบที่ 4.....	172
ข.-43 ผลการทดลองของตัวอย่าง R50 รอบที่ 4.....	173
ข.-44 ผลการทดลองของตัวอย่าง R90 รอบที่ 4.....	174
ข.-45 ผลการทดลองของตัวอย่าง O10 รอบที่ 4.....	175
ข.-46 ผลการทดลองของตัวอย่าง O20 รอบที่ 4.....	176
ข.-47 ผลการทดลองของตัวอย่าง O50 รอบที่ 4.....	177
ข.-48 ผลการทดลองของตัวอย่าง O90 รอบที่ 4.....	178
ข.-49 ผลวิเคราะห์ก๊าซมีเทนมาตรฐาน ครั้งที่ 1.....	179
ข.-50 ผลวิเคราะห์ก๊าซมีเทนมาตรฐาน ครั้งที่ 2.....	180

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

บอดีคไขมันมีปริมาณน้ำมันและไขมันสะสมอยู่เป็นปริมาณมากและไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ การกำจัดนั้นทำได้เพียงการตัดไขมันออกไปทิ้ง ซึ่งหากไม่มีการดูแลบอดีคไขมันอย่างสม่ำเสมอจะก่อให้เกิดความสกปรกและเกิดกลิ่นเหม็นซึ่งเป็นที่น่ารังเกียจ และทำให้ที่อวัยวะบอดีคเกิดการอุดตัน

จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าการกำจัดน้ำมันและไขมันในน้ำทิ้งนั้นสามารถนำมากำจัดได้โดยการย่อยสลายแบบไร้อากาศ แต่พบว่าในน้ำมันและไขมันมีสารอาหารในปริมาณที่ต่ำ ซึ่งไม่เพียงพอต่อความต้องการของแบคทีเรียเพื่อใช้ในการเจริญเติบโตของเซลล์ (Angelidaki และ Ahring, 1997) ทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดน้ำมันและไขมันไม่สูงเท่าที่ควรและส่งผลกระทบต่อปริมาณของก๊าซชีวภาพในทำนองเดียวกัน ทั้งนี้หากนำน้ำมันและไขมันมาย่อยสลายร่วมกับเศษอาหาร ทำให้เกิดพลังงานทดแทนในรูปของก๊าซชีวภาพในปริมาณที่เพิ่มมากขึ้นได้ (Davidsson และ คณะ, 2008) โดยองค์ประกอบหลักที่สำคัญของก๊าซชีวภาพ ได้แก่ ก๊าซมีเทน ซึ่งมีค่าความร้อนสูง และสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในด้านของพลังงานได้หลายรูปแบบ เช่น สามารถนำมาเผาเป็นเชื้อเพลิงเพื่อให้ได้พลังงานโดยตรง หรือสามารถนำไปเผาเพื่อให้พลังงานในเตาไอน้ำ เป็นต้น ทั้งนี้เนื่องจากความต้องการพลังงานทดแทนในปัจจุบันเพิ่มสูงขึ้น งานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดในการประยุกต์ใช้น้ำมันและไขมันมาย่อยสลายร่วมกับเศษอาหารแบบทีละเท เพื่อนำมาผลิตก๊าซชีวภาพให้ได้มากที่สุด โดยการนำสารลดแรงดึงผิวที่มีประจุลบมาช่วยในการลดแรงดึงผิวระหว่างน้ำกับน้ำมันให้น้ำมันที่ลอยอยู่บนผิวน้ำสามารถจมตัวลงมาภายในน้ำเพื่อให้แบคทีเรียสามารถย่อยสลายน้ำมันให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น อีกทั้งยังทำการศึกษาค่าของอายุตะกอน โดยการทิ้งตะกอนที่อัตราส่วนต่างๆ เพื่อหาค่าอายุตะกอนที่เหมาะสม โดยนำไปสู่การออกแบบระบบแบบต่อเนื่องต่อไป ซึ่งในงานวิจัยนี้จะเป็นการช่วยลดปริมาณขยะ อีกทั้งยังเป็นการเปลี่ยนของเสียมาใช้ให้เกิดประโยชน์ในรูปของพลังงานที่มีค่าได้อีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซมีเทนจากน้ำมันพืชร่วมกับเศษอาหารในระบบการย่อยสลัดจ์แบบไร้อากาศ
2. เพื่อศึกษาผลของการเติมสารลดแรงตึงผิวที่มีต่อประสิทธิภาพการย่อยสลายน้ำมันพืชภายใต้สภาวะที่มีเศษอาหารเป็นแหล่งสารอินทรีย์คาร์บอนและสารอาหาร

1.3 ขอบเขตการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการ โดยใช้ถังปฏิกรณ์แบบที่ละเท (Batch reactor) ดำเนินการที่อุณหภูมิห้อง ณ ห้องปฏิบัติการวิจัยระดับปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การศึกษาวิจัยกำหนดขอบเขตการวิจัยไว้ ดังนี้

1. น้ำเสียที่ใช้เป็นน้ำเสียสังเคราะห์ (Synthetic wastewater) ที่เตรียมขึ้นจากน้ำประปา โดยใช้เศษข้าวสุก กากถั่วเหลือง และน้ำมันปาล์มเป็นแหล่งสารอินทรีย์คาร์บอน และสารอาหาร
2. ถังปฏิกรณ์ที่ใช้เป็นขวดแก้วมีฝาปิดมิดชิดและมีปริมาตร 0.5 ลิตร จุน้ำ 0.3 ลิตร
3. หัวเชื้อที่ใช้ในการเดินระบบเป็นหัวเชื้อแอนแอโรบิกของบริษัทปทุมธานีบิวเวอรี่ จำกัด จากระบบยูเอเอสบี
4. น้ำมันที่ใช้ในการทดลองเป็นน้ำมันปาล์ม ตรามรกต ความเข้มข้น 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร
5. ทำการแปรค่าสัดส่วนการเติมเศษข้าวและกากถั่วเหลือง 4 ค่า ได้แก่ ความเข้มข้น 0 1,000 2,000 และ 4,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ
6. ทำการแปรค่าความเข้มข้นสารลดแรงตึงผิว (SDS) 2 ค่า ได้แก่ 0 และ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร
7. ทำการแปรค่าอายุตะกอนโดยเปลี่ยนปริมาณการทิ้งตะกอน 4 ค่า โดยทำ การทิ้งน้ำในถังปฏิกรณ์ 10% 20% 50% และ 90% ของปริมาตรตัวอย่างทั้งหมด ตามลำดับ
8. ทำการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ได้แก่ พีเอช อุณหภูมิ ซีไอดี กรดไขมันระเหย ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด ปริมาณของแข็งระเหยได้ ปริมาณของก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงผลของประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพ การกำจัดซีโอดี การกำจัดน้ำมันและไขมัน รวมทั้งการกำจัดกากตะกอนในถังปฏิกรณ์ในระบบการย่อยสลายแบบไร้อากาศ
2. ทราบถึงค่าปริมาณการทิ้งตะกอนที่เหมาะสม เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบระบบการย่อยสลายแบบไร้อากาศแบบต่อเนื่อง
3. เป็นแนวทางในการนำวัสดุเหลือใช้ เช่น ไขมัน น้ำมัน และเศษอาหารมาแปรรูปเป็นพลังงานทดแทน เพื่อช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้น

บทที่ 2

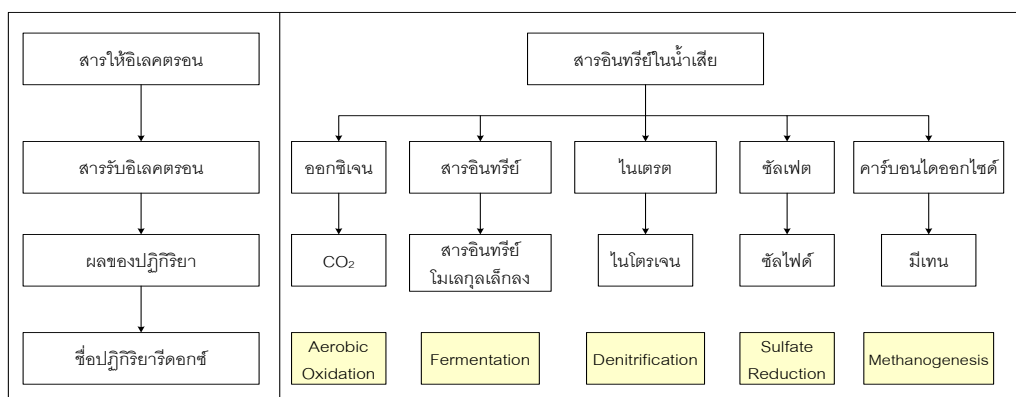
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 กระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ

กระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นจากการทำงานร่วมกันของจุลินทรีย์หลายๆ ชนิดในการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะไร้อากาศ โดยที่สารอินทรีย์ประมาณร้อยละ 80 - 90 จะถูกย่อยสลายกลายเป็นก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ หรือรวมเรียกว่า ก๊าซชีวภาพ (Biogas)

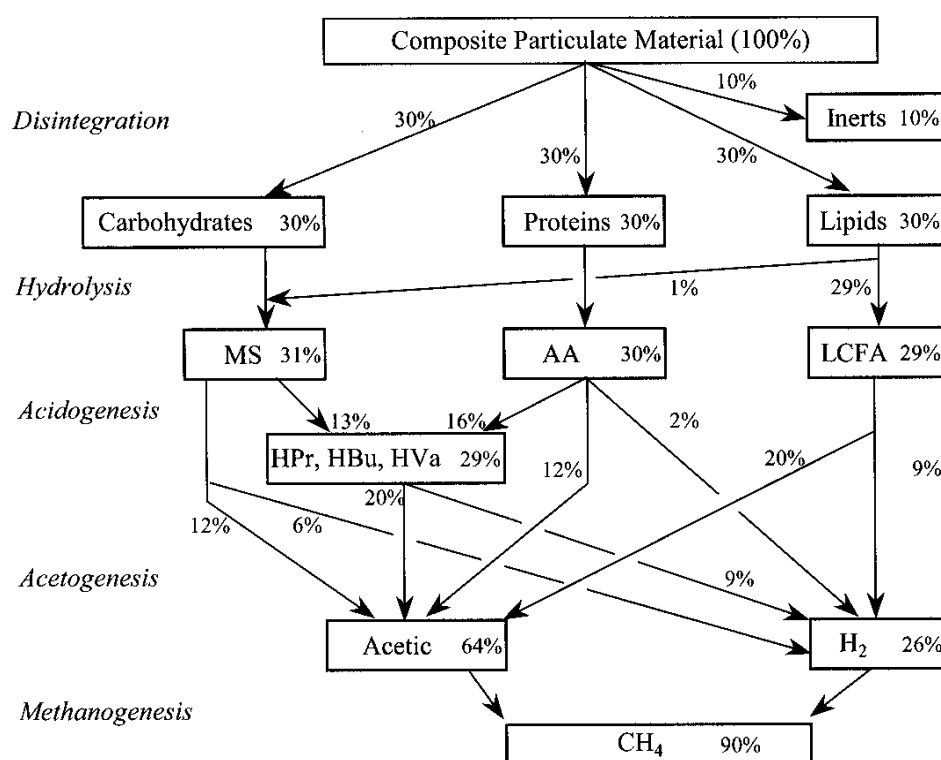
2.1.1 ปฏิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์ในกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ

ปฏิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียมีทั้งกระบวนการที่เป็นแบบใช้อากาศและไร้อากาศซึ่งเกิดจากปฏิริยารีดอกซ์ โดยเป็นปฏิริยาการถ่ายเทอิเล็กตรอนระหว่างสารให้และสารรับอิเล็กตรอน โดยสารอินทรีย์ในน้ำเสียซึ่งมีพลังงานสูงจะเป็นสารให้อิเล็กตรอน ส่วนสารชนิดอื่นๆ ที่อยู่ในน้ำจะเป็นสารรับอิเล็กตรอน ซึ่งความแตกต่างระหว่างกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบใช้อากาศและไร้อากาศนั้นขึ้นอยู่กับประเภทของสารรับอิเล็กตรอน กล่าวคือ ถ้าสารรับอิเล็กตรอนเป็นออกซิเจน ปฏิริยาก็จะเป็นแบบใช้อากาศ แต่ถ้าสารรับอิเล็กตรอนเป็นสารชนิดอื่นๆ ที่ไม่ใช่ ออกซิเจน เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ ไนเตรต ซัลเฟต เป็นต้น ปฏิริยาก็จะเป็นแบบไร้อากาศ ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ปฏิริยารีดอกซ์ในการบำบัดน้ำเสีย
(ที่มา : กรมควบคุมมลพิษ, 2542)

สำหรับการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ถ้าเป็นสารอินทรีย์โมเลกุลเล็กจะสามารถส่งผ่านเข้าไปในเซลล์เมมเบรนของจุลินทรีย์ได้เลย แต่ถ้าเป็นสารอินทรีย์มีโมเลกุลใหญ่จะต้องใช้เอนไซม์จากจุลินทรีย์ย่อยให้มีขนาดเล็กลงจนสามารถส่งผ่านเข้าเซลล์ได้ หลังจากนั้นสารอินทรีย์จะถูกออกซิไดซ์หลายครั้งจนกลายเป็นก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของสารอินทรีย์จนกระทั่งได้ผลสุดท้ายนั้นมีอยู่ด้วยกันหลายขั้นตอน โดยขั้นตอนของปฏิกิริยาสามารถแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอนหลัก (รูปที่ 2.2) ดังนี้



หมายเหตุ : MS คือ Monosaccharides
 AA คือ Amino acids
 LCFA คือ Long chain fatty acids
 HVa คือ Valeric acid
 HBu คือ Butyric acid
 HPr คือ Propionic acid

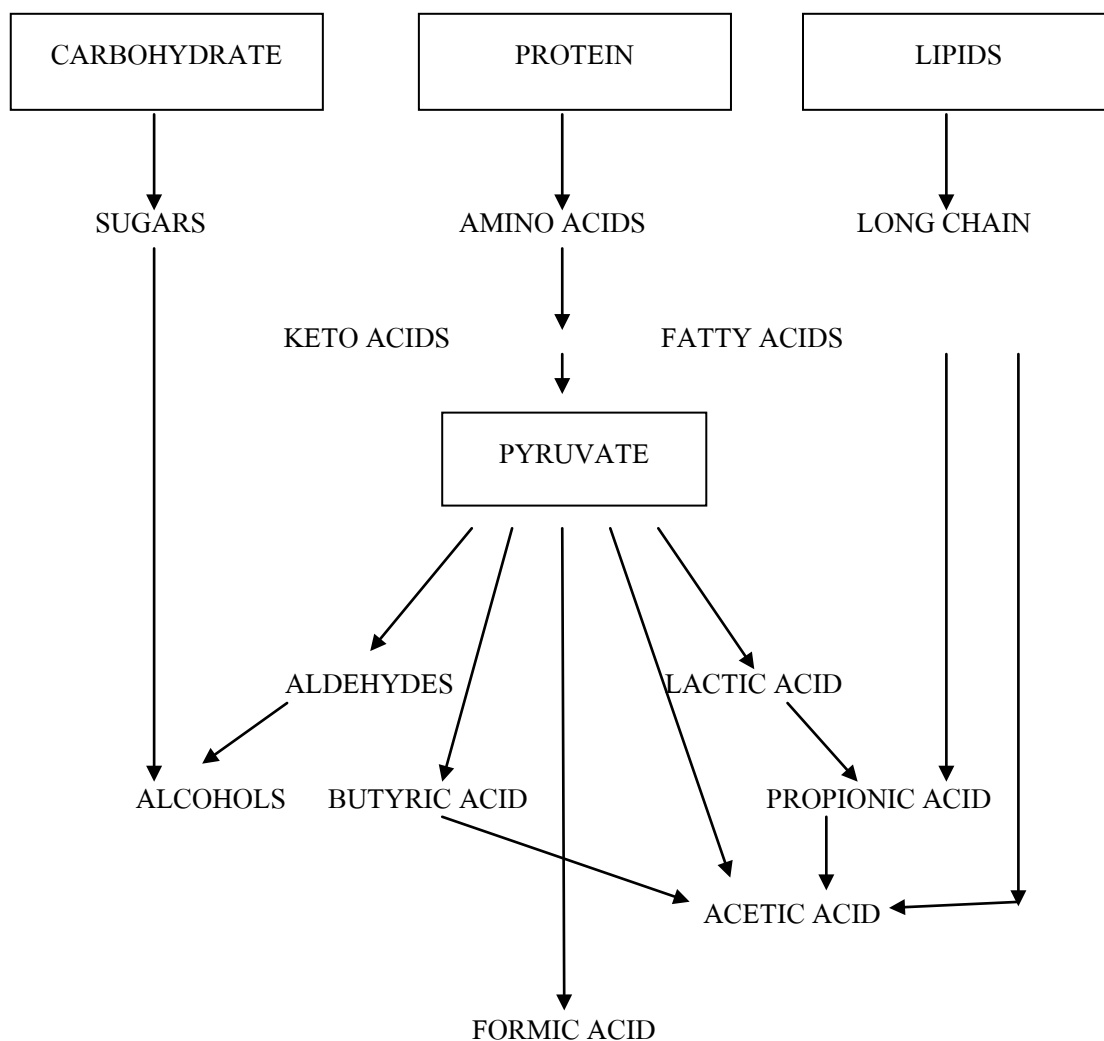
รูปที่ 2.2 ขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียโดยกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ
 (ที่มา : IWA Task Group, 2002)

1) ปฏิกริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolysis)

เป็นปฏิกริยาที่ทำการเปลี่ยนสารประกอบอินทรีย์เชิงซ้อน (Complex Organic) ซึ่งมีโมเลกุลขนาดใหญ่เกินกว่าที่แบคทีเรียจะดูดซึมเข้าเซลล์ได้ ให้กลายเป็นสารอินทรีย์โมเลกุลเล็ก เช่น การย่อยสลายโปรตีนให้กลายเป็นกรดอะมิโน การย่อยสลายคาร์โบไฮเดรตให้กลายเป็นกลูโคส การย่อยสลายไขมันให้กลายเป็นกรดไขมัน เป็นต้น เพื่อให้แบคทีเรียสามารถดูดซึมเข้าสู่เซลล์เมมเบรนของแบคทีเรียได้ โดยมีแบคทีเรียกลุ่มไฮโดรไลซิงแบคทีเรีย (Hydrolysing bacteria) ทำหน้าที่ผลิตเอนไซม์และปล่อยออกมาภายนอกเซลล์ (Extracellular Enzyme) เพื่อเป็นตัวเร่งปฏิกริยา ซึ่งระยะเวลาที่ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์แต่ละชนิดนั้นจะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ ความเข้มข้นของเอนไซม์ อุณหภูมิ การสัมผัสระหว่างเอนไซม์กับสารอินทรีย์ เป็นต้น

2) ปฏิกริยาการสร้างกรด (Acidogenesis)

เป็นปฏิกริยาที่ใช้สารอินทรีย์โมเลกุลเล็ก เช่น กรดอะมิโน กลูโคส กรดไขมัน เป็นต้น เป็นแหล่งคาร์บอนและแหล่งพลังงานของแบคทีเรียสร้างกรด โดยผ่านกระบวนการหมัก (Fermentation) ซึ่งผลผลิตที่ได้จะถูกเปลี่ยนให้เป็กรดอินทรีย์โมเลกุลเล็ก เช่น กรดอะซิติก กรดโพรไพโอนิก กรดวาเลอริก และกรดแลคติก เป็นต้น ดังรูปที่ 2.3 โดยมีสัดส่วนของกรด อะซิติก สูงที่สุด นอกจากผลผลิตส่วนใหญ่ที่เป็นกรดอินทรีย์แล้วยังสามารถพบผลิตภัณฑ์ชนิดอื่นๆ ปะปนออกมาโดยจะขึ้นอยู่กับชนิดของแบคทีเรียและสภาวะแวดล้อมของการเกิดปฏิกริยา ได้แก่ ก๊าซไฮโดรเจน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยกลุ่มแบคทีเรียสร้างกรดอาจจะสร้างปัญหาต่อการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ หากมีการสร้างกรดอินทรีย์ในปริมาณมากเกินกว่าที่กลุ่มแบคทีเรียสร้างมีเทนจะนำไปใช้ได้ทัน ซึ่งจะทำให้ค่าพีเอชของระบบลดลงและส่งผลกระทบต่อการทำงานของกลุ่มแบคทีเรียสร้างมีเทน



รูปที่ 2.3 การย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์พวกสร้างกรด
(ที่มา : Jeris และ McCarty, 1962)

3) ปฏิกริยาการสร้างกรดอะซิติก (Acetogenesis)

เป็นปฏิกริยาที่ทำการย่อยสลายกรดอินทรีย์ระเหยง่ายที่เกิดจากขั้นตอนของปฏิกริยาการสร้างกรดให้เป็นกรดอะซิติก คาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรเจน โดยแบคทีเรียกลุ่มอะซิโตเจนิค (Acetogenic bacteria) หรือแบคทีเรียสร้างกรดอะซิติก ซึ่งเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญต่อการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียโดยกระบวนการไร้อากาศ เนื่องจากในขั้นตอนสุดท้ายซึ่งเป็นขั้นตอนของปฏิกริยาการสร้างมีเทนนั้น สารอาหารที่ใช้ในกระบวนการผลิตมีเทนโดยกลุ่มแบคทีเรียสร้างมีเทน (Methanogens) จะมีความจำเพาะเจาะจงสูง ซึ่งสามารถใช้ก๊าซไฮโดรเจนและ

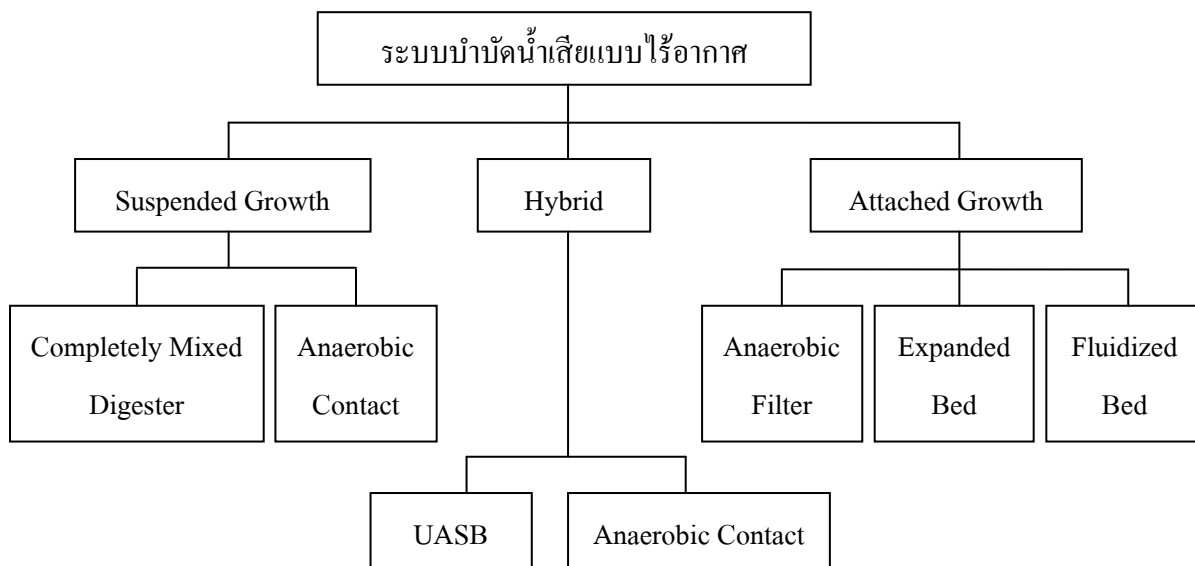
สารอาหารที่มีปริมาณคาร์บอนจำนวน 1 - 2 คาร์บอนเท่านั้น (ได้แก่ กรดอะซิติก กรดฟอร์มิก เมทานอล และ เมธิลามีน) โดยต้องมีสภาวะแวดล้อมในถังปฏิกิริยาที่เหมาะสม ซึ่งแบคทีเรียสร้างกรดอะซิติกที่ผลิตไฮโดรเจนนี้จะช่วยไม่ให้เกิดการสะสมตัวของกรดโพรไฟโอไนคและกรดบิวทริกในถังปฏิกิริยา ซึ่งมีผลให้ค่าพีเอชลดลงจนกระทั่งยับยั้งการทำงานของกลุ่มแบคทีเรียสร้างมีเทน

4) ปฏิกิริยาการสร้างมีเทน (Methanogenesis)

เป็นปฏิกิริยาที่ทำการเปลี่ยนแปลงกรดอะซิติกและก๊าซไฮโดรเจนเป็นก๊าซมีเทนภายใต้สภาวะไร้อากาศ โดยแบคทีเรียกลุ่มสร้างมีเทน (Methanogen) ซึ่งเป็นอาร์เคียที่มีอัตราการเจริญเติบโตช้าและมีความจำเพาะต่อชนิดอาหารมาก คือ ใช้สารที่มีคาร์บอนเพียง 1 - 2 คาร์บอนเท่านั้น เช่น เมทานอล กรดฟอร์มิก กรดอะซิติก รวมทั้งก๊าซไฮโดรเจน ส่วนกรดอินทรีย์ที่มีคาร์บอนมากกว่า 2 อะตอมขึ้นไป แบคทีเรียสร้างมีเทนจะไม่สามารถใช้ได้ จึงทำให้มีสารจำนวนมากตกค้างอยู่ ซึ่งเป็นเหตุผลที่ทำให้กระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศไม่สามารถลดค่าซีโอดีของน้ำเสียให้มีค่าต่ำเท่ากับกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบใช้อากาศได้ นอกจากนี้แบคทีเรียสร้างมีเทนยังมีความไวต่อสภาวะแวดล้อมมาก เช่น ไม่อาจทนต่อออกซิเจนแม้ปริมาณเพียงเล็กน้อยได้ หรือไม่อาจเจริญเติบโตได้ดีเมื่ออยู่ภายนอกช่วงพีเอชระหว่าง 6.8 - 7.2 (สุบัททิต นิมรัตน์, 2548) ดังนั้นการเจริญเติบโตของแบคทีเรียสร้างมีเทนจึงขึ้นอยู่กับการทำงานของแบคทีเรียในขั้นตอนไฮโดรไลซิสและขั้นตอนการสร้างกรด

2.1.2 รูปแบบของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศสามารถแบ่งออกเป็น 3 ระบบใหญ่ๆ ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศแบบต่างๆ

(ที่มา : Manila and Pohland 1992)

1) ระบบจุลินทรีย์แขวนลอย (Suspended Growth) เป็นระบบที่มีจุลินทรีย์แขวนลอยปะปนอยู่ในน้ำเสีย โดยจะมีการกวนให้จุลินทรีย์ผสมกับน้ำเสียภายในถังปฏิกรณ์ และจำเป็นต้องมีถังตกตะกอน เพื่อทำการแยกน้ำที่ผ่านการบำบัดและจุลินทรีย์ออกจากกัน โดยการหมุนเวียนเชื้อให้กลับเข้าสู่ถังปฏิกรณ์อีกครั้งหนึ่ง

2) ระบบการเจริญแบบเกาะติด (Attached Growth) เป็นระบบที่มีจุลินทรีย์เกาะติดกับตัวกลาง โดยการเจริญเป็นเมือกบางๆ เรียกว่า ไบโอฟิล์ม (Biofilm) เนื่องจากจุลินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศตกตะกอนได้ไม่ดี ทำให้มีการหลุดออกไปกับน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้ว ดังนั้นจึงมีการทำให้จุลินทรีย์เกาะติดอยู่กับตัวกลาง เพื่อใช้เป็นตัวกรองไม่ให้จุลินทรีย์หลุดออกไปกับน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้ว

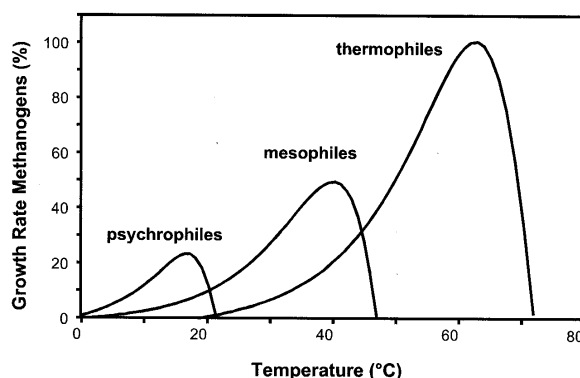
3) ระบบแบบผสม (Hybrid) เป็นการนำเอาข้อดีมาใช้และแก้ปัญหาข้อเสียของ 2 ระบบแรก

2.1.3 สภาพแวดล้อมที่มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ

เนื่องจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศจะประกอบไปด้วยจุลินทรีย์หลายกลุ่มทำงานร่วมกัน โดยที่จุลินทรีย์แต่ละกลุ่มนั้นจะมีความแตกต่างกันในด้านของการดำรงชีวิตและด้านความต้องการสภาวะแวดล้อมในการเจริญเติบโต การย่อยสลายสารอินทรีย์ รวมทั้งการผลิตก๊าซมีเทน ซึ่งสภาวะแวดล้อมต่างๆ ที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียนั้น มีดังนี้

1) อุณหภูมิ (Temperature)

เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีอิทธิพลต่อการดำรงชีวิตของแบคทีเรียในระบบบำบัดน้ำเสียเป็นอย่างมาก โดยแบคทีเรียแต่ละกลุ่มในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศจะมีความต้องการอุณหภูมิในการดำรงชีวิตที่แตกต่างกัน ดังรูปที่ 2.5 ซึ่งสามารถแบ่งกลุ่มของแบคทีเรียได้ ดังนี้



รูปที่ 2.5 ความสัมพันธ์ของอัตราการเจริญเติบโตของแบคทีเรียชนิดสร้างมีเทน

(ที่มา : IWA Task Group, 2002)

- 1.1) ช่วงไซโคฟิลิก (Psychrophilic range) มีช่วงอุณหภูมิ 5 - 15°C
- 1.2) ช่วงเมโซฟิลิก (Mesophilic range) มีช่วงอุณหภูมิ 35 - 37°C
- 1.3) ช่วงเทอร์โมฟิลิก (Thermophilic range) มีช่วงอุณหภูมิ 50 - 55°C

สำหรับอัตราการย่อยสลายของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศในช่วงเมโซฟิลิกจะมีค่าอยู่ระหว่าง 30 - 40°C และช่วงเทอร์โมฟิลิกจะมีค่าอยู่ระหว่าง 50 - 60°C ซึ่งในการบำบัดน้ำเสียโดยทั่วไปจะใช้เพียงช่วงเมโซฟิลิกเท่านั้น (Grady และคณะ, 1999)

2) ค่าพีเอช (pH)

ค่าพีเอชเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ เนื่องจากการสร้างมีเทนจะเกิดที่อัตราสูงเมื่อค่าพีเอชถูกควบคุมให้อยู่ในช่วงที่เป็นกลาง แต่ที่ค่าพีเอชต่ำกว่า 6.3 หรือสูงกว่า 7.8 อัตราการผลิตมีเทนจะลดลง เนื่องจากการสร้างกรดจะเกิดมากกว่าการสร้างมีเทน ส่งผลให้เกิดการหมิ่นเปรี้ยว (Souring) ภายในถังปฏิกรณ์ ค่าพีเอชที่เหมาะสมต่อการทำงานของระบบบำบัดแบบไร้อากาศควรอยู่ระหว่าง 6.5 - 8.2 ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมต่อการทำงานของแบคทีเรียกลุ่มสร้างมีเทน (Speece, 1996)

3) ความเป็นด่าง (Alkalinity)

เป็นค่าความสามารถของจุลินทรีย์ในการทนต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าพีเอชของน้ำเสียในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ เมื่อมีปริมาณกรดในน้ำเสียเพิ่มขึ้น กล่าวคือ ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศเมื่อน้ำเสียเข้าสู่ระบบ สารอินทรีย์ในน้ำเสียจะถูกเปลี่ยนไปเป็นกรดอินทรีย์ ทำให้ค่าพีเอชในน้ำเสียลดลง ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย ไม่ว่าจะเป็นแบคทีเรียในกลุ่มสร้างกรด หรือแบคทีเรียในกลุ่มสร้างก๊าซมีเทน ดังนั้น อัลคาไลน์ตีจึงมีความสำคัญอย่างมากต่อการต้านการลดลงของค่าพีเอชของน้ำเสีย เมื่อปริมาณกรดอินทรีย์ในน้ำเสียสูงขึ้น โดยค่าอัลคาไลน์ตีที่เหมาะสมต่อน้ำเสียในระบบจะอยู่ในช่วง 2,000 - 4,000 มก./ล.ของแคลเซียมคาร์บอเนต (Metcalf และ Eddy, 2004)

4) กรดอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile fatty acid; VFA)

กรดอินทรีย์เป็นสารตั้งต้นที่สำคัญของแบคทีเรียกลุ่มสร้างก๊าซมีเทน เนื่องจากการผลิตก๊าซมีเทนนั้นจะใช้กรดอินทรีย์ที่สร้างขึ้นจากกิจกรรมของแบคทีเรียกลุ่มสร้างกรด ดังนั้น อัตราการเจริญเติบโตของแบคทีเรียทั้ง 2 กลุ่มจะมีความสัมพันธ์กัน โดยเมื่อปริมาณกรดอินทรีย์ที่สร้างขึ้นมีการสะสมในน้ำเสียเพิ่มขึ้น จะมีผลทำให้ค่าอัลคาไลน์ตีลดลง ส่งผลให้ค่าพีเอชของน้ำเสียลดลงด้วย ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อการทำงานของแบคทีเรียทั้ง 2 กลุ่มให้ลดลง โดยค่าความเข้มข้นของกรดอินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสียควรจะมีค่าอยู่ในช่วง 20 - 200 มก.กรดอะซิติก/ล. (กรมควบคุมมลพิษ, 2542)

5) ธาตุอาหารเสริม (Nutrients)

ธาตุอาหารเสริมที่สำคัญของแบคทีเรียในระบบบำบัดน้ำเสีย ได้แก่ ธาตุไนโตรเจน และฟอสฟอรัส โดยมีอัตราส่วนซีโอดี : ไนโตรเจน : ฟอสฟอรัส = 100 : 2 : 0.3 ซึ่งถ้าหากธาตุอาหารเสริมไม่เพียงพอจะส่งผลให้แบคทีเรียเจริญเติบโตไม่สมบูรณ์ นอกจากนี้ยังมีธาตุอาหารอื่นๆ อีกซึ่งแบคทีเรียมีความต้องการในปริมาณที่ต่ำมาก เช่น แคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก โคบอลต์ นิกเกิล ซัลเฟอร์ (ในรูปซัลไฟด์) เป็นต้น ซึ่งโดยทั่วไปจะมีปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสียในปริมาณที่เพียงพออยู่แล้ว จึงไม่จำเป็นต้องเติมเพิ่มอีก โดยธาตุอาหารเสริมสำหรับระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ธาตุอาหารเสริมสำหรับระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ

สารเคมี	ความเข้มข้น (มก./ล.)	สารเคมี	ความเข้มข้น (มก./ล.)
NH ₄ Cl	400	MnCl ₂ •4H ₂ O	0.5
MgSO ₄ •7H ₂ O	400	NH ₄ VO ₃	0.5
KCl	400	CuCl ₂ •2H ₂ O	0.5
Na ₂ S•9H ₂ O	300	ZnCl ₂	0.5
CaCl ₂ •2H ₂ O	50	AlCl ₃ •6H ₂ O	0.5
(NH ₄) ₂ HPO ₄	80	NaMoO ₄ •2H ₂ O	0.5
FeCl ₂ •4H ₂ O	40	H ₃ BO ₃	0.5
CoCl ₂ •6H ₂ O	10	NiCl ₂ •6H ₂ O	0.5
KI	10	NaWO ₄ •2H ₂ O	0.5
(NaPO ₃) ₆	10	Na ₂ SeO ₃	0.5
Cysteine	10	NaHCO ₃	6,000

(ที่มา : Speece, 1996)

6) สารพิษ (Toxic substances)

ในน้ำเสียที่นำมาบำบัดด้วยระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพนั้น อาจมีสารประกอบบางชนิดปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสียที่อาจเป็นอันตรายต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียในระบบได้ เช่น สารประกอบของโลหะ ได้แก่ โซเดียม โพแทสเซียม แมกนีเซียม แคลเซียม เป็นต้น นอกจากนี้ ความเข้มข้นของสารพิษก็ยังเป็นอีกสาเหตุหนึ่งในการยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียในระบบ รวมทั้งการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียอีกด้วย โดยความรุนแรงของสารพิษจะขึ้นอยู่กับชนิดและความเข้มข้นของสารพิษนั้นๆ ดังตารางที่ 2.2 ซึ่งพบว่าสารพิษบางชนิดอาจมีการสะสมในถึงปฏิกิริยา และถ้ามีปริมาณมากพอก็อาจส่งผลต่อประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียได้ โดยจะต้องทำการกำจัดออกไปเป็นระยะๆ

ตารางที่ 2.2 ระดับความเข้มข้นของสารพิษชนิดต่างๆ ที่มีผลต่อจุลินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ

สาร	ความเข้มข้นที่ขีดขวางปานกลาง (มก./ล.)	ความเข้มข้นที่ขีดขวางมาก (มก./ล.)
โซเดียม (Na^+)	3,500 – 5,500	8,000
โพแทสเซียม (K^+)	2,500 – 4,500	12,000
แคลเซียม (Ca^+)	2,500 – 4,500	8,000
แมกนีเซียม (Mg^{2+})	1,000 – 1,500	3,000
แอมโมเนีย-ไนโตรเจน (NH_4^+)	1,500 – 3,000	3,000
ซัลไฟด์ (S^{2-})	200	200
ทองแดง (Cu^{2+})		0.5 (ละลายน้ำ)
		50 - 70 (ทั้งหมด)
โครเมียม (Cr(VI))		3.0 (ละลายน้ำ)
		200 - 250 (ทั้งหมด)
โครเมียม (Cr(III))		2.0 (ละลายน้ำ)
		180 - 420 (ทั้งหมด)
นิกเกิล (Ni^{2+})		30.0 (ทั้งหมด)
สังกะสี (Zn^{2+})		1 (ละลายน้ำ)

(ที่มา : Metcalf และ Eddy, 2004)

7) การรักษ ปริมาณจุลินทรีย์ในระบบ

การรักษ ปริมาณจุลินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศนั้นมีความสำคัญมาก เนื่องจากถ้าจุลินทรีย์หลุดออกจากระบบมากเกินไป จะทำให้อัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์ในระบบลดลง ซึ่งส่งผลให้ประสิทธิภาพของระบบลดลงด้วย

8) อัตราการสร้างก๊าซมีเทน

อัตราการสร้างก๊าซมีเทนถือเป็นเครื่องวัดกิจกรรมของแบคทีเรียสร้างมีเทนโดยตรง และยังสามารถบ่งบอกถึงประสิทธิภาพของกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศได้อีกด้วย โดยระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศที่มีประสิทธิภาพสูงจะสามารถผลิตก๊าซมีเทนได้ประมาณ 0.40 ลบ.ม./กก.ของซีไอดี ที่อุณหภูมิ 35 °C ที่ถูกย่อยสลาย (Metcalf และ Eddy, 2004) แต่ถ้าอัตราการสร้างก๊าซมีเทนลดลง จะเป็นสัญญาณบ่งบอกถึงความผิดปกติเกิดขึ้นกับกิจกรรมของแบคทีเรียสร้างมีเทน ซึ่งอาจส่งผลให้ระบบบำบัดน้ำเสียล้มเหลวได้

2.1.4 ข้อดีและข้อเสียของกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ

1) ข้อดีของกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ

1.1) ต้องการพลังงานในระบบน้อย กระบวนการแบบใช้อากาศต้องการพลังงานในการเติมอากาศ 1.9×10^6 กิโลจูล/วัน ส่วนกระบวนการแบบไร้อากาศได้พลังงานจากการผลิตก๊าซมีเทน 8.3×10^6 กิโลจูล/วัน ดังตารางที่ 2.3 (Metcalf และ Eddy, 2004) สามารถลดค่าใช้จ่ายในการเติมอากาศให้กับระบบได้ เนื่องจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศเป็นกระบวนการที่ใช้คาร์บอน ไดออกไซด์ที่ละลายอยู่ในน้ำเป็นตัวรับอิเล็กตรอน

1.2) เซลล์จุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นใหม่มีปริมาณที่น้อยกว่ากระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบใช้อากาศประมาณ 6 - 8 เท่า (Metcalf และ Eddy, 2004) จึงสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายในการบำบัดกากตะกอนได้

1.3) ต้องการธาตุอาหารในปริมาณที่ต่ำ เนื่องจากเซลล์จุลินทรีย์มีปริมาณที่น้อย

1.4) สามารถผลิตก๊าซมีเทนซึ่งนำมาใช้ประโยชน์เป็นพลังงานทดแทนได้ เช่น นำมาใช้เป็นก๊าซหุงต้ม นำมาเผาไหม้เพิ่มความร้อน นำมาผลิตไฟฟ้า เป็นต้น

1.5) ถึงปฏิกิริยามีปริมาตรที่เล็กกว่า เนื่องจากสามารถรับน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของสารอินทรีย์ปนเปื้อนในปริมาณสูงได้ โดยกระบวนการแบบไร้อากาศรับได้ 3.2 - 32 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ส่วนกระบวนการแบบใช้อากาศรับได้ 0.5 - 3.2 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน

1.6) สามารถทนต่อภาวะ shock load และสามารถปรับตัวในการบำบัดสารอินทรีย์ได้อย่างรวดเร็วหลังจากการหยุดการทำงานของระบบเป็นระยะเวลาสั้น

ตารางที่ 2.3 เปรียบเทียบการใช้พลังงานระหว่างกระบวนการแบบใช้อากาศกับกระบวนการแบบไร้อากาศ

พลังงาน	ค่าที่วัด (กิโลจูล/วัน)	
	กระบวนการแบบไร้อากาศ	กระบวนการแบบใช้อากาศ
การเติมอากาศ		$- 1.9 \times 10^6$
มีเทนที่ผลิตได้	12.5×10^6	
เพิ่มอุณหภูมิน้ำเสียเป็น 30°C	$- 4.2 \times 10^6$	
พลังงานสุทธิ (กิโลจูล/วัน)	8.3×10^6	$- 1.9 \times 10^6$

หมายเหตุ : อัตราการไหลน้ำเสีย 100 ลบ.ม./วัน อุณหภูมิ 20°C
(ที่มา : Metcalf และ Eddy, 2004)

2) ข้อเสียของกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ

2.1) ใช้เวลาในการเริ่มต้นเดินระบบ (Start-up) นานกว่ากระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบใช้อากาศ เนื่องจากเชื้อจุลินทรีย์มีอัตราการเจริญเติบโตต่ำ

2.2) มีความไวต่อสารพิษมากกว่ากระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบใช้อากาศ เนื่องจากขั้นตอนของปฏิกิริยาการสร้างมีเทนเป็นปฏิกิริยาที่มีความไวต่อสารพิษ

2.3) ต้องการการเติมสภาพความเป็นด่างในระบบ ประมาณ 2,000 - 4,000 มก./ล. ของแคลเซียมคาร์บอเนต

2.4) ไม่สามารถบำบัดน้ำเสียให้ผ่านมาตรฐานน้ำทิ้งได้ต้องใช้กระบวนการแบบใช้อากาศมาบำบัดน้ำเสียต่อเพื่อให้ผ่านค่ามาตรฐาน

2.5) ไม่สามารถบำบัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสด้วยวิธีทางชีวภาพได้

2.6) เป็นกระบวนการที่มีเสถียรภาพของระบบต่ำ ทำให้ไม่สามารถปรับตัวได้ดีกับการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำเสีย ค่าบีโอดี อุณหภูมิ และสภาวะแวดล้อมอื่นๆ

2.7) เกิดกลิ่นเหม็นจากก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ที่เกิดขึ้นภายในระบบ นอกจากนี้ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เป็นก๊าซที่กัดกร่อนและสามารถทำปฏิกิริยากับโลหะหรือโลหะหนัก ทำให้น้ำเสียมีสีดำ

2.2 น้ำมันที่ปนเปื้อนในน้ำเสีย

น้ำมันและไขมันที่ปนมากับน้ำเสียของบ้านเรือนหรือโรงงานต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งโรงงานอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับการแปรรูปอาหารและอุตสาหกรรมการผลิตผลิตภัณฑ์ที่มาจากพืชหรือสัตว์ เช่น โรงงานฆ่าสัตว์ โรงงานนมและเนย โรงงานอาหารแช่แข็ง โรงงานอาหารกระป๋อง โรงงานน้ำมันพืช เป็นต้น ซึ่งเป็นปัญหาสำคัญที่ก่อให้เกิดมลภาวะการเน่าเสียของแหล่งน้ำ เนื่องจากน้ำมันและไขมันที่ปะปนออกมานั้นจะไปเคลือบบริเวณผิวหน้าของน้ำเสีย ทำให้อากาศไม่สามารถผ่านเข้าไปผสมกับน้ำ และยังไปดึงสารแขวนลอยอื่นๆ ขึ้นสู่ผิวน้ำ ทำให้ตกตะกอนยาก นอกจากนี้ไขมันและไขมันอาจไปห่อหุ้มจุลินทรีย์ ทำให้จุลินทรีย์ไม่สามารถกินอาหารหรือหายใจได้อีกด้วย องค์ประกอบของน้ำมันและไขมัน ดังตารางที่ 2.4 และ มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน ดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.4 องค์ประกอบของน้ำมันและไขมัน

พารามิเตอร์	หน่วย	บ้านเรือน/ร้านอาหารทั่วไป/ ร้านอาหารในโรงแรม
ความเป็นกรดต่าง (pH)	-	5 – 7
สภาพนำไฟฟ้า (Conductivity)	$\mu\text{s/cm}$	300 – 2,500
สี (Color)	ADMI	60 – 700
ไนโตรเจนทั้งหมด (TKN)	mg/l	9 – 106
กรดไขมันอิสระ (Free fatty acid)	%	0.02 – 85
ไขมันและน้ำมัน (Grease and oil)*	g/kg wet	140 – 850
ไขมันและน้ำมัน (Grease and oil) **	mg/l	14 – 38,000
ฟอสฟอรัสรวม (Total phosphorus)	mg/l	0.13 – 100

หมายเหตุ : *กรณีตัวอย่างกากไขมัน มีลักษณะเป็นตะกอน (Sludge)

**กรณีตัวอย่างกากไขมัน มีลักษณะเป็นของเหลว (Liquid)

(ที่มา : กรมควบคุมมลพิษ, 2551)

ตารางที่ 2.5 มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน

มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน	
พารามิเตอร์	มาตรฐาน
1. ความเป็นกรดและด่าง (pH)	5.5 - 9.0
2. บีโอดี (Biochemical Oxygen Demand)*	ไม่เกิน 20 มิลลิกรัมต่อลิตร
3. ของแข็งแขวนลอย (Suspended solids)**	ไม่เกิน 30 มิลลิกรัมต่อลิตร
4. น้ำมันและไขมัน (Fat, Oil and Grease)	ไม่เกิน 5 มิลลิกรัมต่อลิตร
5. ฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total phosphorus)	ไม่เกิน 2 มิลลิกรัมฟอสฟอรัสต่อลิตร
6. ไนโตรเจนทั้งหมด (Total nitrogen)	ไม่เกิน 20 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร

หมายเหตุ : *กรณีหน่วยบำบัดสุดท้ายเป็นบ่อเสถียร (Stabilization Pond) หรือบ่อฝุ้ง (Oxidation Pond) ให้ใช้ค่าบีโอดีของน้ำที่ผ่านการกรองแล้ว (Filtrate BOD) การกรองตัวอย่างน้ำเพื่อหาค่าบีโอดีให้ใช้วิธีการกรองผ่านกระดาษกรองใยแก้ว (Glass Fiber Filter Disk) ที่ใช้ในกระบวนการกรอง เพื่อหาค่าของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids) ก่อนทำการวิเคราะห์หาค่าบีโอดีที่กำหนดไว้ใน Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater ฉบับล่าสุด

** กรณีหน่วยบำบัดสุดท้ายเป็นบ่อปรับเสถียร (Stabilization Pond) หรือบ่อฝุ้ง (Oxidation Pond) ไม่เกิน 50 มิลลิกรัมต่อลิตร
(ที่มา : กรมควบคุมมลพิษ, 2551)

2.2.1 ไขมันและกรดไขมัน

น้ำมันและไขมันในน้ำเสีย หมายถึง น้ำมัน ไขมัน ขี้ผึ้ง น้ำมันสบู่จากแร่ธรรมชาติ (Mineral Soap Oils) และสารพวกที่ไม่ระเหย (Non Volatile) อื่นๆ ที่ละลายน้ำและสามารถสกัดได้ด้วยเฮกเซน ในน้ำเสียชุมชนจะมีน้ำมันและไขมันเป็นส่วนประกอบประมาณร้อยละ 10 ของสารอินทรีย์ทั้งหมด โดยมีน้ำมัน ไขมัน ขี้ผึ้ง และกรดไขมันที่มาจากน้ำมันพืช น้ำมันสัตว์ เนย และเนยเทียมเป็นสารหลัก ซึ่งต้องทำการกำจัดออกก่อนที่น้ำเสียจะเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียในขั้นตอนต่อไป

1) ไขมัน (Fat)

เป็นเอสเทอร์ (Ester) ของกรดไขมันกับกลีเซอรอล (Glycerol) ซึ่งเกิดจากหมู่ไฮดรอกซิลของกลีเซอรอลทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน (Esterification) กับกรดไขมัน 1 - 3 หมู่ โดยที่

- กรดไขมันมี 1 หมู่ เรียกว่า โมโนกลีเซอไรด์ (Monoglyceride)
- กรดไขมันมี 2 หมู่ เรียกว่า ไดกลีเซอไรด์ (Diglyceride)
- กรดไขมันมี 3 หมู่ เรียกว่า ไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride)
- ถ้าไดกลีเซอไรด์หรือไตรกลีเซอไรด์ที่เกิดขึ้นประกอบด้วยกรดไขมันต่างชนิดกัน เรียกว่า กลีเซอไรด์ผสม (Mixed Glyceride) ซึ่งไขมันทั่วไปตามธรรมชาติจะมีโครงสร้างประเภทนี้

ที่อุณหภูมิปกติ ไขมันอาจมีสถานะเป็นของแข็งหรือของเหลวขึ้นอยู่กับจุดหลอมเหลวของไขมันนั้นๆ โดยที่ไขมันที่มีสถานะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้องนั้นเรียกว่า น้ำมัน (Oils) เช่น น้ำมันมะกอก (Olive oil) น้ำมันเมล็ดฝ้าย (Cotton seed oil) เป็นต้น ส่วนไขมันที่มีสถานะเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้องจะเรียกว่า ไขมัน (Fat)

ไขมันจะประกอบด้วยกรดไขมันหลายชนิดที่มีส่วนประกอบทางเคมีและคุณสมบัติทางฟิสิกส์แตกต่างกัน โดยกรดไขมันที่ปรากฏอยู่ในธรรมชาติส่วนใหญ่จะประกอบด้วยจำนวนคาร์บอนอะตอมที่เป็นเลขคู่ ซึ่งตำแหน่งและจำนวนพันธะคู่จะส่งผลต่อจุดหลอมเหลว (ตารางที่ 2.6) กล่าวคือ ถ้าโมเลกุลใหญ่ขึ้นจากการที่มีสายยาวขึ้นจะทำให้จุดหลอมเหลวสูงขึ้นด้วย

ตารางที่ 2.6 ตำแหน่งและจำนวนพันธะคู่ที่มีผลต่อจุดหลอมเหลวของไขมัน

จำนวนคาร์บอน อะตอม	กรดไขมัน	จุดหลอมเหลว (°ซ)	แหล่งไขมัน
4	บิวทีริก (Butyric)	-5.3	ไขมันนม
6	คาร์โพรอิก (Caproic)	-3.2	ไขมันนม
8	คาร์พริก (Caprylic)	16.5	ไขมันนมและน้ำมันเมล็ดปาล์ม
10	คาร์พริก (Capric)	31.6	น้ำมันแกะและน้ำมันแพะ
12	ลูริก (Lauric)	44.8	น้ำมันมะพร้าว
14	มายริสติก (Myristic)	54.4	น้ำมันปาล์มและน้ำมันมะพร้าว
16	ปาล์มติก (Palmitic)	69.2	ไขมันพืช
18	สเตียริก (Stearic)	70.1	ไขมันสัตว์
20	อะแรชชิดิก (Arachidic)	76.1	ไขมันสัตว์บางชนิด
22	เบเฮนิก (Behenic)	80.0	น้ำมันจากเมล็ดพืช
24	ลิก โนเซอร์ริก (Lignoceric)	84.2	น้ำมันจากเมล็ดพืช
26	เซอร์โรติก (Cerotic)	87.8	ไขมันพืช
28	มอนตานิค (montanic)	90.9	ไขมันพืช
30	เมลิสสิก (Melissic)	93.6	ไขมันพืช

(ที่มา : Johnson และ Peterson, 1974)

2) กรดไขมัน (Fatty Acid)

เป็นส่วนประกอบที่สำคัญของไขมัน ซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะมีจำนวนคาร์บอนเป็นเลขคู่ตั้งแต่ 4 - 22 อะตอม กรดไขมันมีสูตรทั่วไป คือ R-COOH เนื่องจากโมเลกุลของกรดไขมันจะประกอบไปด้วยส่วนที่มีขั้วละลายในน้ำได้ (Hydrophilic group) ได้แก่ หมู่คาร์บอกซิล (-COOH) และส่วนที่ไม่มีขั้วละลายในน้ำไม่ได้ (Hydrophobic group) ได้แก่ หมู่อัลคิล (-R) สำหรับไขมันจากพืชและสัตว์นั้นจะประกอบไปด้วยกรดไขมันซึ่งมีจำนวนคาร์บอนที่แตกต่างกันหลายชนิด โดยลักษณะสำคัญของกรดไขมันที่เป็นส่วนประกอบของไขมันพืชและสัตว์ มีดังนี้

- เป็นกรดไขมันที่มีส่วนประกอบเป็นหมู่คาร์บอกซิล 1 หมู่ (Monocarboxylic acid) ส่วนที่เป็นไฮโดรคาร์บอน (Hydrocarbon residue) มีโครงสร้างเป็นสายยาวแตกกิ่งหรือเป็นวงแหวน
- จำนวนคาร์บอนโมเลกุลของกรดไขมันที่พบในธรรมชาติ ส่วนใหญ่มีคาร์บอนอะตอมเป็นเลขคู่
- เป็นกรดไขมันชนิดอิ่มตัวและไม่อิ่มตัว

กรดไขมันสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ดังนี้

2.1) กรดไขมันอิ่มตัว (Saturated fatty acid) คือ กรดไขมันที่มีพันธะระหว่างคาร์บอนเป็นพันธะเดี่ยว ไม่สามารถรับไฮโดรเจนได้อีก โดยมีสูตรทั่วไป คือ $C_nH_{2n}O_2$ เช่น กรดสเตียริก และกรดปาล์มมิก เป็นต้น

2.2) กรดไขมันไม่อิ่มตัว (Unsaturated fatty acid) คือ กรดไขมันที่มีพันธะระหว่างคาร์บอนเป็นพันธะคู่ 1 พันธะหรือมากกว่า กรดไขมันประเภทนี้จึงสามารถรับไฮโดรเจนได้อีกและกลายเป็นกรดไขมันอิ่มตัวได้ โดยมีสูตรทั่วไป คือ $C_nH_{2n-2}O_2$ เช่น กรดปาล์มมิโตเลอิก กรดโอเลอิก และกรดลิโนเลนิก เป็นต้น

2.2.2 สภาพทางกายภาพของน้ำมันและไขมันในน้ำเสีย

ส่วนใหญ่แล้วน้ำมันและไขมันที่พบอยู่ทั่วไปตามธรรมชาติจะอยู่ในสภาพของสารแขวนลอย เนื่องจากมีความหนาแน่นน้อยกว่าน้ำ ซึ่งถ้าหากมีการเติมอิมัลซิฟายเออร์ (Emulsifier) ซึ่งเป็นสารในกลุ่มที่ช่วยลดแรงตึงผิว เช่น น้ำยาล้างจาน ผงซักฟอก เป็นต้น จะทำให้น้ำมันและไขมันอยู่ในรูปของสารที่เป็นอิมัลชัน (Emulsion) ดังนั้นลักษณะของน้ำมันและไขมันต่างๆ ที่พบจะมีความสำคัญต่อการเลือกแนวทางการในการกำจัดที่เหมาะสมอีกด้วย ซึ่งน้ำมันที่ปนเปื้อนในน้ำเสียสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 รูปแบบ ดังนี้

1) น้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันในรูปที่ละลายน้ำ

ในน้ำเสียประเภทนี้ ความสามารถในการละลายน้ำ (Solubility) และความสามารถในการระเหย (Volatility) ของน้ำมันจะเพิ่มขึ้นเมื่อน้ำหนักโมเลกุลลดลง เพราะฉะนั้นถ้าน้ำมันเบา (Light Oil) สามารถละลายน้ำและระเหยได้ดีกว่าน้ำมันหนัก (Heavy Oil) และความสามารถในการละลายน้ำของน้ำมันจะเพิ่มขึ้นตามค่าความไม่อิ่มตัว (Unsaturation) และลักษณะขั้ว (Polarity) ที่

เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะน้ำมันที่อยู่ในรูปของสารประกอบ Cyclic compound เช่น เบนซีนละลายน้ำได้ถึง 1,740 มก./ล. ที่อุณหภูมิ 25°C เป็นรูปของสารประกอบที่มีความสามารถในการละลายน้ำได้สูงสุด ปัญหาของน้ำมันที่ละลายน้ำตรวจสอบได้ยากด้วยสายตา เนื่องจากมีลักษณะใสละลายเป็นเนื้อเดียวกับน้ำ นอกจากนี้ยังทำให้เกิดกลิ่นและรสในน้ำ รวมถึงเป็นพิษ เพราะน้ำมันที่ละลายน้ำได้ส่วนใหญ่จะเป็นพวกอะโรมาติกซึ่งเป็นสารก่อมะเร็ง น้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันในรูปที่ละลายน้ำ มีวิธีการบำบัด ดังตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 วิธีการบำบัดน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันในรูปที่ละลายน้ำ

วิธีการบำบัด	หลักการ
1. Stripping	เปลี่ยนจากน้ำมันที่ปนเปื้อนในรูปของเหลวให้อยู่ในรูปก๊าซ
2. Adsorption	เปลี่ยนจากน้ำมันที่ปนเปื้อนในรูปของเหลว ให้ถูกดูดซับบนผิวอนุภาคของแข็ง เช่น activated carbon
3. Biological treatment	น้ำมันที่ปนเปื้อนจะถูกย่อยสลายทางชีวภาพ เช่น Activated sludge, Tricking filter และ Biological disks

2) น้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันในรูปที่เป็นอิมัลชันและไม่มีสารลดแรงตึงผิวผสม

เป็นน้ำมันที่เกิดจากเครื่องจักรและอุปกรณ์จากระบบการอุตสาหกรรมที่ทำให้เกิดความปั่นป่วน (Turbulence) เช่น เครื่องสูบน้ำ วาล์ว ใบพัด จุดเปลี่ยนขนาดของท่อ เป็นต้น ทำให้เกิดการกระจายของหยดน้ำมันในน้ำจนเกิดเป็นอิมัลชันที่มีหยดน้ำมันขนาดเล็กน้ำมันในรูปอิมัลชันที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสียสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ

- อิมัลชันขั้นต้น (Primary emulsion) คือ อิมัลชันที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่า 100 ไมครอน ซึ่งจะมีลักษณะเป็นหยดน้ำมันขนาดเล็กที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า
- อิมัลชันขั้นสอง (Secondary emulsion) คือ อิมัลชันที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่า 20 ไมครอน ซึ่งจะมีลักษณะคล้ายกับน้ำมัน

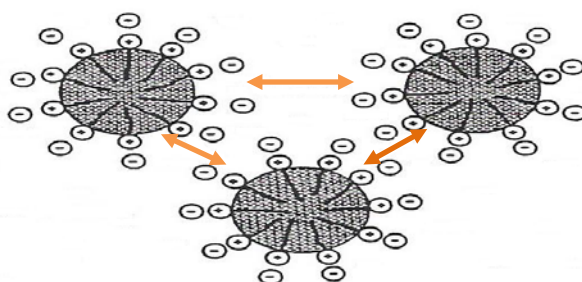
แต่เหตุการณ์นี้จะเกิดขึ้นเพียงชั่วคราวเท่านั้น เมื่อหยุดการปั่นกวนหยดน้ำมันเหล่านี้จะพยายามรวมตัวกันและกลับมาแยกชั้นเช่นเดิม เนื่องจากมีการปรับสภาพเข้าสู่จุดสมดุลโดยการลดพื้นที่ผิวที่สัมผัสกันให้น้อยที่สุด น้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันในรูปที่เป็นอิมัลชันและไม่มีสารลดแรงตึงผิวผสม มีวิธีการบำบัด ดังตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.8 วิธีการบำบัดน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันในรูปที่เป็นอิมัลชันและไม่มีสารลดแรงตึงผิวผสม

วิธีการบำบัด	หลักการ
1. Decantation	ทำให้เกิดการแยกชั้นระหว่างน้ำกับน้ำมัน โดยอาศัยความแตกต่างระหว่างความหนาแน่น
2. Coalescence	การทำให้อนุภาคน้ำมันเคลื่อนที่ผ่านตัวกลาง เพื่อเพิ่มการรวมตัวของอนุภาคน้ำมัน
3. Flotation	ทำให้เกิดการแยกชั้นระหว่างน้ำกับน้ำมัน โดยอาศัยฟองอากาศจับตัวกับหยดน้ำมัน เป็นตัวเพิ่มความแตกต่างระหว่างความหนาแน่นของน้ำกับน้ำมัน
4. Centrifugation process	ทำให้เกิดการแยกชั้นระหว่างน้ำกับน้ำมัน โดยอาศัยแรงหนีศูนย์กลางในการเพิ่มความเร็วในการแยกชั้นระหว่างน้ำกับน้ำมัน
5. Thermal process	ทำให้เกิดการแยกชั้นระหว่างน้ำกับน้ำมัน โดยอาศัยความร้อนในการลดความหนืดของของเหลวทำให้เกิดการแยกชั้นระหว่างน้ำกับน้ำมันได้อย่างรวดเร็ว

3) น้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันในรูปที่เป็นอิมัลชันและมีสารลดแรงตึงผิวผสม

โดยทั่วไปน้ำเสียจากชุมชนหรือจากอุตสาหกรรม จะพบการปนเปื้อนของสารลดแรงตึงผิวอยู่เสมอ เนื่องจากสารลดแรงตึงผิวเป็นองค์ประกอบหลักของสารที่ใช้ในการทำมาสะอาดต่างๆ ที่ใช้กันอยู่ทั่วไป โมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวประกอบด้วย 2 องค์ประกอบหลัก คือ โมเลกุลที่ชอบน้ำมันและโมเลกุลที่ชอบน้ำ จึงทำให้สารลดแรงตึงผิวเข้าไปแทรกตัวอยู่ระหว่างผิวสัมผัสของน้ำมันและน้ำ ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 การผลักรันของอนุภาคน้ำมันเนื่องจากสารลดแรงตึงผิว

(Aurelle, 1985)

สารลดแรงตึงผิวจะทำให้แรงตึงผิวระหว่างน้ำมันและน้ำลดลง แม้ว่าความเข้มข้นที่ต่ำ แรงตึงผิวระหว่างน้ำมันและน้ำจะลดลงตามความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวที่เพิ่มขึ้น และจะลดลงจนมีค่าต่ำมาก ซึ่งภายใต้สภาวะนี้ น้ำมันจะสามารถเปลี่ยนไปเป็นอิมัลชันได้เองและเกิดเป็นอิมัลชันที่มีเสถียรภาพสูงมาก จึงเรียกอิมัลชันที่เกิดในสภาพที่มีสารลดแรงตึงผิวว่า อิมัลชันที่มีเสถียรภาพ (Stabilized emulsion) โดยขนาดของอนุภาคน้ำมันในน้ำเสียนเป็นน้ำมันในรูปที่เป็นอิมัลชันและมีสารลดแรงตึงผิวผสมนั้น สามารถแบ่งได้ 3 ระดับ คือ

- Primary emulsion จะมีขนาดของหยดน้ำมันใหญ่กว่า 100 ไมโครเมตร
- Secondary emulsion จะมีขนาดของหยดน้ำมันเล็กกว่า 20 ไมโครเมตร
- Micro emulsions จะมีขนาดของหยดน้ำมันอยู่ระหว่าง 100 ถึง 600 อังสตรอม

สำหรับในส่วนที่เป็นไฮโดรฟิลิกของสารลดแรงตึงผิว จะทำให้ประจุไฟฟ้าที่ผิวของหยดน้ำมันเพิ่มขึ้น ส่งผลให้เกิดการขัดขวางการชนและรวมตัวของอนุภาคน้ำมันระหว่างการเคลื่อนที่ เป็นผลให้ความเสถียรของหยดน้ำมันเพิ่มขึ้นและยากต่อการกำจัดด้วยวิธีทั่วไป ดังนั้นก่อนการบำบัดน้ำเสียนเป็นน้ำมันที่มีสารลดแรงตึงผิวผสมอยู่ต้องมีการทำลายเสถียรภาพ (Destabilization) ของประจุไฟฟ้าบนอนุภาคน้ำมันก่อนที่จะทำการบำบัดด้วยวิธีตามปกติ ซึ่งวิธีการทำลายเสถียรภาพจะประกอบด้วย

3.1) Mineral acid เป็นการใช้กรดแก่ในการทำลายความเสถียรของหยดน้ำมัน

3.2) Polyelectrolyte เป็นการใส่สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่และมีประจุทางไฟฟ้า สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด คือ Cationic polyelectrolytes, Nonionic polyelectrolytes และ Anionic polyelectrolytes

3.3) Salts เป็นการใส่เกลือเพื่อเพิ่มไอออนในน้ำส่งผลต่อการลดลงของประจุบนผิวของหยดน้ำมัน เกลือที่ใช้ ได้แก่ Sodium chloride, Magnesium chloride, Calcium chloride, Aluminium chloride และ Iron chloride โดยกระบวนการบำบัดน้ำเสียนเป็นน้ำมันในรูปที่เป็นอิมัลชันและมีสารลดแรงตึงผิวผสมหลังจากการทำลายเสถียรภาพมีวิธีการบำบัด ดังตารางที่ 2.9

ตารางที่ 2.9 วิธีการบำบัดน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันในรูปที่เป็นอิมัลชันและมีสารลดแรงตึงผิวผสม
หลังจากการทำลายเสถียรภาพ

วิธีการบำบัด	หลักการ
1. Thermal process	ทำให้เกิดการแยกชั้นระหว่างน้ำกับน้ำมัน โดยอาศัยความร้อนในการลดความหนืดของของเหลวทำให้เกิดการแยกชั้นระหว่างน้ำกับน้ำมันได้อย่างรวดเร็ว
2. Flocculation-flotation process	เติมสารเคมีเพื่อให้เกิดการรวมตัวของอนุภาคน้ำมันกับฟล็อกและทำการแยกฟล็อกออกด้วยการทำให้ลอย
3. Centrifugation separators	ทำให้เกิดการแยกชั้นระหว่างน้ำกับน้ำมัน โดยอาศัยแรงหนีศูนย์กลางในการเพิ่มความเร็วในการแยกชั้นระหว่างน้ำกับน้ำมัน (ยกเว้น Microemulsions)
4. Coalescence	การทำให้อนุภาคน้ำมันเคลื่อนที่ผ่านตัวกลาง เพื่อเพิ่มการรวมตัวของอนุภาคน้ำมัน

4) น้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันในรูปที่ลอยบนผิวน้ำ (เป็นฟิล์ม)

เนื่องจากสารประกอบไฮโดรคาร์บอนมีความหนาแน่นต่ำกว่าน้ำ ทำให้น้ำมันลอยอยู่เหนือน้ำเป็นฝ้าหรือเป็นฟิล์ม ซึ่งมักจะเป็น โมเลกุลเดี่ยว โดยเฉพาะอย่างยิ่งน้ำมันที่มีความหนืดต่ำ ซึ่งจะไปขวางกั้นการถ่ายเทออกซิเจนหรือบั้งแสงที่จะผ่านลงในน้ำ แม้จะมีปริมาณน้ำมันเพียงเล็กน้อย ก็สามารถทำให้เกิดพื้นที่ผิวของฟิล์มขนาดใหญ่และแพร่กระจายเป็นวงกว้างได้ ซึ่งการปนเปื้อนในลักษณะนี้จะสามารถสังเกตเห็นได้ด้วยตาเปล่า ก็จะสะท้อนเป็นฟิล์มสีรุ้งลอยอยู่บนผิวน้ำ น้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันในรูปที่ลอยบนผิวน้ำ (เป็นฟิล์ม) มีวิธีการบำบัด ดังตารางที่ 2.10

ตารางที่ 2.10 วิธีการบำบัดน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันในรูปที่ลอยบนผิวน้ำ

วิธีการบำบัด	หลักการ
1. Dispersion process	ใช้สารลดแรงตึงผิวเพื่อให้เกิดการกระจายตัวของน้ำมันที่ผิวน้ำ
2. Pumping process	สูบน้ำมันที่ลอยอยู่ที่ผิวน้ำออกไปทำการบำบัด
3. Adsorption process	เปลี่ยนจากน้ำมันที่ปนเปื้อนในรูปของเหลว ให้ถูกดูดซับบนผิวอนุภาคของแข็ง เช่น Activated carbon
4. Skimming	ใช้อุปกรณ์กวาดน้ำมันที่ลอยอยู่ที่ผิวน้ำออกไปทำการบำบัด

2.2.3 วิธีการกำจัดน้ำมันและไขมัน

การกำจัดน้ำมันและไขมันโดยการแยกออกจากน้ำเสียนั้น สามารถทำได้หลายวิธี ได้แก่ วิธีการทางด้านกายภาพ วิธีการทางด้านเคมี และวิธีการทางด้านชีวภาพ ซึ่งการที่จะเลือกวิธีใดนั้นขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายประการ เช่น ปริมาณ สภาพ ชนิดของน้ำมันและไขมัน เป็นต้น

1) วิธีการทางด้านกายภาพ (Physical Method)

เป็นวิธีที่มีความนิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากสามารถทำได้รวดเร็ว มีค่าใช้จ่ายของการดำเนินการต่ำและกระบวนการไม่ยุ่งยากซับซ้อน แต่จะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางด้านกายภาพของน้ำมันและไขมัน ซึ่งจะแตกต่างกันไปตามแหล่งกำเนิดและขนาดโมเลกุล โดยถ้าอยู่ในรูปโมเลกุลขนาดใหญ่และมีระยะเวลาเก็บกักน้อยจะแยกชั้นได้อย่างรวดเร็ว อาจใช้ถังดักน้ำมันและไขมัน (Oil & Grease Trap) ในการกำจัด แต่ถ้าอยู่ในรูปโมเลกุลขนาดเล็ก เช่น คอลลอยด์หรืออิมัลชัน (Colloid & Emulsion) ซึ่งโมเลกุลมีขนาดใกล้เคียงหรือเล็กกว่าโมเลกุลของน้ำ ทำให้แยกออกมาได้ยาก จึงต้องใช้กรรมวิธีอื่น เช่น ใช้วิธีเป่าอากาศลงไปในน้ำเสีย (Air Flotation) ซึ่งเป็นวิธีทางกายภาพอีกวิธีหนึ่งที่ใช้ได้กับน้ำมันและไขมันเกือบทุกชนิด โดยเฉพาะน้ำมันและไขมันที่มีโมเลกุลขนาดเล็กและมีความหนาแน่นน้อย การเป่าอากาศลงไปในน้ำเสียจะช่วยแยกน้ำมันและไขมันออกจากน้ำ โดยการอัดให้เป็นฟองขนาดเล็กๆ ฟองเหล่านี้จะเป็นตัวช่วยยก พา และแยกโมเลกุลของน้ำมันและไขมันออกจากน้ำเสีย

2) วิธีการทางด้านเคมี (Chemical Method)

สามารถทำได้ด้วยการเติมสารเคมี เช่น เติมนคลอรีนลงในถังตะกอนแรกหรือถังเติมอากาศ ซึ่งโดยทั่วไปมีความเข้มข้น 2 - 5 มก./ล. แต่วิธีนี้ไม่ค่อยได้รับความนิยม เพราะจะก่อให้เกิด

การตกค้างของสารเคมีในระบบ และยังไม่เหมาะกับระบบบำบัดน้ำเสียแบบเลี้ยงตะกอน เพราะสารเคมีจะไปทำลายจุลินทรีย์ในระบบ

3) วิธีการทางด้านชีวภาพ (Biological Method)

เป็นวิธีที่ใช้ประโยชน์จากจุลินทรีย์ในการย่อยสลายน้ำมันและไขมัน เพื่อเป็นแหล่งคาร์บอนและพลังงานในการเจริญเติบโต โดยวิธีการนี้สามารถทำได้ 2 วิธีคือ

3.1) การสลายโดยจุลินทรีย์ตามธรรมชาติ (Biodegradation) เป็นกระบวนการที่ใช้จุลินทรีย์ที่มีอยู่แล้วตามธรรมชาติ เช่น ยีสต์ รา แอคทีโนมัยซีต และแบคทีเรีย ช่วยในการย่อยสลายน้ำมันและไขมัน และนำเอาไปใช้ในกระบวนการเมตาบอลิซึมของตัวเอง ซึ่งกระบวนการนี้จะเป็นไปอย่างช้าๆ และใช้เวลานานกว่าที่จะสามารถกำจัดได้หมด แต่จะก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยหรือแทบไม่เกิดเลย

3.2) การเร่งธรรมชาติ (Bioremediation) ทำได้ 2 วิธี ดังนี้

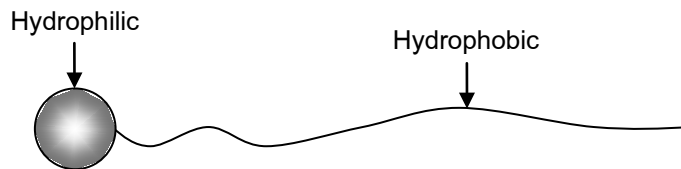
- การเติมธาตุอาหาร (Nutrient Enrichment or Fertilization) เช่น การเติมไนโตรเจนและฟอสฟอรัสลงในน้ำที่มีน้ำมันและไขมัน เพื่อกระตุ้นหรือเพิ่มการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่สามารถย่อยน้ำมันและไขมันที่มีอยู่แล้วตามธรรมชาติให้มีจำนวนเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในการทำงานของจุลินทรีย์เพื่อย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียนั้นอาจประกอบไปด้วยจุลินทรีย์หลายชนิดทำงานร่วมกัน จุลินทรีย์บางชนิดจะเริ่มทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ซับซ้อนก่อน จากนั้นจุลินทรีย์ชนิดอื่นๆ จะมาทำการย่อยสลายส่วนที่เหลือ หรืออาจจะเป็นการนำเอาผลหรือของเสียที่เกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ชนิดอื่นๆ มาทำการย่อยสลายต่อจนเป็นสารที่ไม่สามารถย่อยสลายต่อไปได้อีก

- การเติมเชื้อจุลินทรีย์ (Seeding) เป็นการเพิ่มจำนวนจุลินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายน้ำมันและไขมันให้มากขึ้น โดยจุลินทรีย์ที่เติมลงไปสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม คือ เชื้อที่มีอยู่แล้วตามธรรมชาติและผ่านการคัดเลือก และเชื้อที่ได้รับการปรับปรุงสายพันธุ์โดยทางพันธุวิศวกรรม

2.3 สารลดแรงตึงผิว (Surfactant)

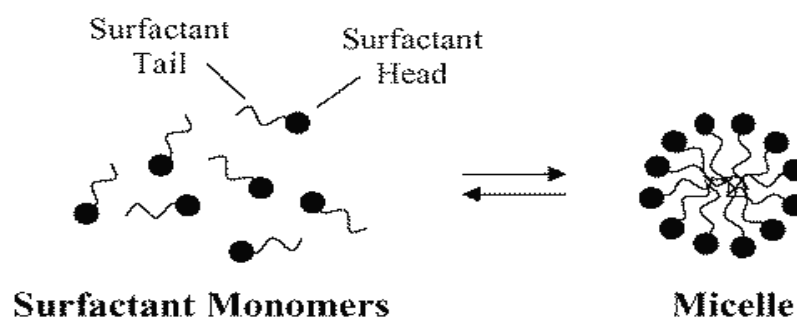
สารลดแรงตึงผิว (Surfactant) เป็นคำย่อของ Surface active agent ซึ่งเป็นสารที่มีคุณสมบัติในการลดความตึงผิวระหว่างเฟส ทำให้แรงตึงผิว (Surface tension) ลดต่ำลง สารลดแรงตึงผิวมีลักษณะโครงสร้างโมเลกุลที่ประกอบด้วย 2 ส่วนหลักๆ (รูปที่ 2.7) ดังนี้

- ส่วนที่ชอบน้ำ (Hydrophilic) เป็นส่วนหัวของโมเลกุล ซึ่งละลายน้ำได้
- ส่วนที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) เป็นส่วนหางของโมเลกุล ซึ่งเป็นอนุพันธ์ของสารอินทรีย์โซ่ยาว



รูปที่ 2.7 โครงสร้างโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิว
(ที่มา : Rosen, 1989)

เมื่อเติมสารลดแรงตึงผิวลงในน้ำเสียที่ปนเปื้อนน้ำมันหรือไขมัน โมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวจะเข้าไปแทรกอยู่ระหว่างผิวสัมผัสของน้ำมันและน้ำ โดยส่วนที่ชอบน้ำ (ส่วนหัวของโมเลกุล) จะอยู่ในเฟสน้ำ และส่วนที่ไม่ชอบน้ำ (ส่วนหางของโมเลกุล) จะอยู่ในเฟสน้ำมัน ทำให้แรงตึงผิวของน้ำมันลดลง ส่งผลให้น้ำมันสามารถกระจายอยู่ในน้ำได้ โดยถ้าเติมสารลดแรงตึงผิวลงไปในปริมาณที่ต่ำ สารลดแรงตึงผิวจะกระจายตัวในน้ำเสียเป็น โมเลกุลเดี่ยวๆ บริเวณผิวน้ำ (interface) ซึ่งจะทำให้ค่าแรงตึงผิวของน้ำเสียลดลง แต่ถ้าเติมสารลดแรงตึงผิวในปริมาณที่มากขึ้น ค่าแรงตึงผิวของน้ำเสียจะลดลงจนถึงที่ ซึ่งเป็นค่าแรงตึงผิวที่ต่ำสุด โดยเรียกความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวที่อยู่ในน้ำเสีย ณ จุดนี้ว่า ความเข้มข้นวิกฤต ซึ่งสารลดแรงตึงผิวจะจัดเรียงตัวอยู่ในรูปของไมเซลล์ (Micelles) ดังรูปที่ 2.8 จากคุณสมบัติเหล่านี้ ทำให้มีการใช้สารลดแรงตึงผิวเป็นส่วนประกอบหลักของสารทำความสะอาดต่างๆ เพื่อลดแรงตึงผิวของสิ่งสกปรกจำพวกไขมันที่เกาะอยู่กับพื้นผิวต่างๆ ให้หลุดออกไปกับน้ำ



รูปที่ 2.8 โมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวในการเกิดไมเซลล์
(ที่มา : Carlota และคณะ, 2005)

2.3.1 ชนิดของสารลดแรงตึงผิว

สารลดแรงตึงผิวสามารถแบ่งตามประจุไฟฟ้าบนส่วนที่ชอบน้ำของโมเลกุลออกเป็น 4 ประเภท ได้แก่

1) สารลดแรงตึงผิวที่มีประจุลบ (Anionic surfactant)

เป็นสารลดแรงตึงผิวที่ประจุไฟฟ้าบนส่วนที่ชอบน้ำของโมเลกุลเป็นประจุลบ ซึ่งส่วนใหญ่แล้วอยู่ในรูปของ Carboxylate, Sulfate, Sulfonate หรือ Phosphate สารลดแรงตึงผิวประเภทนี้นิยมใช้กันมากในอุตสาหกรรมประเภทผลิตผงซักฟอก ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาด น้ำยาล้างจาน เป็นต้น โดยใช้มากถึง 49% ของสารลดแรงตึงผิวทั้งหมด เนื่องจากสามารถใช้จัดคราบสกปรกได้ดี

2) สารลดแรงตึงผิวที่มีประจุบวก (Cationic surfactant)

เป็นสารลดแรงตึงผิวที่ประจุไฟฟ้าบนส่วนที่ชอบน้ำของโมเลกุลเป็นประจุบวก ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นพวก Quaternary ammonium สารลดแรงตึงผิวประเภทนี้จะไม่สามารถทำงานได้ในสภาวะแวดล้อมที่มีค่าเป็นด่างสูง (pH 10 - 11) เนื่องจากเกลือแอมโมเนียมจะมีการสูญเสียประจุบวก ทำให้เกิดการตกตะกอนได้ นอกจากนี้สารประเภทนี้ยังทำให้เกิดการระคายเคืองน้อยกว่าสารลดแรงตึงผิวประเภทประจุลบ จึงนิยมใช้กันมากในการทำน้ำยาปรับผ้านุ่ม ครีมนวดผม และผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องกับการจัดแต่งทรงผม เป็นต้น

3) สารลดแรงตึงผิวที่ไม่มีประจุ (Nonionic surfactant)

เป็นสารลดแรงตึงผิวที่ต่างจากสารลดแรงตึงผิวประเภทประจุลบและประจุบวก คือส่วนที่ชอบน้ำเป็นโมเลกุลที่ไม่มีประจุ โดยจะมีสารพวก Polyether หรือ Polyhydroxyl เป็นกลุ่มที่แสดงคุณสมบัติคล้ายพวกที่มีประจุ สารลดแรงตึงผิวประเภทนี้นิยมใช้กันมากในผงซักฟอก น้ำยาล้างจาน ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดพื้นผิว เป็นต้น

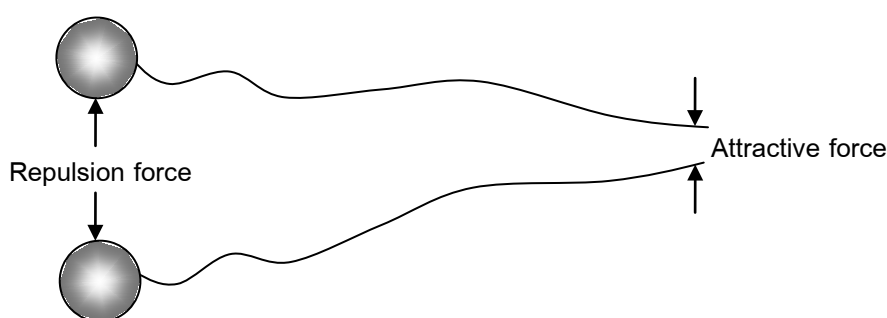
4) สารลดแรงตึงผิวที่มีทั้งประจุบวกและประจุลบในตัวมันเอง (Combinations Surfactant)

เป็นสารลดแรงตึงผิวที่ประจุไฟฟ้าบนส่วนที่ชอบน้ำของโมเลกุลสามารถเป็นได้ทั้งประจุบวกและประจุลบ โดยการที่จะแสดงคุณสมบัติประเภทใดนั้น จะขึ้นกับสภาพความเป็นกรด-ด่างของสภาวะแวดล้อม กล่าวคือ ถ้าสภาวะแวดล้อมเป็นด่าง (pH > 7) ประจุไฟฟ้าบนส่วนที่ชอบน้ำ

จะเป็นประจุลบ แต่ถ้าสถานะแวดล้อมเป็นกรด ($\text{pH} < 7$) ประจุไฟฟ้าบนส่วนที่ชอบน้ำจะเป็นประจุบวก และในสถานะที่เป็นกลางจะไม่เกิดประจุไฟฟ้า สารลดแรงตึงผิวประเภทนี้นิยมใช้ในผลิตภัณฑ์เกี่ยวกับผิวหรือผม ซึ่งในปัจจุบันยังใช้กันน้อยกว่าสารลดแรงตึงผิวประเภทอื่นๆ

2.3.2 อิทธิพลที่มีผลต่อการรวมกลุ่มของสารลดแรงตึงผิว

แรงระหว่างโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวมีอยู่ด้วยกัน 2 แรง ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 แรงระหว่างโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิว

(ที่มา : Rosen, 1989)

1) แรงทางไฟฟ้าสถิต (Electrostatic Force)
เกิดขึ้นบริเวณส่วนหัวของสารลดแรงตึงผิว โดยจะเกิดแรงผลัก (Repulsion force) เนื่องจากส่วนหัวของสารลดแรงตึงผิวมีประจุเดียวกัน

2) แรงไฮโดรโฟบิก (Hydrophobic Force)
เกิดขึ้นบริเวณส่วนหางของสารลดแรงตึงผิว โดยจะเกิดแรงดึง (Attractive force) ซึ่งการดึงส่วนหางเข้าหากันนั้นจะซับซ้อนมาก เนื่องจากเกิดจากเอนโทรปีและเอนทัลปีที่เปลี่ยนแปลงไป ทำให้เมื่อสารลดแรงตึงผิวละลายในน้ำ ส่วนหางที่ไม่ชอบน้ำจึงพยายามที่จะรวมกัน

เมื่อสารละลายมีความเข้มข้นต่ำๆ โมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวจะอยู่ห่างกัน เนื่องจากแรงทั้งสองมีน้อย แต่เมื่อความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้โมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวเกิดแรงทั้งสองมากขึ้นด้วย ถ้าในกรณีที่แรงทางไฟฟ้าสถิตมากกว่าแรงไฮโดรโฟบิกมากๆ โมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวจะกระจายตัวเป็นสารแขวนลอยในน้ำ แต่ถ้าแรงไฮโดรโฟบิกมากกว่าแรงทางไฟฟ้าสถิตมากๆ โมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวจะรวมตัวกันง่าย แต่ไม่ละลายน้ำ และมีค่า

ความเข้มข้นวิกฤตของการเกิดไมเซลล์ (Critical Micelle Concentration; CMC) ต่ำจนไม่อาจวัดค่าได้ ดังนั้นความสัมพันธ์ของแรงทั้งสองและโครงสร้างของสารลดแรงตึงผิวจึงมีผลต่อค่าความเข้มข้นวิกฤตของการเกิดไมเซลล์

2.4 การย่อยสลายแบบไร้อากาศ (Anaerobic Sludge Digestion)

ระบบย่อยสลายแบบไร้อากาศเป็นระบบที่มีใช้กันมานานแล้ว โดยที่เริ่มใช้กันครั้งแรกเป็นถังทำหน้าที่แยกน้ำกับตะกอนออกจากกัน ซึ่งการบำบัดด้วยวิธีนี้เป็นวิธีทางด้านชีวภาพ โดยไม่ต้องใช้สารเคมี อีกทั้งไม่ต้องใช้พลังงานในการเติมอากาศ แต่ได้ก๊าซชีวภาพ เช่น ก๊าซมีเทน ซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทนได้

2.4.1 ลักษณะของกระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศ

กระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศมีอุณหภูมิในการบำบัดอยู่ในช่วงเมโซฟิลิก (Mesophilic range) คือ ตั้งแต่ 30 - 38°C ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่นิยมใช้กันมากที่สุด เนื่องจากไม่สิ้นเปลืองพลังงานมากสำหรับประเทศแถบหนาว และไม่ต้องเพิ่มอุณหภูมิให้กับระบบสำหรับประเทศแถบร้อน ซึ่งถ้าต้องการย่อยสลายให้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น อาจเลือกใช้อุณหภูมิช่วงเทอร์โมฟิลิก (Thermophilic range) คือ ตั้งแต่ 49 - 57°C โดยพบว่าในช่วงนี้ถ้าเพิ่มอุณหภูมิขึ้นทุกๆ 10°C อัตราเร็วของการเกิดปฏิกิริยาชีวเคมีจะเพิ่มขึ้น 2 เท่า แต่ก็สิ้นเปลืองพลังงานมากเช่นกัน สำหรับกระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศภายในถัง สามารถแบ่งออกเป็นรูปแบบต่างๆ ได้ดังนี้

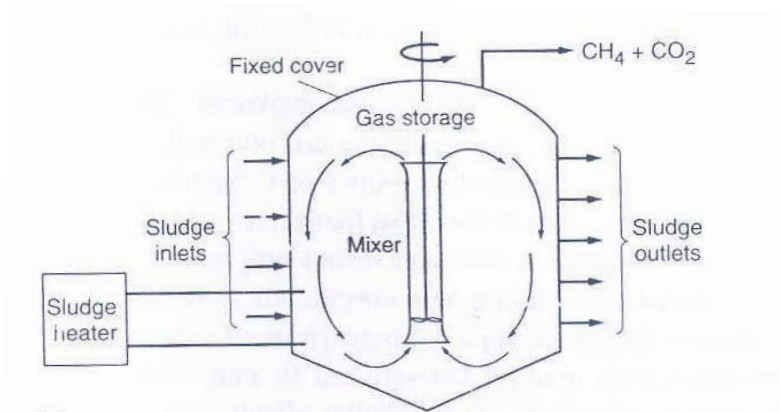
1) การย่อยอัตรามาตรฐาน (Standard-Rate Digestion)

ระบบนี้เป็นถังเดียวที่จะเกิดทั้งขั้นตอนการย่อย การทำขึ้นและการแยกน้ำใสออก ซึ่งเมื่อสลัดจ์ไหลเข้าระบบนี้แล้วจะเกิดการย่อยด้วยแบคทีเรียในสลัดจ์ ทำให้มีก๊าซมีเทนเกิดขึ้น ส่งผลให้ในขณะที่ก๊าซลอยขึ้น จะพาเอาตะกอนต่างๆ เช่น ตะกอนทั่วไป ไขมัน น้ำมัน เป็นต้น ลอยขึ้นสู่ผิวน้ำภายในถังด้วย ซึ่งจะทำให้เกิดฝ้าตะกอน (Scum) อยู่บนผิวน้ำเป็นจำนวนมาก ดังนั้นระบบนี้จึงมีอยู่ 3 ชั้น คือ ชั้นฝ้าตะกอน ชั้นน้ำใส และชั้นสลัดจ์กำลังย่อย เนื่องจากระบบนี้ไม่มีการกวน ทำให้มีอัตราการย่อยสลายช้า และปริมาณจริงๆ ที่ใช้ในการย่อยสลายสลัดจ์มีไม่เกิน 50% ของปริมาณในถัง ซึ่งถือว่าเป็นข้อเสียของระบบนี้ ระบบนี้จึงนิยมใช้กับโรงบำบัดน้ำเสียขนาดเล็ก

2) การย่อยขั้นเดียวอัตราสูง (Single-Stage High-Rate Digestion)

ระบบนี้มีลักษณะคล้ายกับระบบย่อยอัตรามาตรฐาน (รูปที่ 2.10) แต่แตกต่างกันตรงที่ภายในถังจะมีการกวนผสมอย่างทั่วถึง ซึ่งถือเป็นจุดเด่นของระบบนี้ ทำให้ปฏิกิริยาชีวเคมีเป็นไปได้อย่างดี ส่งผลให้มีประสิทธิภาพสูงกว่าและมีอัตราการย่อยสลัดจ์สูงกว่าระบบย่อยอัตรามาตรฐาน โดยวิธีการกวนนั้นมีได้หลายวิธี ดังนี้

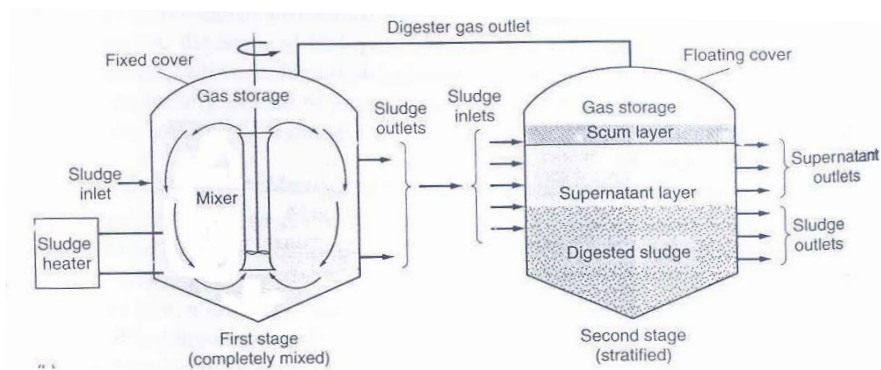
- 2.1) ใช้ก๊าซที่เกิดขึ้นจากระบบ นำกลับมาพ่นเข้าไปภายในสลัดจ์อีก เพื่อให้เกิดการกวน
- 2.2) ใช้เครื่องกวนแบบเครื่องมอเตอร์หมุนที่มีใบพัดกวน
- 2.3) ใช้เครื่องสูบลัดจ์จากภายในถังกลับเข้ามาอีก



รูปที่ 2.10 ระบบถังย่อยสลัดจ์แบบขั้นเดียวอัตราสูง
(ที่มา : Metcalf และ Eddy, 2004)

3) การย่อยสองขั้นตอน (Two-Stage Digestion)

ระบบนี้จะมีอยู่ 2 ถัง ซึ่งแต่ละถังจะเหมือนกับถังย่อยสลัดจ์ขั้นเดียวอัตราสูง (รูปที่ 2.11) โดยในถังแรกจะเป็นถังที่มีการกวน ส่วนถังที่สองจะทำหน้าที่เป็นถังเก็บกักและแยกตะกอนกับน้ำออกจากกัน หรืออาจเป็นถังกวนเหมือนถังแรกก็ได้ แต่อย่างไรก็ตามถังที่สองควรมีฝาปิดมิดชิดเพื่อช่วยป้องกันกลิ่นเหม็นที่เกิดขึ้น



รูปที่ 2.11 ระบบถังย่อยสลัดจ์แบบสองขั้นตอน

(ที่มา : Metcalf และ Eddy, 2004)

4) การย่อยแบบแยก (Separate Sludge Digestion)

โดยทั่วไประบบบำบัดสลัดจ์มักจะนำสลัดจ์ขั้นต้นมาผสมรวมกับสลัดจ์เอเอส เพื่อมาทำการบำบัดร่วมกันพร้อมกันในถังเดียวกัน แต่การนำสลัดจ์ขั้นต้นกับสลัดจ์เอเอสมาบำบัดแยกกันจะทำให้ได้ผลดี ดังนี้

- 4.1) ทำให้สลัดจ์ขั้นต้นที่ถูกย่อยมีคุณสมบัติในการรีดน้ำออกได้ง่าย
- 4.2) สามารถเลือกวิธีย่อยสลัดจ์ได้เฉพาะทาง สำหรับสลัดจ์แต่ละชนิด
- 4.3) ควบคุมกระบวนการได้ง่าย

แต่อย่างไรก็ตามในการออกแบบระบบย่อยสลัดจ์แบบแยกอาจมีข้อจำกัดและเกิดความยุ่งยากในการจัดการกับสลัดจ์แต่ละชนิดได้

5) การย่อยแบบเทอร์โมฟิลิก (Thermophilic Anaerobic Digestion)

ระบบย่อยสลัดจ์แบบนี้จะใช้อุณหภูมิอยู่ในช่วง 49 - 57°C เพื่อให้เหมาะสมกับการดำรงชีพของแบคทีเรียชนิดเทอร์โมฟิลิก ซึ่งมีข้อดีและข้อเสีย ดังตารางที่ 2.11

ตารางที่ 2.11 เปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของระบบย่อยสลัดจ์แบบเทอร์โมฟิลิก

ข้อดี	ข้อเสีย
1. มีความสามารถบำบัดสลัดจ์ได้ดีกว่าอุณหภูมิปกติ	1. ใช้พลังงานมากกว่าระบบย่อยทั่วไปเพราะต้องการเครื่องทำความร้อน
2. สามารถนำสลัดจ์ที่ผ่านระบบนี้มารีดน้ำได้ง่ายขึ้น	2. อาจมีน้ำใสที่มี TDS ค่อนข้างมาก
3. สามารถกำจัดแบคทีเรียได้มาก	3. ความมีเสถียรภาพของระบบค่อนข้างน้อย

(ที่มา : เกรียงศักดิ์ อุคมสิน โรจน์, 2547)

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Beccari และคณะ (1995) ทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปฏิบัติการสร้างกรดและปฏิบัติการสร้างมีเทนของการบำบัดแบบไร้อากาศของน้ำเสียจากโรงงานผลิตน้ำมันมะกอกโดยทำการทดลองแบบทีละเท พบว่าวิธีที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียนี้ คือ การย่อยสลัดจ์แบบไร้อากาศ โดยได้ทำการทดลองภายใต้สภาวะที่อุณหภูมิ 25°C กับ 35°C และที่ pH 6.0 กับ pH 8.5 พบว่าสภาวะที่เหมาะสมคือที่อุณหภูมิ 35°C ที่ pH 8.5 สามารถบำบัดน้ำเสียได้มีประสิทธิภาพมากที่สุดและได้นำสภาวะนี้มาทำการศึกษาต่อโดยใส่หัวเชื้อที่ปรับตัวกับน้ำเสียชนิดนี้ได้แล้วกับหัวเชื้อที่ยังไม่ได้มีการปรับตัวให้เข้ากับน้ำเสียชนิดนี้ พบว่าตัวอย่างที่ใส่หัวเชื้อที่ปรับสภาพแล้วนั้น ได้ประสิทธิภาพในการเกิดก๊าซมีเทนสูงกว่าที่ 70 - 75 %

Angelidaki และ Ahring (1997) ทำการศึกษาร่วมย่อยสลัดจ์แบบไร้อากาศของน้ำเสียจากโรงงานผลิตน้ำมันมะกอกร่วมกับมูลสัตว์ เศษขยะหรือสิ่งปฏิกูลจากบ้านเรือน โดยทำการทดลองแบบทีละเท พบว่าน้ำเสียจากโรงงานผลิตน้ำมันมะกอกสามารถเปลี่ยนไปเป็นก๊าซชีวภาพได้เมื่อย่อยสลัดจ์ร่วมกับมูลสัตว์ แต่สำหรับเศษขยะหรือสิ่งปฏิกูลจากบ้านเรือนจะต้องนำน้ำเสียมาเจือจางกับน้ำที่อัตราส่วน 1 : 5 ก่อนที่จะทำการย่อยสลัดจ์ โดยใช้ระบบการย่อยสลัดจ์แบบต่อเนื่องระหว่างน้ำเสียนับกับมูลสัตว์ที่อัตราส่วน 50 : 50 และ 75 : 25 ซึ่งจากการคำนวณทางทฤษฎี พบว่าน้ำเสียที่ถูกใช้ไป 75% จะสามารถลดปริมาณไขมันได้ 87% และน้ำเสียที่ถูกใช้ไป 55% จะสามารถลดปริมาณไขมันได้ 73% โดยจากผลการทดลองได้แสดงให้เห็นว่าในมูลสัตว์จะมีปริมาณของ

บัพเฟอร์สูง รวมทั้งธาตุอาหารที่จำเป็นอยู่มาก ทำให้สามารถย่อยสลายน้ำเสียได้โดยไม่ต้องทำการเจือจาง ไม่ต้องเติมค่า และไม่ต้องเติมแหล่งไนโตรเจนให้กับระบบ

Fatima และคณะ (2000) ทำการศึกษาการผลิตเอนไซม์ไลเปสด้วยยีสต์สายพันธุ์ *Yarrow lipolytica* ที่เลี้ยงในระบบแบบต่อเนื่อง พบว่าเซลล์จะเริ่มปลดปล่อยเอนไซม์ออกมาเมื่อปริมาณคาร์บอนในแหล่งอาหาร (น้ำมันปาล์มหรือน้ำตาลกลูโคส) ลดลงเหลือประมาณร้อยละ 50 และจะมีความเข้มข้นสูงสุดเมื่อเซลล์อยู่ในระยะที่ผ่านพ้นระยะพักตัว (Stationary phase) ไปแล้ว

Hansen และคณะ (2004) ทำการศึกษาวิธีการคำนวณปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นจากของเสียอินทรีย์โดยทำการทดลองแบบทีละเท ก่อนการทดลองได้ทำการไล่อากาศภายในขวดที่จะใส่ตัวอย่างการทดลองด้วยการฉีดก๊าซ 80% ไนโตรเจน และ 20% คาร์บอนไดออกไซด์ ภายในขวดเป็นระยะเวลา 2 นาที และ ในการเก็บก๊าซทำโดยใช้หลอดชนิดยาแบบมี pressure lock ขนาด 0.2 มล. โดยจะทำการ pressure lock หลังจากในส่วนเข็มของหลอดชนิดยาได้ผ่านผนังของฝาขวดเข้าไปแล้ว แล้วนำก๊าซที่ได้ไปวัดค่าโดยใช้วิธี gas chromatography

Zheng และคณะ (2005) ทำการศึกษาการแยกเชื้อยีสต์ 4 สายพันธุ์ ได้แก่ *Rhodotorula rubra* *Candida utilis* *Candida boidinii* และ *Trichosporon cutanum* จากดินที่มีการปนเปื้อนไขมันและน้ำมัน และศึกษาการเปลี่ยนรูปน้ำมันในน้ำเสียจากโรงงานน้ำมันสัตว์โดยยีสต์ดังกล่าว ผลจากการศึกษาพบว่า *Candida utilis* มีอัตราการใช้น้ำมันเพื่อเป็นแหล่งคาร์บอนสูงสุด (Oil uptake rate) เท่ากับ 0.96 กก./กก.ชีวมวล และมีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุดเท่ากับ 0.25 ชม.⁻¹ โดยอัตราส่วนไนโตรเจนต่อคาร์บอนมีผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพการลดน้ำมัน (Oil reduction efficiency) การผลิตชีวมวลและปริมาณโปรตีนภายในเซลล์ของยีสต์สายพันธุ์ดังกล่าว ซึ่งอัตราส่วนไนโตรเจนต่อคาร์บอนที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 1 : 6 ถึง 1 : 8

Davidsson และคณะ (2008) ทำการศึกษาการย่อยสลายร่วมของสตัดจ์จากบ่อคักไขมันกับขยะเศษอาหารโดยการย่อยสลายแบบไร้อากาศแบบต่อเนื่อง โดยการเติมน้ำมันและไขมันที่ความเข้มข้น 800 – 3,800 มก./ล. ร่วมกับเติมเศษอาหารที่ความเข้มข้น 3,000 – 7,600 มก./ล. พบว่าการเติมสตัดจ์จากบ่อคักไขมันร่วมกับขยะเศษอาหารทำให้ได้ศักยภาพการผลิตก๊าซมีเทนเพิ่มขึ้น 9-27%

Kabouris และคณะ (2009) ทำการศึกษาการย่อยสลายของสลัดจ์กับน้ำมันและไขมันแบบต่อเนื่อง ที่ mesophilic (35°C) และ thermophilic (52°C) โดยเติมปริมาณไขมันที่ปริมาณมาก (48% ของปริมาณสลัดจ์ที่เติมเข้าไปทั้งหมด) เกิดปริมาณก๊าซมีเทน 449 มิลลิลิตรมีเทนต่อกรัม-สลัดจ์ ที่ 35°C และ 512 มิลลิลิตรมีเทนต่อกรัม-สลัดจ์ ที่ 52°C จากการทดลองได้ใส่ปริมาณของน้ำมันและไขมันในปริมาณที่สูงซึ่งไม่พบปัญหาการยับยั้งของกระบวนการภายในระบบ ผลจากการทดลองพบว่าน้ำมันและไขมันช่วยในการย่อยสลัดจ์และน้ำมันและไขมันภายในระบบ

Alves และคณะ (2009) ทำการศึกษาการเปลี่ยนของเสียในรูปไขมันเพื่อเป็นพลังงาน โดยระบบแบบต่อเนื่อง พบว่า เหมาะสมกับระบบบำบัดแบบไร้อากาศอัตราสูง และสารตั้งต้นจากการคำนวณทางทฤษฎีของการผลิตก๊าซมีเทน พบว่า ไขมันสามารถผลิตมีเทนได้มากกว่าเมื่อเทียบกับ โปรตีนและคาร์โบไฮเดรต โดยไขมันสามารถผลิตก๊าซมีเทนได้ 69.5% ส่วนโปรตีนและไขมันสามารถผลิตก๊าซมีเทนได้ 68.8% และ 50.0% ตามลำดับ

Gonzalez และคณะ (2010) ทำการศึกษาการย่อยสลายร่วมแบบไร้อากาศของเศษขยะอินทรีย์จากชุมชนกับของเสียที่มีน้ำมันและไขมันจากโรงบำบัดน้ำเสียจากบ้านเรือน แบบ wet anaerobic digestion ภายใต้สภาวะ mesophilic (37°C) การทดลองแบบทีละเท โดยผสมอัตราส่วนต่างๆของเศษขยะอินทรีย์จากชุมชนกับของเสียที่มีน้ำมันและไขมัน โดยอัตราส่วนที่ช่วยในการเพิ่มการผลิตก๊าซมีเทนที่เหมาะสมคือ อัตราเศษขยะอินทรีย์จากชุมชนต่อของเสียที่มีน้ำมันและไขมันเป็น 7 : 1 (15%) แล้วจึงนำอัตราส่วนนี้มาทดลองแบบ Lab scale ในถังปฏิกรณ์แบบต่อเนื่องขนาด 5 ลิตร ทำให้ได้ ก๊าซชีวภาพเพิ่มขึ้นจาก 0.38 ± 0.02 L/g VS_{feed} เป็น 0.55 ± 0.05 L/g VS_{feed} เนื่องจากการเติมของเสียที่มีน้ำมันและไขมันเข้าไป และช่วยให้ VS reduction มีค่ามากขึ้นและได้ปริมาณก๊าซมีเทนเพิ่มมากขึ้นและไม่พบการสะสมตัวของ LCFA

Montefrio และคณะ (2010) ทำการศึกษาการฟื้นฟูและการบำบัดขั้นต้นของน้ำมัน ไขมัน และไขมัน จากถังคักไขมันเพื่อนำมาผลิตไบโอดีเซลแบบทีละเท ได้ทำการเปรียบเทียบการเขย่าที่รอบต่างๆของการทดลอง โดย ทดลองการเขย่าที่ 0 125 200 และ 300 รอบ/นาทีพบว่าค่าของการกำจัดกรดไขมันอิสระที่ค่าการเขย่าที่ 200 และ 300 รอบ ได้ผลเท่ากับ 93 และ 96% ตามลำดับ จึงสามารถสรุปได้ว่า ค่าของการเขย่าที่ 200 รอบ/นาที น่าจะเหมาะสมที่สุดต่อการนำมาใช้ในการทดลอง

ชวลีกร ชุกกลิ่น (2547) ทำการศึกษาการขจัดน้ำมันเสถียรในอิมัลชันของน้ำเสียด้วยเทคนิค อินดิวิจเจอร์ โพลเทชัน โดยศึกษาผลกระทบของปริมาณสารลดแรงตึงผิว 3 ชนิด คือ เอสดีเอส (โซเดียมโดเดซิลซัลเฟต), ซีเทบ (เฮกซะเดซิลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์) และทวิน 80 (โพลีออกซีเอทิลีนซอพิเทน โมโนโอเลียด) ต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าแรงตึงผิว พบว่าการเปลี่ยนแปลงของแรงตึงผิวเกิดขึ้น 2 ช่วง ได้แก่ ช่วงที่ 1 ความเข้มข้นสารลดแรงตึงผิวมีค่าต่ำ ค่าแรงตึงผิวจะลดลงอย่างรวดเร็ว เมื่อปริมาณของสารลดแรงตึงผิวเพิ่มขึ้น และช่วงที่ 2 เมื่อความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวมีค่ามากขึ้น การเปลี่ยนแปลงของแรงตึงผิวมีแนวโน้มลดลงและคงที่เมื่อปริมาณของสารลดแรงตึงผิวมากขึ้น ซึ่งเห็นได้ว่าผลการทดลองสอดคล้องกับค่าความขุ่นที่เกิดขึ้นจากการทดลอง ดังนั้นจึงใช้ค่าความเข้มข้นของเอสดีเอสเท่ากับ 0.008 โมล/ลิตร ในการเตรียมน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันสังเคราะห์สำหรับการทดลองต่อไป

กชกร ก้องกังวาลย์ (2552) ทำการศึกษาค่าความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวที่เหมาะสมสำหรับการเตรียมน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันสังเคราะห์ โดยใช้ น้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันปาล์มความเข้มข้น 5,000 มก./ล. ร่วมกับสารลดแรงตึงผิวที่มีประจุลบชนิด โซเดียมโดเดซิลซัลเฟต (SDS) ด้วยอุปกรณ์โคอะเลสเซอร์ชนิดเส้นใย พบว่าความขุ่นของน้ำเสียจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของเอสดีเอสมีค่าเพิ่มขึ้น และความขุ่นจะเริ่มมีค่าคงที่เมื่อความเข้มข้นของเอสดีเอสมีค่าเท่ากับ 0.008 โมล/ลิตร จะเห็นได้ว่าในช่วงความเข้มข้นของเอสดีเอสที่มีค่าน้อย คือ 0.002 - 0.008 โมล/ลิตร จะทำให้ความขุ่นของน้ำเสียเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เนื่องจากเกิดการลดลงของแรงตึงผิวระหว่างน้ำและน้ำมัน อีกทั้งยังมีพื้นที่ผิวของน้ำมันมากพอที่จะดูดซับ โมเลกุลของเอสดีเอส แต่เมื่อความเข้มข้นของเอสดีเอสมีค่ามากกว่า 0.008 โมล/ลิตร ความขุ่นของน้ำเสียจะมีค่าค่อนข้างคงที่ ซึ่งเป็นผลมาจากแรงตึงผิวระหว่างน้ำและน้ำมันเริ่มมีค่าคงที่ อีกทั้งพื้นที่ผิวของหยดน้ำมันที่เกิดการแตกตัวเป็นอนุภาคขนาดเล็กดูดซับ โมเลกุลของเอสดีเอสจนเต็ม จึงส่งผลให้โมเลกุลของเอสดีเอสที่เหลือเกิดการจับตัวกันเองเกิดเป็นไมเซลล์ ซึ่งส่งผลต่อความขุ่นของน้ำเสียน้อยมาก

จากการศึกษาที่ผ่านมาดังกล่าวข้างต้น จะเห็นได้ว่ามีการใช้ระบบย่อยสลดัจจ์แบบไร้อากาศของน้ำมันและไขมันร่วมกับกากตะกอนหลายชนิด ซึ่งมีข้อมูลที่สำคัญที่สามารถนำมาใช้สำหรับงานวิจัยนี้ได้ สรุปได้ดังนี้

- 1) เลือกใช้ระบบย่อยสลดัจจ์แบบไร้อากาศแบบทีละเท
- 2) เลือกใช้ความเข้มข้นน้ำมัน 2,000 มก./ล. และเศษอาหารที่ความเข้มข้น 0 1,000 2,000 และ 4,000 มก./ล.

- 3) น้ำมันและไขมันสามารถนำมาย่อยสลายร่วมกับเศษอาหารแล้วได้ศักยภาพการผลิตก๊าซมีเทนที่เพิ่มมากขึ้น
- 4) การย่อยสลดักระหว่างสภาวะ Mesophilic และ Thermophilic ได้ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นใกล้เคียงกัน จึงเลือกใช้ที่สภาวะ Mesophilic เนื่องจากช่วยประหยัดพลังงานและง่ายต่อการเดินระบบ
- 5) สารลดแรงตึงผิวที่มีประจุลบชนิดโซเดียมโดเดซิลซัลเฟต (SDS) สามารถนำมาใช้กับน้ำมันปาล์มที่จุด CMC (Critical micelle concentration) ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 แผนการทดลอง

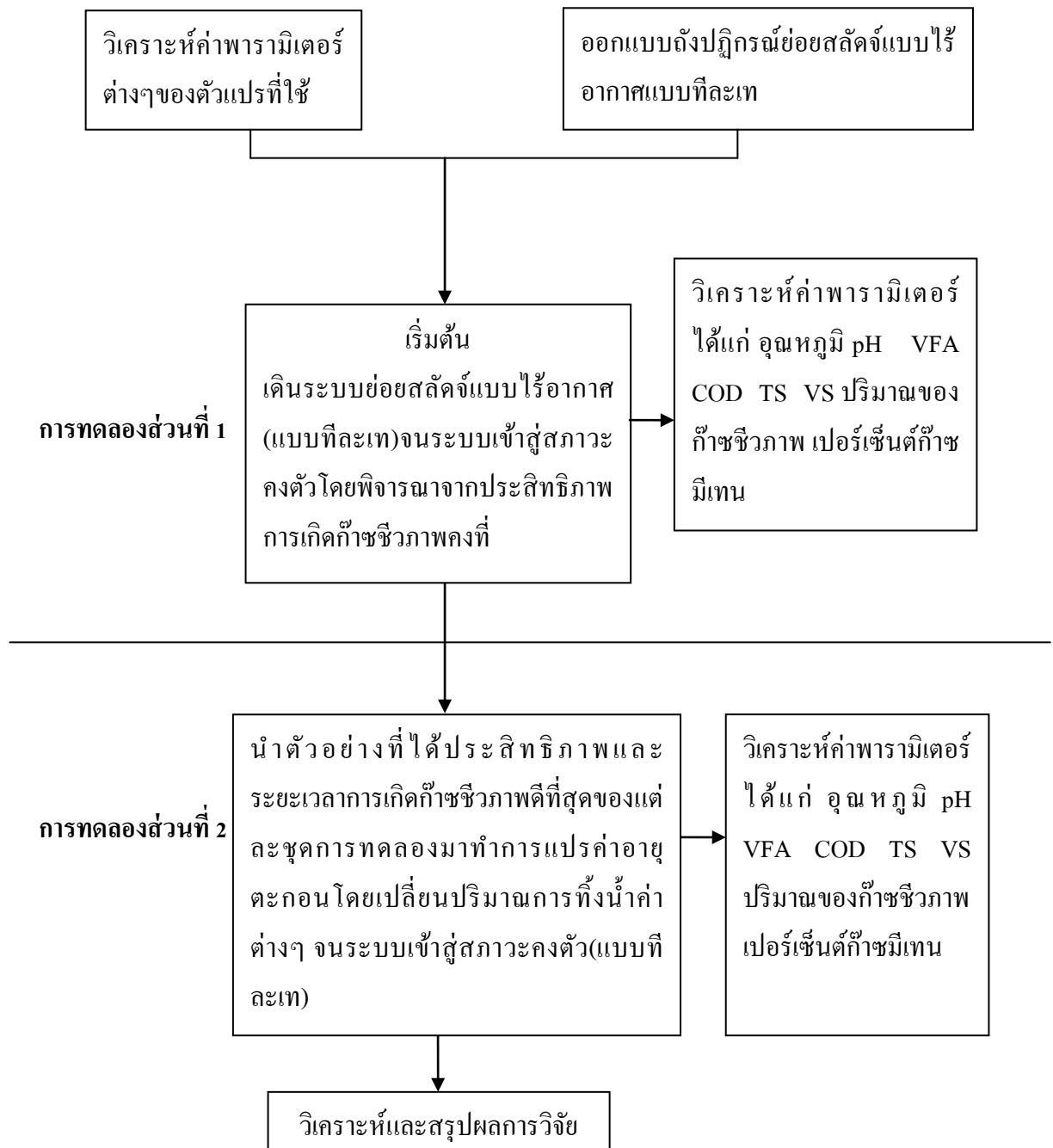
งานวิจัยนี้เป็นการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการ โดยใช้ถังปฏิกรณ์การย่อยสลายแบบไร้อากาศแบบที่ละเท ดำเนินการที่อุณหภูมิห้อง ณ ห้องปฏิบัติการวิจัยระดับปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยทำการย่อยสลายน้ำมันพืชร่วมกับเศษอาหารที่แตกต่างกัน 2 ชนิด คือ เศษข้าวกับกากถั่วเหลือง (ทำการเขย่าตลอดทุกช่วงการทดลอง) โดยทำการแปรค่าเศษอาหารที่แตกต่างกัน 4 ค่า คือ ความเข้มข้น 0 1,000 2,000 และ 4,000 มก./ล. ตามลำดับหลังจากนั้นจึงนำตัวอย่างที่ได้ไปวิเคราะห์หาประสิทธิภาพและระยะเวลาการเกิดก๊าซชีวภาพที่ดีที่สุดในถังปฏิกรณ์ของแต่ละชุดการทดลองของเศษข้าวและกากถั่วเหลือง และทำการแปรค่าอายุตะกอนโดยเปลี่ยนปริมาณการทิ้งตะกอน 4 ค่า คือ 10 20 50 และ 90 % ตามลำดับ เพื่อทำการศึกษาค่าของอายุตะกอนที่เหมาะสม

โดยในงานวิจัยนี้จะแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วน คือ

1) การทดลองส่วนที่ 1 การเริ่มต้นเดินระบบย่อยสลายแบบไร้อากาศ (Anaerobic Sludge Digestion) (ทำการเขย่าตลอดทุกช่วงการทดลอง) โดยจะทำการผสมตะกอนจุลินทรีย์กับน้ำมันพืช ร่วมกับเศษอาหาร ซึ่งได้แก่ เศษข้าวสุกกับกากถั่วเหลือง ลงในถังปฏิกรณ์ และเพิ่มอีกชุดการทดลองเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพและระยะเวลาของการเกิดก๊าซชีวภาพโดยการเติมสารลดแรงตึงผิวอีกทุกชุดการทดลอง จากนั้นทำการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ วิเคราะห์ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นเป็นระยะจนระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว โดยพิจารณาจากประสิทธิภาพการเกิดก๊าซชีวภาพคงที่ หลังจากนั้นจึงนำตัวอย่างมาทำการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ

2) การทดลองส่วนที่ 2 การแปรค่าอายุตะกอนโดยเปลี่ยนปริมาณการทิ้งตะกอนในระบบ โดยจะทำการทดลองต่อเนื่องจากการทดลองในส่วนแรก โดยจะเลือกตัวอย่างที่วิเคราะห์ได้ประสิทธิภาพและระยะเวลาการเกิดก๊าซชีวภาพที่ดีที่สุดของชุดการทดลองของเศษของและกากถั่วเหลืองมาใช้ และเพิ่มชุดการทดลองเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพและระยะเวลาของการเกิดก๊าซชีวภาพโดยใช้ชุดตัวอย่างที่มีเพียงน้ำมันพืชผสมกับตะกอนจุลินทรีย์โดยปราศจากการเติมเศษอาหาร โดยศึกษาการแปรค่าอายุตะกอนโดยเปลี่ยนปริมาณการทิ้งตะกอน 4 ค่า ได้แก่ การทิ้งน้ำ 10 20 50 และ 90 % ของปริมาตรตัวอย่างทั้งหมด ออกจากระบบ คูลน้ำใสออก จากนั้นทำการเติม

ตัวอย่างชนิดเดิมเข้าไปแทนที่ให้มีความเข้มข้นและปริมาตรเท่าเดิม เติมน้ำจืดจนระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว (ทำการเขย่าตลอดทุกช่วงการทดลอง) เพื่อหาค่าอายุตะกอน แล้วจึงทำการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ โดยจะเพิ่มชุดควบคุม ที่มีแค่น้ำมันเท่านั้น 1 ตัวอย่าง และ ตะกอนจุลินทรีย์เท่านั้น 1 ตัวอย่าง โดยขั้นตอนทั้งหมดของงานวิจัย ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนทั้งหมดของการวิจัย

3.2 อุปกรณ์และสารเคมี

สำหรับอุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและสารเคมีของน้ำเสีย มีดังนี้

3.2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

- 1) ถังปฏิกรณ์เป็นขวดแก้วมีฝาปิดมิดชิดปริมาตร 0.5 ลิตร
- 2) เครื่องวัดพีเอช
- 3) เครื่องวัดอุณหภูมิ
- 4) โถทำแห้ง
- 5) ตู้อบที่ปรับอุณหภูมิได้ 150 °C
- 6) เตาเผาที่อุณหภูมิ 550 °C
- 7) ตาชั่งละเอียด
- 8) อุปกรณ์วัดปริมาตรก๊าซชีวภาพ
- 9) เครื่องเขย่า (Shaker)

3.2.2 สารเคมี

- 1) สารละลายมาตรฐานโปตัสเซียมไดโครเมต 0.1 นอร์มัล
- 2) สารละลายกรดซัลฟูริก
- 3) สารละลายเฟอร์โรอินดิเคเตอร์
- 4) สารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต 0.1 นอร์มัล
- 5) น้ำมันปาล์ม บริษัท มรกต อินดัสตรีส์ จำกัด มหาชน โดยมีลักษณะสมบัติดัง

ตารางที่ 3.1


ตารางที่ 3.1 ลักษณะสมบัติของน้ำมันปาล์ม บริษัท มรกต อินดัสตรีส์ จำกัด มหาชน

ค่าความหนาแน่น (g/ml) (ที่ 21 °C)	0.898
ค่าความหนืด (CP) (ที่ 21 °C)	88.6
ค่าความร้อน (kJ/kg)	39,550

(ที่มา : บริษัท มรกต อินดัสตรีส์ จำกัด มหาชน)

6) สารลดแรงตึงผิว (Surfactant) ได้แก่ Sodium lauryl sulphate (SLS หรือ SDS) ของบริษัท Carlo Erba Co., Ltd โดยมีลักษณะสมบัติ ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ลักษณะสมบัติของ Sodium lauryl sulphate

IUPAC name	Sodium dodecyl sulfate
Other names	Sodium monododecyl sulfate; Sodium lauryl sulfate; Sodium monolauryl sulfate; Sodium dodecanesulfate; dodecyl alcohol, hydrogen sulfate, sodium salt; n-dodecyl sulfate sodium; Sulfuric acid monododecyl ester sodium salt;
Molecular formula	$C_{12}H_{25}SO_4Na$ ()
Molar mass	288.38 g mol ⁻¹
Density	1.01 g/cm ³
Melting point	206 °C

7) เศษข้าวสุก

ตารางที่ 3.3 องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณของข้าวสาร 100 กรัม

องค์ประกอบสารอาหาร	ข้าวสาร
โปรตีน(กรัม)	6.3-7.1
ไขมัน(กรัม)	0.3-0.5
เส้นใย(กรัม)	0.2-0.5
เถ้า(กรัม)	0.3-0.8
คาร์โบไฮเดรต(กรัม)	77-89
เส้นใยอาหาร(กรัม)	0.7-2.3

(ที่มา : หนังสือข้าว : วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์)

8) ถั่วเหลือง

ตารางที่ 3.4 องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณของถั่วเหลืองปริมาณ 100 กรัม

องค์ประกอบของสารอาหารในถั่วเหลืองดิบ	หน่วย (กรัม)
น้ำ	8.54
โปรตีน	36.49
ไขมัน	19.94
- กรดไขมันอิ่มตัว	2.884
- ไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยว	4.404
- ไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน	11.255
คาร์โบไฮเดรต	30.16
- น้ำตาล	7.33
- เส้นใย	9.3

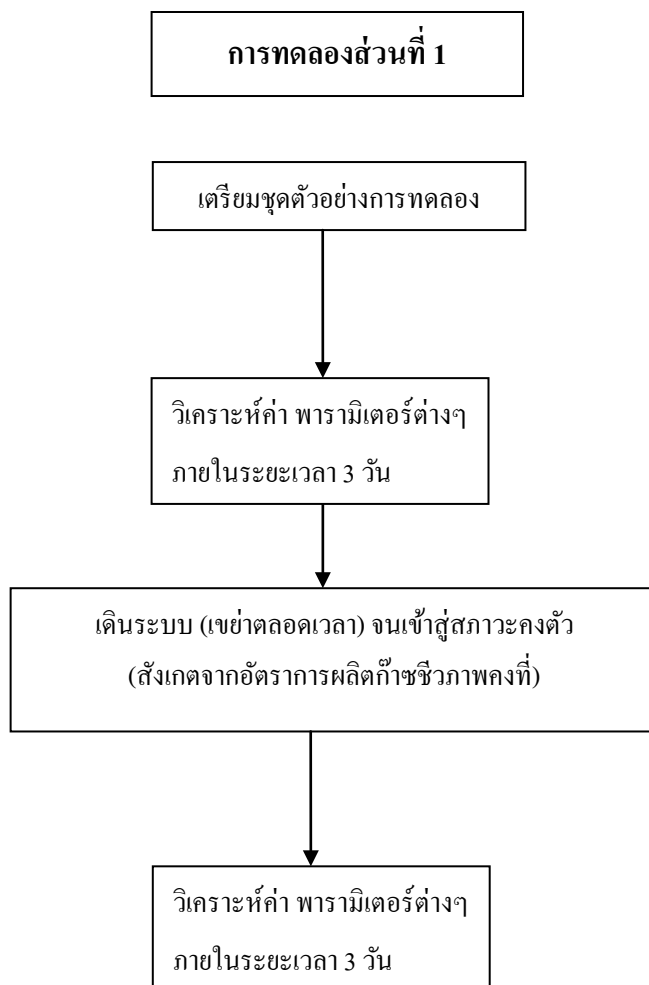
(ที่มา : อภิพรรณ พุกภักดี, 2546)

3.3 การดำเนินงานวิจัย

ในงานวิจัยนี้จะแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วน คือ

3.3.1 การทดลองส่วนที่ 1 การเริ่มต้นเดินระบบย่อยสลดิจแบบไม่ใช้อากาศ (Anaerobic Sludge Digestion) ทำการเขย่าตลอดทุกช่วงการทดลอง โดยจะทำการผสมสลดิจ น้ำมันและไขมัน ร่วมกับเศษอาหาร ซึ่งได้แก่ เศษข้าวและกากถั่วเหลือง ลงในถังปฏิกรณ์ และเพิ่มอีกชุดการทดลองเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพและระยะเวลาของการเกิดก๊าซชีวภาพโดยการเติมสารลดแรงตึงผิวอีกทุกชุดการทดลอง ซึ่งแผนผังรายละเอียดของการทดลอง ดังรูปที่ 3.2 และการผสมสารตัวอย่างในอัตราส่วนต่างๆ ดังตารางที่ 3.5 โดยรายละเอียดของการทดลองมีดังนี้

1) ทำการผสมสลดิจ และน้ำมันพืชร่วมกับเศษอาหารได้แก่เศษข้าว และกากถั่วเหลือง และเพิ่มอีกชุดการทดลองโดยใส่สารลดแรงตึงผิว ตามอัตราส่วนต่างๆ (ตารางที่ 3.5) เติมน้ำให้มีปริมาตร 300 มิลลิลิตร



รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการทดลองส่วนที่ 1

ตารางที่ 3.5 การผสมสารตัวอย่างในอัตราส่วนต่างๆ

ขวดที่	ปริมาณสารตัวอย่าง (มิลลิกรัม)					ปริมาตรรวม (ml)
	Inoculum (mg/l)	ไขมัน (mg/l)	Surfactant (mg/l)	เศษข้าว (mg/l)	กากถั่วเหลือง (mg/l)	
CO	20,000	2,000	-	-	-	300
COS	20,000	2,000	2,000	-	-	300
CS	20,000	-	2,000	-	-	300
CR1	20,000	-	-	1,000	-	300
CR2	20,000	-	-	2,000	-	300
CR4	20,000	-	-	4,000	-	300
CB1	20,000	-	-	-	1,000	300
CB2	20,000	-	-	-	2,000	300
CB4	20,000	-	-	-	4,000	300
OR1	20,000	1	-	1,000	-	300
OR2	20,000	1	-	2,000	-	300
OR4	20,000	1	-	4,000	-	300
OB1	20,000	1	-	-	1,000	300
OB2	20,000	1	-	-	2,000	300
OB4	20,000	1	-	-	4,000	300
OSR1	20,000	1	2,000	1,000	-	300
OSR2	20,000	1	2,000	2,000	-	300
OSR4	20,000	1	2,000	4,000	-	300
OSB1	20,000	1	2,000	-	1,000	300
OSB2	20,000	1	2,000	-	2,000	300
OSB4	20,000	1	2,000	-	4,000	300

2) ทำการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของน้ำตัวอย่าง ได้แก่ พีเอช อุณหภูมิ ซีโอดี กรดไขมันระเหย ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด ปริมาณของแข็งระเหยง่าย ปริมาณก๊าซชีวภาพ ภายในระยะเวลา 3 วัน

3) เดินระบบ (ทำการเขย่าตลอดทุกช่วงการทดลอง) จนเข้าสู่สภาวะคงตัวโดยพิจารณาจากประสิทธิภาพการเกิดก๊าซชีวภาพครั้งที่ ทำการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของน้ำตัวอย่าง ได้แก่ พีเอช อุณหภูมิ ซีโอดี กรดไขมันระเหย ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด ปริมาณของแข็งระเหยง่าย ปริมาณของก๊าซชีวภาพและเปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทนภายในระยะเวลา 3 วัน

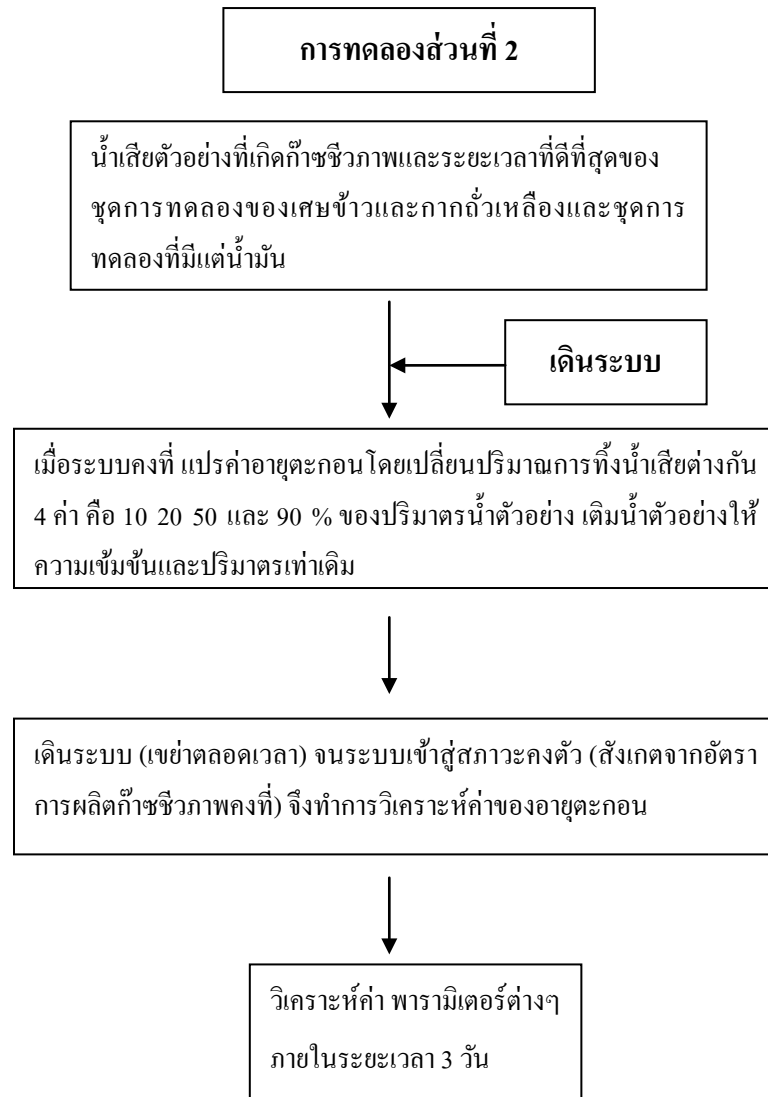
3.3.2 การทดลองส่วนที่ 2 การแปรค่าอายุตะกอน โดยเปลี่ยนปริมาณการทิ้งน้ำของสารตัวอย่างในระบบ โดยจะทำการทดลองต่อเนื่องจากการทดลองในส่วนแรก โดยนำตัวอย่างที่ได้ ประสิทธิภาพและระยะเวลาการเกิดก๊าซมีเทนที่ดีที่สุดของแต่ละชุดการทดลองของเศษข้าวและกาก ถั่วเหลืองมาใช้ โดยทำการแปรค่าอายุตะกอน โดยเปลี่ยนปริมาณการทิ้งตะกอน 4 ค่า คือ การทิ้งน้ำ 10 20 50 และ 90 % ของปริมาตรตัวอย่างทั้งหมด ออกจากระบบ จากนั้นทำการเติมตัวอย่างชนิด เดิมเข้าไปแทนที่ให้ความเข้มข้นและปริมาตรเท่าเดิม เดินระบบ (ทำการเขย่าตลอดทุกช่วงการ ทดลอง) จนเข้าสู่สภาวะคงตัวเพื่อหาค่าอายุตะกอน ซึ่งแผนผังรายละเอียดของการทดลอง ดังรูปที่ 3.3 การทิ้งน้ำในอัตราส่วนต่างๆ ดังตารางที่ 3.6 รายละเอียดการทดลองมีดังนี้

1) ภายหลังจากการทดลองส่วนที่ 1 จะนำตัวอย่างที่ได้ประสิทธิภาพและระยะเวลาการ เกิดก๊าซมีเทนที่ดีที่สุดของแต่ละชุดการทดลองของเศษข้าวและกากถั่วเหลือง และชุดที่มีเพียงน้ำมัน อย่างเดียวมาทำการทิ้งน้ำที่แตกต่างกัน 4 ค่า ได้แก่ การทิ้งน้ำ 10 20 50 และ 90 % ของปริมาตร ตัวอย่างทั้งหมด ตามลำดับ

2) ทิ้งให้ตกตะกอนแล้วคูดน้ำใสส่วนบนออก ทำการเติมน้ำตัวอย่างชนิดเดิมเข้าไปให้มี ความเข้มข้นและปริมาตรเท่าเดิม

3) เดินระบบ (ทำการเขย่าตลอดทุกช่วงการทดลอง) จนระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว (สังเกต จากอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพครั้งที่) ทำการวิเคราะห์ค่าของอายุตะกอน ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของน้ำ ตัวอย่าง ได้แก่ พีเอช อุณหภูมิ ซีโอดี กรดไขมันระเหย ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด ปริมาณ ของแข็งระเหยได้ ปริมาณของก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทน

4) ทำการประเมินประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด ปริมาณของแข็งระเหยได้ ปริมาณของก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทน



รูปที่ 3.3 ขั้นตอนการทดลองส่วนที่ 2

3.4 การหาค่าคงที่ของปฏิกิริยา (k_1)

การหาค่า k_1 ของสมการนั้นทำโดยการสร้างแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์โดยใช้โปรแกรม Microsoft Office Excel ให้เป็นไปตามปฏิกิริยาอันดับที่หนึ่งคือ $G = G_m * (1 - e^{-k_1 * (t-tL)})$ เพื่อหาค่า k_1 ที่เหมาะสมกับกราฟปริมาณการผลิตก๊าซชีวภาพ โดยสร้างแบบจำลองทั้งหมด 3 ค่า ที่ค่า k_1 ต่ำสุด สูงสุด และค่าเฉลี่ย

โดยที่	G	=	ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น (มล.)
	G_m	=	ปริมาณก๊าซชีวภาพสูงสุดที่สามารถเกิดขึ้นได้ (มล.)
	k_1	=	อัตราเร็วของปฏิกิริยา (1/วัน)
	t	=	ระยะเวลาการเกิดก๊าซชีวภาพ (วัน)
	tL	=	ระยะเวลาในการปรับตัวของการเกิดก๊าซชีวภาพ (วัน)

การสร้างแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์เพื่อหาอัตราการย่อยสลายเป็นไปตามปฏิกิริยาอันดับที่หนึ่งเช่นเดียวกัน คือ $VS = VS_0 * (e^{-k_1 * (t-tL)})$

โดยที่	VS	=	การย่อยสลาย (มก.)
	VS_0	=	การย่อยสลายสูงสุด (มก.)
	k_1	=	ค่าคงที่ของปฏิกิริยา (1/วัน)
	t	=	ระยะเวลา (วัน)
	tL	=	เวลาในการปรับตัว (วัน)

3.5 การหาค่าไนโตรเจนของการย่อยสลายน้ำมันพืช

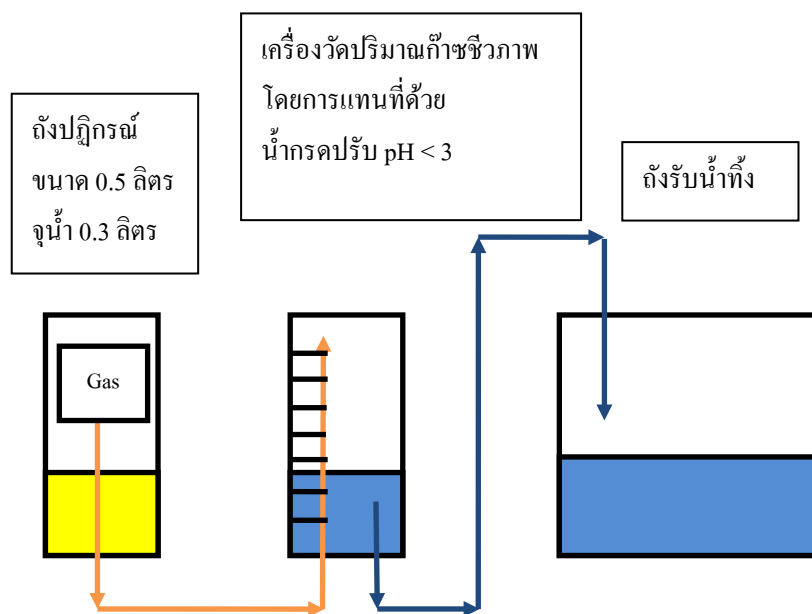
จาก Stoichiometry การย่อยสลายน้ำมันพืชที่เกิดปริมาณก๊าซชีวภาพที่ 0.55 ล. ต้องการไนโตรเจน 0.021 กรัม ที่อุณหภูมิ 30 °C

โดยที่	เศษข้าว 1 กรัม	ที่อัตราการบำบัด 100 %	จะมีไนโตรเจน 0.0095 กรัม
	กากถั่วเหลือง 1 กรัม	ที่อัตราการบำบัด 100 %	มีไนโตรเจน 0.0572 กรัม

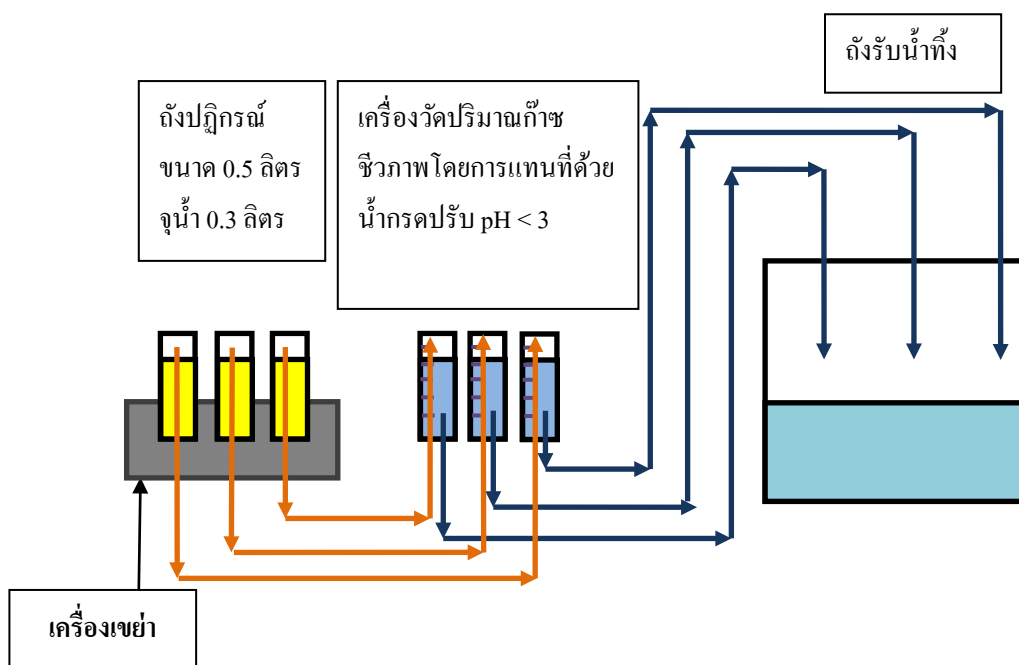
ตารางที่ 3.6 การทิ้งน้ำในอัตราส่วนต่างๆ

ขวดที่	รายละเอียด	ปริมาตรรวม (มิลลิลิตร)	ปริมาณน้ำที่ทิ้ง (%)
R10	ตะกอนจุลินทรีย์ + น้ำมันพืช + เศษ ข้าว	300	10%
R20			20%
R50			50%
R90			90%
S10	ตะกอนจุลินทรีย์ + น้ำมันพืช + กาก ถั่วเหลือง	300	10%
S20			20%
S50			50%
S90			90%
O10	ตะกอนจุลินทรีย์ + น้ำมันพืช	300	10%
O20			20%
O50			50%
O90			90%

3.6 การออกแบบระบบการย่อยสลายแบบไร้อากาศ



รูปที่ 3.4 การออกแบบระบบการย่อยสลายแบบไร้อากาศ 1 ชุดตัวอย่าง



รูปที่ 3.5 การออกแบบระบบการย่อยสลายแบบไร้อากาศหลายชุดตัวอย่าง

3.7 พารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์

ในการวิเคราะห์ลักษณะของน้ำเสียนั้น จะวิเคราะห์ทั้งทางกายภาพและเคมี โดยค่าพารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์ ได้แก่ พีเอช อุณหภูมิ กรดไขมันระเหย ซีโอดี ปริมาณและองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด ปริมาณของแข็งระเหยง่าย ซึ่งวิธีวิเคราะห์พารามิเตอร์ของน้ำเสีย ดังตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3.7 วิธีวิเคราะห์พารามิเตอร์ของน้ำเสีย

ค่าพารามิเตอร์	วิธีการวิเคราะห์
พีเอช	4500-H ⁺ B. Electrometric Method
ซีโอดี	5220 C. Close Reflux, Titrimetric Method
กรดไขมันระเหย	Direct Titration
ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด	2540 D. Total residual dried at 103 -105°C
ปริมาณของแข็งระเหยง่าย	2540 E. Fixed and Volatile Solids Ignite at 550°C
ปริมาณของก๊าซชีวภาพ	Displacement of water
องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ	2720 C. Gas Chromatographic Method
อุณหภูมิ	Electronic Thermometer Method

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 ลักษณะสมบัติของสารตั้งต้น

4.1.1 ตะกอนจุลินทรีย์

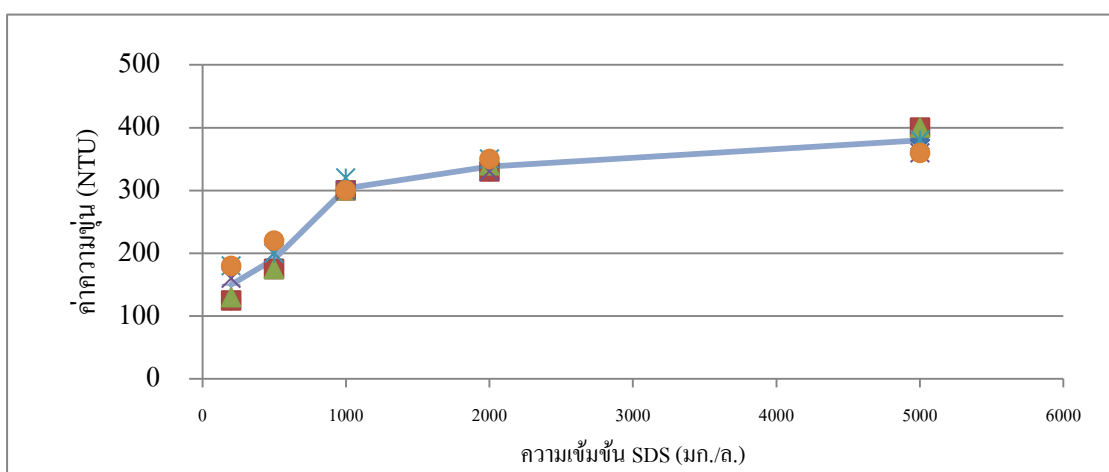
นำมาจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ บริษัท ปทุมธานีบริวเวอรี จำกัด ค่าพีเอชเริ่มต้นประมาณ 7.2 ค่าของแข็งทั้งหมดประมาณ 44,067 มก./ล. นำมาปรับสภาพโดยระบบแบบไร้อากาศ และเลี้ยงด้วยนมถั่วเหลือง ความเข้มข้น 5,000 มล./ล. ประมาณ 2 - 3 เดือน เนื่องจากนมถั่วเหลืองมีทั้งไขมัน โปรตีน และคาร์โบไฮเดรต เหตุที่เลือกใช้ตะกอนจุลินทรีย์ จากบริษัท ปทุมธานีบริวเวอรี จำกัด เพราะใช้ในการบำบัดคาร์โบไฮเดรตจากข้าวและโปรตีนจากยีสต์ในระบบยูเอเอสบี

4.1.2 ลักษณะและสมบัติของน้ำเสียสังเคราะห์

น้ำเสียที่ใช้เป็นน้ำเสียสังเคราะห์โดยเตรียมขึ้นจากน้ำประปาผสมตะกอนจุลินทรีย์ที่ความเข้มข้น 20,000 มก./ล. นำมาปนเปื้อนร่วมกับน้ำมันพืชที่ความเข้มข้น 2,000 มก./ล. และมีการเติมเศษอาหารที่ความเข้มข้น 0 1,000 2,000 และ 4,000 มก./ล. ตามลำดับ

4.1.3 สารลดแรงตึงผิว

การหาความเข้มข้นของ SDS ที่เหมาะสำหรับการทดลองนี้ ศึกษาโดยนำ SDS ที่ความเข้มข้น 500 – 5,000 มก./ล. มาเติมร่วมกับน้ำมันความเข้มข้นที่ใช้คือ 2,000 มก./ล. และหาค่าความขุ่นเนื่องจากความขุ่นที่เกิดขึ้นเนื่องจากการละลายของไขมันสู่น้ำจึงทำให้ความขุ่นเพิ่มขึ้น (รูปที่ 4.1) จนความขุ่นค่อนข้างคงที่การทดลองนี้จึงเลือกใช้ SDS ที่ความเข้มข้น 2,000 มก./ล.



รูปที่ 4.1 กราฟมาตรฐานค่าความขุ่น

4.2 ผลการศึกษาในการทดลองส่วนที่ 1

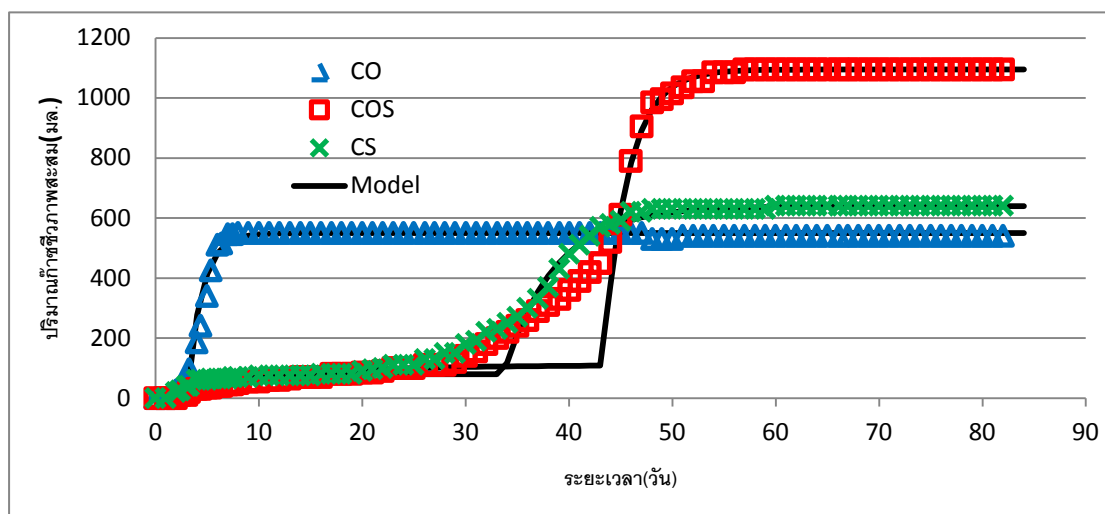
4.2.1 ปริมาณก๊าซชีวภาพ

ปริมาณก๊าซชีวภาพของตะกอนจุลินทรีย์ร่วมกับน้ำมันที่ความเข้มข้น 2,000 มก./ล. (CO) มีค่าเท่ากับ 550 มล. มีค่า k_1 เฉลี่ย เท่ากับ 0.703 ± 0.282 ต่อวัน

ปริมาณก๊าซชีวภาพของตะกอนจุลินทรีย์ร่วมกับน้ำมันที่ความเข้มข้น 2,000 มก./ล. และ สารลดแรงตึงผิวที่ความเข้มข้น 2,000 มก./ล. (COS) มีค่าเท่ากับ 1,095 มล. มีค่า k_1 ช่วงที่หนึ่ง เฉลี่ย เท่ากับ 0.104 ± 0.049 ต่อวัน มีค่า k_2 ช่วงที่สอง เฉลี่ย เท่ากับ 0.420 ± 0.108 ต่อวัน

ปริมาณก๊าซชีวภาพของตะกอนจุลินทรีย์ร่วมกับสารลดแรงตึงผิวที่ความเข้มข้น 2,000 มก./ล. (CS) มีค่าเท่ากับ 640 มล. มีค่า k_1 ช่วงที่หนึ่ง เฉลี่ย เท่ากับ 0.353 ± 0.116 ต่อวัน มีค่า k_2 ช่วงที่สอง เฉลี่ย เท่ากับ 0.202 ± 0.036 ต่อวัน

จากรูปที่ 4.2 แสดงให้เห็นว่าชุดควบคุมที่ใส่ SDS มีระยะเวลาในการปรับตัวนานกว่าชุดควบคุมที่ไม่ได้ใส่ SDS ทั้งนี้ชุด COS มีปริมาณก๊าซชีวภาพสูงกว่าชุด CO และ CS เนื่องมาจากชุด COS มีปริมาณสารตั้งต้นเพิ่มขึ้นคือมีทั้งน้ำมันและ SDS รวมกันจึงทำให้มีปริมาณก๊าซชีวภาพสูง



รูปที่ 4.2 ปริมาณก๊าซชีวภาพของตัวอย่างการทดลอง CO COS และ CS

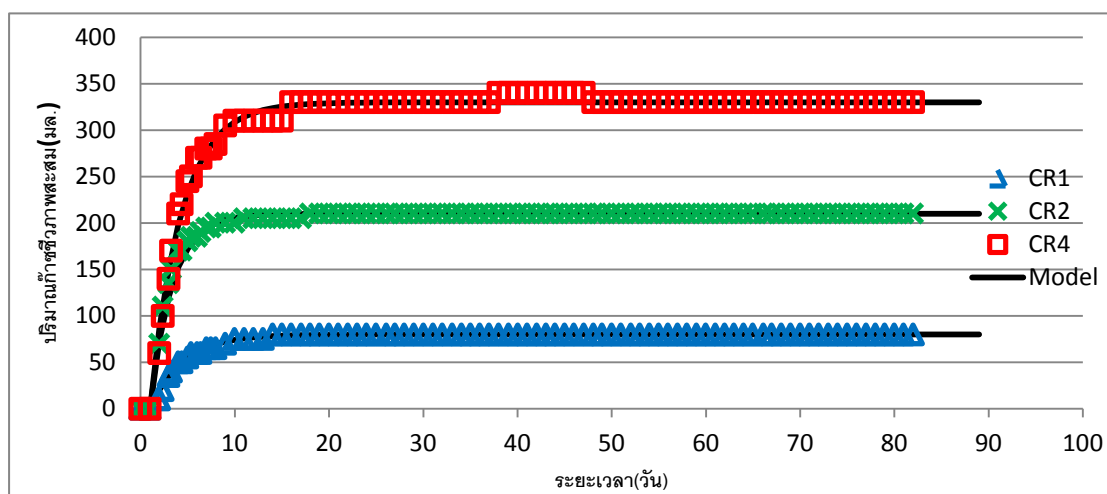
- ▲ CO = ชุดควบคุมของน้ำมันที่ความเข้มข้น 2,000 มก./ล.
- × COS = ชุดควบคุมของน้ำมันและ SDS ที่ความเข้มข้น 2,000 มก./ล.
- CS = ชุดควบคุมของ SDS ที่ความเข้มข้น 2,000 มก./ล.

ปริมาณก๊าซชีวภาพของตะกอนจุลินทรีย์ร่วมกับเศษข้าวที่ความเข้มข้น 1,000 มก./ล. (CR1) มีค่าเท่ากับ 80 มล. มีค่า k_1 เฉลี่ย เท่ากับ 0.294 ± 0.063 ต่อวัน

ปริมาณก๊าซชีวภาพของตะกอนจุลินทรีย์ร่วมกับเศษข้าวที่ความเข้มข้น 2,000 มก./ล. (CR2) มีค่าเท่ากับ 210 มล. มีค่า k_1 เฉลี่ย เท่ากับ 0.431 ± 0.180 ต่อวัน

ปริมาณก๊าซชีวภาพของตะกอนจุลินทรีย์ร่วมกับเศษข้าวที่ความเข้มข้น 4,000 มก./ล. (CR4) มีค่าเท่ากับ 330 มล. มีค่า k_1 เฉลี่ย เท่ากับ 0.305 ± 0.094 ต่อวัน

จากรูปที่ 4.3 แสดงให้เห็นว่าปริมาณก๊าซชีวภาพเพิ่มตามความเข้มข้นของชุดควบคุมของเศษข้าวที่เพิ่มขึ้น โดยชุดควบคุม CR4 มีปริมาณก๊าซชีวภาพสูงที่สุดเนื่องจากมีปริมาณเศษข้าวที่ใช้เป็นสารตั้งต้นสูงที่สุด ชุด CR2 และ ชุด CR1 มีค่าลดลงตามลำดับ



รูปที่ 4.3 ปริมาณก๊าซชีวภาพของตัวอย่างการทดลอง CR1 CR2 และ CR4

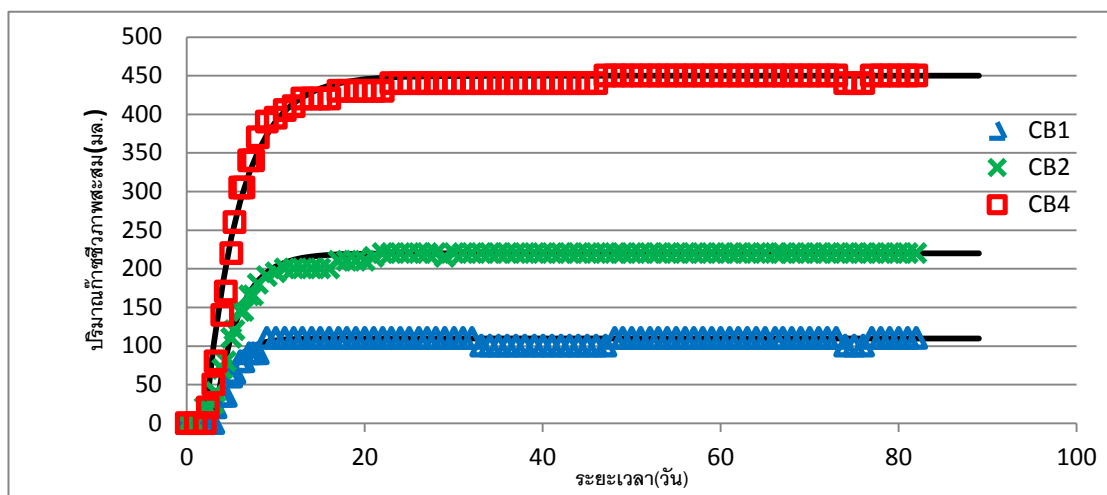
- ▲ CR1 = ชุดควบคุมของเศษข้าวที่ความเข้มข้น 1,000 มก./ล.
- × CR2 = ชุดควบคุมของเศษข้าวที่ความเข้มข้น 2,000 มก./ล.
- CR4 = ชุดควบคุมของเศษข้าวที่ความเข้มข้น 4,000 มก./ล.

ปริมาณก๊าซชีวภาพของตะกอนจุลินทรีย์ร่วมกับกากถั่วเหลืองที่ความเข้มข้น 1,000 มก./ล. (CB1) มีค่าเท่ากับ 110 มล. มีค่า k_1 เฉลี่ย เท่ากับ 0.538 ± 0.210 ต่อวัน

ปริมาณก๊าซชีวภาพของตะกอนจุลินทรีย์ร่วมกับกากถั่วเหลืองที่ความเข้มข้น 2,000 มก./ล. (CB2) มีค่าเท่ากับ 220 มล. มีค่า k_1 เฉลี่ย เท่ากับ 0.366 ± 0.182 ต่อวัน

ปริมาณก๊าซชีวภาพของตะกอนจุลินทรีย์ร่วมกับกากถั่วเหลืองที่ความเข้มข้น 4,000 มก./ล. (CB4) มีค่าเท่ากับ 450 มล. มีค่า k_1 เฉลี่ย เท่ากับ 0.254 ± 0.110 ต่อวัน

จากรูปที่ 4.4 แสดงให้เห็นว่าปริมาณก๊าซชีวภาพเพิ่มตามความเข้มข้นของชุดควบคุมของกากถั่วเหลืองที่เพิ่มขึ้น โดยชุดควบคุม CB4 มีปริมาณก๊าซชีวภาพสูงที่สุดเนื่องจากมีปริมาณกากถั่วเหลืองที่ใช้เป็นสารตั้งต้นสูงที่สุด ชุด CB2 และ ชุด CB1 มีค่าลดลงตามลำดับ



รูปที่ 4.4 ปริมาณก๊าซชีวภาพของตัวอย่างการทดลอง CB1 CB2 และ CB4

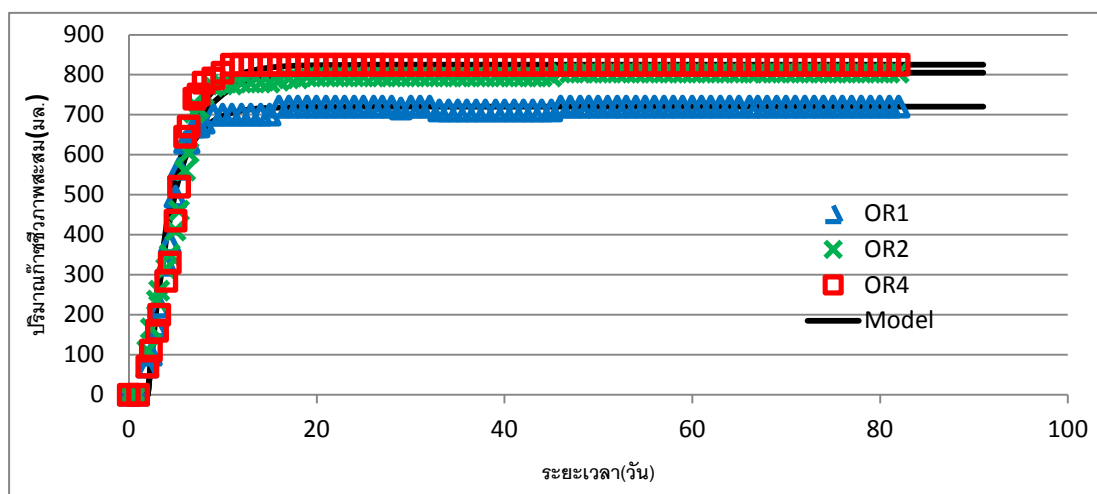
- ▲ CB1 = ชุดควบคุมของกากถั่วเหลืองที่ความเข้มข้น 1,000 มก./ล.
- × CB2 = ชุดควบคุมของกากถั่วเหลืองที่ความเข้มข้น 2,000 มก./ล.
- CB4 = ชุดควบคุมของกากถั่วเหลืองที่ความเข้มข้น 4,000 มก./ล.

ปริมาณก๊าซชีวภาพของตะกอนจุลินทรีย์ร่วมกับน้ำมันที่ความเข้มข้น 2,000 มก./ล. และเศษข้าวที่ความเข้มข้น 1,000 มก./ล. (OR1) มีค่าเท่ากับ 720 มล. มีค่า k_1 เฉลี่ย เท่ากับ 0.434 ± 0.178 ต่อวัน

ปริมาณก๊าซชีวภาพของตะกอนจุลินทรีย์ร่วมกับน้ำมันที่ความเข้มข้น 2,000 มก./ล. และเศษข้าวที่ความเข้มข้น 2,000 มก./ล. (OR2) มีค่าเท่ากับ 805 มล. มีค่า k_1 เฉลี่ย 0.340 ± 0.157 ต่อวัน

ปริมาณก๊าซชีวภาพของตะกอนจุลินทรีย์ร่วมกับน้ำมันที่ความเข้มข้น 2,000 มก./ล. และเศษข้าวที่ความเข้มข้น 4,000 มก./ล. (OR4) มีค่าเท่ากับ 825 มล. มีค่า k_1 เฉลี่ย เท่ากับ 0.366 ± 0.151 ต่อวัน

ปริมาณของก๊าซชีวภาพของชุดตัวอย่างของเศษข้าวที่ใส่ร่วมกับน้ำมันจะเพิ่มขึ้นจนถึงความเข้มข้นของเศษข้าวที่ 2,000 มก./ล. หลังจากนั้นปริมาณก๊าซชีวภาพจะคงที่เนื่องจากเศษข้าวมีแหล่งไนโตรเจนไม่เพียงพอสำหรับใช้ในการย่อยสลายน้ำมันพืช ค่าคงที่ของการเกิดปฏิกิริยา (k_1) ชุดตัวอย่าง OR1 มีค่าสูงที่สุด (รูปที่ 4.5)



รูปที่ 4.5 ปริมาณก๊าซชีวภาพของตัวอย่างการทดลอง OR1 OR2 และ OR4

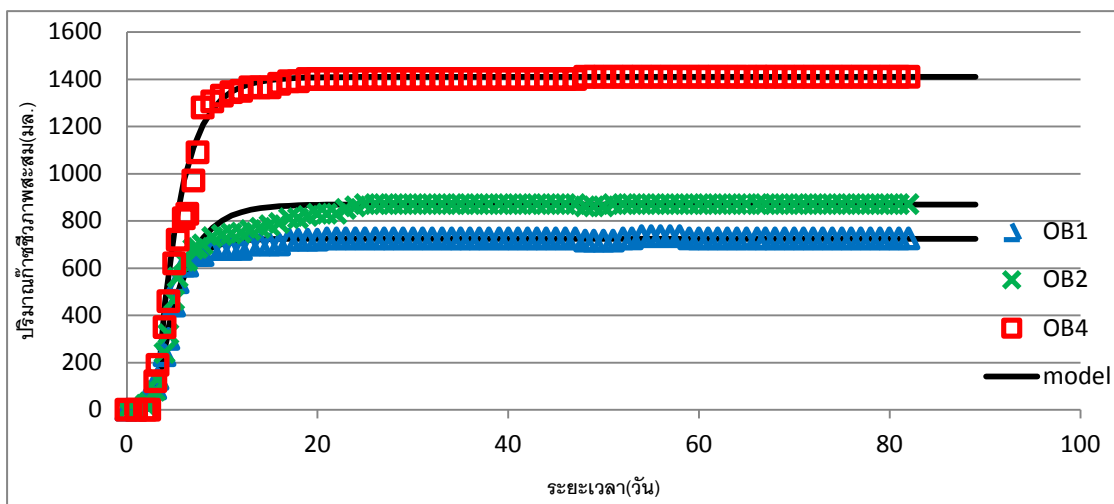
- ▲ OR1 = ชุดตัวอย่างของเศษข้าวที่ความเข้มข้น 1,000 มก./ล.
- × OR2 = ชุดตัวอย่างของเศษข้าวที่ความเข้มข้น 2,000 มก./ล.
- OR4 = ชุดตัวอย่างของเศษข้าวที่ความเข้มข้น 4,000 มก./ล.

ปริมาณก๊าซชีวภาพของตะกอนจุลินทรีย์ร่วมกับน้ำมันที่ความเข้มข้น 2,000 มก./ล. และกากถั่วเหลืองที่ความเข้มข้น 1,000 มก./ล. (OB1) มีค่าเท่ากับ 725 มล. มีค่า k_1 เฉลี่ย เท่ากับ 0.501 ± 0.254 ต่อวัน

ปริมาณก๊าซชีวภาพของตะกอนจุลินทรีย์ร่วมกับน้ำมันที่ความเข้มข้น 2,000 มก./ล. และกากถั่วเหลืองที่ความเข้มข้น 2,000 มก./ล. (OB2) มีค่าเท่ากับ 870 มล. มีค่า k_1 เฉลี่ย เท่ากับ 0.364 ± 0.194 ต่อวัน

ปริมาณก๊าซชีวภาพของตะกอนจุลินทรีย์ร่วมกับน้ำมันที่ความเข้มข้น 2,000 มก./ล. และกากถั่วเหลืองที่ความเข้มข้น 4,000 มก./ล. (OB4) มีค่าเท่ากับ 1,410 มล. มีค่า k_1 เฉลี่ย เท่ากับ 0.389 ± 0.144 ต่อวัน

ปริมาณก๊าซชีวภาพชุดตัวอย่างของกากถั่วเหลืองที่ใส่ร่วมกับน้ำมันจะเพิ่มเรื่อยๆ ตามความเข้มข้นของกากถั่วเหลืองที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากมีแหล่งไนโตรเจนที่มากเกินพอสำหรับการย่อยสลายน้ำมันพืช ค่าคงที่ของการเกิดปฏิกิริยา (k_1) ชุดตัวอย่าง OB1 มีค่าสูงที่สุด (รูปที่ 4.6)



รูปที่ 4.6 ปริมาณก๊าซชีวภาพของตัวอย่างการทดลอง OB1 OB2 และ OB4

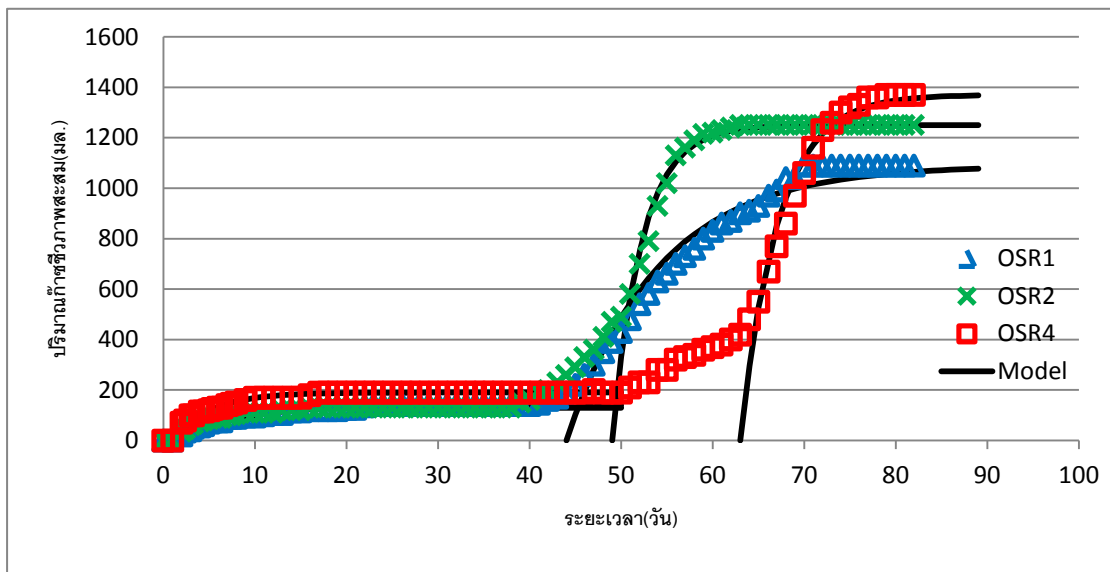
- ▲ OB1 = ชุดตัวอย่างของกากถั่วเหลืองที่ความเข้มข้น 1,000 มก./ล.
- × OB2 = ชุดตัวอย่างของกากถั่วเหลืองที่ความเข้มข้น 2,000 มก./ล.
- OB4 = ชุดตัวอย่างของกากถั่วเหลืองที่ความเข้มข้น 4,000 มก./ล.

ปริมาณก๊าซชีวภาพของตะกอนจุลินทรีย์ร่วมกับน้ำมันและสารลดแรงตึงผิวที่ความเข้มข้น 2,000 มก./ล. และเศษข้าวที่ความเข้มข้น 1,000 มก./ล. (OSR1) มีค่าเท่ากับ 1,090 มล. มีค่า k_1 ช่วงที่หนึ่ง เฉลี่ย เท่ากับ 0.140 ± 0.045 ต่อวัน มีค่า k_2 ช่วงที่สอง เฉลี่ย เท่ากับ 0.099 ± 0.017 ต่อวัน

ปริมาณก๊าซชีวภาพของตะกอนจุลินทรีย์ร่วมกับน้ำมันและสารลดแรงตึงผิวที่ความเข้มข้น 2,000 มก./ล. และเศษข้าวที่ความเข้มข้น 2,000 มก./ล. (OSR2) มีค่าเท่ากับ 1,250 มล. มีค่า k_1 ช่วงที่หนึ่ง เฉลี่ย เท่ากับ 0.276 ± 0.103 ต่อวัน มีค่า k_2 ช่วงที่สอง เฉลี่ย เท่ากับ 0.309 ± 0.046 ต่อวัน

ปริมาณก๊าซชีวภาพของตะกอนจุลินทรีย์ร่วมกับน้ำมันและสารลดแรงตึงผิวที่ความเข้มข้น 2,000 มก./ล. และเศษข้าวที่ความเข้มข้น 4,000 มก./ล. (OSR4) มีค่าเท่ากับ 1,370 มล. มีค่า k_1 ช่วงที่หนึ่ง เฉลี่ย เท่ากับ 0.244 ± 0.070 ต่อวัน มีค่า k_2 ช่วงที่สอง เฉลี่ย เท่ากับ 0.243 ± 0.059 ต่อวัน

ชุดตัวอย่างที่ใส่ SDS เพิ่มในชุดตัวอย่างของเศษข้าวร่วมกับน้ำมัน มีปริมาณก๊าซชีวภาพเพิ่มตามความเข้มข้นของเศษข้าวที่ใส่ แต่จะมีระยะเวลาในการปรับตัวนานขึ้น (รูปที่ 4.7)



รูปที่ 4.7 ปริมาณก๊าซชีวภาพของตัวอย่างการทดลอง OSR1 OSR2 และ OSR4

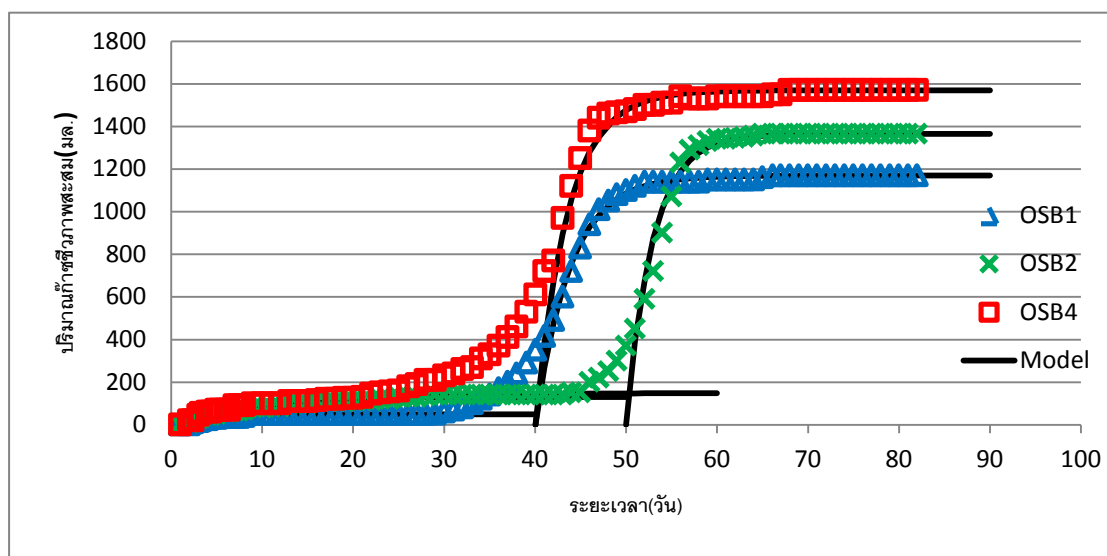
- ▲ OSR1 = ชุดตัวอย่างของเศษข้าวที่ความเข้มข้น 1,000 มก./ล. + SDS 2,000 มก./ล.
- × OSR2 = ชุดตัวอย่างของเศษข้าวที่ความเข้มข้น 2,000 มก./ล. + SDS 2,000 มก./ล.
- OSR4 = ชุดตัวอย่างของเศษข้าวที่ความเข้มข้น 4,000 มก./ล. + SDS 2,000 มก./ล.

ปริมาณก๊าซชีวภาพของตะกอนจุลินทรีย์ร่วมกับน้ำมันและสารลดแรงตึงผิวที่ความเข้มข้น 2,000 มก./ล. และกากถั่วเหลืองที่ความเข้มข้น 1,000 มก./ล. (OSB1) มีค่าเท่ากับ 1,170 มล. มีค่า k_1 ช่วงที่หนึ่ง เฉลี่ย เท่ากับ 0.228 ± 0.124 ต่อวัน มีค่า k_2 ช่วงที่สองเฉลี่ย เท่ากับ 0.263 ± 0.042 ต่อวัน

ปริมาณก๊าซชีวภาพของตะกอนจุลินทรีย์ร่วมกับน้ำมันและสารลดแรงตึงผิวที่ความเข้มข้น 2,000 มก./ล. และกากถั่วเหลืองที่ความเข้มข้น 2,000 มก./ล. (OSB2) มีค่าเท่ากับ 1,365 มล. มีค่า k_1 ช่วงที่หนึ่ง เฉลี่ย เท่ากับ 0.081 ± 0.017 ต่อวัน มีค่า k_2 ช่วงที่สอง เฉลี่ย เท่ากับ 0.342 ± 0.111 ต่อวัน

ปริมาณก๊าซชีวภาพของตะกอนจุลินทรีย์ร่วมกับน้ำมันและสารลดแรงตึงผิวที่ความเข้มข้น 2,000 มก./ล. และกากถั่วเหลืองที่ความเข้มข้น 4,000 มก./ล. (OSB4) มีค่าเท่ากับ 1,570 มล. มีค่า k_1 ช่วงที่หนึ่ง เฉลี่ย เท่ากับ 0.173 ± 0.070 ต่อวัน มีค่า k_2 ช่วงที่สอง เฉลี่ย เท่ากับ 0.282 ± 0.105 ต่อวัน

ชุดตัวอย่างที่ใส่ SDS เพิ่มในชุดตัวอย่างของกากถั่วเหลืองร่วมกับน้ำมัน มีปริมาณก๊าซชีวภาพเพิ่มตามความเข้มข้นของกากถั่วเหลืองที่ใส่ แต่จะมีระยะเวลาในการปรับตัวนานขึ้น (รูปที่ 4.8)



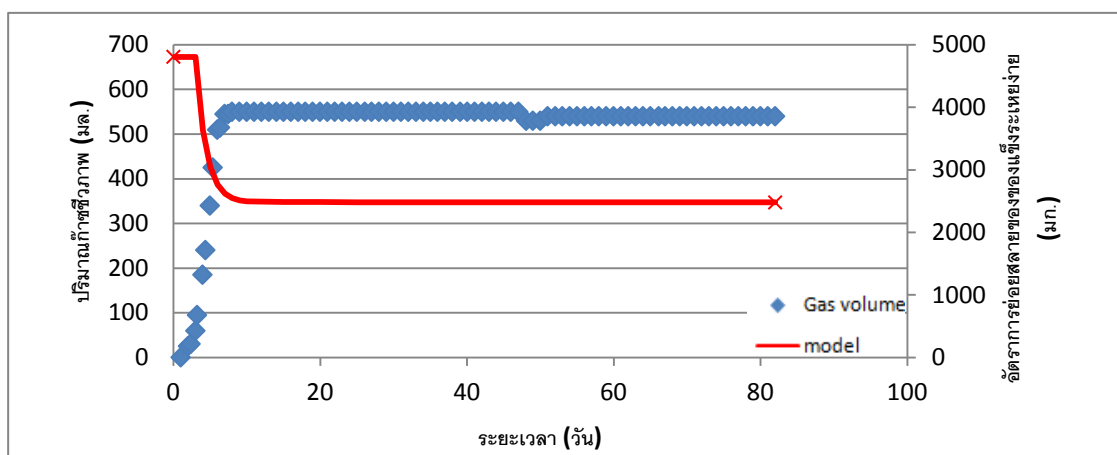
รูปที่ 4.8 ปริมาณก๊าซชีวภาพของตัวอย่างการทดลอง OSB1 OSB2 และ OSB4

- ▲ OSB1 = ชุดตัวอย่างของกากถั่วเหลืองที่ความเข้มข้น 1,000 มก./ล. + SDS 2,000 มก./ล.
- × OSB2 = ชุดตัวอย่างของกากถั่วเหลืองที่ความเข้มข้น 2,000 มก./ล. + SDS 2,000 มก./ล.
- OSB4 = ชุดตัวอย่างของกากถั่วเหลืองที่ความเข้มข้น 4,000 มก./ล. + SDS 2,000 มก./ล.

4.2.2 ตัวอย่างแบบจำลองอัตราการย่อยสลายของของแข็งระเหยง่าย

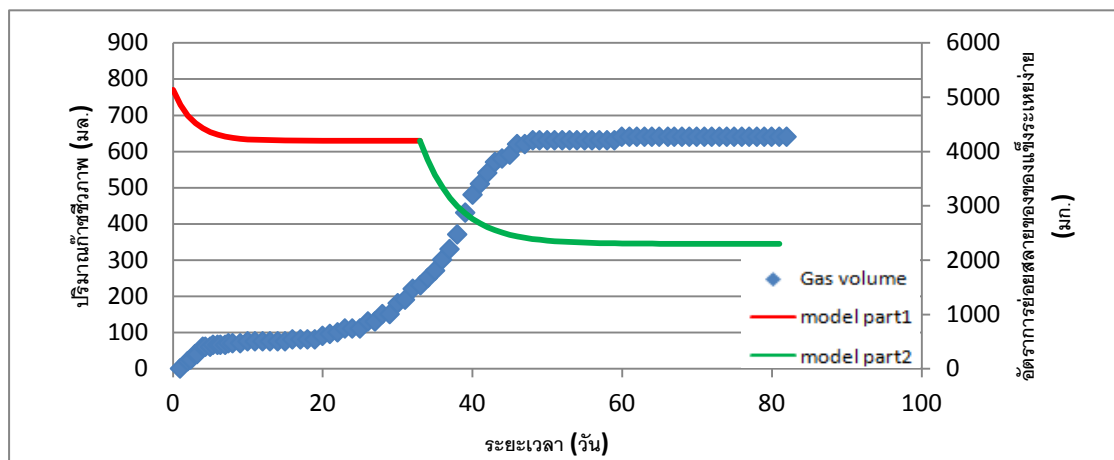
การศึกษานี้เป็นการสร้างแบบจำลองของการย่อยสลายของแข็งระเหยง่ายซึ่งอัตราการย่อยสลายเท่ากับอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพจึงนำค่า k_p เฉลี่ยของการผลิตก๊าซชีวภาพมาใช้

จึงแสดงตัวอย่างของแบบจำลองอัตราการย่อยสลายของของแข็งระเหยง่ายของตะกอนจุลินทรีย์ร่วมกับน้ำมันที่ความเข้มข้น 2,000 มก./ล. ซึ่งเป็นตัวอย่างของชุดการทดลองที่ใส่เศษอาหารที่ไม่เติม SDS ดังรูปที่ 4.9



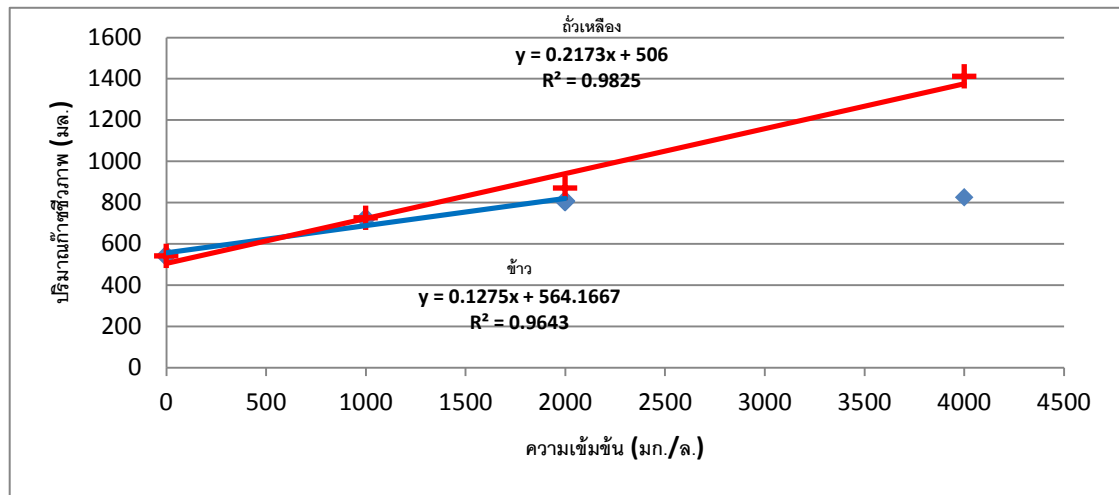
รูปที่ 4.9 ตัวอย่างของแบบจำลองอัตราการย่อยสลายของของแข็งระเหยง่ายของตะกอนจุลินทรีย์ร่วมกับน้ำมันที่ความเข้มข้น 2,000 มก./ล.

และตัวอย่างของอัตราการย่อยสลายของของแข็งระเหยง่ายของตะกอนจุลินทรีย์ร่วมกับสารลดแรงตึงผิวที่ความเข้มข้น 2,000 มก./ล. ซึ่งจะเห็นว่าอัตราการย่อยสลาย เป็น 2 ช่วง ช่วงแรกอาจอยู่ในช่วงของการปรับตัวของตะกอนจุลินทรีย์ หลังจากนั้นจึงเกิดการย่อยสลายตามปกติในช่วงที่ 2 ดังรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 อัตราการย่อยสลายของของแข็งระเหยง่ายของตะกอนจุลินทรีย์ร่วมกับสารลดแรงตึงผิวที่ความเข้มข้น 2,000 มก./ล.

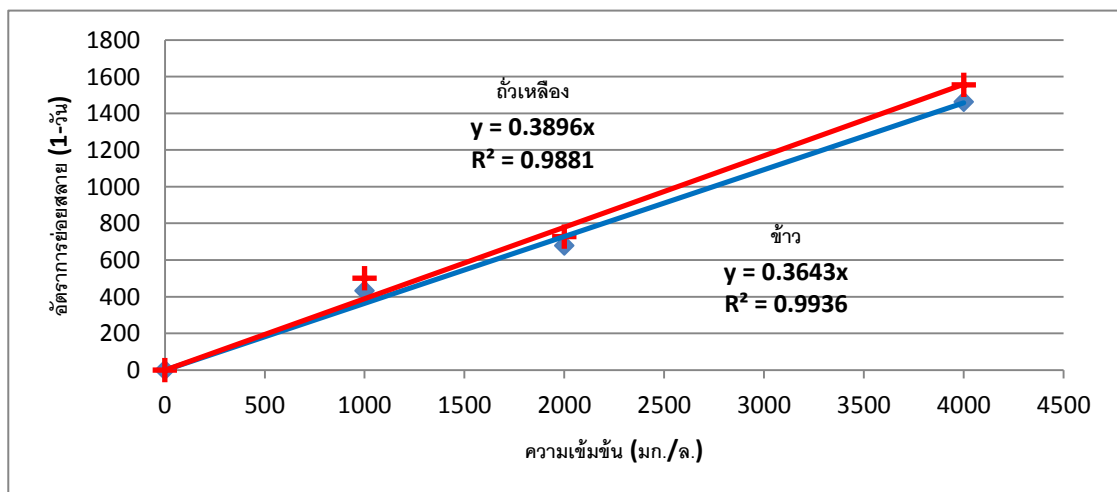
จากปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นดังที่ได้แสดงแล้วนั้น เมื่อไม่มีอาหารอื่น ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดจากน้ำมันเท่ากับ 0.23 มล./มก. ส่วนปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดจากการใส่เศษข้าวร่วมกับน้ำมันและกากถั่วเหลืองร่วมกับน้ำมันเท่ากับ 0.43 มล./มก. และ 0.72 มล./มก. ตามลำดับ จากงานวิจัยที่ผ่านมพบว่า การเติมไขมันจากบ่อคักไขมันร่วมกับตะกอนน้ำเสีย โดยมีไขมัน 25 % ร่วมกับตะกอนน้ำเสีย 75 % ได้ปริมาณก๊าซชีวภาพเท่ากับ 0.47 มล./มก. และเติมไขมัน 60 % ร่วมกับตะกอนน้ำเสีย 40 % ได้ปริมาณก๊าซชีวภาพเท่ากับ 0.68 มล./มก. (Davidsson และคณะ, 2008) ซึ่งมีปริมาณใกล้เคียงกับผลการทดลองที่ได้ การเติมเศษข้าวให้มีความเข้มข้นที่สูงกว่า 2,000 มก./ล. ไม่ช่วยให้เกิดก๊าซชีวภาพมากขึ้น อาจเนื่องจากข้าวมีปริมาณแหล่งไนโตรเจนที่จำกัด แต่การใส่กากถั่วเหลืองที่ความเข้มข้นสูงขึ้นช่วยทำให้เกิดปริมาณก๊าซชีวภาพเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากมีปริมาณแหล่งไนโตรเจนที่มากเกินไป ดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 ปริมาณไข่ชีวภาพสูงสุดเทียบกับความเข้มข้นของเพศขาวและกากตัวเหลือง

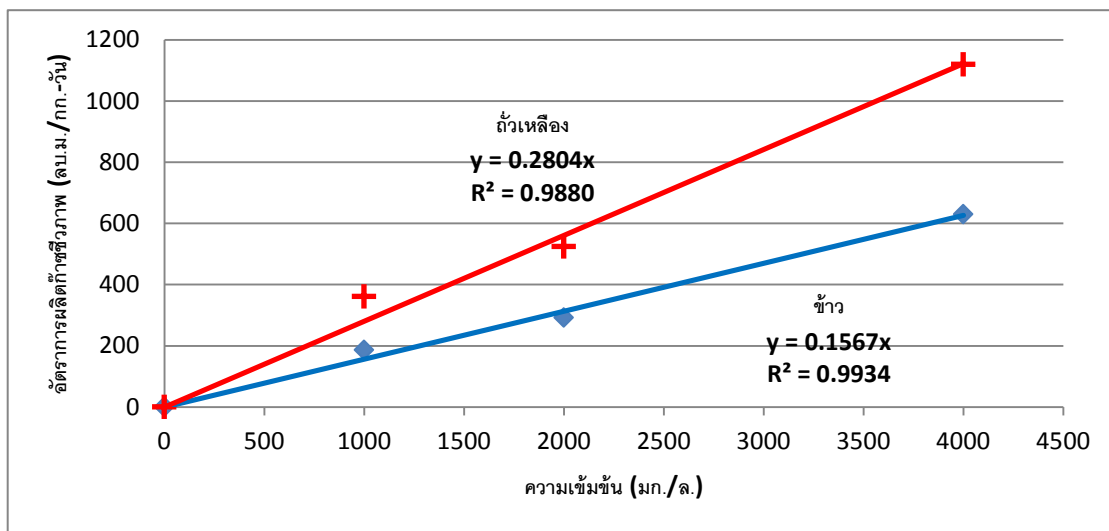
หมายเหตุ; + = ตัวเหลือง ◆ = เพศขาว

ผลการทดลองพบว่าปฏิกิริยาการเกิดไข่ชีวภาพเป็นปฏิกิริยาอันดับ 1 ขึ้นกับความเข้มข้นของเศษอาหาร ค่าคงที่การย่อยสลาย (k_1) ของเพศขาวและกากตัวเหลืองมีค่าใกล้เคียงกันโดยการใส่กากตัวเหลืองและเพศขาวมีค่า k_1 เท่ากับ 0.390 และ 0.364 ต่อวัน ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.12 ในขณะที่ค่าคงที่ของการผลิตไข่ชีวภาพของกากตัวเหลืองมีค่ามากกว่าเพศขาว มีค่า k_1 เท่ากับ 0.280 และ 0.157 ลบ.ม.ต่อ กก.ของแข็งระเหยง่าย - วัน ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.12 อัตราการย่อยสลายเทียบกับความเข้มข้นของเพศขาวและกากตัวเหลือง

หมายเหตุ; + = ตัวเหลือง ◆ = เพศขาว



รูปที่ 4.13 อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพเทียบกับความเข้มข้นของเศษข้าวและกากถั่วเหลือง

หมายเหตุ; + = ถั่วเหลือง ◆ = เศษข้าว

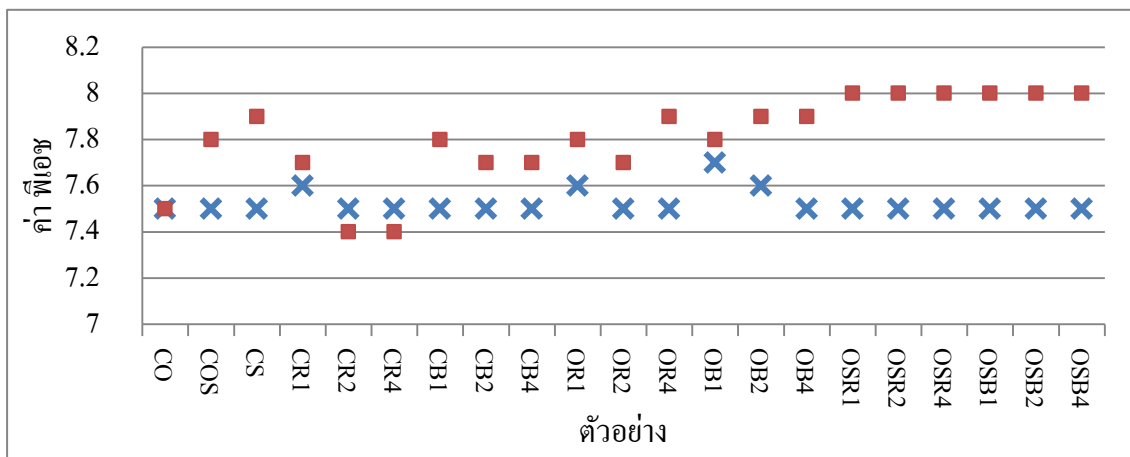
จากผลการทดลอง ถึงแม้ความเข้มข้นของเศษข้าวและกากถั่วเหลืองที่ความเข้มข้น 2,000 และ 4,000 มก./ล. จะได้ปริมาณก๊าซชีวภาพมากกว่า แต่ไม่ได้มากกว่าตามความเข้มข้นที่ได้ และชุดตัวอย่างที่ใส่สารลดแรงตึงผิวเนื่องจากใช้ระยะเวลาานทั้งในช่วงการปรับสภาพและการผลิตก๊าซชีวภาพแต่ปริมาณก๊าซชีวภาพไม่ได้เพิ่มมากขึ้น ดังนั้นจึงเลือกตัวอย่างของเศษข้าวและกากถั่วเหลืองที่ความ 1,000 มก./ล. มาดำเนินการวิจัยในส่วนที่ 2 ต่อไป เนื่องจากมีค่า k_1 มากที่สุดของทั้งกากถั่วเหลืองและเศษข้าวและปริมาณการผลิตก๊าซชีวภาพที่เหมาะสม

4.2.3 อุณหภูมิ (Temperature)

อุณหภูมิที่ใช้ในการทดลองคืออุณหภูมิห้องซึ่งอยู่ช่วงเมโซฟิลิก (Mesophilic range) มีช่วงอุณหภูมิประมาณ 29 - 32°C

4.2.4 ค่าพีเอช (pH)

ค่าพีเอชที่ได้จากการทดลองก่อนเดินระบบมีค่าประมาณ 7.5 และหลังจากระบบเข้าสู่สถานะคงที่ค่าพีเอชมีค่าประมาณ 7.4 – 8.0 ซึ่งค่าพีเอชที่เพิ่มขึ้นนั้นการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียใช้ C, H, O เพื่อสร้างก๊าซชีวภาพซึ่งน่าจะปล่อย N ออกมาในรูปของ NH₃ ลงมาในน้ำ pH จึงสูงขึ้น ดังรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 ค่าพีเอชก่อนและหลังการทดลองในส่วนที่ 1

หมายเหตุ: X = ก่อนการทดลอง ■ = หลังการทดลอง

4.2.5 ค่ากรดไขมันระเหยง่าย

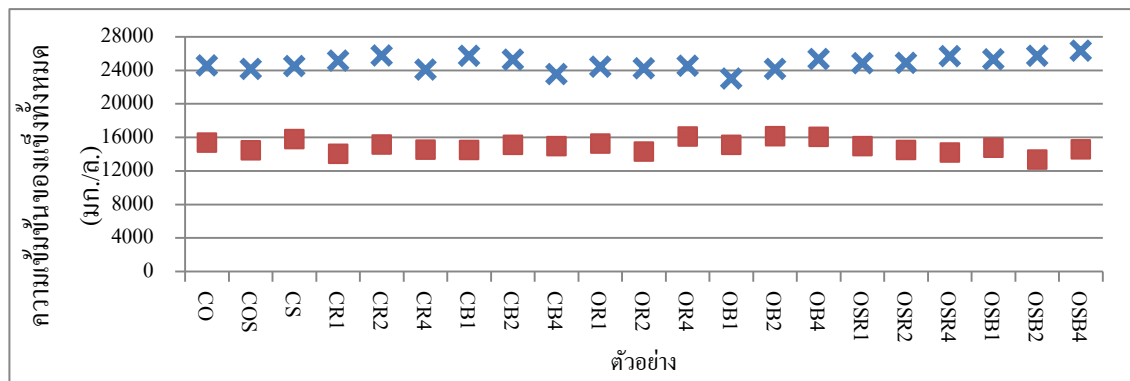
จากการทดลองส่วนที่ 1 พบว่าอัตราส่วนกรดไขมันระเหยง่ายต่อสภาพต่างทั้งหมดของทุกชุดการทดลองมีค่าน้อยกว่า 0.4 แสดงให้เห็นว่าระบบมีบีโอฟิล์เพียงพอในการควบคุมไม่ให้ค่าพีเอชลดลงอย่างรวดเร็วจนระบบล่มได้ ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ค่ากรดไขมันระเหยง่ายการทดลองส่วนที่ 1

ตัวอย่าง	กรดไขมันระเหยง่าย (มก./ล.)	สภาพความเป็นด่าง ทั้งหมด (มก./ล.)	อัตราส่วนกรดไขมัน ระเหยง่ายต่อสภาพ ด่างทั้งหมด
CO	50	1,200	0.041667
COS	100	2,537.5	0.039409
CS	68.75	1,456.25	0.04721
CR1	75	1,875	0.04
CR2	81.25	2,862.5	0.028384
CR4	75	2,662.5	0.028169
CB1	56.25	1,437.5	0.03913
CB2	62.5	1,525	0.040984
CB4	68.75	1,312.5	0.052381
OR1	75	1,425	0.052632
OR2	75	2,562.5	0.029268
OR4	68.75	1,512.5	0.045455
OB1	62.5	1,700	0.036765
OB2	87.5	1,775	0.049296
OB4	81.25	2,725	0.029817
OSR1	81.25	2,725	0.029817
OSR2	93.75	1,887.5	0.049669
OSR4	62.5	1,487.5	0.042017
OSB1	56.25	1,262.5	0.044554
OSB2	81.25	2,562.5	0.031707
OSB4	87.5	2,837.5	0.030837

4.2.6 ค่าของแข็งทั้งหมด (TS)

ทุกตัวอย่างการทดลองค่าความเข้มข้นของของแข็งทั้งหมดมีค่าเริ่มต้นประมาณ 22,983 มก./ล. ถึง 26,283 มก./ล. และเมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ค่าของแข็งทั้งหมดถูกย่อยสลายและเกิดผลผลิตเป็นก๊าซชีวภาพขึ้นจนลดลงเหลือประมาณ 13,317 มก./ล. ถึง 16,067 มก./ล. ซึ่งมีประสิทธิภาพในการกำจัดประมาณ 33.2 % - 48.1 % ดังรูปที่ 4.15

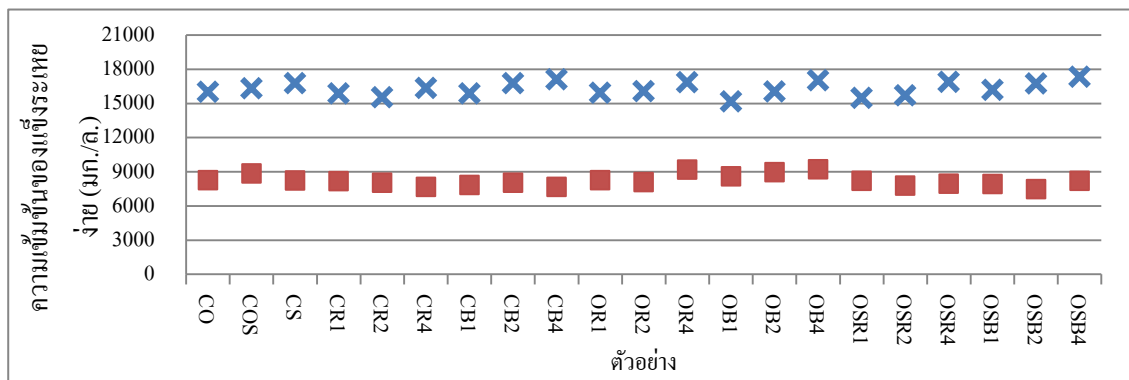


รูปที่ 4.15 ค่าของแข็งทั้งหมดก่อนและหลังการทดลองในส่วนที่ 1

หมายเหตุ; X = ก่อนการทดลอง ■ = หลังการทดลอง

4.2.7 ค่าของแข็งระเหยง่าย (VS)

ทุกตัวอย่างการทดลองค่าความเข้มข้นของของแข็งระเหยง่ายมีค่าเริ่มต้นประมาณ 15,183 มก./ล. ถึง 17,350 มก./ล. และเมื่อเข้าสู่สภาวะคงที่ถูกย่อยสลายจนลดลงเหลือประมาณ 7,467 มก./ล. ถึง 9,217 มก./ล. ซึ่งมีประสิทธิภาพในการกำจัดประมาณ 43.5 % - 55.4 % ดังรูปที่ 4.16

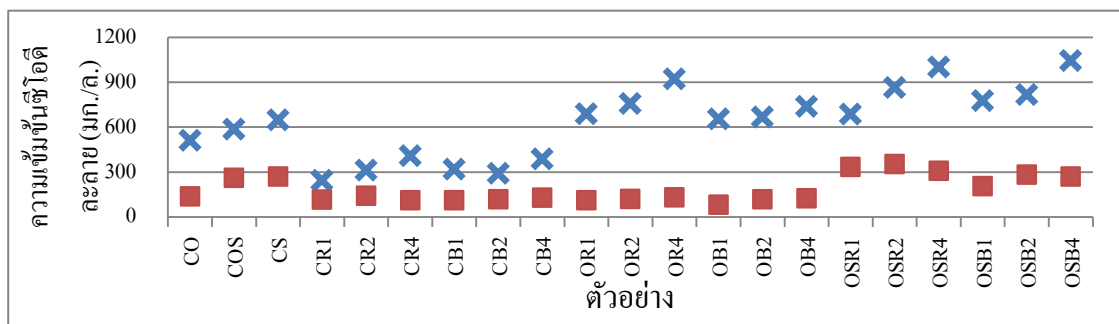


รูปที่ 4.16 ค่าของแข็งระเหยง่ายก่อนและหลังการทดลองในส่วนที่ 1

หมายเหตุ; X = ก่อนการทดลอง ■ = หลังการทดลอง

4.2.8 ค่าซีไอดี

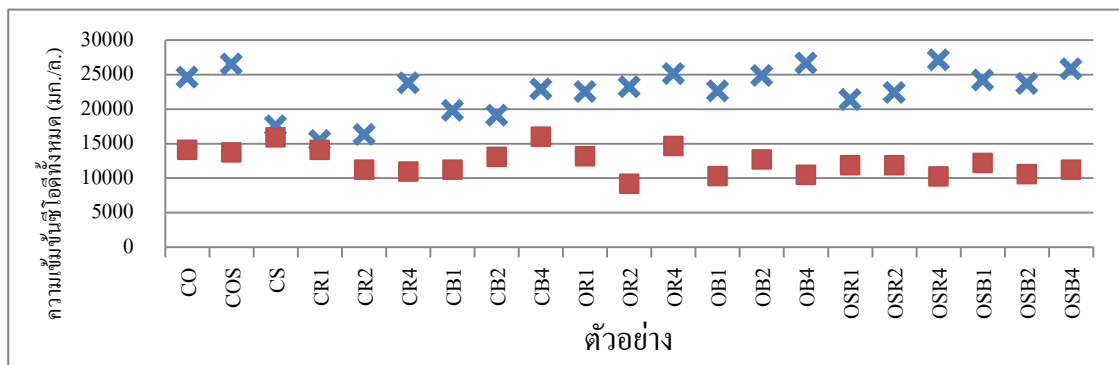
การทดลองนี้ศึกษาการบำบัดซีไอดีละลายที่ก่อนเดินระบบและหลังเข้าสู่สภาวะคงที่ ค่าซีไอดีละลายมีค่าประมาณ 241 – 1042 มก./ล. ลดลงเหลือประมาณ 80 – 350 มก./ล. พบว่าค่าซีไอดีละลายมีค่าความคลาดเคลื่อนต่างกันมาก สาเหตุอาจเนื่องมาจากขั้นตอนการควบแน่นตัวอย่างในแต่ละชุดการทดลอง อาจควบแน่นมาวิเคราะห์มากน้อยแตกต่างกัน และขั้นตอนการกรองน้ำตัวอย่าง ก่อนนำไปวิเคราะห์ปริมาณน้ำมันที่ผ่านกระดาษกรองอาจผ่านมากน้อยแตกต่างกัน ทำให้มีความคลาดเคลื่อนของค่าซีไอดีที่ละลายในน้ำสูง ดังรูปที่ 4.17



รูปที่ 4.17 ค่าซีไอดีละลายก่อนและหลังการทดลองในส่วนที่ 1

หมายเหตุ; X = ก่อนการทดลอง ■ = หลังการทดลอง

ค่าซีไอดีทั้งหมดมีค่าประมาณ 15,427 – 27,124 มก./ล. ลดลงเหลือประมาณ 9,171 – 15,872 มก./ล. ค่าซีไอดีทั้งหมดมีความคลาดเคลื่อนสูงเช่นกัน เนื่องจากน้ำตัวอย่างมีความเข้มข้นของตะกอนสูงมากจึงทำให้การควบแน่นตัวอย่างมาหาค่านั้นเป็นน้ำตะกอนซึ่งการควบแน่นตัวอย่างไปวิเคราะห์ตะกอนที่ถูกควบแน่นเข้ามามีปริมาณของตะกอนมาก น้อยแตกต่างกัน จึงไม่สามารถหาค่าซีไอดีที่แม่นยำได้ ดังรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.18 ค่าซีไอดีทั้งหมดก่อนและหลังการทดลองในส่วนที่ 1

หมายเหตุ; X = ก่อนการทดลอง ■ = หลังการทดลอง

4.3 ผลการศึกษาในการทดลองส่วนที่ 2

4.3.1 ปริมาณก๊าซชีวภาพ

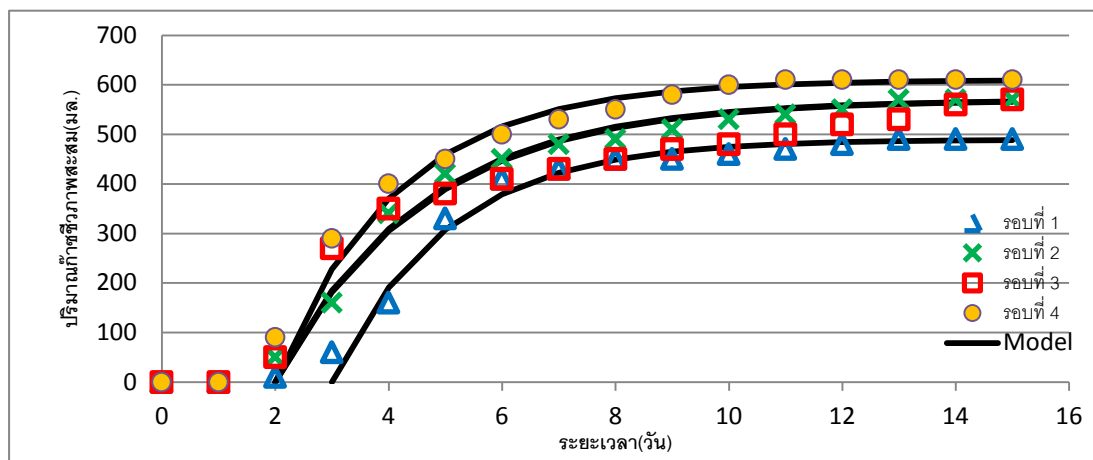
ปริมาณก๊าซชีวภาพของตะกอนจุลินทรีย์ร่วมกับน้ำมันที่ความเข้มข้น 2,000 มก./ล. โดยมีอัตราการทิ้งน้ำเสีย 10 % รอบที่ 1 มีค่าเท่ากับ 490 มล. มีค่า k_1 เฉลี่ย 0.496 ± 0.144 ต่อวัน

ปริมาณก๊าซชีวภาพของตะกอนจุลินทรีย์ร่วมกับน้ำมันที่ความเข้มข้น 2,000 มก./ล. โดยมีอัตราการทิ้งน้ำเสีย 10 % รอบที่ 2 มีค่าเท่ากับ 570 มล. มีค่า k_1 เฉลี่ย เท่ากับ 0.392 ± 0.084 ต่อวัน

ปริมาณก๊าซชีวภาพของตะกอนจุลินทรีย์ร่วมกับน้ำมันที่ความเข้มข้น 2,000 มก./ล. โดยมีอัตราการทิ้งน้ำเสีย 10 % รอบที่ 3 มีค่าเท่ากับ 570 มล. มีค่า k_1 เฉลี่ย เท่ากับ 0.384 ± 0.153 ต่อวัน

ปริมาณก๊าซชีวภาพของตะกอนจุลินทรีย์ร่วมกับน้ำมันที่ความเข้มข้น 2,000 มก./ล. โดยมีอัตราการทิ้งน้ำเสีย 10 % รอบที่ 4 มีค่าเท่ากับ 610 มล. มีค่า k_1 เฉลี่ย เท่ากับ 0.468 ± 0.104 ต่อวัน

ปริมาณก๊าซชีวภาพของการทดลองทั้ง 4 รอบมีค่าใกล้เคียงกัน ระยะเวลาในการปรับตัวของการทดลองในรอบที่ 1 คือ 3 วัน ซึ่งมากกว่ารอบอื่นๆ ซึ่งใช้เวลา 2 วัน ดังรูปที่ 4.19



รูปที่ 4.19 ปริมาณก๊าซชีวภาพของตะกอนจุลินทรีย์ร่วมกับน้ำมันที่ความเข้มข้น 2,000 มก./ล. โดยมีอัตราการทิ้งน้ำเสีย 10 % 4 รอบ ของการทดลองส่วนที่ 2

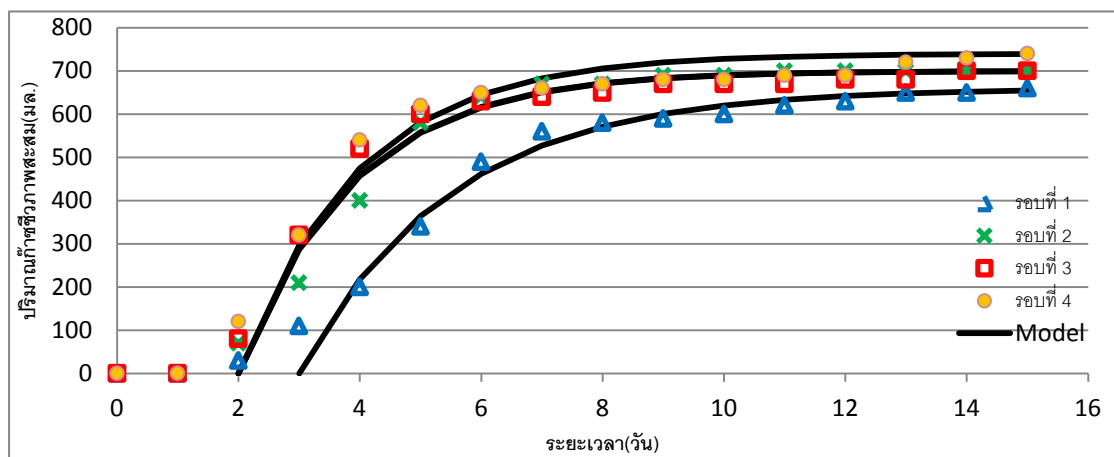
ปริมาณก๊าซชีวภาพของตะกอนจุลินทรีย์ร่วมกับน้ำมันที่ความเข้มข้น 2,000 มก./ล. และ เศษข้าวที่ความเข้มข้น 1,000 มก./ล. โดยมีอัตราการทิ้งน้ำเสีย 10 % รอบที่ 1 มีค่าเท่ากับ 660 มล. มีค่า k_1 เฉลี่ย เท่ากับ 0.401 ± 0.077 ต่อวัน

ปริมาณก๊าซชีวภาพของตะกอนจุลินทรีย์ร่วมกับน้ำมันที่ความเข้มข้น 2,000 มก./ล. และ เศษข้าวที่ความเข้มข้น 1,000 มก./ล. โดยมีอัตราการทิ้งน้ำเสีย 10 % รอบที่ 2 มีค่าเท่ากับ 700 มล. มีค่า k_1 เฉลี่ย เท่ากับ และ 0.534 ± 0.140 ต่อวัน

ปริมาณก๊าซชีวภาพของตะกอนจุลินทรีย์ร่วมกับน้ำมันที่ความเข้มข้น 2,000 มก./ล. และ เศษข้าวที่ความเข้มข้น 1,000 มก./ล. โดยมีอัตราการทิ้งน้ำเสีย 10 % รอบที่ 3 มีค่าเท่ากับ 700 มล. มีค่า k_1 เฉลี่ย เท่ากับ 0.529 ± 0.182 ต่อวัน

ปริมาณก๊าซชีวภาพของตะกอนจุลินทรีย์ร่วมกับน้ำมันที่ความเข้มข้น 2,000 มก./ล. และ เศษข้าวที่ความเข้มข้น 1,000 มก./ล. โดยมีอัตราการทิ้งน้ำเสีย 10 % รอบที่ 4 มีค่าเท่ากับ 740 มล. มีค่า k_1 เฉลี่ย เท่ากับ 0.514 ± 0.211 ต่อวัน

ปริมาณก๊าซชีวภาพของการทดลองทั้ง 4 รอบมีค่าใกล้เคียงกัน ระยะเวลาในการปรับตัวของการทดลองในรอบที่ 1 คือ 3 วัน ซึ่งมากกว่ารอบอื่นๆ ซึ่งใช้เวลา 2 วัน ดังรูปที่ 4.20



รูปที่ 4.20 ปริมาณก๊าซชีวภาพของตะกอนจุลินทรีย์ร่วมกับน้ำมันที่ความเข้มข้น 2,000 มก./ล. และ เศษข้าวที่ความเข้มข้น 1,000 มก./ล. โดยมีอัตราการทิ้งน้ำเสีย 10 % 4 รอบ ของการทดลองส่วนที่ 2

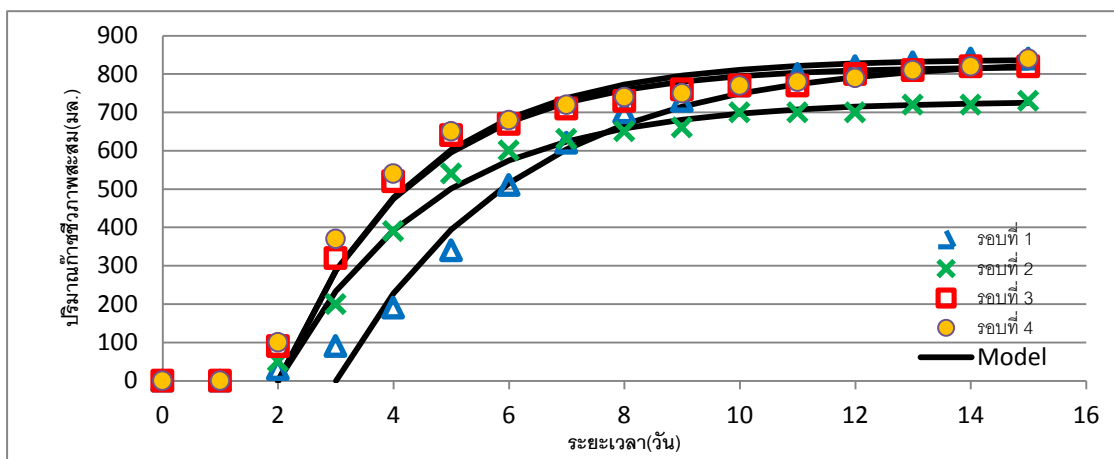
ปริมาณก๊าซชีวภาพของตะกอนจุลินทรีย์ร่วมกับน้ำมันที่ความเข้มข้น 2,000 มก./ล. และกากถั่วเหลืองที่ความเข้มข้น 1,000 มก./ล. โดยมีอัตราการทิ้งน้ำเสีย 10 % รอบที่ 1 มีค่าเท่ากับ 840 มล. มีค่า k_1 เฉลี่ย เท่ากับ 0.318 ± 0.064 ต่อวัน

ปริมาณก๊าซชีวภาพของตะกอนจุลินทรีย์ร่วมกับน้ำมันที่ความเข้มข้น 2,000 มก./ล. และกากถั่วเหลืองที่ความเข้มข้น 1,000 มก./ล. โดยมีอัตราการทิ้งน้ำเสีย 10 % รอบที่ 2 มีค่าเท่ากับ 730 มล. มีค่า k_1 เฉลี่ย เท่ากับ 0.387 ± 0.092 ต่อวัน

ปริมาณก๊าซชีวภาพของตะกอนจุลินทรีย์ร่วมกับน้ำมันที่ความเข้มข้น 2,000 มก./ล. และกากถั่วเหลืองที่ความเข้มข้น 1,000 มก./ล. โดยมีอัตราการทิ้งน้ำเสีย 10 % รอบที่ 3 มีค่าเท่ากับ 820 มล. มีค่า k_1 เฉลี่ย เท่ากับ 0.433 ± 0.109 ต่อวัน

ปริมาณก๊าซชีวภาพของตะกอนจุลินทรีย์ร่วมกับน้ำมันที่ความเข้มข้น 2,000 มก./ล. และกากถั่วเหลืองที่ความเข้มข้น 1,000 มก./ล. โดยมีอัตราการทิ้งน้ำเสีย 10 % รอบที่ 4 มีค่าเท่ากับ 840 มล. มีค่า k_1 เฉลี่ย เท่ากับ 0.421 ± 0.137 ต่อวัน

ปริมาณก๊าซชีวภาพของการทดลองทั้ง 4 รอบมีค่าใกล้เคียงกัน ระยะเวลาในการปรับตัวของการทดลองในรอบที่ 1 คือ 3 วัน ซึ่งมากกว่ารอบอื่นๆ ซึ่งใช้เวลา 2 วัน ดังรูปที่ 4.21



รูปที่ 4.21 ปริมาณก๊าซชีวภาพของตะกอนจุลินทรีย์ร่วมกับน้ำมันที่ความเข้มข้น 2,000 มก./ล. และกากถั่วเหลืองที่ความเข้มข้น 1,000 มก./ล. โดยมีอัตราการทิ้งน้ำเสีย 10 % 4 รอบ ของการทดลองส่วนที่ 2

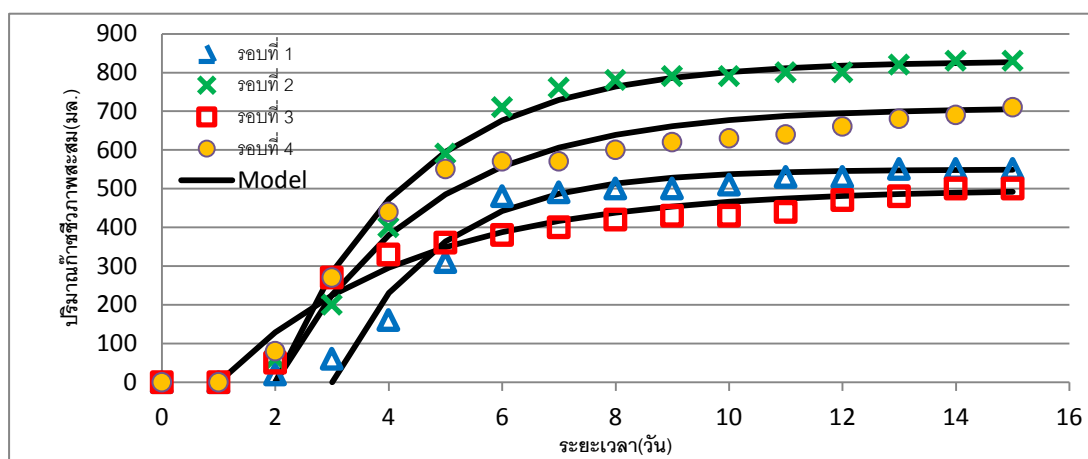
ปริมาณก๊าซชีวภาพของตะกอนจุลินทรีย์ร่วมกับน้ำมันที่ความเข้มข้น 2,000 มก./ล. โดยมีอัตราการทิ้งน้ำเสีย 20 % รอบที่ 1 มีค่าเท่ากับ 550 มล. มีค่า k_1 เฉลี่ย เท่ากับ 0.543 ± 0.208 ต่อวัน

ปริมาณก๊าซชีวภาพของตะกอนจุลินทรีย์ร่วมกับน้ำมันที่ความเข้มข้น 2,000 มก./ล. โดยมีอัตราการทิ้งน้ำเสีย 20 % รอบที่ 2 มีค่าเท่ากับ 830 มล. มีค่า k_1 เฉลี่ย เท่ากับ 0.422 ± 0.117 ต่อวัน

ปริมาณก๊าซชีวภาพของตะกอนจุลินทรีย์ร่วมกับน้ำมันที่ความเข้มข้น 2,000 มก./ล. โดยมีอัตราการทิ้งน้ำเสีย 20 % รอบที่ 3 มีค่าเท่ากับ 500 มล. มีค่า k_1 เฉลี่ย เท่ากับ 0.300 ± 0.103 ต่อวัน

ปริมาณก๊าซชีวภาพของตะกอนจุลินทรีย์ร่วมกับน้ำมันที่ความเข้มข้น 2,000 มก./ล. โดยมีอัตราการทิ้งน้ำเสีย 20 % รอบที่ 4 มีค่าเท่ากับ 710 มล. มีค่า k_1 เฉลี่ย เท่ากับ 0.384 ± 0.141 ต่อวัน

ปริมาณก๊าซชีวภาพของการทดลองทั้ง 4 รอบมีค่าใกล้เคียงกัน ระยะเวลาในการปรับตัวของการทดลองในรอบที่ 1 คือ 3 วัน ซึ่งมากกว่ารอบที่ 2 และ 4 ซึ่งใช้เวลา 2 วัน ส่วนในรอบที่ 3 ใช้ระยะเวลาในการปรับตัว 1 วัน ดังรูปที่ 4.22



รูปที่ 4.22 ปริมาณก๊าซชีวภาพของตะกอนจุลินทรีย์ร่วมกับน้ำมันที่ความเข้มข้น 2,000 มก./ล. โดยมีอัตราการทิ้งน้ำเสีย 20 % 4 รอบ ของการทดลองส่วนที่ 2

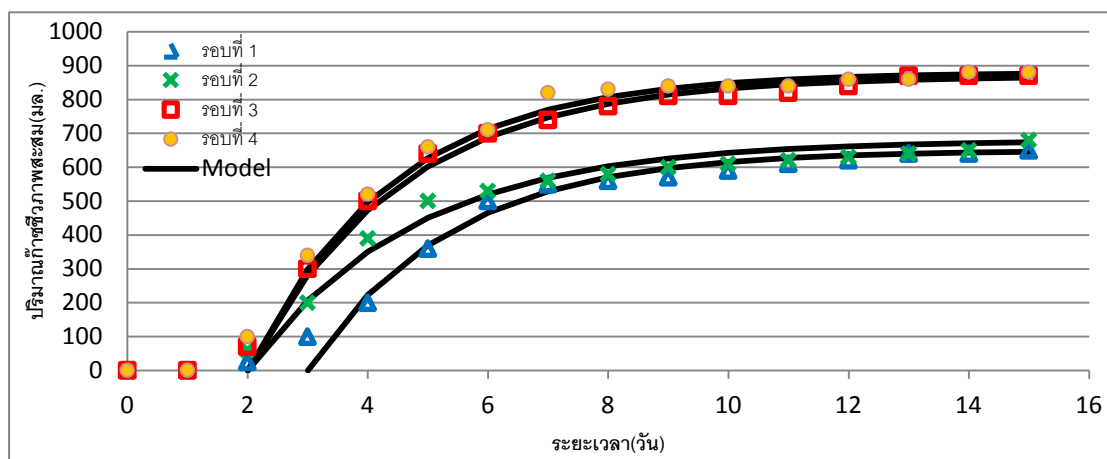
ปริมาณก๊าซชีวภาพของตะกอนจุลินทรีย์ร่วมกับน้ำมันที่ความเข้มข้น 2,000 มก./ล. และเศษข้าวที่ความเข้มข้น 1,000 มก./ล. โดยมีอัตราการทิ้งน้ำเสีย 20 % รอบที่ 1 มีค่าเท่ากับ 650 มล. มีค่า k_1 เฉลี่ย เท่ากับ 0.420 ± 0.097 ต่อวัน

ปริมาณก๊าซชีวภาพของตะกอนจุลินทรีย์ร่วมกับน้ำมันที่ความเข้มข้น 2,000 มก./ล. และเศษข้าวที่ความเข้มข้น 1,000 มก./ล. โดยมีอัตราการทิ้งน้ำเสีย 20 % รอบที่ 2 มีค่าเท่ากับ 680 มล. มีค่า k_1 เฉลี่ย เท่ากับ 0.362 ± 0.118 ต่อวัน

ปริมาณก๊าซชีวภาพของตะกอนจุลินทรีย์ร่วมกับน้ำมันที่ความเข้มข้น 2,000 มก./ล. และเศษข้าวที่ความเข้มข้น 1,000 มก./ล. โดยมีอัตราการทิ้งน้ำเสีย 20 % รอบที่ 3 มีค่าเท่ากับ 870 มล. มีค่า k_1 เฉลี่ย เท่ากับ 0.393 ± 0.081 ต่อวัน

ปริมาณก๊าซชีวภาพของตะกอนจุลินทรีย์ร่วมกับน้ำมันที่ความเข้มข้น 2,000 มก./ล. และเศษข้าวที่ความเข้มข้น 1,000 มก./ล. โดยมีอัตราการทิ้งน้ำเสีย 20 % รอบที่ 4 มีค่าเท่ากับ 880 มล. มีค่า k_1 เฉลี่ย เท่ากับ 0.416 ± 0.085 ต่อวัน

ปริมาณก๊าซชีวภาพเพิ่มขึ้นเรื่อยๆตามรอบของการทดลองที่เพิ่มขึ้นจนถึงรอบที่ 3 และ 4 ปริมาณก๊าซชีวภาพจึงเริ่มคงที่ ระยะเวลาในการปรับตัวของการทดลองในรอบที่ 1 คือ 3 วัน ซึ่งมากกว่ารอบอื่นๆ ซึ่งใช้เวลา 2 วัน ดังรูปที่ 4.23



รูปที่ 4.23 ปริมาณก๊าซชีวภาพของตะกอนจุลินทรีย์ร่วมกับน้ำมันที่ความเข้มข้น 2,000 มก./ล. และเศษข้าวที่ความเข้มข้น 1,000 มก./ล. โดยมีอัตราการทิ้งน้ำเสีย 20 % 4 รอบ ของการทดลองส่วนที่ 2

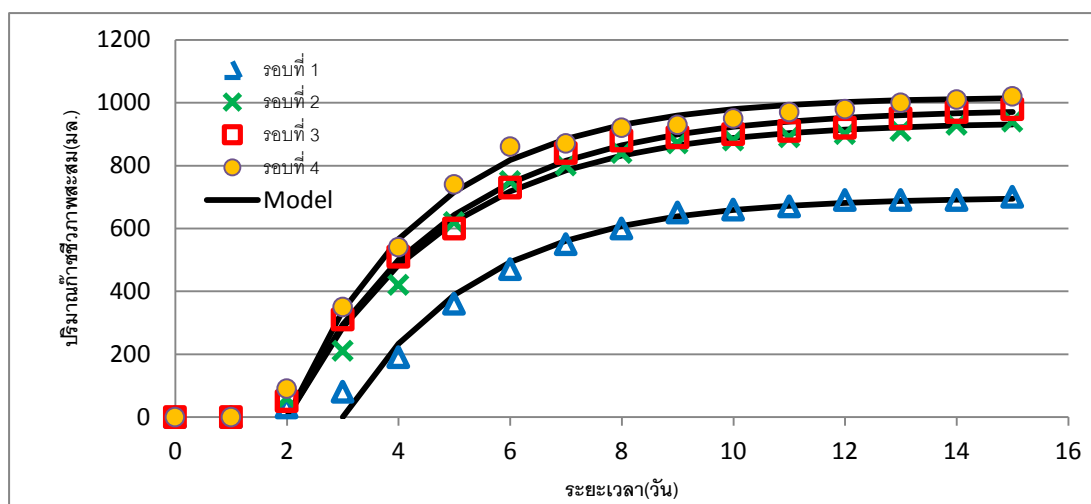
ปริมาณก๊าซชีวภาพของตะกอนจุลินทรีย์ร่วมกับน้ำมันที่ความเข้มข้น 2,000 มก./ล. และกากถั่วเหลืองที่ความเข้มข้น 1,000 มก./ล. โดยมีอัตราการทิ้งน้ำเสีย 20 % รอบที่ 1 มีค่าเท่ากับ 700 มล. มีค่า k_1 เฉลี่ย เท่ากับ 0.406 ± 0.070 ต่อวัน

ปริมาณก๊าซชีวภาพของตะกอนจุลินทรีย์ร่วมกับน้ำมันที่ความเข้มข้น 2,000 มก./ล. และกากถั่วเหลืองที่ความเข้มข้น 1,000 มก./ล. โดยมีอัตราการทิ้งน้ำเสีย 20 % รอบที่ 2 มีค่าเท่ากับ 940 มล. มีค่า k_1 เฉลี่ย เท่ากับ 0.362 ± 0.060 ต่อวัน

ปริมาณก๊าซชีวภาพของตะกอนจุลินทรีย์ร่วมกับน้ำมันที่ความเข้มข้น 2,000 มก./ล. และกากถั่วเหลืองที่ความเข้มข้น 1,000 มก./ล. โดยมีอัตราการทิ้งน้ำเสีย 20 % รอบที่ 3 มีค่าเท่ากับ 980 มล. มีค่า k_1 เฉลี่ย เท่ากับ 0.357 ± 0.074 ต่อวัน

ปริมาณก๊าซชีวภาพของตะกอนจุลินทรีย์ร่วมกับน้ำมันที่ความเข้มข้น 2,000 มก./ล. และกากถั่วเหลืองที่ความเข้มข้น 1,000 มก./ล. โดยมีอัตราการทิ้งน้ำเสีย 20 % รอบที่ 4 มีค่าเท่ากับ 1,020 มล. มีค่า k_1 เฉลี่ย เท่ากับ 0.405 ± 0.098 ต่อวัน

ปริมาณก๊าซชีวภาพเพิ่มขึ้นเรื่อยๆตามรอบของการทดลองที่เพิ่มขึ้นจนถึงรอบที่ 2 3 และ 4 ปริมาณก๊าซชีวภาพจึงเริ่มคงที่ ระยะเวลาในการปรับตัวของการทดลองในรอบที่ 1 คือ 3 วัน ซึ่งมากกว่ารอบอื่นๆ ซึ่งใช้เวลา 2 วัน ดังรูปที่ 4.24



รูปที่ 4.24 ปริมาณก๊าซชีวภาพของตะกอนจุลินทรีย์ร่วมกับน้ำมันที่ความเข้มข้น 2,000 มก./ล. และกากถั่วเหลืองที่ความเข้มข้น 1,000 มก./ล. โดยมีอัตราการทิ้งน้ำเสีย 20 % 4 รอบ ของการทดลองส่วนที่ 2

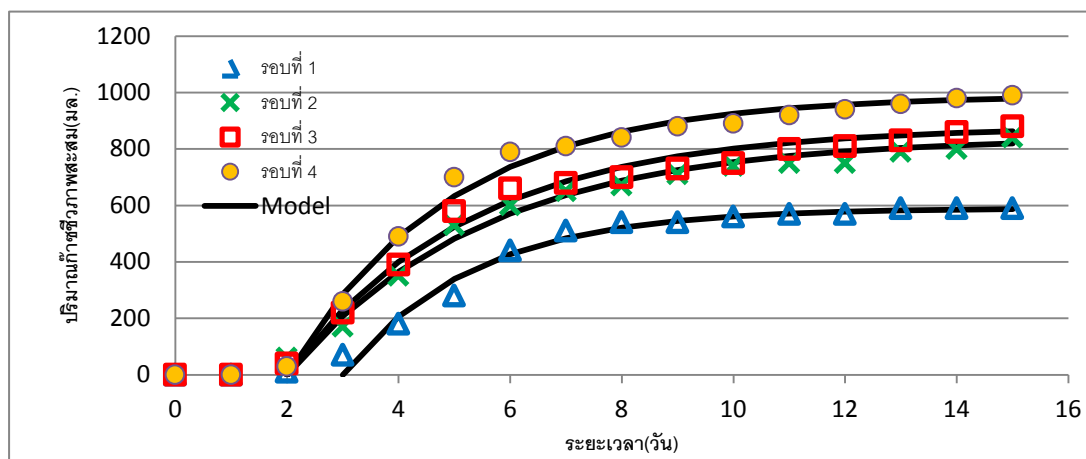
ปริมาณก๊าซชีวภาพของตะกอนจุลินทรีย์ร่วมกับน้ำมันที่ความเข้มข้น 2,000 มก./ล. โดยมี อัตราการทิ้งน้ำเสีย 50 % รอบที่ 1 มีค่าเท่ากับ 590 มล. มีค่า k_1 เฉลี่ย เท่ากับ 0.429 ± 0.118 ต่อวัน

ปริมาณก๊าซชีวภาพของตะกอนจุลินทรีย์ร่วมกับน้ำมันที่ความเข้มข้น 2,000 มก./ล. โดยมี อัตราการทิ้งน้ำเสีย 50 % รอบที่ 2 มีค่าเท่ากับ 840 มล. มีค่า k_1 เฉลี่ย เท่ากับ 0.285 ± 0.070 ต่อวัน

ปริมาณก๊าซชีวภาพของตะกอนจุลินทรีย์ร่วมกับน้ำมันที่ความเข้มข้น 2,000 มก./ล. โดยมี อัตราการทิ้งน้ำเสีย 50 % รอบที่ 3 มีค่าเท่ากับ 880 มล. มีค่า k_1 เฉลี่ย เท่ากับ 0.303 ± 0.076 ต่อวัน

ปริมาณก๊าซชีวภาพของตะกอนจุลินทรีย์ร่วมกับน้ำมันที่ความเข้มข้น 2,000 มก./ล. โดยมี อัตราการทิ้งน้ำเสีย 50 % รอบที่ 4 มีค่าเท่ากับ 990 มล. มีค่า k_1 เฉลี่ย เท่ากับ 0.341 ± 0.075 ต่อวัน

ปริมาณก๊าซชีวภาพเพิ่มขึ้นเรื่อยๆตามรอบของการทดลองที่เพิ่มขึ้นจนถึงรอบที่ 2 3 และ 4 ปริมาณก๊าซชีวภาพจึงเริ่มคงที่ ระยะเวลาในการปรับตัวของการทดลองในรอบที่ 1 คือ 3 วัน ซึ่ง มากกว่ารอบอื่นๆ ซึ่งใช้เวลา 2 วัน ดังรูปที่ 4.25



รูปที่ 4.25 ปริมาณก๊าซชีวภาพของตะกอนจุลินทรีย์ร่วมกับน้ำมันที่ความเข้มข้น 2,000 มก./ล. โดยมี อัตราการทิ้งน้ำเสีย 50 % 4 รอบ ของการทดลองส่วนที่ 2

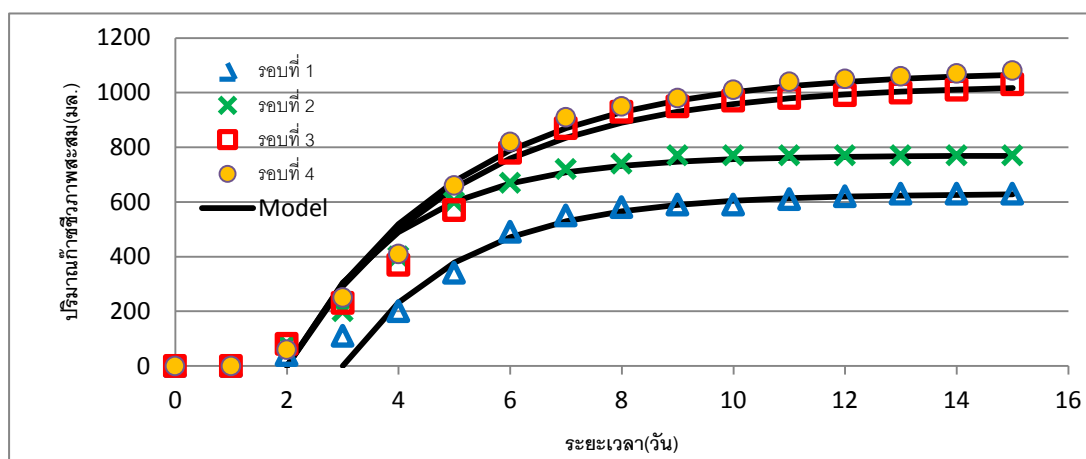
ปริมาณก๊าซชีวภาพของตะกอนจุลินทรีย์ร่วมกับน้ำมันที่ความเข้มข้น 2,000 มก./ล. และ เศษข้าวที่ความเข้มข้น 1,000 มก./ล. โดยมีอัตราคาร์บอนที่น้ำเสีย 50 % รอบที่ 1 มีค่าเท่ากับ 630 มล. มีค่า k_1 เฉลี่ย เท่ากับ 0.459 ± 0.101 ต่อวัน

ปริมาณก๊าซชีวภาพของตะกอนจุลินทรีย์ร่วมกับน้ำมันที่ความเข้มข้น 2,000 มก./ล. และ เศษข้าวที่ความเข้มข้น 1,000 มก./ล. โดยมีอัตราคาร์บอนที่น้ำเสีย 50 % รอบที่ 2 มีค่าเท่ากับ 770 มล. มีค่า k_1 เฉลี่ย เท่ากับ 0.505 ± 0.188 ต่อวัน

ปริมาณก๊าซชีวภาพของตะกอนจุลินทรีย์ร่วมกับน้ำมันที่ความเข้มข้น 2,000 มก./ล. และ เศษข้าวที่ความเข้มข้น 1,000 มก./ล. โดยมีอัตราคาร์บอนที่น้ำเสีย 50 % รอบที่ 3 มีค่าเท่ากับ 1,030 มล. มีค่า k_1 เฉลี่ย เท่ากับ 0.334 ± 0.109 ต่อวัน

ปริมาณก๊าซชีวภาพของตะกอนจุลินทรีย์ร่วมกับน้ำมันที่ความเข้มข้น 2,000 มก./ล. และ เศษข้าวที่ความเข้มข้น 1,000 มก./ล. โดยมีอัตราคาร์บอนที่น้ำเสีย 50 % รอบที่ 4 มีค่าเท่ากับ 1,080 มล. มีค่า k_1 เฉลี่ย เท่ากับ 0.328 ± 0.099 ต่อวัน

ปริมาณก๊าซชีวภาพเพิ่มขึ้นเรื่อยๆตามรอบของการทดลองที่เพิ่มขึ้นจนถึงรอบที่ 3 และ 4 ปริมาณก๊าซชีวภาพจึงเริ่มคงที่ ระยะเวลาในการปรับตัวของการทดลองในรอบที่ 1 คือ 3 วัน ซึ่งมากกว่ารอบอื่นๆ ซึ่งใช้เวลา 2 วัน ดังรูปที่ 4.26



รูปที่ 4.26 ปริมาณก๊าซชีวภาพของตะกอนจุลินทรีย์ร่วมกับน้ำมันที่ความเข้มข้น 2,000 มก./ล. และ เศษข้าวที่ความเข้มข้น 1,000 มก./ล. โดยมีอัตราคาร์บอนที่น้ำเสีย 50 % 4 รอบ ของการทดลองส่วนที่ 2

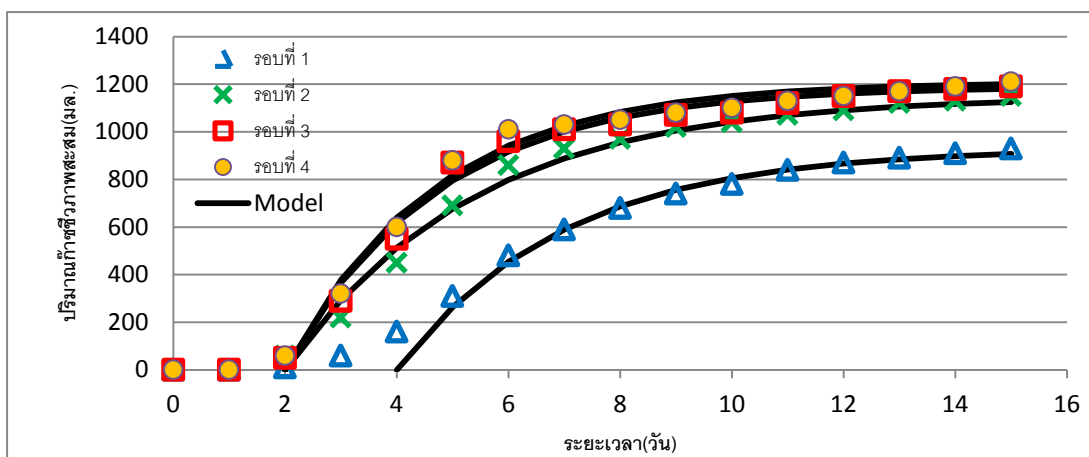
ปริมาณก๊าซชีวภาพของตะกอนจุลินทรีย์ร่วมกับน้ำมันที่ความเข้มข้น 2,000 มก./ล. และกากถั่วเหลืองที่ความเข้มข้น 1,000 มก./ล. โดยมีอัตราการทิ้งน้ำเสีย 50 % รอบที่ 1 มีค่าเท่ากับ 930 มล. มีค่า k_1 เฉลี่ย เท่ากับ 0.366 ± 0.050 ต่อวัน

ปริมาณก๊าซชีวภาพของตะกอนจุลินทรีย์ร่วมกับน้ำมันที่ความเข้มข้น 2,000 มก./ล. และกากถั่วเหลืองที่ความเข้มข้น 1,000 มก./ล. โดยมีอัตราการทิ้งน้ำเสีย 50 % รอบที่ 2 มีค่าเท่ากับ 1,150 มล. มีค่า k_1 เฉลี่ย เท่ากับ 0.296 ± 0.062 ต่อวัน

ปริมาณก๊าซชีวภาพของตะกอนจุลินทรีย์ร่วมกับน้ำมันที่ความเข้มข้น 2,000 มก./ล. และกากถั่วเหลืองที่ความเข้มข้น 1,000 มก./ล. โดยมีอัตราการทิ้งน้ำเสีย 50 % รอบที่ 3 มีค่าเท่ากับ 1,190 มล. มีค่า k_1 เฉลี่ย เท่ากับ 0.368 ± 0.094 ต่อวัน

ปริมาณก๊าซชีวภาพของตะกอนจุลินทรีย์ร่วมกับน้ำมันที่ความเข้มข้น 2,000 มก./ล. และกากถั่วเหลืองที่ความเข้มข้น 1,000 มก./ล. โดยมีอัตราการทิ้งน้ำเสีย 50 % รอบที่ 4 มีค่าเท่ากับ 1,210 มล. มีค่า k_1 เฉลี่ย เท่ากับ 0.377 ± 0.101 ต่อวัน

ปริมาณก๊าซชีวภาพเพิ่มขึ้นเรื่อยๆตามรอบของการทดลองที่เพิ่มขึ้นจนถึงรอบที่ 2 3 และ 4 ปริมาณก๊าซชีวภาพจึงเริ่มคงที่ ระยะเวลาในการปรับตัวของการทดลองในรอบที่ 1 คือ 4 วัน ซึ่งมากกว่ารอบอื่นๆ ซึ่งใช้เวลา 2 วัน ดังรูปที่ 4.27



รูปที่ 4.27 ปริมาณก๊าซชีวภาพของตะกอนจุลินทรีย์ร่วมกับน้ำมันที่ความเข้มข้น 2,000 มก./ล. และกากถั่วเหลืองที่ความเข้มข้น 1,000 มก./ล. โดยมีอัตราการทิ้งน้ำเสีย 50 % 4 รอบ ของการทดลองส่วนที่ 2

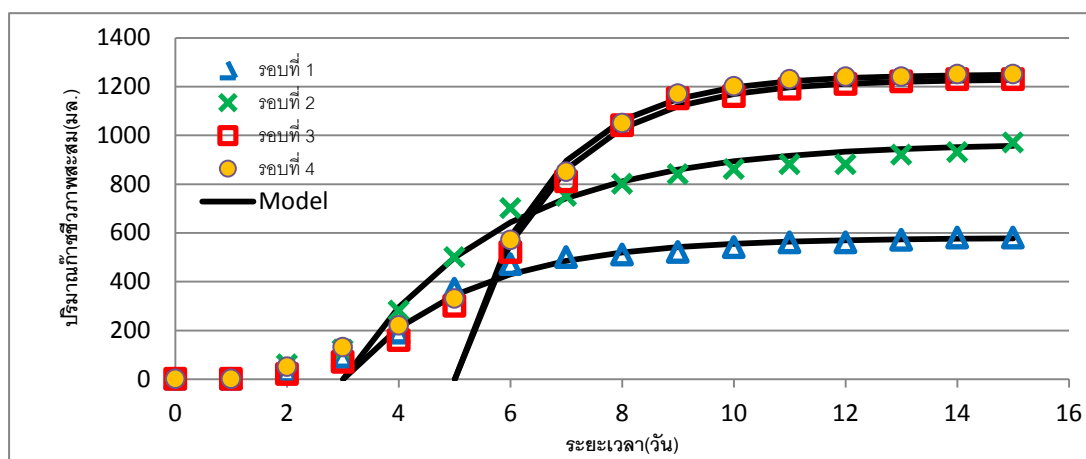
ปริมาณก๊าซชีวภาพของตะกอนจุลินทรีย์ร่วมกับน้ำมันที่ความเข้มข้น 2,000 มก./ล. โดยมีอัตราการทิ้งน้ำเสีย 90 % รอบที่ 1 มีค่าเท่ากับ 580 มล. มีค่า k_1 เฉลี่ย เท่ากับ 0.453 ± 0.116 ต่อวัน

ปริมาณก๊าซชีวภาพของตะกอนจุลินทรีย์ร่วมกับน้ำมันที่ความเข้มข้น 2,000 มก./ล. โดยมีอัตราการทิ้งน้ำเสีย 90 % รอบที่ 2 มีค่าเท่ากับ 970 มล. มีค่า k_1 เฉลี่ย เท่ากับ 0.363 ± 0.092 ต่อวัน

ปริมาณก๊าซชีวภาพของตะกอนจุลินทรีย์ร่วมกับน้ำมันที่ความเข้มข้น 2,000 มก./ล. โดยมีอัตราการทิ้งน้ำเสีย 90 % รอบที่ 3 มีค่าเท่ากับ 1,230 มล. มีค่า k_1 เฉลี่ย เท่ากับ 0.604 ± 0.102 ต่อวัน

ปริมาณก๊าซชีวภาพของตะกอนจุลินทรีย์ร่วมกับน้ำมันที่ความเข้มข้น 2,000 มก./ล. โดยมีอัตราการทิ้งน้ำเสีย 90 % รอบที่ 4 มีค่าเท่ากับ 1,250 มล. มีค่า k_1 เฉลี่ย เท่ากับ 0.632 ± 0.159 ต่อวัน

ปริมาณก๊าซชีวภาพเพิ่มขึ้นเรื่อยๆตามรอบของการทดลองที่เพิ่มขึ้นจนถึงรอบที่ 3 และ 4 ปริมาณก๊าซชีวภาพจึงเริ่มคงที่ ระยะเวลาในการปรับตัวของการทดลองในรอบที่ 4 คือ 5 วัน ซึ่งมากกว่ารอบอื่นๆ ซึ่งใช้เวลา 3 วัน ดังรูปที่ 4.28



รูปที่ 4.28 ปริมาณก๊าซชีวภาพของตะกอนจุลินทรีย์ร่วมกับน้ำมันที่ความเข้มข้น 2,000 มก./ล. โดยมีอัตราการทิ้งน้ำเสีย 90 % 4 รอบ ของการทดลองส่วนที่ 2

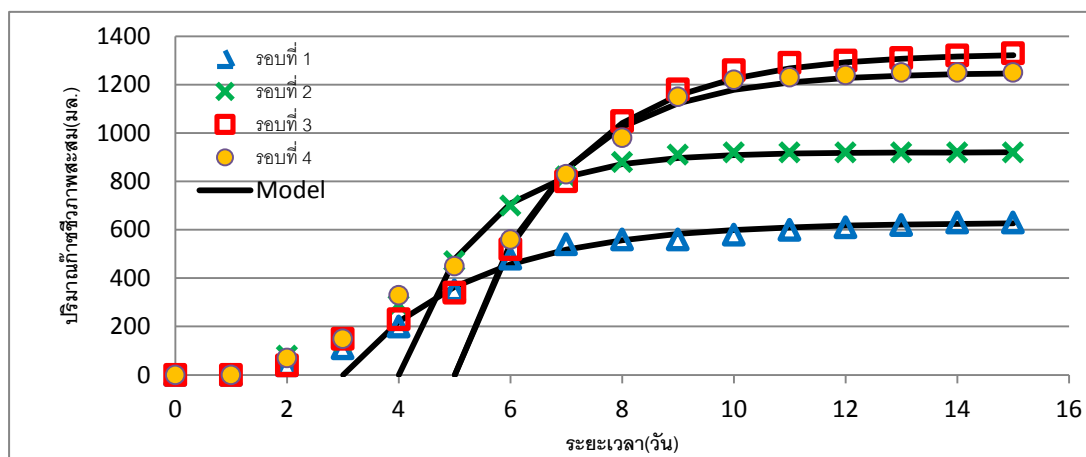
ปริมาณก๊าซชีวภาพของตะกอนจุลินทรีย์ร่วมกับน้ำมันที่ความเข้มข้น 2,000 มก./ล. และเศษข้าวที่ความเข้มข้น 1,000 มก./ล. โดยมีอัตราการทิ้งน้ำเสีย 90 % รอบที่ 1 มีค่าเท่ากับ 630 มล. มีค่า k_1 เฉลี่ย เท่ากับ 0.432 ± 0.097 ต่อวัน

ปริมาณก๊าซชีวภาพของตะกอนจุลินทรีย์ร่วมกับน้ำมันที่ความเข้มข้น 2,000 มก./ล. และเศษข้าวที่ความเข้มข้น 1,000 มก./ล. โดยมีอัตราการทิ้งน้ำเสีย 90 % รอบที่ 2 มีค่าเท่ากับ 920 มล. มีค่า k_1 เฉลี่ย เท่ากับ 0.736 ± 0.132 ต่อวัน

ปริมาณก๊าซชีวภาพของตะกอนจุลินทรีย์ร่วมกับน้ำมันที่ความเข้มข้น 2,000 มก./ล. และเศษข้าวที่ความเข้มข้น 1,000 มก./ล. โดยมีอัตราการทิ้งน้ำเสีย 90 % รอบที่ 3 มีค่าเท่ากับ 1,330 มล. มีค่า k_1 เฉลี่ย เท่ากับ 0.508 ± 0.093 ต่อวัน

ปริมาณก๊าซชีวภาพของตะกอนจุลินทรีย์ร่วมกับน้ำมันที่ความเข้มข้น 2,000 มก./ล. และเศษข้าวที่ความเข้มข้น 1,000 มก./ล. โดยมีอัตราการทิ้งน้ำเสีย 90 % รอบที่ 4 มีค่าเท่ากับ 1,250 มล. มีค่า k_1 เฉลี่ย เท่ากับ 0.571 ± 0.106 ต่อวัน

ปริมาณก๊าซชีวภาพเพิ่มขึ้นเรื่อยๆตามรอบของการทดลองที่เพิ่มขึ้นจนถึงรอบที่ 3 และ 4 ปริมาณก๊าซชีวภาพจึงเริ่มคงที่ ระยะเวลาในการปรับตัวของการทดลองในรอบที่ 4 คือ 5 วัน ซึ่งมากกว่ารอบอื่นๆ ซึ่งใช้เวลา 3 - 4 วัน ดังรูปที่ 4.29



รูปที่ 4.29 ปริมาณก๊าซชีวภาพของตะกอนจุลินทรีย์ร่วมกับน้ำมันที่ความเข้มข้น 2,000 มก./ล. และเศษข้าวที่ความเข้มข้น 1,000 มก./ล. โดยมีอัตราการทิ้งน้ำเสีย 90 % 4 รอบ ของการทดลองส่วนที่ 2

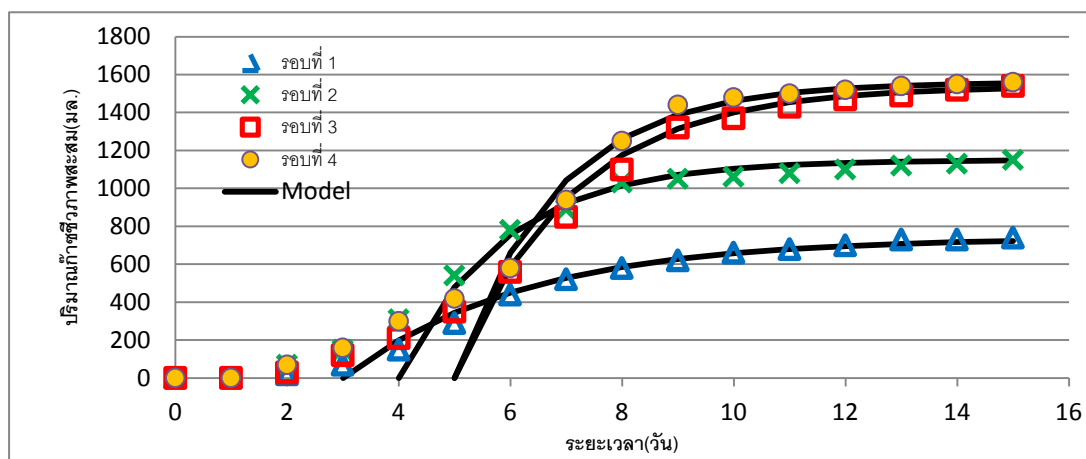
ปริมาณก๊าซชีวภาพของตะกอนจุลินทรีย์ร่วมกับน้ำมันที่ความเข้มข้น 2,000 มก./ล. และกากถั่วเหลืองที่ความเข้มข้น 1,000 มก./ล. โดยมีอัตราการทิ้งน้ำเสีย 90 % รอบที่ 1 มีค่าเท่ากับ 740 มล. มีค่า k_1 เฉลี่ย เท่ากับ 0.314 ± 0.071 ต่อวัน

ปริมาณก๊าซชีวภาพของตะกอนจุลินทรีย์ร่วมกับน้ำมันที่ความเข้มข้น 2,000 มก./ล. และกากถั่วเหลืองที่ความเข้มข้น 1,000 มก./ล. โดยมีอัตราการทิ้งน้ำเสีย 90 % รอบที่ 2 มีค่าเท่ากับ 1,150 มล. มีค่า k_1 เฉลี่ย เท่ากับ 0.538 ± 0.095 ต่อวัน

ปริมาณก๊าซชีวภาพของตะกอนจุลินทรีย์ร่วมกับน้ำมันที่ความเข้มข้น 2,000 มก./ล. และกากถั่วเหลืองที่ความเข้มข้น 1,000 มก./ล. โดยมีอัตราการทิ้งน้ำเสีย 90 % รอบที่ 3 มีค่าเท่ากับ 1,540 มล. มีค่า k_1 เฉลี่ย 0.481 ± 0.107 ต่อวัน

ปริมาณก๊าซชีวภาพของตะกอนจุลินทรีย์ร่วมกับน้ำมันที่ความเข้มข้น 2,000 มก./ล. และกากถั่วเหลืองที่ความเข้มข้น 1,000 มก./ล. โดยมีอัตราการทิ้งน้ำเสีย 90 % รอบที่ 4 มีค่าเท่ากับ 1,560 มล. มีค่า k_1 เฉลี่ย เท่ากับ 0.552 ± 0.149 ต่อวัน

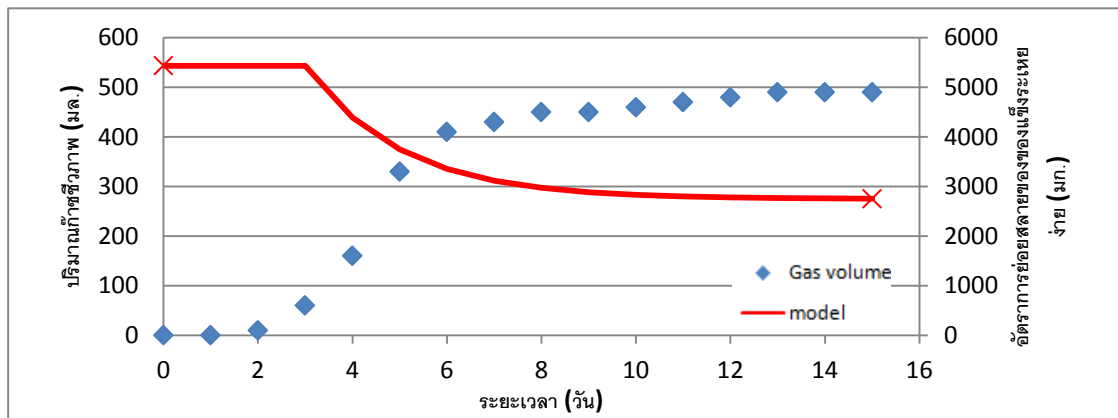
ปริมาณก๊าซชีวภาพเพิ่มขึ้นเรื่อยๆตามรอบของการทดลองที่เพิ่มขึ้นจนถึงรอบที่ 3 และ 4 ปริมาณก๊าซชีวภาพจึงเริ่มคงที่ ระยะเวลาในการปรับตัวของการทดลองในรอบที่ 4 คือ 5 วัน ซึ่งมากกว่ารอบอื่นๆ ซึ่งใช้เวลา 3 - 4 วัน ดังรูปที่ 4.30



รูปที่ 4.30 ปริมาณก๊าซชีวภาพของตะกอนจุลินทรีย์ร่วมกับน้ำมันที่ความเข้มข้น 2,000 มก./ล. และกากถั่วเหลืองที่ความเข้มข้น 1,000 มก./ล. โดยมีอัตราการทิ้งน้ำเสีย 90 % 4 รอบ ของการทดลองส่วนที่ 2

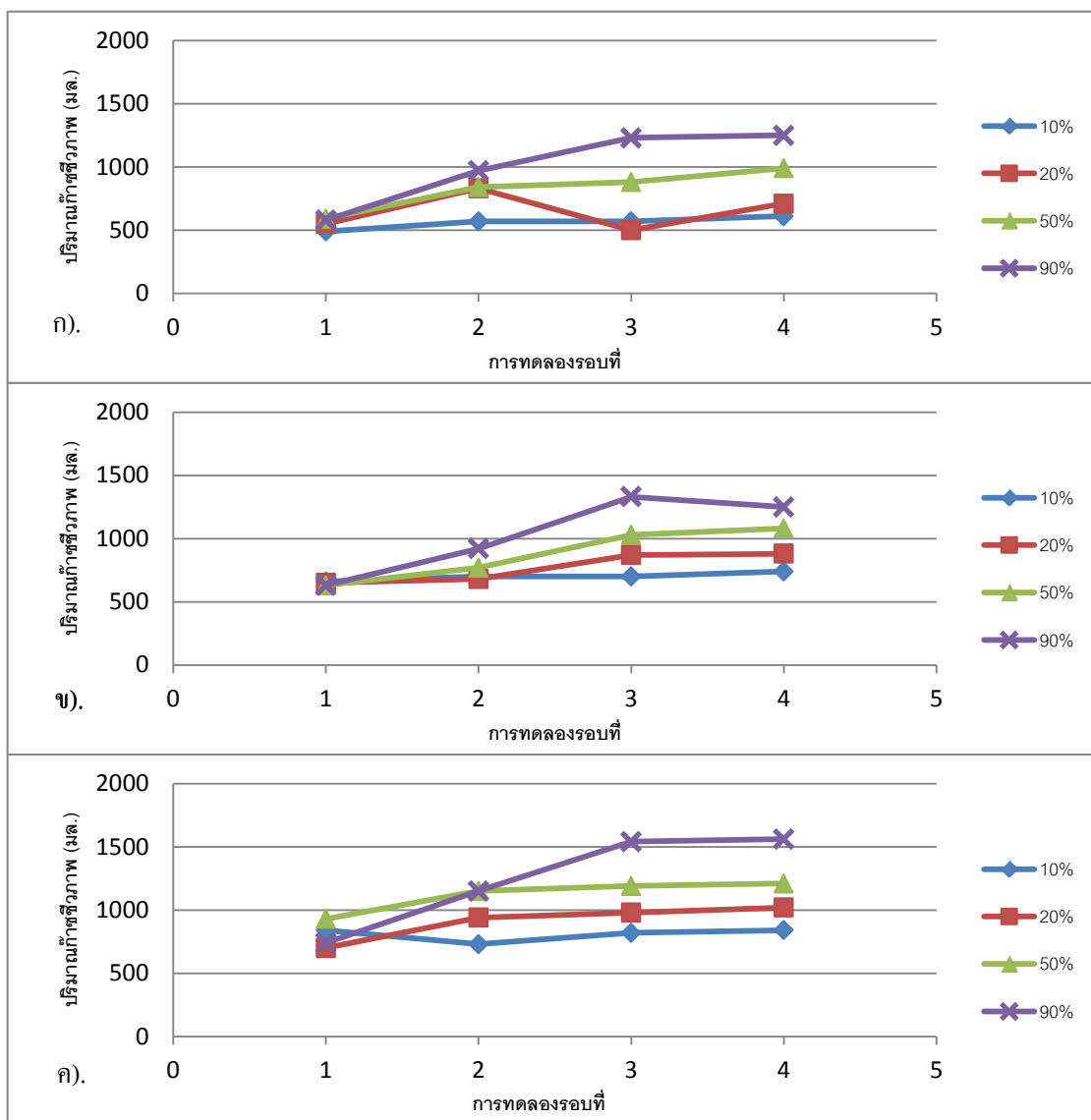
4.3.2 ตัวอย่างแบบจำลองอัตราการย่อยสลายของของแข็งระเหยง่าย

อัตราการย่อยสลายของตะกอนจุลินทรีย์ร่วมกับน้ำมันที่ความเข้มข้น 2,000 มก./ล. โดยมีอัตราการทิ้งน้ำเสีย 10 % รอบที่ 1 มีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 5,437 มก. ลดลงเหลือ 2,750 มก. มีค่า k_1 เฉลี่ยเท่ากับ 0.496 ± 0.144 ดังรูปที่ 4.31



รูปที่ 4.31 ตัวอย่างอัตราการย่อยสลายของตะกอนจุลินทรีย์ร่วมกับน้ำมันที่ความเข้มข้น 2,000 มก./ล. ของการทดลองส่วนที่ 2

จากผลการทดลองพบว่าปริมาณก๊าซชีวภาพสูงสุดของการทดลองรอบที่ 1 และ 2 ยังมีค่าที่ไม่คงที่เนื่องจากอาจยังมีการปรับตัวของการทิ้งน้ำ แต่รอบที่ 3 และ 4 ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นเริ่มมีค่าใกล้เคียงกันแสดงให้เห็นว่าระบบเริ่มเข้าสู่สภาวะคงที่ ส่วนปริมาณก๊าซชีวภาพชุดการทดลองที่ได้ปริมาณก๊าซชีวภาพมากที่สุดคืออัตราการทิ้งน้ำที่ 90 % ของกากถั่วเหลือง มีค่าเท่ากับ 1,560 มล. ส่วนเศษข้าวที่ 90 % และน้ำมันที่ 90 % มีค่าเท่ากันคือ 1,250 มล. ดังรูปที่ 4.32



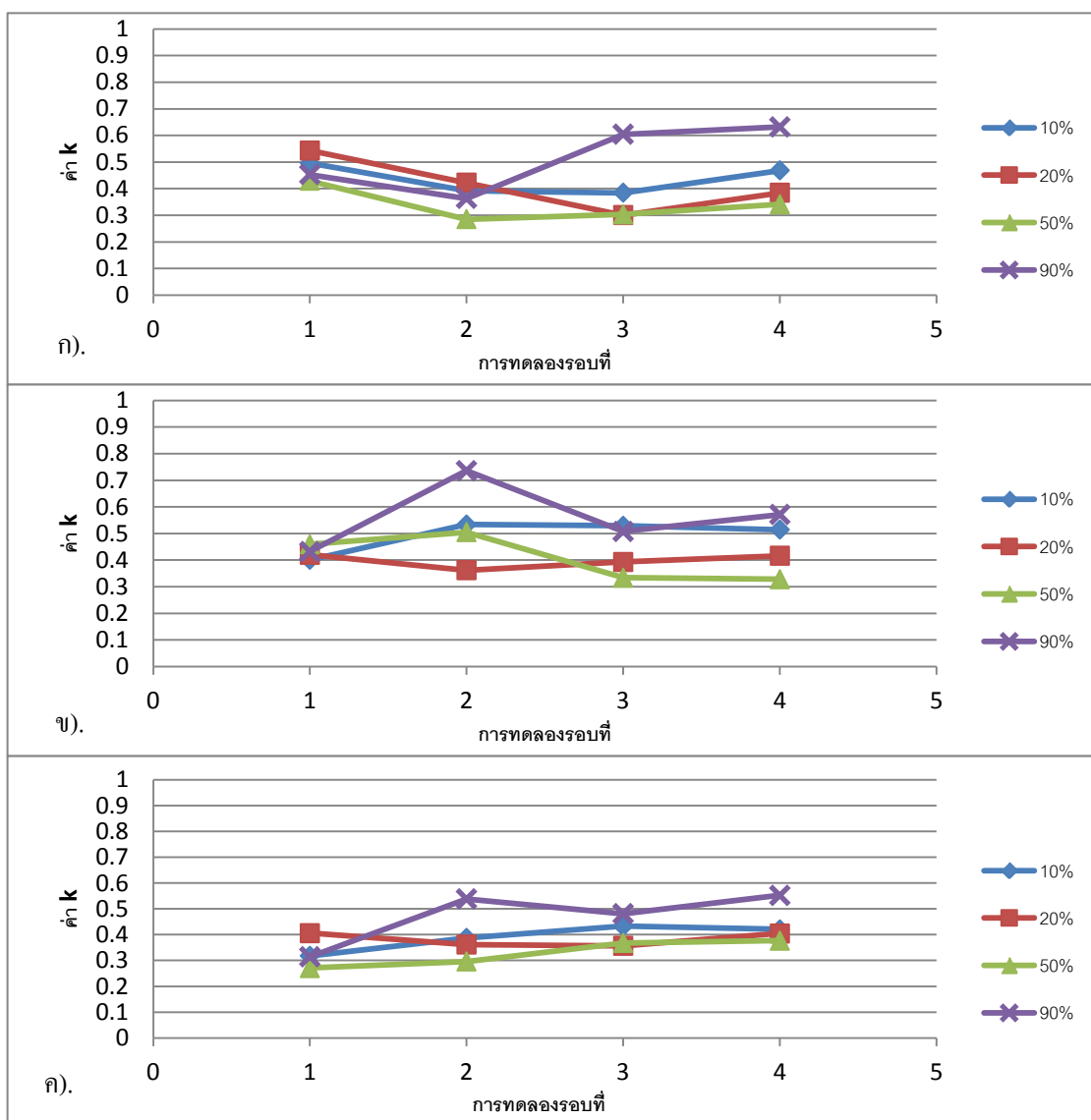
รูปที่ 4.32 ปริมาณก๊าซชีวภาพของการทดลอง 4 รอบ

ก). ปริมาณก๊าซชีวภาพของน้ำมัน รอบที่ 1 - 4

ข). ปริมาณก๊าซชีวภาพของเศษข้าว รอบที่ 1 - 4

ค). ปริมาณก๊าซชีวภาพของกากถั่วเหลือง รอบที่ 1 - 4

จากผลการทดลองพบว่าค่า k_1 ของการทดลองรอบที่ 1 และ 2 ยังมีค่าไม่คงที่เนื่องจากอาจยังมีการปรับตัวของการทิ้งน้ำ แต่รอบที่ 3 และ 4 ค่า k_1 ที่เกิดเริ่มมีค่าใกล้เคียงกันแสดงให้เห็นว่าระบบเริ่มเข้าสู่สภาวะคงที่ ดังรูปที่ 4.33



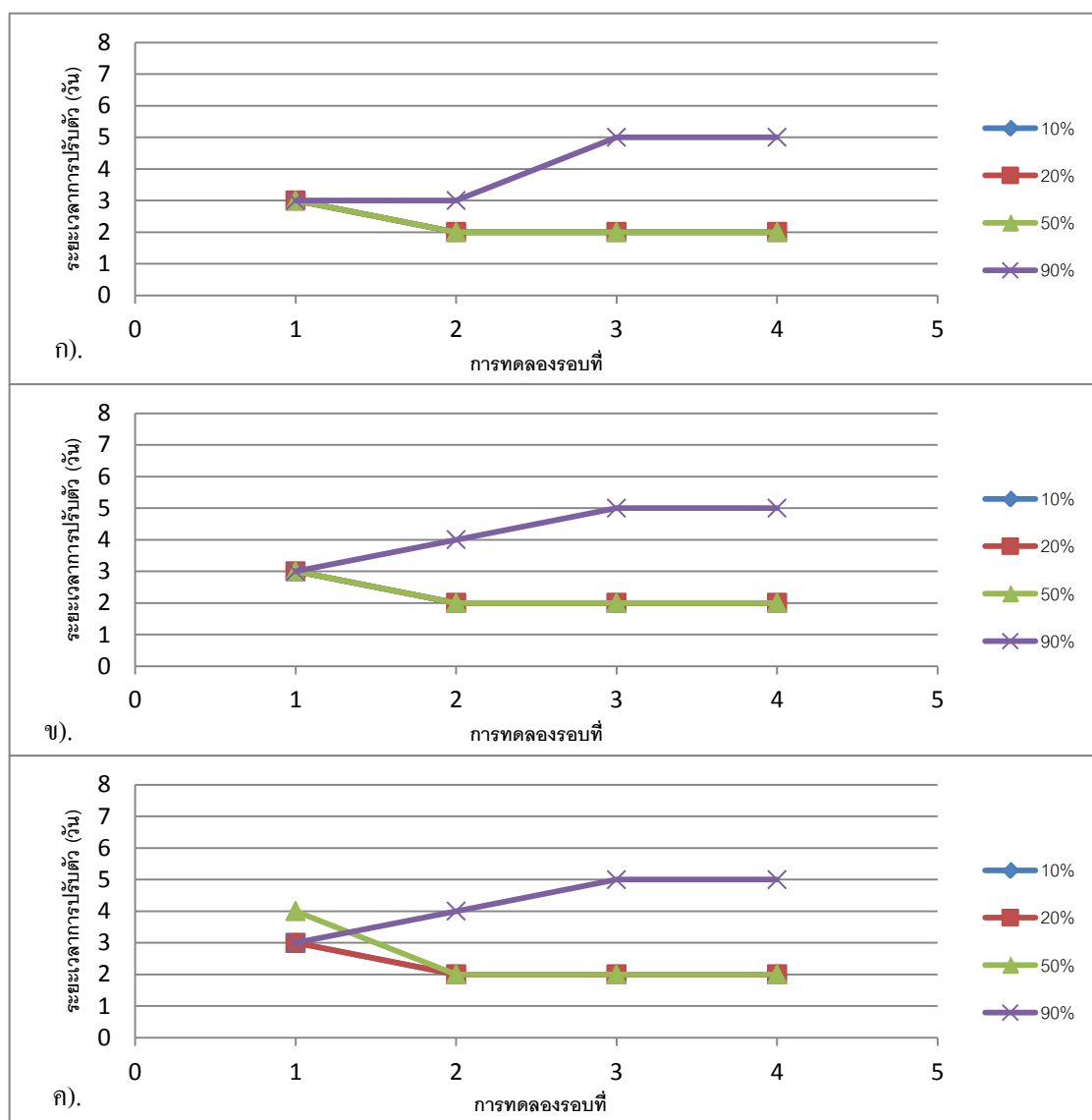
รูปที่ 4.33 ค่า k_1 ของการทดลอง 4 รอบ

ก). ค่า k ของน้ำมัน รอบที่ 1 – 4

ข). ค่า k ของเศษข้าว รอบที่ 1 – 4

ค). ค่า k ของกากถั่วเหลือง รอบที่ 1 – 4

จากผลการทดลองพบว่าที่การทิ้งน้ำ 10 % 20 % และ 50 % มีระยะเวลาปรับตัวที่ลดลงจากประมาณ 3 วัน เหลือประมาณ 2 วัน แต่ที่การทิ้งน้ำ 90 % ระยะเวลาในการปรับตัวเพิ่มขึ้นจากประมาณ 3 วัน เป็นประมาณ 5 วัน ดังรูปที่ 4.34



รูปที่ 4.34 ระยะเวลาการปรับตัวของการทดลอง 4 รอบ

ก). ระยะเวลาการปรับตัวของน้ํามัน รอบที่ 1 – 4

ข). ระยะเวลาการปรับตัวของเศษขี้วัว รอบที่ 1 – 4

ค). ระยะเวลาการปรับตัวของกากถั่วเหลือง รอบที่ 1 – 4

4.3.3 อายุตะกอน

หลังจากระบบเข้าสู่สภาวะคงที่แล้วจึงทำการหาค่าของอายุตะกอน

จากสูตร
$$\theta_C = \frac{V_R}{F_W}$$

โดยที่
$$\theta_C = \text{อายุตะกอน (วัน)}$$

$$V_R = \text{ปริมาตรน้ำในถังปฏิกิริยา (ลิตร)}$$

$$F_W = \text{อัตราการทิ้งน้ำรวม (ลิตร/วัน)}$$

ตัวอย่างที่ทิ้งน้ำ 10 % โดยจะทำการทิ้งน้ำที่ 30 มล. ทุก 15 วัน มีปริมาตรน้ำทั้งหมด 300 มล.

$$\theta_C = \frac{300 \text{ มล.}}{\frac{30 \text{ มล.}}{15 \text{ วัน}}}$$

$$\theta_C = 150 \text{ วัน}$$

ตัวอย่างที่ทิ้งน้ำ 20 % โดยจะทำการทิ้งน้ำที่ 60 มล. ทุก 15 วัน มีปริมาตรน้ำทั้งหมด 300 มล.

$$\theta_C = \frac{300 \text{ มล.}}{\frac{60 \text{ มล.}}{15 \text{ วัน}}}$$

$$\theta_C = 75 \text{ วัน}$$

ตัวอย่างที่ทิ้งน้ำ 50 % โดยจะทำการทิ้งน้ำที่ 150 มล. ทุก 15 วัน มีปริมาตรน้ำทั้งหมด 300 มล.

$$\theta_C = \frac{300 \text{ มล.}}{\frac{150 \text{ มล.}}{15 \text{ วัน}}}$$

$$\theta_C = 30 \text{ วัน}$$

ตัวอย่างที่ทิ้งน้ำ 90 % โดยจะทำการทิ้งน้ำที่ 270 มล. ทุก 15 วันมีปริมาณน้ำทั้งหมด 300 มล.

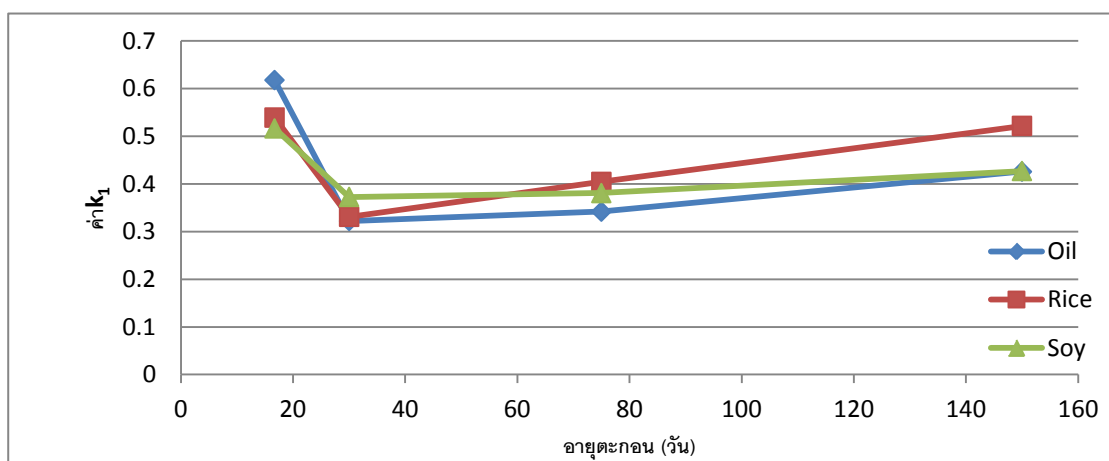
$$\theta_C = \frac{300 \text{ มล.}}{\frac{270 \text{ มล.}}{15 \text{ วัน}}}$$

$$\theta_C = 16.7 \text{ วัน}$$

การทิ้งน้ำที่ 10 % 20 % 50 % และ 90 % มีค่าอายุตะกอนเท่ากับ 150 75 30 และ 16.7 วันตามลำดับ

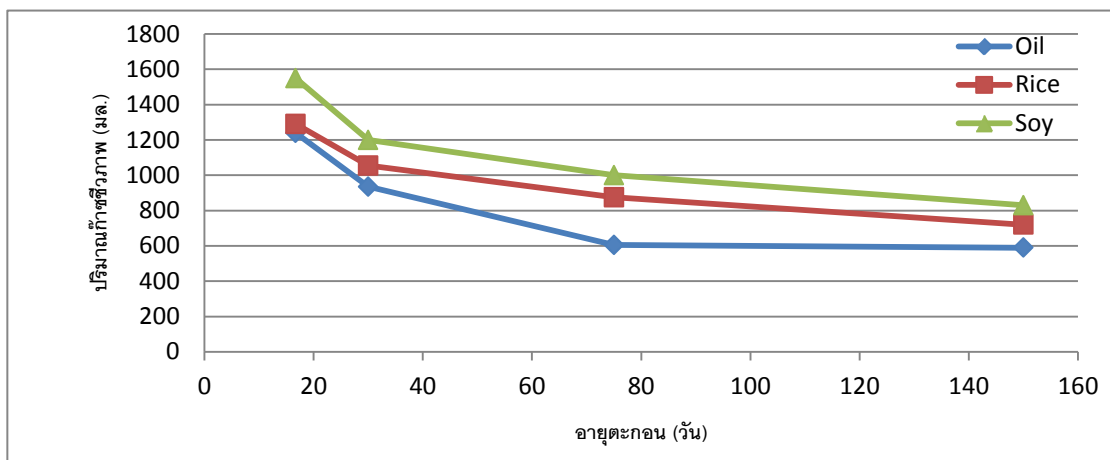
จากนั้นนำค่าอายุตะกอนมาสร้างกราฟเทียบกับค่า k_1 ปริมาณก๊าซชีวภาพ และระยะเวลาในการปรับตัวเพื่อหาค่าอายุตะกอนที่เหมาะสมที่สุด

อายุตะกอนที่ 16.7 วัน มีค่า k_1 สูงที่สุด ของทั้ง ตะกอนจุลินทรีย์ร่วมกับน้ำมัน ตะกอนจุลินทรีย์ร่วมกับน้ำมันและเศษข้าว ตะกอนจุลินทรีย์ร่วมกับน้ำมันและกากถั่วเหลือง ดังรูปที่ 4.35



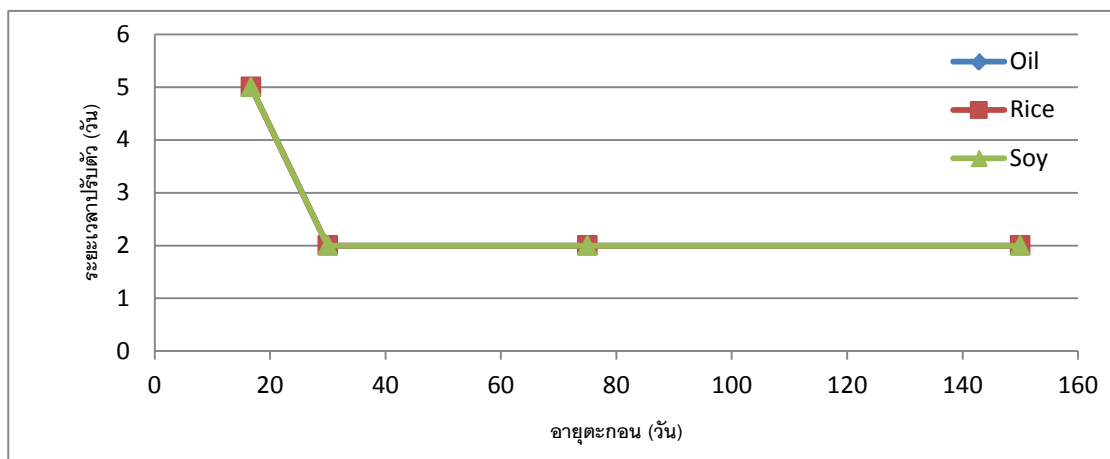
รูปที่ 4.35 ค่า k_1 เทียบกับ อายุตะกอน

ปริมาณก๊าซชีวภาพสูงสุดเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าอายุตะกอน พบว่า ที่อายุตะกอน 16.7 วัน มีค่าก๊าซชีวภาพมากที่สุด และลดลงตามค่าอายุตะกอนที่ 30 75 และ 150 วัน ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.36



รูปที่ 4.36 ปริมาณก๊าซชีวภาพเทียบกับอายุตะกอน

ระยะเวลาในการปรับตัวของค่าอายุตะกอนที่ 16.7 วัน มีระยะเวลาในการปรับตัว 5 วัน ซึ่งน้อยกว่า ค่าอายุตะกอนที่ 30 75 และ 150 วัน ซึ่งมีระยะเวลาการปรับตัวเท่ากัน คือ 2 วัน ดังรูปที่ 4.37



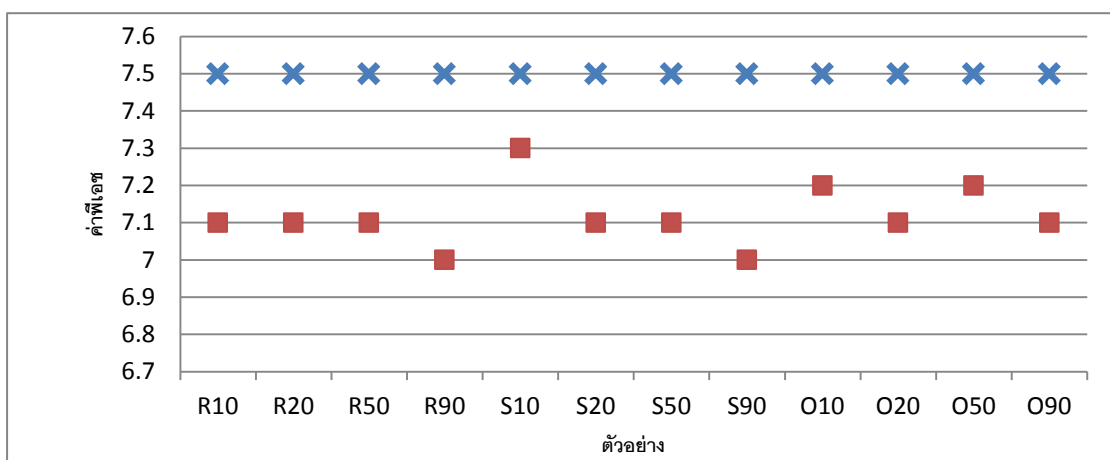
รูปที่ 4.37 ระยะเวลาการปรับตัวเทียบกับอายุตะกอน

4.3.4 อุณหภูมิ (Temperature)

อุณหภูมิที่ใช้ในการทดลองส่วนที่ 2 คืออุณหภูมิห้องซึ่งอยู่ช่วงเมโซฟิลิก (Mesophilic range) มีช่วงอุณหภูมิประมาณ 29 - 32°C

4.3.5 ค่าพีเอช (pH)

ค่าพีเอชที่ได้จากการทดลองส่วนที่ 2 ก่อนเดินระบบมีค่าประมาณ 7.5 และหลังจากระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ค่าพีเอชมีค่าประมาณ 7.0 – 7.3 ดังรูปที่ 4.38



รูปที่ 4.38 ค่าพีเอชก่อนและหลังการทดลองส่วนที่ 2

หมายเหตุ; X = ก่อนการทดลอง ■ = หลังการทดลอง

4.3.6 ค่ากรดไขมันระเหยง่าย

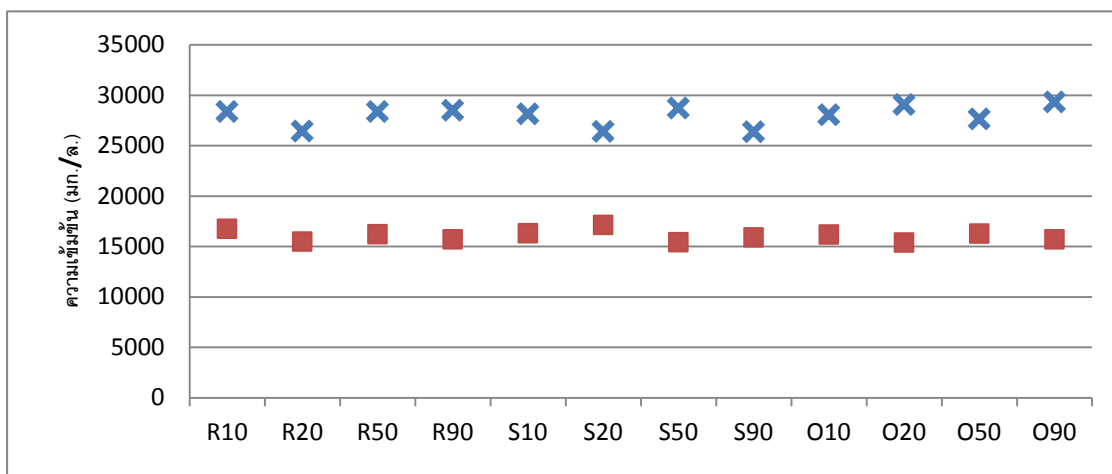
จากการทดลองส่วนที่ 2 พบว่าอัตราส่วนกรดไขมันระเหยง่ายต่อสภาพค้างทั้งหมดของทุกชุดการทดลองมีค่าน้อยกว่า 0.4 แสดงให้เห็นว่าระบบมีบัพเฟอร์เพียงพอในการควบคุมไม่ให้ค่าพีเอชลดลงอย่างรวดเร็วจนระบบล่มได้ ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ค่ากรดไขมันระเหยง่ายการทดลองส่วนที่ 2

ตัวอย่าง	กรดไขมันระเหยง่าย (มก./ล.)	สภาพความเป็นค้าง ทั้งหมด (มก./ล.)	อัตราส่วนกรดไขมัน ระเหยง่ายต่อสภาพ ค้างทั้งหมด
R10	100	625	0.16
R20	150	625	0.24
R50	112.5	650	0.173077
R90	100	600	0.166667
S10	75	650	0.115385
S20	150	625	0.24
S50	125	625	0.2
S90	125	600	0.208333
O10	75	600	0.125
O20	100	650	0.153846
O50	112.5	650	0.173077
O90	175	650	0.269231

4.3.7 ค่าของแข็งทั้งหมด (TS)

ทุกตัวอย่างการทดลองส่วนที่ 2 ค่าความเข้มข้นของของแข็งระเหยง่ายมีค่าเริ่มต้นประมาณ 25,975 มก./ล. ถึง 29,600 มก./ล. และค่าสุดท้ายกำจัดลดลงเหลือประมาณ 13,567 มก./ล. ถึง 14,967 มก./ล. ซึ่งมีประสิทธิภาพในการกำจัดประมาณ 43.5 % - 53.7 % เมื่อเทียบกับการทดลองในส่วนที่ 1 พบว่ามีประสิทธิภาพในการกำจัดสูงกว่า ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากตะกอนจุลินทรีย์มีความพร้อมในการบำบัดมากกว่าส่วนที่ 1 เพราะตะกอนจุลินทรีย์ดังกล่าวผ่านการบำบัดน้ำเสียตัวอย่างมาเป็นจำนวน 4 รอบ ทำให้มีสภาวะเหมาะสมสำหรับการบำบัดน้ำเสียตัวอย่าง จึงทำให้ในการทดลองส่วนที่ 2 สามารถกำจัดค่าของแข็งทั้งหมดได้เพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 4.39

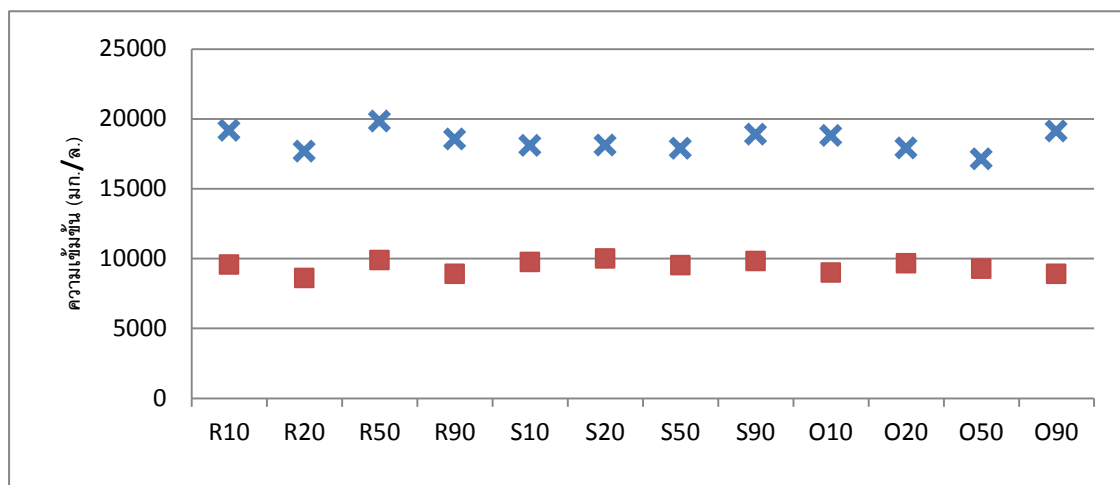


รูปที่ 4.39 ค่าของแข็งทั้งหมดก่อนและหลังการทดลองส่วนที่ 2 เมื่อเข้าสู่สภาวะคงที่

หมายเหตุ: x = ก่อนการทดลอง ■ = หลังการทดลอง

4.3.8 ค่าของแข็งระเหยง่าย (VS)

ทุกตัวอย่างการทดลองส่วนที่ 2 ค่าความเข้มข้นของของแข็งระเหยง่ายมีค่าเริ่มต้นประมาณ 17,100 มก./ล. ถึง 19,775 มก./ล. และค่าสุดท้ายกำจัดลดลงเหลือประมาณ 8,133 มก./ล. ถึง 9,333 มก./ล. ซึ่งมีประสิทธิภาพในการกำจัดประมาณ 49.8 % - 57.0 % ค่าของแข็งระเหยง่ายลดลงเนื่องจากสารอินทรีย์ในน้ำเสียถูกใช้เป็นอาหารของจุลินทรีย์ในการผลิตก๊าซชีวภาพจึงทำให้มีค่าลดลง ดังรูปที่ 4.40

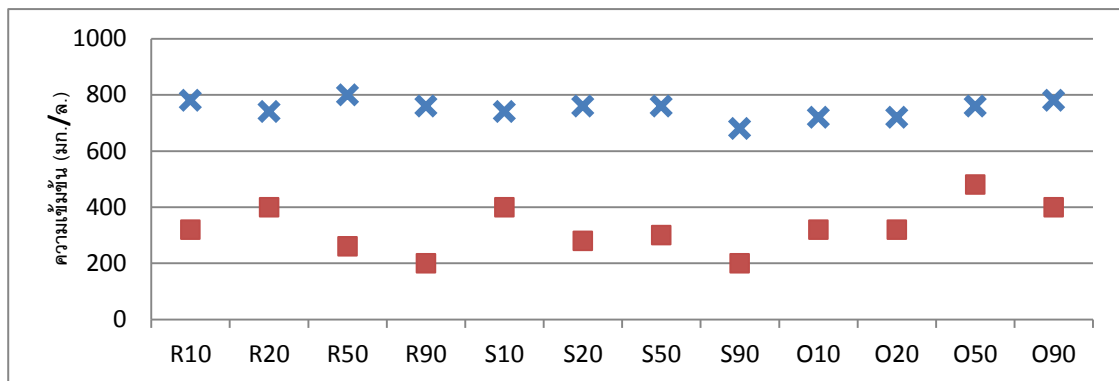


รูปที่ 4.40 ค่าของแข็งระเหยง่ายก่อนและหลังการทดลองส่วนที่ 2 เมื่อเข้าสู่สภาวะคงที่

หมายเหตุ; X = ก่อนการทดลอง ■ = หลังการทดลอง

4.3.9 ค่าซีโอดี

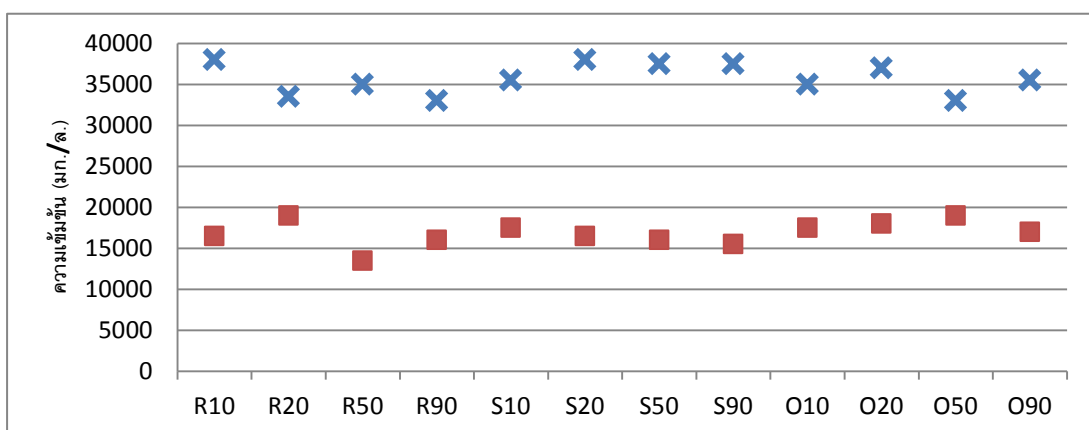
การทดลองนี้ศึกษาการบำบัดซีโอดีละลายที่ก่อนเดินระบบและหลังเข้าสู่สภาวะคงที่ ค่าซีโอดีละลายการทดลองส่วนที่ 2 มีค่าประมาณ 640 – 800 มก./ล. ลดลงเหลือประมาณ 200 – 480 มก./ล. ซึ่งมีประสิทธิภาพในการกำจัดประมาณ 36.8 % - 73.7 % ดังรูปที่ 4.41



รูปที่ 4.41 ค่าซีโอดีละลายก่อนและหลังการทดลองส่วนที่ 2 เมื่อเข้าสู่สภาวะคงที่

หมายเหตุ; X = ก่อนการทดลอง ■ = หลังการทดลอง

ค่าซีโอดีทั้งหมดการทดลองส่วนที่ 2 มีค่าประมาณ 33,000 – 38,000 มก./ล. ลดลงเหลือประมาณ 13,500 – 19,000 มก./ล. ซึ่งมีประสิทธิภาพในการกำจัดประมาณ 43.3 % - 61.4 % ดังรูปที่ 4.42



รูปที่ 4.42 ค่าซีโอดีทั้งหมดก่อนและหลังการทดลองส่วนที่ 2 เมื่อเข้าสู่สภาวะคงที่

หมายเหตุ; X = ก่อนการทดลอง ■ = หลังการทดลอง

4.3.10 องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ

การวิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพที่ได้จากการทดลองนั้นทำโดยวิธีก๊าซโครมา-โตรกราฟี และนำข้อมูลพื้นที่ของก๊าซมีเทนที่วิเคราะห์ได้นำมาเปรียบเทียบกับพื้นที่ของพื้นที่ของมีเทนมาตรฐานที่ความเข้มข้น 99 % ผลการวิเคราะห์ก๊าซมีเทนมาตรฐาน 99% ทั้ง 2 ครั้งพบว่า

$$\text{Area of CH}_4 = \left(\frac{19,274,316 + 17,950,445}{2} \right) = 18,612,380.5 \text{ ดังตารางที่ 4.3-4.6}$$

ตารางที่ 4.3 องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพการทดลองรอบที่ 1

ตัวอย่าง	เปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทน	เปอร์เซ็นต์ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และอื่นๆ
S10	21.17	78.83
S20	27.91	72.09
S50	33.21	66.79
S90	18.00	82.00
R10	26.61	73.39
R20	32.83	67.17
R50	21.83	78.17
R90	22.00	78.00
O10	8.57	91.43
O20	25.34	74.66
O50	21.43	78.57
O90	18.56	81.44

ตารางที่ 4.4 องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพการทดลองรอบที่ 2

ตัวอย่าง	เปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทน	เปอร์เซ็นต์ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และอื่นๆ
S10	21.46	78.54
S20	19.58	80.42
S50	13.74	86.26
S90	37.45	62.55
R10	18.00	82.00
R20	23.43	76.57
R50	29.33	70.67
R90	27.61	72.39
O10	35.88	64.12
O20	40.03	59.97
O50	33.40	66.60
O90	40.96	59.04

ตารางที่ 4.5 องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพการทดลองรอบที่ 3

ตัวอย่าง	เปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทน	เปอร์เซ็นต์ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และอื่นๆ
S10	23.35	76.65
S20	32.26	67.74
S50	41.96	58.04
S90	40.50	59.50
R10	23.89	76.11
R20	16.29	83.71
R50	24.07	75.93
R90	41.02	58.98
O10	35.56	64.44
O20	39.24	60.76
O50	12.77	87.23
O90	26.75	73.25

ตารางที่ 4.6 องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพการทดลองรอบที่ 4

ตัวอย่าง	เปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทน	เปอร์เซ็นต์ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และอื่นๆ
S10	20.93	79.07
S20	37.00	63.00
S50	36.24	63.76
S90	43.26	56.74
R10	28.50	71.50
R20	27.22	72.78
R50	21.36	78.64
R90	38.38	61.62
O10	36.57	63.43
O20	30.18	69.82
O50	31.15	68.85
O90	27.43	72.57

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัยการทดลองส่วนที่ 1

5.1.1 การศึกษาผลของการผลิตก๊าซชีวภาพจากการย่อยสลายน้ำมันพืช

- แนวคิดของการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำมันพืชที่ความเข้มข้น 2,000 มก./ล. สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่มีข้อจำกัดในเรื่องของความเข้มข้นของน้ำมัน หากความเข้มข้นสูงเกินไปอาจส่งผลให้ยับยั้งความสามารถในการย่อยสลายของจุลินทรีย์ในระบบได้ และสารอาหารจำพวกโปรตีนซึ่งเป็นแหล่งของไนโตรเจนเหมาะสำหรับนำมาใช้ย่อยสลายร่วมกับน้ำมันพืช เนื่องจากในการผลิตก๊าซชีวภาพของน้ำมันพืชต้องการแหล่งไนโตรเจนเป็นสารอาหารที่จำเป็น

5.1.2 การศึกษาผลของการใส่สารลดแรงตึงผิว

- การใส่สารลดแรงตึงผิวส่งผลให้ใช้ระยะเวลาในการปรับตัวและระยะเวลาในการผลิตก๊าซชีวภาพนานขึ้นจึงไม่เหมาะสมสำหรับนำมาใช้ในการผลิตก๊าซชีวภาพ เนื่องจากอาจจะผลิตก๊าซชีวภาพได้ไม่ทันตามความต้องการ และอาจส่งผลให้น้ำมันสามารถละลายน้ำได้ในปริมาณมากเกินไปจนไปยับยั้งปฏิกิริยาชีวภาพ ทำให้เกิดความเป็นพิษขึ้นในระบบชั่วคราว

5.1.3 การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัด

- ทุกชุดการทดลองความเข้มข้นของของแข็งทั้งหมดก่อนเริ่มต้นเดินระบบมีค่าประมาณ 22,983 - 26,283 มก./ล. และหลังเดินระบบสามารถบำบัดลดลงเหลือประมาณ 13,317 - 16,067 มก./ล. ซึ่งมีประสิทธิภาพในการบำบัดประมาณ 33.2 - 48.1 %

- ทุกชุดการทดลองความเข้มข้นของของแข็งระเหยง่ายก่อนเริ่มต้นเดินระบบมีค่าประมาณ 15,183 - 17,350 มก./ล. และหลังเดินระบบสามารถบำบัดลดลงเหลือประมาณ 7,467 - 9,217 มก./ล. ซึ่งมีประสิทธิภาพในการบำบัดประมาณ 43.5 - 55.4 %

- การย่อยสลายของน้ำมันร่วมกับกากถั่วเหลืองหรือเศษข้าวเป็นไปตามปฏิกิริยาลำดับที่ 1 ซึ่งขึ้นกับความเข้มข้นของกากถั่วเหลืองและเศษข้าว โดยมีค่า k_1 ใกล้เคียงกันเท่ากับ 0.390 และ 0.364 ต่อวัน ตามลำดับ

5.1.4 การศึกษาปริมาณก๊าซชีวภาพ

- ก๊าซชีวภาพมีปริมาณเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของกากถั่วเหลือง ในขณะที่เศษข้าวมีปริมาณก๊าซชีวภาพเพิ่มขึ้นจนถึงความเข้มข้น 2,000 มก./ล. จากนั้นจะมีปริมาณคงที่
- กากถั่วเหลืองร่วมกับน้ำมันได้ปริมาณการผลิตก๊าซชีวภาพมากกว่าเศษข้าวร่วมกับน้ำมัน และน้ำมันอย่างเดียวกว่าเท่ากับ 0.72 0.43 และ 0.23 ลบ.ม.ต่อ กก.ของแข็งระเหยง่าย ตามลำดับ

5.1.5 การศึกษาอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ

- การใส่กากถั่วเหลืองทั้งและเศษข้าวที่ความเข้มข้น 1,000 มก./ล. มีค่า k_1 สูงที่สุด เท่ากับ 0.501 ± 0.254 และ 0.434 ± 0.178 ต่อวัน ตามลำดับ ดังนั้นเศษข้าวและกากถั่วเหลืองที่ 1,000 มก./ล. จึงให้ประสิทธิภาพเหมาะสมที่สุดในการนำมาใช้ผลิตก๊าซชีวภาพ
- อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพของถั่วเหลืองมีค่าสูงกว่าเศษข้าวเท่ากับ 0.280 และ 0.157 ลบ.ม. ต่อ กก.ของแข็งระเหยง่าย - วัน ตามลำดับ

5.2 สรุปผลการวิจัยการทดลองส่วนที่ 2

5.2.1 การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัด

- ทุกชุดการทดลองความเข้มข้นของของแข็งทั้งหมดก่อนเริ่มต้นเดินระบบมีค่าประมาณ 25,975 - 29,600 มก./ล. และหลังเดินระบบสามารถบำบัดเหลือประมาณ 13,567 - 14,967 มก./ล. ซึ่งมีประสิทธิภาพในการบำบัดประมาณ 43.5 - 53.7 %
- ทุกชุดการทดลองความเข้มข้นของของแข็งระเหยง่ายก่อนเริ่มต้นเดินระบบมีค่าประมาณ 17,100 - 19,775 มก./ล. และหลังเดินระบบสามารถบำบัดลดลงเหลือประมาณ 8,133 - 9,333 มก./ล. ซึ่งมีประสิทธิภาพในการบำบัดประมาณ 49.8 - 57.0 %

5.2.2 การศึกษาผลของอายุตะกอน

- อายุตะกอนของปริมาณการทิ้งน้ำที่ 10 20 50 และ 90 % มีค่าอายุตะกอนเท่ากับ 150 75 30 และ 16.7 วัน ตามลำดับ

5.2.3 การศึกษาปริมาณก๊าซชีวภาพที่อายุตะกอนต่างๆ

- อายุตะกอนที่ 16.7 วัน เหมาะสมสำหรับการเลือกใช้ในการผลิตก๊าซชีวภาพ เนื่องจากมีปริมาณก๊าซชีวภาพมากที่สุดในทุกชุดการทดลองและ ที่อายุตะกอน 30 75 และ 150 วัน มีปริมาณก๊าซชีวภาพลดลง ตามลำดับ

5.2.4 การศึกษาอัตราการย่อยสลาย

- อายุตะกอนที่ 16.7 วันมีค่าคงที่ของอัตราการย่อยสลายสูงสุด

5.2.5 การศึกษาระยะเวลาการปรับตัว

- อายุตะกอนที่ 16.7 วัน ใช้ระยะเวลาในการปรับตัวมากที่สุด เท่ากับ 5 วัน ซึ่งไม่แตกต่างจากค่าอายุตะกอนอื่นมาก ส่วนอายุตะกอนที่ 30 75 และ 150 วัน ใช้ระยะเวลาในการปรับตัวเท่ากันที่ 2 วัน

5.2.6 การศึกษาเปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทน

- ทุกชุดการทดลองที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงที่มีก๊าซมีเทนประมาณ 20.93 – 43.26 %

5.3 ข้อเสนอแนะ

1. การเปรียบเทียบค่าต่างๆของแต่ละตัวอย่างการทดลองอาจไม่ชัดเจนมากเนื่องจากเป็นการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการหากเปลี่ยนเป็นระดับที่ใหญ่ขึ้นอาจจะสามารถเปรียบเทียบค่าต่างๆได้ชัดเจนมากขึ้น
2. การวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆในขณะที่เดินระบบไม่สามารถทำได้เนื่องจากเป็นระบบแบบทีละเท หากต้องการวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆในขณะที่เดินระบบควรเดินระบบแบบต่อเนื่อง
3. น้ำเสียที่ใช้เป็นน้ำเสียสังเคราะห์อาจย่อยสลายได้ง่ายกว่าน้ำเสียจริง จึงควรมีการนำน้ำเสียจริงมาทดสอบเพื่อให้ได้ค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่เหมาะสมมากกว่าน้ำเสียสังเคราะห์
4. การเก็บก๊าซชีวภาพเพื่อไปวิเคราะห์นั้นเนื่องจากทดลองในระดับห้องปฏิบัติการ โดยเป็นระบบแบบทีละเท ทำให้ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นมีปริมาณน้อยไม่สามารถเก็บด้วยถุงเก็บก๊าซได้ ส่งผลให้การส่งตัวอย่างไปวิเคราะห์ห้องค้ประกอบของก๊าซชีวภาพอาจคลาดเคลื่อนได้มาก

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- กชกร ก้องกังวาลย์. 2552. การปรับปรุงประสิทธิภาพโคอะเลสเซอร์ในการแยกน้ำมันออกจากน้ำที่มีสารลดแรงตึงผิว. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- กรมควบคุมมลพิษ. 2542. คู่มือวิชาการระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ. กรุงเทพฯ: กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม.
- กรมควบคุมมลพิษ. 2545. น้ำเสียชุมชนและระบบบำบัดน้ำเสีย. กรุงเทพฯ: กรุงเทพมหานคร.
- กรมควบคุมมลพิษ. 2551. คู่มือแนวทางการจัดการน้ำมันและไขมันจากบ่อดักไขมันและการนำไปใช้ประโยชน์สำหรับชุมชน. กรุงเทพฯ: ทิศวิ.
- เกรียงศักดิ์ อุดมสิน โรจน์, ดร. 2543. วิศวกรรมกรรมการกำจัดน้ำเสีย เล่มที่ 4. กรุงเทพฯ: มิตรนราการพิมพ์.
- เกรียงศักดิ์ อุดมสิน โรจน์, ดร. 2547. วิศวกรรมกรรมการกำจัดน้ำเสีย เล่มที่ 5. กรุงเทพฯ: มิตรนราการพิมพ์.
- ชุลีกร ชุกกลิ่น. 2547. การขจัดน้ำมันเสถียรในอิมัลชันของน้ำเสียโดยอินดิซอร์โฟลเทชัน. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาเคมีเทคนิค บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- แซน.อี.68 คอนซัลตติ้ง เอ็นจิเนียรส์. 2546. เอกสารประกอบการสัมมนา เทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน, โครงการจัดทำคู่มือวิชาการระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ. กรุงเทพฯ.
- ธีระ เกรอด. 2539. วิศวกรรมน้ำเสีย : การบำบัดทางชีวภาพ. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- นุรฮายาตี แมเราะ. 2541. การศึกษาเปรียบเทียบวิธีวิเคราะห์ปริมาณน้ำมันและไขมันในน้ำทิ้ง. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล.
- ประจักษ์ ศาสตรเวช. 2551. การบำบัดน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันและสารลดแรงตึงผิวด้วยกระบวนการอินดิซอร์โฟลเทชัน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

- พิชญ์นาฏ สุทธิสมณ์. 2546. การบำบัดน้ำเสียที่มีน้ำมันถั่วเหลืองโดยการเติมแบคทีเรียที่ผลิตเอนไซม์ไลเปสในระบบบำบัดแบบแอกติเวตเต็ดสลัดจ์. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- พิสมัย เจนวนิชปัญญากุล. 2544. ไบโอดีเซล: พลังงานทางเลือก. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 16 (กันยายน - ธันวาคม).
- มันสิน ตันฑุลเวศม์. 2538. เอกสารประกอบการอบรม การจัดการโครงการก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสีย. การบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการไร้ออกซิเจน. กรุงเทพฯ.
- มันสิน ตันฑุลเวศม์. 2542. เทคโนโลยีบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ศักดิ์ชัย โอภาสวัฑชัย. 2526. การย่อยสลายและการผลิตก๊าซชีวภาพของขยะแบบไร้ออกซิเจนโดยแบคทีเรียชนิดชอบความร้อน. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสุขาภิบาล บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สันทนต์ ศิริอนันต์ไพบุลย์. 2549. ระบบบำบัดน้ำเสีย. กรุงเทพฯ: ทัอป จำกัด
- สุบัณฑิต นิ่มรัตน์. 2548. จุลชีววิทยาของน้ำเสีย. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- อภิพรธม พุกภักดี. 2546. ถั่วเหลือง : พืชทองของไทย. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- อรอนงค์ นัยวิกุล. 2550. ข้าว : วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ภาษาอังกฤษ

- Alves, M.M., Pereira, M.A., Sousa, D.Z., Cavaleiro, A.J., Picavet, M., Smidt, H. and Stams A.J.M. 2009. Waste lipids to energy: how to optimize methane production from long-chain fatty acids (LCFA). Microbial Biotechnology 2: 538 - 550.
- American Water Works Association. 2005. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21th ed.
- Angelidaki, I. and Ahring, B.K. 1997. Codigestion of olive oil mill wastewaters with manure, household waste or sewage sludge. Biodegradation 8: 221 - 226.
- Aurelle, Y. 1985. Treatment of oil-containing wastewater. 1st ed. Bangkok: Chulalongkorn.

- Beccari, M., Bonemazzi, F., Majone, M. and Riccardi, C. 1995. Interaction between acidogenesis and methanogenesis in the anaerobic treatment of olive oil mill effluents. Water Research 30: 183 - 189.
- Carlota, O., Yagui, R., Jr, A.P. and Tavares, L.C. 2005. Micellar solubilization of drugs. J Pharm Pharmaceut Sci 8: 147 - 163.
- Davidsson, Å., Löfstedt, C., Cour Jansen, J. L., Gruvberger, C. and Aspegren, H. 2008. Co-digestion of grease trap sludge and sewage sludge. Waste Management 28: 986 - 992.
- Fatima, V.P.M., Maria, H.M.R.L. and Geraldo, L. 2000. Lipase location in *Yarrowia lipolytica* cells. Biotechnology letter 22: 71 - 75.
- González, L.M., Colturato, L.F., Font, X. and Vicent, T. 2010. Anaerobic co-digestion of the organic fraction of municipal solid waste with FOG waste from a sewage treatment plant: Recovering a wasted methane potential and enhancing the biogas yield. Waste Management 30: 1854 - 1859.
- Hansen, T.L., Schmidt, J.E., Angelidaki, I., Marca, E., Jansen, J.C., Mosbæk, H. and Christensen T.H. 2004. Method for determination of methane potentials of solid organic waste. Waste Management 24: 393 - 400.
- Henze, M. and Harremoes, P. 1983. Anaerobic treatment of wastewater in fixed film reactors : a literature review. Water Science Technology 15: 1 - 101.
- IWA Task Group for Mathematical Modelling of Anaerobic Digestion Process. 2002. Anaerobic Digestion Model No.1. Cornwall: IWA Publishing.
- Jeris, J.S., and McCarty, P.L. 1962. The Biochemistry of Methane Fermentation Using C¹⁴ Traces J. WPCE. 37: 178 - 192.
- Johnson, A.H. and Peterson, M.S. 1974. Encyclopedia of food technology AIV. Publishing Company: 244 - 258.
- Kabouris, J.C., Tezel, U., Pavlostathis, S.G., Engelmann, M., Dulaney, J., Gillette, R.A. and Todd, A.C. 2009. Methane recovery from the anaerobic codigestion of municipal sludge and FOG. Bioresource Technology 100: 3701 - 3705.
- Manila, J.F. and Pohland, F.G. (1992) "Design of Anaerobic Processes for the Treatment of Industrial and Municipal Wastes", Water Quality Management Library. V.7, Technomic Publishing Co.

Metcalf & Eddy. 2004. Wastewater Engineering : Treatment and Reuse. 4th edition. New York: McGraw-Hill.

Montefrio, M.J., Xinwen, T. and Obbard, J.P. 2010. Recovery and pre-treatment of fats, oil and grease from grease interceptors for biodiesel production. Applied Energy 87: 3155 - 3161.

Rosen, M.J. 1989. Surfactants and Interfacial Phenomena. 2nd ed. New York: John Wiley & Son.

Speece, R.E. 1996. Anaerobic Biotechnology for Industrial Wastewater. Tennessee: Archae Press.

Zheng, S., Min, Y. and Zhifeng, Y. 2005. Biomass production of yeast isolate from salad oil manufacturing wastewater. Bioresource Technology 96: 1183 - 1187.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
ผลการทดลอง

ก.-1 ปริมาณก๊าซชีวภาพ

ตารางที่ ก.-1 ค่าของการผลิตก๊าซชีวภาพการทดลองส่วนที่ 1

วันที่	ปริมาณก๊าซชีวภาพ (มล.)								
	CO	COS	CS	CR1	CR2	CR4	CB1	CB2	CB4
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	25	0	20	10	70	60	0	20	10
2.375	30	10	25	20	110	100	0	20	20
3	60	10	40	35	135	140	0	25	35
3.25	95	20	40	40	150	170	20	40	40
4	185	30	60	50	170	210	35	70	50
4.375	240	30	60	50	170	220	35	80	50
5	340	35	60	55	180	245	60	110	55
5.375	425	35	65	60	185	250	65	120	60
6	510	40	65	60	185	270	80	145	60
6.375	515	40	65	60	190	270	80	145	60
7	545	45	65	65	195	280	90	165	65
7.458	545	45	70	65	195	280	90	165	65
8	550	50	70	65	200	285	90	180	65
9	550	55	70	70	200	305	110	190	70
10	550	55	75	75	200	310	110	195	75
11	550	60	75	75	205	310	110	200	75
12	550	60	75	75	205	310	110	200	75
13	550	65	75	75	205	310	110	200	75
14.042	550	70	75	80	205	310	110	200	80
15	550	70	75	80	205	310	110	200	80
16	550	70	80	80	205	330	110	200	80
17.042	550	80	80	80	205	330	110	210	80

วันที่	ปริมาณก๊าซชีวภาพ (มล.)								
	CO	COS	CS	CR1	CR2	CR4	CB1	CB2	CB4
18	550	80	80	80	210	330	110	210	80
19	550	80	80	80	210	330	110	210	80
20	550	85	90	80	210	330	110	210	80
21	550	85	95	80	210	330	110	215	80
22	550	90	100	80	210	330	110	220	80
23	550	100	110	80	210	330	110	220	80
24	550	100	110	80	210	330	110	220	80
25	550	100	110	80	210	330	110	220	80
26.083	550	110	130	80	210	330	110	220	80
27	550	110	130	80	210	330	110	220	80
28	550	110	150	80	210	330	110	220	80
29	550	120	150	80	210	330	110	215	80
30.042	550	140	180	80	210	330	110	220	80
31.042	550	155	190	80	210	330	110	220	80
32.042	550	180	220	80	210	330	110	220	80
33.083	550	200	230	80	210	330	100	220	80
34.083	550	220	250	80	210	330	100	220	80
35.042	550	240	270	80	210	330	100	220	80
36	550	260	300	80	210	330	100	220	80
37	550	290	330	80	210	330	100	220	80
38	550	310	370	80	210	340	100	220	80
39.083	550	330	430	80	210	340	100	220	80
40.042	550	360	480	80	210	340	100	220	80
41.042	550	390	510	80	210	340	100	220	80
42.042	550	420	540	80	210	340	100	220	80
43.042	550	450	570	80	210	340	100	220	80
44	550	520	580	80	210	340	100	220	80

วันที่	ปริมาณก๊าซชีวภาพ (มล.)								
	CO	COS	CS	CR1	CR2	CR4	CB1	CB2	CB4
45	550	610	590	80	210	340	100	220	80
46	550	790	620	80	210	340	100	220	80
47.042	550	905	620	80	210	340	100	220	80
48.083	530	985	630	80	210	330	110	220	80
49	530	995	630	80	210	330	110	220	80
50	530	1,015	630	80	210	330	110	220	80
51	540	1,035	630	80	210	330	110	220	80
52.042	540	1,055	630	80	210	330	110	220	80
53	540	1,055	630	80	210	330	110	220	80
54	540	1,085	630	80	210	330	110	220	80
55	540	1,085	630	80	210	330	110	220	80
56	540	1,085	630	80	210	330	110	220	80
57	540	1,095	630	80	210	330	110	220	80
58	540	1,095	630	80	210	330	110	220	80
59	540	1,095	630	80	210	330	110	220	80
60	540	1,095	640	80	210	330	110	220	80
61	540	1,095	640	80	210	330	110	220	80
62	540	1,095	640	80	210	330	110	220	80
63	540	1,095	640	80	210	330	110	220	80
64	540	1,095	640	80	210	330	110	220	80
65	540	1,095	640	80	210	330	110	220	80
66.125	540	1,095	640	80	210	330	110	220	80
67	540	1,095	640	80	210	330	110	220	80
68	540	1,095	640	80	210	330	110	220	80
69	540	1,095	640	80	210	330	110	220	80
70	540	1,095	640	80	210	330	110	220	80
71	540	1,095	640	80	210	330	110	220	80

วันที่	ปริมาณก๊าซชีวภาพ (มล.)								
	CO	COS	CS	CR1	CR2	CR4	CB1	CB2	CB4
72	540	1,095	640	80	210	330	110	220	80
73	540	1,095	640	80	210	330	110	220	80
74	540	1,095	640	80	210	330	100	220	80
75	540	1,095	640	80	210	330	100	220	80
76	540	1,095	640	80	210	330	100	220	80
77	540	1,095	640	80	210	330	110	220	80
78	540	1,095	640	80	210	330	110	220	80
79	540	1,095	640	80	210	330	110	220	80
80	540	1,095	640	80	210	330	110	220	80
81	540	1,095	640	80	210	330	110	220	80
82	540	1,095	640	80	210	330	110	220	80

วันที่	ปริมาณก๊าซชีวภาพ (มล.)											
	OR1	OR2	OR4	OB1	OB2	OB4	OSR1	OSR2	OSR4	OSB1	OSB2	OSB4
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	70	110	70	40	20	0	20	35	70	0	10	20
2.375	100	165	110	50	30	0	35	45	80	10	15	20
3	170	235	160	90	80	120	40	60	100	15	30	45
3.25	220	260	200	130	130	190	50	65	100	20	35	55
4	325	315	285	230	240	350	55	75	115	25	45	60
4.375	380	350	330	300	320	460	60	80	115	30	45	60
5	495	410	435	440	465	620	70	85	120	30	50	70
5.375	565	460	520	540	560	720	75	90	125	35	60	70
6	630	560	645	610	630	810	75	90	130	35	60	70
6.375	630	605	670	610	630	830	75	90	130	35	60	70
7	670	705	740	655	680	970	90	100	140	35	65	90
7.458	670	715	750	655	685	1,090	90	100	145	35	65	90
8	680	750	780	655	700	1,280	90	105	150	40	70	90
9	700	770	790	680	730	1,305	95	110	160	50	80	100
10	700	775	805	680	740	1,330	95	110	170	50	80	100

วันที่	ปริมาณก๊าซชีวภาพ (มล.)											
	OR1	OR2	OR4	OB1	OB2	OB4	OSR1	OSR2	OSR4	OSB1	OSB2	OSB4
11	700	775	825	680	745	1,345	100	110	170	50	85	100
12	700	780	825	680	750	1,350	105	110	170	50	85	100
13	700	780	825	700	760	1,365	105	120	170	50	100	110
14.042	700	780	825	700	770	1,365	115	120	170	50	100	110
15	700	780	825	700	780	1,365	115	120	170	50	100	110
16	720	785	825	700	790	1,380	120	130	180	50	110	115
17.042	720	790	825	720	810	1,390	120	130	190	50	110	120
18	720	790	825	720	810	1,390	120	130	190	50	110	120
19	720	795	825	720	820	1,400	120	130	190	50	110	125
20	720	795	825	720	830	1,400	125	130	190	50	115	125
21	720	795	825	725	830	1,400	125	130	190	50	115	130
22	720	795	825	725	830	1,400	135	130	190	50	115	145
23	720	795	825	725	850	1,400	140	130	190	50	120	150
24	720	795	825	725	860	1,400	140	130	190	50	120	155
25	720	795	825	725	870	1,400	140	130	190	50	130	160
26.083	720	795	825	725	870	1,400	140	130	190	50	130	180

วันที่	ปริมาณก๊าซชีวภาพ (มล.)											
	OR1	OR2	OR4	OB1	OB2	OB4	OSR1	OSR2	OSR4	OSB1	OSB2	OSB4
27	720	795	825	725	870	1,400	140	130	190	50	130	190
28	720	795	825	725	870	1,400	140	130	190	50	135	210
29	715	795	825	725	870	1,400	140	130	190	50	140	210
30.042	720	795	825	725	870	1,400	140	130	190	60	140	230
31.042	720	795	825	725	870	1,400	140	130	190	70	140	240
32.042	720	795	825	725	870	1,400	140	130	190	80	140	260
33.083	710	795	825	725	870	1,400	140	130	190	100	140	270
34.083	710	795	825	725	870	1,400	140	130	190	120	140	310
35.042	710	795	825	725	870	1,400	140	130	190	140	140	330
36	710	795	825	725	870	1,400	140	130	190	170	140	370
37	710	795	825	725	870	1,400	140	130	190	200	140	410
38	710	795	825	725	870	1,400	140	130	190	240	140	460
39.083	710	795	825	725	870	1,400	140	150	190	290	140	530
40.042	710	795	825	725	870	1,400	140	160	190	350	140	610
41.042	710	795	825	725	870	1,400	145	190	190	415	140	720
42.042	710	795	825	725	870	1,400	160	200	190	490	140	770

วันที่	ปริมาณก๊าซชีวภาพ (มล.)											
	OR1	OR2	OR4	OB1	OB2	OB4	OSR1	OSR2	OSR4	OSB1	OSB2	OSB4
43.042	710	795	825	725	870	1,400	170	230	190	600	140	970
44	710	795	825	725	870	1,400	190	260	190	720	150	1,120
45	710	795	825	725	870	1,400	220	290	190	830	150	1,250
46	720	805	825	725	870	1,400	260	330	190	940	200	1,380
47.042	720	805	825	725	870	1,400	300	360	200	1,010	220	1,440
48.083	720	805	825	715	860	1,410	350	410	190	1,050	250	1,460
49	720	805	825	715	860	1,410	390	470	190	1,080	300	1,465
50	720	805	825	715	860	1,410	430	490	190	1,100	370	1,470
51	720	805	825	715	870	1,410	480	580	210	1,120	450	1,480
52.042	720	805	825	725	870	1,410	540	700	230	1,140	590	1,500
53	720	805	825	725	870	1,410	580	790	230	1,140	720	1,500
54	720	805	825	735	870	1,410	630	930	280	1,140	900	1,510
55	720	805	825	735	870	1,410	660	1,020	280	1,140	1,070	1,510
56	720	805	825	735	870	1,410	700	1,130	320	1,140	1,230	1,540
57	720	805	825	735	870	1,410	730	1,160	330	1,140	1,290	1,530
58	720	805	825	735	870	1,410	760	1,190	340	1,140	1,310	1,530

วันที่	ปริมาณก๊าซชีวภาพ (มล.)											
	OR1	OR2	OR4	OB1	OB2	OB4	OSR1	OSR2	OSR4	OSB1	OSB2	OSB4
59	720	805	825	725	870	1,410	800	1,215	360	1,150	1,330	1,530
60	720	805	825	725	870	1,410	830	1,220	370	1,150	1,340	1,540
61	720	805	825	725	870	1,410	860	1,230	380	1,150	1,340	1,540
62	720	805	825	725	870	1,410	870	1,240	400	1,150	1,345	1,540
63	720	805	825	725	870	1,410	900	1,250	420	1,150	1,350	1,540
64	720	805	825	725	870	1,410	910	1,250	480	1,150	1,355	1,540
65	720	805	825	725	870	1,410	930	1,250	550	1,160	1,365	1,540
66.125	720	805	825	725	870	1,410	970	1,250	670	1,170	1,365	1,550
67	720	805	825	725	870	1,410	990	1,250	770	1,170	1,365	1,550
68	720	805	825	725	870	1,410	1,040	1,250	860	1,170	1,365	1,570
69	720	805	825	725	870	1,410	1,040	1,250	970	1,170	1,365	1,570
70	720	805	825	725	870	1,410	1,090	1,250	1,060	1,170	1,365	1,570
71	720	805	825	725	870	1,410	1,090	1,250	1,160	1,170	1,365	1,570
72	720	805	825	725	870	1,410	1,090	1,250	1,230	1,170	1,365	1,570
73	720	805	825	725	870	1,410	1,090	1,250	1,260	1,170	1,365	1,570
74	720	805	825	725	870	1,410	1,090	1,250	1,300	1,170	1,365	1570

วันที่	ปริมาณก๊าซชีวภาพ (มล.)											
	OR1	OR2	OR4	OB1	OB2	OB4	OSR1	OSR2	OSR4	OSB1	OSB2	OSB4
75	720	805	825	725	870	1,410	1,090	1,250	1,320	1,170	1,365	1,570
76	720	805	825	725	870	1,410	1,090	1,250	1,330	1,170	1,365	1,570
77	720	805	825	725	870	1,410	1,090	1,250	1,360	1,170	1,365	1,570
78	720	805	825	725	870	1,410	1,090	1,250	1,360	1,170	1,365	1,570
79	720	805	825	725	870	1,410	1,090	1,250	1,370	1,170	1,365	1,570
80	720	805	825	725	870	1,410	1,090	1,250	1,370	1,170	1,365	1,570
81	720	805	825	725	870	1,410	1,090	1,250	1,370	1,170	1,365	1,570
82	720	805	825	725	870	1,410	1,090	1,250	1,370	1,170	1,365	1,570

ตารางที่ ก.-2 ค่าของการผลิตก๊าซชีวภาพการทดลองส่วนที่ 2 รอบที่ 1

วันที่	ปริมาณก๊าซชีวภาพ (มล.)											
	R10	R20	R50	R90	S10	S20	S50	S90	O10	O20	O50	O90
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	30	25	40	40	30	30	10	20	10	20	10	30
3	110	100	110	110	90	80	60	70	60	60	70	90
4	200	200	200	200	190	190	160	150	160	160	180	190
5	340	360	340	350	340	360	310	290	330	310	280	370
6	490	500	490	480	510	470	480	440	410	480	440	470
7	560	550	550	540	620	550	590	520	430	490	510	500
8	580	560	580	560	700	600	680	580	450	500	540	510
9	590	570	590	560	730	650	740	620	450	500	540	520
10	600	590	590	580	770	660	780	660	460	510	560	540
11	620	610	610	600	800	670	840	680	470	530	570	560
12	630	620	620	610	820	690	870	700	480	530	570	560
13	650	640	630	620	830	690	890	730	490	550	590	570
14	650	640	630	630	840	690	910	730	490	550	590	580
15	660	650	630	630	840	700	930	740	490	550	590	580

ตารางที่ ก.-3 ค่าของการผลิตก๊าซชีวภาพการทดลองส่วนที่ 2 รอบที่ 2

วันที่	ปริมาณก๊าซชีวภาพ (มล.)											
	R10	R20	R50	R90	S10	S20	S50	S90	O10	O20	O50	O90
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	70	60	80	80	50	60	60	70	50	60	60	60
3	210	200	200	140	200	210	220	150	160	200	170	120
4	400	390	400	290	390	420	450	310	340	400	350	280
5	580	500	600	470	540	620	690	540	420	590	530	500
6	640	530	670	700	600	750	860	780	450	710	600	700
7	670	560	720	820	630	800	930	890	480	760	650	750
8	670	580	740	880	650	840	970	1,030	490	780	670	800
9	690	600	770	910	660	870	1,020	1,050	510	790	710	840
10	690	610	770	920	700	880	1,040	1,060	530	790	740	860
11	700	620	770	920	700	890	1,070	1,080	540	800	750	880
12	700	630	770	920	700	900	1,090	1,100	550	800	750	880
13	700	640	770	920	720	910	1,120	1,120	570	820	790	920
14	700	650	770	920	720	930	1,130	1,130	570	830	800	930
15	700	680	770	920	730	940	1,150	1,150	570	830	840	970

ตารางที่ ก.-4 ค่าของการผลิตก๊าซชีวภาพการทดลองส่วนที่ 2 รอบที่ 3

วันที่	ปริมาณก๊าซชีวภาพ (มล.)											
	R10	R20	R50	R90	S10	S20	S50	S90	O10	O20	O50	O90
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	80	70	80	40	90	50	50	30	50	50	40	20
3	320	300	230	150	320	310	290	120	270	270	220	70
4	520	500	370	230	520	510	550	210	350	330	390	160
5	600	640	570	340	640	600	870	350	380	360	580	300
6	630	700	780	520	670	730	960	560	410	380	660	520
7	640	740	870	800	710	840	1,010	850	430	400	680	810
8	650	780	930	1,050	730	880	1,030	1,100	450	420	700	1,040
9	670	810	950	1,180	760	890	1,070	1,320	470	430	730	1,150
10	670	810	970	1,260	770	900	1,080	1,370	480	430	750	1,160
11	670	820	980	1,290	770	910	1,120	1,430	500	440	800	1,190
12	680	840	990	1,300	800	920	1,150	1,470	520	470	810	1,210
13	680	870	1,000	1,310	810	950	1,170	1,490	530	480	830	1,220
14	700	870	1,010	1,320	820	970	1,180	1,520	560	500	860	1,230
15	700	870	1,030	1,330	820	980	1,190	1,540	570	500	880	1,230

ตารางที่ ก.-5 ค่าของการผลิตก๊าซชีวภาพการทดลองส่วนที่ 2 รอบที่ 4

วันที่	ปริมาณก๊าซชีวภาพ (มล.)											
	R10	R20	R50	R90	S10	S20	S50	S90	O10	O20	O50	O90
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	120	100	60	70	100	90	60	70	90	80	30	50
3	320	340	250	150	370	350	320	160	290	270	260	130
4	540	520	410	330	540	540	600	300	450	440	490	220
5	620	660	660	450	650	740	880	420	520	550	700	330
6	650	710	820	560	680	860	1,010	580	540	570	790	570
7	660	820	910	830	720	870	1,030	940	540	570	810	850
8	670	830	950	980	740	920	1,050	1,250	570	600	840	1,050
9	680	840	980	1,150	750	930	1,080	1,440	590	620	880	1,170
10	680	840	1,010	1,220	770	950	1,100	1,480	600	630	890	1,200
11	690	840	1,040	1,230	780	970	1,130	1,500	610	640	920	1,230
12	690	860	1,050	1,240	790	980	1,150	1,520	630	660	940	1,240
13	720	860	1,060	1,250	810	1,000	1,170	1,540	650	680	960	1,240
14	730	880	1,070	1,250	820	1,010	1,190	1,550	660	690	980	1,250
15	740	880	1,080	1,250	840	1,020	1,210	1,560	680	710	990	1,250

ก.-2 ค่าของแข็งทั้งหมด

ตาราง ก-6 ค่าของแข็งทั้งหมดก่อนเดินระบบ

ตัวอย่าง	ครั้งที่ 1 (มก./ล.)	ครั้งที่ 2 (มก./ล.)	เฉลี่ย (มก./ล.)
CO	25,867	23,233	24,550
COS	24,833	23,400	24,117
CS	23,667	25,233	24,450
CR1	22,967	24,033	25,117
CR2	25,767	24,467	25,733
CR4	25,600	25,867	24,050
CB1	23,367	24,733	25,683
CB2	25,033	26,333	25,217
CB4	24,067	26,367	23,500
OR1	16,100	15,767	24,367
OR2	16,500	15,633	24,183
OR4	17,367	16,367	24,483
OB1	15,167	15,200	22,983
OB2	16,567	15,500	24,117
OB4	17,000	17,033	25,300
OSR1	15,833	15,133	24,817
OSR2	15,933	15,467	24,850
OSR4	17,833	15,933	25,633
OSB1	15,933	16,433	25,250
OSB2	16,733	16,767	25,667
OSB4	17,533	17,167	26,283

ตาราง ก-7 ค่าของแข็งทั้งหมดหลังเดินระบบ

ตัวอย่าง	ครั้งที่ 1 (มก./ล.)	ครั้งที่ 2 (มก./ล.)	เฉลี่ย (มก./ล.)
CO	14,067	16,600	15,333
COS	13,667	15,167	14,417
CS	15,100	16,400	15,750
CR1	13,833	15,967	14,017
CR2	13,700	14,333	15,100
CR4	15,500	14,700	14,500
CB1	13,267	15,733	14,467
CB2	14,100	14,833	15,083
CB4	16,267	13,900	14,900
OR1	15,367	15,067	15,217
OR2	14,633	13,933	14,283
OR4	16,133	16,000	16,067
OB1	15,000	15,167	15,083
OB2	16,133	16,067	16,100
OB4	16,233	15,800	16,017
OSR1	15,033	14,800	14,917
OSR2	14,567	14,333	14,450
OSR4	14,533	13,767	14,150
OSB1	14,567	14,900	14,733
OSB2	12,967	13,667	13,317
OSB4	14,767	14,300	14,533

ตาราง ก-8 ค่าของแข็งระเหยง่ายก่อนเดินระบบ

ตัวอย่าง	ครั้งที่ 1 (มก./ล.)	ครั้งที่ 2 (มก./ล.)	เฉลี่ย (มก./ล.)
CO	15,733	16,300	16,017
COS	16,033	16,633	16,333
CS	18,000	16,233	16,767
CR1	17,333	16,200	15,867
CR2	15,833	15,900	15,550
CR4	15,167	15,933	16,367
CB1	16,500	16,233	15,883
CB2	15,533	16,233	16,783
CB4	16,567	17,000	17,117
OR1	16,100	15,767	15,933
OR2	16,500	15,633	16,067
OR4	17,367	16,367	16,867
OB1	15,167	15,200	15,183
OB2	16,567	15,500	16,033
OB4	17,000	17,033	17,017
OSR1	15,833	15,133	15,483
OSR2	15,933	15,467	15,700
OSR4	17,833	15,933	16,883
OSB1	15,933	16,433	16,183
OSB2	16,733	16,767	16,750
OSB4	17,533	17,167	17,350

ตาราง ก-9 ค่าของแข็งระเหยง่ายหลังเดินระบบ

ตัวอย่าง	ครั้งที่ 1 (มก./ล.)	ครั้งที่ 2 (มก./ล.)	เฉลี่ย (มก./ล.)
CO	7,167	9,367	8,267
COS	8,367	9,333	8,850
CS	7,367	7,967	8,217
CR1	8,300	8,133	8,167
CR2	7,600	8,733	8,033
CR4	7,900	8,167	7,667
CB1	7,300	8,033	7,850
CB2	7,533	8,167	8,033
CB4	7,933	8,133	7,667
OR1	8,200	8,333	8,267
OR2	8,433	7,767	8,100
OR4	9,333	9,033	9,183
OB1	8,333	8,833	8,583
OB2	8,767	9,167	8,967
OB4	8,967	9,467	9,217
OSR1	8,433	7,967	8,200
OSR2	7,900	7,667	7,783
OSR4	8,200	7,700	7,950
OSB1	7,667	8,200	7,933
OSB2	7,067	7,867	7,467
OSB4	8,400	8,000	8,200

ตาราง ก-10 ค่าของแข็งทั้งหมดก่อน- หลัง เดินระบบ ส่วนที่ 2 การทดลองรอบที่ 1

ตัวอย่าง	ก่อนเดินระบบ ครั้งที่ 1 (มก./ล.)	ก่อนเดินระบบ ครั้งที่ 2 (มก./ล.)	ก่อนเดินระบบ เฉลี่ย (มก./ล.)	หลังเดินระบบ ครั้งที่ 1 (มก./ล.)	หลังเดินระบบ ครั้งที่ 2 (มก./ล.)	หลังเดินระบบ เฉลี่ย (มก./ล.)
R10	26,950	28,950	27,950	15,367	16,133	15,750
R20	26,350	25,550	25,950	14,633	15,933	15,283
R50	26,600	29,450	28,025	16,133	17,333	16,733
R90	26,050	26,900	26,475	15,000	15,200	15,100
S10	25,850	27,700	26,775	15,800	16,767	16,283
S20	26,050	26,900	26,475	16,233	15,700	15,967
S50	29,450	28,550	29,000	15,067	15,333	15,200
S90	26,700	26,150	26,425	13,933	15,900	14,917
O10	27,700	27,000	27,350	16,000	15,600	15,800
O20	27,900	29,650	28,775	15,167	16,467	15,817
O50	27,600	29,100	28,350	16,067	18,567	17,317
O90	28,050	27,350	27,700	15,800	15,200	15,500

ตาราง ก-11 ค่าของแข็งทั้งหมดก่อน- หลัง เตินระบบ ส่วนที่ 2 การทดลองรอบที่ 2

ตัวอย่าง	ก่อนเดินระบบ ครั้งที่ 1 (มก./ล.)	ก่อนเดินระบบ ครั้งที่ 2 (มก./ล.)	ก่อนเดินระบบ เฉลี่ย (มก./ล.)	หลังเดินระบบ ครั้งที่ 1 (มก./ล.)	หลังเดินระบบ ครั้งที่ 2 (มก./ล.)	หลังเดินระบบ เฉลี่ย (มก./ล.)
R10	27,650	27,000	27,325	13,933	15,800	14,867
R20	25,250	26,100	25,675	13,033	16,100	14,567
R50	28,050	28,400	28,225	15,267	17,033	16,150
R90	25,950	25,400	25,675	13,900	16,067	14,983
S10	26,550	27,200	26,875	16,267	15,433	15,850
S20	27,250	26,050	26,650	17,667	16,600	17,133
S50	28,100	27,700	27,900	14,500	16,467	15,483
S90	28,600	28,400	28,500	14,800	15,233	15,017
O10	27,400	29,050	28,225	16,700	15,033	15,867
O20	26,100	26,000	26,050	17,300	17,767	17,533
O50	25,900	27,100	26,500	16,467	17,633	17,050
O90	29,850	28,850	29,350	16,200	15,000	15,600

ตาราง ก-12 ค่าของแข็งทั้งหมดก่อน- หลัง เติบระบบ ส่วนที่ 2 การทดลองรอบที่ 3

ตัวอย่าง	ก่อนเดินระบบ ครั้งที่ 1 (มก./ล.)	ก่อนเดินระบบ ครั้งที่ 2 (มก./ล.)	ก่อนเดินระบบ เฉลี่ย (มก./ล.)	หลังเดินระบบ ครั้งที่ 1 (มก./ล.)	หลังเดินระบบ ครั้งที่ 2 (มก./ล.)	หลังเดินระบบ เฉลี่ย (มก./ล.)
R10	27,800	28,900	28,350	16,367	17,100	16,733
R20	26,050	26,800	26,425	14,867	16,067	15,467
R50	28,300	28,400	28,350	16,033	16,367	16,200
R90	28,400	28,550	28,475	15,800	15,600	15,700
S10	27,400	28,900	28,150	16,000	16,600	16,300
S20	26,900	25,900	26,400	17,600	16,667	17,133
S50	28,400	29,000	28,700	14,867	15,967	15,417
S90	25,400	27,300	26,350	16,067	15,667	15,867
O10	28,150	27,950	28,050	15,300	17,033	16,167
O20	29,800	28,300	29,050	15,033	15,733	15,383
O50	27,550	27,700	27,625	15,933	16,600	16,267
O90	29,800	28,850	29,325	15,100	16,267	15,683

ตาราง ก-13 ค่าของแข็งทั้งหมดก่อน- หลัง เดินระบบ ส่วนที่ 2 การทดลองรอบที่ 4

ตัวอย่าง	ก่อนเดินระบบ ครั้งที่ 1 (มก./ล.)	ก่อนเดินระบบ ครั้งที่ 2 (มก./ล.)	ก่อนเดินระบบ เฉลี่ย (มก./ล.)	หลังเดินระบบ ครั้งที่ 1 (มก./ล.)	หลังเดินระบบ ครั้งที่ 2 (มก./ล.)	หลังเดินระบบ เฉลี่ย (มก./ล.)
R10	29,850	29,350	29,600	14,333	14,500	14,417
R20	27,000	27,500	27,250	13,833	14,433	14,133
R50	28,700	27,400	28,050	13,800	14,000	13,900
R90	25,300	26,650	25,975	14,400	14,933	14,667
S10	27,700	29,000	28,350	14,767	14,400	14,583
S20	27,150	26,000	26,575	14,033	15,867	14,950
S50	29,700	28,900	29,300	12,933	14,200	13,567
S90	25,750	27,250	26,500	13,100	15,267	14,183
O10	28,450	27,350	27,900	15,133	14,800	14,967
O20	28,900	29,450	29,175	15,500	14,967	15,233
O50	28,850	28,600	28,725	13,567	14,267	13,917
O90	27,100	27,700	27,400	13,733	14,867	14,300

ตาราง ก-14 ค่าของแข็งระเหยง่ายก่อน- หลัง เติบระบบ ส่วนที่ 2 การทดลองรอบที่ 1

ตัวอย่าง	ก่อนเดินระบบ ครั้งที่ 1 (มก./ล.)	ก่อนเดินระบบ ครั้งที่ 2 (มก./ล.)	ก่อนเดินระบบ เฉลี่ย (มก./ล.)	หลังเดินระบบ ครั้งที่ 1 (มก./ล.)	หลังเดินระบบ ครั้งที่ 2 (มก./ล.)	หลังเดินระบบ เฉลี่ย (มก./ล.)
R10	18,050	18,550	18,300	8,200	8,133	8,167
R20	17,650	17,600	17,625	8,433	8,767	8,600
R50	18,050	18,000	18,025	9,333	9,167	9,250
R90	18,000	17,550	17,775	8,333	8,367	8,350
S10	17,400	17,750	17,575	8,767	9,433	9,100
S20	17,450	18,300	17,875	8,967	9,067	9,017
S50	20,400	18,650	19,525	8,333	8,100	8,217
S90	18,000	19,100	18,550	7,767	9,867	8,817
O10	18,100	18,150	18,125	9,033	9,300	9,167
O20	18,400	19,200	18,800	8,833	9,933	9,383
O50	19,150	17,350	18,250	9,167	10,233	9,700
O90	18,600	17,150	17,875	9,467	8,100	8,783

ตาราง ก-15 ค่าของแข็งระเหยง่ายก่อน- หลัง เติบระบบ ส่วนที่ 2 การทดลองรอบที่ 2

ตัวอย่าง	ก่อนเดินระบบ ครั้งที่ 1 (มก./ล.)	ก่อนเดินระบบ ครั้งที่ 2 (มก./ล.)	ก่อนเดินระบบ เฉลี่ย (มก./ล.)	หลังเดินระบบ ครั้งที่ 1 (มก./ล.)	หลังเดินระบบ ครั้งที่ 2 (มก./ล.)	หลังเดินระบบ เฉลี่ย (มก./ล.)
R10	19,600	18,700	19,150	9,300	9,800	9,550
R20	17,000	18,350	17,675	8,067	9,133	8,600
R50	20,200	19,450	19,825	9,800	9,967	9,883
R90	18,950	18,150	18,550	9,067	8,733	8,900
S10	17,350	18,800	18,075	9,800	9,667	9,733
S20	19,000	17,200	18,100	9,867	10,133	10,000
S50	18,250	17,500	17,875	9,333	9,700	9,517
S90	18,550	19,200	18,875	9,333	10,267	9,800
O10	18,300	19,300	18,800	9,900	8,067	8,983
O20	17,650	18,150	17,900	9,600	9,700	9,650
O50	17,000	17,250	17,125	9,033	9,500	9,267
O90	19,000	19,250	19,125	9,633	8,133	8,883

ตาราง ก-16 ค่าของแข็งระเหยง่ายก่อน- หลัง เติบระบบ ส่วนที่ 2 การทดลองรอบที่ 3

ตัวอย่าง	ก่อนเดินระบบ ครั้งที่ 1 (มก./ล.)	ก่อนเดินระบบ ครั้งที่ 2 (มก./ล.)	ก่อนเดินระบบ เฉลี่ย (มก./ล.)	หลังเดินระบบ ครั้งที่ 1 (มก./ล.)	หลังเดินระบบ ครั้งที่ 2 (มก./ล.)	หลังเดินระบบ เฉลี่ย (มก./ล.)
R10	18,050	18000	18,025	9,700	9,967	9,833
R20	19,450	18,700	19,075	8,700	8,700	8,700
R50	17,100	19,400	18,250	9,633	9,233	9,433
R90	18,950	18,550	18,750	9,500	9,967	9,733
S10	19,650	17,250	18,450	9,467	9,933	9,700
S20	17,200	17,950	17,575	9,967	8,500	9,233
S50	19,350	18,950	19,150	9,133	9,367	9,250
S90	19,500	18,550	19,025	9,900	8,933	9,417
O10	17,050	17,650	17,350	9,133	9,800	9,467
O20	19,200	19,850	19,525	8,867	8,533	8,700
O50	17,550	17,350	17,450	9,467	9,500	9,483
O90	19,100	17,100	18,100	8,967	9,000	8,983

ตาราง ก-17 ค่าของแข็งระเหยง่ายก่อน- หลัง เติบโตระบบ ส่วนที่ 2 การทดลองรอบที่ 4

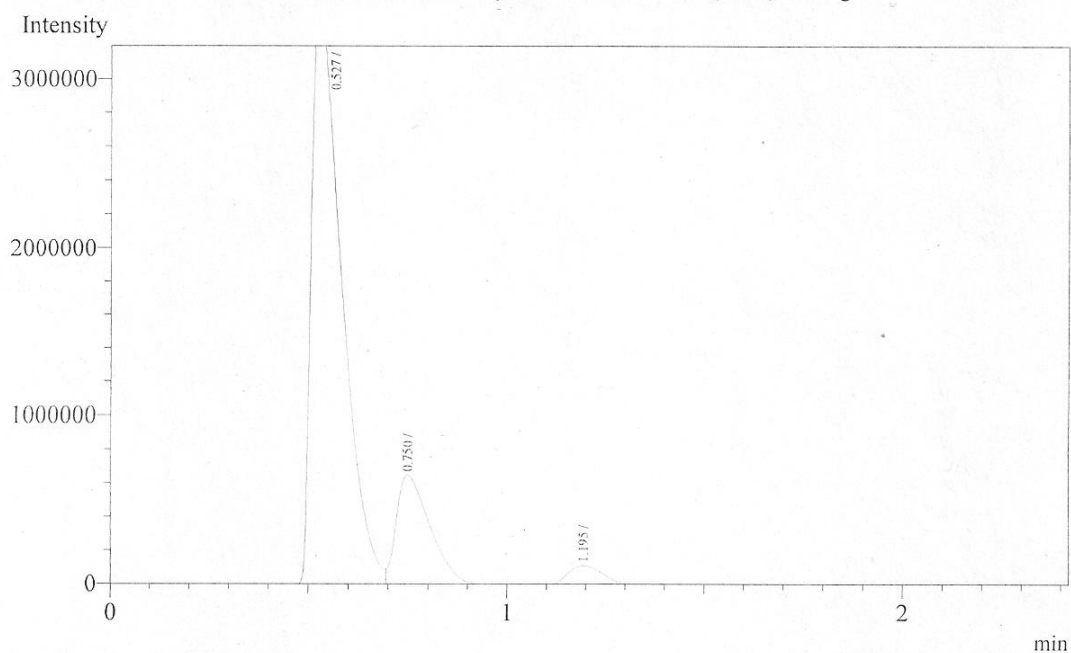
ตัวอย่าง	ก่อนเติบโต ระบบ ครั้งที่ 1 (มก./ ล.)	ก่อนเติบโต ระบบ ครั้งที่ 2 (มก./ ล.)	ก่อนเติบโต ระบบ เฉลี่ย (มก./ล.)	หลังเติบโต ระบบ ครั้งที่ 1 (มก./ ล.)	หลังเติบโต ระบบ ครั้งที่ 2 (มก./ ล.)	หลังเติบโต ระบบ เฉลี่ย (มก./ล.)
R10	19,050	18,950	19,000	8,867	8,133	8,500
R20	16,950	17,250	17,100	8,467	8,700	8,583
R50	18,800	18,250	18,525	8,633	9,167	8,900
R90	17,600	18,700	18,150	9,000	8,600	8,800
S10	17,800	20,100	18,950	9,067	8,433	8,750
S20	18,500	18,150	18,325	8,500	9,500	9,000
S50	19,600	19,900	19,750	8,367	8,633	8,500
S90	18,450	19,000	18,725	8,233	9,833	9,033
O10	19,550	18,850	19,200	9,300	9,367	9,333
O20	20,400	19,150	19,775	9,533	8,267	8,900
O50	18,650	17,600	18,125	8,433	8,767	8,600
O90	17,600	19,900	18,750	8,067	8,200	8,133

ภาคผนวก ข
การหาค่าประกอบของก๊าซชีวภาพ

ข.-1 ผลการหาค่าประกอบของก๊าซชีวภาพ รอบที่ 1

Analysis Date & Time : 10/10/2555 13:12:15
 User Name : Admin
 Vial# : 0
 Sample Name : SAM-1
 Sample ID :
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume :
 ISTD Amount :

Data Name : C:\GCsolution\Data\Project1\air TCD301.gcd
 Method Name : C:\GCsolution\Data\Project1\Packed column (TCD)-CO2.gcm

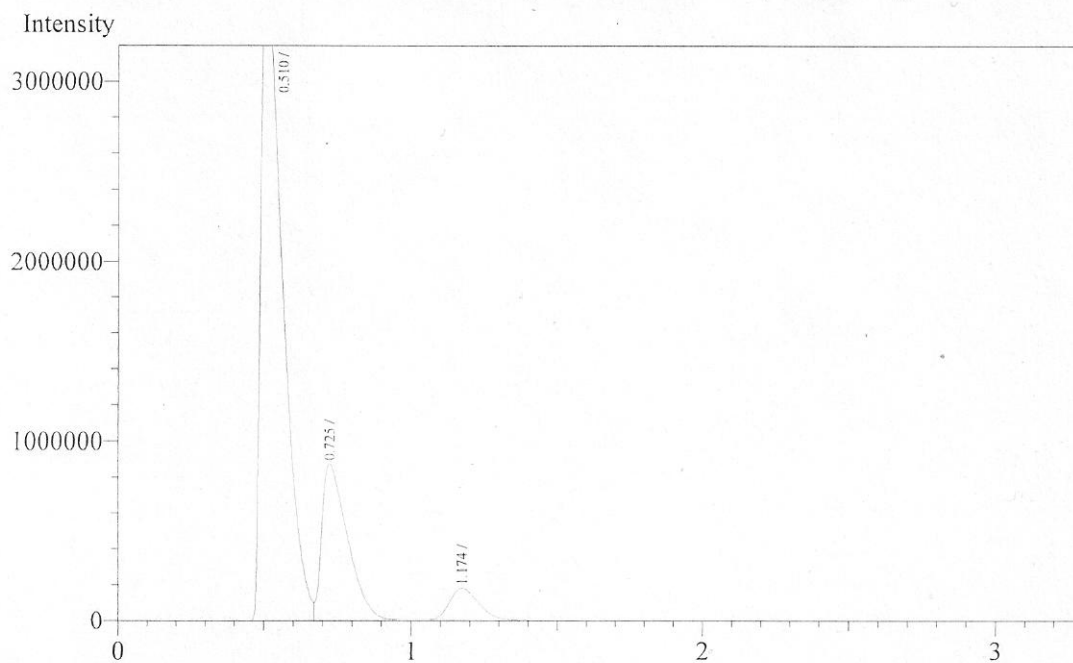


Peak#	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Unit Mark	ID#	Cmpd Name
1	0.527	18302067	3480787	0.000			
2	0.750	3980970	661553	0.000	V		
3	1.195	871251	126685	0.000			
Total		23154288	4269025				

รูปที่ ข.-1 ผลการทดลองของตัวอย่าง S10 รอบที่ 1

Analysis Date & Time : 10/10/2555 13:15:51
 User Name : Admin
 Vial# : 0
 Sample Name : SAM-2
 Sample ID :
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume :
 ISTD Amount :

Data Name : C:\GCsolution\Data\Project1\air TCD302.gcd
 Method Name : C:\GCsolution\Data\Project1\Packed column (TCD)-CO2.gcm

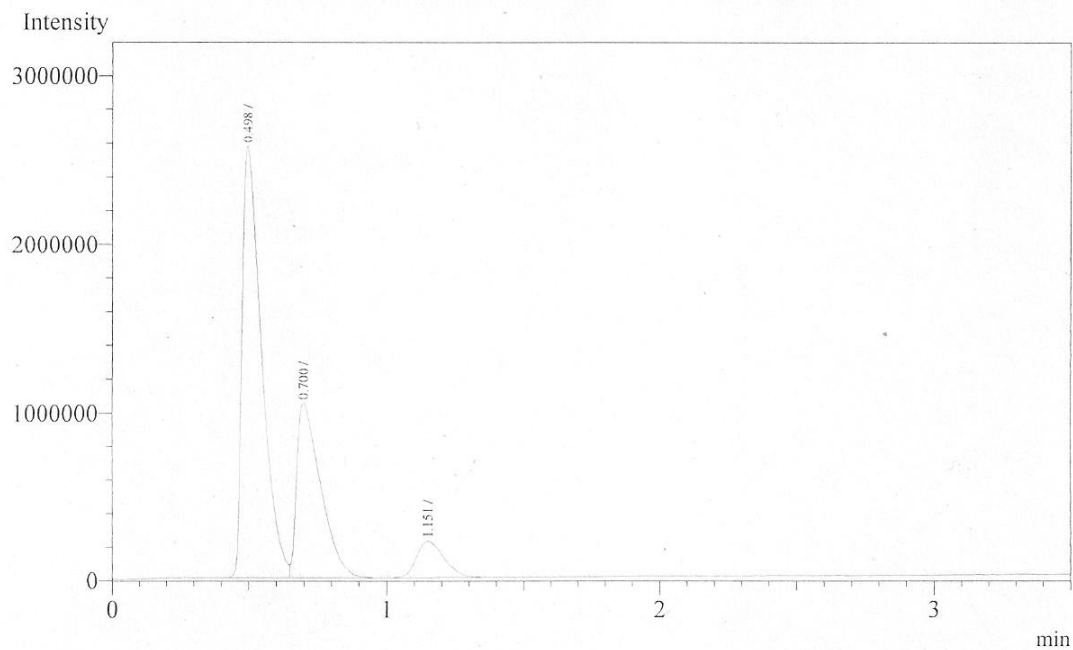


Peak#	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Unit Mark	ID#	Cmpd Name
1	0.510	18730941	3631151	0.000			
2	0.725	5246774	868113	0.000	V		
3	1.174	1233059	176514	0.000			
Total		25210774	4675778				

รูปที่ ข.-2 ผลการทดลองของตัวอย่าง S20 รอบที่ 1

Analysis Date & Time : 10/10/2555 13:20:11
 User Name : Admin
 Vial# : 0
 Sample Name : SAM-3
 Sample ID :
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume :
 ISTD Amount :

Data Name : C:\GCsolution\Data\Project1\air TCD303.gcd
 Method Name : C:\GCsolution\Data\Project1\Packed column (TCD)-CO2.gcm

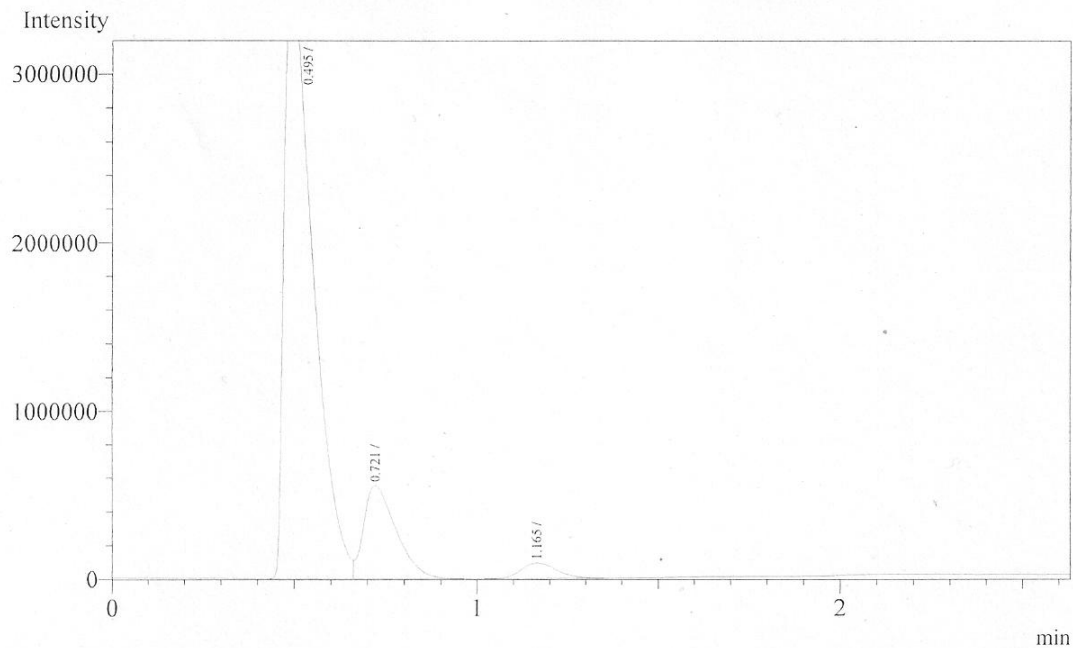


Peak#	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Unit Mark	ID#	Cmpd Name
1	0.498	12736564	2562865	0.000			
2	0.700	6243480	1040805	0.000	V		
3	1.151	1505370	217705	0.000			
Total		20485414	3821375				

รูปที่ ข.-3 ผลการทดลองของตัวอย่าง S50 รอบที่ 1

Analysis Date & Time : 10/10/2555 13:27:01
 User Name : Admin
 Vial# : 0
 Sample Name : SAM-4
 Sample ID :
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume :
 ISTD Amount :

Data Name : C:\GCsolution\Data\Project1\air TCD304.gcd
 Method Name : C:\GCsolution\Data\Project1\Packed column (TCD)-CO2.gcm

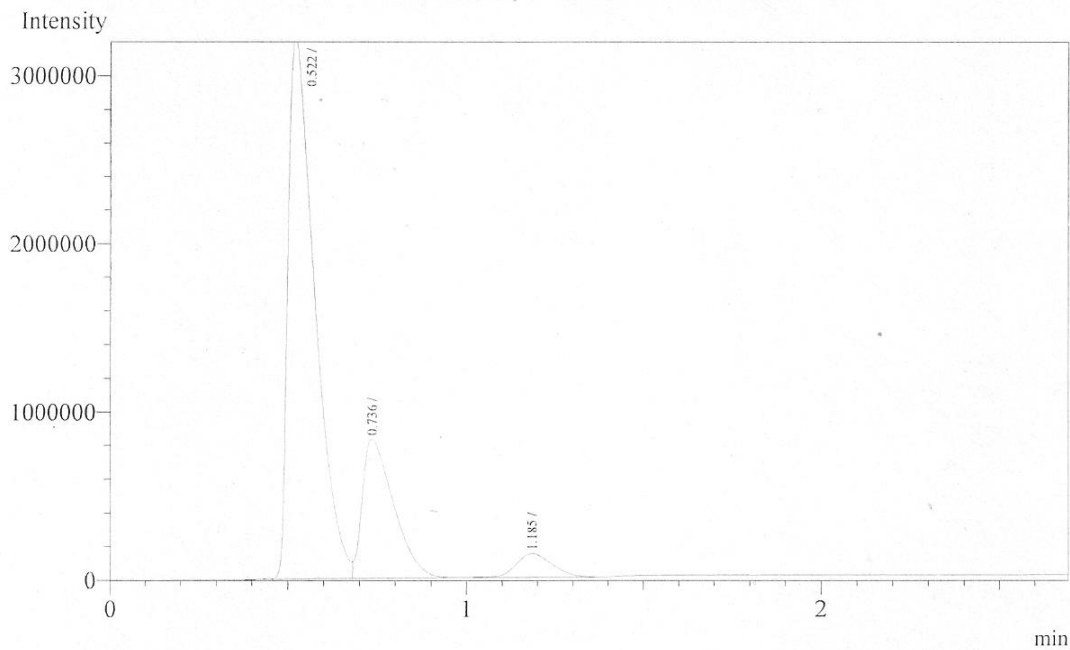


Peak#	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Unit Mark	ID#	Cmpd Name
1	0.495	19355167	3595269	0.000			
2	0.721	3383219	553476	0.000	V		
3	1.165	625052	91234	0.000			
Total		23363438	4239979				

รูปที่ ข.-4 ผลการทดลองของตัวอย่าง S90 รอบที่ 1

Analysis Date & Time : 10/10/2555 13:30:29
 User Name : Admin
 Vial# : 0
 Sample Name : SAM-5
 Sample ID :
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume :
 ISTD Amount :

Data Name : C:\GCsolution\Data\Project1\air TCD305.gcd
 Method Name : C:\GCsolution\Data\Project1\Packed column (TCD)-CO2.gcm

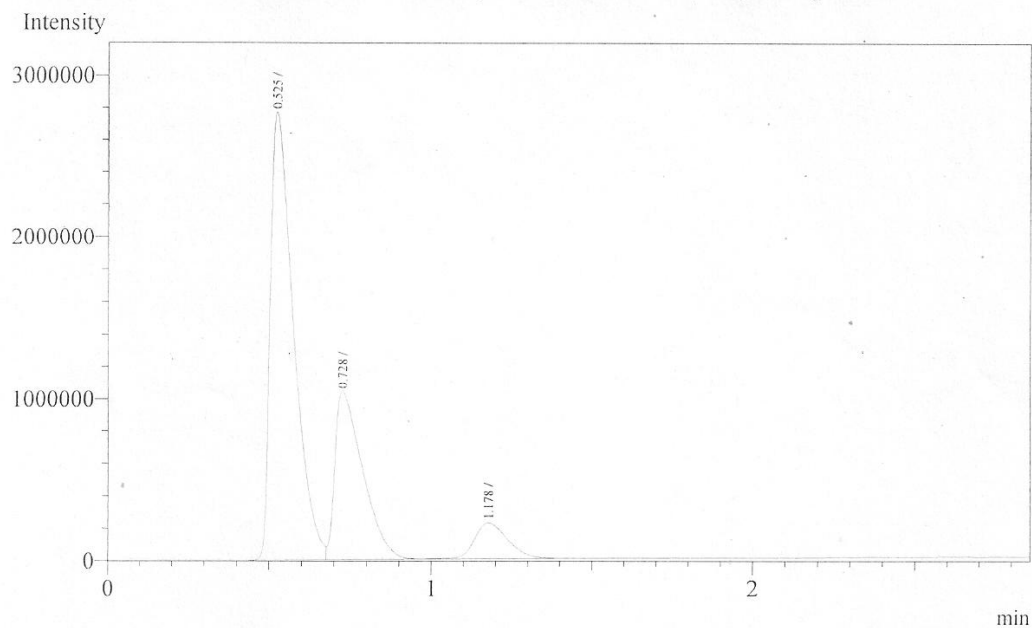


Peak#	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Unit Mark	ID#	Cmpd Name
1	0.522	16631923	3219207	0.000			
2	0.736	5001866	828416	0.000	V		
3	1.185	1020517	141738	0.000			
Total		22654306	4189361				

รูปที่ ข.-5 ผลการทดลองของตัวอย่าง R10 รอบที่ 1

Analysis Date & Time : 10/10/2555 13:33:59
 User Name : Admin
 Vial# : 0
 Sample Name : SAM-6
 Sample ID :
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume :
 ISTD Amount :

Data Name : C:\GCsolution\Data\Project1\air TCD306.gcd
 Method Name : C:\GCsolution\Data\Project1\Packed column (TCD)-CO2.gcm

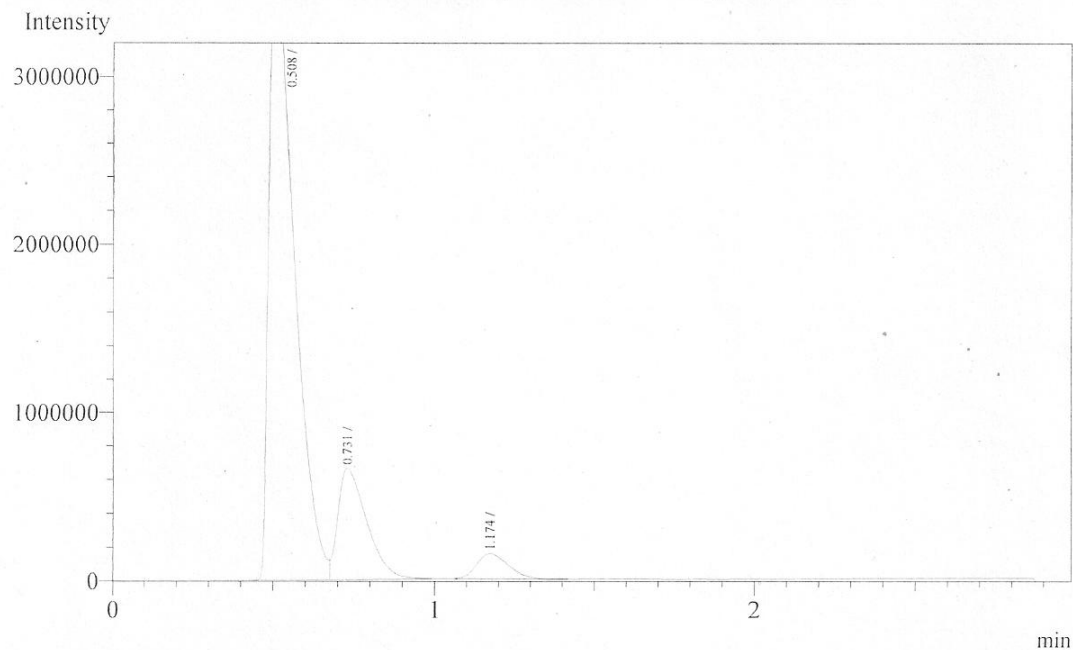


Peak#	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Unit Mark	ID#	Cmpd Name
1	0.525	13713615	2763893	0.000			
2	0.728	6172207	1036996	0.000	V		
3	1.178	1587162	222831	0.000			
Total		21472984	4023720				

รูปที่ ข.-6 ผลการทดลองของตัวอย่าง R20 รอบที่ 1

Analysis Date & Time : 10/10/2555 13:37:41
 User Name : Admin
 Vial# : 0
 Sample Name : SAM-7
 Sample ID :
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume :
 ISTD Amount :

Data Name : C:\GCsolution\Data\Project1\air TCD307.gcd
 Method Name : C:\GCsolution\Data\Project1\Packed column (TCD)-CO2.gcm

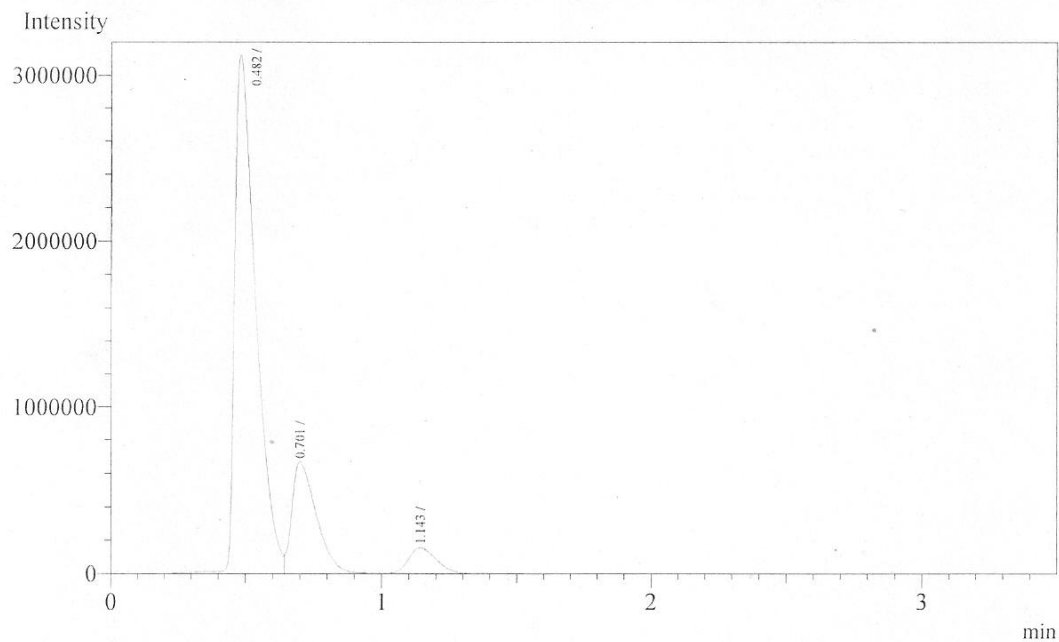


Peak#	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Unit Mark	ID#	Cmpd Name
1	0.508	19914745	3703186	0.000			
2	0.731	4104822	661136	0.000	V		
3	1.174	1046865	151687	0.000			
Total		25066432	4516009				

รูปที่ ข.-7 ผลการทดลองของตัวอย่าง R50 รอบที่ 1

Analysis Date & Time : 10/10/2555 13:41:53
 User Name : Admin
 Vial# : 0
 Sample Name : SAM-8
 Sample ID :
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume :
 ISTD Amount :

Data Name : C:\GCsolution\Data\Project1\air TCD308.gcd
 Method Name : C:\GCsolution\Data\Project1\Packed column (TCD)-CO2.gcm

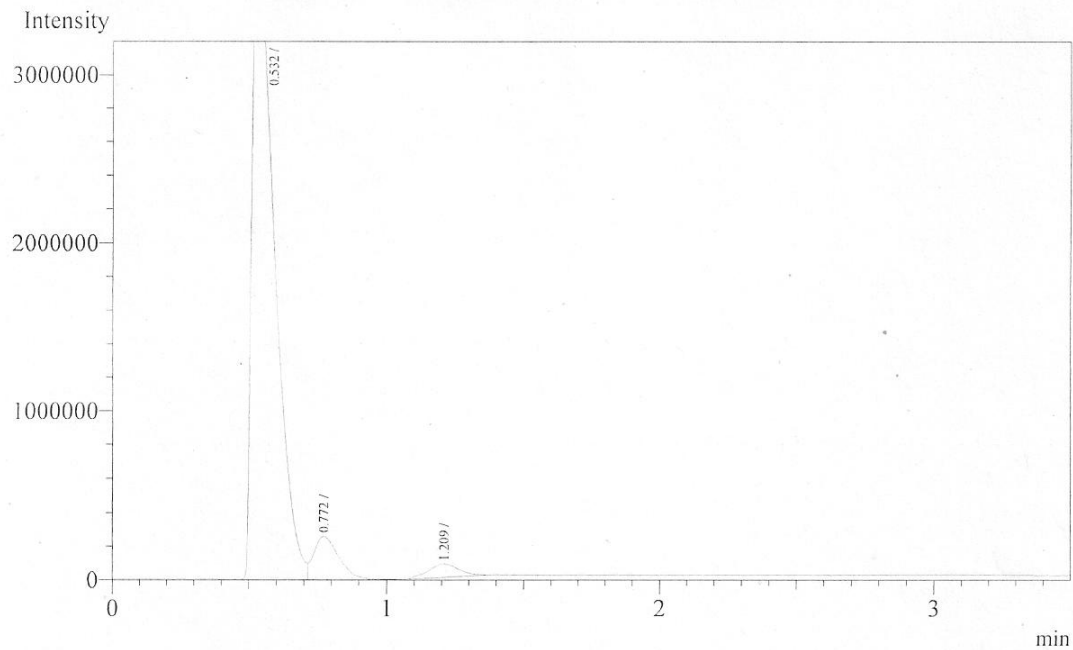


Peak#	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Unit Mark	ID#	Cmpd Name
1	0.482	16857908	3114472	0.000			
2	0.701	4136630	666467	0.000	V		
3	1.143	1086016	154966	0.000			
Total		22080554	3935905				

รูปที่ ข.-8 ผลการทดลองของตัวอย่าง R90 รอบที่ 1

Analysis Date & Time : 10/10/2555 13:47:37
 User Name : Admin
 Vial# : 0
 Sample Name : SAM-9
 Sample ID :
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume :
 ISTD Amount :

Data Name : C:\GCsolution\Data\Project1\air TCD309.gcd
 Method Name : C:\GCsolution\Data\Project1\Packed column (TCD)-CO2.gcm

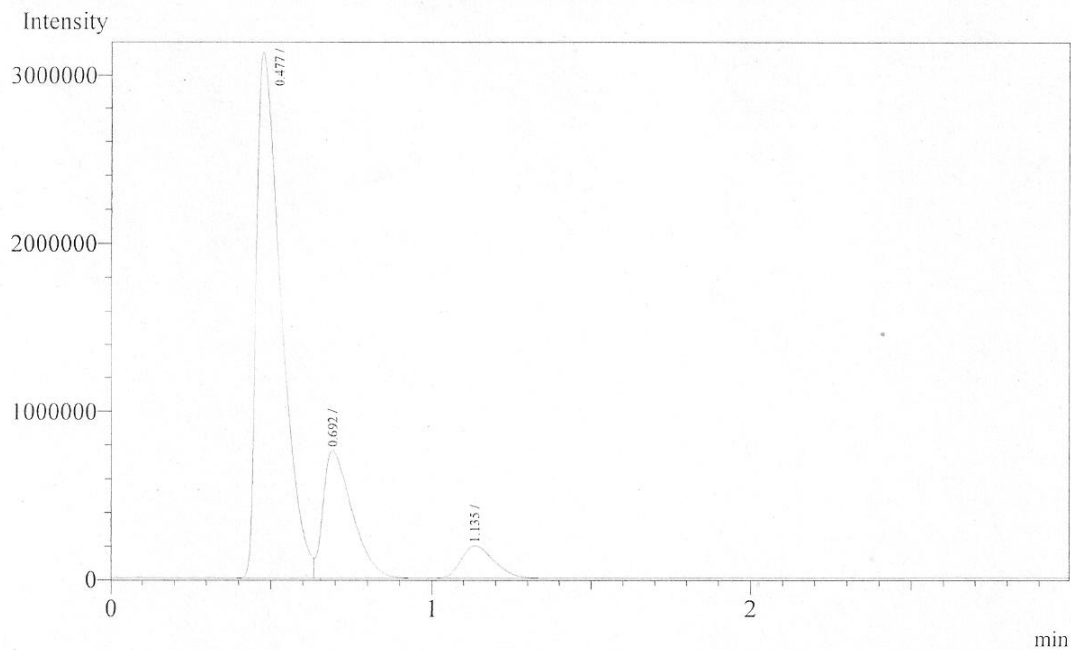


Peak#	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Unit Mark	ID#	Cmpd Name
1	0.532	21357058	3846584	0.000			
2	0.772	1610778	257551	0.000	V		
3	1.209	625930	79964	0.000			
Total		23593766	4184099				

รูปที่ ข.-9 ผลการทดลองของตัวอย่าง O10 รอบที่ 1

Analysis Date & Time : 10/10/2555 13:52:18
 User Name : Admin
 Vial# : 0
 Sample Name : SAM-10
 Sample ID :
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume :
 ISTD Amount :

Data Name : C:\GCsolution\Data\Project1\air TCD310.gcd
 Method Name : C:\GCsolution\Data\Project1\Packed column (TCD)-CO2.gcm

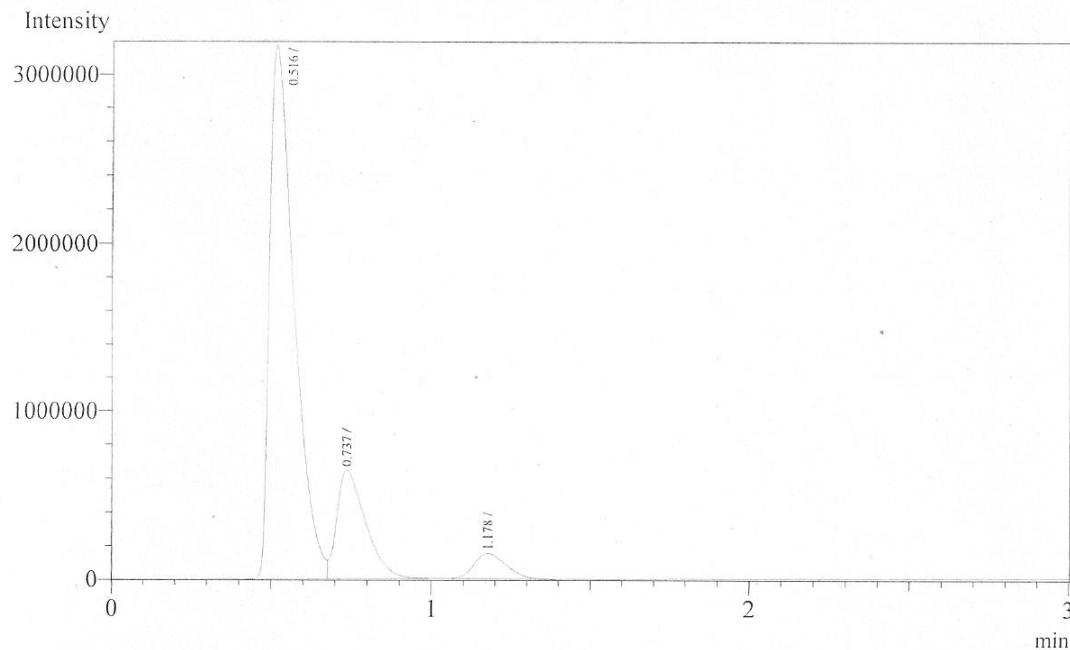


Peak#	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Unit Mark	ID#	Cmpd Name
1	0.477	16673350	3122032	0.000			
2	0.692	4763587	757997	0.000	V		
3	1.135	1378711	192865	0.000			
Total		22815648	4072894				

รูปที่ ข.-10 ผลการทดลองของตัวอย่าง O20 รอบที่ 1

Analysis Date & Time : 10/10/2555 13:56:07
 User Name : Admin
 Vial# : 0
 Sample Name : SAM-11
 Sample ID :
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume :
 ISTD Amount :

Data Name : C:\GCsolution\Data\Project1\air TCD311.gcd
 Method Name : C:\GCsolution\Data\Project1\Packed column (TCD)-CO2.gcm

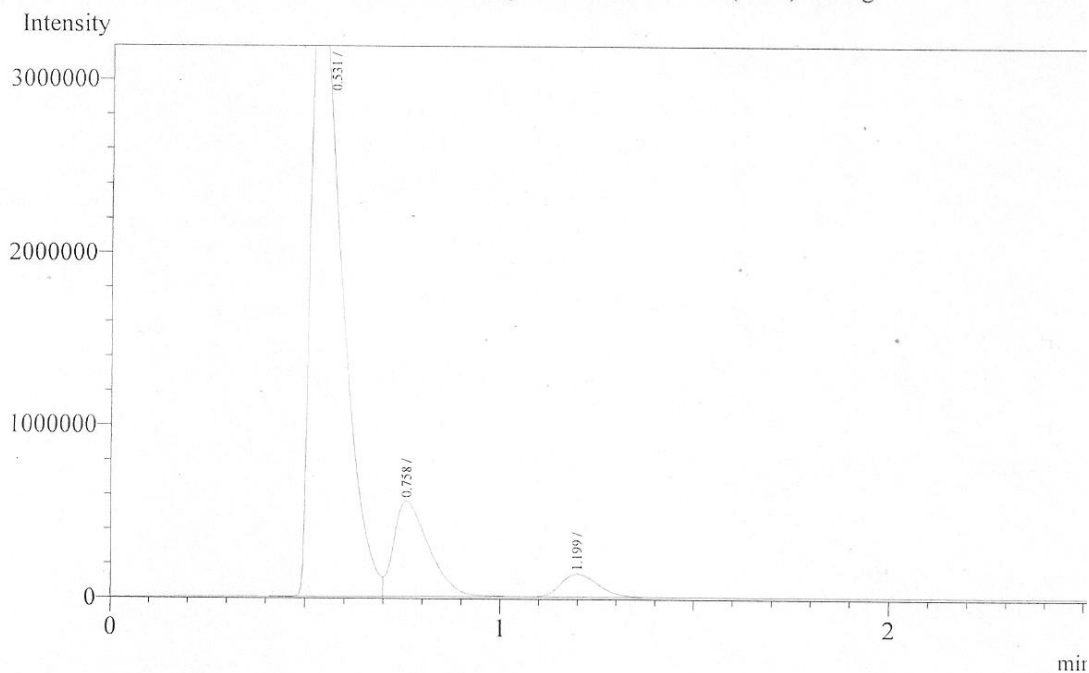


Peak#	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Unit Mark	ID#	Cmpd Name
1	0.516	16779748	3173306	0.000			
2	0.737	4029042	645651	0.000	V		
3	1.178	1054617	151088	0.000			
Total		21863407	3970045				

รูปที่ ข.-11 ผลการทดลองของตัวอย่าง O50 รอบที่ 1

Analysis Date & Time : 10/10/2555 13:59:57
 User Name : Admin
 Vial# : 0
 Sample Name : SAM-12
 Sample ID :
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume :
 ISTD Amount :

Data Name : C:\GCsolution\Data\Project1\air TCD312.gcd
 Method Name : C:\GCsolution\Data\Project1\Packed column (TCD)-CO2.gcm



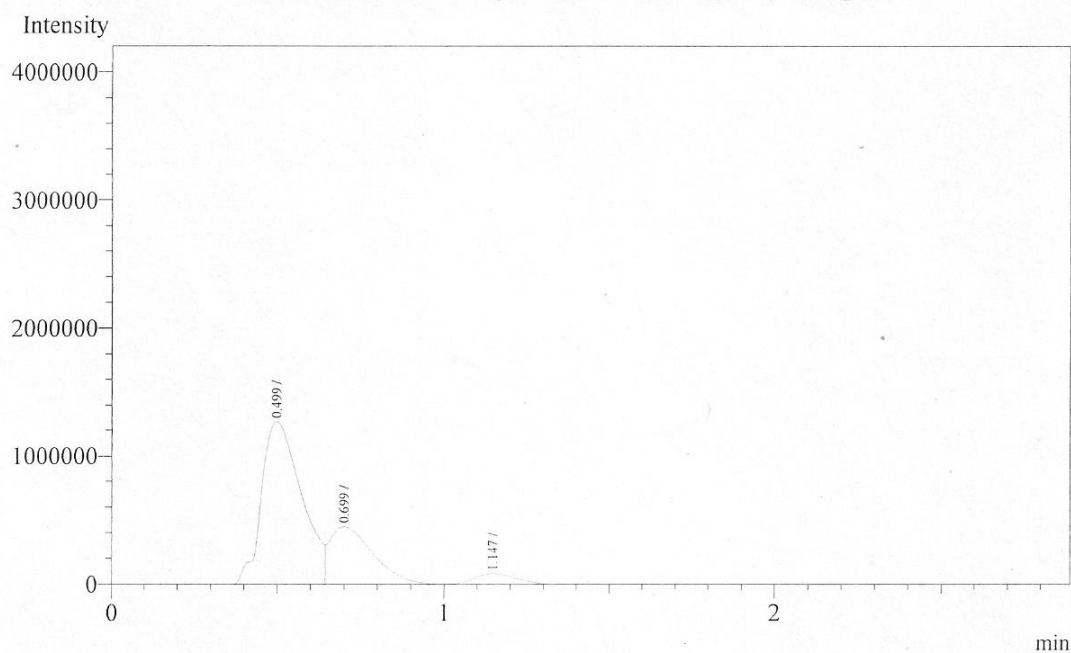
Peak#	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Unit Mark	ID#	Cmpd Name
1	0.531	19741344	3678727	0.000			
2	0.758	3488735	556983	0.000	V		
3	1.199	913018	134462	0.000			
Total		24143097	4370172				

รูปที่ ข.-12 ผลการทดลองของตัวอย่าง O90 รอบที่ 1

ข.-2 ผลการหาค่าประกอบของก๊าซชีวภาพ รอบที่ 2

Analysis Date & Time : 1/11/2555 10:02:05
 User Name : Admin
 Vial# : 0
 Sample Name : SAM-1
 Sample ID :
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume :
 ISTD Amount :

Data Name : C:\GCsolution\Data\Project1\air TCD318.gcd
 Method Name : C:\GCsolution\Data\Project1\Packed column (TCD)-CO2.gcm

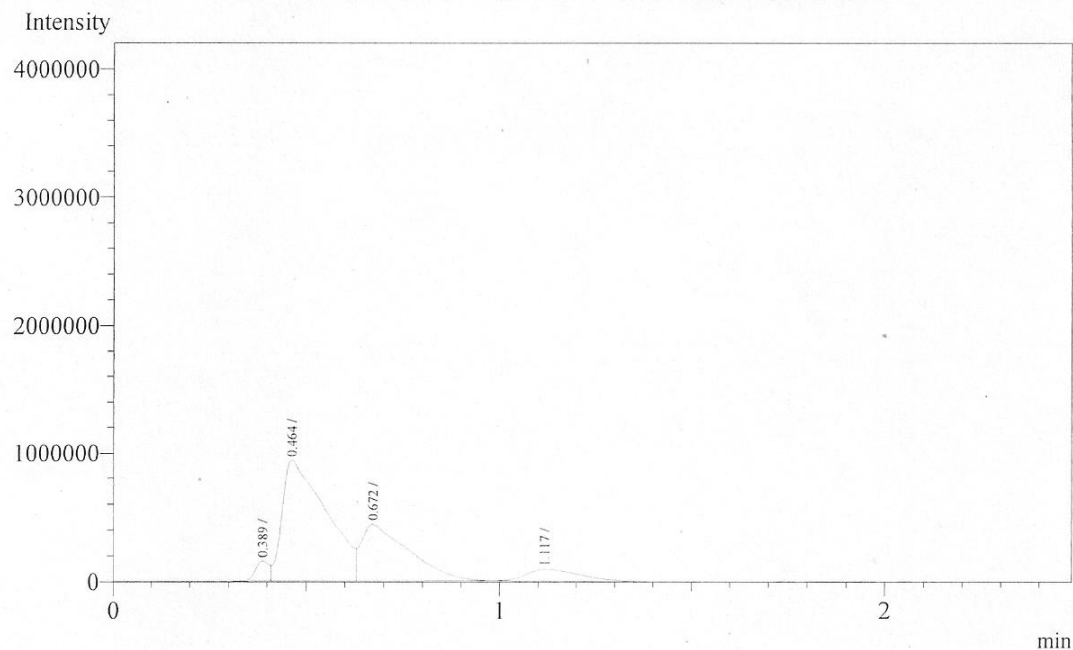


Peak#	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Unit Mark	ID#	Cmpd Name
1	0.499	10592872	1275285	0.000			
2	0.699	4034091	449937	0.000	V		
3	1.147	791451	83217	0.000			
Total		15418414	1808439				

รูปที่ ข.-13 ผลการทดลองของตัวอย่าง S10 รอบที่ 2

Analysis Date & Time : 1/11/2555 10:09:27
 User Name : Admin
 Vial# : 0
 Sample Name : SAM-2
 Sample ID :
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume :
 ISTD Amount :

Data Name : C:\GCsolution\Data\Project1\air TCD320.gcd
 Method Name : C:\GCsolution\Data\Project1\Packed column (TCD)-CO2.gcm

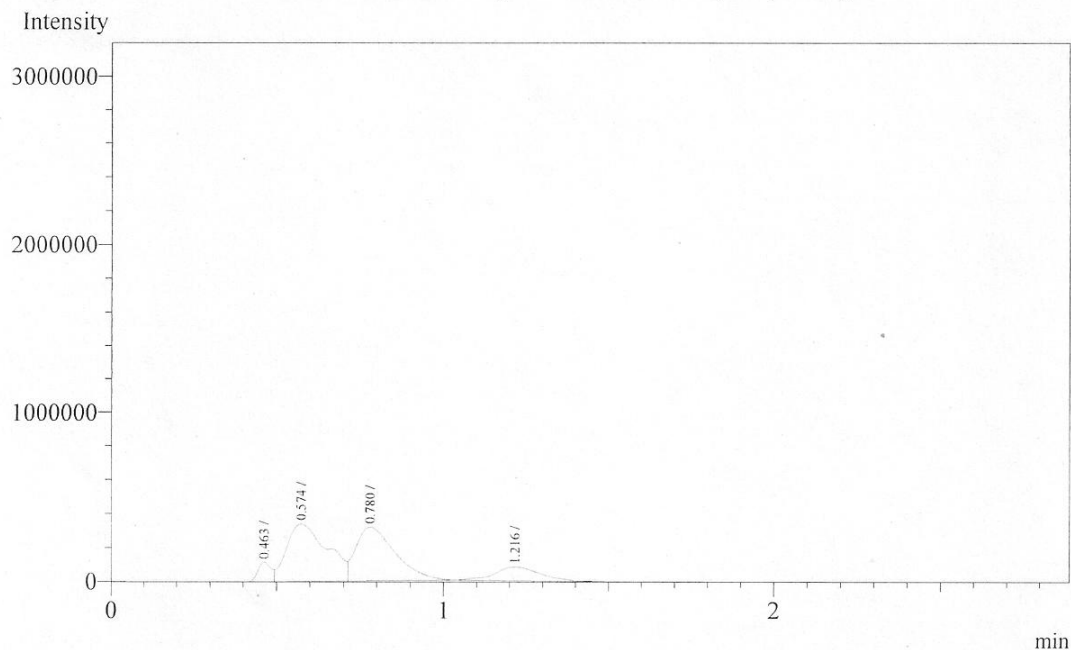


Peak#	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Unit Mark	ID#	Cmpd Name
1	0.389	377719	156057	0.000			
2	0.464	7331300	937596	0.000	V		
3	0.672	3680902	438574	0.000	V		
4	1.117	861909	89296	0.000			
Total		12251830	1621523				

รูปที่ ข.-14 ผลการทดลองของตัวอย่าง S20 รอบที่ 2

Analysis Date & Time : 1/11/2555 10:13:02
 User Name : Admin
 Vial# : 0
 Sample Name : SAM-3
 Sample ID :
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume :
 ISTD Amount :

Data Name : C:\GCsolution\Data\Project1\air TCD321.gcd
 Method Name : C:\GCsolution\Data\Project1\Packed column (TCD)-CO2.gcm

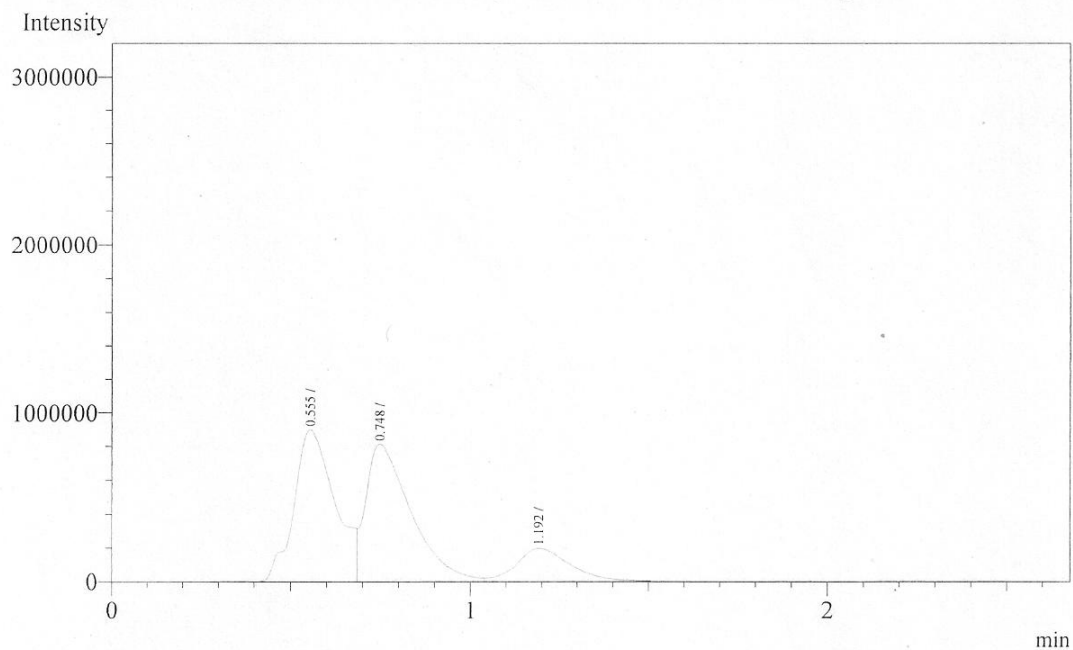


Peak#	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Unit Mark	ID#	Cmpd Name
1	0.463	314895	114425	0.000			
2	0.574	2854447	339614	0.000	V		
3	0.780	2582869	316952	0.000	V		
4	1.216	780921	80462	0.000			
Total		6533132	851453				

รูปที่ ข.-15 ผลการทดลองของตัวอย่าง S50 รอบที่ 2

Analysis Date & Time : 1/11/2555 10:16:43
 User Name : Admin
 Vial# : 0
 Sample Name : SAM-4
 Sample ID :
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume :
 ISTD Amount :

Data Name : C:\GCsolution\Data\Project1\air TCD322.gcd
 Method Name : C:\GCsolution\Data\Project1\Packed column (TCD)-CO2.gcm

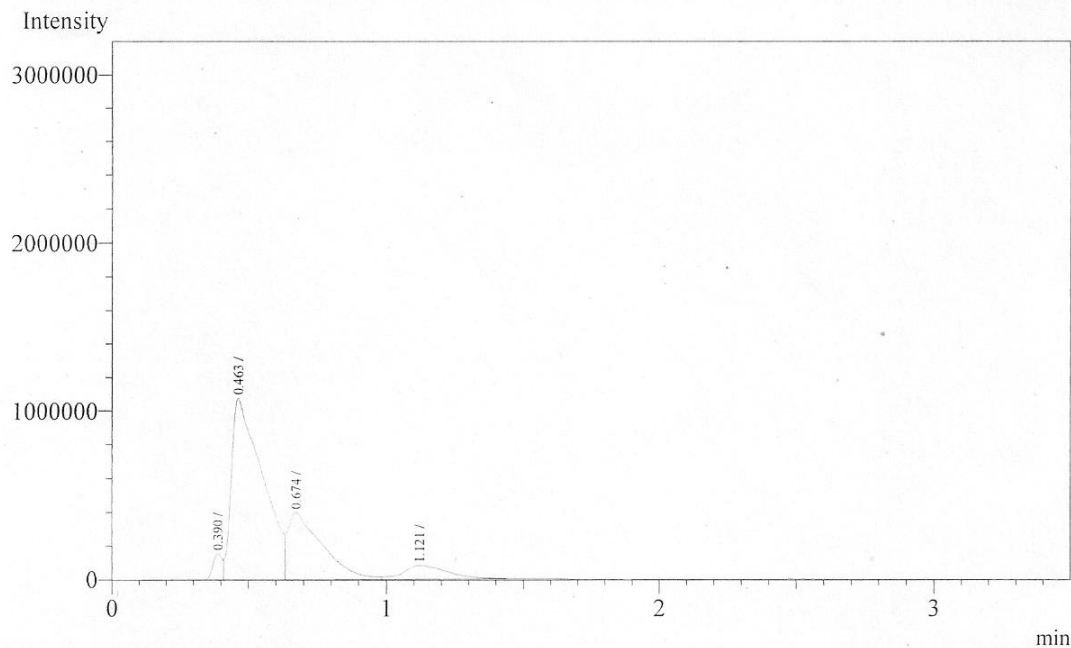


Peak#	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Unit Mark ID#	Cmpd Name
1	0.555	7031572	895375	0.000		
2	0.748	7040330	810405	0.000	V	
3	1.192	2002205	193687	0.000	V	
Total		16074107	1899467			

รูปที่ ข.-16 ผลการทดลองของตัวอย่าง S90 รอบที่ 2

Analysis Date & Time : 1/11/2555 10:20:17
 User Name : Admin
 Vial# : 0
 Sample Name : SAM-5
 Sample ID :
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume :
 ISTD Amount :

Data Name : C:\GCsolution\Data\Project1\air TCD323.gcd
 Method Name : C:\GCsolution\Data\Project1\Packed column (TCD)-CO2.gcm

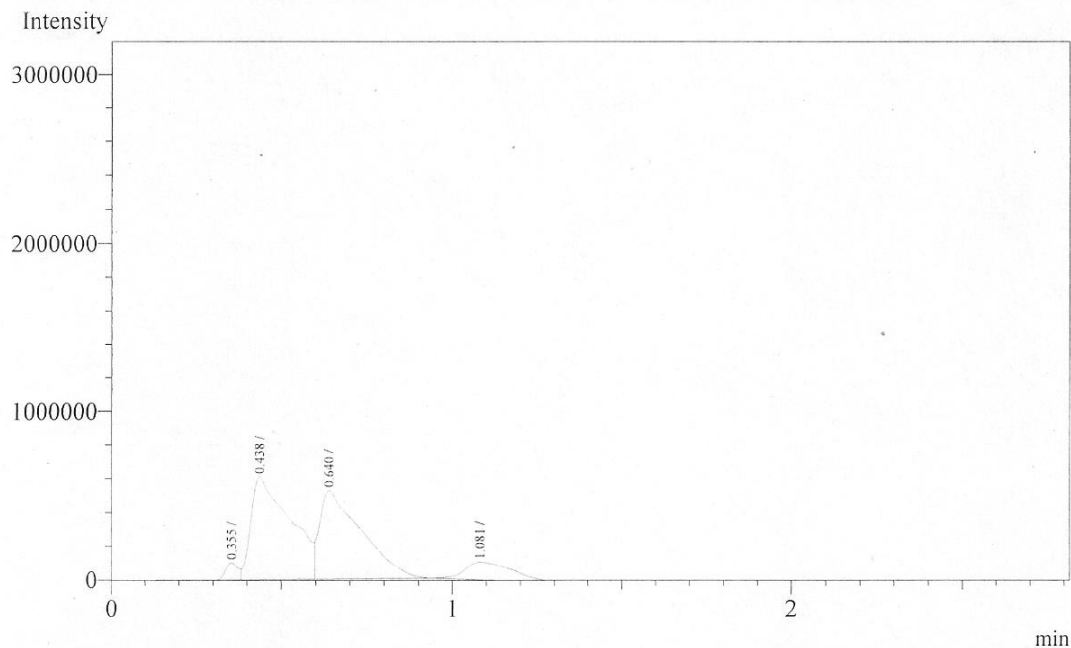


Peak#	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Unit Mark	ID#	Cmpd Name
1	0.390	363734	154149	0.000			
2	0.463	8450224	1072430	0.000	V		
3	0.674	3383961	397273	0.000	V		
4	1.121	892812	79558	0.000	V		
Total		13090731	1703410				

รูปที่ ข.-17 ผลการทดลองของตัวอย่าง R10 รอบที่ 2

Analysis Date & Time : 1/11/2555 10:24:44
 User Name : Admin
 Vial# : 0
 Sample Name : SAM-6
 Sample ID :
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume :
 ISTD Amount :

Data Name : C:\GCsolution\Data\Project1\air TCD324.gcd
 Method Name : C:\GCsolution\Data\Project1\Packed column (TCD)-CO2.gcm

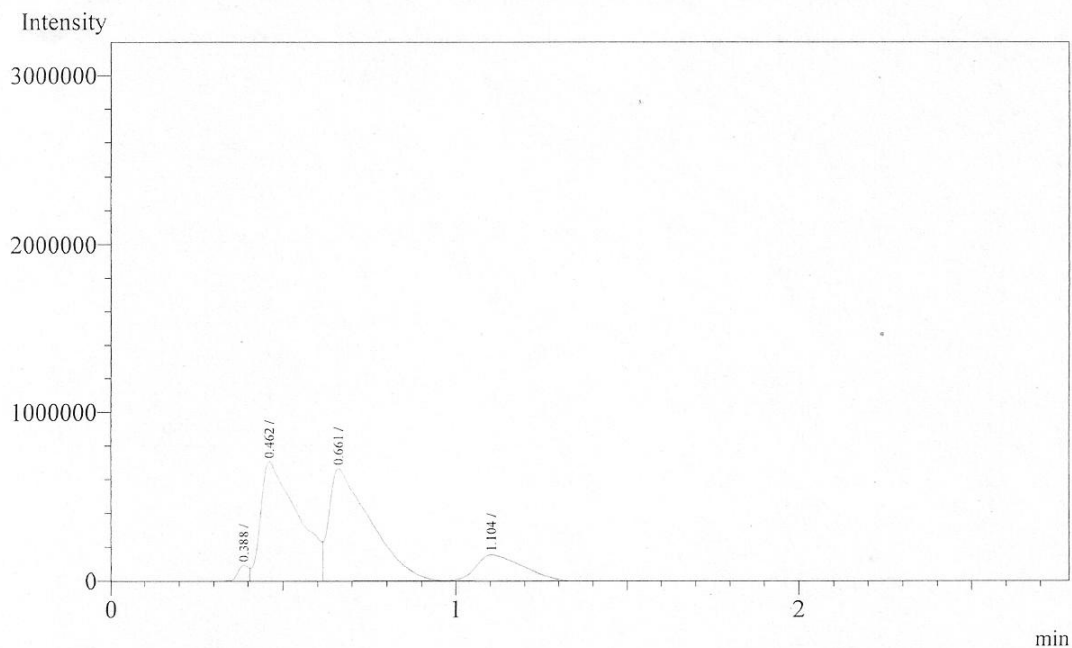


Peak#	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Unit Mark	ID#	Cmpd Name
1	0.355	249666	97673	0.000			
2	0.438	4794500	606084	0.000	V		
3	0.640	4404371	521075	0.000	V		
4	1.081	1024232	102184	0.000			
Total		10472769	1327016				

รูปที่ ข.-18 ผลการทดลองของตัวอย่าง R20 รอบที่ 2

Analysis Date & Time : 1/11/2555 10:28:29
 User Name : Admin
 Vial# : 0
 Sample Name : SAM-7
 Sample ID :
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume :
 ISTD Amount :

Data Name : C:\GCsolution\Data\Project1\air TCD325.gcd
 Method Name : C:\GCsolution\Data\Project1\Packed column (TCD)-CO2.gcm

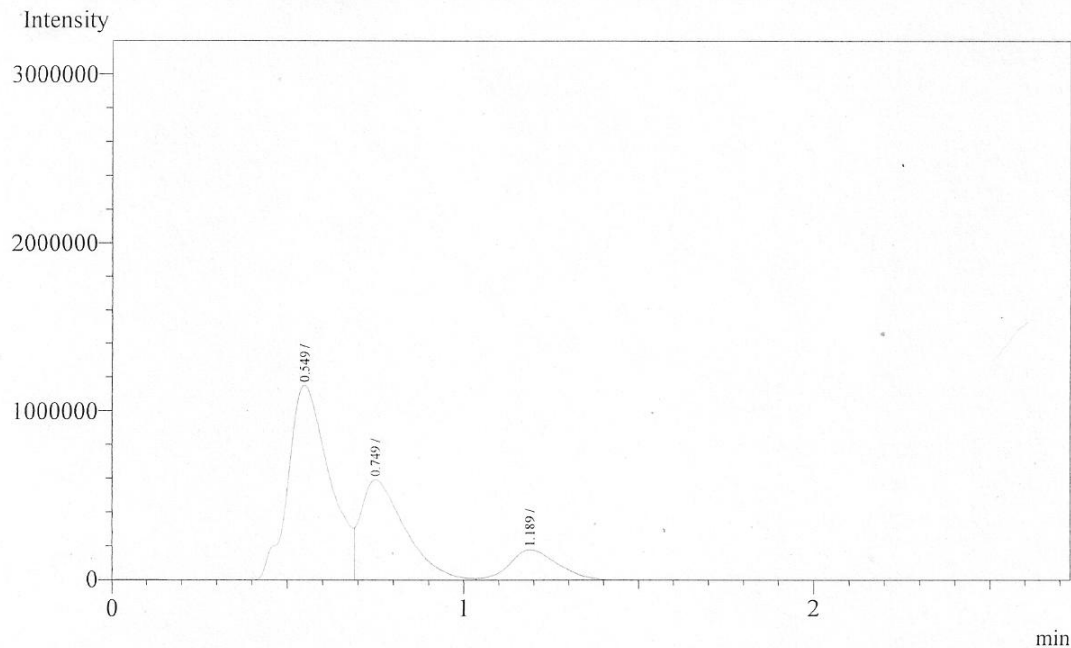


Peak#	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Unit Mark	ID#	Cmpd Name
1	0.388	216159	95635	0.000			
2	0.462	5258542	707328	0.000	V		
3	0.661	5513658	665525	0.000	V		
4	1.104	1546132	156318	0.000			
Total		12534491	1624806				

รูปที่ ข.-19 ผลการทดลองของตัวอย่าง R50 รอบที่ 2

Analysis Date & Time : 1/11/2555 10:34:45
 User Name : Admin
 Vial# : 0
 Sample Name : SAM-8
 Sample ID :
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume :
 ISTD Amount :

Data Name : C:\GCsolution\Data\Project1\air TCD327.gcd
 Method Name : C:\GCsolution\Data\Project1\Packed column (TCD)-CO2.gcm

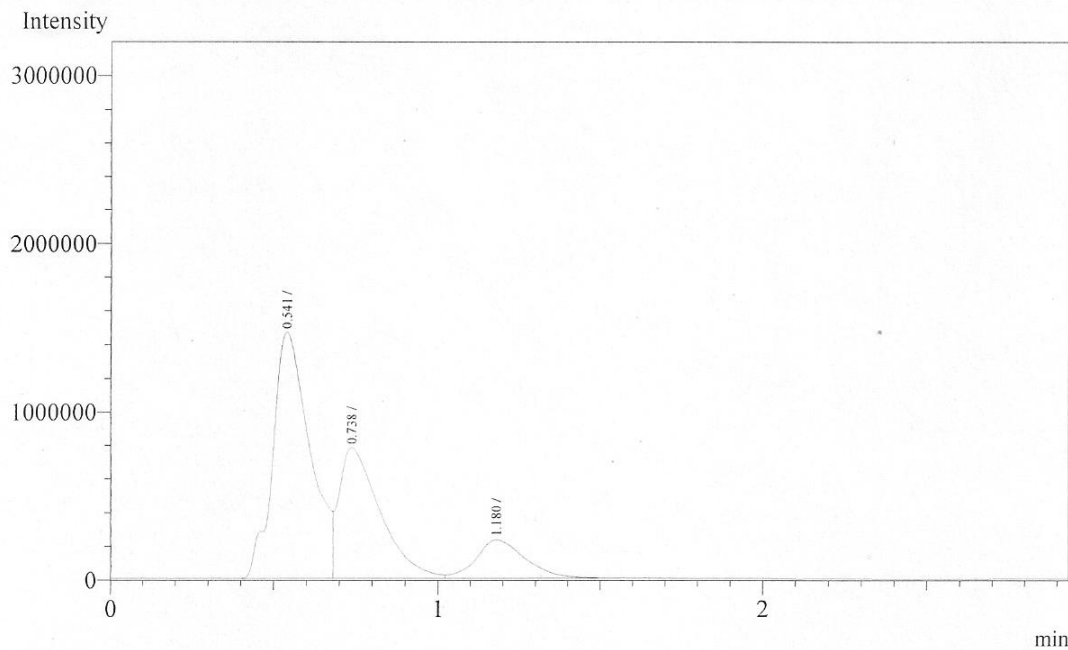


Peak#	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Unit Mark	ID#	Cmpd Name
1	0.549	9388699	1151639	0.000			
2	0.749	5190987	593714	0.000	V		
3	1.189	1859741	184274	0.000	V		
Total		16439427	1929627				

รูปที่ ข.-20 ผลการทดลองของตัวอย่าง R90 รอบที่ 2

Analysis Date & Time : 1/11/2555 10:38:23
 User Name : Admin
 Vial# : 0
 Sample Name : SAM-9
 Sample ID :
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume :
 ISTD Amount :

Data Name : C:\GCsolution\Data\Project1\air TCD328.gcd
 Method Name : C:\GCsolution\Data\Project1\Packed column (TCD)-CO2.gcm

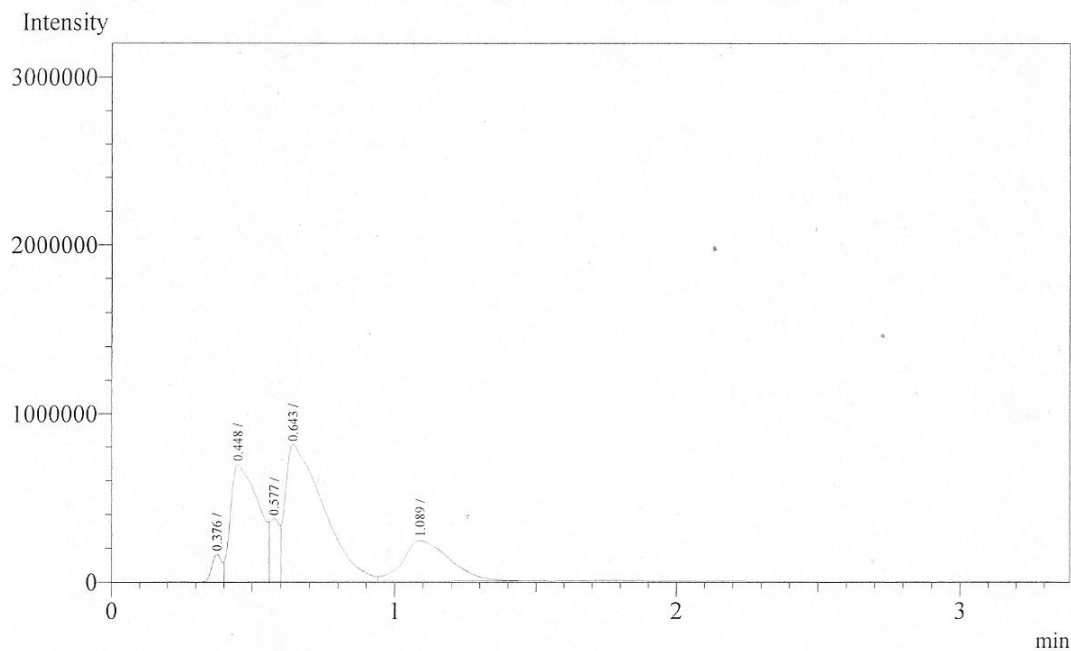


Peak#	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Unit Mark ID#	Cmpd Name
1	0.541	11432229	1460194	0.000		
2	0.738	6745220	774062	0.000	V	
3	1.180	2375646	229178	0.000	V	
Total		20553095	2463434			

รูปที่ ข.-21 ผลการทดลองของตัวอย่าง O10 รอบที่ 2

Analysis Date & Time : 1/11/2555 10:42:12
 User Name : Admin
 Vial# : 0
 Sample Name : SAM-10
 Sample ID :
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume :
 ISTD Amount :

Data Name : C:\GCsolution\Data\Project1\air TCD329.gcd
 Method Name : C:\GCsolution\Data\Project1\Packed column (TCD)-CO2.gcm

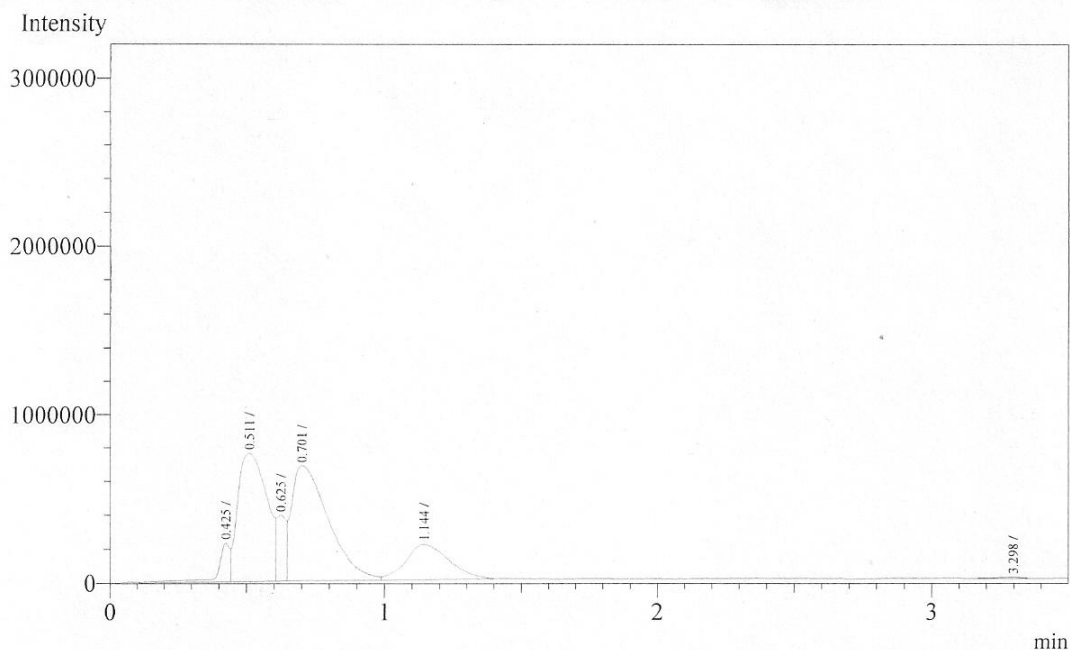


Peak#	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Unit Mark	ID#	Cmpd Name
1	0.376	402000	159311	0.000			
2	0.448	4736962	692699	0.000	V		
3	0.577	894317	370199	0.000	V		
4	CH ₄ 0.643	7525075	810761	0.000	V		
5	CO ₂ 1.089	2777591	241837	0.000	V		
Total		16335945	2274807				

รูปที่ ข.-22 ผลการทดลองของตัวอย่าง O20 รอบที่ 2

Analysis Date & Time : 1/11/2555 10:46:21
 User Name : Admin
 Vial# : 0
 Sample Name : SAM-11
 Sample ID :
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume :
 ISTD Amount :

Data Name : C:\GCsolution\Data\Project1\air TCD330.gcd
 Method Name : C:\GCsolution\Data\Project1\Packed column (TCD)-CO2.gcm

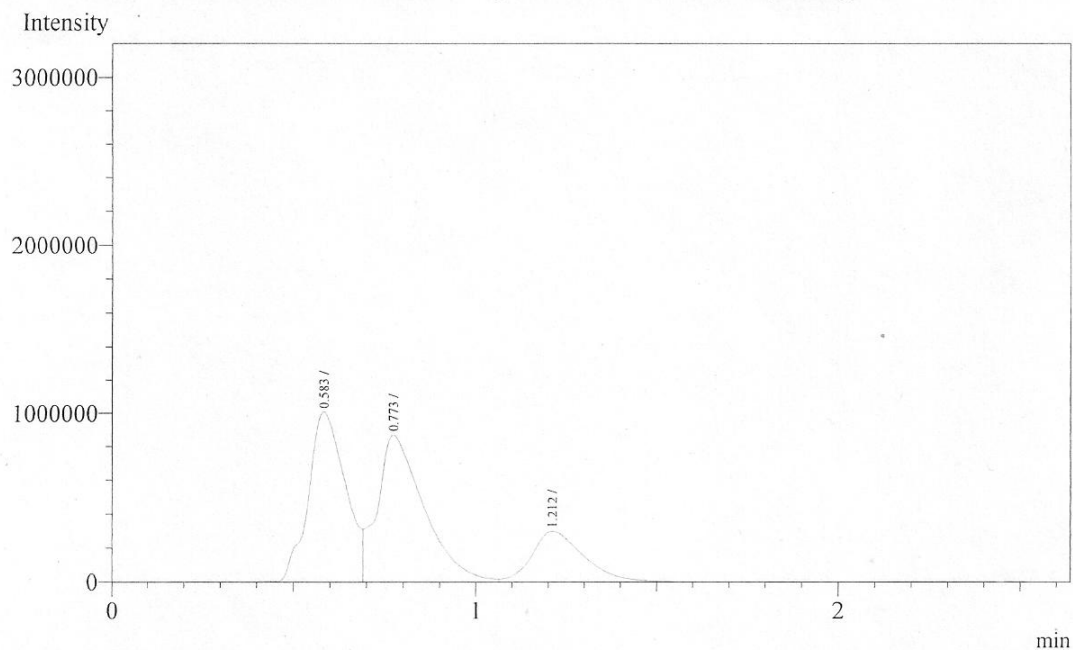


Peak#	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Unit Mark	ID#	Cmpd Name
1	0.425	699481	226042	0.000	V		
2	0.511	5528489	759245	0.000	V		
3	0.625	943925	387231	0.000	V		
4	0.701	6279016	679995	0.000	V		
5	1.144	2261584	207326	0.000	V		
6	3.298	51314	7689	0.000			
Total		15763809	2267528				

รูปที่ ข.-23 ผลการทดลองของตัวอย่าง O50 รอบที่ 2

Analysis Date & Time : 1/11/2555 10:53:57
 User Name : Admin
 Vial# : 0
 Sample Name : SAM-12
 Sample ID :
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume :
 ISTD Amount :

Data Name : C:\GCsolution\Data\Project1\air TCD331.gcd
 Method Name : C:\GCsolution\Data\Project1\Packed column (TCD)-CO2.gcm



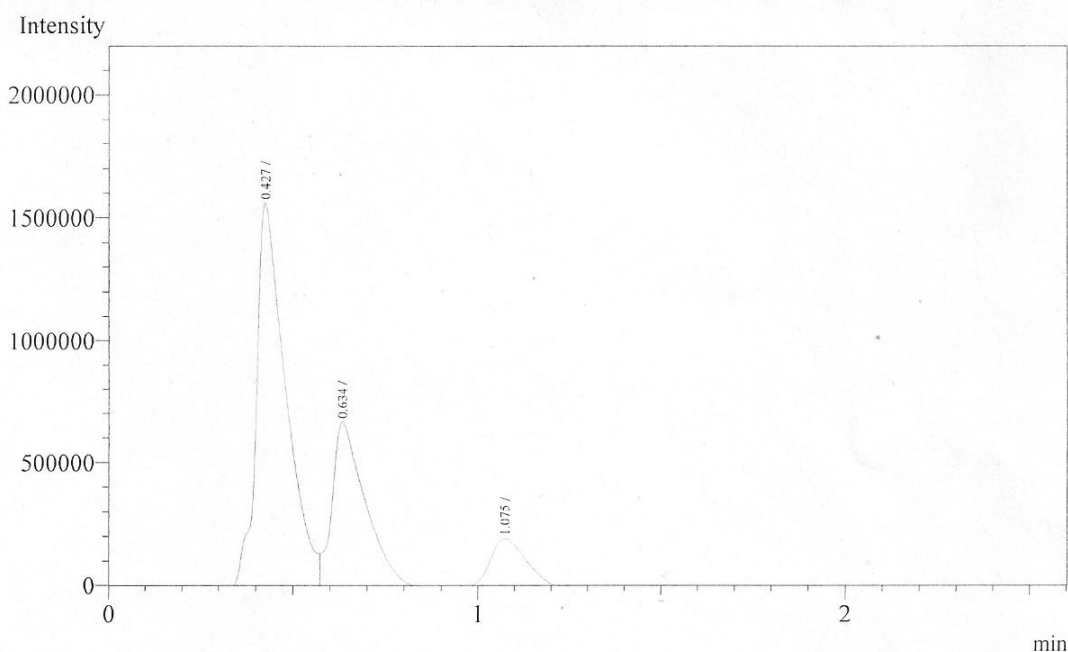
Peak#	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Unit Mark	ID#	Cmpd Name
1	0.583	7080797	1006126	0.000	V		
2	0.773	7700672	869174	0.000	V		
3	1.212	2970621	297929	0.000	V		
Total		17752090	2173229				

รูปที่ ข.-24 ผลการทดลองของตัวอย่าง O90 รอบที่ 2

ข.-3 ผลการหาค่าประกอบของก๊าซชีวภาพ รอบที่ 3

Analysis Date & Time : 26/11/2555 9:44:41
 User Name : Admin
 Vial# : 0
 Sample Name : SAM-1
 Sample ID :
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume :
 ISTD Amount :

Data Name : C:\GCsolution\Data\Project1\air TCD332.gcd
 Method Name : C:\GCsolution\Data\Project1\Packed column (TCD)-CO2.gcm

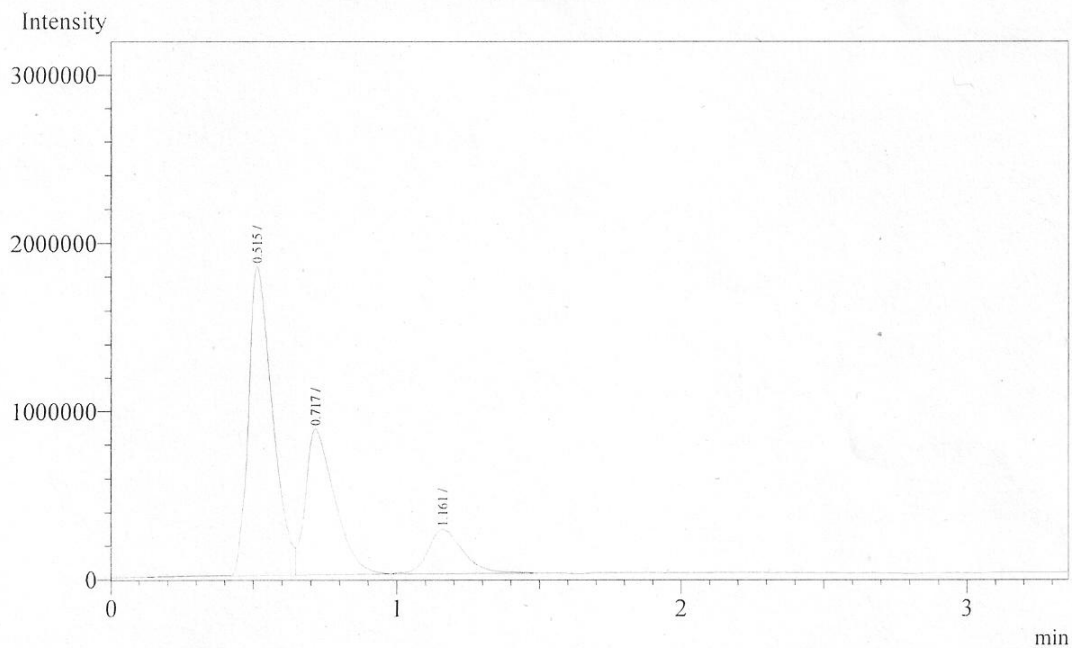


Peak#	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Unit Mark	ID#	Cmpd Name
1	0.427	8752540	1572589	0.000	V		
2	0.634	4390620	682116	0.000	V		
3	1.075	1592825	212438	0.000			
Total		14735985	2467143				

รูปที่ ข.-25 ผลการทดลองของตัวอย่าง S10 รอบที่ 3

Analysis Date & Time : 26/11/2555 9:48:58
 User Name : Admin
 Vial# : 0
 Sample Name : SAM-2
 Sample ID :
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume :
 ISTD Amount :

Data Name : C:\GCsolution\Data\Project1\air TCD333.gcd
 Method Name : C:\GCsolution\Data\Project1\Packed column (TCD)-CO2.gcm

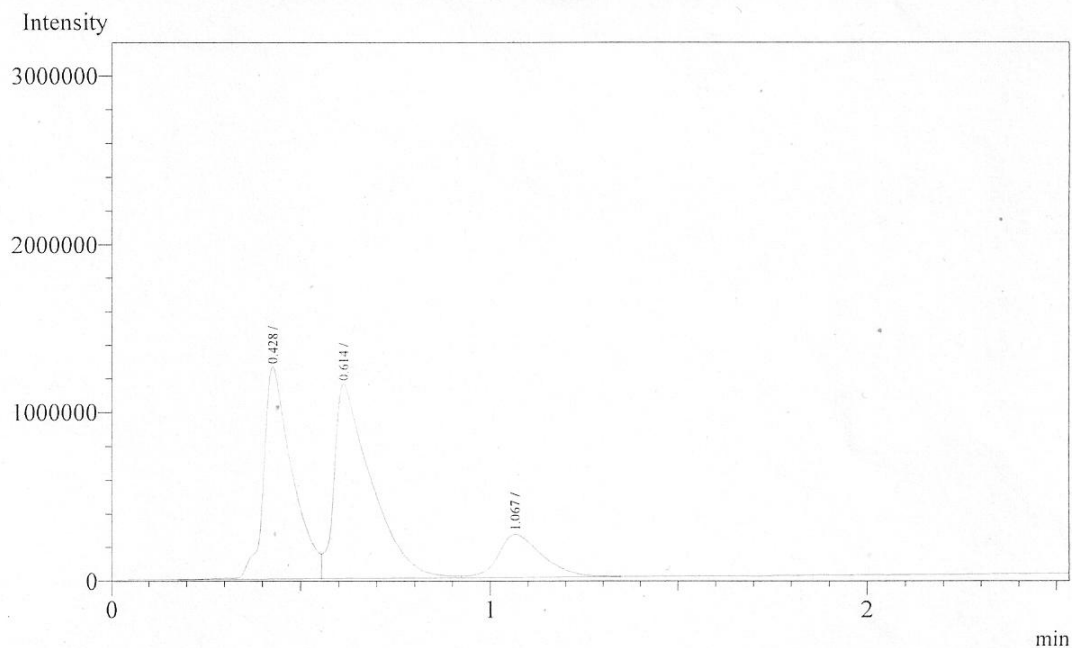


Peak#	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Unit Mark	ID#	Compd Name
1	0.515	10740331	1830482	0.000			
2	0.717	6065549	862175	0.000	V		
3	1.161	2217501	260381	0.000			
Total		19023381	2953038				

รูปที่ ข.-26 ผลการทดลองของตัวอย่าง S20 รอบที่ 3

Analysis Date & Time : 26/11/2555 9:53:12
 User Name : Admin
 Vial# : 0
 Sample Name : SAM-3
 Sample ID :
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume :
 ISTD Amount :

Data Name : C:\GCsolution\Data\Project1\air TCD334.gcd
 Method Name : C:\GCsolution\Data\Project1\Packed column (TCD)-CO2.gcm

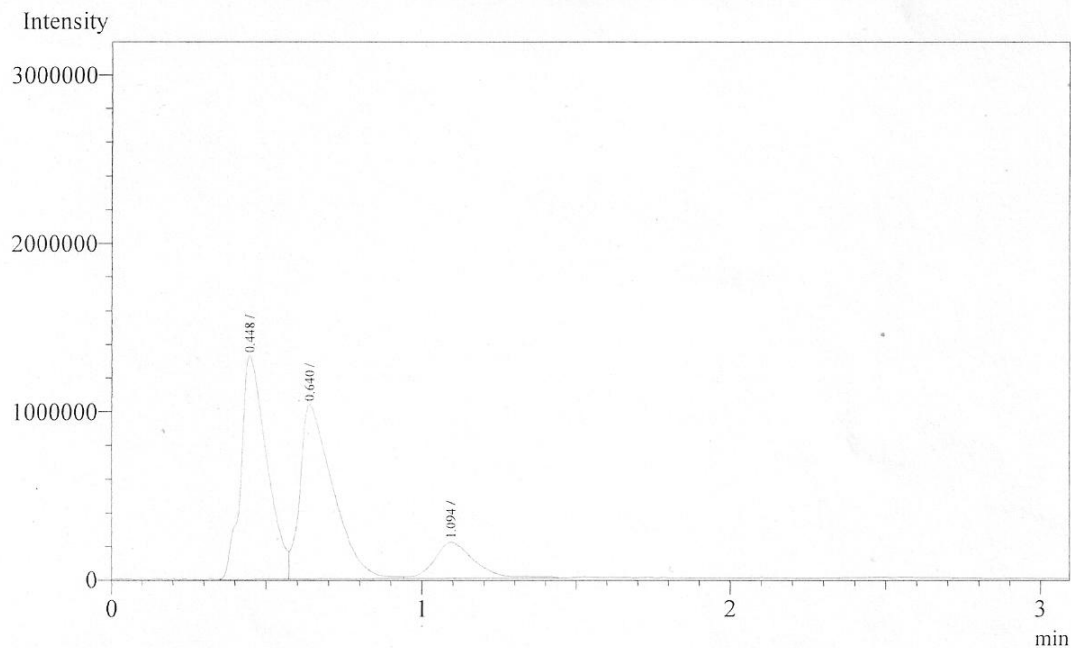


Peak#	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Unit Mark	ID#	Cmpd Name
1	0.428	6605172	1257812	0.000	V		
2	0.614	7888326	1153784	0.000	V		
3	1.067	2088317	258122	0.000	V		
Total		16581815	2669718				

รูปที่ ข.-27 ผลการทดลองของตัวอย่าง S50 รอบที่ 3

Analysis Date & Time : 26/11/2555 9:56:42
 User Name : Admin
 Vial# : 0
 Sample Name : SAM-4
 Sample ID :
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume :
 ISTD Amount :

Data Name : C:\GCsolution\Data\Project1\air TCD335.gcd
 Method Name : C:\GCsolution\Data\Project1\Packed column (TCD)-CO2.gcm

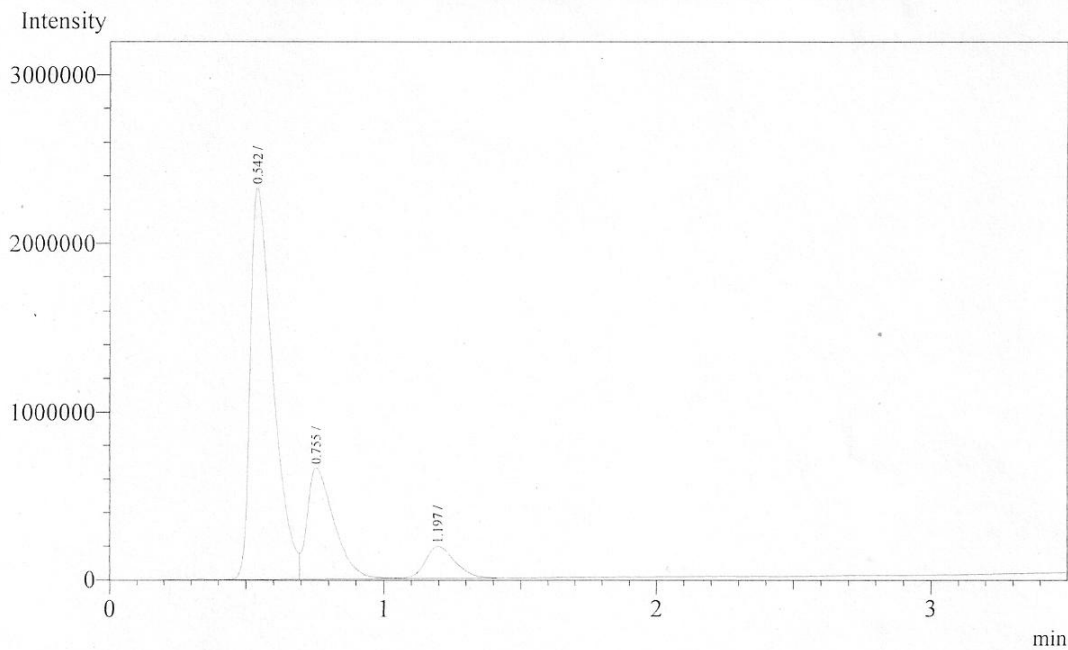


Peak#	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Unit Mark	ID#	Cmpd Name
1	0.448	7735259	1321943	0.000			
2	0.640	7614851	1034128	0.000	V		
3	1.094	1950760	217235	0.000	SV		
Total		17300870	2573306				

รูปที่ ข.-28 ผลการทดลองของตัวอย่าง S90 รอบที่ 3

Analysis Date & Time : 26/11/2555 10:00:32
 User Name : Admin
 Vial# : 0
 Sample Name : SAM-5
 Sample ID :
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume :
 ISTD Amount :

Data Name : C:\GCsolution\Data\Project1\air TCD336.gcd
 Method Name : C:\GCsolution\Data\Project1\Packed column (TCD)-CO2.gcm

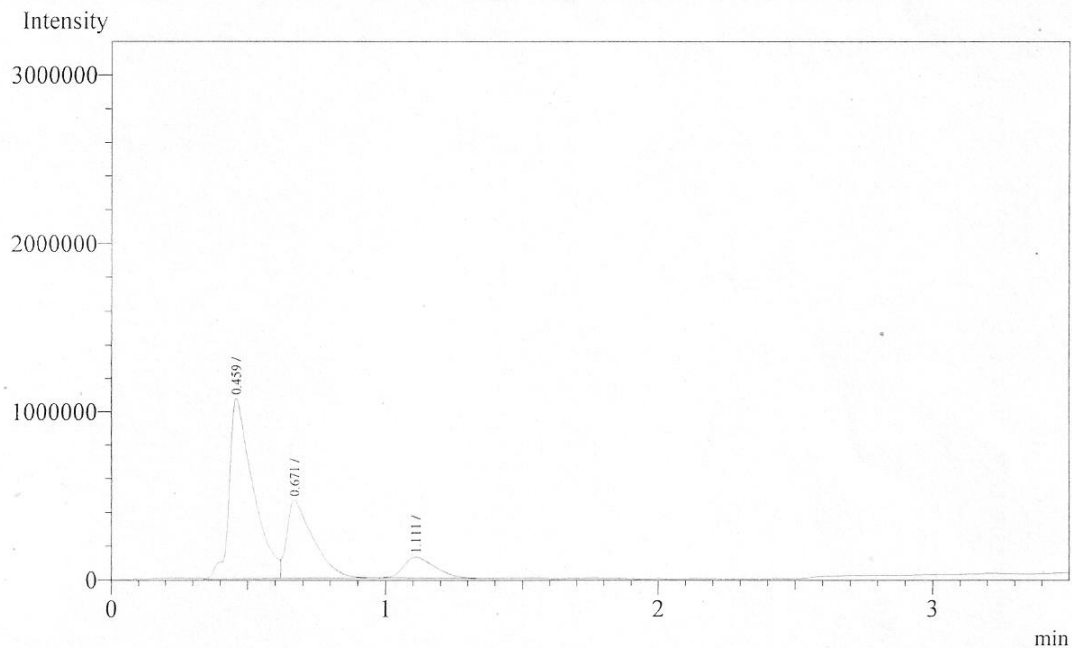


Peak#	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Unit Mark	ID#	Cmpd Name
1	0.542	13299642	2324977	0.000	V		
2	0.755	4491147	663668	0.000	V		
3	1.197	1437576	189611	0.000	V		
Total		19228365	3178256				

รูปที่ ข.-29 ผลการทดลองของตัวอย่าง R10 รอบที่ 3

Analysis Date & Time : 26/11/2555 10:05:00
 User Name : Admin
 Vial# : 0
 Sample Name : SAM-6
 Sample ID :
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume :
 ISTD Amount :

Data Name : C:\GCsolution\Data\Project1\air TCD337.gcd
 Method Name : C:\GCsolution\Data\Project1\Packed column (TCD)-CO2.gcm

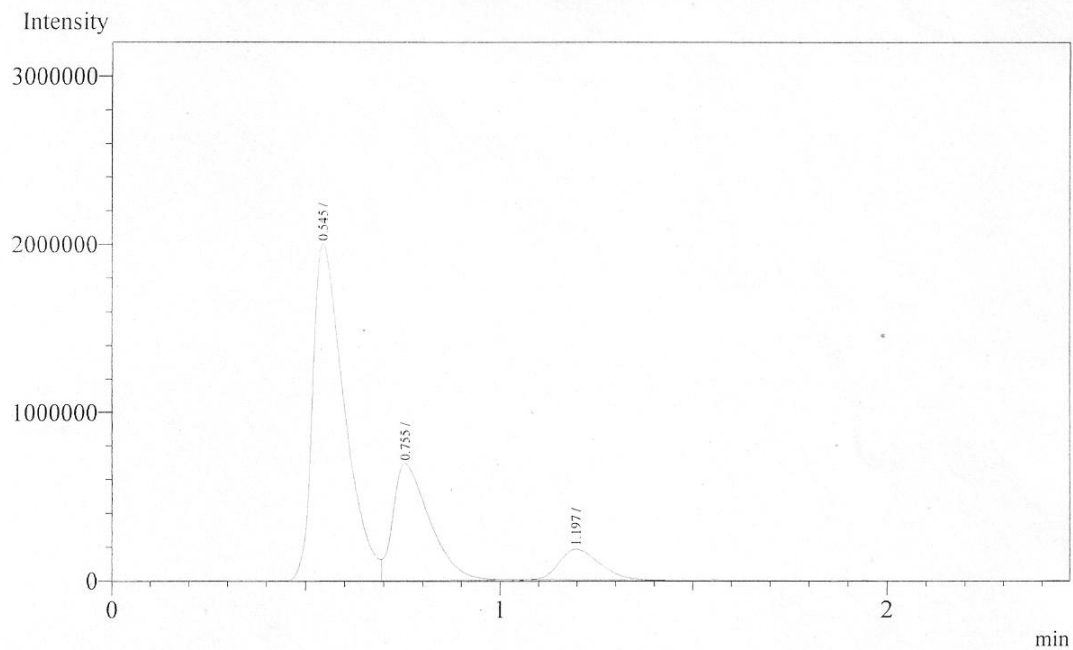


Peak#	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Unit Mark	ID#	Cmpd Name
1	0.459	6484535	1071144	0.000	V		
2	0.671	3063443	464410	0.000	V		
3	1.111	987502	125564	0.000			
Total		10535480	1661118				

รูปที่ ข.-30 ผลการทดลองของตัวอย่าง R20 รอบที่ 3

Analysis Date & Time : 26/11/2555 10:09:59
 User Name : Admin
 Vial# : 0
 Sample Name : SAM-7
 Sample ID :
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume :
 ISTD Amount :

Data Name : C:\GCsolution\Data\Project1\air TCD338.gcd
 Method Name : C:\GCsolution\Data\Project1\Packed column (TCD)-CO2.gcm

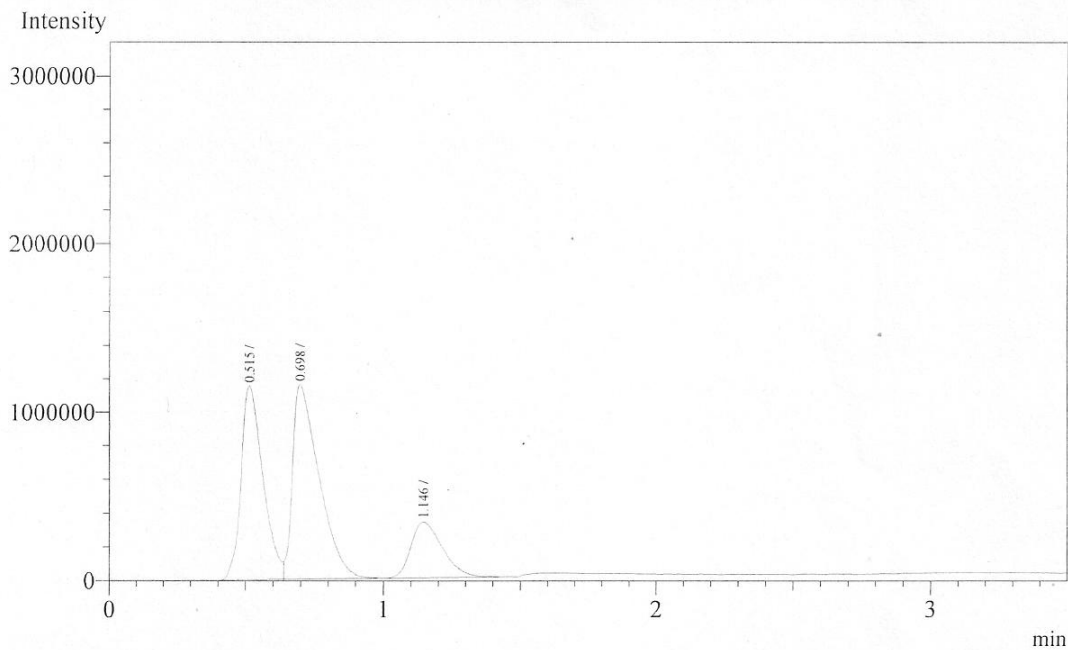


Peak#	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Unit Mark ID#	Cmpd Name
1	0.545	11297468	2000190	0.000		
2	0.755	4525174	692762	0.000	V	
3	1.197	1355945	183634	0.000		
Total		17178587	2876586			

รูปที่ ข.-31 ผลการทดลองของตัวอย่าง R50 รอบที่ 3

Analysis Date & Time : 26/11/2555 10:13:25
 User Name : Admin
 Vial# : 0
 Sample Name : SAM-8
 Sample ID :
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume :
 ISTD Amount :

Data Name : C:\GCsolution\Data\Project1\air TCD339.gcd
 Method Name : C:\GCsolution\Data\Project1\Packed column (TCD)-CO2.gcm

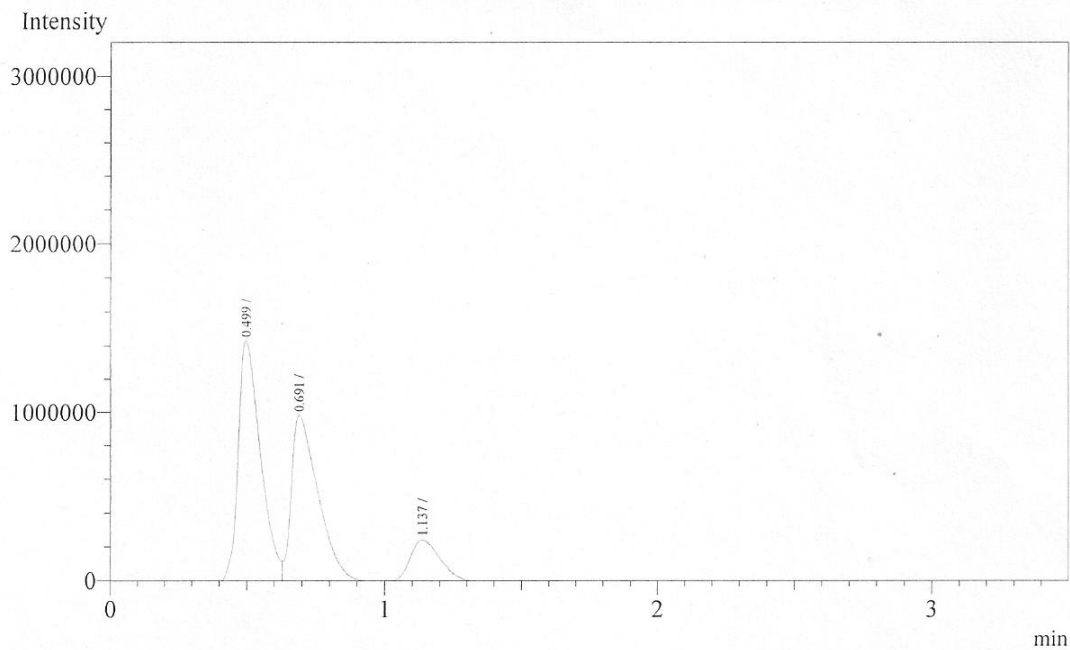


Peak#	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Unit Mark	ID#	Cmpd Name
1	0.515	6386931	1149833	0.000			
2	0.698	7711311	1155853	0.000	V		
3	1.146	2660953	333442	0.000			
Total		16759195	2639128				

รูปที่ ข.-32 ผลการทดลองของตัวอย่าง R90 รอบที่ 3

Analysis Date & Time : 26/11/2555 10:25:18
 User Name : Admin
 Vial# : 0
 Sample Name : SAM-9
 Sample ID :
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume :
 ISTD Amount :

Data Name : C:\GCsolution\Data\Project1\air TCD340.gcd
 Method Name : C:\GCsolution\Data\Project1\Packed column (TCD)-CO2.gcm

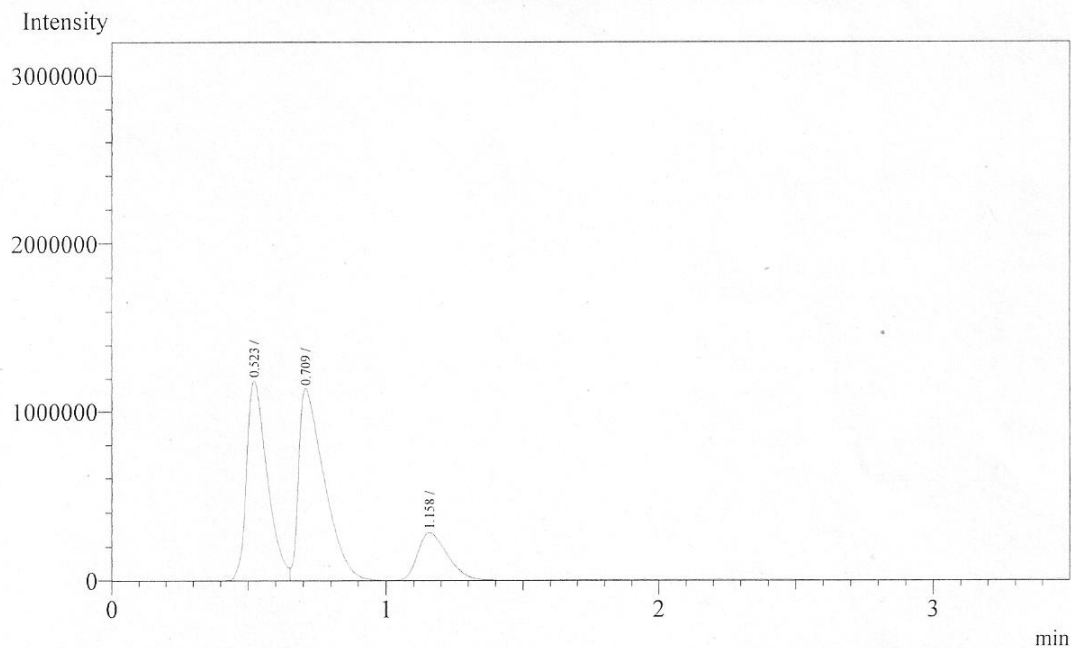


Peak#	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Unit Mark	ID#	Cmpd Name
1	0.499	8108173	1436753	0.000			
2	0.691	6685508	988173	0.000	V		
3	1.137	1944601	250539	0.000			
Total		16738282	2675465				

รูปที่ ข.-33 ผลการทดลองของตัวอย่าง O10 รอบที่ 3

Analysis Date & Time : 26/11/2555 10:32:14
 User Name : Admin
 Vial# : 0
 Sample Name : SAM-10
 Sample ID :
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume :
 ISTD Amount :

Data Name : C:\GCsolution\Data\Project1\air TCD341.gcd
 Method Name : C:\GCsolution\Data\Project1\Packed column (TCD)-CO2.gcm

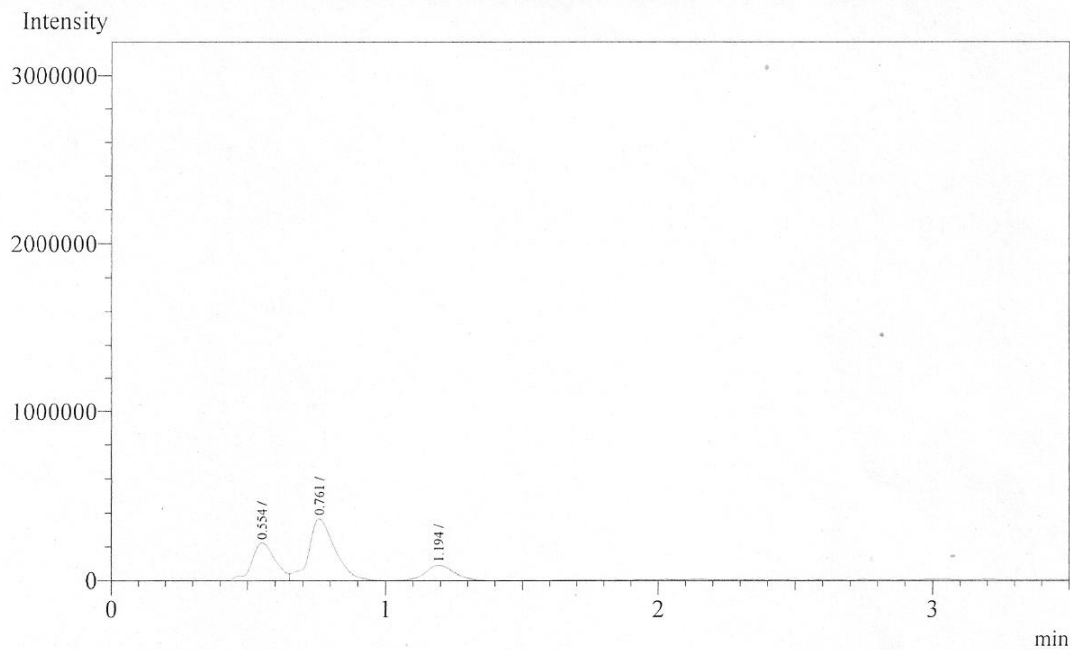


Peak#	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Unit Mark	ID#	Cmpd Name
1	0.523	6254797	1188189	0.000			
2	0.709	7378135	1141347	0.000	V		
3	1.158	2154486	283709	0.000			
Total		15787418	2613245				

รูปที่ ข.-34 ผลการทดลองของตัวอย่าง O20 รอบที่ 3

Analysis Date & Time : 26/11/2555 10:38:11
 User Name : Admin
 Vial# : 0
 Sample Name : SAM-11
 Sample ID :
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume :
 ISTD Amount :

Data Name : C:\GCsolution\Data\Project1\air TCD342.gcd
 Method Name : C:\GCsolution\Data\Project1\Packed column (TCD)-CO2.gcm

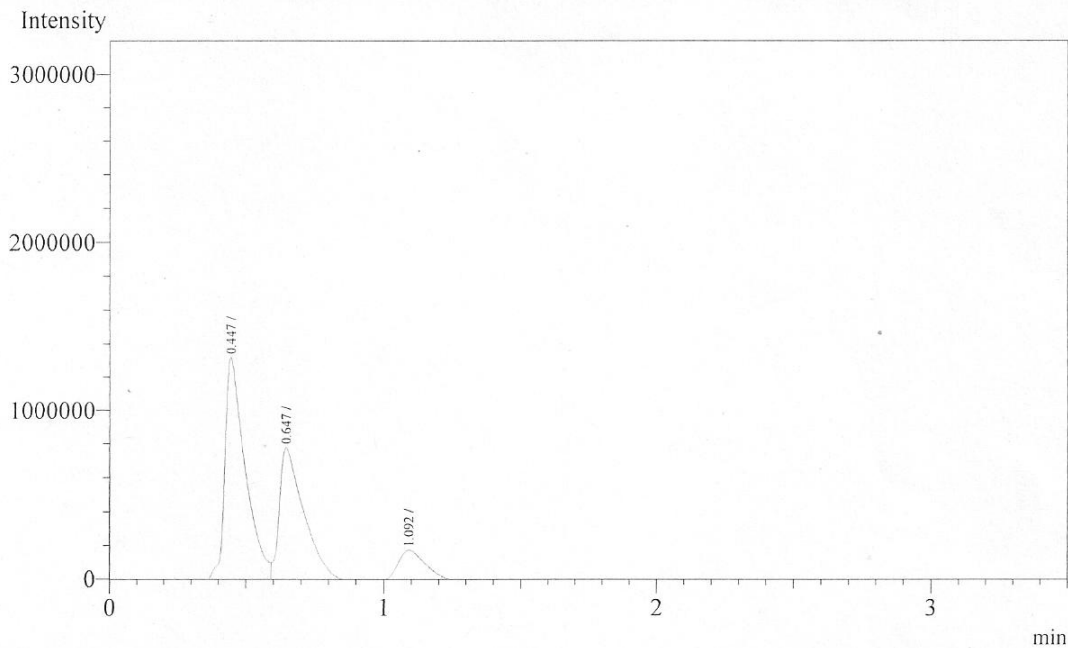


Peak#	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Unit Mark	ID#	Cmpd Name
1	0.554	1321008	224494	0.000			
2	0.761	2401202	365483	0.000	V		
3	1.194	655108	89813	0.000			
Total		4377318	679790				

รูปที่ ข.-35 ผลการทดลองของตัวอย่าง O50 รอบที่ 3

Analysis Date & Time : 26/11/2555 10:45:28
 User Name : Admin
 Vial# : 0
 Sample Name : SAM-12
 Sample ID :
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume :
 ISTD Amount :

Data Name : C:\GCsolution\Data\Project1\air TCD343.gcd
 Method Name : C:\GCsolution\Data\Project1\Packed column (TCD)-CO2.gcm



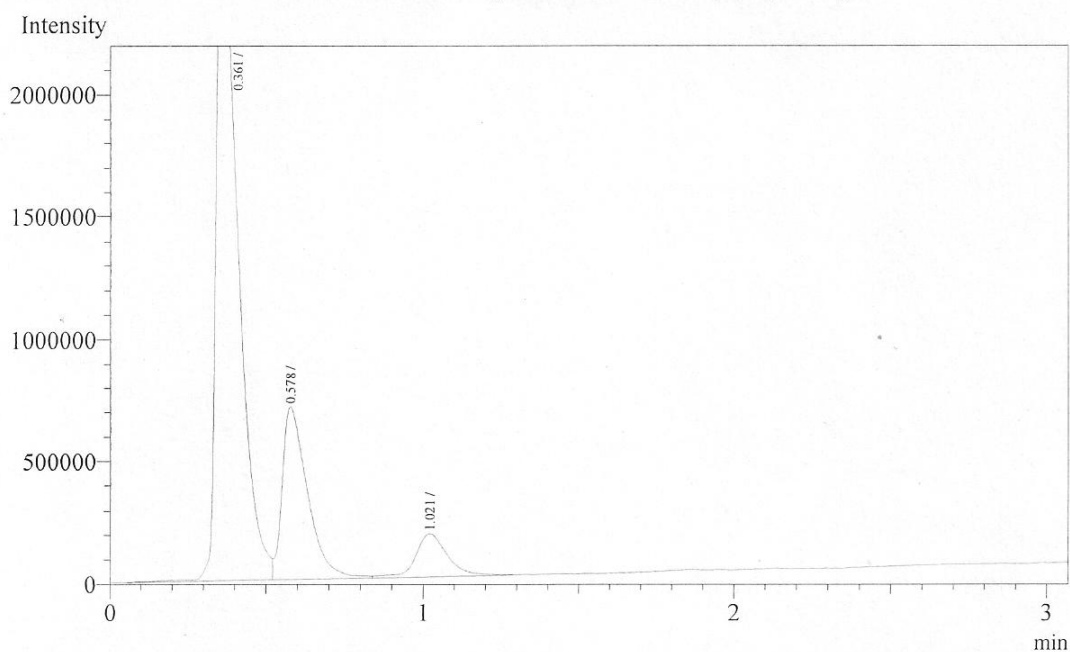
Peak#	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Unit Mark	ID#	Cmpd Name
1	0.447	6979964	1332724	0.000			
2	0.647	5028598	796155	0.000	V		
3	1.092	1432537	190774	0.000			
Total		13441099	2319653				

รูปที่ ข.-36 ผลการทดลองของตัวอย่าง O90 รอบที่ 3

ข.-4 ผลการหาค่าประกอบของก๊าซชีวภาพ รอบที่ 4

Analysis Date & Time : 26/12/2555 10:07:29
 User Name : Admin
 Vial# : 0
 Sample Name : SAM-1
 Sample ID :
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume :
 ISTD Amount :

Data Name : C:\GCsolution\Data\Project1\air TCD345.gcd
 Method Name : C:\GCsolution\Data\Project1\Packed column (TCD)-CO2.gcm

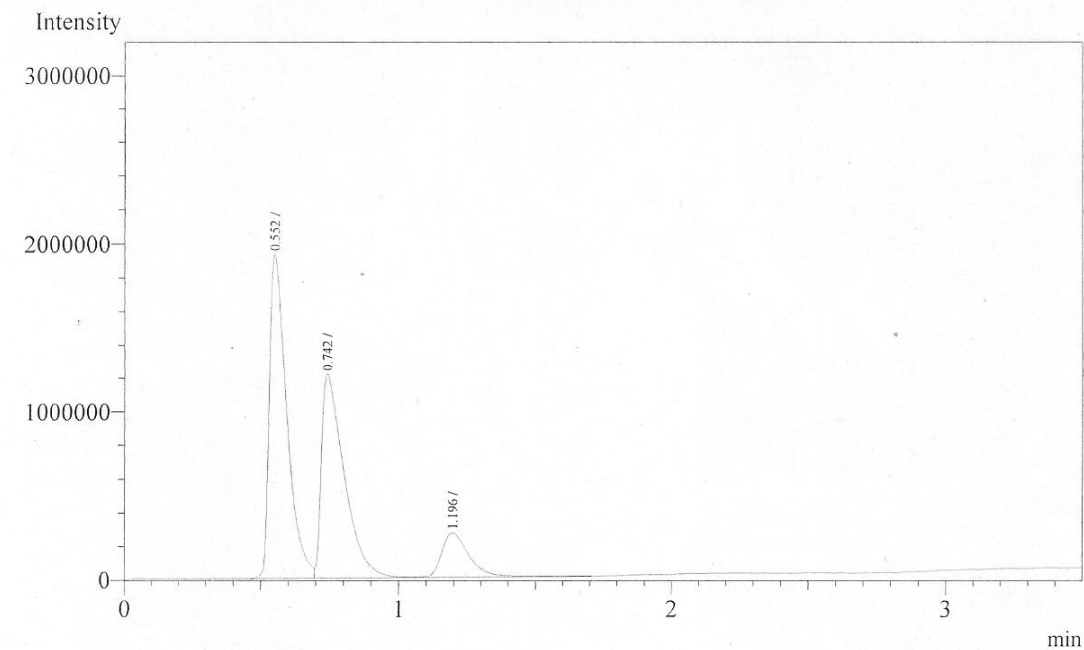


Peak#	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Unit Mark	ID#	Cmpd Name
1	av 0.361	13184972	2743423	0.000			
2	CH ₄ 0.578	3934559	703343	0.000	V		
3	CO ₂ 1.021	1267646	176164	0.000	V		
Total		18387177	3622930				

รูปที่ ข.-37 ผลการทดลองของตัวอย่าง S10 รอบที่ 4

Analysis Date & Time : 26/12/2555 10:12:35
 User Name : Admin
 Vial# : 0
 Sample Name : SAM-2
 Sample ID :
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume :
 ISTD Amount :

Data Name : C:\GCsolution\Data\Project1\air TCD346.gcd
 Method Name : C:\GCsolution\Data\Project1\Packed column (TCD)-CO2.gcm

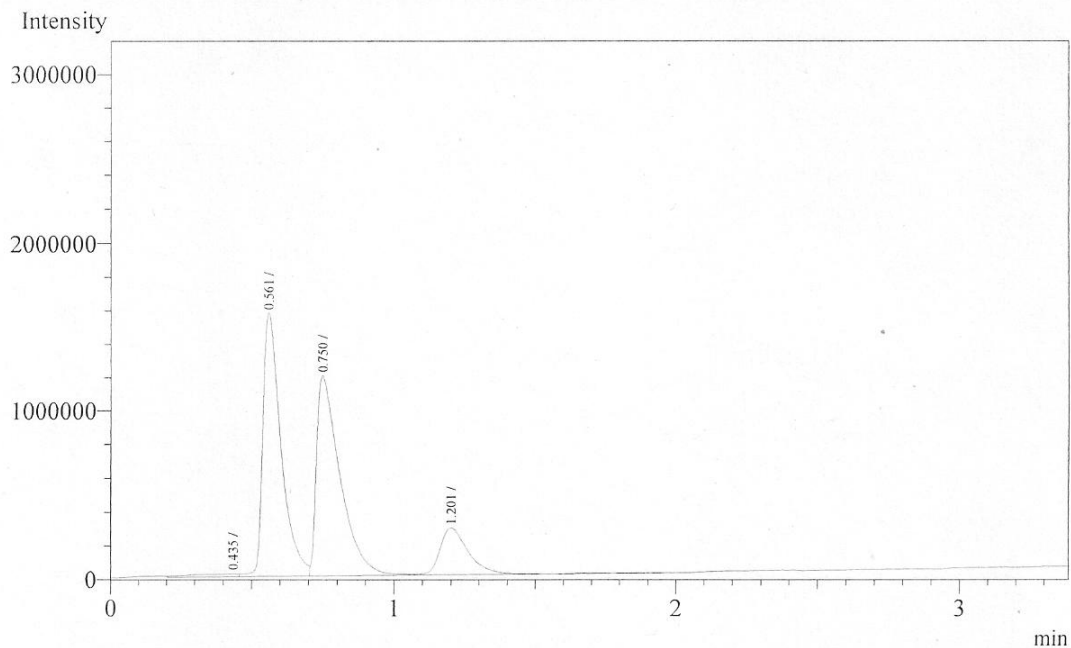


Peak#	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Unit Mark	ID#	Cmpd Name
1	0.552	8487288	1921605	0.000			
2	0.742	6955609	1210130	0.000	V		
3	1.196	1876236	263859	0.000	SV		
Total		17319133	3395594				

รูปที่ ข.-38 ผลการทดลองของตัวอย่าง S20 รอบที่ 4

Analysis Date & Time : 26/12/2555 10:16:59
 User Name : Admin
 Vial# : 0
 Sample Name : SAM3
 Sample ID :
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume :
 ISTD Amount :

Data Name : C:\GCsolution\Data\Project1\air TCD347.gcd
 Method Name : C:\GCsolution\Data\Project1\Packed column (TCD)-CO2.gcm

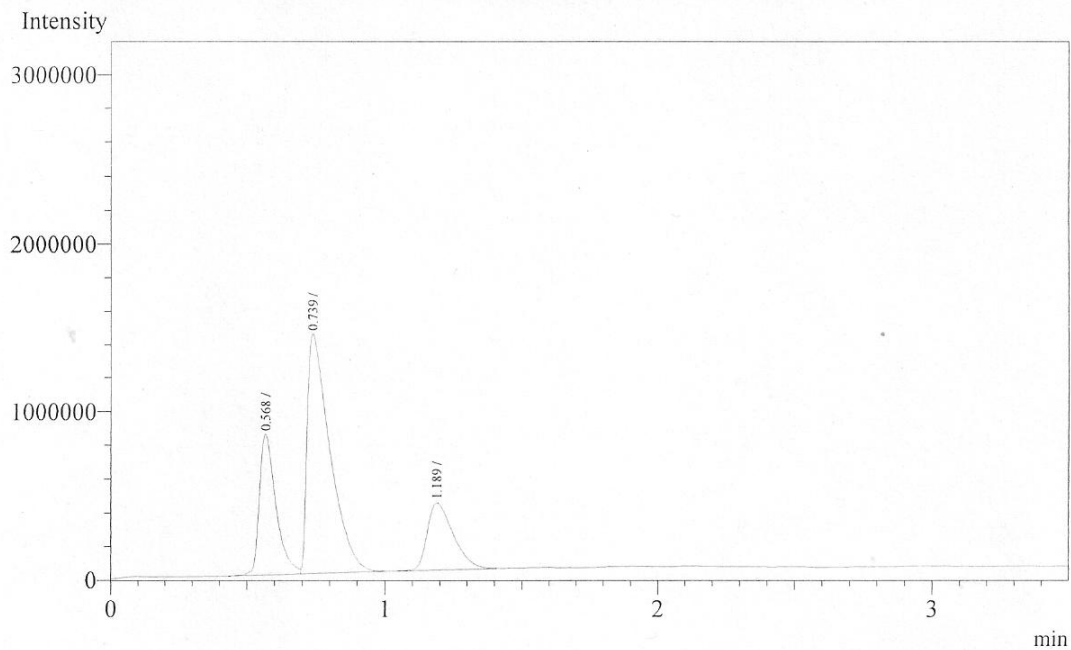


Peak#	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Unit Mark	ID#	Cmpd Name
1	0.435	186362	16732	0.000	V		
2	0.561	6943285	1561660	0.000	V		
3	0.750	6813978	1185757	0.000	V		
4	1.201	1928254	277528	0.000	SV		
Total		15871879	3041677				

รูปที่ ข.-39 ผลการทดลองของตัวอย่าง S50 รอบที่ 4

Analysis Date & Time : 26/12/2555 10:21:07
 User Name : Admin
 Vial# : 0
 Sample Name : SAM4
 Sample ID :
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume :
 ISTD Amount :

Data Name : C:\GCsolution\Data\Project1\air TCD348.gcd
 Method Name : C:\GCsolution\Data\Project1\Packed column (TCD)-CO2.gcm

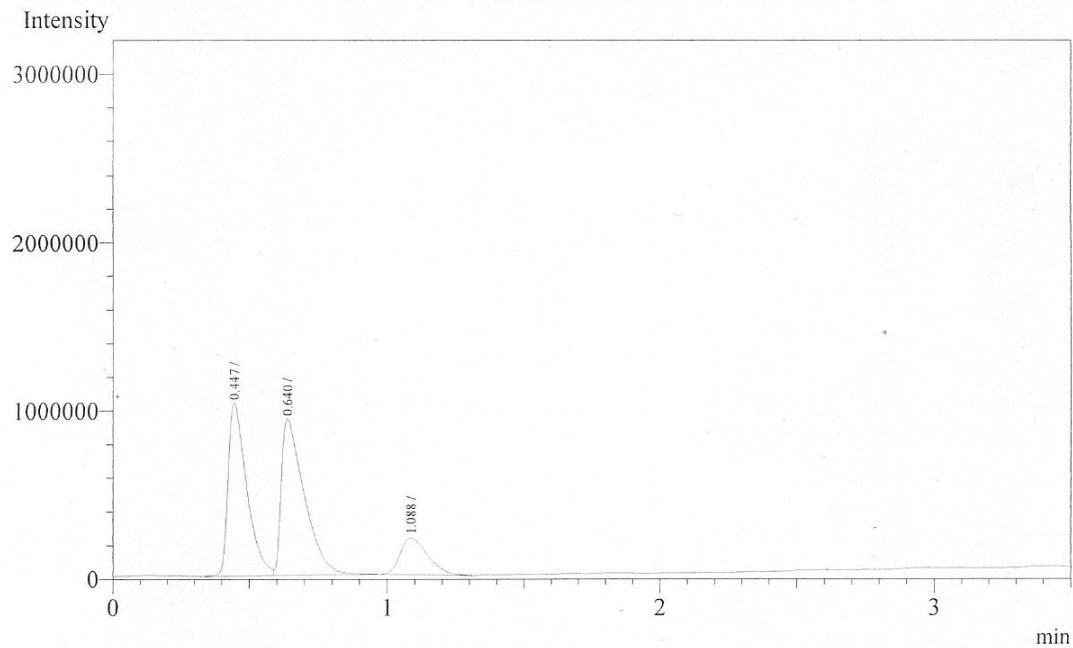


Peak#	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Unit Mark	ID#	Cmpd Name
1	0.568	3488754	832363	0.000			
2	0.739	8132541	1421125	0.000	V		
3	1.189	2662715	400105	0.000			
Total		14284010	2653593				

รูปที่ ข.-40 ผลการทดลองของตัวอย่าง S90 รอบที่ 4

Analysis Date & Time : 26/12/2555 10:25:43
 User Name : Admin
 Vial# : 0
 Sample Name : SAM5
 Sample ID :
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume :
 ISTD Amount :

Data Name : C:\GCsolution\Data\Project1\air TCD349.gcd
 Method Name : C:\GCsolution\Data\Project1\Packed column (TCD)-CO2.gcm

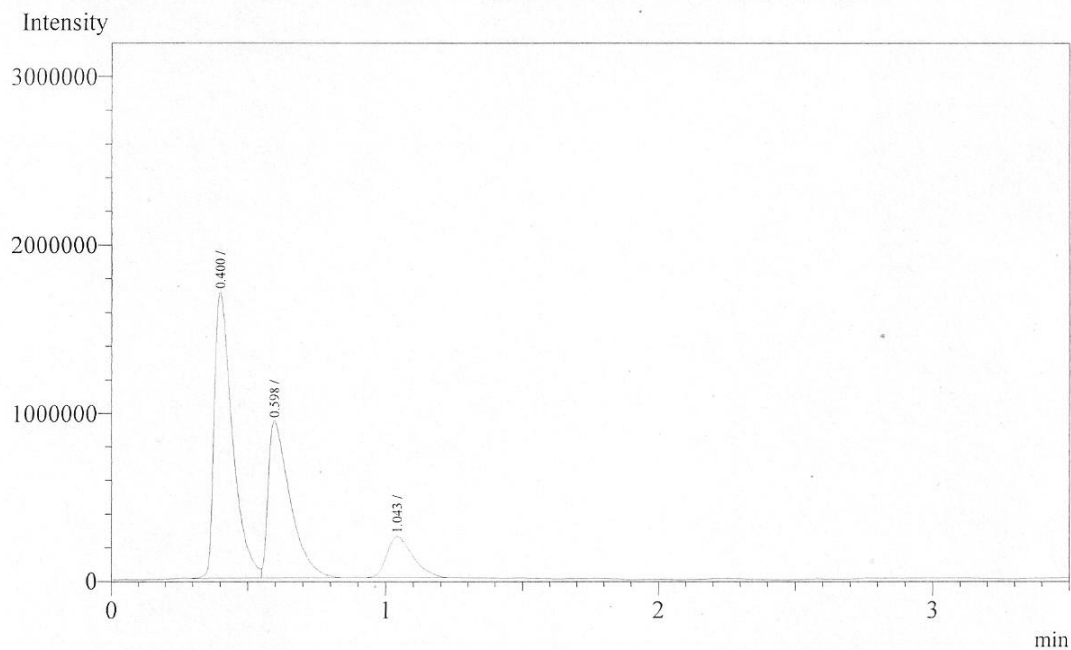


Peak#	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Unit Mark	ID#	Cmpd Name
1	0.447	4853352	1023901	0.000			
2	0.640	5358914	924968	0.000	V		
3	1.088	1519255	220173	0.000			
Total		11731521	2169042				

รูปที่ ข.-41 ผลการทดลองของตัวอย่าง R10 รอบที่ 4

Analysis Date & Time : 26/12/2555 10:35:35
 User Name : Admin
 Vial# : 0
 Sample Name : SAM6
 Sample ID :
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume :
 ISTD Amount :

Data Name : C:\GCsolution\Data\Project1\air TCD350.gcd
 Method Name : C:\GCsolution\Data\Project1\Packed column (TCD)-CO2.gcm

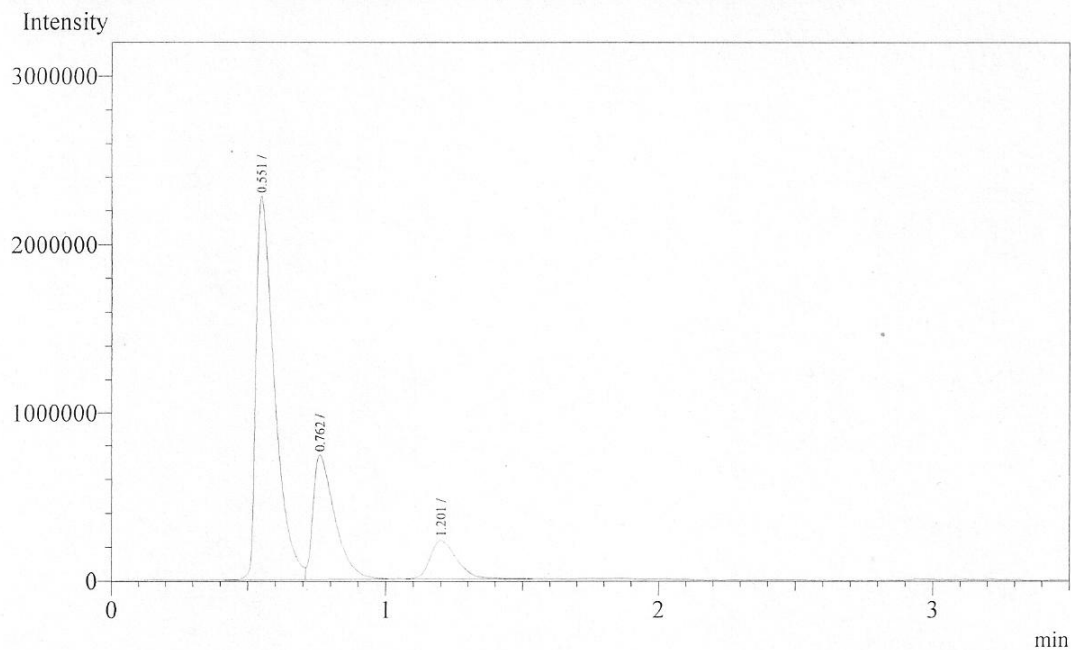


Peak#	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Unit Mark	ID#	Cmpd Name
1	0.400	7847635	1699253	0.000			
2	0.598	5118025	931377	0.000	V		
3	1.043	1576017	243172	0.000			
Total		14541677	2873802				

รูปที่ ข.-42 ผลการทดลองของตัวอย่าง R20 รอบที่ 4

Analysis Date & Time : 26/12/2555 10:40:32
 User Name : Admin
 Vial# : 0
 Sample Name : SAM7
 Sample ID :
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume :
 ISTD Amount :

Data Name : C:\GCsolution\Data\Project1\air TCD351.gcd
 Method Name : C:\GCsolution\Data\Project1\Packed column (TCD)-CO2.gcm

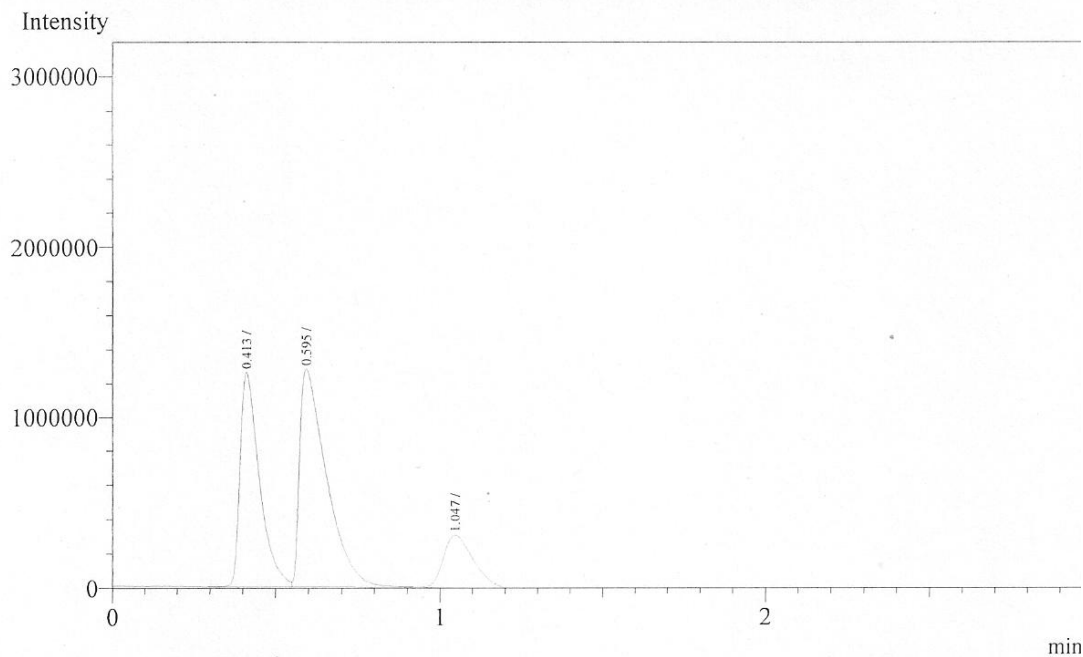


Peak#	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Unit Mark	ID#	Cmpd Name
1	0.551	10653880	2273041	0.000			
2	0.762	4016278	733864	0.000	V		
3	1.201	1531087	227441	0.000			
Total		16201245	3234346				

รูปที่ ข.-43 ผลการทดลองของตัวอย่าง R50 รอบที่ 4

Analysis Date & Time : 26/12/2555 10:45:24
 User Name : Admin
 Vial# : 0
 Sample Name : SAM8
 Sample ID :
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume :
 ISTD Amount :

Data Name : C:\GCsolution\Data\Project1\air TCD352.gcd
 Method Name : C:\GCsolution\Data\Project1\Packed column (TCD)-CO2.gcm

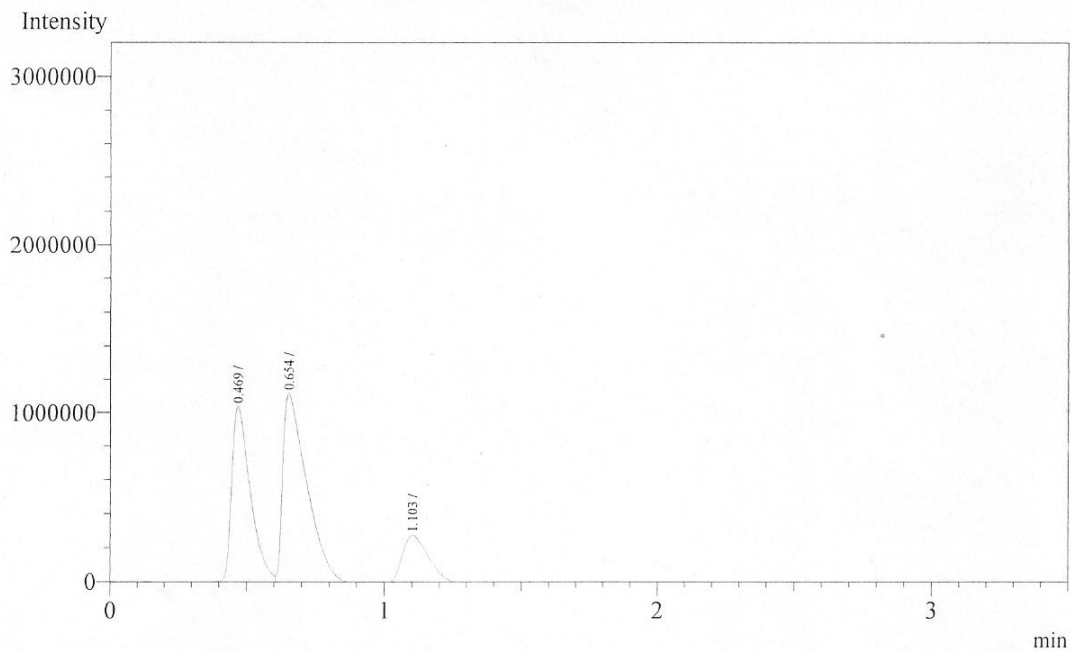


Peak#	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Unit Mark	ID#	Cmpd Name
1	0.413	5212219	1255486	0.000			
2	0.595	7215617	1276555	0.000	V		
3	1.047	2043121	309155	0.000			
Total		14470957	2841196				

รูปที่ ข.-44 ผลการทดลองของตัวอย่าง R90 รอบที่ 4

Analysis Date & Time : 26/12/2555 10:49:53
 User Name : Admin
 Vial# : 0
 Sample Name : SAM9
 Sample ID :
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume :
 ISTD Amount :

Data Name : C:\GCsolution\Data\Project1\air TCD353.gcd
 Method Name : C:\GCsolution\Data\Project1\Packed column (TCD)-CO2.gcm

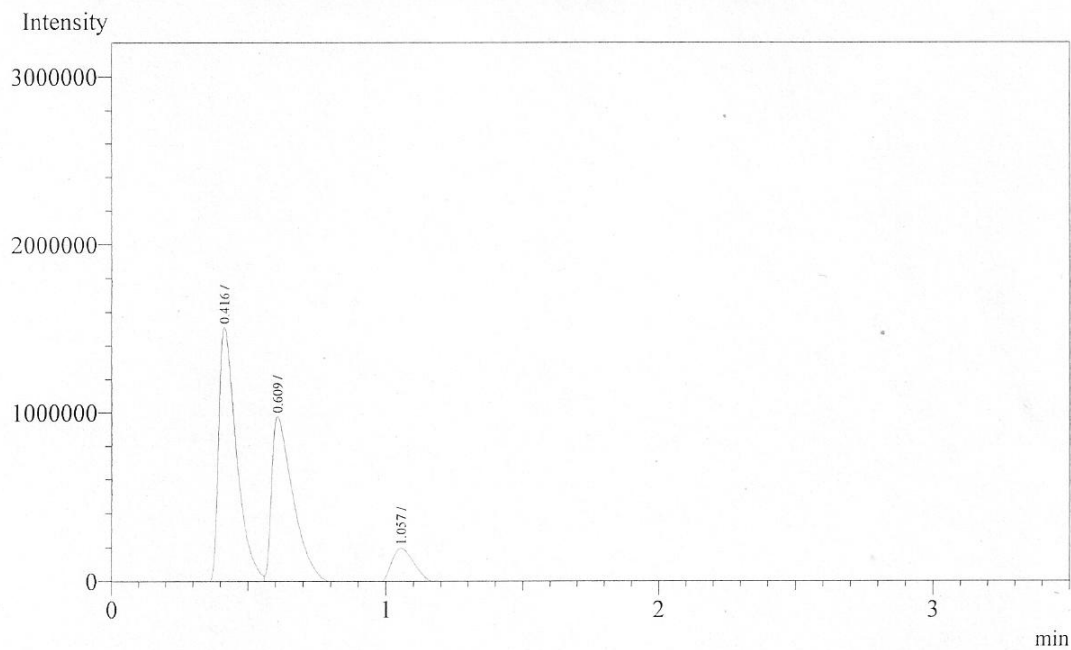


Peak#	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Unit Mark	ID#	Cmpd Name
1	0.469	5046080	1046241	0.000			
2	0.654	6874431	1125426	0.000	V		
3	1.103	2056862	292086	0.000			
Total		13977373	2463753				

รูปที่ ข.-45 ผลการทดลองของตัวอย่าง O10 รอบที่ 4

Analysis Date & Time : 26/12/2555 10:55:13
 User Name : Admin
 Vial# : 0
 Sample Name : SAM10
 Sample ID :
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume :
 ISTD Amount :

Data Name : C:\GCsolution\Data\Project1\air TCD354.gcd
 Method Name : C:\GCsolution\Data\Project1\Packed column (TCD)-CO2.gcm

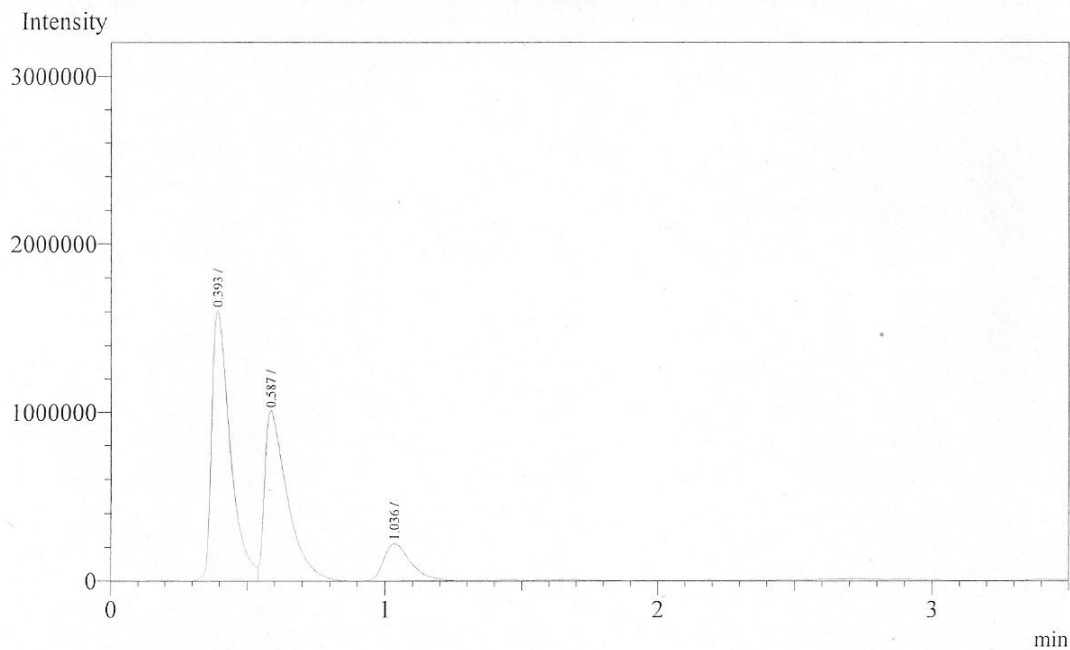


Peak#	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Unit Mark	ID#	Cmpd Name
1	0.416	7116846	1533615	0.000			
2	0.609	5673961	1004046	0.000	V		
3	1.057	1668083	235885	0.000			
Total		14458890	2773546				

รูปที่ ข.-46 ผลการทดลองของตัวอย่าง O20 รอบที่ 4

Analysis Date & Time : 26/12/2555 11:00:35
 User Name : Admin
 Vial# : 0
 Sample Name : SAM11
 Sample ID :
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume :
 ISTD Amount :

Data Name : C:\GCsolution\Data\Project1\air TCD355.gcd
 Method Name : C:\GCsolution\Data\Project1\Packed column (TCD)-CO2.gcm

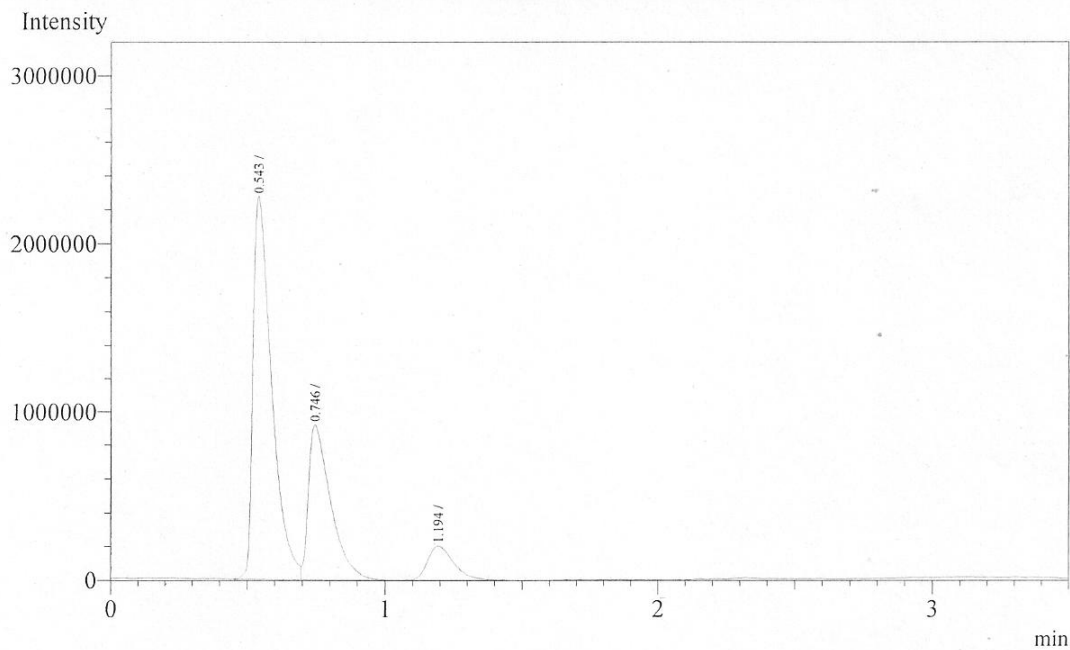


Peak#	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Unit Mark	ID#	Cmpd Name
1	0.393	7580647	1603107	0.000			
2	0.587	5856783	1009851	0.000	V		
3	1.036	1537470	224229	0.000			
Total		14974900	2837187				

รูปที่ ข.-47 ผลการทดลองของตัวอย่าง O50 รอบที่ 4

Analysis Date & Time : 26/12/2555 11:05:01
 User Name : Admin
 Vial# : 0
 Sample Name : SAM12
 Sample ID :
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume :
 ISTD Amount :

Data Name : C:\GCsolution\Data\Project1\air TCD356.gcd
 Method Name : C:\GCsolution\Data\Project1\Packed column (TCD)-CO2.gcm



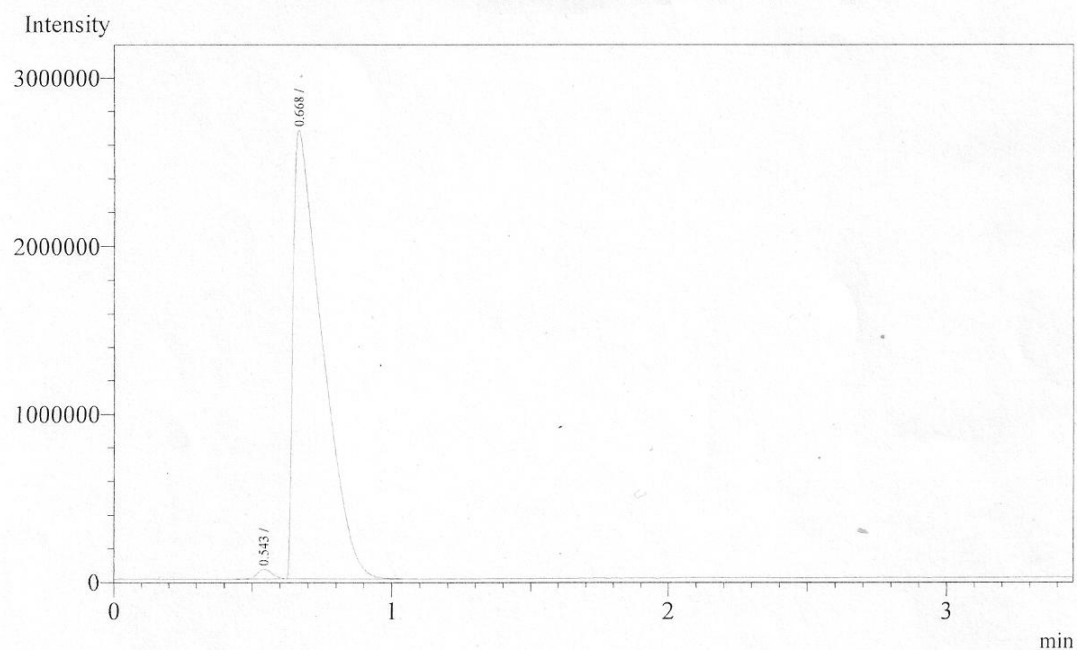
Peak#	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Unit Mark	ID#	Cmpd Name
1	0.543	10679664	2263844	0.000			
2	0.746	5156524	917234	0.000	V		
3	1.194	1337680	201716	0.000			
Total		17173868	3382794				

รูปที่ ข.-48 ผลการทดลองของตัวอย่าง O90 รอบที่ 4

ข.-5 ผลการวิเคราะห์ก๊าซมีเทนมาตรฐาน

Analysis Date & Time : 13/9/2555 9:59:42
 User Name : Admin
 Vial# : 0
 Sample Name : STD-GH4
 Sample ID :
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume :
 ISTD Amount :

Data Name : C:\GCsolution\Data\Project1\air TCD273.gcd
 Method Name : C:\GCsolution\Data\Project1\Packed column (TCD)-CO2.gcm

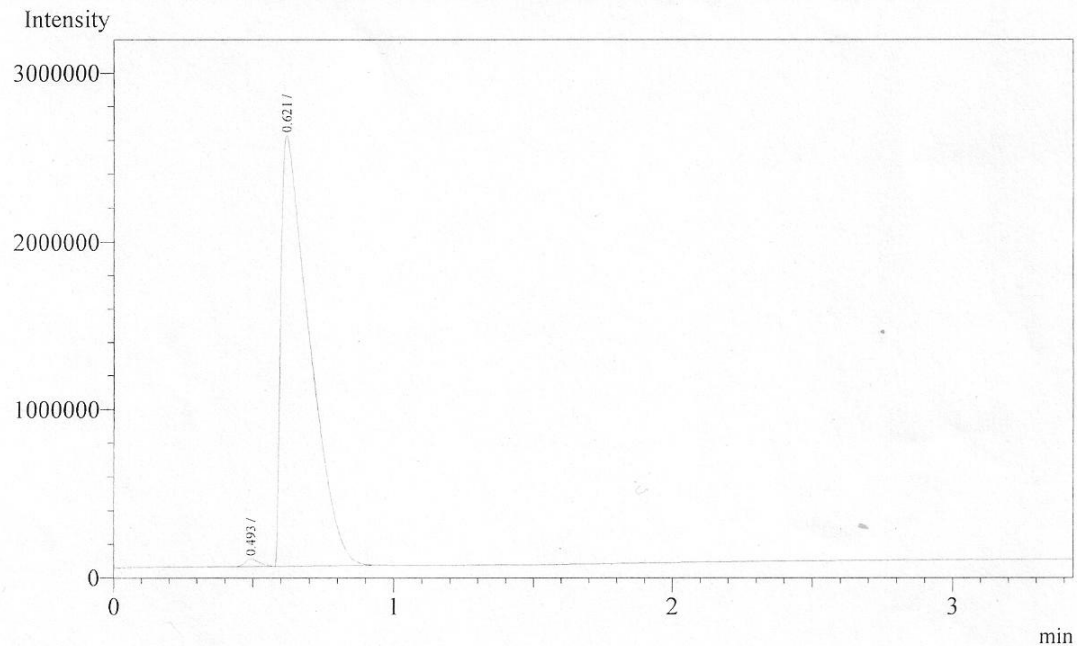


Peak#	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Unit Mark	ID#	Cmpd Name
1	0.543	217846	56643	0.000			
2	0.668	19274316	2663271	0.000			
Total		19492162	2719914				

รูปที่ ข.-49 ผลวิเคราะห์ก๊าซมีเทนมาตรฐาน ครั้งที่ 1

Analysis Date & Time : 13/9/2555 9:44:24
 User Name : Admin
 Vial# : 0
 Sample Name : STD-GH4
 Sample ID :
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume :
 ISTD Amount :

Data Name : C:\GCsolution\Data\Project1\air TCD270.gcd
 Method Name : C:\GCsolution\Data\Project1\Packed column (TCD)-CO2.gcm



Peak#	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Unit Mark	ID#	Cmpd Name
1	0.493	162221	45533	0.000			
2	0.621	17950445	2558664	0.000			
Total		18112666	2604197				

รูปที่ ข.-50 ผลวิเคราะห์ก๊าซมีเทนมาตรฐาน ครั้งที่ 2

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายฐานวุฑฒ สำราญศิลป์ เกิดวันที่ 24 กันยายน พ.ศ. 2529 สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล เมื่อปีการศึกษา 2551 หลังจบการศึกษาได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตปีการศึกษา 2552 สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำเร็จการศึกษาในปีการศึกษา 2555 ผลงานทางวิชาการในการประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติครั้งที่ 12 เรื่อง การผลิตก๊าซชีวภาพจากการย่อยสลายน้ำมันพืชร่วมกับเศษอาหารแบบไร้อากาศ ระหว่างวันที่ 27-29 มีนาคม 2556 ณ โรงแรมพลูแมนขอนแก่นราชาออกติค จังหวัดขอนแก่น