

ผลของซาร์จากชีวมวลต่อการผลิตน้ำมันดิบชีวภาพโดยไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชัน



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเคมีเทคนิค ภาควิชาเคมีเทคนิค

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2562

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Effects of Biomass-Derived Char on Biocrude Production by Hydrothermal
Liquefaction



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

Department of Chemical Technology

FACULTY OF SCIENCE

Chulalongkorn University

Academic Year 2019

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลของซาร์จากชีวมวลต่อการผลิตน้ำมันดิบชีวภาพโดย
	ไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกชัน
โดย	นายกัปตัน สมบูรณ์ชนะชัย
สาขาวิชา	เคมีเทคนิค
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.ประพันธ์ คูชลธारा

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

.....	คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.พลกฤษณ์ แสงวณิช)	
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	
.....	ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ประเสริฐ เรียบร้อยเจริญ)	
.....	อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.ประพันธ์ คูชลธारा)	
.....	กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.นพิตา ใหญ่ชีระนันท์)	
.....	กรรมการ
(ดร.ศศิธร สรรพอคำ)	

กัปตัน สมบูรณ์ชนะชัย : ผลของชาร์จากชีวมวลต่อการผลิตน้ำมันดิบชีวภาพโดยไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชัน. (Effects of Biomass-Derived Char on Biocrude Production by Hydrothermal Liquefaction) อ.ที่ปรึกษาหลัก : รศ. ดร.ประพันธ์ คุณชลาธารา

การใช้พลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิลทำให้เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากเกิดการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์จำนวนมาก พลังงานจากชีวมวลเป็นแหล่งพลังงานหมุนเวียนที่จะช่วยลดปัญหาข้างต้นกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชันเป็นกระบวนการแปลงสภาพชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงเหลวที่น่าสนใจ กระบวนการนี้ให้ร้อยละผลได้น้ำมันดิบชีวภาพที่สูงกว่ากระบวนการไพโรไลซิส การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาร่วมในกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชันสามารถปรับปรุงคุณภาพน้ำมันดิบชีวภาพและผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพได้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาการนำชาร์จากชีวมวลมาใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา การทดลองดำเนินการในเครื่องปฏิกรณ์ความดันสูงแบบกะที่อุณหภูมิ 300-350 องศาเซลเซียส ที่ความดันเริ่มต้น 2 เมกะพาสคัล โดยใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 60 นาที จากผลทดลองพบว่าเมื่อใช้ชาร์ซานอ้อย และ ถ่านกัมมันต์ ให้ร้อยละผลได้น้ำมันดิบชีวภาพเพิ่มขึ้น เนื่องจากชาร์ซานอ้อย และ ถ่านกัมมันต์ มีผลในการเร่งปฏิกิริยาการแตกตัวของชีวมวล และจากผลของอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 300 และ 350 องศาเซลเซียส พบว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นผลได้น้ำมันดิบชีวภาพจะลดลงและผลิตภัณฑ์ที่เป็นแก๊สเพิ่มขึ้นจากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันดิบชีวภาพด้วยเทคนิค GC / MS พบว่าองค์ประกอบของคีโตนเพิ่มขึ้น ในขณะที่สารประกอบไฮโดรคาร์บอนลดลง แสดงให้เห็นว่า ชาร์ช่วยส่งเสริมปฏิกิริยาการสลายตัวของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน นอกจากนี้ยังมีการศึกษาผลของการเติมโพแทสเซียมบนชาร์ซานอ้อย ชาร์กะลามะพร้าว และ ถ่านกัมมันต์ พบว่าโพแทสเซียมบนชาร์ทุกชนิดส่งผลให้ร้อยละผลได้น้ำมันดิบชีวภาพเพิ่มสูงขึ้น

สาขาวิชา เคมีเทคนิค

ปีการศึกษา 2562

ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

6171909023 : MAJOR CHEMICAL TECHNOLOGY

KEYWORD: biocrude, char, Hydrothermal liquefaction

Kaptan Somburanachanachai : Effects of Biomass-Derived Char on Biocrude Production by Hydrothermal Liquefaction. Advisor: Assoc. Prof. PRAPAN KUCHONTHARA, Ph.D.

The use of fossil fuels causes the environmental pollution due to over carbon dioxide. It is necessary to search for alternative and sustainable sources instead of using the fossil fuels. Hydrothermal liquefaction (HTL) is an interesting process because of higher liquid yield as biocrude product. Previous research has found that the quality and quantity of liquid oil from HTL can be improved by using a suitable catalyst. In this research, the effects of biomass-derived char on biocrude production were studied. The experiments were carried out in a high-pressure autoclave reactor at 300-350°C with the reaction time of 60 min. The quantity of liquid was increased when adding bagasse char and activated carbon because char was found to have a catalytic effect on biomass cracking. The influence of liquefaction temperature was also examined in a range of 300 to 350°C. At a higher liquefaction temperature, biocrude production was decreased while gaseous products were increased. The chemical components on biocrude production were identified by GC/MS. It was found that ketone was increased but hydrocarbon was decreased. This indicated that char can promote cracking reaction. The addition of potassium on char was found to give higher biocrude yield.

Field of Study: Chemical Technology

Student's Signature

Academic Year: 2019

Advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ผ่านไปได้จากความช่วยเหลือของรองศาสตราจารย์ ดร. ประพันธ์ คูชลธारा ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ได้ให้ความรู้และแนวทางในการแก้ไขปัญหาตลอดการทำงาน คอยชี้แนะถึงปัญหาและให้คำปรึกษาเป็นอย่างดี และคอยให้กำลังใจในการทำงาน รวมถึงเครื่องมือต่างๆ ในการทำงานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. ประเสริฐ เรียบร้อยเจริญ ประธานกรรมการ สอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร. นพิตา หิญาชีระนันท์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และ ดร.ศศิธร สรรพอคำ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ภายนอกมหาวิทยาลัย ที่กรุณารับเชิญมาเป็น กรรมการสอบ และให้คำแนะนำ ข้อเสนอแนะและความคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ต่อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้เสร็จสมบูรณ์ลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณศูนย์ความเป็นเลิศด้านเทคโนโลยีปิโตรเคมีและวัสดุ (Center of Excellence on Petrochemical and Materials Technology; PETROMAT) สำหรับทุนการศึกษา และทุนสนับสนุนงานวิจัย

ขอขอบคุณบุคลากรในภาควิชาเคมีเทคนิคทุกท่านในการอำนวยความสะดวกใช้ห้องปฏิบัติการและช่วยเหลือในการใช้ยืมเครื่องมือวิเคราะห์และเครื่องมือต่าง ๆ

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณพี่ ๆ และ เพื่อน ๆ ทั้งในภาคภาควิชาเคมีเทคนิคที่ให้คำปรึกษา ให้ความช่วยเหลือ ในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้เสร็จสมบูรณ์ลุล่วงไปด้วยดี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

กัปตัน สมบูรณ์ชนะชัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญรูป.....	ฏ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและความเป็นมาของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตงานวิจัย	2
1.4 วิธีดำเนินงานวิจัย.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 แนวคิดและทฤษฎี.....	5
2.2 ชีวมวล	5
2.2.1 องค์ประกอบของชีวมวล.....	6
2.3 การวิเคราะห์สมบัติชีวมวลทางความร้อนด้วยเครื่อง Thermogravimetric Analysis (TGA). 9	
2.4 สมบัติทางความร้อน.....	10
2.4.1 ปริมาณความชื้น (moisture content).....	10
2.4.2 ปริมาณเถ้า (ash content).....	10
2.4.3 ปริมาณสารระเหย (volatile matter content).....	10

2.4.4 องค์ประกอบธาตุ (elemental composition).....	11
2.4.5 ค่าความร้อน (heating value).....	11
2.4.6 ความหนาแน่นบัลค์ (bulk density)	12
2.5 ชีวมวลในประเทศไทย.....	12
2.6 อ้อย	15
2.7 เทคโนโลยีในการแปรรูปชีวมวล	15
2.7.1 การแปลงสภาพทางกายภาพ	15
2.7.2 การแปลงสภาพทางชีวภาพ	15
2.7.3 การแปลงสภาพทางความร้อนเคมี	16
2.8 การเผาไหม้.....	16
2.9 ไพโรไลซิส	17
2.9.1 ไพโรไลซิส.....	17
2.9.2 ไพโรไลซิสแบบเร็ว	17
2.9.3 แฟลชไพโรไลซิส	18
2.9.4 ไฮโดรไพโรไลซิส	18
2.9.5 ไฮดรอสไพโรไลซิส	18
2.10 แก๊สซิเคชัน.....	18
2.10.1 เชื้อเพลิงแก๊ส.....	18
2.10.2 กลไกของแก๊สซิเคชันและปฏิกิริยาเคมี	19
2.11 ลิควิแฟกชัน	19
2.11.1 ลิควิแฟกชันทางตรง	19
2.11.2 ลิควิแฟกชันทางอ้อม	20
2.12 น้ำมันผลิตภัณฑ์จากไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชัน	21
2.13 น้ำมันดิบชีวภาพ	21

2.14	ตัวเร่งปฏิกิริยา.....	22
2.14.1	ตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธ์.....	22
2.14.2	ตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธ์.....	23
2.15	ตัวเร่งปฏิกิริยาสำหรับกระบวนการ ไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชัน.....	24
2.16	ชาร์.....	25
2.16.1	วัตถุดิบที่ใช้ผลิตชาร์.....	25
2.16.2	การผลิตชาร์.....	25
2.17	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	28
บทที่ 3	เครื่องมือและวิธีการทดลอง.....	30
3.1	สารตั้งต้นและสารเคมี.....	30
3.2	เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	30
3.2.1	อุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมขานอ้อย.....	30
3.2.2	อุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมโพแทสเซียมบนชาร์.....	30
3.2.3	เครื่องปฏิกรณ์ที่ใช้การทดลอง.....	31
3.2.4	อุปกรณ์การกรอง และการระเหยตัวทำละลาย.....	32
3.3	อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์สารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์.....	33
3.4	อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์.....	36
3.5	ขั้นตอนดำเนินงานวิจัย.....	38
3.5.1	การเตรียมขานอ้อย.....	38
3.5.2	การเตรียมโพแทสเซียมบนชาร์.....	38
3.5.3	การวิเคราะห์สมบัติของขานอ้อยและชาร์แต่ละชนิด.....	38
3.5.4	การผลิตน้ำมันดิบชีวภาพด้วยไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชันในเครื่องปฏิกรณ์แบตช์.....	38
3.6	ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง.....	40
3.7	การวิเคราะห์ผลต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์.....	40

3.7.1 การคำนวณร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์.....	40
3.7.2 การวิเคราะห์น้ำมันดิบชีวภาพ	40
3.7.3 การวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์แก๊ส.....	42
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง	43
4.1 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของสารตั้งต้น	43
4.1.1 การวิเคราะห์แบบประมาณ การวิเคราะห์แยกธาตุ และค่าความร้อนของชานอ้อย ชาร์ชานอ้อย ชาร์กะลามะพร้าว และถ่านกัมมันต์	43
4.1.2 การวิเคราะห์พื้นที่ผิวของชาร์ชานอ้อย ชาร์กะลามะพร้าว ถ่านกัมมันต์ และโพแทสเซียมบนชาร์ชานอ้อย ชาร์กะลามะพร้าว และถ่านกัมมันต์	46
4.1.3 การวิเคราะห์หาสารประกอบของธาตุ (X-Ray Fluorescence Spectrometer, XRF) ของชาร์ชานอ้อย ชาร์กะลามะพร้าว และถ่านกัมมันต์.....	47
4.1.4 พฤติกรรมการสลายตัวทางความร้อนของชานอ้อย ชาร์ชานอ้อย ชาร์กะลามะพร้าว และถ่านกัมมันต์.....	47
4.1.5 วิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชัน (Fourier Transform Infrared Spectrophotometer, FTIR) ของชาร์ชานอ้อย ชาร์กะลามะพร้าว และถ่านกัมมันต์.....	50
4.2 ผลของชาร์ชานอ้อย ชาร์กะลามะพร้าว และถ่านกัมมันต์ ต่อร้อยละผลได้ และคุณภาพของน้ำมันดิบชีวภาพจากไฮโดรเทอร์มอลลิควิแฟกชัน	51
4.2.1 ไฮโดรเทอร์มอลลิควิแฟกชันของชานอ้อย ชาร์ชานอ้อย ชาร์กะลามะพร้าว และ ถ่านกัมมันต์	51
4.2.2 ผลของชาร์ชานอ้อย ต่อร้อยละผลได้ จากไฮโดรเทอร์มอลลิควิแฟกชัน	53
4.2.3 ผลของชาร์กะลามะพร้าว ต่อร้อยละผลได้ จากไฮโดรเทอร์มอลลิควิแฟกชัน	54
4.2.4 ผลของชาร์ ถ่านกัมมันต์ ร้อยละผลได้ จากไฮโดรเทอร์มอลลิควิแฟกชัน.....	56
4.3 ผลของโพแทสเซียมบนชาร์ชานอ้อย ชาร์กะลามะพร้าว และถ่านกัมมันต์ ต่อร้อยละผลได้ และคุณภาพของน้ำมันดิบชีวภาพจากไฮโดรเทอร์มอลลิควิแฟกชัน	58

4.3.1 ไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกชั้นของ ชานอ้อย ชานอ้อย ชาร์ชานอ้อย ชาร์กะลามะพร้าว ถ่านกัมมันต์ โปแทสเซียมบนชาร์ชานอ้อย โปแทสเซียมบนชาร์กะลามะพร้าว และ โปแทสเซียมบนถ่านกัมมันต์.....	58
4.3.2 ผลของโปแทสเซียมบนชาร์ชานอ้อยต่อร้อยละผลได้ จากไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกชั้นมัลลิควิแพกชั้น.....	61
4.4 ผลของอุณหภูมิระหว่าง 300 องศาเซลเซียส กับ 350 องศาเซลเซียส จากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกชั้นของ ชานอ้อย ชาร์ชานอ้อย และ โปแทสเซียมบนชาร์ชานอ้อย	63
4.5 ผลของชาร์ชานอ้อย ชาร์กะลามะพร้าว ถ่านกัมมันต์ และโปแทสเซียมบนชาร์ชานอ้อยต่อคุณภาพของน้ำมันดิบชีวภาพจากไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกชั้น.....	64
4.5.1 ผลของชาร์ชานอ้อย ชาร์กะลามะพร้าว และถ่านกัมมันต์ต่อคุณภาพของน้ำมันดิบชีวภาพจากไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกชั้น	64
4.5.2 ผลของโปแทสเซียมบนชาร์ชานอ้อย ต่อคุณภาพของน้ำมันดิบชีวภาพจากไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกชั้น.....	66
4.6 ผลของการวิเคราะห์หาค่าประกอบผลิตภัณฑ์น้ำมันดิบชีวภาพด้วยเครื่องแก๊สโครมาโท กราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี (gas chromatography – mass spectrometry)	68
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	72
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	72
5.1.1 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของสารตั้งต้น.....	72
5.1.2 ผลของชาร์ชานอ้อย ชาร์กะลามะพร้าว และถ่านกัมมันต์ ต่อร้อยละผลได้ และคุณภาพของน้ำมันดิบชีวภาพจากไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกชั้น	72
5.1.3 ผลของโปแทสเซียมบน ชาร์ชานอ้อย ชาร์กะลามะพร้าว และถ่านกัมมันต์ ต่อร้อยละผลได้ และคุณภาพของน้ำมันดิบชีวภาพจากไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกชั้น	73
5.1.4 ผลของอุณหภูมิต่อร้อยละผลได้ และคุณภาพของน้ำมันดิบชีวภาพจากไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกชั้น.....	73
5.2 ข้อเสนอแนะ	73
บรรณานุกรม.....	74

ภาคผนวก..... 77

 ภาคผนวก ก วิธีการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของซีเมนต์ 78

 ภาคผนวก ข วิธีการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของซาร์ 80

 ภาคผนวก ค การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค FTIR..... 82

 ภาคผนวก ง การคำนวณร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์..... 84

 ภาคผนวก จ ข้อมูลดิบ..... 85

 ภาคผนวก ฉ การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์ที่สูญหายและอื่น ๆ 90

ประวัติผู้เขียน..... 95



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ผลการประเมินศักยภาพชีวมวลแต่ละชนิด	13
ตารางที่ 2.2 ค่าความร้อนของแก๊สเผาไหม้ชนิดต่างๆ จากแก๊ซิฟิเคชัน	19
ตารางที่ 2.3 สมบัติของน้ำมันที่ได้จากลิกวิแฟกชัน	21
ตารางที่ 2.4 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมันดิบชีวภาพที่ได้จากไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชันของชีวมวลชนิดต่าง ๆ	22
ตารางที่ 2.5 ตัวอย่างองค์ประกอบของตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์.....	23
ตารางที่ 2.6 ตัวเร่งปฏิกิริยาบางส่วนสำหรับไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชันของชีวมวลและสารประกอบจำลอง	24
ตารางที่ 3.1 ภาวะที่ใช้ในการวิเคราะห์น้ำมันดิบชีวภาพด้วยเครื่องโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี	41
ตารางที่ 3.2 ภาวะที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์แก๊สด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี	42
ตารางที่ 4.1 การวิเคราะห์แบบประมาณ การวิเคราะห์แบบแยกธาตุ และค่าความร้อนของชานอ้อย ชาร์ชานอ้อย ชาร์กกลามะพร้าว และถ่านกัมมันต์.....	45
ตารางที่ 4.2 การวิเคราะห์พื้นที่ผิวของ ชาร์ชานอ้อย ชาร์กกลามะพร้าว ถ่านกัมมันต์ และโพแทสเซียมบนชาร์ชานอ้อย ชาร์กกลามะพร้าว และถ่านกัมมันต์	46
ตารางที่ 4.3 การวิเคราะห์หาสารประกอบของธาตุ (X-Ray Fluorescence Spectrometer, XRF) ของชาร์ชานอ้อย ชาร์กกลามะพร้าว และถ่านกัมมันต์	47
ตารางที่ 4.4 แสดงการวิเคราะห์แบบแยกธาตุของน้ำมันดิบชีวภาพที่ได้จากการไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชันของชานอ้อยกับ ชาร์ชานอ้อย ชาร์กกลามะพร้าว ถ่านกัมมันต์ ต่อคุณภาพของน้ำมันดิบชีวภาพจากไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชัน.....	65
ตารางที่ 4.5 การวิเคราะห์แบบแยกธาตุของน้ำมันดิบชีวภาพที่ได้จากการไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชันของชานอ้อยกับโพแทสเซียมบนชาร์ชานอ้อย ในสัดส่วนร้อยละ 0 50 และ 100 โดยน้ำหนัก.....	67

ตารางที่ 4.6	การวิเคราะห์หาปริมาณโพแทสเซียมในของเหลวด้วยเทคนิค AAS (Atomic Absorption Spectrometer) ของน้ำมันดิบชีวภาพจากชานอ้อย ชานอ้อยผสมชาร์ชานอ้อย และชานอ้อยผสมโพแทสเซียมบนชาร์ชานอ้อย.....	68
ตารางที่ จ.1	ข้อมูลการทดลองในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์	85
ตารางที่ จ.2	การวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุในผลิตภัณฑ์	87
ตารางที่ ฉ.1	ผลของการวิเคราะห์หาองค์ประกอบผลิตภัณฑ์น้ำมันดิบชีวภาพด้วยเครื่อง แก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี	94



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1	วัฏจักรคาร์บอนไดออกไซด์ 6
รูปที่ 2.2	องค์ประกอบของผนังเซลล์ 6
รูปที่ 2.3	โครงสร้างของเซลลูโลส 7
รูปที่ 2.4	โครงสร้างของเฮมิเซลลูโลส 8
รูปที่ 2.5	โครงสร้างของลิกนิน 8
รูปที่ 2.6	การสลายตัวทางความร้อนของชีวมวลด้วยเครื่องมือ Thermogravimetric Analysis (TGA) 9
รูปที่ 2.7	แผนภาพ van Krevelen 11
รูปที่ 2.8	อ้อย 15
รูปที่ 2.9	การแปลงสภาพทางเคมีความร้อนและผลิตภัณฑ์ 16
รูปที่ 2.10	กลไกการเผาไหม้ของชีวมวลและวัสดุเหลือใช้ 17
รูปที่ 2.11	กลไกหลักในแกซิฟิเคชัน 19
รูปที่ 2.12	แผนผังวัฏภาคของน้ำ 20
รูปที่ 3.1	เตาเผาที่ใช้ในงานวิจัย 31
รูปที่ 3.2	เครื่องปฏิกรณ์แรงดันสูง 32
รูปที่ 3.3	เครื่องระเหยแบบหมุน 33
รูปที่ 3.4	เครื่องวิเคราะห์แบบแยกธาตุ 33
รูปที่ 3.5	เครื่องหาขนาดรูพรุน 34
รูปที่ 3.6	X-Ray Fluorescence Spectrometer (XRF) 34
รูปที่ 3.7	เครื่องวิเคราะห์เชิงอุณหภูมิความร้อน 35
รูปที่ 3.8	FTIR-ATR Spectrometer 35

รูปที่ 3.9	เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ	36
รูปที่ 3.10	เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ-แมสสเปกโตรเมตรี.....	36
รูปที่ 3.11	เครื่องหาปริมาณน้ำคาร์ล ฟิสเซอร์.....	37
รูปที่ 3.12	เครื่องหาปริมาณโพแทสเซียมในน้ำมันดิบชีวภาพ	37
รูปที่ 3.13	แผนภาพการผลิตน้ำมันดิบชีวภาพด้วยไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชัน ในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์.....	39
รูปที่ 4.1	พฤติกรรมการสลายตัวทางความร้อนของชานอ้อย จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค TG-DTA.....	48
รูปที่ 4.2	พฤติกรรมการสลายตัวทางความร้อนของชาร์ชานอ้อย จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค TG-DTA.....	48
รูปที่ 4.3	พฤติกรรมการสลายตัวทางความร้อนของชาร์กะลามะพร้าว จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค TG-DTA.....	49
รูปที่ 4.4	พฤติกรรมการสลายตัวทางความร้อนของถ่านกัมมันต์ จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค TG-DTA.....	49
รูปที่ 4.5	หมู่ฟังก์ชันของชาร์ชานอ้อย ชาร์กะลามะพร้าว และถ่านกัมมันต์.....	50
รูปที่ 4.6	ร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพ กากของแข็ง แก๊ส และผลิตภัณฑ์เบาอื่น ๆ จากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันของของ ชานอ้อย ชาร์ชานอ้อย ชาร์ กะลามะพร้าว และถ่านกัมมันต์ ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส	52
รูปที่ 4.7	ร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพ กากของแข็ง แก๊ส และผลิตภัณฑ์เบาอื่น ๆ จากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันของของ ชานอ้อย ชาร์ชานอ้อย ชาร์ กะลามะพร้าว และถ่านกัมมันต์ ที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส	53
รูปที่ 4.8	ร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพ กากของแข็ง แก๊ส และผลิตภัณฑ์เบาอื่น ๆ จากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันของของชานอ้อยผสมชาร์ชานอ้อย ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส.....	54
รูปที่ 4.9	ร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพ กากของแข็ง แก๊ส และผลิตภัณฑ์เบาอื่น ๆ จากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันของของชานอ้อยผสมชาร์กะลามะพร้าว ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส.....	55

รูปที่ 4.10	ร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพ กากของแข็ง แก๊ส และผลิตภัณฑ์เบาอื่น ๆ จากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกซ์ของของชานอ้อยผสมถ่านกัมมันต์ ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส.....	57
รูปที่ 4.11	ร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพ กากของแข็ง แก๊ส และผลิตภัณฑ์เบาอื่น ๆ จากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกซ์ของชานอ้อย ชาร์ชานอ้อย ชาร์กะลามะพร้าว ถ่านกัมมันต์ โพลีเอทิลีนเบนซอซัลโฟนิกชานอ้อย โพลีเอทิลีนเบนซอซัลโฟนิก และโพลีเอทิลีนเบนซอซัลโฟนิก ถ่านกัมมันต์ ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส	59
รูปที่ 4.12	ร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพ กากของแข็ง แก๊ส และผลิตภัณฑ์เบาอื่น ๆ จากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกซ์ของ ชานอ้อย ชาร์ชานอ้อย ชาร์ กะลามะพร้าวถ่านกัมมันต์โพลีเอทิลีนเบนซอซัลโฟนิกชานอ้อย โพลีเอทิลีนเบนซอ กะลามะพร้าว และโพลีเอทิลีนเบนซอซัลโฟนิก ถ่านกัมมันต์ ที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส	60
รูปที่ 4.13	ร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพ กากของแข็ง แก๊ส และผลิตภัณฑ์เบาอื่น ๆ จากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกซ์ของของชานอ้อยผสมโพลีเอทิลีนเบนซอซัลโฟนิกชานอ้อย ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส.....	62
รูปที่ 4.14	ร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพ กากของแข็ง แก๊ส และผลิตภัณฑ์เบาอื่น ๆ จากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกซ์ของชานอ้อย ชานอ้อยผสมชาร์ชานอ้อย และชานอ้อยผสมโพลีเอทิลีนเบนซอซัลโฟนิกชานอ้อย ที่อุณหภูมิ 300 และ 350 องศาเซลเซียส.....	63
รูปที่ 4.15	ค่าความร้อนของน้ำมันดิบชีวภาพ (กราฟแท่ง) และปริมาณน้ำในน้ำมันดิบชีวภาพ (กราฟเส้น) ที่ได้จากการกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกซ์ของชานอ้อยกับชาร์ชาน อ้อย ในสัดส่วนร้อยละ 0 50 และ 100 โดยน้ำหนักที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส	66
รูปที่ 4.16	องค์ประกอบของน้ำมันดิบชีวภาพจากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกซ์ของชานอ้อย ชาร์ชานอ้อย ชาร์กะลามะพร้าว และถ่านกัมมันต์	69
รูปที่ 4.17	องค์ประกอบของน้ำมันดิบชีวภาพจากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกซ์ของชานอ้อย ชานอ้อยผสมกับชาร์ชานอ้อย และชาร์ชานอ้อย.....	70
รูปที่ 4.18	องค์ประกอบของน้ำมันดิบชีวภาพจากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกซ์ของชานอ้อย ชานอ้อยผสมกับชาร์กะลามะพร้าว และชาร์กะลามะพร้าว	71

รูปที่ 4.19	องค์ประกอบของน้ำมันดิบชีวภาพจากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันของชานอ้อย ชานอ้อยผสมกับถ่านกัมมันต์ และถ่านกัมมันต์.....	71
รูปที่ ค.1	การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของชาร์ชานอ้อย.....	82
รูปที่ ค.2	การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของ ชาร์กลามะพร้าว	82
รูปที่ ค.3	การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันถ่านกัมมันต์	83
รูปที่ ฉ.1	โครมาโทแกรมของผลิตภัณฑ์น้ำมันดิบชีวภาพจากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชัน ของชานอ้อย ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส	90
รูปที่ ฉ.2	โครมาโทแกรมของผลิตภัณฑ์น้ำมันดิบชีวภาพจากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชัน ของถ่านกัมมันต์ ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส	91
รูปที่ ฉ.3	โครมาโทแกรมของผลิตภัณฑ์น้ำมันดิบชีวภาพจากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชัน ของชาร์ชานอ้อย ในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์ ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส	91
รูปที่ ฉ.4	โครมาโทแกรมของผลิตภัณฑ์น้ำมันดิบชีวภาพจากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชัน ของชาร์กลามะพร้าวที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส	92
รูปที่ ฉ.5	โครมาโทแกรมของผลิตภัณฑ์น้ำมันดิบชีวภาพจากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชัน ของชานอ้อยผสมถ่านกัมมันต์ ในสัดส่วนร้อยละ 50 โดยน้ำหนักที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส.....	92
รูปที่ ฉ.6	โครมาโทแกรมของผลิตภัณฑ์น้ำมันดิบชีวภาพจากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชัน ของชานอ้อยผสมชาร์ชานอ้อย ในสัดส่วนร้อยละ 20 โดยน้ำหนักที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส.....	93
รูปที่ ฉ.7	โครมาโทแกรมของผลิตภัณฑ์น้ำมันดิบชีวภาพจากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชัน ของชานอ้อยผสมชาร์ชาร์ ในสัดส่วนร้อยละ 20 โดยน้ำหนักที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส.....	93

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและความเป็นมาของงานวิจัย

ปัจจุบันแหล่งพลังงานหลัก คือ แก๊สธรรมชาติและน้ำมันดิบจากกระบวนการขุดเจาะน้ำมันที่อยู่ในพื้นโลก การใช้วัตถุดิบข้างต้นมาใช้เป็นพลังงานจำนวนมาก ก่อให้เกิดคาร์บอนไดออกไซด์เป็นจำนวนมากและเป็นปัจจัยหลักที่ทำให้เกิดภาวะโลกร้อน ดังนั้น การลดการปลดปล่อยปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ คือ การใช้ชีวมวลเป็นแหล่งผลิตพลังงานแทนการขุดเจาะน้ำมัน เนื่องจากชีวมวลสามารถควบคุมการปลดปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ได้ในรูปแบบระบบวัฏจักรของคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งแตกต่างจากน้ำมันดิบที่ขุดเจาะขึ้นมาแล้วใช้อย่างเดียว เลยทำให้ในระบบมีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์มากเกินไป ซึ่งกระบวนการเปลี่ยนชีวมวลมี 2 วิธี คือ กระบวนการเชิงเคมีความร้อน (thermochemical conversion) และกระบวนการเชิงชีวภาพ (biochemical conversion) โดยงานวิจัยนี้สนใจกระบวนการเชิงเคมีความร้อน เนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่ได้สามารถนำมาใช้ต่อได้หลากหลาย เช่น เชื้อเพลิง ความร้อน เป็นต้น และกระบวนการทางเคมีความร้อนที่งานวิจัยนี้ได้สนใจ คือ ลิควิแฟกชัน (liquefaction) ซึ่งให้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวมากที่สุด เพราะของเหลวมีข้อดีต่าง ๆ มากมายเมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงในรูปแบบอื่น ๆ เช่น สามารถจะจัดการกับเชื้อเพลิงได้ง่าย อีกทั้งเป็นกระบวนการที่ชีวมวลหรือสารตั้งต้นไม่ต้องผ่านกระบวนการทำให้แห้ง จึงเหมาะกับชีวมวลหรือเศษวัสดุเหลือทิ้งที่มีปริมาณความชื้นสูง และน้ำมันดิบชีวภาพที่ได้นั้นมีปริมาณน้ำ ซัลเฟอร์ และออกซิเจนเป็นองค์ประกอบต่ำกว่าน้ำมันที่ได้จากไพโรไลซิส และเนื่องจากในประเทศไทยมีวัตถุดิบเหลือทิ้งจากการเกษตรจำนวนมาก ทำให้น้ำมันชีวภาพที่ได้มีปริมาณและคุณภาพแตกต่างกัน แต่มีวัตถุดิบหนึ่งที่น่าสนใจเนื่องจากเป็นวัตถุดิบทางการเกษตรที่เหลือทิ้งมากที่สุดในประเทศไทย คือ ชานอ้อย ในงานวิจัยนี้จึงเน้นการศึกษาการผลิตน้ำมันดิบชีวภาพจากไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันของชานอ้อย แต่เนื่องด้วยไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันนั้นยังสามารถปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันและปริมาณน้ำมันได้ด้วยวิธีการใส่ตัวเร่งปฏิกิริยาลงไปในกระบวนการ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงสนใจชาร์ เนื่องจากมีสมบัติเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา สามารถผลิตได้ง่ายจากชีวมวล และราคาถูก อีกทั้งยังไม่มีงานวิจัยที่ศึกษาผลของชาร์ที่ส่งเสริมการเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชัน ในงานวิจัยจึงสนใจในการนำชานอ้อยและชาร์มาเป็นสารป้อนร่วมในกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชัน เพื่อศึกษาผลของชนิดชาร์ และผลของโพแทสเซียมบนชาร์ต่อร้อยละผลได้และคุณภาพของน้ำมันดิบ

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1.2.1 ศึกษาการผลิตน้ำมันดิบชีวภาพจากการไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันของชานอ้อยผสมชาร์
- 1.2.2 ศึกษาผลของชนิดชาร์ต่อร้อยละผลได้และคุณภาพของน้ำมันดิบชีวภาพจากไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันของชานอ้อย
- 1.2.3 ศึกษาผลของโพแทสเซียมบนชาร์ต่อร้อยละผลได้และคุณภาพของน้ำมันดิบชีวภาพจากไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันของชานอ้อย

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

ศึกษาการผลิตน้ำมันดิบชีวภาพจากไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันโดยใช้ชานอ้อยเป็นสารตั้งต้น และศึกษาผลของอุณหภูมิ ผลของชนิดของชาร์ และผลของโพแทสเซียมบนชาร์ ต่อร้อยละผลได้และคุณภาพของน้ำมัน

1.4 วิธีดำเนินงานวิจัย

- 1.4.1 ศึกษาค้นคว้าและรวบรวมข้อมูลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งในและต่างประเทศ
- 1.4.2 เตรียมวัตถุดิบ อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย
 - 1.4.2.1 เตรียมชานอ้อยโดยนำไปตากแดดให้แห้ง และนำไปบดให้มีขนาด 150 - 250 ไมโครเมตร จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมงเพื่อไล่ความชื้น
 - 1.4.2.2 สารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย คือ ถ่านกัมมันต์ (activated carbon) ชาร์ชานอ้อย และชาร์กะลามะพร้าว และนำไปบดให้มีขนาด 150 – 250 ไมโครเมตร จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมงเพื่อไล่ความชื้น
 - 1.4.2.3 เตรียมโพแทสเซียมบนชาร์ด้วยกระบวนการฝังตัว (impregnation) นำไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำไปเผา (calcined) ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศไนโตรเจน (N_2) ด้วยอัตราการไหล 5 องศาเซลเซียสต่ออนาที
- 1.4.3 วิเคราะห์สมบัติของชานอ้อยและชาร์
 - 1.4.3.1 ค่าความร้อนของชีวมวล (gross calorific value)
 - 1.4.3.2 องค์ประกอบของชีวมวลโดยประมาณ (proximate analysis) ได้แก่ ความชื้น เถ้า สารระเหย และคาร์บอนคงตัว

- 1.4.3.3 องค์ประกอบแบบแยกธาตุ (ultimate analysis) ได้แก่ คาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน และออกซิเจน ด้วยเครื่อง CHN element analyzer
- 1.4.3.4 ศึกษาอุณหภูมิการสลายตัวทางความร้อนด้วยเครื่อง Thermogravimetric/differential thermal analyzer (TG/DTA) โดยวัดการสูญเสียน้ำหนักของตัวอย่างเป็นฟังก์ชันกับอุณหภูมิ
- 1.4.3.5 หมู่ฟังก์ชันของสารแต่ละชนิดด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrophotometer (FTIR)
- 1.4.4 วิเคราะห์สมบัติของโพลีเอทิลีนบิเบนซอิลและซาร์
- 1.4.4.1 วิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (X-ray fluorescence spectrometer, XRF)
- 1.4.4.2 วิเคราะห์ขนาดของรูพรุนสารประกอบของซีวมวล (BET) ได้แก่ ถ่านกัมมันต์ ซาร์ซานอ้อย และซาร์กะลามะพร้าว
- 1.4.5 ทำการทดลองในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบดซ์ โดยซังซานอ้อย 20 กรัม ผสมกับตัวทำละลาย (น้ำ) โดยใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนักของซีวมวล 1 กรัมต่อตัวทำละลาย 10 มิลลิลิตร ทำการไล่อากาศด้วยการอัดไนโตรเจน และอัดไนโตรเจนเริ่มต้นที่ความดัน 2 เมกะพาสคัล ให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิที่กำหนดระหว่าง 300 ถึง 350 องศาเซลเซียส กำหนดค่าความเร็วรอบใบกวน 300 รอบต่อนาที ให้ความเวลาทำปฏิกิริยา 60 นาที โดยเริ่มนับเวลาที่อุณหภูมิในเครื่องปฏิกรณ์ถึงค่า เมื่อครบเวลาทำการลดอุณหภูมิภายในเครื่องปฏิกรณ์จนถึงอุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เก็บตัวอย่างผลิตภัณฑ์แก๊สด้วยถุงเก็บแก๊สตัวอย่าง นำส่วนที่ได้จากเครื่องปฏิกรณ์ (ของแข็งและของเหลว) มาทำการกรองด้วยชุดกรองโดยใช้กระดาษกรอง นำส่วนที่เป็นของแข็งด้านบนชะล้างด้วยตัวทำละลายแอสिटอน จากนั้นนำส่วนของแข็งที่ได้ไปทำการอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และนำผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้ทำการระเหยตัวทำละลายออก โดยการใช้เครื่องระเหยแบบหมุน
- 1.4.6 ศึกษาผลของตัวแปรต่าง ๆ ในการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชัน ได้แก่
- 1.4.6.1 อุณหภูมิ (300 และ 350 องศาเซลเซียส)
- 1.4.6.2 ชนิดของสารป้อนร่วม (ถ่านกัมมันต์ ซาร์จากซานอ้อย และซาร์จากกะลามะพร้าว)
- 1.4.6.3 สารป้อนร่วมที่ดูดซับด้วยโพลีเอทิลีน
- 1.4.7 วิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชัน
- 1.4.7.1 ผลิตภัณฑ์ของเหลว

- 1.4.7.1.1 คำนวณปริมาณร้อยละผลได้ (yield)
- 1.4.7.1.2 การวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (ultimate analysis) ได้แก่ คาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน และออกซิเจน ด้วยเครื่อง CHN elemental analyzer
- 1.4.7.1.3 วิเคราะห์องค์ประกอบของด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรมิเตอร์ (gas chromatography mass spectrometry, GC/MS)
- 1.4.7.1.4 วิเคราะห์ปริมาณน้ำด้วยเครื่อง Karl Fischer
- 1.4.7.1.5 วิเคราะห์หาปริมาณโพแทสเซียมในน้ำมันดิบชีวภาพ (atomic absorption spectrometer, AAS)
- 1.4.7.2 ผลิตภัณฑ์ของแข็ง
 - 1.4.7.2.1 คำนวณปริมาณร้อยละผลได้
- 1.4.7.3 ผลิตภัณฑ์แก๊ส
 - 1.4.7.3.1 คำนวณปริมาณร้อยละผลได้
 - 1.4.7.3.2 วิเคราะห์องค์ประกอบของด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี (Gas chromatography, GC)
- 1.4.8 วิเคราะห์ข้อมูล สรุปผลการทดลอง และเขียนวิทยานิพนธ์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

การเพิ่มร้อยละผลได้และคุณภาพของเชื้อเพลิงเหลวจากขานอ้อยผสมกับซาร์แต่ละชนิดและขานอ้อยผสมกับโพแทสเซียมดูดซับบนซาร์แต่ละชนิดโดยกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชัน

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แนวคิดและทฤษฎี

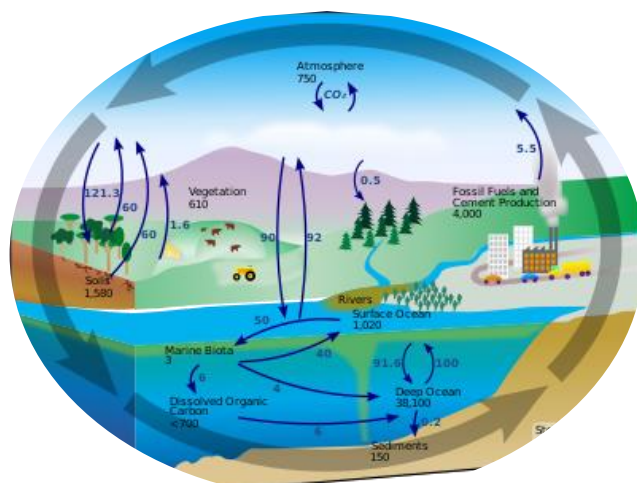
ปัจจุบันโลกของเรามีจำนวนประชากรเพิ่มมากขึ้น ทำให้ความต้องการพลังงานของมนุษย์มีเพิ่มสูงขึ้น โดยพลังงานส่วนใหญ่จะนำมาจากแก๊สธรรมชาติและน้ำมันดิบที่ขุดเจาะจากใต้พื้นโลก แต่น้ำมันดิบจากใต้พื้นโลกที่นำมาใช้นั้นล้วนแต่เกิดแก๊สมลพิษ คาร์บอนไดออกไซด์ ดังนั้นนักวิจัยจึงเริ่มให้ความสนใจเกี่ยวกับพลังงานทางเลือกเป็นอย่างมาก เพื่อป้องกันการเกิดภาวะโลกร้อนเนื่องด้วยปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์มากเกินไปในระบบ [1]

พลังงานทางเลือกมีหลากหลาย ได้แก่ แสงอาทิตย์ ลม น้ำ ไฮโดรเจน และชีวมวล แต่ชีวมวลเป็นสิ่งที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก เนื่องจากเป็นสารอินทรีย์ที่สามารถนำมาผลิตเป็นพลังงานได้ และเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันแล้ว ชีวมวลถือเป็นพลังงานที่ราคาถูกเพราะประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมที่มีกำลังผลิตทางการเกษตรจำนวนมาก [2]

ในประเทศไทยมีชีวมวลให้เลือกใช้หลายชนิด ซึ่งแต่ละชนิดนั้นมีองค์ประกอบทางเคมีที่แตกต่างกันออกไป ทำให้น้ำมันชีวภาพที่ได้มีปริมาตร และคุณภาพที่แตกต่างกันออกไปตามองค์ประกอบของชีวมวล ซึ่งส่วนใหญ่ชีวมวลจะมีปริมาณความชื้นสูง ดังนั้นชีวมวลจึงเหมาะกับการกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลลิควิแฟกชันที่เป็นหนึ่งในกระบวนการเปลี่ยนชีวมวลเป็นพลังงาน ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้จะอยู่ในสถานะของเหลวมากที่สุด และเป็นกระบวนการที่ใช้อุณหภูมิปานกลางและความดันสูง โดยชีวมวลตั้งต้นไม่ต้องผ่านกระบวนการทำให้แห้ง

2.2 ชีวมวล

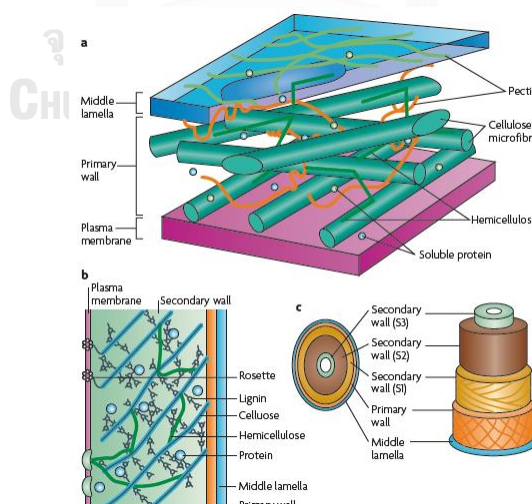
ชีวมวล (biomass) คือ สารที่มาจากธรรมชาติหรืออาจมาจากสิ่งมีชีวิต ที่เป็นแหล่งกักเก็บพลังงานจากธรรมชาติและสามารถนำมาใช้ผลิตเป็นพลังงานทดแทนได้ โดยชีวมวลอาจจะเป็นเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรหรือกระบวนการอุตสาหกรรมเช่น เศษไม้ ขานอ้อย แกลบ เป็นต้น โดยชีวมวลนั้นจะสามารถเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานได้เพราะการเติบโตในพืชนั้น ได้ใช้คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำเปลี่ยนเป็นพลังงานแสงอาทิตย์โดยผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสงทำให้ได้แป้งและน้ำตาลจากการเก็บไว้ในส่วนต่าง ๆ ของพืช ดังนั้นเมื่อเรานำพืชมาผ่านกระบวนการทางความร้อนจะทำให้ได้พลังงานออกมา การใช้ประโยชน์จากชีวมวลนั้นสามารถใช้ได้หลายแบบทั้งพลังงานความร้อนไอน้ำหรือผลิตเป็นกระแสไฟฟ้า ซึ่งการใช้พลังงานจากชีวมวลนั้นถือเป็นเทคโนโลยีที่เหมาะสมเพราะจะทำให้ไม่เกิดมลพิษหรือภาวะเรือนกระจก เนื่องจากคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ในระบบหมุนเวียนไม่มีการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มเติม ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 วัฏจักรคาร์บอนไดออกไซด์ [3]

2.2.1 องค์ประกอบของชีวมวล

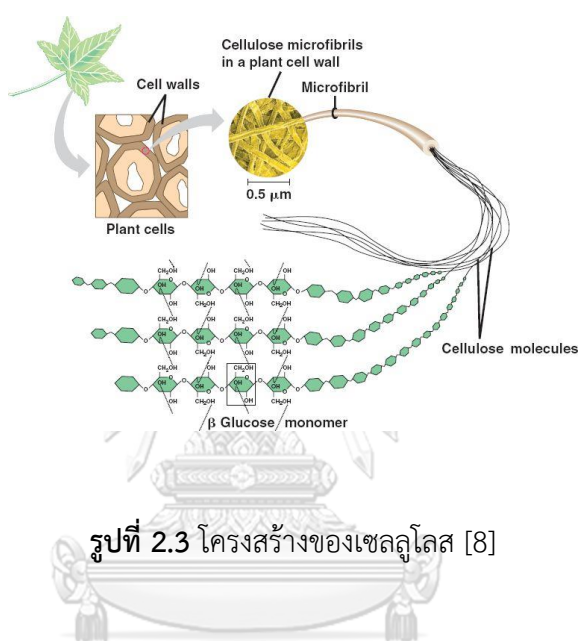
ลิกโนเซลลูโลส หมายถึง ชีวมวลอินทรีย์ที่มีองค์ประกอบ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน พบมากในผนังเซลล์ของพืช เช่น เศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ชังข้าวโพด ชานอ้อย แกลบ และชังข้าว เป็นต้น [4] ส่วนองค์ประกอบอื่น ๆ ได้แก่ แป้ง โปรตีน สารอินทรีย์และอนินทรีย์อื่น ๆ ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 องค์ประกอบของผนังเซลล์ [5]

2.2.1.1 เซลลูโลส

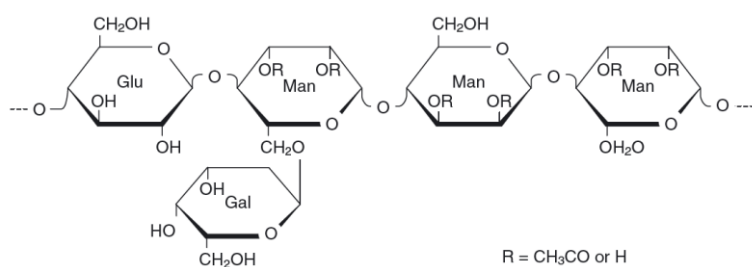
เซลลูโลสมีสูตรโมเลกุล คือ $(C_6H_{10}O_5)_n$ เป็นพอลิเมอร์ประเภทไบโอพอลิเมอร์ โดยจะมีค่าเฉลี่ยของน้ำหนักโมเลกุล คือ 300,000 ถึง 500,000 กรัมต่อโมล [6] ที่สามารถสลายได้เองตามธรรมชาติ เมื่อสลายออกมาเซลลูโลสจะประกอบไปด้วยโมเลกุลของกลูโคส (glucose) ที่มีหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl group) เรียงต่อกันด้วยพันธะไกลโคซิดิกชนิดบีต้า (β-1,4-glycosidic bonds) [7] ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 โครงสร้างของเซลลูโลส [8]

2.2.1.2 เฮมิเซลลูโลส

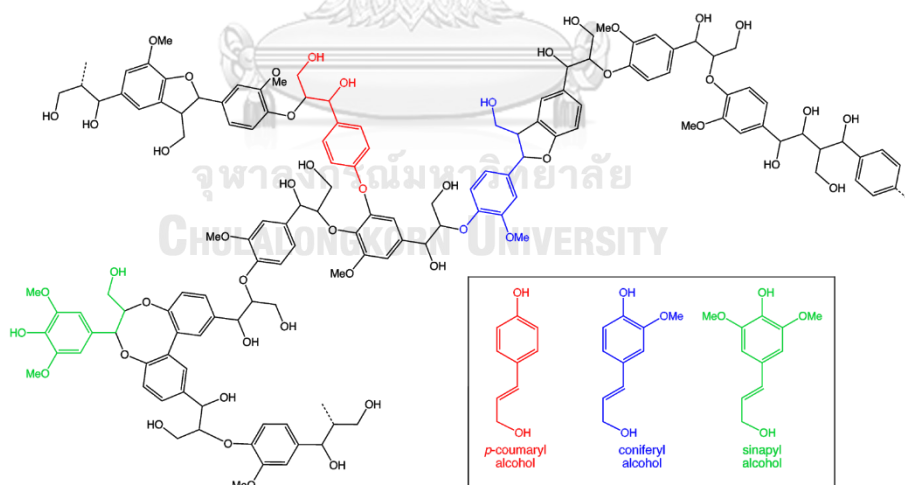
เฮมิเซลลูโลส เป็นพอลิเมอร์ที่ซับซ้อนโดยเกิดการเชื่อมโยงจากเซลลูโลส ในผนังเซลล์โดยมีสูตรทั่วไป คือ $(C_5H_8O_4)_n$ เป็นพอลิเมอร์ประเภทไบโอพอลิเมอร์โดยมีค่าเฉลี่ยของน้ำหนักโมเลกุล คือ 50 ถึง 200 กรัมต่อโมล ที่สามารถสลายได้ในน้ำ โดยส่วนใหญ่เฮมิเซลลูโลสจะอยู่ในเนื้อไม้อ่อนและเนื้อไม้แข็งประมาณร้อยละ 10 ถึง 30 โดยน้ำหนัก โดยโครงสร้างหลักของมันจะมีทั้งสายโซ่ตรงและโซ่กิ่ง ดังนั้นเฮมิเซลลูโลสสลายตัวได้ง่ายกว่าเซลลูโลสเมื่อถูกความร้อน [9] ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 โครงสร้างของเฮมิเซลลูโลส

2.2.1.3 ลิกนิน

ลิกนิน เป็นพอลิเมอร์ที่พบอยู่ในผนังเซลล์โดยมีความสัมพันธ์กับเซลลูโลส เป็นสารประกอบแอโรมาติกที่มีหน่วยของฟีนิลโพรเพนเชื่อมกับกลุ่มของไฮดรอกซิล และเมทิลผ่านพันธะของอีเทอร์ ดังรูปที่ 2.5 [10] ดังนั้นลิกนินจึงเป็นตัวประสานส่วนประกอบพื้นฐานของเส้นใยพืช โดยปกติแล้วลิกนินจะไม่ละลายน้ำและตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว ดังนั้นจึงสามารถละลายลิกนินได้ด้วยตัวทำละลายสารอินทรีย์ที่มีความสูง เนื่องจากบางส่วนในกลุ่มของอัลคาไลน์ลิกนิน [9]



รูปที่ 2.5 โครงสร้างของลิกนิน

2.3 การวิเคราะห์สมบัติชีวมวลทางความร้อนด้วยเครื่อง Thermogravimetric Analysis (TGA) [11]

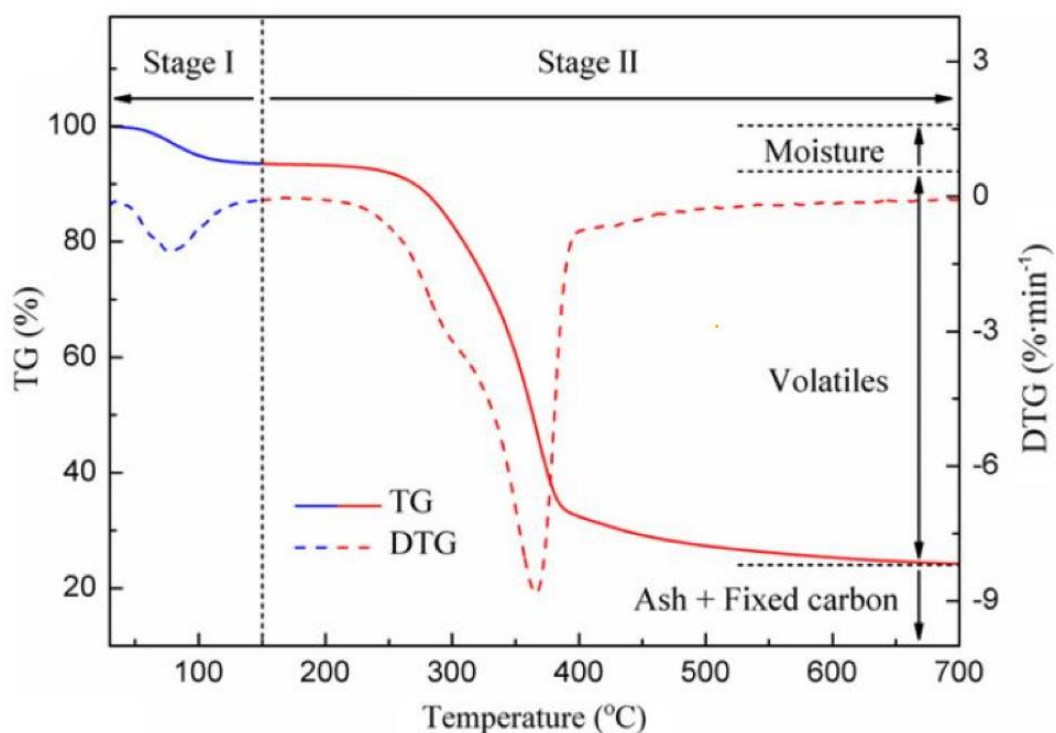
ชีวมวลประเภทหนึ่งเซลลูโลสมีองค์ประกอบหลักเป็นเฮมิเซลลูโลสเซลลูโลสและลิกนิน ซึ่งเมื่อนำไปศึกษาการสลายตัวด้วยความร้อน โดยเครื่องมือ TGA จะพบว่าการสลายตัวจะอยู่ในช่วงอุณหภูมิที่แตกต่างกันออกไปดังนี้

เฮมิเซลลูโลสสลายตัวที่อุณหภูมิ 150 - 350 องศาเซลเซียส

เซลลูโลสสลายตัวที่ช่วงอุณหภูมิ 275 - 350 องศาเซลเซียส

ลิกนินสลายตัวที่อุณหภูมิ 250 - 500 องศาเซลเซียส

ตัวอย่างผลการวิเคราะห์การสลายตัวของข้าวฟ่างในบรรยากาศ ภายใต้อัตราความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาทีแสดงดังรูปที่ 2.6 การสลายตัวทางความร้อนสามารถแบ่งช่วงการสลายตัวออกเป็นสองส่วน ส่วนแรกจะเป็นการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากความชื้น ส่วนที่สองเป็นการสูญเสียการสลายตัวขององค์ประกอบในชีวมวล สารระเหยและแก๊ส โดยน้ำหนักที่เหลือจะเป็นปริมาณคาร์บอนคงตัวกับเถ้าที่เสถียรทางความร้อน



รูปที่ 2.6 การสลายตัวทางความร้อนของชีวมวลด้วยเครื่องมือ Thermogravimetric Analysis (TGA)

2.4 สมบัติทางความร้อน [4]

ชีวมวลแต่ละชนิดจะมีสมบัติทางความร้อนที่แตกต่างกันออกไปโดยจะมีการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงทางความร้อนตามสมบัติดังนี้

- ปริมาณความชื้น (moisture content)
- ปริมาณเถ้า (ash content)
- ปริมาณสารระเหย (volatile matter content)
- องค์ประกอบธาตุ (elemental composition)
- ค่าความร้อน (heating value)
- ปริมาณความหนาแน่น (bulk density)

2.4.1 ปริมาณความชื้น (moisture content)

ปริมาณความชื้นของชีวมวล คือ ปริมาณน้ำที่อยู่ในชีวมวลคิดเป็นร้อยละของน้ำหนักชีวมวลทั้งหมด ในการวัดฐานแบบเปียก (wet basis) น้ำหนักของน้ำจะคิดจากผลรวมของร้อยละน้ำหนักของน้ำหนักของน้ำ เถ้า และ วัตถุแห้ง แต่เมื่อต้องคำนวณการวัดฐานแบบแห้ง (dry basis) น้ำหนักของน้ำจะคิดจากผลรวมของร้อยละน้ำหนักของเถ้าและวัตถุแห้งและสุดท้ายเมื่อต้องคำนวณปริมาณของความชื้นจากการวัดฐานแบบแห้งที่ไม่มีเถ้า (dry-and-ash-free basis) น้ำหนักของน้ำจะคิดจากผลรวมร้อยละน้ำหนักของชีวมวลที่แห้งเท่านั้น เนื่องจากความชื้นของชีวมวลมีผลต่ออุณหภูมิของชีวมวลในการใช้เป็นเชื้อเพลิง ดังนั้นการวัดฐานจึงเป็นสิ่งสำคัญและควรคำนึงถึงเสมอ

2.4.2 ปริมาณเถ้า (ash content)

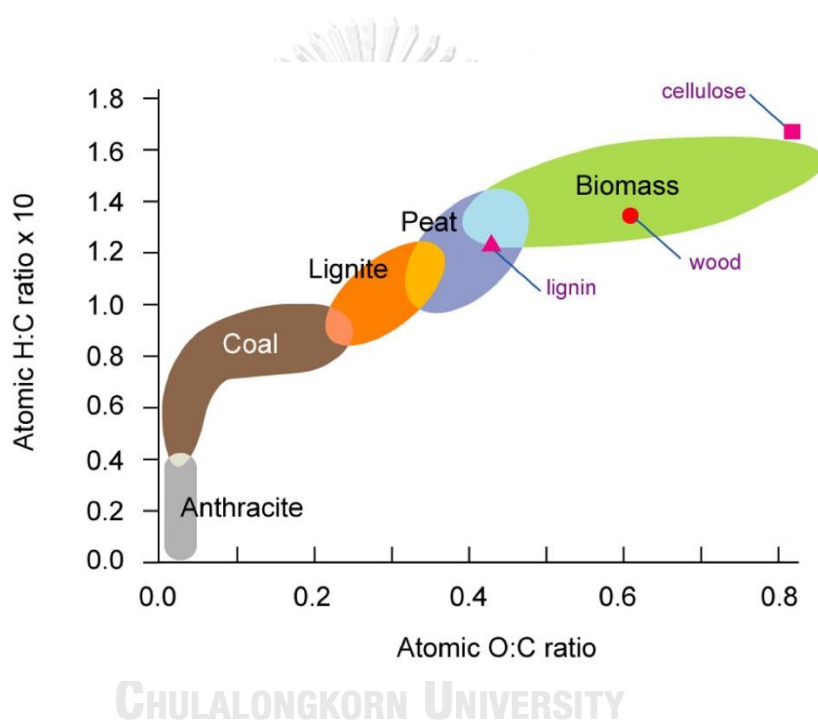
การวัดปริมาณเถ้าจะคิดจากการวัดฐานแบบแห้ง (dry basis) เถ้า คือ ส่วนประกอบตามธรรมชาติภายในโครงสร้างของพืชและต้นไม้ ซึ่งพืชและต้นไม้แต่ละชนิดจะมีปริมาณเถ้าที่แตกต่างกัน ปริมาณเถ้าทั้งหมดนั้นอยู่ในชีวมวลและเป็นองค์ประกอบทางเคมี ซึ่งองค์ประกอบของเถ้าจะมีผลต่อการเผาไหม้

2.4.3 ปริมาณสารระเหย (volatile matter content)

สารระเหย คือ ส่วนประกอบที่อยู่ในชีวมวลซึ่งจะถูกปล่อยออกมา เมื่อชีวมวลได้รับอุณหภูมิสูงประมาณ 400 ถึง 500 องศาเซลเซียส ชีวมวลจะเกิดการสลายตัวกลายเป็นแก๊ส สารระเหย และชาร์ โดยทั่วไปแล้วชีวมวลจะมีปริมาณ สารระเหยสูงมากถึงร้อยละ 80 โดยน้ำหนัก แต่ถ้าเป็นถ่านหินจะมีปริมาณสารระเหยอยู่ร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก

2.4.4 องค์ประกอบธาตุ (elemental composition)

สารอินทรีย์มีองค์ประกอบสำคัญในชีวมวล จะประกอบไปด้วยธาตุต่าง ๆ เช่นคาร์บอน (C) ไฮโดรเจน (H) ออกซิเจน (O) ไนโตรเจน (N) ซัลเฟอร์ (S) โดยการหาองค์ประกอบธาตุเหล่านี้จะต้องผ่านกระบวนการทดสอบ ultimate analysis และจะสามารถเปรียบเทียบสมบัติทางเชื้อเพลิงแข็งระหว่างถ่านหินกับชีวมวล ได้จากอัตราส่วนโดยโมลระหว่างธาตุ (atomic ratio) ของออกซิเจนกับคาร์บอน (O/C) และของไฮโดรเจนกับคาร์บอน (H/C) [11] ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ได้ตามแผนภาพ van Krevelen แสดงดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 แผนภาพ van Krevelen [11]

2.4.5 ค่าความร้อน (heating value)

ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงเป็นเกณฑ์ทั่วไปสำหรับการประเมินผลในกระบวนการทำให้เป็นของเหลว โดยค่าความร้อนนั้นจะเป็นค่าเชิงปริมาณของพลังงานน้ำมันดิบชีวภาพ ซึ่งค่าความร้อนจะแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ ค่าความร้อนสูง (higher heating value, HHV) และค่าความร้อนต่ำ (lower heating value, LHV) ค่าความร้อนสูงจะคำนึงถึงการกลายเป็นไอของน้ำช่วงการเผาไหม้ ในขณะที่ค่าความร้อนต่ำไม่ต้องคำนึงถึงความร้อนนั้น การหาค่าความร้อนของชีวมวลขึ้นอยู่กับองค์ประกอบและสมบัติของเชื้อเพลิงในรูปสัดส่วนคาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน ออกซิเจน

และซัลเฟอร์ หรืออยู่ในรูปสัดส่วนของคาร์บอนคงตัว (FC) สารระเหย (VM) ความชื้น (MC) และเถ้า (ASH) ตามสมการการหาค่าความร้อนที่ 2.1

$$\text{HHV (MJ/kg)} = 0.3536\text{FC} + 0.1559\text{VM} - 0.0078\text{ASH} \quad (2.1)$$

นอกจากสมการข้างต้นแล้วยังมีสมการการหาค่าความร้อนอีกสมการ คือ สมการของดulong (Dulong formula) ดังแสดงในสมการที่ 2.2

$$\text{HHV (MJ/kg)} = 0.3386\text{C} + 1.444(\text{H}-\text{O}/8) \quad (2.2)$$

2.4.6 ความหนาแน่นบัลค์ (bulk density)

ความหนาแน่นบัลค์ คือ น้ำหนักของวัตถุต่อหน่วยปริมาตร สำหรับความหนาแน่นบัลค์ของชีวมวลจะคิดจากชีวมวลที่ผ่านการอบแห้งมาแล้วหรือจากวัดพื้นฐานแบบแห้งค่าความร้อนและปริมาณความหนาแน่นของชีวมวลสามารถนำไปคำนวณหาความหนาแน่นของพลังงานต่อหน่วยปริมาตรของชีวมวล โดยทั่วไปแล้วชีวมวลจะมีความหนาแน่นของพลังงานประมาณ 1 ถึง 10 เท่าของเชื้อเพลิงฟอสซิล

2.5 ชีวมวลในประเทศไทย[12]

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม ที่มีผลผลิตทางการเกษตรเป็นจำนวนมากด้วยเหตุนี้ผลผลิตที่เหลือทิ้งทางการเกษตรจึงเป็นจำนวนมากเช่นกัน ดังนั้นผลผลิตที่เหลือทิ้งนั้นสามารถนำมาแปรรูปเป็นพลังงานทดแทนได้ เช่น ชานอ้อย เหม้ามันสำปะหลัง ชังข้าวโพด เป็นต้น โดยการแปลงเป็นเชื้อเพลิงนั้นสามารถผลิตได้ทั้งพลังงานความร้อนในกระบวนการอุตสาหกรรมและอื่น ๆ อีกมาก ดังนั้นจากปริมาณการเหลือทิ้งของชานอ้อย ที่มีปริมาณมากที่สุดในประเทศไทยดังตารางที่ 2.1 จึงทำให้ชานอ้อยมีความน่าสนใจในการนำมาเปลี่ยนเป็นพลังงานในรูปแบบต่าง ๆ

ตารางที่ 2.1 ผลการประเมินศักยภาพชีวมวลแต่ละชนิด [12]

ชนิดของชีวมวล	ส่วนประกอบ	ปริมาณที่ผลิตได้ (ตัน)	ปริมาณที่นำไปใช้ ประโยชน์แล้ว (ตัน)	ปริมาณคงเหลือ (ตัน)	ศักยภาพพลังงาน	
					ค่าความร้อน (TJ)	เทียบเท่าน้ำมันดิบ (ktoe)
ข้าว	ฟางข้าว	19,005,628.14	8,112,801.26	10,892,826.89	134,308.56	3,188.71
	แกลบ	8,145,269.20	8,006,283.36	138,985.84	1,879.09	44.61
อ้อย	ใบและยอด	17,016,248.08	1,845,487.74	15,170,760.34	234,843.37	5,575.58
	ชานอ้อย	28,026,761.54	28,026,761.54	0	0	0
ข้าวโพด	ยอด ใบและลำต้น	9,315,603.52	465,780.18	8,849,823.34	86,993.76	2,065.38
	ซึ่ง	1,215,078.72	1,094,081.58	120,997.14	1,163.99	27.64
มันสำปะหลัง	เหง้า	6,045,508.40	164,196.52	5,881,311.88	32,288.40	766.58
	กาก	1,813,652.52	1,813,652.52	0	0	0
	เปลือก	8,463,711.76	8,463,711.76	0	0	0
	ลำต้น	1,957,280.00	-	1,957,280.00	14,757.89	350.38
ปาล์มน้ำมัน	ใบและทาง	18,065,006.01	1,707,454.87	16,357,551.14	28,789.29	683.51
	ทะลายเปล่า	4,099,859.52	1,891,985.90	2,207,873.62	15,985.00	379.51
	เส้นใย	2,434,291.59	2,434,291.59	0	0	0

ตารางที่ 2.1 ผลการประเมินศักยภาพชีวมวลแต่ละชนิด (ต่อ)

ชนิดของชีวมวล	ส่วนประกอบ	ปริมาณที่ผลิตได้ (ตัน)	ปริมาณที่นำไปใช้ ประโยชน์แล้ว (ตัน)	ปริมาณคงเหลือ (ตัน)	ศักยภาพพลังงาน	
					ค่าความร้อน (TJ)	เทียบเท่าน้ำมันดิบ (ktoe)
ปาล์มน้ำมัน	กะลา	512,482.44	512,482.44	0	0	0
ถั่วเหลือง/ถั่วลิสง	ใบและลำต้น	65,017.48	3,250.87	61,766.61	1,002.47	23.80
ยางพารา	ตอ ราก และกิ่งก้านไม้	1,094,365.00	218,873.00	875,492.00	5,751.98	136.56
	ปลายไม้	2,626,476.00	2,626,476.00	0	0	0
	ปีกไม้	2,626,476.00	2,626,476.00	0	0	0
	ขี้เลื่อยและเศษไม้	656,619.00	656,619.00	0	0	0
มะพร้าว	จั่นและทะทะลาย	292,909.57	56,824.46	236,085.11	3,635.71	86.32
	เปลือกและกาก	333,310.89	329,976.78	3,334.11	54.11	1.28
	กะลา	252,508.25	230,540.03	21,968.22	393.89	9.35
มะม่วงหิมพานต์	เปลือก	70,038.56	1,674.28	68,364.29	375.32	8.91
รวม		134,134,102.21	71,289,681.68	62,844,420.53	562,222.85	13,348.12

*หมายเหตุ ข้อมูลของปีการเพาะปลูก พ.ศ. 2556

2.6 อ้อย [13]

อ้อย คือ พืชหญ้าชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญต่อมนุษย์มากในแง่ของการใช้เป็นอาหาร อ้อยเป็นพืชที่สำคัญอันดับสี่ของโลก แต่เมื่อพิจารณาถึงผลการผลิต อ้อยจะมาเป็นอันดับแรก เพราะอ้อยสามารถใช้ปัจจัยในการเติบโต เช่น แสงแดด น้ำ อากาศ และแร่ธาตุได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่า นอกจากนี้ก็ยังเป็นพืชที่ปลูกง่าย และสามารถเก็บเกี่ยวได้หลายครั้ง ดังรูปที่ 2.8 อ้อยชอบอากาศร้อนและชุ่มชื้นดังนั้นประเทศไทยจึงมีลักษณะที่เหมาะสมของการปลูกอ้อย และเป็นที่มาของการที่ทำให้เหลือผลผลิตที่เหลือทิ้งจากอ้อยเป็นจำนวนมากในประเทศไทย



รูปที่ 2.8 อ้อย

2.7 เทคโนโลยีในการแปรรูปชีวมวล

2.7.1 การแปลงสภาพทางกายภาพ

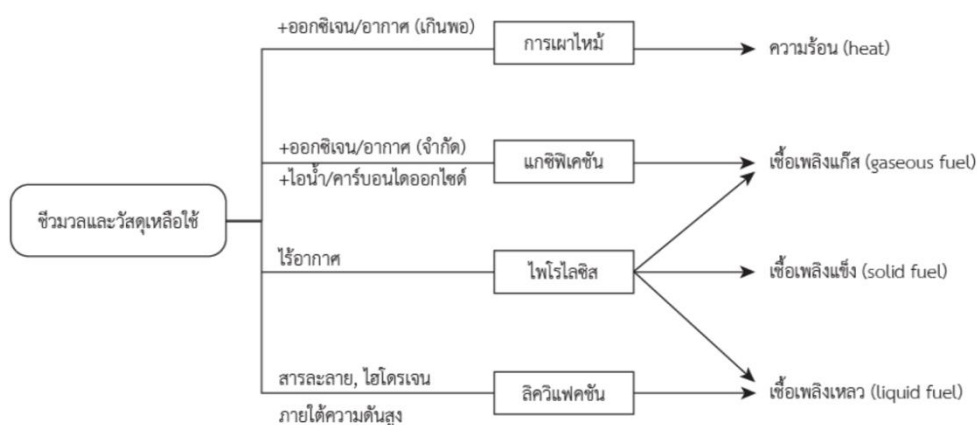
การแปลงสภาพทางกายภาพ (physical conversion) เป็นกระบวนการสำหรับปรับปรุงสภาพของวัสดุ ก่อนนำไปใช้ในการแปลงสภาพอื่น ๆ ต่อไป ได้แก่ การลดความชื้น (moisture reduction) การลดขนาด (size reduction) และการเพิ่มความหนาแน่น (densification) [11]

2.7.2 การแปลงสภาพทางชีวภาพ

การแปลงสภาพทางชีวภาพ (biological conversion) เป็นกระบวนการย่อยชีวมวลให้เป็นพลังงานโดยอาศัยกลไกทางชีวภาพของจุลินทรีย์และเอนไซม์ ดำเนินการที่ภาวะอุณหภูมิและความดันบรรยากาศ มีค่าใช้จ่ายในการลงทุนต่ำจึงได้รับความสนใจและถูกนำไปใช้งานอย่างแพร่หลาย เช่น การผลิตมีเทนชีวภาพ (biomethanation) และการหมักเอทานอล (ethanol fermentation) [11]

2.7.3 การแปลงสภาพทางความร้อนเคมี

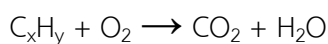
การแปลงสภาพทางความร้อนเคมี (thermochemical conversion) เป็นการแปรรูปชีวมวล โดยการย่อยสลายชีวมวลไปเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยความร้อนร่วมกับปฏิกิริยาเคมี [14] แบ่งออกเป็น 4 กระบวนการย่อย ดังรูปที่ 2.9



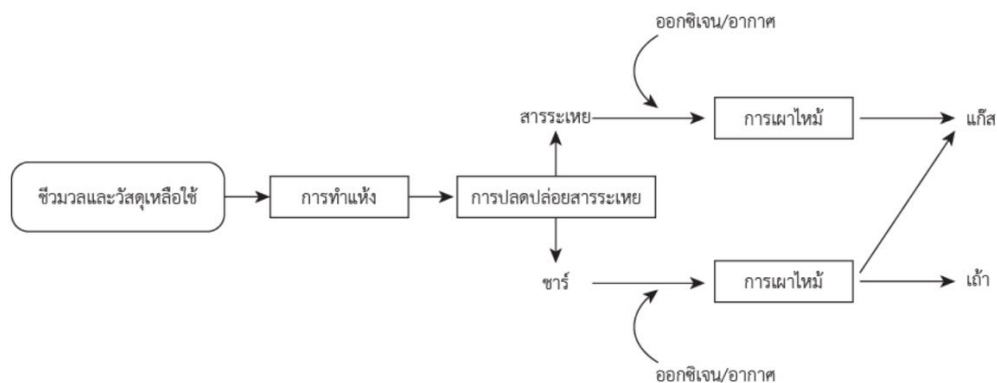
รูปที่ 2.9 การแปลงสภาพทางเคมีความร้อนและผลิตภัณฑ์ [11]

2.8 การเผาไหม้ [11]

การเผาไหม้เป็นกระบวนการที่ใช้มานานเป็นการให้ความร้อนและแสงสว่างเป็นปฏิกิริยาเคมีประกอบที่ให้ออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศเป็นผลิตภัณฑ์ออกมาเป็นแก๊สที่มีองค์ประกอบหลักคือน้ำและคาร์บอนไดออกไซด์ นับเป็นรูปแบบนิยมในการนำมาใช้เพื่อผลิตพลังงานรูปแบบความร้อนโดยปฏิกิริยาการเผาเป็นดังนี้



จากสมการการเผาไหม้จะสามารถคำนวณหาปริมาณออกซิเจนหรืออากาศที่ต้องการตามทฤษฎี สำหรับการเผาไหม้และนำไปใช้เพื่อออกแบบกระบวนการต่อไปได้ โดยกระบวนการเผาไหม้จะมีอยู่ 4 กระบวนการย่อย คือ การทำแห้ง การปลดปล่อยสารระเหย การเผาไหม้ของสารระเหย และการเผาไหม้ของซาร์ แสดงดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 กลไกการเผาไหม้ของชีวมวลและวัสดุเหลือใช้ [11]

2.9 ไพโรไลซิส [11]

ไพโรไลซิสเป็นกระบวนการสลายตัวทางความร้อนในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจนหรืออากาศ โดยทั่วไปแล้วจะประกอบไปด้วยหลายปฏิกิริยาเคมีโดยปกติแล้วจะเป็นกระบวนการแบบไม่ผันกลับ และต้องการพลังงานความร้อนเพื่อการสลายพันธะเคมีค่อนข้างสูง ดังนั้น ผลลัพธ์ที่ได้นั้นจะเป็นของแข็งของเหลวและแก๊ส กลไกของกระบวนการไพโรไลซิสนั้นมีหลากหลายเช่นการแตกตัวการปลดปล่อยสารระเหยหรือคาร์บอนไนเซชัน ซึ่งกระบวนการไพโรไลซิสนั้นสามารถแบ่งแยกย่อยได้ออกเป็นทั้งหมด 5 ประเภท

2.9.1 ไพโรไลซิส

ไพโรไลซิสแบบช้าหรือเรียกอีกอย่างว่ากระบวนการคาร์บอนไนเซชันเป็นกระบวนการที่ถูกนำมาใช้ตั้งแต่อดีต คือ การเพิ่มอุณหภูมิแบบช้า ๆ ในภาวะไร้ออกซิเจนที่อุณหภูมิไม่สูงมากประมาณ 450 องศาเซลเซียสและใช้เวลามากกว่า 24 ชั่วโมงโดยผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่จะเป็นถ่าน

2.9.2 ไพโรไลซิสแบบเร็ว

ไพโรไลซิสแบบเร็ว เน้นการผลิตในส่วนของน้ำมันชีวภาพโดยชีวมวลจะถูกความร้อนอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิที่เหมาะสม ซึ่งอุณหภูมินั้น คือ อุณหภูมิการสลายตัวสูงสุดของแต่ละชีวมวล แต่หากอุณหภูมิสูงกว่า 650 องศาเซลเซียส ผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่จะกลายเป็นแก๊สมากกว่าดังนั้นเพื่อให้ได้ร้อยละผลได้ของน้ำมันที่สูงจึงจำเป็นต้องควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในช่วง 400 ถึง 600 องศาเซลเซียส

2.9.3 แพลซไฟโรไลซิส

กระบวนการแพลซไฟโรไลซิส ต้องดำเนินการที่อุณหภูมิ 400 ถึง 600 องศาเซลเซียส แต่จะมีเวลาในการทำปฏิกิริยาของสารระเหยภายในเตาสั้นกว่ามาก ดังนั้นภาวะที่เกิดขึ้นจึงทำให้ได้ปริมาณของแข็งน้อยและได้ปริมาณน้ำมันที่สุ่งถึงร้อยละ 70 ถึง 75 โดยน้ำหนัก

2.9.4 ไฮโดรไฟโรไลซิส

การสลายตัวด้วยความร้อนผลิตภัณฑ์จะมีปริมาณของเหลวมากขึ้นเพราะเกิดจากการไฮโดรจิเนชันของอนุภาคนิสระที่เกิดขึ้นระหว่างการสลายตัว ทำให้เกิดความเสถียรและมีการรวมตัวของชาร์ลดลง ทำให้น้ำมันที่ได้จะประกอบไปด้วยไฮโดรคาร์บอนที่มีน้ำหนักโมเลกุลน้อยกว่ากรณีที่เป็นไฟโรไลซิสทั่วไป

2.9.5 ไฮดรอสไฟโรไลซิส

ความร้อนในตัวกลางที่เป็นตัวอัดความดันจะเกิดปฏิกิริยาให้ไฮโดรไลซิสร่วมกับการสลายตัวของความร้อนผลิตภัณฑ์ของเหลวหรือน้ำมันชีวภาพที่ได้จากกระบวนการนี้มักจะมีปริมาณออกซิเจนที่สูงเนื่องจากมีออกซิเจนของน้ำเข้ามารวมทั้งปฏิกิริยาด้วย

2.10 แกซิฟิเคชัน [11]

แกซิฟิเคชัน คือ กระบวนการแปลงสภาพทางเคมีโดยเปลี่ยนจากเชื้อเพลิงของเหลวและเชื้อเพลิงของแข็งให้เป็นเชื้อเพลิงแก๊ส โดยผ่านกระบวนการเผาไหม้ แกซิฟิเคชันมีกระบวนการคล้ายกับกระบวนการเผาไหม้แบบปกติ แต่กำหนดปริมาณออกซิเจนที่ใช้ในการเผาไหม้ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์เป็นไฮโดรเจน คาร์บอนมอนอกไซด์ มีเทน คาร์บอนไดออกไซด์ เป็นต้น

2.10.1 เชื้อเพลิงแก๊ส

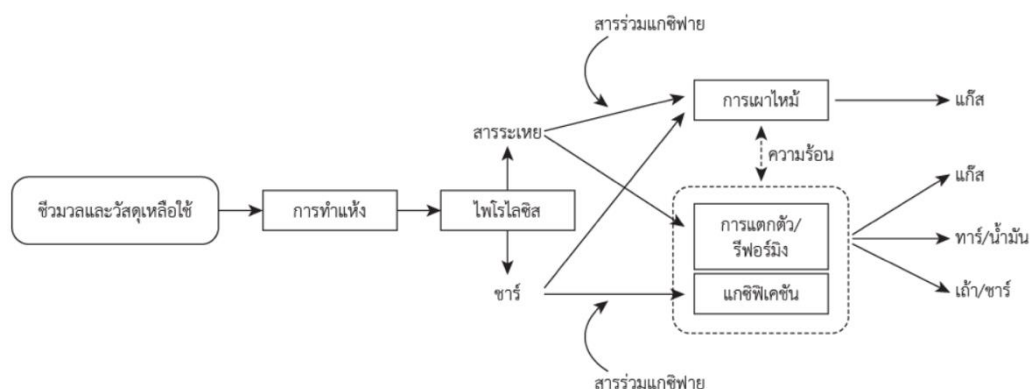
เชื้อเพลิงแก๊สพิจารณาคุณภาพจากค่าความร้อน ซึ่งจะเป็นไปตามองค์ประกอบของแก๊สดังตารางที่ 2.2 ที่แสดงค่าความร้อนของแก๊สเผาไหม้ชนิดต่าง ๆ จากแกซิฟิเคชัน มีความร้อนอยู่ในช่วงประมาณ 3.5 ถึง 11.5 เมกะจูลต่อลูกบาศก์เมตรส่วนใหญ่จะเป็นการใช้ไนโตรเจนจากอากาศร่วมร้อยละ 35 ถึง 50 โดยน้ำหนัก โดยองค์ประกอบหลักจะเป็นไฮโดรเจน และคาร์บอนมอนอกไซด์ เชื้อเพลิงความร้อนปานกลาง จะมีความร้อนอยู่ช่วงประมาณ 11.5 ถึง 27.5 เมกะจูลต่อลูกบาศก์เมตร โดยใช้สารร่วมเป็นออกซิเจนทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้ออกมามีปริมาณไนโตรเจนน้อย และทำให้มีปริมาณความร้อนที่สูงมากขึ้น เชื้อเพลิงความร้อนสูงมีความร้อนสูงกว่า 27.5 เมกะจูลต่อลูกบาศก์เมตร โดยทั่วไปจะใช้สารร่วมและมีตัวเร่งปฏิกิริยาภายใต้ความดันสูงกว่าความดันบรรยากาศ เพื่อสนับสนุนปฏิกิริยาการเกิดมีเทนโดยองค์ประกอบหลักจะเป็นแก๊สมีเทนที่ให้ปริมาณความร้อนที่สูง

ตารางที่ 2.2 ค่าความร้อนของแก๊สเผาไหม้ชนิดต่างๆ จากแกซีพีเคชั่น [11]

ชนิดของแก๊ส	ค่าความร้อนสูง (เมกกะจูลต่อลูกบาศก์เมตร)
ไฮโดรเจน	12.74
คาร์บอนมอนอกไซด์	12.67
มีเทน	39.73

2.10.2 กลไกของแกซีพีเคชั่นและปฏิกิริยาเคมี

แกซีพีเคชั่นโดยทั่วไปเป็นกระบวนการหลักประกอบด้วยการทำไพโรไลซิส การเผาไหม้ การแตกตัว หรือรีฟอร์มมิงของสารระเหย โดยมักเกิดขึ้นตามลำดับดังแสดงดังรูปที่ 2.11 แต่บางส่วนอาจเกิดการเผาไหม้พร้อมกันได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับภาวะดำเนินการรวมถึงลักษณะเครื่องปฏิกรณ์



รูปที่ 2.11 กลไกหลักในแกซีพีเคชั่น [11]

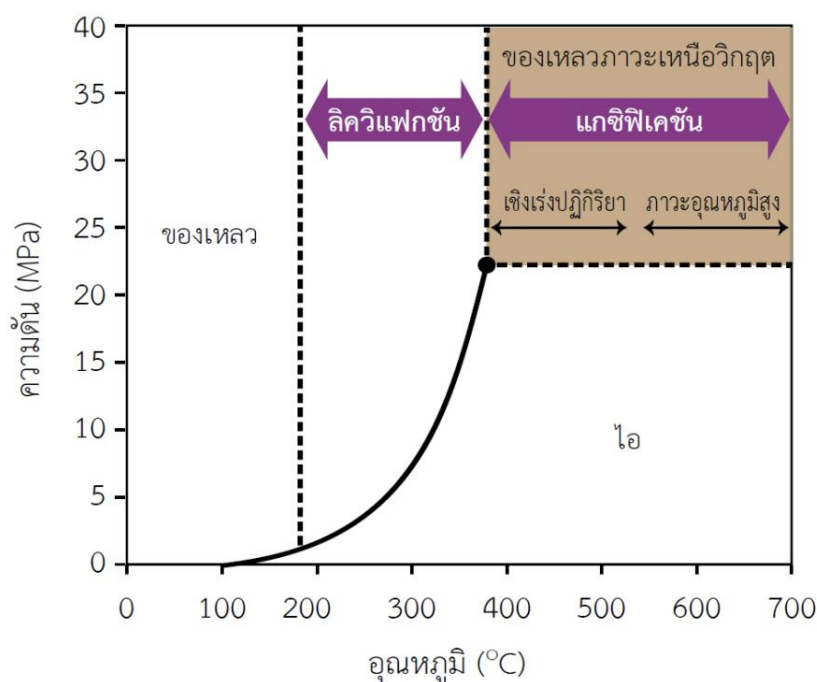
2.11 ลิควิแฟกชัน [11]

กระบวนการที่ทำให้เป็นของเหลวที่แปลงสภาพเชื้อเพลิงแข็งเป็นเชื้อเพลิงเหลว ซึ่งกระบวนการนี้จะแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ ทางตรง และทางอ้อม

2.11.1 ลิควิแฟกชันทางตรง

เป็นกระบวนการเปลี่ยนเชื้อเพลิงแข็งเป็นเชื้อเพลิงเหลวโดยใช้ตัวกลาง โดยตัวกลางนั้นส่วนใหญ่จะเป็นของเหลวที่มีไฮโดรเจนเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรจิเนชันในการเพิ่มร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ของเหลว และใช้ตัวกลางในการทำหน้าทำให้ไฮโดรเจน ซึ่งส่วนใหญ่แล้วชีวมวลจะมีปริมาณความชื้นมาก ดังนั้นตัวกลางที่นิยมใช้จึงเป็นน้ำ และบางครั้งอาจใส่ตัวเร่งปฏิกิริยาร่วมด้วย โดย

กระบวนการนี้จะเรียกว่า ไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชัน ทัวไปกระบวนการนี้จะใช้อุณหภูมิต่ำกว่าจุดวิกฤตของน้ำหรือประมาณ 250 ถึง 325 องศาเซลเซียสที่ความดันสูงพอที่จะทำให้น้ำยังเป็นของเหลวหรือประมาณ 4 ถึง 22 MPa ผลลัพธ์ที่ได้ แสดงดังรูป 2.12 จะประกอบไปด้วยของเหลวของแข็งและแก๊สซึ่งผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่จะเป็นของเหลว ซึ่งจะได้ส่วนออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่สามารถละลายน้ำได้และที่ไม่สามารถละลายน้ำ เรียกว่า น้ำมันดิบชีวภาพ



รูปที่ 2.12 แผนผังวัฏภาคของน้ำ [11]

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

2.11.2 ลิควิแฟกชันทางอ้อม

เป็นกระบวนการที่ประกอบไปด้วยหลายขั้นตอน เริ่มจากการแปลงสภาพของเชื้อเพลิงแข็งเป็นเชื้อเพลิงแก๊สผ่านกระบวนการแกซีฟิเคชัน ซึ่งกระบวนการแกซีฟิเคชัน จะเน้นผลลัพธ์ที่ได้เป็นแก๊สโดยองค์ประกอบของแก๊สจะมีเป็นพวกคาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดเจนที่จะถูกป้อนเข้าสู่การแปลงสภาพจาก แก๊สกลายเป็นของเหลวหรือเรียกอีกอย่างว่า GTL โดยจะ ทำเนิการที่อุณหภูมิไม่เกิน 400 องศาเซลเซียส ความดันสูงและใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา โดยปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นนั้นจะเป็นปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน และไฮโดรจิเนชันของคาร์บอนมอนอกไซด์

2.12 น้ำมันผลิตภัณฑ์จากไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกซ์ [11]

สมบัติของน้ำมันที่เกิดขึ้นโดยลิกวิแฟกซ์ถูกแสดงในตารางที่ 2.3 ปฏิกริยาเกิดขึ้นโดยไม่มีไฮโดรเจนและคาร์บอนมอนอกไซด์ และมีตัวเร่งปฏิกริยาจำพวกแอลคาไลน์สำหรับไม้ แต่ไม่มีตัวเร่งปฏิกริยาสำหรับกากสิ่งปฏิกูล น้ำมันที่เกิดขึ้นมีปริมาณออกซิเจนสะสมประมาณร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก ดังนั้นค่าความร้อนที่ได้จากปิโตรเลียม นอกจากนั้นความหนืดยังมีค่าสูง น้ำมันที่ได้จากไม้จะมีปริมาณกรดมากกว่าซึ่งสามารถกัดกร่อนและเกิดพอลิเมอร์เซชันระหว่างการกักเก็บ

ตารางที่ 2.3 สมบัติของน้ำมันที่ได้จากลิกวิแฟกซ์ [11]

สารชีวมวล	ไม้	กากสิ่งปฏิกูล
องค์ประกอบที่เป็นธาตุ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)		
คาร์บอน	72	71
ไฮโดรเจน	6	9
ไนโตรเจน	-	4
ออกซิเจน	22	16
ไฮโดรเจนต่อคาร์บอน	1	1.52
ค่าความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้สูงสุด (เมกกะจูลต่อกิโลกรัม)	29-30	33-34
ความหนืด (มิลลิพาสคัลวินาที)	$>10^6$	10^3-10^4

2.13 น้ำมันดิบชีวภาพ [15]

โดยทั่วไปของน้ำมันดิบชีวภาพเป็นของเหลวอินทรีย์สีน้ำตาลดำที่สามารถละลายน้ำได้จะประกอบไปด้วยสารอินทรีย์ที่มีขั้วอยู่ประมาณร้อยละ 75-80 โดยน้ำหนัก และมีน้ำอยู่ประมาณ 20-25 % และมีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบที่สูงถึงร้อยละ 35-40 โดยน้ำหนัก องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันดิบชีวภาพขึ้นอยู่กับเงื่อนไขในการไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกซ์ เช่น อุณหภูมิ ตัวทำละลาย ความหนาแน่นของตัวทำละลาย เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกริยา เป็นต้น แต่องค์ประกอบของวัตถุดิบตั้งต้นมีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อสมบัติของน้ำมันชีวภาพ

การเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพและทางเคมี เช่น ความหนาแน่น ความหนืด อัตราส่วนไฮโดรเจนต่อคาร์บอน (H/C) และอัตราส่วนออกซิเจนต่อคาร์บอน (O/C) ของน้ำมันดิบชีวภาพที่ผ่านการไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกซ์ของชีวมวลตั้งต้นที่แตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมันดิบชีวภาพที่ได้จากไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกชันของชีวมวลชนิดต่างๆ [11]

ชนิดของชีวมวล	ชีวมวล	ความหนืด (เซนติพอยซ์)	ความหนาแน่น (กิโลกรัมต่อลิตร)	ค่าความร้อนการเผาไหม้สูงสุด (เมกะจูลต่อกิโลกรัม)	อัตราส่วนไฮโดรเจนต่อคาร์บอน (H/C)	อัตราส่วนไฮโดรเจนต่อคาร์บอน (H/C)
ชีวมวล	ชานอ้อย	6.7×10^5	-	31	1.12	0.21
	เปลือกมะพร้าว	1.3×10^6	-	30	1.00	0.21
	ซังข้าวโพด	1.6×10^6	-	30	1.01	0.21
สาหร่าย	Botryococcus braunil	64-160 (50°C)	-	48	2.42	0.02
	Spirulina platensis	189.80 (40°C)	0.97	34	1.44	0.10
เชื้อเพลิง	น้ำมันดีเซล	1.1-3.5 (40°C)	0.85	45.1	1.79	0
	ไบโอดีเซล	1.7-5.3 (40°C)	0.88	40.5	1.87	0.11

2.14 ตัวเร่งปฏิกิริยา [16]

การจำแนกประเภทตัวเร่งปฏิกิริยาสามารถแบ่งได้หลายชนิดตามโครงสร้าง โดยแบ่งตามองค์ประกอบของการนำไปใช้งานหรือสมรรถภาพการรวมกลุ่ม ในที่นี้แยกประเภทตัวเร่งปฏิกิริยาตามสถานะของการรวมกลุ่ม คือ ตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธ์ และตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธุ์

2.14.1 ตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธ์

ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบนี้ส่วนมากใช้ในระดับอุตสาหกรรม อยู่ในกลุ่มของตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะ อินทรีย์กัมมันตภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธ์เกี่ยวข้องกับลิแกนด์อินทรีย์ที่อยู่ล้อมรอบโลหะ ศูนย์กลาง ดี-ออร์บิทัล ของโลหะแทรนซิชันจะรองรับลิแกนด์ เช่น ไฮไดรด์ (hydride, H) คาร์บอนิล (carbonyl, CO) โดยปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในวัฏจักรของการเร่งปฏิกิริยาเกี่ยวกับการเคลื่อนย้ายลิแกนด์ ในตำแหน่งว่างอยู่บนโลหะศูนย์กลาง โดยทั่วไปแล้วการเกิดการโคออดิเนชัน ของสารตั้งต้นที่โลหะ

ศูนย์กลางแล้วจึงปลดปล่อยผลิตภัณฑ์ออกมาซึ่งทั้งสองกระบวนการนี้ต้องเกิดขึ้นด้วยพลังงานก่อกัมมันต์ที่มีค่าต่ำที่สุด เท่าที่จะเป็นไปได้ดังนั้นสารประกอบเชิงซ้อนโลหะที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธ์ จึงต้องมีกัมมันตภาพสูง

2.14.2 ตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์

ตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมมากกว่า เนื่องจากตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดนี้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาของแข็งที่ง่ายต่อการแยกออกจากผลิตภัณฑ์ เช่น ตัวเร่งปฏิกิริยาบนตัวรองรับ ดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 ตัวอย่างองค์ประกอบของตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ [16]

องค์ประกอบ	ชนิดของวัสดุ	ตัวอย่าง
ภูมิภาคกัมมันต์	โลหะ โลหะออกไซด์ โลหะซัลไฟด์	โลหะมีตระกูล : Pt Pd โลหะทรานซิชัน : Ni Fe โลหะทรานซิชันออกไซด์ : MoO ₂ CuO โลหะทรานซิชันซัลไฟด์ : MoS ₂ Ni ₃ S ₂
ตัวสนับสนุนสภาพพื้นผิว เชิงเคมี	โลหะออกไซด์ โลหะออกไซด์	โลหะทรานซิชัน และธาตุหมู่ IIIA : Al ₂ O ₃ SiO ₂ MgO BaO TiO ₂ ZrO ₂ แอลคาไล หรือ แอลคาไลเอิร์ธ : K ₂ O PbO
ตัวรองรับ	โลหะออกไซด์หรือคาร์บอนที่มีเสถียรภาพและพื้นที่ผิวสูง	ธาตุหมู่ IIIA แอลคาไลเอิร์ธ และโลหะทรานซิชันออกไซด์ เช่น Al ₂ O ₃ SiO ₂ MgO ซีโอไลต์ และถ่านกัมมันต์

2.15 ตัวเร่งปฏิกิริยาสำหรับกระบวนการ ไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชัน [11]

ตัวเร่งปฏิกิริยาที่นิยมนำมาใช้นั้นมี 2 ประเภท คือ ตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธ์ (homogeneous catalyst) และตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธ์ (heterogeneous catalyst) เพื่อใช้ในการควบคุมการรวมตัวของโมเลกุลที่ใหญ่จนเกินไปและกลายเป็นขอแข็ง หรือ ชาร์ ซึ่งจะช่วยทำให้ได้ปริมาณน้ำมันเพิ่มขึ้น และมีคุณภาพดีขึ้น ตัวอย่างของตัวเร่งปฏิกิริยา แบบเอกพันธ์จะนิยมมากกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธ์ โดยตัวอย่างของตัวเร่งปฏิกิริยาแสดงดังตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 ตัวเร่งปฏิกิริยาบางส่วนสำหรับไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชันของชีวมวลและสารประกอบจำลอง [11]

ตัวเร่งปฏิกิริยา	วัสดุตั้งต้น	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความดัน (เมกะปาสคาล)	ผลเชิงเร่งปฏิกิริยา
Na_2CO_3	ต้นข้าวโพด	276-376	25	เพิ่มผลได้น้ำมัน
K_2CO_3	ชีวมวลไม้	280	N/A	ลดกากของแข็ง
Na_2CO_3 , Ni	เซลลูโลส	200-350	N/A	ลดการเกิดชาร์
K_2CO_3 , Ni	กลูโคส	350	30	ปฏิกิริยาเปลี่ยนน้ำ เป็นแก๊ส
K_2CO_3	กลูโคส	400-500	30-50	ปฏิกิริยาเปลี่ยนน้ำ เป็นแก๊ส
KOH, K_2CO_3	ชีวมวลเปียก ขยะชีวภาพ	550-600	25	ปฏิกิริยาเปลี่ยนน้ำ เป็นแก๊ส
NaOH, KOH, ZrO_3	กรดสเตียริก	400	25	เร่งการกำจัดหมู่ คาร์บอกซิล
NaOH, H_2SO_4 , TiO_2 , ZrO_3	กลูโคส	200	N/A	เพิ่มไอโซเมอร์ไร- เซชันของกลูโคส
Ni	เซลลูโลส	350	18	เพิ่มผลได้แก๊ส ไฮโดรเจน
Ni, Ru	ขยะ	350	21	เพิ่มผลได้แก๊สมีเทน

2.16 ชาร์ [4]

ชาร์หรือถ่านชาร์เป็นผลิตภัณฑ์ของแข็งที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิส หรือแกซิฟิเคชัน ของชีวมวล ชาร์จะได้รับการเผาไหม้ของชีวมวลภายใต้บริเวณที่ไร้อากาศหรือในภาวะที่มีอากาศอยู่น้อยมาก เมื่อมีการให้ความร้อนระหว่างกระบวนการจะช่วยกำจัดน้ำมันดิบ และสารประกอบอื่น ๆ จากชีวมวลซึ่งเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการ ได้แก่สารประกอบหลัก เช่น คาร์บอน ไฮโดรคาร์บอน เถ้า และแร่ธาตุอื่น ๆ ชาร์ สามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิง หรือผลิตสารเคมีอื่นได้ เช่น ถ่านกัมมันต์ แนนพทาซีน แอนทราซีน เป็นต้น แต่โดยส่วนใหญ่จะนำมาใช้เป็นวัสดุเชื้อเพลิง ไร่ควันหรือที่เรียกว่า ถ่านไร่ควันเพื่อใช้ในบ้านเรือนอุตสาหกรรมขนาดเล็กหรือกลางหรือใช้ในโรงงานถลุงเหล็กและทองแดง ถ่านไร่ควันจะก่อให้เกิดปัญหามลพิษต่อสิ่งแวดล้อมจากกลิ่นหรือควันที่เกิดจากสารระเหย สารประกอบไนโตรเจนและซัลเฟอร์

2.16.1 วัตถุดิบที่ใช้ผลิตชาร์

วัสดุที่นำมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตชาร์

1. ของเหลือทิ้ง
2. มีปริมาณ คาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก
3. มีปริมาณสารระเหยต่ำ

วัสดุที่ใช้เป็นวัตถุดิบโดยตรงมักเป็นพวกอินทรีย์วัตถุหรือหมายถึงที่มีคาร์บอนและไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบหลักสามารถแบ่งออกเป็นชนิดต่างๆได้ดังนี้

1. พวกเซลลูโลสที่มาจากพืชเช่น แกลบ กะลามะพร้าว ชีเสื่อย ชานอ้อย เป็นต้น
2. พวกถ่านหิน เช่น ลิกไนต์ พีท เป็นต้น
3. ส่วนต่างๆของสัตว์ เช่น เลือด กระดูก เป็นต้น

สำหรับวัสดุที่ใช้เป็นวัตถุดิบในรูปถ่าน มักเป็นถ่านที่ได้จากการคาร์บอนไนซ์ หรือ ที่เรียกว่า ถ่านสังเคราะห์ (artificial char) หรืออาจเป็นถ่านที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ สมบัติของวัตถุที่ใช้ในการผลิตชาร์ พบว่าวัสดุที่มีความหนาแน่นต่ำ สารระเหยสูง เช่น ไม้ ลิกนิน มักได้ชาร์ที่มีปริมาณรุกรุนสูง และความหนาแน่นต่ำ ส่วนวัสดุที่มีความหนาแน่นสูงและสารระเหยมาก เช่น กะลามะพร้าว จะได้ชาร์ที่มีปริมาณของรุกรุนเล็กสูง ขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิตและภาวะที่ใช้

2.16.2 การผลิตชาร์

กระบวนการไพโรไลซิส เป็นกระบวนการที่ทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ในรูปของชาร์ที่เป็นของแข็ง ทาร์ และแก๊ส โดยการเผาไหม้ที่อับอากาศ กระบวนการเผาไหม้จะมีการกำหนดปริมาณออกซิเจนที่ใช้ ซึ่งในปัจจุบันกระบวนการสลายตัวด้วยความร้อนในภาวะที่มีออกซิเจนน้อย หรือในที่มีการถ่ายเทความร้อนให้เกิดการไพโรไลซิสโดยตรงจากการเผาไหม้บางส่วนของชาร์และแก๊ส เมื่อชีวมวลเกิดการ

สลายตัวทางความร้อนจะเกิดอนุกรมของปฏิกิริยาต่าง ๆ ได้แก่แก๊สที่มีพลังงานปานกลาง น้ำมันที่มีองค์ประกอบซับซ้อนและชาร์ ซึ่งกระบวนการแปรรูปชีวมวลจะสามารถแสดงสมการได้ดังต่อไปนี้

$$\text{Biomass} + \text{heat} \rightarrow \text{Char} + \text{pyrolytic oil (high and moderate molecular weight organic liquid)} + \text{other condensable in form of oxygenated organics} + \text{CO}_2 + \text{H}_2 + \text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O} + \text{other}$$

$$\text{Organic liquid} + \text{heat} \rightarrow \text{Aromatic organic} + \text{low molecular weight organic liquid} + \text{char} + \text{CO}_2 + \text{CO} + \text{H}_2 + \text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O} + \text{other}$$

$$\text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO} + 3\text{H}_2 \text{ (endothermic, i.e., produce heat)}$$

$$\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2 \text{ (slightly exothermic, i.e., produce heat)}$$

ในกระบวนการผลิตขั้นต้นเริ่มต้นของการทำโครงสร้างมีรูพรุนโดยทำให้เกิดการแตกตัวทางเคมีของสารที่ไม่ใช่คาร์บอนออกมาในรูปของแก๊สคาร์บอนอิสระที่มีอยู่จะรวมตัวกันอยู่ในรูปของชาร์ชาร์ที่ได้จะมีลักษณะดังต่อไปนี้ มีสีดำตลอด ปราศจากผงฝุ่นและขี้เถ้า มีความเป็นรูพรุนสูง มีพื้นที่ผิวมาก เมื่อหักดูส่วนที่หักจะมีผิวที่เป็นมันเงา

การไพโรไลซิสให้ได้ชาร์มีสมบัติดังที่ต้องการ ต้องทำการปรับภาวะสมดุลของปฏิกิริยาดังตัวแปรสำคัญต่อไปนี้

1. อุณหภูมิของการไพโรไลซิส

กระบวนการไพโรไลซิสเป็นการกลั่นสลายของสารอินทรีย์ ผลิตภัณฑ์ที่ได้ ได้แก่ ผลิตภัณฑ์ที่เป็นของแข็งหรือชาร์ ผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวหรือทาร์และแก๊ส ซึ่งทาร์และแก๊สจะเกิดการแตกออกของบริเวณที่มีพันธะไม่แข็งแรงหรือบริเวณหมู่ที่หลุดออกง่าย ทำให้กลุ่มโมเลกุลวงแหวนแตกออกจากกันเป็นกลุ่ม ๆ จำนวนมาก เหลือแต่โครงสร้างที่ปั่นวงแอร์แมติกที่กลายเป็นชาร์ โดยการจัดเรียงตัวของคาร์บอนจะแตกต่างกันไปตามอุณหภูมิของการไพโรไลซิส ส่วนโครงสร้างอื่น ๆ จะรวมตัวกันกลายเป็นผลิตภัณฑ์ประเภทอื่นที่อุณหภูมิห้อง สิ่งที่สำคัญที่สุดของกระบวนการนี้ คือ อุณหภูมิสุดท้ายของการเผาไหม้ เพราะมีความสัมพันธ์กับพลังงานที่ใช้ในการเผาไหม้วัตถุดิบออกมาเป็นสารระเหยที่อุณหภูมิสูงชาร์จะมีการจัดเรียงเป็นระเบียบมากกว่า เมื่อเพิ่มอุณหภูมิเป็นผลทำให้ปริมาณทั้งหมดของรูพรุนเล็ก ๆ ที่เกิดขึ้นในช่วงแรกของการไพโรไลซิสลดลง และชาร์มีความแข็งแรงมากขึ้น อย่างไรก็ตามเมื่อชาร์มีปริมาณคาร์บอนสูงขึ้นจึงทำให้มีความสามารถในการทำปฏิกิริยาได้มากขึ้น ดังนั้นชาร์ที่มีปริมาณคาร์บอนน้อย คือ ชาร์ที่ผ่านกระบวนการไพโรไลซิสที่อุณหภูมิสูง

2. อัตราการให้ความร้อน

อัตราการให้ความร้อนนั้นเป็นตัวแปรที่สำคัญต่อปริมาณและองค์ประกอบของสารละลายที่ได้จากการไพโรไลซิส แต่เดิมภาวะในการให้ความร้อนมีอัตราการเพิ่มอุณหภูมิประมาณ 20 องศาเซลเซียสต่อวินาทีอันเป็นช่วงที่ทำให้เกิดการปลดปล่อยของสารระเหยอย่างรวดเร็ว ถ้าอัตราการให้ความร้อนสูง ปริมาณสารระเหยจะถูกปลดปล่อยอย่างรวดเร็ว จะได้ชาร์ที่มีรูพรุนขนาดใหญ่ ความว่องไวในการทำปฏิกิริยาสูงกว่าชาร์ที่ได้จากการให้ความร้อนด้วยอัตราที่ต่ำกว่าเนื่องจากชาร์ที่ได้จัดการไพโรไลซิสด้วยอัตราการเพิ่มอุณหภูมิสูง คาร์บอนจะเรียงตัวกันเป็นระเบียบน้อย ทำให้เกิดช่องว่างเป็นรูพรุนขนาดใหญ่ เมื่อทำปฏิกิริยากระตุ้น ตัวกระตุ้นจะเข้าไปทำปฏิกิริยาได้ง่าย

3. ตัวกลางของปฏิกิริยา

ตัวกลางของปฏิกิริยาจะมีผลกระทบต่อปฏิกิริยาถ้าแก๊สและไอที่เกิดระหว่างการไพโรไลซิสถูกพาออกไปอย่างรวดเร็วโดยแก๊สที่เป็นตัวกลาง เช่น แก๊สไนโตรเจนและแก๊สจากการเผาไหม้ ถ้าตัวกลางเป็นแก๊สที่ได้จากการเผาไหม้ ปริมาณที่เป็นถ่านจะน้อยกว่าตัวกลางที่เป็นไนโตรเจน แต่มีความว่องไวในการทำปฏิกิริยากับตัวกระตุ้นสูงกว่า พบว่าการไพโรไลซิสโดยใช้อากาศเป็นตัวกลางในเตาเผาแบบฟลูอิดไชด์เบด จุดมุ่งหมายหลักของกระบวนการไพโรไลซิสเพื่อให้ได้ชาร์ที่มีรูพรุนและการจัดเรียงที่เป็นระเบียบ การไพโรไลซิสจะมีการเปลี่ยนแปลงทางฟิสิกส์ 2 ช่วง คือ ช่วงอ่อนตัว และช่วงหลังการอ่อนตัว ในช่วงการอ่อนตัวควรให้ความร้อนด้วยอัตราที่ต่ำ เพื่อให้แก๊สหลุดออกมาจากโพรงภายในได้โดยไม่สลายตัวหรือเปลี่ยนรูปเป็นของแข็งอุดแน่นภายในโพรง

2.17 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Jinbo [17] ศึกษา *Pteris vittata L.* มาใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตน้ำมันชีวภาพผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์ภายใต้อุณหภูมิที่แตกต่างกัน ตั้งแต่ 250 – 390 องศาเซลเซียส จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าที่อุณหภูมิที่ 350 องศาเซลเซียส ให้ปริมาณของเหลวสูงสุดถึงร้อยละ 16.88 โดยน้ำหนัก

Biswas และคณะ [18] ศึกษาผลของตัวทำละลาย น้ำ เมทานอล และเอทานอล ที่อุณหภูมิ 260 280 และ 300 องศาเซลเซียส จากผลการทดลองพบว่าการใช้ตัวทำละลายที่เป็นสารละลายอินทรีย์จะทำให้ปริมาณของน้ำมันดิบชีวภาพเพิ่มสูงขึ้นมาก การใช้เมทานอลและเอทานอลเป็นตัวทำละลาย ทำให้ได้ปริมาณของเหลวร้อยละ 22.8 และ 23.8 โดยน้ำหนักตามลำดับ และเมื่อใช้น้ำเป็นตัวทำละลายทำให้ได้ปริมาณของเหลวร้อยละ 16.3 โดยน้ำหนัก นอกจากนี้ในการวิเคราะห์ด้วยเครื่องโครมาโตกราฟ แมสสเปกโตรมิเตอร์ พบว่าถ้าใช้ตัวทำละลายอินทรีย์จะทำให้ของเหลวมีองค์ประกอบของเอสเทอร์เพิ่มมากขึ้นในน้ำมันดิบชีวภาพ

Tapaswy และคณะ [19] นำสาหร่ายชนิด *Cyanidioschyzon merolae* มาผ่านกระบวนการผลิตน้ำมันชีวภาพผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์ โดยศึกษาช่วงอุณหภูมิ 180-300 องศาเซลเซียส และทำการศึกษาผลของตัวเร่งปฏิกิริยาเบส 2 ชนิด และ ตัวเร่งปฏิกิริยากรด 2 ชนิด ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าปริมาณน้ำมันที่ได้มากที่สุดคือ ร้อยละ 16.98 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส แบบไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยา และปริมาณน้ำมันที่ได้มากที่สุด คือ ร้อยละ 22.67 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส เมื่อมี KOH เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

Chen และคณะ [20] ศึกษาการนำซาร์ที่เกิดจากกระบวนการไพโรไลซิสมาเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันของน้ำมันถั่วเหลือง เป็น bio-gasoline จากการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบระหว่าง char และ CaO/char พบว่า CaO char มีพื้นที่ผิวที่สูงกว่าซาร์ หลังจากนั้นนำ CaO/char ไปทดสอบในกระบวนการแฟลชไพโรไลซิส พบว่าน้ำมันถั่วเหลืองก่อนทำปฏิกิริยา มีปริมาณออกซิเจนสูงถึงร้อยละ 14.4 โดยน้ำหนัก แต่เมื่อผ่านกระบวนการแฟลชไพโรไลซิส ทำให้ปริมาณออกซิเจนลดลงเหลือร้อยละ 12.9 โดยน้ำหนัก และถ้ามีการใส่ CaO/Char จะบอกว่าปริมาณออกซิเจนในของเหลวลดลงเหลือเพียงร้อยละ 2.4 โดยน้ำหนักซึ่งจะสรุปได้ว่า CaO/char นั้นสนับสนุนปฏิกิริยา deoxygenation เลยทำให้ปริมาณออกซิเจนลดลง และคุณภาพของน้ำมันดีขึ้น

Laleh และคณะ [21] ศึกษาการนำไม้ผสมกับตัวเร่งปฏิกิริยา KOH, $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, K_2CO_3 , MgO, synthetic hydrotalcite (HT) และ ground colemanite นำมาใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตน้ำมันชีวภาพผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์ ภายใต้อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที จากการทดลองนั้นพบว่า สารที่เติมตัวเร่งปฏิกิริยา KOH มีปริมาณของเหลวเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก

Linxi และ คณะ [22] ศึกษากระบวนการไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกชั้นแบบผสม โดยศึกษาการผสมกันของกากกาแฟ และวัตถุดิบ 3 ชนิด คือ กระจาดชงรอง ซังข้าวโพด เปลือกต้นสน จากการศึกษาพบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกชั้นแบบผสม คือ 250 องศาเซลเซียส และอัตราส่วนผสม คือ 1:1 ของกากกาแฟต่อซังข้าวโพด และการใส่ตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก NaOH เข้าไปในระบบ ช่วยเพิ่มปริมาณน้ำมันเป็นร้อยละ 20.9 โดยน้ำหนัก

Feiqiang และคณะ [23] ศึกษาวิธีการเร่งปฏิกิริยาที่มีประสิทธิภาพในกระบวนการไพโรไลซิสของแกลบ (RH) ผสมกับชาร์ของแกลบ (RHC) ที่ถูกผสมกับ Fe, Cu และ K โดยแบ่งการทดลองเป็นสองขั้นตอน ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบชาร์ของแกลบ (RHC) และชาร์ของแกลบ (RHC) ที่ถูกผสมกับ Fe Cu และ K ในการเร่งปฏิกิริยาที่ช่วงอุณหภูมิ 600 700 และ 800 องศาเซลเซียส พบว่าปริมาณการสลายตัวของน้ำมันที่ได้ดีที่สุด คือ ที่ 800 องศาเซลเซียส คือ ร้อยละ 77.1 โดยน้ำหนักของ RHC ร้อยละ 82.7 โดยน้ำหนักของ K-RHC ร้อยละ 92.6 โดยน้ำหนักของ Fe-RHC และร้อยละ 90.6 โดยน้ำหนักของ Cu-RHC

บทที่ 3

เครื่องมือและวิธีการทดลอง

ในงานวิจัยนี้ศึกษาการผลิตน้ำมันดิบชีวภาพผลของชาร์ที่มีต่อร้อยละผลได้และคุณภาพจากไฮโดรเทอร์มัลลิกวิพากซ์ของชานอ้อย

3.1 สารตั้งต้นและสารเคมี

- 3.1.1 ชานอ้อย (bagasse) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 150-250 ไมโครเมตร
- 3.1.2 ชาร์ชานอ้อย ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 150-250 ไมโครเมตร
- 3.1.3 ชาร์กะลามะพร้าว ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 150-250 ไมโครเมตร
- 3.1.4 ถ่านกัมมันต์ (activated carbon) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 150-250 ไมโครเมตร
- 3.1.5 โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) จาก บริษัท QReC New Zealand
- 3.1.6 น้ำปราศจากไอออน (distilled water)
- 3.1.7 แอซีโตน (acetone) เกรด AR
- 3.1.8 ไนโตรเจน ความบริสุทธิ์ 99.99% จาก บริษัท แพรกซ์แอร์ (ประเทศไทย) จำกัด

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

- 3.2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมชานอ้อย
 - 1) เครื่องบดย่อยชีวมวลชนิดหยาบ
 - 2) เครื่องบดย่อยชีวมวลชนิดละเอียด
 - 3) ตะแกรงร่อนขนาด 150 และ 250 ไมโครเมตร
 - 4) เครื่องเขย่าตะแกรงร่อน
 - 5) ตู้อบ

3.2.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมโพแทสเซียมบนชาร์

3.2.2.1 เตาเผา (furnace)

เตาเผาใหม่ ดังรูปที่ 3.1 ใช้สำหรับการเผาไหม้ที่ภาวะต่าง ๆ แต่ในงานวิจัยนี้ใช้ในการเผาไหม้ในบรรยากาศไนโตรเจนความดันบรรยากาศ



รูปที่ 3.1 เตาเผาที่ใช้ในงานวิจัย

3.2.3 เครื่องปฏิกรณ์ที่ใช้การทดลอง

3.2.3.1 เครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์หรือเครื่องปฏิกรณ์แรงดันสูง (high-pressure parr reactor)

เครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์ดังแสดงในรูปที่ 3.2 ผลิตโดยบริษัท Parr Instrument Company มีขนาดปริมาตร 500 มิลลิลิตร ตัวเครื่องทำจากเหล็กกล้าไร้สนิม (stainless steel 316) ประกอบด้วย 5 ส่วน คือ ส่วนให้ความร้อน (heater) อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ (temperature controller) มาตรวัดความดัน (pressure gauge) ระบบหล่อเย็น (cooling system) และอุปกรณ์การกวนโดยตัวเครื่องและอุปกรณ์ประกอบสามารถทำงานที่อุณหภูมิไม่เกิน 400 องศาเซลเซียส และความดันสูงสุดไม่เกิน 35 เมกะพาสคัล

การทดลองในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์ ประกอบด้วย 7 องค์ประกอบ ดังนี้

- 1) แก๊สไนโตรเจน ความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.99
- 2) กระจก stainless ขนาด 500 มิลลิลิตร
- 3) ระบบให้ความร้อน
- 4) อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ
- 5) มาตรวัดอุณหภูมิ (thermocouple)
- 6) มาตรวัดความดัน
- 7) ระบบหล่อเย็น



รูปที่ 3.2 เครื่องปฏิกรณ์แรงดันสูง

3.2.4 อุปกรณ์การกรอง และการระเหยตัวทำละลาย

อุปกรณ์ที่ใช้ในการกรองประกอบด้วย 4 ชนิด ดังนี้

- 1) กรวยบุชเนอร์ (buchner funnel)
- 2) ขวดกรอง (suction or filter flask)
- 3) ปั๊มดูดอากาศ (suction pump)
- 4) กระดาษกรอง Whatman เบอร์ 3

อุปกรณ์ที่ใช้ในการระเหยตัวทำละลายประกอบด้วย 3 ชนิด ดังนี้

- 1) เครื่องระเหยแบบหมุน (rotary evaporator) ดังแสดงในรูปที่ 3.3
- 2) ตัวทำละลาย
- 3) ขวดเก็บสารตัวอย่าง



รูปที่ 3.3 เครื่องระเหยแบบหมุน

3.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์สารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์

3.3.1 เครื่องวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (CHNS/O analyzer)

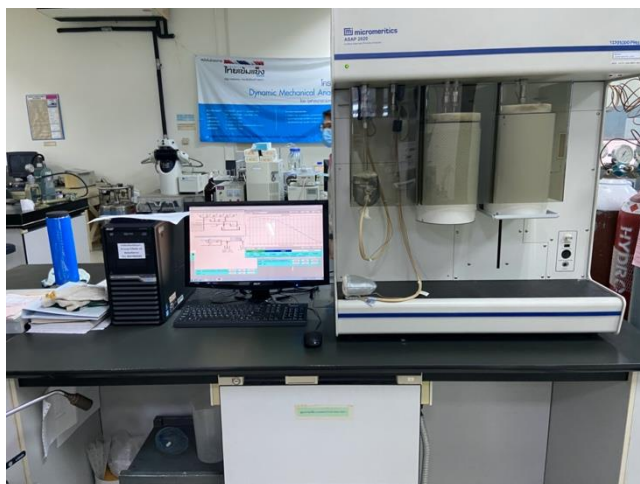
รูปที่ 3.4 แสดงเครื่องวิเคราะห์แบบแยกธาตุ ยี่ห้อ PerkinElmer รุ่น 2400 Series II ใช้ในการวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบคาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน ซัลเฟอร์ และออกซิเจน ในตัวอย่างทั้งชีวมวลที่ใช้เป็นสารตั้งต้น และน้ำมันดิบชีวภาพที่เป็นผลิตภัณฑ์ ผลการวิเคราะห์คิดเป็นร้อยละธาตุองค์ประกอบแต่ละชนิดโดยน้ำหนัก ของชีวมวลหรือน้ำมันดิบชีวภาพที่ใช้ในการวิเคราะห์



รูปที่ 3.4 เครื่องวิเคราะห์แบบแยกธาตุ

3.3.2 เครื่องหาขนาดรูพรุน (chemisorption analyzer) MICROMERITICS- ASAP2020

การวิเคราะห์ขนาดของรูพรุน ของถ่านชาร์ ด้วยเครื่อง Chemisorption Analyzer (BET) รุ่น ASAP2020 ยี่ห้อ Micromeritics แสดงดังในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 เครื่องหาขนาดรูพรุน

3.3.3 เครื่องหาปริมาณธาตุและสารประกอบในของแข็ง X-Ray Fluorescence Spectrometer (XRF) Bruker AXS – Germany

การวิเคราะห์หาชนิดของหมู่ฟังก์ชันของถ่านชาร์ ด้วย X-Ray Fluorescence Spectrometer (XRF) รุ่น Bruker AXS ยี่ห้อ Germany แสดงดังในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 X-Ray Fluorescence Spectrometer (XRF) [24]

3.3.4 เครื่องวิเคราะห์เชิงอุณหภูมิกความร้อน Thermogravimetric Analyzer (TG/SDTA)

METTLER – 850e

การวิเคราะห์เชิงอุณหภูมิกความร้อน เพื่อหาการสลายตัวทางความร้อนของซาร์ ด้วยเครื่อง METTLER รุ่น 850e แสดงดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 เครื่องวิเคราะห์เชิงอุณหภูมิกความร้อน

3.3.5 เครื่องวิเคราะห์ชนิดสารโดยหลักการ ดูดกลืนแสงในช่วงคลื่นอินฟราเรด (FTIR-ATR Spectrometer) Thermo Fisher-Nicolet iS5

การวิเคราะห์หาชนิดของหมู่ฟังก์ชันของถ่านซาร์ ด้วยเครื่อง FTIR-ATR Spectrometer ยี่ห้อ Thermo Fisher รุ่น Nicolet iS5 แสดงดังในรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 FTIR-ATR Spectrometer

3.4 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์

3.4.1 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ

การวิเคราะห์องค์ประกอบและปริมาณของผลิตภัณฑ์แก๊สด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ ยี่ห้อ Shimadzu รุ่น GC 2014 ดังแสดงในรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ

3.4.2 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ-แมสสเปกโตรเมตรี

การวิเคราะห์องค์ประกอบของน้ำมันดิบชีวภาพด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ-แมสสเปกโตรเมตรี ยี่ห้อ Shimadzu รุ่น QP- 2010 ดังแสดงในรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ-แมสสเปกโตรเมตรี

3.4.3 เครื่องหาปริมาณน้ำคาร์ล ฟิสเซอร์ (Karl-Fischer titration)

การวิเคราะห์หาปริมาณน้ำในน้ำมันดิบชีวภาพโดยใช้วิธีการไตเตรต คาร์ล ฟิสเซอร์ ด้วยเครื่อง METTLER TOLEDO รุ่น V20 Volumetric KT Titrator แสดงดังในรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 เครื่องหาปริมาณน้ำคาร์ล ฟิสเซอร์

3.4.4 เครื่องหาปริมาณโพแทสเซียมในน้ำมันดิบชีวภาพ (atomic absorption spectrometer, AAS)

การวิเคราะห์หาปริมาณโพแทสเซียมในน้ำมันดิบชีวภาพ ด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrometer (AAS) แสดงดังในรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 เครื่องหาปริมาณโพแทสเซียมในน้ำมันดิบชีวภาพ [25]

3.5 ขั้นตอนดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย แบ่งออกเป็นทั้งหมด 4 ขั้นตอน ดังนี้

3.5.1 การเตรียมขานอ้อย

นำขานอ้อยไปล้าง และตากแดด จากนั้นนำมาบด และเข้าเครื่องเขย่าตะแกรงร่อน เพื่อคัดขนาดให้อยู่ในช่วง 150 ถึง 250 ไมโครเมตร นำขานอ้อย ที่ได้ไปอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมงก่อนใช้เพื่อไล่ความชื้นการใช้ในการทดลอง

3.5.2 การเตรียมโพแทสเซียมบนชาร์

สารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย คือ ถ่านกัมมันต์ ชาร์ขานอ้อย และชาร์กะลามะพร้าว นำไปบดให้มีขนาด 150 - 250 ไมโครเมตร จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมงเพื่อไล่ความชื้น หลังจากนั้นเตรียมโพแทสเซียมบนชาร์ ด้วยกระบวนการฝังตัว (impregnation) โดยนำ KOH ไปละลายน้ำแล้วผสมกับชาร์ด้วยอัตราส่วนของ K:ชาร์ ในอัตราส่วน 1:5 โดยน้ำหนัก หลังจากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำไป calcined ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที ในภาวะ N_2 ด้วยอัตราการให้ความร้อน 5 องศาเซลเซียสต่อนาที

3.5.3 การวิเคราะห์สมบัติของขานอ้อยและชาร์แต่ละชนิด

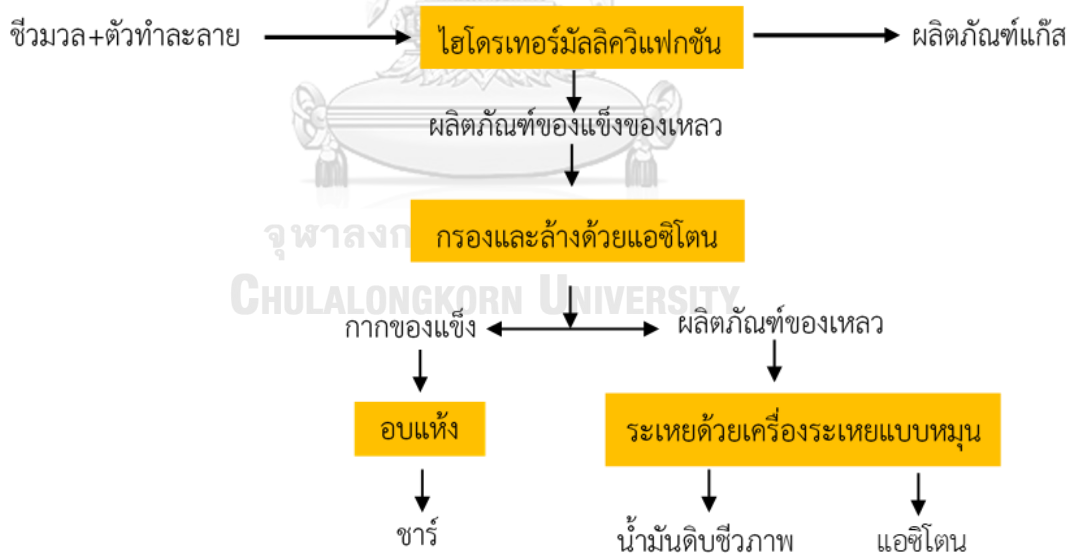
การวิเคราะห์แบบประมาณ ได้แก่ ปริมาณความชื้น ตามมาตรฐาน ASTM E871-82 ปริมาณสารระเหย ตามมาตรฐาน ASTM E872-82 ปริมาณเถ้าวิเคราะห์ ตามมาตรฐาน ASTM D1102-84 และปริมาณคาร์บอนคงตัวจากการตามมาตรฐาน ASTM 2866-94

การวิเคราะห์แบบแยกองค์ประกอบธาตุ ได้แก่ ปริมาณร้อยละของธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน และซัลเฟอร์ โดยใช้เครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบแบบแยกธาตุ ส่วนปริมาณร้อยละของธาตุออกซิเจนหาได้จากการนำ ปริมาณร้อยละ 100 หักออกจากผลรวมของธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน และไนโตรเจน

3.5.4 การผลิตน้ำมันดิบชีวภาพด้วยไฮโดรเทอร์มอลลิควิแฟกชันในเครื่องปฏิกรณ์แบบตซ์

- 1) ชั่งขานอ้อย 10 กรัม ผสมชาร์ 10 กรัม และตัวทำละลาย (น้ำ) 200 มิลลิลิตร โดยใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนักของชีวมวล 1 กรัมต่อ ชาร์ 1 กรัม ต่อ ตัวทำละลาย 20 มิลลิลิตร
- 2) ประกอบเครื่องปฏิกรณ์ และทำการไล่อากาศไล่อากาศอยู่ภายในเครื่องปฏิกรณ์ด้วยการอัดและปล่อยไนโตรเจนจำนวน 3 ครั้ง แล้วค่อยอัดไนโตรเจนด้วยความดันเริ่มต้น 2 เมกะพาสคัล

- 3) ให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิที่กำหนด คือ 300 และ 350 องศาเซลเซียส กำหนดค่าความเร็วรอบใบกวน 300 รอบต่อนาที ให้เวลาทำปฏิกิริยา 60 นาที โดยเริ่มนับเวลาเมื่ออุณหภูมิในเครื่องปฏิกรณ์ถึงค่าที่กำหนด
- 4) หลังจากครบเวลาทำการลดอุณหภูมิภายในเครื่องปฏิกรณ์จนถึงอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส
- 5) ขั้นตอนการแยกเก็บผลิตภัณฑ์ แสดงในรูปที่ 3.12 เก็บตัวอย่างผลิตภัณฑ์แก๊ส ด้วยถุงเก็บแก๊สตัวอย่าง นำส่วนที่ได้จากเครื่องปฏิกรณ์ (ของแข็งและของเหลว) มาทำการกรองด้วยชุดกรองโดยใช้กระดาษกรอง นำส่วนที่เป็นของแข็งด้านบนชะล้างด้วยตัวทำละลายแอสिटอน จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และนำผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้ทำการระเหยตัวทำละลายออก โดยการใช้เครื่องระเหยแบบหมุน ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ความดัน 400 mbar ความเร็วรอบการหมุน 30 รอบต่อนาที เป็นเวลา 2 ชั่วโมง



รูปที่ 3.13 แผนภาพการผลิตน้ำมันดิบชีวภาพด้วยไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชัน
ในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์

3.6 ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง

การศึกษาการทำไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชัน มีตัวแปรที่ศึกษา ดังนี้

- 1) ชนิดของชาร์ที่ใช้เป็นสารร่วมในการทำปฏิกิริยา คือ ชาร์ชานอ้อย (BC) ชาร์กะลามะพร้าว (CC) ถ่านกัมมันต์ (AC)
- 2) ชนิดของชาร์ที่เติมโพแทสเซียมร้อยละ 20 โดยมวล เป็นสารร่วมในการทำปฏิกิริยา คือ โพแทสเซียมบนชาร์ชานอ้อย (K-BC) โพแทสเซียมบนชาร์กะลามะพร้าว (K-CC) โพแทสเซียมบนถ่านกัมมันต์ (K-AC)
- 3) อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา คือ 300 และ 350 องศาเซลเซียส

3.7 การวิเคราะห์ผลต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์

3.7.1 การคำนวณร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์

- 1) ค่าร้อยละผลได้ของเชื้อเพลิงเหลวชีวภาพ (%Liq.) = $(100 \times W_{liq}) / W_{daf}$
- 2) ค่าร้อยละผลได้ของกากของแข็ง (%Solid) = $(W_{solid} - W_{ash}) \times 100 / W_{daf}$
- 3) ค่าร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์แก๊ส (%Gas) = $(100 \times W_{gas}) / W_{daf}$

W_{daf} คือ น้ำหนักของชีวมวล (กรัม)

W_{liq} คือ น้ำหนักของของเหลว (กรัม)

W_{solid} คือ น้ำหนักของแข็ง (กรัม)

W_{gas} คือ น้ำหนักของแก๊ส (กรัม)

3.7.2 การวิเคราะห์น้ำมันดิบชีวภาพ

3.7.2.1 ค่าความร้อนของน้ำมันดิบชีวภาพ

ค่าความร้อนของน้ำมันดิบชีวภาพหาได้จากการนำค่าร้อยละของธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจนที่ได้จากการวิเคราะห์แบบแยกองค์ประกอบธาตุมาแทนลงในสมการของ Dulong ดังแสดงในสมการที่ 3.1

$$HHV \text{ (MJ/kg)} = 0.3393 C + 1.422 \left(H - \frac{O}{8} \right) \quad (3.1)$$

3.7.2.2 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันดิบชีวภาพ

องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันดิบชีวภาพถูกวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี – แมสสเปกโตรมิเตอร์ (GC-MS)

สารที่เตรียมเพื่อนำไปวิเคราะห์ จะต้องละลายในตัวทำละลายไอโซโพรพานอล ความเข้มข้น 500 ppm โดยภาวะที่ใช้ในการวิเคราะห์แสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ภาวะที่ใช้ในการวิเคราะห์น้ำมันดิบชีวภาพด้วยเครื่องโครมาโทกราฟ-แมสสเปกโตรเมตรี

แก๊สพา (Carrier gas)	แก๊สฮีเลียม (He)
ชนิดคอลัมน์	DB5-MS 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

3.7.2.3 ปริมาณน้ำในน้ำมันดิบชีวภาพ

สามารถหาปริมาณน้ำในน้ำมันดิบชีวภาพโดยใช้วิธีการไตเตรท คาร์ล ฟิสเซอร์ ซึ่งมีวิธีการ ดังนี้

- การเจือจางสาร โดยใช้ 2-propanol เป็นตัวทำละลาย
 1. ชั่งน้ำหนักน้ำมันดิบชีวภาพ ประมาณ 0.02 กรัม ใส่ปิ๊กเกอร์
 2. เติม 2-propanol 3.5 มิลลิลิตร
- การใช้เครื่องคาร์ล ฟิสเซอร์
 1. เปิดและกด calibrate เครื่อง
 2. ระหว่างรอให้ชั่งน้ำหนักเข็มที่ดูดน้ำมันดิบชีวภาพที่ผ่านการเจือจางแล้วเตรียมไว้
 3. เมื่อเครื่องพร้อมใช้งาน ให้กด start และ หยอดน้ำมันดิบชีวภาพ ลงไป 2-5 หยด
 4. ชั่งน้ำหนักที่หายไป พร้อมทั้งกรอกลงในเครื่อง
 5. รวผลและจดค่าที่ได้ในหน่วย ppm หรือ %

3.7.3 การวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์แก๊ส

3.7.3.1 องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์แก๊ส

องค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์แก๊สวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (GC) โดยภาวะที่ใช้ในการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 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)

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

ในงานวิจัยนี้จะศึกษาการผลิตน้ำมันดิบชีวภาพจากกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกชันของชานอ้อย โดยจะศึกษาผลของชาร์ และโพแทสเซียมบนชาร์ ต่อร้อยละผลได้ และคุณภาพของน้ำมันดิบชีวภาพจากกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกชัน โดยจะนำผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้จากการทดลองนั้นไปทดสอบวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีโดยเทคนิคการวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (CHNO/S analysis) และแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี (GC/MS) ส่วนการวิเคราะห์องค์ประกอบผลิตภัณฑ์แก๊สสามารถวิเคราะห์โดยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (GC) ซึ่งสามารถแบ่งผลการทดลองออกได้ ดังนี้

- 1) การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของสารตั้งต้น
- 2) ผลของชาร์ชานอ้อย ชาร์กะลามะพร้าว และถ่านกัมมันต์ ต่อร้อยละผลได้ และคุณภาพของน้ำมันดิบชีวภาพจากไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกชัน
- 3) ผลของโพแทสเซียมบน ชาร์ชานอ้อย ชาร์กะลามะพร้าว และถ่านกัมมันต์ ต่อร้อยละผลได้ และคุณภาพของน้ำมันดิบชีวภาพจากไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกชัน

4.1 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของสารตั้งต้น

- 4.1.1 การวิเคราะห์แบบประมาณ การวิเคราะห์แยกธาตุ และค่าความร้อนของชานอ้อย
ชาร์ชานอ้อย ชาร์กะลามะพร้าว และถ่านกัมมันต์

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการวิเคราะห์แบบประมาณ การวิเคราะห์แบบแยกธาตุ และค่าความร้อนของชานอ้อย ชาร์ชานอ้อย ชาร์กะลามะพร้าว และถ่านกัมมันต์ จากการวิเคราะห์พบว่าชานอ้อยมีปริมาณเถ้า (ash) สูงที่สุด คือ ร้อยละ 10.04 โดยน้ำหนัก และปริมาณสารระเหยสูงสุดที่ร้อยละ 70.78 โดยน้ำหนัก ซึ่งมีปริมาณมากกว่า ชาร์ชานอ้อย ชาร์กะลามะพร้าว และถ่านกัมมันต์เป็นอย่างมาก เนื่องจากชาร์ชานอ้อย ชาร์กะลามะพร้าว และถ่านกัมมันต์ นั้นเป็นถ่านที่มีปริมาณคาร์บอนคงตัวปริมาณสูงถึงร้อยละ 97.02 96.47 และ 96.47 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ จึงทำให้เห็นว่าชานอ้อยมีปริมาณคาร์บอนคงตัวน้อยที่สุดร้อยละ 12.1 โดยน้ำหนัก

จากการวิเคราะห์แบบแยกธาตุและหาปริมาณความร้อนของสารตั้งต้นทั้ง 4 ชนิดพบว่าสารตั้งต้นของแต่ละชนิดประกอบไปด้วยปริมาณธาตุสารอินทรีย์ที่แตกต่างกันออกไป อย่างไรก็ตามองค์ประกอบหลักของสารตั้งต้นนั้นยังคงเป็นคาร์บอนและไฮโดรเจน จากการทดสอบจะเห็นได้ชัดเจนว่าชานอ้อยมีปริมาณคาร์บอนอยู่ร้อยละ 47.10 โดยน้ำหนักเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณคาร์บอนของชาร์แต่ละชนิดแล้วนั้นจะพบว่าปริมาณคาร์บอนจากมากไปน้อยดังนี้ ถ่านกัมมันต์ ชาร์กะลามะพร้าว

และชาร์ซานอ้อย ตามลำดับ โดยจะใช้อัตราส่วนไฮโดรเจนต่อคาร์บอน (H/C ratio) และ อัตราส่วนออกซิเจนต่อคาร์บอน (O/C ratio) เป็นการเปรียบเทียบสมบัติทางเชื้อเพลิงแข็งพบว่าชาร์ทั้ง 3 ชนิด มีปริมาณ H/C และ O/C ใกล้เคียงกันมากจึงส่งผลให้มีชาร์ทั้ง 3 ชนิดมีค่าความร้อนใกล้เคียงกัน เมื่อเปรียบเทียบกับซานอ้อยแล้วพบว่า H/C และ O/C มีปริมาณที่สูงกว่าชาร์ทั้ง 3 ชนิดอย่างมากเลย ส่งผลให้ค่าความร้อนของซานอ้อยมีปริมาณน้อยที่สุด คือ 14.86 เมกะจูลต่อกิโลกรัม



ตารางที่ 4.1 การวิเคราะห์แบบประมาณ การวิเคราะห์แบบแยกธาตุ และค่าความร้อนของชานอ้อย ชาร์ชานอ้อย ชาร์กะลามะพร้าว และถ่านกัมมันต์

	ชานอ้อย	ชาร์ชานอ้อย	ชาร์กะลามะพร้าว	ถ่าน กัมมันต์
การวิเคราะห์แบบประมาณ: proximate analysis (ร้อยละโดยน้ำหนัก)^a				
ความชื้น (moisture)	7.08	0.13	0.22	0.25
เถ้า (ash)	10.04	2.40	2.78	2.68
สารระเหย (volatile) ^b	70.78	0.45	0.53	0.21
คาร์บอนคงตัว (fixed carbon)	12.1	97.02	96.47	96.47
การวิเคราะห์แบบแยกธาตุ: ultimate analysis (ร้อยละโดยน้ำหนัก)^c				
คาร์บอน (C)	47.10	76.20	79.47	83.16
ไฮโดรเจน (H)	5.05	1.76	1.8	1.09
ออกซิเจน (O) ^d	46.28	14.98	20.81	17.92
ไนโตรเจน (N)	0.77	1.00	0.60	0.66
ซัลเฟอร์ (S)	0.85	0.25	0.22	0.12
อัตราส่วนไฮโดรเจนต่อ คาร์บอน (H/C) (โดยน้ำหนัก)	0.11	0.02	0.02	0.01
อัตราส่วนออกซิเจนต่อ คาร์บอน (O/C) (โดยน้ำหนัก)	0.98	0.20	0.26	0.22
ค่าความร้อน (เมกะจูลต่อกิโลกรัม) ^e	14.86	24.56	26.25	27.00

^aร้อยละโดยน้ำหนักที่ได้จากการวิเคราะห์โดยตรง

^b100 – ผลรวมขององค์ประกอบแต่ละชนิดยกเว้นคาร์บอนคงตัว

^cร้อยละโดยน้ำหนักที่ไม่รวมความชื้นและเถ้า

^d100 – ผลรวมของปริมาณธาตุแต่ละชนิด

^eคำนวณจากสมการ Dulong's equation

$$\text{ค่าความร้อน} = 0.3383 (\text{คาร์บอน}) + 1.442 [\text{H} (\text{ไฮโดรเจน}) - \text{O} (\text{ออกซิเจน}) / 8]$$

4.1.2 การวิเคราะห์พื้นที่ผิวของชาร์ซานอ้อย ชาร์กะลามะพร้าว ถ่านกัมมันต์ และ โปแทสเซียมบนชาร์ซานอ้อย ชาร์กะลามะพร้าว และถ่านกัมมันต์

ตารางที่ 4.2 แสดงการวิเคราะห์ขนาดของพื้นที่ผิวของ ชาร์ซานอ้อย ชาร์กะลามะพร้าว ถ่านกัมมันต์ และ โปแทสเซียมบนชาร์ซานอ้อย ชาร์กะลามะพร้าว และถ่านกัมมันต์จากการทดสอบพบว่า ถ่านกัมมันต์มีปริมาณพื้นที่ผิวมากที่สุด คือ 477.42 ตารางเมตรต่อกรัม เพราะถ่านกัมมันต์ทำมาจากชาร์กะลามะพร้าวที่ถูกกระตุ้นด้วยกระบวนการแอคติเวท เลยทำให้ชาร์กะลามะพร้าวที่มีพื้นที่ผิว 362.65 ตารางเมตรต่อกรัม มีปริมาณพื้นที่ผิวน้อยกว่าถ่านกัมมันต์และถ้าเปรียบเทียบกับชาร์ซานอ้อยจะพบว่าชาร์ซานอ้อยนั้นมีปริมาณพื้นที่ผิวที่น้อยที่สุด คือ 299.48 ตารางเมตรต่อกรัม เนื่องจากมีความแตกต่างของโครงสร้างระหว่างกะลามะพร้าวและซานอ้อยจึงทำให้ชาร์ซานอ้อยมีปริมาณพื้นที่น้อยที่สุด

เมื่อเปรียบเทียบชาร์ที่เติมโปแทสเซียมลงไปของชาร์ทั้ง 3 ชนิดพบว่า พื้นที่ผิวของชาร์ซานอ้อย ชาร์กะลามะพร้าว และถ่านกัมมันต์ มีพื้นที่ผิวเท่ากับ 299.48 362.65 และ 477.42 ตารางเมตรต่อกรัม ตามลำดับ และเมื่อเติมโปแทสเซียมลงไปบนชาร์ทั้ง 3 ชนิดจะเห็นได้ว่า ชาร์ซานอ้อย ชาร์กะลามะพร้าว และถ่านกัมมันต์ มีพื้นที่ผิวเท่ากับ 0.63 19.76 และ 23.63 ตารางเมตรต่อกรัม ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าปริมาณพื้นที่ผิวของชาร์ทั้ง 3 ชนิด มีปริมาณพื้นที่ผิวลดลงอย่างมากเนื่องจากโปแทสเซียมที่เติมลงไปนั้นไปปกคลุมบริเวณปากรูพรุนเลยทำให้ปริมาณพื้นที่ผิวของชาร์ทั้ง 3 ชนิด ลดลงอย่างมากแต่ในขณะเดียวกันก็ลดลงตามแนวโน้มเริ่มต้นก่อนเติมโปแทสเซียมลงไป

ตารางที่ 4.2 การวิเคราะห์พื้นที่ผิวของ ชาร์ซานอ้อย ชาร์กะลามะพร้าว ถ่านกัมมันต์ และ โปแทสเซียมบนชาร์ซานอ้อย ชาร์กะลามะพร้าว และถ่านกัมมันต์

ชนิดของชาร์	พื้นที่ผิว (m ² /g)	ขนาดรูพรุน (cm ³ /g)
ชาร์ซานอ้อย	299.48	0.054962
ชาร์กะลามะพร้าว	362.65	0.043078
ถ่านกัมมันต์	477.42	0.038171
โปแทสเซียมบนชาร์ซานอ้อย	0.63	0.020696
โปแทสเซียมบนชาร์กะลามะพร้าว	19.76	0.005127
โปแทสเซียมบนถ่านกัมมันต์	23.63	0.012439

4.1.3 การวิเคราะห์หาสารประกอบของธาตุ (X-Ray Fluorescence Spectrometer, XRF) ของชาร์ซานอ้อย ชาร์กะลามะพร้าว และถ่านกัมมันต์

เนื่องจากชาร์แต่ละชนิดทำมาจากวัตถุดิบที่แตกต่างกันดังนั้นจึงได้มีการวิเคราะห์หาสารประกอบของธาตุด้วยเทคนิค XRF ของชาร์ซานอ้อย ชาร์กะลามะพร้าว และถ่านกัมมันต์ พบว่าองค์ประกอบของชาร์แต่ละชนิดมีความแตกต่างกันดังตารางที่ 4.3 จะพบว่าชาร์กะลามะพร้าวนั้นมีปริมาณ Fe_2O_3 และ K_2O ที่สูงที่สุด คือ ร้อยละ 25.17 และ 36.84 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์แล้วจะพบว่ามีความใกล้เคียงกันเนื่องจากวัตถุดิบหลักเป็นชนิดเดียวกัน แต่เมื่อเปรียบเทียบกับชาร์ซานอ้อยจะพบว่า มีปริมาณ Fe_2O_3 และ K_2O ที่น้อยที่สุด คือ ร้อยละ 5.60 และ 12.46 โดยน้ำหนักตามลำดับ ซึ่งจะพบว่ามีความใกล้เคียงกับวัตถุดิบหลักอย่าง ชาร์ซานอ้อยแต่ชาร์ซานอ้อยนั้นมีปริมาณ Fe_2O_3 ลดลง เนื่องจากผ่านกระบวนการทางความร้อนเปลี่ยนให้เป็นชาร์ เลยทำให้ Fe_2O_3 เปลี่ยนการรวมตัวไปเป็นรูปแบบอื่น

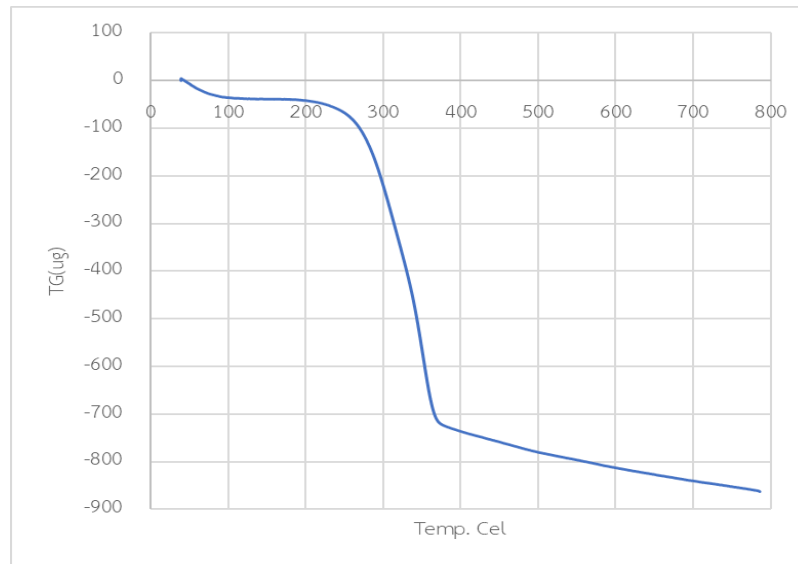
ตารางที่ 4.3 การวิเคราะห์หาสารประกอบของธาตุ (X-Ray Fluorescence Spectrometer ,XRF) ของ ชาร์ซานอ้อย ชาร์กะลามะพร้าว และถ่านกัมมันต์

ชนิดของสารประกอบ	ชาร์ซานอ้อย	ชาร์กะลามะพร้าว	ถ่านกัมมันต์
Fe_2O_3 (%wt.)	10.80	5.60	14.18
K_2O (%wt.)	11.80	12.46	36.78

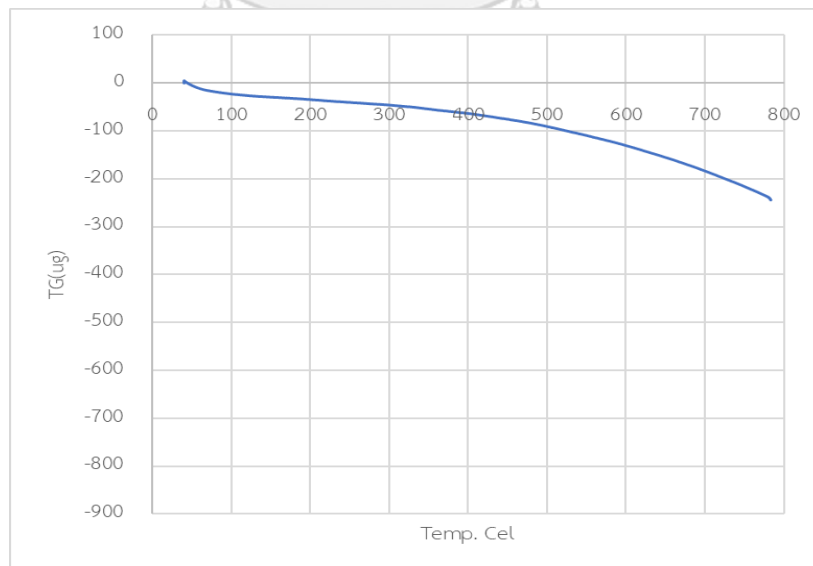
4.1.4 พฤติกรรมการสลายตัวทางความร้อนของชาร์ซานอ้อย ชาร์กะลามะพร้าว และถ่านกัมมันต์

รูปที่ 4.1-4.4 แสดงพฤติกรรมการสลายตัวทางความร้อนของชาร์ซานอ้อย ชาร์กะลามะพร้าว และถ่านกัมมันต์ ตามลำดับ โดยวิเคราะห์ด้วยเครื่อง thermogravimetric analyzer (TG-DTA) ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน ช่วงอุณหภูมิ 0 ถึง 750 องศาเซลเซียส และอัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที พบว่าการสลายตัวของชาร์ซานอ้อยเริ่มสลายตัวที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส และมีการสลายตัวสูงสุดที่อุณหภูมิ 330 องศาเซลเซียส โดยการสลายตัวของชาร์ซานอ้อยนั้นมีการสลายตัวของ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และ ลิกนิน ที่เป็นองค์ประกอบอยู่ในชาร์ซานอ้อย การสลายตัวของชาร์ซานอ้อย ชาร์กะลามะพร้าว และถ่านกัมมันต์ พบว่าไม่เห็นการสลายตัวที่ชัดเจนของชาร์ทั้ง 3 ชนิด แต่ถ้าสังเกตช่วงอุณหภูมิ 100-400 องศาเซลเซียส จะพบว่ามีการสลายตัวทางความร้อนเพียงแค่อ้อย 2 โดยน้ำหนักเท่านั้น เพราะว่าชาร์ทั้ง 3 ชนิดมีปริมาณคาร์บอนคงตัวอยู่เป็นปริมาณมากดัง

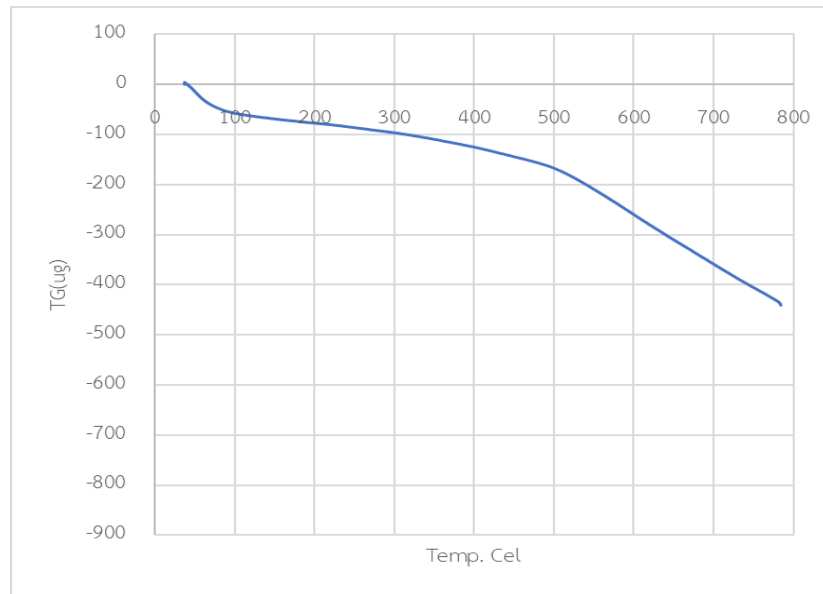
ตารางที่ 4.1 โดยปริมาณคาร์บอนเหล่านั้นได้รวมตัวกันอยู่ในรูปร่างของ Aromatic ที่มีความสามารถในการทนต่อการสลายตัวความร้อนที่สูง ดังนั้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิการสลายตัวจนถึง 500 องศาเซลเซียส จะเห็นว่าเริ่มมีการสลายตัวทางความร้อนเกิดขึ้น



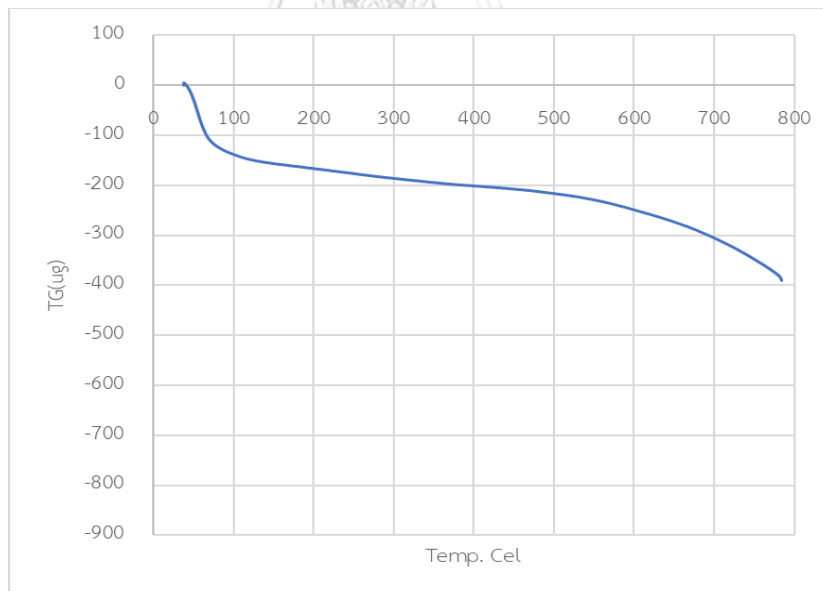
รูปที่ 4.1 พฤติกรรมการสลายตัวทางความร้อนของชานอ้อย
จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค TG-DTA



รูปที่ 4.2 พฤติกรรมการสลายตัวทางความร้อนของชาร์ชานอ้อย
จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค TG-DTA



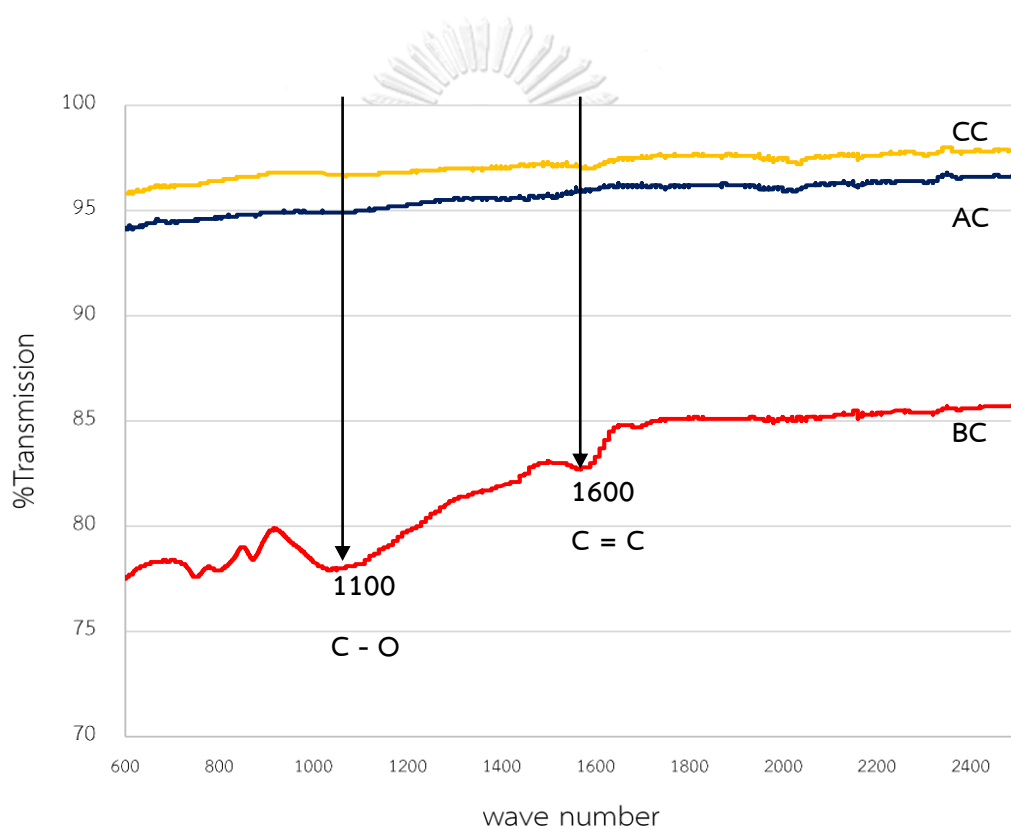
รูปที่ 4.3 พฤติกรรมการสลายตัวทางความร้อนของชาร์กะลามะพร้าว
จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค TG-DTA



รูปที่ 4.4 พฤติกรรมการสลายตัวทางความร้อนของถ่านกัมมันต์
จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค TG-DTA

4.1.5 วิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชัน (Fourier Transform Infrared Spectrophotometer, FTIR) ของชาร์ซานอ้อย ชาร์กะลามะพร้าว และถ่านกัมมันต์

รูปที่ 4.5 แสดงการวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันของ ชาร์ซานอ้อย (BC) ชาร์กะลามะพร้าว (CC) และถ่านกัมมันต์ (AC) ด้วยเทคนิค FTIR จากการทดสอบพบว่าชาร์ของชาร์กะลามะพร้าว และถ่านกัมมันต์มีลักษณะคล้ายกัน แต่เมื่อเปรียบเทียบกับชาร์ซานอ้อยจะเห็นได้อย่างชัดเจนเลยว่ามีกรดูดกลืนของ %transmission ที่ชัดเจนโดยเฉพาะที่ wave number 1100 เป็นหมู่ฟังก์ชันของ C-O และ 1600 เป็นหมู่ฟังก์ชันของ C=C



รูปที่ 4.5 หมู่ฟังก์ชันของชาร์ซานอ้อย ชาร์กะลามะพร้าว และถ่านกัมมันต์

4.2 ผลของชาร์ซานอ้อย ชาร์กะลามะพร้าว และถ่านกัมมันต์ ต่อร้อยละผลได้ และคุณภาพของน้ำมันดิบชีวภาพจากไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแพกซ์

4.2.1 ไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแพกซ์ของชานอ้อย ชาร์ซานอ้อย ชาร์กะลามะพร้าว และถ่านกัมมันต์

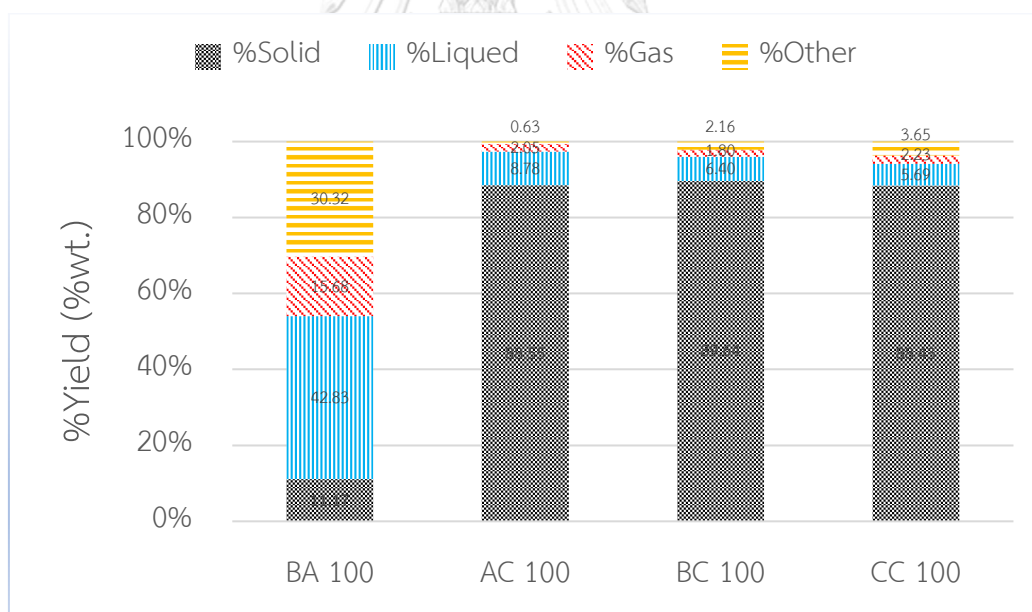
การทดลองการไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแพกซ์ของชานอ้อย (BA 100) ชาร์ซานอ้อย (BC 100) ชาร์กะลามะพร้าว (CC 100) และถ่านกัมมันต์ (AC 100) ดำเนินการที่อุณหภูมิ 300 และ 350 องศาเซลเซียส ในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบดซ์ ความดันไนโตรเจนเริ่มต้น 2 เมกะพาสคัล ความเร็วรอบใบกวน 300 รอบต่อนาที และเวลาที่ใช้ในการดำเนินปฏิกิริยา 60 นาที

จากการทดลองทำให้ได้ร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพ กากของแข็ง แก๊ส และผลิตภัณฑ์เบาอื่นๆ ดังรูปที่ 4.6 และ 4.7 ที่อุณหภูมิ 300 และ 350 องศาเซลเซียสตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างชานอ้อยและชาร์ซานอ้อย ชาร์กะลามะพร้าว ถ่านกัมมันต์ พบว่าชานอ้อยให้ร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบมากที่สุดถึงร้อยละ 42.83 โดยน้ำหนัก เนื่องจากองค์ประกอบภายในของชานอ้อยและชาร์ซานอ้อย ชาร์กะลามะพร้าว ถ่านกัมมันต์ มีความแตกต่างกันโดยจะสังเกตได้จากผลการทดสอบตามตารางที่ 4.1 พบว่าชานอ้อยมีส่วนของปริมาณสารระเหยมากที่สุดถึงร้อยละ 70.78 โดยน้ำหนัก ดังนั้นการสลายตัวทางความร้อนของชานอ้อยจึงสลายตัวได้ง่ายกว่า ชาร์ซานอ้อย ชาร์กะลามะพร้าว และถ่านกัมมันต์ มากไปกว่านั้นการทดสอบการสลายตัวทางความร้อนด้วยเทคนิค TG-DTA ของชานอ้อยดังรูปที่ 4.1 ทำให้ทราบว่าชานอ้อยจะเริ่มสลายตัวทางความร้อนที่เรียกว่า เกิดปฏิกิริยาดีพอลิเมอไรเซชัน (depolymerization) ที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส และสลายตัวมากที่สุดที่อุณหภูมิ 330 องศาเซลเซียส เลยส่งผลให้ชานอ้อยที่ผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแพกซ์ที่อุณหภูมิ 300 และ 350 องศาเซลเซียส มีปริมาณของน้ำมันดิบชีวภาพ แก๊ส และผลิตภัณฑ์เบาอื่นๆ ที่มากกว่า ชาร์ซานอ้อย ชาร์กะลามะพร้าว และถ่านกัมมันต์อย่างชัดเจน แต่ในทางกลับกัน ชาร์ซานอ้อย ชาร์กะลามะพร้าว และถ่านกัมมันต์ จะมีปริมาณกากของแข็งเหลืออยู่จำนวนมาก อันเนื่องมาจากการสลายตัวทางความร้อนของชาร์ซานอ้อย ชาร์กะลามะพร้าว และถ่านกัมมันต์นั้นจะเริ่มสลายตัวที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส ดังการทดสอบ TG-DTA รูปที่ 4.2 4.3 และ 4.4 ตามลำดับ แต่ในการทำการไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแพกซ์นั้นใช้อุณหภูมิสูงสุดเพียง 350 องศาเซลเซียส เลยทำให้ชาร์ซานอ้อย ชาร์กะลามะพร้าว และถ่านกัมมันต์ สลายตัวทางความร้อนออกมาเป็น น้ำมันดิบชีวภาพ แก๊ส และอื่นๆ ที่มีปริมาณที่น้อย

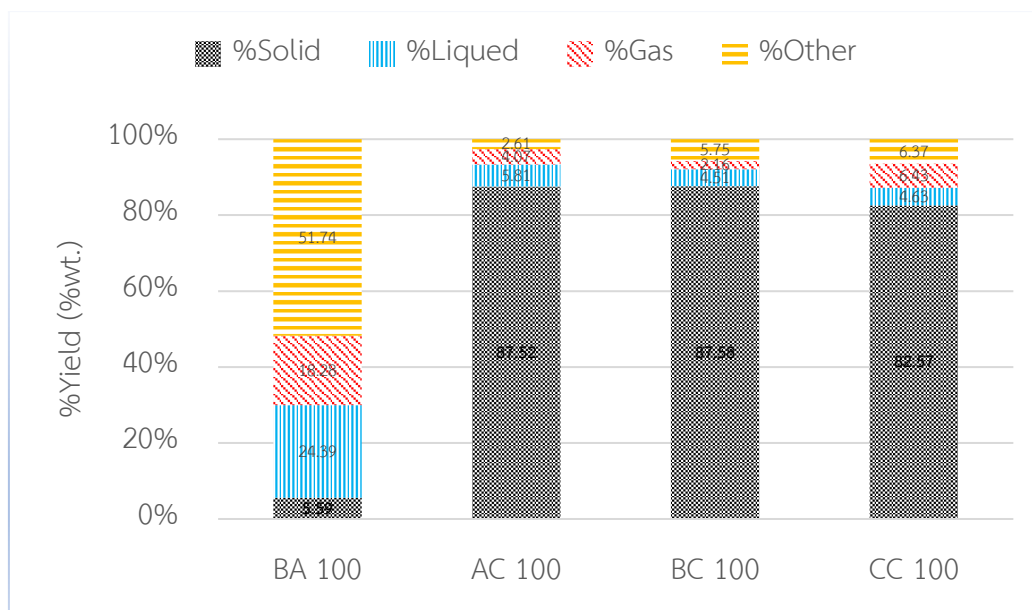
เมื่อเปรียบเทียบชาร์ซานอ้อย ชาร์กะลามะพร้าว และถ่านกัมมันต์ ทำให้พบว่าการสลายตัวทางความร้อนเพื่อเปลี่ยนเป็น น้ำมันดิบชีวภาพ แก๊ส และผลิตภัณฑ์เบาอื่นๆ มีปริมาณที่ใกล้เคียงกัน ถือว่าไม่แตกต่างกันมากทั้ง น้ำมันดิบชีวภาพ แก๊ส และผลิตภัณฑ์เบาอื่นๆ อันเนื่องมาจากอุณหภูมิที่

ใช้ในการทำปฏิกิริยานั้นยังไม่ถึงช่วงของการสลายตัวทางความร้อนของซาร์ซานอ้อย ซาร์กะลามะพร้าว และถ่านกัมมันต์

เมื่อทำการเพิ่มอุณหภูมิจาก 300 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส พบว่า ซาร์ซานอ้อย ซาร์ซานอ้อย ซาร์กะลามะพร้าว และถ่านกัมมันต์ มีปริมาณกากของแข็งร้อยละ 11.17 กลายเป็น 5.59 89.64 กลายเป็น 87.56 88.43 กลายเป็น 82.57 และ 88.55 กลายเป็น 87.52 โดยน้ำหนักตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าปริมาณกากของแข็งลดลงเมื่อเพิ่มอุณหภูมิ อันเนื่องมาจากการเพิ่มอุณหภูมิจะทำให้เกิดการแตกตัวของพันธะเคมีในกากของแข็ง และปฏิกิริยาดีพอลิเมอร์ไรเซชัน (depolymerization) [6] และเมื่อสังเกตปริมาณน้ำมันดิบชีวภาพของซาร์ซานอ้อย ซาร์ซานอ้อย ซาร์กะลามะพร้าว และถ่านกัมมันต์ พบว่ามีปริมาณน้ำมันดิบชีวภาพลดลงทั้งหมดแต่มีปริมาณ แก๊ส และผลิตภัณฑ์เบาอื่นๆ เพิ่มขึ้น อันเนื่องมาจาก เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะเกิดรีฟอร์มมิงด้วยไอน้ำ (steam reforming) ของน้ำมันดิบชีวภาพ [26] ดังนั้นโมเลกุลที่มีสายโซ่ยาวจะถูกตัดและกลายเป็นโมเลกุลที่เล็กลง จึงทำให้มีปริมาณ แก๊สและผลิตภัณฑ์เบาอื่นๆ เพิ่มขึ้นเมื่อทำการเพิ่มอุณหภูมิ



รูปที่ 4.6 ร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพ กากของแข็ง แก๊ส และผลิตภัณฑ์เบาอื่น ๆ จากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิกวิฟกัซชันของของ ซาร์ซานอ้อย ซาร์ซานอ้อย ซาร์กะลามะพร้าว และถ่านกัมมันต์ ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส

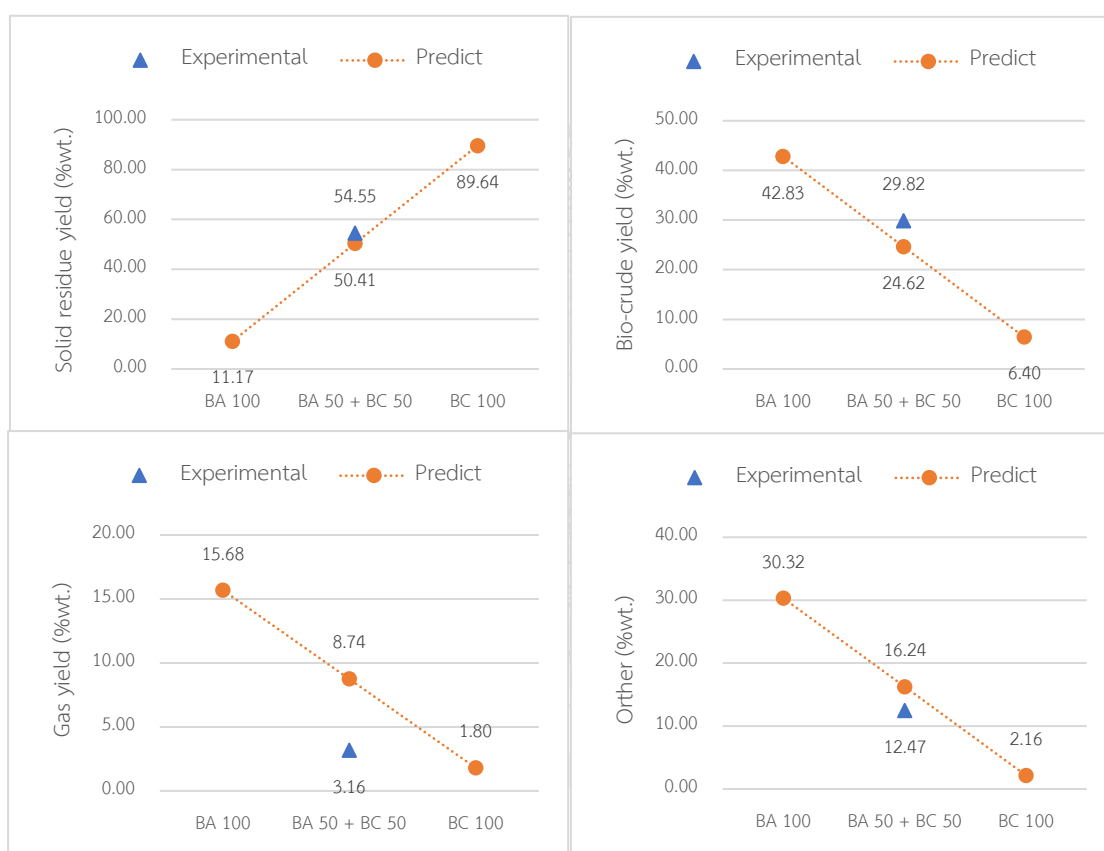


รูปที่ 4.7 ร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพ กากของแข็ง แก๊ส และผลิตภัณฑ์เบาอื่น ๆ จากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันของของ ชานอ้อย ชาร์ชานอ้อย ชาร์กะลามะพร้าว และถ่านกัมมันต์ ที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส

4.2.2 ผลของชาร์ชานอ้อย ต่อร้อยละผลได้ จากไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชัน

การทดลองการไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันของชานอ้อยผสมกับชาร์ชานอ้อย (BA 50+BC 50) ดำเนินการที่อุณหภูมิ 300 ในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบดซ์ ความดันไนโตรเจนเริ่มต้น 2 เมกะพาสคัล ความเร็วรอบใบกวน 300 รอบต่อนาที และเวลาที่ใช้ในการดำเนินปฏิกิริยา 60 นาที ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.8 แสดงร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพ กากของแข็ง แก๊ส และผลิตภัณฑ์เบาอื่น ๆ จากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันของของ ชานอ้อยผสมชาร์ชานอ้อย ในสัดส่วนร้อยละ 0 50 และ 100 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส พบว่าร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพของชานอ้อยผสมชาร์ชานอ้อยเท่ากับร้อยละ 29.82 โดยน้ำหนัก ซึ่งมีปริมาณน้ำมันดิบชีวภาพที่มากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับการผสมชาร์กะลามะพร้าว และถ่านกัมมันต์ นอกจากนั้นกากของแข็ง เท่ากับ 54.55 โดยน้ำหนัก เมื่อเปรียบเทียบกับระหว่างค่าที่ได้จากการทดลองและค่าจากการทำนายพบว่ามีปริมาณน้ำมันดิบชีวภาพและกากของแข็งมีปริมาณมากกว่าค่าทำนาย ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ชาร์ชานอ้อยนั้นส่งผลต่อการเกิดปริมาณน้ำมันดิบชีวภาพของชานอ้อย อันเนื่องมาจากชาร์ชานอ้อย มีสมบัติคล้ายตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งเมื่อพิจารณาผลการทดสอบ XRF จะพบว่าชาร์ชานอ้อยมีปริมาณ K_2O ที่ทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาดีพอลิเมอร์ไรเซชัน (depolymerization) [19] เลยทำให้เกิดการสลายตัวทางความร้อนที่มากขึ้นจึงส่งผลให้มีปริมาณน้ำมันดิบชีวภาพที่มากกว่าการทำนาย แต่ในทางกลับกันชานอ้อย

ผสมซาร์ซานอ้อยมีปริมาณกากของแข็งที่มากกว่าค่าทำนายอันเนื่องมาจาก การรวมตัวกันของอนุภาคอิสระต่าง ๆ ที่ไม่เสถียรเกิดการเรียงตัวใหม่หรือปฏิกิริยารีโพลิเมอร์ไรเซชัน (repolymerization) ทำให้ได้ปริมาณกากของแข็งมากกว่าค่าทำนาย [27] และเมื่อพิจารณาในส่วนของ แก๊ส และ ผลิตภัณฑ์เบาอื่น ๆ พบว่ามีปริมาณน้อยกว่าค่าการทำนาย อันเนื่องมาจากการเกิด ปฏิกิริยารีโพลิเมอร์ไรเซชัน (repolymerization) หรือการรวมตัวของอนุภาคอิสระเลยส่งผลให้แก๊ส และผลิตภัณฑ์เบาอื่น ๆ มีปริมาณน้อยลงกว่าค่าการทำนาย

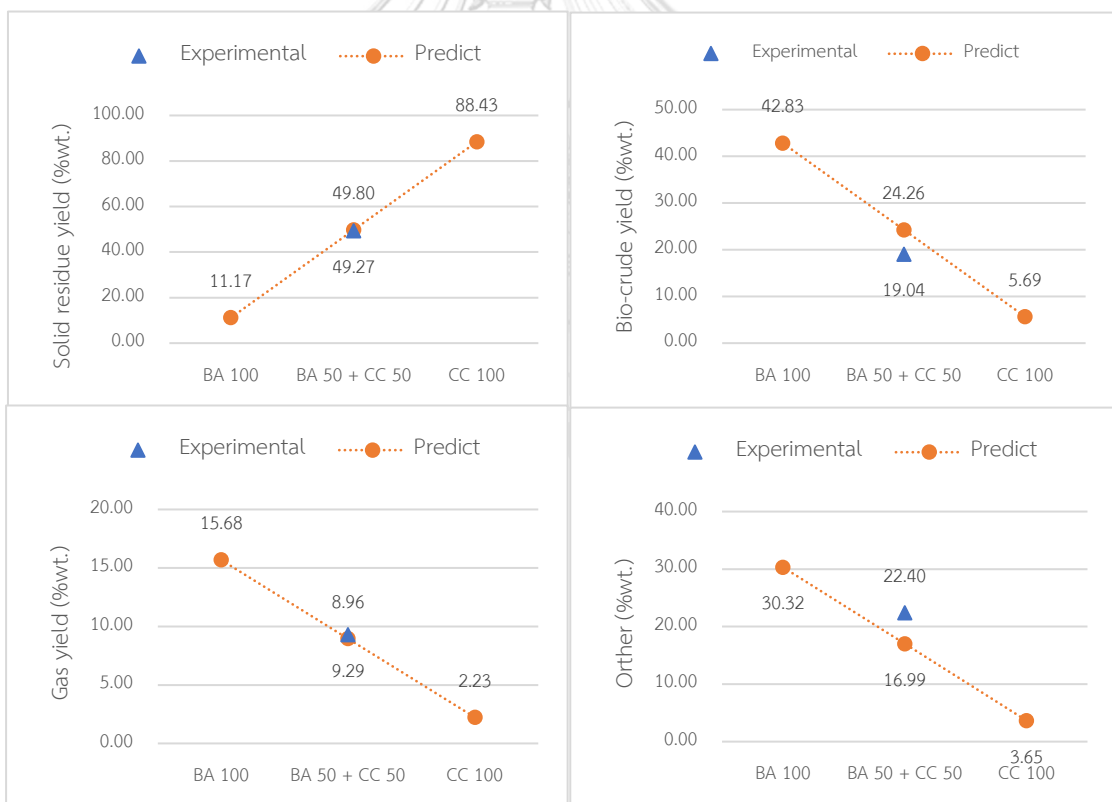


รูปที่ 4.8 ร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพ กากของแข็ง แก๊ส และผลิตภัณฑ์เบาอื่น ๆ จากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันของของซาร์ซานอ้อยผสมซาร์ซานอ้อย ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส

4.2.3 ผลของซาร์กะลามะพร้าว ต่อร้อยละผลได้ จากไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชัน

การทดลองการไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันของซาร์ซานอ้อยผสมกับซาร์กะลามะพร้าว (BA 50+CC 50) ดำเนินการที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์ ความดันไนโตรเจนเริ่มต้น 2 เมกะพาสคัล ความเร็วรอบใบกวน 300 รอบต่อนาที และเวลาที่ใช้ในการดำเนินปฏิกิริยา 60 นาที ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.9 แสดงร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพ กากของแข็ง

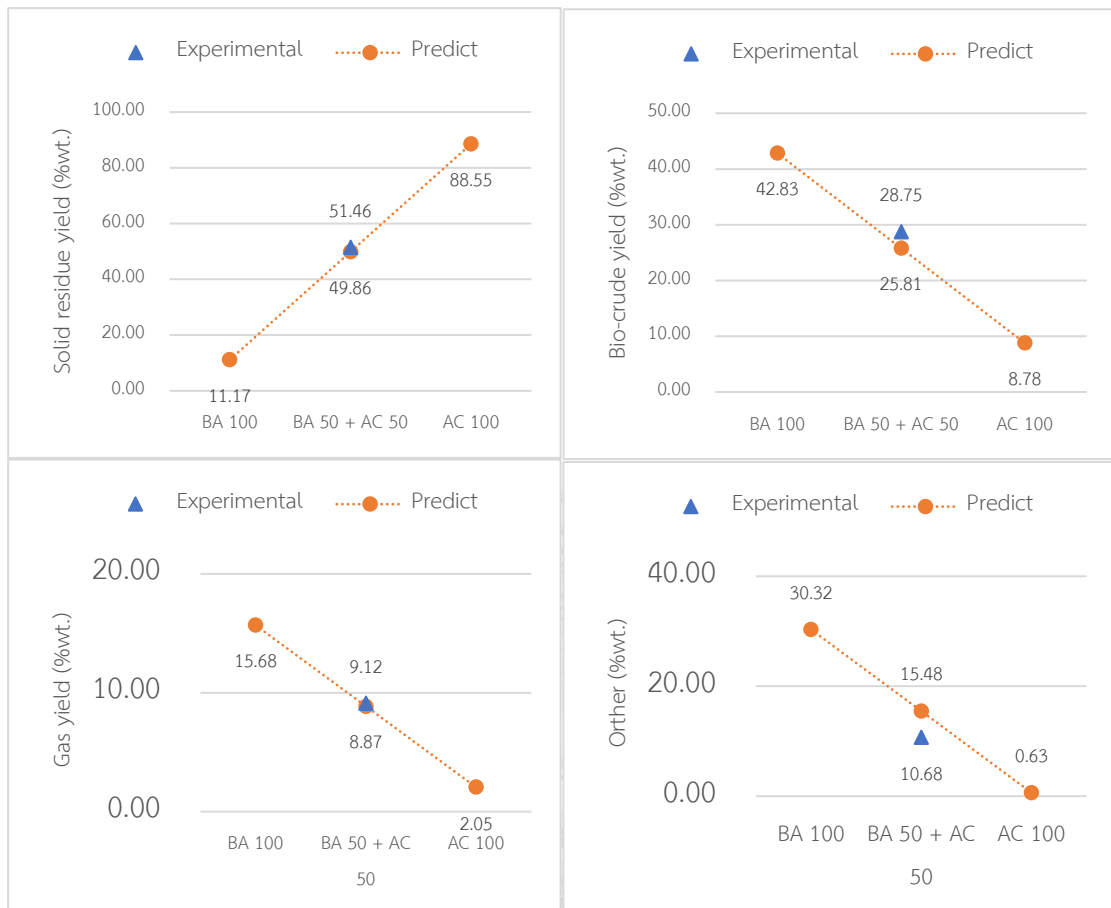
แก๊ส และผลิตภัณฑ์เบาอื่น ๆ จากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกชันของของ ชานอ้อยผสมซาร์กอะลามะพร้าวในสัดส่วนร้อยละ 0 50 และ 100 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส พบว่าปริมาณน้ำมันดิบชีวภาพมีค่าเท่ากับร้อยละ 19.04 โดยน้ำหนักและเมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างค่าทำนายพบว่ามีปริมาณน้ำมันดิบชีวภาพน้อยกว่าค่าทำนาย เนื่องจากซาร์กอะลามะพร้าวมีปริมาณ Fe_2O_3 เท่ากับ 25.17 โดยน้ำหนัก ซึ่งถ้าเปรียบเทียบปริมาณ Fe_2O_3 กับซาร์ชานอ้อย และ ถ่านกัมมันต์ จะพบว่ามีปริมาณ Fe_2O_3 ในซาร์กอะลามะพร้าวมีมากที่สุด ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ปริมาณน้ำมันดิบชีวภาพของ ชานอ้อยผสมซาร์กอะลามะพร้าวมีค่าน้อยกว่าค่าทำนายเพราะ สารประกอบ Fe_2O_3 ถือเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาดีไฮโดรจิเนชัน (dehydrogenation) ดีคาร์บอกซิเลชัน (decarboxylation) และคาร์บอนไนเซชัน (Carbonization) [16] ซึ่งกระบวนการเหล่านี้เป็นการสลายตัวทางความร้อนของน้ำมันดิบชีวภาพกลายเป็น แก๊ส และผลิตภัณฑ์เบาอื่น ๆ จึงส่งผลให้ปริมาณ แก๊ส และผลิตภัณฑ์เบาอื่น ๆ ที่ได้จากการทดลองมีค่ามากกว่าค่าทำนาย



รูปที่ 4.9 ร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพ กากของแข็ง แก๊ส และผลิตภัณฑ์เบาอื่น ๆ จากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกชันของของชานอ้อยผสมซาร์กอะลามะพร้าว ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส

4.2.4 ผลของซาร์ ถ่านกัมมันต์ ร้อยละผลได้ จากไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกซัน

การทดลองการไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกซันของซันอ้อยผสมกับถ่านกัมมันต์ (BA 50+AC 50) ดำเนินการที่อุณหภูมิ 300 ในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์ ความดันไนโตรเจนเริ่มต้น 2 เมกะพาสคัล ความเร็วรอบใบกวน 300 รอบต่อนาที และเวลาที่ใช้ในการดำเนินปฏิกิริยา 60 นาที ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.10 แสดงร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพ กากของแข็ง แก๊ส และผลิตภัณฑ์เบาอื่น ๆ จากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกซันของซันอ้อยผสมถ่านกัมมันต์ ในสัดส่วนร้อยละ 0 50 และ 100 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส พบว่าร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพเท่ากับ ร้อยละ 28.75 โดยน้ำหนัก นอกจากนั้นกากของแข็งเท่ากับร้อยละ 51.46 โดยน้ำหนัก เมื่อเปรียบเทียบระหว่างค่าที่ได้จากการทดลองและค่าจากการทำนายพบว่ามีปริมาณน้ำมันดิบชีวภาพ และกากของแข็งมีปริมาณมากกว่าค่าทำนาย เป็นไปในแนวโน้มเดียวกับซันอ้อยผสมซาร์ซันอ้อย เนื่องจากองค์ประกอบของธาตุภายในซาร์ซันอ้อยและถ่านกัมมันต์ มีปริมาณ Fe_2O_3 ที่ไม่มากเกินไป จึงไม่สามารถเร่งปฏิกิริยาดีไฮโดรจิเนชัน (dehydrogenation) ดีคาร์บอกซิเลชัน (decarboxylation) และ คาร์บอนไนเซชัน (Carbonization) ที่ทำให้ปริมาณน้ำมันดิบชีวภาพลดลงแต่กลับแสดงให้เห็นว่า ถ่านกัมมันต์นั้นส่งผลต่อการเกิดปริมาณน้ำมันดิบชีวภาพของซันอ้อย อันเนื่องมาจากถ่านกัมมันต์มีสมบัติคล้ายตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งเมื่อพิจารณาผลการทดสอบ XRF จะพบว่าซาร์ซันอ้อยมีปริมาณ K_2O ที่ทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาดีพอลิเมอร์ไรเซชัน (depolymerization) [16] จึงส่งผลให้มีปริมาณน้ำมันดิบชีวภาพมีมากกว่าค่าการทำนาย แต่อย่างไรก็ตามปริมาณน้ำมันดิบชีวภาพที่เกิดขึ้นนั้นมีร้อยละผลได้มาน้อยกว่าซันอ้อยผสมซาร์ซันอ้อย เนื่องจากการทดสอบหาหมู่ฟังก์ชันของซาร์พบว่าซาร์ซันอ้อย มีหมู่ฟังก์ชัน C-O และ C=C ปริมาณที่มากกว่า ซึ่งหมู่ฟังก์ชันเหล่านี้ล้วนก่อให้เกิดการทำปฏิกิริยาได้ง่าย ในส่วนของปริมาณกากของแข็งพบว่ามีค่ามากกว่าค่าทำนายอันเนื่องมาจาก การรวมตัวกันของอนุโมลอิสระต่าง ๆ ที่ไม่เสถียรเกิดการเรียงตัวใหม่หรือปฏิกิริยาดีพอลิเมอร์ไรเซชัน (repolymerization) ทำให้ได้ปริมาณกากของแข็งมากกว่าค่าทำนาย [27] และเมื่อพิจารณาในส่วนของ ผลิตภัณฑ์เบาอื่น ๆ พบว่ามีปริมาณน้อยกว่าค่าการทำนาย



รูปที่ 4.10 ร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพ กากของแข็ง แก๊ส และผลิตภัณฑ์เบาอื่น ๆ จากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันของของขางานอ้อยผสมถ่านกัมมันต์ ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส

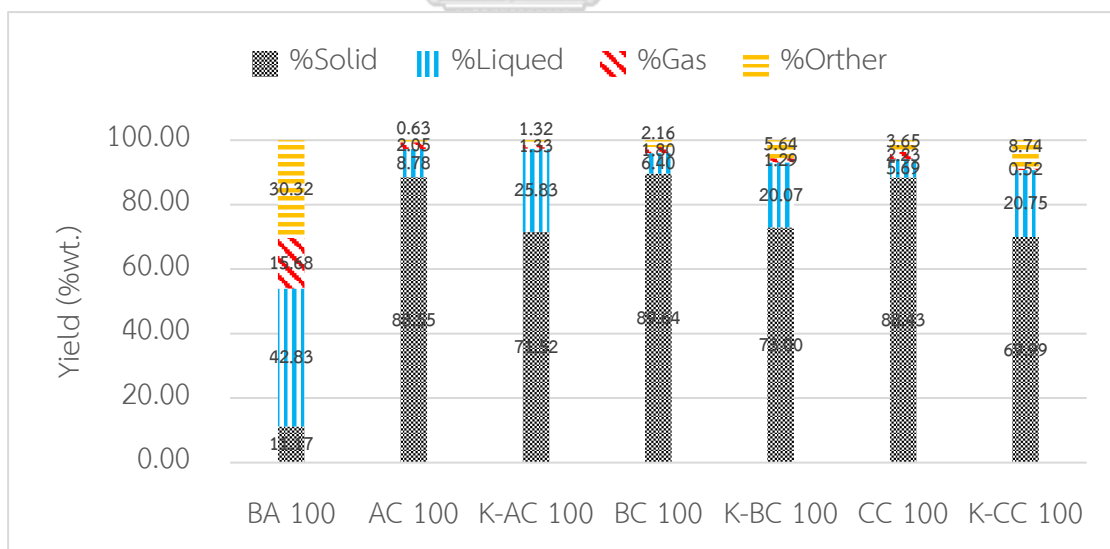
4.3 ผลของโพแทสเซียมบนชาร์ซานอ้อย ชาร์กะลามะพร้าว และถ่านกัมมันต์ ต่อร้อยละผลได้ และคุณภาพของน้ำมันดิบชีวภาพจากไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชัน

4.3.1 ไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชันของ ชานอ้อย ชานอ้อย ชาร์ซานอ้อย ชาร์กะลามะพร้าว ถ่านกัมมันต์ โพแทสเซียมบนชาร์ซานอ้อย โพแทสเซียมบนชาร์กะลามะพร้าว และ โพแทสเซียมบนถ่านกัมมันต์

การทดลองไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชันของชานอ้อย(BA 100) ชาร์ซานอ้อย(BC 100) ชาร์กะลามะพร้าว(CC 100) ถ่านกัมมันต์ (AC100) โพแทสเซียมบนชาร์ซานอ้อย (K-BC 100) โพแทสเซียมบนชาร์กะลามะพร้าว (K-CC 100) และ โพแทสเซียมบนถ่านกัมมันต์ (K-AC 100) ดำเนินการที่อุณหภูมิ 300 และ 350 องศาเซลเซียส ในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์ ความดันไนโตรเจนเริ่มต้น 2 เมกะพาสคัล ความเร็วรอบใบกวน 300 รอบต่อนาที และเวลาที่ใช้ในการดำเนินปฏิกิริยา 60 นาที ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.11 และ 4.12 แสดงร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพ กากของแข็ง แก๊ส และผลิตภัณฑ์เบาอื่น ๆ จากการทำให้ไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชัน

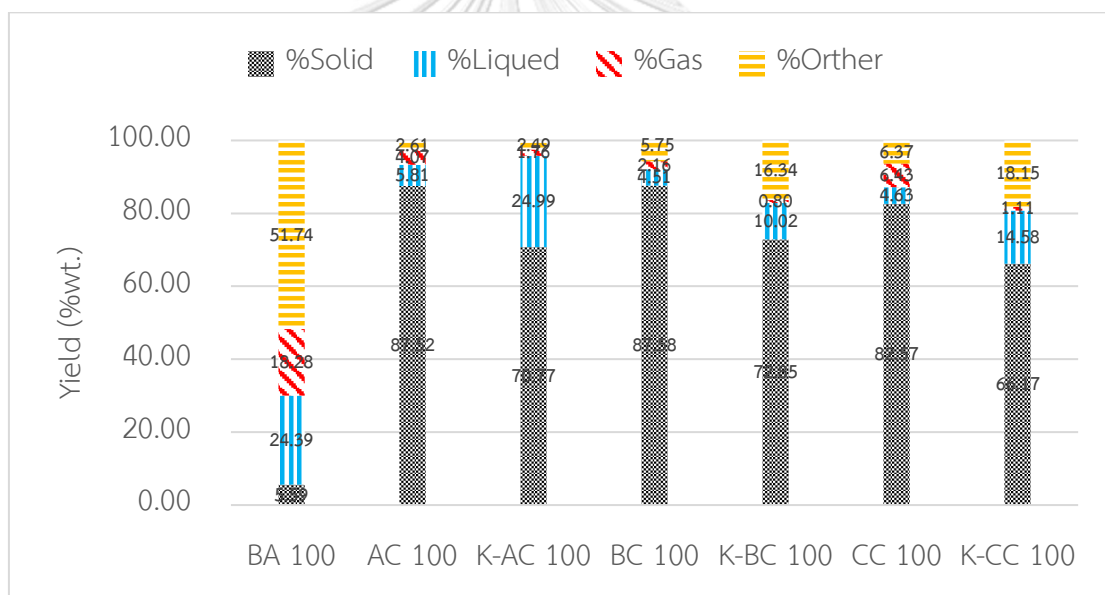
จากผลการทดลองในรูปที่ 4.11 พบว่าปริมาณน้ำมันดิบชีวภาพของชาร์ซานอ้อย ชาร์กะลามะพร้าว และถ่านกัมมันต์ มีปริมาณร้อยละ 6.40 5.69 และ 8.78 โดยน้ำหนักตามลำดับ แต่เมื่อเติมโพแทสเซียมลงไปบนชาร์ซานอ้อย ชาร์กะลามะพร้าว และถ่านกัมมันต์ แล้วนำไปทำปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชัน พบว่าปริมาณน้ำมันดิบชีวภาพของโพแทสเซียมบนชาร์ซานอ้อย โพแทสเซียมบนชาร์กะลามะพร้าว และ โพแทสเซียมบนถ่านกัมมันต์ มีปริมาณร้อยละ 20.07 20.75 และ 25.83 โดยน้ำหนักตามลำดับซึ่งมีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างมากเมื่อเทียบกับชาร์ซานอ้อย ชาร์กะลามะพร้าว ถ่านกัมมันต์ที่ไม่เติมโพแทสเซียม แต่ในทางกลับกันปริมาณกากของแข็งของโพแทสเซียมบนชาร์ซานอ้อย โพแทสเซียมบนชาร์กะลามะพร้าว และ โพแทสเซียมบนถ่านกัมมันต์ มีปริมาณลดลงอย่างมาก อันเนื่องมาจากการเติมโพแทสเซียมลงไปในระบบนั้นเปรียบเสมือนการเติมตัวเร่งปฏิกิริยาลงไปในระบบโดยตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมจะช่วยเร่งปฏิกิริยาดีพอลิเมอไรเซชัน (depolymerization) [16] เพื่อเพิ่มอัตราการสลายตัวทางความร้อนของกากของแข็งจึงส่งผลให้ปริมาณของกากของแข็งของโพแทสเซียมบนชาร์ซานอ้อย โพแทสเซียมบนชาร์กะลามะพร้าว และ โพแทสเซียมบนถ่านกัมมันต์มีปริมาณลดลง แต่ในอีกเหตุผลหนึ่งที่เป็นเช่นนี้เพราะโพแทสเซียมอยู่หมู่แอลคาไลน์ (1A) ที่มีสมบัติละลายน้ำได้ดีดังนั้นเมื่อนำ โพแทสเซียมบนชาร์ซานอ้อย โพแทสเซียมบนชาร์กะลามะพร้าว และโพแทสเซียมบนถ่านกัมมันต์ไปผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชันที่ใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย ด้วยเหตุผลนี้จึงเป็นไปได้ว่าปริมาณโพแทสเซียมที่ติดอยู่บนชาร์ซานอ้อย ชาร์กะลามะพร้าว และถ่านกัมมันต์จะหลุดลงมาเจือปนกับน้ำมันดิบชีวภาพทำให้ในส่วนของน้ำมันดิบชีวภาพมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นและปริมาณกากของแข็งลดลง

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณน้ำมันดิบชีวภาพของโพแทสเซียมบนชาร์ชานอ้อย โพแทสเซียมบนชาร์กะลามะพร้าว และ โพแทสเซียมบนถ่านกัมมันต์ พบว่าโพแทสเซียมบนชาร์ ถ่านกัมมันต์ มีปริมาณน้ำมันดิบชีวภาพสูงสุดร้อยละ 25.83 โดยน้ำหนัก และโพแทสเซียมบนชาร์ชานอ้อย มีปริมาณน้ำมันดิบชีวภาพน้อยที่สุดร้อยละ 20.07 โดยน้ำหนัก เนื่องจากปริมาณพื้นที่ผิวในการทำปฏิกิริยาของโพแทสเซียมบนชาร์ชานอ้อย โพแทสเซียมบนชาร์กะลามะพร้าว และ โพแทสเซียมบนถ่านกัมมันต์ ดังตารางที่ 4.2 พบว่าโพแทสเซียมบนถ่านกัมมันต์ มีปริมาณพื้นที่ผิวสูงสุดจึงส่งผลให้โพแทสเซียมบนถ่านกัมมันต์ สามารถทำปฏิกิริยาได้ดีกว่าโพแทสเซียมบนชาร์ชานอ้อย และโพแทสเซียมบนชาร์กะลามะพร้าวที่มีปริมาณพื้นที่ผิวที่น้อยกว่า ซึ่งการที่พื้นที่ผิวของชาร์ชานอ้อย ชาร์กะลามะพร้าว และถ่านกัมมันต์ มีปริมาณลดลงเนื่องจากการเติมโพแทสเซียมลงไปนั้นเป็นเพราะโพแทสเซียมที่เติมลงไปนั้นปกคลุมพื้นที่ผิวของชาร์จึงส่งผลให้ปริมาณพื้นที่ผิวของโพแทสเซียมบนชาร์ลดลง และด้วยเหตุผลนี้อาจทำให้สามารถสรุปอีกนัยหนึ่งได้ว่าโพแทสเซียมบนถ่านกัมมันต์ มีปริมาณพื้นที่ผิวมากที่สุดเลยส่งผลให้สัมพันธ์กับตัวทำละลายได้มากเลยทำให้ปริมาณ โพแทสเซียมที่อยู่บน ถ่านกัมมันต์หลุดลงมาเจือปนกับน้ำมันดิบชีวภาพมากที่สุดและส่งผลให้ปริมาณน้ำมันดิบชีวภาพของโพแทสเซียมที่อยู่บนถ่านกัมมันต์ มีปริมาณสูงสุด เมื่อเปรียบเทียบกับโพแทสเซียมบนชาร์ชานอ้อยที่มีพื้นที่ผิวน้อยที่สุด



รูปที่ 4.11 ร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพ กากของแข็ง แก๊ส และผลิตภัณฑ์เบาอื่น ๆ จากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชันของชานอ้อย ชาร์ชานอ้อย ชาร์กะลามะพร้าวถ่านกัมมันต์ โพแทสเซียมบนชาร์ชานอ้อย โพแทสเซียมบนชาร์กะลามะพร้าว และโพแทสเซียมบนถ่านกัมมันต์ ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส

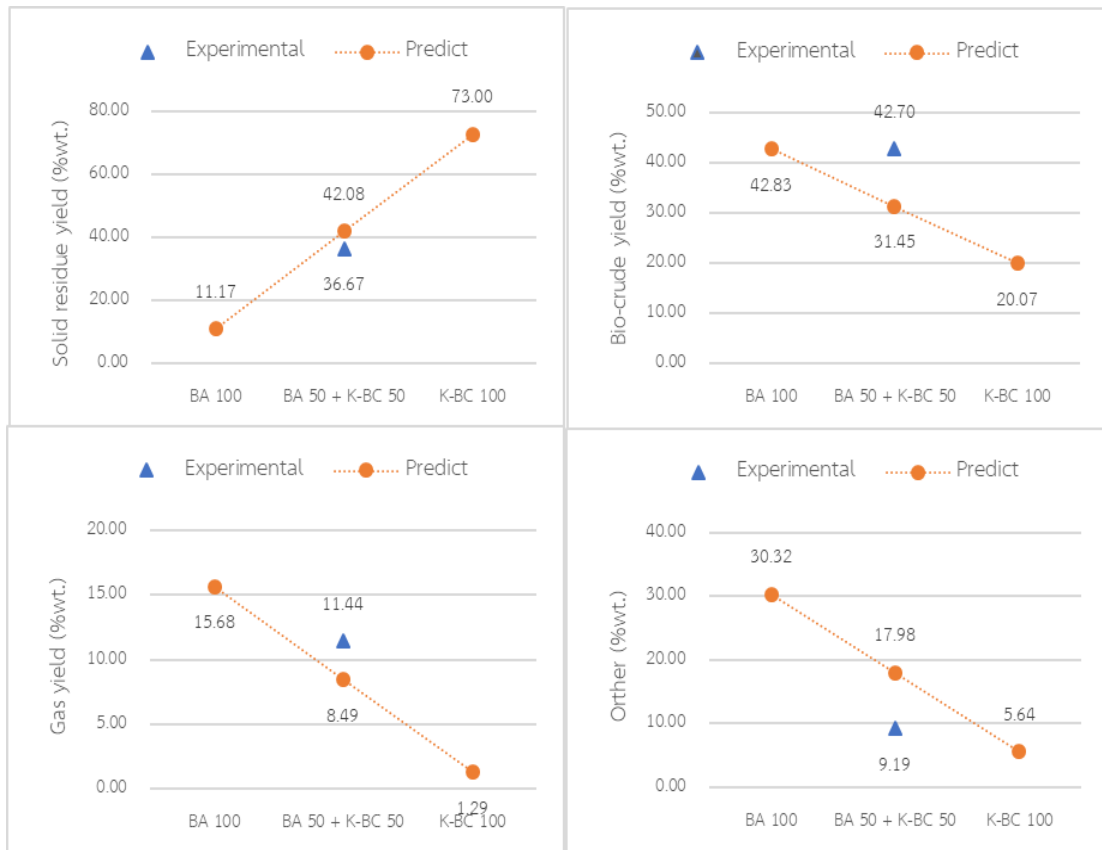
เมื่อทำการเพิ่มอุณหภูมิจาก 300 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส ดังรูปที่ 4.12 พบว่าโพแทสเซียมบนชาร์ซ่านอ้อย โพแทสเซียมบนชาร์กะลามะพร้าว และโพแทสเซียมบนถ่านกัมมันต์ มีปริมาณกากของแข็งลดลงเมื่อเพิ่มอุณหภูมิ อันเนื่องมาจากการเพิ่มอุณหภูมิจะทำให้เกิดการแตกตัวของพันธะเคมีในกากของแข็ง และเกิดปฏิกิริยาดีพอลิเมอร์ไรเซชัน (depolymerization) [6] และเมื่อสังเกตปริมาณน้ำมันดิบชีวภาพของโพแทสเซียมบนชาร์ซ่านอ้อย โพแทสเซียมบนชาร์กะลามะพร้าว และโพแทสเซียมบนถ่านกัมมันต์ พบว่ามีปริมาณน้ำมันดิบชีวภาพลดลงทั้งหมดแต่มีปริมาณ แก๊ส และผลิตภัณฑ์เบาอื่นๆ เพิ่มมากขึ้น อันเนื่องมาจาก เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะเกิดรีฟอร์มมิงด้วยไอน้ำ (steam reforming) ของน้ำมันดิบชีวภาพ [26] ดังนั้นโมเลกุลที่มีสายโซ่ยาวจะถูกตัดและกลายเป็นโมเลกุลที่เล็กลง จึงทำให้มีปริมาณ แก๊สและผลิตภัณฑ์เบาอื่นๆ เพิ่มขึ้น เมื่อทำการเพิ่มอุณหภูมิ



รูปที่ 4.12 ร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพ กากของแข็ง แก๊ส และผลิตภัณฑ์เบาอื่น ๆ จากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิกวิฟแฟกชันของของ ชานอ้อย ชาร์ซ่านอ้อย ชาร์กะลามะพร้าวถ่านกัมมันต์ โพแทสเซียมบนชาร์ซ่านอ้อย โพแทสเซียมบนชาร์กะลามะพร้าว และโพแทสเซียมบนถ่านกัมมันต์ ที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส

4.3.2 ผลของโพแทสเซียมบนชาร์ซ่านอ้อยต่อร้อยละผลได้ จากไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชันมัลลิกวิแฟกชัน

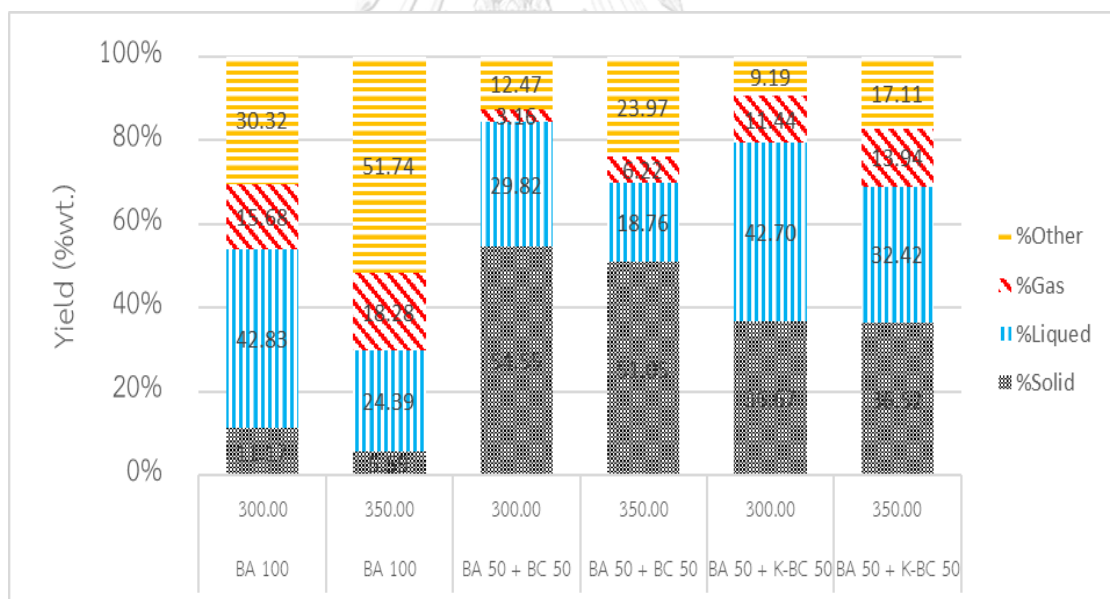
การทดลองการไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชันของช่านอ้อยผสมโพแทสเซียมบนชาร์ซ่านอ้อย (BA 50+K-BC 50) ดำเนินการที่อุณหภูมิ 300 ในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์ ความดันไนโตรเจนเริ่มต้น 2 เมกะพาสคัล ความเร็วรอบใบกวน 300 รอบต่อนาที และเวลาที่ใช้ในการดำเนินปฏิกิริยา 60 นาที ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.13 แสดงร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพ กากของแข็ง แก๊ส และผลิตภัณฑ์เบาอื่น ๆ จากการทำให้ไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชันของช่านอ้อยผสม โพแทสเซียมบนชาร์ซ่านอ้อย ในสัดส่วนร้อยละ 0 50 และ 100 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส พบว่า ปริมาณน้ำมันดิบชีวภาพมีปริมาณร้อยละ 42.70 โดยน้ำหนัก ซึ่งเป็นปริมาณที่สูงกว่าค่าทำนาย ในทางเดียวกันกากของแข็งมีปริมาณร้อยละ 36.67 โดยน้ำหนักเป็นค่าที่น้อยกว่าค่าการทำนาย อันเนื่องมาจากการเติมโพแทสเซียมลงไปบนชาร์ซ่านอ้อย ส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาการสลายตัวของกากของแข็งหรือปฏิกิริยาดิพอลิเมอร์ไรเซชัน (depolymerization) เพิ่มสูงมากขึ้น จึงทำให้ปริมาณกากของแข็งน้อยกว่าค่าการทำนายและปริมาณน้ำมันดิบชีวภาพจึงสูงกว่าค่าการทำนาย แต่ในทางเดียวกันที่สามารถเป็นไปได้ นั่น คือ การหลุดออกของโพแทสเซียมในน้ำมันดิบชีวภาพ อันเนื่องมาจากตัวทำละลายที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา คือ น้ำ แต่เหตุผลนี้จะอธิบายอีกทีในตารางที่ 4.6 เมื่อพิจารณาปริมาณแก๊สจะพบว่าแก๊สมีปริมาณที่สูงกว่าค่าการทำนาย เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาเปลี่ยนน้ำเป็นแก๊ส (Water-gas shift) เพราะตัวทำละลายที่ใช้เป็นน้ำและมีตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นโพแทสเซียม [11] จึงส่งผลให้มีปริมาณแก๊สที่สูงกว่าค่าการทำนาย และปริมาณผลิตภัณฑ์เบาอื่น ๆ ต่ำกว่าค่าการทำนาย



รูปที่ 4.13 ร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพ กากของแข็ง แก๊ส และผลิตภัณฑ์เบาอื่น ๆ จากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิกวิฟลักชันของของขานอ้อยผสมโพแทสเซียมบนชาร์ขานอ้อย ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส

4.4 ผลของอุณหภูมิระหว่าง 300 องศาเซลเซียส กับ 350 องศาเซลเซียส จากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชันของ ชานอ้อย ชาร์ชานอ้อย และ โพลีแซ็กคาไรด์ชานอ้อย

จากการทดลองการไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชันดังรูปภาพที่ 4.14 ที่แสดงร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพ กากของแข็ง แก๊ส และผลิตภัณฑ์เบาอื่น ๆ จากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชันของชานอ้อย ชานอ้อยผสมชาร์ชานอ้อย และ ชานอ้อยผสมโพลีแซ็กคาไรด์ชานอ้อย ที่อุณหภูมิ 300 และ 350 องศาเซลเซียส พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้นจะพบว่าปริมาณกากของแข็งและปริมาณน้ำมันดิบชีวภาพของ ชานอ้อย ชานอ้อยผสมชาร์ชานอ้อย และ ชานอ้อยผสมโพลีแซ็กคาไรด์ชานอ้อย มีปริมาณลดลง และปริมาณแก๊ส และผลิตภัณฑ์เบาอื่น ๆ มีปริมาณเพิ่มสูงขึ้น อันเนื่องมาจากการเพิ่มอุณหภูมิจาก 300 เป็น 350 องศาเซลเซียสนั้นเป็นอุณหภูมิที่ ชานอ้อย สลายตัวได้มากที่สุดที่ 330 องศาเซลเซียส จากทดสอบ TG-DTA ดังรูปที่ 4.1 เลยทำให้มีปริมาณกากของแข็งลดลงเมื่อทำการเพิ่มอุณหภูมิแต่ในทางเดียวกันปริมาณน้ำมันดิบชีวภาพลดลงเพราะเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นส่งผลให้น้ำมันดิบชีวภาพเกิดปฏิกิริยาดีโพลิเมอไรเซชัน (depolymerization) หรือเกิดการตัดของสายโซ่ยาวที่ทำให้ปริมาณน้ำมันดิบชีวภาพลดลงและปริมาณแก๊ส และผลิตภัณฑ์เบาอื่น ๆ เพิ่มสูงขึ้น [17]



รูปที่ 4.14 ร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพ กากของแข็ง แก๊ส และผลิตภัณฑ์เบาอื่น ๆ จากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชันของชานอ้อย ชานอ้อยผสมชาร์ชานอ้อย และ ชานอ้อยผสมโพลีแซ็กคาไรด์ชานอ้อย ที่อุณหภูมิ 300 และ 350 องศาเซลเซียส

4.5 ผลของซาร์ซานอ้อย ซาร์กะลามะพร้าว ถ่านกัมมันต์ และโพแทสเซียมบนซาร์ซานอ้อยต่อคุณภาพของน้ำมันดิบชีวภาพจากไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกซ์

4.5.1 ผลของซาร์ซานอ้อย ซาร์กะลามะพร้าว และถ่านกัมมันต์ต่อคุณภาพของน้ำมันดิบชีวภาพจากไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกซ์

เมื่อพิจารณาสมบัติของน้ำมันดิบชีวภาพ จากการแยกธาตุของน้ำมันดิบชีวภาพที่ได้จากการไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกซ์ของซาร์ซานอ้อยกับซาร์ซานอ้อย ดำเนินที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ดังแสดงในตารางที่ 4.4 พบว่า เมื่อเติมซาร์ซานอ้อยลงไปร่วมทำปฏิกิริยาพบว่าปริมาณธาตุคาร์บอนจะมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นจากร้อยละ 57.97 เป็น 61.94 โดยน้ำหนักในทางกลับกันปริมาณออกซิเจนลดลงจากร้อยละ 33.24 เป็น 29.02 โดยน้ำหนัก ทำให้ค่าความร้อนเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 22.95 เป็นร้อยละ 25.36 เมกะจูลต่อกิโลกรัม ดังแสดงในรูปที่ 4.15

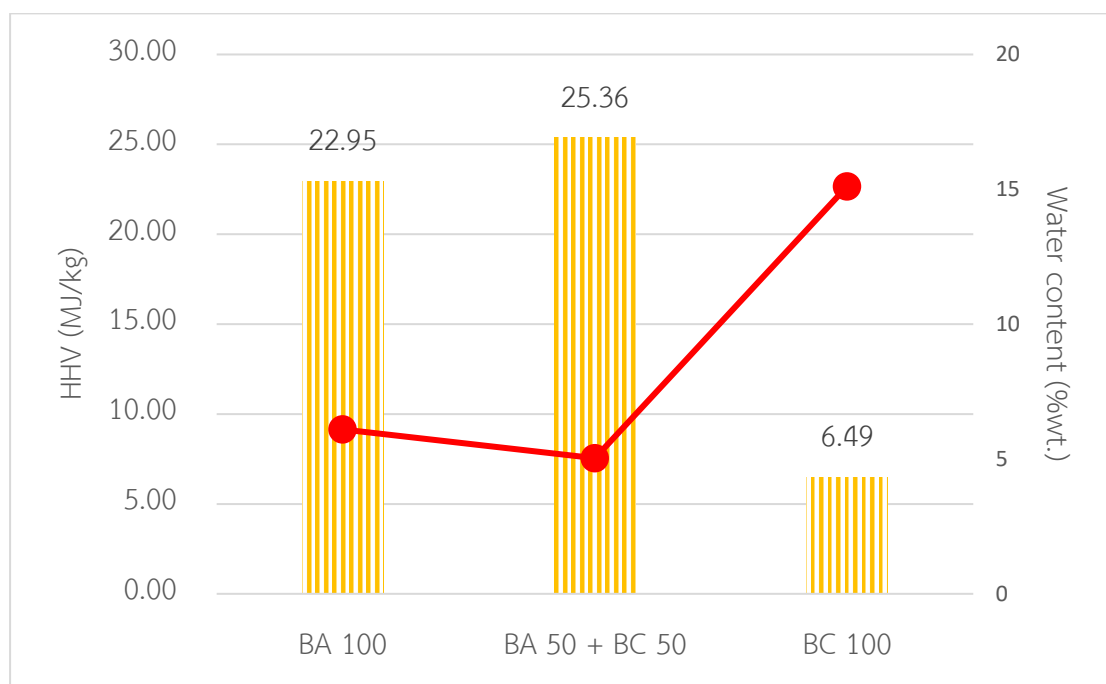
เมื่อพิจารณาสมบัติของน้ำมันดิบชีวภาพ จากการแยกธาตุของน้ำมันดิบชีวภาพที่ได้จากการไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกซ์ของซาร์ซานอ้อยกับซาร์กะลามะพร้าว ดำเนินที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ดังแสดงในตารางที่ 4.4 พบว่า เมื่อเติมซาร์กะลามะพร้าวลงไปร่วมทำปฏิกิริยาพบว่าปริมาณธาตุคาร์บอนจะมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นจากร้อยละ 57.97 เป็น 59.06 โดยน้ำหนัก และปริมาณออกซิเจนลดลงจากร้อยละ 33.24 เป็น 32.35 โดยน้ำหนัก

เมื่อพิจารณาสมบัติของน้ำมันดิบชีวภาพ จากการแยกธาตุของน้ำมันดิบชีวภาพที่ได้จากการไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกซ์ของซาร์ซานอ้อยกับผลของ ถ่านกัมมันต์ โดยน้ำหนัก ดำเนินที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ดังแสดงในตารางที่ 4.4 พบว่า เมื่อเติมถ่านกัมมันต์ ลงไปร่วมทำปฏิกิริยาปริมาณธาตุคาร์บอนจะมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นจากร้อยละ 57.97 เป็น 59.18 โดยน้ำหนัก และปริมาณออกซิเจนลดลงจากร้อยละ 33.24 เป็น 31.62 โดยน้ำหนัก

ตารางที่ 4.4 แสดงการวิเคราะห์แบบแยกธาตุของน้ำมันดิบชีวภาพที่ได้จากการไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกซ์ของชานอ้อยกับ ชาร์ชานอ้อย ชาร์กะลามะพร้าว ถ่านกัมมันต์ ต่อ คุณภาพของน้ำมันดิบชีวภาพจากไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกซ์

	BA100	BA 50 + BC 50	BA 50 + CC 50	BA 50 + AC 50
การวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)				
คาร์บอน (C)	57.97	61.94	59.06	59.18
ไฮโดรเจน (H)	6.47	6.69	6.38	6.83
ออกซิเจน (O)	33.24	29.02	32.35	31.62
ไนโตรเจน (N)	1.41	1.43	1.36	1.43
ซัลเฟอร์ (S)	0.89	0.94	0.87	0.94
อัตราส่วนของต่าง ๆ ของธาตุที่พบในน้ำมันดิบชีวภาพ				
อัตราส่วนไฮโดรเจนต่อคาร์บอน (H/C)	0.11	0.11	0.11	0.12
อัตราส่วนออกซิเจนต่อคาร์บอน (O/C)	0.57	0.47	0.55	0.53

เมื่อพิจารณาปริมาณน้ำในน้ำมันดิบชีวภาพในรูปที่ 4.15 ของชานอ้อยผสมกับชาร์ชานอ้อย จะมีค่าน้อยกว่าค่าการทำนาย คือ ร้อยละ 5.03 โดยน้ำหนัก ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์แบบแยกธาตุก่อนหน้านี้ที่มีปริมาณออกซิเจนน้อยกว่าค่าการทำนายดังแสดงในตารางที่ 4.4



รูปที่ 4.15 ค่าความร้อนของน้ำมันดิบชีวภาพ (กราฟแท่ง) และปริมาณน้ำในน้ำมันดิบชีวภาพ (กราฟเส้น) ที่ได้จากกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันของชานอ้อยกับชาร์ชานอ้อย ในสัดส่วนร้อยละ 0 50 และ 100 โดยน้ำหนักที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส

4.5.2 ผลของโพแทสเซียมบนชาร์ชอ้อย ต่อคุณภาพของน้ำมันดิบชีวภาพจากไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชัน

เมื่อพิจารณาสมบัติของน้ำมันดิบชีวภาพ จากการแยกธาตุของน้ำมันดิบชีวภาพที่ได้จากการไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันของชานอ้อยกับผลของโพแทสเซียมบนชาร์ชานอ้อย ในสัดส่วนร้อยละ 0 50 และ 100 โดยน้ำหนัก ดำเนินที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ดังแสดงในตารางที่ 4.5 พบว่า เมื่อเติมโพแทสเซียมบนชาร์ชานอ้อย ลงไปร่วมทำปฏิกิริยาปริมาณธาตุคาร์บอนจะมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นจากร้อยละ 57.97 เป็น 59.18 โดยน้ำหนัก แต่กลับมีปริมาณออกซิเจนเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 33.24 เป็น 59.85 โดยน้ำหนัก ด้วยเหตุนี้จึงทำให้มีการศึกษาเพิ่มเติมในการหาปริมาณโพแทสเซียมในน้ำมันดิบชีวภาพดังตารางที่ 4.6 พบว่าโพแทสเซียมในชานอ้อย ชาร์ชานอ้อย และโพแทสเซียมบนชาร์ชานอ้อย หลุดออกมาเป็นส่วนหนึ่งของน้ำมันดิบชีวภาพโดยเฉพาะโพแทสเซียมบนชาร์ชานอ้อยทำให้ปริมาณ

น้ำมันดิบชีวภาพมีส่วนผสมของโพแทสเซียมมากถึงร้อยละ 13.60 โดยน้ำหนักซึ่งเป็นธาตุที่ไม่สามารถตรวจพบได้จากการวิเคราะห์แบบแยกธาตุของน้ำมันดิบชีวภาพจึงทำให้สรุปได้ว่าการที่ปริมาณออกซิเจนเพิ่มสูงขึ้นนั้นแท้จริงแล้ว คือ ปริมาณโพแทสเซียมที่ไม่สามารถตรวจพบได้จากการวิเคราะห์แบบแยกธาตุของน้ำมันดิบชีวภาพ

ตารางที่ 4.5 การวิเคราะห์แบบแยกธาตุของน้ำมันดิบชีวภาพที่ได้จากการไฮโดรเทอร์มอลลิควิแฟกชันของชานอ้อยกับโพแทสเซียมบนชาร์ชานอ้อย ในสัดส่วนร้อยละ 0 50 และ 100 โดยน้ำหนัก

	BA100	BA 50 + K-BC 50		K-BC100
		ค่าที่ได้จากทดลอง	ค่าทำนาย	
การวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)				
คาร์บอน (C)	57.97	30.55	31.54	5.1
ไฮโดรเจน (H)	6.47	7.52	5.61	4.74
ออกซิเจน (O)	33.24	59.85	60.90	88.55
ไนโตรเจน (N)	1.41	1.04	1.15	0.88
ซัลเฟอร์ (S)	0.89	1.04	0.82	0.74
อัตราส่วนของต่าง ๆ ของธาตุที่พบในน้ำมันดิบชีวภาพ				
อัตราส่วนไฮโดรเจนต่อคาร์บอน (H/C)	0.11	0.25	0.18	0.93
อัตราส่วนออกซิเจนต่อคาร์บอน (O/C)	0.57	1.96	1.93	17.36

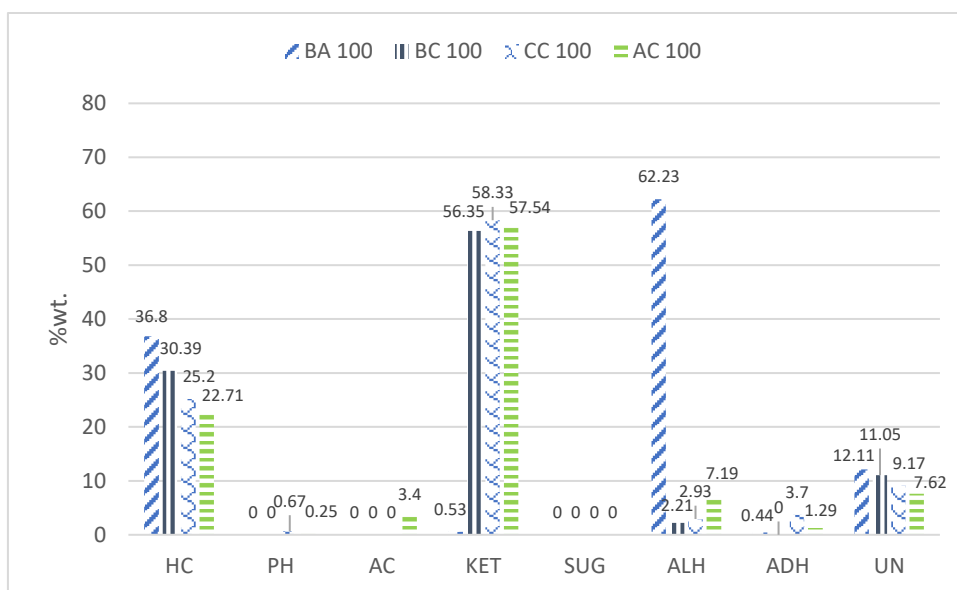
ตารางที่ 4.6 การวิเคราะห์หาปริมาณโพแทสเซียมในของเหลวด้วยเทคนิค AAS (Atomic Absorption Spectrometer) ของน้ำมันดิบชีวภาพจากชานอ้อย ชานอ้อยผสมชาร์ชานอ้อย และชานอ้อยผสมโพแทสเซียมบนชาร์ชานอ้อย

	น้ำมันดิบชีวภาพจาก ชานอ้อย	น้ำมันดิบชีวภาพจาก ชานอ้อยผสมชาร์ชานอ้อย	น้ำมันดิบชีวภาพจาก ชานอ้อยผสม โพแทสเซียมบนชาร์ชานอ้อย
ปริมาณโพแทสเซียม (K) (%wt.)	0.15	0.61	13.60

4.6 ผลของการวิเคราะห์หาองค์ประกอบผลิตภัณฑ์น้ำมันดิบชีวภาพด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี (gas chromatography – mass spectrometry)

รูปที่ 4.16 แสดงองค์ประกอบของน้ำมันดิบชีวภาพจากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิฟิเคชันของชานอ้อย ชาร์ชานอ้อย ชาร์กะลามะพร้าว และถ่านกัมมันต์ โดยจัดออกเป็น 7 กลุ่ม ตามหมู่ฟังก์ชัน ดังนี้ สารประกอบไฮโดรคาร์บอน (hydrocarbons, HC) สารประกอบประเภทฟีนอลิก (phenolic compounds, PH) สารประกอบที่เป็นกรด (acids compounds, AC) สารประกอบคีโตน (ketones, KET) สารประกอบจำพวกน้ำตาล (anhydrosugars, SUG) สารประกอบแอลดีไฮด์ (aldehyde compound, ADH) สารประกอบแอลกอฮอล์ (alcohol compound, ALH) และองค์ประกอบอื่น ๆ หรือ UN โดยพบว่าสารประกอบไฮโดรคาร์บอนจะพบในน้ำมันชีวภาพที่ได้จากชานอ้อย ชาร์ชานอ้อย ชาร์กะลามะพร้าว และถ่านกัมมันต์มากไปน้อยตามลำดับ เนื่องจากชานอ้อยมีสมบัติการสลายตัวทางความร้อนที่อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา จึงทำให้เกิดดีพอลิเมอไรเซชัน (depolymerization) และการแตกตัวทางความร้อน (thermal cracking) ได้เป็นคาร์โบไฮเดรต หรือแซ็กคาไรด์ (saccharide) จากนั้นพันธะ C-C (C-C bond) จะแตกออกและมีบางส่วนเกิด Aldol condensation ที่เป็นปฏิกิริยาการรวมตัวกันระหว่างแอลดีไฮด์ (aldehydes) หรือ คีโตน (ketone) 2 โมเลกุลขึ้นไป และเกิดรีฟอร์มมิง (reforming หรือ aromatization) เกิดเป็นสารประกอบ ฟีนอล หรือ แอลกอฮอล์ จึงทำให้เกิดเป็นสารประกอบแอลกอฮอล์ (ALH) จำนวนมาก [28] และสารประกอบจำพวกฟีนอลเหล่านี้ เมื่อได้รับความร้อนจะเกิดปฏิกิริยาดีไฮเดรชัน (dehydration) และแตกพันธะ (cleavage) [29] จึงไม่พบสารประกอบจำพวกน้ำตาลในน้ำมันดิบชีวภาพ ส่วนสารประกอบคีโตนจะพบได้ในน้ำมันชีวภาพที่ได้จากชาร์ชานอ้อย ชาร์กะลามะพร้าว และถ่านกัมมันต์

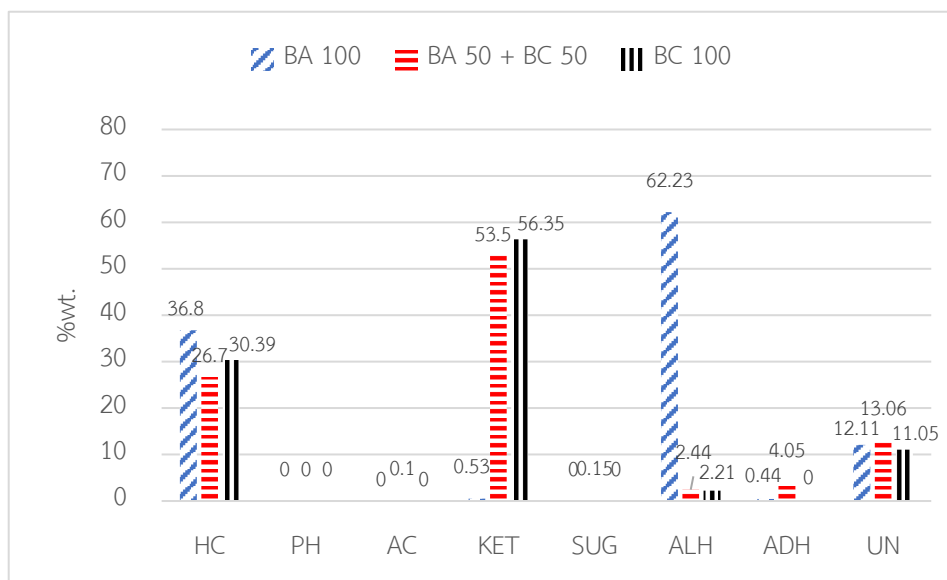
เนื่องจากชาร์จะเกิดดีโพลิเมอไรเซชัน (depolymerization) และการแตกตัวทางความร้อน (thermal cracking) ของพันธะ C-C จะแตกออกเกิด Aldol condensation และในองค์ประกอบของชาร์มีธาตุโพแทสเซียมที่หลุดออกมาผสมกับน้ำเลยทำให้เกิดปฏิกิริยาดีไฮเดรชันที่มีเบสของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ในการเร่งปฏิกิริยา และเกิดการรีฟอร์มมิง (reforming หรือ aromatization) ได้เป็นสารประกอบคีโตน [28]



รูปที่ 4.16 องค์ประกอบของน้ำมันดิบชีวภาพจากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันของชานอ้อย ชาร์ชานอ้อย ชาร์กะลามะพร้าว และถ่านกัมมันต์

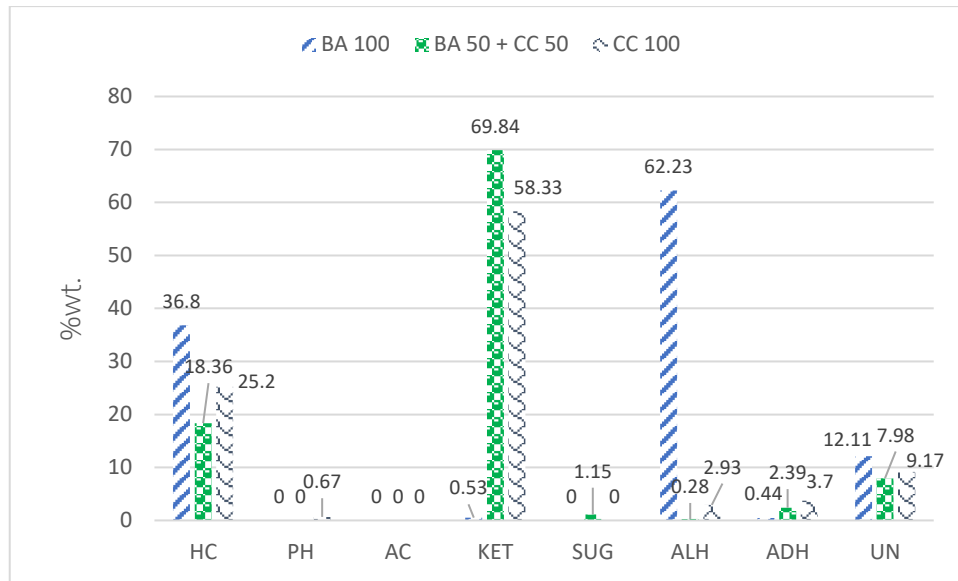
รูปที่ 4.17 แสดงองค์ประกอบของน้ำมันดิบชีวภาพจากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันของชานอ้อย ชานอ้อยผสมชาร์ชานอ้อย และ ชาร์ชานอ้อยพบว่า ส่วนสารประกอบคีโตนจะพบได้มากในน้ำมันชีวภาพที่ได้จากชานอ้อยผสมชาร์ชานอ้อย และ ชาร์ชานอ้อย เนื่องจากชาร์จะช่วยในการเกิดดีโพลิเมอไรเซชัน (depolymerization) และการแตกตัวทางความร้อน (thermal cracking) ของพันธะ C-C (C-C bond) จะแตกออกเกิด Aldol condensation และในองค์ประกอบของชาร์มีธาตุโพแทสเซียมที่หลุดออกมาผสมกับน้ำเลยทำให้เกิดปฏิกิริยาดีไฮเดรชันที่มีเบสของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ในการเร่งปฏิกิริยา และเกิดการรีฟอร์มมิง (reforming หรือ aromatization) ได้เป็นสารประกอบคีโตน [27] แต่เมื่อเปรียบเทียบกับการผสมของชานอ้อยกับชาร์กะลามะพร้าวดังรูป 4.18 และ ชานอ้อยกับถ่านกัมมันต์ ดังรูป 4.19 พบว่าชานอ้อยผสมชาร์ชานอ้อย มีองค์ประกอบของ

สารประกอบคีโตนน้อยสุดเนื่องจากมีปริมาณโพแทสเซียมในชาร์น้อยสุดจึงทำให้เร่งในส่วนการเกิดปฏิกิริยาดีไฮเดรชันได้น้อยและส่งผลให้มีปริมาณสารประกอบคีโตนน้อยสุด

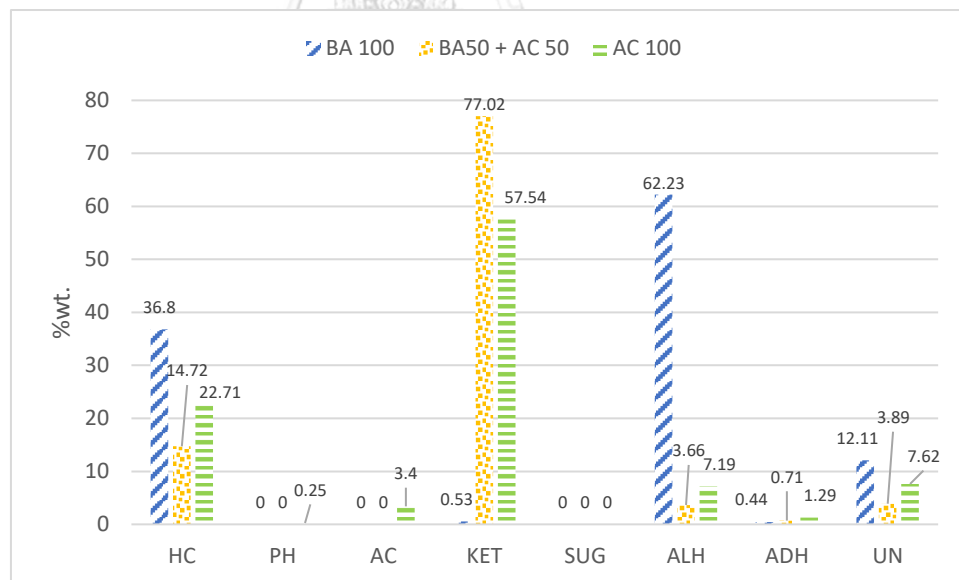


รูปที่ 4.17 องค์ประกอบของน้ำมันดิบชีวภาพจากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันของชานอ้อย ชานอ้อยผสมกับชาร์ชานอ้อย และ ชาร์ชานอ้อย

รูปที่ 4.18 และ 4.19 แสดงองค์ประกอบของน้ำมันดิบชีวภาพจากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันของชานอ้อย ชานอ้อยผสมชาร์กะลามะพร้าว ชานอ้อยผสมถ่านกัมมันต์ ชาร์กะลามะพร้าว และถ่านกัมมันต์ ตามลำดับ พบว่า ทั้ง 2 รูปมีมีลักษณะเหมือนกันโดยส่วนสารประกอบคีโตนจะพบได้มากในน้ำมันชีวภาพที่ได้จากชานอ้อยผสมชาร์ชานอ้อย และ ชาร์ชานอ้อย เนื่องจากชาร์จะช่วยในการเกิดดีพอลิเมอร์ไรเซชัน (depolymerization) และการแตกตัวทางความร้อน (thermal cracking) ของพันธะ C-C (C-C bond) จะแตกออกเกิด Aldol condensation และในองค์ประกอบของชาร์มีธาตุโพแทสเซียมที่หลุดออกมาผสมกับน้ำเลยทำให้เกิดปฏิกิริยาดีไฮเดรชันที่มีเบสของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ในการเร่งปฏิกิริยา และเกิดการรีฟอร์มมิง (reforming หรือ aromatization) ได้เป็นสารประกอบคีโตน [27]



รูปที่ 4.18 องค์ประกอบของน้ำมันดิบชีวภาพจากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันของขานอ้อย
ขานอ้อยผสมกับชาร์กะลามะพร้าว และ ชาร์กะลามะพร้าว



รูปที่ 4.19 องค์ประกอบของน้ำมันดิบชีวภาพจากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันของขานอ้อย
ขานอ้อยผสมกับถ่านกัมมันต์ และถ่านกัมมันต์

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ ศึกษาการผลิตน้ำมันดิบชีวภาพจากการไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันของชานอ้อย โดยจะศึกษาผลของชาร์ และ โพลีเอสเซียมบนชาร์ ต่อร้อยละผลได้ และคุณภาพของน้ำมันดิบชีวภาพ จากกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชัน โดยเปรียบเทียบชาร์ 3 ชนิด คือ ชาร์ชานอ้อย ชาร์กะลามะพร้าว และถ่านกัมมันต์ จากการทดลองเป็นการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันของชานอ้อยที่ผสมกับชาร์ชานอ้อย ชาร์กะลามะพร้าว ถ่านกัมมันต์ โพลีเอสเซียมบนชาร์ชานอ้อย โพลีเอสเซียมบนชาร์กะลามะพร้าว และ โพลีเอสเซียมบนถ่านกัมมันต์ ในสัดส่วนร้อยละ 0 50 และ 100 โดยน้ำหนัก ดำเนินการที่อุณหภูมิ 300 และ 350 องศาเซลเซียส ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 2 เมกะพาสคัล ความเร็วรอบใบกวน 300 รอบต่อนาที เวลาที่ใช้ในการดำเนินปฏิกิริยา 60 นาทีในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์

5.1.1 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของสารตั้งต้น

ชานอ้อยมีปริมาณสารระเหยที่สูง แต่ในทางกลับกัน ชาร์ชานอ้อย ชาร์กะลามะพร้าว และ ถ่านกัมมันต์ จะมีปริมาณคาร์บอนคงตัวที่มาก ในขณะเดียวกันมีธาตุ K_2O และ Fe_2O_3 เป็นประกอบภายในของชาร์ชานอ้อย ชาร์กะลามะพร้าว และถ่านกัมมันต์ เมื่อเปรียบเทียบขนาดรูพรุนพบว่าการเรียงลำดับจากมากไปน้อยดังนี้ ถ่านกัมมันต์ ชาร์กะลามะพร้าว ชาร์ชานอ้อย และเมื่อนำชาร์ทั้งหมดไปเติมโพลีเอสเซียมพบว่าปริมาณพื้นที่ผิวของชาร์ชานอ้อย ชาร์กะลามะพร้าว และถ่านกัมมันต์ลดลง

5.1.2 ผลของชาร์ชานอ้อย ชาร์กะลามะพร้าว และถ่านกัมมันต์ ต่อร้อยละผลได้ และคุณภาพของน้ำมันดิบชีวภาพจากไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชัน

ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ผลของชาร์ชานอ้อย และถ่านกัมมันต์ พบว่าชาร์ชานอ้อย และถ่านกัมมันต์ ทำงานเสริมกับชานอ้อย ทำให้มีปริมาณน้ำมันดิบชีวภาพสูงกว่าค่าทำนาย แต่ชาร์กะลามะพร้าวไม่ทำงานเสริมกับชานอ้อย ทำให้ปริมาณน้ำมันดิบมีค่าน้อยกว่าค่าการทำนาย แต่จากการทดลองทำให้พบว่า ชานอ้อยผสมชาร์ชานอ้อย ให้ปริมาณน้ำมันดิบที่สูงที่สุดร้อยละ 29.82 โดยน้ำหนัก และส่งผลดีต่อคุณภาพของน้ำมันชีวภาพที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส

5.1.3 ผลของโพแทสเซียมบน ชาร์ซานอ้อย ชาร์กะลามะพร้าว และถ่านกัมมันต์ ต่อร้อยละผลได้ และคุณภาพของน้ำมันดิบชีวภาพจากไฮโดรเทอร์มอลลิควิแฟกชัน

ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ผลของโพแทสเซียมบนชาร์ซานอ้อย ชาร์กะลามะพร้าว และถ่านกัมมันต์ พบว่าโพแทสเซียมบนชาร์ซานอ้อย ชาร์กะลามะพร้าว และถ่านกัมมันต์ ทำงานเสริมกับชาร์ซานอ้อย ทำให้มีปริมาณน้ำมันดิบชีวภาพสูงกว่าค่าทำนาย โดยโพแทสเซียมบนชาร์ซานอ้อย ส่งผลทำให้ได้ปริมาณน้ำมันดิบชีวภาพถึงร้อยละ 42.70 โดยน้ำหนัก แต่เมื่อคำนึงถึงคุณภาพของน้ำมันกลับพบว่าปริมาณน้ำมันดิบชีวภาพที่ได้จากการผสมกันระหว่างชาร์ซานอ้อยกับโพแทสเซียมบนชาร์ซานอ้อย มีคุณภาพของน้ำมันดิบที่ไม่ดี เนื่องจากมีปริมาณโพแทสเซียมในน้ำมันดิบปริมาณมากถึงร้อยละ 13.60 โดยน้ำหนัก

5.1.4 ผลของอุณหภูมิต่อร้อยละผลได้ และคุณภาพของน้ำมันดิบชีวภาพจากไฮโดรเทอร์มอลลิควิแฟกชัน

ที่อุณหภูมิ 300 และ 350 องศาเซลเซียส ของชาร์ซานอ้อยผสมกับ ชาร์ซานอ้อย ชาร์กะลามะพร้าว ถ่านกัมมันต์ โพแทสเซียมบนชาร์ซานอ้อย โพแทสเซียมบนชาร์กะลามะพร้าว และโพแทสเซียมบนถ่านกัมมันต์ พบว่าเมื่อทำการเพิ่มอุณหภูมิปริมาณน้ำมันดิบชีวภาพจะลดลงจำนวนมากแต่ส่งผลดีกับคุณภาพของน้ำมันดิบชีวภาพดังนั้นเมื่อพิจารณาปริมาณและคุณภาพน้ำมันดิบชีวภาพจึงสรุปได้ว่าอุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส เหมาะสมต่อการทำปฏิกิริยา

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรศึกษาผลของชาร์ชนิดอื่นๆ เพิ่มเติม
2. ควรศึกษาผลของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อชนิดของชีวมวล
3. ควรศึกษาวิธีการที่ทำให้โพแทสเซียมไม่หลุดลงมาในระหว่างการทำปฏิกิริยา

บรรณานุกรม

1. Stefanidis S.D., et al. Optimization of bio-oil yields by demineralization of low quality biomass. *Biomass and Bioenergy*. 2015. 83:105-115.
2. สำนักงานหอสมุดและศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. พลังงานจากชีวมวล (Biomass energy). กรมวิทยาศาสตร์บริการ. 2553.
3. การหมุนเวียนสารในระบบนิเวศ. วัฏจักรคาร์บอน.
สืบค้นจาก: <https://sites.google.com/site/karmunweiyinsamirabbniwes/karmunweiyin-sar-ni-rabb-niwes/watcacr-kharbxn-carbon-cycle>
4. กชนิภา มณีวรรณ, ประพันธ์ คูชลธารา. ผลเชิงเร่งปฏิกิริยาของชาร์ตไฮโดรแกซีฟิเคชันของสารระเหยจากชีวมวล. ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2555.
5. Sticklen M.B. Plant genetic engineering for biofuel production: towards affordable cellulosic ethanol. *Nat Rev Genet*. 2008. 9(6):433-43.
6. de Caprariis B., et al. Hydrothermal liquefaction of biomass: Influence of temperature and biomass composition on the bio-oil production. *Fuel*. 2017. 208:618-625.
7. Li R., et al., Characteristics of the products of hydrothermal liquefaction combined with cellulosic bio-ethanol process. *Energy*. 2016. 114:862-867.
8. 3ESO Polysaccharides (Cellulose). 2015.
Available from: <https://silviapvadi.wordpress.com/2015/04/13/3eso-polysaccharides-cellulose/>.
9. Tekin K., Karagöz S. and Bektaş S. A review of hydrothermal biomass processing. *Renewable and sustainable Energy reviews*, 2014. 40:673-687.
10. blog A.d. Lignin structure. 2013. Available from:
<http://howaboutlignin.blogspot.com/2013/07/lignin-structure.html>.
11. ประพันธ์ คูชลธารา, ศศิธร สรรพอคำ. พลังงานจากชีวมวลและวัสดุเหลือใช้ (Energy from Biomass and Waste). 2558.
12. ฐานข้อมูลศักยภาพชีวมวลในประเทศไทยประจำปีเพาะปลูก พ.ศ. 2556. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. 2562.

Available from: <http://webkc.dede.go.th/testmax/node/2450>.

13. อ้อย. 2563. Available from:
<https://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B8%AD%E0%B9%89%E0%B8%AD%E0%B8%A2>.
14. Yokoyama S. คู่มือสารชีวมวลเอเชีย แนวทางสำหรับการผลิตและการใช้สารชีวมวล. 2008.
15. Zhu Z., et al. Hydrothermal liquefaction of barley straw to bio-crude oil: Effects of reaction temperature and aqueous phase recirculation. *Applied Energy*. 2015. 137:183-192.
16. นพิตา ทิณชีระนันท์, ชวลิต งามจรัสศรีวิชัย. เทคโนโลยีตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst technology). โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2557
17. Chen J. Bio-oil production from hydrothermal liquefaction of *Pteris vittata* L. : Effects of operating temperatures and energy recovery. *Bioresour Technol*. 2018. 265:320-327.
18. Biswas B., et al. Effects of temperature and solvent on hydrothermal liquefaction of *Sargassum tenerrimum* algae. *Bioresour Technol*. 2017. 242:344-350.
19. Muppaneni T., et al. Hydrothermal liquefaction of *Cyanidioschyzon merolae* and the influence of catalysts on products. *Bioresour Technol*. 2017. 223:91-97.
20. Xu L., et al. Co-production of phenolic oil and CaO/char deoxidation catalyst via catalytic fast pyrolysis of phenol-formaldehyde resin with $\text{Ca}(\text{OH})_2$. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 2019. 142.
21. Nazari L., et al. Hydrothermal liquefaction of woody biomass in hot-compressed water: Catalyst screening and comprehensive characterization of bio-crude oils. *Fuel*. 2015. 162:74-83.
22. Yang L., et al. Co-liquefaction of spent coffee grounds and lignocellulosic feedstocks. *Bioresour Technol*. 2017. 237:108-121.
23. Guo F., et al. Catalytic cracking of biomass pyrolysis tar over char-supported catalysts. *Energy Conversion and Management*. 2018. 167:81-90.
24. เครื่อง X-Ray Fluorescence Spectrometer (XRF). ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

Available from: <http://www.geo.sc.chula.ac.th/labs/>.

25. Atomic Absorption Spectrophotometer.
Available from: <https://www.barascientific.com/product/analytical-instruments/spectrophotometric/atomic-absorption-spectrophotometer/aa-6200-atomic-absorption-spectrophotometer>.
26. Yin S., et al. Subcritical hydrothermal liquefaction of cattle manure to bio-oil: Effects of conversion parameters on bio-oil yield and characterization of bio-oil. *Bioresour Technol.* 2010. 101(10):3657-64.
27. Akhtar J. and Amin N.A.S. A review on process conditions for optimum bio-oil yield in hydrothermal liquefaction of biomass. *Renewable and Sustainable Energy Reviews.* 2011. 15(3):1615-1624.
28. Fan Y., et al. Effects of the cellulose, xylan and lignin constituents on biomass pyrolysis characteristics and bio-oil composition using the Simplex Lattice Mixture Design method. *Energy Conversion and Management.* 2017. 138: 106-118.
29. Yoshida K., et al. Characterization of low molecular weight organic acids from beech wood treated in supercritical water. *Applied biochemistry and biotechnology.* 2005. 123(1-3):795-806.



ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก ก

วิธีการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของซีเมนต์

การวิเคราะห์แบบประมาณ (proximate Analysis)

1. ความชื้น (moisture): ASTM E871-82

1.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

1.1.1 เตาอบ(moisture oven)

1.1.2 ถ้วยพอสเลน(porcelain crucible)

1.1.3 โถดูดความชื้น(desiccators)

1.2 วิธีการทดลอง

1.2.1 ชั่งถ้วยพอสเลนแล้วจดน้ำหนัก

1.2.2 ชั่งตัวอย่างชานอ้อย ประมาณ 1 กรัม ใส่ลงในถ้วย

1.2.3 นำไปอบในเตาอบที่อุณหภูมิ 104-110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 ชั่วโมงแล้วปล่อยให้เย็นในโถดูดความชื้น (desiccators)

1.2.4 ชั่งน้ำหนักหลังอบ และจดน้ำหนัก พร้อมทั้งคำนวณตามสมการ

$$\text{ร้อยละความชื้น} = \frac{(\text{น้ำหนักของซีเมนต์ก่อนอบ} - \text{น้ำหนักของซีเมนต์หลังอบ})}{\text{น้ำหนักของซีเมนต์หลังอบ}} \times 100$$

2. เถ้า (ash): ASTM D1102-84

2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

2.1.1 เตาอบ (moisture oven)

2.1.2 ถ้วยพอสเลน (porcelain crucible)

2.1.3 โถดูดความชื้น (desiccators)

2.2 วิธีการทดลอง

2.2.1 ชั่งถ้วยพอสเลนแล้วจดน้ำหนัก

2.2.2 ชั่งตัวอย่างชานอ้อย ประมาณ 1 กรัม ใส่ลงในถ้วย

2.2.3 นำไปอบในเตาอบที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำมาเผาที่อุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นในโถดูดความชื้น (desiccators)

2.2.4 ชั่งน้ำหนักหลังอบ และจดน้ำหนัก พร้อมทั้งคำนวณตามสมการ

$$\text{ร้อยละเถ้า} = \frac{\text{น้ำหนักของเถ้า}}{\text{น้ำหนักของชีวมวลก่อนเผา}} \times 100$$

3. ปริมาณสารระเหย (volatile matter): ASTM E872-82

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

3.1.1 เตาเผา (furnace)

3.1.2 ถ้วยพอสเลน (porcelain crucible)

3.1.3 โถดูดความชื้น (desiccators)

3.2 วิธีการทดลอง

3.2.1 ชั่งถ้วยพอสเลนพร้อมฝาแล้วจดน้ำหนัก

3.2.2 ชั่งตัวอย่างชานอ้อย ประมาณ 1 กรัม ใส่ลงในถ้วย

3.2.3 นำไปใส่เตาเผาที่อุณหภูมิ 700 ± 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 นาที ปล่อยให้เย็นในโถดูดความชื้น (desiccators)

3.2.4 ชั่งน้ำหนักหลังอบ และจดน้ำหนัก พร้อมทั้งคำนวณตามสมการ

$$\text{ร้อยละสารระเหย} = \frac{(\text{น้ำหนักของชีวมวลก่อนอบ} - \text{น้ำหนักของชีวมวลหลังอบ})}{\text{น้ำหนักของชีวมวลหลังอบ}} \times 100$$

4. คาร์บอนคงตัว (fixed carbon)

ค่าผลต่างของร้อยละลบด้วยผลบวกของความชื้น เถ้า และสารระเหยที่คิดเป็นร้อยละ ดังนี้

$$\text{ร้อยละคาร์บอนคงตัว} = 100 - (\text{ร้อยละความชื้น} + \text{ร้อยละเถ้า} + \text{ร้อยละสารระเหย})$$

ภาคผนวก ข

วิธีการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของซาร์

การวิเคราะห์แบบประมาณ (proximate Analysis)

1. ความชื้น (moisture): ASTM D 3173-87

1.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

1.1.1 เตาอบ(moisture oven)

1.1.2 ถ้วยพอสเลน(porcelain crucible)

1.1.3 โถดูดความชื้น(desiccators)

1.2 วิธีการทดลอง

1.2.1 ชั่งถ้วยพอสเลนแล้วจดน้ำหนัก

1.2.2 ชั่งตัวอย่างซาร์ซันอ้อย/ซาร์กะลามะพร้าว/ถ่านกัมมันต์ ประมาณ 1 กรัม ใส่ลงในถ้วย

1.2.3 นำไปอบในเตาอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมงแล้วปล่อยให้เย็นในโถดูดความชื้น (desiccators)

1.2.4 ชั่งน้ำหนักหลังอบ และจดน้ำหนัก พร้อมทั้งคำนวณตามสมการ

$$\text{ร้อยละความชื้น} = \frac{(\text{น้ำหนักของชีวมวลก่อนอบ} - \text{น้ำหนักของชีวมวลหลังอบ})}{\text{น้ำหนักของชีวมวลหลังอบ}} \times 100$$

2. เถ้า (ash): ASTM D 3174-93

2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

2.1.1 เตาเผา (furnace)

2.1.2 ถ้วยพอสเลน (porcelain crucible)

2.1.3 โถดูดความชื้น (desiccators)

2.2 วิธีการทดลอง

2.2.1 ชั่งถ้วยพอสเลนแล้วจดน้ำหนัก

2.2.2 ชั่งตัวอย่างซาร์ซันอ้อย/ซาร์กะลามะพร้าว/ถ่านกัมมันต์ ประมาณ 1 กรัม ใส่ลงในถ้วย

2.2.3 นำไปอบในเตาอบที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำมาเผาที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นในโถดูดความชื้น (desiccators)

2.2.4 ชั่งน้ำหนักหลังอบ และจดน้ำหนัก พร้อมทั้งคำนวณตามสมการ

$$\text{ร้อยละเถ้า} = \frac{\text{น้ำหนักของเถ้า}}{\text{น้ำหนักของชีวมวลก่อนเผา}} \times 100$$

3. ปริมาณสารระเหย (volatile matter): ASTM D 3175-89a

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

3.1.1 เตาเผา (furnace)

3.1.2 ถ้วยพอสเลน (porcelain crucible)

3.1.3 โถดูดความชื้น (desiccators)

3.2 วิธีการทดลอง

3.2.1 ชั่งถ้วยพอสเลนปิดฝาพร้อมฝาแล้วจดน้ำหนัก

3.2.2 ชั่งตัวอย่างชานอ้อย ประมาณ 1 กรัม ใส่ลงในถ้วย

3.2.3 นำไปใส่เตาเผาแบบท่อ วางไว้หน้าเตาเผา 2 นาทีประมาณ 300 องศาเซลเซียส วางไว้ขอบเตาเป็นเวลา 3 นาทีประมาณ 600 องศาเซลเซียส และนำไปเผาที่กึ่งกลางเป็นเวลา 6 นาที ประมาณ 950 องศาเซลเซียส ปล่อยให้เย็นในโถดูดความชื้น (desiccators)

3.2.4 ชั่งน้ำหนักหลังอบ และจดน้ำหนัก พร้อมทั้งคำนวณตามสมการ

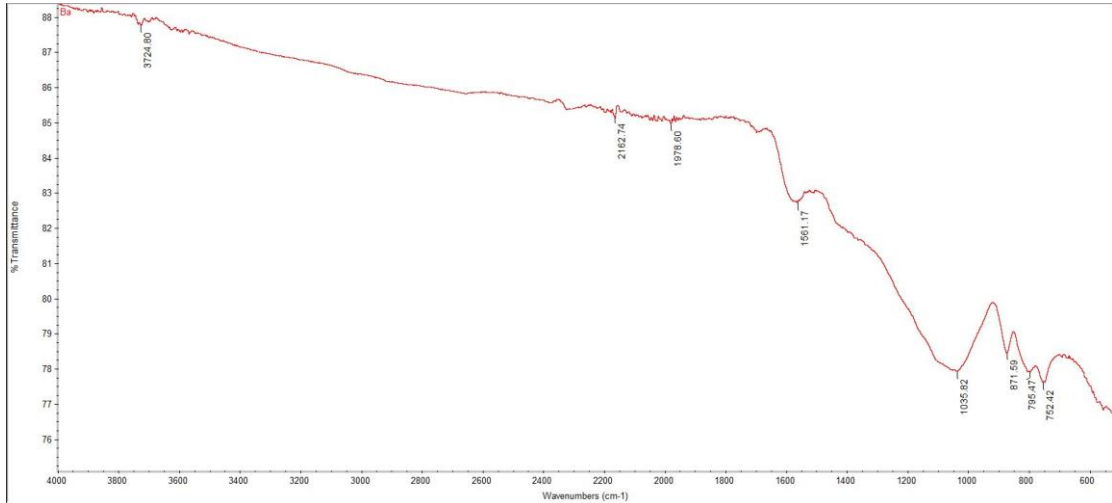
$$\text{ร้อยละสารระเหย} = \frac{(\text{น้ำหนักของชีวมวลก่อนอบ} - \text{น้ำหนักของชีวมวลหลังอบ})}{\text{น้ำหนักของชีวมวลหลังอบ}} \times 100$$

4. คาร์บอนคงตัว (fixed carbon)

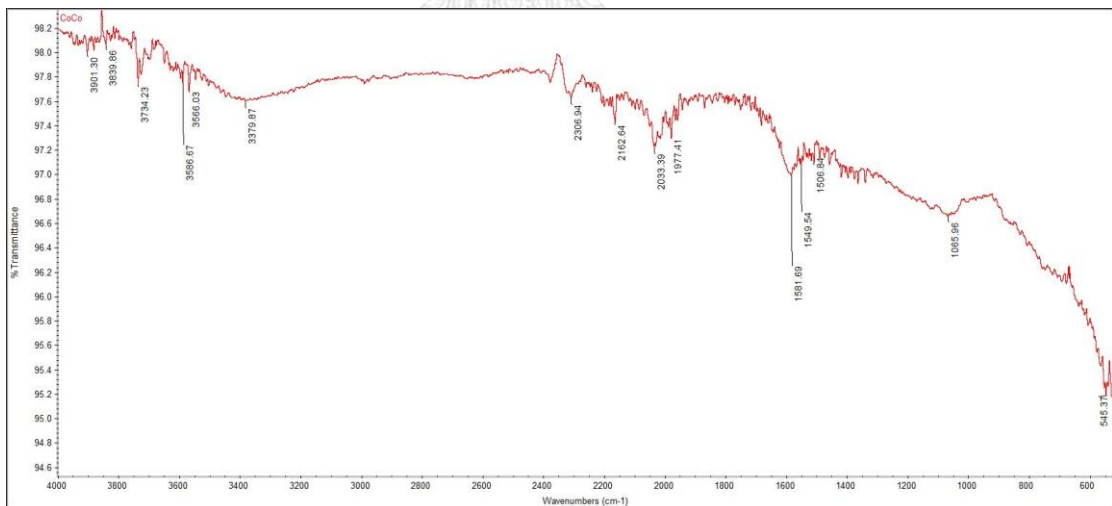
ค่าผลต่างของร้อยละลบด้วยผลบวกของความชื้น เถ้า และสารระเหยที่คิดเป็นร้อยละ ดังนี้

$$\text{ร้อยละคาร์บอนคงตัว} = 100 - (\text{ร้อยละความชื้น} + \text{ร้อยละเถ้า} + \text{ร้อยละสารระเหย})$$

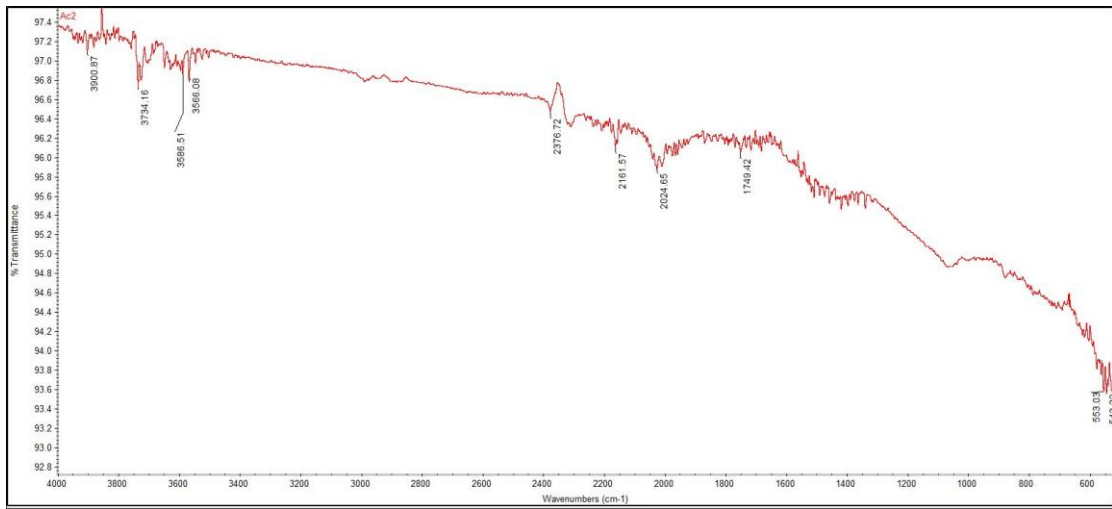
ภาคผนวก ค
การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค FTIR



รูปที่ ค.1 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของชาร์ชานอ้อย



รูปที่ ค.2 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของ ชาร์กอะลามะพร้าว



รูปที่ ค.3 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันถ่านกัมมันต์



ภาคผนวก ง

การคำนวณร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์

1. การคำนวณร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพ

$$\text{ร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพ} = \frac{W_{\text{liq}}}{W_{\text{daf}}} \times 100$$

2. การคำนวณร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ของแข็ง

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

3. การคำนวณร้อยละผลได้ของแก๊ส

$$\text{ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์แก๊ส} = \frac{W_{\text{gas}}}{W_{\text{daf}}} \times 100$$

4. การคำนวณร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ที่สูญหายและอื่น ๆ

ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์อื่น ๆ = 100 - (ร้อยละผลได้ ของน้ำมันชีวภาพ + ร้อยละผลได้ของของแข็ง + ร้อยละผลได้ของแก๊ส)

โดย	W_{daf}	คือ	น้ำหนักของสารตั้งต้นที่ปราศจากความชื้นและเถ้า
	W_{liq}	คือ	น้ำหนักของของเหลวหลังระเหย
	W_{solid}	คือ	น้ำหนักของกากของแข็งที่ปราศจากความชื้น (หลังอบ)
	W_{gas}	คือ	น้ำหนักของแก๊ส
	W_{ash}	คือ	น้ำหนักของเถ้า

ภาคผนวก จ
ข้อมูลดิบ

ตารางที่ จ.1 ข้อมูลการทดลองในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์

No,	Reacton	Temp.	Sovent	%Solid	%Liqued	%Gas	%Orther
1	Bagasse	300	Water	11.17	42.83	15.68	30.32
2	Bagasse	350	Water	5.59	24.39	18.28	51.74
3	Char Activated Carbon	300	Water	88.55	8.78	2.05	0.63
4	Char Activated Carbon	350	Water	87.52	5.81	4.07	2.61
5	Char Bagasse	300	Water	89.64	6.40	1.80	2.16
6	Char Bagasse	350	Water	87.58	4.51	2.16	5.75
7	Char Coconut	300	Water	88.43	5.69	2.23	3.65
8	Char Coconut	350	Water	82.57	4.63	6.43	6.37
9	K-Char Activated Carbon	300	Water	71.52	25.83	1.33	1.32
10	K-Char Activated Carbon	350	Water	70.77	24.99	1.76	2.49
11	K-Char Bagasse	300	Water	73.00	20.07	1.29	5.64
12	K-Char Bagasse	350	Water	72.85	10.02	0.80	16.34
13	K-Char Coconut	300	Water	69.99	20.75	0.52	8.74
14	K-Char Coconut	350	Water	66.17	14.58	1.11	18.15

ตารางที่ จ.1 ข้อมูลการทดลองในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์ (ต่อ)

No,	Reacton	Temp.	Sovent	%Solid	%Liqued	%Gas	%Orther
15	Bagasse+Char Activated Carbon	300	Water	51.46	28.75	9.12	10.68
16	Bagasse+Char Activated Carbon	350	Water	49.59	18.24	9.43	22.75
17	Bagasse+Char Bagasse	300	Water	54.55	29.82	3.16	12.47
18	Bagasse+Char Bagasse	350	Water	51.05	18.76	6.22	23.97
19	Bagasse+Char Coconut	300	Water	49.27	19.04	9.29	22.40
20	Bagasse+Char Coconut	350	Water	48.57	14.74	4.09	32.60
21	Bagasse+K-Char Activated Carbon	300	Water	37.34	47.87	9.75	5.04
22	Bagasse+K-Char Activated Carbon	350	Water	35.89	34.69	15.38	14.04
23	Bagasse+K-Char Bagasse	300	Water	36.67	42.70	11.44	9.19
24	Bagasse+K-Char Bagasse	350	Water	36.52	32.42	13.94	17.11
25	Bagasse+K-Char Coconut	300	Water	35.31	43.22	12.33	9.13
26	Bagasse+K-Char Coconut	350	water	35.31	36.22	16.51	11.96
27	Bagasse+Char Activated Carbon	300	Water	51.46	28.75	9.12	10.68
28	Bagasse+Char Activated Carbon	350	Water	49.59	18.24	9.43	22.75

ตารางที่ จ.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุไนโตรเจน

No.	Reactor	Temp.	Sovent	C	H	N	S	O	HHV (MJ/Kg)
1	Bagasse	300	Water	58.42	6.52	1.43	0.95	32.68	23.27
				57.51	6.42	1.39	0.89	33.79	22.62
AVG									
2	Bagasse	350	Water	69.26	7.49	1.59	0.96	20.70	30.50
				68.63	7.19	1.84	1.10	21.24	29.76
AVG									
3	Char Activated Carbon	300	Water	36.53	6.05	0.87	0.81	55.74	11.04
				16.22	3.99	0.38	0.59	78.82	-2.97
AVG									
4	Char Bagasse	300	Water	28.98	4.18	0.31	0.65	65.88	3.96
				37.05	4.72	0.29	0.68	57.26	9.02
AVG									
5	Char Coconut	300	Water	75.65	9.02	1.50	1.23	12.60	36.33
				81.64	8.76	1.47	1.18	6.95	39.00
AVG									
				78.65	8.89	1.49	1.21	9.77	37.66

ตารางที่ จ.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุไนโตรเจน (ต่อ)

No.	Reactor	Temp.	Sovent	C	H	N	S	O	HHV (MJ/Kg)
6	K-Char Activated Carbon	300	Water	4.20	4.86	0.83	0.76	89.35	-7.68
				3.66	4.84	0.76	0.75	89.99	-8.00
AVG				3.93	4.85	0.80	0.76	89.67	-7.84
7	K-Char Bagasse	300	Water	6.51	5.77	0.77	0.84	86.11	-5.00
				3.69	3.71	0.99	0.63	90.98	-9.80
AVG				5.10	4.74	0.88	0.74	88.55	-7.40
8	K-Char Coconut	300	Water	9.66	4.63	0.88	0.69	84.14	-5.22
				6.87	6.18	0.81	0.88	85.26	-4.13
AVG				8.27	5.41	0.85	0.79	84.70	-4.68
9	Bagasse+Char Activated Carbon	300	Water	56.99	6.78	1.40	0.94	33.89	22.95
				61.37	6.88	1.46	0.94	29.35	25.39
AVG				59.18	6.83	1.43	0.94	31.62	24.17
10	Bagasse+Char Bagasse	300	Water	59.55	6.56	1.41	0.92	31.56	23.92
				64.33	6.81	1.44	0.95	26.47	26.81
AVG				61.94	6.69	1.43	0.94	29.02	25.36

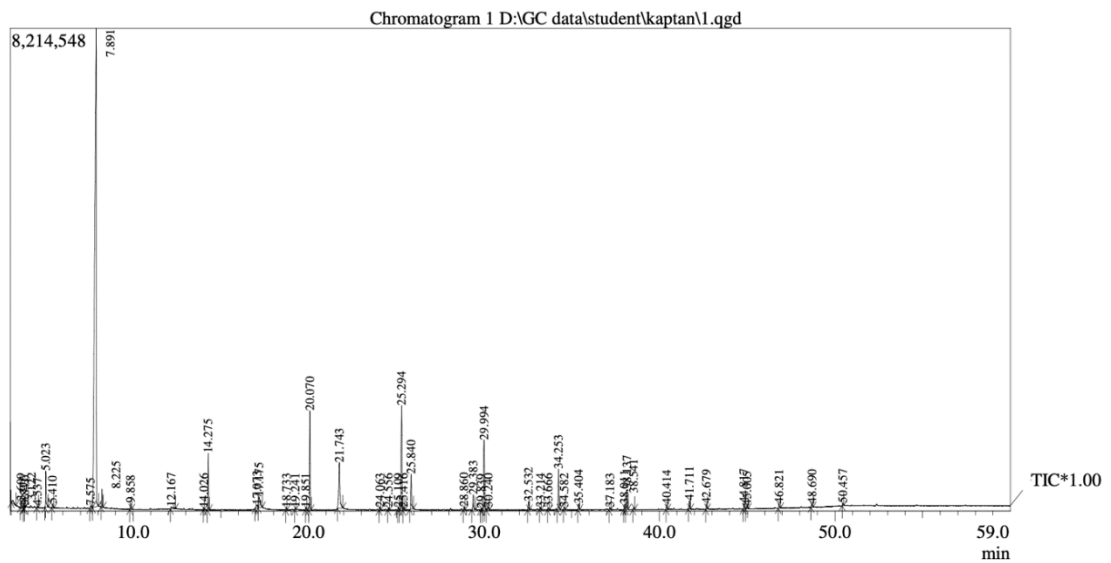
ตารางที่ จ.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบของชาตุไนผลิตภัณท์ (ต่อ)

No.	Reactor	Temp.	Solvent	C	H	N	S	O	HHV (MJ/Kg)
11	Bagasse+Char Bagasse	350	Water	71.74	6.99	1.76	0.94	18.57	31.00
				76.09	7.35	1.79	1.00	13.77	33.86
AVG				73.92	7.17	1.78	0.97	16.17	32.43
12	Bagasse+Char Coconut	300	Water	58.55	6.39	1.35	0.87	32.84	23.10
				59.57	6.36	1.36	0.86	31.85	23.58
AVG				59.06	6.38	1.36	0.87	32.35	23.34
13	Bagasse+K-Char Activated Carbon	350	Water	25.27	3.16	0.84	0.54	70.19	0.45
				25.81	3.20	0.88	0.57	69.54	0.81
AVG				25.54	3.18	0.86	0.56	69.87	0.63
14	Bagasse+K-Char Bagasse	300	Water	39.09	7.79	1.06	1.03	51.03	15.26
				30.55	7.52	1.04	1.04	59.85	10.39
AVG				34.82	7.66	1.05	1.04	55.44	12.83

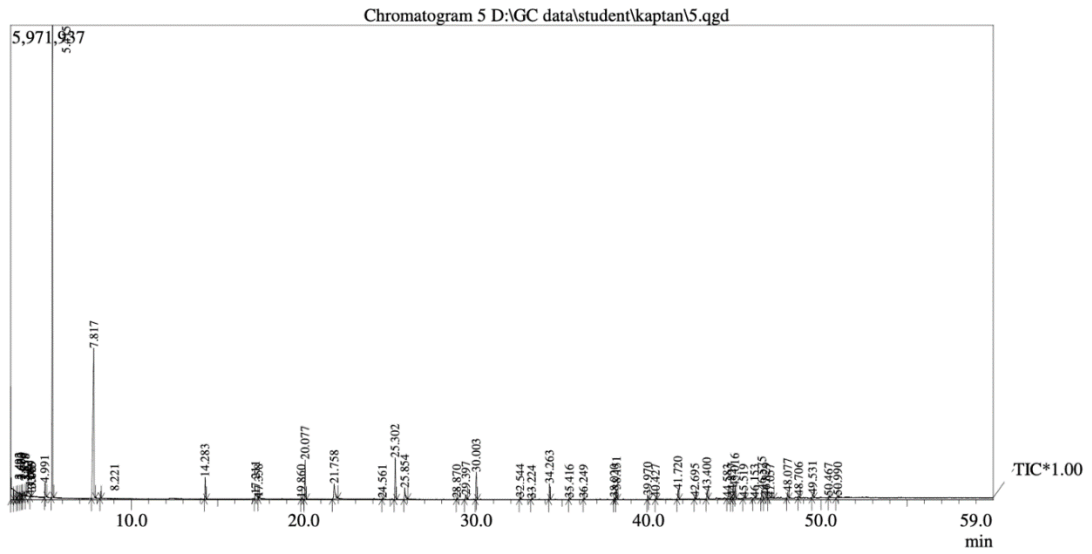
ภาคผนวก ฉ

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์ที่สูญหายและอื่น ๆ

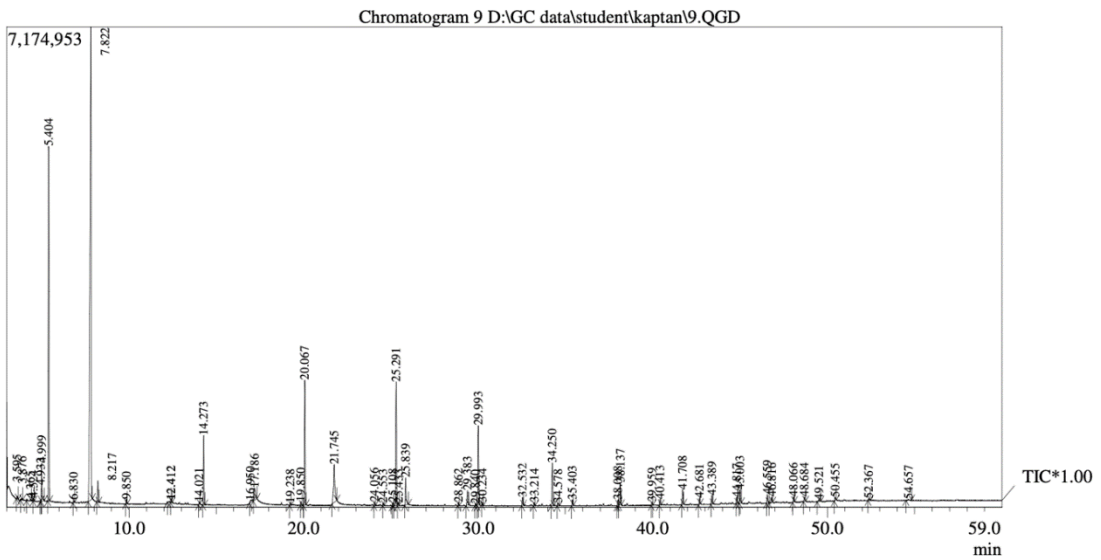
ผลิตภัณฑ์ของเหลวนำไป ตรวจสอบด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี เพื่อหาองค์ประกอบที่อยู่ในส่วนสารละลายนั้น ดังแสดงในรูปที่ ฉ.1-ฉ.7



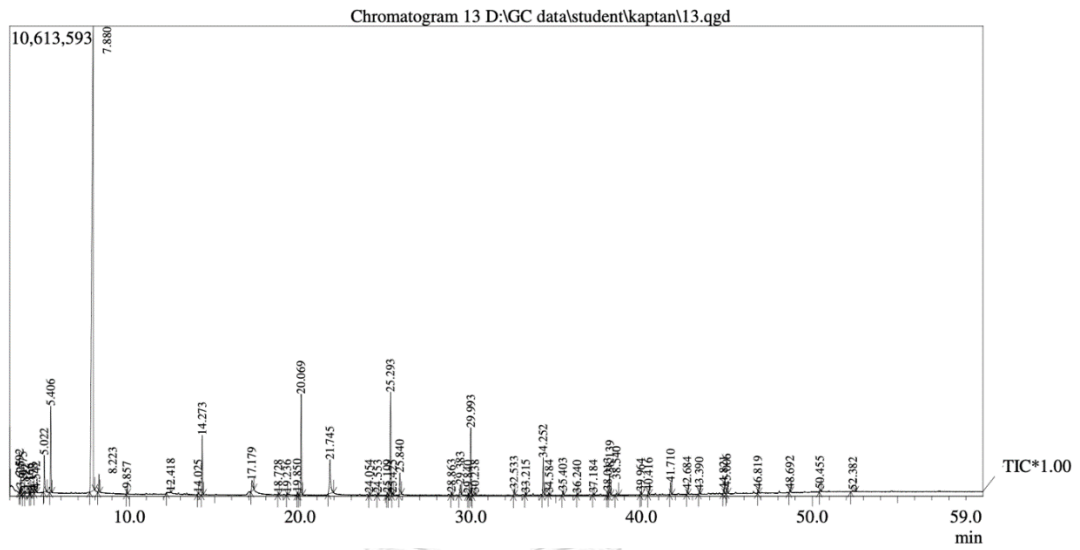
รูปที่ ฉ.1 โครมาโทแกรมของผลิตภัณฑ์น้ำมันดิบชีวภาพจากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันของ
 ชานอ้อย ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส



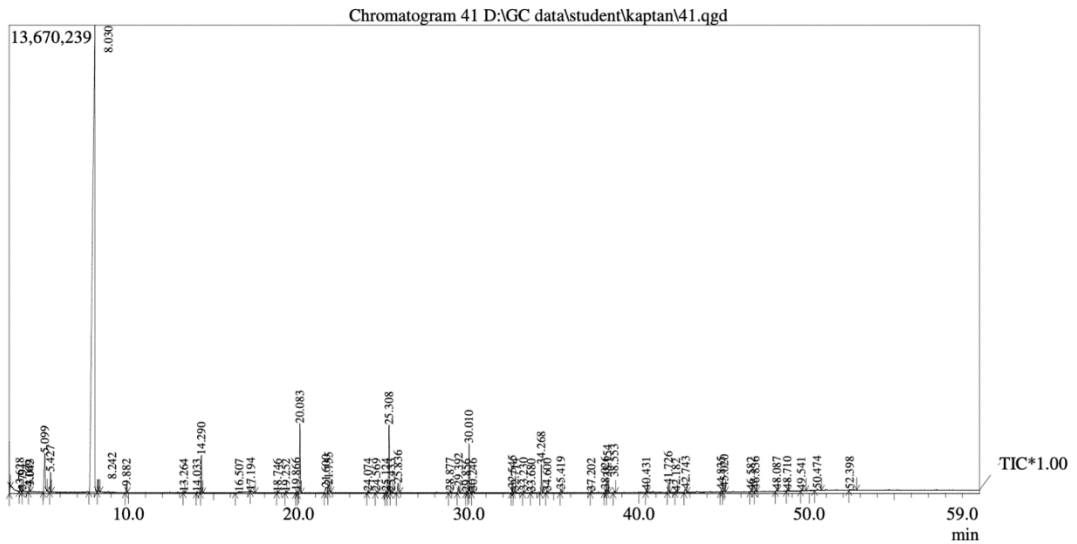
รูปที่ ๑.2 โครมาโทแกรมของผลิตภัณฑ์น้ำมันดิบชีวภาพจากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันของ ถ่านกัมมันต์ ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส



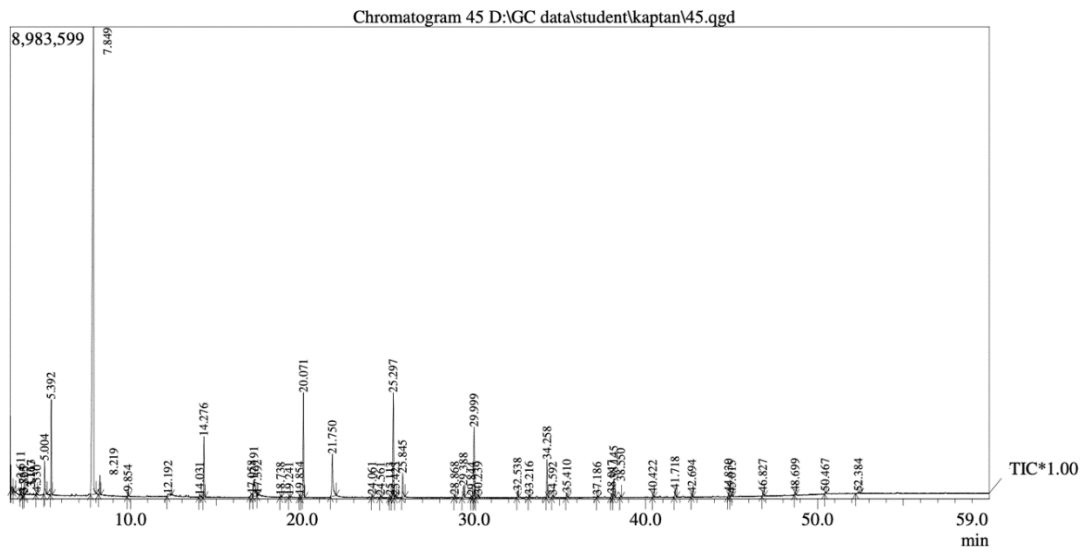
รูปที่ ๑.3 โครมาโทแกรมของผลิตภัณฑ์น้ำมันดิบชีวภาพจากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันของ ชาร์ซ่าน้อย ในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์ ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส



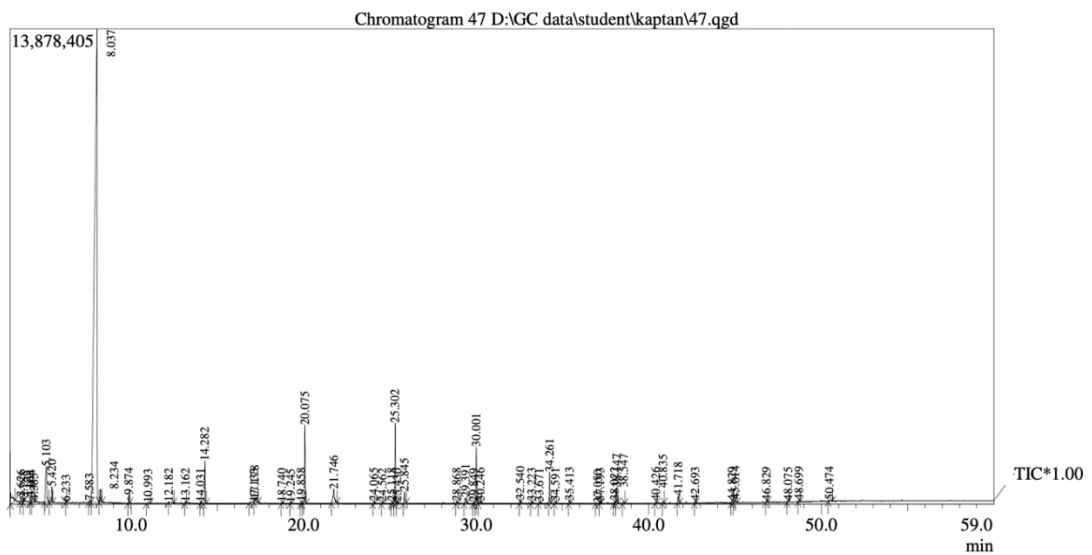
รูปที่ ๑.4 โครมาโทแกรมของผลิตภัณฑ์น้ำมันดิบชีวภาพจากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกซ์ของ
ซาร์กะลามะพร้าวที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส



รูปที่ ๑.5 โครมาโทแกรมของผลิตภัณฑ์น้ำมันดิบชีวภาพจากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกซ์ของ
ซานอ้อยผสมถ่านกัมมันต์ ในสัดส่วนร้อยละ 50 โดยน้ำหนักที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส



รูปที่ ๑.6 โครมาโทแกรมของผลิตภัณฑ์น้ำมันดิบชีวภาพจากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันของ
 ชานอ้อยผสมซาร์ชานอ้อย ในสัดส่วนร้อยละ 20 โดยน้ำหนักที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส



รูปที่ ๑.7 โครมาโทแกรมของผลิตภัณฑ์น้ำมันดิบชีวภาพจากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันของ
 ชานอ้อยผสมซาร์ชาร์ ในสัดส่วนร้อยละ 20 โดยน้ำหนักที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส

ตารางที่ ๑.1 ผลของการวิเคราะห์หาองค์ประกอบผลิตภัณฑ์น้ำมันดิบชีวภาพด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ-แมสสเปกโตรเมตรี

No	RUN	Compound							
		HC	PH	AC	KET	SUG	ALH	ADH	UN
1	Bagasse	36.8	0	0	0.53	0	62.23	0.44	12.11
2	Activated Carbon	22.71	0.25	3.4	57.54	0	7.19	1.29	7.62
3	Bagasse Char	30.39	0	0	56.35	0	2.21	0	11.05
4	Coconut Char	25.2	0.67	0	58.33	0	2.93	3.7	9.17
5	Bagasse + Activated Carbon	14.72	0	0	77.02	0	3.66	0.71	3.89
6	Bagasse + Bagasse Char	14.72	0	0	77.02	0	2.44	4.05	3.89
7	Bagasse + Coconut Char	18.36	0	0	69.84	1.15	0.28	2.39	7.98

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	กัปตัน สมบูรณ์ชนะชัย
วัน เดือน ปี เกิด	19 กันยายน 2538
สถานที่เกิด	นครสวรรค์
วุฒิการศึกษา	มหาวิทยาลัยศิลปากร
ที่อยู่ปัจจุบัน	710/51 หมู่ 7 ตำบลหนองปลิง อำเภอเมือง จังหวัดนครสวรรค์ 60000



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY