

การประเมินวิถีชีวิตของเชื้อเพลิงชีวภาพจากกระบวนการไมโครอิมัลชัน



นางสาวพิชิตา เอกเผ่าพันธุ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2556

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)

เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

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

LIFE CYCLE ASSESSMENT OF BIOFUEL FROM MICROEMULSION PROCESS

Miss Pichita Ekkpowpan

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

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

Department of Environmental Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2013

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การประเมินวัฏจักรชีวิตของเชื้อเพลิงชีวภาพจาก
กระบวนการไมโครอิมัลชัน

โดย

นางสาวพิชิตา เอกเผ่าพันธุ์

สาขาวิชา

วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

รองศาสตราจารย์ ดร. สุธา ขาวเอียร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยเป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร. บัณฑิต เอื้ออาภรณ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. เพ็ชรพร เชาวกิจเจริญ)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ ดร. สุธา ขาวเอียร)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มนัสกร ราชากรกิจ)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เบญจพร สุวรรณศิลป์)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(อาจารย์ ดร. เอมมา อาสนจินดา)

พิชิตา เอกเผ่าพันธุ์ : การประเมินวัฏจักรชีวิตของเชื้อเพลิงชีวภาพจากกระบวนการไมโครอิมัลชัน. (LIFE CYCLE ASSESSMENT OF BIOFUEL FROM MICROEMULSION PROCESS) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. ดร. สุธา ขาวเขียว, 122 หน้า.

ปัจจุบันเชื้อเพลิงชีวภาพเป็นพลังงานที่ได้รับความนิยมอย่างมากในประเทศไทย ซึ่งเชื้อเพลิงชีวภาพผลิตมาจากน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์ โดยปกติน้ำมันพืชมีค่าความหนืดสูง ซึ่งก่อนนำไปใช้ในเครื่องยนต์ต้องลดความหนืดเสียก่อน กระบวนการในการลดความหนืดของน้ำมันพืชมีหลายวิธี ไมโครอิมัลชันเป็นวิธีการหนึ่ง โดยไมโครอิมัลชันคือการผสมของเหลวสองชนิดที่ไม่สามารถรวมเป็นเนื้อเดียวกันได้ (น้ำมันและน้ำ) ให้กลายเป็นเนื้อเดียวกันและมีความเสถียร โดยใช้สารลดแรงตึงผิวและสารลดแรงตึงผิวร่วม โดยงานวิจัยนี้ศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตของเชื้อเพลิงชีวภาพจากกระบวนการไมโครอิมัลชัน 2 สัดส่วนคือที่น้ำมันร้อยละ 50 และ 60 และทำการเปรียบเทียบกับไบโอดีเซลที่ได้จากกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน 2 สัดส่วนคือ B100 และ B70 การประเมินวัฏจักรชีวิตจะแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนคือ ขั้นตอนการปลูกปาล์ม ขั้นตอนการผลิตน้ำมันปาล์มโอเลอิน และขั้นตอนการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ (ไมโครอิมัลชันและทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน) เพื่อประเมินก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้น โดยพิจารณาในขอบเขตของการได้มาซึ่งวัตถุดิบจนเสร็จสิ้นกระบวนการผลิต ผลการวิจัยพบว่าก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาจากเชื้อเพลิงชีวภาพที่ผลิตด้วยกระบวนการไมโครอิมัลชันเท่ากับ 0.8118 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อลิตรเชื้อเพลิงชีวภาพ หรือ 0.0257 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อเมกะจูลเชื้อเพลิงชีวภาพ และ 0.8435 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อลิตรเชื้อเพลิงชีวภาพ หรือ 0.0253 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อเมกะจูลเชื้อเพลิงชีวภาพ สำหรับสัดส่วนน้ำมันร้อยละ 50 และ 60 ตามลำดับ ก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาจากไบโอดีเซลที่ผลิตด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันเท่ากับ 2.6789 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อลิตรไบโอดีเซล หรือ 0.0772 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อเมกะจูลไบโอดีเซล และ 1.9848 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อลิตรไบโอดีเซล หรือ 0.0549 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อเมกะจูลไบโอดีเซล ผลสรุปของงานวิจัยนี้พบว่าเชื้อเพลิงชีวภาพที่ผลิตจากกระบวนการไมโครอิมัลชันปล่อยก๊าซเรือนกระจกน้อยกว่าไบโอดีเซลที่ผลิตจากกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันทั้งสองสัดส่วน

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

ลายมือชื่อนิสิต

สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ปีการศึกษา 2556

5570317321 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING

KEYWORDS: LIFE CYCLE ASSESSMENT / MICROEMULSION / BIOFUEL

PICHITA EKKPOWPAN: LIFE CYCLE ASSESSMENT OF BIOFUEL FROM MICROEMULSION PROCESS. ADVISOR: ASSOC. PROF. SUTHA KHAODHIAR, 122 pp.

Nowaday biofuel is an interesting alternative fuel in Thailand. It can be produced from vegetable oils or animal fats. Typical vegetable oils have high viscosity which has to be reduced before it is used in standard engines. Process for reducing viscosity of vegetable oil has many processes, microemulsion is one of processes. Microemulsion process is defined as mixture of two immiscible liquids (oil and water) to form homogenous and stable solution stabilized by surfactant(s) or combination of surfactant(s). This study investigated the life cycle assessment (LCA) for the production of biofuel by microemulsification (oil 50% and oil 60%) technique and compared with the LCA of the productions of biodiesel (B100 and B70) by transesterification technique. The LCA system boundary was separated into three stages: the oil palm cultivation, palm olein production and biofuel (microemulsion/ transesterification) production for the evaluation of cradle to gate approach. The results showed that GHGs are 0.8118 kg CO₂ eq/L or 0.0257 kg CO₂ eq/MJ and 0.8435 kg CO₂ eq/L or 0.0253 kg CO₂ eq/MJ for microemulsion fuel which contain oil 50% and 60%, respectively. And that GHGs are 2.6789 kg CO₂ eq/L or 0.0772 kg CO₂ eq/MJ and 1.9848 kg CO₂ eq/L or 0.0549 kg CO₂ eq/MJ for transesterification biodiesel which are B100 and B70, respectively. The discussions of this study that GHGs form microeulsion biofuel less than transesterification biodiesel.

Department: Environmental
Engineering

Student's Signature

Advisor's Signature

Field of Study: Environmental
Engineering

Academic Year: 2013

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยความอนุเคราะห์ช่วยเหลือจากบุคคลหลายท่าน ผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณต่อผู้ที่ให้ความอนุเคราะห์ดังต่อไปนี้

รองศาสตราจารย์ ดร.สุธา ขาวเขียว อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ให้คำปรึกษา แนะนำแนวทาง หลักการในการดำเนินงานวิจัย และแก้ไขสิ่งบกพร่องตลอดระยะเวลาการทำงานวิจัยซึ่งมีส่วนสำคัญมากในการทำงานวิจัยนี้ให้สำเร็จไปได้ด้วยดี

รองศาสตราจารย์ ดร.เพชรพร เขาวกิจเจริญ ที่กรุณาเป็นประธานในการสอบวิทยานิพนธ์ ตลอดจนผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มนัสกร ราชากรกิจ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เบญจพร สุวรรณศิลป์ และอาจารย์ ดร.เอมมา อาสนจินดา ที่ได้ให้คำชี้แนะ และแก้ไขจนวิทยานิพนธ์สำเร็จได้ด้วยดี

คณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทุกท่านที่ได้อบรมสั่งสอน และให้ความรู้

อาจารย์ ดร.อัมพิรา เจริญแสง และ คุณนวลกมล อารมณ์พงษ์ ที่ได้คำแนะนำ ตรวจสอบ และช่วยหาข้อมูลที่สำคัญในการทำงานวิจัย

คุณรามนรี เนตรวิเชียร เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการของเสียอันตราย ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความช่วยเหลือ และให้คำแนะนำต่างๆ ที่เป็นประโยชน์สำหรับการทำงานวิจัย

ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา น้องสาว ที่ให้การสนับสนุนในทุกเรื่อง และให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยตลอดมา

ท้ายสุดนี้ขอขอบคุณ คุณวิรินทร์ กิตติธรรมวงศ์ และคุณวริศรา ตันติวงศ์ เพื่อนๆ พี่ๆ และน้องๆ ทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือ และดูแลกันและกันในระหว่างการทำงานวิจัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	1
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	1
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 เชื้อเพลิงชีวภาพ.....	3
2.2 น้ำมันปาล์ม.....	4
2.3 กระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์.....	5
2.4 กระบวนการลดความหนืดน้ำมันพืช.....	6
2.4.1 การผสมน้ำมันดีเซลกับน้ำมันพืชโดยตรง (Blending).....	7
2.4.2 ไพโรไลซิส (Pyrolysis).....	7
2.4.3 ทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน.....	7
2.4.4 ไมโครอิมัลชัน.....	10
2.5 สารลดแรงตึงผิวและสารลดแรงตึงผิวร่วม (Surfactant and Cosurfactant).....	11
2.6 ค่า HLB (Hydrophilic Lipophilic Balance : HLB).....	12
2.7 แผนภูมิสามเหลี่ยม (Tertiary Phase Diagram).....	12
2.8 มาตรฐานของน้ำมันดีเซล และไบโอดีเซล.....	13
2.9 ก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse gas: GHGs).....	14
2.10 ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse gas emission factor: GHG E.F.).....	14

2.11	กระบวนการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ (Life cycle assessment: LCA).....	14
2.11.1	การกำหนดเป้าหมาย และขอบเขต (Goal and Scope Definition)	15
2.11.2	การเก็บรวบรวมข้อมูล และจัดทำบัญชีรายการสิ่งแวดล้อม (Life Cycle Inventory: LCI).....	15
2.10.3	การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม (Life Cycle Impact Assessment : LCIA).....	17
2.10.4	การแปลผลกระทบสิ่งแวดล้อม (Life Cycle Interpretation).....	19
2.12	คาร์บอนฟุตพริ้นท์ (Carbon footprint).....	19
2.13	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	19
บทที่ 3	การดำเนินงานวิจัย	28
3.1	แผนงานวิจัย.....	28
3.2	การศึกษาส่วนที่ 1 การทดลองเพื่อศึกษาปริมาณสารที่เหมาะสมในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยกระบวนการไมโครอิมัลชัน	30
3.2.1	การทดลองที่ 1 ศึกษาวัฏภาคของสารโดยใช้แผนภูมิสามเหลี่ยม (Phase Behavior). 30	
3.2.2	การทดลองที่ 2 ผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพปริมาณ 1 ลิตร โดยทำการเก็บข้อมูลปริมาณสารเข้า และออก พลังงานที่ใช้ และวัดค่าความหนืดและค่าความร้อน.....	33
3.3	การศึกษาส่วนที่ 2 การทดลองเพื่อศึกษาปริมาณสารที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน และวัดค่าความหนืดและค่าความร้อน	36
3.4	การศึกษาส่วนที่ 3 ประเมินวัฏจักรชีวิตของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ผลิตด้วยกระบวนการไมโครอิมัลชันและกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน	39
3.5	การศึกษาส่วนที่ 4 เปรียบเทียบก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาจากกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยกระบวนการไมโครอิมัลชัน และกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน	40
บทที่ 4	ผลการทดลอง และการวิเคราะห์ข้อมูล.....	41
4.1	กระบวนการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยกระบวนการไมโครอิมัลชัน	41
4.1.1	การหาสัดส่วนที่เหมาะสมในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ	41
4.1.2	ค่าความหนืดของเชื้อเพลิงชีวภาพ	42
4.1.4	ปริมาณสารที่เหมาะสมในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ	44
4.2	กระบวนการผลิตไบโอดีเซลด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน.....	45
4.2.1	ค่าความหนืดของไบโอดีเซล.....	45
4.2.2	ค่าความร้อนของไบโอดีเซล	46

4.2.3 ปริมาณสารที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซล	46
4.3 ก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการปลูกปาล์ม	48
4.4 ก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มโอเลอิน	50
4.5 ก๊าซเรือนกระจกจากเชื้อเพลิงชีวภาพที่ผลิตด้วยกระบวนการไมโครอิมัลชัน	52
4.6 ก๊าซเรือนกระจกจากไบโอดีเซลที่ผลิตด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน	59
4.7 เปรียบเทียบก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากเชื้อเพลิงชีวภาพที่ผลิตด้วยกระบวนการไมโครอิมัลชัน และทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน	66
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	69
5.1 สรุปผลการวิจัย	69
5.2 ความสำคัญทางวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม	71
5.3 ข้อเสนอแนะ	72
รายการอ้างอิง	73
ภาคผนวก	76
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	122

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติของน้ำมันปาล์ม.....	5
ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติของน้ำมันดีเซลและไบโอดีเซลตามมาตรฐาน ASTM (D975 และ D6751).....	13
ตารางที่ 2.3 ค่าศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อนของก๊าซเรือนกระจกชนิดต่างๆ	14
ตารางที่ 2.4 สัดส่วนของดีเซล ไบโอดีเซล และเอทานอล สำหรับผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ.....	20
ตารางที่ 2.5 คุณสมบัติของไบโอดีเซลที่ผลิตด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน	23
ตารางที่ 2.6 ก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาจากกระบวนการผลิตและการเปลี่ยนแปลง พื้นที่ในจังหวัดกระบี่ ชลบุรี และปทุมธานี	24
ตารางที่ 2.7 ข้อมูลปริมาณวัตถุดิบและพลังงานในขั้นตอนการปลูกปาล์มและขั้นตอน การผลิตน้ำมันปาล์ม	26
ตารางที่ 3.1 สรุปรูปตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ศึกษาวิฤภาคของสารโดยใช้แผนภูมิสามเหลี่ยม.....	30
ตารางที่ 3.2 ข้อมูลของ DEHYDOL LS 1 (EO1) และ ออกทานอล (Octanol).....	31
ตารางที่ 3.3 สรุปรูปตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ศึกษาปริมาณสารเข้า/ออก และพลังงานในการผลิต เชื้อเพลิงชีวภาพด้วยกระบวนการไมโครอิมัลชัน รวมทั้งค่าความหนืดและ ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวภาพ.....	34
ตารางที่ 3.4 สรุปรูปตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ศึกษาปริมาณสารเข้า ออก และพลังงานในการผลิต ไบโอดีเซลด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน รวมทั้งค่าความหนืดและค่า ความร้อนของไบโอดีเซล.....	37
ตารางที่ 3.5 บัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ผลิตด้วยกระบวนการ ไมโครอิมัลชัน.....	39
ตารางที่ 3.6 บัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของไบโอดีเซลที่ผลิตด้วยกระบวนการ ทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน.....	39
ตารางที่ 4.1 ค่าความหนืดของเชื้อเพลิงชีวภาพจากกระบวนการไมโครอิมัลชัน	42
ตารางที่ 4.2 ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวภาพจากกระบวนการไมโครอิมัลชัน	44
ตารางที่ 4.3 ปริมาณสารที่เหมาะสมในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ 1 ลิตรด้วย กระบวนการไมโครอิมัลชัน	45
ตารางที่ 4.4 ค่าความหนืดของไบโอดีเซลจากกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน	46
ตารางที่ 4.5 ค่าความร้อนของไบโอดีเซลจากกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน	46

ตารางที่ 4.6 ปริมาณสารที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซล 1 ลิตร (ยังไม่เป็นส่วนของกลีเซอรอล) ด้วยกระบวนการทรานส์เอสเตอร์ฟิเคชัน.....	47
ตารางที่ 4.7 ข้อมูลสารขาเข้าและพลังงานจากกระบวนการปลูกปาล์มต่อ น้ำมันปาล์มโอเลอิน 1 ลิตร.....	48
ตารางที่ 4.8 ข้อมูลสารขาเข้าและพลังงานจากกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มโอเลอินต่อ น้ำมันปาล์มโอเลอิน 1 ลิตร.....	50
ตารางที่ 4.9 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการได้มาของน้ำมันปาล์มโอเลอิน.....	52



สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 2.1_ปริมาณการใช้พลังงานทดแทนรูปแบบต่างๆ เทียบเท่าน้ำมันดิบ..... 3

ภาพที่ 2.2 ปริมาณการผลิตและการใช้น้ำมันปาล์มในประเทศไทย และสัดส่วน
การใช้ น้ำมันปาล์มในประเทศไทย..... 5

ภาพที่ 2.3 ทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของไตรกลีเซอไรด์กับแอลกอฮอล์..... 7

ภาพที่ 2.4 ประเภทของไมโครอิมัลชัน..... 10

ภาพที่ 2.5 โครงสร้างโมเลกุลสารลดแรงตึงผิว..... 11

ภาพที่ 2.6 แผนภูมิสามเหลี่ยม..... 12

ภาพที่ 2.7 กรอบการดำเนินงานของการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์..... 15

ภาพที่ 2.8 บัญชีรายการของการประเมินวัฏจักรชีวิตของปาล์มไบโอดีเซล..... 22

ภาพที่ 3.1 แผนผังรวมสรุปขั้นตอนทั้งหมดของการวิจัย..... 29

ภาพที่ 3.2 แผนผังการศึกษาภูมิภาคของสารโดยใช้แผนภูมิสามเหลี่ยม..... 32

ภาพที่ 3.3 หลอดแคณนอนเฟนสกี..... 33

ภาพที่ 3.4 แผนผังการทดลองผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ และวัดค่าความหนืดและค่าความร้อน..... 35

ภาพที่ 3.5 แผนผังการทดลองเพื่อศึกษาปริมาณสารที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลด้วย
กระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน และวัดค่าความหนืดและค่าความร้อน..... 38

ภาพที่ 4.1 สัดส่วนที่เหมาะสมที่ทำให้เชื้อเพลิงชีวภาพมีลักษณะใสและเป็นเนื้อเดียวกัน..... 41

ภาพที่ 4.2 เชื้อเพลิงชีวภาพจากกระบวนการไมโครอิมัลชัน..... 42

ภาพที่ 4.3 เปรียบเทียบค่าความหนืดของเชื้อเพลิงชีวภาพที่อุณหภูมิต่างๆ และสัดส่วนต่างๆ..... 43

ภาพที่ 4.4 บัญชีรายการข้อมูลของเชื้อเพลิงชีวภาพ (น้ำมันร้อยละ 50) ที่ผลิตด้วย
กระบวนการไมโครอิมัลชัน..... 44

ภาพที่ 4.5 บัญชีรายการข้อมูลของเชื้อเพลิง (น้ำมันร้อยละ 60) ที่ผลิตด้วย
กระบวนการไมโครอิมัลชัน..... 45

ภาพที่ 4.6 บัญชีรายการข้อมูลของไบโอดีเซล (B100) ที่ผลิตด้วย
กระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน..... 47

ภาพที่ 4.7 ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาจากวัฏดุติบจากกระบวนการปลูกปาล์ม..... 49

ภาพที่ 4.8 ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาจากวัฏดุติบจากกระบวนการผลิต
น้ำมันปาล์มโอเลอิน..... 51

ภาพที่ 4.9 ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาจากขั้นตอนต่างๆของการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ
ที่สัดส่วนน้ำมันร้อยละ 50 และ 60 ด้วยกระบวนการไมโครอิมัลชัน..... 53

ภาพที่ 4.10 ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากเชื้อเพลิงชีวภาพ (น้ำมันร้อยละ 50) ที่ผลิตด้วย กระบวนการไมโครอิมัลชัน.....	55
ภาพที่ 4.11 ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากเชื้อเพลิงชีวภาพ (น้ำมันร้อยละ 60) ที่ผลิตด้วย กระบวนการไมโครอิมัลชัน.....	57
ภาพที่ 4.12 ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาจากเชื้อเพลิงชีวภาพที่ผลิตด้วย กระบวนการไมโครอิมัลชัน.....	58
ภาพที่ 4.13 ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาจากขั้นตอนต่างๆของการผลิตไบโอดีเซล ที่สัดส่วน B100 และ B70 ด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน.....	60
ภาพที่ 4.14 ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากไบโอดีเซล (B100) ที่ผลิตด้วย กระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน.....	62
ภาพที่ 4.15 ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากไบโอดีเซล (B70) ที่ผลิตด้วย กระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน.....	64
ภาพที่ 4.16 ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาจากการผลิตไบโอดีเซลจาก กระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน.....	65
ภาพที่ 4.17 เปรียบเทียบปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากเชื้อเพลิงชีวภาพที่ผลิตด้วย กระบวนการไมโครอิมัลชันที่สัดส่วนน้ำมันร้อยละ 50 และ 60 และไบโอดีเซล ที่ผลิตด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันที่สัดส่วน B100 และ B70.....	67

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันพลังงานเป็นปัจจัยสำคัญในการขับเคลื่อนพัฒนาประเทศในด้านต่างๆ ประกอบกับเชื้อเพลิงมีราคาสูงขึ้น รวมถึงปัญหาสภาวะโลกร้อนทำให้มีการคิดค้น พัฒนาพลังงานทดแทนอย่างกว้างขวาง น้ำมันพืชเป็นแหล่งพลังงานทางเลือกหนึ่งที่มีความน่าสนใจ อย่างไรก็ตามการใช้้ำมันพืชโดยตรงจะทำให้เกิดปัญหาเครื่องยนต์ เนื่องจากน้ำมันพืชมีความหนืดสูง โดยทั่วไปการลดความหนืดของน้ำมันพืชสามารถทำได้ 4 กระบวนการหลัก คือ กระบวนการใช้น้ำมันพืชผสมกับน้ำมันดีเซลโดยตรง (Blending) กระบวนการไพโรไลซิส (Pyrolysis) กระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน (Transesterification) และกระบวนการไมโครอิมัลชัน (Microemulsion)

การวิเคราะห์ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกสู่ชั้นบรรยากาศในกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพสามารถทำได้หลายวิธี การประเมินวัฏจักรชีวิต (Life cycle assessment : LCA) เป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในการประกอบการตัดสินใจในการดำเนินกระบวนการผลิต

งานวิจัยนี้สนใจทำการศึกษาวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์ของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ผลิตด้วยกระบวนการไมโครอิมัลชัน โดยเปรียบเทียบกับกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน เพื่อพิจารณาผลกระทบที่เกิดขึ้น และแนวทางหรือความเป็นไปได้ในการผลิตพลังงานทดแทนที่มีประสิทธิภาพและเป็นเชื้อเพลิงที่สะอาด เนื่องจากในอนาคตการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพจะมีความสำคัญและมีบทบาทมากขึ้น การเลือกพิจารณาการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยกระบวนการไมโครอิมัลชัน จึงเป็นแนวทางหนึ่งที่น่าสนใจเพราะไม่เกิดผลิตภัณฑ์พลอยได้และทำได้ง่าย ทั้งนี้ต้องมีความเข้าใจถึงลักษณะของสารที่ใช้ในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ รวมทั้งต้องมีการประเมินวัฏจักรชีวิตของกระบวนการผลิตด้วย เพื่อเป็นข้อมูลประกอบการตัดสินใจในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์ของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ผลิตด้วยกระบวนการไมโครอิมัลชัน

1.2.2 เพื่อเปรียบเทียบปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาจากการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพที่ผลิตด้วยกระบวนการไมโครอิมัลชันและกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 การประเมินวัฏจักรชีวิตของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ผลิตด้วยกระบวนการไมโครอิมัลชันและไบโอดีเซลจากกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยศึกษาตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบซึ่งก็คือผลปาล์ม การผลิตน้ำมันปาล์มโอเลอินเพื่อใช้ผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ และกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ (Cradle to gate)

1.3.2 ศึกษาวัฏจักรชีวิตของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ผลิตด้วยกระบวนการไมโครอิมัลชัน และไบโอดีเซลที่ผลิตด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยใช้ข้อมูลจากการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการ

1.3.3 ในขั้นตอนการทำการทดลองดำเนินการ ณ อุณหภูมิห้อง ที่ห้องปฏิบัติการวิจัย ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.3.4 น้ำมันพืชที่ใช้ทดลอง คือ น้ำมันปาล์ม

1.3.5 กระบวนการไมโครอิมัลชันใช้ Dehydrol LS 1 TH (EO1) เป็นสารลดแรงตึงผิว ออกทานอล (Octanol) เป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม และ เอทานอล (Ethanol) เป็น aqueous phase และกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันจะใช้ เมทานอล (Methanol) เป็นตัวทำปฏิกิริยา และ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยเป็นการผลิตแบบไม่ต่อเนื่อง โดยเชื้อเพลิงชีวภาพที่ได้จากกระบวนการไมโครอิมัลชันผลิตครั้งละ 1 ลิตร และไบโอดีเซลที่ได้จากกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันผลิตครั้งละ 200 มิลลิลิตร

1.3.6 คำนวณเปรียบเทียบก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาจากกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยกระบวนการไมโครอิมัลชัน และไบโอดีเซลด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันในหน่วยกิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อลิตรเชื้อเพลิงชีวภาพ ($\text{kg CO}_2 \text{ eq/L biofuel}$) และกิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อเมกะจูลเชื้อเพลิงชีวภาพ ($\text{kg CO}_2 \text{ eq/MJ biofuel}$)

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 เพื่อได้มาซึ่งข้อมูลที่ใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยกระบวนการไมโครอิมัลชันในแต่ละหน่วยการผลิต

1.4.2 เพื่อใช้ประกอบการตัดสินใจในการเลือกใช้กระบวนการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ

1.4.3 เพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้นสำหรับศึกษาปริมาณสารเข้าและออกจากกระบวนการผลิต และสามารถใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการหาค่ากฏการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของกระบวนการผลิต (Emission factor)

บทที่ 2

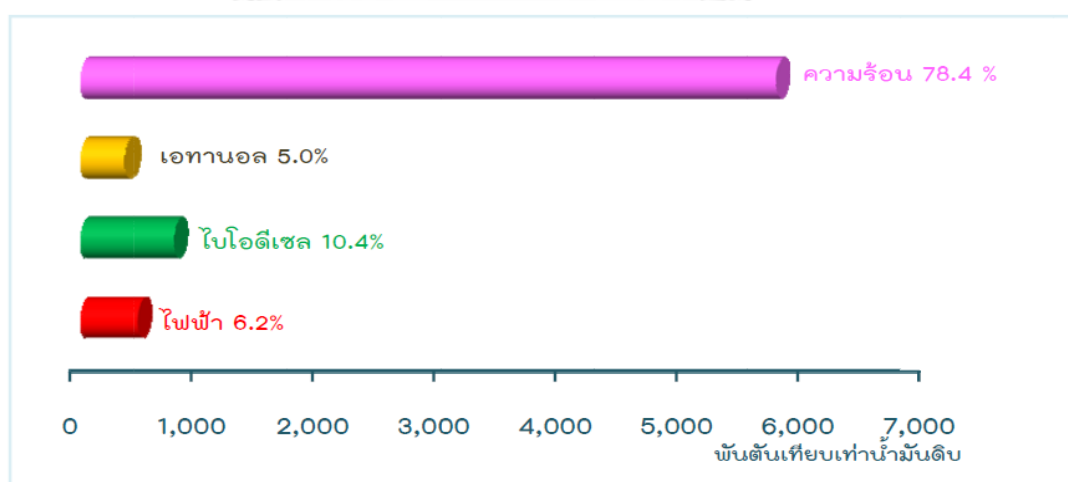
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 เชื้อเพลิงชีวภาพ

เชื้อเพลิงชีวภาพ (Biofuel) คือ เชื้อเพลิงที่ได้จากชีวมวล (Biomass) ทั้งจากพืชและสัตว์ ที่อยู่ในรูปของแข็ง ของเหลวหรือก๊าซ เชื้อเพลิงชีวภาพเป็นพลังงานที่ยั่งยืน สามารถช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาจากการเผาไหม้เมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงชนิดอื่นเมื่อเทียบในอัตราต่อหน่วยการใช้เชื้อเพลิง (Delfort และคณะ, 2008)

เนื่องมาจากราคาน้ำมันเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องประกอบกับความต้องการพลังงานในการพัฒนาเศรษฐกิจและอุตสาหกรรม ทำให้เชื้อเพลิงชีวภาพถูกนำมาพิจารณาใช้เป็นเชื้อเพลิงทางเลือก อีกทั้งเชื้อเพลิงชีวภาพยังช่วยลดการใช้ทรัพยากรที่ใช้แล้วหมดไป จึงถือว่าเป็นเชื้อเพลิงทดแทนที่มีความยั่งยืนและเป็นเชื้อเพลิงที่สะอาด

จากนโยบายของรัฐบาลที่ส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทนที่ผลิตได้ในประเทศไทย ประกอบด้วย พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานน้ำ พลังงานลม ชีวมวล แก๊สชีวภาพ ชยะ และเชื้อเพลิงชีวภาพ (เอทานอล และไบโอดีเซล) โดยได้มีแผนพัฒนาและส่งเสริมพลังงานทดแทนระหว่างปี พ.ศ. 2555-2564 ให้มีการใช้พลังงานทดแทนอย่างน้อยร้อยละ 25 ได้ส่งผลให้มีการใช้พลังงานทดแทนในรูปไฟฟ้า ความร้อน และเชื้อเพลิงชีวภาพ ในปี 2555 เพิ่มขึ้นจากปีก่อนร้อยละ 14.3 คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 9.9 ของการใช้พลังงานทั้งหมด ส่วนการใช้ปริมาณพลังงานทดแทนเทียบเท่าน้ำมันดิบพบว่าไบโอดีเซลมีปริมาณการใช้พลังงานทดแทนเทียบเท่าน้ำมันดิบประมาณ 1000 ตัน ดังภาพที่ 2.1 (กรมพัฒนาพลังงานทดแทน และอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2555)



ภาพที่ 2.1 ปริมาณการใช้พลังงานทดแทนรูปแบบต่างๆ เทียบเท่าน้ำมันดิบ
ที่มา: (กรมพัฒนาพลังงานทดแทน และอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2555)

สำหรับไบโอดีเซล ประเทศไทยเริ่มสนับสนุนการผลิตและใช้ไบโอดีเซลตั้งแต่ปี พ.ศ. 2548 แต่เริ่มนิยมใช้ในปี พ.ศ. 2551 เนื่องมาจากรัฐบาลบังคับให้ผลิตไบโอดีเซลประเภท B2 ซึ่งมีสัดส่วน

ของไบโอดีเซลร้อยละ 2 และดีเซลร้อยละ 98 ต่อมาในปี พ.ศ. 2553 ได้มีการบังคับให้ผลิตไบโอดีเซลประเภท B3 ซึ่งมีสัดส่วนของไบโอดีเซลร้อยละ 3 และดีเซลร้อยละ 97 และในปัจจุบันมีการผลิตไบโอดีเซลประเภท B5 ซึ่งประกอบไปด้วยไบโอดีเซลร้อยละ 5 และดีเซลร้อยละ 95 โดยรัฐบาลได้ใช้มาตรการทางภาษีสนับสนุนการใช้ B5 ด้วย

นอกจากนี้ประเทศไทยเริ่มมีการวิจัยดีโซฮอล (Diesohol) เพื่อใช้เป็นพลังงานเชื้อเพลิงทดแทนการใช้ น้ำมันดีเซล ดีโซฮอล คือ การนำน้ำมันดีเซลมาผสมกับแอลกอฮอล์ โดยใช้สารเติมแต่งเป็นตัวช่วยทำปฏิกิริยาให้น้ำมันดีเซลผสมรวมเป็นเนื้อเดียวกับแอลกอฮอล์ การผลิตดีโซฮอลในประเทศไทยเริ่มขึ้นในปี พ.ศ.2541 โครงการสวนพระองค์จิตรลดา ได้ทำการทดลองผสมดีโซฮอล โดยใช้แอลกอฮอล์บริสุทธิ์ร้อยละ 95 น้ำมันดีเซล และสารเติมแต่งที่อัตราส่วน 14:85:1 จากผลการทดลองพบว่าหลังจากใช้ในเครื่องยนต์การเกษตรกำลังจะลดลง จึงต้องมีการดัดแปลงระบบจ่ายน้ำมัน ถึงจะสามารถใช้งานได้ดี ทั้งนี้จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยได้มีส่วนร่วมในการปรับปรุงและพัฒนาดีโซฮอล โดยใช้ไบโอดีเซลเป็นสารเติมแต่ง ซึ่งปัจจุบันยังอยู่ในขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย (กระทรวงพลังงาน, 2556)

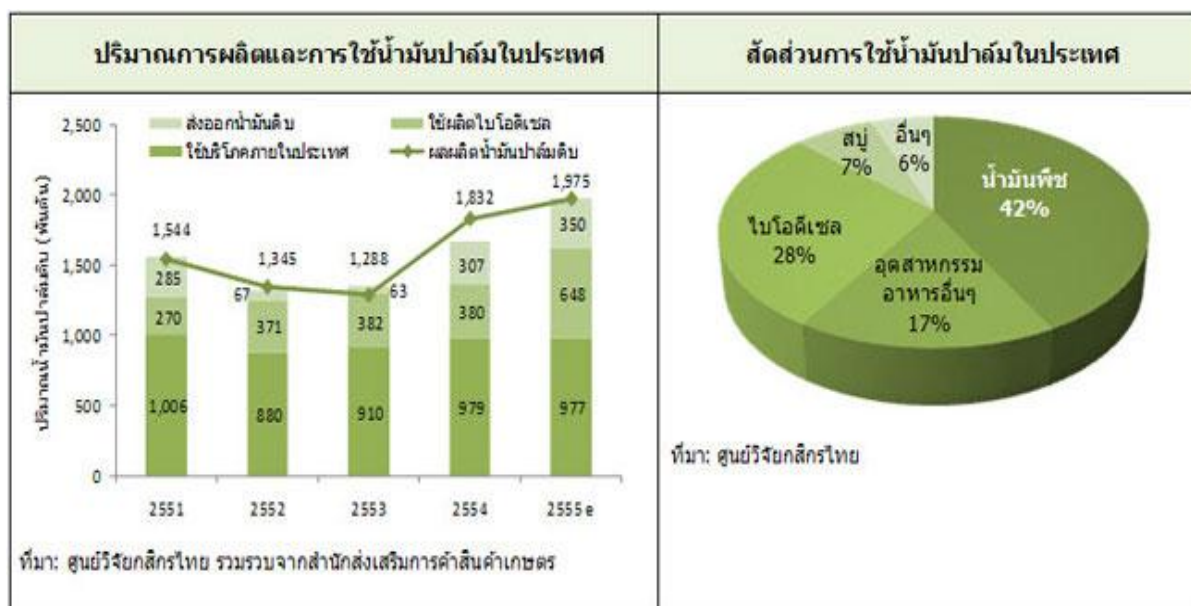
ปัจจุบันน้ำมันพืชได้รับความสนใจเพิ่มขึ้นจากการนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพ เช่น น้ำมันปาล์ม น้ำมันจากถั่ว น้ำมันจากดอกทานตะวัน เป็นต้น แต่อย่างไรก็ตามน้ำมันพืชมีค่าความหนืดสูง จึงไม่เหมาะสมกับการนำไปใช้ในเครื่องยนต์โดยตรง (Attaphong และคณะ, 2012) ดังนั้นต้องมีกระบวนการเพื่อลดความหนืดก่อนนำไปใช้ในเครื่องยนต์

2.2 น้ำมันปาล์ม

ปาล์มน้ำมัน เป็นพืชที่ให้น้ำมันออกมา ผลปาล์มน้ำมัน เป็นพืชน้ำมันซึ่งมีน้ำมันอยู่ร้อยละ 56 โดยน้ำมันปาล์มที่ได้จะได้ออกมาจากผลปาล์ม 2 ส่วนคือ ส่วนแรกจากเปลือกหุ้มภายนอก (mesocarp) จะได้น้ำมันออกมาซึ่งเรียกว่าน้ำมันจากเนื้อปาล์ม (crude palm oil: CPO) และส่วนที่สองคือ เนื้อในของเมล็ดปาล์ม (palm kernel) น้ำมันที่ได้ออกมาจะเรียกว่า น้ำมันจากเมล็ดปาล์ม (crude palm kernel oil: CPKO)

ประเทศไทยและประเทศในกลุ่มเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ปลูกต้นปาล์มน้ำมันเป็นจำนวนมาก สำหรับประเทศไทยพบว่าในตลาร้อยละ 70 ของน้ำมันพืชเป็นน้ำมันปาล์ม (Naksuk และคณะ, 2009) นอกจากนี้ในปัจจุบันยังมีการขยายพื้นที่ปลูกต้นปาล์มไปทั่วทุกภาคของประเทศไทย รวมทั้งมีโครงการปลูกต้นปาล์มน้ำมัน เพื่อให้เพียงพอต่อการนำมาใช้ในชีวิตประจำวันและใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซล ดังนั้นน้ำมันปาล์มจึงถือได้ว่าเป็นพืชน้ำมันที่มีศักยภาพที่จะนำมาใช้ผลิตพลังงานทางเลือก คุณสมบัติของน้ำมันปาล์ม แสดงในตารางที่ 2.1

ปาล์มน้ำมันจัดว่าเป็นพืชเศรษฐกิจสำคัญของประเทศไทย โดยสามารถผลิตน้ำมันปาล์มได้ปีละประมาณ 1.9 ล้านตัน การผลิตน้ำมันปาล์มดิบในประเทศไทยในปี 2555 มีแนวโน้มที่จะขยายตัวร้อยละ 5 ถึง 7 จากปีก่อน โดยพบว่าสัดส่วนการใช้ น้ำมันปาล์มในการผลิตไบโอดีเซลอยู่ที่ร้อยละ 28 ดังภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 ปริมาณการผลิตและการใช้น้ำมันปาล์มในประเทศไทย และสัดส่วนการใช้น้ำมันปาล์มในประเทศไทย (ศูนย์วิจัยกสิกรไทย, 2556)

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติของน้ำมันปาล์ม

คุณสมบัติ	ค่าที่ได้	หน่วย
ความหนืด (kinematic viscosity) ที่อุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส	39.6	ตารางมิลลิเมตรต่อวินาที (ตร.มม./วินาที)
จำนวนซีเทน (cetane number)	42.0	-
ค่าที่เริ่มขุ่น (Cloud point)	31.0	องศาเซลเซียส (°C)
จุดวาบไฟ (Flash point)	267	องศาเซลเซียส (°C)
ความหนาแน่น (Density)	0.9180	กิโลกรัมต่อลิตร (กก./ล)

ที่มา: (Srivastava และคณะ, 2000)

2.3 กระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์

กระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ประกอบด้วย 2 กระบวนการคือ กระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบและกระบวนการทำให้น้ำมันปาล์มดิบบริสุทธิ์ โดย 1 ตันของผลปาล์มจะผลิตน้ำมันปาล์มดิบได้ประมาณ 0.163 ตัน และน้ำมันปาล์มดิบ 1.073 ตัน จะได้น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ 1 ตัน (Pleanjai และคณะ, 2009) โดยกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบประกอบด้วย 4 ขั้นตอนหลัก (สำนักงานพัฒนาวิจัยการเกษตร) ดังนี้

1) การอบทะลายด้วยไอน้ำ (Sterilization) การอบทะลายเป็นกระบวนการที่ทำให้ผลปาล์มอ่อนนุ่มและหลุดออกจากชั้วได้ง่าย โดยการอบจะทำที่อุณหภูมิ 130 ถึง 135 องศาเซลเซียส ที่ความดัน 2.5 ถึง 3 บาร์ เป็นเวลา 50 ถึง 75 นาที

2) การแยกผล (Stripping) เป็นการแยกผลปาล์มออกจากทะเลลาย โดยจะนำผลปาล์มที่ได้ไปย่อยด้วยเครื่องย่อยปาล์ม เพื่อให้ส่วนเปลือกปาล์มแยกออกจากเมล็ด

3) การสกัดน้ำมัน (Oil extraction) กระบวนการนี้จะนำส่วนเปลือกปาล์มมาอบที่อุณหภูมิ 90 ถึง 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 ถึง 30 นาที จากนั้นจะนำไปบีบเพื่อให้ได้น้ำมันปาล์มดิบออกมา ซึ่งน้ำมันปาล์มดิบจะประกอบด้วยน้ำมันร้อยละ 66 น้ำร้อยละ 44 และของแข็งร้อยละ 10

4) การทำความสะอาดน้ำมันปาล์มดิบ (Clarification) น้ำมันปาล์มดิบที่ได้จากการสกัดจะถูกกรองเพื่อแยกน้ำและของแข็งออก

กระบวนการกลั่นบริสุทธิ์น้ำมันปาล์ม (Refine processing) แบ่งได้เป็น 2 วิธีหลักๆ คือ

1) วิธีทางกายภาพ (physical or Steam refining) เป็นกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระโดยผ่านไอน้ำเข้าไปในน้ำมันร้อน แล้วแยกกรดไขมันอิสระและสารที่ทำให้เกิดกลิ่นออก โดยมีขั้นตอนดังนี้

1.1 เพิ่มอุณหภูมิน้ำมันปาล์มที่ 90 ถึง 100 องศาเซลเซียส และทำปฏิกิริยากับกรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 80 ถึง 85 ปริมาณกรดฟอสฟอริกร้อยละ 0.05 ถึง 0.2 ของน้ำมันปาล์มดิบเป็นเวลา 15 ถึง 30 นาที

1.2 เติมผงฟอกสีร้อยละ 0.8 ถึง 2.0 ของน้ำมันปาล์มดิบ และฟอกสีภายใต้สภาวะสุญญากาศที่อุณหภูมิ 95 ถึง 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 ถึง 45 นาที

1.3 นำน้ำมันปาล์มผ่านเข้าเครื่องกรองจะได้น้ำมันที่ไม่มีฟอสโฟลิปิด และกลิ่นที่อุณหภูมิ 240 ถึง 270 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ถึง 2 ชั่วโมง ภายใต้สุญญากาศจะได้น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์

2) วิธีทางเคมี (Chemical refining) เป็นกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระโดยใช้สารเคมี สารเคมีที่นิยมคือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ หรือ โซเดียมคาร์บอเนต และทำปฏิกิริยากับกรดไขมันอิสระในน้ำมันให้เกิดเป็นสบู่ จากนั้นแยกสบู่ออกโดยมีขั้นตอนดังนี้

2.1 ใส่กรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 80 ถึง 85 ปริมาณร้อยละ 0.05 ถึง 0.2 ในน้ำมันปาล์มดิบที่อุณหภูมิ 80 ถึง 90 องศาเซลเซียส

2.2 ใส่สารละลายต่างเพื่อทำให้เกิดสบู่ และแยกสบู่ด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยง และล้างโซสบู่ด้วยน้ำ จากนั้นให้ความร้อนแก่น้ำมันเพื่อไล่น้ำให้ระเหยออก นำน้ำมันมาฟอกสีและกำจัดกลิ่นด้วยไอน้ำจะได้น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์

2.4 กระบวนการลดความหนืดน้ำมันพืช

กระบวนการลดความหนืดน้ำมันพืชมี 4 กระบวนการหลัก คือ การผสมน้ำมันดีเซลกับน้ำมันพืชโดยตรง (Blending) ไพโรไลซิส (Pyrolysis) ทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (Transesterification) และไมโครอิมัลชัน (Microemulsion) (Srivastava และคณะ, 2000)

2.4.1 การผสมน้ำมันดีเซลกับน้ำมันพืชโดยตรง (Blending)

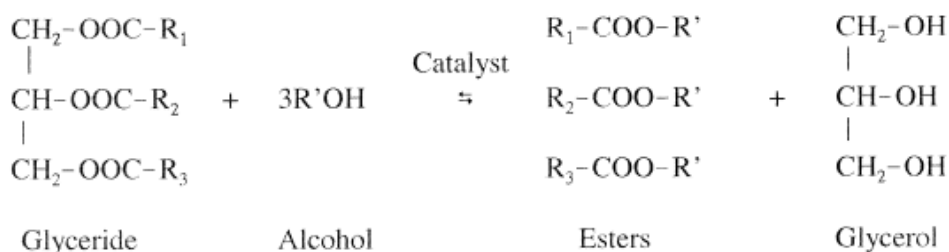
การผสมโดยตรง เป็นวิธีการที่ผสมน้ำมันดีเซลกับน้ำมันพืชโดยตรง โดยไม่มีการเปลี่ยนรูป ไม่มีการเติมสารลดแรงตึงผิวเพิ่มเติม หรืออาจเป็นการใช้น้ำมันพืชโดยไม่มีการผสมสารใดๆ แทนน้ำมันดีเซล ข้อดีของการใช้น้ำมันพืชแทนการใช้ดีเซลคือ เป็นการใช้น้ำมันจากธรรมชาติ ค่าความร้อนสูง (ร้อยละ 80 ของน้ำมันดีเซล) และเป็นน้ำมันที่พร้อมใช้อยู่แล้ว แต่มีข้อเสียคือ ความหนืดสูง และอาจเกิดปฏิกิริยาของไฮโดรคาร์บอนที่ไม่เสถียร นอกจากนี้ยังมีปัญหาในเรื่องขององค์ประกอบต่างๆ รวมถึงการเผาไหม้ในเครื่องยนต์ (Ma และคณะ, 1999)

2.4.2 ไพโรไลซิส (Pyrolysis)

ไพโรไลซิส เป็นกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางเคมี โดยใช้ความร้อนภายใต้สภาวะที่ขาดอากาศ ในการเผาไหม้แบบไพโรไลซิสของไตรกลีเซอไรด์ (triglycerides) จะได้ผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสมสำหรับใช้เป็นเชื้อเพลิงดีเซล การเผาไหม้ขององค์ประกอบของไตรกลีเซอไรด์ทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ประเภทพันธะเดี่ยว (alkane) พันธะคู่ (alkene) พันธะคู่ 2 ตำแหน่ง (alkadienes) อะโรมาติก (aromatic) และ กรดคาร์บอกซิลิก (carboxylic acids) ทั้งนี้ความแตกต่างของประเภทน้ำมัน ทำให้เกิดความแตกต่างขององค์ประกอบของน้ำมันที่เผาไหม้ การเผาไหม้แบบไพโรไลซิสทำให้ไบโอดีเซลที่ได้มีความหนืดน้อยและเลขซีเทนที่สูงเมื่อเทียบกับการใช้น้ำมันพืชเพียงอย่างเดียวในการผลิตไบโอดีเซล กระบวนการไพโรไลซิสของน้ำมันพืช มีค่าซัลเฟอร์ (sulphur) น้ำ (water) และกากตะกอน (sediment) เป็นค่าที่ผ่านมาตรฐาน แต่ในทางกลับกัน ขี้เถ้า (ash) คาร์บอนที่เหลืออยู่ (carbon residue) และจุดไหลเท (pour point) เป็นคุณสมบัติที่ไม่ผ่านมาตรฐาน (Srivastava และคณะ, 2000)

2.4.3 ทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

ทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน เป็นปฏิกิริยาเพื่อลดความหนืดของน้ำมัน โดยเปลี่ยนกรดไขมันหรือน้ำมัน เป็นเอสเทอร์ โดยทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ เช่น เมทานอล เอทานอล บิวทานอล เป็นต้น โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (catalyst) ในการทำปฏิกิริยาเพื่อทำให้ไตรกลีเซอไรด์และแอลกอฮอล์รวมเป็นเนื้อเดียวกัน และได้กลีเซอรอล (glycerol) เป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นไปดังภาพที่ 2.3 (Lam และคณะ, 2010)



ภาพที่ 2.3 ทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของไตรกลีเซอไรด์กับแอลกอฮอล์ (Ma และคณะ, 1999)

จากสมการเคมีของกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน จะเห็นได้ว่าการใช้แอลกอฮอล์ต่อไตรกลีเซอไรด์ในอัตราส่วน 3:1 โดยโมล มีการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาร่วมด้วย ทั้งนี้ตัวเร่งปฏิกิริยาในการทำปฏิกิริยามีหลายชนิด เช่น เบส กรด หรือเอนไซม์ เป็นต้น โดยทั่วไปนิยมใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เพราะทำให้ปฏิกิริยาดำเนินไปได้เร็วที่สุด ตัวอย่างตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นเบส เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) แมกนีเซียมไดออกไซด์ (MgO) เป็นต้น ตัวอย่างตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นกรด เช่น กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) กรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) กรดไฮโดรคลอริก (HCl) เป็นต้น โดยประเภทของตัวเร่งปฏิกิริยาแบ่งได้ดังนี้

1) ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นเนื้อเดียวกับไบโอดีเซลที่ผลิตด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน (Homogeneous Catalyst Transesterification)

ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นเนื้อเดียวกับไบโอดีเซล ต้องการวัตถุดิบในการทำปฏิกิริยาที่มีความบริสุทธิ์สูง แบ่งเป็น 2 ชนิด คือ ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นเบส และกรด

1.1) ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นเบสและเป็นเนื้อเดียวกับไบโอดีเซล (Homogeneous base catalytic transesterification)

ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นเบสและเป็นเนื้อเดียวกับไบโอดีเซล ใช้กันอย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรม เพราะ ทำปฏิกิริยาได้รวดเร็ว มีความสามารถในการทำปฏิกิริยาสูง เงื่อนไขในการทำปฏิกิริยาน้อย ใช้ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาในการทำปฏิกิริยาต่ำ และสามารถทำปฏิกิริยาได้ที่อุณหภูมิต่ำ และความดันต่ำ (20 ถึง 75 องศาเซลเซียส และ 1.4 ถึง 4.2 บาร์) แต่มีข้อเสียคือ มีความอ่อนไหวกับความบริสุทธิ์ของสารที่ทำปฏิกิริยา กรดไขมันอิสระ และความเข้มข้นของน้ำที่ใช้ล้าง ถ้าน้ำมันประกอบด้วยกรดไขมันอิสระและน้ำจำนวนมากจะไม่สามารถผลิตไบโอดีเซลได้ แต่จะกลายเป็นสบู่ ซึ่งสบู่เป็นสาเหตุที่ทำให้ความหนืดสูง เกิดการสร้างเจลเป็นผลให้ไบโอดีเซลไม่มีคุณภาพและทำให้แยกกลีเซอรอลได้ยาก ตัวอย่างตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดนี้ เช่น ไฮดรอกไซด์ (OH) โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) โพแทสเซียมคาร์บอเนต (K_2CO_3) และตัวที่นิยมมากที่สุดคือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH)

1.2) ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นกรดและเป็นเนื้อเดียวกับไบโอดีเซล (Homogeneous acid catalytic transesterification)

ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นกรดและเป็นเนื้อเดียวกับไบโอดีเซล จะทำให้ปฏิกิริยาสมบูรณ์ ต้องมีการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นเบสหลังจากตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นกรดทำปฏิกิริยาเรียบร้อยแล้ว การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นกรดจะผสมโดยตรงกับน้ำมันและแอลกอฮอล์ การเกิดไบโอดีเซลสามารถเกิดขึ้นได้ตั้งแต่ขั้นตอนของการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นกรด โดยแอลกอฮอล์มีหน้าที่ 2 อย่างคือ เป็นตัวทำละลายและสารทำปฏิกิริยาในปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน (esterification) ข้อดีของตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดนี้ คือ มีความอ่อนไหวต่อกรดไขมันอิสระต่ำ ส่วนข้อเสีย คือ ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิสูง (50 ถึง 150 องศาเซลเซียส) อ่อนไหวต่อความเข้มข้นของน้ำในการทำปฏิกิริยา อัตราการเกิดปฏิกิริยาต่ำ ยากต่อการนำกลับมาใช้ใหม่ กัดกร่อนอุปกรณ์ เวลาในการทำปฏิกิริยานาน ใช้ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยากรดสูง กระบวนการซับซ้อน ตัวอย่างของตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดนี้ เช่น กรดไฮโดรคลอริก (HCl) กรดซัลโฟนิก ($-SO_3H$) เป็นต้น

2) ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกับไบโอดีเซลที่ผลิตด้วยกระบวนการทรานส์-เอสเทอร์ฟิเคชัน (Heterogeneous Catalyst Transesterification)

ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกับไบโอดีเซล มีข้อดี คือ ทำให้สามารถแยกตัวเร่งปฏิกิริยากลับมาใช้ใหม่ได้ง่าย ไม่ก่อให้เกิดสบู มีประสิทธิภาพสูง ทนสภาวะรุนแรงได้มากกว่าแบบตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีสถานะเดียวกันกับไบโอดีเซล มีผลผลิตสูง กลีเซอรอลมีความบริสุทธิ์กว่าเมื่อเทียบกับตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นเนื้อเดียวกับไบโอดีเซล ทางกลับกันก็มีการใช้พลังงานมากกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นเนื้อเดียวกับไบโอดีเซล สามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นเบส และกรด

2.1) ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นเบสและไม่เป็นเนื้อเดียวกับไบโอดีเซล (Heterogeneous solid-base catalyst transesterification)

ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นเบสและไม่เป็นเนื้อเดียวกับไบโอดีเซล มีความสามารถในการทำปฏิกิริยาได้มากกว่าแบบกรด โดยจะทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิประมาณจุดเดือดของเมทานอล ส่วนใหญ่จะใช้กับระบบเครื่องปฏิกรณ์แบบพื้นนิ่ง (fixed-bed reactor) เพราะง่ายต่อการแยกตัวเร่งปฏิกิริยา ข้อดีของตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดนี้คือ มีอายุการใช้งานนาน ความสามารถในการทำปฏิกิริยาค่อนข้างสูง ละลายในเมทานอลได้ดี แต่ก็มีข้อเสียคือ อัตราในการทำปฏิกิริยาช้า ตัวอย่างของตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดนี้ เช่น ซีโอไลต์ (zeolites) โลหะเบสออกไซด์ที่พบบนพื้นโลก (alkaline earth metal oxides) และที่นิยมใช้ทางอุตสาหกรรม คือ แคลเซียมออกไซด์ (CaO) และแมกนีเซียมออกไซด์ (MgO)

2.2) ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นกรดและไม่เป็นเนื้อเดียวกับไบโอดีเซล (Heterogeneous solid-acid catalyst transesterification)

ถึงแม้ว่าตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นกรดและไม่เป็นเนื้อเดียวกับไบโอดีเซลมีความสามารถในการทำปฏิกิริยาที่ต่ำ แต่ก็ถูกใช้งานกันอย่างกว้างขวางเพราะตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดนี้ ประกอบด้วยกรดหลากหลายประเภทที่มีค่าความแข็งแรงของกรดเบรินสเตด (Bronsted acid) หรือกรดลิวอิส (Lewis acid) ที่ต่างกันเมื่อเทียบกับตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นกรดและมีสถานะเดียวกันกับไบโอดีเซล ข้อดีของตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดนี้คือ ไม่อ่อนไหวต่อกรดไขมันอิสระ เกิดเอสเทอร์ฟิเคชันพร้อมกับการทรานส์-เอสเทอร์ฟิเคชัน ลดขั้นตอนการทำไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์ ง่ายต่อการแยกตัวเร่งปฏิกิริยา ตัวอย่างตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดนี้ เช่น Nafion-NR50 ซัลเฟต เซอร์โคเรเนีย (sulfated zirconia)

3) ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นชีวภาพ ผลิตจากไลเปส (lipases) จากแบคทีเรีย ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ความสามารถในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นชีวภาพแบ่งเป็น 2 ชนิด

3.1) ไลเปสที่อยู่นอกเซลล์ (extracellular lipases) เช่น เอนไซม์ที่สร้างมาจากผลิตภัณฑ์ของสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กและทำให้บริสุทธิ์

3.2) ไลเปสที่อยู่ในเซลล์ (intracellular lipases) เป็นไลเปสที่อยู่ในผนังเซลล์ซึ่งเอนไซม์ไม่สามารถเคลื่อนที่ได้

ข้อดีของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นชีวภาพคือ ไม่สร้างผลิตภัณฑ์พลอยได้ แยกผลิตภัณฑ์ออกง่าย ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิปกติ (35 ถึง 40 องศาเซลเซียส) สามารถนำตัวเร่งปฏิกิริยากลับมาใช้ใหม่ได้ ส่วนข้อเสียคือ มีราคาสูง เกิดปฏิกิริยาช้า

2.4.4 ไมโครอิมัลชัน

ไมโครอิมัลชัน คือการผสมของเหลวสองชนิดที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกันให้สามารถรวมเป็นเนื้อเดียวกันได้ โดยอาศัยสารลดแรงตึงผิว (surfactant) และสารลดแรงตึงผิวร่วม (cosurfactant) เป็นตัวประสานของเหลวสองชนิดเข้าด้วยกัน กระบวนการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพโดยวิธีไมโครอิมัลชันทั่วไปจะใช้ น้ำมันพืช แอลกอฮอล์ สารลดแรงตึงผิว และสารลดแรงตึงผิวร่วม (Srivastava และคณะ, 2000) การทำไมโครอิมัลชันเพื่อลดค่าความหนืดของน้ำมันพืชที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซล ขนาดหยดของเอทานอลที่ได้จากกระบวนการไมโครอิมัลชันมีขนาดระหว่าง 1 ถึง 150 นาโนเมตร

ไมโครอิมัลชันมีอยู่ 4 รูปแบบ ที่เรียกว่า Winsor type (Naksuk และคณะ, 2009)

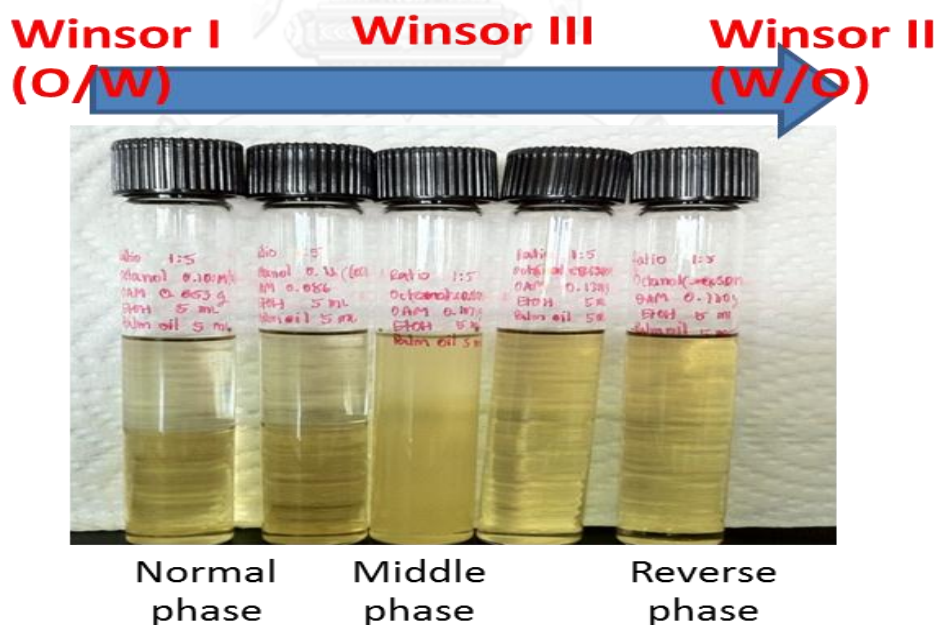
Winsor type I (oil-in-water or O/W) เป็นลักษณะของไมโครอิมัลชันที่หยดน้ำมันอยู่ในน้ำ โครงสร้างแบบนี้เรียกว่า normal micelle form

Winsor type II (water-in-oil or W/O) เป็นลักษณะของไมโครอิมัลชันที่หยดน้ำอยู่ในน้ำมัน โครงสร้างแบบนี้เรียกว่า reverse micelle form

Winsor type III (middle phase) เป็นลักษณะของไมโครอิมัลชันที่มี 3 ชั้น คือ น้ำมันลอยอยู่ด้านบน น้ำอยู่ด้านล่าง และมีเฟสของไมโครอิมัลชันอยู่ตรงกลาง

Winsor type IV (single phase) เป็นลักษณะของไมโครอิมัลชันที่มีความหนืดขึ้น

การผลิตไบโอดีเซลด้วยกระบวนการไมโครอิมัลชัน จะพิจารณา winsor type II เพราะมีลักษณะใส เป็นเนื้อเดียวกันเมื่อพิจารณาด้วยตาเปล่า ดังภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 ประเภทของไมโครอิมัลชัน (วราภรณ์ ว่องไวพิจารณ์ และคณะ, 2555)

ข้อดีของไมโครอิมัลชัน คือ ทำได้ง่าย ไม่เกิดผลพลอยได้ ประหยัดพลังงาน และไม่มีน้ำเสียเกิดขึ้น (Naksuk และคณะ, 2009)

2.5 สารลดแรงตึงผิวและสารลดแรงตึงผิวร่วม (Surfactant and Cosurfactant)

สารลดแรงตึงผิว (Surfactant) เป็นสารประกอบที่มีคุณสมบัติลดแรงตึงผิวของของเหลว ทำให้สามารถลดแรงตึงผิวระหว่างของเหลวกับของเหลว ของเหลวกับของแข็ง และของเหลวกับก๊าซ โดยเป็นตัวช่วยยึดติดกันระหว่างพื้นผิว เป็นผลให้การกระจายตัวของของเหลวดีขึ้น ตัวอย่างสารลดแรงตึงผิว เช่น Sorbitan monooleate (Tween 80) Sodium dodecylsulfate (SDS) ethylene oxide (EO1) เป็นต้น สารลดแรงตึงผิวประกอบด้วย 2 ส่วนคือ

1) ส่วนหัว เป็นบริเวณที่ชอบน้ำ (hydrophilic) มีลักษณะเป็นไอออน (ionic) หรือกลุ่มที่มีขั้วสูง (high polar group) จะเกาะติดกับโมเลกุลของน้ำ บริเวณส่วนหัวสามารถแบ่งตามประจุได้ 4 ชนิดคือ

- ประจุลบ (anion) เช่น สบู่ และแอลคิลเบนซีน ซัลโฟเนต (alkylbenzene sulfonate)
- ประจุบวก (cation) เช่น กลุ่มของแอมโมเนียม (ammonium) และกลุ่มของเอมีน (amine)
- มีทั้งประจุลบและประจุบวก (zwitterionic) โดยจะแสดงคุณสมบัติได้ทั้งสองประจุขึ้นกับสภาพแวดล้อม เช่น กลุ่มของอะมิโน (amino acid)
- ไม่มีประจุ (nonionic) เช่น กลุ่มของกรดไขมัน (fatty acid)

2) ส่วนหาง เป็นบริเวณที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) จะมีลักษณะเป็นไฮโดรคาร์บอนสายยาว หรือกลุ่มที่ไม่มีขั้ว (non polar group) จะเกาะติดกับโมเลกุลของน้ำมัน



ภาพที่ 2.5 โครงสร้างโมเลกุลสารลดแรงตึงผิว

สารลดแรงตึงผิวร่วม (Cosurfactant) เป็นสารที่มีหน้าที่ป้องกันการสร้างโครงสร้างที่เป็นของแข็ง เช่น เจล (gel) ผลึกเหลว (liquid crystals) และการตกตะกอน (precipitation) อีกทั้งสารลดแรงตึงผิวร่วมยังช่วยลดความตึงผิว เพิ่มค่าพลังงานเอนโทรปี (entropy) ของระบบ และทำให้ปฏิกิริยาเกิดเร็วขึ้นกว่าปกติ ตัวอย่างสารลดแรงตึงผิวร่วม (Bidyut และคณะ, 2001) เช่น ออกทานอล (Octanol) บิวทานอล (Butanol) เป็นต้น โดยปกติสารลดแรงตึงผิวร่วมจะหาได้ง่ายกว่า และมีราคาถูกกว่าสารลดแรงตึงผิว

2.6 ค่า HLB (Hydrophilic Lipophilic Balance : HLB)

ค่าความชอบน้ำ คือ ค่าที่บ่งบอกความเป็นขั้วหรือความชอบน้ำของสาร สามารถหาได้จากอัตราส่วนระหว่างส่วนที่ชอบน้ำ (Hydrophilic) และส่วนที่ชอบน้ำมัน (Lipophilic) ของโมเลกุล ดังนั้นถ้าค่า HLB สูง แสดงว่าสารชนิดนั้นมีความชอบน้ำมาก และมีความเป็นขั้วสูง เป็นผลให้น้ำละลายปนในน้ำมันได้มาก

2.7 แผนภูมิสามเหลี่ยม (Tertiary Phase Diagram)

แผนภูมิสามเหลี่ยมเป็นกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนของสารต่อการเปลี่ยนแปลงวัฏภาค ประกอบไปด้วย สาร A B และ C โดยค่าที่นำมาคิดเป็นสัดส่วนของร้อยละ ดังภาพที่ 2.6 (Mitra และคณะ, 2006) เมื่อนำค่าสัดส่วนมารวมกันในแต่ละจุดได้ค่าเท่ากับ 100

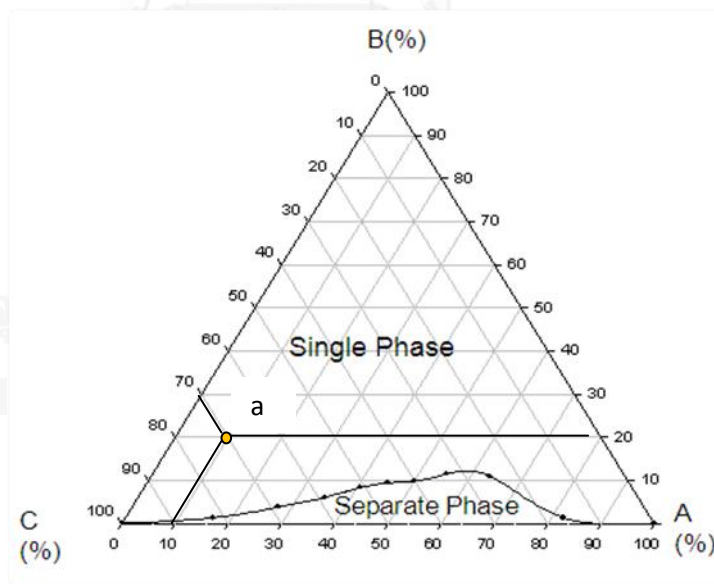
ในการวิจัยนี้ กำหนดให้

A คือ สัดส่วนของเอทานอล

B คือ สัดส่วนของสารลดแรงตึงผิวรวมกับสารลดแรงตึงผิวร่วม

C คือ น้ำมันปาล์มโอเลอินผสมกับดีเซล

จากภาพที่ 2.6 บริเวณที่อยู่เหนือเส้น แสดงลักษณะของเชื้อเพลิงชีวภาพที่มีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกันและใส (Single phase) โดยจุด a แสดงถึงปริมาณสัดส่วนที่ประกอบด้วยเอทานอลร้อยละ 20 สารลดแรงตึงผิวรวมกับสารลดแรงตึงผิวร่วมร้อยละ 10 และน้ำมันปาล์มโอเลอินผสมกับดีเซลร้อยละ 70



ภาพที่ 2.6 แผนภูมิสามเหลี่ยม (Kwancharon และคณะ, 2007)

2.8 มาตรฐานของน้ำมันดีเซล และไบโอดีเซล

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติของน้ำมันดีเซลและไบโอดีเซล ตามมาตรฐาน ASTM (D975 และ D6751)

คุณสมบัติ	น้ำมันดีเซล	ไบโอดีเซล	หน่วย
ค่าความหนืด (kinematic viscosity) ที่ 40 องศาเซลเซียส	1.9-4.1	1.9-6.0	ตารางมิลลิเมตรต่อวินาที (mm ² /s)
จุดวาบไฟ (Flash point) ต่ำสุด	52	93	องศาเซลเซียส (°C)
จำนวนซีเทน (cetane number)	40	47	-
ค่าที่เริ่มขุ่น (cloud point)	-	-	-
คาร์บอนที่เหลืออยู่ (carbon residue) มากสุด	0.35	0.05	ร้อยละโดยน้ำหนัก (% mass)
เถ้า (ash) มากสุด	0.01	0.02	ร้อยละโดยน้ำหนัก (% mass)
ซัลเฟอร์ (sulphur) มากสุด	0.05	0.015	ร้อยละโดยน้ำหนัก (% mass)
อัตราการกัดกร่อนทองแดง ที่ 50 องศาเซลเซียส	No.3	No.3	-
น้ำและตะกอน มากสุด	0.05	0.05	ร้อยละโดยปริมาตร (% vol)

ที่มา: (ASTM) (ASTM D975 และ ASTM D6751)

2.9 ก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse gas: GHGs)

ก๊าซเรือนกระจก คือ ก๊าซที่มีคุณสมบัติในการดูดกลืนความร้อนของรังสี ซึ่งมีอยู่หลายชนิด ทั้งที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติและที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ ก๊าซเรือนกระจกนี้มีคุณสมบัติทำให้โลกร้อนขึ้น แต่ถ้าไม่มีก๊าซเรือนกระจกก็จะทำให้อุณหภูมิบนโลกไม่สมดุล คือ กลางวันร้อนมาก และกลางคืนหนาวมาก (องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน))

ก๊าซเรือนกระจกที่ควบคุมในพิธีสารเกียวโต ประกอบไปด้วยก๊าซ 6 ชนิด คือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ก๊าซมีเทน (CH₄) ก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N₂O) ก๊าซไฮโดรฟลูออโรคาร์บอน (HFCs) ก๊าซเพอร์ฟลูออโรคาร์บอน (PFCs) และก๊าซซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์ (SF₆) นอกจากนี้ยังมีก๊าซเรือนกระจกอีกชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญ ที่มนุษย์สร้างขึ้น คือ สารซีเอฟซี (CFC) หรือ คลอโรฟลูออโรคาร์บอน (Chlorofluorocarbon) ซึ่งต่างก็มีค่าศักยภาพที่ทำให้เกิดภาวะโลกร้อน (Global warming potential: GWP) แตกต่างกัน ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อนของก๊าซเรือนกระจกชนิดต่างๆ

ชนิดของก๊าซเรือนกระจก	ค่าศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อน
ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO ₂)	1
ก๊าซมีเทน (CH ₄)	25
ก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N ₂ O)	298
ก๊าซไฮโดรฟลูออโรคาร์บอน (HFCs)	124-14,800
ก๊าซเพอร์ฟลูออโรคาร์บอน (PFCs)	7,390-12,200
ก๊าซซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์ (SF ₆)	22,800

ที่มา: (IPCC, 2007)

2.10 ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse gas emission factor: GHG E.F.)

ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก เป็นค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาจากผลิตภัณฑ์ มี 2 รูปแบบ คือ

- ก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาจากขั้นตอนการผลิต (gate to gate)
- ก๊าซเรือนกระจกที่รวมการปล่อยตั้งแต่ในขั้นตอนการได้มาซึ่งวัตถุดิบจนถึงขั้นตอนการผลิต (cradle to gate)

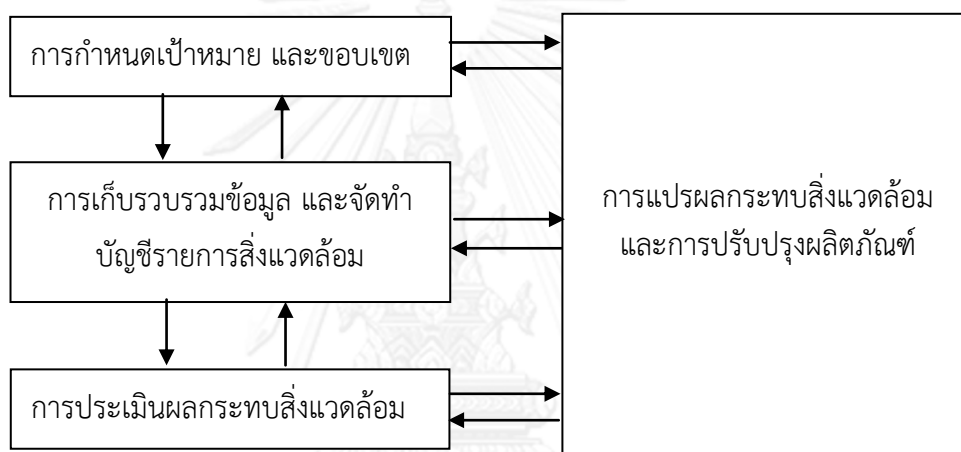
2.11 กระบวนการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ (Life cycle assessment: LCA)

การประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ เป็นเครื่องมือที่ใช้ประเมินคุณภาพของวัตถุดิบ พลังงาน คุณภาพสิ่งแวดล้อม บริการและเทคโนโลยี อยู่ในการจัดการมาตรฐาน ISO14040 การประเมิน

วัฏจักรชีวิตถือว่าเป็นเครื่องมือที่นิยมในการประเมินคุณภาพสิ่งแวดล้อมของเชื้อเพลิงชีวภาพ โดยเก็บข้อมูลจาก ค่าพลังงานที่ใช้ วัตถุดิบ ของเสียรวมถึงมลพิษที่เกิดจากกระบวนการที่ทำการวิเคราะห์

กรอบการดำเนินงานของการประเมินวัฏจักรชีวิตแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอนหลัก ดังภาพที่ 2.7 ซึ่งประกอบไปด้วย

- 1) การกำหนดเป้าหมาย และขอบเขต (Goal and Scope definition)
- 2) การเก็บรวบรวมข้อมูล และจัดทำบัญชีรายการสิ่งแวดล้อม (Life Cycle Inventory: LCI)
- 3) การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม (Life Cycle Impact Assessment : LCIA)
- 4) การแปลผลกระทบสิ่งแวดล้อม (Life Cycle Interpretation)



ภาพที่ 2.7 กรอบการดำเนินงานของการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์
(International Standardization Organization, 2006)

2.11.1 การกำหนดเป้าหมาย และขอบเขต (Goal and Scope Definition)

การกำหนดเป้าหมาย และขอบเขตเป็นขั้นตอนแรกในการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ โดยจุดมุ่งหมายและขอบเขตต้องมีความชัดเจนและเหมาะสมกับการนำไปใช้งาน รวมทั้งต้องระบุหน่วยหน้าที่ที่พิจารณา

2.11.2 การเก็บรวบรวมข้อมูล และจัดทำบัญชีรายการสิ่งแวดล้อม (Life Cycle Inventory: LCI)

การเก็บรวบรวมข้อมูล แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ

- 1) ข้อมูลปฐมภูมิ เป็นข้อมูลที่ได้จากการเก็บข้อมูลด้วยตนเอง เช่น ข้อมูลจากการทดลอง การสังเกต การสัมภาษณ์ การจดบันทึก ซึ่งถือว่าเป็นข้อมูลที่มีความน่าเชื่อถือ

2) ข้อมูลทุติยภูมิ เป็นข้อมูลที่ได้จากการมีผู้เก็บรวบรวมไว้แล้ว เช่น ข้อมูลจากวิทยานิพนธ์ วารสารต่างๆ รายงานผลกระทบสิ่งแวดล้อม ฐานข้อมูลในซอฟต์แวร์ต่างๆ เป็นต้น

การจัดทำบัญชีรายการสิ่งแวดล้อม

บัญชีรายการสิ่งแวดล้อม เป็นการจัดเก็บข้อมูลของสารขาเข้า (Input) และสารขาออก (Output) ของระบบผลิตภัณฑ์ที่ศึกษา ทั้งนี้ต้องพิจารณาถึงสมดุลมวลสารของระบบผลิตภัณฑ์ ในบางกรณีข้อมูลที่จัดเก็บต้องทำการป้อนส่วน ซึ่งการป้อนส่วนจะทำเมื่อกระบวนการผลิตที่ทำการวิเคราะห์ ได้ทั้งผลิตภัณฑ์ และผลิตภัณฑ์ร่วม (by products) ออกมา การป้อนส่วนมีหลายวิธี แบ่งเป็น 3 วิธีหลักๆ ดังนี้

1) การป้อนส่วนเชิงเทคนิค

การป้อนส่วนเชิงเทคนิค เป็นการป้อนส่วนที่ใช้ข้อมูลที่ต้องการเทียบกับผลิตภัณฑ์มาใช้คำนวณ เช่น เมื่อต้องการคำนวณปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิตน้ำดื่ม 2 ประเภท ข้อมูลที่ต้องนำมาคิดเพื่อเป็นส่วน คือปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิตน้ำดื่มแต่ละประเภท ตัวอย่างการคำนวณโดยใช้การป้อนส่วนเชิงเทคนิค

การผลิตน้ำผลไม้สองชนิดคือ น้ำส้ม และน้ำองุ่น ข้อมูลการผลิตเป็นดังนี้

น้ำส้ม ปริมาณ 500 ลิตร

น้ำองุ่น ปริมาณ 200 ลิตร

ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ทั้งหมด 5 เมกะวัตต์ชั่วโมง

จงหาปริมาณการใช้ไฟฟ้าของน้ำผลไม้แต่ละประเภท

วิธีการคำนวณ

- น้ำส้ม ใช้ไฟฟ้าในการผลิตทั้งสิ้น 160 กิโลวัตต์ชั่วโมง ต่อลิตร
- น้ำองุ่น ใช้ไฟฟ้าในการผลิตทั้งสิ้น 180 กิโลวัตต์ชั่วโมง ต่อลิตร

$$\begin{aligned} \text{น้ำส้ม ใช้ไฟฟ้าร้อยละ} &= (160 \times 500) \times 100 / (160 \times 500 + 180 \times 200) \\ &= 69.0 \end{aligned}$$

ดังนั้นปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิตน้ำส้ม = $0.690 \times 5 = 3.45$ เมกะวัตต์ชั่วโมง

$$\begin{aligned} \text{น้ำองุ่น ใช้ไฟฟ้าร้อยละ} &= (180 \times 200) \times 100 / (160 \times 500 + 180 \times 200) \\ &= 31.0 \end{aligned}$$

ดังนั้นปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิตน้ำองุ่น = $0.310 \times 5 = 1.55$ เมกะวัตต์ชั่วโมง

2) การป้อนส่วนเชิงมูลค่า

การป้อนส่วนเชิงมูลค่า เป็นการป้อนส่วนโดยใช้ข้อมูลทางการเงินของผลิตภัณฑ์ โดยต้องทราบว่าแต่ละผลิตภัณฑ์มีมูลค่าเท่าไรในหน่วยการผลิต ตัวอย่างการคำนวณการป้อนส่วนเชิงมูลค่า

การผลิตน้ำผลไม้สองชนิดคือ น้ำส้ม และน้ำองุ่น ข้อมูลการผลิตเป็นดังนี้

น้ำส้ม ปริมาณ 500 ลิตร ราคา 100 บาทต่อลิตร

น้ำองุ่น ปริมาณ 200 ลิตร ราคา 150 บาทต่อลิตร

ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ทั้งหมด 5 เมกะวัตต์ชั่วโมง

จงหาปริมาณการใช้ไฟฟ้าของน้ำผลไม้แต่ละประเภท

วิธีการคำนวณ

$$\begin{aligned} \text{น้ำส้ม ใช้ไฟฟ้าร้อยละ} &= (500 \times 100) \times 100 / (500 \times 100 + 200 \times 150) \\ &= 62.5 \end{aligned}$$

ดังนั้นปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิตน้ำส้ม = $0.625 \times 5 = 3.125$ เมกะวัตต์ชั่วโมง

$$\begin{aligned} \text{น้ำองุ่น ใช้ไฟฟ้าร้อยละ} &= (200 \times 150) \times 100 / (500 \times 100 + 200 \times 150) \\ &= 37.5 \end{aligned}$$

ดังนั้นปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิตน้ำองุ่น = $0.375 \times 5 = 1.875$ เมกะวัตต์ชั่วโมง

3) การปันส่วนเชิงกายภาพ

การปันส่วนเชิงกายภาพ เป็นการปันส่วนโดยใช้มูลค่าเชิงน้ำหนัก ปริมาตร โมล พื้นที่ และพลังงาน เข้ามาเปรียบเทียบ ตัวอย่างการคำนวณการปันส่วนเชิงกายภาพ

การผลิตน้ำผลไม้สองชนิดคือ น้ำส้ม และน้ำองุ่น ข้อมูลการผลิตเป็นดังนี้

น้ำส้ม ปริมาณ 500 ลิตร

น้ำองุ่น ปริมาณ 200 ลิตร

ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ทั้งหมด 5 เมกะวัตต์ชั่วโมง

จงหาปริมาณการใช้ไฟฟ้าของน้ำผลไม้แต่ละประเภท

วิธีการคำนวณ

$$\begin{aligned} \text{น้ำส้ม ใช้ไฟฟ้าร้อยละ} &= (500 \times 100) / (500 + 200) \\ &= 71.4 \end{aligned}$$

ดังนั้นปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิตน้ำส้ม = $0.714 \times 5 = 3.57$ เมกะวัตต์ชั่วโมง

$$\begin{aligned} \text{น้ำองุ่น ใช้ไฟฟ้าร้อยละ} &= (200 \times 100) / (500 + 200) \\ &= 28.6 \end{aligned}$$

ดังนั้นปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิตน้ำองุ่น = $0.286 \times 5 = 1.43$ เมกะวัตต์ชั่วโมง

2.10.3 การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม (Life Cycle Impact Assessment : LCIA)

ประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม เป็นขั้นตอนเพื่อศึกษาและประเมินระดับผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมว่าด้านใดมีความสำคัญแก่การพิจารณาในระบบผลิตภัณฑ์ ซึ่งจะทำให้การแปรข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อม ให้อยู่ในรูปผลกระทบที่ทำการศึกษา โดยผลกระทบแบ่งเป็น 2 ชั้น ดังนี้

1) ผลกระทบชั้นกลาง เป็นผลกระทบที่ศึกษาในด้านผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เช่น การเกิดรูรั่วโอโซนในชั้นบรรยากาศ (Ozone depletion) การที่สาหร่ายเติบโตมากเกินไป (Eutrophication) การเกิดภาวะโลกร้อน (Global warming) เป็นต้น

2) ผลกระทบชั้นปลาย เป็นผลกระทบที่เกิดขึ้นเนื่องจากผลกระทบชั้นกลาง โดยแสดงในรูปความเสียหาย เช่น ความเสียหายที่เกิดกับสุขภาพอนามัย (Human health) ความเสียหายที่เกิดกับแหล่งทรัพยากร (Resource) เป็นต้น

การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม ประกอบด้วย 5 ขั้นตอน ดังนี้

1) *การกำหนดชนิดและประเภทของผลกระทบ (Category definition)*

การกำหนดชนิด ประเภทของผลกระทบ เป็นขั้นตอนเลือกผลกระทบที่เราต้องการศึกษา เช่น การเกิดภาวะโลกร้อน (Global warming) การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate change) การเกิดภาวะความเป็นกรดในดิน และแหล่งน้ำ (Acidification) การสิ้นเปลืองพลังงาน (Energy depletion) เป็นต้น

2) *การจำแนกกลุ่มผลกระทบ (Classification)*

การจำแนกกลุ่มผลกระทบ เป็นขั้นตอนวิเคราะห์ว่าตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ที่ศึกษา ปล่อยมลพิษอะไรออกมาบ้าง และจัดอยู่ในกลุ่มผลกระทบประเภทไหน โดยมลสาร 1 ชนิดอาจก่อให้เกิดผลกระทบในหลายด้าน

3) *การกำหนดบทบาท (Characterization)*

การกำหนดบทบาท เป็นการพิจารณาถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นในเชิงปริมาณจากสารต่างๆ ที่อยู่ในบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมที่พิจารณาไว้แล้ว โดยคิดเป็นค่าศักยภาพในการปลดปล่อยก๊าซต่างๆ ในการกำหนดบทบาทจะได้ค่าผลกระทบด้านต่างๆ ที่มีหน่วยแตกต่างกันขึ้นกับประเภทของผลกระทบ หากต้องการเปรียบเทียบผลกระทบแต่ละประเภทต้องแสดงในรูปของร้อยละเปรียบเทียบกันระหว่างผลิตภัณฑ์ที่มีผลกระทบมาก กับผลิตภัณฑ์ที่มีผลกระทบน้อย โดยให้ผลิตภัณฑ์ที่มีผลกระทบมากมีค่าเป็น 100 และให้ผลิตภัณฑ์ที่มีผลกระทบน้อยเป็นตัวเปรียบเทียบที่มีค่าน้อยกว่า 100 แต่ทั้งนี้การคิดในรูปของร้อยละ ไม่ได้คำนึงถึงค่าความสำคัญของผลกระทบที่เกิดขึ้น

4) *การจัดกลุ่มและเทียบหน่วย (Normalization)*

การจัดกลุ่มและเทียบหน่วย เป็นการแสดงให้เห็นว่าผลกระทบที่เกิดขึ้นในแต่ละด้าน มีความสำคัญต่อปัญหาสิ่งแวดล้อมมากน้อยเพียงใด โดยสามารถคำนวณได้ตามสมการ (2.1) ดังต่อไปนี้

$$\text{ค่าจากการเทียบหน่วย} = \frac{\text{ค่าผลกระทบจากการกำหนด}}{\text{ปริมาณรวมของก๊าซที่ได้จากผลิตภัณฑ์}} \quad (2.1)$$

ปริมาณรวมของก๊าซที่ได้จากผลิตภัณฑ์ (Normalization value) เป็นค่าที่ได้จากการทำวิจัยเพื่อหาว่าประชากร 1 คน สามารถทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้เท่าไร ซึ่งเป็นค่าที่จัดทำขึ้นเองในแต่ละประเทศ ไม่มีค่าเป็นสากล

5) *การให้น้ำหนักและความสำคัญ (Weighting, Valuation)*

การให้น้ำหนักและความสำคัญ เป็นการหาความรุนแรงของผลกระทบที่เกิดขึ้น โดยให้ความสำคัญของปัญหาแต่ละด้านแตกต่างกัน เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบผลกระทบที่เกิดขึ้นระหว่างผลิตภัณฑ์ที่ต่างชนิดกัน โดยสามารถคำนวณได้จากสมการ (2.2) ดังต่อไปนี้

$$\text{ค่าจากการให้น้ำหนักและความสำคัญ} = \text{ค่าความสำคัญ} \times \text{ค่าที่ได้จากการเทียบหน่วย} \quad (2.2)$$

ค่าความสำคัญ (Weighting factor) เป็นค่าที่แต่ละหน่วยงานกำหนด โดยขึ้นอยู่กับหน่วยงานให้ความสำคัญกับผลกระทบด้านใด

2.10.4 การแปรผลกระทบลีงวัตรล้อม (Life Cycle Interpretation)

การวิเคราะห์ผล เป็นการอธิบายผลที่เกิดขึ้น ว่าเหตุใดจึงเกิดผลกระทบ มีปัจจัยมาจากอะไรบ้าง เพื่อหาแนวทางการแก้ไขในอนาคตต่อไป

2.12 คาร์บอนฟุตพริ้นท์ (Carbon footprint)

คาร์บอนฟุตพริ้นท์ (Carbon footprint) คือปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นตลอดวัฏจักรชีวิตของสินค้าหรือผลิตภัณฑ์ ตั้งแต่ขั้นตอนการได้มาซึ่งวัตถุดิบจนถึงขั้นตอนการกำจัดซาก โดยทำการคิดในหน่วยของกิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (kg CO₂ equivalent: kg CO₂ eq) ต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ (พรทิพย์ วงศ์สุโขโต, 2554)

ขอบเขตในการวิเคราะห์คาร์บอนฟุตพริ้นท์แบ่งออกเป็น 2 รูปแบบหลักๆ คือ

- Business to Business (B2B) หรือ Cradle to gate เป็นกระบวนการที่วิเคราะห์ตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบจนเสร็จสิ้นกระบวนการผลิต

- Business to Customer (B2C) หรือ Cradle to grave เป็นกระบวนการที่วิเคราะห์ตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบจนเสร็จสิ้นกระบวนการกำจัดซาก

การคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ ที่ได้จากกระบวนการต่างๆ ดังสมการ (2.3) และ (2.4)

$$\text{GHG emission} = \text{Activity data} \times \text{Emission factor} \quad (2.3)$$

$$\text{Carbon footprint} = \text{ผลรวมของ GHG ในแต่ละกระบวนการ} \quad (2.4)$$

2.13 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Meher และคณะ (2006) ศึกษาวิธีการผลิตไบโอดีเซลด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน โดยทำการศึกษาหาความเหมาะสมด้านต่างๆในการทำปฏิกิริยา

ประเภทของตัวเร่งปฏิกิริยา และความเข้มข้น การศึกษาตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นเบส ปกตินิยมใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ โดยผลการทดลองใช้ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาน้ำมันถั่วเหลือง 1 ต่อ น้ำมันพืช ผลการทดลองสรุปว่าปฏิกิริยาดำเนินไปได้อย่างสมบูรณ์ และการทำปฏิกิริยาของน้ำมัน ถั่วเหลืองกับโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 1 ให้ผลผลิตดีที่สุด

การศึกษาอัตราส่วนโดยโมลของแอลกอฮอล์ต่อน้ำมัน พบว่าอัตราส่วนของแอลกอฮอล์ต่อ น้ำมันไม่มีผลต่อค่าความเป็นกรด การทำให้เกิดสบู่ และค่าไอโอดีนของไบโอดีเซล อย่างไรก็ตาม อัตราส่วนของแอลกอฮอล์ต่อน้ำมันที่มากเกินไปมีผลกับการแยกตัวของกลีเซอรอล และเมื่อ กลีเซอรอลปนอยู่กับไบโอดีเซลจะทำให้ปฏิกิริยาผันกลับได้ และประสิทธิภาพต่ำ โดยปฏิกิริยาทรานส์ เอสเทอร์ิฟิเคชันของน้ำมันพืชกับแอลกอฮอล์ที่ทำปฏิกิริยากัน 3:1 ถึง 15:1 พบว่าประสิทธิภาพ เพิ่มขึ้นอัตราส่วนที่ 12:1 และอัตราส่วนที่ดีที่สุดคือช่วงระหว่าง 9:1 ถึง 12:1 สำหรับปฏิกิริยาที่จะ เกิดได้สมบูรณ์ต่ำที่สุดคือที่อัตราส่วน 6:1 (Meher และคณะ, 2006)

Kwancharoen และคณะ (2007) ศึกษาทดลองคุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ผลิตจากการผสมกันระหว่างน้ำมันดีเซล ไบโอดีเซล และเอทานอล รวมถึงศึกษามลพิษที่ปล่อยออกมาจาก เครื่องยนต์ดีเซล ในการทดลองใช้เอทานอลบริสุทธิ์ร้อยละ 95 99.5 และ 99.5 สัดส่วนของดีเซล

ไบโอดีเซล และเอทานอลเปลี่ยนแปลงไป โดยแต่ละองค์ประกอบจะปรับเปลี่ยนสัดส่วนจากร้อยละ 0 ถึง 100 โดยปริมาตร และทำการปรับเปลี่ยนสัดส่วนเพิ่มขึ้นทีละร้อยละ 10 ดังตารางที่ 2.4 ทำการทดลองที่อุณหภูมิ 10 20 30 และ 40 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

ตารางที่ 2.4 สัดส่วนของดีเซล ไบโอดีเซล และเอทานอล สำหรับผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ (Kwancharoen และคณะ, 2007)

ลำดับที่	ดีเซล (ร้อยละ)	ไบโอดีเซล (ร้อยละ)	เอทานอล (ร้อยละ)
1	90	10	0
2	90	5	5
3	90	0	10
4	85	15	0
5	85	10	5
6	85	5	10
7	85	0	15
8	80	15	5
9	80	10	10
10	80	5	15
11	100	0	0
12	0	100	0
13	0	0	100

จากการศึกษาผลกระทบของความเข้มข้นเอทานอลต่อความเสถียรของเชื้อเพลิงชีวภาพโดยไม่ผสมสารลดแรงตึงผิวที่อุณหภูมิห้อง เมื่อผสมเอทานอลบริสุทธิ์ร้อยละ 95 กับดีเซล พบว่าเชื้อเพลิงชีวภาพที่ได้ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน และเมื่อผสมไบโอดีเซลเพิ่มเข้าไปก็ไม่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันของดีเซลกับเอทานอลร้อยละ 95 เพราะเมื่อทิ้งไว้ 7 วันเชื้อเพลิงชีวภาพไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกัน แต่เอทานอลบริสุทธิ์ร้อยละ 99.5 และ 99.9 สามารถทำให้องค์ประกอบทั้งสามรวมเป็นเนื้อเดียวกันได้ทุกสัดส่วน แต่อย่างไรก็ตามหลังจาก 3 เดือนที่ทำการทดลอง เชื้อเพลิงชีวภาพจะกลับมาแยกเฟสกัน แต่ในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพจะใส่สารลดแรงตึงผิว เป็นผลให้เชื้อเพลิงชีวภาพที่ไดยังรวมเป็นเนื้อเดียวกัน

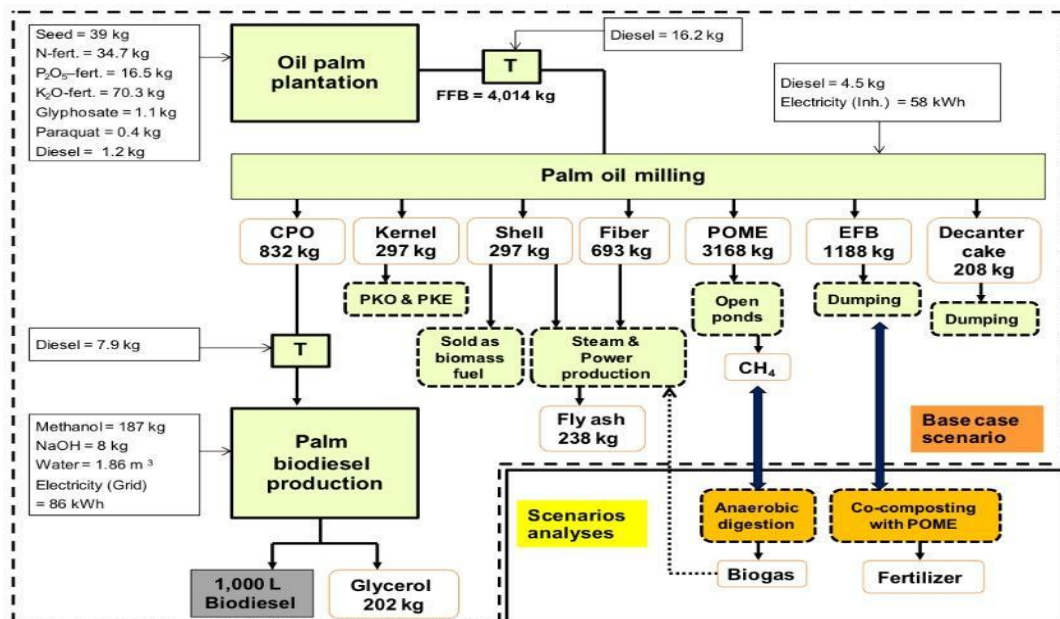
จากการศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิต่อความเสถียรของเชื้อเพลิงชีวภาพ พบว่าที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส การผสมน้ำมันดีเซลและเอทานอลบริสุทธิ์ร้อยละ 99.5 ในช่วงร้อยละ 20 ถึง 80 โดยปริมาตร ทำให้เชื้อเพลิงชีวภาพที่ได้ตกผลึกและแยกเป็น 2 ชั้น แต่เมื่อผสมไบโอดีเซลกับเอทานอล พบว่าเชื้อเพลิงชีวภาพที่ได้มีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน และเมื่อผสมไบโอดีเซลที่ร้อยละ 70 ถึง 100 โดยไม่เติมเอทานอล พบว่าเชื้อเพลิงชีวภาพที่ได้มีลักษณะเป็นเจล และที่สัดส่วนอื่นๆ พบว่าเชื้อเพลิงชีวภาพมีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกันในรูปแบบที่ตกผลึก

ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เกือบทุกสัดส่วนเชื้อเพลิงชีวภาพที่ได้เป็นเนื้อเดียวกัน ยกเว้น สัดส่วนที่ประกอบด้วยเอทานอลตั้งแต่ร้อยละ 30 ถึง 70 ผสมกับดีเซล โดยที่อัตราส่วนนี้เชื้อเพลิงชีวภาพจะแยกชั้นกัน

ที่อุณหภูมิ 30 และ 40 องศาเซลเซียส พบว่าที่ทุกสัดส่วนเป็นเนื้อเดียวกัน ดังนั้นที่ อุณหภูมิปกติในประเทศไทย จะไม่พบปัญหาการแยกชั้นเฟสของเชื้อเพลิงชีวภาพ (Kwancharoen และคณะ, 2007)

Pleanjai และ Gheewala (2009) ประเมินพลังงานที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมัน ปาล์มในประเทศไทย โดยแบ่งการประเมินเป็น 3 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนการปลูกปาล์ม ขั้นตอนการ ผลิตน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ และขั้นตอนการผลิตไบโอดีเซลด้วยกระบวนการทรานส์เอสเตอร์ริฟิเคชัน ใน ขั้นตอนการปลูกปาล์ม เก็บข้อมูลวัตถุดิบเข้าในการปลูกปาล์มที่จังหวัดกระบี่ ชุมพร และสุราษฎร์ ธานี เมื่อนำจำนวนมาเฉลี่ยกันต่อต้นผลปาล์ม (FFB) มีค่าดังนี้ ปุ๋ยไนโตรเจน 7.79 กิโลกรัม ปุ๋ย โฟสเฟตซีเอ็ม 0.05 กิโลกรัม ปุ๋ยโพแทสเซียม 14.41 กิโลกรัม ไกลโฟเสจ 0.28 กิโลกรัม พาราควอท 0.10 กิโลกรัม ในขั้นตอนการผลิตน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ ข้อมูลที่เก็บได้จากโรงงานผลิตพบว่า 1 ต้นของ ผลปาล์มสามารถผลิตน้ำมันปาล์มดิบได้ 0.163 ± 0.038 ตัน (1.073 ตันน้ำมันปาล์มดิบต่อ 1 ตันน้ำมัน ปาล์มบริสุทธิ์ (RPO)) ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิตน้ำมันปาล์มดิบแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ 13.560 ± 1.349 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อต้นผลปาล์ม และ 0.329 ± 0.340 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อต้นผลปาล์ม ส่วนปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ในการทำให้ไขมันปาล์มดิบบริสุทธิ์มีค่าเท่ากับ 1.17 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อต้น น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ ในขั้นตอนการผลิตไบโอดีเซล ความสามารถในการผลิตไบโอดีเซลมีค่าเท่ากับ 6000 ลิตรต่อวัน โดยกระบวนการนี้ใช้น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ต่อเมทานอลที่อัตราส่วน 5 ต่อ 1 โดย ปริมาตร และ โซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อเมทานอลที่ 1 ต่อ 20 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร พบว่าให้ ประสิทธิภาพในการผลิตสูงถึงร้อยละ 95 โดยน้ำหนัก ปริมาณกลีเซอรอลเท่ากับ 0.18 กิโลกรัมต่อ กิโลกรัมไบโอดีเซล ปริมาณการใช้ไฟฟ้าคือ 0.03 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อกิโลกรัมไบโอดีเซล (Pleanjai และ คณะ, 2009)

Silertruksa และ Gheewala (2011) ประเมินวัฏจักรชีวิตของปาล์มไบโอดีเซลใน ประเทศไทย โดยทำการประเมิน 3 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนการปลูกปาล์ม ขั้นตอนการผลิตน้ำมันปาล์ม บริสุทธิ์ และขั้นตอนการผลิตไบโอดีเซลด้วยกระบวนการทรานส์เอสเตอร์ริฟิเคชัน ในขั้นตอนการปลูก ปาล์ม เก็บข้อมูลวัตถุดิบเข้าในการปลูกปาล์มที่จังหวัดกระบี่ ชุมพร และสุราษฎร์ธานี โดยปริมาณ ข้อมูลเข้าและออกเป็นดังภาพที่ 2.8



ภาพที่ 2.8 บัญชีรายการของการประเมินวัฏจักรชีวิตของปาล์มไบโอดีเซล (Silertruksa และคณะ, 2012)

Hayyan และคณะ (2011) ศึกษาการลดกรดไขมันอิสระที่มีปริมาณสูงในตะกอนน้ำมันปาล์มโดยใช้สารเร่งปฏิกิริยาที่เป็นกรดเพื่อทำไบโอดีเซลปริมาตร 1.5 ลิตร การศึกษาแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนปรับปรุงตะกอนน้ำมันปาล์มโดยใช้กระบวนการเอสเทอร์ฟิเคชัน และขั้นตอนผลิตไบโอดีเซลโดยใช้กระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ในขั้นตอนแรกการทำเอสเทอร์ฟิเคชันตะกอนน้ำมันปาล์ม ใช้กรดซัลฟิวริก (H₂SO₄) ปริมาณร้อยละ 2.5 ถึง 2.75 โดยน้ำหนัก อัตราส่วนโมลของเมทานอลต่อตะกอนน้ำมันปาล์ม 6:1 ถึง 14:1 อุณหภูมิที่ใช้ในการทดลองอยู่ในช่วง 40 ถึง 80 องศาเซลเซียส เวลาในการทำปฏิกิริยาอยู่ในช่วง 30 ถึง 120 นาที และความเร็วในการกวนผสมอยู่ในช่วง 200 ถึง 800 รอบต่อนาที ผลการศึกษาพบว่าปริมาณกรดซัลฟิวริกที่ใช้ในช่วงร้อยละ 0.25 ถึง 0.5 โดยน้ำหนักต่อตะกอนน้ำมันปาล์มสามารถลดกรดไขมันอิสระในตะกอนน้ำมันปาล์มให้ต่ำกว่าร้อยละ 2 ผลการศึกษาอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อตะกอนน้ำมันปาล์มพบว่าที่อัตราส่วน 8:1 ถึง 10:1 สามารถลดปริมาณกรดไขมันอิสระจากร้อยละ 23.2 ให้มีปริมาณที่ต่ำกว่าร้อยละ 2 ผลอุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยา คือ 60 องศาเซลเซียส เวลาที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยา คือ 60 นาที ซึ่งเพียงพอต่อการทำปฏิกิริยาอย่างสมบูรณ์ และความเร็วในการกวนผสม ช่วง 200 ถึง 400 รอบต่อนาที สามารถทำให้การทำปฏิกิริยาสมบูรณ์

ขั้นตอนการทำทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ใช้อัตราส่วนโมลของเมทานอลต่อตะกอนน้ำมัน 10:1 อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 60 องศาเซลเซียส เวลาในการทำปฏิกิริยา 60 นาที ความเร็วในการกวนผสม 400 รอบต่อนาที และสารเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก ผลการศึกษาพบว่าได้น้ำมันไบโอดีเซลออกมาร้อยละ 83.73 (Hayyan และคณะ, 2011)

Shahbazi และคณะ (2011) ศึกษาสมบัติของไบโอดีเซลที่ผลิตด้วยกระบวนการทรานส์-เอสเทอร์ิฟิเคชัน โดยใช้ น้ำมันปาล์มเป็นวัตถุดิบหลักทำปฏิกิริยากับเมทานอลที่สัดส่วน 1:6 โดยโมล และใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาปริมาณร้อยละ 1 ของ น้ำมันปาล์มที่ใช้ ทำปฏิกิริยาที่ความเร็ว 600 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที ซึ่งคุณสมบัติของไบโอดีเซลเป็นไปตามตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 คุณสมบัติของไบโอดีเซลที่ผลิตด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน (Shahbazi และคณะ, 2012)

คุณสมบัติ	มาตรฐาน ASTM	ตัวเร่งปฏิกิริยาคือ โซเดียมไฮดรอกไซด์	ตัวเร่งปฏิกิริยาคือ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์
ค่าความหนืดที่ 40 ^o ซ (cSt)	1.9-6	4.59	4.61
จุดวาบไฟ (°ซ)	ต่ำสุดคือ 130	164	166
ความหนาแน่น (กรัม/ลบ.ม.)	-	0.875	0.876
ปริมาณกรด (มก. โพแทสเซียม-ไฮดรอกไซด์/กรัม)	มากที่สุดคือ 0.5	0.24	0.16
ปริมาณน้ำ และการตกตะกอน (ร้อยละโดยปริมาตร)	มากที่สุดคือ 0.05	0.042	0.036
เลขซีเทน	น้อยสุดคือ 47	49.13	49.05

ผลการวิจัยพบว่าไบโอดีเซลที่ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยามีคุณสมบัติต่างๆ ผ่านมาตรฐาน ASTM ดังนั้นไบโอดีเซลที่ได้จากกระบวนการทรานส์-เอสเทอร์ิฟิเคชันที่สัดส่วนดังกล่าวจึงสามารถนำไปใช้แทนดีเซลในเครื่องยนต์ได้

Lin และคณะ (2011) ศึกษาความเหมาะสมและเปรียบเทียบไบโอดีเซลในด้านต่างๆ ในด้านผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมพบว่าเมื่ออ้างอิงจากรายงานผลกระทบของเชื้อเพลิงชีวภาพของ EPA (EPA's Renewable Fuel Standard Program Regulatory Impact Analysis) เดือนกุมภาพันธ์ ปี ค.ศ. 2010 ไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันถั่วเหลืองสามารถช่วยลดก๊าซเรือนกระจกได้ร้อยละ 57 เมื่อเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงฟอสซิลและไบโอดีเซลที่ผลิตจากไขมันสัตว์สามารถลดก๊าซเรือนกระจกได้ ร้อยละ 86 ซึ่งจากความสำคัญของการลดก๊าซเรือนกระจกในหลายประเทศได้ออกกฎหมาย นโยบาย ต่างๆ ออกมา เช่น ประเทศสหรัฐอเมริกาประกาศว่าให้ลดก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาร้อยละ 28 ภายในปี ค.ศ. 2020 ประเทศญี่ปุ่นมีเป้าหมายในการลดก๊าซเรือนกระจกร้อยละ 60 ถึง 80 ภายในปี 2050 จากระดับปัจจุบัน ทำให้สามารถสรุปได้ว่าไบโอดีเซลสามารถใช้ทดแทนเชื้อเพลิงฟอสซิลได้ (Lin และคณะ, 2011)

Shahid และคณะ (2011) ศึกษาวิธีที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลด้วยวิธีทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน การวิจัยนี้เป็นการรวบรวมข้อมูลที่มีผู้ทำการศึกษาไว้แล้ว โดยทำการศึกษาตัวเร่งปฏิกิริยา 4 ตัว คือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) โซเดียมเมททอกไซด์ (NaOCH₃) และโพแทสเซียมเมททอกไซด์ (KOCH₃) พบว่าเมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นโซเดียมไฮดรอกไซด์ จะสามารถแยกกลีเซอรอลออกได้ง่าย และมีราคาถูก ทั้งนี้ประสิทธิภาพที่ได้มากถึงร้อยละ 97 ต่อการใช้ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 1

โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ดีกว่าโซเดียมไฮดรอกไซด์ในการแยกกลีเซอรอลออกได้ง่ายกว่า จึงทำให้ใช้กันอย่างแพร่หลาย ประสิทธิภาพที่ได้ร้อยละ 97 ต่อการใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 1

โซเดียมเมททอกไซด์ มีประสิทธิภาพมากกว่าโซเดียมไฮดรอกไซด์และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ และไม่สร้างน้ำที่เป็นต้นเหตุที่ทำให้เกิดสบู่ แต่มีข้อเสียคือราคาแพง

โพแทสเซียมเมททอกไซด์ มีประสิทธิภาพดีที่สุดในขณะนี้ แต่ยังไม่ถูกใช้กันอย่างแพร่หลาย เพราะเนื่องจากมีราคาแพงและต้องใช้อัตราในการทำปฏิกิริยาที่สูง (Shahid และคณะ, 2011)

Siangjaeo และคณะ (2011) ศึกษาการประเมินก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล โดยใช้วิธีการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life cycle assessment, LCA) และใช้พื้นฐานของ IPCC 2006 เพื่อช่วยในการวิเคราะห์ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกจากพื้นที่เมื่อเปลี่ยนพื้นที่การใช้งานจากเดิมเป็นพื้นที่สำหรับปลูกปาล์มเพื่อผลิตไบโอดีเซล การวิจัยทำการศึกษา 3 จังหวัด คือ กระบี่ ชลบุรี และปทุมธานี พบว่าทั้งสามพื้นที่สามารถช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงพื้นที่เพื่อใช้ในการปลูกต้นปาล์ม โดยจังหวัดกระบี่เปลี่ยนพื้นที่จากปลูกต้นยางมาปลูกต้นปาล์ม สามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ 709 เมกะกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อวัน จังหวัดชลบุรีเปลี่ยนพื้นที่จากปลูกต้นสำปะหลังมาปลูกต้นปาล์ม สามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ 748 เมกะกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อวัน จังหวัดปทุมธานี เปลี่ยนจากพื้นที่รกร้างมาปลูกต้นปาล์ม สามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ 600 เมกะกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อวัน ดังตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 ก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาจากกระบวนการผลิตและการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ในจังหวัดกระบี่ ชลบุรี และปทุมธานี (Siangjaeo และคณะ, 2011)

จังหวัดที่ทำการศึกษา	ก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมา (เมกะกรัม คาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อวัน, Mg CO ₂ eq/day)		
	ไบโอดีเซล	การเปลี่ยนแปลงพื้นที่	ผลสุทธิ
กระบี่	1052	-1761	-709
ชลบุรี	942	-1690	-748
ปทุมธานี	750	-1350	-600

Attaphong และคณะ (2012) ศึกษาทดลองการใช้คาร์บอกซิเลต (carboxylate) เป็นสารลดแรงตึงผิว ในการทำไมโครอิมัลชันจากน้ำมันพืช และศึกษาศักยภาพการใช้น้ำมันไบโอดีเซลเป็น

ทางเลือกในด้านพลังงาน ในการทดลองใช้เอทานอล (ethanol) เป็นเฟสที่มีขี้ และใช้ออกทานอล (octanol) และ 2-เอทิล-1-เฮกซานอล หรือไอโซบิวทานอล (2-ethyl-1-hexanol หรือ isobutanol) เป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม

การทดลองใช้อัตราส่วนสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วมโดยโมล ที่ 1:8 1:16 และ 1:32 ใช้เอทานอลในสัดส่วนที่ต่างกัน (0.5, 1, 2, 3, 4 และ 5 มิลลิลิตร) และใช้น้ำมัน Canola1 ต่อน้ำมันดีเซลที่ 1:5 มิลลิลิตร จากการทดลองพบว่าที่อัตราส่วนลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วมโดยโมล ที่ 1:8 1:16 และ 1:32 ให้ลักษณะน้ำมันที่ผสมใกล้เคียงกัน จึงสามารถสรุปได้ว่าอัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วมไม่มีผลต่อลักษณะน้ำมันที่ได้

และจากการศึกษาค่าความหนืด ที่อัตราส่วนการผสมน้ำมัน canola ต่อน้ำมันดีเซลที่ 0:100 25:75 50:50 75:25 และ 100:0 ที่ 40 องศาเซลเซียส พบว่าการเพิ่มอัตราส่วนของน้ำมันดีเซลทำให้ค่าความหนืดลดลง และในการทดลองนี้เลือกใช้อัตราส่วนของน้ำมัน canola ต่อน้ำมันดีเซลที่ 50:50 เพราะค่าความหนืดของดีเซลที่มีสัดส่วนมากกว่าร้อยละ 50 สามารถพบได้ใน ASTM no2 ของดีเซล (Attaphong และคณะ, 2012)

Atadashi และคณะ (2012) ศึกษาการผลิตไบโอดีเซลที่ใช้น้ำมันที่มีกรดไขมันอิสระมาก โดยการทดลองผลิตไบโอดีเซลด้วย 2 กระบวนการ คือ กระบวนการเอสเทอร์ฟิเคชัน และ กระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ในขั้นตอนแรกคือกระบวนการเอสเทอร์ฟิเคชัน เพื่อลดปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันพืชให้เหลือไม่เกินร้อยละ 3 โดยทั่วไปจะใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ต้องทนกับกรดไขมันสูงๆได้ ขั้นตอนต่อมาคือกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน กระบวนการนี้ทำเพื่อผลิตไบโอดีเซล โดยใช้อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันที่ 6:1 และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก เวลาในการทำปฏิกิริยาที่ 30 นาที ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส พบว่าได้ไบโอดีเซลร้อยละ 98 โดยน้ำหนัก (Atadashi และคณะ, 2012)

Kaewmai และคณะ (2012) ศึกษาก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาจากโรงงานผลิตน้ำมันปาล์มในประเทศไทย โดยศึกษาบนขอบเขตตั้งแต่เริ่มปลูกต้นปาล์มจนถึงกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์ม จากโรงงานผลิตน้ำมันปาล์ม 14 โรงงาน พบว่าน้ำมันปาล์มดิบที่มีกำลังการผลิตในประเทศไทย ร้อยละ 34.6 ปล่อยก๊าซเรือนกระจก 1198 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อเมตริกตันน้ำมันปาล์มดิบ ทั้งนี้ได้วิเคราะห์ตั้งแต่กระบวนการได้มาซึ่งวัตถุดิบ สารเคมีที่ใช้ พลังงานที่ใช้ การขนส่ง และการบำบัดน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากการผลิต จากการวิเคราะห์พบว่าขั้นตอนหลักที่ปล่อยก๊าซเรือนกระจกคือการปลูกและเก็บเกี่ยวผลปาล์มสดและกระบวนการบำบัดน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากการผลิต (Kaewmai และคณะ, 2012)

Pieragostini และคณะ (2012) ศึกษากระบวนการที่เหมาะสมในการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life cycle assessment: LCA) โดยเน้นไปที่กระบวนการทางวิศวกรรม การรวบรวมวิธีที่เหมาะสม คือ การสำรวจ การทำโปรแกรมซอฟต์แวร์ (software) เพื่อพิจารณาหากรอบการทำงานที่เหมาะสมในการศึกษาเริ่มต้นนิยมศึกษาแบบ cradle to gate คือศึกษาข้อมูลตั้งแต่การได้มาซึ่งผลิตภัณฑ์จนเสร็จสิ้นกระบวนการผลิต มากกว่าการทำ cradle to grave หรือการศึกษาข้อมูลตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบจนฝังกลบซากผลิตภัณฑ์ เนื่องจากฐานข้อมูลของการผลิตผลิตภัณฑ์ส่วนมาก เก็บข้อมูลแบบ cradle to

gate ในการวิจัยนี้ใช้โปรแกรมซิกมาโปร (SigmaPro) ในการประเมินค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Pieragostini และคณะ, 2012)

Ali และคณะ (2013) ศึกษาลักษณะของไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มโดยใช้เบสเป็นสารเร่งปฏิกิริยาในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน การทดลองเพื่อศึกษาค่าความเหมาะสม 3 ค่า คือ อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา เวลาในการทำปฏิกิริยาและอัตราส่วนของเมทอกไซด์ (methoxide) ต่อน้ำมัน โดยทำการทดลองที่อุณหภูมิ 40 50 และ 60 องศาเซลเซียส เวลาในการทำปฏิกิริยาที่ 40 60 และ 80 องศาเซลเซียส และอัตราส่วนของเมทอกไซด์ต่อน้ำมันที่ 4:1 6:1 และ 8:1 โดยใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นสารเร่งปฏิกิริยาที่ความเข้มข้นร้อยละ 1 ต่อน้ำมัน 50 มิลลิลิตร ผลการศึกษาพบว่าเวลาในการทำปฏิกิริยาที่เหมาะสมที่สุดคือ 60 นาที และที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสพบว่าอัตราส่วนของเมทอกไซด์ต่อน้ำมันที่ 6:1 และ 8:1 ให้ผลผลิตไบโอดีเซลมีค่าใกล้เคียงกันและมีค่าสูงกว่าที่อัตราส่วน 4:1 เวลาในการทดลองที่ 60 และ 80 นาทีให้ผลผลิตไบโอดีเซลมีค่าใกล้เคียงกัน (Ali และคณะ, 2013)

Patthanaissaranukool และคณะ (2013) ศึกษาศักยภาพในการลดคาร์บอนที่ปล่อยออกจากการได้มาซึ่งน้ำมันปาล์มดิบ โดยทำการประเมิน 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนการปลูกปาล์ม และขั้นตอนการผลิตน้ำมันปาล์ม ข้อมูลปริมาณวัตถุดิบและพลังงานแสดงดังตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 ข้อมูลปริมาณวัตถุดิบและพลังงานในขั้นตอนการปลูกปาล์มและขั้นตอนการผลิตน้ำมันปาล์ม (Patthanaissaranukool และคณะ, 2013)

พลังงานและวัตถุดิบที่ใช้	หน่วยต่อวัตถุดิบ		หน่วยต่อผลิตภัณฑ์	
	ปริมาณ	หน่วยต่อ FFB	ปริมาณ	หน่วยต่อ CPO
<i>ขั้นตอนการปลูกปาล์ม</i>				
ดีเซล (เตรียมพื้นที่)	0.2±0.0	ลิตร	1.2±0.2	ลิตร
ปุ๋ยไนโตรเจน	3.9±1.0	กิโลกรัม	23.8±6.4	กิโลกรัม
ปุ๋ยฟอสฟอรัส	2.9±0.9	กิโลกรัม	63.8±23.9	กิโลกรัม
ปุ๋ยโพแทสเซียม	10.4±3.9	กิโลกรัม	63.8±23.9	กิโลกรัม
ก๊าซโซลีน	0.7±0.2	ลิตร	4.6±1.5	ลิตร
ไกลโฟเสจ	0.03±0.01	ลิตร	0.18±0.11	ลิตร
ดีเซล (ขนส่ง)	0.3±0.3	ลิตร	2.1±2.1	ลิตร
<i>ขั้นตอนการผลิตน้ำมันปาล์ม</i>				
ดีเซลที่ใช้	0.4±0.1	กิโลกรัม	2.3±0.6	กิโลกรัม
ไฟฟ้าที่ใช้	18.7±5.4	กิโลวัตต์ชั่วโมง	114.4±33.2	กิโลวัตต์ชั่วโมง
ไฟฟ้าที่ได้กลับมา	18.3±5.3	กิโลวัตต์ชั่วโมง	111.7±2.3	กิโลวัตต์ชั่วโมง
เปลือกปาล์ม	0.1±0.0	ตัน	0.4±0.1	ตัน
ทลายปาล์ม	0.2±0.0	ตัน	1.3±0.1	ตัน
เมล็ดปาล์ม	0.1±0.0	ตัน	0.4±0.0	ตัน
ไบโอก๊าซที่ได้กลับมา	7.4±1.9	ลูกบาศก์เมตร	45.3±11.7	ลูกบาศก์เมตร

จากการวิจัยพบว่าศักยภาพการลดคาร์บอนได้มากกว่า 1.2 เท่า ของการปล่อยคาร์บอน และสามารถลดคาร์บอนได้มากถึง 5.5 เท่า ถ้าชีวมวลทั้งหมดซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ถูกนำมาใช้เป็นพลังงานเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าไว้ในโรงงาน

จากงานวิจัยที่ผ่านมา เห็นได้ว่ากระบวนการผลิตไบโอดีเซลด้วยวิธีไมโครอิมัลชัน อัตราส่วนสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวรวมไม่มีผลต่อการทำปฏิกิริยากับน้ำมันพืชทำให้ค่าความร้อนลดลงเมื่อใช้ผสมในไบโอดีเซล การใช้เอทานอลบริสุทธิ์ที่ร้อยละ 95 โดยตรงกับน้ำมันผสม สารทั้งสองนี้ไม่สามารถรวมเป็นเนื้อเดียวกันได้ กระบวนการผลิตไบโอดีเซลด้วยกระบวนการทรานส์-เอสเทอร์ฟิเคชัน พบว่าอัตราส่วนโดยโมลที่เหมาะสมระหว่างเมทานอลกับน้ำมันพืชมีค่ามากกว่าทฤษฎีคือที่ 3:1 เพราะปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน เป็นปฏิกิริยาที่ผันกลับได้ ดังนั้นในการทดลองควรใช้อัตราส่วนที่มีค่ามากกว่าทางทฤษฎี อุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยา คือ 60 องศาเซลเซียส และจากการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ พบว่า การประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ขอบเขตพื้นฐานที่เหมาะสมที่สุดคือ การกำหนดขอบเขตตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบจนเสร็จสิ้นกระบวนการผลิต และเป็นที่นิยมใช้เพื่อนำมาวิเคราะห์และแก้ปัญหากระบวนการผลิต

งานวิจัยนี้จะศึกษาวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลที่ผลิตจากกระบวนการไมโครอิมัลชัน ที่สัดส่วนน้ำมันปาล์มต่อน้ำมันดีเซลที่ 50:50 ใช้อัตราส่วนสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวรวมที่ 1:8 โดยโมล ใช้เอทานอลบริสุทธิ์ร้อยละ 95 และไบโอดีเซลที่ผลิตจากกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ที่สัดส่วนน้ำมันปาล์มร้อยละ 100 อัตราส่วนเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มโอเลอินที่ 6:1 โดยโมล (น้ำมันโอเลอินมีค่ากรดไขมันอิสระน้อย) ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาที่ 60 องศาเซลเซียส การประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์จะทำบนขอบเขตของการได้มาซึ่งวัตถุดิบจนถึงเสร็จสิ้นกระบวนการผลิต และนำข้อมูลที่ได้ออกมาคำนวณหาปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาจากกระบวนการผลิต

บทที่ 3

การดำเนินงานวิจัย

3.1 แผนงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการทดลองเพื่อศึกษาประเมินวัฏจักรชีวิตของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ผลิตจากกระบวนการไมโครอิมัลชัน โดยทำการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการ เพื่อเก็บข้อมูลปริมาณสารเคมีเข้าและออก รวมทั้งปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ และประเมินวัฏจักรชีวิตของเชื้อเพลิงชีวภาพ โดยเปรียบเทียบกับไบโอดีเซลที่ผลิตจากกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน วิธีการดำเนินงานวิจัยทั้งหมดดังภาพที่ 3.1 งานวิจัยนี้ได้แบ่งการศึกษาออกเป็น 4 ส่วน โดยมีรายละเอียดดังนี้

การศึกษาส่วนที่ 1 การทดลองเพื่อศึกษาปริมาณสารที่เหมาะสมในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยกระบวนการไมโครอิมัลชัน โดยทำการทดลองที่อุณหภูมิห้อง แบ่งเป็นการทดลอง 2 การทดลอง

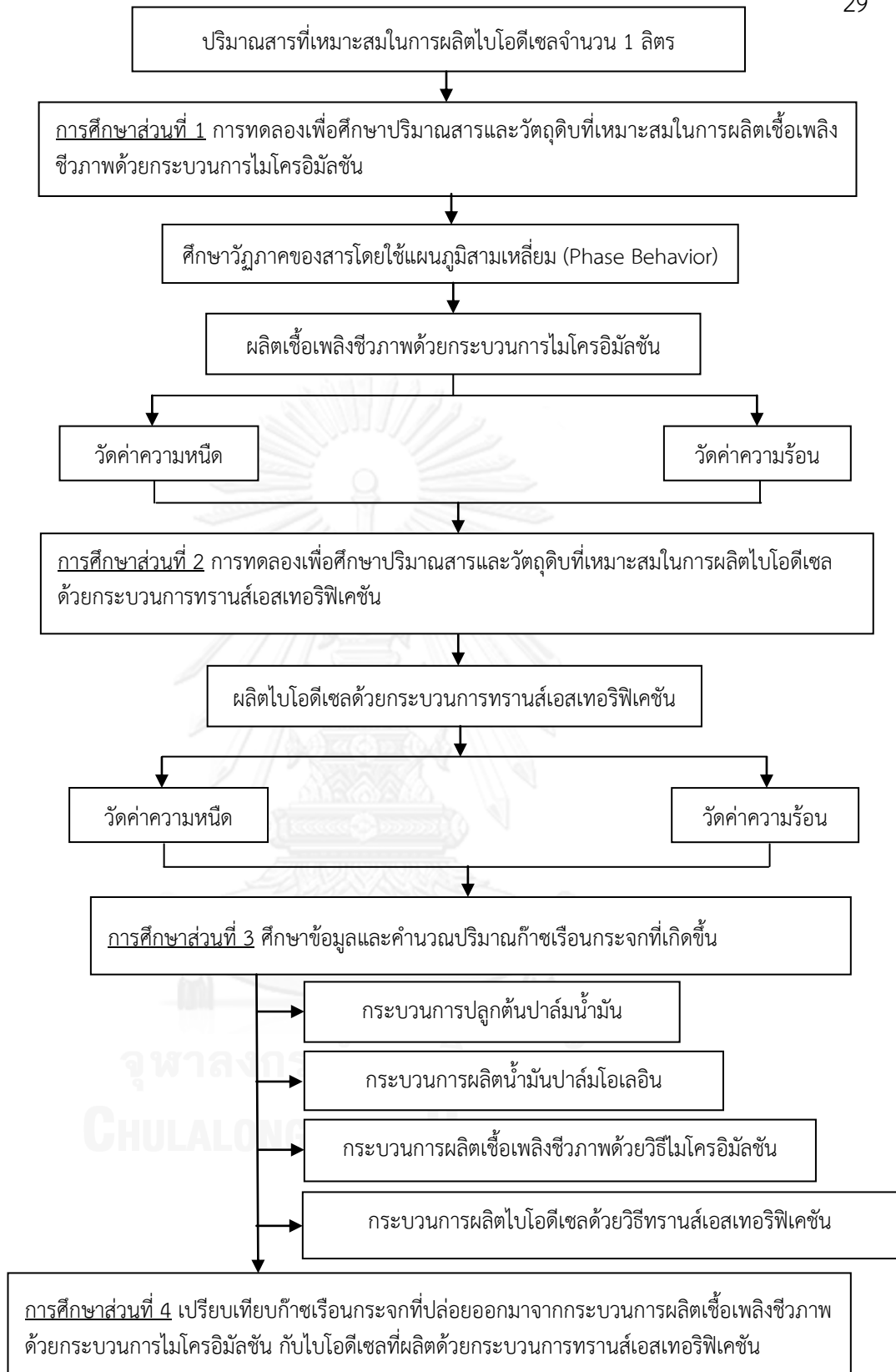
- การทดลองที่ 1 ศึกษาวัฏภาคของสารโดยใช้แผนภูมิสามเหลี่ยม (Phase Behavior) เป็นการทดลองเบื้องต้นเพื่อประเมินสัดส่วนปริมาณสารเคมีที่ใช้เป็นสารลดแรงตึงผิวและสารลดแรงตึงผิวร่วมที่เหมาะสมในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพที่มีลักษณะใสและเป็นเนื้อเดียวกัน

- การทดลองที่ 2 ผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพปริมาณ 1 ลิตร โดยทำการเก็บข้อมูลปริมาณสารเข้าและออก พลังงานที่ใช้ และทดสอบสมบัติของไบโอดีเซลที่ได้ โดยวัดค่าความหนืดด้วยหลอดแคนนอนเพนสกีที่อุณหภูมิต่างๆ จำนวน 3 ครั้ง และนำมาหาค่าเฉลี่ย และวัดค่าความร้อนด้วยเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ (Bomb Calorimeter) โดยส่งตัวอย่างไปวิเคราะห์ค่าความร้อนที่ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การศึกษาส่วนที่ 2 การทดลองเพื่อศึกษาปริมาณสารที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน โดยทำการทดลองในห้องปฏิบัติการ เพื่อหาปริมาณสารเข้าและออก พลังงานที่ใช้ และทดสอบสมบัติของไบโอดีเซลที่ได้ โดยวัดค่าความหนืดด้วยหลอดแคนนอนเพนสกีที่อุณหภูมิต่างๆ จำนวน 3 ครั้ง และนำมาหาค่าเฉลี่ย และวัดค่าความร้อนด้วยเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ (Bomb Calorimeter) โดยส่งตัวอย่างไปวิเคราะห์ค่าความร้อนที่ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การศึกษาส่วนที่ 3 ประเมินวัฏจักรชีวิตของกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพที่ผลิตด้วยกระบวนการไมโครอิมัลชันและกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน รวมทั้งคำนวณปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาตั้งแต่กระบวนการได้มาซึ่งวัตถุดิบจนเสร็จสิ้นกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ

การศึกษาส่วนที่ 4 เปรียบเทียบก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาจากกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยกระบวนการไมโครอิมัลชัน และไบโอดีเซลที่ผลิตด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานหนึ่งในการตัดสินใจเลือกวิธีการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพที่เหมาะสม



ภาพที่ 3.1 แผนผังรวมสรุปขั้นตอนทั้งหมดของการวิจัย

3.2 การศึกษาส่วนที่ 1 การทดลองเพื่อศึกษาปริมาณสารที่เหมาะสมในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ ด้วยกระบวนการไมโครอิมัลชัน

ในการศึกษาส่วนที่ 1 ได้แบ่งออกเป็น 2 การทดลอง คือ

3.2.1 การทดลองที่ 1 ศึกษาวัฏภาคของสารโดยใช้แผนภูมิสามเหลี่ยม (Phase Behavior)

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

- หลอดแก้วทดลอง
- ออโตปิเปต
- ปิเปตทิป
- เครื่องผสมสารวอร์เท็กซ์ (Vortex)
- ฝาเทอร์นอน

ตัวแปรคงที่ (Controlled Materials) (ดังตารางที่ 3.1) คือ

- อัตราส่วนน้ำมันปาล์มโอเลอินต่อดีเซล คือ 50:50 โดยปริมาตร
- อัตราส่วนสารลดแรงตึงผิว (Surfactant) ต่อสารลดแรงตึงผิวร่วม (Cosurfactant)

คือ 1:8 โดยโมลาร์ (Molar) หรือ โมลต่อลิตร (Mole per liter)

- สารลดแรงตึงผิว : Ethylene oxide หรือ Dehydol LS 1 (EO1) ดังตารางที่ 3.2
- สารลดแรงตึงผิวร่วม : ออกทานอล (Octanol) ดังตารางที่ 3.2

ตัวแปรที่สนใจ (Varied Materials) (ดังตารางที่ 3.1) คือ

- ปริมาณสารที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลด้วยกระบวนการไมโครอิมัลชัน

ตารางที่ 3.1 สรุปตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ศึกษาวัฏภาคของสารโดยใช้แผนภูมิสามเหลี่ยม (Phase Behavior)

ตัวแปรคงที่	ค่าที่ใช้ในการทดลอง
อัตราส่วนน้ำมันปาล์มโอเลอินต่อดีเซล	50:50 โดยปริมาตร
Dehydol LS 1 (EO1) : ออกทานอล (Octanol)	1:8 โดยโมลาร์ (Molar)
ตัวแปรที่สนใจ	วิธีวิเคราะห์/เครื่องมือวิเคราะห์
ปริมาณสารที่เหมาะสมในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยกระบวนการไมโครอิมัลชัน	การทดลองและการคำนวณ

ตารางที่ 3.2 ข้อมูลของ Dehydol LS 1 (EO1) และ ออกทานอล (Octanol)

สาร	ตัวย่อ	สูตรโครงสร้าง	มวลโมเลกุล (กรัม/โมล)	ความ หนาแน่น (กรัม/ มิลลิลิตร)	ความ บริสุทธิ์ (ร้อยละ)	ความ เป็นขี้ ว
สารลดแรงตึงผิว						
- Dehydol LS 1	EO1	$C_{13}H_{27}(EO)_1OH$	244.4166	0.837	99.7	3.6
สารลดแรงตึงผิวรวม						
-1-octanol	Oct	$C_8H_{17}OH$	130.2296	0.825	96	-

ที่มา : บริษัท ไทยอีท็อกซิเลตจำกัด (Thai Ethoxylate Co,Ltd)

ราคาโดยประมาณของออกทานอล เท่ากับ 2050 บาทต่อลิตร

วิธีการทดลอง ดังแสดงในภาพที่ 3.2

1) คำนวณเพื่อหาปริมาณสารต่างๆ โดยเปลี่ยนค่าความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว (ออกทานอล) ตั้งแต่ 0.1 โมลาร์ ไปเรื่อยๆ โดยเพิ่มขึ้นทีละ 0.1 โมลาร์ และเปลี่ยนปริมาณเอทานอลกับน้ำมันผสม (น้ำมันปาล์มโอเลอินผสมกับดีเซล) 1-5 มิลลิลิตร โดยใช้สัดส่วนสารลดแรงตึงผิว (EO1) ต่อสารลดแรงตึงผิวรวม (ออกทานอล) 1:8 โดยโมล

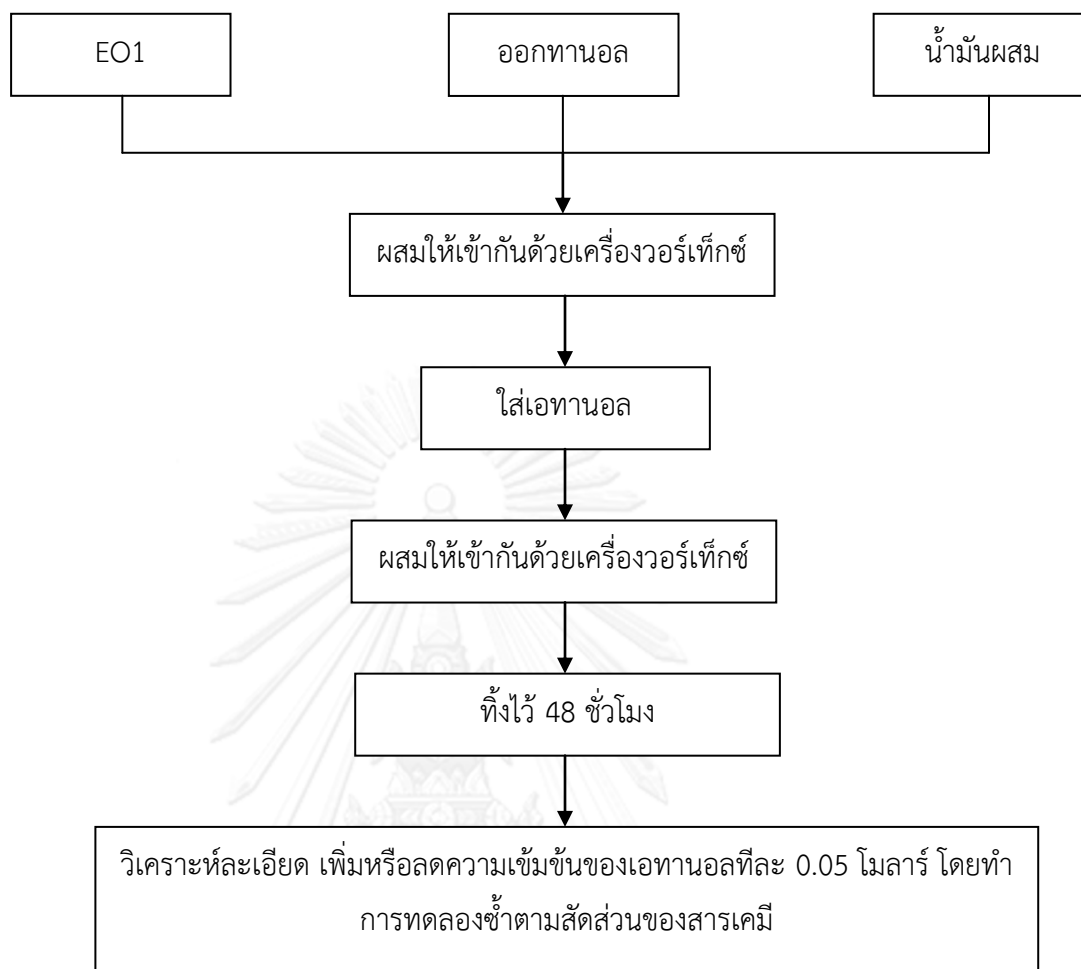
2) นำน้ำมันผสม (น้ำมันปาล์มโอเลอินผสมกับดีเซล) ผสมกับสารลดแรงตึงผิว สารลดแรงตึงผิวรวมตามสัดส่วนที่คำนวณไว้ ในการผสมจะใช้เครื่องวอร์เท็กซ์

3) ใส่เอทานอลลงไปในส่วนผสมก่อนหน้า โดยใช้เครื่องวอร์เท็กซ์ในการผสม

4) ทิ้งหลอดแก้วไว้ประมาณ 48 ชั่วโมง แล้วบันทึกผลการทดลอง

5) ทำการทดลองละเอียดด้วยการเพิ่มหรือลดความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวรวมทีละ 0.05 โมลาร์ เพื่อหาจุดเปลี่ยนเฟสให้เป็นเฟสที่เป็นเนื้อเดียวกัน โดยทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 2-4

6) เลือกสัดส่วนของสารเคมีและวัตถุดิบที่ทำให้เชื้อเพลิงชีวภาพเป็นเนื้อเดียวกันและใ้มาทำการทดลองที่ 2 ต่อไป



ภาพที่ 3.2 แผนผังการศึกษาวงจรของสารโดยใช้แผนภูมิสามเหลี่ยม

3.2.2 การทดลองที่ 2 ผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพปริมาณ 1 ลิตร โดยทำการเก็บข้อมูลปริมาณสารเข้าและออก พลังงานที่ใช้ และวัดค่าความหนืดและค่าความร้อน

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

- Magnetic hot plate
- อ่างน้ำร้อน (Water bath)
- เครื่องทำน้ำเย็น (Cooling)
- หลอดแคนนอนเฟนสกี ดังภาพที่ 3.3
- นาฬิกาจับเวลา



ภาพที่ 3.3 หลอดแคนนอนเฟนสกี

ตัวแปรคงที่ ดังตารางที่ 3.3

- ปริมาตรเชื้อเพลิงชีวภาพที่ต้องการ 1000 มิลลิลิตร หรือ 1 ลิตร
- น้ำมันผสมของน้ำมันปาล์มโอเลอินต่อดีเซลในอัตราส่วน 50:50 โดยปริมาตร
- สารลดแรงตึงผิว (Dehydol LS1 (EO1)) : สารลดแรงตึงผิวรวม (ออกทานอล (Octanol)) คือ 1:8 โดยโมลาร์ (Molar)
- เอทานอล (Ethanol) ตามสัดส่วนที่เลือกจากการทดลองที่ 1

ตัวแปรที่สนใจ ดังตารางที่ 3.3

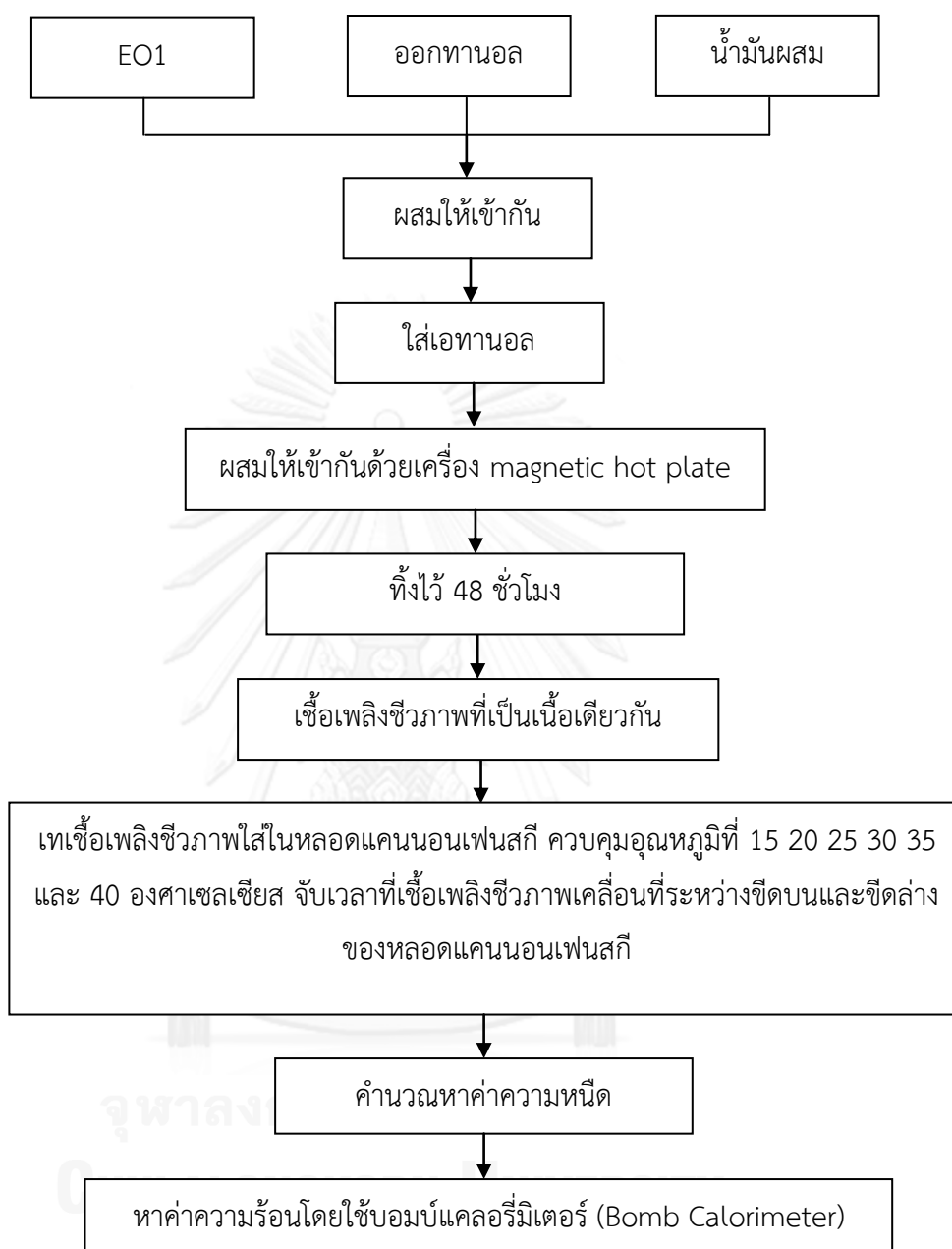
- ปริมาณสารเคมีเข้าและออกจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล
- ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการผลิตไบโอดีเซล
- ค่าความหนืดและค่าความร้อน

ตารางที่ 3.3 สรุปตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ศึกษาปริมาณสารเข้าและออก และพลังงานที่ใช้ในการผลิต เชื้อเพลิงชีวภาพด้วยกระบวนการไมโครอิมัลชัน และวัดค่าความหนืดและค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวภาพ

ตัวแปรคงที่	ค่าที่ใช้ในการทดลอง
ปริมาตรน้ำมันไบโอดีเซล	1000 มิลลิลิตร
น้ำมันผสมของน้ำมันปาล์มต่อน้ำมันดีเซล	50:50 โดยปริมาตร
Dehydol LS 1 (EO1) : ออกทานอล (Octanol)	1:8 โดยโมลาร์ (Molar)
เอทานอล (Ethanol)	ตามสัดส่วนจากการทดลองที่ 1
ตัวแปรที่สนใจ	วิธีวิเคราะห์/เครื่องมือวิเคราะห์
ปริมาณวัตถุดิบเข้าและออกจากกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ	การทดลองและการคำนวณ
ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ	การทดลองและการคำนวณ
ค่าความหนืดของเชื้อเพลิงชีวภาพ	การทดลองและการคำนวณ/แคนนอนเฟนสกี
ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวภาพ	ส่งวิเคราะห์/บอมบ์ แคลอรีมิเตอร์

วิธีการทดลอง ดังภาพที่ 3.4

- 1) คำนวณสัดส่วนตามที่เลือกจากการทดลองที่ 1 โดยกำหนดให้ผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ 1 ลิตร
- 2) ผสม EO1 และออกทานอลกับน้ำมันผสม และผสมให้เข้ากันโดยการเขย่า
- 3) ใส่เอทานอลลงไปและผสมส่วนผสมทั้งหมดให้เข้ากันอีกครั้งด้วยเครื่อง magnetic hot plate
- 4) ทิ้งขวดเชื้อเพลิงชีวภาพไว้ประมาณ 48 ชั่วโมง เพื่อให้แน่ใจว่าเชื้อเพลิงชีวภาพเป็นเฟสเดียวกัน
- 5) นำเชื้อเพลิงชีวภาพเทใส่หลอดแคนนอนเฟนสกี ควบคุมอุณหภูมิที่ 15 20 25 30 35 และ 40 องศาเซลเซียส และจับเวลาในการเคลื่อนที่ของเชื้อเพลิงชีวภาพระหว่างขีดบนและขีดล่างของหลอดแคนนอนเฟนสกี ทำซ้ำ 3 ครั้งและบันทึกผล
- 6) ทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 1-5 โดยเปลี่ยนสัดส่วนน้ำมันที่ต้องการทำการทดลอง
- 7) นำค่าที่ได้จากการวัดค่าความหนืดมาคำนวณดังสมการ
 ค่าความหนืด (cst) = ค่าคงที่ความหนืด (cst/s) x เวลา (s)
 โดยค่าคงที่ความหนืดของหลอดแคนนอนเฟนสกี = 0.01606 cst/s
- 8) วิเคราะห์ค่าความร้อน



ภาพที่ 3.4 แผนผังการทดลองผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ และวิเคราะห์ค่าความหนืดและค่าความร้อน

3.3 การศึกษาส่วนที่ 2 การทดลองเพื่อศึกษาปริมาณสารที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน และวัดค่าความหนืดและค่าความร้อน

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

- หลอดแก้วทดลอง
- ออโตปิเปต
- ปิเปตทิป
- Magnetic hot plate
- ฝาเทอร์รอน
- หลอดแคนนอนเฟนสกี

ตัวแปรคงที่ (Controlled Materials) (ตารางที่ 3.4) คือ

- ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้ออกมาจากการทดลอง (เอสเตอร์และกลีเซอรอล) 1 ลิตร
- อัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มคือ 6:1 โดยโมลาร์ (Molar) หรือ โมลต่อลิตร (Mole per liter)

- อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาที่ 60 องศาเซลเซียส
- ความเข้มข้นของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์(ตัวเร่งปฏิกิริยา) ที่ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

ตัวแปรที่สนใจ (Varied Materials) (ตารางที่ 3.4) คือ

- ปริมาณสารที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน
- ปริมาณไบโอดีเซลที่ได้
- ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการผลิตไบโอดีเซล
- ปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตไบโอดีเซล
- ค่าความหนืดและค่าความร้อนของไบโอดีเซล

ตารางที่ 3.4 สรุปตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ศึกษาปริมาณสารเข้า ออก และพลังงานในการผลิตไบโอดีเซล ด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน รวมทั้งค่าความหนืดและค่าความร้อนของไบโอดีเซล

ตัวแปรคงที่	ค่าที่ใช้ในการทดลอง
อัตราส่วนเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มโอเลอิน	6:1 โดยโมล
อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา	60 องศาเซลเซียส
ความเข้มข้นของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์	ร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก
ตัวแปรที่สนใจ	วิธีวิเคราะห์/เครื่องมือวิเคราะห์
ปริมาณสารเคมีที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตไบโอดีเซล	การทดลองและการคำนวณ
ปริมาณไบโอดีเซลที่ได้	การทดลองและการคำนวณ
ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการผลิตไบโอดีเซล	การทดลองและการคำนวณ
ปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตไบโอดีเซล	การทดลองและการคำนวณ
ค่าความหนืดของไบโอดีเซล	การทดลองและการคำนวณ/ แคนนอนเฟนสกี
ค่าความร้อนของไบโอดีเซล	ส่งวิเคราะห์/บอมบ์ แคลอรีมิเตอร์

วิธีการทดลอง ดังแสดงในภาพที่ 3.5

1) คำนวณเพื่อหาปริมาณสารต่างๆ โดยกำหนดผลิตภัณฑ์ที่ได้ทั้งหมด 200 มิลลิลิตร โดยใช้อัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มโอเลอิน 6:1 โดยโมลาร์ และความเข้มข้นของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก

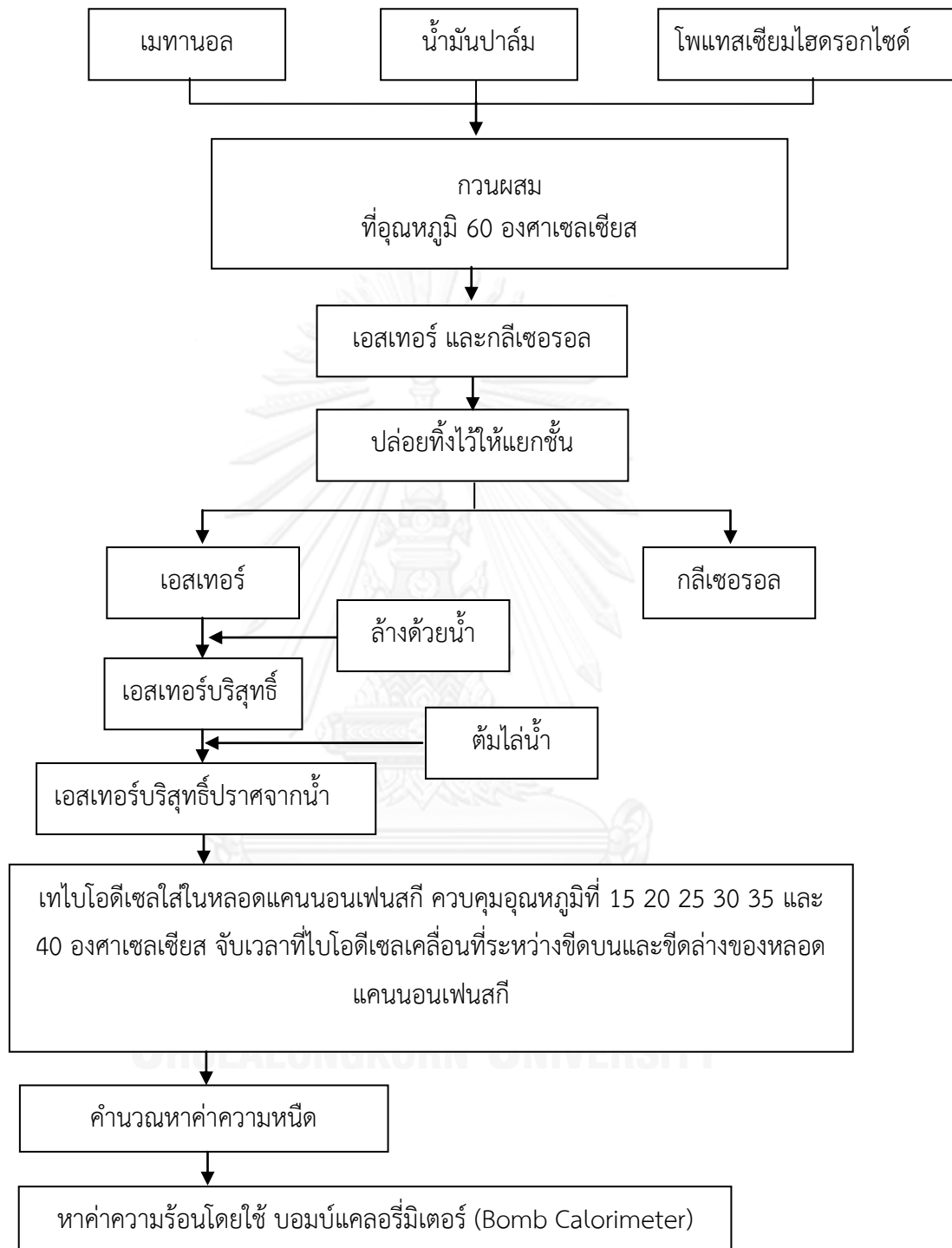
2) ผสมเมทานอล น้ำมันปาล์มโอเลอิน และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ในถังทำปฏิกิริยา โดยทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และสังเกตเวลาที่ทำปฏิกิริยากันหมดพอดี

3) นำผลิตภัณฑ์ที่ได้ ซึ่งประกอบด้วยไบโอดีเซล (เอสเทอร์) และกลีเซอรอล ปล่อยให้แยกชั้น

4) นำเอสเทอร์ที่ได้มาล้างด้วยน้ำ จนกว่าไบโอดีเซลมีลักษณะใส

5) วิเคราะห์ค่าความหนืด

6) วิเคราะห์ค่าความร้อน



ภาพที่ 3.5 แผนผังการทดลองเพื่อศึกษาปริมาณสารที่เหมาะสมในการผลิตไปโอดีเซลด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน และวัดค่าความหนืดและค่าความร้อน

3.4 การศึกษาส่วนที่ 3 ประเมินวัฏจักรชีวิตของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ผลิตด้วยกระบวนการไมโครอิมัลชันและกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน โดยแบ่งเป็น 4 กระบวนการ

1) ก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากกระบวนการปลูกต้นปาล์มน้ำมัน ศึกษาจากข้อมูลที่มีผู้รวบรวมไว้แล้ว

2) ก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มโอเลอิน ศึกษาจากข้อมูลที่มีผู้รวบรวมไว้แล้ว

3) ก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยกระบวนการไมโครอิมัลชัน กระบวนการผลิตไบโอดีเซลด้วยวิธีไมโครอิมัลชันมีบัญชีรายการสิ่งแวดล้อม ดังตารางที่

3.5

ตารางที่ 3.5 บัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ผลิตด้วยกระบวนการไมโครอิมัลชัน

สารขาเข้า	น้ำมันปาล์มโอเลอิน
	ดีเซล
	เอทานอล
	ออกทานอล
	EO 1
สารขาออก	เชื้อเพลิงชีวภาพ
อื่น ๆ	ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้

4) ก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากการผลิตไบโอดีเซลด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน กระบวนการผลิตไบโอดีเซลด้วยวิธีทรานส์เอสเทอริฟิเคชันมีบัญชีรายการสิ่งแวดล้อม ดังตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 บัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของไบโอดีเซลที่ผลิตด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน

สารขาเข้า	น้ำมันปาล์มโอเลอิน
	เมทานอล
	โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์
	น้ำปราศจากไอออน (DI)
สารขาออก	ไบโอดีเซล
	กลีเซอรอล
	น้ำเสีย
อื่น ๆ	ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้

โดยแบ่งข้อมูลในการวิเคราะห์ก๊าซเรือนกระจกเป็น 2 ส่วนคือ

- ก๊าซเรือนกระจก ที่เกิดจากปริมาณสารเข้าและออกจากกระบวนการ โดยจะเก็บข้อมูลจากการทำการทดลองในการศึกษาส่วนที่ 1 และ 2 สามารถคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้จากสมการ (3.1) และในการคำนวณใช้โปรแกรม excel

$$\begin{aligned} \text{GHG emission} &= \text{Activity data} \times \text{Emission factor} & (3.1) \\ &= \text{ปริมาณสารที่เข้าสู่กระบวนการ} \times \text{Emission factor ของ} \\ &\quad \text{สารเคมีชนิดนั้นๆ} \end{aligned}$$

- ก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลอง โดยจะเก็บข้อมูลจากเวลาการใช้ไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้านั้นๆ สามารถคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้จากสมการ (3.2) และในการคำนวณใช้โปรแกรม excel

$$\begin{aligned} \text{GHG emission} &= \text{Activity data} \times \text{Emission factor} & (3.2) \\ &= \text{ปริมาณการใช้ไฟฟ้า (kWh)} \times \text{Emission factor ของ} \\ &\quad \text{การได้มาซึ่งไฟฟ้า 1 kWh} \end{aligned}$$

3.5 การศึกษาส่วนที่ 4 เปรียบเทียบก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาจากกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยกระบวนการไมโครอิมัลชัน และกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน

นำข้อมูลก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาจากกระบวนการทั้งสองมาเปรียบเทียบกันโดยไม่มี การนำข้อมูลมาเทียบหน่วยผลิตภัณฑ์และให้นำน้ำหนักความสำคัญเฉพาะด้านของผลกระทบ โดยวิเคราะห์ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่านั้น

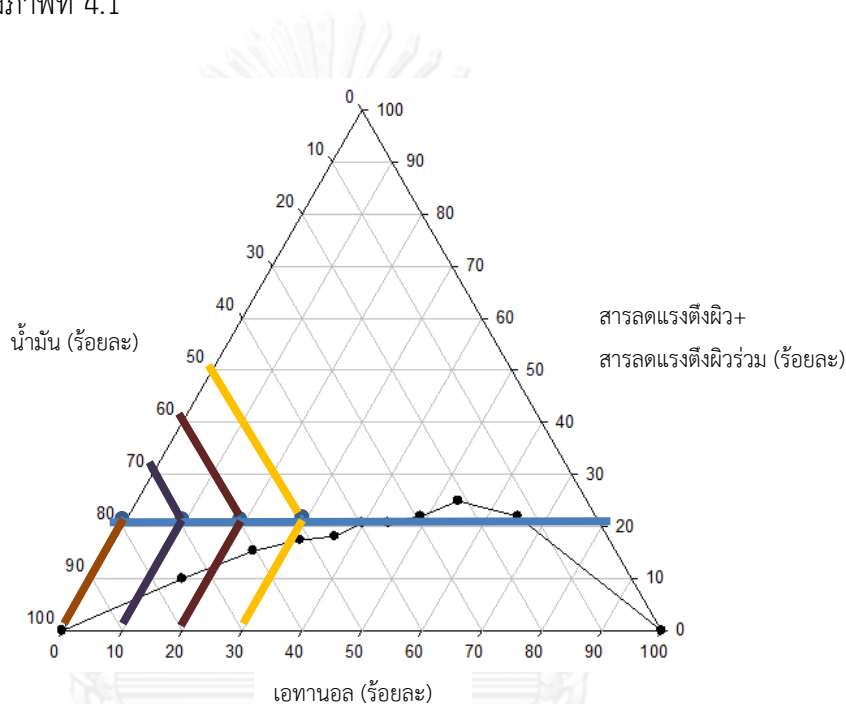
บทที่ 4

ผลการทดลอง และการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 กระบวนการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยกระบวนการไมโครอิมัลชัน

4.1.1 การหาสัดส่วนที่เหมาะสมในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ

ผลการหาสัดส่วนที่เหมาะสมในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพที่ผลิตด้วยกระบวนการไมโครอิมัลชัน แสดงดังภาพที่ 4.1

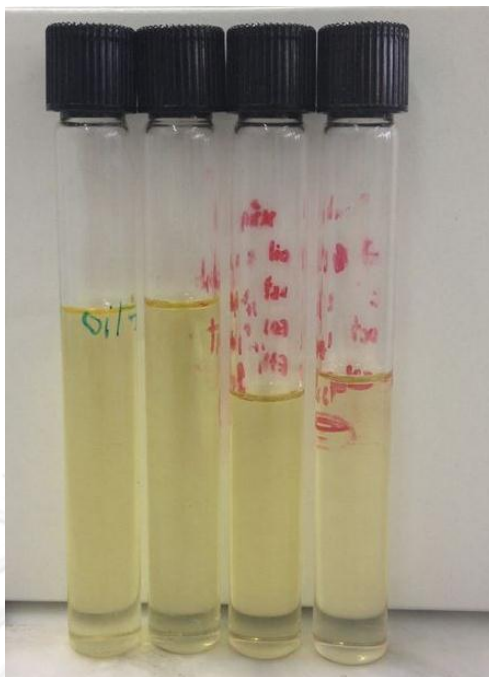


ภาพที่ 4.1 สัดส่วนที่เหมาะสมที่ทำให้เชื้อเพลิงชีวภาพมีลักษณะใสและเป็นเนื้อเดียวกัน

จากภาพที่ 4.1 บริเวณเหนือเส้นกราฟแสดงเชื้อเพลิงชีวภาพที่ได้จะมีลักษณะใสและเป็นเนื้อเดียวกัน ดังภาพที่ 4.2 เนื่องจากการผลิตน้ำมันชีวภาพที่เหมาะสม ต้องมีปริมาณเฟสที่เป็นน้ำน้อย เพื่อป้องกันไม่ให้เครื่องยนต์เสียหาย ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกสัดส่วนของเชื้อเพลิงชีวภาพที่เหมาะสม 4 สัดส่วน โดยใช้สัดส่วนของสารลดแรงตึงผิวผสมกับสารลดแรงตึงผิวร่วมคงที่ที่ร้อยละ 20 และสัดส่วนของน้ำมันและเอทานอลดังนี้

1. น้ำมันร้อยละ 80/เอทานอลร้อยละ 0
2. น้ำมันร้อยละ 70/เอทานอลร้อยละ 10
3. น้ำมันร้อยละ 60/เอทานอลร้อยละ 20
4. น้ำมันร้อยละ 50/เอทานอลร้อยละ 30

สัดส่วนต่างๆที่เหมาะสมในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพจะนำไปวัดค่าความหนืดต่อไป เพื่อให้เป็นไปตามมาตรฐานของ ASTM



ภาพที่ 4.2 เชื้อเพลิงชีวภาพจากกระบวนการไมโครอิมัลชัน

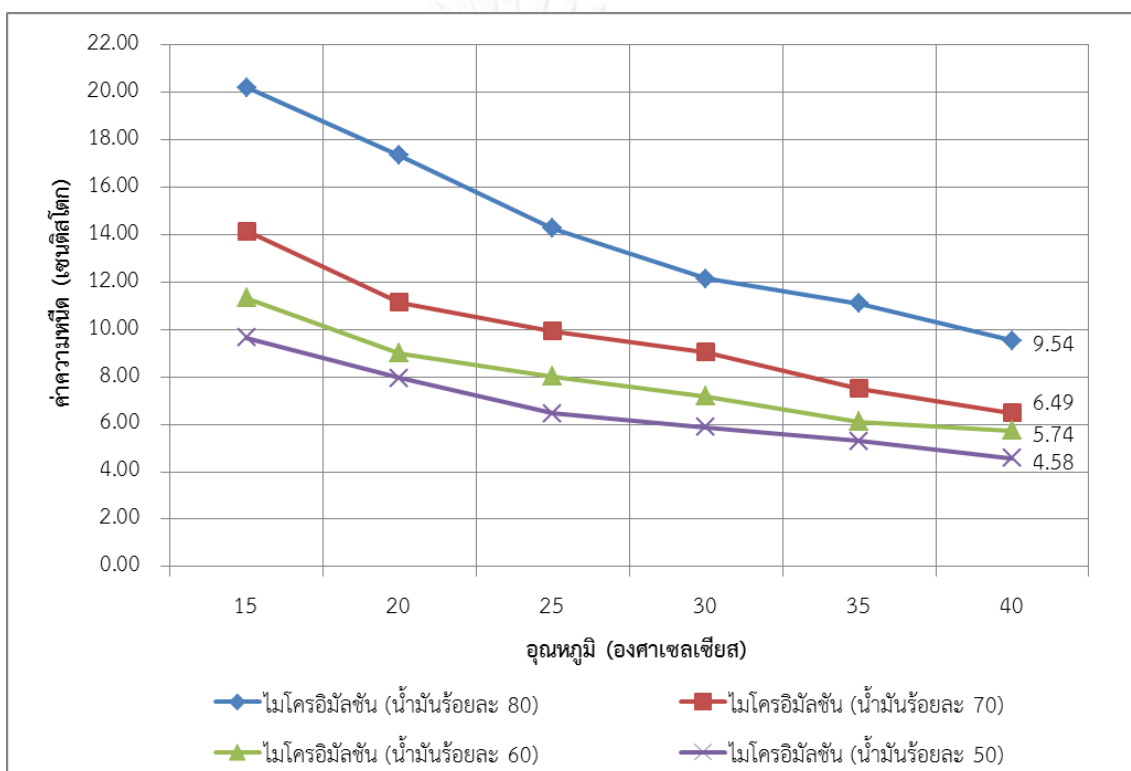
4.1.2 ค่าความหนืดของเชื้อเพลิงชีวภาพ

ค่าความหนืดของเชื้อเพลิงชีวภาพจากกระบวนการไมโครอิมัลชัน แสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ค่าความหนืดของเชื้อเพลิงชีวภาพจากกระบวนการไมโครอิมัลชัน

	ค่าความหนืด (เซนติสโตก)					
	15 องศา เซลเซียส	20 องศา เซลเซียส	25 องศา เซลเซียส	30 องศา เซลเซียส	35 องศา เซลเซียส	40 องศา เซลเซียส
ไมโครอิมัลชัน (น้ำมันร้อยละ 80)	20.21	17.35	14.28	12.16	11.10	9.54
ไมโครอิมัลชัน (น้ำมันร้อยละ 70)	14.14	11.15	9.93	9.05	7.50	6.49
ไมโครอิมัลชัน (น้ำมันร้อยละ 60)	11.32	8.99	8.02	7.19	6.11	5.74
ไมโครอิมัลชัน (น้ำมันร้อยละ 50)	9.65	7.95	6.47	5.88	5.29	4.58

จากตารางที่ 4.1 ค่าความหนืดของเชื้อเพลิงชีวภาพที่อุณหภูมิต่างๆ ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ค่าความหนืดของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ผลิตจากกระบวนการไมโครอิมัลชันที่ประกอบด้วยน้ำมันร้อยละ 80 (เอทานอลร้อยละ 0) เท่ากับ 9.54 เซนติสโตก น้ำมันร้อยละ 70 (เอทานอลร้อยละ 10) เท่ากับ 6.72 เซนติสโตก น้ำมันร้อยละ 60 (เอทานอลร้อยละ 20) เท่ากับ 5.74 เซนติสโตก และน้ำมันร้อยละ 50 (เอทานอล 30) เท่ากับ 4.58 เซนติสโตก พบว่าค่าความหนืดของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ประกอบด้วยน้ำมันร้อยละ 50 และน้ำมันร้อยละ 60 ผ่านมาตรฐานความหนืดไบโอดีเซลของ ASTM ซึ่งมีค่าระหว่าง 1.6 ถึง 6.0 เซนติสโตก (ASTM) (ASTM D6751)



ภาพที่ 4.3 เปรียบเทียบค่าความหนืดของเชื้อเพลิงชีวภาพที่อุณหภูมิต่างๆ และสัดส่วนต่างๆ

จากภาพที่ 4.3 แสดงค่าความหนืดที่อุณหภูมิต่างๆ และสัดส่วนต่างๆ ของเชื้อเพลิงชีวภาพ พบว่าที่อุณหภูมิคงที่ ค่าความหนืดของเชื้อเพลิงชีวภาพลดลงเมื่อสัดส่วนของเอทานอลเพิ่มขึ้น (สัดส่วนของน้ำมันลดลง) และที่สัดส่วนของน้ำมันคงที่ (เอทานอลคงที่) ค่าความหนืดของเชื้อเพลิงชีวภาพลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น

4.1.3 ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวภาพ

ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ 4 สัดส่วน แสดงดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวภาพจากกระบวนการไมโครอิมัลชัน

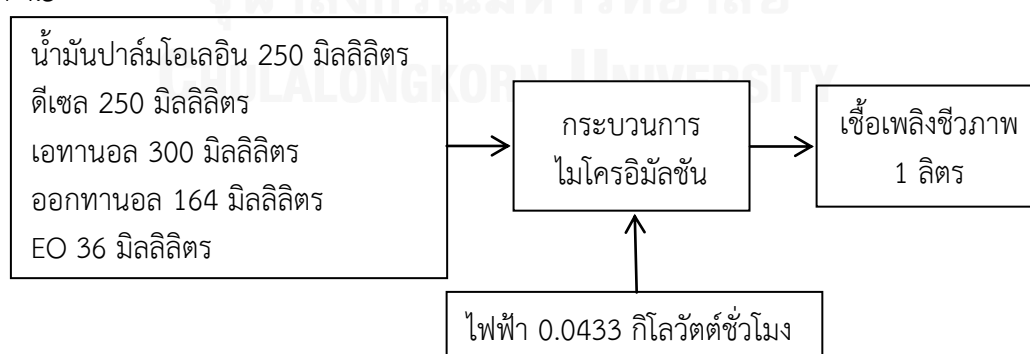
สัดส่วนของวัตถุดิบ	ค่าความร้อน (แคลอรีต่อกรัม)
น้ำมันร้อยละ 80 เอทานอลร้อยละ 0	10130.5
น้ำมันร้อยละ 70 เอทานอลร้อยละ 10	9706.7
น้ำมันร้อยละ 60 เอทานอลร้อยละ 20	9290.6
น้ำมันร้อยละ 50 เอทานอลร้อยละ 30	8918.9

จากตารางที่ 4.2 ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ผลิตด้วยกระบวนการไมโครอิมัลชันที่ประกอบด้วยน้ำมันร้อยละ 80 (เอทานอลร้อยละ 0) เท่ากับ 10130.5 แคลอรีต่อกรัม น้ำมันร้อยละ 70 (เอทานอลร้อยละ 10) เท่ากับ 9706.7 แคลอรีต่อกรัม น้ำมันร้อยละ 60 (เอทานอลร้อยละ 20) เท่ากับ 9290.6 แคลอรีต่อกรัม น้ำมันร้อยละ 50 (เอทานอลร้อยละ 30) เท่ากับ 8918.9 แคลอรีต่อกรัม พบว่าค่าความร้อนของน้ำมันลดลงเมื่อปริมาณน้ำมันลดลง เพราะโดยปกติค่าความร้อนของน้ำมันมีค่าสูงกว่าค่าความร้อนของเอทานอล

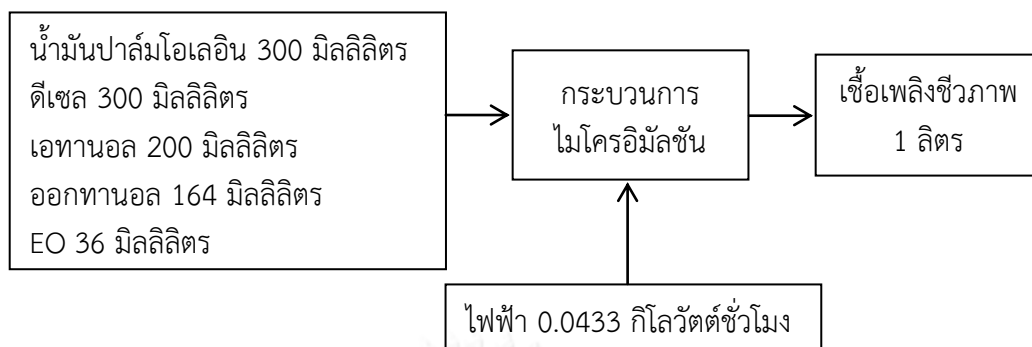
จากการทดลองวัดค่าความหนืดและค่าความร้อนของน้ำมัน งานวิจัยนี้เลือกค่านวนก๊าซเรือนกระจกของเชื้อเพลิงชีวภาพ 2 สัดส่วนคือ น้ำมันร้อยละ 50 (เอทานอลร้อยละ 30) และ น้ำมันร้อยละ 60 (เอทานอลร้อยละ 20) เพราะค่าความหนืดผ่านมาตรฐาน ASTM และมีค่าความร้อนสูงใกล้เคียงกับไบโอดีเซลที่ผลิตจากกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน

4.1.4 ปริมาณสารที่เหมาะสมในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ

บัญชีรายการข้อมูลในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพที่ 2 สัดส่วน โดยให้เวลาในการผสมของสารและปริมาณสารลดแรงตึงผิว รวมถึงสารลดแรงตึงผิวร่วมกัน โดยเปลี่ยนสัดส่วนของปริมาณวัตถุดิบ สัดส่วนแรกประกอบด้วยน้ำมันร้อยละ 50 เอทานอลร้อยละ 30 โดยปริมาตร แสดงดังภาพที่ 4.4 และสัดส่วนที่สองประกอบด้วยน้ำมันร้อยละ 60 เอทานอลร้อยละ 20 โดยปริมาตร แสดงดังภาพที่ 4.5



ภาพที่ 4.4 บัญชีรายการข้อมูลของเชื้อเพลิงชีวภาพ (น้ำมันร้อยละ 50) ที่ผลิตด้วยกระบวนการไมโครอิมัลชัน



ภาพที่ 4.5 บัญชีรายการข้อมูลของเชื้อเพลิงชีวภาพ (น้ำมันร้อยละ 60) ที่ผลิตด้วยกระบวนการไมโครอิมัลชัน

ปริมาณสารที่เหมาะสมในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยกระบวนการไมโครอิมัลชันที่ใช้เป็นข้อมูลในการคำนวณปริมาณก๊าซเรือนกระจกแสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ปริมาณสารที่เหมาะสมในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ 1 ลิตรด้วยกระบวนการไมโครอิมัลชัน

	เชื้อเพลิงชีวภาพจากกระบวนการไมโครอิมัลชัน		หน่วย
	น้ำมันร้อยละ 50	น้ำมันร้อยละ 60	
<i>สารขาเข้า</i>			
น้ำมันปาล์มโอเลอิน	250	300	มิลลิลิตร
ดีเซล	250	300	มิลลิลิตร
เอทานอล	300	200	มิลลิลิตร
ออกทานอล	164	164	มิลลิลิตร
EO1	36	36	มิลลิลิตร
<i>พลังงาน</i>			
ไฟฟ้า	0.0433	0.0433	กิโลวัตต์ชั่วโมง
<i>สารขาออก</i>			
เชื้อเพลิงชีวภาพ	1	1	ลิตร

4.2 กระบวนการผลิตไบโอดีเซลด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน

4.2.1 ค่าความหนืดของไบโอดีเซล

ค่าความหนืดของไบโอดีเซลแสดงดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ค่าความหนืดของไบโอดีเซลจากกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน

	ค่าความหนืด (เซนติสโตก)					
	15 องศาเซลเซียส	20 องศาเซลเซียส	25 องศาเซลเซียส	30 องศาเซลเซียส	35 องศาเซลเซียส	40 องศาเซลเซียส
B100	8.67	7.55	6.67	5.95	5.26	4.79

ค่าความหนืดของไบโอดีเซลจากกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน มีค่าเท่ากับ 4.79 เซนติสโตก และผ่านค่ามาตรฐาน ASTM ของเชื้อเพลิงชีวภาพ ที่ 40 องศาเซลเซียส ซึ่งมีค่าระหว่าง 1.6-6.0 เซนติสโตก

เนื่องจากที่ B100 ผ่านมาตรฐาน ดังนั้นการวิจัยนี้จึงพิจารณาค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ B100 และ น้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพร้อยละ 70 ผสมกับดีเซลที่ร้อยละ 30 (B70) อีกค่าหนึ่ง ทั้งนี้เพราะค่าความหนืดของดีเซลมีค่าน้อยกว่าค่าความหนืดของน้ำมันปาล์มที่อุณหภูมิเดียวกัน เมื่อเพิ่มปริมาณของดีเซลเข้าไป และลดสัดส่วนของน้ำมันปาล์มโอเลอินลงเป็นผลทำให้ค่าความหนืดลดลงเช่นกัน

4.2.2 ค่าความร้อนของไบโอดีเซล

ค่าความร้อนของไบโอดีเซลจากกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน แสดงดังตารางที่ 4.5

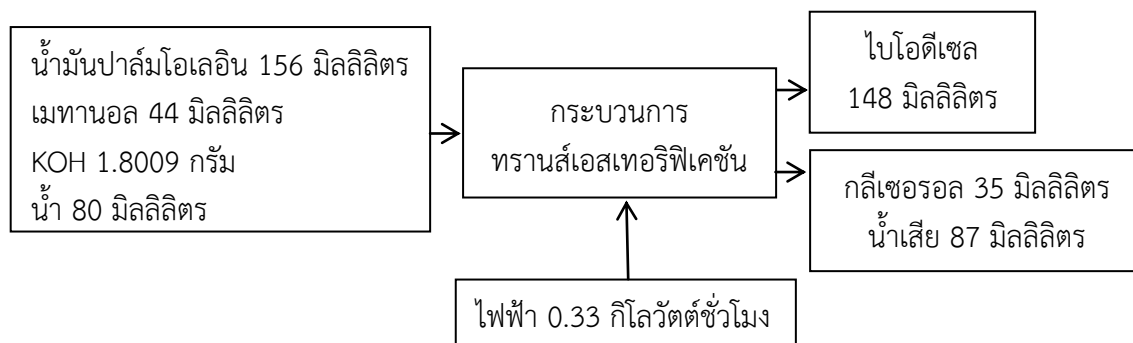
ตารางที่ 4.5 ค่าความร้อนของไบโอดีเซลจากกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน

สัดส่วนของวัตถุดิบ	ค่าความร้อน (แคลอรีต่อกรัม)
B100	9492.7
B70	10663.2

จากตารางที่ 4.5 ค่าความร้อนของไบโอดีเซล (B100) เท่ากับ 9492.7 แคลอรีต่อกรัม และเมื่อนำมาหาค่าความร้อนตามสัดส่วนของไบโอดีเซลร้อยละ 70 ผสมกับดีเซลร้อยละ 30 (B70) เท่ากับ 10663.2 แคลอรีต่อกรัม พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณดีเซลที่ใช้ผสมในน้ำมันชีวภาพเป็นผลให้ค่าความร้อนเพิ่มขึ้น

4.2.3 ปริมาณสารที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซล

บัญชีรายการข้อมูลในการผลิตไบโอดีเซลด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน โดยข้อมูลเป็นข้อมูลจากการทดลองในห้องปฏิบัติการ สัดส่วนแรกคือ B100 แสดงดังภาพที่ 4.6



ภาพที่ 4.6 บัญชีรายการข้อมูลของไบโอดีเซล (B100) ที่ผลิตด้วยกระบวนการทรานส์-เอสเทอร์ฟิเคชัน

ปริมาณสารที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซล 1 ลิตร แสดงดังตารางที่ 4.6 ซึ่งข้อมูลปริมาณจะนำไปใช้คำนวณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากการผลิตไบโอดีเซลด้วยกระบวนการทรานส์-เอสเทอร์ฟิเคชัน

ตารางที่ 4.6 ปริมาณสารที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซล 1 ลิตร (ยังไม่เป็นส่วนของกลีเซอรอล) ด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

	ไบโอดีเซลจากกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน		หน่วย
	B100	B70	
สารขาเข้า			
น้ำมันปาล์มโอเลอิน	1054	738	มิลลิลิตร
ดีเซล	-	300	มิลลิลิตร
เมทานอล	297	208	มิลลิลิตร
โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH)	12.17	8.52	กรัม
น้ำ	541	378	มิลลิลิตร
พลังงาน			
ไฟฟ้า	2.19	1.58	กิโลวัตต์ชั่วโมง
สารขาออก			
ไบโอดีเซล	1	1	ลิตร
กลีเซอรอล	236	166	มิลลิลิตร
น้ำเสีย	588	411	มิลลิลิตร

4.3 ก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการปลูกปาล์ม

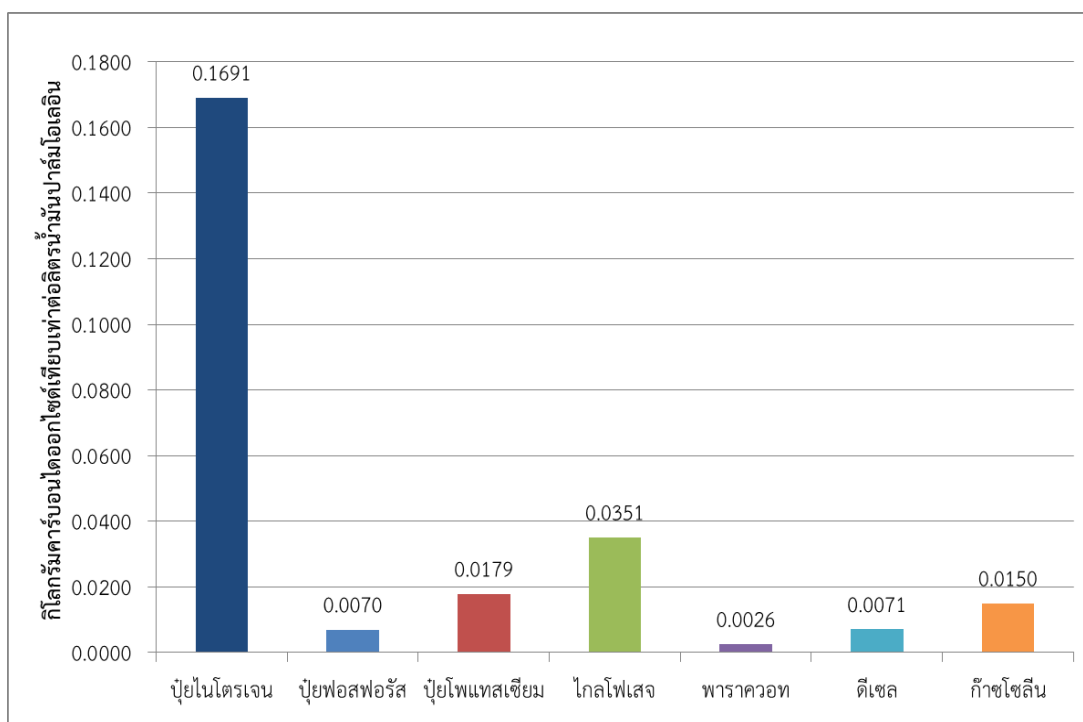
โดยทั่วไปในประเทศไทยจะปลูกต้นปาล์มน้ำมันประมาณ 21 ถึง 22 ต้นต่อไร่ (1 ไร่เท่ากับ 1600 ตารางเมตร) ปุ๋ยที่ใช้ในการปลูกต้นปาล์มประกอบด้วย ปุ๋ยไนโตรเจน ปุ๋ยฟอสเฟส และปุ๋ยโพแทสเซียม สำหรับย่าฆ่าแมลงพาราควอท และไกลโฟเสจจะใช้ประมาณ 1-3 ครั้งต่อปี ต้นปาล์มเริ่มให้ผลผลิต 2 ปีครึ่งถึง 3 ปีหลังจากเริ่มปลูก และจะเก็บเกี่ยวทุกๆ 10 ถึง 15 วัน หรือ 2 ถึง 3 ครั้งต่อเดือน (Pleanjai และคณะ, 2007) การใช้พลังงานในการปลูกปาล์มน้ำมัน ใช้ดีเซลและก๊าซโซลีนเพื่อเตรียมพื้นที่และตัดผลปาล์ม (Patthanaissaranukool และคณะ, 2013)

ข้อมูลเพื่อใช้ในการคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการปลูกปาล์มมาจากการรวบรวมข้อมูลที่มีผู้ทำไว้แล้ว และนำมาหาค่าเฉลี่ยที่เหมาะสม (Pleanjai และคณะ, 2009) (Patthanaissaranukool และคณะ, 2013) (Silertruksa และคณะ, 2012) ดังแสดงในตารางที่ 4.7 และจากกระบวนการปลูกปาล์ม สุดท้ายจะได้ผลปาล์มเพื่อนำไปผลิตเป็นน้ำมันปาล์มโอเลอินต่อไป

ตารางที่ 4.7 ข้อมูลสารขาเข้าและพลังงานจากกระบวนการปลูกปาล์มต่อน้ำมันปาล์มโอเลอิน 1 ลิตร

ชนิด	ปริมาณ	หน่วย	ที่มา
ปุ๋ยไนโตรเจน (N)	0.0650	กิโลกรัม	Silertruksa และคณะ, 2012 Pleanjai และ Gheewala, 2009
ปุ๋ยฟอสฟอรัส (P_2O_5)	0.0277	กิโลกรัม	Silertruksa และคณะ, 2012 Patthanaissaranukool และคณะ, 2013
ปุ๋ยโพแทสเซียม (K_2O)	0.1116	กิโลกรัม	Silertruksa และคณะ, 2012 Pleanjai และ Gheewala, 2009 Patthanaissaranukool และคณะ, 2013
ไกลโฟเสจ (Glyphosate)	0.0022	กิโลกรัม	Silertruksa และคณะ, 2012 Pleanjai และ Gheewala, 2009
พาราควอท (Paraquat)	0.0008	กิโลกรัม	Silertruksa และคณะ, 2012 Pleanjai และ Gheewala, 2009
ดีเซล	0.0019	กิโลกรัม	Silertruksa และคณะ, 2012 Patthanaissaranukool และคณะ, 2013
ก๊าซโซลีน	0.0040	กิโลกรัม	Patthanaissaranukool และคณะ, 2013

โดยปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากกระบวนการปลูกปาล์ม แสดงดังภาพที่ 4.7



ภาพที่ 4.7 ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาจากวัตุุดิบจากกระบวนการปลูกปาล์ม

ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาจากกระบวนการปลูกปาล์มต่อน้ำมันปาล์ม 1 ลิตร เท่ากับ 0.2536 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อลิตรน้ำมันปาล์มโอเลอิน โดยปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากปุ๋ยไนโตรเจน 0.1691 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ปุ๋ยฟอสฟอรัส 0.0070 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ปุ๋ยโพแทสเซียม 0.0179 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ไกลโฟเสจ 0.0351 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า พาราควอท 0.0026 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ดีเซล 0.0071 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า และก๊าซโซลีน 0.0150 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า

จากขั้นตอนการปลูกปาล์ม พบว่าไนโตรเจนปล่อยก๊าซเรือนกระจกออกมามากที่สุด รองลงมาคือ ไกลโฟเสจ โพแทสเซียม ก๊าซโซลีน ปุ๋ยฟอสฟอรัส โพแทสเซียม ดีเซล และพาราควอท ตามลำดับ เนื่องจากไนโตรเจนมีค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูง ดังนั้นในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากขั้นตอนนี้ควรเน้นไปที่การเลือกใช้ปุ๋ยและสารเคมีให้เหมาะสมกับความต้องการของปาล์มในแต่ละช่วงอายุ ทั้งนี้ควรเลือกสายพันธุ์ของปาล์มให้เหมาะสมกับพื้นที่และสภาพดินที่ใช้ปลูก เพื่อเพิ่มผลผลิตให้มากขึ้น (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร แฉงผลศึกษาการผลิตปาล์มกับก๊าซเรือนกระจก, 2556)

ก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากกระบวนการปลูกปาล์มต่อเชื้อเพลิงชีวภาพ 1 ลิตร จะไม่เท่ากันในแต่ละกระบวนการการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ เนื่องจากความหนาแน่น ปริมาณน้ำมันปาล์มโอเลอิน ไม่เท่ากันในแต่ละกระบวนการ รวมถึงก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพใน

หน่วยค่าความร้อนจะไม่เท่ากัน เนื่องมาจากเชื้อเพลิงชีวภาพจากกระบวนการต่างๆมีค่าความร้อนแตกต่างกัน

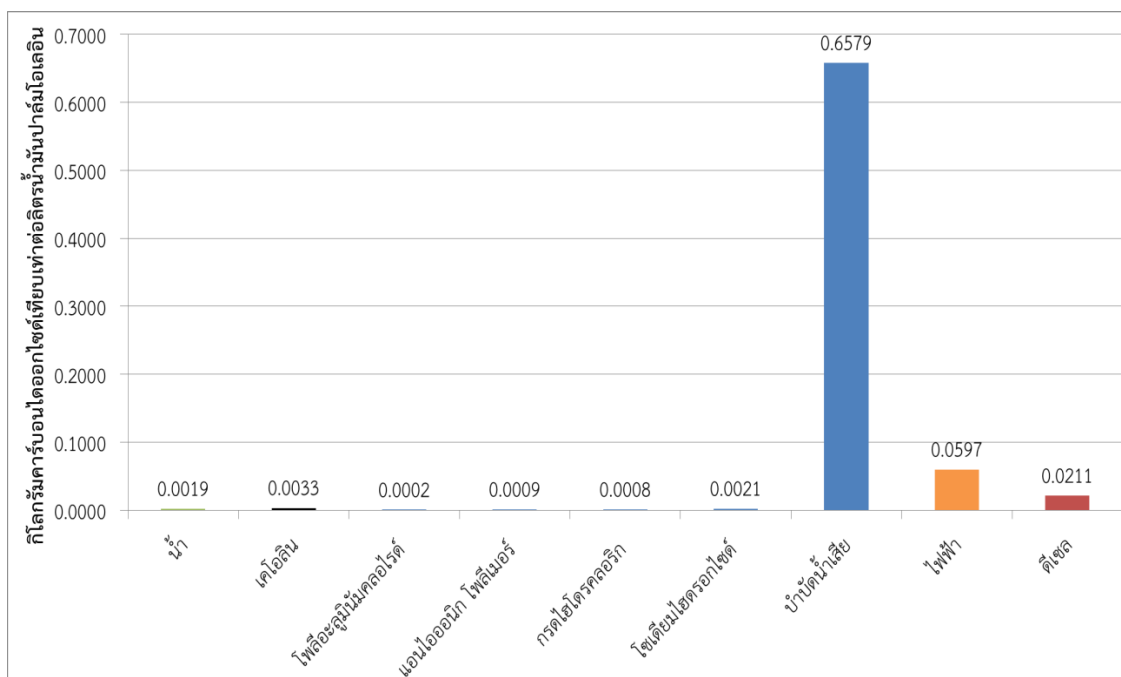
4.4 ก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มโอเลอิน

ข้อมูลเพื่อใช้ในการคำนวณก๊าซปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มโอเลอินมาจากการรวบรวมข้อมูลที่มีผู้ทำไว้แล้ว และนำมาหาค่าเฉลี่ยที่เหมาะสม (Pleanjai และคณะ, 2007) (Kaewmai และคณะ, 2012) (Silertruksa และคณะ, 2012) ดังแสดงในตารางที่ 4.8 และจากกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มโอเลอิน สุดท้ายจะได้น้ำมันปาล์มโอเลอินเพื่อใช้ในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพต่อไป

ตารางที่ 4.8 ข้อมูลสารขาเข้าและพลังงานจากกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มโอเลอินต่อน้ำมันปาล์มโอเลอิน 1 ลิตร

ชนิด	ปริมาณ	หน่วย	ที่มา
น้ำ	0.0139	ลูกบาศก์เมตร	Pleanjai และคณะ, 2007 Kaewmai และคณะ, 2012
เคโอเลอิน	0.0150	กิโลกรัม	Kaewmai และคณะ, 2012
โพลิอะลูมิเนียมคลอไรด์ (Polyaluminum chloride)	0.0004	กิโลกรัม	Kaewmai และคณะ, 2012
แอนไอออนิก โพลีเมอร์ (Anionic polymer)	0.0006	กิโลกรัม	Kaewmai และคณะ, 2012
กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid)	0.0020	กิโลกรัม	Kaewmai และคณะ, 2012
โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide)	0.0018	กิโลกรัม	Kaewmai และคณะ, 2012
น้ำเสียที่เกิดขึ้น	0.0121	กิโลกรัม	Pleanjai และคณะ, 2007 Kaewmai และคณะ, 2012
ไฟฟ้า	0.0980	กิโลวัตต์ชั่วโมง	Pleanjai และคณะ, 2007 Silertruksa และคณะ, 2012 Pleanjai และ Gheewala, 2009
ดีเซล	0.0055	กิโลกรัม	Pleanjai และคณะ, 2007 Kaewmai และคณะ, 2012 Silertruksa และคณะ, 2012

โดยปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มโอเลอิน แสดงดังภาพที่ 4.8



ภาพที่ 4.8 ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาจากวัตุุดิบจากกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มโอเลอิน

ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาจากกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มโอเลอินมีค่าเท่ากับ 0.7478 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อลิตรน้ำมันปาล์มโอเลอิน โดยปล่อยก๊าซเรือนกระจกจาก น้ำ 0.0019 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า เคโอลิน 0.0033 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า โพแทสเซียมอะลูมิเนียมคลอไรด์ 0.0002 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า แอนไอออนิก โพลีเมอร์ 0.0009 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า กรดไฮโดรคลอริก 0.0008 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.0021 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า การบำบัดน้ำเสีย 0.6579 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ไฟฟ้า 0.0597 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า และดีเซล 0.0211 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า

จากขั้นตอนการผลิตน้ำมันปาล์มโอเลอินพบว่ากระบวนการบำบัดน้ำเสียปล่อยก๊าซเรือนกระจกออกมามากที่สุด รองลงมาคือ การใช้ไฟฟ้า และดีเซล ตามลำดับ ส่วนปริมาณสารอื่นๆมีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกใกล้เคียงกัน ทั้งนี้เพราะในการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนปล่อยก๊าซมีเทนเป็นจำนวนมาก ซึ่งก๊าซมีเทนมีศักยภาพการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากกว่าคาร์บอนไดออกไซด์ 25 เท่า ดังนั้นในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากขั้นตอนนี้ควรเน้นไปที่การลดปริมาณน้ำเสียจากกระบวนการผลิต รวมถึงปรับปรุงกระบวนการบำบัดน้ำเสียให้มีประสิทธิภาพ และควรเลือกกระบวนการบำบัดที่เหมาะสมกับลักษณะน้ำเสีย

ก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากกระบวนการปลูกปาล์มต่อเชื้อเพลิงชีวภาพ 1 ลิตร จะไม่เท่ากันในแต่ละกระบวนการการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ เนื่องจากความหนาแน่น ปริมาณน้ำมันปาล์ม

โอเลอิน ไม่เท่ากันในแต่ละกระบวนการ รวมถึงก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพในหน่วยค่าความร้อนจะไม่เท่ากัน เนื่องมาจากเชื้อเพลิงชีวภาพจากกระบวนการต่างๆมีค่าความร้อนแตกต่างกัน

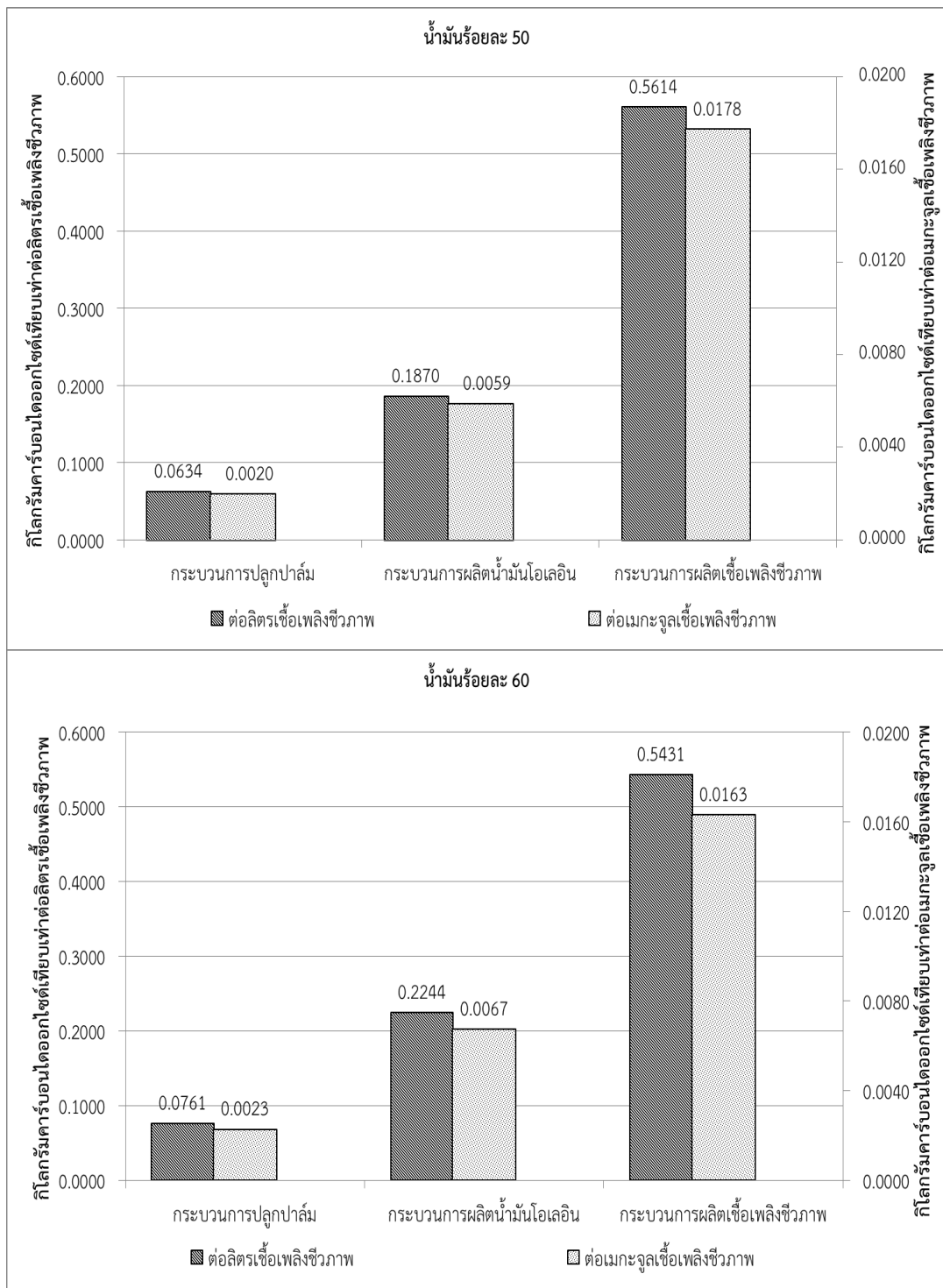
ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกจากการได้มาของน้ำมันปาล์มโอเลอิน 1 ลิตรเท่ากับ 1.0014 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อลิตรน้ำมันปาล์มโอเลอิน หรือ 776.35 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ หรือ 1093.45 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อตันน้ำมันปาล์มโอเลอิน ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของน้ำมันปาล์มโอเลอินจาก TGO (1010 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์ต่อตันโอเลอิน) ในงานวิจัยนี้จึงใช้ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากน้ำมันปาล์มโอเลอินเท่ากับ 1093.45 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อตันน้ำมันปาล์มโอเลอิน ดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการได้มาของน้ำมันปาล์มโอเลอิน

	ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า)		
	ต่อลิตร น้ำมันปาล์มโอเลอิน	ต่อตัน น้ำมันปาล์มดิบ	ต่อตัน น้ำมันปาล์มโอเลอิน
กระบวนการปลูกปาล์ม	0.2536	196.60	276.91
กระบวนการผลิตน้ำมัน ปาล์มโอเลอิน	0.7478	579.75	816.54
การได้มาซึ่งน้ำมัน ปาล์มโอเลอิน (รวมสองกระบวนการ)	1.0014	776.35	1093.45

4.5 ก๊าซเรือนกระจกจากเชื้อเพลิงชีวภาพที่ผลิตด้วยกระบวนการไมโครอิมัลชัน

พิจารณาก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาจากการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ 1 ลิตรด้วยกระบวนการไมโครอิมัลชัน ประกอบด้วย 3 ขั้นตอนคือ กระบวนการปลูกปาล์ม กระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มโอเลอิน และกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ ซึ่งไม่รวมการได้มาของน้ำมันปาล์มโอเลอิน แสดงดังภาพที่ 4.9



ภาพที่ 4.9 ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาจากขั้นตอนต่างๆของการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพที่สัดส่วนน้ำมันร้อยละ 50 และ 60 ด้วยกระบวนการไมโครอิมัลชัน

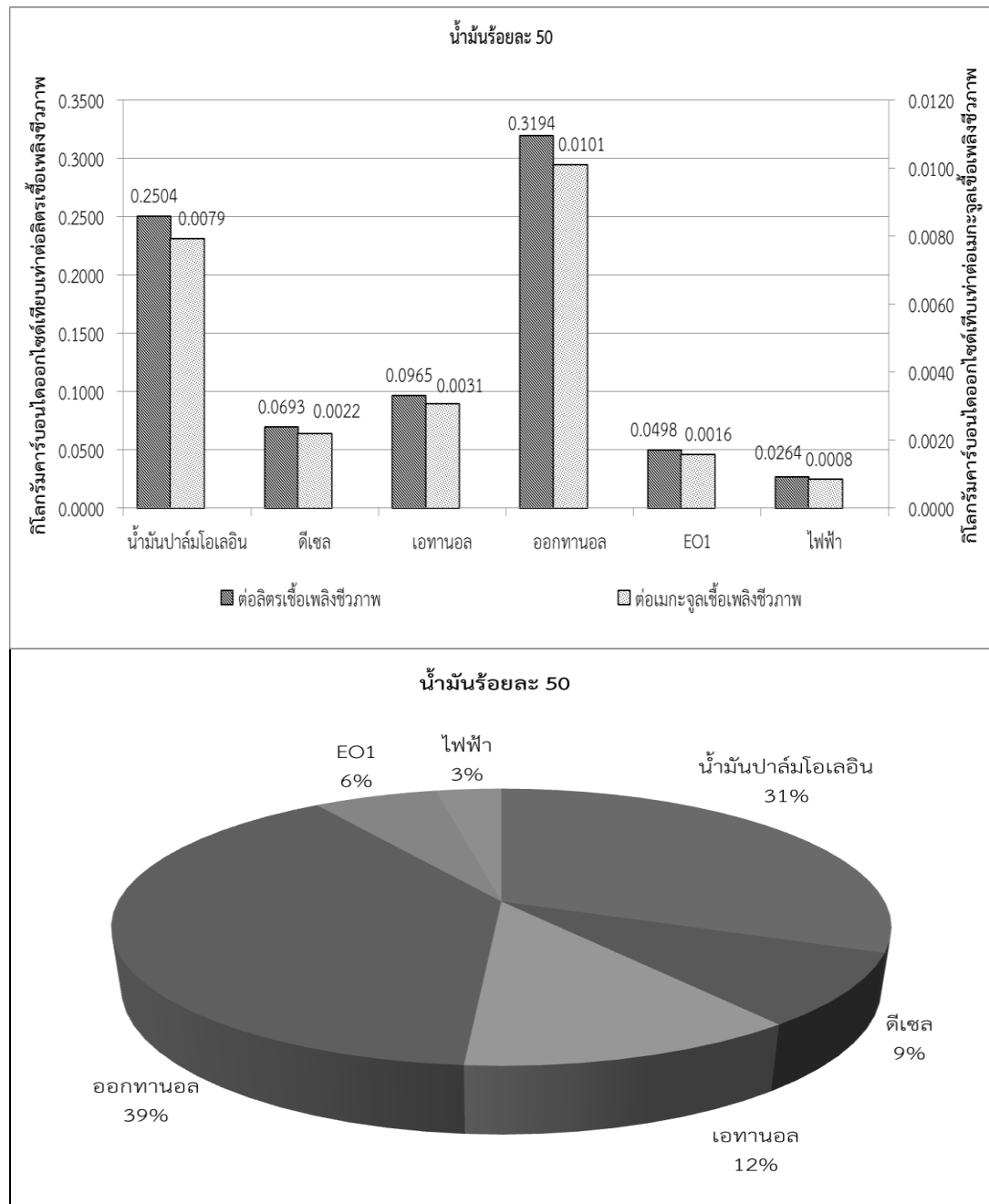
จากภาพที่ 4.9 สำหรับเชื้อเพลิงชีวภาพ (น้ำมันร้อยละ 50) ปริมาณก๊าซเรือนกระจกจากขั้นตอนการปลูกป่าเท่ากับ 0.0634 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อลิตรเชื้อเพลิงชีวภาพ

หรือ 0.0020 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อเมกะจูลเชื้อเพลิงชีวภาพ ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกจากกระบวนการผลิตน้ำมันโอเลอินเท่ากับ 0.1870 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อลิตรเชื้อเพลิงชีวภาพ หรือ 0.0059 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อเมกะจูลเชื้อเพลิงชีวภาพ ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาจากกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพเท่ากับ 0.5614 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อลิตรเชื้อเพลิงชีวภาพ หรือ 0.0178 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อเมกะจูลเชื้อเพลิงชีวภาพ

สำหรับเชื้อเพลิงชีวภาพ (น้ำมันร้อยละ 60) ปริมาณก๊าซเรือนกระจกจากขั้นตอนการปลูกปาล์มเท่ากับ 0.0761 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อลิตรเชื้อเพลิงชีวภาพ หรือ 0.0023 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อเมกะจูลเชื้อเพลิงชีวภาพ ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกจากกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มโอเลอินเท่ากับ 0.2244 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อลิตรเชื้อเพลิงชีวภาพ หรือ 0.0067 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อเมกะจูลเชื้อเพลิงชีวภาพ ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาจากกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพเท่ากับ 0.5431 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อลิตรเชื้อเพลิงชีวภาพ หรือ 0.0163 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อเมกะจูลเชื้อเพลิงชีวภาพ

จากทั้งสองสัดส่วน พบว่ากระบวนการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดรองลงมาคือ กระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มโอเลอิน และกระบวนการปลูกปาล์มปาล์ม ตามลำดับ ทั้งนี้เพื่อลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นควรให้ความสำคัญไปที่กระบวนการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ

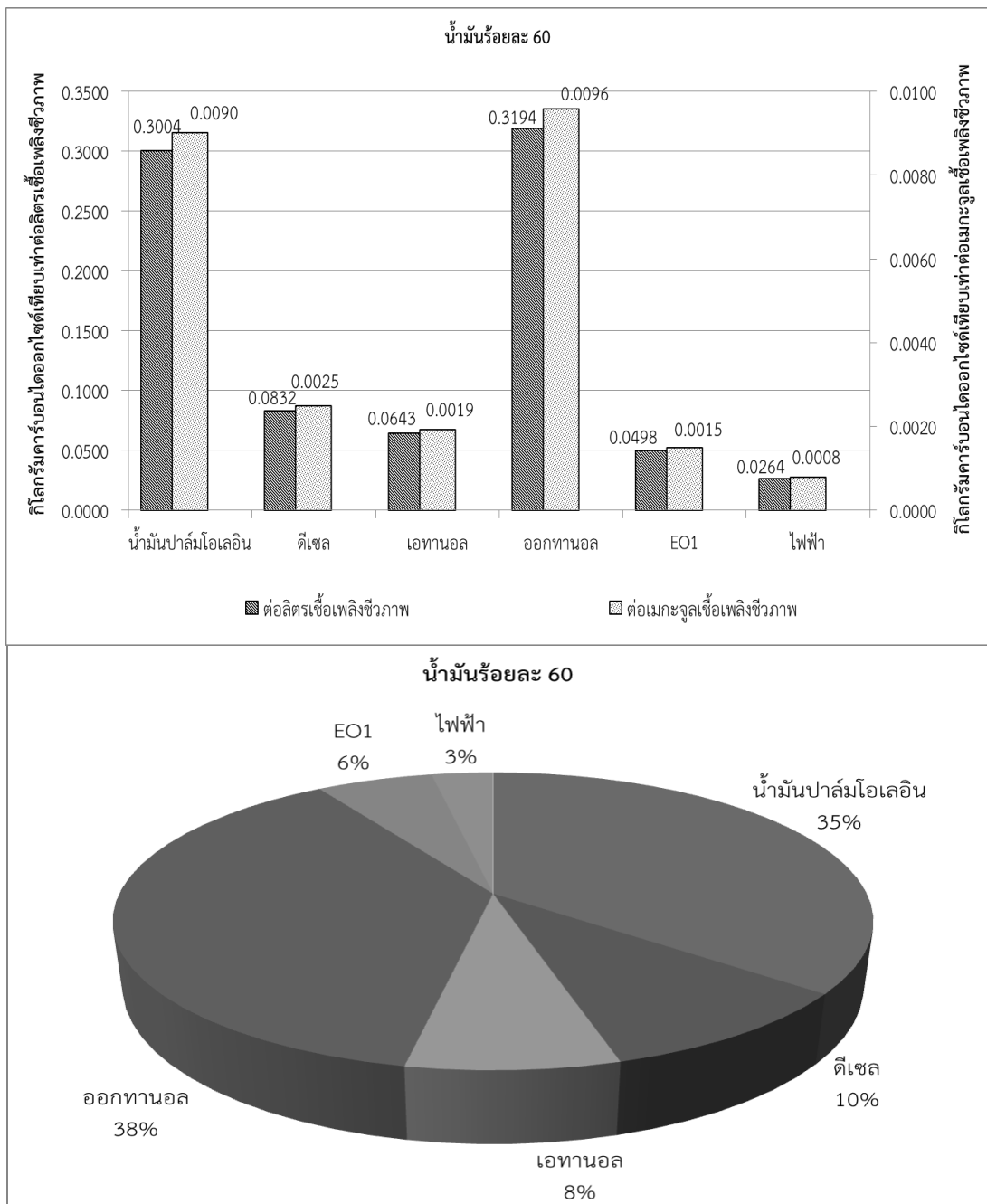
ก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพที่ประกอบด้วยสัดส่วนน้ำมันร้อยละ 50 แสดงดังภาพที่ 4.10 และเชื้อเพลิงชีวภาพที่สัดส่วนน้ำมันร้อยละ 60 ดังภาพที่ 4.11



ภาพที่ 4.10 ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากเชื้อเพลิงชีวภาพ (น้ำมันร้อยละ 50) ที่ผลิตด้วยกระบวนการไมโครอิมัลชัน

ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้สัดส่วนน้ำมันร้อยละ 50 จากกระบวนการไมโครอิมัลชัน ประกอบด้วยก๊าซเรือนกระจกจากน้ำมันปาล์มโอเลอินเท่ากับ 0.2504 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อลิตรเชื้อเพลิงชีวภาพ หรือ 0.0079 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อเมกะจูลเชื้อเพลิงชีวภาพ (ร้อยละ 31) ดีเซลเท่ากับ 0.0693 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อลิตรเชื้อเพลิงชีวภาพ หรือ 0.0022 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์

เทียบเท่าต่อเมกะจูลเชื้อเพลิงชีวภาพ (ร้อยละ 9) เอทานอลเท่ากับ 0.0965 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อลิตรเชื้อเพลิงชีวภาพหรือ 0.0031 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อเมกะจูลเชื้อเพลิงชีวภาพ (ร้อยละ 12) ออกทานอลเท่ากับ 0.3194 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อลิตรเชื้อเพลิงชีวภาพหรือ 0.0101 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อเมกะจูลเชื้อเพลิงชีวภาพ (ร้อยละ 39) EO1 เท่ากับ 0.0498 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อลิตรเชื้อเพลิงชีวภาพหรือ 0.0016 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อเมกะจูลเชื้อเพลิงชีวภาพ (ร้อยละ 6) ปริมาณการใช้ไฟฟ้าเท่ากับ 0.0264 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อลิตรเชื้อเพลิงชีวภาพหรือ 0.0008 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อเมกะจูลเชื้อเพลิงชีวภาพ (ร้อยละ 3) (ดังภาพที่ 4.10) พบว่าก๊าซเรือนกระจกจากออกทานอลมีค่ามากที่สุด รองลงมาคือน้ำมันปาล์มโอเลอิน เอทานอล ดีเซล EO1 และการใช้ไฟฟ้า ตามลำดับ เพราะการได้มาซึ่งออกทานอลและน้ำมันปาล์มโอเลอินปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูง ในทางกลับกันกระบวนการไมโครอิมัลชันเป็นกระบวนการที่ใช้พลังงานน้อยในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพจึงทำให้ก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาจากการใช้ไฟฟ้ามีน้อยเช่นกัน

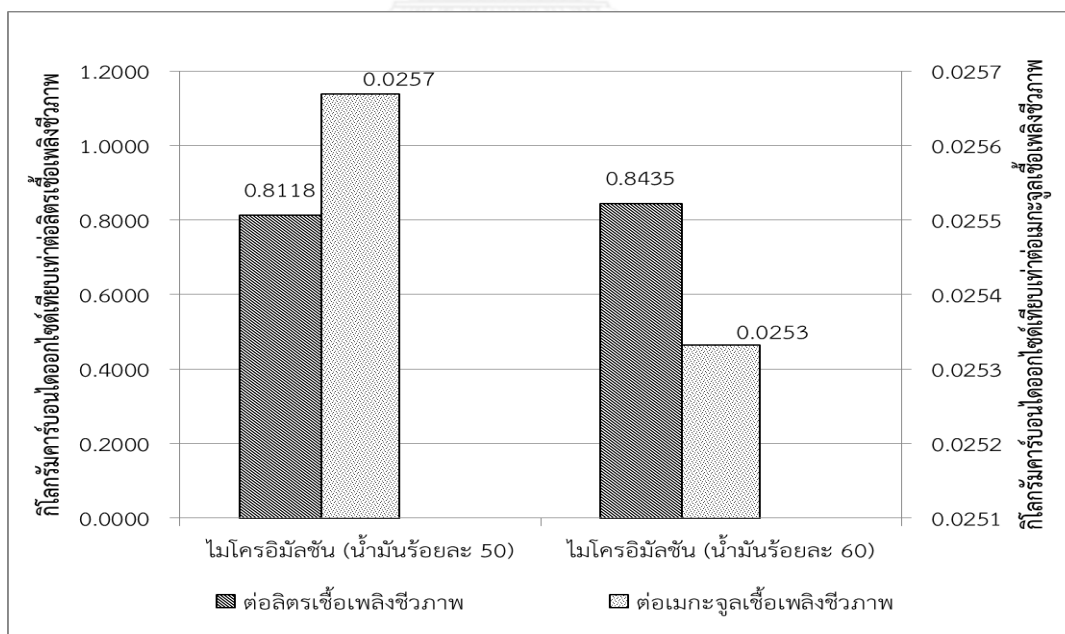


ภาพที่ 4.11 ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากเชื้อเพลิงชีวภาพ (น้ำมันร้อยละ 60) ที่ผลิตด้วยกระบวนการไมโครอิมัลชัน

ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้สัดส่วนน้ำมันร้อยละ 60 จากกระบวนการไมโครอิมัลชัน ประกอบด้วยก๊าซเรือนกระจกจากน้ำมันปาล์มโอเลอินเท่ากับ 0.3004 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อลิตรเชื้อเพลิงชีวภาพ หรือ 0.0090 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อเมกะจูลเชื้อเพลิงชีวภาพ (ร้อยละ 35) ดีเซลเท่ากับ 0.0832 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อลิตรเชื้อเพลิงชีวภาพ หรือ 0.0025 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์

เทียบเท่าต่อเมกะจูลเชื้อเพลิงชีวภาพ (ร้อยละ 10) เอทานอลเท่ากับ 0.0643 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อลิตรเชื้อเพลิงชีวภาพ หรือ 0.0019 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อเมกะจูลเชื้อเพลิงชีวภาพ (ร้อยละ 8) ออกทานอลเท่ากับ 0.3194 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อลิตรเชื้อเพลิงชีวภาพ หรือ 0.0096 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อเมกะจูลเชื้อเพลิงชีวภาพ (ร้อยละ 38) EO1 เท่ากับ 0.0498 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อลิตรเชื้อเพลิงชีวภาพ หรือ 0.0015 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อเมกะจูลเชื้อเพลิงชีวภาพ (ร้อยละ 6) การใช้ไฟฟ้าเท่ากับ 0.0264 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อลิตรเชื้อเพลิงชีวภาพ หรือ 0.0008 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อเมกะจูลเชื้อเพลิงชีวภาพ (ร้อยละ 3) (ดังภาพที่ 4.11) พบว่าปริมาณก๊าซเรือนกระจกจากออกทานอลมีค่ามากที่สุด รองลงมาคือน้ำมันปาล์มโอเลอิน ดีเซล เอทานอล EO1 และการใช้ไฟฟ้าตามลำดับ โดยที่สัดส่วนนี้ปริมาณการใช้ออกทานอลยังคงเท่ากับสัดส่วนแรก และปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดเช่นกัน เนื่องจากค่า emission factor หรือค่าการได้มาของออกทานอลมีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูง และในสัดส่วนที่ใช้ น้ำมันร้อยละ 60 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากน้ำมันปาล์มโอเลอินเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากใช้สัดส่วนของปริมาณน้ำมันผสมมากขึ้น แต่ในทางกลับกันเมื่อเพิ่มปริมาณการใช้ดีเซลของสัดส่วนน้ำมันร้อยละ 60 พบว่าก๊าซเรือนกระจกจากดีเซลเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย

จากภาพที่ 4.10 และ 4.11 สรุปได้ว่า กระบวนการไมโครอิมัลชันเป็นกระบวนการที่ใช้พลังงานน้อย ไม่เกิดผลผลิตพลอยได้ ไม่เกิดน้ำเสีย โดยออกทานอลปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด รองลงมาคือ น้ำมันปาล์มโอเลอิน



ภาพที่ 4.12 ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาจากเชื้อเพลิงชีวภาพที่ผลิตด้วยกระบวนการไมโครอิมัลชัน

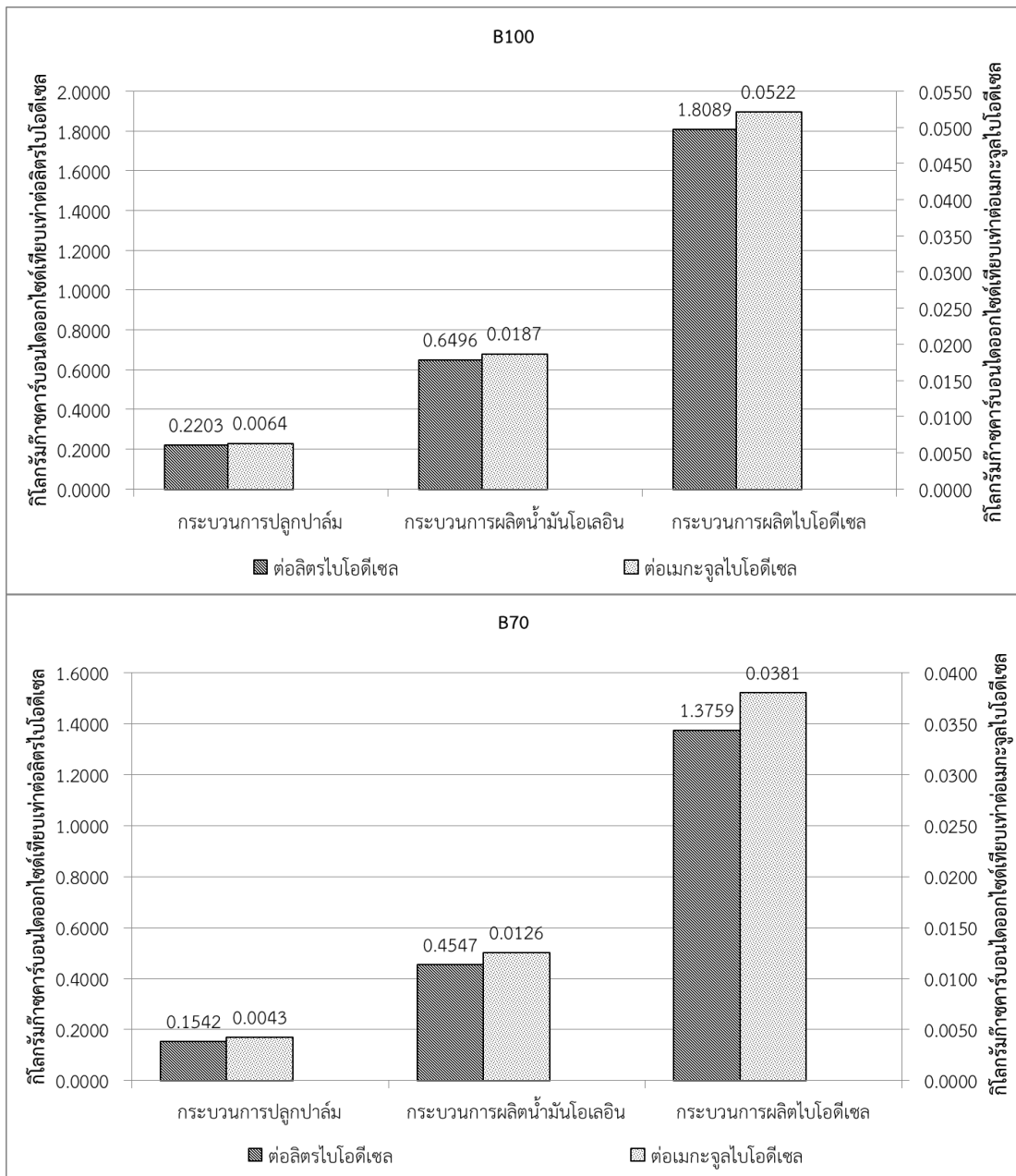
ปริมาณก๊าซเรือนกระจกจากเชื้อเพลิงชีวภาพที่ผลิตด้วยกระบวนการไมโครอิมัลชันที่สกัดส่วนน้ำมันร้อยละ 50 เท่ากับ 0.8118 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อลิตรเชื้อเพลิงชีวภาพ หรือ 0.0257 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อเมกะจูลเชื้อเพลิงชีวภาพ และเชื้อเพลิงชีวภาพที่ประกอบด้วยน้ำมันร้อยละ 60 ปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 0.8435 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อลิตรเชื้อเพลิงชีวภาพ หรือ 0.0253 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อเมกะจูลเชื้อเพลิงชีวภาพ

การเปรียบเทียบปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาจากเชื้อเพลิงชีวภาพที่ผลิตจากกระบวนการไมโครอิมัลชัน (ดังภาพที่ 4.12) ในหน่วยต่อลิตรเชื้อเพลิงชีวภาพ พบว่าเมื่อเพิ่มสัดส่วนของน้ำมันผสม (น้ำมันปาล์มโอเลอินผสมกับน้ำมันดีเซล) จากร้อยละ 50 เป็นร้อยละ 60 ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกันในหน่วยลิตรเชื้อเพลิงชีวภาพ เพราะปริมาณของน้ำมันปาล์มโอเลอินมีค่ามากขึ้น ซึ่งน้ำมันปาล์มโอเลอินมีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงมาก ดังนั้นทำให้ก๊าซเรือนกระจกมีค่าเพิ่มขึ้น แต่ในทางกลับกันถ้าเปรียบเทียบก๊าซเรือนกระจกในหน่วยต่อเมกะจูลเชื้อเพลิงชีวภาพพบว่าเมื่อเพิ่มสัดส่วนของน้ำมันผสมจากร้อยละ 50 เป็นร้อยละ 60 ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมีค่าลดลง เนื่องจากเมื่อเพิ่มปริมาณสัดส่วนน้ำมันผสม ซึ่งเป็นการเพิ่มปริมาณน้ำมันดีเซลเข้าไปด้วย ซึ่งน้ำมันดีเซลมีค่าความร้อนสูง ทำให้เชื้อเพลิงชีวภาพมีค่าความร้อนสูงขึ้นเช่นกัน ดังนั้นจึงทำให้ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อเมกะจูลเชื้อเพลิงชีวภาพมีค่าลดลง

ทั้งนี้ทั้งสองกระบวนการใช้ปริมาณออกทานอลเท่ากัน ซึ่งออกทานอลมีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงมากที่สุดเมื่อเทียบกับวัตถุดิบอื่น ดังนั้นในการลดก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพจากกระบวนการไมโครอิมัลชันควรให้ความสำคัญกับออกทานอล และสัดส่วนของน้ำมันที่ใช้

4.6 ก๊าซเรือนกระจกจากไบโอดีเซลที่ผลิตด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน

พิจารณาก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาจากการผลิตไบโอดีเซล 1 ลิตรด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน ประกอบด้วย 3 ขั้นตอนคือ กระบวนการปลูกปาล์ม กระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มโอเลอิน และกระบวนการผลิตไบโอดีเซล (ไม่รวมการได้มาของน้ำมันปาล์มโอเลอิน) โดยทำการปันส่วนคิดแค่ก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากการผลิตไบโอดีเซลเท่านั้น ไม่รวมกลีเซอรอล แสดงดังภาพที่ 4.13



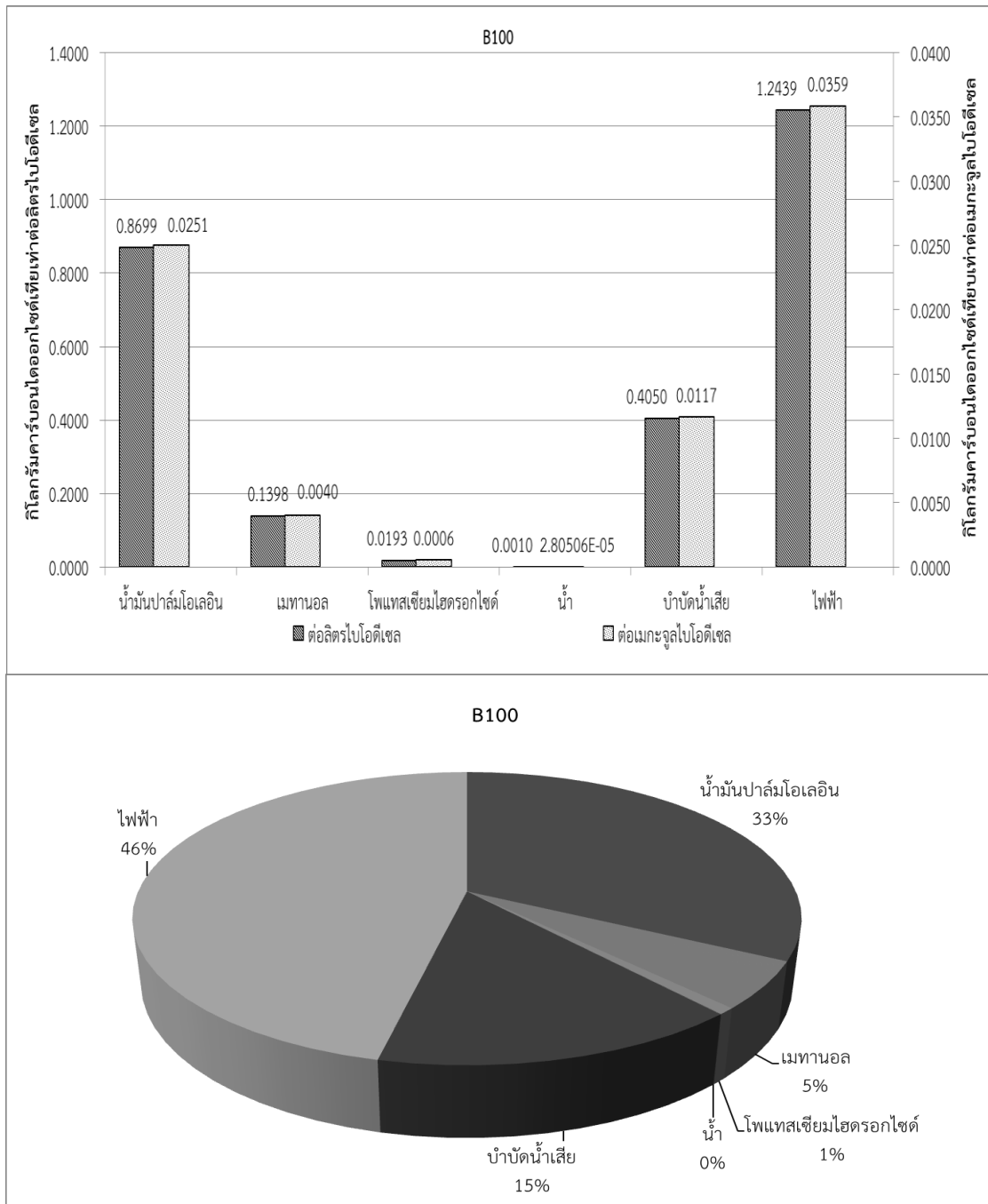
ภาพที่ 4.13 ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาจากขั้นตอนต่างๆของการผลิตไบโอดีเซลที่สัดส่วน B100 และ B70 ด้วยกระบวนการทรานส์เอสเตอร์ฟิเคชัน

จากภาพที่ 4.13 สำหรับ B100 ปริมาณก๊าซเรือนกระจกจากขั้นตอนการปลูกปาล์มเท่ากับ 0.2203 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อลิตรไบโอดีเซล หรือ 0.0064 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อเมกะจูลไบโอดีเซล ปริมาณก๊าซเรือนกระจกจากขั้นตอนการผลิตน้ำมันปาล์มโอเลอินเท่ากับ 0.6496 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อลิตรไบโอดีเซล หรือ 0.0187 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อเมกะจูลไบโอดีเซล ปริมาณก๊าซเรือนกระจกจากขั้นตอนการผลิตไบโอดีเซลเท่ากับ 1.8089 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อลิตรไบโอดีเซล หรือ 0.0522 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อเมกะจูลไบโอดีเซล

สำหรับ B70 ก๊าซเรือนกระจกจากขั้นตอนการปลูกปาล์มเท่ากับ 0.1542 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อลิตรไบโอดีเซล หรือ 0.0043 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อเมกะจูลไบโอดีเซล ก๊าซเรือนกระจกจากขั้นตอนการผลิตน้ำมันโอเลอินเท่ากับ 0.4547 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อลิตรไบโอดีเซล หรือ 0.0126 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อเมกะจูลไบโอดีเซล ก๊าซเรือนกระจกจากขั้นตอนการผลิตไบโอดีเซลเท่ากับ 1.3759 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อลิตรไบโอดีเซล หรือ 0.0381 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อเมกะจูลไบโอดีเซล

จากทั้งสองสัดส่วน พบว่ากระบวนการผลิตไบโอดีเซลปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดรองลงมาคือ กระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มโอเลอิน และกระบวนการปลูกปาล์ม ตามลำดับ ทั้งนี้เพื่อลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นควรให้ความสำคัญไปที่กระบวนการผลิตไบโอดีเซล

ก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากการผลิตไบโอดีเซล (B100) ดังภาพที่ 4.14 และไบโอดีเซลร้อยละ 70 ผสมกับ ดีเซลร้อยละ 30 (B70) ดังภาพที่ 4.15

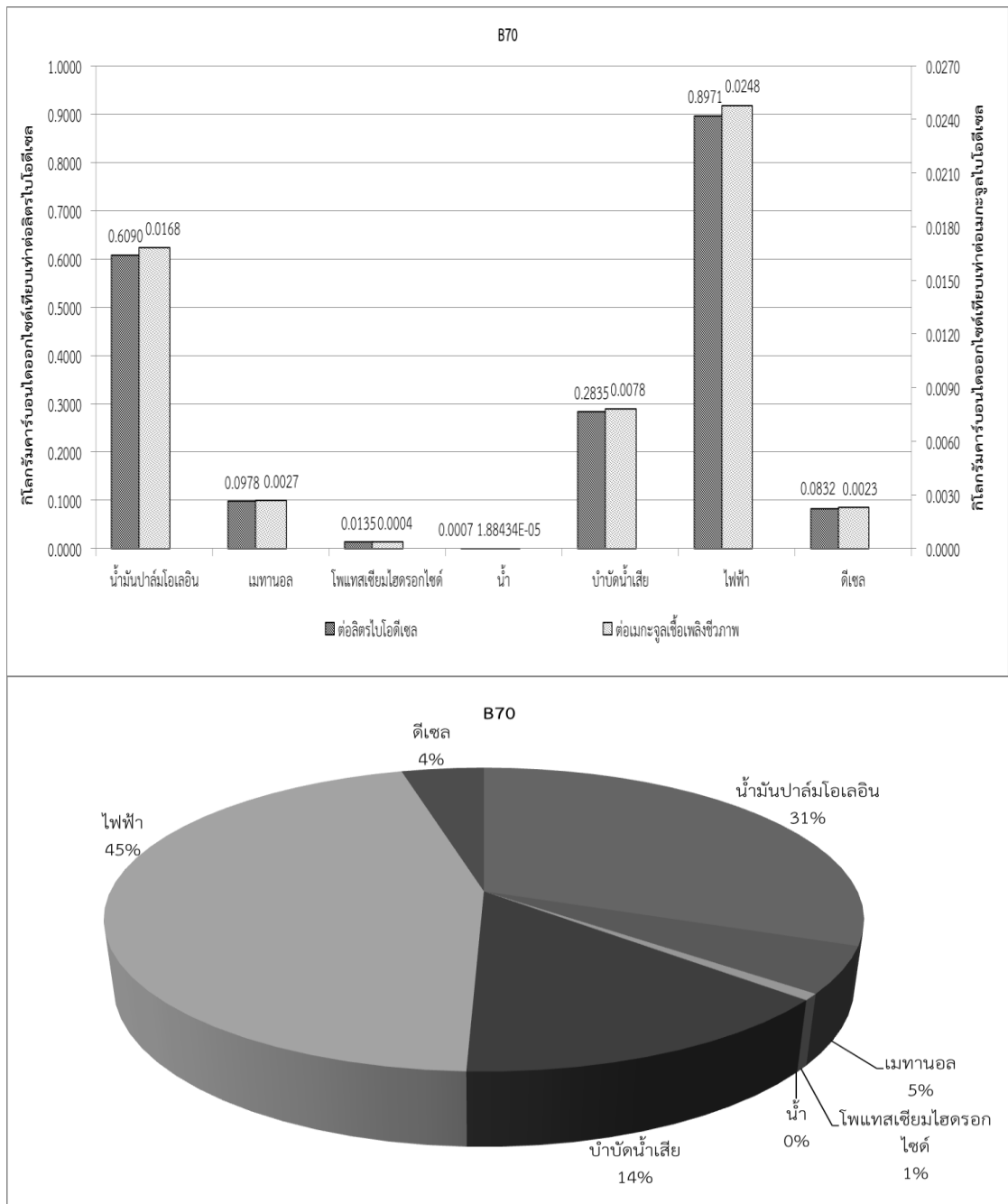


ภาพที่ 4.14 ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากไบโอดีเซล (B100) ที่ผลิตด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากการผลิตไบโอดีเซล (B100) จากกระบวนการทรานส์-เอสเทอร์ฟิเคชัน ประกอบด้วยก๊าซเรือนกระจกจากน้ำมันปาล์มโอเลอินเท่ากับ 0.8699 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อลิตรไบโอดีเซล หรือ 0.0251 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อเมกะจูลไบโอดีเซล (ร้อยละ 33) เมทานอลเท่ากับ 0.1398 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า

ต่อลิตรไบโอดีเซล หรือ 0.0040 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อเมกะจูลไบโอดีเซล (ร้อยละ 5) โพลีเอทิลีนไฮดรอกไซด์เท่ากับ 0.0193 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อลิตรไบโอดีเซล หรือ 0.0006 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อเมกะจูลไบโอดีเซล (ร้อยละ 1) น้ำเท่ากับ 0.0010 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อลิตรไบโอดีเซล หรือ 2.805×10^{-5} กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อเมกะจูลไบโอดีเซล (ร้อยละ 0) การบำบัดน้ำเสียเท่ากับ 0.4050 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อลิตรไบโอดีเซล หรือ 0.0117 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อเมกะจูลไบโอดีเซล (ร้อยละ 15) และปริมาณการใช้ไฟฟ้าเท่ากับ 1.2439 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อลิตรไบโอดีเซล หรือ 0.0359 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อเมกะจูลไบโอดีเซล (ร้อยละ 46) (ดังภาพที่ 4.14) พบว่าการใช้ไฟฟ้าปล่อยก๊าซเรือนกระจกออกมามากที่สุด รองลงมาคือน้ำมันปาล์มโอเลอิน การบำบัดน้ำเสีย เมทานอล โพลีเอทิลีนไฮดรอกไซด์ และน้ำ ตามลำดับ

โดยเหตุผลที่ปริมาณการใช้ไฟฟ้า น้ำมันปาล์มโอเลอิน และการบำบัดน้ำเสียปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากเพราะกระบวนการการผลิตไบโอดีเซลจากกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันใช้ไฟฟ้าจำนวนมาก และใช้น้ำมันปาล์มโอเลอินเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตซึ่งน้ำมันปาล์มโอเลอินมีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูง ส่วนในการบำบัดน้ำเสียเลือกใช้ระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ ซึ่งปล่อยก๊าซมีเทนจำนวนมากสู่บรรยากาศ และก๊าซมีเทนมีศักยภาพที่ทำให้เกิดภาวะโลกร้อนมากกว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ถึง 25 เท่า ในทางกลับกันปริมาณน้ำที่ใช้ในการผลิตปล่อยก๊าซเรือนกระจกออกมาน้อยที่สุด เพราะก๊าซเรือนกระจกจากการได้มาของน้ำ (emission factor) มีค่าน้อยมาก

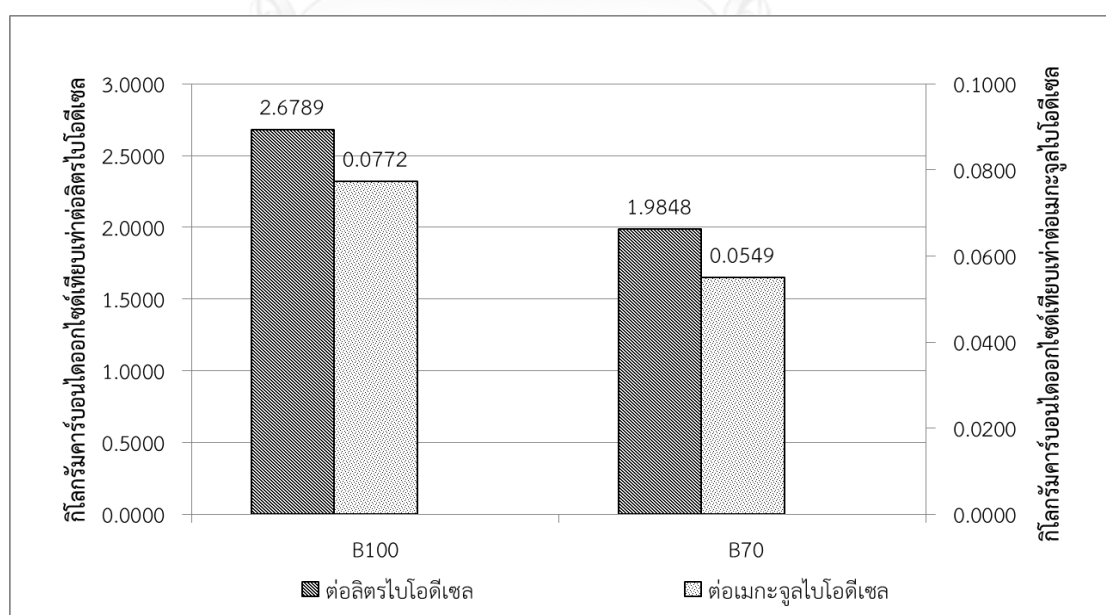


ภาพที่ 4.15 ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากไบโอดีเซล (B70) ที่ผลิตด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน

ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากการผลิตไบโอดีเซล (B70) จากกระบวนการทรานส์-เอสเทอริฟิเคชัน ประกอบด้วยก๊าซเรือนกระจกจากน้ำมันปาล์มโอเลอินเท่ากับ 0.6090 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อลิตรไบโอดีเซล หรือ 0.0168 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อเมกะจูลไบโอดีเซล (ร้อยละ 31) เมทานอลเท่ากับ 0.0978 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อลิตรไบโอดีเซล หรือ 0.0027 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อเมกะจูลไบโอดีเซล (ร้อยละ

5) โพลีเอทิลีนไฮดรอกไซด์เท่ากับ 0.0135 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อลิตรไบโอดีเซล หรือ 0.0004 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อเมกะจูลไบโอดีเซล (ร้อยละ 1) น้ำเท่ากับ 0.0007 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อลิตรไบโอดีเซล หรือ 1.8843×10^{-5} กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อเมกะจูลไบโอดีเซล (ร้อยละ 0) การบำบัดน้ำเสีย เท่ากับ 0.2835 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อลิตรไบโอดีเซล หรือ 0.0078 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อเมกะจูลไบโอดีเซล (ร้อยละ 14) การใช้ไฟฟ้าเท่ากับ 0.8971 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อลิตรไบโอดีเซล หรือ 0.0248 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อเมกะจูลไบโอดีเซล (ร้อยละ 46) และดีเซลเท่ากับ 0.0832 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อลิตรไบโอดีเซล หรือ 0.0023 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อเมกะจูลไบโอดีเซล (ร้อยละ 4) (ดังภาพที่ 4.15) พบว่าการใช้ไฟฟ้าปล่อยก๊าซเรือนกระจกออกมามากที่สุด รองลงมาคือน้ำมันปาล์มโอเลอิน การบำบัดน้ำเสีย เมทานอล ดีเซล โพลีเอทิลีนไฮดรอกไซด์ และน้ำ ตามลำดับ เพราะกระบวนการการผลิตไบโอดีเซลจากกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันใช้ไฟฟ้าจำนวนมาก และใช้น้ำมันปาล์มเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิต และการบำบัดน้ำเสียที่เกิดขึ้นมีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากน้ำมันปาล์มโอเลอินก็มีความสำคัญในการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเช่นกัน ในทางกลับกันปริมาณน้ำที่ใช้ในการผลิตปล่อยก๊าซเรือนกระจกออกมาน้อยที่สุด เพราะค่า emission factor ของน้ำมีค่าน้อยมาก และที่สัดส่วน B70 ดีเซลที่ผสมเข้าไปร้อยละ 30 ของปริมาตรไบโอดีเซล B100 พบว่าน้ำมันดีเซลปล่อยก๊าซเรือนกระจกน้อยเมื่อเทียบกับสารขาเข้าตัวอื่นๆ

จากภาพที่ 4.14 และ 4.15 สรุปได้ว่ากระบวนการทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันเป็นกระบวนการที่ใช้พลังงานมาก และเกิดผลผลิตพลอยได้ (กลีเซอรอล) รวมถึงน้ำเสีย จึงต้องมีกระบวนการบำบัดน้ำเสียซึ่งปล่อยก๊าซเรือนกระจกจำนวนมาก



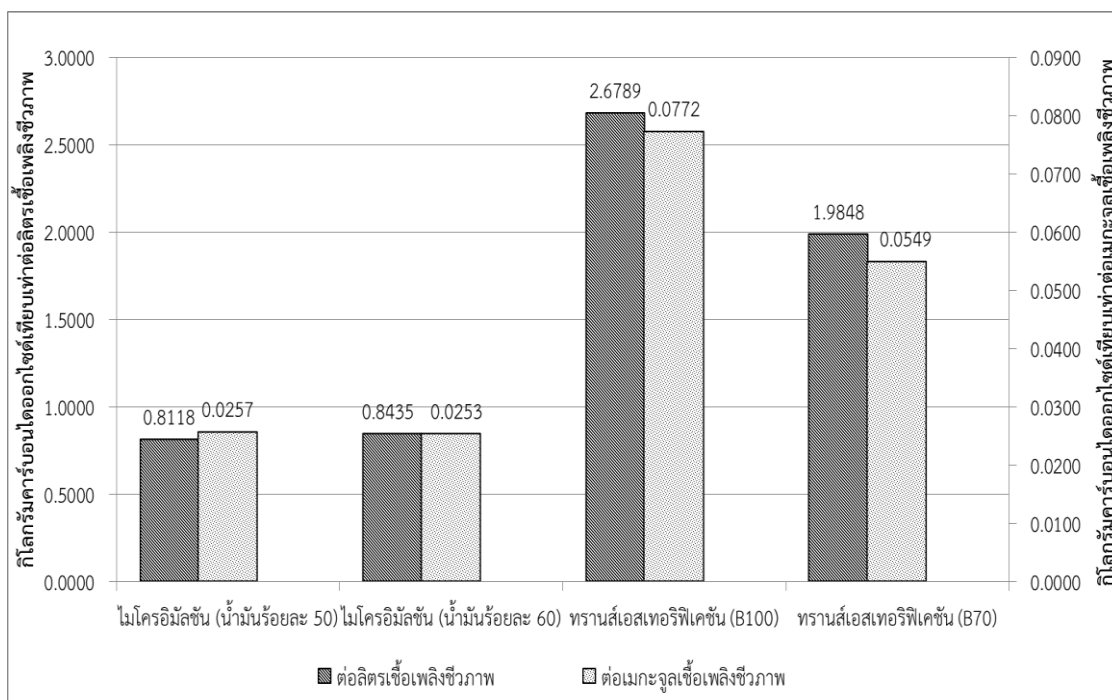
ภาพที่ 4.16 ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาจากการผลิตไบโอดีเซลจากกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน

ปริมาณก๊าซเรือนกระจกจากไบโอดีเซลที่ผลิตด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันที่ สัดส่วน B100 เท่ากับ 2.6789 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อลิตรไบโอดีเซล หรือ 0.0772 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อเมกะจูลไบโอดีเซล และ B70 ปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 1.9848 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อลิตรไบโอดีเซล หรือ 0.0549 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อเมกะจูลไบโอดีเซล

เปรียบเทียบก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาจากไบโอดีเซลที่ผลิตจากกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน (ดังภาพที่ 4.16) ในหน่วยต่อลิตรไบโอดีเซล พบว่าไบโอดีเซล B100 ปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากกว่า B70 เพราะค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของน้ำมันปาล์มโอเลอินมีค่ามากกว่าดีเซล สัดส่วนที่มีปริมาณปาล์มโอเลอินมากกว่าจึงปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากกว่าเช่นกัน ในทางเดียวกันเมื่อเปรียบเทียบก๊าซเรือนกระจกในหน่วยต่อกิโลจูลไบโอดีเซล พบว่าไบโอดีเซล B100 ปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากกว่า B70 เช่นกัน เพราะค่าความร้อนของ B70 มีค่ามากกว่าทำให้เมื่อเทียบกันในหน่วยของการใช้งาน B100 ก็ยังคงปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากกว่า ดังนั้นในการลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากการผลิตไบโอดีเซลด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน ต้องคำนึงถึงปริมาณไฟฟ้าที่ใช้เป็นหลัก สัดส่วนของไบโอดีเซล B100 ที่นำไปผสม นอกจากนี้ปริมาณน้ำเสียก็เป็นปัจจัยสำคัญในการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเช่นกัน รวมทั้งการเลือกระบบบำบัดน้ำเสียก็ส่งผลต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจกอีกด้วย

4.7 เปรียบเทียบก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากเชื้อเพลิงชีวภาพที่ผลิตด้วยกระบวนการไมโครอิมัลชัน และทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน

ก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากเชื้อเพลิงชีวภาพที่ผลิตด้วยกระบวนการไมโครอิมัลชันและ ทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน ดังภาพที่ 4.17



ภาพที่ 4.17 เปรียบเทียบปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากเชื้อเพลิงชีวภาพที่ผลิตด้วยกระบวนการไมโครอิมัลชันที่สัดส่วนน้ำมันร้อยละ 50 และ 60 และ ไบโอดีเซลที่ผลิตด้วยกระบวนการทรานส์-เอสเทอร์ฟิเคชันที่สัดส่วน B100 และ B70

ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยกระบวนการไมโครอิมัลชันที่ประกอบด้วยน้ำมันร้อยละ 50 เท่ากับ 0.8118 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อลิตรเชื้อเพลิงชีวภาพ หรือ 0.0257 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อเมกะจูลเชื้อเพลิงชีวภาพ และเชื้อเพลิงชีวภาพที่ประกอบด้วยน้ำมันร้อยละ 60 เท่ากับ 0.8435 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อลิตรเชื้อเพลิงชีวภาพ หรือ 0.0253 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อเมกะจูลเชื้อเพลิงชีวภาพ สำหรับก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันที่สัดส่วนของ B100 เท่ากับ 2.6786 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อลิตรไบโอดีเซล หรือ 0.0772 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อเมกะจูลไบโอดีเซล และที่สัดส่วน B70 เท่ากับ 1.9848 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อลิตรไบโอดีเซล หรือ 0.0549 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อเมกะจูลไบโอดีเซล

เปรียบเทียบปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากเชื้อเพลิงชีวภาพที่ผลิตด้วยกระบวนการไมโครอิมัลชันที่ประกอบด้วยน้ำมันร้อยละ 50 และ 60 กับไบโอดีเซลที่ผลิตด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันที่ประกอบด้วยไบโอดีเซลที่ผลิตได้ (B100) และไบโอดีเซลที่ผลิตได้ร้อยละ 70 ผสมกับดีเซลร้อยละ 30 (B70) พบว่าเมื่อเปรียบเทียบกันในหน่วยต่อเชื้อเพลิงชีวภาพ ไมโครอิมัลชันที่ประกอบด้วยน้ำมันร้อยละ 50 ปล่อยก๊าซเรือนกระจกน้อยที่สุดรองลงมาคือ ไมโครอิมัลชันที่ประกอบด้วยน้ำมันร้อยละ 60 B70 และ B100 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกันในหน่วยต่อเมกะจูลเชื้อเพลิงชีวภาพ ไมโครอิมัลชันที่ประกอบด้วยน้ำมันร้อยละ 60 ปล่อยก๊าซเรือนกระจกน้อยที่สุด

รองลงมาคือ ไมโครอิมัลชันที่ประกอบด้วยน้ำมันร้อยละ 50 B70 และ B100 ตามลำดับ ดังนั้นสรุปได้ว่าเชื้อเพลิงชีวภาพที่ผลิตด้วยกระบวนการไมโครอิมัลชันปล่อยก๊าซเรือนกระจกออกมาน้อยกว่าไบโอดีเซลที่ผลิตจากกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันทุกสัดส่วน เพราะกระบวนการไมโครอิมัลชันใช้ปริมาณไฟฟ้าน้อย ไม่เกิดผลผลิตพลอยได้ อีกทั้งยังไม่มีน้ำเสียเกิดขึ้น



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

การประเมินวัฏจักรชีวิตของเชื้อเพลิงชีวภาพแบ่งเป็น 3 กระบวนการ คือ กระบวนการปลูกปาล์ม กระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มโอเลอิน และกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ (ไม่รวมก๊าซเรือนกระจกจากการได้มาซึ่งน้ำมันปาล์มโอเลอิน)

กระบวนการปลูกปาล์ม

เชื้อเพลิงชีวภาพที่ผลิตจากกระบวนการไมโครอิมัลชันที่สัดส่วนน้ำมันร้อยละ 50 ปล่องก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 0.0634 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อลิตรเชื้อเพลิงชีวภาพ หรือ 0.0020 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อเมกะจูลเชื้อเพลิงชีวภาพ ที่สัดส่วนน้ำมันร้อยละ 60 ปล่องก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 0.0761 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อลิตรเชื้อเพลิงชีวภาพ หรือ 0.0023 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อเมกะจูลเชื้อเพลิงชีวภาพ

ไบโอดีเซลที่ผลิตจากกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันที่สัดส่วน B100 ปล่องก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 0.2203 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อลิตรไบโอดีเซล หรือ 0.0064 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อเมกะจูลไบโอดีเซล และที่สัดส่วน B70 ปล่องก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 0.1542 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อลิตรไบโอดีเซล หรือ 0.0043 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อเมกะจูลไบโอดีเซล

และพบว่าปุ๋ยไนโตรเจนปล่องก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดเมื่อเทียบกับวัตถุดิบตัวอื่น ๆ

เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาจากงานวิจัยอื่นพบว่าก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากการใช้ปุ๋ยในกระบวนการปลูกปาล์มในประเทศอินโดนีเซียปล่องก๊าซเรือนกระจกอยู่ในช่วง 250 ถึง 470 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ และพลังงานที่ใช้ทั้งหมด (การขนส่งและพลังงานที่ใช้ในเครื่องมือที่ใช้เพาะปลูก) ปล่องก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 45 ถึง 125 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ (Klaarenbeeksingel, 2009) เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับงานวิจัยนี้ก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการปลูกปาล์มมีเท่ากับ 197 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ พบว่าค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในกระบวนการปลูกปาล์มของประเทศอินโดนีเซียมีค่ามากกว่า ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับข้อมูลที่ได้มีความละเอียดมากน้อยแค่ไหน รวมถึงค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการได้มาซึ่งวัตถุดิบแต่ละประเทศต่างมีกระบวนการการได้มาซึ่งวัตถุดิบแตกต่างกัน ดังนั้นก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาจึงมีค่าแตกต่างกัน

กระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มโอเลอิน

เชื้อเพลิงชีวภาพที่ผลิตจากกระบวนการไมโครอิมัลชัน ที่สัดส่วนน้ำมันร้อยละ 50 ปล่องก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 0.1870 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อลิตรเชื้อเพลิงชีวภาพ หรือ 0.0059 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อเมกะจูลเชื้อเพลิงชีวภาพ ที่สัดส่วนน้ำมันร้อยละ 60

ปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 0.2244 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อลิตรเชื้อเพลิงชีวภาพ หรือ 0.0067 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อเมกะจูลเชื้อเพลิงชีวภาพ

ไบโอดีเซลที่ผลิตจากกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันที่สัดส่วน B100 ปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 0.6496 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อลิตรไบโอดีเซล หรือ 0.0187 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อเมกะจูลไบโอดีเซล และที่สัดส่วน B70 ปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 0.4547 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อลิตรไบโอดีเซล หรือ 0.0126 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อเมกะจูลไบโอดีเซล

และพบว่า การบำบัดน้ำเสียปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดเมื่อเทียบกับวัตถุดิบตัวอื่น ๆ

กระบวนการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพและไบโอดีเซล

เชื้อเพลิงชีวภาพที่ผลิตจากกระบวนการไมโครอิมัลชันที่สัดส่วนน้ำมันร้อยละ 50 ปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 0.5614 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อลิตรเชื้อเพลิงชีวภาพ หรือ 0.0178 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อเมกะจูลเชื้อเพลิงชีวภาพ ที่สัดส่วนน้ำมันร้อยละ 60 ปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 0.5431 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อลิตรเชื้อเพลิงชีวภาพ หรือ 0.0163 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อเมกะจูลเชื้อเพลิงชีวภาพ

ไบโอดีเซลที่ผลิตจากกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันที่สัดส่วน B100 ปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 1.8089 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อลิตรไบโอดีเซล หรือ 0.0522 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อเมกะจูลไบโอดีเซล และที่สัดส่วน B70 ปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 1.3759 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อลิตรไบโอดีเซล หรือ 0.0381 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อเมกะจูลไบโอดีเซล

เมื่อรวมกระบวนการทั้งหมด ก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาจากเชื้อเพลิงชีวภาพที่ประกอบด้วยน้ำมันร้อยละ 50 เท่ากับ 0.8118 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อลิตรเชื้อเพลิงชีวภาพ หรือ 0.0257 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อเมกะจูลเชื้อเพลิงชีวภาพ เชื้อเพลิงชีวภาพที่ประกอบด้วยน้ำมันร้อยละ 60 ปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 0.8435 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อลิตรเชื้อเพลิงชีวภาพ หรือ 0.0253 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อเมกะจูลเชื้อเพลิงชีวภาพ B100 ปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 2.6789 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อลิตรไบโอดีเซล หรือ 0.0772 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อเมกะจูลไบโอดีเซล และ B70 ปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 1.9848 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อลิตรไบโอดีเซล หรือ 0.0549 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อเมกะจูลไบโอดีเซล

พบว่า ก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกจากไบโอดีเซลที่ผลิตด้วยกระบวนการทรานส์-เอสเทอร์ฟิเคชันปล่อยออกมามากกว่าเชื้อเพลิงชีวภาพที่ผลิตด้วยกระบวนการไมโครอิมัลชันทั้งสองสัดส่วน ดังนั้น การได้มาซึ่งเชื้อเพลิงชีวภาพที่ผลิตด้วยกระบวนการไมโครอิมัลชันจึงเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากกว่าไบโอดีเซลที่ผลิตด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

5.2 ความสำคัญทางวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

วิศวกรรมสิ่งแวดล้อมเป็นสาขาวิชาทางด้านวิศวกรรมที่มุ่งเน้นการป้องกันและแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อม ซึ่งปัญหาหนึ่งที่สำคัญคือสภาวะโลกร้อนซึ่งเป็นผลมาจากการปล่อยก๊าซเรือนกระจกออกสู่บรรยากาศในปริมาณที่มากเกินกว่าความสามารถในการรองรับของสิ่งแวดล้อม ทั้งนี้ก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นส่วนหนึ่งมาจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงเช่น น้ำมันดีเซล น้ำมันเบนซิน และก๊าซธรรมชาติ เป็นต้น ซึ่งทรัพยากรเชื้อเพลิงดังกล่าวเป็นทรัพยากรธรรมชาติที่มีอยู่อย่างจำกัดและต้องใช้เวลายาวนานในการสร้างทดแทน เมื่อเกิดวิกฤตการณ์ทางพลังงานจึงได้มีการคิดค้นพลังงานทางเลือก ได้แก่ เชื้อเพลิงชีวภาพซึ่งถูกนำมาผสมร่วมกับดีเซล ทั้งนี้ตลอดกระบวนการได้มาซึ่งเชื้อเพลิงชีวภาพดังกล่าวยังไม่เป็นที่แน่ชัดต่อความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้นการศึกษาวงจรชีวิตของเชื้อเพลิงชีวภาพจะมีประโยชน์เป็นอย่างมากในการคาดการณ์ผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมอันเนื่องมาจากการใช้เชื้อเพลิงชีวภาพ ทั้งนี้วิธีในการลดความหนืดของน้ำมันพืชมีหลายกระบวนการ โดยงานวิจัยนี้ได้ศึกษาวงจรชีวิตของ 2 กระบวนการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพคือ กระบวนการทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน และกระบวนการไมโครอิมัลชัน เพื่อเปรียบเทียบว่าระหว่าง 2 กระบวนการดังกล่าว กระบวนการใดที่ปล่อยปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์มากกว่าอันส่งผลต่อปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อมมากกว่า พร้อมกันนี้ การศึกษาปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ของแต่ละกระบวนการจะเป็นข้อมูลสำคัญที่นำมาปรับปรุงกระบวนการผลิตแต่ละขั้นตอนให้สามารถลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกได้ ซึ่งถือเป็นวิธีการป้องกันปัญหาสิ่งแวดล้อมวิธีหนึ่ง โดยในงานวิจัยศึกษาเชื้อเพลิงชีวภาพที่ผลิตจากกระบวนการไมโครอิมัลชันและไบโอดีเซลจากกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน ซึ่งสามารถปรับปรุงกระบวนการได้ดังนี้

1. กระบวนการไมโครอิมัลชัน

กระบวนการไมโครอิมัลชันเป็นกระบวนการที่ใช้พลังงานน้อย ไม่เกิดผลผลิตพลอยได้ ก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาส่วนใหญ่มาจากออกทานอล ซึ่งเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม และน้ำมันปาล์มโอเลอินซึ่งเป็นวัตถุดิบหลักตัวหนึ่ง ดังนั้นเพื่อเป็นการปรับปรุงกระบวนการให้ปล่อยก๊าซเรือนกระจกน้อยลงจึงเน้นไปที่การลดปริมาณการใช้ออกทานอลและสัดส่วนของน้ำมันผสม โดยสามารถทำได้ดังนี้

- ปรับเปลี่ยนสัดส่วนของออกทานอลต่อ EO1 โดยอาจเพิ่มสัดส่วนของ EO1 ให้มากขึ้น และลดสัดส่วนของออกทานอลลง
- เพิ่มสัดส่วนของน้ำมันผสมของน้ำมันปาล์มโอเลอินกับดีเซลให้มากขึ้น (ในกรณีเปรียบเทียบก๊าซเรือนกระจกต่อค่าความร้อน)

2. กระบวนการทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน

กระบวนการทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันเป็นกระบวนการที่ใช้พลังงานมาก โดยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่มาจากปริมาณการใช้ไฟฟ้า นอกจากนี้การบำบัดน้ำเสียก็เป็นปัจจัยสำคัญในการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยวิธีในการลดก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นสามารถทำได้ดังนี้

- ลดปริมาณการใช้ไฟฟ้าลง ควรทำการตรวจวัดอุปกรณ์ทางไฟฟ้าว่ามีประสิทธิภาพดีอยู่หรือไม่ และทำการซ่อมบำรุงเป็นระยะเพื่อให้อุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ ใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

5.3 ข้อเสนอแนะ

1. เนื่องจากงานวิจัยนี้มีขอบเขตการพิจารณาปริมาณก๊าซเรือนกระจกแบบ Cradle to gate โดยคำนวณตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบจนเสร็จสิ้นกระบวนการผลิต ดังนั้นปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ได้จากงานวิจัยนี้ยังไม่ครอบคลุมถึงปริมาณก๊าซเรือนกระจกจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ ทั้งนี้ควรมีการทำงานวิจัยปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงในเครื่องยนต์เพิ่มเติม เพื่อให้การวิเคราะห์ปริมาณก๊าซเรือนกระจกจากเชื้อเพลิงชีวภาพมีความครบถ้วนสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

2. ในกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยกระบวนการไมโครอิมัลชันควรทำวิจัยเพิ่มเติม โดยเปรียบเทียบปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนชนิดสารลดแรงตึงผิวและสารลดแรงตึงผิวร่วมหลายๆชนิด รวมถึงการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของสารลดแรงตึงผิวและสารลดแรงตึงผิวร่วมแต่ละชนิดด้วย ซึ่งการเปลี่ยนชนิดสารลดแรงตึงผิวและสารลดแรงตึงผิวร่วมนี้จะมีผลให้สัดส่วนของน้ำมันผสมและเอทานอลเปลี่ยนแปลงและส่งผลกระทบต่อปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย การทำวิจัยเพิ่มเติมนี้จะช่วยให้การเลือกใช้ชนิดสารลดแรงตึงผิวและสารลดแรงตึงผิวร่วมมีความเหมาะสมมากยิ่งขึ้น โดยคำนึงถึงทั้งประสิทธิภาพและการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของสารลดแรงตึงผิวและสารลดแรงตึงผิวร่วม

รายการอ้างอิง

- Ali, E. N., and Tay, C. I. (2013). Characterization of Biodiesel Produced from Palm Oil via Base Catalyzed Transesterification. *Procedia Engineering*, 53, 7-12.
- ASTM. *International standards worldwide*, [online]:
<http://www.astm.org/Standard/index.shtml>. [16 May 2013].
- Atadashi, I. M., Aroua, M. K., Abdul Aziz, A. R., and Sulaiman, N. M. N. (2012). Production of biodiesel using high free fatty acid feedstocks. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16, 3275–3285.
- Attaphong, C., Do, L., and Sabatini, D. A. (2012). Vegetable oil-based microemulsions using carboxylate-based extended surfactants and their potential as an alternative renewable biofuel. *Fuel*, 94, 606-613.
- Bidyut, K. P., and Satya, P. M. (2001). Uses and applications of microemulsions. *CURRENT SCIENCE*, 80(8), 990-1001.
- Delfort, B., Durand, I., Hillion, G., Jaecker, V. A., and Montagne, X. (2008). Glycerin for new biodiesel formulation. *Oil Gas Sci Technol e Rev IFP*, 63, 395-404.
- Hayyan, A., Alam, M. Z., Mirghani, M. E. S., Kabbashi, N. A., Hakimi, N. I. N. M., Siran, Y. M., and Tahiruddin, S. (2011). Reduction of high content of free fatty acid in sludge palm oil via acid catalyst for biodiesel production. *Fuel Processing Technology*, 92, 920-924.
- International Standardization Organization. (2006). Environmental management–life cycle assessment — principles and framework. *ISO 14040*.
- IPCC. (2007). *Direct Global Warming Potentials. IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007*, [online]: http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/ch2s2-10-12.html. [May 20, 2013].
- ISCC. (2011). International sustainability and carbon certification. *GHG Emissions Calculation Methodology and GHG Audit*.
- Kaewmai, R., Kittikun, A. H., and Musikavong, C. (2012). Greenhouse gas emissions of palm oil mills in Thailand. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 11, 141-151.
- Klaarenbeeksingel, F. W. (2009). Greenhouse Gas Emissions from Palm Oil Production. *Literature review and proposals from the RSPO Working Group on Greenhouse Gases*.
- Kwancharoen, P., Luengnaruemitchai, A., and Jai-In, S. (2007). Solubility of a diesel-biodiesel-ethanol blend, its fuel properties, and its emission characteristics from diesel engine. *Fuel*, 86, 1053-1061.

- Lam, M. K., Lee, K. T., and Mohamed, A. R. (2010). Homogeneous, heterogeneous and enzymatic catalysis for transesterification of high free fatty acid oil (waste cooking oil) to biodiesel: A review. *Biotechnology Advances*, 28, 500-518.
- Lin, L., Cunshan, Z., Vittayapadung, S., Xiangqian, S., and Mingdong, D. (2011). Opportunities and challenges for biodiesel fuel. *Applied Energy*, 88, 1020-1030.
- Ma, F., and Hanna, M. A. (1999). Biodiesel production: a review. *Bioresource Technology*, 70, 1-15.
- Meher, L. C., Vidya Sagar, D., and Naik, S. N. (2006). Technical aspects of biodiesel production by transesterification—a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 10, 248–268.
- Mitra, R. K., Paul, B. K., and Moulik, S. P. (2006). Phase behavior, interfacial composition and thermodynamic properties of mixed surfactant (CTAB and Brij-58) driven w/o microemulsions with 1-butanol and 1-pentanol as cosurfactants and n-heptane and n-decane as oils. *Journal of Colloid and Interface Science*, 300, 755-764.
- Naksuk, A., Sabatini, D. A., and Tongcumpou, C. (2009). Microemulsion-based palm kernel oil extraction using mixed surfactant solutions. *Industrial Crops and Products*, 30, 194-198.
- Patthanaisaranukool, W., Polprasert, C., and Englande, J. A. J. (2013). Potential reduction of carbon emissions from Crude Palm Oil production based on energy and carbon balances. *Applied Energy*, 102, 710–717.
- Pieragostini, C., Mussati, M. C., and Aguirre, P. (2012). On process optimization considering LCA methodology. *Journal of Environmental Management*, 96, 43-54.
- Pleanjai, S., and Gheewala, S. H. (2009). Full chain energy analysis of biodiesel production from palm oil in Thailand. *Applied Energy*, 86, 209-214.
- Pleanjai, S., Gheewala, S. H., and Garivait, S. (2007). Environmental Evaluation of Biodiesel Production from Palm Oil in a Life Cycle Perspective. *Asian J. Energy Environ*, 8(1 and 2), 15-32.
- Shahbazi, M. R., Khoshandam, B., Nasiri, M., and Ghazvini, M. (2012). Biodiesel production via alkali-catalyzed transesterification of Malaysian RBD palm oil – Characterization, kinetics model. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 43, 504-510.
- Shahid, E. M., and Jamal, Y. (2011). Production of biodiesel: A technical review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15, 4732-4745.
- Siangjaeo, S., Gheewala, S. H., Unnanon, K., and Chidthaisong, A. (2011). Implications of land use change on the life cycle greenhouse gas emissions from palm biodiesel production in Thailand. *Energy for Sustainable Development*, 15, 1-7.

- Silalertruksa, T., and Gheewala, S. H. (2012). Environmental sustainability assessment of palm biodiesel production in Thailand. *Energy*, 43, 306-314.
- Srivastava, A., and Prasad, R. (2000). Triglyceride-based diesel fuels. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 4, 111-133.
- กรมพัฒนาพลังงานทดแทน และอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2555). สถิติพลังงานของประเทศไทย 2555, [ออนไลน์]:
http://www.dede.go.th/dede/images/stories/stat_dede/report12/%202555_202551.pdf
 f. [202514 พฤษภาคม 202556].
- กระทรวงพลังงาน, ส. (2556). พลังงานชีวภาพ : พลังแห่งพระปรีชาญาณ. พระบิดาแห่งการพัฒนาพลังงานไทย, [ออนไลน์]: http://www.eppo.go.th/royal/m1700_0020.html. .
- บุญเสริม ประสมศานต์. (2551). ปฏิกริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันปาล์มโอเลอิน: ผลกระทบของตัวทำละลาย ตัวเร่งปฏิกริยาถ่านกัมมันต์ที่มีหมู่ฟังก์ชันซัลเฟอร์ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส และ $Ca(NO_3)_2/CaO$, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- พรทิพย์ วงศ์สุโขโต. (2554). เอกสารประกอบการประชุม เรื่อง “การวิเคราะห์คาร์บอนฟุตพริ้นท์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สวทช.). กรุงเทพมหานคร.
- วรารณ ว่องไวพิจารณ์, และ วริศรา ต้นติวังศ์. (2555). การนำน้ำมันปาล์ม น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันปาล์มใช้แล้วมาผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพโดยวิธีไมโครอิมัลชัน, สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ศูนย์วิจัยกสิกรไทย. (2556). ธุรกิจปาล์มน้ำมันหลังก้าวเข้าสู่ AEC, [ออนไลน์]:
<http://www.ksmecare.com/Article/82/28155/ธุรกิจปาล์มน้ำมันหลังก้าวเข้าสู่-AEC>. [28115 พฤษภาคม 22556].
- สำนักงานพัฒนาวิจัยการเกษตร. ปาล์มน้ำมัน. คลังข้อมูลสารสนเทศระดับภูมิภาค (ภาคใต้), [ออนไลน์]:
<http://www.arda.or.th/kasetinfo/south/palm/used/01-02.php>. [20 พฤศจิกายน 2556].
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร แจงผลศึกษาการผลิตปาล์มกับก๊าซเรือนกระจก. (2556).
<http://www.koratteenee.com/m/14262484/สศก-แจงผลศึกษาการผลิตปาล์มกับก๊าซเรือนกระจก>. [22 เมษายน 2557].
- องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก. (2556). ค่า *Emission Factor* โดยแบ่งตามประเภทกลุ่มอุตสาหกรรม, [ออนไลน์]: thaicarbonlabel.tgo.or.th/download/Emission_Factor.pdf [29 พฤศจิกายน 2556].
- องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน). การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ. 2556, [ออนไลน์]: http://www.tgo.or.th/index.php?option=com_content&view=section&id=5&Itemid=54. [16 พฤษภาคม 2556].



ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



ภาคผนวก ก

การศึกษาปริมาณสารที่เหมาะสมในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ก.1 จำนวนปริมาณสารที่ใช้ศึกษาสัดส่วนที่เหมาะสมที่ทำให้เชื้อเพลิงชีวภาพเป็นเนื้อเดียวกัน ด้วยวิธีไมโครอิมัลชัน

Oct (Molar)	Eth (ml)	Oil (ml)	Oct (ml)	EO1 (ml)	EO1+Oct (ml)	Total (ml)	Eth (%)	Oil (%)	EO1+Oct (%)	Total (%)	ลักษณะ
0.5	1	5	0.4933	0.1098	0.6031	6.6031	15.14	75.72	9.13	100.00	ขุ่น
0.55	1	5	0.5426	0.1208	0.6634	6.6634	15.01	75.04	9.96	100.00	ใส
0.6	1	5	0.5920	0.1318	0.7238	6.7238	14.87	74.36	10.76	100.00	ใส
0.8	2	5	0.9208	0.2050	1.1258	8.1258	24.61	61.53	13.86	100.00	ขุ่น
0.85	2	5	0.9784	0.2178	1.1962	8.1962	24.40	61.00	14.59	100.00	ใส
0.9	2	5	1.0359	0.2307	1.2666	8.2666	24.19	60.48	15.32	100.00	ใส
1	3	5	1.3154	0.2929	1.6083	9.6083	31.22	52.04	16.74	100.00	ขุ่น
1.05	3	5	1.3812	0.3075	1.6888	9.6888	30.96	51.61	17.43	100.00	ใส
1.1	3	5	1.4470	0.3222	1.7692	9.7692	30.71	51.18	18.11	100.00	ใส
1	4	5	1.4799	0.3295	1.8094	10.8094	37.00	46.26	16.74	100.00	ขุ่น
1.05	4	5	1.5539	0.3460	1.8998	10.8998	36.70	45.87	17.43	100.00	ขุ่น
1.1	4	5	1.6279	0.3625	1.9903	10.9903	36.40	45.49	18.11	100.00	ใส
1.2	5	5	1.9732	0.4393	2.4125	12.4125	40.28	40.28	19.44	100.00	ขุ่น
1.25	5	5	2.0554	0.4576	2.5130	12.5130	39.96	39.96	20.08	100.00	ขุ่น
1.3	5	5	2.1376	0.4760	2.6135	12.6135	39.64	39.64	20.72	100.00	ใส
1.2	5	4	1.7759	0.3954	2.1713	11.1713	44.76	35.81	19.44	100.00	ขุ่น
1.25	5	4	1.8498	0.4119	2.2617	11.2617	44.40	35.52	20.08	100.00	ขุ่น
1.3	5	4	1.9238	0.4284	2.3522	11.3522	44.04	35.24	20.72	100.00	ใส
1.3	5	3	1.7101	0.3808	2.0908	10.0908	49.55	29.73	20.72	100.00	ขุ่น
1.35	5	3	1.7759	0.3954	2.1713	10.1713	49.16	29.49	21.35	100.00	ขุ่น
1.4	5	3	1.8416	0.4101	2.2517	10.2517	48.77	29.26	21.96	100.00	ใส
1.6	5	2	1.8416	0.4101	2.2517	9.2517	54.04	21.62	24.34	100.00	ขุ่น
1.65	5	2	1.8992	0.4229	2.3220	9.3220	53.64	21.45	24.91	100.00	ใส
1.7	5	2	1.9567	0.4357	2.3924	9.3924	53.23	21.29	25.47	100.00	ใส
1.3	5	1	1.2826	0.2856	1.5681	7.5681	66.07	13.21	20.72	100.00	ขุ่น
1.35	5	1	1.3319	0.2966	1.6284	7.6284	65.54	13.11	21.35	100.00	ขุ่น
1.4	5	1	1.3812	0.3075	1.6888	7.6888	65.03	13.01	21.96	100.00	ใส

ตัวอย่างการคำนวณปริมาณสารที่ใช้ศึกษาสัดส่วนที่เหมาะสมที่ทำให้เชื้อเพลิงชีวภาพเป็นเนื้อเดียวกัน ด้วยวิธีไมโครอิมัลชัน

- ออกทานอล (Oct) 0.5 โมล เอทานอล (Eth) 1 มิลลิลิตร และน้ำมันปาล์มโอเลอินผสมดีเซล (Palm olein/Diesel) 5 มิลลิลิตร

$$\begin{aligned} \text{ออกทานอล} &= \text{โมลาร์} \times \text{มวลโมเลกุล} \times \text{ปริมาตร} / (\text{ร้อยละความบริสุทธิ์} \times \text{ความหนาแน่น}) \\ &= 0.5 \times 130.229 \times 0.006 / (0.96 \times 0.825) \\ &= 0.4933 \quad \text{มิลลิลิตร} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{EO 1} &= (\text{โมลาร์}/8) \times \text{มวลโมเลกุล} \times \text{ปริมาตร} / (\text{ร้อยละความบริสุทธิ์} \times \text{ความหนาแน่น}) \\ &= (0.5/8) \times 244.4166 \times 0.006 / (0.997 \times 0.837) \\ &= 0.1098 \quad \text{มิลลิลิตร} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ออกทานอล+EO 1} &= 0.4933 + 0.1098 \\ &= 0.6031 \quad \text{มิลลิลิตร} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ทั้งหมด} &= 6 + 0.6031 \\ &= 6.6031 \quad \text{มิลลิลิตร} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ร้อยละของเอทานอล} &= (1 \times 100) / 6.6031 \\ &= 15.14 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ร้อยละน้ำมันผสม} &= (5 \times 100) / 6.6031 \\ &= 75.72 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ร้อยละของออกทานอล+EO 1} &= (0.6031 \times 100) / 6.6031 \\ &= 9.13 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ร้อยละทั้งหมด} &= 15.14 + 75.72 + 9.13 \\ &= 100 \end{aligned}$$

ตารางที่ ก.2 จำนวนปริมาณสารที่ใช้สำหรับผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยกระบวนการไมโครอิมัลชัน

เอทานอล (ร้อยละ)	ปริมาตร ทั้งหมด (มิลลิลิตร)	ออกทานอล (มิลลิลิตร)	EO1 (มิลลิลิตร)	เอทานอล (มิลลิลิตร)	น้ำมันผสม (ปาล์มกับดีเซล) (มิลลิลิตร)
20	1000	164.431	36.612	200	598.96
30	1000	164.431	36.612	300	498.96

ตัวอย่างการคำนวณ

- กำหนดปริมาตรไปโอดีเซล (สารทั้งหมด) 1000 มิลลิลิตร
- ใช้เอทานอล (Ethanol) บริสุทธิ์ร้อยละ 20
- ใช้ออกทานอล (Octanol) 1 โมลาร์
- EO1/ออกทานอล (Octanol) = 1:8 โดยโมลาร์

$$\begin{aligned} \text{เอทานอล (ร้อยละ 20)} &= 0.2 \times 1000 \\ &= 200 \text{ มิลลิลิตร} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ออกทานอล} &= \text{โมลาร์} \times \text{มวลโมเลกุล} \times \text{ปริมาตร} / (\text{ร้อยละความบริสุทธิ์} \times \text{ความหนาแน่น}) \\ &= 1 \times 130.2296 \times 1 / (0.96 \times 0.825) \\ &= 164.431 \text{ มิลลิลิตร} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{EO1} &= (\text{โมลาร์}/8) \times \text{มวลโมเลกุล} \times \text{ปริมาตร} / (\text{ร้อยละความบริสุทธิ์} \times \text{ความหนาแน่น}) \\ &= (1/8) \times 244.4166 \times 1 / (0.997 \times 0.837) \\ &= 36.612 \text{ มิลลิลิตร} \end{aligned}$$


$$\begin{aligned} \text{น้ำมันผสม} &= 1000 - 200 - 164.431 - 36.612 \\ &= 598.96 \text{ มิลลิลิตร} \end{aligned}$$

ตารางที่ ก.3 คำนวณปริมาณสารที่ใช้สำหรับผลิตไบโอดีเซลด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน

	ปริมาตรทั้งหมด (มิลลิลิตร)	ปริมาตร น้ำมันปาล์มโอเลอิน (มิลลิลิตร)	เมทานอล (มิลลิลิตร)	KOH (กรัม)
B100	200	156.47	43.52	1.74

ตัวอย่างการคำนวณ

- กำหนดปริมาตรไบโอดีเซล (สารทั้งหมด) 200 มิลลิลิตร
 - ใช้เมทานอล (Ethanol) บริสุทธิ์ร้อยละ 99
 - เมทานอล/น้ำมันปาล์มโอเลอิน = 6:1 โดยโมลาร์
 - KOH ร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก/น้ำมันปาล์มโอเลอิน
 - KOH บริสุทธิ์ร้อยละ 85
 - มวลโมเลกุลโอเลอิน = 837.9 กรัม (บุญเสริม ประศมศานต์, 2551)
- ปริมาตรทั้งหมด = ปริมาตรน้ำมันปาล์มโอเลอิน+ปริมาตรเมทานอล
 200 = $((X/6) \times 837.9 \times 0.2 / (0.95)) / ((X \times 32.05 \times 0.2) / (0.99 \times 0.791))$
 X = 5.32 โมล
 ปริมาตรน้ำมันปาล์มโอเลอิน = $((5.32/6) \times 837.9 \times 0.2) / 0.95$
 = 156.47 มิลลิลิตร
 = 156.47 × 0.95 กรัม
 = 148.2 กรัม
 ปริมาตรเมทานอล = 200 - 156.47
 = 44 มิลลิลิตร
 KOH = $0.01 \times 148.2 / 0.85$
 = 1.47 กรัม



ภาคผนวก ข
การศึกษาความหนักของเชื้อเพลิงชีวภาพ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ข.1 ค่าความหนืดของเชื้อเพลิงชีวภาพและไบโอดีเซล

		15 องศาเซลเซียส			20 องศาเซลเซียส			25 องศาเซลเซียส			30 องศาเซลเซียส			35 องศาเซลเซียส			40 องศาเซลเซียส		
เชื้อเพลิงชีวภาพ (น้ำมันร้อยละ 80)	ค่าที่ได้ (s)	1261	1259	1255	1073	1088	1080	898	881	888	753	762	756	690	696	688	589	592	602
	ค่าเฉลี่ย (s)	1258.33			1080.33			889.00			757.00			691.33			594.33		
	ความหนืด (cst)	20.21±0.05			17.35±0.12			14.28±0.14			12.16±0.07			11.10±0.07			9.54±0.11		
เชื้อเพลิงชีวภาพ (น้ำมันร้อยละ 70)	ค่าที่ได้ (s)	876	886	880	698	694	691	617	620	618	564	562	565	462	471	468	399	404	409
	ค่าเฉลี่ย (s)	880.67			694.33			618.33			563.67			467.00			404.00		
	ความหนืด (cst)	14.14±0.08			11.15±0.06			9.93±0.02			9.05±0.02			7.50±0.07			6.49±0.08		
เชื้อเพลิงชีวภาพ (น้ำมันร้อยละ 60)	ค่าที่ได้ (s)	696	711	708	566	555	559	499	500	500	446	449	448	377	381	383	355	357	361
	ค่าเฉลี่ย (s)	705.00			560.00			499.67			447.67			380.33			357.67		
	ความหนืด (cst)	11.32±0.13			8.99±0.09			8.02±0.01			7.19±0.02			6.11±0.05			5.74±0.05		
เชื้อเพลิงชีวภาพ (น้ำมันร้อยละ 50)	ค่าที่ได้ (s)	604	598	600	494	496	495	405	399	404	369	365	365	329	330	330	286	283	287
	ค่าเฉลี่ย (s)	600.67			495.00			402.67			366.33			329.67			285.33		
	ความหนืด (cst)	9.65±0.05			7.95±0.02			6.47±0.05			5.88±0.04			5.29±0.01			4.58±0.03		
ไบโอดีเซล	ค่าที่ได้ (s)	543	539	538	475	470	466	417	415	414	371	370	370	327	327	328	294	303	297
	ค่าเฉลี่ย (s)	540.00			470.33			415.33			370.33			327.33			298.00		
	ความหนืด (cst)	8.67±0.04			7.55±0.07			6.67±0.02			5.95±0.01			5.26±0.01			4.79±0.07		

การคำนวณค่าความหนืดของเชื้อเพลิงชีวภาพและไบโอดีเซล

เชื้อเพลิงชีวภาพ (น้ำมันร้อยละ 80)

$$\begin{aligned}
 & - \text{โดยค่าคงที่ความหนืดของหลอดแคณนอนเพนสกี} = 0.01606 \text{ cst/s} \\
 \text{เวลาเฉลี่ยที่ใช้} & = (1261+1259+1255)/3 \\
 & = 1258.33 && \text{วินาที} \\
 \text{ค่าความหนืด} & = \text{ค่าคงที่ความหนืด} \times \text{เวลา} \\
 & = 0.01606 \times 1258.33 \\
 & = 20.21 && \text{เซนติสโตก}
 \end{aligned}$$



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ข.2 ค่าความหนืดของเชื้อเพลิงชีวภาพและไบโอดีเซล

	ปริมาณสารที่ใช้			ค่าเฉลี่ยปริมาณสารที่ใช้	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
ขั้นทำปฏิกิริยา					
สารขาเข้า					
น้ำมันปาล์มโอเลอิน (มิลลิลิตร)	156	156	156	156	0.000
เมทานอล (มิลลิลิตร)	44	44	44	44	0.000
KOH (กรัม)	1.8002	1.8010	1.8015	1.8009	0.001
ไฟฟ้า (1300 วัตต์) (นาทีก)	5.48	6.08	6.05	5.99	0.338
สารขาออก					
เอสเทอ (มิลลิลิตร)	36	34	35	35	1.000
กลีเซอรอล (มิลลิลิตร)	163	165	164	164	1.000
ชั้นล้างด้วยน้ำ					
สารขาเข้า					
เอสเทอ (มิลลิลิตร)	36	34	35	35	1.000
น้ำ (มิลลิลิตร)	80	80	80	80	0.000
ไฟฟ้า (1300 วัตต์) (นาทีก)	1	1	1	1	0.000
สารขาออก					
เอสเทอร์บริสุทธิ์ (มิลลิลิตร)	151	150	151	150.67	0.577
น้ำเสีย (มิลลิลิตร)	86	88	87	86.67	1.000
ชั้นต้มไอน้ำ					
สารขาเข้า					
เอสเทอร์บริสุทธิ์ (มิลลิลิตร)	151	150	151	150.67	0.577
ไฟฟ้า (1300 วัตต์) (นาทีก)	8	8	8	8	0.000
สารขาออก					
เอสเทอร์บริสุทธิ์ปราศจากน้ำ (มิลลิลิตร)	148	149	148	148.33	0.577



ตารางที่ ค.1 ข้อมูลปริมาณสารขาเข้าจากกระบวนการปลูกปาล์ม

	ปริมาณ				หน่วย
	อ้างอิง 1	อ้างอิง 2	อ้างอิง 3	เฉลี่ย	
สารขาเข้า					
ปุ๋ยไนโตรเจน	8.64	7.79	-	8.22	กิโลกรัม
ปุ๋ยฟอสฟอรัส	4.11	-	2.9	3.51	กิโลกรัม
ปุ๋ยโพแทสเซียม	17.51	14.41	10.4	14.11	กิโลกรัม
ไกลฟอสเสจ	0.274	0.28	-	0.277	กิโลกรัม
พาราควอท	0.0997	0.1	-	0.0998	กิโลกรัม
ดีเซล	0.299	-	0.169	0.234	กิโลกรัม
ก๊าซโซลีน	-	-	0.508	0.508	กิโลกรัม
สารขาออก					
ผลปาล์ม (FFB)	1	1	1	1	ตัน

หมายเหตุ

อ้างอิง 1 คือ (Silertruksa และคณะ, 2012)

อ้างอิง 2 คือ (Pleanjai และคณะ, 2009)

อ้างอิง 3 คือ (Patthanaisaranukool และคณะ, 2013)

ตารางที่ ค.2 ก๊าซเรือนกระจกจากการปลูกปาล์ม

	ปริมาณ	หน่วย	ปริมาณ	หน่วย	EF	หน่วย	ที่มา	GHG emission (kg CO ₂ eq)
<i>สารขาเข้า</i>								
ปุ๋ยไนโตรเจน	8.22	กิโลกรัม	0.065	กิโลกรัม	2.6	kg CO ₂ eq/kg	Japan CF	0.1691
ปุ๋ยฟอสฟอรัส	3.51	กิโลกรัม	0.028	กิโลกรัม	0.252	kg CO ₂ eq/kg	Japan CF	0.007
ปุ๋ยโพแทสเซียม	14.11	กิโลกรัม	0.112	กิโลกรัม	0.16	kg CO ₂ eq/kg	Japan CF	0.0179
ไกลโฟเสจ	0.277	กิโลกรัม	0.002	กิโลกรัม	16	kg CO ₂ eq/kg	Ecoinvent 2.0	0.0351
พาราควอท	0.0998	กิโลกรัม	0.001	กิโลกรัม	3.23	kg CO ₂ eq/kg	Ecoinvent 2.0	0.0026
ดีเซล	0.234	กิโลกรัม	0.002	กิโลกรัม	0.3282	kg CO ₂ eq/kg	Thai national database	0.0006
ดีเซล (เผาไหม้)	0.234	กิโลกรัม	0.002	กิโลกรัม	3.4798	kg CO ₂ eq/kg	คำนวณ	0.0064
ก๊าซโซลีน	0.508	กิโลกรัม	0.004	กิโลกรัม	0.7069	kg CO ₂ eq/kg	Thai national database	0.0028
ก๊าซโซลีน (เผาไหม้)	0.508	กิโลกรัม	0.004	กิโลกรัม	3.0219	kg CO ₂ eq/kg	คำนวณ	0.0122
								0.2536
<i>สารขาออก</i>								
ผลปาล์ม (FFB)	1	ตัน						
น้ำมันปาล์มโอเลอิน			1	ลิตร				

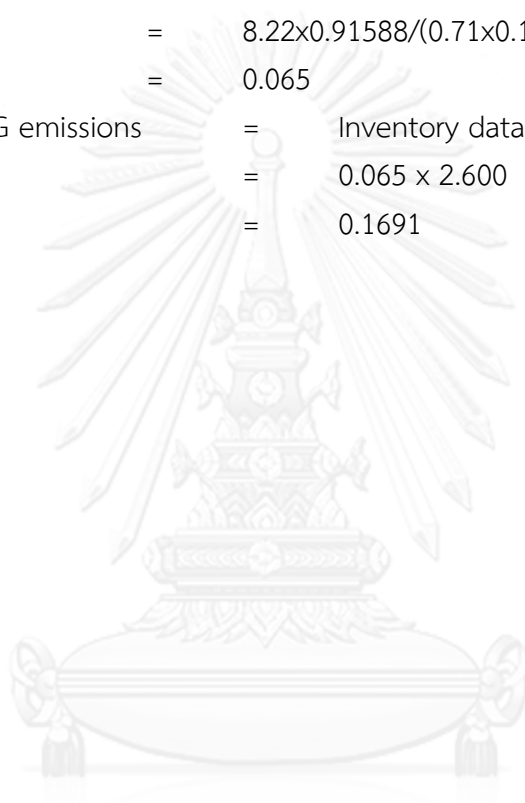
ตัวอย่างการคำนวณก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการปลูกปาล์ม
 สาระขาเข้า

- Olein density = 0.91588 kg/L
- 1 ton FFB = 0.163 ton CPO
- 1 ton CPO = 0.71 ton olein

ปุ๋ยไนโตรเจน

$$\begin{aligned} \text{ปุ๋ยไนโตรเจน} &= 8.22 && \text{kg/ton FFB} \\ &= 8.22 \times 0.91588 / (0.71 \times 0.163 \times 1000) && \text{kg/L palm olein} \\ &= 0.065 && \text{kg/L palm olein} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{GHG emissions} &= \text{Inventory data} \times \text{EF} \\ &= 0.065 \times 2.600 \\ &= 0.1691 && \text{kg CO}_2 \text{ eq/L palm olein} \end{aligned}$$



ตารางที่ ค.3 ก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการปลูกปาล์มเพื่อผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ (น้ำมันร้อยละ 50) ด้วยกระบวนการไมโครอิมัลชัน

	ปริมาณ	หน่วย	EF	หน่วย	ที่มา	GHG emission (kg CO ₂ eq)			
						per ton FFB	per ton CPO	per L	per MJ
1) สารขาเข้า									
ปุ๋ยไนโตรเจน	8.217	kg	2.600	kg CO ₂ eq/kg	Japan CF	21.365	131.075	0.04227	0.00134
ปุ๋ยฟอสฟอรัส	3.505	kg	0.252	kg CO ₂ eq/kg	Japan CF	0.883	5.419	0.00175	0.00006
ปุ๋ยโพแทสเซียม	14.108	kg	0.160	kg CO ₂ eq/kg	Japan CF	2.257	13.848	0.00447	0.00014
ไกลโฟเซต	0.277	kg	16.000	kg CO ₂ eq/kg	Ecoinvent 2.0	4.432	27.192	0.00877	0.00028
พาราควอท	0.100	kg	3.230	kg CO ₂ eq/kg	Ecoinvent 2.0	0.322	1.978	0.00064	0.00002
ดีเซล	0.234	kg	0.328	kg CO ₂ eq/kg	Thai national database	0.077	0.471	0.00015	0.000005
ดีเซล (เผาใหม่)	0.234	kg	3.480	kg CO ₂ eq/kg	คำนวณ	0.814	4.995	0.00161	0.00005
แก๊สโซลีน	0.508	kg	0.707	kg CO ₂ eq/kg	Thai national database	0.359	2.204	0.00071	0.00002
แก๊สโซลีน (เผาใหม่)	0.508	kg	3.022	kg CO ₂ eq/kg	คำนวณ	1.536	9.422	0.00304	0.00010
						32.047	196.604	0.06340	0.00200
2) สารขาออก									
ผลปาล์ม (FFB)	1	ton							

หมายเหตุ ค่า Emission factor มาจาก TGO (องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก, 2556)

ตัวอย่างการคำนวณก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการปลูกปาล์มเพื่อผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ
(น้ำมันร้อยละ 50) ด้วยกระบวนการไมโครมีลชัน

สารขาเข้า

- Olein density = 0.91588 kg/L
- Heating value = 31.6242 MJ/L
- 1 ton FFB = 0.163 ton CPO
- 1 ton CPO = 0.71 ton olein
- 1 L biofuel = $0.91588 \times 0.25 / 0.71$
= 0.3225 kg CPO

ปุ๋ยไนโตรเจน

$$\begin{aligned}
 \text{GHG emissions} &= \text{Inventory data} \times \text{EF} \\
 &= 0.217 \times 2.600 \\
 &= 21.365 \quad \text{kg CO}_2 \text{ eq/ton FFB} \\
 &= 21.365 / 0.163 \quad \text{kg CO}_2 \text{ eq/ton CPO} \\
 &= 131.075 \quad \text{kg CO}_2 \text{ eq/ton CPO} \\
 &= 131.075 \times 0.3225 / 1000 \quad \text{kg CO}_2 \text{ eq/L} \\
 &= 0.04227 \quad \text{kg CO}_2 \text{ eq/L} \\
 &= 0.04227 / 31.6242 \quad \text{kg CO}_2 \text{ eq/MJ} \\
 &= 0.00134 \quad \text{kg CO}_2 \text{ eq/MJ}
 \end{aligned}$$

ค่า EF

ดีเซล

$$\begin{aligned}
 \text{CO}_2 &= (\text{kg CO}_2/\text{TJ fuel}) \times (\text{TJ fuel}/10^6 \text{ MJ fuel}) \times (\text{MJ/kg}) \\
 &= 74100 \times 46.8 / 10^6 \\
 &= 3.468 \quad \text{kg CO}_2/\text{kg fuel} \\
 \text{CH} &= (\text{kg CO}_2/\text{TJ fuel}) \times (\text{TJ fuel}/10^6 \text{ MJ fuel}) \times (\text{MJ/kg}) \\
 &= 25 \times 3 \times 46.8 / 10^6 \\
 &= 3.51 \times 10^{-3} \quad \text{kg CO}_2 \text{ eq/kg fuel} \\
 \text{N}_2\text{O} &= (\text{kg CO}_2/\text{TJ fuel}) \times (\text{TJ fuel}/10^6 \text{ MJ fuel}) \times (\text{MJ/kg}) \\
 &= 298 \times 0.6 \times 46.8 / 10^6 \\
 &= 8.368 \times 10^{-3} \quad \text{kg CO}_2 \text{ eq/kg fuel} \\
 \text{EF} &= \text{CO}_2 + \text{CH} + \text{N}_2\text{O} \\
 &= 3.4798 \quad \text{kg CO}_2 \text{ eq/kg fuel}
 \end{aligned}$$

แก๊สโซลีน

$$\begin{aligned}
 \text{CO}_2 &= (\text{kg CO}_2/\text{TJ fuel}) \times (\text{TJ fuel}/10^6 \text{ MJ fuel}) \times (\text{MJ/kg}) \\
 &= 69300 \times 43.448 / 10^6 \\
 &= 3.011 \quad \text{kg CO}_2/\text{kg fuel}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{CH} &= (\text{kg CO}_2/\text{TJ fuel}) \times (\text{TJ fuel}/10^6 \text{ MJ fuel}) \times (\text{MJ/kg}) \\
 &= 25 \times 3 \times 43.448 / 10^6 \\
 &= 3.26 \times 10^{-3} \qquad \text{kg CO}_2 \text{ eq/kg fuel} \\
 \text{N}_2\text{O} &= (\text{kg CO}_2/\text{TJ fuel}) \times (\text{TJ fuel}/10^6 \text{ MJ fuel}) \times (\text{MJ/kg}) \\
 &= 298 \times 0.6 \times 43.448 / 10^6 \\
 &= 7.769 \times 10^{-3} \qquad \text{kg CO}_2 \text{ eq/kg fuel} \\
 \text{EF} &= \text{CO}_2 + \text{CH} + \text{N}_2\text{O} \\
 &= 3.022 \qquad \text{kg CO}_2 \text{ eq/kg fuel}
 \end{aligned}$$



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ค.4 ก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการปลูกปาล์มเพื่อผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ (น้ำมันร้อยละ 60) ด้วยกระบวนการไมโครอิมัลชัน

	ปริมาณ	หน่วย	EF	หน่วย	ที่มา	GHG emission (kg CO ₂ eq)			
						per ton FFB	per ton CPO	per L	per MJ
1) สารขาเข้า									
ปุ๋ยไนโตรเจน	8.217	kg	2.600	kg CO ₂ eq/kg	Japan CF	21.365	131.075	0.0507	0.00152
ปุ๋ยฟอสฟอรัส	3.505	kg	0.252	kg CO ₂ eq/kg	Japan CF	0.883	5.419	0.0021	0.00006
ปุ๋ยโพแทสเซียม	14.108	kg	0.160	kg CO ₂ eq/kg	Japan CF	2.257	13.848	0.0054	0.00016
ไกลโฟเซต	0.277	kg	16.000	kg CO ₂ eq/kg	Ecoinvent 2.0	4.432	27.192	0.0105	0.00032
พาราควอท	0.100	kg	3.230	kg CO ₂ eq/kg	Ecoinvent 2.0	0.322	1.978	0.0008	0.00002
ดีเซล	0.234	kg	0.328	kg CO ₂ eq/kg	Thai national database	0.077	0.471	0.0002	0.00001
ดีเซล (เผาไหม้)	0.234	kg	3.480	kg CO ₂ eq/kg	คำนวณ	0.814	4.995	0.0019	0.00006
แก๊สโซลีน	0.508	kg	0.707	kg CO ₂ eq/kg	Thai national database	0.359	2.204	0.0009	0.00003
แก๊สโซลีน (เผาไหม้)	0.508	kg	3.022	kg CO ₂ eq/kg	คำนวณ	1.536	9.422	0.0039	0.00012
						32.047	196.604	0.0761	0.0023
2) สารขาออก									
ผลปาล์ม (FFB)	1	ton							

หมายเหตุ ค่า Emission factor มาจาก TGO (องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก, 2556)

ตัวอย่างการคำนวณก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการปลูกปาล์มเพื่อผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ
(น้ำมันร้อยละ 60) ด้วยกระบวนการไมโครอิมัลชัน

สารขาเข้า

- Olein density = 0.91588 kg/L
- Heating value = 33.2988 MJ/L
- 1 ton FFB = 0.163 ton CPO
- 1 ton CPO = 0.71 ton olein
- 1 L biofuel = $0.91588 \times 0.3 / 0.71$
= 0.387 kg CPO

ปุ๋ยไนโตรเจน

GHG emissions	=	Inventory data x EF	
	=	0.217 x 2.600	
	=	21.365	kg CO ₂ eq/ton FFB
	=	21.365/0.163	kg CO ₂ eq/ton CPO
	=	131.075	kg CO ₂ eq/ton CPO
	=	$131.075 \times 0.387 / 1000$	kg CO ₂ eq/L
	=	0.0507	kg CO ₂ eq/L
	=	$0.0507/33.2988$	kg CO ₂ eq/MJ
	=	0.00152	kg CO ₂ eq/MJ

ตารางที่ ค.5 ก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการปลูกปาล์มเพื่อผลิตไบโอดีเซล (B100) ด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน

	ปริมาณ	หน่วย	EF	หน่วย	ที่มา	GHG emission (kg CO ₂ eq)			
						per ton FFB	per ton CPO	per L	per MJ
1) สารขาเข้า									
ปุ๋ยไนโตรเจน	8.217	kg	2.600	kg CO ₂ eq/kg	Japan CF	21.365	131.075	0.1469	0.00423
ปุ๋ยฟอสฟอรัส	3.505	kg	0.252	kg CO ₂ eq/kg	Japan CF	0.883	5.419	0.0061	0.00018
ปุ๋ยโพแทสเซียม	14.108	kg	0.160	kg CO ₂ eq/kg	Japan CF	2.257	13.848	0.0155	0.00045
ไกลโฟเซต	0.277	kg	16.000	kg CO ₂ eq/kg	Ecoinvent 2.0	4.432	27.192	0.0305	0.00088
พาราควอท	0.100	kg	3.230	kg CO ₂ eq/kg	Ecoinvent 2.0	0.322	1.978	0.0022	0.00006
ดีเซล	0.234	kg	0.328	kg CO ₂ eq/kg	Thai national database	0.077	0.471	0.0005	0.00002
ดีเซล (เผาไหม้)	0.234	kg	3.480	kg CO ₂ eq/kg	คำนวณ	0.814	4.995	0.0056	0.00016
แก๊สโซลีน	0.508	kg	0.707	kg CO ₂ eq/kg	Thai national database	0.359	2.204	0.0025	0.00007
แก๊สโซลีน (เผาไหม้)	0.508	kg	3.022	kg CO ₂ eq/kg	คำนวณ	1.536	9.422	0.0106	0.00030
						32.047	196.604	0.2203	0.00635
2) สารขาออก									
ผลปาล์ม (FFB)	1	ton							

หมายเหตุ ค่า Emission factor มาจาก TGO (องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก, 2556)

ตัวอย่างการคำนวณก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการปลูกปาล์มเพื่อผลิตไบโอดีเซล (B100) ด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

สารขาเข้า

- Olein density = 0.91588 kg/L
- Heating value = 34.6863 MJ/L
- 1 ton FFB = 0.163 ton CPO
- 1 ton CPO = 0.71 ton olein
- 1 L biofuel = $0.91588 \times 0.8987 / 0.71$
= 1.1206 kg CPO

ปุ๋ยไนโตรเจน

GHG emissions	=	Inventory data x EF	
	=	0.217 x 2.600	
	=	21.365	kg CO ₂ eq/ton FFB
	=	21.365/0.163	kg CO ₂ eq/ton CPO
	=	131.075	kg CO ₂ eq/ton CPO
	=	$131.075 \times 1.1206 / 1000$	kg CO ₂ eq/L
	=	0.1469	kg CO ₂ eq/L
	=	$0.1469/34.6863$	kg CO ₂ eq/MJ
	=	0.00423	kg CO ₂ eq/MJ

ตารางที่ ค.6 ก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการปลูกปาล์มเพื่อผลิตไบโอดีเซล (B70) ด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน

	ปริมาณ	หน่วย	EF	หน่วย	ที่มา	GHG emission (kg CO ₂ eq)			
						per ton FFB	per ton CPO	per L	per MJ
1) สารขาเข้า									
ปุ๋ยไนโตรเจน	8.217	kg	2.600	kg CO ₂ eq/kg	Japan CF	21.365	131.075	0.1028	0.00284
ปุ๋ยฟอสฟอรัส	3.505	kg	0.252	kg CO ₂ eq/kg	Japan CF	0.883	5.419	0.0043	0.00012
ปุ๋ยโพแทสเซียม	14.108	kg	0.160	kg CO ₂ eq/kg	Japan CF	2.257	13.848	0.0109	0.00030
ไกลโฟเซต	0.277	kg	16.000	kg CO ₂ eq/kg	Ecoinvent 2.0	4.432	27.192	0.0213	0.00059
พาราควอท	0.100	kg	3.230	kg CO ₂ eq/kg	Ecoinvent 2.0	0.322	1.978	0.0016	0.00004
ดีเซล	0.234	kg	0.328	kg CO ₂ eq/kg	Thai national database	0.077	0.471	0.0004	0.00001
ดีเซล (เผาไหม้)	0.234	kg	3.480	kg CO ₂ eq/kg	คำนวณ	0.814	4.995	0.0039	0.00011
แก๊สโซลีน	0.508	kg	0.707	kg CO ₂ eq/kg	Thai national database	0.359	2.204	0.0017	0.00005
แก๊สโซลีน (เผาไหม้)	0.508	kg	3.022	kg CO ₂ eq/kg	คำนวณ	1.536	9.422	0.0074	0.00020
						32.047	196.604	0.1542	0.00427
2) สารขาออก									
ผลปาล์ม (FFB)	1	ton							

หมายเหตุ ค่า Emission factor มาจาก TGO (องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก, 2556)

ตัวอย่างการคำนวณก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการปลูกปาล์มเพื่อผลิตไบโอดีเซล (B70) ด้วย
กระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

สารขาเข้า

- Olein density = 0.91588 kg/L
- Heating value = 36.1442 MJ/L
- 1 ton FFB = 0.163 ton CPO
- 1 ton CPO = 0.71 ton olein
- 1 L biofuel = $0.91588 \times 0.6081 / 0.71$
= 0.7844 kg CPO

ปุ๋ยไนโตรเจน

GHG emissions	=	Inventory data x EF	
	=	0.217 x 2.600	
	=	21.365	kg CO ₂ eq/ton FFB
	=	21.365/0.163	kg CO ₂ eq/ton CPO
	=	131.075	kg CO ₂ eq/ton CPO
	=	131.075 x 0.7844 / 1000	kg CO ₂ eq/L
	=	0.1028	kg CO ₂ eq/L
	=	0.1028/36.1442	kg CO ₂ eq/MJ
	=	0.00284	kg CO ₂ eq/MJ

ตารางที่ ค.7 ข้อมูลปริมาณสารขาเข้าของกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มโอเลอิน

	ปริมาณ				หน่วย
	อ้างอิง 1	อ้างอิง 2	อ้างอิง 3	เฉลี่ย	
<i>สารขาเข้า</i>					
น้ำ	5.7	5.11	-	5.405	ลบ.ม.
เคโอลิน	11.64	-	-	11.64	กิโลกรัม
โพสโอะลูมินัม	0.33	-	-	0.33	กิโลกรัม
แอนไอออนิก โพลีเมอร์	0.49	-	-	0.49	กิโลกรัม
กรดไฮโดรคลอริก	1.53	-	-	1.53	กิโลกรัม
โซเดียมไฮดรอกไซด์	1.43	-	-	1.43	กิโลกรัม
ไฟฟ้า (ขั้นสกัด CPO)	80	-	69.7	74.9	กิโลวัตต์ ชั่วโมง
ไฟฟ้า (ขั้นทำให้ CPO บริสุทธิ์)	-	-	-	1.0904	กิโลวัตต์ ชั่วโมง
ดีเซล	5.1	2.4	5.4	4.3	กิโลกรัม
<i>สารขาออก</i>					
น้ำมันปาล์มดิบ (CPO)	1	1	1	1	ตัน
น้ำเสีย	2.95	3.43	-	3.19	ลบ.ม.

หมายเหตุ

อ้างอิง 1 = (Pleanjai และคณะ, 2007)

อ้างอิง 2 = (Kaewmai และคณะ, 2012)

อ้างอิง 3 = (Silertruksa และคณะ, 2012)

ข้อมูลของปริมาณไฟฟ้า (ขั้นทำให้ CPO บริสุทธิ์) = (Pleanjai และคณะ, 2009)

ตารางที่ ค.8 ก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มโอเลอิน

	ปริมาณ	หน่วย	ปริมาณ	หน่วย	EF	หน่วย	ที่มา	GHG emission (kg CO ₂ eq)
<i>สารขาเข้า</i>								
น้ำ	5.405	ลบ.ม.	0.007	ลบ.ม.	0.2722	kg CO ₂ eq/m ³	Thai national database	0.0019
เคโอลีน	11.64	กิโลกรัม	0.015	กิโลกรัม	0.2167	kg CO ₂ eq/kg	Ecoinvent 2.2, IPCC 2007	0.0033
โพสโอะลูมินัม	0.33	กิโลกรัม	0.0004	กิโลกรัม	0.6	kg CO ₂ eq/kg	GWP 100a	0.0002
แอนไอออนิก โพลีเมอร์	0.49	กิโลกรัม	0.0006	กิโลกรัม	1.43	kg CO ₂ eq/kg	Ecoinvent 2.2, IPCC 2007 GWP 100a	0.0009
กรดไฮโดรคลอริก	1.53	กิโลกรัม	0.002	กิโลกรัม	0.4094	kg CO ₂ eq/kg	Ecoinvent 2.2, IPCC 2007 GWP 100a	0.0008
โซเดียมไฮดรอกไซด์	1.43	กิโลกรัม	0.0018	กิโลกรัม	1.1148	kg CO ₂ eq/kg	Ecoinvent 2.2, IPCC 2007 GWP 100a	0.0021
ไฟฟ้า (ขั้นสกัด CPO)	74.86	กิโลวัตต์ชั่วโมง	0.0966	กิโลวัตต์ชั่วโมง	0.6093	kg CO ₂ eq/kg	Thai national database	0.0588
ไฟฟ้า (ขั้นทำให้ CPO บริสุทธิ์)	1.09	กิโลวัตต์ชั่วโมง	0.0014	กิโลวัตต์ชั่วโมง	0.6093	kg CO ₂ eq/kWh	Thai national database	0.0009
ดีเซล	4.3	กิโลกรัม	0.0055	กิโลกรัม	0.3282	kg CO ₂ eq/kg	Thai national database	0.0018
ดีเซล (เผาไหม้)	4.3	กิโลกรัม	0.0055	กิโลกรัม	3.0219	kg CO ₂ eq/kg	คำนวณ	0.0193
บำบัดน้ำเสีย	9.41	กิโลกรัม	0.0121	กิโลกรัม	0.51	kg CO ₂ eq/kg CPO	ISCC	0.6579
								0.7478
<i>สารขาออก</i>								
น้ำมันปาล์มดิบ (CPO)	1	ตัน						
น้ำมันปาล์มโอเลอิน			1	ลิตร				

หมายเหตุ ค่า Emission factor มาจาก TGO (องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก, 2556) และ ISCC (ISCC, 2011)

ตัวอย่างการคำนวณก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มโอเลอิน

สารขาเข้า

-	Olein density	=	0.91588	kg/L
-	1 ton CPO	=	0.71	ton olein
น้ำ				
	น้ำ	=	5.405	kg/ton CPO
		=	$5.405 \times 0.91588 / (0.71 \times 1000)$	kg/L palm olein
		=	0.007	kg/L palm olein
	GHG emissions	=	Inventory data x EF	
		=	0.007×0.2733	
		=	0.0019	kg CO ₂ eq/L palm olein

ตารางที่ ค.9 ก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มโอเลอินเพื่อผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ (น้ำมันร้อยละ 50) ด้วยกระบวนการไมโครอิมัลชัน

	ปริมาณ	หน่วย	EF	หน่วย	ที่มา	GHG emission (kg CO ₂ eq)		
						per ton CPO	per L	per MJ
1) สารขาเข้า								
น้ำ	5.405	m ³	0.272	kg CO ₂ eq/m ³	Thai national database	1.471	0.0005	0.00002
เคโอลิน	11.640	kg	0.217	kg CO ₂ eq/kg	Ecoinvent 2.2, IPCC 2007	2.522	0.0008	0.00003
โพลีเอทิลีนเนียมคลอไรด์	0.330	kg	0.600	kg CO ₂ eq/kg	GWP 100a	0.198	0.0001	0.000002
แอนไอโอนิกโพลีเมอร์	0.490	kg	1.430	kg CO ₂ eq/kg	Ecoinvent 2.2, IPCC 2007 GWP 100a	0.701	0.0002	0.00001
กรดไฮโดรคลอริก	1.530	kg	0.409	kg CO ₂ eq/kg	Ecoinvent 2.2, IPCC 2007 GWP 100a	0.626	0.0002	0.00001
โซเดียมไฮดรอกไซด์	1.430	kg	1.115	kg CO ₂ eq /kg	Ecoinvent 2.2, IPCC 2007 GWP 100a	1.594	0.0005	0.00002
น้ำเสีย	3.190	m ³	0.510	kgCO ₂ eq /kg CPO	ISCC	510.000	0.1645	0.00520
ไฟฟ้า	74.856	kWh	0.609	kg CO ₂ eq /kWh	Thai national database	45.610	0.0147	0.00047
ดีเซล	4.296	kg	0.328	kg CO ₂ eq/kg	Thai national database	1.410	0.0005	0.00001
ดีเซล (เผาไหม้)	4.296	kg	3.480	kg CO ₂ eq /kg	คำนวณ	14.948	0.0048	0.00015
ไฟฟ้า (refining process)	1.090	kWh	0.609	kg CO ₂ eq/kWh	Thai national database	0.664	0.0002	0.00001
						579.745	0.1870	0.00591
2) สารขาออก (คิดเทียบแค่ CPO)								
น้ำมันปาล์มดิบ (CPO)	1	ton						

หมายเหตุ ค่า Emission factor มาจาก TGO (องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก, 2556) และ ISCC (ISCC, 2011)

ตัวอย่างการคำนวณก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มโอเลอินเพื่อผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ (น้ำมันร้อยละ 50) ด้วยกระบวนการไมโครอิมัลชัน

สารขาเข้า

- Olein density = 0.91588 kg/L
- Heating value = 31.6242 MJ/L
- 1 ton CPO = 0.71 ton olein
- 1 L biofuel = $0.91588 \times 0.25 / 0.71$
= 0.3225 kg CPO

น้ำ

$$\begin{aligned}
 \text{GHG emissions} &= \text{Inventory data} \times \text{EF} \\
 &= 5.405 \times 0.272 \\
 &= 1.471 \quad \text{kg CO}_2 \text{ eq/ton CPO} \\
 &= 1.471 \times 0.3225 / 1000 \quad \text{kg CO}_2 \text{ eq/L} \\
 &= 0.0005 \quad \text{kg CO}_2 \text{ eq/L} \\
 &= 0.0005 / 31.6242 \quad \text{kg CO}_2 \text{ eq/MJ} \\
 &= 0.00002 \quad \text{kg CO}_2 \text{ eq/MJ}
 \end{aligned}$$

ตารางที่ ค.10 ก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มโอเลอินเพื่อผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ (น้ำมันร้อยละ 60) ด้วยกระบวนการไมโครอิมัลชัน

	ปริมาณ	หน่วย	EF	หน่วย	ที่มา	GHG emission (kg CO ₂ eq)		
						per ton CPO	per L	per MJ
1) สารขาเข้า								
น้ำ	5.405	m ³	0.272	kg CO ₂ eq/m ³	Thai national database	1.471	0.0006	0.00002
เคโอลิน	11.640	kg	0.217	kg CO ₂ eq/kg	Ecoinvent 2.2, IPCC 2007	2.522	0.0010	0.00003
โพลีเอทิลีนนิยมนคลอไรด์	0.330	kg	0.600	kg CO ₂ eq/kg	GWP 100a	0.198	0.0001	0.000002
แอนไอโอนิกโพลีเมอร์	0.490	kg	1.430	kg CO ₂ eq/kg	Ecoinvent 2.2, IPCC 2007 GWP 100a	0.701	0.0003	0.00001
กรดไฮโดรคลอริก	1.530	kg	0.409	kg CO ₂ eq/kg	Ecoinvent 2.2, IPCC 2007 GWP 100a	0.626	0.0002	0.00001
โซเดียมไฮดรอกไซด์	1.430	kg	1.115	kg CO ₂ eq /kg	Ecoinvent 2.2, IPCC 2007 GWP 100a	1.594	0.0006	0.00002
น้ำเสีย	3.190	m ³	0.510	kgCO ₂ eq /kg CPO	ISCC	510.000	0.1974	0.00593
ไฟฟ้า	74.856	kWh	0.609	kg CO ₂ eq /kWh	Thai national database	45.610	0.0177	0.00053
ดีเซล	4.296	kg	0.328	kg CO ₂ eq/kg	Thai national database	1.410	0.0005	0.00002
ดีเซล (เผาไหม้)	4.296	kg	3.480	kg CO ₂ eq /kg	คำนวณ	14.948	0.0058	0.00017
ไฟฟ้า (refining process)	1.090	kWh	0.609	kg CO ₂ eq/kWh	Thai national database	0.664	0.0003	0.00001
						579.745	0.2244	0.00674
2) สารขาออก (คิดเทียบแค่ CPO)								
น้ำมันปาล์มดิบ (CPO)	1	ton						

หมายเหตุ ค่า Emission factor มาจาก TGO (องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก, 2556)และ ISCC (ISCC, 2011)

ตัวอย่างการคำนวณก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มโอเลอินเพื่อผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ (น้ำมันร้อยละ 60) ด้วยกระบวนการไมโครอิมัลชัน

สารขาเข้า

- Olein density = 0.91588 kg/L
- Heating value = 33.2988 MJ/L
- 1 ton CPO = 0.71 ton olein
- 1 L biofuel = $0.91588 \times 0.3 / 0.71$
= 0.387 kg CPO

น้ำ

$$\begin{aligned}
 \text{GHG emissions} &= \text{Inventory data} \times \text{EF} \\
 &= 5.405 \times 0.272 \\
 &= 1.471 && \text{kg CO}_2 \text{ eq/ton CPO} \\
 &= 1.471 \times 0.387 / 1000 && \text{kg CO}_2 \text{ eq/L} \\
 &= 0.0006 && \text{kg CO}_2 \text{ eq/L} \\
 &= 0.0006 / 33.2988 && \text{kg CO}_2 \text{ eq/MJ} \\
 &= 0.00002 && \text{kg CO}_2 \text{ eq/MJ}
 \end{aligned}$$

ตารางที่ ค.11 ก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มโอเลอินเพื่อผลิตไบโอดีเซล (B100) ด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน

	ปริมาณ	หน่วย	EF	หน่วย	ที่มา	GHG emission (kg CO ₂ eq)		
						per ton CPO	per L	per MJ
1) สารขาเข้า								
น้ำ	5.405	m ³	0.272	kg CO ₂ eq/m ³	Thai national database	1.471	0.0016	0.00005
เคโอลิน	11.640	kg	0.217	kg CO ₂ eq/kg	Ecoinvent 2.2, IPCC 2007	2.522	0.0028	0.00008
โพลีเอทิลีนเมทิลคลอไรด์	0.330	kg	0.600	kg CO ₂ eq/kg	GWP 100a	0.198	0.0002	0.00001
แอนไอโอนิกโพลีเมอร์	0.490	kg	1.430	kg CO ₂ eq/kg	Ecoinvent 2.2, IPCC 2007 GWP 100a	0.701	0.0008	0.00002
กรดไฮโดรคลอริก	1.530	kg	0.409	kg CO ₂ eq/kg	Ecoinvent 2.2, IPCC 2007 GWP 100a	0.626	0.0007	0.00002
โซเดียมไฮดรอกไซด์	1.430	kg	1.115	kg CO ₂ eq /kg	Ecoinvent 2.2, IPCC 2007 GWP 100a	1.594	0.0018	0.00005
น้ำเสีย	3.190	m ³	0.510	kgCO ₂ eq /kg CPO	ISCC	510.000	0.5715	0.01570
ไฟฟ้า	74.856	kWh	0.609	kg CO ₂ eq /kWh	Thai national database	45.610	0.0511	0.00140
ดีเซล	4.296	kg	3.480	kg CO ₂ eq/kg	Thai national database	1.410	0.0016	0.00004
ดีเซล (เผาไหม้)	4.296	kg	3.4798	kg CO ₂ eq /kg	คำนวณ	14.948	0.0168	0.00048
ไฟฟ้า (refining process)	1.090	kWh	0.609	kg CO ₂ eq/kWh	Thai national database	0.664	0.0007	0.00002
						579.745	0.6496	0.01873
2) สารขาออก (คิดเทียบแค่ CPO)								
น้ำมันปาล์มดิบ (CPO)	1	ton						

หมายเหตุ ค่า Emission factor มาจาก TGO (องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก, 2556)และ ISCC (ISCC, 2011)

ตัวอย่างการคำนวณก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มโอเลอินเพื่อผลิตไบโอดีเซล (B100) ด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน

สารขาเข้า

- Olein density = 0.91588 kg/L
- Heating value = 34.6863 MJ/L
- 1 ton CPO = 0.71 ton olein
- 1 L biofuel = $0.91588 \times 0.8987 / 0.71$
= 1.1206 kg CPO

น้ำ

$$\begin{aligned}
 \text{GHG emissions} &= \text{Inventory data} \times \text{EF} \\
 &= 5.405 \times 0.272 \\
 &= 1.471 \quad \text{kg CO}_2 \text{ eq/ton CPO} \\
 &= 1.471 \times 1.1206 / 1000 \quad \text{kg CO}_2 \text{ eq/L} \\
 &= 0.0016 \quad \text{kg CO}_2 \text{ eq/L} \\
 &= 0.0016 / 34.6863 \quad \text{kg CO}_2 \text{ eq/MJ} \\
 &= 0.00005 \quad \text{kg CO}_2 \text{ eq/MJ}
 \end{aligned}$$

ตารางที่ ค.12 ก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มโอเลอินเพื่อผลิตไบโอดีเซล (B70) ด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน

	ปริมาณ	หน่วย	EF	หน่วย	ที่มา	GHG emission (kg CO ₂ eq)		
						per ton CPO	per L	per MJ
1) สารขาเข้า								
น้ำ	5.405	m ³	0.272	kg CO ₂ eq/m ³	Thai national database	1.471	0.0012	0.00003
เคโอลิน	11.640	kg	0.217	kg CO ₂ eq/kg	Ecoinvent 2.2, IPCC 2007	2.522	0.0020	0.00005
โพสโตนีนิยมคลอไรด์	0.330	kg	0.600	kg CO ₂ eq/kg	GWP 100a	0.198	0.0002	0.000004
แอนไอโอนิกโพลีเมอร์	0.490	kg	1.430	kg CO ₂ eq/kg	Ecoinvent 2.2, IPCC 2007 GWP 100a	0.701	0.0005	0.00002
กรดไฮโดรคลอริก	1.530	kg	0.409	kg CO ₂ eq/kg	Ecoinvent 2.2, IPCC 2007 GWP 100a	0.626	0.0005	0.00001
โซเดียมไฮดรอกไซด์	1.430	kg	1.115	kg CO ₂ eq /kg	Ecoinvent 2.2, IPCC 2007 GWP 100a	1.594	0.0013	0.00003
น้ำเสีย	3.190	m ³	0.510	kgCO ₂ eq /kg CPO	ISCC	510.000	0.4000	0.01107
ไฟฟ้า	74.856	kWh	0.609	kg CO ₂ eq /kWh	Thai national database	45.610	0.0358	0.00099
ดีเซล	4.296	kg	0.328	kg CO ₂ eq/kg	Thai national database	1.410	0.0011	0.00003
ดีเซล (เผาไหม้)	4.296	kg	3.480	kg CO ₂ eq /kg	คำนวณ	14.948	0.0117	0.00032
ไฟฟ้า (refining process)	1.090	kWh	0.609	kg CO ₂ eq/kWh	Thai national database	0.664	0.0005	0.00001
						579.745	0.4547	0.01258
2) สารขาออก (คิดเทียบแค่ CPO)								
น้ำมันปาล์มดิบ (CPO)	1	ton						

หมายเหตุ ค่า Emission factor มาจาก TGO (องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก, 2556)และ ISCC (ISCC, 2011)

ตัวอย่างการคำนวณก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มโอเลอินเพื่อผลิตไบโอดีเซล (B70) ด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

สารขาเข้า

- Olein density = 0.91588 kg/L
- Heating value = 36.1442 MJ/L
- 1 ton CPO = 0.71 ton olein
- 1 L biofuel = $0.91588 \times 0.6081 / 0.71$
= 0.7844 kg CPO

น้ำ

$$\begin{aligned}
 \text{GHG emissions} &= \text{Inventory data} \times \text{EF} \\
 &= 5.405 \times 0.272 \\
 &= 1.471 \quad \text{kg CO}_2 \text{ eq/ton CPO} \\
 &= 1.471 \times 0.7844 / 1000 \quad \text{kg CO}_2 \text{ eq/L} \\
 &= 0.0012 \quad \text{kg CO}_2 \text{ eq/L} \\
 &= 0.0012 / 36.1442 \quad \text{kg CO}_2 \text{ eq/MJ} \\
 &= 0.00003 \quad \text{kg CO}_2 \text{ eq/MJ}
 \end{aligned}$$

ตารางที่ ค.13 เรือนกระจกจากกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ (น้ำมันร้อยละ 50) 1 ลิตรจากกระบวนการไมโครอิมัลชัน

	ปริมาณ	หน่วย	ความหนาแน่น (kg/L)	ปริมาณ	หน่วย	EF	หน่วย	ที่มา	GHG emission (kg CO ₂ eq)	
									per L	per MJ
สารขาเข้า										
น้ำมันปาล์ม โอเลอิน	250	ml	0.916	0.229	kg	1093.449	kg CO ₂ eq/ton	คำนวณเอง	0.2504	0.0079
ดีเซล	250	ml	0.845	0.211	kg	0.3282	kg CO ₂ eq/kg	Thai national database	0.0693	0.0022
เอทานอล	300	ml	0.812	0.244	kg	0.3962	kg CO ₂ eq/kg	Ecoinvent 2.2, IPCC 2007 GWP 100a	0.0965	0.0031
ออกทานอล	164	ml	0.827	0.136	kg	2.3547	kg CO ₂ eq/kg	Ecoinvent 2.2, IPCC 2007 GWP 100a	0.3194	0.0101
EO1	36	ml	0.879	0.032	kg	1.5746	kg CO ₂ eq/kg	Ecoinvent 2.2, IPCC 2007 GWP 100a	0.0498	0.0016
ไฟฟ้า (1300 W)	2	min		0.043	kWh	0.6093	kg CO ₂ eq/kg	Thai national database	0.0264	0.0008
									0.8118	0.0257
สารขาออก										
เชื้อเพลิง ชีวภาพ	1000	ml	0.847							

หมายเหตุ ค่า Emission factor มาจาก TGO (องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก, 2556)

ค่า Emission factor ของออกทานอล ใช้ของไอโซ บิวทานอล

ตัวอย่างการคำนวณก๊าซเรือนกระจกจากเชื้อเพลิงชีวภาพ (น้ำมันร้อยละ 50)

สารขาเข้า

น้ำมันปาล์มโอเลอิน

$$\begin{aligned} \text{GHG emissions} &= \text{Inventory data} \times \text{EF} \\ &= 0.229 \times 1093.449 \times 10^{-3} \\ &= 0.2504 \end{aligned} \quad \text{kg CO}_2\text{eq/L}$$

$$\begin{aligned} \text{ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวภาพ} &= 8918.9 \quad \text{cal/g} \\ &= 8918.9 \times 4.186 \times 10^{-3} \quad \text{MJ/kg} \\ &= 37.33 \quad \text{MJ/kg} \\ &= 37.33 \times 0.847 \quad \text{MJ/L} \\ &= 31.624 \quad \text{MJ/L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{GHG emissions} &= 0.2504/31.624 \\ &= 0.0079 \quad \text{kg CO}_2\text{eq/MJ} \end{aligned}$$

การใช้ไฟฟ้า

$$\begin{aligned} \text{GHG emissions} &= \text{Inventory data} \times \text{EF} \\ &= 0.043 \times 0.6093 \\ &= 0.0264 \quad \text{kg CO}_2\text{eq/L} \\ &= 0.0264/31.624 \quad \text{kg CO}_2\text{eq/MJ} \\ &= 0.0008 \quad \text{kg CO}_2\text{eq/MJ} \end{aligned}$$

ตารางที่ ค.14 ก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ (น้ำมันร้อยละ 60) 1 ลิตรจากกระบวนการไมโครอิมัลชัน

	ปริมาณ	หน่วย	ความหนาแน่น (kg/L)	ปริมาณ	หน่วย	EF	หน่วย	ที่มา	GHG emission (kg CO ₂ eq)	
									per L	per MJ
1) สารขาเข้า										
น้ำมันปาล์ม										
โอเลอิน	300	ml	0.916	0.275	kg	1093.449	kg CO ₂ eq/ton	คำนวณเอง	0.3004	0.0090
ดีเซล	300	ml	0.845	0.254	kg	0.3282	kg CO ₂ eq/kg	Thai national database	0.0832	0.0025
เอทานอล	200	ml	0.812	0.162	kg	0.3962	kg CO ₂ eq/kg	Ecoinvent 2.2, IPCC 2007 GWP 100a	0.0643	0.0019
ออกทานอล	164	ml	0.827	0.136	kg	2.3547	kg CO ₂ eq/kg	Ecoinvent 2.2, IPCC 2007 GWP 100a	0.3194	0.0096
EO1	36	ml	0.879	0.032	kg	1.5746	kg CO ₂ eq/kg	Ecoinvent 2.2, IPCC 2007 GWP 100a	0.0498	0.0015
ไฟฟ้า (1300 W)	2	min		0.043	kWh	0.6093	kg CO ₂ eq/kg	Thai national database	0.0264	0.0008
									0.8435	0.0253
2) สารขาออก										
เชื้อเพลิง ชีวภาพ	1000	ml	0.856							

หมายเหตุ ค่า Emission factor มาจาก TGO (องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก, 2556)

ค่า Emission factor ของออกทานอล ใช้ของไอโซ บิวทานอล

ตัวอย่างการคำนวณก๊าซเรือนกระจกจากเชื้อเพลิงชีวภาพ (น้ำมันร้อยละ 60)

สารขาเข้า

น้ำมันปาล์มโอเลอิน

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณน้ำมันปาล์มโอเลอิน} &= 300 \times 0.916 \times 10^{-3} && \text{kg} \\ &= 0.275 && \text{kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{GHG emissions} &= \text{Inventory data} \times \text{EF} \\ &= 0.275 \times 1093.449 \times 10^{-3} \\ &= 0.3004 && \text{kg CO}_2\text{eq/L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวภาพ} &= 9290.6 && \text{cal/g} \\ &= 9290.6 \times 4.186 \times 10^{-3} && \text{MJ/kg} \\ &= 38.89 && \text{MJ/kg} \\ &= 38.89 \times 0.856 && \text{MJ/L} \\ &= 33.299 && \text{MJ/L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{GHG emissions} &= 0.3004/33.299 \\ &= 0.0090 && \text{kg CO}_2\text{eq/MJ} \end{aligned}$$

การใช้ไฟฟ้า

$$\begin{aligned} \text{GHG emissions} &= \text{Inventory data} \times \text{EF} \\ &= 0.043 \times 0.6093 \\ &= 0.0264 && \text{kg CO}_2\text{eq/L} \\ &= 0.0264/33.299 && \text{kg CO}_2\text{eq/MJ} \\ &= 0.0008 && \text{kg CO}_2\text{eq/MJ} \end{aligned}$$

ตารางที่ ค.15 ก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล (B100) 1 ลิตรจากกระบวนการทรานส์เอสเตอร์ฟิเคชัน

	ปริมาณ ที่ใช้	ปริมาณ ปันส่วน	หน่วย	ความ หนาแน่น (kg/L)	ปริมาณ	หน่วย	EF	หน่วย	ที่มา	GHG emissions (kg CO ₂ eq)	
										per L	per MJ
1) สารขาเข้า											
<i>ขั้นทำปฏิกิริยา</i>											
ปาล์มโอเลอิน	1054	868.7	ml	0.916	0.796	kg	1093.449	kg CO ₂ /ton	คำนวณเอง	0.8699	0.0251
เมทานอล	297	245.0	ml	0.791	0.194	kg	0.7212	kg CO ₂ /kg	Ecoinvent 2.2, IPCC 2007 GWP 100a	0.1398	0.00403
KOH	0.012	0.01	kg		0.01	kg	1.9272	kg CO ₂ /kg	Ecoinvent 2.2, IPCC 2007 GWP 100a	0.0193	0.0006
ไฟฟ้า (1300 W)	41	33	min		0.724	kWh	0.6093	kg CO ₂ /kWh		0.4411	0.0127
<i>ขั้นล้างด้วยน้ำ</i>											
น้ำ	541	-	ml	1	0.541	kg	0.0018	kg CO ₂ /kg	Thai national database	0.0010	2.8E-05
ไฟฟ้า (1300 W)	7		min		0.146	kWh	0.6093	kg CO ₂ /kWh	Thai national database	0.0892	0.0026
<i>ขั้นไล่น้ำ</i>											
ไฟฟ้า (1300 W)	54		min		1.171	kWh	0.6093	kg CO ₂ /kWh	Thai national database	0.7136	0.0206
<i>ขั้นบำบัดน้ำ</i>											
น้ำเสีย (COD = 110240 mg/L)	588		ml						IPCC	0.4050	0.0117
										2.6789	0.0772
2) สารขาออก											
ไบโอดีเซล	1		L	0.873							
กลีเซอรอล	236		ml								
น้ำเสีย	588		ml								

หมายเหตุ ค่า Emission factor มาจาก TGO (องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก, 2556)

ตัวอย่างการคำนวณก๊าซเรือนกระจกจากไบโอดีเซล (B100)

สารขาเข้า

ในขั้นตอนของการทำปฏิกิริยาต้องปันส่วนคิดเฉพาะปริมาณวัตถุดิบและสารเคมีที่ใช้ผลิตไบโอดีเซลเท่านั้น เพราะขั้นตอนนี้ได้ผลิตภัณท์รวมออกมาด้วยคือกลีเซอรอล ซึ่งอัตราส่วนของไบโอดีเซลที่ได้ออกมาจากขั้นตอนนี้เท่ากับ 1108 มิลลิลิตร และกลีเซอรอล 236.5 มิลลิลิตร ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{อัตราส่วนของไบโอดีเซล} &= 1108/(1108+236.5) \\ &= 0.824 \end{aligned}$$

น้ำมันปาล์มโอเลอิน

$$\text{ปริมาณน้ำมันปาล์มโอเลอิน} = 1054 \quad \text{ml}$$

$$\text{ปริมาณน้ำมันปาล์มโอเลอินปันส่วน} = 1054 \times 0.824 \quad \text{ml}$$

$$= 868.7 \quad \text{ml}$$

$$= 868.7 \times 0.916 \quad \text{kg}$$

$$= 0.796 \quad \text{kg}$$

$$\begin{aligned} \text{GHG emissions} &= \text{Inventory data} \times \text{EF} \\ &= 0.769 \times 1093.449 \times 10^{-3} \\ &= 0.8699 \quad \text{kg CO}_2\text{eq/L} \end{aligned}$$

$$\text{ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวภาพ} = 9492.7 \quad \text{cal/g}$$

$$= 9492.7 \times 4.186 \times 10^{-3} \quad \text{MJ/kg}$$

$$= 39.74 \quad \text{MJ/kg}$$

$$= 39.74 \times 0.873 \quad \text{MJ/L}$$

$$= 34.686 \quad \text{MJ/L}$$

$$\begin{aligned} \text{GHG emissions} &= 0.8699/34.686 \\ &= 0.0251 \quad \text{kg CO}_2\text{eq/MJ} \end{aligned}$$

การใช้ไฟฟ้า

$$\begin{aligned} \text{GHG emissions} &= \text{Inventory data} \times \text{EF} \\ &= 0.724 \times 0.6093 \\ &= 0.4411 \quad \text{kg CO}_2\text{eq/L} \end{aligned}$$

$$= 0.4411/34.686 \quad \text{kg CO}_2\text{eq/MJ}$$

$$= 0.0127 \quad \text{kg CO}_2\text{eq/MJ}$$

การบำบัดน้ำเสีย

$$\begin{aligned} \text{GHG emissions} &= 588 \times 110240 \times 0.25 \times 25 \times 10^{-9} \\ &= 0.4050 \quad \text{kg CO}_2\text{eq/L} \end{aligned}$$

$$= 0.4050/34.686 \quad \text{kg CO}_2\text{eq/MJ}$$

$$= 0.0117 \quad \text{kg CO}_2\text{eq/MJ}$$

ตารางที่ ค.16 ก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล (B70) 1 ลิตรจากกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน

	ปริมาณ ที่ใช้	ปริมาณ ปันส่วน	หน่วย	ความ หนาแน่น (kg/L)	ปริมาณ	หน่วย	EF	หน่วย	ที่มา	GHG emissions (kg CO ₂ eq)	
										per L	per MJ
1) สารขาเข้า											
<i>ขั้นทำปฏิกิริยา</i>											
ปาล์มโอเลอิน	738	608.1	ml	0.916	0.557	kg	1093.449	kg CO ₂ /ton	คำนวณเอง	0.6090	0.0168
เมทานอล	208	171.5	ml	0.791	0.136	kg	0.7212	kg CO ₂ /kg	Ecoinvent 2.2, IPCC 2007 GWP 100a	0.0978	0.0027
KOH	0.009	0.007	kg		0.007	kg	1.9272	kg CO ₂ /kg	Ecoinvent 2.2, IPCC 2007 GWP 100a	0.0135	0.0004
ไฟฟ้า (1300 W)	28	23	min		0.507	kWh	0.6093	kg CO ₂ /kWh		0.3087	0.0085
<i>ขั้นล้างด้วยน้ำ</i>											
น้ำ	378	-	ml	1	0.378	kg	0.0018	kg CO ₂ /kg	Thai national database	0.0007	0.00002
ไฟฟ้า (1300 W)	5		min		0.102	kWh	0.6093	kg CO ₂ /kWh	Thai national database	0.0624	0.0017
<i>ขั้นไถ่น้ำ</i>											
ไฟฟ้า (1300 W)	38		min		0.820	kWh	0.6093	kg CO ₂ /kWh	Thai national database	0.4995	0.0138
<i>ขั้นบำบัดน้ำ</i>											
น้ำเสีย (COD = 110240 mg/L)	411		ml						IPCC	0.2835	0.0078
<i>ขั้นผสมดีเซล</i>											
ดีเซล	300		ml	0.845	0.2535		0.3282	kg CO ₂ /kg	Thai national database	0.0832	0.0023
ไฟฟ้า (1300 W)	2		min		0.433	kWh	0.0264	kg CO ₂ /kWh	Thai national database	0.0264	0.0007
										1.9848	0.0549

	ปริมาณ ที่ใช้	ปริมาณ ปันส่วน	หน่วย	ความ หนาแน่น (kg/L)	ปริมาณ	หน่วย	EF	หน่วย	ที่มา	GHG emissions (kg CO ₂ eq)	
										per L	per MJ
2) สารขาออก											
ไบโอดีเซล	1		L								
กลีเซอรอล	165.5		ml								
น้ำเสีย	411		ml								

หมายเหตุ ค่า Emission factor มาจาก TGO (องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก, 2556)

ตัวอย่างการคำนวณก๊าซเรือนกระจกจากไบโอดีเซล (B70)

สารขาเข้า

- B70 คือส่วนผสมระหว่างไบโอดีเซล B100 ร้อยละ 70 กับดีเซลร้อยละ 30
- ในขั้นตอนของการทำปฏิกิริยาต้องป้อนส่วนคิดเฉพาะปริมาณวัตถุดิบและสารเคมีที่ใช้ผลิตไบโอดีเซลเท่านั้น เพราะขั้นตอนนี้ได้ผลิตภัณฑ์รวมออกมาด้วยคือกลีเซอรอล ซึ่งอัตราส่วนของไบโอดีเซลที่ได้ ออกมาจากขั้นตอนนี้เท่ากับ 776 มิลลิลิตร และกลีเซอรอล 165.5 มิลลิลิตร ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{อัตราส่วนของไบโอดีเซล} &= 776/(776+165.5) \\ &= 0.824 \end{aligned}$$

น้ำมันปาล์มโอเลอิน

$$\text{ปริมาณน้ำมันปาล์มโอเลอิน} = 738 \quad \text{ml}$$

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณน้ำมันปาล์มโอเลอินป้อนส่วน} &= 738 \times 0.824 \quad \text{ml} \\ &= 608.1 \quad \text{ml} \end{aligned}$$

$$= 608.1 \times 0.916 \quad \text{kg}$$

$$= 0.557 \quad \text{kg}$$

$$\begin{aligned} \text{GHG emissions} &= \text{Inventory data} \times \text{EF} \\ &= 0.557 \times 1093.449 \times 10^{-3} \\ &= 0.6090 \quad \text{kg CO}_2\text{eq/L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวภาพ} &= (39.546 \times 0.3) + (34.6863 \times 0.7) \\ &= 36.144 \quad \text{MJ/L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{GHG emissions} &= 0.6090/36.144 \\ &= 0.0168 \quad \text{kg CO}_2\text{eq/MJ} \end{aligned}$$

การใช้ไฟฟ้า

$$\begin{aligned} \text{GHG emissions} &= \text{Inventory data} \times \text{EF} \\ &= 0.507 \times 0.6093 \\ &= 0.3087 \quad \text{kg CO}_2\text{eq/L} \\ &= 0.3087/36.144 \quad \text{kg CO}_2\text{eq/MJ} \\ &= 0.0085 \quad \text{kg CO}_2\text{eq/MJ} \end{aligned}$$

การบำบัดน้ำเสีย

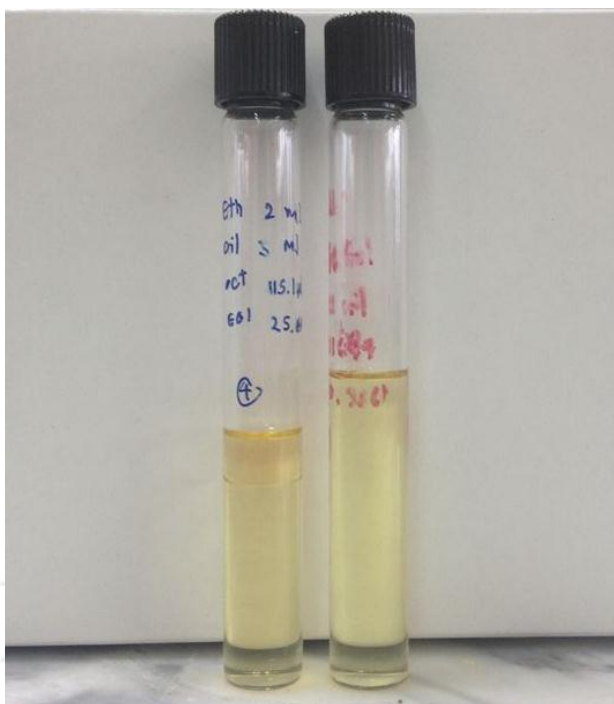
$$\begin{aligned} \text{GHG emissions} &= 411 \times 110240 \times 0.25 \times 25 \times 10^{-9} \\ &= 0.2835 \quad \text{kg CO}_2\text{eq/L} \\ &= 0.2835/36.144 \quad \text{kg CO}_2\text{eq/MJ} \\ &= 0.0078 \quad \text{kg CO}_2\text{eq/MJ} \end{aligned}$$



ภาคผนวก ง
ภาพประกอบการทดลองเพื่อผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

การผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยกระบวนการไมโครอิมัลชัน



ภาพที่ ง.1 ลักษณะของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกันและที่เป็นเนื้อเดียวกัน



ภาพที่ ง.2 การผสมสารต่างๆให้เป็นเนื้อเดียวกัน

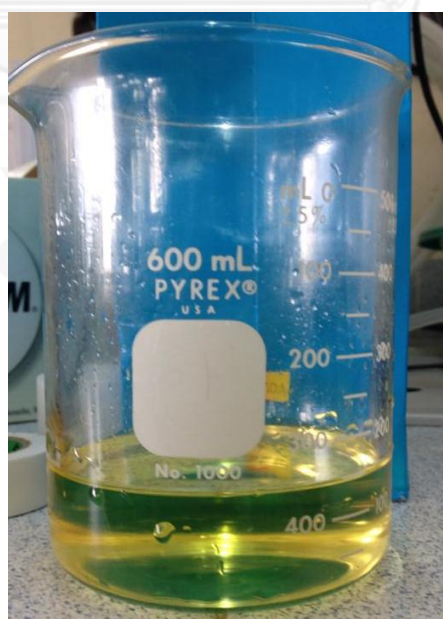
การผลิตไบโอดีเซลด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน



ภาพที่ ง.3 การแยกชั้นของเอสเทอร์ (บน) และกลีเซอรอล (ล่าง)



ภาพที่ ง.4 การแยกชั้นของเอสเทอร์ (บน) และน้ำ (ล่าง) จากขั้นตอนการล้างด้วยน้ำ



ภาพที่ ง.5 เอสเทอบริสุทธิ์ปราศจากน้ำ

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวพิชิตา เอกเผ่าพันธุ์ เกิดเมื่อวันที่ 2 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2533 ที่จังหวัด กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2554 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตร วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2555

งานประชุม International Conference on Advances in Engineering and Technology (ICAET'2014) จัดที่โรงแรม Bayview ประเทศสิงคโปร์ ในชื่อหัวข้อ Life Cycle Assessment of Biofuel from microemulsion and Transesterification Processes วันที่ 29-30 มีนาคม 2557



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY