การศึกษาความคุ้มค่าเชิงสิ่งแวดล้อมและเชิงเศรษฐศาสตร์สำหรับกระบวนการล้างสิ่งปนเปื้อนออกจากน้ำมันดีเซลชีวภาพโดยใช้ตัวกรองแลกเปลี่ยนประจุ

โดย

นายศิวกร เกษตรสิน

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
พ.ศ. 2553

การศึกษาความคุ้มค่าเชิงสิ่งแวดล้อมและเชิงเศรษฐศาสตร์สำหรับกระบวนการล้างสิ่งปนเปื้อนออกจากน้ำมันดีเซลชีวภาพโดยใช้ตัวกรองแลกเปลี่ยนประจุ

โดย

นายศิวกร เกษตรสิน

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
พ.ศ. 2553

Economic and Environmental Beneficial Study of Biodiesel Purification using Ion-Exchange Resin

By

Mr.Civakorn Kasetsin

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Chemical Engineering

Faculty of Engineering

Thammasat University

2010

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

วิทยานิพนธ์

ของ

นายศิวกร เกษตรสิน

เรื่อง

การศึกษาความคุ้มค่าเชิงสิ่งแวดล้อมและเชิงเศรษฐศาสตร์สำหรับกระบวนการล้างสิ่งปนเปื้อนออกจากน้ำมันดีเซลชีวภาพโดยใช้ตัวกรองแลกเปลี่ยนประจุ

ได้รับการตรวจสอบและอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

เมื่อ วันที่ 23 เมษายน พ.ศ. 2553

ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ _____

(อาจารย์ ดร.หาญพล พึ่งรัศมี)

กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ _____

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.แคทลียา ปัทมพรหม)

กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ _____

(รองศาสตราจารย์ ดร.อาทิวรรณ โชติพฤกษ์)

คณบดี _____

(รองศาสตราจารย์ ดร.อุรุยา วีสกุล)

บทคัดย่อ

การผลิตน้ำมันไบโอดีเซลให้ได้คุณภาพ ตามมาตรฐานประกาศของ กรมธุรกิจพลังงาน กระทรวงพลังงาน ปี พ.ศ. 2548 เพื่อการนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ มีความจำเป็นต้องผ่านกระบวนการ ทำน้ำมันไบโอดีเซลดังกล่าวให้บริสุทธิ์ งานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาถึงการทำน้ำมันไบโอดีเซล ให้บริสุทธิ์ด้วยกรรมวิธี ใช้ตัวกรองแลกเปลี่ยนประจุ ในการจับสิ่งปนเปื้อน ที่มีประจุ ด้วยวิธีการกรองผ่านท่อกรอง โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 ศึกษาคุณภาพของน้ำมันไบโอดีเซล ที่ได้จากกรรมวิธีการทำให้บริสุทธิ์ด้วยการกรองผ่านตัวกรองแลกเปลี่ยนประจุ เปรียบเทียบกับกรรมวิธีดั้งเดิม ด้วยการล้างด้วยน้ำ และส่วนที่ 2 ได้แก่ การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจในการเลือกใช้ กรรมวิธีการทำให้บริสุทธิ์ โดยศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องใน ด้านต้นทุนทางเศรษฐศาสตร์ และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและการใช้ทรัพยากร

ผลการวิจัยแสดง ให้เห็นว่า คุณภาพของน้ำมันไบโอดีเซล ที่ได้จากกรรมวิธี ในการทำให้บริสุทธิ์ ด้วยการกรองผ่านตัวกรองแลกเปลี่ยนประจุ มีคุณภาพเทียบเท่า หรือดีกว่ากรรมวิธีการล้างด้วยน้ำแบบดั้งเดิม โดยมีระดับของค่าความเป็นกรด pH ไม่แตกต่างกัน แต่วิธีการกรองผ่านตัวกรองแลกเปลี่ยนประจุ สามารถทำให้ได้ความเข้มข้น ของเมทิลเอสเทอร์ สูงกว่า วิธีการล้างด้วยน้ำถึง 2% ในสภาวะการกรอง ที่มีอัตราการไหล 1.5 – 1.8 เท่าของลิตรของสารกรอง ที่ใช้ต่อชั่วโมง และเมื่อพิจารณาจาก ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ทั้งในด้านประสิทธิภาพ ในการใช้ทรัพยากร และการจัดการของเสีย วิธีการกรองผ่านตัวกรอง ให้ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและใช้ทรัพยากรน้อยกว่าด้วยแนวคิดแบบการประเมินวัฏจักรผลิตภัณฑ์อย่างง่ายและเมื่อวิเคราะห์ปัจจัยทางด้านเศรษฐศาสตร์ พบว่าความคุ้มทุนของ วิธีการใช้ตัวกรองแลกเปลี่ยนประจุจะขึ้นอยู่กับอายุการใช้งานของสารกรอง ซึ่งควรจะต้องมีอายุใช้งานไม่ต่ำกว่า 4 ปีขึ้นไปสำหรับหน่วยผลิตน้ำมันไบโอดีเซลขนาด 20,000 ลิตร/วัน

Abstract

To produce high quality biodiesel that meets the biodiesel standard announced by the department of energy business, Ministry of energy, raw biodiesel needs a purification process. This research has studied the purification method of biodiesel by using ion-exchange resin. This study was separated into two parts. In part I, the comparison of biodiesel quality between ion-exchange resin washing method and the conventional water washing method was conducted. Part II, evaluated the economic aspects and environment impacts of the two methods.

From the results, we found that the quality of biodiesel purified by a resin washing method was the same or a bit higher than that purified by the conventional water washing method. The acid value and pH of both purification methods were at the same level but the purity of methyl ester by a resin washing method was 2% higher than that by the conventional water washing method at the purification rate of 1.5 – 1.8 bed volume per hour. In terms of environmental aspects, the resin purification method produced less environmental impacts and resource usage than the conventional washing method. For economical aspects, it was found that the break even of investment was related to the usage life of resin, which should be over 4 years for the biodiesel production plant capacity of 20,000 litre per day.

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. แคทลียา ปัทมพรหม อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ และอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้ให้คำแนะนำในด้านต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ ทั้งที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์และสิ่งต่าง ๆ ที่สามารถนำไปใช้ในชีวิตประจำวันได้ พร้อมทั้งได้ช่วยเหลือ อบรมสั่งสอนมาโดยตลอด จนทำให้งานวิจัยนี้สามารถสำเร็จลงได้ด้วยดี และขอขอบพระคุณ คุณจิตตรา ดอกบัว คุณกิตติ เมธาวงศ์ คุณสากล ม่วงเขียว คุณสมศักดิ์ หริรักษ์ดำรง และคุณไพรัตน์ รักพืช แห่งภาควิชาวิศวกรรมเคมี ที่ช่วยอำนวยความสะดวกในด้านอุปกรณ์การทดลองและการใช้ห้องปฏิบัติการ

ขอขอบคุณ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ที่สนับสนุนทุนการวิจัยภายใต้โครงการเชื่อมโยงภาคการผลิตกับงานวิจัย ทุน สกว. – อุตสาหกรรม สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ภายใต้โครงการเชื่อมโยงภาคการผลิตกับงานวิจัย ทุนสกว. – อุตสาหกรรม ประจำปี 2551 ขอขอบคุณ บริษัท ไบเออร์ (ประเทศไทย) จำกัด มหาชน ที่อนุเคราะห์ เรซินแลกเปลี่ยนประจุเพื่อใช้ในงานวิจัย รวมทั้งคำปรึกษาที่มีประโยชน์ต่องานวิจัยนี้ ขอขอบคุณ บริษัท บางจากปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน) ที่สนับสนุนตัวอย่างน้ำมันไบโอดีเซล และข้อมูลพื้นฐานการผลิต เพื่อน ๆ พี่ ๆ และน้องๆในภาควิชาวิศวกรรมเคมีทุกคนที่เป็นกำลังใจและช่วยเหลือเป็นอย่างดีและนี้สุดท้ายขอขอบพระคุณคุณพ่อ และคุณแม่ ที่ได้อบรมสั่งสอน ให้กำลังใจ มาโดยตลอด

จึงขอกล่าวนามและแสดงความขอบคุณไว้ ณ ที่นี้

นายศิวกร เกษตรสิน

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

พ.ศ. 2553

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ ..... (1)

กิตติกรรมประกาศ ..... (3)

สารบัญตาราง ..... (8-9)

สารบัญภาพประกอบ ..... (10-14)

บทที่

1 บทนำ 1-4

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

2 การทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้อง..... 5-24

2.1 ความหมายของน้ำมันไบโอดีเซล

2.2 วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซล

2.3 การผลิตไบโอดีเซลแบบเอสเทอร์

2.4 การล้างสารปนเปื้อนออกจากไบโอดีเซล

2.5 คุณสมบัติและลักษณะการทำงานของเรซินแลกเปลี่ยนประจุ

2.6 การใช้ LCA ในการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

2.7 บทความวิจัยที่เกี่ยวข้องการล้างสารปนเปื้อนออกจากไบโอดีเซล

2.8 บทความวิจัยที่เกี่ยวข้องต้นทุนการผลิตไบโอดีเซลและการวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อม

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3 วิธีการวิจัย..... 25-30

3.1 วัตถุดิบและสารเคมี

3.2 เครื่องมือในการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี

3.3 อุปกรณ์

3.4 วิธีการวิจัย

4 ผลการทดลอง วิจัยและการวิเคราะห์ผล.....31-53

4.1. ผลการทดลองวิจัยผลกระทบทางด้านคุณภาพของน้ำมันไบโอดีเซล

4.1.1. ผลการทดลองผลิตน้ำมันไบโอดีเซล และทำให้บริสุทธิ์ด้วยวิธีล้างน้ำเทียบกับการกรองผ่านตัวกรองแลกเปลี่ยนประจุ PD206

4.1.2. ผลการทดลองทำน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันพืช ใช้แล้ว โดย Pilot Plant ให้บริสุทธิ์ด้วยวิธีการล้างน้ำเทียบกับการกรองผ่านตัวกรองแลกเปลี่ยนประจุ GF202

4.1.3. ผลการทดลองนำน้ำมันไบโอดีเซลจาก บริษัท บางจาก ปิโตรเลียม จำกัด(มหาชน) ด้วยวิธีการล้างด้วยน้ำเทียบกับการกรองผ่านตัวกรองแลกเปลี่ยนประจุ GF202

4.1.4. ผลการทดลองผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ และทำให้บริสุทธิ์ด้วยวิธีล้างน้ำเทียบกับการกรองผ่านตัวกรองแลกเปลี่ยนประจุ PD206 และ GF202

4.1.5. ผลการทดลองวิเคราะห์คุณภาพของน้ำเสียที่ได้จากกระบวนทำให้น้ำมันดีเซลบริสุทธิ์ด้วยวิธีการล้างด้วยน้ำ

4.1.6. ผลการวิเคราะห์ค่า Ion Exchange Capacity ของตัวกรองแลกเปลี่ยนประจุ PD206 และ GF202

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.1.7. ผลการเปรียบเทียบการใช้ตัวกรองแลกเปลี่ยนประจุในการทำให้น้ำมันไบโอดีเซลบริสุทธิ์ในการผลิตระดับ Pilot Plant

4.2. ผลการวิจัยผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมและการบำบัดของเสียจากกระบวนการผลิต

4.2.1. บัญชีรายการผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

4.2.2. การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

4.3.ผลการประเมินทางเศรษฐศาสตร์

4.3.1. การออกแบบระบบการกรอง

4.3.2. การประเมินจุดคุ้มทุน

5. สรุปผลการวิจัย..... 54-55

รายการอ้างอิง 56-59

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก. การวิเคราะห์คุณสมบัติต่าง ๆ..... 61-69

ก-1 การวิเคราะห์กรดไขมันอิสระ

ก-2 การวิเคราะห์ปริมาณเมทิลเอสเทอร์

ก-3 การวิเคราะห์ค่า Total Ion-exchange capacity

ข. การคำนวณค่าต่าง ๆ..... 70-76

ข-1 การหาค่าร้อยละผลได้ของเมทิลเอสเทอร์ (%Yield)

ข 2 การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

ข 3 การประเมินราคาถังกรองและอุปกรณ์

ข 4 การประเมินราคาค่าใช้จ่ายและผลประหยัดต่าง ๆ

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ข 5 การประเมินปัจจัยในการผลิตไบโอดีเซล
ข 6 การประเมินความคุ้มทุนทางเศรษฐศาสตร์

ค. ใบรายงานผลการวิเคราะห์คุณภาพของน้ำมันไบโอดีเซล..... 77

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบคุณสมบัติและค่าความร้อนของพืชที่สามารถใช้ผลิตไบโอดีเซล 7

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าผลวิเคราะห์น้ำมันไบโอดีเซลที่ได้ในแต่ละจุดที่สุ่มตัวอย่าง 34
ในแต่ละชั้นของตัวกรองแลกเปลี่ยนประจุ GF202 (Lewatit)

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าผลวิเคราะห์น้ำมันไบโอดีเซลครั้งที่ 1 ที่ได้จาก บริษัท บางจาก 35
ปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน) เพื่อเปรียบเทียบระหว่างวิธีการล้างด้วยน้ำ
และวิธีการกรองผ่านตัวกรองแลกเปลี่ยนประจุ GF202 (Lewatit)

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าผลวิเคราะห์น้ำมันไบโอดีเซลครั้งที่ 2 ที่ได้จาก บริษัท บางจาก 36
ปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน) เพื่อเปรียบเทียบระหว่างวิธีการล้างด้วยน้ำ
และวิธีการกรองผ่านตัวกรองแลกเปลี่ยนประจุ GF202 (Lewatit)

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าผลวิเคราะห์ค่าน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ 37

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าผลวิเคราะห์ค่าความสกปรกของน้ำเสียที่ได้จากการล้างไบโอดีเซล 38
ด้วยน้ำ

ตารางที่ 4.6 แสดงค่า Ion-exchange Capacity เมื่อเรซินถูก Regenerate แล้วใช้ซ้ำ 39

ตารางที่ 4.7 แสดงคุณภาพของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตในระดับ Pilot Plant 40

ตารางที่ 4.8 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม กรณีล้างด้วยน้ำ โดยพิจารณาทำงาน 43
รอบการปฏิบัติงาน 1 วัน (กำลังการผลิต 20,000 ลิตร/วัน)

ตารางที่ 4.9 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม กรณีล้างด้วยเรซิน โดยพิจารณารอบการใช้งาน 44
Resin จนหมดสภาพและนำไปกำจัดด้วยการฝังกลบปริมาณรอบละ 3,000 กก.

สารบัญตาราง(ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 4.10 แสดงสัดส่วนผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่ลดลงในกรณีที่ใช้เรซิน 45

ตารางที่ 4.11 แสดงผลระยะเวลาคุ้มทุนเมื่อปัจจัยเนื่องร้อยละของผลผลิตที่ได้ 51
เปลี่ยนแปลงระหว่าง 0 – 6% และกรณีการกำจัดน้ำเสียโดยการ
บำบัดเองหรือส่งบำบัดภายนอก

ตารางที่ 4.12 แสดงผลระยะเวลาคุ้มทุนเมื่อปัจจัยเนื่องราคาของเรซินเปลี่ยนแปลงไป 52

ตารางที่ 4.13 แสดงค่า IRR ของโครงการลงทุนเมื่อกำหนดอายุโครงการ 4 ปี 53
โดยเป็นกรณีเงื่อนไขการบำบัดน้ำเสียด้วยตนเองและกรณีได้
ผลผลิตเพิ่มต่าง ๆ กัน

ตารางที่ ก 1.1 ปริมาณของตัวอย่างที่ใช้ทดสอบแบ่งค่าตาม Acid Number 62
(ASTM D664-04)

ตารางที่ ก 2.1 แสดงข้อมูลการวิเคราะห์องค์ประกอบต่าง ๆ ในน้ำมันไบโอดีเซล 64

สารบัญภาพประกอบ

	หน้า
ภาพที่ 1.1 ประมาณการความต้องการน้ำมันไบโอดีเซล (B-100)	1
ภาพที่ 1.2 ขั้นตอนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซล (Fatty Acid Methyl Ester) ด้วยวิธีทรานส์เอสเทอริฟิเคชั่นและทำให้บริสุทธิ์ด้วยการล้างด้วยน้ำ	2
ภาพที่ 2.1 ผลและเมล็ดปาล์ม	6
ภาพที่ 2.2 ปฏิกิริยา Transesterification	8
ภาพที่ 2.3 กลไกการเกิดปฏิกิริยา Base – catalyzed Transesterification (Schuchardt *et al*., 1998)	9
ภาพที่ 2.4 ขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยา Tranesterification (Allen and Prateepchaikul, 2006)	9
ภาพที่ 2.5 แสดงปฏิกิริยา esterification	10
ภาพที่ 2.6 แสดงรูปร่างลักษณะของเรซินแลกเปลี่ยนประจุ Lewatit® GF202	12
ภาพที่ 2.7 แสดงโครงสร้างของเรซินแลกเปลี่ยนประจุ Lewatit® GF202	13
ภาพที่ 2.8 แสดงกลไกการทำงานแรกของเรซินแลกเปลี่ยนประจุ Lewatit® GF202	14
ภาพที่ 2.9 แสดงกลไกการทำงานที่สองของเรซินแลกเปลี่ยนประจุ Lewatit® GF202	14
ภาพที่ 2.10 กรอบการดำเนินงาน LCA ตามมาตรฐาน ISO14040	16
ภาพที่ 2.11 แสดงตัวอย่างการเก็บข้อมูลเพื่อการวิเคราะห์บัญชีรายการสิ่งแวดล้อม	17
ภาพที่ 2.12 แสดงขั้นตอนการทำการประเมินผลกระทบต่อวัฏจักรผลิตภัณฑ์	18

สารบัญภาพประกอบ(ต่อ)

หน้า

ภาพที่ 2.13 อัตราส่วนแบ่งทางการตลาดของโปรแกรมสำเร็จรูป LCA ชนิดต่าง ๆ 19

ภาพที่ 2.14 แนวโน้มการใช้กระบวนการล้างของผู้ผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพใน ประเทศอังกฤษจำนวน 300 ราย ตั้งแต่ ปี 2004 ถึง 2006 22

ภาพที่ 3.1 แบบท่อกรองที่ใช้ในงานวิจัย 26

ภาพที่ 3.2 แผนผังแสดงลำดับของการวิจัย 27

ภาพที่ 3.3 ขั้นตอนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลของบริษัท บางจากปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน) 30

ภาพที่ 4.1 เปรียบเทียบคุณภาพของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากปาล์มสเตียริน และทำให้บริสุทธิ์ระหว่างวิธีการล้างด้วยน้ำ และการกรองผ่านตัวแลกเปลี่ยนประจุ PD206 32

ภาพที่ 4.2 แสดงความสามารถของตัวกรองแลกเปลี่ยนประจุ GF202 (Lewatit) ในการทำน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตแล้วมีค่า % Methyl Ester ไม่ได้มาตรฐานให้บริสุทธิ์ขึ้น 34

ภาพที่ 4.3 แสดงความสามารถของตัวกรองแลกเปลี่ยนประจุ GF202 (Lewatit) ในการทำน้ำมันไบโอดีเซลของบริษัท บางจากปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน) ครั้งที่ 1 และ 2 มาตรฐานให้บริสุทธิ์ขึ้น 36

สารบัญภาพประกอบ(ต่อ)

หน้า

ภาพที่ 4.4 แสดงขั้นตอนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วของ บริษัท บางจากปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน) 42

ภาพที่ 4.5 กราฟแสดงความสามารถในการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เมื่อสามารถใช้เรซินได้มีอายุนานต่าง ๆ กัน 46

ภาพที่ 4.6 ลักษณะของระบบถังกรองแบบ Lead-Lag 48

ภาพที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ระยะเวลาที่คุ้มทุนต่อร้อยละ ของผลผลิตที่ได้เมื่ออยู่ภายใต้เงื่อนไขการบำบัดน้ำเสียภายใน 51

ภาพที่ ก2.1 ผลการวิเคราะห์หาองค์ประกอบของ ตัวอย่าง ด้วย Gas chromatography 63

ภาพที่ ก2.2 แสดงผลการวิเคราะห์ standard methyl ester ด้วย GC ของ total area ระหว่าง area ratio กับ concentration ของ Methyl myristet 64

ภาพที่ ก2.3 แสดงผลการวิเคราะห์ standard methyl ester ด้วย GC ของ total area ระหว่าง area ratio กับ concentration ของ Methyl palmitate 65

ภาพที่ ก2.4 แสดงผลการวิเคราะห์ standard methyl ester ด้วย GC ของ total area ระหว่าง area ratio กับ concentration ของ Methyl stearate 65

สารบัญภาพประกอบ(ต่อ)

	หน้า
ภาพที่ ก2.5 แสดงผลการวิเคราะห์ standard methyl ester ด้วย GC ของ total area ระหว่าง area ratio กับ concentration ของ Methyl oleate	66
ภาพที่ ก 2.6 แสดงผลการวิเคราะห์ standard methyl ester ด้วย GC ของ total area ระหว่าง area ratio กับ concentration ของ Methyl linoleate	66
ภาพที่ ก2.7 แสดงผลการวิเคราะห์ standard methyl ester ด้วย GC ของ total area ระหว่าง area ratio กับ concentration ของ Methyl linolenate	67
ภาพที่ ข 2.1 แสดง Single score point ต่อ Ion-exchange resin 1 กก.	71
ภาพที่ ข 2.2 แสดง Single Score point ต่อ น้ำมันเตา (Heavy oil B300) 1 kg	71
ภาพที่ ข 2.3 แสดง Single Score point ต่อ น้ำสำหรับอุตสาหกรรม 1 kg	72
ภาพที่ ข 2.4 แสดง Single Score point ต่อ น้ำเสีย 1 m^3	72
ภาพที่ ข 2.5 : แสดง Single score point ต่อ เกลือ 1 กก.	73
ภาพที่ ข 2.6 แสดง Single Score point ต่อ การฝังกลบ Resin (Innert Waste) 1 กก.	73

สารบัญภาพประกอบ(ต่อ)

	หน้า
ภาพที่ ข 2.7 แสดง Single Score point ต่อ การขนส่ง 1 ตัน-กม..	74
ภาพที่ ค 1 ใบรายงานผลการวิเคราะห์จากกรมวิทยาศาสตร์บริการ	77

บทที่ 1

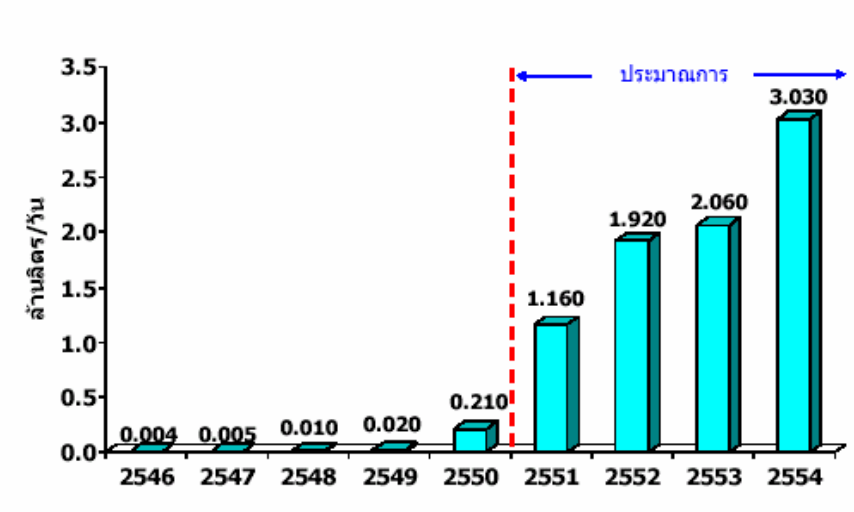
บทนำ

1.1 ความสำคัญของที่มาและปัญหา

จากกรณีวิกฤติพลังงานของโลกที่น้ำมันดิบมีราคาสูงขึ้นเรื่อย ๆ ทำให้มีการตื่นตัวและพัฒนาพลังงานทดแทนมากขึ้น น้ำมันไบโอดีเซลเป็นพลังงานทดแทนชนิดหนึ่งซึ่งมีศักยภาพ โดยในแผนปฏิบัติการพัฒนาและส่งเสริมน้ำมันไบโอดีเซล ที่ได้กำหนดโดยคณะกรรมการพัฒนาและส่งเสริมเชื้อเพลิงชีวภาพ ระบุเป้าหมายมีความต้องการไบโอดีเซลถึง 8.5 ล้านลิตรต่อวันในปี พ.ศ. 2555 และจากผลการประเมินสถานการณ์พลังงานในปี 2550 และ แนวโน้มของปี 2551 ของสำนักนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน พบว่าปริมาณการจำหน่ายน้ำมันไบโอดีเซล (B-5) ซึ่งประกอบด้วยน้ำมันไบโอดีเซล 5% และน้ำมันดีเซล 95% นั้น มียอดจำหน่ายเพิ่มจาก 0.12 ล้านลิตรต่อวัน ในปี 2549 ไปเป็น 1.58 ล้านลิตรต่อวัน ในปี 2550 ซึ่งเป็นการเพิ่มมากกว่า 10 เท่าในรอบ 1 ปี และมีแนวโน้มที่จะเพิ่มสูงขึ้นจากมาตรการส่งเสริมโดยมีการบังคับจากภาครัฐที่ให้มีการผสมน้ำมันไบโอดีเซลจำนวน 2 % ในน้ำมันดีเซลปกติ ซึ่งจะทำให้ยอดความต้องการน้ำมันไบโอดีเซลเพิ่มดังแสดงการประมาณการจนถึงปี 2554 ดังภาพที่ 1.1

ภาพที่ 1.1

ประมาณการความต้องการน้ำมันไบโอดีเซล (B-100)



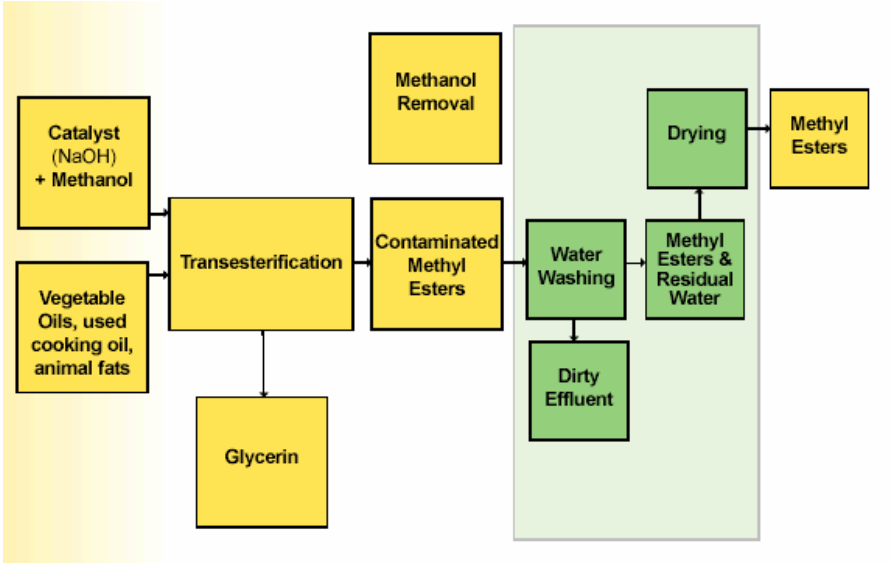
ที่มา : สำนักนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน

ซึ่งจากทิศทางของความต้องการของน้ำมันไบโอดีเซลดังกล่าว ย่อมทำให้มีการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลในเชิงพาณิชย์มากขึ้น ทำให้ต้องคำนึงถึงกระบวนการผลิตน้ำมันดีเซลที่มีประสิทธิภาพ มีต้นทุนที่แข่งขันได้พร้อมทั้งไม่ก่อให้เกิดต้นทุนทางด้านสิ่งแวดล้อมและสังคม

กระบวนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลที่ถูกนำมาพัฒนาเพื่อผลิตในเชิงพาณิชย์ในประเทศไทยส่วนใหญ่ทั้งผู้ผลิตในภาคอุตสาหกรรม และชุมชนได้แก่ การใช้กระบวนการทรานเอสเทอริฟิเคชั่น โดยใช้ปาล์มน้ำมันเป็นวัตถุดิบหลักโดยขั้นตอนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลมีขั้นตอนดังภาพที่ 1.2

ภาพที่ 1.2

ขั้นตอนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซล (Fatty Acid Methyl Ester) ด้วยวิธีทรานส์เอสเทอริฟิเคชั่นและทำให้บริสุทธิ์ด้วยการล้างด้วยน้ำ



ที่มา : Purolite® PD206 Guide Application Note, JJ-Degussa Chemical Ltd., http://www.purolite.com

ซึ่งจากกระบวนการนี้จะเห็นได้ว่าในขั้นตอนการทำให้น้ำมันดีเซลบริสุทธิ์เพื่อให้ได้ระดับคุณภาพตามมาตรฐาน จะต้องมีการใช้น้ำในการล้าง สิ่งเจือปนที่ได้จากปฏิกิริยา อาทิเช่น กลีเซอรีน, สารเร่งปฏิกิริยา(Catalyst), เกลือ และสบู่ ซึ่งเป็นสารจำพวก Polar ที่สามารถละลายได้ในน้ำออกไปก่อน ซึ่งขั้นตอนนี้ส่งผลให้เกิดต้นทุนเพิ่มและมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสังคม เช่น

- มีการใช้น้ำปริมาณมากในกระบวนการ เกิดการแย่งทรัพยากรน้ำกับชุมชน
- เกิดน้ำเสียจำนวนมากที่กระทบต่อสิ่งแวดล้อมและบำบัดได้ยาก
- มีต้นทุนทางด้านพลังงานในการไล่น้ำที่ปนเปื้อนในน้ำมันไบโอดีเซลหลังล้าง

จากประเด็นดังกล่าวจึงทำให้เกิดการพัฒนาในขั้นตอนการทำน้ำมันไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์โดยไม่ใช้น้ำในการล้าง และใช้วิธีการอื่นทดแทนอาทิเช่น การแยกทางกายภาพโดยการเหวี่ยงแยก (Centrifuge) , การดูดซับสิ่งปนเปื้อนโดยใช้สารดูดซับกลุ่ม Magnesium Silicate ที่มีชื่อการค้าเช่น Magnesol®[1] และ การใช้การกรองผ่าน Ion-Exchange Resin ที่มีชื่อทางการค้าอาทิเช่น Purolite® PD206[2] , Lewatit® GF202[3] , Rhom & Haas Amberite™ BD10[4] เป็นต้น

จึงเป็นที่น่าสนใจในการนำแนวทางใหม่ในการทำน้ำมันไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์ดังกล่าวมาประยุกต์ใช้ในขั้นตอนของการทำน้ำมันไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์ในประเทศไทย โดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้ Ion-Exchange Resin ซึ่งมีขั้นตอนการใช้งานที่ง่ายสะดวก และประหยัดพลังงาน แต่อย่างไรก็ตามควรมีการศึกษาเรื่องประสิทธิภาพเชิงปริมาณ คุณภาพ รวมถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และความคุ้มทุนเชิงเศรษฐศาสตร์เพื่อเป็นแนวทางในการตัดสินใจ อันเป็นที่มาของโครงการวิจัยในเรื่อง “การศึกษาความคุ้มค่าเชิงสิ่งแวดล้อมและเศรษฐศาสตร์สำหรับกระบวนการล้างสิ่งปนเปื้อนออกจากน้ำมันไบโอดีเซลโดยใช้ตัวกรองแลกเปลี่ยนประจุ” ในครั้งนี้

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.2.1 เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของการใช้ตัวกรอง Ion-Exchange Resin ในขั้นตอนการทำน้ำมันไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์

1.2.2 เพื่อประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเมื่อเปรียบเทียบระหว่างกระบวนการทำน้ำมันดีเซลให้บริสุทธิ์ด้วยการใช้วิธีกรองผ่าน Ion-Exchange resin และวิธีการล้างด้วยน้ำ

1.2.3 เพื่อประเมินผลทางด้านเศรษฐศาสตร์เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกระบวนการทำน้ำมันดีเซลให้บริสุทธิ์ด้วยการใช้วิธีกรองผ่าน Ion-Exchange resin และวิธีการล้างด้วยน้ำ

---

[1] ชื่อทางการค้าผลิตภัณฑ์ Magnesium silicate ของ The Dallas Group of America Inc

[2] ชื่อทางการค้าผลิตภัณฑ์เรซิน ของ The Purorite Company

[3] ชื่อทางการค้าผลิตภัณฑ์เรซิน ของ Lanxess AG.

[4] ชื่อทางการค้าผลิตภัณฑ์เรซิน ของ Rhom & Haas co.ltd.

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

เป็นการวิจัยในห้องปฏิบัติการเพื่อประเมินความสามารถ และประสิทธิภาพของ Resin ในการทำให้น้ำมันไบโอดีเซลบริสุทธิ์ โดยใช้ตัวอย่างน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตขึ้นเองจากปาล์มสเตียริน และน้ำมันไบโอดีเซลก่อนล้างน้ำจากบริษัท บางจากปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน) เป็นตัวอย่างในการศึกษา พร้อมทั้งการศึกษาข้อมูลจากสถานประกอบการที่ผลิตน้ำมันไบโอดีเซลในเชิงทางการค้า ซึ่งใช้ข้อมูลพื้นฐานจากบริษัท บางจากปิโตรเลียม จำกัด(มหาชน) เช่นกัน เพื่อประเมินความคุ้มทุนในการลงทุนเปลี่ยนแปลงกระบวนการทำน้ำมันไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์ จากวิธีล้างน้ำแบบดั้งเดิมมาเป็นเป็นวิธีใช้ Resin แลกเปลี่ยนประจุ พร้อมทั้งประเมินผลในเชิงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมประกอบเข้าด้วยกันด้วย โดยมีขั้นตอนหลัก ๆ ดังนี้

1.3.1. เก็บข้อมูลค่า % Yield % Methyl ester, % Acid value, pH ของน้ำมันไบโอดีเซลในขั้นตอนการกรอง เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพเชิงปริมาณ

1.3.2. ศึกษาความเปลี่ยนแปลงของความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุของตัวกรองเมื่อผ่านการใช้งาน และ Regenerate หลาย ๆ ครั้ง เพื่อประเมินการเสื่อมสภาพของ Resin

1.3.3. วิเคราะห์ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยใช้หลัก Life Cycle Thinking ระหว่างวิธีการล้างด้วยน้ำและวิธีการกรองผ่าน Ion-exchange Resin โดยเทียบต่อช่วงอายุการใช้งานของ Resin จนเสื่อมสภาพและวิเคราะห์ความไวของผลกระทบเมื่ออายุการใช้งานของ Resin เปลี่ยนแปลงไป

1.3.4. วิเคราะห์ผลทางด้านเศรษฐศาสตร์และความคุ้มทุนของการใช้ Ion-exchange Resin เมื่อเทียบกับวิธีดั้งเดิมที่ล้างด้วยน้ำ โดยประเมินค่าใช้จ่ายในการลงทุนด้วยการสำรวจราคาตลาดในปัจจุบันวิเคราะห์ความไวของผลกระทบต่อความคุ้มทุนเมื่ออายุการใช้งานของ Resin เปลี่ยนแปลงไปและราคา Resin เปลี่ยนแปลง

บทที่ 2

การทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความหมายของน้ำมันไบโอดีเซล

ไบโอดีเซล (Biodiesel) คือ น้ำมันดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันพืช หรือไขมันสัตว์ ด้วยปฏิกิริยา Transesterification โดยปฏิกิริยา Transesterification คือ ปฏิกิริยาที่เกิดจากการนำน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์มาทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอลล์ ได้แก่ เมทานอล หรือ เอทานอล โดยมีกรดหรือด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และได้ผลิตภัณฑ์เป็นเอสเทอร์ซึ่งก็คือไบโอดีเซลที่เราต้องการ และมีกลีเซอรอลเป็นผลพลอยได้ โดยหากแอลกอฮอลล์ที่ใช้เป็นเมทานอล ผลิตภัณฑ์เอสเทอร์นั้นจะเรียกว่า เมทิลเอสเทอร์ (methyl ester) โดยปฏิกิริยาTransesterification ที่นิยมใช้ คือการทำปฏิกิริยาโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นเบส ได้แก่ โซเดียมไฮดรอกไซด์หรือโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์

ไบโอดีเซลแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ด้วยกัน (กลุ่มสื่อส่งเสริมการเกษตร, 2547)ได้แก่

1.) ไบโอดีเซลแบบน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์ คือ การนำน้ำมันจากพืช หรือน้ำมันจากไขมันสัตว์มาใช้เติมเครื่องยนต์เลยโดยไม่ต้องผสม หรือเติมสารเคมี หรือเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของน้ำมัน แต่คุณสมบัติที่ได้มีความแตกต่างกับดีเซลมาก จึงมีปัญหากับเครื่องยนต์
2.) ไบโอดีเซลแบบลูกผสม คือ การนำน้ำมันจากพืช (หรือสัตว์) มาผสมกับน้ำมันดีเซล เพื่อให้ได้ไบโอดีเซลที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลมากที่สุด แต่ยังพบปัญหาเรื่องการอุดตันของเครื่องยนต์ (ไส้กรองจะอุดตันเร็วกว่าปกติ) เนื่องมาจากสภาพอากาศที่เย็น เหมาะสำหรับการใช้กับเครื่องยนต์รอบต่ำ
3.) ไบโอดีเซลแบบเอสเทอร์ ไบโอดีเซลชนิดนี้ได้มาจากกระบวนการแปรรูปทางเคมีเป็นเอสเทอร์ ซึ่งคุณสมบัติที่ได้จะเหมือนกับน้ำมันดีเซลมากที่สุดในงานวิจัยนี้เรามุ่งเน้นศึกษาไบโอดีเซลแบบเอสเทอร์ ซึ่งเป็นน้ำมันไบโอดีเซลที่มีการจำหน่ายในตลาดการค้าน้ำมัน มีค่า ซีเทน สูงกว่าน้ำมันดีเซล ทำให้จุดระเบิดได้ดี การสันดาปสมบูรณ์ สามารถใช้กับเครื่องยนต์รอบสูงได้

2.2 วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซล

ในประเทศไทยมีพืชน้ำมันที่มีศักยภาพในการผลิตนำไปใช้ผลิตไบโอดีเซลอยู่หลายชนิดด้วยกัน ได้แก่ ปาล์มน้ำมัน มะพร้าว ถั่วเหลือง ถั่วลิสง ละหุ่ง งา เมล็ดทานตะวัน และเมล็ดสบู่ดำ ซึ่งพืชแต่ละชนิดก็มีคุณสมบัติ และค่าความร้อนแตกต่างกันออกไปรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 2.1 โดยในที่นี้จะขอกล่าวถึงรายละเอียดของพืชที่สนใจในงานวิจัยนี้ ได้แก่ ปาล์มน้ำมัน

ปาล์มน้ำมันมีชื่อทางพฤกษศาสตร์ว่า Elaeis Guineensis Jacq. ผลปาล์มประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนที่ให้น้ำมัน (Pericarp) และส่วนที่เป็นเมล็ด (kernel) ซึ่งจะให้น้ำมันที่เรียกว่า kernel oil น้ำมันปาล์มส่วนใหญ่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร เช่น มาการีน เนยเหลว ครีม สบู่ และใช้ในการปรุงอาหาร ใช้ในอุตสาหกรรมน้ำมัน เช่น ใช้เป็นส่วนผสมของน้ำมันหล่อลื่น น้ำมันเครื่อง ยาขัดรองเท้า ใช้ในอุตสาหกรรมผลิตกรดไขมันอิสระ และใช้ในอุตสาหกรรมผลิตดินสอสีและเทียน นอกจากนี้ น้ำมันปาล์มยังใช้ในการทำเครื่องสำอาง เพราะสามารถแทรกซึมเข้าไปในผิวหนังได้ดีกว่าน้ำมันชนิดอื่น

ภาพที่ 2.1
ผลและเมล็ดปาล์ม

ที่มา : การผลิตน้ำมันไบโอดีเซล จากน้ำมันปาล์มดิบ, วิชาการ.คอม
www.vcharkarn.com/venergy

ตารางที่ 2.1

เปรียบเทียบคุณสมบัติและค่าความร้อนของพืชที่สามารถใช้ผลิตไบโอดีเซล

คุณสมบัติ	น้ำมันพืชชนิดต่าง ๆ			
	ปาล์มดิบ	เมล็ดในปาล์ม	มะพร้าว	สบู่ดำ
1.ความถ่วงจำเพาะ	0.899	0.918	0.918	0.915
2.ดัชนีหักเห	1.459	1.452	1.449	1.463
3.ค่าของกรด, (มก.KOH/กรัมน้ำมัน)	6.66	3.18	10.76	0.99
4.ปริมาณกรดไขมันอิสระ, %	2.37	1.13	3.83	n/a
5.ค่าไอโอดีน, cg iodine/g.	51.32	18.10	9.07	101.40
6.ค่าสะปอนนิฟิเคชัน, (มก. KOH/กรัมน้ำมัน)	202.67	255.00	260.60	145.20
7,ปริมาณน้ำและสิ่งที่ระเหย, % โดยน้ำหนัก	0.46	0.18	n/a	0.14
8.ค่าความหนืดที่ 40°ซม, cS	24.90	28.65	24.85	34.55
9.ค่าความร้อน (kJ/kg)	39,550	39,750	37,540	39,000

ที่มา : คุณสมบัติทางฟิสิกส์และเคมีของน้ำมันพืชชนิดต่าง ๆ, โดยพิศมัย เจนวนิชปัญจกุล และ ลลิตา อัตนโถ, รอบรู้เรื่องราวไบโอดีเซล หน้า 31

2.3 การผลิตไบโอดีเซลแบบเอสเทอร์

การผลิตไบโอดีเซลโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยามีอยู่ 2 วิธีหลัก ๆ ด้วยกัน คือการทำปฏิกิริยา Transesterification แบบขั้นตอนเดียว (Straight Transesterification) ซึ่งเหมาะสำหรับวัตถุดิบที่มีปริมาณ FFA $\leq$ 5.0 % (V, J Gerpen et. al., 2004) และการทำปฏิกิริยาแบบสองขั้นตอน (Two-step reaction) การทำปฏิกิริยาด้วยวิธีนี้จะใช้กับวัตถุดิบที่มีปริมาณ FFA $\geq$ 5.0 % ในงานวิจัยของเราควบคุมการผลิตไบโอดีเซลโดยใช้ปฏิกิริยาแบบขั้นตอนเดียวเท่านั้นเนื่องจากใช้น้ำมันปาล์มกลั่นบริสุทธิ์เพื่อผลิตไบโอดีเซล

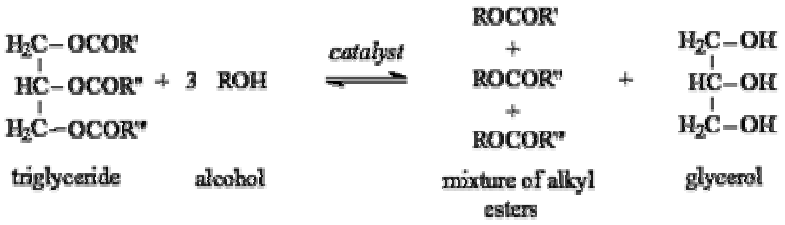
โดยรายละเอียดของปฏิกิริยาที่กล่าวถึงข้างต้น เป็นดังต่อไปนี้

2.3.1 ปฏิกิริยา Transesterification แบบขั้นตอนเดียว

ปฏิกิริยา Transesterification คือ ปฏิกิริยาระหว่างหมู่แอลคอกซี (Alkoxy group) ของสารประกอบเอสเทอร์ กับหมู่แอลคอกซีของแอลกอฮอล์ (Alkoxy group = R – O) ดังภาพที่ 2.2 โดยในเชิงพาณิชย์แล้วตัวเร่งปฏิกิริยาที่นิยมใช้คือ ตัวเร่งปฏิกิริยาเบส

ภาพที่ 2.2

ปฏิกิริยา Transesterification

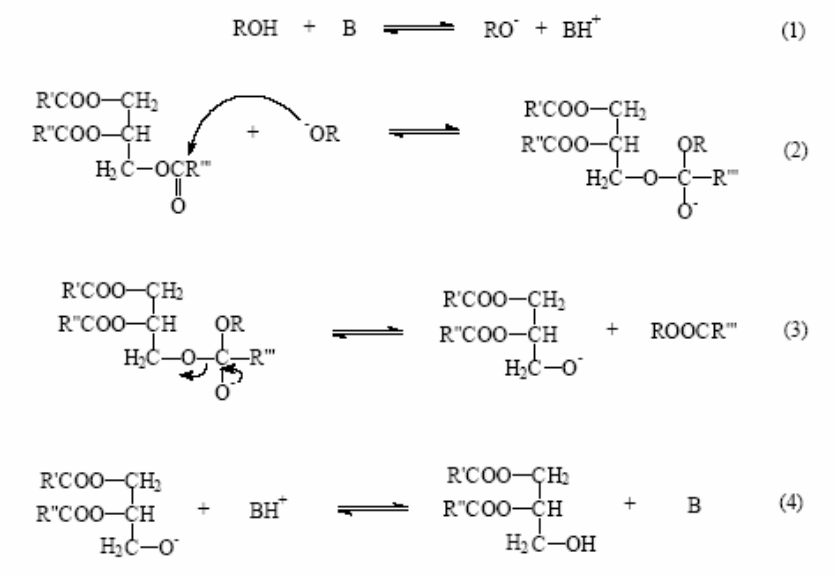


ที่มา : ปฏิกริยาการเกิดเมทิลเอสเตอร์, โดยพิศมัย เจนวนิชปัญจกุล และ ลลิตา อัตนโถ, รอบรู้เรื่องราวไบโอดีเซล หน้า 13

โดยตัวเร่งปฏิกิริยาเบส (Base – catalyzed) ที่นิยมใช้ ได้แก่ สารประกอบจำพวก alkaline metal alkoxides & hydroxides & carbonates.เช่น NaOH, KOH เป็นต้น โดยกลไกการเกิดปฏิกิริยา transesterification โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นเบสของน้ำมันพืชเป็นไปดังภาพที่ 2.3 (Schuchardt, Sercheli, and Vargas, 1998) ขั้นตอนแรก (สมการที่ 1) เป็นปฏิกิริยาระหว่างเบสกับแอลกอฮอลล์ ได้เป็นสารประกอบ alkoxide และคะตะลิสต์ที่จ่ายโปรตอนไปแล้ว (protonated catalyst) ขั้นตอนที่สองเป็นการชนกันระหว่างโมเลกุลของ alkoxide กับไตรกลีเซอไรด์ที่หมู่คาร์บอนิลได้สารตัวกลางที่มีรูปทรงสี่หน้า (tetrahedral intermediate) ซึ่งสารตัวกลางนี้จะแตกตัวเป็น alkyl ester และ diglyceride anion ดังขั้นตอนที่สาม ในขั้นตอนสุดท้าย diglyceride anion จะรับโปรตอนมาจากคะตะลิสต์ ได้เป็นสารประกอบไดกลีเซอไรด์ และคะตะลิสต์ที่พร้อมจะทำปฏิกิริยากับโมเลกุลอื่นของแอลกอฮอลล์ เพื่อเริ่มวัฏจักรการเร่งปฏิกิริยาต่อไป ในส่วนกลไกการเกิดปฏิกิริยาของ diglyceride และ monoglyceride เป็น alkyl ester และกลีเซอรอลก็มีลักษณะเช่นเดียวกันโดยแสดงขั้นตอนการทำปฏิกิริยาของ glyceride ประเภทต่างๆ ดังภาพที่ 2.4

ภาพที่ 2.3

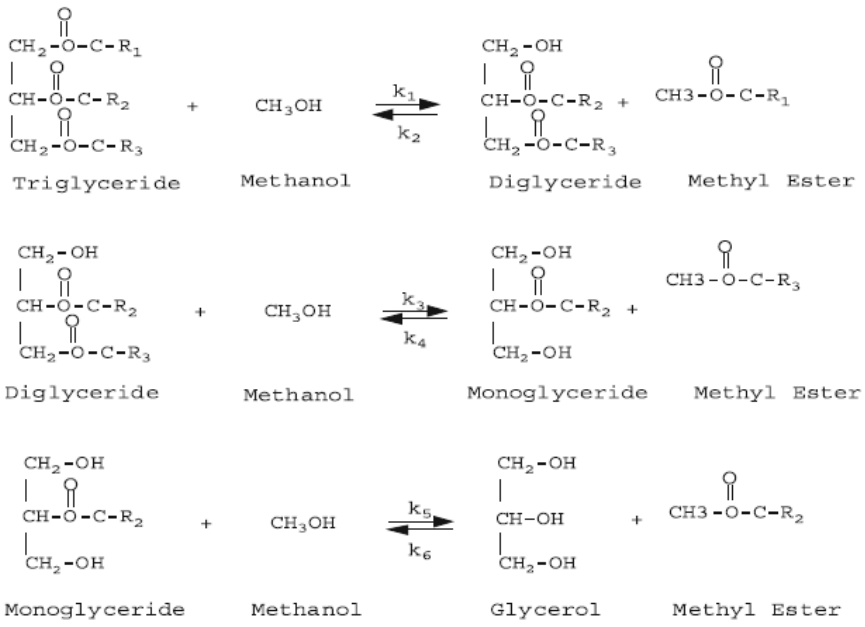
กลไกการเกิดปฏิกิริยา Base – catalyzed Transesterification



ที่มา : Schuchardt et al., 1998

ภาพที่ 2.4

ขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยา Tranesterification



ที่มา :J. M. Marcheti et al , 2007

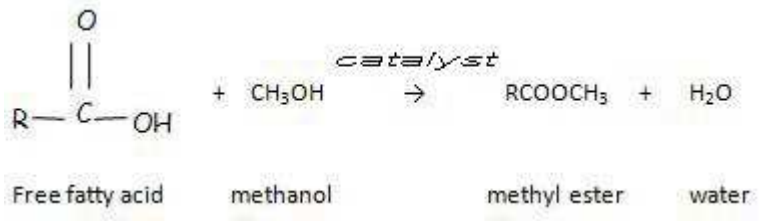
2.3.2 ปฏิกิริยา Transesterification แบบสองขั้นตอน

กระบวนการนี้ประกอบด้วยปฏิกริยา Esterification และ Tranesterification โดยเหมาะสำหรับวัตถุดิบที่มีกรดไขมันอิสระปนเปื้อนอยู่ในน้ำมันเป็นปริมาณมาก อาทิเช่นของการใช้น้ำมันพืชใช้แล้วเป็นวัตถุดิบ ซึ่งวิธีนี้จะมีการใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อเปลี่ยนกรดไขมันอิสระให้เป็นไบโอดีเซล และตามด้วยการทำปฏิกิริยา โดยใช้เบสเป็น คะตะลิสท์ เพื่อเปลี่ยนส่วนประกอบหลักของวัตถุดิบ ซึ่งก็คือ ไตรกลีเซอร์ไรด์ (Triglyceride) เป็นไบโอดีเซล

ขั้นตอนปฏิกิริยา Esterification

การทำปฏิกิริยา esterification ระหว่างน้ำมันกับ alcohol โดยมีตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นกรด ซึ่งใช้กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยปฏิกิริยา esterification จะเปลี่ยนโครงสร้างของ free fatty acid ให้กลายเป็นแอลคิลเอสเทอร์ส่วนใหญ่ แสดงดังภาพที่ 2.5

ภาพที่ 2.5
แสดงปฏิกิริยา esterification



ที่มา : M. Canakci , V.J. Gerpen (2001)

ขั้นตอนปฏิกิริยา Transesterification

จากปฏิกิริยา esterification ที่ยังไม่สามารถเปลี่ยนสารตั้งต้นเป็นแอลคิลเอสเทอร์ได้ทั้งหมด ซึ่งยังมีส่วนของไตรกลีเซอไรด์ หลงเหลืออยู่จึงนำไปผ่านกระบวนการ transesterification ให้กลายเป็นเอสเทอร์ทั้งหมด โดยปฏิกิริยาที่เกิดจากการนำน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์มาทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์(alcohol) ได้แก่ methanol (CH_3OH) หรือ ethanol (CH_3CH_2OH)โดยมีกรด หรือ

ด่าง เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และได้ผลิตภัณฑ์เป็นเอสเทอร์ซึ่งก็คือไบโอดีเซลที่เราต้องการ และมีกลีเซอรอล (glycerol) เป็นผลพลอยได้

2.4 การล้างสารปนเปื้อนออกจากไบโอดีเซล

หลังจากการทำปฏิกิริยา Transesterification สารจะแยกเป็น 2 ชั้น โดยชั้นบนซึ่งมีสีเหลือง หรือสีน้ำตาลส้ม จะเป็นชั้นของเอสเทอร์ส่วนชั้นล่างซึ่งมีสีน้ำตาลแดงจะเป็นชั้นของ glycerol หลังจากแยกชั้น glycerol ออกไปแล้วจะเหลือแต่ชั้นเอสเทอร์ที่เราต้องการ ในขั้นตอนการล้างไบโอดีเซล จะเป็นการกำจัดสารต่าง ๆ ได้แก่ คะตะลิสต์, alcohol ที่ไม่ทำปฏิกิริยา และ free glycerol ที่ยังหลงเหลืออยู่ในเอสเทอร์ให้หมดไป ซึ่งมีขั้นตอนการล้างสารปนเปื้อนที่ยอมรับโดยทั่วไปมี 2 วิธีคือ การล้างสารปนเปื้อนด้วยน้ำ และการล้างสารปนเปื้อนด้วยสารตัวกลางที่เป็นของแข็ง (B.S. Cooke, 2003)

2.4.1 การล้างสารปนเปื้อนด้วยน้ำ

ไบโอดีเซลที่แยกเอากลีเซอรอลออกไปแล้ว ก็ยังคงมีสารปนเปื้อนอื่นๆ อยู่ซึ่งส่วนใหญ่นั้นจะมีความเป็นขั้ว (hydrophilic phase) ซึ่งผสมอยู่กับไบโอดีเซลที่ไม่มีความเป็นขั้ว (hydrophobic phase) จากความเป็นขั้วที่ต่างกันของไบโอดีเซลกับสารปนเปื้อน จึงใช้สารที่มีความเป็นขั้วคือ น้ำเปล่า หรือน้ำที่เป็นกรดอ่อนเข้าไปผสมกับไบโอดีเซลเพื่อแยกเอาสารปนเปื้อนนั้นออกมาจากไบโอดีเซล ทำให้ไบโอดีเซลที่มีความบริสุทธิ์มากยิ่งขึ้น ซึ่งเรียกกระบวนการล้างสารปนเปื้อนโดยใช้น้ำนี้ว่า water washing โดยการล้างสารปนเปื้อนด้วยน้ำมักจะถูกนำมาใช้ในวงกว้างในโรงงานอุตสาหกรรมเนื่องจากสามารถล้างสารปนเปื้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพเพราะกลีเซอรอลและเมทานอลสามารถละลายได้ดีในน้ำ และสามารถจัดการกระบวนการได้ง่ายแต่ก็มีข้อเสียในเรื่องการแยกเอาน้ำออกมาจากไบโอดีเซลได้ยาก ทำให้สูญเสียเนื้อไบโอดีเซลไปกับน้ำได้บางส่วนและเสียค่าใช้จ่ายที่มากขึ้นในการระเหยน้ำออกและการบำบัดน้ำเสียที่ออกมาจากกระบวนการ อีกทั้งสามารถเกิด emulsion ขึ้นเมื่อใช้น้ำมันพืชที่ใช้แล้วเพราะมีปริมาณ FFA ที่สูงเมื่อสัมผัสกับน้ำอาจจะเกิดสบู่อีกด้วย (M. Canakci et al., 2001)

2.4.2 การล้างสารปนเปื้อนด้วยสารตัวกลางที่เป็นของแข็ง

ส่วนการล้างสารปนเปื้อนด้วยสารตัวกลางที่เป็นของแข็งนั้น จะนำไบโอดีเซลไหลผ่านสารตัวกลาง ซึ่งสารตัวกลางจะทำการดูดซับสารปนเปื้อนเหล่านั้นไว้บนพื้นผิวของสาร

ตัวกลาง เพื่อให้ไบโอดีเซลมีความบริสุทธิ์มากยิ่งขึ้น โดยสารตัวกลางมีอยู่หลายประเภท เช่น เรซินแลกเปลี่ยนประจุ แมกนิเซียมซิลิเกต ซิลิกา เจล เป็นต้น ขณะนี้เริ่มมีการล้างสารปนเปื้อนออกจากไบโอดีเซลโดยใช้สารตัวกลางที่เป็นของแข็งนำมาใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมมากขึ้น (B.S. Cooke et al., 2003) สำหรับงานวิจัยของเรามีความสนใจศึกษาการนำสารตัวกลางที่เป็นเรซินแลกเปลี่ยนประจุ (Ion exchange resin) ประเภท Lewatit® GF202 มาเป็นสารตัวกลางเพื่อดูดซับสารปนเปื้อนออกจากไบโอดีเซล ซึ่งได้รับการสนับสนุนจาก บริษัท เบเยอร์ (ประเทศไทย) จำกัด

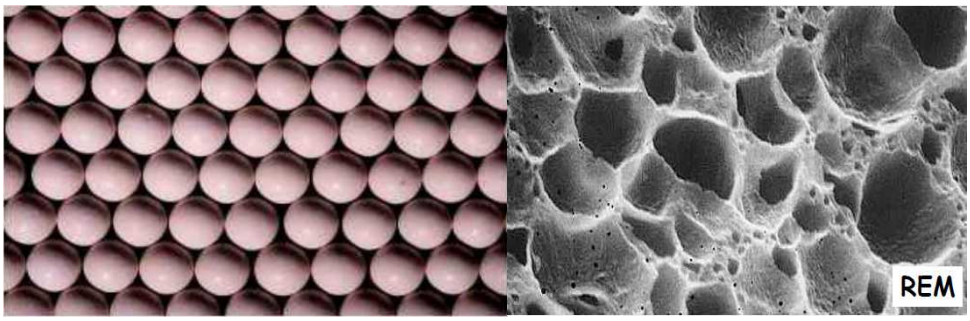
2.5 คุณสมบัติและลักษณะการทำงานของเรซินแลกเปลี่ยนประจุ (Lewatit® GF202 handbook)

2.5.1 คุณสมบัติของเรซินแลกเปลี่ยนประจุ

LeWatit® GF202 มีลักษณะเป็นเม็ดกลมที่มีรูพรุนบนพื้นผิวของเรซินแลกเปลี่ยนประจุ แสดงดังภาพที่ 2.11 โดยมีโครงสร้างเป็นสารโคพอลิเมอร์ระหว่าง สไตรีนและไดไวนิลเบนซีนมีหมู่ฟังก์ชั่นเป็นกรดซัลฟอนิกที่มีโซเดียมไอออนเกาะอยู่บนหมู่ฟังก์ชั่น แสดงดังภาพที่ 2.12 ซึ่งสามารถกำจัดกลีเซอรอลและสบู่ออกจากไบโอดีเซลในรูปแบบของ fixed bed ที่มีไบโอดีเซลไหลผ่านได้

ภาพที่ 2.6

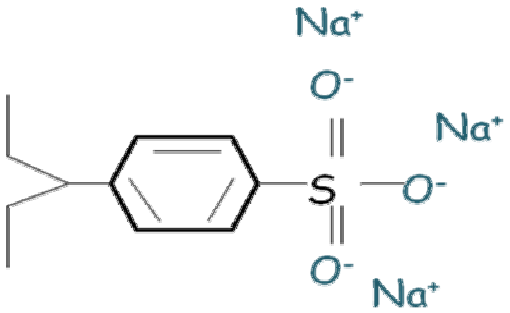
แสดงรูปร่างลักษณะของเรซินแลกเปลี่ยนประจุ Lewatit® GF202



ที่มา : Biodiesel Purification with Lewatit® Ion-Exchange Resin, www.lewatit.de

ภาพที่ 2.7

แสดงโครงสร้างของเรซินแลกเปลี่ยนประจุ Lewatit® GF202



ที่มา : Biodiesel Purification with Lewatit® Ion-Exchange Resin, www.lewatit.de

2.5.2 ลักษณะการทำงานของเรซินแลกเปลี่ยนประจุ

การพรีคอนดิชั่นของเรซินแลกเปลี่ยนประจุ

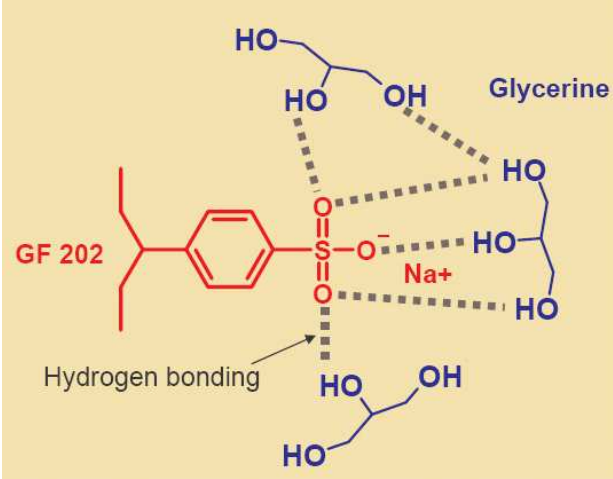
เรซินแลกเปลี่ยนประจุก่อนที่จะนำมาล้างสารปนเปื้อนออกจากไบโอดีเซล ต้องผ่านการพรีคอนดิชั่นด้วย เมทานอลปริมาตร 3-4 เท่าของปริมาตรเรซินแลกเปลี่ยนประจุ ด้วยอัตราการไหล 2 เท่าของปริมาตรเรซินแลกเปลี่ยนประจุต่อชั่วโมง เพื่อล้างสิ่งสกปรกที่ยังตกค้างบนพื้นผิวของเรซิน แลกเปลี่ยนประจุ

การล้างสารปนเปื้อนด้วยเรซินแลกเปลี่ยนประจุ

เมื่อไบโอดีเซลไหลผ่านหอบรรจุเรซินแลกเปลี่ยนประจุ แนะนำด้วยอัตราการไหลประมาณ2 เท่าของปริมาตรเรซินแลกเปลี่ยนประจุต่อชั่วโมง เรซินแลกเปลี่ยนประจุจะจับสารปนเปื้อนให้ติดอยู่บนพื้นผิว จึงสามารถกำจัดกลีเซอรอลและสบู่ออกจากไบโอดีเซลได้ ซึ่งมีกลไกเริ่มต้นจากโซเดียมไอออนที่อยู่บนหมู่ฟังก์ชั่นจะจับตัวกับกลีเซอรอลที่หมู่แอลกอฮอล์ด้วย พันธะไฮโดรเจน ทำให้สามารถจับกลีเซอรอลบนพื้นผิวของเรซินแลกเปลี่ยนประจุได้และกลไกที่สองคือเมื่อกลีเซอรอลถูกรวมตัวรอบๆเรซินแลกเปลี่ยนประจุจะเกิดขึ้นเป็นชั้นของกลีเซอรอล ซึ่งมีลักษณะเป็นขั้ว (hydrophilic phase) ดังนั้นสารปนเปื้อนที่มีความเป็นขั้วอื่นๆ และสบู่ที่เกิดขึ้นจึงสามารถเข้ามารวมตัวในชั้นของกลีเซอรอลได้ ลักษณะกลไกการทำงานของเรซินแลกเปลี่ยนประจุแสดงดังภาพที่ 2.8 และ 2.9

ภาพที่ 2.8

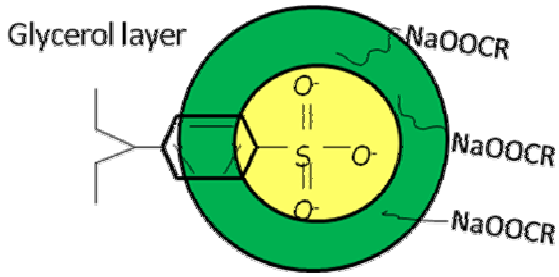
แสดงกลไกการทำงานแรกของเรซินแลกเปลี่ยนประจุ Lewatit® GF202



ที่มา : Biodiesel Purification with Lewatit® Ion-Exchange Resin, www.lewatit.de

ภาพที่ 2.9

แสดงกลไกการทำงานที่สองของเรซินแลกเปลี่ยนประจุ Lewatit® GF202



ที่มา : Biodiesel Purification with Lewatit® Ion-Exchange Resin, www.lewatit.de

การทำความสะอาดเรซินแลกเปลี่ยนประจุ

เมื่อเรซินแลกเปลี่ยนประจุถูกใช้งานไประยะหนึ่ง ซึ่งไม่สามารถจับสารปนเปื้อนให้ออกจากไบโอดีเซลได้อย่างมีประสิทธิภาพ จะถูกทำความสะอาดด้วยเมทานอลโดยมีขั้นตอนเหมือนกับการพรีคอนดิชั่น

2.6 การใช้ LCA ในการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

การประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Analysis : LCA) เป็นวิธีการประเมินหาปัญหาและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ในเชิงปริมาณที่เกี่ยวเนื่องกับผลิตภัณฑ์ทั้งวัฏจักรชีวิต ตั้งแต่การจัดหาพลังงาน และวัตถุดิบ การผลิต การขนส่ง การใช้งานผลิตภัณฑ์ รวมทั้งกับการจัดการซากผลิตภัณฑ์ โดยจะพิจารณาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่ครอบคลุมไปจนถึงระบบนิเวศ สุขอนามัยของมนุษย์ และทรัพยากรธรรมชาติ ทั้งนี้เพื่อนำผลไปใช้ในการกำหนดนโยบายออกแบบผลิตภัณฑ์ การปรับปรุงกระบวนการผลิต หรือเพิ่มทางเลือกในการผลิต เพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและให้มีการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพที่สุด อย่างไรก็ตาม LCA จำเป็นต้องมีฐานข้อมูลที่เกี่ยวข้องจำนวนมาก ซึ่งกำลังมีการพัฒนาฐานข้อมูลดังกล่าวในประเทศไทย ดังนั้นปัจจุบันนี้การใช้ฐานข้อมูลทุติยภูมิจึงเป็นการใช้จากต่างประเทศเป็นส่วนใหญ่

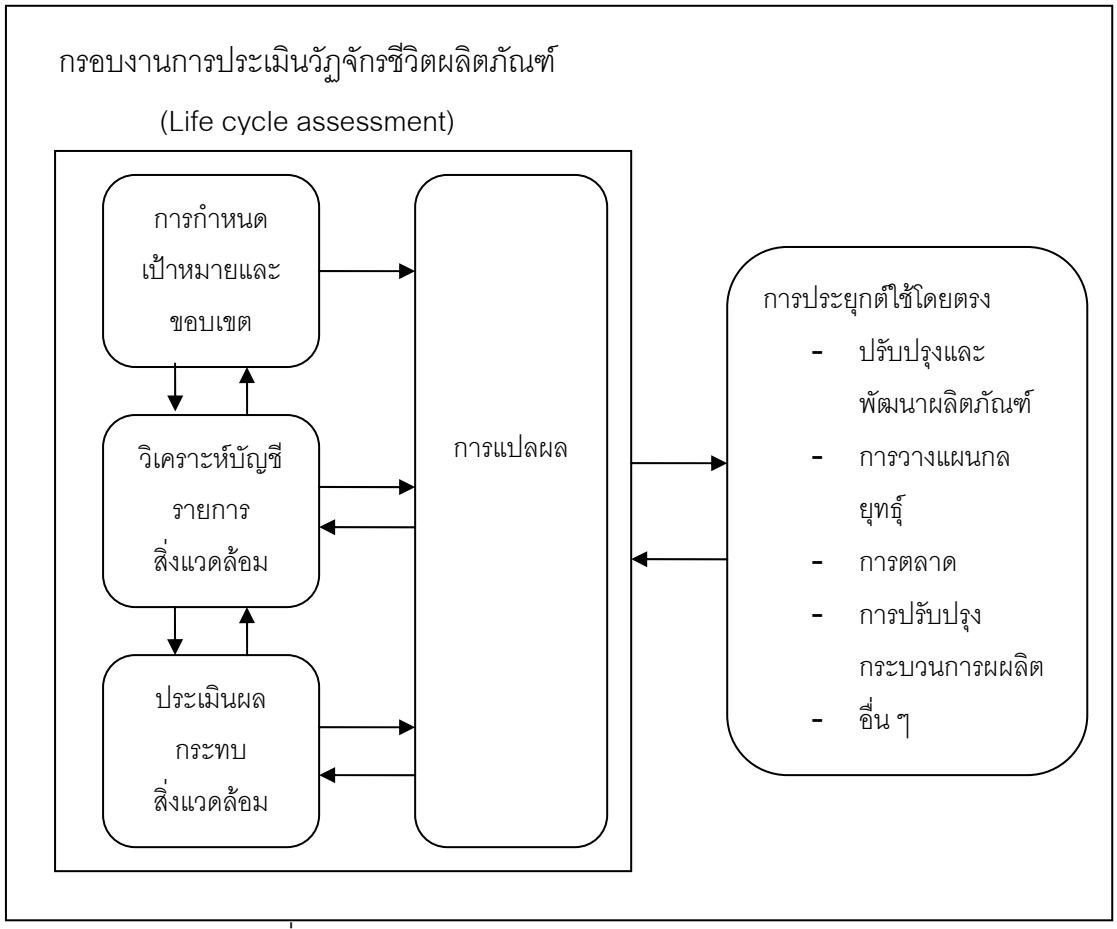
การใช้เครื่องมือ LCA นั้นมีมาตรฐานการจัดการที่เกี่ยวข้อง 5 ฉบับ คือ

- ISO14040 – Life cycle assessment – Principle and framework เป็นมาตรฐานที่กล่าวถึง หลักการ นิยามศัพท์ และกรอบการดำเนินงานการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์
- ISO14041 – Life cycle assessment – Requirements and guidelines เป็นมาตรฐานเกี่ยวกับการกำหนดความต้องการและขั้นตอนที่จำเป็นในการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์
- ISO/TR14047- Life cycle assessment – Example application of ISO14041 to goal and scope definition and inventory analysis เป็นรายงานวิชาการแสดงตัวอย่างของการประยุกต์ใช้อนุกรมมาตรฐาน ISO14042 สำหรับวิเคราะห์ผลวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์
- ISO/TS14048 - Life cycle assessment –LCA data documentation format เป็นรายงานวิชาการแสดงตัวอย่างรูปแบบเอกสารของข้อมูล LCA
- ISO/TR14049 - Life cycle assessment – Example of application of ISO14041 to goal and scope definition and inventory analysis เป็นรายงานวิชาการแสดงตัวอย่างของการประยุกต์ใช้อนุกรมมาตรฐาน ISO14041 สำหรับจัดทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์

โดยกรอบการดำเนินงาน LCA ตามอนุกรมมาตรฐาน ISO14040 แสดงได้ดังภาพที่ 2.10 โดยประกอบไปด้วย กิจกรรม 4 กลุ่ม ได้แก่ การกำหนดเป้าหมายและขอบเขต, การวิเคราะห์บัญชีรายการสิ่งแวดล้อม, การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม และการแปลผล ซึ่งจะนำไปสู่การประยุกต์ใช้ซึ่งนำสู่การปรับปรุงพัฒนาผลิตภัณฑ์ หรือปรับปรุงกระบวนการผลิตเป็นต้น

ภาพที่ 2.10

กรอบการดำเนินงาน LCA ตามมาตรฐาน ISO14040



ที่มา : International Standard ISO 14040:1997

2.6.1 การกำหนดเป้าหมายและขอบเขต

ในการทำ LCA จะต้องทราบว่าอะไรคือสิ่งที่จะทำการศึกษา เพื่ออะไรและจะทำการศึกษาอย่างไร โดยการกำหนดขอบเขตและเป้าหมาย การศึกษาผลกระทบผ่านกระบวนการ LCA นี้จะทำให้ได้ข้อมูลในเชิงวิทยาศาสตร์ที่สามารถช่วยให้การวิเคราะห์ผลมีความน่าเชื่อถือมากขึ้น อันจะนำไปสู่การประยุกต์ใช้และพัฒนาในด้านอื่น ๆ เช่น การปรับปรุงกระบวนการผลิตของผลิตภัณฑ์ การออกแบบผลิตภัณฑ์ใหม่ การจัดทำฉลากสิ่งแวดล้อม แต่หากต้องการศึกษาเพื่อ

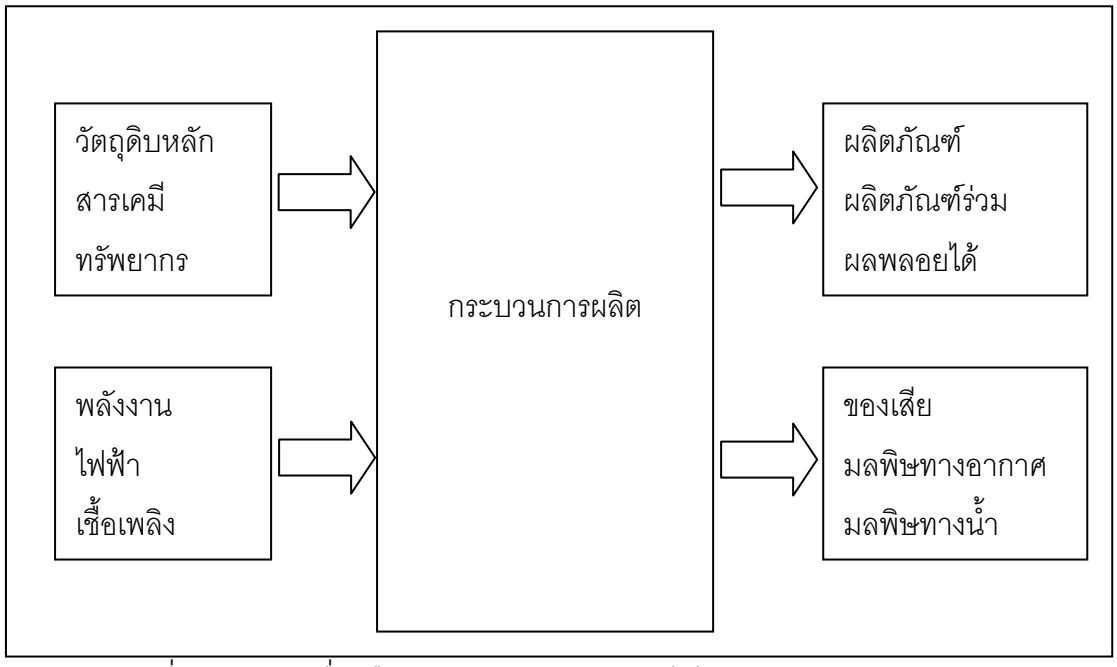
เปรียบเทียบผลิตภัณฑ์ที่คล้ายคลึงกัน และมีการใช้วัสดุใกล้เคียงกัน การศึกษา LCA อาจศึกษาได้โดยการประเมินเปรียบเทียบเฉพาะส่วนที่แตกต่างกันเท่านั้น ซึ่งวิธีการนี้เรียกว่า “การวิเคราะห์ความแตกต่าง” เช่นในการศึกษาความแตกต่าง ของกระบวนการล้างไบโอดีเซลระหว่างวิธีการล้างด้วยน้ำและการกรองผ่านเรซินในครั้งนี้ การกำหนดขอบเขตนี้จะต้องมีการกำหนด หน่วยการทำงานของผลิตภัณฑ์ หรือที่เรียกว่า Functional Unit ให้เหมาะสม เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบซึ่งกันและกันได้

2.6.2 การวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม

จุดประสงค์ของการวิเคราะห์บัญชีรายการสิ่งแวดล้อมคือการเก็บรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อมจากกระบวนการต่าง ๆ ที่ได้กำหนดไว้ในขั้นตอนการกำหนดเป้าหมายและขอบเขต และคำนวณเพื่อหาปริมาณสารขาเข้า (Inputs) และสารขาออก (outputs) ของระบบผลิตภัณฑ์ที่ทำการศึกษา ซึ่งสารขาเข้าและขาออกที่ได้เหล่านี้รวมถึงการใช้ทรัพยากรและการปล่อยสารสู่อากาศ น้ำและดิน ดังแสดงสรุปในภาพที่ 2.11

ภาพที่ 2.11

แสดงตัวอย่างการเก็บข้อมูลเพื่อการวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม



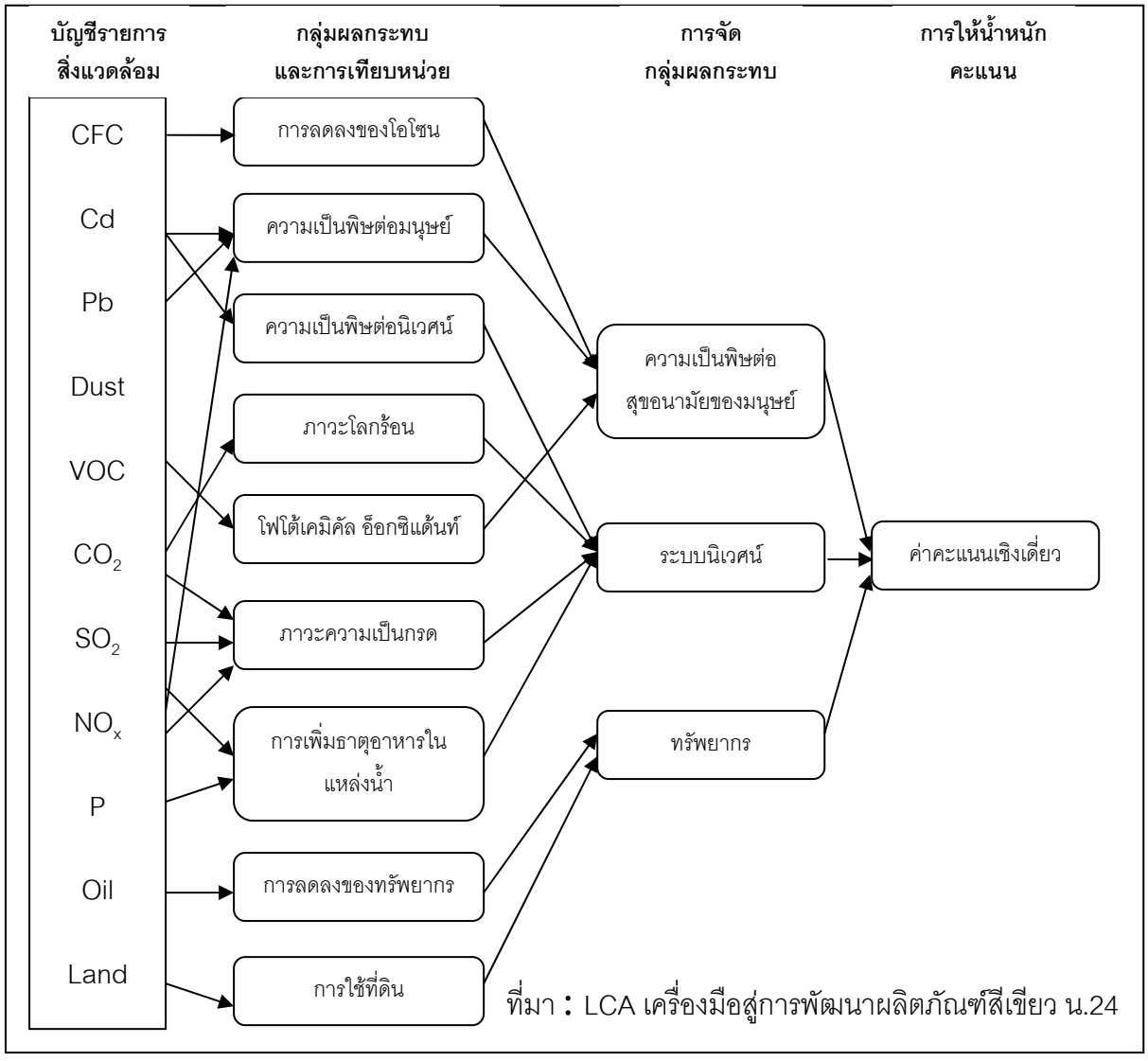
ที่มา : LCA เครื่องมือสู่การพัฒนาผลิตภัณฑ์สีเขียว น.22

2.6.3 การประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรผลิตภัณฑ์

การประเมินผลกระทบผลิตภัณฑ์ตลอดวัฏจักรผลิตภัณฑ์ (Life cycle impact assessment) จัดเป็นกระบวนการที่ต้องใช้เทคนิคในเพื่อจัดการข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อม (LCI) ที่ได้จากขั้นต้นเพื่อนำมาจำแนกและประเมินผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อระบบนิเวศ ทรัพยากร และสุขภาพของมนุษย์ วิธีการประเมินผลกระทบ (LCIA) 2 ขั้นตอนที่ต้องดำเนินการ ประกอบด้วย 1) การจำแนกข้อมูลเข้าไปอยู่ในกลุ่มของผลกระทบ (Classification) และ 2) การประเมินค่าการเกิดผลกระทบ (Characterization) และขั้นตอนที่เป็นการเลือกให้ศึกษาเพิ่มเติมเช่นการเทียบหน่วย (Normalization) การจัดกลุ่มผลกระทบ (Grouping) และการให้น้ำหนักคะแนน (Weighting)

ภาพที่ 2.12

แสดงขั้นตอนการทำการประเมินผลกระทบต่อวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์



ที่มา : LCA เครื่องมือสู่การพัฒนาผลิตภัณฑ์สีเขียว น.24

2.6.4 การแปรผล

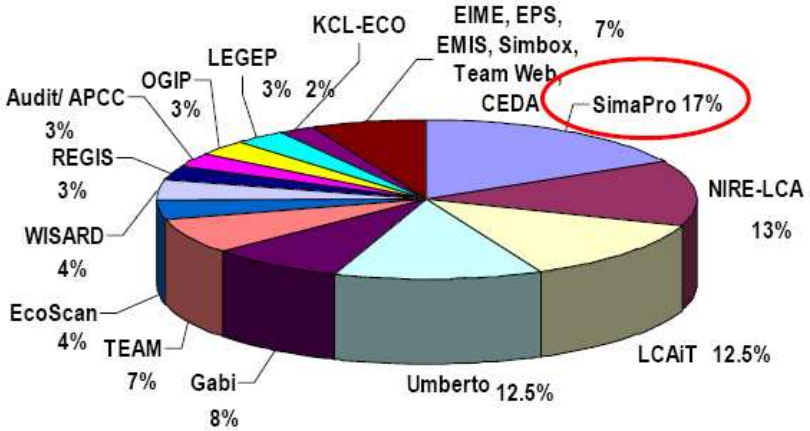
ขั้นตอนการแปลผลเป็นการนำผลการศึกษาที่ได้รับจากการวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม (LCI) และการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (LCIA) มาเชื่อมโยงเพื่อวิเคราะห์ผลลัพธ์ สรุปผล และจัดเตรียมข้อเสนอแนะที่มาจากผลลัพธ์ของการทำ LCA รวมถึงจัดทำรายงานสรุปการแปลผลการศึกษาให้เข้าใจได้ง่าย สมบูรณ์ครบถ้วน และมีความสอดคล้องกับเป้าหมายและขอบเขตการศึกษาที่กำหนดไว้ การแปลผลการศึกษาประกอบด้วยขั้นตอนหลักได้แก่ 1) การจำแนกประเด็นที่สำคัญที่มาจากผลลัพธ์ของขั้นการวิเคราะห์ LCI และ LCIA ของการทำ LCA, 2) การประเมินค่า (evaluation) เพื่อตรวจสอบความสมบูรณ์ ความอ่อนไหวของผลการศึกษา และความสอดคล้องของข้อมูลและ 3) การจัดทำบทสรุป ข้อเสนอแนะ และรายงานผล

2.6.5 การประยุกต์ใช้โปรแกรม SimaPro 7.0 ในการศึกษา LCA

เนื่องจากการศึกษาด้วยวิธีการ LCA จำเป็นต้องใช้ข้อมูลและตัวเลขจำนวนมากในการคำนวณดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้โปรแกรมสำเร็จรูปเข้ามาช่วยในการทำงาน ซึ่งปัจจุบันโปรแกรมสำเร็จรูปทางด้าน LCA มีมากถึง 30 โปรแกรม โดยโปรแกรมหนึ่งที่ได้รับการยอมรับในการนำมาประยุกต์ใช้มากที่สุด จากการพิจารณาอัตราส่วนแบ่งทางการตลาดในปัจจุบันอยู่ในอันดับที่ 1 ของตลาดโปรแกรมสำเร็จรูป ด้านนี้ คือโปรแกรม SimaPro ของบริษัท Pre'Consultant ดังภาพที่ 2.13

ภาพที่ 2.13

อัตราส่วนแบ่งทางการตลาดของโปรแกรมสำเร็จรูป LCA ชนิดต่าง ๆ



ที่มา : ดร.อรรคเจตค์ อภิขจรศิลป์, อ.ปริญญ์ บุณกนิษฐ, การปรับปรุงผลิตภัณฑ์เชิงนิเวศน์เศรษฐกิจในระดับแนวคิดด้วยการประเมินวัฏจักรผลิตภัณฑ์อย่างง่าย

ขั้นตอนการใช้โปรแกรม SimaPro 7.0 จะต้องมีการรวบรวมข้อมูลเพื่อสร้าง Input – ของ Production Process เสียก่อน ซึ่งหากมีข้อมูลปฐมภูมิของสาขาเข้าแต่ละตัวก็สามารถจะป้อนเข้าไปในโปรแกรมได้ หากไม่ทราบก็สามารถเลือกใช้จากฐานข้อมูลทุติยภูมิในโปรแกรมได้เช่นกันโดยสามารถดูจากฐานข้อมูลได้ว่าควรเลือกข้อมูลใดที่มีความใกล้เคียงกันมากที่สุด ซึ่งจะมีรายละเอียดของที่มาของฐานข้อมูลประกอบไว้เช่น Reference ที่ใช้ ผู้จัดทำข้อมูล หลักการในการ Cut off ของบัญชีรายการผลกระทบเป็นต้น หลังจากนั้นจึงทำการป้อนเงื่อนไขสภาพต่างๆ ที่ต้องการในการวิเคราะห์เช่นวิธีการกำจัดของเสีย ทำการประกอบส่วนประกอบต่าง ๆ เข้าด้วยกันตาม Production process เพื่อคำนวณผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ ซึ่งสามารถแสดงค่าผลกระทบ Characterization ได้ในรูปแบบของกราฟ และทำการเทียบหน่วย (Normalization) หรือจำแนกกลุ่มของผลกระทบ และค่าคะแนนเชิงเดี่ยว (Single score) ได้

โดยค่าคะแนนเชิงเดี่ยว (Single Score) นั้นจะเป็นค่าคะแนนรวมของผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมมีค่าเป็น Point ซึ่งผ่านขั้นตอนการจำแนกลักษณะผลกระทบ และปรับให้เป็นมาตรฐาน (Normalize) ได้เป็น 3 กลุ่มหลักคือ ผลกระทบต่อความเป็นพิษต่อสุขอนามัยของมนุษย์ ผลกระทบต่อระบบนิเวศน์, ผลกรทบต่อการลดลงของทรัพยากร ซึ่งการจะคำนวณค่าเหล่านั้นต้องมีการกำหนดวิธีการมาตรฐานขึ้นในการประเมินผลกระทบซึ่งมีหลายวิธีที่เป็นที่นิยมเช่น วิธี CML2001, วิธี Eco-Indicator 99H, วิธี Eco-system Damage Potential, วิธี IMPACT 2001+ เป็นต้น สำหรับวิธี Eco-Indicator 99H นั้น เป็นวิธีที่มีการประกาศใช้ในปี 1999 โดยกลุ่มนักวิทยาศาสตร์ M. Goedkoop และคณะ โดยกำหนดสัดส่วนในการให้คะแนนของและละกลุ่มสารที่ให้ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งได้มาจากการทำ Life Cycle Inventory ซึ่งเรียกว่า EI 99 Damage Factors และมีการปรับปรุงครั้งสุดท้ายเมื่อ ปี 2007 โดยการปรับปรุงการกระจายน้ำหนักของค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมให้แก่กลุ่มก๊าซเรือนกระจก และสารที่ทำลายชั้นโอโซน ดังนั้นเมื่อทำการประเมิน Life Cycle Inventory ของกระบวนการที่สนใจได้แล้วว่ามีสารที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมใดที่เกิดขึ้นจำนวนเท่าใด ก็สามารถใช้วิธีอ้างอิง (Methodology) ใด ๆ ในการประเมินผลกระทบซึ่งจะแสดง Damage Factor ไว้มาประเมินค่าปริมาณผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมใช้ในการเปรียบเทียบกันได้

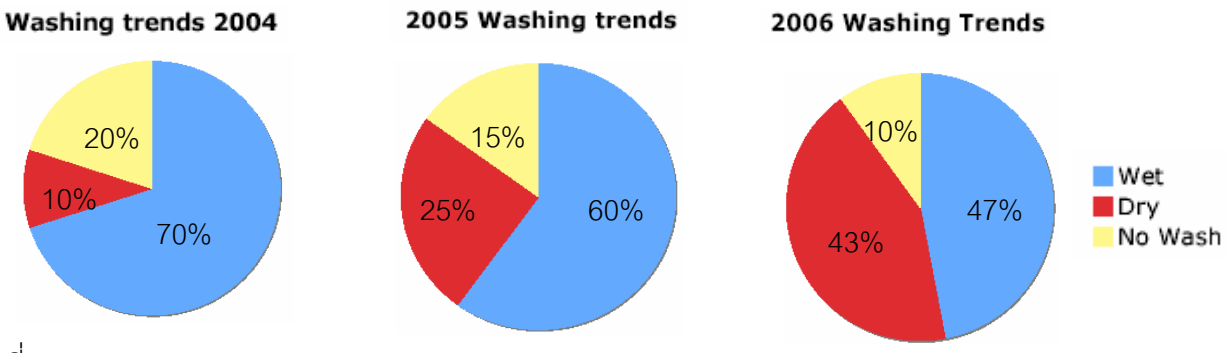
2.7 บทความวิจัยที่เกี่ยวข้องการล้างสารปนเปื้อนออกจากไบโอดีเซล

อัสกูลยูเซิล และ เตอรกีย์ (S. Özgül-Yücel* and S. Türkay, 2003) ทำการศึกษาการล้างสารปนเปื้อนไบโอดีเซลด้วยการใช้ซิลิกา เจลและผงแกลบเป็นตัวดูดซับสารปนเปื้อน ที่สภาวะการทดลองบรรยากาศ พบว่าการใช้ซิลิกาเจลให้ผลที่ดีกว่าการใช้ผงแกลบ อย่างไรก็ดีตัวดูดซับทั้ง 2 ชนิดมีผลทำให้ปริมาณกรดไขมันอิสระในไบโอดีเซลค่าที่ลดลง ซึ่งประสิทธิภาพการดูดซับกรดไขมันอิสระจะเพิ่มขึ้น ก็ต่อเมื่อไบโอดีเซลมี% FAME ที่สูงและปริมาณตัวดูดซับมากขึ้น แต่ก็มีผลทำให้ FAME ถูกดูดซับเช่นกัน อย่างไรก็ดีการดูดซับของสารทั้ง 2 สองตัวสามารถอธิบายได้จาก Freundlich-type isotherms.

เบลลิออสและสเกลตั้น (M. Berrios and R.L. Skelton, 2008) ทำการศึกษาการล้างสารปนเปื้อนออกจากไบโอดีเซลที่ผลิตในสภาวะการทดลองเดียวกัน (อุณหภูมิการทำปฏิกิริยา, ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา และความเร็วรอบของเครื่องปั่นกวน และอื่นๆ)เพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติของไบโอดีเซลหลังจากการล้างสารปนเปื้อนด้วยวิธีการต่างๆ คือ เรซินแลกเปลี่ยนประจุ, แมกนิเซียมซิลิเกต และน้ำพบว่า ควรจะมีการแยกเมทานอลออกจากไบโอดีเซลก่อนการล้างสารปนเปื้อน เพื่อป้องกันผลกระทบต่อ adsorbent ในเรื่องคุณสมบัติของไบโอดีเซล ขั้นตอนการล้างสารปนเปื้อนทั้ง 3 วิธีสามารถแยกกลีเซอรอลออกได้แต่ยังไม่ได้ตามมาตรฐาน แต่เรซินแลกเปลี่ยนประจุสามารถกำจัดสบู่ได้ดีกว่าการล้างสารปนเปื้อนแบบอื่นๆ และคุณสมบัติของไบโอดีเซลชนิดอื่นเช่น ความเป็นกรด ออกซิเดชั่น สเตบิลิตี้ หรือปริมาณน้ำปนเปื้อน กลับไม่มีผลมากนักจากการล้างสารปนเปื้อนทั้ง 3 แบบ

M. Benzies (2007) จาก Filtertechnik co.ltd. ประเทศอังกฤษได้ทำการศึกษาสำรวจผู้ผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพในประเทศอังกฤษ จำนวน 300 ราย ในปี 2004, 2005 และ 2006 พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงวิธีการในกระบวนการทำน้ำมันดีเซลชีวภาพให้บริสุทธิ์อย่างมี นัยยะสำคัญ โดยสัดส่วนของผู้ที่ใช้วิธีการล้างด้วยน้ำลดลงจาก 70 % เป็น 60 % และ 47 % ตามลำดับ ในขณะที่สัดส่วนของผู้ที่ใช้วิธีทำให้บริสุทธิ์โดยไม่ใช้น้ำ เพิ่มจาก 10 % เป็น 25 % และ 43 % ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 2.14

ภาพที่ 2.14
แนวโน้มการใช้กระบวนการล้างของผู้ผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพในประเทศ
อังกฤษจำนวน 300 ราย ตั้งแต่ ปี 2004 ถึง 2006



ที่มา: M. Benzies Biodiesel Purification Techniques, Filtertechnik co.,Ltd.
www.filtertechnik.co.uk/biodiesel

B. Betram, C. Abrams และ B.S.Cooke(2005) ได้จดทะเบียนลิขสิทธิ์ วิธีการ Purification of Biodiesel with Adsorbent Materials เมื่อ 21 เม.ย. 2548 หมายเลขทะเบียน US2005/0081436A1 แสดงให้เห็นว่าสารดูดซับจำพวก Magesium Silicate สามารถลด % Glycerol ในน้ำมันดีเซลชีวภาพบริสุทธิ์ ได้ โดยเมื่อใช้ในปริมาณ 1.8% ที่อุณหภูมิ 93°C เวลา 20 นาที จะลดปริมาณ Free Glycerol ในน้ำมันดีเซลชีวภาพจาก 0.170 % เหลือ 0.003 % และ Total Glycerol จาก 0.321% เหลือ 0.122%

ซลาติก้าและเพลโดวิก (J. Zlatica , Predojevic, 2008) ทำการศึกษาลักษณะของไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันดอกทานตะวันที่ใช้แล้วจำนวน 3 ตัวอย่างซึ่งที่มีการทำปฏิกิริยา 2 ครั้ง โดยใช้ KOH เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาและทำการศึกษาผลจากการล้างสารปนเปื้อนออกจากไบโอดีเซลข้างต้นด้วยวิธีการผสมไบโอดีเซลหลังจากการทำปฏิกิริยาแล้วกับสารต่างๆ คือ ซิลิกา เจล, กรดฟอสฟอริกความเข้มข้น 5 % และน้ำร้อน พบว่า ไบโอดีเซลที่ผลิตได้มีคุณภาพตามมาตรฐานของไบโอดีเซลในเรื่อง ความหนาแน่นที่ 15 องศาเซลเซียส ความหนืดเชิงจลน์ที่ 40 องศาเซลเซียส ค่าความเป็นกรด ค่าไอโอดีน ปริมาณเมธิลเอสเทอร์ของ กรดไลโนเลอิก เอซิต และค่าความบริสุทธิ์ และผลจากการล้างสารปนเปื้อนด้วยวิธีข้างต้น พบว่า การใช้ซิลิกา เจล, กรดฟอสฟอริกความเข้มข้น 5 % มีร้อยละผลได้ของเมทิลเอสเทอร์เฉลี่ยทั้ง 3 ตัวอย่างคือ 92% ขณะที่ใช้น้ำร้อนจะมีร้อยละผลได้ของเมธิลเอสเทอร์เฉลี่ยทั้ง 3 ตัวอย่างเพียง 89%เท่านั้น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสรุปได้ว่า

วิธีการล้างสารปนเปื้อนด้วยการใช้ซิลิกา เจลและกรดฟอสฟอริกความเข้มข้น 5 % จึงเป็นขั้นตอนการล้างสารปนเปื้อนที่เหมาะสม

2.8 บทความวิจัยที่เกี่ยวข้องต้นทุนการผลิตไบโอดีเซลและการวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อม

K.G. Harding , J.S. Dennis , H. von Blottnitz และ S.T.L. Harrison (2007), ภาควิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยเคปทาวน์ และมหาวิทยาลัยเคมบริดจ์ ได้ทำการศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยใช้ Life Cycle Assessment เปรียบเทียบระหว่างกระบวนการผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพ โดยใช้ตัวเร่งปฏิกริยาที่เป็น ด่าง และตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นสารชีวภาพ ซึ่งเป็นเอนไซม์ไลเปส จาก Candida antarctica โดยใช้โปรแกรม SigmaPro v6 และใช้ CML 2 Baseline 2000 v2.1 เป็นวิธีการในการประเมิน ซึ่งผลที่ได้พบว่ากระบวนการใช้เอนไซม์มีความมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่าการใช้ด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยผลกระทบในหมวด Global warming , Acidification, และ Photochemical oxidation มีค่าลดลงประมาณ 5 % ในขณะที่ในหมวด Toxicity มีค่าลดลงมากกว่า 50 %

ชูศักดิ์ กิ่วเจริญ, ชาญพล ทับทิมดี, พรพจน์ เปี่ยมสมบูรณ์ (2008) ศูนย์วิจัยเชื้อเพลิง ภาควิชาเคมีเทคนิค จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ได้ทำการศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยใช้ Life Cycle Assessment (LCA) เปรียบเทียบระหว่างกระบวนการผลิตแบบ Transesterification และ Supercritical Methanol Method โดยใช้โปรแกรม Hysys. Plant version 3.2 (2005) ในการจำลองการผลิต และใช้ โปรแกรม Eco-Indicator 99(H) V2.03 ในการประเมิน LCA พบว่ากระบวนการแบบ Supercritical ให้ผลทางด้านน้ำเสียที่น้อยกว่ากระบวนการแบบ Tranesterification แต่กลับใช้พลังงานที่มากกว่าในกระบวนการ Recover Methanol ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบภาพรวมของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเป็น Single score กระบวนการผลิตแบบ Supercritical ให้ค่าผลกระทบที่สูงกว่าคือ 102 pt. ในขณะที่กระบวนการดั้งเดิมแบบ Tranesterification ให้ค่าผลกระทบเพียง 74 pt.

จากงานวิจัยข้างต้น เริ่มมีการศึกษาการล้างสารปนเปื้อนออกจากไบโอดีเซลโดยใช้สารตัวกลางที่เป็นของแข็งมาดูดซับสารปนเปื้อนในไบโอดีเซลมากขึ้น แต่ก็ยังเป็นการศึกษาในระดับสเกลที่เล็กและอยู่ต่างประเทศเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งยังไม่แพร่หลายมากนักในโรงงาน

อุตสาหกรรมภายในประเทศที่ยังคงเป็นการล้างสารปนเปื้อนด้วยน้ำอยู่ หลังจากมีการรวบรวมข้อมูลวิธีการล้างสารปนเปื้อนดังที่กล่าวมาแล้ว ทางผู้วิจัยจึงนำมาประมวลผลเป็นรูปแบบการทดลองเพื่อทำการศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติของไบโอดีเซลหลังจากการล้างสารปนเปื้อนด้วยเรซินแลกเปลี่ยนประจุกับการล้างด้วยน้ำ และวิเคราะห์ความเป็นไปได้ที่จะนำมาใช้ในเชิงอุตสาหกรรมที่จะกล่าวในบทต่อไป

บทที่ 3

วิธีการวิจัย

3.1 วัตถุดิบและสารเคมี

3.1.1 ไขปาล์มเสตียริน ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัทน้ำมันพืชปทุมธานี ใช้เพื่อเป็นวัตถุดิบในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลในห้องปฏิบัติการ

3.1.2 น้ำมันไบโอดีเซลดิบ (ก่อนล้างน้ำ) ได้รับความอนุเคราะห์จาก บริษัท บางจากปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน) เพื่อใช้เป็นตัวอย่างน้ำมันไบโอดีเซลในการทดสอบประสิทธิภาพในการทำงานของเรซิน

3.1.3 ไอโซโพรพิล แอลกอฮอล์ (Isopropyl alcohol) เกรด A.R. ซื้อจากบริษัท Scharlau มีความบริสุทธิ์ > 99.8% น้ำหนักโมเลกุล 60.10 g/mol เพื่อใช้ในการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์กรดไขมันอิสระ

3.1.4 Toluene เกรด A.R. ซื้อจากบริษัท Panreac มีความบริสุทธิ์ 99.5% น้ำหนักโมเลกุล 92.14 g/mol เพื่อใช้ในการ วิเคราะห์เปอร์เซ็นต์กรดไขมันอิสระ

3.1.5 Cyclohexane เกรด A.R. ซื้อจากบริษัท Univar มีความบริสุทธิ์ > 99.0% น้ำหนักโมเลกุล 84.16% เพื่อใช้ในการ วิเคราะห์เปอร์เซ็นต์กรดไขมันอิสระ

3.1.6 Potassium Hydroxide (KOH) เกรด Commercial น้ำหนักโมเลกุล 56.11 g/mol ซื้อจากบริษัทไต้เหลียงเคมีภัณฑ์ เพื่อใช้เป็นคะตะลิสท์ในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลในห้องปฏิบัติการ

3.1.7 Heptane เกรด A.R. ซื้อจากบริษัท Lab-Scan มีความบริสุทธิ์ 99.0% น้ำหนักโมเลกุล 100.2 g/mol เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ค่าเมทิลเอสเทอร์

3.1.8 Methyl Heptadecanoate เกรด A.R. ซื้อจากบริษัท Fluka มีความบริสุทธิ์ □ 99.5 % น้ำหนักโมเลกุล 284.49 g/mol และ จุดวาบไฟ (flash point) □ 110 องศาเซลเซียส เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ค่าเมทิลเอสเทอร์

3.2 เครื่องมือในการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี

3.2.1 เครื่องชั่งน้ำหนัก ความละเอียด 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Mettler Toledo

3.2.2 Gas Chromatography Type HRGC 8000 SERIES FISONS stabilwax system สำหรับวิเคราะห์ค่า Methyl ester

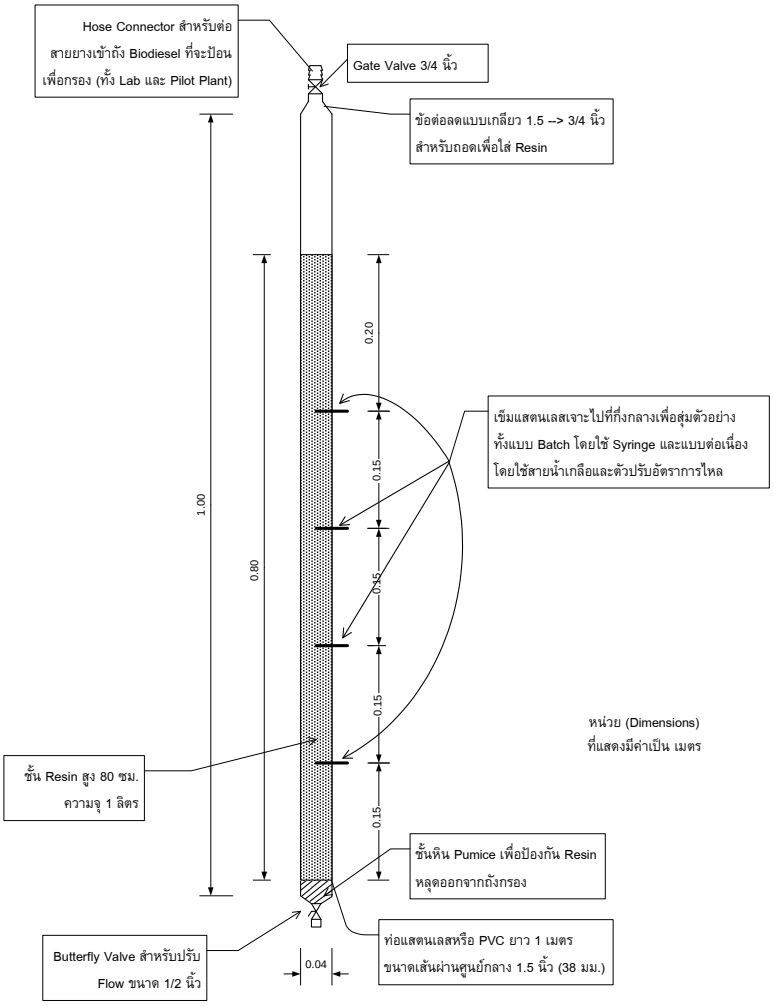
3.2.3 เครื่องวัดความขุ่น EUTECH รุ่น TN 100

3.2.4 pH Meter

3.3 อุปกรณ์

3.3.1 ท่อกรองสำหรับบรรจุเรซิน โดยการจัดทำตามแบบทำด้วยท่อสแตนเลส ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 นิ้ว มีจุดสุ่มตัวอย่างน้ำมันที่ไหลผ่านชั้นกรองตามความสูงได้ 4 จุด และใช้หลักการกรองแบบไหลตามแรงดึงดูดของโลก

ภาพที่ 3.1
แบบท่อกรองที่ใช้ในงานวิจัย

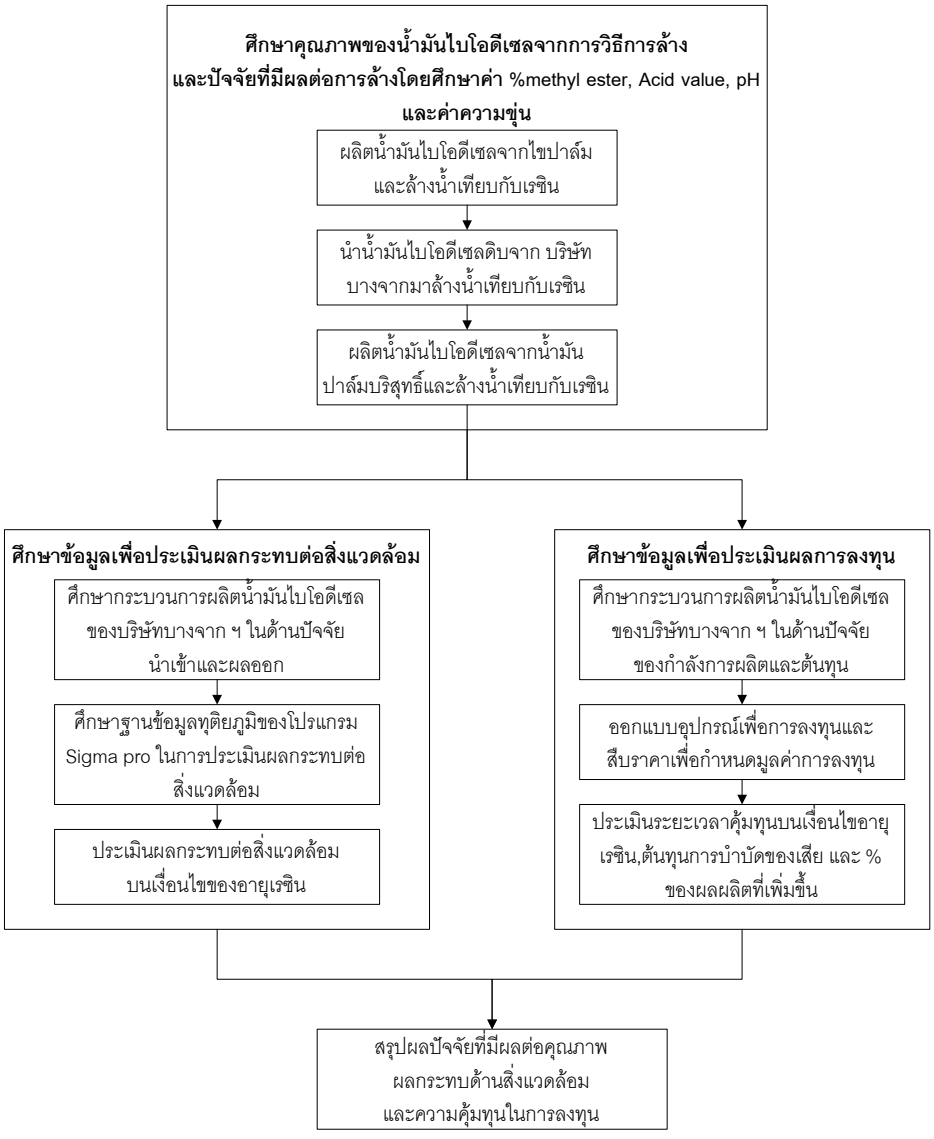


3.4 วิธีการวิจัย

ในงานวิจัยนี้แบ่งขั้นตอนออกเป็น 2 ส่วน คือการศึกษาในห้องปฏิบัติการ เพื่อวิเคราะห์ความแตกต่างคุณภาพของน้ำมันไบโอดีเซล ที่ได้จากกระบวนการล้างด้วยน้ำแบบดั้งเดิมกับวิธีการกรองผ่านเรซิน และการศึกษาข้อมูลในด้านการผลิตในระดับอุตสาหกรรมของ บริษัทบางจากปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน) เพื่อใช้ประเมินทางด้านเศรษฐศาสตร์การลงทุน และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมดังแสดงได้ตาม แผนผังใน ภาพที่ 3.2

ภาพที่ 3.2

แผนผังแสดงลำดับของการวิธีการวิจัย



<u>การศึกษาความแตกต่างของคุณภาพของน้ำมันไบโอดีเซลจากวิธีการล้าง</u>

ขั้นตอนนี้สนใจผลของการทำให้น้ำมันไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์ด้วยวิธีการล้างด้วยน้ำแบบดั้งเดิม และแบบวิธีการกรองฝ่ายเรซินว่า มีคุณสมบัติแตกต่างกันอย่างไร และมีผลกระทบจากปัจจัยที่มาจากประเภทของวัตถุดิบตั้งในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลอย่างไร หรือไม่ รวมทั้งศึกษาลักษณะของคุณภาพของน้ำมันไบโอดีเซลที่แตกต่างในแต่ละระดับของชั้นกรอง

1. ผลิตน้ำมันไบโอดีเซล โดยใช้ ไขปาล์มเสตียริน เป็นสารตั้งต้นกับเมทิลแอลกอฮอล์ โดยใช้ปฏิกิริยาทรานเอสเทอริฟิเคชั่น ที่

อุณหภูมิปฏิกิริยา 60°C เวลา 1 ชั่วโมง

อัตราส่วน เมทิลแอลกอฮอล์ : ไขปาล์มเสตียริน = 6:1 by mol

ใช้ KOH เป็นคะตะลิสท์ในอัตรา 1% by Weight

หลังจากนั้นแยก Glycerol ออกด้วยการทิ้งให้แยกชั้น 24 ชั่วโมง แล้วแบ่งน้ำมันไบโอดีเซลออกเป็น 2 ส่วนเพื่อนำมาทำให้บริสุทธิ์ด้วยวิธีการล้างด้วยน้ำ และวิธีกรองผ่าน Resin PD206 และหาค่า % yield, % methyl ester (ด้วยวิธี EN14103), % Acid value ด้วยวิธี ASTM D664

2. นำน้ำมันไบโอดีเซลดิบก่อนล้างจาก บริษัท บางจากปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน) ซึ่งเป็นน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันพืชใช้แล้ว มาแบ่งเป็น 2 ส่วน เพื่อนำมาทำให้บริสุทธิ์ด้วยวิธีการล้างด้วยน้ำ และวิธีกรองผ่าน Resin GF202 และหาค่า % methyl ester, % Acid value pH และค่าความขุ่น

3. ผลิตน้ำมันไบโอดีเซล โดยใช้ น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ เป็นสารตั้งต้น กับเมทิลแอลกอฮอล์ โดยใช้ปฏิกิริยาทรานเอสเทอริฟิเคชั่น เงื่อนไขเดียวกันกับการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจาก ไขปาล์มเสตียรินหลังจากนั้นแยก Glycerol ออกด้วยการทิ้งให้แยกชั้น 24 ชั่วโมง แล้วแบ่งน้ำมันไบโอดีเซลออกเป็น 2 ส่วนเพื่อนำมาทำให้บริสุทธิ์ด้วยวิธีการล้างด้วยน้ำ และวิธีกรองผ่าน Resin PD206 และ GF202 หาค่า % yield, % methyl ester , % Acid value, pH และความขุ่น

4. วิเคราะห์คุณภาพของน้ำเสียที่ได้จากขั้นตอนการล้างน้ำของการทำน้ำมันไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์ โดยในแต่ละรอบของการล้าง ใช้สัดส่วนปริมาณน้ำล้างในอัตราเดียวกับการใช้ของโรงงานผลิตไบโอดีเซลของ บริษัทบางจากปิโตรเลียม จำกัด และทำการวิเคราะห์ค่า Chemical Oxygen Demand (COD) และค่า pH เป็นตัวแทนลักษณะคุณภาพของน้ำเสีย

5. ทำการวิเคราะห์ประเมินค่า Ion-Exchange Capacity ของ เรซินที่มีการใช้งานแล้วโดยทำการใช้จนอิ่มตัว ทำการฟื้นฟูสภาพด้วยเมธิลแอลกอฮอล์ และวัดค่า Ion-Exchange

Capacity เทียบกับค่าเริ่มแรก เพื่อประเมินผลที่อาจพบจากการลดลงของค่าความสามารถของเรซินหลังจากการใช้งานไปแล้ว ซึ่งอาจแสดงความสามารถทางด้านอายุการใช้งานของเรซิน

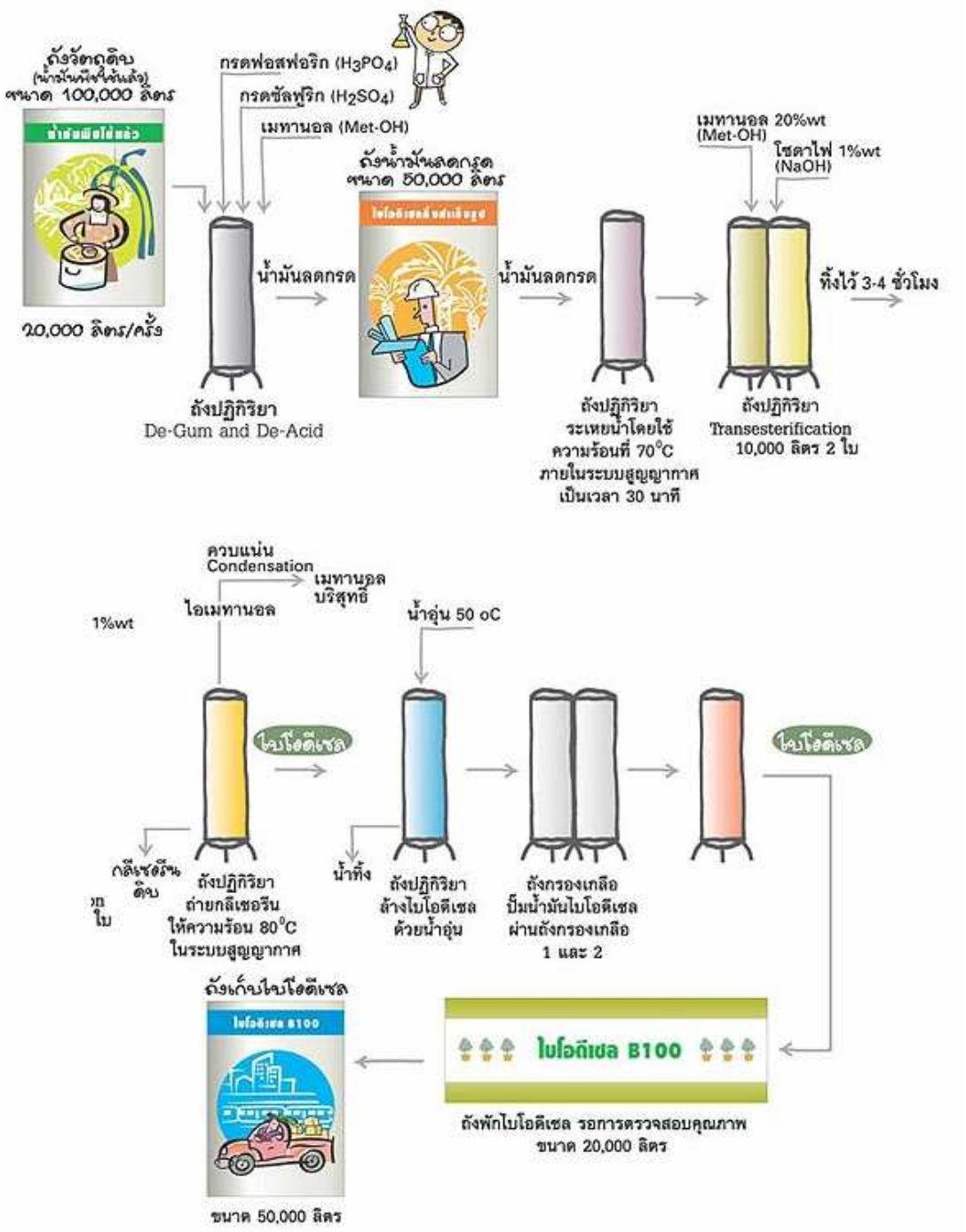
<u>การศึกษาข้อมูลเพื่อประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และการลงทุน</u>

ขั้นตอนนี้สนใจว่าหากนำกระบวนการทำน้ำมันไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์ ด้วยเรซินไปใช้ในระดับการผลิตอุตสาหกรรมจะมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างไร และให้ผลความคุ้มทุนทางเศรษฐศาตร์อย่างไร โดยทำการศึกษาขั้นตอนการผลิตของโรงงานผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วของ บริษัทบางจากปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน) และทดลองแปรผันปัจจัยหลักที่มีผลต่อผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อม และการลงทุน ที่แตกต่างกันของการทำให้บริสุทธิ์ได้แก่ อายุการใช้งานของเรซิน ราคาของเรซิน และวิธีการกำจัดน้ำเสีย

ในขั้นตอนการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และการลงทุน ทั้ง 2 ขั้นตอนนี้จำเป็นต้องใช้กระบวนการผลิตอ้างอิง เพื่อสามารถคำนวณบัญชีปริมาณสารที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม หรือที่เรียกว่า Life Cycle Inventory ได้ รวมทั้งการคำนวณเป็นตัวเงินเพื่อเปรียบเทียบผลได้จากการลงทุนได้ ซึ่งกระบวนการผลิตอ้างอิงที่ใช้ของ บริษัทบางจากปิโตรเลียมนั้น แสดงดังภาพที่ 3.3 ซึ่งกระบวนการผลิตจะเริ่มจากขั้นตอนการรับน้ำมันพืชใช้แล้ว เข้าถังเก็บขนาด 100,000 ลิตร และจะมีการนำไปผลิต ครั้งละ 20,000 ลิตร โดยขั้นตอนแรก จะมีการนำไปทำปฏิกิริยาแยกยางเหนียว (Gum) และ กรดออก ในถังปฏิกิริยา ซึ่งจะมีการเติม กรดฟอสฟอริก กรดซัลฟุริก และเมทานอล ซึ่งผลได้จากถังปฏิกิริยานี้จะได้ น้ำมันที่ลดกรดแล้ว และนำไปพักเก็บไว้ที่ ถังน้ำมันลดกรดที่มีขนาด 50,000 ลิตร จากนั้นจึงจะนำน้ำมันลดกรดไประเหยน้ำออกในสภาวะสุญญากาศที่อุณหภูมิ 70°ซ เป็นเวลา 30 นาที ก่อนจะนำไปทำปฏิกิริยา Trans-esterification กับ เมทานอล เป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยมี โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และทิ้งไว้ให้ กลีเซอรีน ตกตะกอนประมาณ 3-4 ชั่วโมง แล้วจึงแยกกลีเซอรีนออก ส่วนน้ำมันไบโอดีเซลดิบที่ได้จะถูกน้ำไปล้างด้วยน้ำอุ่นอุณหภูมิ 50°ซ จำนวน 5 รอบ ทำการแยกน้ำออกทิ้ง ส่วนน้ำมันไบโอดีเซลที่ล้างน้ำออกแล้วจะถูกนำไปแยกน้ำที่อาจเหลือปนเปื้อนอยู่ออกอีกโดยการผ่านถังกรองเกลือ ก่อนจะเป็นน้ำมันไบโอดีเซลบริสุทธิ์ B100 และนำไปเก็บไว้ในถังเก็บขนาด 50,000 ลิตร

ภาพที่ 3.3

ขั้นตอนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลของบริษัท บางจากปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน)



ที่มา : บริษัท บางจากปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน)

บทที่ 4

ผลการทดลอง วิจัยและการวิเคราะห์ผล

ในงานวิจัยนี้ ได้ทำการศึกษาผลในด้านต่าง ๆ ที่อาจมีผลกระทบแตกต่างกัน ระหว่างวิธีการทำน้ำมันไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์ 2 วิธี ได้แก่ วิธีการล้างด้วยน้ำ และการกรองผ่านตัวกรองแลกเปลี่ยนประจุ ซึ่งผลกระทบที่สนใจทั้ง 3 ด้านได้แก่

- ด้านที่ 1 ผลกระทบด้านคุณภาพของน้ำมันไบโอดีเซล
- ด้านที่ 2 ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมและการบำบัดของเสียจากกระบวนการผลิต
- ด้านที่ 3 ผลกระทบด้านการลงทุน

4.1 ผลการทดลองวิจัยผลกระทบทางด้านคุณภาพของน้ำมันไบโอดีเซล

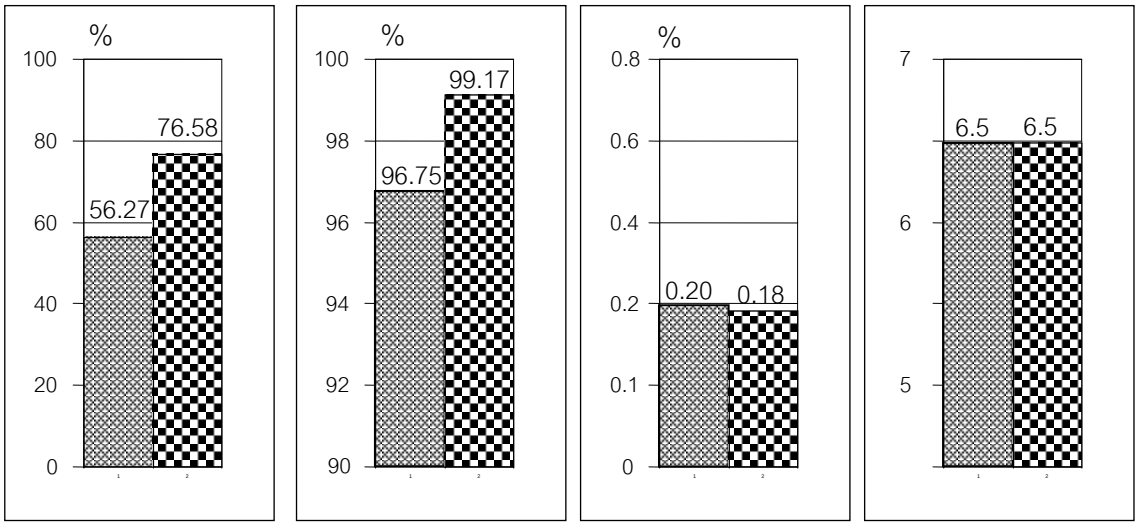
ในงานวิจัยนี้ ขั้นตอนเบื้องต้นที่ต้องทำการศึกษาคือ ผลกระทบที่อาจมีกับคุณภาพของน้ำมันไบโอดีเซลที่เกิดจากการใช้วิธีการทำให้บริสุทธิ์แตกต่างไปจากเดิม ที่ใช้วิธีการล้างด้วยน้ำ มาเป็นวิธีการกรองผ่านตัวกรองแลกเปลี่ยนประจุ ว่าจะทำให้คุณภาพของน้ำมันไบโอดีเซลที่ได้แตกต่างไปจาก มาตรฐานที่กำหนดโดยกรมธุรกิจพลังงาน กระทรวงพลังงานหรือไม่ โดยมีการทำการทดลองเปรียบเทียบทั้งน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตเองจาก ปาล์มสเตียริน, น้ำมันพืชใช้แล้ว น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ และ น้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตในระดับอุตสาหกรรมจากน้ำมันพืชใช้แล้ว ซึ่งผลิตโดยบริษัท บางจากปิโตรเลียม จำกัด มหาชน โดยผลการทดลองแต่ละส่วนเป็นดังนี้

4.1.1 ผลการทดลองผลิตน้ำมันไบโอดีเซล และทำให้บริสุทธิ์ด้วยวิธีล้างน้ำเทียบกับการกรองผ่านตัวกรองแลกเปลี่ยนประจุ PD206

เพื่อเป็นการประเมินคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลในเบื้องต้น จึงได้ทำการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจาก ปาล์มสเตียรินที่ได้รับอนุเคราะห์จาก บริษัทน้ำมันพืชปทุมธานี โดยใช้กระบวนการ Tranesterification กับ Methanol ที่ 60°C โดยใช้อัตราส่วนโดยโมล ระหว่าง Methanol และ ปาล์มเสตียริน เท่ากับ 6:1 และใช้ KOH 1% โดยน้ำหนักเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา หลังจากนั้นทำการแยกชั้นกลีเซอรอลออกโดยใช้กรวยแยก และนำน้ำมันไบโอดีเซลดิบ (Crude Biodiesel) มาแบ่งออกเป็น 2 ส่วนและทำให้บริสุทธิ์โดยวิธีการล้างด้วยน้ำ และกรองผ่านตัวกรอง

แลกเปลี่ยนประจุ PD206 (Purorite) และวิเคราะห์คุณภาพของน้ำมันไบโอดีเซลที่ได้เปรียบเทียบกัน ซึ่งมีผลดังภาพที่ 4.1 นี้

ภาพที่ 4.1
เปรียบเทียบคุณภาพของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากปาล์มสเตียริน
และทำให้บริสุทธิ์ระหว่างวิธีการล้างด้วยน้ำ และการกรองผ่านตัวแลกเปลี่ยนประจุ PD206



น้ำมันไบโอดีเซลที่ทำให้บริสุทธิ์ด้วยวิธีการล้างด้วยน้ำ

น้ำมันไบโอดีเซลที่ทำให้บริสุทธิ์ด้วยการกรอง Ion-exchange resin PD206

ค่า %ผลิตผล (Yield Value)

ค่า % Yield แสดงถึงปริมาณของผลิตผลของ น้ำมันไบโอดีเซลที่ได้จากขบวนการผลิตทั้งหมดโดยคิดคำนวณจาก

$$\% \text{ Yield} = \frac{\text{น้ำหนักน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตได้} \times 100}{\text{น้ำหนักปาล์มสเตียรินที่ใช้ในการผลิต}}$$

จะเห็นได้ว่าค่า % Yield ด้วยกระบวนการผลิตทีทำให้บริสุทธิ์ด้วยวิธีการล้างด้วยน้ำมีค่าต่ำกว่าการกรองผ่านตัวกรองแลกเปลี่ยนประจุทั้งนี้เนื่องจากการสูญเสียในระหว่างการแยกชั้นระหว่างน้ำและน้ำมันในขั้นตอนการล้างแต่ละครั้ง ในขณะที่การกรองด้วยตัวกรองแลกเปลี่ยนประจุมีการสูญเสียในช่วงแรกที่มีการถูกดูดซับจากตัวกรองในตอนเริ่มต้นเพียงเท่านั้น

ค่า % Methyl Ester

ค่า % Methyl Ester คือค่าแสดงปริมาณหรือความบริสุทธิ์ของน้ำมันไบโอดีเซลนั้น ซึ่งตามมาตรฐานของน้ำมันไบโอดีเซล สำหรับการเป็นเชื้อเพลิงของ กรมธุรกิจพลังงาน กระทรวงพลังงานจะต้องมีค่าไม่ต่ำกว่า 96.5% ซึ่งค่าที่วิเคราะห์ได้มีค่าสูงกว่ามาตรฐานที่กำหนดทั้ง 2 วิธีคือ ทั้งการล้างด้วยน้ำ หรือการกรองผ่านตัวกรองแลกเปลี่ยนประจุ และผลที่ได้เป็นที่น่าสนใจว่าวิธีการกรองผ่านตัวแลกเปลี่ยนประจุสามารถทำให้มีค่าความเข้มข้นของ % Methyl Ester สูงกว่าค่าที่ได้จากวิธีการล้างด้วยน้ำ ซึ่งแสดงถึงศักยภาพของวิธีการกรองผ่านตัวกรองแลกเปลี่ยนประจุที่สามารถทำให้ได้น้ำมันไบโอดีเซลที่มีค่าความเข้มข้นของ % Methyl Ester สูงกว่าวิธีการล้างด้วยน้ำได้ ในระหว่างขั้นตอนการทำให้บริสุทธิ์ แต่อย่างไรก็ตามในท้ายที่สุดแล้วในการผลิตระดับอุตสาหกรรมก็จะเป็นการควบคุมอัตราการกรองให้ % Methyl Ester อยู่ในเพียงระดับไม่ต่ำกว่ามาตรฐานที่กรมธุรกิจพลังงานได้กำหนดไว้

ค่า % Acid Value

ค่า % Acid Value ซึ่งจะแสดงปริมาณกรดไขมันอิสระที่มีอยู่ในน้ำมันไบโอดีเซล โดยค่ามาตรฐานตามประกาศของกรมธุรกิจพลังงานจะต้องไม่สูงกว่า 0.4% ซึ่งจากผลการทดลองครั้งนี้วิธีการทำให้บริสุทธิ์ทั้ง 2 วิธีให้ค่าต่ำกว่า 0.4% ทั้ง 2 ค่า และเป็นการยืนยันได้ว่าแม้ตัวกรองแลกเปลี่ยนประจุที่ใช้ดังกล่าวซึ่ง Cationic Resin ที่มีประจุบวก H^+ ไม่ได้มีผลทำให้ค่า Acid Value ของน้ำมันไบโอดีเซลที่ได้มีค่าสูงขึ้นแต่อย่างใด

4.1.2 ผลการทดลองทำน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วโดย Pilot Plant ให้บริสุทธิ์ด้วยวิธีการล้างน้ำเทียบกับการกรองผ่านตัวกรองแลกเปลี่ยนประจุ GF202

ในขั้นตอนนี้ได้ทำการศึกษาความสามารถในการดูดซับสิ่งปนเปื้อนต่าง ๆ ที่มีประจุในน้ำมันไบโอดีเซล โดยการนำน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันพืชใช้แล้วโดยเครื่องผลิตน้ำมันไบโอดีเซล Pilot Plant ซึ่งได้ทำการล้างด้วยน้ำเรียบร้อยแล้วแต่พบว่ามีค่า % Methyl Ester ไม่ได้มาตรฐาน และมีลักษณะปนเปื้อนของสบู่อยู่สูง เพื่อจะดูความสามารถของตัวกรองแลกเปลี่ยนประจุว่าสามารถแก้ไขปัญหาของสิ่งปนเปื้อนดังกล่าวได้หรือไม่ โดยการกรองผ่านตัวกรองแลกเปลี่ยนประจุที่กำหนดจุดสุ่มตัวอย่างแต่ละระดับความสูงของชั้นกรองไว้ ซึ่งได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.1 และ ภาพที่ 4.2

ตารางที่ 4.1

แสดงค่าผลวิเคราะห์น้ำมันไบโอดีเซลที่ได้ในแต่ละจุดที่สุ่มตัวอย่าง

ในแต่ละชั้นของตัวกรองแลกเปลี่ยนประจุ GF202 (Lewatit)

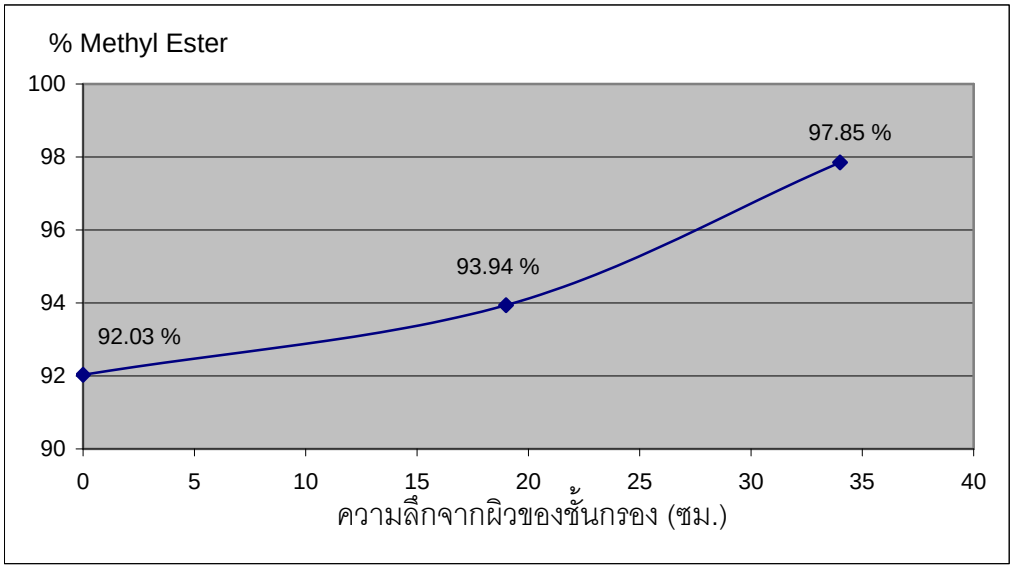
ความลึกของชั้นกรองนับจากผิวบนสุดของชั้นกรอง (ซม.)	ค่า Methyl Ester (%)	ค่าความขุ่น (NTU)	ค่า Acid Value (%)	ค่า pH
0	92.03	0.12	0.25	7.0
19	93.94	0	0.21	6.5
34	97.85	0	0.20	6.5

หมายเหตุ ค่า pH วัดด้วย pH paper

ภาพที่ 4.2

แสดงความสามารถของตัวกรองแลกเปลี่ยนประจุ GF202 (Lewatit)

ในการทำน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตแล้วมีค่า % Methyl Ester ไม่ได้มาตรฐานให้บริสุทธิ์ขึ้น



4.1.3 ผลการทดลองนำน้ำมันไบโอดีเซลจาก บริษัทบางจากปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน) ด้วยวิธีการล้างด้วยน้ำเปรียบเทียบกับวิธีการกรองผ่านตัวกรองแลกเปลี่ยนประจุ GF202

ในการทดลองขั้นตอนนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความสามารถของตัวกรองแลกเปลี่ยนประจุ ในการใช้ทำน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตในระดับอุตสาหกรรมให้บริสุทธิ์ โดยได้นำตัวอย่างน้ำมันไบโอดีเซลก่อนล้างน้ำที่ผลิตโดย บริษัท บางจากปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน) มากรองผ่านตัวกรองแลกเปลี่ยนประจุ GF202 โดยทำการทดลองซ้ำ 2 ครั้ง โดยใช้ตัวอย่างน้ำมันไบโอดีเซลแต่ละ lot ของการผลิตที่แตกต่างกัน เพื่อประเมินผลที่เกิดจากคุณภาพน้ำมันไบโอดีเซลที่แตกต่างกันในแต่ละครั้งของการผลิตในระดับอุตสาหกรรม ซึ่งผลการวิเคราะห์คุณภาพของน้ำมันไบโอดีเซลแสดงดังตารางที่ 4.2 และ 4.3 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการวัดคุณลักษณะความขุ่นสามารถจำแนกน้ำมันไบโอดีเซลดิบ และน้ำมันไบโอดีเซลบริสุทธิ์ ได้อย่างชัดเจน สามารถนำมาใช้เป็นค่าตรวจติดตามหลักในการควบคุมกระบวนการได้อย่างดี นอกจากนี้เรซินยังคงแสดงความสามารถในการทำน้ำมันไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์ขึ้นได้เป็นอย่างดี แต่ทั้งนี้ค่า % Methyl ester ที่ได้อาจมีผลมาจาก ปริมาณสารปนเปื้อนตั้งต้นที่แตกต่างกัน และอัตราการไหลที่แตกต่างกัน ซึ่งผลการทดลองครั้งที่ 2 ที่มีค่าความขุ่นสูงซึ่งแสดงถึงสารปนเปื้อนเริ่มต้นที่สูงกว่า และอัตราการกรองที่เร็วกว่า การทดลองครั้งที่ 1 มีผลทำให้ค่า % Methyl ester ของการทดลองครั้งที่ 2 ไม่เพิ่มสูงดังการทดลองครั้งแรก

ตารางที่ 4.2
แสดงค่าผลวิเคราะห์น้ำมันไบโอดีเซลครั้งที่ 1 ที่ได้จาก บริษัท บางจากปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน) เพื่อเปรียบเทียบระหว่างวิธีการล้างด้วยน้ำ และวิธีการกรองผ่านตัวกรองแลกเปลี่ยนประจุ GF202 (Lewatit)

ตัวอย่าง น้ำมันไบโอดีเซล	ค่า (%) Methyl Ester	ค่าความขุ่น (NTU)	ค่า (%) Acid Value	ค่า pH
ก่อนล้างน้ำ	-	12.66	-	9.41
หลังล้างน้ำ	89.81	0.19	0.28	8.92
กรองผ่านเรซิน GF202	93.97	0	0.19	7.21

หมายเหตุ อัตราการกรอง 1.67 Bed Volume/ชั่วโมง, pH วัดด้วย pH Meter

ตารางที่ 4.3

แสดงค่าผลวิเคราะห์น้ำมันไบโอดีเซลครั้งที่ 2 ที่ได้จาก บริษัท บางจากปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน) เพื่อเปรียบเทียบระหว่างวิธีการล้างด้วยน้ำ และวิธีการกรองผ่านตัวกรองแลกเปลี่ยนประจุ GF202 (Lewatit)

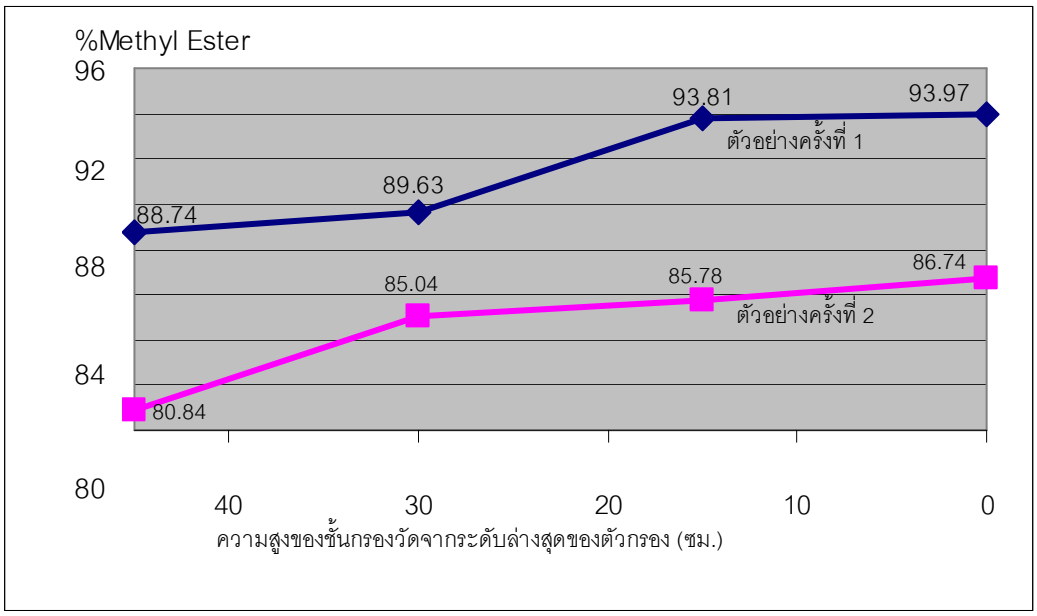
ตัวอย่าง น้ำมันไบโอดีเซล	ค่า (%) Methyl Ester	ค่าความขุ่น (NTU)	ค่า (%) Acid Value	ค่า pH
ก่อนล้างน้ำ	-	25.78	-	10.05
หลังล้างน้ำ	87.46	0	0.32	7.54
กรองผ่านเรซิน GF202	86.74	0	0.22	7.15

หมายเหตุ อัตราการกรอง 1.73 Bed Volume/ชั่วโมง

pH วัดด้วย pH Meter

ภาพที่ 4.3

แสดงความสามารถของตัวกรองแลกเปลี่ยนประจุ GF202 (Lewatit) ในการทำน้ำมันไบโอดีเซลของบริษัท บางจากปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน) ครั้งที่ 1 และ 2 มาตรฐานให้บริสุทธิ์ขึ้น



4.1.4 ผลการทดลองผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ และทำให้บริสุทธิ์ด้วยวิธีล้างด้วยน้ำเทียบกับการกรองผ่านตัวกรองแลกเปลี่ยนประจุ PD206 และ GF202 ซึ่งในการทดลองนี้เพื่อเปรียบเทียบและดูศักยภาพของเรซิน PD206 และ GF202 ที่แตกต่างกันในรูปแบบของ Functional Group โดย GF202 จะมีหมู่ Functional Group เป็น Na+ ในขณะที่ PD206 จะมีหมู่ Functional Group เป็น H+ ซึ่งผลที่ได้พบว่าเรซินทั้งสองมีผลในการกำจัดสารปนเปื้อนได้ให้อยู่ในระดับมาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซลของกรมธุรกิจพลังงานจากค่า กลีเซอไรด์ประเภทต่าง ๆ ในตารางที่ 4.4 แต่สามาระเห็นได้ชัดว่า PD206 สามารถทำให้ pH มีค่าต่ำกว่า GF202 แต่ ให้ค่า % Methyl ester ที่สูงกว่า ทั้งนี้อาจเป็นเนื่องจากผลของ Functional Group ของ PD206 ที่เป็น H+ มี ค่า Ion-Exchange Capacity ที่สูงกว่า GF202 ซึ่งเป็น Na+ นอกจากนี้แล้วขนาดของเม็ด PD206 ยังเล็กกว่า GF202 ซึ่งมีผลทำให้ชั้นกรองเรซิน PD206มี Pressure loss ที่สูงกว่า GF202 เมื่อนำมากรองแบบ Gravity Flow จึงมีแนวโน้มที่จะไหลช้ากว่าแม้ว่าจะพยายามควบคุมให้อัตราการไหลใกล้เคียงกัน นอกจากนี้แล้วขนาดเม็ดที่เล็กกว่ายังส่งผลให้มีพื้นที่ผิวของเรซินมากกว่า ในปริมาตรการบรรจุเรซินที่เท่ากัน จึงอาจเป็นผลที่ส่งให้เรซิน PD206 แสดงความสามารถในการทำให้น้ำมันไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์ได้ดีกว่า GF202 ในการทดลองครั้งนี้

ตารางที่ 4.4

แสดงค่าผลวิเคราะห์ค่าน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์

	วิธีที่ทำให้บริสุทธิ์		
	Resin GF202	Resin PD206	ล้างด้วยน้ำ
%Methyl Ester	91.55%	95.32%	82.83%
%Acid Value	0.21	0.17	0.34
pH	7.23	6.92	7.76
Turbidity (NTU)	0	0	0
%Monoglyceride	0.32	0.20	0.40
%Diglyceride	0.03	0.02	0.03
%Triglyceride	< 0.10	< 0.10	<0.10
%Free glycerine	0.01	0.01	0.01
%Total glycerine	< 0.10	<0.06	< 0.12

4.1.5 ผลการทดลองวิเคราะห์คุณภาพของน้ำเสียที่ได้จากกระบวนทำให้น้ำมันดีเซลบริสุทธิ์ด้วยวิธีการล้างด้วยน้ำ

ได้วิเคราะห์ค่าความสกปรกของน้ำล้าง จากกระบวนการทำน้ำมันไบโอดีเซล โดยทำการจำลองวิธีการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันใช้แล้ว แล้วใช้สัดส่วนน้ำล้างและรอบการล้างเช่นเดียวกับ บริษัท บางจากฯ แล้วนำมาวิเคราะห์ค่า Chemical Oxygen Demand (COD) และ pH ได้ผลดังตารางที่ 4.5 ซึ่งพบว่าน้ำเสียที่ได้จากการล้างครั้งที่ 1 และ 2 มีค่าสัดส่วนค่า Chemical Oxygen Demand (COD) และ pH ที่สูงกว่ารอบที่ 3, 4 และ 5 มาก ซึ่งจะมีผลต่อการพิจารณาวิธีในการกำจัดน้ำเสียในแต่ละรอบ ว่าควรแยกกำจัดให้เหมาะสมกับลักษณะของน้ำเสียในรอบนั้น ๆ โดยจากผลการทดลองควรมีการรวมน้ำเสียจากรอบที่ 1 และ 2 ไว้กำจัดด้วยวิธีหนึ่ง เนื่องจากมีค่าความสกปรกสูง และน้ำเสียในรอบที่ 3, 4 และ 5 ไว้ในอีกวิธีหนึ่ง เนื่องจากมีค่าความสกปรกต่ำกว่า อย่างไรก็ตามคุณลักษณะของน้ำเสียจากการล้างน้ำมันไบโอดีเซลดิบด้วยน้ำนั้น จะขึ้นกับความสามารถในการแยกน้ำมันไบโอดีเซล ที่หลุดออกไปกับน้ำ หรือลดการเกิดสบู่ในขั้นตอนการล้างที่จะหลุดออกไปกับน้ำล้างด้วยทำให้ค่าความสกปรกสูงขึ้นได้ ซึ่งในการทดลองในห้องปฏิบัติการครั้งนี้มีการปรับ pH ของน้ำมันไบโอดีเซลดิบด้วยกรดก่อนการล้าง จึงอาจทำให้น้ำเสียมีค่าความสกปรกต่ำกว่าน้ำล้างจากกระบวนการผลิตจริงที่อาจไม่มีการปรับค่า pH

ตารางที่ 4.5

แสดงค่าผลวิเคราะห์ค่าความสกปรกของน้ำเสียที่ได้จากการล้างไบโอดีเซลด้วยน้ำ

การล้างครั้งที่	คุณภาพของน้ำเสียจากการล้าง	
	COD (mg/l)	pH
1	64,296	11.5
2	45,175	11.2
3	10,152	10.1
4	8,324	9.5
5	7,135	9.2

4.1.6 ผลการวิเคราะห์ค่า Ion Exchange Capacity ตัวกรองแลกเปลี่ยนประจุ PD206 และ GF202

ได้ทำการทดลองหาค่า Capacity ของ Resin Lewatit GF202 และ Purorite PD206 โดยใช้วิธีตาม ASTM D2187-94 (Reapproved 2004) ตามรายละเอียดในภาคผนวก ก.3 ในการวัดค่า Total capacity of caton-exchange resin ทั้งนี้ได้วัดค่า Capacity ของ Resin ใหม่ และเมื่อมีการใช้กรองน้ำมันไบโอดีเซลไปแล้ว 1 รอบ และ 2 รอบ ของการอิ่มตัวโดยการกรองผ่านน้ำมันไบโอดีเซลรอบละ 50 Bed Volume โดยแต่ละรอบทำการฟื้นฟูสภาพเรซินและนำมาวัดค่า Ion-Exchange Capacity เพื่อดูประสิทธิภาพของ Resin ที่อาจมีเปลี่ยนแปลงไปเมื่อมีการใช้งานตามอายุการใช้งานซึ่งได้ผลค่า Ion-exchange Capacity ที่วิเคราะห์ได้มีดังนี้

ตารางที่ 4.6

แสดงค่า Ion-exchange Capacity เมื่อเรซินถูก Regenerate แล้วใช้ซ้ำ

	Ion-exchange Capacity (milliequivalent/wet gram)	
	Resin GF202	Resin PD206
ก่อนใช้	1.8	1.9
ใช้แล้ว 1 ครั้ง	1.9	1.7
ใช้แล้ว 2 ครั้ง	1.8	1.7

ซึ่งจากผลที่ได้ จากการใช้ Resin ไปแล้ว 1 และ 2 รอบ โดยแต่ละรอบใช้กรองน้ำมันไบโอดีเซลที่ยังไม่ได้ผ่านการล้างจำนวน 50 Bed Volume และนำมา Regenerate ใหม่ด้วยการล้างด้วย Methanol ทำให้แห้ง และทำการวิเคราะห์ ค่า Ion-exchange Capacity ซึ่งผลที่ได้พบว่าค่า Ion-exchange Capacity ไม่มีความแตกต่างจากค่าที่วิเคราะห์ในตอนที่เป็น Fresh Resin ซึ่งทำให้ไม่สามารถประเมินอายุการใช้งานของ Resin ได้จากผลการทดลองครั้งนี้ หากแต่สามารถเชื่อมั่นได้ว่าในการใช้ Resin ใหม่ในแต่ละครั้งสามารถทำน้ำไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์ได้ไม่ต่ำกว่า 100 เท่าของ Bed Volume ของ Resin ที่ใช้

4.1.7 ผลการเปรียบเทียบการใช้ตัวกรองแลกเปลี่ยนประจุในการทำให้น้ำมันไบโอดีเซลบริสุทธิ์ในการผลิตระดับ Pilot Plant

ตารางที่ 4.7
แสดงคุณภาพของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตในระดับ Pilot Plant

	วิธีที่ทำให้บริสุทธิ์	
	Resin GF202	ล้างด้วยน้ำ
%Yield	77.9%	85.9%
%Methyl Ester	97.6%	88.29%
%Acid Value	0.0	0.0
%Monoglyceride	0.59	0.43
%Diglyceride	0.02	0.03
%Triglyceride	0.00	0.00
%Free glycerine	0.03	0.03

จากผลการทดลองพบว่าค่าความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซลจากการล้างด้วยเรซินแลกเปลี่ยนประจุมีค่าที่มากกว่าค่าความบริสุทธิ์จากการล้างด้วยน้ำ ซึ่งสามารถอธิบายได้จากปริมาณสารปนเปื้อนส่วนใหญ่หลังจากการล้างสารปนเปื้อนด้วยเรซินแลกเปลี่ยนประจุถูกกำจัดออกได้มากกว่าการล้างสารปนเปื้อนด้วยน้ำ โดยแสดงจากตารางที่ 4.7

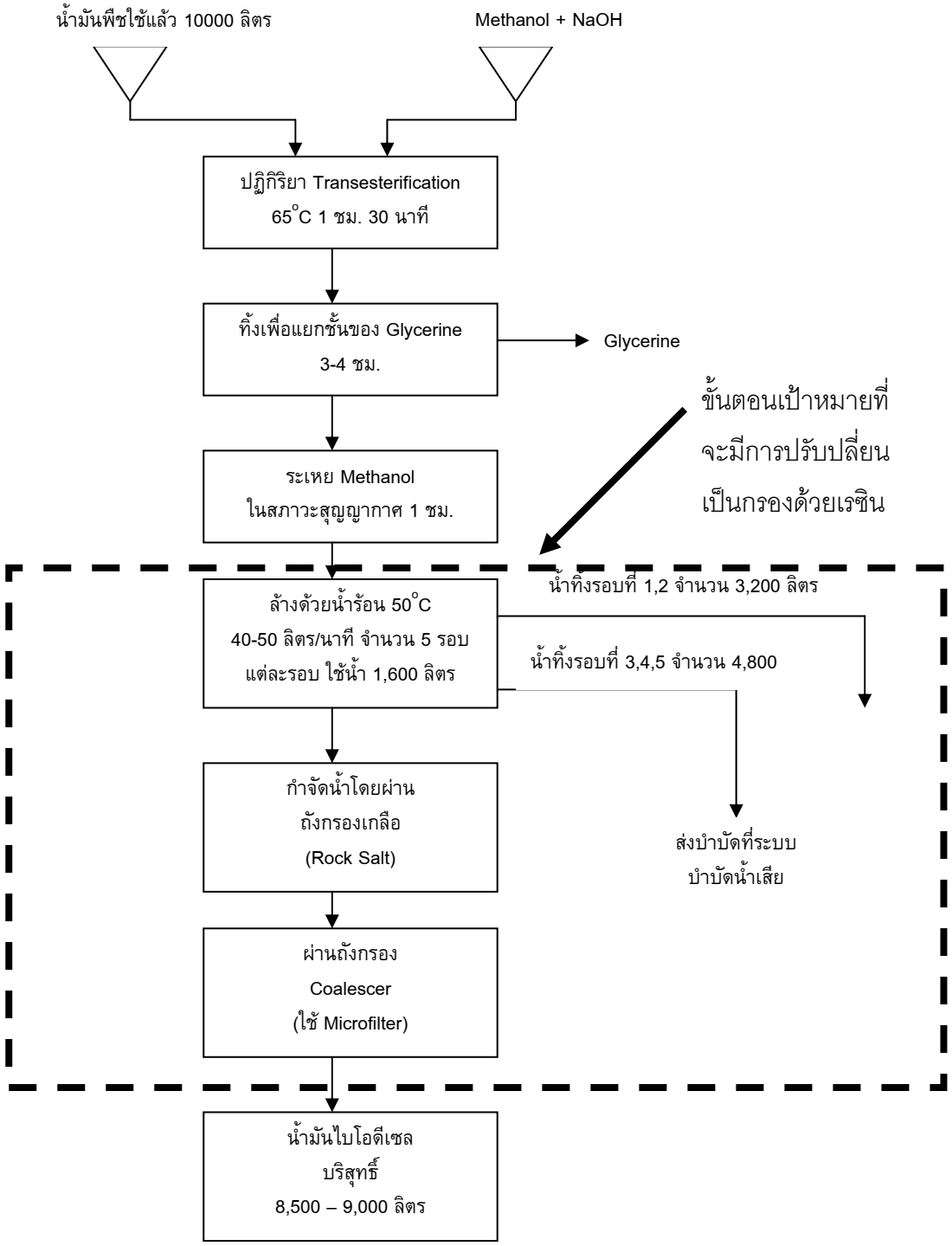
4.2 ผลการวิจัยผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมและการบำบัดของเสียจากกระบวนการผลิต

.การศึกษาในขั้นตอนนี้ใช้ข้อมูลการผลิตของโรงงานผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว บริษัท บางจากปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน) เป็นฐานในการประเมินโดยมีขั้นตอนการผลิต เริ่มต้นจากการรับน้ำมันพืชใช้แล้วครั้งละ 10,000 ลิตร นำมาทำปฏิกิริยากับเมทิลแอลกอฮอล์ โดยใช้ โซเดียมไฮดรอกไซด์ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ที่อุณหภูมิ 65°ซ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง หลังจากนั้น จึงทิ้งไว้ให้กลีเซอรีนแยกชั้น เป็นเวลา 3-4 ชม. และถ่ายกลีเซอรีนออกไปเก็บไว้ น้ำมันไบโอดีเซล หรือเมทิลเอสเทอร์ ที่ได้จะนำไประเหยเมทิลแอลกอฮอล์ที่หลงเหลือออกให้หมด

ภายใต้สภาวะสูญญากาศ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วจึงนำมาล้างด้วยน้ำโดย อุ่นน้ำให้มีอุณหภูมิ 50° ซ โดยใช้น้ำครั้งละ 1,600 ลิตร ประมาณ 1 ชม. ต่อการล้าง 1 รอบ ทำการล้างทั้งหมด 5 รอบ น้ำทิ้งรอบที่ 1 และที่ 2 ซึ่งมีความสกปรกสูงทำการเก็บกักไว้เพื่อจัดส่งไปกำจัดโดยการเผาที่เตาเผาภายนอกโรงงาน ส่วนน้ำทิ้งรอบที่ 3, 4 และ 5 ปล่อยทิ้งเข้าระบบกำจัดของโรงงานตามปกติ หลังจากนั้นน้ำมันไบโอดีเซลที่ผ่านการล้างน้ำแล้ว จะถูกนำมากำจัดน้ำทีหลงเหลือออกด้วยการกรองผ่านถังกรองเกลือ (Rock Salt) ขนาดความจุของเกลือ 5,000 กิโลกรัม และถัง Coalescer ซึ่งใช้ Microfilter เป็นตัวกรองตามลำดับ ซึ่งจะได้น้ำมันไบโอดีเซลบริสุทธิ์ครั้งละ 8,000 – 9,000 ลิตร ดังภาพที่ 4.4

ซึ่งเมื่อใช้กรอบการการผลิตของบริษัท บางจากปิโตรเลียม จำกัด มหาชน เป็นฐานอ้างอิง ในการประเมินสารขาเข้าต่าง ๆ อันได้แก่ วัตถุดิบ น้ำ ไอน้ำ พลังงาน และสารขาออก อันได้แก่ ผลิตภัณฑ์ และของเสียที่ปลดปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม ย่อมจะทำให้เราสามารถทำการสร้างบัญชีรายการสารขาเข้า และบัญชีสารขาออก เพื่อใช้ในการคำนวณเปรียบเทียบกันได้เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงกระบวนการล้างด้วยน้ำแบบดั้งเดิม ไปเป็นวิธีการใช้เรซิน ซึ่งการเปรียบเทียบนั้นจำเป็นต้องมีการกำหนดกรอบที่เปลี่ยนแปลงไป ดังแสดงกรอบใน ภาพที่ 4.4 ซึ่งหมายถึงตั้งแต่ขั้นตอนทีทำการล้างด้วยน้ำอุ่น 50°ซ มาจนกระทั่งขั้นตอนการกรองด้วยถังเกลือและ Microfilter เมื่อพิจารณากรอบที่สนใจการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวชัดเจนแล้ว จึงใช้กระบวนวิธีการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยใช้ หลักการประเมินตลอดวัฏจักรผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Assessment) มาประยุกต์ใช้โดยการเปรียบเทียบ Life Cycle Inventory ก่อนและหลังการเปลี่ยนแปลง โดยใช้ฐานข้อมูลผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในแต่ละสารขาเข้าและสารขาออกจาก ระเบียบวิธี Eco-Indicator 99H

ภาพที่ 4.4
แสดงขั้นตอนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วของ
บริษัท บางจากปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน)



4.2.1 บัญชีรายการผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

ทำการเปรียบเทียบรายการผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในกรอบที่สนใจคือขั้นตอนการล้างน้ำมันไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์เท่านั้น การศึกษาจึงพิจารณาในลักษณะการนำเทคโนโลยีที่สะอาดเข้ามาทดแทน กระบวนการเดิมเท่านั้น โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงในส่วนอื่น ๆ ในการเปรียบเทียบนั้น แม้กำลังการผลิตของโรงงานผลิตของ บริษัท ฯ จะสามารถทำได้สูงสุดถึง 50,000 ลิตรต่อวัน แต่ในการศึกษาจะพิจารณากำลังการผลิตเพียงที่ 20,000 ลิตรต่อวันซึ่ง เป็นกำลังการผลิตโดยปกติของ บริษัท บางจากปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน) โดยผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในกรณีของการล้างด้วยน้ำ จะแสดงต่อรอบการผลิตใน 1 วันคือการใช้วัตถุน้ำมันจำนวน 20,000 ลิตร ซึ่งจะแสดงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของปัจจัยการผลิตต่าง ๆ ในตารางที่ 4.8 ซึ่งพบว่าปัจจัยการผลิตที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุดมาจากการใช้น้ำมันเตาในการผลิตไอน้ำเพื่อใช้ในการอุ่นน้ำให้ได้ 50°ซ เพื่อใช้เป็นน้ำสำหรับการล้างน้ำมันไบโอดีเซลดิบ

ตารางที่ 4.8

ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมกรณีล้างด้วยน้ำ

โดยพิจารณารอบการปฏิบัติงาน 1 วันทำงาน (กำลังการผลิต 20,000 ลิตร/วัน)

ขั้นตอนเก่าของการล้างน้ำ			
ขั้นตอน	ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม	ปริมาณที่ใช้หรือเกิดขึ้นต่อ 1 วัน	ผลกระทบ Total Damage, Single score ,pt ต่อ วัน * Eco-indicator 99H method
1. การผลิตน้ำเพื่อการล้าง	ใช้ทรัพยากรน้ำและสารเคมีในการผลิตน้ำประปา	น้ำ 16,000 กก	0.04208 pt
2. อุ่นน้ำล้างให้ได้ 50°C	การใช้น้ำมันเตาผลิตไอน้ำเพื่อให้ความร้อนแก่น้ำ	น้ำมันเตา 80 ลิตร	15.76 pt
3. การบำบัดน้ำเสีย	น้ำเสียที่เกิดจากการล้าง	น้ำเสีย 16 m^3	0.0005984 pt

นอกจากนี้ในระบบการล้างด้วยน้ำของโรงงานผลิตไบโอดีเซล บางจาก ยังมีการกำจัดน้ำด้วยการกรองผ่านเกลือ ซึ่งไม่สามารถประเมินปริมาณการใช้เกลือได้ชัดเจนเนื่องจากมีการเติมเพิ่มน้อยมาก ดังนั้นการประเมินจึงประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการใช้ทรัพยากรเกลือในการติดตั้งซึ่งใช้จำนวน 5,000 กิโลกรัม โดยตั้งสมมุติฐานการใช้เกลือได้ตลอดอายุการใช้งานเทียบเท่ารอบการใช้งานการกรองของเรซิน โดยปริมาณเกลือ 5,000 กิโลกรัม มีผลกระทบ Total Damage Single score = 0.0159 pt/kg หรือ = 79.50 pt / 5,000 กิโลกรัมของเกลือ

ส่วนผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในกรณีของการใช้เรซินนั้น พบว่าปัจจัยที่ทำให้เกิดผลการะทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตนั้นมาจากกระบวนการผลิตและได้มาซึ่งเรซินเป็นหลักดังแสดงใน ตารางที่ 4.9 ซึ่งจำเป็นต้องใช้น้ำมันดิบซึ่งเป็นทรัพยากรธรรมชาติพื้นฐานที่ใช้แล้วหมดไป

ตารางที่ 4.9
ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม กรณีล้างด้วยเรซิน
โดยพิจารณารอบการใช้งาน Resin จนหมดสภาพ
และนำไปกำจัดด้วยการฝังกลบปริมาณรอบละ 3,000 กก.

ขั้นตอนเก่าของการล้างน้ำ			
ขั้นตอน	ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม	ปริมาณที่ใช้หรือเกิดขึ้นต่อรอบ	ผลกระทบ Total Damage, Single score ,pt ต่อ วัน * Eco-indicator 99H method
1. การผลิต Resin	ใช้ทรัพยากรและของเสียจากการผลิต Resin	เรซิน 3000 กก	1287 pt
3. การขนส่ง Resin เพื่อการฝังกลบ	ใช้ทรัพยากรและของเสียจากการขนส่ง	ขนส่งระยะทาง 50 กม. ของเรซิน 3,000 กก.	0.501 pt
4. การบำบัด Resin ด้วยการฝังกลบ	ใช้ทรัพยากรและของเสียจากกิจกรรมการฝังกลบ	ฝังกลบเรซิน 3000 กก.	0.366 pt

ทั้งนี้ ได้ตั้งสมมุติฐานเรซินเป็น Polystylene thermoforming E และใช้ฐานข้อมูลจากโปรแกรม Sigma Pro ในการวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อมตามรายละเอียดในภาคผนวก ข 2

การล้างด้วย Resin ในรอบกิจกรรมที่ผลิตต่อวัน มีการใช้ไฟฟ้าสำหรับปั๊มที่ใช้สูบแต่เนื่องจากขนาดของปั๊ม และระยะเวลาที่ใช้ เทียบเท่า ปั๊มที่ใช้สูบน้ำในการล้างของขั้นตอนการล้างด้วยน้ำจึงไม่ถือว่ามีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยยะสำคัญในการนำมาคำนวณ

การฟื้นฟูสภาพเรซินด้วยการล้างด้วยเมทิลแอลกอฮอล์ ในช่วงระยะเวลาของอายุการใช้งานเรซิน ไม่ได้นำมาประเมินเนื่องจากเมทิลแอลกอฮอล์ดังกล่าวจะเข้าไปเป็นวัตถุดิบในขั้นตอนการผลิตของ การผลิตน้ำมันไบโอดีเซลในรอบต่อไป

4.2.2 การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

จากข้อมูลข้างต้นเมื่อเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในแง่การใช้ทรัพยากรแบบง่าย จะเห็นได้ว่าจะสามารถประหยัดน้ำในการล้างลงไปได้ 16,000 ลิตร/วัน หรือ ประมาณ 3,952 ม^3/ปี และลดปริมาณน้ำเสียลงไปได้ในปริมาณเดียวกัน

แต่หากเมื่อพิจารณาโดยหลักของ Life Cycle Assessment โดยเปรียบเทียบระยะเวลาที่เท่ากันคือการใช้งานเรซินจนสิ้นอายุจะสามารถเปรียบเทียบตามค่า Single score ได้ในแต่กรณีที่เรซินมีอายุการใช้งาน ต่างกันได้ดังตารางที่ 4.10 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อเปรียบเทียบในกรอบการผลิตที่เท่ากัน ซึ่งอาจหมายถึง ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (pt) ต่อปริมาณผลผลิตที่ได้ หรือจะเป็น ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (pt) ต่อรอบอายุวัฏจักรการใช้งานของเรซิน ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเมื่อเปลี่ยนกระบวนการทำให้บริสุทธิ์มาใช้เรซิน จะมีน้อยกว่าการใช้น้ำล้างแบบดังเดิม ทั้งนี้จะขึ้นกับความสามารถของอายุการใช้ของเรซินเป็นปัจจัยหลัก

ตารางที่ 4.10

แสดงสัดส่วนผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่ลดลงในกรณีที่ใช้เรซิน

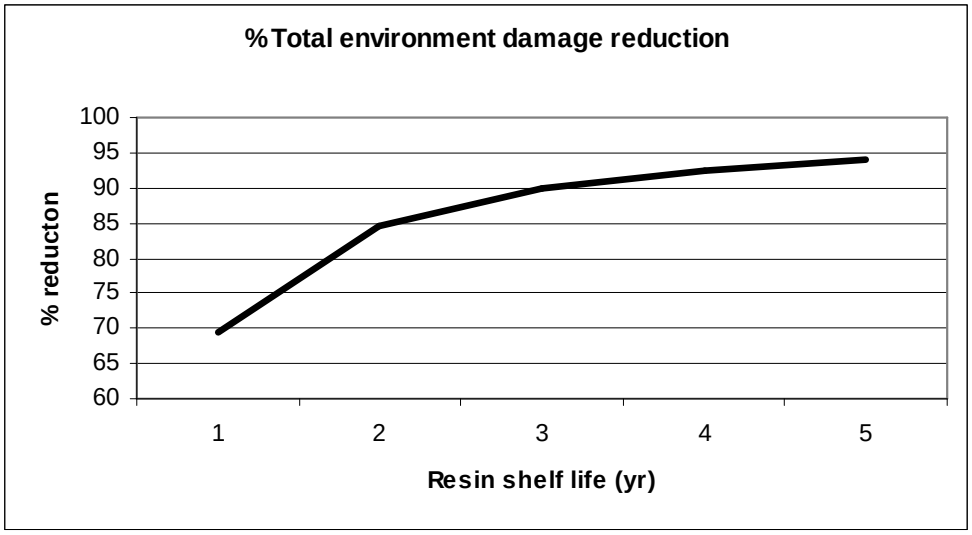
กรณีที่เรซินมีอายุ (ปี)	ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Single score) กรณีล้างด้วยน้ำ	ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Single score) กรณีล้างด้วยเรซิน	ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมลดลง (%)
1	3982	1288	67
2	7886	1288	84
3	11789	1288	89
4	15692	1288	92
5	19595	1288	93

โดยผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม กรณีล้างด้วยน้ำ เท่ากับ ผลรวมของ การใช้น้ำ, การอุ่นน้ำ , การบำบัดน้ำเสีย และการใช้ทรัพยากรเกลือในการติดตั้งระบบโดยมีอายุการใช้งานเท่ากับการใช้เรซิน

ส่วนผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม กรณีกรองผ่านเรซิน เท่ากับ ผลรวมของ การใช้เรซิน การขนส่งเรซิน และการทำลายเรซินด้วยการฝังกลบ

ทั้งนี้ได้กำหนดละทิ้ง (Cut off) ปัจจัยการใช้ไฟฟ้าออกเนื่องจากประมาณการการใช้เครื่องสูบและระยะเวลาใกล้เคียงกันระหว่างวิธีการล้างด้วยน้ำ และกรองผ่านเรซิน

ภาพที่ 4.5
กราฟแสดงความสามารถในการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม
เมื่อสามารถใช้เรซินได้มีอายุนานต่าง ๆ กัน



จากภาพที่ 4.5 อายุของการใช้เรซินซึ่งแสดงความสามารถในการใช้งานซ้ำของเรซินก่อนนำไปกำจัดทำลายด้วยการฝังกลบนั้น จะเป็นปัจจัยหลักต่อความสามารถในการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการล้างด้วยน้ำแต่เดิม ทั้งนี้เนื่องจากเป็นการประเมินผลกระทบในลักษณะต่อลิตรผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลที่ได้ ซึ่งในกระบวนการล้างด้วยน้ำแบบดั้งเดิมจะมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในรูปแบบ Single Score = 15.8 pt./วัน เมื่อมีกำลังการผลิตเทียบเท่าการใช้น้ำมันพืช 20,000 ลิตรต่อวัน ในขณะที่จะไม่เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในระหว่างใช้งานเรซิน แต่จะประเมินได้เมื่อครบรอบการใช้งานตามอายุเรซิน ซึ่งในกรณีที่มีอายุ 1 ปี จะให้ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเป็น Single score เทียบเท่า 5.2 pt./วัน หรือลดไปได้ 67% ซึ่งใน

กรณีที่อายุการใช้งานเรซินสามารถใช้งานได้นาน 2 , 3, 4, หรือ 5 ปี ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจะเป็น 2.6, 1.7, 1.3 และ 1.0 pt. ตามลำดับ

4.3 ผลการประเมินทางเศรษฐศาสตร์

ในการทดลองมีการล้างสารปนเปื้อนด้วยน้ำในสเกลที่เล็ก จึงมีผลกระทบเรื่องค่าใช้จ่ายที่มากขึ้น ซึ่งประกอบด้วย

1. การเสียเนื้อไบโอดีเซลปนเปื้อนไปกับเฟสน้ำ
2. การบำบัดน้ำเสียที่ออกจากกระบวนการ
3. การแยกน้ำที่ปนเปื้อนไปกับเฟสน้ำมันออก

และการระเหยน้ำโดยใช้ความร้อน ซึ่งอาจมีผลต่อคุณภาพของน้ำมันไบโอดีเซลที่ได้ต่ำลงนอกจากนี้ยังการใช้ปั่นเหวี่ยงน้ำออก ก็อาจเสี่ยงกับการกำจัดน้ำไม่หมด

ในอีกด้านหนึ่ง การล้างสารปนเปื้อนด้วยเรซินแลกเปลี่ยนประจุ ต้องเสียค่าใช้จ่ายเช่นกันประกอบด้วย

1. ราคาเรซินแลกเปลี่ยนประจุ (Lewatit GF202 ราคา 850 บาท/ลิตร)
2. การฟื้นฟูสภาพเรซินเมื่ออิ่มตัวจากสารปนเปื้อนและพรีคอนดิชั่นของเรซินแลกเปลี่ยนประจุต้องใช้เมทานอลจำนวน 3-4 BV และไบโอดีเซลจำนวนหนึ่งเพื่อกำจัดเมทิลแอลกอฮอล์ออก ทำให้เสียค่าใช้จ่ายเพิ่มมากขึ้นเรื่องวัตถุดิบ

ปัญหาของการล้างสารปนเปื้อนด้วยเรซินแลกเปลี่ยนประจุในถังกรองขนาดเล็ก คือ การพรีคอนดิชั่นต้องใช้ปริมาณเมทานอลปริมาณหนึ่งและต้องเสียไบโอดีเซลในช่วงเริ่มแรกที่คุณภาพต่ำประมาณ 2-3 Bed Volume ในแต่ละครั้งของการล้างสารปนเปื้อนด้วยเรซินแลกเปลี่ยนประจุ ซึ่งต้องนำมาระเหยเอาเมทานอลออกแล้วผ่านเข้าหอกำจัดสารปนเปื้อนอีกครั้งหนึ่ง

ดังนั้นการล้างด้วยเรซินจึงค่อนข้างเหมาะกับระดับอุตสาหกรรมที่มีการผลิตต่อเนื่อง จึงได้นำขนาดการผลิตของบริษัท บางจากปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน) ใช้ในการประเมินผลความคุ้มทุนในด้านเศรษฐศาสตร์ ทั้งนี้ระบบการล้างด้วยน้ำแต่เดิมของ บริษัท บาง

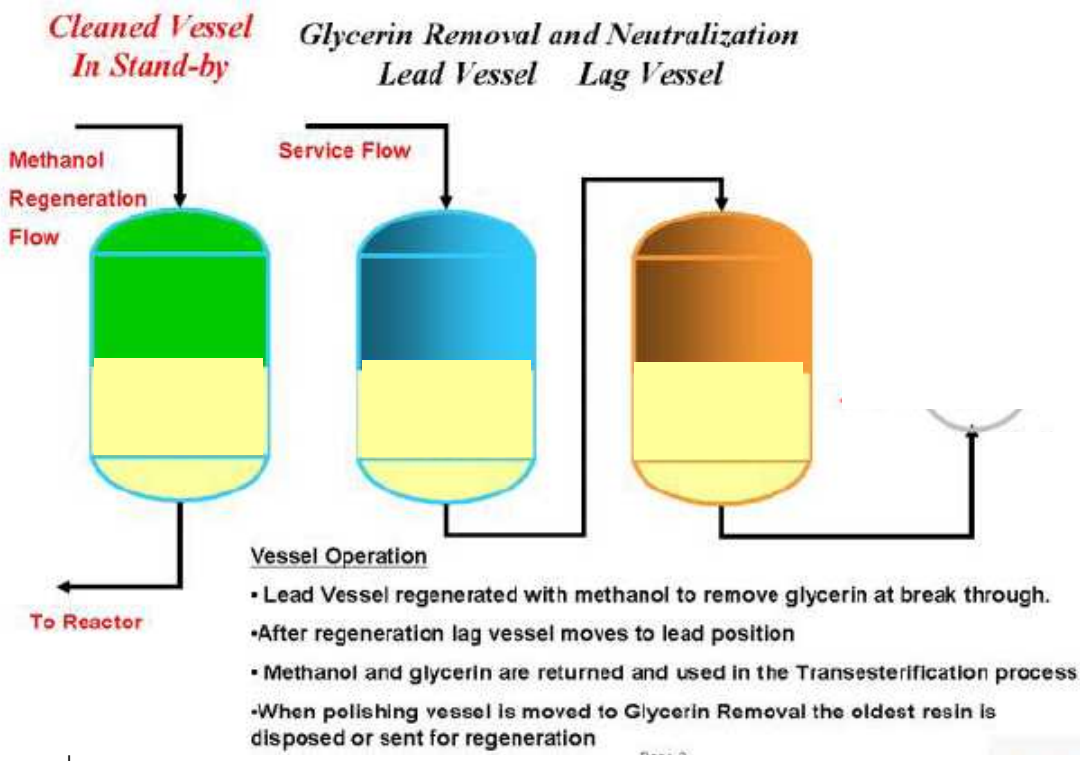
จากปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน) นั้นไม่ได้ใช้ ความร้อนในการไล่น้ำออกหลังการล้างน้ำ แต่ใช้วิธีการกรองผ่าน Rock Salt ซึ่งเป็นระบบที่ประหยัดในการใช้พลังงานอยู่แล้ว ซึ่งแสดงผลที่ประหยัดกว่าการใช้ความร้อนอยู่แล้วในเชิงเศรษฐศาสตร์

4.3.1 การออกแบบระบบการกรอง

ในการออกแบบระบบการกรองให้เหมาะสมนั้นจะใช้วิธีการออกแบบ แบบ Lead-Lag ทั้งนี้เพื่อความมั่นใจในคุณภาพของน้ำมันไบโอดีเซลที่ได้ว่าจะไม่มีสิ่งปนเปื้อนหลุดลอดออกมา โดยลักษณะของระบบกรองแบบ Lead-Lag มีรายละเอียดดังภาพที่ 4.6

ภาพที่ 4.6

ลักษณะของระบบถังกรองแบบ Lead-Lag



ที่มา : Purolite® PD206 Guide Application Note, JJ-Degussa Chemical Ltd., http://www.purolite.com

ทำการคำนวณขนาดของถังกรองที่จะบรรจุ Resin ที่ใช้ในการทำน้ำมันไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์ เพื่อใช้ในการออกแบบ โดยคำนวณจากอัตราการผลิตสูงสุดของของ โรงงานผลิตน้ำมันไบโอดีเซลของโรงงานบางจาก ฯ

กำลังการผลิตสูงสุดของโรงงานบางจาก 50,000 ลิตร/วัน

อัตราการผลิตโดยเฉลี่ย 20,000 ลิตร/วัน

กำหนดอัตราการไหลของน้ำมันไบโอดีเซล = 50,000/24

= 2,000 ลิตร/ชม

ปริมาณ Resin ที่ต้องการใช้ ที่อัตรา 2 Bed Volume/ชั่วโมง = 1,000 ลิตร/ถัง

ปริมาตรถังกรองที่ต้องการกำหนด 1.5 เท่า ของปริมาตรบรรจุของ Resin = 1,500 ลิตร (1.5 m3)

Bed Dept ที่ผู้ผลิตเรซินแนะนำ 1-2 เมตร ไม่ควรต่ำกว่า 1 เมตร จึงกำหนดที่ 2 เมตร

ถังกรองที่ต้องการจึงมี จำนวน 3 ถังโดยมีรายละเอียดดังนี้

1.) เส้นผ่าศูนย์กลาง ขนาด 0.80 ม.

2.) สูง 3 เมตร

3.) วัสดุทำจากแสตนเลส 316L

4.) บรรจุ Resin 1000 ลิตรต่อถัง Bed Dept 2 เมตร

5.) อัตราการไหล 2 $ม^3$ /ชม.

4.3.2 การประเมินจุดคุ้มทุน

การลงทุนในการติดตั้งระบบถังกรองดังกล่าวได้มีการประเมินต้นทุน ซึ่งประกอบด้วย

1. ค่าเรซินจำนวน 3000 ลิตร ลิตรละ 850 บาท คิดเป็นมูลค่า 2,550,000 บาท
2. ค่าถังกรอง ปั๊มพร้อมอุปกรณ์และระบบควบคุม มูลค่า 3,500,000 บาท

คิดเป็นมูลค่าลงทุนเบื้องต้นทั้งสิ้น 6,050,000 บาท

อย่างไรก็ตามยังมีค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นเมื่อเรซินสิ้นอายุต้องนำไปกำจัด จำนวน 3000 กก.โดยการฝังกลบ คิดเป็นมูลค่า 15,500 (ประกอบด้วยค่าขนส่ง 8,000 บาท และค่ากำจัด 2,500 บาท) ซึ่งสามารถประเมินได้ จึงควรนำมาคิดรวมที่ค่าใช้จ่ายในการลงทุนของโครงการด้วย แต่อย่างไรก็ตามค่าบำรุงรักษาเครื่องจักรและอุปกรณ์ไม่ได้นำเข้ามาคิดประเมินด้วย

ดังนั้นเงินลงทุนที่จะใช้ประเมินความคุ้มทุน มีมูลค่า 6,065,500 บาท

ผลประโยชน์จากการลงทุนในโครงการดังกล่าว ในกรณีที่ทำการผลิต 20,000 ลิตรต่อวัน และ 247 วันต่อปี ตามข้อมูลโดยเฉลี่ย นั้นสามารถจำแนกออกได้เป็น

1. ผลประโยชน์จากการลดการใช้น้ำมันเตาในการอุ่นน้ำล้างให้ได้อุณหภูมิ 50°ซ จำนวน 80 ลิตร/วัน ราคาลิตรละ 16 บาท มูลค่า 1,280 บาท/วัน

2. ผลประโยชน์จากการลดการใช้น้ำ จำนวน 16,000 ลิตร/วัน ราคาลิตรละ 0.016 มูลค่า 256 บาท/วัน

3. ผลประโยชน์จากลดค่าใช้จ่ายในการกำจัดน้ำเสีย

   a. กรณีที่ 1 หากเป็นการกำจัดด้วยระบบภายในโรงงานทั้งหมด ลดค่าใช้จ่ายลงได้ 5,000 บาท/วัน โดยค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียภายในโรงงานเอง คิดเป็นต้นทุน 0.31 บาท/ลิตร

   b. กรณีที่ 2 หากเป็นการกำจัดน้ำเสียโดยการขนส่งไปกำจัดภายนอกด้วย สำหรับน้ำล้างในรอบที่ 1 และ 2 ลดค่าใช้จ่ายลงได้ 20,320 บาท/วัน โดยค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียภายนอกโรงงาน ซึ่งประกอบด้วยค่าขนส่งและค่ากำจัดโดยการเผาของน้ำเสียของการล้าง 2 รอบแรก และกำจัด 3 รอบหลังภายในโรงงาน คิดเป็นต้นทุน 1.27 บาท/ลิตร

4. ผลประโยชน์จากกรณีกระบวนการใหม่ทำให้ได้ ผลผลิตน้ำมันไบโอดีเซลสูงขึ้นจากกระบวนการล้างด้วยน้ำแบบดั้งเดิม คิดมูลค่าของน้ำมันไบโอดีเซลที่เพิ่มขึ้นจากราคามาตรฐานที่ 25 บาท/ลิตร

   a. กรณีที่ % ผลผลิต เพิ่มขึ้น 2 % จะได้น้ำมันไบโอดีเซลเพิ่มขึ้น 400 ลิตร/วัน คิดเป็นมูลค่า 10,000 บาท/วัน

   b. กรณีที่ % ผลผลิต เพิ่มขึ้น 4 % จะได้น้ำมันไบโอดีเซลเพิ่มขึ้น 800 ลิตร/วัน คิดเป็นมูลค่า 20,000 บาท/วัน

   c. กรณีที่ % ผลผลิต เพิ่มขึ้น 6 % จะได้น้ำมันไบโอดีเซลเพิ่มขึ้น 1200 ลิตร/วัน คิดเป็นมูลค่า 30,000 บาท/วัน

การคำนวณระยะเวลาคุ้มทุน โดยคำนวนจากระยะเวลาอายุการใช้งานเรซินทำให้มูลค่าในการลงทุนเท่ากับผลประโยชน์ที่ได้รับทั้งหมดในช่วงเวลานั้น

ดังนั้นเมื่อนำปัจจัยที่มีผลต่อการคืนทุนมาพิจารณาร่วมกัน อันได้แก่ต้นทุนการกำจัดน้ำเสียทั้งภายนอกและภายใน รวมถึงผลได้ที่อาจเกิดจากปริมาณผลผลิตที่เพิ่มขึ้น มาคำนวณร่วมกันเป็นกรณีต่าง ๆ จะสามารถประเมินระยะเวลาคุ้มทุนได้ดังตารางที่ 4.11 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่ออยู่ในกรณีที่เลวร้ายที่สุดคือเมื่อมีผลได้เนื่องจากผลผลิตต่ำสุดคือ 0% และมีผลได้จากการลดค่าใช้จ่ายของการบำบัดน้ำเสียต่ำที่สุดด้วยการบำบัดด้วยตนเองภายในโรงงาน จะทำเกิดกรณีที่ทำให้มีระยะเวลาคุ้มทุนยาวนานที่สุดคือ 3.9 ปี

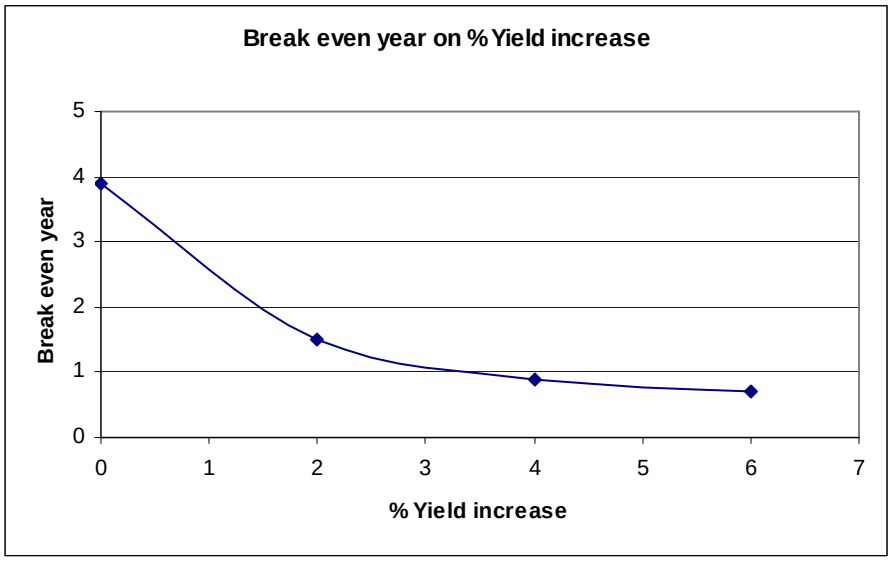
ตารางที่ 4.11

แสดงผลระยะเวลาคุ้มทุนเมื่อปัจจัยเนื่องร้อยละของผลผลิตที่ได้เปลี่ยนแปลง
ระหว่าง 0 - 6% และกรณีการกำจัดน้ำเสียโดยการบำบัดเองหรือส่งบำบัดภายนอก

กรณีประโยชน์จากการกำจัดน้ำเสีย	กรณีประโยชน์จากผลผลิตที่เพิ่มขึ้น			
	0%	2%	4%	6%
กรณี 1 : บำบัดเองทั้งหมด	3.9 ปี	1.5 ปี	0.9 ปี	0.7 ปี
กรณี 2 :บำบัดภายนอกร่วมด้วย	1.1 ปี	0.8 ปี	0.6 ปี	0.5 ปี

ภาพที่ 4.7

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ระยะเวลาที่คุ้มทุนต่อร้อยละ
ของผลผลิตที่ได้เพิ่มขึ้นจากการใช้เรซิ่นแทนการล้างด้วยน้ำ
เมื่ออยู่ภายใต้เงื่อนไขการบำบัดน้ำเสียภายใน



แต่อย่างไรก็ตามเมื่อคำนึงถึงความเป็นไปได้ในด้านการเพิ่มผลผลิตที่จะสูงขึ้น เนื่องจากการใช้เรซิน จะสามารถเห็นแนวโน้มของการลดลงของระยะเวลาคุ้มทุนเมื่อผลผลิตเพิ่มขึ้นได้อย่างชัดเจน ดังภาพที่ 4.7 ซึ่งแสดงกราฟแนวโน้มระยะเวลาคุ้มทุนที่แปรผกผันกับ % ผลผลิตที่อาจเพิ่มขึ้น จากการประเมินดังกล่าว ระยะปีที่คุ้มทุน จะคำนวณได้จาก จำนวนเงินลงทุนหารด้วยผลรวมของการลดค่าใช้จ่ายในการใช้ทรัพยากร การกำจัดน้ำเสียและมูลค่าเพิ่มที่ได้จากผลผลิตที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นเมื่อมูลค่าที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากผลผลิตสูงขึ้นย่อมจะทำให้ระยะปีที่คุ้มทุนลดลง แต่อย่างไรก็ตามการลดลงระยะปีที่คุ้มทุนจะลดในลักษณะลดน้อยถอยลงเมื่อ %ผลผลิตเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากเป็นผลเนื่องจากความสัมพันธ์จากการหารของผลที่ทวีคูณขึ้นตามเงื่อนไขของ % ผลผลิตที่เพิ่มขึ้น

อย่างไรก็ตามระยะเวลาการคุ้มทุนที่ได้นอกเหนือจะเปลี่ยนแปลงไปตามความผันแปรของปัจจัยผลประโยชน์ที่จะได้รับ ยังอาจจะผันแปรไปตามปัจจัยด้านการลงทุนได้แก่ราคาของเรซินได้เช่นกันดังแสดงในตามรางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12

แสดงผลระยะเวลาคุ้มทุนเมื่อปัจจัยเนื่องราคาของเรซินเปลี่ยนแปลงไป

กรณีประโยชน์จากการกำจัดน้ำเสีย	กรณีที่ราคาเรซินเปลี่ยนแปลง		
	-15 % (723 บาท/ลิตร)	0% (850 บาท/ลิตร)	+15% (978 บาท/ลิตร)
กรณี 1 : บำบัดเองทั้งหมด	3.6 ปี	3.9 ปี	4.1 ปี
กรณี 2 :บำบัดภายนอกร่วมด้วย	1.0 ปี	1.1 ปี	1.2 ปี

จากกรณีที่ราคาเรซิน อาจมีการเปลี่ยนแปลงไปได้ทางการตลาดเนื่องจากมีผู้ค้าน้อยราย จะเห็นได้ว่าความไวของระยะเวลาความคุ้มทุนมีการเปลี่ยนแปลงไปเพียง 0.46% เมื่อราคาของเรซินเปลี่ยนแปลงไป 1% ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ผลของราคาเรซินมีผลกระทบต่อระยะเวลาคุ้มทุนน้อยกว่า ผลอันเนื่องมาจากความไวของ ร้อยละของผลผลิตที่ได้ของการล้างน้ำมันไบโอดีเซลที่อาจได้เพิ่มขึ้น เนื่องจากความไวของความคุ้มทุนเปลี่ยนไปถึง 30% หากร้อยละของผลได้เปลี่ยนแปลงไป1%.ในช่วงของการเพิ่มจาก 1 – 2% จากผลได้จากการล้างด้วยน้ำ แต่ความไวของความคุ้มทุนจะเปลี่ยนไปเพียง 10% เมื่อร้อยละของผลได้เปลี่ยนแปลงไป 1%.ในช่วงของการเพิ่มจาก 3 – 6% จากผลได้จากการล้างด้วยน้ำ

ทั้งนี้เนื่องจากการลงทุนเปลี่ยนแปลงระบบการล้างด้วยน้ำแต่ดั้งเดิมมาเป็นการกรองด้วยเรซิน มีมูลค่าการลงทุนถังกรอง และเรซินค่อนข้างสูง ดังนั้นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการประเมินการเลือกลงทุนหรือไม่ จะได้แก่ อัตราผลตอบแทนเมื่อเปรียบเทียบกับ อัตราดอกเบี้ยของตลาด ซึ่งควรจะต้องสูงกว่าค่า อัตราดอกเบี้ย MLR ในที่นี้จะใช้ค่าของ ธนาคารกรุงเทพ ณ เดือนมกราคม 2553 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 5.8% การยอมรับโครงการดังกล่าวในการลงทุนหรือไม่จึงใช้เกณฑ์ IRR หรืออัตราผลตอบแทนจากการลงทุนของโครงการเป็นตัวประเมิน ซึ่งค่า IRR จะต้องมีค่าสูงกว่า MLR จึงจะสามารถยอมรับลงในโครงการดังกล่าว ซึ่งผลการคำนวณ IRR ที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.13 เมื่อประเมินว่าโครงการดังกล่าวมีอายุ 4 ปี ตามการประเมินอายุการใช้งานของเรซิน

ตารางที่ 4.13
แสดงค่า IRR ของโครงการลงทุนเมื่อกำหนดอายุโครงการ 4 ปี
โดยเป็นกรณีเงื่อนไขการบำบัดน้ำเสียด้วยตนเองและกรณีได้ผลผลิตเพิ่มต่าง ๆ กัน

กรณีผลผลิตที่เพิ่ม ขึ้นเมื่อเทียบกับการล้างด้วยน้ำ	ค่า IRR ของโครงการลงทุน
ไม่เพิ่ม	1.74%
เพิ่ม 0.1%	4.94%
เพิ่ม 0.2%	7.99%
เพิ่ม 0.3%	11.00%
เพิ่ม 0.4%	13.94%
เพิ่ม 0.5%	16.81%

จากการประเมินอายุโครงการตามระยะเวลาที่เหมาะสมในการลงทุนที่ 4 ปี ซึ่งเป็นอายุเรซินเฉลี่ยที่สามารถใช้งานได้ เมื่อได้พิจารณาความคุ้มทุนเชิงเศรษฐศาสตร์โดยดูอัตราผลตอบแทนของโครงการหรือ ค่า Internal rate of return (IRR) เพื่อเปรียบเทียบกับอัตราดอกเบี้ยท้องตลาด Mininmum Loan Rate (MLR) ที่มีค่า 5.8% ซึ่งเป็นต้นทุนของเงินลงทุนนั้น จะพบว่าหากโครงการที่อายุ 4 ปีดังกล่าว ไม่สามารถให้ผลตอบแทนเชิงการเพิ่มผลผลิตได้ จะมีค่า IRR ต่ำกว่า MLR ซึ่งจะแสดงว่า เป็นโครงการที่ไม่คุ้มค่าต่อการลงทุน และจะคุ้มค่าต่อการลงทุนเมื่อกากรองด้วยเรซินสามารถเพิ่มผลผลิตได้อย่างน้อย 0.2 % ขึ้นไป

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการล้างสารปนเปื้อนจากการผลิตไบโอดีเซลแบบกะ ซึ่งมีการล้างสารปนเปื้อนด้วยเรซินแลกเปลี่ยนประจุเปรียบเทียบกับการล้างสารปนเปื้อนด้วยน้ำ โดยคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลด้วยจากการล้างสารปนเปื้อนด้วยเรซินแลกเปลี่ยนประจุให้ผลส่วนใหญ่ที่ดีกว่าการล้างสารปนเปื้อนด้วยน้ำในเรื่อง ค่าร้อยละของผลได้และค่าความบริสุทธิ์ที่สูง ข้อดีของการใช้เรซินแลกเปลี่ยนประจุอีกประการหนึ่งคือ สามารถลดปริมาณน้ำใช้ในกระบวนการผลิต ลดปริมาณน้ำเสีย และไม่จำเป็นต้องมีหน่วยกำจัดน้ำเหมือนกรณีล้างด้วยน้ำ แต่ก็มีการลงทุนเบื้องต้นสูง ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

1. กระบวนการล้างน้ำมันไบโอดีเซลด้วยเรซิน นั้นเหมาะสำหรับกระบวนการผลิตที่ดำเนินการอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากมีการลงทุนสูงการผลิตในลักษณะแบบกะที่มีจำนวนน้อยจะทำให้คุ้มทุนช้า และนอกจากนี้การใช้หน่วยกรองอย่างต่อเนื่องจะสามารถรักษาความสม่ำเสมอของคุณภาพไบโอดีเซลที่ได้ดีกว่าในการใช้แบบกะ
2. การล้างน้ำมันไบโอดีเซลด้วยเรซิน มีข้อจำกัดของคุณภาพของ น้ำมันไบโอดีเซลดิบก่อนล้างที่ต้องไม่มีเมทิลแอลกอฮอล์ ปนมาเนื่องจากเมทิลแอลกอฮอล์ดังกล่าวสามารถละลายชั้นกลีเซอรีนที่ถูกดูดจับอยู่บนชั้นเรซินออกมาได้ ดังนั้นในขั้นตอนฟื้นฟูสภาพเรซินที่อิ่มตัวด้วยการล้างด้วยเมทิลแอลกอฮอล์ ในช่วงแรกเรซินจะมีประสิทธิภาพต่ำในการดูดซับ ซึ่งต้องมีการกักกันน้ำมันไบโอดีเซลช่วงแรกไปกำจัดเมทิลแอลกอออล์ออกเสียก่อน
3. ปัจจัยหลักที่ทำให้เกิดความคุ้มทุนในการลงทุน ของการล้างน้ำมันไบโอดีเซลด้วยเรซินช้าหรือเร็วนั้นขึ้นอยู่กับ % ของผลผลิตที่ได้ เพิ่มเติมเนื่องจากการล้างด้วยน้ำมันไบโอดีเซลด้วยเรซิน เป็นหลัก หากแม้ไม่มี ผลได้ดังกล่าว การคุ้มทุนจะอยู่ในระยะ 4 ปี ซึ่งเป็นระยะที่มีความเสี่ยงในการลงทุนเนื่องจาก อายุของเรซินที่ยังไม่สามารถกำหนดได้อย่างแน่ชัดนั้น มีข้อแนะนำจากผู้ผลิตในระยะ 3-5 ปี แต่อย่างไรก็ตามจากการทดลองพบได้ว่า ร้อยละของผลได้จะมีค่าสูงกว่าวิธีการล้างด้วยน้ำอย่างแน่นอนจึงสามารถลดประเด็นความเสี่ยงในการลงทุน

ดังกล่าวลง โดยอัตราการเพิ่มผลผลิตเพียง 0.2% ก็เพียงพอต่อการยอมรับของอัตราผลตอบแทนของโครงการ (IRR) เมื่อเทียบกับอัตราดอกเบี้ยในตลาด (MLR) ในปัจจุบันเมื่อกำหนดระยะเวลาของโครงการที่ 4 ปี

4. ผลของกระบวนการล้างน้ำมันไบโอดีเซลด้วยเรซิน ที่มีต่อสิ่งแวดล้อมนั้น เมื่อเปรียบ เทียบอยู่บนฐานข้อมูลทุติยภูมิของ โปรแกรมการวิเคราะห์ Life Cycle Analysis ของ Sigma Pro พบว่าการลดผลกระทบของสิ่งแวดล้อมนั้นขึ้นอยู่กับอายุการใช้งานของเรซินเป็นหลัก ซึ่งหากอายุของเรซินสามารถใช้ได้เพียง 1 ปี ก็สามารถลดผลกระทบดังกล่าวได้ถึง 67% ซึ่งผลกระทบที่เกิดขึ้นตามฐานข้อมูลที่นำมาคิดนั้นจะให้น้ำหนักไปที่ทรัพยากรธรรมชาติที่ใช้สิ้นเปลือง ได้แก่ Fossil Fuel เป็นหลัก

รายการอ้างอิง

หนังสือและบทความในหนังสือ

พิศมัย เจนวนิชปัญจกุล และ ลลิตา อัตนโถ รอบรู้เรื่องราว ไบโอดีเซล สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย พิมพ์ครั้งที่ 1 จำนวน 1000 เล่ม น.1-75 (กันยายน 2549)

_____, LCA เครื่องมือสู่การพัฒนาผลิตภัณฑ์สีเขียว, โครงการจัดทำคู่มือข้อมูลวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ (LCI-LCA), กรมโรงงานอุตสาหกรรม มูลนิธิสิ่งแวดล้อมไทย พิมพ์ครั้งที่ 1 จำนวน 2000 เล่ม น. 1-56 (สิงหาคม 2551)

Wolfgang Wimmer Rainer Zust Kun-Mo Lee, EcoDesign Implementation, แปลโดย โครงการจัดตั้งศูนย์ความเป็นเลิศเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ พิมพ์ครั้งที่ 1 จำนวน 1000 เล่ม น. 17-46 (2551)

บทความวารสาร

กลุ่มสื่อส่งเสริมการเกษตร, สำนักพัฒนาการถ่ายทอดเทคโนโลยี, กรมส่งเสริมการเกษตร, กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, วารสาร Energy plus ฉบับที่ 1 (มกราคม – มีนาคม, 2547)

A. Niederl-Schmidinger, M. Narodoslawsky, Life Cycle Assessment as an engineer's tool?, Journal of Cleaner Production vol.16 p.245-252 (2008)

C. Kiwjaroun, C. Tubtimdee, P. Piumsomboon, LCA studies comparing biodiesel synthesized by conventional and supercritical methanol methods, Journal of Cleaner Production, p1-11 (2008)

J.M. Marchetti, V.U. Miguel, A.F. Errazu, Possible methods for biodiesel production, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol 11 p.1300–1311 (2007)

รายการอ้างอิง (ต่อ)

J. Zlatica, Predojevic, The production of biodiesel from waste frying oils: A comparison of different purification steps, Fuel Vol. 87, p.3522-3528 (2008)

K.G. Harding, J.S. Dennis, H. von Blottnitz, S.T.L. Harrison, A life-cycle comparison between inorganic and biological catalysis for the production of biodiesel, Journal of Cleaner Production Vol.16 p.1368-1378, (2007)

K. Suehara, Y. Kawamoto, E. Fujii, J. Kohda, Y. Nakano and T. Yano, Biological Treatment of Wastewater Discharged from Biodiesel Fuel Production Plant with Alkali-Catalyzed Transesterification, Journal of Bioscience and Bioengineering, Japan Vol 100, No.4, p. 437–442 (2005)

M. Berrios, L.R. Skelton, Comparison of purification methods for biodiesel, Chemical Engineering Journal 144, p 459–465 (2008)

M. Canakci, V.J Gerpen, Biodiesel production from oils and fats with high free fatty acids, Trans. ASAE 44, p.1429–1436. (2001)

M.J. Haas, A.J. McAloon, W.C. Yee, T.A. Foglia, A process model to estimate biodiesel production costs, Bioresource Technology Vol.97 p.671–678 (2006)

M. Maskan, H. Bagcı, Effect of different adsorbents on purification of used sunflower seed oil utilized for frying, Eur Food Res Technol Vol 217 p.215–218 (2003)

P. Felizardo, M.J. Correia, I. Raposo, J. F. Mendes, R. Berkemeier, J. M. Bordado, Production of biodiesel from waste frying oils, Waste Management Journal, Vol 26, p. 487-494 (2006)

รายการอ้างอิง (ต่อ)

Schuchardt, U., Sercheli, R., and Vargas, R.M., “Transesterification of Vegetable Oils: a Review.”, Journal of the Brazilian Chemical Society, 9 p. 199-210 (1998)

S. Özgül-Yücel and S. Türkay, Purification of FAME by Rice Hull Ash Adsorption, Journal of the American Oil Chemists' Society, Volume 80, Number 4, (April, 2003)

T. Bryan, Adsorbing it all, Biodiesel Magazine, p. 41-43 (2005)

V.J. Garpen, B. Shanks, R. Pruszko, D. Clements, and G. Knothe, Biodiesel Production Technology, National Renewable Energy Laboratory p.76-77 July (2004)

เอกสารอื่น ๆ

ดร. อรรคเจตต์ อภิชจรศิลป์, ปริญญ์ บุญกนิษฐ, การปรับปรุงผลิตภัณฑ์เชิงนิเวศเศรษฐกิจในระดับแนวคิดด้วยการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์อย่างง่าย, Eco Design Consultant co.ltd. (2007)

B. Bertram, C. Abrams, B.S. Cooke , Purification of biodiesel with adsorbent materials, US Patent 2005/0081436 (2005).

D.H. Allen, G. Rock, W.A. Kline, Process for treating fats and fatty oils. US Patent 2, 383±579. (1945)

_____, ASTM Standards D6751-03a, “Standard Specification for Biodiesel Fuel (B100) Blend Stock for Distillate Fuels.”, American Society for Testing and Materials, U.S.A., (2003)

_____, ASTM Standards D664-04, “Standard Test Method for Acid Number of Petroleum Products by Potentiometric Titration.”, American Society for Testing and Materials, U.S.A., (2003)

_____, BS EN Standards, 14214, “Automotive fuels – Fatty acid methyl esters (FAME) for diesel engines – Requirements and test methods.”, British Standards Institute (BSI), London, England, (2003)

_____, ASTM Standards, D 2187-94(Reapproved 2004) “Standard Test Methods for Physical and Chemical Properties of Particulate Ion Exchange Resins”, Test Mehod F-Total Capacity of Cation-Exchange Resin Section, American Society for Testing and Materials, p.42-50, U.S.A., (2004)

Website

การผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ, http://www.vcharkarn.com/venergy

Purolite® PD206 Guide Application Note, JJ-Degussa Chemical Ltd., http://www.purolite.com

Biodiesel Purification with Lewatit® Ion-Exchange Resin, http://www.lewatit.de

Green fuel biodiesel purification system, Rohm & Haas Amberlite™ BD10 Dry™ , Green Fuels Ltd.,http://www.greenfuels.co.uk

Biodiesel Purification Techniques, Filtertechnik co.,Ltd., http://www.filtertechnik.co.uk/biodiesel

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

การวิเคราะห์คุณสมบัติต่าง ๆ

ก-1 การวิเคราะห์กรดไขมันอิสระ (Acid Value), ASTM D664-04 มาตรฐานสำหรับเมทิลเอสเทอร์ < 0.4%

เครื่องมือ บีกเกอร์ ปิเปต บิวเรต

สารเคมี โทลูอีน โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ Isopropyl aclcohol Pheholphalein

วิธีการทดลอง

1.1เตรียมบีกเกอร์ขนาด 600 ml จำนวน 2 ใบแล้วเติมสารละลายบีกเกอร์ละ 125 โดยที่สารละลายเป็นส่วนผสมของ Isopropyl alcohol 50% และ Toluene 50%

1.2 เติมตัวอย่าง 5 กรัม ลงในบีกเกอร์ใบแรก (ปริมาณที่ใช้เป็นดังตารางที่ ก1.1

1.3 เติม Indicator Phenolphalein 2 ml ลงในบีกเกอร์ทั้งสองใบ

1.4 ไตเตรทสารละลายผสมในบีกเกอร์ทั้งสองด้วย สารละลาย KOH ความเข้มข้น 0.1 N สังเกตสีของสารละลายที่ได้ จนกระทั่งสารละลายเป็นสีชมพู

1.5 บันทึกปริมาณสารละลาย KOH ที่ใช้ไป

$$AV = \frac{(A - B) \times N \times M.W}{W}$$

คำนวณปริมาณ FFA จากสมการต่อไปนี้

$$FFA\ (\%) = \frac{AV\ (\%)}{2}$$

เมื่อ

A = ปริมาณของสารละลาย KOH ที่ใช้ในการไตเตรทตัวอย่างน้ำมัน (ml)

B = ปริมาณของสารละลาย KOH ที่ใช้ในการไตเตรท blank (ml)

N = ความเข้มข้นของ KOH ที่ใช้ (ในกรณีนี้เป็น 0.025 N)

M.W = มวลโมเลกุลของเบสที่ใช้ (ในกรณีนี้ KOH =56)

W = ปริมาณตัวอย่างน้ำมันที่ใช้ (g)

ตารางที่ ก 1.1

ปริมาณของตัวอย่างที่ใช้ทดสอบแบ่งค่าตาม Acid Number

(ASTM D664-04)

Acid Number	Mass of Test Portion, g	Accuracy of Weighing, g
0.05 - < 1.00	20.0 $\pm$ 2.0	0.10
1.00 - < 5.00	5.0 $\pm$ 0.5	0.02
5.00 - <20.0	1.0 $\pm$ 0.1	0.005
20.0 - < 100	0.25 $\pm$ 0.02	0.001
100 - < 260	0.1 $\pm$ 0.01	0.0005

ก-2 การวิเคราะห์ปริมาณเมทิลเอสเทอร์, EN14103 Gas chromatography method

เครื่องมือ

Micro pipette

เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง

Gas Chromatography Type HRGC 8000 SERIES ใช้ column ชนิด Rtx-65TG ขนาด 30 m x 0.53 mm, ID 0.1 μm

สารเคมี

n-heptane

internal standard for methyl ester (Methyl Heptadecanoate)

วิธีทดลอง

การเตรียมตัวอย่าง

2.1 เตรียมตัวอย่างโดย ชั่งน้ำหนัก 50 mg ลงในหลอดขนาดเล็ก

2.2 ใส่ Internal standard 10 mg

2.3 เติม n-Heptane 1 ml ปิดฝาและเขย่าให้เข้ากันดี

การเตรียมเครื่อง Gas Chromatography

2.4 เปิดสวิทซ์เครื่อง Gas Chromatography

2.5 เปิดวาวล์ gas H_2 และอากาศ

2.6 เปิด Computer Program Chrom-card และเครื่องพิมพ์

2.7 อุ่นเครื่อง Gas Chromatography โดยตั้ง Pressure ของ อากาศที่ 150

Set temp 1 ที่ 240°C Time 1 ที่ 2 min Set rate 1 ที่ 5

Set temp 2 ที่ 240°C Time 1 ที่ 10 min Set rate 1 ที่ 0

กดปุ่ม [Zone power] +[Exec] และ [Oven]+[Exec] เพื่อให้ Oven ในแต่ละ Zone ทำงาน รอจนกระทั่งอุณหภูมิได้ค่าที่ตั้งไว้

2.8 เมื่อต้องการฉีดตัวอย่าง ปรับตั้งค่า อุณหภูมิใหม่

Set temp 1 ที่ 160°C Time 1 ที่ 2 min Set rate 1 ที่ 5

Set temp 2 ที่ 240°C Time 1 ที่ 10 min Set rate 1 ที่ 0

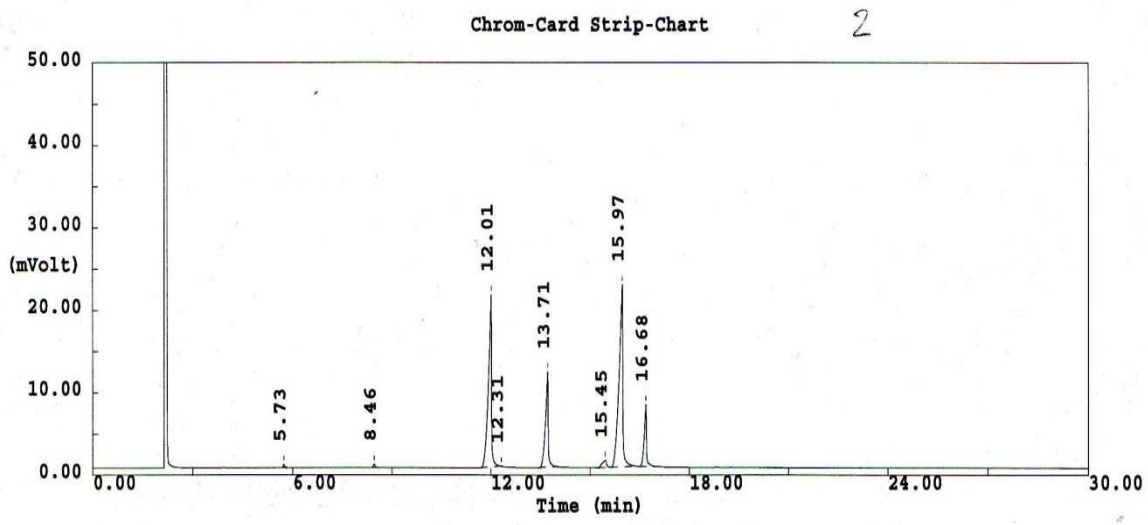
2.9 ฉีดตัวอย่าง 1 ด้วยหลอดฉีด 1 ไมโครลิตร กดปุ่ม [Prog Start]

2.10 รอเครื่อง Run แล้วเสร็จนำ peak กราฟ ที่ได้มาว่าวิเคราะหีเทียบกับ Standard ที่ทำไว้ก่อนแล้ว

การวิเคราะห์กราฟ (ตัวอย่าง)

ภาพที่ ก2.1

ผลการวิเคราะห์หาองค์ประกอบของ ตัวอย่าง ด้วย Gas chromatography



Peak Number #	Area %	Ret.Time	Area	BC
1	0.2687	5.73	11492	RS
2	0.3394	8.46	14511	RS
3	32.3309	12.01	1382507	RS
4	0.0398	12.31	1701	RS
5	15.7217	13.71	672279	RS
6	1.8274	15.45	78142	RS
7	40.8791	15.97	1748039	RS
8	8.5930	16.68	367446	RS
Totals	100.0000		4276116	

ตารางที่ ก 2.1

แสดงข้อมูลการิเคราะห์องค์ประกอบต่างๆในไบโอดีเซล

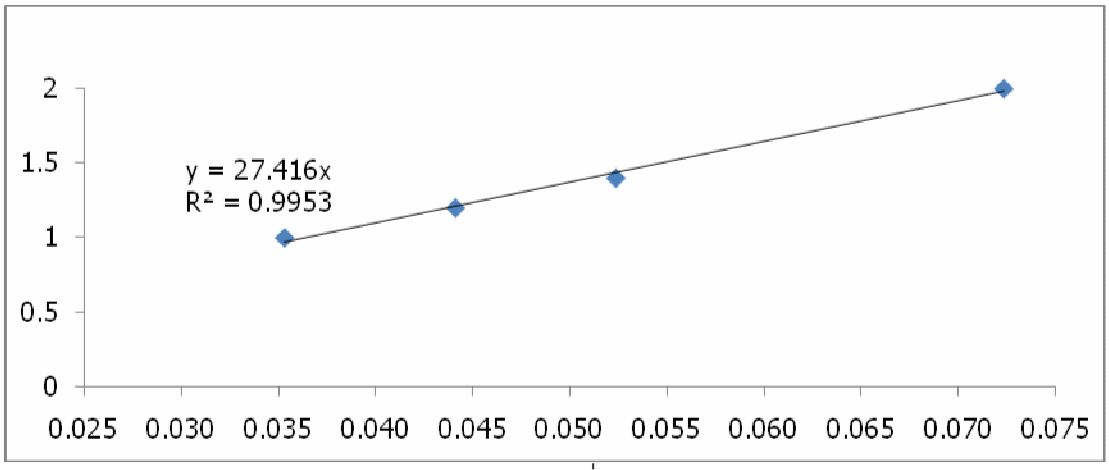
ชื่อสาร	การวิเคราะห์		
	จำนวนพีค	เวลา	พื้นที่ใต้กราฟ
Methyl myristet	2	8.46	14511
Methyl palmitate	3	12.01	1382507
Internal standard	5	13.71	672279
Methyl stearate	6	15.45	78142
Methyl oleate	7	15.97	1748039
Methyl linoleate	8	16.68	367446
Methyl linolenate	-	-	-

หมายเหตุ : พีคของ Methyl linoleate ไม่ปรากฏ

หลังจากได้ข้อมูลจากการวิเคราะห์ของ GCและนำข้อมูลมาเปรียบเทียบหาองค์ประกอบแต่ละตัวภายในไบโอดีเซลกับ Internal standard และ calibration curve

ภาพที่ ก2.2

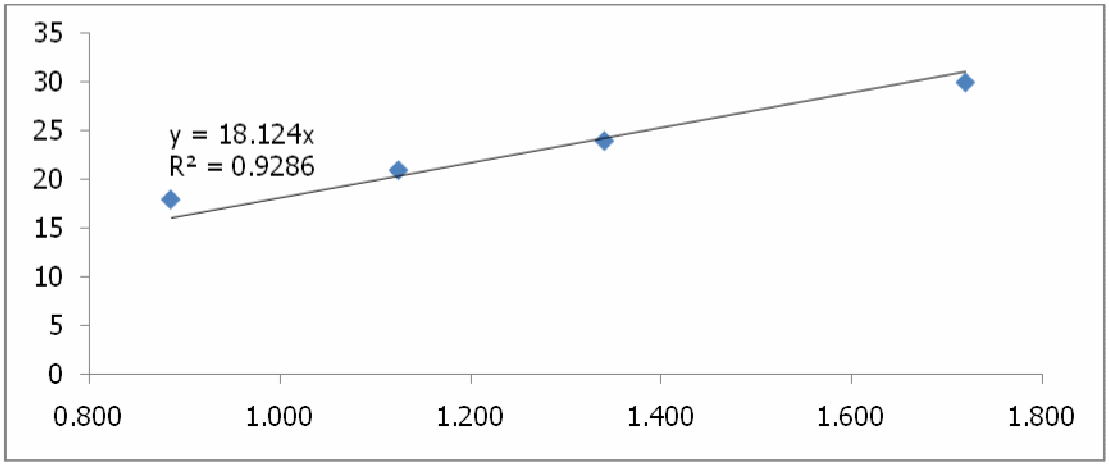
แสดงผลการวิเคราะห์ standard methyl ester ด้วย GC ของ total area ระหว่าง area ratio กับ concentration ของ Methyl myristet



จากกราฟ ก2.2 สามารถอ่านค่าความชันได้ 27.47 ซึ่งจะใช้ค่าความชันกราฟคำนวนหาค่าความบริสุทธิ์รวม

ภาพที่ ก2.3

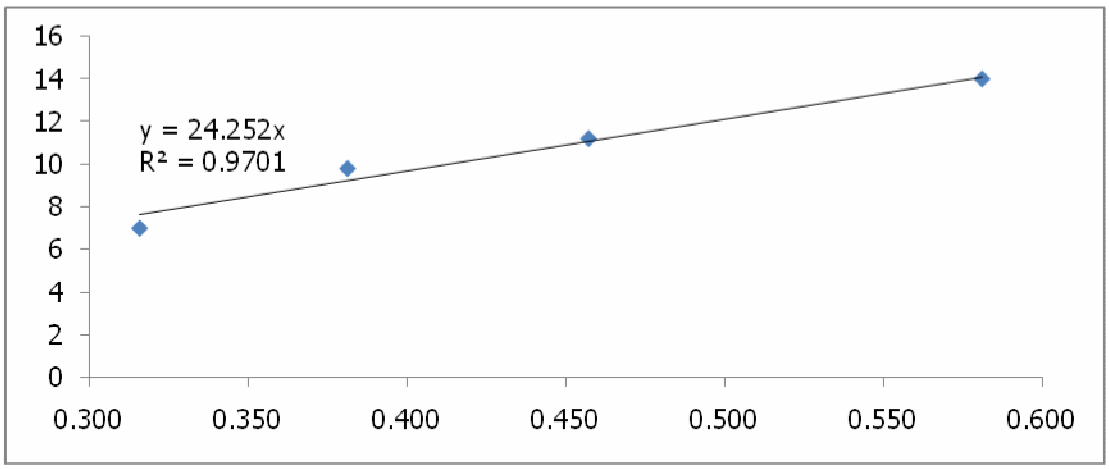
แสดงผลการวิเคราะห์ standard methyl ester ด้วย GC ของ total area ระหว่าง area ratio กับ concentration ของ Methyl palmitate



จากกราฟ ก2.3 สามารถอ่านค่าความชันได้ 18.12 ซึ่งจะใช้ค่าความชันกราฟคำนวนหาค่าความบริสุทธิ์รวม

ภาพที่ ก2.4

แสดงผลการวิเคราะห์ standard methyl ester ด้วย GC ของ total area ระหว่าง area ratio กับ concentration ของ Methyl stearate

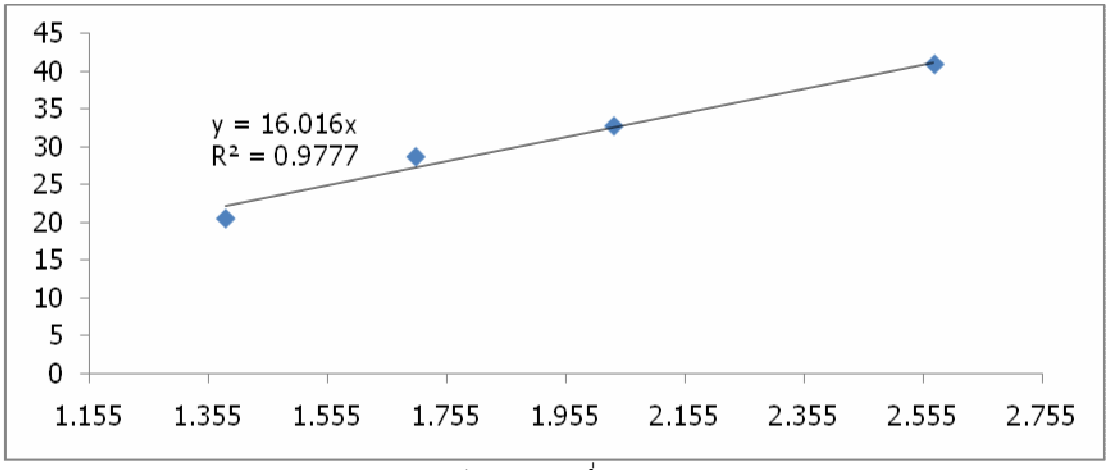


จากกราฟ ก2.4 สามารถอ่านค่าความชันได้ 24.25 ซึ่งจะใช้ค่าความชันกราฟคำนวนหาค่าความบริสุทธิ์รวม

ภาพที่ ก2.5

แสดงผลการวิเคราะห์ standard methyl ester ด้วย GC ของ total area

ระหว่าง area ratio กับ concentration ของ Methyl oleate

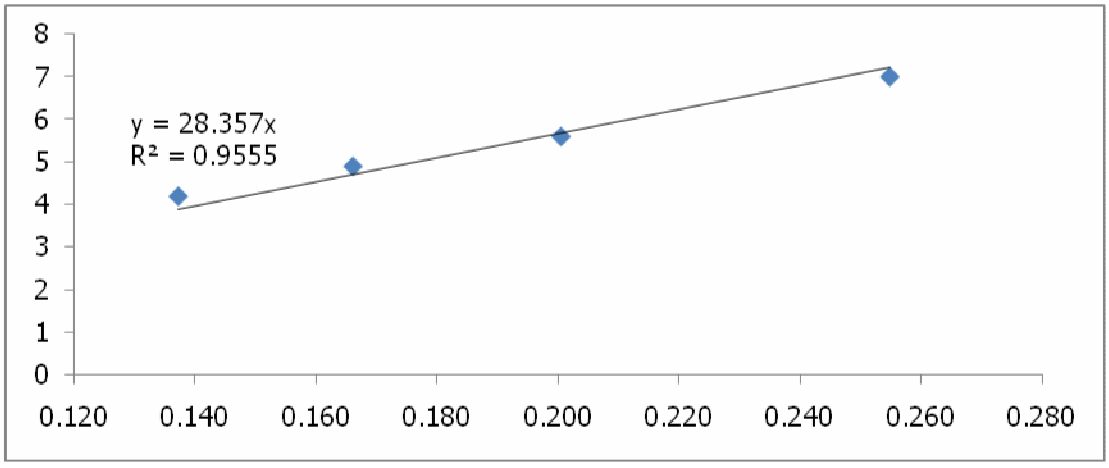


จากกราฟ ก2.5 สามารถอ่านค่าความชันได้ 16.01 ซึ่งจะใช้ค่าความชันกราฟคำนวนหาค่าความบริสุทธิ์รวม

ภาพที่ ก 2.6

แสดงผลการวิเคราะห์ standard methyl ester ด้วย GC ของ total area

ระหว่าง area ratio กับ concentration ของ Methyl linoleate

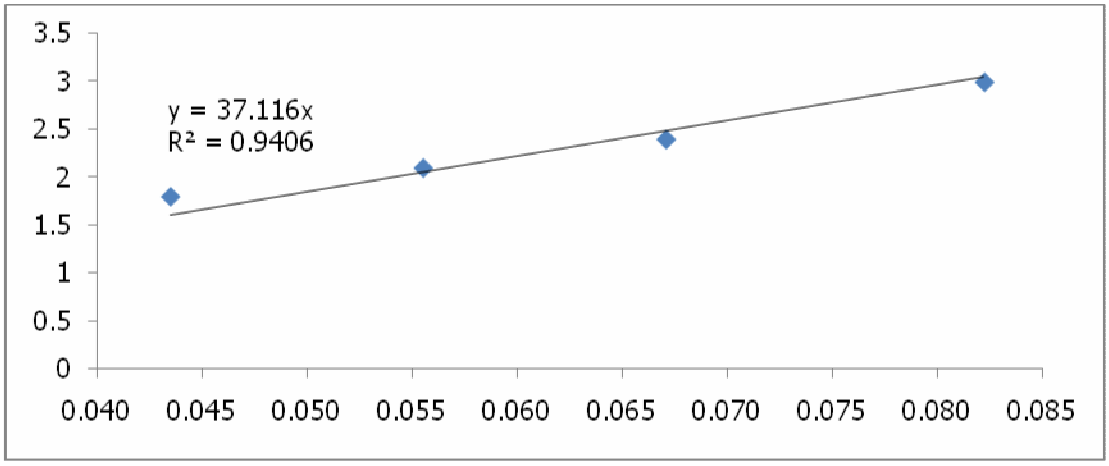


จากกราฟ ก2.6 สามารถอ่านค่าความชันได้ 28.35 ซึ่งจะใช้ค่าความชันกราฟคำนวณหาค่าความบริสุทธิ์รวม

ภาพที่ ก2.7

แสดงผลการวิเคราะห์ Standard methyl ester ด้วย GC ของ total area

ระหว่าง area ratio กับ concentration ของ Methyl linolenate



จากกราฟ ก2.7 สามารถอ่านค่าความชันได้ 37.11 ซึ่งจะใช้ค่าความชันกราฟคำนวนหาค่าความบริสุทธิ์รวม

ตัวอย่าง การคำนวณความเข้มข้นของ Methyl palmitate

ทราบพื้นที่ใต้กราฟของ methyl palmitate ที่พีค 3 เท่ากับ 1382507 และ Internal standard ที่พีค 5 เท่ากับ 672279

สัดส่วนของ methyl palmitate กับ internal standard จากกราฟที่วิเคราะห์ได้ คือ $\frac{1382507}{672279}$

= 2.05644829

จากกราฟที่ 2.3 ความชันของกราฟจากการพล็อตกราฟ calibration ระหว่างความเข้มข้น methyl palmitateกับ อัตราส่วนพื้นที่ของ methyl palmitate ต่อ Internal standard คือ 18.12

ดังนั้น องค์ประกอบของ methyl palmitate ที่มีอยู่ในสารตัวอย่างมีค่า 2.05644829 × 18.12 = 37.26 %

ผลรวมของทุกค่า Peak ที่ได้จะเป็นค่า methyl ester content ของตัวอย่างน้ำมันไบโอดีเซลนั้น ๆ

ก-3 การวิเคราะห์ค่า Total capacity of caton-exchange resin ,ASTM D2187-94 (Reapproved 2004)

เครื่องมือ

บีกเกอร์

pH Meter

Vaccum pump

Flask

หลอดกรอง

สารเคมี

HCl (1+9), โดยการเจือจาง HCl 100 ml ด้วยน้ำให้เป็น 1000 ml

HCl 0.1 N

Isopropylalcohol

Methyl orange indicator

Phenolphatalein indicator

NaOH 50% solution

NaOH 0.1 N

วิธีการทดลอง

3.1 ชั่ง 2 g ของเรซินใส่ลงใน 100 ml บีกเกอร์ล้างน้ำ สะเด็ดให้แห้งและบรรจุลงหลอดกรอง

3.2 ล้างเรซินโดยใช้ HCl(1+9) จำนวน 1 ลิตรไหลผ่านเรซินในหลอดกรองอย่างช้า ๆ ในอัตรา 20-25 ml/min จนหมด

3.3 ล้างเรซินต่อด้วย ต่อ Isopropyl alcohol ในอัตรา 20-25 ml/min จนกระทั่ง 10 ml ของ Isopropyl alcohol ที่ผ่านออกมามีสีเหลืองด้วย Methyl orange indicator หรือ pH ประมาณ 3.9

3.4 ปล่อยเรซินให้แห้ง จน Free flow

3.5 ใส่เรซินลงใน 500 ml Flask เติม NaOH 0.1 N 200 ml ปิดจุกเขย่าให้เข้ากันดี ทิ้งไว้ให้ equilibrium 16 ชม.

3.6 เขย่าอีกครั้งหนึ่ง และทิ้งให้ตกตะกอน ปิเปต สารละลายมา 50 ml ไตเตรทด้วย HCl 0.1 N โดยใช้ Phenolphalein เป็น indicator หรือจนได้ pH 8.2 บันทึกปริมาณ HCl ที่ใช้ไป

คำนวณ ค่า Total Capacity (Cw) , milliequivalent per wet gram

$$Cw = \frac{((200 \times N_B) - (F \times N_A \times 4))}{W}$$

เมื่อ

F = ปริมาณของ HCl ที่ไตเตรทได้, ml

W = น้ำหนักของเรซินที่ใช้, g

N_A = ค่า normality ของ HCL ในที่นี้คือ 0.1 N

N_B = ค่า normality ของ NaOH ในที่นี้คือ 0.1 N

ภาคผนวก ข

การคำนวณค่าต่าง ๆ

ข-1 การหาค่าร้อยละผลได้ของเมทิลเอสเทอร์ (%Yield)

ส่วนของการล้างสารปนเปื้อนด้วยน้ำ

ชั่งน้ำหนักของไบโอดีเซลหลังจากการทำปฏิกิริยาเป็น (W1)

ชั่งน้ำหนักของไบโอดีเซลหลังจากการล้างสารปนเปื้อนด้วยน้ำเป็น (W2)

คำนวณปริมาณร้อยละผลได้ของไบโอดีเซลจากการล้างสารปนเปื้อนด้วยน้ำ

$$= \frac{W2}{W1} \times 100\ \%$$

ส่วนของการล้างสารปนเปื้อนด้วยเรซินแลกเปลี่ยนประจุ

ชั่งน้ำหนักของไบโอดีเซลหลังจากการทำปฏิกิริยาเป็น (W1) เท่ากับ 14 kg

ชั่งน้ำหนักของไบโอดีเซลหลังจากการล้างสารปนเปื้อนด้วยเรซินแลกเปลี่ยนประจุเป็น (W2)

คำนวณปริมาณร้อยละผลได้ของไบโอดีเซลของการล้างด้วยเรซินแลกเปลี่ยนประจุ

$$= \frac{W2}{W1} \times 100\ \%$$

ข 2 การคำนวณประเมินราคาน้ำมันไบโอดีเซล

ใช้ โครงสร้างราคาประกาศของกรมธุรกิจพลังงาน

$$B100 = 0.97 \times CPO + 0.15 \times Methanol + 3.32$$

เมื่อ B100 = ราคาน้ำมันไบโอดีเซลชนิดเมทิลเอสเทอร์ , บาท/ลิตร

CPO = ราคาตลาดน้ำมันปาล์มดิบ, บาท/กก.

Methanol = ราคาตลาดเมทิลแอลกอฮอล์, บาท/ลิตร

ในที่นี้ ได้ราคา B100 = 25 บาท/ลิตร (31 ตุลาคม 2552)

ข 2 การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

ใช้วิธีของ Eco-Indicator 99H V2.06 โดยใช้ฐานข้อมูลจาก Sigma Pro โดยใช้ผลของ Single Score มาเป็นฐานเปรียบเทียบ

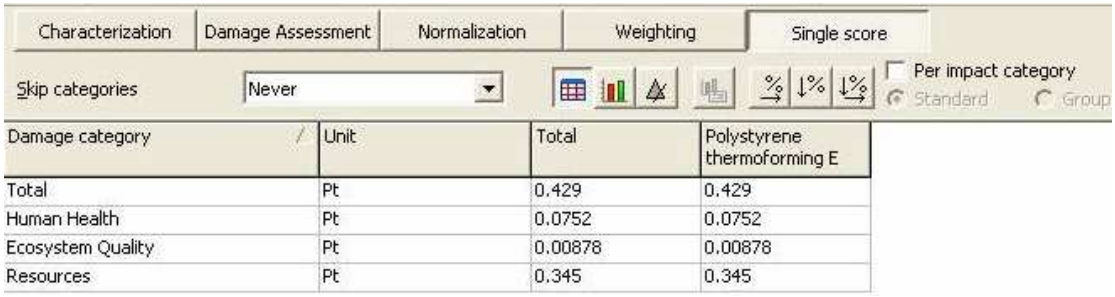
Ion-exchange Resin

Reference : Plastice Europe 2005

Period : 2000 – 2004

ภาพที่ ข 2.1

แสดง Single score point ต่อ Ion-exchange resin 1 กก.



Damage category	Unit	Total	Polystyrene thermoforming E
Total	Pt	0.429	0.429
Human Health	Pt	0.0752	0.0752
Ecosystem Quality	Pt	0.00878	0.00878
Resources	Pt	0.345	0.345

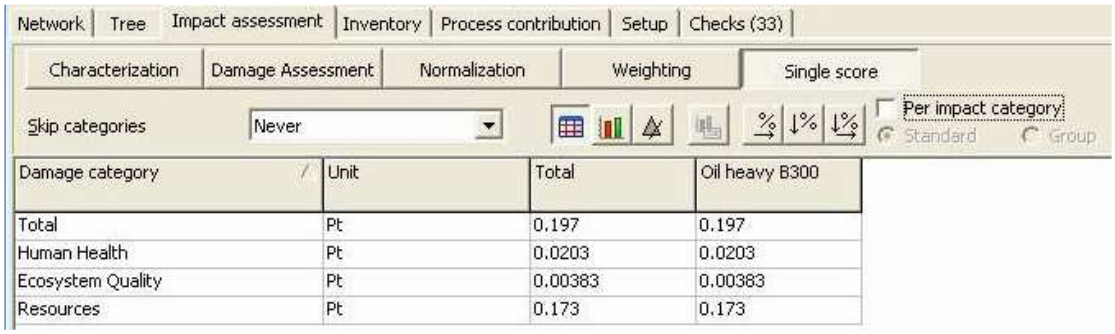
น้ำมันเตา

Referrence : BUWAL 300

Period : 1990 - 1994

ภาพที่ ข 2.2

แสดง Single Score point ต่อ น้ำมันเตา (Heavy oil B300) 1 kg



Damage category	Unit	Total	Oil heavy B300
Total	Pt	0.197	0.197
Human Health	Pt	0.0203	0.0203
Ecosystem Quality	Pt	0.00383	0.00383
Resources	Pt	0.173	0.173

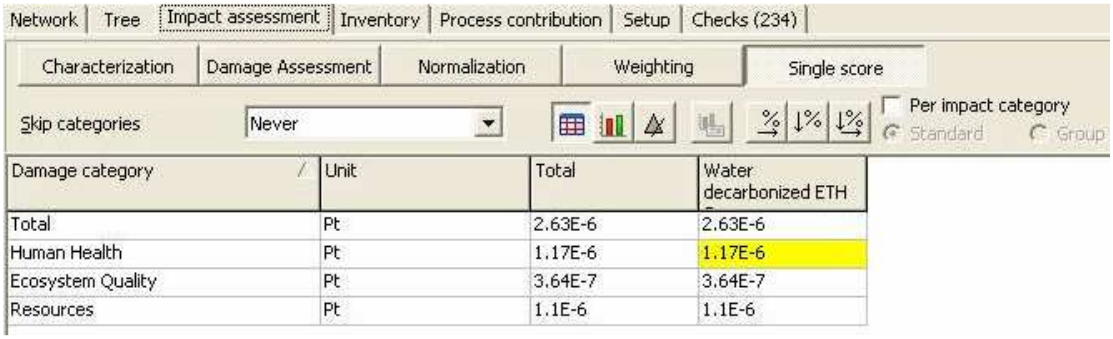
น้ำสำหรับอุตสาหกรรม

Referrence : ETS-EHU 1996

Time period : before 1980

ภาพที่ ข 2.3

แสดง Single Score point ต่อ น้ำสำหรับอุตสาหกรรม 1 kg



Damage category	Unit	Total	Water decarbonized ETH
Total	Pt	2.63E-6	2.63E-6
Human Health	Pt	1.17E-6	1.17E-6
Ecosystem Quality	Pt	3.64E-7	3.64E-7
Resources	Pt	1.1E-6	1.1E-6

น้ำเสีย

Referrence : ETS-EHU 1996

Time period : 1990 – 1994

ภาพที่ ข 2.4

แสดง Single Score point ต่อ น้ำเสีย 1 m^3

Damage category	Unit	Total	Water only (m3) to WWTP size 2 S
Total	Pt	3.74E-5	3.74E-5
Human Health	Pt	9.5E-6	9.5E-6
Ecosystem Quality	Pt	2.47E-6	2.47E-6
Resources	Pt	2.54E-5	2.54E-5

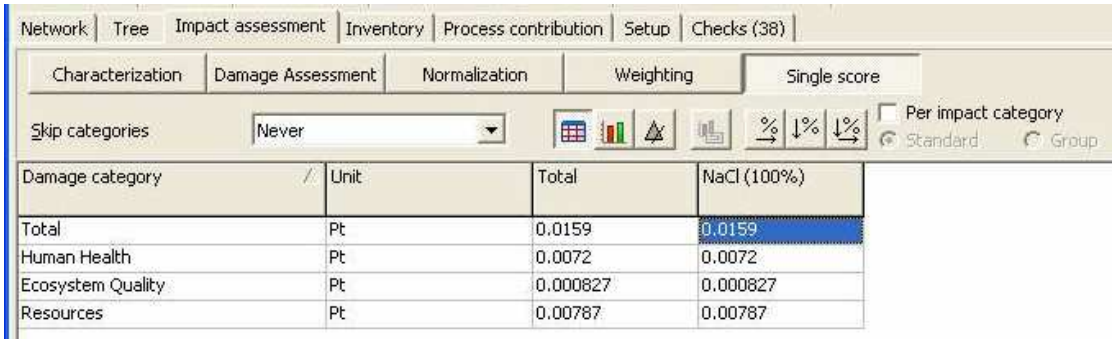
เกลือสำหรับกำจัดน้ำ

Reference : BUWAL 250 (1996)

Period : 1990 – 1994

ภาพที่ ข 2.5

แสดง Single score point ต่อ เกลือ 1 กก.



Damage category	Unit	Total	NaCl (100%)
Total	Pt	0.0159	0.0159
Human Health	Pt	0.0072	0.0072
Ecosystem Quality	Pt	0.000827	0.000827
Resources	Pt	0.00787	0.00787

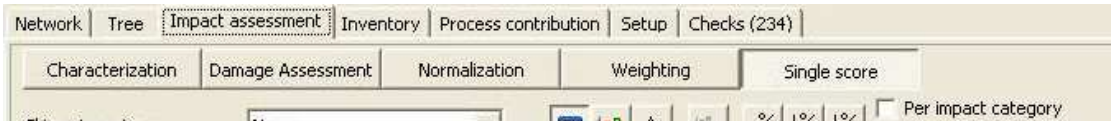
การกำจัด Resin (Innert waste) ด้วยการฝังกลบ

Referrence : ETS-EHU 1996

Time period : 1990 – 1994

ภาพที่ ข 2.6

แสดง Single Score point ต่อ การฝังกลบ Resin (Innert Waste) 1 กก.



Damage category	Unit	Total	Waste (inert) to landfill S
Total	Pt	0.000122	0.000122
Human Health	Pt	2.82E-5	2.82E-5
Ecosystem Quality	Pt	6.98E-5	6.98E-5
Resources	Pt	2.35E-5	2.35E-5

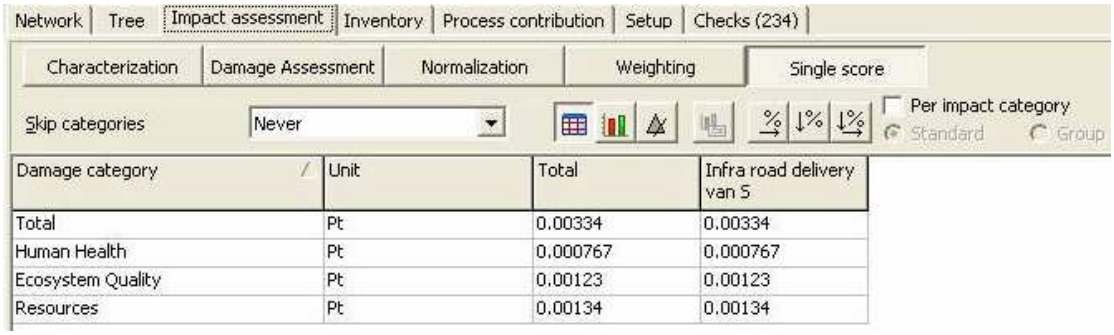
การขนส่ง

Referrence : ETS-EHU 1996

Time period : 1990 – 1994

ภาพที่ ข 2.7

แสดง Single Score point ต่อ การขนส่ง 1 ตัน-กม..



Damage category	Unit	Total	Infra road delivery van 5
Total	Pt	0.00334	0.00334
Human Health	Pt	0.000767	0.000767
Ecosystem Quality	Pt	0.00123	0.00123
Resources	Pt	0.00134	0.00134

ข 3 การประเมินราคาถังกรองและอุปกรณ์

ใช้วิธีโดยการสืบประเมินราคาในการสั่งทำถังกรองแบบ Lead Lag พร้อมอุปกรณ์และการติดตั้ง จากบริษัทผู้ผลิตเครื่องกรอง โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. ถังกรองขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 800 มม. สูง 3000 มม. ทำด้วย
   แสตนเลสแผ่น #316L หนา 6 มม. พร้อมแผ่นรับหัวกรอง
   หนา 6 มม. ท่อเข้าออกขนาด 3 นิ้ว แมนโฮลขนาด400 มม. 1 ชุด
   แฮนด์โฮลขนาด 300 มม. 1 ชุด พร้อมหัวกรองแบบชั้น 30 หัว
   จำนวน 3 ถัง ถังละ 875,000 บาท 2,625,000.- บาท
2. ท่อหน้าถัง พร้อมวาวล์ผีเสื้อ 3 ชุด 300,000.- บาท
3. ปั๊ม Sanitary Centrifugal Pump ยี่ห้อ INOXPA 5.5 kW
   จำนวน 3 ตัว จำนวนเครื่องละ 125,000 บาท 375,000.- บาท
4. ค่าขนส่ง 50,000.- บาท
5. ค่าติดตั้งและดำเนินการ 150,000.- บาท
   รวมเป็นเงิน 3,500,000.- บาท

ข 4 การประเมินราคาค่าใช้จ่ายและผลประหยัดต่าง ๆ

4.1 ราคาน้ำใช้ในการผลิต = 16 บาท/ลูกบาศก์เมตร
4.2 ราคาน้ำมันเตา = 16 บาท/ลิตร
4.3 ราคากำจัดน้ำเสียด้วยระบบบำบัดน้ำเสียภายใน = 0.31 บาท/ลิตร
4.4 ราคากำจัดน้ำเสียโดยการเผาภายนอก = 2.5 บาท/ลิตร
4.5 ราคาขนส่งน้ำเสีย 6000 บาท/เที่ยว(10,000 ลิตร) = 0.6 บาท/ลิตร
4.6 ราคา Ion-exchange resin GF202 = 850 บาท/ลิตร
4.7 ราคาค่ากำจัดโดยการฝังกลบ Resin = 2,500 บาท/ตัน
4.8 ราคาค่าขนส่ง Resin เพื่อฝังกลบ = 8,000 บาท/เที่ยว

ข 5 การประเมินปัจจัยในการผลิตไบโอดีเซล

5.1 กำลังการผลิต 10,000 ลิตร/Batch , 2 Batch/วัน = 20,000 ลิตร/วัน
5.2 จำนวนวันในการผลิต = 247 วัน/ปี
5.3 %ผลผลิตเฉลี่ย กรณีล้างด้วยน้ำ = 85%

ข 6 การประเมินความคุ้มทุนทางเศรษฐศาสตร์

ข 6.1 การประเมินโดยใช้ระยะเวลาในการคุ้มทุนแบบง่าย (Simple Payback Period)

ระยะเวลาในการคุ้มทุน (Payback Period) = $\frac{\text{เงินลงทุนในครั้งแรก}}{\text{ผลประโยชน์ที่ได้และผลประหยัดต่อปี}}$

ระยะเวลาคุ้มทุนในกรณีไม่มีการเพิ่มผลผลิต = $\frac{6,065,500.-}{1,564,992.-}$
และกำจัดน้ำเสียด้วยระบบภายในโรงงาน

= 3.9 ปี

ข 6.2 การประเมินโดยใช้ อัตราผลตอบแทนจากการลงทุน (Internal Rate of Return,IRR)

IRR = อัตราส่วนลดเมื่อทำให้ เงินลงทุนในครั้งแรกเมื่อหักลบกับ ผลประโยชน์ที่ได้และผลประหยัดต่อปีที่คำนวณส่วนลดมาเป็นปัจจุบัน (NPV, Net Present Value) แล้วได้มูลค่า = 0 เมื่อกำหนดอายุโครงการไว้คงที่

ภาคผนวก ค

ใบรายงานผลการวิเคราะห์คุณภาพของน้ำมันไบโอดีเซล

ใบรายงานผลการวิเคราะห์กลีเซอร์ไรด์ และกลีเซอรีนของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ ซึ่งได้รับการทดสอบที่กรมวิทยาศาสตร์บริการเมื่อ 3-9 มิถุนายน 2552

ภาพที่ ค 1

ใบรายงานผลการวิเคราะห์จากกรมวิทยาศาสตร์บริการ

รายงานการทดสอบ

ชื่อวัตถุตัวอย่าง	เครื่องหมาย / ตรา	หมายเลขปฏิบัติการ
น้ำมันไบโอดีเซลแบบ Methyl Ester หมายเลข 1	-	L52/04527.1
น้ำมันไบโอดีเซลแบบ Methyl Ester หมายเลข 2	-	L52/04527.2
น้ำมันไบโอดีเซลแบบ Methyl Ester หมายเลข 3	-	L52/04527.3

ผลการทดสอบ

		L52/04527.1	L52/04527.2	L52/04527.3
ไมโนกลีเซอไรด์	ร้อยละ	0.20	0.40	0.32
ไดกลีเซอไรด์	ร้อยละ	0.02	0.03	0.03
ไตรกลีเซอไรด์	ร้อยละ	น้อยกว่า 0.10	น้อยกว่า 0.10	น้อยกว่า 0.10
กลีเซอรีนอิสระ	ร้อยละ	0.01	0.01	0.01
กลีเซอรีนทั้งหมด	ร้อยละ	น้อยกว่า 0.06	น้อยกว่า 0.12	น้อยกว่า 0.10

ชื่อผู้ใช้บริการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ที่อยู่ผู้ใช้บริการ 99 หมู่ 18 ถนนพหลโยธิน ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12121
ลักษณะตัวอย่าง ของเหลวใสสีเหลือง
วันที่ทดสอบ 3 – 9 มิถุนายน 2552
วิธีทดสอบ EN 14105

ผู้รับรอง
(นางศิริวรรณ ศิลปีสกุลสุข)
นักวิทยาศาสตร์ชำนาญการพิเศษ

ผู้รายงาน
(นางสาววัชรี คลินนท์กุล)
นักวิทยาศาสตร์ปฏิบัติการ

ผลนี้รับรองเฉพาะวัตถุตัวอย่างที่ได้ทดสอบ/สอบเทียบเท่านั้น ไม่รับรองวัตถุหรือสินค้าที่ใช้รายงานนี้ในการโฆษณาหรืออ้างถึง
ห้ามคัดถ่ายใบรับรองหรือรายงานผลแต่เพียงบางส่วน โดยไม่ได้รับอนุญาตจากกรมวิทยาศาสตร์บริการเป็นลายลักษณ์อักษร
กรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
ถนนพระรามที่ 6 ราชเทวี กรุงเทพฯ 10400 ประเทศไทย
หน้า 2/

ตัวอย่างที่ 1.52/04527.1 เป็นน้ำมันไบโอดีเซลที่ล้างด้วยเรซิน PD 206

ตัวอย่างที่ 1.52/04527.2 เป็นน้ำมันไบโอดีเซลที่ล้างด้วยน้ำ

ตัวอย่างที่ 1.52/04527.3 เป็นน้ำมันไบโอดีเซลที่ล้างด้วยเรซิน GF202

ประวัติการศึกษา

ชื่อ	นายศิวกร เกษตรสิน
วันเดือนปีเกิด	11 มีนาคม พ.ศ.2507
วุฒิการศึกษา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เทคโนโลยีชีวภาพ) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาศาสตร์บัณฑิต (การจัดการทั่วไป) มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช บริหารธุรกิจมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ผลงานทางวิชาการ	นำเสนอผลงานวิชาการในการประชุมวิชาการพลังงานแห่งชาติครั้งที่ 1 ของ วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ระหว่างวันที่ 18-19 กุมภาพันธ์ 2553 ในหัวข้อเรื่อง การศึกษาความคุ้มค่าเชิงสิ่งแวดล้อมและเชิงเศรษฐศาสตร์สำหรับกระบวนการล้างสิ่งปนเปื้อนออกจากน้ำมันดีเซลชีวภาพโดยใช้ตัวกรองแลกเปลี่ยนประจุ