



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การศึกษาการใช้ประโยชน์ของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมลูกชิ้นในการผลิตพลังงานทดแทน

The Study of Wastewater Utilization for Renewable

Energy from Meatball Industry

โดย

อรรณ	โรจน์วิรุพห์
ธรรมศักดิ์	โรจน์วิรุพห์
สุจยา	ฤทธิศร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

งบประมาณประจำปี พ.ศ. 2553

ส่วนที่ 1 รายละเอียดโครงการ

1. ชื่อโครงการ การศึกษาการใช้ประโยชน์ของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมลูกชิ้นในการผลิตพลังงานทดแทน

The Study of Wastewater Utilization for Renewable Energy from Meatball Industry

2. หน่วยงานหลักที่รับผิดชอบงานวิจัยและสถานที่ตั้งพร้อมชื่อหน่วยงานและลักษณะของการร่วมงานวิจัยกับหน่วยงานอื่น (ถ้ามี)

หน่วยงานหลักที่รับผิดชอบงานวิจัยคือ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี โทรศัพท์ 02-5493410 โทรสาร 02-5493412

หน่วยงานร่วมวิจัย ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โทรศัพท์ 0-2577-1136 ต่อ 1124 โทรสาร 0-2577-1138, 0-2577-4199

3. คณะผู้วิจัย

ผู้วิจัย	บทบาทของนักวิจัย	สัดส่วนงานวิจัย
1. นางอรรณณ โรจน์วีรพห์	หัวหน้าโครงการวิจัย	60%
3. นายธรรมศักดิ์ โรจน์วีรพห์	ผู้ร่วมโครงการวิจัย	30%
2. ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุจยา ฤทธิศร	ผู้ร่วมโครงการวิจัย	10%

4. ประเภทของการวิจัย การวิจัยประยุกต์ (Applied research)

5. สาขาวิชาการและกลุ่มวิชาที่ทำวิจัย สาขาวิศวกรรมศาสตร์และอุตสาหกรรมวิจัย กลุ่ม ด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและอุตสาหกรรม

ส่วนที่ 2 เนื้อหาโครงการ

บทคัดย่อ

การศึกษาการใช้ประโยชน์ของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมลูกชิ้นในการผลิตพลังงานทดแทน เป็นการศึกษาถึงการผลิตพลังงานทดแทน 2 รูปแบบคือ การผลิตไบโอดีเซลจากไขมันและน้ำมันที่ปล่อยมากับน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตลูกชิ้นโดยใช้เมทานอลเป็นตัวสกัดโดยมีกรดซัลฟูริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และการผลิตก๊าซมีเทนจากการหมักน้ำเสียจากโรงงานด้วยระบบหมักไร้อากาศแบบไหลขึ้น 2 ขั้นตอน (Two-stage Upflow Anaerobic Sludge Blanket : UASB) การศึกษาหาความเป็นไปได้ในการสกัดไบโอดีเซลจากไขมันและน้ำมันที่ปล่อยมากับน้ำเสียของโรงงานผลิตลูกชิ้นนั้นพบว่า ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสมคือกรดซัลฟูริกเนื่องจากมีค่ากรดไขมันอิสระเกิน 5% ปริมาณไขมันจากน้ำเสีย 100 มิลลิลิตร จะมีปริมาณกรดที่เหมาะสมเท่ากับ 30 มิลลิลิตรและเวลาที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาคือ 30 นาที แต่ก็ได้เมทิลเอสเตอร์ในปริมาณที่น้อยมากคือ 4.8 มิลลิลิตร เนื่องจากมีการรบกวนปฏิกิริยาจากความชื้นที่อยู่ในกากไขมัน

การศึกษาประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียของโรงงานผลิตลูกชิ้นโดยใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ (ยูเอเอสบี) ที่ระยะเวลาเก็บกัก (Hydraulic Retention Time: HRT) 2 วัน พบว่าถ้าเดินระบบบำบัดน้ำเสียจนคงที่มีเสถียรภาพ (Steady State) จะมีการเกิดก๊าซชีวภาพ 1,800-2,400 มิลลิลิตร/วัน ซึ่งมีมีเทนเป็นองค์ประกอบในก๊าซชีวภาพนั้นประมาณ 62% ซึ่งเป็นปริมาณก๊าซมีเทนที่ค่อนข้างสูงสามารถนำไปใช้ผลิตพลังงานได้ในครัวเรือนหรือเชิงพาณิชย์ และในการศึกษาครั้งนี้มีผลพลอยได้ที่ดีตามมาคือสามารถกำจัดของเสียที่ปนเปื้อนมากับน้ำเสียได้มีประสิทธิภาพสูงมาก ซึ่งก็คือสามารถลดค่าซีโอดีในน้ำเสียได้สูงถึง 92%

คำสำคัญ น้ำมันและไขมัน ไบโอดีเซล หมักแบบสองขั้นตอน ก๊าซมีเทน

Abstract

Study on utilization of industrial wastewater from meatball factory for renewable energy production is studied about energy production and increasing value of waste. The aims of this research were study in biodiesel extraction and production of methane gas by using 2 methods for study, Extraction for biodiesel and using wastewater system for produced biogas. In the first study, Catalyst suitable is sulfuric acid because the free fatty acids have high value more than 5% from waste sample 100 ml and used the suitable acid volume at 30 ml and timely reaction is 30 minutes, but also methyl ester in very low volumes are 4.8 ml reaction due to interference from moisture in the waste sample.

Another study, methane gas production, was studied by two-state Up-flow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) and had hydraulics retention time for 2 days. Results of biogas production when the system in steady state was increased to 1,800-2,400 mL/d which methane gas is a component in approximately 62%, the amount of methane gas at high energy can be used in household or commercial. In this study, a by-product that follows the removal of waste contaminated with wastewater is very high efficiency. This is to reduce the COD in wastewater up to 92%.

Keywords: Oil&Grease, Biodiesel, Two-state anaerobic digestion, Methane Gas

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ (ภาษาไทย)	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ)	ข
สารบัญ	ค
สารบัญตาราง	ง
สารบัญรูป	จ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 น้ำมันและไขมัน (Oil and Grease)	3
2.2 น้ำมันไบโอดีเซล (Biodiesel)	9
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	26
2.4 ก๊าซชีวภาพ (Biogas)	27
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการ	32
3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์	32
3.2 วิธีการดำเนินการวิจัย	32
บทที่ 4 ผลและวิจารณ์	35
4.1. ข้อมูลพื้นฐานของโรงงานผลิตลูกชิ้น	35
4.2. ผลการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมและการทดลองในสภาวะปิด	38
4.3 การผลิตพลังงานทดแทนในรูปของก๊าซมีเทนโดยการนำน้ำเสียจาก โรงงานผลิตลูกชิ้นมาทำการบำบัดด้วยระบบการหมักแบบไหลขึ้น (Up- Flow Anaerobic Sludge Blanket: UASB)	44
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	50
บรรณานุกรม	52
ภาคผนวก ก ตารางผลการทดลอง	54
ภาคผนวก ข การเดินระบบหมักแบบไหลขึ้นสองขั้นตอน	59
ภาคผนวก ค ประวัตินักวิจัย	61

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ค่า BOD ของน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมบางประเภท	4
2.2	กำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลของประเทศสหรัฐอเมริกา	14
2.3	กำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลของประเทศไทย	14
2.4	รายละเอียดข้อกำหนดทางคุณภาพของไบโอดีเซลตามมาตรฐาน DIN V51606	22
2.5	รายละเอียดข้อกำหนดทางคุณภาพไบโอดีเซลตามมาตรฐาน ASTM D6751	23
2.6	ข้อกำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของ กรดไขมัน พ.ศ 2548	24
3.1	พารามิเตอร์ที่ต้องการศึกษาและวิธีการวิเคราะห์	33
4.1	ผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์น้ำเสียของโรงงานลูกชิ้น	37
4.2	ผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์ของไขมันที่ลอยปกคลุมบนผิวน้ำ (Scum) จากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานลูกชิ้น	37
4.3	ผลการหาปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาของเมทิล เอสเตอร์ที่เวลา 30 นาที	39
4.4	ผลการหาเวลาทำปฏิกิริยาที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาของเมทิลเอ สเตอร์	41
4.5	ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของเมทิลเอสเตอร์ที่ผลิตได้	42
4.6	ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการใช้วัตถุดิบ สารเคมีและอุปกรณ์ในการสกัด ไขมันไบโอดีเซลจากไขมันจากระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานลูกชิ้น	44
ตารางผนวก ก.1	ผลการวิเคราะห์ซีไอดีและประสิทธิภาพการบำบัดซีไอดี	55
ตารางผนวก ก.2	ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารอินทรีย์ในโตรเจน	56
ตารางผนวก ก.3	ผลการวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันระเหยง่าย	56
ตารางผนวก ก. 4	ผลการวิเคราะห์สภาพความเป็นด่างของน้ำ	57
ตารางผนวก ก. 5	ผลการวิเคราะห์ปริมาณก๊าซ (24 ชั่วโมง)	58

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	สูตรโครงสร้างทั่วไปของกรดไขมัน	5
2.2	สูตรโครงสร้างของ Lipid พวกร Glycerides	6
2.3	ปฏิกิริยาการเกิดไบโอดีเซล	10
2.4	อุปกรณ์วัดความหนืด	18
2.5	เครื่องทดสอบจุดวาบไฟ	18
2.6	ขั้นตอนการเกิดก๊าซมีเทนเริ่มต้นจากสารประกอบโมเลกุลใหญ่	28
2.7	ลักษณะการทำงานของถังปฏิกิริยาแบบยูเอสบี	29
3.1	การติดตั้งเครื่องมือและอุปกรณ์ของระบบยูเอสบี (UASB)	34
4.1	กระบวนการผลิตลูกชิ้นของโรงงาน	35
4.2	ผลิตภัณฑ์จากการผลิตของโรงงานลูกชิ้น	35
4.3	ไขมันน้ำเสียในบ่อน้ำทิ้งของโรงงาน	36
4.4	ไขมันสัตว์ที่ได้จากน้ำเสียของโรงงานผลิตลูกชิ้น	36
4.5	ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาของเมทิลเอสเตอร์	39
4.6	ปริมาณเมทิลเอสเตอร์ที่ได้จากเวลาทำปฏิกิริยาที่เหมาะสม	41
4.7	ประสิทธิภาพในการบำบัดชีโอดีในน้ำเสียของโรงงานผลิตลูกชิ้น	45
4.8	สภาพด่างของน้ำเสีย(Alkalinity) ที่เกิดขึ้นในระบบยูเอสบี	46
4.9	ปริมาณกรดระเหยง่าย (Volatile organic acid) ที่เกิดขึ้นในระบบยูเอสบี	46
4.10	ประสิทธิภาพในการบำบัดไนโตรเจนในน้ำเสียของโรงงานผลิตลูกชิ้น	47
4.11	ปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นในระบบบำบัดน้ำเสียแบบยูเอสบี	48
4.12	การทดลองจุดไฟที่ปลายท่อดักก๊าซชีวภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบยูเอสบี	49
รูปผนวก ข.1	ชุดเดินระบบหมักแบบไหลขึ้นสองขั้นตอน	60
รูปผนวก ข.2	ตะกอนจุลินทรีย์ในระบบหมักแบบไหลขึ้นสองขั้นตอน	60

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

BOD	Biochemical Oxygen Demand
COD	Chemical Oxygen Demand
mg/L	Milligram per liter
wt%	Percent by weight
vol%	Percent by volume
°C	Degree Celsius
UASB	Up-flow Anaerobic Sludge Blanket
GSS	Gas Solid Separator
HRT	Hydraulic Retention Time
Org-N	Organic nitrogen
FOG	Fat Oil and Grease
มก./ล.	มิลลิกรัมต่อลิตร
มล./ล.	มิลลิลิตรต่อลิตร

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญ และที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

ปัจจุบันการพัฒนาประเทศมักจะมุ่งเน้นแต่ผลผลิตทางด้านอุตสาหกรรม ซึ่งเป็นแรงผลักดันต่อระบบเศรษฐกิจเป็นอย่างมาก ส่งผลให้มีการขยายตัวของชุมชนภายในประเทศมากขึ้น ก่อให้เกิดปัญหามลพิษต่อสิ่งแวดล้อมทวีความรุนแรงมากขึ้นเรื่อยๆ โดยอุตสาหกรรมอาหารก็เป็นแหล่งที่ทำให้ก่อมลพิษได้มากเนื่องจากวัตถุดิบที่ใช้ในการแปรรูปอาหารนั้นเป็นวัตถุดิบที่สามารถย่อยสลายได้ในทางชีวภาพและปริมาณวัตถุดิบที่ใช้จะเป็นปริมาณที่มาก ถ้ามีการกำจัดหรือการจัดการของเสียที่เกิดขึ้นที่ไม่ดี ก็อาจจะทำให้เป็นแหล่งกำเนิดมลพิษที่มีขนาดใหญ่และอาจส่งผลกระทบไปในบริเวณใกล้เคียงได้ ซึ่งของเสียที่เกิดขึ้นในโรงงานนี้จะเกิดขึ้นได้ 2 ลักษณะคือ น้ำเสียและของเสียในรูปของของแข็งที่มาจากเศษของวัตถุดิบ ซึ่งถ้าปล่อยออกจากโรงงานอาจก่อให้เกิดปัญหามลพิษให้กับสิ่งแวดล้อม แต่ก็มีของเสียบางประเภทที่สามารถนำมาเพิ่มมูลค่าได้โดยผ่านกระบวนการบางอย่าง เช่น น้ำเสียจากโรงงาน ซึ่งจะมีค่าซีโอดีสูงมากและจะมีไขมันลอยปกคลุมอยู่ด้านบนของผิวน้ำซึ่งน้ำเสียประเภทนี้จะส่งกลิ่นเหม็นและจำเป็นต้องมีระบบบำบัดน้ำเสียมารองรับเพื่อปรับสภาพน้ำให้ดีขึ้น ถ้านำระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศมาบำบัดนอกจากจะช่วยทำให้สภาพของน้ำเสียดีขึ้นแล้ว ยังมีผลพลอยได้ก็คือก๊าซชีวภาพซึ่งสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงหรือพลังงานทดแทนให้กับผู้ประกอบการได้อีกด้วย ในขณะที่ไขมันที่ลอยปกคลุมอยู่ด้านบนผิวน้ำ จากการศึกษาพบว่าสามารถนำมาสกัดเพื่อให้ได้พลังงานทดแทนในรูปของไบโอดีเซลได้ ไขมันที่ลอยอยู่บนผิวน้ำของน้ำเสียนั้นถ้าปล่อยทิ้งไว้ในระบบจะส่งกลิ่นเหม็นและใช้ระยะเวลาในการบำบัดเนื่องจากเป็นสารอินทรีย์ที่มีพันธะยาวทำให้จุลินทรีย์ย่อยสลายได้ช้า โรงงานแปรรูปอาหารส่วนใหญ่จึงมักจะดักทิ้งเพื่อมิให้ส่งผลกระทบต่อระบบบำบัดน้ำเสีย จากเหตุผลดังกล่าว โรงงานลูกชิ้นที่มีของเสียประเภทนี้มากก็อาจเกิดการสูญเสียไปของการเพิ่มมูลค่าได้ จึงรวบรวมไขมันและน้ำมันที่ได้จากการผลิตลูกชิ้นซึ่งอยู่รวมกับน้ำเสีย นำมาสกัดเป็นน้ำมันไบโอดีเซล โดยไบโอดีเซล (Biodiesel) เป็นเชื้อเพลิงดีเซลที่ผลิตจากแหล่งทรัพยากรหมุนเวียน เช่น น้ำมันพืช ไขมันสัตว์ หรือสาหร่าย ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงดีเซลทางเลือก แนวทางการลดต้นทุนโดยการใช้ไขมันที่มีราคาถูก เช่น น้ำมันจากบ่อบำบัดน้ำเสียซึ่งนอกจากจะเป็นแหล่งของน้ำมันเพื่อการผลิตไบโอดีเซลแล้ว ยังช่วยลดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมของโรงงานได้อีกด้วย

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศเป็นระบบบำบัดที่เหมาะสมกับน้ำเสียที่มีค่าความสกปรกสูง เช่น น้ำเสียจากฟาร์มสุกร น้ำเสียจากอุตสาหกรรมอาหาร เป็นต้น เนื่องจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศเป็นระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ต้องเติมอากาศ จึงทำให้ประหยัดพลังงานและยังสามารถผลิตก๊าซชีวภาพจำพวกมีเทน เพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทนในรูปของพลังงานไฟฟ้าหรือพลังงานความร้อนได้อีกด้วย ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศมีด้วยกันหลายประเภท เช่น ระบบกรองไร้อากาศ ระบบหมัก

แบบไหลขึ้น (UASB) เป็นต้น ซึ่งในปัจจุบันระบบยูเอเอสบีเป็นที่นิยม เนื่องจากประสิทธิภาพในการบำบัดค่าความสกปรกค่อนข้างสูงเนื่องจากลักษณะการไหลจะเป็นการไหลย้อนขึ้น (Upflow) ทำให้น้ำเสียเข้าสัมผัสกับชั้นตะกอนของกลุ่มจุลินทรีย์ทางด้านล่าง จุลินทรีย์จะทำหน้าที่ย่อยสลายของเสียที่อยู่ในรูปของสารอินทรีย์ ทำให้ปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำลดลงได้ ร้อยละ 90-95 และเปลี่ยนไปเป็นก๊าซชีวภาพ และน้ำที่ออกจากระบบจะมีค่าของแข็งแขวนลอยน้อยมากเมื่อเทียบกับระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศด้วยกัน

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1.2.1 เพื่อสกัดน้ำมันไบโอดีเซลจากไขมันและน้ำมันที่ปนเปื้อนมากับน้ำเสีย
- 1.2.2 เพื่อศึกษาความคุ้มค่าด้านเศรษฐศาสตร์สิ่งแวดล้อมในการผลิตก๊าซชีวภาพและไบโอดีเซลจากน้ำเสีย
- 1.2.3 เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของการบำบัดน้ำเสียและผลิตก๊าซชีวภาพของระบบหมักไร้อากาศแบบไหลขึ้น (Upflow Anaerobic Sludge Blanket)

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1.3.1 น้ำมันและไขมันที่ใช้ในการสกัดไบโอดีเซลได้จากน้ำเสียจากอุตสาหกรรมผลิตลูกชิ้น
- 1.3.2 ศึกษาความคุ้มค่าด้านเศรษฐศาสตร์สิ่งแวดล้อมในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซล
- 1.3.3 ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัด COD Org-N และ อัตราการผลิต Biogas ของระบบหมักไร้อากาศแบบไหลขึ้น
- 1.3.4 ใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบระบบหมักไร้อากาศแบบไหลขึ้นจะเป็นแบบ 2 ขั้นตอน (two stage) โดยมีอุปกรณ์ดักจับก๊าซชีวภาพแบบแทนที่น้ำทั้ง 2 ขั้นตอน

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

น้ำเสีย คือ น้ำที่ผ่านการนำไปใช้ประโยชน์ในกิจกรรมต่างๆ และมีสิ่งเจือปนในปริมาณสูง จนกระทั่งกลายเป็นน้ำที่ไม่ต้องการของคนทั่วไป โดยน้ำเสียสามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภทตามกิจกรรมของแหล่งกำเนิดดังต่อไปนี้

- น้ำเสียจากแหล่งชุมชน (Domestic Wastewater) เป็นน้ำเสียที่เกิดจากการทำกิจกรรมต่างๆ ในชีวิตประจำวันของประชาชนในชุมชน โดยมีแหล่งกำเนิดมาจาก อาคารบ้านเรือน ร้านค้า ตลาดสด ร้านอาหาร สถาบันการศึกษา เป็นต้น น้ำเสียชุมชนส่วนใหญ่จะมีปริมาณสารอินทรีย์ (Organic Matter) ที่ย่อยสลายได้โดยกระบวนการทางธรรมชาติปนเปื้อนในปริมาณสูง

- น้ำเสียจากการเกษตรกรรม (Agricultural Wastewater) เป็นน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากการประกอบกิจกรรมทางการเกษตร ที่รวมถึงการเพาะปลูกและเลี้ยงสัตว์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งได้แก่ น้ำเสียที่เกิดจากการทำความสะอาดคอกเลี้ยงสัตว์ น้ำเสียจากการเลี้ยงปลาหรือกุ้ง และการทำนาข้าว เป็นต้น โดยน้ำเสียที่เกิดจากการเกษตรส่วนใหญ่จะมีองค์ประกอบของสารอินทรีย์ซึ่งรวมถึงสารอินทรีย์ที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ง่ายในธรรมชาติ เช่น กลุ่มสารกำจัดศัตรูพืช และยาปฏิชีวนะ เป็นต้น และสารอนินทรีย์ (Inorganic Matters) เช่น แอมโมเนียและธาตุอาหารต่างๆ เป็นต้น ทั้งนี้ลักษณะการปนเปื้อนขึ้นอยู่กับการใช้งาน

- น้ำเสียจากอุตสาหกรรม (Industrial Wastewater) เป็นน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการการผลิตทางอุตสาหกรรม ซึ่งรวมถึง น้ำทิ้งที่เกิดจากกระบวนการผลิต น้ำทิ้งจากกระบวนการหล่อเย็น น้ำทิ้งจากกระบวนการชะล้างและน้ำทิ้งจากกิจกรรมอื่นๆ เช่น น้ำทิ้งที่เกิดจากการใช้น้ำของบุคลากร และจากโรงอาหาร เป็นต้น น้ำเสียประเภทนี้ประกอบด้วยสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ โดยมีองค์ประกอบแตกต่างกันไปตามประเภทของวัตถุดิบ กระบวนการผลิต ซึ่งอาจเป็นผลผลิตทางการเกษตร สารอินทรีย์เคมีหรือโลหะหนัก เป็นต้น ลักษณะสมบัติและอัตราการไหลของน้ำเสียอุตสาหกรรมมีความแปรผันสูงมาก เนื่องจากในบางเวลา การใช้น้ำในโรงงานเป็นเพียงการอุปโภคของพนักงานเท่านั้น และในบางช่วงเวลา โรงงานอาจใช้น้ำในกระบวนการผลิต โดยค่าความสกปรกของน้ำเสียตามอุตสาหกรรมต่างๆสรุปดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ค่า BOD ของน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมบางประเภท[1]

ประเภทของโรงงาน	BOD ₅ (mg/L)	ประเภทของโรงงาน	BOD ₅ (mg/L)
โรงงานบรรจุอาหารกระป๋อง		โรงงานนมวัว	1000-2000
- ถั่วต่างๆ	200-1000	โรงงานบรรจุนมขวด	230
- ข้าวโพด	600-2000	โรงงานนมผง	480
- น้ำส้มโอ	310	นมเปรี้ยว	64000
- มะเขือเทศ	1000-4000	หางนม	73000
- เห็ด	100-400	นมสด	102500
- เนื้อสัตว์	1400	โรงงานผลิตไอศกรีม	910
โรงงานลูกกวาด	1560	โรงงานเนยเหลว	3160
โรงงานมันฝรั่ง	600	โรงงานผลิตน้ำมันถั่วเหลือง	220
โรงงานแป้งต่างๆ	330	โรงงานเนื้อสัตว์ทั่วไป	1300
โรงงานฟักไข่ไก่	200	โรงงานผลิตน้ำอัดลม	480
โรงงานผลิตกาแฟ	1500-10000	โรงงานผลิตข้าวสำเร็จรูป	1100
โรงงานเบียร์	800-1200	โรงงานขนมปัง	3000
โรงงานผลิตเหล้า	34000	โรงงานฆ่าสัตว์ทั่วไป	2000
โรงงานผลิตยา	270	เลือดสัตว์ทั่วไป	32000
โรงงานซักผ้า	700	โรงฆ่าไก่ (กก. BOD/1000 ตัว)	15
โรงงานผลิตภัณฑ์ยางทั่วไป	200	โรงฆ่าไก่	400-800
โรงงานผลิตภัณฑ์ยางสังเคราะห์	25-1600	โรงงานผลิตภัณฑ์ผ้าสังเคราะห์	1500
โรงงานชุบโลหะ	8	โรงงานย้อมผ้า	100-1300
โรงงานผลิตพรมปูพื้น	140	โรงงานกระดาษ	100-1000

2.1 น้ำมันและไขมัน

น้ำมันและไขมัน หรือลิปิด(Lipid) เป็นสารอินทรีย์ที่ประกอบด้วย ธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจนเช่นเดียวกับสารประกอบคาร์โบไฮเดรต เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่ได้จากสิ่งมีชีวิต มีคุณสมบัติไม่ละลายน้ำแต่ละลายได้ดีในตัวทำละลายอินทรีย์ (Organic solvent) เช่น คลอโรฟอร์ม เบนซีน อีเธอร์ แอลกอฮอล์และคาร์บอนเตตระคลอไรด์ เป็นต้น ลิปิดทำหน้าที่เป็น โครงสร้างของเยื่อ เซลล์ เป็นสารที่สะสมพลังงานและทำหน้าที่สำคัญอื่นๆที่จำเป็นต่อการดำรงชีวิต วิตามินที่ละลายใน

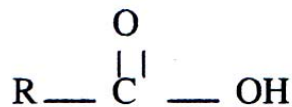
ไขมัน 4 ชนิดคือ วิตามิน A, B, E และ K ต่างก็เป็นอนุพันธ์ของลิพิด ลิพิดบางชนิดอยู่รวมกับโปรตีน ได้แก่ ไกลโคโปรตีนในเลือด ซึ่งทำหน้าที่ขนส่งลิพิดทางกระแสโลหิตไปสู่ส่วนต่างๆของร่างกาย

ลิพิด เป็นชื่อของกลุ่มชีวโมเลกุลที่มีสมบัติร่วมกัน คือ การไม่ละลายน้ำ แต่ละลายได้ดีในตัวทำละลายอินทรีย์ เมื่อพิจารณาโครงสร้างโมเลกุลของลิพิดพบว่าส่วนใหญ่ของโครงสร้างเป็นไฮโดรคาร์บอน ซึ่งมีสมบัติสำคัญคือ ไม่ชอบน้ำ ด้วยเหตุนี้ลิพิดจึงไม่ละลายน้ำ ลิพิดบางชนิดมีโครงสร้างบางส่วนแสดงถึงประจุหรือความมีขั้ว หมู่เหล่านี้มีความชอบน้ำ จึงทำให้ลิพิดกลุ่มนี้มีทั้งชอบน้ำและไม่ชอบน้ำอยู่ในโมเลกุลเดียวกัน เรียกโมเลกุลประเภทนี้ว่า แอมฟิไฟล์ (Amphiphile)

2.1.1 องค์ประกอบพื้นฐานของน้ำมันและไขมัน

น้ำมันและไขมันประกอบด้วยกรดไขมันเป็นหลัก น้ำมันและไขมันบางชนิดประกอบด้วยสารอื่นที่ทำให้ไขมันและไขมันมีคุณสมบัติต่างกันคือ

1) กรดไขมัน (Fatty acid) กรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของน้ำมันและไขมันเป็นกรดอินทรีย์ที่มีไฮโดรคาร์บอนสายตรง ประกอบด้วยอะตอมของคาร์บอนตั้งแต่ 4-24 อะตอม เรียงต่อกันด้วยพันธะคาร์บอน และมีหมู่คาร์บอกซิล 1 หมู่ เป็นหมู่ฟังก์ชันที่อยู่ปลายด้านหนึ่งดังรูปที่ 2.1 ในธรรมชาติพบกรดไขมันอิสระได้น้อยมาก เพราะส่วนใหญ่กรดไขมันจะรวมตัวกับแอลกอฮอล์ด้วยพันธะเอสเทอร์



รูปที่ 2.1 สูตรโครงสร้างทั่วไปของกรดไขมัน [2]

กรดไขมันสามารถจำแนกตามสมบัติของสายไฮโดรคาร์บอนเป็น 2 ชนิด คือกรดไขมันอิ่มตัว (Saturated fatty acids) หมายถึงกรดไขมันที่สายไฮโดรคาร์บอนเป็นแอลเคน (Alkane) ซึ่งประกอบด้วยอะตอมของคาร์บอนและไฮโดรเจนที่จับกันด้วยพันธะเดี่ยวทั้งหมด และกรดไขมันไม่อิ่มตัว (Unsaturated fatty acid) หมายถึง กรดไขมันที่สายไฮโดรคาร์บอนเป็นแอลเคน ซึ่งมีอะตอมของคาร์บอนบางอะตอมที่จับกันด้วยพันธะคู่ จำแนกย่อยออกตามลักษณะโครงสร้างและจำนวนพันธะคู่ในโมเลกุลได้เป็น 3 ประเภท คือ กรดไขมันที่มีพันธะคู่ 1 กรดไขมันที่พันธะคู่มากกว่า 1 คู่ และสารพวไกโคซานอยด์ (Eicosanoid)

2) กลีเซอรอลหรือกลีเซอริน (Glycerol) เป็นองค์ประกอบที่สำคัญของน้ำมันและไขมันควบคู่กับกรดไขมันกลีเซอรอล เป็นแอลกอฮอล์ชนิดหนึ่งที่มีหมู่ไฮดรอกซิล 3 หมู่ หมายความว่าน้ำมันและไขมันเป็นเอสเทอร์ของแอลกอฮอล์ชนิดนี้จึงเรียกลำดับไขมันว่ากลีเซอไรด์ (Glyceride) แบ่งออกได้ 3 ประเภทตามจำนวนโมเลกุลของกรดไขมันที่ไปทำปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซิลดังนี้

- โมโนกลีเซอไรด์ (Monoglyceride) คือ กลีเซอไรด์ที่มีกรดไขมัน 1 โมเลกุลจับอยู่ที่หมู่ ไฮดรอกซิลของกลีเซอรอลตำแหน่งใดก็ได้เพียง 1 หมู่

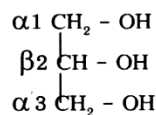
- ไดกลีเซอไรด์ (Diglyceride) คือ กลีเซอไรด์ที่มีกรดไขมัน 2 โมเลกุลจับอยู่ที่หมู่ ไฮดรอกซิลของกลีเซอรอลตำแหน่งใดก็ได้เพียง 2 หมู่

- ไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride) คือ กลีเซอไรด์ที่มีกรดไขมัน 3 โมเลกุลจับอยู่ที่หมู่ ไฮดรอกซิลของกลีเซอรอลตำแหน่งใดก็ได้เพียง 3 หมู่

- สารประกอบอื่นๆ ไขมันธรรมชาติอาจมีสารประกอบอื่นๆ ประกอบอยู่ด้วยเช่น ไกลโคลิปิด หรือเซโรโบรไซด์ ฟอสโฟกลีเซอไรด์ หรือฟอสโฟลิดและไลโปโปรตีน

- อนุพันธ์ของไขมันเป็นสารประกอบได้จากการไฮโดรไลซ์ไขมัน

- ไขมันอื่นๆ เช่น สารประกอบคาโรทีน



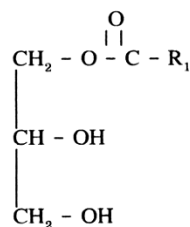
กลีเซอรอล
(Glycerol)



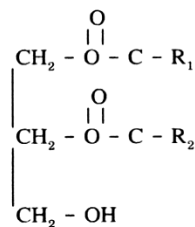
กรดไขมัน
(Fatty acid)



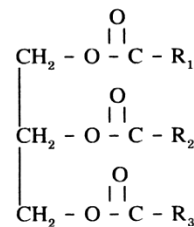
หมู่เอซิล
(Acyl group)



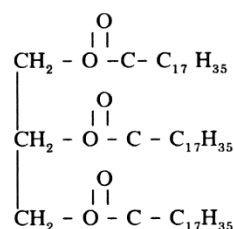
โมโนกลีเซอไรด์
(Monoglyceride)



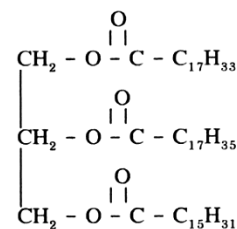
ไดกลีเซอไรด์
(Diglyceride)



ไตรกลีเซอไรด์
(Triglyceride)



Simple triglyceride
ไตรสเทียรีน
(Tristearin)



Mix triglyceride
แอลฟา-โอเลโอ-แอลฟาไพรม-ปีตา-พาลมิทอสเทียรีน
(α -Oleo- α - β -Palmitostearin)

2.1.2 การจำแนกประเภทของน้ำมันและไขมัน

ลิปิด หรือน้ำมันและไขมัน เป็นกลุ่มสารประกอบผสมจำนวนมากที่ไม่ได้สร้างมาจากโมเลกุลหน่วยโครงสร้างเหมือนโปรตีนหรือคาร์โบไฮเดรต ในการจำแนกประเภทของลิปิดสามารถจำแนกตามองค์ประกอบทางเคมีได้ 4 ประเภทคือ

1) ลิปิดอย่างง่าย (Simple lipid) ลิปิดกลุ่มนี้เป็นเอสเทอร์ที่เกิดจากการรวมตัวกันระหว่างไขมันกับแอลกอฮอล์ จำแนกย่อยออกตามชนิดของแอลกอฮอล์ได้ 2 ชนิด คือ น้ำมันและไขมัน (Oil and Grease) กับไขมัน (Wax)

น้ำมันและไขมันที่เป็นเอสเทอร์ของกรดไขมันกับกลีเซอรอล ซึ่งมีอยู่เพียงชนิดเดียวคือ ไตรเอซิลกลีเซอรอลตามสถานะทางกายภาพ โดยจะเรียกว่า ไขมัน เมื่อไตรเอซิลกลีเซอรอลเป็นของแข็งในอุณหภูมิปกติ และเรียกน้ำมัน เมื่อไตรเอซิลกลีเซอรอลอยู่ในสถานะของเหลวที่อุณหภูมิปกติ ไตรเอซิลกลีเซอรอลเป็นลิปิดที่พบมากที่สุด ในธรรมชาติ

ส่วนไข หมายถึง สารประกอบเอสเทอร์ของกรดไขมันกับแอลกอฮอล์ที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่ๆ ชนิดอื่นที่ไม่ใช่กลีเซอรอล ลิปิดพวกนี้พบน้อยในธรรมชาติ

2) ลิปิดเชิงประกอบ (Compound lipid) ลิปิดพวกนี้นอกจากจะประกอบขึ้นจากกรดไขมันและแอลกอฮอล์แล้ว ยังมีหมู่สารประกอบอื่นๆ มารวมด้วย ตัวอย่าง เช่น ฟอสโฟลิปิด (Phospholipid) ไกลโคลิปิด (Glycolipid) สฟิงโกลิปิด (Sphingolipid) เป็นต้น

3) อนุพันธ์ของลิปิด (Derived lipid) หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลายลิปิดอย่างง่ายหรือลิปิดเชิงประกอบที่ยังคงมีสมบัติของความเป็นลิปิดอยู่ เช่น โมโนเอซิลกลีเซอรอล (Monoacylglycerol) และไดเอซิลกลีเซอรอล (Diacylglycerol) เป็นอนุพันธ์ที่ได้จากการย่อย ไตรเอซิลกลีเซอรอล (Triacylglycerol) เป็นต้น

4) ลิปิดเบ็ดเตล็ด (Miscellaneous lipid) หมายถึง ลิปิดที่ไม่สามารถจำแนกเข้ากลุ่มใดๆ ในสามกลุ่มข้างต้นได้ ลิปิดพวกนี้ ได้แก่ แอลิเฟติกไฮโดรคาร์บอน (Aliphatic hydrocarbon) สารประกอบเทอร์พีน (Terpene) และสเตอรอยด์ (Steroid)

2.1.3 คุณสมบัติทางกายภาพของไขมัน

คุณสมบัติทางกายภาพของไขมันขึ้นอยู่กับขนาดของโมเลกุล และชนิดของกรดไขมันที่เป็นส่วนประกอบ ดังนี้

1) สี กลิ่น รส ไขมันที่บริสุทธิ์เป็นสารไม่มีสี ไม่มีกลิ่นและไม่มีรส และมีสมบัติเป็นกลาง แต่ถ้าทิ้งกรดไขมันไว้ในอากาศนานๆ จะถูกออกซิไดซ์โดยก๊าซออกซิเจน ทำให้มีกลิ่นเหม็นหืน

2) จุดหลอมเหลว หมายถึง อุณหภูมิที่ทำให้น้ำมันและไขมันเปลี่ยนสภาพจากของแข็งเป็นของเหลว จุดหลอมเหลวของไขมันขึ้นอยู่กับปัจจัยสำคัญ 2 ประการคือ ความยาวของโมเลกุลหรือจำนวนคาร์บอนอะตอมในโซ่ไฮโดรคาร์บอน จะเป็นปฏิกิริยาโดยตรงกับจุดหลอมเหลว และจำนวนพันธะคู่ที่มีอยู่ในโมเลกุลของกรดไขมัน จะเป็นปฏิกิริยาผกผันกับจุดหลอมเหลวของไขมันนั้นๆ

3) การละลาย ไขมันที่ประกอบด้วยกรดไขมันโมเลกุลเล็กๆสามารถละลายน้ำได้ การละลายจะอาศัยโครงสร้างของกรดไขมัน ซึ่งสามารถแบ่งกรดไขมันออกเป็น 2 ส่วน คือส่วนที่ละลายน้ำได้เรียกว่า โพลาร์ และส่วนที่ไม่ละลายน้ำเรียกว่า นอนโพลาร์ ซึ่งการละลายน้ำของกรดไขมันจะลดลงเมื่อกรดไขมันที่มีสายยาว แต่ไขมันที่ประกอบด้วยกรดไขมันที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงๆ จะสามารถละลายน้ำได้ดีในตัวทำละลายอินทรีย์เช่น เบนซีน แอลกอฮอล์ คลอโรฟอร์ม เป็นต้น

4) จุดเดือด ไขมันจะมีจุดเดือดสูงขึ้นตามจำนวนคาร์บอนอะตอมที่เพิ่มขึ้น

5) ความถ่วงจำเพาะ คือ ค่าของความหนาแน่นของน้ำมันและไขมัน โดยวัดความถ่วงจำเพาะที่อุณหภูมิมาตรฐาน 15 องศาเซลเซียส ความถ่วงจำเพาะของน้ำมันและไขมันแต่ละชนิดไม่เท่ากัน มีน้ำมันและไขมันมีค่าความถ่วงจำเพาะน้อยกว่าน้ำ ไขมันแข็งมีค่าความถ่วงจำเพาะประมาณ 0.86 ส่วนไขมันเหลวมีค่าความถ่วงจำเพาะประมาณ 0.92-0.94 ดังนั้นไขมันจึงลอยอยู่เหนือผิวน้ำ

2.1.4 คุณสมบัติทางเคมีของไขมัน

คุณสมบัติทางเคมีของไขมันขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของไขมัน อาจจำแนกได้ดังนี้

1. ปฏิกิริยา Hydrolysis ไขมันจะถูกไฮโดรไลซ์ด้วยน้ำที่อุณหภูมิและความดันสูงๆ แต่ถ้าเติมตัวกระตุ้นไขมันจะถูกไฮโดรไลซ์ได้ง่ายขึ้น หรือการนำไปต้มที่ความดันปกติก็สามารถ ไฮโดรไลซ์ได้ ผลจากการไฮโดรไลซ์ไขมันจะได้กรดไขมันกับกลีเซอรอล การไฮโดรไลซ์ไขมันอาจทำได้โดยใช้เอนไซม์ไลเปส (lipase) ซึ่งจะให้กรดไขมันกับกลีเซอรอลเช่นเดียวกัน

2. ปฏิกิริยา Saponification เป็นปฏิกิริยาระหว่างกรดไขมันกับด่างได้ผลิตภัณฑ์เป็นเกลือของกรดไขมัน เมื่อต้มไขมันกับด่างแก่ เช่น โซเดียมหรือโพแทสเซียม ไฮดรอกไซด์ จะแตกสลายได้กลีเซอรอลกับเกลือของกรดไขมันหรือสบู่ จากการที่ไขมันทำปฏิกิริยากับด่างแล้วให้สบู่ นั้น ปริมาณของด่างที่ใช้สามารถนำมาคำนวณหาค่า saponification ซึ่งหมายถึงจำนวนมิลลิกรัมของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ทำปฏิกิริยาพอดีกับไขมัน 1 กรัม

3. ปฏิกิริยา Acylation กลีเซอไรด์หรือไขมันที่กรดไขมันที่หมู่ไฮดรอกซิลอยู่ในโมเลกุล hydroxylated fatty acid สามารถทำปฏิกิริยากับอะซิดิกแอนไฮไดรด์ได้กรดอะซิดิกและ Acetylated glyceride

4. ปฏิกิริยา Hydrogenation ไขมันที่ประกอบด้วยกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวสามารถเกิดปฏิกิริยากับก๊าซไฮโดรเจน โดยมีนิกเกิลเป็นตัวเร่งได้กลีเซอไรด์อิ่มตัว ซึ่งปริมาณของก๊าซไฮโดรเจนที่ใช้จะบอกให้ทราบได้ว่ากลีเซอไรด์หรือกรดไขมันนั้นมีความอิ่มตัวมากหรือน้อย

5. ปฏิกิริยา Halogenation คลอรีน โบรมีน ไอโอดีน และไอโอดีนโบรไมด์ (IBr) สามารถเกิดปฏิกิริยาตรงพันธะคู่ของไขมันชนิดไม่อิ่มตัวได้เช่นเดียวกับไฮโดรเจน ซึ่งพันธะคู่ 1 พันธะ จะใช้ฮาโลเจน 2 อะตอมเสมอ ทำให้ไขมันนั้นกลายเป็นไขมันอิ่มตัวได้

6. ปฏิกิริยา Oxidation กลีเซอไรด์ที่ประกอบด้วยไขมันอิ่มตัวหลายๆ สามารถเกิดปฏิกิริยากับออกซิเจนหรือโอโซนได้ ปฏิกิริยาจะเกิดตรงพันธะคู่ของกรดไขมันไม่อิ่มตัว ได้สารพวกเปอร์ออกไซด์

(Peroxide) และโอโซนไนด์ (Ozonide) ซึ่งจะเปลี่ยนเป็นสารอื่นอีกหลายชนิด เป็นผลให้ไขมันมีความเหนียว จึงใช้ประโยชน์ในการทำพอกสีทา และน้ำมันชักเงา เป็นต้น

7. ปฏิกริยาของกลีเซอรอล กลีเซอรอลเป็นส่วนประกอบของไขมัน และลิปิดอื่นๆ อีก บางชนิดเมื่อออกซิไดซ์กลีเซอรอลด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ในสารละลายที่เป็นด่างและมีเกลือของเหล็กอยู่ด้วย จะได้กลีเซอริกอัลดีไฮด์ และไดไฮดรอกซีอะซีโตนเกิดขึ้น

8. การเหม็นหืน (Rancidity) การเหม็นหืนของไขมันเกิดจากไขมันถูกออกซิไดซ์ในอากาศ เนื่องจากไขมันมีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเป็นส่วนประกอบ การออกซิไดซ์ จะเกิดตรงพันธะคู่ของกรดไขมัน จะได้สารพวกเปอร์ออกไซด์ แล้วจะสลายตัวไปเป็นสารประกอบอัลดีไฮด์ที่มีกลิ่นและรสไม่ดี

2.2 น้ำมันไบโอดีเซล (Biodiesel)

ไบโอดีเซล จัดเป็นเชื้อเพลิงประเภทชีวภาพชนิดเหลว ซึ่งผลิตได้จากน้ำมันพืช ไขมันสัตว์และสาหร่ายขนาดเล็ก โดยกระบวนการที่เรียกว่า “Transesterification” ในเมทานอล (Methanol) โดยมีโซเดียมหรือโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเคมี (Catalyst) เปลี่ยนไขมันให้เป็นเมทิลเอสเทอร์ (Methyl esters) และกลีเซอรอล (Glycerol) ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับน้ำมันดีเซล สามารถใช้แทนน้ำมันดีเซลหรือเติมเป็นส่วนผสมในดีเซลเพื่อใช้กับเครื่องยนต์ได้โดยไม่ต้องปรับแต่งเครื่องยนต์แถมยังให้พลังงานได้เหมือนกับน้ำมันดีเซลปกติด้วย [3]

2.2.1 ประเภทของไบโอดีเซล [4]

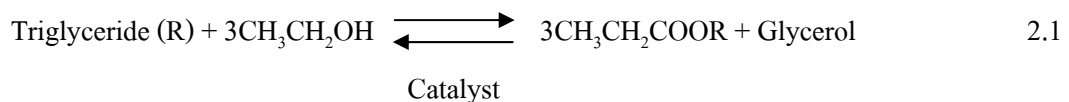
ไบโอดีเซลที่นำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลที่นำมาใช้มีหลายรูปแบบและได้จากหลากหลายวัตถุดิบ สามารถแบ่งได้ 3 รูปแบบใหญ่ๆคือ

1. น้ำมันพืชหรือน้ำมันสัตว์ ไบโอดีเซลประเภทนี้ คือ น้ำมันพืชแท้ๆ หรือน้ำมันจากสัตว์ ซึ่งสามารถเอามาใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลโดยไม่ต้องผสมหรือมีการเติมสารเคมี ซึ่งไม่ต้องนำมาเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของน้ำมันแต่อย่างใด เนื่องจากคุณสมบัติของน้ำมันพืชหรือน้ำมันสัตว์ต่างกับดีเซลค่อนข้างมากจึงมีปัญหาเรื่องการสันดาปไม่สมบูรณ์ เครื่องสั่นครืด มีผลต่อลูกสูบและวาล์ว มีความหนืดสูงที่อุณหภูมิต่ำลง ทำให้สตาร์ทติดยากในอากาศเย็นๆ แต่มีข้อดีคือ ราคาถูก ใช้ได้กับเครื่องยนต์รอบต่ำ แต่ไม่เป็นที่นิยม

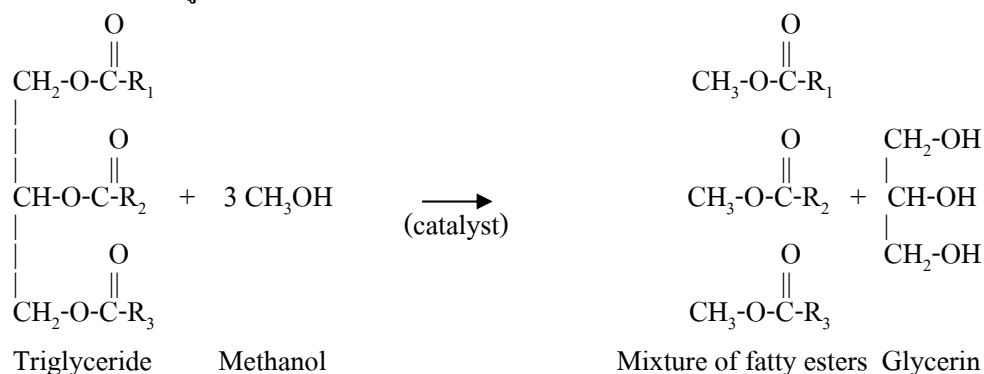
2. ไบโอดีเซลแบบถูกผสม ไบโอดีเซลประเภทนี้เป็นการผสมระหว่างน้ำมันพืชหรือน้ำมันสัตว์กับน้ำมันก๊าดหรือน้ำมันดีเซล เพื่อให้ไบโอดีเซลที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลมากที่สุด เนื่องจากไบโอดีเซลประเภทนี้ จะมีการลดปัญหาเรื่องความหนืดไปได้บ้าง แต่จะมีปัญหาเรื่องการอุดตันของเครื่องยนต์คือ ใสกรองจะอุดตันเร็วกว่าปกติ เหมาะสำหรับการใช้เครื่องยนต์รอบต่ำ หรือเครื่องจักรกลการเกษตร

3. ไบโอดีเซลแบบเอสเทอร์ ไบโอดีเซลประเภทนี้เป็นการนำน้ำมันพืชหรือน้ำมันสัตว์มาผ่านกระบวนการทางเคมี โดยใช้แอลกอฮอล์ (เมทิลแอลกอฮอล์หรือเอทิลแอลกอฮอล์) กับกรดหรือด่าง ที่เรียกว่า Transesterification Process เพื่อเปลี่ยนรูปของน้ำมันให้เป็นเอสเทอร์ (Ester) ซึ่งเรียกว่า เมทิลเอสเทอร์หรือเอทิลเอสเทอร์ ขึ้นอยู่กับแอลกอฮอล์ที่ใช้ ซึ่งเอสเทอร์นี้มีคุณสมบัติ ใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล นอกจากนี้ได้กลีเซอรอลเป็นผลพลอยได้ซึ่งสามารถนำมาทำสบู่และอุตสาหกรรมต่อเนื่อง

ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน เป็นปฏิกิริยาที่ผันกลับได้ โดยตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อปริมาณของผลิตภัณฑ์ คือ ปริมาณของสารตั้งต้น ตัวเร่งปฏิกิริยา กรด ด่าง หรือเอนไซม์ และความร้อน ซึ่งจากปฏิกิริยาทำให้กลีเซอรอลเป็นผลพลอยได้ตามมาด้วย ดังสมการปฏิกิริยาที่ 2.1 ซึ่งเป็นสมการของปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างไตรกลีเซอไรด์ และเอทานอล หรือเรียกว่า ปฏิกิริยาทรานส์เอทิลเลชัน (Transertethylation) ซึ่งแอลกอฮอล์ประเภทเอทานอลนั้นประเทศไทยกำลังส่งเสริมการผลิตเอทานอลจากผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงภายในประเทศ และมีคุณสมบัติที่สามารถทำลายตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมออกไซด์ได้ดี และไม่เกิดการแยกชั้นระหว่างเอทานอลและน้ำมันพืชทำให้ปฏิกิริยาสามารถดำเนินไปได้อย่างรวดเร็ว ได้ผลิตภัณฑ์เป็นสารประกอบเอสเทอร์ของกรดไขมันหรือไบโอดีเซล และสารประกอบกลีเซอรอล [4,5]



ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันคือ ปฏิกิริยาแตกพันธะของเอสเทอร์ด้วยแอลกอฮอล์โดยมีกรดหรือด่างเป็นสารเร่งปฏิกิริยา ผลิตภัณฑ์ที่ได้คือ เอสเทอร์และกลีเซอรินในทางทฤษฎีการเกิดปฏิกิริยาโดยสมบูรณ์จะต้องใช้อัตราส่วน โดยโมลของแอลกอฮอล์กับน้ำมันเป็น 3:1 แสดงได้ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ปฏิกิริยาการเกิดไบโอดีเซล

ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นเบส ได้แก่ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) โซเดียมเมธีลไฮดรอกไซด์ (NaOCH_3) โซเดียมเอธีลไฮดรอกไซด์ (NaOC_2H_5) หรือโพแทสเซียมเมธีลไฮดรอกไซด์ (KOCH_3) เป็นต้น ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นเบสได้รับความนิยมมากกว่าเนื่องจากเบสให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาสูง ปฏิกิริยาเกิดได้สมบูรณ์ และให้ผลที่ดีที่อุณหภูมิต่ำกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นกรด อย่างไรก็ตามการใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจะต้องให้แอลกอฮอล์และน้ำมันหรือไขมันที่นำมาใช้นั้นไม่มีน้ำเพราะจะทำให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดสบู่ (saponification) ทำให้ปริมาณของอัลคิลเอสเทอร์น้อยลง รวมทั้งทำให้การแยกกลีเซอรินออกจากเอสเทอร์ทำได้ยาก แต่ถ้าแอลกอฮอล์และน้ำมันหรือไขมันมีน้ำปนอยู่มากก็อาจจะใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาแทนต่าง กรดส่วนใหญ่ที่ใช้คือกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) และกรดไฮโดรคลอริก (HCl) หลังจากปฏิกิริยาลิ้นสุดลงเมื่อทิ้งไว้ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะแยกเป็นสองชั้น ชั้นบนคือไบโอดีเซล ส่วนชั้นล่างคือกลีเซอริน โดยชนิดของอัลคิลเอสเทอร์จะขึ้นอยู่กับชนิดของกรดไขมันที่เป็นสารตั้งต้นของปฏิกิริยา

2.2.2 วิธีการผลิตไบโอดีเซล

กระบวนการผลิตไบโอดีเซลหรือการสังเคราะห์สารเอสเทอร์จากน้ำมันพืชและไขมันสัตว์ มี 3 วิธี คือ

1. การใช้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอร์ฟิเคชันของน้ำมันแอลกอฮอล์โดยใช้ด่างหรือกรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา
2. การใช้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอร์ฟิเคชัน ของน้ำมันแอลกอฮอล์ ทำปฏิกิริยาที่ความดันสูง โดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา
3. การเปลี่ยนน้ำมันพืช ไขมันสัตว์ ให้เป็นกรดไขมันแล้วจึงนำกรดไขมันไปทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ให้เป็นเอสเทอร์

การผลิตไบโอดีเซลระดับอุตสาหกรรมในประเทศที่พัฒนาแล้วปัจจุบันมีทั้งระบบการผลิตแบบไม่ต่อเนื่อง (Batchwise) และแบบต่อเนื่อง (Continuous) ข้อดีของการผลิตแบบไม่ต่อเนื่องคือมีราคาถูก แต่ปัญหาด้านความปลอดภัยและปัญหาในการผลิตไบโอดีเซลให้มีคุณภาพสม่ำเสมอ

จากการทดลองในห้องปฏิบัติการพบว่าน้ำมันไบโอดีเซลมีคุณสมบัติทางกายภาพ เคมี และคุณสมบัติทางเชื้อเพลิงที่ใกล้เคียงกับน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลปิโตรเลียม จากการสำรวจงานวิจัยที่ผ่านมาอัตราการเกิดผลิตภัณฑ์ (Yield) ของปฏิกิริยานั้นขึ้นอยู่กับสภาวะขณะทำปฏิกิริยา เช่น อุณหภูมิ แอลกอฮอล์ที่มากเกินไป และชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา โดยสภาวะการทำปฏิกิริยาที่ดีควรเป็นแบบระบบปิดที่อุณหภูมิสูง และมีแอลกอฮอล์เพียงพอต่อการทำปฏิกิริยา

โดยทางทฤษฎีแล้ว สมดุลสารสัมพันธ์ (Stoichiometry) ปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอร์ฟิเคชันที่สมบูรณ์ โมลของปฏิกิริยาระหว่างแอลกอฮอล์ต่อไตรกลีเซอไรด์ คือ 3 ต่อ 1 แต่ในทางปฏิบัติพบว่าต้องเพิ่มสัดส่วนโมลของแอลกอฮอล์ต่อน้ำมันให้มีอัตราส่วนมากกว่า 3:1 เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์อัลคิลเอสเทอร์มากขึ้น เนื่องจากปฏิกิริยาการแลกเปลี่ยนหมู่อัลคิลเอสเทอร์เป็นปฏิกิริยาที่สามารถผันกลับได้ ทำให้ต้องเพิ่มจำนวนโมลของแอลกอฮอล์มากขึ้น เพื่อผลักดันให้ปฏิกิริยาดำเนินไปในทางเกิดผลิตภัณฑ์มากที่สุดสำหรับปฏิกิริยานี้สามารถเพิ่มอัตราเร็วด้วยการเติมตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น เบส (Alkali) กรด

(Acid)หรือ เอนไซม์(Enzyme) ก็ได้ แต่โดยส่วนใหญ่นิยมใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส เช่น สารเคมีที่อยู่ในรูปของ Sodium และ Potassium hydroxide ส่วนในกรณีของการใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จะนิยมใช้ Sulfuric acid, Sulfonic acid และ Hydrochloric acid สำหรับเอนไซม์ไลเปส (Lipases) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทางชีวภาพ [4,6]

หลังจากผ่านกระบวนการปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของไตรกลีเซอไรด์แล้ว จะได้ผลิตภัณฑ์ซึ่งเป็นของผสมระหว่างอัลคิลเอสเทอร์ กลีเซอรอล ตัวเร่งปฏิกิริยา และโมโน-,ได- และไตรกลีเซอไรด์การแยกเอาเฉพาะผลิตภัณฑ์อัลคิลเอสเทอร์ ให้มีความบริสุทธิ์สูงและปรับปรุงคุณภาพให้เหมาะสมสำหรับการใช้เป็นเชื้อเพลิงเครื่องยนต์ดีเซล ยกตัวอย่างเช่น โมโน-,ได- และไตรกลีเซอไรด์ โดยเฉพาะถ้าอัลคิลเอสเทอร์มีโมโนกลีเซอไรด์ของกรดไขมันอิ่มตัวผสมอยู่ในปริมาณมากอาจทำให้สารดังกล่าวตกผลึก และเป็นสาเหตุให้ค่าความหนืดเพิ่มขึ้นได้แล้วยังอาจทำให้เกิดการตกตะกอนแยกตัวระหว่างการเก็บ การขนส่ง และควรใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลได้ ปัญหาดังกล่าวจะปรากฏอย่างชัดเจนมาก โดยเฉพาะในกรณีของการใช้ไขมันสัตว์เป็นแหล่งของสารตั้งต้น

การผลิตไบโอดีเซลมีหลายวิธี คือ

1. การเจือจาง (Dilution) หรือการผสมตามสัดส่วน (Blending)

การเจือจางหรือการผสมตามสัดส่วนของน้ำมันพืช สามารถนำมาละลายเข้ากันด้วยของเหลวบางชนิดเท่านั้นเช่น น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลปิโตรเลียม ตัวทำละลายไฮโดรคาร์บอนและแอลกอฮอล์ที่มีสายโซ่คาร์บอนสั้น มีรายงานการค้นคว้าวิจัยเกี่ยวกับการเจือจางน้ำมันดอกทานตะวัน โดยใช้ไขมันเชื้อเพลิงดีเซลเป็นตัวทำละลาย ในอัตราส่วน 1 ต่อ 3 โดยปริมาตรและผ่านการทดสอบโดยใช้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลได้สำเร็จ [6] ความหนืดของส่วนผสมดังกล่าวมีค่าประมาณ 4.88 cSt ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ซึ่งสูงกว่าน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลปิโตรเลียมเล็กน้อย เป็นเหตุให้สารผสมชนิดนี้ไม่เหมาะที่จะนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลประเภท direct injection ในช่วงเวลาระยะยาวเพราะเกิดปัญหาเกี่ยวกับการเกิดโค้กที่ปลายของระบบหัวฉีดและ oil ring sticking อย่างรุนแรง

2. วิธีไมโครอิมัลชัน (Micro-emulsion)

ไมโครอิมัลชัน เป็นระบบของเหลวที่มีอนุภาคแพร่กระจายระหว่างกัน โดยไม่ละลายเป็นเนื้อเดียวกันและอยู่รวมกันได้อย่างมีเสถียรภาพทางเทอร์โมไดนามิกส์

ของเหลวไมโครอิมัลชัน ซึ่งใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลอาจเตรียมได้จากการผสมระหว่างน้ำมันพืชเอสเทอร์และ dispersant (cosolvent) หรือน้ำมันพืช แอลกอฮอล์ และสารลดแรงตึงผิวในสัดส่วนที่เหมาะสม เพื่อทำให้ระบบมีเสถียรภาพทางเทอร์โมไดนามิกส์ การมีแอลกอฮอล์ผสมอยู่ในของเหลวนี้เองมีส่วนช่วยลดความรุนแรงของปัญหาการเกิดโค้ก ที่บริเวณปลายของหัวฉีด [7]

3. การแตกตัวด้วยความร้อน (Thermal cracking หรือ pyrolysis)

การแตกตัวด้วยความร้อน นิยมใช้คำว่า pyrolysis มากกว่า Thermal cracking หมายถึงกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของสารตั้งต้นชนิดหนึ่งไปเป็นผลิตภัณฑ์อีกชนิดหนึ่งที่มีโมเลกุลเล็กลง โดยการกระตุ้นด้วยพลังงานความร้อนเป็นหลัก และอาจใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาเร็วขึ้น

ซึ่งกระบวนการดังกล่าวต้องไม่มีอากาศหรือออกซิเจนอยู่ในระบบ การกำหนดลักษณะเฉพาะตัว กลไก หรือจลน์พลศาสตร์และปฏิกิริยาทางเคมีของการแตกตัวด้วยความร้อนเป็นสิ่งที่ทำได้ยาก เนื่องจากเป็นกระบวนการที่ซับซ้อน จำนวนปฏิกิริยาและทางเดินของปฏิกิริยาเกิดขึ้นหลากหลายมาก

4. การเคลื่อนย้ายหมู่เอสเทอร์

กระบวนการเคลื่อนย้ายหมู่เอสเทอร์ บางครั้งนิยมเรียกว่า แอลกอฮอล์ไลซิส หมายถึง ปฏิกิริยาเคมีระหว่างไตรกลีเซอไรด์ในไขมันหรือน้ำมันกับแอลกอฮอล์ เพื่อให้เกิดผลิตภัณฑ์แอลกอฮอล์ของกรดไขมันและกลีเซอรอล กระบวนการนี้นิยมใช้กันอย่างกว้างขวาง เพื่อการปรับปรุงคุณภาพทางเชื้อเพลิงที่พัฒนาจากไตรกลีเซอไรด์ให้ดีขึ้น โดยเฉพาะการลดความหนืดของเชื้อเพลิงลง

ในกระบวนการเคลื่อนย้ายหมู่เอสเทอร์ ส่วนใหญ่จะใช้แอลกอฮอล์ที่มีสายโซ่คาร์บอนสั้นในการทำปฏิกิริยาโดยเฉพาะเมทานอล ซึ่งป็นแอลกอฮอล์ที่มีข้อได้เปรียบในเชิงพาณิชย์สูง ตัวอย่างเช่น มีราคาถูก มีคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีที่เหมาะสม เป็นแอลกอฮอล์ที่มีสายโซ่คาร์บอนสั้นที่สุด และมีความเป็นขั้วสูง สามารถช่วยเพิ่มอัตราเร็วในการทำปฏิกิริยากับไตรกลีเซอไรด์ได้มากที่สุด

2.2.3 กระบวนการผลิตเมทิลเอสเทอร์

เมทิลเอสเทอร์กรดไขมันได้มาจากปฏิกิริยา esterification ของกรดไขมันหรือ transesterification ของไตรกลีเซอไรด์โดยใช้เมทานอล Esterification process โดยทั่วไปจะใช้อยู่ 2 วิธี คือ batch process และ continuous process โดย batch process จะทำภายใต้ความดันที่อุณหภูมิสูง 200-250 องศาเซลเซียส เมื่อปฏิกิริยาถึงสมดุลจะดึงน้ำออกเพื่อให้ได้ผลของเอสเทอร์สูงๆ ส่วนกระบวนการที่นิยมใช้คือ continuous esterification ใน countercurrent reaction column

Transesterification process ทรานส์เอสเตอริฟิเคชันของน้ำมันและไขมัน เป็นกระบวนการที่นิยมใช้มากที่สุดในการผลิตเมทิลเอสเทอร์ ไตรกลีเซอไรด์จะกลายเป็นเอสเทอร์ที่ความดันบรรยากาศและอุณหภูมิประมาณ 50-70 องศาเซลเซียส โดยทำปฏิกิริยากับเมทานอลที่มากเกินไปในตัวเร่งปฏิกิริยาชนิด alkaline ภายใต้อ่อนไขนี้ต้องมีการดึงกรดไขมันอิสระ (free fatty acids) ออกจากน้ำมันก่อน ส่วนทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน ภายใต้อ่อนไขนี้สามารถป้อนน้ำมันได้เลยโดยไม่ต้องมีการดึงกรดไขมันอิสระออกจากน้ำมันก่อน [8]

2.2.4 คุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซล

คุณสมบัติของไบโอดีเซลเมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซล ไบโอดีเซลเป็นสารประกอบไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride) มีโครงสร้าง C_3H_5 เชื่อมต่อกับกรดไขมันที่จำนวนคาร์บอนตั้งแต่ 10 ถึง 30 ตัว ทำให้มีคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำมันแต่ละชนิดแตกต่างกันไปตามคุณสมบัติของกรดไขมันนั้นๆ ที่เป็นองค์ประกอบอยู่ มีปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวแตกต่างกัน น้ำมันที่มาจากพืชที่มีกรดไขมันอิ่มตัวในปริมาณสูง จะมีค่าไอโอดีนต่ำ และเมื่อมีปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวลดลง หรือปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูง ค่าไอโอดีนจะสูงขึ้นตามลำดับ[9] น้ำมันพืชเป็นสารที่ไม่อยู่ตัวถูกออกซิไดซ์ และเกิดปฏิกิริยาโพลิเมอไรซ์ได้ที่อุณหภูมิสูง เมื่อเกิดปฏิกิริยาโพลิเมอไรซ์แล้ว น้ำมันจะเกิดเป็นสารเหนียวขึ้น โดยทั่วไปค่าไอโอดีนของน้ำมันพืชจะดัชนีชี้บ่งถึงการเกิดปฏิกิริยาโพลิเมอไรซ์ได้มากหรือน้อย ฉะนั้นการเลือกใช้

น้ำมันพืชที่มีค่าไอโอดีนต่ำเป็นเชื้อเพลิง จะเป็นการป้องกันการเกิดสารเหนียวที่เกิดจากปฏิกิริยาโพลีเมอไรซ์ในเครื่องยนต์ได้ในเบื้องต้น [10]

ปัจจุบันน้ำมันไบโอดีเซลมีการผลิตจำหน่ายเป็นการค้าในสหภาพยุโรป และประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งต้องมีคุณภาพตามมาตรฐานที่กำหนด เช่น ประเทศเยอรมันได้กำหนดมาตรฐาน DINE 51606 และประเทศสหรัฐอเมริกาได้ประกาศใช้มาตรฐาน ASTM D 6751 เป็นมาตรฐานการซื้อขายไบโอดีเซลเป็นต้น ซึ่งตัวอย่างคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลในประเทศสหรัฐอเมริกาได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.2 แล้ว สำหรับในประเทศไทยได้มีการกำหนดมาตรฐานสำหรับไบโอดีเซล ได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.2 กำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลของประเทศสหรัฐอเมริกา [11]

คุณสมบัติ	มาตรฐานที่กำหนด	อัตราสูงต่ำ	หน่วย
จุดวาบไฟ	ASTM D 93	ไม่ต่ำกว่า 100	องศาเซลเซียส
น้ำ	ASTM D 1796	ไม่สูงกว่า 0.05	ร้อยละโดยปริมาตร
กากคาร์บอน	ASTM D 4530	ไม่สูงกว่า 0.05	ร้อยละโดยน้ำหนัก
ปริมาณเถ้า	ASTM D 874	ไม่สูงกว่า 0.02	ร้อยละโดยน้ำหนัก
ความหนืดที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส	ASTM D 445	1.9-6.0	เซนติสโตก
ปริมาณกำมะถัน	ASTM D 2622	ไม่สูงกว่า 0.05	ร้อยละโดยน้ำหนัก
ค่าซีเทน	ASTM D 613	ไม่ต่ำกว่า 40	-
จุดไหลเท	ASTM D 2500	-	องศาเซลเซียส

ตารางที่ 2.3 กำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลของประเทศไทย [12]

คุณสมบัติ	มาตรฐานที่กำหนด	อัตราสูงต่ำ	หน่วย
จุดวาบไฟ	ASTM D 93	ไม่ต่ำกว่า 120	องศาเซลเซียส
น้ำ	ASTM D 2709	ไม่สูงกว่า 0.05	ร้อยละโดยปริมาตร
กากคาร์บอน	ASTM D 4530	ไม่สูงกว่า 0.03	ร้อยละโดยน้ำหนัก
ปริมาณเถ้า	ASTM D 874	ไม่สูงกว่า 0.02	ร้อยละโดยน้ำหนัก
ความหนืดที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส	ASTM D 445	3.5-5.0	เซนติสโตก
ปริมาณกำมะถัน	ASTM D 2622	ไม่สูงกว่า 0.001	ร้อยละโดยน้ำหนัก
ค่าซีเทน	ASTM D 613	ไม่ต่ำกว่า 51	-
ความหนาแน่นที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส	ASTM D 1298	860-900	กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

2.2.5 ลักษณะเด่นของไบโอดีเซล [11]

1. ไบโอดีเซลสามารถเผาไหม้ได้สะดวกกว่าน้ำมันดีเซลถึงร้อยละ 75 ทำให้ลดปริมาณสารไฮโดรคาร์บอนที่เผาไหม้ไม่หมด เช่น คาร์บอนมอนอกไซด์ และเขม่าที่ออกจากท่อไอเสีย
2. ไบโอดีเซลไม่ปล่อยสารประกอบของกำมะถัน เช่น ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เพราะไบโอดีเซลเป็นตัวหล่อลื่นที่จึงไม่ต้องผสมกำมะถัน ขณะที่น้ำมันดีเซลจำเป็นต้องผสมกำมะถันเพื่อเป็นตัวหล่อลื่นในเชื้อเพลิง
3. ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงที่สกัดจากสิ่งมีชีวิต ไอเสียที่เกิดขึ้นไม่ทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สะสมในชั้นบรรยากาศเหมือนการใช้้ำมันดีเซล เป็นการลดปฏิกิริยาเรือนกระจกที่ทำให้อุณหภูมิของโลกสูงขึ้น และยังทำให้สารบางตัวของชั้นโอโซนในบรรยากาศลดลงเกือบครึ่งหนึ่งของการใช้น้ำมันดีเซล
4. ไบโอดีเซล เป็นเชื้อเพลิงที่สามารถทำให้ลดก๊าซไนโตรเจนออกไซด์
5. กลิ่นไอเสียของเครื่องยนต์ที่ใช้ไบโอดีเซลไม่น่ารังเกียจ และไม่ทำให้เกิดการระคายเคือง
6. ไบโอดีเซลสามารถใช้ได้กับเครื่องยนต์ดีเซลทุกชนิด ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเท่าๆกับการใช้ดีเซลปกติ

2.2.6 ประโยชน์ของการใช้ไบโอดีเซล [13]

- ประโยชน์ของการใช้ไบโอดีเซล ด้านสิ่งแวดล้อม

การใช้ไบโอดีเซลสามารถลดมลพิษทางอากาศ ซึ่งเป็นสาเหตุจากการเผาไหม้ในเครื่องยนต์ คณะกรรมการไบโอดีเซลแห่งชาติ (National Biodiesel Board) และ สำนักงานป้องกันสิ่งแวดล้อม (US Environmental Protection Agency) ของประเทศสหรัฐอเมริกา ได้ทำการวิจัยและการทดลองใช้น้ำมันไบโอดีเซลสูตรต่างๆ กับเครื่องยนต์ดีเซล และได้รายงานว่ไบโอดีเซลสูตร B100 และ B20 สามารถลดมลพิษจากการเผาไหม้ได้อย่างมีนัยสำคัญในกรมอุทกหารเรือ กองทัพเรือ ก็ได้รายงานผลการทดลองใช้น้ำมันไบโอดีเซลกับเครื่องยนต์ดีเซลขนาด 145 แรงม้าว่าสามารถลดควันดำได้มากกว่าร้อยละ 40 การใช้ไบโอดีเซลสามารถลดการปล่อยแก๊สเรือนกระจก เพราะผลิตจากพืชและการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว ช่วยลดการใช้น้ำมันที่ใช้แล้วไปประกอบอาหารซ้ำ และยังช่วยป้องกันไม่ให้น้ำมันพืชที่ใช้แล้ว (ซึ่งมีสารไดออกซินที่เป็นสารก่อมะเร็ง) ไปผลิตเป็นอาหารสัตว์

- ประโยชน์ของการใช้ไบโอดีเซลด้านสมรรถนะเครื่องยนต์

การผสมไบโอดีเซลในระดับร้อยละ 1-2 สามารถช่วยเพิ่มดัชนีการหล่อลื่นให้กับน้ำมันดีเซล จากผลการทดสอบของสถาบันวิจัยและเทคโนโลยีของ บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน) พบว่าการเติมไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันพืชที่ใช้แล้วและน้ำมันมะพร้าวในอัตราร้อยละ 0.5 สามารถเพิ่มดัชนีการหล่อลื่นได้ถึง 2 เท่า ประสิทธิภาพการเผาไหม้ดีขึ้น เนื่องจากไบโอดีเซลมีออกซิเจนผสมอยู่ประมาณร้อยละ 10 ทำให้การผสมระหว่างอากาศต่อน้ำมันได้เป็นอย่างดี จึงทำให้การสันดาปสมบูรณ์กว่าน้ำมันดีเซลปกติ นอกจากนี้ยังมี

เขม่าคาร์บอนน้อย จึงไม่ทำให้เกิดการอุดตันระบบไอเสียได้ ถึงแม้ว่าค่าความร้อนของไบโอดีเซลจะต่ำกว่าน้ำมันดีเซลประมาณร้อยละ 10 แต่ข้อด้อยนี้ไม่มีผลกระทบต่อการใช้งานเพราะการใช้ไบโอดีเซลทำให้การเผาไหม้ดีขึ้นจึงทำให้กำลังเครื่องยนต์ไม่ลดลง

- ประโยชน์ของการใช้ไบโอดีเซล ด้านเศรษฐศาสตร์

การใช้ไบโอดีเซลช่วยสร้างงานในชนบทด้วย การสร้างตลาดพลังงานไว้รองรับผลผลิตทางการเกษตรที่เหลือจากการบริโภค การใช้ไบโอดีเซลสามารถลดการนำเข้าน้ำมันดิบจากต่างประเทศได้บางส่วน ซึ่งในแต่ละปีในประเทศไทยสูญเสียเงินตราต่างประเทศเพื่อการนำเข้าน้ำมันดิบกว่า 3 แสนล้านบาท

- ประโยชน์ของการใช้ไบโอดีเซล ด้านการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงในประเทศ

1. ผลกระทบของไบโอดีเซลที่มีผลต่อเครื่องยนต์

เนื่องจากน้ำมันไบโอดีเซลตามมาตรฐานสากลนั้น มีคุณสมบัติเทียบเคียงกับน้ำมันดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันปิโตรเลียม ดังนั้นผลกระทบต่อเครื่องยนต์ถือได้ว่าไม่มีผลทางด้านลบ หรือในกรณีของเครื่องยนต์เก่า อาจมีความจำเป็นต้องเปลี่ยนซีลยางบางส่วนเท่านั้นเอง

โดยทั่วไป การใช้น้ำมันไบโอดีเซลในต่างประเทศนั้นนิยมนำไปผสมเป็นสูตรต่างๆ เช่น

- B2 (ไบโอดีเซล 2% ดีเซล 98%) มีจำหน่ายทั่วไปในมลรัฐมินนิโซตา ประเทศสหรัฐอเมริกา และมีผลบังคับใช้ทั้งมลรัฐในปี พ.ศ 2548
- B5 (ไบโอดีเซล 5% ดีเซล 95%) มีจำหน่ายทั่วไปในประเทศฝรั่งเศส โดยว่าครั้งหนึ่งของน้ำมันดีเซลที่จำหน่ายเป็นน้ำมันสูตร B5
- B20 (ไบโอดีเซล 20% ดีเซล 80%) เป็นน้ำมันผสมที่คณะกรรมการไบโอดีเซลแห่งชาติและสำนักงานป้องกันสิ่งแวดล้อมของประเทศสหรัฐอเมริกาแนะนำให้ใช้ตามกฎหมายยานยนต์ เชื้อเพลิงทดแทนของประเทศ (Alternative Motor Act : AMFA 1988) ปัจจุบันนิยมใช้ในประเทศสหรัฐอเมริกา โดยเฉพาะรถของบริษัทและรถของหน่วยงานราชการกว่า 147 แห่ง รวมทั้งการใช้ยานยนต์ในพื้นที่ที่ต้องคำนึงถึงมลพิษเป็นพิเศษ เช่น รถรับส่งนักเรียน รถประจำทาง เรือ หรือเครื่องจักรกลที่ใช้ในเหมืองแร่ ทั้งนี้ได้รับรองจากบริษัทผู้ผลิกระบบหัวฉีดน้ำมันและเครื่องยนต์
- B40 (ไบโอดีเซล 40% ดีเซล 60%) เป็นสูตรที่ใช้ในรถขนส่งมวลชนในประเทศฝรั่งเศส ทั้งนี้เพื่อผลในการลดมลพิษ
- B100 (ไบโอดีเซล 100%) เป็นน้ำมันไบโอดีเซลร้อยละ 100 ที่ใช้ในประเทศเยอรมนีและออสเตรีย โดยได้รับการรับรองจากผลิตภัณฑ์รายใหญ่ของประเทศ ถือว่าเป็นการพัฒนาเพื่อการพึ่งพาตนเองตามแนวทฤษฎีเศรษฐกิจพอเพียงของพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวอย่างแท้จริง

2. มาตรฐานคุณภาพและการวิเคราะห์คุณภาพของน้ำมันไบโอดีเซล

ข้อกำหนดมาตรฐานทางคุณภาพของไบโอดีเซล ถูกกำหนดโดยสถาบันทางมาตรฐานวิทยาศาสตร์นำของโลก ตัวอย่างเช่น ปัจจุบันประเทศเยอรมันได้กำหนดมาตรฐาน DIN V 51606 ในตารางที่ 4 มักใช้อ้างอิงถึงไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของน้ำมัน rapeseed ในประเทศเยอรมัน และยังถูกนำมาเทียบเคียงกับมาตรฐานไบโอดีเซลในกลุ่มสหภาพยุโรป โดยเฉพาะในประเทศออสเตรีย อิตาลี ประเทศสหรัฐอเมริกาใช้มาตรฐาน ASTM D 6751 ซึ่งระบุรายละเอียดขอบเขตทางคุณภาพของไบโอดีเซล ที่ความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15 °C หรือที่ความถ่วงจำเพาะ ณ อุณหภูมิ 60 °C ความหนืดจลนศาสตร์ (Kinematic viscosity) ณ อุณหภูมิ 40 °C จุดวาบไฟ เป็นต้น รวมถึงคุณสมบัติอื่นๆ เช่น ส่วนประกอบทางเคมีอินทรีย์ นอกจากนี้ยังใช้เป็นมาตรฐานอ้างอิงในการศึกษาและผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันในกลุ่มประเทศเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ข้อกำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน เทียบกับมาตรฐานสากล มาตรฐาน ASTM D6751 มีดังนี้

1.เมทิลเอสเทอร์ (Methyl ester) ใช้ระบุความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซล ตามข้อกำหนดของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ กรมธุรกิจพลังงานให้ทดสอบตาม EN 14103 ซึ่งตรวจวัดโดยใช้เทคนิคโครมาโตกราฟี และผลที่ได้ต้องให้ค่าไม่ต่ำกว่า 96.5 wt% ส่วนในการทดสอบตามมาตรฐานไบโอดีเซล (B100) ASTM D6751 ไม่ระบุให้มีการทดสอบ

2.ความหนาแน่น (Density) ใช้ระบุสมบัติเบื้องต้นทางกายภาพของไบโอดีเซล ในการทดสอบมีหลายวิธี อย่างไรก็ตามในข้อกำหนดของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ กรมธุรกิจพลังงานให้ทดสอบตามวิธี ASTM D1298 ซึ่งผลที่ได้ต้องให้ค่าไม่ต่ำกว่า 860 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรและไม่สูงกว่า 900 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ที่ 15 องศาเซลเซียส ส่วนมาตรฐานไบโอดีเซล(B100) ASTM D6751 ไม่ระบุให้มีการทดสอบ

3.ความหนืดจลน์ (Kinematic viscosity) ความหนืดในน้ำมันมีความสำคัญมากในการใช้งานในเครื่องยนต์ เพราะเป็นตัวบอกละเอียดความสามารถในการต้านทานการไหล และบอกละเอียดคุณสมบัติในการหล่อลื่นพื้นผิว ในการทดสอบมีหลายวิธีแต่ที่ระบุในข้อกำหนดของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ กรมธุรกิจพลังงาน และมาตรฐานไบโอดีเซล(B100) ASTM D6751 คือใช้วิธีตาม ASTM D445 ซึ่งผลที่ได้ต้องให้ค่าในช่วง 3.5 - 5.0 อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสและให้ผลในช่วง 1.9 - 6.0 สำหรับข้อกำหนดของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ กรมธุรกิจพลังงาน และมาตรฐานไบโอดีเซล(B100) ASTM D6751 ตามลำดับ ในน้ำมันที่มีความหนืดสูงเกินไปจะส่งผลให้การจ่ายน้ำมันเข้าสู่กระบอกสูบในห้องเผาไหม้กระจายตัวไม่ดี มีผลต่อการเผาไหม้เชื้อเพลิงโดยตรง ทำให้เผาไหม้ไม่สมบูรณ์ เกิดเขม่า อีกทั้งยังสิ้นเปลืองน้ำมัน การตรวจวัดความหนืดทำได้โดยใช้อุปกรณ์วัดความหนืดตามรูปที่ 2.4 นำอุปกรณ์วัดความหนืดใส่ในอ่างน้ำที่มีอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส และเติมน้ำมันลงในอุปกรณ์ที่ปริมาตรกำหนด รอจนอุณหภูมิคงที่จึงเริ่มทดสอบ



รูปที่ 2.4 อุปกรณ์วัดความหนืด [16]

4. จุดวาบไฟ (Flash point) คือ อุณหภูมิต่ำสุดที่เชื้อเพลิงเกิดการระเหย มีจำนวนเพียงพอที่จะถูกติดไฟได้วูบหนึ่งแล้วดับเมื่อมีเปลวไฟผ่านเข้ามา ในการทดสอบมีหลายวิธีแต่ที่ระบุในข้อกำหนดของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ กรมธุรกิจพลังงาน และมาตรฐานไบโอดีเซล(B100) ASTM D6751 คือ ใช้วิธีตาม ASTM D93 (Pensky-Martens closed cup tester) (ตามรูปที่ 2.5 เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบ) ซึ่งผลที่ได้ต้องให้ค่าไม่ต่ำกว่า 120 องศาเซลเซียส และ 130 องศาเซลเซียส สำหรับข้อกำหนดของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ กรมธุรกิจพลังงาน และมาตรฐานไบโอดีเซล(B100) ASTM D6751 ตามลำดับ การกำหนดจุดวาบไฟที่สูงนี้ส่งผลให้ต้องกำจัดแอลกอฮอล์ โดยเฉพาะเมทานอลออกจากไบโอดีเซล จุดวาบไฟนั้นนอกจากจะใช้ประเมินการจุดติดไฟของผลิตภัณฑ์แล้ว ยังเป็นดัชนีที่บอกระดับความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์เมื่อเกิดการเผาไหม้อีกด้วย โดยสรุปแล้วจุดวาบไฟ จะมีความสำคัญในแง่ของความปลอดภัยในการเก็บรักษาและขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำมันเชื้อเพลิง



รูปที่ 2.5 เครื่องทดสอบจุดวาบไฟ [14]

5. กำมะถัน (Sulfur) ปริมาณกำมะถันในน้ำมัน มีความจำเป็นอย่างมากในการตรวจวัด เนื่องจากกำมะถันมีผลให้เกิดการกัดกร่อนของชิ้นส่วนภายในเครื่องยนต์ โดยออกไซด์ของกำมะถันที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ จะกลายเป็นกรดกัดกร่อนโลหะได้ เกิดกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ เกิดเขม่าจับในห้องเผาไหม้ ใน

การทดสอบมีหลายวิธีแต่ที่ระบุในข้อกำหนดของไบโอดีเซลประเภทเมทิล เอสเตอร์ กรมธุรกิจพลังงาน ใช้วิธีตาม ASTM D2622 ซึ่งผลที่ได้ต้องให้ค่าไม่เกิน 0.0010 wt% ส่วนในการทดสอบตามมาตรฐานไบโอดีเซล(B100) ASTM D6751 ให้ทดสอบตามวิธี ASTM D5453 ซึ่งผลที่ได้ต้องให้ค่าไม่เกิน 0.0015 wt%

6.กากถ่าน (Carbon residue) คือ กากที่เหลือจากการเผาไหม้ในที่อับอากาศ ปริมาณกาคาร์บอนสูงเป็นสิ่งไม่พึงประสงค์ในเชื้อเพลิง เพราะมีแนวโน้มที่จะก่อให้เกิดเขม่าตกค้างและไอเสียมีควันดำมาก ในการทดสอบมีหลายวิธี แต่ที่ระบุในข้อกำหนดของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเตอร์ กรมธุรกิจพลังงานใช้วิธีตาม ASTM D4530 ซึ่งผลที่ได้ต้องให้ค่าไม่สูงกว่า 0.30 wt% (B100) ASTM D6751 ให้ทดสอบตามวิธี ASTM D4530 (เป็นการทดสอบจากน้ำมันไบโอดีเซลที่ไม่ผ่านการกลั่น) ซึ่งผลที่ได้ต้องไม่เกิน 0.05 wt% ตามลำดับ

7.จำนวนซีเทน (Cetane number) คือ พารามิเตอร์ที่บ่งชี้ถึงประสิทธิภาพในการจุดติดไฟ (ignition) ของเครื่องยนต์ดีเซล จำนวนซีเทนที่สูงช่วยในการสตาร์ทเครื่องยนต์ได้ง่าย ทั้งยังช่วยลดควันขาวที่เกิดขึ้นอีกด้วย โดยหลักการจำนวนซีเทนจะสัมพันธ์กับการจุดติดไฟ (ignition delay time) (คือเวลาที่เชื้อเพลิงฉีดผ่านเข้าสู่ห้องเผาไหม้จนถึงจุดติดไฟ) เมื่อจำนวนซีเทนสูงเวลาหน่วงการจุดติดไฟจะมีค่าสั้น ในการทดสอบจำนวนซีเทนมีหลายวิธีแต่ที่ระบุในข้อกำหนดไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเตอร์ กรมธุรกิจพลังงาน และ มาตรฐานไบโอดีเซล (B100) ASTM D6751 ให้ทดสอบตามวิธี ASTM D613 ซึ่งผลที่ได้ให้ค่าไม่ต่ำกว่าเลข 51 และ ให้ค่าไม่ต่ำกว่าเลข 47 สำหรับข้อกำหนดของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเตอร์ กรมธุรกิจพลังงาน และมาตรฐานไบโอดีเซล (B100) ASTM D6751 ตามลำดับ

8. เถ้าซัลเฟต (Sulfate ash) การทดสอบเพื่อหาปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาในส่วนของอัลคาไลน์ในไบโอดีเซล และเถ้าของสารประกอบอื่นๆ ที่สามารถทำให้เกิดการอุดตันในระบบจ่ายน้ำมันเข้าสู่ห้องเผาไหม้ นอกจากนั้นเถ้าซัลเฟตในปริมาณสูงยังส่งผลให้เกิดการสึกหรอของเครื่องยนต์เนื่องจากการขัดสีอีกด้วย ในการทดสอบทั้งตามข้อกำหนดของไบโอดีเซล, ประเภทเมทิลเอสเตอร์ กรมธุรกิจพลังงาน และ มาตรฐานไบโอดีเซล (B100) ASTM D6751 ใช้วิธี ASTM D874 ซึ่งผลที่ได้ต้องให้ค่าไม่ต่ำกว่า 0.02 wt%

9. น้ำ (Water) คือ การตรวจหาน้ำอิสระที่อยู่ในน้ำ เพราะการมีน้ำปริมาณสูงเกินไปจะส่งผลต่อการทำงานของเครื่องยนต์ และอายุการใช้งาน นอกจากนั้นน้ำยังเป็นแหล่งเพาะจุลินทรีย์ทำให้เกิดกรดและนำไปสู่การกัดกร่อนและอุดตันระบบกรองน้ำมัน ในการทดสอบมีหลายวิธีแต่ที่ระบุในข้อกำหนดของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเตอร์ กรมธุรกิจพลังงานและมาตรฐานไบโอดีเซล (B100) ASTM D6751 ให้ทดสอบวิธี ASTM D2709 ซึ่งต้องค่าไม่เกิน 0.050 wt% และค่าไม่เกิน 0.050 vol% สำหรับค่าตามประกาศของกรมพลังงาน และมาตรฐาน ASTM D6751 ตามลำดับ

10. สิ่งเจือปนทั้งหมด (Total contaminate) ในข้อกำหนดของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเตอร์ กรมธุรกิจพลังงาน ให้ทดสอบตามวิธี ASTM D5452 ซึ่งต้องให้ค่าไม่เกิน 0.0024 wt% ส่วนมาตรฐาน ASTM D6751 ไม่ระบุให้ทดสอบ

11. การกัดกร่อนแผ่นทองแดง (Copper strip corrosion) การทดสอบการกัดกร่อนของน้ำมัน จะทดสอบโดยใช้แท่งทองแดงขัดเงามาแช่น้ำมัน ตามความดันและอุณหภูมิที่กำหนดจากนั้นจึงนำมาเปรียบเทียบกับสีมาตรฐาน (copper strip corrosion standard) ในการทดสอบในข้อกำหนดของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ กรมธุรกิจพลังงาน และมาตรฐานไบโอดีเซล (B100) ASTM D6751 ให้ทดสอบตามวิธี ASTM D130 ซึ่งผลที่ได้ต้องค่าไม่เกินเลข 1 และ ให้ค่าไม่เกินเลข 3 สำหรับข้อกำหนดของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์

โดยน้ำมันที่ดีไม่ควรจะมีสารที่ทำปฏิกิริยากับชิ้นส่วนในเครื่องจักร เครื่องยนต์ ที่เป็นทองแดง หรือโลหะผสม โดยตามมาตรฐาน ASTM D130 กำหนดให้ แผ่นทองแดงหลังแช่น้ำมันเป็นดังนี้ เลข 1: มัวเล็กน้อย (slight tarnish) เลข 2: มัวปานกลาง (middle tarnish) เลข 3: มัวมาก (dark tarnish) และเลข 4: กัดกร่อน (corrosion)

12. เสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation stability) เป็นการทดสอบผลิตภัณฑ์น้ำมันเพื่อดูแนวโน้มการรวมตัวกับออกซิเจน ว่าสามารถเกิดขึ้นได้ ช้า-เร็วเพียงใด ในการทดสอบมีหลายวิธี อย่างไรก็ตามในข้อกำหนดของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ กรมธุรกิจพลังงาน ให้ทดสอบวิธี EN 14112 ซึ่งผลจากการวัดค่าการนำไฟฟ้าต้องไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว ที่เวลาทดสอบไม่ต่ำกว่า 6 ชั่วโมงที่อุณหภูมิทดสอบ 110 องศาเซลเซียส ส่วนมาตรฐาน ASTM D6751 ไม่ระบุให้ทดสอบ

13. ค่าความเป็นกรด (Acid value) ในไบโอดีเซลใช้บ่งชี้ถึงกรดไขมันอิสระที่ทำปฏิกิริยาไม่สมบูรณ์ หรือการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นกรด หรือมีข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากขั้นตอนการล้างไบโอดีเซลที่มีการเติมกรดช่วยปรับพีเอชให้เป็นกลาง การมีค่าความเป็นกรดในน้ำมันสูงเกินไปส่งผลให้อายุการใช้งานของระบบจ่ายน้ำมันและเครื่องยนต์สั้นลง ทั้งข้อกำหนดของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ กรมธุรกิจพลังงาน และมาตรฐาน ASTM D6751 กำหนดวิธีทดสอบตาม ASTM D664 ซึ่งผลที่ต้องได้ให้ค่าไม่สูงกว่า 0.5 mg KOH/g สำหรับข้อกำหนดไบโอดีเซลประเภทเมทิล เอสเทอร์ กรมธุรกิจพลังงาน และ ให้ค่าไม่สูงกว่า 0.8 mg KOH/g สำหรับ มาตรฐาน ASTM D6751 ตามลำดับ

14. ค่าไอโอดีน (Iodine value) ในข้อกำหนดไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ กรมธุรกิจพลังงาน ให้ทดสอบตามวิธี EN 1411 ซึ่งผลจากการวัดค่าต้องไม่สูง 120 กรัมไอโอดีนต่อ 100 กรัม น้ำมัน ส่วนมาตรฐานไบโอดีเซล (B100) ASTM D6751 ไม่ระบุให้มีการทดสอบ

15. กรดลิโนลินิกเอสเทอร์ (Linolenic acid methyl ester contents) เป็นการทดสอบหาปริมาณกรดลิโนลินิกเอสเทอร์ในไบโอดีเซล ในข้อกำหนดไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ กรมธุรกิจพลังงานให้ทดสอบตามวิธี EN 14103 ซึ่งตรวจวัดโดยใช้เทคนิคโครมาโตกราฟี ผลทดสอบต้องมีกรดลิโนลินิกเอสเทอร์ในไบโอดีเซลไม่สูงกว่า 12.0 wt% ส่วนในมาตรฐานไบโอดีเซล (B100) ASTM D6751 ไม่ระบุให้มีการทดสอบ

16. เมทานอล (Methanol content) เป็นการทดสอบหาปริมาณเมทานอลในไบโอดีเซล ในข้อกำหนดไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ กรมธุรกิจพลังงาน ให้ทดสอบตามวิธี EN 14110 ซึ่ง

ตรวจวัดโดยให้ความร้อนกับไบโอดีเซลในภาชนะปิดที่ 80°C จากนั้นเก็บก๊าซตัวอย่างฉีดเข้าเครื่องก๊าซโครมาโตกราฟี ผลทดสอบต้องมีเมทานอลในไบโอดีเซลไม่สูงกว่า 0.02 wt% ส่วนในมาตรฐานไบโอดีเซล (B100) ASTM D6751 ไม่ระบุให้มีการทดสอบ

17. โมโนกลีเซอไรด์ (Monoglyceride) ในข้อกำหนดไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์กรรมธุรกิจพลังงาน ให้ทดสอบตามวิธี EN 14105 ซึ่งตรวจวัดโดยใช้เทคนิคโครมาโตกราฟี ผลทดสอบต้องมีโมโนกลีเซอไรด์ไม่สูงกว่า 0.80 wt% ส่วนในมาตรฐาน ไบโอดีเซล (B100) ASTM D6751 ไม่ระบุให้มีการทดสอบ

18. ไดกลีเซอไรด์ (Diglyceride) ในข้อกำหนดไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์กรรมธุรกิจพลังงาน ให้ทดสอบตามวิธี EN 14105 ซึ่งตรวจวัดโดยใช้เทคนิคโครมาโตกราฟี ผลทดสอบต้องมีไดกลีเซอไรด์ไม่สูงกว่า 0.20 wt% ส่วนมาตรฐานไบโอดีเซล (B100) ASTM D6751 ไม่ระบุให้มีการทดสอบ

19. ไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride) ในข้อกำหนดไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์กรรมธุรกิจพลังงาน ให้ทดสอบตามวิธี EN 14105 ซึ่งตรวจวัดโดยใช้เทคนิคโครมาโตกราฟี ผลทดสอบต้องมีไตรกลีเซอไรด์ไม่สูงกว่า 0.20 wt% ส่วนมาตรฐานไบโอดีเซล (B100) ASTM D6751 ไม่ระบุให้มีการทดสอบ

20. กลีเซอรินอิสระ (Free glycerin) ใช้ระบุถึงกลีเซอรินอิสระที่แยกไม่หมดในไบโอดีเซลเมื่อมีค่าสูงเกินไปอาจส่งผลให้เกิดการอุดตันที่ระบบกรองน้ำมัน อีกทั้งมีการกลีเซอรินสูงเกินไปยังส่งผลให้การเผาไหม้ไบโอดีเซลเกิดสารพิษปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมในปริมาณที่อาจก่อให้เกิดอันตราย

21. กลีเซอรินทั้งหมด (total glycerin) ใช้ระบุถึงกลีเซอรินอิสระที่แยกไม่หมดในไบโอดีเซล ซึ่งประกอบด้วยกลีเซอรินอิสระ โมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ และไตรกลีเซอไรด์ ในการทดสอบมีหลายวิธีแต่ที่ระบุในข้อกำหนดไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ กรรมธุรกิจพลังงาน ให้ทดสอบตามวิธี EN 14105 ซึ่งผลที่ได้ให้ค่าไม่สูงกว่า 0.25 wt% ส่วนมาตรฐานไบโอดีเซล (B100) ASTM D6751 ให้ทดสอบตามวิธี ASTM D6584 ซึ่งผลที่ได้ต้องให้ค่าไม่เกิน 0.24 wt%

22. โลหะกลุ่ม 1 (โซเดียมและโปแตสเซียม) (sodium and potassium content) ตามข้อกำหนดไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ กรรมธุรกิจพลังงาน ให้ทดสอบตามวิธี EN 14108 สำหรับการวัดโซเดียม และ EN 14109

23. ฟอสฟอรัส (Phosphorus) เป็นสารที่สามารถลดประสิทธิภาพของอะไหล่เครื่องยนต์ (คืออุปกรณ์ที่ติดตั้ง เพื่อบำบัดไอเสียให้มีปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ให้ลดลง) ตามข้อกำหนดไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ กรรมธุรกิจพลังงาน และตามมาตรฐานไบโอดีเซล (B100) ASTM D6751 ให้ทดสอบตามวิธี ASTM D4951 ซึ่งผลที่ได้ต้องให้ค่าไม่สูงกว่า 0.001 wt%

24. สารเติมแต่ง (Additive) เป็นสารที่เติมในไบโอดีเซลเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการเผาไหม้ ช่วยชะล้างและทำความสะอาดเครื่องยนต์ หรืออื่นๆ ไม่มีการระบุวิธีทดสอบที่ชัดเจนแต่ไม่ให้เป็นไปตามที่ได้รับความเห็นชอบจากอธิบดี กรมธุรกิจพลังงาน

ตารางที่ 2.4 รายละเอียดข้อกำหนดทางคุณภาพของไบโอดีเซลตามมาตรฐาน DIN V51606 [18]

Properties	Limits	
	Minimum	Maximum
1.Density at 15°C,g/ml	0.875	0.90
2.Kinematic viscosity at 40°C,mm ² /s	3.500	5.00
3.Flash point (Pensky-Martens),°C	100.0	
4.Cold filter plugging point,°C		
15 April - 30 September		0.00
1 October – 15 November		-10.00
16 November – 28 February		-20.00
1 March – 14 April		0.01
5.Sulphur content,wt%		0.30
6.Carbon residue,wt% (10%Distillation)		0.30
7.Cetane number		49.00
8.Ash, wt%		0.01
9.Water,mg/kg		300.00
10.Total dirt,mg/kg		20.00
11.Copper corrosion for 3 h at 50%		1.00
12.Neutralization number, mg KOH/g		0.50
13.Methanol,wt%		0.30
14.Monoglyceride,wt%		0.80
15.Diglyceride,wt%		0.10
16.Triglyceride,wt%		0.10
17.Free glycerol, wt%		0.20
18.Iodine number, g Iodine/100g		115.00
19.Phosphorous,mg/kg		10.00

ตารางที่ 2.5 รายละเอียดข้อกำหนดทางคุณภาพไบโอดีเซลตามมาตรฐาน ASTM D6751 [15]

Property	method	limits	units
Flash point, closed cup	D 93	130 min	°C
Water and sediment	D 2709	0.050 max	%volume
Kinematics viscosity,40 °C	D 445	1.9 – 0.6	mm ² /s
Sulfated ash	D 874	0.020 max	wt.%
Total Sulfur	D 5453	0.50 max	wt.%
Copper strip corrosion	D 130	No.3 max	
Cetane number	D 613	47 min	
Cloud point	D 2500	Report to customer	°C
Carbon residue	D 4530	0.050 max	wt.%
Acid number	D 664	0.8 max	mg KOH/g
Free glycerin	D 6584	0.020	wt.%
Total glycerin	D 6584	0.240	wt.%
Phosphorus	D 4951		wt.%
wt.% vacuum distillation end Point	D 1160	360 °C max,at 90% distilled	°C
Storage stability	To be determined	To be determined	To be determined

ตารางที่ 2.6 ข้อกำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเตอร์ของกรดไขมัน พ.ศ 2548 [12]

รายการ	ข้อกำหนด	อัตราสูงต่ำ	วิธีทดสอบ
1	เมทิลเอสเตอร์ ร้อยละ โดยน้ำหนัก (Methyl Ester, % wt.)	ไม่ต่ำกว่า 96.5	EN 14103
2	ความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15°C กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร (Density at 15 °C, cSt)	ไม่ต่ำกว่า 860 และ 900 ไม่สูงกว่า	ASTM D1298
3	ความหนืด ณ อุณหภูมิ 40°C เซนติสโตก (viscosity at 40°C, cSt)	ไม่ต่ำกว่า 3.5 และ 5.0 ไม่สูงกว่า	ASTM D445
4	จุดวาบไฟ องศาเซลเซียส (Flash Point, °C)	ไม่ต่ำกว่า 120	ASTM D93
5	กำมะถัน ร้อยละ โดยน้ำหนัก (Sulphur)	ไม่สูงกว่า 0.0010	ASTM D2622
6	กากถ่าน ร้อยละ น้ำหนัก (ร้อยละ 10 ของกากที่เหลือจากการกลั่น) (Carbon Residue, on 10% distillation residue, %wt.)	ไม่สูงกว่า 0.30	ASTM D4530
7	จำนวนซีเทน (Cetane Number)	ไม่ต่ำกว่า 51	ASTM D613
8	เถ้าซัลเฟต ร้อยละ โดยน้ำหนัก (Sulfated Ash, wt%)	ไม่สูงกว่า 0.02	ASTM D874
9	น้ำ ร้อยละ โดยน้ำหนัก (Water, wt%)	ไม่สูงกว่า 0.050	ASTM D2709
10	สิ่งปนเปื้อนทั้งหมด ร้อยละ โดยน้ำหนัก (Total Contaminate, wt%)	ไม่สูงกว่า 0.0024	ASTM D5452
11	การกัดกร่อนแผ่นทองแดง (Copper Strip Corrosion)	ไม่สูงกว่า หมายเลข 1	ASTM D130
12	เสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ณ อุณหภูมิ 110 °C ชั่วโมง (Oxidation Stability at 110 °C, hours)	ไม่สูงกว่า หมายเลข 6	EN 14112
13	ค่าความเป็นกรด มิลลิกรัม โพแตสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อกรัม (Acid Value, mg KOH/g)	ไม่สูงกว่า หมายเลข 0.05	ASTM D 664
14	ค่าไอโอดีน กรัม ไอโอดีน/100 กรัม (Iodine Value, g Iodine/100g)	ไม่สูงกว่า 120	EN 14111

ตารางที่ 2.6 ข้อกำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเตอร์ของกรดไขมัน พ.ศ 2548 (ต่อ)

รายการ	ข้อกำหนด	อัตราสูงต่ำ	วิธีทดสอบ
15	กรดลิโนเลนิกเมทิลเอสเตอร์ร้อยละโดยน้ำหนัก (Linolenic Acid Methyl Ester,wt%)	ไม่สูงกว่า 12.0	EN 14103
16	เมทานอล ร้อยละโดยน้ำหนัก (Methanol,wt%)	ไม่สูงกว่า 0.20	EN 14110
17	โมโนกลีเซอไรด์ ร้อยละโดยน้ำหนัก (Monoglyceride,%wt)	ไม่สูงกว่า 0.80	EN 14105
18	ไดกลีเซอไรด์ ร้อยละโดยน้ำหนัก (Diglyceride,wt%)	ไม่สูงกว่า 0.20	EN 1405
19	ไตรกลีเซอไรด์ ร้อยละโดยน้ำหนัก (Triglyceride,wt%)	ไม่สูงกว่า 0.20	EN 14105
20	กลีเซอริน ร้อยละโดยน้ำหนัก (Free glycerin,wt%)	ไม่สูงกว่า 0.02	EN 14105
21	กลีเซอรินทั้งหมดร้อยละโดยน้ำหนัก (Total glycerine,wt%)	ไม่สูงกว่า 0.25	EN 14105
22	โลหะกลุ่ม 1 (โซเดียม และ โพแทสเซียม) มิลลิกรัม/กิโลกรัม (Group I metals (Na + K mg/kg) โลหะกลุ่ม 2 (แคลเซียมและ แมกนีเซียม) มิลลิกรัม/กิโลกรัม (Group II metals (Ca + Mg) mg/kg)	ไม่สูงกว่า 5.0	EN14108 และ EN 14109 EN 14538
23	ฟอสฟอรัส ร้อยละโดยน้ำหนัก(Phosphorus, wt %)	ไม่สูงกว่า 0.0010	ASTMD4951
24	สารเติมแต่ง (ถ้ามี) (Additive)	ให้เป็นไปตามที่ได้รับความเห็นชอบจาก อธิบดีกรมธุรกิจพลังงาน	

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากไขมันวัวและน้ำมันถั่วเหลือง โดยใช้เมทานอลมีโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 0.1-1.0 โดยน้ำหนักของกรดไขมันอิสระใช้อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 68-70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง พบว่าผลของผลิตภัณฑ์ที่ได้ คือ เมทิลเอสเทอร์ของไขมันวัวและเมทิลเอสเทอร์ของน้ำมันถั่วเหลืองสูงสุดร้อยละ 95 และร้อยละ 98 ตามลำดับ การวัดคุณสมบัติทางกายภาพของเมทิลเอสเทอร์ของไขมันสัตว์และน้ำมันถั่วเหลือง กับน้ำมันดีเซล คือ ความหนาแน่น ความหนืด และจุดขุ่น พบว่า ไขมันสัตว์มีความหนาแน่น, ความหนืด และจุดขุ่นมัว เท่ากับ 0.856 ถึง 0.859 กรัมต่อมิลลิลิตร, 3.75 ถึง 3.99 เซนติสโตก, 10 ถึง 12 องศาเซลเซียส ตามลำดับ เมทิลเอสเทอร์ของน้ำมันถั่วเหลือง มีค่าเท่ากับ 0.866 ถึง 0.869 กรัมต่อมิลลิลิตร, 3.70 ถึง 3.90 เซนติสโตก, -1 ถึง 2 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และน้ำมันดีเซล มีค่ากับ 0.835 กรัมต่อมิลลิลิตร, 2.63 เซนติสโตก, -19 ถึง -15 องศาเซลเซียสตามลำดับ [20]

เมื่อใช้น้ำมันพืชเป็นเชื้อเพลิงทดแทนดีเซล จะมีการสูญเสียกำลังงานเพียงเล็กน้อย แต่จะมีการปลดปล่อยอนุภาคของแข็งที่สูงกว่า และหากใช้น้ำมันพืชดิบเป็นเชื้อเพลิงจะต้องดัดแปลงเครื่องยนต์ดีเซล ส่วนเมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตได้จากน้ำมันพืชควรให้สมรรถนะของเครื่องยนต์และสมบัติของแก๊สไอเสียที่ปล่อยออกมาใกล้เคียงกับการใช้น้ำมันดีเซลซึ่งจะได้รับการยอมรับในการใช้น้ำมันพืชทดแทนน้ำมันดีเซลเพิ่มมากขึ้น [21]

การศึกษาไบโอดีเซลจากน้ำมันถั่วเหลืองโดยใช้เมทานอลและคาร์บอนไดออกไซด์เป็นตัวทำละลายร่วมกัน พบว่า ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันถั่วเหลืองในเมทานอลโดยปราศจากตัวเร่งปฏิกิริยาแต่ละจะใช้ตัวทำละลายร่วมกัน โดยจะเดิมในปฏิกิริยาเพื่อลดอุณหภูมิ ความดันและอัตราส่วนของเมทานอลกับน้ำมันพืช ซึ่งใช้คาร์บอนไดออกไซด์เป็นตัวทำละลายร่วมในปฏิกิริยาจะช่วยลดความร้อนแรงในปฏิกิริยาอย่างยิ่งยวด การทดลองพบว่า ปฏิกิริยาจะใช้อุณหภูมิที่เหมาะสม คือ 280 องศาเซลเซียส อัตราส่วนน้ำมันต่อเมทานอล คือ 1:24 อัตราส่วนของเมทานอลกับคาร์บอนไดออกไซด์ คือ 1:10 ผลผลิตเมทาเอสเทอร์ คือ ร้อยละ 98 ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 10 นาทีและความดันของปฏิกิริยา คือ 14.3 MPa เป็นกระบวนการที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม [22]

งานวิจัยนี้ศึกษาหากระบวนการที่เหมาะสมในการผลิตเมทิลเอสเทอร์จากไขมันน้ำเสียในบ่อน้ำทิ้งจากโรงงานหีบสกัดน้ำมันปาล์ม การหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเมทิลเอสเทอร์โดยปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน (esterification) และทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน (transesterification) กระทำโดยใช้เมทานอลที่มีกรดซัลฟิวริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เมื่อใช้น้ำมันในบ่อน้ำเสียเป็นวัตถุดิบตั้งต้น ศึกษาด้วย screw capped bottle ในช่วงสัดส่วนเชิงโมลของสารตั้งต้นต่อเมทานอล 1:1 ถึง 1:72 ร้อยละความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาตั้งแต่ 0.1-20 v/w% อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 60-98 องศาเซลเซียส และเวลาในการทำปฏิกิริยา 15-180 นาที จากผลการทดลองพบว่า สภาวะที่เหมาะสมคือสัดส่วนเชิงโมลของสารตั้งต้นต่อเมทานอลเป็น 1:8 ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยากรดซัลฟิวริกร้อยละ 1 v/w% ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ผลการวิเคราะห์จาก thin layer chromatograph แสดงว่าเมทิลเอสเทอร์ที่ได้มีความ

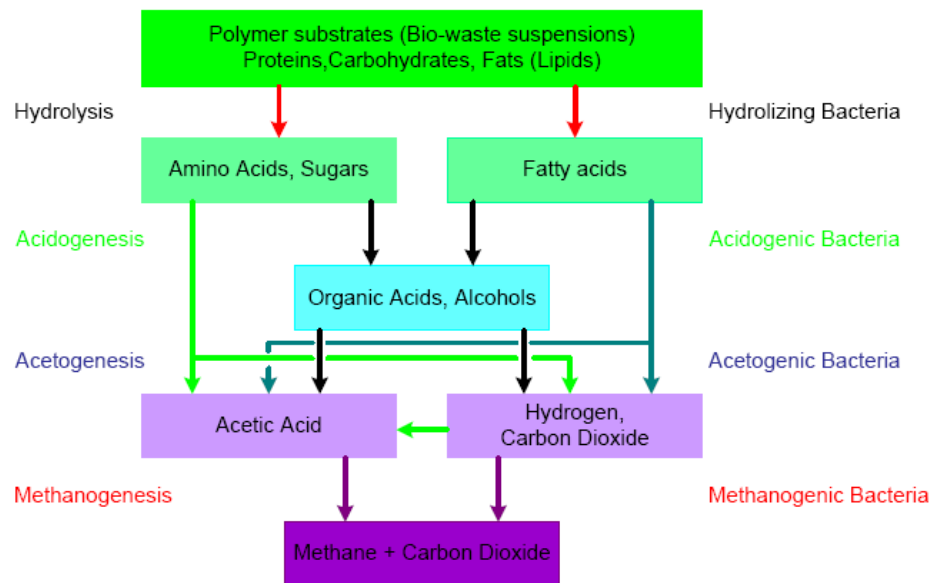
บริสุทธิ์ในช่วงร้อยละ 85-90 มีไทร-ไล-โมโนกลีเซอไรด์ และกรดไขมันร้อยละ 4-5 มีสารปนเปื้อนที่ไม่รู้ชนิดร้อยละ 5-10 โดยมีร้อยละผลได้ (yield) 84-88 ในการขจัดสารปนเปื้อนที่ไม่รู้ชนิดด้วยการกลั่นจะได้อัตราผลได้ประมาณ 75 และเมื่อนำมาผลิตเป็นไบโอดีเซลโดยใช้สภาวะที่เหมาะสมข้างต้น แต่ใช้เวลาทำปฏิกิริยาเพียง 1 ชั่วโมง ได้ผลผลิตที่ดีที่สุดซึ่งมีร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์เป็น 96.39 และมีกรดไขมันอิสระ ไคกลีเซอไรด์ และโมโนกลีเซอไรด์ ตกค้างอยู่ร้อยละ 3.20, 0.24 และ 0.17 ตามลำดับ โดยมีร้อยละผลได้ในช่วง 96-98 โดยคุณสมบัติเชิงกายภาพทางเชื้อเพลิงของเมทิลเอสเทอร์มีค่าสอดคล้องกับค่าตามมาตรฐานประเทศไทยการผลิตเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันในระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานปาล์มที่ผ่านการกลั่นแยกสารปนเปื้อนออกแบบต่อเนื่อง ใช้ชุดสาริตการผลิตเมทิลเอสเทอร์ขนาดถังปฏิกรณ์ 3 ลิตร ดำเนินการผลิตภายใต้สภาวะที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองแบบเบสท์ เมื่อใช้ค่า retention time เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ได้ไบโอดีเซลที่มีค่าความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์ในช่วง 94.34 และมีร้อยละกรดไขมัน, ไคกลีเซอไรด์ และโมโนกลีเซอไรด์ตกค้างอยู่ 3.22, 1.6 และ 0.84 ตามลำดับ [19]

การสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากไขมันวัว โดยใช้เมทานอลเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ปัจจัยที่ใช้ในการศึกษาคือ ตัวเร่งปฏิกิริยา ปริมาณกรดไขมันอิสระ น้ำและเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา โดยพบว่า โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีประสิทธิภาพมากกว่าโซเดียมเมธีออกไซด์ เนื่องจากโซเดียมเมธีออกไซด์จะให้ผลผลิตไบโอดีเซลมากที่สุดที่ความเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่โซเดียมไฮดรอกไซด์เพียง 0.3 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ยังพบว่าไขมันหรือน้ำมันมีปริมาณกรดไขมันอิสระมาก ปริมาณของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ต้องมากด้วย และเกิดเอสเทอร์น้อยกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ และทำให้ผลิตภัณฑ์กลายเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้อง และพบว่าถ้าไขมันหรือน้ำมันมีน้ำปนก็ทำให้เอสเทอร์เกิดน้อยเช่นกัน ดังนั้นก่อนที่จะนำไขมันหรือน้ำมันมาใช้ควรกำจัดไขมันอิสระก่อน หรืออาจจะใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาแทนโซเดียมไฮดรอกไซด์ จากการศึกษาผลของเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา พบว่า ที่เวลามากขึ้นเอสเทอร์ที่เกิดขึ้นก็จะมากขึ้น โดยในช่วง 5 นาทีแรกปฏิกิริยาจะดำเนินไปอย่างช้าๆ แต่จะเกิดสมบูรณ์ที่เวลา 15 นาที [16]

2.4 ก๊าซชีวภาพ (Biogas)

ก๊าซชีวภาพ (Biogas) เป็นก๊าซที่เกิดจากการย่อยแบบแอนแอโรบิก (Anaerobic Digestion) ก๊าซมีเทน (Methane) เป็นก๊าซชีวภาพตัวหนึ่งที่มีประโยชน์ทางเศรษฐกิจและสามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับการเผาไหม้ ก๊าซมีเทนบริสุทธิ์ให้ค่าความร้อนประมาณ $35,800 \text{ kJ/m}^3$ ก๊าซชีวภาพ (Biogas) ที่มีสัดส่วนก๊าซมีเทน 65% ให้ค่าความร้อนประมาณ $22,400 \text{ kJ/m}^3$ ปริมาณความร้อนของก๊าซชีวภาพขึ้นอยู่กับปริมาณของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ที่เจือปนอยู่ในก๊าซชีวภาพนั้นๆ หรือระดับความบริสุทธิ์ของก๊าซชีวภาพ ก๊าซธรรมชาติที่มีส่วนผสมของก๊าซมีเทน (Methane), โพรเพน (Propane) และบิวเทน (Butane) ให้ค่าความร้อนประมาณ $37,300 \text{ kJ/m}^3$ ในถังย่อยแบบแอนแอโรบิก

(Anaerobic digester) มีก๊าซอินทรีย์เกิดขึ้นจำนวนมากขึ้นอยู่กับลักษณะน้ำเสียหรือของเสียที่ป้อนเข้าระบบ ขั้นตอนการเกิดก๊าซชีวภาพจากสารโมเลกุลใหญ่ดังแสดงในรูปที่ 2.6 โดยส่วนใหญ่จะเป็นก๊าซมีเทน (CH_4) ประมาณ 60-65% และ CO_2 ประมาณ 35- 38% ส่วนที่เหลือประมาณ 2% จะเป็นก๊าซอื่นๆ ซึ่งได้แก่ ก๊าซแอมโมเนีย (Ammonia, NH_3), ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (Carbon Monoxide, CO), ก๊าซคาร์บอนไดซัลไฟด์ (Carbon-disulphide, CS_2), ก๊าซไนโตรเจน (Nitrogen, N_2), ก๊าซไนตรัสออกไซด์ (Nitrous Oxide, N_2O), H_2 และ H_2S สัดส่วนของก๊าซขึ้นอยู่กับปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมหลายอย่างในขณะเดินระบบ ได้แก่ อุณหภูมิ, องค์ประกอบของน้ำเสีย, pH, alkalinity, Hydraulic Retention Time (HRT), Solid Retention Time (SRT), สารพิษ, ธาตุอาหารและธาตุอาหารเสริม [17]



รูปที่ 2.6 ขั้นตอนการเกิดก๊าซมีเทนเริ่มต้นจากสารประกอบโมเลกุลใหญ่

ในกรณีเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการเดินระบบ จะส่งผลให้ระบบย่อยแอนแอโรบิกผลิตก๊าซสารประกอบอินทรีย์ (Organic Compound) ซึ่งประกอบด้วยก๊าซมีเทนและสารอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile Organic Compound, VOC) ซึ่งประกอบด้วย กรดไขมันระเหยง่าย (Volatile Fatty Acid, VFA) สารประกอบไนโตรเจนและสารประกอบซัลเฟอร์ (Volatile Sulfur Compound, VSC) สาร VSC เกิดจากการย่อยสารประกอบโปรตีน (การเกิดก๊าซมีเทนขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของน้ำ ที่สภาวะมาตรฐาน (ความดันบรรยากาศ 1 atm และ 0°C) ระบบแอนแอโรบิกสามารถเปลี่ยนสารประกอบในรูป COD ไปเป็น CH_4 เท่ากับ $0.35 \text{ L CH}_4 / \text{g COD}$ (COD ของมีเทนคือปริมาณออกซิเจนที่ใช้สำหรับออกซิไดซ์มีเทนไปเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ)

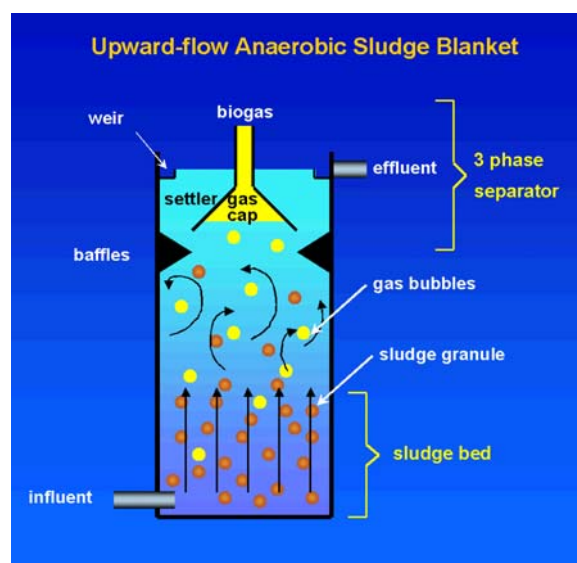
2.4.1 ลักษณะน้ำสมบัติของน้ำเสีย (Wastewater Characteristics)

เสียที่เหมาะสมสำหรับการบำบัดแบบแอนแอโรบิกเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพควรมีค่า COD มากกว่า 1,500 mg/L และอุณหภูมิสูง (25-35°C) ถ้าน้ำเสียมีค่า COD น้อยกว่า 1,500 mg/L การเลือกใช้ระบบที่ใช้ออกซิเจนจะมีความเหมาะสมมากกว่า (Metcalf & Eddy, 2003) โดยทั่วไปน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมจะมีค่า COD สูง ซึ่งสามารถที่จะนำระบบแอนแอโรบิกมาใช้ได้เป็นอย่างดี

2.4.2 ระบบหมักไร้อากาศแบบไหลขึ้น (Upflow Anaerobic Sludge Blanket: UASB)

ระบบหมักแบบไหลขึ้นหรือเรียกสั้นๆว่าระบบยูเอเอสบี (UASB) มีหลักการทำงานคือ มีการลำเลียงน้ำเสียเข้าไปในถังหมักแบบไร้อากาศ โดยมีลักษณะการไหลย้อนขึ้น (Upflow) ทำให้น้ำเสียเข้าสัมผัสชั้นตะกอนของกลุ่มจุลินทรีย์ทางด้านล่าง จุลินทรีย์จะทำหน้าที่ย่อยสลายของเสียที่อยู่ในรูปสารอินทรีย์ ทำให้ปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำลดลงได้ร้อยละ 9-95 และเปลี่ยนไปเป็นก๊าซชีวภาพซึ่งประกอบด้วยก๊าซมีเทนในอัตราส่วนร้อยละ 60-65 [20]

กลไกการทำงานของระบบยูเอเอสบีนี้เป็นการเพาะเลี้ยงและคัดเลือกจุลินทรีย์ประเภท Anaerobic bacteria ในถังปฏิกรณ์สูงประมาณ 4.0-7.5 เมตร จนเกิดเป็นเม็ดตะกอน (Granular sludge) ขนาด 1-5 มิลลิเมตร ซึ่งจะมีน้ำหนักมากลอยอยู่ด้านล่าง โดยมีความเข้มข้นของตะกอนอยู่ที่ 20-100 กก./ลบ.ม. เมื่อทำการจ่ายน้ำเสียเข้าทางด้านล่างของถังปฏิกรณ์ น้ำเสียจะค่อยๆไหลผ่านชั้นเม็ดตะกอนขึ้นมา ทำให้มลสารต่างๆถูกกำจัดออกไป เนื่องจากเป็นปฏิกรณ์แบบไร้ออกซิเจนจะทำให้เกิดก๊าซชีวภาพขึ้น ซึ่งจะช่วยในการกวนน้ำเสียให้สัมผัสกับตะกอนแบคทีเรียได้อย่างสมบูรณ์ ด้านบนของถังปฏิกรณ์จะมีอุปกรณ์ที่เรียกว่า Gas Solid Separator (GSS) ซึ่งจะทำหน้าที่แยกก๊าซออกจากตะกอนแบคทีเรียและน้ำทิ้ง น้ำทิ้งจะระบายไปยังระบบบำบัดขั้นที่สอง (Secondary Treatment) อีกทีหนึ่ง ส่วนก๊าซชีวภาพถูกรวบรวมส่งไปใช้เป็นเชื้อเพลิงเนื่องจากมีก๊าซมีเทน (CH_4) อยู่ประมาณ 50-70% ตะกอนแบคทีเรียจะตกกลับลงไปยังด้านล่างของถังปฏิกรณ์ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 ลักษณะการทำงานของถังปฏิกรณ์แบบยูเอเอสบี [19]

2.4.3 ปัจจัยที่ใช้ควบคุมระบบยูเอเอสบี

- พีเอช สภาพต่างและกรดไขมันระเหยง่าย สภาพต่างและกรดไขมันระเหยง่ายมีความสัมพันธ์กับค่าพีเอชอย่างมากในแง่ของกลไกในการตรวจสอบและการควบคุมค่าพีเอชของระบบ โดยกรดไขมันระเหยง่ายที่ผลิตโดยพวกแบคทีเรียชนิดสร้างกรด (Acidogens) ซึ่งส่งผลให้ค่าพีเอชของระบบลดลงนั้นควรมีค่าประมาณ 200-400 มก./ล. ในเทอมของกรดอะซิติก ถ้าปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจะเป็นสัญญาณแสดงว่าระบบเสียสมดุล ถ้าพบว่าความเข้มข้นของกรดโพรไพโอนิกมากกว่า 1,000 มก./ล จะเป็นพิษต่อแบคทีเรีย ส่วนสภาพต่างในรูปไบคาร์บอเนตจะเป็นดั่งบ่งบอกถึงกำลังของบัฟเฟอร์ (Buffer capacity) ของระบบ โดยทั่วไปในการบำบัดแบบไร้ออกซิเจนควรมีค่าสภาพต่างประมาณ 1,500-2,000 มก./ลิตร ในเทอมของหินปูน
 - การรักษาปริมาณจุลินทรีย์ในระบบ การรักษาปริมาณจุลินทรีย์ในระบบมีความสำคัญมาก เพราะหากมีการหลุดลอก (wash-out) ของแบคทีเรียมากเกินไปจะทำให้การย่อยสลายสารอินทรีย์ลดลง ส่งผลให้ประสิทธิภาพของระบบลดลงด้วย ซึ่งการรักษาปริมาณจุลินทรีย์ในระบบโดยใช้อุปกรณ์แยกก๊าซ น้ำเสียและตะกอนจุลินทรีย์ (Gas-Solid Separator) ซึ่งเป็นอุปกรณ์การแยก 3 สถานะ ที่ติดตั้งเพื่อให้สามารถกักตะกอนจุลินทรีย์ให้อยู่ในระบบได้นาน
 - อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์นับเป็นปัจจัยสำคัญอีกอย่างหนึ่งที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ การตกตะกอนของจุลินทรีย์และก๊าซที่เกิดขึ้นในระบบบำบัดน้ำเสียควรมีอัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ต่ำกว่าอัตราสูงสุดในการกำจัดสารอินทรีย์ของระบบ เพราะถ้ามีมากกว่า เช่น กรณี Shock load จะทำให้ประสิทธิภาพของระบบลดลง
 - การกระจายน้ำเสียเข้าสู่ถังปฏิกริยาเนื่องจากระบบยูเอเอสบีเป็นระบบที่ไม่ต้องการออกซิเจน จึงไม่มีการเติมอากาศที่ช่วยในการกวน ดังนั้น ในการจัดระบบการจ่ายน้ำเสียเข้าจะต้องมีความเหมาะสม เพื่อให้เกิดการสัมผัสกันระหว่างตะกอนจุลินทรีย์และน้ำเสียอย่างทั่วถึงและป้องกันการไหลลัดวงจร (Short circuit) และเป็นช่อง (Channeling) ของน้ำเสีย
 - รูปแบบถังปฏิกริยาสำหรับผลิตก๊าซชีวภาพอาจจะออกแบบเป็นขั้นตอนเดียว (Single-stage) หรือสองขั้นตอน(Two-stage) โดยแต่ละรูปแบบสามารถแบ่งตามภาระบรทุกและการเดินระบบได้ 2 ประเภทได้แก่ 1. Low-Rate Digesters เป็นถังปฏิกริยาแบบพื้นฐาน มีระยะเวลาเก็บกัก (Hydraulic Retention Time, HRT) 30-60 วัน ภาระบรทุก (Organic Loading Rate, OLR) $0.64-1.60 \text{ kg/m}^3\text{-day}$ การเดินระบบอาจจะทำการผสม (Mixing), การเติมน้ำเสียและการเอาสลัดจ์ (Sludge) ออกเป็นครั้งคราว [21] 2. High-Rate Digesters ถังปฏิกริยาชนิดนี้มีระยะเวลาเก็บกัก (HRT) 10-20 วัน ภาระบรทุก $2.4-6.4 \text{ kg/m}^3\text{-day}$ การเดินระบบจะทำการผสม, เติมน้ำเสียและการทิ้งสลัดจ์อย่างต่อเนื่อง [21]
- ถังปฏิกริยา Upflow Anaerobic Sludge Bed (UASB) เป็นที่นิยมออกแบบและนำมาใช้อย่างแพร่หลาย เป็นระบบที่มีการศึกษาวิจัยและพัฒนาอย่างต่อเนื่องทั้งรูปแบบถังปฏิกริยา กลไกทางชีวเคมีและชีววิทยา ลักษณะถังปฏิกริยาเป็นการรวมกันระหว่างส่วนที่เกิดปฏิกริยาย่อยสลาย ส่วนการตกตะกอนและส่วนแยกก๊าซ (3 phase separator) การที่ระบบมีแบคทีเรียความเข้มข้นสูง(20,000-30,000 mgVSS/L)

สามารถบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นประมาณ 5,000 mg COD/L ได้อย่างดีที่เวลาเก็บกัก (Hydraulic Retention Time, HRT) 10 ชม. และอายุสัณฐาน (Solids Retention Time, SRT) 50 วัน ความไม่สัมพันธ์กันระหว่างค่า HRT กับ SRT เป็นผลให้ระบบ UASB มีความสามารถในการบำบัดมากกว่าระบบทั่วไป [22]

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการ

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

3.1.2 อุปกรณ์ในการสกัดไบโอดีเซล

- ขวดแก้วเก็บตัวอย่าง
- Autoclave
- ผ้ากรองไขมัน
- เครื่องแก้ว

3.1.2 อุปกรณ์ในการผลิตก๊าซมีเทนโดยระบบบำบัดน้ำเสียที่มีการหมักแบบไหลขึ้น (Up-flow

Anaerobic Sludge Blanket: UASB)

- ชุดหมักไร้อากาศแบบไหลขึ้น
- ชุดดักก๊าซชีวภาพ
- ปั๊มรีด (Static pump)
- ถังพลาสติกเก็บน้ำเสีย

3.1.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ทั่วไป

- ชอกห์เลต
- ตู้อบลมร้อน
- เครื่องชั่งตวงวัด 4 ตำแหน่ง
- เครื่องแก้ว
- ชุดวิเคราะห์ซีไอดี
- เครื่องวิเคราะห์ไนโตรเจน
- สารเคมี

3.2 วิธีการดำเนินการวิจัย

3.2.1 การดำเนินการทดลองการสกัดไบโอดีเซลจากไขมันและน้ำมันในน้ำเสีย

- ทำการเก็บรวบรวมไขมันและน้ำมันจากโรงงานแปรรูปอาหารโดยใส่ภาชนะที่มีฉนวนกันความร้อนที่เก็บรวบรวมได้
- ในการสกัดไบโอดีเซลต้องใช้เมทิลแอลกอฮอล์เป็นตัวสกัดโดยมีกรดซัลฟุริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในสภาวะปิดที่อุณหภูมิประมาณ 121°C. จะได้ไบโอดีเซลในรูปของโมโนอัลคิลเอสเทอร์ (mono-alkyl esters) โดยมีการเปลี่ยนแปลงสภาวะ เช่น ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาและเวลาในการทำปฏิกิริยา

- นำไบโอดีเซลที่สกัดได้ไปวิเคราะห์ความหนืดโดยเครื่องโครมาโตกราฟฟี
- วิเคราะห์หาจุดคุ้มทุนของการสกัดไบโอดีเซล

3.2.2 การดำเนินการทดลองการผลิตก๊าซชีวภาพโดยการหมักน้ำเสียในสภาวะไร้อากาศโดยระบบไหลขึ้นแบบสองขั้นตอน

- การเริ่มต้นเดินระบบ (Start up) ยูเอเอสบี

นำน้ำเสียมารวมกับเชื้อจุลินทรีย์ชนิดไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobe microorganism) โดยใช้ปั๊มรีด (Peristaltic pump) ในการสูบน้ำตะกอนเข้าไปในถังปฏิกริยา โดยในช่วงเริ่มต้นระบบจะใช้น้ำเสีย 25% แล้วค่อยเพิ่มอัตราส่วนไปจนใช้น้ำเสีย 100% เพื่อให้จุลินทรีย์สามารถปรับตัวเข้ากับน้ำเสียได้

- การดำเนินการทดลอง

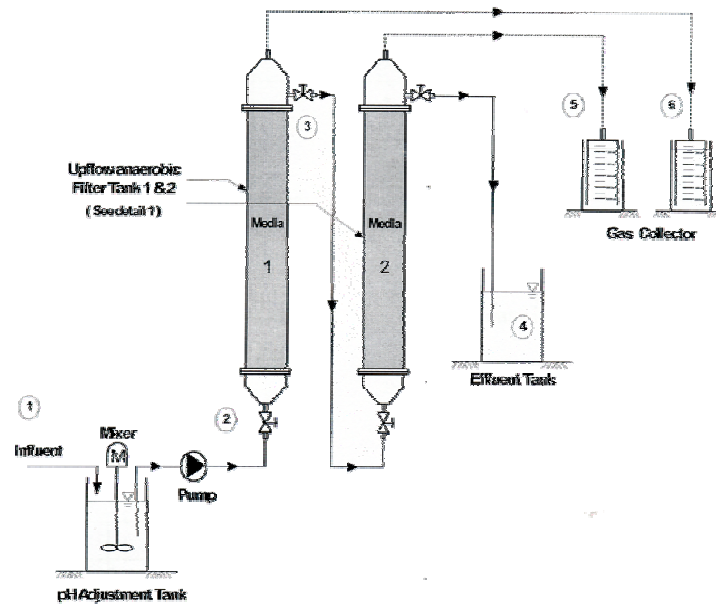
ในการศึกษาวิจัยจะมีการใช้แบบจำลองถังกรองไร้อากาศ 2 ชุดต่อขนานแบบอนุกรมโดยใช้น้ำเสียจริงจากโรงงานแปรรูปอาหาร โดยทำการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียและปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้น ระยะเวลาที่เก็บน้ำเสียในระบบจะใช้ระยะเวลาที่ 2 วัน ซึ่งจะทำให้การเก็บตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 พารามิเตอร์ที่ต้องการศึกษาและวิธีการวิเคราะห์ [24]

พารามิเตอร์	วิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์
pH	pH meter
COD	Open Reflux
BOD	Winkler Method (Azide Modification)
Nitrogen	Distillation and Titration
Suspended Solid	Gravimetric method
Alkalinity	Titration
Volatile Fatty Acid (VFA)	Titration
Biogas	Water replacement

3.2.3 การติดตั้งอุปกรณ์ในการศึกษาวิจัยและจุดเก็บตัวอย่าง

การเก็บตัวอย่างจะเก็บที่จุดที่ 1 และจุดที่ 4 และเก็บปริมาณก๊าซในจุดที่ 5 และ 6 ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 การติดตั้งเครื่องมือและอุปกรณ์ของระบบยูเอสบี (UASB)

- หมายเหตุ
- จุดที่ 1 น้ำเสียเข้าถังเก็บน้ำเข้า
 - จุดที่ 2 น้ำเสียเข้าระบบ
 - จุดที่ 3 น้ำเสียที่ออกจากถังที่ 1
 - จุดที่ 4 น้ำเสียที่ออกจากถังที่ 2 (ออกจากระบบ)
 - จุดที่ 5 ชุดวัดปริมาณก๊าซชุดที่ 1
 - จุดที่ 6 ชุดวัดปริมาณก๊าซชุดที่ 2

3.3 สถานที่ดำเนินงาน

- 1) ห้องปฏิบัติการวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม สถาบันวิจัยเคมี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ตำบลคลองหก อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี
- 2) ห้องปฏิบัติการวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ชั้น 4 คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ตำบลคลองหก อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี

บทที่ 4

ผลการดำเนินงานและการวิเคราะห์

4.1. ข้อมูลพื้นฐานของโรงงานผลิตลูกชิ้น

4.1.1 อัตราการใช้น้ำที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต

อัตราการใช้น้ำที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตลูกชิ้น โรงงานมีปริมาณ 25 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน โดยจะมีการใช้น้ำเมื่อมีการผลิต (ต้มลูกชิ้น) ล้างเครื่องจักร และห้องน้ำของสำนักงาน ซึ่งจะเกิดน้ำเสียประมาณ 20-22 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน

4.1.2 อัตราการผลิตที่เกิดขึ้นต่อวัน



รูปที่ 4.1 กระบวนการผลิตลูกชิ้นของโรงงาน [24]



รูปที่ 4.2 ผลิตภัณฑ์จากการผลิตของโรงงานลูกชิ้น

ในการผลิตลูกชิ้นของโรงงานในแต่ละวัน ใช้ปริมาณเนื้อวัวและเนื้อหมูในการผลิตลูกชิ้นอย่างละ 2 ตันต่อวัน มีการผลิตทั้งลูกชิ้นเนื้อและลูกชิ้นหมู โดยจะผลิตทุกวันยกเว้นวันพระและจะมีผู้มารับ

ไปจัดจำหน่ายในช่วงเช้ามืดของทุกวัน น้ำเสียที่เกิดขึ้นจะเป็นน้ำที่ใช้ต้มลูกชิ้นที่มีอุณหภูมิสูงและน้ำล้างเครื่องจักรและอุปกรณ์ในการผลิตซึ่งมีค่าความสกปรกสูง

4.1.3 ไขมันที่ออกมาจากกระบวนการผลิต

ลักษณะของไขมันที่ปนเปื้อนมากับน้ำเสียจะมีลักษณะเป็นตะกอนลอย สีขาวขุ่น มีกลิ่นเหม็น มีการเจือปนของเศษเนื้อที่มาจากการผลิตลูกชิ้น



รูปที่ 4.3 ไขมันน้ำเสียในบ่อน้ำทิ้งของโรงงาน

4.1.4 ลักษณะทางกายภาพของไขมันน้ำเสีย

ไขมันน้ำเสียมาจากโรงงานลูกชิ้นซึ่งมีลักษณะทางกายภาพของไขมันน้ำเสียที่ใช้ทดลองมีลักษณะเป็นของเหลวข้นสีเทาอ่อน มีกลิ่นเหม็นปริมาณไขมัน (Scum) ในน้ำเสียที่ออกมาจากกระบวนการผลิต ประมาณ 10 กิโลกรัมต่อวัน ดังรูปที่ 4.4 จากการวิเคราะห์หาค่ากรดไขมันอิสระ (FFA) ด้วยวิธีการไตเตรท พบว่ามีปริมาณกรดไขมันอิสระ (FFA) เท่ากับ 5.725 %



รูปที่ 4.4 ไขมันสัตว์ที่ได้จากน้ำเสียของโรงงานผลิตลูกชิ้น

4.1.5. ลักษณะสมบัติของน้ำเสียและไขมัน (Scum) ของโรงงานลูกชิ้น

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์น้ำเสียของโรงงานลูกชิ้น

พารามิเตอร์	ผลการวิเคราะห์ (ค่าเฉลี่ย)
พีเอช (มก. /ล.)	6.7
ซีโอดี (มก. /ล.)	1,760
บีโอดี (มก./ล.)	809
ฟอสฟอรัสทั้งหมด (มก. /ล.)	23.86
ของแข็งละลายน้ำ (มก. /ล.)	18,644
ของแข็งแขวนลอย (มก. /ล.)	1,000
FOG ในน้ำเสีย (มก. /ล.)	33.5
แอมโมเนียไนโตรเจน (มก. /ล.)	129.5
สารอินทรีย์ไนโตรเจน (มก. /ล.)	163.8

จากผลการวิเคราะห์น้ำเสียของโรงงานผลิตลูกชิ้น จะพบว่าน้ำเสียมีค่าสกปรกในรูปของซีโอดีสูงพอสมควร คือ ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 1,760 มิลลิกรัมต่อลิตร ในขณะที่ของแข็งแขวนลอยจะมีค่าประมาณ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งจากการสังเกตจะพบว่า ของแข็งแขวนลอยนั้นจะเกิดจากเศษเนื้อและเศษไขมันของการใช้เนื้อสัตว์เป็นวัตถุดิบหลักในการผลิต ในขณะที่ไขมันมีค่าไม่สูงมากนัก

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์ของไขมันที่ลอยปกคลุมบนผิวน้ำ (Scum) จากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานลูกชิ้น

พารามิเตอร์	ผลการวิเคราะห์ (ค่าเฉลี่ย)
ซีโอดี (มก. /ล.)	14,000
ฟอสฟอรัสทั้งหมด (มก. /ล.)	19.48
สารอินทรีย์ไนโตรเจน (มก. /ล.)	644
FOG ของไขมัน (มก. /ล.)	79.9
ค่าความชื้นของไขมันลอย (%)	87.55

ในขณะที่นำของแข็งที่ลอยอยู่บนผิวน้ำมาทำการวิเคราะห์ จะพบว่า มีค่าซีโอดีสูงมาก ประมาณ 14,000 มิลลิกรัมต่อลิตร สารอินทรีย์ในโตรเจน ประมาณ 644 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่าไขมันโดยวิเคราะห์จากการสกัดโดยเครื่องชอกเลต พบว่ามีค่าอยู่ที่ 79.9 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังนั้นจึงเป็นไปได้ว่าการที่ค่าซีโอดีของไขมันเหล่านี้มีค่าสูงมาก อาจเนื่องมาจาก ไขมันเหล่านี้มีทั้งสารอินทรีย์ และไขมันซึ่งอยู่ในรูปของสารประกอบคาร์บอนในปริมาณสูง จึงทำให้ค่าการวิเคราะห์ซีโอดีมีค่าสูงตาม

4.2. ผลการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมและการทดลองในสภาวะปิด

จากการทดลองเพื่อหาความเหมาะสม ของสารทำปฏิกิริยาและปริมาณสารละลายไคส์ที่จะต้องใช้นั้น ช่วงแรกของการทดลองได้มีการใช้เมทานอลเป็นสารทำปฏิกิริยาและมีโซเดียม ไฮดรอกไซด์ เป็นสารละลายไคส์ เมื่อสิ้นสุดการทำปฏิกิริยาพบว่าสารละลายได้รวมตัวกันเป็น เจลแข็งซึ่งคล้ายสบู่ ไม่สามารถแยกเป็นน้ำมันไบโอดีเซลออกมาได้จึงตรวจสอบค่า กรดไขมันอิสระ (FFA) พบว่ามีค่าเกิน 1 % ซึ่งควรต้องมีการกำจัดกรดไขมันอิสระ (FFA) ออกจากระบบหรือเปลี่ยนตัวละลายไคส์ เป็นกรด จึงได้มีการเปลี่ยนการทดลอง โดยใช้กรดซัลฟูริกเข้มข้นเป็นตัวละลายไคส์แทน โดยการทำปฏิกิริยานั้นเป็นการทำปฏิกิริยาบน Hotplate stirrer ผลการทดลองพบว่า ให้ผลิตภัณฑ์น้อยมาก ซึ่งน่าจะเกิดจากการสูญหายไคส์ไปเนื่องจากการระเหยของเมทานอลในสภาวะเปิดจึงมีการปรับเปลี่ยนการทดลองอีกครั้ง โดยการทำปฏิกิริยาในสภาวะปิดที่มีอุณหภูมิสูงและมีความดัน ซึ่งก็คือการนำไปทำปฏิกิริยาในเครื่อง Autoclave ที่มีอุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียสความดัน 23 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว จากที่ทราบไว้ว่า Transesterification process ของน้ำมันและไขมัน เป็นกระบวนการที่นิยมใช้มากที่สุดในการผลิตเมทิลเอสเทอร์ ไตรกลีเซอไรด์จะกลายเป็นเอสเทอร์ที่ความดันบรรยากาศและอุณหภูมิประมาณ 50-70 องศาเซลเซียส โดยทำปฏิกิริยากับเมทานอลที่มากเกินไปในตัวเร่งปฏิกิริยาชนิด alkaline ภายใต้อุณหภูมิที่ต่ำเกินไปนี้ต้องมีการดั่งกรดไขมันอิสระ (free fatty acids) ออกจากน้ำมันก่อน ส่วนทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ภายใต้อุณหภูมิที่ต่ำเกินไปนี้สามารถป้อนน้ำมันได้เลยโดยไม่ต้องมีการดั่งกรดไขมันอิสระออกจากน้ำมันก่อน [8] โดยการศึกษาในครั้งนี้มีการศึกษาในเรื่องของปริมาณของกรดซัลฟูริกเข้มข้นเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และเวลาที่ทำปฏิกิริยาที่เหมาะสมที่ให้ปริมาณ methyl ester สูงสุด ซึ่งผลการทดลองสามารถแสดงในหัวข้อต่อไป

การทดลองในขวดปิดสนิท (Screw capped bottle) จะแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วน คือ การทดลองในชุดหาปริมาณของสารที่ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และทำปฏิกิริยาการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมของเวลา โดยมีรายละเอียดดังนี้

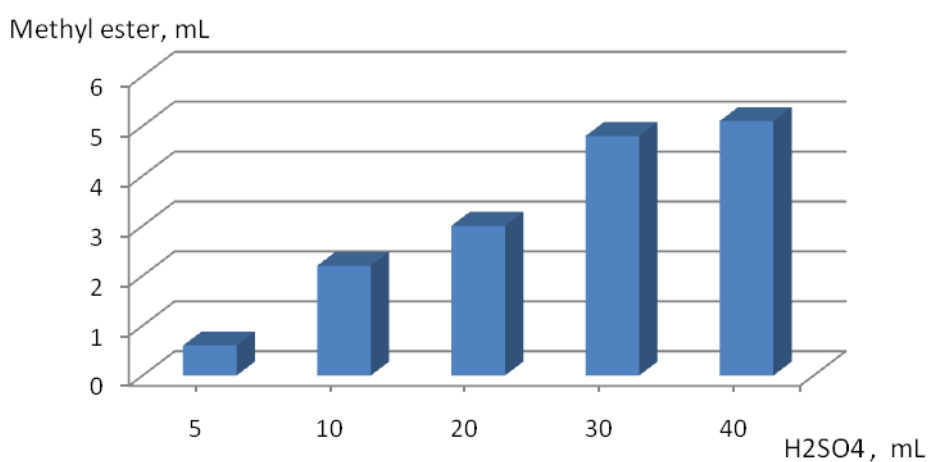
4.2.1 ชุดทำปฏิกิริยาการศึกษาหาปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาของเมทิลเอสเทอร์

จากการทดลองพบว่า เมื่อนำเมทานอลผสมกับไขมันน้ำเสีย และเมื่อใส่กรดซัลฟูริกเข้มข้นลงไปจะเกิดควัน และสีของสารผสมจะเปลี่ยนจากสีเทาอ่อนของไขมันน้ำเสียเป็นสีดำ โดยการศึกษาใช้กรดซัลฟูริกเข้มข้นเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ได้มีการทดลองที่อัตราส่วนของกรดซัลฟูริกเข้มข้นกับเมทานอลที่อัตราส่วนต่างๆแล้วพบว่ายังใช้ปริมาณกรดซัลฟูริกน้อยเท่าใดผลิตภัณฑ์ที่ได้จะเป็นลักษณะ

ลแข็งซึ่งไม่สามารถแยกชั้นออกจากกลีเซอไรด์ได้ จึงต้องมีการเพิ่มปริมาณกรดซัลฟูริกเข้มข้นและหาอัตราส่วนของการทำปฏิกิริยาใหม่จึงได้ปริมาณกรดซัลฟูริกที่ใช้คือที่ปริมาตร 10, 20 และ 30 มิลลิลิตร ที่เวลา 30 นาที และเมทานอลในอัตราส่วน 1:1.5 โดยน้ำหนักของไขมันน้ำเสีย ดังแสดงในตารางที่ 4.3

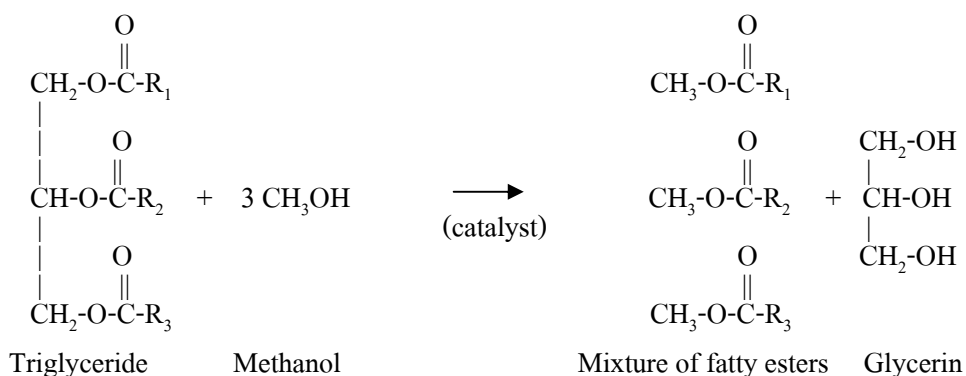
ตารางที่ 4.3 ผลการหาปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาของเมทิลเอสเตอร์ที่เวลา 30 นาที

No	Weight (g)	Volume (ml)	H ₂ SO ₄ (ml)	Catalyst concentration (% w/v)	temperature (° C)	Methanol (ml)	methyl ester (ml)	% Yield
1	90	100	5	5	121	174	0.6	0.6
2	90	100	10	10	121	174	2.2	2.2
3	90	100	20	20	121	174	3	3
4	90	100	30	30	121	174	4.8	4.8
5	90	100	40	40	121	174	5.1	5.1



รูปที่ 4.5 ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาของเมทิลเอสเตอร์

จากรูปที่ 4.5 พบว่า ที่ปริมาณกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 10 มิลลิลิตร ได้เมทิลเอสเทอร์ที่ต่ำและคิดเป็นร้อยละผลได้ (% Yield) เท่ากับ 17.67 เมื่อทำการแยกน้ำมันออกมา เมื่อตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องน้ำมันเกิดการแข็งตัวมีลักษณะเป็นของแข็ง เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาไม่สมบูรณ์ เพราะปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาน้อย [17] ซึ่งการปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน คือปฏิกิริยาแตกพันธะของเอสเทอร์ด้วยแอลกอฮอล์ โดยมีกรดเป็นสารเร่งปฏิกิริยา ผลิตภัณฑ์ที่ได้ คือ เอสเทอร์และกลีเซอริน ดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 ปฏิกิริยาการเกิดไบโอดีเซล

ที่ปริมาณกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 20, 30 มิลลิลิตร นั้นจะทำให้ได้เมทิลเอสเทอร์ที่มากขึ้นคิดเป็นร้อยละผลได้ (% Yield) เท่ากับ 3.0 และ 4.8 ตามลำดับ โดยเฉพาะที่ปริมาณกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 30 มิลลิลิตร ซึ่งพบว่าที่ปริมาณกรดซัลฟิวริกเข้มข้นมากขึ้นนั้นทำให้เมทิลเอสเทอร์เพิ่มขึ้นและเมื่อทำการแยกน้ำมันออกมา เมื่อตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องน้ำมันไม่เกิดการแข็งตัว มีลักษณะเป็นของเหลวสีน้ำตาลเข้ม มีค่าความเป็นกรด-ด่างประมาณ 2 (pH 2) ในขณะที่ตัวอย่างที่ใช้กรดซัลฟิวริกมากขึ้นเป็น 40 มิลลิลิตรนั้นมีเมทิลเอสเทอร์เพิ่มเป็น 5.1 มิลลิลิตร ซึ่งมีค่าเพิ่มจากการใช้กรดซัลฟิวริก 30 มิลลิลิตรเพียง 0.3 มิลลิลิตร จึงไม่มีความจำเป็นที่ต้องใช้กรดมากขึ้น

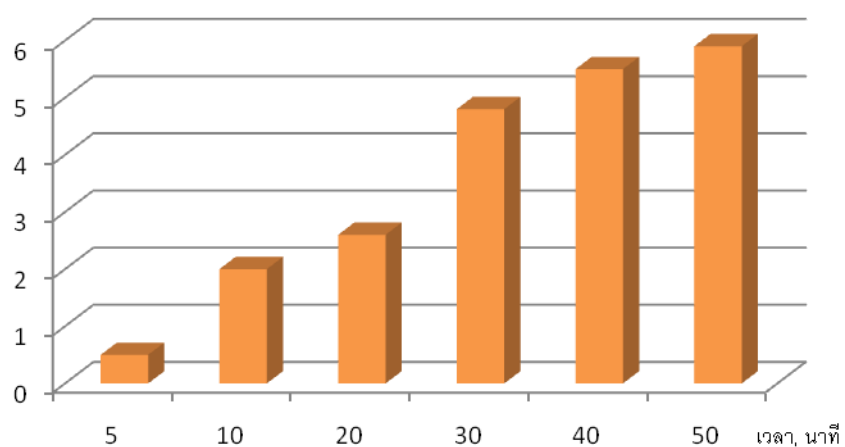
4.2.2 ชุดทำปฏิกิริยาศึกษาหาเวลาที่ทำปฏิกิริยาที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาของเมทิลเอสเทอร์

โดยการศึกษาที่เวลา 10, 20 และ 30 นาที ใช้กรดซัลฟิวริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ปริมาณ 30 มิลลิลิตร และใช้เมทานอลในอัตราส่วน 1:1.5 โดยน้ำหนักของไขมันน้ำเสีย ดังแสดง ในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ผลการหาเวลาทำปฏิกิริยาที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาของเมทิลเอสเตอร์

No	Weight (g)	Volume (ml)	H ₂ SO ₄ (ml)	time (min)	temperature (° C)	Methanol (ml)	methyl ester (ml)	% Yield
1	90	100	30	5	121	174	0.6	0.6
2	90	100	30	10	121	174	2.2	2.2
3	90	100	30	20	121	174	3	3
4	90	100	30	30	121	174	4.8	4.8
5	90	100	30	40	121	174	5.1	5.1
6	90	100	30	50	121	174	0.6	0.6

ปริมาณ, มิลลิลิตร



รูปที่ 4.6 ปริมาณเมทิลเอสเตอร์ที่ได้จากเวลาทำปฏิกิริยาที่เหมาะสม

ผลของเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาต่อการเกิดเมทิลเอสเทอร์ พบว่าการเพิ่มเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา ทำให้แนวโน้มการเกิดเมทิลเอสเทอร์เพิ่มมากขึ้น ดังรูปที่ 4.7 ที่เวลา 10 นาที ได้เมทิลเอสเทอร์ที่ต่ำคิดเป็นร้อยละผลได้ (% Yield) เท่ากับ 2.2 และเมื่อทำการแยกน้ำมันออกมา เมื่อตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องน้ำมันเกิดการแข็งตัวมีลักษณะเป็นของแข็ง เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาไม่สมบูรณ์ ที่เวลา 20 และ 30 นาที นั้นจะทำให้ได้เมทิลเอสเทอร์ที่มากขึ้นคิดเป็นร้อยละผลได้ (% Yield) เท่ากับ 3.0 และ 4.8 ตามลำดับ เพราะเวลาในการทำปฏิกิริยาน้อย ซึ่งพบว่า เวลาที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาและการเกิดเมทิลเอสเทอร์ โดยการเกิดเมทิลเอสเทอร์เพิ่มขึ้นเมื่อเวลาการทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น [17] แต่เมื่อใช้เวลามากขึ้นคือ 40 และ 50 นาที จะได้เมทิลเอสเทอร์เพิ่มมากขึ้นแบบอัตราลดลงจึงไม่ควรที่จะมาใช้ในการศึกษา

4.2.3 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของเมทิลเอสเทอร์

ผลจากการวิเคราะห์คุณสมบัติของเมทิลเอสเทอร์ ค่าที่ได้แสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของเมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตได้

รายการที่วิเคราะห์	ค่ามาตรฐานของไบโอ โอดีเซลตาม มาตรฐาน ของ ประเทศไทย	ค่ามาตรฐานของไบโอ ดีเซลตามมาตรฐาน ของประเทศ สหรัฐอเมริกา	ค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ ของน้ำมันไบโอดีเซล		
	เกณฑ์อัตราสูงต่ำ		A	B	C
ความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15 °C กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร	860 - 900	-	878	869	860
ความหนืด ณ อุณหภูมิ 40°C เซนติสโตก	3.5 - 5.0	1.9 – 6.0	4.12	5.35	5.47
จุดวาบไฟ องศาเซลเซียส	ไม่ต่ำกว่า 120	ไม่ต่ำกว่า 100	126	104	110
ค่าความร้อน กิโลจูล	-	-	36.46	38.79	40.41

หมายเหตุ A คือ ตัวเร่งปฏิกิริยากรดซัลฟิวริกเข้มข้น 30 มิลลิลิตร ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที

B คือ ตัวเร่งปฏิกิริยากรดซัลฟิวริกเข้มข้น 20 มิลลิลิตร ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที

C คือ ตัวเร่งปฏิกิริยากรดซัลฟิวริกเข้มข้น 30 มิลลิลิตร ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 20 นาที

จากผลการวิเคราะห์ความหนาแน่นของไบโอดีเซลที่ผลิตได้ ค่าที่ได้อยู่ระหว่าง 860 -900 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร เป็นไปตามมาตรฐานเมทิลเอสเตอร์ ซึ่งใช้ระบุสมบัติเบื้องต้นทางกายภาพของไบโอดีเซล

จากผลการวิเคราะห์ค่าความหนืดของไบโอดีเซลที่ผลิตได้ พบว่าไบโอดีเซลชนิด A ซึ่งมีค่าความหนืดอยู่ในช่วง 3.5 - 5.0 เซนติสโตก เป็นไปตามมาตรฐานเมทิลเอสเตอร์ แต่ไบโอดีเซลชนิด B และ C มีค่าความหนืดมากกว่า 5.0 เซนติสโตก ซึ่งการมีค่าความหนืดสูงเนื่องจากไขมันสัตว์มีร้อยละกรดไขมันอิ่มตัวสูงกว่าในน้ำมันพืช ไขมันสัตว์จึงมีลักษณะเฉพาะ เช่น เป็นของแข็งหรือไขที่อุณหภูมิห้อง มีจุดหลอมเหลวสูงและมีค่าความหนืดสูงด้วย ถ้าในน้ำมันมีความหนืดสูงเกินไป จะส่งผลให้การจ่ายน้ำมันเข้าสู่กระบะเปิดในห้องเผาไหม้กระจายตัวไม่ดี มีผลต่อการเผาไหม้เชื้อเพลิงโดยตรง ทำให้เผาไหม้ไม่สมบูรณ์ เกิดเขม่า อีกทั้งยังสิ้นเปลืองน้ำมัน[16] แต่เมื่อเทียบกับค่ามาตรฐานไบโอดีเซลของสหรัฐอเมริกาแล้ว พบว่า ไบโอดีเซลชนิด A, B และ C นั้น อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน

จากผลการวิเคราะห์หาจุดวาบไฟของไบโอดีเซลที่ผลิตได้ พบว่าค่าที่ได้น้อยกว่า 120 องศาเซลเซียส ซึ่งไม่เป็นไปตามมาตรฐานเมทิลเอสเตอร์ เนื่องจากมีแอลกอฮอล์ในรูปของเมทานอลหลงเหลืออยู่ในไบโอดีเซล ทำให้จุดวาบไฟที่ได้มีค่าต่ำ การกำหนดจุดวาบไฟที่สูงนี้ส่งผลให้ต้องกำจัดแอลกอฮอล์ โดยเฉพาะเมทานอลออกจากไบโอดีเซล จุดวาบไฟนั้นนอกจากจะใช้ประเมินการจุดติดไฟของผลิตภัณฑ์แล้ว ยังเป็นดัชนีที่บ่งชี้ถึงความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์เมื่อเกิดการเผาไหม้อีกด้วย โดยสรุปแล้วจุดวาบไฟจะมีความสำคัญในแง่ของความปลอดภัยในการเก็บรักษา และขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำมันเชื้อเพลิง [16] แต่เมื่อเทียบกับค่ามาตรฐานไบโอดีเซลของสหรัฐอเมริกาแล้ว พบว่า ไบโอดีเซลชนิด A, B และ C นั้น อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ส่วนผลการวิเคราะห์ค่าความร้อนของไบโอดีเซลที่ผลิตได้ ค่าที่ได้อยู่ระหว่าง 36 - 40 กิโลจูล

4.2.4 การศึกษาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์สิ่งแวดล้อม

ในส่วนของการศึกษาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์สิ่งแวดล้อม สำหรับงานวิจัยนี้เพื่อวิเคราะห์ถึงศักยภาพในการผลิตพลังงานทดแทน ร่วมกับการเพิ่มมูลค่าของของเสียและความคุ้มค่าในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากวัตถุดิบที่เป็นของเสียจากโรงงานผลิตลูกชิ้น การคำนวณค่าใช้จ่ายในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากไขมันจากระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานลูกชิ้น

โดยคำนวณจากปริมาณไขมันจากระบบบำบัดฯ 1 ลิตร และสารเคมีที่จำเป็นในการทำปฏิกิริยา รวมทั้งอุปกรณ์ที่จำเป็นในการสกัดน้ำมันไบโอดีเซล ดังแสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการใช้วัตถุดิบ สารเคมีและอุปกรณ์ในการสกัดน้ำมันไบโอดีเซลจากไขมันจากระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานลูกชิ้น

วัตถุดิบ สารเคมีและอุปกรณ์	ปริมาณที่ใช้	มูลค่า (บาท)
1. ไขมันจากระบบบำบัดฯ	1 ลิตร	-
2. กรดซัลฟูริก	300 มิลลิลิตร	60.00
3. เมทานอล	1.74 ลิตร	82.00
4. Autoclave (2.0 kW)	2 ยูนิต	11.00
รวม		153 บาท

จากข้อมูลดังตาราง 4.6 แสดงให้เห็นว่าต้องใช้ค่าใช้จ่ายเป็นจำนวนเงิน 153 บาท ในการสกัดน้ำมันไบโอดีเซลจากไขมันจากระบบบำบัดน้ำเสียปริมาตร 1 ลิตร ซึ่งจากผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.3 แสดงให้เห็นว่าสำหรับสภาวะที่สกัดน้ำมันไบโอดีเซลได้ปริมาณมากที่สุดเมื่อใช้ไขมันจากระบบบำบัดน้ำเสียปริมาตร 1 ลิตร จะได้ผลิตภัณฑ์เป็นน้ำมันไบโอดีเซล เท่ากับ 48 มิลลิลิตร คิดเป็นมูลค่าเท่ากับ 1.44 บาท (คิดราคาอ้างอิงของน้ำมันไบโอดีเซลลิตรละ 30 บาท)[25] จากข้อมูลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าเมื่อคิดค่าความคุ้มทุนทางเศรษฐศาสตร์ของการผลิตพลังงานทดแทนโดยใช้ไขมันจากระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานลูกชิ้นเป็นวัตถุดิบตั้งต้น พบว่า ขาดทุนเป็นเงิน จำนวน 151.56 บาท ในการสกัดน้ำมันไบโอดีเซลจากไขมันจากระบบบำบัดน้ำเสียปริมาตร 1ลิตร ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการสกัดน้ำมันไบโอดีเซลจากไขมันจากระบบบำบัดน้ำเสียเป็นวิธีการที่ไม่เหมาะสมและสิ้นเปลือง แต่การศึกษานี้ก็ทำให้ทราบว่าสามารถประยุกต์ใช้ทรัพยากรในรูปแบบอื่นๆ ไม่ว่าจะเป็นของเสียในรูปน้ำเสียหรือไขมันจากระบบบำบัดมาใช้ผลิตเป็นพลังงาน และเพิ่มมูลค่าได้ ซึ่งจะเป็นการใช้ทรัพยากรให้เกิดประโยชน์สูงสุดและใช้อย่างคุ้มค่า

4.3 การผลิตพลังงานทดแทนในรูปของก๊าซมีเทนโดยการนำน้ำเสียจากโรงงานผลิตลูกชิ้นมาทำการบำบัดด้วยระบบการหมักแบบไหลขึ้น (Up-Flow Anaerobic Sludge Blanket: UASB)

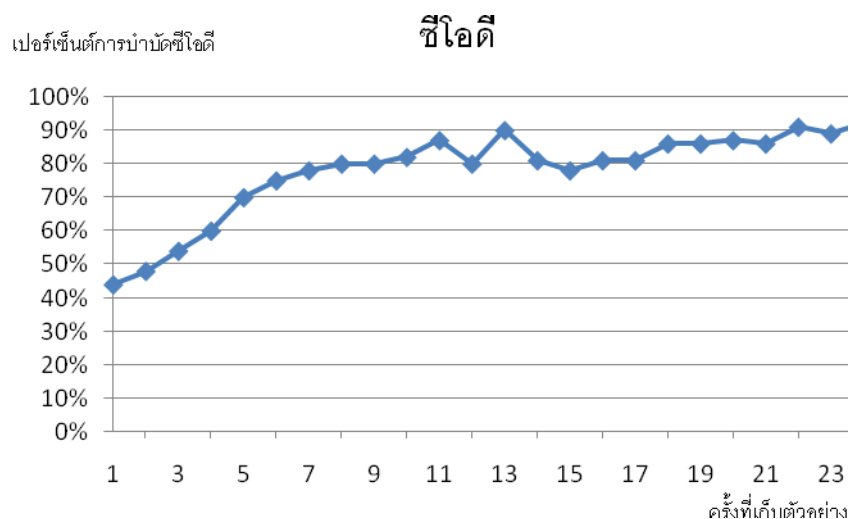
4.3.1 ซีโอดี

จากตารางข้อมูลน้ำเสียตารางที่ 4.1 และ 4.2 ของโรงงานผลิตลูกชิ้นจะพบว่า มีค่าซีโอดีสูงมาก และมีธาตุอาหารอื่นจำพวกไนโตรเจนและฟอสฟอรัสค่อนข้างสูงจึงเหมาะที่จะนำมาศึกษาการผลิตพลังงานทดแทนในรูปของก๊าซมีเทนโดยจะใช้วิธีหมักในสภาวะที่ไม่มีอากาศโดยมีการป้อนน้ำเสียของโรงงานเข้าไปในระบบบำบัดฯ ซึ่งการผลิตก๊าซมีเทนโดยวิธีนี้จะเป็นการบำบัดน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตของโรงงานไปในเวลาเดียวกันซึ่งผลการบำบัดน้ำเสียมีดังต่อไปนี้

อัตราส่วนระหว่าง BOD/COD ของน้ำเสีย จำกัด ประมาณ 0.46 สำหรับอัตราส่วนอย่างต่ำ COD:N:P ของน้ำเสียจากโรงงานผลิตลูกชิ้นคือ 100:4.5:0.2 สำหรับอัตราส่วนของ COD:N:P ที่

เหมาะสมสำหรับการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนประมาณ 100:0.6:0.1 [20] ในการเดินระบบต้องเติม Na_2CO_3 เพื่อเพิ่มความเป็นด่าง เนื่องจากค่าความเป็นด่างของน้ำเสียในโรงงานไม่เหมาะสม

ค่าซีไอดีของน้ำเสียที่เข้าระบบบำบัดน้ำเสียมีค่าอยู่ในช่วง 1,500-2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อระบบมีการดำเนินไปถึงจุดที่ประสิทธิภาพการบำบัดเริ่มคงที่จะมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียในรูปของสารประกอบคาร์บอนอยู่ในช่วง 85-92% ซึ่งน้ำเสียที่ได้รับการบำบัดแล้วจะมีค่าซีไอดีเหลืออยู่ประมาณ 175-190 มิลลิกรัมต่อลิตรซึ่งก็ยังมีค่าสูงเกินกว่ามาตรฐานน้ำทิ้งที่สามารถปล่อยทิ้งลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะได้ (มาตรฐานกรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนดไว้ว่า น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วสามารถปล่อยทิ้งลงสู่ลำน้ำสาธารณะต้องมีค่าซีไอดีไม่เกิน 120 มิลลิกรัม/ลิตร)[23] ถ้าต้องการให้ได้ค่าซีไอดีตามมาตรฐานน้ำทิ้งจำเป็นต้องมีระบบบำบัดน้ำเสียขั้นที่สองมาต่อพ่วงเพื่อเป็นการรักษาระบบนิเวศวิทยาของแหล่งน้ำ จากการศึกษาวิจัยพบว่าการทำงานที่จะทำให้ระบบการทำงานคงที่จะใช้ค่าซีไอดีเป็นดัชนีชี้วัด เพราะค่าซีไอดีเป็นการศึกษาถึงการย่อยสลายสารอินทรีย์จำพวกสารประกอบคาร์บอนและในสภาวะที่ไม่มีอากาศจะได้ผลิตภัณฑ์คือ ก๊าซชีวภาพ ซึ่งจะมีก๊าซมีเทนเป็นองค์ประกอบอยู่ด้วย ดังนั้นเพื่อให้ได้ปริมาณก๊าซมีเทนสูงสุดจำเป็นต้องป้อนน้ำเสียเข้าระบบอย่างต่อเนื่องและต้องรักษาซึ่งปัจจัยที่จะเป็นต่อการเกิดก๊าซมีเทน ซึ่งก็คือ สภาพต่างในน้ำและกรดไขมันระเหยง่าย ในการศึกษาครั้งนี้ระบบบำบัดน้ำเสียใช้เวลาในการปรับสภาพจนเสถียร(Steady state) ใช้เวลาประมาณ 80 วัน



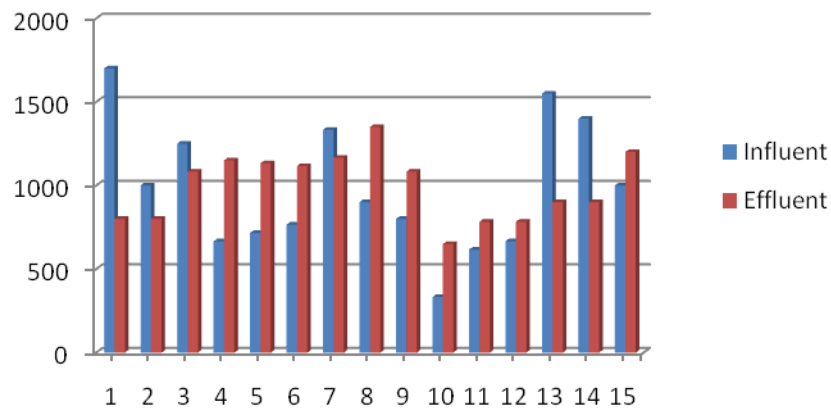
รูปที่ 4.7 ประสิทธิภาพในการบำบัดซีไอดีในน้ำเสียของโรงงานผลิตลูกชิ้น

4.3.2 สภาพด่าง (Alkalinity)

ค่าความเป็นด่างของน้ำเสียที่เข้าระบบนั้นมีค่าความเป็นด่างไม่คงที่และมีค่าค่อนข้างต่ำจึงเพิ่มความเป็นด่างด้วยโซเดียมไบคาร์บอเนตแก่ น้ำเข้าระบบ และค่าความเป็นด่างของน้ำเข้าระบบอยู่ในช่วง 330 – 1,700 มิลลิกรัมต่อลิตร ในเทอมของหินปูนและในน้ำออกจากถังปฏิกิริยา อยู่ในช่วง 650 – 1,300

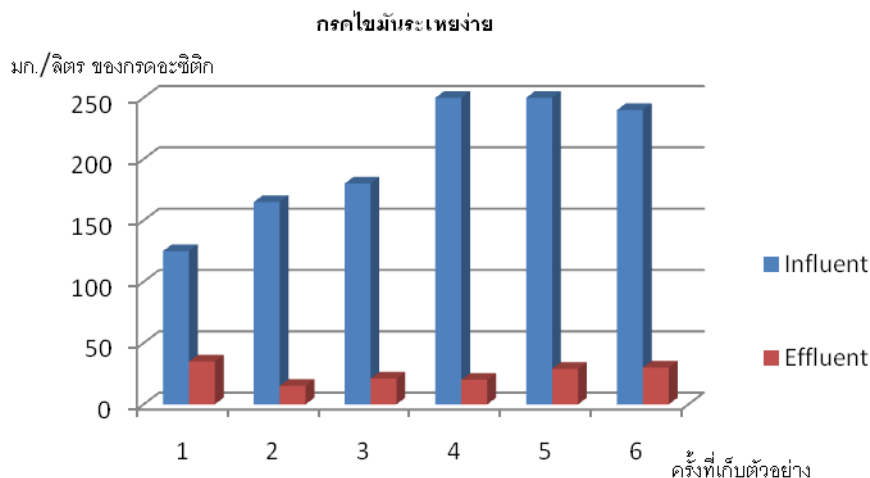
มิลลิกรัมต่อลิตร ในเทอมของหินปูน โดยค่าที่เหมาะสมของระบบแบบไร้อากาศอยู่ในช่วง 2,000 – 3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ในเทอมของหินปูน [7] ซึ่งความเป็นด่างในระบบบำบัดมีค่าความเป็นด่างน้อยกว่าค่าที่เหมาะสมของระบบบำบัดแบบไร้อากาศ ดังนั้น ควรเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์เพื่อให้ค่าความเป็นด่างอยู่ในช่วงที่เหมาะสม และเพื่อให้จุลินทรีย์ผลิตกรดในระบบทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากเมื่อน้ำมีสภาพเป็นกรด จุลินทรีย์ที่ผลิตมีเทนจะหยุดการทำงานทำให้กระบวนการในการผลิตก๊าซมีเทนหยุดลงไป ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำของระบบด้วย ดังนั้นจึงต้องปรับความเป็นด่างให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสม

มก./ลิตร ในเทอมของหินปูน



รูปที่ 4.8 สภาพด่างของน้ำเสีย(Alkalinity) ที่เกิดขึ้นในระบบยูเอเอสบี

4.3.3 กรดไขมันระเหยง่าย (Volatile organic acid)



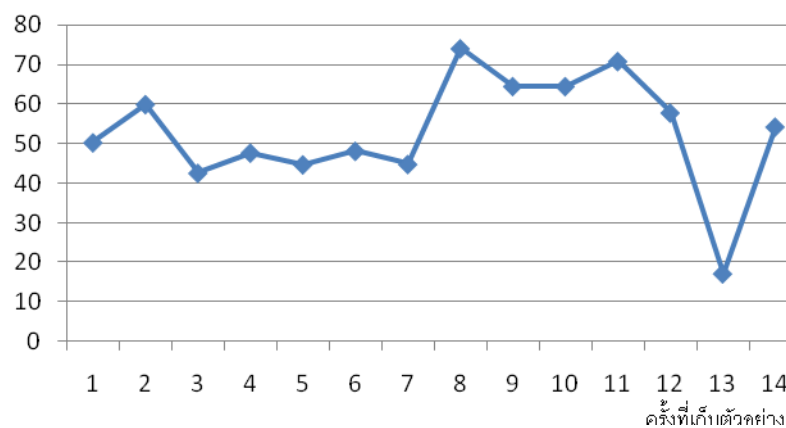
รูปที่ 4.9 ปริมาณกรดระเหยง่าย (Volatile organic acid) ที่เกิดขึ้นในระบบยูเอเอสบี

สำหรับค่ากรดไขมันระเหยง่ายของน้ำเสีย จะวิเคราะห์น้ำเสียเข้าระบบ และออกจากระบบบำบัด เพื่อตรวจสอบปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายที่เกิดขึ้น แล้วนำไปเปรียบเทียบกับความเป็นค่าเพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพการเกิดกรดกับกำลังบำบัดเพอร์ซึ่งปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายของน้ำเข้าระบบอยู่ในช่วง 125 – 250 มิลลิกรัมต่อลิตร ในเทอมของกรดอะซิติก ปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายของน้ำผ่านการบำบัดถึงปฏิกิริยา อยู่ในช่วง 15–35 มิลลิกรัมต่อลิตรในเทอมของกรดอะซิติก ซึ่งจากภาพจะพบว่ากรดไขมันระเหยง่ายมีค่าไม่คงที่ในระยะแรกของการทดลอง และเริ่มคงที่ในช่วงท้ายการทดลอง แสดงว่าในช่วงแรกของการทดลองจุลินทรีย์ที่สร้างกรดยังทำงาน ไม่คงที่ สำหรับค่าของกรดไขมันระเหยง่ายควรอยู่ในช่วง 50 – 500 มิลลิกรัม/ลิตร ในเทอมของกรดอะซิติก [7] และจากการทดลองแสดงว่า ค่ากรดไขมันระเหยง่ายที่เกิดขึ้น อยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อระบบบำบัดแบบไร้อากาศ

สำหรับอัตราส่วน 0.1–0.4 และมีค่าเฉลี่ย 0.2 ซึ่งอัตราส่วนของความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยง่ายต่อค่าความเป็นค่าที่เหมาะสมไม่ควรสูงกว่า 0.4 และ สูงสุดไม่ควรเกิน 0.8 เพราะเมื่อจุลินทรีย์ผลิตกรดไขมันมากเกินไป จนค่าพีเอชลดต่ำลงจุลินทรีย์ที่ผลิตก๊าซมีเทน จะถูกยับยั้งการเจริญเติบโต [7] จากการทดลองแสดงว่าระบบบำบัดมีค่าอัตราส่วนระหว่างความเป็นค่ากับกรดไขมันระเหยง่ายอยู่ในช่วงที่เหมาะสม

4.3.4 ไนโตรเจน (Organic nitrogen)

เปอร์เซ็นต์การบำบัดอินทรีย์ไนโตรเจน

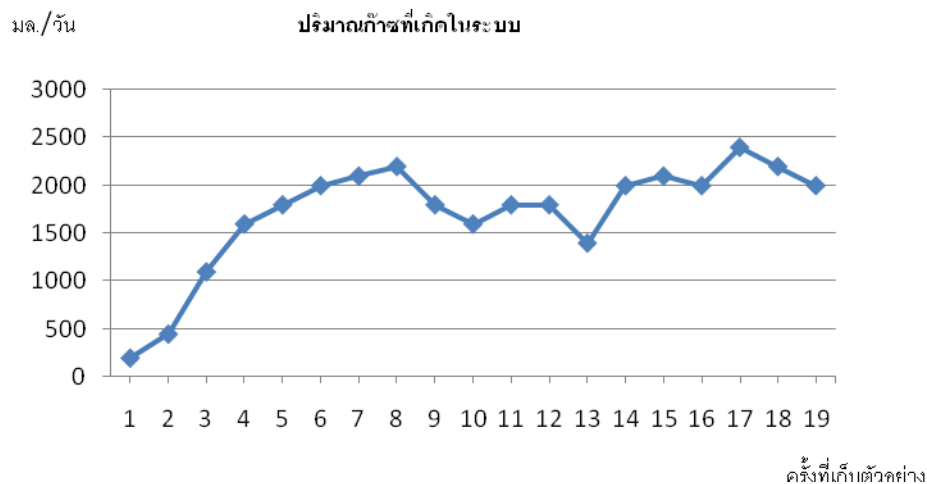


รูปที่ 4.10 ประสิทธิภาพในการบำบัดไนโตรเจนในน้ำเสียของโรงงานผลิตลูกชิ้น

จากการวิเคราะห์ปริมาณสารอินทรีย์ไนโตรเจนของน้ำเสียก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดพบว่า มีค่าอยู่ในช่วง 93 – 197 มิลลิกรัมต่อลิตร น้ำเสียที่ออกจากระบบบำบัดในถึงปฏิกิริยา มีค่าปริมาณสารอินทรีย์ไนโตรเจนของน้ำออกจากระบบอยู่ในช่วง 46 – 97 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งประสิทธิภาพของการกำจัดอินทรีย์ไนโตรเจนอยู่ที่ประมาณ 54% จะเห็นได้ว่าค่าสารอินทรีย์ไนโตรเจนของน้ำเสียที่ออกจากระบบ

ยังมีค่าที่มากสาเหตุเนื่องมาจากตะกอนจุลินทรีย์ที่หลุดออกมากับน้ำเสียจากก๊าซเป็นตัวพาตะกอนจุลินทรีย์ขึ้นมาเนื่องจากโดยปกติก๊าซจะลอยขึ้นด้านบนของน้ำ ก๊าซจึงพาตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่สามารถตกตะกอนได้ทัน เนื่องจากข้อจำกัดความสูงของถังจึงทำให้สารอินทรีย์ในโตรเจนที่เกิดจากตะกอนจุลินทรีย์ยังมีค่าที่สูงอยู่ จากกราฟจะเห็นได้ว่าน้ำที่ผ่านการบำบัดยังไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งคือ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร [23] ต้องมีระบบบำบัดขั้นที่สองมารองรับต่อไป

4.3.5 ปริมาณของก๊าซชีวภาพ (Biogas product)



รูปที่ 4.11 ปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นในระบบบำบัดน้ำเสียแบบยูเอสบี

ในช่วงที่ระบบบำบัดแบบยูเอสบีเริ่มเสถียรปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นมีปริมาณในช่วง 1800-2400 มิลลิตร ซึ่งในก๊าซชีวภาพจะมีก๊าซมีเทนซึ่งเป็นพลังงานทดแทนที่ต้องการในอัตราส่วนร้อยละ 60-65 [20] จากการส่งตัวอย่างไปวิเคราะห์หาอัตราส่วนของก๊าซมีเทนพบว่า ก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในระบบมีอัตราส่วนร้อยละของมีเทนประมาณ 62 เปอร์เซ็นต์แสดงว่าระบบสามารถผลิตมีเทนเพื่อเป็นพลังงานทดแทนได้เป็นอย่างดี เมื่อมีการจุดไปที่ปลายท่อดักก๊าซชีวภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบยูเอสบีแล้วพบว่ามีประกายไฟติดดังรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.12 การทดลองจุดไฟที่ปลายท่อค้ำก๊าซชีวภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบยูเอเอสบี

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

การศึกษาการใช้ประโยชน์ของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมลูกชิ้นในการผลิตพลังงานทดแทน เป็น การศึกษาถึงการผลิตพลังงานทดแทน 2 รูปแบบคือ การผลิตไบโอดีเซลจากไขมันและน้ำมันที่ปล่อยมา กับน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตลูกชิ้น โดยใช้เมทานอลเป็นตัวสกัดโดยมีกรดซัลฟูริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และ การผลิตก๊าซมีเทนจากการหมักน้ำเสียจากโรงงานด้วยระบบหมักไร้อากาศแบบไหลขึ้น 2 ขั้นตอน (Two-stage Upflow Anaerobic Sludge Blanket : UASB) โดยใช้ระยะเวลาเก็บกักที่ 2 วัน ซึ่งจะมี การศึกษาถึง ความเป็นไปได้ในการสกัดน้ำมันไบโอดีเซลจากไขมันและน้ำมันที่ปนเปื้อนมากับน้ำเสีย ศึกษาความคุ้มค่าด้านเศรษฐศาสตร์สิ่งแวดล้อมในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำเสียและเพื่อทดสอบ ประสิทธิภาพของการบำบัดน้ำเสียและผลิตก๊าซชีวภาพของระบบหมักไร้อากาศแบบไหลขึ้น(UASB)

5.1 สรุปผลการทดลอง

1) การศึกษาหาความเป็นไปได้ในการสกัดไบโอดีเซลจากไขมันและน้ำมันที่ปล่อยมากับน้ำเสีย ของโรงงานผลิตลูกชิ้นนั้นพบว่า ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสมคือกรดซัลฟูริกเนื่องจากมีค่ากรดไขมัน อิสระเกิน 5% เมื่อทดสอบโดยการเปลี่ยนแปลงปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาและเวลาในการสกัดพบว่า ปริมาณไขมันจากน้ำเสีย 100 มิลลิลิตร จะมีปริมาณกรดที่เหมาะสมเท่ากับ 30 มิลลิลิตรและเวลาที่ เหมาะสมในการทำปฏิกิริยา คือ 30 นาที แต่ก็ได้เมทิลเอสเทอร์ในปริมาณที่น้อยมากคือ 4.8 มิลลิลิตร ที่ เป็นเช่นนี้อาจเนื่องมาจากปริมาณความชื้นในไขมันที่ใช้มีค่าสูงมากถึง 87% จึงเป็นภาวะที่ไม่เหมาะสม ต่อการผลิตไบโอดีเซล ซึ่งจะเห็นชัดเมื่อคำนวณความคุ้มค่าทางการผลิต ซึ่งพบว่า ค่าใช้จ่ายรวมถึง วัตถุดิบในการสกัดคิดเป็นมูลค่ารวมออกมาเป็นเงินจำนวน 153 บาท และได้เมทิลเอสเทอร์เพียง 48 มิลลิลิตรนั้น ไม่เหมาะสมเป็นอย่างยิ่งที่จะนำของเสียประเภทนี้มาทำในเชิงพาณิชย์

2) การศึกษาประสิทธิภาพการการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียของโรงงานผลิตลูกชิ้นโดยใช้ ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ (ยูเอเอสบี) ที่ระยะเวลาเก็บกัก (Hydraulic Retention Time: HRT) 2 วัน พบว่าถ้าเดินระบบบำบัดน้ำเสียจนคงที่มีเสถียรภาพ (Steady State) จะมีการเกิดก๊าซชีวภาพ 1,800-2,400 มิลลิลิตร/วัน ซึ่งมีมีเทนเป็นองค์ประกอบในก๊าซชีวภาพนั้นประมาณ 62% ซึ่งเป็นปริมาณก๊าซ มีเทนที่ค่อนข้างสูงสามารถนำไปใช้ผลิตพลังงานได้ในครัวเรือนหรือเชิงพาณิชย์ และในการศึกษารั้งนี้ มีผลพลอยได้ที่สามารถกำจัดของเสียที่ปนเปื้อนมากับน้ำเสียได้มีประสิทธิภาพสูงมาก ซึ่งก็คือ สามารถลดค่าซีโอดีในน้ำเสียได้สูงถึง 92%

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. การสกัดไบโอดีเซลไม่ควรมีน้ำเข้ามาปนเปื้อน แต่ไขมันที่นำมาใช้ในครั้งนี้เมื่อทำการอบไถ่น้ำจะใช้เวลานานและไขมันมีการเปลี่ยนรูปทำให้ไม่สามารถสกัดเมทิลเอสเทอร์ออกมาได้จึงจำเป็นต้องทำการศึกษาโดยที่ยังมีน้ำอยู่ในตัวอย่าง
2. ถ้ามีการศึกษาการสกัดน้ำมันไบโอดีเซลจากไขมันในน้ำเสียควรเป็นโรงงานที่มีไขมันจำนวนมากเช่น โรงงานผลิตน้ำมันปาล์ม เป็นต้น จะทำให้ได้ผลผลิตในปริมาณที่คุ้มทุน
3. การผลิตก๊าซชีวภาพควรใช้ระบบดักเก็บก๊าซชีวภาพที่เป็นระบบปิดมิดชิดและปลอดภัย เพราะการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ใช้การแทนที่น้ำในการวัดปริมาณก๊าซชีวภาพ จึงอาจมีการรั่วไหลของก๊าซชีวภาพสู่ชั้นบรรยากาศได้ง่าย

บรรณานุกรม

- [1] เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2539. การบำบัดน้ำเสีย. กรุงเทพฯ ; มิตรชนราการพิมพ์.
- [2] วีระพล วงษ์ประพันธ์ . 2547. “ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำมันและไขมันในน้ำเสียจากโรงครัวโรงพยาบาลด้วยจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพEM.” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาอนามัยสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- [3] มุกิตา ยันบุรพา , ลักษณะศักดิ์ พอดิงาม , และกัญญา บุญเกียรติ.2545. “ไบโอดีเซล (Biodiesel) จากน้ำมันพืช 3 ชนิด.”วารสารวิทยาศาสตร์.ฉบับที่ 56 (กุมภาพันธ์):78-84
- [4] ปิ๋ว อุ๋นใจ ,และสยาม ภพลือชัย.2544. ไบโอดีเซลเชื้อเพลิงแห่งยุคสมัย. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก: <http://www.navy.mi.th/dockyard/biodiesel.html> (10 เมษายน 2549)
- [5] จิราวัลย์ แลบัว. 2530. “การเตรียมเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันพืชโดยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน.” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- [6] Ma,F.,Hanna,A.M.1999. “Biodiesel production : review.”Journal of Bioresource Technology.” Vol.70.pp:1-15.
- [7] Demirbas, A. 2003. Biodiesel fuels from vegetable oils via catalytic and non-catalytic supercritical alcohol transesterifications and other methods : a survey. Energy Conversion and Management. 44 : 2093-2109.
- [8] U.R.Kreutzer, J. Am. Oil chem. 1984. Soc. 61(2) : 343-348.
- [9] กองบรรณาธิการ.2544.ไบโอดีเซลจะเป็นทางเลือกของไทยหรือไม่.เทคนิค:128-132
- [10] พิสมัย เจนวนิชปัญญกุล.2543.ไบโอดีเซล: พลังงานทางเลือก. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก: http://www.tistr.or.th/t/publication/page_area_show_bc.aps? (10 มกราคม 2548)
- [11] ทรายพงษ์ วิทิตศาสน์ , สุขญา นิตวัฒนนานนท์ , นุจรี เลห์ประเสริฐ , และธนาทิพย์ อัสวผดุงสิทธิ์. 2546. การศึกษาความเป็นไปได้ในการนำน้ำมันพืชที่ประกอบอาหารมาใช้ประโยชน์ทดแทนในด้านพลังงาน (ส่วนที่ 2) .กรุงเทพฯ: สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.
- [12] กรมธุรกิจพลังงาน.2548. กำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซล.[ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก: <http://bta.excise.go.th/biodisel.html>. (10 มีนาคม 2550)
- [13] กัญญา บุญเกียรติ, และสุกัญญา มากมี.2544. “ไบโอดีเซล: พลังงานทางเลือกใหม่สำหรับเครื่องยนต์ดีเซล.” วารสารวิทยาศาสตร์.ฉบับเดือนพฤษภาคม-มิถุนายน: 148-152.
- [14] อนรรักษ์ ปิตรีกษ์สกุล. 2548. “การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันที่ผ่านกระบวนการใช้แล้ว.” ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

- [15] คู่จันทร์ จันทร์ทองอ่อน. 2549. “การผลิตเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันเสียในบ่อน้ำทิ้งจากโรงงานปาล์ม.” วิทยานิพนธ์ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- [16] Ma, F., Clements, L.D. and Hanna, M.A. 1998. The Effect of Catalyst, and Water on Transesterification of Beef Tallow.
- [17] Metcalf & Eddy. (2003). Wastewater engineering: treatment and reuse. (4th ed.). Boston: McGraw Hill.
- [18] Annachhatre, A. P. and Amatya, P. L. (2000). UASB Treatment of Tapioca Starch Wastewater. J. Envir. Engrg. 126 (12): 1149-1152.
- [19] เข้าถึงได้จาก <http://www.uasb.org>
- [20] มั่นสิน ตันกุลเวศม์, 2542. เทคโนโลยีบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม. เล่ม 2. โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ
- [21] Reynolds, T. D. and Richards, P. A. (1996). Unit operations and processes in environmental engineering. Boston: PWS.
- [22] Kleerebezem, R. and Macarie, H. (2003). Treating industrial wastewater: Anaerobic digestion comes of age. AIChemJ. april: 56-64
- [23] ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2539) เรื่องกำหนดมาตรฐานควบคุม การระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม ลงวันที่ 3 มกราคม 2539 ตีพิมพ์ในราชกิจจานุเบกษา เล่มที่ 113 ตอนที่ 13 ลง วันที่ 13 กุมภาพันธ์ 2539
- [24] APHA, AWWA, WPCF.1985. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 16th ed., Washington, DC: APHA
- [25] เข้าถึงได้จาก <http://www.oknation.net/blog/energyclinic/2009/04/23/entry-1>

ภาคผนวก ก
ตารางผลการวิเคราะห์

ตารางผนวก ก.1 ผลการวิเคราะห์ซีโอดีและประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดี

ครั้งที่	วันที่	น้ำเข้าระบบ	น้ำออกจากระบบ	ประสิทธิภาพ(%)
1	12	1741	950	44%
2	16	1040	520	48%
3	19	1751	780	54%
4	23	1117	418	60%
5	26	2549	703	70%
6	32	2305	469	75%
7	37	1870	276	78%
8	39	1590	244	80%
9	47	1739	287	80%
10	49	3223	206	82%
11	50	2854	425	87%
12	51	2753	535	80%
13	52	2284	261	90%
14	53	2168	341	81%
15	56	1284	220	78%
16	58	1284	172	81%
17	66	1450	185	81%
18	67	1675	182	86%
19	69	1806	256	86%
20	71	1766	193	89%
21	73	1204	120	86%
22	76	2770	188	91%
23	78	3493	345	89%
24	80	3091	196	92%

ตารางผนวก ก.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารอินทรีย์ในโตรเจน

ครั้งที่	วันที่	น้ำเข้าระบบ	น้ำออกจากระบบ	ประสิทธิภาพการบำบัด (%)
1	26	143	71	50.35
2	32	175	70	60.00
3	39	129	74	42.64
4	47	155	81	47.74
5	54	172	95	44.77
6	56	139	72	48.20
7	58	156	86	44.87
8	66	197	51	74.11
9	69	175	62	64.57
10	71	158	56	64.55
11	73	158	46	70.88
12	76	178	75	57.86
13	78	93	77	17.20
14	80	162	74	54.32

ตารางผนวก ก.3 ผลการวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันระเหยง่าย

ครั้งที่	วันที่	น้ำเข้า	น้ำออกถัง A
1	66	125	35
2	67	165	15
3	69	180	21
4	71	250	20
5	73	250	29
6	76	240	30

ตารางผนวก ก. 4 ผลการวิเคราะห์สภาพความเป็นต่างของน้ำ

ครั้งที่	วันที่	น้ำเข้า	น้ำออกถัง A
1	26	1700	800
2	32	1000	800
3	50	1250	1083
4	52	666	1150
5	54	716	1133
6	56	766	1116
7	58	1333	1166
8	66	900	1350
9	67	800	1083
10	69	333	650
11	71	616	783
12	73	666	783
13	76	1550	900
14	78	1400	900
15	80	1000	1200

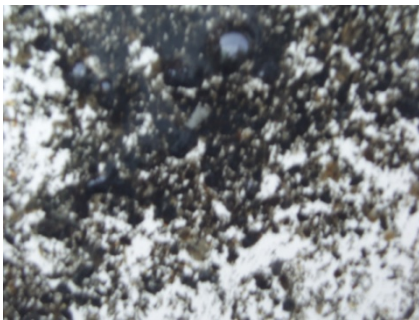
ตารางผนวก ก. 5 ผลการวิเคราะห์ปริมาณก๊าซ (24 ชั่วโมง)

ครั้งที่	วันที่	ปริมาณก๊าซ (มิลลิลิตร)
1	23	200
2	26	450
3	37	1100
4	39	1600
5	49	1800
6	50	2000
7	51	2100
8	52	2200
9	54	1800
10	56	1600
11	58	1800
12	66	1800
13	67	1400
14	69	2000
15	71	2100
16	73	2000
17	76	2400
18	78	2200
19	80	2000

ภาคผนวก ข
การเดินระบบหมักแบบไหลขึ้นสองขั้นตอน



รูปผนวก ข.1 ชุดเดินระบบหมักแบบไหลขึ้นสองขั้นตอน
(Two-stage Upflow Anaerobic Sludge Blanket)



รูปผนวก ข.2 ตะกอนจุลชีพในระบบหมักแบบไหลขึ้นสองขั้นตอน

ภาคผนวก ค
ประวัตินักวิจัย

หัวหน้าโครงการวิจัย

1. ชื่อ (ภาษาไทย) นางอรวรรณ โรจน์วิรุฬห์

(ภาษาอังกฤษ) Mrs.Orawan Rojviroon

2. เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน

3101000089065

3. ตำแหน่งปัจจุบัน

อาจารย์

4. หน่วยงานที่อยู่ติดต่อได้พร้อมโทรศัพท์และโทรสาร

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ต.คลองหก อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110

หมายเลขโทรศัพท์ : 02549-3418

หมายเลขโทรสาร : 02549-3412

e-mail : orawan_env@yahoo.com

5. ประวัติการศึกษา

ปีที่จบ การศึกษา	ระดับ ปริญญา	อักษรย่อปริญญา และชื่อเต็ม	สาขาวิชา การศึกษา	วิชาเอก	ชื่อสถาบัน	ประเทศ
2539	ตรี	วศบ. วิศวกรรมศาสตร บัณฑิต	วิศวกรรมศาสตร์	สิ่งแวดล้อม	มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีสุร นารี	ไทย
2545	โท	วศม. วิศวกรรมศาสตร มหาบัณฑิต	วิศวกรรมศาสตร์	สิ่งแวดล้อม	มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีสุร นารี	ไทย

6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ

ด้านวิศวกรรมสุขาภิบาล วิศวกรรมน้ำเสีย

การจัดการคุณภาพน้ำ

เคมีสิ่งแวดล้อม

7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ

งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว :

- 1) การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมสุราแช่พื้นบ้าน ปี 2547 (ผู้ร่วมวิจัย)

- 2) การใช้จุลินทรีย์และซีโอไลท์ในการลดปริมาณไนโตรเจนจากการเลี้ยงปลาในกระชังในบ่อดิน ปี 2549 (ผู้ร่วมวิจัย)
- 3) การใช้ประโยชน์จากสาหร่ายเกลียวทองเพื่อการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตสุราแช่พื้นบ้าน (2550-2551) (ผู้ร่วมวิจัย)
- 4) ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากน้ำชะขยะมูลฝอยด้วยโคโคซานร่วมกับระบบเอสบีอาร์ (2551) (ผู้ร่วมวิจัย)

ผู้ร่วมวิจัย(1)

1. ชื่อ (ภาษาไทย) นางสาวสุจิตรา ฤทธิสร

(ภาษาอังกฤษ) (Mrs.Sujaya Ritthisorn)

2. เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน

3200700287356

3. ตำแหน่งปัจจุบัน

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ระดับ 8

4. หน่วยงานที่อยู่ติดต่อได้พร้อมโทรศัพท์และโทรสาร

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ต.คลองหก อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110

หมายเลขโทรศัพท์ : 02549-4180

e-mail : ritthisorn_s@ yahoo.com

5. ประวัติการศึกษา

ปีที่จบการศึกษา	ระดับปริญญา	อักษรย่อปริญญาและชื่อเต็ม	สาขาวิชาการศึกษา	วิชาเอก	ชื่อสถาบัน	ประเทศ
2536	ตรี	วท.บ. วิทยาศาสตร์	จุลชีววิทยา	สิ่งแวดล้อม	มหาวิทยาลัยบูรพา	ไทย
2539	โท	วท.ม. วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม	วิทยาศาสตร์	วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	ไทย

6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ

ด้านการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม การจัดการสิ่งแวดล้อม

7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ

งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว :

- 1) การศึกษาคุณภาพน้ำของแม่น้ำยม ปี 2543 (หัวหน้าโครงการ)
- 2) การศึกษาปริมาณโลหะหนักในน้ำและดินตะกอนของแม่น้ำยม (2542) (ผู้ร่วมวิจัย)
- 3) การนำน้ำทิ้งภายในศูนย์กลางสถาบันเทคโนโลยีราชมงคลมาใช้เพาะเลี้ยงสาหร่ายเกลียวทองเพื่อผลิตเป็นอาหารสัตว์ (2548-50) (ผู้ร่วมวิจัย)

- 4) การใช้จุลินทรีย์และซีโอไลต์ในการลดปริมาณไนโตรเจนจากการเลี้ยงปลาตู้ในระบบปิด (2549) (หัวหน้าโครงการ)
- 5) การใช้ประโยชน์จากสาหร่ายเกลียวทองเพื่อการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตสุราแช่พื้นบ้าน (2550-2551) (หัวหน้าโครงการ)
- 6) ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากน้ำชะขยะมูลฝอยด้วยโคโคซาน ร่วมกับระบบเอสบีอาร์ (2551) (หัวหน้าโครงการ)

ผู้ร่วมวิจัย(2)

1. ชื่อ (ภาษาไทย) นายธรรมศักดิ์ นามสกุล โรจน์วิรุฬห์

(ภาษาอังกฤษ) Mr. Thammasak Rojviroon

2. เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน

3120200132613

3. ตำแหน่งปัจจุบัน

นักวิชาการสิ่งแวดล้อม

4. หน่วยงานที่อยู่ติดต่อได้พร้อมโทรศัพท์และโทรสาร

ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม

เทคโนโลยี ค.คลองห้า อ.คลองหลวง

จ.ปทุมธานี 12120

โทรศัพท์ 0-2577-1136

โทรสาร 0-25771138, 0-2577-2388

5. ประวัติการศึกษา

ปีจบการศึกษา	ระดับปริญญา	อักษรย่อปริญญาและชื่อเต็ม	สาขาวิชาการศึกษา	วิชาเอก	ชื่อสถาบัน	ประเทศ
2544	ตรี	วศบ. วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต	วิศวกรรมศาสตร์	สิ่งแวดล้อม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี	ไทย
2549	โท	วศม. วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต	วิศวกรรมศาสตร์	สิ่งแวดล้อม	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	ไทย

6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ

ด้านวิศวกรรมสุขาภิบาล วิศวกรรมระบบท่อภายในอาคาร

เกษตรอินทรีย์

การทดสอบปุ๋ยอินทรีย์ในแปลงเพาะปลูกจริง (On-Farm Testing)

7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ

1) งานวิจัยขณะศึกษาปริญญาโท เรื่อง การกำจัดไอระเหยของโทลูอินโดยกระบวนการโฟโตออกซิเดชัน. 2545. (เผยแพร่ผลงานในวารสารวิศวกรรมสาร มก.คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2546)

2) โครงการพัฒนาและส่งเสริมการใช้ประโยชน์ของเสียชีวมวล: กรณีศึกษาปุ๋ยหมักและน้ำสกัดชีวภาพ, 2550 (ผู้วิจัยร่วม)