

การผลิตน้ำมันชีวภาพจากสาหร่ายโดยไฮโดรเทอร์มัลลิกวิพากษ์แบบกึ่งต่อเนื่องที่ใช้ตัวทำละลาย
ร่วมของน้ำและเอทานอล



นายคชา ลิขเรศสุวรรณ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

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.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาปิโตรเคมีและวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์

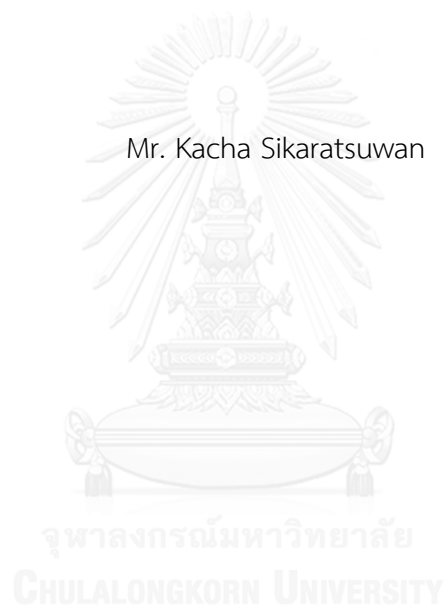
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2558

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

BIO-OIL PRODUCTION FROM ALGAE BY SEMI-
CONTINUOUS HYDROTHERMAL LIQUEFACTION USING CO-
SOLVENT OF WATER AND ETHANOL

Mr. Kacha Sikaratsuwan



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Petrochemistry and Polymer Science

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2015

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การผลิตน้ำมันชีวภาพจากสาหร่ายโดยไฮโดรเทอร์มัลลิควิ
แพกซ์แบบกึ่งต่อเนื่องที่ใช้ตัวทำละลายร่วมของน้ำและเอ
ทานอล

โดย

นายคชา สีขเรศสุวรรณ

สาขาวิชา

ปิโตรเคมีและวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ประพันธ์ คูชลธารา

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร. พลกฤษณ์ แสงวณิช)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วรินทร์ ชวศิริ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ประพันธ์ คูชลธารา)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. ประณัฐ โปธิยะราช)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ดร. กัญย์ กังวานสายชล)

คชา สิขเรศสุวรรณ : การผลิตน้ำมันชีวภาพจากสาหร่ายโดยไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชันแบบกึ่งต่อเนื่องที่ใช้ตัวทำละลายร่วมของน้ำและเอทานอล (BIO-OIL PRODUCTION FROM ALGAE BY SEMI-CONTINUOUS HYDROTHERMAL LIQUEFACTION USING CO-SOLVENT OF WATER AND ETHANOL) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ. ดร. ประพันธ์ คูชลธารา, 70 หน้า.

ไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชันเป็นกระบวนการในการเปลี่ยนชีวมวลที่มีความชื้นสูง ตัวอย่างเช่น สาหร่าย ให้กลายเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพโดยไม่ต้องผ่านกระบวนการอบแห้งก่อนนำไปใช้ งานวิจัยนี้สนใจที่จะศึกษาผลของการใช้เอทานอลและน้ำเป็นตัวทำละลายร่วมในกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชันในเตาปฏิกรณ์แบบกึ่งต่อเนื่อง ซึ่งตัวแปรต่างๆ ที่จะใช้ในการศึกษามีดังนี้ อุณหภูมิ 280-320 องศาเซลเซียส อัตราส่วนความเข้มข้นเอทานอลร้อยละ 0-100 โดยปริมาตร, อัตราการไหลของตัวทำละลาย 0.5 และ 1.0 มิลลิลิตรต่อนาที และเวลาในการดำเนินการทดลอง 2 ชั่วโมง พบว่าการใช้ตัวละลายร่วมระหว่างเอทานอลและน้ำสามารถให้ผลิตผลน้ำมันดิบชีวภาพที่มากกว่าและปริมาณกากของแข็งที่น้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ตัวทำละลายเดี่ยว โดยภาวะการทดลองที่ให้ผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพสูงสุด คือ อุณหภูมิ 320 องศาเซลเซียส อัตราส่วนความเข้มข้นเอทานอลร้อยละ 50 โดยปริมาตร อัตราการไหลของตัวทำละลายเท่ากับ 1.0 มิลลิลิตรต่อนาที ได้ค่าผลได้น้ำมันดิบชีวภาพอยู่ที่ร้อยละ 63.13 โดยน้ำหนัก จากการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรดำเนินการพบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิและอัตราการไหลของตัวทำละลายส่งผลให้ผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ในกรณีที่ใช้ตัวทำละลายร่วมพบว่าผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพที่อัตราส่วนความเข้มข้นเอทานอลร้อยละ 0 – 50 โดยปริมาตร มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จากนั้นจะลดลงอย่างมีนัยยะเมื่ออัตราส่วนความเข้มข้นเอทานอลเพิ่มขึ้น (ร้อยละ 50 – 100 โดยปริมาตร) ซึ่งแสดงถึงการเกิดผลเสริมฤทธิ์ระหว่างเอทานอลและน้ำในกระบวนการ ค่าความร้อนของน้ำมันดิบชีวภาพถูกคำนวณโดยสมการของคูลองมีค่าสูงสุดที่ 34.57 เมกะจูลต่อกิโลกรัม และปริมาณน้ำในน้ำมันดิบชีวภาพมีค่าต่ำสุดที่ร้อยละ 1.52 โดยน้ำหนัก จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโตกราฟี – สเปกโทรสโกปีพบว่าองค์ประกอบส่วนใหญ่ของน้ำมันดิบชีวภาพคือ กรีเซอริน กรดเฮกซะเดคาโนอิก เอสทิลเอสเทอร์ และกรดเฮกซะเดคาโนอิก (กรดปาล์มิติก)

สาขาวิชา ปิโตรเคมีและวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ ลายมือชื่อนิสิต

ปีการศึกษา 2558

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

5672187523 : MAJOR PETROCHEMISTRY AND POLYMER SCIENCE

KEYWORDS: HYDROTHERMAL LIQUEFACTION, BIOCRUDE, SEMI-CONTINUOUS REACTOR, ETHANOL-WATER CO-SOLVENT, ALGAE

KACHA SIKARATSUWAN: BIO-OIL PRODUCTION FROM ALGAE BY SEMI-CONTINUOUS HYDROTHERMAL LIQUEFACTION USING CO-SOLVENT OF WATER AND ETHANOL. ADVISOR: ASST. PROF. PRAPAN KUCHONTHARA, Ph.D., 70 pp.

Hydrothermal liquefaction (HTL) is a promising method to convert high-moisture biomass, e.g. algae, into liquid biofuels without a drying process. This work was focused on investigating synergistic effects of using water/ethanol co-solvent on HTL in a semi-continuous reactor. Experiments were carried out at the solvent flow rates of 0.5 and 1.0 mL/min and a reaction time of 2 hr. The operating conditions, temperature (280, 300, and 320 °C) and ethanol concentration (0 to 100 vol.%), were varied. The co-solvent system was found to give higher bio-crude yield and lower solid yield in comparison with the pure solvent (water or ethanol). The highest biocrude yield of 63.13 wt.% was obtained at 320 °C in 50 vol.% of ethanol concentration at a flow rate of 1.0 mL/min and found to be 63.13 wt.%. The biocrude₁ yield continuously increased with increment of temperature and flow rate. In case of co-solvent, the yield of biocrude₁ was greater than single solvent. The biocrude₁ yield, which rose up dramatically at lower ethanol concentration (0 – 50 vol.%), fell down slightly at higher ethanol concentration (50 - 100 vol.%), indicating the synergistic effect of ethanol and water. The heating value of biocrude calculated by Dulong equation was 34.57 MJ/kg at the optimal condition. The lowest water content measured by Karl Fischer titration technique was 1.52 wt.%. Moreover, the total acid number (TAN) was declined when decreasing ethanol concentration. The major biocrude compositions which were comprehensively characterized by gas chromatography – mass spectroscopy (GC-MS) consisted of glycerin, hexadecanoic acid ethyl ester, and n-hexadecanoic acid.

Field of Study: Petrochemistry and
Polymer Science

Student's Signature

Advisor's Signature

Academic Year: 2015

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยเล่มนี้สำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดีด้วยความอนุเคราะห์ของอาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประพันธ์ คูชลธารา ที่ได้กรุณาอบความรู้ แนวคิด และข้อคิดเห็น อีกทั้งยังช่วยแก้ไขปัญหาต่างๆ จนทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนเงินทุนจากสาขาวิชาปิโตรเคมีและวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ ทางผู้ทำวิจัยจึงขอขอบคุณมา ณ ที่นี้

ขอกราบขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรินทร์ ชวศิริ, รองศาสตราจารย์ ดร.ประณัฐ โปธิยะราช และดร.กันย์ กังวานสายชล ที่ได้ให้เกียรติมาเป็นกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ และกรุณาให้คำแนะนำในการจัดทำวิทยานิพนธ์ให้มีความสมบูรณ์

ขอขอบคุณภาควิชาเคมีเทคนิค ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือต่างๆ ในการทำวิจัย นักวิทยาศาสตร์และบุคลากรทุกท่านทั้งในภาควิชาเคมีเทคนิคและหลักสูตรปิโตรเคมีและวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ที่ให้ความช่วยเหลือต่างๆ รวมถึงให้ความรู้ในการใช้เครื่องมือในการทำงานวิจัย

ขอขอบคุณสมาชิกในครอบครัวที่เป็นกำลังใจและให้การสนับสนุนในทุกๆ ด้านจนสำเร็จ การศึกษา รวมถึงเพื่อนๆ และพี่ๆ ที่ให้กำลังใจและคำแนะนำเสมอมา

และสุดท้ายขอบคุณสมาชิกทุกท่านใน GLS fuel lab. ที่ให้ความช่วยเหลือจนกระทั่งงานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

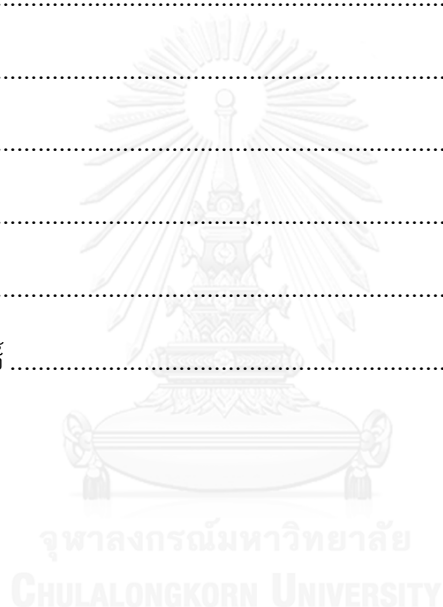
สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญรูปภาพ.....	ฉ
บทที่ 1	1
บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการวิจัย.....	2
1.5 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัย.....	2
บทที่ 2	4
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 แนวคิดและทฤษฎี.....	4
2.2 ชีวมวล	5
2.2.1 แหล่งกำเนิดชีวมวล	6
2.2.2 ศักยภาพของชีวมวล	6
2.2.2.1 วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร.....	7
2.2.2.2 ของเสียจากฟาร์มปศุสัตว์.....	7
2.2.2.3 ขยะ.....	7

2.2.2.4 น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม	7
2.2.3 ข้อได้เปรียบและเสียเปรียบของชีวมวล	8
2.3 เชื้อเพลิงชีวภาพ.....	9
2.4 สาหร่ายน้ำมัน.....	12
2.4.1 ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและการสะสมน้ำมันของสาหร่าย	14
2.4.2 ศักยภาพในการผลิตน้ำมันชีวภาพ	14
2.4.3 การเพาะเลี้ยงสาหร่าย	15
2.5 การเปลี่ยนชีวมวลเป็นพลังงาน.....	16
2.5.1 กระบวนการฟิสิกส์เชิงเคมี (Physico-chemical processes).....	17
2.5.2 กระบวนการชีวเคมี (Biochemical processes).....	17
2.5.3 กระบวนการความร้อนเชิงเคมี (Thermochemical processes).....	17
2.6. ไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชัน (hydrothermal liquefaction).....	19
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	20
บทที่ 3	27
วิธีดำเนินการวิจัย	27
3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้	27
3.2 สารตั้งต้นและสารเคมีที่ใช้.....	28
3.3. ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	28
3.3.1. การเตรียมตัวอย่างสาหร่าย.....	28
3.3.2. กระบวนการไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชันของสาหร่าย	28
3.3.3. การแยกเก็บผลิตภัณฑ์.....	29
3.4. ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง	30
3.5. การวิเคราะห์ผลต่างๆ ของผลิตภัณฑ์	31

3.5.1. การวิเคราะห์สมบัติเบื้องต้นของสาหร่ายน้ำมัน	31
3.5.2. การวิเคราะห์น้ำมันดิบชีวภาพ	31
3.5.2.1. ค่าความร้อนของน้ำมันดิบชีวภาพ	31
3.5.2.2. องค์ประกอบทางเคมี.....	32
3.5.2.3. ปริมาณน้ำในน้ำมันดิบชีวภาพ.....	33
3.5.2.4. ปริมาณกรดในน้ำมันดิบชีวภาพ.....	33
บทที่ 4	35
ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	35
4.1 การวิเคราะห์แบบประมาณ (proximate analysis) และการวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (ultimate analysis).....	35
4.2. ไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกชันของสาหร่ายน้ำมัน	36
4.2.1 ผลกระทบของอัตราส่วนตัวทำละลายร่วมต่อน้ำมันดิบชีวภาพ ₁ และน้ำมันดิบ ชีวภาพ ₂	36
4.2.2 ผลกระทบของอุณหภูมิต่อน้ำมันดิบชีวภาพ ₁ และน้ำมันดิบชีวภาพ ₂	39
4.2.3 ผลกระทบของอัตราการไหลต่อน้ำมันดิบชีวภาพ ₁	41
4.2.4 ผลกระทบของอุณหภูมิและอัตราส่วนตัวทำละลายต่อกากของแข็ง.....	42
4.3 การวิเคราะห์น้ำมันดิบชีวภาพ.....	44
4.3.1 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำและกรดในน้ำมันดิบชีวภาพ ₁	44
4.3.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุ.....	45
4.3.3 การวิเคราะห์องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ด้วยการใช้เทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี- แมสสเปกโทรสโกปี) GC – MS)	46
บทที่ 5	55
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	55
5.1 สรุปผลการทดลอง	55

5.1.1 ภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตน้ำมันดิบชีวภาพจากสาหร่ายด้วยวิธีการไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแพกซ์.....	55
5.1.2 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการผลิตน้ำมันดิบชีวภาพ	55
5.1.3 การวิเคราะห์สมบัติของน้ำมันดิบชีวภาพ	55
5.2 ข้อเสนอแนะ	56
รายการอ้างอิง	57
ภาคผนวก.....	60
ภาคผนวก ก.....	61
ภาคผนวก ข.....	64
ภาคผนวก ค.....	65
ภาคผนวก ง	67
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	70



สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1 การประเมินศักยภาพพลังงานจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร]5[.....	8
ตารางที่ 2.2 ความสามารถในการสะสมน้ำมันในสาหร่ายแต่ละประเภท]8[.....	13
ตารางที่ 2.3 เปรียบเทียบศักยภาพในการผลิตชีวมวล ปริมาณน้ำมันสะสม และพลังงานเชื้อเพลิง ระหว่าง พืชน้ำมันชนิดต่างๆ และสาหร่ายน้ำมัน]12[.....	15
ตารางที่ 3.1 ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาในกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชันของสาหร่าย น้ำมัน	30
ตารางที่ 3.2 ภาวะที่ใช้ในการวิเคราะห์โดยเครื่องโครมาโทกราฟี - แมสสเปกโตรมิเตอร์	33
ตารางที่ 4.1 วิเคราะห์แบบประมาณและวิเคราะห์แบบแยกธาตุของสาหร่ายน้ำมัน	35
ตารางที่ 4.2 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำและกรดในน้ำดิบชีวภาพ ₁	45
ตารางที่ 4.3 องค์ประกอบธาตุในน้ำมันดิบชีวภาพในอัตราส่วนความเข้มข้นเอทานอลต่างๆ.....	46
ตาราง 4.4 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบผลิตภัณฑ์เตรียมจากสภาวะอุณหภูมิ 320 องศาเซลเซียส โดยใช้อัตราการใช้ของตัวทำละลายเท่ากับ 1.0 มิลลิลิตรต่ออนาที ที่อัตราส่วนความเข้มข้นเอ ทานอลต่างๆ	48
ตาราง 4.4 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบผลิตภัณฑ์เตรียมจากสภาวะอุณหภูมิ 320 องศาเซลเซียส โดยใช้อัตราการใช้ของสารละลายเท่ากับ 1.0 มิลลิลิตรต่ออนาที และอัตราส่วนความเข้มข้นเอทา นอลร้อยละ 50 โดยปริมาตรระหว่างน้ำมันดิบชีวภาพ ₁ และน้ำมันดิบชีวภาพ ₂	50

สารบัญรูปลูกภาพ

รูปที่ 2.1	กราฟแสดงราคาน้ำมันดิบทั่วโลกตั้งแต่ปี 2000 – 2015 [1]	5
รูปที่ 2.2	กระบวนการสังเคราะห์แสงของพืช [2]	6
รูปที่ 2.3	แผนภาพการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพในยุคต่างๆ [6]	10
รูปที่ 2.4	การผลิตเอทานอลชีวภาพจากการหมัก [7]	12
รูปที่ 2.5	ปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันในการผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพ [7]	12
รูปที่ 2.6	สาหร่ายน้ำมัน	13
รูปที่ 2.7	แผนภาพกระบวนการเปลี่ยนชีวมวลเป็นพลังงาน [16]	17
รูปที่ 2.8	กระบวนการความร้อนเชิงเคมี [17]	18
รูปที่ 2.9	การเกิดปฏิกิริยาในกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชัน [19]	20
รูปที่ 2.10	ร้อยละผลได้ของน้ำมันชีวภาพจากสาหร่ายในตัวทำละลายชนิดต่างๆ]20[.....	20
รูปที่ 2.11	ร้อยละผลได้ของน้ำมันชีวภาพในอัตราส่วนตัวทำละลายร่วมต่างๆ]22[.....	21
รูปที่ 2.12	ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ต่างๆ ในตัวทำละลายที่ต่างกัน]23[.....	22
รูปที่ 2.13	แผนภาพการผลิตน้ำมันดิบชีวภาพจากสาหร่าย [24]	23
รูปที่ 2.14	ร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพแบบแยกจุดเดือด [24].....	23
รูปที่ 2.15	การวิเคราะห์แบบแยกธาตุของน้ำมันและของแข็งที่ได้จากสาหร่ายชนิดต่างๆ]25[.....	24
รูปที่ 2.16	ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ต่างๆที่ได้จากสาหร่ายทั้ง 3 ชนิด]25[.....	24
รูปที่ 2.17	ผลของการใช้และไม่ใช้ตัวเร่งต่อผลได้ของผลิตภัณฑ์ [26].....	25
รูปที่ 2.18	การวิเคราะห์แบบแยกธาตุของน้ำมันที่ได้จากการใช้และไม่ใช้ตัวเร่ง] 26[.....	25
รูปที่ 2.19	แผนผังการผลิตน้ำมันจากสาหร่าย]27[.....	26
รูปที่ 3.1	เครื่องปฏิกรณ์แบบกึ่งต่อเนื่องในการผลิตน้ำมันดิบชีวภาพจากสาหร่าย	29
รูปที่ 3.2	แผนภาพการผลิตน้ำมันดิบชีวภาพ.....	30

รูปที่ 3.3 เครื่องวิเคราะห์หึ่งค์ประกอบธาตุ)CHN analyzer) CHN-2000	31
รูปที่ 3.4 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี – แมสสเปกโตรมิเตอร์ Shimadzu รุ่น GC - 2010.....	32
รูปที่ 3.5 เครื่องวิเคราะห์ปริมาณน้ำ)Karl-Fischer Titration) METTLER TOLEDO V 20– volumetric KT titrator)	33
รูปที่ 3.6 เครื่องวิเคราะห์ปริมาณกรด)Total Acid Number Titration – TAN) METTLER TOLEDO – G 20compact titrator)	34
รูปที่ 4.1 (ก) ผลกระทบของอัตราส่วนตัวทำละลายร่วมกับน้ำมันดิบชีวภาพ ₁ (ภาวะการทดลอง : อุณหภูมิ 320 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของตัวทำละลาย 1.0 มิลลิลิตรต่อนาที อัตราส่วน ความเข้มข้นเอทานอลร้อยละ 0 – 100 โดยปริมาตร).....	38
รูปที่ 4.1 (ข) ผลกระทบของอัตราส่วนตัวทำละลายร่วมกับน้ำมันดิบชีวภาพ ₂ (ภาวะการทดลอง : อุณหภูมิ 280 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของตัวทำละลาย 1.0 มิลลิลิตรต่อนาที อัตราส่วน ความเข้มข้นเอทานอลร้อยละ 0 – 100 โดยปริมาตร).....	39
รูปที่ 4.2 (ก) ผลกระทบของอุณหภูมิกับน้ำมันดิบชีวภาพ ₁ (ภาวะการทดลอง : อุณหภูมิ 280, 300 และ 320 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของตัวทำละลาย 1.0 มิลลิลิตรต่อนาที อัตราส่วนความเข้มข้น เอทานอลร้อยละ 0 – 100 โดยปริมาตร).....	40
รูปที่ 4.2 (ข) ผลกระทบของอุณหภูมิกับน้ำมันดิบชีวภาพ ₂ (ภาวะการทดลอง : อุณหภูมิ 280, 300 และ 320 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของตัวทำละลาย 1.0 มิลลิลิตรต่อนาที อัตราส่วนความเข้มข้น เอทานอลร้อยละ 0 – 100 โดยปริมาตร).....	41
รูปที่ 4.3 ผลกระทบของอัตราการไหลกับน้ำมันดิบชีวภาพ ₁ (ภาวะการทดลอง : อัตราการไหล 0.5 และ 1.0 มิลลิลิตรต่อนาที อุณหภูมิ 320 องศาเซลเซียส อัตราส่วนความเข้มข้นเอทานอลร้อยละ 0 – 100 โดยปริมาตร).....	42
รูปที่ 4.4 ผลกระทบของอุณหภูมิและอัตราส่วนตัวทำละลายต่ออากาศของแข็ง (ภาวะการทดลอง : อุณหภูมิ 280, 300 และ 320 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของตัวทำละลาย 1.0 มิลลิลิตรต่อนาที อัตราส่วนความเข้มข้นเอทานอลร้อยละ 0 – 100 โดยปริมาตร).....	43
รูปที่ 4.5 ปฏิกริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน [7]	49

- รูปที่ 4.6 (ก) โครมาโทแกรมของน้ำมันดิบชีวภาพ₁ (ภาวะการทดลอง : อุณหภูมิ 320 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของตัวทำละลาย 1.มิลลิลิตรต่อนาที อัตราส่วนความเข้มข้นเอทานอล 0 โดยน้ำหนัก 0 ร้อยละ)..... 51
- รูปที่ 4.6 (ข) โครมาโทแกรมของน้ำมันดิบชีวภาพ₁ (ภาวะการทดลอง : อุณหภูมิ 320 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของตัวทำละลาย 1.มิลลิลิตรต่อนาที อัตราส่วนความเข้มข้นเอทานอล 0 ร้อยละ5โดยน้ำหนัก 0) 52
- รูปที่ 4. 6(ค) โครมาโทแกรมของน้ำมันดิบชีวภาพ₁ (ภาวะการทดลอง : อุณหภูมิ 320 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของตัวทำละลาย 1.มิลลิลิตรต่อนาที อัตราส่วนความเข้มข้นเอทานอล 0 ร้อยละ10โดยน้ำหนัก 0)..... 53
- รูปที่ 4. 6(ง) โครมาโทแกรมของน้ำมันดิบชีวภาพ₂ (ภาวะการทดลอง : อุณหภูมิ 320 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของตัวทำละลาย 1.มิลลิลิตรต่อนาที อัตราส่วนความเข้มข้นเอทานอล 0 ร้อยละ5โดยน้ำหนัก 0) 54

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันเป็นที่ทราบกันดีว่า พลังงานส่วนใหญ่มาจากเชื้อเพลิงฟอสซิล ซึ่งนับวันจะยิ่งมีความต้องการพลังงานเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง สวนทางกับปริมาณเชื้อเพลิงฟอสซิลที่ลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากเชื้อเพลิงฟอสซิลไม่สามารถหมุนเวียนมาใช้เป็นพลังงานใหม่ได้ในระยะเวลาอันสั้น ส่งผลให้เกิดวิกฤตการณ์เกี่ยวกับพลังงานในหลายๆ ประเทศ ทำให้แต่ละประเทศมีการรณรงค์เรื่องการประหยัดพลังงานและเริ่มให้ความสนใจพัฒนาพลังงานทดแทนหรือพลังงานทางเลือกมากขึ้น ซึ่งพลังงานทดแทนดังกล่าวมีหลากหลายประเภท เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานน้ำ พลังงานความร้อนใต้พิภพ และพลังงานจากชีวมวล ประเทศไทยมีอาชีพเกษตรกรรมเป็นอาชีพหลักของประเทศ ทำให้มีการผลิตชีวมวลที่จะนำมาใช้เป็นพลังงานได้ โดยที่ไม่ต้องนำเข้าจากที่ต่างๆ ถือเป็นการลดต้นทุนของวัตถุดิบ ประเทศไทยจึงถูกให้การจับตามองว่าจะเป็นผู้นำกระแสทางด้านพลังงานทดแทนอันดับต้นๆ ในทวีปเอเชีย ชีวมวลส่วนใหญ่ที่เรานำมาใช้เป็นพลังงาน ได้แก่ วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร อาทิ ชังข้าวโพด ชานอ้อย แกลบ และอื่นๆ นอกจากนี้ยังมีชีวมวลที่ได้รับความนิยมในขณะนี้ คือ สาหร่าย เพราะเมื่อเทียบกับชีวมวลชนิดอื่นๆ สาหร่ายสามารถให้ปริมาณที่น้ำมันที่มากกว่าและมีอัตราการเจริญเติบโตที่รวดเร็ว อีกทั้งยังช่วยลดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ และยังไม่มีการกระทบต่ออุตสาหกรรมอาหารเหมือนชีวมวลชนิดอื่นๆ อีกด้วย ไฮโดรเทอร์มอลลิควิแฟกชันเป็นกระบวนการหนึ่งที่ใช้แปรรูปสาหร่ายเป็นน้ำมันชีวภาพได้ ซึ่งมีข้อได้เปรียบกว่ากระบวนการแบบอื่นๆ คือ สามารถใช้วัตถุดิบได้ทั้งแบบแห้งและแบบเปียก อีกทั้งอุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการไม่สูงมาก งานวิจัยนี้มุ่งศึกษาผลของการใช้ตัวทำละลายร่วมของเอทานอลและน้ำ ต่อประสิทธิภาพในการผลิตน้ำมันชีวภาพจากสาหร่ายเทียบกับการใช้ตัวทำละลายชนิดเดียว

1.2 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาการผลิตน้ำมันชีวภาพจากสาหร่ายโดยไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกซ์ที่ใช้ตัวทำละลายร่วมของเอทานอลและน้ำในเตาปฏิกรณ์แบบท่อ
2. ศึกษาผลเสริมฤทธิ์ระหว่างเอทานอลและน้ำซึ่งใช้เป็นตัวทำละลายร่วม

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

ศึกษาผลของการใช้ตัวทำละลายร่วมของเอทานอลและน้ำในการผลิตน้ำมันชีวภาพจากสาหร่ายโดยไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกซ์เปรียบเทียบกับตัวทำละลายเดี่ยว และศึกษาผลของปัจจัยดำเนินการที่เกี่ยวข้องต่อผลได้ของน้ำมันชีวภาพ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการวิจัย

ได้ภาวะที่เหมาะสมสำหรับผลิตน้ำมันชีวภาพจากสาหร่ายโดยไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกซ์

1.5 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัย

1. ค้นคว้าเอกสารและข้อมูลที่เกี่ยวข้อง และเตรียมสารเคมีและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย
2. วิเคราะห์แบบประมาณ (proximate analysis) เพื่อหาสารระเหย, คาร์บอนคงที่, ความชื้น, ปริมาณเถ้า
3. ผลิตน้ำมันชีวภาพจากสาหร่ายด้วยไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกซ์ ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 2 ชั่วโมง และความดันน้ำในระบบ 12 และ 16 เมกะปาสคาล โดยศึกษาผลของปัจจัยการดำเนินงานต่างๆ ต่อผลได้ของน้ำมันชีวภาพ ได้แก่
 - 3.1 อุณหภูมิ (280, 300, 320 องศาเซลเซียส)
 - 3.2 อัตราการไหลของตัวทำละลาย (0.5, 1 มิลลิลิตรต่อนาที)
 - 3.3 อัตราส่วนระหว่างเอทานอลและน้ำ (1:0, 0.75:0.25, 0.5:0.5, 0.25:0.75, 0:1)
4. คำนวณผลได้ของน้ำมันชีวภาพ โดยการแยกวัฏภาคน้ำมันและน้ำออกจากกันด้วยไดคอลลอโรมีเทน และระเหยไดคอลลอโรมีเทนออก
5. วิเคราะห์สมบัติต่างๆ ของน้ำมันชีวภาพที่ได้ ด้วยเทคนิคต่างๆ ได้แก่
 - 5.1 วิเคราะห์ส่วนประกอบของน้ำมันด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี (Gas Chromatography) – Mass Spectrometry, GC/MS(
 - 5.2 วิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุด้วยเครื่องวิเคราะห์ธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน และไนโตรเจน (CHN analyzer(
 - 5.3 คำนวณค่าความร้อนของน้ำมันตามสูตรของดูลอง (Dulong's formula (จากปริมาณธาตุที่ได้จาก 5.2

- 5.4 วิเคราะห์ปริมาณน้ำในน้ำมันชีวภาพด้วยเครื่อง Karl Fischer titration
6. นำส่วนที่เป็นของแข็งไปวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุด้วยเครื่องวิเคราะห์ธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน และไนโตรเจน
 7. วิเคราะห์ สรุปลผลการทดลอง และเขียนวิทยานิพนธ์

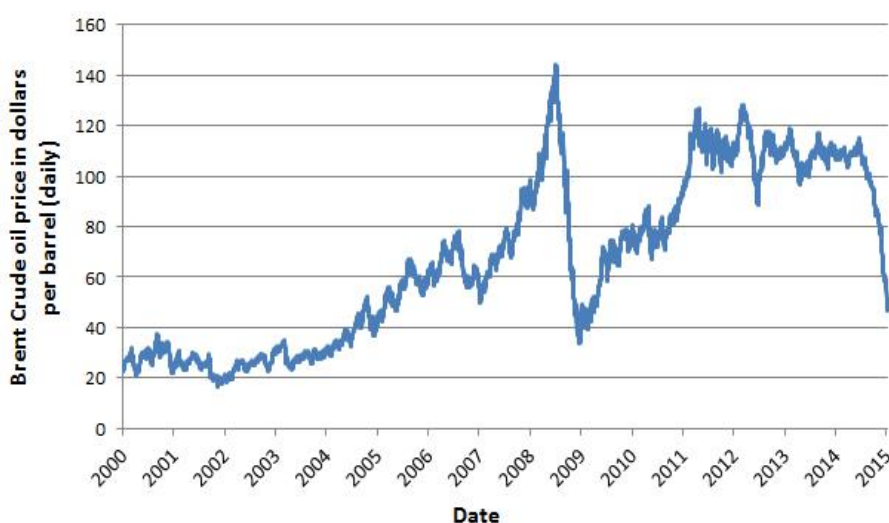


บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 แนวคิดและทฤษฎี

ปัจจุบันเป็นที่ทราบกันทั่วไปว่า พลังงานส่วนใหญ่ที่ถูกนำมาใช้ในภาคครัวเรือนและภาคอุตสาหกรรมได้มาจากเชื้อเพลิงฟอสซิล ซึ่งนับวันจะยิ่งมีความต้องการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องสวนทางกับปริมาณเชื้อเพลิงฟอสซิลที่ลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องมาจากเชื้อเพลิงดังกล่าวไม่สามารถหมุนเวียนมาใช้เป็นพลังงานใหม่ได้ในระยะเวลาอันสั้น ส่งผลให้เกิดวิกฤตการณ์พลังงานขาดแคลนและราคาน้ำมันปรับตัวสูงขึ้นในหลายๆ ประเทศทั่วโลก ตัวอย่างเช่น ในปี พ.ศ. 2551 ราคาน้ำมันในตลาดโลกปรับตัวเพิ่มขึ้นจาก 70 ดอลลาร์สหรัฐต่อบาร์เรล เป็น 140 ดอลลาร์สหรัฐต่อบาร์เรล ดังแสดงในรูปที่ 2.1 มีผลให้ราคาขายปลีกน้ำมันตามสถานีน้ำมันปรับตัวสูงขึ้น น้ำมันดีเซลจากราคา 13.03 บาทต่อลิตร เดือนกรกฎาคม ปี 2546) เพิ่มสูงสุดเป็น 44.24 บาทต่อลิตร (เดือนกรกฎาคม ปี 2551) และน้ำมันเบนซินปรับตัวสูงขึ้นจาก 15.39 บาทต่อลิตร (เดือนกรกฎาคม) 2546) เพิ่มขึ้นสูงสุดเป็น 42.79 บาทต่อลิตร (เดือนกรกฎาคม) 2551) จากตัวอย่างที่กล่าวมาในข้างต้นทำให้หลายประเทศตื่นตัวเรื่องการรณรงค์ให้ประหยัดพลังงานและหันมาให้ความสนใจเกี่ยวกับพลังงานทดแทนหรือพลังงานทางเลือกกันมากขึ้น พลังงานงานทดแทนที่นิยมนำมาใช้ในการผลิตเป็นพลังงานมีหลากหลายประเภท อาทิเช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานน้ำ พลังงานลม พลังงานความร้อนใต้พิภพ และพลังงานจากชีวมวล ซึ่งพลังงานจากแหล่งธรรมชาติที่กล่าวมานั้นสามารถหมุนเวียนมาใช้ได้ใหม่โดยไม่มีวันหมดไปจากโลกเหมือนดังเชื้อเพลิงฟอสซิล อีกทั้งยังเป็นพลังงานที่สะอาดไม่ก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศ มีต้นทุนของวัตถุดิบที่ต่ำ แต่อาจยังมีข้อเสียที่สำคัญคือ ยังไม่สามารถผลิตได้เพียงพอต่อความต้องการของมนุษย์ในแต่ละวัน จึงมีการใช้ควบคู่ไปกับเชื้อเพลิงฟอสซิล อย่างไรก็ตามในอนาคตพลังงานทดแทนถูกคาดหวังไว้ว่าจะเป็นพลังงานสำคัญที่ช่วยแก้ปัญหาวิกฤตการณ์พลังงานขาดแคลนของโลกได้



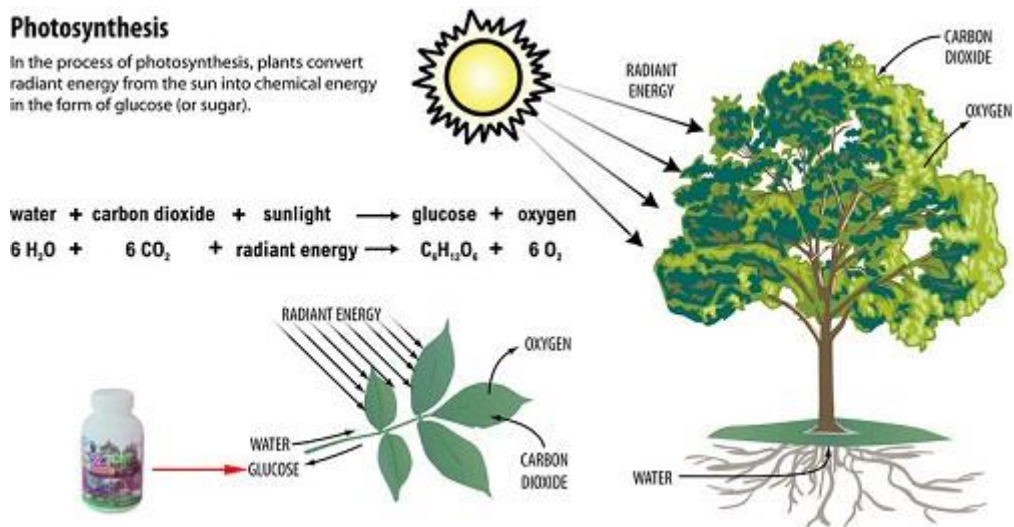
รูปที่ 2.1 กราฟแสดงราคาน้ำมันดิบทั่วโลกตั้งแต่ปี 2000 – 2015 [1]

2.2 ชีวมวล

จากข้อมูลทีกล่าวมาในเบื้องต้น พลังงานจากชีวมวลเป็นพลังงานทดแทนที่ถูกนำมาพัฒนามากที่สุด เนื่องจากประเทศไทยมีอาชีพเกษตรกรรมเป็นอาชีพหลักของประเทศ ทำให้สามารถผลิตชีวมวลที่จะนำมาแปรรูปเป็นพลังงานได้โดยไม่ต้องผ่านการนำเข้าจากประเทศเพื่อนบ้าน ถือเป็น การลดต้นทุนของวัตถุดิบ ประเทศไทยจึงถูกจับตามองว่าจะสามารถก้าวขึ้นมาเป็นผู้นำกระแสทางด้านการผลิตพลังงานจากชีวมวลเป็นอันดับต้น ๆ ของทวีปเอเชีย

ชีวมวล คือ สารอินทรีย์ที่เป็นแหล่งกักเก็บพลังงานจากธรรมชาติ อาศัยแสงอาทิตย์ในการสังเคราะห์แสงและเจริญเติบโต สามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงผลิตพลังงานได้ ซึ่งประกอบด้วยธาตุหลักๆ คือ คาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจนและรวมถึงธาตุต่างๆ อีกเล็กน้อย สารอินทรีย์ทีกล่าวมาในข้างต้น ส่วนใหญ่มีที่มาจากพืชและสัตว์ รวมทั้งวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรหรือกากจากกระบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรม อาทิเช่น แกลบ ชานอ้อย กากปาล์ม กากมันสำปะหลัง กะลามะพร้าว เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีพืชบางชนิดที่สามารถปลูกเพื่อใช้ผลิตพลังงานได้โดยทาง เช่น สาหร่าย กระจินยักษ์ ยูคาลิปตัส เป็นต้น

ชีวมวลสามารถผลิตพลังงานได้เองโดยอาศัยกลไกของธรรมชาติที่เรียกว่า กระบวนการสังเคราะห์แสง (Photosynthesis) ซึ่งในกระบวนการนี้พืชจะใช้คาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และแสงอาทิตย์เพื่อให้ได้ผลผลิตเป็นน้ำตาลและแป้ง แล้วจึงนำไปกักเก็บไว้ตามส่วนต่างๆ ของพืชตามแสดงในรูปที่ 2.2 เมื่อนำชีวมวลมาใช้เป็นพลังงานจะได้พลังงานดังกล่าวออกมา



รูปที่ 2.2 กระบวนการสังเคราะห์แสงของพืช [2]

2.2.1 แหล่งกำเนิดชีวมวล

ชีวมวลที่นำมาใช้เป็นพลังงานได้มีแหล่งที่มาได้จาก 2 แหล่ง] 3 (คือ

- เศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร เช่น
 - แกลบ ได้จากการสีข้าวเปลือก
 - ชังข้าวโพด ได้จากการสีข้าวโพดเพื่อนำเมล็ดออก
 - เศษไม้ ได้จากการแปรรูปไม้ยูคาลิปตัส
 - กากมันสำปะหลัง ได้จากการผลิตแป้งมันสำปะหลัง
- ปุ๋ยเพื่อเป็นเชื้อเพลิงโดยเฉพาะ เช่น
 - สาหร่ายน้ำมัน
 - อ้อย

2.2.2 ศักยภาพของชีวมวล

การประเมินศักยภาพของชีวมวลที่จะนำมาใช้ผลิตเป็นพลังงานงานต้องคำนึงถึงความเป็นไปได้ในความสัมพันธ์เชิงเศรษฐศาสตร์และเทคโนโลยีในการผลิต อีกปัจจัยสำคัญคือการ

จัดหาชีวมวลจากแหล่งกักเก็บชีวมวลในพื้นที่ต่างๆ ให้เพียงพอต่อการผลิตพลังงาน สามารถแบ่งเป็น 4 ประเภท ดังนี้ [4]

2.2.2.1 วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร

จากการประเมินศักยภาพของวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรของพืชหลายชนิด พบว่าพืชที่มีศักยภาพสูงในการนำมาผลิตพลังงาน ได้แก่ อ้อย ข้าว ปาล์มน้ำมัน มันสำปะหลัง เป็นต้น ดังแสดงในตารางที่ 2.1 ซึ่งอ้อยและข้าวสามารถให้ศักยภาพพลังงานได้สูงถึงประมาณ 294,050 เทระจูล และ 312,710 เทระจูล ตามลำดับ [5]

2.2.2.2 ของเสียจากฟาร์มปศุสัตว์

สามารถผลิตพลังงานได้จากการย่อยสลายของสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจนจะได้ผลิตภัณฑ์เป็น แก๊สชีวภาพ อีกทั้งในกระบวนการผลิตยังมีกากตะกอนเหลือ ซึ่งนำมาใช้เป็นปุ๋ยได้อีกด้วย โดยมูลโคเนื้อ โคนม กระบือและไก่มีศักยภาพในการผลิตแก๊สชีวภาพรวมกันสูงถึง 417.43 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี ในปี พ.ศ. 2543 คิดเป็นค่าพลังงานต่อปีเท่ากับ 8,767 เทระจูล [4]

2.2.2.3 ขยะ

จากข้อมูลในปี พ.ศ. 2543 มีปริมาณขยะรวม 13.93 ล้านตันซึ่งเป็นปริมาณขยะรวมจากทั่วประเทศ สามารถผลิตแก๊สชีวภาพจากการฝังกลบได้ 1,184 ล้านลูกบาศก์เมตร ให้ค่าพลังงานต่อปีเท่ากับ 23,092 เทระจูล [4]

2.2.2.4 น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม

จากข้อมูลในปี พ.ศ. 2543 น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ ได้แก่ โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง โรงงานน้ำตาล โรงงานปาล์มน้ำมัน โรงงานอาหารทะเลกระป๋อง และโรงฆ่าสัตว์ มีปริมาณน้ำเสียรวม 168.7 ล้านลูกบาศก์เมตร สามารถผลิตเป็นแก๊สชีวภาพได้ 386.1 ล้านลูกบาศก์เมตร ให้ค่าพลังงานต่อปีเท่ากับ 8,500 เทระจูล [4]

ตารางที่ 2.1 การประเมินศักยภาพพลังงานจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร [5]

ชนิด	ผลผลิต		ปริมาณชีว มวลเหลือใช้ (ล้านตัน)	ค่าความ ร้อน (เมกะจูลต่อ กิโลกรัม)	ศักยภาพพลังงาน	
	(ล้านตัน)	ชีวมวล			(เพตะจูล)	(ktoe)
อ้อย	66.8	ชานอ้อย	4.19	14.40	60.34	1,428.54
		ยอดและใบ	13.44	17.39	233.71	5,532.52
ข้าว	31.5	แกลบ	3.51	14.27	50.09	1,185.87
		ฟางข้าว	25.64	10.24	262.62	6,216.73
ปาล์ม น้ำมัน	8.16	ทะลาย	1.02	17.86	18.3	433.29
		เปล้า				
		ใย	0.16	17.62	2.87	67.97
		กะลา	0.03	18.46	0.71	17.02
		ก้าน	2.2	9.83	21.82	516.62
มัน สำปะหลัง	30.08	ลำต้น	2.43	18.42	44.93	1,063.60
		เหง้า	1.83	18.42	33.79	799.89

2.2.3 ข้อได้เปรียบและเสียเปรียบของชีวมวล

เมื่อเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียในการใช้ชีวมวลมาผลิตเป็นพลังงานกับการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลโดยตรงนั้น เชื้อเพลิงจากชีวมวลมีข้อดีกว่า คือ สามารถหมุนเวียนมาใช้ใหม่ได้ในระยะเวลาอันสั้น สามารถช่วยลดการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งนับเป็นแก๊สเรือนกระจกซึ่งเป็นสาเหตุหลักของภาวะโลกร้อนได้ เป็นการช่วยเพิ่มสมดุลแก่ทรัพยากรธรรมชาติ ทั้งเป็นการลดปริมาณขยะและเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรกรรมหรือจากอุตสาหกรรมบางประเภทได้อีกด้วย แต่อย่างไรก็ตามชีวมวลยังมีข้อเสียเปรียบหลายประการในการใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวมวลเมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงฟอสซิล อาทิเช่น

- ชีวมวลแต่ละชนิดปลูกได้ตามฤดูกาลเท่านั้น และผลผลิตที่ได้ขึ้นอยู่กับสภาพภูมิอากาศ
- เกษตรกรเปลี่ยนเป้าหมายของการเพาะปลูกไปในทิศทางที่ตลาดต้องการ
- การขนส่งและการเก็บรักษาทำได้ยาก
- เทคโนโลยีที่ใช้เปลี่ยนชีวมวลบางชนิดให้เป็นพลังงานมีราคาแพง

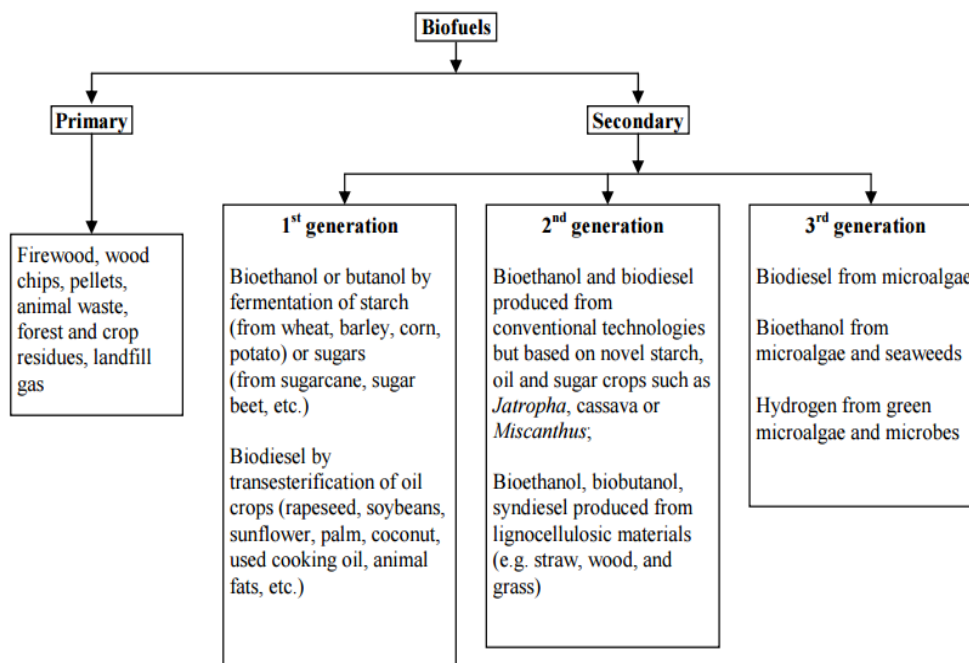
จากข้อเสียเปรียบที่กล่าวไปในข้างต้นทำให้กระบวนการในการเปลี่ยนชีวมวลเป็นพลังงานยังอยู่เพียงในระดับห้องปฏิบัติการเท่านั้น เหตุมาจากการยังไม่คุ้มค่าในเชิงเศรษฐศาสตร์ เมื่อเปรียบเทียบกับ การนำเชื้อเพลิงฟอสซิลมาใช้โดยตรง [4]

2.3 เชื้อเพลิงชีวภาพ

เชื้อเพลิงชีวภาพ คือ เชื้อเพลิงจากธรรมชาติที่นำมาผลิตเป็นพลังงาน สามารถอยู่ทั้งในรูปของแข็ง ของเหลว และแก๊ส คล้ายกับเชื้อเพลิงฟอสซิล

- เชื้อเพลิงของแข็ง อาทิเช่น ไม้ฟืน ไม้สับ ไม้อัดเม็ด และถ่านไม้ เป็นพลังงานชีวภาพชนิดแรกที่มนุษย์นำมาใช้ในการหุงต้ม ให้แสงสว่างและสร้างความอบอุ่นให้แก่ครัวเรือนตั้งแต่สมัยดึกดำบรรพ์ ไม้ประกอบไปด้วยสารประกอบมากมาย โดยสารประกอบหลักคือ เซลลูโลส (cellulose) มีประมาณร้อยละ 50 ไม้ที่มีความชื้นต่ำจะให้ค่าความร้อนสูงกว่าไม้ที่มีความชื้นสูง ดังนั้นจึงนิยมนำไม้แห้งมาใช้ในการเผาให้พลังงาน อย่างไรก็ตามในปัจจุบันมีการณรงค์เรื่องลดการตัดไม้ทั่วโลก เหตุเพราะผืนป่าลดน้อยลงอย่างมาก
- เชื้อเพลิงของเหลว อาทิเช่น เอทานอลชีวภาพ น้ำมันดีเซลชีวภาพ และน้ำมันชีวภาพไพโรไลซิส เป็นเชื้อเพลิงชีวภาพที่นำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในการคมนาคมเป็นส่วนใหญ่
- เชื้อเพลิงแก๊ส ส่วนใหญ่ คือ แก๊สมีเทนที่ได้จากการหมักมูลสัตว์หรือของเสียจากการเลี้ยงสัตว์ เช่น โค กระบือ สุกร แก๊สมีเทนที่ได้นำไปใช้ในการหุงต้มหรือในกระบวนการอื่นๆ ที่ต้องการใช้ความร้อน ส่วนที่เหลือจากการหมักยังสามารถนำไปเป็นปุ๋ยได้อีกด้วย

โดยทั่วไปสามารถแบ่งเชื้อเพลิงชีวภาพได้เป็น 2 หัวข้อใหญ่ๆ คือ เชื้อเพลิงชีวภาพปฐมภูมิ (primary biofuels) และ เชื้อเพลิงชีวภาพทุติยภูมิ (secondary biofuels) ดังแสดงในรูปที่ 2.3 [6]



รูปที่ 2.3 แผนภาพการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพในยุคต่างๆ [6]

เชื้อเพลิงชีวภาพปฐมภูมิ คือ การนำเศษไม้มาแปรรูปเป็นพลังงานในรูปแบบต่างๆ โดยไม่ผ่านกระบวนการใดๆ ใช้สำหรับ การให้ความร้อน การปรุงอาหาร ผลิตไฟฟ้า ในขณะที่เชื้อเพลิงชีวภาพทุติยภูมิ เป็นเชื้อเพลิงที่ถูกผลิตขึ้นมาเพื่อใช้ในการคมนาคมและอุตสาหกรรมต่างๆ ได้แก่ เอทานอลชีวภาพ และน้ำมันดีเซลชีวภาพ อีกทั้งเชื้อเพลิงชีวภาพทุติยภูมิ สามารถแบ่งย่อยได้ตามยุคต่างๆ 3 ยุคดังนี้

เชื้อเพลิงชีวภาพยุคที่ 1 (first-generation biofuels)

- การผลิตเอทานอลชีวภาพจากการหมักแป้งที่ได้จากข้าวสาลี ข้าวบาเลย์ ข้าวโพด หรือจากการหมักน้ำตาล ดังแสดงในรูปที่ 2.4
- การผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพผ่านกระบวนการทรานเอสเทอร์ริฟิเคชันของพีชน้ำมัน ได้แก่ มะพร้าว ปาล์ม ทานตะวัน และถั่วเหลือง แสดงดังรูปที่ 2.5
- นำมาใช้ในอุตสาหกรรมและการคมนาคมต่างๆ แทนการใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิล

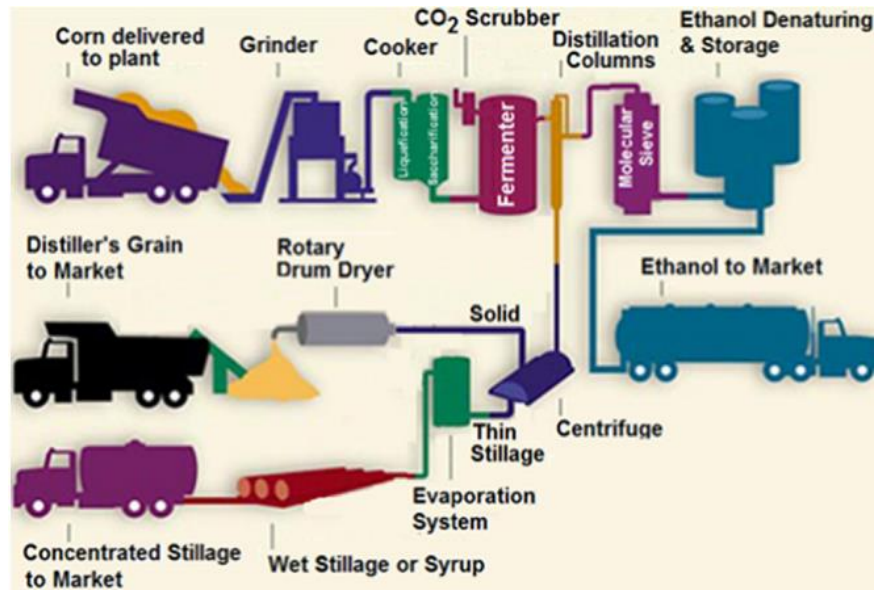
- ข้อเสียสำคัญของการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพในยุคที่ 1 หรือยุคเริ่มแรกนั้น คือ พืชที่นำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพ เป็นพืชที่ใช้ในการดำรงชีวิตของมนุษย์และสัตว์ ซึ่งส่งผลกระทบต่ออุตสาหกรรมอาหารโดยตรง

เชื้อเพลิงชีวภาพยุคที่ 2 (second-generation biofuels)

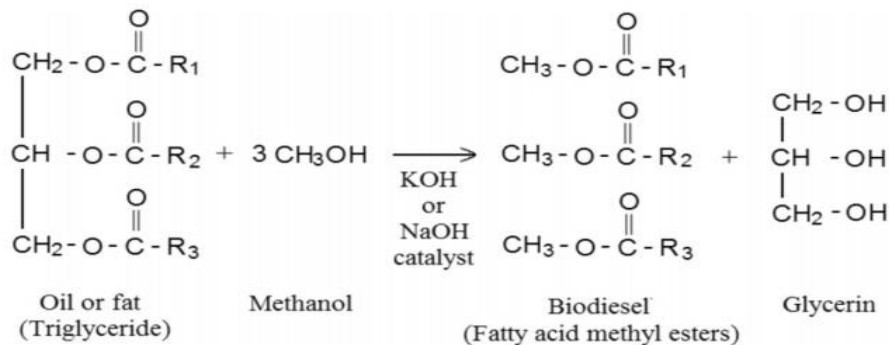
- จากข้อเสียของเชื้อเพลิงชีวภาพในยุคที่ 1 ที่กล่าวไปข้างต้น ทำให้เชื้อเพลิงชีวภาพในยุคที่ 2 หันมาใช้พืชจำพวกลิกโนเซลลูโลส (lignocellulosic plant) อาทิเช่น ซังข้าวโพด แกลบ ชานอ้อย ใบอ้อย หญ้าเนเปียร์ เป็นต้น ซึ่งประกอบไปด้วย เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน
- แบ่งได้ 2 ลักษณะตามกระบวนการที่ใช้ในการผลิตพลังงานจากชีวมวล คือ กระบวนการทางชีวเคมี (biochemical processes) และกระบวนการทางความร้อนเชิงเคมี (thermochemical processes)
- การผลิตเอทานอลและบิวทานอลในยุคนี้ ทำได้โดยผ่านกระบวนการย่อยและหมัก ซึ่งเป็นกระบวนการทางชีวเคมี และการผลิตผลิตภัณฑ์แอลกอฮอล์อื่นๆ นอกเหนือจากเอทานอลและบิวทานอล ทำได้โดยผ่านกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน และไพโรไลซิส ซึ่งนับเป็นกระบวนการทางความร้อนเชิงเคมี [7]

เชื้อเพลิงชีวภาพยุคที่ 3 (third-generation biofuels)

- การผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพในยุคนี้ เป็นการผลิตเอทานอลชีวภาพ น้ำมันดีเซลชีวภาพ และไฮโดรเจนจากสาหร่าย ข้อได้เปรียบของการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพจากสาหร่าย คือ เป็นชีวมวลที่เจริญเติบโตเร็ว ปลูกได้ในน้ำ ช่วยดักจับคาร์บอนไดออกไซด์ และไม่ส่งผลกระทบต่ออุตสาหกรรมอาหาร



รูปที่ 2.4 การผลิตเอทานอลชีวภาพจากการหมัก [7]



รูปที่ 2.5 ปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันในการผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพ [7]

2.4 สาหร่ายน้ำมัน

สาหร่ายจัดเป็นพืชชั้นต่ำเซลล์เดียวขนาดเล็กที่พบได้ทั่วไปทั้งในน้ำจืด น้ำกร่อยและน้ำเค็ม มีคลอโรพิลล์ภายในเซลล์ ดังนั้นจึงสามารถสร้างอาหารเอง โดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์ในการสังเคราะห์แสงเหมือนพืชชนิดอื่นๆ โดยทั่วไปสาหร่ายสามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ สาหร่ายขนาดใหญ่ (macroalgae) และ สาหร่ายขนาดเล็ก (microalgae) สาเหตุที่สาหร่ายได้รับความสนใจในการนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพ เนื่องด้วยภายในเซลล์ของสาหร่ายบางสายพันธุ์สามารถสะสมน้ำมันไว้ได้สูงถึงร้อยละ 80 ของน้ำหนักแห้ง ดังแสดงในตารางที่ 2.2



รูปที่ 2.6 สาหร่ายน้ำมัน

ตารางที่ 2.2 ความสามารถในการสะสมน้ำมันในสาหร่ายแต่ละประเภท [8]

Microalgae	Oil content (% dry wt)
<i>Botryococcus braunii</i>	25 - 75
<i>Chlorella</i> sp.	28 - 32
<i>Cryptocodinium cohnii</i>	20
<i>Cylindrotheca</i> sp.	16 - 37
<i>Dunaliella primolecta</i>	23
<i>Isochrysis</i> sp.	25 - 33
<i>Monallanthus salina</i>	>20
<i>Nanochloris</i> sp.	20 - 35
<i>Nanochloropsis</i> sp.	31 - 68
<i>Neochloris oleoabundans</i>	35 - 54
<i>Nitzschia</i> sp.	45 - 47
<i>Phaeodactylum tricornutum</i>	20 - 30
<i>Schizochytrium</i> sp.	50 - 77
<i>Tetraselmis sueica</i>	15 - 23

2.4.1. ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและการสะสมน้ำมันของสาหร่าย

- แหล่งอาหาร (nutrients) คาร์บอนเป็นธาตุอาหารที่มีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ นอกจากแหล่งคาร์บอนแล้ว ไนโตรเจนก็เป็นอีกหนึ่งปัจจัยสำคัญต่อการเพาะเลี้ยงสาหร่าย โดยจำเป็นต้องมีการควบคุมการเพาะเลี้ยงให้อยู่ในสถานะที่ขาดไนโตรเจนหรือมีปริมาณที่จำกัด จะมีผลทำให้อัตราการสังเคราะห์น้ำมันของสาหร่ายเพิ่มขึ้น [9]
- แสง (light) แสงมีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายในการสังเคราะห์แสงเช่นเดียวกับพืชทั่วไป นอกจากนี้การควบคุมช่วงเวลาการให้แสงและหยุดให้แสงจะส่งผลให้สาหร่ายเจริญเติบโตได้ดีกว่าการให้แสงตลอดเวลา โดยช่วงเวลาที่นิยมใช้ คือ 16 ชั่วโมงสว่าง/8 ชั่วโมงมืด [10]
- อุณหภูมิ (temperature) มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาต่างๆ ภายในเซลล์สาหร่าย โดยเฉพาะอย่างยิ่งปริมาณน้ำมันภายในเซลล์ ดังนั้นจึงควรมีการควบคุมอุณหภูมิให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายแต่ละชนิด [11]

นอกเหนือจากนี้ความเค็มหรือการเติมสารอาหารบางอย่างลงไปเป็นอาหารที่ใช้เพาะเลี้ยง ยังเป็นอีกปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการเพาะเลี้ยง และชักนำให้เกิดการสะสมน้ำมันของสาหร่าย

2.4.2. ศักยภาพในการผลิตน้ำมันชีวภาพ

สาหร่ายมีศักยภาพในการให้ปริมาณน้ำมันที่สูง เมื่อเปรียบเทียบกับชีวมวลชนิดอื่นๆ เนื่องจากมีระยะเวลาในการเพาะเลี้ยงที่สั้นกว่า ใช้พื้นที่น้อยในการเพาะปลูก ทำให้ได้ผลผลิตมากกว่าชีวมวลชนิดอื่น ดังแสดงในตารางที่ 2.3 และสามารถลดการเกิดปัญหาในการแย่งส่วนแบ่งทางการอาหารได้อีกด้วย [12]

ตารางที่ 2.3 เปรียบเทียบศักยภาพในการผลิตชีวมวล ปริมาณน้ำมันสะสม และพลังงานเชื้อเพลิง ระหว่าง พืชน้ำมันชนิดต่างๆ และสาหร่ายน้ำมัน [12]

ชนิดของน้ำมันพืช	ชีวมวล (เมตรริกตัน/เฮกตาร์/ปี)	ปริมาณน้ำมัน (% น้ำหนักแห้ง)	ไบโอดีเซล (เมตรริกตัน/เฮกตาร์/ปี)
ถั่วเหลือง	1 – 2.5	20%	0.2 – 0.5
เมล็ดเรพ	3	40%	1.2
ปาล์มน้ำมัน	19	20%	3.7
สบู่ดำ	7.5 – 10	30% - 50%	2.2 – 5.3
สาหร่ายขนาดเล็ก	140 - 255	35% - 65%	50 - 100

2.4.3 การเพาะเลี้ยงสาหร่าย

สาหร่ายต้องการน้ำ แสงแดด และคาร์บอนไดออกไซด์เพื่อใช้ในการเจริญเหมือนพืชชนิดอื่นๆ สาหร่ายสามารถโตได้ดีในพื้นที่ที่มีอากาศร้อนและแสงแดดมาก การเพาะเลี้ยงสาหร่ายแบ่งเป็น 2 ระบบคือ การเพาะเลี้ยงในระบบเปิด (open system) และการเพาะเลี้ยงในระบบปิด (close system)

- ระบบเปิด (open system) เป็นการเพาะเลี้ยงสาหร่ายแบบธรรมชาติ เช่น เลี้ยงในบ่อน้ำ ชายทะเล เป็นต้น ข้อดี คือ ราคาถูก ใช้พลังงานน้อยเพราะสามารถใช้พลังงานโดยตรงจากแสงอาทิตย์ แต่มีข้อเสียคือ ยากต่อการดูแล ทั้งเรื่องของการปนเปื้อนและการควบคุมอุณหภูมิ ซึ่งส่งผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายทั้งสิ้น [13]
- ระบบปิด (close system) เป็นวิธีการเพาะเลี้ยงสาหร่ายที่นิยมและถูกพัฒนามาก เพราะสามารถควบคุมปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตได้

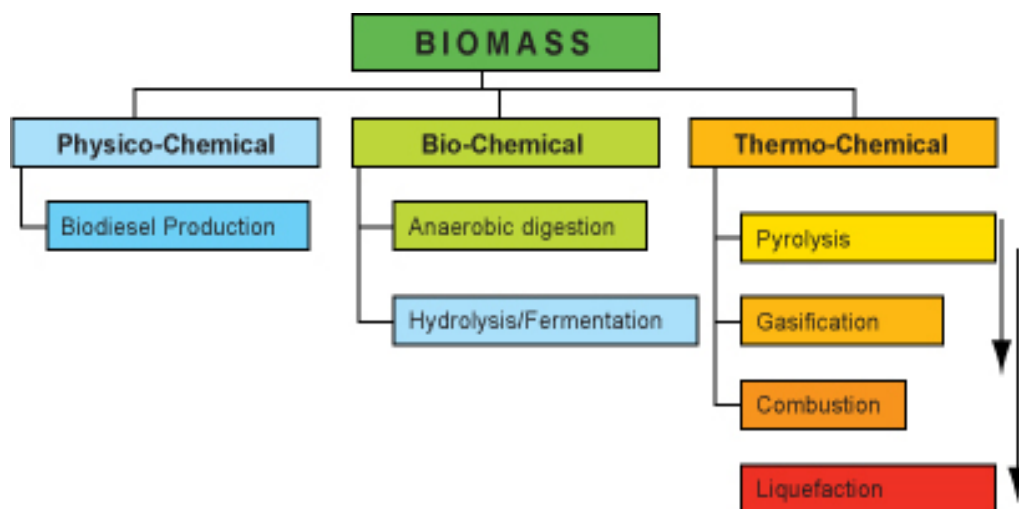
ง่าย ไม่ว่าจะเป็นอุณหภูมิจากแสง หรือสิ่งปนเปื้อนต่างๆ [14] อีกทั้งยังสามารถไปตั้งใกล้กับโรงงานที่ปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ เพื่อนำคาร์บอนไดออกไซด์มาใช้ในการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายและยังสามารถช่วยลดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยออกสู่ชั้นบรรยากาศได้อีกด้วย

นอกจากนี้การเพาะเลี้ยงสาหร่ายยังสามารถแบ่งสถานะในการเพาะเลี้ยงได้เป็น 3 สถานะดังนี้

- I. การเพาะเลี้ยงแบบออโตโทรฟิค (autotrophic cultivation) เป็นการเพาะเลี้ยงสาหร่ายที่ใช้แสงและคาร์บอนไดออกไซด์จากธรรมชาติเป็นหลัก ในการเจริญเติบโตและสังเคราะห์แสงของชีวมวล
- II. การเพาะเลี้ยงแบบเฮเทอโรโทรฟิค (heterotrophic cultivation) เป็นการเพาะเลี้ยงสาหร่ายโดยใช้สารประกอบอินทรีย์ เช่น กลูโคส ซูโครส หรือน้ำตาลเป็นแหล่งคาร์บอนและพลังงาน ซึ่งจะเพาะเลี้ยงในที่ที่ไม่มีแสงหรือในที่มืดตลอดเวลา [15]
- III. การเพาะเลี้ยงแบบมิคโซโทรฟิค (mixotrophic cultivation) เป็นการเพาะเลี้ยงสาหร่ายโดยใช้สารประกอบอินทรีย์เป็นแหล่งคาร์บอน และแสงเป็นแหล่งพลังงาน โดยแสงที่ใช้อาจจะเป็นแสงธรรมชาติ (แสงอาทิตย์) หรือแสงจากหลอดไฟ

2.5 การเปลี่ยนชีวมวลเป็นพลังงาน

การเปลี่ยนชีวมวลให้เป็นพลังงานสามารถทำได้ 3 วิธีหลักๆ ตามแสดงดังรูป 2.7



รูปที่ 2.7 แผนภาพกระบวนการเปลี่ยนชีวมวลเป็นพลังงาน [16]

2.5.1 กระบวนการฟิสิกส์เชิงเคมี (Physico-chemical processes)

คือ กระบวนการที่ใช้ผลิตเชื้อเพลิงเหลวผ่านกระบวนการทรานเอสเทอร์ริฟิเคชัน โดยตามทฤษฎีจะใช้น้ำมันปริมาณ 100 ปอนด์และเมทานอลปริมาณ 10 ปอนด์ เมื่อสิ้นสุดปฏิกิริยาจะได้ผลิตภัณฑ์เป็นไบโอดีเซล 100 ปอนด์และกลีเซอรินไม่บริสุทธิ์ 10 ปอนด์

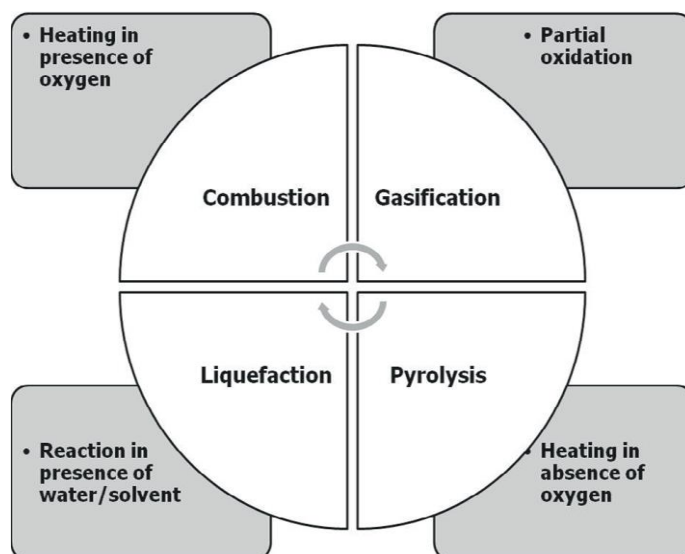
2.5.2 กระบวนการชีวเคมี (Biochemical processes)

สามารถแบ่งย่อยได้ 2 หัวข้อ ดังนี้

- I. การย่อยภายใต้สภาวะที่ปราศจากออกซิเจน (anaerobic digestion) ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการนี้ คือ แก๊สชีวภาพ โดยมีส่วนประกอบหลักๆ ได้แก่ แก๊สมีเทน คาร์บอนไดออกไซด์ ส่วนที่เหลือ คือ แอมโมเนีย ไฮโดรเจนซัลไฟด์ และไอน้ำ
- II. การหมัก (fermentation) ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการหมัก คือ เอทานอลชีวภาพ ได้จากการย่อยสลายน้ำตาลโดยใช้จุลินทรีย์ อาทิเช่น ยีสต์

2.5.3 กระบวนการความร้อนเชิงเคมี (Thermochemical processes)

สามารถแบ่งย่อยได้เป็น 4 หัวข้อ ตามแสดงดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 กระบวนการความร้อนเชิงเคมี [17]

- I. การสันดาป (combustion) เป็นปฏิกิริยาการรวมตัวกันอย่างรวดเร็วของเชื้อเพลิงกับออกซิเจนทำให้เกิดการลุกไหม้และคายความร้อน ในการสันดาปส่วนใหญ่จะใช้ ออกซิเจนที่ได้จากอากาศมากกว่าออกซิเจนบริสุทธิ์ ข้อเสียของการสันดาปชีวมวล คือ ในชีวมวลมีธาตุเป็นส่วนประกอบมากมายรวมถึง ไนโตรเจนและซัลเฟอร์ ดังนั้น การสันดาปชีวมวลอาจก่อให้เกิด ไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) และ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_x) ซึ่งเป็นแก๊สพิษได้
- II. แก๊สซิฟิเคชัน (gasification) เป็นกระบวนการเปลี่ยนเชื้อเพลิงแข็งให้เป็นเชื้อเพลิง โดยใช้ความร้อนและจำกัดอากาศเข้าทำปฏิกิริยา (partial oxidation) ได้ผลิตภัณฑ์ออกมาในรูปแบบ แก๊สไฮโดรเจน มีเทน คาร์บอนมอนอกไซด์และ คาร์บอนไดออกไซด์
- III. ไพโรไลซิส (pyrolysis) เป็นกระบวนการสลายตัวทางความร้อนของอินทรีย์สารโดยสภาวะปราศจากออกซิเจน ผลิตภัณฑ์ที่ได้ คือ น้ำมันชีวภาพ (bio-oil) ถ่าน (char) และไพโรแก๊ส (pyro gas)
- IV. ลิกวิแฟกชัน (liquefaction) เป็นกระบวนการสลายตัวทางความร้อนโดยใช้น้ำหรือตัวทำละลายเข้ามาช่วยในการทำปฏิกิริยา ผลิตภัณฑ์ที่ได้ คือน้ำมันดิบชีวภาพ กากของแข็ง และแก๊ส

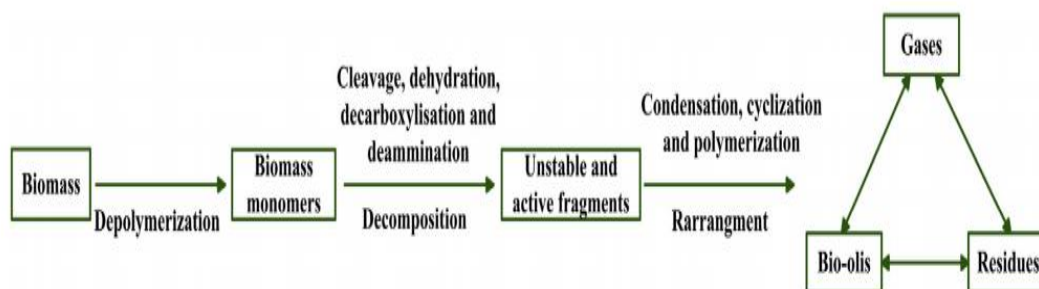
ในงานวิจัยนี้ให้ความสนใจเกี่ยวกับไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชันเพราะมีความสนใจเกี่ยวกับการผลิตเชื้อเพลิงของเหลว ซึ่งในกระบวนการทางความร้อนเชิงเคมีที่กล่าวมามีเพียงไพโรไลซิสและ ลิกวิแฟกชันที่ให้ผลิตภัณฑ์เป็นของเหลว

2.6. ไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชัน (hydrothermal liquefaction)

ไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชันเป็นกระบวนการในการเปลี่ยนชีวมวลให้เป็นเชื้อเพลิงเหลว โดยใช้ อุณหภูมิปานกลางประมาณ 250 – 350 องศาเซลเซียส ความดันสูงประมาณ 5 – 25 เมกะปาสคาล ซึ่งมีลักษณะคล้ายคลึงกับกระบวนการไพโรไลซิส ต่างกันตรงที่ลักษณะของชีวมวลที่นำมาผ่านกระบวนการสามารถอยู่ได้ทั้งในรูปแบบแห้งและเปียก แต่โดยส่วนมากมักนิยมใช้กับชีวมวลที่มีความชื้นสูงเพราะไม่สิ้นเปลืองพลังงานในการอบแห้ง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชัน ได้แก่ น้ำมันดิบชีวภาพ กากของแข็งและแก๊ส อีกหนึ่งข้อดีของกระบวนการนี้คือน้ำมันดิบชีวภาพที่ได้จากไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชันมีปริมาณออกซิเจนน้อยกว่าน้ำมันดิบชีวภาพที่ได้จากไพโรไลซิส ส่งผลให้ค่าความร้อนของน้ำมันดิบชีวภาพที่ได้จากไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชันสูงกว่าค่าความร้อนของน้ำมันชีวภาพที่ได้จากการทำไพโรไลซิส [18]

การเกิดปฏิกิริยาในกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชันสามารถอธิบายสั้นๆ ได้ดังนี้

- การสลายตัวของโม่เลกุล (depolymerization) ของชีวมวลไปเป็นชีวมวลโม่เลกุลเดี่ยว
- การสลายตัวของชีวมวลโม่เลกุลเดี่ยว (decomposition) โดยกระบวนการกำจัดน้ำ (dehydration) กระบวนการดีคาร์บอกซิเลชัน (decarboxylation) และกระบวนการกำจัดเอมีน (deamination)
- การจัดเรียงตัวใหม่ (rearrangement) ของโม่เลกุลผ่านกระบวนการพอลิเมอไรเซชัน (polymerization)



รูปที่ 2.9 การเกิดปฏิกิริยาในกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกซ์ [19]

โดยทั่วไปน้ำเป็นตัวทำละลายที่นิยมใช้ในกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกซ์ แต่มีข้อเสียคือน้ำมันดิบชีวภาพที่ได้มีปริมาณน้อยและได้กากของแข็งปริมาณมาก ดังนั้นจึงมีการนำตัวทำละลายจำพวกออกแทนิกมาใช้ในการปรับปรุงทั้งเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณของน้ำมันดิบชีวภาพ

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Singh และคณะ [20] ได้ศึกษาผลกระทบของตัวทำละลายโดยใช้กระบวนการไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกซ์กับสาหร่าย ตัวทำละลายที่ใช้ในการศึกษา ได้แก่ น้ำ เมทานอล และเอทานอล เริ่มต้นโดยการบรรจุสาหร่าย มิลลิลิตร ลงในเตาปฏิกรณ์ 60 กรัม และตัวทำละลายที่จะศึกษาปริมาณ 10) แบบถังกวนautoclave reactor) ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ นาที่ ได้ 15 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 300 สามารถ (เอทานอล/เมทานอล)ข้อสรุปว่า การใช้ตัวทำละลายที่เป็นแอลกอฮอล์เพิ่มผลผลิตของน้ำมันชีวภาพได้มากกว่าตัวทำละลายที่เป็นน้ำ โดยได้ผลผลิตร้อยละ ของ 40 ของเมทานอล และร้อยละ 44 เอทานอล ในขณะที่ใช้น้ำเป็นตัวทำละลายสามารถให้ผลผลิตได้เพียงร้อยละ 11 โดยน้ำหนัก ดังแสดงในรูปที่ 2.10

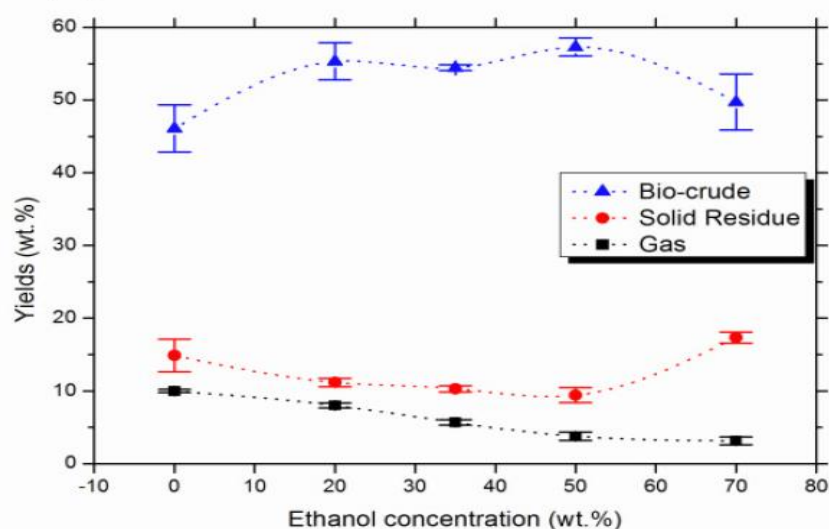
Table 2 – Product distribution from hydrothermal treatment of macro algae MAUF sample with different solvents at 300 °C with 15 min residence time.

Reaction conditions	Conversion ^a (%)	Bio-oil1 ^b (%)	Bio-oil2 ^c (%)	Total oil (%)	Gas ^d (%)	Residue ^e (%)
Water	76	3	8	11	9	24
CH ₃ OH	68	42	2	44	6	32
C ₂ H ₅ OH	59	39	1	40	8	41

รูปที่ 2.10 ร้อยละผลได้ของน้ำมันชีวภาพจากสาหร่ายในตัวทำละลายชนิดต่างๆ [20]

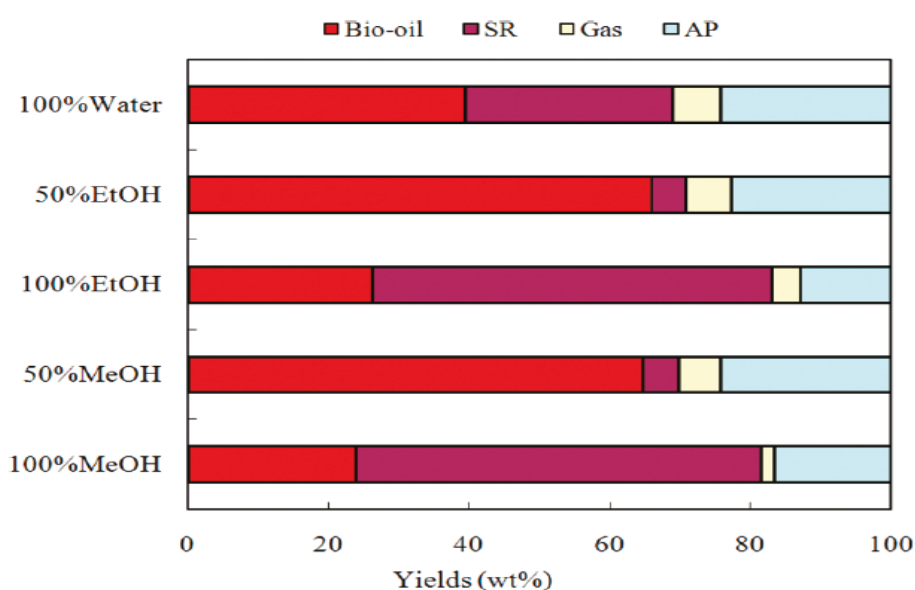
Thangalazhy -] และคณะ Gopakumar21[ได้ศึกษาการนำสาหร่ายมาผ่านกระบวนการไพโรไลซิสแบบเร็วโดยใช้ ZSM⁺H -กรัม ลงในเตาปฏิกรณ์ 5 เป็นตัวเร่ง โดยเริ่มต้นด้วยใส่สาหร่าย 5) แบบท่อสแตนเลส stainless steel tube reactor) ซึ่งเป็นเตาปฏิกรณ์แบบแพคเบด (packed-bed reactor) ทำปฏิกิริยาที่ นาที่ และยังมีการทดลองเปลี่ยนอัตราส่วน 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 500 ระหว่างสาหร่ายและตัวเร่ง จาก 1:1 จนถึง 1:1 ได้ข้อสรุปว่า ที่อัตราส่วน 9: ได้ผลิตผลน้ำมันมาก 9 52 ที่สุด ที่ร้อยละ ZSM⁺H โดยน้ำหนัก อีกทั้งตัวเร่ง 7-ยังช่วยลดข้อเสียน้ำมันที่ได้จากสาหร่าย 5 คือ ช่วยลดไนโตรเจนและออกซิเจนอีกด้วย

และ ZhangZhang] 22[ได้ศึกษาการผลิตน้ำมันจากสาหร่ายผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกซ์โดยใช้ตัวทำละลายร่วมของเอทานอลและน้ำ เริ่มต้นด้วยใส่สาหร่ายและตัวทำละลายร่วมลงในเตาปฏิกรณ์แบบถังกวน โดยจะทำการหาอัตราส่วนที่ดีที่สุดระหว่างเอทานอลและน้ำ ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ องศาเซลเซียส เป็นเวลา 280 120 นาที ได้ข้อสรุปดังแสดงในรูปที่ 2.11 ที่อัตราส่วน 5(เอทานอล : (2 เป็นภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตน้ำมันชีวภาพจากสาหร่าย (น้ำ) 57 โดยให้ผลิตผลน้ำมันร้อยละ โดยน้ำหนัก 3 ในส่วนของกากของแข็งจะเห็นได้ว่า ในช่วงแรก หลังจากเพิ่มความเข้มข้นของเอทานอลในตัวทำละลาย (ร้อยละ 0-70 โดยปริมาตร) ส่งผลให้ปริมาณกากของแข็งที่ได้มีค่าต่ำลงอย่างต่อเนื่อง โดยมีค่าต่ำสุดที่ร้อยละ 9.4 โดยน้ำหนัก หลังจากนั้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นเอทานอลจนถึงร้อยละ 100 โดยปริมาตร ส่งผลให้กากของแข็งมีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างมาก เพราะมีปริมาณของอนุภาคลิสมะมากเกินในระบบ ทำให้เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน ซึ่งส่งผลให้กากของแข็งมีค่าเพิ่มขึ้น



รูปที่ 2.11 ร้อยละผลได้ของน้ำมันชีวภาพในอัตราส่วนตัวทำละลายร่วมต่างๆ [22]

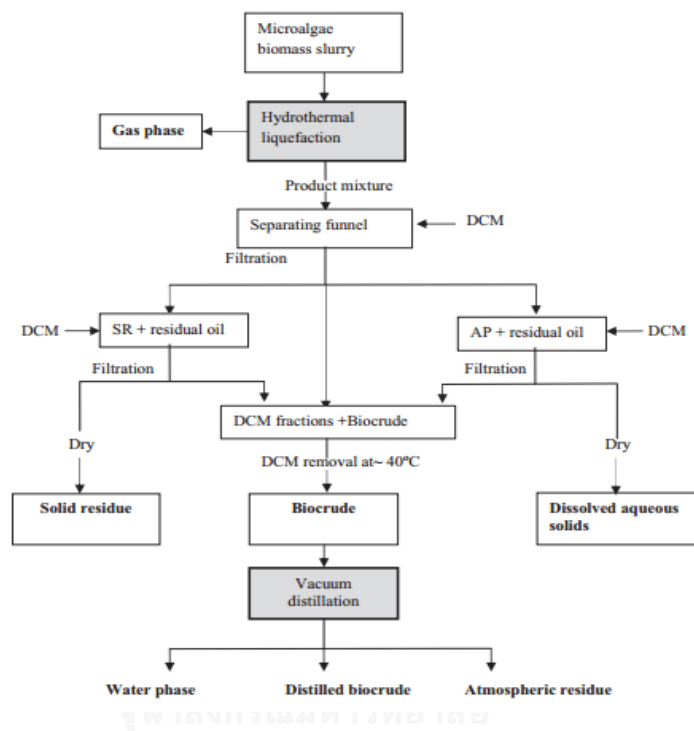
] และคณะ Cheng23[ได้ศึกษาการใช้ตัวทำละลายร่วมของน้ำและแอลกอฮอล์ /เมทานอล) กับชีวมวลโดยผ่านกระบวนการลิกวิแฟกชัน แล้วนำมาเปรียบเทียบกับการใช้ตัวทำละลาย (เอทานอล มิลลิตร มาบรรจุลงใน 100 กรัม และตัวทำละลายเดี่ยว 10 เดี่ยว โดยเริ่มจากการนำชีวมวล 300 เตาปฏิกรณ์แบบถังกวน ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที ได้ข้อสรุปว่าที่ 15 5 อัตราส่วน(เมทานอล : (เอทานอล/5 ได้ผลิตผลน้ำมันที่มากที่สุด โดยได้อยู่ที่ประมาณร้อยละ (น้ำ) โดยน้ำหนัก 65



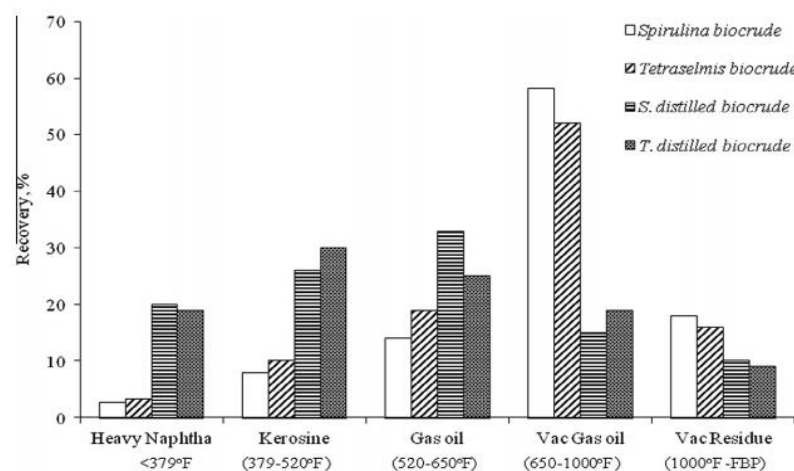
รูปที่ 2.12 ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ต่างๆ ในตัวทำละลายที่ต่างกัน [23]

Eboibi และคณะ [24] ได้ทำการการปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันดิบชีวภาพที่ได้จากสาหร่าย โดยใช้การกลั่นภายใต้สภาวะสุญญากาศ โดยจะผลิตน้ำมันดิบชีวภาพจากการทำไฮโดรเทอร์มอลลิกวิแฟกชันจากสาหร่ายด้วยเตาปฏิกรณ์แบบกะ ภาวะที่ใช้ในการผลิตน้ำมันดิบชีวภาพ คือ อุณหภูมิ 300 และ 350 องศาเซลเซียส เวลาทำปฏิกิริยา 5 นาที และใช้สาหร่ายผสมตัวทำละลายซึ่งมีเนื้อสาหร่าย (ส่วนที่เป็นของแข็ง) ร้อยละ 16 โดยน้ำหนักของปริมาตรโดยรวม 360 กรัม ดังแสดงในรูป 2.13 ผลที่ได้คือ น้ำมันดิบชีวภาพที่ได้จากสาหร่าย *Spirulina sp.* มีค่าร้อยละ 36 โดยน้ำหนักที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส และร้อยละ 42 โดยน้ำหนักที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส และน้ำมันดิบชีวภาพที่ได้จากสาหร่าย *Tetraselmis sp.* มีค่าร้อยละ 34 โดยน้ำหนักที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส และร้อยละ

ละ 58 โดยน้ำหนักที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นนำน้ำมันดิบชีวภาพที่ได้ทั้งสองชนิดไปผ่านการกลั่นแบบใต้สภาวะสุญญากาศ ผลที่ได้คือร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพมีค่าสูงขึ้นทุกอุณหภูมิและค่าความร้อนของน้ำมันดิบชีวภาพที่ได้มีค่าสูงขึ้นด้วย เหตุเพราะการกลั่นใต้สภาวะสุญญากาศสามารถช่วยลดปริมาณออกซิเจนได้ อีกทั้งยังสามารถลดธาตุโลหะและจุดเดือดของน้ำมันอีกด้วย



รูปที่ 2.13 แผนภาพการผลิตน้ำมันดิบชีวภาพจากสาหร่าย [24]



รูปที่ 2.14 ร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพแบบแยกจุดเดือด [24]

Li และคณะ] 25[ได้ศึกษาการทำดีออกซิเลควิแฟกชัน (deoxy-liquefaction) กับสาหร่ายขนาดใหญ่ 3 ชนิด ได้แก่ *U.lactuca* *L.japonica* และ *G.amansii* เพื่อปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันที่ได้ โดยจะใช้สารตั้งต้น 25 กรัม และน้ำซึ่งใช้เป็นตัวทำละลายปริมาณร้อยละ 15 โดยน้ำหนักใส่ลงในเตาปฏิกรณ์แบบท่อ จากนั้นใช้อัตราการให้ความร้อนที่ 60 องศาเซลเซียสต่อนาที จนได้อุณหภูมิที่ต้องการทำปฏิกิริยา (300, 350, 400, และ 450 องศาเซลเซียส) ทำปฏิกิริยาเป็นเวลา 20 นาที พบว่ากระบวนการดีออกซิเลควิแฟกชันสามารถลดปริมาณออกซิเจนในสาหร่ายได้ โดยลดลงจากร้อยละ 59.98 58.39 และ 64.48 เหลือเพียง 5.15 6.12 และ 7.30 ตามลำดับ ซึ่งได้ทำการสรุปว่ามีการเกิดปฏิกิริยาดีไฮเดรชัน (dehydration) ดีออกซิจีเนชัน (deoxygenation) และ ดีคาร์บอกซิเลชัน (decarboxylation) ควบคู่กับการทำลิวิแฟกชัน แต่วิธีนี้ยังมีข้อเสีย คือ ผลได้ของน้ำมันมีค่าต่ำมาก

Table 3
Ultimate analysis of oils and chars obtained from *U. lactuca* at 400 °C, *L. japonica* at 400 °C and *G. amansii* at 350 °C.

Ultimate analysis (%)	C	H	O	N	H/C	O/C	Empirical formula	HHV (MJ/kg)
<i>U. lactuca</i> oil	79.57	11.45	5.15	3.84	1.73	0.049	CH _{1.73} O _{0.049} N _{0.041}	42.50
<i>L. japonica</i> oil	80.93	10.74	6.12	2.21	1.59	0.057	CH _{1.59} O _{0.057} N _{0.023}	41.76
<i>G. amansii</i> oil	78.46	10.24	7.30	4.00	1.57	0.070	CH _{1.57} O _{0.070} N _{0.030}	40.00
Petroleum	85.71	12.65	1.52	0.12	1.77	0.014	CH _{1.77} O _{0.014} N _{0.001}	47.22
<i>U. lactuca</i> char	38.49	1.32	58.04	2.15	0.41	1.13	CH _{0.41} O _{1.13} N _{0.05}	4.45
<i>L. japonica</i> char	40.75	2.41	54.51	2.33	0.71	1.00	CH _{0.71} O _{1.00} N _{0.05}	7.43
<i>G. amansii</i> char	53.94	4.03	37.85	4.18	0.89	0.53	CH _{0.89} O _{0.53} N _{0.07}	17.23

รูปที่ 2.15 การวิเคราะห์แบบแยกธาตุของน้ำมันและของแข็งที่ได้จากสาหร่ายชนิดต่างๆ [25]

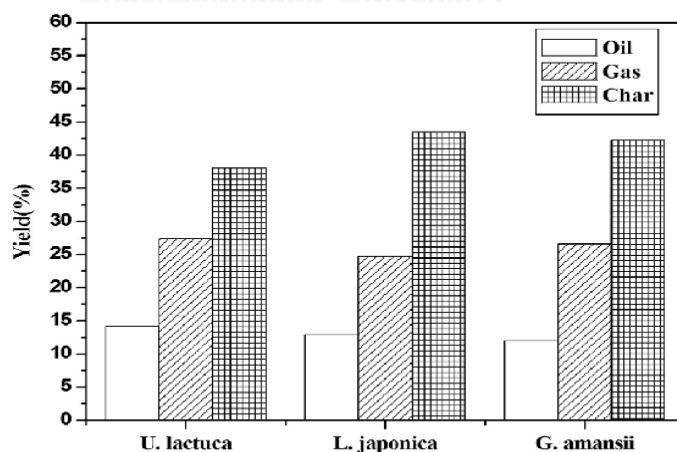


Fig. 1. Result products yields of *U. lactuca* at 400 °C, *L. japonica* at 400 °C and *G. amansii* at 350 °C.

รูปที่ 2.16 ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ต่างๆที่ได้จากสาหร่ายทั้ง 3 ชนิด [25]

Li และคณะ] 26[ได้ศึกษาการผลิตน้ำมันคุณภาพสูงจากสาหร่าย *Enteromorpha prolifera* ด้วยกระบวนการดัดออกซิเดชันแบบแห้ง โดยใช้ Mn/H-ZSM-5 และ Fe/H-ZSM-5 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา พบว่าการใช้ตัวเร่งสามารถลดปริมาณออกซิเจนได้มากกว่าไม่ใช้ตัวเร่ง โดยสามารถลดได้ต่ำสุดอยู่ที่ร้อยละ 3.12 เมื่อใช้ Fe/H-ZSM-5 เป็นตัวเร่ง โดยองค์ประกอบของน้ำมันที่ได้จากการใช้ ZSM-5 เป็นตัวเร่ง ได้แก่ แอลเคนสายยาว และอนุพันธ์ของเบนซีน ในขณะที่ปริมาณของพีนอล และ สารประกอบที่มีออกซิเจนและไนโตรเจนในโครงสร้างมีค่าลดลง แสดงถึงการลดลงของปริมาณออกซิเจนในน้ำมัน ซึ่งเกิดจากกระบวนการ ดีไฮเดรชัน ดิโออกซิเจนชัน และ ดีคาร์บอกซิเลชัน

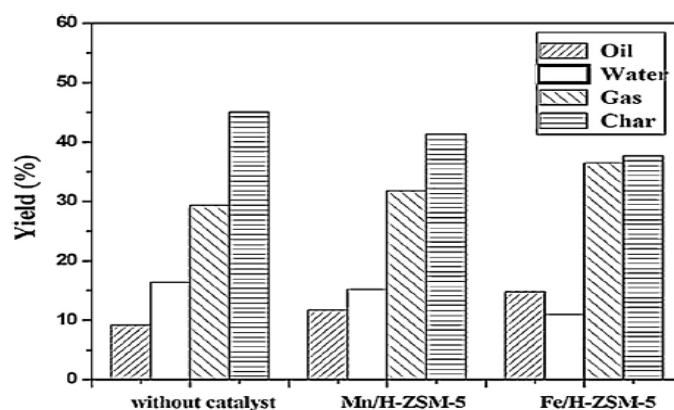


Fig. 2. Effects of catalysts on the product yields.

รูปที่ 2.17 ผลของการใช้และไม่ใช้ตัวเร่งต่อผลได้ของผลิตภัณฑ์ [26]

CHULALONGKORN UNIVERSITY

Table 2

Properties of the liquid oil obtained at 350°C with and without catalysts.

Ultimate analysis	Without catalyst	Mn/H-ZSM-5	Fe/H-ZSM-5
C (%)	77.43	80.81	81.29
H (%)	10.73	11.61	12.31
O (%)	7.78	4.74	3.12
N (%)	3.85	2.84	3.28
Empirical formula	CH _{1.66} O _{0.07} N _{0.043}	CH _{1.72} O _{0.04} N _{0.030}	CH _{1.82} O _{0.03} N _{0.034}
H/C molar ratio	1.66	1.72	1.82
O/C molar ratio	0.07	0.04	0.03
HHV (MJ kg ⁻¹)	40.26	43.22	44.69

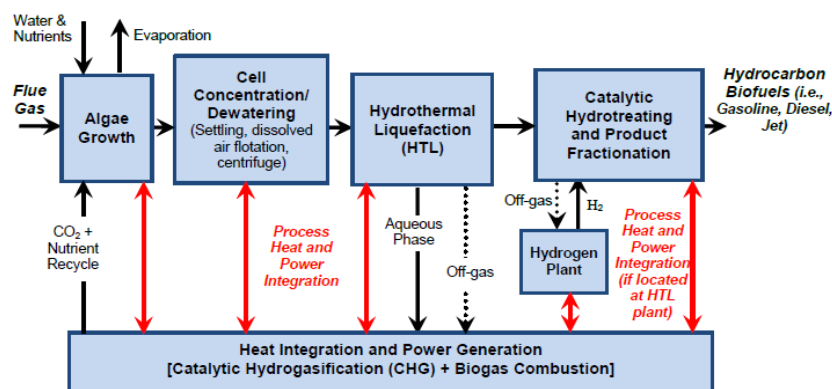
รูปที่ 2.18 การวิเคราะห์แบบแยกธาตุของน้ำมันที่ได้จากการใช้และไม่ใช้ตัวเร่ง [26]

Mary Bidy และคณะ] 27[ได้ศึกษาการทำไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชันกับสาหร่าย โดยเริ่มตั้งแต่การปลูกสาหร่าย จากนั้นนำมาผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชันได้เป็นเชื้อเพลิงชีวภาพ ดังแสดงในรูปที่ 2.19 ได้ข้อสรุปว่า

- สาหร่ายที่ผ่านการเจริญเติบโตแบบอโตโทรฟิกมีศักยภาพเพียงพอในการผลิตเชื้อเพลิงได้ เนื่องจากสามารถเจริญเติบโตได้รวดเร็วและปลูกได้ทุกสภาวะแวดล้อม
- ไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชันมีข้อดีในการเปลี่ยนชีวมวลที่มีความชื้นสูงได้ ดังนั้นจึงไม่ต้องการพลังงานในการอบแห้งชีวมวลก่อนนำไปใช้
- เชื้อเพลิงไฮโดรคาร์บอนสามารถผลิตได้ผ่านกระบวนการไฮโดรทรีตติง (hydrotreating) ของไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชันภายใต้ภาวะที่เหมาะสม

ใจความสำคัญของงานวิจัยนี้ คือ ต้องการเพิ่มผลได้น้ำมันจากสาหร่าย รวมถึงศึกษาเกี่ยวกับการนำน้ำเสียและธาตุอาหารที่ได้จากการผลิตกลับมาใช้ใหม่ และวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการ

Process Block Diagram (Co-Located Conversion and Hydrotreating Scenario)



รูปที่ 2.19 แผนผังการผลิตน้ำมันจากสาหร่าย [27]

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการผลิตน้ำมันชีวภาพจากสาหร่ายโดยไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟคชันที่ใช้ตัวทำละลายร่วมของเอทานอลและน้ำในเตาปฏิกรณ์แบบท่อ และศึกษาผลเสริมฤทธิ์ระหว่างเอทานอลและน้ำซึ่งใช้เป็นตัวทำละลายร่วม

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้

- เตาปฏิกรณ์สแตนเลสแบบท่อ (stainless steel tube reactor) SUS316, เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.5 นิ้ว, ความยาว 29.5 นิ้ว, ความหนา 0.083 นิ้ว
- ปั๊ม HPLC (HPLC pump) PU-2080, JUSCO Ltd.
- เครื่องควบคุมความดันย้อนกลับ (Back-pressure regulator) BP-66, GO regulator
- เตาเผาแบบท่อ (tubular furnace) CTF12/65/550, Carbolite Ltd.
- เตาอบไล่ความชื้น (oven)
- เครื่องชั่งน้ำหนัก (weighing)
- เครื่องระเหยแบบหมุนใต้สุญญากาศ (vacuum rotary evaporator)
- อุปกรณ์การกรองพร้อมกระดาษกรอง whatman เบอร์ 3
- เครื่องแก้วในห้องปฏิบัติการ
- เครื่องวิเคราะห์ห้องค์ประกอบธาตุ (CHN analyzer) CHN-2000, LECO instrument (Thailand) Ltd.
- เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (Gas Chromatography) และแมสสเปกโตรมิเตอร์ (Mass Spectrometer) Shimadzu, GC-2010
- เครื่องวิเคราะห์ปริมาณน้ำ (Karl-Fischer Titration) METTLER TOLEDO V20 – volumetric KT titrator)
- เครื่องวิเคราะห์ปริมาณกรด (Total Acid Number Titration – TAN) METTLER TOLEDO – G20 compact titrator)

3.2 สารตั้งต้นและสารเคมีที่ใช้

- สาหร่ายน้ำมัน (microalgae)
- เอทานอล (ethanol) ความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.5 โดยปริมาตร Qrec Ltd. (New Zealand)
- อะซิโตน (acetone) ZEN POINT Ltd. (Thailand)
- ไอโซโพรพานอล (isopropanol or 2-propanol) Merck Ltd. (Germany)
- ไดเอทิลอีเทอร์ (diethyl ether) Qrec Ltd. (New Zealand)
- ไฮดรานัล (hydranal methanol dry) Sigma-Aldrich Ltd. (USA)
- โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (potassium hydroxide) Merck Ltd. (Germany)
- โพแทสเซียมไฮโดรเจนฟทาเลต (potassium hydrogen phthalate) Merck Ltd. (Germany)
- น้ำกลั่น (distilled water)

3.3. ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

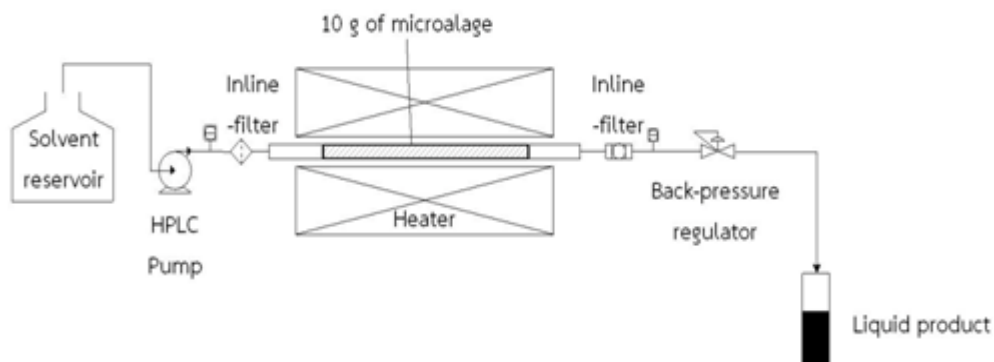
3.3.1. การเตรียมตัวอย่างสาหร่าย

สาหร่ายน้ำมันที่ใช้ในการทดลองนี้ได้ผ่านการปลูก บด และอบแห้งจากสถาบันวิจัยและเทคโนโลยี ปตท.

3.3.2. กระบวนการไฮโดรเทอร์มัลลิกวิพากษ์ของสาหร่าย

นำสาหร่าย 10 กรัมผสมกับหินควอตซ์ บรรจุลงในเตาปฏิกรณ์สแตนเลสแบบท่อ ประกอบเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ ดังรูปที่ 3.1 ต่อจากนั้น ป้อน HPLC จะทำหน้าที่ ป้อนตัวทำละลายเดี่ยว/ร่วม (ร้อยละ 0 -100 โดยปริมาตรของความเข้มข้นเอทานอล) ผ่านตัวกรองเพื่อเข้าไปยังท่อปฏิกรณ์อย่างต่อเนื่องที่อัตราการไหล 0.5 และ 1.0 มิลลิลิตรต่อนาที หลังจากที่ทำละลายไหลออกมาครบระบบ ทำการเปิดเครื่องควบคุมความดันย้อนกลับเพื่อปรับความดันในระบบให้มีค่ามากกว่าความดันไอ จากนั้นเปิดเตาเผาให้ได้ตามอุณหภูมิที่

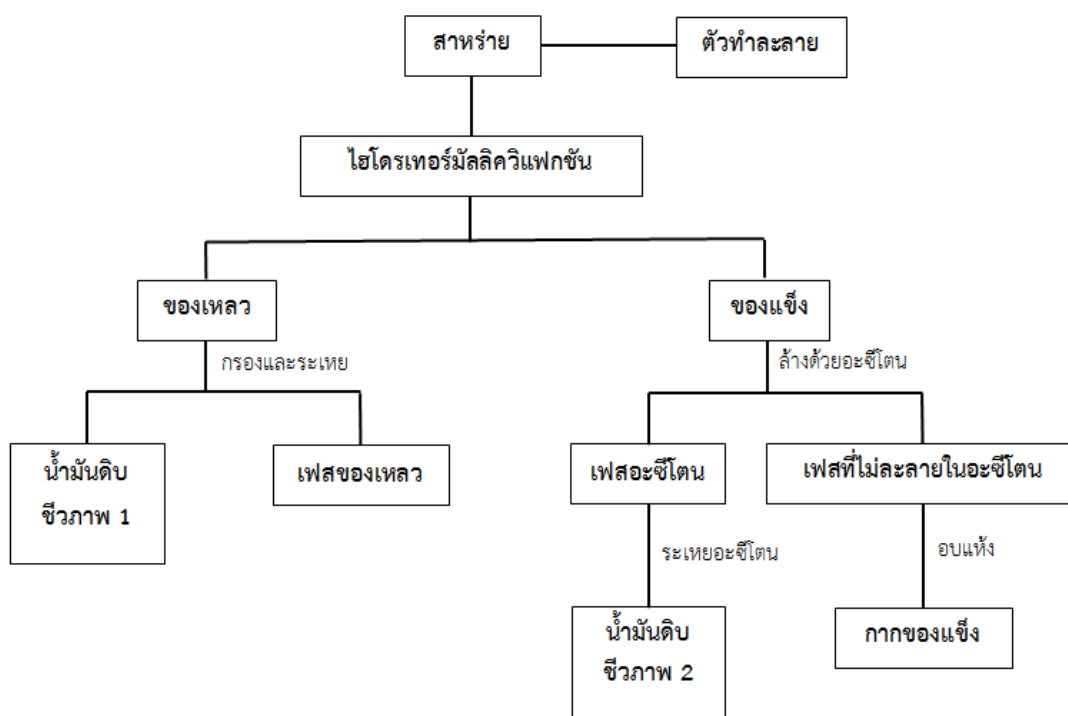
ต้องการ (280, 300, 320 องศาเซลเซียส) ทำการทดลองเป็นเวลา 2 ชั่วโมง จึงสามารถเก็บผลิตภัณฑ์ที่ออกมาในรูปของเหลวได้ที่ปลายท่อต่อจากเครื่องควบคุมความดันย้อนกลับ



รูปที่ 3.1 เครื่องปฏิกรณ์แบบกึ่งต่อเนื่องในการผลิตน้ำมันดิบชีวภาพจากสาหร่าย

3.3.3. การแยกเก็บผลิตภัณฑ์

หลังการทำทดลองเสร็จเป็นเวลา 2 ชั่วโมง สามารถแยกผลิตภัณฑ์ที่ได้ได้เป็น 2 ส่วน คือส่วนที่เป็นของเหลวและส่วนที่เป็นของแข็ง ดังรูปที่ 3.2 นำส่วนที่เป็นของเหลวไปกรองเพื่อแยกเศษของแข็งที่ปนเปื้อนอยู่ภายในออก จากนั้นนำส่วนของเหลวที่ได้หลังจากการกรองไประเหยภายใต้สภาวะสุญญากาศ (ภาวะที่ใช้ในการระเหย : ความดัน 200 มิลลิบาร์ อุณหภูมิ 60-80 องศาเซลเซียส) เพื่อแยกตัวทำละลายออกจากผลิตภัณฑ์ จะได้ส่วนผลิตภัณฑ์ 2 ส่วน คือ น้ำมันดิบชีวภาพ₁ (biocrude₁) และชั้นน้ำ ส่วนของแข็งจะนำไปล้างด้วยอะซีโตน นำส่วนที่ละลายในอะซีโตนไประเหยภายใต้สภาวะสุญญากาศ (ภาวะที่ใช้ในการระเหย : ความดัน 400 มิลลิบาร์, อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส) เพื่อนำอะซีโตนออก จะได้ผลิตภัณฑ์ของเหลวที่เรียกว่า น้ำมันดิบชีวภาพ₂ (biocrude₂) ส่วนที่ไม่ละลายในอะซีโตนนำไปอบแห้งในตู้อบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่ออบเสร็จจะได้ผลิตภัณฑ์ที่เรียกว่า กากของแข็ง



รูปที่ 3.2 แผนภาพการผลิตน้ำมันดิบชีวภาพ

3.4. ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง

ตารางที่ 3.1 ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาในกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลลิควิฟิเคชันของสาหร่ายน้ำมัน

ตัวแปร	ช่วงที่ใช้ในการศึกษา
ความเข้มข้นของเอทานอล	ร้อยละ 0 – 100 โดยปริมาตร
อุณหภูมิ	280, 300, 320 องศาเซลเซียส
อัตราการไหลของตัวทำละลาย	0.5 และ 1.0 มิลลิลิตรต่อนาที

3.5. การวิเคราะห์ผลต่างๆ ของผลิตภัณฑ์

3.5.1. การวิเคราะห์สมบัติเบื้องต้นของสาหร่ายน้ำมัน

การวิเคราะห์แบบประมาณ (proximate analysis, ASTM D3173 – D3175) วิเคราะห์เพื่อหาค่าของ สารระเหย ชี้อ้วน ความชื้น และคาร์บอนคงที่

การวิเคราะห์แบบแยกองค์ประกอบธาตุ (ultimate analysis, ASTM D5291 – D5296) วิเคราะห์เพื่อหาปริมาณร้อยละของธาตุ คาร์บอน ไฮโดรเจน และ ไนโตรเจน โดยใช้ เครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุ ส่วนปริมาณร้อยละของธาตุออกซิเจนหาได้จากการนำ ผลรวมของธาตุ คาร์บอน ไฮโดรเจน และไนโตรเจนหักออกจากปริมาณร้อยละโดยรวม

3.5.2. การวิเคราะห์น้ำมันดิบชีวภาพ

3.5.2.1. ค่าความร้อนของน้ำมันดิบชีวภาพ

ค่าความของของน้ำมันดิบชีวภาพหาได้จากการนำค่าร้อยละของธาตุ คาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจนที่ได้จากการนำไปวิเคราะห์แบบแยกองค์ประกอบ ธาตุมาแทนลงในสมการของดูลอง ตามแสดงดังสมการ 3.1

$$\text{HHV}_{\text{biocrude}} \text{ (MJ/kg)} = 0.3383 \times C + 1.422 \times \left(H - \frac{O}{8} \right) \quad (3.1)$$



รูปที่ 3.3 เครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุ (CHN analyzer) CHN-2000

3.5.2.2. องค์ประกอบทางเคมี

วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันดิบชีวภาพด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี – แมสสเปกโตรมิเตอร์ (GC-MS)

การวิเคราะห์

เริ่มจากนำน้ำมันดิบชีวภาพไปละลายในไอโซโพรพานอลในอัตราส่วนร้อยละ 0.01 โดยน้ำหนัก นำสารละลายที่ได้ไปวิเคราะห์องค์ประกอบต่างๆ ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี – แมสสเปกโตรมิเตอร์ Shimadzu รุ่น GC-2010 ดังรูปที่ 3.4 ชนิดของคอลัมน์ที่ใช้คือ DB-5



รูปที่ 3.4 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี – แมสสเปกโตรมิเตอร์ Shimadzu รุ่น GC - 2010

สารละลาย 1 ไมโครลิตร ถูกฉีดเข้าไปยังคอลัมน์ที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส อุณหภูมิเตาเท่ากับ 40 องศาเซลเซียสคงที่เป็นเวลา 2 นาที แล้วเพิ่มอุณหภูมิด้วยอัตราเร็ว 15 องศาเซลเซียสต่อนาทีจนถึง 280 องศาเซลเซียสคงไว้ 8 นาที อุณหภูมิดีเทคเตอร์เท่ากับ 250 องศาเซลเซียส โดยใช้แก๊สฮีเลียมเป็นแก๊สตัวพา อัตราการไหล 1 มิลลิลิตรต่อนาที ภาวะของเครื่องที่ใช้ในการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ภาวะที่ใช้ในการวิเคราะห์โดยเครื่องโครมาโทกราฟี - แมสสเปกโตรมิเตอร์

แก๊สตัวพา	ฮีเลียม
คอลัมน์	DB-5
อุณหภูมิหัวฉีด	200 องศาเซลเซียส
อุณหภูมิคอลัมน์	40 – 280 องศาเซลเซียส
อุณหภูมิ ion source	220 องศาเซลเซียส
อัตราการให้ความร้อน	15 องศาเซลเซียสต่อนาที

3.5.2.3. ปริมาณน้ำในน้ำมันดิบชีวภาพ

สามารถหาปริมาณน้ำในน้ำมันดิบชีวภาพโดยใช้วิธีการไตเตรท คาร์ล ฟิชเชอร์ (METTLER TOLEDO - V20 Volumetric KT Titrator) แสดงดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 เครื่องวิเคราะห์ปริมาณน้ำ (Karl-Fischer Titration) METTLER TOLEDO V20 – volumetric KT titrator)

3.5.2.4. ปริมาณกรดในน้ำมันดิบชีวภาพ

ปริมาณกรดในน้ำมันดิบชีวภาพสามารถหาได้โดยการไตเตรทด้วยเครื่อง METTLER TOLEDO - G20 compact titrator แสดงดังรูปที่ 3.6 โดยนำตัวอย่าง

ปริมาณ 0.02 กรัมใส่ลงในเครื่อง จากนั้นผสมกับตัวทำละลายร่วมระหว่างเอทานอล และไดเอทิลอีเทอร์ (50/50 โดยปริมาตร) ปริมาณ 50 มิลลิลิตร จากนั้นจึงทำการวิเคราะห์



รูปที่ 3.6 เครื่องวิเคราะห์ปริมาณกรด (Total Acid Number Titration – TAN) METTLER TOLEDO – G20 compact titrator)

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 การวิเคราะห์แบบประมาณ (proximate analysis) และการวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (ultimate analysis)

ตารางที่ 4.1 วิเคราะห์แบบประมาณและวิเคราะห์แบบแยกธาตุของสาหร่ายน้ำมัน

การวิเคราะห์	ร้อยละ (โดยน้ำหนัก)
<u>การวิเคราะห์แบบประมาณ</u>	
ความชื้น	11.78
สารระเหย	54.02
เถ้า	20.46
คาร์บอนคงที่ ¹	13.74
<u>การวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (ash free basis)</u>	
คาร์บอน	36.20
ไฮโดรเจน	5.84
ไนโตรเจน	3.46
ออกซิเจน ¹	54.50
ค่าความร้อน (เมกะจูล/กิโลกรัม)	10.86

¹ ผลต่างร้อยละ

จากตารางที่ 4.1 แสดงผลของการวิเคราะห์แบบประมาณของสาหร่ายน้ำมันที่นำมาใช้ใน งานวิจัยพบว่าปริมาณสารระเหยร้อยละ 54.02 โดยน้ำหนัก มีปริมาณคาร์บอนคงที่ร้อยละ 13.74 โดยน้ำหนักและมีปริมาณค่าความชื้นประมาณ 11.78 โดยน้ำหนัก ซึ่งนับว่าสูงเมื่อเทียบกับชีวมวล ทั่วไป เหตุเพราะสาหร่ายเป็นชีวมวลที่เจริญเติบโตในน้ำ นอกจากนี้ยังมีค่าของเถ้าที่สูงถึงร้อยละ 20.46 โดยน้ำหนัก ซึ่งจะทำให้ได้ปริมาณของผลิตภัณฑ์ของน้ำมันที่น้อยลงเนื่องจากปริมาณเถ้ามาก ส่งผลให้มีค่าของสารระเหยซึ่งเป็นตัวที่จะเปลี่ยนเป็นน้ำมันน้อยลง [28] และจากการวิเคราะห์แบบ แยกธาตุแสดงให้เห็นว่าสาหร่ายน้ำมันมีองค์ประกอบของคาร์บอนอยู่ที่ร้อยละ 36.20 โดยน้ำหนัก ไฮโดรเจนร้อยละ 5.84 โดยน้ำหนักและไนโตรเจนร้อยละ 3.46 โดยน้ำหนัก ส่วนออกซิเจนมีค่าสูงถึง ร้อยละ 54.50 โดยน้ำหนัก ส่งผลให้สาหร่ายน้ำมันมีค่าความร้อนที่ต่ำ (10.86 เมกะจูลต่อกิโลกรัม) เมื่อเปรียบเทียบกับค่าความร้อนของชีวมวลชนิดอื่น เช่น ปาล์ม น้ำมัน (17.74 เมกะจูลต่อกิโลกรัม) [29] ซึ่งมักนิยมมาใช้ผลิตเป็นไบโอดีเซล และมีธาตุออกซิเจนใกล้เคียงกับสาหร่าย จึงคาดหวังว่าหลังผ่าน กระบวนการไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชัน ค่าความร้อนของน้ำมันดิบชีวภาพที่ได้จากสาหร่ายจะสูงขึ้น และมีศักยภาพเพียงพอในการใช้เป็นพลังงานได้เช่นเดียวกับปาล์มน้ำมัน

4.2. ไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชันของสาหร่ายน้ำมัน

4.2.1 ผลกระทบของอัตราส่วนตัวทำละลายร่วมต่อน้ำมันดิบชีวภาพ₁ และ น้ำมันดิบชีวภาพ₂

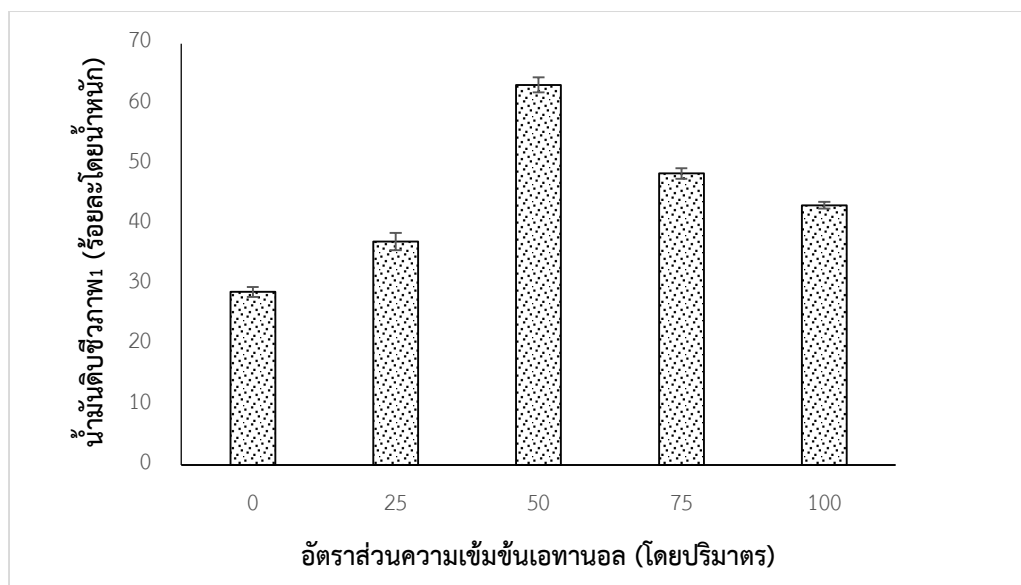
ภาวะที่นำมาใช้ในการศึกษาผลกระทบของอัตราส่วนตัวทำละลายร่วมต่อน้ำมันดิบชีวภาพ₁ และน้ำมันดิบชีวภาพ₂ คือ อุณหภูมิ 320 องศาเซลเซียส (น้ำมันดิบชีวภาพ₁) และ 280 องศาเซลเซียส (น้ำมันดิบชีวภาพ₂) โดยใช้ตัวทำละลาย 1.0 มิลลิลิตรต่ออนาที ซึ่งเป็น ภาวะในการทดลองที่ให้ผลิตผลน้ำมันดิบชีวภาพ₁ และ น้ำมันดิบชีวภาพ₂ มากที่สุดจึงนำมาใช้ ในการศึกษา

จากรูปที่ 4.1 (ก) แสดงให้เห็นว่าผลิตผลของน้ำมันดิบชีวภาพ₁ มีค่าต่ำอยู่ที่ ประมาณร้อยละ 28.75 โดยน้ำหนัก เมื่อใช้ตัวทำละลายที่เป็นน้ำ (ร้อยละ 0 โดยปริมาตรของ ความเข้มข้นเอทานอล) เปรียบเทียบกับการใช้ตัวทำละลายที่เป็นเอทานอล (ร้อยละ 100 โดย ปริมาตรของความเข้มข้นเอทานอล) ซึ่งมีค่าสูงกว่าอยู่ที่ประมาณร้อยละ 43.15 โดยน้ำหนัก หลังจากนั้นตัวทำละลายร่วม (ร้อยละ 25, 50, 75 โดยปริมาตรของความเข้มข้นเอทานอล) จะถูกนำมาใช้เพื่อเปรียบเทียบและศึกษาผลกระทบของตัวทำละลายต่างๆ ที่ส่งผลต่อ น้ำมันดิบชีวภาพ₁ สามารถสรุปได้ว่า ตัวทำละลายที่มีความเข้มข้นเอทานอลลร้อยละ 50 โดย

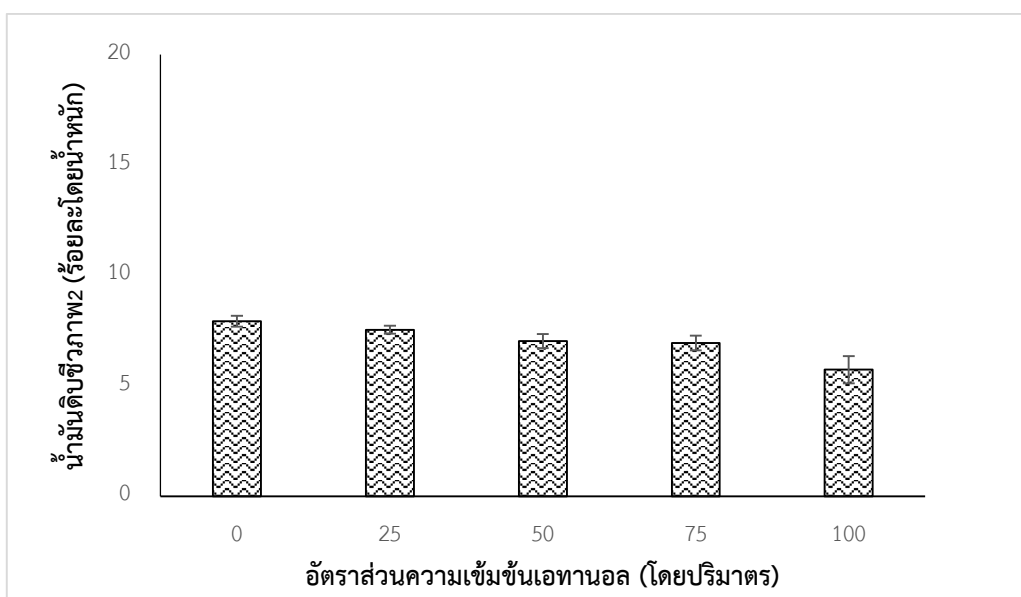
ปริมาตร ให้ค่าผลิตผลของน้ำมันดิบชีวภาพที่สูงที่สุดประมาณร้อยละ 63.13 โดยน้ำหนัก จากกราฟจะเห็นได้ว่า ที่อัตราส่วนความเข้มข้นของเอทานอลในปริมาณต่ำ (ร้อยละ 0-50 โดยปริมาตร) ค่าร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพ₁ เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง แสดงถึงน้ำและเอทานอลส่งผลเสริมฤทธิ์กัน โดยน้ำจะมีหน้าที่เหนี่ยวนำให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสเพื่อลดขนาดโมเลกุลของชีวมวล จากนั้นเอทานอลจะเข้ามาช่วยในการให้ไฮโดรเจนเพื่อทำให้อนุผลอิสระซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสเสถียร จึงสามารถลดการเกิดการรวมตัวกันใหม่ของโมเลกุลเล็กๆ ส่งผลให้ความน่าจะเป็นในการเกิดของแข็งลดน้อยลง ทำให้ได้ผลิตผลของเหลวเพิ่มขึ้น หลังจากนั้นเมื่ออัตราส่วนของความเข้มข้นเอทานอลมีค่าเพิ่มขึ้น (ร้อยละ 50-100 โดยปริมาตร) ร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพมีค่าลดลงจากร้อยละ 63.13 โดยน้ำหนัก เหลือร้อยละ 48.42 และ 43.15 โดยน้ำหนัก ที่อัตราส่วนความเข้มข้นเอทานอลร้อยละ 75 และ 100 โดยปริมาตร ตามลำดับ สามารถให้เหตุผลได้ว่า เมื่อปริมาณน้ำที่ใช้เป็นตัวทำละลายมีอัตราส่วนที่ลดลงทำให้ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสเกิดได้น้อย ส่งผลให้การแตกตัวของชีวมวลอาจเพิ่มขึ้นอยู่กับอุณหภูมิเพียงอย่างเดียว ทำให้ผลิตภัณฑ์เลือกที่จะเกิดเป็นสารประกอบที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่มากกว่า ดังนั้นค่าผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพ₁ จึงมีค่าลดลง ซึ่งแนวโน้มได้ไปใกล้เคียงกับผลได้ของกากของแข็งที่มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนของความเข้มข้นเอทานอลมีปริมาณมากกว่าร้อยละ 50 โดยปริมาตร ซึ่งได้กล่าวถึงในหัวข้อที่ 4.2.4

จากรูปที่ 4.1 (ข) พบว่าอัตราส่วนของตัวทำละลายที่ส่งผลให้ได้ค่าของผลิตผลน้ำมันดิบชีวภาพ₂ สูงที่สุด คือ ร้อยละ 0 โดยปริมาตรของความเข้มข้นเอทานอลหรือการใช้ตัวทำละลายเป็นน้ำ โดยให้ผลิตผลของน้ำมันดิบชีวภาพ₂ อยู่ที่ร้อยละ 7.93 โดยน้ำหนัก และมีค่าต่ำสุดร้อยละ 5.73 โดยน้ำหนักที่ความเข้มข้นของเอทานอลร้อยละ 100 โดยปริมาตร ส่วนในการใช้ตัวทำละลายร่วมได้ค่าผลิตผลอยู่ที่ร้อยละ 7.54, 7.03 และ 6.94 โดยน้ำหนักของการใช้ความเข้มข้นเอทานอลเท่ากับร้อยละ 25, 50 และ 75 โดยปริมาตรตามลำดับ จากข้อมูลในข้างต้นจะเห็นว่าแนวโน้มของผลิตผลน้ำมันดิบชีวภาพ₂ ต่างจากน้ำมันดิบชีวภาพ₁ กล่าวคือ กรณีที่เป็นน้ำมันดิบชีวภาพ₂ เมื่อมีการเพิ่มความเข้มข้นของเอทานอล ค่าผลิตผลของน้ำมันดิบชีวภาพจะมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่อง ในขณะที่น้ำมันดิบชีวภาพ₁ เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของเอทานอลที่ใช้เป็นตัวทำละลายจะสามารถช่วยเพิ่มค่าของผลิตผลได้ ซึ่งข้อมูลดังกล่าวมาทั้งหมดได้มีแนวโน้มของค่าผลิตผลที่คล้ายคลึงกับงานวิจัยของ Singh และคณะ [20] ที่ได้ทำการเปรียบเทียบผลเมื่อใช้ตัวทำละลายเป็นน้ำและแอลกอฮอล์ (เมทานอล และเอทานอล) สามารถสรุปผลได้ดังนี้ เมื่อใช้ตัวทำละลายเป็นน้ำผลิตผลที่ได้มีค่าต่ำกว่าการใช้ตัวทำละลายเป็นแอลกอฮอล์ ได้ค่าผลิตผลของการใช้ตัวทำละลายเป็นน้ำเท่ากับร้อยละ 11 โดยน้ำหนัก (แบ่งเป็นน้ำมันชีวภาพ₁ ร้อยละ 3 โดยน้ำหนักและน้ำมันชีวภาพ₂ ร้อยละ 8 โดย

น้ำหนัก) ส่วนค่าผลิตผลของการใช้ตัวทำละลายเป็นเมทานอลเท่ากับร้อยละ 44 โดยน้ำหนัก (แบ่งเป็นน้ำมันชีวภาพ₁ ร้อยละ 42 โดยน้ำหนัก และน้ำมันชีวภาพ₂ ร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก) และเอทานอลเท่ากับร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก (แบ่งเป็นน้ำมันชีวภาพ₁ ร้อยละ 39 โดยน้ำหนัก และน้ำมันชีวภาพ₂ ร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก)



รูปที่ 4.1 (ก) ผลกระทบของอัตราส่วนตัวทำละลายร่วมต่อน้ำมันดิบชีวภาพ₁ (ภาวะการทดลอง : อุณหภูมิ 320 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของตัวทำละลาย 1.0 มิลลิลิตรต่อนาที อัตราส่วนความเข้มข้นเอทานอลร้อยละ 0 – 100 โดยปริมาตร)



รูปที่ 4.1 (ข) ผลกระทบของอัตราส่วนตัวทำละลายร่วมต่อน้ำมันดิบชีวภาพ₂ (ภาวะการทดลอง : อุณหภูมิ 280 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของตัวทำละลาย 1.0 มิลลิลิตรต่อนาที อัตราส่วนความเข้มข้นเอทานอลร้อยละ 0 – 100 โดยปริมาตร)

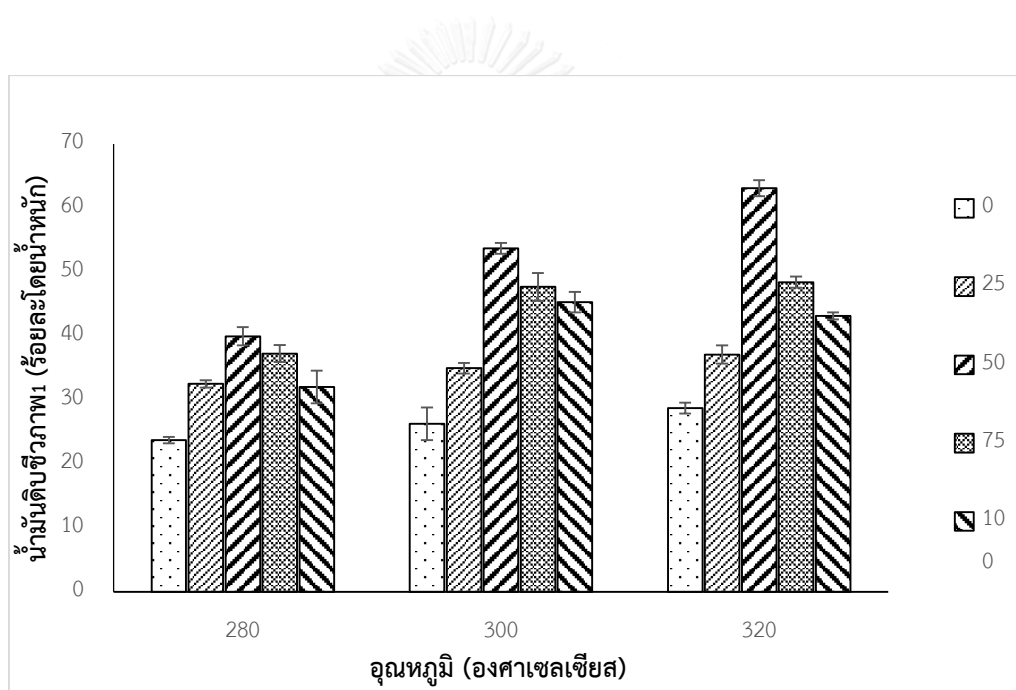
4.2.2 ผลกระทบของอุณหภูมิต่อน้ำมันดิบชีวภาพ₁ และน้ำมันดิบชีวภาพ₂

ภาวะที่นำมาใช้ในการศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิต่อน้ำมันดิบชีวภาพ₁ และน้ำมันดิบชีวภาพ₂ คือ อุณหภูมิ 280, 300, 320 องศาเซลเซียส และอัตราการไหล 1.0 มิลลิลิตรต่อนาที อัตราส่วนของตัวทำละลายร้อยละ 0 – 100 โดยปริมาตรของความเข้มข้นเอทานอล

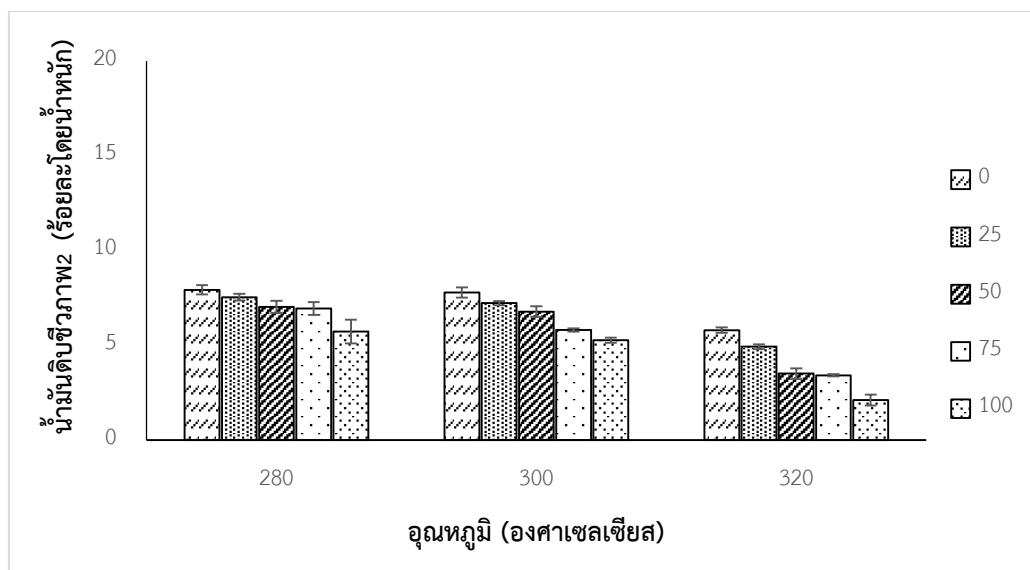
จากรูปที่ 4.2 (ก) สามารถสรุปได้ว่าการเพิ่มของอุณหภูมิส่งผลโดยตรงต่อผลิตผลของน้ำมันดิบชีวภาพ₁ จากกราฟจะเห็นว่าที่อัตราส่วนต่างๆ ของตัวทำละลายเดี่ยว/ร่วม เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาส่งผลให้ผลิตผลของน้ำมันดิบชีวภาพ₁ มีค่าเพิ่มขึ้น ตัวอย่างเช่น เมื่อใช้ตัวทำละลายเดี่ยวเป็นน้ำที่อุณหภูมิ 280 องศาเซลเซียส ได้ผลิตผลของน้ำมันดิบชีวภาพอยู่ที่ร้อยละ 23.74 โดยน้ำหนัก หลังจากเพิ่มอุณหภูมิเป็น 300 องศาเซลเซียส ผลิตผลของน้ำมันดิบชีวภาพมีค่าสูงขึ้นที่ร้อยละ 28.74 โดยน้ำหนัก จากนั้นเปลี่ยนเป็นใช้ตัวทำละลายร่วมผลกระทบของอุณหภูมิต่อน้ำมันดิบชีวภาพ₁ มีแนวโน้มคล้ายกับการใช้ตัวทำละลายเดี่ยว ตัวอย่างเช่น เมื่อใช้ตัวทำละลายร่วมที่มีอัตราส่วนความเข้มข้นของเอทานอลร้อยละ 50 โดยปริมาตร ที่อุณหภูมิ 280 องศาเซลเซียส ได้ผลิตผลของน้ำมันดิบชีวภาพร้อยละ 39.96 โดยน้ำหนัก หลังจากเพิ่มอุณหภูมิเป็น 320 องศาเซลเซียส ผลิตผลของน้ำมันดิบชีวภาพ₁ มีค่าสูงขึ้นมากถึงร้อยละ 63.13 โดยน้ำหนัก โดย Peng และคณะ [30] ได้กล่าวว่า การใช้อุณหภูมิที่สูงขึ้น จะสามารถเพิ่มการแตกของพันธะได้ หลังจากนั้นจะเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสหรือโซลโวไลซิส (solvolysis reaction) และรีพอลิเมอไรเซชัน ซึ่งส่งผลให้ผลิตผลของน้ำมันดิบชีวภาพเพิ่มขึ้น

จากรูปที่ 4.2 (ข) พบว่าผลิตผลน้ำมันดิบชีวภาพ₂ ในทุกๆ อัตราส่วนตัวทำละลายมีแนวโน้มตรงกันข้ามกับน้ำมันดิบชีวภาพ₁ กล่าวคือ เมื่อมีการเพิ่มของอุณหภูมิ จะส่งผลให้ผลิตผลของน้ำมันดิบชีวภาพ₂ ลดน้อยลงอย่างต่อเนื่อง ตัวอย่างเช่น ที่อัตราส่วนความเข้มข้นของเอทานอลร้อยละ 0 โดยปริมาตร อุณหภูมิ 280 องศาเซลเซียส ได้ผลิตผลของน้ำมันดิบ

ชีวภาพ₂ ร้อยละ 7.93 โดยน้ำหนัก เมื่อใช้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นที่ 300 และ 320 องศาเซลเซียส ส่งผลให้ผลิตผลที่ได้มีค่าลดลงเหลือร้อยละ 7.78 และ 5.8 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ เนื่องจากองค์ประกอบส่วนใหญ่ของน้ำมันดิบชีวภาพ₂ เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนโมเลกุลขนาดใหญ่ ทำให้เมื่ออุณหภูมิในการทดลองเพิ่มขึ้น จะเกิดการสลายตัวทางความร้อนกลายเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนโมเลกุลขนาดเล็ก ซึ่งตรงกับค่าของน้ำมันดิบชีวภาพ₁ ที่มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการทดลองสูงขึ้น และยังสอดคล้องกับปริมาณผลิตผลกากของแข็งที่มีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นอีกด้วย เนื่องจากน้ำมันดิบชีวภาพ₂ สามารถเก็บได้จากกากของแข็ง



รูปที่ 4.2 (ก) ผลกระทบของอุณหภูมิต่อน้ำมันดิบชีวภาพ₁ (ภาวะการทดลอง : อุณหภูมิ 280, 300 และ 320 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของตัวทำละลาย 1.0 มิลลิลิตรต่อนาที อัตราส่วนความเข้มข้นเอทานอลร้อยละ 0 – 100 โดยปริมาตร)

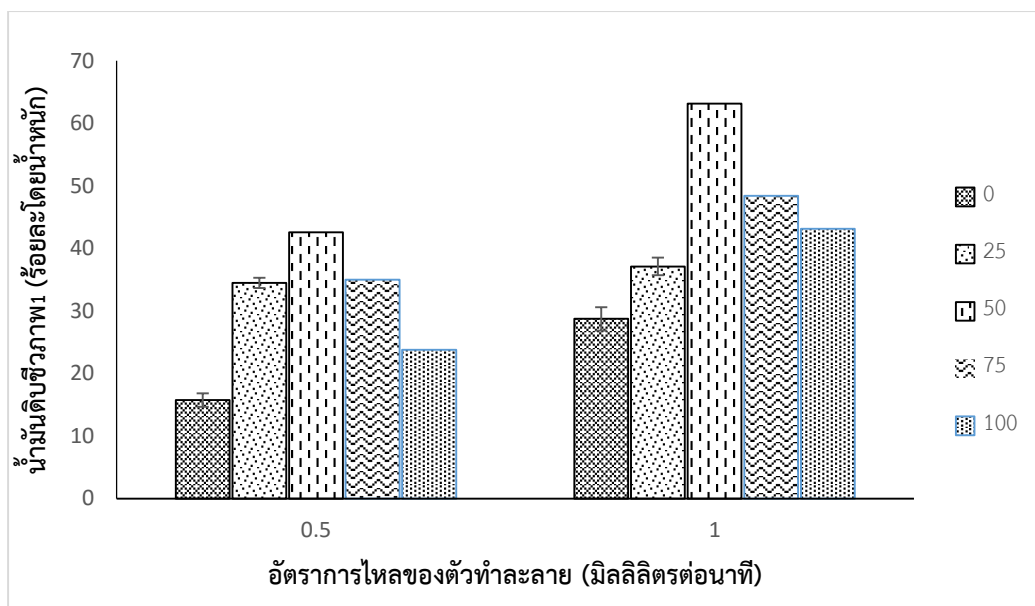


รูปที่ 4.2 (ข) ผลกระทบของอณูหภูมิต่อน้ำมันดับชีวภาพ₂ (ภาวะการทดลอง : อณูหภูมิ 280, 300 และ 320 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของตัวทำลาย 1.0 มิลลิลิตรต่อนาที อัตราส่วนความเข้มข้นเอทานอลร้อยละ 0 – 100 โดยปริมาตร)

4.2.3 ผลกระทบของอัตราการไหลต่อน้ำมันดับชีวภาพ₁

ภาวะที่นำมาใช้ในการศึกษาผลกระทบของอัตราการไหลต่อน้ำมันดับชีวภาพ₁ คือ อัตราการไหล 0.5 และ 1.0 มิลลิลิตรต่อนาที อณูหภูมิ 320 องศาเซลเซียส อัตราส่วนของตัวทำลายร้อยละ 0 – 100 โดยปริมาตรของความเข้มข้นเอทานอล

จากรูปที่ 4.3 จะเห็นว่าที่อัตราการไหล 1.0 มิลลิลิตรต่อนาที ได้ค่าผลได้ของน้ำมันดับชีวภาพมากที่สุด ที่ 63.13% จากนั้นเมื่อเปลี่ยนอัตราการไหลในการทดลองเพื่อศึกษาผลของเวลาที่ตัวทำลายสัมผัสกับชีวมวล (residence time) จะเห็นว่า ในทุกๆ อัตราส่วนของตัวทำลายค่าผลได้ของน้ำมันดับชีวภาพมีค่าลดลง เนื่องจากอาจจะเกิดปฏิกิริยาที่สอง (secondary reaction) มากขึ้น ทำให้ผลิตภัณฑ์เลือกที่จะเกิดเป็นแก๊สหรือของแข็งเพิ่มขึ้น และอีกหนึ่งเหตุผล คือ เมื่อจำนวนโมเลกุลของตัวทำลายลดลง ส่งผลให้ความสามารถเข้าในการไปทำปฏิกิริยากับสารตั้งต้นลดน้อยลงอีกด้วย ซึ่งไปสอดคล้องกับเหตุผลที่ Cheng และคณะ ได้สรุปไว้ว่าการใช้ตัวละลายในปริมาณน้อยจะทำให้เกิดลิควิแพกชันและปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสลดน้อยลง [23]



รูปที่ 4.3 ผลกระทบของอัตราการใช้ไขมันต่อน้ำมันดิบชีวภาพ₁ (ภาวะการทดลอง : อัตราการใช้ 0.5 และ 1.0 มิลลิลิตรต่อนาฬิกา อุณหภูมิ 320 องศาเซลเซียส อัตราส่วนความเข้มข้นเอทานอลร้อยละ 0 – 100 โดยปริมาตร)

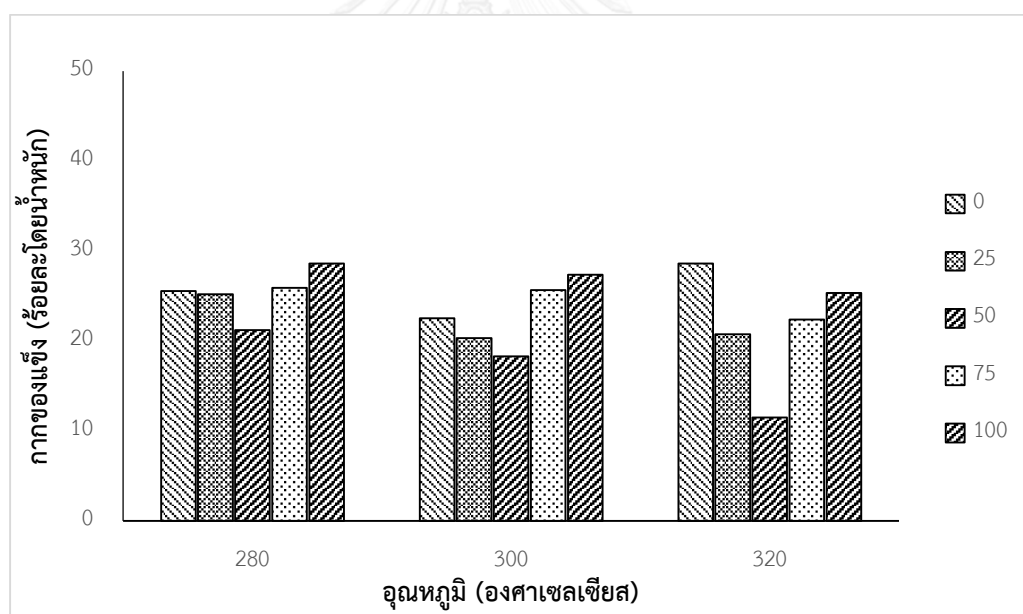
4.2.4 ผลกระทบของอุณหภูมิและอัตราส่วนตัวทำละลายต่อกากของแข็ง

ภาวะที่นำมาใช้ในการศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิและอัตราส่วนตัวทำละลายต่อกากของแข็ง คือ อัตราการใช้ 1.0 มิลลิลิตรต่อนาฬิกา อุณหภูมิ 280, 300, 320 องศาเซลเซียส อัตราส่วนของตัวทำละลายร้อยละ 0 – 100 โดยปริมาตรของความเข้มข้นเอทานอล

จากรูปที่ 4.4 จะเห็นว่าเมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้น ผลผลิตของกากของแข็งจะมีค่าลดลง ตัวอย่างที่สามารถสังเกตได้ชัด คือ ร้อยละ 50 โดยปริมาตรของความเข้มข้นเอทานอล ที่อุณหภูมิ 280 องศาเซลเซียสได้ผลิตผลกากของแข็งร้อยละ 21.19 โดยน้ำหนัก หลังจากเพิ่มอุณหภูมิเป็น 320 องศาเซลเซียส ปริมาณกากของแข็งที่ได้มีค่าลดลงเหลือร้อยละ 11.47 โดยน้ำหนัก เพราะเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นส่งผลให้เกิดการแตกตัวทางความร้อนของกากของแข็งเกิดเป็นผลิตภัณฑ์แก๊สมากขึ้น

เมื่อพิจารณาที่ผลกระทบของอัตราส่วนตัวทำละลายจะเห็นว่าผลในแต่ละอุณหภูมิมีแนวโน้มคล้ายคลึงกัน คือ ที่อัตราส่วนความเข้มข้นเอทานอลต่ำ (ร้อยละ 0 – 50 โดยปริมาตร) ผลผลิตของกากของแข็งมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่อง ได้ค่าต่ำสุดร้อยละ 11.47 โดย

น้ำหนัก ที่ภาวะอุณหภูมิ 320 องศาเซลเซียส อัตราส่วนตัวทำละลายร้อยละ 50 โดยปริมาตร ของความเข้มข้นเอทานอล อัตราการไหล 1.0 มิลลิลิตรต่อนาที ดังที่กล่าวไปข้างต้นในหัวข้อ 4.2.1 ว่าที่อัตราส่วนความเข้มข้นเอทานอลร้อยละ 0-50 โดยปริมาตร ค่าผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพมีค่าสูงขึ้น จึงทำให้ผลได้ของกากของแข็งที่อัตราส่วนตัวทำละลายดังกล่าวมีค่าลดลง แสดงถึงการเกิดผลเสริมฤทธิ์ที่ดี ในทางตรงกันข้ามเมื่อเพิ่มอัตราส่วนของความเข้มข้นเอทานอลมากขึ้น (ร้อยละ 50 – 100 โดยปริมาตร) ค่าผลิตผลของกากของแข็งมีค่าเพิ่มขึ้นจากเดิมที่ร้อยละ 11.47 โดยน้ำหนักเป็นร้อยละ 25.33 โดยน้ำหนัก ซึ่งผลการทดลองได้คล้ายคลึงกับ เหตุผลที่ Zhang และคณะ ได้ให้ไว้ว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของเอทานอล จะเป็นการเพิ่ม ปริมาณของอนุภาคอิสระในระบบ ทำให้มีโอกาสมากขึ้นที่จะเกิดปฏิกิริยารีพอลิเมอร์เซชันของ ชีวมวล อันจะส่งผลให้ปริมาณกากของแข็งเพิ่มขึ้น [31]



รูปที่ 4.4 ผลกระทบของอุณหภูมิและอัตราส่วนตัวทำละลายต่อกากของแข็ง (ภาวะการทดลอง : อุณหภูมิ 280, 300 และ 320 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของตัวทำละลาย 1.0 มิลลิลิตรต่อนาที อัตราส่วนความเข้มข้นเอทานอลร้อยละ 0 – 100 โดยปริมาตร)

4.3 การวิเคราะห์น้ำมันดิบชีวภาพ

4.3.1 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำและกรดในน้ำมันดิบชีวภาพ₁

การหาปริมาณน้ำในน้ำมันดิบชีวภาพ₁ สามารถหาได้โดยใช้วิธีไตเตรทคาร์ล-ฟิสเซอร์ เริ่มต้นโดยใช้น้ำมันดิบชีวภาพประมาณ 0.01 กรัม ใส่ลงในสารละลายไฮดรอกไซด์ เพื่อคำนวณหาปริมาณน้ำในน้ำมันดิบชีวภาพ ภาวะการทดลองของน้ำมันที่นำมาใช้ คือ 320 องศาเซลเซียส และอัตราการไหลของตัวทำละลายเท่ากับ 1.0 มิลลิลิตรต่อนาที จากตารางที่ 4.2 พบว่าอัตราส่วนความเข้มข้นเอทานอลร้อยละ 0 โดยปริมาตรหรือการใช้น้ำเป็นตัวทำละลายเดี่ยว มีปริมาณน้ำในน้ำมันดิบชีวภาพมากที่สุดที่ร้อยละ 8.26 โดยน้ำหนัก ตามด้วยที่อัตราส่วนความเข้มข้นเอทานอลร้อยละ 100 โดยปริมาตรหรือการใช้อีทานอลเป็นตัวทำละลายเดี่ยวมีค่าของปริมาณน้ำในน้ำมันดิบชีวภาพลดลงเหลือร้อยละ 2.67 โดยน้ำหนัก และอัตราส่วนความเข้มข้นเอทานอลร้อยละ 50 โดยปริมาตร ให้ค่าปริมาณน้ำน้อยที่สุดอยู่ที่ร้อยละ 1.52 โดยน้ำหนัก ซึ่งแนวโน้มของปริมาณน้ำในน้ำมันดิบชีวภาพทั้ง 3 อัตราส่วนตัวทำละลายไปสอดคล้องกับปริมาณออกซิเจน ดังแสดงในตารางที่ 4.3

การวิเคราะห์ปริมาณกรดในน้ำมันดิบชีวภาพ₁ สามารถหาได้โดยนำตัวอย่างน้ำมันดิบที่ต้องการวิเคราะห์ปริมาณ 0.02 กรัม ใส่ลงในสารละลายผสมระหว่างเอทานอลและไดเอทิลอีเทอร์ปริมาณ 50 มิลลิลิตร ภาวะการทดลองของน้ำมันที่นำมาใช้ คือ 320 องศาเซลเซียส และอัตราการไหลของตัวทำละลายเท่ากับ 1.0 มิลลิลิตรต่อนาที จากตารางที่ 4.2 พบว่าอัตราส่วนของความเข้มข้นเอทานอลร้อยละ 0 โดยปริมาตรให้ค่าปริมาณกรดในน้ำมันชีวภาพต่ำที่สุดอยู่ที่ร้อยละ 13.617 มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อกรัม ซึ่งข้อมูลตรงนี้มีผลในทางตรงกันข้ามกับปริมาณน้ำและออกซิเจนที่มีค่าสูงเมื่อใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย เนื่องจากในขณะทำการวิเคราะห์ปริมาณกรด สามารถสังเกตได้ว่าน้ำมันดิบชีวภาพที่ได้จากการใช้น้ำเป็นตัวทำละลายไม่สามารถถูกละลายหมดในสารละลายที่เตรียมไว้ ซึ่งอาจจะส่งผลในทางลบกับข้อมูลที่ได้มาจากการวิเคราะห์ จากนั้นเมื่อเพิ่มอัตราส่วนความเข้มข้นเอทานอลเป็นร้อยละ 50 และ 100 โดยปริมาตร จะเห็นได้ว่าปริมาณกรดในน้ำมันชีวภาพมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 39.024 และ 49.819 มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ตามลำดับ จึงสามารถสรุปได้ว่าเมื่อมีการเพิ่มขึ้นของเอทานอลจะส่งผลให้ปริมาณกรดในน้ำมันดิบชีวภาพมีค่าสูงขึ้น

ตารางที่ 4.2 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำและกรดในน้ำดิบชีวภาพ₁

อัตราส่วนความเข้มข้นเอทานอล (ร้อยละโดยปริมาตร)	ปริมาณกรด (มิลลิกรัม KOH/กรัม)	ปริมาณน้ำ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)
0	13.617	8.26
50	39.024	1.52
100	49.819	2.67

4.3.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุ

ตารางที่ 4.3 แสดงถึงธาตุองค์ประกอบต่างๆ และค่าความร้อนของน้ำมันดิบชีวภาพ₁ ภาวะการทดลองที่นำมาวิเคราะห์ คือ อุณหภูมิ 320 องศาเซลเซียส และอัตราการไหลของตัวทำละลายเท่ากับ 1.0 มิลลิลิตรต่อนาที พบว่าเมื่อเปรียบเทียบระหว่างสาหร่ายที่ผ่านและไม่ผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชัน สาหร่ายที่ผ่านกระบวนการมีค่าความร้อนมากกว่าอย่างเห็นได้ชัดอยู่ที่ร้อยละ 14.05 – 34.57 เมกะจูลต่อกิโลกรัม ในขณะที่สาหร่ายที่ไม่ผ่านกระบวนการมีค่าความร้อนเพียง 10.86 เมกะจูลต่อกิโลกรัม จึงสามารถสรุปได้ กระบวนการไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันสามารถเพิ่มค่าความร้อนของชีวมวลได้

เมื่อมาพิจารณาที่ผลกระทบของอัตราส่วนความเข้มข้นเอทานอลต่อธาตุองค์ประกอบและค่าความร้อน พบว่าเมื่อมีการเพิ่มอัตราส่วนความเข้มข้นเอทานอล ปริมาณคาร์บอนในน้ำมันดิบชีวภาพมีค่าสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งสวนทางกับปริมาณออกซิเจนที่ลดลง โดยอัตราส่วนความเข้มข้นเอทานอลร้อยละ 50 โดยปริมาตร ให้ปริมาณคาร์บอนสูงที่สุดที่ร้อยละ 63.76 โดยน้ำหนัก และปริมาณออกซิเจนต่ำที่สุดที่ร้อยละ 20.69 โดยน้ำหนัก มีค่าความร้อนของน้ำมันดิบชีวภาพสูงถึงร้อยละ 34.57 เมกะจูลต่อกิโลกรัม ในทางกลับกันอัตราส่วนความเข้มข้นเอทานอลที่ให้ค่าความร้อนต่ำสุด คือ ร้อยละ 0 โดยปริมาตรหรือการใช้น้ำเป็นตัวทำละลายเดี่ยว มีค่าความร้อนเท่ากับ 14.05 เมกะจูลต่อกิโลกรัม โดยมีปริมาณคาร์บอนและออกซิเจนเท่ากับ 35.65 และ 52.06 โดยน้ำหนักตามลำดับ แสดงถึงการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรตี

ออกซิเจนชั้น (Hydrodeoxygenation) ซึ่งเป็นปฏิกิริยากำจัดน้ำออก เหตุเพราะเอทานอลในตัวทำละลายมีความสามารถในการเป็นตัวให้ไฮโดรเจนที่ดีแก่ระบบ จึงทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรจิโนไลซิส (Hydrogenolysis) และปฏิกิริยาไฮโดรจิเนชัน (Hydrogenation) ซึ่งทั้งสองปฏิกิริยาที่กล่าวมานั้นเป็นปฏิกิริยากำจัดน้ำโดยการเติมไฮโดรเจน [32]

ตารางที่ 4.3 องค์ประกอบธาตุในน้ำมันดิบชีวภาพในอัตราส่วนความเข้มข้นเอทานอลต่างๆ

อัตราส่วนความเข้มข้นเอทานอล (ร้อยละโดยปริมาตร)	ธาตุองค์ประกอบ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)				ค่าความร้อน (เมกะจูลต่อกิโลกรัม)
	C	H	N	O	
0	35.65	7.89	4.40	52.06	14.05
50	63.76	11.60	3.95	20.69	34.57
100	56.57	8.64	6.21	28.58	26.45

4.3.3 การวิเคราะห์องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ด้วยการใช้เทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี) แมสสเปกโทรสโกปี-GC – MS)

สำหรับองค์ประกอบของน้ำมันดิบชีวภาพสามารถวิเคราะห์ได้ด้วยการใช้เทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี - แมสสเปกโทรสโกปี ดังแสดงในตารางที่ 4.4 เป็นการวิเคราะห์น้ำมันดิบชีวภาพที่ได้จากการทำไฮโดรเทอร์มอลลิควิแฟชันที่อุณหภูมิ 320 องศาเซลเซียส ที่อัตราการไหลของตัวทำละลายเท่ากับ 1.0 มิลลิลิตรต่อนาที โดยเปรียบเทียบกันของตัวทำละลายระหว่างอัตราส่วนความเข้มข้นเอทานอลร้อยละ 0, 50 และ 100 โดยปริมาตร จากการวิเคราะห์พบว่า องค์ประกอบที่มีส่วนใหญ่น้ำมันดิบชีวภาพโดยรวม ได้แก่ กลีเซอริน เอทิลเฮกซะเดคาโนเอต เดคเคน และ เฮปตะเดคเคน สำหรับในส่วนของปริมาณ กลีเซอริน ที่พบ

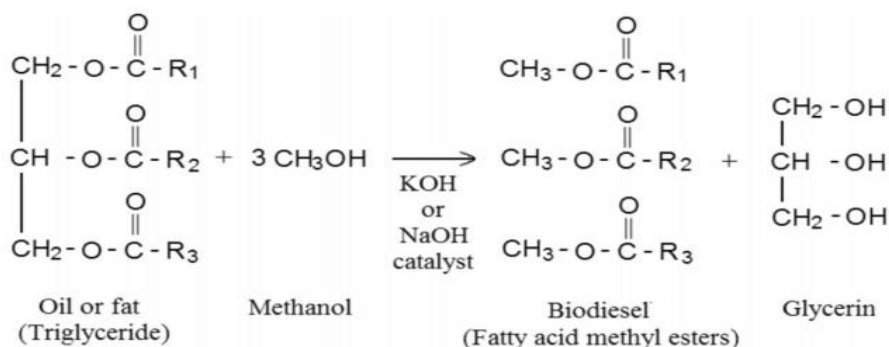
ในน้ำมันดิบชีวภาพทั้งสามกรณีพบว่า เมื่ออัตราส่วนร้อยละโดยปริมาตรของน้ำเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ปริมาณกลีเซอรินเพิ่มขึ้น ซึ่งพิจารณาได้จากร้อยละของพื้นที่ใต้กราฟที่เพิ่มขึ้นจาก 6.67 เป็น 30.04 จากผลการทดลองข้างต้นอาจสามารถอธิบายได้ว่า ทั้งปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันและปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของไตรกลีเซอไรด์นั้นอาจมีส่วนเข้ามามีบทบาทสำคัญในกระบวนการผลิตน้ำมันดิบชีวภาพ หากพิจารณารูปที่ 4.5 พบว่าปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันเกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างไตรกลีเซอไรด์กับสารจำพวกแอลกอฮอล์ (เมทานอลหรือเอทานอล) ได้ผลิตภัณฑ์เป็นไบโอดีเซล (สารประกอบเอสเทอร์) และกลีเซอรอล โดยทั่วไปหนึ่งในปัจจัยที่สามารถช่วยให้เกิดปริมาณไบโอดีเซลที่มากขึ้น คือการเพิ่มขึ้นของปริมาณสารตั้งต้น ในกรณีของน้ำมันดิบชีวภาพที่ได้จากกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชัน ปริมาณของสารตั้งต้นในปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันที่เปลี่ยนไปทีละเล็กละน้อยได้แก่ อัตราส่วนร้อยละโดยปริมาตรของเอทานอล ดังนั้นจะพบว่า เมื่อปริมาณอัตราส่วนร้อยละโดยปริมาตรของน้ำเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ปริมาณเอทานอลในระบบลดลง อันจะทำให้ปฏิกิริยาดังกล่าวเลือกเกิดไปเป็นกลีเซอรินมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลของปริมาณ เมทิล เอสเทอร์ และ เฮปตะเดคเคน ที่ลดลงเมื่อเพิ่มอัตราส่วนร้อยละของปริมาณน้ำมากขึ้น

อีกประเด็นที่สำคัญของผลการวิเคราะห์องค์ประกอบน้ำมันดิบชีวภาพ คือปริมาณกรดที่วิเคราะห์ได้จากเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี - แมสสเปกโทรสโกปี พบว่าเมื่ออัตราส่วนความเข้มข้นเอทานอลเพิ่มขึ้น จะพบ กรดกลูตามิก กรดเบนโซอิก และกรดเฮกซะเดคคาโนอิกในปริมาณที่เพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองวิเคราะห์ปริมาณกรดพบว่าที่อัตราส่วนความเข้มข้นเอทานอลร้อยละ 100 โดยปริมาตร จะให้ค่าความเป็นกรดสูงสุดอยู่ที่ 49.819 มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อกรัม ดังแสดงในส่วนของ 4.3.1

ในส่วนขององค์ประกอบของเดคเคนนั้นถือเป็นไฮโดรคาร์บอนโซ่ตรงที่สามารถนำไปต่อยอดให้กลายเป็นพลังงานทางเลือกได้ง่าย จึงถือได้ว่าเป็นองค์ประกอบหนึ่งที่มีความสำคัญสำหรับน้ำมันดิบชีวภาพที่พบในน้ำมันดิบชีวภาพ จากการทดลองพบว่าเดคเคนให้ร้อยละของพื้นที่ใต้กราฟสูงสุดอยู่ที่ร้อยละ 4.84 ซึ่งพบในอัตราส่วนความเข้มข้นเอทานอลร้อยละ 50 โดยปริมาตร เพราะผลเสริมฤทธิ์ที่เกิดขึ้นระหว่างตัวทำละลายน้ำและเอทานอล

ตาราง 4.4 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบผลิตภัณฑ์เตรียมจากสภาวะอุณหภูมิ 320 องศาเซลเซียส โดยใช้อัตราการไหลของตัวทำละลายเท่ากับ 1.0 มิลลิลิตรต่อนาที ที่อัตราส่วนของความเข้มข้นเอทานอลต่างๆ

ลำดับ	เวลา (นาที)	องค์ประกอบ	ร้อยละของพื้นที่ใต้กราฟ		
			อัตราส่วน ความเข้มข้นเอทานอล		
			100	50	0
1	3.083	Propylene glycol	2.28	-	-
2	3.913	2-Butenoic acid	-	-	2.16
3	4.131	Hexanoic acid	-	-	1.58
4	6.153-6.554	Glycerin	6.67	12.55	30.04
5	6.735-6.742	Decane	1.02	4.84	0.75
6	8.208-8.224	3-Pyridinol	0.89	1.57	1.62
7	13.264-13.266	L-glutamic acid	5.90	2.58	-
8	15.173-15.176	Benzoic acid	2.27	1.09	0.91
9	15.639-15.664	Tridemorph	0.76	1.00	1.11
10	16.650-16.659	1,2-Cyclohexanediol	0.95	1.35	1.57
11	16.720-16.801	1-Methyl-3-piperidinemethanol	1.13	2.05	4.00
12	16.933-16.944	1,2,4-trimethyl cyclopentane	0.77	2.26	1.67
13	17.160-17.177	4-Undecane	1.39	2.99	3.29
14	17.844-17.861	2,6-dimethyl-3,5-heptanedione	0.92	1.38	1.23
15	17.945-17.947	Methyl 9-hexadecenoate	3.11	0.97	-
16	18.006-18.023	Trimethyl-2-pentadecanone	2.37	2.44	0.97
17	18.400	1-Octadecyne	1.12	1.19	-
18	18.616	Heptadecane	1.70	1.27	-
19	18.854-18.858	Methyl hexadecanoate	1.27	0.80	1.64
20	19.082-19.088	2-Undecene	1.38	2.14	2.27
21	19.185	Hexadecanoic acid	11.65	10.72	-
22	19.544	Ethyl hexadecanoate	19.81	9.52	-
23	20.680	Cyclohexanol	2.18	1.89	-

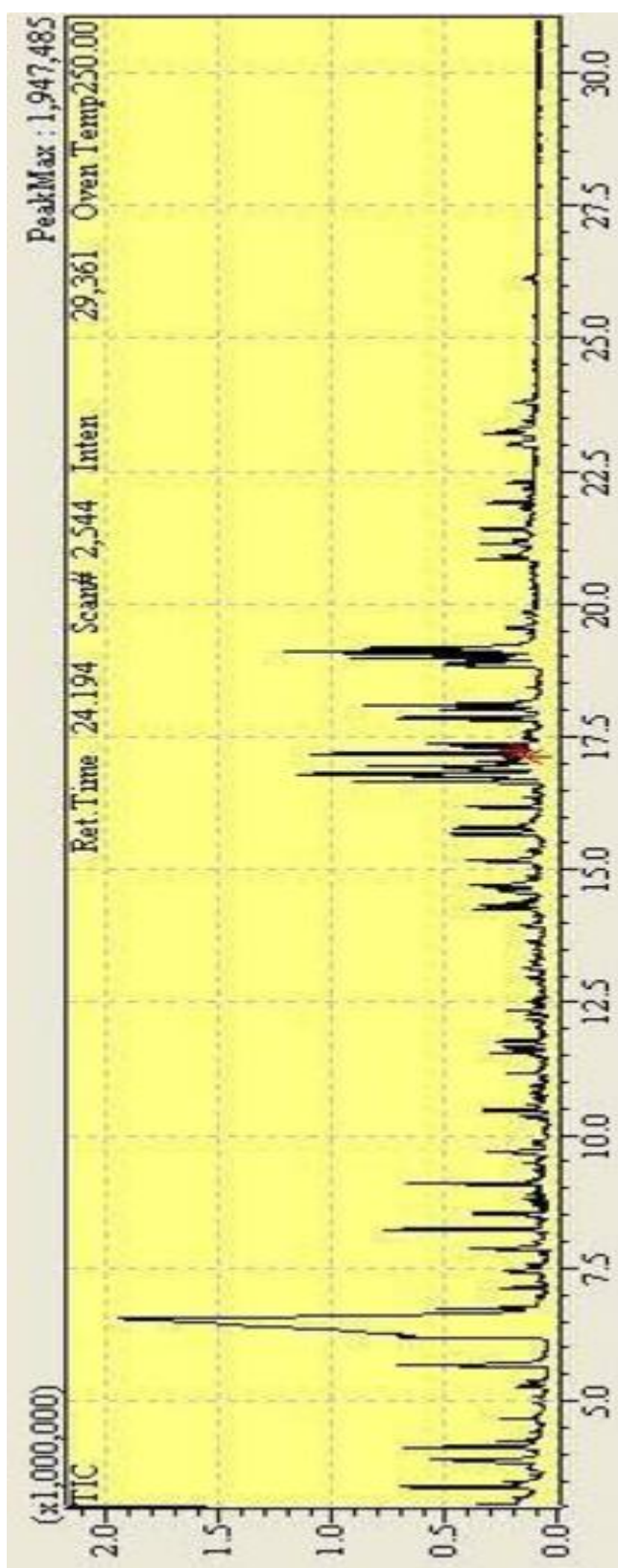


รูปที่ 4.5 ปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน [7]

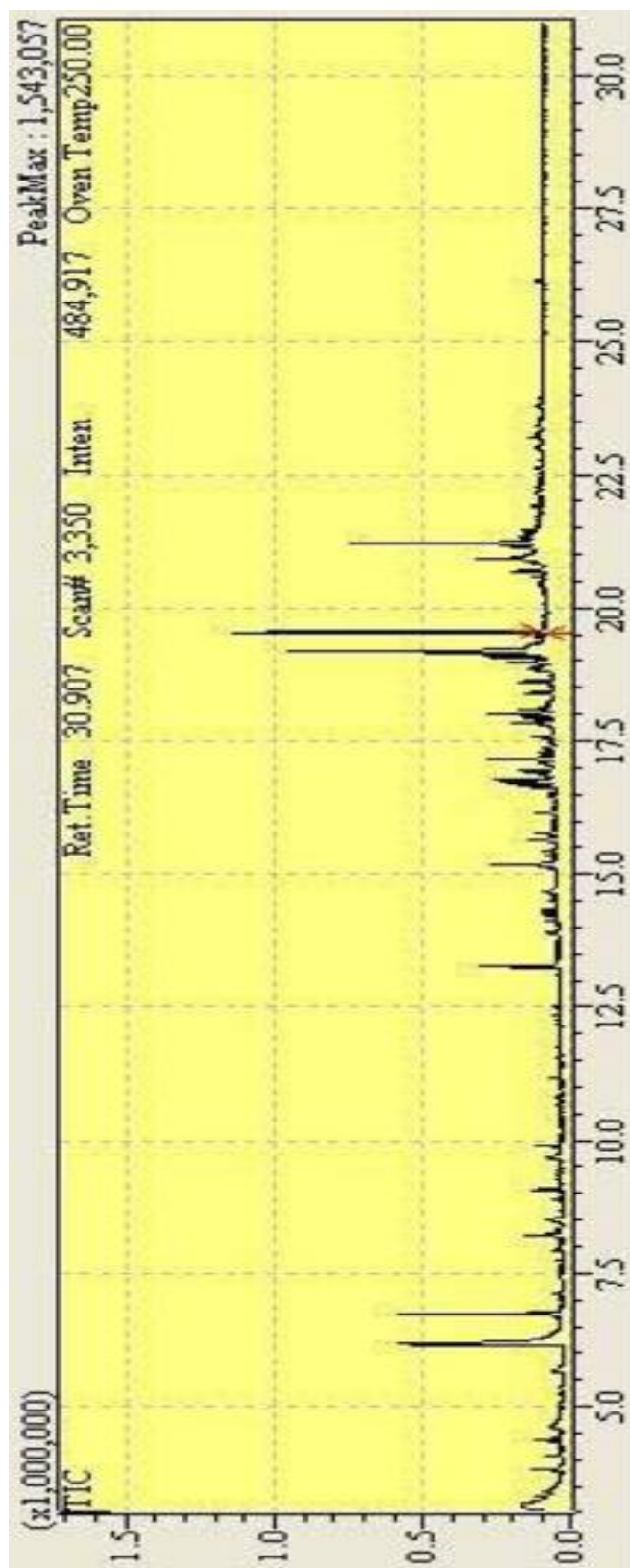
สำหรับในตารางที่ 4.4 เป็นการวิเคราะห์องค์ประกอบของน้ำมันดิบชีวภาพที่อัตราส่วนความเข้มข้นเอทานอลร้อยละ 50 โดยปริมาตร อัตราการไหลของตัวทำละลาย 1.0 มิลลิลิตรต่อนาที เปรียบเทียบกันระหว่างน้ำมันดิบชีวภาพ₁ และ น้ำมันดิบชีวภาพ₂ จากการวิเคราะห์พบว่า องค์ประกอบหลักของน้ำมันดิบชีวภาพ₁ ได้แก่ กลีเซอริน และกรดเฮกซะเดคาโนอิกสำหรับองค์ประกอบหลักของน้ำมันดิบชีวภาพ₂ ได้แก่ กรดเฮกซะเดคาโนอิก และเอทิล โอลีเอต โดยจากผลการทดลองจะเห็นว่าปริมาณกลีเซอรินที่พบในน้ำมันดิบชีวภาพ₁ แต่ไม่พบในน้ำมันดิบชีวภาพ₂ อาจเป็นผลมาจากกลีเซอรินนั้นเป็นสารโมเลกุลเบา จึงทำให้การสกัดน้ำมันดิบชีวภาพออกมาจึงทำให้กลีเซอรินถูกสกัดออกมาได้ทั้งหมด หากแต่อีกหนึ่งประเด็นที่สำคัญคือ ปริมาณกรดที่เกิดขึ้นในน้ำมันดิบชีวภาพ หากเปรียบเทียบปริมาณกรดเฮกซะเดคาโนอิกในน้ำมันดิบชีวภาพ พบว่ากรดดังกล่าวมีอยู่ในน้ำมันดิบชีวภาพ₂ มากถึงร้อยละ 32.52 ของพื้นที่ใต้กราฟ ในขณะที่น้ำมันดิบชีวภาพ₁ มีเพียงร้อยละของพื้นที่ใต้กราฟ 9.52 เท่านั้น จึงทำให้สามารถทำนายได้ว่าค่าความเป็นกรดของน้ำมันดิบชีวภาพ₂ นั้นอาจมีค่ามากกว่าน้ำมันดิบชีวภาพ₁ และในองค์ประกอบสุดท้ายนั้นคือน้ำมันดิบชีวภาพ₂ มีปริมาณเอทิล โอลีเอตมากกว่าน้ำมันดิบชีวภาพ₁ ถึง 3 เท่า เพราะ เอทิล โอลีเอตนั้นเป็นโมเลกุลที่มีขนาดใหญ่และซับซ้อน ซึ่งโดยทั่วไปแล้ว น้ำมันดิบชีวภาพ₂ คือน้ำมันที่ได้จากการสกัดของแข็งที่เหลือในปฏิกิริยา น้ำมันที่ได้จะเป็นส่วนที่มีขนาดใหญ่และซับซ้อน ที่ไม่สามารถระเหยออกมาในส่วนของสารระเหยได้ จึงทำให้โมเลกุลที่มีขนาดใหญ่และซับซ้อนจะถูกพบในน้ำมันดิบชีวภาพ₂ มากกว่า น้ำมันดิบชีวภาพ₁

ตาราง 4.4 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบผลิตภัณฑ์เตรียมจากภาวะอุณหภูมิ 320 องศาเซลเซียส โดยใช้อัตราการไหลของสารละลายเท่ากับ 1.0 มิลลิลิตรต่อนาที และอัตราส่วนความเข้มข้นเอทานอลร้อยละ 50 โดยปริมาตรระหว่างน้ำมันดิบชีวภาพ₁ และน้ำมันดิบชีวภาพ₂

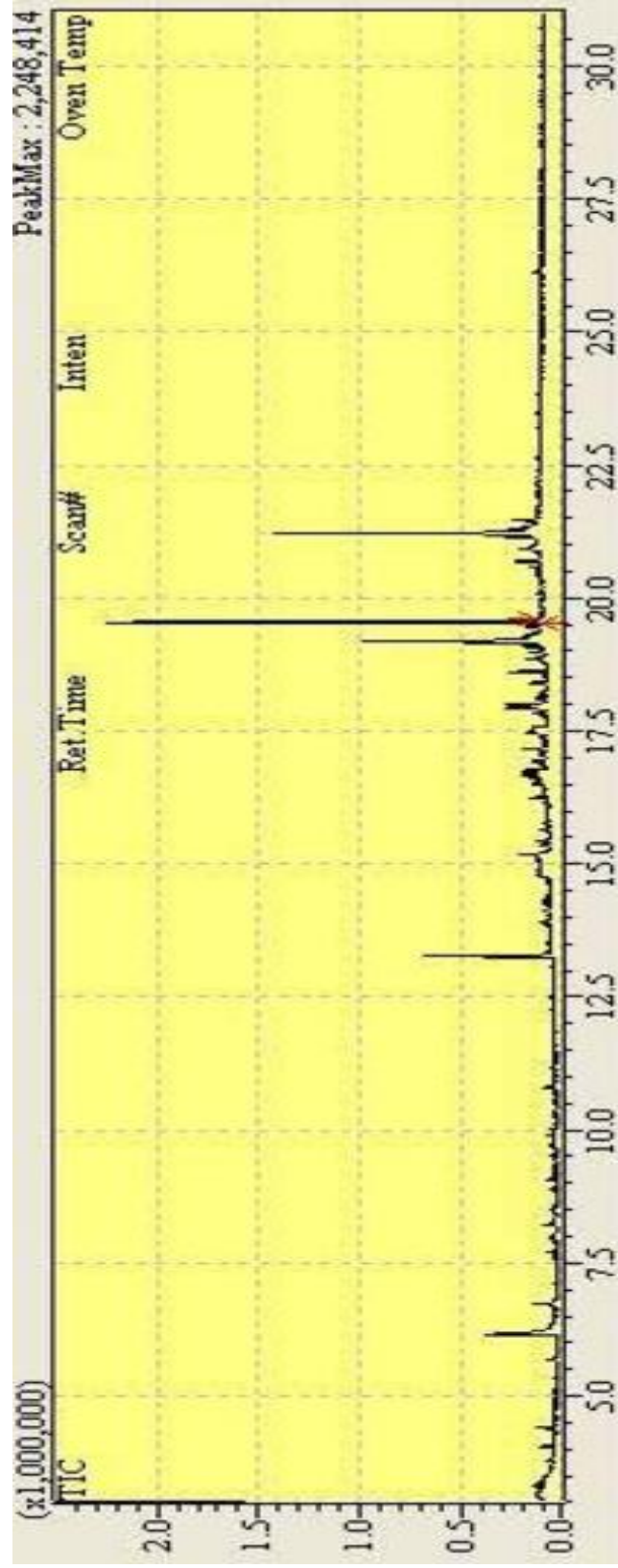
ลำดับ	เวลา (นาที)	องค์ประกอบ	ร้อยละของพื้นที่ใต้กราฟ	
			น้ำมันดิบชีวภาพ 1	2
1	6.153-6.554	Glycerin	12.55	-
2	6.735-6.742	Decane	4.84	0.45
3	8.208-8.224	3-Pyridinol	1.57	-
4	13.264-13.266	L-glutamic acid	2.58	-
5	15.173-15.176	Benzoic acid	2.27	0.48
6	15.639-15.664	Tridemorph	1.00	-
7	16.650-16.659	1,2-Cyclohexanediol	1.35	-
8	16.720-16.801	1-Methyl-3-piperidinemethanol	2.05	-
9	16.933-16.944	1,2,4-trimethyl cyclopentane	2.26	-
10	17.160-17.177	4-Undecane	2.99	-
11	17.844-17.861	2,6-dimethyl-3,5-heptanedione	1.38	-
12	17.945-17.947	Methyl 9-Hexadecenoate	0.97	1.68
13	18.006-18.023	Trimethyl-2-pentadecanone	2.44	3.44
14	18.400	1-Octadecyne	1.19	2.84
15	18.616	Heptadecane	1.27	4.10
16	18.854-18.858	Methyl hexadecanoate	0.80	-
17	19.082-19.088	2-Undecene	2.14	1.51
18	19.185	Hexadecanoic acid	10.72	0.77
19	19.544	Ethyl hexadecanoate	9.52	32.52
20	20.680-20.701	Cyclohexanol	1.89	3.18
21	20.917	Oleic acid	4.28	2.52
22	21.157	Ethyl linoleate	2.59	3.25
23	21.216	Ethyl oleate	6.50	21.01



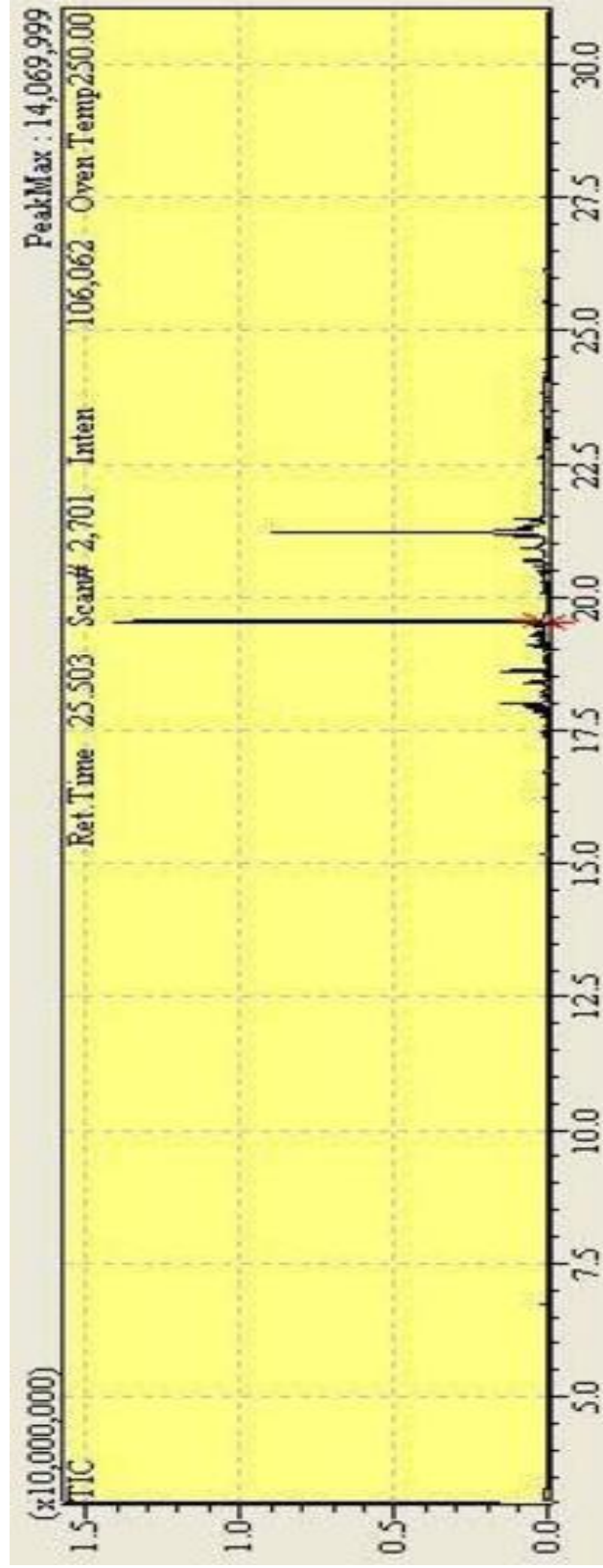
รูปที่ 4.6 (ก) โครมาโทแกรมของน้ำมันดิบชีวภาพ₁ (ภาวะการทดลอง : อุณหภูมิ 320 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของตัวทำละลาย 1.0 มิลลิลิตรต่อนาที อัตราส่วนความเข้มข้นทานอลร้อยละ 0 โดยน้ำหนัก)



รูปที่ 4.6 (ข) โครมาโทแกรมของน้ำมันดิบชีวภาพ₁ (ภาวะการทดลอง : อุณหภูมิ 320 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของตัวทำละลาย 1.0 มิลลิตรต่อนาที อัตราส่วนความเข้มข้นเอทานอลร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก)



รูปที่ 4.6 (ค) โคโรนาโทแกรมของน้ำมันดิบชีวภาพ₁ (ภาวะการทดลอง : อุณหภูมิ 320 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของตัวทำละลาย 1.0 มิลลิตรต่อนาที อัตราส่วนความเข้มข้นเอทานอลร้อยละ 100 โดยน้ำหนัก)



รูปที่ 4.6 (ง) โครมาโทแกรมของน้ำมันดิบชีวภาพ₂ (ภาวะการทดลอง : อุณหภูมิ 320 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของตัวทำละลาย 1.0 มิลลิลิตร ต่อนาที อัตราส่วนความเข้มข้นเอทานอลร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก)

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 ภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตน้ำมันดิบชีวภาพจากสาหร่ายด้วยวิธีการไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแพกซ์

ภาวะที่เหมาะสมที่ให้ผลิตผลน้ำมันดิบชีวภาพมากที่สุด คือ การทำไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแพกซ์ที่อุณหภูมิ 320 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของตัวทำละลายเท่ากับ 1.0 มิลลิลิตรต่ออนาที และอัตราส่วนของตัวทำละลายร้อยละ 50 โดยปริมาตรของความเข้มข้นเอทานอล โดยให้ผลิตผลของน้ำมันดิบชีวภาพสูงถึงร้อยละ 63.13 โดยน้ำหนัก

5.1.2 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการผลิตน้ำมันดิบชีวภาพ

ตัวแปรหลักที่ส่งผลต่อการผลิตน้ำมันดิบชีวภาพ คือ อัตราส่วนของตัวทำละลายร่วมพบว่าเมื่อมีการใช้ตัวทำละลายร่วมของเอทานอลและน้ำ ส่งผลให้มีค่าผลิตผลของน้ำมันดิบชีวภาพที่มากกว่าการใช้ตัวทำละลายเดี่ยวอย่างชัดเจน แสดงถึงการเกิดผลเสริมฤทธิ์กันของเอทานอลและน้ำในการทำหน้าที่เป็นตัวทำละลายร่วม

อุณหภูมิและอัตราการไหลนับเป็นอีกหนึ่งตัวแปรที่สำคัญในการผลิตน้ำมันดิบชีวภาพ พบว่าเมื่อใช้อุณหภูมิและอัตราการไหลที่มากขึ้นส่งผลให้ได้ผลิตผลของน้ำมันดิบชีวภาพที่มากขึ้นด้วย

5.1.3 การวิเคราะห์สมบัติของน้ำมันดิบชีวภาพ

- การใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลายร่วมสามารถเพิ่มค่าความร้อนของน้ำมันดิบชีวภาพได้ โดยภาวะที่ให้ค่าความร้อนสูงที่สุดได้แก่ อุณหภูมิ 320 องศาเซลเซียส อัตราการไหล 1.0 มิลลิลิตรต่ออนาที และอัตราส่วนของตัวทำละลายร้อยละ 50 โดยปริมาตรของความเข้มข้นเอทานอล มีค่าความร้อนเท่ากับ 34.57 เมกะจูลต่อกิโลกรัม

- ปริมาณน้ำในน้ำมันดิบชีวภาพ₁ มีค่าต่ำที่สุดเมื่อใช้ตัวทำละลายร่วมที่อัตราส่วนความเข้มข้นเอทานอลร้อยละ 50 โดยปริมาตร โดยมีปริมาณน้ำอยู่ที่ร้อยละ 1.52 โดยน้ำหนัก
- ปริมาณกรดในน้ำมันดิบชีวภาพ₁ มีค่าต่ำที่สุดเมื่อใช้ตัวทำละลายเป็นน้ำหรืออัตราส่วนความเข้มข้นเอทานอลร้อยละ 0 โดยปริมาตร โดยมีปริมาณกรดอยู่ที่ร้อยละ 13.617 มิลลิกรัมของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อกรัม

5.1.3 การวิเคราะห์น้ำมันดิบชีวภาพโดยแก๊สโครมาโทกราฟี – แมสสเปกโทรสโกปี

น้ำมันดิบชีวภาพ₁ ที่ได้จากการไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันของสาหร่าย มีองค์ประกอบหลักได้แก่ กลีเซอริน เอทิล เฮกซะเดคาโนเอต และกรดปาล์มิติก

น้ำมันดิบชีวภาพ₂ ที่ได้จากการไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันของสาหร่าย มีองค์ประกอบหลักได้แก่ เอทิล เฮกซะเดคาโนเอต และเอทิล โอลีเอต

5.2 ข้อเสนอแนะ

- ควรมีการศึกษาการทดลองแบบกะในเตาปฏิกรณ์แบบถังกวน แล้วนำมาเปรียบเทียบค่าของผลิตภัณฑ์ของน้ำมันดิบชีวภาพ รวมถึงสมบัติต่างๆ ว่ามีผลแตกต่างกับการใช้การทดลองแบบกึ่งต่อเนื่องในเตาปฏิกรณ์แบบท่ออย่างไร

เปลี่ยนชนิดของตัวทำละลายที่ใช้ในการทดลองเพื่อศึกษาผลกระทบต่อผลิตภัณฑ์ของน้ำมันดิบชีวภาพ

รายการอ้างอิง

1. Scholtens, B., *Falling oil prices should help Europe's ailing economies, but the wider implications of the price drop remain to be seen.* 2015.
2. ศรีคล้าย, ภ., ขบวนการสังเคราะห์แสงกับการสร้างสารสะสม. 2014.
3. กระทรวงพลังงาน, ส., แหล่งกำเนิดชีวมวล.
4. กระทรวงพลังงาน, ก., พลังงานชีวมวล.
5. กระทรวงพลังงาน, ประเมินศักยภาพพลังงานจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร 2009.
6. Giuliano Dragone, B.F., António A. Vicente, José A. Teixeira, *Third generation biofuels from microalgae.* Technology and education topics in applied microbiology and microbial biotechnology, 2010: p. 1355-1366.
7. Guo, M., W. Song, and J. Buhain, *Bioenergy and biofuels: History, status, and perspective.* Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2015. **42**: p. 712-725.
8. Chisti, Y., *Biodiesel from microalgae.* Biotechnology Advances, 2007. **25**(3): p. 294-306.
9. Widjaja, A., C.-C. Chien, and Y.-H. Ju, *Study of increasing lipid production from fresh water microalgae Chlorella vulgaris.* Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers, 2009. **40**(1): p. 13-20.
10. Laura Barsanti, P.G., *Algae Anatomy, Biochemistry and Biotechnology.* 2006.
11. รัตนพลที, พ., การประยุกต์ใช้สาหร่ายขนาดเล็กเพื่อผลิตไฮโดจีเซล. 2009.
12. กระทรวงพลังงาน, ก.ส., ความรู้เกี่ยวกับน้ำมันเชื้อเพลิงจากสาหร่าย. 2014.
13. Brennan, L. and P. Owende, *Biofuels from microalgae—A review of technologies for production, processing, and extractions of biofuels and co-products.* Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2010. **14**(2): p. 557-577.
14. Merit Lassing, P.M., Erik Olsson, Erik Olsson, Marcus Svensson, *Biodiesel Production from Microalgae.* 2008.
15. Bouarab, L., A. Dauta, and M. Loudiki, *Heterotrophic and mixotrophic growth of Micractinium pusillum Fresenius in the presence of acetate and glucose: effect of light and acetate gradient concentration.* Water Research, 2004. **38**(11): p. 2706-2712.

16. Capareda, S., *Biomass Resource Conversion Processes*. 2008.
17. Bhaskar, T. and A. Pandey, *Chapter 1 - Advances in Thermochemical Conversion of Biomass—Introduction*, in *Recent Advances in Thermo-Chemical Conversion of Biomass*. 2015, Elsevier: Boston. p. 3-30.
18. Chiaramonti, D., et al., *Review and experimental study on pyrolysis and hydrothermal liquefaction of microalgae for biofuel production*. *Applied Energy*.
19. Huang, H.-j. and X.-z. Yuan, *Recent progress in the direct liquefaction of typical biomass*. *Progress in Energy and Combustion Science*, 2015. **49**: p. 59-80.
20. Singh, R., T. Bhaskar, and B. Balagurumurthy, *Effect of solvent on the hydrothermal liquefaction of macro algae *Ulva fasciata**. *Process Safety and Environmental Protection*, 2015. **93**: p. 154-160.
21. Thangalazhy-Gopakumar, S., et al., *Catalytic pyrolysis of green algae for hydrocarbon production using H+ZSM-5 catalyst*. *Bioresource Technology*, 2012. **118**: p. 150-157.
22. Zhang, J.Z.a.Y., *Hydrothermal Liquefaction of Microalgae in an Ethanol - water Co-Solvent To Produce Biocrude oil* *Energy fuels*, 2014. **28**: p. 5178 - 5183.
23. Shuna Cheng, I.D.c., Mingcun Wang, Mathew Leitch, Chunbao (Charles) Xu, *Highly Efficient Liquefaction of Woody Biomass in Hot-Compressed Alcohol-Water Co-solvents*. *Energy fuels*, 2010. **24**: p. 4569-4667.
24. Eboibi, B.E.-O., et al., *Hydrothermal liquefaction of microalgae for biocrude production: Improving the biocrude properties with vacuum distillation*. *Bioresource Technology*, 2014. **174**: p. 212-221.
25. Li, J., et al., *Deoxy-liquefaction of three different species of macroalgae to high-quality liquid oil*. *Bioresource Technology*, 2014. **169**: p. 110-118.
26. Li, J., et al., *Conversion of *Enteromorpha prolifera* to high-quality liquid oil via deoxy-liquefaction*. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 2013. **104**: p. 494-501.
27. Davis, M.B.a.R., *Whole Algae Hydrothermal Liquefaction Technology Pathway*. 2013.

28. Tian, C., et al., *Hydrothermal liquefaction for algal biorefinery: A critical review*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2014. **38**: p. 933-950.
29. Idris, J., et al., *Improved yield and higher heating value of biochar from oil palm biomass at low retention time under self-sustained carbonization*. Journal of Cleaner Production, 2015. **104**: p. 475-479.
30. Peng, X., et al., *Effect of process parameters on solvolysis liquefaction of Chlorella pyrenoidosa in ethanol-water system and energy evaluation*. Energy Conversion and Management, 2016. **117**: p. 43-53.
31. Yan, J., et al., *International Conference on Applied Energy, ICAE2014 Hydrothermal Liquefaction of Chlorella Pyrenoidosa in Ethanol-water for Bio-crude Production*. Energy Procedia, 2014. **61**: p. 1961-1964.
32. Li, R., et al., *Sub-supercritical liquefaction of rice stalk for the production of bio-oil: Effect of solvents*. Bioresource Technology, 2015. **198**: p. 94-100.



ภาคผนวก ก

วิธีวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของซีเมนต์

1. การวิเคราะห์แบบประมาณ (proximate analysis) – ASTM D3172

1.1 ความชื้น (moisture) – ASTM D3173

วิธีการทดลอง

- 1) ทำการอบครุชชีเบลพร้อมฝาในเตาอบ (drying oven) ที่อุณหภูมิ 104 -110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำครุชชีเบลไปเข้าเดสิเคเตอร์ (desicator) ที่ตั้งไว้ประมาณ 15 นาที หลังจากนั้นนำไปชั่งแล้วบันทึกน้ำหนัก
- 2) ชั่งตัวอย่างประมาณ 1 กรัม ใส่ลงในครุชชีเบลพร้อมฝาที่ทราบน้ำหนักแล้ว จากนั้นบันทึกน้ำหนักตัวอย่างรวมครุชชีเบล
- 3) นำครุชชีเบลที่ใส่ตัวอย่างไปอบที่อุณหภูมิ 104 -110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมงหรือจนกว่าตัวอย่างจะมีน้ำหนักคงที่
- 4) นำครุชชีเบลออกจากเตาอบ แล้วทิ้งไว้จนเย็นลง จากนั้นนำไปเข้าเดสิเคเตอร์ประมาณ 15 นาที จึงนำไปชั่งน้ำหนักและบันทึกผล

สูตรการคำนวณ

$$M = \frac{(W_1 - W_2)}{W} \times 100$$

เมื่อ	M	=	ร้อยละโดยน้ำหนักของความชื้น
	W ₁	=	น้ำหนักของครุชชีเบลรวมกับน้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ (กรัม)
	W ₂	=	น้ำหนักของครุชชีเบลรวมกับน้ำหนักตัวอย่างหลังอบ (กรัม)
	W	=	น้ำหนักของตัวอย่าง(กรัม)

1.2 เถ้า (ash) – ASTM D3174

วิธีการทดลอง

- 1) เผาครุชชีเบลพร้อมฝาในเตาเผา (muffle furnace) ที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วนำออกมาใส่เดสิเคเตอร์รอจนเย็นลง จากนั้นนำไปชั่งน้ำหนัก
- 2) ชั่งน้ำหนักตัวอย่างประมาณ 1 กรัม แล้วใส่ลงในครุชชีเบล
- 3) นำไปเผาบนตะเกียงเบนเซนจนควันระเหยหมด
- 4) ใส่ครุชชีเบลพร้อมฝาในเตาเผาที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 2 ชั่วโมงหรือจนกว่าน้ำหนักจะคงที่

- 5) นำครุชชีเบลออกจากเตาเผา ทิ้งไว้จนเย็นลง จากนั้นนำไปใส่ในเดสิเคเตอร์ แล้วจึงชั่งน้ำหนักและบันทึกผล

สูตรการคำนวณ

$$A = \frac{(W_3 - W_4)}{W} \times 100$$

เมื่อ	A	=	ร้อยละโดยน้ำหนักของเถ้า
	W_3	=	น้ำหนักครุชชีเบลพร้อมฝาที่มีเถ้า (กรัม)
	W_4	=	น้ำหนักของครุชชีเบลพร้อมฝา (กรัม)
	W	=	น้ำหนักของตัวอย่าง (กรัม)

1.3 ปริมาณสารระเหย (volatile matter) – ASTM D3175

วิธีการทดลอง

- นำครุชชีเบลพร้อมฝาไปเผาที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 30 นาที นำออกจากเตาเผาแล้วใส่ในเดสิเคเตอร์รอจนเย็นลง จึงชั่งน้ำหนักครุชชีเบลพร้อมฝาและบันทึกผล
- ชั่งตัวอย่างประมาณ 1 กรัม ใส่ลงในครุชชีเบล จากนั้นปิดฝา
- นำไปให้ความร้อนโดยอยู่เหนือปากเตาเผา (tubular furnace) ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที
- หย่อนครุชชีเบลลงบริเวณปากเตาเผา ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที
- หย่อนครุชชีเบลลงกึ่งกลางเตาเผา ที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 นาที
- นำครุชชีเบลออกมาทิ้งไว้ให้เย็น จากนั้นนำไปใส่เดสิเคเตอร์ประมาณ 5 นาที จึงนำไปชั่งน้ำหนักและบันทึกผล

สูตรการคำนวณ

$$V = \left[\frac{(W_5 - W_6)}{W} \times 100 \right] - M$$

เมื่อ	V	=	ร้อยละโดยน้ำหนักของสารระเหย
	W_5	=	น้ำหนักครุชชีเบลรวมกับน้ำหนักตัวอย่างก่อนเผา (กรัม)
	W_6	=	น้ำหนักครุชชีเบลรวมกับน้ำหนักตัวอย่างหลังเผา (กรัม)
	W	=	น้ำหนักของตัวอย่าง (กรัม)
	M	=	ร้อยละของความชื้น

1.4 ปริมาณคาร์บอนคงที่ (fixed carbon)

สูตรการคำนวณ

ร้อยละคาร์บอนคงที่ = $100 - \text{ร้อยละความชื้น} - \text{ร้อยละเถ้า} - \text{ร้อยละสารระเหย}$

2. การวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (ultimate analysis) – CHN 2000

หลักการ

เป็นการวิเคราะห์หาปริมาณของธาตุที่อยู่ภายในสารตัวอย่าง โดยจะวิเคราะห์แยกธาตุเป็นคาร์บอน ไฮโดรเจน และไนโตรเจน มีฟังก์ชันการวิเคราะห์ 2 ฟังก์ชัน คือ การวิเคราะห์ตัวอย่างที่เป็นของแข็งและตัวอย่างที่เป็นของเหลว โดยตัวอย่างจะถูกเผาไหม้ในบรรยากาศของออกซิเจน จนเกิดเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) น้ำ (H₂O) และไนโตรเจน (N₂) จากนั้นแก๊สฮีเลียมจะทำหน้าที่พาแก๊สที่เกิดขึ้นเข้าสู่เครื่องวัด Infrared Absorption Detector และ Thermal Conductivity Detector เพื่อประมวลผลออกมาเป็นค่าร้อยละของคาร์บอน ไฮโดรเจน และไนโตรเจน ตามลำดับ สำหรับการวิเคราะห์ตัวอย่างที่เป็นชีวมวลนั้น จะทำการตั้งสมมุติฐานว่าในปริมาณชีวมวลทั้งหมดมีเพียงธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน และออกซิเจน จึงสามารถหาร้อยละของออกซิเจนได้จากผลต่างร้อยละ

การวิเคราะห์

1. ตรวจสอบปริมาณแก๊สฮีเลียมที่ใช้ให้มีอัตราการไหล 20 มิลลิลิตรต่อนาที
2. กดปุ่ม maintenance ที่หน้าจอเพื่อตรวจสอบให้ทุกฟังก์ชันพร้อมใช้งาน
3. ทำการวิเคราะห์เปล่า (run blank) จำนวน 5 ครั้ง เพื่อตรวจสอบค่าให้พร้อมใช้งาน (ค่าที่เครื่องอ่านได้ควรใกล้เคียงกับ 0 มากที่สุด)
4. ทดสอบความแม่นยำของเครื่องโดยใช้สารมาตรฐาน โดยตัวอย่างของแข็งจะใช้ EDTA ปริมาณ 0.2 กรัมในการทดสอบ และตัวอย่างของเหลวจะใช้ residue fuel oil ปริมาณ 0.1 กรัมปกคลุมด้วย com-aid ในการทดสอบ โดยทำซ้ำอย่างน้อย 3-5 รอบ จนเครื่องมีค่าตรงกับสารมาตรฐาน
5. ทำการวิเคราะห์สารตัวอย่างที่เราต้องการ เริ่มโดยชั่งน้ำหนักสารตัวอย่างใส่ลงใน tin foil จากนั้นจึงนำเข้าเครื่องแล้วใส่น้ำหนักของสารที่ชั่งได้ในข้างต้น
6. กด analyze เพื่อวิเคราะห์สารตัวอย่าง โดยเครื่องจะอ่านค่าออกมาเป็น ร้อยละของคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน ตามลำดับ

ภาคผนวก ข

การวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์น้ำมันดิบชีวภาพ

1.1 การวิเคราะห์โดยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี – แมสสเปกโตรมิเตอร์ (GC – MS)

ในงานวิจัยนี้ใช้เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี – แมสสเปกโตรมิเตอร์ ยี่ห้อ Shimadzu รุ่น GC – 2010 ซึ่งเป็นเทคนิคที่สามารถวิเคราะห์องค์ประกอบของสารตัวอย่างได้อย่างแม่นยำ ใช้สารตัวอย่างปริมาณต่ำระดับนาโนกรัม อีกทั้งยังสามารถใช้วิเคราะห์ได้ทั้งเชิงปริมาณ (quantitative analysis) และเชิงคุณภาพ (qualitative analysis) โดยอาศัยการเปรียบเทียบ fingerprint ของสารตัวอย่างนั้นๆ ที่มีอยู่ในคลังข้อมูล

GC – MS ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีและส่วนเครื่องแมสสเปกโตรมิเตอร์

1.1.1 หลักการเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี

เป็นเทคนิคการแยกองค์ประกอบของสารผสม โดยอาศัยความแตกต่างของอัตราการเคลื่อนที่ของแต่ละสารผสมบนเฟสคงที่ (stationary phase) โดยมีแก๊สพา (carrier gas) เป็นเฟสเคลื่อนที่ (mobile phase) นำพาสารตัวอย่างเคลื่อนที่ไปตามคอลัมน์ (column) เข้าสู่เครื่องวัด (detector) โดยสัญญาณจากเครื่องวัดจะถูกส่งไปบันทึกเป็นโครมาโทแกรม (chromatogram)

1.1.2 หลักการเครื่องแมสสเปกโตรมิเตอร์

เปลี่ยนสารตัวอย่างให้เป็นไอออน (ionization) โดยใช้ส่วนผลิตไอออน (ion source) จากนั้นไอออนที่ได้จะผ่านเข้าสู่ส่วนวิเคราะห์มวล (mass analyzer) และจะถูกนำไปตกกระทบที่เครื่องตรวจวัดไอออน (ion detector) ทำให้เกิดสัญญาณที่สัมพันธ์โดยตรงกับความเข้มข้นของไอออน หลังจากนั้นจะถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของสัญญาณดิจิทัล (digital signal) และถูกบันทึกลงในระบบข้อมูล ซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณให้อยู่ในรูปของ แมสสเปกตรัม (mass spectrum)

ภาคผนวก ค

การคำนวณร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์

1. การคำนวณร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพ

ปริมาณร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพ₁ และน้ำมันดิบชีวภาพ₂ สามารถหาได้จากสมการ

$$B_1 = \frac{W_{oil1}}{W_{daf}} \times 100$$

$$\text{เมื่อ } B_1 = B_2 = \frac{W_{oil2}}{W_{daf}} \times 100$$

ร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบ

ชีวภาพ₁ (โดยน้ำหนัก)

$$B_2 = \text{ร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพ}_2 \text{ (โดยน้ำหนัก)}$$

$$W_{oil1} = \text{น้ำหนักของน้ำมันดิบชีวภาพ}_1 \text{ (กรัม)}$$

$$W_{oil2} = \text{น้ำหนักของน้ำมันดิบชีวภาพ}_2 \text{ (กรัม)}$$

$$W_{daf} = \text{น้ำหนักของตัวอย่างแบบไม่คิดรวมเถ้าและความชื้น}$$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

2. การคำนวณร้อยละผลได้ของกากของแข็ง

ปริมาณร้อยละผลได้ของกากของแข็งสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$SR = \frac{W_{solid} - W_{ash}}{W_{daf}} \times 100$$

$$\text{เมื่อ } SR = \text{ร้อยละผลได้ของกากของแข็ง (โดยน้ำหนัก)}$$

$$W_{solid} = \text{น้ำหนักของแข็งหลังการอบ (กรัม)}$$

$$W_{ash} = \text{น้ำหนักเถ้า (กรัม)}$$

$$W_{daf} = \text{น้ำหนักของตัวอย่างแบบไม่คิดรวมเถ้าและความชื้น}$$

3. การคำนวณค่าความร้อน

การคำนวณหาค่าความร้อนของน้ำมันดิบชีวภาพสามารถคำนวณได้จากสมการของดulong

$$\text{HHV (MJ/kg)} = 0.3383 C + 1.442 \left[H - \left(\frac{O}{8} \right) \right]$$

เมื่อ

$$\text{HHV (MJ/kg)} = \text{ค่าความร้อน (เมกะจูลต่อกิโลกรัม)}$$

$$C = \text{ร้อยละของธาตุคาร์บอน}$$

$$H = \text{ร้อยละของธาตุไฮโดรเจน}$$

$$O = \text{ร้อยละของธาตุออกซิเจน}$$



ภาคผนวก ง

ตารางที่ ง.1 ข้อมูลผลการทดลองของน้ำมันดิบชีวภาพ₁ และน้ำมันดิบชีวภาพ₂

ผลิตภัณฑ์	อัตราการไหล (มิลลิลิตร ต่อนาที)	อุณหภูมิ (องศา เซลเซียส)	อัตราส่วนความ เข้มข้นเอทานอล (ร้อยละโดย ปริมาตร)	ร้อยละผลได้		
				1	2	ค่าเฉลี่ย
น้ำมันดิบ ชีวภาพ ₁	0.5	280	0	10.50	9.86	10.18
			25	30.15	28.35	29.25
			50	30.06	31.20	30.63
			75	22.30	21.30	21.80
			100	18.20	17.76	17.98
		300	0	11.95	12.69	12.32
			25	34.20	32.24	33.22
			50	41.30	39.18	40.24
			75	20.95	22.11	21.53
			100	19.60	19.82	19.71
		320	0	16.82	14.70	15.76
			25	32.97	36.71	34.84
			50	41.39	43.75	42.57
			75	34.12	35.90	35.01
			100	21.95	26.65	23.80

ผลิตภัณฑ์	อัตราการไหล (มิลลิลิตร ต่อนาที)	อุณหภูมิ (องศา เซลเซียส)	อัตราส่วนความ เข้มข้นเอทานอล (ร้อยละโดย ปริมาตร)	ร้อยละผลได้		
				1	2	ค่าเฉลี่ย
น้ำมันดิบ ชีวภาพ ₁	1.0	280	0	23.26	24.22	23.74
			25	33.11	31.93	32.52
			50	38.54	41.38	39.96
			75	35.94	38.58	37.26
			100	35.06	29.04	32.05
		300	0	23.72	28.84	26.28
			25	35.81	34.15	34.98
			50	52.87	54.55	53.71
			75	45.52	49.84	47.68
			100	46.88	43.68	45.28
		320	0	27.91	29.57	28.74
			25	38.54	35.70	37.12
			50	64.38	61.88	63.13
			75	47.53	49.31	48.42
			100	42.58	43.72	43.15

ผลิตภัณฑ์	อัตราการไหล (มิลลิลิตร ต่อนาที)	อุณหภูมิ (องศา เซลเซียส)	อัตราส่วนความ เข้มข้นเอทานอล (ร้อยละโดย ปริมาตร)	ร้อยละผลได้		
				1	2	ค่าเฉลี่ย
น้ำมันดิบ ชีวภาพ ₂	1.0	280	0	7.68	8.18	7.93
			25	7.36	7.72	7.54
			50	7.35	6.71	7.03
			75	7.28	6.60	6.94
			100	5.11	6.35	5.73
		300	0	8.05	7.51	7.78
			25	7.34	7.12	7.23
			50	7.06	6.50	6.78
			75	5.90	5.72	5.81
			100	5.40	5.14	5.27
		320	0	5.94	5.66	5.80
			25	5.06	4.80	4.93
			50	3.79	3.23	3.51
			75	3.36	3.48	3.42
			100	2.40	1.82	2.11

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายคชา สีขเรศสุวรรณ เกิดเมื่อวันที่ 5 เมษายน พ.ศ. 2533 สำเร็จการศึกษาชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 จากโรงเรียนลาซาล กรุงเทพฯ ในปี พ.ศ. 2551 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีปิโตรเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2554 และศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาปิโตรเคมีและวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปี พ.ศ. 2556

