

ผลของชาร์ที่กระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์และไอน้ำต่อการผลิตน้ำมันดิบชีวภาพจากชานอ้อย
โดยไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแพกซ์



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเคมีเทคนิค ภาควิชาเคมีเทคนิค
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2565
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EFFECT OF KOH AND STEAM ACTIVATED CHAR ON BIOCRUDE OIL PRODUCTION FROM
BAGASSE 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 2022

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์ ผลของสารที่กระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์และไอน้ำต่อการผลิตน้ำมันดิบชีวภาพจากขานอ้อยโดยไฮโดรเทอร์มอลลิควิแฟกชัน

โดย น.ส.สรารวรรณ ทรัพย์พันธ์

สาขาวิชา เคมีเทคนิค

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก รองศาสตราจารย์ ดร.ประพันธ์ คูชลธารา

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

..... คณะบดีคณะวิทยาศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.พลกฤษณ์ แสงวณิช)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ประเสริฐ เรียบร้อยเจริญ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.ประพันธ์ คูชลธารา)

..... กรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร.นพิตา ทิณชีระนันท์)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศศิธร สรรพอคำ)

สรารวรรณ ทรัพย์พันธ์ : ผลของชาร์ที่กระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์และไอน้ำต่อการผลิต
น้ำมันดิบชีวภาพจากขานอ้อยโดยไฮโดรเทอร์มอลลิควิแฟกชัน. (EFFECT OF KOH AND STEAM
ACTIVATED CHAR ON BIOCRUDE OIL PRODUCTION FROM BAGASSE BY
HYDROTHERMAL LIQUEFACTION) อ.ที่ปรึกษาหลัก : รศ. ดร.ประพันธ์ คูชลธารา

พลังงานจากชีวมวลเป็นพลังงานทางเลือกหนึ่งที่ได้รับความสะดวกเพื่อแก้ปัญหาและข้อจำกัดจากเชื้อเพลิงฟอสซิล ไฮโดรเทอร์มอลลิควิแฟกชัน (Hydrothermal liquefaction, HTL) เป็นกระบวนการแปรรูปชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงเหลว เนื่องด้วยกระบวนการนี้ยังสามารถปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันและปริมาณน้ำมันได้ด้วยการใส่ตัวเร่งปฏิกิริยาลงไปในกระบวนการ ซึ่งตัวเร่งปฏิกิริยาที่น่าสนใจคือ ชาร์ เนื่องจากมีสมบัติเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา สามารถผลิตได้ง่ายจากชีวมวล และ ราคาถูก อีกทั้งยังไม่มีงานวิจัยที่ศึกษาผลของชาร์ ที่ส่งเสริมการเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลลิควิแฟกชัน งานวิจัยนี้จึงสนใจในการนำขานอ้อยและชาร์ มาเป็นสารป้อนร่วมในกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลลิควิแฟกชัน โดยใช้ชาร์มากระตุ้นด้วยไอน้ำและใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) เป็นตัวช่วยกระตุ้น เพื่อนำมาเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตน้ำมันดิบชีวภาพจากขานอ้อยโดยกระบวนการ HTL โดยขั้นตอนในงานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ขั้นแรก ขั้นของการกระตุ้น เป็นการกระตุ้นถ่านชาร์ด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์และไอน้ำ ซึ่งจะศึกษาผลของอัตราส่วนระหว่างโพแทสเซียมและถ่านชาร์ที่ร้อยละ 2.5 และ 5 โดยน้ำหนัก และผลของอุณหภูมิในการกระตุ้นที่ 700, 800 และ 900 องศาเซลเซียส พบว่า เมื่อใช้อุณหภูมิในการกระตุ้นสูงขึ้น ร้อยละผลได้ของถ่านชาร์หลังการกระตุ้นจะลดลง ส่วนในขั้นที่ 2 เป็นการทำไฮโดรเทอร์มอลลิควิแฟกชัน โดยดำเนินการในเครื่องปฏิกรณ์ความดันสูงแบบแบตช์ที่อุณหภูมิ 300 และ 325 องศาเซลเซียส ที่ความดันเริ่มต้น 2 เมกะพาสคัล โดยใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 60 นาที พบว่า ร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพจะเพิ่มขึ้น เมื่อใช้ขานอ้อยร่วมกับชาร์ที่ถูกกระตุ้นด้วยไอน้ำและโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ เนื่องจากชาร์มีผลในการเร่งปฏิกิริยาการแตกตัวของชีวมวล อีกทั้งโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ยังช่วยเสริมการทำงานร่วมกับขานอ้อยได้ดียิ่งขึ้น โดยให้ร้อยละน้ำมันดิบชีวภาพสูงถึง 29.91% ในส่วนของอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาที่ 300 และ 325 องศาเซลเซียส พบว่าเมื่อใช้อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาที่สูงขึ้นร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบจะเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ เมื่อใช้ชาร์ที่ถูกกระตุ้นด้วยไอน้ำและโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ร่วมในกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลลิควิแฟกชัน จะส่งผลช่วยปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันชีวภาพ โดยพิจารณาจากค่าความร้อนสูง

สาขาวิชา เคมีเทคนิค
ปีการศึกษา 2565

ลายมือชื่อนิสิต
ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

6370093923 : MAJOR CHEMICAL TECHNOLOGY

KEYWORD: Hydrothermal liquefaction Biochar Steam activation KOH-activation Biocrude-oil

Sarawan Sabpan : EFFECT OF KOH AND STEAM ACTIVATED CHAR ON BIOCRUDE OIL PRODUCTION FROM BAGASSE BY HYDROTHERMAL LIQUEFACTION. Advisor: Assoc. Prof. PRAPAN KUCHONTHARA, Ph.D.

Biomass is one of the most attractive resource in terms of its potential and benign environmental impact. Hydrothermal liquefaction (HTL) is a promising thermo-chemical process for producing liquid biofuels. Adding a catalyst into the process helps improve the quality and yield of liquid products from the HTL. Char is considered to act as a catalyst in the process. The char is inexpensive and can be easily produced from biomass. This research was interested in use of bagasse and char as a co-feed in the hydrothermal liquefaction process by KOH-steam activated char to increase the efficiency of biocrude-oil production from bagasse by HTL process. The steps in this research are divided into two parts: the first step, the activation step. It activated char with potassium hydroxide and steam. Which study the effect of the ratio between KOH : char at 2.5 and 5% by weight and the effect of activation temperature at 700, 800 and 900 °C. It found that the percentage yield of char after activation is reduced when increased the activated temperature. And the second step is hydrothermal liquefaction. The experiments were carried out in a high-pressure autoclave reactor at temperatures of 300 and 325 °C with the reaction time of 60 min. Products were collected and catalyzed. The quantity of liquid was increased when adding KOH-steam activated char because char was found to have a catalytic effect on biomass cracking. And potassium hydroxide also enhances the synergy with bagasse and give the highest biocrude-oil yield to 29.91%. The influence of liquefaction temperature was also examined in 300 and 325 °C. At a higher reaction temperature, biocrude yield was increased. In addition, when using KOH-steam activated char in the HTL process improve the quality of biocrude-oil interms of the High heating value (HHV).

Field of Study: Chemical Technology

Student's Signature

Academic Year: 2022

Advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ผ่านไปได้จากความช่วยเหลือของรองศาสตราจารย์ ดร. ประพันธ์ คูชลธारा ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ได้ให้ความรู้และแนวทางในการแก้ไขปัญหาตลอดการทำงาน คอยชี้แนะถึงปัญหาและให้คำปรึกษาเป็นอย่างดี และคอยให้กำลังใจในการทำงาน รวมถึงเครื่องมือต่างๆ ในการทำงานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

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

ขอขอบคุณ คุณศิริชัย รัตนวราหะ และนักวิทยาศาสตร์ผู้ดูแลและควบคุมห้องเครื่องมือของศูนย์เชื้อเพลิงและพลังงานชีวมวล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จังหวัดสระบุรีทุกท่าน ที่คอยรับฟังให้คำปรึกษา ให้คำแนะนำตลอดจนการช่วยเหลือทุก ๆ อย่างเกี่ยวกับการทำวิจัย รวมถึงวัสดุเครื่องมือต่าง ๆ ที่ใช้ในงานวิจัย

ขอขอบคุณภาควิชาเคมีเทคนิคและขอขอบคุณบุคลากรในภาควิชาเคมีเทคนิคทุกท่าน ในการอำนวยความสะดวกในการใช้ห้องปฏิบัติงาน และช่วยเหลือในการใช้ยืมเครื่องมือวิเคราะห์และเครื่องมือต่าง ๆ ในการทำวิจัย

ขอขอบคุณพี่ ๆ และ เพื่อน ๆ ในภาคภาควิชาเคมีเทคนิคที่ให้คำปรึกษา ให้ความช่วยเหลือ และเป็นกำลังใจในการทำวิจัยให้เสร็จสมบูรณ์ลุล่วงไปด้วยดี

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ผู้เป็นที่รักยิ่ง และเคารพยิ่ง ที่อบรมสั่งสอน ให้กำลังใจ และสนับสนุน จนสำเร็จการศึกษา

สรารวรรณ ทรัพย์พันธ์

สารบัญ

	หน้า
.....	ค
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและความเป็นมาของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตงานวิจัย.....	2
1.4 วิธีดำเนินงานวิจัย.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.1 แนวคิดและทฤษฎี.....	6
2.2 ชีวมวล.....	6
2.2.1 องค์ประกอบของชีวมวล.....	7
2.2.1.1 เซลลูโลส.....	7
2.2.1.2 เฮมิเซลลูโลส.....	8
2.2.1.3 ลิกนิน.....	9
2.3 สมบัติทางความร้อนของชีวมวล.....	11
2.3.1 ค่าความชื้น (Moisture Content) ในชีวมวล.....	11

2.3.2	ค่าความร้อน (Calorific Value).....	11
2.3.3	สัดส่วนของคาร์บอนคงที่และสารระเหย (Proportion of Fixed Carbon and Volatile).....	12
2.3.4	สัดส่วนเถ้า (Ash/Residue Content).....	12
2.3.5	สัดส่วนโลหะอัลคาไล (Alkali metal).....	14
2.3.6	อัตราส่วนเซลลูโลส/ลิกนิน (Cellulose/Lignin Ratio).....	14
2.3.7	ขนาดและความหนาแน่นรวม (Size and bulk density).....	14
2.4	ชีวมวลในประเทศไทย.....	15
2.5	อ้อย.....	18
2.6	กระบวนการแปรรูปชีวมวล.....	18
2.6.1	การแปลงสภาพทางกายภาพ.....	18
2.6.2	การแปลงสภาพทางชีวภาพ.....	18
2.6.3	การแปลงสภาพทางความร้อนเคมี.....	19
2.6.3.1	การเผาไหม้.....	19
2.6.3.2	ไพโรไลซิส.....	19
2.6.3.3	แกซิฟิเคชัน.....	20
2.6.3.4	ลิกวิแฟกชัน.....	20
2.7	ตัวเร่งปฏิกิริยา.....	22
2.7.1	ตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธ์.....	22
2.7.2	ตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธ์.....	22
2.8	ถ่านกัมมันต์ หรือถ่านชาร์ (Activated carbon).....	23
2.8.1	กระบวนการกระตุ้น (Activation).....	24
2.8.1.1	การกระตุ้นทางเคมี (Chemical activation).....	24
2.8.1.2	การกระตุ้นทางกายภาพ (Physical activation).....	25

2.9	ไม่ไฟ.....	27
2.9.1	สมบัติทางกายภาพ.....	27
2.9.2	คุณสมบัติทางกล	28
2.9.3	คุณสมบัติทางเคมี.....	28
2.10	กะลาปาล์ม	29
2.10.1	คุณสมบัติเบื้องต้นของกะลาปาล์ม.....	29
2.10.2	เชื้อเพลิงชีวมวลจากต้นปาล์มน้ำมัน.....	29
2.11	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	29
บทที่ 3	เครื่องมือและวิธีการทดลอง.....	31
3.1	สารตั้งต้นและสารเคมี.....	31
3.2	เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	31
3.2.1	อุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมขานอ้อย.....	31
3.2.2	อุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมโพแทสเซียมบนชาร์ก่อนทำการกระตุ้นด้วยไอน้ำ	32
3.2.3	อุปกรณ์ที่ใช้ในการกระตุ้นชาร์	32
3.2.3	เครื่องปฏิกรณ์ที่ใช้การทดลอง	32
3.2.4	อุปกรณ์การกรอง และการระเหยตัวทำละลาย	34
3.3	อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์สารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์	34
3.3.1	เครื่องวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (CHNS/O analyzer)	34
3.3.2	เครื่องหาขนาดรูพรุน (chemisorption analyzer) MICROMERITICS- ASAP2020. 35	
3.4	อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์	35
3.4.1	เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ	35
3.4.2	เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ-แมสสเปกโตรเมตรี	36
3.4.3	เครื่องหาปริมาณโพแทสเซียมในน้ำมันดิบชีวภาพ (atomic absorption spectrometer, AAS)	36

3.5	ขั้นตอนดำเนินงานวิจัย.....	37
3.5.1	ศึกษาค้นคว้าและรวบรวมข้อมูลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	37
3.5.2	เตรียมวัสดุดิบ อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย	37
3.5.3	การกระตุ้นถ่านชาร์	37
3.5.4	การวิเคราะห์สมบัติของชานอ้อยและชาร์แต่ละชนิด	38
3.5.5	การผลิตน้ำมันดิบชีวภาพด้วยไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกชั้นในเครื่องปฏิกรณ์แบตช์.....	38
3.6	ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง	38
3.7	การวิเคราะห์ผลต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์.....	39
3.7.1	การคำนวณร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์.....	39
3.7.2	การวิเคราะห์น้ำมันดิบชีวภาพ	39
3.7.3	การวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์แก๊ส.....	40
บทที่ 4	ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง.....	41
4.1	การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของสารตั้งต้น	41
4.1.1	การวิเคราะห์แบบประมาณของชานอ้อย ชาร์ไม้ไผ่ ชาร์กะลาปาล์ม และถ่านกัมมันต์	41
4.2	ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการกระตุ้นชาร์ไม้ไผ่และชาร์กะลาปาล์มด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ และไอน้ำ ต่อร้อยละผลได้ของถ่านชาร์หลังการกระตุ้น.....	42
4.3	ผลของชาร์ไม้ไผ่และชาร์กะลาปาล์มที่ถูกกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์และไอน้ำ ต่อร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพจากไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกชั้น	44
4.3.1	ไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกชั้นของชานอ้อย ชาร์ไม้ไผ่และชาร์กะลาปาล์มที่ถูกกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์และไอน้ำ และถ่านกัมมันต์.....	44
4.3.2	ไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกชั้นของชานอ้อย ชานอ้อยผสมชาร์ไม้ไผ่ที่ถูกกระตุ้นที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียสด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 5 โดยน้ำหนักและไอน้ำ และชาร์กะลาปาล์มที่ถูกกระตุ้นที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียสด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 5 โดยน้ำหนักและไอน้ำ	47
4.4	ผลของอัตราส่วนระหว่างชาร์ไม้ไผ่หรือชาร์กะลาปาล์ม ต่อโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ที่ถูกกระตุ้นด้วยไอน้ำต่อร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพจากไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกชั้น	49

4.4.1 ผลของซาร์ไมไฟท์ที่ถูกกระตุ้นที่อุณหภูมิ 700 และ 800 องศาเซลเซียส ด้วย โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 2.5 และ 5 โดยน้ำหนักและไอน้ำ ต่อร้อยละผลได้จาก ไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแพกซ์น	49
4.4.2 ผลของซาร์กะลาปาล์มที่ถูกกระตุ้นที่อุณหภูมิ 700 และ 800 องศาเซลเซียส ด้วย โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 2.5 และ 5 โดยน้ำหนักและไอน้ำ ต่อร้อยละผลได้จาก จากไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแพกซ์น.....	54
4.5 ผลของซาร์ไมไฟท์ที่ถูกกระตุ้นด้วยไอน้ำและโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 5 โดยน้ำหนักที่ อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ต่อคุณภาพของน้ำมันดิบชีวภาพจากไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแพกซ์น	59
4.6 ผลของอุณหภูมิที่ใช้ทำปฏิกิริยาต่อร้อยละผลได้ และคุณภาพของน้ำมันดิบชีวภาพจากไฮโดร เทอร์มัลลิกวิแพกซ์น	61
4.7 ผลของการวิเคราะห์ห้องค์ประกอบผลิตภัณฑ์น้ำมันดิบชีวภาพด้วยเครื่องแก๊สโครมาโท กรา ฟี-แมสสเปกโตรเมตรี (gas chromatography – mass spectrometry)	63
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	65
5.1 สรุปผลการวิจัย	65
5.2 ข้อเสนอแนะ	67
บรรณานุกรม.....	68
ภาคผนวก.....	72
ภาคผนวก ก วิธีการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของชีวมวล	73
ภาคผนวก ข วิธีการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของซาร์	75
ภาคผนวก ค การคำนวณร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์	78
ภาคผนวก ง ข้อมูลดิบ	79
ภาคผนวก จ การวิเคราะห์ห้องค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์ที่สูญหายและอื่น ๆ	83
ประวัติผู้เขียน.....	85

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 สูตรโครงสร้างของเซลลูโลส	8
รูปที่ 2.2 ผนังเซลล์พืช	8
รูปที่ 2.3 ลิกนิน เฮมิเซลลูโลสและเซลลูโลสที่เป็นองค์ประกอบภายในผนังเซลล์	9
รูปที่ 2.4 โครงสร้างของหน่วยย่อยของลิกนิน	10
รูปที่ 2.5 แสดงความสัมพันธ์ของค่าความร้อนและค่าความชื้นของชีวมวล	12
รูปที่ 2.6 อ้อย	18
รูปที่ 2.7 การแปลงสภาพทางเคมีความร้อนและผลิตภัณฑ์	19
รูปที่ 2.8 แผนผังวัฏภาคของน้ำ	21
รูปที่ 2.9 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจากการกระตุ้นด้วยไอน้ำ	26
รูปที่ 2.10 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจากการกระตุ้นทางกายภาพโดยกำจัดฟีนอลและน้ำ	26
รูปที่ 3.1 เครื่องกระตุ้นชาร์ด้วยไอน้ำที่ใช้ในงานวิจัย.....	32
รูปที่ 3.2 เครื่องปฏิกรณ์แรงดันสูง	33
รูปที่ 3.3 เครื่องระเหยแบบหมุน	34
รูปที่ 3.4 แสดงเครื่องวิเคราะห์แบบแยกธาตุ.....	35
รูปที่ 3.5 เครื่องหาขนาดรูพรุน	35
รูปที่ 3.6 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ	36
รูปที่ 3.7 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ-แมสสเปกโตรเมตรี.....	36
รูปที่ 3.8 เครื่องหาปริมาณโพแทสเซียมในน้ำมันดิบชีวภาพ	37
รูปที่ 4.1 ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการกระตุ้นชาร์ไม้ไผ่ด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์และไอน้ำ ต่อร้อยละผลได้ของถ่านชาร์หลังการกระตุ้น (A-BBC คือ ถ่านไม้ไผ่ที่ถูกกระตุ้นด้วยไอน้ำเพียงอย่างเดียว, A-BBC(2.5) คือ ถ่านไม้ไผ่ที่ถูกกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนักและไอน้ำ	

และ A-BBC(5) คือ ถ่านไม้ไฟที่ถูกกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 5 โดยน้ำหนักและไอน้ำ).....44

รูปที่ 4.2 ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการกระตุ้นซาร์กะลาปาล์มด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์และไอน้ำ ต่อร้อยละผลได้ของถ่านซาร์หลังการกระตุ้น (A-PSC คือ ถ่านกะลาปาล์มที่ถูกกระตุ้นด้วยไอน้ำเพียงอย่างเดียว, A-PSC(2.5) คือ ถ่านกะลาปาล์มที่ถูกกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนักและไอน้ำ และ A-PSC(5) คือ ถ่านกะลาปาล์มที่ถูกกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 5 โดยน้ำหนักและไอน้ำ) 44

รูปที่ 4.3 ร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพ กากของแข็ง แก๊ส และผลิตภัณฑ์เบาอื่นๆ จากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแพกซ์ของของชานอ้อย ซาร์ไม้ไฟและซาร์กะลาปาล์มที่ถูกกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์และไอน้ำ และถ่านกัมมันต์ ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส 46

รูปที่ 4.4 ร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพ กากของแข็ง แก๊ส และผลิตภัณฑ์เบาอื่นๆ จากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแพกซ์ของของชานอ้อย ซาร์ไม้ไฟและซาร์กะลาปาล์มที่ถูกกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์และไอน้ำ และถ่านกัมมันต์ ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 325 องศาเซลเซียส 47

รูปที่ 4.5 ร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพจากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแพกซ์ของของชานอ้อยชานอ้อยผสมซาร์ไม้ไฟที่ถูกกระตุ้นที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียสด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 5 โดยน้ำหนักและไอน้ำ และซาร์กะลาปาล์มที่ถูกกระตุ้นที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียสด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 5 โดยน้ำหนักและไอน้ำ ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส 48

รูปที่ 4.6 ร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพจากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแพกซ์ของของชานอ้อยชานอ้อยผสมซาร์ไม้ไฟที่ถูกกระตุ้นที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียสด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 5 โดยน้ำหนักและไอน้ำ และซาร์กะลาปาล์มที่ถูกกระตุ้นที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียสด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 5 โดยน้ำหนักและไอน้ำ ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 325 องศาเซลเซียส 49

รูปที่ 4.7 ร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพ กากของแข็ง แก๊ส และผลิตภัณฑ์เบาอื่น ๆ จากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแพกซ์ของของชานอ้อยผสมซาร์ไม้ไฟที่ถูกกระตุ้นที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียสด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนักและไอน้ำ ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส..... 51

รูปที่ 4.8 ร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพ กากของแข็ง แก๊ส และผลิตภัณฑ์เบาอื่น ๆ จากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแพกซ์ของของชานอ้อยผสมซาร์ไม้ไฟที่ถูกกระตุ้นที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียสด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 5 โดยน้ำหนักและไอน้ำ ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส..... 52

น้ำหนักและไอน้ำ และ ชานอ้อยผสมซาร์กะลาปาล์มที่ถูกกระตุ้นที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียสด้วย
โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 5 โดยน้ำหนักและไอน้ำ 64

รูปที่ จ.1 โครมาโทแกรมของผลิตภัณฑ์น้ำมันดิบชีวภาพจากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันของ
ชานอ้อย ที่อุณหภูมิ 325 องศาเซลเซียส..... 78

รูปที่ จ.2 โครมาโทแกรมของผลิตภัณฑ์น้ำมันดิบชีวภาพจากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันของ
ซาร์กะลาปาล์มที่ถูกกระตุ้นที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 5
โดยน้ำหนักและไอน้ำ ที่อุณหภูมิ 325 องศาเซลเซียส..... 79

รูปที่ จ.3 โครมาโทแกรมของผลิตภัณฑ์น้ำมันดิบชีวภาพจากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันของ
ชานอ้อยผสมซาร์กะลาปาล์มที่ถูกกระตุ้นที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ด้วยโพแทสเซียมไฮดรอก
ไซด์ร้อยละ 5 โดยน้ำหนักและไอน้ำ ที่อุณหภูมิ 325 องศาเซลเซียส..... 79



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ปริมาณเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลสและลิกนินในวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร	10
ตารางที่ 2.2 แสดงตัวอย่างสมบัติทางความร้อนของชีวมวล.....	13
ตารางที่ 2.3 แสดงตัวอย่างอัตราส่วนเซลลูโลส/ลิกนิน ของชีวมวล.....	14
ตารางที่ 2.4 แสดงตัวอย่างความหนาแน่นรวมของชีวมวล.....	15
ตารางที่ 2.5 แสดงผลการประเมินศักยภาพชีวมวลแต่ละชนิด	16
ตารางที่ 2.6 ตัวอย่างองค์ประกอบของตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์.....	23
ตารางที่ 3.1 ภาวะที่ใช้ในการวิเคราะห์น้ำมันดิบชีวภาพด้วยเครื่องโครมาโทกราฟ-แมสสเปกโตรเม ตรี.....	39
ตารางที่ 3.2 ภาวะที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์แก๊สด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ.....	40
ตารางที่ 4.1 การวิเคราะห์แบบประมาณของชานอ้อย ชาร์ไม้ไผ่ ชาร์กะลาปาล์ม และถ่านกัมมันต์.....	42
ตารางที่ 4.2 การวิเคราะห์แบบแยกธาตุของน้ำมันดิบชีวภาพที่ได้จากการไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชัน ของชานอ้อยกับชานอ้อยผสมชาร์ไม้ไผ่ที่ถูกกระตุ้นด้วยไอน้ำและโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 5 โดยน้ำหนักที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส	60
ตารางที่ 4.3 การวิเคราะห์หาปริมาณโพแทสเซียมในของเหลวด้วยเทคนิค AAS (Atomic Absorption Spectrometer) ของน้ำมันดิบชีวภาพ จากชาร์กะลาปาล์มที่ถูกกระตุ้นที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 5 โดยน้ำหนักและไอน้ำ (A-PSC(5)700) และ ชานอ้อยผสมชาร์กะลาปาล์มที่ถูกกระตุ้นที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ด้วยโพแทสเซียมไฮดรอก ไซด์ร้อยละ 5 โดยน้ำหนักและไอน้ำ (BG+A-PSC(5)700) ที่อุณหภูมิ 325 องศาเซลเซียส	63
ตารางที่ ง.1 ข้อมูลการทดลองในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์.....	74

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและความเป็นมาของงานวิจัย

ในปัจจุบันแหล่งพลังงานหลักที่สำคัญคือ น้ำมันดิบและแก๊สธรรมชาติ จากกระบวนการขุดเจาะน้ำมันที่อยู่ในพื้นโลก มีการใช้วัตถุดิบข้างต้นมาใช้เป็นพลังงานจำนวนมาก ก่อให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นจำนวนมากและเป็นปัจจัยหลักที่ทำให้เกิดภาวะโลกร้อน ซึ่งการลดการปลดปล่อยปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์คือการใช้ ชีวมวล เป็นแหล่งผลิตพลังงานแทนการขุดเจาะน้ำมัน เนื่องจากชีวมวลสามารถควบคุมการปลดปล่อย แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ได้ในรูปแบบระบบวัฏจักรของคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งแตกต่างจากน้ำมันดิบที่ขุดเจาะขึ้นมาแล้วใช้อย่างเดียว เลยทำให้ในระบบมีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์มากเกินไป ซึ่งกระบวนการเปลี่ยนชีวมวลมี 2 วิธี คือ กระบวนการเชิงเคมีความร้อน (thermochemical conversion) และ กระบวนการเชิงชีวภาพ (biochemical conversion) โดยงานวิจัยนี้ สนใจกระบวนการเชิงเคมีความร้อน เนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่ได้สามารถนำมาใช้ต่อได้หลากหลาย เช่น เชื้อเพลิง ความร้อน เป็นต้น และกระบวนการทางเคมีความร้อน ที่งานวิจัยนี้ได้สนใจ คือ ลิควิแฟกชัน (liquefaction) ซึ่งให้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวมากที่สุดเพราะของเหลวมีข้อดีต่าง ๆ มากมายเมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงในรูปแบบอื่น ๆ เช่น สามารถจะจัดการกับเชื้อเพลิงได้ง่าย อีกทั้งเป็นกระบวนการที่ชีวมวลหรือสารตั้งต้นไม่ต้องผ่านกระบวนการทำให้แห้ง จึงเหมาะกับชีวมวลหรือเศษวัสดุเหลือทิ้งที่มี ปริมาณความชื้นสูง และน้ำมันดิบชีวภาพที่ได้นั้นจะมีปริมาณน้ำ ซัลเฟอร์ และออกซิเจนเป็นองค์ประกอบต่ำกว่าน้ำมันที่ได้จาก ไพโรไลซิส และเนื่องจากในประเทศไทยนั้นมีวัตถุดิบเหลือทิ้งจากการเกษตรจำนวนมากทำให้น้ำมันชีวภาพที่ได้มีปริมาณและคุณภาพแตกต่างกัน แต่มีวัตถุดิบหนึ่งที่น่าสนใจ เนื่องจากเป็นวัตถุดิบทางการเกษตรที่เหลือทิ้งมากสุดในประเทศไทยคือ ชานอ้อย ในงานวิจัยนี้จึงเน้นการศึกษาการผลิตน้ำมันดิบชีวภาพจากไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันของชานอ้อย แต่เนื่องจากไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันนั้นยังสามารถปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันและปริมาณน้ำมันได้ด้วยการใส่ตัวเร่งปฏิกิริยาไปในกระบวนการ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงสนใจ ชาร์ เนื่องจากมีสมบัติเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา สามารถผลิตได้ง่ายจากชีวมวล และราคาถูก อีกทั้งยังไม่มีงานวิจัยที่ศึกษาผลของชาร์ ที่ส่งเสริมการเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันในงานวิจัยจึงสนใจในการนำชานอ้อยและชาร์ มาเป็นสารป้อนร่วมในกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชัน โดยใช้ชาร์มากระตุ้นด้วยไอน้ำและใช้โพแทสเซียม

ไฮดรอกไซด์ (KOH) เป็นตัวช่วยกระตุ้น เพื่อนำมาเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตน้ำมันดิบชีวภาพจาก
 ชานอ้อยโดยกระบวนการ HTL

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 ศึกษาผลของชาร์ที่ถูกกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์และไอน้ำต่อการผลิต
 น้ำมันดิบชีวภาพจากชานอ้อยโดยไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกชัน

1.2.2 เพื่อเพิ่มร้อยละผลได้และคุณภาพของน้ำมันดิบชีวภาพจากชานอ้อยโดย
 ไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกชัน

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1.3.1 ศึกษาการผลิตน้ำมันดิบชีวภาพจากไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกชันโดยใช้ชานอ้อยเป็นสาร
 ตั้งต้น

1.3.2 ศึกษาผลของอุณหภูมิ ผลของอัตราส่วนของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์กับชาร์ต่อร้อยละ
 ผลได้และคุณภาพของน้ำมัน

1.3.3 วิเคราะห์สมบัติของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกชัน

1.4 วิธีดำเนินงานวิจัย

1.4.1 ศึกษาค้นคว้าและรวบรวมข้อมูลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.4.2 เตรียมวัตถุดิบ อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย

1.4.2.1 เตรียมชานอ้อย

โดยนำชานอ้อยไปตากแดดให้แห้ง และนำไปบดให้มีขนาด 250 - 425 ไมครอน
 จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมงเพื่อไล่ความชื้น

1.4.2.2 เตรียมถ่านก่อนนำไปกระตุ้นด้วยไอน้ำ

โดยนำถ่านชาร์ไม้ไผ่และชาร์กะลาปาล์มไปบดให้มีขนาด 2 - 5 มิลลิเมตร ปริมาณ
 40 กรัม แล้วนำไปพรมด้วยสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ในอัตราส่วน 0, 2.5 และ 5
 ร้อยละโดยน้ำหนักของน้ำหนักถ่านที่ใช้ในน้ำกลั่น 28 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 110 องศา
 เซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมงเพื่อไล่ความชื้น

1.4.3 การกระตุ้นถ่านชาร์

โดยนำถ่านไม้ไผ่หรือถ่านกะลาปาล์มที่เตรียมไว้ปริมาณ 40 กรัม แล้วทำการกระตุ้นด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส โดยใช้เตาเผาที่อุณหภูมิ 700, 800 และ 900 องศาเซลเซียส ที่ความดันบรรยากาศ เป็นเวลา 4 ชั่วโมง

1.4.4 การวิเคราะห์สมบัติของชานอ้อยและชาร์แต่ละชนิด

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

1.4.4.2 การวิเคราะห์แบบแยกองค์ประกอบธาตุ ได้แก่ ปริมาณร้อยละของธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน และซัลเฟอร์ โดยใช้เครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบแบบแยกธาตุ ปริมาณร้อยละ 100 หักออกจากผลรวมของธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน และซัลเฟอร์

1.4.4.3 ค่าความร้อนของชีวมวล (gross calorific value)

1.4.4.4 วิเคราะห์พื้นผิวด้วย N_2 adsorption-desorption measurement เพื่อหาพื้นที่ผิวจำเพาะ และการกระจายตัวของขนาดรูพรุน

1.4.5 ทำการทดลองในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์

โดยชั่งชานอ้อย 10 กรัม ผสมกับตัวทำละลาย (น้ำ) โดยใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนักของชีวมวล 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 นำส่วนที่เป็นของแข็งด้านบนชะล้างด้วยตัวทำละลายเอซิโตน จากนั้นนำส่วนของแข็งที่ได้ไปทำการอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และนำผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้ทำการระเหยตัวทำละลายออก โดยการใช้เครื่องระเหยแบบหมุน ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ความดัน 250 mbar ความเร็วรอบการหมุน 30 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

1.4.6 ศึกษาผลของตัวแปรต่าง ๆ ในการทำไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแพกชัน ได้แก่

1.4.6.1 อัตราส่วนระหว่างสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์กับซาร์ (0, 2.5 และ 5 ร้อยละโดยน้ำหนัก)

1.4.6.2 อุณหภูมิที่ใช้ในการกระตุ้นในเตาเผา (700, 800 และ 900 องศาเซลเซียส)

1.4.6.3 ชนิดของคาร์บอน (ซาร์จากไม้ไผ่ ซาร์จากกะลาปาล์ม และถ่านกัมมันต์)

1.4.6.4 อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา (300, 325 และ 350 องศาเซลเซียส)

1.4.7 วิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแพกซ์

1.4.7.1 ผลิตภัณฑ์ของเหลว

1.4.7.1.1 จำนวนปริมาณร้อยละผลได้ (yield)

ค่าร้อยละผลได้ของเชื้อเพลิงเหลวชีวภาพ (%liq.) = $(100 \times W_{liq}) / W_{daf}$

W_{liq} คือ น้ำหนักของของเหลว (กรัม)

W_{daf} คือ น้ำหนักของชีวมวล (กรัม)

1.4.7.1.2 การวิเคราะห์แบบแยกธาตุ ได้แก่ คาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน และออกซิเจน ด้วยเครื่อง CHN elemental analyzer

1.4.7.1.3 วิเคราะห์องค์ประกอบของด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรมิเตอร์ (gas chromatography mass spectrometry, GC/MS)

1.4.7.2 ผลิตภัณฑ์ของแข็ง

1.4.7.2.1 จำนวนปริมาณร้อยละผลได้

ค่าร้อยละผลได้ของกากของแข็ง (%solid) = $(W_{solid} - W_{ash}) \times 100 / W_{daf}$

W_{solid} คือ น้ำหนักของแข็ง (กรัม)

W_{daf} คือ น้ำหนักของชีวมวล (กรัม)

1.4.7.3 ผลิตภัณฑ์แก๊ส

1.4.7.3.1 จำนวนปริมาณร้อยละผลได้

ค่าร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์แก๊ส (%gas) = $(100 \times W_{\text{gas}}) / W_{\text{daf}}$

W_{gas} คือ น้ำหนักของแก๊ส (กรัม)

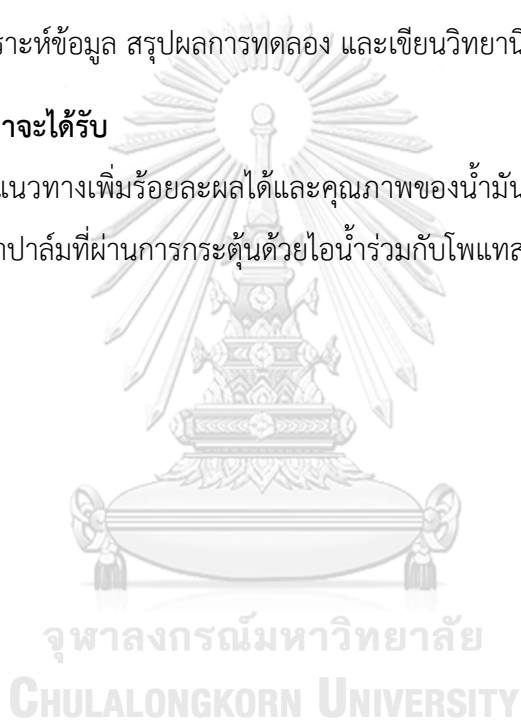
W_{daf} คือ น้ำหนักของชีวมวล (กรัม)

1.4.7.3.2 วิเคราะห์องค์ประกอบของด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี (gas chromatography, GC)

1.4.8 วิเคราะห์ข้อมูล สรุปผลการทดลอง และเขียนวิทยานิพนธ์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้ภาวะและแนวทางเพิ่มร้อยละผลได้และคุณภาพของน้ำมันดิบชีวภาพจากขานอ้อยโดยใช้
 ชาร์ไมไฟและชาร์กะลาปาล์มที่ผ่านการกระตุ้นด้วยไอน้ำร่วมกับโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์



บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แนวคิดและทฤษฎี

ในปัจจุบันแหล่งพลังงานหลักที่สำคัญคือ น้ำมันดิบและแก๊สธรรมชาติ จากกระบวนการขุดเจาะน้ำมันที่ อยู่ในพื้นโลก มีการใช้วัตถุดิบข้างต้นมาใช้เป็นพลังงานจำนวนมาก ก่อให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นจำนวนมากและ เป็นปัจจัยหลักที่ทำให้เกิดภาวะโลกร้อน ซึ่งการลดการปลดปล่อยปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์คือการใช้ ชีวมวล เป็นแหล่งผลิตพลังงานแทนการขุดเจาะน้ำมัน เนื่องจากชีวมวลสามารถควบคุมการปลดปล่อย แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ได้ใน รูปแบบวัฏจักรของคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งแตกต่างจากน้ำมันดิบที่ขุดเจาะขึ้นมาแล้วใช้อย่างเดียว เลยทำให้ในระบบมีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์มากเกินไปในระบบ [1]

พลังงานทางเลือก แบ่งได้เป็น 5 ประเภทหลัก ได้แก่ พลังงานลม พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานน้ำ ชีวมวล พลังงานไฟฟ้าจากขยะและพลังงานแสดงอาทิตย์ ซึ่งในปัจจุบันประเทศไทยได้เริ่มหันมาใช้พลังงานทดแทนเหล่านี้เพิ่มขึ้น แต่เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมที่มีกำลังการผลิตทางเกษตรที่สูง ทำให้มีการใช้ ชีวมวลมาเป็นแหล่งพลังงานเป็นจำนวนมาก [2]

ซึ่งในประเทศไทยนั้นมีชีวมวลหลายชนิด ซึ่งมีแต่ละชนิดมีองค์ประกอบทางเคมีที่แตกต่างกัน ทำให้น้ำมันที่ได้มีปริมาณและคุณภาพที่ต่างกันด้วย ซึ่งส่วนใหญ่ชีวมวลจะมีปริมาณความชื้นสูง ดังนั้นชีวมวลจึงเหมาะสำหรับ กระบวนการไฮโดรเทอร์มอลลิควิแฟกชันซึ่งเป็นหนึ่งในกระบวนการเปลี่ยนชีวมวลให้เป็นพลังงาน โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้จะอยู่ในสถานะของเหลวมากที่สุด

CHULALONGKORN UNIVERSITY

2.2 ชีวมวล

ชีวมวล(Biomass) คือ สารอินทรีย์ที่เป็นแหล่งกักเก็บพลังงานจากธรรมชาติและสามารถนำมาใช้ผลิตพลังงานได้ เช่น เศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร หรือกากจากกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมเกษตร เช่น แกลบ ได้จากการสีข้าวเปลือกชานอ้อย ได้จากการผลิตน้ำตาลทรายเศษไม้ ได้จากการแปรรูปไม้ยางพาราหรือ ไม้ยูคาลิปตัสเป็นส่วนใหญ่ และบางส่วนได้จากสวนป่าที่ปลูกไว้จากปาล์ม ได้จากการสกัดน้ำมันปาล์มดิบออกจากผลปาล์มสดกากมันสำปะหลัง ได้จากการผลิตแป้งมันสำปะหลังซึ่งข้าวโพด ได้จากการสีข้าวโพดเพื่อนำเมล็ดออกกากและกะลามะพร้าว ได้จากการนำมะพร้าวมาปอกเปลือกออกเพื่อนำเนื้อ มะพร้าวไปผลิตกะทิ และน้ำมันมะพร้าวสำเร็จ ได้จากการผลิตแอลกอฮอล์ เป็นต้น ชีวมวลสามารถเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานได้ เพราะในขั้นตอนของการ

เจริญเติบโตขึ้น พืชใช้คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ แล้วเปลี่ยนพลังงานจากแสงอาทิตย์โดยผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสงได้ออกมา เป็นแป้งและน้ำตาล แล้วกักเก็บไว้ตามส่วนต่างๆของพืช

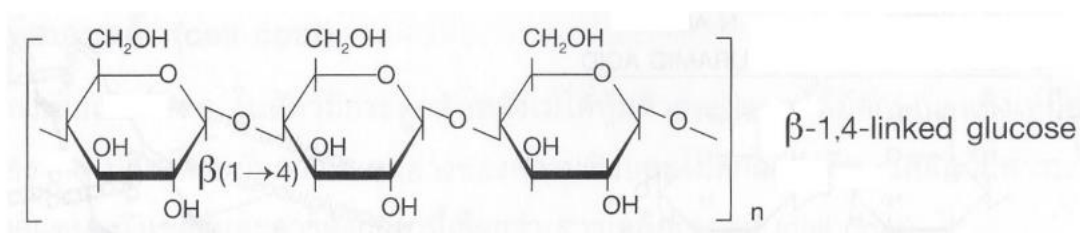
ดังนั้น เมื่อนำพืชมาเป็นเชื้อเพลิง เราก็จะได้พลังงานออกมา การใช้ประโยชน์จากพลังงานชีวมวล สามารถใช้ได้ ทั้งในรูปของพลังงานความร้อน ไอน้ำ หรือผลิตเป็นกระแสไฟฟ้า โดยจะใช้เชื้อเพลิงชีวมวลชนิดใดชนิดหนึ่งที่กล่าวมาข้างต้น หรือหลายชนิดรวมกันก็ได้ชีวมวลจึงเป็นแหล่งเชื้อเพลิงราคาถูก หากมีการใช้ประโยชน์ในบริเวณที่ไม่ไกลจากแหล่งเชื้อเพลิงมากนัก เพื่อลดต้นทุนในการขนส่งชีวมวลมีอยู่ทั่วไปในประเทศไทย การนำชีวมวลมาใช้จึงช่วยลดการสูญเสียเงินตราต่างประเทศในการนำเข้าเชื้อเพลิงและสร้างรายได้ให้กับคนท้องถิ่น นอกจากนี้การผลิตพลังงานจากเชื้อเพลิงชีวมวลด้วยเทคโนโลยีที่เหมาะสม จะไม่ก่อให้เกิดมลภาวะและไม่สร้างสภาวะเรือนกระจก เนื่องจากการปลูกทดแทนทำให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เกิดการหมุนเวียนและไม่มีการปลดปล่อยเพิ่มเติม [3]

2.2.1 องค์ประกอบของชีวมวล

ลิกโนเซลลูโลส หมายถึง ชีวมวลอินทรีย์ที่ประกอบด้วย เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน พบมากในผนังเซลล์ ของพืชได้แก่ เศษวัสดุเหลือทิ้งจากไม้ทั้งไม้เนื้อแข็งและไม้เนื้ออ่อน เศษวัสดุจากการเกษตร เช่น ชังข้าวโพด เส้นใยข้าวโพด ชานอ้อย แกลบ และพวกฟางข้าว ขยะจากกระบวนการแปรรูปอาหารและจากบ้านเรือน รวมถึงมูลสัตว์ต่างๆ

2.2.1.1 เซลลูโลส

เซลลูโลส หมายถึง พวกพอลิแซ็กคาไรด์ที่พบมากในผนังเซลล์พืช ซึ่งเป็นสารพอลิเมอร์ที่เกิดจาก D-กลูโคสต่อกัน เป็นสายยาว ดังรูปที่ 1 ช่วยทำให้ผนังเซลล์พืชแข็งแรงป้องกันการแตกของเซลล์ ถึงแม้ว่าเซลลูโลสจะประกอบด้วยหน่วยของกลูโคสเหมือนกับแป้ง แต่เชื่อมกันด้วยพันธะไกลโคซิดิกชนิดบีตา (β -1,4 – glycosidic bonds) เอนไซม์อะไมเลส จึงไม่สามารถย่อยได้เซลลูโลสไม่สามารถละลายน้ำได้และไม่สามารถย่อยสลายด้วยเอนไซม์ในกระเพาะอาหารหรือลำไส้ของ สัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมยกเว้นสัตว์กินพืชเท่านั้นที่สามารถใช้เซลลูโลสเป็นพลังงานเพราะสัตว์กลุ่มนี้มีจุลินทรีย์ที่ไม่ใช้ออกซิเจน ซึ่งมีเอนไซม์เซลลูเลสอยู่ในกระเพาะสำหรับย่อยเซลลูโลสให้เป็นกลูโคสได้ มีการประเมินกันว่าทั่วโลกพืชสามารถผลิต เซลลูโลสได้มากถึง 100 พันล้านตันในแต่ละปี

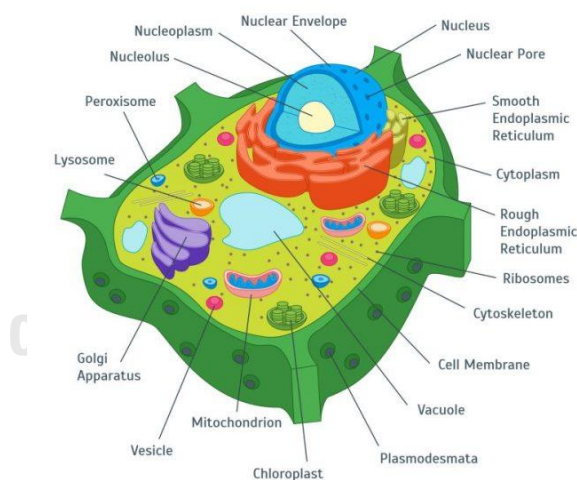


รูปที่ 2.1 สูตรโครงสร้างของเซลลูโลส [4]

2.2.1.2 เฮมิเซลลูโลส

เฮมิเซลลูโลสหมายถึงส่วนประกอบของผนังเซลล์ของพืชซึ่งประกอบด้วยโครงสร้างที่ง่ายกว่าเซลลูโลส มันตรงกับ 20 - 30% ของน้ำหนักไม้แห้ง เฮมิเซลลูโลสประกอบด้วย β - (1 \rightarrow 4) เชื่อมโยงกับแบ็คบอน ประเภทของโมโนเมอร์ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันของเฮมิเซลลูโลสคือไซโลส, กาแลคโตส, มานโนส, แรมแฮมเชสและอาราบีโนส Hemicellulose cross-links ที่มีเซลลูโลสหรือลิกนินช่วยเสริมผนังเซลล์ การสังเคราะห์เฮมิเซลลูโลสเกิดขึ้นในอุปกรณ์ Golgi ภายใต้อิทธิพลของ glycosyltransferases โครงสร้างของผนังเซลล์พืชแสดงขึ้นมา ดังรูปที่ 2

PLANT CELL



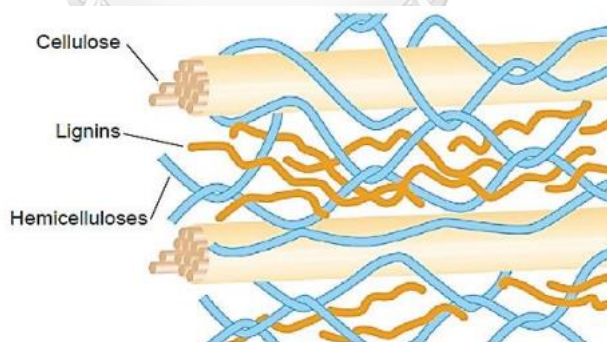
รูปที่ 2.2 ผนังเซลล์พืช [5]

องค์ประกอบของเฮมิเซลลูโลสในไม้เนื้ออ่อนและไม้เนื้อแข็งแตกต่างกัน ไม้เนื้ออ่อนส่วนใหญ่ประกอบด้วย mannose, galactose และ lignin ในขณะที่ไม้เนื้อแข็งส่วนใหญ่ประกอบด้วยไซแลนและอะเซทิล [5]

2.2.1.3 ลิกนิน

ลิกนิน (Lignin) มีสูตรโมเลกุลคือ $C_{10}H_{12}O_4$ ลิกนินเป็นสารประกอบระหว่างคาร์บอน ไฮโดรเจน และ ออกซิเจนรวมกันเป็นหน่วยย่อยหลายชนิด จนกลายเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่มี น้ำหนักโมเลกุลสูง ลิกนินมีสมบัติไม่ละลายน้ำ ไม่ยืดหยุ่น แต่มีความแข็งแรงทนทานสูง โดยลิกนิน เซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส เป็นสารประกอบที่มีอยู่ในผนังเซลล์พืชชั้นสูง (ทั้งพืชใบเลี้ยงเดี่ยวและพืช ใบเลี้ยงคู่) เช่น ลำต้น หน่อ ฟางข้าวสาเลี แกนฝักข้าวโพด ฯลฯ ในอัตราส่วนที่แตกต่างกันขึ้นกับชนิด และอายุของพืช แสดงดังตารางที่ 1 นอกจากนี้ลิกนินยังมีโครงสร้างเป็นร่างแหเพื่อทำหน้าที่เชื่อมโยง ระหว่างโมเลกุลของเฮมิเซลลูโลสและเซลลูโลสให้ติดกันภายในผนังเซลล์ ทำให้โครงสร้างพืชมีความ แข็งแรงทนทานสูง

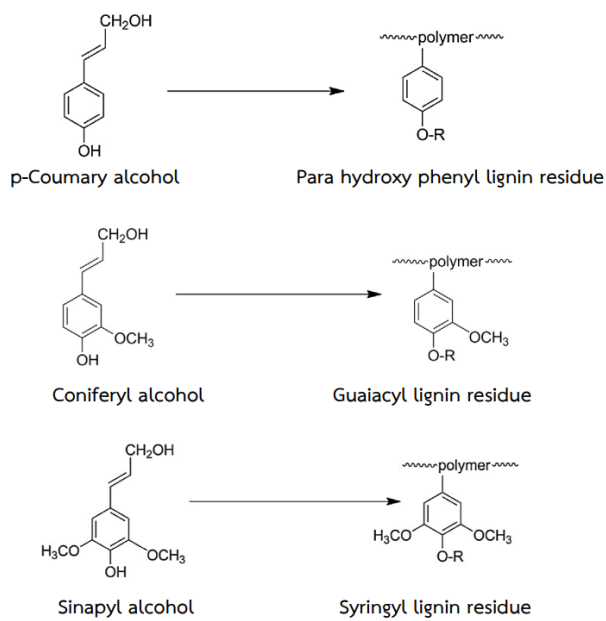
ลิกนินเป็นสารประกอบที่มีอยู่ในเซลล์พืชประมาณ 20-30 % ซึ่งมีปริมาณรองลงมาจาก เฮมิเซลลูโลสและเซลลูโลส โดยส่วนใหญ่สามารถพบลิกนินบริเวณผนังชั้นที่สองของผนังเซลล์และ ระหว่างชั้นเส้นใย (Middle lamella) ดังรูปที่ 3 ซึ่งนอกจากลิกนินจะมีหน้าที่เชื่อมโยงระหว่าง โมเลกุลของเฮมิเซลลูโลสและเซลลูโลส ให้ติดกันเพื่อเพิ่มความแข็งแรงแล้ว ยังช่วยลดการระเหยของ น้ำที่อยู่ระหว่างเนื้อเยื่อไซเลมและผนังเซลล์ ป้องกันการถูกทำลายเนื้อเยื่อของพืชจากจุลินทรีย์ได้ด้วย ลิกนินยังเป็นองค์ประกอบที่สำคัญในเนื้อไม้ โดยเฉพาะไม้ยืนต้น ซึ่งจะช่วยให้ต้นไม้มีความแข็งแรง และทำให้ผนังเซลล์กันน้ำและมีสมบัติป้องกันโรคได้



รูปที่ 2.3 ลิกนิน เฮมิเซลลูโลสและเซลลูโลสที่เป็นองค์ประกอบภายในผนังเซลล์ [6]

สำหรับหน่วยย่อยของลิกนิน (Monolignols) จะมีโครงสร้างแบบแอโรมาติกและมักพบได้ในธรรมชาติ ทั้งหมด 3 มอนอเมอร์ ได้แก่ p-Coumaryl alcohol พบมากในพืชตระกูลหน่อ ส่วน Coniferyl alcohol จะพบมากในพืชใบแคบ (Softwood) ประมาณ 26-32 % และพืชใบกว้าง (Hardwood) ประมาณ 20-28 เปอร์เซ็นต์ และ Sinapyl alcohols จะพบมากในพืชใบกว้าง แสดง โครงสร้างของหน่วยย่อยของ ลิกนิน แสดงดังรูปที่ 4 โดยหน่วยย่อยทั้ง 3 มอนอเมอร์ คือ p-

Coumaryl alcohol, Coniferyl alcohol และ Sinapyl alcohols สามารถเกิดการเชื่อมต่อกัน จนได้เป็นสายโซ่โพลิเมอร์ขนาดใหญ่ ได้แก่ Para hydroxy phenyl lignin residue, Guaiacyl lignin residue และ Syringyl lignin residue ตามลำดับ



รูปที่ 2.4 โครงสร้างของหน่วยย่อยของลิกนิน [6]

ตารางที่ 2.1 ปริมาณเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลสและลิกนินในวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร [6]

วัสดุลิกนินเซลลูโลส	เซลลูโลส (%)	เฮมิเซลลูโลส (%)	ลิกนิน (%)
ลำต้นไม้เนื้อแข็ง	40-55	24-40	18-25
ลำต้นไม้เนื้ออ่อน	45-50	25-35	25-35
เปลือกถั่ว	25-30	25-30	30-40
แกนข้าวโพด	45	35	15
ฟางข้าวสาลี	30	50	15
ใบไม้	15-20	80-85	0
ใยเมล็ดฝ้าย	80-95	5-20	0
กระดาษหนังสือพิมพ์	40-55	25-40	18-30
มูลวัว ควาย ปศุสัตว์	1.6-4.7	1.4-3.3	2.7-5.7
หญ้า	25-40	35-50	10-30
หญ้าพันธุ์ Coastal Bermuda	25	35.7	6.4
หญ้าพันธุ์ Switch	45	31.4	12.0

2.3 สมบัติทางความร้อนของชีวมวล

สมบัติที่สำคัญของชีวมวล ได้แก่

- ค่าความชื้น (Moisture Content) ในชีวมวล
- ค่าความร้อน (Calorific Value)
- สัดส่วนของคาร์บอนคงที่และสารระเหย (Proportion of Fixed Carbon and Volatile)
- สัดส่วนเถ้า (Ash/Residue Content)
- สัดส่วนโลหะอัลคาไล (Alkali metal)
- อัตราส่วนเซลลูโลส/ลิกนิน (Cellulose/Lignin Ratio)
- ขนาดและความหนาแน่นรวม (Size and bulk density)

2.3.1 ค่าความชื้น (Moisture Content) ในชีวมวล

ค่าความชื้น (MC) เป็นสัดส่วนระหว่างน้ำที่อยู่ในชีวมวลต่อน้ำหนักชีวมวลทั้งหมด ซึ่งความชื้นนี้สามารถแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบ คือ ความชื้นภายใน (Intrinsic Moisture) และความชื้นภายนอก (extrinsic moisture) ความชื้นภายในเป็นค่าความชื้นที่อยู่ในชีวมวลซึ่งเป็นค่าคงที่ซึ่งจะไม่นับคิดค่าความชื้นที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศ อย่างไรก็ตามค่าความชื้นที่แปรเปลี่ยนตามสภาพอากาศ หรือแม้กระทั่งความชื้นที่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากกระบวนการเก็บเกี่ยว [7]

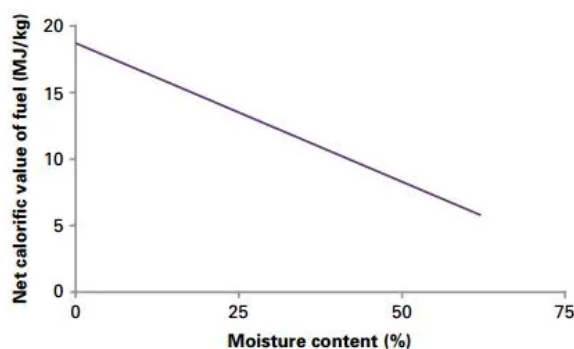
ค่าความชื้นถือเป็นสมบัติหนึ่งที่มีผลต่อกระบวนการแปลงชีวมวลเป็นพลังงานที่สำคัญ โดยเฉพาะอย่างยิ่งกระบวนการแปลงพลังงานโดยใช้ความร้อน (thermal conversion processing) เมื่อชีวมวลใดยังมีค่าความชื้นมากยิ่งทำให้ค่าความร้อนต่ำ (Low heating Value) ของชีวมวลนั้น ๆ ลดลง ซึ่งส่งผลให้ประสิทธิภาพในการใช้ความร้อนลดลง [8] ค่าความชื้นสูงสุดของชีวมวลที่แนะนำให้ใช้ในหม้อไอน้ำต่างๆ มีดังนี้ ในหม้อไอน้ำเล็ก (Smaller Boiler) ค่าความชื้นของชีวมวลไม่ควรเกินร้อยละ 30-35, หม้อไอน้ำแบบ reciprocating grate system ค่าความชื้นของชีวมวลไม่ควรเกินร้อยละ 60 และหม้อไอน้ำแบบ Stoker ค่าความชื้นของชีวมวลไม่ควรเกินร้อยละ 25 [9]

2.3.2 ค่าความร้อน (Calorific Value)

ค่าความร้อน (CV) เป็นปริมาณความร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้ด้วยอากาศ (Combustion) ของชีวมวลแต่ละชนิด โดยทั่วไปค่าความร้อนจะแสดงในรูปของปริมาณความร้อนต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักหรือหนึ่งหน่วยปริมาตร ยกตัวอย่างเช่น MJ/kg สำหรับของแข็ง, MJ/CM (ลูกบาศก์เมตร)

สำหรับของเหลว และ MJ/N.CM (ลูกบาศก์เมตรปกติ, Normal Cubic meter) สำหรับก๊าซ (อ้างอิงที่ อุณหภูมิ 0 °C และความดัน 1.01325 bar) เป็นต้น

ค่าความร้อนสามารถอ้างอิงได้ 2 รูปแบบได้แก่ ค่าความร้อนสูงสุด (higher heating value, HHV) และ ค่าความร้อนต่ำ (lower heating value, LHV) HHV นี้คือค่าความร้อนสูงสุดของชีวมวล นั้น ๆ เป็นค่าความร้อนที่ปล่อยออกมาจากการเผาไหม้และรวมกับค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอน้ำของความชื้นที่อยู่ในชีวมวลนั้น ๆ ฉะนั้นค่า HHV นั้นไม่ขึ้นอยู่กับค่าความชื้นที่อยู่ในชีวมวล ส่วน LHV คือ ค่าความร้อนที่ปล่อยออกมาจากการเผาไหม้ชีวมวลซึ่งค่าความชื้นจะมีผลโดยตรงกับค่า LHV นี้ ความสัมพันธ์ของค่าความร้อนของชีวมวล และค่าความชื้นของชีวมวล สามารถแสดงดังรูปที่ 5



รูปที่ 2.5 แสดงความสัมพันธ์ของค่าความร้อนและค่าความชื้นของชีวมวล [7]

2.3.3 สัดส่วนของคาร์บอนคงที่และสารระเหย (Proportion of Fixed Carbon and Volatile)

สัดส่วนของคาร์บอนคงที่และสารระเหย (FC and VM) เป็นรูปแบบของพลังงานเคมี (Chemical Energy) ที่ถูกเก็บไว้ภายในชีวมวลแต่ละชนิด ซึ่งค่าทั้งสองมีความสำคัญในการชี้วัดว่าชีวมวลแต่ละชนิดควรแปลงพลังงานโดย การเผาไหม้ (Combustion) การทำให้เป็นแก๊ส (gasification) หรือ ให้รวมตัวกับออกซิเจน (oxidization)

2.3.4 สัดส่วนเถ้า (Ash/Residue Content)

สัดส่วนเถ้าและเศษที่เหลือ (Ash/Residue Content) ในด้านการเผาไหม้ (Combustion) เศษที่ไม่สามารถเผาไหม้ได้จะเรียกว่า ชีเถ้า ซึ่งเศษเหลือบางชนิดจะอยู่ในรูปของเมือกเหนียว ๆ (slag from) ในด้านของการเปลี่ยนด้วยชีวเคมี (biochemical conversion) นั้น เศษที่เหลือจากกระบวนการนี้คือ ปริมาณคาร์บอนที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (Nonbiodegradable

carbon) ปริมาณซีเถ้าและเศษที่เหลือต่าง ๆ นี้เป็นปัจจัยที่สำคัญปัจจัยหนึ่งในการออกแบบเตาเผาไหม้ชีวมวล [10]

ตารางที่ 2.2 แสดงตัวอย่างสมบัติทางความร้อนของชีวมวล [11]

Plants	Residues	MC (%)	VM (%)	Ash (%)	FC (%)
Paddy	Husk	10.94	56.57	18.05	14.44
		6.65	60.9	19.11	13.34
		8.83	N/A	N/A	N/A
	Straw	2.68	65.54	11.24	20.44
		6.71	58.64	23.55	11.09
		8.17	N/A	N/A	N/A
Oil Palm	Shell	12	68.2	3.5	16.3
		13	N/A	N/A	N/A
	Male bunches	13.82	N/A	N/A	N/A
	Empty bunches	13.06	79.66	3.21	4.07
		37.7	45.8	4.4	12.1
		8.81	N/A	N/A	N/A
	FronD	48.34	N/A	N/A	N/A
		65.5	12.02	4.72	17.66
	Fiber	40	45.8	4.6	9.6
		31.84	48.61	6.35	13.2
10.11		N/A	N/A	N/A	
Coconut	FronD	11.21	N/A	N/A	N/A
Para tree	Saw dust	45	45.7	1.59	7.71
		2.39	81	1.83	14.78
		55	N/A	N/A	N/A
	Wood Slab	55	N/A	N/A	N/A

Remark: N/A = not available

2.3.5 สัดส่วนโลหะอัลคาไล (Alkali metal)

โลหะอัลคาไล (Alkali metal) ในชีวมวลคือโลหะจำพวก โซเดียม (Na), โพแทสเซียม (K), แมกนีเซียม (Mg), ฟอสฟอรัส (P) และ แคลเซียม (Ca) โลหะอัลคาไลเป็นคุณสมบัติที่สำคัญอย่างหนึ่งโดยเฉพาะอย่างยิ่งในกระบวนการเผาไหม้ โลหะอัลคาไลนี้เมื่อถูกความร้อนปริมาณมากจะหลอมเหลวกลายเป็นเมือกเหนียว (Sticky) ซึ่งบางครั้งวิธีแก้ปัญหาเหล่านี้คือการควบคุมความร้อนในการเผาไหม้ไม่ให้มีอุณหภูมิสูงเกินไป

2.3.6 อัตราส่วนเซลลูโลส/ลิกนิน (Cellulose/Lignin Ratio)

อัตราส่วนเซลลูโลส/ลิกนิน (Cellulose/Lignin Ratio) ของชีวมวลนี้เป็นคุณสมบัติสำคัญในการพิจารณาการแปลงชีวมวลเป็นพลังงานโดยวิธีชีวเคมี (biochemical conversion) ความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพของชีวมวลที่มีอัตราส่วนของเซลลูโลสมากกว่าของชีวมวลที่มีอัตราส่วนของลิกนินมาก ดังนั้น อัตราส่วนเซลลูโลสนี้มีผลต่อปริมาณผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น

ตารางที่ 2.3 แสดงตัวอย่างอัตราส่วนเซลลูโลส/ลิกนิน ของชีวมวล [7]

Biomass	Lignin (%)	Cellulose (%)	Hemi-cellulose (%)
Softwood	27-30	35-40	25-30
Hardwood	20-25	45-50	20-25
Wheat straw	15-20	33-44	20-25
Switchgrass	5-20	30-50	10-40

2.3.7 ขนาดและความหนาแน่นรวม (Size and bulk density)

ขนาดและความหนาแน่นรวม (Size and bulk density) ของชีวมวลนี้เป็นปัจจัยสำคัญในแง่ของค่าการขนส่งและค่าการเก็บรักษา ความหนาแน่นรวมนั้นเป็นข้อมูลที่สำคัญในการออกแบบขนาดที่เก็บชีวมวลให้เหมาะสมและเพียงพอต่อความต้องการชีวมวลในกระบวนการต่างๆ ชีวมวลบางชนิด เช่น ฟางข้าวหรือแกลบ จะมีความหนาแน่นน้อยจึงมีปัญหาในการขนส่งมาก แนวทางแก้ไขแนวทางหนึ่งคือ การอัดชีวมวลดังกล่าวให้เป็นก้อนเล็ก ๆ การอัดจะเป็นการเพิ่มความหนาแน่นซึ่งสามารถลดปัญหาค่าขนส่งและขนาดของที่เก็บรักษาไว้ได้ [11]

ตารางที่ 2.4 แสดงตัวอย่างความหนาแน่นรวมของชีวมวล [11]

Biomass	Bulk density (kg/m ³)
Rice husk	123
Rice straw	105
Bagasse	115-125
Para-wood	670-740

2.4 ชีวมวลในประเทศไทย

ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีการเกษตรกรรมอย่างกว้างขวาง ในแต่ละปีจะมีผลพลอยได้จากผลผลิตทางการเกษตร หรือวัสดุเหลือทิ้งทางเกษตรกรรมเป็นจำนวนมาก เช่น ชานอ้อย ฟางข้าว แกลบ กากใยทะเลสาบปาล์ม เป็นต้น ซึ่งการแปรรูปเป็นเชื้อเพลิงนั้นสามารถผลิตได้ทั้งพลังงานความร้อนในกระบวนการอุตสาหกรรม ดังนั้นจากปริมาณการเหลือทิ้งของชานอ้อยที่มีปริมาณมากที่สุดในประเทศไทยดังตารางที่ 2.5 จึงทำให้ชานอ้อยมีความน่าสนใจในการนำมาเปลี่ยนเป็นพลังงานใน

รูปแปดบ่งชี้

ตารางที่ 2.5 แสดงผลการประเมินศักยภาพชีวมวลแต่ละชนิด [12]

ชนิดชีวมวล	ปริมาณที่เกิด (ตัน)	ปริมาณที่นำไปใช้ ประโยชน์แล้ว (ตัน)	ปริมาณ คงเหลือ(ตัน)	ค่าความร้อน(TJ)	เทียบเท่า น้ำมันดิบ (ktoe)	เทียบเท่าไฟฟ้า (GW-h)	กำลังการ ผลิตติดตั้ง (MW)
1. พางข้าว	19,005,628.14	8,112,801.26	10,892,826.89	134,308.56	3,188.71	7,461,586.42	942.12
2. แกลบ	8,145,269.20	8,006,283.36	138,985.84	1,879.09	44.61	104,393.81	13.18
3. ใบและยอดอ้อย	17,016,248.08	1,845,487.74	15,170,760.34	234,843.37	5,575.58	13,046,853.89	1,647.34
4. ชานอ้อย	28,026,761.54	28,026,761.54	0	0	0	0	0
5. ยอด ใบและลำต้นข้าวโพด	9,315,603.52	465,780.18	8,849,823.34	86,993.76	2,065.38	4,832,986.86	610.23
6. ชังข้าวโพด	1,215,078.72	1,094,081.58	120,997.14	1,163.99	27.64	64,666.25	8.16
7. เหม้งมันสำปะหลัง	6,045,508.40	164,196.52	5,881,311.88	32,288.40	766.58	1,793,800.12	226.49
8. กากมันสำปะหลัง	1,813,652.52	1,813,652.52	0	0	0	0	0
9. เปลือกมันสำปะหลัง	8,463,711.76	8,463,711.76	0	0	0	0	0
10. ลำต้นปาล์มน้ำมัน	1,957,280.00	-	1,957,280.00	14,757.89	350.38	819,882.84	103.52
11. ใบและทางปาล์ม	18,065,006.01	1,707,454.87	16,357,551.14	28,789.29	683.51	1,599,405.00	201.95
12. พะลายปาล์มเปล่า	4,099,859.52	1,891,985.90	2,207,873.62	15,985.00	379.51	888,055.83	112.13
13. เส้นใยปาล์ม	2,434,291.59	2,434,291.59	0	0	0	0	0

ตารางที่ 2.5 แสดงผลการประเมินศักยภาพชีวมวลแต่ละชนิด (ต่อ)

ชนิดชีวมวล	ปริมาณที่เกิด(ตัน)	ปริมาณที่นำไปใช้ประโยชน์แล้ว (ตัน)	ปริมาณคงเหลือ (ตัน)	ค่าความร้อน (TJ)	เทียบเท่าน้ำมันดิบ (ktoe)	เทียบเท่าน้ำไฟฟ้า (GW-h)	กำลังการผลิตติดตั้ง(MW)
14. กะลาปาล์ม	512,482.44	512,482.44	0	0	0	0	0
15. ใบและลำต้นกล้วยเห็ดชึ่ง เหี่ยวลิสง	65,017.48	3,250.87	61,766.61	1,002.47	23.8	55,692.89	7.03
16. ตอ รากและกิ่งก้านไม้ยางพารา	1,094,365.00	218,873.00	875,492.00	5,751.98	136.56	319,554.58	40.35
17. ปลายไม้ยางพารา	2,626,476.00	2,626,476.00	0	0	0	0	0
18. ไม้ยางพารา	2,626,476.00	2,626,476.00	0	0	0	0	0
19. ขี้เถ้าและเศษไม้ยางพารา	656,619.00	656,619.00	0	0	0	0	0
20. จั่นและทะลายมะพร้าว	292,909.57	56,824.46	236,085.11	3,635.71	86.32	201,983.93	25.5
21. เปลือกและกาบมะพร้าว	333,310.89	329,976.78	3,334.11	54.11	1.28	3,006.26	0.38
22. กะลามะพร้าว	252,508.25	230,540.03	21,968.22	393.89	9.35	21,882.79	2.76
23. เปลือกมะม่วงหิมพานต์	70,038.56	1,674.28	68,364.29	375.32	8.91	20,851.11	2.63
รวม	134,134,102.21	71,289,681.68	62,844,420.53	562,222.85	13,348.12	31,234,602.58	3,943.76

2.5 อ้อย

อ้อย (ชื่อวิทยาศาสตร์: *Saccharum officinarum*) เป็นพืชวงศ์ POACEAE วงศ์เดียวกับ ไม้หญ้าและธัญพืช เช่น ข้าวสาลี ข้าว ข้าวโพด และ ข้าวบาร์เลย์ มีถิ่นกำเนิดในเขตร้อนของทวีปเอเชีย ในลำต้นอ้อยที่นำมาใช้ทำน้ำตาลมีปริมาณซูโครสประมาณร้อยละ 17-35 ซากอ้อย (bagasse) ที่ถูกบีบเอาน้ำอ้อยออกไปแล้ว สามารถนำมาใช้ทำกระดาษ พลาสติก เป็นเชื้อเพลิง และอาหารสัตว์ ส่วนกากน้ำตาล (molasses) ที่แยกออกจากน้ำตาลในระหว่างการผลิต สามารถนำไปหมักเป็นเหล้ารัม (rum) ได้อีกด้วย

อ้อยเป็นพืชชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญเป็นอย่างมากเมื่อพิจารณาในแง่ของผลผลิต เพราะอ้อยสามารถใช้ปัจจัยสำหรับการเจริญเติบโต เช่น แสงแดด น้ำ อากาศ และธาตุอาหารได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้อ้อยยังเป็นพืชที่ปลูกง่าย และเมื่อปลูกครั้งหนึ่งแล้ว สามารถเก็บเกี่ยวได้หลายครั้ง อ้อยชอบอากาศร้อนและชุ่มชื้น ดังนั้นประเทศที่ปลูกอ้อย ซึ่งมีประมาณ 70 ประเทศจึงอยู่ในแถบร้อนและชุ่มชื้นในระหว่างเส้นรุ้งที่ 35 องศาเหนือ และ 35 องศาใต้ ประเทศผู้ปลูกอ้อยที่สำคัญ ได้แก่ บราซิล คิวบา อินเดีย [13]



รูปที่ 2.6 อ้อย [13]

2.6 กระบวนการแปรรูปชีวมวล

2.6.1 การแปลงสภาพทางกายภาพ

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

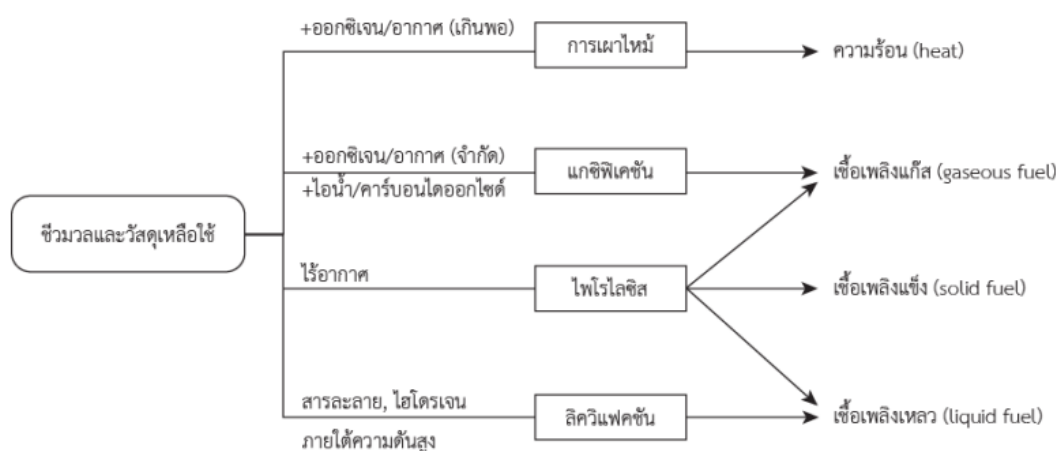
2.6.2 การแปลงสภาพทางชีวภาพ

การแปลงสภาพทางชีวภาพ (biological conversion) เป็นกระบวนการย่อยชีวมวลให้เป็นพลังงานโดยอาศัยกลไกทางชีวภาพของจุลินทรีย์และเอนไซม์ ดำเนินการที่ภาวะอุณหภูมิและความดัน

บรรยากาศ มีค่าใช้จ่ายในการลงทุนต่ำจึงได้รับความสนใจและถูกนำไปใช้งานอย่างแพร่หลาย เช่น การผลิตมีเทนชีวภาพ (bio methanation) และการหมักเอทานอล (ethanol fermentation) [14]

2.6.3 การแปลงสภาพทางความร้อนเคมี

การแปลงสภาพทางความร้อนเคมี (thermochemical conversion) เป็นการแปรรูปชีวมวล โดยการย่อยสลายชีวมวลไปเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยความร้อนร่วมกับปฏิกิริยาเคมี แบ่งออกเป็น 4 กระบวนการย่อย ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 การแปลงสภาพทางเคมีความร้อนและผลิตภัณฑ์ [14]

2.6.3.1 การเผาไหม้

การเผาไหม้ (combustion) เป็นการแปลงสภาพที่ใช้มานาน เป็นปฏิกิริยาเคมีระหว่างสารประกอบไฮโดรคาร์บอนและออกซิเจน (ในอากาศ) เปลี่ยนเป็นผลิตภัณฑ์แก๊สที่มีองค์ประกอบหลักที่เสถียรสองชนิด คือ น้ำ และ คาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเป็นรูปแบบที่นิยมนำมาใช้เพื่อผลิตพลังงานในรูปของความร้อนจากชีวมวลและวัสดุเหลือใช้ เนื่องจากเป็นปฏิกิริยาคายความร้อน

2.6.3.2 ไพโรไลซิส

ไพโรไลซิส (pyrolysis) เป็นกระบวนการสลายตัวทางเคมีความร้อนในภาวะที่ไม่ออกซิเจนหรืออากาศ โดยทั่วไปประกอบด้วยหลายปฏิกิริยาเคมีและซับซ้อนขึ้นอยู่กับชนิดของสารตั้งต้น โดยรวมเป็นกระบวนการผันกลับไม่ได้และต้องการพลังงานหรือความร้อนเพื่อสลายพันธะเคมีของโครงสร้างสารประกอบไฮโดรคาร์บอน ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการมีทั้งของแข็ง ของเหลว และแก๊ส

2.6.3.3 แกซิฟิเคชัน

แกซิฟิเคชัน (gasification) คือ กระบวนการแปลงสภาพทางเคมีความร้อนที่เปลี่ยนสารป้อนซึ่งเป็นได้ทั้งเชื้อเพลิงแข็งหรือเชื้อเพลิงเหลว ให้เป็นเชื้อเพลิงแก๊สที่เผาไหม้ให้ความร้อน หรือใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตเคมีภัณฑ์อื่นๆ ที่มีมูลค่าได้ แกซิฟิเคชันจะคล้ายการเผาไหม้แต่จะจำกัดปริมาณออกซิเจนเกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ โดยรวมแล้วแกซิฟิเคชันจะไม่เปลี่ยนพลังงานเคมีของสารป้อนให้เป็นพลังงานความร้อนทั้งหมด แต่จะเปลี่ยนให้เป็นพลังงานเคมีเช่นเดิมแต่จะอยู่ในรูปของผลิตภัณฑ์แก๊สหรือเชื้อเพลิงแก๊สเป็นส่วนใหญ่ พลังงานบางส่วนของสารป้อนถูกใช้ไปสำหรับความร้อนของปฏิกิริยาต่างๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการ ผลิตภัณฑ์แก๊สจากกระบวนการแกซิฟิเคชันประกอบด้วย ไฮโดรเจน คาร์บอนมอนอกไซด์ คาร์บอนไดออกไซด์ และมีเทน เป็นองค์ประกอบหลัก แก๊สที่ได้นี้อาจถูกเรียกเป็น เชื้อเพลิงแก๊ส หรือ โพรดิวซ์เซอร์แก๊ส (producer gas) ในกรณีที่เน้นการนำผลิตภัณฑ์แก๊สที่ได้จากกระบวนการไปใช้ประโยชน์ด้านการผลิตเคมีภัณฑ์อื่นๆ แก๊สที่ได้นี้มักถูกเรียกว่า แก๊สสังเคราะห์ (synthetic gas หรือ syngas) ซึ่งปกติจะหมายถึงแก๊สที่มีคาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบหลัก

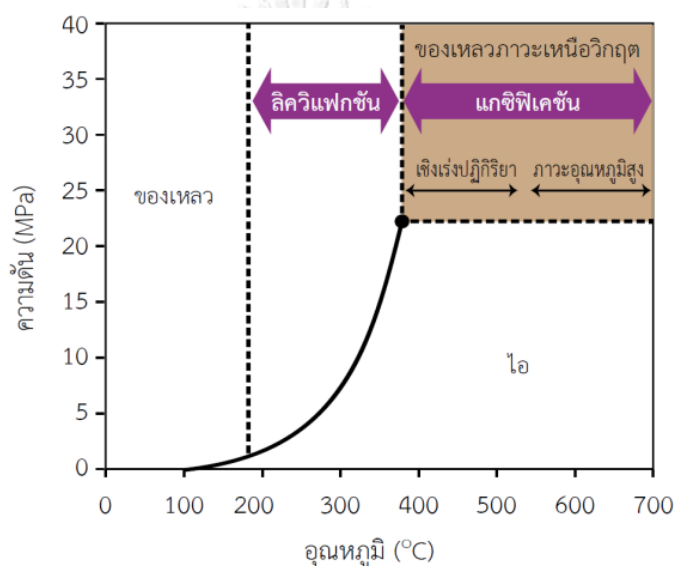
2.6.3.4 ลิกวิแฟกชัน

กระบวนการทำให้เป็นของเหลว หรือ ลิกวิแฟกชัน (liquefaction) เป็นกระบวนการแปลงสภาพเชื้อเพลิงแข็งให้เป็นเชื้อเพลิงเหลว ซึ่งจะสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทคือ ลิกวิแฟกชันทางตรง และลิกวิแฟกชันทางอ้อม

2.6.3.4.1 ลิกวิแฟกชันทางตรง (direct liquefaction)

การเปลี่ยนรูปแบบขั้นตอนเดียวจากเชื้อเพลิงแข็งเป็นเชื้อเพลิงเหลว กรณีที่ไม่ใช้ตัวกลางหรือสารร่วมทำปฏิกิริยา จะหมายถึงการทำไพโรไลซิสแบบเร็ว ส่วนกรณีที่เป็นถ่านหินปกติจะมีการเติมแหล่งไฮโดรเจนเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรจิเนชัน ช่วยเพิ่มร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ของเหลว (น้ำมัน) และใช้ตัวกลางทำหน้าที่ให้-รับไฮโดรเจนระหว่างปฏิกิริยา แต่ในกรณีของชีวมวลและวัสดุเหลือใช้ซึ่งมีความชื้นสูง นิยมใช้น้ำเป็นตัวกลางหลักอาจมีตัวเร่งปฏิกิริยาร่วมด้วย เรียกกระบวนการนี้ว่า ไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชัน (hydrothermal liquefaction) ข้อดีของกระบวนการนี้คือ การใช้วัตถุดิบที่มีความชื้นสูงได้โดยตรง ช่วยลดการใช้พลังงานสำหรับการทำแห้งวัตถุดิบ จึงเหมาะกับวัสดุพวกชีวมวลที่เป็นของเหลือทิ้งทางการเกษตร ขยะ มูลสัตว์ กากตะกอนน้ำเสีย หรือพืชพลังงานต่างๆ ที่เติบโตในแหล่งน้ำ โดยปกติกระบวนการนี้จะทำที่ภาวะกึ่งวิกฤต (subcritical condition) ของน้ำหรือเรียกว่า น้ำร้อนอัดความดัน (hot compressed water) ซึ่งอุณหภูมิต่ำกว่า

จุดวิกฤตของน้ำ คือ 250-375 องศาเซลเซียส และความดันสูงพอที่ยังทำให้น้ำอยู่ในวัฏภาคของเหลว คือ 4-22 เมกะปาสคาล ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้จะประกอบไปด้วย ของแข็ง ของเหลว และแก๊ส โดยผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ละลายน้ำได้ กับ ไม่ละลายน้ำ (น้ำมัน) เนื่องจากน้ำมันที่ได้จากกระบวนการนี้มีคุณภาพดีกว่าน้ำมันชีวภาพจาก ไพโรไลซิสแบบเร็วและมีสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดิบมากกว่า จึงเรียกว่า น้ำมันดิบชีวภาพ (bio-crude oil) ในกรณีที่ทำเนินการภายใต้ภาวะเหนือวิกฤต (supercritical condition) ของน้ำ จะเรียกว่า ไฮโดรเทอร์มัลแกซิฟิเคชัน (hydrothermal gasification) เพราะการแตกตัวเกิดขึ้นได้ดีให้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นแก๊สมากกว่าที่เป็นของเหลว ซึ่งแสดงดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 แผนผังวัฏภาคของน้ำ [14]

2.6.3.4.2 ลิควิแฟกชันทางอ้อม (indirect liquefaction)

เป็นกระบวนการที่ประกอบไปด้วยหลายขั้นตอน เริ่มจากการแปลงสภาพของเชื้อเพลิงแข็งเป็นเชื้อเพลิงแก๊สผ่านกระบวนการแกซิฟิเคชัน ซึ่งกระบวนการแกซิฟิเคชันจะเน้นผลิตภัณฑ์ที่ได้เป็นแก๊ส โดยองค์ประกอบของแก๊สจะเป็นพวกคาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรเจนที่ถูกป้อนเข้าสู่การแปลงสภาพจาก แก๊สกลายเป็นของเหลว เรียกอีกอย่างว่า GTL โดยจะดำเนินการที่อุณหภูมิไม่เกิน 400 องศาเซลเซียส ความดันสูงและใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา โดยปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นนั้นจะเป็นปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันและไฮโดรจิเนชันของคาร์บอนมอนอกไซด์

2.7 ตัวเร่งปฏิกิริยา

การจำแนกประเภทของตัวเร่งปฏิกิริยา หากแบ่งตามประเภทของตัวเร่งปฏิกิริยาตามสถานะของการรวมกลุ่ม จะแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ ตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ และ ตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธุ์

2.7.1 ตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธุ์

ตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธุ์ส่วนมากที่ใช้ระดับอุตสาหกรรมอยู่ในกลุ่มของตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะอินทรีย์ กัมมันตภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธุ์เกี่ยวข้องกับลิแกนด์อินทรีย์ที่อยู่ล้อมรอบโลหะศูนย์กลาง (metal center) ดี-ออร์บิทัล (d-orbital) ของโลหะทรานซิชันจะลงรับลิแกนด์ เช่น ไฮไดรด์ (Hydride, H) คาร์บอนิล (carbonyl, CO) และแอลคีน โดยปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในวัฏจักรของการเร่งปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดนี้เกี่ยวกับการเคลื่อนย้ายลิแกนด์ในตำแหน่งว่างอยู่บนโลหะศูนย์กลางเดิม โดยทั่วไปแล้วการเกิดปฏิกิริยาต้องเกิดการโคออร์ดิเนชัน (coordination) ของสารตั้งต้นที่โลหะศูนย์กลางแล้วจึงปลดปล่อยผลิตภัณฑ์ออกมา ซึ่งทั้งสองกระบวนการนี้ต้องเกิดขึ้นด้วยพลังงานก่อกัมมันต์ที่มีค่าต่ำที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ดังนั้นสารประกอบเชิงซ้อนโลหะที่ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธุ์จึงต้องมีกัมมันตภาพสูง [15]

2.7.2 ตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์

ตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมมากกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธุ์ เนื่องจากตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาของแข็งที่ง่ายต่อการแยกออกจากผลิตภัณฑ์ได้มากกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธุ์ ตัวอย่างของตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ ได้แก่ ตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะบนตัวรองรับ (supported metal) ตัวเร่งปฏิกิริยาออกไซด์และซัลไฟด์ของโลหะทรานซิชัน (transition metal oxides and sulfides) ตัวเร่งปฏิกิริยาของแข็งกรดและเบส (solid acids and bases) เอนไซม์ที่ถูกลตรึง (immobilized enzymes) และตัวเร่งปฏิกิริยาพอลิเมอร์ที่ถูกยึดเหนี่ยว (polymer-bound species)

ส่วนประกอบของตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ส่วนมากประกอบด้วยโลหะกัมมันต์ ตัวสนับสนุน (promoter) ซึ่งช่วยเพิ่มกัมมันตภาพหรือเสถียรภาพ และตัวรองรับ (support) ที่มีพื้นที่ผิวสูงเพื่อช่วยในการกระจายตัวและเสถียรภาพของโลหะกัมมันต์ [15]

ตารางที่ 2.6 ตัวอย่างองค์ประกอบของตัวเร่งปฏิกิริยารีดอกซ์ [15]

องค์ประกอบ	ชนิดของวัสดุ	ตัวอย่าง
วัฏภาคกัมมันต์	โลหะ	โลหะมีตระกูล (Pt, Pd), โลหะทรานซิชัน (Ni, Fe)
	โลหะออกไซด์	โลหะทรานซิชันออกไซด์ (MoO_2 , CuO)
	โลหะซัลไฟด์	โลหะทรานซิชันซัลไฟด์ (MoS_2 , Ni_3S_2)
ตัวสนับสนุน		
- สภาพพื้นผิว	โลหะออกไซด์	โลหะทรานซิชันและธาตุหมู่ IIIA (Al_2O_3 , SiO_2 , MgO , BaO)
- เชิงเคมี	โลหะออกไซด์	แอลคาไล หรือแอลคาไลเอิร์ธ (K_2O , PbO)
ตัวรองรับ	โลหะออกไซด์หรือคาร์บอนที่มีเสถียรภาพและพื้นที่ผิวสูง	ธาตุหมู่ IIIA แอลคาไลเอิร์ธ และโลหะทรานซิชันออกไซด์ (Al_2O_3 , SiO , MgO , ซีโอไลต์ และถ่านกัมมันต์)

2.8 ถ่านกัมมันต์ หรือถ่านชาร์ (Activated carbon)

ความหมายของถ่านกัมมันต์

Derbyshire [16] กล่าวว่า ถ่านกัมมันต์คือ วัสดุที่มีพื้นที่ผิวภายในและความพรุนสูง ดังนั้นจึงมีความสามารถในการดูดซับสารเคมีจากแก๊สและของเหลวได้ในปริมาณสูง ซึ่งถ่านกัมมันต์สามารถใช้ประโยชน์ได้หลายด้าน เช่น ใช้ในกระบวนการทำให้สารเคมีบริสุทธิ์ หรือใช้ในกระบวนการนำสารเคมีกลับมาใช้ นอกจากนี้ถ่านกัมมันต์สามารถใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาหรือตัวรองรับของตัวเร่งปฏิกิริยาได้ด้วย จากคุณสมบัติที่เหมาะสมและมีราคาไม่แพง ทำให้ถ่านกัมมันต์เป็นตัวดูดซับที่ถูกใช้กันมาก

Jankowska และคณะ [17] กล่าวว่า ถ่านกัมมันต์คือ การนำเอาวัสดุที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบมาผ่านกระบวนการก่อกัมมันต์ ซึ่งทำให้วัสดุนั้นมีโครงสร้างรูพรุนและมีพื้นที่ผิวภายในสูง ซึ่งพื้นที่หน้าตัดของถ่านกัมมันต์จะมีลักษณะคล้ายกับรังผึ้ง โดยองค์ประกอบหลักของถ่านกัมมันต์คือ คาร์บอน (ร้อยละ 87-90) และมีธาตุอื่นเป็นองค์ประกอบคือ ไฮโดรเจน ออกซิเจน ซัลเฟอร์ และไนโตรเจน โดยจะมีปริมาณมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณที่มีในวัตถุดิบและอาจเกิดเพิ่มได้อีกในขั้นตอนการผลิต

2.8.1 กระบวนการกระตุ้น (Activation)

เป็นการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพสำหรับคาร์บอน ด้วยการเพิ่มพื้นที่ผิวให้มากขึ้นโดยการทำให้มีรูพรุนมากขึ้น หรือเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับสารอื่นๆ ซึ่งปฏิกิริยาที่เกิดระหว่างการกระตุ้นยังไม่เป็นที่ทราบแน่ชัด เนื่องมาจากวิธีการกระตุ้นนั้นมีมากมายหลายวิธี อีกทั้งประสิทธิภาพของการกระตุ้นนั้นขึ้นอยู่กับลักษณะและชนิดของวัสดุโดยรวมถึงขั้นตอนก่อนการกระตุ้นด้วย [18]

ซึ่งวัตถุประสงค์ในการกระตุ้น มี 3 เหตุผลหลักๆ คือ

- (1) การเพิ่มพื้นที่ผิวที่ว่องไว (Active surface area)
- (2) การเพิ่มความว่องไวในการดูดซับให้ผิวที่มีอยู่แล้ว
- (3) การกำจัดสารอินทรีย์วัตถุและอนินทรีย์วัตถุต่างๆ ออกจากบริเวณที่ทำหน้าที่ดูดซับ

โดยทั่วไปแล้วการกระตุ้นในการผลิตถ่านกัมมันต์มี 2 วิธี

2.8.1.1 การกระตุ้นทางเคมี (Chemical activation)

เป็นการผลิตถ่านกัมมันต์โดยใช้สารกระตุ้นทำปฏิกิริยาเคมีกับผิวคาร์บอน ซึ่งมีความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา สารเคมีที่นิยมใช้ได้แก่ ซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$) โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) กรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) เป็นต้น ข้อดีของวิธีนี้คือ ใช้อุณหภูมิไม่สูงมากนัก (400-600 องศาเซลเซียส) แต่มีข้อเสียคือ มีสารเคมีตกค้างในถ่านกัมมันต์ ทำให้ต้องเสียเวลาและค่าใช้จ่ายในการล้างสารเคมีดังกล่าวออกเพิ่ม รวมทั้งเครื่องมือที่ใช้ต้องเป็นชนิดพิเศษที่สามารถต้านทานการกัดกร่อนได้ เพราะสารเคมีเหล่านี้เป็นสารกัดกร่อน

ตัวอย่างการกระตุ้นทางเคมี ได้แก่

การกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$)

กระบวนการกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์เป็นวิธีที่นิยมมากที่สุดวิธีหนึ่ง โดยใช้สารละลายซิงค์คลอไรด์ผสมกับวัตถุดิบที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส แล้วนำไปทำการคาร์บอนไนซ์ที่อุณหภูมิ 600-850 องศาเซลเซียส ซึ่งกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมนั้นคำนึงถึงประสิทธิภาพในการนำเอาซิงค์คลอไรด์กลับมาใช้ใหม่เป็นอย่างมาก ซึ่งการนำกลับมาใช้ใหม่มีข้อจำกัดค่อนข้างมาก และยังมีปัญหาการกัดกร่อนต่อเครื่องปฏิกรณ์ จึงทำให้การใช้ซิงค์คลอไรด์เป็นสารกระตุ้นลดน้อยลง

การกระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริก (H_3PO_4)

กระบวนการกระตุ้นทางเคมีโดยใช้กรดฟอสฟอริกเป็นสารกระตุ้น จะใช้อุณหภูมิในการกระตุ้นที่ค่อนข้างต่ำ คือ 400-500 องศาเซลเซียส ซึ่งการใช้กรดฟอสฟอริกนั้นสามารถผ่านกระบวนการนำกลับมาใช้ใหม่โดยยังได้กรดฟอสฟอริกที่มีความเข้มข้นสูง พบว่าวัตถุดิบที่เป็นไม้สามารถผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ที่มีประสิทธิภาพได้ดีโดยวิธีนี้

การกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์หรือโซเดียมไฮดรอกไซด์ (KOH, NaOH)

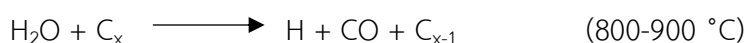
กระบวนการกระตุ้นทางเคมีโดยใช้สารละลายที่มีไอออนของโพแทสเซียมหรือโซเดียม (K^+ หรือ Na^+) กับวัตถุดิบที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบแล้วให้ความร้อน พบว่าไอออนของโลหะเหล่านี้จะเข้าไปแทรกอยู่ระหว่างชั้นของผลึกโครงสร้างของถ่านกัมมันต์ที่อุณหภูมิสูงกว่า 700 องศาเซลเซียส โดยโมเลกุลคาร์บอนไดออกไซด์ของน้ำและออกซิเจนเกิดการหลุดออกไปจากโครงสร้างทำให้ได้ถ่านกัมมันต์ตามที่ต้องการ

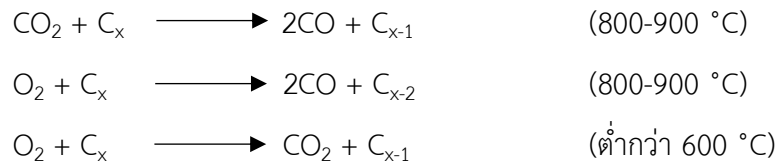
สารเคมีแต่ละชนิดจะไปช่วยกระตุ้นเพื่อทำลายโครงสร้างของวัตถุดิบและ ในขณะที่ทำการคาร์บอนไนซ์จะเกิดการสลายตัวของสารอินทรีย์ในวัตถุดิบ ทำให้เกิดการเชื่อมไขว้กัน (Crosslink) อย่างไม่เป็นระเบียบของโครงสร้าง เกิดช่องว่างรูพรุนขึ้น พบว่าสารระเหยบางตัวในโครงสร้างของวัตถุดิบไม่สามารถหลุดออกไปได้เนื่องจากเกิดการเชื่อมไขว้กันนี้ ส่งผลให้ปริมาณคาร์บอนที่ได้เพิ่มขึ้นและเกิดการลดลง ซึ่งการเชื่อมไขว้ประกอบกับสารเคมีที่ใช้มีความคงทนต่อการสลายตัวที่อุณหภูมิสูง ๆ ทำให้ยังคงสภาพหุ้มอยู่รอบ ๆ และแทรกตัวอยู่ภายในทำให้เกิดการหดตัวน้อย เมื่อนำถ่านที่ได้มาล้างสารเคมีออกด้วยน้ำหรือกรด จะทำให้เกิดช่องว่างหรือรูพรุนเพิ่มขึ้นอีก [19]

2.8.1.2 การกระตุ้นทางกายภาพ (Physical activation)

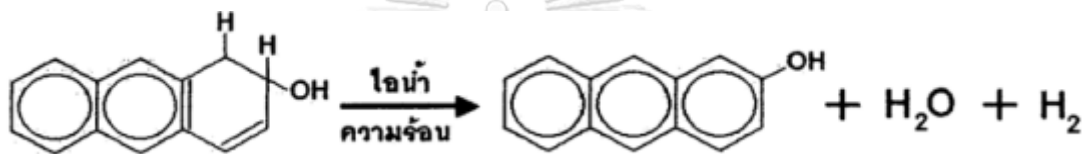
เป็นวิธีการเพิ่มปริมาตรรูพรุนและพื้นที่ผิวโดยปฏิกิริยาแก๊สซิฟิเคชัน (gasification) ด้วยแก๊สออกซิไดซ์ที่ช่วงอุณหภูมิ 700-1000 องศาเซลเซียส แก๊สที่ใช้โดยทั่วไปคือ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ไอน้ำ และอากาศ โดยอาจใช้ชนิดใดชนิดหนึ่งหรือรวมกันก็ได้

ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการคาร์บอนไนซ์ยังเป็นตัวดูดซับที่ไม่ดี ต้องทำการกระตุ้นให้ได้ถ่านที่มีการดูดซับสูง โดยใช้กระบวนการกระตุ้นทำให้ทำปฏิกิริยากับแก๊สที่เป็นตัวออกซิไดซ์ ดังสมการ

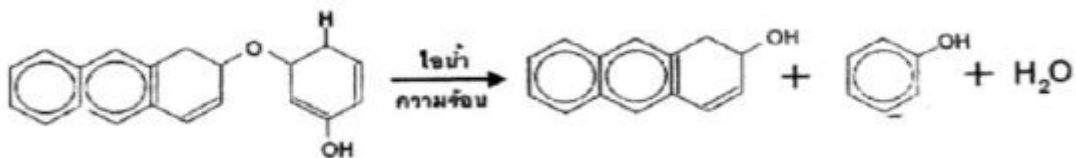




ที่ผิวของคาร์บอนเกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ ดังรูปที่ 2.9 และ 2.10 โดยมีการจัดเรียงตัวใหม่ในโครงสร้าง ซึ่งเพิ่มความสามารถในการดูดซับของถ่าน ซึ่งปฏิกิริยานี้อาจใช้ความร้อนในการกระตุ้นเพียงอย่างเดียว แต่ต้องใช้ความร้อนสูงมากถึง 1200 องศาเซลเซียส และพบว่าถ่านกัมมันต์ที่ได้มีคุณภาพต่ำกว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิตโดยการกระตุ้นด้วยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ หรือไอน้ำร่วมกับความร้อน ข้อดีของวิธีนี้คือไม่มีสารเคมีตกค้าง แต่ข้อเสียคือต้องใช้อุณหภูมิในการกระตุ้นที่สูงมากกว่ากระบวนการที่ใช้สารเคมี



รูปที่ 2.9 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจากการกระตุ้นด้วยไอน้ำ [18]



รูปที่ 2.10 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจากการกระตุ้นทางกายภาพโดยกำจัดฟีนอลและน้ำ [18]

ปัจจัยที่มีผลต่อลักษณะรูพรุนในขั้นตอนการกระตุ้น ได้แก่ โครงสร้างของคาร์บอนหรือถ่านชาร์ที่นำมากระตุ้น สารอนินทรีย์ปนเปื้อนที่อยู่ในเนื้อคาร์บอน ชนิดของแก๊สออกซิไดซ์ อุณหภูมิขณะเกิดปฏิกิริยา ความดันของแก๊ส เวลาในการเกิดปฏิกิริยา และขนาดอนุภาคของถ่านชาร์

ในกระบวนการกระตุ้น คาร์บอนทำปฏิกิริยากับสารออกซิไดซ์เป็นคาร์บอนออกไซด์ แพร่ออกจากผิวของคาร์บอน เกิดแก๊สซิฟิเคชันบางส่วนของเม็ดถ่านเป็นรูพรุนขึ้นในโครงสร้าง ถ่านจากการคาร์บอนไนซ์ประกอบด้วยรูพรุนเล็กๆจำนวนมาก ซึ่งเกิดจากช่องว่างระหว่างผลึกในการจัดเรียงตัวของคาร์บอนอะตอม โดยรูพรุนนี้มักจะถูกบรรจุไว้ด้วยทาร์ที่สลายตัวด้วยความร้อน และถูกขวางด้วยคาร์บอนอสัณฐาน การกระตุ้นจึงเป็นทั้งการเปิดรูที่ถูกปิดและการสร้างรูใหม่

ตัวอย่างการกระตุ้นด้วยวิธีทางกายภาพ

การกระตุ้นด้วยไอน้ำ

ไอน้ำนั้นเป็นสารกระตุ้นทางกายภาพที่ใช้กันเป็นจำนวนมาก เนื่องจากโมเลกุลของน้ำนั้นมีขนาดเล็กกว่าโมเลกุลของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ข้อดีของการกระตุ้นด้วยไอน้ำคือ

- (1) โมเลกุลของน้ำจะแพร่เข้าไปได้อย่างรวดเร็วในโครงสร้างรูพรุน
- (2) เนื่องจากโมเลกุลที่เล็กจึงสามารถเข้าไปในรูพรุนขนาดเล็กได้
- (3) มีการเกิดปฏิกิริยาที่รวดเร็ว ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาเร็วกว่าแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์

ถึง 3 เท่า ที่สภาวะความดัน 10 กิโลพาสคัลและอุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส

รูปแบบของปฏิกิริยาในการกระตุ้นไอน้ำคือ



ปฏิกิริยาที่เกิดเป็นปฏิกิริยาการดูดความร้อน และมีความซับซ้อน แต่โดยปกติจะสมมติเป็นปฏิกิริยาแก๊สซิฟิเคชันของถ่านชาร์

ในปฏิกิริยาของการกระตุ้นด้วยไอน้ำ จะมีการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาขึ้น ซึ่งจะมีไฮโดรเจนไปเกาะติดบนตำแหน่งว่างไวบนผิวของคาร์บอน ซึ่งจะทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาลดลงได้

การกระตุ้นด้วยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์

การกระตุ้นด้วยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ มีกลไกการเกิดคือ



เป็นปฏิกิริยาดูดความร้อน ซึ่งในปฏิกิริยาการกระตุ้นด้วยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ อุณหภูมิที่ใช้อยู่ในช่วง 800-900 องศาเซลเซียส ซึ่งกลไกในการเกิดปฏิกิริยานั้นมีการศึกษากันอย่างแพร่หลาย ในปฏิกิริยานี้มีการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยา จาก คาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรเจน

2.9 ไม้ไผ่

ไม้ไผ่เป็นพืชมีเนื้อไม้แข็งความสูงแล้วแต่ชนิด มีเหง้าอยู่ใต้ดิน ลำต้นตรง มีข้อและปล้องชัดเจน ปล้องภายในกลวง ขนาดกว้างยาวแล้วแต่ละชนิด ใบเดี่ยวออกสลับรูปใบหอก ปลายเรียวแหลม โคนมน ขอบใบสากคาย ดอก ออกเป็นช่อตามซอกใบและปลายกิ่ง [20]

2.9.1 สมบัติทางกายภาพ

- ความชื้นของไม้ไผ่ที่เจริญเติบโตเต็มที่ที่มีค่าเฉลี่ยร้อยละ 50-99 และไม้ไผ่ที่ยังอ่อนอยู่มีค่าเฉลี่ยร้อยละ 80-95 ขณะที่ไม้ไผ่ซึ่งแห้งเต็มที่แล้วมีความชื้นร้อยละ 12-18 ความชื้นของไม้ไผ่จะ

ค่อย ๆ ลดลงจากส่วนโคนไปยังส่วนปลายของลำต้น และจะลดลงเมื่อลำต้นมีอายุเพิ่มขึ้น และมีความชื้นสูงในฤดูฝนมากกว่าฤดูแล้ง

- ความหนาแน่นของเนื้อไม้เปลี่ยนแปลงไปตามชนิดของไม้ไฟ
- ปริมาณน้ำในผนังเซลล์ของเซลล์เส้นใยหรือไฟเบอร์ (fiber) ขึ้นกับชนิดของเนื้อไม้
- การหดตัวของเนื้อไม้ เกิดขึ้นหลังจากการเก็บเกี่ยว ไม้ไฟที่มีสีเขียวจะมีการสูญเสียน้ำ และมีการหดตัวของเซลล์ซึ่งมีผลต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลำไม้ไฟให้หดเล็กลงด้วย

2.9.2 คุณสมบัติทางกล

ไม้ไฟเป็นพืชที่มีเนื้อไม้ซึ่งแข็งแรงและยืดหยุ่นได้เช่นเดียวกับเนื้อไม้ของพืชอื่น ๆ คือ

- การโค้งงอ คุณสมบัติขึ้นกับชนิดของไม้ไฟ และขนาดของลำไฟ หรือเนื้อไม้ที่ถูกผ่าแบ่งให้มีความหนาและบางแตกต่างกันไป

- การยืดหยุ่น ขึ้นกับคุณสมบัติในการโค้งงอ และการทนต่อแรงกดบนเนื้อไม้
- การทนทานต่อแรงกด แรงบีบ และแรงอัดต่าง ๆ ซึ่งมีผลต่อการรับน้ำหนักของวัสดุ

2.9.3 คุณสมบัติทางเคมี

- องค์ประกอบหลักของเนื้อไม้ ได้แก่ เซลลูโลส (cellulose) เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) และลิกนิน (lignin) องค์ประกอบรองได้แก่สารจำพวก เรซิน (resins) แทนนิน (tannins) แวกซ์ (waxes) และเกลืออนินทรีย์ (inorganic salts)

- อุตสาหกรรมการผลิตกระดาษและเยื่อกระดาษ มีเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส ซึ่งเรียกรวมกันว่าโฮโลเซลลูโลส (holocellulose) เป็นองค์ประกอบร้อยละ 61-71 เพนโทแซน (pentosans) ร้อยละ 16-21 ลิกนิน (lignin) ร้อยละ 20-30 เถ้าร้อยละ 1-9 และซิลิการ้อยละ 0.5-4

- หน่ออ่อนของลำต้นที่นำมาบริโภคเป็นหน่อไม้ ในส่วนที่รับประทานได้หนัก 100 กรัม ประกอบด้วย น้ำ 89-93 กรัม โปรตีน 1.3-2.3 กรัม ไขมัน 0.3-0.4 กรัม คาร์โบไฮเดรต 4.2-6.1 กรัม เส้นใย 0.5-0.77 กรัม เถ้า 0.8-1.3 กรัม แคลเซียม 81-96 มิลลิกรัม ฟอสฟอรัส 42-59 มิลลิกรัม เหล็ก 0.5-1.7 มิลลิกรัม วิตามินบี 10.07-0.14 มิลลิกรัม วิตามินซี 3.2-5.7 มิลลิกรัม กลูโคส 1.8-4.1 กรัม พลังงาน 118-197 จูล ไฮยาไนด์ 44-283 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

2.10 กะลาปาล์ม

กะลาปาล์มเป็นส่วนประกอบหนึ่งของผลปาล์ม โดยจะอยู่ระหว่างเส้นใยปาล์มที่ติดเปลือกด้านนอกสุดกับเนื้อปาล์มที่อยู่ด้านในสุด ลักษณะทั่วไปมีสีน้ำตาล เนื้อแข็ง ในอุตสาหกรรมการผลิตน้ำมันปาล์ม เมื่อเกิดกระบวนการสกัดเอาน้ำมันปาล์มออกแล้วจะเหลือกะลาปาล์ม ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นเชื้อเพลิงชีวมวล (Biomass) ที่ให้ค่าความร้อนสูง ในปัจจุบันเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลที่โรงงานอุตสาหกรรมนิยมใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันเตาที่มีราคาสูง จนทำให้ในประเทศมีกะลาปาล์มไม่เพียงพอกับความต้องการ ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ เช่น อินโดนีเซีย มาเลเซีย [21]

2.10.1 คุณสมบัติเบื้องต้นของกะลาปาล์ม

- ค่าความร้อน (Net Calorific Value) 3,800 - 4,200 kcal/kg
- ซี้เถ้า (Ash) น้อยกว่าร้อยละ 4 โดยน้ำหนัก
- ความชื้น (Total Moisture) ; (AR) ร้อยละ 16 - 25 โดยน้ำหนัก

2.10.2 เชื้อเพลิงชีวมวลจากต้นปาล์มน้ำมัน

ซึ่งเป็นวัสดุเหลือจากอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมัน เช่น

- ผลผลิตหลัก ได้แก่ น้ำมันปาล์ม เป็นส่วนผสมของน้ำมันเชื้อเพลิงไบโอดีเซล สำหรับยานพาหนะนอกจากนี้ยังสามารถนำไปใช้ในการปรุงอาหารเพื่อการบริโภคได้เช่นกัน

- ผลผลิตรอง ได้แก่ กะลาปาล์ม (Palm kernel shell) เป็นส่วนประกอบหนึ่งของผลปาล์ม คุณสมบัติให้ค่าพลังงานความร้อน 3,800 -4,200 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม นอกจากนี้ ทะลายปาล์ม ใยปาล์ม และลำต้นปาล์ม ยังสามารถนำไปเป็นเชื้อเพลิงได้เช่นกัน

2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Chen [22] ศึกษาการนำ *Pteris vittata L.* มาใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตน้ำมันชีวภาพผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชัน ในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์ ภายใต้อุณหภูมิที่แตกต่างกันตั้งแต่ 250-390 องศาเซลเซียส จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าที่อุณหภูมิที่ 350 องศาเซลเซียส ให้ปริมาณของเหลวสูงสุดถึงร้อยละ 16.88

Rae และคณะ [23] ศึกษาการพัฒนาถ่านกัมมันต์ที่มีพื้นที่ผิวจำเพาะสูงจากวัสดุคาร์บอนแข็งที่ไม่มีรูพรุน (HC) ผ่านกระบวนการกระตุ้นด้วยไอน้ำ โดยถ่านกัมมันต์ (AHC) ที่ได้รับการกระตุ้นแล้วจะพบว่า มีสมบัติของพื้นที่ผิวที่ดีกว่าเมื่อเทียบกับ AHC ที่เตรียมภายใต้ความดันไอน้ำบรรยากาศ

นอกจากนี้ AHC ที่ผ่านการกระตุ้นแล้วพบว่าปริมาตรรูพรุนขนาดกลางสูงขึ้น หรือมีปริมาตรรูพรุนสูงขึ้นนั่นเอง

Wu และคณะ [24] ศึกษาการเปรียบเทียบขนาดรูพรุน และ การดูดซับ โดยใช้วิธีการกระตุ้น ถ่านกัมมันต์ด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) และไอน้ำ พบว่า เมื่อถ่านกัมมันต์ที่ถูกกระตุ้นด้วย KOH พื้นที่ผิวของรูพรุนและร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ที่เพิ่มมากขึ้น

Tapaswy และคณะ [25] นำสาหร่ายชนิด *Cyanidioschyzon merolae* มาผ่านกระบวนการผลิตน้ำมันชีวภาพผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชัน ในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์ โดยศึกษาช่วงอุณหภูมิ 180-300 องศาเซลเซียส และทำการศึกษาผลของตัวเร่งปฏิกิริยาเบส 2 ชนิด และ ตัวเร่งปฏิกิริยากรด 2 ชนิด ซึ่งจากผลการทดลองพบว่า ปริมาณน้ำมันที่ได้เยอะที่สุดคือร้อยละ 16.98 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส แบบไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยา และปริมาณน้ำมันที่ได้เยอะที่สุดคือร้อยละ 22.67 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส เมื่อมี KOH เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

Laleh และคณะ [26] ศึกษาการนำไม้ ผสมกับตัวเร่งปฏิกิริยา KOH, $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, K_2CO_3 , MgO, synthetic hydrotalcite (HT) และ ground colemanite นำมาใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตน้ำมันชีวภาพผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชัน ในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์ ภายใต้ อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที จากการทดลองนั้นพบว่า สารที่เติมตัวเร่ง KOH มี ปริมาณของเหลวเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก

Li-Yeh Hsu และคณะ [27] ศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์จากถ่านหินบิทูมินัสด้วยวิธีการ กระตุ้นทางเคมี โดยใช้สารกระตุ้น ดังนี้ ซิงค์คลอไรด์ (ZnCl_2) กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) และ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) พบว่าการกระตุ้นโดยใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นสารกระตุ้น ปริมาณร้อยละผลิตภัณฑ์ที่ได้ลดลงมากกว่าการใช้สารกระตุ้นจากซิงค์คลอไรด์และกรดซัลฟิวริก เนื่องจากขณะกระตุ้นโครงสร้างเกิดการสลายตัวหรือแตกตัว ทำให้เกิดการจัดเรียงโครงสร้างใหม่ที่มีรูพรุนขึ้น โดยเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น รูพรุนก็เพิ่มขึ้นเช่นกัน ทำให้ได้พื้นที่ผิวสูงขึ้น จากกระบวนการกระตุ้น โดยใช้สารกระตุ้นเป็นซิงค์คลอไรด์ กรดซัลฟิวริกและโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ได้พื้นที่ผิวสูงสุดอยู่ที่ 960 770 และ 3300 ตารางเมตรต่อกรัม ตามลำดับ จึงสรุปได้ว่าซิงค์คลอไรด์และกรดซัลฟิวริกนั้น มีสภาพความเป็นกรด จึงไม่เหมาะกับการนำมากระตุ้นกับถ่านหินบิทูมินัส ในขณะที่การใช้ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นสารกระตุ้นที่มีความเป็นเบส พบว่าสามารถทำปฏิกิริยากับโครงสร้างได้ดี ทำให้รูพรุนเพิ่มขึ้น พื้นที่ผิวก็เพิ่มขึ้นเช่นกัน

บทที่ 3

เครื่องมือและวิธีการทดลอง

ในงานวิจัยนี้ศึกษาผลของซาร์ที่ถูกกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์และไอน้ำเพื่อเพิ่มร้อยละผลได้และคุณภาพของน้ำมันดิบชีวภาพจากชานอ้อยโดยไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกชัน

3.1 สารตั้งต้นและสารเคมี

- 3.1.1 ชานอ้อย (bagasse) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 250-425 ไมโครเมตร
- 3.1.2 ซาร์ไม้ไผ่ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 250-425 ไมโครเมตร
- 3.1.3 ซาร์กะลาปาล์ม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 250-425 ไมโครเมตร
- 3.1.4 ถ่านกัมมันต์ (activated carbon) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 250-425 ไมโครเมตร
- 3.1.5 โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) จาก บริษัท QReC New Zealand
- 3.1.6 น้ำปราศจากไอออน (distilled water)
- 3.1.7 แอซิโตน (acetone) เกรด AR
- 3.1.8 ไนโตรเจน ความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.99 จาก บริษัท แพรกซ์แอร์ (ประเทศไทย) จำกัด

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

- 3.2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมชานอ้อย
 - 1) เครื่องบดย่อยชีวมวลชนิดหยาบ
 - 2) เครื่องบดย่อยชีวมวลชนิดละเอียด
 - 3) ตะแกรงร่อนขนาด 250 และ 425 ไมโครเมตร
 - 4) เครื่องเขย่าตะแกรงร่อน
 - 5) ตู้อบ

3.2.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมโพแทสเซียมบนชาร์ก่อนทำการกระตุ้นด้วยไอน้ำ

- 1) เครื่องบดย่อยชีวมวลชนิดละเอียด
- 2) ตะแกรงร่อนขนาด 2 และ 5 มิลลิเมตร
- 3) เครื่องเขย่าตะแกรงร่อน
- 4) หัวสเปร์ย์ฟ็อกกี้
- 5) ปีกเกอร์
- 6) กระบอกลง
- 7) ตู้อบ

3.2.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการกระตุ้นชาร์

3.2.3.1 เครื่องกระตุ้นชาร์ด้วยไอน้ำ ดังรูปที่ 3.1 ใช้สำหรับการกระตุ้นด้วยไอน้ำที่

สภาวะต่างๆ



รูปที่ 3.1 เครื่องกระตุ้นชาร์ด้วยไอน้ำที่ใช้ในงานวิจัย

3.2.3 เครื่องปฏิกรณ์ที่ใช้การทดลอง

3.2.3.1 เครื่องปฏิกรณ์แบบแบตซ์หรือเครื่องปฏิกรณ์แรงดันสูง (high-pressure parr reactor)

เครื่องปฏิกรณ์แบบแบตซ์ ดังแสดงในรูปที่ 3.2 ผลิตโดยบริษัท Parr Instrument Company มีขนาดปริมาตร 250 มิลลิลิตร ตัวเครื่องทำจากเหล็กกล้าไร้สนิม (stainless steel 316) ประกอบด้วย 5 ส่วน คือ ส่วนให้

ความร้อน (heater) อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ (temperature controller) มาตรวัดความดัน (pressure gauge) ระบบหล่อเย็น (cooling system) และอุปกรณ์การกวน โดยตัวเครื่องและอุปกรณ์ประกอบสามารถทำงานที่ อุณหภูมิไม่เกิน 400 องศาเซลเซียส และความดันสูงสุดไม่เกิน 35 เมกะพาสคัล

การทดลองในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์ ประกอบด้วย 7 องค์ประกอบ ดังนี้

- 1) แก๊สไนโตรเจน ความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.99
- 2) กระจกบอกลูก stainless ขนาด 250 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 [28]

3.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์สารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์

3.3.1 เครื่องวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (CHNS/O analyzer)

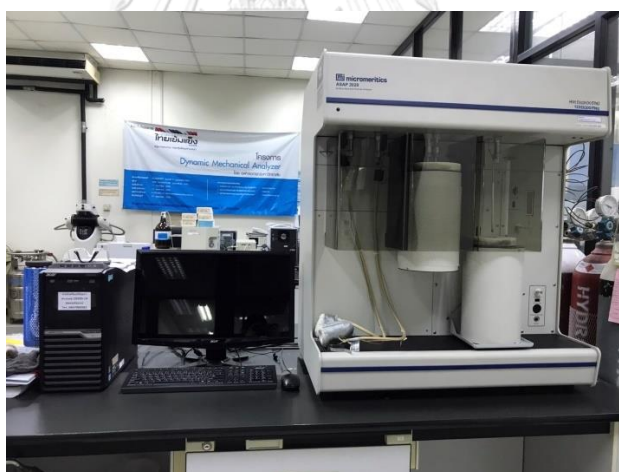
รูปที่ 3.4 แสดงเครื่องวิเคราะห์แบบแยกธาตุ ยี่ห้อ PerkinElmer รุ่น 2400 Series II ใช้ในการวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบคาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน ซัลเฟอร์ และออกซิเจน ในตัวอย่างทั้งชีวมวลที่ใช้เป็นสารตั้งต้น และน้ำมันดิบชีวภาพที่เป็นผลิตภัณฑ์ ผลการวิเคราะห์คิดเป็นร้อยละธาตุองค์ประกอบแต่ละชนิดโดยน้ำหนัก ของชีวมวลหรือน้ำมันดิบชีวภาพที่ใช้ในการวิเคราะห์



รูปที่ 3.4 เครื่องวิเคราะห์แบบแยกธาตุ

3.3.2 เครื่องหาขนาดรูพรุน (chemisorption analyzer) MICROMERITICS- ASAP200

การวิเคราะห์ขนาดของรูพรุนของถ่านชาร์ ด้วยเครื่อง Chemisorption Analyzer (BET) รุ่น ASAP200 ยี่ห้อ Micromeritics แสดงดังในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 เครื่องหาขนาดรูพรุน

3.4 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์

3.4.1 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ

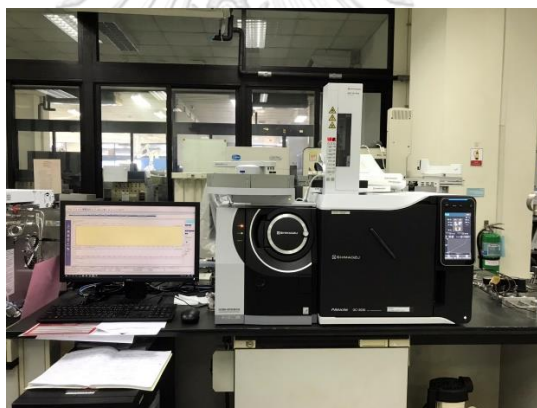
การวิเคราะห์องค์ประกอบและปริมาณของผลิตภัณฑ์แก๊สด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ ยี่ห้อ Shimadzu รุ่น GC 2014 ดังแสดงในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ

3.4.2 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ-แมสสเปกโตรเมตรี

การวิเคราะห์องค์ประกอบของน้ำมันดิบชีวภาพด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ-แมสสเปกโตรเมตรี ยี่ห้อ Shimadzu รุ่น QP- 2020 ดังแสดงในรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ-แมสสเปกโตรเมตรี

3.4.3 เครื่องหาปริมาณโพแทสเซียมในน้ำมันดิบชีวภาพ (atomic absorption spectrometer, AAS)

การวิเคราะห์หาปริมาณโพแทสเซียมในน้ำมันดิบชีวภาพ ด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrometer (AAS) แสดงดังในรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 เครื่องหาปริมาณโพแทสเซียมในน้ำมันดิบชีวภาพ [29]

3.5 ขั้นตอนดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนดำเนินงานวิจัย แบ่งออกเป็น 5 ขั้นตอน ดังนี้

3.5.1 ศึกษาค้นคว้าและรวบรวมข้อมูลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.5.2 เตรียมวัตถุดิบ อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย

3.5.2.1 เตรียมขานอ้อย

โดยนำขานอ้อยไปตากแดดให้แห้งและนำไปบดให้มีขนาด 250 - 425 ไมครอน จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมงเพื่อไล่ความชื้น

3.5.2.2 เตรียมถ่านก่อนนำไปกระตุ้นด้วยไอน้ำ

โดยนำถ่านชาร์ไม่ไฟและชาร์กะลาปาล์มไปบดให้มีขนาด 2 - 5 มิลลิเมตร ปริมาณ 40 กรัม แล้วนำไปพรมด้วยสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ในอัตราส่วน 0, 2.5 และ 5 ร้อยละโดยน้ำหนักของน้ำหนักถ่านที่ใช้ในน้ำกลั่น 28 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมงเพื่อไล่ความชื้น

3.5.3 การกระตุ้นถ่านชาร์

โดยนำถ่านไม่ไฟหรือถ่านกะลาปาล์มที่เตรียมไว้ปริมาณ 40 กรัม แล้วทำการกระตุ้นด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส โดยใช้เตาเผาที่อุณหภูมิ 700, 800 และ 900 องศาเซลเซียส ที่ความดันบรรยากาศ เป็นเวลา 4 ชั่วโมง

3.5.4 การวิเคราะห์สมบัติของชานอ้อยและชาร์แต่ละชนิด

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

3.5.4.2 การวิเคราะห์แบบแยกองค์ประกอบธาตุ ได้แก่ ปริมาณร้อยละของธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน และซัลเฟอร์ โดยใช้เครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบแบบแยกธาตุ ปริมาณร้อยละ 100 หักออกจากผลรวมของธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน และซัลเฟอร์

3.5.5 การผลิตน้ำมันดิบชีวภาพด้วยไฮโดรเทอร์มอลลิควิแฟกชันในเครื่องปฏิกรณ์แบตช์

ทำการทดลองในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์ โดยชั่งชานอ้อย 10 กรัม ผสมกับตัวทำละลาย (น้ำ) โดยใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนักของชีวมวล 1 กรัมต่อตัวทำละลาย 10 มิลลิลิตร ทำการไล่อากาศด้วยการอัดไนโตรเจนและอัดไนโตรเจนเริ่มต้นที่ความดัน 2 เมกะพาสคัล ให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิที่กำหนดระหว่าง 300 ถึง 350 องศาเซลเซียส กำหนดค่าความเร็วรอบใบกวน 300 รอบต่อนาที ให้เวลาทำปฏิกิริยา 60 นาที โดยเริ่มนับเวลาที่อุณหภูมิในเครื่องปฏิกรณ์ถึงค่า เมื่อครบเวลาทำการลดอุณหภูมิภายในเครื่องปฏิกรณ์จนถึงอุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เก็บตัวอย่างผลิตภัณฑ์แก๊สด้วยถุงเก็บแก๊สตัวอย่าง นำส่วนที่ได้จากเครื่องปฏิกรณ์ (ของแข็งและของเหลว) มาทำการกรองด้วยชุดกรองโดยใช้กระดาษกรอง นำส่วนที่เป็นของแข็งด้านบนชะล้างด้วยตัวทำละลายเอซิโตน จากนั้นนำส่วนของแข็งที่ได้ไปทำการอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และนำผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้ทำการระเหยตัวทำละลายออก โดยการใส่เครื่องระเหยแบบหมุน ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ความดัน 250 mbar ความเร็วรอบการหมุน 30 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

3.6 ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง

3.6.1 ชนิดของคาร์บอน (ชาร์จากไม้ไผ่ ชาร์จากกะลาปาล์ม และถ่านกัมมันต์)

3.6.2 อัตราส่วนระหว่างโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์กับชาร์ (0, 2.5 และ 5 ร้อยละโดยน้ำหนัก)

3.6.3 อุณหภูมิที่ใช้ในการกระตุ้นในเตาเผา (700, 800 และ 900 องศาเซลเซียส)

3.6.4 อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา (300, 325 และ 350 องศาเซลเซียส)

3.7 การวิเคราะห์ผลต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์

3.7.1 การคำนวณร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์

$$3.7.1.1 \text{ ค่าร้อยละผลได้ของเชื้อเพลิงเหลวชีวภาพ (\%Liq.)} = (100 \times W_{\text{liq}}) / W_{\text{daf}}$$

$$3.7.1.2 \text{ ค่าร้อยละผลได้ของกากของแข็ง (\%Solid)} = (W_{\text{solid}} - W_{\text{ash}}) \times 100 / W_{\text{daf}}$$

$$3.7.1.3 \text{ ค่าร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์แก๊ส (\%Gas)} = (100 \times W_{\text{gas}}) / W_{\text{daf}}$$

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

ค่าความร้อนของน้ำมันดิบชีวภาพหาได้จากการนำค่าร้อยละของธาตุ คาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจนที่ได้จากการวิเคราะห์แบบแยกองค์ประกอบธาตุ มาแทนลงในสมการของ Dulong [7] ดังแสดงในสมการที่ 3.1

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

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

3.7.3 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

ในงานวิจัยนี้ศึกษาผลของสารที่ถูกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์และไอน้ำ เพื่อเพิ่มร้อยละผลได้และคุณภาพของน้ำมันดิบชีวภาพจากขานอ้อยโดยไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชัน โดยจะนำผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้จากการทดลองนั้นไปทดสอบวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีโดยเทคนิคการวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (CHNS/O analysis) และแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี (GC/MS) ส่วนการวิเคราะห์องค์ประกอบผลิตภัณฑ์แก๊สสามารถวิเคราะห์โดยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (GC) ซึ่งสามารถแบ่งผลการทดลองออกได้ ดังนี้

- (1) การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของสารตั้งต้น
- (2) ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการกระตุ้นสารไม้ไผ่และชาร์กะลาปาล์มด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์และไอน้ำ ต่อร้อยละผลได้ของถ่านชาร์หลังการกระตุ้น
- (3) ผลของสารไม้ไผ่และชาร์กะลาปาล์มที่ถูกกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์และไอน้ำ ต่อร้อยละผลได้ และคุณภาพของน้ำมันดิบชีวภาพจากไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชัน
- (4) ผลของอัตราส่วนระหว่างสารไม้ไผ่หรือชาร์กะลาปาล์ม ต่อโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ที่ถูกระตุ้นด้วยไอน้ำต่อร้อยละผลได้ และคุณภาพของน้ำมันดิบชีวภาพจากไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชัน
- (5) ผลของอุณหภูมิที่ใช้ทำปฏิกิริยาต่อร้อยละผลได้ และคุณภาพของน้ำมันดิบชีวภาพจากไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชัน

4.1 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของสารตั้งต้น

4.1.1 การวิเคราะห์แบบประมาณของขานอ้อย ชาร์ไม้ไผ่ ชาร์กะลาปาล์ม และถ่านกัมมันต์

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการวิเคราะห์แบบประมาณของขานอ้อย ชาร์ไม้ไผ่ ชาร์กะลาปาล์ม และถ่านกัมมันต์ จากการวิเคราะห์พบว่าขานอ้อยมีปริมาณเถ้า (ash) สูงที่สุด คือ ร้อยละ 10.04 โดยน้ำหนัก และปริมาณสารระเหยสูงสุดที่ร้อยละ 70.78 โดยน้ำหนัก ซึ่งมีปริมาณมากกว่า ชาร์ไม้ไผ่ ชาร์กะลาปาล์ม และถ่านกัมมันต์เป็นอย่างมาก เนื่องจากองค์ประกอบหลัก เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินที่แตกต่างกัน โดยขานอ้อยนั้นยังเป็นแค่ชีวมวลที่ไม่ได้ผ่านการคาร์บอนไนซ์ แต่ชาร์ไม้ไผ่ ชาร์

กะลาปาล์ม และถ่านกัมมันต์ นั้นเป็นถ่านที่ได้ผ่านการคาร์บอนไนซ์มาแล้ว เนื่องจากการคาร์บอนไนซ์ ถ่านชาร์นั้น ใช้ความร้อนจากการเผาไหม้ที่สูงกว่าการเผาไหม้สารระเหย จึงส่งผลให้ถ่านชาร์มีปริมาณ สารระเหยที่น้อย แต่มีปริมาณคาร์บอนคงตัวปริมาณสูงถึงร้อยละ 73.20, 72.84 และ 81.14 โดย น้ำหนัก ตามลำดับ จึงทำให้เห็นว่าชานอ้อยมีปริมาณคาร์บอนคงตัวน้อยที่สุดร้อยละ 12.10 โดย น้ำหนัก

ตารางที่ 4.1 การวิเคราะห์แบบประมาณของชานอ้อย ชาร์ไม้ไผ่ ชาร์กะลาปาล์ม และถ่านกัมมันต์

	ชานอ้อย	ชาร์ไม้ไผ่	ชาร์กะลาปาล์ม	ถ่านกัมมันต์ (เกรดการค้า)
การวิเคราะห์แบบประมาณ: proximate analysis (ร้อยละโดยน้ำหนัก)				
ความชื้น (moisture)	7.08	4.00	5.72	1.50
เถ้า (ash)	10.04	1.51	1.29	1.21
สารระเหย (volatile) ^b	70.78	21.29	20.15	16.15
คาร์บอนคงตัว (fixed carbon)	12.10	73.20	72.84	81.14

4.2 ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการกระตุ้นชาร์ไม้ไผ่และชาร์กะลาปาล์มด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ และไอน้ำ ต่อร้อยละผลได้ของถ่านชาร์หลังการกระตุ้น

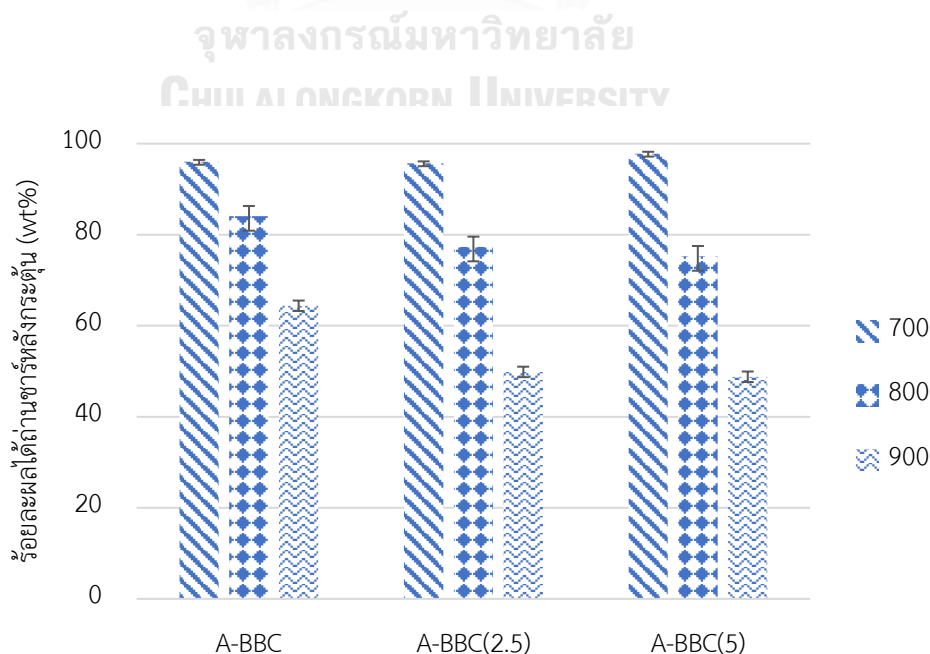
จากรูปที่ 4.1 และ 4.2 แสดงผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการกระตุ้นชาร์ไม้ไผ่และชาร์กะลาปาล์ม ด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์และไอน้ำ ต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ที่เป็นของแข็งหลังการกระตุ้น พบว่าเมื่ออุณหภูมิในการกระตุ้นสูงขึ้น ค่าปริมาณร้อยละผลิตภัณฑ์ที่เป็นของแข็งที่ได้จะลดลง เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิเป็นการเพิ่มปริมาณความร้อนให้สูงขึ้น ทำให้ทาร์และสารระเหยที่ปกคลุม อยู่ที่พื้นผิวและรูพรุนของถ่านชาร์จากระบวนการคาร์บอนไนซ์หลุดออกจากโครงสร้าง ทำให้ไอน้ำ ร้อนยิ่งยวดที่เป็นสารกระตุ้นสามารถแพร่เข้าไปในโครงสร้างถ่านได้มากขึ้น ซึ่งทำให้ถ่านชาร์ถูกเผา ไหม้และบางส่วนจะกลายเป็นเถ้า ปริมาณร้อยละผลิตภัณฑ์ที่เป็นของแข็งที่ได้จึงลดลง [30]

เมื่อผลของอัตราส่วนโดยมวลระหว่างโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (สารกระตุ้น) ต่อถ่านชาร์ที่ใช้ ต่อปริมาณร้อยละผลิตภัณฑ์ที่เป็นของแข็งหลังการกระตุ้น พบว่า เมื่ออัตราส่วนโดยมวลระหว่างสาร กระตุ้นต่อถ่านชาร์เพิ่มขึ้น ปริมาณร้อยละผลิตภัณฑ์ที่เป็นของแข็งหลังการกระตุ้นที่ได้ลดลง เนื่องจาก สารกระตุ้นสามารถแพร่เข้าไปในเนื้อถ่านได้มากขึ้น ทำให้เกิดปฏิกิริยาระหว่างโพแทสเซียมไฮดรอก ไซด์ (สารกระตุ้น) กับอะตอมคาร์บอนได้มากขึ้น ระหว่างการเกิดปฏิกิริยายังพบว่า มีการปลดปล่อย

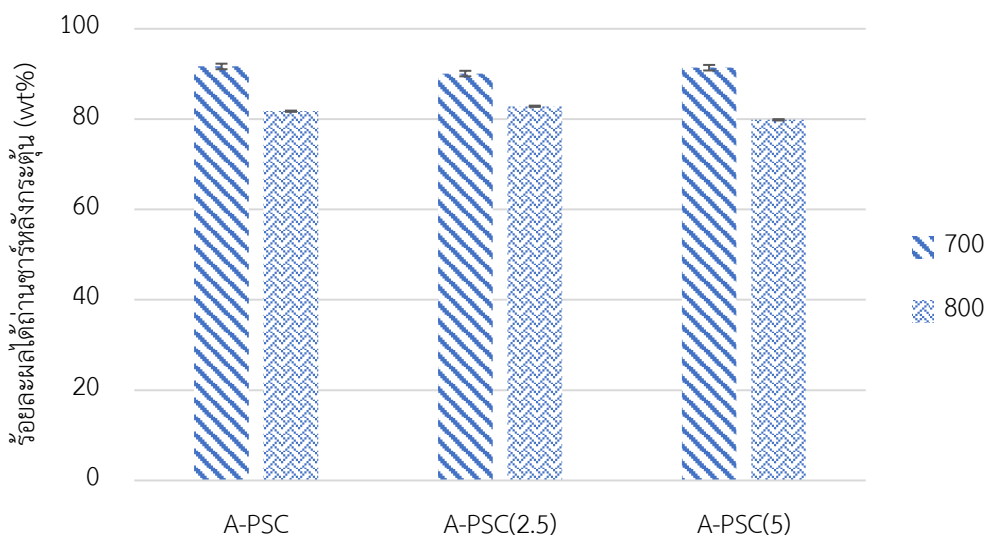
สารต่าง ๆ ออกมาจากโครงสร้างถ่านชาร์ ผลทำให้ถ่านชาร์เกิดการสูญเสียน้ำหนักมากขึ้น ซึ่งการสูญเสียน้ำหนักส่วนใหญ่ของถ่านชาร์ เกิดจากการค่อย ๆ ปลดปล่อยน้ำและไฮโดรเจนออกมา จากการแทนที่ของ -H group ในโครงสร้างถ่านด้วย -OK group นอกจากนี้การปลดปล่อยไฮโดรเจน ยังสามารถเกิดได้จากปฏิกิริยาออกซิเดชันระหว่างถ่านชาร์กับโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ไปเป็น K_2CO_3 และ K_2O [30] ดังสมการที่ 4.1



เมื่อเปรียบเทียบปริมาณร้อยละผลิตภัณฑ์ที่เป็นของแข็งของถ่านกัมมันต์จากชาร์กะลาปาล์ม และชาร์ไม้ไผ่ พบว่าเมื่ออุณหภูมิในการกระตุ้นเพิ่มสูงขึ้น ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากชาร์กะลาปาล์มมีแนวโน้มปริมาณร้อยละผลิตภัณฑ์ที่เป็นของแข็งลดลงน้อยกว่าปริมาณร้อยละผลิตภัณฑ์ที่เป็นของแข็งของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากชาร์ไม้ไผ่ โดยสมบัติทางกายภาพของชาร์กะลาปาล์มที่ผ่านการคาร์บอนไนซ์ พบว่ามีความแข็งและโครงสร้างมีความหนาแน่นมากกว่าชาร์ไม้ไผ่ ซึ่งแสดงถึงการมีอยู่ของปริมาณลิกนินที่มาก ดังนั้นเมื่อนำมากระตุ้น พบว่าไอน้ำร้อนยิ่งยวดที่เป็นสารกระตุ้นจะแพร่เข้าไปในเนื้อถ่านได้ยาก ทำให้เกิดการเผาไหม้ได้น้อยส่งผลให้ปริมาณร้อยละผลิตภัณฑ์ที่เป็นของแข็งลดลงเพียงเล็กน้อย ในขณะที่ชาร์ไม้ไผ่ โครงสร้างมีความหนาแน่นและแข็งน้อยกว่า ทำให้สารกระตุ้นแพร่เข้าไปในเนื้อถ่านได้ง่ายกว่า ส่งผลให้ปริมาณร้อยละผลิตภัณฑ์ที่เป็นของแข็งที่ได้ลดลงมากกว่า



รูปที่ 4.1 ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการกระตุ้นซาร์ไมไฟต์ด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์และไอน้ำ ต่อร้อยละผลได้ของถ่านซาร์หลังการกระตุ้น (A-BBC คือ ถ่านไมไฟต์ที่ถูกกระตุ้นด้วยไอน้ำเพียงอย่างเดียว, A-BBC(2.5) คือ ถ่านไมไฟต์ที่ถูกกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนักและไอน้ำ และ A-BBC(5) คือ ถ่านไมไฟต์ที่ถูกกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 5 โดยน้ำหนักและไอน้ำ)



รูปที่ 4.2 ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการกระตุ้นซาร์กะลาปาล์มด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์และไอน้ำ ต่อร้อยละผลได้ของถ่านซาร์หลังการกระตุ้น (A-PSC คือ ถ่านกะลาปาล์มที่ถูกกระตุ้นด้วยไอน้ำเพียงอย่างเดียว, A-PSC(2.5) คือ ถ่านกะลาปาล์มที่ถูกกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนักและไอน้ำ และ A-PSC(5) คือ ถ่านกะลาปาล์มที่ถูกกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 5 โดยน้ำหนักและไอน้ำ)

4.3 ผลของซาร์ไมไฟต์และซาร์กะลาปาล์มที่ถูกกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์และไอน้ำ ต่อร้อยละผลได้น้ำมันดิบชีวภาพจากไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกชัน

4.3.1 ไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกชันของชานอ้อย ซาร์ไมไฟต์และซาร์กะลาปาล์มที่ถูกกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์และไอน้ำ และถ่านกัมมันต์

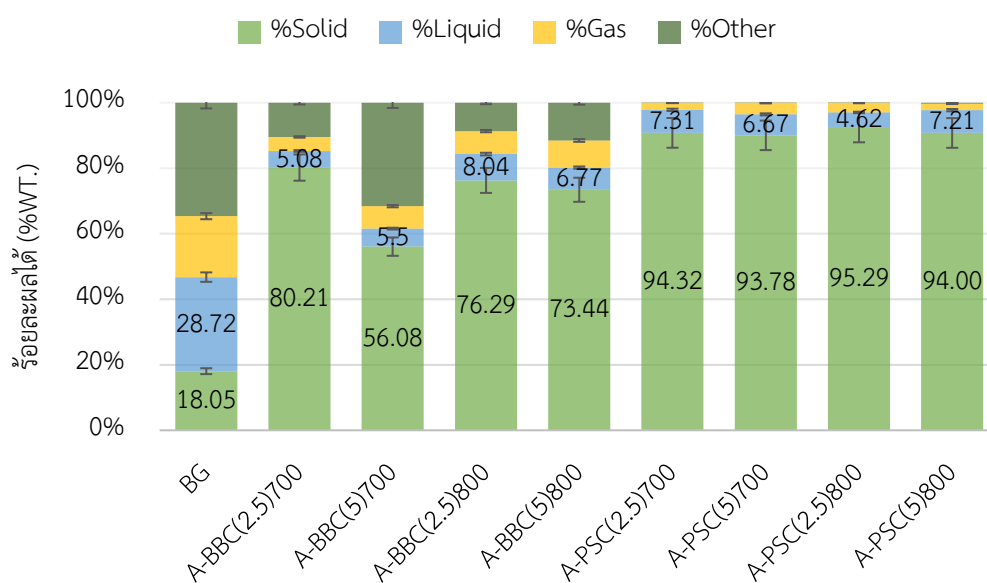
การทดลองการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกชันของชานอ้อย (BG) ซาร์ไมไฟต์ที่ถูกกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์และไอน้ำ (A-BBC) ซาร์กะลาปาล์มที่ถูกกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์และไอน้ำ (A-PSC) และถ่านกัมมันต์ (A-COM) ดำเนินการที่อุณหภูมิ 300 และ 325 องศาเซลเซียส

ในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์ ความดันไนโตรเจนเริ่มต้น 2 เมกะพาสคัล ความเร็วรอบใบกวน 300 รอบต่อนาที และเวลาที่ใช้ในการดำเนินปฏิกิริยา 60 นาที

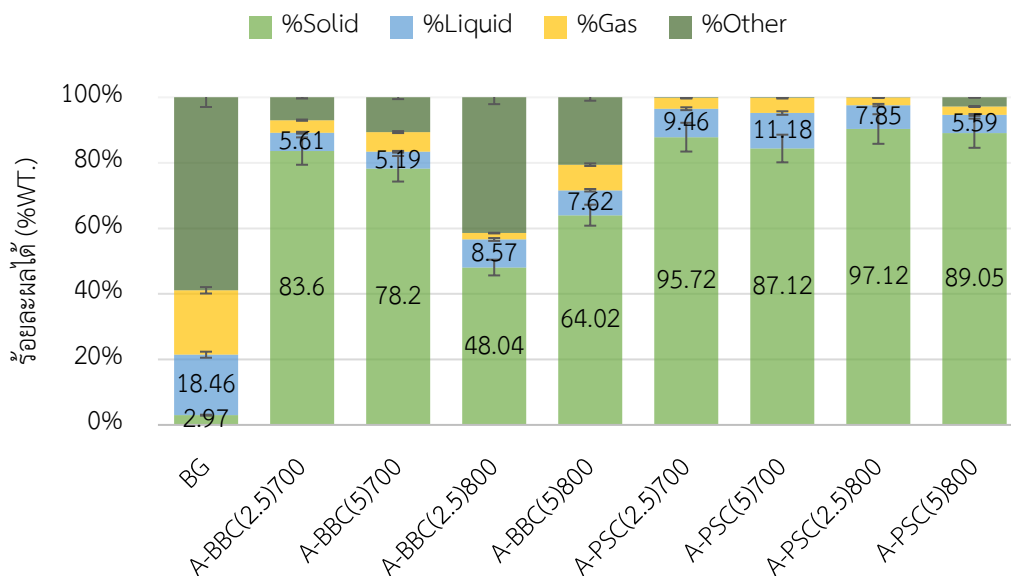
จากการทดลองทำให้ได้ร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพ กากของแข็ง แก๊ส และผลิตภัณฑ์เบาอื่นๆ ดังรูปที่ 4.3 และ 4.4 ที่อุณหภูมิ 300 และ 325 องศาเซลเซียส ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างชานอ้อย ชาร์ไม้ไผ่และชาร์กะลาปาล์มที่ถูกกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์และไอน้ำ และถ่านกัมมันต์ พบว่า ชานอ้อยให้ร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบมากที่สุดถึงร้อยละ 28.72 โดยน้ำหนัก เนื่องจากองค์ประกอบภายในของชานอ้อย ชาร์ไม้ไผ่ ชาร์กะลาปาล์ม มีความแตกต่างกัน โดยจะสังเกตได้จากผลการทดสอบตามตารางที่ 4.1 พบว่าชานอ้อยมีส่วนของปริมาณสารระเหยมากที่สุดถึงร้อยละ 70.78 โดยน้ำหนัก ดังนั้นการสลายตัวทางความร้อนของชานอ้อยจึงสลายตัวได้ง่ายกว่า ชาร์ไม้ไผ่และชาร์กะลาปาล์มที่ถูกกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์และไอน้ำ และจากงานวิจัยก่อนหน้านี้พบว่า จากการทดสอบการสลายตัวทางความร้อนด้วยเทคนิค TG-DTA ของชานอ้อย ทำให้ทราบว่า ชานอ้อยจะเริ่มสลายตัวทางความร้อนที่เรียกว่า การเกิดปฏิกิริยาดีโพลิเมอร์ไรเซชัน (depolymerization) ที่อุณหภูมิ 230-250 องศาเซลเซียส และสลายตัวมากที่สุดที่อุณหภูมิ 320-330 องศาเซลเซียส [31,32] เลยส่งผลให้ชานอ้อยที่ผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลลิควิแฟกชันที่อุณหภูมิ 300 และ 325 องศาเซลเซียส มีปริมาณของน้ำมันดิบชีวภาพ แก๊ส และผลิตภัณฑ์เบาอื่นๆ ที่มากกว่าชาร์ไม้ไผ่และชาร์กะลาปาล์มที่ถูกกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์และไอน้ำ และถ่านกัมมันต์ อย่างชัดเจน แต่ในทางกลับกันชาร์ไม้ไผ่และชาร์กะลาปาล์มที่ถูกกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์และไอน้ำ และถ่านกัมมันต์ จะมีปริมาณกากของแข็งเหลืออยู่จำนวนมาก อันเนื่องมาจากการสลายตัวทางความร้อนของชาร์กะลาปาล์ม และชาร์ไม้ไผ่ นั้นจะเริ่มสลายตัวที่อุณหภูมิสูงกว่า แต่ในการทำการไฮโดรเทอร์มอลลิควิแฟกชันนั้นใช้อุณหภูมิสูงสุดเพียง 325 องศาเซลเซียส จึงทำให้ชาร์ไม้ไผ่และชาร์กะลาปาล์มที่ถูกกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์และไอน้ำ สลายตัวทางความร้อนออกมาเป็นน้ำมันดิบชีวภาพ แก๊ส และอื่นๆ ในปริมาณที่น้อย

เมื่อเปรียบเทียบชาร์ไม้ไผ่และชาร์กะลาปาล์มที่ถูกกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์และไอน้ำ ทำให้พบว่าการสลายตัวทางความร้อนเพื่อเปลี่ยนเป็น น้ำมันดิบชีวภาพ แก๊ส และผลิตภัณฑ์เบาอื่นๆ มีปริมาณที่ใกล้เคียงกันถือว่าไม่แตกต่างกันมาก ทั้งน้ำมันดิบชีวภาพ แก๊ส และผลิตภัณฑ์เบาอื่นๆ อันเนื่องมาจากอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยานั้นยังไม่ถึงช่วงของการสลายตัวทางความร้อนของชาร์ไม้ไผ่และชาร์กะลาปาล์มที่ถูกกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์และไอน้ำ

เมื่อทำการเพิ่มอุณหภูมิจาก 300 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิ 325 องศาเซลเซียส พบว่าชานอ้อย มีปริมาณกากของแข็งลดลงจากร้อยละ 18.05 กลายเป็น 2.97 โดยน้ำหนัก ซึ่งจะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาจะทำให้ปริมาณกากของแข็งลดลง เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยานั้นจะทำให้เกิดการแตกตัวของพันธะเคมีในกากของแข็ง และปฏิกิริยาดีพอลิเมอร์ไรเซชัน (depolymerization) [33] และเมื่อสังเกตปริมาณน้ำมันดิบชีวภาพของชานอ้อย พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาจะทำให้มีปริมาณน้ำมันดิบชีวภาพ ปริมาณแก๊ส และผลิตภัณฑ์เบาอื่น ๆ เพิ่มมากขึ้น เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นทำให้โมเลกุลของน้ำมันดิบชีวภาพที่มีสายโซ่ยาวจะถูกตัดและกลายเป็นโมเลกุลที่เล็กลง [34] จึงทำให้เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาปริมาณ แก๊สและผลิตภัณฑ์เบาอื่น ๆ จะเพิ่มขึ้น ในส่วนที่เป็นผลิตภัณฑ์เบาอื่น ๆ นั้นอาจหมายถึงน้ำมันเบา หรือ สารประกอบต่างๆ ที่อาจหลุดออกมาขณะทำการระเหยตัวทำละลายเพื่อเก็บผลิตภัณฑ์นั่นเอง



รูปที่ 4.3 ร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพ กากของแข็ง แก๊ส และผลิตภัณฑ์เบาอื่น ๆ จากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชันของชานอ้อย ชาร์ไม่ไฟและชาร์กะลาปาล์มที่ถูกกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์และไอน้ำ และถ่านกัมมันต์ ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.4 ร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพ กากของแข็ง แก๊ส และผลิตภัณฑ์เบาอื่นๆ จากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันของของขานอ้อย ชาร์ไม้ไผ่และชาร์กะลาปาล์มที่ถูกกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์และไอน้ำ และถ่านกัมมันต์ ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 325 องศาเซลเซียส

4.3.2 ไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันของขานอ้อย ขานอ้อยผสมชาร์ไม้ไผ่ที่ถูกกระตุ้นที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียสด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 5 โดยน้ำหนักและไอน้ำ และชาร์กะลาปาล์มที่ถูกกระตุ้นที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียสด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 5 โดยน้ำหนักและไอน้ำ

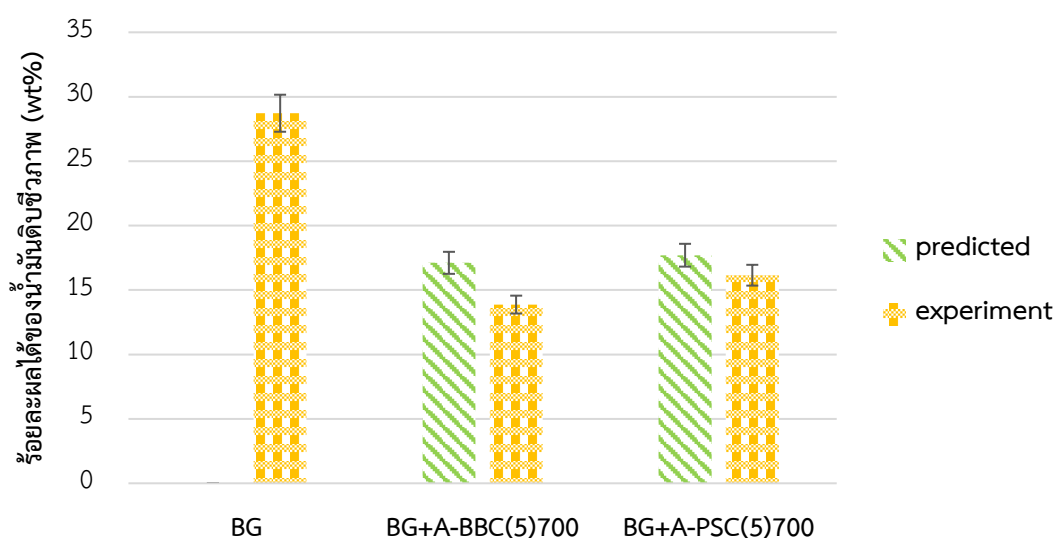
การทดลองการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันของขานอ้อย (BG) ขานอ้อยผสมชาร์ไม้ไผ่ที่ถูกกระตุ้นที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียสด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 5 โดยน้ำหนักและไอน้ำ (BG+A-BBC(5)700) และขานอ้อยผสมชาร์กะลาปาล์มที่ถูกกระตุ้นที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียสด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 5 โดยน้ำหนักและไอน้ำ (BG+A-PSC(5)700) ดำเนินการที่อุณหภูมิ 300 และ 325 องศาเซลเซียส ในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์ ความดันไนโตรเจนเริ่มต้น 2 เมกะพาสคัล ความเร็วรอบใบกวน 300 รอบต่อนาที และเวลาที่ใช้ในการดำเนินปฏิกิริยา 60 นาที

จากการทดลองทำให้ได้ร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพ ดังรูปที่ 4.5 และ 4.6 ที่อุณหภูมิ 300 และ 325 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

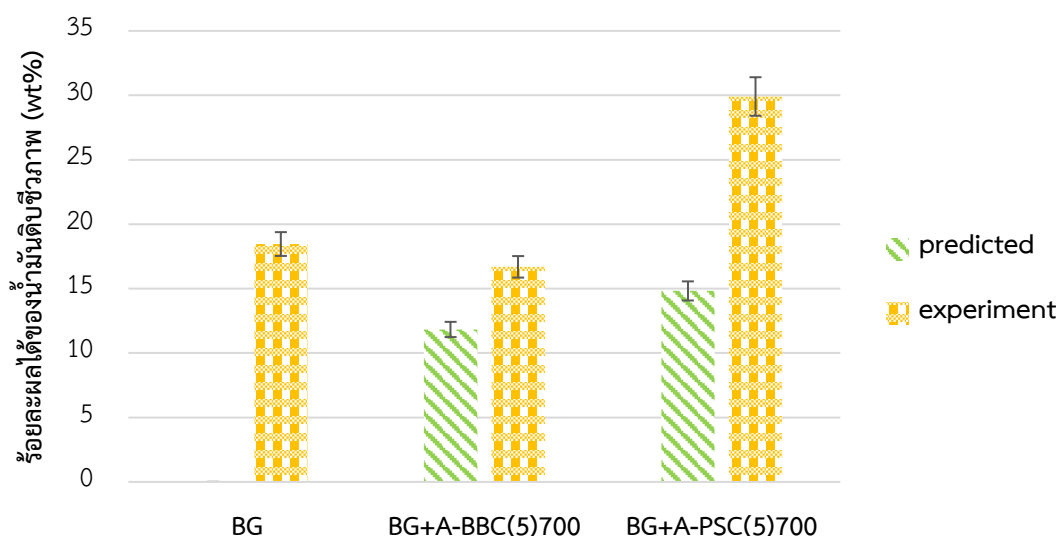
จากรูปที่ 4.5 พบว่า ที่อุณหภูมิทำปฏิกิริยา 300 องศาเซลเซียส เมื่อผสมชาร์ทั้งสองชนิด คือ ชาร์ไม้ไผ่ที่ถูกกระตุ้นที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียสด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 5 โดย

น้ำหนักและไอน้ำ และซาร์กะลาปาล์มที่ถูกกระตุ้นที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียสด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 5 โดยน้ำหนักและไอน้ำ กับชานอ้อย ค่าปริมาณร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพมีค่าน้อยกว่าค่าที่ได้จากการทำนาย เนื่องจาก ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส มีเพียงชานอ้อยที่เกิดการสลายตัวทางตัวทางความร้อนหรือการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน ส่งผลให้ชานอ้อยมีปริมาณน้ำมันชีวภาพที่มากกว่า แต่เมื่อผสมกับซาร์ไมไฟ์ที่ถูกกระตุ้นที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียสด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 5 โดยน้ำหนักและไอน้ำ และซาร์กะลาปาล์มที่ถูกกระตุ้นที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียสด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 5 โดยน้ำหนักและไอน้ำ ที่มีอุณหภูมิการสลายตัวทางความร้อนที่สูงกว่าชานอ้อย ส่งผลให้การสลายตัวทางความร้อนออกมาเป็นน้ำมันดิบชีวภาพน้อยกว่าค่าการทำนาย

และจากรูปที่ 4.6 พบว่า เมื่อเพิ่มอุณหภูมิทำปฏิกิริยาเป็น 325 องศาเซลเซียส การใส่ถ่านซาร์ทั้งสองชนิดลงไปผสมกับชานอ้อย ให้ปริมาณน้ำมันดิบชีวภาพที่มากกว่าการทำนาย เนื่องจากถ่านซาร์มีการสลายตัวทางความร้อนที่มากขึ้น ส่งผลให้ปริมาณน้ำมันดิบชีวภาพมีค่าเพิ่มมากขึ้น



รูปที่ 4.5 ร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพจากการทำไฮโดรเทอร์มอลลิควิแฟกชันของชานอ้อยชานอ้อยผสมซาร์ไมไฟ์ที่ถูกกระตุ้นที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียสด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 5 โดยน้ำหนักและไอน้ำ และซาร์กะลาปาล์มที่ถูกกระตุ้นที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียสด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 5 โดยน้ำหนักและไอน้ำ ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส



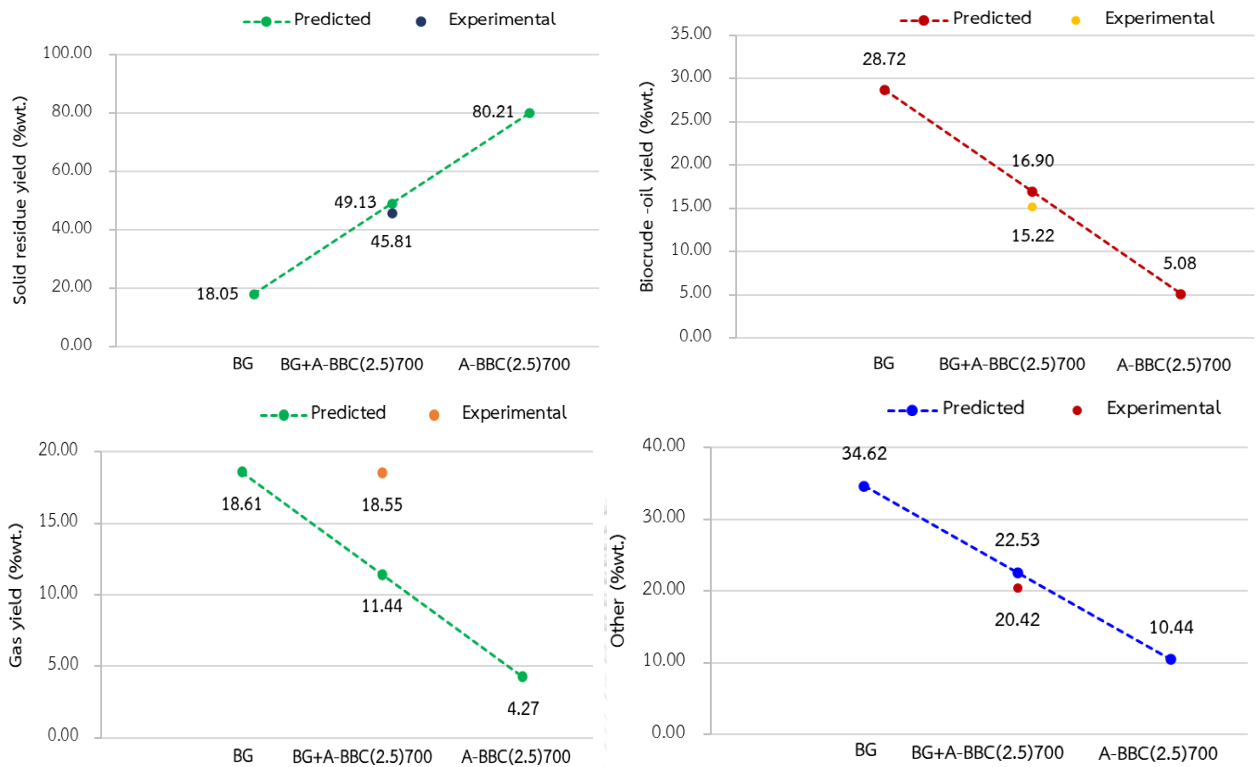
รูปที่ 4.6 ร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพจากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันของของชานอ้อยชานอ้อยผสมขาร์ไม้ไฟที่ถูกกระตุ้นที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียสด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 5 โดยน้ำหนักและไอน้ำ และขาร์กะลาปาล์มที่ถูกกระตุ้นที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียสด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 5 โดยน้ำหนักและไอน้ำ ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 325 องศาเซลเซียส

4.4 ผลของอัตราส่วนระหว่างขาร์ไม้ไฟหรือขาร์กะลาปาล์ม ต่อโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ที่ถูกกระตุ้นด้วยไอน้ำต่อร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพจากไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชัน

4.4.1 ผลของขาร์ไม้ไฟที่ถูกกระตุ้นที่อุณหภูมิ 700 และ 800 องศาเซลเซียส ด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 2.5 และ 5 โดยน้ำหนักและไอน้ำ ต่อร้อยละผลได้จากไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชัน

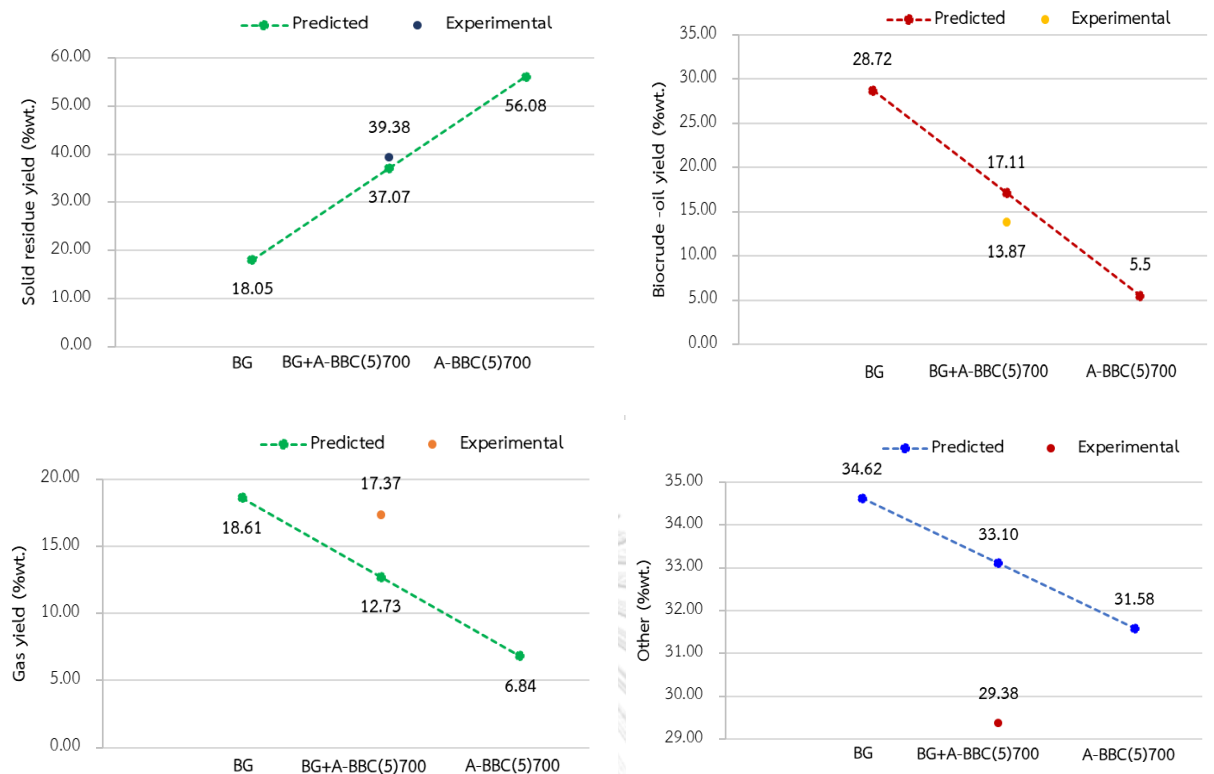
การทดลองการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันของชานอ้อยผสมขาร์ไม้ไฟที่ถูกกระตุ้นที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนักและไอน้ำ (BG + A-BBC(2.5)700), ชานอ้อยผสมขาร์ไม้ไฟที่ถูกกระตุ้นที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 5 โดยน้ำหนักและไอน้ำ (BG + A-BBC(5)700), ชานอ้อยผสมขาร์ไม้ไฟที่ถูกกระตุ้นที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนักและไอน้ำ (BG + A-BBC(2.5)800) และชานอ้อยผสมขาร์ไม้ไฟที่ถูกกระตุ้นที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 5 โดยน้ำหนักและไอน้ำ (BG + A-BBC(5)800) ดำเนินการที่อุณหภูมิ 300 ในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์ ความดันไนโตรเจนเริ่มต้น 2 เมกะพาสคัล

ความเร็วรอบใบกวน 300 รอบต่อนาที และเวลาที่ใช้ในการดำเนินปฏิกิริยา 60 นาที ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.7, 4.8, 4.9 และ 4.10 แสดงร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพ กากของแข็ง แก๊ส และผลิตภัณฑ์เบาอื่น ๆ จากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแพกซ์ของของขานอ้อยผสมขารัไม่ไฟที่ถูกกระตุ้นที่อุณหภูมิ 700 และ 800 องศาเซลเซียส ด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 2.5 และ 5 โดยน้ำหนักและไอน้ำ ในสัดส่วนร้อยละ 0, 50 และ 100 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส พบว่าปริมาณน้ำมันดิบชีวภาพมีปริมาณร้อยละ 15.22, 13.87, 6.43 และ 7.44 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ซึ่งเป็นปริมาณที่น้อยกว่าค่าทำนายในทางเดียวกันกากของแข็งปริมาณร้อยละ 45.81, 39.38, 40.96 และ 42.54 โดยน้ำหนักตามลำดับ เป็นค่าที่น้อยกว่าค่าการทำนาย อันเนื่องมาจากการเติมโพแทสเซียมลงไปบนขารัไม่ไฟ ส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาการสลายตัวของกากของแข็งหรือปฏิกิริยาดีพอลิเมอร์ไรเซชัน (depolymerization) เพิ่มสูงขึ้น จึงทำให้ปริมาณกากของแข็งและน้ำมันดิบชีวภาพน้อยกว่าค่าการทำนาย แต่ในทางเดียวกันที่สามารถเป็นไปได้ นั่น คือ การหลุดออกของโพแทสเซียมในน้ำมันดิบชีวภาพ อันเนื่องมาจากตัวทำละลายที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา คือ น้ำ เมื่อพิจารณาปริมาณแก๊สจะพบว่าแก๊สมีปริมาณที่สูงกว่าค่าการทำนาย เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาเปลี่ยนน้ำเป็นแก๊ส (Water-gas shift) เพราะตัวทำละลายที่ใช้เป็นน้ำและมีตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นโพแทสเซียม [14] จึงส่งผลให้มีปริมาณแก๊สที่สูงกว่าค่าการทำนาย และปริมาณผลิตภัณฑ์เบาอื่น ๆ ต่ำกว่าค่าการทำนาย



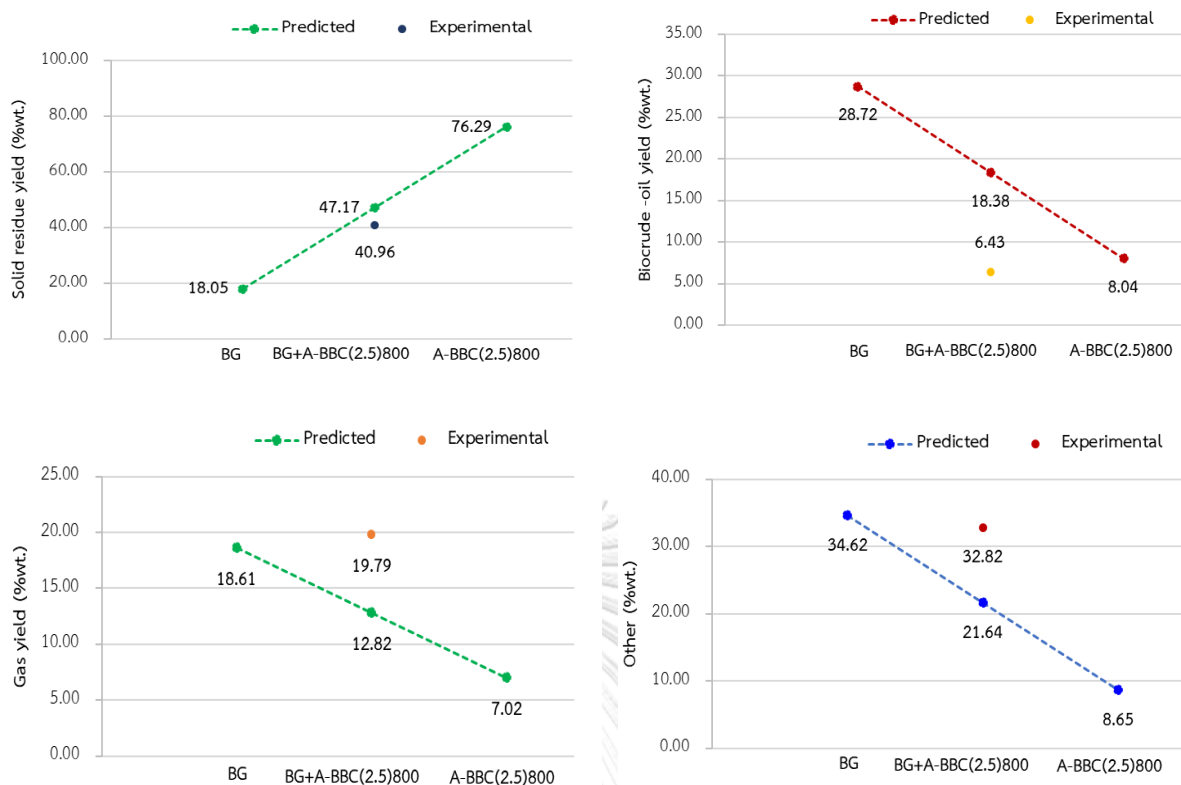
รูปที่ 4.7 ร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพ กากของแข็ง แก๊ส และผลิตภัณฑ์เบาอื่น ๆ จากการทำไฮโดรเทอร์มอลลิควิแฟกชันของของขานอ้อยผสมขาร์ไม้ไฟที่ถูกกระตุ้นที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนักและไอน้ำ ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส

จากรูปที่ 4.7 และ 4.8 ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบระหว่างความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อขาร์ไม้ไฟ พบว่า ขานอ้อยผสมขาร์ไม้ไฟที่ถูกกระตุ้นที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก มีร้อยละโดยปริมาณของน้ำมันดิบชีวภาพที่มากกว่าขานอ้อยผสมขาร์ไม้ไฟที่ถูกกระตุ้นที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก เนื่องมาจากขาร์ไม้ไฟที่ถูกกระตุ้นด้วยความเข้มข้นที่น้อยกว่า อาจเกิดปฏิกิริยาการสลายตัวของกากของแข็งได้มากกว่า จึงส่งผลให้ปริมาณของน้ำมันดิบชีวภาพมีค่ามากขึ้น



รูปที่ 4.8 ร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพ กากของแข็ง แก๊ส และผลิตภัณฑ์เบาอื่น ๆ จากการทำไฮโดรเทอร์มอลลิควิแฟกชันของของซันอ้อยผสมซาร์ไม้ไผ่ที่ถูกกระตุ้นที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 5 โดยน้ำหนักและไอน้ำ ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส

จากรูปที่ 4.7 และ 4.9 ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบระหว่างความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อซาร์ไม้ไผ่ พบว่า ซันอ้อยผสมซาร์ไม้ไผ่ที่ถูกกระตุ้นที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก มีร้อยละโดยปริมาณของน้ำมันดิบชีวภาพที่มากกว่าซันอ้อยผสมซาร์ไม้ไผ่ที่ถูกกระตุ้นที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก เนื่องจากซาร์ไม้ไผ่ที่ถูกกระตุ้นด้วยความอุณหภูมิที่น้อยกว่า ตัวถ่านซาร์อาจทำให้เกิดปฏิกิริยาการสลายตัวของกากของแข็งได้มากกว่า จึงส่งผลให้ปริมาณของน้ำมันดิบชีวภาพมีค่ามากขึ้น

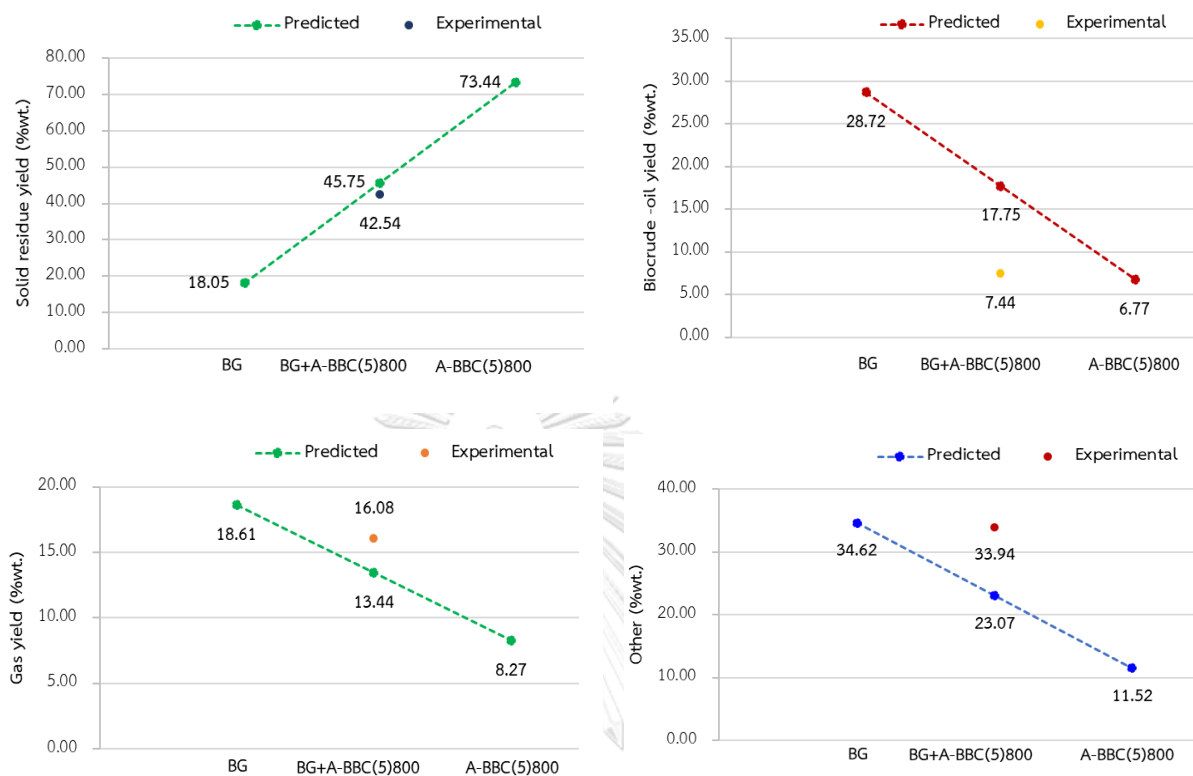


รูปที่ 4.9 ร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพ กากของแข็ง แก๊ส และผลิตภัณฑ์เบาอื่น ๆ จากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิกวิพากซ์ชันของชานอ้อยผสมขาร์ไม้ไผ่ที่ถูกกระตุ้นที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนักและไอน้ำ ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส

จากรูปที่ 4.8 และ 4.10 เมื่อเปรียบเทียบระหว่างความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อขาร์ไม้ไผ่ พบว่า ชานอ้อยผสมขาร์ไม้ไผ่ที่ถูกกระตุ้นที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก มีร้อยละโดยปริมาตรของน้ำมันดิบชีวภาพที่มากกว่าชานอ้อยผสมขาร์ไม้ไผ่ที่ถูกกระตุ้นที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก เนื่องมาจากขาร์ไม้ไผ่ที่ถูกกระตุ้นด้วยความอุณหภูมิที่น้อยกว่า ตัวถ่านชาร์อาจทำให้เกิดปฏิกิริยาการสลายตัวของกากของแข็งได้น้อยกว่า จึงส่งผลให้ปริมาณของน้ำมันดิบชีวภาพมีค่ามากขึ้น

และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างชานอ้อยที่ผสมถ่านชาร์ไม้ไผ่ที่ถูกกระตุ้นด้วยอุณหภูมิ 700 และ 800 องศาเซลเซียส ด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์และไอน้ำ พบว่า ถ่านชาร์ไม้ไผ่ที่ถูกกระตุ้นด้วยอุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียสให้ปริมาณร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบที่มากกว่า อาจเนื่องมาจากถ่านชาร์

ไม้ไผ่ที่ถูกกระตุ้นด้วยอุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมในการกระตุ้นซาร์ไมไฟต์ เมื่อนำมาใช้ในกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชันทำให้เกิดปฏิกิริยาได้ดีกว่า



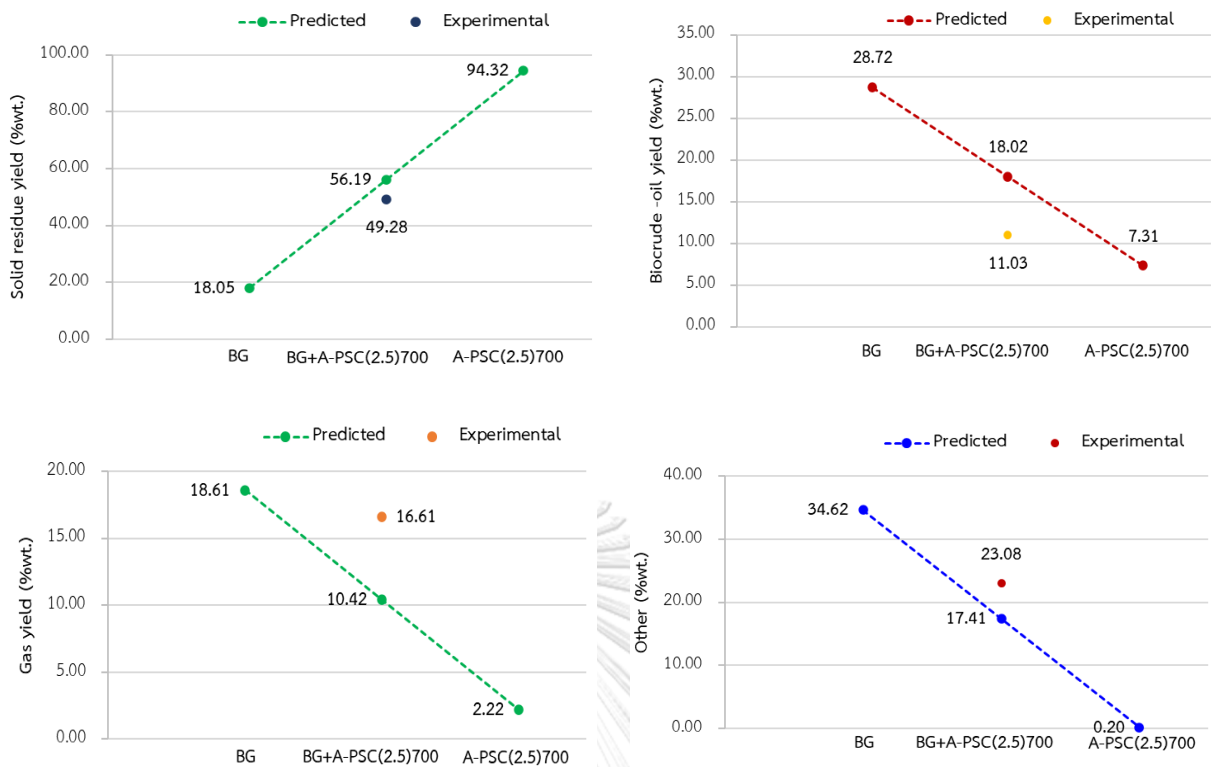
รูปที่ 4.10 ร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพ กากของแข็ง แก๊ส และผลิตภัณฑ์เบาอื่น ๆ จากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชันของซาร์ไมไฟต์ที่ถูกกระตุ้นที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 5 โดยน้ำหนักและไอน้ำ ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส

CHULALONGKORN UNIVERSITY

4.4.2 ผลของซาร์ไมไฟต์ที่ถูกกระตุ้นที่อุณหภูมิ 700 และ 800 องศาเซลเซียส ด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 2.5 และ 5 โดยน้ำหนักและไอน้ำ ต่อร้อยละผลได้จากไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชัน

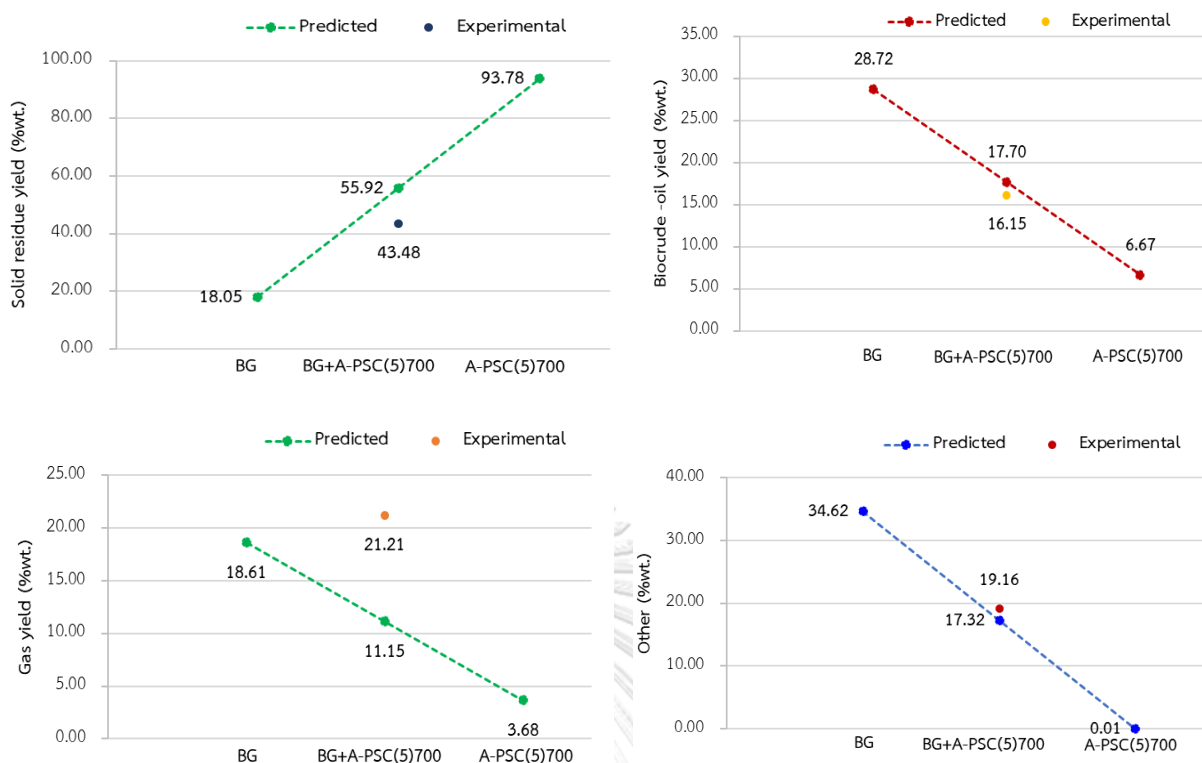
การทดลองการทำไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชันของซาร์ไมไฟต์กะลาปาล์มที่ถูกกระตุ้นที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนักและไอน้ำ (BG + A-PSC(2.5)700), ซาร์ไมไฟต์กะลาปาล์มที่ถูกกระตุ้นที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 5 โดยน้ำหนักและไอน้ำ (BG + A-PSC(5)700), ซาร์ไมไฟต์กะลาปาล์มที่ถูกกระตุ้นที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนักและไอน้ำ (BG + A-PSC(2.5)800) และซาร์ไมไฟต์กะลาปาล์มที่ถูกกระตุ้นที่อุณหภูมิ

800 องศาเซลเซียส ด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 5 โดยน้ำหนักและไอน้ำ (BG + A-PSC(5)800) ดำเนินการที่อุณหภูมิ 300 ในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์ ความดันไนโตรเจนเริ่มต้น 2 เมกะพาสคัล ความเร็วรอบใบกวน 300 รอบต่อนาที และเวลาที่ใช้ในการดำเนินปฏิกิริยา 60 นาที ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.11, 4.12, 4.13 และ 4.14 แสดงร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพ กากของแข็ง แก๊ส และผลิตภัณฑ์เบาอื่น ๆ จากการทำไฮโดรเทอร์มอลลิควิแฟกชันของของชานอ้อยผสมซาร์กะลาปาล์มที่ถูกกระตุ้นที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนักและไอน้ำ ในสัดส่วนร้อยละ 0, 50 และ 100 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส พบว่าปริมาณน้ำมันดิบชีวภาพมีปริมาณร้อยละ 11.03, 16.15, 19.45 และ 26.16 โดยน้ำหนักตามน้ำหนัก ซึ่ง BG + A-PSC(2.5)700 และ BG + A-PSC(5)700 มีปริมาณน้ำมันดิบชีวภาพที่น้อยกว่าการทำนาย แต่ BG + A-PSC(2.5)800 และ BG + A-PSC(5)800 มีค่าปริมาณน้ำมันดิบชีวภาพที่มากกว่าการทำนาย อาจเป็นผลมาจากโพแทสเซียมอยู่หมู่แอลคาไลน์ (1A) ที่มีสมบัติละลายน้ำได้ดี ดังนั้นเมื่อนำไปผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลลิควิแฟกชันที่ใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย ด้วยเหตุผลนี้จึงเป็นไปได้ว่าปริมาณโพแทสเซียมที่ติดอยู่จะหลุดลงมาเจือปนกับน้ำมันดิบชีวภาพทำให้ในส่วนของน้ำมันดิบชีวภาพมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้น ในทางเดียวกันกากของแข็งปริมาณร้อยละ 49.28, 43.48, 51.56 และ 47.80 โดยน้ำหนักตามลำดับ เป็นค่าที่น้อยกว่าค่าการทำนาย อันเนื่องมาจากการเติมโพแทสเซียมลงไปบนซาร์กะลาปาล์ม ส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาการสลายตัวของกากของแข็งหรือปฏิกิริยาดีพอลิเมอไรเซชัน (depolymerization) เพิ่มสูงมากขึ้น จึงทำให้ปริมาณกากของแข็งและน้ำมันดิบชีวภาพบางตัวน้อยกว่าค่าการทำนาย แต่ในทางเดียวกันที่สามารถเป็นไปได้นั้น คือ การหลุดออกของโพแทสเซียมในน้ำมันดิบชีวภาพ อันเนื่องมาจากตัวทำละลายที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา คือ น้ำ เมื่อพิจารณาปริมาณแก๊สจะพบว่าแก๊สมีปริมาณที่สูงกว่าค่าการทำนาย เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาเปลี่ยนน้ำเป็นแก๊ส (Water-gas shift) เพราะตัวทำละลายที่ใช้เป็นน้ำและมีตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นโพแทสเซียม [14] จึงส่งผลให้มีปริมาณแก๊สที่สูงกว่าค่าการทำนาย และปริมาณผลิตภัณฑ์เบาอื่น ๆ ต่ำกว่าค่าการทำนาย



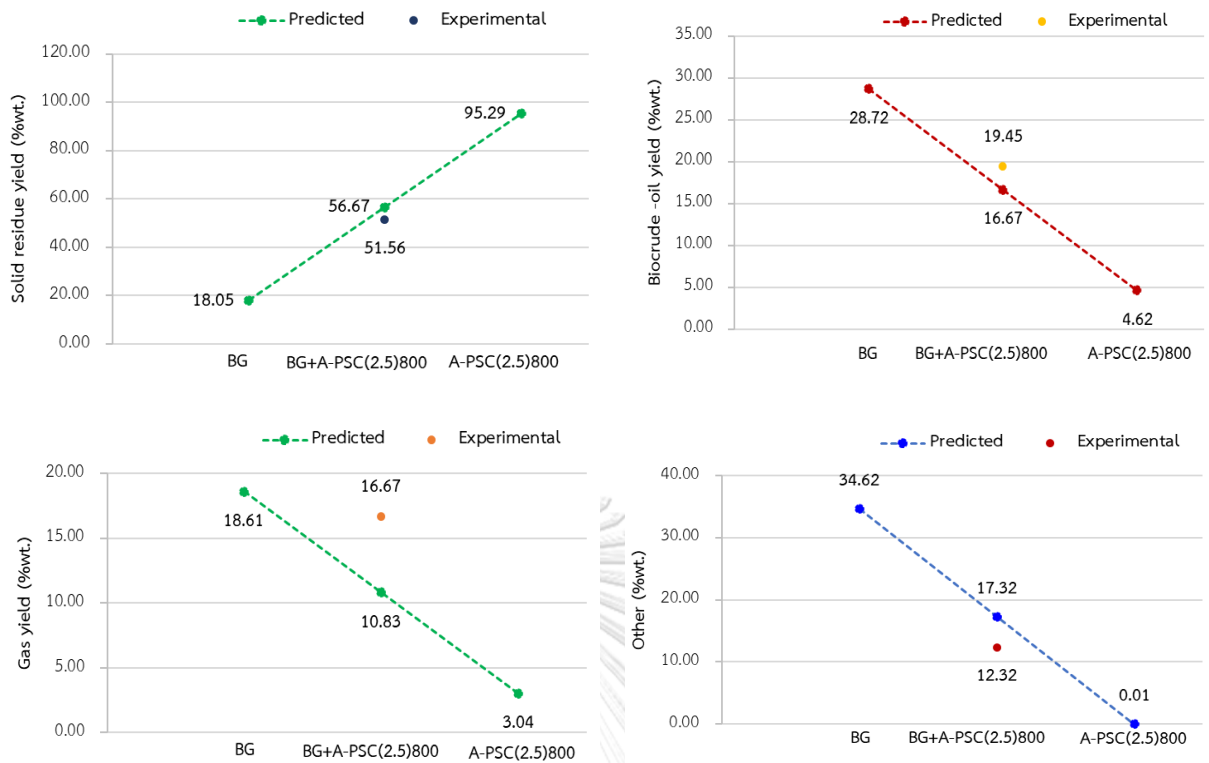
รูปที่ 4.11 ร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพ กากของแข็ง แก๊ส และผลิตภัณฑ์เบาอื่น ๆ จากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกซ์ของของขงานอ้อยผสมซาร์กะลาปาล์มที่ถูกกระตุ้นที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนักและไอน้ำ ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส

จากรูปที่ 4.11 และ 4.12 ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบระหว่างความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อซาร์กะลาปาล์ม พบว่า ขานอ้อยผสมซาร์กะลาปาล์มที่ถูกกระตุ้นที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก มีร้อยละโดยปริมาตรของน้ำมันดิบชีวภาพที่มากกว่าขานอ้อยผสมซาร์กะลาปาล์มที่ถูกกระตุ้นที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก เนื่องมาจากซาร์กะลาปาล์มที่ถูกกระตุ้นด้วยความเข้มข้นที่น้อยกว่า อาจเกิดปฏิกิริยาการสลายตัวของกากของแข็งได้น้อยกว่า จึงส่งผลให้ปริมาณของน้ำมันดิบชีวภาพมีค่ามากขึ้น



รูปที่ 4.12 ร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพ กากของแข็ง แก๊ส และผลิตภัณฑ์เบาอื่น ๆ จากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันของของขานอ้อยผสมซาร์กะลาปาล์มที่ถูกกระตุ้นที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 5 โดยน้ำหนักและไอน้ำ ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส

จากรูปที่ 4.11 และ 4.13 ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบระหว่างความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อซาร์กะลาปาล์ม พบว่า ขานอ้อยผสมซาร์กะลาปาล์มที่ถูกกระตุ้นที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก มีร้อยละโดยปริมาตรของน้ำมันดิบชีวภาพที่น้อยกว่าขานอ้อยผสมซาร์กะลาปาล์มที่ถูกกระตุ้นที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก เนื่องจากซาร์กะลาปาล์มที่ถูกกระตุ้นด้วยความอุณหภูมิที่มากกว่า ตัวถ่านซาร์อาจทำให้เกิดปฏิกิริยาการสลายตัวของกากของแข็งได้มากกว่า จึงส่งผลให้ปริมาณของน้ำมันดิบชีวภาพมีค่ามากขึ้น

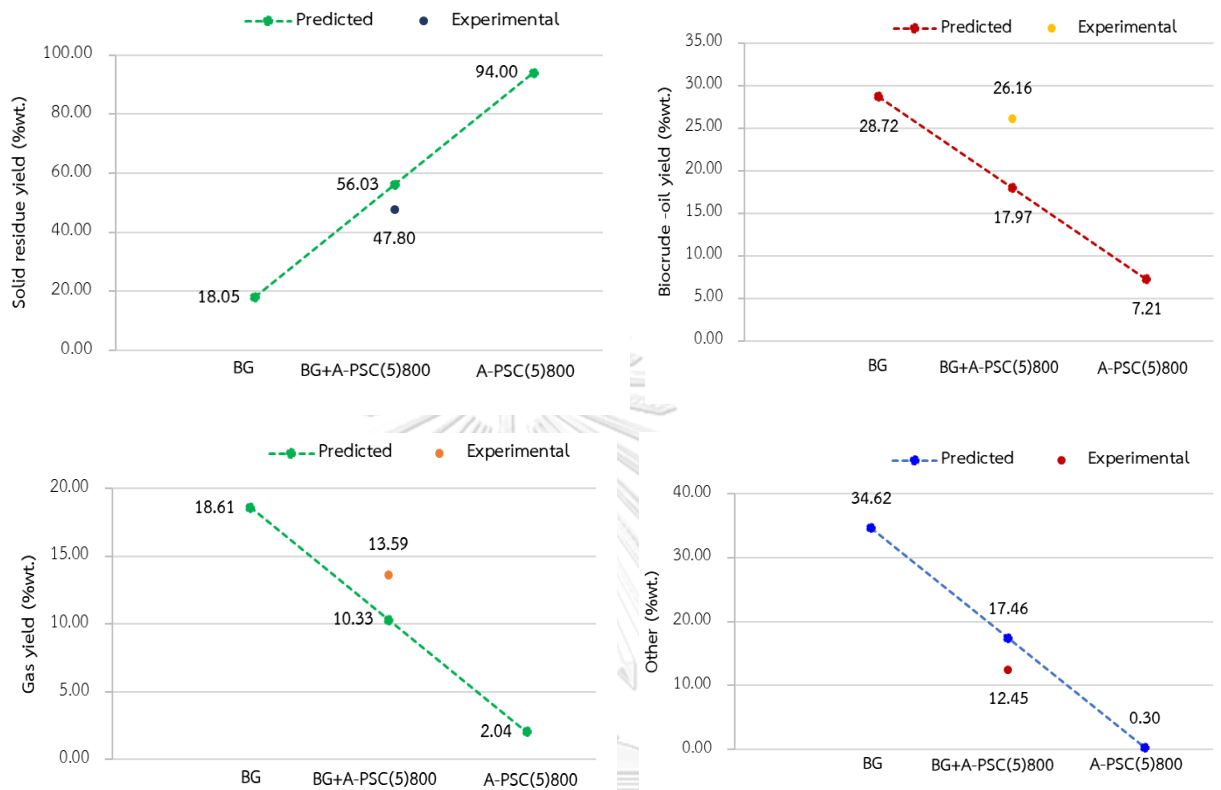


รูปที่ 4.13 ร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพ กากของแข็ง แก๊ส และผลิตภัณฑ์เบาอื่น ๆ จากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันของของขานอ้อยผสมซาร์กะลาปาล์มที่ถูกกระตุ้นที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนักและไอน้ำ ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส

จากรูปที่ 4.12 และ 4.14 เมื่อเปรียบเทียบระหว่างความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อซาร์กะลาปาล์ม พบว่า ขานอ้อยผสมซาร์กะลาปาล์มที่ถูกกระตุ้นที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก มีร้อยละโดยปริมาตรของน้ำมันดิบชีวภาพที่น้อยกว่าขานอ้อยผสมซาร์กะลาปาล์มที่ถูกกระตุ้นที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก เนื่องจากซาร์กะลาปาล์มที่ถูกกระตุ้นด้วยความอุณหภูมิที่มากกว่า ตัวถ่านซาร์อาจทำให้เกิดปฏิกิริยาการสลายตัวของกากของแข็งได้มากกว่า จึงส่งผลให้ปริมาณของน้ำมันดิบชีวภาพมีค่ามากขึ้น

และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างขานอ้อยที่ผสมถ่านซาร์กะลาปาล์มที่ถูกกระตุ้นด้วยอุณหภูมิ 700 และ 800 องศาเซลเซียส ด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์และไอน้ำ พบว่า ถ่านซาร์กะลาปาล์มที่ถูกกระตุ้นด้วยอุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียสให้ปริมาณร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบที่มากกว่า อาจ

เนื่องจากถ่านซาร์กะลาปาล์มที่ถูกกระตุ้นด้วยอุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมในการกระตุ้นซาร์กะลาปาล์ม เมื่อนำมาใช้ในกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชันทำให้เกิดปฏิกิริยาได้ดีกว่า



รูปที่ 4.14 ร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพ กากของแข็ง แก๊ส และผลิตภัณฑ์เบาอื่น ๆ จากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชันของของขานอ้อยผสมซาร์กะลาปาล์มที่ถูกกระตุ้นที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 5 โดยน้ำหนักและไอน้ำ ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส

4.5 ผลของซาร์ไม้ไฟที่ถูกกระตุ้นด้วยไอน้ำและโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 5 โดยน้ำหนักที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ต่อคุณภาพของน้ำมันดิบชีวภาพจากไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชัน

เมื่อพิจารณาสมบัติของน้ำมันดิบชีวภาพ จากการแยกธาตุของน้ำมันดิบชีวภาพที่ได้จากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชันของขานอ้อย (BG) กับขานอ้อยผสมซาร์ไม้ไฟที่ถูกกระตุ้นด้วยไอน้ำและโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 5 โดยน้ำหนักที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส (BG+A-BBC(5)700) ดำเนินที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ดังแสดงในตารางที่ 4.2 พบว่าเมื่อเปรียบเทียบระหว่างขานอ้อยกับขานอ้อยผสมซาร์ไม้ไฟที่ถูกกระตุ้นด้วยไอน้ำและโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 5 โดย

น้ำหนักที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ลงไปร่วมทำปฏิกิริยา พบว่าปริมาณธาตุคาร์บอนจะมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นเมื่อผสมกับซาร์ไมไฟต์ที่ถูกกระตุ้นด้วยไอน้ำและโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 5 โดยน้ำหนักที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส โดยเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 59.91 เป็น 62.88 โดยน้ำหนักในทางกลับกันปริมาณออกซิเจนลดลง จากร้อยละ 31.88 เป็น 27.91 โดยน้ำหนัก เนื่องจากซาร์ไมไฟต์เข้าไปทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา deoxygenation [35] ทำให้ปริมาณออกซิเจนลดลง และคุณภาพของน้ำมันดีขึ้น ค่าความร้อนเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 23.49 เป็นร้อยละ 26.05 เมกะจูลต่อกิโลกรัม

ตารางที่ 4.2 การวิเคราะห์แบบแยกธาตุของน้ำมันดิบชีวภาพที่ได้จากการไฮโดรเทอร์มอลลิควิแฟกชันของซาร์ไมไฟต์กับซาร์ไมไฟต์ที่ถูกกระตุ้นด้วยไอน้ำและโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 5 โดยน้ำหนักที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส

	BG at 300 °C	BG+A-BBC(5)700 at 300 °C
การวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (ร้อยละโดยน้ำหนัก) ^a		
คาร์บอน (C)	59.91	62.88
ไฮโดรเจน (H)	6.22	6.80
ออกซิเจน (O) ^b	31.88	27.91
ไนโตรเจน (N)	1.02	1.40
ซัลเฟอร์ (S)	0.99	1.03
อัตราส่วนของต่าง ๆ ของธาตุที่พบในน้ำมันดิบชีวภาพ		
อัตราส่วนไฮโดรเจนต่อคาร์บอน (H/C) (โดยโมล)	0.10	0.11
อัตราส่วนออกซิเจนต่อคาร์บอน (O/C) (โดยโมล)	0.53	0.44
ค่าความร้อน (เมกะจูลต่อกิโลกรัม) ^c	23.49	26.05

^aร้อยละโดยน้ำหนักที่ไม่รวมความชื้นและเถ้า

^b100 - ผลรวมของปริมาณธาตุแต่ละชนิด

^cคำนวณจากสมการ Dulong's equation

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

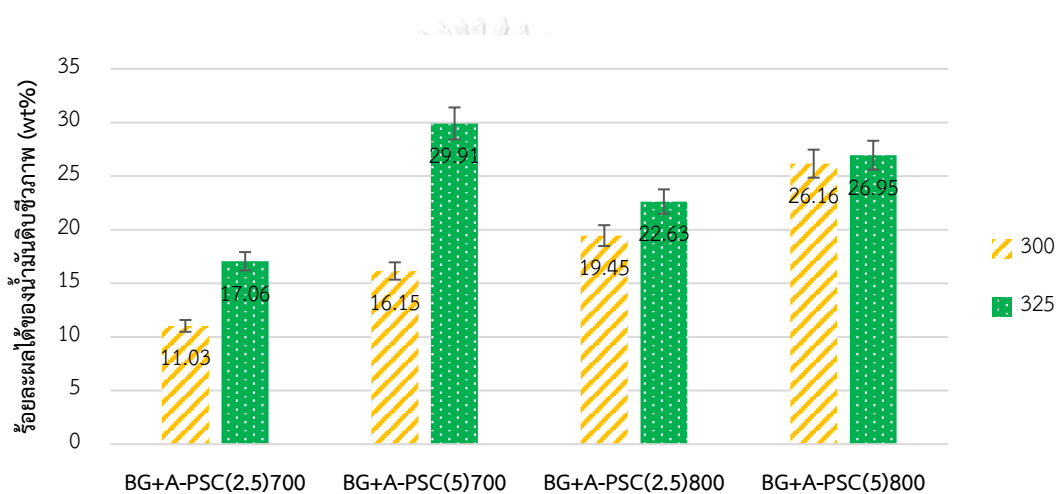
4.6 ผลของอุณหภูมิที่ใช้ทำปฏิกิริยาต่อร้อยละผลได้ และคุณภาพของน้ำมันดิบชีวภาพจากไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแพกซ์

จากการทดลองการไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแพกซ์ดังรูปภาพที่ 4.15 ที่แสดงร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพ กากของแข็ง แก๊ส และผลิตภัณฑ์เบาอื่น ๆ จากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแพกซ์ของชานอ้อย ชานอ้อยผสมชาร์ไม้ไผ่และชาร์กะลาปาล์มที่กระตุ้นที่อุณหภูมิ 700 และ 800 องศาเซลเซียส ด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 2.5 และ 5 โดยน้ำหนักและไอน้ำ ที่อุณหภูมิ 300 และ 325 องศาเซลเซียส พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้นจะพบว่าปริมาณกากของแข็งและปริมาณน้ำมันดิบชีวภาพของชานอ้อย และชานอ้อยผสมถ่านกัมมันต์มีปริมาณลดลง และปริมาณแก๊ส และผลิตภัณฑ์เบาอื่น ๆ มีปริมาณเพิ่มสูงขึ้น อันเนื่องมาจากการเพิ่มอุณหภูมิจาก 300 เป็น 325 องศาเซลเซียส นั้นเป็นอุณหภูมิที่ ชานอ้อย สลายตัวได้มากที่สุดที่ 320-330 องศาเซลเซียส จากทดสอบ TG-DTA ของงานวิจัยก่อนหน้านี้ [31,32] เลยทำให้มีปริมาณกากของแข็งลดลงเมื่อทำการเพิ่มอุณหภูมิแต่ในทางเดียวกันปริมาณน้ำมันดิบชีวภาพลดลงเพราะเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นส่งผลให้น้ำมันดิบชีวภาพเกิดปฏิกิริยาดีพอลิเมอร์ไรเซชัน (depolymerization) หรือเกิดการตัดของสายโซ่ยาวที่ทำให้ปริมาณน้ำมันดิบชีวภาพลดลงและปริมาณแก๊ส และผลิตภัณฑ์เบาอื่น ๆ เพิ่มสูงขึ้น [17]

และพบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้นปริมาณน้ำมันดิบชีวภาพของชานอ้อยผสมชาร์ไม้ไผ่และชาร์กะลาปาล์มที่กระตุ้นที่อุณหภูมิ 700 และ 800 องศาเซลเซียส ด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 2.5 และ 5 โดยน้ำหนักและไอน้ำ มีปริมาณมากขึ้น เนื่องมาจากการสลายตัวของชาร์กะลาปาล์ม และชาร์ไม้ไผ่ จะเริ่มมีการสลายตัวทางความร้อนที่อุณหภูมิสูงกว่าชานอ้อย และมีการสลายตัวสูงสุดที่อุณหภูมิ 480 และ 430 องศาเซลเซียส ตามลำดับ [36] เนื่องจากชาร์ทั้ง 2 ชนิดมีปริมาณคาร์บอนคงตัวอยู่เป็นปริมาณมากกว่าชานอ้อยดังตารางที่ 4.1 โดยปริมาณคาร์บอนเหล่านั้นได้รวมตัวกันอยู่ในรูปร่างของ Aromatic ที่มีความสามารถในการทนต่อการสลายตัวความร้อนที่สูง ดังนั้นชาร์ทั้ง 2 ชนิดจึงมีอุณหภูมิในการสลายตัวทางความร้อนที่สูงกว่า จึงส่งผลให้เมื่อเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้นชาร์กะลาปาล์ม และชาร์ไม้ไผ่ ทำปฏิกิริยาได้ดียิ่งขึ้น เกิดปฏิกิริยาการสลายตัวของกากของแข็งหรือปฏิกิริยาดีพอลิเมอร์ไรเซชัน (depolymerization) เพิ่มสูงมากขึ้น ทำให้ปริมาณน้ำมันดิบชีวภาพเพิ่มสูงมากขึ้น

ซึ่งชานอ้อยผสมชาร์กะลาปาล์มที่ถูกกระตุ้นที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 5 โดยน้ำหนักและไอน้ำ ที่ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 325 องศาเซลเซียส ให้ปริมาณร้อยละของน้ำมันดิบชีวภาพสูงสุดถึงร้อยละ 29.91 โดยน้ำหนัก อาจเป็นผลมาจากโพแทสเซียมอยู่หมู่แอลคาไลน์ (1A) ที่มีสมบัติละลายน้ำได้ดีดังนั้นเมื่อนำไปผ่านกระบวนการไฮโดร

เทอร์มัลลิกวิแพกซ์ที่ใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย ด้วยเหตุผลนี้จึงเป็นไปได้ว่าปริมาณโพแทสเซียมที่ติดอยู่ จะหลุดลงมาเจือปนกับน้ำมันดิบชีวภาพทำให้ในส่วนของน้ำมันดิบชีวภาพมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้น ด้วยเหตุนี้จึงทำให้มีการศึกษาเพิ่มเติมในการหาปริมาณโพแทสเซียมในน้ำมันดิบชีวภาพดังตารางที่ 4.3 พบว่าโพแทสเซียมใน ชาร์กอะลาปาล์มที่ถูกกระตุ้นที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 5 โดยน้ำหนักและไอน้ำ และชานอ้อยผสมชาร์กอะลาปาล์มที่ถูกกระตุ้นที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 5 โดยน้ำหนักและไอน้ำ หลุดออกมาเป็นส่วนหนึ่งของน้ำมันดิบชีวภาพ



รูปที่ 4.15 ร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพ กากของแข็ง แก๊ส และผลิตภัณฑ์เบาอื่น ๆ จากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแพกซ์ของชานอ้อย ชานอ้อยผสมชาร์กอะลาปาล์มที่กระตุ้นที่อุณหภูมิ 700 และ 800 องศาเซลเซียส ด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 2.5 และ 5 โดยน้ำหนัก และไอน้ำ ที่อุณหภูมิ 300 และ 325 องศาเซลเซียส

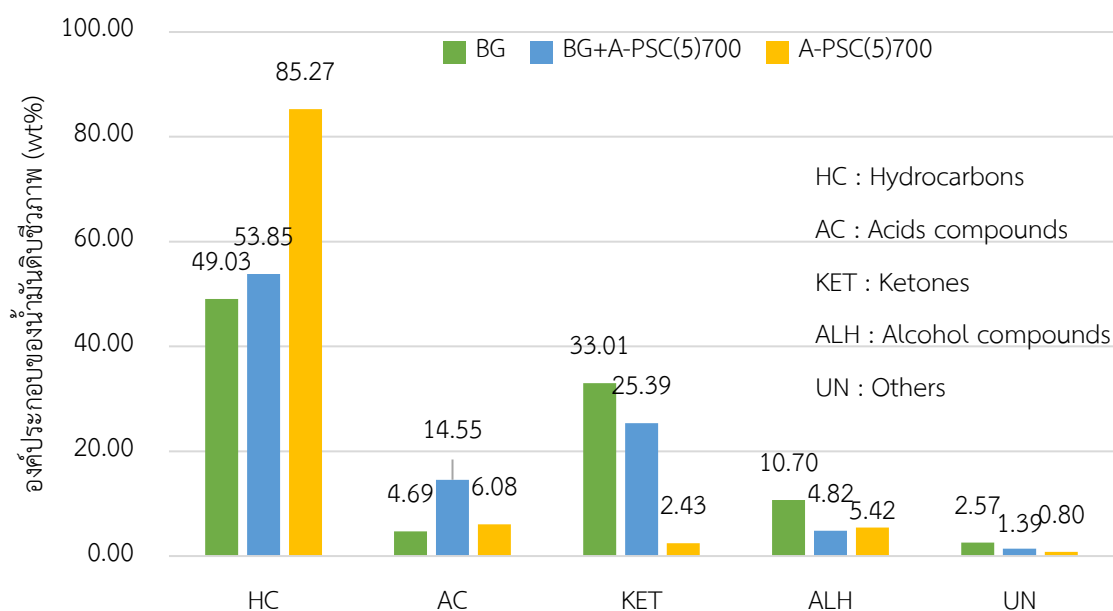
ตารางที่ 4.3 การวิเคราะห์หาปริมาณโพแทสเซียมในของเหลวด้วยเทคนิค AAS (Atomic Absorption Spectrometer) ของน้ำมันดิบชีวภาพ จากซาร์กะลาปาล์มที่ถูกกระตุ้นที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 5 โดยน้ำหนักและไอน้ำ (A-PSC(5)700) และ ซานอ้อยผสมซาร์กะลาปาล์มที่ถูกกระตุ้นที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 5 โดยน้ำหนักและไอน้ำ (BG+A-PSC(5)700) ที่อุณหภูมิ 325 องศาเซลเซียส

ตัวอย่าง	ปริมาณโพแทสเซียม (K) (%wt.)
A-PSC(5)700	2.4043
BG+A-PSC(5)700	3.1309

4.7 ผลของการวิเคราะห์หาองค์ประกอบผลิตภัณฑ์น้ำมันดิบชีวภาพด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี (gas chromatography – mass spectrometry)

รูปที่ 4.16 แสดงองค์ประกอบของน้ำมันดิบชีวภาพจากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันของซานอ้อย ซาร์กะลาปาล์มที่ถูกกระตุ้นที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียสด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 5 โดยน้ำหนักและไอน้ำ และ ซานอ้อยผสมซาร์กะลาปาล์มที่ถูกกระตุ้นที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียสด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 5 โดยน้ำหนักและไอน้ำ 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) และ องค์ประกอบอื่น ๆ หรือ UN โดยพบว่าสารประกอบไฮโดรคาร์บอนจะพบในน้ำมันชีวภาพที่ได้จากซานอ้อย ซานอ้อยผสมซาร์กะลาปาล์มที่ถูกกระตุ้นที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียสด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 5 โดยน้ำหนักและไอน้ำ และ ซาร์กะลาปาล์มที่ถูกกระตุ้นที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียสด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 5 โดยน้ำหนักและไอน้ำ น้อยไปมากตามลำดับ เนื่องจากซานอ้อยมีสมบัติการสลายตัวทางความร้อนที่อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา จึงทำให้เกิดดีพอลิเมอร์ไรเซชัน (depolymerization) และการแตกตัวทางความร้อน (thermal cracking) ได้เป็น คาร์โบไฮเดรต หรือแซ็กคาไรด์ (saccharide) จากนั้นพันธะ C-C (C-C bond) จะแตกออกและมี

บางส่วนเกิด Aldol condensation ที่เป็นปฏิกิริยาการรวมตัวกันระหว่างแอลดีไฮด์ (aldehydes) หรือ คีโตน (ketone) 2 โมเลกุลขึ้นไป และเกิดรีฟอร์มมิง (reforming หรือ aromatization) เกิดเป็น สารประกอบ ฟีนอลหรือ แอลกอฮอล์ จึงทำให้เกิดเป็นสารประกอบแอลกอฮอล์ (ALH) [37] และ สารประกอบจำพวกฟีนอลเหล่านี้ เมื่อได้รับความร้อนจะเกิดปฏิกิริยาดีไฮเดรชัน (dehydration) และแตกพันธะ (cleavage) [38] จึงไม่พบสารประกอบจำพวกน้ำตาลในน้ำมันดิบชีวภาพ ส่วน สารประกอบคีโตนที่พบในน้ำมันชีวภาพเนื่องจากซาร์จะเกิดดีพอลิเมอร์ไรเซชัน (depolymerization) และการแตกตัวทางความร้อน (thermal cracking) ของพันธะ C-C จะแตกออกเกิด Aldol condensation และในองค์ประกอบของซาร์มีธาตุโพแทสเซียมที่หลุดออกมาผสมกับน้ำเลยทำให้เกิดปฏิกิริยาดีไฮเดรชันที่มีเบสของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ในการเร่งปฏิกิริยา และเกิดการรีฟอร์มมิง (reforming หรือ aromatization) ได้เป็นสารประกอบคีโตน [36]



รูปที่ 4.16 องค์ประกอบของน้ำมันดิบชีวภาพจากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันของชานอ้อย ชาร์ กะลาปาล์มที่ถูกกระตุ้นที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียสด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 5 โดย น้ำหนักและไอน้ำ และ ชานอ้อยผสมชาร์กะลาปาล์มที่ถูกกระตุ้นที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียสด้วย โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 5 โดยน้ำหนักและไอน้ำ

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ ศึกษาการผลิตน้ำมันดิบชีวภาพจากการไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันของชานอ้อย โดยจะศึกษาผลของซาร์ที่ถูกกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์และไอน้ำ เพื่อเพิ่มร้อยละผลได้และคุณภาพของน้ำมันดิบชีวภาพจากชานอ้อยโดยไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชัน โดยเปรียบเทียบซาร์ 3 ชนิด คือ ซาร์ไม้ไผ่และซาร์กะลาปาล์มและมีการใช้อุณหภูมิในการกระตุ้นซาร์ทั้งสองชนิดที่ 700 และ 800 องศาเซลเซียส โดยใช้ปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ร้อยละ 2.5 และ 5 โดยน้ำหนัก และถ่านกัมมันต์ จากการทดลองเป็นการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันของชานอ้อยที่ผสมกับซาร์ไม้ไผ่ที่ถูกกระตุ้นที่อุณหภูมิ 700 และ 800 องศาเซลเซียสด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 2.5 และ 5 โดยน้ำหนักและไอน้ำ ชานอ้อยที่ผสมกับซาร์กะลาปาล์มที่ถูกกระตุ้นที่อุณหภูมิ 700 และ 800 องศาเซลเซียสด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 2.5 และ 5 โดยน้ำหนักและไอน้ำ และชานอ้อยผสมถ่านกัมมันต์ ในสัดส่วนร้อยละ 0 50 และ 100 โดยน้ำหนัก ดำเนินการที่อุณหภูมิ 300 และ 325 องศาเซลเซียส ความดันไนโตรเจนเริ่มต้น 2 เมกะพาสคัล ความเร็วรอบใบกวน 300 รอบต่อนาที เวลาที่ใช้ในการดำเนินปฏิกิริยา 60 นาทีในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบดซ์

5.1.1 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของสารตั้งต้น

ชานอ้อยมีปริมาณสารระเหยที่สูงที่สุด แต่ซาร์ไม้ไผ่ ซาร์กะลาปาล์ม และถ่านกัมมันต์ จะมีปริมาณคาร์บอนคงตัวที่มาก

5.1.2 ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการกระตุ้นซาร์ไม้ไผ่และซาร์กะลาปาล์มด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์และไอน้ำ ต่อร้อยละผลได้ของถ่านซาร์หลังการกระตุ้น

อุณหภูมิที่ใช้กระตุ้นเป็นปัจจัยที่สำคัญที่ส่งผลต่อการผลิตถ่านกัมมันต์เป็นอย่างมาก เมื่ออุณหภูมิในการกระตุ้นเพิ่มสูงขึ้น ทำให้ปริมาณร้อยละผลิตภัณฑ์ของแข็งที่ได้หลังการกระตุ้นลดลง เนื่องจากทาร์และสารระเหยที่ปกคลุมอยู่ที่ผิวของถ่านและรูพรุนจะหลุดออก ทำให้สารกระตุ้นสามารถแพร่เข้าไปในโครงสร้างถ่านได้มากขึ้น เมื่อถ่านได้รับความร้อนจะถูกเผาไหม้กลายเป็นเถ้าบางส่วน ทำให้สูญเสียน้ำหนักของถ่านซาร์ นอกจากนี้ยังพบว่าการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ใช้กระตุ้นยังส่งผลต่อปริมาณร้อยละผลิตภัณฑ์ของแข็งที่ได้หลังการ

กระตุ้นเนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิในการกระตุ้น จะทำให้เกิดการจัดเรียงตัวเป็นโครงสร้างผลึกที่มีช่องว่างหรือรูพรุนขึ้น จากการไล่สารระเหยหรือทาร์ออก ทำให้สารกระตุ้นแพร่เข้ามาในโครงสร้างได้ง่ายและเกิดปฏิกิริยากับอะตอมคาร์บอน

5.1.3 ผลของชาร์ไม้ไผ่และชาร์กะลาปาล์มที่ถูกกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์และไอน้ำ ต่อร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพจากไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชัน

ในการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส พบว่าชาร์ไม้ไผ่และชาร์กะลาปาล์มที่ถูกกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์และไอน้ำ และถ่านกัมมันต์ทำงานเสริมกับชานอ้อย ทำให้มีปริมาณน้ำมันดิบชีวภาพสูงกว่าค่าการทำนาย โดยที่ชานอ้อยผสมชาร์กะลาปาล์มที่ถูกกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์และไอน้ำ นั้นให้ปริมาณน้ำมันดิบชีวภาพสูงกว่าชาร์ไม้ไผ่ที่ถูกกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์และไอน้ำ ซึ่งมีค่าอยู่ที่ร้อยละ 26.16 โดยน้ำหนัก

5.1.4 ผลของอัตราส่วนระหว่างชาร์ไม้ไผ่หรือชาร์กะลาปาล์ม ต่อโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ที่ถูกกระตุ้นด้วยไอน้ำต่อร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพจากไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชัน

ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ผลของอัตราส่วนระหว่างชาร์ไม้ไผ่หรือชาร์กะลาปาล์ม ต่อโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ที่ถูกกระตุ้นด้วยไอน้ำต่อร้อยละผลได้และคุณภาพของน้ำมันดิบชีวภาพ พบว่า อัตราส่วนระหว่างชาร์ไม้ไผ่หรือชาร์กะลาปาล์มต่อโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก ทำงานเสริมกับชานอ้อย ทำให้มีค่าปริมาณน้ำมันดิบชีวภาพที่มากกว่าชาร์ไม้ไผ่หรือชาร์กะลาปาล์มต่อโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก

5.1.5 ผลของอุณหภูมิที่ใช้ทำปฏิกิริยาต่อร้อยละผลได้ และคุณภาพของน้ำมันดิบชีวภาพจากไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชัน

ที่อุณหภูมิ 300 และ 325 องศาเซลเซียส ของชานอ้อยผสมชาร์ไม้ไผ่และชาร์กะลาปาล์มที่ถูกกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์และไอน้ำ และถ่านกัมมันต์ พบว่าเมื่อทำการเพิ่มอุณหภูมิปริมาณน้ำมันดิบชีวภาพจะเพิ่มขึ้น ซึ่งส่งผลดีกับคุณภาพของน้ำมันดิบชีวภาพ ดังนั้นเมื่อพิจารณาปริมาณและคุณภาพน้ำมันดิบชีวภาพจึงสรุปได้ว่าอุณหภูมิ 325 องศาเซลเซียส เหมาะสมต่อการทำปฏิกิริยา และชานอ้อยผสมชาร์กะลาปาล์มที่ถูกกระตุ้นที่

อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 5 โดยน้ำหนักและไอน้ำ ให้ปริมาณร้อยละของน้ำมันดิบชีวภาพสูงสุดถึงร้อยละ 29.91 โดยน้ำหนัก

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรศึกษาผลของคาร์ชนิดอื่นๆ เพิ่มเติม
2. ควรศึกษาผลของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อชนิดของชีวมวล
3. ควรศึกษาวิธีการที่ทำให้โพแทสเซียมไม่หลุดลงมาในระหว่างการทำปฏิกิริยา



บรรณานุกรม

- [1] ศ. ไกรยะปักษ์, รูปแบบที่เหมาะสมในการจัดการพลังงานชุมชน, 2553. <https://www.right-livelihoods.org/scoop/พลังงานทางเลือก/>.
- [2] สำนักงานคณะกรรมการนโยบายแห่งชาติ, พลังงานและทางเลือก การใช้เชื้อเพลิงของประเทศไทย, 2542. <http://www.eppo.go.th/images/policy/PDF/docs/energyandfuelalternatives.pdf>.
- [3] ศ. จิตการคำ, จากขยะสู่น้ำมัน : เทคโนโลยีผลิตพลังงานทางเลือกที่ดูแลสิ่งแวดล้อม, 2551. <https://sites.google.com/site/bioenergynaka/phlangngan-haeng-xnakht/phuch-phlangngan-chnid-him>.
- [4] ด.อ. ศุภสินสาธิต, พลังงานจากชีวมวลที่มีลิกโนเซลลูโลสสูง, 2555. <https://eric.chula.ac.th/eric2020/ej/v16y2555/no2/article6.pdf>.
- [5] P. Berry, ความแตกต่างระหว่างเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส, 2565. <https://th.strephonsays.com/difference-between-cellulose-and-hemicellulose>.
- [6] ร. ฉัตรสกุลวิไล, ลิกนิน-แทนนิน, 2561. http://asp.plastics.or.th:8001/files/article_file/20181016080740u.pdf.
- [7] P. McKendry, Energy production from biomass (part 1): overview of biomass, *Bioresource Technology* 83(1) (2002) 37-46.
- [8] D. Ciolkosz, Characteristics of Biomass as a Heating Fuel, The Pennsylvania State University (2010).
- [9] C.H. Lim, S.L. Ngan, W.P.Q. Ng, B.S. How, H.L. Lam, Chapter 19 - Biomass supply chain management and challenges, in: S. Yusup, N.A. Rashidi (Eds.), *Value-Chain of Biofuels*, Elsevier2022, pp. 429-444.
- [10] S. Di Fraia, S. Fabozzi, A. Macaluso, L. Vanoli, Energy potential of residual biomass from agro-industry in a Mediterranean region of southern Italy (Campania), *Journal of Cleaner Production* 277 (2020) 124085.
- [11] P. Ruiz, W. Nijs, D. Tarvydas, A. Sgobbi, A. Zucker, R. Pilli, R. Jonsson, A. Camia, C. Thiel, C. Hoyer-Klick, F. Dalla Longa, T. Kober, J. Badger, P. Volker, B.S. Elbersen, A. Brosowski, D. Thrän, ENSPRESO - an open, EU-28 wide, transparent and coherent database of wind, solar and biomass energy potentials, *Energy Strategy Reviews* 26 (2019) 100379.

- [12] กรมพัฒนาพลังงาน, ท. กระทรวงพลังงาน, ฐานข้อมูลศักยภาพชีวมวลในประเทศไทยประจำปี พะเพาะปลูก พ.ศ. 2556, (2562).
- [13] น. ตริ่มงคล, "อ้อย"รวบรวมผลผลิตขยายตัว 26.43%, 2559.
https://www.cad.go.th/ewt_news.php?nid=26281.
- [14] ศ.ส. ประพันธ์ คูชลธรราร, พลังงานจากชีวมวลและวัสดุเหลือใช้ (Energy from Biomass and Waste), 2558.
- [15] ช.ง. นพิตา ธิญชีระนนท์, เทคโนโลยีตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst technology), โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2557.
- [16] M.S. Solum, R.J. Pugmire, M. Jagtoyen, F. Derbyshire, Evolution of carbon structure in chemically activated wood, Carbon 33(9) (1995) 1247-1254.
- [17] Suhas, P.J.M. Carrott, M.M.L. Ribeiro Carrott, Lignin – from natural adsorbent to activated carbon: A review, Bioresource Technology 98(12) (2007) 2301-2312.
- [18] ธ. วิทิตสานต์, ถ่านกัมมันต์ : การผลิตและการนำไปใช้, คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2011.
- [19] C.-X. Bai, F. Shen, X.-H. Qi, Preparation of porous carbon directly from hydrothermal carbonization of fructose and phloroglucinol for adsorption of tetracycline, Chinese Chemical Letters 28(5) (2017) 960-962.
- [20] บ้านจอมยุทธ, เทคโนโลยี นวัตกรรม สิ่งประดิษฐ์ : ไม้ 2543.
https://www.baanjomuyut.com/library_2/extension-2/bamboo/02.html.
- [21] เ. ไบโอบแมส, กะลาปาล์ม, 2561. http://www.asiabiomass.com/palm_shal/.
- [22] J. Chen, Bio-oil production from hydrothermal liquefaction of Pteris vittata L.: Effects of operating temperatures and energy recovery, Bioresource Technology 265 (2018) 320-327.
- [23] Y.-R. Son, S.-J. Park, Preparation and characterization of mesoporous activated carbons from nonporous hard carbon via enhanced steam activation strategy, Materials Chemistry and Physics 242 (2020) 122454.
- [24] F.-C. Wu, R.-L. Tseng, C.-C. Hu, Comparisons of pore properties and adsorption performance of KOH-activated and steam-activated carbons, Microporous and Mesoporous Materials 80(1) (2005) 95-106.
- [25] T. Muppaneni, H.K. Reddy, T. Selvaratnam, K.P.R. Dandamudi, B. Dungan, N. Nirmalakhandan, T. Schaub, F. Omar Holguin, W. Voorhies, P. Lammers, S. Deng,

Hydrothermal liquefaction of *Cyanidioschyzon merolae* and the influence of catalysts on products, *Bioresource Technology* 223 (2017) 91-97.

[26] L. Nazari, Z. Yuan, S. Souzanchi, M.B. Ray, C. Xu, Hydrothermal liquefaction of woody biomass in hot-compressed water: Catalyst screening and comprehensive characterization of bio-crude oils, *Fuel* 162 (2015) 74-83.

[27] L.-Y. Hsu, H. Teng, Influence of different chemical reagents on the preparation of activated carbons from bituminous coal, *Fuel Processing Technology* 64(1) (2000) 155-166.

[28] I. Euro best technology co., ROTARY EVAPORATOR, 2021.

<https://www.eurobest.co.th/products/rotary-evaporator/>.

[29] ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, Atomic Absorption Spectrophotometer – AAS. <https://strec.chula.ac.th/equipments-rates/atomic-absorption-spectrophotometer-aas>.

[30] T. Suravattanasakul, Production of activated carbon from palm-oil shell by pyrolysis and steam activation in a fixed bed reactor, Chulalongkorn University, 1998.

[31] ก. สมบูรณ์ชนะชัย, Effects of biomass-derived char on biocrude production by hydrothermal liquefaction, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2562.

[32] ณ. นิลอ่อน, Effects of steam activated chars from bamboo and palm kernel shell on biocrude production from bagasse by hydrothermal liquefaction, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2564.

[33] B. de Caprariis, P. De Filippis, A. Petruccio, M. Scarsella, Hydrothermal liquefaction of biomass: Influence of temperature and biomass composition on the bio-oil production, *Fuel* 208 (2017) 618-625.

[34] S. Yin, R. Dolan, M. Harris, Z. Tan, Subcritical hydrothermal liquefaction of cattle manure to bio-oil: Effects of conversion parameters on bio-oil yield and characterization of bio-oil, *Bioresource Technology* 101(10) (2010) 3657-3664.

[35] W. Chen, K. Li, M. Xia, H. Yang, Y. Chen, X. Chen, Q. Che, H. Chen, Catalytic deoxygenation co-pyrolysis of bamboo wastes and microalgae with biochar catalyst, *Energy* 157 (2018) 472-482.

[36] J. Akhtar, N.A.S. Amin, A review on process conditions for optimum bio-oil yield in hydrothermal liquefaction of biomass, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15(3)

(2011) 1615-1624.

[37] Y. Fan, Y. Cai, X. Li, L. Jiao, J. Xia, X. Deng, 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* 138 (2017) 106-118.

[38] K. Yoshida, J. Kusaki, K. Ehara, S. Saka, Characterization of low molecular weight organic acids from beech wood treated in supercritical water, *Applied biochemistry and biotechnology* 123(1) (2005) 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 ชั่วโมง แล้วปล่อยให้เย็นในโถดูดความชื้น (desiccators)

1.2.4 ชั่งน้ำหนักหลังอบ และจดน้ำหนัก พร้อมทั้งคำนวณตามสมการ

$$\text{ร้อยละความชื้น} = \frac{(\text{น้ำหนักซีเมนต์ก่อนอบ} - \text{น้ำหนักซีเมนต์หลังอบ})}{\text{น้ำหนักซีเมนต์หลังอบ}} \times 100$$

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

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

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

$$\text{ร้อยละสารระเหย} = \frac{(\text{น้ำหนักชีวมวลก่อนอบ} - \text{น้ำหนักชีวมวลหลังอบ})}{\text{น้ำหนักชีวมวลหลังอบ}} \times 100$$

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 ชั่งตัวอย่างซาร์ไม่ไฟ/ ซาร์กะลาปาล์ม/ ถ่านกัมมันต์ ประมาณ 1 กรัม ใส่ลงในถ้วย

1.2.3 นำไปอบในเตาอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมงแล้วปล่อยให้เย็นในโถดูดความชื้น (desiccators)

1.2.4 ชั่งน้ำหนักหลังอบ และจดน้ำหนัก พร้อมทั้งคำนวณตามสมการ

$$\text{ร้อยละความชื้น} = \frac{(\text{น้ำหนักซาร์ก่อนอบ} - \text{น้ำหนักซาร์หลังอบ})}{\text{น้ำหนักซาร์หลังอบ}} \times 100$$

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 ชั่งตัวอย่างชาร์ไม่ไฟ/ ชาร์กะลาปาล์ม/ 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

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

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 ชั่งตัวอย่างชาร์ 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

$$\text{ร้อยละสารระเหย} = \frac{(\text{น้ำหนักชีวมวลก่อนอบ} - \text{น้ำหนักชีวมวลหลังอบ})}{\text{น้ำหนักชีวมวลหลังอบ}} \times 100$$

4. คาร์บอนคงตัว (fixed carbon)

ค่าผลต่างของร้อยละลบด้วยผลบวกของความชื้น เถ้า และสารระเหยที่คิดเป็นร้อยละ ดังนี้

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



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก ค

การคำนวณร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์

1. การคำนวณร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพ

$$\text{ร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพ} = (100 \times W_{\text{liq}}) / W_{\text{daf}}$$

2. การคำนวณร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ของแข็ง

$$\text{ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ของแข็ง} = (W_{\text{solid}} - W_{\text{ash}}) \times 100 / W_{\text{daf}}$$

3. การคำนวณร้อยละผลได้ของแก๊ส

$$\text{ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์แก๊ส} = (100 \times W_{\text{gas}}) / W_{\text{daf}}$$

4. การคำนวณร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ที่สูญหายและอื่น ๆ

$$\text{ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์อื่น ๆ} = 100 - (\text{ร้อยละผลได้ของน้ำมันชีวภาพ} + \text{ร้อยละผลได้ของของแข็ง} + \text{ร้อยละผลได้ของแก๊ส})$$

โดย W_{daf} คือ น้ำหนักของสารตั้งต้นที่ปราศจากความชื้นและเถ้า

W_{liq} คือ น้ำหนักของของเหลวหลังระเหย

W_{solid} คือ น้ำหนักของกากของแข็งที่ปราศจากความชื้น (หลังอบ)

W_{gas} คือ น้ำหนักของแก๊ส

W_{ash} คือ น้ำหนักของเถ้า

ภาคผนวก ง

ข้อมูลดิบ

ตารางที่ ง.1 ข้อมูลการทดลองในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์

No.	Reaction	Temp (°C)	%Solid	%Liquid	%Gas	% Other
1	BG	300	18.05	28.72	18.61	34.62
2	A-BBC(2.5)700	300	80.21	5.08	4.27	10.44
3	BG+A-BBC(2.5)700	300	45.81	15.22	18.55	20.42
4	A-BBC(5)700	300	56.08	5.50	6.84	31.58
5	BG+A-BBC(5)700	300	39.38	13.87	17.37	29.38
6	A-BBC(2.5)800	300	76.29	8.04	7.02	8.65
7	BG+A-BBC(2.5)800	300	40.96	6.43	19.79	32.82
8	A-BBC(5)800	300	73.44	6.77	8.27	11.52
9	BG+A-BBC(5)800	300	42.54	7.44	16.08	33.94
10	A-PSC(2.5)700	300	94.32	7.31	2.22	0.02
11	BG+A-PSC(2.5)700	300	49.28	11.03	16.61	23.08
12	A-PSC(5)700	300	93.78	6.67	3.68	0.01

ตารางที่ ง.2 ข้อมูลการทดลองในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์ (ต่อ)

No.	Reaction	Temp (°C)	%Solid	%Liquid	%Gas	% Other
13	BG+A-PSC(5)700	300	43.48	16.15	21.21	19.16
14	A-PSC(2.5)800	300	95.29	4.62	3.04	0.01
15	BG+A-PSC(2.5)800	300	51.56	19.45	16.67	12.32
16	A-PSC(5)800	300	94.00	7.21	2.04	0.30
17	BG+A-PSC(5)800	300	47.80	26.16	13.59	12.45
18	BG	325	2.97	18.46	19.66	58.91
19	A-BBC(2.5)700	325	83.60	5.61	3.83	6.96
20	BG+A-BBC(2.5)700	325	41.86	16.69	15.29	26.16
21	A-BBC(5)700	325	78.20	5.19	6.01	10.6
22	BG+A-BBC(5)700	325	41.19	16.69	19.06	23.06
23	A-BBC(2.5)800	325	48.04	8.57	1.95	41.44
24	BG+A-BBC(2.5)800	325	35.21	10.94	19.38	34.47

ตารางที่ ง.3 ข้อมูลการทดลองในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์ (ต่อ)

No.	Reaction	Temp (°C)	%Solid	%Liquid	%Gas	% Other
25	A-BBC(5)800	325	64.02	7.62	7.81	20.55
26	BG+A-BBC(5)800	325	34.08	10.26	19.60	36.06
27	A-PSC(2.5)700	325	95.72	9.46	3.58	0.20
28	BG+A-PSC(2.5)700	325	51.21	17.06	16.63	15.10
29	A-PSC(5)700	325	87.12	11.18	4.82	0.12
30	BG+A-PSC(5)700	325	51.44	29.91	18.36	0.29
31	A-PSC(2.5)800	325	97.12	7.85	2.48	0.06
32	BG+A-PSC(2.5)800	325	48.26	22.63	15.00	14.11
33	A-PSC(5)800	325	89.05	5.59	2.57	2.79
34	BG+A-PSC(5)800	325	46.32	26.95	19.07	7.66
35	A-COM	300	24.55	11.13	9.27	55.05
36	BG+A-COM	300	29.31	19.96	26.34	24.39

ตารางที่ ง.4 ข้อมูลการทดลองในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์ (ต่อ)

No.	Reaction	Temp (°C)	%Solid	%Liquid	%Gas	% Other
37	A-COM	325	92.51	15.96	7.45	0.15
38	BG+A-COM	325	31.56	18.35	24.04	26.05

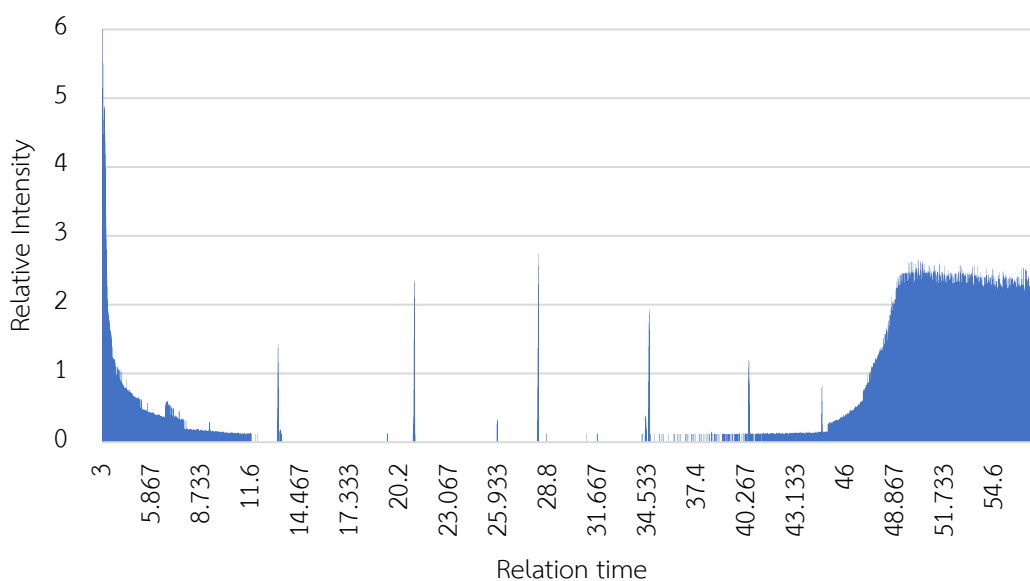


จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

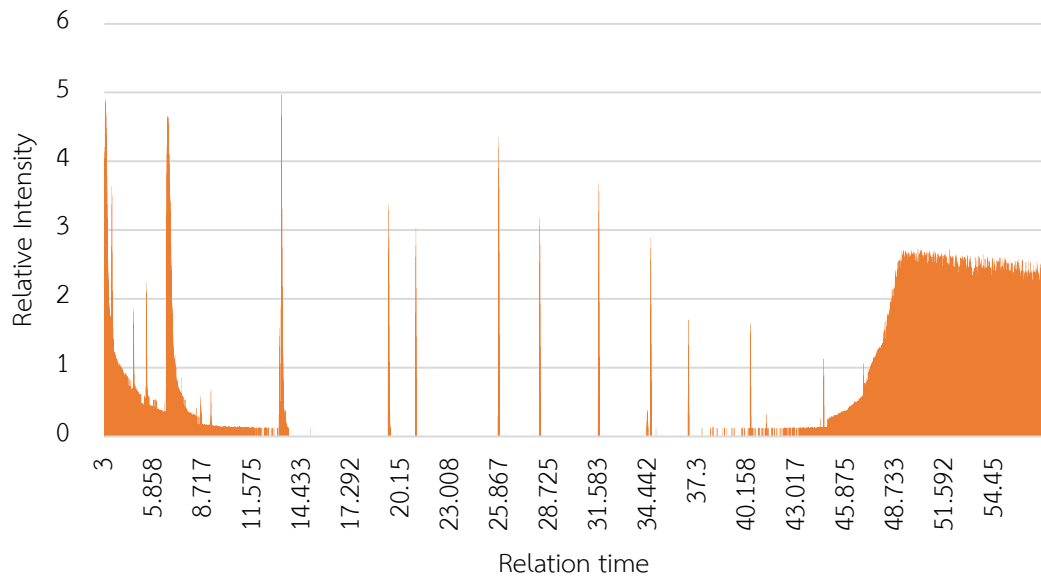
ภาคผนวก จ

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์ที่สูญหายและอื่น ๆ

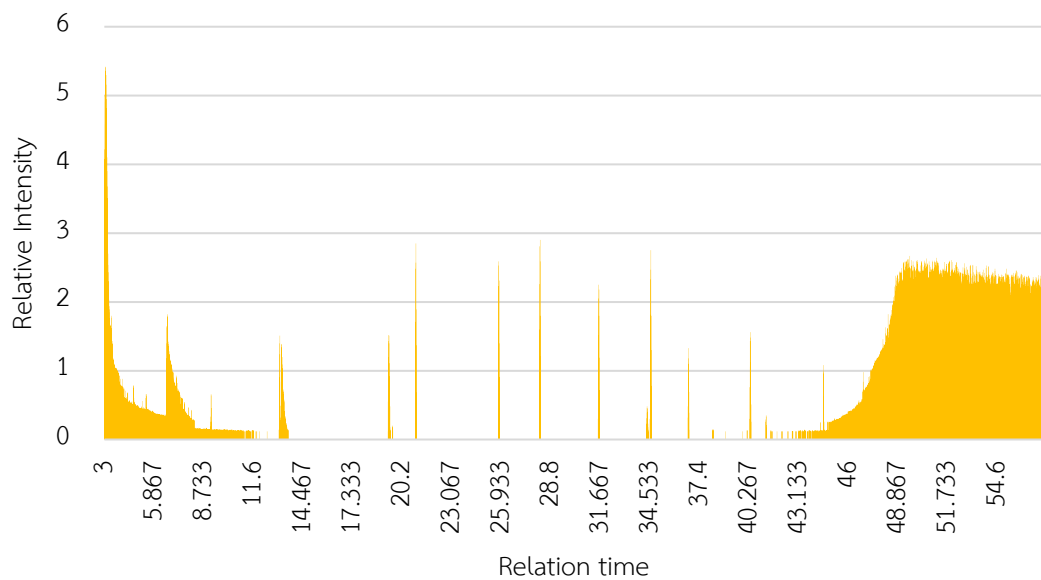
ผลิตภัณฑ์ของเหลวนำไป ตรวจสอบด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ-แมสสเปกโตรเมตรี เพื่อหาองค์ประกอบที่อยู่ในส่วนสารละลายนั้น ดังแสดงในรูปที่ จ.1-จ.3



รูปที่ จ.1 โครมาโทแกรมของผลิตภัณฑ์น้ำมันดิบชีวภาพจากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันของ
 ชานอ้อย ที่อุณหภูมิ 325 องศาเซลเซียส



รูปที่ จ.2 โครมาโทแกรมของผลิตภัณฑ์น้ำมันดิบชีวภาพจากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันของ
 ชาร์กอะลาปาล์มที่ถูกกระตุ้นที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 5
 โดยน้ำหนักและไอน้ำ ที่อุณหภูมิ 325 องศาเซลเซียส



รูปที่ จ.3 โครมาโทแกรมของผลิตภัณฑ์น้ำมันดิบชีวภาพจากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันของ
 ชานอ้อยผสมชาร์กอะลาปาล์มที่ถูกกระตุ้นที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 5
 โดยน้ำหนักและไอน้ำ ที่อุณหภูมิ 325 องศาเซลเซียส

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นางสาวสรารวรรณ ทรัพย์พันธ์
วัน เดือน ปี เกิด	18 กันยายน 2539
สถานที่เกิด	นครปฐม
วุฒิการศึกษา	ภาควิชาวิทยาการและวิศวกรรมวัสดุ สาขาปิโตรเคมีและวัสดุพอลิเมอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร
ที่อยู่ปัจจุบัน	149 ม.4 ต.ศิลาลอย อ.สามร้อยยอด จ.ประจวบคีรีขันธ์ 77180
ผลงานตีพิมพ์	Sabpan, S., & Kuchonthara, P., [2022]. EFFECT OF KOH AND STEAM ACTIVATED CHAR ON BIOCRUDE OIL PRODUCTION FROM BAGASSE BY HYDROTHERMAL LIQUEFACTION. The 28th PPC Symposium on Petroleum, Petrochemical, and Polymer and the 13th Research Symposium on Petrochemical and Materials Technology. "Renewable energy, Energy generation & storage, and process simulation (REP)" [pp.141-146]. Bangkok: Chulalongkorn University.