

การผลิตน้ำมันชีวภาพจากไฮโดรเทอร์มัลโคลิควิแฟกชันของชานอ้อยและน้ำมันพืชใช้แล้ว



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาปิโตรเคมีและวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ สาขาวิชาปิโตรเคมีและวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2561

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

BIOCRUDE PRODUCTION FROM HYDROTHERMAL CO-LIQUEFACTION OF BAGASSE AND  
USED COOKING OIL



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Science in Petrochemistry and Polymer Science  
Field of Study of Petrochemistry and Polymer Science  
Faculty of Science  
Chulalongkorn University  
Academic Year 2018  
Copyright of Chulalongkorn University





# # 5871907023 : MAJOR PETROCHEMISTRY AND POLYMER SCIENCE

KEYWORD: Hydrothermal liquefaction, bagasse, used cooking oil

Kassara Rot-thong : BIOCRUDE PRODUCTION FROM HYDROTHERMAL CO-LIQUEFACTION OF BAGASSE AND USED COOKING OIL. Advisor: Assoc. Prof. PRAPAN KUCHONTHARA, Ph.D.

Hydrothermal liquefaction (HTL) is a promising process to convert high moisture biomass, e.g. bagasse, into liquid biofuels without drying. The massive waste of food industry is used cooking oil, which contains high fatty acid. This study explored the feasibility of combining two types of feedstocks, bagasse (BG) and used cooking oil (UCO), for biocrude production via hydrothermal co-liquefaction. These experiments were carried out in a batch reactor at different conditions; temperatures of 300 - 350°C sample mixtures ratio of BG and UCO (BG:UCO) of 1:0 3:1 1:1 1:3 and 0:1 and feedstocks to solvent (water) ratios of 1:10 and 1:20. The initial pressure and the reaction time were kept constant at 2 MPa and 1 hour respectively. The results showed that higher temperature led to a reduction of biocrude yield. At 350°C, the BG to UCO ratio of 1:3 showed highest biocrude yield. The presence of fatty acids might promote BG decomposition to form short chain hydrocarbon compounds. Moreover, an increase in biomass-to-solvent ratios provided higher biocrude yield in case of pure BG feedstock owing to hydrolysis of cellulose, hemicellulose and lignin.

Field of Study: Petrochemistry and  
Polymer Science

Student's Signature .....

Academic Year: 2018

Advisor's Signature .....

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์และความช่วยเหลือจากบุคคลหลายท่าน จึงขอขอบพระคุณไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.ประพันธ์ คูชลธารา ที่ได้กรุณาให้ความรู้ แนวคิด ข้อคิดเห็น และคำปรึกษาแก้ไขปัญหาต่างๆ รวมทั้งคณาจารย์ทุกท่านในภาควิชาเคมีเทคนิคที่ได้ให้คำแนะนำและช่วยเหลือจนทำให้งานวิจัยสำเร็จไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.นพิตา วิทยชีระนนท์, ดร.ดวงกมล คุงคะสมิต กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และดร.ศศิธร สรรพอคำ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ภายนอกมหาวิทยาลัย ที่ได้ให้เกียรติมาเป็นคณะกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ ตลอดจนให้คำแนะนำ ข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ต่อการทำวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์

ขอขอบคุณภาควิชาเคมีเทคนิค ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือต่างๆ ในการทำวิจัย รวมถึงขอบพระคุณนักวิทยาศาสตร์และบุคลากรทุกท่านในภาควิชาเคมีเทคนิคที่ให้ความช่วยเหลือ ให้ความรู้ในการใช้เครื่องมือและอำนวยความสะดวกในการใช้ห้องปฏิบัติการ

ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ และน้องๆ ทุกคน ที่ได้ให้คำปรึกษาและความช่วยเหลือและเป็นที่กำลังใจในการทำงานวิจัย

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณบิดามารดา ที่สนับสนุนในการศึกษาเล่าเรียน ให้คำปรึกษา คำแนะนำ ตลอดจนกำลังใจจนสำเร็จการศึกษา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

กัศราศ รอดทอง

## สารบัญ

	หน้า
.....	ค
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	ง
กิตติกรรมประกาศ .....	จ
สารบัญ.....	ฉ
บทที่ 1.....	1
บทนำ .....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย .....	2
1.3 ขอบเขตงานวิจัย .....	2
1.4 วิธีดำเนินงานวิจัย.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย .....	4
บทที่ 2.....	5
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 แนวคิดและทฤษฎี.....	5
2.2 ชีวมวล.....	5
2.2.1 แหล่งกำเนิดชีวมวล.....	6
2.2.2 องค์ประกอบสำคัญของชีวมวล .....	7
2.2.2.1 เซลลูโลส (cellulose).....	7
2.2.2.2 เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose).....	7

2.2.2.3	ลิกนิน (lignin).....	8
2.2.3	การวิเคราะห์แบบประมาณ (proximate analysis).....	8
2.2.3.1	ความชื้น (moisture).....	8
2.2.3.2	ปริมาณเถ้า (ash).....	8
2.2.3.3	ปริมาณสารระเหย (volatiles matter).....	9
2.2.3.4	ปริมาณคาร์บอนคงตัว (fixed carbon).....	9
2.2.4	การวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (ultimate analysis).....	9
2.2.5	ประโยชน์ของชีวมวล.....	9
2.2.6	แนวทางการใช้ชีวมวลในประเทศไทย.....	9
2.2.7	ศักยภาพของชีวมวล.....	10
2.2.7.1	ศักยภาพของชีวมวลประเภทวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร.....	12
2.2.7.2	ศักยภาพของชีวมวลประเภทของเสียจากฟาร์มปศุสัตว์.....	12
2.2.7.3	ศักยภาพของชีวมวลประเภทน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมเกษตร.....	12
2.2.7.4	ศักยภาพของชีวมวลประเภทขยะชุมชน.....	12
2.2.8	อ้อย 13	
2.2.9	น้ำมันพืช.....	15
2.3	เชื้อเพลิงชีวภาพ.....	16
2.4	กระบวนการแปรรูปชีวมวลให้เป็นเชื้อเพลิง.....	16
2.4.1	กระบวนการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมี (biochemical process).....	16
2.4.2	กระบวนการเปลี่ยนแปลงทางฟิสิกส์เชิงเคมี (physic-chemical process).....	16
2.4.3	กระบวนการเปลี่ยนแปลงทางเคมีความร้อน (thermochemical process).....	17
2.5	ไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชัน (hydrothermal liquefaction).....	17
2.6	น้ำมันดิบชีวภาพ (Bio-crude oil).....	19
2.6.1	สมบัติทางกายภาพ.....	20



2.6.1.1 ความหนืด	20
2.6.1.2 ค่าความร้อน.....	21
2.6.2 สมบัติทางเคมี.....	21
2.6.2.1 ปริมาณออกซิเจน.....	21
2.6.2.2 ปริมาณไนโตรเจน.....	22
2.6.2.3 ปริมาณซัลเฟอร์.....	22
2.6.2.4 องค์ประกอบทางเคมี.....	22
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	24
บทที่ 3.....	26
เครื่องมือและวิธีการทดลอง.....	26
3.1 สารตั้งต้นและสารเคมี.....	26
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	26
3.2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมขาน้อย.....	26
3.2.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมน้ำมันพืชใช้แล้ว.....	26
3.2.3 เครื่องปฏิกรณ์แรงดันสูง (high-pressure parr reactor).....	26
3.2.4 แบบจำลองอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการทดลอง.....	27
3.2.5 อุปกรณ์การกรอง.....	28
3.2.6 เครื่อง Thermogravimetric analyzer (TGA).....	28
3.2.7 อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการระเหยตัวทำละลาย.....	29
3.2.8 เครื่องวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (CHN analyzer).....	29
3.2.9 เครื่องโครมาโทกราฟี (gas chromatography).....	30
3.2.10 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี (gas chromatography-mass spectrometry).....	31
3.2.11 เครื่องดิสทิลเลชันแก๊สโครมาโทกราฟี (distillation gas chromatograph).....	32

3.2.12	เครื่องหาปริมาณน้ำคาร์ล ฟิสเชอร์ (Karl-Fischer titration).....	33
3.2.13	เครื่องหาปริมาณกรดในน้ำมันดิบชีวภาพ (total acid number titration). 33	
3.3	ขั้นตอนดำเนินการวิจัย .....	34
3.3.1	การเตรียมขานอ้อย.....	34
3.2.2	การเตรียมน้ำมันพืชใช้แล้ว.....	34
3.3.3	การวิเคราะห์สมบัติของขานอ้อย .....	34
3.3.4	การวิเคราะห์สมบัติของน้ำมันพืชใช้แล้ว .....	34
3.3.5	การผลิตน้ำมันดิบชีวภาพด้วยไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกชัน .....	35
บทที่ 4.....		38
ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง .....		38
4.1	การวิเคราะห์ทางเคมีของขานอ้อยและน้ำมันพืชใช้แล้ว .....	38
4.1.1	การวิเคราะห์แบบประมาณของขานอ้อย .....	38
4.1.2	การวิเคราะห์แบบแยกธาตุและค่าความร้อนของขานอ้อยและน้ำมันพืชใช้แล้ว .....	38
4.1.3	พฤติกรรมการสลายตัวทางความร้อนของขานอ้อย.....	39
4.2	ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกชัน .....	40
4.3	ผลของปัจจัยต่างๆ ต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกชัน ...	42
4.3.1	อุณหภูมิ42	
4.3.2	อัตราส่วนของสารป้อนชีวมวลที่ใช้.....	43
4.3.3	อัตราส่วนของสารป้อนชีวมวลและตัวทำละลายที่ใช้.....	45
4.4	การวิเคราะห์สมบัติของน้ำมันดิบชีวภาพ .....	47
4.4.1	การวิเคราะห์แบบแยกธาตุ ค่าความร้อน ค่าความเป็นกรดและปริมาณน้ำในน้ำมันดิบชีวภาพ.....	47
4.4.2	การวิเคราะห์หาค่าประกอบในน้ำมันดิบชีวภาพโดยใช้การหาช่วงของจุดเดือด .....	50

4.4.3 การวิเคราะห์องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี- แมสสเปกโตรสโกปี.....	51
บทที่ 5.....	55
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ .....	55
5.1 สรุปผลการวิจัย .....	55
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	56
บรรณานุกรม.....	57
ประวัติผู้เขียน.....	61



## สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2. 1	โครงสร้างของเซลลูโลส .....	7
รูปที่ 2. 2	โครงสร้างของเฮมิเซลลูโลส .....	7
รูปที่ 2. 3	โครงสร้างของลิกนิน .....	8
รูปที่ 2. 4	ส่วนต่างๆ ของใบและกาบใบอ้อย .....	13
รูปที่ 2. 5	ลักษณะของชานอ้อย .....	14
รูปที่ 2. 6	น้ำมันพืช .....	15
รูปที่ 2. 7	โครงสร้างทางเคมีของน้ำมันพืช .....	15
รูปที่ 2. 8	ปฏิกิริยาที่เกิดในตัวทำละลายน้ำที่อุณหภูมิต่างๆ .....	18
รูปที่ 2. 9	แผนผังของปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มัลลิควิเฟชันเบื้องต้น .....	18
รูปที่ 2. 10	น้ำมันดิบชีวภาพ .....	19
รูปที่ 2. 11	ผลของการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของสารชีวมวลและตัวทำละลาย .....	25
รูปที่ 3. 1	เครื่องปฏิกรณ์แรงดันสูง.....	27
รูปที่ 3. 2	แบบจำลองของอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ร่วมกับเครื่องปฏิกรณ์แรงดันสูง .....	27
รูปที่ 3. 3	เครื่องระเหยแบบหมุนภายใต้ภาวะสุญญากาศ .....	29
รูปที่ 3. 4	เครื่องวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (CHN analyzer).....	30
รูปที่ 3. 5	เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ (gas chromatograph) .....	30
รูปที่ 3. 6	เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ-แมสสเปกโตรเมตรี .....	31
รูปที่ 3. 7	เครื่องดิสทิลเลชันแก๊สโครมาโทกราฟ (distillation gas chromatograph).....	32
รูปที่ 3. 8	เครื่องวิเคราะห์หาปริมาณน้ำในน้ำมันดิบชีวภาพ (Karl-Fischer titrator).....	33
รูปที่ 3. 9	เครื่องวิเคราะห์หาปริมาณกรดในน้ำมันดิบชีวภาพ .....	33
รูปที่ 3. 10	แผนผังขั้นตอนการทดลองในเครื่องปฏิกรณ์แรงดันสูง.....	37

<b>รูปที่ 4. 1</b> พฤติกรรมการสลายตัวทางความร้อนของชานอ้อยจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค TGA-DTG .....	40
<b>รูปที่ 4. 2</b> ร้อยละผลได้ของกากของแข็ง น้ำมันดิบชีวภาพ แก๊ส ของเหลวและอื่นๆ ในการทำไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชันของชานอ้อยร่วมกับน้ำมันพืชใช้แล้ว ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส .....	41
<b>รูปที่ 4. 3</b> ร้อยละผลได้ของกากของแข็ง น้ำมันดิบชีวภาพ แก๊ส ของเหลวและอื่นๆ ในการทำไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชันของชานอ้อยร่วมกับน้ำมันพืชใช้แล้ว ที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส .....	41
<b>รูปที่ 4. 4</b> อัตราส่วนของชานอ้อยต่อน้ำมันพืชใช้แล้วที่ส่งผลต่อร้อยละโดยน้ำหนักของน้ำมันดิบ ที่อุณหภูมิดำเนินปฏิกิริยา 300 และ 350 องศาเซลเซียส .....	42
<b>รูปที่ 4. 5</b> อัตราส่วนของชานอ้อยต่อน้ำมันพืชใช้แล้วที่ส่งผลต่อร้อยละโดยน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ของเหลวและอื่นๆ ที่อุณหภูมิดำเนินปฏิกิริยา 300 และ 350 องศาเซลเซียส .....	43
<b>รูปที่ 4. 6</b> อัตราส่วนของชานอ้อยต่อน้ำมันพืชใช้แล้วที่ส่งผลต่อร้อยละโดยน้ำหนักของน้ำมันดิบชีวภาพที่อุณหภูมิดำเนินปฏิกิริยา 300 องศาเซลเซียส .....	44
<b>รูปที่ 4. 7</b> อัตราส่วนของชานอ้อยต่อน้ำมันพืชใช้แล้วที่ส่งผลต่อร้อยละโดยน้ำหนักของน้ำมันดิบชีวภาพที่อุณหภูมิดำเนินปฏิกิริยา 350 องศาเซลเซียส .....	44
<b>รูปที่ 4. 8</b> ค่า pH ของระบบที่อัตราส่วนของชานอ้อยและน้ำมันพืชใช้แล้วต่างกัน .....	45
<b>รูปที่ 4. 9</b> อัตราส่วนของสารป้อนชีวมวลต่อตัวทำละลายที่ส่งผลต่อร้อยละโดยน้ำหนักของน้ำมันดิบชีวภาพที่อุณหภูมิดำเนินปฏิกิริยา 300 องศาเซลเซียส .....	46
<b>รูปที่ 4. 10</b> อัตราส่วนของสารป้อนชีวมวลต่อตัวทำละลายที่ส่งผลต่อร้อยละโดยน้ำหนักของน้ำมันดิบชีวภาพที่อุณหภูมิดำเนินปฏิกิริยา 350 องศาเซลเซียส .....	46
<b>รูปที่ 4. 11</b> องค์ประกอบในน้ำมันดิบชีวภาพโดยใช้การหาช่วงของจุดเดือด ที่อุณหภูมิดำเนินปฏิกิริยา 300 องศาเซลเซียส .....	50
<b>รูปที่ 4. 12</b> องค์ประกอบในน้ำมันดิบชีวภาพโดยใช้การหาช่วงของจุดเดือด ที่อุณหภูมิดำเนินปฏิกิริยา 350 องศาเซลเซียส .....	50
<b>รูปที่ 4. 13</b> องค์ประกอบของน้ำมันดิบชีวภาพที่ได้จากกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชันที่อุณหภูมิดำเนินปฏิกิริยา 350 องศาเซลเซียส .....	54

## สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2. 1 ตารางแสดงผลการประเมินศักยภาพชีวมวลแต่ละชนิดประจำปี 2556 [16] .....	11
ตารางที่ 2. 2 ปริมาณผลผลิตอ้อยและชานอ้อยเป็นรายภาค ประจำปีการผลิต 2560/2562 [19]... 14	14
ตารางที่ 2. 3 สมบัติของน้ำมันดิบชีวภาพที่ได้จากกระบวนการลิกวิแฟกชันของสารชีวมวลชนิดต่างๆ .....	20
ตารางที่ 2. 4 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันดิบชีวภาพที่ได้จากการไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชัน ... 23	23
ตารางที่ 2. 5 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันดีเซลและสมบัติทางกายภาพ .....	23
ตารางที่ 3. 1 ภาวะที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์แก๊สด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ.....	31
ตารางที่ 3. 2 ภาวะที่ใช้ในการวิเคราะห์น้ำมันดิบชีวภาพด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ-แมสสเปกโตรเมตรี .....	32
ตารางที่ 3. 3 อัตราส่วนของสารป้อนที่ใช้ .....	36
ตารางที่ 4. 1 การวิเคราะห์แบบประมาณของชานอ้อย .....	38
ตารางที่ 4. 2 การวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (ultimate analysis) และค่าความร้อนของชานอ้อยและน้ำมันพีซีใช้แล้ว.....	39
ตารางที่ 4. 3 การวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (ultimate analysis) และค่าความร้อนของน้ำมันดิบชีวภาพ ที่อุณหภูมิตำเนินปฏิกิริยา 300 องศาเซลเซียส.....	48
ตารางที่ 4. 4 การวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (ultimate analysis) และค่าความร้อนของน้ำมันดิบชีวภาพ ที่อุณหภูมิตำเนินปฏิกิริยา 350 องศาเซลเซียส.....	49
ตารางที่ 4. 5 ผลของการวิเคราะห์หาค่าองค์ประกอบผลิตภัณฑ์น้ำมันดิบชีวภาพด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกรา-แมสสเปกโตรเมตรี (gas chromatograph – mass spectrometry) .....	52

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

ปัจจุบันทั้งในภาคอุตสาหกรรมและครัวเรือนในประเทศไทยมีความต้องการใช้พลังงานเพิ่มมากขึ้น ความต้องการเชื้อเพลิงฟอสซิลเพื่อการผลิตพลังงานที่เพิ่มขึ้น แต่พลังงานฟอสซิลเป็นพลังงานที่ใช้แล้วหมดไป การพึ่งพาพลังงานจากฟอสซิลจึงเป็นการใช้ทรัพยากรที่ไม่ยั่งยืน ปัญหาดังกล่าวนี้สามารถแก้ไขได้โดยการใช้ทรัพยากรธรรมชาติที่หมุนเวียนได้ เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานน้ำ และพลังงานชีวมวล เนื่องจากประเทศไทยมีอาชีพเกษตรกรรมเป็นอาชีพหลักของประเทศ เศษวัสดุเหลือใช้จากภาคอุตสาหกรรมทางการเกษตรมีเหลือทิ้งปริมาณมาก ต้นทุนต่ำ ไม่ต้องนำเข้าจากแหล่งอื่น ชีวมวลเหล่านี้จึงมีความน่าสนใจที่จะถูกนำมาใช้เป็นวัตถุดิบเพื่อการผลิตพลังงานเชื้อเพลิงชีวภาพ การผลิตพลังงานเชื้อเพลิงชีวภาพจากชีวมวลสามารถทำได้ทั้งกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมี และกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางเคมีความร้อน งานวิจัยนี้มุ่งเน้นวิธีการแปรรูปชีวมวลให้เป็นเชื้อเพลิงเหลวโดยใช้การเปลี่ยนแปลงทางเคมีความร้อนด้วยการไฮโดรเทอร์มัลโคลิควิแฟกชัน ซึ่งเป็นกระบวนการแปรรูปจากสารชีวมวลไปเป็นน้ำมันชีวภาพ โดยใช้อุณหภูมิปานกลางและความดันสูง จุดเด่นของกระบวนการนี้ คือ สารชีวมวลที่ใช้ไม่ต้องผ่านกระบวนการทำให้แห้งก่อน ดังนั้นจึงเหมาะกับสารชีวมวลเหลือทิ้งที่มีความชื้นสูง แต่ร้อยละผลได้ของเชื้อเพลิงเหลวที่ผลิตจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรยังมีค่าไม่สูงนัก

งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการเพิ่มร้อยละผลได้ของน้ำมันชีวภาพที่ผลิตโดยการไฮโดรเทอร์มัลโคลิควิแฟกชันโดยใช้สารป้อนร่วมของขานอ้อยและน้ำมันพีซีใช้แล้ว เนื่องจากขานอ้อยเป็นเศษวัสดุเหลือใช้จากอุตสาหกรรมเกษตรที่มีปริมาณมากในประเทศไทย และน้ำมันพีซีใช้แล้วที่เป็นของเสียจากอุตสาหกรรมอาหารเป็นสารที่มีปริมาณไขมันสูง อีกทั้งยังมีความเป็นกรดที่จะช่วยส่งเสริมให้เกิดการไฮโดรไลซิสของขานอ้อยได้มากขึ้นด้วย ดังนั้น นอกจากจะเป็นการลดปริมาณและเพิ่มมูลค่าให้กับของเสียจากอุตสาหกรรมแล้ว ยังเป็นการพัฒนาเพื่อความยั่งยืนในด้านพลังงานของประเทศอีกด้วย

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1.2.1 ศึกษาการผลิตน้ำมันชีวภาพจากการไฮโดรเทอร์มัลโคลิควิแพกซ์ของชานอ้อยและน้ำมันพืชใช้แล้ว
- 1.2.2 ศึกษาผลของอัตราส่วนสารป้อนร่วมของชานอ้อยและน้ำมันพืชใช้แล้วต่อร้อยละผลได้และคุณภาพของน้ำมันชีวภาพจากการไฮโดรเทอร์มัลโคลิควิแพกซ์

## 1.3 ขอบเขตงานวิจัย

- 1.3.1 ศึกษาสมบัติทางกายภาพของชีวมวล โดยการวิเคราะห์แบบการประมาณและการแยกธาตุ
- 1.3.2 ศึกษาผลของอัตราส่วนสารป้อนร่วมของชานอ้อยและน้ำมันพืชใช้แล้ว ต่อร้อยละผลได้และคุณภาพของน้ำมันชีวภาพจากการไฮโดรเทอร์มัลโคลิควิแพกซ์

## 1.4 วิธีดำเนินงานวิจัย

- 1.4.1 ค้นคว้าข้อมูลและสืบค้นข้อมูลงานวิจัยที่เกี่ยวกับกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลโคลิควิแพกซ์
- 1.4.2 เตรียมวัตถุดิบ อุปกรณ์ และสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย
  - 1.4.2.1 นำชานอ้อยไปตากแห้ง และนำไปบดให้มีขนาด 150-200 ไมโครเมตร จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
  - 1.4.2.2 เตรียมน้ำมันพืชใช้แล้วโดยการนำไปกรองเศษอาหารออกด้วยผ้าขาวบาง
- 1.4.3 วิเคราะห์สมบัติของชานอ้อยและน้ำมันพืชใช้แล้ว
  - 1.4.3.1 วิเคราะห์สมบัติของชานอ้อย
    - 1.4.3.1.1 การวิเคราะห์แบบประมาณ (proximate analysis) ได้แก่ ความชื้น สารระเหย คาร์บอนคงตัวและเถ้า
    - 1.4.3.1.2 การวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (ultimate analysis) ได้แก่ คาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน และออกซิเจน ด้วยเครื่อง CHN elemental analyzer
    - 1.4.3.1.3 ศึกษาอุณหภูมิการสลายตัวทางความร้อนด้วยเครื่อง thermogravimetric analyser (TGA)
    - 1.4.3.1.4 คำนวณค่าความร้อนของชานอ้อย (high heating value, HHV)



- 1.4.3.2 วิเคราะห์สมบัติของน้ำมันพืชใช้แล้ว
- 1.4.3.2.1 วิเคราะห์องค์ประกอบของน้ำมันพืชใช้แล้วด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี (gas chromatography mass spectrometry, GC/MS)
- 1.4.3.2.2 วิเคราะห์ความเป็นกรดด้วยเครื่อง Compact titrator
- 1.4.3.2.3 วิเคราะห์ปริมาณน้ำด้วยเครื่อง Karl Fischer
- 1.4.3.2.4 คำนวณค่าความร้อนของน้ำมันพืชใช้แล้ว (high heating value, HHV)
- 1.4.4 ศึกษาตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อการผลิตน้ำมันชีวภาพจากขานอ้อยและน้ำมันพืชใช้แล้ว ด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลโคลิดิวิแฟกชัน
- 1.4.4.1 อุณหภูมิ 300 และ 350 องศาเซลเซียส
- 1.4.4.2 อัตราส่วนระหว่างขานอ้อยและน้ำมันพืชใช้แล้ว (1:0, 3:1, 1:1, 1:3 และ 0:1)
- 1.4.4.3 อัตราส่วนน้ำหนักของสารป้อนร่วมต่อตัวทำละลาย (1:10 และ 1:20)
- 1.4.5 วิเคราะห์สมบัติของน้ำมันชีวภาพที่ผลิตได้
- 1.4.5.1 ผลิตภัณฑ์ของเหลว
- 1.4.5.1.1 คำนวณปริมาณร้อยละผลได้ (yield)
- 1.4.5.1.2 การวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (ultimate analysis) ได้แก่ คาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน และออกซิเจนด้วยเครื่อง CHN elemental analyzer
- 1.4.5.1.3 วิเคราะห์องค์ประกอบของด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี (gas chromatography mass spectrometry, GC/MS)
- 1.4.5.1.4 วิเคราะห์ความเป็นกรดด้วยเครื่อง Compact titrator
- 1.4.5.1.5 วิเคราะห์ปริมาณน้ำด้วยเครื่อง Karl Fischer
- 1.4.5.1.6 คำนวณค่าความร้อนของน้ำมันพืชใช้แล้ว (high heating value, HHV)
- 1.4.5.2 ผลิตภัณฑ์ของแข็ง
- 1.4.5.2.1 คำนวณปริมาณร้อยละผลได้
- 1.4.5.3 ผลิตภัณฑ์แก๊ส
- 1.4.5.3.1 คำนวณปริมาณร้อยละผลได้

1.4.5.3.2 วิเคราะห์องค์ประกอบของด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี (gas chromatography, GC)

1.4.6 วิเคราะห์ข้อมูล สรุปผล และเขียนวิทยานิพนธ์

## 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

1.5.1 ได้น้ำมันชีวภาพจากการใช้สารป้อนร่วมของชานอ้อยและน้ำมันพืชใช้แล้วด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลโคลิควิแฟกชัน



## บทที่ 2

### ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 แนวคิดและทฤษฎี

ปัจจุบันทั้งในภาคอุตสาหกรรมและครัวเรือนในประเทศไทยมีความต้องการใช้พลังงานที่เพิ่มมากขึ้น ความต้องการเชื้อเพลิงฟอสซิลเพื่อการผลิตพลังงานที่เพิ่มขึ้น นำไปสู่ปัญหาสภาวะโลกร้อนจากการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์จากการเผาไหม้ออกสู่ชั้นบรรยากาศ ปัญหาเศรษฐกิจ และปัญหาการพึ่งพาการนำเข้าน้ำมัน นอกจากนี้พลังงานฟอสซิลยังเป็นพลังงานที่ใช้แล้วหมดไป การพึ่งพาพลังงานจากฟอสซิลจึงเป็นการใช้ทรัพยากรที่ไม่ยั่งยืน ปัญหาดังกล่าวนี้สามารถแก้ไขได้โดยการใช้ทรัพยากรธรรมชาติที่หมุนเวียนได้ (renewable energy) ประเทศไทยได้ให้ความสำคัญกับปัญหาความมั่นคงทางพลังงานนี้เช่นกัน โดยมีแผนการผลิตพลังงานหมุนเวียนให้ได้เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 25 ของความต้องการใช้พลังงานทั้งหมดภายในปี 2021 จากพลังงานหมุนเวียน เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานน้ำ และพลังงานจากชีวมวล เป็นต้น [1] พลังงานจากชีวมวล (biomass) เป็นพลังงานที่ได้จากสารอินทรีย์ของพืชและสัตว์ ได้แก่ พืชเกษตรกรรม วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและอุตสาหกรรม เนื่องจากประเทศไทยมีอาชีพเกษตรกรรมเป็นอาชีพหลักของประเทศ เศษวัสดุเหลือใช้จากภาคอุตสาหกรรมทางการเกษตรมีเหลือทิ้งปริมาณมาก ต้นทุนต่ำ ไม่ต้องนำเข้าจากแหล่งอื่น ชีวมวลเหล่านี้จึงมีความน่าสนใจที่จะถูกนำมาใช้เป็นวัตถุดิบเพื่อการผลิตพลังงานเชื้อเพลิงชีวภาพ นอกจากนี้พลังงานจากชีวมวลยังมีข้อดี คือ สามารถช่วยรักษาสภาพแวดล้อมได้ เพราะไม่ก่อให้เกิดแก๊สที่เป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อมเหมือนการใช้พลังงานจากฟอสซิล [2]

การผลิตพลังงานเชื้อเพลิงชีวภาพจากชีวมวลสามารถทำได้ทั้งกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีและกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางเคมีความร้อน [3] งานวิจัยนี้มุ่งเน้นวิธีการแปรรูปให้เป็นเชื้อเพลิงเหลวโดยใช้การเปลี่ยนแปลงทางเคมีความร้อนด้วยการไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชัน (hydrothermal liquefaction: HTL) [4] ซึ่งเป็นกระบวนการแปรรูปจากสารชีวมวลไปเป็นน้ำมันชีวภาพ (biocrude) โดยใช้อุณหภูมิปานกลางและความดันสูง จุดเด่นของกระบวนการนี้ คือ สารชีวมวลที่ใช้ไม่ต้องผ่านกระบวนการทำให้แห้งก่อน ดังนั้นจึงเหมาะกับสารชีวมวลเหลือทิ้งที่มีความชื้นสูง เช่น ชานอ้อยจากการผลิตน้ำตาลทราย แต่ร้อยละผลได้ (yield) ของเชื้อเพลิงเหลวที่ผลิตจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรยังมีค่าไม่สูงนัก

#### 2.2 ชีวมวล

ชีวมวล (biomass) คือ วัสดุหรือสารอินทรีย์ที่เป็นแหล่งเก็บพลังงานจากธรรมชาติ ซึ่งสามารถนำมาใช้ผลิตเป็นพลังงานได้ สารชีวมวลในประเทศไทยมีแหล่งกำเนิดมาจากทั้งภาคเกษตรกรรมและภาคอุตสาหกรรม เช่น เศษวัสดุเหลือใช้จากการเก็บเกี่ยวผลผลิตทางการเกษตร ได้แก่ ใบอ้อย ฟางข้าว มูลสัตว์ เศษวัสดุของเสียจากกระบวนการแปรรูปสินค้าทางการเกษตร เช่น

เศษไม้จากการแปรรูปยางพารา แกลบจากการสีข้าวเปลือก ขานอ้อยจากการผลิตน้ำตาล รวมไปถึงของเสียจากโรงงานแปรรูปทางเกษตรและของเสียจากชุมชน

ชีวมวลสามารถนำมาผลิตเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานได้ เนื่องจากการเจริญเติบโตของพืชมีการใช้คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำในกระบวนการสังเคราะห์แสง เพื่อผลิตแป้งและน้ำตาลกักเก็บไว้ตามส่วนต่างๆของพืช ดังนั้นจึงสามารถนำพืชมาใช้ผลิตเป็นพลังงานเชื้อเพลิงได้ นอกจากนี้ยังเป็นการลดการเกิดมลภาวะและช่วยลดปัญหาภาวะเรือนกระจกอันเนื่องมาจากแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ เพราะไม่เป็นการเพิ่มคาร์บอนไดออกไซด์สู่บรรยากาศ และเกิดการดูดซับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยออกมาจากการเผาไหม้เป็นวัฏจักรต่อไป ชีวมวลสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในทางพลังงานได้หลายทาง ไม่ว่าจะเป็นพลังงานความร้อน ไอน้ำ ผลิตเป็นกระแสไฟฟ้า รวมถึงการผลิตเป็นพลังงานเชื้อเพลิง นอกจากนี้การเลือกใช้ชีวมวลสามารถเลือกใช้เพียงชนิดใดชนิดหนึ่ง หรือใช้ชีวมวลหลายชนิดมารวมกันก็ได้

ประเทศไทยถือได้ว่าเป็นประเทศเกษตรกรรม ผลิตผลและของเสียทางการเกษตรจึงมีจำนวนมาก การนำชีวมวลมาใช้ประโยชน์จึงมีข้อได้เปรียบ เนื่องจากเป็นวัตถุดิบที่สามารถหาได้ง่าย ต้นทุนมีราคาถูกกว่าเมื่อเทียบกับการใช้เชื้อเพลิงประเภทอื่น อีกทั้งยังเป็นการลดการนำเข้าเชื้อเพลิงจากต่างประเทศ และเป็นการสร้างรายได้ให้กับคนในประเทศอีกด้วย [5]

## 2.2.1 แหล่งกำเนิดชีวมวล

ชีวมวลสามารถแบ่งออกได้เป็น 6 ประเภท จากแหล่งกำเนิดของชีวมวล [6] ดังนี้

2.2.1.1 พืชเกษตรกรรม (agricultural crop) เช่น ข้าว อ้อย มันสำปะหลัง ข้าวโพด ปาล์ม เป็นต้น

2.2.1.2 วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร (agricultural residues) เช่น ฟางข้าว ใบอ้อย ชังข้าวโพด เป็นต้น

2.2.1.3 ไม้และเศษเหลือทิ้งของไม้ (wood and wood residues) เช่น เศษเหลือทิ้งจากโรงงานผลิตไม้ เศษเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษ เป็นต้น

2.2.1.4 เศษเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรม (waste streams) เช่น ขานอ้อยจากอุตสาหกรรมผลิตน้ำตาล แกลบจากโรงสีข้าว น้ำมันพืชใช้แล้วจากอุตสาหกรรมอาหาร เป็นต้น

2.2.1.5 ขยะมูลฝอยและมูลสัตว์ เช่น ขยะเหลือทิ้งจากชุมชน มูลสุกร เป็นต้น

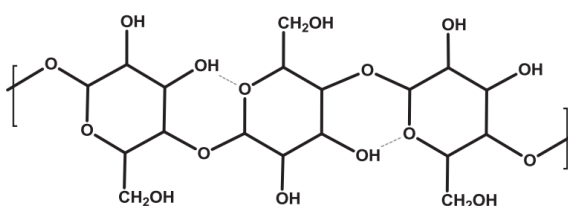
2.2.1.6 สิ่งมีชีวิตบางชนิด เช่น สาหร่ายสามารถนำไปผลิตไบโอดีเซลได้

## 2.2.2 องค์ประกอบสำคัญของชีวมวล

องค์ประกอบโดยทั่วไปของสารชีวมวล ได้แก่ เซลลูโลส แป้ง ลิกนิน และโปรตีน สารชีวมวลต่างชนิดกันย่อมมีองค์ประกอบที่แตกต่างกัน เช่น ชีวมวลที่ได้จากสัตว์จะมีองค์ประกอบของโปรตีนและไขมันอยู่มาก แต่ในพืชจะมีองค์ประกอบของลิกโนเซลลูโลสที่ประกอบด้วยเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน เพราะเป็นองค์ประกอบในผนังเซลล์ของพืช [7]

### 2.2.2.1 เซลลูโลส (cellulose)

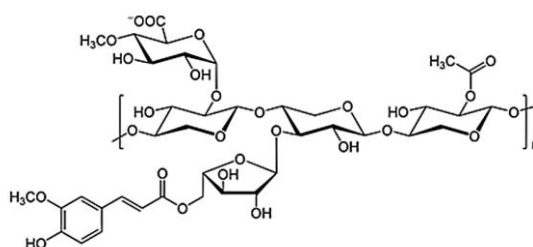
เซลลูโลสเป็นสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่พบมากในผนังเซลล์ของพืช ช่วยทำให้ผนังเซลล์ของพืชแข็งแรง ป้องกันการแตกของเซลล์ เซลลูโลสเป็นพอลิเมอร์มีสูตรทั่วไปคือ  $(C_6H_{10}O_5)_n$  เมื่อ  $n$  คือ จำนวนหน่วยกลูโคสทั้งหมดที่ประกอบกันเป็นโครงสร้าง ค่าเฉลี่ยน้ำหนักของโมเลกุล คือ 300,000-500,000 [8] เซลลูโลสเกิดจากดี-กลูโคสต่อกันเป็นสายยาว เชื่อมกันด้วยพันธะไกลโคซิดิกชนิดบีตา ( $\beta$ -1,4-glycosidic bonds) โครงสร้างของเซลลูโลสแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของเซลลูโลส [9]

### 2.2.2.2 เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose)

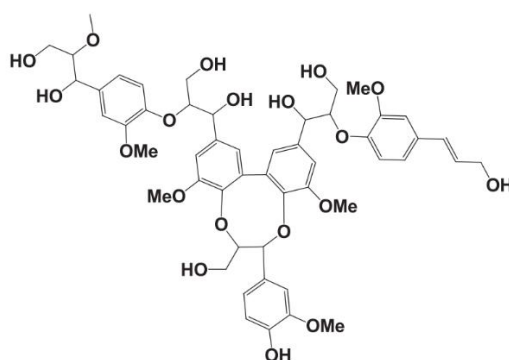
เฮมิเซลลูโลสเป็นสารคาร์โบไฮเดรตประเภทพอลิแซ็กคาไรด์ที่ซับซ้อนมีสูตรทั่วไป คือ  $(C_5H_8O_4)_n$  เมื่อ  $n$  คือ จำนวนกลูโคสที่ประกอบเป็นโครงสร้าง โครงสร้างของเฮมิเซลลูโลสประกอบด้วยไซท์หลักและไซท์กิ่งที่เกิดจากน้ำตาลหลายชนิด เช่น น้ำตาลไซโลส น้ำตาลแมนโนส น้ำตาลอะราบิโรส น้ำตาลกาแล็กโทส และน้ำตาลกลูโคส เป็นต้น ตัวอย่างของโครงสร้างเฮมิเซลลูโลสดังแสดงในรูปที่ 2.2 เฮมิเซลลูโลสมีโครงสร้างที่เสถียรน้อยกว่าเซลลูโลส ดังนั้นเฮมิเซลลูโลสจึงสลายตัวได้ง่ายกว่าเมื่อถูกให้ความร้อน



รูปที่ 2.2 โครงสร้างของเฮมิเซลลูโลส [10]

### 2.2.2.3 ลิกนิน (lignin)

ลิกนินเป็นส่วนประกอบสำคัญของพืช พบได้ในส่วนของผนังเซลล์ทำให้ผนังเซลล์ของพืชแข็งแรง โดยอยู่ร่วมกันเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส พบได้มากในส่วนของเปลือกและซังของพืช ลิกนินจะถูกสร้างจากส่วนของโคนต้นไปสู่ปลายยอด เมื่อพืชมาอายุมากขึ้นปริมาณของลิกนินก็จะมากขึ้นไปด้วย [11] ลิกนินจัดเป็นสารคาร์โบไฮเดรตประเภทพอลิแซ็กคาไรด์โมเลกุลใหญ่ โดยเป็นสารประกอบอะโรมาติกที่มีหน่วยของฟีนอลโพรเพนเชื่อมกับกลุ่มของไฮดรอกซิลและเมทิลผ่านพันธะของอีเทอร์ โครงสร้างของลิกนินแสดงดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2. 3 โครงสร้างของลิกนิน [9]

### 2.2.3 การวิเคราะห์แบบประมาณ (proximate analysis)

ชีวมวลและเชื้อเพลิงที่ได้จากชีวมวลมีทั้งส่วนที่เป็นสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ การวิเคราะห์แบบละเอียดมีความยุ่งยากและบางครั้งไม่มีความจำเป็น จึงมักใช้การวิเคราะห์แบบประมาณ ซึ่งการวิเคราะห์แบบประมาณสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม คือ ส่วนที่เผาไหม้ไม่ได้ ได้แก่ ความชื้นและปริมาณเถ้า ส่วนที่เผาไหม้ได้ ได้แก่ ปริมาณสารระเหยและปริมาณคาร์บอนคงตัว [12]

#### 2.2.3.1 ความชื้น (moisture)

ความชื้น คือ ปริมาณน้ำที่มีอยู่ในสารชีวมวล โดยส่วนใหญ่ชีวมวลมักจะมี ความชื้นค่อนข้างสูงเพราะเป็นผลผลิตทางการเกษตร ชีวมวลที่เหมาะสมจะนำไปเป็นเชื้อเพลิงควรมี ความชื้นไม่เกินร้อยละ 50 การหาปริมาณความชื้นในชีวมวลวิเคราะห์ได้โดยอบชีวมวลให้แห้งที่ อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส น้ำหนักที่หายไปคือน้ำหรือความชื้นจะระเหยออกมาจากชีวมวลใน ระหว่างที่ทำการอบแห้ง

#### 2.2.3.2 ปริมาณเถ้า (ash)

ปริมาณเถ้า คือ ส่วนที่เผาไหม้ไม่ได้ เป็นส่วนประกอบอนินทรีย์ที่มีอยู่ใน สารชีวมวล สารชีวมวลส่วนใหญ่มีสัดส่วนของปริมาณเฝ้าน้อย ยกเว้นฟางข้าวและแกลบที่มีเฝ้า ค่อนข้างสูงถึงร้อยละ 10 ถึง 16 โดยน้ำหนัก การวิเคราะห์ปริมาณเถ้าทำได้โดยหาน้ำหนักที่เหลืออยู่ หลังจากเผาชีวมวลภายใต้บรรยากาศที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 1 ชั่วโมง แล้วจึงเผา

ต่อที่อุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 3 ชั่วโมง ส่วนประกอบที่เป็นสารอินทรีย์ในสารชีวมวล จะถูกเผาไหม้สมบูรณ์กลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ และส่วนประกอบที่เป็นสารอนินทรีย์จะถูกออกซิไดซ์กลายเป็นสารประกอบออกไซด์เรียกว่าเถ้า

### 2.2.3.3 ปริมาณสารระเหย (volatiles matter)

ปริมาณสารระเหย คือ ส่วนที่สามารถถูกไหม้ได้ง่ายภายใต้สภาวะที่กำหนด สารชีวมวลที่มีปริมาณสารระเหยสูงแสดงว่าสามารถติดไฟได้ง่าย การหาปริมาณสารระเหยทำได้โดยให้ความร้อนแก่สารชีวมวลที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 นาที หรือจนกว่าน้ำหนักของสารชีวมวลจะคงที่ โดยที่ในขณะที่ให้ความร้อนแก่จะทำโดยไม่ให้สารชีวมวลสัมผัสกับอากาศ

### 2.2.3.4 ปริมาณคาร์บอนคงตัว (fixed carbon)

ปริมาณคาร์บอนคงตัว คือ ส่วนประกอบของส่วนที่เสถียรของโครงสร้าง หลังจากให้ความร้อนแก่สารชีวมวล ซึ่งส่วนใหญ่จะประกอบไปด้วยค่าคาร์บอน ปริมาณคาร์บอนคงตัวสามารถคำนวณได้จากสมการ ดังต่อไปนี้

$$\text{ร้อยละคาร์บอนคงตัว} = 100 - (\text{ร้อยละความชื้น} + \text{ร้อยละปริมาณเถ้า} + \text{ร้อยละปริมาณสารระเหย})$$

## 2.2.4 การวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (ultimate analysis)

การวิเคราะห์แบบแยกธาตุ คือ การวิเคราะห์หาสัดส่วนของธาตุองค์ประกอบในสารชีวมวล โดยประกอบด้วยธาตุหลัก คือ คาร์บอน (carbon), ไฮโดรเจน (hydrogen), ไนโตรเจน (nitrogen) และออกซิเจน (oxygen) รวมถึงธาตุอื่น ๆ ที่มีสัดส่วนน้อย คือ กำมะถัน (sulfur) ผลจากการวิเคราะห์ที่ได้จะถูกนำไปประเมินประสิทธิภาพของเชื้อเพลิงโดยการหาคำนวณค่าความร้อนต่อไป

## 2.2.5 ประโยชน์ของชีวมวล

เมื่อเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงฟอสซิลแล้ว เชื้อเพลิงจากชีวมวลมีต้นทุนที่มีราคาถูกมากกว่า การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงจากชีวมวลทำให้เกิดสภาวะคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศเท่ากับศูนย์ ดังนั้นจึงไม่ก่อให้เกิดการเพิ่มปริมาณแก๊สเรือนกระจกที่ส่งผลต่อภาวะโลกร้อน นอกจากนี้ยังช่วยลดการนำเข้าเชื้อเพลิงจากต่างประเทศ ส่งเสริมอาชีพและสร้างงานสร้างรายได้แก่เกษตรกรไทยอีกด้วย [13]

## 2.2.6 แนวทางการใช้ชีวมวลในประเทศไทย

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมที่มีผลผลิตทางการเกษตรและของเสียจากภาคอุตสาหกรรมเกษตรปริมาณสูงมาก สารชีวมวลเหล่านี้สามารถนำมาใช้ประโยชน์ผลิตเป็นพลังงานทดแทนได้ เช่น การแปรรูปชานอ้อย แกลบ ชังข้าวโพด และกะลาปาล์ม เป็นเชื้อเพลิงผลิตไฟฟ้าและพลังงานความร้อนที่ใช้ในกระบวนการผลิตภาคอุตสาหกรรม การนำน้ำมันพืชใช้แล้วซึ่งเป็นของเสียจากอุตสาหกรรมอาหารไปผลิตเป็นน้ำมันไบโอดีเซล เป็นต้น กระทรวงพลังงานจึงมียุทธศาสตร์การพัฒนาพลังงานทดแทนจากผลผลิตทางการเกษตรเหล่านี้ เพื่อเป็นตลาดทางเลือก

สำหรับผลผลิตทางการเกษตรของไทย ซึ่งจะส่งทำให้ราคาผลผลิตทางการเกษตรมีเสถียรภาพและลดการช่วยเหลือจัดสรรงบประมาณจากภาครัฐมาประกันราคาผลผลิตทางการเกษตรลงได้ อีกทั้งการพัฒนาอย่างต่อเนื่องของเทคโนโลยีการผลิตพลังงานทดแทนมีความต่อเนื่องและค้ำหนุนทางเศรษฐกิจ

กระทรวงพลังงาน (พ.น.) ได้กำหนดแผนพัฒนาพลังงานทดแทน 15 ปี โดยมอบหมายให้กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) ซึ่งเป็นหน่วยงานหลักประสานงานกับส่วนผู้เกี่ยวข้องอื่นๆ ให้ดำเนินการจัดทำแผนปฏิบัติการตามกรอบแผนพัฒนาพลังงานทดแทน เพื่อให้สามารถผลิตไฟฟ้ารวมสะสมถึงปี 2565 จำนวน 5,604 เมกะวัตต์ นอกจากนั้นยังให้มีการพัฒนาเชื้อเพลิงชีวภาพ ได้แก่ เอทานอลและไบโอดีเซล รวมทั้งพลังงานความร้อนและแก๊ส NGV ซึ่งก่อให้เกิดสัดส่วนการใช้พลังงานทดแทนได้ร้อยละ 20 ของปริมาณการใช้บริโภคของประเทศในปี 2565

การตั้งเป้าหมายสู่ความสำเร็จของการผลิตพลังงานทดแทนให้ได้ปริมาณดังกล่าว จำเป็นต้องสร้างแนวทางแผนพัฒนาในแต่ละเทคโนโลยีโดยเฉพาะกับภาคเอกชน ซึ่งเป็นแนวทางหลักที่สำคัญในการขับเคลื่อนสู่ความสำเร็จได้ ต้องมีความเด่นชัดในนโยบายเพื่อให้ปรากฏต่อการลงทุนจากภาคเอกชนและสร้างผลประโยชน์ต่อการดำเนินการ [14]

#### 2.2.7 ศักยภาพของชีวมวล

ประเทศไทยนับได้ว่าเป็นประเทศที่มีการทำเกษตรกรรมมากแห่งหนึ่งของโลก ดังนั้น นอกจากผลผลิตทางการเกษตรแล้ว ผลพลอยได้หนึ่งจากการทำเกษตรกรรม คือ วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร เช่น ฟางข้าว ทะลายปาล์ม แกลบ ใบอ้อย และชานอ้อย เป็นต้น ตัวอย่างวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรแสดงดังตารางที่ 2.1



ตารางที่ 2. 1 ตารางแสดงผลการประเมินศักยภาพชีวมวลแต่ละชนิดประจำปี 2556 [15]

ชนิดชีวมวล	ปริมาณที่เกิด (ตัน)	ปริมาณที่ นำไปใช้ ประโยชน์ แล้ว (ตัน)	ปริมาณ คงเหลือ (ตัน)	ค่าความ ร้อน (TJ*)	เทียบเท่า น้ำมันดิบ (ktoe**)
ฟางข้าว	19,005,628	8,112,801	10,892,826	134,308	3,188
แกลบ	8,146,269	8,006,283	138,985	1,879	44
ใบและยอดอ้อย	17,016,248	1,845,487	15,170,760	234,843	5,575
ชานอ้อย	28,026,761	28,026,761	0	0	0
ซังข้าวโพด	1,216,078	1,094,081	120,997	1,163	26
เหง้ามันสำปะหลัง	6,045,508	164,196	5,881,311	32,288	755
กากมันสำปะหลัง	1,813,652	1,813,562	0	0	0
เปลือกมันสำปะหลัง	8,463,711	8,463,711	0	0	0
ทะลายปาล์มเปล่า	4,099,859	1,891,985	2,207,873	15,985	379
กะลาปาล์ม	512,482	512,482	0	0	0
เปลือกและกาบ มะพร้าว	333,310	329,976	3,334	54	1
กะลามะพร้าว	252,508	230,540	21,968	393	9

\* 1 TJ (terajoules) = 1,000,000,000,000 joules

\*\* 1 ktoe (kiloton of oil equivalent) = 42,120,000 MJ = 11,700,000 k-Wh

การประเมินศักยภาพของชีวมวลสำหรับการผลิตพลังงานไฟฟ้า จะต้องศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการจัดหาชีวมวลในพื้นที่ต่างๆ รวมถึงความเป็นไปได้ทางด้านเทคโนโลยีและความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ ศักยภาพของชีวมวลที่นำมาใช้เป็นพลังงานทดแทนสามารถแบ่งได้เป็น 4 ประเภท ได้แก่

### 2.2.7.1 ศักยภาพของชีวมวลประเภทวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร

จากการศึกษาพบว่าพืชเกษตรกรรม 4 ชนิด ที่มีปริมาณเพียงพอที่จะสามารถนำไปผลิตเป็นพลังงานชีวภาพได้ คือ อ้อย ข้าว มันสำปะหลัง และปาล์ม โดยอ้อยมีปริมาณการผลิตสูงมากถึง 70 ล้านตันปี มากกว่าข้าว มันสำปะหลัง และปาล์ม จากข้อมูลปี พ.ศ. 2543 พบว่า มีปริมาณวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรประมาณ 63 ล้านตัน ถูกนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงและวัตถุประสงค์อื่นๆ ประมาณ 16 ล้านตัน และมีส่วนที่ยังไม่ได้ใช้เท่ากับ 42 ล้านตัน คิดเป็นพลังงานเท่ากับ 604.82 เพตาจูล ( $6.04 \times 10^{17}$  จูล) และในปี 2555 ศักยภาพชีวมวลของประเทศไทยมีมากถึง 16,812.88 กิโลตันน้ำมันดิบ (ktoe) โดยมาจากเศษวัสดุชีวมวลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตรเพื่อการผลิตไฟฟ้าและความร้อนที่ 9,231.82 กิโลตันน้ำมันดิบ (ktoe) ชีวมวลเพื่อผลิตแก๊สชีวภาพที่ 6,560.82 กิโลตันน้ำมันดิบ (ktoe) และชีวมวลเพื่อการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพที่ 1,020.24 กิโลตันน้ำมันดิบ (ktoe)

### 2.2.7.2 ศักยภาพของชีวมวลประเภทของเสียจากฟาร์มปศุสัตว์

จากข้อมูลในปี พ.ศ. 2543 พบว่ามูลจากสัตว์ 6 ชนิด ได้แก่ โค กระบือ สุกร ไก่ เป็น และช้าง มีศักยภาพการผลิตแก๊สชีวภาพได้ 560 ล้านลูกบาศก์เมตร คิดเป็นพลังงานประมาณ 11.75 เพตาจูล ของเสียจากฟาร์มปศุสัตว์เป็นสารอินทรีย์ที่เหมาะสมต่อการผลิตพลังงาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในมูลโค จากข้อมูลในปี พ.ศ. 2546 พบว่ามูลโคมีศักยภาพสูงในการผลิตแก๊สชีวภาพ แต่ระบบการผลิตแก๊สชีวภาพจากมูลโคยังไม่คุ้มทุน เนื่องจากจำนวนโคต่อฟาร์มมีปริมาณต่ำ อีกทั้งมูลโคมีปริมาณกากเซลลูโลสที่ย่อยสลายได้ช้าอยู่มาก ในทางตรงกันข้ามการเลี้ยงสุกรในประเทศไทยเป็นระบบฟาร์มที่มีการจัดเก็บมูลสุกรได้ง่ายและสะดวกกว่า ปริมาณกากเซลลูโลสในสุกรมีปริมาณน้อย จึงทำให้การสร้างระบบการผลิตพลังงานแก๊สชีวภาพมีความคุ้มค่าต่อการลงทุนมากกว่า

### 2.2.7.3 ศักยภาพของชีวมวลประเภทน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม

เกษตร

น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมเกษตรสามารถนำมาผลิตเป็นแก๊สชีวภาพได้ เพื่อนำแก๊สชีวภาพที่ได้ไปผลิตเป็นเชื้อเพลิงให้ความร้อนในกระบวนการผลิต โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังมีศักยภาพในการผลิตแก๊สชีวภาพสูงสุด รองลงมาได้แก่ โรงงานน้ำตาล และโรงงานน้ำมันปาล์ม

### 2.2.7.4 ศักยภาพของชีวมวลประเภทขยะชุมชน

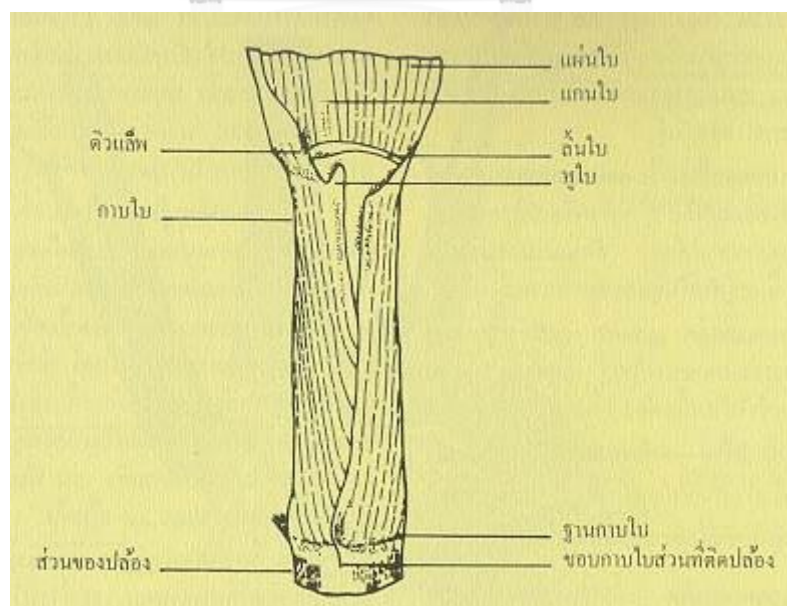
ศักยภาพของการผลิตพลังงานจากขยะชุมชนของแต่ละภูมิภาคมีปริมาณที่ใกล้เคียงกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของประชากรในแต่ละพื้นที่ด้วย การผลิตพลังงานจากขยะชุมชนสามารถทำได้โดยใช้กระบวนการทางความร้อนเคมี (thermal-chemical process) หรือกระบวนการทางชีวเคมี (bio-chemical process) แต่การผลิตพลังงานจากขยะชุมชนนั้นยังถือได้ว่า

ไม่ประสบความสำเร็จมากนัก เนื่องจากการจัดการขยะของชุมชนยังมีปัญหาในทางปฏิบัติ และการปลดปล่อยมลพิษต่างๆ ด้วย

### 2.2.8 อ้อย

อ้อย (sugarcane) มีถิ่นกำเนิดในเขตร้อนของทวีปเอเชียต่อมาได้แพร่กระจายพันธุ์ไปยังพื้นที่ต่างๆทั่วโลก อ้อยจัดเป็นพืชที่มีความสำคัญเป็นอันดับ 4 ของโลก อ้อยที่ปลูกเพื่อใช้เปี้ยววัตถุดิบของอุตสาหกรรมน้ำตาลในปัจจุบันมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ คือ *Saccharum officinarum* L. ซึ่งเป็นอ้อยที่มีความหวานสูง ไฟเบอร์ต่ำ ลำปล้องยาวและแข็งแรง อ้อยเป็นพืชที่สามารถปลูกได้ง่าย ไม่ยุ่งยากซับซ้อน และสามารถเก็บเกี่ยวได้หลายครั้ง การเจริญเติบโตของอ้อยนับว่าเป็นการใช้ปัจจัยสำหรับการเจริญเติบโต เช่น น้ำ อากาศ แสงแดด และธาตุอาหารได้มีประสิทธิภาพมาก การปลูกอ้อยมักได้ผลดีในพื้นที่อากาศร้อนและชุ่มชื้น ดังนั้นประเทศมีปริมาณผลผลิตต่อปีของน้ำตาลจากอ้อยมากที่สุด คือ บราซิล ผลิตได้ 7.5 ล้านเมตริกตัน รองลงมา ได้แก่ อินเดีย คิวบา ออสเตรเลีย เม็กซิโก ฟิลิปปินส์ จีน และไทย โดยปริมาณต่อปีที่ผลิตได้ คือ 6.0, 5.8, 3.4, 2.69, 2.67, 2.60 และ 2.26 ล้านเมตริกตัน ตามลำดับ [16]

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของอ้อย คือ อ้อยเป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยว จัดเป็นไม้ล้มลุกมีความสูงประมาณ 2-5 เมตร ไม่แตกกิ่งก้าน ลำต้นเป็นส่วนขยายพันธุ์และสะสมน้ำตาล ลักษณะลำต้นจะแบ่งเป็นปล้องๆ มีข้อ (node) และตา (bud) ซึ่งส่วนตานั้นจะเจริญเป็นอ้อยลำใหม่ ส่วนใบของอ้อยจะประกอบด้วยกาบใบและตัวใบ กาบใบเป็นส่วนที่โอบติดอยู่รอบข้อปล้อง ส่วนแผ่นใบเป็นส่วนที่ถัดเข้าไปจากกาบใบ และมีแกนตรงกลางที่ทำให้แผ่นใบมีลักษณะตั้งตรงได้ ลักษณะส่วนต่างๆ ของกาบใบและแผ่นใบแสดงดังรูป 2.4



รูปที่ 2. 4 ส่วนต่างๆ ของใบและกาบใบอ้อย [16]

ชานอ้อย คือ ส่วนของลำต้นอ่อนที่ผ่านการหีบเอาน้ำอ้อยออกแล้ว ชานอ้อยเป็นของเสียแข็งที่ประกอบด้วยเส้นใย โดยเฉลี่ยในการหีบอ้อย 1,000 กิโลกรัม จะได้ปริมาณชานอ้อยประมาณ 300 กิโลกรัม หรือคิดเป็นร้อยละ 30 ลักษณะของชานอ้อยแสดงดังรูปที่ 2.5 ชานอ้อยนับว่าเป็นของเสียจากอุตสาหกรรมการผลิตน้ำตาลที่มีการนำไปใช้ประโยชน์ต่อได้อย่างหลากหลายในประเทศไทยชานอ้อยเกือบทั้งหมดถูกใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวมวลโดยนำไปทำเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้า การใช้ประโยชน์อื่นๆ เช่น นำใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเยื่อกระดาษ การนำไปใช้ผลิตเป็นเยื่อกระดาษ (pulp) และกระดาษชนิดต่างๆ [17]



รูปที่ 2.5 ลักษณะของชานอ้อย

ตารางที่ 2. 2 ปริมาณผลผลิตอ้อยและชานอ้อยเป็นรายภาค ประจำปีการผลิต 2560/2562 [18]

	เนื้อที่เพาะปลูก (ไร่)	ผลผลิตอ้อย (ตัน)
ภาคเหนือ	2,719,424	32,281,176
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	5,044,952	59,099,043
ภาคกลาง	3,118,925	37,136,615
ภาคตะวันออก	659,249	7,380,321
รวมทั้งประเทศ	11,542,550	135,897,154

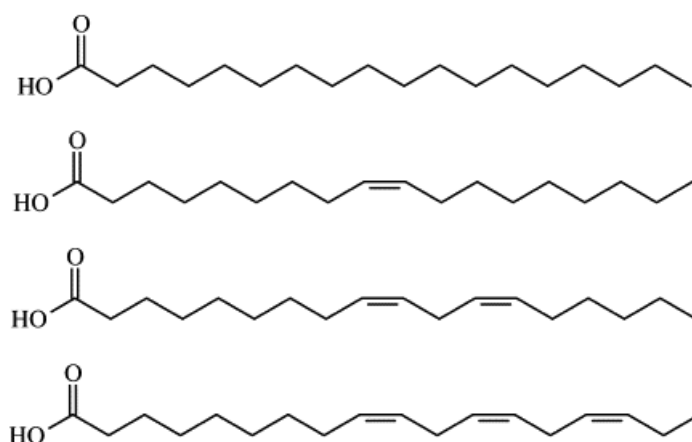
### 2.2.9 น้ำมันพืช

น้ำมันพืช (vegetable oil) [20] เป็นไขมันที่ได้จากการสกัดจากเมล็ดหรือส่วนอื่นๆ ของพืช ลักษณะทางกายภาพของน้ำมันพืชแสดงดังรูป 2.6 น้ำมันพืชที่ใช้บริโภคสามารถผลิตได้จากพืชหลายชนิด ตัวอย่างของน้ำมันพืชที่มาจากผลของพืชยืนต้น เช่น น้ำมันมะกอก (olive oil) น้ำมันปาล์ม (palm oil) และน้ำมันมะพร้าว (coconut oil) เป็นต้น นอกจากนี้พืชล้มลุกหลายชนิดสามารถนำมาผลิตเป็นน้ำมันพืชได้ เช่น น้ำมันงา (sesame oil) น้ำมันข้าวโพด (corn oil) และน้ำมันถั่วเหลือง (soybean oil) เป็นต้น



รูปที่ 2. 6 น้ำมันพืช [19]

องค์ประกอบหลักของน้ำมันพืชเป็นไตรกลีเซอไรด์ที่ประกอบด้วยกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว เช่น กรดโอเลอิก (oleic acid) กรดไขมันโอเมกา-6 (omega-6 fatty acid) และกรดไลโนเลอิก (linoleic acid) เป็นต้น โครงสร้างทางเคมีของน้ำมันพืชแสดงดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2. 7 โครงสร้างทางเคมีของน้ำมันพืช [20]

## 2.3 เชื้อเพลิงชีวภาพ

เชื้อเพลิงชีวภาพ คือ เชื้อเพลิงที่ผลิตจากวัตถุดิบจากธรรมชาติ ทั้งในรูปเชื้อเพลิงของแข็ง ของเหลว และแก๊ส

- เชื้อเพลิงของแข็ง เช่น ไม้ฟืน ไม้ป่น และถ่านไม้ เป็นพลังงานชีวภาพชนิดแรกที่มนุษย์นำมาใช้ โดยใช้ในการหุงต้ม ให้แสงสว่าง และสร้างความอบอุ่น ส่วนประกอบหลักในเนื้อไม้ คือ เซลลูโลส (cellulose) โดยมีประมาณร้อยละ 50 ไม้ที่มีความชื้นต่ำจะให้ค่าความร้อนสูงกว่าไม้ที่มีความชื้นสูงจึงนิยมนำไม้แห้งมาเผาเพื่อให้พลังงาน แต่เนื่องจากในปัจจุบันพบว่าปริมาณผืนป่ามีจำนวนลดลงอย่างมาก ดังนั้นจึงมีการรณรงค์ลดการตัดไม้ทั่วโลก
- เชื้อเพลิงของเหลว เช่น น้ำมันดีเซลชีวภาพ น้ำมันชีวภาพไพโรไลซิส และเอทานอลชีวภาพ เป็นต้น โดยส่วนใหญ่แล้วเชื้อเพลิงของเหลวจะถูกใช้ประโยชน์ในด้านการคมนาคมเป็นหลัก
- เชื้อเพลิงแก๊ส เช่น แก๊สมีเทนที่ได้จากการหมักมูลสัตว์ เช่น มูลสุกร มูลโค มูลกระบือ เป็นต้น แก๊สมีเทนที่ได้จะถูกนำไปใช้ในการหุงต้ม นอกจากนี้ส่วนอื่นๆที่เหลือจากกระบวนการหมักยังสามารถนำไปทำเป็นปุ๋ยได้อีกด้วย

## 2.4 กระบวนการแปรรูปชีวมวลให้เป็นเชื้อเพลิง

การแปรรูปชีวมวลไปเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพ สามารถทำได้โดยใช้กระบวนการหลักๆ 3 วิธี ได้แก่ กระบวนการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมี กระบวนการเปลี่ยนแปลงทางฟิสิกส์เชิงเคมี และกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางเคมีความร้อน [21]

### 2.4.1 กระบวนการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมี (biochemical process)

การย่อยสลายของสารชีวมวลที่เกิดขึ้นโดยธรรมชาติ เช่น การหมักและย่อยสลายโดยเอนไซม์ แบคทีเรีย และจุลินทรีย์ จัดเป็นกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมี โดยผลิตภัณฑ์ที่นำไปใช้เป็นพลังงานได้จะอยู่ในรูปของแก๊สมีเทนและเอทานอล

### 2.4.2 กระบวนการเปลี่ยนแปลงทางฟิสิกส์เชิงเคมี (physic-chemical process)

กระบวนการผลิตเชื้อเพลิงของเหลวผ่านกระบวนการทรานเอสเทอร์ริฟิเคชัน (transesterification) เป็นตัวอย่างหนึ่งของกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางฟิสิกส์เชิงเคมี ผลิตภัณฑ์หนึ่งที่น่าสนใจจากกระบวนการเปลี่ยนแปลงนี้ คือ การนำน้ำมันพืชหรือสัตว์ที่มีหน่วยย่อยเป็นไตรกลีเซอไรด์ (triglyceride) ซึ่งประกอบไปด้วยกรดไขมัน 3 โมเลกุล และกลีเซอรอล 1 โมเลกุล มาทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์แล้วได้ผลิตภัณฑ์เป็นน้ำมันไบโอดีเซล (biodiesel) [22]

### 2.4.3 กระบวนการเปลี่ยนแปลงทางเคมีความร้อน (thermochemical process)

การนำสารชีวมวลมาผ่านการให้ความร้อนเพื่อย่อยสลายให้กลายเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพหรือสารเคมีอื่น ๆ ที่มีมูลค่า จัดเป็นกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางเคมีความร้อน [13] กระบวนการดังกล่าวนี้แบ่งออกเป็น 4 ประเภท คือ การเผาไหม้โดยใช้ออกซิเจนหรือการสันดาป (combustion) การเผาไหม้โดยไม่ใช้ออกซิเจนหรือไพโรไลซิส (pyrolysis) การทำให้เกิดแก๊สหรือแก๊สซิฟิเคชัน (gasification) และลิกวิแฟกชัน (liquefaction)

- การเผาไหม้โดยใช้ออกซิเจนหรือการสันดาป (combustion) เป็นปฏิกิริยาการรวมตัวกันอย่างรวดเร็วของสารชีวมวลและออกซิเจน ทำให้เกิดการลุกไหม้และคายความร้อน ข้อเสียของกระบวนการนี้ คือ ในสารชีวมวลมีธาตุองค์ประกอบของไนโตรเจนและซัลเฟอร์ ดังนั้นการสันดาปชีวมวลอาจก่อให้เกิดแก๊สพิษ เช่น ไนโตรเจนออกไซด์ (NO<sub>x</sub>) และซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO<sub>2</sub>)

- การเผาไหม้โดยไม่ใช้ออกซิเจนหรือไพโรไลซิส (pyrolysis) เป็นกระบวนการสลายตัวทางความร้อนของสารชีวมวลในสภาวะที่ปราศจากออกซิเจน ผลิตภัณฑ์ที่ได้ คือน้ำมันชีวภาพ (bio-oil) ถ่าน (char) และไพโรแก๊ส (pyro gas)

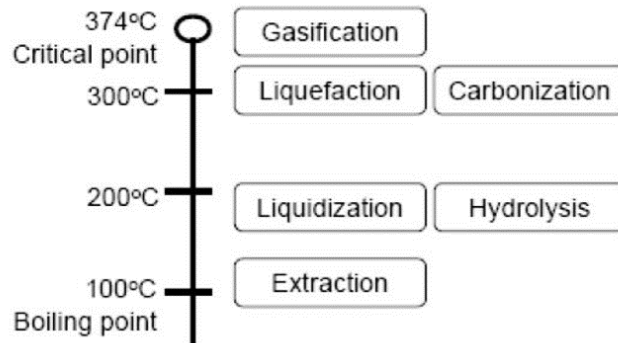
- การทำให้เกิดแก๊สหรือแก๊สซิฟิเคชัน (gasification) เป็นกระบวนการเปลี่ยนเชื้อเพลิงแข็งให้ได้ผลิตภัณฑ์ออกมาในรูปของเชื้อเพลิงแก๊ส โดยการนำไปให้ความร้อนและจำกัดอากาศที่เข้าทำปฏิกิริยา (partial oxidation) ผลิตภัณฑ์ที่ได้อยู่ในรูปของ แก๊สไฮโดรเจน แก๊สมีเทน แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์

- ลิกวิแฟกชัน (liquefaction) เป็นกระบวนการนำสารชีวมวลมาสลายตัวโดยใช้ตัวทำละลายของเหลวร่วมกับการให้ความร้อน ผลิตภัณฑ์ที่ได้ คือน้ำมันดิบชีวภาพ กากของแข็ง และแก๊ส

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

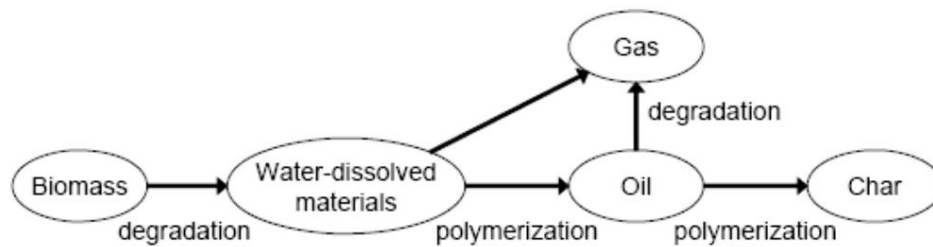
### 2.5 ไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชัน (hydrothermal liquefaction)

ไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชัน คือ การทำให้สารชีวมวลเกิดเป็นผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลว โดยใช้ น้ำเป็นตัวทำละลาย ร่วมกับการให้ความร้อนอุณหภูมิ 250-374 องศาเซลเซียส ภายใต้ความดัน 4-22 เมกะพาสคัล ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชัน ได้แก่ น้ำมันดิบชีวภาพ (bio-crude oil) กากของแข็ง (solid residue) และแก๊ส ข้อดีของกระบวนการนี้ คือ สารชีวมวลที่นำมาใช้ในการผลิตน้ำมันดิบชีวภาพสามารถใช้สารที่มีความเข้มข้นสูงได้ โดยไม่จำเป็นต้องผ่านการกระบวนการทำให้แห้งก่อน ตัวอย่างของสารชีวมวลที่มีความเข้มข้นสูง เช่น สาหร่าย ขยะจากชุมชน ชานอ้อยจากอุตสาหกรรมผลิตน้ำตาล เป็นต้น [9]



รูปที่ 2. 8 ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในตัวทำละลายน้ำที่อุณหภูมิต่างๆ [13]

ในกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชันสารชีวมวลจะเกิดปฏิกิริยาการสลายตัวเป็นสารที่ละลายน้ำ จากนั้นสารที่ละลายน้ำจะเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันเปลี่ยนเป็นน้ำมัน แต่เมื่อเกิดปฏิกิริยานานขึ้นน้ำมันบางส่วนจะสลายตัวกลายเป็นผลิตภัณฑ์แก๊ส และบางส่วนอาจเกิดการพอลิเมอร์ไรเซชันต่อได้ผลิตภัณฑ์ของแข็ง (char) แผนผังของปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชันเบื้องต้น แสดงดังรูป 2.9



รูปที่ 2. 9 แผนผังของปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชันเบื้องต้น [23]

กระบวนการไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชัน (hydrothermal co-liquefaction) เป็นกระบวนการผลิตน้ำมันดิบชีวภาพที่คล้ายกับกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชันทั่วไป แต่ข้อแตกต่างของกระบวนการนี้ คือ มีการใช้สารป้อนชีวมวลมากกว่าหนึ่งชนิด เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตน้ำมันดิบชีวภาพให้มากยิ่งขึ้น



## 2.6 น้ำมันดิบชีวภาพ (Bio-crude oil)

น้ำมันดิบชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงเหลวที่สังเคราะห์ผ่านกระบวนการไพโรไลซิส (pyrolysis) หรือการย่อยสลายด้วยความร้อนภายใต้ภาวะที่เหมาะสม น้ำมันดิบชีวภาพเป็นของเหลวอินทรีย์มีสีน้ำตาลดำ สามารถละลายน้ำได้ ลักษณะของน้ำมันดิบแสดงดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2. 10 น้ำมันดิบชีวภาพ [24]

โดยทั่วไปน้ำมันดิบชีวภาพมีสารอินทรีย์ที่มีประจุเป็นองค์ประกอบประมาณร้อยละ 75-80 โดยน้ำหนัก มีน้ำอยู่ประมาณร้อยละ 20-25 และมีออกซิเจนสูงถึงร้อยละ 35-40 โดยน้ำหนัก องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันดิบชีวภาพขึ้นอยู่กับปัจจัยการผลิตที่หลากหลาย ไม่ว่าจะเป็นอนุภูมิภาค ตัวทำละลาย ความหนาแน่นของตัวทำละลาย แก๊สที่ใช้ เวลาในการทำปฏิกิริยา รวมไปถึงสารป้อนชีวมวลที่ใช้ด้วย ดังแสดงตัวอย่างของสารป้อนชีวมวลชนิดต่างๆ ที่ส่งผลต่อสมบัติของผลิตภัณฑ์น้ำมันดิบชีวภาพที่ได้ ดังตารางที่ 2.3 ที่ได้แสดงค่าความหนืด ค่าความร้อนการเผาไหม้สูงสุด อัตราส่วนไฮโดรเจนต่อคาร์บอน (H/C) และอัตราส่วนของออกซิเจนต่อคาร์บอน (O/C) [25]

ตารางที่ 2.3 สมบัติของน้ำมันดิบชีวภาพที่ได้จากกระบวนการลิควิแฟกชันของสารชีวมวลชนิดต่างๆ

ประเภทของสารชีวมวล	สารชีวมวล	ความหนืด (เซนติพอยส์)	ค่าความร้อนการเผาไหม้สูงสุด (เมกะจูล/กิโลกรัม)	อัตราส่วนไฮโดรเจนต่อคาร์บอน H/C	อัตราส่วนคาร์บอนต่อออกซิเจน O/C
ลิกโนเซลลูโลส	ชานอ้อย	$6 \times 10^5$	31	1.12	0.21
	เปลือกมะพร้าว	$1.3 \times 10^6$	30	1.00	0.21
	ซังข้าวโพด	$1.6 \times 10^6$	30	1.01	0.21
สาหร่าย	Scenedesmus sp.	3.27-3.75, $25^\circ\text{C}$	30	1.60	0.1
	Spirulina platensis	189.80, $40^\circ\text{C}$	34	1.44	0.1
เชื้อเพลิงอ้างอิง	น้ำมันดีเซล	1.1-3.5, $40^\circ\text{C}$	45.1	1.79	0
	น้ำมันไบโอดีเซล	1.7-5.3, $40^\circ\text{C}$	40.5	1.87	0.11

### 2.6.1 สมบัติทางกายภาพ

#### 2.6.1.1 ความหนืด

ความหนืด (viscosity) ของน้ำมันดิบชีวภาพมีความสัมพันธ์กับโครงสร้างทางเคมีของสารประกอบภายในน้ำมันดิบชีวภาพ โดยสารประกอบที่มีความหนืดสูงจะมีองค์ประกอบเป็นไฮโดรคาร์บอนเป็นส่วนใหญ่ ในขณะที่ไฮโดรคาร์บอนโซ่กิ่งจะทำให้น้ำมันดิบชีวภาพมีความหนืดที่ต่ำกว่า หมู่ฟังก์ชันของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนมีต่อความหนืดของน้ำมันดิบชีวภาพเช่นกัน สารประกอบประเภทแอลกอฮอล์หรือกรดอินทรีย์จะส่งผลต่อความหนืดของน้ำมันดิบชีวภาพมากกว่า สารประกอบประเภทเอสเทอร์และคีโตน นอกจากนี้อุณหภูมิและเวลาในการเก็บรักษาน้ำมันดิบชีวภาพก็ส่งผลต่อความหนืดของน้ำมันดิบชีวภาพ โดยการเก็บไว้หรือใช้ที่อุณหภูมิสูงจะทำให้ความหนืดมีค่าสูงขึ้นตามเวลาที่เก็บ ทั้งนี้เป็นผลมาจากการเกิดปฏิกิริยาการรวมตัวกันเป็นโมเลกุลที่มีขนาดใหญ่ขึ้นและอาจเกิดการทำให้ปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศอีกด้วย [25]

### 2.6.1.2 ค่าความร้อน

ค่าความร้อน (heating value) คือ ปริมาณความร้อนที่จะให้ออกมาหลังจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงเป็นเกณฑ์ที่ใช้ในการประเมินประสิทธิภาพของการเปลี่ยนวัตถุดิบไปเป็นเชื้อเพลิง ค่าความร้อนสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ ค่าความร้อนสูง (higher heating value, HHV) ค่าความร้อนสูงนี้จะคำนึงถึงความร้อนของการกลายเป็นไอน้ำในขณะเผาไหม้ และค่าความร้อนต่ำ (lower heating value, LHV) โดยค่าความร้อนต่ำจะไม่คำนึงถึงความร้อนของการกลายเป็นไอน้ำในขณะเผาไหม้

การคำนวณค่าความร้อนสูงมีความสัมพันธ์กับองค์ประกอบของสารชีวมวลที่ได้จากการวิเคราะห์แบบปริมาณและการวิเคราะห์แบบแยกธาตุ โดยผลจากการวิเคราะห์แบบปริมาณ ได้แก่ ปริมาณคาร์บอนคงตัว (FC), ปริมาณสารระเหย (VM) และปริมาณเถ้า (ASH) สามารถนำมาคำนวณค่าความร้อนสูง (HHV) ได้ สมการ [25] ที่นิยมใช้ คือ

$$\text{HHV (MJ/kg)} = 0.3536\text{FC} + 0.1599\text{VM} - 0.0078\text{ASH}$$

โดยค่าความร้อนสูงจากการคำนวณตามสมการข้างต้นจะมีค่าความผิดพลาด (bias error) ร้อยละ 0.12 ซึ่งถือว่าเป็นที่ยอมรับได้ นอกจากนี้ผลจากการวิเคราะห์แบบแยกธาตุ ได้แก่ สัดส่วนของธาตุคาร์บอน (C), ไฮโดรเจน (H), ออกซิเจน (O) และไนโตรเจน (N) สามารถนำมาคำนวณหาค่าความร้อนสูงได้จากสูตรอย่างง่าย เช่น สูตรของดulong (Dulong formular) และสูตรของเดเมียบาส (Demirba, 1997) ดังสมการต่อไปนี้

สูตรของดulong (Dulong formula)

$$\text{HHV (MJ/kg)} = 0.3386\text{C} + 1.444(\text{H} - \text{O}/8)$$

สูตรของเดเมียบาส (Demirba, 1997)

$$\text{HHV (MJ/kg)} = 33.5\text{C} + 142.3\text{H} - 15.4\text{O} - 24.5\text{N}$$

## 2.6.2 สมบัติทางเคมี

### 2.6.2.1 ปริมาณออกซิเจน

ออกซิเจนในน้ำมันดิบชีวภาพจะอยู่ในรูปของกรดอินทรีย์ แอลกอฮอล์ คีโตน แอลดีไฮด์ ฟีนอล และอื่นๆ ปริมาณออกซิเจนที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมันดิบชีวภาพเกิดขึ้นจากปฏิกิริยาดีพอลิเมอร์ไรเซชันของสารประกอบในชีวมวล ได้แก่ เซลลูโลส ลิกนิน และเฮมิเซลลูโลส ในกระบวนการกลั่นลำดับส่วนของน้ำมันดิบ ออกซิเจนจะถูกกำจัดออก เพื่อป้องกันการเสื่อมประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาในระหว่างกระบวนการรีฟอร์มมิ่ง [25]

### 2.6.2.2 ปริมาณไนโตรเจน

ไนโตรเจนในผลิตภัณฑ์น้ำมันดิบชีวภาพจากกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชัน โดยปกติแล้วจะมีปริมาณต่ำไม่เกินร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก อย่างไรก็ตามน้ำมันดิบชีวภาพที่ได้จากสารชีวมวลบางชนิดมีองค์ประกอบของธาตุไนโตรเจนสูงมากกว่าร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก เช่น สาหร่ายและกากของเสียจากการบำบัดน้ำเสีย ทั้งนี้เพราะสารชีวมวลดังกล่าวมีโปรตีนเป็นองค์ประกอบจำนวนมาก [25]

### 2.6.2.3 ปริมาณซัลเฟอร์

สารชีวมวลประเภทลิกโนเซลลูโลสและสาหร่ายจะให้ปริมาณซัลเฟอร์ในผลิตภัณฑ์น้ำมันดิบชีวภาพที่ต่ำมากประมาณร้อยละ 0.1-1.3 โดยน้ำหนัก แต่ปริมาณของซัลเฟอร์จะถูกพบมากในผลิตภัณฑ์ส่วนที่เป็นของแข็ง

ตามมาตรฐานปริมาณซัลเฟอร์ในน้ำมันดีเซลและน้ำมันไบโอดีเซลจะถูกควบคุมไม่ควรเกิน 15 พีพีเอ็ม ทั้งนี้เพราะการเผาไหม้น้ำมันเชื้อเพลิงซัลเฟอร์จะถูกเปลี่ยนเป็นซัลเฟอร์ไดออกไซด์และอนุภาคซัลเฟสขนาดเล็ก ที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการเก็บและกระบอกสูบได้ [25]

### 2.6.2.4 องค์ประกอบทางเคมี

องค์ประกอบหลักของน้ำมันดีเซล คือ แอลเคน แอลคีน และอะโรมาติก ในขณะที่ไบโอดีเซลประกอบไปด้วยสารประกอบที่มีปริมาณออกซิเจนสูง เช่น กรดไขมัน และสารประกอบเอสเทอร์ ส่วนน้ำมันดิบชีวภาพจากกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันจะประกอบไปด้วยสารประกอบอินทรีย์ที่มีโครงสร้างซับซ้อน เช่น อะลิฟาติก น้ำตาลโอลิโกเมอร์ และสารประกอบไนโตรเจน ตัวอย่างองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันดิบชีวภาพแสดงดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2. 4 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันดิบชีวภาพที่ได้จากการไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกชัน

ประเภทของสาร	ร้อยละของพื้นที่ได้ฟีก (เปอร์เซ็นต์)
ฟีนอลิก	6-65
เอสเทอร์	2-44
อะโรมาติกและเฮเทอโรไซคลิก	6-35
แอลดีไฮด์	0-18
กรดคาร์บอกซิลิก	2-40
คีโตน	0-38
แอลเคน	9-13
สารประกอบไนโตรเจน	12-23

องค์ประกอบทางเคมีในน้ำมันส่งผลต่อสมบัติทางกายภาพของน้ำมัน จากข้อมูลดังตารางที่ 2.5 แสดงให้เห็นว่า น้ำมันดีเซลที่ประกอบด้วยสารประกอบสายโซ่ยาวจะทำให้ค่าซีเทน ค่าความร้อน และความหนืดของน้ำมันเพิ่มขึ้น ในขณะที่กรดไขมันเมื่อมีปริมาณเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าซีเทนและความหนืดของน้ำมันลดลง แต่จะเพิ่มความหนาแน่นและค่าความร้อนเพิ่มขึ้น ซึ่งสมบัติต่างๆ เหล่านี้ สามารถประยุกต์ใช้อธิบายสมบัติทางกายภาพของน้ำมันดิบชีวภาพได้ [26]

ตารางที่ 2. 5 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันดีเซลและสมบัติทางกายภาพ

องค์ประกอบทางเคมี (group)	การติดไฟ (ignition quality)	ค่าความร้อน (heating value)	ความหนาแน่น (density)
แอลเคน	ดี	ต่ำ	ต่ำ
ไอโซแอลเคน	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ
แอลซีน	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ
ไซโคลแอลเคน	ปานกลาง	ปานกลาง	ปานกลาง
อะโรมาติก	ต่ำมาก	สูง	สูง

## 2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Ito และคณะ [26] ศึกษาการไฮโดรเทอร์มัลโคลิควิแฟชันโดยใช้สารบ่อนร่วมของสารชีวมวล (ไม้ซีตาร์) และ ของเสียบพลาสติก (พอลิโพรพิลีน) ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส พบว่า การเพิ่มพลาสติกเข้าไปทำให้ได้ปริมาณของผลิตภัณฑ์มากขึ้นและคุณภาพของน้ำมันที่ได้ดีกว่าการใช้สารชีวมวลหรือพลาสติกเพียงอย่างเดียว

Jasiunas และคณะ [27] ศึกษาประสิทธิภาพของสารบ่อนร่วมที่ใช้ในการไฮโดรเทอร์มัลโคลิควิแฟชันแบบต่อเนื่อง (continuous hydrothermal liquefaction) ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เพื่อผลิตน้ำมันชีวภาพโดยใช้ก้อนเชื้อเห็ดที่ชื้นและชื้นเล็กน้อย พบว่า เมื่อผสมก้อนเชื้อเห็ดและชื้นเล็กน้อยในอัตราส่วน 1:3 จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ส่วนที่เป็นของแข็งซึ่งไม่เป็นที่ต้องการลดลงร้อยละ 24.5

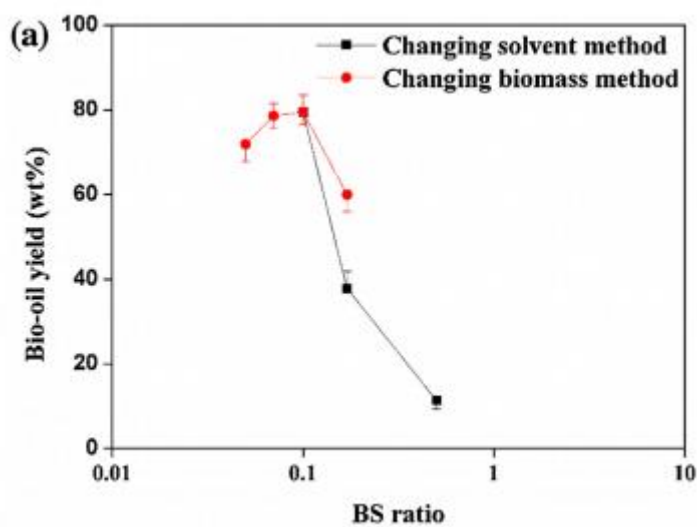
Yang และคณะ [28] ศึกษาการไฮโดรเทอร์มัลโคลิควิแฟชันโดยใช้สารบ่อนร่วมของกากกาแฟ กระจาดขอรอง ก้านข้าวโพด และไม้สนขาว พบว่า การไฮโดรเทอร์มัลโคลิควิแฟชันที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส โดยใช้สารเร่งปฏิกิริยาโซเดียมไฮดรอกไซด์ 5% จะทำให้สารบ่อนกากกาแฟและก้านข้าวโพดที่อัตราส่วน 1:1 จะทำให้กระบวนการผลิตมีประสิทธิภาพมากที่สุด โดยให้น้ำมันชีวภาพมากที่สุดเท่ากับร้อยละ 29.7

Shakya และคณะ [29] ศึกษาเปรียบเทียบชนิดของสารบ่อนต่อปริมาณผลิตภัณฑ์และสมบัติของสารที่ได้จากการไฮโดรเทอร์มัลโคลิควิแฟชัน สารบ่อนที่ใช้ คือ สาหร่าย 9 ชนิด ภาวะที่ทำการผลิต คือ อุณหภูมิ 280 และ 320 องศาเซลเซียส พบว่า ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความหลากหลายทั้งปริมาณและสมบัติของสารที่ได้ ปริมาณน้ำมันชีวภาพที่ได้มากที่สุดคือร้อยละ 66 จากภาวะที่ใช้อุณหภูมิ 320 องศาเซลเซียส ของสาหร่าย *Nannochloropsis* ที่มีปริมาณไขมันสูง ค่าความร้อนที่ได้อยู่ในช่วง 31-36 เมกะจูลต่อกิโลกรัม

Chen และคณะ [30] ศึกษาการไฮโดรเทอร์มัลโคลิควิแฟชันโดยใช้สารบ่อนร่วมของมูลสุกร และสาหร่ายผสมจากระบบบำบัดน้ำเสีย พบว่า จากการผสมมูลสุกรร้อยละ 75 กับสาหร่ายผสมจากระบบบำบัดน้ำเสียร้อยละ 25 จะให้ปริมาณน้ำมันชีวภาพสูงสุดเท่ากับร้อยละ 35.7 เพราะเมื่อมูลสุกรมีปริมาณมากกว่าร้อยละ 75 จะทำให้ระบบอยู่ในภาวะที่มีความเป็นกรด จึงเกิดการไฮโดรไลซิสและทำลายโครงสร้างลิกนินได้มากขึ้น นอกจากนี้เมื่อผสมมูลสุกรร้อยละ 25 และสาหร่ายผสมร้อยละ 75 จะให้ค่าความร้อนสูงสุด (heating value) คือ 27.5 เมกะจูลต่อกิโลกรัม

Zeb และคณะ [31] ศึกษาการไฮโดรเทอร์มัลโคลิควิแฟชันของสาหร่าย *Saccharina japonica* โดยใช้ตัวทำละลายเอทานอล ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส พบว่าการลดปริมาณตัวทำละลายที่ใช้ หรือการเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนสารชีวมวลต่อตัวทำละลาย (BS ratio) จะทำให้ปริมาณร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพที่ได้นั้นลดลงอย่างเห็นได้ชัด ดังผลการทดลองรูปที่ 2.11 เมื่อเพิ่ม BS ratio จาก 0.10 เป็น 0.17 จะทำให้ปริมาณร้อยละของผลิตภัณฑ์น้ำมันดิบชีวภาพที่ได้

ลดลงจากร้อยละ 79.5 เป็น 37.8 โดยน้ำหนัก ทั้งนี้เป็นเพราะการลดปริมาณตัวทำละลายจะส่งผลทำให้เกิดการแตกสลายของโมเลกุลขนาดใหญ่ได้น้อยลง เนื่องจากปริมาณตัวทำละลายที่น้อยลงทำให้การเข้าทำปฏิกิริยาดิพอลิเมอร์ไรเซชันของตัวทำละลายนั่นทำได้ยากขึ้นไปด้วย



รูปที่ 2. 11 ผลของการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของสารชีวมวลและตัวทำละลาย



### บทที่ 3

#### เครื่องมือและวิธีการทดลอง

งานวิจัยชิ้นนี้เป็นการศึกษาการผลิตน้ำมันชีวภาพจากไฮโดรเทอร์มัลโคลิควิแพกชั้นของชานอ้อยและน้ำมันพืชใช้แล้ว

#### 3.1 สารตั้งต้นและสารเคมี

- 1) ชานอ้อยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 150-250 ไมโครเมตร
- 2) น้ำมันพืชใช้แล้วจากร้านอาหาร
- 3) น้ำปราศจากไอออน
- 4) อะซิโตน

#### 3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

##### 3.2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมชานอ้อย

- 1) เครื่องบดชนิดละเอียด
- 2) ตะแกรงร่อนขนาด 250 และ 150 ไมโครเมตร
- 3) เตาอบไล่ความชื้น
- 4) เครื่องเขย่าตะแกรงร่อน

##### 3.2.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมน้ำมันพืชใช้แล้ว

- 1) ผ้าขาวบาง

##### 3.2.3 เครื่องปฏิกรณ์แรงดันสูง (high-pressure parr reactor)

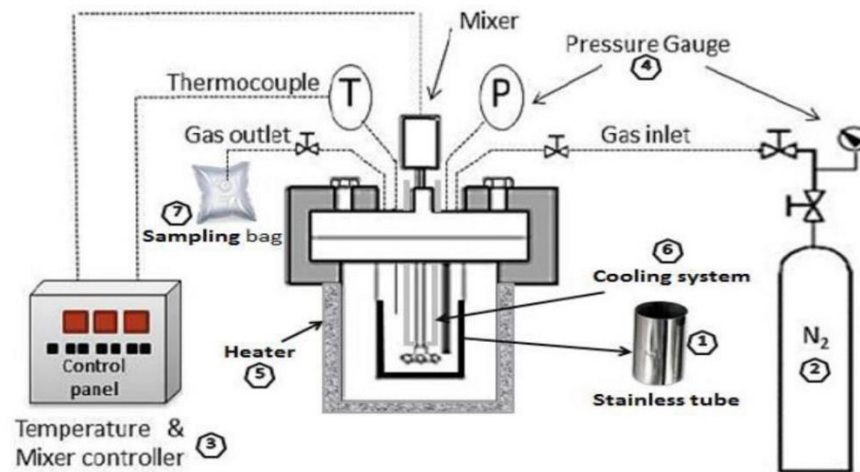
เครื่องปฏิกรณ์แรงดันสูง ขนาด 250 มิลลิลิตร ดังแสดงในรูปที่ 3.1 ผลิตโดยบริษัท Parr Instrument company ตัวเครื่องทำจากเหล็กกล้าไร้สนิม (stainless steel No. 316) ตัวเครื่องประกอบด้วยส่วนให้ความร้อน (heater) อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิพร้อมชุดควบคุมอุณหภูมิ (temperature controller) ระบบหล่อเย็น (cooling system) มาตรวัดความดัน (pressure gauge) และอุปกรณ์การกวนซึ่งประกอบด้วยใบกวนพร้อมชุดควบคุมและวัดความเร็วรอบใบกวน เครื่องปฏิกรณ์แรงดันสูงนี้สามารถทำงานได้ที่อุณหภูมิไม่เกิน 400 องศาเซลเซียส และความดันสูงสุดไม่เกิน 35 เมกะพาสคัล





รูปที่ 3. 1 เครื่องปฏิกรณ์แรงดันสูง

### 3.2.4 แบบจำลองอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 3. 2 แบบจำลองของอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ร่วมกับเครื่องปฏิกรณ์แรงดันสูง

แบบจำลองอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองในเครื่องปฏิกรณ์แรงดันสูง ดังแสดงในรูปที่ 3.2 ประกอบด้วยส่วนประกอบต่างๆ ดังนี้

- 1) ถ้วยสแตนเลส ขนาด 250 มิลลิลิตร
- 2) อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิพร้อมชุดควบคุมอุณหภูมิ (temperature & mixed controller)
- 3) มาตรวัดความดัน (pressure gauge)
- 4) ระบบให้ความร้อน (heater)
- 5) ระบบหล่อเย็น (cooling system)
- 6) ถุงเก็บแก๊สตัวอย่าง (sampling bag) ขนาด 2 ลิตร
- 7) ถังแก๊สไนโตรเจน ความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.99

### 3.2.5 อุปกรณ์การกรอง

ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเครื่องปฏิกรณ์แรงดันสูงมีลักษณะเป็นของแข็งผสมกับของเหลว นำมากรองด้วยชุดกรอง อุปกรณ์การกรองประกอบด้วยกรวยบุชเนอร์ (buchner funnel) ขวดกรอง (suction or filter flask) เครื่องดูดอากาศ (aspiration) และกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 3 ชั้นตอนในการกรอง คือ นำของผสมที่ได้เทลงในชุดกรอง ส่วนที่เป็นของแข็งที่อยู่ด้านบนจะถูกชะล้างโดยใช้ตัวทำละลายอะซิโตนเพื่อให้ส่วนของน้ำมันถูกชะออกมาให้หมด ส่วนของแข็งที่ได้จะถูกนำไปอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำไปชั่งน้ำหนัก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

### 3.2.6 เครื่อง Thermogravimetric analyzer (TGA)

วิเคราะห์อุณหภูมิการสลายตัวของขานอ้อยด้วยเทคนิค Thermogravimetric analyzer (TGA) ตัวอย่างจะถูกเผาโดยการให้ความร้อนด้วยอัตราการเพิ่มอุณหภูมิกคงที่ เพื่อดูการสลายตัวทางความร้อนโดยการวัดน้ำหนักของสารตัวอย่างที่หายไป

### 3.2.7 อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการระเหยตัวทำละลาย

ผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้จากขั้นตอนการกรองมีส่วนผสมของน้ำมันดิบชีวภาพผสมกับตัวทำละลายอะซิโตนและน้ำ ขั้นตอนการระเหยตัวทำละลายเป็นการแยกส่วนของตัวทำละลายทั้งหมดออกจากผลิตภัณฑ์ โดยการระเหยตัวทำละลายออกด้วยเครื่องระเหยแบบหมุนใต้ภาวะสุญญากาศ (vacuum rotary evaporator) ดังแสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3. 3 เครื่องระเหยแบบหมุนภายใต้ภาวะสุญญากาศ  
 ภาควิชาเคมี มหาวิทยาลัย  
 CHULALONGKORN UNIVERSITY

### 3.2.8 เครื่องวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (CHN analyzer)

ในตัวอย่างชีวมวลและน้ำมันดิบชีวภาพมีธาตุองค์ประกอบคือ คาร์บอน ไฮโดรเจน และไนโตรเจน ทำการวิเคราะห์หาร้อยละโดยน้ำหนักของธาตุองค์ประกอบแต่ละชนิดด้วยเครื่องวิเคราะห์แบบแยกธาตุ ยี่ห้อ LECO รุ่น CHN 628 ดังแสดงในรูป 3.4



รูปที่ 3. 4 เครื่องวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (CHN analyzer)

### 3.2.9 เครื่องโครมาโทกราฟี (gas chromatography)

ผลิตภัณฑ์แก๊สที่ได้จากการไฮโดรเทอร์มอลลิควิแฟกชัน จะถูกนำไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบและปริมาณด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ ยี่ห้อ Shimadzu รุ่น GC 2014 ดังแสดงในรูป 3.5 ภาวะที่ใช้ในการวิเคราะห์แก๊สแสดงดังตารางที่ 3.1



รูปที่ 3. 5 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (gas chromatograph)

ตารางที่ 3. 1 ภาวะที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์แก๊สด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี

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

### 3.2.10 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี (gas chromatography-mass spectrometry)

น้ำมันดิบชีวภาพที่ได้จากการไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกชันจะถูกนำไปวิเคราะห์ห้องค์ประกอบด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี (gas chromatograph-mass spectrometry) ยี่ห้อ Shimadzu รุ่น QP-2010 ดังแสดงในรูป 3.6 และภาวะที่ใช้ในการวิเคราะห์น้ำมันดิบชีวภาพแสดงดังตารางที่ 3.2



รูปที่ 3. 6 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี  
(gas chromatograph-mass spectrometry)

ตารางที่ 3. 2 ภาวะที่ใช้ในการวิเคราะห์น้ำมันดิบชีวภาพด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี

แก๊สพา (carrier gas)	แก๊สฮีเลียม (He)
ชนิดคอลัมน์	DB-5 column
อุณหภูมิการฉีด (injector temperature)	200 องศาเซลเซียส
อุณหภูมิคอลัมน์ (oven column temperature)	40 ถึง 280 องศาเซลเซียส
อุณหภูมิท่อส่งผ่าน (transfer line temperature)	220 องศาเซลเซียส
อุณหภูมิในการผลิตไอออน (ion source temperature)	220 องศาเซลเซียส

### 3.2.11 เครื่องดิสทิลเลชันแก๊สโครมาโทกราฟี (distillation gas chromatograph)

การวิเคราะห์หาค่าประกอบในน้ำมันดิบชีวภาพโดยใช้การหาช่วงของจุดเดือด โดยใช้เครื่องดิสทิลเลชันแก๊สโครมาโทกราฟี (DGC) ยี่ห้อ Agilent Technologies รุ่น 6890N ตามมาตรฐาน ASTM D-2887



รูปที่ 3. 7 เครื่องดิสทิลเลชันแก๊สโครมาโทกราฟี (distillation gas chromatograph)

### 3.2.12 เครื่องหาปริมาณน้ำคาร์ล ฟิสเซอร์ (Karl-Fischer titration)

ปริมาณน้ำในน้ำมันดิบชีวภาพสามารถหาได้โดยใช้วิธีการไตเตรต คาร์ล ฟิสเซอร์ ด้วยเครื่อง METTER TOLEDO รุ่น V20 Volumetric KT titrator แสดงดังในรูปที่ 3.8



รูปที่ 3. 8 เครื่องวิเคราะห์หาปริมาณน้ำในน้ำมันดิบชีวภาพ (Karl-Fischer titrator)

### 3.2.13 เครื่องหาปริมาณกรดในน้ำมันดิบชีวภาพ (total acid number titration)

ปริมาณกรดในน้ำมันดิบชีวภาพหาได้โดยการไตเตรตด้วยเครื่อง METTLER TOLEDO รุ่น G20 compact titrator ดังแสดงในรูปที่ 3.9



รูปที่ 3. 9 เครื่องวิเคราะห์หาปริมาณกรดในน้ำมันดิบชีวภาพ  
(total acid number titrator)

### 3.3 ขั้นตอนดำเนินการวิจัย

#### 3.3.1 การเตรียมขานอ้อย

นำขานอ้อยไปตากแดดให้แห้ง จากนั้นนำมาบดและคัดขนาดด้วยเครื่องเขย่าตะแกรงร่อนให้อยู่ในช่วง 150 ถึง 250 ไมโครเมตร จากนั้นนำไปอบเพื่อไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

#### 3.3.2 การเตรียมน้ำมันพืชใช้แล้ว

นำน้ำมันพืชใช้แล้วมากำจัดเศษอาหารและสิ่งสกปรกขนาดใหญ่โดยการกรองด้วยผ้าขาวบาง

#### 3.3.3 การวิเคราะห์สมบัติของขานอ้อย

การวิเคราะห์แบบประมาณ (proximate analysis) เพื่อหาค่าความชื้น (moisture, ASTM E871-82), เถ้า (ash, ASTM D1102-84), ปริมาณสารระเหย (volatile matter, ASTM E872-82) และคำนวณหาคาร์บอนคงตัว (fixed carbon)

การวิเคราะห์แบบแยกธาตุองค์ประกอบ (ultimate analysis, ASTM D5291) เพื่อหาปริมาณร้อยละของธาตุองค์ประกอบคาร์บอน ไฮโดรเจน และไนโตรเจน โดยใช้เครื่องวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (CHN analyzer) ปริมาณร้อยละของธาตุออกซิเจนหาได้จากการคำนวณ โดยนำผลรวมของธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน และไนโตรเจนลบออกจากร้อยละโดยรวมของสาร

#### 3.3.4 การวิเคราะห์สมบัติของน้ำมันพืชใช้แล้ว

วิเคราะห์องค์ประกอบของน้ำมันพืชใช้แล้วด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี (gas chromatography mass spectrometry, GC/MS) นำไปวิเคราะห์ความเป็นกรดด้วยเครื่อง Compact titrator และวิเคราะห์ปริมาณน้ำด้วยเครื่อง Karl Fischer



### 3.3.5 การผลิตน้ำมันดิบชีวภาพด้วยไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชัน

- 1) ผสมชีวมวลกับตัวทำละลาย โดยชั่งชีวมวลตามอัตราส่วนที่กำหนดของชานอ้อยและน้ำมันพีซีใช้แล้วผสมกับตัวทำละลายน้ำ จากนั้นนำไปใส่ในเครื่องปฏิกรณ์แรงดันสูง
- 2) ประกอบเครื่องปฏิกรณ์ จากนั้นไล่แก๊สบนเปื้อนที่ค้างในเครื่องโดยการอัดแก๊สไนโตรเจน 1 เมกะพาสคัล จำนวน 3 ครั้ง จากนั้นทำการอัดแก๊สไนโตรเจนเริ่มต้น 2 เมกะพาสคัล ปรับอุณหภูมิให้ความร้อนแก่เครื่องปฏิกรณ์ตามอุณหภูมิที่กำหนดระหว่าง 300 กับ 350 องศาเซลเซียส ปรับความเร็วรอบใบกวนเท่ากับ 300 รอบต่อนาที กำหนดเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา คือ 60 นาที โดยเริ่มจับเวลาเมื่ออุณหภูมิในเครื่องปฏิกรณ์ถึงค่าอุณหภูมิที่กำหนด
- 3) เมื่อครบเวลาทำปฏิกิริยา ลดอุณหภูมิเครื่องปฏิกรณ์ลงจนถึง 35 องศาเซลเซียส
- 4) เก็บผลิตภัณฑ์ส่วนที่เป็นแก๊สในถุงเก็บแก๊สตัวอย่างขนาด 2 ลิตร จากนั้นนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบของแก๊สด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (gas chromatograph)
- 5) นำส่วนของแข็งและของเหลวที่ได้จากเครื่องปฏิกรณ์ มาทำการกรองแบบสุญญากาศ โดยใช้กระดาษกรอง Whatman เบอร์ 3 ใช้อะซิโตนในการชะล้างเพื่อเอาส่วนของน้ำมันออกให้หมด
- 6) นำส่วนของแข็งที่ได้จากการกรองไปอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำไปชั่งน้ำหนักแล้วไปคำนวณร้อยละโดยน้ำหนักของแข็ง
- 7) นำส่วนของเหลวที่ได้จากการกรองไปทำการระเหยตัวทำละลายของน้ำและอะซิโตนออก โดยใช้เครื่องระเหยแบบหมุนใต้ภาวะสุญญากาศที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ความดัน 20 กิโลพาสคัล จะได้ผลิตภัณฑ์ออกมาเป็น 2 ส่วนคือของเหลวสีดำน้ำตาลเรียกว่า น้ำมันดิบชีวภาพ (biocrude) และส่วนของเหลวผสมของผลิตภัณฑ์อื่นๆ ผสมกับตัวทำละลายน้ำและอะซิโตน
- 8) ชั่งน้ำมันดิบชีวภาพที่ได้ นำไปคำนวณหาร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพ จากนั้นนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบของน้ำมันด้วยเครื่อง GC-MS และวิเคราะห์แบบแยกธาตุด้วย CHN analyzer

การศึกษาการไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันของสารป้อนร่วมชานอ้อยและน้ำมันพีซีใช้แล้วมีตัวแปรที่ศึกษา ดังนี้

ก. อัตราส่วนของชีวมวลในการทำปฏิกิริยา

ผสมตัวทำละลายและสารชีวมวลในอัตราส่วน 1:10 โดยใช้ตัวทำละลายน้ำ 100 มิลลิลิตร กับสารชีวมวลผสม 10 กรัม อัตราส่วนดังตารางที่ 3.3 ความดันไนโตรเจนเริ่มต้น 2 เมกะพาสคัล อุณหภูมิที่ใช้คือ 300 และ 350 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบใบกวน 300 รอบต่อนาที เวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยา 60 นาที

ตารางที่ 3. 3 อัตราส่วนของสารป้อนที่ใช้

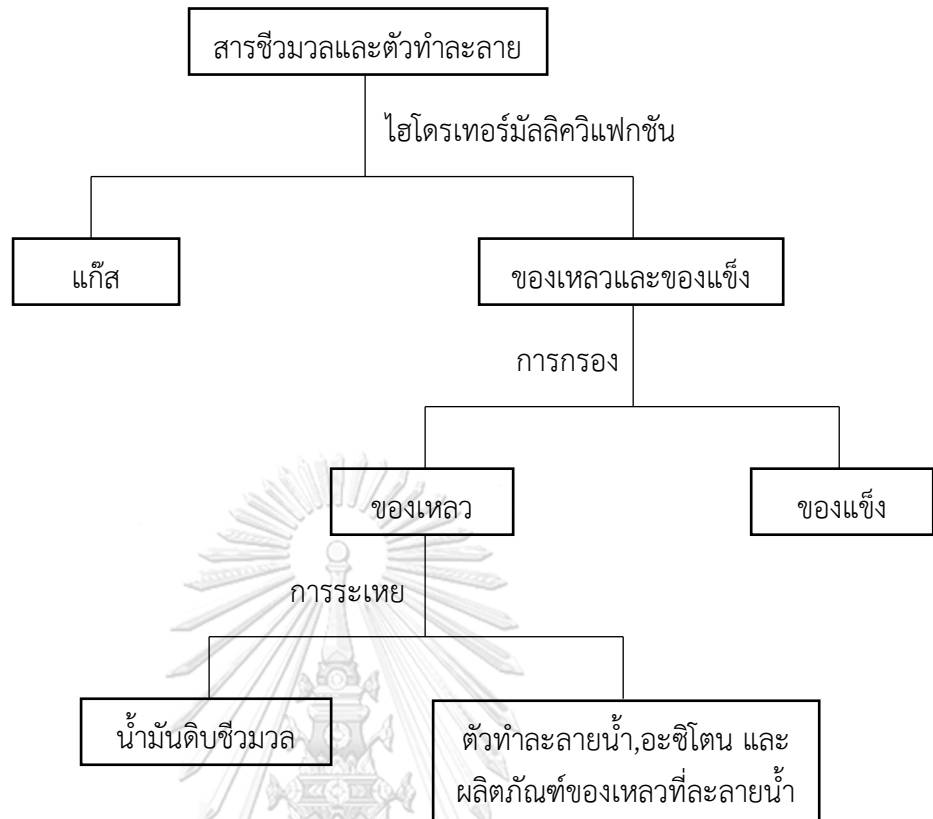
อัตราส่วนของสารชีวมวล	น้ำหนักขานอ้อย (กรัม)	น้ำหนักน้ำมันพืชใช้แล้ว (กรัม)
1:0	10	0
3:1	7.5	2.5
1:1	5	5
1:3	2.5	7.5
0:1	0	10

ข. อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา

ทำการทดลองที่อุณหภูมิ 300 และ 350 องศาเซลเซียส โดยใช้ชีวมวล 10 กรัม ตัวทำละลาย 100 มิลลิลิตร (อัตราส่วนสารชีวมวลต่อตัวทำละลาย 1:10 กรัมต่อมิลลิลิตร) ความดันไนโตรเจนเริ่มต้น 2 เมกะพาสคัล ความเร็วรอบใบกวน 300 รอบต่อนาที และเวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยา 60 นาที

ค. อัตราส่วนของสารชีวมวลต่อปริมาณตัวทำละลายที่ใช้

เลือกสารชีวมวลในอัตราส่วนผสมของสารป้อน ที่ให้ปริมาณน้ำมันดิบชีวภาพสูงสุดในแต่ละอุณหภูมิที่ทำการทดลอง ผสมตัวทำละลายและสารชีวมวลในอัตราส่วน 1:10 โดยใช้ตัวทำละลายน้ำ 100 มิลลิลิตร กับสารชีวมวลผสม 10 กรัม และ อัตราส่วน 1:20 โดยใช้ตัวทำละลายน้ำ 100 มิลลิลิตร กับสารชีวมวลผสม 5 กรัม ความดันไนโตรเจนเริ่มต้น 2 เมกะพาสคัล อุณหภูมิที่ใช้คือ 300 และ 350 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบใบกวน 300 รอบต่อนาที เวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยา 60 นาที



รูปที่ 3. 10 แผนผังขั้นตอนการทดลองในเครื่องปฏิกรณ์แรงดันสูง

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

ในงานวิจัยนี้ศึกษาการผลิตน้ำมันดิบชีวภาพโดยใช้กระบวนการไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันภายใต้เครื่องปฏิกรณ์แรงดันสูงแบบกะ โดยใช้สารป้อนชีวมวลผสม คือ ชานอ้อย และน้ำมันพีซีใช้แล้ว โดยศึกษาผลของปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อปริมาณร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพ ได้แก่ อัตราส่วนของสารป้อนชีวมวลผสมที่ใช้ อุณหภูมิที่เกิดปฏิกิริยา และอัตราส่วนของสารป้อนชีวมวลและตัวทำละลาย

#### 4.1 การวิเคราะห์ทางเคมีของชานอ้อยและน้ำมันพีซีใช้แล้ว

##### 4.1.1 การวิเคราะห์แบบประมาณของชานอ้อย

การวิเคราะห์แบบประมาณ (proximate analysis) เป็นการวิเคราะห์สารชีวมวลเบื้องต้นเพื่อหาองค์ประกอบโดยประมาณของชีวมวล ผลการวิเคราะห์แบบประมาณของชานอ้อยแสดงดังตารางที่ 4.1 จากการวิเคราะห์แบบประมาณ พบว่าชานอ้อยมีปริมาณความชื้นเท่ากับร้อยละ 7.75 โดยน้ำหนัก เถ้าเท่ากับร้อยละ 10.04 โดยน้ำหนัก สารระเหยเท่ากับร้อยละ 70.78 โดยน้ำหนัก และคาร์บอนคงตัวเท่ากับร้อยละ 11.43 โดยน้ำหนัก

ตารางที่ 4.1 การวิเคราะห์แบบประมาณของชานอ้อย

การวิเคราะห์แบบประมาณของชานอ้อย	ร้อยละโดยน้ำหนัก
ความชื้น (moisture)	7.75
เถ้า (ash)	10.04
สารระเหย (volatile matter)	70.78
คาร์บอนคงตัว (fixed carbon) <sup>a</sup>	11.43

<sup>a</sup> 100 - (ร้อยละความชื้น + ร้อยละปริมาณเถ้า + ร้อยละปริมาณสารระเหย)

##### 4.1.2 การวิเคราะห์แบบแยกธาตุและค่าความร้อนของชานอ้อยและน้ำมันพีซีใช้แล้ว

ผลการวิเคราะห์แบบแยกธาตุของชานอ้อยและน้ำมันพีซีใช้แล้วแสดงดังตารางที่ 4.2 จากงานวิจัยของ Poudel และคณะ [33] พบว่าปริมาณอัตราส่วนของธาตุออกซิเจนต่อคาร์บอน (O/C) ของสารชีวมวล หากมีค่าน้อยจะส่งผลให้ค่าความร้อนสูงสุดของสารชีวมวลมีค่าสูง สอดคล้องกับผลการทดลองที่ได้ จากการวิเคราะห์แบบแยกธาตุพบว่าค่า O/C ของน้ำมันพีซีใช้แล้วมีค่าน้อยกว่าชานอ้อย ค่าความร้อนสูงสุดของน้ำมันพีซีใช้แล้วจึงมีค่าสูงกว่าชานอ้อยด้วย ทั้งนี้เพราะธาตุออกซิเจนเป็นธาตุที่ไม่ปลดปล่อยความร้อนออกมาเมื่อเกิดการเผาไหม้ ดังนั้นเมื่อมีปริมาณธาตุออกซิเจนในสัดส่วนที่มากกว่า ย่อมทำให้ค่าความร้อนสูงสุดของสารชีวมวลลดลงไปด้วย [32]

ตารางที่ 4. 2 การวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (ultimate analysis) และค่าความร้อนของชานอ้อยและน้ำมันพืชใช้แล้ว

การวิเคราะห์แบบแยกธาตุ	ร้อยละโดยน้ำหนัก <sup>c</sup>	
	ชานอ้อย	น้ำมันพืชใช้แล้ว
คาร์บอน (carbon)	36.11	64.19
ไฮโดรเจน (hydrogen)	4.85	10.78
ไนโตรเจน (nitrogen)	0.17	0.73
ออกซิเจน (oxygen) <sup>d</sup>	40.57	23.13
ซัลเฟอร์ (sulfur)	0.63	1.19
อัตราส่วนไฮโดรเจนต่อคาร์บอน (H/C)	1.61	2.02
อัตราส่วนออกซิเจนต่อคาร์บอน (O/C)	0.84	0.27
ค่าความร้อน (HHV) <sup>e</sup> (เมกะจูล/กิโลกรัม)	14.46	33.12

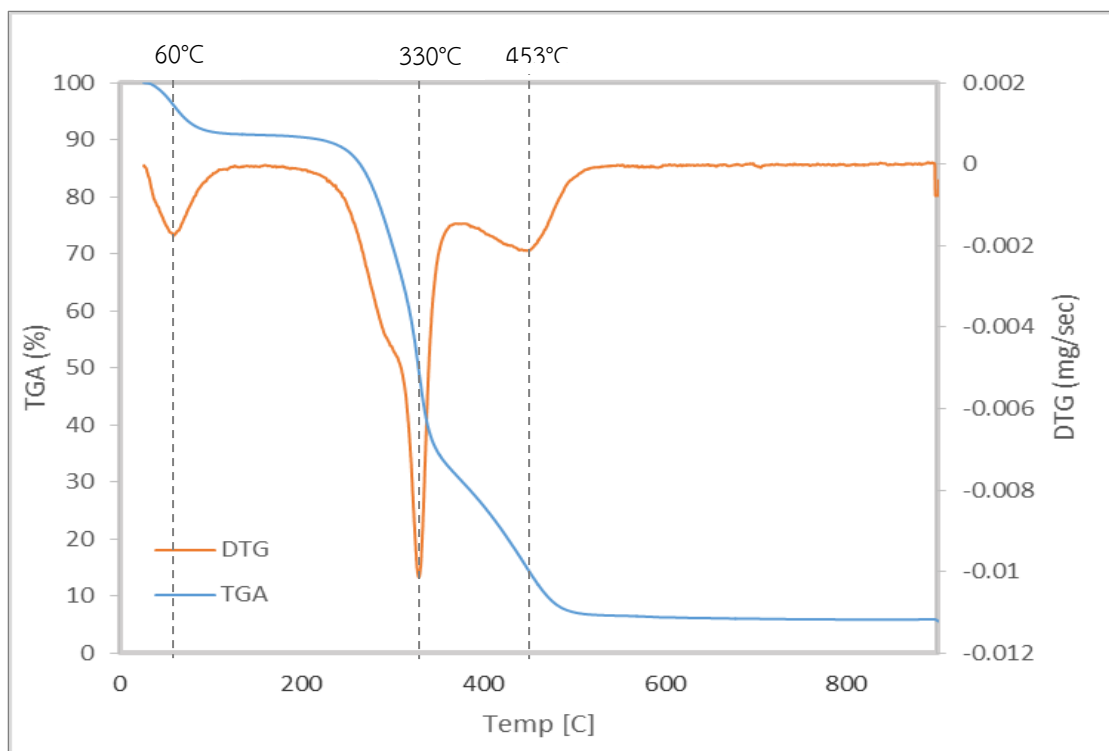
<sup>c</sup> ร้อยละโดยน้ำหนักที่ไม่รวมความชื้นและเถ้า

<sup>d</sup>  $100 - (\text{คาร์บอน} + \text{ไนโตรเจน} + \text{ซัลเฟอร์})$

<sup>e</sup>  $0.3386\text{คาร์บอน} + 1.444(\text{ไฮโดรเจน} - \text{ออกซิเจน}/8)$

#### 4.1.3 พฤติกรรมการสลายตัวของชานอ้อย

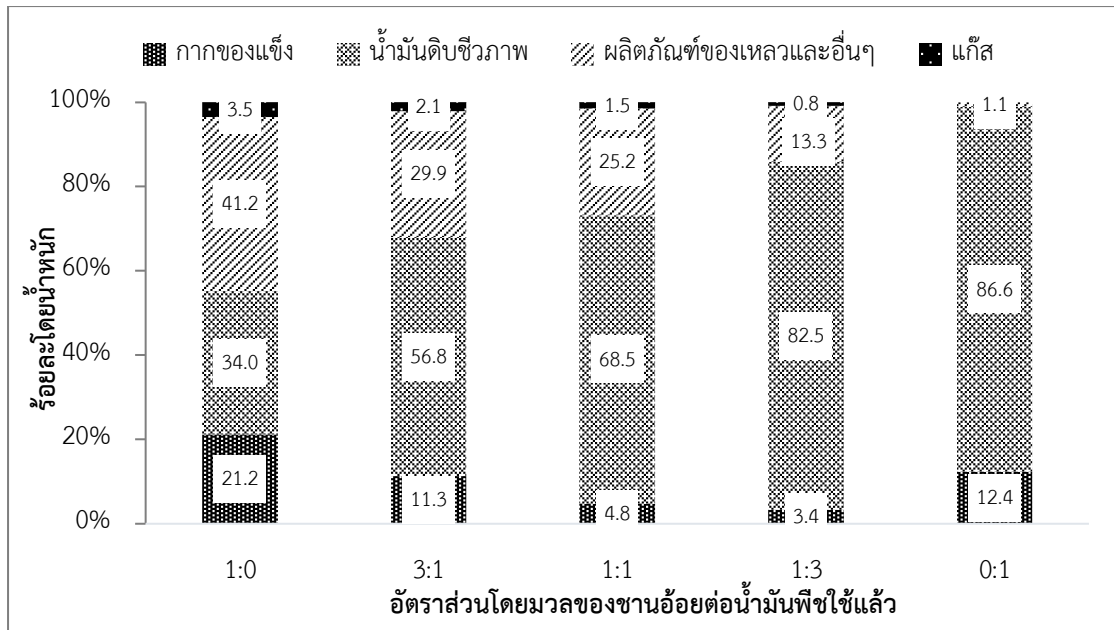
รูปที่ 4.1 แสดงพฤติกรรมการสลายตัวของชานอ้อย โดยการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค thermogravimetric analysis (TG-DTA) วิเคราะห์ช่วงอุณหภูมิ 0 ถึง 900 องศาเซลเซียส อัตราการให้ความร้อน 5 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของไนโตรเจน พบว่าภายใต้ความดันบรรยากาศการสลายตัวของชานอ้อยเริ่มมีการสลายตัวที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และมีการสลายตัวสูงสุดที่อุณหภูมิ 330 องศาเซลเซียส จากการวิเคราะห์การสลายตัวของชานอ้อยดังกล่าว งานวิจัยนี้ทำการศึกษาไฮโดรเทอร์มอลลิควิแพกชันที่ความดันเริ่มต้นสูงถึง 2 เมกะพาสคัล จึงกำหนดอุณหภูมิปฏิบัติการเท่ากับ 300 และ 350 องศาเซลเซียส



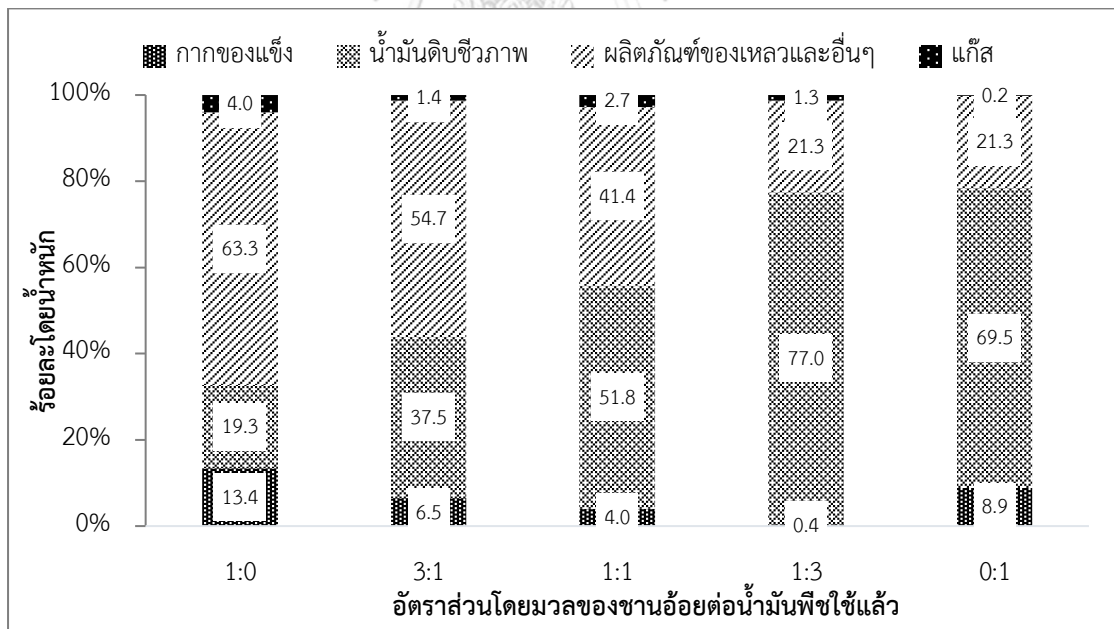
รูปที่ 4. 1 พฤติกรรมการสลายตัวทางความร้อนของขานอ้อยจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค TGA-DTG

#### 4.2 ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการไฮโดรเทอร์มอลลิควิแฟกชัน

จากการนำสารบ่อนชีวมวลที่มีอัตราส่วนของขานอ้อยและน้ำมันพีซีใช้แล้ว 1:0, 1:3, 1:1, 3:1 และ 0:1 ความดันไนโตรเจนเริ่มต้น 2 เมกะพาสคัล อัตราส่วนของสารบ่อนชีวมวลต่อตัวทำละลายน้ำ 1:10 ความเร็วรอบใบกวน 300 รอบต่อนาที เวลาที่ใช้ดำเนินปฏิกิริยา คือ 60 นาที ทำการทดลองที่อุณหภูมิ 300 และ 350 องศาเซลเซียส ผลิตภัณฑ์ที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.2 และ 4.3 ตามลำดับ จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ผลิตภัณฑ์ที่ได้ประกอบด้วยน้ำมันดิบชีวภาพและผลิตภัณฑ์ของเหลวเป็นองค์ประกอบหลัก นอกจากนี้ยังมีส่วนของกากของแข็งและแก๊สเป็นผลิตภัณฑ์ส่วนน้อย ผลิตภัณฑ์ของเหลวมีปริมาณมากในสารบ่อนที่เป็นขานอ้อย โดยเป็นส่วนของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ที่ถูกทำลายพันธะ เกิดเป็นสารประกอบโพลีแซคคาไรด์และโอลิโกแซคคาไรด์ รวมถึงอาจจะเกิดสารประกอบอื่นๆ ที่มีโมเลกุลขนาดเล็ก จุดเดือดต่ำ [33] จึงถูกระเหยออกไปในขั้นตอนของการระเหยกำจัดตัวทำละลาย ในงานวิจัยนี้มุ่งเน้นไปที่การศึกษาผลิตภัณฑ์ในส่วนของน้ำมันดิบชีวภาพ ซึ่งจะถูกนำไปวิเคราะห์และศึกษาถึงปัจจัยต่างๆ ในหัวข้อต่อไป



รูปที่ 4. 2 ร้อยละผลได้ของกากของแข็ง น้ำมันดิบชีวภาพ แก๊ส ของเหลวและอื่นๆ ในการทำไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชันของชานอ้อยร่วมกับน้ำมันพืชใช้แล้ว ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส



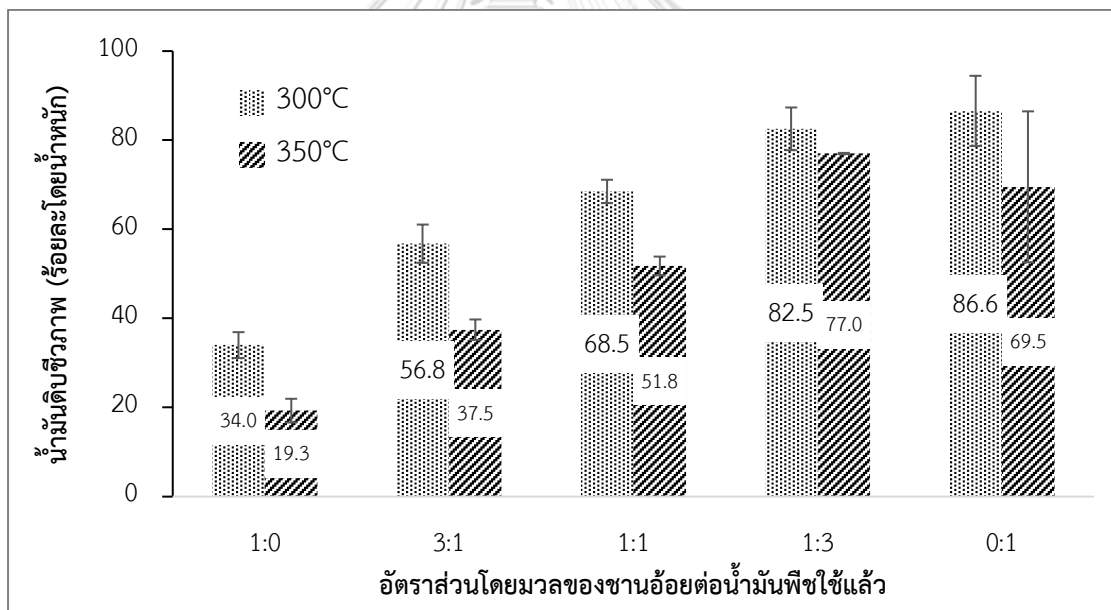
รูปที่ 4. 3 ร้อยละผลได้ของกากของแข็ง น้ำมันดิบชีวภาพ แก๊ส ของเหลวและอื่นๆ ในการทำไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชันของชานอ้อยร่วมกับน้ำมันพืชใช้แล้ว ที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส

### 4.3 ผลของปัจจัยต่างๆ ต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกซ์

#### 4.3.1 อุณหภูมิ

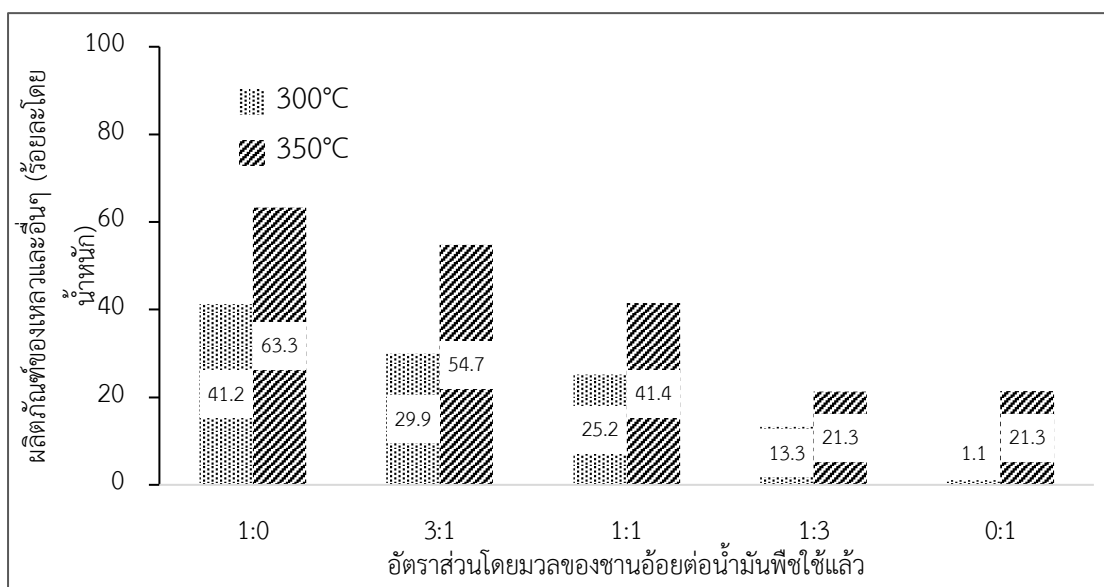
จากการไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกซ์ ในอัตราส่วนของสารป้อนชีวมวลขานอ้อยและน้ำมันพืชใช้แล้ว 1:0, 1:3, 1:1, 3:1 และ 1:0 ความดันไนโตรเจนเริ่มต้น 2 เมกะพาสคัล อัตราส่วนของสารป้อนชีวมวลต่อตัวทำละลายน้ำ 1:10 ความเร็วรอบใบกวน 300 รอบต่อนาที เวลาที่ใช้ดำเนินปฏิกิริยา คือ 60 นาที ทำการทดลองที่อุณหภูมิ 300 และ 350 องศาเซลเซียส ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.4

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ที่อุณหภูมิดำเนินปฏิกิริยา 300 องศาเซลเซียส ให้ปริมาณร้อยละของน้ำมันดิบชีวภาพสูงกว่าอุณหภูมิดำเนินปฏิกิริยา 350 องศาเซลเซียส ในทุกๆ อัตราส่วนของสารป้อนชีวมวล ทั้งนี้เป็นเพราะการเพิ่มอุณหภูมิที่สูงมากขึ้น ทำให้เกิดการทำให้ลายพันธะและเกิดการสลายตัวของผลิตภัณฑ์น้ำมันชีวภาพที่ได้ เกิดเป็นสารประกอบที่มีมวลโมเลกุลลดลงอื่นๆ สอดคล้องกับปริมาณผลิตภัณฑ์ของเหลวและอื่นๆ ที่เพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิดำเนินปฏิกิริยา ดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4. 4 อัตราส่วนของขานอ้อยต่อน้ำมันพืชใช้แล้วที่ส่งผลต่อร้อยละโดยน้ำหนักของน้ำมันดิบ ที่อุณหภูมิดำเนินปฏิกิริยา 300 และ 350 องศาเซลเซียส





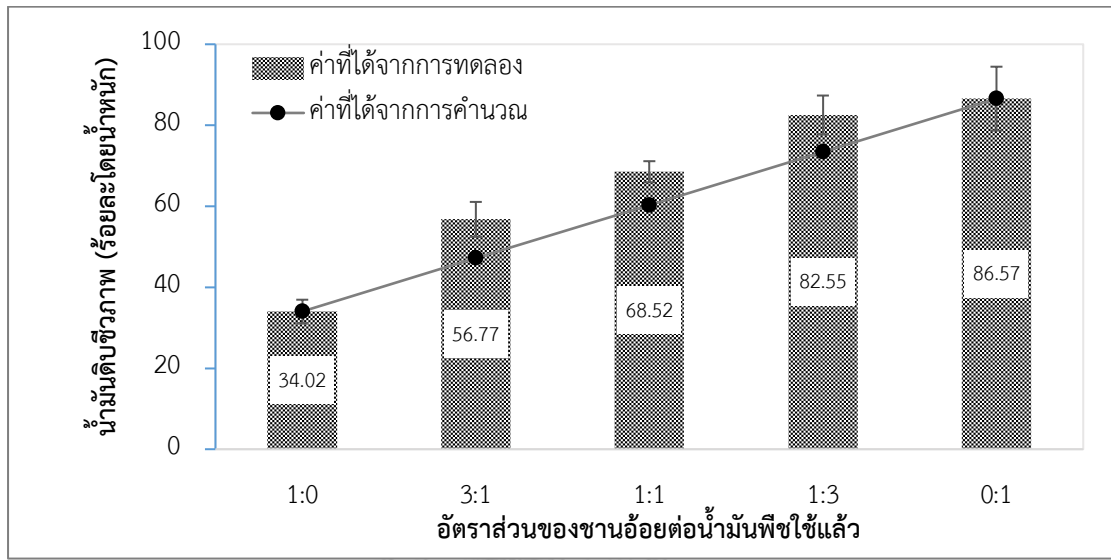
รูปที่ 4.5 อัตราส่วนของขานอ้อยต่อน้ำมันพีซีใช้แล้วที่ส่งผลต่อร้อยละโดยน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ของเหลวและอื่นๆ ที่อุณหภูมิดำเนินการปฏิกิริยา 300 และ 350 องศาเซลเซียส

#### 4.3.2 อัตราส่วนของสารป้อนชีวมวลที่ใช้

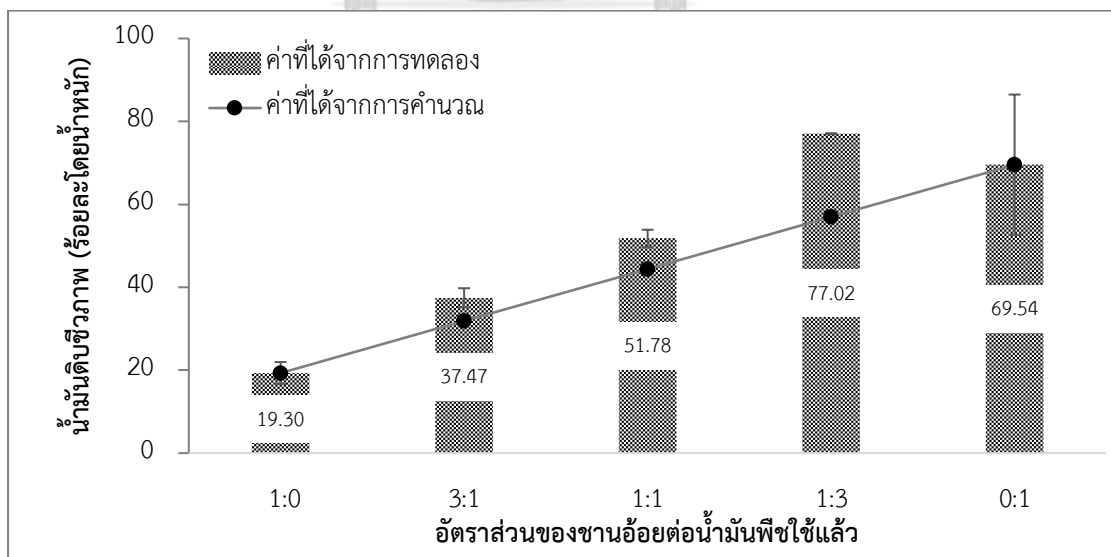
รูปที่ 4.6 แสดงผลของร้อยละโดยน้ำหนักของน้ำมันดิบชีวภาพที่อุณหภูมิดำเนินการปฏิกิริยา 300 องศาเซลเซียส โดยใช้อัตราส่วนของสารป้อนชีวมวลขานอ้อยและน้ำมันพีซีใช้แล้ว 1:0, 1:3, 1:1, 3:1 และ 1:0 ความดันไนโตรเจนเริ่มต้น 2 เมกะพาสคัล อัตราส่วนของสารป้อนชีวมวลต่อตัวทำละลายน้ำ 1:10 ความเร็วรอบใบกวน 300 รอบต่อนาที เวลาที่ใช้ดำเนินการปฏิกิริยา คือ 60 นาที จะเห็นได้ว่า ปริมาณร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพจากการทดลอง มีค่าสูงขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณสัดส่วนของน้ำมันพีซีใช้แล้วเมื่อเทียบกับค่าที่ได้จากการคำนวณ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในอัตราส่วนของขานอ้อยต่อน้ำมันพีซีใช้แล้วเท่ากับ 3:1 ปริมาณร้อยละของน้ำมันดิบชีวภาพที่ได้จากการทดลองจริงมีค่าสูงกว่าค่าที่ได้จากการคำนวณร้อยละ 9.61

เมื่อปรับเปลี่ยนอุณหภูมิดำเนินการปฏิกิริยาเป็น 350 องศาเซลเซียส โดยใช้อัตราส่วนและภาวะที่ดำเนินการเช่นเดียวกัน ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.7 จากการทดลองพบว่า ปริมาณร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพจากการทดลอง มีค่าสูงขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณสัดส่วนของน้ำมันพีซีใช้แล้วเมื่อเทียบกับค่าที่ได้จากการคำนวณเช่นกัน แต่ที่อัตราส่วนของขานอ้อยต่อน้ำมันพีซีใช้แล้วเท่ากับ 1:3 ปริมาณร้อยละของน้ำมันดิบชีวภาพที่ได้จากการทดลองจริงมีค่าสูงกว่าค่าที่ได้จากการคำนวณสูงถึงร้อยละ 19.97

จากผลการทดลองดังกล่าว จึงทำให้ผู้วิจัยได้เลือกผลิตภัณฑ์น้ำมันดิบชีวภาพจากอัตราส่วนของสารป้อนชีวมวลที่เหมาะสมในแต่ละอุณหภูมิดำเนินการมาวิเคราะห์สมบัติอื่นๆ ต่อไป โดยที่อุณหภูมิดำเนินการ 300 องศาเซลเซียส อัตราส่วนของสารป้อนขานอ้อยต่อน้ำมันพีซีใช้แล้วเท่ากับ 3:1 และที่อุณหภูมิดำเนินการ 300 องศาเซลเซียส อัตราส่วนของสารป้อนขานอ้อยต่อน้ำมันพีซีใช้แล้วเท่ากับ 1:3

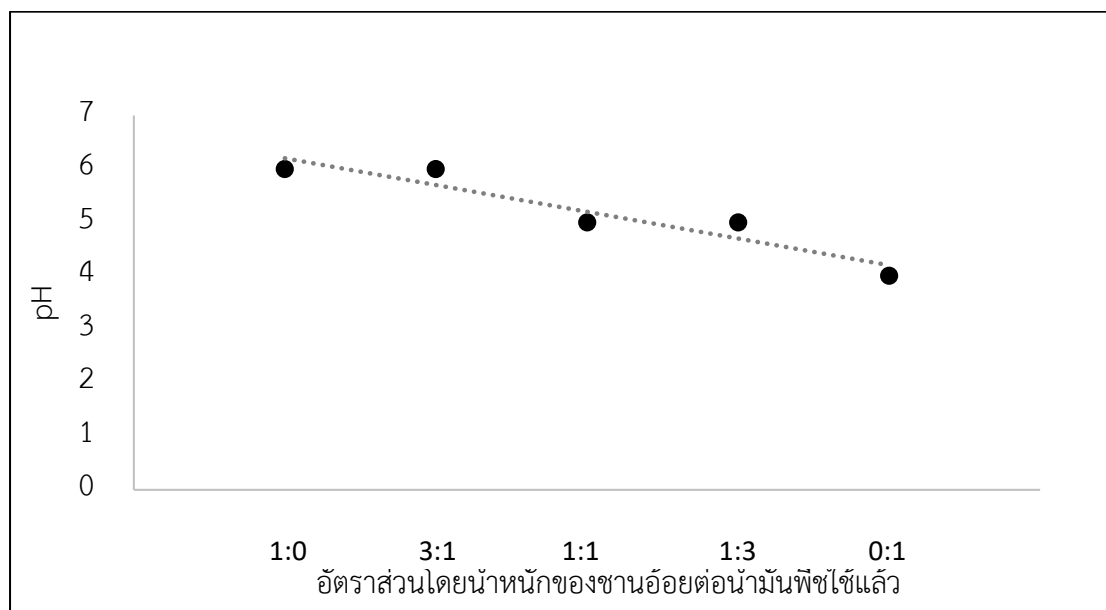


รูปที่ 4. 6 อัตราส่วนของขานอ้อยต่อน้ำมันพีซีใช้แล้วที่ส่งผลต่อร้อยละโดยน้ำหนักของน้ำมันดิบชีวภาพที่อุณหภูมิดำเนินการปฏิกิริยา 300 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4. 7 อัตราส่วนของขานอ้อยต่อน้ำมันพีซีใช้แล้วที่ส่งผลต่อร้อยละโดยน้ำหนักของน้ำมันดิบชีวภาพที่อุณหภูมิดำเนินการปฏิกิริยา 350 องศาเซลเซียส

การเพิ่มขึ้นของผลิตภัณฑ์น้ำมันดิบชีวภาพจากการใช้สารป้อนผสมมีความสัมพันธ์กับความ เป็นกรดของระบบ โดยอัตราส่วนของน้ำมันดิบชีวภาพที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ระบบมีความเป็นกรดมากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.8 ความเป็นกรดที่เพิ่มขึ้นนี้ส่งผลให้การไฮโดรไลซิสของสารป้อนผสมในระบบมี ประสิทธิภาพมากขึ้น [34] ส่งผลให้สารในระบบสามารถเกิดปฏิกิริยาดีพอลิเมอร์ไรเซชัน ปฏิกิริยาพอลิ เมอร์ไรเซชัน รวมถึงปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชัน (esterification) ได้ดีมากขึ้นไปด้วย



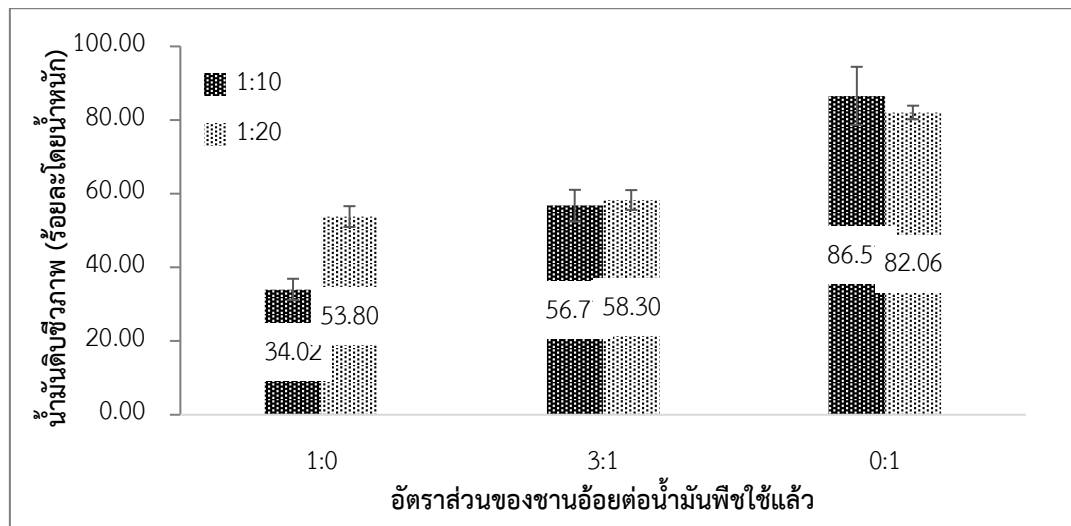
รูปที่ 4. 8 ค่า pH ของระบบที่อัตราส่วนของขานอ้อยและน้ำมันพีซีใช้แล้วต่างกัน

#### 4.3.3 อัตราส่วนของสารป้อนชีวมวลและตัวทำละลายที่ใช้

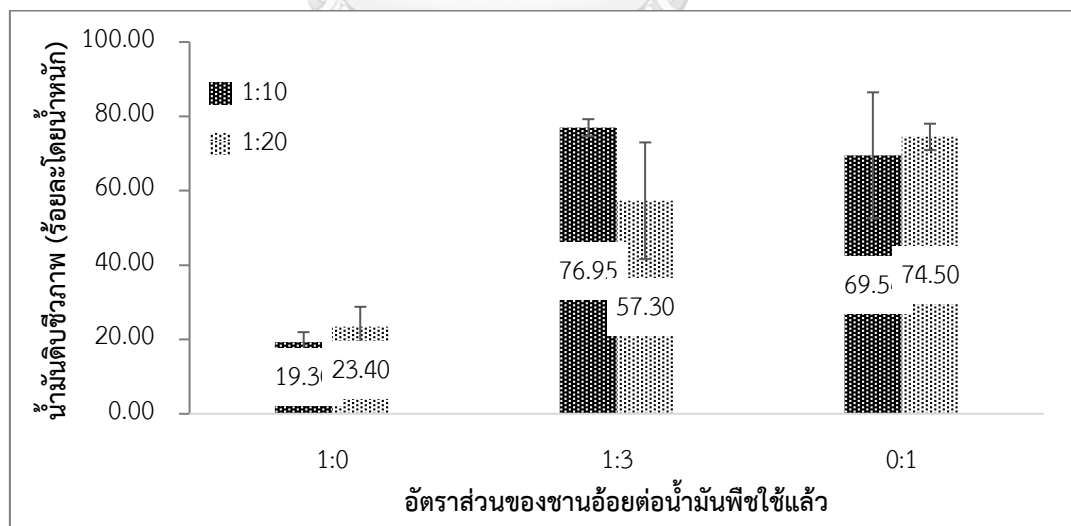
จากการไฮโดรเทอร์มัลลิควิฟิเคชันในอัตราส่วนของสารป้อนชีวมวลขานอ้อยและ น้ำมันพีซีใช้แล้ว ความดันไนโตรเจนเริ่มต้น 2 เมกะพาสคัล ความเร็วรอบใบกวน 300 รอบต่อนาที เวลาที่ใช้ดำเนินปฏิกิริยา คือ 60 นาที อัตราส่วนของขานอ้อยต่อน้ำมันพีซีใช้แล้วเท่ากับ 1:0, 3:1 และ 1:0 สำหรับการทดลองที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส และอัตราส่วนของขานอ้อยต่อน้ำมันพีซีใช้แล้ว เท่ากับ 1:0, 3:1 และ 1:0 สำหรับการทดลองที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส โดยปรับเปลี่ยน อัตราส่วนของสารป้อนชีวมวลต่อตัวทำละลายน้ำ 1:10 และ 1:20 ได้ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.9 และ 4.10

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การไฮโดรเทอร์มัลลิควิฟิเคชันโดยใช้อัตราส่วนของสารป้อน ชีวมวลต่อตัวทำละลายน้ำเท่ากับ 1:20 จะให้ปริมาณร้อยละโดยน้ำหนักของน้ำมันดิบชีวภาพมากกว่า ในทุกภาวะที่ใช้สารป้อนชีวมวลเป็นขานอ้อยที่เป็นเช่นนี้เพราะ การเพิ่มปริมาณตัวทำละลายจะทำให้ เกิดการแตกสลายของโมเลกุลเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินได้มากขึ้น จึงเกิดการเข้าทำปฏิกิริยา ดีพอลิเมอร์ไรเซชันได้ดีขึ้นด้วย [30] แต่การใช้สารป้อนชีวมวลเป็นน้ำมันพีซีใช้แล้ว รวมถึงการใช้สาร

ป้อนชีวมวลผสมที่มีสัดส่วนของน้ำมันพืชใช้แล้วร่วมด้วย จะทำให้ผลิตภัณฑ์น้ำมันดิบชีวภาพที่ได้มีแนวโน้มของร้อยละผลได้ไม่แน่นอน ทั้งนี้เป็นเพราะในน้ำมันพืชใช้แล้วมีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นกรดไขมันที่มีสายโซ่ยาว การเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสในน้ำมันพืชใช้แล้ว มีความไม่แน่นอนในการตัดสายโซ่ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จึงมีความไม่แน่นอนไปด้วยเช่นกัน



รูปที่ 4. 9 อัตราส่วนของสารป้อนชีวมวลต่อตัวทำละลายที่ส่งผลต่อร้อยละโดยน้ำหนักของน้ำมันดิบชีวภาพที่อุณหภูมิดำเนินปฏิกิริยา 300 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4. 10 อัตราส่วนของสารป้อนชีวมวลต่อตัวทำละลายที่ส่งผลต่อร้อยละโดยน้ำหนักของน้ำมันดิบชีวภาพที่อุณหภูมิดำเนินปฏิกิริยา 350 องศาเซลเซียส

#### 4.4 การวิเคราะห์สมบัติของน้ำมันดิบชีวภาพ

##### 4.4.1 การวิเคราะห์แบบแยกธาตุ ค่าความร้อน ค่าความเป็นกรดและปริมาณน้ำ ในน้ำมันดิบชีวภาพ

เมื่อนำน้ำมันดิบชีวภาพที่ได้จากการไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกซ์ในอัตราส่วนของสารป้อนชีวมวลผสมที่เหมาะสมในแต่ละอุณหภูมิดำเนินการปฏิกิริยา มาทำทดสอบวิเคราะห์แบบแยกธาตุ ค่าความร้อน ค่าความเป็นกรด และปริมาณน้ำในน้ำมันดิบชีวภาพ ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.3 และ 4.4 จากการทดสอบพบว่า ภาวะที่ให้น้ำมันดิบชีวภาพมีค่าความร้อนสูงสุดคือ ที่อุณหภูมิดำเนินการ 350 องศาเซลเซียส ในอัตราส่วนสารป้อนชานอ้อยต่อน้ำมันพีซีใช้แล้วเท่ากับ 1:3 โดยมีค่าความร้อนสูงสุดเท่ากับ 43.20 เมกะจูลต่อกิโลกรัม ทั้งนี้เป็นเพราะปริมาณอัตราส่วนของธาตุออกซิเจนต่อคาร์บอนของน้ำมันดิบมีค่าน้อย ธาตุออกซิเจนเป็นธาตุที่ไม่ปลดปล่อยความร้อนเมื่อเกิดการเผาไหม้ ดังนั้นเมื่อมีธาตุออกซิเจนเป็นองค์ประกอบน้อย จึงทำให้ค่าความร้อนสูงสุดของน้ำมันดิบชีวภาพมีค่ามากขึ้นไปด้วย [34]

เมื่อพิจารณาค่าความเป็นกรดของน้ำมันดิบชีวภาพพบว่า ที่อุณหภูมิดำเนินการปฏิกิริยา 300 องศาเซลเซียส อัตราส่วนสารป้อนชานอ้อยต่อน้ำมันพีซีใช้แล้วเท่ากับ 0:1 มีค่าความเป็นกรดมากที่สุดเท่ากับ 197.19 มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อกรัม และที่อุณหภูมิดำเนินการปฏิกิริยา 350 องศาเซลเซียส อัตราส่วนสารป้อนชานอ้อยต่อน้ำมันพีซีใช้แล้วเท่ากับ 1:3 มีค่าความเป็นกรดมากที่สุดเท่ากับ 185.74 มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อกรัม เมื่อเทียบกับที่อัตราส่วนสารป้อนอื่นๆแล้ว พบว่าค่าความเป็นกรดไม่ได้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นจึงถือว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความเป็นกรดใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 4.3 การวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (ultimate analysis) และค่าความร้อนของน้ำมันดิบชีวภาพ ที่อุณหภูมิดำเนินปฏิกิริยา 300 องศาเซลเซียส

การวิเคราะห์น้ำมันดิบชีวภาพแบบแยกธาตุ	ร้อยละโดยน้ำหนัก <sup>c</sup>		
	อัตราส่วนของสารป้อนชานอ้อยต่อ น้ำมันพืชใช้แล้ว		
	1:0	3:1	0:1
คาร์บอน (carbon)	52.31	68.64	77.89
ไฮโดรเจน (hydrogen)	6.38	9.68	12.58
ไนโตรเจน (nitrogen)	0.40	1.28	0.71
ออกซิเจน (oxygen) <sup>d</sup>	40.03	19.33	7.50
ซัลเฟอร์ (sulfur)	0.89	1.09	1.33
อัตราส่วนไฮโดรเจนต่อคาร์บอน (H/C)	1.46	1.69	1.94
อัตราส่วนออกซิเจนต่อคาร์บอน (O/C)	0.57	0.21	0.07
ค่าความร้อน (HHV) <sup>e</sup> (เมกะจูล/กิโลกรัม)	19.70	33.72	43.18
ความเป็นกรด (มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์/กรัม)	122.55	155.31	197.19
ปริมาณน้ำ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	14.02	6.15	2.29

<sup>c</sup> ร้อยละโดยน้ำหนักที่ไม่รวมความชื้นและเถ้า

<sup>d</sup>  $100 - (\text{คาร์บอน} + \text{ไนโตรเจน} + \text{ซัลเฟอร์})$

<sup>e</sup>  $0.3386\text{คาร์บอน} + 1.444(\text{ไฮโดรเจน} - \text{ออกซิเจน}/8)$

ตารางที่ 4. 4 การวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (ultimate analysis) และค่าความร้อนของน้ำมันดิบชีวภาพ ที่อุณหภูมิดำเนินปฏิกิริยา 350 องศาเซลเซียส

การวิเคราะห์น้ำมันดิบชีวภาพแบบแยกธาตุ	ร้อยละโดยน้ำหนัก <sup>c</sup>		
	อัตราส่วนของสารป้อนชานอ้อยต่อ น้ำมันพืชใช้แล้ว		
	1:0	1:3	0:1
คาร์บอน (carbon)	70.76	78.77	76.11
ไฮโดรเจน (hydrogen)	7.88	12.37	12.84
ไนโตรเจน (nitrogen)	1.27	0.17	0.14
ออกซิเจน (oxygen) <sup>d</sup>	19.24	7.35	9.49
ซัลเฟอร์ (sulfur)	0.87	1.35	1.43
อัตราส่วนไฮโดรเจนต่อคาร์บอน (H/C)	1.34	1.89	2.03
อัตราส่วนออกซิเจนต่อคาร์บอน (O/C)	0.75	0.07	0.09
ค่าความร้อน (HHV) <sup>e</sup> (เมกะจูล/กิโลกรัม)	31.86	43.20	42.60
ความเป็นกรด (มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์/กรัม)	64.14	185.74	177.07
ปริมาณน้ำ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	17.14	4.80	6.34

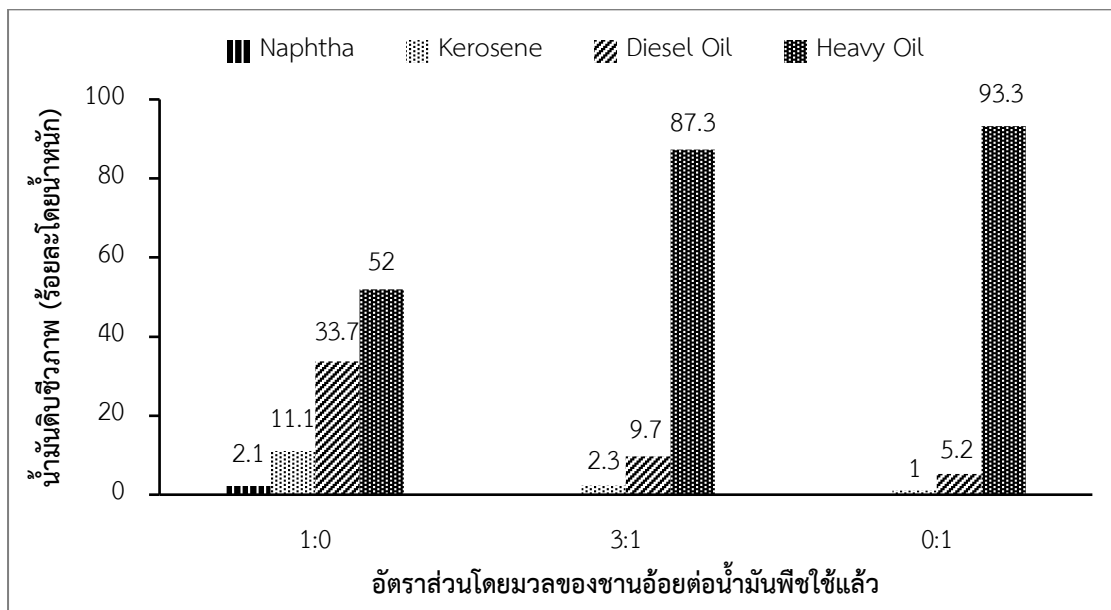
<sup>c</sup> ร้อยละโดยน้ำหนักที่ไม่รวมความชื้นและเถ้า

<sup>d</sup>  $100 - (\text{คาร์บอน} + \text{ไนโตรเจน} + \text{ซัลเฟอร์})$

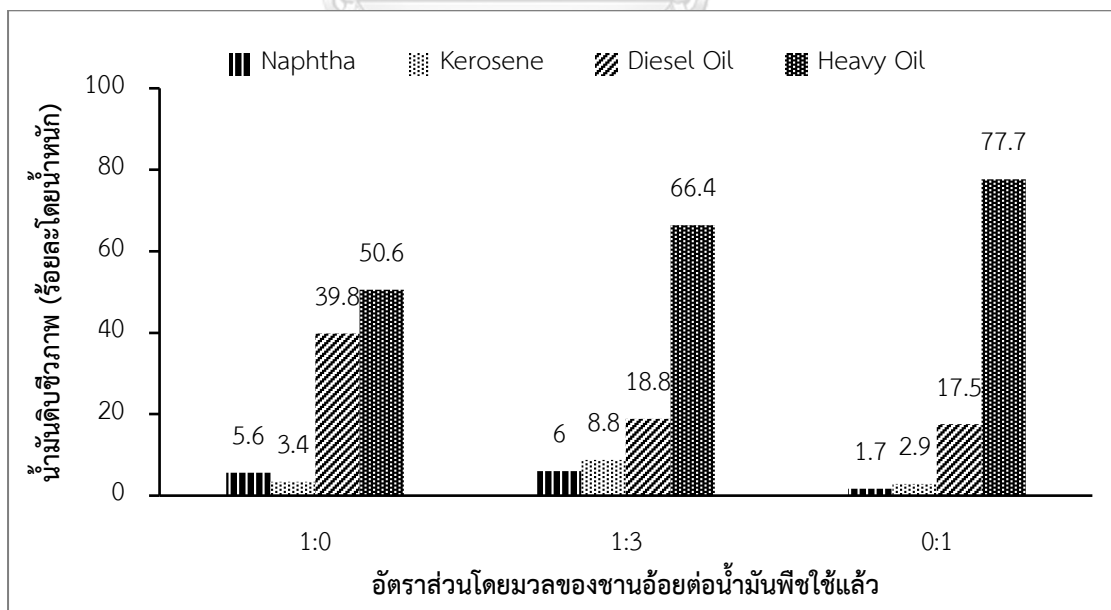
<sup>e</sup>  $0.3386\text{คาร์บอน} + 1.444(\text{ไฮโดรเจน} - \text{ออกซิเจน}/8)$

#### 4.4.2 การวิเคราะห์หองค์ประกอบในน้ำมันดิบชีวภาพโดยใช้การหาช่วงของจุดเดือด

รูปที่ 4.11 และ 4.12 แสดงผลการวิเคราะห์องค์ประกอบในน้ำมันดิบชีวภาพตามช่วงจุดเดือดที่อุณหภูมิดำเนินการปฏิกิริยา 300 และ 350 องศาเซลเซียส ตามลำดับ โดยใช้เทคนิคดิสทิลเลชันแก๊สโครมาโทกราฟี



รูปที่ 4.11 องค์ประกอบในน้ำมันดิบชีวภาพโดยใช้การหาช่วงของจุดเดือด ที่อุณหภูมิดำเนินการปฏิกิริยา 300 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.12 องค์ประกอบในน้ำมันดิบชีวภาพโดยใช้การหาช่วงของจุดเดือด ที่อุณหภูมิดำเนินการปฏิกิริยา 350 องศาเซลเซียส



พบว่าในทุกๆภาวะการทดลองจะให้ผลิตภัณฑ์ในส่วนของน้ำมันเตา (heavy oil) มากที่สุด เพราะนอกจากปฏิกิริยาดีพอลิเมอไรเซชันที่เกิดขึ้นแล้ว ระบบสามารถเกิดปฏิกิริยาดีพอลิเมอไรเซชัน ได้จึงทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ส่วนนี้มาก การไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันที่อุณหภูมิดำเนินปฏิกิริยา 300 องศาเซลเซียส มีปริมาณของผลิตภัณฑ์น้ำมันหนักสูงกว่าที่อุณหภูมิดำเนินปฏิกิริยา 350 องศาเซลเซียส ในทุกๆ อัตราส่วนโดยน้ำหนักของสารป้อนที่ใช้ ทั้งนี้เป็นเพราะว่าที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ทำให้เกิดการตัดสายโซ่ผ่านกระบวนการไฮโดรไลซิส (hydrolysis) ของสารในระบบได้น้อยกว่า ต่อมาเมื่อพิจารณาที่อุณหภูมิดำเนินปฏิกิริยา 350 องศาเซลเซียส พบว่าเมื่อใช้สารป้อนผสมของชานอ้อยและน้ำมันพีซีแล้ว จะทำให้ผลิตภัณฑ์ในส่วนของน้ำมันหนักและน้ำมันดีเซลมีปริมาณลดลงเมื่อเทียบกับการใช้สารป้อนเพียงชนิดเดียว ทั้งนี้เป็นเพราะการเพิ่มอัตราส่วนของน้ำมันพีซีแล้ว มีผลทำให้ความเป็นกรดในระบบลดลง เกิดการไฮโดรไลซิสได้มากขึ้น จึงทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ส่วนที่เป็นสารโซ่สั้นกว่า จำพวกสารประกอบแนฟทา (naphtha) รวมถึงเคโรซีน (kerosene) ได้มากขึ้น

#### 4.4.3 การวิเคราะห์องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรสโกปี

จากการไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันของชานอ้อยร่วมกับน้ำมันพีซีแล้ว ที่อุณหภูมิดำเนินปฏิกิริยา 350 องศาเซลเซียส ที่อัตราส่วนของสารป้อนชานอ้อยต่อน้ำมันพีซีแล้วเท่ากับ 1:0, 3:1 และ 0:1 ตารางที่ 4.5 แสดงผลของการวิเคราะห์หาองค์ประกอบผลิตภัณฑ์น้ำมันดิบชีวภาพด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี (gas chromatograph – mass spectrometry) พบว่าผลิตภัณฑ์น้ำมันดิบชีวภาพที่ได้จากกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันของชานอ้อยร่วมกับน้ำมันพีซีแล้วในอัตราส่วนโดยน้ำหนักเท่ากับ 1:0 มีร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพเท่ากับ 19.30 ประกอบด้วยสารประกอบที่เป็นกรด (acids compounds) เป็นองค์ประกอบหลัก ซึ่งเกิดจากกระบวนการไฮโดรไลซิส (hydrolysis) และพอลิเมอไรเซชัน (polymerization) [37] เมื่อใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนักของสารป้อนชีวมวลเท่ากับ 0:1 จะให้ร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพเท่ากับ 69.54 น้ำมันดิบชีวภาพที่ได้จะประกอบด้วยสารที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ (other oxygenates) โดยเป็นสารประกอบประเภทเอสเทอร์ (ester) และเมื่อใช้สารป้อนชีวมวลผสมของชานอ้อยและน้ำมันพีซีแล้วในอัตราส่วนโดยน้ำหนักเท่ากับ 1:3 ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีร้อยละผลได้เพิ่มขึ้นเป็น 76.95 องค์ประกอบที่ได้จะเป็นสารประกอบเอสเทอร์เป็นองค์ประกอบหลัก

ตารางที่ 4. 5 ผลของการวิเคราะห์หาองค์ประกอบผลิตภัณฑ์น้ำมันดิบชีวภาพด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี (gas chromatograph – mass spectrometry)

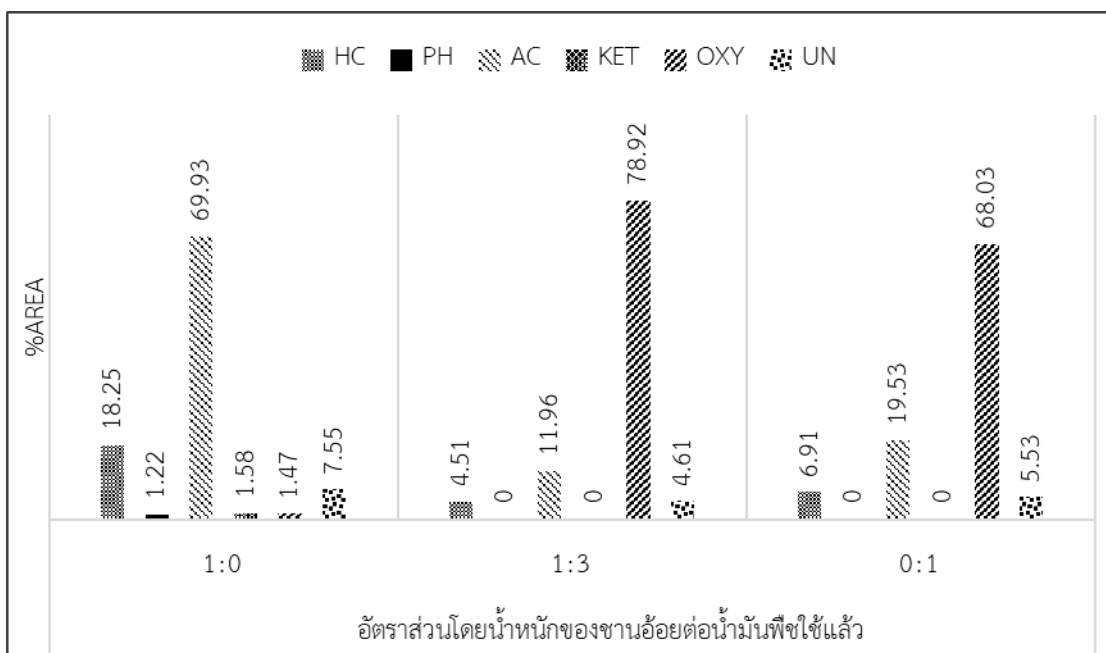
No	Retention time (min)	Chemical name	% Area		
			BG <sup>f</sup> to UCO <sup>g</sup> weight ratio		
			1:0	1:3	0:1
1	5.943	p-Benzoquinone	0.46	-	-
2	6.908	Decane	-	0.21	0.38
3	7.116	p-Benzoquinone, 2-methyl-	1.12	-	-
4	9.079	Dodecane	2.83	0.68	0.99
5	9.787	1,2-Benzenediol, 3-methoxy-	0.37	-	-
6	10.594	Phenol, 2,6-dimethoxy-	0.85	-	-
7	10.954	Tetradecane	5.26	1.15	1.66
8	12.015	Dodecanoic acid, methyl ester	-	0.17	-
9	12.295	Dodecanoic acid	-	0.42	-
10	12.612	Hexadecane	4.32	1.02	1.49
11	13.569	Myristic acid, methyl ester	-	1.55	1.66
12	13.813	Myristic acid	-	0.20	0.29
13	14.100	Octadecane	3.14	0.71	1.00
14	14.973	Hexadecanoic acid, methyl ester	1.47	32.64	40.22
15	15.201	n-Hexadecanoic acid	36.69	3.40	11.03
16	15.448	Eicosane	1.91	0.42	0.81
17	16.118	9-Octadecenoic acid (Z)-, methyl ester	-	20.09	18.98
18	16.150	10-Octadecenoic acid (Z)-, methyl ester	-	7.32	-
19	16.255	Methyl stearate	-	7.64	4.82
20	16.339	9-Octadecenoic acid, (E)-	22.31	-	-
21	16.383	6-Octadecenoic acid	-	0.57	4.41
22	16.459	Octadecanoic acid	10.93	1.20	3.80

ตารางที่ 4.5 (ต่อ)

No	Retention time (min)	Chemical name	% Area		
			BG <sup>f</sup> to UCO <sup>g</sup> weight ratio		
			1:0	1:3	0:1
23	16.636	Methyl 9-cis, 11-trans-octadecadienoate	-	-	1.08
24	16.678	Docosane	0.79	0.32	0.58
25	17.182	Oxiraneotanoic acid, 3-octyl-, methyl ester	-	-	0.79
26	17.429	Eicosanoic acid, methyl ester	-	0.37	0.48
27	20.107	1,3-benzenedicarboxylic acid, 5-[[[4-bromophenyl)sulfonyl]oxy]-, dimethyl ester	-	6.17	-
28	25.298	Tetracosamethylcyclododecasiloxane	-	9.14	-

<sup>f</sup> ชานอ้อย (bagasse)

<sup>g</sup> น้ำมันพืชใช้แล้ว (used cooking oil)



รูปที่ 4. 13 องค์ประกอบของน้ำมันดิบชีวภาพที่ได้จากกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันที่อุณหภูมิดำเนินการปฏิกริยา 350 องศาเซลเซียส

รูปที่ 4.13 แสดงองค์ประกอบของน้ำมันดิบชีวภาพที่ได้จากกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันที่อุณหภูมิดำเนินการปฏิกริยา 350 องศาเซลเซียส โดยที่ HC คือ สารประกอบไฮโดรคาร์บอน (hydrocarbon) PH คือ สารประกอบประเภทฟีโนลิก (phenolic compounds) AC คือ สารประกอบที่เป็นกรด (acid compounds) KET คือ สารประกอบคีโตน (ketone) OXY คือ สารที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ ได้แก่ แอลดีไฮด์ (aldehydes) เอสเทอร์ (esters) และแอลกอฮอล์ (alcohols) และ UN คือ องค์ประกอบอื่นๆ (unknown)

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ศึกษาการผลิตน้ำมันดิบชีวภาพจากการไฮโดรเทอร์มัลโคลิควิแพกซ์ของสารบ่อนผสมของขานอ้อยและน้ำมันพีซีแล้ว โดยศึกษาผลของปัจจัยดำเนินงานต่างๆ ได้แก่ การดำเนินปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 300 และ 350 องศาเซลเซียส อัตราส่วนโดยน้ำหนักของสารบ่อนรวมขานอ้อยต่อน้ำมันพีซีแล้วเท่ากับ 1:0, 3:1, 1:1, 1:3 และ 0:1 อัตราส่วนโดยน้ำหนักต่อปริมาตรของสารบ่อนและตัวทำละลายน้ำเท่ากับ 1:10 และ 1:20 โดยทำการทดลองดำเนินการในภาวะความดันไนโตรเจนเริ่มต้นที่ 2 MPa ความเร็วรอบใบกวนเท่ากับ 300 รอบต่อนาที จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้

##### 5.1.1 ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการดำเนินปฏิกิริยา

อุณหภูมิที่สูงมากเกินไปจะทำให้เกิดการทำให้ละลายพันธะในสารบ่อนชีวมวล รวมไปถึงการสลายตัวของผลิตภัณฑ์น้ำมันดิบชีวภาพที่ได้ด้วย ทำให้ปริมาณร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพที่ได้ลดลง

##### 5.1.2 ผลของอัตราส่วนของสารบ่อนผสมชีวมวลที่ใช้

ที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียสอัตราส่วนโดยน้ำหนักของสารบ่อนผสมขานอ้อยต่อน้ำมันพีซีแล้วเท่ากับ 1:3 แสดงให้เห็นถึงผลของการทำงานเสริมกันของสารบ่อนรวมผสมที่ส่งผลต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์น้ำมันดิบชีวภาพมากที่สุด เพราะสัดส่วนของน้ำมันพีซีแล้วที่เพิ่มขึ้นในสารบ่อนผสม จะทำให้ระบบมีความเป็นกรดมากขึ้น จึงเกิดการไฮโดรไลซิสของสารได้มากขึ้น

##### 5.1.3 ผลของอัตราส่วนของสารบ่อนผสมชีวมวลและตัวทำละลายน้ำ

การเพิ่มปริมาณตัวทำละลายในกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลโคลิควิแพกซ์ จะทำให้เกิดการแตกสลายของโมเลกุลใหญ่ได้มากขึ้น จึงเกิดการเข้าทำปฏิกิริยาตีพอลิเมอร์ไรเซชันได้ดีขึ้นในสถานะที่สารบ่อนชีวมวลเป็นขานอ้อย แต่เมื่อเพิ่มสัดส่วนของน้ำมันพีซีแล้วลงในสารบ่อนชีวมวลผสมจะทำให้ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความไม่แน่นอน อันเนื่องมาจากความไม่แน่นอนของการตัดสายโซ่ยาวในน้ำมันพีซีแล้ว

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ศึกษาผลของความเป็นกรดที่มีผลต่อการไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันของสารชีวมวล โดยการใช้การเติมกรดเพื่อควบคุมค่า pH

5.2.2 ศึกษาชนิดของสารชีวมวลโดยเปรียบเทียบจากการเติมเซลล์ูโลส ลิกนิน ที่มีผลต่อ ร้อยละผลได้จากการไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันร่วมกับน้ำมันพืชใช้แล้ว



## บรรณานุกรม

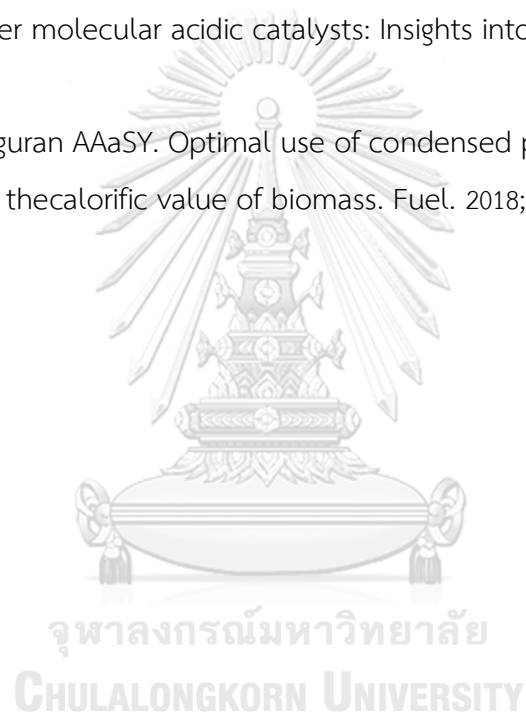
1. Kerdchuen T. Renewable Energy in Thailand: Opportunity and Technology Allocation. Energy Procedia. 2013;34:13-6.
2. Mohtasham J. Review Article-Renewable Energies. Energy Procedia. 2015;74:1289-97.
3. Ozcan H, Dincer I. Comprehensive Energy Systems. 2018.
4. Gavrilesco M. Biomass power for energy and sustainable development 2008.
5. สัจจกุลนุกิจ รัตบพแบ. โครงการแนวทางการ ส่งเสริมมาตรฐานเชื้อเพลิงชีวมวลแปรรูปในภาคอุตสาหกรรม Study of Biomass Transformation for Industrial Sector. . 2555.
6. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. คู่มือการพัฒนาและการลงทุนผลิตพลังงานทดแทน. 2554.
7. Parmar K. Biomass- An Overview on Composition Characteristics and Properties. IRA-International Journal of Applied Sciences. 2017;07:42-51.
8. parmar K. Biomass-An Overview on Composition Characteristics and Properties. IRA-International Journal of Applied Sciences. 2017;7:42-51.
9. Kubilay Tekin SKaSB. A review of hydrothermal biomass processing. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2014;40:673-87.
10. Hemicellulose <https://www.e-education.psu.edu/egee439/node/664> [
11. Lignin <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/3289/lignin> [
12. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. รายงานฉบับสมบูรณ์โครงการสนับสนุนเพื่อการศึกษา ความเป็นไปได้ของโครงการสถานีผลิตพลังงานสีเขียว Distributed-Green-Generation : DGC. 2556.
13. Yokoyama S. คู่มือสารชีวมวลเอเชีย แนวทางสำหรับการผลิตและการใช้สารชีวมวล 2008.
14. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. คู่มือการพัฒนาและลงทุนพลังงานทดแทน ชุดที่ 42554.
15. ฐานข้อมูลศักยภาพภาพชีวมวลในประเทศไทยประจำปีเพาะปลูก พ.ศ. 2556 <http://webkc.dede.go.th/testmax/node/2450> [
16. สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชนโดยพระราชประสงค์ในพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว <http://kanchanapisek.or.th/kp6/sub/book/book.php?book=5&chap=3&page=t5-3-infodetail01.html> [
17. กระทรวงพลังงาน ก. โครงการศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตเอทานอลจากเซลลูโลสเชิงพาณิชย์. 2555.
18. กระทรวงอุตสาหกรรม ส. รายงานการผลิตอ้อยของประเทศไทยประจำปีการผลิต 2560-61 <http://www.ocsb.go.th/upload/journal/fileupload/923-3254.pdf> [

19. น้ำมันพืช <https://taibann.com/2019/02/11/37534/> [
20. Stauffer E, Dolan JA, Newman R. Fire Debris Analysis 2008.
21. M.H. Farhad ABMAM, M. Hasanuzzman, N.A. Rahim. Technical review on biomass conversion processes into required energy form. IEEE Conference on Clean Energy and Technology (CEAT). 2013:200-5.
22. สุภกร บุญยืน มมม. การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมัน ปาล์มโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์ บนตัวรองรับที่เป็นเศษแก้ว. วารสาร วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 2559;6.
23. Gollakota ARK, Kishore N, Gu S. A Review on Hydrothermal Liquefaction of Biomass 2017.
24. Innovation Toronto <http://www.innovationtoronto.com/2016/11/biocrude-oil-from-sewage-is-the-future-and-its-almost-here/> [
25. Jerome A. Ramirez RJBaTJR. A Review of Hydrothermal Liquefaction Bio-Crude Properties and Prospects for Upgrading to Transportation Fuels. energies. 2015;8:6765-94.
26. TAKUYA ITO YK, KATSUMI HIRANO, KOJI YOSHIDA, SHOUZO ITAGAKI, MASAHIKO KAJIOKA, HIDEKI YAMADA and TOSHIHIKO OKADA. CO-LIQUEFACTION OF CELLULOSIC BIOMASS AND POLYPROPYLENE TO PRODUCE LIQUID FUEL. CELLULOSE CHEMISTRY AND TECHNOLOGY. 2015;49:543-8.
27. . !!! INVALID CITATION !!! .
28. Linxi Yanga QSH, Peter Havarda, Kenneth Corscaddena, Chunbao (Charles) Xub and Xuan Wang. Co-liquefaction of spent coffee grounds and lignocellulosic feedstocks. Bioresource Technology. 2017;237:108-21.
29. Rajdeep Shakyaa SA, Ravishankar Mahadevana, Saravanan R. Shanmugama, Hyungseok Nama, El Barbary Hassanb and Thomas A. Dempster. Influence of biochemical composition during hydrothermal liquefaction of algae on product yields and fuel properties. Bioresource Technology. 2017;243:1112-20.
30. Wan-Ting Chena YZ, Jixiang Zhanga, Lance Schidemana, Guo Yua, Peng Zhanga and Mitchell Minarick. Co-liquefaction of swine manure and mixed-culture algal biomass from a wastewater treatment system to produce bio-crude oil. Applied Energy.



2014;128:209-16.

31. Demirbas A. Effects of Moisture and Hydrogen Content on the Heating Value of Fuels. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*. 2007;29:649-55.
32. Oh JPaSC. Effect of Torrefaction on the Properties of Corn Stalk to Enhance Solid Fuel Qualities. *energies*. 2014;7:5586-600.
33. Negahdar L, Delidovich I, Palkovits R. Aqueous-phase hydrolysis of cellulose and hemicelluloses over molecular acidic catalysts: Insights into the kinetics and reaction mechanism 2015.
34. Ayse Ozyuguran AAaSY. Optimal use of condensed parameters of ultimate analysis to predict the calorific value of biomass. *Fuel*. 2018;214:640-6.





จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
**CHULALONGKORN UNIVERSITY**

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	กัศราศ์ รอดทอง
วัน เดือน ปี เกิด	27 พฤษภาคม 2536
สถานที่เกิด	พระนครศรีอยุธยา
วุฒิการศึกษา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ที่อยู่ปัจจุบัน	12 หมู่ 1 ตำบล ไผ่ลิง อำเภอ พระนครศรีอยุธยา จังหวัด พระนครศรีอยุธยา 13000



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY