

ผลของกรดโอเลอิกต่อลิควิแพกชั้นของทะเลายปาล์มน้ำมันเปล่าในกาลีเซอร์อลและน้ำ



นางสาวเบญจวรรณ บุญสินโรทัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเคมีเทคนิค ภาควิชาเคมีเทคนิค

คณะวิทยาศาสตร์ 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.

EFFECTS OF OLEIC ACID ON LIQUEFACTION OF OIL PALM EMPTY FRUIT BUNCH IN
GLYCEROL AND WATER

Miss Benjawan Boonsinvarothai



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Chemical Technology

Department of Chemical Technology

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2013

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

ผลของกรดโอเลอิกต่อลิควิแพกชั้นของทะเลาะปาล์มน้ำมัน
เปล่าในกลีเซอรอลและน้ำ

โดย

นางสาวเบญจวรรณ บุญสินวโรทัย

สาขาวิชา

เคมีเทคนิค

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ประพันธ์ คูชลธารา

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร. สุพจน์ ทารหนองบัว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. เกียรติ พุกษาทร)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ประพันธ์ คูชลธารา)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นพิตา วิทยุธีระนันท์)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ดร. กัญญ์ กังวานสายชล)

เบญจวรรณ บุญสินวโรทัย : ผลของกรดโอเลอิกต่อลิกวิแฟกชันของทะลายปาล์มน้ำมัน
เปล่าในกลีเซอรอลและน้ำ. (EFFECTS OF OLEIC ACID ON LIQUEFACTION OF
OIL PALM EMPTY FRUIT BUNCH IN GLYCEROL AND WATER) อ.ที่ปรึกษา
วิทยานิพนธ์หลัก: ผศ. ดร. ประพันธ์ คูชลธารา, 86 หน้า.

กระบวนการผลิตไบโอดีเซลมีของเสียเหลือทิ้งจากกระบวนการเป็นจำนวนมากเช่น
ทะลายปาล์มน้ำมัน และกลีเซอรอลดิบ เป็นต้น ของเสียเหล่านี้สามารถนำมาผลิตน้ำมันได้โดยผ่าน
กระบวนการลิกวิแฟกชัน กลีเซอรอลดิบมีองค์ประกอบอื่นๆ ปนอยู่ ได้แก่ กรดไขมัน เมทานอล
น้ำ และเกลือ ซึ่งมีผลต่อผลได้และคุณภาพของน้ำมันชีวภาพที่ผลิตได้โดยเฉพาะกรดไขมัน
งานวิจัยนี้จึงศึกษาผลของกรดโอเลอิกซึ่งเป็นกรดไขมันชนิดหนึ่งที่พบมากในปาล์มน้ำมันต่อ
กระบวนการลิกวิแฟกชันของทะลายปาล์มน้ำมันเปล่าในกลีเซอรอลและน้ำ โดยใช้เครื่องปฏิกรณ์
ความดันสูง ทำการศึกษาผลของอุณหภูมิ เวลาในการเกิดปฏิกิริยา และปริมาณกรดโอเลอิกใน
ตัวกลางชนิดต่างๆ ต่อร้อยละผลได้ของน้ำมันชีวภาพและปริมาณออกซิเจนในน้ำมันชีวภาพ จาก
ผลการทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิของลิกวิแฟกชันจาก 325 เป็น 375 องศาเซลเซียส ร้อยละ
ผลได้ของน้ำมันชีวภาพและปริมาณออกซิเจนในน้ำมันชีวภาพมีแนวโน้มลดลง การเพิ่มเวลาในการ
เกิดปฏิกิริยาไม่ส่งผลต่อร้อยละผลได้น้ำมันและปริมาณออกซิเจนในน้ำมันชีวภาพ สำหรับ
การศึกษาผลของกรดโอเลอิกในตัวกลางชนิดต่างๆ นั้น พิจารณาตัวกลางที่แตกต่างกันดังนี้ คือ กลี
เซอรอล น้ำ และตัวกลางผสมระหว่างกลีเซอรอลกับน้ำ ในกรณีที่ใช้ตัวกลางเป็นกลีเซอรอล การ
เพิ่มปริมาณกรดโอเลอิกทำให้ร้อยละผลได้ของน้ำมันชีวภาพและปริมาณออกซิเจนในน้ำมัน
ชีวภาพมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยมีค่าสูงสุดเมื่อเติมกรดโอเลอิกที่ร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก ในกรณีที่ใช้
ตัวกลางเป็นน้ำ การเพิ่มอัตราส่วนของกรดโอเลอิกทำให้ร้อยละผลได้ของน้ำมันชีวภาพมีแนวโน้ม
เพิ่มขึ้น แต่ปริมาณออกซิเจนมีแนวโน้มลดลง เมื่อพิจารณาการใช้ตัวกลางผสมระหว่างกลีเซอรอล
และน้ำ พบว่าการเติมกรดโอเลอิกให้แนวโน้มเดียวกับในตัวกลางที่เป็นน้ำ อย่างไรก็ตามพบว่าร้อย
ละผลได้ของน้ำมันชีวภาพมากกว่าในกรณีที่ใช้ น้ำหรือกลีเซอรอลเป็นตัวกลางเพียงอย่างเดียว

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาควิชา เคมีเทคนิค

ลายมือชื่อนิสิต

สาขาวิชา เคมีเทคนิค

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ปีการศึกษา 2556

5472016723 : MAJOR CHEMICAL TECHNOLOGY

KEYWORDS: LIQUEFACTION / BIOMASS / OLEIC ACID / GLYCEROL / BIO-OIL

BENJAWAN BOONSINVAROTHA: EFFECTS OF OLEIC ACID ON LIQUEFACTION OF OIL PALM EMPTY FRUIT BUNCH IN GLYCEROL AND WATER. ADVISOR: ASST. PROF. PRAPAN KUCHONTHARA, Ph.D., 86 pp.

The growth of the biodiesel industry created a lot of wastes such as oil palm empty fruit bunch, crude glycerol and etc. Both of oil palm empty fruit bunch and crude glycerol can be used to produce bio-oil through a liquefaction process. The main components of crude glycerol, including fatty acid, methanol, water and salt, affect the bio-oil yield and its quality. This research attempted to study the effects of oleic acid on liquefaction of oil palm empty fruit bunch in glycerol and water. Experiments were conducted in an autoclave reactor. The influences of liquefaction temperature, retention time, oleic acid content in media and types of media on bio-oil yield and oxygen content in the bio-oil were investigated. The results showed that bio-oil yield and oxygen content was decreased with increasing temperature from 325 to 375 °C. The retention time did not affect on bio-oil yield and oxygen content. The effects of oleic acid in various types of media such as glycerol, water and mixed media between glycerol and water were also examined. In case of using glycerol, the bio-oil yield and oxygen content increased with increasing oleic acid content and reached the maximum yield of 16 wt.% at 20 wt.% of oleic acid content. In water media, the bio-oil yield was increased whilst oxygen content was decreased with increasing %oleic acid. In case of mixed media, an increase in oleic acid content gave a comparable trend to the case of using water. However, the bio-oil yield obtained in this case was obviously higher than that obtained in case of using water or glycerol alone.

Department: Chemical Technology Student's Signature

Field of Study: Chemical Technology Advisor's Signature

Academic Year: 2013

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ประพันธ์ คูชลธารา อาจารย์ที่ปรึกษา ที่กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำการทำวิจัย ตลอดจนให้ความเห็นเพื่อปรับปรุงแก้ไขการทำวิจัยให้มีความสมบูรณ์สำเร็จลุล่วงไปด้วยดียิ่ง รวมทั้งคณาจารย์ทุกท่านในภาควิชาเคมีเทคนิคที่ได้ให้คำแนะนำและความช่วยเหลือที่ดีตลอดมา

งานวิจัยเรื่อง “ผลของกรดโอเลอิกต่อกระบวนการลิควิดแฟกชันของทะเลลายปาล์มน้ำมันเปลาในกลีเซอรอลและน้ำ” สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีโดยได้รับการสนับสนุนจากโครงการพัฒนาบัณฑิตศึกษาและวิจัยด้านเชื้อเพลิง ภายใต้โครงการพัฒนาบัณฑิตศึกษาด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีของศูนย์ความเป็นเลิศแห่งชาติด้านปิโตรเลียม ปิโตรเคมี และวัสดุขั้นสูง

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. เก๋จวลี พฤษชาทร ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นพิตา หิณชีระนันท์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และดร. กัญย์ กังวานสายชล กรรมการจากภายนอกมหาวิทยาลัย ที่กรุณารับเชิญเป็นกรรมการสอบ ตลอดจนให้คำแนะนำ ข้อเสนอแนะและความคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ต่อการทำวิทยานิพนธ์ให้มีความสมบูรณ์

ขอขอบคุณบุคลากรในภาควิชาเคมีเทคนิคทุกท่านที่ได้กรุณาอำนวยความสะดวกในการใช้ห้องปฏิบัติการและช่วยเหลือในการใช้เครื่องมือวิเคราะห์ต่าง ๆ พี่ ๆ เพื่อน ๆ และน้อง ๆ ในภาควิชาเคมีเทคนิคที่ได้ให้คำปรึกษา ให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดามารดา รวมถึงผู้มีพระคุณทุกท่านที่อยู่เบื้องหลังที่ได้ให้กำลังใจ ให้คำปรึกษา คำแนะนำ และการสนับสนุนด้านต่างๆ เสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฌ
สารบัญรูป.....	ญ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 พลังงานจากชีวมวล.....	5
2.2 ชีวมวล (Biomass).....	5
2.3 เทคโนโลยีชีวมวล.....	19
2.4 น้ำมันชีวภาพ (Bio-oil).....	24
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	26
บทที่ 3 เครื่องมือและวิธีการทดลอง.....	28
3.1 สารตั้งต้นและสารเคมี.....	28
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	28
3.3 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย.....	33
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง.....	36
4.1 องค์ประกอบทางเคมีของทะเลายปาล์มน้ำมันเปล่า.....	38
4.2 พฤติกรรมการสลายตัวทางความร้อนของทะเลายปาล์มน้ำมันเปล่า.....	39
4.3 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อกระบวนการลิกวิแฟกชัน.....	40
4.4 ผลของเวลาในเกิดปฏิกิริยาที่มีต่อกระบวนการลิกวิแฟกชัน.....	43

4.5	ผลของกรดโอเลอิกในกลีเซอรอล.....	45
4.6	ผลของกรดโอเลอิกในน้ำ	51
4.7	ผลของชนิดของตัวกลาง	55
4.8	ผลของกรดโอเลอิกในตัวกลางผสม	57
บทที่ 5	สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	63
5.1	สรุปผลการวิจัย	63
5.2	ข้อเสนอแนะ.....	65
รายการอ้างอิง.....		66
ภาคผนวก.....		69
ภาคผนวก ก.....		70
ภาคผนวก ข.....		73
ภาคผนวก ค.....		78
ภาคผนวก ง		82
ภาคผนวก จ.....		84
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์		86

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1	ข้อแตกต่างระหว่างซีมวลและเชื้อเพลิงฟอสซิล	7
ตารางที่ 2.2	ส่วนประกอบลิกโนเซลลูโลสของพืชพลังงาน (dry basis)	11
ตารางที่ 2.3	พลังงานจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร 2552	14
ตารางที่ 2.4	องค์ประกอบของกลีเซอรอลดิบ	18
ตารางที่ 2.5	องค์ประกอบของกรดไขมันในกลีเซอรอลดิบ.....	18
ตารางที่ 2.6	สมบัติของน้ำมันชีวภาพจากไพโรไลซิสไม้และน้ำมันเชื้อเพลิงหนัก	26
ตารางที่ 3.1	ภาวะที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์แก๊สด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (Gas chromatography).....	31
ตารางที่ 3.2	ภาวะที่ใช้ในการวิเคราะห์แก๊สด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี.....	32
ตารางที่ 4.1	ผลการวิเคราะห์แบบประมาณ (Proximate analysis) และแบบแยกธาตุ (Ultimate analysis)	38
ตารางที่ 4.2	ผลของอุณหภูมิต่อองค์ประกอบผลิตภัณฑ์แก๊สที่ได้จากกระบวนการลิกวิแฟกชัน	42
ตารางที่ 4.3	ผลของเวลาในการเกิดปฏิกิริยาต่อองค์ประกอบผลิตภัณฑ์แก๊สที่ได้จากกระบวนการลิกวิแฟกชัน	45
ตารางที่ 4.4	สารประกอบในน้ำมันชีวภาพจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค GC/MS.....	49
ตารางที่ 4.5	ผลของกรดโอเลอิกในกลีเซอรอลต่อองค์ประกอบผลิตภัณฑ์แก๊สที่ได้จากกระบวนการลิกวิแฟกชัน.....	51
ตารางที่ 4.6	สารประกอบในน้ำมันชีวภาพจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค GC/MS.....	53
ตารางที่ 4.7	ผลของชนิดของกรดโอเลอิกในน้ำต่อองค์ประกอบผลิตภัณฑ์แก๊สที่ได้จากกระบวนการลิกวิแฟกชัน.....	55
ตารางที่ 4.8	สารประกอบในน้ำมันชีวภาพจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค GC/MS.....	60
ตารางที่ ค.1	ความเข้มข้นของผลิตภัณฑ์แก๊สแต่ละชนิดของตัวมาตรฐาน (Standard).....	80
ตารางที่ ค.2	องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์แก๊สแต่ละชนิด	80
ตารางที่ จ.1	ข้อมูลการทดลอง	84

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1	วัฏจักรคาร์บอน (Carbon cycle).....	6
รูปที่ 2.2	โครงสร้างของเซลลูโลส	9
รูปที่ 2.3	โครงสร้างของเฮมิเซลลูโลส	9
รูปที่ 2.4	หน่วยย่อยของเฮมิเซลลูโลส.....	10
รูปที่ 2.5	โครงสร้างของลิกนิน.....	10
รูปที่ 2.6	องค์ประกอบของชีวมวล (Biomass composition)	11
รูปที่ 2.7	แนวทางการใช้พลังงานชีวมวล	13
รูปที่ 2.8	ชีวมวลต่างๆ.....	13
รูปที่ 2.9	ปาล์มน้ำมันและส่วนประกอบของผลปาล์มน้ำมัน	16
รูปที่ 2.10	ทะเลาะปาล์มน้ำมันเปล่า	16
รูปที่ 2.11	กระบวนการผลิตน้ำมันปาล์ม.....	17
รูปที่ 2.12	โครงสร้างของกลีเซอรอล	17
รูปที่ 2.13	โครงสร้างของกรดโอเลอิก.....	18
รูปที่ 2.14	การเปลี่ยนแปลงของชีวมวลโดยกระบวนการทางความร้อน	19
รูปที่ 2.15	ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในน้ำที่ความดันและอุณหภูมิสูง	22
รูปที่ 2.16	แผนผังของปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอลลิควิแฟกชันเบื้องต้น	23
รูปที่ 3.1	เครื่องปฏิกรณ์แรงดันสูง (Parr reactor).....	29
รูปที่ 3.2	แบบจำลองของอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการทดลอง.....	30
รูปที่ 3.3	เครื่องวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (CHN analyzer).....	30
รูปที่ 3.4	เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (Gas chromatography).....	31
รูปที่ 3.5	เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี	32
รูปที่ 3.6	แผนผังขั้นตอนการทดลอง.....	35
รูปที่ 4.1	พฤติกรรมของการสลายตัวทางความร้อนของทะเลาะปาล์มเปล่าจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค TG-DTA	39
รูปที่ 4.2	ผลของอุณหภูมิต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการลิควิแฟกชัน	40
รูปที่ 4.3	แนวทางการสลายตัวของชีวมวลในกระบวนการลิควิแฟกชัน.....	41
รูปที่ 4.4	ผลของอุณหภูมิต่อองค์ประกอบของออกซิเจนในน้ำมันชีวภาพ ที่ได้จากกระบวนการลิควิแฟกชัน	42
รูปที่ 4.5	ผลของเวลาในการเกิดปฏิกิริยาต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ ที่ได้จากกระบวนการลิควิแฟกชัน	43
รูปที่ 4.6	ผลของเวลาในการเกิดปฏิกิริยาต่อองค์ประกอบออกซิเจนในน้ำมันชีวภาพ ที่ได้จากกระบวนการลิควิแฟกชัน.....	44

รูปที่ 4.7 ผลของกรดโอเลอิกในกลีเซอรอลต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ ที่ได้จากระบวนการลิกวิ แฟกชัน	46
รูปที่ 4.8 โคโรมาโตแกรมของน้ำมันชีวภาพจากระบวนการลิกวิแฟกชันที่ร้อยละกรดโอเลอิกต่างๆ	48
รูปที่ 4.9 ผลของกรดโอเลอิกในกลีเซอรอลที่มีต่อกระบวนการลิกวิแฟกชัน ต่อร้อยละผลได้ของน้ำมัน ชีวภาพ	50
รูปที่ 4.10 ผลของกรดโอเลอิกในน้ำต่อร้อยละผลได้ของน้ำมันชีวภาพ ที่ได้จากระบวนการลิกวิแฟก ชัน	52
รูปที่ 4.11 ผลของกรดโอเลอิกในน้ำต่อร้อยละผลได้ของน้ำมันชีวภาพ ที่ได้จากระบวนการลิกวิแฟก ชัน	53
รูปที่ 4.12 ผลของชนิดของตัวกลางต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ ที่ได้จากระบวนการลิกวิแฟกชัน	56
รูปที่ 4.13 ผลของชนิดของตัวกลางต่อองค์ประกอบออกซิเจนในน้ำมันชีวภาพ ที่ได้จากระบวนการ ลิกวิแฟกชัน	57
รูปที่ 4.14 ผลของกรดโอเลอิกในตัวกลางผสมต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ ที่ได้จากระบวนการลิกวิ แฟกชัน	58
รูปที่ 4.15 ผลของกรดโอเลอิกในตัวกลางต่อองค์ประกอบออกซิเจนในน้ำมันชีวภาพ ที่ได้จาก กระบวนการลิกวิแฟกชัน	59
รูปที่ ข. 1 แสดงองค์ประกอบของเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี (GC/MS)	77

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

ปัจจุบันโลกเรามีความต้องการใช้พลังงานสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องประกอบกับปริมาณพลังงานสำรองจากเชื้อเพลิงฟอสซิลที่ลดลงอย่างมาก ทำให้เกิดแนวโน้มของการขาดแคลนพลังงานในอนาคต นอกจากนี้การใช้พลังงานฟอสซิลเป็นต้นเหตุสำคัญที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะอย่างยิ่งการปล่อยแก๊สเรือนกระจกในปริมาณมากซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญของภาวะโลกร้อน ด้วยเหตุนี้ทั่วโลกจึงหันมาศึกษาแหล่งพลังงานทดแทนหรือพลังงานหมุนเวียนที่ไม่ส่งผลเสียต่อสิ่งแวดล้อมในการนำมาใช้เป็นพลังงานทางเลือกใหม่ แหล่งพลังงานทางเลือกที่แต่ละประเทศให้ความสนใจอย่างมากในปัจจุบัน ได้แก่ พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานนิวเคลียร์ พลังงานชีวมวล ฯลฯ การเพิ่มการใช้ประโยชน์จากแหล่งพลังงานหมุนเวียนเหล่านี้ช่วยลดการนำเข้าพลังงานฟอสซิลได้ ดังนั้นพลังงานทดแทนหรือพลังงานหมุนเวียน (Renewable energy) จึงเป็นพลังงานที่น่าสนใจ เนื่องจากมีอย่างไม่จำกัดและสามารถหมุนเวียนเกิดขึ้นใหม่ได้โดยเฉพาะแหล่งพลังงานจากชีวมวล เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม ส่งผลให้มีวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรเกิดขึ้น เช่น ชานอ้อย ฟางข้าว แกลบ และกะลาปาล์ม เป็นต้น องค์ประกอบที่สำคัญของชีวมวล คือ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ซึ่งโครงสร้างส่วนใหญ่ประกอบด้วยน้ำตาลและพอลิเมอร์ของน้ำตาลที่เรียกว่า พอลิแซ็กคาไรด์ชีวมวลเป็นแหล่งกำเนิดที่มีการหมุนเวียนไม่มีวันหมด และถือได้ว่าเป็นพลังงานสะอาด ดังนั้นการนำชีวมวลมาใช้เป็นพลังงานจึงช่วยลดการปลดปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ เพราะชีวมวลทำให้เกิดภาวะคาร์บอนไดออกไซด์สุทธิเท่ากับศูนย์ โดยคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากการเผาไหม้ของชีวมวลจะถูกหมุนเวียนไปใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช

ปัจจุบันในประเทศไทยมีการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากปาล์มน้ำมันเป็นจำนวนมาก และพบว่ามีของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการนี้คือ ทะลายปาล์มน้ำมันเปล่า กะลาปาล์มน้ำมัน และกากปาล์มน้ำมัน ในงานวิจัยของเรานั้นจึงต้องการนำของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลมาใช้ประโยชน์ โดยทะลายปาล์มน้ำมันเปล่าถือเป็นของเสียหลักที่เกิดขึ้นในกระบวนการนี้ ซึ่งปัจจุบันมีการนำเอาทะลายปาล์มน้ำมันเปล่าไปผ่านกระบวนการเผาไหม้เพื่อผลิตไฟฟ้า และทำแกซิฟิเคชัน (Gasification) เป็นต้น แต่ยังไม่มียุทธศาสตร์ไหนนำทะลายปาล์มน้ำมันเปล่ามาผลิตน้ำมัน ซึ่งงานวิจัยนี้มีความสนใจที่จะนำทะลายปาล์มน้ำมันเปล่ามาผลิตน้ำมัน โดยการผลิตน้ำมันสามารถทำได้ 2 กระบวนการ คือ ไพโรไลซิส (Pyrolysis) และลิกวิแฟกชัน (Liquefaction) โดยทั้ง 2 กระบวนการมีลักษณะคล้ายกัน คือ การที่ให้ความร้อนแก่ชีวมวลเพื่อให้พันธะของสารโมเลกุลขนาดใหญ่ภายในชีวมวลเกิดการแตกตัวสลายให้มีขนาดเล็กลง งานวิจัยนี้เลือกที่จะใช้กระบวนการลิกวิแฟกชันเพราะสามารถใช้กับสารตั้งต้นที่ไม่จำเป็นต้องผ่านการทำให้แห้งก่อน ซึ่งชีวมวลมีความชื้นสูง กระบวนการนี้

จึงเหมาะสม และลิควิแพกชันต้องทำในตัวกลางร่วมด้วย โดยตัวกลางร่วมมีหลายชนิด เช่น แอลกอฮอล์ เป็นต้น แต่ในงานวิจัยนี้สนใจนำเอกลีเซอร์อลดิบซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้ที่ได้จากการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลมาใช้เป็นตัวกลาง

จากงานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการศึกษาการผลิตน้ำมันชีวภาพจากชีวมวลโดยมีตัวกลางร่วม และเปรียบเทียบระหว่างตัวกลางที่เป็นกลีเซอร์อลบริสุทธิ์ และตัวกลางที่เป็นกลีเซอร์อลดิบ พบว่า ในการผลิตน้ำมันชีวภาพจากชีวมวลในตัวกลางที่เป็นกลีเซอร์อลดิบจะให้ร้อยละผลได้ของน้ำมันชีวภาพที่มากกว่าในตัวกลางที่เป็นกลีเซอร์อลบริสุทธิ์ ซึ่งน่าจะเป็นผลมาจากองค์ประกอบต่างๆที่อยู่ในกลีเซอร์อลดิบ โดยคาดว่าองค์ประกอบที่จะช่วยส่งเสริมในการเพิ่มร้อยละผลได้ของน้ำมันชีวภาพคือ กรดไขมัน ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงสนใจที่จะศึกษาผลของกรดไขมันต่อลิควิแพกชันของทะเลาปาล์มน้ำมันเปล่าในกลีเซอร์อลและน้ำ และศึกษาผลของปัจจัยดำเนินการต่างๆ โดยกรดไขมันในกลีเซอร์อลดิบมีหลายชนิดแต่ในงานวิจัยนี้เลือกศึกษาผลของกรดไขมันเพียงชนิดเดียวเพื่อที่จะศึกษาให้ชัดเจน คือ กรดโอเลอิก เนื่องจากกรดโอเลอิกมีมากในปาล์มน้ำมัน ซึ่งผู้วิจัยคาดหวังว่าองค์ความรู้ที่ได้จากงานวิจัยนี้สามารถนำไปพัฒนาใช้ทดแทนน้ำมันดิบ หรือน้ำมันเชื้อเพลิงได้ต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.2.1 ศึกษาผลของกรดโอเลอิกที่มีต่อกระบวนการลิควิแพกชันของทะเลาปาล์มน้ำมันเปล่าในกลีเซอร์อลและน้ำ
- 1.2.2 หาภาวะที่เหมาะสมในการผลิตน้ำมันชีวภาพด้วยกระบวนการลิควิแพกชัน

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1.3.1 ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการผลิตน้ำมันชีวภาพด้วยกระบวนการสลายตัวทางความร้อนของชีวมวล โดยมีตัวแปรสำคัญในการศึกษาได้แก่ อุณหภูมิ เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา กรดโอเลอิกในกลีเซอร์อล กรดโอเลอิกในน้ำ และกรดโอเลอิกในตัวกลางผสม
- 1.3.2 วิเคราะห์สมบัติและองค์ประกอบของน้ำมันชีวภาพ

1.4 วิธีการดำเนินงานวิจัย

- 1.4.1 ทบทวนบทความวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- 1.4.2 เตรียมชีวมวล ได้แก่ ทะลายปาล์มน้ำมันเปล่า และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง ทำการบดชีวมวลให้ได้ขนาดตามที่ต้องการ (150-250 ไมโครเมตร) และนำไปอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
- 1.4.3 วิเคราะห์ตัวอย่างทะลายปาล์มน้ำมันเปล่าแบบประมาณและแยกธาตุ (Proximate and Ultimate analyses)
- 1.4.4 ศึกษาการสลายตัวด้วยความร้อนเบื้องต้นของทะลายปาล์มน้ำมันเปล่าด้วยเทคนิค thermogravimetric analyzer (TG-DTA)
- 1.4.5 จัดเตรียมเครื่องปฏิกรณ์ความดันสูง (Parr reactor)
- 1.4.6 ศึกษาผลของการใช้ตัวทำละลายชนิดต่างๆโดยใช้กรดโอเลอิกเป็นตัวร่วมปฏิกิริยา และศึกษาปัจจัยดำเนินการต่าง ๆ ที่มีผลต่อกระบวนการโดยตัวแปรที่ใช้ศึกษามีดังต่อไปนี้
 - อุณหภูมิของกระบวนการลิกวิฟแฟกชัน 325 และ 375 องศาเซลเซียส
 - เวลาในการทำปฏิกิริยา 30 และ 60 นาที
 - กรดโอเลอิกในกลีเซอรอล (ร้อยละ 0, 10, 20 และ 25)
 - กรดโอเลอิกในน้ำ (ร้อยละ 0, 10, 20 และ 25)
 - กรดโอเลอิกในตัวกลางผสม (ร้อยละ 0, 10, 20 และ 25)
- 1.4.7 วิเคราะห์หากการเปลี่ยนแปลงของปริมาณออกซิเจนในน้ำมันชีวภาพที่ได้จากกระบวนการด้วยเครื่อง CHN analyzer
- 1.4.8 วิเคราะห์องค์ประกอบต่างๆ ในน้ำมันชีวภาพที่ได้จากกระบวนการด้วยเครื่อง Gas Chromatography - Mass Spectrometry (GC-MS) และวิเคราะห์องค์ประกอบผลิตภัณฑ์แก๊สด้วยเครื่อง Gas chromatography with Thermal conductivity detector (GC-TCD)
- 1.4.9 หาภาวะดำเนินการที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละกระบวนการโดยเปรียบเทียบจากร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์น้ำมันชีวภาพ
- 1.4.10 สรุปผลการทดลอง และเขียนวิทยานิพนธ์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้ภาวะที่เหมาะสมในการผลิตน้ำมันชีวภาพจากกระบวนการลิกวิแฟกชันของทะเลสาบปาล์ม
น้ำมันเปล่าในกลีเซอรอลและน้ำ



บทที่ 2

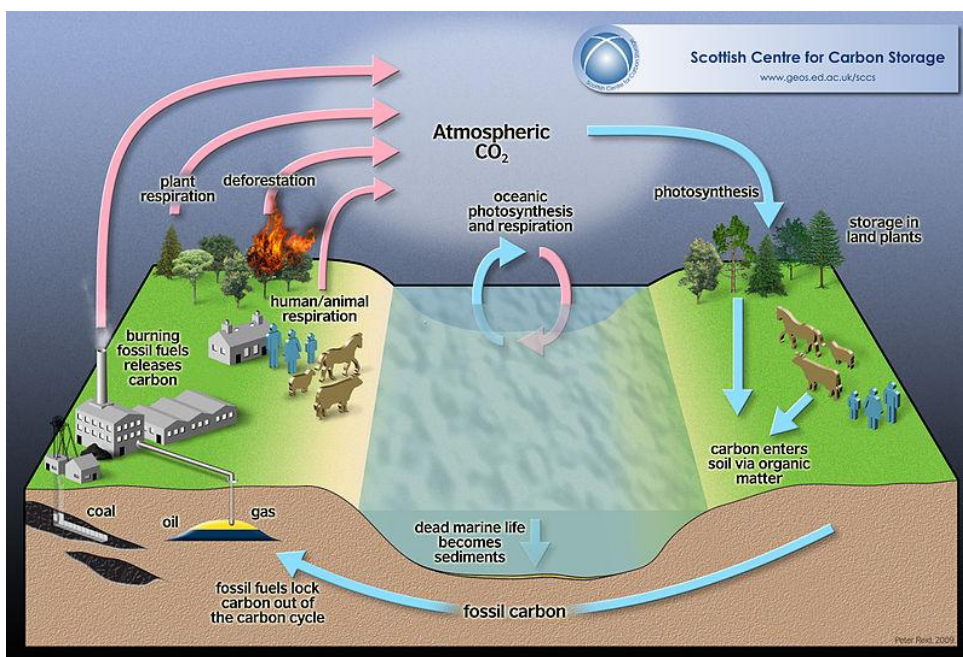
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 พลังงานจากชีวมวล

พลังงานเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อความต้องการพื้นฐานในการดำเนินชีวิตของมนุษย์และเพื่อพัฒนาความเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจ แหล่งพลังงานหลักของมนุษย์ ได้แก่ พลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิล ซึ่งประกอบไปด้วยถ่านหิน น้ำมัน และแก๊สธรรมชาติ เป็นแหล่งพลังงานที่มีอยู่อย่างจำกัดและใช้แล้วหมดไป จากจำนวนประชากรที่เพิ่มสูงขึ้นและการเติบโตของเศรษฐกิจ สังคม และเทคโนโลยี ทำให้มีแนวโน้มของการขาดแคลนพลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิล ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องหาพลังงานทางเลือกมาทดแทนพลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิลที่มีอยู่เดิม ซึ่งหนึ่งในพลังงานทางเลือกที่สำคัญได้แก่ พลังงานจากชีวมวล เนื่องจากเป็นแหล่งพลังงานที่มีต้นทุนในกระบวนการต่ำ เป็นแหล่งพลังงานสะอาด ไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม การใช้ชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงช่วยลดการปลดปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ จึงได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อนำชีวมวลไปใช้เป็นเชื้อเพลิงให้ได้ประสิทธิภาพที่สูง และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ชีวมวลจึงเป็นพลังงานทางเลือกอีกทางที่น่าสนใจเป็นอย่างมาก

2.2 ชีวมวล (Biomass)

ชีวมวล (Biomass) คือ สิ่งที่ได้จากสิ่งมีชีวิตหรือสารอินทรีย์ที่เป็นแหล่งกักเก็บพลังงานจากธรรมชาติและสามารถนำมาใช้ผลิตพลังงานได้ เพื่อทดแทนพลังงานที่ได้จากแหล่งพลังงานฟอสซิลซึ่งมีอยู่อย่างจำกัดและอาจหมดลง อาทิเช่น เศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรหรืออุตสาหกรรมการเกษตร ได้แก่ กากปาล์ม ทะลายปาล์ม แกลบ ฟางข้าว เศษไม้ กากมันสำปะหลัง กาบและกะลามะพร้าว เป็นต้น โดยชีวมวลเหล่านี้จะประกอบไปด้วยธาตุหลักๆ คือ คาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน และธาตุอื่นๆ ชีวมวลสามารถเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานได้เพราะการเจริญเติบโตของพืชใช้คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำเปลี่ยนพลังงานจากแสงอาทิตย์โดยผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสงได้เป็นน้ำตาลและแป้งแล้วกักเก็บไว้ตามส่วนต่างๆ ของพืชการนำพืชมาเป็นเชื้อเพลิงจึงได้พลังงานดังกล่าวออกมาและปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์กลับคืนสู่บรรยากาศวนเวียนเป็นวัฏจักร แสดงดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 วัฏจักรคาร์บอน (Carbon cycle) [1]

2.2.1 แหล่งกำเนิดชีวมวล

แหล่งกำเนิดชีวมวลจะมี 2 ประเภทหลักๆ คือชีวมวลที่ปลูกขึ้นเพื่อเป็นพลังงานโดยเฉพาะ เช่น กระถินยักษ์ ยูคาลิปตัส เป็นต้น และชีวมวลที่หาได้จากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและอุตสาหกรรม เช่น ทะลายปาล์ม น้ำมันเปลา ไยปาล์ม กะลาปาล์ม และกากปาล์มเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซล

2.2.2 ข้อแตกต่างระหว่างชีวมวลและเชื้อเพลิงฟอสซิล

- ชีวมวลยากที่จะคาดการณ์ปริมาณที่เกิดขึ้นได้ เนื่องจากชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงที่เกิดขึ้นปีต่อปี จึงแตกต่างกับเชื้อเพลิงฟอสซิล
- ชีวมวลจะเกิดขึ้นตามฤดูกาลเช่นเดียวกับผลผลิตทางการเกษตร ในช่วงฤดูเก็บเกี่ยวจะมีปริมาณชีวมวลมากแต่ นอกฤดูเก็บเกี่ยวจะมีปริมาณชีวมวลน้อยจึงทำให้ราคาสูงขึ้น
- ชีวมวลจะมีราคาแพงขึ้นเมื่อมีความต้องการการใช้งานสูงขึ้น
- ค่าใช้จ่ายในการขนส่งสูงเนื่องจากชีวมวลมีน้ำหนักเบาเมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงฟอสซิล

- ชีวมวลส่วนใหญ่มีวิธีการซื้อขายเหมือนกับสินค้าทางการเกษตร ส่วนใหญ่ใช้เงินสดไม่มีวงเงินเครดิตเหมือนเชื้อเพลิงฟอสซิล

ตารางที่ 2.1 ข้อแตกต่างระหว่างชีวมวลและเชื้อเพลิงฟอสซิล [2]

	เชื้อเพลิงฟอสซิล	ชีวมวล
ปริมาณสำรอง	มี	ไม่มี
อุปทาน	สม่ำเสมอ	แปรผันตามฤดูกาล
การผันแปรของราคา	คาดการณ์ไม่ได้	คาดการณ์ได้
เครดิตการซื้อขาย	มี	ไม่มี
ต้นทุนขนส่ง	ต่ำ-ปานกลาง	สูง

2.2.3 ประโยชน์ของพลังงานชีวมวล

- เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากชีวมวลเป็นพลังงานที่สะอาด สามารถช่วยลดการปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งเป็นสาเหตุของภาวะโลกร้อน
- เกษตรกรจะมีรายได้เพิ่มขึ้น เนื่องจากสามารถขายได้ทั้งผลผลิตการเกษตรและเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร
- เศรษฐกิจชุมชนจะเจริญเติบโต เนื่องจากเชื้อเพลิงชีวมวล สามารถช่วยพัฒนาอุตสาหกรรมในท้องถิ่น ช่วยสร้างงานในพื้นที่นั้นๆ ก่อให้เกิดรายได้กับชุมชน

2.2.4 ศักยภาพพลังงานของชีวมวล

- วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร

วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรหลักที่สามารถนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทน ได้แก่ แกลบ ฟางข้าว ชานอ้อย กะลามะพร้าว กะลาปาล์ม ทะลายปาล์ม เป็นต้น จากการประเมินศักยภาพของวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรจากพืช 10 ชนิดที่มีศักยภาพสูง ได้แก่ อ้อย ข้าว ปาล์มน้ำมัน มะพร้าว มันสำปะหลัง ข้าวโพด ถั่วลิสง ฝ้าย ถังเหลืองและข้างฟาง

- มูลสัตว์

มูลสัตว์ 6 ชนิด คือ มูลโค กระบือ สุกร ไก่ เป็ด และมูลช้าง ในปี พ.ศ. 2543 มีศักยภาพในการผลิตแก๊สชีวภาพได้ 560 ล้านลูกบาศก์เมตร คิดเป็นพลังงานประมาณ 11.75 เพตาจูล

- ขยะ

ในปี พ.ศ. 2543 กรมควบคุมมลพิษรายงานปริมาณขยะที่จัดเก็บได้ ประมาณ 13.9 ล้านตัน ซึ่งมีปริมาณขยะรวมทั่วประเทศ ถ้านำขยะ 85 เปอร์เซ็นต์ของขยะทั้งหมดมาฝังกลบ จะได้แก๊สชีวภาพจากการฝังกลบ 1,184.22 ล้านลูกบาศก์เมตร เทียบเท่ากับพลังงาน 23.09 เพตาจูล

- น้ำเสีย

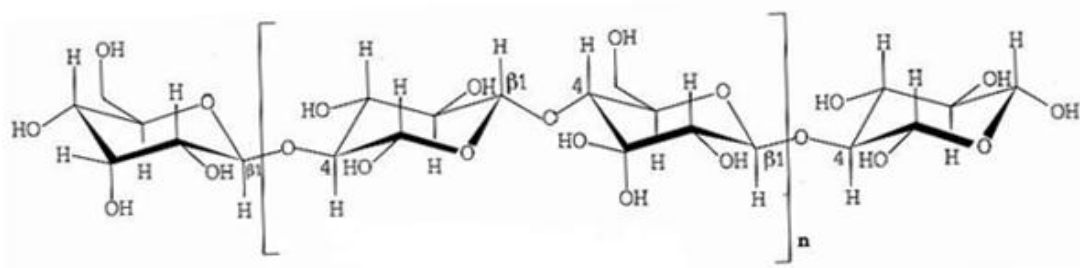
ในปี พ.ศ. 2543 น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมที่มีศักยภาพสูงในการนำมาผลิตแก๊สชีวภาพ 11 ประเภทอุตสาหกรรม เช่น โรงฆ่าสัตว์, โรงงานผลิตน้ำมันปาล์ม, โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง เป็นต้น มีศักยภาพที่จะผลิตแก๊สชีวภาพได้ 435.33 ล้านลูกบาศก์เมตร เท่ากับพลังงาน 10.45 เพตาจูล

2.2.5 องค์ประกอบที่สำคัญของชีวมวล

องค์ประกอบสำคัญของชีวมวล ได้แก่ น้ำตาลหรือเรียกว่าพอลิแซคคาไรด์ (Polysaccharides) คือ ลิกโนเซลลูโลส (Lignocellulose) เป็นสารประเภทเส้นใยอยู่ในส่วนของผนังเซลล์ของพืช ประกอบด้วยองค์ประกอบ 3 ชนิด คือ เซลลูโลส (Cellulose) เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) และลิกนิน (Lignin)

- เซลลูโลส (Cellulose)

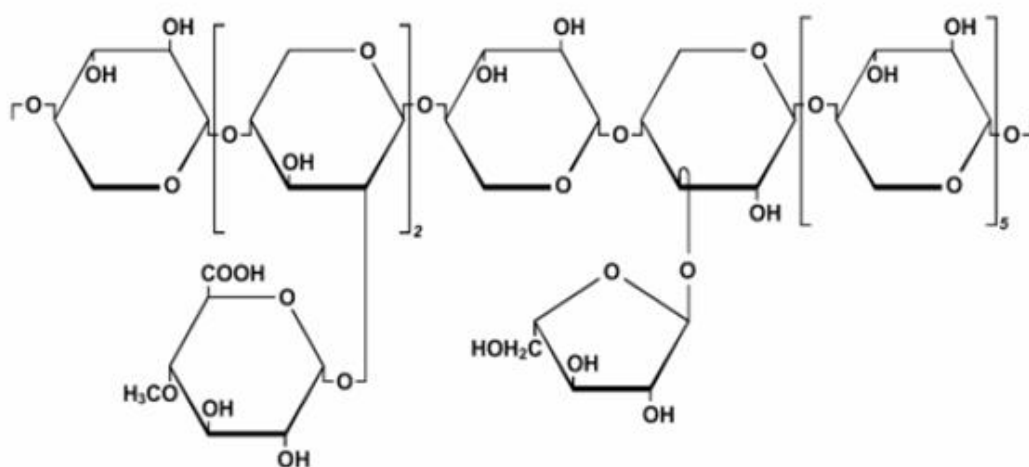
เซลลูโลสเป็นส่วนประกอบหลักในผนังเซลล์ของพืช และเป็นสารอินทรีย์ที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติมากที่สุดมีประมาณร้อยละ 40-50 โดยน้ำหนักแห้ง เซลลูโลสเป็นส่วนประกอบหลักในไม้ ฟาง และปอเซลลูโลสมีมวลโมเลกุลประมาณ 300,000-500,000 เซลลูโลสมีสมบัติทางเคมีที่สำคัญคือเป็นตัวที่ไม่ละลายและไม่ทำปฏิกิริยาโดยเฉพาะไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) การสลายตัวของเซลลูโลสจะเกิดที่อุณหภูมิประมาณ 240-350 องศาเซลเซียส โครงสร้างของเซลลูโลสดังแสดงในรูปที่ 2.2



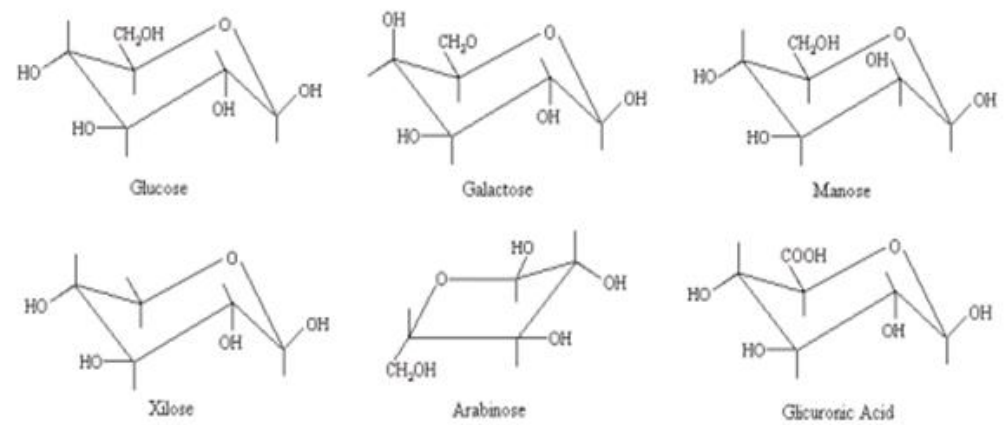
รูปที่ 2.2 โครงสร้างของเซลลูโลส [3]

- เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose)

เฮมิเซลลูโลสเป็นพอลิแซคคาไรด์ที่เกิดขึ้นร่วมกับเซลลูโลส แต่มีมวลโมเลกุลน้อยกว่าเซลลูโลส จะพบเฮมิเซลลูโลสประมาณร้อยละ 25-35 โดยน้ำหนักแห้ง โครงสร้างของเฮมิเซลลูโลสแสดงดังรูป 2.3 ลักษณะการจัดเรียงตัวของอะตอมทางเคมีจะต่างกับเซลลูโลสคือ สายพอลิเมอร์ของเฮมิเซลลูโลสมีลักษณะเป็นเฮเทอโรจีนัส (Heterogenous) ประกอบด้วยพอลิแซคคาไรด์หลายชนิดปนกันดังรูปที่ 2.4 คือเฮกโซแซน (Hexosan) พอลิยูโรไนด์ (Polyuronides) เพนโตแซน (Pentosan)



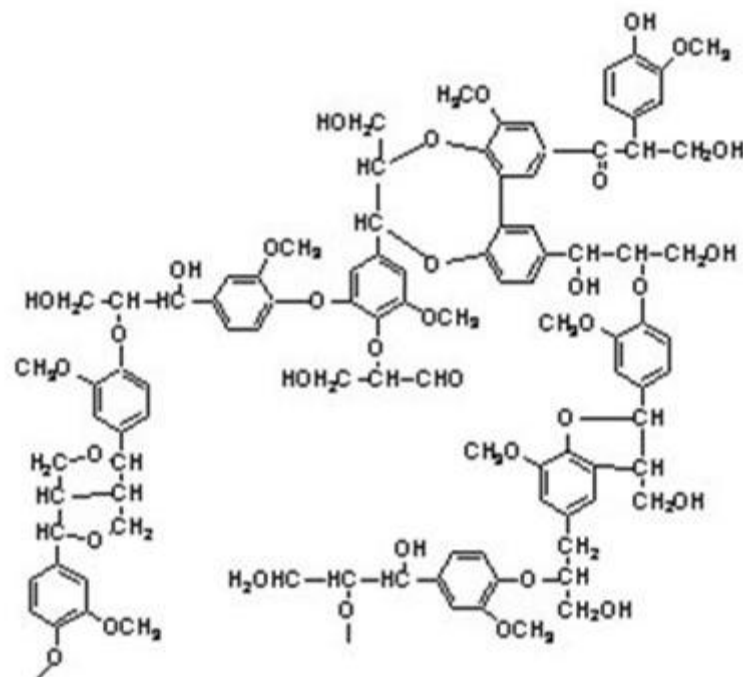
รูปที่ 2.3 โครงสร้างของเฮมิเซลลูโลส [4]



รูปที่ 2.4 หน่วยย่อยของเฮมิเซลลูโลส [5]

- ลิกนิน (Lignin)

ลิกนินเป็นองค์ประกอบที่สำคัญในพืช ประกอบด้วยโครงสร้างแอรอมาติกเป็นส่วนใหญ่ ลิกนินมีโครงสร้างเหมาะสมในการเป็นผนังเซลล์ของพืชเปรียบเสมือนกาวยึดและเพิ่มความแข็งแรงของเซลล์พืชลิกนินมีน้ำหนักโมเลกุลสูงจึงทำให้สลายตัวได้ยากกว่าเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส เมื่อลิกนินเกิดการสลายตัวจะให้สารประกอบฟีนอลโครงสร้างเคมีของลิกนินดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 โครงสร้างของลิกนิน [4]

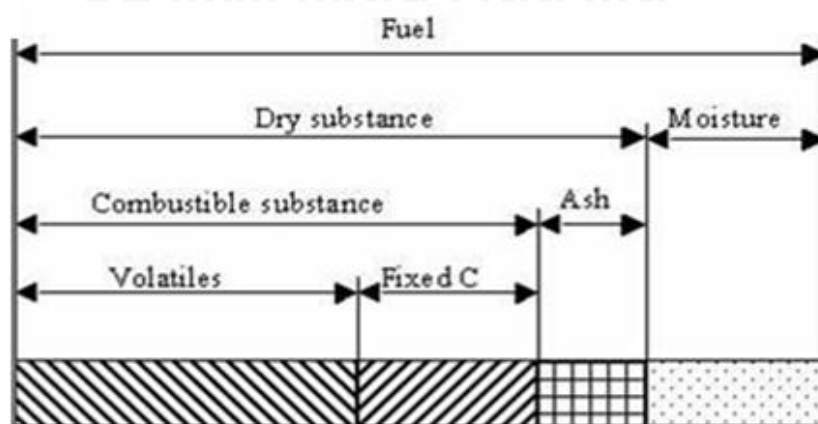
วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรส่วนใหญ่จะมีส่วนประกอบของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนินที่แตกต่างกัน ตัวอย่างของพืชพลังงาน แสดงตามตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ส่วนประกอบลิกโนเซลลูโลสของพืชพลังงาน (dry basis) [3]

	เซลลูโลส (%)	เฮมิเซลลูโลส (%)	ลิกนิน (%)	อื่นๆ (%)
ฟางข้าว	38	36	16	10
ซังข้าวโพด	32	44	13	11
ชานอ้อย	35	25	20	20
ไม้โตเร็ว	50	23	22	5
กระต่าย	76	13	11	0
ไม้ไผ่	41	26	27	7

2.2.6 การวิเคราะห์แบบประมาณและแบบแยกธาตุ

สมบัติความเป็นเชื้อเพลิงของชีวมวลสามารถประเมินได้จากการวิเคราะห์แบบประมาณ (Proximate analysis) และแบบแยกธาตุ (Ultimate analysis) โดยการวิเคราะห์แบบประมาณจะบ่งชี้ถึงปริมาณเถ้า (Ash) ปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed carbon) ปริมาณสารระเหย (Volatile matter) และปริมาณความชื้น (Moisture) ตามสภาพของเชื้อเพลิงดังแสดงในรูปที่ 2.6 การวิเคราะห์แบบแยกธาตุจะระบุถึงปริมาณธาตุต่างๆ ในเชื้อเพลิง ซึ่งปกติจะเป็นคาร์บอน ไนโตรเจน ไฮโดรเจน ออกซิเจน และกำมะถัน



รูปที่ 2.6 องค์ประกอบของชีวมวล (Biomass composition) [3]

ความชื้น (Moisture) หมายถึง ปริมาณน้ำที่สะสมอยู่ในชีวมวลโดยส่วนใหญ่แล้วชีวมวลจะมีความชื้นค่อนข้างสูง เนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร ดังนั้นจึงควรทำให้ชีวมวลมีความชื้นเพียงเล็กน้อยหากต้องการนำมาแปรรูปเป็นพลังงาน

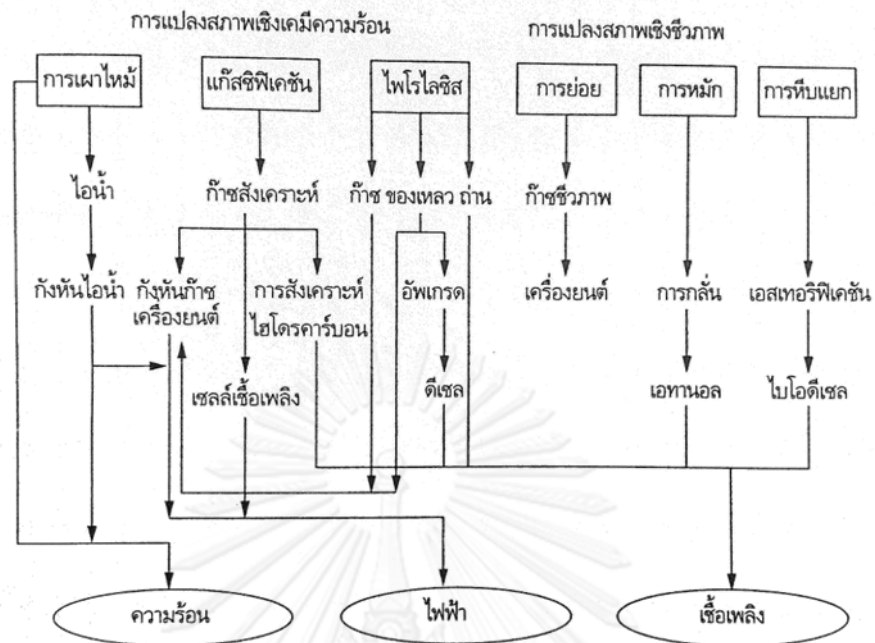
ส่วนที่เผาไหม้ได้ (Combustible substance) จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ สารระเหย (Volatiles matter) และคาร์บอนคงที่ (Fixed carbon) โดยสารระเหย คือ ส่วนที่เผาไหม้ง่าย สลายตัวเมื่อได้รับความร้อนในที่ที่ไม่มีอากาศ ดังนั้นชีวมวลที่มีค่าสารระเหยสูงแสดงว่าติดไฟได้ง่าย ส่วนคาร์บอนคงที่นั้น เป็นคาร์บอนที่อยู่ในรูปของแข็ง

ส่วนที่เผาไหม้ไม่ได้หรือขี้เถ้า (Ash) เมื่อชีวมวลถูกเผาไหม้อย่างสมบูรณ์แล้วจะมีเนื้อสารบางส่วนที่ไม่สามารถเผาไหม้ได้นั้น คือขี้เถ้า โดยชีวมวลแต่ละประเภทนั้นจะมีสัดส่วนของปริมาณขี้เถ้าในชีวมวลแตกต่างกัน

2.2.6 แนวทางการใช้พลังงานชีวมวลในประเทศไทย

ปัจจุบันความต้องการใช้พลังงานในประเทศไทยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ประกอบกับปริมาณพลังงานสำรองจากเชื้อเพลิงฟอสซิลที่ลดลงเป็นอย่างมาก ทำให้เกิดแนวโน้มการขาดแคลนพลังงานในอนาคต ในประเทศไทยมีแหล่งพลังงานไม่เพียงพอที่จะตอบสนองต่อความต้องการ จึงต้องนำเข้าแหล่งพลังงานมาจากต่างประเทศ ทำให้ราคาของเชื้อเพลิงฟอสซิล ไม่ว่าจะเป็นน้ำมันดิบ ก๊าซธรรมชาติ และถ่านหิน มีราคาเพิ่มสูงขึ้น ในขณะเดียวกันการใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิลทำให้เกิดมลพิษทางสิ่งแวดล้อมที่มีสาเหตุมาจากการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ การใช้พลังงานหมุนเวียน อาทิเช่น พลังงานจากชีวมวลในการผลิตความร้อนหรือพลังงานในรูปแบบต่างๆ ไม่เป็นการเพิ่มปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศโลก ในกรณีที่มีการผลิตชีวมวลขึ้นมาทดแทนชีวมวลที่ใช้ไป อีกทั้งชีวมวลยังมีปริมาณกำมะถันต่ำกว่าเชื้อเพลิงฟอสซิลมาก นั้นหมายความว่า การใช้ชีวมวลจะช่วยลดโอกาสในการเกิดปรากฏการณ์เรือนกระจกได้ทางหนึ่งด้วย อีกทั้งปัจจุบันก็เป็นแหล่งพลังงานสำคัญในลำดับต้นๆ ของประเทศเกษตรกรรมและประเทศกำลังพัฒนาทั้งหลาย โดยในรูปที่

2.7 แสดงถึงแนวทางการใช้พลังงานจากชีวมวล



รูปที่ 2.7 แนวทางการใช้พลังงานชีวมวล [3]

2.2.7 ชีวมวลที่น่าสนใจในประเทศไทย

ประเทศไทยนับเป็นประเทศเกษตรกรรมที่สำคัญแห่งหนึ่งของโลก ประชาชนมากกว่าร้อยละ 50 ประกอบอาชีพเกษตรกรรม ผลพลอยได้ที่สำคัญนอกเหนือจากผลผลิตการเกษตรก็คือ วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร เช่น ฟางข้าว แกลบ กากอ้อย กาก ใยมะพร้าว และทะลายปาล์ม เป็นต้น



รูปที่ 2.8 ชีวมวลต่างๆ [6]

จากการสำรวจโดย สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร ศักยภาพของการผลิตชีวมวลในประเทศไทยจะประเมินจากผลคูณของปริมาณผลผลิตทางการเกษตรที่ก่อให้เกิดชีวมวลนั้นๆ กับสัดส่วนของการเปลี่ยนแปลงปริมาณผลผลิตเป็นปริมาณชีวมวล โดยปริมาณชีวมวลที่เหลือใช้จากภาคอุตสาหกรรมและเกษตรกรรมสามารถสรุปได้ตามตาราง ต่อไปนี้

ตารางที่ 2.3 พลังงานจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร 2552 [7]

ชนิด	ผลผลิต (ตัน)	ชีวมวล	ปริมาณชีวมวล เหลือใช้ (ตัน)	ค่าความร้อน (MJ/kg)	ศักยภาพพลังงาน	
					(TJ)	(ktoe)
อ้อย	66,816,446	ชานอ้อย	4,190,794.31	14.40	60,347.44	1,428.54
		ยอดและใบ	13,439,727.21	17.39	233,716.86	5,532.52
ข้าว	31,508,364	แกลบ	3,510,598.90	14.27	50,096.25	1,185.87
		ฟางข้าว	25,646,547.96	10.24	262,620.65	6,216.73
ถั่วเหลือง	190,480	ต้น/เปลือก/ใบ	170,383.17	19.44	3,312.35	78.41
ข้าวโพด	4,616,119	ชัง	584,539.15	18.04	10,545.09	249.62
		ลำต้น	2,758,777.36	18.04	49,768.34	1,178.11
ปาล์ม น้ำมัน	8,162,379	ทะลายเปล่า	1,024,868.34	17.86	18,304.15	433.29
		ใบ	162,970.06	17.62	2,871.53	67.97
		กะลา	38,959.04	18.46	719.18	17.02
		ก้าน	2,203,740	9.83	21,824.24	516.62
มัน สำปะหลัง	30,088,025	ลำต้น	2,439,236.19	18.42	44,930.73	1,063.60
		เหง้า	1,834,466.88	18.42	33,790.88	799.89
มะพร้าว	1,380,980	ก้าน	628,990.82	15.40	9,686.46	229.30
		กาบ	464,250.95	16.23	7,534.79	178.36
		กะลา	128,936.58	17.93	2,311.83	54.73
ไม้ ยางพารา	3,090,280	กิ่ง/ก้าน	312,118.28	14.98	4,675.53	110.68
รวม	145,853,073		59,539,905.20		504,339.40	11,938.67

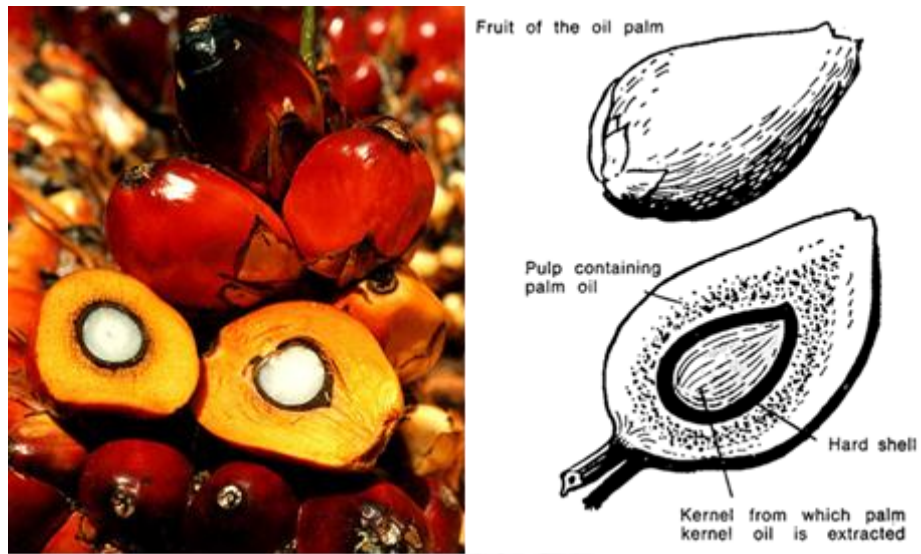
จากผลสำรวจดังกล่าว จะเห็นว่าศักยภาพพลังงานจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมีจำนวนมาก และกระบวนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลเกิดขึ้นมากในปัจจุบันส่วนใหญ่ใช้ปาล์มน้ำมันเป็นชีวมวลหลัก ซึ่งเป็นที่น่าสนใจที่จะเอาเศษวัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการนี้มาแปรรูปเป็นพลังงาน โดยอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมันจะมีชีวมวลเหลือทิ้งในปริมาณมาก โดยเฉพาะส่วนของ ทะลายปาล์มน้ำมัน เปล่า ดังนั้นทะลายปาล์มน้ำมันเปล่านั้นจึงเป็นชีวมวลที่น่าสนใจในการแปรรูปชีวมวลให้เป็นพลังงาน เพราะนอกจากจะมีในปริมาณมากแล้ว ปาล์มน้ำมันยังเป็นพืชที่ให้น้ำมันอยู่แล้ว ดังนั้นการนำทะลายปาล์มน้ำมันเปล่ามาแปรรูปเป็นพลังงานน่าจะได้ผลผลิตในรูปพลังงานน้ำมันเพิ่มขึ้น

2.2.8 เศษวัสดุเหลือใช้จากกระบวนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากปาล์มน้ำมัน

น้ำมันไบโอดีเซลถือเป็นพลังงานทางเลือกหนึ่งที่ถูกล่ามึงอย่างกว้างขวางเนื่องจากสามารถผลิตได้จากน้ำมันจากพืช เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม กระบวนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากปาล์ม น้ำมันเกิดจากกระบวนการทางเคมีที่เรียกว่าปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (Transesterification) ของชีวมวลหรือน้ำมันพืชกับแอลกอฮอล์ โดยมีกลีเซอรอลดิบเป็นผลพลอยได้ของผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้ยังพบว่ากระบวนการนี้เกิดของเหลือทิ้งจากปาล์มน้ำมันซึ่งเป็นวัตถุดิบเริ่มต้นได้แก่ ทะลายปาล์ม น้ำมันเปล่า กะลาปาล์ม กากปาล์ม และลำต้น อย่างไรก็ตามในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลยังพบปัญหาทางด้านต้นทุนการผลิตที่สูง เนื่องจากความผันผวนของราคาน้ำมันจากพืชที่นำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิต โดยต้นทุนจากวัตถุดิบคิดเป็นร้อยละ 60-70 ของต้นทุนการผลิตทั้งหมด ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการปรับปรุงประสิทธิภาพและลดต้นทุนในการผลิตโดยนำของเสียที่เหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลไปใช้ให้เกิดประโยชน์ อาทิเช่น ใช้เป็นเชื้อเพลิงร่วมหรือทดแทนน้ำมันเตา เป็นต้น

- ทะลายปาล์มน้ำมัน

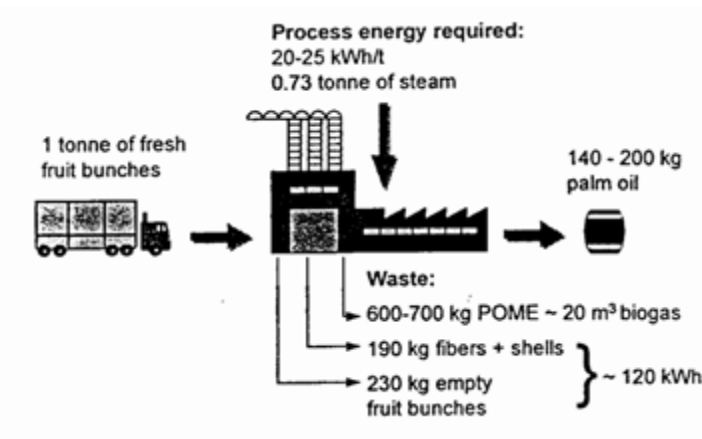
ปาล์มน้ำมัน (Oil palm) เป็นชีวมวลที่นิยมนำมาใช้ในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซล เนื่องจากเป็นพืชที่มีศักยภาพในการผลิตน้ำมันสูงกว่าพืชน้ำมันชนิดอื่น คือมีต้นทุนการผลิตต่ำและให้ผลผลิตต่อพื้นที่สูง ทะลายปาล์ม น้ำมันเปล่า เป็นชีวมวลที่ได้จากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มหรืออุตสาหกรรมการผลิตไบโอดีเซลเมื่อนำปาล์ม น้ำมัน 1 ตัน มาผ่านกระบวนการแปรรูปและใช้น้ำ 0.73 ตัน พลังงาน 20 - 25 กิโลวัตต์ จะได้น้ำมันปาล์มประมาณ 140 - 200 กิโลกรัม อีกทั้งยังมีเศษวัสดุที่เหลือจากกระบวนการผลิต คือทะลายปาล์ม น้ำมันเปล่า 230 กิโลกรัม กะลาปาล์มและเปลือกปาล์ม ประมาณ 190 กิโลกรัม หรือเทียบเท่าพลังงานไฟฟ้าได้ 120 กิโลวัตต์ แสดงแผนภาพดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.9 ปาล์มน้ำมันและส่วนประกอบของผลปาล์มน้ำมัน [8]



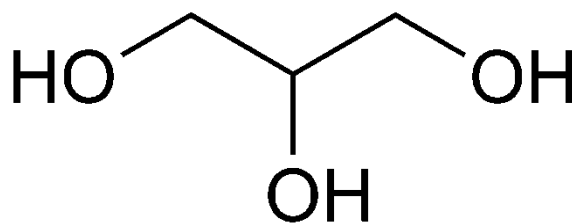
รูปที่ 2.10 ทะลายปาล์มน้ำมันเปล่า [9]



รูปที่ 2.11 กระบวนการผลิตน้ำมันปาล์ม [9]

- กลีเซอรอลดิบ

กลีเซอรอลหรือกลีเซอริน คือแอลกอฮอล์ชนิดหนึ่งที่มีคาร์บอน 3 ตัวต่อกันและมีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH group) ต่อกับคาร์บอนทั้ง 3 ตัว กลีเซอรอลบริสุทธิ์เป็นของเหลว หนืดใส ไม่มีกลิ่น มีรสหวาน กลีเซอรอลมีจุดเดือดที่ 290 องศาเซลเซียส และจุดหลอมเหลวที่ 18 องศาเซลเซียส ละลายน้ำและแอลกอฮอล์ได้ดี แต่ไม่ละลายในอีเทอร์ เบนซินหรือน้ำมันโดยสูตรโครงสร้างของกลีเซอรอลแสดงดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 โครงสร้างของกลีเซอรอล [10]

กลีเซอรอลดิบเป็นผลพลอยได้ที่ได้จากกระบวนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซล ซึ่งของเสียเหล่านี้สามารถเพิ่มมูลค่าได้แต่ต้องผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ ซึ่งมีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการสูง ปัจจุบันได้มีการศึกษาการนำกลีเซอรอลดิบมาใช้ในกระบวนการแปรรูปเป็นพลังงานเชื้อเพลิงเช่นใช้เป็นสารละลายร่วม (Co-solvent) องค์ประกอบภายในกลีเซอรอลดิบจะประกอบไปด้วยกรดไขมัน น้ำกลีเซอรอล เมทานอล และเกลือ ซึ่งกลีเซอรอลมีสัดส่วนเยอะที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 2.4

องค์ประกอบหลักของกรดไขมันที่มีในกลีเซอรอลดิบเช่น กรดโอเลอิก และกรดปาล์มมิติกเป็นต้น ดังแสดงในตารางที่ 2.5

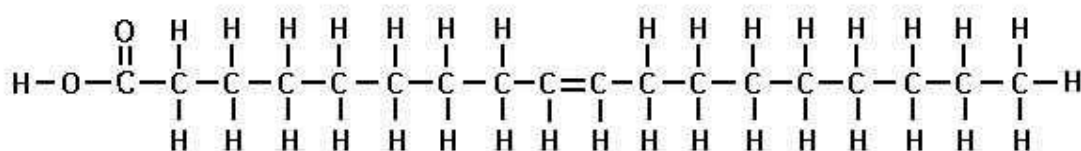
ตารางที่ 2.4 องค์ประกอบของกลีเซอรอลดิบ [11]

Composition (% , w/w)	
Fatty acid	31.09
Glycerol/methanol/water	55.09
Salt (catalyst-phosphorus)	13.81

ตารางที่ 2.5 องค์ประกอบของกรดไขมันในกลีเซอรอลดิบ [12]

Fatty acid composition (wt%)	
Oleic acid	37-53
Palmitic acid	32-46.3
Myristic acid	0.6-2.4
Linoleic acid	6-12
Stearic acid	4-6.3

กรดโอเลอิกเป็นองค์ประกอบหลักของกรดไขมันในกลีเซอรอลดิบ มีชื่อทางเคมีว่า octadecenoic acid เป็นกรดไขมัน (Fatty acid) ประเภทกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว (Unsaturated fatty acid) ที่มีจำนวนคาร์บอน 18 อะตอม มีพันธะคู่ (Double bond) 1 อัน ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 9 จัดเป็น monounsaturated fatty acid



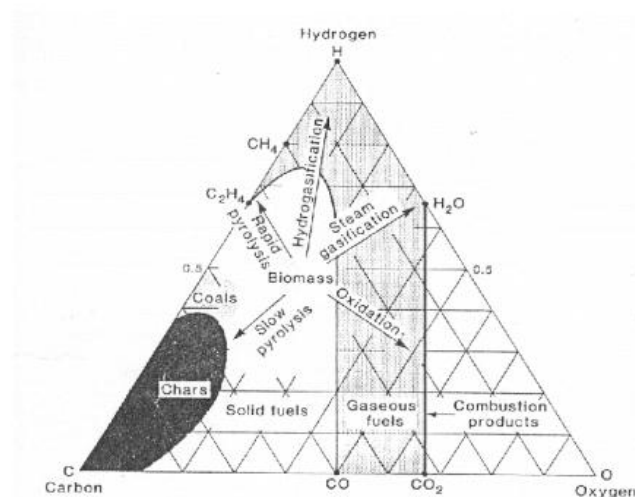
Oleic Acid- Monounsaturated Fatty Acid

รูปที่ 2.13 โครงสร้างของกรดโอเลอิก [13]

ของเสียที่เหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลเหล่านี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย เช่น นำไปทำปุ๋ย นำกลีเซอรอลดิบมาผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ ซึ่งมีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการสูงและมีขั้นตอนที่ยุ่งยาก จึงมีแนวคิดที่จะนำของเสียที่เกิดจากกระบวนการเหล่านี้มีผลิตเป็นเชื้อเพลิงโดยผ่านกระบวนการแปรรูปชีวมวลเพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทน

2.3 เทคโนโลยีชีวมวล

เทคโนโลยีที่ใช้ในการแปรรูปชีวมวลได้รับความนิยมในปัจจุบันเพื่อปรับปรุงคุณภาพให้มีคุณค่ามากขึ้นกว่าเดิมอาจจะกล่าวได้ว่าเปลี่ยนเป็นพลังงานเชื้อเพลิงนั้นสามารถจำแนกได้ 2 ประเภทหลักๆ คือ กระบวนการแปรรูปทางเคมีความร้อนและกระบวนการแปรรูปทางชีวเคมี ลักษณะความแตกต่างของแต่ละกระบวนการนั้นขึ้นอยู่กับภาวะที่ใช้ในการดำเนินการและวัตถุประสงค์หรือผลิตภัณฑ์หลักที่ต้องการ กระบวนการเปลี่ยนองค์ประกอบทางเคมีโดยวิธีชีวเคมีเป็นกระบวนการที่ใช้ภาวะในการดำเนินงานที่รุนแรงน้อยกว่าเมื่อเทียบกับกระบวนการเปลี่ยนองค์ประกอบทางเคมีโดยใช้พลังงานความร้อน แต่วิธีการนี้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ไม่แน่นอน ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีของชีวมวล ทำให้กระบวนการเปลี่ยนองค์ประกอบทางเคมีโดยใช้พลังงานความร้อนมีความน่าสนใจมากกว่าทั้งในแง่ของปริมาณและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้ ซึ่งจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ต่างๆ ที่มีความหลากหลายกว่า กระบวนการเปลี่ยนองค์ประกอบทางชีวเคมีโดยแผนภาพอธิบายกระบวนการเหล่านี้ไปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ แสดงดังกราฟสามเหลี่ยมดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 การเปลี่ยนแปลงของชีวมวลโดยกระบวนการทางความร้อน

2.3.1 กระบวนการทางเคมีความร้อน (Thermochemical conversion process)

การเปลี่ยนชีวมวลให้เป็นพลังงาน โดยอาศัยกระบวนการทางเคมีความร้อน (Thermochemical conversion process) เป็นการนำพลังงานความร้อนมาใช้เพื่อทำให้โครงสร้างทางเคมีของชีวมวลนั้นเปลี่ยนรูปไปเป็นพลังงานตามความต้องการ สามารถทำได้หลายกระบวนการ ยกตัวอย่างเช่น การเผาไหม้โดยตรง การแปรรูปเป็นแก๊สชีวมวล และการย่อยสลายด้วยความร้อน วิธีการที่ต่างกันนี้จะให้ผลิตภัณฑ์ที่ต่างกันซึ่งอาจอยู่ในรูปของแข็ง ของเหลว หรือแก๊สแล้วแต่กรณี กระบวนการทางเคมีความร้อนอาจแบ่งออกเป็น 4 วิธี คือ กระบวนการเผาไหม้ (Combustion) กระบวนการไพโรไลซิส (Pyrolysis) กระบวนการแกซิฟิเคชัน (Gasification) และกระบวนการทำให้เป็นของเหลว (Liquefaction)

- กระบวนการเผาไหม้ (Combustion)

การเผาไหม้โดยตรง คือกระบวนการแปรรูปชีวมวลโดยใช้ความร้อนในภาวะที่มีอากาศทำให้เกิดการสันดาปอย่างสมบูรณ์ สารอินทรีย์ในชีวมวลถูกเปลี่ยนเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และพลังงาน วิธีนี้เป็นวิธีที่นิยมใช้ในรูปแบบของการใช้ฟืนและถ่านไม้เป็นเชื้อเพลิงการหุงต้ม ไม้ฟืนที่นำมาใช้อาจเป็นไม้จากป่าธรรมชาติ ป่าที่ปลูกเพื่อผลิตพลังงาน หรือเศษไม้ที่เหลือจากอุตสาหกรรมไม้ ประสิทธิภาพของการเผาไหม้ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบต่างๆ เช่น อุณหภูมิในการเผาไหม้ เตาเผา ปริมาณความชื้นของชีวมวล และปริมาณอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ เนื่องจากเชื้อเพลิงที่มีความชื้นสูง พลังงานส่วนหนึ่งสูญเสียไปในการระเหยน้ำ ทำให้ประสิทธิภาพในการเผาไหม้ต่ำ องค์ประกอบของเชื้อเพลิงแข็งประกอบไปด้วยส่วนที่ติดไฟ 2 ส่วน คือ สารระเหยง่าย และคาร์บอน ในกระบวนการเผาไหม้สารระเหยง่ายมักสูญเสียไป โดยทั่วไปเชื้อเพลิงชีวมวลมีพลังงานอยู่ในสารระเหยง่ายถึง 3 ใน 4 ส่วนของพลังงานทั้งหมด ถ้าไม่มีการเก็บสารระเหยนี้กลับมา ก็จะทำให้สูญเสียพลังงานไปในรูปของสารระเหย

กระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิงเกิดขึ้นสองช่วง ในช่วงแรกเป็นการเผาไหม้ของสารระเหย ซึ่งเกิดขึ้นในวัฏภาคของแก๊ส เป็นปฏิกิริยาระหว่างแก๊สกับแก๊ส และช่วงหลังเป็นการเผาไหม้ของของแข็งที่เหลืออยู่ คือ ถ่านชาร์ซึ่งเป็นขั้นตอนที่ช้า ภาวะที่ใช้ดำเนินการ คือ อุณหภูมิตั้งแต่ 800-1400 องศาเซลเซียส ระบบการเผาไหม้โดยทั่วไปจะใช้อากาศเกินพอ เพื่อให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ ทั้งนี้ยังมีผลการสูญเสียความร้อน เนื่องจากการใช้อากาศเกินพอน้อยเกินไปจนทำให้เกิดการเผาไหม้ได้ไม่สมบูรณ์ ซึ่งเรียกว่า การสูญเสียศักยภาพทางความร้อน (Potential heat loss) อยู่ในรูปขององค์ประกอบคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) หรือ คาร์บอน (C)

- กระบวนการแกซิฟิเคชัน (Gasification)

เป็นกระบวนการเปลี่ยนสภาพทางเคมีโดยการสลายคาร์บอนในเชื้อเพลิงแข็งให้เป็นแก๊สโดยการเผาชีวมวลในอุปกรณ์ที่ควบคุมปริมาณอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ แก๊สที่ได้จากกระบวนการนี้

เรียกว่า แก๊สชีวมวล ซึ่งจะนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์สันดาปภายใน หรือ เป็นเชื้อเพลิงให้ความร้อน แก๊สชีวมวลที่ได้ประกอบด้วยแก๊สไฮโดรเจน และคาร์บอนมอนอกไซด์เป็นส่วนใหญ่ นอกจากนี้ยังมีแก๊สมีเทน คาร์บอนไดออกไซด์ และไอน้ำ กระบวนการแปรรูปชีวมวลเป็นแก๊สชีวมวลเป็นกระบวนการที่ต่อเนื่องมาจากกระบวนการย่อยสลายชีวมวลด้วยความร้อน แต่จะเกิดที่อุณหภูมิสูงตั้งแต่ 600 องศาเซลเซียสขึ้นไป

- กระบวนการไพโรไลซิส (Pyrolysis)

เป็นกระบวนการย่อยสลายชีวมวลโดยใช้ความร้อนในที่มีอากาศปริมาณจำกัด โดยจะเปลี่ยนชีวมวลให้เป็นเชื้อเพลิงในรูปของเหลวของแข็ง และแก๊ส การย่อยสลายด้วยความร้อนเป็นการเกิดปฏิกิริยาเคมีแบบย้อนกลับไม่ได้ (Irreversible chemical process) ใช้อุณหภูมิตั้งแต่ 150 องศาเซลเซียสขึ้นไป และจะต้องป้อนอากาศในปริมาณจำกัด แก๊สที่ได้จากกระบวนการนี้ได้แก่ แก๊สไฮโดรเจน (H_2) แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) แก๊สมีเทน (CH_4) และเกิดสารประกอบไฮโดรคาร์บอนอื่นๆอีกเล็กน้อย ของแข็งที่เหลือจากกระบวนการนี้ได้แก่ ถ่าน และขี้เถ้า (Ash) สำหรับส่วนที่เป็นของเหลว ได้แก่ น้ำมัน น้ำ และน้ำมันดิน (Tar)

การย่อยสลายด้วยความร้อนแบบดั้งเดิม (Conventional pyrolysis) สามารถเกิดขึ้นที่อุณหภูมิต่ำกว่า 600 องศาเซลเซียส เช่น กระบวนการเผาถ่านเป็นการย่อยสลายไม้ด้วยความร้อน เป็นวิธีที่ทำกันมาแต่โบราณ ไอที่ได้จากกระบวนการจะระเหยไป ปริมาณอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงในการเผาไหม้เป็นตัวแปรที่สำคัญ และมีผลต่อทั้งอุณหภูมิและผลิตภัณฑ์ที่ได้

- กระบวนการลิกวิแฟกชัน (Liquefaction)

กระบวนการลิกวิแฟกชัน เป็นการย่อยสลายโมเลกุลของชีวมวลด้วยความร้อนร่วมกับการใช้ตัวทำละลายที่เป็นของเหลว เพื่อวัตถุประสงค์ในการผลิตน้ำมันเป็นผลิตภัณฑ์หลัก โดยการทำลิกวิแฟกชันของสารชีวมวลจะเปลี่ยนสารชีวมวลให้เป็นสารไฮโดรคาร์บอนเหลวที่เสถียรโดยใช้อุณหภูมิต่ำและอัตราความดันของไฮโดรเจนสูงในระบบ ซึ่งอาจมีการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาร่วมกับกระบวนการดังกล่าวด้วย

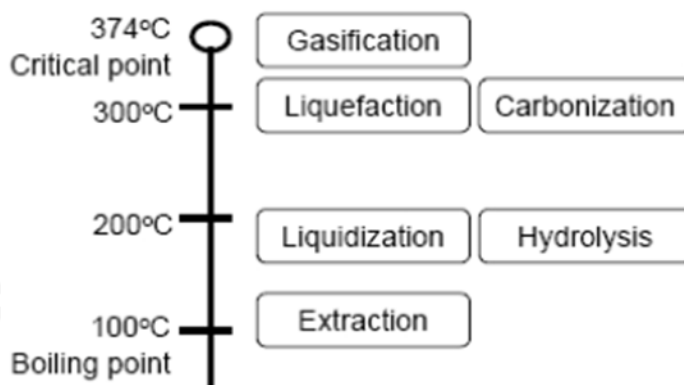
กระบวนการในการทำลิกวิแฟกชันสามารถแบ่งได้เป็น 2 วิธี คือ การทำลิกวิแฟกชันโดยตรง (Direct liquefaction) และการทำลิกวิแฟกชันทางอ้อม (Indirect liquefaction) สำหรับการทำลิกวิแฟกชันโดยตรงนั้นจะเกี่ยวข้องกับการทำการไพโรไลซิสอย่างฉับพลัน เพื่อที่จะสามารถผลิตทาร์ที่เป็นของเหลวและน้ำมัน หรือไอของสารอินทรีย์ที่สามารถเกิดการควบแน่นได้ ส่วนการทำลิกวิแฟกชันทางอ้อมนั้น จะเกี่ยวข้องกับการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อทำการเปลี่ยนผลิตภัณฑ์ในรูปของเชื้อเพลิงที่ไม่สามารถเกิดการควบแน่นได้ ซึ่งมาจากการทำไพโรไลซิส (Pyrolysis) หรือการทำแกซิฟิเคชัน (Gasification) ให้กลายเป็นผลิตภัณฑ์ในรูปของเหลว ตัวอย่างเช่น ไตเมทิลอีเทอร์ เมทานอล และน้ำมันสังเคราะห์ฟิสเซอร์โทราปซ์ เป็นต้น

ไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชัน (Hydrothermal liquefaction)

ไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชัน (Hydrothermal liquefaction) เป็นกระบวนการลิกวิแฟกชันของชีวมวลในน้ำที่มีอุณหภูมิสูงประมาณ 300-350 องศาเซลเซียส และความดันสูงประมาณ 5-25 เมกกะปาสคาล โดยชีวมวลจะถูกเปลี่ยนเป็นผลิตภัณฑ์ของเหลวและของแข็ง คล้ายกับไพโรไลซิสในเฟส ทาร์ที่มีน้ำหนักเบา เช่น ไพโรลิกเนียสนั้นจะละลายน้ำได้ ทาร์ที่มีน้ำหนักมากจะได้รับการผสมกับคาร์ไค้ผลิตภัณฑ์เป็นสารจำพวกน้ำมันและสารละลายที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบ

- คุณลักษณะของไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชัน

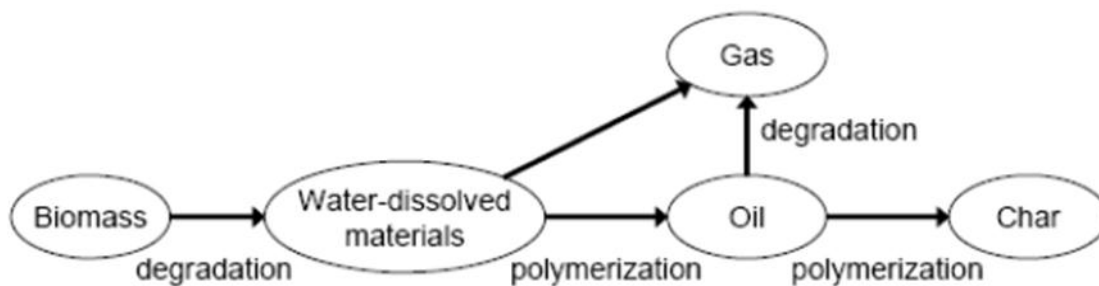
ไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชันทำปฏิกิริยาในน้ำ โดยวัตถุดิบตั้งต้นไม่ต้องผ่านกระบวนการอบแห้งหรือความชื้นมากกว่า 80% จึงเหมาะกับชีวมวลหรือเศษวัสดุเหลือทิ้งที่มีปริมาณความชื้นสูง นอกจากนี้ปฏิกิริยาหลายชนิดเกิดได้ที่อุณหภูมิแตกต่างกัน แสดงในรูปที่ 2.15 โดยเมื่ออุณหภูมิสูงประมาณ 100 องศาเซลเซียส สารที่สามารถละลายได้จะเกิดการละลายรวมกับน้ำ ที่อุณหภูมิประมาณ 200 องศาเซลเซียส เกิดการไฮโดรไลซิสของน้ำกับชีวมวล และการย่อยสารชีวมวลจากพอลิเมอร์เป็นโมโนเมอร์ ของแข็งจำพวกสารชีวมวลจะถูกทำให้กลายเป็นสารแขวนลอย (Slurry) ที่อุณหภูมิประมาณ 300 องศาเซลเซียส จะเกิดลิกวิแฟกชันและคาร์บอนไนเซชันขึ้นซึ่งให้ผลิตภัณฑ์หลักเป็นของเหลว ของแข็ง ตามลำดับ และที่อุณหภูมิประมาณ 374 องศาเซลเซียส เกิดปฏิกิริยาแก๊ซิฟิเคชัน ซึ่งให้ผลิตภัณฑ์หลักเป็นแก๊ส ทำให้มีส่วนที่เป็นของเหลวลดลง



รูปที่ 2.15 ปฏิกิริยาที่เกิดในน้ำที่ความดันและอุณหภูมิสูง [14]

- แผนผังปฏิกิริยาพื้นฐานของไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชัน

ไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชันเป็นการไพโรไลซิส ดังนั้นจึงเกิดปฏิกิริยาการสลายตัวและปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน แผนผังปฏิกิริยาพื้นฐานแสดงในรูปที่ 2.16 ขั้นตอนแรกสารชีวมวลจะถูกสลายตัวเป็นสารที่ละลายน้ำ จากนั้นสารที่ละลายน้ำจะเกิดการพอลิเมอร์ไรเซชันเปลี่ยนเป็นน้ำมันเมื่อเกิดปฏิกิริยานานขึ้น น้ำมันที่เกิดขึ้นจะเกิดการพอลิเมอร์ไรเซชันเปลี่ยนเป็นชาร์



รูปที่ 2.16 แผนผังของปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันเบื้องต้น [14]

- ผลิตรถยนต์น้ำมันที่ได้จากไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชัน

ผลิตรถยนต์น้ำมันที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาลิควิแฟกชัน มีออกซิเจนสะสมอยู่มากถึงร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก ส่งผลให้ค่าความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ต่ำกว่าค่าน้ำมันที่ได้จากปิโตรเลียม น้ำมันที่ได้จากชีวมวลมีค่าความเป็นกรดมากซึ่งทำให้เกิดการกัดกร่อน และมีความหนืดสูง ดังนั้นจึงได้มีการวิจัยและพัฒนาต่อจากกระบวนการนี้ เพื่อผลิตน้ำมันชีวภาพที่มีประสิทธิภาพมากขึ้นซึ่งเรียกว่ากระบวนการ Hydrothermal upgrading (HTU)

Hydrothermal upgrading (HTU)

HTU เป็นเทคโนโลยีการแปลงเชื้อเพลิงชีวภาพซึ่งเหมาะสำหรับการป้อนวัตถุดิบชีวมวลที่เปียก (Wet biomass feedstocks) เช่น ทะลายปาล์ม น้ำมันขานอ้อย ฟางข้าว และอื่นๆ ในอุณหภูมิที่ 300-350 องศาเซลเซียสและที่ภาวะความดันสูง ซึ่งสามารถแปลงชีวมวลนี้ให้กลายเป็นของเหลวชีวภาพที่เข้มข้นได้ซึ่งของเหลวที่ได้นี้จะประกอบไปด้วยสารประกอบจำพวกไฮโดรคาร์บอนหลายชนิดที่เรียกว่าน้ำมันดิบชีวภาพ (Biocrude) มีสมบัติคล้ายกับน้ำมันดิบปิโตรเลียม (Fossil oil) และหลังจากนั้นจะผ่านกระบวนการโดยการสกัดเพื่อเร่งปฏิกิริยาที่เรียกว่า Hydro-deoxygenation (HDO) โดยกระบวนการนี้ออกซิเจนจะถูกแยกออกจากน้ำมันดิบชีวภาพโดยการใส่ไฮโดรเจนเข้าไป กระบวนการพัฒนาน้ำมันดิบชีวภาพให้มีคุณภาพสูงขึ้น โดยกระบวนการปรับปรุงน้ำมันดิบชีวภาพนั้นสามารถทำร่วมกับขั้นตอนการผลิตน้ำมันดิบชีวภาพแบบขั้นตอนเดียว หรือนำน้ำมันดิบชีวภาพที่ผลิตได้ไปผ่านการปรับปรุงคุณภาพในอีกขั้นตอนหนึ่งซึ่งจัดเป็นการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันดิบชีวภาพแบบสองขั้นตอน

Solvolytic liquefaction

โซลโวไลซิส (Solvolytic liquefaction) เป็นกระบวนการย่อยสลายโมเลกุลของชีวมวลด้วยความร้อนโดยมีการใช้สารละลายร่วม (Solvent) เช่น แอลกอฮอล์ อะซิโตน โทลูอีน เป็นต้น ซึ่ง

งานวิจัยที่ผ่านมามีการใช้สารละลายร่วมเหล่านี้พบว่าสารละลายร่วมเหล่านี้จะช่วยป้องกันการรวมตัวกันของโมเลกุลเล็กๆ จึงทำให้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นของแข็งลดลงและทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ของเหลวเพิ่มขึ้น

2.4 น้ำมันชีวภาพ (Bio-oil)

ลักษณะทั่วไปของน้ำมันชีวภาพ (Bio-oil) เป็นของเหลวอินทรีย์สีน้ำตาลดำ มีสารประกอบที่มีออกซิเจนอยู่ด้วยเป็นจำนวนมาก อาจมีชื่อเรียกอื่นๆ เช่น น้ำมันไพโรไลซิส กรดไพโรลิกเนียส ของเหลวไพโรลิกเนียส ของเหลวควินไม้น้ำส้มควินไม้น้ำ เป็นต้น น้ำมันชีวภาพเกิดขึ้นจากการแตกตัวทางความร้อนและการลดระดับเชิงพอลิเมอร์อย่างรวดเร็วของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ตามด้วยการทำให้เย็นอย่างรวดเร็วเพื่อแช่แข็งปฏิกิริยาชั้นกลางให้ได้สารประกอบที่เกิดขึ้นระหว่างนี้ โดยไม่ให้เกิดปฏิกิริยาแตกตัวต่อหากมีเวลามากขึ้น น้ำมันชีวภาพจึงมีสารเคมีที่มีความไวต่อการเกิดปฏิกิริยาสูงเป็นองค์ประกอบมากมาย ส่วนประกอบทางเคมีของน้ำมันชีวภาพขึ้นอยู่กับสภาวะของกระบวนการลิกวิแฟกชัน โดยทั่วไปแล้วน้ำมันดิบชีวภาพเป็นสารผสมละลายน้ำได้ มีสารอินทรีย์ที่มีประจุอยู่ประมาณร้อยละ 75-80 โดยมวล และน้ำร้อยละ 20-25 น้ำมันชีวภาพมีออกซิเจนประมาณร้อยละ 45-50 โดยมวล ซึ่งอยู่ในสารประกอบมากกว่า 300 ชนิดที่พบในน้ำมันชีวภาพ ในเชิงเคมี น้ำมันชีวภาพเป็นส่วนผสมที่ซับซ้อนระหว่างน้ำ กวายอะคอล (Guaiacol) ฟูรานคาร์บอกซัลดีไฮด์ (Furancarboxaldehydes) คาเทคอล (Catecols) วานิลลิน (Vanillins) ซิงริงกอล (Syringols) ไพโรนส์ (Pyrones) ไอโซยูจีนอล (Isoeugenol) กรดฟอร์มิค กรดแอสติค และกรดคาร์บอกซิลิกอื่นๆ สารประกอบกลุ่มหลักๆ เช่น ไฮดรอกซีคีโตน ไฮดรอกซีแอลดีไฮด์ น้ำตาล และสารประกอบฟีนอลิกส์

เพราะองค์ประกอบทางกายภาพของน้ำมันชีวภาพและน้ำมันปิโตรเลียมแตกต่างกันจึงทำให้มีคุณสมบัติแตกต่างกัน แสดงดังตารางที่ 2.6 และสามารถอธิบาย ดังนี้

- ปริมาณน้ำ

น้ำมันชีวภาพประกอบด้วยน้ำสูงถึงร้อยละ 15-20 โดยน้ำหนัก เนื่องจากความชื้นเริ่มต้นในชีวมวลที่ป้อนเข้าไปและผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยากำจัดน้ำออกระหว่างกระบวนการผลิต ดังนั้นปริมาณน้ำขึ้นกับชนิดชีวมวลและภาวะที่ใช้ ปริมาณน้ำที่เกิดขึ้นนั้น มีทั้งข้อดีและข้อเสียต่อสมบัติ น้ำมันชีวภาพ น้ำทำให้ค่าความร้อนและอุณหภูมิในการลุกไหม้ของน้ำมันชีวภาพต่ำลง แต่มีส่วนช่วยในการเพิ่มความล่าช้าในการจุดติดไฟและบางกรณีช่วยลดอัตราการเผาไหม้เมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซล ในทางตรงกันข้าม น้ำช่วยลดความหนืดของน้ำมันลง

- ปริมาณออกซิเจน

น้ำมันชีวภาพมีปริมาณออกซิเจนสูงถึงร้อยละ 35-40 โดยมวล แทรกอยู่ในรูปของสารประกอบมากมายที่มีอยู่ในน้ำมันชีวภาพโดยขึ้นอยู่กับชนิดของชีวมวลและภาวะในการผลิต (เวลาของปฏิกิริยา อุณหภูมิและอัตราการให้ความร้อน) ออกซิเจนที่แทรกตัวอยู่ในสารประกอบต่างๆของน้ำมันชีวภาพนั้น เป็นเหตุผลเบื้องต้นที่ทำให้สมบัติของน้ำมันชีวภาพแตกต่างจากน้ำมันปิโตรเลียม ปริมาณออกซิเจนที่สูงนั้นส่งผลให้ค่าความร้อนของน้ำมันลดลงต่ำกว่าร้อยละ 50 ของน้ำมันเชื้อเพลิงทางการค้า และไม่สามารถนำมาผสมกับน้ำมันเชื้อเพลิงทั่วไปได้

- ความหนืดและอายุการใช้งาน

ความหนืดของน้ำมันชีวภาพอยู่ในช่วงกว้างขึ้นกับชนิดชีวมวลและภาวะการผลิต โดยเฉพาะประสิทธิภาพของสารประกอบที่มีจุดเดือดต่ำภายในน้ำมันชีวภาพนั้นช่วยลดอุณหภูมิที่สูงลงได้เร็วกว่าน้ำมันปิโตรเลียม เมื่อทำการให้ความร้อนที่อุณหภูมิปานกลางจะสามารถสูบออกได้ง่าย แต่ข้อเสียของน้ำมันชีวภาพนั้น เมื่อเก็บไว้หรือใช้ที่อุณหภูมิสูง ค่าความหนืดจะสูงขึ้นตามเวลาเป็นผลมาจากสารประกอบของน้ำมันชีวภาพเกิดปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างกันเกิดการรวมตัวเป็นโมเลกุลขนาดใหญ่ นอกจากนี้ยังทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศด้วย

- การกัดกร่อน

น้ำมันชีวภาพมีองค์ประกอบของกรดคาร์บอกซิลิก เช่นกรดอะซิติกและฟอร์มิก จึงเป็นสาเหตุให้น้ำมันชีวภาพมีสภาพเป็นกรด ดังแสดงในตารางที่ 2.4 มีค่าความเป็นกรดประมาณ 2-3 จากเหตุผลนี้ น้ำมันชีวภาพจึงสามารถกัดกร่อนวัสดุภายในเครื่องยนต์ เช่น ท่อคาร์บอน และอะลูมิเนียม เป็นต้น

ตารางที่ 2.6 สมบัติของน้ำมันชีวภาพจากไพโรไลซิสไม้และน้ำมันเชื้อเพลิงหนัก [3]

สมบัติทางกายภาพ	น้ำมันชีวภาพ	น้ำมันเชื้อเพลิงหนัก
ความชื้น (ร้อยละโดยมวล)	14-30	0.1
ค่าความเป็นกรด	2.5	-
ค่าความถ่วงจำเพาะ	1.2	0.94
องค์ประกอบแบบแยกธาตุ (ร้อยละโดยมวล)		
คาร์บอน	54-58	85
ไฮโดรเจน	5.5-7.0	11
ออกซิเจน	35-40	1.0
ไนโตรเจน	0-0.2	0.3
กำมะถัน	0-0.2	0.1
ค่าความร้อน (เมกะจูลต่อกิโลกรัม)	16-19	40
ค่าความหนืดที่ 50 องศาเซลเซียส (เซนติพอยซ์)	40-100	180
ของแข็ง(ร้อยละโดยมวล)	0.2-1	1
กากที่เหลือจากการกลั่น(ร้อยละโดยมวล)	มากกว่า 50	1

น้ำมันชีวภาพสามารถผลิตได้จากกระบวนการลิกวิแฟกชัน ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์เชิงพลังงานความร้อน เชื้อเพลิงในหม้อไอน้ำ เตาเผา เครื่องยนต์ เครื่องกังหัน หรือเป็นสารตั้งต้นการผลิตสารเคมีภัณฑ์อื่นๆ ได้ เช่น สารเคมีเกษตร ปุ๋ย และสารควบคุมมลพิษ เป็นต้น

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Akhtar และคณะ [15] พบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อการผลิตน้ำมันชีวภาพโดยกระบวนการทำให้เป็นของเหลว (Hydrothermal liquefaction) ของชีวมวล ปัจจัยที่มีผลได้แก่ ชนิดของชีวมวล ขนาดของชีวมวล อุณหภูมิ ความดัน เวลาที่ใช้และอัตราส่วนที่ใช้ในกระบวนการพบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ที่ในช่วง 300-375 องศาเซลเซียสขึ้นอยู่กับชนิดของชีวมวล โดยขนาดของชีวมวลไม่ส่งผลต่อการผลิตน้ำมันชีวภาพมากนัก

Xiu และคณะ [16] ศึกษาปัจจัยการดำเนินงาน ได้แก่ ความดันเริ่มต้น เวลาการเกิดปฏิกิริยาและอุณหภูมิ ต่อกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลไพโรไลซิสของมูลสุกร พบว่าความดันของแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้นที่สูงขึ้นส่งผลให้ร้อยละผลได้น้ำมันชีวภาพสูงขึ้น และการไฮโดรเทอร์มัลไพโรไลซิสของมูลสุกร

เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์เมื่อใช้เวลาในการเกิดปฏิกิริยา 15 นาที นอกจากนี้การเพิ่มอุณหภูมิจาก 260 องศาเซลเซียส เป็น 340 องศาเซลเซียสส่งผลให้ผลได้น้ำมันชีวภาพสูงขึ้นจากร้อยละ 14.9 เป็นร้อยละ 24.2 ดังนั้นภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลไพโรไลซิสของมูลสุกร คือ อุณหภูมิ 340 องศาเซลเซียส เวลาในการเกิดปฏิกิริยา 15 นาที และความดันเริ่มต้น 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

Sukiran และคณะ [17] ศึกษาการไพโรไลซิสของทะเลสาบปาล์มเปล่าในเครื่องปฏิกรณ์แบบฟลูอิดไดซ์ฟิคเบด โดยทำการทดลองที่อุณหภูมิ 300-700 องศาเซลเซียส อัตราการให้ความร้อน 10-100 องศาเซลเซียสต่อนาที และขนาดของทะเลสาบปาล์มเปล่า ตั้งแต่ขนาดเล็กกว่า 90 91-106 107-125 และ 126-250 ไมโครเมตร จากผลการทดลองที่ได้ พบว่าที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส อัตราการให้ความร้อน 100 องศาเซลเซียสต่อนาที และขนาดของทะเลสาบปาล์มเปล่าคือ 91-106 ไมโครเมตร ให้ผลได้น้ำมันชีวภาพสูงสุดถึงร้อยละ 42.28

Gan และคณะ [18] ศึกษาผลของการเติมกลีเซอรอลดิบในกระบวนการสลายตัวของซังข้าวโพดด้วยความร้อนต่อร้อยละผลได้และคุณภาพของน้ำมันชีวภาพ จากการทดลองพบว่าที่อุณหภูมิ 305 องศาเซลเซียส เวลาในการเกิดปฏิกิริยา 20 นาที และชีวมวลร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก (ซังข้าวโพด) ให้ผลได้น้ำมันสูงสุดคือร้อยละ 23.9 ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าเมื่อมีการเติมกลีเซอรอลดิบเพิ่มมากขึ้น ร้อยละผลได้ของน้ำมันชีวภาพเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 23.9 เป็นร้อยละ 36.3นอกจากนี้ยังช่วยปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันที่ได้ ในแง่ของความหนาแน่นและความหนืด

Xiu และคณะ [11] ศึกษาไฮโดรเทอร์มัลไพโรไลซิสของมูลสุกรในช่วงอุณหภูมิ 340 องศาเซลเซียสและความดัน 0.65 เมกะพาสคัล โดยมีการเติมกลีเซอรอลดิบ พบว่าเมื่อมีการเติมกลีเซอรอลดิบจะทำให้ร้อยละผลได้น้ำมันชีวภาพมีค่าสูงขึ้น และจะมีการกำหนดอัตราส่วนกลีเซอรอลดิบกับมูลสุกร พบว่าร้อยละผลได้น้ำมันชีวภาพสูงสุดคือ 68 โดยใช้อัตราส่วนของมูลสุกรต่อกลีเซอรอลดิบ 1:3 และพบว่ากรดไขมันเป็นองค์ประกอบที่สำคัญในกลีเซอรอลดิบที่ส่งผลทำให้ร้อยละผลได้น้ำมันชีวภาพเพิ่มสูงขึ้น

บทที่ 3

เครื่องมือและวิธีการทดลอง

3.1 สารตั้งต้นและสารเคมี

- ทะลายปาล์มน้ำมันเปล่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 150-250 ไมโครเมตร
- กลีเซอรอล
- กรดโอเลอิก
- ไตคลอโรมีเทน
- น้ำปราศจากไอออน
- ไนโตรเจน ความบริสุทธิ์ 99.99% จากบริษัท แพรกแอร์ (ประเทศไทย) จำกัด

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมทะลายปาล์มเปล่า

- เครื่องบดชีวมวลชนิดหยาบและละเอียด
- เครื่องเขย่าตะแกรงร่อน (Sieve shaker)
- ตะแกรงร่อนขนาด 150 และ 250 ไมโครเมตร

3.2.2 เครื่องปฏิกรณ์แรงดันสูง (Parr reactor)

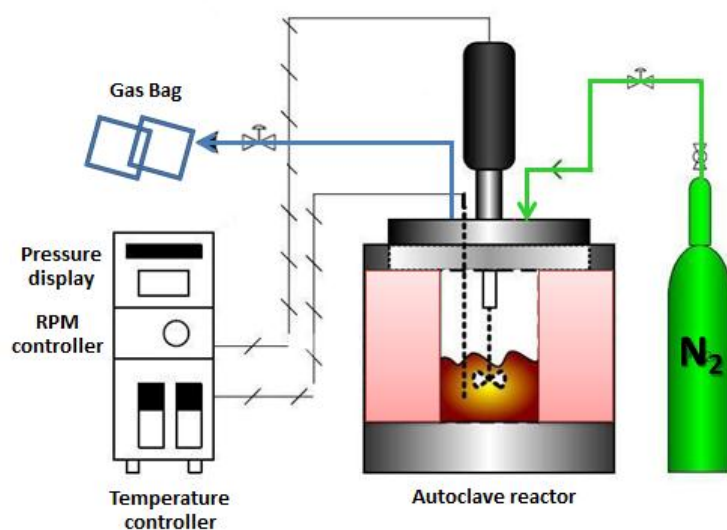
เครื่องปฏิกรณ์แรงดันสูง (Parr reactor) ขนาด 500 มิลลิลิตร ตัวเครื่องปฏิกรณ์ทำจากเหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless steel) ประกอบไปด้วย อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิพร้อมชุดควบคุมอุณหภูมิ (Temperature controller) เกจวัดความดัน (Pressure gauge) ระบบให้ความร้อน (Heater) ระบบหล่อเย็น (Cooling system) และอุปกรณ์การกวนซึ่งประกอบด้วยใบกวนพร้อมชุดควบคุมและวัดความเร็วรอบของใบกวน โดยตัวเครื่องและอุปกรณ์ที่ประกอบกับเครื่องสามารถทำงานที่ความดันสูงสุดไม่เกิน 350 บาร์ และอุณหภูมิสูงสุดไม่เกิน 500 องศาเซลเซียส เครื่องปฏิกรณ์แรงดันสูง แสดงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 เครื่องปฏิกรณ์แรงดันสูง (Parr reactor)

3.2.3 แบบจำลองของอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในการทดลอง แสดงดังรูปที่ 3.2 ประกอบไปด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้

- ถัง stainless ขนาด 350 มิลลิลิตร
- ถังแก๊สไนโตรเจน ความบริสุทธิ์ 99.99%
- อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิพร้อมชุดควบคุมอุณหภูมิ (Temperature Controller)
- เกจวัดความดัน (Pressure gauge)
- ระบบให้ความร้อน (Heater)
- ระบบหล่อเย็น (Cooling system)
- ถุงเก็บแก๊สตัวอย่าง (Sampling bag) ขนาด 2 ลิตร



รูปที่ 3.2 แบบจำลองของอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการทดลอง

3.2.4 อุปกรณ์การแยกผลิตภัณฑ์

อุปกรณ์การแยกผลิตภัณฑ์ประกอบด้วยหลอดทดลอง และอุปกรณ์ให้ความร้อน

3.2.5 เครื่องวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (CHN analyzer)

การหาค่าคาร์บอน ไฮโดรเจน และไนโตรเจนในทะเลสาบปาล์ม น้ำมันปลา และน้ำมันชีวภาพ ทำได้โดยใช้เครื่องวิเคราะห์แบบแยกธาตุ ยี่ห้อ Leco รุ่น CHN-2000 แสดงดังรูปที่ 3.3 ผลการวิเคราะห์คิดเป็นร้อยละธาตุองค์ประกอบแต่ละชนิดโดยน้ำหนักของชีวมวลหรือน้ำมันชีวภาพที่ทำการวิเคราะห์



รูปที่ 3.3 เครื่องวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (CHN analyzer)

3.2.6 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (Gas chromatography)

การหาค่าประกอบของแก๊สทำได้โดยใช้เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟียี่ห้อ Shimadzu รุ่น GC-2014 แสดงดังรูปที่ 3.4 โดยภาวะที่ใช้ในการวิเคราะห์แก๊สผลิตภัณฑ์แสดงดังตารางที่ 3.1



รูปที่ 3.4 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (Gas chromatography)

ตารางที่ 3.1 ภาวะที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์แก๊สด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (Gas chromatography)

แก๊สพา (carrier gas)	แก๊สอาร์กอน (Ar)
ชนิดคอลัมน์	Unibeads C packed column
อุณหภูมิการฉีด (injector temperature)	120 องศาเซลเซียส
อุณหภูมิคอลัมน์ (oven column temperature)	50 ถึง 180 องศาเซลเซียส
ระบบตรวจวัด (detector)	ระบบวัดสภาพการนำความร้อน (TCD)

3.2.7 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี (Gas chromatography-mass spectrometry)

การหาค่าประกอบของน้ำมันชีวภาพที่ได้จากกระบวนการลิกวิแฟกชันทำได้โดยใช้เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี(GC/MS) ยี่ห้อ shimadzu รุ่น GC-2010 แสดงดังรูปที่ 3.5 โดยภาพที่ใช้ในการวิเคราะห์หาค่าประกอบของน้ำมันชีวภาพแสดงดังตารางที่ 3.2



รูปที่ 3.5 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี
(Gas chromatography-mass spectrometry, GC/MS)

ตารางที่ 3.2 ภาพที่ใช้ในการวิเคราะห์แก๊สด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี

แก๊สพา (carrier gas)	แก๊สพา (carrier gas)
ชนิดคอลัมน์	DB-5 column
อุณหภูมิการฉีด (injector temperature)	180 องศาเซลเซียส
อุณหภูมิคอลัมน์ (oven column temperature)	40 ถึง 200 องศาเซลเซียส
อุณหภูมิท่อส่งผ่าน (transfer line temperature)	200 องศาเซลเซียส
อุณหภูมิในการผลิตไอออน (ion source temperature)	200 องศาเซลเซียส

3.3 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

3.3.1 การเตรียมทะเลลายปาล์มน้ำมันเปล่า

บดและคัดขนาดทะเลลายปาล์มน้ำมันเปล่าให้มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 150 ถึง 250 ไมโครเมตร ด้วยเครื่องเขย่าตะแกรงร่อนขนาด 150 และ 250 ไมโครเมตร นำทะเลลายปาล์มน้ำมันเปล่าที่คัดขนาดแล้วไปอบเพื่อไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

3.3.2 การวิเคราะห์สมบัติของชีวมวล

- วิเคราะห์แบบประมาณ (Proximate analysis) วิเคราะห์ตามมาตรฐานของ ASTM D3172-3175 ได้แก่ ปริมาณความชื้น ปริมาณเถ้า ปริมาณสารระเหย และปริมาณคาร์บอนคงตัว
- วิเคราะห์แบบแยกธาตุ (Ultimate analysis) โดยใช้เครื่อง CHN analyzer เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณองค์ประกอบต่างๆ ได้แก่ คาร์บอน ไฮโดรเจน และ ไนโตรเจน

3.3.3 กระบวนการลิกวิแฟกชัน

1. ชั่งทะเลลายปาล์มน้ำมันเปล่า 30 กรัม ผสมกรดโอเลอิกร้อยละ 0-25 ในตัวกลาง โดยใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนักของสารละลายต่อทะเลลายปาล์มน้ำมันเปล่า (4:1) ลงในถ้วย stainless และประกอบลงในเครื่องปฏิกรณ์
2. ทำการเป่าไล่อากาศและแก๊สปนเปื้อนที่อยู่ในเครื่องปฏิกรณ์ด้วยแก๊สไนโตรเจน หลังจากนั้นอัดความดันแก๊สไนโตรเจน 10 บาร์
3. ตั้งค่าความเร็วรอบของใบกวนที่ 200 รอบต่อนาที
4. ให้ความร้อนที่เตาจนได้อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส จากนั้นยกเตาขึ้นและปรับอุณหภูมิตามสภาวะที่ศึกษา เมื่อถึงอุณหภูมิที่กำหนด ทำการจับเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาตามที่ได้วางแผนการทดลองไว้
5. เมื่อครบระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา ทำการลดอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์จนถึง 35 องศาเซลเซียส
6. เก็บตัวอย่างผลิตภัณฑ์แก๊สด้วยถุงเก็บแก๊สขนาด 2 ลิตร และนำผลิตภัณฑ์แก๊สที่ได้ไปวิเคราะห์องค์ประกอบด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (GC)

7. ส่วนผลิตภัณฑ์ที่เหลือซึ่งมีลักษณะเป็นของผสมนำไปทำการระเหยน้ำมันชีวภาพ โดยการให้ความร้อนกับผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการจนถึง 350 องศาเซลเซียส และทำการหล่อเย็นซึ่งจะได้น้ำและน้ำมันควบแน่นออกมา
8. ทำการแยกน้ำมันชีวภาพจากผลิตภัณฑ์ของเหลวโดยการชะด้วยตัวทำละลายไดคลอโรมีเทน ซึ่งของเหลวจะแบ่งเป็น 2 ชั้น ได้แก่ ชั้นของน้ำ (ด้านบน) และชั้นของตัวทำละลายไดคลอโรมีเทน (ด้านล่าง) จากนั้นนำชั้นของตัวทำละลายไดคลอโรมีเทนมาตั้งระเหยไว้ข้ามคืน เพื่อระเหยแยกตัวทำละลายออกจากผลิตภัณฑ์น้ำมันชีวภาพที่ได้จากกระบวนการ
9. ชั่งน้ำหนักน้ำมันชีวภาพที่เหลือภายหลังการระเหย และนำไปคำนวณหาร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ นำน้ำมันชีวภาพที่ได้ไปวิเคราะห์แบบแยกธาตุด้วยเครื่อง CHN analyzer และ GC/MS ตามลำดับ

การศึกษาผลของกรดโอเลอิกต่อกระบวนการลิควิแฟกชันของทะเลลายปาล์มน้ำมันเปล่าในกลีเซอรอลและน้ำ มีตัวแปรที่จะศึกษาดังนี้

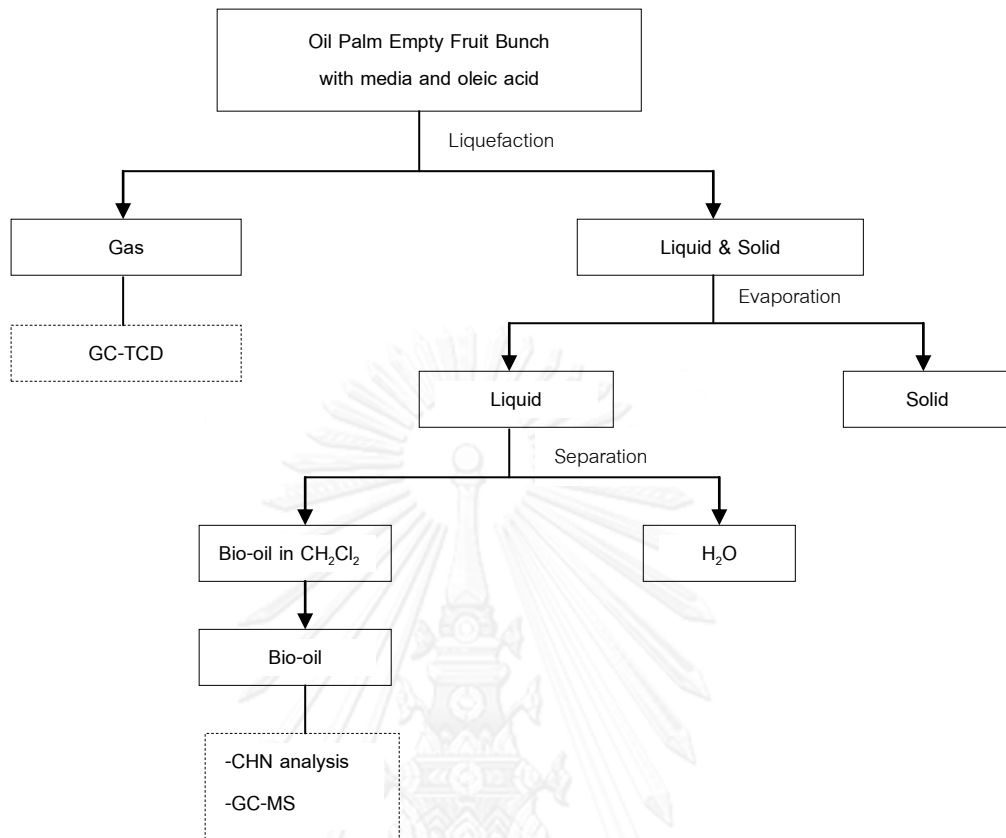
อุณหภูมิของการลิควิแฟกชัน (325 และ 375 องศาเซลเซียส)

เวลาในการเกิดปฏิกิริยา (30 และ 60 นาที)

กรดโอเลอิกในกลีเซอรอล (ร้อยละ 0, 10, 20 และ 25)

กรดโอเลอิกในน้ำ (ร้อยละ 0, 10, 20 และ 25)

กรดโอเลอิกในตัวกลางผสม (ร้อยละ 0, 10, 20 และ 25)



รูปที่ 3.6 แผนผังขั้นตอนการทดลอง

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาผลของกรดโอเลอิกต่อกระบวนการลิควิแฟกชันของทะเลาะปาล์มน้ำมันเปล่าในกลีเซอรอลและน้ำภายในเครื่องปฏิกรณ์แรงดันสูง โดยศึกษาอิทธิพลของปัจจัยดำเนินการต่างๆ ได้แก่ อุณหภูมิ เวลาในการเกิดปฏิกิริยา กรดโอเลอิกในกลีเซอรอล กรดโอเลอิกในน้ำ และกรดโอเลอิกในตัวกลางผสม ที่มีต่อร้อยละผลได้และองค์ประกอบของน้ำมันชีวภาพโดยทำการวิเคราะห์องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์น้ำมันชีวภาพที่ได้จากกระบวนการลิควิแฟกชัน ที่ภาวะต่างๆ ด้วยเครื่องมือวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (CHN Analyzer) และเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี (GC/MS) และวิเคราะห์องค์ประกอบผลิตภัณฑ์แก๊สด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี (GC) ซึ่งสามารถแบ่งผลการทดลองได้เป็น 8 ส่วน ดังนี้

- ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของทะเลาะปาล์มน้ำมันเปล่าได้แก่การวิเคราะห์แบบประมาณ (Proximate analysis) และการวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (Ultimate analysis)
- ผลการวิเคราะห์พฤติกรรมการสลายตัวทางความร้อนของทะเลาะปาล์มน้ำมันเปล่าด้วยเครื่อง thermogravimetric analyzer (TG-DTA)
- ผลของอุณหภูมิในกลีเซอรอลต่อร้อยละผลได้และองค์ประกอบออกซิเจนในน้ำมันชีวภาพ
- ผลของเวลาในเกิดปฏิกิริยาในกลีเซอรอลต่อร้อยละผลได้และองค์ประกอบออกซิเจนในน้ำมันชีวภาพ
- ผลของกรดโอเลอิกในกลีเซอรอลต่อร้อยละผลได้และองค์ประกอบออกซิเจนในน้ำมันชีวภาพ
- ผลของกรดโอเลอิกในน้ำต่อร้อยละผลได้และองค์ประกอบออกซิเจนในน้ำมันชีวภาพ

- ผลของชนิดของตัวกลางต่อร้อยละผลได้และองค์ประกอบออกซิเจนในน้ำมันชีวภาพ
- ผลกรดโอเลอิกในตัวกลางผสมต่อร้อยละผลได้และองค์ประกอบออกซิเจนในน้ำมันชีวภาพ



4.1 องค์ประกอบทางเคมีของทะเลสาบปาล์มน้ำมันเปล้า

ตารางที่ 4.1 แสดงข้อมูลการวิเคราะห์แบบประมาณ (Proximate analysis) และแบบแยกธาตุ (Ultimate analysis) ของทะเลสาบปาล์มน้ำมันเปล้า พบว่า ทะเลสาบปาล์มน้ำมันเปล้ามีองค์ประกอบของสารระเหยสูงถึงร้อยละ 72.13 แต่มีปริมาณคาร์บอนคงตัวต่ำร้อยละ 11.16 อีกทั้งเมื่อพิจารณาองค์ประกอบธาตุ พบว่า อัตราส่วนระหว่างออกซิเจนต่อคาร์บอนของทะเลสาบปาล์มน้ำมันเปล้ามีค่าเท่ากับ 0.63 ถือว่ามีค่ามากเมื่อเทียบกับชีวมวลโดยทั่วไป นอกจากนี้เมื่อพิจารณาการวิเคราะห์แบบแยกธาตุ พบว่าปริมาณออกซิเจนในทะเลสาบปาล์มน้ำมันเปล้ามีสูงถึงร้อยละ 50.72 และมีปริมาณของคาร์บอนและไฮโดรเจนร้อยละ 43.01 และ 5.53 ตามลำดับ และจากการวิเคราะห์ค่าความร้อนพบว่าค่าความร้อนของทะเลสาบปาล์มน้ำมันเปล้ามีค่าเท่ากับ 17 กิโลจูลต่อกิโลกรัม

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์แบบประมาณ (Proximate analysis) และแบบแยกธาตุ (Ultimate analysis)

การวิเคราะห์แบบประมาณ (ร้อยละโดยน้ำหนัก, as received)	
ความชื้น (Moisture)	9.72
สารระเหย (Volatile matter)	72.13
เถ้า (Ash)	6.99
คาร์บอนคงตัว (Fixed carbon)*	11.16
การวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (ร้อยละโดยน้ำหนัก, daf)	
คาร์บอน (C)	43.01
ไฮโดรเจน (H)	5.53
ไนโตรเจน (N)	0.74
ออกซิเจน (O)*	50.72
ค่าความร้อน (MJ/kg) (daf)	17.00

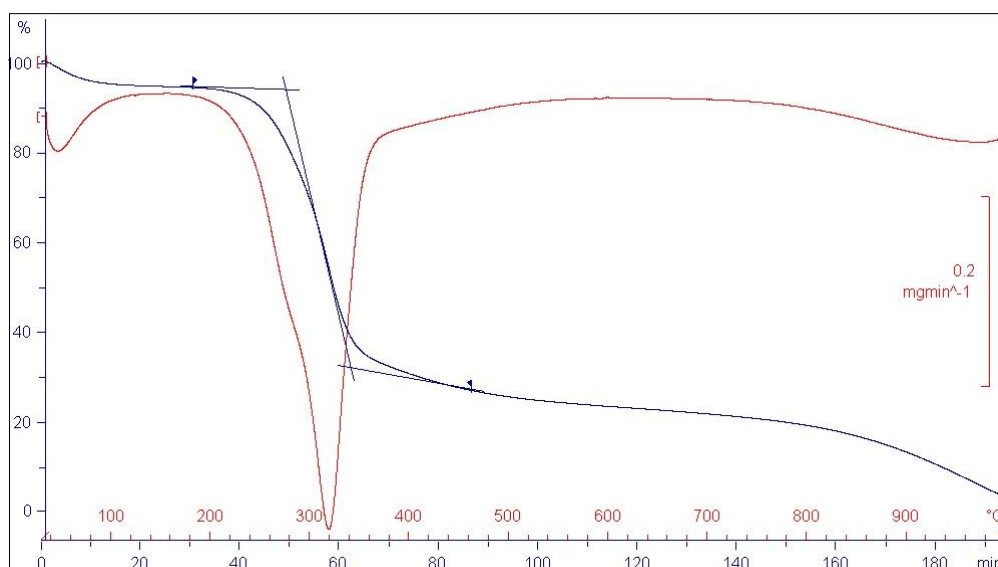
คาร์บอนคงตัว* = 100 - ผลรวมขององค์ประกอบแต่ละชนิดยกเว้นคาร์บอนคงตัว

ออกซิเจน* = 100 - ผลรวมของปริมาณธาตุแต่ละชนิด

*daf = น้ำหนักแห้ง

4.2 พฤติกรรมการสลายตัวทางความร้อนของทะเลาะปาล์มน้ำมันปลา

พฤติกรรมการสลายตัวทางความร้อนของทะเลาะปาล์มน้ำมันปลาจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Thermogravimetric analyzer (TG-DTA) ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจนที่ช่วงอุณหภูมิ 30 ถึง 1000 องศาเซลเซียส อัตราการให้ความร้อน 5 องศาเซลเซียสต่อนาที แสดงดังรูปที่ 4.1 พบว่าทะเลาะปาล์มน้ำมันปลาเริ่มมีการสลายตัวที่อุณหภูมิประมาณ 220 องศาเซลเซียสและมีอัตราการสลายตัวสูงสุดที่อุณหภูมิประมาณ 320 องศาเซลเซียสและจะสลายตัวอย่างสมบูรณ์ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส จากการวิเคราะห์พฤติกรรมการสลายตัวทางความร้อนของทะเลาะปาล์มน้ำมันปลาทำให้ทราบช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมที่จะใช้ในการศึกษา



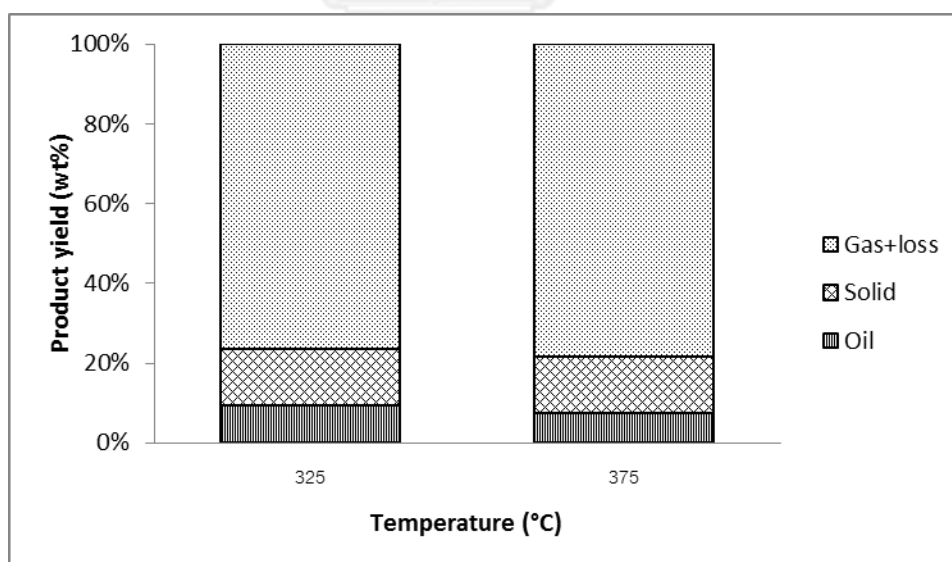
รูปที่ 4.1 พฤติกรรมการสลายตัวทางความร้อนของทะเลาะปาล์มปลาจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค TG-DTA

4.3 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อกระบวนการลิกวิแฟกชัน

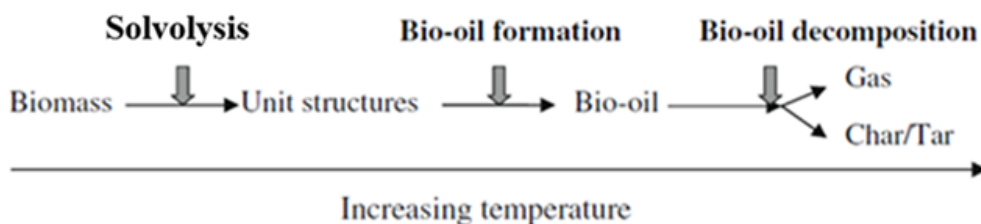
ทำการศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีต่อกระบวนการลิกวิแฟกชัน ที่ความดันไนโตรเจนเริ่มต้น 10 บาร์ อุณหภูมิ 325 และ 375 องศาเซลเซียส เวลาในการเกิดปฏิกิริยา 30 นาที ทะลายปาล์มน้ำมันเปล่า 30 กรัม และอัตราส่วนของกลีเซอรอลต่อชีวมวลเท่ากับ 4 ต่อ 1 สามารถแสดงและอภิปรายผลได้ดังนี้

■ ผลของอุณหภูมิต่อร้อยละผลได้ของน้ำมันชีวภาพ

ผลของอุณหภูมิต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการลิกวิแฟกชันของทะลายปาล์มน้ำมันเปล่าร่วมกับกลีเซอรอลแสดงดังรูปที่ 4.2 จากการศึกษาพบว่าที่อุณหภูมิ 325 องศาเซลเซียส จะให้ร้อยละผลได้ของน้ำมันชีวภาพมากกว่าที่อุณหภูมิ 375 องศาเซลเซียส เพียงเล็กน้อย โดยให้ร้อยละผลได้ของน้ำมันชีวภาพเท่ากับ 9.5 และ 7.29 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ในขณะที่ร้อยละผลได้ของของแข็งไม่เปลี่ยนแปลงมากนักเนื่องจากที่อุณหภูมิสูงส่งผลให้น้ำมันชีวภาพที่ได้จากการสลายตัวขั้นต้น เกิดปฏิกิริยาขั้นที่สองหรือการสลายตัว (Cracking) ไปเป็นผลิตภัณฑ์แก๊สเพิ่มมากขึ้น [19] ดังแผนภาพการผลิตและสลายตัวของน้ำมันชีวภาพที่แสดงในรูปที่ 4.3



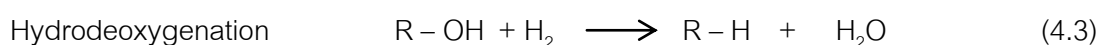
รูปที่ 4.2 ผลของอุณหภูมิต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการลิกวิแฟกชัน

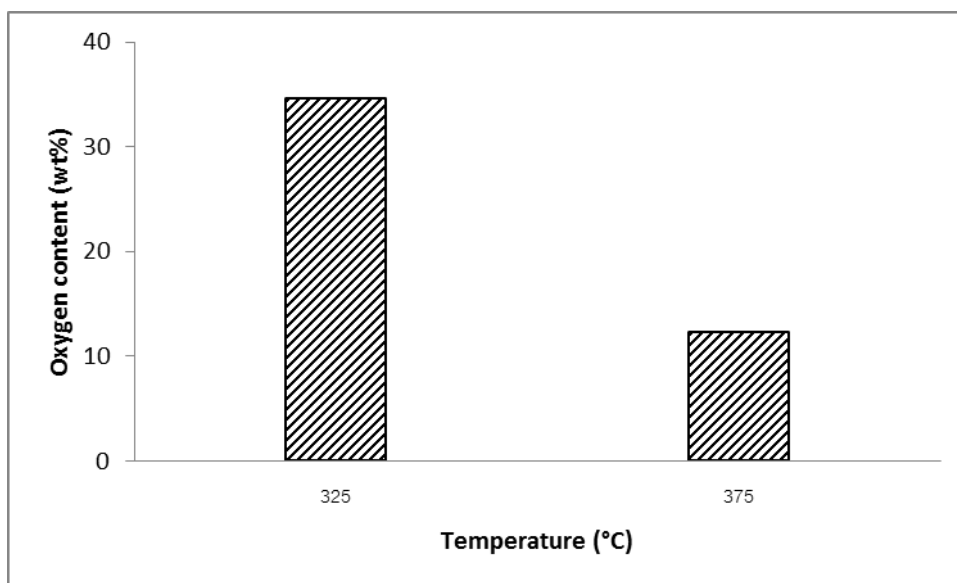


รูปที่ 4.3 แนวทางการสลายตัวของชีวมวลในกระบวนการลิกวิแฟกชัน [3]

■ ผลของอุณหภูมิต่อองค์ประกอบของออกซิเจนในน้ำมันชีวภาพ

ผลของอุณหภูมิต่อองค์ประกอบของออกซิเจนในน้ำมันชีวภาพที่ได้จากกระบวนการลิกวิแฟกชันของทะเลสาบปาล์มน้ำมันเปลาร่วมกับกลีเซอรอลแสดงดังรูปที่ 4.4 พบว่า น้ำมันชีวภาพที่ผลิตได้ที่อุณหภูมิ 325 องศาเซลเซียส มีปริมาณออกซิเจนเป็นองค์ประกอบสูงกว่าน้ำมันชีวภาพที่ผลิตได้ที่อุณหภูมิ 375 องศาเซลเซียส โดยน้ำมันชีวภาพที่อุณหภูมิ 325 และ 375 องศาเซลเซียส มีปริมาณออกซิเจนร้อยละ 34.66 และ 12.27 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ โดยทั่วไปแล้วปฏิกิริยาการจำกัดออกซิเจนในน้ำมันชีวภาพมีหลายปฏิกิริยา เช่น ปฏิกิริยาดีคาร์บอนิลเลชัน (Decarbonylation) ปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชัน (Decarboxylation) ปฏิกิริยาไฮโดรเดออกซิเจเนชัน (Hydrodeoxygenation) แสดงดังสมการที่ 4.1, 4.2 และ 4.3 ตามลำดับ ทั้งนี้สันนิษฐานว่าการเพิ่มอุณหภูมิจะทำให้ปฏิกิริยาดีคาร์บอนิลเลชันและดีคาร์บอกซิเลชันเกิดได้ดีกว่าที่อุณหภูมิต่ำ เนื่องจากปฏิกิริยาดีคาร์บอนิลเลชันและดีคาร์บอกซิเลชันเป็นปฏิกิริยาดูดความร้อน [20] ดังนั้นที่อุณหภูมิสูงจึงสามารถกำจัดออกซิเจนได้ดีกว่าและได้ผลิตภัณฑ์น้ำมันที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบต่ำกว่าที่อุณหภูมิต่ำ เมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์องค์ประกอบแก๊สดังตารางที่ 4.2 พบว่า ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์และคาร์บอนมอนอกไซด์เพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองที่ได้กล่าวว่าปฏิกิริยาดีคาร์บอนิลเลชันและปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชันเกิดได้ดีที่อุณหภูมิสูง





รูปที่ 4.4 ผลของอุณหภูมิต่อองค์ประกอบของออกซิเจนในน้ำมันชีวภาพ
ที่ได้จากระบวนการลิกวิแฟกชัน

ตารางที่ 4.2 ผลของอุณหภูมิต่อองค์ประกอบผลิตภัณฑ์แก๊สที่ได้จากระบวนการลิกวิแฟกชัน

Temperature (°C)	Gas composition (mol)			
	H ₂	CO	CH ₄	CO ₂
325	1.02	6.48	0.95	18.37
375	7.72	10.69	4.11	41.23

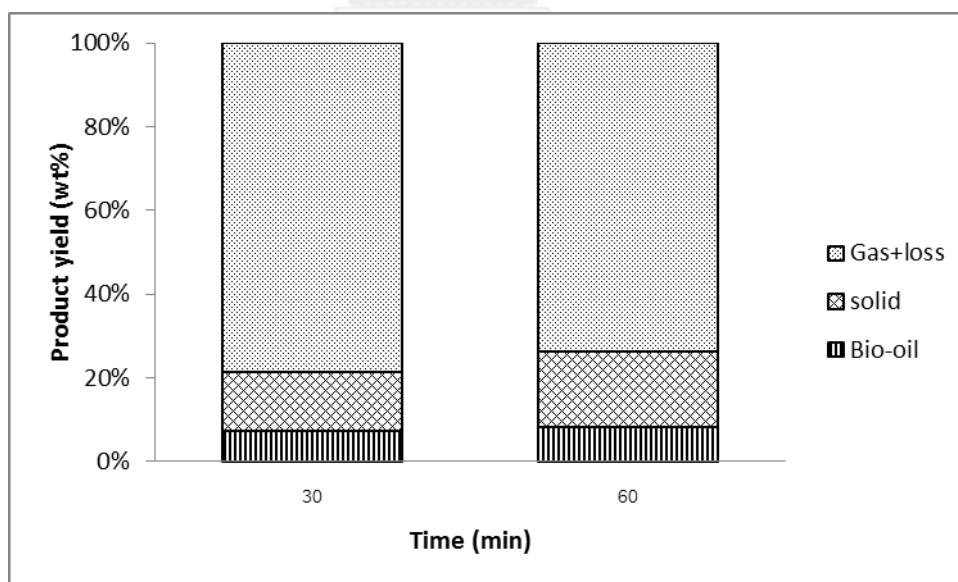
ดังนั้นเมื่อพิจารณาจากผลการทดลองโดยรวมสรุปได้ว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตน้ำมันชีวภาพ คือ อุณหภูมิ 375 องศาเซลเซียส เนื่องจากให้ร้อยละผลได้ของน้ำมันชีวภาพลดลงเพียงเล็กน้อยแต่ให้ปริมาณออกซิเจนต่ำกว่าที่อุณหภูมิ 325 องศาเซลเซียส ดังนั้นเราจึงใช้อุณหภูมิ 375 องศาเซลเซียสทำการทดลองต่อไป

4.4 ผลของเวลาในการเกิดปฏิกิริยาที่มีต่อกระบวนการลิกวิแฟกชัน

ทำการศึกษาผลของเวลาในการเกิดปฏิกิริยาที่มีต่อกระบวนการลิกวิแฟกชัน ที่ความดันไนโตรเจนเริ่มต้น 10 บาร์ อุณหภูมิ 375 องศาเซลเซียส เวลาในการเกิดปฏิกิริยา 30 และ 60 นาที ทะลายปาล์มน้ำมันเปล่า 30 กรัม และอัตราส่วนของกลีเซอรอลต่อชีวมวลเท่ากับ 4 ต่อ 1 สามารถแสดงและอภิปรายผลได้ดังนี้

■ ผลของเวลาในการเกิดปฏิกิริยาต่อร้อยละผลได้ของน้ำมันชีวภาพ

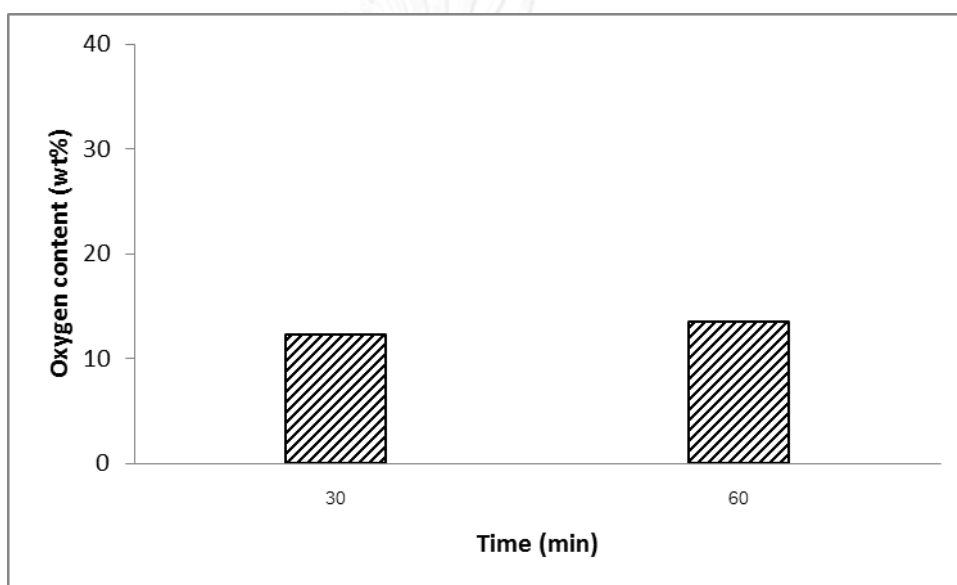
ผลของเวลาในการเกิดปฏิกิริยาต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการลิกวิแฟกชันของทะลายปาล์มน้ำมันเปล่าร่วมกับกลีเซอรอลแสดงดังรูปที่ 4.5 จากการทดลองพบว่า เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยาจาก 30 เป็น 60 นาที ร้อยละผลได้ของน้ำมันชีวภาพที่ได้ไม่แตกต่างกันมากนัก โดยให้ร้อยละผลได้ของน้ำมันชีวภาพเท่ากับร้อยละ 7.29 และ 8.3 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ในขณะที่ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ของแข็งเพิ่มขึ้นเป็นผลเนื่องจากการเกิดขึ้นของปฏิกิริยาขั้นที่สองคือปฏิกิริยารีโพลิเมอไรเซชัน (Repolymerization) ซึ่งเป็นการรวมตัวกันของโมเลกุลทำให้เกิดเป็นของเหลวและของแข็ง [21] นอกจากนี้ เมื่อเวลาในการเกิดปฏิกิริยามากขึ้นยังทำให้กลีเซอรอลสามารถทำปฏิกิริยากับผลิตภัณฑ์น้ำมัน และได้เป็นสารประกอบที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงขึ้น



รูปที่ 4.5 ผลของเวลาในการเกิดปฏิกิริยาต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการลิกวิแฟกชัน

- ผลของเวลาในการเกิดปฏิกิริยาต่อองค์ประกอบออกซิเจนในน้ำมันชีวภาพ

ผลของเวลาในการเกิดปฏิกิริยาต่อองค์ประกอบของออกซิเจนในน้ำมันชีวภาพที่ได้จากกระบวนการลิกวิแฟกชันของทะเลสาบปาล์มน้ำมันเปล้าร่วมกับกลีเซอรอลแสดงดังรูปที่ 4.6 พบว่า เมื่อใช้เวลาในการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นจาก 30 เป็น 60 นาที ปริมาณออกซิเจนในน้ำมันชีวภาพที่เกิดขึ้นไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก แสดงว่าเวลาในการเกิดปฏิกิริยาไม่มีผลทำให้ปริมาณออกซิเจนเปลี่ยนแปลง



รูปที่ 4.6 ผลของเวลาในการเกิดปฏิกิริยาต่อองค์ประกอบออกซิเจนในน้ำมันชีวภาพที่ได้จากกระบวนการลิกวิแฟกชัน

ตารางที่ 4.3 แสดงผลของเวลาในการเกิดปฏิกิริยาต่อองค์ประกอบผลิตภัณฑ์แก๊สที่ได้จากกระบวนการลิกวิแฟกชันของทะเลสาบปาล์มน้ำมันเปล้าร่วมกับกลีเซอรอลพบว่าเมื่อเพิ่มเวลาในการเกิดปฏิกิริยาจาก 30 เป็น 60 นาที องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์แก๊สที่ได้ไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก

ตารางที่ 4.3 ผลของเวลาในการเกิดปฏิกิริยาต่อองค์ประกอบผลิตภัณฑ์แก๊สที่ได้จากกระบวนการลิกวิแฟกซ์

Time (min)	Gas composition (mol)			
	H ₂	CO	CH ₄	CO ₂
30	7.72	10.69	4.11	41.23
60	8.62	8.59	4.03	42.77

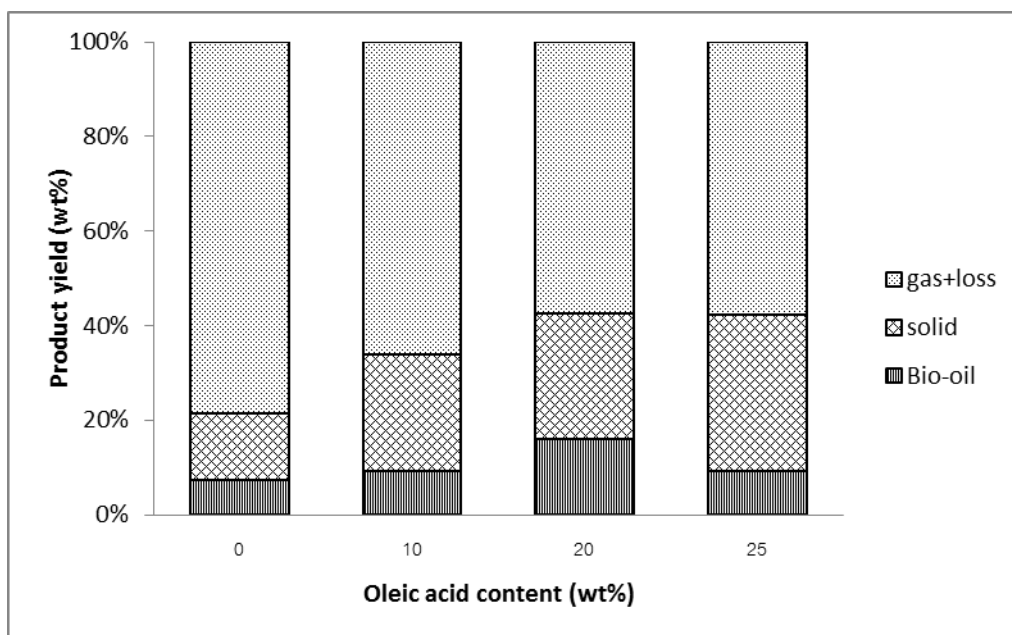
ดังนั้นเมื่อพิจารณาจากผลการทดลองโดยรวมสรุปได้ว่าเวลาที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตน้ำมันชีวภาพ คือ เวลา 30 นาที เนื่องจากให้ร้อยละผลได้และปริมาณออกซิเจนในน้ำมันชีวภาพไม่แตกต่างกันมากนัก

4.5 ผลของกรดโอเลอิกในกลีเซอรอล

ทำการศึกษาผลของกรดโอเลอิกในกลีเซอรอลที่มีต่อกระบวนการลิกวิแฟกซ์ ที่ความดันไนโตรเจนเริ่มต้น 10 บาร์ อุณหภูมิ 375 องศาเซลเซียส เวลาในการเกิดปฏิกิริยา 30 นาที ร้อยละของกรดโอเลอิกในกลีเซอรอล 0, 10, 20, 25 ทะลายปาล์มน้ำมันเปล่า 30 กรัม และอัตราส่วนของสารละลายต่อชีวมวลเท่ากับ 4 ต่อ 1 สามารถแสดงและอภิปรายผลได้ดังนี้

- ผลของกรดโอเลอิกในกลีเซอรอลต่อร้อยละผลได้ของน้ำมันชีวภาพ

ผลของกรดโอเลอิกในกลีเซอรอลต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการลิกวิแฟกซ์ของทะลายปาล์มน้ำมันเปลาร่วมกับสารละลายแสดงดังรูปที่ 4.7 จากการทดลองพบว่าเมื่อมีการเติมกรดโอเลอิกจะให้แนวโน้มของร้อยละผลได้ของน้ำมันชีวภาพเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ โดยการเติมกรดโอเลอิกร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก จะให้ผลได้ของน้ำมันชีวภาพสูงที่สุดคือ ร้อยละ 16 โดยน้ำหนัก อย่างไรก็ตามเมื่อปริมาณกรดโอเลอิกเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 25 โดยน้ำหนัก จะให้ร้อยละผลได้ของน้ำมันลดลงในขณะที่ร้อยละผลได้ของของแข็งเพิ่มสูงขึ้น



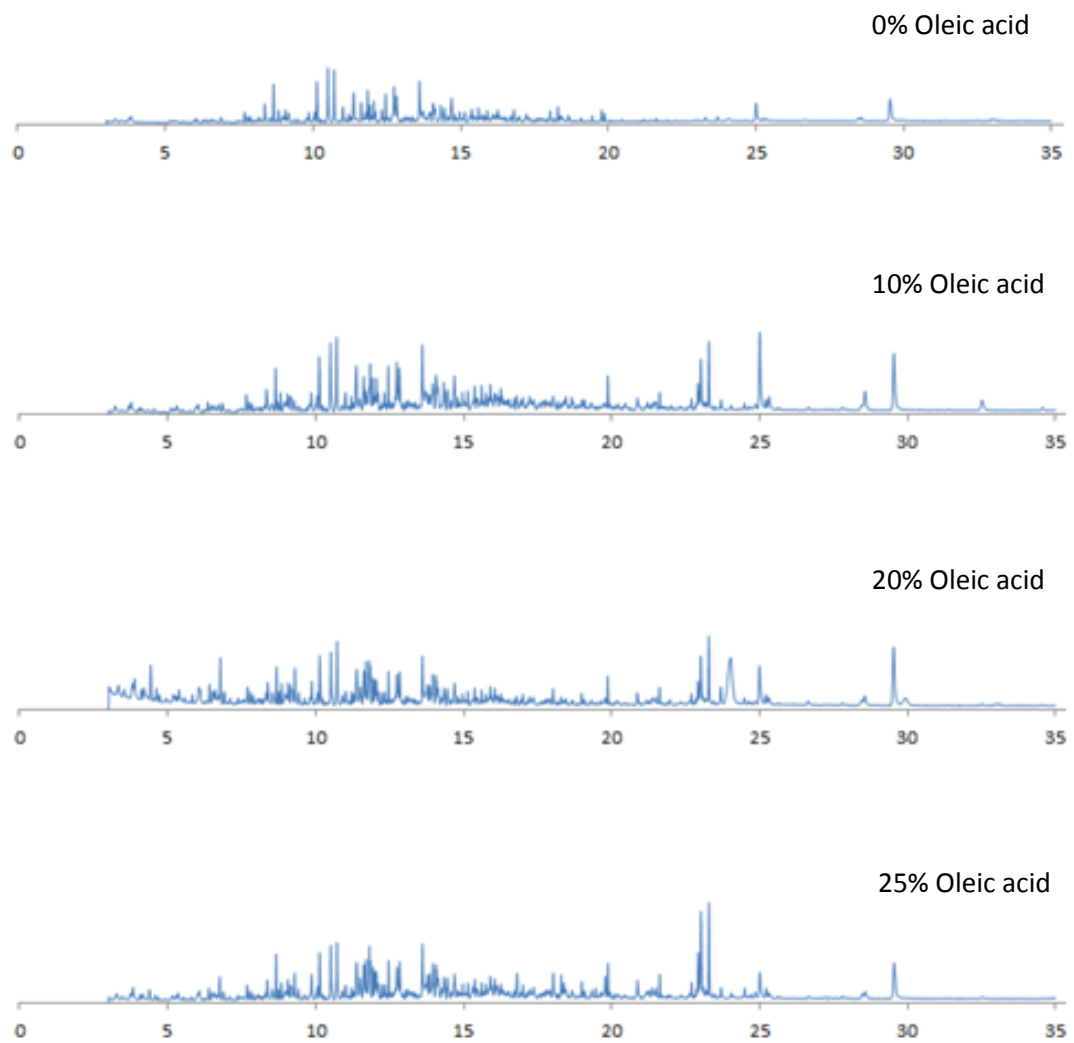
รูปที่ 4.7 ผลของกรดโอเลอิกในกลีเซอรอลต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์
ที่ได้จากกระบวนการลิกวิแฟกชัน

เมื่อพิจารณาคู่กับผลการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์น้ำมันด้วยเทคนิค GC/MS ดังผลการวิเคราะห์ที่แสดงในรูปที่ 4.8 และตารางที่ 4.4 ทำให้สันนิษฐานได้ว่าปฏิกิริยาหลักที่เกิดขึ้นในกระบวนการนี้คือ กลีเซอรอลทำหน้าที่ให้ไฮโดรเจนกับอนุมูลอิสระ (free radical) ที่เกิดจากการแตกตัวของชีวมวล ทำให้อนุมูลอิสระเหล่านี้เกิดความเสถียรกลายเป็นน้ำมันชีวภาพ และกลีเซอรอลทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน (Esterification) กับกรดโอเลอิกเกิดเป็นสารประกอบเอสเทอร์และน้ำ ซึ่งการไม่เติมกรดโอเลอิกจะเกิดปฏิกิริยาเพียงอย่างเดียวคือกลีเซอรอลทำหน้าที่ให้ไฮโดรเจนกับอนุมูลอิสระที่เกิดจากการแตกตัวของชีวมวล แต่เมื่อเติมกรดโอเลอิกจะเกิดปฏิกิริยาได้ทั้ง 2 แบบ ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น

จากรูปที่ 4.8 พบว่าลักษณะของโครมาโตแกรมของน้ำมันที่ได้จากทั้งสี่การทดลองส่วนใหญ่มีความคล้ายคลึงกัน เมื่อจำแนกองค์ประกอบหลักในน้ำมันชีวภาพได้แสดงดังตารางที่ 4.4 พบว่าสารประกอบหลักในน้ำมันชีวภาพได้แก่ อนุพันธ์ฟีนอล อนุพันธ์เบนซีน แอลดีไฮด์ และสารประกอบคีโตน เป็นต้น โดยสารประกอบในกลุ่มฟีนอลถือเป็นองค์ประกอบหลักในน้ำมันชีวภาพ โดยอนุพันธ์ฟีนอล เกิดจากการสลายตัวของหน่วยฟีนิลโพรเพน (Phenylpropane unit) ที่มีมากในองค์ประกอบลิกนินในชีวมวล [22]

ทั้งนี้การไม่เติมและเติมกรดโอเลอิกร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก องค์ประกอบของน้ำมันยังไม่ต่างกันมากนัก โดยองค์ประกอบส่วนใหญ่ยังเป็นสารประกอบที่ได้จากการสลายตัวของชีวมวลในตัวกลางกลีเซอรอล และการเติมกรดโอเลอิกที่ร้อยละ 10 ยังไม่พบสารประกอบเอสเทอร์อาจเนื่องจากกรดโอเลอิกน้อยเกินไปจึงยังไม่เกิดหรือเกิดได้น้อยจึงทำให้วิเคราะห์ด้วย GC/MS ไม่เจอ แต่

เมื่อเติมกรดโอเลอิกเป็นร้อยละ 20 และ 25 พบว่านอกจากมีสารประกอบที่เกิดจากการสลายตัวของ ชีวมวลแล้ว ยังมีสารประกอบเอสเทอร์เกิดขึ้น เช่น 10-Undecynoic acid, methyl ester, Acetic acid, octadecyl ester และ Butanoic acid, 5-methyl-2-(1-methylethyl) cyclohexyl ester เป็นต้น ซึ่งสารประกอบเอสเทอร์เหล่านี้เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน (Esterification reaction) ระหว่างกลีเซอรอลและกรดโอเลอิก นอกจากนั้นยังพบว่ายังมีสารประกอบจำพวก ไฮโดรคาร์บอนสายโซ่ตรง เช่น 8-Heptadecene และ Heptadecane เกิดขึ้น ซึ่งสารประกอบ เหล่านี้มาจากการแตกตัวของกรดโอเลอิก โดยปกติแล้วพันธะ C-C จะแตกตัวได้ยากเมื่อเทียบกับ พันธะ C-H และ C-O เมื่อเกิดการไพโรไลซิส แต่เมื่อพันธะ C-C ต่อกับหมู่คาร์บอกซิลพันธะจะ อ่อนแอมากทำให้เกิดการแตกตัวของพันธะได้ง่ายกว่าพันธะ C-C ที่ไม่ได้ต่อกับหมู่คาร์บอกซิล และได้ มีสารประกอบพวก n-heptadecane เกิดขึ้น [23] อย่างไรก็ตาม จากรูปที่ 4.7 เมื่อเติมกรดโอเลอิกที่ ร้อยละ 25 จะสังเกตเห็นว่าร้อยละผลได้ของน้ำมันชีวภาพลดลงในขณะที่ร้อยละผลได้ของของแข็ง เพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อเติมกรดโอเลอิกมากเกินไป กรดโอเลอิกจะสามารถแตกตัวเป็นอนุโมลอิสระ ซึ่ง อนุโมลอิสระ เหล่านี้จะรวมตัวกันเองหรือรวมตัวกับชีวมวลจึงทำให้เกิดของแข็งมากขึ้น



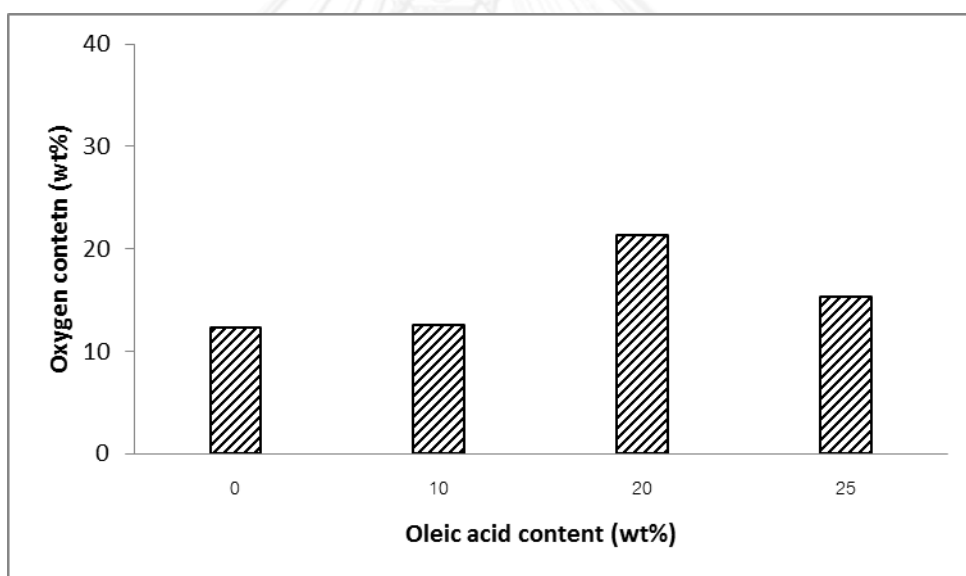
รูปที่ 4.8 โครมาโตแกรมของน้ำมันชีวภาพจากกระบวนการลิกวิแฟกชันที่ร้อยละกรดโอเลอิกต่างๆ

ตารางที่ 4.4 สารประกอบในน้ำมันชีวภาพจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค GC/MS

Time	Formula	CompName	Oleic acid content (wt%)			
			0%	10%	20%	25%
4.427	C8H18	Hexane, 2,4-dimethyl-	-	-	12.33	-
6.057	C8H10	Xylene	-	-	6.37	-
6.421	C7H12O	Cyclopentanone, 2,5-dimethyl-	-	-	7.09	-
6.782	C10H22	Decane	-	-	14.36	-
8.669	C6H6O	Phenol	11.34	12.83	11.87	13.53
9.866	C12H20O2	10-Undecynoic acid, methyl ester	-	-	7.88	8.02
10.121	C7H10O	2-Cyclopenten-1-one,2,3-dimethyl-	12.02	15.89	15.02	13.95
10.501	C7H8O	Phenol, 3-methyl-	15.69	19.68	15.9	15.88
10.71	C8H12O	2-Cyclopenten-1-one,2,3,4-trimethyl-	15.18	21.25	18.85	16.72
11.502	C20H40O2	Acetic acid, octadecyl ester	-	-	-	7.07
11.707	C11H24	Undecane	-	6.65	13.45	12.15
11.817	C11H22	1-Undecene	-	7.73	6.41	15.76
11.818	C11H22	Cyclopropane, 1-pentyl-2-propyl-	-	-	13.57	-
11.846	C8H10O	Phenol, 2,5-dimethyl-	9.61	13.9	12.01	11.76
11.927	C9H8O	Benzofuran, 2-methyl-	5.61	10.13	8.75	10
12.46	C8H10O	Phenol, 2-ethyl-	8.51	13.38	10.6	11.8
12.742	C8H10O2	2,3-Dimethylhydroquinone	-	14.45	9.91	9.99
12.836	C10H14O2	2-Hexanoylfuran	8.02	-	-	-
13.603	C9H12O	Phenol, 2-ethyl-5-methyl-	12.13	19.15	14.92	16.4
18.031	C14H26O2	Butanoic acid, 5-methyl-2-(1-methylethyl) cyclohexyl ester	-	-	-	8.31
22.924	C17H34	8-Heptadecene	-	15.31	14.92	13.99
23.284	C17H36	Heptadecane	-	20.16	20.39	27.72
24.024	C17H14O	naphthalene, 1-(phenylmethoxy)-	-	-	14.41	-
25.004	C9H18Cl3O4P	2-Propanol, 1-chloro-, phosphate (3:1)	6.11	22.67	12.11	8.45
29.529	C16H22O4	Dibutyl phthalate	7.13	16.79	17.29	11.13

- ผลของกรดโอเลอิกในกลีเซอรอลต่อองค์ประกอบออกซิเจนของน้ำมันชีวภาพ

ผลของกรดโอเลอิกในกลีเซอรอลต่อองค์ประกอบของออกซิเจนในน้ำมันชีวภาพที่ได้จากกระบวนการลิควิแฟกชันของทะเลาะปาล์มน้ำมันเปลาร่วมกับสารละลายแสดงดังรูปที่ 4.9 พบว่าปริมาณออกซิเจนในน้ำมันที่ได้มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกับร้อยละผลได้ของน้ำมันชีวภาพ โดยเมื่อเติมกรดโอเลอิกร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก จะให้ปริมาณออกซิเจนสูงสุดเท่ากับร้อยละ 21.26 ซึ่งปริมาณออกซิเจนที่เพิ่มขึ้นนี้เป็นผลมาจากสารประกอบเอสเทอร์ที่เกิดจากกลีเซอรอลและกรดโอเลอิก ในขณะที่เมื่อเติมกรดโอเลอิกร้อยละ 25 โดยน้ำหนัก จะให้ปริมาณออกซิเจนลดลง เนื่องจากการเติมกรดโอเลอิกมากเกินไป กรดโอเลอิกจะเกิดการสลายตัวไปเป็นไฮโดรคาร์บอนสายโซ่ตรงและคาร์บอนไดออกไซด์ ทำให้คาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้น และยังทำให้สัดส่วนของไฮโดรคาร์บอนสายโซ่ตรงเพิ่มขึ้น จึงทำให้ปริมาณออกซิเจนลดลง [23] โดยสอดคล้องกับผลของผลิตภัณฑ์แก๊สที่เกิดขึ้นดังตารางที่ 4.5 พบว่าเมื่อเติมกรดโอเลอิกร้อยละ 25 โดยน้ำหนักจะให้คาร์บอนไดออกไซด์มากขึ้น



รูปที่ 4.9 ผลของกรดโอเลอิกในกลีเซอรอลที่มีต่อกระบวนการลิควิแฟกชันต่อร้อยละผลได้ของน้ำมันชีวภาพ

ตารางที่ 4.5 ผลของกรดโอเลอิกในกลีเซอรอลต่อองค์ประกอบผลิตภัณฑ์แก๊สที่ได้จากกระบวนการลิกวิแฟกซ์

Oleic acid content (wt%)	Gas composition (mol)			
	H ₂	CO	CH ₄	CO ₂
0	7.72	10.69	4.11	41.23
10	9.45	7.70	4.53	34.43
20	9.27	7.86	5.07	30.23
25	6.67	6.73	3.18	33.95

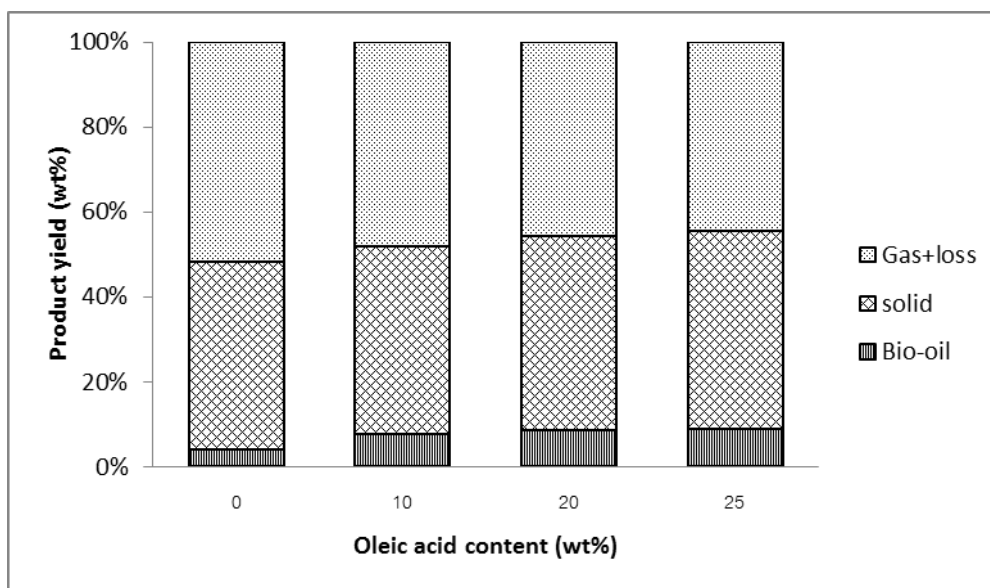
4.6 ผลของกรดโอเลอิกในน้ำ

ทำการศึกษาผลของกรดโอเลอิกในน้ำที่มีต่อกระบวนการลิกวิแฟกซ์ ที่ความดันไนโตรเจนเริ่มต้น 10 บาร์ ทะลายปาล์มน้ำมันเปล่า 30 กรัม อุณหภูมิ 375 องศาเซลเซียส เวลาในการเกิดปฏิกิริยา 30 นาที ร้อยละของกรดโอเลอิกในน้ำ 0, 10, 20, 25 และอัตราส่วนของสารละลายต่อชีวมวลเท่ากับ 4 ต่อ 1 สามารถแสดงและอภิปรายผลได้ดังนี้

- ผลของกรดโอเลอิกในน้ำต่อร้อยละผลได้ของน้ำมันชีวภาพ

ผลของกรดโอเลอิกในน้ำต่อร้อยละผลได้ของน้ำมันชีวภาพที่ได้จากกระบวนการลิกวิแฟกซ์ของทะลายปาล์มน้ำมันเปล่าร่วมกับสารละลายแสดงดังรูปที่ 4.10 จากการทดลองพบว่าเมื่อเติมกรดโอเลอิกมากขึ้นจะให้แนวโน้มของร้อยละผลได้ของน้ำมันชีวภาพเพิ่มขึ้น โดยการเติมกรดโอเลอิกร้อยละ 25 จะให้ร้อยละผลได้ของน้ำมันชีวภาพสูงที่สุดคือ 8.9

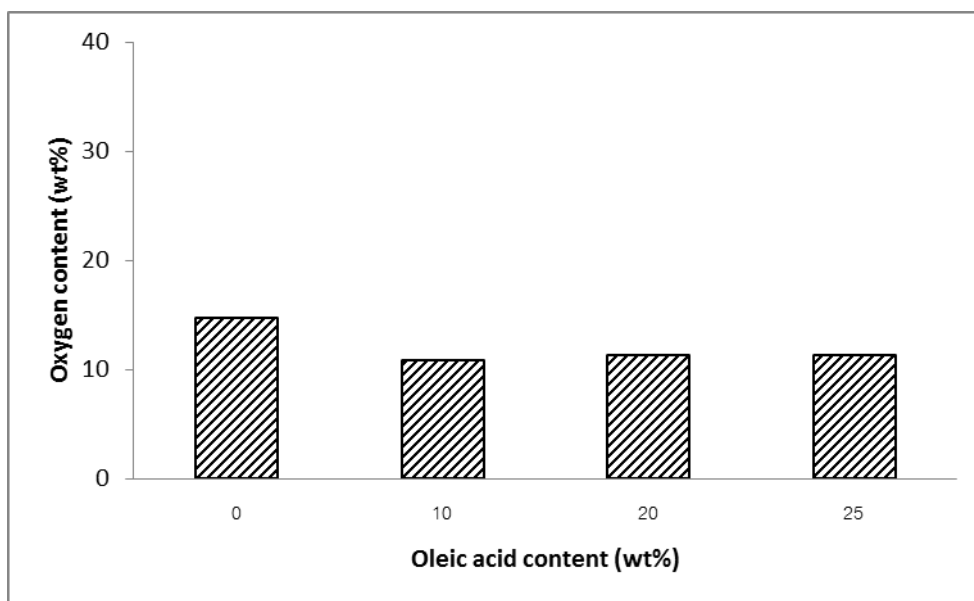
โดยทั่วไปแล้ว น้ำสามารถทำหน้าที่เป็นตัวให้อิโตรเจนในกระบวนการ ทำให้อนุมูลอิสระ (free radical) ที่เกิดขึ้นจากการสลายตัวของชีวมวลเกิดความเสถียรกลายเป็นน้ำมัน โดยองค์ประกอบของน้ำมันที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค GC/MS ดังแสดงในตารางที่ 4.6 ในขณะที่กรดโอเลอิกสามารถสลายตัวให้อิโตรคาร์บอนสายโซ่ตรงและคาร์บอนไดออกไซด์ได้ในตัวกลางที่เป็นน้ำ [23] ดังนั้นเมื่อเติมกรดโอเลอิกเข้าไปในกระบวนการ ร้อยละผลได้น้ำมันจึงเพิ่มสูงขึ้น โดยองค์ประกอบของน้ำมันที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค GC/MS (ตารางที่ 4.6) แสดงให้เห็นว่าเกิดสารประกอบประเภท 8-Heptadecene และ Heptadecane มากขึ้นเนื่องมาจากการแตกตัวของกรดโอเลอิกนั่นเอง



รูปที่ 4.10 ผลของกรดโอเลอิกในน้ำต่อร้อยละผลได้ของน้ำมันชีวภาพ
ที่ได้จากกระบวนการลิกวิแฟกชัน

■ ผลของกรดโอเลอิกในน้ำต่อองค์ประกอบออกซิเจนของน้ำมันชีวภาพ

ผลของกรดโอเลอิกในน้ำต่อองค์ประกอบของออกซิเจนในน้ำมันชีวภาพที่ได้จากกระบวนการลิกวิแฟกชันของทะเลสาบปาล์มน้ำมันเปลาร่วมกับสารละลายแสดงดังรูปที่ 4.11 พบว่า เมื่อเติมกรดโอเลอิกทำให้ปริมาณออกซิเจนลดลงเล็กน้อย โดยสามารถยืนยันได้จากผล GC-MS ซึ่งแสดงในตารางที่ 4.6 จะเห็นได้ว่าน้ำมันชีวภาพที่ได้หลังจากการเติมกรดโอเลอิกมีองค์ประกอบที่เป็นไฮโดรคาร์บอนสายโซ่ตรง (อะลิฟาติก) เพิ่มขึ้นเช่น 8-Heptadecene, Heptadecane เป็นต้น เนื่องมาจากการสลายตัวของกรดโอเลอิก จึงทำให้สัดส่วนของสารประกอบที่มีออกซิเจนลดลง อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์แก๊สดังตาราง 4.7 พบว่าองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์แก๊สที่ได้ใกล้เคียงกัน



รูปที่ 4.11 ผลของกรดโอเลอิกในน้ำต่อร้อยละผลได้ของน้ำมันชีวภาพ
ที่ได้จากกระบวนการลิกวิแฟกชัน

ตารางที่ 4.6 สารประกอบในน้ำมันชีวภาพจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค GC/MS

Time	Formula	CompName	Oleic acid content (wt%)			
			0%	10%	20%	25%
3.312	C6H12O	Methyl Isobutyl Ketone	4.14	-	-	-
3.793	C7H8	Toluene	77.36	58.03	43.85	80.49
5.811	C8H10	Ethylbenzene	10.01	7.72	6.48	9.84
6.037	C8H10	Xylene	9.73	-	-	-
6.563	C8H8	Styrene	99.53	73.83	62.55	99.19
6.863	C6H8O	2-Cyclopenten-1-one, 2-methyl-	5.1	17.58	9.2	11.07
8.343	C6H8O	2-Cyclopenten-1-one, 3-methyl-	5.44	15.56	8.79	13.49
8.657	C6H6O	Phenol	34.08	97.1	62.69	96.92
9.052	C7H10O	2-Cyclopenten-1-one, 3,4-dimethyl-	2.5	7.04	-	-

ตารางที่ 4.6 (ต่อ) สารประกอบในน้ำมันชีวภาพจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค GC/MS

Time	Formula	CompName	Oleic acid content (wt%)			
			0%	10%	20%	25%
9.168	C7H10O	2-Cyclopenten-1-one, 2,3-dimethyl	3.46	10.06	13.74	20.79
10.116	C7H10O	2-Cyclopenten-1-one, 2,3-dimethyl	8.88	22.72	-	-
10.492	C7H8O	Phenol, 2-methyl-	5.83	14.55	9.03	15.26
11.004	C7H8O	Phenol, 4-methyl-	4.88	12.29	8.08	-
11.365	C8H12O	Cyclohexanone, 3-ethenyl-	-	9.94	-	-
11.367	C8H12O	2-Cyclopenten-1-one, 2,3,4-trimethyl-	4	-	-	-
11.483	C11H22	1-Undecene	-	6.66	8.34	13.92
11.594	C11H22	4-Undecene, (Z)-	-	-	-	9.76
11.617	C9H16	Cyclohexane, (1-methylethylidene)-	-	7.25	-	-
11.625	C8H12O	2-Cyclopenten-1-one, 2,3,4-trimethyl-	2.45	-	-	-
11.682	C11H24	Undecane	-	13.49	6.13	11.02
11.793	C11H24O	1-Undecanol	-	6.87	18.72	31.94
11.99	C11H22	1-Undecene	-	-	10.22	17.33
12.314	C8H12O	Cyclohexanone, 3-ethenyl-	2.46	-	-	-
12.446	C8H10O	Phenol, 2-ethyl-	3.12	7.11	-	-
13.109	C8H10O	Phenol, 4-ethyl-	2.62	8.97	-	-
13.111	C8H10O	Phenol, 3-ethyl-	-	-	6.64	-
13.139	C8H16O2	Octanoic Acid	-	-	-	13.26
14.034	C12H24	Cyclopropane, nonyl-	-	-	-	11.03
19.848	C15H32	Pentadecane	-	-	-	9.71
20.848	C15H30	n-Nonylcyclohexane	-	-	-	11.31
22.893	C17H34	8-Heptadecene	-	5.9	-	21.3
22.901	C19H38	1-Nonadecene	-	-	8.79	-
22.986	C17H34	8-Heptadecene	-	-	11.44	31.05
22.996	C17H34	3-Heptadecene, (Z)-	-	6.7	-	-
23.26	C17H36	Heptadecane	-	3.87	6.89	19.53

ตารางที่ 4.7 ผลของชนิดของกรดโอเลอิกในน้ำต่อองค์ประกอบผลิตภัณฑ์แก๊สที่ได้จากกระบวนการลิควิแฟกชัน

Oleic acid content (wt%)	Gas composition (mol)			
	H ₂	CO	CH ₄	CO ₂
0	0.75	0.74	0.34	12.31
10	0.75	0.78	0.40	13.04
20	0.80	0.80	0.47	12.90
25	0.82	0.97	0.53	13.06

4.7 ผลของชนิดของตัวกลาง

ในส่วนที่เป็นผลของชนิดของตัวกลาง เราจะใช้วิธีการคำนวณที่แตกต่างจากการคำนวณในหัวข้อที่ 4.3, 4.4, 4.5, 4.6 และ 4.8 เพื่อที่จะสามารถเปรียบเทียบกันระหว่างชนิดของตัวกลางได้ชัดเจน โดยเราจะใช้วิธีการคำนวณดังภาคผนวก ง

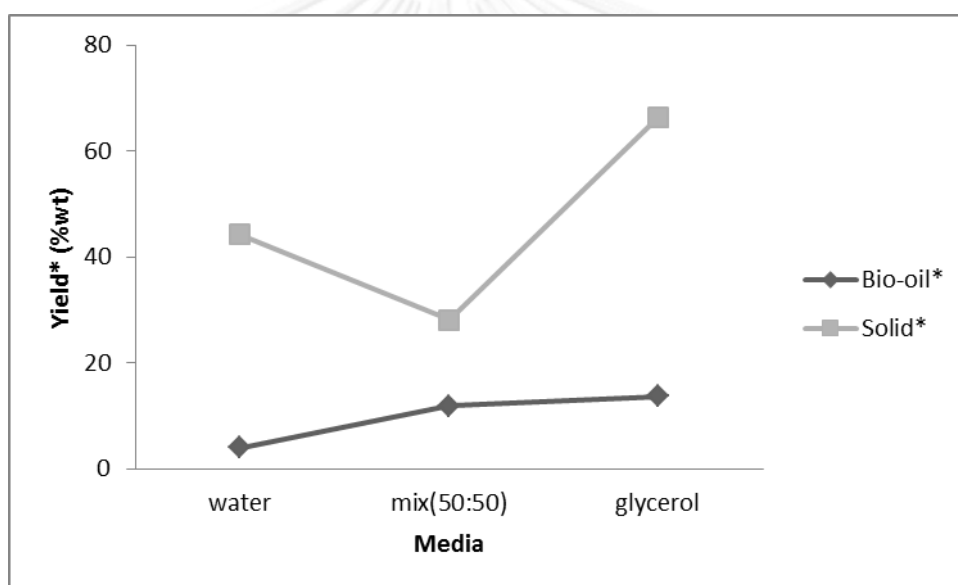
ทำการศึกษาผลของชนิดของตัวกลาง ที่ความดันไนโตรเจนเริ่มต้น 10 บาร์ อุณหภูมิ 375 องศาเซลเซียส เวลาในการเกิดปฏิกิริยา 30 นาที ทะลายปาล์มน้ำมันเปล่า 30 กรัม และอัตราส่วนของตัวกลางต่อชีวมวล 4 ต่อ 1 โดยน้ำหนัก สามารถแสดงและอภิปรายผลได้ดังนี้

- ผลของชนิดของตัวกลางต่อร้อยละผลได้ของน้ำมันชีวภาพ

ผลของชนิดของตัวกลางต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการลิควิแฟกชันของ ทะลายปาล์มน้ำมันเปล่าร่วมกับตัวกลางแสดงดังรูปที่ 4.12 จากการทดลองพบว่า ในการผลิตน้ำมันชีวภาพจากกระบวนการลิควิแฟกชันของทะลายปาล์มน้ำมันเปล่าในตัวกลางที่เป็นน้ำจะให้ร้อยละผลได้ของน้ำมันชีวภาพและร้อยละผลได้ของของแข็งน้อยกว่าในกรณีที่ตัวกลางเป็นกลีเซอรอล ส่วนหนึ่งอาจเนื่องมาจากกลีเซอรอลเป็นตัวให้อิโตรเจนแก่อนุมูลอิสระ (Free radical) ที่เกิดขึ้นจากการสลายตัวของชีวมวลในกระบวนการลิควิแฟกชันได้มากกว่าน้ำ จึงทำให้อนุมูลอิสระเกิดความเสถียรกลายเป็นน้ำมัน [24, 25] นอกจากนี้ในตัวกลางที่เป็นกลีเซอรอลจะเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ ซึ่งเป็นการรวมตัวกันของโมเลกุลทำให้เกิดเป็นของแข็งอีกด้วย ในขณะที่น้ำนอกจากจะเป็นตัวให้

ไฮโดรเจนแล้วยังสามารถเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาการสลายตัวของ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลสด้วยน้ำ จึงทำให้อัตราผลผลิตของของเหลวและของแข็งเกิดได้น้อย

อย่างไรก็ตามเมื่อใช้ตัวกลางผสมระหว่างกลีเซอรอลและน้ำร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก จากรูปที่ 4.12 จะเห็นได้ว่าเมื่อใช้ตัวกลางผสมจะให้อัตราผลผลิตของน้ำมันชีวภาพมากกว่าการใช้น้ำเป็นตัวกลางแต่ให้อัตราผลผลิตของน้ำมันชีวภาพน้อยกว่าการใช้กลีเซอรอลเป็นตัวกลาง และเมื่อเทียบ อัตราผลผลิตของของแข็งพบว่าการใช้ตัวกลางผสมระหว่างกลีเซอรอลและน้ำ จะให้อัตราผลผลิตของแข็งที่น้อยกว่าเมื่อใช้ตัวกลางที่เป็นน้ำหรือกลีเซอรอลเพียงอย่างเดียว อาจเนื่องมาจากทั้งน้ำและ กลีเซอรอลต่างทำหน้าที่เป็นตัวให้ไฮโดรเจนแก่อนุมูลอิสระที่เกิดจากการสลายตัวของชีวมวล และน้ำ ที่ผสมลงไปจะไปช่วยทำให้ความเข้มข้นของกลีเซอรอลลดลงจึงทำให้ช่วยป้องกันการเกิดรีพอลิเมอร์ เซชันของผลิตภัณฑ์ ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นไม่กลับไปเป็นของแข็ง [25]

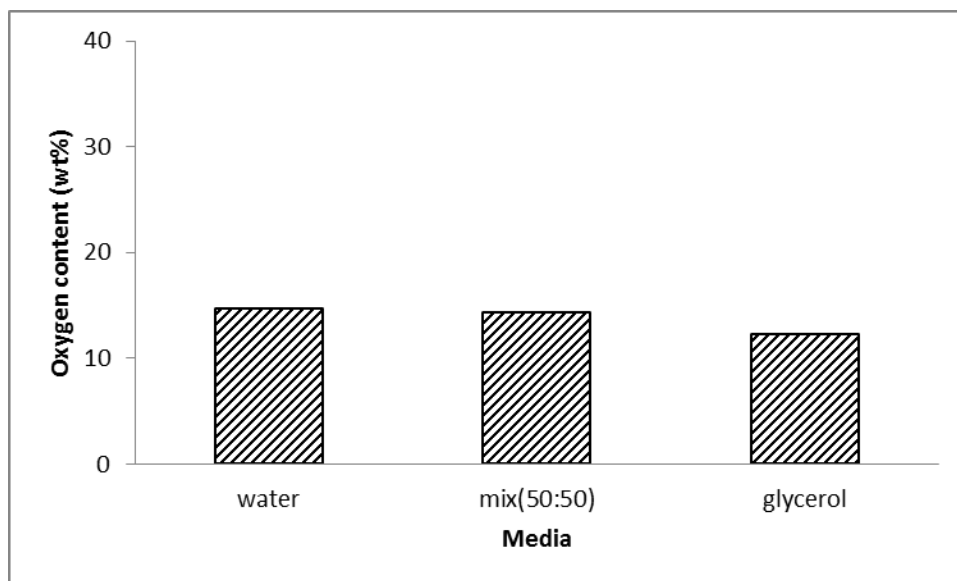


รูปที่ 4.12 ผลของชนิดของตัวกลางต่ออัตราผลผลิตของผลิตภัณฑ์ ที่ได้จากระบวนการลิกวิแฟกชัน

- ผลของชนิดของตัวกลางต่อองค์ประกอบของออกซิเจนในน้ำมันชีวภาพ

ผลของชนิดของตัวกลางต่อองค์ประกอบของออกซิเจนในน้ำมันชีวภาพที่ได้จากระบวนการ ลิกวิแฟกชันของทะเลสาบปาล์มน้ำมันเปลาร่วมกับตัวกลางแสดงดังรูปที่ 4.13 พบว่าในการผลิตน้ำมัน ชีวภาพจากระบวนการลิกวิแฟกชันของทะเลสาบปาล์มน้ำมันเปล่าในตัวกลางที่เป็นกลีเซอรอลจะให้

ผลิตภัณฑ์น้ำมันที่มีปริมาณออกซิเจนน้อยกว่าการใช้ น้ำเป็นตัวกลางเล็กน้อย เนื่องจากกระบวนการลิควิแฟกชันภายใต้ภาวะกึ่งวิกฤตหรือเหนือวิกฤต ออกซิเจนในน้ำมันชีวภาพจะทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนในกลีเซอรอลจนเกิดเป็นน้ำ [25] จึงทำให้ออกซิเจนในน้ำมันที่ได้จากการใช้กลีเซอรอลเป็นตัวกลางลดลง ในขณะที่ปริมาณออกซิเจนในน้ำมันชีวภาพที่ได้จากการใช้ตัวกลางผสมไม่แตกต่างจากการใช้กลีเซอรอลหรือน้ำเพียงอย่างเดียวมากนัก



รูปที่ 4.13 ผลของชนิดของตัวกลางต่อองค์ประกอบออกซิเจนในน้ำมันชีวภาพที่ได้จากการบวนการลิควิแฟกชัน

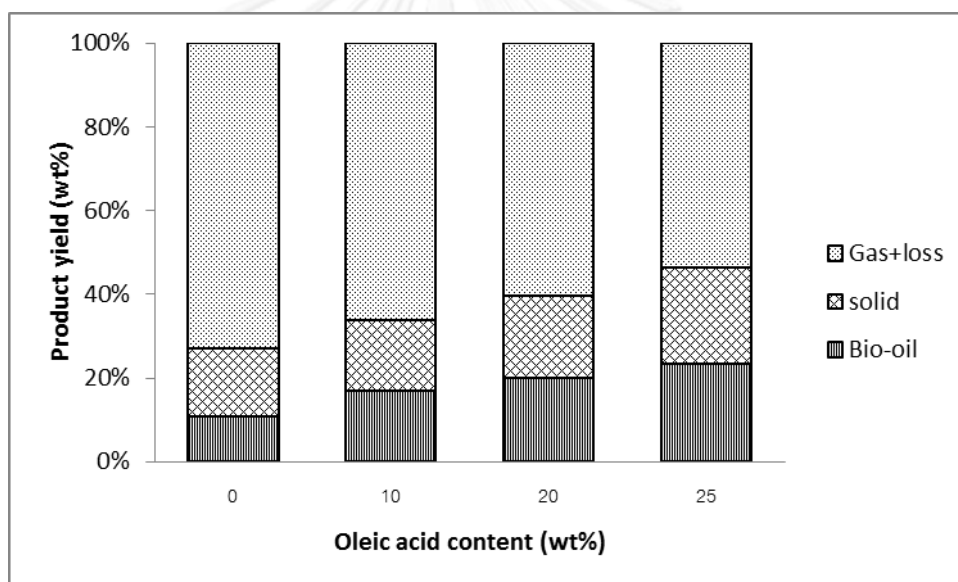
4.8 ผลของกรดโอเลอิกในตัวกลางผสม

จากที่ได้กล่าวมาแล้วในขั้นต้นว่าเมื่อใช้ตัวกลางผสมระหว่างกลีเซอรอลและน้ำจะทำให้ร้อยละผลได้ของน้ำมันชีวภาพเพิ่มดีกว่าค่าเฉลี่ยของร้อยละผลได้น้ำมันชีวภาพที่ได้จากการใช้น้ำหรือกลีเซอรอลเป็นตัวกลางเพียงอย่างเดียว จึงได้ทำการศึกษาค่าผลของกรดโอเลอิกในตัวกลางผสม

ทำการศึกษาค่าผลของตัวกลางผสมระหว่างกลีเซอรอลและน้ำที่อัตราส่วน 50 ต่อ 50 โดยน้ำหนัก ที่ความดันไนโตรเจนเริ่มต้น 10 บาร์ อุณหภูมิ 375 องศาเซลเซียส เวลาในการเกิดปฏิกิริยา 30 นาที ร้อยละของกรดโอเลอิกในตัวกลาง 0, 10, 20 และ 25 ทะลายปาล์มน้ำมันเปล่า 30 กรัม และอัตราส่วนของสารละลายต่อชีวมวล 4 ต่อ 1 โดยน้ำหนัก สามารถแสดงและอภิปรายผลได้ดังนี้

■ ผลของกรดโอเลอิกในตัวกลางผสมต่อร้อยละผลได้ของน้ำมันชีวภาพ

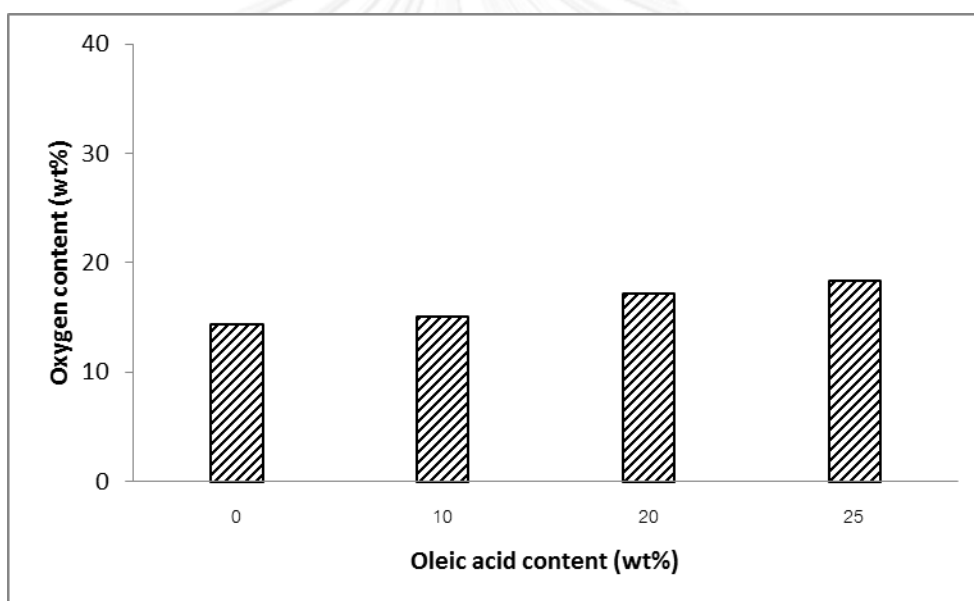
ผลของกรดโอเลอิกในตัวกลางผสมต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการลิกวิแฟกชันของทะเลาะปาล์มน้ำมันเปลาร่วมกับสารละลายแสดงดังรูปที่ 4.14 จากการทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณกรดโอเลอิกจะให้ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์น้ำมันชีวภาพเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ นอกจากนี้และกลีเซอรอลจะเป็นตัวให้ไฮโดรเจนแก่อนุมูลอิสระที่เกิดจากการแตกตัวของชีวมวลแล้ว กรดโอเลอิกยังสามารถสลายตัวให้ไฮโดรคาร์บอนสายโซ่ตรง อีกทั้งยังสามารถเกิดปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชัน (Esterification) ระหว่างกรดโอเลอิกและกลีเซอรอลได้ผลิตภัณฑ์เป็นสารประกอบเอสเทอร์และน้ำ ซึ่งสอดคล้องกับผลของการวิเคราะห์ GC/MS ในน้ำมันชีวภาพแสดงดังตารางที่ 4.8



รูปที่ 4.14 ผลของกรดโอเลอิกในตัวกลางผสมต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการลิกวิแฟกชัน

- ผลของกรดโอเลอิกในตัวกลางผสมต่อองค์ประกอบออกซิเจนในน้ำมันชีวภาพ

ผลของกรดโอเลอิกในตัวกลางผสมต่อองค์ประกอบของออกซิเจนในน้ำมันชีวภาพที่ได้จากกระบวนการลิควิแฟกชันของทะเลลายปาล์มน้ำมันเปลาร่วมกับตัวกลางแสดงดังรูปที่ 4.15 พบว่า เมื่อมีการเติมกรดโอเลอิกจะทำให้ปริมาณออกซิเจนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเติมกรดโอเลอิกจะเกิดปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชันระหว่างกลีเซอรอลและกรดโอเลอิก ดังที่ได้กล่าวมาในหัวข้อที่ 4.5 โดยสามารถยืนยันได้จากผลการวิเคราะห์น้ำมันชีวภาพด้วยเทคนิค GC/MS ดังตารางที่ 4.8 จากผลจะเห็นว่าเมื่อเติมกรดโอเลอิกจะได้ผลิตภัณฑ์เป็นสารประกอบจำพวกเอสเทอร์ เช่น 10-Undecynoic acid, methyl ester เป็นต้น นอกจากนี้การแตกตัวของกลีเซอรอลยังให้สารประกอบที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบเช่น แอลกอฮอล์ เป็นต้น [26] จึงทำให้น้ำมันมีออกซิเจนเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.15 ผลของกรดโอเลอิกในตัวกลางต่อองค์ประกอบออกซิเจนในน้ำมันชีวภาพที่ได้จากกระบวนการลิควิแฟกชัน

ตารางที่ 4.8 สารประกอบในน้ำมันชีวภาพจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค GC/MS

Time	Formula	CompName	Oleic acid content (wt%)			
			0%	10%	20%	25%
4.407	C8H18	Octane	-	-	9.47	-
5.128	C5H6O	2-Cyclopenten-1-one	21.88	-	-	-
6.763	C10H22	Decane	-	-	11.34	13
6.865	C6H8O	2-Cyclopenten-1-one, 2-methyl-	49.59	31.95	11.32	-
7.682	C7H10O	2-Cyclopenten-1-one, 2,3-dimethyl-	37.95	24.54	9.26	-
8.341	C6H8O	2-Cyclopenten-1-one, 2-methyl-	61.52	43.66	16.19	15.13
8.674	C6H6O	Phenol	94.2	92.91	39.33	38.14
9.059	C7H10O	2-Cyclopenten-1-one, 3,4-dimethyl-	38.13	30.03	11.57	-
9.064	C8H14	2,4-Hexadiene, 2,3-dimethyl-	-	-	-	11.97
9.174	C7H10O	2-Cyclopenten-1-one, 2,3-dimethyl-	45.82	33.06	12.32	11.85
9.858	C9H18O	Cyclohexanol, 2-(1-methylethyl)-	-	-	10.71	-
9.861	C8H12O	2-Cyclopenten-1-one, 2,3,4-trimethyl-	28.59	23.84	-	-
9.861	C12H20O2	10-Undecynoic acid, methyl ester	-	-	-	11.64
10.06	C8H12O	2-Cyclohexen-1-one, 3,4-dimethyl-	25.57	19.9	-	-
10.124	C7H10O	2-Cyclopenten-1-one, 2,3-dimethyl-	100	72.2	27.65	27.85
10.514	C7H8O	Phenol, 3-methyl-	90.67	71.04	26.03	28.02
10.718	C8H12O	2-Cyclopenten-1-one, 2,3,4-trimethyl-	64.42	49.71	18.13	17.41
11.014	C7H8O	Phenol, 3-methyl-	-	41.09	-	19.38
11.033	C7H8O	Phenol, 4-methyl-	38.97	-	-	-
11.083	C7H10O	2-Cyclopenten-1-one, 3-ethyl-	19.79	-	-	-
11.376	C8H12O	2-Cyclopenten-1-one, 2,3,4-trimethyl-	66.88	51.7	18.33	19.1
11.491	C15H32O	1-Dodecanol, 3,7,11-trimethyl-	-	21.4	-	-
11.496	C11H22	1-Undecene	-	-	12.35	16.32
11.627	C9H16	Cyclohexane, (1-methylethylidene)-	-	35.07	14.13	16.38
11.636	C8H12O	2-Cyclopenten-1-one, 2,3,4-trimethyl-	39.2	-	-	-
11.699	C11H24	Undecane	-	-	11.48	13.72
11.807	C11H22	1-Undecene	-	32.67	25.34	33.9

ตารางที่ 4.8 (ต่อ) สารประกอบในน้ำมันชีวภาพจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค GC/MS

Time	Formula	CompName	Oleic acid content (wt%)			
			0%	10%	20%	25%
11.855	C8H10O	Phenol, 2,5-dimethyl-	34.11	24.77	-	-
11.929	C9H8O	Benzofuran, 2-methyl-	40.49	35.82	13.41	16.34
12.003	C11H22	1-Undecene	-	20.38	14.06	19.57
12.055	C9H14O	2-Cyclopenten-1-one, 2,3,4,5-tetramethyl-	27.94	21.5	-	-
12.113	C10H18	Cyclohexene, 4-methyl-1-(1-methylethyl)-	24.21	19.17	-	-
12.32	C8H12O	2-Cyclopenten-1-one, 2,3,4-trimethyl-	35.98	26.77	-	-
12.46	C8H10O	Phenol, 2-ethyl-	60.69	59.12	22.52	27.21
12.692	C9H14O	Cyclohexanone, 2-(1-methylethylidene)-	20.9	-	-	-
12.744	C8H10O	Phenol, 2,4-dimethyl-	58.08	38.28	13.48	13.09
12.832	C8H10O2	Phenol, 4-ethoxy-	36.77	30.53	10.47	11.6
13.128	C8H10O	Phenol, 2-ethyl-	26.35	22.15	-	-
13.179	C8H16O2	Octanoic Acid	-	-	11.85	12.7
13.603	C9H12O	Phenol, 3,4,5-trimethyl-	53.67	45.59	16.26	19.17
13.766	C13H24O	2-Tridecenal, (E)-	-	-	11.36	13.78
13.767	C8H16O	Cyclohexanol, 2,4-dimethyl-	-	23.72	-	-
13.85	C12H24	3-Dodecene, (E)-	-	-	-	11.97
13.948	C11H20	5-t-Butyl-cycloheptene	-	21.58	-	-
13.949	C12H26	Dodecane	-	-	10.44	11.62
14.05	C14H28	3-Tetradecene, (E)-	-	-	10.74	-
14.078	C9H12O	Phenol, 2,4,5-trimethyl-	23.45	-	-	-
14.327	C9H12O	Furan, 2-(1-pentenyl)-, (E)-	39.7	33.7	12.56	13.57
14.465	C9H12O	Phenol, 3,4,5-trimethyl-	32.39	25.01	-	-
14.693	C9H12O	Phenol, 3,4,5-trimethyl-	41	31.81	-	11.84
15.143	C10H14O	Phenol, 3,5-diethyl-	23.33	-	-	-
15.603	C10H14O	Phenol, 2-ethyl-4,5-dimethyl-	24.55	-	-	-
16.251	C10H10O	1H-Inden-1-one, 2,3-dihydro-2-methyl-	33.25	24.11	-	-
18.654	C12H16	Benzene, 1-(1-methylethenyl)-3-(1-methylethyl)-	27.15	-	-	-

ตารางที่ 4.8 (ต่อ) สารประกอบในน้ำมันชีวภาพจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค GC/MS

Time	Formula	CompName	Oleic acid content (wt%)			
			0%	10%	20%	25%
19.08	C9H10O3	1,4-Benzodioxin-2-methanol, 2,3-dihydro-	30.02	24.83	-	-
19.867	C15H32	Pentadecane	-	33.02	20.69	18.95
20.867	C15H30	n-Nonylcyclohexane	-	-	18.35	21.27
21.356	C18H36	9-Octadecene, (E)-	-	82.24	18.82	17.62
21.489	C17H34	1-Heptadecene	-	-	17.36	18.03
21.615	C17H34	1-Heptadecene	-	-	16.41	-
21.616	C17H36	Heptadecane	-	-	-	15
22.912	C17H34	8-Heptadecene	-	-	78.99	83.23
23.007	C18H36	3-Octadecene, (E)-	-	100	-	-
23.007	C17H34	8-Heptadecene	-	-	100	100
23.278	C17H36	Heptadecane	-	67.71	62.19	56.52
24.482	C15H30	n-Nonylcyclohexane	-	-	-	16.15
24.563	C18H36O	Oleyl Alcohol	-	-	16.45	15.69
24.694	C18H36O	Oleyl Alcohol	-	-	21.94	22.8
24.833	C18H36	3-Octadecene, (E)-	-	-	18.17	18.74
27.37	C16H30O2	trans-11-Tetradecenyl acetate	-	-	15.16	15.38

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาผลของกรดโอเลอิกที่มีต่อลิควิแพกชั้นของทะเลายปาล์มน้ำมันเปล่าร่วมกับกลีเซอรอลและน้ำ และหาภาวะที่เหมาะสมในการผลิตน้ำมันชีวภาพจากกระบวนการลิควิกแพกชั้น โดยศึกษาที่ภาวะอุณหภูมิ 325 และ 375 องศาเซลเซียส เวลาในการเกิดปฏิกิริยา 30 60 นาที ร้อยละกรดโอเลอิก 0, 10, 20 และ 25 โดยน้ำหนัก ตัวกลางที่ใช้คือกลีเซอรอลและน้ำ และตัวกลางผสม จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้

5.1.1 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อลิควิแพกชั้น

เมื่ออุณหภูมิจากกระบวนการลิควิแพกชั้นเพิ่มขึ้นจาก 325 เป็น 375 องศาเซลเซียส ร้อยละผลได้ของน้ำมันชีวภาพและร้อยละองค์ประกอบออกซิเจนในน้ำมันชีวภาพลดลง ดังนั้นอุณหภูมิที่เหมาะสมในการผลิตน้ำมันชีวภาพ คือ 325 องศาเซลเซียส

5.1.2 ผลของเวลาในการเกิดปฏิกิริยา

เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยาจาก 30 เป็น 60 นาที ร้อยละผลได้ของน้ำมันชีวภาพและปริมาณออกซิเจนในน้ำมันชีวภาพไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก ดังนั้นเวลาที่เหมาะสมในการผลิตน้ำมันชีวภาพคือ 30 นาที

5.1.3 ผลของกรดโอเลอิกในกลีเซอรอล

เมื่อมีการเติมกรดโอเลอิกทำให้ร้อยละผลได้ของน้ำมันชีวภาพและปริมาณออกซิเจนในน้ำมันชีวภาพมีแนวโน้มสูงขึ้น โดยการเติมกรดโอเลอิกที่ร้อยละ 20 จะให้ร้อยละผลได้ของน้ำมันชีวภาพและปริมาณออกซิเจนในน้ำมันชีวภาพสูงสุด ดังนั้นกรดโอเลอิกมีส่วนช่วยทำให้ร้อยละผลได้ของน้ำมันชีวภาพเพิ่มขึ้น

5.1.4 ผลของกรดโอเลอิกในน้ำ

เมื่อมีการเติมกรดโอเลอิกทำให้ร้อยละผลได้ของน้ำมันชีวภาพมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและปริมาณออกซิเจนในน้ำมันชีวภาพมีแนวโน้มลดลง ดังนั้นกรดโอเลอิกมีส่วนช่วยทำให้ร้อยละผลได้ของน้ำมันชีวภาพเพิ่มขึ้น

5.1.5 ผลของชนิดของตัวกลาง

เมื่อใช้ตัวกลางผสมระหว่างน้ำและกลีเซอรอลพบว่าให้ร้อยละผลได้ของน้ำมันชีวภาพมากกว่าการใช้น้ำเป็นตัวกลางแต่ให้ร้อยละผลได้ของน้ำมันชีวภาพน้อยกว่าการใช้กลีเซอรอลเป็นตัวกลาง ในขณะที่ปริมาณออกซิเจนในน้ำมันชีวภาพไม่แตกต่างกันมากนัก

5.1.6 ผลของกรดโอเลอิกในตัวกลางผสม

เมื่อมีการเติมกรดโอเลอิกในตัวกลางผสมระหว่างกลีเซอรอลและน้ำจะให้ร้อยละผลได้ของน้ำมันชีวภาพและปริมาณออกซิเจนในน้ำมันชีวภาพมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากความรู้ที่ได้ในงานวิจัยนี้ สามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นแนวทางในการผลิตน้ำมันชีวภาพจากของเสียจากกระบวนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลได้ แต่ควรมีการศึกษาเพิ่มเติม เช่น

- ศึกษาเวลาในการเกิดปฏิกิริยาที่ 0, 10 ,15, 20 นาที
- ศึกษากรดไขมันชนิดต่างๆเพิ่ม
 - * จากงานวิจัยนี้ได้เคยทดลองศึกษากรดปาล์มมิติกแล้ว พบปัญหาที่เกิดขึ้นในการทดลองคือ หลังทำปฏิกิริยาแล้วผลิตภัณฑ์ที่ได้เป็นของแข็ง ทำให้ไม่สามารถแยกผลิตภัณฑ์ที่ต้องการได้ เพราะฉะนั้นจึงไม่แนะนำให้ศึกษากรดปาล์มมิติก ควรศึกษากรดไขมันชนิดอื่น *
- ศึกษาการลดองค์ประกอบออกซิเจนในน้ำมันชีวภาพที่ได้ เช่น การเติมตัวเร่งปฏิกิริยา

รายการอ้างอิง

1. Peter Reid. Carbon cycle (online). 2009. Available from: <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/38/Carbon-cycle-full.jpg> (December 20, 2013)
2. ศูนย์ส่งเสริมพลังงานชีวมวล. ชีวมวล กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ คิว พรินท์ แมเนจเม้นท์. 2549.
3. ทิพย์วงศ์, น. เทคโนโลยีการแปลงสภาพชีวมวล: สำนักพิมพ์ส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น). 2552.
4. Zhang, Y., Hydrothermal Liquefaction to Convert Biomass into Crude Oil. Biofuels from Agricultural Wastes and Byproducts (2010): p. 201-232.
5. Mohan, D., C.U. Pittman, and P.H. Steele, Pyrolysis of Wood/Biomass for Bio-oil: A Critical Review. Energy & Fuels 20(2006): p. 848-889.
6. วิชาการ. ชีวมวล (online). 2553. Available from: <http://www.vacharkarn.com> (ธันวาคม 20, 2556)
7. กระทรวงพลังงาน. พลังงานจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร (online). 2553. Available from: <http://www.eppo.go.th/> (ธันวาคม 20, 2556)
8. Fao. Plam oil (online). 2009. Available from: www.fao.org (December 20, 2013)
9. เกษตร. ปาล์มน้ำมัน (online). 2553. Available from: <http://www.kasetloongkim.com> (ธันวาคม 20, 2556)
10. Cacycle. Glycerol (online). 2005. Available from: <http://commons.wikimedia.org/> (December 24, 2013)
11. Xiu, S., A. Shahbazi, V. Shirley, M.R. Mims, and C.W. Wallace, Effectiveness and mechanisms of crude glycerol on the biofuel production from swine manure through hydrothermal pyrolysis. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis 87(2010): p. 194-198.
12. Oil Chemical Research. Biodiesel: The Use of Vegetable Oils and Their Derivatives as Alternative Diesel Fuels, Fuels and Chemicals from Biomass (online). 2012. Available from: http://journeytoforever.org/biofuel_library/VegetableOilsKnothe.pdf (December 25, 2013)

13. Foodwiki. Oleic acid (online). 2009. Available from: <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1643/oleic-acid> (December 27, 2013)
14. Inoue, H., S. Yano, T. Endo, T. Sakaki, and S. Sawayama, Combining hot-compressed water and ball milling pretreatments to improve the efficiency of the enzymatic hydrolysis of eucalyptus. Biotechnology for Biofuels 1(2008): p. 2.
15. Akhtar, J. and N.A.S. Amin, A review on process conditions for optimum bio-oil yield in hydrothermal liquefaction of biomass. Renewable and Sustainable Energy Reviews 15(2011): p. 1615-1624.
16. Xiu, S., A. Shahbazi, V. Shirley, and D. Cheng, Hydrothermal pyrolysis of swine manure to bio-oil: Effects of operating parameters on products yield and characterization of bio-oil. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis 88(2010): p. 73-79.
17. Sukiran, M.A., C.M. Chin, and N.K.A. Bakar, Bio-oils from Pyrolysis of Oil Palm Empty Fruit Bunches. American Journal of Applied Sciences 6(2009): p. 869-875.
18. Gan J. , Y.W., Nelson N. O. , Agudelo S. C. , Hydrothermal conversion of corn cobs and crude glycerol. Biological Engineering 2(2010): p. 197-210.
19. Heo, H.S., H.J. Park, Y.-K. Park, C. Ryu, D.J. Suh, Y.-W. Suh, J.-H. Yim, and S.-S. Kim, Bio-oil production from fast pyrolysis of waste furniture sawdust in a fluidized bed. Bioresource Technology 101(2010): p. S91-S96.
20. Qu, Y., X. Wei, and C. Zhong, Experimental study on the direct liquefaction of *Cunninghamia lanceolata* in water. Energy 28(2003): p. 597-606.
21. Pütün, E., Catalytic pyrolysis of biomass: Effects of pyrolysis temperature, sweeping gas flow rate and MgO catalyst. Energy 35(2010): p. 2761-2766.
22. Yuan, X.Z., H. Li, G.M. Zeng, J.Y. Tong, and W. Xie, Sub- and supercritical liquefaction of rice straw in the presence of ethanol–water and 2-propanol–water mixture. Energy 32(2007): p. 2081-2088.
23. Asomaning, J., P. Mussone, and D.C. Bressler, Thermal deoxygenation and pyrolysis of oleic acid. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis 105(2014): p. 1-7.

24. Cheng, S., I. D'cruz, M. Wang, M. Leitch, and C. Xu, Highly Efficient Liquefaction of Woody Biomass in Hot-Compressed Alcohol–Water Co-solventst. Energy & Fuels 24(2010): p. 4659-4667.
25. Liu, Y., X.-z. Yuan, H.-j. Huang, X.-l. Wang, H. Wang, and G.-m. Zeng, Thermochemical liquefaction of rice husk for bio-oil production in mixed solvent (ethanol–water). Fuel Processing Technology 112(2013): p. 93-99.
26. Bühler, W., E. Dinjus, H.J. Ederer, A. Kruse, and C. Mas, Ionic reactions and pyrolysis of glycerol as competing reaction pathways in near- and supercritical water. The Journal of Supercritical Fluids 22(2002): p. 37-53.





ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก ก

วิธีวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของซีเมนต์

การวิเคราะห์แบบประมาณ (Proximate Analysis): ASTM D3172

- ความชื้น (Moisture): ASTM D3173

วิธีการทดลอง

1. อบถาดอลูมิเนียมพร้อมฝาในเตาอบ (drying oven) 104-110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำเข้าเตสิดเคเตอร์ (desicator) ที่ไว้ประมาณ 15 นาที นำไปชั่งแล้วบันทึกน้ำหนัก
2. ชั่งตัวอย่างประมาณ 1 กรัม ลงในถาดอลูมิเนียมพร้อมฝาที่ทราบน้ำหนักแล้ว บันทึกน้ำหนักตัวอย่าง
3. นำไปเข้าเตาอบที่อุณหภูมิ 104-110 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 1 ชั่วโมงหรือจนน้ำหนักตัวอย่างคงที่
4. นำถาดอลูมิเนียมออกมาที่ไว้ให้เย็นลง แล้วนำเข้าเตสิดเคเตอร์ประมาณ 15 นาที แล้วชั่งถาดอลูมิเนียมพร้อมฝาที่มีตัวอย่างอบแล้วอยู่ภายในบันทึกผล

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

$$M = 100 (W1 - W2) / W$$

- เมื่อ
- M = ร้อยละของความชื้น
 - W1 = น้ำหนักของถาดอลูมิเนียมพร้อมฝารวมกับน้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้นก่อนอบ (กรัม)
 - W2 = น้ำหนักของถาดอลูมิเนียมพร้อมฝารวมกับน้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้นหลังอบ (กรัม)
 - W = น้ำหนักของตัวอย่าง (กรัม)

■ ปริมาณสารระเหย (Volatile Matter): ASTM D3175

วิธีการทดลอง

1. เผาครุชชีเบลพร้อมฝาในเตาเผาอุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส ประมาณ 30 นาที นำออกจากเตาเผา ทำให้เย็นในเดสิเคเตอร์ แล้วชั่งน้ำหนักครุชชีเบลพร้อมฝา บันทึกผล
2. ชั่งตัวอย่างใส่ในครุชชีเบลประมาณ 1 กรัม แล้วปิดฝาให้เรียบร้อย
3. นำไปให้ความร้อนโดยอยู่เหนือปากเตาเผา (Tubular Furnace) อุณหภูมิประมาณ 300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที
4. หย่อนครุชชีเบลให้อยู่บริเวณปากเตา ที่อุณหภูมิประมาณ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที
5. หย่อนครุชชีเบลให้อยู่กึ่งกลางเตา อุณหภูมิประมาณ 950 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 นาที
6. นำครุชชีเบลออกมาทิ้งไว้ให้เย็น แล้วนำไปใส่ในโถดูดความชื้นประมาณ 15 นาที นำไปชั่งและบันทึกผล

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

$$V = [100 (W3 - W4) / W]$$

เมื่อ	V	=	ร้อยละของสารระเหย
	W3	=	น้ำหนักของครุชชีเบลพร้อมฝารวมกับน้ำหนักตัวอย่างก่อนเผา (กรัม)
	W4	=	น้ำหนักของครุชชีเบลพร้อมฝารวมกับน้ำหนักตัวอย่างหลังเผา (กรัม)
	W	=	น้ำหนักของตัวอย่าง (กรัม)
	M	=	ร้อยละของความชื้น

- ถ้ำ (Ash): ASTM D3174

วิธีการทดลอง

1. เผาครุชชีเบลพร้อมฝานในเตาเผา (Muffle Furnace) ที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำออกมาทำให้เย็นในเดสิเคเตอร์ ชั่งน้ำหนักครุชชีเบลพร้อมฝาน
2. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างใส่ครุชชีเบล ประมาณ กรัม
3. นำไปเผาบนตะเกียงเบนเซนจนควันระเหยหมด
4. ใส่ครุชชีเบลพร้อมฝานในเตาเผาที่อุณหภูมิประมาณ 750 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 2 ชั่วโมงหรือจนน้ำหนักคงที่
5. นำครุชชีเบลออกจากเตาเผาวางทิ้งไว้ให้เย็น แล้วนำไปใส่ในเดสิเคเตอร์ ชั่งน้ำหนักพร้อมบันทึกผล

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

$$A = 100 (W_5 - W_6) / W$$

เมื่อ	A	=	ร้อยละของถ้ำ
	W_5	=	น้ำหนักของครุชชีเบลพร้อมฝานที่มีถ้ำ (กรัม)
	W_6	=	น้ำหนักของครุชชีเบลพร้อมฝาน (กรัม)
	W	=	น้ำหนักของตัวอย่าง (กรัม)

- ปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed Carbon)

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

$$\text{ร้อยละของคาร์บอนคงตัว} = 100 - \text{ร้อยละความชื้น} - \text{ร้อยละสารระเหย} - \text{ร้อยละถ้ำ}$$

ภาคผนวก ข

การวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์แก๊สและน้ำมันชีวภาพ

1. การวิเคราะห์โดยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี

งานวิจัยนี้ใช้เครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี ยี่ห้อ Shimadzu รุ่น GC - 2014 Gas chromatograph (GC) เป็นเทคนิคที่ใช้ในการแยกสารผสมที่ระเหยง่าย โดยสารผสมจะถูกฉีดเข้าไปในคอลัมน์ (Column) ที่บรรจุด้วยสารที่ทำหน้าที่เป็นตัวยึดจับที่เรียกว่า Stationary phase และมีแก๊สพา (Carrier gas) เป็นเฟสเคลื่อนที่ (Mobile phase) เคลื่อนที่ไปตามคอลัมน์เข้าสู่เครื่องวัด (Detector) สัญญาณที่เครื่องตรวจวัดได้รับนั้นจะถูกส่งไปบันทึกเป็นโครมาโตแกรม (Chromatogram) โดยเครื่องบันทึก (Recorder)

1.1 แก๊สโครมาโตกราฟีมีส่วนประกอบที่สำคัญดังนี้

- แก๊สพา (Carrier gas)
- ตัวควบคุมการไหล (Flow controller)
- ส่วนที่ฉีดสารตัวอย่าง (Injector port)
- คอลัมน์ (Column)
- ดีเทคเตอร์ (Detector)
- เครื่องบันทึก (Recorder)

1.2 รายละเอียดของส่วนประกอบที่สำคัญมีดังนี้

- แก๊สพา (Carrier gas)

แก๊สพาเป็นแก๊สที่ใช้สำหรับพาสารตัวอย่าง ที่ถูกทำให้เป็นไอหรือแก๊สเฟสแล้วที่ส่วนที่ฉีดสารตัวอย่างให้เข้าสู่คอลัมน์ต่อไป แก๊สพานี้ต้องมีการควบคุมอัตราการไหล (Flow rate) ให้คงที่เสมอ โดยสามารถเลือกใช้อัตราการไหลที่เหมาะสมได้ตามต้องการ อัตราการไหลของแก๊สพามีส่วนสำคัญต่อการวิเคราะห์ทั้งเชิงคุณภาพและปริมาณ ดังนั้นจึงต้องมีการควบคุมให้คงที่

แก๊สพาโดยทั่วไปควรมีคุณสมบัติคือ มีสมบัติเฉื่อย ไม่เกิดปฏิกิริยากับสารตัวอย่าง มีมวลโมเลกุลต่ำและมีการแพร่กระจาย มีความบริสุทธิ์สูงและราคาไม่แพง แก๊สพาที่ใช้กันโดยทั่วไป ได้แก่ แก๊สไนโตรเจน ฮีเลียม และแก๊สไฮโดรเจน

- คอลัมน์ (Column)

คอลัมน์เป็นส่วนสำคัญของการแยกสาร เมื่อแก๊สหรือไอของสารผสมในสารตัวอย่างผ่านคอลัมน์ สารที่บรรจุในคอลัมน์เปล่านั้นจะทำหน้าที่เป็นตัวแยกแก๊สหรือไอของสารผสมเหล่านั้นออกจากกันเป็นส่วนๆ ดังนั้นโครมาโทแกรมที่ได้จะดีหรือไม่จึงขึ้นอยู่กับชนิดของคอลัมน์

- ดีเทคเตอร์ (Detector)

ดีเทคเตอร์คือ ส่วนที่สามารถบ่งบอกในเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพของสารที่ต้องการวิเคราะห์หรือมีสารอื่นๆที่แตกต่างไปจากแก๊สพา ดังนั้นเครื่องตรวจวัดจึงเป็นเครื่องมือที่มีความสามารถสัญญาณกับสารต่างๆในลักษณะเฉพาะ และมีสภาพไวเพียงพอ มีการตอบสนองที่ดีในช่วงความเข้มข้นของสารที่กว้างพอ และมีหลากหลายชนิด ตามความเหมาะสมของงานก็ได้

ลักษณะเฉพาะที่ต้องการของดีเทคเตอร์นั้น ควรจะมีลักษณะเฉพาะในการตอบสนองต่อสารเคมีที่ต้องการวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

- ให้สภาพความไวสูง (High sensitivity)
- มีความเฉพาะต่อการตรวจหาสาร (Selectivity)
- ให้ผลการวิเคราะห์เชิงปริมาณในช่วงความเข้มข้นที่กว้างพอที่จะวัดได้อย่างถูกต้อง
- มีเสถียรภาพ (Stability) และความเที่ยง (Reproducibility)

ดีเทคเตอร์ที่นิยมใช้มี 2 ชนิดคือ ทอร์มอลคอนดักติวิตีดีเทคเตอร์ (TCD) และเฟลมไอออนไนเซชันดีเทคเตอร์ (FID) โดยในงานวิจัยนี้ใช้ดีเทคเตอร์แบบ TCD

ดีเทคเตอร์แบบ TCD

วิเคราะห์สารที่ออกมาจากแก๊สพา โดยใช้หลักการทำงานดังนี้ แก๊สพาบริสุทธิ์ (Reference gas) กับแก๊สพาที่มีสารตัวอย่างอยู่ด้วยจะมีคุณสมบัติในการนำความร้อน (Thermal conductivity) ที่ต่างกัน เมื่อสารตัวอย่างที่ถูกแยกจากคอลัมน์พร้อมด้วยแก๊สพาผ่านเข้าไปในเครื่องตรวจวัดและผ่านขดลวด (Filament) ซึ่งทำให้ร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าปริมาณหนึ่ง ขดลวดจะเสียความร้อนให้กับแก๊สพาที่มีสารตัวอย่างที่เข้ามาในดีเทคเตอร์ แล้วดีเทคเตอร์ก็จะทำการปรับกระแสไฟฟ้าเพื่อให้ขดลวดมีความร้อนเท่าเดิม กระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการปรับความร้อนนี้จะเป็นสัญญาณส่งเข้าเครื่องบันทึกออกมาเป็นโครมาโทแกรม

2. การวิเคราะห์โดยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี (GC/MS)

ในงานวิจัยนี้ใช้เครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี ยี่ห้อ Shimadzu รุ่น GC-2010 Gas chromatograph-Mass spectrometry (GC/MS) เป็นเทคนิคที่มีประสิทธิภาพสูง ใช้สำหรับวิเคราะห์สารเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ ซึ่งสามารถวิเคราะห์สารประกอบอินทรีย์ที่ผสมรวมกันหลายชนิดในปริมาณต่ำระดับนาโนกรัม โดยการแยกให้เป็นสารบริสุทธิ์ และสารประกอบอินทรีย์ที่นำมาวิเคราะห์นั้นจะต้องระเหยได้ที่อุณหภูมิไม่เกิน 450 องศาเซลเซียส เมื่อตรวจวัดเรียบร้อยแล้วจะแสดงผลออกมาในรูปของโครมาโตแกรม (Chromatogram)

2.1 แมสสเปกโตรเมตรี (Mass spectrometry)

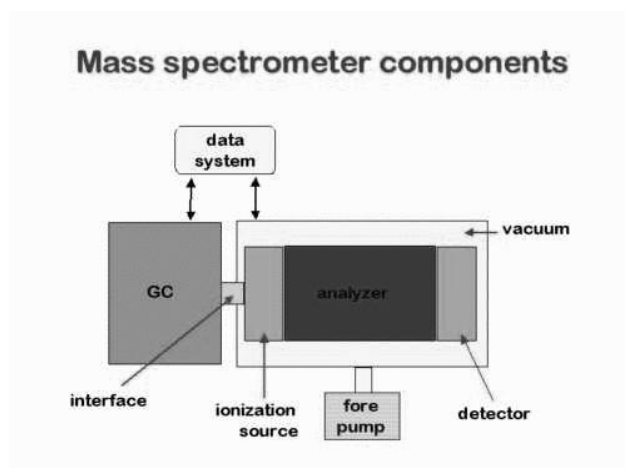
เป็นเทคนิคการวิเคราะห์เพื่อหาสัดส่วนผสมในตัวอย่าง และเพื่อการพิสูจน์เอกลักษณ์สาร ทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ โดยอาศัยรูปแบบของการแตกไอออน (fragmentation pattern) อันเนื่องมาจากการเกิด ionization ด้วยวิธีการต่างๆ ซึ่งจะแสดงความแตกต่างของค่ามวลต่อประจุออกมา (m/z) กราฟของความสัมพันธ์ระหว่าง ion abundance และ m/z ของ fragment ion ต่างๆ ที่เกิดขึ้นถูกเรียกว่า mass spectrum ซึ่งให้ข้อมูลทางโครงสร้างเพื่อใช้ในการพิสูจน์เอกลักษณ์ของสาร โดยไม่ต้องอาศัยข้อมูลจากเทคนิคอื่นๆร่วมด้วย

2.2 หลักการของแมสสเปกโตรเมตรี (Mass spectrometry)

โมเลกุลถูกทำให้แตกตัวเป็นไอออนภายในบริเวณ ionization chamber ซึ่งถูกเรียกว่าแหล่งไอออน (Ion Source) ไอออนจะถูกดึงและโฟกัสด้วยชุดของเลนส์และถูกแยกโดยหน่วยวิเคราะห์มวล (Mass Analyzer) จากนั้นไอออนจะถูกกำหนดให้ไปตกกระทบที่เครื่องตรวจจับไอออน (Ion Detector) ทำให้เกิดสัญญาณไฟฟ้าที่สัมพันธ์โดยตรงกับความเข้มข้นของไอออนในตัวอย่าง กระแสไอออนจะถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูป digital signal และถูกบันทึกใน data system ซึ่งจะเปลี่ยนสัญญาณนี้อยู่ในรูปที่เรียกว่าแมสสเปกตรัม (Mass spectrum) และสามารถนำไปใช้ในการพิสูจน์เอกลักษณ์ของสารตัวอย่างต่อไป

2.3 องค์ประกอบของเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี (GC/MS) แสดงได้ดังรูปที่ ข 1

- ส่วนการป้อนสารอัตโนมัติ (Auto sampler)
- เครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี (GC)
 - o Injector
 - o Oven column
- ส่วนการเชื่อมต่อ (Interface)
- แมสสเปกโตรเมตรี (MS)
 - o Ionization เป็นชนิด EI ใช้ศักย์ไฟฟ้า 70 eV
 - o Mass analysis เป็นแบบ Quadrupole Mass Filters โดยการให้ความถี่ชนิด DC และชนิด AC ไปที่ mass analyzer ซึ่งประกอบด้วยแท่งรูปทรง hyperbolic จำนวน 4 แท่ง การเพิ่มของความถี่ชนิด DC และชนิด AC ทำให้ไอออนที่มีค่า m/z ต่ำไปสู่สูง สามารถ oscillate ไปถึง detector ได้ตามลำดับ
 - o Ion detection



รูปที่ ข. 1 แสดงองค์ประกอบของเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี (GC/MS)

ภาคผนวก ค

การคำนวณร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์

1. การคำนวณร้อยละผลได้ของของเหลว

$$\text{ร้อยละผลได้ของเหลว (ในกลีเซอรอล)} = 100 [W_{\text{Liq}} / (W_{\text{db}} + W_{\text{glycerol}} + W_{\text{oleic acid}})]$$

$$\text{ร้อยละผลได้ของเหลว (ในน้ำ)} = 100 [W_{\text{Liq}} / (W_{\text{db}} + W_{\text{oleic acid}})]$$

2. การคำนวณร้อยละผลได้ของของแข็ง

$$\text{ร้อยละผลได้ของแข็ง (ในกลีเซอรอล)} = 100 [W_{\text{Ash}} / (W_{\text{db}} + W_{\text{glycerol}} + W_{\text{oleic acid}})]$$

$$\text{ร้อยละผลได้ของแข็ง (ในน้ำ)} = 100 [W_{\text{Ash}} / (W_{\text{db}} + W_{\text{oleic acid}})]$$

3. การคำนวณร้อยละผลได้ของแก๊ส

$$\text{ร้อยละผลได้แก๊สผลิตภัณฑ์} = 100 - \text{ร้อยละผลได้ของเหลว} - \text{ร้อยละผลได้ของแข็ง}$$

โดย

$$W_{\text{db}} = \text{น้ำหนักละลายปาล์มเปล่าที่ปราศจากความชื้น}$$

$$W_{\text{glycerol}} = \text{น้ำหนักกลีเซอรอล}$$

$$W_{\text{oleic acid}} = \text{น้ำหนักกรดโอเลอิก}$$

$$W_{\text{Ash}} = \text{น้ำหนักของกาก}$$

$$W_{\text{Liq}} = \text{น้ำหนักของผลิตภัณฑ์ของเหลว}$$

ตัวอย่างการคำนวณ

ภาวะของการทดลอง; อุณหภูมิ 375 องศาเซลเซียส ความดันไนโตรเจนเริ่มต้น 10 บาร์เวลาในการเกิดปฏิกิริยา 30 นาที อัตราส่วนของสารละลายต่อทะเลลายปาล์มเปล่าเท่ากับ 4 ต่อ 1 อัตราส่วนของโอเลอิกในตัวกลาง 10 เปอร์เซ็นต์

การคำนวณ

น้ำหนักทะเลลายปาล์มเปล่า (Dry basis)	=	30.00	กรัม
น้ำหนักของกลีเซอรอล	=	108.00	กรัม
น้ำหนักของกรดโอเลอิก	=	12.00	กรัม
น้ำหนักผลได้ของเหลว	=	13.71	กรัม
น้ำหนักกากของแข็ง	=	37.20	กรัม

$$\text{ร้อยละผลได้ของเหลว} = 100 \times (13.71 / (30.0 + 108.00 + 12.00)) = 9.14$$

$$\text{ร้อยละผลได้ของแข็ง} = 100 \times (37.20 / (30.00 + 108.00 + 12.00)) = 24.80$$

$$\text{ร้อยละผลได้แก๊ส} = 100 - 9.14 - 24.80 = 66.06$$

การคำนวณร้อยละประกอบแก๊สผลิตภัณฑ์

ภาวะของการทดลอง; อุณหภูมิ 375 องศาเซลเซียส ความดันไนโตรเจนเริ่มต้น 10 บาร์เวลาในการเกิดปฏิกิริยา 30 นาที อัตราส่วนของสารละลายต่อทะเลลายปาล์มเปล่าเท่ากับ 4 ต่อ 1 อัตราส่วนของโอเลอิกในตัวกลาง 10 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ ค.1 ความเข้มข้นของผลิตภัณฑ์แก๊สแต่ละชนิดของตัวมาตรฐาน (Standard)

ชนิดแก๊ส	Area std	%Vol std
H ₂	35593.7	1.01
CO	1876	1.00
CH ₄	7096.2	0.98
CO ₂	2468	1.02

ตารางที่ ค.2 องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์แก๊สแต่ละชนิด

ชนิดแก๊ส	area	% เทียบกับ std	องค์ประกอบ ผลิตภัณฑ์แก๊ส (%Vol)	องค์ประกอบ ผลิตภัณฑ์แก๊ส (mol)
H ₂	93341.5	2.649	3.814	1.02
CO	31485.6	16.783	24.171	6.49
CH ₄	17817.2	2.461	3.544	0.95
CO ₂	115037.3	47.544	68.471	18.38

การคำนวณ

$$\text{องค์ประกอบผลิตภัณฑ์แก๊ส (\%vol)} = \frac{(\text{area} \times \% \text{volstd})}{\text{areastd}} \times 100$$

$$\text{องค์ประกอบผลิตภัณฑ์แก๊ส (mol)} = \frac{(P_{\text{สุดท้าย}} - P_{\text{เริ่มต้น}}) \times V}{RT} \times \% \text{vol}$$

ตัวอย่างการคำนวณ

องค์ประกอบไฮโดรเจน

$$\text{องค์ประกอบผลิตภัณฑ์ไฮโดรเจน (\%vol)} = \frac{93341.5 \times 1.01}{35593.7} \times 100 = 3.814$$

$$\text{องค์ประกอบผลิตภัณฑ์ไฮโดรเจน (mol)} = \frac{(29.7 - 10) \times 0.35}{0.08314 \times 309} \times 3.814 = 1.02$$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก ง

การคำนวณร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ในหัวข้อชนิดของตัวกลาง

1. การคำนวณร้อยละผลได้ของของเหลว

$$\text{ร้อยละผลได้ของเหลว*} = 100 [W_{\text{liq biomass}} - W_{\text{liq blank}} / (W_{\text{db}})]$$

2. การคำนวณร้อยละผลได้ของของแข็ง

$$\text{ร้อยละผลได้ของแข็ง*} = 100 [W_{\text{Ash biomass}} - W_{\text{Ash blank}} / (W_{\text{db}})]$$

3. การคำนวณร้อยละผลได้ของแก๊ส

$$\text{ร้อยละผลได้แก๊สผลิตภัณฑ์*} = 100 - \text{ร้อยละผลได้ของเหลว} - \text{ร้อยละผลได้ของแข็ง}$$

โดย

$$W_{\text{db}} = \text{น้ำหนักทะเลยาปาล์มเปล่าที่ปราศจากความชื้น}$$

$$W_{\text{liq biomass}} = \text{น้ำหนักของผลิตภัณฑ์ของเหลวที่มีชีวมวล}$$

$$W_{\text{liq blank}} = \text{น้ำหนักของผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ไม่มีชีวมวล}$$

$$W_{\text{Ash biomass}} = \text{น้ำหนักของกากที่มีชีวมวล}$$

$$W_{\text{Ash blank}} = \text{น้ำหนักของกากที่ไม่มีชีวมวล}$$

ตัวอย่างการคำนวณ

ภาวะของการทดลอง; ตัวกลางผสมระหว่างกลีเซอรอลและน้ำที่อัตราส่วน 50 ต่อ 50 โดยน้ำหนัก อุณหภูมิ 375 องศาเซลเซียส ความดันไนโตรเจนเริ่มต้น 10 บาร์ เวลาในการเกิดปฏิกิริยา 30 นาที อัตราส่วนของสารละลายต่อทะเลาะปาล์มเปล่าเท่ากับ 4 ต่อ 1

การคำนวณ

น้ำหนักทะเลาะปาล์มเปล่า (Dry basis)	=	30.00	กรัม
น้ำหนักของผลิตภัณฑ์ของเหลวที่มีชีวมวล	=	9.76	กรัม
น้ำหนักของผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ไม่มีชีวมวล	=	6.23	กรัม
น้ำหนักของกากที่มีชีวมวล	=	14.44	กรัม
น้ำหนักกากที่ไม่มีชีวมวล	=	6.00	กรัม
ร้อยละผลได้ของเหลว*	=	$100 \times [(9.76 - 6.23) / 30]$	= 11.77
ร้อยละผลได้ของแข็ง*	=	$100 \times [(14.44 - 6.00) / 30]$	= 28.13
ร้อยละผลได้แก๊ส*	=	$100 - 11.77 - 28.13$	= 60.1

ภาคผนวก จ

ข้อมูลการทดลอง

ตารางที่ จ.1 ข้อมูลการทดลอง

Biomass (g)	Oleic acid (g)	Glycerol (g)	H ₂ O (g)	Temp. (°C)	Time (min)	Final pressure (bar)	%Solid Yield	%Oil Yield	%Composition (Bio-oil)				%Gas Yield	%Composition (Gas)			
									C	H	O	N		H ₂	CO	CH ₄	CO ₂
30	-	120	-	325	30	29.7	14.26	9.3	55.81	9.294	0.23	34.66	76.44	3.81	24.17	3.54	68.47
30	-	120	-	375	30	56.8	14.16	7.29	75.82	11.57	0.34	12.27	78.55	12.11	16.77	6.45	64.67
30	-	120	-	375	60	57	17.93	8.30	75.30	10.20	0.54	13.96	73.77	13.47	13.42	6.30	66.81
30	12	108	-	375	30	51.2	24.80	9.14	75.03	12.17	0.31	12.49	66.06	16.84	13.72	8.08	61.35
30	24	96	-	375	30	48.5	26.67	16.00	67.26	11.19	0.29	21.26	57.33	17.69	15.00	9.67	57.65
30	30	90	-	375	30	47.1	33.04	9.15	72.43	11.98	0.25	15.34	57.81	13.20	13.33	6.30	67.17
30	0	-	120	375	30	20.4	44.2	4	74.29	10.11	0.87	14.72	51.8	5.35	5.26	2.44	86.94
30	12	-	108	375	30	21	44.07	7.7	76.74	11.84	0.56	10.85	48.23	5.013	5.26	2.67	87.04
30	24	-	96	375	30	21	45.72	8.61	75.42	12.77	0.46	11.34	45.67	5.396	5.34	3.14	86.11
30	30	-	90	375	30	21.3	46.67	8.9	75.07	13.07	0.52	11.33	44.43	5.33	6.33	3.48	84.84
30	0	60	60	375	30	32.7	16.04	10.84	75.42	9.67	0.55	14.35	73.12	12.02	9.52	5.91	72.53
30	12	54	54	375	30	31.3	16.67	17.03	73	9.6	0.38	15	66.3	12.49	15.11	7.21	65.18
30	24	48	48	375	30	31.1	19.61	19.84	72.99	9.54	0.3	17.17	60.55	13.88	15.13	6.69	64.29
30	30	45	45	375	30	31	22.85	23.38	71.77	9.55	0.39	18.29	53.77	12.84	15.59	5.65	65.90

ตารางที่ จ.1 (ต่อ) ข้อมูลการทดลอง

Biomass (g)	Oleic acid (g)	Glycerol (g)	H ₂ O (g)	Temp. (°C)	Time (min)	Final pressure (bar)	%Solid Yield	%Oil Yield	%Composition (Bio-oil)				%Gas Yield	%Composition (Gas)			
									C	H	O	N		H ₂	CO	CH ₄	CO ₂
-	-	120	-	375	30	40	8.04	5.70	68.79	9.34	0.17	21.71	86.26	6.30	48.46	9.18	36.06
-	-	60	60	375	30	35	10.00	9.10	76.71	9.28	0.09	13.92	80.90	7.78	46.22	6.31	39.69

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวเบญจวรรณ บุญสินวโรทัย เกิดวันที่ 7 พฤษภาคม 2532 สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ปีการศึกษา 2553 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตร วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมีเทคนิค ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2554



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY