



รายงานผลการวิจัย

เรื่อง

ศึกษาพารามิเตอร์ของน้ำเสียและวิธีการบำบัดน้ำเสียที่ผ่านจากระบวนการผลิต
ไบโอดีเซล : กรณีศึกษาโรงผลิตไบโอดีเซลขนาดเล็ก ภายในชุมชนของจังหวัดชุมพร

Investigation on Parameter of Wastewater and Wastewater Treatment from
produced Biodiesel : Case study from small-sized plant produced Biodiesel in
Chumphon Province

โดย

นางสาววิชุดา เอื้ออารี และคณะ

มหาวิทยาลัยแม่โจ้

2555

รหัสโครงการวิจัย มจ.1-54-034



รายงานผลการวิจัย

เรื่อง ศึกษาพารามิเตอร์ของน้ำเสียและวิธีการบำบัดน้ำเสียที่ผ่านจากระบวนการผลิต

ไบโอดีเซล : กรณีศึกษาโรงผลิตไบโอดีเซลขนาดเล็ก ภายในชุมชนของจังหวัดชุมพร

Investigation on Parameter of Wastewater and Wastewater Treatment from
produced Biodiesel :Case study from small-sized plant produced Biodiesel in
Chumphon Province

ได้รับการจัดสรรงบประมาณวิจัย ประจำปี 2554

จำนวน 145,000 บาท

หัวหน้าโครงการ

นางสาววิชุดา เอื้ออารี

ผู้ร่วมโครงการ

นายประสาทพร ก่ออวยชัย

นายจีระศักดิ์ วิชาสวัสดิ์

นายบุญโรช ศรีละพันธ์

งานวิจัยเสร็จสิ้นสมบูรณ์

27 ธันวาคม 2555

สารบัญเรื่อง

	หน้า
สารบัญตาราง	ข-ค
สารบัญภาพ	ง
บทคัดย่อ	1
Abstract	2
กิตติกรรมประกาศ	3
คำนำ	4-7
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	7
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	7-8
การตรวจเอกสาร	8-22
อุปกรณ์และวิธีการ	22-26
ผลการวิจัย	27-30
วิจารณ์ผลการทดลอง	31-32
สรุปผลการวิจัย	32-33
เอกสารอ้างอิง	34-35
ภาคผนวก ก	36-40

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1	ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของน้ำเสียจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล	22
ตารางที่ 2	ค่าเฉลี่ยของค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH), BOD (Biochemical Oxygen Demand) , COD (Chemical Oxygen Demand) และค่าน้ำมันและไขมัน (Fat, Oil & Grease) ของน้ำเสียจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลที่ผ่าน กระบวนการบำบัดโดยการเติมวัสดุดูดซับ (ถ่านกัมมันต์ :Activated carbon) ที่อัตราส่วนแตกต่างกัน	33

ตารางผนวกที่

หน้า

1.	ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำเสียจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลที่ผ่านการบำบัดโดยการเติมวัสดุดูดซับ (Activated carbon: AC) ที่อัตราส่วนแตกต่างกัน	42
2.	ปริมาณ BOD (Biochemical Oxygen Demand) ของน้ำเสียจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลที่ผ่านการบำบัดโดยการเติมวัสดุดูดซับ (Activated carbon: AC) ที่อัตราส่วนแตกต่าง	43
3.	ปริมาณ COD (Chemical Oxygen Demand) ของน้ำเสียจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลที่ผ่านการบำบัดโดยการเติมวัสดุดูดซับ (Activated carbon: AC) ที่อัตราส่วนแตกต่างกัน	44
4.	ปริมาณน้ำมันและไขมัน (Fat, Oil & Grease) ของน้ำเสียจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลที่ผ่านการบำบัดโดยการเติมวัสดุดูดซับ (Activated carbon: AC) ที่อัตราส่วนแตกต่างกัน	45

สารบัญภาพ

		หน้า
ภาพที่ 1	น้ำเสียที่ผ่านจากระบวนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากผลปาล์มดิบ	12
ภาพที่ 2	กระบวนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลขั้นพื้นฐาน	15
ภาพที่ 3	ปฏิกิริยาทางเคมีชนิด Transesterification ของไตรกลีเซอไรด์และเมทานอล	15
ภาพที่ 4	ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของโมเลกุลไตรกลีเซอไรด์กับเมทานอล	16
ภาพที่ 5	สมการแสดงปฏิกิริยา Saponification กับ Fatty Acid	17
ภาพที่ 6	กระบวนการผลิตไบโอดีเซลแบบแบตช์	17
ภาพที่ 7	กระบวนการผลิตไบโอดีเซลแบบต่อเนื่องในเครื่องปฏิกรณ์แบบ plug flow	18
ภาพที่ 8	แสดงตัวอย่างกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระด้วยปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน	19
ภาพที่ 9	กระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระในวัตถุดิบน้ำมัน	20
ภาพที่ 10	กระบวนการไฮโดรไลซิสและเอสเทอร์ฟิเคชัน	20
ภาพที่ 11	ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำเสียจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลที่ผ่าน การบำบัดโดยการเติมวัสดุดูดซับ (Activated carbon: AC) ที่อัตราส่วนแตกต่างกัน	34
ภาพที่ 12	ปริมาณ BOD (Biochemical Oxygen Demand) ของน้ำเสียจากกระบวนการ การผลิตไบโอดีเซลที่ผ่านการบำบัดโดยการเติมวัสดุดูดซับ (Activated carbon: AC) ที่อัตราส่วนแตกต่างกัน	34
ภาพที่ 13	ปริมาณ COD (Chemical Oxygen Demand) ของน้ำเสียจากกระบวนการผลิต ไบโอดีเซลที่ผ่านการบำบัดโดยการเติมวัสดุดูดซับ (Activated carbon: AC) ที่ อัตราส่วนแตกต่างกัน	35

ภาพที่ 14	ปริมาณน้ำมันและไขมัน (Fat, Oil & Grease) ของน้ำเสียจากกระบวนการผลิต ไบโอดีเซลที่ผ่านการบำบัดโดยการเติมวัสดุดูดซับ (Activated carbon: AC) ที่ อัตราส่วนแตกต่างกัน	35
-----------	--	----



ศึกษาพารามิเตอร์ของน้ำเสียและวิธีการบำบัดน้ำเสียที่ผ่านจากระบวนการผลิต

ไบโอดีเซล : กรณีศึกษาโรงผลิตไบโอดีเซลขนาดเล็ก ภายในชุมชนของจังหวัดชุมพร

Investigation on Parameter of Wastewater and Wastewater Treatment from

produced Biodiesel :Case stud

y from small-sized plant produced Biodiesel in

Chumphon Province

วิชชุดา เอื้ออารี¹ ประสาทพร กอวยชัย¹ จิระศักดิ์ วิชาสวัสดิ์¹ นายบุญโรช ศรีละพันธ์¹

Witchuda Uea-Aree¹, Prasartporn Koauychai¹, Jirasak Wichasawat¹, Bunroj Srilapan¹

¹สาขาเทคโนโลยีการผลิตพืช มหาวิทยาลัยแม่โจ้-ชุมพร จ.ชุมพร 86170

บทคัดย่อ

น้ำเสียที่ผ่านจากระบวนการผลิตไบโอดีเซล หลังจากผ่านบำบัดโดยใช้วัสดุดูดซับ คือ ผงถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) ร่วมด้วยการเติมจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ (Effective Microorganism: E.M) ที่อัตราส่วน 1:1, 3:1 และ 5:1 มีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ต่ำสุดในทริทเมนต์ที่มีการเติมวัสดุดูดซับ: น้ำล้างไบโอดีเซลที่อัตราส่วน 5:1 เท่ากับ 6.91 และใกล้เคียงกับทริทเมนต์ที่มีการเติมวัสดุดูดซับ: น้ำล้างไบโอดีเซลที่อัตราส่วน 1:1 และ 3:1 คือ 6.98 และ 6.97 สำหรับ BOD (Biochemical Oxygen Demand) ของน้ำเสียที่ผ่านจากระบวนการผลิตไบโอดีเซล มีค่าสูงที่ทริทเมนต์ที่มีการเติมวัสดุดูดซับ: น้ำล้างไบโอดีเซลที่อัตราส่วน 5:1 คือ 2,275 มก/ล. ซึ่งเท่ากับทริทเมนต์ที่ไม่มีการเติมวัสดุดูดซับ ส่วนทริทเมนต์ที่มีการเติมวัสดุดูดซับที่อัตราส่วน 1:1 และ 3:1 มีปริมาณ BOD (Biochemical Oxygen Demand) ที่ใกล้เคียงกัน คือ 1,550 และ 1,600 มก/ล. ตามลำดับ ค่า COD (Chemical Oxygen Demand) ของน้ำเสียที่ผ่านจากระบวนการผลิตไบโอดีเซล หลังจากผ่านบำบัดโดยใช้วัสดุดูดซับ คือ ผงถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) จะมีค่าสูงที่ทริทเมนต์ที่มีการเติมวัสดุดูดซับที่อัตราส่วน 5:1 เท่ากับ 15,246 มก/ล. สำหรับทริทเมนต์ที่มีการเติมวัสดุดูดซับที่อัตราส่วน 3:1 มีปริมาณ COD (Chemical Oxygen Demand) เท่ากับ 13,346 มก/ล. และทริทเมนต์ที่มีปริมาณ COD (Chemical Oxygen Demand) น้อยที่สุด คือ ทริทเมนต์ที่มีการเติมวัสดุดูดซับที่อัตราส่วน 1:1 มีค่าเท่ากับ 11,713 มก/ล. และสำหรับค่าไขมันและไขมัน (Fat, Oil & Grease) ค่าน้ำมันและไขมัน (

Fat, Oil & Grease) ที่เท่ากัน คือ 5.33 มก/ล. และทริทเมนต์ที่มีการเติมวัสดุดูดซับที่อัตราส่วน 1:1 และ 3:1 มีค่าน้ำมันและไขมัน (Fat, Oil & Grease) ซึ่งมีค่าน้ำมันและไขมันที่ผ่านการบำบัดนั้นจะมีค่าไม่แตกต่างกันในทุกอัตราส่วนของการเติมผงถ่านกัมมันต์ร่วมด้วยการเติมจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ คือมีค่าอยู่ที่ประมาณ 3 มก/ล.

คำสำคัญ: น้ำเสียไบโอดีเซล, ค่า COD, ค่า BOD, ค่าไขมันและน้ำมัน

Abstract

The wastewater from the production of biodiesel. After treatment with the adsorbent is activated carbon with the addition of effective microorganisms : EM at a ratio of 1:1, 3:1 and 5:1 Acidity - alkalinity (pH) lowest in treatments with the addition of absorbent material: water ratio of 5:1 is 6.91 and similar treatments ratio of 1:1 and 3:1 were 6.98 and 6.97. For BOD (Biochemical Oxygen Demand) in the wastewater from the production of biodiesel. Higher in the treatments with the addition of absorbent material: water ratio of 5:1 is 2275 mg / l, which is equal in treatments without the addition of absorbent material. The treatments that are filling materials adsorption ratio 1:1 and 3:1, the amount of BOD (Biochemical Oxygen Demand) which is similar to 1550 and 1600 mg / l, respectively. The COD (Chemical Oxygen Demand) of water through the production of biodiesel. After treatment with the adsorbent is activated carbon is highest in treatments with the addition of absorbent material to 5:1 ratio equal to 15,246 mg / l. For a treatment with the addition of absorbent material to 3:1 volume ratio of COD (Chemical Oxygen Demand) is 13,346 mg / l and treatments that are the minimum COD (Chemical Oxygen Demand) is in treatment with the addition of absorbent material to 1:1 ratio is equal to 11,713 mg / l. For Fat, Oil & Grease is equal to 5.33 mg / l and in treatments with the addition of absorbent material to 1:1 and 3:1 ratio with the oil and fat (Fat, Oil & Grease), which is the oil and fat, it is not treated in a different ratio of activated carbon with the addition of effective microorganisms. The value is about 3 mg / l.

Key words: Wastewater biodiesel, COD, BOD, Fat, Oil & Grease

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยเรื่อง ศึกษาพารามิเตอร์ของน้ำเสียและวิธีการบำบัดน้ำเสียที่ผ่านจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล : กรณีศึกษาโรงผลิตไบโอดีเซลขนาดเล็ก ภายในชุมชนของจังหวัดชุมพร ซึ่งรายงานโครงการวิจัยเรื่องนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากสำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ประจำปีงบประมาณ 2553 คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริชัย อุ่นศรีสง ที่ได้ให้คำปรึกษาและแนะแนวทางการทำงานวิจัย

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ประสาทพร กอวยชัย อาจารย์บุญโรช ศรีละพันธ์ และอาจารย์จิระศักดิ์ วิชาสวัสดิ์ ที่กรุณาเป็นที่ปรึกษาโครงการรวมทั้งเป็นผู้ร่วมโครงการงานวิจัย รวมทั้งจัดทำอุปกรณ์สำหรับงานวิจัยทำให้โครงการนี้ประสบผลสำเร็จด้วยดี

คณะผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่า ข้อมูลเบื้องต้นที่ได้จากการวิจัยในครั้งนี้ จะเป็นงานวิจัยที่ก่อให้เกิดประโยชน์ต่อมหาวิทยาลัยฯ และเป็นประโยชน์ต่อประเทศชาติสำหรับการประยุกต์ใช้พลังงานทดแทนภายในประเทศ สมตามเจตนารมณ์ที่ตั้งใจไว้

ผู้วิจัย

ธันวาคม พ.ศ. 2555

คำนำ

จากสภาพเศรษฐกิจโลก ณ ขณะนี้เกิดการตกต่ำอย่างรวดเร็ว จากปัญหาราคาน้ำมันและอาหารเพิ่ม ขึ้นสูงมาก แม้ระยะหลังราคาน้ำมันและอาหารจะลดลง แต่สถานการณ์ก็ยังไม่ดีขึ้น ทำให้หลายประเทศเล็งเห็นถึงความสำคัญด้านพลังงานทดแทน รวมถึงประเทศไทยเองด้วย เพื่อลดค่าใช้จ่ายที่รัฐบาลของแต่ละประเทศต้องแบกรับเอาไว้

สำหรับประเทศไทยได้ตระหนักถึงความสำคัญของสินค้าเกษตรที่มีโอกาส (New Opportunity) ได้แก่ กลุ่มพลังงานทดแทน (ปาล์มน้ำมัน อ้อย มันสำปะหลัง) ไม่อย่างพารา (เฟอร์นิเจอร์) สินค้าเกษตรอินทรีย์ ซึ่งสอดคล้องกับแนวพระราชดำริของพระเจ้าอยู่หัวเกี่ยวกับการส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทนและยุทธศาสตร์ของประเทศด้านการพัฒนาและวิจัยพลังงานทดแทนทุกรูปแบบอีกด้วย การนำพืชเหล่านี้มาประยุกต์ ใช้ประโยชน์ในเชิงพลังงานน่าจะเป็นแนวทางที่ดีเพื่อให้ประเทศได้มีการผลิตพลังงานใช้เอง เป็นการใช้พลังงานหมุนเวียน (renewable energy) ที่สามารถหาได้ในท้องถิ่น และเพื่อลดค่าใช้จ่ายการนำเข้าเชื้อเพลิงราคาแพงจากต่างประเทศและเป็นทางเลือกแก่ประชาชนตามหลักปรัชญาของเศรษฐกิจพอเพียง และการพัฒนาอย่างยั่งยืน รวมทั้งศึกษาเพื่อเตรียมความพร้อมในการตัดสินใจพัฒนาพลังงานทางเลือกอื่นๆที่ใช้เทคโนโลยีขั้นสูงและพลังงานที่สอดคล้องกับท้องถิ่น ซึ่งพลังงานทดแทนที่ประเทศไทยพยายามที่จะผลักดันให้เป็นพืชเศรษฐกิจ คือ ปาล์มน้ำมัน

ปาล์มน้ำมันเป็นวัตถุดิบที่จะนำมาผลิตเป็นน้ำมันไบโอดีเซล เนื่องจากสภาพอากาศที่เหมาะสมอยู่ในเขตร้อนมีฝนตกตลอดทั้งปีและสภาพดินที่สมบูรณ์เหมาะแก่การปลูกปาล์มน้ำมัน ซึ่งประเทศไทยน้ำมันปาล์มมีศักยภาพในการนำมาผลิตเป็นน้ำมันไบโอดีเซลสูงกว่าน้ำมันพืชอื่น เนื่องจากมีพื้นที่ปลูกที่อยู่ในเขตเหมาะสมปลูกปาล์มน้ำมันของโลก คือ 10 องศาเหนือ-ใต้ จากเส้นศูนย์สูตร ให้ผลผลิตน้ำมันต่อ หนึ่งพื้นที่สูงกว่า และมีต้นทุนการผลิตน้ำมันต่ำกว่า ปาล์มน้ำมันเป็นพืชที่อนุรักษ์สภาพแวดล้อม (eco-friendly crop) เมื่อปลูกปาล์มน้ำมันเป็นระยะเวลายาวนานจะทำให้สภาพนิเวศที่เสียหายไปกลับคืนสู่สภาพธรรมชาติ นอกจากนี้ยังสามารถสกัดองค์ประกอบจากน้ำมันปาล์ม ได้แก่ กรดไขมันหลายชนิด วิตามินอี และวิตามินเอ นำมาใช้ประโยชน์และใช้เป็นสารตั้งต้นในอุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมเครื่องสำอาง อุตสาหกรรม Oleochemical และพลังงานทดแทน รวมทั้งพืชที่ปลอดภัยต่อผู้บริโภคเพราะไม่มีการตัดแต่งพันธุกรรม (GMOs)

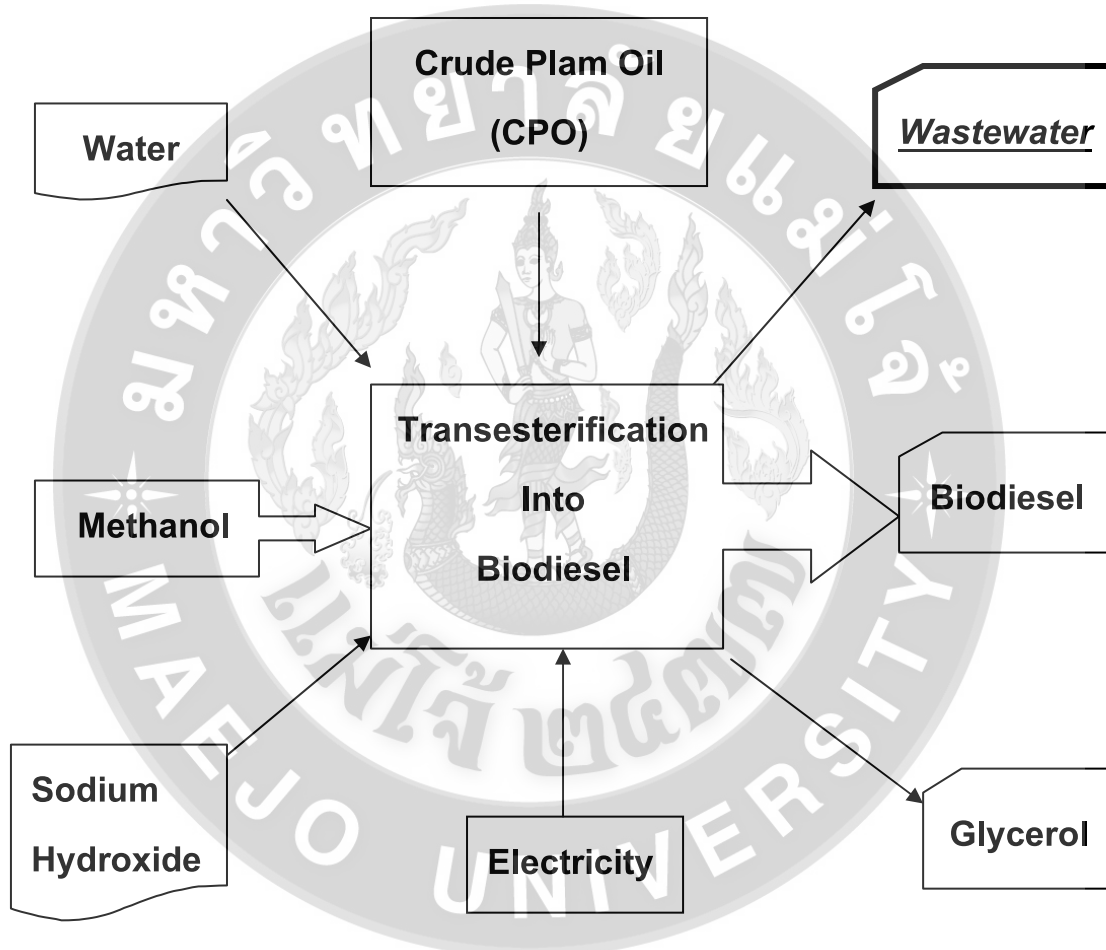
อุตสาหกรรมการสกัดน้ำมันปาล์มมีการขยายตัวอย่างรวดเร็ว จากข้อมูลสถิติพบว่ามีในประเทศไทยมีโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มทั้งสิ้น 49 โรงงาน โดยเป็นโรงงานแบบมาตรฐาน 17 โรงงานที่สกัดน้ำมันโดยนำผลปาล์มด้วยไอน้ำ และ แยกเมล็ดในปาล์มออกแล้วสกัดน้ำมันจากส่วนเปลือก มี

กำลังการผลิตรวมมากกว่าร้อยละ 60 ของกำลังการผลิตทั้งหมด ทั้งนี้ค่าเฉลี่ยของกำลังการผลิตต่อชั่วโมงนั้นจะแปรเปลี่ยนไปตามฤดูกาลของผลผลิตจากสวนปาล์มและขนาดของโรงงาน จากรายงานการศึกษา พบว่าในขั้นตอนต่างๆของกระบวนการผลิต ได้แก่ การนึ่ง การหีบ การแยกสิ่งปนเปื้อนออกจากน้ำมัน และการแยกกากปาล์มในขั้นตอนสุดท้ายต้องอาศัยน้ำเข้ามามีส่วนร่วมจนสิ้นสุดของการผลิต ทั้งนี้ปริมาณและคุณลักษณะของน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากน้ำใช้มีความแตกต่างกันตามลักษณะที่เฉพาะของในขั้นตอนการผลิตนั้นๆอย่างไรก็ตามสามารถกล่าวได้ว่าน้ำเสียที่เกิดขึ้นมาจาก 2 ส่วนหลักๆคือ น้ำเสียจากหม้อนึ่งและน้ำเสียจากการแยกน้ำมันโดยมีปริมาณน้ำเสียเฉลี่ยอยู่ที่ 0.3-0.4 ลบ.ม./ตันของทะลายปาล์มสด ในขณะที่ปริมาณน้ำเสียรวมจากทุกขั้นตอนการผลิตอยู่ที่ 1 ลบ.ม./ตันของทะลายปาล์มสด

น้ำมันไบโอดีเซล คือน้ำมันเชื้อเพลิงชั้นดี ที่เราสามารถแปลงสภาพจากผลผลิตทางการเกษตรให้เป็นน้ำมันสะอาด ซึ่งที่ได้จากน้ำมันพืช ไขมันสัตว์ หรือน้ำมันปรุงอาหารที่ใช้แล้วนำมาสกัดยางเหนียว และสิ่งสกปรกออก (degumming) จากนั้นนำไปผ่านกระบวนการทรานเอสเทอริฟิเคชัน (tranesterification) โดยการเติมแอลกอฮอล์เช่น เมทานอล หรือเอทานอล และตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์หรือโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ภายใต้ภาวะอุณหภูมิสูงเพื่อเปลี่ยนโครงสร้างของไขมันจาก Triglyceride ให้เป็นเมทิลเอสเทอร์ หรือเอทิลเอสเทอร์ ขึ้นอยู่กับประเภทของแอลกอฮอล์ที่ใช้ในกระบวนการผลิตเพื่อเปลี่ยนน้ำมัน ได้แก่ เมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน (fatty acid methyl ester :FAMES) หรือเอทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน (fatty acid ethyl ester)และได้กลีเซอริน(glycerine)เป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้(by product) เนื่องจากเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันที่ได้นี้มีลักษณะคล้ายน้ำมันดีเซลดังนั้นจึงเรียกเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันนี้ว่า น้ำมันไบโอดีเซล ซึ่งน้ำมันไบโอดีเซลยังเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ช่วยลดมลพิษในอากาศ ปลอดภัยจากสารกำมะถัน ลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งช่วยลดการเกิดปรากฏการณ์โลกร้อน (greenhouse Effect) ให้ช้าลง แต่การสนับสนุนและส่งเสริมให้มีการใช้น้ำมันพืชอย่างยั่งยืน สำหรับใช้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันปิโตรเลียมในสัดส่วนที่เพิ่มมากขึ้น ต้องมีการควบคุมคุณภาพของน้ำมันไบโอดีเซล ให้มีความเหมาะสมกับความต้องการของเครื่องยนต์ เพื่อสร้างความมั่นใจกับผู้บริโภค ให้ผู้บริโภคหันมาใช้ น้ำมันไบโอดีเซลแพร่หลายมากขึ้น นอกจากการจะใช้ปัจจัยด้านราคาคิดดูความสนใจ

สำหรับผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล (รูปที่ 1) นอกจากน้ำมันไบโอดีเซลเองแล้ว ยังมีผลิตภัณฑ์ตัวอื่นที่เกิดจากกระบวนการผลิต เช่น กลีเซอริน หรือน้ำที่มาจากขั้นตอนการทำความสะอาด ไบโอดีเซล ซึ่งกลีเซอรินเองนั้นสามารถนำไปผลิตเป็นสบู่ได้ แต่น้ำที่ผ่านขั้นตอนการทำความสะอาดไบโอดีเซลซึ่งการใช้ในแต่ละครั้ง ต้องใช้น้ำเพื่อการล้างไบโอดีเซลเป็นจำนวนมาก เราไม่สามารถนำน้ำล้างไบโอดีเซลนั้นไปใช้อุปโภคบริโภคได้เพราะน้ำล้างไบโอดีเซลนั้นมี

คุณสมบัติเป็นน้ำเสียซึ่งมีน้ำมันและไขมันรวมตัวอยู่ ซึ่งเป็นผลทำให้เป็นการสูญเสียทรัพยากรน้ำอย่างเปล่าประโยชน์ ซึ่งสอดคล้องกับยุทธศาสตร์ของประเทศด้านการบริหารจัดการทรัพยากร การเกษตร ให้มีความสำคัญกับการสร้างจิตสำนึกและเผยแพร่ความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการใช้น้ำเพื่อการผลิตสินค้าเกษตรอย่างประหยัดและมีประสิทธิภาพการปรับโครงสร้างการผลิตเพื่อเพิ่มผลผลิต และคุณค่าของสินค้าและบริการบนฐานความรู้และความเป็นไทย ทั้งยังเป็นการลดการเกิดภาวะโลกร้อนและลดปริมาณก๊าซเรือนกระจก (green house gas) ในชั้นบรรยากาศอีกด้วย



รูปที่ 1) น้ำเสียที่ผ่านจากกระบวนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากผลปาล์มดิบ

(Pleaniai .et.al. 2004)

น้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลโดยเฉพาะน้ำล้างไบโอดีเซลจะมีค่า COD สูงมาก ๆ อาจถึง 50,000 ppm ซึ่งต้องผ่านกระบวนการบำบัดหลายขั้นตอนมาก และสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมผลิตไบโอดีเซลบางโรงงานไม่ได้เตรียมงบประมาณสำหรับการลงทุนสร้างระบบสำหรับ

บำบัดน้ำเสียนี้ตั้งแต่แรก น้ำเสียไบโอดีเซลสามารถใช้ระบบบำบัดทั้งทางกายภาพและทางเคมี เช่น ระบบหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจนจะสามารถบำบัดไขมันที่ละลายอยู่ในน้ำได้ดี แต่ทั้งนี้ต้องผ่านระบบบำบัดทางกายภาพโดยดักไขมันหรือกลีเซอริน ออกก่อน หลังจากนั้นนำไปตกตะกอนโดยใช้โพลิเมอร์ ซึ่งในขั้นตอนนี้จะสามารถลดค่า COD ได้มาก

ซึ่งรัฐบาลก็ได้มีการส่งเสริมให้เกษตรกรนำพืชพลังงานที่มีการปลูกภายในท้องถิ่นเช่น ปาล์ม น้ำมันมาผลิตเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงทดแทนการนำเข้าน้ำมันจากต่างประเทศ โดยมีการสนับสนุนให้กลุ่มเกษตรกรหรือกลุ่มชาวบ้านผลิตน้ำมันไบโอดีเซลขึ้นใช้เองจากเครื่องผลิตไบโอดีเซลขนาดเล็ก ซึ่งรัฐบาลได้แจกจ่ายเครื่องผลิตไบโอดีเซลขนาดเล็กไปตามแต่ละจังหวัดทั่วประเทศ แต่เนื่องจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลนั้น จะต้องใช้น้ำเข้าไปรวมในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลด้วย ซึ่งน้ำที่ถูกปล่อยออกมาภายหลังการที่เสร็จสิ้นกระบวนการผลิต จะมีคุณสมบัติเป็นน้ำเสีย หลังจากนั้นก็ปล่อยลงสู่แหล่งน้ำตามธรรมชาติ ส่งผลให้แหล่งน้ำตามธรรมชาติเกิดความเป็นพิษ ดังนั้นเราควรทำการบำบัดน้ำเสียดังกล่าว ก่อนทำการปล่อยลงสู่แหล่งน้ำ หรืออาจนำน้ำที่ผ่านการบำบัดดังกล่าวมาใช้ในการอุปโภคได้อีกทางหนึ่งด้วย ซึ่งกระบวนการบำบัดน้ำเสียที่เหมาะสมสำหรับน้ำเสียประเภทนี้อาจใช้วิธีการบำบัดทางเคมี วิธีการบำบัดทางชีวภาพหรือวิธีการบำบัดทางกายภาพก็ได้ จากเหตุผลหลายประการดังกล่าวจะเห็นได้ว่าควรทำการบำบัดน้ำเสียที่ผ่านจากโรงผลิตไบโอดีเซลขนาดเล็กภายในชุมชน เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาคุณภาพของน้ำเสียให้มีคุณภาพน้ำที่ดีขึ้น

วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. เพื่อศึกษาค่าพารามิเตอร์ของน้ำเสียที่ผ่านจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล จากโรงผลิตไบโอดีเซลขนาดเล็ก
2. ศึกษาและเลือกวิธีการบำบัดน้ำเสียที่เหมาะสมจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

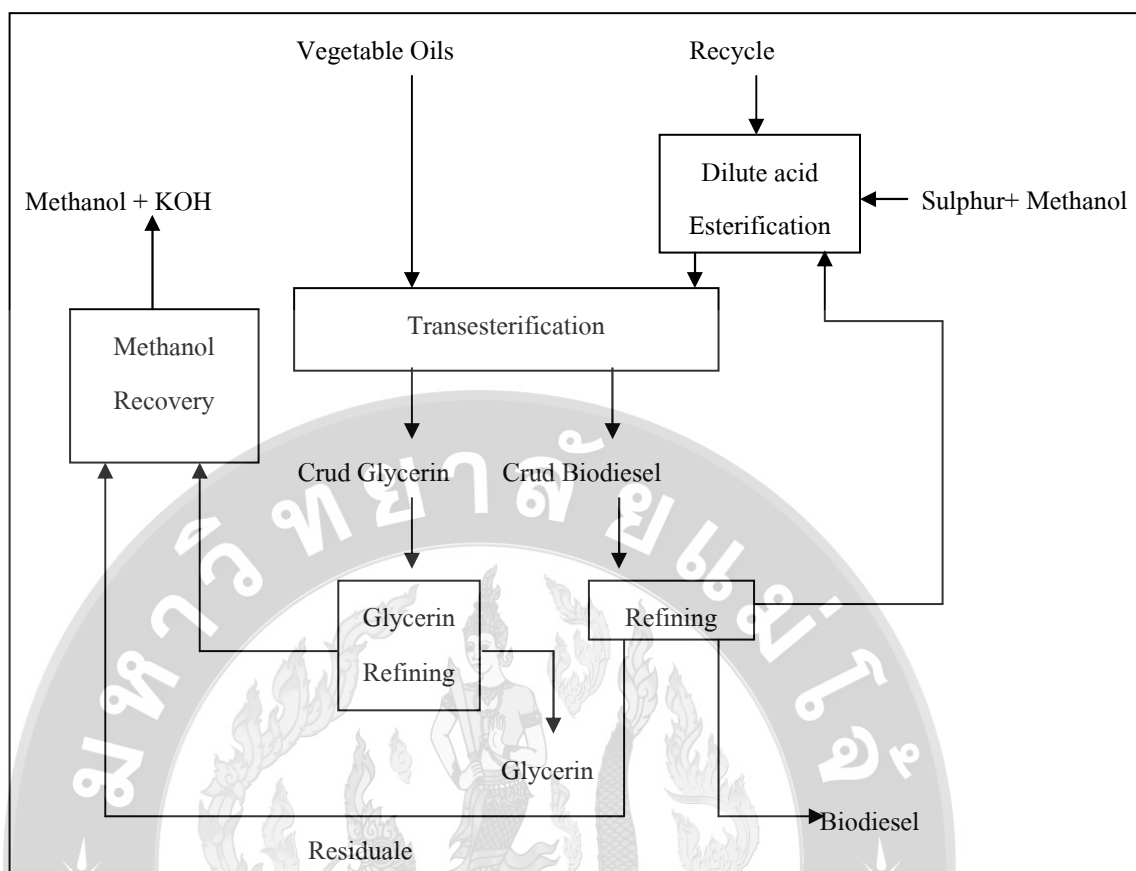
ได้ทราบถึงตัวแปรที่มีผลต่อน้ำเสียที่ผ่านจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลที่ผลิตจากโรงผลิตขนาดเล็กและสามารถเลือกวิธีที่จะใช้บำบัดน้ำเสียที่ผ่านจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล เพื่อทำการปรับปรุงและพัฒนาคุณภาพของน้ำเสียให้มีคุณสมบัติที่สามารถใช้อุปโภคได้ ซึ่งเป็นการลดการใช้ทรัพยากรธรรมชาติอย่างสิ้นเปลืองอีกทางหนึ่งด้วย และยังเป็นการใช้ทรัพยากรน้ำให้ได้ประโยชน์สูงสุด พร้อมทั้งนำองค์ความรู้ไปเผยแพร่ในวารสารเกี่ยวกับทรัพยากรน้ำหรือวารสารที่เกี่ยวกับ

สิ่งแวดล้อม อีกทั้งยังสามารถนำไปเผยแพร่ให้แก่หน่วยงานราชการที่เกี่ยวกับการเกษตร เพื่อนำไปถ่ายทอดสู่กลุ่มเกษตรกรที่มีโรงผลิตไบโอดีเซลขนาดเล็ก ภายในชุมชนจังหวัดชุมพร

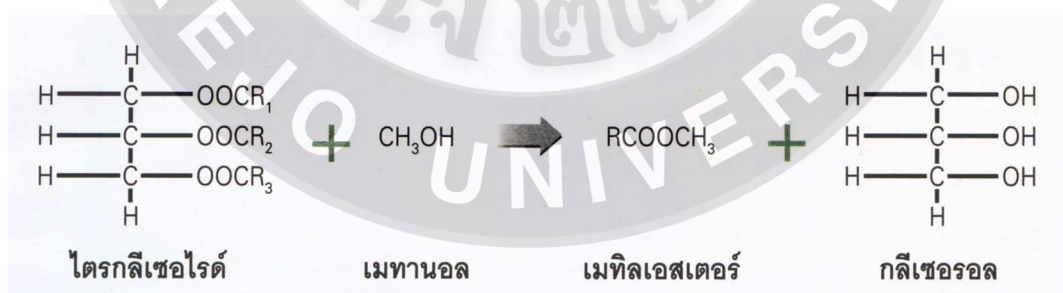
การตรวจเอกสาร

น้ำมันไบโอดีเซล

ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงเหลวที่ผลิตได้จากชีวมวลจำพวกพืชน้ำมัน เช่น ถั่วเหลือง ปาล์ม มะพร้าว เป็นต้น หรือนำไขมันสัตว์มาปรับสภาพ โดยผ่านกระบวนการปฏิกิริยาการแลกเปลี่ยนหมู่เอสเทอร์ (Transesterification) ดังในรูปที่ 2) ซึ่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเป็นปฏิกิริยาการแลกเปลี่ยนหมู่แอลคิล (Alkylating Agent) ในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ ซึ่งได้จากโมเลกุลของแอลกอฮอล์สายสั้นได้แก่ เมทานอลและเอทานอล โดยมีกรด ค้าง หรือโลหะอัลคอกไซด์ และความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ทำให้ได้ผลผลิตเป็นอัลคิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน โมเลกุลเดียวกับกรดไขมันอิสระ ซึ่งเป็นองค์ประกอบของไตรกลีเซอไรด์ในน้ำมันชนิดนั้น หมู่แอลคิลแตกต่างกันไปตามชนิดของแอลกอฮอล์ โดยมีเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน (Fatty Acid Methyl Ester :FAME) และเอทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน (Fatty Acid Ethyl Ester :FAEE) ซึ่งประกอบด้วยเมทานอล และเอทานอล ตามลำดับ ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันนั้น เป็นปฏิกิริยาที่ผันกลับได้ โดยตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อปริมาณของผลิตภัณฑ์ คือปริมาณของสารตั้งต้น ตัวเร่งปฏิกิริยา กรด ค้าง หรือเอนไซม์ และความร้อน จากปฏิกิริยาได้กลีเซอรอลเป็นผลพลอยได้ตามมาด้วย ดังสมการปฏิกิริยาในรูปที่ 3) เป็นสมการของปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างไตรกลีเซอไรด์ และเมทานอล หรือเรียกว่า ปฏิกิริยาทรานส์เมทิลเลชัน ได้ผลิตภัณฑ์เป็น สารประกอบเอสเทอร์ของกรดไขมันหรือไบโอดีเซล และสารประกอบกลีเซอรอล



รูปที่ 2 กระบวนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลขั้นพื้นฐาน



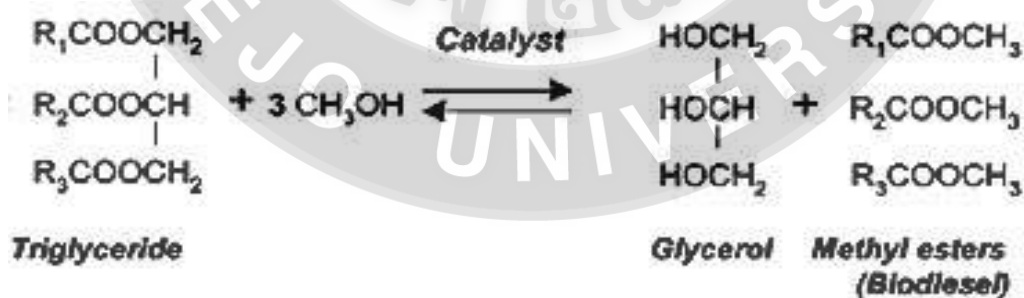
รูปที่ 3 ปฏิกริยาทางเคมีชนิด Transesterification ของไตรกลีเซอไรด์และเมทานอล

กระบวนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซล

กระบวนการผลิตไบโอดีเซลเชิงพาณิชย์ที่นิยมใช้ แบ่งออกเป็น 3 กระบวนการหลัก

1. ทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน(Transesterification)

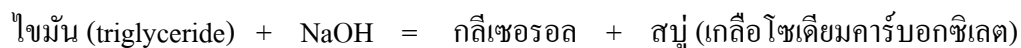
ทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน หรือแอลกอฮอล์ไลซิส (alcoholysis) เป็นปฏิกิริยาเปลี่ยนโมเลกุลไตรกลีเซอไรด์ ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของน้ำมันพืชหรือ ไขมันสัตว์เป็นเอสเทอร์ตัวใหม่ หรือ โมโนแอลคิลเอสเทอร์ (mono-alkyl ester) และกลีเซอรอล โดยทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์โมเลกุล ขนาดเล็ก ดังสมการในรูปที่ 3) ในภาวะที่มีตัวเร่งปฏิกิริยา ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันสามารถเกิดได้ ที่ความดันบรรยากาศ ตั้งแต่อุณหภูมิห้องถึงจุดเดือดของแอลกอฮอล์ (ประมาณ 65 องศาเซลเซียส) ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้โดยทั่วไป เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาแบบเอกพันธ์ (homogeneous catalyst) ซึ่งแบ่งออกเป็นสองชนิด คือ กรดและเบส โรงงานผลิตไบโอดีเซลเชิงพาณิชย์เกือบทั้งหมดใน ปัจจุบันใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส ซึ่งเบสจะเร่งปฏิกิริยา ได้เร็วกว่าใช้ปริมาณเมทานอลน้อยกว่า และใช้ระยะเวลาสั้นกว่าประมาณ 5 นาที จนถึงประมาณ 1 ชั่วโมง ขึ้นกับอุณหภูมิ ความเข้มข้น การกวนผสม และอัตราส่วนระหว่างแอลกอฮอล์และน้ำมันและใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส ที่นิยมมากกว่าโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เนื่องจากมีราคาถูกกว่า และของผสม ซึ่งก็คือกลีเซอรอลที่ได้จากกระบวนการที่ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นสิ่งที่ต้องการของโรงกลั่น กลีเซอรอลมากกว่าด้วย โซเดียมเมทอกไซด์ (sodium methoxide) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบสอีกชนิดหนึ่งที่นิยมใช้กันมีความว่องไวมากกว่าโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ละลายในเมทานอลส่วนหนึ่ง เนื่องจากการทำ ปฏิกิริยาของโซเดียมไฮดรอกไซด์กับเมทานอลทำให้เกิดขึ้น $\text{CH}_3\text{O}^- \text{Na}^+ + \text{H}_2\text{O}$ ซึ่งจะปลดความ ว่องไวของเมทอกไซด์ไอออน $\text{CH}_3\text{O}^- \rightarrow \text{CH}_3\text{OH} + \text{NaOH}$ ในการเข้าทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน



รูปที่ 4 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของโมเลกุลไตรกลีเซอไรด์กับเมทานอล

วัตถุดิบน้ำมันเริ่มต้นที่ใช้ในกระบวนการเร่งด้วยเบสต้องมีปริมาณกรดไขมันอิสระ (free fatty acid) และน้ำต่ำ โดยต้องควบคุมให้มีปริมาณกรดไขมันอิสระน้อยกว่าร้อยละ 1 ซึ่งอาจทำได้โดยการเปลี่ยน

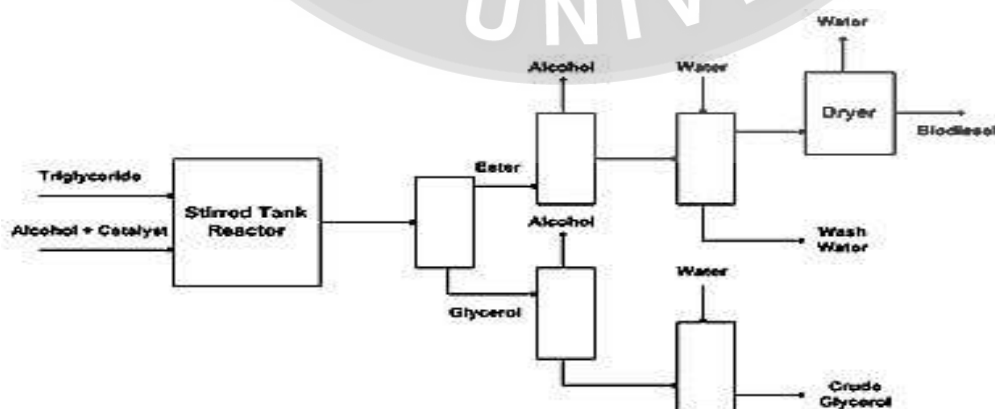
กรดไขมันอิสระ เป็นเอสเทอร์ด้วยปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน ไม่เช่นนั้นแล้วตัวเร่งปฏิกิริยาเบสจะทำปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชัน (saponification) กับกรดไขมันอิสระเกิดเป็นสบู่ขึ้น ดังสมการในรูปที่ 4)



รูปที่ 5 สมการแสดงปฏิกิริยา Saponification กับ Fatty Acid

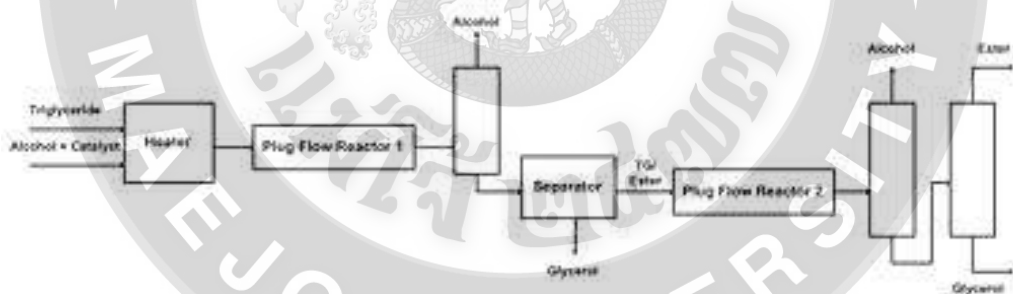
ปฏิกิริยาการเกิดสบู่เกิดขึ้นรวดเร็วมาก และอาจเกิดอย่างสมบูรณ์ก่อนปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ ฟิเคชันจะเริ่มต้นขึ้น สบู่มีสมบัติเป็นอิมัลซิไฟเออร์ (emulsifier) ทำให้ผลิตภัณฑ์เมทิลเอสเทอร์และ กลีเซอรอลไม่แยกออกจากกัน หรือใช้เวลานานในการแยกและทำให้ร้อยละผลได้ของไบโอดีเซลลดลง

กระบวนการแบบแบตช์ (batch process) ดังในรูปที่ 5) เป็นระบบการผลิตไบโอดีเซลที่ง่ายที่สุด โดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวน อัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมันอยู่ในช่วง 4 ต่อ 1 จนถึง 20 ต่อ 1 โดยทั่วไป จะใช้ที่อัตราส่วน 6 ต่อ 1 เครื่องปฏิกรณ์อาจเป็นระบบปิด หรือต่อเข้ากับเครื่องควบแน่น (reflux condenser) อุณหภูมิของปฏิกิริยาประมาณ 65 องศาเซลเซียส ตัวเร่งปฏิกิริยาที่นิยมใช้มากที่สุด คือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ รองลงมา คือ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ โดยมีปริมาณที่ใช้อยู่ในช่วงร้อยละ 0.3 ถึง 1.5 โดยน้ำหนักเทียบกับ น้ำหนักของวัตถุดิบน้ำมันเริ่มต้น



รูปที่ 6 กระบวนการผลิตไบโอดีเซลแบบแบตช์

เริ่มแรกน้ำมันจะถูกป้อนเข้าเครื่องปฏิกรณ์ตามด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาที่ละลายในเมทานอล ภายใต้ภาวะการกวนอย่างต่อเนื่อง ในช่วงแรกต้องมีการกวนอย่างทั่วถึงเพื่อให้ไขมัน ตัวเร่งปฏิกิริยา และแอลกอฮอล์ ผสมเข้ากัน ในขณะที่ช่วงท้ายของปฏิกิริยาควรกวนให้ช้าลง เพื่อให้กลีเซอรอลที่เกิดขึ้นแยกตัวออกจาก ผลิตภัณฑ์น้ำมันได้ง่ายและลดการเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับร้อยละการเปลี่ยนของปฏิกิริยาอยู่ที่ 85 ถึง 94 เมื่อสิ้นสุดปฏิกิริยาจึงหยุดกวน ในบางกระบวนการผลิตภัณฑ์ที่ได้จะถูกพักให้แยกชั้นเมทิลเอสเทอร์และ กลีเซอรอลภายในเครื่องปฏิกรณ์และบางกระบวนการใช้ปั๊มดึงของผสมเข้าถังแยกต่างหาก (settling vessel) หรือแยกด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยง (centrifuge) แอลกอฮอล์ถูกแยกออกจากชั้นกลีเซอรอลและชั้นเมทิลเอสเทอร์ โดยใช้เครื่องระเหย (evaporator) หรือหน่วยแฟลช (flash unit) จากนั้นทำเมทิลเอสเทอร์ให้เป็นกลางด้วย กรดล้างด้วยน้ำอุ่น ตามด้วยสารละลายกรดเจือจางเพื่อกำจัดเมทานอลและเกลือที่เหลืออยู่และทำให้แห้ง ถ่ายผลิตภัณฑ์เมทิล เอสเทอร์สุดท้ายที่ได้เข้าสู่ถังเก็บ ส่วนกลีเซอรอลจะถูกทำให้เป็นกลางและล้างด้วยน้ำ จากนั้นผ่านเข้าสู่หน่วยกลั่นต่อไป ผู้ผลิตบางรายใช้กระบวนการแบบสองขั้นตอน โดยมีระบบแยกกลีเซอรอล ออกระหว่างขั้นตอนทั้งสองด้วย เพื่อเพิ่มร้อยละการเปลี่ยนให้มากกว่า 95 ในบางกรณีอาจ เพิ่มอุณหภูมิของปฏิกิริยาและอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันด้วยเวลาในการทำปฏิกิริยาอยู่ ระหว่าง 20 นาที ถึงมากกว่า 1 ชั่วโมง



รูปที่ 7 กระบวนการผลิตไบโอดีเซลแบบต่อเนื่องในเครื่องปฏิกรณ์แบบ plug flow

จากลักษณะอย่างง่ายของระบบเบตซ์ มีการประยุกต์ใช้ระบบเครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวนต่อเนื่องกัน (continuous stirred tank reactors: CSTR) ปริมาตรภายในเครื่องปฏิกรณ์แรกจะถูกออกแบบให้มีขนาดใหญ่ เพื่อเพิ่มเวลาและให้เกิดปฏิกิริยาได้มาก เมื่อออกจากเครื่องปฏิกรณ์แรก กลีเซอรอลจะถูกแยกออกและน้ำมัน จะผ่านเข้าสู่เครื่องปฏิกรณ์ที่สอง โดยมีการเติมตัวเร่งปฏิกิริยาและเมทานอลเข้าไปใหม่ ซึ่งปฏิกิริยาจะเกิด อย่างรวดเร็วให้ร้อยละการเปลี่ยนมากกว่า 98 สิ่งที่สำคัญในการออกแบบระบบเครื่องปฏิกรณ์ CSTR คือ การกวนผสมอย่างทั่วถึงเพื่อให้ของผสมภายในเครื่องปฏิกรณ์มี

องค์ประกอบเหมือนกัน อย่างไรก็ตามการกวนผสมนี้อาจทำให้กลีเซอรอลกระจายตัวเข้าไปในชั้นเมทิลเอสเทอร์ได้มากขึ้นทำให้ต้องใช้เวลานานขึ้นในการ

แยกกลีเซอรอลออกจากผลิตภัณฑ์น้ำมัน

นอกจากการกวนผสมโดยใช้ใบพัดแล้ว บางกระบวนการใช้ปั๊มทำให้เกิดการไหลเวียนขณะทำปฏิกิริยา บางกระบวนการใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบท่อไหล (plug flow reactor) แทน ซึ่งจะมีการผสมกันตาม แนวแกนเพียงเล็กน้อย การใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบนี้ในระบบต่อเนื่องจะมีช่วงระยะเวลาทำปฏิกิริยาสั้น

ประมาณ 6 ถึง 10 นาที ดังนั้นโดยทั่วไปจะใช้ระบบแบบสองขั้นตอน โดยมีส่วนแยกเมทานอลและกลีเซอรอล คั่นระหว่างเครื่องปฏิกรณ์ทั้งสอง (ดังรูปที่ 6) และทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิและความดันสูงขึ้น เพื่อเพิ่มอัตราเร็วของปฏิกิริยา

2. เอสเทอร์ฟิเคชันและทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน (Esterification and transesterification)

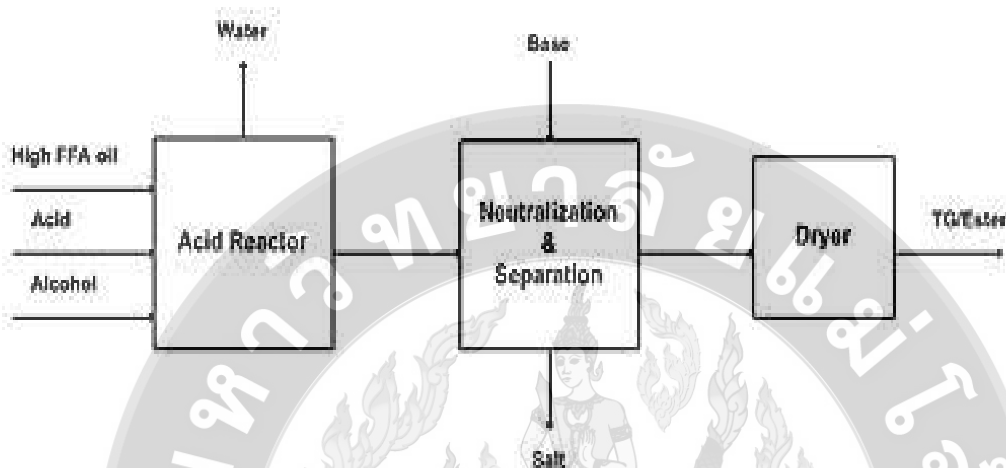
เนื่องจากในกระบวนการเร่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันด้วยเบส จำเป็นต้องควบคุมปริมาณกรดไขมันอิสระในวัตถุดิบน้ำมันให้ต่ำกว่าร้อยละ 2 ซึ่งโดยทั่วไปจะลดให้เหลือน้อยกว่าร้อยละ 1 ดังนั้นในกระบวนการที่ใช้วัตถุดิบราคาถูกและมีปริมาณกรดไขมันอิสระสูง เช่น ไขมันสัตว์ น้ำมันพืช ไขแล้ว ซึ่งมีปริมาณกรดไขมันอิสระร้อยละ 2-30 จำเป็นต้องมีขั้นตอนการกำจัดกรดไขมันอิสระออก ในกระบวนการนี้ ขั้นแรกเป็นการทำเอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันพืชด้วยแอลกอฮอล์ โดยมีกรดเป็นตัวเร่ง ปฏิกิริยาซึ่งนิยมใช้ กรดซัลฟิวริก ได้ผลิตภัณฑ์เป็นเอสเทอร์และน้ำ ดังสมการรูปที่ 7)



รูปที่ 8 แสดงตัวอย่างกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระด้วยปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน

โดยทั่วไปใช้อัตราส่วนโดยโมลระหว่างแอลกอฮอล์ต่อน้ำมันสูง เช่นเดียวกับกรณีการทำทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรด คือ ประมาณ 20 ต่อ 1 ถึง 40 ต่อ 1 และเวลาในการทำปฏิกิริยาประมาณ 10 นาทีจนถึงประมาณ 2 ชั่วโมง ในบางกระบวนการจำเป็นต้องใช้กรดปริมาณมาก เนื่องจากในปฏิกิริยานี้มีน้ำเกิดขึ้นเป็นผลิตภัณฑ์ร่วมกรดจะรวมตัวกับน้ำอยู่ด้านล่างของเครื่องปฏิกรณ์ ทำให้สูญเสียตัวเร่งปฏิกิริยาและการเร่งปฏิกิริยาลดลง จึงจำเป็นต้องแยกน้ำออกโดย

การระเหย การปล่อย ให้แยกหรือการปั่นเหวี่ยง น้ำที่ถูกแยกออกจะเป็นของผสมของน้ำและเมทานอล จากนั้นทำเมทิลเอสเทอร์ ให้เป็นกลางด้วยเบส และทำให้แห้ง ไตรกลีเซอไรด์และเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากขั้นตอนนี้สามารถผ่านเข้า สู่เครื่องปฏิกรณ์ทรานส์เอสเทอริฟิเคชันที่ใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาได้เลย (ดังในรูปที่ 8)

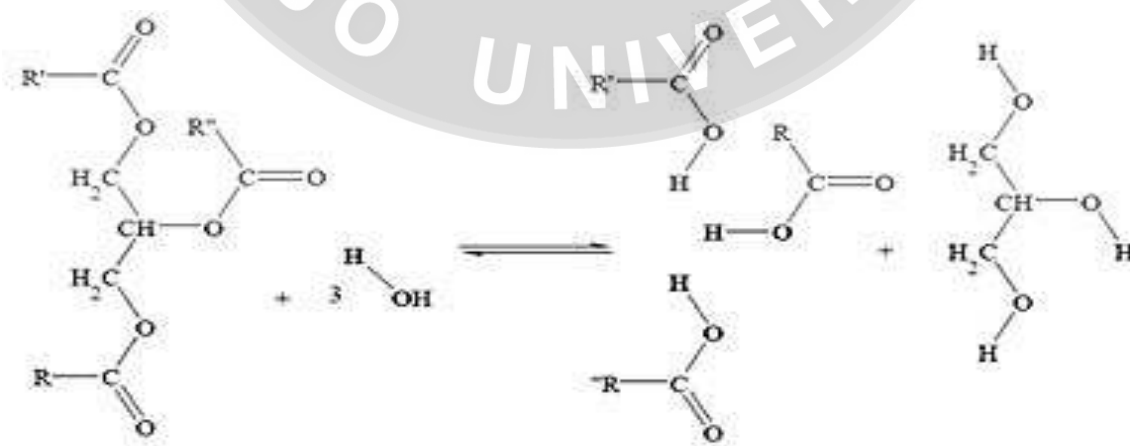


รูปที่ 9 กระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระในวัตถุดิบน้ำมัน

3. ไฮโดรไลซิสและเอสเทอริฟิเคชัน (Hydrolysis and esterification)

กระบวนการนี้เป็นวิธีการหนึ่งในการผลิตไบโอดีเซลจากวัตถุดิบราคาถูกที่มีปริมาณกรดไขมัน

อิสระสูง ทำโดยการเปลี่ยนน้ำมันพืชตั้งต้นทั้งหมดเป็นกรดไขมันและกลีเซอรอลผ่านปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ในภาวะที่มีกรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ดังในรูปที่ 9)

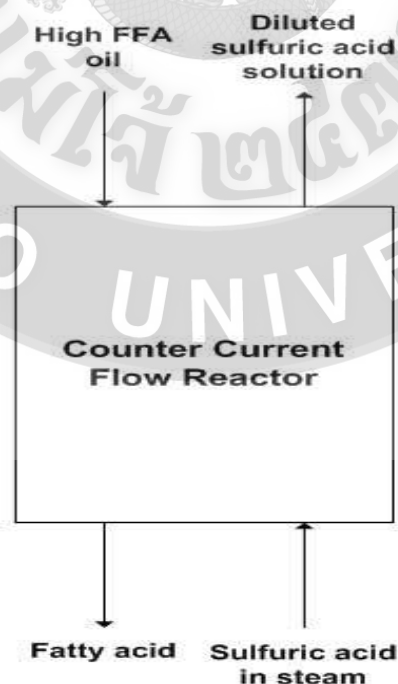


รูปที่ 9 กระบวนการไฮโดรไลซิสและเอสเทอริฟิเคชัน

ปกติขั้นตอนนี้ทำในเครื่องปฏิกรณ์แบบไหลสวนทางต่อเนื่อง (counter-current continuous flow reactor) โดยใช้กรดซัลฟิวริกและไอน้ำ (ดังรูปที่ 10) ผลิตภัณฑ์ที่ได้เป็นกรดไขมันบริสุทธิ์และกลีเซอรอล สิ่งเจือปนอื่น ๆ ที่ผสมอยู่ในวัตถุดิบน้ำมันส่วนใหญ่จะปะปนในชั้นกลีเซอรอล และบางส่วนออกมาพร้อม กับไอน้ำและน้ำ กรดไขมันบริสุทธิ์จะถูกป้อนเข้าเครื่องปฏิกรณ์แบบไหลสวนทางอีกเครื่องหนึ่งเพื่อทำ

เอสเทอร์ฟิเคชันด้วยตัวเร่งปฏิกิริยากรดต่อไป

การผลิตไบโอดีเซลโดยการเร่งปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันของกรดไขมันบริสุทธิ์ด้วยกรดมีการทำมา นานกว่า 10 ปีแล้ว ซึ่งส่งผลให้ได้เมทิลเอสเทอร์มากกว่าร้อยละ 99 กระบวนการอาศัยหลักการไหล สวนทาง กันของกรดไขมันและสารละลายกรดซัลฟิวริกในเมทานอล น้ำที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาจะถูกแยก ออกจากผลิตภัณฑ์ไปในตัวโดยการละลายในเมทานอล สำหรับในระบบที่เป็นแบบคั่นน้ำที่เกิดขึ้นในปฏิกิริยา จะรวมตัวกันและแยกเฟสออกจากของผสมทำให้ปฏิกิริยาชะงักได้ เนื่องจากกรดซัลฟิวริกในเมทานอลจะละลาย รวมกับน้ำทำให้ไม่สามารถเร่งปฏิกิริยาได้ วิธีหนึ่งที่ช่วยลดปัญหาปริมาณน้ำในระบบได้ คือ การแบ่ง กระบวนการออกเป็นสองขั้นตอน โดยภายหลังการทำปฏิกิริยาในขั้นตอนแรก สารละลายกรดในเมทานอล จะถูกแยกออก และมีการเติมกรดและเมทานอลเข้าไปใหม่ ซึ่งจะช่วยลด ปริมาณน้ำได้และทำให้ปฏิกิริยา เกิดได้เกือบสมบูรณ์



รูปที่ 11 การไฮโดรไลซิสวัตถุดิบน้ำมันที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระสูง

น้ำเสีย

จากข้อมูลทั่วไปเรื่องคุณลักษณะของน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มทางกายภาพและทางเคมีพบว่ามีความเป็นกรด-ด่าง ระหว่าง 3.0-5.0 มีปริมาณความเข้มข้นของสีซึ่งเป็นสีเทาที่ละลายเป็นเนื้อเดียวกับน้ำ และ เป็นรงควัตถุพวก แคโรทีน และ แอนโทไซยานินในผลปาล์มที่ถูกสกัดออกมาพร้อมกับน้ำมันและละลายออกมาพร้อมกับไอน้ำในขั้นตอนการนึ่งผลปาล์มมากกว่า 4,000 หน่วยสีของแพลตตินัมโคบอลต์และ มีค่าความสกปรกในรูป BOD₅ และ COD ในช่วงที่กว้างระหว่าง 15,000 – มากกว่า 50,000 มก./ล. และ 50,000- มากกว่า 100,000 มก./ล. มีองค์ประกอบของสารอินทรีย์ในรูปของกรดอินทรีย์ระเหยได้ ของแข็งแขวนลอย และ ของแข็งละลายเป็นหลัก เทคโนโลยีที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการทางชีวภาพ ที่พบว่ามีใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมสกัดน้ำมันปาล์มคือระบบบำบัดน้ำเสียที่มีการต่อเชื่อมกันเป็นชุดบำบัดแบบไม่ใช้อากาศซึ่งให้ประสิทธิภาพในการบำบัดค่อนข้างดีแต่ยังพบว่ามีปริมาณค่าความสกปรกสูงกว่าค่ามาตรฐานน้ำทิ้งกำหนดจึงนำไปใช้รดสวนปาล์ม ต้นไม้ในโรงงานและปล่อยให้ระเหยแทนการปล่อยทิ้งสู่แหล่งน้ำสาธารณะและสิ้นน้ำตาลเข้มของน้ำทิ้งเป็นที่น่าสนใจของชุมชนใกล้เคียงที่ใช้แหล่งน้ำที่รับน้ำทิ้งดังกล่าวหากมีการลักลอบปล่อยทิ้งอนุภาคของสีที่ปล่อยสู่แหล่งรับน้ำทิ้งตามธรรมชาตินั้นย่อยสลายได้ยากโดยกลุ่มจุลินทรีย์อีกทั้งความพยายามในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มโดยกระบวนการทางกายภาพ-เคมีเช่นการตะกอนทางเคมีด้วยการเติมสารเคมีที่ต้องมีการควบคุมค่ากรด-ด่างให้เหมาะสมกับชนิดของสารเคมีนั้นๆ ในการเกิดปฏิกิริยาในการตกตะกอนอนุภาคสีการดูดซับสีด้วยถ่านกัมมันต์ ซึ่งพบว่ามีค่าใช้จ่ายในการบำบัดสูงประกอบกับปริมาณของกากตะกอนที่เพิ่มขึ้นมากและเป็นของเสียที่ต้องบำบัดอีกครั้ง

Parameter	Unit	POME ¹	Standard ²
pH	-	7.45 – 9.24	5.0 -9.0
BOD ₅	mg/l	195	<100
COD	mg/l	1200	<1000
Suspended Solids	mg/l	800	<150
Oil & Grease	mg/l	90	<25
Temperature	°C	36 - 40	<40

ตารางที่ 1 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของน้ำเสียจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล

¹ Palm oil mill effluent

² Effluent wastewater standards for Thai palm oil industry (Department of Industrial Works, 1997)

สำหรับน้ำเสียที่มาจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลนั้นจะมีค่าน้ำมันและไขมันสูง ซึ่งน้ำมันและไขมันมีผลให้ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำลดลง ก่อให้เกิดความสกปรก และยังเป็นสารอินทรีย์ที่มีเสถียรภาพและย่อยสลายโดยแบคทีเรียได้ยาก เนื่องจากส่วนประกอบต่างๆ จะไม่ละลายน้ำ ดังนั้นจึงทำให้ส่วนประกอบดังกล่าวแยกชั้นกับน้ำ ทำให้ออกซิเจนจากอากาศไม่สามารถถ่ายเทลงสู่ได้ โดยทั่วไปการกำจัดน้ำมันไขมันจะเริ่มในระบบบำบัดน้ำเสียขั้นที่หนึ่ง (Primary Treatment) โดยการกำจัดด้วยถังตกไขมันตามด้วยการกำจัดไขมันขั้นที่สอง (Secondary Treatment) โดยใช้กระบวนการทางชีวภาพ

การบำบัดน้ำมันและไขมันปนเปื้อนในน้ำเสียสามารถทำได้หลายวิธี ได้แก่ วิธีทางกายภาพ วิธีทางเคมี และวิธีทางชีวภาพ ซึ่งเป็นวิธีการบำบัดน้ำเสียพื้นฐาน

1.วิธีการทางชีวภาพ (Biological Treatment) เป็นการบำบัดน้ำเสียโดยใช้แบคทีเรียช่วยย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำ โดยเฉพาะสารคาร์บอนอินทรีย์ ในโตรเจน และฟอสฟอรัส โดยความสกปรกเหล่านี้จะถูกใช้เป็นอาหารและเป็นแหล่งพลังงานของจุลินทรีย์ในถังเลี้ยงเชื้อเพื่อการเจริญเติบโต ทำให้น้ำเสียมีค่าความสกปรกตกลง โดยจุลินทรีย์เหล่านี้อาจเป็นแบบใช้ออกซิเจน (Aerobic Organism) หรือไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Organism) ก็ได้ ซึ่งสามารถทำได้ 2 วิธีคือ การย่อยสลายทางธรรมชาติ(Biodegradation) เป็นกระบวนการที่ใช้จุลินทรีย์ที่มีอยู่แล้วตามธรรมชาติ เช่น ยีสต์ รา และแบคทีเรีย อีกวิธีหนึ่งคือการเร่งธรรมชาติ (Bioremediation) โดยการเติมธาตุอาหารหรือการเติมเชื้อจุลินทรีย์ เช่น วิธีการ Oxidation ponds, Aerated ponds, Activated sludge, Trichling filters, Anaerobic lagoon เป็นต้น

2. วิธีการทางกายภาพ (Physical Treatment) เป็นการบำบัดน้ำเสียโดยการกำจัดและเก็บกวาดน้ำมันและไขมันด้วยวิธีทางกลศาสตร์หรือใช้อุปกรณ์เครื่องมือ หรือใช้เครื่องมือช่วยทำให้สิ่งเจือปนในน้ำตกตะกอน โดยการปล่อยน้ำเสียเข้ามาพักในอ่างกว้างกลางแจ้ง เพื่อให้น้ำได้รับแสงแดด เมื่อน้ำหยุดนิ่งพวกตะกอนที่หนักก็จะตกตะกอน (Sedimentation) หรือน้ำเสียที่ต้องการบำบัดไหลผ่านตะแกรง (Screen) หรือชั้นของหินหรือถ่านที่เรียงไว้เพื่อแยกหรือกรอง (Filter) เอาสิ่งเจือปนในน้ำออก รวมไปถึงการทำให้ลอย (Floating) แล้วกวาด (Skimming) หรือแยกด้วยการเหวี่ยง (Centrifugation) วิธีการบำบัดทางกายภาพเป็นวิธีที่ใช้กันมาก เนื่องจากทำได้รวดเร็ว ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานต่ำ กระบวนการไม่ซับซ้อน ซึ่งวิธีทางกายภาพมีด้วยกันหลายวิธี เช่น การเติมอากาศ เป็นวิธีการเป่าอากาศลงไปในน้ำเสียโดยตรงเพื่อให้ฟองอากาศพาน้ำมันไขมันในน้ำเสียลอยขึ้นสู่ผิวน้ำ โดยฟองอากาศเป็นตัวช่วยพาให้น้ำมันและไขมันลอยตัวขึ้นสู่ผิวน้ำเร็วยิ่งขึ้น โดยเฉพาะไขมันที่ไม่สามารถแยกได้ด้วยถังไขมันหรือต้องใช้ระยะเวลาในการกักกักนานทำให้ถังตกไขมันมีขนาดใหญ่

ส่วนการทำให้ลอยตัวโดยธรรมชาติเป็นวิธีการที่อาศัยคุณสมบัติในด้านความถ่วงจำเพาะซึ่งน้ำมันและไขมันจะมีความถ่วงจำเพาะน้อยกว่าน้ำ เมื่อมีระยะเวลาการกักพักภายในถังเพียงพอที่จะทำให้ไขมันและไขมันลอยตัวขึ้นมาอยู่ที่ผิวน้ำได้ วิธีการนี้จะใช้ถังดักไขมันและเครื่องแยกไขมัน วิธีการนี้เหมาะสมกับแหล่งกำเนิดน้ำเสียที่มีปริมาณน้ำเสียและปริมาณการปนเปื้อนของน้ำมันและไขมันไม่มากนัก และการใช้วัสดุดูดซับ ซึ่งเป็นวิธีการทางกายภาพที่ใช้วัสดุที่มีคุณสมบัติในการดูดซับน้ำมันและไขมัน โดยวัสดุที่นำมาใช้อาจทำมาจากเส้นใยสังเคราะห์ หรือเส้นใยสังเคราะห์ หรือเส้นใยพืชซึ่งอาจจะเป็นวัสดุที่หาง่ายในท้องถิ่น โดยทั่วไปวัสดุดูดซับควรมีคุณสมบัติดังนี้ คือสามารถลอยตัวอยู่ได้บนน้ำ มีความหนาแน่นต่ำเพื่อให้ลอยตัวได้และสามารถดูดซับน้ำมันและไขมันไว้ในตัวได้ดี สะดวกต่อการใช้ขั้นตอนการใช้ไม่ยุ่งยาก ไม่เป็นพิษหรือส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เป็นต้น

3. วิธีการทางเคมี (Chemical Treatment) เป็นการบำบัดน้ำเสียโดยการใช้สารเคมีเติมลงในน้ำเพื่อทำการแยกน้ำมันและไขมันออกจากน้ำ โดยการใช้สารเคมีที่มีส่วนประกอบของสารลดแรงตึงผิวเป็นส่วนประกอบทำให้น้ำมันแตกตัว โดยสารเคมีที่มีส่วนประกอบของสารลดแรงตึงผิวเป็นส่วนประกอบที่ทำให้น้ำมันแตกตัว โดยสารเคมีนี้จะทำให้ความแตกต่างของแรงตึงผิวระหว่างน้ำมันและไขมันกับน้ำลดลงจนแรงตึงผิวของน้ำมันและไขมันใกล้เคียงกับน้ำ ทำให้น้ำมันและไขมันกระจายตัวและช่วยป้องกันการรวมตัวของน้ำมันและไขมันอีก และการใช้สารเคมีทำให้น้ำมันและไขมันรวมตัวกัน โดยการใช้สารเคมีฉีดลงบนจุดที่มีน้ำมันและไขมันอยู่ จะทำให้คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำมันและไขมันเกิดการรวมตัวกันกลายเป็นก้อนแล้วจมลงในน้ำ แต่สารเคมีที่ใช้จะมีราคาแพงและยังไม่มีใช้กันอย่างแพร่หลาย เช่น ใช้คอปเปอร์ซัลเฟต 0.5 ppm ในการกำจัด algae หรือเติมก๊าซคลอรีนเพื่อฆ่าเชื้อโรคต่างๆ ในน้ำ หรือใช้สารเคมีตัวอื่นที่ทำให้ตกตะกอน (Coagulants) มักทำหลังจากได้ทำการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพและกายภาพหรือการใช้วิธีการทำให้เป็นกลาง(neutralization) การทำให้ตกตะกอน (Precipitation) การเติมและลดออกซิเจน (Oxidation-Reduction) และการช่วยให้ตกตะกอน (Chemical coagulation)

พารามิเตอร์ของน้ำเสีย

1.ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

เป็นลักษณะทางเคมีของน้ำอย่างหนึ่งที่มีความสำคัญมาก สามารถใช้หาค่าสภาพด่างคาร์บอนไดออกไซด์และสมดุลกรดเบสอื่นๆได้ ตลอดจนแสดงค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายได้ ในทางทฤษฎีถือว่า พีเอชมีค่าอยู่ในช่วง 0-14 น้ำบริสุทธิ์มีพีเอชเท่ากับ 7 น้ำที่มีพีเอชสูงกว่า 7 ถือว่าเป็นด่าง ส่วนน้ำที่มีพีเอชต่ำกว่า 7 ถือว่าเป็นกรดที่เกิดจากการแตกตัวของกรดในน้ำ การวัดค่าพีเอชทำได้ 2 วิธี คือ วิธีเทียบสี (Colorimetric) และวิธีไฟฟ้า (Electrometric) ซึ่งการวัดพีเอชโดยการเทียบสี

เป็นการวัดพีเอชโดยการเปรียบเทียบสีของตัวอย่างน้ำกับสารละลายมาตรฐานซึ่งทราบค่าพีเอช เมื่อใส่อินดิเคเตอร์จำนวนเท่ากันลงในสารละลายทั้งสอง วิธีปฏิบัติที่นิยมกันคือ ใช้กระดาษวัดพีเอช ซึ่งเป็นวิธีที่ง่ายและเสียค่าใช้จ่ายน้อย แต่วิธีนี้เหมาะสำหรับน้ำสะอาด น้ำที่ไม่มีสีหรือไม่มีความขุ่นหรือตะกอนแขวนลอย เป็นต้น ส่วนการวัดพีเอชโดยวิธีไฟฟ้า คือการวัดสภาพการเป็นกรดต่างของสารละลาย ที่มีน้ำเป็นตัวทำละลาย (Aqueous Solution) โดยวัดความต่างศักย์ (Potential) ที่เกิดขึ้นระหว่างอิเล็กโทรดอ้างอิง (Reference Electrode) กับอิเล็กโทรดตรวจวัด (Sensing Electrode) ความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นจากจำนวนของไฮโดรเจนไอออน (H^+) อิเล็กโทรดจะเปลี่ยนความต่างศักย์ที่เกิดจากไอออน (Ionic Potential) ให้เป็นความต่างศักย์ไฟฟ้า (Electronic Potential) แล้วขยายให้มีความต่างศักย์สูงขึ้นด้วยเครื่องวัดพีเอช (Potentiometer) ซึ่งวิธีนี้จะใช้ได้ผลที่ถูกต้องและแน่นอนกว่าวิธีการเทียบสี แต่อุปกรณ์การวัดจะราคาแพงกว่า

2. บีโอดี (Biochemical Oxygen Demand)

เป็นปริมาณของออกซิเจนที่จุลินทรีย์ต้องการใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำซึ่งจะเป็นไปช้า ๆ ดังนั้นจึงต้องใช้เวลาหลายสิบวันตามหลักสากลใช้เวลา 5 วัน ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ค่าบีโอดีเป็นค่าที่ใช้บอกถึงผลกระทบของน้ำเสียที่มีต่อปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำโดยการทดสอบในห้องปฏิบัติการ น้ำที่มีคุณภาพดีควรมีค่าบีโอดีไม่เกิน 6 มิลลิกรัมต่อลิตร ถ้าค่าบีโอดีสูงมากแสดงว่าน้ำนั้นเน่ามาก แหล่งน้ำที่มีค่าบีโอดี สูงกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตรจะจัดเป็นน้ำเน่าหรือน้ำเสีย พระราชบัญญัติน้ำทิ้งจาก โรงงานอุตสาหกรรม กำหนดไว้ว่า น้ำทิ้งก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ ต้องมีค่าบีโอดีไม่เกิน 20 มิลลิกรัมต่อลิตร

วิธีวิเคราะห์บีโอดีมีอยู่ 2 วิธี คือ วิธีโดยตรง (Direct Method) เหมาะสำหรับตัวอย่างที่มีความสกปรกน้อยที่มีค่าบีโอดีไม่เกิน 7 มิลลิกรัมต่อลิตร วิธีนี้ไม่ต้องทำให้ตัวอย่างเจือจางด้วยน้ำกลั่น สามารถนำตัวอย่างไปหาค่าบีโอดีได้โดยตรงเลย และวิธีแบบเจือจาง ซึ่งวิธีนี้ใช้สำหรับตัวอย่างที่มีความสกปรกมาก ค่าบีโอดีมากกว่า 7 มิลลิกรัมต่อลิตร เนื่องจากปริมาณออกซิเจนที่ใช้ไปในการย่อยสลายสารอินทรีย์ซึ่งเป็นปฏิกิริยาโดยตรงกับจำนวนสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำนั้น เมื่อตัวอย่างน้ำมีสารอินทรีย์จำนวนมาก จึงต้องเจือจางตัวอย่างเพื่อให้มีออกซิเจนเพียงพอที่แบคทีเรียจะใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์นั้น

3. ซีโอดี (Chemical Oxygen Demand)

เป็นค่าที่บ่งบอกถึงปริมาณของสารอินทรีย์ซึ่งปนเปื้อนในแหล่งน้ำหรือของเสีย ที่สามารถ oxidize ได้ด้วย strong chemical oxidant ภายใต้สภาวะที่เป็นกรดเข้มข้นและมีอุณหภูมิสูง โดยจะบอกเป็นปริมาณ ออกซิเจนที่สารอินทรีย์ในตัวอย่าง strong oxidizing agents

สามารถที่จะออกซิไดส์สารอินทรีย์ได้เกือบ ทุกตัว หลักการของซีโอดีจะคล้ายกับบีโอดีคือ สารอินทรีย์ในน้ำจะถูกออกซิไดส์จนได้คาร์บอนไดออกไซด์กับน้ำ เพียงแต่บีโอดีต้องใช้แบคทีเรียในการย่อยสลาย ส่วนซีโอดีใช้ออกซิไดซ์รีเอเจนต์ ซึ่งซีโอดีและบีโอดีต่างเป็นพารามิเตอร์ที่ใช้แสดงค่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำ แต่ซีโอดีไม่สามารถจะบอกได้ถึงทางชีวภาพได้ เนื่องจากสารอินทรีย์จะถูกออกซิไดส์ได้หมดหรือเกือบหมดไม่ว่าจะสามารถออกซิไดส์ได้ทางชีวภาพหรือไม่ ดังนั้นโดยปกติจะมีผลทำให้ค่า COD มีค่าสูงกว่า BOD และค่าจะต่างกันมากหากในตัวอย่างนั้นมีสารอินทรีย์ที่ทนต่อการย่อยสลายทางชีววิทยาหรือมีสารพิษที่ขัดขวางการวิเคราะห์ BOD

วิธีวิเคราะห์ซีโอดีโดยใช้ไดโครเมตเป็นออกซิไดซิง เอเจนต์ 2 วิธี คือ วิธีรีฟลักซ์แบบเปิด (Open Reflux Method) เหมาะสำหรับหาค่าซีโอดีในช่วงกว้างๆ ต้องใช้ปริมาณตัวอย่างมากๆ ส่วนอีกวิธีหนึ่งคือวิธีรีฟลักซ์แบบปิด (Close Reflux Method) จะใช้ปริมาณตัวอย่างน้อยกว่าและประหยัดการใช้สารเคมี แต่เหมาะกับตัวอย่างน้ำที่มีสารแขวนลอยที่เข้ากันเป็นเนื้อเดียวกัน

4. ปริมาณตะกอนแขวนลอย (Suspended Solids)

หมายถึงส่วนของแข็งที่ไม่ละลายน้ำและสามารถแขวนลอยอยู่ในน้ำได้ ตะกอนมีขนาดเล็กและเบา ซึ่งจะมีส่วนที่เหลือก้างบนกระดวยกรองใยแก้วมาตรฐาน(รูพรุนขนาด $0.45 \mu\text{m}$) หลังจากกรองตัวอย่างและนำไปอบที่อุณหภูมิ 103-205 องศาเซลเซียส การวิเคราะห์หาของแข็งแขวนลอยในน้ำตัวอย่างที่ได้กำจัด ของแข็งที่จมตัวสู่ก้นภาชนะออกจากน้ำเสียในถังตกตะกอนแล้ว เพื่อหาปริมาณสารอินทรีย์ที่จะเข้าระบบบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยาและใช้ในการควบคุมระบบบำบัดด้วย

5. ไนโตรเจนทั้งหมด (Total Kjeldahl Nitrogen : TKN)

แอมโมเนียเกิดจากการย่อยสลายทางชีวภาพของสารอินทรีย์ในโตรเจน ดังนั้นน้ำที่มีแอมโมเนียจึงมักมีแนวโน้มว่าเป็นน้ำที่สัมผัสกับน้ำเสียหรือน้ำสกปรกและอาจมีเชื้อโรค แอมโมเนียในโตรเจนที่พบในน้ำธรรมชาติมีปริมาณไม่มากนักเมื่อเทียบกับน้ำเสียในชุมชน การวิเคราะห์อินทรีย์สารในโตรเจนเป็นการเปลี่ยนไนโตรเจนที่อยู่ในสารประกอบอินทรีย์ให้อยู่ในรูปของเกลือแอมโมเนียม โดยทำการย่อยสลายตัวอย่างน้ำกับกรดซัลฟูริกที่มีโพแทสเซียมซัลเฟต และเมอร์คิวรีออกไซด์เป็นคะตะลิสต์ ซึ่งคะตะลิสต์ถูกเติมไปเพื่อเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารอินทรีย์บางตัวที่ถูกย่อยสลายได้ยาก ในสถานะที่เป็นกรดอะมิโนกลุ่มจะถูกจับให้อยู่ในรูปเกลือแอมโมเนียม ต่อจากนั้น อาจหาปริมาณแอมโมเนียมในสารละลายที่กลั่นด้วยวิธี Nesslerization หรืออาจใช้วิธีไตเตรตด้วยกรดมาตรฐานแล้วนำไปคำนวณหาสารอินทรีย์ในโตรเจน

วิธีวิเคราะห์แอมโมเนียในโตรเจนมีหลายวิธี เช่น วิธีเนสเลอไรเซชัน (Nesslerization) วิธีฟีนเนต (Phenate) หรือวิธีการไตเตรต (Titrate) สำหรับการเลือกวิธีวิเคราะห์มีหลักในการพิจารณา 2 อย่าง คือ ความเข้มข้นของแอมโมเนียและสิ่งรบกวนการวิเคราะห์ ถ้าเป็นน้ำธรรมชาติ น้ำดื่ม น้ำเสีย

หาก ตลอดจนน้ำทิ้งของระบบบำบัดที่มีคุณภาพดีสามารถเลือกใช้วิธีเนสเลอไรเซชันและวิธีฟิเนตโดยตรงได้ แต่ถ้ามีสิ่งรบกวนและต้องการความแน่นอนสูง ควรจะกลั่นตัวอย่างก่อนแล้วค่อยนำมาวิเคราะห์ต่อไป ส่วนน้ำเสียหรือน้ำที่มีสิ่งรบกวนซึ่งมีปริมาณแอมโมเนียสูงๆ ควรใช้วิธีกลั่นตัวอย่างก่อนแล้วไตเตรต

6. ค่าน้ำมันและไขมัน (Fat, Oil & Grease)

การวัดปริมาณไขมันและน้ำมันไม่ได้เป็นการวัดปริมาณสารไขมันทั้งหมดที่มีอยู่ในตัวอย่างน้ำ แต่เป็นการวัดปริมาณของสารไขมันต่างๆ ที่สามารถละลายได้ในตัวทำละลายบางชนิด เช่น เฮกเซน (Hexane) หรือฟร็อน (Freon) ดังนั้น ไขมันและน้ำมันในที่นี้จะหมายถึงสารประกอบไฮโดรคาร์บอน กรดไขมัน สบู่ ไขมัน รวมทั้งสารอื่น ซึ่งสามารถสกัดได้โดยตัวทำละลายจากตัวอย่างที่ถูกทำให้เป็นกรดแล้ว และสารนั้นจะต้องไม่กลายเป็นไอในระหว่างการระเหยตัวทำละลาย การวิเคราะห์ไขมันและน้ำมันที่ย่อยสลายทางชีววิทยาได้เหมาะสำหรับน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดและน้ำธรรมชาติ แต่วิธีวิเคราะห์นี้จะไม่สามารถวัดสารที่มีจุดเดือดต่ำกว่า 70 องศาเซลเซียส

วิธีวิเคราะห์ไขมันและน้ำมันที่นิยมใช้กันมีอยู่ 2 วิธี ขึ้นอยู่กับชนิดหรือลักษณะของตัวอย่างน้ำ คือ วิธีสกัดด้วยกรวยแยก (Partition Gravimetric) วิธีนี้เหมาะสำหรับน้ำธรรมชาติ น้ำโส และน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้ว ซึ่งมีปริมาณไขมันและน้ำมันต่ำ (น้อยกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร) และวิธีสกัดด้วยซอกซ์เลต (Soxhlet) เหมาะสำหรับน้ำเสียที่มาจากโรงงานอุตสาหกรรมและชุมชนและตัวอย่างที่เป็นกากตะกอน (Sludge) ซึ่งมีปริมาณไขมันและน้ำมันสูง (มากกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Toraj และคณะ(2004) ได้ทำการทดลองเกี่ยวกับการศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานน้ำมันพืชโดยใช้เมมเบรน ซึ่งบอกได้ว่าเมมเบรนแบบ Ultrafiltration สามารถบำบัดน้ำเสีย โดยมีปัจจัยที่แตกต่างกัน เช่น ค่าพี-เอช ค่าอัตราการไหลของน้ำ ค่าความเคียดเคี้ยว ค่าอุณหภูมิและค่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์ ซึ่งผลการทดลองได้บอกถึงค่าความดันที่แตกต่างกัน 3 บาร์ อัตราการไหลของน้ำที่สูง และอุณหภูมิที่ 30 องศาเซลเซียส และค่าพี-เอชที่ 9 เป็นปัจจัยที่เหมาะสมที่สุด สำหรับงานวิจัยนี้ได้ทำการเก็บข้อมูลค่าพารามิเตอร์ของน้ำเสียที่ได้ผ่านการบำบัดโดยเมมเบรนแบบ Ultrafiltration ดังนี้ คือ COD, TOC, TSS, PO_4^{3-} , Cl^- ที่ 91%, 87%, 100%, 85% และ 40% ตามลำดับ ซึ่งความเข้มข้นของฟอสเฟตมีอัตราการลดลงอย่างเด่นที่สุด Umran และคณะ(2007)ทำการทดลองเกี่ยวกับการบำบัดน้ำเสียจากโรงฟอกน้ำมันพืชโดยวิธีการตกตะกอนแบบไฟฟ้าด้วยขั้วอิเล็กโทรดอลูมิเนียม ซึ่งดำเนินการแบบระบบเบดซ์ ที่ค่าพี-เอช ค่าความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า ค่าปริมาณPAC (poly aliminium chloride)และปริมาณของ Na_2SO_4 แตกต่างกันไป โดยทำการวัดค่าประสิทธิภาพ COD

ที่ถูกกำจัด จะถูกกำจัดได้มากที่ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้ามีค่าสูงและPAC กับ Na_2SO_4 ที่สูงขึ้น ด้วยตามลำดับ ที่พี-เอชเท่ากับ 7 สำหรับการบำบัดน้ำเสียโดยวิธีการตกตะกอนแบบไฟฟ้าด้วยขั้วอิเล็กโทรดอลูมิเนียมจะสามารถกำจัด COD ได้ถึง 97% ที่เวลา 90 นาที และ 35 mAcm^{-2} และที่ 42 kWh

Jeganaesan และคณะ(2006)ได้รายงานว่าน้ำเสียที่มาจากโรงงานผลิตอาหารสัตว์ซึ่งมีปริมาณและความเข้มข้นน้ำมันและไขมันสูงมากด้วยวิธีการไฮโดรไลซิสของเอนไซม์ไลเพส(*Candida rugosa*) ซึ่งสามารถไฮโดรไลซ่น้ำมันและไขมันได้ถึง 50% ซึ่งสอดคล้องกับค่าสำหรับ COD และ VFA(volatile fatty acid) ซึ่งเอนไซม์ไลเพสจะจับกับ *p*-mitrophenyl palmitate(*p*NPP) ก่อนและหลังไฮโดรไลซิสกับน้ำมันและไขมัน และหลังจากเวลา 3 วันการไฮโดรไลซิสจะเกิดขึ้นได้ถึง 60-70% ซึ่งวิธีการบำบัดน้ำเสียการใช้เอนไซม์ไลเพสเป็นการบำบัดน้ำเสียขั้นแรกตามแบบการบำบัดทางชีวภาพ

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

เพื่อทำการศึกษาวิจัยจะเลือกน้ำเสียที่ผ่านจากระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากโรงผลิตขนาดเล็ก ภายในจังหวัดชุมพร เพื่อใช้ในการศึกษาวิธีการบำบัดน้ำเสียโดยวิธีทางกายภาพ โดยทำการวัดค่าพารามิเตอร์ต่อไปนี้ ได้แก่ ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH), อุณหภูมิ, BOD (Biochemical Oxygen Demand), COD (Chemical Oxygen Demand) และค่าน้ำมันและไขมัน(Fat, Oil & Grease)

แนวทางการดำเนินงานของงานวิจัยนี้เลือกน้ำเสียที่จากการผลิตไบโอดีเซล ที่มีการผลิตแบบโรงผลิตขนาดเล็ก ภายในจังหวัดชุมพร

1. เลือกผลปาล์มดิบ เพื่อนำมาผลิตเป็นน้ำมันไบโอดีเซล
2. ทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสีย ที่มาจากกระบวนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซล (จากขั้นตอนการล้างไบโอดีเซล)
3. ทำการวิเคราะห์หาค่าตัวแปรของน้ำเสีย ตามแต่ละตัวแปร
4. วิธีการทดลอง
 - 4.1 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

ทำการทดลองโดยการวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) โดยใช้เครื่องวัดพี-เอช(pH Meter) ซึ่งเป็นเครื่องมือทางไฟฟ้าที่ใช้วัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของสารละลาย โดยหลักการวัดความต่างศักย์ ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วน คือ อิเล็กโทรดและตัวเครื่อง ซึ่งวิธีวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ควรทำการปรับเทียบมาตรฐาน (Standardization) เครื่องให้พร้อมก่อนที่จะวัดพี-เอช โดยใช้สารละลายบัฟเฟอร์มาตรฐานที่ทราบค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ที่แน่นอน แล้วนำตัวอย่างน้ำที่จะนำมาวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ต้องปล่อยให้อุณหภูมิคงที่เสียก่อน ก่อนทำการวัด แล้วเขย่าตัวอย่างน้ำให้เข้ากัน เทใส่บีกเกอร์และวางบนเครื่องกวนแม่เหล็ก จุ่มอิเล็กโทรด แล้วเปิดเครื่องกวน

ให้หมุนเบาๆ ทำการอ่านค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของตัวอย่างน้ำ เมื่อจะวัดตัวอย่างต่อไปให้ฉีดล้างอิเล็กโทรดด้วยน้ำกลั่นและซับด้วยกระดาษ แล้วจึงวัดตัวอย่างถัดไป

4.2 บีโอดี (Biochemical Oxygen Demand)

เป็นการวิเคราะห์หาออกซิเจนละลายน้ำด้วยวิธีแบบเจือจาง จะใช้กับน้ำตัวอย่างที่มีความสกปรกสูงมาก(มีค่าบีโอดีมากกว่า 7) จึงจำเป็นต้องนำให้ตัวอย่างน้ำมีความสกปรกเจือจางลงโดยใช้น้ำผสมเจือจาง (Dilution water) โดยใช้ Phosphate buffer, Magnesium sulfate, Calcium chloride และ Iron chloride Solution อย่างละ 1 มิลลิลิตร ต่อน้ำกลั่น 1 ลิตร แล้วทำการเลือกปริมาณน้ำตัวอย่าง ปิเปตตัวอย่างตามจำนวนที่เลือกไว้ลงในขวดบีโอดีขนาด 300 มิลลิลิตร อย่างละ 2 ขวด เติมน้ำเจือจางจนเต็มขวดบีโอดี ห้ามไม่ให้เกิดฟองอากาศ ปิดฝาให้แน่น นำขวดบีโอดีขวดหนึ่งของแต่ละปริมาตรที่เลือกมาหาค่าออกซิเจนละลายที่เริ่มต้น ให้เป็น DO_0 ส่วนอีกขวดนำไปบ่มที่ตู้ควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน เมื่อครบ 5 วัน นำขวดบีโอดีที่บ่มไว้มาหาค่าออกซิเจนละลายที่เหลืออยู่ ให้เป็น DO_5

การคำนวณ

$$\text{ค่าบีโอดี (มิลลิกรัม } O_2 \text{ / ลิตร) } = DO_0 - DO_5 \times \text{อัตราส่วนเจือจาง}$$

เมื่อ DO_0 = ค่าออกซิเจนละลายที่ไต่เตรตได้ในวันแรก

DO_5 = ค่าออกซิเจนละลายที่ไต่เตรตได้ในวันที่ 5

$$\text{อัตราเจือจาง} = \frac{\text{ปริมาตรน้ำของขวดบีโอดี (300 มล.)}}{\text{ปริมาตรตัวอย่างที่ใช้}}$$

4.3 COD (Chemical Oxygen Demand)

เป็นการวิเคราะห์ปริมาณของออกซิเจนทั้งหมดที่มาจากการ Oxidizing Agent ที่ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ หลักการวิธีหาค่า COD โดยวิธี reflux คือ ทำการเลือกหลอดแก้วสำหรับต้มซีโอดีให้เหมาะสม ถ้าตัวอย่างน้ำเสียมีซีโอดีสูงมาก ให้ทำการเจือจางตัวอย่างน้ำก่อน โดยเลือกใช้ปริมาณตัวอย่างน้ำมากที่สุด 5 มิลลิลิตร หรือใช้น้อยกว่า แล้วเติมน้ำกลั่นให้เป็น 5 มิลลิลิตร เราควรทำการประมาณค่าซีโอดีอย่างคร่าวๆ ก่อนที่เพื่อจะได้เลือกใช้ปริมาณตัวอย่างได้อย่างเหมาะสม แล้วนำน้ำตัวอย่างใส่ลงหลอดแก้ว ใส่ยายย่อยสลายหรือโพแทสเซียมไดโครเมต ตามด้วยกรดกำมะถันอย่างช้าๆ ปิดฝาให้แล้วเขย่าให้เข้ากัน สำหรับแบลนด์ให้ใช้น้ำกลั่นแล้วทำเหมือนตัวอย่างทุกอย่าง หลังจากนั้นนำหลอดแก้ววางในบล็อกร้อน แล้วใส่ตุ้บที่อุณหภูมิ 105 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง หลังจากครบ 2 ชั่วโมง นำออกจากตุ้บปล่อยให้เย็น แล้วทำการไต่เตรตขึ้น โดยการเทสารละลายออก

จากหลอดแก้วลงในขวดรูปกรวย ใช้น้ำกลั่นฉีดล้างสารละลายในหลอดแก้วให้หมด เติมเฟอโรอินอินดิเคเตอร์ 2-3 หยด แล้วไตเตรตด้วยสารละลายมาตรฐานเอเอฟเอส สีของสารละลายจะเปลี่ยนจากสีเหลืองเป็นสีน้ำตาลแดง ซึ่งแสดงถึงจุดยุติ

การคำนวณ

$$\text{ซีโอดี, มิลลิกรัม O}_2\text{/ลิตร} = \frac{(A - B) \times N \times 8000}{\text{ml. of Sample}}$$

เมื่อ A = มิลลิลิตรของ FAS ที่ใช้ในการไตเตรตแบบลงค์

B = มิลลิลิตรของ FAS ที่ใช้ในการไตเตรตตัวอย่างน้ำ

N = ความเข้มข้นของ FAS (นอร์มัล)

4.4 ถ่าน้ำมันและไขมัน (Fat, Oil & Grease)

เป็นการวิเคราะห์หาปริมาณของน้ำมันและไขมัน ทำการวิเคราะห์โดยวิธี Soxhlet Extraction Method หลักการวิเคราะห์ ปริมาณ FOG ในน้ำคือการสกัดน้ำมันและไขมันด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น Trichlorotrifluoroethane โดยการนำน้ำตัวอย่างประมาณ 1 ลิตร ใส่ในขวดปากกว้าง ทำให้เป็นกรดที่พี-เอช 2 หรือต่ำกว่า (โดยทั่วไปใช้ HCl 5 มิลลิลิตร) แล้วเตรียมการกรองโดยการวางผ้ามัสลินบนที่กรองแล้ววางกระดาษกรอง แล้วเท Filter acid suspension 100 มิลลิลิตร ลงบนที่กรองแล้วเปิดเครื่องสุญญากาศและล้างด้วยน้ำกลั่น 1 ลิตร เปิดเครื่องดูดจนไม่มีน้ำผ่านเครื่องกรอง แล้วจึงกรองตัวอย่างน้ำที่เตรียมไว้ดูดจนแห้ง แล้วใช้ปากคีมหยิบกระดาษกรองแล้วม้วนเป็นวงใส่ลงในกระดาษ Extraction Thimble ใช้กระดาษกรองหยาบหรือกระดาษกรองที่ใส่สกัดเช็ดด้านข้างของกรวยบุษเนอร์ แล้วใส่รวมไปด้วย ชั่งน้ำหนักขวดสกัด แล้วนำ Thimble ไปอบแห้งในตู้อบที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที แล้วไปสกัดน้ำมันและไขมันใน Soxhlet Apparatus โดยใช้เฮกเซนหรือไตรคลอโรฟลูออโรอีเทน ที่อัตราเร็ว 20 รอบต่อชั่วโมง ที่เวลา 4 ชั่วโมง เริ่มจับเวลาจากการสกัดรอบแรก หลังจากนั้นกลั่นตัวทำละลายจากขวดสกัดในอ่างน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เมื่อใช้ไตรคลอโรฟลูออโรอีเทน แล้วนำไปวางบนอ่างน้ำร้อนอุณหภูมิเดียวกันเป็นเวลา 1 นาที ทั้งให้เย็นในเคซิเคเตอร์ 30 นาที ชั่งน้ำหนัก

การคำนวณ

น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของขวดกลั่นคือ ปริมาณน้ำมันและไขมัน

$$\text{mg/l Oil and Grease} = \frac{(A - B)}{\text{ml. of Sample}} \times 1000$$

เมื่อ A = น้ำหนักของขวดสกัดก่อนการทดลอง (mg)

B = น้ำหนักของขวดสกัดหลังการทดลอง (mg)

5. วิธีการบำบัดน้ำเสีย คือ

ศึกษาค่าพารามิเตอร์ของน้ำเสียที่ผ่านจากระบวนการผลิตไบโอดีเซล แยกเป็นแต่ละตัวแปร และศึกษาวิธีการบำบัดน้ำเสียทางกายภาพ โดยจะทำการทดลองแบบหลายซ้ำ เพื่อหาค่าที่แม่นยำของแต่ละตัวแปรวางแผนการทดลองแบบ Factorials in Completed Randomized Design แบ่งการทดลองออกเป็น 4 สิ่งทดลอง สิ่งทดลองละ 3 ซ้ำ ทั้งหมด 12 ตัวอย่าง โดยมีปัจจัยทดลอง คือ ปริมาณของวัสดุคูดซับ ดังนี้

1. วัสดุคูดซับ คือ กะลาปาล์มน้ำมัน ที่ อัตราส่วนของวัสดุคูดซับ : ตัวอย่างน้ำเสีย ดังนี้ 1:1, 3:1 และ 5:1
2. ใส่จุลินทรีย์ประสิทธิภาพ (Effective organism) 5 มิลลิลิตร ในทุกตัวอย่างน้ำ (เพื่อช่วยในการย่อยสลายสารอินทรีย์)

5.1 วิธีการบำบัดน้ำเสียทางกายภาพ (Physical Treatment)

1. นำตัวอย่างน้ำเสียที่มาจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลปริมาณ 10 มิลลิลิตร ใส่ขวดรูปกรวย จำนวน 10 ตัวอย่าง
2. เติมวัสดุคูดซับ (กะลาปาล์มน้ำมัน) อัตราส่วนของวัสดุคูดซับ : ตัวอย่างน้ำเสีย ทริทเมนต์ที่ 1 คือ อัตราส่วนของวัสดุคูดซับ : ตัวอย่างน้ำเสีย เป็น 0:1 จำนวน 3 ซ้ำ
ทริทเมนต์ที่ 2 คือ อัตราส่วนของวัสดุคูดซับ : ตัวอย่างน้ำเสีย เป็น 1:1 จำนวน 3 ซ้ำ
ทริทเมนต์ที่ 3 คือ อัตราส่วนของวัสดุคูดซับ : ตัวอย่างน้ำเสีย เป็น 3:1 จำนวน 3 ซ้ำ
ทริทเมนต์ที่ 4 คือ อัตราส่วนของวัสดุคูดซับ : ตัวอย่างน้ำเสีย เป็น 5:1 จำนวน 3 ซ้ำ

4. ใส่จุลินทรีย์ประสิทธิภาพ (Effective organism) 5 มิลลิลิตร ในทุกตัวอย่างน้ำ (เพื่อช่วยในการย่อยสลายสารอินทรีย์)

5. ทำการ stir สารละลายเป็นเวลา 10 นาที หลังจากนั้นทำการวัดค่าพี-เอชอีกครั้ง

6. ทำการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ของน้ำเสีย ดังนี้ ค่าพี-เอช, BOD

(Biochemical Oxygen Demand), COD (Chemical Oxygen Demand) และค่าน้ำมันและไขมัน (Fat, Oil & Grease)

6. ทำการเก็บข้อมูล

วิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าพารามิเตอร์ ได้แก่ ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH), BOD (Biochemical Oxygen Demand), COD (Chemical Oxygen Demand) และค่าน้ำมันและไขมัน (Fat, Oil & Grease) ที่ใช้วิธีการบำบัดน้ำเสียทางกายภาพ โดยวิธีวิเคราะห์หว่าเรียนซ์ (Analysis of variance) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Independence Sample T-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

4.2 วิเคราะห์ความแปรปรวนของอัตราส่วนของวัสดุดูดซับที่แตกต่างกันโดยวิธีวิเคราะห์หว่าเรียนซ์ (Analysis of variance) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

7. สรุปการวิจัย นำผลการทดลองของค่าพารามิเตอร์ของน้ำเสียที่ผ่านการบำบัด มาทำการวิเคราะห์ตามแต่ละตัวแปรเทียบกับค่ามาตรฐานของน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการผลิตไบโอดีเซล



ผลการวิจัย

การเปรียบเทียบ ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH), BOD (Biochemical Oxygen Demand), COD (Chemical Oxygen Demand) และค่าน้ำมันและไขมัน (Fat, Oil & Grease)

1. ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH),

สำหรับค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของน้ำเสียที่ผ่านจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล หลังจากผ่านบำบัดโดยการใช่วัสดุดูดซับ คือ พงถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) มีค่าสูงสุดในทริทเมนต์ที่ไม่มีการเติมวัสดุดูดซับ 7.04 และมีค่าต่ำสุดในทริทเมนต์ที่มีการเติมวัสดุดูดซับ: น้ำล้างไบโอดีเซลที่อัตราส่วน 5:1 เท่ากับ 6.91 และใกล้เคียงกับทริทเมนต์ที่มีการเติมวัสดุดูดซับ: น้ำล้างไบโอดีเซลที่อัตราส่วน 1:1 และ 3:1 คือ 6.98 และ 6.97 ตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P < 0.05$) กับทริทเมนต์ที่มีการเติมวัสดุดูดซับ(ตารางที่ 2)

สำหรับ BOD (Biochemical Oxygen Demand) ของน้ำเสียที่ผ่านจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล หลังจากผ่านบำบัดโดยการใช่วัสดุดูดซับ คือ พงถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) ซึ่งจะมีค่าสูงที่สุดในทริทเมนต์ที่ไม่มีการเติมวัสดุดูดซับ ซึ่งเท่ากับทริทเมนต์ที่มีการเติมวัสดุดูดซับ: น้ำล้างไบโอดีเซลที่อัตราส่วน 5:1 คือ 2,275 มก/ล. ส่วนทริทเมนต์ที่มีการเติมวัสดุดูดซับที่อัตราส่วน 1:1 และ 3:1 มีปริมาณ BOD (Biochemical Oxygen Demand) ที่ใกล้เคียงกัน คือ 1,550 และ 1,600 มก/ล. ตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (not significant $P < 0.05$) (ตารางที่ 2)

สำหรับ COD (Chemical Oxygen Demand) ของน้ำเสียที่ผ่านจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล หลังจากผ่านบำบัดโดยการใช่วัสดุดูดซับ คือ พงถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) จะมีค่าสูงที่สุดในทริทเมนต์ที่ไม่มีการเติมวัสดุดูดซับ คือ 16,213 มก/ล. รองลงมาคือ ทริทเมนต์ที่มีการเติมวัสดุดูดซับที่อัตราส่วน 5:1 เท่ากับ 15,246 มก/ล. สำหรับทริทเมนต์ที่มีการเติมวัสดุดูดซับที่อัตราส่วน 3:1 มีปริมาณ COD (Chemical Oxygen Demand) เท่ากับ 13,346 มก/ล. และทริทเมนต์ที่มีปริมาณ COD (Chemical Oxygen Demand) น้อยที่สุด คือ ทริทเมนต์ที่มีการเติมวัสดุดูดซับที่อัตราส่วน 1:1 มีค่าเท่ากับ 11,713 มก/ล. ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (not significant $P < 0.05$) (ตารางที่ 2)

สำหรับค่าน้ำมันและไขมัน (Fat, Oil & Grease) ของน้ำเสียที่ผ่านจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล หลังจากผ่านบำบัดโดยการใช่วัสดุดูดซับ คือ พงถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) สำหรับทริทเมนต์ที่ไม่มีการเติมวัสดุดูดซับ ค่าน้ำมันและไขมัน (Fat, Oil & Grease) ทริทเมนต์ที่มีการเติมวัสดุ

ชั้นที่อัตราส่วน 1:1 และ 3:1 มีค่าน้ำมันและไขมัน (Fat, Oil & Grease) ที่เท่ากัน คือ 2.67 มก/ล. ตามลำดับ ส่วนค่าน้ำมันและไขมัน ในทริทเมนต์ที่ไม่มีการเติมวัสดุดูดซับและทริทเมนต์ที่มีการเติม วัสดุดูดซับที่อัตราส่วน 5:1 มีค่าเท่ากัน คือ 3 มก/ล ซึ่งอยู่ ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (not significant $P < 0.05$) (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยของค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH), BOD (Biochemical Oxygen Demand), COD (Chemical Oxygen Demand) และค่าน้ำมันและไขมัน (Fat, Oil & Grease) ของน้ำเสียจาก กระบวนการผลิตไบโอดีเซลที่ผ่านกระบวนการบำบัดโดยการเติมวัสดุดูดซับ (ถ่านกัมมันต์ : Activated carbon) ที่อัตราส่วนแตกต่างกัน

สิ่งทดลอง	ค่าความเป็นกรด-ด่าง	BOD	COD	ค่าน้ำมันและไขมัน
ไม่เติมวัสดุดูดซับ (T1)	7.04a ^{1/}	2275a ^{1/}	16213.33a	5.33a
วัสดุดูดซับ: น้ำล้างไบโอดีเซล				
1: 1 (T2)	6.98a	1600a	11713.33ab ^{2/}	3.67a
วัสดุดูดซับ: น้ำล้างไบโอดีเซล				
3: 1 (T3)	6.97a	1550a	13346.67ab	3.67a
วัสดุดูดซับ: น้ำล้างไบโอดีเซล				
5: 1 (T4)	6.91a	2275a	15246.67 b ^{3/}	3.00a
F – Test : F –value	0.69	1.11	3.07	1.08
Sig	ns	ns	ns	ns
% CV	1.55	34.59	14.02	42.34

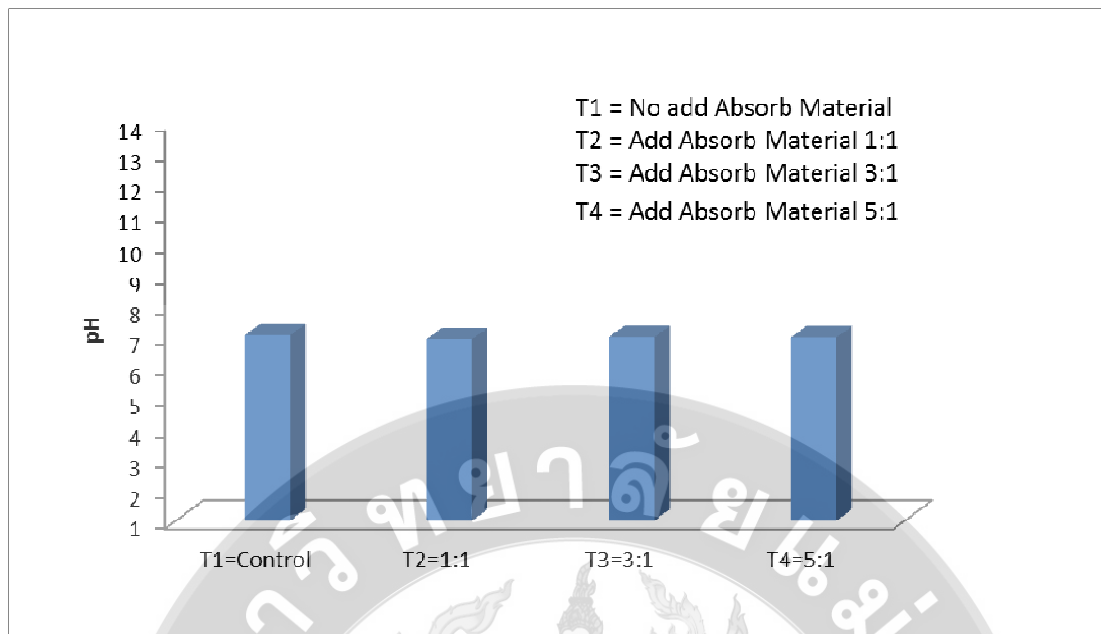
หมายเหตุ

1/ = ตัวเลขในแนวตั้งที่มีอักษรต่างกัน แสดงว่า มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยแบบ DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

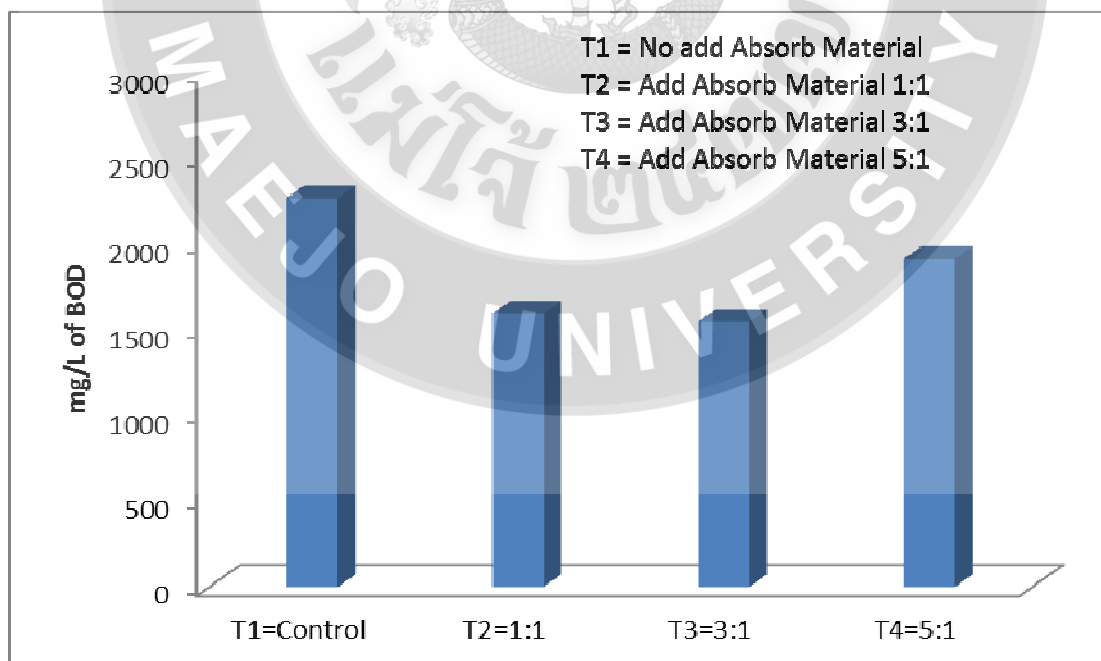
* = มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

** = มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ

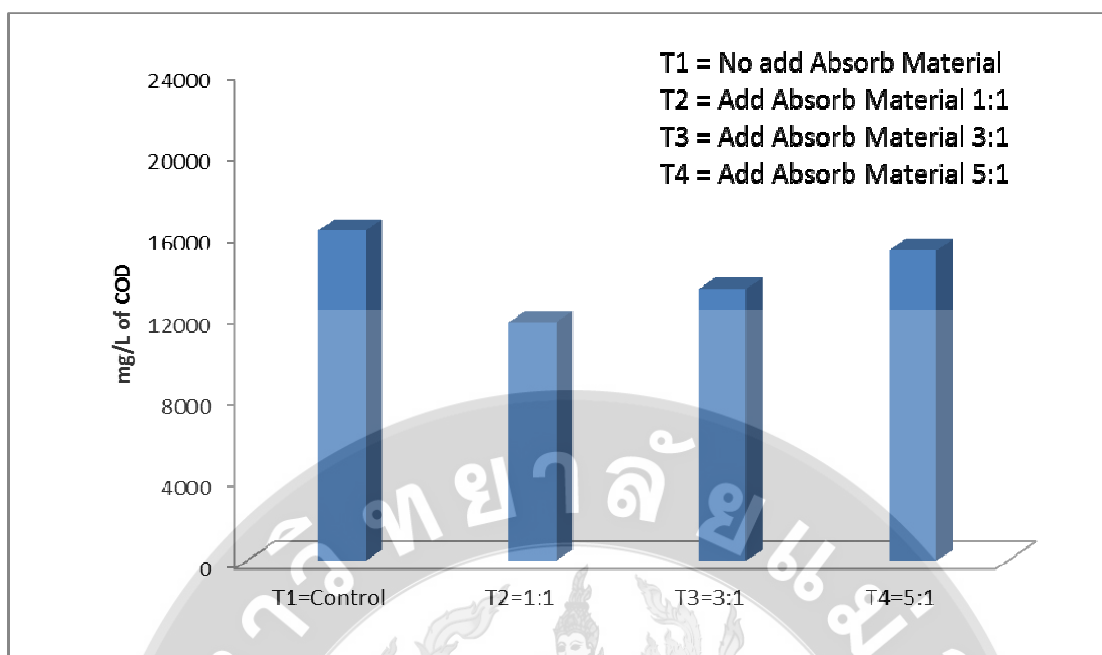
ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (not significant $P < 0.05$)



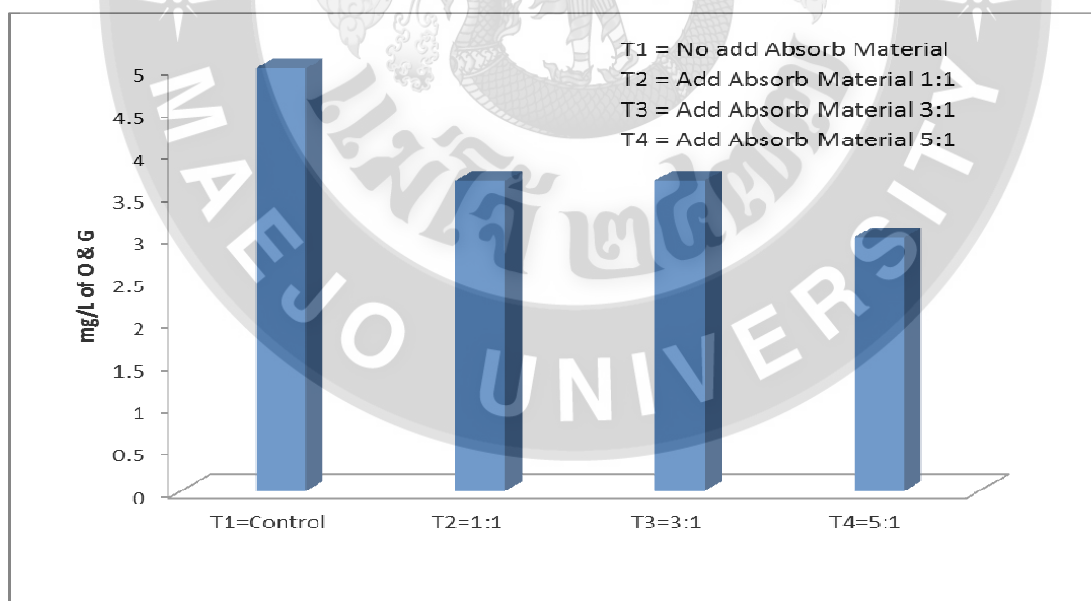
รูปที่ 11 ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำเสียจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลที่ผ่านการบำบัดโดยการเติมวัสดุดูดซับ (Activated carbon: AC) ที่อัตราส่วนแตกต่างกัน



รูปที่ 12 ปริมาณ BOD (Biochemical Oxygen Demand) ของน้ำเสียจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลที่ผ่านการบำบัดโดยการเติมวัสดุดูดซับ (Activated carbon: AC) ที่อัตราส่วนแตกต่างกัน



รูปที่ 13 ปริมาณ COD (Chemical Oxygen Demand) ของน้ำเสียจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลที่ผ่านการบำบัดโดยการเติมวัสดุดูดซับ (Activated carbon: AC) ที่อัตราส่วนแตกต่างกัน



รูปที่ 14 ปริมาณน้ำมันและไขมัน (Fat, Oil & Grease) ของน้ำเสียจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลที่ผ่านการบำบัดโดยการเติมวัสดุดูดซับ (Activated carbon: AC) ที่อัตราส่วนแตกต่างกัน

วิจารณ์ผลการทดลอง

การศึกษาพารามิเตอร์ของน้ำเสียจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล ที่ผ่านการบำบัดโดยการเติมวัสดุดูดซับ ผงถ่านกัมมันต์ (Activated carbon: AC) โดยทำการแยกเป็นแต่ละพารามิเตอร์ ดังนี้ คือ ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH), BOD (Biochemical Oxygen Demand), COD (Chemical Oxygen Demand) และค่าน้ำมันและไขมัน (Fat, Oil & Grease)

น้ำเสียที่ผ่านจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากโรงผลิตขนาดเล็กที่ผ่านการบำบัดด้วยผงถ่านกัมมันต์และร่วมด้วยการเติมจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ (Effective Microorganism: E.M.) นั้นมีค่าความเป็นกรด-ด่าง อยู่ที่ 6-7 ซึ่งมีค่าสมบัติความเป็นกลาง โดยที่ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำล้างไบโอดีเซลจะมีสมบัติเป็นเบสอ่อน คือ มีค่าความเป็นกรด-ด่างประมาณ 9 ซึ่งวิธีการที่จะทำให้ไขมันไบโอดีเซลมีคุณสมบัติเป็นกลางได้นั้น คือ วิธีการล้างด้วยน้ำ ซึ่งน้ำที่นำไปล้างไขมันไบโอดีเซลสามารถกำจัดสบู่หรือสารละลายที่มีสมบัติเป็นเบส โดยถูกกำจัดออกในรูปของเกลือ รวมทั้งสารเร่งปฏิกิริยาสิ่งปนเปื้อนที่มีอยู่ในน้ำมันไบโอดีเซล ให้มีคุณสมบัติเป็นกลาง และการใช้วัสดุดูดซับ เช่น ดินฟอกสีหรือผงถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon: AC) ร่วมกับวิธีการล้างน้ำ เพื่อทำการดูดซับอนุภาคสิ่งปนเปื้อนที่อยู่ในน้ำมันไบโอดีเซลอีกทางหนึ่งด้วย ซึ่งปริมาณน้ำที่อยู่ในน้ำมันไบโอดีเซลต้องไม่เกิน 0.05%wt ตามมาตรฐาน EN ISO 12937 และน้ำเสียที่มาจากกระบวนการล้างไบโอดีเซลนั้นจะพบว่าปริมาณของไขมันและน้ำมันจะมีมากกว่า 7,000 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยที่ค่ามาตรฐานของน้ำมันไบโอดีเซลต้องมีปริมาณไขมันและน้ำมันไม่เกิน 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งการบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลโดยการใช่วัสดุดูดซับ คือ ผงถ่านกัมมันต์ร่วมด้วยการเติมจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ (Effective Microorganism: E.M.) นั้น สารเคมีและอินทรีย์สารที่มีอยู่ในน้ำเสียจะถูกดูดซับไว้ที่บริเวณพื้นผิวหน้าของผงถ่านกัมมันต์ที่มีลักษณะเป็นรูพรุน รวมทั้งจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ (Effective Microorganism: E.M.) จะไปช่วยในการย่อยสลายสิ่งปนเปื้อนที่อยู่ในน้ำเสียอีกทางหนึ่งด้วย พบว่าปริมาณไขมันและน้ำมันในน้ำเสียมีค่าลดลงได้ถึง 89 เปอร์เซ็นต์ จึงเป็นสาเหตุหลักทำให้น้ำเสียมีค่าของ BOD (Biochemical Oxygen Demand) และ COD (Chemical Oxygen Demand) ที่สูง ประมาณ 7,000 – 8,000 มิลลิกรัมต่อลิตร สำหรับน้ำเสียที่ผ่านจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากโรงผลิตขนาดเล็กพบว่าค่า BOD (Biochemical Oxygen Demand) และ COD (Chemical Oxygen Demand) อยู่ที่ 2,275 mg/l และ 16,213 mg/l ตามลำดับ ซึ่งเกิดจากอินทรีย์สารของน้ำมันปาล์ม สารเคมีที่ใช้ในกระบวนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซล และกลีเซอรินที่เป็นผลิตภัณฑ์ผลพลอยได้ของระบบการผลิต และสำหรับน้ำเสียที่ผ่านจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากโรงผลิตขนาดเล็กที่ผ่านการบำบัดด้วยผงถ่านกัมมันต์และร่วมด้วยการเติมจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ (Effective Microorganism: E.M.) ที่อัตราส่วน 1:1, 3:1 และ 5:1 นั้น จะมีค่า BOD (Biochemical Oxygen Demand) และ ค่า COD

(Chemical Oxygen Demand) ที่สัมพันธ์กัน สำหรับอัตราส่วนที่ 1:1 นั้นสามารถลดปริมาณของ COD ได้ดีที่สุดอยู่ที่ 11,713 มก/ล. ซึ่งลดลงประมาณ 28 เปอร์เซ็นต์ ส่วนค่า ค่า BOD (Biochemical Oxygen Demand) มีค่าเท่ากับ 1,600 มก/ล. และสำหรับที่อัตราส่วน 5:1 นั้น สามารถลดปริมาณของ COD อยู่ที่ 15,246 มก/ล. ซึ่งสามารถลดปริมาณของ COD ได้ดีกว่าที่อัตราส่วน 3:1 ถือลดได้แค่ 18 เปอร์เซ็นต์ ส่วนค่า ค่า BOD (Biochemical Oxygen Demand) ที่สามารถกำจัดได้ดีที่สุดอยู่ที่ อัตราส่วนเท่ากับ 5:1 มีค่าเท่ากับ 1,920 มก/ล. ซึ่งสามารถลดค่า BOD ไปได้ถึง 30 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งแสดงว่าปริมาณของจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพที่ใช้สำหรับการบำบัดน้ำเสียที่มีปริมาณมากเกินไปจะทำให้ปริมาณของอินทรีย์สารในน้ำเสียมีเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ค่า COD มีค่ามากขึ้นตามไปด้วย สำหรับค่าน้ำมันและไขมัน (Fat, Oil & Grease) ที่ผ่านจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากโรงผลิตขนาดเล็กที่ผ่านการบำบัดด้วยผงถ่านกัมมันต์และร่วมด้วยการเติมจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ (Effective Microorganism: E.M.) นั้น ผงถ่านกัมมันต์และจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพไม่สามารถลดปริมาณของไขมันในน้ำเสียได้ เนื่องจากพื้นผิวหน้าของผงถ่านกัมมันต์ไม่สามารถดูดซับสารประกอบจำพวกไขมันได้โดยตรง รวมทั้งจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพก็ไม่สามารถย่อยสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่ได้ ซึ่งมีค่าน้ำมันและไขมันที่ผ่านการบำบัดนั้นจะมีค่าไม่แตกต่างกัน คือมีค่าอยู่ที่ประมาณ 2.6 - 3 มก/ล.

สรุปผลการทดลอง

ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของน้ำเสียที่ผ่านจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล หลังจากผ่านบำบัดโดยการใช่วัสดุดูดซับ คือ ผงถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) ร่วมด้วยการเติมจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ (Effective Microorganism: E.M.) มีค่าสูงสุดในทริทเมนต์ที่ไม่มีการเติมวัสดุดูดซับ 7.04 และมีค่าต่ำสุดในทริทเมนต์ที่มีการเติมวัสดุดูดซับ: น้ำล้างไบโอดีเซลที่อัตราส่วน 5:1 และใกล้เคียงกับทริทเมนต์ที่มีการเติมวัสดุดูดซับ: น้ำล้างไบโอดีเซลที่อัตราส่วน 1:1 และ 3:1 ค่า BOD (Biochemical Oxygen Demand) ของน้ำเสียที่ผ่านจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล อัตราส่วนที่สามารถกำจัด BOD ได้ดีที่สุด อยู่ที่อัตราส่วน คือ 1,920 มก/ล. ค่า COD (Chemical Oxygen Demand) ของน้ำเสียที่ผ่านจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล หลังจากผ่านบำบัดโดยการใช่วัสดุดูดซับ คือ ผงถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) ร่วมด้วยการเติมจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ (Effective Microorganism: E.M.) ที่อัตราส่วน 1:1 นั้นสามารถลดปริมาณของ COD ซึ่งลดลงประมาณ 28 เปอร์เซ็นต์ และค่าน้ำมันและไขมัน (Fat, Oil & Grease) ของน้ำเสียที่ผ่านจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล หลังจากผ่านบำบัดโดยการใช่วัสดุดูดซับ คือ ผงถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) ร่วมด้วยการ

เติมจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ (Effective Microorganism: E.M.) มีค่าซึ่งมีค่าน้ำมันและไขมันที่ผ่านการบำบัดนั้นจะมีค่าไม่แตกต่างกัน คือมีค่าอยู่ที่ประมาณ 3 มก/ล.

ข้อเสนอแนะ

1. เพิ่มปริมาณของผงถ่านกัมมันต์และจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพที่อัตราส่วนที่มากขึ้น เพราะอินทรีย์สารที่มีอยู่ในน้ำเสียจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลมีปริมาณที่มาก
2. ทำการศึกษาถึงโครงสร้างโมเลกุลภายในและอัตราการดูดซับของถ่านกัมมันต์
3. นำถ่านกัมมันต์ไปเคลือบด้วยสารเคมี (Impregnated Activated Carbon (A/C) - Adsorption Process) บางชนิด เช่น สารประกอบเชิงซ้อนของโลหะบางประเภท กรดหรือด่างอย่างใดอย่างหนึ่ง เพื่อให้ความสามารถในการดูดซับมีประสิทธิภาพสูงขึ้นเป็นหลายสิบเท่าของผงถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) ธรรมดา และยังสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ โดยการบำบัดสารที่ดูดซับไว้และทำการปรับสภาพใหม่ได้อีกด้วย
4. ทำการเลือกชนิดของถ่านกัมมันต์ที่มีขนาดของรูพรุนที่มีขนาดใหญ่ (Macrospore) เพื่อให้มีประสิทธิภาพในการดูดซับให้ดียิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิงของโครงการวิจัย

นรเศรษฐ์ ชีรัชย์ไพศาล : การบำบัดน้ำเสียจากการผลิตไบโอดีเซลด้วยระบบโปรยกรอง.

(WASTEWATER TREATMENT FROM BIODIESEL PRODUCTION BY TRICKLING

FILTER) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศรัณย์ เตชะเสน, หน้า62.

กำพล นันทพงษ์, “ความรู้เบื้องต้นในการบำบัดน้ำเสีย”, คณะสาธารณสุขศาสตร์,

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

จิราวัลย์ แลบัว, 2530, “การเตรียมเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันพืชโดยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิ

เคชัน”, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะ

ทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

ณัฐริกา ชื่อมาก, 2548, “การบำบัดน้ำมันและไขมันในน้ำเสียชุมชนโดยแบบจำลองระบบเอสปีอาร์” ,

ปริญญาานิพนธ์ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

พนิดา ศิริบังเกิดผล, พิสมัย เจนวนิชปัญจกุล, เจนจบ สุขสดและสุดา นันทวิทยา, 2544, “การศึกษา

คุณสมบัติทางเคมีของน้ำมันดีเซล และมลพิษที่เกิดขึ้นเมื่อใช้เป็นเชื้อเพลิง”, เอกสาร

กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, หน้า 1-8.

มันสิน ตันกุลเวศม์, 2543, “คู่มือวิเคราะห์คุณภาพน้ำ”, ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะ

วิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ไมตรี จิรไมตรี, 2551, “การพัฒนาถังดักไขมันโยการดูดซับด้วยกากมะพร้าว”, ปริญญาานิพนธ์

สาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

วทัยพรรณ ปุจฉากร, จิรพันธ์ ปัญญานันท์, ทรงศักดิ์ สรรไพโรจน์ และ วิวัฒน์ เรืองเลิศปัญญากุล,

2549, “การพัฒนาระบบการผลิตไบโอดีเซล”, วิศวกรรมสารเอเชียอาคเนย์, ปีที่1, ฉบับที่2,

หน้า 48-53.

Azhar A., Mohd F., Mohamad A. and Mazlan S. 1990 , “The effect of neutralized palm oil

methyl esters (NPOME) on performance and emission of a direct injection diesel”. "

Mechanical Engineering Laboratory ", NEWYORK JOHN WILEY & SONS, INC

NEWYORK,

Jaganean J., Amarjeet B., Gearge N., 2005, “Pre-treatment of high oil and grease pet food

industrial wastewater using immobilized lipase hydrolyzation”. Journal of Hazardous

Materials B137(2006) 121-128.

Sriroth, a., Prasertsan P., Isvilanonda, S., Ayachanan, S., HatairaStham, S. and PiyachomS8an, a.

(2003) “Potential of Palm Oil 4or Biodiesel Production in Thailand”. In Proceeding o4

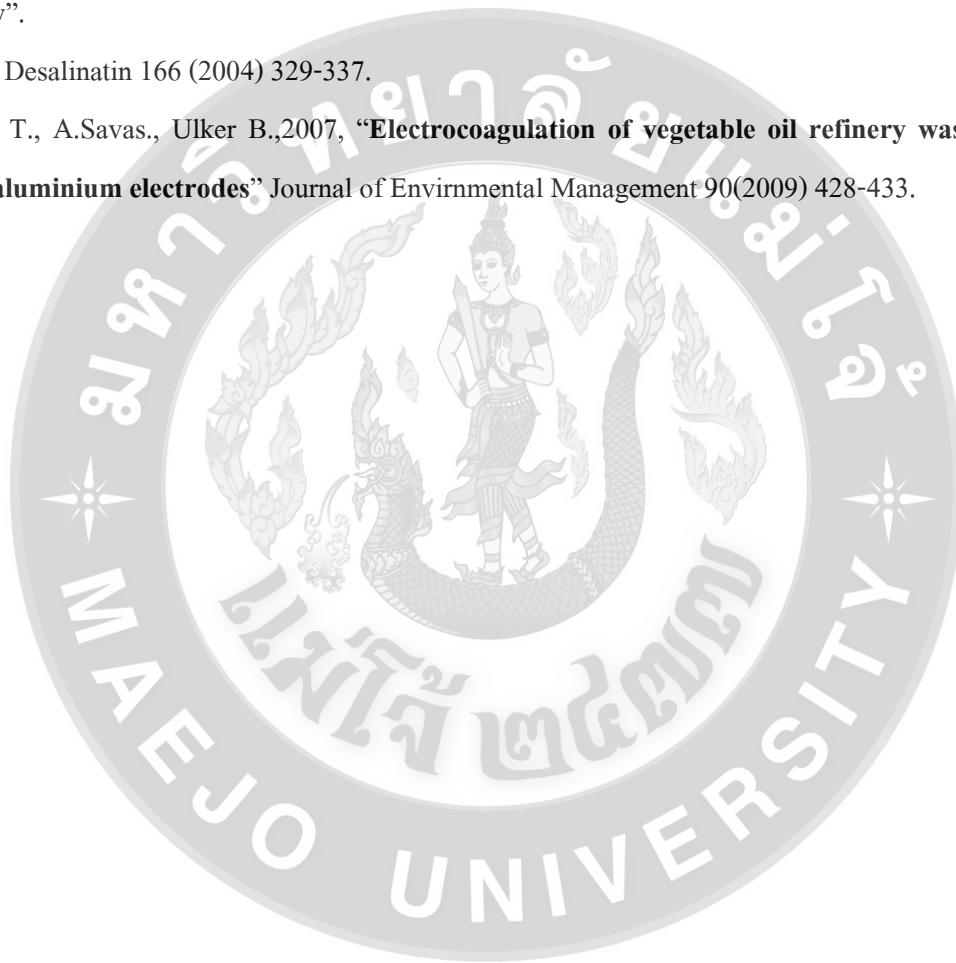
2nd Regional Conference on Energy Technology Towards a Clean Environment; 12-14 February 2003, Phuket, Thailand.

Somporn Pleanjai, Snabbir H.Gheewala and Savitri Garivait, 2004 , “**Environmental Evaluation of Biodiesel Production from Palm Oil in a life Cycle Perspective**”, The Joint International Conference on “Sustainable Energy and Environment(SEE)”.1-3 December.

Toraj M., Ashkan E., 2004, “**Wastewater treatment using ultrafiltration at a vegetable oil factory**”.

Desalination 166 (2004) 329-337.

Umran T., A.Savas., Ulker B.,2007, “**Electrocoagulation of vegetable oil refinery wastewater using aluminium electrodes**” Journal of Environmental Management 90(2009) 428-433.





ตารางผนวกที่ 1 ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำเสียจากระบบการผลิตไบโอดีเซลที่ผ่านการบำบัด
โดยการเติมวัสดุดูดซับ (Activated carbon: AC) ที่อัตราส่วนแตกต่างกัน

	R1	R2	R3	Avg.
T1 = Control	6.99	7.17	6.95	7.036667
T2 = (1:1)	6.89	6.82	7.02	6.91
T3 = (3:1)	7.14	6.85	6.94	6.976667
T4 = (5:1)	6.98	6.94	6.98	6.966667

ตารางผนวกที่ 2 ปริมาณ BOD (Biochemical Oxygen Demand) ของน้ำเสียจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลที่ผ่านการบำบัดโดยการเติมวัสดุดูดซับ (Activated carbon: AC) ที่อัตราส่วนแตกต่างกัน

	R1	R2	R3	Avg.
T1 = Control	1350	3525	1950	2275
T2 = (1:1)	1800	1425	1575	1600
T3 = (3:1)	1200	1875	1575	1550
T4 = (5:1)	2325	2850	1650	2275

ตารางผนวกที่ 3 ปริมาณ COD (Chemical Oxygen Demand) ของน้ำเสียจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลที่ผ่านการบำบัดโดยการเติมวัสดุดูดซับ (Activated carbon: AC) ที่อัตราส่วนแตกต่างกัน

	R1	R2	R3	Avg.
T1 = Control	17980	16880	13780	16213.33
T2 = (1:1)	13780	9380	11980	11713.33
T3 = (3:1)	13280	13480	13280	13346.67
T4 = (5:1)	12480	16080	17180	15246.67

ตารางผนวกที่ 4 ปริมาณน้ำมันและไขมัน (Fat, Oil & Grease) ของน้ำเสียจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลที่ผ่านการบำบัดโดยการเติมวัสดุดูดซับ (Activated carbon: AC) ที่อัตราส่วนแตกต่างกัน

	R1	R2	R3	Avg.
T1 = Control	7	7	2	5.33
T2 = (1:1)	4	2	5	3.67
T3 = (3:1)	4	4	3	3.67
T4 = (5:1)	4	4	3	3.67