ผลของชาร์จากไม้ไผ่และกะลาปาล์มที่ถูกกระตุ้นด้วยไอน้ำต่อการผลิตน้ำมันดิบชีวภาพจากชานอ้อยโดยไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชัน

นายณัฐชนน นิลอ่อน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเคมีเทคนิค ภาควิชาเคมีเทคนิค
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2564

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Effects of Steam Activated Chars from Bamboo and Palm Kernel Shell on Biocrude Production from Bagasse by Hydrothermal Liquefaction

Mr. Natchanon Nilon

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

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 2021
Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลของชาร์จากไม้ไผ่และกะลาปาล์มที่ถูกกระตุ้นด้วยไอน้ำต่อการผลิตน้ำมันดิบชีวภาพจากชานอ้อยโดยไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชัน
โดย	นายณัฐชนน นิลอ่อน
สาขาวิชา	เคมีเทคนิค
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.ประพันธ์ คูชลธารา

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

-- คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร.พลกฤษณ์ แสงวณิช)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

-- ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ประเสริฐ เรียบร้อยเจริญ)

-- อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ ดร.ประพันธ์ คูชลธารา)

-- กรรมการ

(ศาสตราจารย์ ดร.นพิดา หิญชีระนันทน์)

-- กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศศิธร สรรพ่อค้า)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ณัฐชนน นิลอ่อน : ผลของชาร์จากไม้ไผ่และกะลาปาล์มที่ถูกกระตุ้นด้วยไอน้ำต่อการผลิตน้ำมันดิบชีวภาพจากชานอ้อยโดยไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชัน. (Effects of Steam Activated Chars from Bamboo and Palm Kernel Shell on Biocrude Production from Bagasse by Hydrothermal Liquefaction) อ.ที่ปรึกษาหลัก : รศ. ดร.ประพันธ์ คูชลธารา

ปัจจุบันแหล่งพลังงานหลักคือก๊าซธรรมชาติและน้ำมันดิบจากกระบวนการขุดเจาะน้ำมันของโลก การใช้วัสดุข้างต้นทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เป็นจำนวนมาก และเป็นปัจจัยหลักที่ทำให้เกิดภาวะโลกร้อน การลดการปล่อย CO_2 ทำได้โดยการใช้ชีวมวลเป็นแหล่งพลังงานแทนการขุดเจาะน้ำมัน กระบวนการไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันเป็นกระบวนการที่น่าสนใจที่สามารถแปลงชีวมวลเป็นผลิตภัณฑ์เหลวหรือผลิตภัณฑ์ชีวภาพ การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาร่วมในกระบวนการช่วยปรับปรุงคุณภาพและผลผลิตของผลิตภัณฑ์ของเหลวจากกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชัน ชาร์ถือเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการที่มีราคาถูกและสามารถผลิตได้ง่ายจากชีวมวล นอกจากนี้การกระตุ้นชาร์ด้วยไอน้ำยังช่วยเพิ่มสมบัติเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาได้ดีขึ้น ในงานวิจัยนี้ ได้ทำการศึกษาผลของชาร์ที่ถูกกระตุ้นด้วยไอน้ำต่อผลผลิตและคุณภาพของน้ำมันดิบชีวภาพ โดยการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันดำเนินการในเครื่องปฏิกรณ์ความดันสูงแบบแบตช์ที่อุณหภูมิ 300-350 องศาเซลเซียส ที่ความดันเริ่มต้น 2 เมกะพาสคัล โดยใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 60 นาที ชาร์ถูกกระตุ้นโดยไอน้ำที่อุณหภูมิ 800-900 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลาในการกระตุ้น 120 นาที จากผลการทดลองพบว่า ร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ชาร์กะลาปาล์มและชาร์ไม้ไผ่ร่วมด้วย เนื่องจากชาร์มีผลในการเร่งปฏิกิริยาการแตกตัวของชีวมวล ในส่วนของอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาที่ 300 และ 350 องศาเซลเซียส พบว่าเมื่อใช้อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาที่สูงขึ้นร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบจะลดลงในขณะที่ผลิตภัณฑ์ที่เป็นแก๊สเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ เมื่อใช้ชาร์ที่ถูกกระตุ้นด้วยไอน้ำร่วมในกระบวนการกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชัน จะส่งผลช่วยปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันชีวภาพโดยพิจารณาจากค่าความร้อนสูง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สาขาวิชา	เคมีเทคนิค	ลายมือชื่อนิสิต	
ปีการศึกษา	2564	ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก	

6270135523 : MAJOR CHEMICAL TECHNOLOGY
KEYWORD: Hydrothermal Liquefaction, Biomass, Biochar catalyst, Activated carbon, Steam activation

Natchanon Nilon : Effects of Steam Activated Chars from Bamboo and Palm Kernel Shell on Biocrude Production from Bagasse by Hydrothermal Liquefaction. Advisor: Assoc. Prof. Dr. PRAPAN KUCHONTHARA

Nowadays, the main sources of energy are natural gas and crude oil from the Earth's oil drilling process. Using the above materials produces a large amount of carbon dioxide (CO_2) and is the main factor contributing to global warming. Reducing CO_2 emissions can be achieved by the use of biomass as an energy source instead of drilling for oil. Hydrothermal liquefaction (HTL) is an interesting process that can convert biomass into liquid or biocrude products. 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. Moreover, the activation of char by steam enhances the char porosity and surface area. In this research, the effects of steam-activated chars on biocrude yield and quality by hydrothermal liquefaction were studied. The experiments were carried out in a high-pressure batch reactor at temperatures of 300-350 °C with a reaction time of 60 min. Chars were activated by steam at 800-900 °C with a reaction time of 120 min. The quantity of liquid was increased when adding palm kernel shell char and bamboo char because char was found to have a catalytic effect on biomass cracking. The influence of liquefaction temperature was also examined in a range of 300 to 350°C. At a higher reaction temperature, biocrude yield was decreased while gaseous products were increased. In addition, when using activated char in the HTL process improve the quality of biocrude oil imterms of the High heating value (HHV).

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Field of Study: Chemical Technology		Student's Signature ....
Academic Year: 2021		Advisor's Signature ....

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร. ประพันธ์ คูชลธารา ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้ความรู้ คำแนะนำปรึกษา แนวทางในการแก้ไขปัญหาตลอดการทำงาน คอยชี้แนะถึงปัญหา ตลอดจนปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆจนทำให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี และคอยให้กำลังใจในการทำงาน รวมถึงเครื่องมือต่าง ๆ ในการทำงานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. ประเสริฐ เรียบร้อยเจริญ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ศาสตราจารย์ ดร. นพิดา หิญชีระนันทน์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศศิธร สรรพ่อค้า กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ภายนอกมหาวิทยาลัย ที่กรุณาให้คำแนะนำ ข้อเสนอแนะและความคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ต่อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สมบูรณ์สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

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

ขอขอบคุณภาควิชาเคมีเทคนิคสำหรับทุนการศึกษา และขอขอบคุณบุคลากรในภาควิชาเคมีเทคนิคทุกท่านในการอำนวยความสะดวกในการใช้ห้องปฏิบัติงาน และช่วยเหลือในการใช้ยืมเครื่องมือวิเคราะห์และเครื่องมือต่าง ๆ ในการทำวิจัย

ขอขอบคุณพี่ ๆ และ เพื่อน ๆ ในภาคภาควิชาเคมีเทคนิคที่ให้คำปรึกษา ให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจในการทำวิจัยให้เสร็จสมบูรณ์ลุล่วงไปด้วยดี

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ผู้เป็นที่รักยิ่ง และเคารพยิ่ง ที่อบรมสั่งสอน ให้กำลังใจ และสนับสนุน จนสำเร็จการศึกษา

ณัฐชนน นิลอ่อน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญ

หน้า

.... ค
บทคัดย่อภาษาไทย.. ค
.... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .... ง
กิตติกรรมประกาศ .... จ
สารบัญ.. ฉ
สารบัญตาราง...ฐ
สารบัญรูปภาพ...ฑ
บทที่ 1 บทนำ 18
1.1 ความสำคัญและความเป็นมาของงานวิจัย.. 18
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย... 19
1.3 ขอบเขตงานวิจัย 19
1.4 วิธีทำเนินงานวิจัย 19
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.. 21
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.. 22
2.1 แนวคิดและทฤษฎี 22
2.2 ชีวมวล.. 22
2.2.1 ประเภทของชีวมวล.. 23
2.2.2 องค์ประกอบของชีวมวล 27
2.2.3 โครงสร้างของชีวมวล 28
2.2.3.1 เซลลูโลส (Cellulose).. 28

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.2.3.2 เฮมิเซลลูโลส 29

2.2.1.3 ลิกนิล 30

2.3 สมบัติทางความร้อนของชีวมวล 30

2.3.1 ค่าความชื้น (Moisture content) 31

2.3.2 ค่าความร้อน (Calorific Value) 31

2.3.3 สัดส่วนของคาร์บอนคงที่และสารระเหย (Proportion of Fixed Carbon and Volatile) 32

2.3.4 สัดส่วนเถ้าถ่าน (Ash/Residue Content) 33

2.3.5 สัดส่วนโลหะอัลคาไล (Alkali metal) 33

2.3.6. อัตราส่วนเซลลูโลส/ลิกนิน (Cellulose/Lignin Ratio) 33

2.3.7 ขนาดและความหนาแน่นรวม (Size and bulk density) 33

2.4 ชีวมวลในประเทศไทย 34

2.5 อ้อย 37

2.5.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ 37

2.5.2 ลักษณะทั่วไปอ้อย 38

2.5.3 การเจริญเติบโตของอ้อย 39

2.5.4 สายพันธุ์ 40

2.5.5 สรรพคุณสมุนไพร 41

2.6 ไม้ไผ่ (Bamboo) 41

2.6.1 การกระจายพันธุ์ของไผ่ 42

2.6.2 ไผ่ในประเทศไทย 42

2.6.3 องค์ประกอบของป่าไผ่ 43

2.6.4 ลักษณะของไผ่ 44

2.6.5 การจำแนกพันธุ์ไผ่ 46

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.6.7 ประโยชน์ของไผ่ 46
2.6.8 อุตสาหกรรมไผ่ 46
2.7 ปาล์มน้ำมัน 48
2.7.1 พันธุ์ปาล์มน้ำมัน 48
2.7.2 แหล่งเพาะปลูก 49
2.7.3 การเก็บเกี่ยวและการแปรรูปเบื้องต้น 49
2.7.4 กะลาปาล์ม (Palm kernel shell) 49
2.8 เทคโนโลยีในการแปรรูปชีวมวล 50
2.8.1 การแปลงสภาพทางกายภาพ 50
2.8.2 การแปลงสภาพทางชีวภาพ 50
2.8.3 การแปลงสภาพทางความร้อนเคมี 50
2.9. การเผาไหม้ 51
2.10. ไพโรไลซิส 52
2.10.1 ไพโลไรซิสแบบช้า 52
2.10.2 ไพโลไรซิสแบบเร็ว 52
2.10.3 แฟลซ ไพโรไลซิส 52
2.10.4 ไฮโดรไพโรไลซิส 52
2.10.5. ไฮดรัสไพโรไลซิส 53
2.11 แกซิฟิเคชัน 53
2.11.1 เชื้อเพลิงแก๊ส 53
2.11.2 กลไกของแกซิฟิเคชันและปฏิกิริยาเคมี 54
2.12 ลิควิแฟกชัน 54
2.12.1 ลิควิแฟกชันทางตรง 54
2.12.2 ลิควิแฟกชันทางอ้อม 55

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.13 น้ำมันผลิตภัณฑ์จากไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชัน 55
2.14 น้ำมันดิบชีวภาพ 56
2.15 ตัวเร่งปฏิกิริยา 57
2.15.1 ตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธุ์ 57
2.15.2 ตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ 58
2.16 ตัวเร่งสำหรับกระบวนการ ไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชัน 58
2.17 ชาร์ 59
2.17.1. วัตถุดิบที่ใช้ผลิตชาร์ 60
2.17.2. การผลิตชาร์ 60
2.18 กระบวนการการกระตุ้น (Activation) 62
2.18.1 การกระตุ้นทางเคมี (Chemical Activation) 63
2.18.2 การกระตุ้นทางกายภาพ (Physical Activation) 64
2.19 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 69
บทที่ 3 เครื่องมือและวิธีการทดลอง 71
3.1 สารตั้งต้นและสารเคมี 71
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง 71
3.2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมชานอ้อย 71
3.2.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมถ่านชาร์ที่ถูกกระตุ้นด้วยไอน้ำ 74
3.2.3 เครื่องปฏิกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง 75
3.2.4 อุปกรณ์การกรอง และการระเหยตัวทำละลาย 76
3.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์สารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์ 77
3.4 ขั้นตอนดำเนินงานวิจัย 81
3.4.1 การเตรียมชานอ้อย 81
3.4.2 การเตรียมไบโอชาร์ 81

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.4.3 การกระตุ้นไบโอชาร์โดยวิธีการกระตุ้นทางกายภาพ 82
3.4.4 การวิเคราะห์สมบัติของชานอ้อยและชาร์แต่ละชนิด 82
3.4.5 การผลิตน้ำมันดิบชีวภาพด้วยไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันในเครื่องปฏิกรณ์แบตซ์ 83
3.5 ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง 83
3.6 การวิเคราะห์ผลต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์ 84
3.6.1 การคำนวณร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ 84
3.6.2 การวิเคราะห์น้ำมันดิบชีวภาพ 84
3.6.3 การวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์แก๊ส 84
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง 86
4.1 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของสารตั้งต้น 86
4.1.1 การวิเคราะห์แบบประมาณ การวิเคราห์แยกธาตุ และค่าความร้อนของชานอ้อย (BA) ชาร์ไม้ไผ่ (BB) ชาร์กะลาปาล์ม (PKS) 86
4.1.2 การวิเคราะห์พื้นที่ผิวของ ชาร์กะลาปาล์ม (PKS) ชาร์ไม้ไผ่ (BB) และ ชาร์กะลาปาล์มและชาร์ไม้ไผ่ที่ถูกกระตุ้นด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 800 และ 900 องศาเซลเซียส 88
4.1.3 การวิเคราะห์หาสารประกอบของธาตุ (X-Ray Fluorescence Spectrometer, XRF) ของ ชาร์ชานอ้อย ชาร์กะลามะพร้าว และ Activated Carbon 89
4.1.4 พฤติกรรมการสลายตัวทางความร้อนของชานอ้อย ชาร์กะลาปาล์ม และชาร์ไม้ไผ่ 89
4.1.5 วิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชัน (Fourier Transform Infrared Spectrophotometer ,FTIR) ของ ชาร์กะลาปาล์ม และชาร์ไม้ไผ่ 93
4.2 ผลของชาร์กะลาปาล์ม และชาร์ไม้ไผ่ ต่อร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพจากไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชัน 94
4.2.1 ไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันของชานอ้อย ชาร์กะลาปาล์ม และชาร์ไม้ไผ่ 94
4.2.2 ผลของชาร์กะลาปาล์ม ต่อร้อยละผลได้ จากไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชัน 97
4.2.3 ผลของชาร์ไม้ไผ่ ต่อร้อยละผลได้ จากไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชัน 98

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.3 ผลของชาร์กะลาปาล์ม และชาร์ไม้ไผ่ที่ผ่านการกระตุ้นด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 800 และ 900 องศาเซลเซียส ต่อร้อยละผลได้ ของน้ำมันดิบชีวภาพจากไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชัน......... 100

4.3.1 ไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันของชานอ้อย ชาร์กะลาปาล์ม ชาร์กะลาปาล์มที่ถูกกระตุ้นด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ชาร์กะลาปาล์มที่ถูกกระตุ้นด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส ชาร์ไม้ไผ่ ชาร์ไม้ไผ่ที่ถูกกระตุ้นด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส และชาร์ไม้ไผ่ที่ถูกกระตุ้นด้วยอน้ำที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส.... 100

4.3.2 ผลของชาร์ไม้ไผ่ที่ผ่านการกระตุ้นด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ต่อร้อยละผลได้ จากไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชัน 103

4.4 ผลของอุณหภูมิระหว่าง 300 องศาเซลเซียส กับ 350 องศาเซลเซียส จากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันของ ชานอ้อย ชาร์ไม้ไผ่ และ ชาร์ไม้ไผ่ที่ผ่านการกระตุ้นด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส 105

4.5 ผลของชาร์ชานอ้อย ชาร์กะลาปาล์ม ชาร์ไม้ไผ่ ชาร์กะลาปาล์มและชาร์ไม้ไผ่ที่ถูกกระตุ้นด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ต่อคุณภาพของน้ำมันดิบชีวภาพจากไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชัน........ 106

บทที่ 5........ 108

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 108

5.1 สรุปผลการวิจัย........ 108

5.1.1 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของสารตั้งต้น........ 108

5.1.2 ผลของชาร์กะลาปาล์ม และชาร์ไม้ไผ่ ต่อร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพจากไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชัน 108

5.1.3 ผลของชาร์กะลาปาล์ม และชาร์ไม้ไผ่ที่ผ่านการกระตุ้นด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 800 และ 900 องศาเซลเซียส ต่อร้อยละผลได้ ของน้ำมันดิบชีวภาพจากไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชัน........ 109

5.1.4 ผลของอุณหภูมิต่อร้อยละผลได้ และคุณภาพของน้ำมันดิบชีวภาพจากไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชัน 109

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

5.1.5 ผลของชาร์กะลาปาล์ม ชาร์ไม้ไผ่ ชาร์กะลาปาล์มที่ผ่านการกระตุ้นด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 800 และชาร์ไม้ไผ่ที่ผ่านการกระตุ้นด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ต่อคุณภาพของน้ำมันดิบชีวภาพจากไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชัน 109

5.2 ข้อเสนอแนะ 110

บรรณานุกรม 111

ภาคผนวก 115

ภาคผนวก ก วิธีการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของชีวมวล 116

ภาคผนวก ข วิธีการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของชาร์ 118

ภาคผนวก ค การคำนวณร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ 120

ภาคผนวก ง ข้อมูลดิบ 121

ประวัติผู้เขียน 125

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบของลิกโนเซลลูโลสในสารชีวมวล 28

ตารางที่ 2.2 ผลการประเมินศักยภาพชีวมวลแต่ละชนิด 35

ตารางที่ 2.3 ค่าความร้อนของแก๊สเผาไหม้ชนิดต่างๆ จากแกซิฟิเคชัน 53

ตารางที่ 2.4 คุณสมบัติของน้ำมันที่ได้จากลิควิแฟกชัน 56

ตารางที่ 2.5 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมันดิบชีวภาพที่ได้จากไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันของชีวมวลชนิดต่างๆ 57

ตารางที่ 2.6 ตัวอย่างองค์ประกอบของตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ 58

ตารางที่ 2.7 ตัวเร่งปฏิกิริยาบางส่วนสำหรับไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันของชีวมวลและสารประกอบจำลอง 59

ตารางที่ 3.1 ภาวะที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์แก๊สด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ 85

ตารางที่ 4.1 การวิเคราะห์แบบประมาณ การวิเคราะห์แบบแยกธาตุ และค่าความร้อนของชานอ้อย ชาร์กะลาปาล์ม และชาร์ไม้ไผ่ 87

ตารางที่ 4.2 การวิเคราะห์พื้นที่ผิวของ ชาร์กะลาปาล์ม ชาร์ไม้ไผ่ และ ชาร์กะลาปาล์มและชาร์ไม้ไผ่ที่ถูกกระตุ้นด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 800 และ 900 องศาเซลเซียส 88

ตารางที่ 4.3 การวิเคราะห์หาสารประกอบของธาตุ (X-Ray Fluorescence Spectrometer ,XRF) ของ ชาร์กะลาปาล์ม ชาร์ไม้ไผ่ และ ชาร์กะลาปาล์มและชาร์ไม้ไผ่ที่ถูกกระตุ้นด้วยไอน้ำ 89

ตารางที่ 4.4 การวิเคราะห์แบบแยกธาตุของน้ำมันดิบชีวภาพที่ได้จากการไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันของชานอ้อยกับชาร์ชานอ้อย ในสัดส่วนร้อยละ 0 50 และ 100 โดยน้ำหนัก 107

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1 วัฏจักรคาร์บอนแบบปิดของเชื้อเพลิงชีวมวล 23
รูปที่ 2.2 ไร่อ้อย 24
รูปที่ 2.3 ซากไม้ที่เหลือหลังไฟป่า 24
รูปที่ 2.4 เส้นใยปาล์มและกาบมะพร้าว (ของเสียทางการเกษตร) 25
รูปที่ 2.5 เศษไม้และกิ่งไม้จากป่าและไม้จากอุสาหกรรมแปรรูปไม้ 25
รูปที่ 2.6 มูลไก่ 26
รูปที่ 2.7 ขยะชุมชน (Municipal Solid Waste) 26
รูปที่ 2.8 โครงสร้างของเซลลูโลส 29
รูปที่ 2.9 โครงสร้างของเฮมิเซลลูโลส 29
รูปที่ 2.10 โครงสร้างของลิกนิน 30
รูปที่ 2.11 ความสัมพันธ์ของค่าความร้อนและค่าความชื้นของชีวมวล 32
รูปที่ 2.12 อ้อย 37
รูปที่ 2.13 ไผ่ 42
รูปที่ 2.14 ปาล์มน้ำมัน 48
รูปที่ 2.15 กะลาปาล์ม 50
รูปที่ 2.16 การแปลงสภาพทางเคมีความร้อนและผลิตภัณฑ์ 51
รูปที่ 2.17 กลไกการเผาไหม้ของชีวมวลและวัสดุหลือใช้ 51
รูปที่ 2.18 กลไกหลักในแกวิฟิเคชัน 54
รูปที่ 2.19 แผนผังวัฏภาคของน้ำ 55
รูปที่ 2.20 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจากการกระตุ้นด้วยไอน้ำ 65
รูปที่ 2.21 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจากการกระตุ้นทางกายภาพโดยกำจัดฟีนอลและน้ำ 65

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 3.1 เครื่องบดย่อยชีวมวลชนิดหยาบ 72

รูปที่ 3.2 เครื่องบดย่อยชีวมวลชนิดละเอียด 72

รูปที่ 3.3 เครื่องบดย่อยชีวมวลชนิดละเอียด 73

รูปที่ 3.4 เครื่องเขย่าจะแกรงร่อน 73

รูปที่ 3.5 เตาเผาให้ความร้อนแบบแนวตั้ง 74

รูปที่ 3.6 เครื่องปฏิกรณ์สำหรับทำการกระตุ้น 74

รูปที่ 3.7 ภาพแสดงชุดกระตุ้น 75

รูปที่ 3.8 เครื่องปฏิกรณ์แรงดันสูง 76

รูปที่ 3.9 เครื่องระเหยแบบหมุน 77

รูปที่ 3.10 เครื่องวิเคราะห์แบบแยกธาตุ 78

รูปที่ 3.11 เครื่องหาขนาดรูพรุน 78

รูปที่ 3.12 X-Ray Fluorescence Spectrometer (XRF) 79

รูปที่ 3.13 เครื่องวิเคราะห์เชิงอุณหภูมิความร้อน 79

รูปที่ 3.14 FTIR-ATR Spectrometer 80

รูปที่ 3.15 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ 80

รูปที่ 3.16 ถ่านกะลาปาล์มที่ใช้ในการทดลอง ขนาด 3 – 5 มิลลิเมตร 81

รูปที่ 3.17 ถ่านไม้ไผ่ที่ใช้ในการทดลอง ขนาด 3 – 5 มิลลิเมตร 82

รูปที่ 4.1 พฤติกรรมการสลายตัวทางความร้อนของชานอ้อยจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค TG-DTA 90

รูปที่ 4.2 พฤติกรรมการสลายตัวทางความร้อนของชาร์กะลาปาล์มจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค TG-DTA 90

รูปที่ 4.3 พฤติกรรมการสลายตัวทางความร้อนของชาร์ไม้ไผ่จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค TG-DTA 91

รูปที่ 4.4 พฤติกรรมการสลายตัวทางความร้อนของชาร์กะลาปาล์มที่ถูกกว่าตุ้นด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียสจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค TG-DTA 91

รูปที่ 4.5 พฤติกรรมการสลายตัวทางความร้อนของชาร์กะลาปาล์มที่ถูกกว่าตุ้นด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียสจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค TG-DTA 92

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 4.6 พฤติกรรมการสลายตัวทางความร้อนของชาร์ไม้ไผ่ที่ถูกกว่าตุ้นด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียสจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค TG-DTA.. 92

รูปที่ 4.7 พฤติกรรมการสลายตัวทางความร้อนของชาร์ไม้ไผ่ที่ถูกกว่าตุ้นด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียสจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค TG-DTA.. 93

รูปที่ 4.8 หมู่ฟังก์ชันของชาร์กะลาปาล์ม และชาร์ไม้ไผ่ 94

รูปที่ 4.9 ร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพ กากของแข็ง แก๊ส และผลิตภัณฑ์เบาอื่น ๆ จากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันของ ชานอ้อย ชาร์กะลาปาล์ม และชาร์ไม้ไผ่ ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส.. 96

รูปที่ 4.10 ร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพ กากของแข็ง แก๊ส และผลิตภัณฑ์เบาอื่น ๆ จากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันของ ชานอ้อย ชาร์กะลาปาล์ม และชาร์ไม้ไผ่ ที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส.. 96

รูปที่ 4.11 ร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพ กากของแข็ง แก๊ส และผลิตภัณฑ์เบาอื่น ๆ จากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันของของชานอ้อยผสมชาร์กะลาปาล์ม ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส.... 98

รูปที่ 4.12 ร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพ กากของแข็ง แก๊ส และผลิตภัณฑ์เบาอื่น ๆ จากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันของของชานอ้อยผสมชาร์ไม้ไผ่ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส............... 99

รูปที่ 4.13 ร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพ กากของแข็ง แก๊ส และผลิตภัณฑ์เบาอื่น ๆ จากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันของของ ชานอ้อย (BA_100) ชาร์กะลากาล์ม (PKS_100) ชาร์กะลาปาล์มที่ถูกกระตุ้นด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส (SAPKS800_100) ชาร์กะลาปาล์มที่ถูกกระตุ้นด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส (SAPKS900_100) ชาร์ไม้ไผ่ (BB_100) ชาร์ไม้ไผ่ที่ถูกกระตุ้นด้วยอน้ำที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส(SABB800_100) ชาร์ไม้ไผ่ที่ถูกกระตุ้นด้วยอน้ำที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส (SABB900_100) ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส 102

รูปที่ 4.14 ร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพ กากของแข็ง แก๊ส และผลิตภัณฑ์เบาอื่น ๆ จากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันของของ ชานอ้อย (BA_100) ชาร์กะลากาล์ม (PKS_100) ชาร์กะลาปาล์มที่ถูกกระตุ้นด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส (SAPKS800_100) ชาร์กะลาปาล์มที่ถูกกระตุ้นด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส (SAPKS900_100) ชาร์ไม้ไผ่ (BB_100) ชาร์ไม้ไผ่ที่ถูกกระตุ้นด้วยอน้ำที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส (SABB800_100) ชาร์ไม้ไผ่ที่ถูกกระตุ้นด้วยอน้ำที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส (SABB900_100) ที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส 103

รูปที่ 4.15 ร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพ กากของแข็ง แก๊ส และผลิตภัณฑ์เบาอื่น ๆ จากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันของของชานอ้อยผสมไม้ไผ่ที่ผ่านการกระตุ้นด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส....................104

รูปที่ 4.16 ร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพ กากของแข็ง แก๊ส และผลิตภัณฑ์เบาอื่น ๆ จากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันของชานอ้อย ชานอ้อยผสมชาร์ไม้ไผ่ และ ชานอ้อยผสมชาร์ไม้ไผ่ที่ถูกกระตุ้นด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ที่อุณหภูมิ 300 และ 350 องศาเซลเซียส 106

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและความเป็นมาของงานวิจัย

ในปัจจุบันแหล่งพลังงานหลักคือแก๊สธรรมชาติและน้ำมันดิบจากกระบวนการขุดเจาะน้ำมันที่อยู่บนพื้นโลก การใช้วัตถุดิบข้างต้นมาใช้เป็นพลังงานจำนวนมาก ก่อให้เกิดคาร์บอนไดออกไซด์เป็นจำนวนมากและเป็นปัจจัยหลักที่ทำให้เกิดภาวะโลกร้อนดังนั้น การลดการปลดปล่อยปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ดีอย่างหนึ่งคือ การใช้ชีวมวลเป็นแหล่งผลิตพลังงานแทนการขุดเจาะน้ำมันเนื่องจากชีวมวลสามารถควบคุมการปลดปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ได้ในรูปแบบระบบวัฏจักรของคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งแตกต่างจากน้ำมันดิบที่ขุดเจาะขึ้นมาแล้วใช้อย่างเดียว เลยทำให้ในระบบมีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์มากเกินพอ ซึ่งกระบวนการเปลี่ยนชีวมวลมี 2 วิธี คือ กระบวนการเชิงเคมีความร้อน (thermochemical conversion) และ กระบวนการเชิงชีวภาพ (biochemical conversion) โดยงานวิจัยนี้ สนใจกระบวนการเชิงเคมีความร้อน เนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่ได้สามารถนำมาใช้ต่อได้หลากหลาย เช่น เชื้อเพลิง ความร้อน เป็นต้น กระบวนการทางเคมีความร้อนนั้นแบ่งออกเป็น 4 กระบวนการหลักๆ คือ 1. การเผาไหม้ (Combustion) 2. การแปสภาพเป็นแก๊ส (Gasification) 3. ไพโรไลซิส (Pyrolysis) และ 4. ลิควิแฟกชัน (liquefaction) โดยกระบวนการที่งานวิจัยนี้ได้สนใจ คือ ลิควิแฟกชัน (liquefaction) ซึ่งให้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวมากที่สุดและของเหลวมีข้อดีต่าง ๆ มากมายเมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงในรูปแบบอื่น ๆ เช่น สามารถจะจัดการกับเชื้อเพลิงได้ง่าย อีกทั้งเป็นกระบวนการที่ชีวมวลหรือสารตั้งต้นไม่ต้องผ่านกระบวนการทำให้แห้ง จึงเหมาะกับชีวมวลหรือเศษวัสดุเหลือทิ้งที่มีปริมาณความชื้นสูง และน้ำมันดิบชีวภาพที่ได้จากกระบวนการนี้จะมีปริมาณน้ำ ซัลเฟอร์ และออกซิเจนเป็นองค์ประกอบต่ำกว่าน้ำมันดิบชีวภาพที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิส และเนื่องจากในประเทศไทยนั้นมีวัตถุดิบเหลือทิ้งจากการเกษตรจำนวนมากและหลายชนิด ทำให้น้ำมันชีวภาพที่ได้มีปริมาณและคุณภาพแตกต่างกัน แต่มีวัตถุดิบหนึ่งที่น่าสนใจ เนื่องจากเป็นวัตถุดิบทางการเกษตรที่เหลือทิ้งมากสุดในประเทศไทยคือ ชานอ้อย ในงานวิจัยนี้จึงเน้นการศึกษาการผลิตน้ำมันดิบชีวภาพจากไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันของชานอ้อย แต่เนื่องด้วยไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันนั้นยังสามารถปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันและปริมาณน้ำมันได้ด้วยการใส่ตัวเร่งปฏิกิริยาลงไปในกระบวนการ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงสนใจชาร์เนื่องจากมีสมบัติเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา สามารถผลิตได้ง่ายจากชีวมวลและราคาถูก ในงานวิจัยจึงสนใจในการนำชานอ้อยและชาร์ มาเป็นสารป้อนร่วมในกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชัน โดยจะมีการกระตุ้นชาร์ด้วยไอน้ำ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

เพื่อเพิ่มสมบัติเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาได้ดีขึ้น เพื่อศึกษาผลของชนิดชาร์ต่อร้อยละผลได้และคุณภาพของน้ำมันดิบ

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 ศึกษาผลของชาร์จากไม้ไผ่และกะลาปาล์มที่ถูกกระตุ้นด้วยไอน้ำต่อการผลิตน้ำมันดิบชีวภาพจากชานอ้อยโดยไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชัน

1.2.2 ศึกษาผลของชาร์จากไม้ไผ่และกะลาปาล์มต่อร้อยละผลได้และคุณภาพของน้ำมันดิบชีวภาพจากชานอ้อยโดยไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชัน

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

ศึกษาการผลิตน้ำมันดิบชีวภาพจากไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันโดยใช้ชานอ้อยเป็นสารตั้งต้น และศึกษาผลของอุณหภูมิ ผลของชนิดของชาร์ และ ผลของอุณหภูมิในการกระตุ้นชาร์ด้วยไอน้ำ ต่อร้อยละผลได้และคุณภาพของน้ำมัน

1.4 วิธีทำเนินงานวิจัย

1.4.1 ศึกษาค้นคว้าและรวบรวมข้อมูลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.4.2 เตรียมวัตถุดิบ อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย

1.4.2.1 เตรียมชานอ้อยโดยนำไปตากแดดให้แห้ง และนำไปบดให้มีขนาด 150 – 250 ไมโครเมตร จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมงเพื่อไล่ความชื้น

1.4.2.2 เตรียมสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย คือ ชาร์ไม้ไผ่, ชาร์กะลาปาล์ม โดยนำไปบดให้มีขนาด 3 – 5 มิลลิเมตร จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมงเพื่อไล่ความชื้น

1.4.2.3 เตรียมชาร์ที่ถูกกระตุ้น โดยการกระตุ้นด้วยไอน้ำร้อนยิ่งยวด โดยใช้เตาเผาที่อุณหภูมิ 800 และ 900 องศาเซลเซียส ความดันบรรยากาศ

1.4.3 วิเคราะห์สมบัติของชานอ้อย, ชาร์ไม้ไผ่ และชาร์กะลาปาล์ม

1.4.3.1 องค์ประกอบของชีวมวลโดยประมาณ (Proximate analysis) ได้แก่ ความชื้น เถ้า สารระเหย และ คาร์บอนคงตัว

1.4.3.2 องค์ประกอบแบบแยกธาตุ (Ultimate analysis) ได้แก่ คาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน และ ออกซิเจน ด้วยเครื่อง CHN element analysis

1.4.3.3 ศึกษาอุณหภูมิการสลายตัวทางความร้อนด้วยเครื่อง Thermogravimetric/differential thermal analysis (TG/DTA) โดยวัดการสูญเสียน้ำหนักของตัวอย่างเป็นฟังก์ชันกับอณหภูมิ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

1.4.3.4 วิเคราะห์พื้นผิวด้วย N_2 adsorption-desorption measurement เพื่อหาพื้นที่ผิวจำเพาะ และการกระจายตัวของขนาดรูพรุน

1.4.4 ทำการทดลองในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตซ์ โดยชั่งชานอ้อย 10 กรัม ผสมกับตัวทำละลาย (น้ำ) โดยใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนักของชีวมวล 1 กรัมต่อตัวทำละลาย 10 มิลลิลิตรทำการไล่อากาศด้วยการอัดไนโตรเจน และอัดไนโตรเจนเริ่มต้นที่ความดัน 2 เมกะพาสคัล ให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิที่กำหนดระหว่าง 300 ถึง 350 องศาเซลเซียส กำหนดค่าความเร็วรอบใบกวน 300 รอบต่อนาที ให้เวลาทำปฏิกิริยา 60 นาที โดยเริ่มนับเวลาที่อุณหภูมิในเครื่องปฏิกรณ์ถึงค่า เมื่อครบเวลาทำการลดอุณหภูมิภายในเครื่องปฏิกรณ์จนถึงอุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เก็บตัวอย่างผลิตภัณฑ์แก๊สด้วยถุงเก็บแก๊สตัวอย่าง นำส่วนที่ได้จากเครื่องปฏิกรณ์ (ของแข็งและของเหลว) มาทำการกรองด้วยชุดกรองโดยใช้กระดาษกรอง นำส่วนที่เป็นของแข็งด้านบนชะล้างด้วยตัวทำละลายแอซิโตน จากนั้นนำส่วนของแข็งที่ได้ไปทำการอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และนำผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้ทำการระเหยตัวทำละลายออก โดยการใช้เครื่องระเหยแบบหมุน

1.4.5 ศึกษาผลของตัวแปรต่างๆ ในการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชัน ได้แก่

1.4.5.1 อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา (300, 350 องศาเซลเซียส)

1.4.5.2 อุณหภูมิที่ใช้ในการกระตุ้นชาร์ในเตาเผา (800, 900 องศาเซลเซียส)

1.4.5.3 ชนิดของสารป้อนร่วม (ชาร์ไม้ไผ่, ชาร์กะลาปาล์ม, ชาร์ไม้ไผ่ที่ถูกกระตุ้น, ชาร์กะลาปาล์มที่ถูกกระตุ้น)

1.4.6 วิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชัน

Chulalongkorn University

1.4.6.1 ผลิตภัณฑ์ของเหลว

1) คำนวณปริมาณร้อยละผลได้ (yield)

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

W_{liq} คือ น้ำหนักของของเหลว (กรัม)

W_{daf} คือ น้ำหนักของชีวมวล (กรัม)

2) การการวิเคราะห์แบบแยกธาตุ ได้แก่ คาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน และ ออกซิเจน ด้วยเครื่อง CHN elemental analyzer

1.4.6.2 ผลิตภัณฑ์ของแข็ง

1) คำนวณปริมาณร้อยละผลได้ (yield)

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

W_{solid} คือ น้ำหนักของแข็ง (กรัม)

W_{daf} คือ น้ำหนักของชีวมวล (กรัม)

1.4.6.3 ผลิตภัณฑ์แก๊ส

1) คำนวณปริมาณร้อยละผลได้ (yield)

ค่าร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์แก๊ส (%gas) = (100 x W_{gas}) / W_{daf}

W_{gas} คือ น้ำหนักของแก๊ส (กรัม)

W_{daf} คือ น้ำหนักของชีวมวล (กรัม)

2) วิเคราะห์องค์ประกอบของด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี (gas chromatography, GC)

1.4.7 วิเคราะห์ข้อมูล สรุปผลการทดลอง และเขียนเล่มวิทยานิพนธ์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้ภาวะและวิธีเพิ่มร้อยละผลได้และคุณภาพของน้ำมันดิบชีวภาพจากชานอ้อยโดยใช้ชาร์แต่ละชนิดผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แนวคิดและทฤษฎี

ในปัจจุบันโลกของเรามีจำนวนประชากรเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทำให้มีความต้องการในการใช้พลังงานของมนุษย์เพิ่มสูงขึ้น โดยพลังงานส่วนใหญ่นั้นจะนำมาจากแก๊สธรรมชาติและน้ำมันดิบที่ขุดเจาะจากใต้พื้นโลก แต่น้ำมันดิบจากใต้พื้นโลกที่นำมาใช้นั้นล้วนแต่เกิดแก๊สมลพิษคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเป็นสาเหตุหลักก่อให้เกิดสภาวะโลกร้อน ดังนั้นจึงเริ่มให้ความสนใจเกี่ยวกับพลังงานทางเลือกเป็นอย่างมาก เพื่อป้องกันการเกิดสภาวะโลกร้อนเนื่องด้วยปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์มากเกินในระบบ [1]

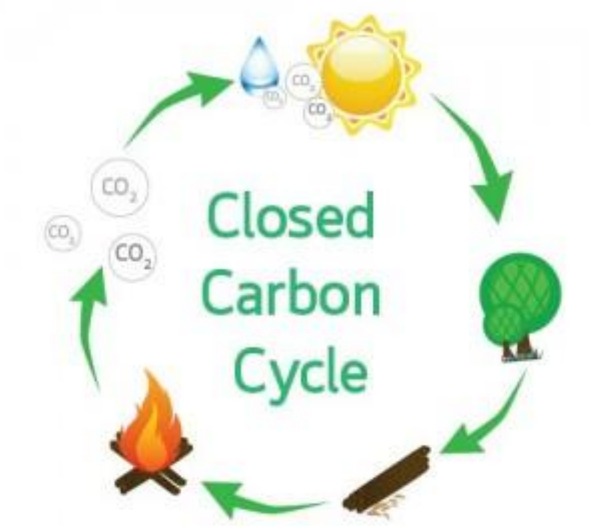
พลังงานทางเลือกมีหลากหลาย เช่น พลังงานน้ำ พลังงานลม พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานไฮโดรเจน และ พลังงานชีวมวล แต่พลังชีวมวลเป็นสิ่งที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมากเนื่องจากพลังงานชีวมวลเป็นการผลิตพลังงานด้วยวัสดุชีวมวลและอินทรียวัตถุที่ได้จากพืชและสัตว์ เช่น ผลิตผลและวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ไม้และเศษไม้ หรือของเหลือจากชุมชนและภาคอุตสาหกรรม เช่น แกลบ ชานอ้อย เศษไม้ กากปาล์ม กากมันสำปะหลัง ซังข้าวโพด กาบและกะลามะพร้าว เป็นต้น [2]

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมที่มีกำลังผลิตทางการเกษตรจำนวนมาก จึงมีชีวมวลให้เลือกใช้หลายชนิด ซึ่งแต่ละชนิดนั้นมีองค์ประกอบทางเคมีที่แตกต่างกันออกไป ทำให้น้ำมันชีวภาพที่ผลิตได้มีปริมาณและคุณภาพที่แตกต่างกันออกไปตามองค์ประกอบของชีวมวล ซึ่งส่วนใหญ่ชีวมวลจะมีปริมาณความชื้นสูงดังนั้นชีวมวลนี้จึงเหมาะกับกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันที่เป็นหนึ่งในกระบวนการเปลี่ยนชีวมวลเป็นพลังงาน เป็นกระบวนการที่ใช้อุณหภูมิปานกลางและความดันสูง ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้จะอยู่ในสถานะของเหลวมากที่สุด โดยชีวมวลตั้งต้นไม่ต้องผ่านกระบวนการทำให้แห้ง

2.2 ชีวมวล

ชีวมวล [3] (Biomass) เป็นแหล่งเชื้อเพลิงที่มีการใช้กันมานานแล้วตั้งแต่สมัยดึกดำบรรพ์ เช่น การนำเศษกิ่งไม้แห้งมาก่อเป็นกองแล้วจุดไฟเพื่อให้ความร้อนและแสงสว่างของมนุษย์ในสมัยที่ไม่มีพลังงานไฟฟ้า เป็นต้น ซึ่งเศษกิ่งไม้แห้งนี้ถือเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลชนิดหนึ่ง ชีวมวลนั้นยังนับเป็นพลังงานหมุนเวียนชนิดหนึ่งด้วย เนื่องจากเชื้อเพลิงชีวมวลเป็นแหล่งพลังงานที่สามารถเกิดทดแทนขึ้นในธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมเป็นวัฏจักรไปเรื่อยๆ [4] จากการใช้งานและเกิดขึ้นเป็นวัฏจักรของเชื้อเพลิงชีวมวลนั้นทำให้เกิดวัฏจักรการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ขึ้นจากปฏิกิริยาความร้อน

เนื่องจากการใช้เชื้อเพลิงชีวมวลนั้นเป็นระบบปิด (Closed Carbon Cycle or Zero Carbon Emission Cycle) ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 วัฏจักรคาร์บอนแบบปิดของเชื้อเพลิงชีวมวล [4]จุดเด่นของการใช้เชื้อเพลิงชีวมวล คือ เป็นเชื้อเพลิงที่สามารถหาได้ง่ายโดยมีอยู่ทั่วไปในท้องถิ่นนั้น ๆ และ การแปรรูปเชื้อเพลิงชีวมวลมาเป็นพลังงานมีต้นทุนที่ไม่สูง เช่น ในพื้นที่ชนบทบางพื้นที่ได้นำไม้ฟืนมาใช้เพื่อเป็นแหล่งความร้อนสำหรับประกอบอาหาร หรือ ในพื้นที่ที่ต้องการใช้ไฟฟ้าก็สามารถนำเชื้อเพลิงชีวมวลที่สามารถหาได้รอบ ๆ พื้นที่นั้นมาเป็นเชื้อเพลิงขั้นต้นสำหรับกระบวนการผลิตไฟฟ้าได้เช่นกัน นอกจากนี้การเพาะปลูกพืชชีวมวลยังสามารถสร้างรายได้ให้แก่ประชาชนได้ในท้องถิ่นนั้นได้ [5]

2.2.1 ประเภทของชีวมวล

สามารถใช้เกณฑ์การบ่งได้หลากหลาย ตัวอย่างเช่น แบ่งตามปริมาณความชื้นภายในชีวมวล (Moisture Content) เพื่อสะดวกต่อการเลือกใช้เทคโนโลยีในการแปรรูปชีวมวล ชีวมวลที่มีปริมาณความชื้นสูงประมาณ 50 % โดยน้ำหนักเช่น ชานอ้อย, มูลสัตว์ และ กากน้ำตาล เป็นต้น จะเรียกประเภทของชีวมวลนี้ว่า Wet Conversion Process ส่วนชีวมวลที่มีความชื้นต่ำ เช่น ฟางข้าว, ไม้ฟืน และ แกลบ เป็นต้น จะเรียกว่า Dry Conversion Process [6]

ในที่นี้เราจะแบ่งประเภทของชีวมวลออกเป็น 6 ประเภทจากแหล่งกำเนิดของชีวมวลนั้น ๆ [5], [7] ซึ่งได้แก่

1) ชีวมวลที่เกิดจากการเพาะปลูก ซึ่งชีวมวลประเภทนี้มีการปลูกขึ้นมาแล้วเหลือจากใช้ในจุดประสงค์หลักของการปลูก เช่น ปลูกเพื่อเป็นอาหารแก่คนหรือสัตว์ หรือปลูกขึ้นมาเพื่อใช้เป็น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

เชื้อเพลิงชีวมวลโดยตรง ชีวมวลประเภทนี้ เช่น ปาล์มน้ำมัน, ข้าวโพด, อ้อย, ถั่วเหลือง และ มันสำปะหลัง เป็นต้น ดังรูปที่ 2.2

รูปที่ 2.2 ไร่อ้อย [5]

2) ชีวมวลที่เกิดขึ้นหลังการเกิดไฟไหม้ป่า ชีวมวลชนิดนี้จะเกิดขึ้นหลังมีการเกิดไฟไหม้ป่าที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติเป็นประจำ โดยชีวมวลประเภทนี้ส่วนใหญ่เป็นพวกเศษกิ่งไม้ และลำต้น ของต้นไม้ที่หลงเหลือจากไฟไหม้ป่า ดังรูปที่ 2.3

รูปที่ 2.3 ซากไม้ที่เหลือหลังไฟป่า [5]

3) ชีวมวลที่เกิดขึ้นจากของเสียทางการเกษตร ชีวมวลประเภทนี้จะเกิดขึ้นระหว่างการเก็บเกี่ยวและการแปรรูปพืชผลทางการเกษตร เช่น แกลบ, ฟางข้าว, กะลาปาล์มและ กาบ ดังรูปที่ 2.4

รูปที่ 2.4 เส้นใยปาล์มและกาบมะพร้าว (ของเสียทางการเกษตร) [5]

4) ชีวมวลที่เกิดขึ้นในป่าและอุตสาหกรรมป่าไม้ ชีวมวลประเภทนี้สามารถหาได้ในป่า เช่น เศษใบไม้ กิ่งไม้ที่หักจากต้นไม้ ต้นไม้ที่ตายไปแล้ว หรือแม้กระทั้งของเสียที่เกิดจากอุตสาหกรรมการแปรรูปไม้ เช่น ขี้เลื้อย และ ปีกไม้ ดังรูปที่ 2.5 เป็นต้น

รูปที่ 2.5 เศษไม้และกิ่งไม้จากป่าและไม้จากอุสาหกรรมแปรรูปไม้ [5]

5) ชีวมวลจากมูลสัตว์ ชีวมวลประเภทนี้เป็นสิ่งปฏิกูลที่เกิดจากการขับถ่ายของสัตว์ เช่น มูลวัว มูลแพะ มูลไก่ ดังรูปที่ 2.6 เป็นต้น ซึ่งชีวมวลเหล่านี้จะมีความชื้นที่สูงมาก

รูปที่ 2.6 มูลไก่ [5]

6) ชีวมวลจากขยะชุนชน ชีวมวลประเภทนี้คือขยะที่เราทิ้งกันทุก ๆ วัน ซึ่งสามารถเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า ขยะชุมชน (Municipal Solid Waste) ดังรูปที่ 2.7

รูปที่ 2.7 ขยะชุมชน (Municipal Solid Waste) [5]

2.2.2 องค์ประกอบของชีวมวล

องค์ประกอบของชีวมวลหรือสสารทั่วไปจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลักคือ

1) ความชื้น (Moisture) ความชื้นหมายถึงปริมาณน้ำที่มีอยู่ ชีวมวลส่วนมากจะมีความชื้นค่อนข้างสูง เพราะเป็นผลผลิตทางการเกษตร ถ้าต้องการนำชีวมวลเป็นพลังงานโดยการเผาไหม้ ความชื้นไม่ควรเกิน 50 เปอร์เซ็นต์

2) ส่วนที่เผาไหม้ได้ (Combustible substance) ส่วนที่เผาไหม้ได้จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ Volatiles matter และ Fixed Carbon Volatiles matter คือส่วนที่ลุกเผาไหม้ได้ง่าย ดังนั้นชีวมวลใดที่มีค่า Volatiles matter สูงแสดงว่าติดไฟได้ง่าย

3) ส่วนที่เผาไหม้ไม่ได้ คือ ขี้เถ้า (Ash) ชีวมวลส่วนใหญ่จะมีขี้เถ้าประมาณ 1 -3 เปอร์เซ็นต์ ยกเว้นแกลบและฟางข้าว จะมีสัดส่วนขี้เถ้าประมาณ 10 -20 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจะมีปัญหาในการเผาไหม้และกำจัดพอสมควร

2.2.3 ประโยชน์ของชีวมวล

มนุษย์ได้รู้จักนำชีวมวลมาใช้เป็นพลังงานตั้งแต่สมัยโบราณแล้ว จนต่อมาโลกได้มีการพัฒนาเจริญมากขึ้น ใช้พลังงานเพิ่มขึ้น จึงได้นำเชื้อเพลิง เช่น น้ำมันดิบ ถ่านหิน และก๊าซธรรมชาติมาทดแทน ทำให้พลังงงานจากชีวมวลมีบทบาทน้อยลงมากในปัจจุบันนี้

การนำชีวมวลมาเป็นเชื้อเพลิงมีข้อดีหลายประการ คือ

1) การเผาไหม้สสารทุกชนิดจะเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งล่องลอยไปในอากาศและห่อหุ้มโลกไว้ เมื่อแสงอาทิตย์ส่องลงมายังโลก รังสีบางส่วนไม่สามารถสะท้อนกลับออกไปได้ทำให้โลกร้อนขึ้น จึงเรียกก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ว่าเป็นก๊าซเรือนกระจก (Green House Gas) แต่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากการเผาชีวมวลจะถูกหมุนเวียนกลับไปใช้โดยพืชเพื่อสังเคราะห์แสง ดังนั้นการเผาชีวมวลไม่ถือว่าก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจก (Carbon Offset)

2) การไม่นำชีวมวลมาใช้ โดยปล่อยให้ย่อยสลายตามธรรมชาติ เช่น มูลสัตว์ จะเกิดก๊าซมีเทนซึ่งถือว่าเป็นก๊าซเรือนกระจกชนิดหนึ่งและมีอันตรายกว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 21 เท่า

3) ชีวมวลจะมีกำมะถันหรือซัลเฟอร์ไม่เกิน 0.2 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นการนำชีวมวลมาเผาไหม้จะไม่สร้างปัญหาเรื่องฝนกรด (น้ำมันเตามีปริมาณกำมะถันประมาณ 2 เปอร์เซ็นต์ ส่วนถ่านหินมีปริมาณกำมะถันประมาณ 0.3-3.8 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งขึ้นอยู่กับประเภทของถ่านหิน)

4) ขี้เถ้าของชีวมวลมีสภาพเป็นด่าง ดังนั้นเหมาะสมที่จะนำไปเพาะปลูกหรือปรับสภาพดินที่เป็นกรด แต่ขี้เถ้าจากการเผาถ่านหินจะมีสารโลหะหนักปนอยู่ ดังนั้นต้องนำไปฝังกลบอย่างถูกวิธีเช่นมีผ้ายางรองรับด้านล่าง

5) ช่วยลดภาระในการกำจัด เช่น นำไปฝังกลบและเผาทิ้งเป็นต้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

6) ก่อให้เกิดการสร้างงานในท้องถิ่น ชุมชนมีรายได้เพิ่มขึ้น มีการประเมินว่าการนำชีวมวลในท้องถิ่นมาใช้ทำเงินหมุนเวียนในระบบเพิ่มขึ้นถึง 7 เท่าและรายได้ประชาชาติสูงขึ้น กล่าวคือเมื่อชาวไร่ชาวนามีรายได้เพิ่มขึ้นจากชีวมวล จะนำเงินส่วนนี้ไปใช้จ่ายหมุนเวียนในท้องถิ่นเช่นค่าจ้างคนเก็บและรวบรวมชีวมวล คนเหล่านี้จะนำเงินไปใช้จ่ายต่ออีกทอดหนึ่ง เป็นอย่างนี้เรื่อยไป

7) ประหยัดเงินตราต่างประเทศเพราะไม่ต้องนำเข้าเชื้อเพลิงจากต่างประเทศเช่น น้ำมันเตาและถ่านหิน เป็นต้น [8]

2.2.3 โครงสร้างของชีวมวล

ลิกโนเซลลูโลส (Lignocellulose) หมายถึง ชีวมวลอินทรีย์ที่ประกอบด้วย เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน พบมากในผนังเซลล์ของพืชได้แก่ เศษวัสดุเหลือทิ้งจากไม้ทั้งไม้เนื้อแข็งและไม้เนื้ออ่อน เศษวัสดุจากการเกษตร เช่น ซังข้าวโพด เส้นใยข้าวโพด ชานอ้อย แกลบและพวกฟางข้าว ขยะจากกระบวนการแปรรูปอาหารและจากบ้านเรือน รวมถึงมูลสัตว์ต่างๆ [9] โดยปริมาณเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ในพืชนอกจากจะขึ้นอยู่กับการเจริญเติบโตและสายพันธุ์ของพืชแล้ว ยังขึ้นอยู่กับชนิดพืช ทั้งนี้ล้วนมีปริมาณที่แตกต่างกันดังตารางที่ 2.1

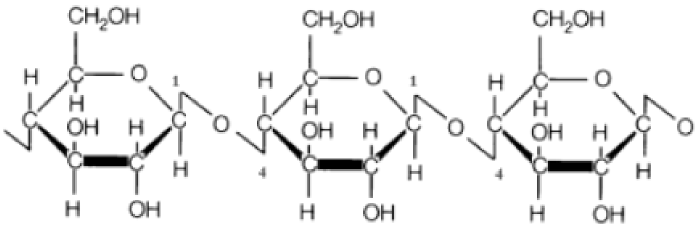
ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบของลิกโนเซลลูโลสในสารชีวมวล [9]

ชีวมวล	ส่วนประกอบของลิกโนเซลลูโลสภายในพืช (%)		
	เซลลูโลส	เฮมิเซลลูโลส	ลิกนิน
ฟางข้าว	32.1	24.0	12.5
ฟาวข้าวสาลี	30.5	28.4	18.0
ชานอ้อย	33.4	30.0	18.9
ซังข้าวโพด	45.0	35.0	15.0
ต้นปาล์ม	37.14	30.59	22.32
ต้นมันสำปะหลัง	32.2	13.85	26.96

2.2.3.1 เซลลูโลส (Cellulose)

เซลลูโลส (Cellulose) มีสูตรโมเลกุลคือ $(C_6H_{10}O_5)_n$ มีโครงสร้างดังรูปที่ 2.8 เซลลูโลสเป็นพอลิเมอร์ชีวภาพ (Biopolymer) ที่สามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ ประกอบด้วยสารคาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate) ประเภทพอลิแซ็กคา ไรด์ (Polysaccharide) ชนิดโฮโมพอ-ลิแซ็กคาไรด์ (Homopolysaccharide) ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง สำหรับโครงสร้างของเซลลูโลสประกอบด้วยโมเลกุลของกลูโลส (Glucose) ที่มีหมู่ไฮดร

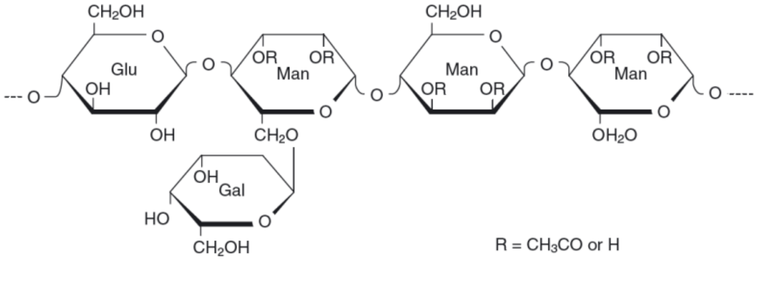
อกซิล (Hydroxyl group) เป็นหมู่หลัก มาเรียงต่อกันด้วยพันธะไกลโคไซด์ (Glycosidic bond) ที่ต้าแหน่งบีต้า-1,4 (β (1-4 glycosidic bond)) ได้เป็นสายยาวที่ประกอบด้วยโมเลกุลของกลูโคสกว่า 1,000 - 10,000 โมเลกุลที่มีการจัดเรียงตัวกันอย่างเป็นระเบียบ โดยเซลลูโลสจะมีหน่วยซ้ำที่เรียกว่าเซลโลไบโอส (Cellobiose) และ ทุกๆ หน่วยที่สองของกลูโลสที่ต่อกันในโมเลกุลของเซลลูโลสจะสามารถหมุนได้ 180 องศา เกิดเป็นพันธะ ไฮโดรเจนระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลในโมเลกุลกลูโคส ทำาให้เซลลูโลสมีความแข็งแรง มีอุณหภูมิการหลอมตัวสูง และไม่สามารถละลายได้ในสารละลายอินทรีย์ทั่วไป [10]



รูปที่ 2.8 โครงสร้างของเซลลูโลส [10]

2.2.3.2 เฮมิเซลลูโลส

เฮมิเซลลูโลส เป็นโพลิเมอร์ที่ซับซ้อนโดยเกิดการเชื่อมโยงจากเซลลูโลส ในผนังเซลล์โดยมีสูตรทั่วไปคือ $(C_5H_8O_4)_n$ เป็นพอลีเมอร์ประเภท ไบโอพอลีเมอร์โดยมีค่าเฉลี่ยของน้ำหนักโมเลกุลคือ 50 ถึง 200 โมเลกุลที่สามารถสลายได้ในด่าง โดยส่วนใหญ่เฮมิเซลลูโลสจะอยู่ในเนื้อไม่อ่อนนะเนื้อไม้แข็งประมาณร้อยละ 10 ถึง 30% โดยโครงสร้างหลักของมันจะมีทั้งสายโซ่ตรงและโซ่กิ่ง ดังนั้นเฮมิเซลลูโลสเช่นสลายตัวได้ง่ายกว่าเซลลูโลสเมื่อถูกความร้อน [11] ดังรูปที่ 2.9

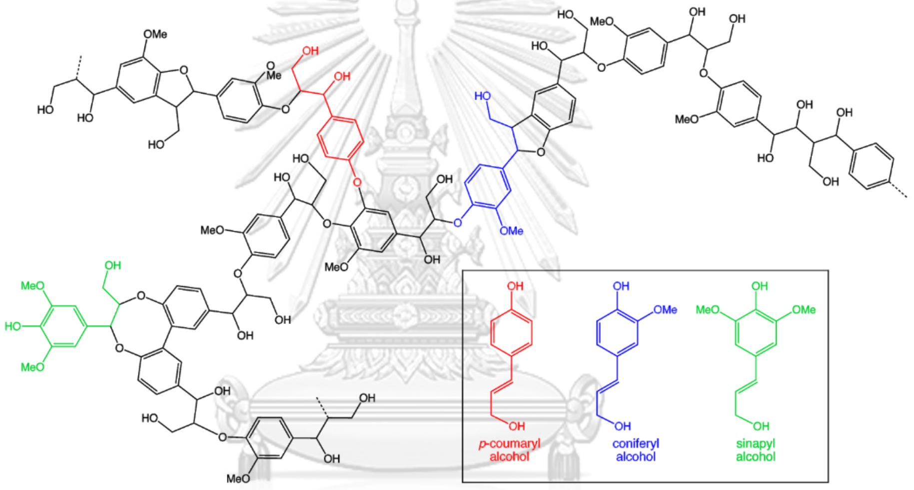


รูปที่ 2.9 โครงสร้างของเฮมิเซลลูโลส [11]

2.2.1.3 ลิกนิล

ลิกนิน (Lignin) มีสูตรโมเลกุลคือ $C_{10}H_{12}O_4$ ลิกนินเป็นสารประกอบระหว่างคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจนรวมกันเป็นหน่วยย่อยหลายชนิด จนกลายเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่มีน้ำาหนักโมเลกุลสูง ลิกนินมีสมบัติไม่ละลายน้ำ [12] ไม่ยืดหยุ่น แต่มีความแข็งแรงทนทานสูง นอกจากนี้ ลิกนินยังมีโครงสร้างเป็นร่างแหเพื่อทำาหน้าที่เชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลของเฮมิเซลลูโลสและเซลลูโลสให้ติดกันภายในผนังเซลล์ ท้าให้โครงสร้างพืชมีความแข็งแรงทนทานสูง [13],[14]

สำาหรับหน่วยย่อยของลิกนิน (Monolignols) จะมีโครงสร้างแบบอะโรมาติกและมักพบได้ในธรรมชาติทั้งหมด 3 มอนอนเมอร์ ได้แก่ p-Coumaryl alcohol, Coniferyl alcohol และ Sinapyl alcohols [15] ดังรูปที่ 2.10



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่ 2.10 โครงสร้างของลิกนิน [15]

2.3 สมบัติทางความร้อนของชีวมวล

สมบัติที่สำาคัญของชีวมวล (Properties of Biomass Sources) ถือเป็นข้อมูลพื้นฐานสำาหรับการนำาชีวมวลมาแปลงเป็นพลังงาน เนื่องจากคุณสมบัติเหล่านี้จะเป็นตัวช่วยในการเลือกกระบวนการแปลงชีวมวลเป็นพลังงาน (Conversion process) และบ่งบอกความยากง่ายของการนำาชีวมวลที่มีมาแปลงเป็นพลังงานในแต่ละกระบวนการ เพื่อเลือกกระบวนการแปลงชีวมวลเป็นพลังงานให้เหมาะสมที่สุด

คุณสมบัติที่สำาคัญของชีวมวล 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) และ ขนาดและความหนาแน่นรวม (Size and bulk density) [16]

2.3.1 ค่าความชื้น (Moisture content)

ค่าความชื้น (MC) เป็นสัดสวนระหว่างน้ำที่อยู่ในชีวมวลต่อน้ำหนักชีวมวลทั้งหมด ซึ่งความชื้นนี้สามารถแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบ คือ ความชื้นภายใน (Intrinsic Moisture) และความชื้นภายนอก (extrinsic moisture) ความชื้นภายในเป็นค่าความชื้นที่อยู่ในชีวมวล ซึ่งเป็นค่าคงที่ซึ่งจะไม่คิดค่าความชื้นที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศ อย่างไรก็ตามค่าความชื้นที่แปรเปลี่ยนตามสภาพอากาศ หรือความชื้นที่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากกระบวนการเก็บเกี่ยว [16]

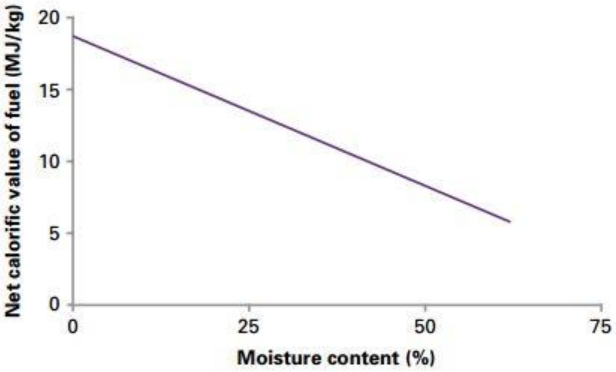
ค่าความชื้นถือเป็นสมบัติหนึ่งที่มีผลต่อกระบวนการแปลงชีวมวลเป็นพลังงานที่สำคัญ โดยเฉพาะอย่างยิ่งกระบวนการแปลงพลังงานโดยใช้ความร้อน (thermal conversion processing) เมื่อชีวมวลใดยิ่งมีค่าความชื้นมากยิ่งทำให้ค่าความร้อนต่ำ (Low heating Value) ของชีวมวลนั้นๆ ลดลง ซึ่งส่งผลให้ประสิทธิภาพในการใช้ความร้อนลดลง [17] ค่าความชื้นสูงสุดของชีวมวลที่แนะนำให้ใช้ในหม้อไอน้ำต่างๆ มีดังนี้ ในหม้อไอน้ำเล็ก (Smaller Boiler) ค่าความชื้นของชีวมวลควรไม่เกิน 30-35 %, หม้อไอน้ำแบบ reciprocating grate system ค่าความชื้นของชีวมวลไม่ควรเกิน 60 % และ หม้อไอน้ำแบบ Stoker ค่าความชื้นของชีวมวลไม่ควรเกิน 25 % [18]

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 คือค่าความร้อนสูงสุดของชีวมวลนั้นๆ เป็นค่าความร้อนที่ปล่อยออกมาจากการเผ้าไหม้และรวมกับค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอน้ำของความชื้นที่อยู่ในชีวมวลนั้นๆ ฉะนั้นค่า HHV นั้นไม่ขึ้นอยู่กับค่าความชื้นที่อยู่ในชีวมวล ส่วน LHV คือ ค่าความร้อนที่ปล่อยออกมา

จากการเผาไหม้ชีวมวลซึ่งค่าความชื้นจะมีผลโดยตรงกับค่า LHV นี้ [16] ความสัมพันธ์ของค่าความร้อนของชีวมวล และค่าความชื้นของชีวมวล สามารถแสดงในกราฟในรูปที่ 2.11 [18]



รูปที่ 2.11 ความสัมพันธ์ของค่าความร้อนและค่าความชื้นของชีวมวล [18]

การหาค่าความร้อนของชีวมวลขึ้นอยู่กับองค์ประกอบและสมบัติของ เชื้อเพลิงในรูปสัดส่วนคาร์บอนไฮโดเจนไนโตรเจนออกซิเจนและซัลเฟอร์ หรืออยู่ในรูปสัดส่วนของคาร์บอนคงตัว (FC) สารระเหย (VM) ความชื้น (MC) และ เถ้า (ASH) ตามสมการการหาค่าาความร้อน คือ

$$HHV\ (MJ/kg) = 0.3536FC + 0.1559VM - 0.0078ASH$$

นอกจากสมการข้างต้นแล้วยังมีสมการการหาค่าความร้อนอีกสมการคือ สมการของดูลอง (Dulong formula) ดังสมการต่อไปนี้

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

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

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 สัดส่วนเถ้าถ่าน (Ash/Residue Content)

สัดส่วนเถ้าและเศษที่เหลือ (Ash/Residue Content) ในด้านการเผาไหม้ (Combustion) เศษที่ไม่สามารถเผาไหม้ได้จะเรียกว่า ขี้เถ้า ซึ่งเศษเหลือบางชนิดจะอยู่ในรูปของเมือกเหนียว ๆ (slag from) ในด้านของการเปลี่ยนด้วยชีวเคมี (biochemical conversion) นั้น เศษที่เหลือจากกระบวนการนี้คือ ปริมาณคาร์บอนที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (Nonbiodegradable carbon) ปริมาณขี้เถ้าและเศษที่เหลือต่าง ๆ นี้เป็นปัจจัยที่สำคัญปัจจัยหนึ่งในการออกแบบเตาเผาไหม้ชีวมวล [19]

2.3.5 สัดส่วนโลหะอัลคาไล (Alkali metal)

โลหะอัลคาไล (Alkali metal) ในชีวมวลคือโลหะจำพวก โซเดียม (Na), โพแทสเซียม (K) ,แมกนีเซียม (Mg) , ฟอสฟอรัส (P) และ แคลเซียม (Ca) โลหะอัลคาไลเป็นคุณสมบัติที่สำคัญอย่างหนึ่งโดยเฉพาะอย่างยิ่งในกระบวนการเผาไหม้ โลหะอัลคาไลนี้เมื่อถูกความร้อนปริมาณมากจะหลอมเหลวกลายเป็นเมือกเหนียว (Sticky) [16] ซึ่งบางครั้งวิธีแก้ปัญหาเหล่านี้คือการควบคุมความร้อนในการเผาไหม้ไม่ให้มีอุณหภูมิสูงเกินไป [17]

2.3.6. อัตราส่วนเซลลูโลส/ลิกนิน (Cellulose/Lignin Ratio)

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

2.3.7 ขนาดและความหนาแน่นรวม (Size and bulk density)

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

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.4 ชีวมวลในประเทศไทย

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม ที่มีผลผลิตทางการเกษตรเป็นจำนวนมาก จึงทำให้มีผลผลิตที่เหลือทิ้งทางการเกษตรเป็นจำนวนมากเช่นกัน ผลผลิตที่เหลือทิ้งนั้นสามารถนำมาแปรรูปเป็นพลังงานทดแทนได้เช่น ชานอ้อย เหง้ามันสำปะหลัง ซังข้าวโพด เป็นต้น โดยการแปลงเป็นเชื้อเพลิงนั้นสามารถผลิตได้ทั้ง พลังงานความร้อนในกระบวนการอุตสาหกรรม และ อื่น ๆอีกมาก ดังนั้นจากปริมาณการเหลือทิ้งของ ชานอ้อย ที่มีปริมาณมากที่สุดในประเทศไทยดังตารางที่ 2.2 จึงทำให้ชานอ้อยมีความน่าสนใจในการนำมาเปลี่ยนเป็นพลังงานในรูปแบบต่าง ๆ [20]

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 2.2 ผลการประเมินศักยภาพชีวมวลแต่ละชนิด [20]

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

ตารางที่ 2.2 ผลการประเมินศักยภาพชีวมวลแต่ละชนิด (ต่อ)

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

***หมายเหตุ** ข้อมูลของปีการเพาะปลูก พ.ศ. 2556 [20]

2.5 อ้อย

อ้อย (ชื่อวิทยาศาสตร์: Saccharum officinarum) เป็นพืชวงศ์ POACEAE วงศ์เดียวกับ ไผ่ หญ้าและธัญพืช เช่น ข้าวสาลี ข้าว ข้าวโพด และ ข้าวบาร์เลย์ มีถิ่นกำเนิดในเขตร้อนของทวีปเอเชีย ในลำต้นอ้อยที่นำมาใช้ทำน้ำตาลมีปริมาณซูโครสประมาณ 17-35% ชานอ้อย (bagasse) ที่ถูกบีบเอาน้ำอ้อยออกไปแล้ว สามารถนำมาใช้ทำกระดาษ พลาสติก เป็นเชื้อเพลิง และอาหารสัตว์ ส่วนกากน้ำตาล (molasses) ที่แยกออกจากน้ำตาลในระหว่างการผลิต สามารถนำไปหมักเป็นเหล้ารัม (rum) ได้อีกด้วย [21]

อ้อยเป็นพืชชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญเป็นอย่างมากเมื่อพิจารณาในแง่ของผลผลิต เพราะอ้อยสามารถใช้ปัจจัยสำหรับการเจริญเติบโต เช่น แสงแดด น้ำ อากาศ และธาตุอาหารได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้อ้อยยังเป็นพืชที่ปลูกง่าย และเมื่อปลูกครั้งหนึ่งแล้ว สามารถเก็บเกี่ยวได้หลายครั้ง อ้อยชอบอากาศร้อนและชุ่มชื้น ลักษณะของอ้อยแสดงดังรูปที่ 2.12

รูปที่ 2.12 อ้อย [21]

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.5.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

อ้อยเป็นไม้ล้มลุก สูง 2-5 เมตร แตกกอแน่น ลำต้นสีม่วงแดงตั้งหรือมีโคนทอดเอน มีไขสีขาวปกคลุม ไม่แตกกิ่งก้าน ใบเดี่ยว เรียงสลับเป็น 2 แถว กว้าง 2.5-5 เซนติเมตร ยาว 0.5-1 เมตร ใบตั้งหรือทอดโค้ง ใบรูปใบหอกแกมรูปแถบขอบใบมีหนามเล็กๆหยาบ ดอกช่อออกที่ปลายยอด ช่อแยกแขนง รูปพีระมิด เปราะ ช่อดอกย่อยรูปใบหอกถึงรูปใบหอกแกมรูปขอบขนาน มีขนสีขาวปกคลุม ผลเป็นผลแบบผลธัญพืช แห้งและมีขนาดเล็ก

2.5.2 ลักษณะทั่วไปอ้อย

- ราก

รากของอ้อยนั้น จะเป็นรากที่อยู่ใต้ดิน มีขนาดใหญ่กระจายทั่วลำต้น มีความยาวประมาณ 100 เซนติเมตร โดยรากของอ้อยนั้นจะแบ่งออกเป็น 2 ชุดด้วยกัน ทั้งรากของท่อนพันธุ์ ที่ใช้ลำเลียงน้ำและธาตุอาหารจนกว่าหน่ออ่อนจะเติบโต และรากชนิดนี้จะหมดสภาพไปเอง ต่อไปก็คือ รากของหน่อ คือรากขนาดใหญ่ที่เจริญออกจากปุ่มรากของหน่อที่เติบโตแล้ว รากของอ้อยนั้นจะมีการเติบโตทดแทนกันอย่างสม่ำเสมอ และรากเก่าก็จะหมดสภาพลงไปตามกาลเวลา

- ลำต้น

ลำต้นขนาดใหญ่ของอ้อยนั้นจะประกอบไปด้วยข้อปล้องจำนวนมาก ปล้องเหล่านี้จะยาวหรือสั้นก็จะขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำที่ได้รับ ยิ่งมีน้ำมาก ปล้องก็จะยาวและทำให้ลำต้นสูงใหญ่ตาม

- รูปร่างของปล้อง

ปล้องมีรูปร่างแตกต่างกันหลายรูปทรงมากมาย เช่น เป็นรูปทรงกระบอก (cylindrical) มัดข้าวต้ม (tumescent) กลางคอด (bobbin-shaped) โคนใหญ่ (conoidal) โคนเล็ก (obconoidal) หรือโค้ง (curved) ข้อและปล้องเหล่านี้จะมีส่วนประกอบมากมายกว่าสิบอย่างด้วยกัน เช่น ตา บริเวณเกิดราก (root band หรือ rootring หรือ root zone)หรืออาณาเขตที่อยู่ระหว่างรอยกาบ และวงเจริญ ปุ่มราก (root primordia หรือ root initials) หรือจุดที่รากจะเจริญออกมา วงเจริญหรือวงแหวน (growth ring) รอยกาบ (leaf scar หรือ sheath scar)เป็นรอยที่เกิดขึ้นหลังจากกาบใบหลุดแล้ว วงไข (wax ring) ส่วนที่มีไขเกาะมากกว่าส่วนอื่นๆ รอยแตกตื้น หรือ รอยแตกลายงา (corky cracks) รอยแตกเล็กๆ บริเวณผิวเปลือก รอยแตกลึก (growth crack หรือ rind crack) รอยแตกขนาดใหญ่ตามความยาวของลำต้นลึกเข้าไปในเนื้ออ้อย รอยตกสะเก็ด (corky patch) ร่องตา (bud furrow หรือ bud groove)

- ใบ

เหมือนใบข้าวที่ขนาดใหญ่ขึ้น ใบอ้อยจะมี 2 ส่วนด้วยกันคือ กาบใบและแผ่นใบ

- กาบใบ คือส่วนที่โอบรอบลำต้นสลับซ้าย ขวาไปมาจากต้นถึงปลายลำต้น
- แผ่นใบ เป็นส่วนที่ถัดเข้าไปจากกาบใบ จะมีแกนตรงกลางที่ทำให้แผ่นใบมีลักษณะแข็งตั้งตรงได้

- ดอก

ดอกของอ้อยนั้นจะเป็นดอกเล็กๆที่ติดกันเป็นคู่ ๆ แต่ในหนึ่งคู่ก็จะแยกออกเป็นดอกที่มีก้านและไม่มีก้าน แต่ละดอกจะมีขนสีขาวอยู่ที่รอบฐาน เมื่อดอกบาน ขนเหล่านี้ก็จะกางออกรอบ ๆ เป็นรัศมีเล็ก ๆ

- ผล

ผลของอ้อยมีลักษณะคล้ายผล(เมล็ด)ของข้าวที่มีขนาดเล็กลงมาหลายเท่า และจะติดอยู่กับตัวดอกอย่างแน่น เราจะเรียกเมล็ดอ้อยว่าฟัซซ์ หรือ ฟลัฟฟ์ (fuzz หรือ fluff) และเมล็ดเหล่านี้ก็จะนำไปเพาะใหม่ต่อไป

2.5.3 การเจริญเติบโตของอ้อย

การเจริญเติบโตของอ้อยนั้นแบ่งออกได้เป็น 4 ระยะ คือ

- ระยะงอก (germination phase)

ระยะนี้เริ่มต้นตั้งแต่ปลูกจนกระทั่งหน่อโผล่พ้นดิน โดยจะใช้เวลาประมาณ 2-3 สัปดาห์ ซึ่งก็ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น พันธุ์ ความหนาของดินที่กลบท่อนพันธุ์ และการปฏิบัติต่อท่อนพันธุ์ เป็นต้น หน่อที่เกิดจากตาของท่อนพันธุ์ เรียกว่า หน่อแรก (primary shoot) หรือหน่อแม่ (mother shoot) จำนวนท่อนพันธุ์ที่งอกต่อไร่จะเป็นตัวกำหนดจำนวนกออ้อยในพื้นที่นั้น

- ระยะแตกกอ (tillering phase)

การแตกกอ จะเริ่มจากราว ๆ 1.5 เดือน หลังปลูก และ อาจนานถึง 2.5-4 เดือน การแตกกอ เป็นกระบวนการทางสรีรวิทยาของแบบการทำซ้ำภายใต้พื้นดิน โดยแยกออกจากข้อตาที่เป็นหน่อแม่ โดยการแตกกออ้อย ให้มีจำนวนข้อที่เหมาะสม จะทำให้ได้ผลผลิตที่ดี โดยปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อ การแตกกอ มีหลากหลาย ได้แก่ ความชื้นในดิน แสง อุณหภูมิ และปุ๋ย หน่อที่เกิดขึ้น ในช่วงต้นนั้นก่อให้เกิด ลำที่ใหญ่และหนัก แต่หน่อที่เกิดขึ้น ในช่วงปลายจะมีโอกาสทั้งตายหรือ ซึ่งจะเกิดขึ้นในระยะสั้น คือโตไม่เต็มที่เท่านั้น การปลูกอ้อยในระยะการแตกกอนั้น การควบคุม น้ำ และ วัชพืช ที่มีความสำคัญต่อการแตกกอเป็นอย่างมาก ซึ่งจะช่วยกระตุ้นการแตกกอ ให้มีประมาณหน่อลูกที่เหมาะสม ส่งผลต่อการได้ผลผลิตตันต่อไรที่ดี

- ระยะย่างปล้อง (stalk elongation phase)

ระยะนี้เป็นระยะต่อเนื่องกับการแตกกอ อ้อยจะมีการเพิ่มความยาวและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของปล้องอย่างรวดเร็ว ทำให้อ้อยทั้งลำต้นเจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็วด้วย

โดยจะเริ่มตั้งแต่อายุประมาณ 3-4 เดือน ถึงอายุประมาณ 7-8 เดือน ซึ่งหลังจากนั้นการเจริญเติบโตจะมีลดลง และจะเริ่มมีการสะสมน้ำตาลเพิ่มมากขึ้น

- ระยะแก่และสุก (maturity and ripening phase)

เป็นระยะที่มีอัตราการเจริญเติบโตช้าลงมากเมื่อเปรียบเทียบกับระยะต่างๆข้างต้น เมื่อการเจริญเติบโตเริ่มช้าลง น้ำตาลทีจากที่ใบสร้างขึ้นโดยการสังเคราะห์แสงนั้นจะถูกใช้น้อยลง และมีเหลือสะสมในลำต้นมากขึ้น ซึ่งระยะนี้เป็นการเริ่มต้นของการสุกนั่นเอง การสะสมน้ำตาลนั้นจะเริ่มจากส่วนโคนไปหาปลาย ดังนั้นส่วนโคนจึงมีความหวานมากกว่าส่วนปลาย การสะสมน้ำตาลจะมีมากขึ้นตามลำดับ จนกระทั่งทุกส่วน มีความหวานใกล้เคียงกันเรียกว่า สุก

2.5.4 สายพันธุ์

อ้อยมีหลายพันธุ์แตกต่างกันที่ความสูง ความยาวของข้อและสีของลำต้น อ้อยเป็นพืชเศรษฐกิจที่เกษตรกรนิยมปลูกกันมาก อ้อยที่นำมาคั้นน้ำสำหรับดื่ม เป็นอ้อยที่ปลูกบริเวณที่ราบลุ่ม พื้นที่ดินเหนียว ประชาชนเรียกว่า อ้อยเหลือง หรือ อ้อยสิงคโปร์ นิยมปลูกกันมากในบริเวณจังหวัดอ่างทอง พระนครศรีอยุธยา สุพรรณบุรี และนครปฐม เป็นต้น

พ.ศ. 2550 ศูนย์วิจัยพืชไร่สุพรรณบุรี (ปัจจุบันเปลี่ยนชื่อเป็น ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรสุพรรณบุรี) กรมวิชาการเกษตร ดำเนินการศึกษาวิจัยและพัฒนาพันธุ์อ้อยขึ้นมาใหม่ คือ พันธุ์สุพรรณบุรี 80 ซึ่งได้จากการผสมข้ามพันธุ์ระหว่างพันธุ์แม่ 85-2-352 กับพันธุ์พ่อ K84-200 ใช้ระยะเวลาคัดเลือกและปรับปรุงพันธุ์นานกว่า 11 ปี มีลักษณะเด่น คือให้ผลผลิตในอ้อยปลูกน้ำหนักเฉลี่ย 17.79 ตัน/ไร่ ให้ผลผลิตน้ำตาลเฉลี่ย 2.66 ตันซีซีเอส/ไร่ นอกจากนี้ยังสามารถต้านทานโรคเหี่ยวเน่าแดงและโรคแส้ดำได้ระดับปานกลางด้วย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

พันธุ์อ้อยที่นิยมในประเทศไทยแบ่งออกเป็น 2 ชนิด ได้แก่ อ้อยเคี้ยวและอ้อยสำหรับทำน้ำตาล

- อ้อยเคี้ยว

อ้อยที่มีเปลือกและชานนิ่ม มีความหวานในระดับปานกลางถึงระดับสูง ปลูกเพื่อนำน้ำอ้อยไปบริโภคโดยตรง หรือใช้สำหรับรับประทานสด อ้อยเคี้ยวที่นิยมปลูกกันมีหลายพันธุ์ ได้แก่

- อ้อยสิงคโปร์ (อ้อยสำลี) ลักษณะจะมีชานนิ่มมาก ลำต้นสีเหลืองอมเขียว นำมาทำเป็นน้ำอ้อยแล้วจะมีสีสวยน่ารับประทาน
- พันธุ์มอริเชียส ลำต้นสีม่วงแดง พันธุ์นี้จะไม่เหมาะสำหรับทำน้ำอ้อย จึงใช้สำหรับการบริโภคโดยตรงแทน อ้อยพันธุ์นี้นิยมปลูกในจังหวัดราชบุรีและนครปฐม

- พันธุ์บาดิลาสีม่วงดำ ถึงแม้ว่าจะเป็นอ้อยเคี้ยว แต่ก็จะไม่ค่อยนิยมปลูกกันเพราะอ้อยพันธุ์นี้โตช้าและมีปล้องที่สั้นมาก

อ้อยทั้ง 3 พันธุ์นี้จัดเป็นพวกอ้อยดั้งเดิม ซึ่งมีถิ่นกำเนิดแถบเกาะนิวกินี นอกจากนี้ก็มีอ้อยน้ำผึ้งและอ้อยขาไก่ ซึ่งยังมีปลูกบ้างในบางพื้นที่ อย่างไรก็ดี อ้อยชนิดอื่น ๆ นอกจากที่กล่าวมานี้ก็สามารถใช้เป็นอ้อยเคี้ยวได้หากมีความหวานที่มากพอและไม่แข็งจนเกินไป

- อ้อยทำน้ำตาล

อ้อยพวกนี้เป็นจะอ้อยลูกผสมซึ่งเกิดขึ้นโดยนักผสมพันธุ์อ้อยของประเทศต่าง ๆ ทั่วโลก สำหรับประเทศไทยได้มีการนำพันธุ์อ้อยลูกผสมเข้ามาจากต่างประเทศตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันรวมประมาณ 220 พันธุ์และมีเพียง 20 พันธุ์ ที่ปลูกเป็นการค้าอยู่ในภาคต่าง ๆ เช่น บี 4098, ซีบี 38-22, ซีโอ 419, ซีโอ 421, เอฟ 108, เอฟ 134 , เอฟ 137, เอฟ 138 เป็นต้น

2.5.5 สรรพคุณสมุนไพร

ตำรายาไทยใช้ลำต้นเป็นยาขับปัสสาวะ โดยใช้ลำต้นสด 70-90 กรัม หรือแห้ง 30-40 กรัม หั่นเป็นชิ้น ต้มน้ำ แบ่งดื่มวันละ 2 ครั้งก่อนอาหาร แก้ไตพิการ หนองในและขับนิ่ว แพทย์พื้นบ้านใช้ขับเสมหะ รายงานว่าอ้อยแดงมีฤทธิ์ขับปัสสาวะในสัตว์ทดลอง

2.6 ไม้ไผ่ (Bamboo)

ไผ่ (bamboo) เป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยว (monocotyledon) จัดอยู่ในวงศ์หญ้า Poaceae (เดิมคือ Gramineae) วงศ์ย่อย Bambusoideae และครอบครัว Bambusaceae ลักษณะของไผ่แสดงดังรูปที่ 2.13 เนื่องจากไผ่มี ลักษณะทางชีววิทยาและสันฐานวิทยาคล้ายคลึงกับหญ้าทั่วไป แต่ความแตกต่างของไผ่กับหญ้าทั่วไปคือ ไผ่มีระบบเหง้าที่ชัดเจน มีก้านใบเทียม (Pseudo petiole) และใบที่ค่อนข้างกว้าง การเจริญเป็น กิ่ง (branch complement) ซับซ้อนและแข็งแรง รวมไปถึงลักษณะช่อดอกและส่วนประกอบต่าง ๆ ของดอกที่ซับซ้อน ยังพบว่าไผ่มีลักษณะที่คล้ายกับการมีเนื้อไม้ (woody bamboo) ส่งผลให้ไผ่ ส่วนมากมีลำต้นสูงใหญ่และมีอายุยืนนานหลายปี [22]

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 2.13 ไผ่ [22]

2.6.1 การกระจายพันธุ์ของไผ่

ไผ่เป็นหนึ่งในกลุ่มพืชสีเขียวตลอดปี (evergreen plant) อยู่ในวงศ์ Poaceae อนุวงศ์ (subfamily) Bambusoideae ในเผ่า (tribe) Bambuseae มีประมาณ 91 สกุล 1,000 ชนิด ซึ่งไผ่นับเป็นหญ้าชนิดที่ใหญ่ที่สุดในโลก พบทั่วไปทุกสภาพอากาศ ตั้งแต่ภูเขาที่หนาวเย็นถึงเขตร้อนชื้นของโลก เกิดขึ้นตั้งแต่เอเชียตะวันออกเฉียงเหนือ (ที่ 50oN ละติจูดในเกาะ Sakhalin มหาสมุทรแปซิฟิคตอนเหนือใกล้รัสเซีย), ตอนใต้ของเอเชียตะวันตกถึงภูเขาหิมาลัย และตอนใต้ถึงเหนือในออสเตรเลีย และยังพบในซาฮารา อาฟริกา และในทวีปอเมริกาจากตะวันออกเฉียงใต้ของสหรัฐอเมริกาถึงตอนใต้ของชิลี และในทุกๆ ที่ที่ 47oS ละติจูด พื้นที่ที่ไผ่ไม่ได้เกิดขึ้นเองคือยุโรป อาฟริกาเหนือ เอเชียตะวันตก ตอนเหนือของอเมริกาเหนือ และทั้งหมดของออสเตรเลียและแอนตาร์คติกา

2.6.2 ไผ่ในประเทศไทย

ไผ่เป็นพืชสารพัดประโยชน์ที่มนุษย์นำมาใช้เป็นเวลาช้านาน เพื่อเป็นอาหาร วัตถุดิบที่อยู่อาศัย และแม้กระทั่งยารักษาโรค ไผ่ในแถบร้อนของเอเชีย มีการกระจายพันธุ์ถึง 45 สกุล 750 ชนิด ในขณะที่ไผ่ทั่วโลกเท่าที่รู้ในปัจจุบันมีประมาณ 75 สกุล 1,250 ชนิด ส่วนที่พบในประเทศไทยมีประมาณ 13 สกุล 60 ชนิด ชนิดไผ่ที่นิยมนำมาใช้ประโยชน์จากป่ามีดังนี้ คือ ไผ่ตง ไผ่รวก ไผ่สีสุก ไผ่เลี้ยง ไผ่ซาง (ไผ่นวล ไผ่ปล้อง หรือไผ่สีนวล) ไผ่บงหวาน ไผ่ข้าวหลาม ไผ่ไร่ ไผ่รวกดำ และไผ่ป่า (ไผ่หนาม)

ในปี 2535 มีการจำแนกสภาพป่าจากภาพถ่ายดาวเทียมและการตรวจสอบภาคพื้นดินในพื้นที่ศึกษาเขตภาคเหนือ พบ ไผ่ไร่ ไผ่ซางนวล ไผ่บง และไผ่รวก เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งขึ้นกระจายอยู่ทั่วไปในป่าเบญจพรรณ นอกจากนี้ยังพบไผ่อื่นๆ อีก ได้แก่ ไผ่ข้าวหลาม ไผ่

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

เขียว ไผ่ไล่ลอ เป็นต้น แต่ มีปริมาณน้อยกว่าไผ่ทั้ง 4 ชนิดแรก โดยจังหวัดเชียงใหม่และลำพูนมีป่าเบญจพรรณที่ไผ่ขึ้นอยู่ จำนวน 5,104,687 ไร่ และ 666,563 ไร่

ชนิดไผ่ที่พบมากในภาคเหนือมี 28 ชนิด ได้แก่ ไผ่บง ไผ่ป่า ไผ่ลำมะลอก ไผ่เหลือง ไผ่หอบ ไผ่เลี้ยง ไผ่สีสุก ไผ่น้ำเต้า ไผ่ผิว ไผ่บง ไผ่ไล่ลอ ไผ่ข้าวหลาม ไผ่เฮียะ ไผ่ซาง ไผ่เซิม ไผ่หก ไผ่เป๊าะ ไผ่ซางดำ ไผ่ซางนวล ไผ่บงใหญ่ ไผ่ไร่ ไผ่ผากมัน ไผ่บงคาย ไผ่หางช้าง ไผ่เกรียบ ไผ่บงเลื้อย และ ไผ่รวกดำ

2.6.3 องค์ประกอบของป่าไผ่

ไผ่เป็นองค์ประกอบที่สำคัญในป่าดิบชื้น ป่าเบญจพรรณชื้น ป่าเบญจพรรณแล้ง ป่าดิบแล้งทั่วไป โดยเฉพาะเมื่อเกิดมีการแผ้วถางหรือไฟไหม้ ไผ่จะแพร่พันธุ์อย่างรวดเร็วและปกคลุมพื้นที่อย่างกว้างขวางหากมีไฟไหม้รบกวนทำอันตรายอยู่เป็นนิจ จะทำให้เกิดป่าไผ่ขึ้นอย่างถาวร เช่น ป่าไผ่ในท้องที่จังหวัดกาญจนบุรี จึงกล่าวได้ว่าไผ่เป็นสัญลักษณ์ของที่เกิดไฟไหม้

การขึ้นอยู่ของไผ่แต่ละชนิดพันธุ์ในท้องที่ต่างๆ กันนั้น เกี่ยวข้องกับปัจจัยต่างๆ ดังนี้

1. ลักษณะภูมิประเทศ ไผ่แต่ละชนิดจะขึ้นอยู่ในที่มีอุณหภูมิช่วงต่างๆ กัน โดยมีช่วงระหว่าง 8.8-36.0 องศาเซลเซียส ไผ่ที่มีลำขนาดใหญ่จะต้องการที่ซึ่งมีอุณหภูมิผันแปรน้อยกว่าชนิดที่มีลำเล็ก ไผ่ที่มีลำใหญ่มักขึ้นปะปนกับไม้ใหญ่ ส่วนไผ่ลำเล็กอาจขึ้นกลางแจ้งได้ดี (สมาน และ นิตยา, ไม่ปรากฏปีที่พิมพ์) ปริมาณน้ำฝนน้อยที่สุดที่ไผ่ต้องการประมาณ 40 นิ้ว (1,020 มิลลิเมตร) ต่อปี ส่วนปริมาณน้ำฝนสูงสุดไม่แน่นอน ในที่ยังมีฝนตก คือ 250 นิ้ว (6,350 มิลลิเมตร) ต่อปี ก็พบว่ามีไผ่ขึ้นอยู่ การกระจายของไผ่ชนิดต่างๆ จึงมักถูกจำกัดโดยความชื้นทั่วๆ ไป เนื่องจากความชื้นไม่เพียงพอ เช่น ไผ่ฮก จะพบเฉพาะในที่ซึ่งมีความชื้นมากพอสมควร จึงมักจะเจริญได้ไม่ค่อยงามในป่าเบญจพรรณแล้ง ไผ่รวกพวกที่ขึ้นอยู่บริเวณที่มีอากาศแห้งแล้งความชื้นน้อยในฤดูแล้งจะมีลักษณะไม่สวยงามเหมือนที่ขึ้นอยู่ตามริมลำธาร ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความสามารถในการปรับตัวให้เข้ากับสภาพความชื้นในดินและในอากาศ ไผ่บางชนิดจะเจริญเติบโตได้ดีในท้องที่ที่มีความชื้นอยู่สม่ำเสมอตามบริเวณลำธารและลำน้ำ เช่น ป่าไผ่รวกที่จังหวัดกาญจนบุรีจะพบไผ่ป่า ไผ่ลำมะลอกขึ้นเต็มไปหมด และตามที่แห้งแล้งในจังหวัดชัยนาทและอุทัยธานีจะพบไผ่รวกชนิดเดียวกันขึ้นอยู่ในเนื้อที่จำกัดและมีขนาดเล็กกว่าธรรมดามาก

2. ลักษณะดิน มักจะพบไผ่ขึ้นอยู่บนดิน sandy loam หรือ clay loam (สมาน และ นิตยา, ไม่ปรากฏปีที่พิมพ์) ไผ่แต่ละชนิดมีความต้องการดินที่แตกต่างกันออกไป จึงอาจใช้ชนิดของไผ่เป็นตัวชี้สภาพของป่าที่แตกต่างกันได้ โดยทั่วไปไผ่ที่มีลำใหญ่ต้องการดินที่มี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ความอุดมสมบูรณ์มากกว่าไผ่ชนิดที่มีลำเล็ก เพราะต้องการธาตุอาหารไปใช้ในขบวนการสร้างมากกว่า ในทางด้านป่าไม้ลักษณะและชนิดของไผ่ที่ขึ้นอยู่สามารถชี้ถึงคุณภาพของดินโดยคร่าวๆ ได้ เช่น ที่ใดมีไผ่ขึ้นนับว่าเป็นดินร่วนปนทราย มีความอุดมสมบูรณ์ดีเหมาะสมที่จะทำเป็นเนื้อที่ปลูกสวนผักได้ ถ้าเป็นไผ่รวกดินจะเหนียวและเลวลง ยิ่งเป็นป่าไผ่ซางดินมักจะเป็นหินผุและขาดความอุดมสมบูรณ์

3. ส่วนขององค์ประกอบในป่า ปกติจะพบไผ่ขึ้นเป็นไม้ชั้นล่างของป่าดิบและป่าผลัดใบในบางแห่งพบป่าไผ่ล้วนๆ เป็นบริเวณกว้างมีต้นไม้ชนิดอื่นขึ้นปะปนเพียงเล็กน้อย ไผ่ส่วนมากจะขึ้นอยู่เป็นชนิดเดียวกัน แต่อาจมีขึ้นอยู่หลายชนิดปนกันก็ได้ ซึ่งไม่ค่อยพบมากนัก นอกจากนี้ยังพบว่าไผ่ทางภาคใต้ เช่น ไผ่แนะ หรือไผ่คาย ที่ขึ้นปนอยู่กับไม้ยางพาราจะเจริญเติบโตดีกว่าพวกที่ขึ้นในที่โล่ง ทางจังหวัดกาญจนบุรีก็มีไม้ตระกูลถั่วและพวกสะแกเถาขึ้นอยู่ซึ่งจะให้ร่มและธาตุอาหารในดินโดยเฉพาะไนโตรเจนทำให้ไผ่รวกเจริญผิดปกติ ทางภาคเหนือที่พบว่าไผ่ไร่ที่ขึ้นในป่าผสมผลัดใบจะงามกว่าพวกที่ขึ้นในที่โล่ง

4. ความลาดชัน พบว่าด้านลาดไปทางทิศตะวันออก มักจะมีไผ่ที่มีสภาพการเจริญเติบโตดีกว่าหรือมีไผ่ที่มีลำต้นขนาดใหญ่ขึ้นอยู่ เช่น ไผ่ตัวอย่างของคณะวนศาสตร์ที่เคยทำการเก็บสถิติอยู่นั้น มีไผ่ซาง ไผ่บงเล็ก และไผ่ไร่ เจริญเติบโตอยู่ทางด้านลาดเขาทางทิศตะวันออก แต่พอข้ามเขาไปสภาพดินเปลี่ยนแปลงเป็นพวกดินลูกรังพบว่าไผ่ไร่ขึ้นอยู่อย่างแคระแกรนทางจังหวัดกาญจนบุรีก็เช่นกันด้านลาดเขาทางทิศตะวันออกมักจะมีไผ่เจริญงอกงามดีกว่าด้านลาดเขาทิศตะวันตก

2.6.4 ลักษณะของไผ่

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ลำไผ่ (culms) อาจสูงเพียงไม่กี่เซนติเมตรจนถึง 40 เมตร ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางตั้งแต่ 1 มิลลิเมตรจนถึง 30 เซนติเมตร แต่ละลำไผ่มีข้อและปล้อง ที่ข้อมีใบหนึ่งใบแต่อาจมีหนึ่งหรือหลายกิ่งแขนง ในหนึ่งต้นอาจมีไผ่นับพันลำ ไผ่ไม่ได้มีลักษณะแบบเนื้อไม้ ไผ่เป็นพืชใบเลี้ยงเดียว (monocotyledons) เช่นเดียวกับพวกปาล์ม แต่ทั่วไปมักเรียกว่า ไม้ไผ่

ไผ่หนึ่งต้นจะโตสูงสุดภายในหนึ่งปี แต่จะอยู่ได้หลายๆ ปี และเพิ่มจำนวนลำเรื่อยๆ ออกไปด้านข้างของกอไผ่ ไผ่บางชนิดออกดอกเมื่ออายุ 10-100 ปี หรือมากกว่านี้ แล้วจะแห้งตายหลังจากดอกพัฒนาเป็นเมล็ดแล้ว (monocarpic) ยิ่งไปกว่านั้นไผ่ชนิดเดียวกันจะออกดอกพร้อมกันในอาณาบริเวณเดียวกันอีกด้วย ซึ่งไม่มีใครสามารถพยากรณ์ได้ว่าเมื่อไหร่จะเกิดเมล็ดมาทำลายไผ่ซึ่งเป็นแหล่งอาหารหนึ่งสำหรับสัตว์และมนุษย์

ไผ่หลายชนิดนิยมปลูกเลี้ยงในสวน ในแปลงไผ่เพื่อให้ผลผลิตสูงจำเป็นต้องมีการดูแลเพื่อให้รากหรือ Rhizome สามารถขยายกระจายไปใต้ดินให้แทงหน่อใหม่ได้ ซึ่งมีอยู่สอง

รูปแบบ คือ Clumbing หรือ Monopodial ซึ่งขยายตัวไปใต้ดินอย่างช้าๆ และ Running หรือ Sympodial ซึ่งขยายตัวไปอย่างรวดเร็วทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะดิน และสภาวะของบรรยากาศ บางชนิดเป็นหลายๆ เมตรในหนึ่งปี บางชนิดก็ชะงักงันเป็นช่วงเวลาที่ยาวนาน และหากขาดการดูแลไผ่ไม่สามารถแทงหน่อได้หรือถูกตัดซ้ำที่กำลังขึ้นมาอาจทำให้ระบบรากไผ่ขาดความสมบูรณ์และตายได้ในที่สุด

ดังนั้นการทำสวนไผ่ควรจะเตรียมดินโดยการไถพรวน หลุมปลูกให้ขุดลึก 60-90 เซนติเมตร (2-3 ฟุต) และเป็นมุมขึ้นมาปากหลุมเพื่อให้รากไผ่ขยายบนผิวดินได้ ฝังรากไผ่ลึกลงไป 30 เซนติเมตร (1 ฟุต) เมื่อไผ่แทงหน่อแล้วปกติจะโต 30 เซนติเมตรในหนึ่งวัน แต่บางชนิดอาจโต 1 เมตรต่อวัน สำหรับแปลงไผ่ใหม่จะให้ผลผลิตเต็มที่ต้องใช้เวลา 1-2 ปี

หน่อไผ่หรือหน่อไม้ใช้เป็นอาหาร โดยหั่นเป็นชิ้นบางๆ วางขายในห้างสรรพสินค้า บางชนิดจำเป็นต้อนล้างหรือต้มด้วยน้ำเพื่อละลายสารพิษบางอย่างทิ้งไปบ้าง นอกจากนี้หน่อไผ่อ่อน ลำไผ่ และใบยังเป็นอาหารหลักที่สำคัญของของหมีแพนด้ายักษ์ของจีน และลิงแมงมุม (spider monkey) อีกด้วย

ลำไผ่มีความแข็งแกร่งมากโดยเฉพาะเมื่อผ่านการอบแห้งอัดน้ำรักษาเนื้อไม้แล้ว สามารถนำมาสร้างบ้าน ทำรั้ว ทำสะพานเดน เครื่องเรือน ของเด็กเล่น นั่งร้านก่อสร้าง หมวก เครื่องดนตรีหลายชนิด พื้นบ้าน การใช้ลำไผ่จำเป็นต้องคัดเลือกไผ่ที่มีอายุหลายปี เพื่อให้ได้เนื้อไม้ เราสามารถดัดลำไผ่ให้เป็นเหลี่ยมได้ด้วยการครอบท่อเหลี่ยมบังคับ ซึ่งจะต้องค่อยๆ เลื่อนขึ้นไปตามลำไผ่ที่โตหรือสูงขึ้น สำหรับการทำกระดาษนั้นจีนเป็นชาติแรกที่คิดประดิษฐ์ ซึ่งทำด้วยมือมีคุณภาพสูงแต่ได้จำนวนน้อย ปัจจุบันยังคงผลิตกระดาษไหว้เจ้าจากไผ่เพื่อใช้อยู่ในสังคมจีน

ไผ่มีอายุยืนชาวจีนจึงถือว่าไผ่เป็นสัญลักษณ์ของการมีชีวิตที่ยืนยาว ขณะที่อินเดียถือว่าไผ่เป็นสัญลักษณ์ของความเป็นเพื่อน และการออกดอกยากดังนั้นหากมีการออกดอกจะถือเป็นสัญญาณว่าความอดอยากกำลังจะมาถึงด้วย ในวัฒนธรรมของชาวเอเชียรวมถึงหมู่เกาะอันดามันเชื่อว่ามนุษย์เกิดมาจากกอไผ่ ในตำนานของชาวมาเลเซียมีชายคนหนึ่งนอนฝันเห็นหญิงสาวสวยในกอไผ่เมื่อเขาตื่นขึ้นไปค้นหาและพบหญิงนั้นในกอไผ่ ในฟิลิปปินส์ชาวนาถือว่าไผ่ไขว่กันทำให้ดูมีเสน่ห์ ในญี่ปุ่นถือว่าป่าไผ่รอบๆ Shinto จะช่วยป้องกันภูตผีปีศาจ ถือว่าเป็นไม้ที่สำคัญอันดับสองรองจากไม้สน ด้วยเหตุนี้ชาวญี่ปุ่นจึงใช้ไผ่ตกแต่งในห้องอาหารหรือห้องรับรองในโรงแรมแบบพื้นบ้าน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.6.5 การจำแนกพันธุ์ไผ่

การจำแนกพันธุ์ไผ่อาศัยลักษณะของการเจริญเติบโตของเหง้า รูปลักษณะของกาบหุ้มลำและส่วนต่างๆ ของดอกเป็นเกณฑ์ ที่สำคัญคือเหง้าซึ่งเป็นส่วนของลำต้นที่อยู่ใต้ดิน มีหน้าที่เก็บสะสมอาหารและส่งอาหารไปเลี้ยงลำไผ่ ตาข้ออยู่ข้างๆ เหง้าจะพัฒนาเป็นหน่อและลำไผ่ในที่สุด โดยมีการจำแนกไผ่ตามการเจริญเติบโตของเหง้า 3 ลักษณะ คือ

- ระบบเหง้ากอ (sympodial หรือ pachymorph rhizome) หน่ออ่อนจะแทงยอดออกมาจากตาเหง้าที่มีอยู่หลายตาแต่จะมีเพียงหน่อเดียวที่เจริญเติบโตต่อไป เหง้าใต้ดินจะมีขนาดใหญ่และสั้น หน่ออ่อนที่แทงออกมาจะเบียดกันด้านนอกกอที่แน่นทึบโดยมีลำแก่อยู่ข้างในกอ
- ระบบเหง้าลำเดี่ยว (monopodial หรือ leptomorph rhizome) ลำอ่อนแตกมาจากตาของเหง้าใต้ดินเพียงบางตา ตรงส่วนของปลายเหง้าที่เจริญออกเป็นหน่อใหญ่ เหง้ามีระยะยาว แตกออกเป็นลำใหญ่ในปีต่อไปเรื่อยๆ เหง้าและลำจึงไม่อยู่ร่วมกัน
- ระบบเหง้าผสม (intermediate หรือ metamorph rhizome) ในระบบนี้จะมีทั้ง 2 แบบ ดังกล่าวข้างต้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพความผันแปรของสิ่งแวดล้อมเป็นหลัก

2.6.7 ประโยชน์ของไผ่

1) เพื่อใช้เป็นอาหารพื้นบ้าน
2) เพื่อประโยชน์การใช้สอยในครัวเรือนในชีวิตประจำวัน
3) เพื่อเพิ่มรายได้ให้แก่ครอบครัวในระดับท้องถิ่น
4) ก่อให้เกิดการสร้างงาน ในด้านการเก็บหา การผลิต และการขนส่ง
5) พัฒนาเป็นสินค้าส่งออก ทำรายได้ให้แก่ประเทศ
6) ช่วยอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม หากมีการจัดการอย่างถูกต้อง

2.6.8 อุตสาหกรรมไผ่

- ไผ่อัด เป็นการผสมผสานด้านการใช้ประโยชน์ระหว่างไผ่กับกาว ทั้งนี้เพื่อเพิ่มความสวยงามและความทนทานของผลิตภัณฑ์แผ่นไผ่อัด ใช้ผลิตเครื่องเรือนต่างๆ และสำหรับการตกแต่งภายในอาคารบ้านเรือน และใช้เพื่อแทนไม้แบบก่อสร้าง ซึ่งมีสมบัติที่ดีคือเมื่อแห้งแล้วไม่ดูดน้ำทำให้สามารถนำมาใช้ทำแบบได้หลายครั้ง (6-8 ครั้ง มากกว่าไม้แบบเดิมซึ่งได้เพียง 2 ครั้ง)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

- เยื่อกระดาษไผ่ ไผ่เป็นพืชที่มีเส้นใยยาวมากจึงเหมาะสมต่อการนำไปใช้ทำกระดาษ ให้ผลผลิตเยื่อกระดาษสูงและได้กระดาษที่มีคุณภาพดี มีโรงงานที่ จังหวัดขอนแก่น (บริษัทฟินิคซ์พัลพ์แอนด์เพเพอร์ จำกัด) ใช้ไผ่รวกและไผ่ป่าจำนวน 300,000 ตันต่อปี ต้องใช้พื้นที่ในการปลูกไผ่ไม่น้อยกว่า 150,000 ไร่ แต่ส่งเสริมการปลูกได้เพียง 6,000 ไร่เท่านั้น (2535) (นอกจากนี้ยังใช้ปอและไม้ยูคาลิปต์เป็นวัตถุดิบด้วย) จังหวัดกาญจนบุรี (บริษัทสยามคราฟท์ จำกัด) รับซื้อไผ่ราคา 800 บาท/ตัน (นอกจากนี้ยังใช้ไม้ยูคาลิปตัสเป็นวัตถุดิบด้วย) จังหวัดพิษณุโลก ใช้ไผ่ทำกระดาษไหว้เจ้าส่งต่างประเทศ เป็นต้น

- ไผ่รวกดัด เพื่อการส่งออกไม่มีการแปรรูปแต่อย่างใด เพียงแต่ผ่านกรรมวิธีบางอย่างเพื่อรักษาเนื้อไม้และแบ่งคุณภาพเท่านั้น โดยเสียภาษีการส่งออกเพียง 5 % ของราคาส่งออก (ไผ่ชนิดอื่น ๆ และไม้จะเสียภาษีการส่งออกถึง 40 % ของราคาส่งออก (2535)) ราคาไผ่รวกลำละ 0.70-1.50 บาท ขึ้นอยู่กับขนาดและความยาว ที่เหมาะสมควรมีอายุ 1 ปีขึ้นไปเพื่อให้การอาบน้ำยาป้องกันมอดและแมลงได้ผลดี ประเทศที่ส่งไป ได้แก่ ประเทศแถบยุโรป เช่น อิตาลี เยอรมัน ซึ่งส่วนใหญ่นำไปใช้ประโยชน์ในด้านการเกษตร ส่วนแถบตะวันออกกลางและปากีสถานนิยมนำไปใช้ประโยชน์ในด้านการสร้างบ้านเรือน เต้นท์ทหาร กระโจมที่พัก เป็นต้น

- เข่งไผ่ เป็นผลิตภัณฑ์หัตถกรรมประเภทหนึ่งในระดับอุตสาหกรรมครัวเรือน โดยนำผิวของไผ่มา จักตอกเป็นเส้นแล้วนำมาจักสานขึ้นรูป ไผ่ที่ใช้คือไผ่รวกและไผ่นวล

- ตะเกียบไผ่ ใช้ไผ่ซาง โรงงานผลิตมีที่ จังหวัดกาญจนบุรี (โรงงานเควีเอ็มเปเปอร์) และ จังหวัดลำปาง เป็นต้น เครื่องจักรทำตะเกียบมีการพัฒนาส่งเสริมโดยกรมส่งเสริมอุตสาหกรรม (ราคาประมาณ 8 หมื่นบาท) ทั้งนี้เพื่อลดการนำเข้าเครื่องจักรจากไต้หวัน ญี่ปุ่น ไผ่ที่ใช้คือไผ่นวล ที่มีอายุ 2-3 ปีขึ้นไป และเป็นลำใหญ่มีเส้นผ่าศูนย์กลางตั้งแต่ 8 เซนติเมตรขึ้นไป (จังหวัดกาญจนบุรี มีการนำไผ่จากพม่ามาใช้ด้วย)

- ไม้จิ้มฟัน เป็นอุตสาหกรรมขนาดเล็ก ใช้ไผ่ซาง มีการผลิตที่ จังหวัดเชียงใหม่ จังหวัดลำพูน จังหวัดชัยนาท เป็นต้น (ไม้จิ้มฟันที่ผลิตมาจากไม้ปอ ไม้งิ้ว และยางพารา มีข้อเสียคือเปราะและหักง่าย)

- ไม้ซีก เป็นการผ่าไผ่เป็นซีก ใช้ทำคอกสัตว์ หรือส่งโรงงานทำไม้จิ้มฟัน ตะเกียบ ไม้เสียบลูกชิ้น ไม้เสียบไก่ย่าง ไม้เสียบดอกไม้ เป็นต้น ไม้ซีกมี 2 ลักษณะ คือ ไผ่ผ่าซีก (จังหวัดลำปาง เรียกว่าไม้สะลาบ) โดยนำไผ่มาซอยตามยาวและตัดเป็นซีก แต่ละลำซอยได้ประมาณ 8-10 ซีก ตัดเป็นท่อน ยาวประมาณ 1-2.5 เมตร ขึ้นไป มัดหนึ่งมีไผ่ 50 ซีก โดยปกติไม้ซีก 1 มัด ใช้ไผ่ 2 ลำ ไม้ซีกอีกลักษณะหนึ่ง คือ ไม้ตะเกียบ เป็นไม้ซีกขนาดเล็ก ความยาวตั้งแต่ 30 เซนติเมตร ขึ้นไป ไผ่แทบทุกชนิดสามารถทำเป็นไม้ซีกได้ ส่วนใหญ่นิยมไผ่นวล

- หัตถกรรมจักสานอื่นๆ ไผ่หลายชนิดใช้ทำหัตถกรรมเครื่องจักสานได้ ถือเป็นศิลปะพื้นบ้าน เพื่อใช้สอยในครัวเรือนของชีวิตประจำวัน เช่น กระด้งฝัดข้าว ตะแกรงร่อนข้าว ฝาชี กระบุง ตะกร้า กระจาด กระเป๋า ครุ เป็นต้น ไผ่สีสุก เป็นไผ่ที่นิยมใช้จักสานมากที่สุด โดยเลือกอายุ 2-3 ปี ซึ่งจักตอกได้ง่าย (ถ้าอ่อนเกินไปจะไม่ทนทาน ถ้าแก่เกินไปเส้นตอกจะหักง่าย) หัตถกรรมไผ่ที่ส่งออก เช่น มู่ลี่ กันแดด ที่ จังหวัดกาญจนบุรี หัตถกรรมไผ่ที่มีฝีมือประณีต ที่ อำเภอพนัสนิคม จังหวัดชลบุรี ใช้ไผ่นวล ซึ่งลำปล้องยาวถึง 1 เมตร มีเนื้อเหนียวหักยาก

2.7 ปาล์มน้ำมัน

ปาล์มน้ำมัน เป็นพืชน้ำมัน (oil crop) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า อีเลอิส กีนีเอ็นซิส (Elaeis guineensis) ลักษณะของปาล์มน้ำมันแสดงดังรูปที่ 2.14 ออกผลเป็นทะลาย ทะลายหนึ่งมีผลปาล์ม 1,000- 2,000 ผล และมีน้ำหนักทะลายละ 10-15 กิโลกรัม ผลปาล์มน้ำมันมีลักษณะเป็นรูปเรียวรีหรือรูปไข่ มีขนาดกว้าง 3 เซนติเมตร และยาว 5 เซนติเมตร มีน้ำหนักผลละ 10-15 กรัม เปลือกผิวนอกของผลปาล์มเป็นสีเขียวหรือดำเมื่อผลอ่อน และเปลี่ยนเป็นสีส้มแดงเมื่อผลแก่และสุก ภายใต้เปลือกเป็นเมล็ด ประกอบด้วยกะลาและเนื้อในซึ่งมีต้นอ่อนฝังอยู่ น้ำมันปาล์ม (palm oil) จะได้จากผลปาล์ม 2 ส่วนคือ จากส่วนที่เป็นเปลือกหุ้มภายนอก (mesocarp) และจากเนื้อในของเมล็ด (kernel) เรียกว่า palm kernel oil [23]

รูปที่ 2.14 ปาล์มน้ำมัน [23]

2.7.1 พันธุ์ปาล์มน้ำมัน

พันธุ์ปาล์มน้ำมันจำแนกออกได้เป็น 3 พันธุ์ คือ

1. พันธุ์ดูรา (Dura) มีเปลือกหุ้มผลค่อนข้างบางและมีกะลาหนา มีปริมาณน้ำมันต่อทะลายต่ำเพียง 18-20%

2. พันธุ์ฟิสิเฟอรา (Pisifera) มีเปลือกหุ้มผลค่อนข้างบาง แต่ให้ผลขนาดเล็กและมีดอกตัวเมียเป็นหมัน ผลิตผลต่อต้นต่ำ

3. พันธุ์เทเนอรา (Tenera) เป็นพันธุ์ลูกผสม โดยรวมลักษณะดีจากทั้งสองพันธุ์ดังกล่าวเข้าด้วยกัน โดยใช้ดูราเป็นแม่และฟิสิเฟอราเป็นพ่อ ให้น้ำหนักผลปาล์มต่อทะลายสูง เนื่องจากมีเปลือกหุ้มผลหนา และมีปริมาณน้ำมันมาก

2.7.2 แหล่งเพาะปลูก

ปาล์มน้ำมันชนิดที่ปลูกเป็นการค้า มีถิ่นกำเนิดในทวีปแอฟริกา และได้นำเข้ามาปลูกในประเทศไทย โดยผ่านทางอินโดนีเซีย และมาเลเซีย เมื่อประมาณ พ.ศ. 2470 ที่สถานีทดลองยางคอหงษ์ จังหวัดสงขลา และสถานีกสิกรรมพลิ้ว จังหวัดจันทบุรี ส่วนการปลูก เพื่อเป็นการค้า เริ่มต้นภายหลังสงครามโลกครั้งที่ 2 ที่จังหวัดสงขลา แต่ก็ได้ล้มเลิกกิจการไปจนกระทั่งในปี พ.ศ. 2511 ได้มีการส่งเสริมอีกครั้งหนึ่ง และพื้นที่เพาะปลูกขยายตัวออกอย่างรวดเร็ว ในปี พ.ศ. 2530 มีเนื้อที่การปลูกน้ำมัน 600,000 ไร่ โดยแยกออกเป็นสวนปาล์มของบริษัท ร้อยละ 57 สวนของเอกชนร้อยละ 28 และในสหกรณ์นิคม ร้อยละ 15 พื้นที่เพาะปลูกปาล์มยังขยายตัวออกไปอีกทุกปี ปาล์มน้ำมันเจริญเติบโต และให้ผลิตผลดีในสภาพอากาศที่ร้อนและชื้น มีปริมาณน้ำฝนตั้งแต่ 2,000 มิลลิเมตรต่อปีขึ้นไป จึงปลูกกันมากในภาคใต้ และชายฝั่งทะเลด้านตะวันออกของอ่าวไทย

2.7.3 การเก็บเกี่ยวและการแปรรูปเบื้องต้น

เมื่อผลปาล์มแก่และสุก เปลือกนอกจะเปลี่ยนเป็นสีส้มและเริ่มร่วงหล่น เป็นระยะที่เปลือกมีน้ำมันสะสมมากที่สุด ควรทำการเก็บเกี่ยวทันทีโดยใช้เสียมหรือมีดตัดที่ก้านของทะลาย รวบรวมนำส่งโรงงานหีบน้ำมัน โดยให้ได้รับการกระเทือนน้อยที่สุด ภายในเวลา 24 ชั่วโมง จึงจะได้น้ำมันคุณภาพสูง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

โรงงานจะนำผลปาล์มสดทั้งทะลายไปอบไอน้ำเพื่อยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ลิเพส และการเปลี่ยนแปลงของน้ำมัน และยังช่วยให้ผลปาล์มหลุดออกจากทะลายและแยกเปลือกออกจากกะลาได้ง่ายขึ้น หลังจากนั้นจึงนำไปย่อยอีกครั้งเพื่อแยกเอาเปลือกไปสกัดน้ำมันออก นำน้ำมันที่ได้ไปทำความสะอาดและลดความชื้น แล้วจึงส่งน้ำมันดิบเข้าโรงกลั่นเพื่อทำให้น้ำมันบริสุทธิ์อีกครั้งหนึ่ง

2.7.4 กะลาปาล์ม (Palm kernel shell)

กะลาปาล์ม เป็นกากของแข็งชนิดหนึ่งที่มาจากผลปาล์ม ดังรูปที่ 2.15 อยู่ระหว่างเส้นใยปาล์มที่ติดเปลือกด้านนอกสุด กับเนื้อปาล์มที่อยู่ด้านในสุด มีลักษณะสีน้ำตาล เนื้อแข็ง เกิดขึ้นหลังการสกัดเอาน้ำของผลปาล์มที่เรียกว่าน้ำมันปาล์มออกหมดแล้ว โดยเป็น

เชื้อเพลิงชีวมวล (Biomass) ที่ให้ค่าความร้อนค่อนข้างสูง ในปัจจุบันกำลังเป็นที่ต้องการของตลาด แต่ในประเทศไทยมีผลผลิตไม่เพียงพอ จึงต้องนำเข้าจากต่างประเทศ เช่น มาเลเซีย และอินโดนิเซีย [24]

รูปที่ 2.15 กะลาปาล์ม [24]

2.8 เทคโนโลยีในการแปรรูปชีวมวล

2.8.1 การแปลงสภาพทางกายภาพ

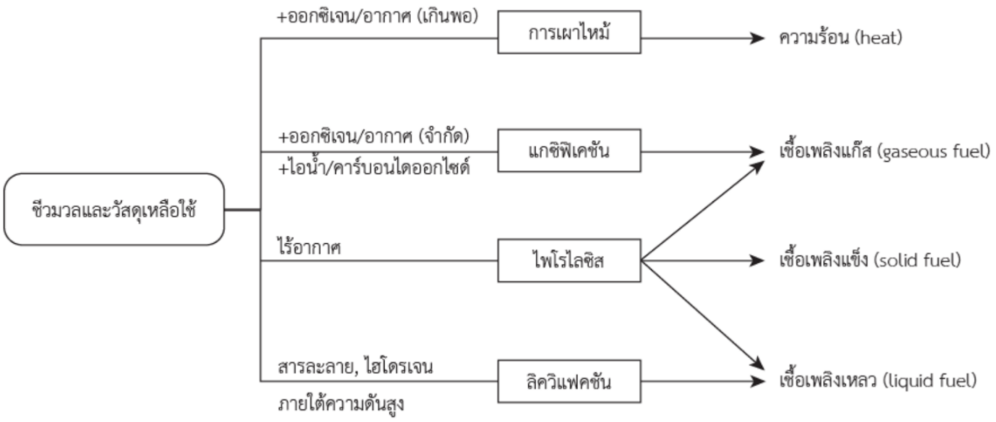
การแปลงสภาพทางกายภาพ (physical conversion) เป็นกระบวนการสำหรับปรับปรุงสภาพของวัสดุ ก่อนนำไปใช้ในการแปลงสภาพอื่น ๆ ต่อไป ได้แก่ การลดความชื้น (moisture reduction) การลดขนาด (size reduction) และการเพิ่มความหนาแน่น (densification) [25]

2.8.2 การแปลงสภาพทางชีวภาพ

การแปลงสภาพทางชีวภาพ (biological conversion) เป็นกระบวนการย่อยชีวมวลให้เป็นพลังงานโดยอาศัยกลไกทางชีวภาพของจุลินทรีย์และเอนไซม์ ดำเนินการที่ภาวะอุณหภูมิและความดันบรรยากาศ มีค่าใช้จ่ายในการลงทุนต่ำจึงได้รับความสนใจและถูกนำไปใช้งานอย่างแพร่หลาย เช่น การผลิตมีเทนชีวภาพ (biomethanation) และการหมักเอทานอล (ethanol fermentation) [25]

2.8.3 การแปลงสภาพทางความร้อนเคมี

การแปลงสภาพทางความร้อนเคมี (thermochemical conversion) เป็นการแปรรูปชีวมวลโดยการย่อยสลายชีวมวลไปเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยความร้อนร่วมกับปฏิกิริยาเคมี [26] แบ่งออกเป็น 4 กระบวนการย่อย ดังรูปที่ 2.16 [25]



รูปที่ 2.16 การแปลงสภาพทางเคมีความร้อนและผลิตภัณฑ์ [25]

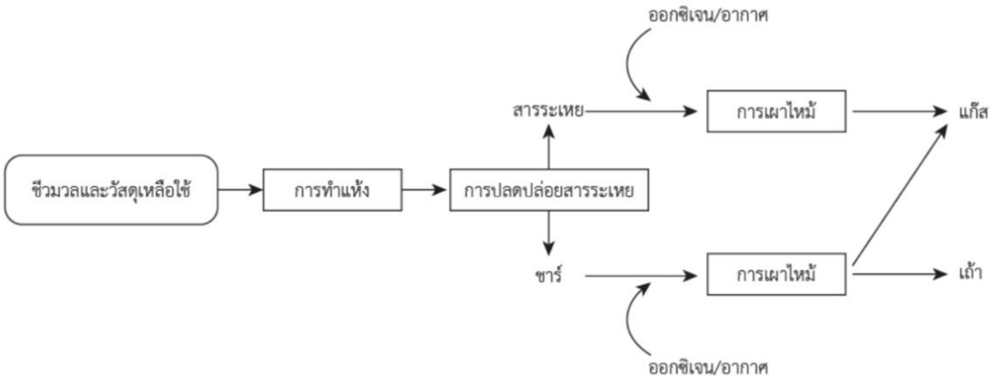
2.9. การเผาไหม้

การเผาไหม้เป็นกระบวนการที่ใช้มานานเป็นการให้ความร้อนและแสงสว่างเป็นปฏิกิริยาเคมีประกอบที่ให้ คาร์บอนและออกซิเจนในอากาศเป็นผลิตภัณฑ์ออกมาเป็นแก๊สที่มีองค์ประกอบหลักคือน้ำและคาร์บอนไดออกไซด์ นับเป็นรูปแบบนิยมในการนำมาใช้เพื่อผลิตพลังงานรูปแบบความร้อน โดยปฏิกิริยาการเผาเป็นดังนี้ [25]

$$C_xH_y + \left(x+\frac{y}{4}\right) O_2 \longrightarrow CO_2 + \frac{y}{2} H_2O$$

จากสมการการเผาไหม้จะสามารถคำนวณหาปริมาณออกซิเจนหรืออากาศที่ต้องการตามทฤษฎี สำหรับการเผาไหม้และนำไปใช้เพื่อออกแบบกระบวนการต่อไปได้ โดยกระบวนการเผาไหม้จะมีอยู่ 4 กระบวนการย่อยคือการทำแห้ง การปลดปล่อยสาระเหย และการเผาไหม้ของสารระเหยและการเผาไหม้ของชาร์ แสดงดังรูปที่ 2.17

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 2.17 กลไกการเผาไหม้ของชีวมวลและวัสดุหลือใช้ [25]

2.10. ไพโรไลซิส

ไพโลไรซิส เป็นกระบวนการสลายตัวทางความร้อนในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจนหรืออากาศ โดยทั่วไปแล้วจะประกอบไปด้วยหลายปฏิกิริยาเคมีโดยปกติแล้วจะเป็นกระบวนการแบบไม่ผันกลับ และต้องการพลังงานความร้อนเพื่อการสลายพันธะเคมีค่อนข้างสูงดังนั้น ผลิตภัณฑ์ที่ได้นั้นจะเป็น ของแข็ง ของเหลวและแก๊ส กลไกของกระบวนการไพโลไรซิสนั้นมีหลากหลายเช่นการแตกตัวการ ปล่อยสารระเหยหรือคาร์บอนไนเซชัน ซึ่งกระบวนการไพโรไลซิสนั้นสามารถแบ่งแยกย่อยได้ออกเป็น ทั้งหมด 5 ประเภท [25]

2.10.1 ไพโลไรซิสแบบช้า

ไพโลไรซิสแบบช้าหรือเรียกอีกอย่างว่าขบวนการคาร์บอไนเซชันเป็นกระบวนการที่ ถูกนำมาใช้ตั้งแต่อดีตคือการเพิ่มอุณหภูมิแบบช้าๆในสภาวะไร้ออกซิเจนที่อุณหภูมิไม่สูงมาก ประมาณ 45 องศาเซลเซียสและใช้เวลามากกว่า 24 ชั่วโมงโดยผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่จะเป็น ถ่าน

2.10.2 ไพโลไรซิสแบบเร็ว

ไพโลไรซิสแบบเร็ว เน้นการผลิตในส่วนของน้ำมันชีวภาพโดยชีวมวลจะถูกความร้อน อย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิที่เหมาะสมซึ่งอุณหภูมินั้นคืออุณหภูมิการสลายตัวสูงสุดของแต่ละชีว มวล แต่หากอุณหภูมิสูงกว่า 650 องศาผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่จะกลายเป็นแก๊สมากกว่าดังนั้น เพื่อให้ได้ร้อยละผลได้ของน้ำมันที่สูงจึงจำเป็นต้องควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในช่วง 400 ถึง 600 องศาเซลเซียส

2.10.3 แฟลซ ไพโรไลซิส

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ลักษณะการ แฟลซ ไพโรไลซิส คือต้องดำเนินการที่อุณหภูมิ 400 ถึง 600 องศา เซลเซียสแต่จะมีเวลาในการทำปฏิกิริยาของสารระเหยภายในเตาสั้นกว่ามาก ดังนั้นสภาวะที่ เกิดขึ้นจึงทำให้ได้ปริมาณของแข็งน้อยและได้ปริมาณน้ำมันที่สูง ถึงร้อยละ 70 ถึง 75 โดย น้ำหนัก

2.10.4 ไฮโดรไพโรไลซิส

การสลายตัวด้วยความร้อนผลิตภัณฑ์จะมีปริมาณของเหลวมากขึ้นเพราะเกิดจาก การไฮโดรจิเนชันของอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้น ระหว่างการสลายตัวเลยทำให้เกิดการเสถียรและมี การรวมตัวของชาร์ลดลง ทำให้น้ำมันที่ได้จะประกอบไปด้วยไฮโดรคาร์บอนที่มีน้ำหนัก โมเลกุลเบากว่ากรณีที่เป็นไพโรไลซิสทั่วไป

2.10.5. ไฮดรัสไพโรไลซิส

ความร้อนในตัวกลางที่เป็นตัวอัดความดันจะเกิดปฏิกิริยาให้ไฮโดรไลซิสร่วมกับการสลายตัวของความร้อนผลิตภัณฑ์ของเหลวหรือน้ำมันชีวภาพที่ได้จากกระบวนการนี้มักจะมีปริมาณออกซิเจนที่สูงเนื่องจากมีออกซิเจนของน้ำเข้ามารวมทั้งปฏิกิริยาด้วย

2.11 แกซิฟิเคชัน

แกซิฟิเคชัน คือกระบวนการแปลงสภาพทางเคมีโดยเปลี่ยนจากเชื้อเพลิงของเหลวและเชื้อเพลิงของแข็งให้เป็นเชื้อเพลิงแก๊ส โดยผ่านกระบวนการเผาไหม้ โดยแกซิฟิเคชันนั้น จะมีกระบวนการคล้ายกับกระบวนการเผาไหม้แบบปกติ แต่กำหนดปริมาณออกซิเจนที่ใช้ในการเผาไหม้ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์เป็น ไฮโดรเจน คาร์บอนมอนอกไซด์ มีเทน คาร์บอนไดออกไซด์ เป็นต้น [25]

2.11.1 เชื้อเพลิงแก๊ส

เชื้อเพลิงแก๊สพิจารณาคุณภาพจากค่าความร้อน ซึ่งจะเป็นไปตามองค์ประกอบของแก๊สดังตารางที่ 2.3 แสดงค่าความร้อน เชื้อเพลิงความร้อนต่ำ มีความร้อนอยู่ในช่วงประมาณ 3.5 ถึง 11.5 เมกะจูลต่อลูกบาศก์เมตรส่วนใหญ่จะเป็น การใช้ไนโตรเจนจากอากาศร่วม 35-50 % โดยองค์ประกอบหลักจะเป็น ไฮโดรเจนและคาร์บอนมอนอกไซด์เป็นหลักเชื้อเพลิงความร้อนปานกลาง จะมีความร้อนอยู่ช่วงประมาณ 11.5 ถึง 27.5 เมกะจูลต่อลูกบาศก์เมตร โดยใช้สารร่วมเป็นออกซิเจนทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้ออกมามีปริมาณไนโตรเจนน้อย และทำให้มีปริมาณความร้อนที่สูงมากขึ้น เชื้อเพลิงความร้อนสูง โดยมีความร้อนสูงกว่า 27.5 เมกะจูลต่อลูกบาศก์เมตร โดยทั่วไปจะใช้สารร่วมและมีตัวเร่งภายใต้ความดันสูงกว่าความดันบรรยากาศ เพื่อสนับสนุนปฏิกิริยาการเกิดมีเทนโดยองค์ประกอบหลักจะเป็นแก๊สมีเทนที่ให้ปริมาณความร้อนที่สูง

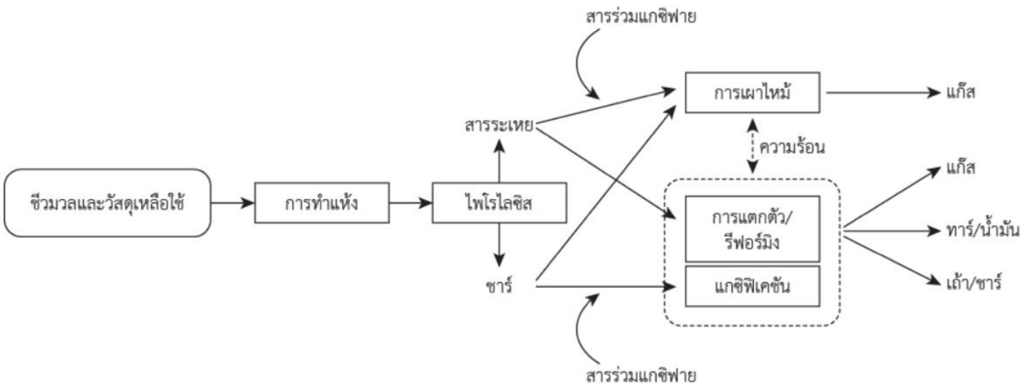
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 2.3 ค่าความร้อนของแก๊สเผาไหม้ชนิดต่างๆ จากแกซิฟิเคชัน [25]

ชนิดของแก๊ส	**ค่าความร้อนสูง (เมกกะจูนต่อลูกบาศก์เมตร)**
ไฮโดรเจน	12.74
คาร์บอนมอนอกไซด์	12.67
มีเทน	39.73

2.11.2 กลไกของแกซิฟิเคชันและปฏิกิริยาเคมี

แกซิฟิเคชัน โดยทั่วไปจะเป็นกระบวนการหลักดังนี้คือการทำไพโรไลซิส การเผาไหม้ การแตกตัว หรือ รีฟอร์มิ่งของสารระเหย โดยมักเกิดขึ้นตามลำดับดังแสดงดังรูปที่ 2.18 แต่บางส่วนอาจเกิดการเผาไหม้พร้อมกันได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับภาวะดำเนินการรวมถึงลักษณะเครื่องปฏิกรณ์



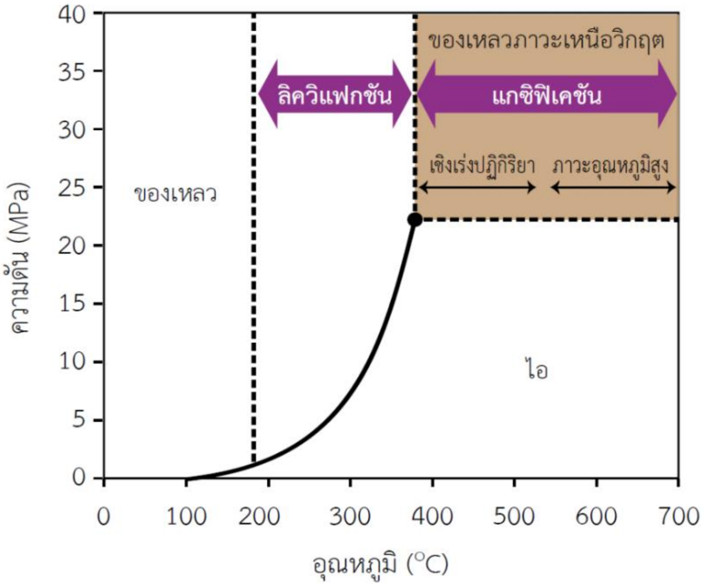
รูปที่ 2.18 กลไกหลักในแกวิฟิเคชัน [25]

2.12 ลิควิแฟกชัน

กระบวนการที่ทำให้เป็นของเหลวที่แปลงสภาพเชื้อเพลิงแข็งเป็นเชื้อเพลิงเหลวซึ่งกระบวนการนี้ จะแบ่งกระบวนการออกเป็น 2 ประเภทคือทางตรงและทางอ้อม [25]

2.12.1 ลิควิแฟกชันทางตรง

เป็นกระบวนการเปลี่ยนเชื้อเพลิงแข็งเป็นเชื้อเพลิงเหลว โดยกระบวนการนี้นั้น จะใช้ตัวกลางโดยทำปฏิกิริยาผ่านตัวกลางนั้นส่วนใหญ่จะเป็นของเหลวที่มีไฮโดรเจน เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรจิเนชัน ในการเพิ่มร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ของเหลวและใช้ตัวกลางในการทำหน้าที่ให้ไฮโดรเจน ซึ่งส่วนใหญ่แล้วชีวมวลส่วนใหญ่จะมีปริมาณความชื้นมากดังนั้นตัวกลางที่นิยมใช้จึงเป็น น้ำ และบางครั้งอาจใส่ตัวเร่งปฏิกิริยาร่วมด้วย โดยกระบวนการนี้จะเรียกว่า ไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชัน ทั่วไปกระบวนการนี้จะอุณหภูมิต่ำกว่าจุดวิกฤตของน้ำหรือประมาณ 250 ถึง 325 องศาเซลเซียสที่ความดันสูงพอที่จะทำให้น้ำยังเป็นของเหลวหรือประมาณ 4 ถึง 22 MPa ผลิตภัณฑ์ที่ได้ แสดงดังรูป 2.19 จะประกอบไปด้วยของเหลว ของแข็งและแก๊สซึ่งผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่นั้นจะเป็นของเหลว ซึ่งจะได้ส่วนออกเป็น 2 ส่วนคือส่วนที่สามารถละลายน้ำได้และที่ไม่สามารถละลายน้ำ เรียกว่า น้ำมันดิบชีวภาพ



รูปที่ 2.19 แผนผังวัฏภาคของน้ำ [25]

2.12.2 ลิควิแฟกชันทางอ้อม

เป็นกระบวนการที่ประกอบไปด้วยหลายขั้นตอน เริ่มจากการแปลงสภาพของเชื้อเพลิงแข็งเป็นเชื้อเพลิงแก๊สผ่านกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน ซึ่งกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันนั้นจะเน้นผลิตภัณฑ์ที่ได้เป็นแก๊สโดยองค์ประกอบของแก๊สจะมีเป็นพวกคาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดเจนที่จะถูกป้อนเข้าสู่การแปลงสภาพจาก แก๊สกลายเป็นของเหลวหรือเรียกอีกอย่างว่า GTL โดยจะ ดำเนินการที่อุณหภูมิไม่เกิน 400 องศาเซลเซียส ความดันสูงและใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา โดยปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นนั้นจะเป็นปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน และไฮโดรจิเนชันของคาร์บอนมอนอกไซด์

Chulalongkorn University

2.13 น้ำมันผลิตภัณฑ์จากไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชัน

สมบัติของน้ำมันที่เกิดขึ้นโดยลิควิแฟกชันถูกแสดงในตารางที่ 2.4 ปฏิกิริยาเกิดขึ้นโดยไม่มีไฮโดรเจนและคาร์บอนมอนอกไซด์ และมีตัวเร่งปฏิกิริยาจำพวกแอลคาไลน์สำหรับไม้ แต่ไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยาสำหรับการสิ่งปฏิกูล น้ำมันที่เกิดขึ้นมีปริมาณออกซิเจนสะสมประมาณร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก ดังนั้นค่าความร้อนที่ได้จากปิโตรเลียม นอกจากนั้นความหนืดยังมีค่าสูง น้ำมันที่ได้จากไม้จะมีปริมาณกรดมากกว่าซึ่งสามารถกัดกร่อนและเกิดพอลิเมอไรเซชันระหว่างการกักเก็บ [25]

ตารางที่ 2.4 คุณสมบัติของน้ำมันที่ได้จากลิควิแฟกชัน [25]

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

2.14 น้ำมันดิบชีวภาพ

โดยทั่วไปของน้ำมันดิบชีวภาพเป็นของเหลวอินทรีย์สีน้ำตาลดำที่สามารถละลายน้ำได้จะประกอบไปด้วยสารอินทรีย์ที่มีประจุอยู่ประมาณร้อยละ 75-80 โดยน้ำหนัก และมีน้ำอยู่ประมาณ 20-25 % และมีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบที่สูงถึงร้อยละ 35-40 โดยน้ำหนัก องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันดิบชีวภาพขึ้นอยู่กับ เงื่อนไขในการไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชัน เช่น อุณหภูมิ ตัวทำละลาย ความหนาแน่นของตัวทำละลาย เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา เป็นต้น แต่องค์ประกอบของวัตถุดิบตั้งต้นมีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อคุณสมบัติของน้ำมันชีวภาพ [26]

การเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพและทางเคมี เช่น ความหนาแน่น ความหนืด อัตราส่วนไฮโดรเจนต่อคาร์บอน (H/C) และอัตราส่วนออกซิเจนต่อคาร์บอน (O/C) ของน้ำมันดิบชีวภาพที่ผ่านการไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันของชีวมวลตั้งต้นที่แตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมันดิบชีวภาพที่ได้จากไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันของชีวมวลชนิดต่างๆ [26]

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

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

2.15 ตัวเร่งปฏิกิริยา

การจำแนกประเภทตัวเร่งปฏิกิริยาสามารถแบ่งได้หลายชนิดตามโครงสร้าง โดยแบ่งตามองค์ประกอบของการนำไปใช้งานหรือสมรรถภาพการรวมกลุ่ม ในที่นี้แยกประเภทตัวเร่งปฏิกิริยาตามสถานะของการรวมกลุ่ม คือ ตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธุ์ และ ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธุ์ [27]

2.15.1 ตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธุ์

ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบนี้ส่วนมากใช้ในระดับอุตสาหกรรม อยู่ในกลุ่มของตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะอินทรีย์กัมมันตภาพของตัวเร่งเอกพันธุ์เกี่ยวข้องกับลิแกนด์อินทรีย์ที่อยู่ล้อมรอบโลหะศูนย์กลาง ดี-ออร์บิทัล ของโลหะแทรนซิชันจะรองรับลิแกนด์ เช่น ไฮไดรด์ (hydride, H) คาร์บอนิล (carbonyl, CO) โดยปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในวัฏจักรของการเร่งปฏิกิริยาเกี่ยวกับการเคลื่อนย้ายลิแกน ในตำแหน่งวางอยู่บนโลหะศูนย์กลาง โดยทั่วไปแล้ว

การเกิดการโคออดิเนชัน ของสารตั้งต้นที่โลหะศูนย์กลางแล้วจึงปลดปล่อยผลิตภัณฑ์ออกมา ซึ่งทั้งสองกระบวนการนี้ต้องเกิดขึ้นด้วยพลังงานก่อกัมมันต์ที่มีค่าต่ำที่สุด เท่าที่จะเป็นไปได้ ดังนั้นสารประกอบเชิงซ้อนโลหะที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธุ์ จึงต้องมีกัมมันตภาพสูง

2.15.2 ตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์

ตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์เป็นตัวเร่งที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมมากกว่า เนื่องจากตัวเร่งชนิดนี้เป็นตัวเร่งของแข็งที่ง่ายต่อการแยกออกจากผลิตภัณฑ์ เช่น ตัวเร่งปฏิกิริยาบนตัวรองรับ ดังตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 ตัวอย่างองค์ประกอบของตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ [27]

องค์ประกอบ	**ชนิดของวัสดุ**	**ตัวอย่าง**
วัฏภาคกัมมันต์	โลหะ	โลหะมีตะกูล : Pt Pd โลหะแทรนซิชัน : Ni Fe
	โลหะออกไซด์	โลหะแทรนซิชันออกไซด์ : MoO_2 CuO
	โลหะซัลไฟด์	โลหะแทรนซิชันซัลไฟด์ : MoS_2 Ni_3S_2
ตัวสนับสนุน สภาพพื้นผิว	โลหะออกไซด์	โลหะแทรนซิชัน และ ธาตุหมู่ IIIA : Al_2O_3 SiO_2
เชิงเคมี	โลหะออกไซด์	MgO BaO TiO_2 ZrO_2 แอลคาไล หรือ แอลคาไลเอิร์ธ : K_2O PbO
ตัวรองรับ	โลหะออกไซด์หรือคาร์บอนที่มีเสถียรภาพและพื้นที่ผิวสูง	ธาตุหมู่ IIIA แอลคาไลเอิร์ธ และโลหะแทรนซิชันออกไซด์ เช่น Al_2O_3 SiO_2 MgO ซีโอไลต์ และถ่านกัมมันต์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.16 ตัวเร่งสำหรับกระบวนการ ไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชัน

ตัวเร่งที่นิยมนำมาใช้นั้นมี 2 ประเภท คือ ตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธุ์ (homogeneous catalyst) และตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ (heterogeneous catalyst) เพื่อใช้ในการควบคุมการรวมตัวของโมเลกุลที่ใหญ่จนเกินไปและกลายเป็นของแข็ง หรือ ชาร์ ซึ่งจะช่วยทำให้ได้ปริมาณน้ำมันเพิ่มขึ้นและมีคุณภาพดีขึ้น ตัวอย่างของตัวเร่งปฏิกิริยาแบบเอกพันธุ์จะนิยมมากกว่าตัวเร่งแบบวิวิธพันธ์ โดยตัวอย่างของตัวเร่งแสดงดังตารางที่ 2.7 [25]

ตารางที่ 2.7 ตัวเร่งปฏิกิริยาบางส่วนสำหรับไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันของชีวมวลและสารประกอบจำลอง [25]

ตัวเร่งปฏิกิริยา	วัตถุดิบตั้งต้น	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความดัน (เมกะปาสคาล)	ผลเชิงเร่งปฏิกิริยา
Na_2CO_3	ต้นข้าวโพด	276-376	25	เพิ่มผลได้น้ำมัน
K_2CO_3	ชีวมวลไม้	280	N/A	ลดกากของแข็ง
Na_2CO_3, Ni	เซลลูโลส	200-350	N/A	ลดการเกิดชาร์
K_2CO_3, Ni	กลูโคส	350	30	ปฏิกิริยาเปลี่ยนน้ำเป็นแก๊ส
K_2CO_3	กลูโคส	400-500	30-50	ปฏิกิริยาเปลี่ยนน้ำเป็นแก๊ส
KOH, K_2CO_3	ชีวมวลเปียก ขยะชีวภาพ	550-600	25	ปฏิกิริยาเปลี่ยนน้ำเป็นแก๊ส
NaOH, KOH, ZrO_3	กรดสเตียริก	400	25	เร่งการกำจัดหมู่คาร์บอกซิล
NaOH, H_2SO_4, TiO_2, ZrO_3	กลูโคส	200	N/A	เพิ่มไอโซเมอร์ไรเซชันของกลูโคส
Ni	เซลลูโลส	350	18	เพิ่มผลได้แก๊สไฮโดรเจน
Ni, Ru	ขยะ	350	21	เพิ่มผลได้แก๊สมีเทน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

2.17 ชาร์

ชาร์หรือถ่านชาร์เป็นผลิตภัณฑ์ของแข็งที่ได้จากกระบวนการไพโลไรซิส หรือแกซิฟิเคชัน ของชีวมวลโดย ชาร์จะได้จากการเผาไหม้ของชีวมวลภายใต้บริเวณที่ไร้อากาศหรือในสภาวะที่มีอากาศอยู่น้อยมาก เมื่อมีการให้ความร้อนระหว่างกระบวนการจะช่วยกำจัดน้ำมันดิบและ สารประกอบอื่น ๆ จากชีวมวลซึ่งเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการ ได้แก่สารประกอบหลัก เช่น คาร์บอน ไฮโดรคาร์บอน เถ้า และแร่ธาตุอื่น ๆ ชาร์ สามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิง หรือผลิตสารเคมีอื่นได้ เช่น ถ่านกัมมันต์ แนฟทาลีน แอนทราซีน เป็นต้น แต่โดยส่วนใหญ่จะนำมาใช้เป็นวัสดุเชื้อเพลิง ไร้ควันหรือที่เรียกว่า ถ่านไร้ควันเพื่อใช้ในบ้านเรือนอุตสาหกรรมขนาดเล็กหรือกลางหรือใช้ในโรงงานถลุงเหล็กและ

ทองแดงถ่านไร้ควันจะก่อให้ไม่เกิดปัญหามลพิษต่อสิ่งแวดล้อมจากกลิ่นหรือควันที่เกิดจากสารระเหยสารประกอบไนโตรเจนและซัลเฟอร์ [28]

2.17.1. วัตถุดิบที่ใช้ผลิตชาร์

วัสดุที่นำมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตชาร์

1. ของเหลือทิ้ง
2. มีปริมาณ คาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก
3. มีปริมาณสารระเหยต่ำ

วัสดุที่ใช้เป็นวัตถุดิบโดยตรงมักเป็นพวกอินทรีย์วัตถุหรือหมายถึงที่มีคาร์บอนและไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบหลักสามารถแบ่งออกเป็นชนิดต่างๆได้ดังนี้

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

สำหรับวัสดุที่ใช้เป็นวัตถุดิบในรูปถ่าน มักเป็นถ่านที่ได้จากการคาร์บอไนซ์ หรือ ที่เรียกว่า ถ่านสังเคราะห์ (Artifical Char) หรือ อาจเป็นถ่านที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ คุณสมบัติของวัตถุที่ใช้ในการผลิตชาร์ พบว่าวัสดุที่มีความหนาแน่นต่ำ สารระเหยสูง เช่น ไม้ ลิกนิน มักได้ ชาร์ที่มีปริมาณ รูพรุนสูง และความหนาแน่นต่ำ ส่วนวัสดุที่มีความหนาแน่นสูงและสารระเหยสูงเช่น กะลามะพร้าว ชาร์ ที่มีปริมาตรของรูพรุนเล็กสูงขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิตและสภาวะที่ใช้

2.17.2. การผลิตชาร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

กระบวนการไพโรไลซิส เป็นกระบวนการที่ทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ในรูปของชาร์ที่เป็นของแข็ง ทาร์ และแก๊ส โดยการเผาไหม้ที่อับอากาศ โดยกระบวนการเผาไหม้นั้นจะมีการกำหนดปริมาณออกซิเจนที่ใช้ ซึ่งในปัจจุบันกระบวนการสลายตัวทั้งความร้อนในสภาวะที่มีออกซิเจนน้อย หรือ ในที่มีการถ่ายเทความร้อน ให้เกิดการไพโรไลซิสโดยตรงจากการเผาไหม้บางส่วนของชาร์และแก๊ส เมื่อชีวมวลเกิดการสลายตัวทางความร้อนจะเกิดอนุกรมของปฏิกิริยาต่าง ๆได้แก๊สที่มีพลังงานปานกลาง น้ำมันที่มีองค์ประกอบซับซ้อนและชาร์ซึ่งกระบวนการชีวมวลจะสามารถแสดงสมการได้ดังต่อไปนี้

Biomass + heat ⟶ Char + pyrolytic oil (high and moderate molecular weight organic liquid) + other condensable in form of oxygenated organics + CO_2 + H_2 + CH_4 + H_2O + other

Organic liquid + heat ⟶ Aromatic organic + low molecular weight organic liquid + char + CO_2 + CO + H_2 + CH_4 + H_2O + other

CH_4 + H_2O ⟶ CO + $3H_2$ (endothermic, ie., produce heat)

CO + H_2O ⟶ CO_2 + H_2 (slightly exothermic, i.e., produce heat)

ในกระบวนการผลิตค่าขั้นตอนเริ่มต้นของการทำโครงสร้างมีรูพรุนโดยทำให้เกิดการแตกตัวทางเคมีของสารที่ไม่ใช่คาร์บอนออกมาในรูปของแก๊สคาร์บอนอิสระที่มีอยู่จะรวมตัวกันอยู่ในรูปของชาร์ชาร์ที่ได้จะมีลักษณะดังต่อไปนี้ มีสีดำตลอด ปราศจากผงฝุ่นและขี้เถ้า มีความเป็นรูพรุนสูง มีพื้นที่ผิวมาก เมื่อหักดูส่วนที่หักจะมีผิวที่เป็นมันเงา

การไพโรไลซิสให้ได้ชาร์มีคุณสมบัติดังที่ต้องการ ต้องทำการปรับสภาวะสมดุลของปฏิกิริยาดังตัวแปลสำคัญต่อไปนี้

1. อุณหภูมิของการไพโรไลซิส

กระบวนการไพโรไลซิสเป็นการกลั่นสลายของสารอินทรีย์ ผลิตภัณฑ์ที่ได้ ได้แก่ ผลิตภัณฑ์ที่เป็นของแข็งหรือชาร์ ผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวหรือทาร์และแก๊ส ซึ่งทาร์และแก๊สจะเกิดการหักออกบริเวณพันธะไม่แข็งแรงหรือบริเวณหมู่ที่หลุดออกง่ายทำให้กลุ่มโมเลกุลวงแหวนแตกออกจากกันเป็นกลุ่มๆจำนวนมาก เหลือแต่โครงสร้างที่ปีนวงแอโรแมติกที่กลายไปเป็นชาร์ โดยการจัดเรียงตัวของคาร์บอนจะแตกต่างไปตามอุณหภูมิของการไพโรไลซิสส่วนโครงสร้างอื่นๆจะรวมตัวกันกลายเป็นผลิตภัณฑ์ประเภทอื่นที่อุณหภูมิห้อง สิ่งที่สำคัญที่สุดของกระบวนการนี้คืออุณหภูมิสุดท้ายของการเผาไหม้เพราะมีความสัมพันธ์กับพลังงานที่ใช้ในการเผาไหม้ในวัตถุดิบออกมาเป็นสารระเหยที่อุณหภูมิสูงชาร์จะมีการจัดเรียงเป็นระเบียบมากกว่า เมื่อเพิ่มอุณหภูมิเป็นผลทำให้ปริมาณทั้งหมดของรูพรุนเล็ก ๆ ที่เกิดขึ้นในช่วงแรกของการไพโรไลซิสลดลง และชาร์มีความแข็งแรงมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามเมื่อชาร์มีประมาณคาร์บอนสูงขึ้นจำทำให้มีความสามารถในการทำปฏิกิริยาได้มากขึ้น ดังนั้นชาร์ที่มีปริมาณ คาร์บอนน้อยคือชาร์ที่ผ่านกระบวนการไพโรไลซิสที่อุณหภูมิสูง

2. อัตราการให้ความร้อน

อัตราการให้ความร้อนนั้นเป็นตัวแปรที่สำคัญต่อปริมาณและองค์ประกอบของสารละลายที่ได้จากการไพโรไลซิส แต่เดิมสภาวะในการให้ความร้อน อัตราการเพิ่มอุณหภูมิประมาณ 20 องศาเซลเซียสต่อวินาทีอันเป็นช่วงที่ทำให้เกิดการปลดปล่อยของสารระเหยอย่างรวดเร็ว

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ถ้าอัตราการให้ความร้อนสูง ปริมาณสารระเหยจะถูกปลดปล่อยอย่างรวดเร็ว ผลที่ได้ก็คือจะได้ชาร์ ที่มีรูพรุนขนาดใหญ่ความว่องไวในการทำปฏิกิริยาสูงกว่าชาร์ที่ได้จากการให้ความร้อนด้วยอัตราที่ต่ำกว่าเนื่องจากชาร์ที่ได้จัดการไพโรไลซิสด้วยอัตราการเพิ่มอุณหภูมิสูง คาร์บอนจะเรียงตัวกันเป็นระเบียบน้อย ทำให้เกิดช่องว่างเป็นรูปพรุนขนาดใหญ่ เมื่อทำปฏิกิริยากระตุ้น ตัวกระตุ้นจะเข้าไปทำปฏิกิริยาได้ง่าย

3. ตัวกลางของปฏิกิริยา

ตัวกลาง ของปฏิกิริยาจะมีผลกระทบต่อปฏิกิริยาถ้าแก๊สและไอที่เกิดระหว่างการไพโรไลซิสถูกพาออกไปอย่างรวดเร็วโดยแก๊สที่เป็นตัวกลาง เช่น แก๊สไนโตรเจนและแก๊สจากการเผาไหม้ ถ้าตัวกลางเป็นแก๊สที่ได้จากการเผาไหม้ปริมาณที่เป็นถ่านจะน้อยกว่าตัวกลางที่เป็นไนโตรเจน แต่มีความว่องไวในการทำปฏิกิริยากับตัวกระตุ้นสูงกว่า พบว่าการไพโรไลซิสโดยใช้อากาศเป็นตัวกลางในเตาเผาแบบฟลูอิไดซ์เบด จุดมุ่งหมายหลักของกระบวนการไพโรไลซิสเพื่อให้ได้ชาร์ที่มีรูพรุนและการจัดเรียงที่เป็นระเบียบ

การไพโรไลซิส จะมีการเปลี่ยนแปลงทางฟิสิกส์ 2 ช่วง คือ ช่วงอ่อนตัว และช่วงหลังการอ่อนตัว ในช่วงการอ่อนตัวควรให้ความร้อนด้วยอัตราที่ต่ำ เพื่อให้แก๊สหลุดออกมาจากโพรงภายในได้ โดยไม่สลายตัวหรือเปลี่ยนรูปเป็นของแข็งอุดแน่นภายในโพรง

2.18 กระบวนการการกระตุ้น (Activation)

กระบวนการการกระตุ้นเป็นการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างคาร์บอนแบบทางกายภาพ ด้วยการเพิ่มพื้นที่ผิวให้มากขึ้น โดยการทำให้เกิดรูพรุนมากขึ้น ซึ่งเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับ สารอื่น ๆ ที่ผิวของถ่านกัมมันต์ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างการกระตุ้นยังไม่เป็นที่ทราบแน่ชัด เนื่องจากวิธีการกระตุ้นนั้นมีหลายวิธีและประสิทธิภาพของการกระตุ้นยังขึ้นกับลักษณะและชนิดของ วัตถุดิบรวมถึงวิธีการเตรียมถ่านกัมมันต์การกระตุ้นด้วย

วัตถุประสงค์ของการกระตุ้น เพื่อ

(1) เพิ่มพื้นที่ผิวที่ว่องไว (Active surface area) โดยโมเลกุลบางกลุ่มจะหลุดออกไป ในขณะที่เกิดปฏิกิริยาเคมี ทำให้มีส่วนที่สามารถดูดซับได้ขึ้นมาแทน

(2) เพิ่มความว่องไวในการดูดซับให้กับพื้นที่ผิวที่มีอยู่แล้วจากกระบวนการคาร์บอไนเซชัน

(3) กำจัดสารอินทรีย์หรือสารอนินทรีย์ต่าง ๆ ที่ปนเปื้อนหรือปกคลุมออกจากพื้นผิว หรือรูพรุน ที่ทำหน้าที่ในการดูดซับ

โดยทั่วไปการผลิตถ่านกัมมันต์ด้วยวิธีการกระตุ้นมี 2 วิธี คือ การกระตุ้นทางเคมี (Chemical activation) เป็นการนำวัตถุดิบจากแหล่งหรือวัตถุดิบที่ผ่านกระบวนการคาร์บอไนเซชัน แล้วมากระตุ้นโดยใช้สารกระตุ้น เช่น $ZnCl_2$, $CaCl_2$ และ H_3PO_4 เป็นต้น อีกวิธีเป็นการกระตุ้นทาง

กายภาพ (Physical activation) เป็นการนำวัตถุดิบที่ผ่านกระบวนการคาร์บอไนเซชันแล้วมาทำปฏิกิริยากับก๊าซที่ใช้ในการออกซิไดซ์ โดยอาจใช้ไอน้ำ คาร์บอนไดออกไซด์ และออกซิเจน เป็นต้น

2.18.1 การกระตุ้นทางเคมี (Chemical Activation)

วิธีการกระตุ้นทางเคมีสามารถทำได้ 2 วิธี ดังต่อไปนี้ [29]

1) นำวัตถุดิบมาทำการเผาในที่อับอากาศก่อนเพื่อทำให้วัตถุดิบกลายเป็นถ่านชาร์ แล้วจึงนำไปแช่หรือผสมกับสารเคมีที่ใช้กระตุ้น จากนั้นจึงทำการกระตุ้นแบบ ไพโลไรซิสอีกครั้งหนึ่ง

2) นำวัตถุดิบมาแช่หรือผสมกับสารเคมีที่ใช้กระตุ้นแล้วจึงทำการกระตุ้นแบบ ไพโลไรซิสควบคู่ไปกับการทำให้วัตถุดิบเป็นถ่านในขั้นตอนเดียว

กระบวนการกระตุ้นทางเคมี เป็นกระบวนการกระตุ้นที่ใช้สารเคมีเป็นตัวกระตุ้น ซึ่งสารเคมีที่ใช้ส่วนใหญ่เป็นสารละลายกรดหรือเกลือของโลหะ เช่น ซิงค์คลอไรด์ (ZnCl2), กรดฟอสฟอริก (H3PO4), โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH), โพแทสเซียมซัลเฟต (K2SO4), โพแทสเซียมคาร์บอเนต (K2CO3) เป็นต้น โดยนำวัตถุดิบหรือถ่านคาร์บอนไปแช่ในสารเคมีก่อนนำมากระตุ้นด้วยความร้อน ซึ่งพบว่าวัตถุดิบหรือถ่านชาร์จะดูดซับเอาสารละลายนั้นเข้าไปแทรกตัวอยู่ตามรูพรุนบนผิวของ วัตถุดิบหรือถ่านชาร์ เมื่อนำไปกระตุ้นด้วยความร้อนที่อุณหภูมิสูงประมาณ 500 – 800 องศา เซลเซียส สารประกอบเหล่านี้จะเกิดการสลายตัวออกเปลี่ยนเป็นก๊าซและสารระเหยออกไป ทำให้ รูพรุนเกิดขึ้นเป็นจำนวนมาก การกระตุ้นด้วยสารเคมีจะใช้อุณหภูมิในการเผากระตุ้น ที่ต่ำกว่าการ กระตุ้นทางกายภาพ จึงเป็นการประหยัดพลังงานมากกว่าและสารเคมีสามารถแทรกซึมลงไปยังผิว ถ่านชาร์ได้อย่างทั่วถึงทำให้เกิดรูพรุนเกิดขึ้นมาก นอกจากนี้ยังลดขั้นตอนการผลิตได้มาก แต่มีข้อเสีย คือ การล้างเอาสารเคมีที่ตกค้างทำได้ยาก สารเคมีที่ใช้มีราคาแพงและอาจเป็นพิษต่อร่างกาย

ตัวอย่างการกระตุ้นด้วยวิธีทางเคมี ได้แก่

- การกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$)

  กระบวนการกระตุ้นทางเคมีโดยใช้ซิงค์คลอไรด์เป็นวิธีที่นิยมวิธีหนึ่ง โดยใช้ สารละลายซิงค์คลอไรด์ผสมกับวัตถุดิบ โดยที่อุณหภูมิประมาณ 130 องศาเซลเซียส มีผลอย่างมากต่อ สมบัติของถ่านกัมมันต์ที่ได้ หลังจากนั้นนำไปคาร์บอไนซ์ที่อุณหภูมิ 600 – 850 องศาเซลเซียส ซึ่งใน กระบวนการผลิตระดับอุตสาหกรรมนั้น ต้องคำนึงถึงประสิทธิภาพในการนำเอาซิงค์คลอไรด์กลับมา ใช้ใหม่เป็นอย่างมาก เนื่องจากประสิทธิภาพการนำซิงค์คลอไรด์กลับมาใช้ใหม่ที่ค่อนข้างจำกัด ประกอบกับปัญหาการกัดกร่อนต่อเครื่องปฏิกรณ์ ทำให้การใช้ซิงค์คลอไรด์เป็นสารกระตุ้นในระยะ หลังจึงลดลง

- การกระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริก (H_3PO_4)

กระบวนการกระตุ้นทางเคมีโดยใช้กรดฟอสฟอริกเป็นสารกระตุ้น จะใช้อุณหภูมิใน การกระตุ้นค่อนข้างต่ำ ประมาณ 400 – 500 องศาเซลเซียส ซึ่งพบว่าการใช้กรดฟอสฟอริกสามารถ ผ่านกระบวนการนำกลับมาใช้ใหม่ได้ โดยยังได้กรดฟอสฟอริกที่มีความเข้มข้นสูงอยู่ และเมื่อใช้นำ กรดฟอสฟอริกมาใช้กับวัตถุดิบที่ประเภทเศษไม้หรือเศษขี้เลื่อย พบว่าสามารถผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ที่ ให้สมบัติที่ดี

- การกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์หรือโซเดียมไฮดรอกไซด์ (KOH, NaOH)

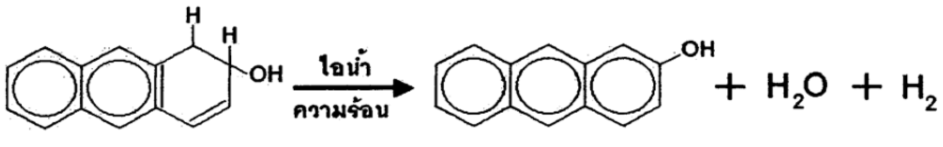
กระบวนการกระตุ้นทางเคมีโดยใช้สารละลายที่มีไอออนของโพแทสเซียมหรือ โซเดียม (K+ หรือ Na+) กับวัตถุดิบที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบแล้วให้ความร้อน พบว่าไอออนของ โลหะเหล่านี้จะเข้าไปแทรกอยู่ระหว่างชั้นของผลึกโครงสร้างของถ่านกัมมันต์ที่อุณหภูมิสูงกว่า 700 องศาเซลเซียส โดยโมเลกุลคาร์บอนไดออกไซด์ของน้ำและออกซิเจนเกิดการหลุดออกไปจาก โครงสร้างทำให้ได้ถ่านกัมมันต์ตามที่ต้องการ

สารเคมีแต่ละชนิดจะไปช่วยกระตุ้นเพื่อทำลายโครงสร้างของวัตถุดิบและ ในขณะที่ ทำการคาร์บอไนซ์จะเกิดการสลายตัวของสารอินทรีย์ในวัตถุดิบทำให้เกิดการเชื่อมไขว้กัน (Cross-link) อย่างไม่เป็นระเบียบของโครงสร้าง เกิดช่องว่างรูพรุนขึ้น พบว่าสารระเหยบางตัวในโครงสร้าง ของวัตถุดิบไม่สามารถหลุดออกไปได้ เนื่องจากติดการเชื่อมไขว้กันนี้ ส่งผลให้ปริมาณคาร์บอนที่ได้เพิ่มขึ้นและเกิดทาร์ลดลง ซึ่งการเชื่อมไขว้ประกอบกับสารเคมีที่ใช้มีความคงทนต่อการสลายตัวที่ อุณหภูมิสูง ๆ ทำให้ยังคงสภาพหุ้มอยู่รอบ ๆ และแทรกตัวอยู่ภายในทำให้เกิดการหดตัวน้อย เมื่อนำถ่านที่ได้มาล้างสารเคมีออกด้วยน้ำหรือกรด จะทำให้เกิดช่องว่างหรือรูพรุนเพิ่มขึ้นอีก [30]

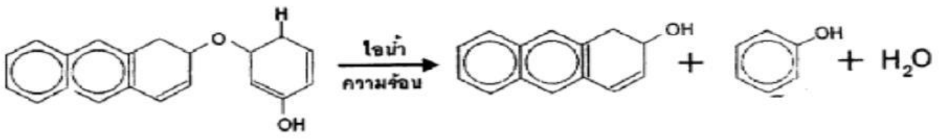
2.18.2 การกระตุ้นทางกายภาพ (Physical Activation)

เป็นวิธีการเพิ่มปริมาตรรูพรุนและพื้นที่ผิวด้วยปฏิกิริยาแก๊สซิฟิเคชัน (Gasification) ด้วยก๊าซออกซิไดซ์ ในช่วงอุณหภูมิประมาณ 700 – 1000 องศาเซลเซียส ก๊าซที่ใช้โดยทั่วไปคือ ไอน้ำ อากาศและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยอาจใช้ชนิดใดชนิดหนึ่งหรือรวมก๊าซดังกล่าวก็ได้ ซึ่งถ่านชาร์ ที่ได้จากการกระบวนการคาร์บอไนซ์ยังเป็นตัวดูดซับที่ไม่ดีต้องทำการกระตุ้นให้ได้ถ่านที่มีการดูดซับสูง โดยใช้การกระตุ้นเพื่อให้ถ่านชาร์ทำปฏิกิริยากับก๊าซที่

เป็นตัวออกซิไดซ์ พบว่าบนผิวของคาร์บอนเกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ แสดงดังภาพที่ 2.20 และ 2.21 โดยเกิดการจัดเรียงตัวขึ้นใหม่ในโครงสร้าง ซึ่งเป็นการเพิ่มความสามารถในการดูดซับของถ่าน การกระตุ้นด้วยความร้อนเพียงอย่างเดียวจะต้องใช้ปริมาณความร้อนสูงถึง 1200 องศาเซลเซียส และสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่ได้ คือ คุณภาพต่ำกว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิต จากการกระตุ้นด้วยก๊าซออกซิไดซ์ [31]



รูปที่ 2.20 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจากการกระตุ้นด้วยไอน้ำ [31]



รูปที่ 2.21 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจากการกระตุ้นทางกายภาพโดยกำจัดฟีนอลและน้ำ [31]

ซึ่งข้อดีของการกระตุ้นด้วยวิธีนี้ คือ ไม่มีสารเคมีตกค้าง สามารถนำถ่านกัมมันต์ไปใช้งานได้เลยโดยไม่ต้องมาล้างสารเคมีตกค้างที่เป็นอันตราย แต่มีข้อเสีย คือ ต้องใช้อุณหภูมิสูงกว่า วิธีการกระตุ้นทางเคมี

ปัจจัยที่มีผลต่อลักษณะรูพรุนในขั้นตอนการกระตุ้น คือ

- โครงสร้างของคาร์บอนหรือถ่านชาร์ที่นำมากระตุ้น
- สารอนินทรีย์ปนเปื้อนที่อยู่ในเนื้อคาร์บอน
- ชนิดของก๊าซออกซิไดซ์
- อุณหภูมิขณะเกิดปฏิกิริยา
- ความดันของก๊าซ
- เวลาในการเกิดปฏิกิริยา
- ขนาดอนุภาคของถ่านชาร์

กระบวนการกระตุ้นทางกายภาพ พบว่าคาร์บอนทำปฏิกิริยากับสารออกซิไดซ์ได้เป็นคาร์บอนออกไซด์แพร่ออกจากผิวของคาร์บอน เกิดแก๊สซิฟิเคชันบางส่วนของเม็ดถ่าน

Chulalongkorn University

เป็นรูพรุน ขึ้นในโครงสร้าง ซึ่งถ่านชาร์ที่ได้จากการคาร์บอไนซ์จะประกอบด้วยรูพรุนเล็ก ๆ จำนวนมาก ซึ่งเกิด จากช่องว่างระหว่างโครงสร้างจากการจัดเรียงตัวของคาร์บอนอะตอม รูพรุนนี้มักจะถูกปกคลุมด้วย ทาร์หรือสารระเหยที่เกิดจากการสลายตัวด้วยความร้อน และถูกขวางด้วยคาร์บอนอสัณฐาน ดังนั้น การกระตุ้นจึงเป็นทั้งการเปิดรูที่ถูกปกคลุมและการสร้างรูใหม่ขึ้นด้วย

ตัวอย่างการกระตุ้นด้วยวิธีทางกายภาพ มีดังนี้

- การกระตุ้นด้วยไอน้ำ

ไอน้ำนั้นถือได้ว่าเป็นสารกระตุ้นที่มีการใช้กันมาก เนื่องจากโมเลกุลของน้ำมีขนาด เล็กกว่าโมเลกุลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และในการกระตุ้นด้วยไอน้ำนั้นมีข้อดี คือ

(1) โมเลกุลของน้ำสามารถแพร่เข้าไปในโครงสร้างรูพรุนได้อย่างรวดเร็ว

(2) โมเลกุลของน้ำมีขนาดเล็ก จึงสามารถแพร่เข้าไปในรูพรุนที่มีขนาดเล็กได้

(3) เกิดปฏิกิริยาอย่างรวดเร็ว ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาเร็วกว่าก๊าซคาร์บอนไดร์ออกไซด์ถึงสามเท่า

ที่ภาวะความดัน 10 กิโลพาสคัลและอุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส รูปแบบของ ปฏิกิริยาในการกระตุ้นโดยใช้ไอน้ำ ซึ่งการใช้ไอน้ำในที่นี้ หมายถึงการใช้ไอน้ำร้อนยิ่งยวด (Superheated stream) โดยปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยาดูดความร้อน ดังสมการที่ 1

$$C + H_2O \longrightarrow CO + H_2 \qquad \Delta H = +117\ kJ/mol \quad (1)$$

นอกจากนี้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์บางส่วนที่ได้สามารถทำปฏิกิริยากับไอน้ำ (Exothermic water-gas formation reaction) แล้วเกิดเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ควบคู่ไปด้วย ซึ่งเป็นปฏิกิริยาคายความร้อน ดังสมการที่ 2

$$CO + H_2O \longrightarrow CO_2 + H_2 \qquad \Delta H = -42.3\ kJ/mol \quad (2)$$

ในช่วงการกระตุ้นต่ำจะมีการสร้างรูพรุนขนาดเล็กเท่านั้นและเมื่อร้อยละน้ำหนักที่ หายไปในช่วงการกระตุ้นเพิ่มขึ้น ส่งผลให้มีรูพรุนเพิ่มขึ้นและขนาดรูพรุนต่าง ๆ ขยายใหญ่ขึ้น ทำให้มี การกระจายขนาดรูพรุน (Pore size distribution) ที่กว้างและมีปริมาตรรูพรุนทั้งหมด (Total pore volume) สูงขึ้น โดยทั่วไปเมื่อร้อยละน้ำหนักที่หายไปทั้งหมด (% Weight loss) มีค่าสูงกว่าร้อยละ 50 พบว่าพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์จะไม่เพิ่มขึ้น ดังนั้นการกระตุ้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ด้วยไอน้ำจำเป็นต้องใช้อุณหภูมิสูง มากพอที่จะทำให้เกิดการออกซิไดซ์อย่างรวดเร็ว แต่ไม่ควรเกิน 1000 องศาเซลเซียส เนื่องจากแก๊ส ซิฟิเคชันส่วนใหญ่เป็นการทำให้รูพรุนมีขนาดใหญ่ขึ้นเท่านั้น จะส่งผลให้มีความสามารถในการดูดซับ ลดลง ดังนั้นอัตราการเกิดปฏิกิริยา (r) แบบ Langmuir – Hinshelwood แสดงดังนี้

$$r = \frac{k_1 P_{H_2O}}{1+k_2 P_{H_2O} + k_3 P_{H_2}}$$

ซึ่ง P_{H2O} คือ ความดันย่อยของไอน้ำ

P_{H2} คือ ความดันย่อยของก๊าซไฮโดรเจน

k_1, k_2, k_3 คือ ค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยา

- การกระตุ้นด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

การกระตุ้นด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นการเกิดแก๊สซิฟิเคชันระหว่างก๊าซ คาร์บอนไดออกไซด์กับคาร์บอนอะตอมในถ่านชาร์ ซึ่งอุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ที่ประมาณ 800 – 900 องศาเซลเซียส ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยาดูดความร้อนเช่นเดียวกับการกระตุ้นด้วยไอน้ำ

$C + CO_2 \longrightarrow 2CO \qquad \Delta H = +159.0$ KJ/mol (3)

การเกิดแก๊สซิฟิเคชันด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต้องใช้พลังงานในการเกิดปฏิกิริยา มากกว่าการเกิดแก๊สซิฟิเคชันด้วยไอน้ำ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้อุณหภูมิในการกระตุ้นสูงกว่าการ กระตุ้นด้วยไอน้ำ และโมเลกุลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีขนาดโมเลกุลที่ใหญ่กว่าโมเลกุลของน้ำ ทำให้อัตราการเกิดแก๊สซิฟิเคชัน (Rate of gasification) ช้ากว่า โดยส่วนใหญ่รูพรุนที่ได้จากการกระตุ้นด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นรูพรุนขนาดเล็กตลอดช่วง ซึ่งร้อยละน้ำหนักที่หายไปอยู่ ประมาณร้อยละ 70 ของปริมาตรรูพรุนทั้งหมด และมากกว่าร้อยละ 90 ของพื้นที่ผิวทั้งหมด ทำให้มี การกระจายขนาดรูพรุนน้อย นอกจากนี้ถ่านกัมมันต์ที่ได้จะมีปริมาตรรูพรุนน้อยกว่าถ่านกัมมันต์ที่ กระตุ้นด้วยไอน้ำแต่มีพื้นที่ผิวใกล้เคียงกันซึ่งอัตราการเกิดปฏิกิริยาแสดงดังต่อไปนี้

$$r = \frac{k_1 P_{CO_2}}{1+k_2 P_{CO} + k_3 P_{CO_2}}$$

โดย P_{CO2} คือ ความดันย่อยของก๊าซคาร์บอนไดร์ออกไซด์

P_{CO} คือ ความดันย่อยของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์

k_1, k_2 และ k_3 คือ ค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยา

การผลิตถ่านกัมมันต์ทางการค้าส่วนใหญ่นิยมใช้ไอน้ำเป็นสารกระตุ้น เนื่องจากไอ น้ำสามารถแพร่เข้าไปในรูพรุนได้ดี ส่งผลให้อัตราการเกิดแก๊สซิฟิเคชันเร็ว อุณหภูมิที่ใช้ในการกระตุ้น ต่ำกว่าการใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นสารกระตุ้น อีกทั้งต้นทุนยังต่ำกว่าอีกด้วย

- การกระตุ้นด้วยก๊าซออกซิเจนหรืออากาศ

การกระตุ้นด้วยก๊าซออกซิเจนหรืออากาศ เป็นปฏิกิริยาคายความร้อน ที่ใช้อุณหภูมิ ต่ำกว่า 600 องศาเซลเซียส เกิดแก๊สซิฟิเคชันได้ขึ้นง่ายและเร็วกว่าการกระตุ้นด้วยไอน้ำและด้วยก๊าซ คาร์บอนไดออกไซด์ ดังสมการที่ 4 และ 5

$$C + O_2 \longrightarrow CO_2 \qquad \Delta H = -393.5 \text{ KJ/mol} \qquad (4)$$

$$2C + O_2 \longrightarrow 2CO \qquad \Delta H = -221.0 \text{ KJ/mol} \qquad (5)$$

พบว่าปฏิกิริยาทั้งสองเป็นปฏิกิริยาแบบคายความร้อนและอัตราส่วนระหว่างก๊าซ คาร์บอนมอนอกไซด์กับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ได้เป็นผลพลอยได้จะเพิ่มขึ้น โดยเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ถ่านคาร์บอนที่ถูกกระตุ้นด้วยอากาศที่มีก๊าซออกซิเจนปนอยู่จะเกิดหมู่ฟังก์ชันขึ้นที่ผิวของถ่านชาร์ เป็นจำนวนมาก แต่ในการกระตุ้นด้วยก๊าซออกซิเจนหรืออากาศมีการเผาไหม้สมบูรณ์เกิดขึ้นจึงทำให้ ควบคุมปฏิกิริยายากเพราะเป็นปฏิกิริยาคายความร้อน จึงไม่สามารถรักษาอุณหภูมิในเตาให้คงที่ได้ จึงไม่นิยมใช้เป็นตัวกระตุ้นทั้งนี้เพราะออกซิเจนเป็นตัวออกซิไดซ์ที่รุนแรงมาก

- การกระตุ้นด้วยก๊าซไอเสีย

ในก๊าซไอเสียจะมีก๊าซที่มีความสามารถในการกระตุ้นถ่านเป็นถ่านกัมมันต์ได้ เช่น ก๊าซออกซิเจนที่เหลืออยู่ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และไอน้ำ ซึ่งการกระตุ้นด้วยก๊าซไอเสียเป็นการ นำเอาก๊าซที่ปล่อยทิ้งไปกลับมาใช้ให้เกิดประโยชน์ ทำให้ประหยัด แต่ถ่านกัมมันต์ที่ได้จะมีคุณภาพที่ ไม่ดีนัก เนื่องจากก๊าซไอเสียมีอุณหภูมิไม่สูงมาก และถ่านกัมมันต์ที่ได้อาจดูดซับก๊าซไอเสียไว้ด้วย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.19 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Jinbo [32] ศึกษาการใช้ *Pteris vittata L.* มาใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตน้ำมันดิบชีวภาพผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์ภายใต้อุณหภูมิที่แตกต่างกันตั้งแต่ 250 – 390 องศาเซลเซียส จากการทดลองพบว่าที่อุณหภูมิที่ 350 องศาเซลเซียส จะได้ของเหลวปริมาณสูงสุดถึงร้อยละ 16.88 โดยน้ำหนัก

Wei และคณะ [33] ศึกษาไพโรไลซิสร่วม (co-pyrosis) ระหว่างไม้ไผ่ กับสารหร่ายขนาดเล็ก (microalgae) และมีการใช้ชาร์จาก ไม้ไผ่เองในการเร่งปฏิกิริยา จากการศึกษาพบว่า ชาร์ไปช่วยเร่งปฏิกิริยาดีออกซิจิเนชันเลยทำให้ ปริมาณของออกซิเจนในของเหลวลดลง แต่ออกซิเจนไปอยู่ในส่วนของแก็สและน้ำมากขึ้น ซึ่งถ้าปริมาณออกซิเจนลดลงจะทำให้คุณภาพของน้ำมันดีขึ้นตามสมการของ Dulong equation จึงสามารถสรุปได้ว่าชาร์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา สามารถเร่งปฏิกิริยาดีออกซิจิเนชันในของเหลวได้

Yang และ คณะ [34] ศึกษาไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชัน โดยศึกษาการผสมกันของ กากกาแฟ ผสมกับวัตถุดิบ 3 ชนิดคือ กระดาษกรอง ซังข้าวโพด เปลือกต้นสัน จากการศึกษาพบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมในกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันแบบผสมคือ 250 องศาเซลเซียส และอัตราส่วนผสมที่ดีที่สุดคือ 1:1 ของ กากกาแฟต่อซังข้าวโพด และการใส่ตัวเร่งร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก การเติม NaOH เข้าไปในระบบ ช่วยเพิ่มปริมาณน้ำมันเป็นร้อยละ 20.9

Guo และคณะ [35] ศึกษาวิธีการเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการไพโรไลซิส ของแกลบ (RH) ผสมกับ ชาร์ของแกลบ (RHC) ที่ถูกผสมกับ Fe, Cu และ K โดยแบ่งการทดลองเป็นสองขั้นตอนโดยตัวเร่งปฏิกิริยาแบบ ชาร์ของแกลบ (RHC) และ ชาร์ของแกลบ (RHC) ที่ถูกผสมกับ Fe, Cu และ K ในการเร่งปฏิกิริยาที่ช่วงอุณหภูมิ 600, 700 และ 800 องศาเซลเซียส พบว่าปริมาณการสลายตัวของน้ำมันที่ได้ดีที่สุดคือที่ 800 องศาเซลเซียส คือ ร้อยละ 77.1 ของ RHC, ร้อยละ 82.7 ของ K-RHC, ร้อยละ 92.6 ของ Fe-RHC และ ร้อยละ 90.6 ของ Cu-RHC

Rae [36] ศึกษาการพัฒนาถ่านกัมมันต์ที่มีพื้นที่ผิวจำเพาะสูงจากวัสดุคาร์บอนแข็งที่ไม่มีรูพรุน (HC) ผ่านกระบวนการกระตุ้นด้วยไอน้ำ โดยถ่านกัมมันต์ (AHC) ที่ได้รับการกระตุ้นแล้วจะพบว่า มีสมบัติของพื้นผิวที่ดีกว่าเมื่อเทียบกับ AHC ที่เตรียมภายใต้ความดันไอน้ำบรรยากาศ นอกจากนี้ AHC ที่ผ่านการกระตุ้นแล้วพบว่ามีปริมาตรรูพรุนขนาดกลางสูงขึ้น หรือมีปริมาตรรูพรุนสูงขึ้นนั่นเอง

Chen และคณะ [37] ศึกษาการนำชาร์ที่เกิดจากกระบวนการไพโรไลซิสมาเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันของน้ำมันถั่วเหลืองเป็น bio-gasoline ได้ทำการเปรียบเทียบระหว่างชาร์ และ CaO/char พบว่า CaO char มีพื้นที่ผิวที่สูงกว่าชาร์ หลังจากนั้นนำ CaO/char ไปทดสอบในกระบวนการแฟลชไพโรไลซิส พบว่าน้ำมันถั่วเหลืองก่อนทำปฏิกิริยา มีปริมาณออกซิเจนสูง

ถึงร้อยละ 14.4 โดยน้ำหนัก แต่เมื่อผ่านกระบวนการแฟลชไพโรไลซิส ทำให้ปริมาณออกซิเจนลดลงเหลือร้อยละ 12.9 โดยน้ำหนัก และถ้ามีการใส่ CaO/Char จะทำให้ประมาณออกซิเจนในของเหลวลดลงเหลือเพียงร้อยละ 2.4 โดยน้ำหนัก ซึ่งสรุปได้ว่า CaO/char นั้นสนับสนุนปฏิกิริยา deoxygenation ทำให้ปริมาณออกซิเจนลดลง และคุณภาพของน้ำมันดีขึ้น

Terachai [38] ศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์มน้ำมันโดย ไพโรไลซิสและการกระตุ้นด้วยไอน้ำในขั้นตอนเดียว ในเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง ผลการทดลอง พบว่าภาวะที่เหมาะสมในการผลิต คือ ใช้กะลาปาล์มน้ำมันขนาด 1.18 - 2.36 มิลลิเมตร ที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้กระตุ้น 2 ชั่วโมงและอัตราการไหลของอากาศ 0.72 ลิตรต่อนาที โดยใช้ ไอน้ำเป็นสารกระตุ้น ซึ่งถ่านกัมมันต์ที่ได้มีร้อยละผลิตภัณฑ์ 19.66 ความหนาแน่นเชิงปริมาตร 0.5160 มิลลิกรัมต่อกรัม ค่าเถ้า 6.03% ค่าการดูดซับไอโอดีน 620.16 มิลลิกรัมต่อกรัม ค่าการดูดซับเมทิลีนบลู 176.75 มิลลิกรัมต่อกรัมและพื้นผิวรูพรุน 559.48 ตารางเมตรต่อกรัม

Zhang และคณะ [39] ศึกษาการกระตุ้นด้วยไอน้ำที่มีผลต่อโครงสร้างรูพรุนและพื้นผิวเคมีของถ่านกัมมันต์จากไม้ไผ่ เมื่อวิเคราะห์ไอโซเทอมการดูดซับ - คายซับก๊าซไนโตรเจน พบว่าเมื่ออุณหภูมิกระตุ้นหรือเวลาที่ใช้ในการกระตุ้นเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้พื้นที่ผิวมีรูพรุนเพิ่มมากขึ้นและรูพรุนขนาดเล็กเกิดการขยายตัวกว้างขึ้น โดยผลที่ตามมาจากรูพรุนขนาดเล็กเกิดการขยายตัว คือ พื้นที่ผิวและปริมาตรรูพรุนลดลง ภาวะที่เหมาะสมสำหรับถ่านกัมมันต์จากไม้ไผ่ คือ อุณหภูมิกระตุ้น 850 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้กระตุ้น 120 นาที อัตราการไหลของไอน้ำ 0.2 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที พบว่าถ่านกัมมันต์มีพื้นที่ผิว 1210 ตารางเมตรต่อกรัม ปริมาตรรูพรุนทั้งหมด 0.542 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม และเมื่อวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานวิทยาของถ่านกัมมันต์ พบว่าถ่านกัมมันต์มีความสามารถในการดูดซับเมทิลีนบลูแบบชั้นเดียว 330 มิลลิกรัมต่อกรัม ซึ่งแสดงให้เห็นว่าถ่านกัมมันต์ที่ได้จากภาวะที่เหมาะสมมีศักยภาพในการใช้งาน สำหรับการดูดซับเมทิลีนบลู

Rugayah และคณะ [40] ศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์ม ซึ่งกะลาปาล์ม ที่ทำการศึกษามีสัดส่วนองค์ประกอบทางเคมี ดังนี้ เซลลูโลส 27.7% เฮมิเซลลูโลส 21.6% และลิกนิน 44% นอกจากนี้ยังมีปริมาณร้อยละเถ้าต่ำ (23%wt.) แต่มีปริมาณคาร์บอนและสารระเหยสูง 23%wt. และ 61.7%wt. ตามลำดับ เมื่อทำการกระตุ้น พบว่าพื้นที่ผิวบีอีทีเพิ่มสูงขึ้นกว่าก่อนกระตุ้นจาก 541.76 เป็น 607.76 ตารางเมตรต่อกรัม จากนั้นนำถ่านกัมมันต์ที่ได้ไปทดสอบการดูดซับ พบว่าสามารถกำจัดองค์ประกอบออกซิเจนที่เป็นพิษได้ 80.7% ความสามารถในการดูดซับ 8.83 มิลลิกรัมต่อกรัม จึงสรุปว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้นั้นจากกาลาปาล์มมีคุณภาพที่ดีกว่าถ่านกัมมันต์จากเกรดการค้า

บทที่ 3

เครื่องมือและวิธีการทดลอง

ในงานวิจัยนี้ศึกษาการผลิตน้ำมันดิบชีวภาพผลของชาร์ที่มีต่อร้อยละผลได้และคุณภาพจากไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันของชานอ้อย

3.1 สารตั้งต้นและสารเคมี

3.1.1. ชานอ้อย (bagasse) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 150-250 ไมโครเมตร

3.1.2. ชาร์ไม้ไผ่ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 150-250 ไมโครเมตร

3.1.3. ชาร์ไม้ไผ่ที่ผ่านการกระตุ้นด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2-5 ไมโครมิลลิเมตร

3.1.4. ชาร์ไม้ไผ่ที่ผ่านกระตุ้นด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2-5 มิลลิเมตร

3.1.5. ชาร์กะลาปาล์ม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 150-250 ไมโครเมตร

3.1.6. ชาร์กะลาปาล์มที่ผ่านการกระตุ้นด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2-5 ไมโครมิลลิเมตร

3.1.7. ชาร์กะลาปาล์มที่ผ่านการกระตุ้นด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2-5 ไมโครมิลลิเมตร

3.1.8. น้ำปราศจากไอออน (distilled water)

3.1.9. แอซิโตน (acetone)

3.1.10.ไนโตรเจน ความบริสุทธิ์ 99.99% จาก บริษัท แพรกซ์แอร์ (ประเทศไทย) จำกัด

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมชานอ้อย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1) เครื่องบดย่อยชีวมวลชนิดหยาบ แสดงดังรูปที่ 3.1

รูปที่ 3.1 เครื่องบดย่อยชีวมวลชนิดหยาบ

2) เครื่องบดย่อยชีวมวลประเภทละเอียด ยี่ห้อสปริงกรีนอีโวลูชั่น รุ่น PG1500 แสดงดังรูปที่ 3.2

รูปที่ 3.2 เครื่องบดย่อยชีวมวลชนิดละเอียด

3) ตะแกรงร่อนขนาด 1.18 มิลลิเมตร และขนาด 150, 250 ไมโครเมตร แสดงดัง
รูปที่ 3.3

รูปที่ 3.3 เครื่องบดย่อยชีวมวลชนิดละเอียด

4) เครื่องเขย่าตะแกรงร่อน แสดงดังรูปที่ 3.4

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 3.4 เครื่องเขย่าจะแกรงร่อน

5) ตู้อบ

3.2.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมถ่านชาร์ที่ถูกกระตุ้นด้วยไอน้ำ

1) เตาเผาให้ความร้อนแบบแนวตั้ง (Vertical furnace) สามารถปรับอุณหภูมิได้สูงถึง 1200 องศาเซลเซียส ตรงส่วนกลางสำหรับวางเครื่องปฏิกรณ์ (Reactor) แสดงดังรูปที่ 3.5

รูปที่ 3.5 เตาเผาให้ความร้อนแบบแนวตั้ง

2) เครื่องปฏิกรณ์สำหรับทำการกระตุ้น (Reactor) แสดงดงังรูปที่ 3.6

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 3.6 เครื่องปฏิกรณ์สำหรับทำการกระตุ้น

3) หม้อต้มไอน้ำ (Boiler)
4) ตะแกรงร่อน 2 มิลลิเมตร
5) ตะแกรงร่อนขนาด 250 ไมโครเมตร
6) ตู้อบ (Oven) ยี่ห้อ Binder
7) ตู้ดูดความชื้น (Desiccator)
8) เครื่องชั่งละเอียด ทศนิยม 4 ตำแหน่ง
9) ชุดกรองสุญญากาศ และกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 40 และเบอร์ 42
10) อุปกรณ์วัดอัตราการไหลของก๊าซ (Flow meter)
11) เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple)
12) เครื่องแก้วที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ

รูปที่ 3.7 ภาพแสดงชุดกระตุ้น

3.2.3 เครื่องปฏิกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1) เครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์หรือเครื่องปฏิกรณ์แรงดันสูง (high-pressure parr reactor)

เครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์ ดังแสดงในรูปที่ 3.8 ผลิตโดยบริษัท Parr Instrument Company มีขนาดปริมาตร 500 มิลลิลิตร ตัวเครื่องทำจากเหล็กกล้าไร้สนิม (stainless steel 316) ประกอบด้วย 5 ส่วน คือ ส่วนให้ความร้อน (heater) อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ

(temperature controller) มาตรวัดความดัน (pressure gauge) ระบบหล่อเย็น (cooling system) และอุปกรณ์การกวนโดยตัวเครื่องและอุปกรณ์ประกอบสามารถทำงานที่อุณหภูมิไม่เกิน 400 องศาเซลเซียส และความดันสูงสุดไม่เกิน 35 เมกะพาสคัล

การทดลองในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์ ประกอบด้วย 7 องค์ประกอบ ดังนี้

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

รูปที่ 3.8 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 3.9

2) ตัวทำละลาย

3) ขวดเก็บสารตัวอย่าง

รูปที่ 3.9 เครื่องระเหยแบบหมุน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

3.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์สารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์

3.3.1 เครื่องวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (CHNS/O analyzer)

รูปที่ 3.10 แสดงเครื่องวิเคราะห์แบบแยกธาตุ ยี่ห้อ PerkinElmer รุ่น 2400 Series II ใช้ในการวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบคาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน ซัลเฟอร์ และออกซิเจน ในตัวอย่างทั้งชีวมวลที่ใช้เป็นสารตั้งต้น และน้ำมันดิบชีวภาพที่เป็นผลิตภัณฑ์ ผลการวิเคราะห์คิดเป็นร้อยละธาตุองค์ประกอบแต่ละชนิดโดยน้ำหนัก ของชีวมวลหรือน้ำมันดิบชีวภาพที่ใช้ในการวิเคราะห์

รูปที่ 3.10 เครื่องวิเคราะห์แบบแยกธาตุ

3.3.2 เครื่องหาขนาดรูพรุน (chemisorption analyzer)

เครื่องวัดพื้นที่ผิวและความเป็นรูพรุนด้วยเทคนิคการวัดการดูดซับไนโตรเจน รุ่น ASAP2020 ยี่ห้อ Micromeritic ปริมาณก๊าซไนโตรเจนที่ถูกดูดซับและความดันย่อยที่ เปลี่ยนแปลงไปจะถูกบันทึกเพื่อสร้างเป็นไอโซเทอมของการดูดและการคายซับที่ความดันสัมพัทธ์ ในช่วง 10-7 ถึง 1 โดยการคำนวณพื้นที่ผิวสามารถหาได้จากสมการของ Brunauer-Emmett-Teller (BET) ส่วนปริมาตรรูพรุนและขนาดรูพรุนเฉลี่ยสามารถหาได้จากสมการ Berret-Joyner-Halenda (BJH pore size distribution) แสดงดังรูปที่ 3.11

รูปที่ 3.11 เครื่องหาขนาดรูพรุน

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

การวิเคราะห์หาชนิดของหมู่ฟังก์ชันของถ่านชาร์ ด้วย X-Ray Fluorescence Spectrometer (XRF) รุ่น Bruker AXS ยี่ห้อ Germany แสดงดังในรูปที่ 3.12

รูปที่ 3.12 X-Ray Fluorescence Spectrometer (XRF)

3.3.4 เครื่องวิเคราะห์เชิงอุณหภูมิความร้อน Thermogravimetric Analyzer (TG/SDTA)

การวิเคราะห์เชิงอุณหภูมิความร้อน เพื่อหาการสลายตัวทางความร้อนของชาร์ ด้วยเครื่อง PerkinElmer รุ่น PYRIS DIAMOND แสดงดังรูปที่ 3.13

รูปที่ 3.13 เครื่องวิเคราะห์เชิงอุณหภูมิความร้อน

3.3.5 เครื่องวิเคราะห์ชนิดสารโดยหลักการ ดูดกลืนแสงในช่วงคลื่นอินฟาเรด (FTIR-ATR Spectrometer) Thermo Ficher-Nicolet iS5

การวิเคราะห์หาชนิดของหมู่ฟังก์ชันของถ่านชาร์ ด้วยเครื่อง FTIR-ATR Spectrometer ยี่ห้อ Thermo Ficher รุ่น Nicolet iS5 แสดงดังในรูปที่ 3.14

รูปที่ 3.14 FTIR-ATR Spectrometer

3.3.6 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ

การวิเคราะห์องค์ประกอบและปริมาณของผลิตภัณฑ์แก๊สด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟยี่ห้อ Shimadsu รุ่น GC 2014 ดังแสดงในรูปที่ 3.15

รูปที่ 3.15 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ

3.4 ขั้นตอนดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย แบ่งออกเป็นทั้งหมด 4 ขั้นตอน ดังนี้

3.4.1 การเตรียมชานอ้อย

นำชานอ้อยไปล้าง และตากแดด จากนั้นนำมาบด และเข้าเครื่องเขย่าตะแกรงร่อนเพื่อคัดขนาดให้อยู่ในช่วง 150 ถึง 250 ไมโครเมตร นำชานอ้อย ที่ได้ไปอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมงก่อนใช้เพื่อไล่ความชื้นการใช้ในการทดลอง

3.4.2 การเตรียมไบโอชาร์

นำไบโอชาร์ มาบดและคัดขนาดให้มีขนาด 3 ถึง 5 มิลลิเมตร ด้วย เครื่องร่อนขนาด 2 ถึง 5 มิลลิเมตรและใช้ตะแกรงร่อนขนาด 2 มิลลิเมตร จากนั้นล้างด้วยน้ำกลั่นแล้ว อบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วเก็บไว้ในตู้ดูดความชื้น จะได้วัตถุดิบ ดังรูปที่ 3.16 และ 3.17 ตามลำดับ เพื่อนำไปทำการทดลองในขั้นตอนต่อไป

รูปที่ 3.16 ถ่านกะลาปาล์มที่ใช้ในการทดลอง ขนาด 3 – 5 มิลลิเมตร

รูปที่ 3.17 ถ่านไม้ไผ่ที่ใช้ในการทดลอง ขนาด 3 – 5 มิลลิเมตร

3.4.3 การกระตุ้นไบโอชาร์โดยวิธีการกระตุ้นทางกายภาพ

สารกระตุ้นที่ใช้คือ ไอน้ำร้อนยิ่งยวด โดยจะใช้อุณหภูมิในการกระตุ้นที่ 800 และ 900 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ในการกระตุ้น 2 ชั่วโมง มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1) ชั่งถ่านชาร์ขนาด 3 -5 มิลลิเมตร จำนวน 30 กรัม บรรจุใส่ในเครื่องปฏิกรณ์ (Reactor)
2) นำมากระตุ้นในเตาเผาให้ความร้อนแบบแนวตั้ง ป้อนไอน้ำร้อนยิ่งยวดที่ด้านล่างของเครื่องปฏิกรณ์
3) ปรับอุณหภูมิที่ต้องการ คือ 800 และ 900 องศาเซลเซียส
4) เมื่อถึงอุณหภูมิที่กำหนด จับเวลา 2 ชั่วโมง
5) นำเครื่องปฏิกรณ์หลังการกระตุ้นมาทำให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้อง
6) ล้างถ่านกัมมันต์ที่ได้ด้วยน้ำกลั่นเพื่อกำจัดเถ้าออก หลังจากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง
7) นำถ่านกัมมันต์ที่ได้ไปวิเคราะห์สมบัติต่างๆ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.4.4 การวิเคราะห์สมบัติของชานอ้อยและชาร์แต่ละชนิด

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

การวิเคราะห์แบบแยกองค์ประกอบธาตุ ได้แก่ ปริมาณร้อยละของธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน และซัลเฟอร์ โดยใช้เครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบแบบ

แยกธาตุ ส่วนปริมาณร้อยละของธาตุออกซิเจนหาได้จากการนำ ปริมาณร้อยละ 100 หักออกจากผลรวมของธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน และไนโตรเจน

3.4.5 การผลิตน้ำมันดิบชีวภาพด้วยไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันในเครื่องปฏิกรณ์แบตซ์

1) ชั่งชานอ้อย 5 กรัม ผสมชาร์ 5 กรัม และ ตัวทำละลาย (น้ำ) 100 มิลลิลิตร โดยใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนักของชีวมวล 1 กรัมต่อ ชาร์ 1 กรัม ต่อ ตัวทำละลาย 20 มิลลิลิตร
2) ประกอบเครื่องปฏิกรณ์ และทำการไล่อากาศไล่อากาศอยู่ภายในเครื่องปฏิกรณ์ด้วยการอัดและปล่อยไนโตรเจนจำนวณ 3 ครั้ง แล้วค่อยอัดไนโตรเจนด้วยความดันเริ่มต้น 2 เมกะพาสคัล
3) ให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิที่กำหนด คือ 300 และ 350 องศาเซลเซียส กำหนดค่าความเร็วรอบใบกวน 300 รอบต่อนาที ให้เวลาทำปฏิกิริยา 60 นาที โดยเริ่มนับเวลาเมื่ออุณหภูมิในเครื่องปฏิกรณ์ถึงค่าที่กำหนด
4) หลังจากครบเวลาทำการลดอุณหภูมิภายในเครื่องปฏิกรณ์จนถึงอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส
5) ขั้นตอนการแยกเก็บผลิตภัณฑ์ เก็บตัวอย่างผลิตภัณฑ์แก๊สด้วยถุงเก็บแก๊สตัวอย่าง นำส่วนที่ได้จากเครื่องปฏิกรณ์ (ของแข็งและของเหลว) มาทำการกรองด้วยชุดกรองโดยใช้กระดาษกรอง นำส่วนที่เป็นของแข็งด้านบนชะล้างด้วยตัวทำละลายแอซิโตน จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และนำผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้ทำการระเหยตัวทำละลายออก โดยการใช้เครื่องระเหยแบบหมุน ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ความดัน 400 mbar ความเร็วรอบการหมุน 30 รอบต่อนาที เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

3.5 ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง

การศึกษาการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชัน มีตัวแปรที่ศึกษา ดังนี้

1) ชนิดของชาร์ที่ใช้เป็นสารร่วมในการทำปฏิกิริยา คือ ชาร์กะลาปาล์ม (PKS) ชาร์ไม้ไผ่ (BB)
2) ชนิดของชาร์ที่ถูกกระตุ้นด้วยไอน้ำเป็นสารร่วมในการทำปฏิกิริยา คือ ชาร์กะลาปาล์มที่ถูกกระตุ้นด้วยไอน้ำ (SAPKS) ชาร์ไม้ไผ่ที่ถูกกระตุ้นด้วยไอน้ำ (SABB)
3) อุณหภูมิที่ใช้ในการกระตุ้นชาร์ด้วยไอน้ำ คือ 800 และ 900 องศาเซลเซียส
4) อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา คือ 300 และ 350 องศาเซลเซียส

3.6 **การวิเคราะห์ผลต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์**

3.6.1 การคำนวณร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์

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

W_{daf} คือ น้ำหนักของชีวมวล (กรัม)

W_{liq} คือ น้ำหนักของของเหลว (กรัม)

W_{solid} คือ น้ำหนักของแข็ง (กรัม)

W_{gas} คือ น้ำหนักของแก๊ส (กรัม)

3.6.2 การวิเคราะห์น้ำมันดิบชีวภาพ

1) ค่าความร้อนของน้ำมันดิบชีวภาพ

ค่าความร้อนของน้ำมันดิบชีวภาพหาได้จากการนำค่าร้อยละของธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจนที่ได้จากการวิเคราะห์แบบแยกองค์ประกอบธาตุมาแทนลงในสมการของ Dulong ตามแสดงดังสมการ 3.1

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

3.6.3 การวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์แก๊ส

1) องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์แก๊ส

องค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์แก๊สวิเคราะห์ด้วยเครื่อง แก๊สโครมาโทกราฟี (GC) โดยภาวะที่ใช้ในการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 3.1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 3.1 ภาวะที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์แก๊สด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ

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)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

ในงานวิจัยนี้จะศึกษาการผลิตน้ำมันดิบชีวภาพจากกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันของชานอ้อย โดยจะศึกษาผลของชาร์จากไม้ไผ่และกะลาปาล์มต่อร้อยละผลได้ และคุณภาพของน้ำมันดิบชีวภาพจากชานอ้อยโดยกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชัน โดยจะนำผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้จากการทดลองนั้นไปทดสอบวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีโดยเทคนิคการวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (CHON/S analysis) ส่วนการวิเคราะห์องค์ประกอบผลิตภัณฑ์แก๊สสามารถวิเคราะห์โดยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ (GC) ซึ่งสามารถแบ่งผลการทดลองออกได้ ดังนี้

1.) การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของสารตั้นต้น
2.) ผลของชาร์ไม้ไผ่ ชาร์กะลาปาล์ม ต่อร้อยละผลได้ และคุณภาพของน้ำมันดิบชีวภาพจากไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชัน

4.1 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของสารตั้งต้น

4.1.1 การวิเคราะห์แบบประมาณ การวิเคราห์แยกธาตุ และค่าความร้อนของชานอ้อย (BA) ชาร์ไม้ไผ่ (BB) ชาร์กะลาปาล์ม (PKS)

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการวิเคราะห์แบบประมาณ การวิเคราะห์แบบแยกธาตุ และค่าความร้อนของชานอ้อย ชาร์กะลาปาล์ม และชาร์ไม้ไผ่ จากการวิเคราะห์พบว่าชานอ้อยมีปริมาณเถ้า (ash) สูงที่สุดคือร้อยละ 6.99 โดยน้ำหนัก และปริมาณสารระเหยสูงสุดที่ ร้อยละ 73.63 โดยน้ำหนัก ซึ่งมีปริมาณมากกว่า ชาร์กะลาปาล์ม และชาร์ไม้ไผ่เป็นอย่างมาก เนื่องจากชาร์กะลาปาล์ม และชาร์ไม้ไผ่นั้นเป็นถ่านที่มีปริมาณคาร์บอนคงตัวปริมาณสูงร้อยละ 57.46 และ 69.68 โดยน้ำหนักตามลำดับ จึงเห็นว่าชานอ้อยมีปริมาณคาร์บอนคงตัวน้อยที่สุดร้อยละ 11.05 โดยน้ำหนัก

จากการวิเคราะห์แบบแยกธาตุและหาปริมาณความร้อนของชานอ้อย ชาร์กะลาปาล์ม และชาร์ไม้ไผ่พบว่าสารตั้งต้นของแต่ละชนิดประกอบไปด้วยปริมาณธาตุสารอินทรีย์ที่แต่ต่างกันออกไป แต่อย่างไรก็ตามมีคาร์บอนและไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบหลัก จากการทดสอบจะเห็นว่าชานอ้อยมีปริมาณคาร์บอนอยู่ร้อยละ 41.85 โดยน้ำหนัก ซึ่งมีค่าน้อยกว่าชาร์กะลาปาล์ม และชาร์ไม้ไผ่ที่มีค่าอยู่ที่ร้อยละ 65.20 และ 76.23 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ โดยจะใช้อัตราส่วนไฮโดรเจนต่อคาร์บอน (H/C ratio) และ อัตราส่วนออกซิเจนต่อคาร์บอน (O/C ratio) เป็นการเปรียบเทียบสมบัติทางเชื้อเพลิงแข็งพบว่าชาร์ทั้ง 2 ชนิดมีปริมาณ H/C และ O/C ใกล้เคียงกันจึงส่งผลให้มีชาร์ทั้ง 2 ชนิดมีค่าความร้อนใกล้เคียงกัน และเมื่อเปรียบเทียบกับชานอ้อยแล้วพบว่า H/C และ O/C มีปริมาณที่สูง

กว่าชาร์ทั้ง 2 ชนิดอย่างมากเลยส่งผลให้ค่าความร้อนของชานอ้อยมีปริมาณน้อยที่สุด คือ 14.22 เมกะจูลต่อกิโลกรัม

ตารางที่ 4.1 การวิเคราะห์แบบประมาณ การวิเคราะห์แบบแยกธาตุ และค่าความร้อนของชานอ้อย ชาร์กะลาปาล์ม และชาร์ไม้ไผ่

	ชานอ้อย	**ชาร์กะลาปาล์ม**	**ชาร์ไม้ไผ่**
การวิเคราะห์แบบประมาณ: proximate analysis (ร้อยละโดยน้ำหนัก)[a]			
ความชื้น (moisture)	8.33	2.11	1.32
เถ้า (ash)	6.99	3.74	4.26
สารระเหย (volatile)[b]	73.63	36.70	24.74
คาร์บอนคงตัว (fixed carbon)	11.05	57.46	69.68
การวิเคราะห์แบบแยกธาตุ: ultimate analysis (ร้อยละโดยน้ำหนัก)[c]			
คาร์บอน (C)	41.85	65.20	76.23
ไฮโดรเจน (H)	6.11	4.54	3.38
ออกซิเจน (O)[d]	48.50	28.55	18.91
ไนโตรเจน (N)	0.70	0.61	0.67
ซัลเฟอร์ (S)	2.85	1.10	0.82
อัตราส่วนไฮโดรเจนต่อคาร์บอน (H/C) (โดยน้ำหนัก)	0.15	0.07	0.04
อัตราส่วนออกซิเจนต่อคาร์บอน (O/C) (โดยน้ำหนัก)	1.16	0.44	0.25
ค่าความร้อน (เมกะจูลต่อกิโลกรัม)[e]	14.22	23.46	27.25

[a]ร้อยละโดยน้ำหนักที่ได้จากการวิเคราะห์โดยตรง

[b]100 – ผลรวมขององค์ประกอบแต่ละชนิดยกเว้นคาร์บอนคงตัว

[c]ร้อยละโดยน้ำหนักที่ไม่รวมความชื้นและเถ้า

[d]100 – ผลรวมของปริมาณธาตุแต่ละชนิด

[e]คำนวณจากสมการ Dulong's equation

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ค่าความร้อน = 0.3383 (คาร์บอน) + 1.442 [H (ไฮโดรเจน) – O (ออกซิเจน) / 8]

4.1.2 การวิเคราะห์พื้นที่ผิวของ ชาร์กะลาปาล์ม (PKS) ชาร์ไม้ไผ่ (BB) และ ชาร์กะลาปาล์มและชาร์ไม้ไผ่ที่ถูกกระตุ้นด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 800 และ 900 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 4.2 แสดงการวิเคราะห์ขนาดของพื้นที่ผิวของ ชาร์กะลาปาล์ม (PKS) ชาร์ไม้ไผ่ (BB) ชาร์กะลาปาล์มที่ถูกกระตุ้นด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส (SAPKS800) ชาร์กะลาปาล์มที่ถูกกระตุ้นด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส (SAPKS900) ชาร์ไม้ไผ่ที่ถูกกระตุ้นด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส (SABB800) ชาร์ไม้ไผ่ที่ถูกกระตุ้นด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส (SABB900) จากการทดสอบพบว่า ชาร์ที่ถูกกระตุ้นด้วยไอน้ำมีพื้นที่ผิวที่เพิ่มมากขึ้น โดยชาร์กะลาปาล์มที่ไม่ผ่านการกระตุ้นด้วยไอน้ำจะมีประมาณพื้นที่ผิวอยุ่ที่ 141.07 ตารางเมตรต่อกรัม แต่เมื่อผ่านการกระตุ้นด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 800 และ 900 องศาเซลเซียส จะเห็นได้ว่ามีปริมาณพื้นที่ผิวเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดคือ 617.78 และ 833.34 ตารางเมตรต่อกรัมตามลำดับ เช่นด้วยกับชาร์ไม้ไผ่ มีประมาณพื้นที่ผิวเพิ่มจาก 2.28 ตารางเมตรต่อกรัม เป็น 432.66 และ 534.49 ตารางเมตรต่อกรัม ที่อุณหภูมิ 800 และ 900 องศาเซลเซียสตามลำดับ เนื่องจากมีความแตกต่างขององค์ประกอบระหว่างกะลาปาล์มและไม้ไผ่จึงทำให้มีปริมาณพื้นที่ผิวที่แตกต่างกัน แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นอุณหภูมิในการกระตุ้นมีผลต่อปริมาณพื้นที่ผิว โดยเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการกระตุ้นจะทำให้มีปริมาณพื้นที่ผิวเพิ่มมากขึ้น แต่ถ้าใช้อุณหภูมิในการกระตุ้นที่ต่ำเกินไป อาจทำให้ปริมาณพื้นที่ผิวไม่เพิ่มขึ้นตามที่ต้องการ หรือถ้าใช้อุณหภูมิในการกระตุ้นที่มากเกินไป อาจจะทำให้ชาร์กลายเป็นเถ้าส่วนใหญ่

ตารางที่ 4.2 การวิเคราะห์พื้นที่ผิวของ ชาร์กะลาปาล์ม ชาร์ไม้ไผ่ และ ชาร์กะลาปาล์มและชาร์ไม้ไผ่ที่ถูกกระตุ้นด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 800 และ 900 องศาเซลเซียส

Biomass	Temp (˚C)	Surface area (m^2/g)
BB	-	2.28
	800	432.66
	900	534.49
PKS	-	141.07
	800	617.78
	900	833.34

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

4.1.3 การวิเคราะห์หาสารประกอบของธาตุ (X-Ray Fluorescence Spectrometer, XRF) ของ ชาร์ชานอ้อย ชาร์กะลามะพร้าว และ Activated Carbon

เนื่องจากชาร์แต่ละชนิดทำมาจากวัตถุดิบที่แตกต่างกันดังนั้นจึงได้มีการวิเคราะห์หาสารประกอบของธาตุด้วยเทคนิค XRF ของชาร์กะลาปาล์ม ชาร์กะลาปาล์มที่ถูกกระตุ้นด้วยไอน้ำ ชาร์ไม้ไผ่ และ ชาร์ไม้ไผ่ที่ถูกกระตุ้นด้วยไอน้ำ พบว่าองค์ประกอบของชาร์แต่ละชนิดมีความแตกต่างกันดังตารางที่ 4.2 จะพบว่าชาร์กะลาปาล์มที่ถูกกระตุ้นด้วยไอน้ำนั้นมีปริมาณ Fe_2O_3 และ K_2O ที่สูงที่สุดคือร้อยละ 18.9 และ 20.1 โดยน้ำหนักตามลำดับ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับชาร์กะลาปาล์มที่ไม่ถูกกระตุ้นด้วยแล้วจะพบว่ามีปริมาณใกล้เคียงกันเนื่องจากวัตถุดิบหลักเป็นชนิดเดียวกัน แต่เมื่อเปรียบเทียบกับชาร์ไม้ไผ่จะพบว่า มีปริมาณ Fe_2O_3 และ K_2O ที่น้อยที่สุดคือร้อยละ 12.3 และ 15.7 โดยน้ำหนักตามลำดับ

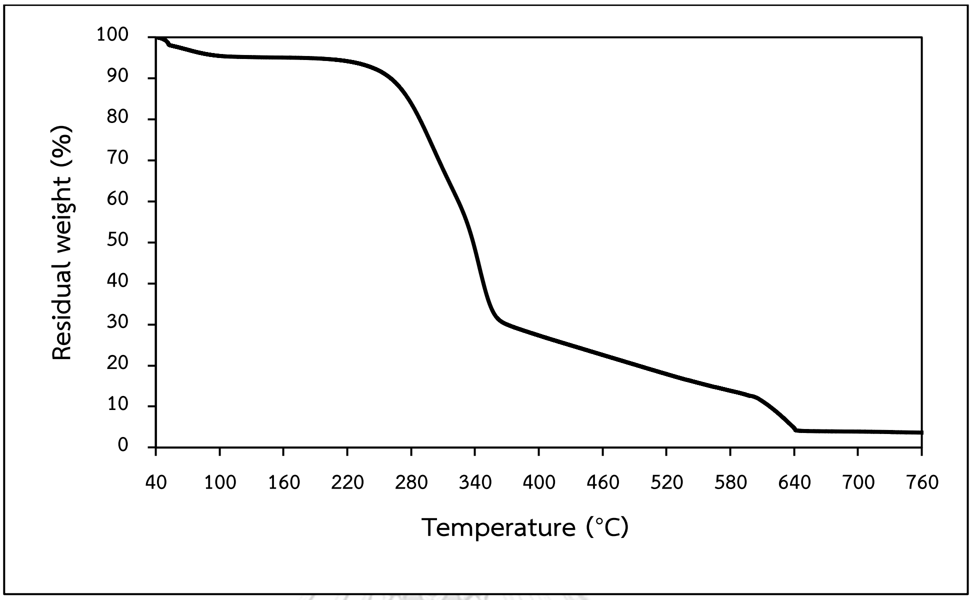
ตารางที่ 4.3 การวิเคราะห์หาสารประกอบของธาตุ (X-Ray Fluorescence Spectrometer ,XRF) ของ ชาร์กะลาปาล์ม ชาร์ไม้ไผ่ และ ชาร์กะลาปาล์มและชาร์ไม้ไผ่ที่ถูกกระตุ้นด้วยไอน้ำ

ชนิดของสารประกอบ	PKS	SAPKS	BB	SABB
Fe_2O_3 (%wt.)	16.2	18.9	12.3	15.4
K_2O (%wt.)	19.8	20.1	15.7	18.5

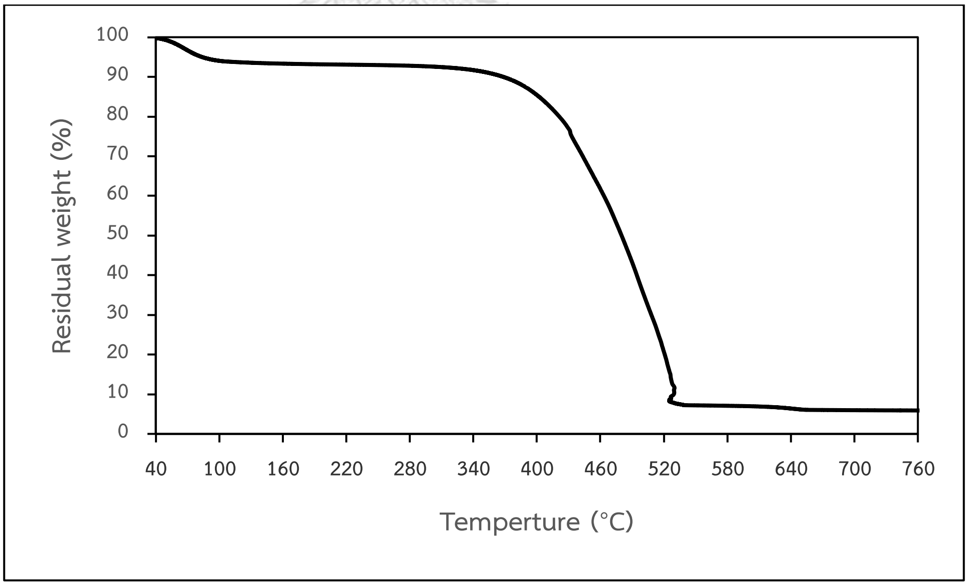
4.1.4 พฤติกรรมการสลายตัวทางความร้อนของชานอ้อย ชาร์กะลาปาล์ม และชาร์ไม้ไผ่

รูปที่ 4.1-4.3 แสดงพฤติกรรมการสลายตัวทางความร้อนของชานอ้อย ชาร์กะลาปาล์ม และชาร์ไม้ไผ่ ตามลำดับ โดยวิเคราะห์ด้วยเครื่อง thermogravimetric analyzer (TG-DTA) ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน ช่วงอุณหภูมิ 0 ถึง 800 องศาเซลซียส และอัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที พบว่าการสลาตัวของชานอ้อยเริ่มสลายตัวที่อุณภูมิ 230 องศาเซลเซียส และมีการสลายตัวสูงสุดที่อุณภูมิ 320 องศาเซลเซียส โดยการสลายตัวของชานอ้อยนั้นมีการสลายตัวของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และ ลิกนิน ที่เป็นองค์ประกอบอยู่ในชานอ้อย ส่วนการสลายตัวของชาร์กะลาปาล์ม และชาร์ไม้ไผ่ พบว่าจะเริ่มมีการสลายตัวทางความร้อนที่อุณหภูมิสูงกว่าชานอ้อย และมีการสลายตัวสูงสุดที่อุณหภูมิ 480 และ 430 องศาเซลเซียส ตามลำดับ เนื่องจากชาร์ทั้ง 2 ชนิดมีปริมาณคาร์บอนคงตัวอยู่เป็นปริมาณมากกว่าชานอ้อยดังตารางที่ 4.1 โดยปริมาณคาร์บอนเหล่านั้นได้รวมตัวกันอยู่ในรูปร่างของ Aromatic ที่มีความสามารถในการทนต่อการสลายตัวความร้อนที่สูง ดังนั้นชาร์ทั้ง 2 ชนิดจึงมีอุณหภูมิในการสลายตัวทางความร้อนที่สุงกว่า ส่วนในรูปที่ 4.4-4.7 นั้นแสดงงพฤติกรรมการสลายตัวทางความร้อนของชาร์กะลาปาล์ม และชาร์ไม้ไผ่ ที่ผ่านการกระตุ้นด้วยไอน้ำที่

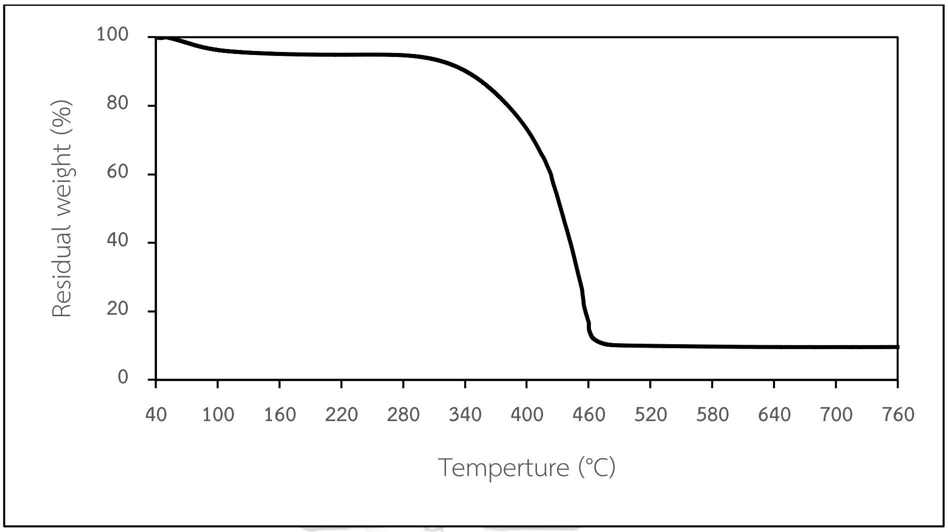
อุณหภูมิ 800 และ 900 องศาเซฃเซียส ตามลำดับ พบว่าเมื่อชาร์ผ่านการกระตุ้นด้วยไอน้ำแล้วทำให้มีเสถียรภาพทางความร้อนเพิ่มมากขึ้น ทำให้แทบไม่เกิดการสลายตัวทางความร้อนดังกราฟ



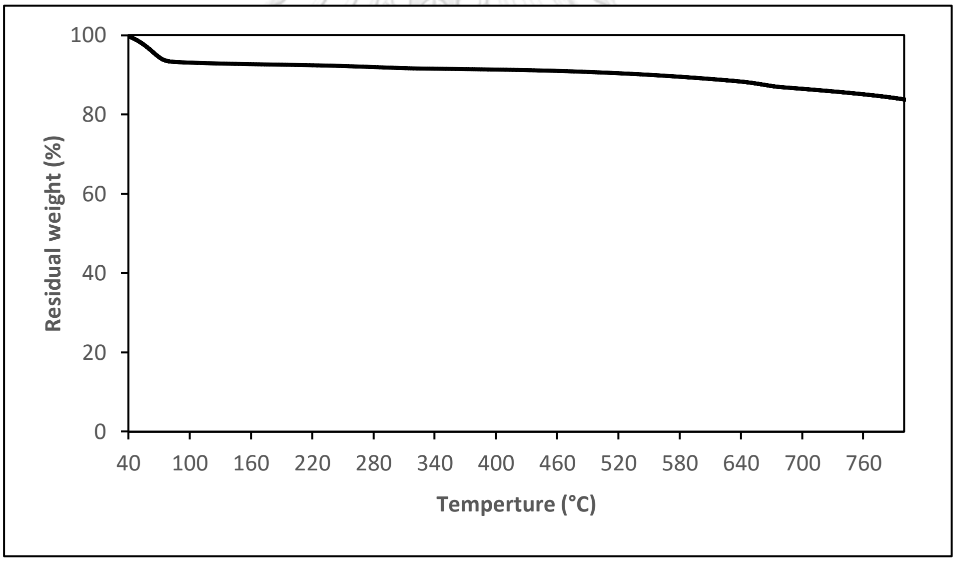
รูปที่ 4.1 พฤติกรรมการสลายตัวทางความร้อนของชานอ้อยจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค TG-DTA



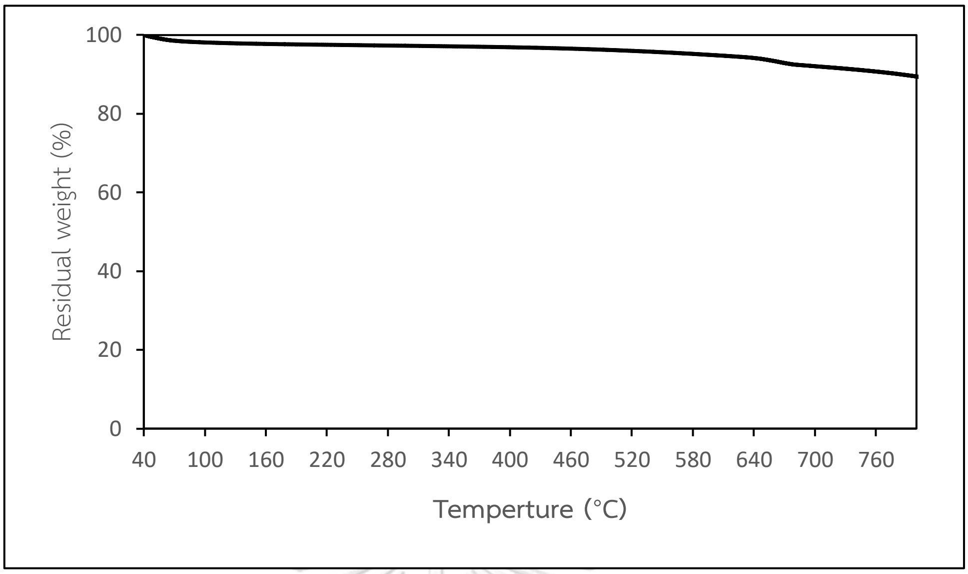
รูปที่ 4.2 พฤติกรรมการสลายตัวทางความร้อนของชาร์กะลาปาล์มจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค TG-DTA



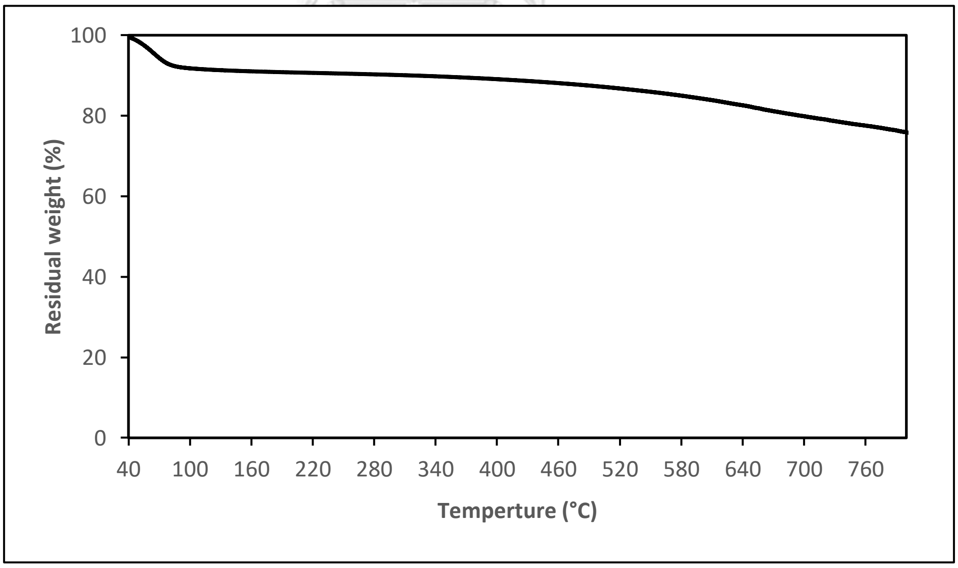
รูปที่ 4.3 พฤติกรรมการสลายตัวทางความร้อนของชาร์ไม้ไผ่จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค TG-DTA



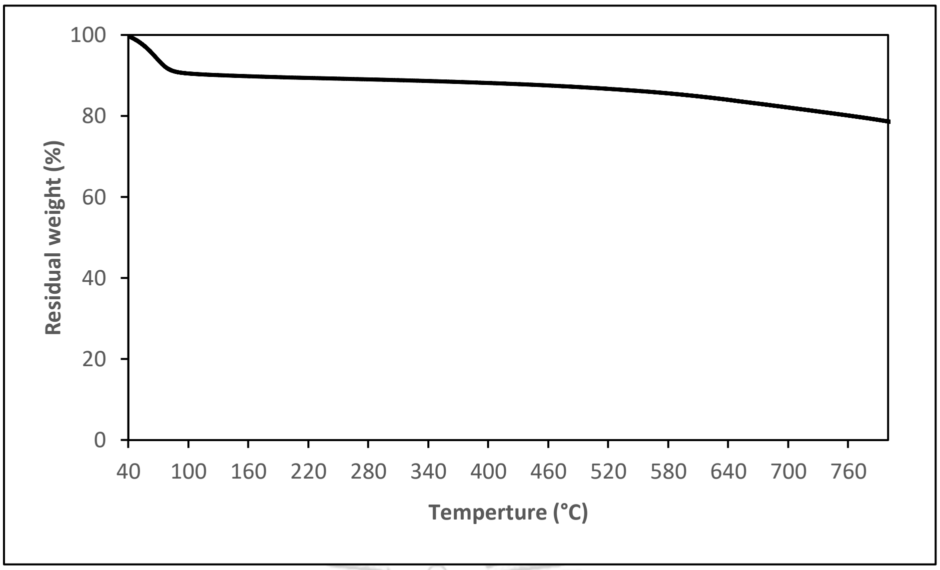
รูปที่ 4.4 พฤติกรรมการสลายตัวทางความร้อนของชาร์กะลาปาล์มที่ถูกกว่าตุ้นด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียสจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค TG-DTA



รูปที่ 4.5 พฤติกรรมการสลายตัวทางความร้อนของชาร์กะลาปาล์มที่ถูกกว่าตุ้นด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียสจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค TG-DTA



รูปที่ 4.6 พฤติกรรมการสลายตัวทางความร้อนของชาร์ไม้ไผ่ที่ถูกกว่าตุ้นด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียสจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค TG-DTA

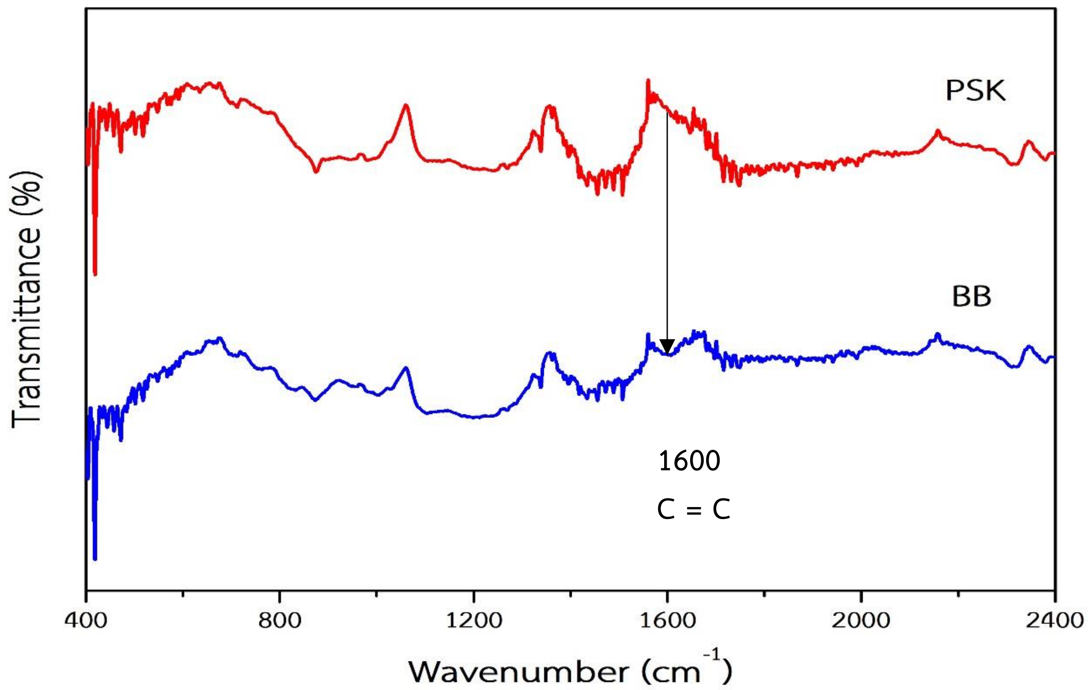


รูปที่ 4.7 พฤติกรรมการสลายตัวทางความร้อนของชาร์ไม้ไผ่ที่ถูกกว่าตุ้นด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียสจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค TG-DTA

4.1.5 วิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชัน (Fourier Transform Infrared Spectrophotometer ,FTIR) ของ ชาร์กะลาปาล์ม และชาร์ไม้ไผ่

รูปที่ 4.8 แสดงการวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันของ ชาร์กะลาปาล์ม (PKS) และชาร์กะลาปาล์ม (BB) ด้วยเทคนิค FTIR จากการทดสอบพบว่าชาร์ของชาร์กะลาปาล์ม และ ชาร์ไม้ไผ่ มีลักษณะคลายกัน แต่เมื่อเปรียบเทียบปริมาณการดูดกลืนของ %transmission จะพบว่า ชาร์ไม้ไผ่ดูดกลืนได้ดีกว่าได้อย่างชัดเจนโดยเฉพาะที่ 1600 เป็นหมู่ฟังก์ชันของ C=C ซึ่งหมู่ฟังก์ชันนี้ก่อให้เกิดการทำปฏิกิริยาได้ง่าย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



รูปที่ 4.8 หมู่ฟังก์ชันของชาร์กะลาปาล์ม และชาร์ไม้ไผ่

4.2 ผลของชาร์กะลาปาล์ม และชาร์ไม้ไผ่ ต่อร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพจากไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชัน

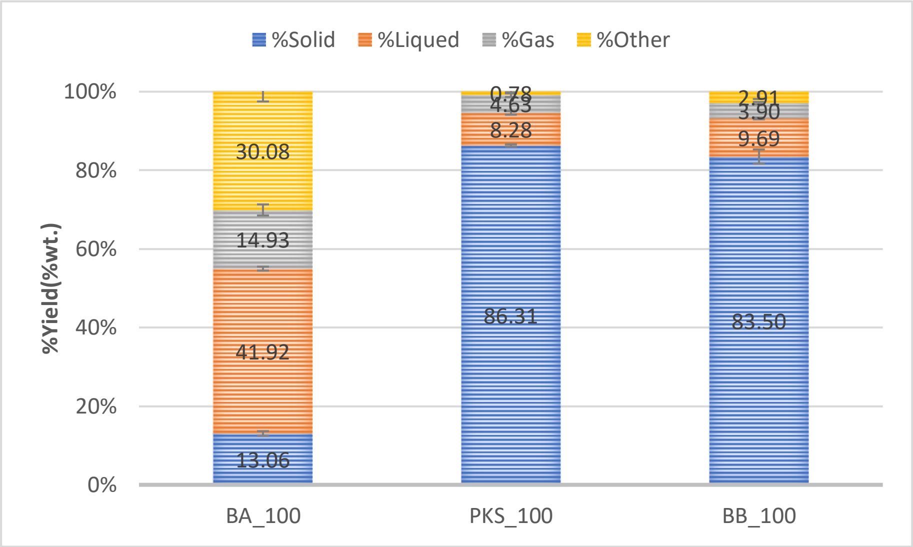
4.2.1 ไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันของชานอ้อย ชาร์กะลาปาล์ม และชาร์ไม้ไผ่

การทดลองการไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันของชานอ้อย (BA 100) ชาร์กะลาปาล์ม (PKS 100) ชาร์ไม้ไผ่ (BB 100) ดำเนินการที่อุณหภูมิ 300 และ 350 องศาเซลเซียส ในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตซ์ ความดันไนโตรเจนเริ่มต้น 2 เมกะพาสคัล ความเร็วรอบใบกวน 300 รอบต่อนาที และเวลาที่ใช้ในการดำเนินปฏิกิริยา 60 นาที จากการทดลองทำให้ได้ร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพ กากของแข็ง แก๊ส และผลิตภัณฑ์เบาอื่นๆ ดังรูปที่ 4.9 และ 4.10 ที่อุณหภูมิ 300 และ 350 องศาเซลเซียส ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างชานอ้อย ชาร์กะลาปาล์ม และชาร์ไม้ไผ่ พบว่า ชานอ้อยให้ร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบมากที่สุดถึงร้อยละ 41.92 โดยน้ำหนัก เนื่องจากองค์ประกอบภายในของชานอ้อย ชาร์กะลาปาล์ม และชาร์ไม้ไผ่ มีความแตกต่างกันโดยจะสังเกตได้จากผลการทดสอบตามตารางที่ 4.1 พบว่าชานอ้อยมีส่วนของปริมาณสารระเหยมากที่สุดถึงร้อยละ 73.63 โดยน้ำหนัก ดังนั้นการสลายตัวทางความร้อนของชานอ้อยจึงสลายตัวได้ง่ายกว่าชาร์กะลาปาล์ม และชาร์ไม้ไผ่ ยิ่งไปกว่านั้นการทดสอบการสลายตัวทางความร้อนด้วยเทคนิค TG-DTA ของชานอ้อยดังรูปที่ 4.1 ทำให้ทราบว่าชานอ้อยจะเริ่มสลายตัวทางความร้อนที่เรียกว่า เกิดปฏิกิริยาดีพอลิเมอรไรเซชัน (depolymerization) ที่อุณหภูมิ 230 องศาเซลเซียส และสลายตัวมากที่สุดที่อุณหภูมิ 320 องศาเซลเซียส เลยส่งผลให้ชาน

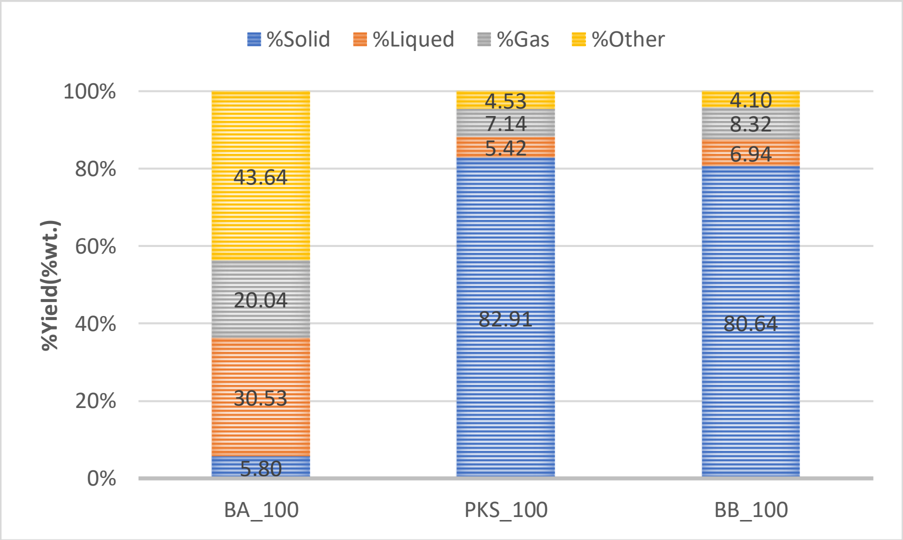
อ้อยที่ผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันที่อุณหภูมิ 300 และ 350 องศาเซลเซียส มีปริมาณของน้ำมันดิบชีวภาพ แก๊ส และผลิตภัณฑ์เบาอื่นๆ ที่มากกว่าชาร์กะลาปาล์ม และชาร์ไม้ไผ่ อย่างชัดเจน แต่ในทางกลับกัน ชาร์กะลาปาล์ม และชาร์ไม้ไผ่ จะมีปริมาณกากของแข็งเหลืออยู่จำนวนมาก อันเนื่องมาจากการสลายตัวทางความร้อนของชาร์กะลาปาล์ม และชาร์ไม้ไผ่ นั้นจะเริ่มสลายตัวที่อุณหภูมิสูงกว่า ดังการทดสอบ TG-DTA รูปที่ 4.2 4.3 แต่ในการทำการไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันนั้นใช้อุณหภูมิสูงสุดเพียง 350 องศาเซลเซียส จึงทำให้ชาร์กะลาปาล์ม และชาร์ไม้ไผ่ สลายตัวทางความร้อนออกมาเป็นน้ำมันดิบชีวภาพ แก๊ส และอื่นๆ ในปริมาณที่น้อย

เมื่อเปรียบเทียบชาร์กะลาปาล์ม และชาร์ไม้ไผ่ ทำให้พบว่าการสลายตัวทางความร้อนเพื่อเปลี่ยนเป็น น้ำมันดิบชีวภาพ แก๊ส และผลิตภัณฑ์เบาอื่นๆ มีปริมาณที่ใกล้เคียงกันถือว่าไม่แตกต่างกันมาก ทั้งน้ำมันดิบชีวภาพ แก๊ส และผลิตภัณฑ์เบาอื่นๆ อันเนื่องมาจากอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยานั้นยังไม่ถึงช่วงของการสลายตัวทางความร้อนของชาร์กะลาปาล์ม และชาร์ไม้ไผ่

เมื่อทำการเพิ่มอุณหภูมิจาก 300 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส พบว่าชานอ้อย ชาร์กะลาปาล์ม และชาร์ไม้ไผ่ มีปริมาณกากของแข็งลดลงจากร้อยละ 13.06 กลายไปเป็น 5.80 86.31 กลายไปเป็น 82.91 และ 83.50 กลายไปเป็น 80.64 โดยน้ำหนักตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาจะทำให้ปริมาณกากของแข็งลดลง เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยานั้นจะทำให้เกิดการแตกตัวของพันธะเคมีในกากของแข็ง และปฏิกิริยาดีพอลิเมอไรเซชัน (depolymerization) [41] และเมื่อสังเกตปริมาณน้ำมันดิบชีวภาพของชานอ้อย ชาร์กะลาปาล์ม และชาร์ไม้ไผ่ พบว่ามื่อเพิ่มอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาจะทำให้มีปริมาณน้ำมันดิบชีวภาพลดลง แต่ปริมาณแก๊ส และผลิตภัณฑ์เบาอื่นๆ เพิ่มมากขึ้น เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ทำให้โมเลกุลของน้ำมันดิบชีวภาพที่มีสายโซ่ยาวจะถูกตัดและกลายเป็นโมเลกุลที่เล็กลง [42] จึงทำให้เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาปริมาณ แก๊สและผลิตภัณฑ์เบาอื่นๆ จะเพิ่มขึ้น ในส่วนที่เป็นผลิตภัณฑ์เบาอื่นๆนั้นอาจหมายถึงน้ำมันเบา หรือสารประกอบต่างๆ ที่อาจหลุดออกมาขณะทำการระเหยตัวทำละลายเพื่อเก็บผลิตภัณฑ์นั้นเอง



รูปที่ 4.9 ร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพ กากของแข็ง แก๊ส และผลิตภัณฑ์เบาอื่น ๆ จากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันของ ชานอ้อย ชาร์กะลาปาล์ม และชาร์ไม้ไผ่ ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส

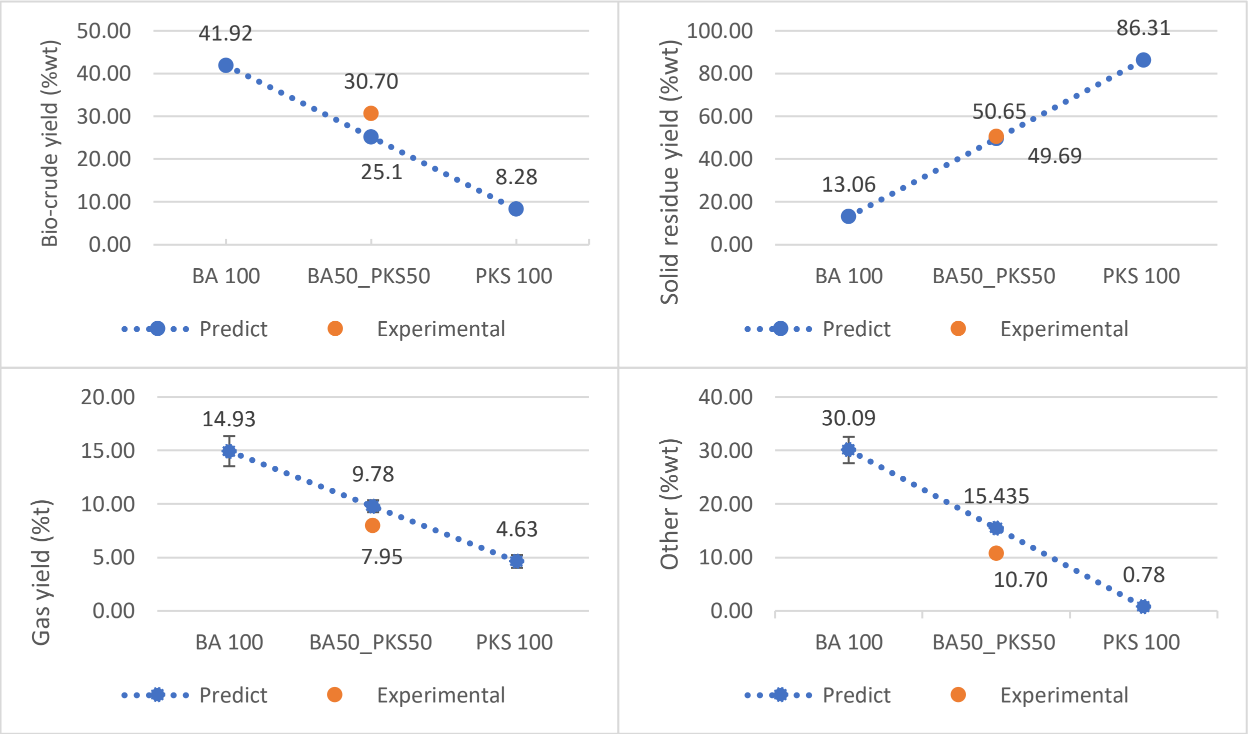


รูปที่ 4.10 ร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพ กากของแข็ง แก๊ส และผลิตภัณฑ์เบาอื่น ๆ จากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันของ ชานอ้อย ชาร์กะลาปาล์ม และชาร์ไม้ไผ่ ที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส

4.2.2 ผลของชาร์กะลาปาล์ม ต่อร้อยละผลได้ จากไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชัน

การทดลองการไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันของชานอ้อยผสมกับชาร์กะลาปาล์ม (BA50_PKS50) ดำเนินการที่อุณหภูมิ 300 ในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตซ์ ความดันไนโตรเจนเริ่มต้น 2 เมกะพาสคัล ความเร็วรอบใบกวน 300 รอบต่อนาที และเวลาที่ใช้ในการดำเนินปฏิกิริยา 60 นาที จากผลการทดลองดังรูปที่ 4.11 แสดงร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพ กากของแข็ง แก๊ส และผลิตภัณฑ์เบาอื่น ๆ จากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันของชานอ้อยผสมชาร์กะลาปาล์ม ในสัดส่วนร้อยละ 0 50 และ 100 โดยน้ำหนัก พบว่าร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพของชานอ้อยผสมชาร์กะลาปาล์มเท่ากับร้อยละ 30.07 โดยน้ำหนัก ซึ่งจะเห็นว่ามีค่ามากกว่าค่าการทำนายนั่นก็คือร้อยละ 25.10 โดยน้ำหนัก เช่นเดียวกับกากของแข็งจากการทดลองมีค่าเท่ากับ 50.65 โดยน้ำหนัก ซึ่งมากกว่าค่าการทำนายนั่นก็คือร้อยละ 49.69 โดยน้ำหนัก ซึ่งแสดงให้เห็นว่าชาร์กะลาปาล์มนั้นส่งผลต่อการเกิดปริมาณน้ำมันดิบชีวภาพของชานอ้อย อันเนื่องมาจากชาร์กะลาปาล์ม มีคุณสมบัติคล้ายตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งเมื่อพิจารณาผลการทดสอบ XRF จากตารางที่ 4.3 จะพบว่าชาร์ชานอ้อยมีปริมาณ K_2O ที่ทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยารีพอลิเมอไรเซชัน (repolymerization) [43] ทำให้เกิดการสลายตัวทางความร้อนมากขึ้น จึงส่งผลให้มีปริมาณน้ำมันดิบชีวภาพที่มากกว่าการทำนาย ในส่วนของกากของแข็งที่มากกว่าการทำนายนั้น เนื่องจากการรวมตัวกันของอนุมูลอิสระต่าง ๆ ที่ไม่เสถียรเกิดการเรียงตัวใหม่หรือปฏิกิริยารีพอลิเมอร์ไรเซชัน (repolymerization) ทำให้ปริมาณกากของแข็งมากกว่าค่าทำนาย [44] ในทางกลับกันเมื่อพิจารณาในส่วนของ แก๊ส และ ผลิตภัณฑ์เบาอื่นๆ พบว่ามีปริมาณน้อยกว่าค่าการทำนาย เนื่องมาจากการเกิด ปฏิกิริยารีพอลิเมอร์ไรเซชัน (repolymerization) หรือการรวมตัวของอนุมูลอิสระเลยส่งผลให้แก๊ส และ ผลิตภัณฑ์เบาอื่นๆ มีปริมาณน้อยลงกว่าค่าการทำนาย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

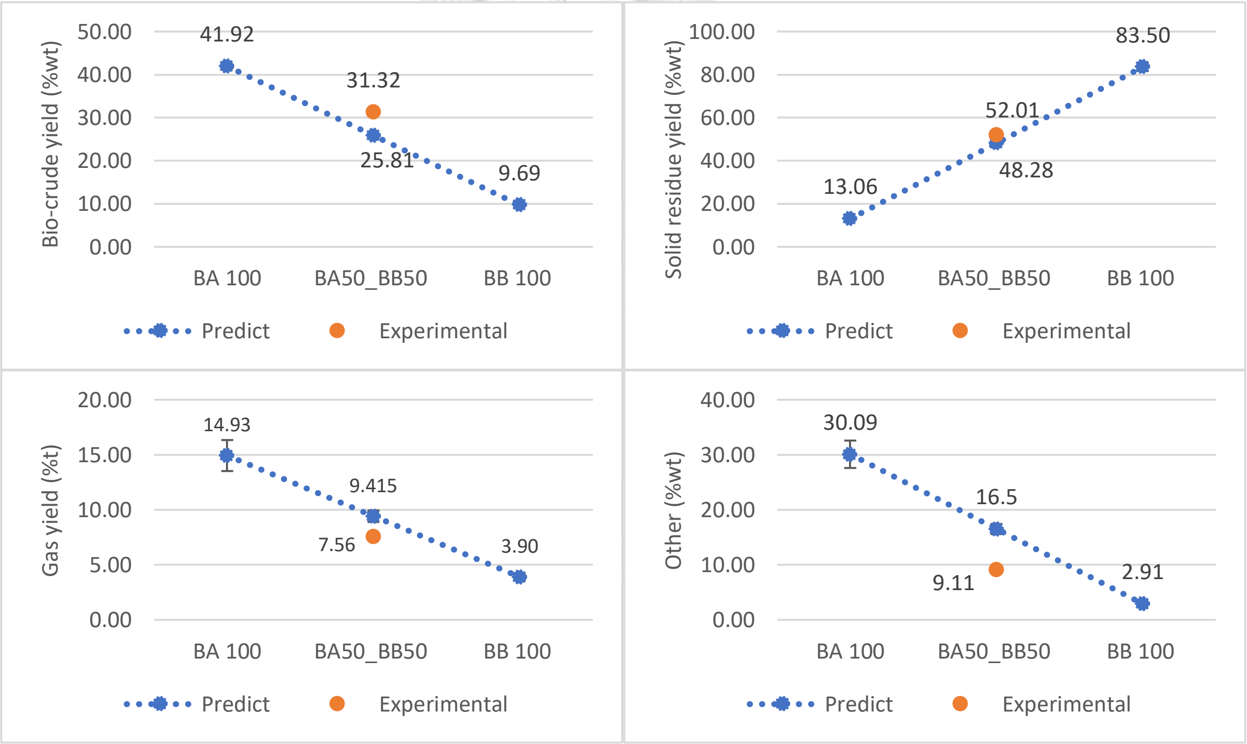


รูปที่ 4.11 ร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพ กากของแข็ง แก๊ส และผลิตภัณฑ์เบาอื่น ๆ จากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันของของชานอ้อยผสมชาร์กะลาปาล์ม ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส

4.2.3 ผลของชาร์ไม้ไผ่ ต่อร้อยละผลได้ จากไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชัน

การทดลองการไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันของชานอ้อยผสมกับชาร์ไม้ไผ่ (BA50_BB50) ดำเนินการที่อุณหภูมิ 300 ในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตซ์ ความดันไนโตรเจนเริ่มต้น 2 เมกะพาสคัล ความเร็วรอบใบกวน 300 รอบต่อนาที และเวลาที่ใช้ในการดำเนินปฏิกิริยา 60 นาที จากผลการทดลองดังรูปที่ 4.12 แสดงร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพ กากของแข็ง แก๊ส และผลิตภัณฑ์เบาอื่น ๆ จากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันของชานอ้อยผสมชาร์ไม้ไผ่ ในสัดส่วนร้อยละ 0 50 และ 100 โดยน้ำหนัก พบว่าร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพของชานอ้อยผสมชาร์ไม้ไผ่เท่ากับร้อยละ 31.32 โดยน้ำหนัก ซึ่งจะเห็นว่ามีค่ามากกว่าค่าการทำนายนั่นก็คือร้อยละ 25.81 โดยน้ำหนัก เช่นเดียวกับกากของแข็งจากการทดลองมีค่าเท่ากับ 52.01 โดยน้ำหนัก ซึ่งมากกว่าค่าการทำนายนั่นก็คือร้อยละ 48.28 โดยน้ำหนัก ซึ่งแสดงให้เห็นว่าชาร์ไม้ไผ่นั้นส่งผลต่อการเกิดปริมาณน้ำมันดิบชีวภาพของชานอ้อยเช่นเดียวกับชาร์กะลาปาล์ม อันเนื่องมาจากชาร์ไม้ไผ่ มีคุณสมบัติคล้ายตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งเมื่อพิจารณาผลการทดสอบ XRF จากตารางที่ 4.3 จะพบว่าชาร์ชานอ้อยมีปริมาณ K_2O ที่ทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาดีพอลิเมอไรเซชัน (repolymerization) [43] ทำให้เกิดการสลายตัวทางความร้อนมากขึ้น จึงส่งผลให้มีปริมาณน้ำมันดิบชีวภาพที่มากกว่าการทำนาย และเมื่อเปรียบเทียบร้อยละผลได้ของ

น้ำมันดิบชีวภาพของชาร์กะลาปาล์มกับชาร์ไม้ไผ่จะเห็นว่าชาร์ไม้ไผ่มีร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพที่มากกว่า เนื่องจากการทดสอบหาหมู่ฟังก์ชันของชาร์พบว่าชาร์ไม้ไผ่ มีหมู่ฟังชัน C=C ปริมาณที่มากกว่า ซึ่งหมู่ฟังก์ชันนี้ที่อยู่ในชาร์ทำให้เกิดการทำปฏิกิริยาได้ง่าย จึงทำให้เร่งเกิดปฏิกิริยาที่ดีกว่า และทำให้ได้ร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบมากกว่า ในส่วนของกากของแข็งที่มากกว่าการทำนายนั้น เนื่องจากการรวมตัวกันของอนุมูลอิสระต่าง ๆ ที่ไม่เสถียรเกิดการเรียงตัวใหม่หรือปฏิกิริยารีพอลิเมอร์ไรเซชัน (repolymerization) ทำให้ปริมาณกากของแข็งมากกว่าค่าทำนาย [44] ในทางกลับกันเมื่อพิจารณาในส่วนของ แก๊ส และ ผลิตภัณฑ์เบาอื่นๆ พบว่ามีปริมาณน้อยกว่าค่าการทำนายเนื่องมาจากการเกิด ปฏิกิริยารีพอลิเมอร์ไรเซชัน (repolymerization) หรือการรวมตัวของอนุมูลอิสระเลยส่งผลให้แก๊ส และ ผลิตภัณฑ์เบาอื่นๆ มีปริมาณน้อยลงกว่าค่าการทำนาย



รูปที่ 4.12 ร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพ กากของแข็ง แก๊ส และผลิตภัณฑ์เบาอื่น ๆ จากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันของของชานอ้อยผสมชาร์ไม้ไผ่ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส

4.3 ผลของชาร์กะลาปาล์ม และชาร์ไม้ไผ่ที่ผ่านการกระตุ้นด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 800 และ 900 องศาเซลเซียส ต่อร้อยละผลได้ ของน้ำมันดิบชีวภาพจากไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชัน

4.3.1 ไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันของชานอ้อย ชาร์กะลาปาล์ม ชาร์กะลาปาล์มที่ถูกกระตุ้นด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ชาร์กะลาปาล์มที่ถูกกระตุ้นด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส ชาร์ไม้ไผ่ ชาร์ไม้ไผ่ที่ถูกกระตุ้นด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส และชาร์ไม้ไผ่ที่ถูกกระตุ้นด้วยอน้ำที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส

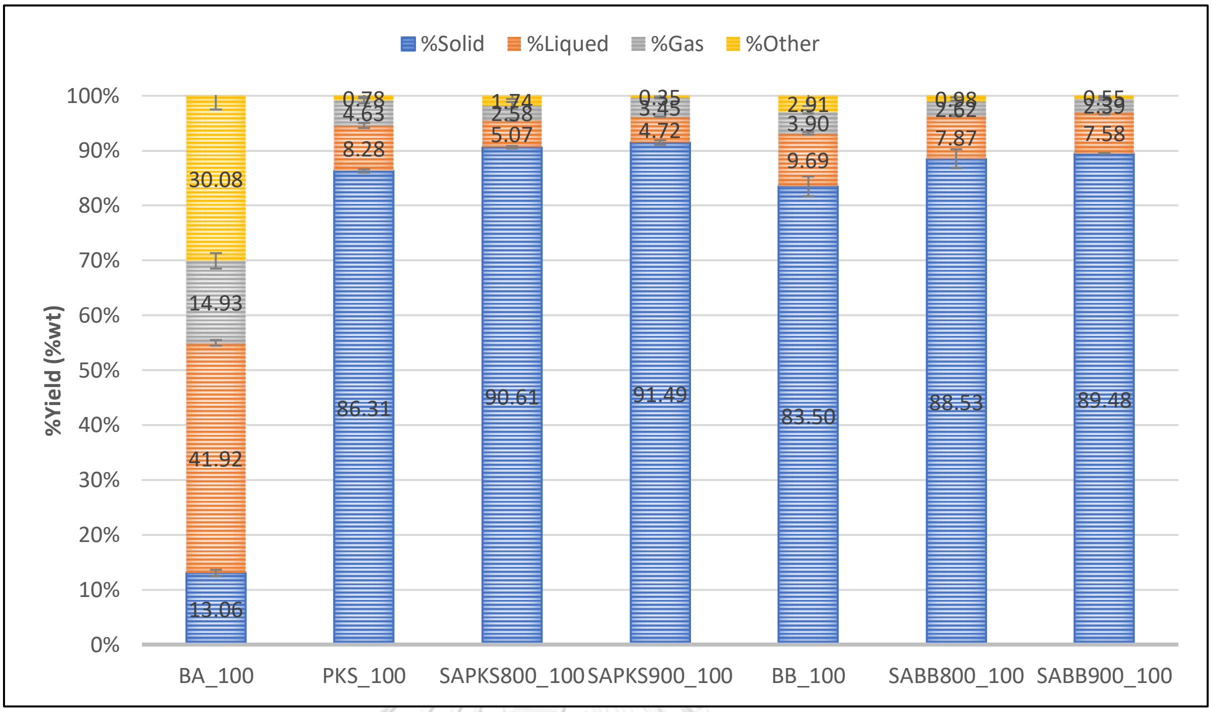
การทดลองไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันของชานอ้อย (BA_100) ชาร์กะลากาล์ม (PKS_100) ชาร์กะลาปาล์มที่ถูกกระตุ้นด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส (SAPKS800_100) ชาร์กะลาปาล์มที่ถูกกระตุ้นด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส (SAPKS900_100) ชาร์ไม้ไผ่ (BB_100) ชาร์ไม้ไผ่ที่ถูกกระตุ้นด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส (SABB800_100) ชาร์ไม้ไผ่ที่ถูกกระตุ้นด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส (SABB900_100) ดำเนินการที่อุณหภูมิ 300 และ 350 องศาเซลเซียส ในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตซ์ ความดันไนโตรเจนเริ่มต้น 2 เมกะพาสคัล ความเร็วรอบใบกวน 300 รอบต่อนาที และเวลาที่ใช้ในการดำเนินปฏิกิริยา 60 นาที จากผลการทดลองดังรูปที่ 4.13 และ 4.14 แสดงร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพ กากของแข็ง แก๊ส และผลิตภัณฑ์เบาอื่น ๆ จากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชัน

จากผลการทดลองในรูปที่ 4.13 เมื่อพิจารณาชาร์กะลาปาล์มที่ยังไม่ผ่านการกระตุ้นด้วยไอน้ำ พบว่าให้ร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบเท่ากับร้อยละ 8.28 โดยน้ำหนัก แต่เมื่อนำชาร์กะลาปาล์มไปผ่านการกระตุ้นด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 800 และ 900 องศาเซลเซียส แล้วจะพบว่าทำให้ชาร์มีพื้นที่ผิวที่เพิ่มมากขึ้นดังตารางที่ 4.2 แต่ให้ร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบน้อยลงอยู่ที่ร้อยละ 5.07 และ 4.72 โดยน้ำหนักตามลำดับ เนื่องจากชาร์กะลาปาล์มที่ผ่านการกระตุ้นด้วยไอน้ำแล้ว ทำให้อนุภาคมีความเสรียรภาพมากขึ้น ทนต่อความร้อนมากขึ้น พิจารณาจากการทดสอบการสลายตัวทางความร้อนด้วยเทคนิค TG-DTA ของชาร์กะลาปาล์มที่ผ่านการกระตุ้นด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 800 และ 900 องศาเซลเซียส ดังรูปที่ 4.4 และ 4.5 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่ากะลากาล์มที่ผ่านการกระตุ้นด้วยไอน้ำทั้งสองอุณหภูมิ มีสลายตัวทางความร้อนที่เรียกว่า เกิดปฏิกิริยาดีพอลิเมอรไรเซชัน (depolymerization) ที่อุณหภูมิสูง และสลายตัวทางความร้อนได้น้อยกว่าชาร์กะลาปาล์มที่ไม่ผ่านการกระตุ้นด้วยไอน้ำ เลยส่งผลให้ชาร์กะลาปาล์มที่ผ่านการกระตุ้นด้วยไอน้ำที่ผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันที่อุณหภูมิ 300 และ 350 องศาเซลเซียส มีปริมาณของน้ำมันดิบชีวภาพ แก๊ส และผลิตภัณฑ์เบาอื่นๆที่น้อยกว่าชาร์กะลาปาล์มที่ไม่ผ่านการกระตุ้นด้วยไอน้ำอย่างชัดเจน ในทางเดียวกันนั้นชาร์กะลาปาล์มที่ผ่านการกระตุ้นด้วยไอน้ำทั้งสองอุณภูมิ จะมีปริมาณกากของแข็งเหลืออยู่จำนวนมากชาร์กะลาปาล์มที่ไม่ผ่านการกระตุ้นด้วยไอน้ำ เนื่องมาจากการสลายตัวทางความร้อนของชาร์กะลาปาล์ม

ที่ผ่านการกระตุ้นด้วยไอน้ำนั้นจะมีสลายตัวที่อุณหภูมิสูงกว่า ดังการทดสอบ TG-DTA รูปที่ 4.4 4.5 แต่ในการทำการไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันนั้นใช้อุณหภูมิสูงสุดเพียง 350 องศาเซลเซียส จึงทำให้ชาร์กะลาปาล์มที่ผ่านการกระตุ้นด้วยไอน้ำสลายตัวทางความร้อนออกมาเป็นน้ำมันดิบชีวภาพ แก๊ส และอื่นๆ ในปริมาณที่น้อย

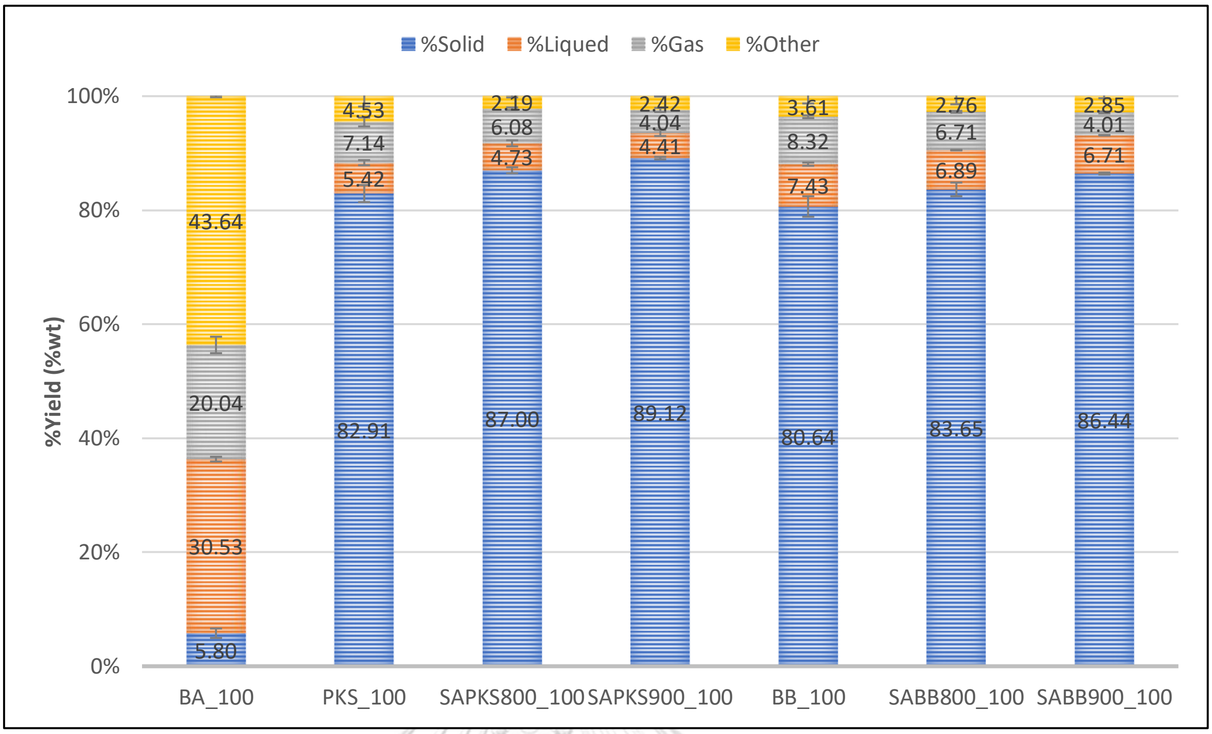
และเมื่อพิจารณาชาร์ไม้ไผ่ที่ยังไม่ผ่านการกระตุ้นด้วยไอน้ำ พบว่าให้ร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบเท่ากับร้อยละ 9.69 โดยน้ำหนัก แต่เมื่อนำชาร์ไม้ไผ่ไปผ่านการกระตุ้นด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 800 และ 900 องศาเซลเซียส แล้วจะพบว่าทำให้ชาร์มีพื้นที่ผิวที่เพิ่มมากขึ้นดังตารางที่ 4.2 แต่ให้ร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบน้อยลงอยู่ที่ร้อยละ 7.87 และ7.58 โดยน้ำหนักตามลำดับ เช่นเดียวกับชาร์กะลาปาล์มที่กล่าวไปข้างต้น และเมื่อพิจารณาอุณหภูมิที่ใช้ในการกระตุ้นด้วยไอน้ำของชาร์ทั้งสองชนิด จะพบว่าชาร์ที่ผ่านการกระตุ้นด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส มีร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบน้อยกว่าชาร์ที่ผ่านการกระตุ้นด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เนื่องจากเมื่อใช้อุณหภูมิในการกระตุ้นที่สูงขึ้น ทำให้อนุภาคมีความเสถียรภาพมากขึ้น ทนต่อความร้อนมากขึ้น จึงทำให้ชาร์กะลาปาล์มที่ผ่านการกระตุ้นด้วยไอน้ำสลายตัวทางความร้อนออกมาเป็นน้ำมันดิบชีวภาพ แก๊ส และอื่นๆ ในปริมาณที่น้อยกว่า

เมื่อทำการเพิ่มอุณหภูมิจาก 300 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส ดังรูปที่ 4.14 พบว่าชานอ้อย ชาร์กะลาปาล์ม และชาร์ไม้ไผ่ มีปริมาณกากของแข็งลดลงจากร้อยละ 13.06 กลายไปเป็น 5.80 86.31 กลายไปเป็น 82.91 และ 83.50 กลายไปเป็น 80.64 โดยน้ำหนักตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาจะทำให้ปริมาณกากของแข็งลดลง เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยานั้นจะทำให้เกิดการแตกตัวของพันธะเคมีในกากของแข็ง และปฏิกิริยาดีพอลิเมอไรเซชัน (depolymerization) [41] และเมื่อสังเกตปริมาณน้ำมันดิบชีวภาพของชานอ้อย ชาร์กะลาปาล์ม และชาร์ไม้ไผ่ พบว่ามื่อเพิ่มอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาจะทำให้มีปริมาณน้ำมันดิบชีวภาพลดลงแต่ปริมาณแก๊ส และผลิตภัณฑ์เบาอื่นๆ เพิ่มมากขึ้น เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นทำให้โมเลกุลของน้ำมันดิบชีวภาพที่มีสายโซ่ยาวจะถูกตัดและกลายเป็นโมเลกุลที่เล็กลง [42] จึงทำให้เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาปริมาณ แก๊สและผลิตภัณฑ์เบาอื่นๆ จะเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.13 ร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพ กากของแข็ง แก๊ส และผลิตภัณฑ์เบาอื่น ๆ จากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันของของ ชานอ้อย (BA_100) ชาร์กะลากาล์ม (PKS_100) ชาร์กะลาปาล์มที่ถูกกระตุ้นด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส (SAPKS800_100) ชาร์กะลาปาล์มที่ถูกกระตุ้นด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส (SAPKS900_100) ชาร์ไม้ไผ่ (BB_100) ชาร์ไม้ไผ่ที่ถูกกระตุ้นด้วยอน้ำที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส (SABB800_100) ชาร์ไม้ไผ่ที่ถูกกระตุ้นด้วยอน้ำที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส (SABB900_100) ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส

เมื่อทำการเพิ่มอุณหภูมิจาก 300 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส ดังรูปที่ 4.12 พบว่าชาร์กะลาปาล์มที่ถูกกระตุ้นด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ชาร์กะลาปาล์มที่ถูกกระตุ้นด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส ชาร์ไม้ไผ่ที่ถูกกระตุ้นด้วยอน้ำที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส และชาร์ไม้ไผ่ที่ถูกกระตุ้นด้วยอน้ำที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส มีปริมาณกากของแข็งลดลงเมื่อเพิ่มอุณหภูมิ อันเนื่องมาจากการเพิ่มอุณหภูมิจะทำให้เกิดการแตกตัวของพันธะเคมีในกากของแข็ง และเกิดปฏิกิริยาดีพอลิเมอไรเซชัน (depolymerization) [41] และเมื่อพิจารณาในส่วนของปริมาณน้ำมันดิบชีวภาพ พบว่ามีปริมาณน้ำมันดิบชีวภาพลดลงทั้งหมดแต่มีปริมาณ แก๊ส และผลิตภัณฑ์เบาอื่นๆ เพิ่มมากขึ้น เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นทำให้โมเลกุลของน้ำมันดิบชีวภาพที่มีสายโซ่ยาวจะถูกตัดและกลายเป็นโมเลกุลที่เล็กลง [42] จึงทำให้มีปริมาณแก๊สและผลิตภัณฑ์เบาอื่นๆ เพิ่มขึ้นเมื่อทำการเพิ่มอุณหภูมิ



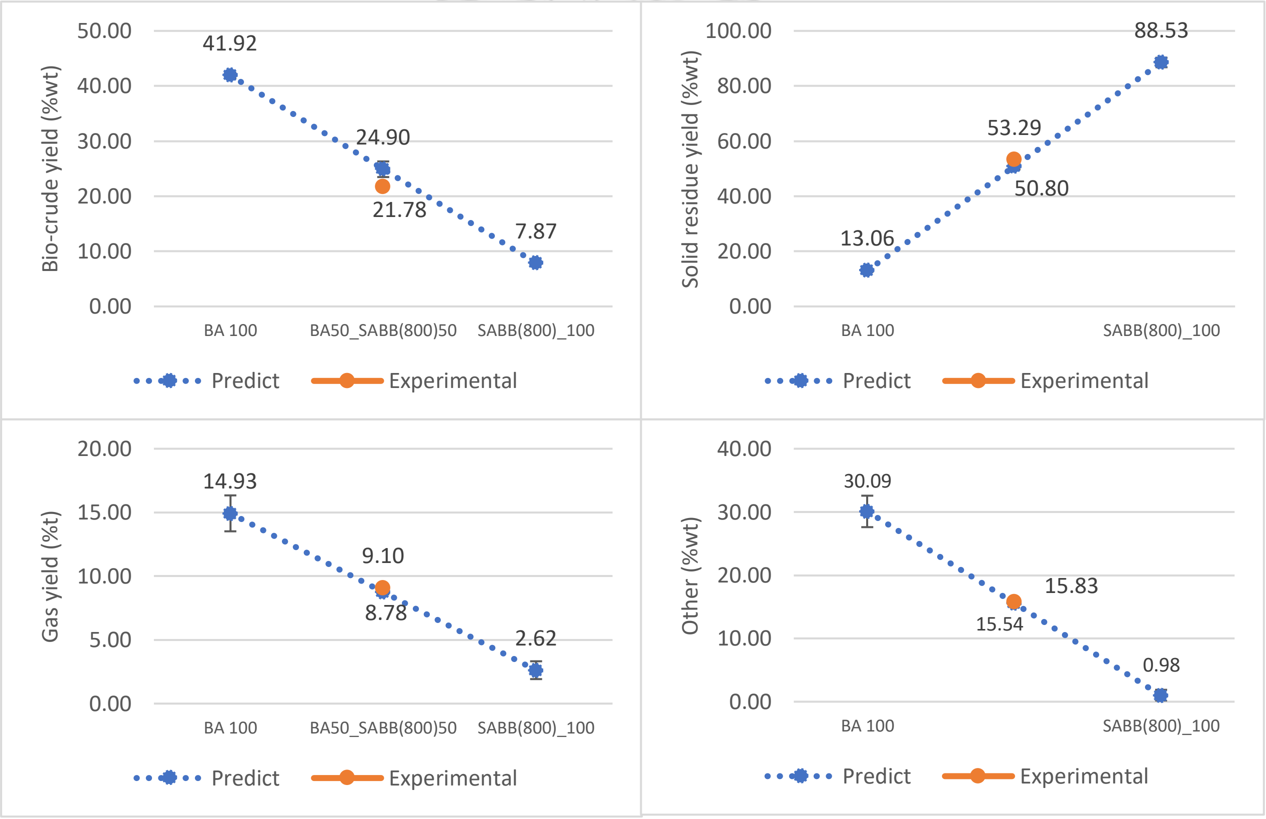
รูปที่ 4.14 ร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพ กากของแข็ง แก๊ส และผลิตภัณฑ์เบาอื่น ๆ จากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันของของ ชานอ้อย (BA_100) ชาร์กะลากาล์ม (PKS_100) ชาร์กะลาปาล์มที่ถูกกระตุ้นด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส (SAPKS800_100) ชาร์กะลาปาล์มที่ถูกกระตุ้นด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส (SAPKS900_100) ชาร์ไม้ไผ่ (BB_100) ชาร์ไม้ไผ่ที่ถูกกระตุ้นด้วยอน้ำที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส (SABB800_100) ชาร์ไม้ไผ่ที่ถูกกระตุ้นด้วยอน้ำที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส (SABB900_100) ที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

4.3.2 ผลของชาร์ไม้ไผ่ที่ผ่านการกระตุ้นด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ต่อร้อยละผลได้ จากไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชัน

การทดลองการไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันของชานอ้อยผสมงชาร์ไม้ไผ่ที่ผ่านการกระตุ้นด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส (BA50_SABB(800)50) ดำเนินการที่อุณหภูมิ 300 ในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตซ์ ความดันไนโตรเจนเริ่มต้น 2 เมกะพาสคัล ความเร็วรอบใบกวน 300 รอบต่อนาที และเวลาที่ใช้ในการดำเนินปฏิกิริยา 60 นาที ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.13 แสดงร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพ กากของแข็ง แก๊ส และผลิตภัณฑ์เบาอื่น ๆ จากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันของชานอ้อยผสมไม้ไผ่ที่ผ่านการกระตุ้นด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส พบว่าปริมาณน้ำมันดิบชีวภาพมีค่าเท่ากับร้อยละ 21.78 โดยน้ำหนัก ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับค่าในการทำนายจะ

พบว่ามีค่าน้อยกว่าการทำนายคือร้อยละ 24.90 โดยน้ำหนัก เนื่องจากผลการทดสอบ XRF จากตารางที่ 4.3 ชาร์ไม้ไผ่ที่ไม่ผ่านการกระตุ้นมีปริมาณ Fe_2O_3 เท่ากับ 12.3 โดยน้ำหนัก แต่เมื่อชาร์ไม้ไผ่ผ่านการกระตุ้นด้วยไอน้ำแล้ว มีปริมาณ Fe_2O_3 เป็น 15.4 โดยน้ำหนัก ซึ่งถ้าเปรียบเทียบปริมาณ Fe_2O_3 แล้วจะพบว่าชาร์ไม้ไผ่ที่ผ่านการกระตุ้นด้วยไอน้ำมีปริมาณ Fe_2O_3 มากกว่า โดยสารประกอบ Fe_2O_3 ถือเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาดีไฮโดรจิเนชัน (dehydrogenation) ดีคาร์บอกซิเลชัน (decarboxylation) [28] ซึ่งกระบวนการเหล่านี้เป็นการสลายตัวทางความร้อนของน้ำมันดิบชีวภาพกลายไปเป็น แก๊ส และผลิตภัณฑ์เบาอื่น ๆ จึงส่งผลให้ปริมาณ แก๊ส และผลิตภัณฑ์เบาอื่น ๆ ที่ได้จากการทดลองมีค่ามากกว่าค่าทำนาย และทำให้ร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพลดลงน้อยกว่าค่าการทำนาย

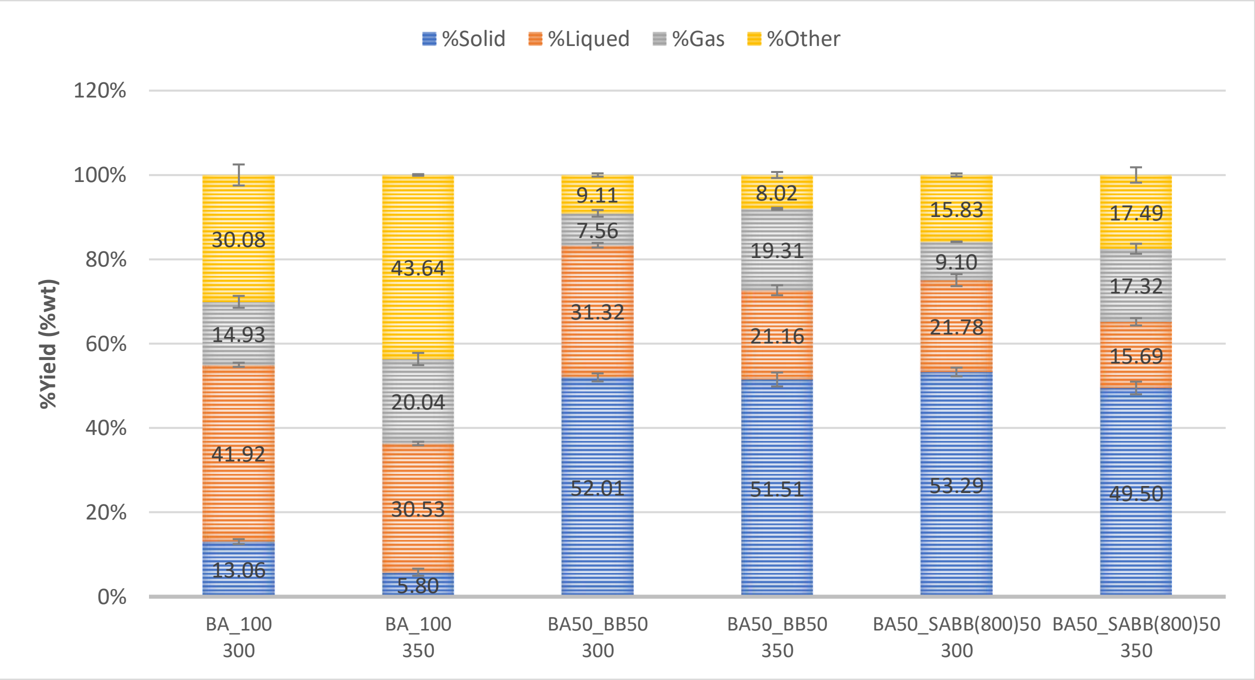


รูปที่ 4.15 ร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพ กากของแข็ง แก๊ส และผลิตภัณฑ์เบาอื่น ๆ จากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันของของชานอ้อยผสมไม้ไผ่ที่ผ่านการกระตุ้นด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส

4.4 ผลของอุณหภูมิระหว่าง 300 **องศาเซลเซียส กับ 350 องศาเซลเซียส จากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันของ ชานอ้อย ชาร์ไม้ไผ่ และ ชาร์ไม้ไผ่ที่ผ่านการกระตุ้นด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส**

จากรูปที่ 4.16 ที่แสดงร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพ กากของแข็ง แก๊ส และผลิตภัณฑ์เบาอื่น ๆ จากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันของชานอ้อย ชานอ้อยผสมชาร์ไม้ไผ่ และ ชานอ้อยผสมชาร์ไม้ไผ่ที่ถูกกระตุ้นด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ที่อุณหภูมิ 300 และ 350 องศาเซลเซียส พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้น ปริมาณกากของแข็งและปริมาณน้ำมันดิบชีวภาพของชานอ้อย ชานอ้อยผสมชาร์ไม้ไผ่ และ ชานอ้อยผสมชาร์ไม้ไผ่ที่ถูกกระตุ้นด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส มีปริมาณลดลง แต่ปริมาณแก๊ส และผลิตภัณฑ์เบาอื่น ๆ มีปริมาณเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากชานอ้อยสลายตัวได้มากที่สุดที่ 320 องศาเซลเซียส จากการทดสอบ TG-DTA ดังรูปที่ 4.1 จึงทำให้เมื่อเพิ่มเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาจาก 300 เป็น 350 องศาเซลเซียสนั้น จะทำให้มีปริมาณกากของแข็งลดลง ในทางเดียวกันปริมาณน้ำมันดิบชีวภาพลดลงเช่นกัน เนื่องจาก เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ส่งผลให้น้ำมันดิบชีวภาพเกิดปฏิกิริยาดีพอลิเมอไรเซชัน (depolymerization) หรือเกิดการตัดของสายโซ่ยาวที่ทำให้ปริมาณน้ำมันดิบชีวภาพลดลงและปริมาณแก๊ส และผลิตภัณฑ์เบาอื่น ๆ เพิ่มสูงขึ้น [33]

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 4.16 ร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพ กากของแข็ง แก๊ส และผลิตภัณฑ์เบาอื่น ๆ จากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันของชานอ้อย ชานอ้อยผสมชาร์ไม้ไผ่ และ ชานอ้อยผสมชาร์ไม้ไผ่ที่ถูกกระตุ้นด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ที่อุณหภูมิ 300 และ 350 องศาเซลเซียส

4.5 **ผลของชาร์ชานอ้อย ชาร์กะลาปาล์ม ชาร์ไม้ไผ่ ชาร์กะลาปาล์มและชาร์ไม้ไผ่ที่ถูกกระตุ้นด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ต่อคุณภาพของน้ำมันดิบชีวภาพจากไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชัน**

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

เมื่อพิจารณาสมบัติของน้ำมันดิบชีวภาพ จากการแยกธาตุของน้ำมันดิบชีวภาพที่ได้จากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันของชานอ้อยกับชาร์กะลาปาล์ม ดำเนินที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ดังแสดงในตารางที่ 4.4 พบว่าเมื่อเปรียบเทียบระหว่างชานอ้อยผสมชาร์กะลาปาล์มที่ผ่านการกระตุ้นด้วยไอน้ำลงไปร่วมทำปฏิกิริยาพบว่าปริมาณธาตุคาร์บอนจะมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นมากกว่าผสมกับชาร์กะลาปาล์มที่ไม่ผ่านการกระตุ้นด้วยไอน้ำ โดยเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 51.87 เป็น 66.29 โดยน้ำหนัก ในทางกลับกันปริมาณออกซิเจนลดลง จากร้อยละ 39.90 เป็น 23.43 โดยน้ำหนัก เนื่องจากชาร์เข้าไปทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา deoxygenation [33] ทำให้ปริมาณออกซิเจนลดลง และคุณภาพของน้ำมันดีขึ้น ค่าความร้อนเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 19.72 เป็นร้อยละ 28.22 เมกะจูลต่อกิโลกรัม ในส่วนของชาร์ไม้ไผ่ จะเห็นได้ว่ามีแนวโน้มเช่นเดียวกับชาร์กะลาปาล์ม โดยเมื่อเปรียบเทียบระหว่างชานอ้อยผสมชาร์ไม้ไผ่ที่ผ่านการกระตุ้นด้วยไอน้ำลงไปร่วมทำปฏิกิริยาพบว่าปริมาณธาตุคาร์บอนจะมี

ปริมาณเพิ่มมากขึ้นมากกว่าผสมกับชาร์กะลาปาล์มที่ไม่ผ่านการกระตุ้นด้วยไอน้ำ โดยเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 44.94 เป็น 55.68 โดยน้ำหนัก ในทางกลับกันปริมาณออกซิเจนลดลง จากร้อยละ 48.89 เป็น 34.77 โดยน้ำหนัก ทำให้ค่าความร้อนเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 19.72 เป็นร้อยละ 28.22 เมกะจูลต่อกิโลกรัม

ตารางที่ 4.4 การวิเคราะห์แบบแยกธาตุของน้ำมันดิบชีวภาพที่ได้จากการไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันของชานอ้อยกับชาร์ชานอ้อย ในสัดส่วนร้อยละ 0 50 และ 100 โดยน้ำหนัก

	BA 100	BA50_PKS 50	BA50_SAPKS (800)50	BA50_BB 50	BA50_SABB (800)50
	การวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)				
คาร์บอน (C)	59.58	51.87	66.29	44.94	55.68
ไฮโดรเจน (H)	5.74	6.5	6.95	4.32	6.62
ออกซิเจน (O)	32.9	39.9	23.43	48.89	34.77
ไนโตรเจน (N)	1.13	1.05	2.61	0.95	1.83
ซัลเฟอร์ (S)	0.66	0.7	0.73	0.91	1.11
อัตราส่วนของต่าง ๆ ของธาตุที่พบในน้ำมันดิบชีวภาพ					
อัตราส่วนไฮโดรเจนต่อคาร์บอน (H/C) (โดยโมล)	0.10	0.13	0.10	0.10	0.12
อัตราส่วนออกซิเจนต่อคาร์บอน (O/C) (โดยโมล)	0.55	0.77	0.35	1.09	0.62
ค่าความร้อน (เมกะจูลต่อกิโลกรัม)	22.50	19.72	28.22	12.62	22.11

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ ศึกษาการผลิตน้ำมันดิบชีวภาพจากการไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันของชานอ้อย โดยจะศึกษาผลของชาร์จกไม้ไผ่ และกะลาปาล์มที่ถูกกระตุ้นด้วยไอน้ำ ต่อร้อยละผลได้ และคุณภาพของน้ำมันดิบชีวภาพจากกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชัน โดยเปรียบเทียบชาร์ 2 ชนิด คือ ชาร์ไม้ไผ่ และชาร์กะลาปาล์ม และมีการใช้อุณหภูมิในการกระตุ้นชาร์ทั้งสองชนิดที่ 800 และ 900 องสาเซลเซียส จากการทดลองเป็นการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันของชานอ้อยผสมกับชาร์กะลาปาล์ม ชานอ้อยผสมชาร์ไม้ไผ่ ชานอ้อยผสมชาร์กะลาปาล์มที่ผ่านการกระตุ้นด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 800 และ 900 องศาเซลเซียส ชานอ้อยผสมชาร์ไม้ไผ่ที่ผ่านการกระตุ้นด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 800 และ 900 องศาเซลเซียส ในสัดสวนร้อยละ 0 50 และ100 โดยน้ำหนัก ดำเนินการที่อุณหภูมิ 300 และ 350 องศาเซลเซียส ความดันไนโตรเจนเริ่มต้น 2 เมกะพาสคัล ความเร็วรอบใบกวน 300 รอบต่อนาที เวลาที่ใช้ในการดำเนินปฏิกิริยา 60 นาที ในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์

5.1.1 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของสารตั้งต้น

ชานอ้อยมีปริมาณสารระเหยที่สูงที่สุด แต่ชาร์กะลาปาล์ม และ ชาร์ไม้ไผ่ จะมีปริมาณคาร์บอนคงตัวที่มาก และยังพบว่ามีธาตุ K_2O และFe_2O_3 เป็นประกอบภายในของชาร์กาปาล์ม และชาร์ไม้ไผ่ เมื่อเปรียบเทียบพื้นพี่ผิวพบว่า เมื่อชาร์ทั้งสองชนิดผ่านการกระตุ้นด้วยไอน้ำแล้วจะทำห้มีพื้นที่ผิวเพิ่มมากขึ้น อีกทั้งอุณหภูมิในการกระตุ้นยังส่งผลกับพื้นที่ผิดอีกด้วย โดยเมื่อใช้อุณหภูมิในการกระตุ้นที่สูงขึ้น จะทำให้มีพื้นที่ผิวที่เพิ่มมากขึ้น

5.1.2 ผลของชาร์กะลาปาล์ม และชาร์ไม้ไผ่ ต่อร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพจากไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชัน

ในการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส พบว่าชาร์กะลาปาล์ม และชาร์ไม้ไผ่ทำงานเสริมกับชานอ้อย ทำให้มีปริมาณน้ำมันดิบชีวภาพสูงกว่าค่าการทำนาย โดยที่ชานอ้อยผสมชาร์ไม้ไผ่นั้นให้ปริมาณน้ำมันดิบชีวภาพสูงกว่าชาร์กะลาปาล์มซึ่งมีค่าอยู่ที่ร้อยละ 31.32 โดย น้ำหนัก

5.1.3 ผลของชาร์กะลาปาล์ม และชาร์ไม้ไผ่ที่ผ่านการกระตุ้นด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 800 และ 900 องศาเซลเซียส ต่อร้อยละผลได้ ของน้ำมันดิบชีวภาพจากไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชัน

ในการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส พบว่าชาร์กะลาปาล์ม และชาร์ไม้ไผ่ที่ผ่านการกระตุ้นด้วยไอน้ำทั้งสองอุณหภูมิ คือ 800 และ 900 องศาเซลเซียสนั้นไม่ทำงานเสริมกับชานอ้อย ทำให้มีปริมาณน้ำมันดิบชีวภาพต่ำกว่าค่าการทำนายทั้งสองชนิด โดยที่ชานอ้อยผสมชาร์ไม้ไผ่ที่ผ่านการกระตุ้นด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียสนั้นให้ปริมาณน้ำมันดิบชีวภาพสูงที่สุดซึ่งมีค่าอยู่ที่ร้อยละ 21.79 โดย น้ำหนัก

5.1.4 ผลของอุณหภูมิต่อร้อยละผลได้ และคุณภาพของน้ำมันดิบชีวภาพจากไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชัน

ในการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันที่อุณหภูมิ 300 และ 350 องศาเซลเซียลของชานอ้อยผสมชาร์กะลาปาล์ม ชานอ้อยผสมชาร์ไม้ไผ่ ชาร์อ้อยผสมชาร์กะลาปาล์มที่ผ่านการกระตุ้นด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 800 และ 900 องศาเซลเซียส และชานอ้อยผสมชาร์ไม้ไผ่ที่ผ่านการกระตุ้นด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 800 และ 900 องศาเซลเซียส พบว่าเมื่อทำการเพิ่มอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา จะทำให้ปริมาณน้ำมันดิบชีวภาพที่ได้ลดลงจำนวนมาก แต่ในทางกลับกันจะส่งผลดีต่อคุณภาพของน้ำมันดิบชีวภาพ ดังนั้นเมื่อพิจารณาในด้านปริมาณและคุณภาพของน้ำมันดิบชีวภาพควบคู่กัน จึงสรุปได้ว่า อุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาคือ 300 องศาเซลเซียส

5.1.5 ผลของชาร์กะลาปาล์ม ชาร์ไม้ไผ่ ชาร์กะลาปาล์มที่ผ่านการกระตุ้นด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 800 และชาร์ไม้ไผ่ที่ผ่านการกระตุ้นด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ต่อคุณภาพของน้ำมันดิบชีวภาพจากไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชัน

ในการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียลของชานอ้อยผสมชาร์กะลาปาล์ม ชานอ้อยผสมชาร์ไม้ไผ่ ชาร์อ้อยผสมชาร์กะลาปาล์มที่ผ่านการกระตุ้นด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 800 และชานอ้อยผสมชาร์ไม้ไผ่ที่ผ่านการกระตุ้นด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 800 พบว่าชานอ้อยผสมชาร์กะลาปาล์มที่ผ่านการกระตุ้นด้วยไอน้ำมีคุณภาพดีกว่าชานอ้อยผสมชาร์กะลาปาล์มที่ไม่ผ่านการกระตุ้นด้วยไอน้ำโดยมีค่าความร้อนเพิ่มขึ้นจาก 19.72 เมกะจูลต่อกิโลกรัม เป็น 28.22 เมกะจูลต่อกิโลกรัม เช่นเดียวกับชาร์ไม้ไผ่ โดยเพิ่มขึ้นจาก 12.62 เมกะจูลต่อกิโลกรัม เป็น 22.11 เมกะจูลต่อกิโลกรัม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรศึกษาผลของชาร์ชนิดอื่นๆ เพิ่มเติม
2. ควรศึกษาผลของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อชนิดของชีวมวล
3. ควรศึกษาวิธีอื่นๆ ที่ใช้ในการกระตุ้นชาร์เพื่อนำมาใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บรรณานุกรม

1. Stefanidis, S.D., et al., *Optimization of bio-oil yields by demineralization of low quality biomass.* Biomass and Bioenergy, 2015. **83**: p. 105-115.
2. พลังงานทางเลือก. Available from: https://www.gpscgroup.com/th/news/984.
3. ชีวมวล. Available from: https://ienergyguru.com/2015/08/%E0%B8%8A%E0%B8%B5%E0%B8%A7%E0%B8%A1%E0%B8%A7%E0%B8%A5-biomass/.
4. Charles Y., W.-B., Essel B. Hagan., *Biomass conversion and technology*. 1996.
5. Hoogwijk, M., et al., *Exploration of the ranges of the global potential of biomass for energy.* Biomass and bioenergy, 2003. **25**(2): p. 119-133.
6. McKendry, P., *Energy production from biomass (part 2): conversion technologies.* Bioresource technology, 2002. **83**(1): p. 47-54.
7. นคร ทิพยาวงศ์, เทคโนโลยีการแปลงสภาพชีวมวล. 2553, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น): ส.ส.ท. กรุงเทพมหานคร.
8. องค์ประกอบของชีวมวล. Available from: https://sites.google.com/site/bioenergynaka/phlangngan-haeng-xnakht/phuch-phlangngan-chnid-him.
9. ดร.อรุณี ศุภสินสาธิต, พลังงานจากชีวมวลที่มีลิกโนเซลลูโลสสูง. 2555: วารสารสิ่งแวดล้อม ปีที่ 16 เล่มที่ 2.
10. โครงการเพิ่มศักยภาพฐานข้อมูลอุตสาหกรรมฐานชีวภาพ, บทที่ *32* เซลลูโลส (*Cellulose).* มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
11. Tekin, K., S. Karagöz, and S. Bektaş, *A review of hydrothermal biomass processing.* Renewable and sustainable Energy reviews, 2014. **40**: p. 673-687.
12. ริกาญจน์ ฉัตรสกุลวิไล, ลิกนิน-แทนนิน. กรมโรงงานอุตสาหกรรม.
13. ปฐมพงศ์ เจนไธสง, การสังเคราะห์โอลิโกเมอร์ของลิกนินโมเลกุลต่ำกับน้ำมันพืชเพื่อใช้เป็นสารเคลือบกระดาษ. ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
14. จตุพร วุฒิกนกกาญจน์, การสังเคราะห์และพัฒนาวัสดุพอลิเมอร์ชนิดใหม่โดยใช้สารเคมีที่มาจากชีวมวลนอกกลุ่มอาหารเป็นวัตถุดิบ. สาขาเทคโนโลยีวัสดุ คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
15. Laurichesse, S. and L. Avérous, *Chemical modification of lignins: Towards*

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

biobased polymers. Progress in polymer science, 2014. **39**(7): p. 1266-1290.

16. McKendry, P., *Energy production from biomass (part 1): overview of biomass.* Bioresource technology, 2002. **83**(1): p. 37-46.
17. Daniel, C., M. Bruce, and W. Robert, *Characteristics of Biomass as a Heating Fuel.* Renewable and Alternative Energy Fact Sheet Penn State Energy Centre, 2010.
18. *Biomass Fuel Procurement Guide: Key Considerations for Successful Procurment*. 2012: The Carbon Trust.
19. Leelavattananon, K., *Database of Potential energy from biomass*. 2003: Master thesis. King Mongkut's University of Technology Thonburi. Thailand.
20. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. ฐานข้อมูลศักยภาพชีวมวลในประเทศไทยประจำปีเพาะปลูก พ.ศ. *2556*. 2562; Available from: http://webkc.dede.go.th/testmax/node/2450.
21. อ้อย. Available from: https://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B8%AD%E0%B9%89%E0%B8%AD%E0%B8%A2.
22. ไผ่. Available from: https://www.bamboofarm.org/about-bamboo/.
23. ปาล์มน้ำมัน. Available from: https://www.saranukromthai.or.th/sub/book/book.php?book=19&chap=2&page=t19-2-infodetail02.html.
24. กะลาปาล์ม. Available from: http://www.sakhononline.com/report/?p=495.
25. ประพันธ์ คูชลธารา และศศิธร สรรพ่อค้า, พลังงานจากชีวมวลและวัสดุเหลือใช้ (*Energy from Biomass and Waste)*. 2558.
26. Zhu, Z., et al., *Hydrothermal liquefaction of barley straw to bio-crude oil: Effects of reaction temperature and aqueous phase recirculation.* Applied Energy, 2015. **137**: p. 183-192.
27. นพิดา หิญชีระนันทน์ และชวลิต งามจรัสศรีวิชัย, เทคโนโลยีตัวเร่งปฏิกิริยา (*Catalyst technology)*. 2557: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
28. กชนิภา มณีวรรณ์ และประพันธ์ คูชลธารา, ผลเชิงเร่งปฏิกิริยาของชาร์ต่อไฮโดรแกซิฟิเคชันของสารระเหยจากชีวมวล. 2555: ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

29. วัลยา วิศาลบรรณวิทย์ และธราพงษ์ วิทิตศานต์, *ภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียนและเปลือกมังคุดเพื่อใช้กำจัดสีในโมลาส.* 2554.

30. Bai, C.-X., F. Shen, and X.-H. Qi, *Preparation of porous carbon directly from hydrothermal carbonization of fructose and phloroglucinol for adsorption of tetracycline.* Chinese Chemical Letters, 2017. **28**(5): p. 960-962.

31. ธราพงษ์ วิทิตศานต์, ถ่านกัมมันต์การผลิตและการนำไปใช้. คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2011.

32. Chen, J., *Bio-oil production from hydrothermal liquefaction of Pteris vittata L.: Effects of operating temperatures and energy recovery.* Bioresource technology, 2018. **265**: p. 320-327.

33. Chen, W., et al., *Catalytic deoxygenation co-pyrolysis of bamboo wastes and microalgae with biochar catalyst.* Energy, 2018. **157**: p. 472-482.

34. Yang, L., et al., *Co-liquefaction of spent coffee grounds and lignocellulosic feedstocks.* Bioresource technology, 2017. **237**: p. 108-121.

35. Guo, F., et al., *Catalytic cracking of biomass pyrolysis tar over char-supported catalysts.* Energy conversion and management, 2018. **167**: p. 81-90.

36. Son, Y.-R. and S.-J. Park, *Preparation and characterization of mesoporous activated carbons from nonporous hard carbon via enhanced steam activation strategy.* Materials Chemistry and Physics, 2020. **242**: p. 122454.

37. Xu, L., et al., *Co-production of phenolic oil and CaO/char deoxidation catalyst via catalytic fast pyrolysis of phenol-formaldehyde resin with Ca (OH) 2.* Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 2019. **142**: p. 104663.

38. Terachai Suravattanasakul and Tharapong Vitidsant, *Production of activated carbon from palm-oil shell by pyrolysis and steam activation in a fixed bed reactor*. 1998.

39. Zhang, Y.-J., et al., *Effects of steam activation on the pore structure and surface chemistry of activated carbon derived from bamboo waste.* Applied Surface Science, 2014. **315**: p. 279-286.

40. Rugayah, A., A. Astimar, and N. Norzita, *Preparation and characterization of activated carbon from palm kernel shell by physical activation with steam.* Journal of Oil Palm Research, 2014. **26**(3): p. 251-264.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

41. de Caprariis, B., et al., *Hydrothermal liquefaction of biomass: Influence of temperature and biomass composition on the bio-oil production.* Fuel, 2017. **208**: p. 618-625.
42. Yin, S., et al., *Subcritical hydrothermal liquefaction of cattle manure to bio-oil: Effects of conversion parameters on bio-oil yield and characterization of bio-oil.* Bioresource technology, 2010. **101**(10): p. 3657-3664.
43. Muppaneni, T., et al., *Hydrothermal liquefaction of Cyanidioschyzon merolae and the influence of catalysts on products.* Bioresource technology, 2017. **223**: p. 91-97.
44. Akhtar, J. and N.A.S. Amin, *A review on process conditions for optimum bio-oil yield in hydrothermal liquefaction of biomass.* Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2011. **15**(3): p. 1615-1624.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ก

วิธีการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของชีวมวล

การวิเคราะห์แบบประมาณ (proximate Analysis)

1. ความชื้น (moisture): ASTM E871-82

1.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

1.1.1 เตาอบ (moisture over)

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 ชั่วโมงแล้ว ปล่อยให้เย็นในโถดูดความชื้น (desiccators)

1.2.4 ชั่งน้ำหนักหลังอบ และจดน้ำหนัก พร้อมทั้งคำนวณตามสมการ

ร้อยละความชื้น

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

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2. เถ้า (ash): ASTM D1102-84

2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

2.1.1 เตาอบ (moisture over)

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 หลังจากนั้น นำมาเผาที่อุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นใน โถดูดความชื้น(desiccators)

2.2.4 ชั่งน้ำหนักหลังอบ และจดน้ำหนัก พร้อมทั้งคำนวณตามสมการ

$$\text{ร้อยละเถ้า} = \frac{\text{น้ำหนักของเถ้า}}{\text{น้ำหนักชีวมวลก่อนเผา}} \text{ x } 100$$

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 ปล่อยให้เย็นใน

โถดูดความชื้น (desiccators)

3.2.4 ชั่งน้ำหนักหลังอบ และจดน้ำหนัก พร้อมทั้งคำนวณตามสมการ

ร้อยละสารระเหย

$$= \frac{(\text{น้ำหนักของชีวมวลก่อนอบ} - \text{น้ำหนักชีวมวลหลังอบ})}{\text{น้ำหนักชีวมวลหลังอบ}} \text{ x } 100$$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4. คาร์บอนคงตัว (fixed carbon)

ค่าผลต่างของร้อยละลบด้วยผลบวกของความชื้น เถ้า และสารระเหยที่คิดเป็นร้อยละ ดังนี้

ร้อยละคาร์บอนคงตัว = 100 – (ร้อยละความชื้น +ร้อยละเถ้า + ร้อยละสารระเหย)

ภาคผนวก ข

วิธีการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของชาร์

การวิเคราะห์แบบประมาณ (proximate Analysis)

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

1.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

1.1.1 เตาอบ (moisture over)

1.1.2 ถ้วยพอสเลน (porcelain crucible)

1.1.3 โถดูดความชื้น(desiccators)

1.2 วิธีการทดลอง

1.2.1 ชั่งถ้วยพอสเลนแล้วจดน้ำหนัก

1.2.2 ชั่งตัวอย่างชาร์ชานอ้อย/ชาร์กะลามะพร้าว/ถ่านกัมมันต์ ประมาณ 1 กรัม ใส่ลงในถ้วย

1.2.3 นำไปอบในเตาอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมงแล้วปล่อยให้เย็นในโถดูดความชื้น (desiccators)

1.2.4 ชั่งน้ำหนักหลังอบ และจดน้ำหนัก พร้อมทั้งคำนวณตามสมการ

ร้อยละความชื้น

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

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

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 ชั่งตัวอย่างชาร์ชานอ้อย/ชาร์กะลามะพร้าว/ถ่านกัมมันต์ ประมาณ 1 กรัม ใส่ลงในถ้วย

2.2.3 นำไปอบในเตาอบที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำมา

เผาที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นในโถดูดความชื้น (desiccators)

2.2.4 ชั่งน้ำหนักหลังอบ และจดน้ำหนัก พร้อมทั้งคำนวณตามสมการ

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

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

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

3.1.1 เตาเผา (furnace)

3.1.2 ถ้วยพอสเลน (porcelain crucible)

3.1.3 โถดูดความชื้น (desiccators)

3.2 วิธีการทดลอง

3.2.1 ชั่งถ้วยพอสเลนปิดฝาพร้อมฝาแล้วจดน้ำหนัก

3.2.2 ชั่งตัวอย่างชานอ้อย ประมาณ 1 กรัม ใส่ลงในถ้วย

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

3.2.4 ชั่งน้ำหนักหลังอบ และจดน้ำหนัก พร้อมทั้งคำนวณตามสมการ

ร้อยละสารระเหย

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

4. คาร์บอนคงตัว (fixed carbon)

ค่าผลต่างของร้อยละลบด้วยผลบวกของความชื้น เถ้า และสารระเหยที่คิดเป็นร้อยละ ดังนี้

ร้อยละคาร์บอนคงตัว = 100 – (ร้อยละความชื้น +ร้อยละเถ้า + ร้อยละสารระเหย)

Chulalongkorn University

ภาคผนวก ค

การคำนวณร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์

1. การคำนวณร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพ

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

2. การคำนวณร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ของแข็ง

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

3. การคำนวณร้อยละผลได้ของแก๊ส

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

4. การคำนวณร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ที่สูญหายและอื่น ๆ

ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์อื่น ๆ = 100 – (ร้อยละผลได้ ของน้ำมันชีวภาพ + ร้อยละผลได้
ของของแข็ง + ร้อยละผลได้ของแก๊ส)

โดย Wdaf คือ น้ำหนักของสารตั้งต้นที่ปราศจากความชื้นและเถ้า

W_{liq} คือ น้ำหนักของของเหลวหลังระเหย

W_{solid} คือ น้ำหนักของกากของแข็งที่ปราศจากความชื้น (หลังอบ)

W_{gas} คือ น้ำหนักของแก๊ส

W_{ash} คือ น้ำหนักของเถ้า

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ง

ข้อมูลดิบ

ตารางที่ ง.1 ข้อมูลการทดลองในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์

No.	Reaction	Temp (°C)	%Solid	%Liquid	%Gas	% Other
1	BA	300	13.06	41.92	14.93	30.08
2	BA	350	5.80	30.53	20.04	43.64
3	PKS	300	86.31	8.28	4.63	0.78
4	PKS	350	82.91	5.42	7.14	4.53
5	BB	300	83.50	9.69	3.90	2.91
6	BB	350	80.64	7.43	8.32	3.61
7	SAPKS_800	300	90.61	5.07	2.58	1.74
8	SAPKS _800	350	87.00	4.73	6.08	2.19
9	SAPKS _900	300	91.49	4.72	3.45	0.35
10	SAPKS _900	350	89.12	4.41	4.04	2.42
11	SABB_800	300	88.53	7.87	2.62	0.98
12	SABB_800	350	83.65	6.89	6.71	2.76
13	SABB_900	300	89.48	7.58	2.39	0.55
14	SABB_900	350	86.44	6.71	4.01	2.85

ตารางที่ ง.1 ข้อมูลการทดลองในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์ (ต่อ)

No.	Reaction	Temp (^oC)	%Solid	%Liquid	%Gas	%other
15	BA50_PKS50	300	50.65	30.70	7.95	10.71
16	BA50_PKS50	350	47.46	21.42	19.50	11.62
17	BA50_BB50	300	52.01	31.32	7.56	9.11
18	BA50_BB50	350	51.51	21.16	19.31	8.02
19	BA50_SAPKS(800)50	300	56.29	18.51	17.01	8.19
20	BA50_SAPKS(800)50	350	52.66	15.27	19.05	13.03
21	BA50_SAPKS(900)50	300	59.43	18.12	16.56	5.90
22	BA50_SAPKS(900)50	350	56.29	16.16	18.78	8.77
23	BA50_SABB(800)50	300	53.29	21.78	9.10	15.83
24	BA50_SABB(800)50	350	49.50	15.69	17.32	17.49
25	BA50_SABB(900)50	300	58.10	20.60	15.52	5.79
26	BA50_SABB(900)50	350	52.79	16.47	17.83	12.91

ตารางที่ ง.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุในผลิตภัณฑ์

No	Reaction	Temp (°C)	C	H	N	S	O	HHV (MJ/kg)
1	BA	300	59.58	5.74	1.13	0.66	32.90	22.50
2	BA	350	74.45	6.42	1.36	0.64	17.14	31.35
3	PKS	300	41.53	6.30	2.96	0.86	48.37	14.41
4	PKS	350	46.40	6.61	0.82	0.70	45.48	17.03
5	BB	300	39.16	3.48	0.91	0.74	55.73	8.21
6	BB	350	44.00	3.89	0.95	0.68	50.49	11.39
7	BA50_PKS50	300	51.87	650.00	1.05	0.70	39.90	19.72
8	BA50_PKS50	350	46.40	6.61	0.82	0.70	46.35	15.88
9	BA50_BB50	300	44.94	4.32	0.95	0.91	48.90	12.62

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ง.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุในผลิตภัณฑ์ (ต่อ)

No	Reaction	Temp (°C)	C	H	N	S	O	HHV (MJ/kg)
10	BA50_BB50	350	30.12	4.03	1.53	0.72	54.46	6.18
11	BA50_SAPKS(800)50	300	66.29	6.95	2.61	0.73	23.43	28.22
12	BA50_SAPKS(800)50	350	39.26	6.02	0.77	0.64	53.32	12.35
13	BA50_SAPKS(900)50	300	38.94	4.54	1.41	0.74	54.38	9.92
14	BA50_SAPKS(900)50	350	38.09	5.77	0.76	0.88	54.50	11.38
15	BA50_SABB(800)50	300	55.68	6.62	1.83	1.11	34.77	22.11
16	BA50_SABB(800)50	350	36.49	4.23	0.66	0.78	57.86	8.01
17	BA50_SABB(900)50	300	32.13	4.40	0.57	0.79	62.13	6.01
18	BA50_SABB(900)50	350	43.37	3.68	1.12	0.83	51.02	10.77

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	ณัฐชนน นิลอ่อน
วัน เดือน ปี เกิด	6 มิถุนายน 2540
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
วุฒิการศึกษา	ระดับมัธยมศึกษา จบจากโรงเรียนวัดราชบพิธ ระดับปริญญาตรี จบจากคณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม สาขาปิโตรเคมีและวัสดุพอลิเมอร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร
ที่อยู่ปัจจุบัน	655 ซอย1/9 หมู่บ้านพุดตาน ถนนมาเจริญ แขวงหนองแขม เขตหนองแขม กทม. 10160

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University