

ผลของเซลลูโลสและลิกนินต่อการผลิตน้ำมันดิบชีวภาพโดยไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชันของชีวมวล



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเคมีเทคนิค ภาควิชาเคมีเทคนิค

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2561

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EFFECTS OF CELLULOSE AND LIGNIN ON BIO-CRUDE PRODUCTION BY HYDROTHERMAL
LIQUEFACTION OF BIOMASS



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 2018

Copyright of Chulalongkorn University

| | |
|---------------------------------|--|
| หัวข้อวิทยานิพนธ์ | ผลของเซลล์โลสและลิกนินต่อการผลิตน้ำมันดิบชีวภาพโดย ไฮโดรเทอร์มัลลิกวิพากษ์ของชีวมวล |
| โดย | น.ส.อุษณิษา จันทรวงศ์ไพศาล |
| สาขาวิชา | เคมีเทคนิค |
| อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก | รองศาสตราจารย์ ดร.ประพันธ์ คูชลธारा |

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของ
การศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

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

อุษณิษา จันทรวงศ์ไพศาล : ผลของเซลลูโลสและลิกนินต่อการผลิตน้ำมันดิบชีวภาพโดยไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชันของชีวมวล. (EFFECTS OF CELLULOSE AND LIGNIN ON BIO-CRUDE PRODUCTION BY HYDROTHERMAL LIQUEFACTION OF BIOMASS) อ.ที่ปรึกษาหลัก : รศ. ดร. ประพันธ์ คูชลธารา

พลังงานจากชีวมวลเป็นพลังงานทางเลือกหนึ่งที่มีความสนใจเพื่อแก้ปัญหาและข้อจำกัดจากเชื้อเพลิงฟอสซิล ไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชันเป็นกระบวนการแปรรูปชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงเหลว วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ คือ การศึกษาผลของเซลลูโลส และลิกนินต่อร้อยละผลได้ และคุณภาพของน้ำมันดิบชีวภาพจากไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชันของชีวมวล สารตั้งต้นที่ใช้ในการทดลองมีทั้งหมด 4 ชนิด ได้แก่ ชานอ้อย เหม้ามันสำปะหลัง เซลลูโลส และลิกนิน ทำการทดลองในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์และเครื่องปฏิกรณ์แบบกึ่งต่อเนื่อง ที่อุณหภูมิ 300 และ 350 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ในการดำเนินปฏิกิริยา 60 นาที ผลผลิตของเหลวที่ได้นำไปวิเคราะห์แบบแยกธาตุ และวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรมิเตอร์ จากผลการทดลอง พบว่าเหม้ามันสำปะหลังที่มีองค์ประกอบของลิกนินมากกว่าให้ร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพสูงกว่าชานอ้อย การเพิ่มปริมาณลิกนินลงในชีวมวลทั้ง 2 ชนิดด้วยวิธีการผสมแบบกายภาพ จะให้ค่าร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพที่ได้จากการทดลองน้อยกว่าค่าที่ได้จากการทำนาย แต่อย่างไรก็ตาม การเพิ่มปริมาณลิกนินจากร้อยละ 10 เป็น 20 โดยน้ำหนัก จะให้ร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพเพิ่มขึ้น การเพิ่มปริมาณลิกนินลงในเหม้ามันสำปะหลัง ร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก ทำการทดลองที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส จะให้ร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพ คือ ร้อยละ 60.26 โดยน้ำหนัก และให้ค่าความร้อนมากที่สุด คือ 24.39 เมกะจูลต่อกิโลกรัม ซึ่งค่าความร้อนของน้ำมันดิบชีวภาพที่ได้อยู่ในช่วง 10.42-24.39 เมกะจูลต่อกิโลกรัม ส่วนการทดลองในเครื่องปฏิกรณ์แบบกึ่งต่อเนื่อง ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของตัวทำละลาย 1 มิลลิลิตรต่อนาที ทำการทดลองเป็นเวลา 60 นาที พบว่าการเพิ่มปริมาณเซลลูโลส และลิกนินลงในชานอ้อยและเหม้ามันสำปะหลัง จะได้ค่าร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพที่ได้จากการทดลองสูงกว่าค่าที่ได้จากการทำนาย แสดงถึงการเกิดผลเสริมกันระหว่างชีวมวลและองค์ประกอบทางเคมีในกระบวนการแบบกึ่งต่อเนื่อง จากผลของ GC-MS พบว่าองค์ประกอบของน้ำมันดิบชีวภาพมีสารประกอบประเภทไฮโดรคาร์บอน และสารที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบหลัก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สาขาวิชา เคมีเทคนิค
ปีการศึกษา 2561

ลายมือชื่อนิสิต
ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

6072132723 : MAJOR CHEMICAL TECHNOLOGY

KEYWORD: Hydrothermal liquefaction, Cellulose, Lignin, Bio-crude

Usanisa Chantarawongpaisan : EFFECTS OF CELLULOSE AND LIGNIN ON BIO-CRUDE PRODUCTION BY HYDROTHERMAL LIQUEFACTION OF BIOMASS. Advisor: Assoc. Prof. PRAPAN KUCHONTHARA

The growth of environmental pollution due to extensive use of fossil fuels has raised concerns over the use of the fossil fuels. Thus, search for alternate renewable and sustainable resources of fuels has started in the last few decades. Biomass is one of the most attractive resource in terms of its potential and benign environmental impact. Hydrothermal liquefaction (HTL) is a promising thermo-chemical process for producing liquid biofuels. This study was focused on investigating effects of cellulose and lignin on product yield and quality from HTL of biomass. Four types of biomass used in the experimental tests were bagasse, cassava rhizome, cellulose, and lignin. The experiments were carried out in a batch reactor and a semi-continuous reactor at 300 and 350°C with the reaction time of 60 min. Liquid products were characterized by an elemental analyzer and GC/MS. The result indicated that the cassava rhizome gives higher liquid yields than bagasse. This was attributable to high lignin content in the former. The addition of lignin to the real biomass by physical mixing gave the lower liquid yield than that expected by the weight-average calculated value. However, the yield became higher with increasing the amount of lignin addition from 10 to 20 wt.%. The liquid yield of 60.26 wt.% was obtained at 300°C for mixture between cassava rhizome and 20 wt.% of lignin. The maximum HHV of 24.39 MJ/kg was obtained from the HTL of cassava rhizome mixed with lignin in the ratio of 80:20. The HHVs of bio-crude oil from HTL were in the range of 10.42-24.39 MJ/kg. The experiments were carried out in a semi-continuous reactor at the solvent flow rate of 1.0 mL/min at 300°C for 60 minutes. The addition of cellulose and lignin to the real biomass by physical mixing gave the higher liquid yield than that expected by the weight-average calculated value. This indicated a synergistic effect in semi-continuous reactor. The GC-MS results revealed that the biocrude contains mostly hydrocarbon and other oxygenates compounds.

Field of Study: Chemical Technology

Student's Signature

Academic Year: 2018

Advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีด้วยความช่วยเหลือของรองศาสตราจารย์ ดร. ประพันธ์ คูชลธารา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านได้ให้ความรู้ คำแนะนำและข้อคิดเห็น ต่าง ๆ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการทำวิจัย อีกทั้งยังช่วยแก้ปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างการ ดำเนินงาน อีกด้วย รวมทั้งคณาจารย์ทุกท่านในภาควิชาเคมีเทคนิคที่ได้ให้คำแนะนำและช่วยเหลือที่ติดต่อมา

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. ประเสริฐ เรียบร้อยเจริญ ประธานกรรมการ สอบ วิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร. นพิตา วิทยุธีระนันท์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และ ดร.ศศิธร สรรพพ้อคำ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ภายนอกมหาวิทยาลัย ที่กรุณารับเชิญเป็น กรรมการสอบ ตลอดจนให้คำแนะนำ ข้อเสนอแนะและความคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ต่อการทำวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์

ขอขอบคุณศูนย์ความเป็นเลิศด้านเทคโนโลยีปิโตรเคมีและวัสดุ (Center of Excellence on Petrochemical and Materials Technology; PETROMAT) สำหรับทำให้ทุนการศึกษา และทุน สนับสนุนการทำวิจัย

ขอขอบคุณบุคลากรในภาควิชาเคมีเทคนิคทุกท่านที่ได้กรุณาอำนวยความสะดวกในการใช้ห้อง ปฏิบัติงานและช่วยเหลือในการใช้เครื่องมือวิเคราะห์ต่าง ๆ

ขอขอบคุณพี่ ๆ เพื่อน ๆ และน้อง ๆ ทั้งในและนอกภาควิชาเคมีเทคนิคที่ให้คำปรึกษา ให้ความช่วยเหลือ และเป็นกำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณบิดามารดา และครอบครัว รวมทั้งผู้มีพระคุณทุกท่านซึ่งเปิด โอกาสให้ได้รับการศึกษาเล่าเรียน ให้คำปรึกษา คำแนะนำ ให้กำลังใจ และการสนับสนุนด้าน ต่าง ๆ ให้ ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

อุษณิษา จันทรวงศ์ไพศาล

สารบัญ

หน้า

| | |
|--|---|
| | ค |
| บทคัดย่อภาษาไทย..... | ค |
| | ง |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... | ง |
| กิตติกรรมประกาศ..... | จ |
| สารบัญ..... | ฉ |
| สารบัญรูปภาพ..... | ฉ |
| สารบัญตาราง..... | ด |
| บทที่ 1 บทนำ..... | 1 |
| 1.1 ความสำคัญและความเป็นมาของงานวิจัย..... | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย..... | 2 |
| 1.3 ขอบเขตงานวิจัย..... | 2 |
| 1.4 วิธีดำเนินงานวิจัย..... | 2 |
| 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... | 4 |
| บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... | 5 |
| 2.1 แนวคิดและทฤษฎี..... | 5 |
| 2.2 ชีวมวล..... | 6 |
| 2.2.1 ประเภทของชีวมวล..... | 6 |
| 2.2.2 องค์ประกอบสำคัญของชีวมวล..... | 6 |
| 2.2.2.1 เซลลูโลส 7 | |
| 2.2.2.2 เฮมิเซลลูโลส..... | 8 |

| | | |
|---------|---|----|
| 2.2.2.3 | ลิกนิน | 8 |
| 2.2.3 | สมบัติทางเชื้อเพลิงของชีวมวล..... | 9 |
| 2.2.3.1 | ความชื้น (moisture)..... | 9 |
| 2.2.3.2 | เถ้า (ash) | 9 |
| 2.2.3.3 | สารระเหย (volatile matter)..... | 9 |
| 2.2.3.4 | ธาตุองค์ประกอบ (elemental composition)..... | 10 |
| 2.2.3.5 | ค่าความร้อน (heating value)..... | 10 |
| 2.2.4 | การวิเคราะห์สมบัติของชีวมวล..... | 11 |
| 2.2.5 | แนวทางการใช้ชีวมวลในประเทศไทย..... | 12 |
| 2.2.5.1 | อ้อย | 15 |
| 2.2.5.2 | มันสำปะหลัง | 16 |
| 2.3 | กระบวนการแปรรูปชีวมวลให้เป็นพลังงาน..... | 17 |
| 2.3.1 | การแปลงสภาพทางกายภาพ..... | 17 |
| 2.3.2 | การแปลงสภาพทางชีวภาพ..... | 17 |
| 2.3.3 | การแปลงสภาพทางความร้อนเคมี..... | 17 |
| 2.3.3.1 | การเผาไหม้..... | 18 |
| 2.3.3.2 | ไพโรไลซิส | 18 |
| 2.3.3.3 | แกซิฟิเคชัน..... | 18 |
| 2.3.3.4 | ลิกวิแฟกชัน..... | 18 |
| 2.4 | งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... | 19 |
| บทที่ 3 | เครื่องมือและวิธีการทดลอง..... | 21 |
| 3.1 | สารตั้งต้นและสารเคมี..... | 21 |
| 3.2 | เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง..... | 21 |
| 3.2.1 | อุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมขานอ้อย และแห้งมันสำปะหลัง..... | 21 |

| | |
|---|----|
| 3.2.2 เครื่องปฏิกรณ์ และแบบจำลองอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดลอง | 21 |
| 3.2.2.1 เครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์หรือเครื่องปฏิกรณ์แรงดันสูง (high-pressure parr reactor) 21 | |
| 3.2.2.2 เครื่องปฏิกรณ์แบบกึ่งต่อเนื่อง (semi-continuous reactor)..... | 23 |
| 3.2.3 อุปกรณ์การกรอง และการระเหยตัวทำละลาย | 24 |
| 3.2.4 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ | 25 |
| 3.2.4.1 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ | 25 |
| 3.2.4.2 เครื่องวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (CHNS/O analyzer)..... | 25 |
| 3.2.4.3 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ-แมสสเปกโตรเมตรี Shimadzu, QP-2010..... | 26 |
| 3.2.4.4 เครื่องหาปริมาณน้ำคาร์ล ฟิชเชอร์ (Karl-Fischer Titration) METTLER TOLEDO V20 –volumetric KT titrator) | 27 |
| 3.3 ขั้นตอนดำเนินงานวิจัย | 27 |
| 3.3.1 การเตรียมขานอ้อย และแห้งมันสำปะหลัง | 27 |
| 3.3.2 การวิเคราะห์สมบัติของขานอ้อย และแห้งมันสำปะหลัง | 27 |
| 3.3.3 การผลิตน้ำมันดิบชีวภาพด้วยไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชัน | 28 |
| 3.3.3.1 ไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์ | 28 |
| 3.3.3.2 ไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันในเครื่องปฏิกรณ์แบบกึ่งต่อเนื่อง | 29 |
| 3.4 ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง..... | 30 |
| 3.5 การวิเคราะห์ผลต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์..... | 31 |
| 3.5.1 การวิเคราะห์น้ำมันดิบชีวภาพ | 31 |
| 3.5.1.1 ค่าความร้อนของน้ำมันดิบชีวภาพ..... | 31 |
| 3.5.1.2 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันดิบชีวภาพ..... | 31 |
| 3.5.1.3 ปริมาณน้ำในน้ำมันดิบชีวภาพ | 32 |
| 3.5.2 การวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์แก๊ส | 33 |

| | |
|---|----|
| 3.5.2.1 องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์แก๊ส..... | 33 |
| บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง | 34 |
| 4.1 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของสารตั้งต้น..... | 34 |
| 4.1.1 การวิเคราะห์แบบประมาณ การวิเคราะห์แบบแยกธาตุ และค่าความร้อนของ ชานอ้อย เห้ง้ำมันสำปะหลัง เซลลูโลส และลิกนิน | 34 |
| 4.1.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี (chemical composition) ของชานอ้อย และเห้ง น้ำมันสำปะหลัง..... | 37 |
| 4.1.3 พฤติกรรมการสลายตัวทางความร้อนของชานอ้อย เห้ง้ำมันสำปะหลัง เซลลูโลส และ ลิกนิน 37 | |
| 4.2 ไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชันของชานอ้อย เห้ง้ำมันสำปะหลัง เซลลูโลส และลิกนิน ด้วยเครื่อง ปฏิกรณ์แบบแบตช์..... | 40 |
| 4.2.1 ไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชันของชานอ้อย เห้ง้ำมันสำปะหลัง เซลลูโลส และ ลิกนินด้วย เครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์..... | 40 |
| 4.2.2 ผลของเซลลูโลสต่อร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพจากไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชัน 43 | |
| 4.2.2.1 ผลของเซลลูโลส เมื่อผสมกับชานอ้อยต่อร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพจาก ไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชัน..... | 43 |
| 4.2.2.2 ผลของเซลลูโลส เมื่อผสมกับเห้ง้ำมันสำปะหลังต่อร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบ ชีวภาพจากไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชัน..... | 46 |
| 4.2.3 ผลของลิกนินต่อร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพจากไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชัน 49 | |
| 4.2.3.1 ผลของลิกนิน เมื่อผสมกับชานอ้อยต่อร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพจาก ไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชัน..... | 49 |
| 4.2.3.2 ผลของลิกนิน เมื่อผสมกับเห้ง้ำมันสำปะหลังต่อร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบ ชีวภาพจากไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชัน..... | 52 |
| 4.3 การวิเคราะห์คุณภาพของน้ำมันดิบชีวภาพจากชานอ้อย เห้ง้ำมันสำปะหลัง เซลลูโลส และ ลิกนิน ด้วยเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์..... | 56 |

| | |
|---|----|
| 4.3.1 การวิเคราะห์คุณภาพของน้ำมันดิบชีวภาพจากชานอ้อย เหม้ามันสำปะหลัง เซลลูโลส และลิกนินด้วยเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตซ์..... | 56 |
| 4.3.2 ผลของเซลลูโลสต่อคุณภาพของน้ำมันดิบชีวภาพจากไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชัน | 56 |
| 4.3.3 ผลของลิกนินต่อคุณภาพของน้ำมันดิบชีวภาพจากไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชัน | 62 |
| 4.4 ไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชันของชานอ้อย เหม้ามันสำปะหลัง เซลลูโลส และลิกนิน ด้วยเครื่องปฏิกรณ์แบบกึ่งต่อเนื่อง..... | 66 |
| 4.4.1 ผลของเซลลูโลสต่อร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพจากไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชันในเครื่องปฏิกรณ์แบบกึ่งต่อเนื่อง..... | 66 |
| 4.4.2 ผลของลิกนินต่อร้อยละผลได้ ของน้ำมันดิบชีวภาพจากไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชันในเครื่องปฏิกรณ์แบบกึ่งต่อเนื่อง..... | 68 |
| 4.5 การวิเคราะห์คุณภาพของน้ำมันดิบชีวภาพจากชานอ้อย เหม้ามันสำปะหลัง เซลลูโลส และลิกนิน ด้วยเครื่องปฏิกรณ์แบบกึ่งต่อเนื่อง | 70 |
| 4.5.1 ผลของเซลลูโลสต่อคุณภาพของน้ำมันดิบชีวภาพจากไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชัน | 70 |
| 4.5.2 ผลของลิกนินต่อคุณภาพของน้ำมันดิบชีวภาพจากไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชัน | 71 |
| 4.6 ผลของเครื่องปฏิกรณ์ระหว่างเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตซ์กับเครื่องปฏิกรณ์แบบกึ่งต่อเนื่อง จากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชันของชานอ้อย เซลลูโลส และลิกนิน | 73 |
| 4.6.1 ผลของเครื่องปฏิกรณ์ระหว่างเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตซ์กับเครื่องปฏิกรณ์แบบ กึ่งต่อเนื่องต่อร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพ และคุณภาพจากไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชันของชานอ้อยผสมกับเซลลูโลส | 73 |
| 4.5.2 ผลของเครื่องปฏิกรณ์ระหว่างเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตซ์กับเครื่องปฏิกรณ์แบบ กึ่งต่อเนื่องต่อร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพ และคุณภาพจากไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชันของชานอ้อยผสมกับลิกนิน..... | 74 |
| 4.7 ผลของการวิเคราะห์หาองค์ประกอบผลิตภัณฑ์น้ำมันดิบชีวภาพด้วยเครื่องแก๊ส โครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี (gas chromatography – mass spectrometry) | 75 |
| บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ | 78 |
| 5.1 สรุปผลการวิจัย..... | 78 |

| | |
|---|-----|
| 5.1.1 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของสารตั้งต้น | 78 |
| 5.1.2 ผลของเซลลูโลสต่อร้อยละผลได้ และคุณภาพของน้ำมันดิบชีวภาพจากไฮโดรเทอร์มัล ลิกวิแฟกชัน ในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์ | 78 |
| 5.1.3 ผลของลิกนินต่อร้อยละผลได้ และคุณภาพของน้ำมันดิบชีวภาพจากไฮโดรเทอร์มัลลิกวิ แฟกชัน ในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์ | 79 |
| 5.1.4 ผลของเซลลูโลสและลิกนินต่อร้อยละผลได้ และคุณภาพของน้ำมันดิบชีวภาพจาก ไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชัน ในเครื่องปฏิกรณ์แบบกึ่งต่อเนื่อง | 79 |
| 5.1.5 ผลของเครื่องปฏิกรณ์ระหว่างเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์กับเครื่องปฏิกรณ์แบบ กึ่ง ต่อเนื่องต่อร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพ และคุณภาพจากไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟก ชันของขานอ้อยผสมกับเซลลูโลส | 79 |
| 5.1.6 ผลของการวิเคราะห์หาล่องค์ประกอบผลิตภัณฑ์น้ำมันดิบชีวภาพด้วยเครื่องแก๊ส โคร มาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี | 79 |
| 5.2 ข้อเสนอแนะ | 79 |
| ภาคผนวก..... | 80 |
| ภาคผนวก ก วิธีการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของชีวมวล..... | 81 |
| ภาคผนวก ข การคำนวณร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ | 83 |
| ภาคผนวก ค ข้อมูลดิบ | 84 |
| ภาคผนวก ง การวิเคราะห์หาล่องค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์ที่สูญหายและอื่น ๆ..... | 89 |
| บรรณานุกรม..... | 97 |
| ประวัติผู้เขียน..... | 101 |

สารบัญรูปภาพ

| | |
|---|----|
| รูปที่ 2.1 ความต้องการใช้พลังงานของประชากรทั่วโลก | 5 |
| รูปที่ 2.2 องค์ประกอบของผนังเซลล์พืช | 7 |
| รูปที่ 2.3 โครงสร้างของเซลล์โลส | 7 |
| รูปที่ 2.4 โครงสร้างของเฮมิเซลล์โลส | 8 |
| รูปที่ 2.5 โครงสร้างของลิกนิน | 9 |
| รูปที่ 2.6 แผนภาพ van Krevelen | 10 |
| รูปที่ 2.7 องค์ประกอบของชีวมวล | 11 |
| รูปที่ 2.8 ฐานการคิดสำหรับรายงานผลส่วนประกอบต่าง ๆ ของเชื้อเพลิง | 12 |
| รูปที่ 2.9 อ้อย | 15 |
| รูปที่ 2.10 ชานอ้อย | 16 |
| รูปที่ 2.11 มันสำปะหลัง | 17 |
| รูปที่ 3.1 เครื่องปฏิกรณ์แรงดันสูง | 22 |
| รูปที่ 3.2 แบบจำลองอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดลองในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์ | 22 |
| รูปที่ 3.3 เครื่องปฏิกรณ์แบบกึ่งต่อเนื่อง | 23 |
| รูปที่ 3.4 แบบจำลองอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดลองในเครื่องปฏิกรณ์แบบกึ่งต่อเนื่อง | 24 |
| รูปที่ 3.5 เครื่องระเหยแบบหมุน | 25 |
| รูปที่ 3.6 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี | 25 |
| รูปที่ 3.7 เครื่องวิเคราะห์แบบแยกธาตุ | 26 |
| รูปที่ 3.8 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี | 26 |
| รูปที่ 3.9 เครื่องหาปริมาณน้ำคาร์ล ฟิสเซอร์ | 27 |
| รูปที่ 3.10 แผนภาพการผลิตน้ำมันดิบชีวภาพด้วยไฮโดรเทอร์มอลลิควิแฟกชัน ในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์ | 29 |

| | |
|--|----|
| รูปที่ 3.11 แผนภาพการผลิตน้ำมันดิบชีวภาพด้วยไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกชัน ในเครื่องปฏิกรณ์แบบกึ่งต่อเนื่อง..... | 30 |
| รูปที่ 4.1 พฤติกรรมการสลายตัวทางความร้อนของชานอ้อยจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค TG-DTA38 | |
| รูปที่ 4.2 พฤติกรรมการสลายตัวทางความร้อนของเหง้ามันสำปะหลังจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค TG-DTA..... | 38 |
| รูปที่ 4.3 พฤติกรรมการสลายตัวทางความร้อนของเซลลูโลสจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค TG-DTA..... | 39 |
| รูปที่ 4.4 พฤติกรรมการสลายตัวทางความร้อนของลิกนินจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค TG-DTA... 39 | |
| รูปที่ 4.5 ร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพ กากของแข็ง แก๊ส และผลิตภัณฑ์เบาอื่น ๆ จากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกชันของชานอ้อย เหง้ามันสำปะหลัง เซลลูโลส และลิกนิน ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์..... | 42 |
| รูปที่ 4.6 ร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพ กากของแข็ง แก๊ส และผลิตภัณฑ์เบาอื่น ๆ จากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกชันของชานอ้อย เหง้ามันสำปะหลัง เซลลูโลส และลิกนิน ที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส ในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์..... | 42 |
| รูปที่ 4.7 ร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพ กากของแข็ง แก๊ส และผลิตภัณฑ์เบาอื่น ๆ จากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกชันของชานอ้อยผสมกับเซลลูโลส ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์..... | 44 |
| รูปที่ 4.8 ร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพ กากของแข็ง แก๊ส และผลิตภัณฑ์เบาอื่น ๆ จากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกชันของชานอ้อยผสมกับเซลลูโลส ที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส ในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์..... | 45 |
| รูปที่ 4.9 ร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพ กากของแข็ง แก๊ส และผลิตภัณฑ์เบาอื่น ๆ จากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกชันของเหง้ามันสำปะหลังผสมกับเซลลูโลส ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์..... | 47 |
| รูปที่ 4.10 ร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพ กากของแข็ง แก๊ส และผลิตภัณฑ์เบาอื่น ๆ จากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกชันของเหง้ามันสำปะหลังผสมกับเซลลูโลส สัดส่วนร้อยละ 0 10 20 และ 100 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส..... | 48 |

- รูปที่ 4.11** ร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพ กากของแข็ง แก๊ส และผลิตภัณฑ์เบาอื่น ๆ จากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกซ์ชันของชานอ้อยผสมกับลิกนิน สัดส่วนร้อยละ 0 10 20 และ 100 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส 50
- รูปที่ 4.12** ร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพ กากของแข็ง แก๊ส และผลิตภัณฑ์เบาอื่น ๆ จากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกซ์ชันของชานอ้อยผสมกับลิกนิน สัดส่วนร้อยละ 0 10 20 และ 100 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส 52
- รูปที่ 4.13** ร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพ กากของแข็ง แก๊ส และผลิตภัณฑ์เบาอื่น ๆ จากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกซ์ชันของเหง้ามันสำปะหลังผสมกับลิกนิน สัดส่วนร้อยละ 0 10 20 และ 100 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส 54
- รูปที่ 4.14** ร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพ กากของแข็ง แก๊ส และผลิตภัณฑ์เบาอื่น ๆ จากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกซ์ชันของเหง้ามันสำปะหลังผสมกับลิกนิน สัดส่วนร้อยละ 0 10 20 และ 100 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส 55
- รูปที่ 4.15** ค่าความร้อนของน้ำมันดิบชีวภาพ (กราฟแท่ง) และปริมาณในน้ำมันดิบชีวภาพ (กราฟเส้น) จากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกซ์ชันของชานอ้อยผสมกับเซลลูโลส สัดส่วนร้อยละ 0 20 และ 100 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์ 60
- รูปที่ 4.16** ค่าความร้อนของน้ำมันดิบชีวภาพ (กราฟแท่ง) และปริมาณในน้ำมันดิบชีวภาพ (กราฟเส้น) จากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกซ์ชันของเหง้ามันสำปะหลังผสมกับเซลลูโลส สัดส่วนร้อยละ 0 20 และ 100 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์ 60
- รูปที่ 4.17** องค์ประกอบต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์แก๊สจากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกซ์ชันของชานอ้อยผสมกับเซลลูโลส สัดส่วนร้อยละ 0 20 และ 100 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์ 61
- รูปที่ 4.18** องค์ประกอบต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์แก๊สจากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกซ์ชันของเหง้ามันผสมกับเซลลูโลส สัดส่วนร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 300 และ 350 องศาเซลเซียส ตามลำดับในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์ 62
- รูปที่ 4.19** ค่าความร้อนของน้ำมันดิบชีวภาพ (กราฟแท่ง) และปริมาณในน้ำมันดิบชีวภาพ (กราฟเส้น) จากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกซ์ชันของชานอ้อยผสมกับลิกนิน สัดส่วนร้อยละ 0 20 และ 100 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์ 65

| | |
|--|----|
| รูปที่ 4.20 ค่าความร้อนของน้ำมันดิบชีวภาพ (กราฟแท่ง) และปริมาณในน้ำมันดิบชีวภาพ (กราฟเส้น) จากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกซ์ของเหง้ามันสำปะหลังผสมกับลิกนิน สัดส่วนร้อยละ 0 20 และ 100 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์ | 65 |
| รูปที่ 4.21 ร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพ และกากของแข็ง แก๊ส จากการทำไฮโดรเทอร์มัล ลิควิแพกซ์ของชานอ้อยผสมกับเซลลูโลส ในเครื่องปฏิกรณ์แบบกึ่งต่อเนื่อง ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส..... | 67 |
| รูปที่ 4.22 ร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพ และกากของแข็ง แก๊ส จากการทำไฮโดรเทอร์มัล ลิควิแพกซ์ของชานอ้อยผสมกับลิกนิน ในเครื่องปฏิกรณ์แบบกึ่งต่อเนื่อง ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส | 69 |
| รูปที่ 4.23 ค่าความร้อนของน้ำมันดิบชีวภาพ จากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกซ์ของชานอ้อยผสมกับเซลลูโลส สัดส่วนร้อยละ 0 20 และ 100 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ในเครื่องปฏิกรณ์แบบกึ่งต่อเนื่อง..... | 71 |
| รูปที่ 4.24 ค่าความร้อนของน้ำมันดิบชีวภาพ จากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกซ์ของชานอ้อยผสมกับลิกนิน สัดส่วนร้อยละ 0 20 และ 100 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ในเครื่องปฏิกรณ์แบบกึ่งต่อเนื่อง..... | 73 |
| รูปที่ 4.25 ร้อยละของน้ำมันดิบชีวภาพของชานอ้อยผสมกับเซลลูโลส สัดส่วนร้อยละ 0 10 20 และ 100 โดยน้ำหนัก ในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์ และเครื่องปฏิกรณ์แบบกึ่งต่อเนื่อง ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส | 74 |
| รูปที่ 4.26 ร้อยละของน้ำมันดิบชีวภาพของชานอ้อยผสมกับลิกนิน สัดส่วนร้อยละ 0 10 20 และ 100 โดยน้ำหนัก ในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์ และเครื่องปฏิกรณ์แบบกึ่งต่อเนื่อง ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส | 75 |
| รูปที่ 4.27 องค์ประกอบของน้ำมันดิบชีวภาพจากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกซ์ของเซลลูโลส และลิกนินในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์..... | 76 |
| รูปที่ 4.28 องค์ประกอบของน้ำมันดิบชีวภาพจากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกซ์ของชานอ้อย และเหง้ามันสำปะหลังในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์ | 77 |
| รูปที่ 4.29 องค์ประกอบของน้ำมันดิบชีวภาพจากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกซ์ของเหง้ามันสำปะหลังผสมกับลิกนินในสัดส่วนร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก ในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์ และชานอ้อยผสมกับเซลลูโลสในสัดส่วนร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก ในเครื่องปฏิกรณ์แบบกึ่งต่อเนื่อง..... | 77 |

- รูปที่ ง.1** โครมาโทแกรมของผลิตภัณฑ์น้ำมันดิบชีวภาพจากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันของ
ชานอ้อย ในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์ ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส 89
- รูปที่ ง.2** โครมาโทแกรมของผลิตภัณฑ์น้ำมันดิบชีวภาพจากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันของ
เหง้ามันสำปะหลัง ในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์ ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส 90
- รูปที่ ง.3** โครมาโทแกรมของผลิตภัณฑ์น้ำมันดิบชีวภาพจากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันของ
เซลลูโลส ในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์ ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส 90
- รูปที่ ง.4** โครมาโทแกรมของผลิตภัณฑ์น้ำมันดิบชีวภาพจากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันของ
ลิกนิน ในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์ ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส 91
- รูปที่ ง.5** โครมาโทแกรมของผลิตภัณฑ์น้ำมันดิบชีวภาพจากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันของ
เหง้ามันสำปะหลังผสมลิกนินในสัดส่วนร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก ในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์ ที่
อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส 91
- รูปที่ ง.6** โครมาโทแกรมของผลิตภัณฑ์น้ำมันดิบชีวภาพจากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันของ
เหง้ามันสำปะหลังผสมลิกนินในสัดส่วนร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก ในเครื่องปฏิกรณ์แบบกึ่งต่อเนื่อง ที่
อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส 92

สารบัญตาราง

| | |
|--|----|
| ตารางที่ 2.1 ผลการประเมินศักยภาพชีวมวลแต่ละชนิด | 13 |
| ตารางที่ 3.1 ภาวะที่ใช้ในการทดลอง..... | 31 |
| ตารางที่ 3.2 ภาวะที่ใช้ในการวิเคราะห์น้ำมันดิบชีวภาพด้วยเครื่องโครมาโทกราฟ-แมสสเปกโตรเมตรี | 32 |
| ตารางที่ 3.3 ภาวะที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลผลิตก๊าซที่สกัดด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ..... | 33 |
| ตารางที่ 4.1 การวิเคราะห์แบบประมาณ การวิเคราะห์แบบแยกธาตุ และค่าความร้อนของชานอ้อย เหง้ามันสำปะหลัง เซลลูโลส และลิกนิน | 36 |
| ตารางที่ 4.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของชานอ้อย เหง้ามันสำปะหลัง เซลลูโลส และ ลิกนิน (chemical composition)..... | 37 |
| ตารางที่ 4.3 การวิเคราะห์แบบแยกธาตุ ของน้ำมันดิบชีวภาพที่ได้จากชานอ้อย เหง้ามันสำปะหลัง เซลลูโลส และลิกนิน..... | 56 |
| ตารางที่ 4.4 การวิเคราะห์แบบแยกธาตุของน้ำมันดิบชีวภาพที่ได้จากชานอ้อยผสมกับเซลลูโลส ใน สัดส่วนร้อยละ 0 20 และ 100 โดยน้ำหนัก..... | 58 |
| ตารางที่ 4.5 การวิเคราะห์แบบแยกธาตุของน้ำมันดิบชีวภาพที่ได้จากเหง้ามันผสมกับเซลลูโลส ใน สัดส่วนร้อยละ 0 20 และ 100 โดยน้ำหนัก..... | 59 |
| ตารางที่ 4.6 การวิเคราะห์แบบแยกธาตุของน้ำมันดิบชีวภาพที่ได้จากชานอ้อยผสมกับลิกนิน ใน สัดส่วนร้อยละ 0 20 และ 100 โดยน้ำหนัก..... | 63 |
| ตารางที่ 4.7 การวิเคราะห์แบบแยกธาตุของน้ำมันดิบชีวภาพที่ได้จากเหง้ามันสำปะหลังผสมกับ ลิกนิน ในสัดส่วนร้อยละ 0 20 และ 100 โดยน้ำหนัก | 64 |
| ตารางที่ 4.8 การวิเคราะห์แบบแยกธาตุของน้ำมันดิบชีวภาพที่ได้จากชานอ้อยผสมกับเซลลูโลส ใน สัดส่วนร้อยละ 0 20 และ 100 โดยน้ำหนัก..... | 70 |
| ตารางที่ 4.9 การวิเคราะห์แบบแยกธาตุของน้ำมันดิบชีวภาพที่ได้จากชานอ้อยผสมกับลิกนิน ใน สัดส่วนร้อยละ 0 20 และ 100 โดยน้ำหนัก..... | 72 |

ตาราง ค.1 ข้อมูลการทดลองในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์ 84

ตาราง ค.2 ข้อมูลการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ของเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์ 87

ตาราง ค.3 ข้อมูลการทดลองและการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ของเครื่องปฏิกรณ์แบบกึ่งต่อเนื่อง..... 88

ตาราง ง.1 ผลของการวิเคราะห์หาค่าองค์ประกอบผลิตภัณฑ์น้ำมันดิบชีวภาพด้วยเครื่องแก๊ส โครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี 93



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและความเป็นมาของงานวิจัย

ปัจจุบันโลกของเราใช้พลังงานส่วนใหญ่จากแก๊สธรรมชาติ และน้ำมันดิบที่ขุดเจาะจากใต้พื้นโลก การใช้น้ำมันเหล่านี้ล้วนก่อให้เกิดคาร์บอนไดออกไซด์ ที่เป็นตัวการสำคัญของภาวะโลกร้อน วิธีที่จะช่วยลดการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ คือ การใช้ชีวมวล ชีวมวล คือ สารอินทรีย์ที่สามารถนำมาผลิตเป็นพลังงานได้ เช่น ผลผลิตเหลือทิ้งจากการเกษตร สหรัยหรือขยะแก๊สธรรมชาติ และน้ำมันดิบที่ขุดเจาะจากใต้พื้นโลก มีการปลดปล่อยคาร์บอนออกไซด์เกิดขึ้น แต่เมื่อเทียบกับชีวมวล คาร์บอนไดออกไซด์ได้ถูกนำมาใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ของพืช พืชเหล่านั้นถูกนำมาใช้เป็นพลังงานเชื้อเพลิง ซึ่งเชื้อเพลิงเหล่านั้นก็ได้ปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาอีกครั้ง วนกันเป็นวัฏจักร ซึ่งกระบวนการเปลี่ยนชีวมวลมี 3 วิธี คือ กระบวนการทางกายภาพ (physical conversion) กระบวนการทางเคมีความร้อน (thermochemical conversion) และกระบวนการเชิงชีวภาพ (biochemical conversion) โดยงานวิจัยนี้ จะสนใจกระบวนการทางเคมีความร้อน เนื่องจากมีข้อดี คือ ผลิตภัณฑ์ที่ได้สามารถนำมาใช้ต่อได้หลากหลาย เช่น ความร้อน ไฟฟ้า และเชื้อเพลิง ซึ่งกระบวนการทางเคมีความร้อน ที่งานวิจัยได้สนใจ คือ ลิควิแฟกชัน (liquefaction) เนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่ได้จะอยู่ในสถานะของเหลวมากที่สุด ซึ่งของเหลวมีข้อดีต่าง ๆ มากมายเมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงในรูปแบบอื่น ๆ เช่น สามารถจะจัดการกับเชื้อเพลิงได้ง่าย อีกทั้งเป็นกระบวนการที่ใช้อุณหภูมิปานกลาง และความดันสูง โดยชีวมวลตั้งต้นไม่ต้องผ่านกระบวนการทำให้แห้ง จึงเหมาะกับชีวมวลหรือเศษวัสดุเหลือทิ้งที่มีปริมาณความชื้นสูง โดยน้ำมันดิบชีวภาพที่ได้จะมีปริมาณน้ำและออกซิเจน ต่ำกว่าน้ำมันที่ได้จากการไพโรไลซิส แต่ในประเทศไทยมีชีวมวลให้เลือกใช้หลายชนิด แต่ที่มีปริมาณเหลือใช้มาก มากถึง 2-4 ล้านตันต่อปี คือ ชานอ้อยและเหง้ำมันสำปะหลัง ซึ่งแต่ละชนิดจะมีองค์ประกอบทางเคมีที่แตกต่างกัน ทำให้น้ำมันชีวภาพที่ได้มีปริมาณ และคุณภาพแตกต่างกัน หากต้องการได้ปริมาณ และคุณภาพของน้ำมันดิบที่สูงที่สุด ดังนั้นองค์ประกอบทางเคมีของสารตั้งต้นจึงเป็นปัจจัยสำคัญ ปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของกระบวนการ ในงานวิจัยนี้เน้นการศึกษาผลกระทบขององค์ประกอบทางเคมีจำพวกเซลลูโลส และลิกนินต่อร้อยละผลได้ และลักษณะของน้ำมันดิบชีวภาพที่ได้จากกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลลิควิแฟกชัน

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1.2.1. ศึกษาการผลิตน้ำมันดิบชีวภาพจากการไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกชันของชานอ้อย และเหง้ำมันสำปะหลัง
- 1.2.2. ศึกษาผลของเซลล์ูโลส และลิกนินต่อร้อยละผลได้ และคุณภาพของน้ำมันดิบชีวภาพ จากไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกชันของชานอ้อย และเหง้ำมันสำปะหลัง
- 1.2.3. ศึกษาเปรียบเทียบผลการทดลองในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์ และแบบกึ่งต่อเนื่อง

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

ศึกษาการผลิตน้ำมันดิบชีวภาพผลของอุณหภูมิ ผลของเซลล์ูโลสและลิกนิน และผลของประเภทของเครื่องปฏิกรณ์ที่มีต่อร้อยละผลได้ และองค์ประกอบของน้ำมันที่ได้จากการไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกชันโดยใช้ชานอ้อย และเหง้ำมันสำปะหลังเป็นสารตั้งต้น

1.4 วิธีดำเนินงานวิจัย

- 1.4.1 ศึกษาค้นคว้า และรวบรวมข้อมูลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งใน และต่างประเทศ
- 1.4.2 เตรียมวัตถุดิบ อุปกรณ์ และสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย
 - 1.4.2.1 เตรียมชานอ้อย และเหง้ำมันสำปะหลังโดยนำไปล้างสิ่งปนเปื้อน แล้วตากแดดให้แห้ง และนำไปบดให้มีขนาด 150 - 250 ไมโครเมตร จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมงเพื่อไล่ความชื้น
 - 1.4.2.2 สารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย คือ เซลล์ูโลส ลิกนิน และแอซิโตน
- 1.4.3 วิเคราะห์สมบัติของชานอ้อยและเหง้ำมันสำปะหลัง
 - 1.4.3.1 ค่าความร้อนของชีวมวล (gross calorific value)
 - 1.4.3.2 องค์ประกอบของชีวมวลโดยประมาณ (proximate analysis) ได้แก่ ความชื้น เถ้า สารระเหย และคาร์บอนคงตัว
 - 1.4.3.3 องค์ประกอบแบบแยกธาตุ (ultimate analysis) ได้แก่ คาร์บอน (carbon) ไฮโดรเจน (hydrogen) ไนโตรเจน (nitrogen) ซัลเฟอร์ (sulfur) และออกซิเจน (oxygen) ด้วยเครื่อง CHNS/O element analyzer
 - 1.4.3.4 วิเคราะห์สารประกอบของชีวมวล ได้แก่ เซลล์ูโลส ลิกนิน เฮมิเซลล์ูโลส และอื่น ๆ

- 1.4.3.5 ศึกษาอุณหภูมิการสลายตัวทางความร้อนด้วยเครื่อง thermogravimetric /differential thermal analyzer (TG/DTA) โดยวัดการสูญเสียน้ำหนักของตัวอย่างเป็นฟังก์ชันกับอุณหภูมิ
- 1.4.4 ทำการทดลองในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตซ์ โดยชั่งชานอ้อย/เหง้ามันสำปะหลัง 20 กรัม ผสมกับตัวทำละลาย (น้ำ) โดยใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนักของชีวมวล 1 กรัมต่อตัวทำละลาย 10 มิลลิลิตร ทำการไล่อากาศไล่อากาศหรือแก๊สที่ค้างและปนเปื้อนอยู่ภายในเครื่องปฏิกรณ์ ด้วยการอัดไนโตรเจน เริ่มต้นที่ความดัน 2 เมกะพาสคัล ให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิที่กำหนด คือ 300 และ 350 องศาเซลเซียส กำหนดค่าความเร็วรอบใบกวน 300 รอบต่อนาที ให้ความเวลาทำปฏิกิริยา 60 นาที โดยเริ่มนับเวลาเมื่ออุณหภูมิในเครื่องปฏิกรณ์ถึงค่า หลังจากครบเวลาทำการลดอุณหภูมิภายในเครื่องปฏิกรณ์จนถึงอุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เก็บตัวอย่างผลิตภัณฑ์แก๊สด้วยถุงเก็บแก๊สตัวอย่าง นำส่วนที่ได้จากเครื่องปฏิกรณ์ (ของแข็งและของเหลว) มาทำการกรองด้วยชุดกรองโดยใช้กระดาษกรอง นำส่วนที่เป็นของแข็งด้านบนชะล้างด้วยตัวทำละลายแอสซิโตน จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และนำผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้ทำการระเหยตัวทำละลายออกโดยการใช้เครื่องระเหยแบบหมุน
- 1.4.5 ทำการทดลองในเครื่องปฏิกรณ์แบบกึ่งต่อเนื่อง โดยชั่งชานอ้อย/เหง้ามันสำปะหลัง 2 กรัม ผสมกับหินควอตซ์ จากนั้นบรรจุลงในเครื่องปฏิกรณ์สแตนเลสแบบท่อ ประกอบเครื่องปฏิกรณ์แบบกึ่งต่อเนื่อง จากนั้นป้อน HPLC จะทำหน้าที่ป้อนตัวทำละลายเข้าไปยังท่อปฏิกรณ์อย่างต่อเนื่องที่อัตราการไหล 1 มิลลิลิตรต่อนาที หลังจากในตัวทำละลายไหลครบระบบ ทำการเปิดเครื่องควบคุมความดันย้อนกลับเพื่อปรับความดันให้มีค่ามากกว่าความดันไอ และเปิดเตาเผาให้ได้ตามอุณหภูมิที่กำหนด คือ 300 และ 350 องศาเซลเซียส ทำการทดลองเป็นเวลา 60 นาที จึงสามารถเก็บผลิตภัณฑ์ที่ออกมาในรูปแบบของเหลวได้ที่ปลายท่อ หลังจากครบเวลาที่กำหนด สามารถแยกผลิตภัณฑ์ได้เป็น 2 ส่วน คือ น้ำมันดิบชีวภาพ 1 และของแข็ง นำส่วนที่เป็นของแข็งไปล้างด้วยแอสซิโตนจะได้ผลิตภัณฑ์ออกมาอีก 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นของแข็ง และน้ำมันดิบชีวภาพ 2 นำส่วนที่เป็นของแข็งไปอบแห้งใน

ดูบไล้ความชื้นที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และ
นำน้ำมันดิบชีวภาพทั้ง 2 ส่วนไประเหย โดยใช้เครื่องระเหยแบบหมุน

- 1.4.6 ศึกษาผลของตัวแปรต่าง ๆ จากการทำให้ไดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชัน ได้แก่
 - 1.4.6.1 อุณหภูมิ (300, 350 องศาเซลเซียส)
 - 1.4.6.2 ปริมาณของเซลลูโลส/ลิกนินในของผสมชีวมวล (10%, 20%)
 - 1.4.6.3 เครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์และแบบกึ่งต่อเนื่อง
- 1.4.7 วิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชัน
 - 1.4.7.1 ผลิตภัณฑ์ของเหลว
 - 1.4.7.1.1 คำนวณปริมาณร้อยละผลได้ (yield)
 - 1.4.7.1.2 การวิเคราะห์แบบแยกธาตุ ได้แก่ คาร์บอน ไฮโดรเจน ซัลเฟอร์ และออกซิเจน ด้วยเครื่อง CHNS/O element analyzer
 - 1.4.7.1.3 วิเคราะห์องค์ประกอบของด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี (gas chromatography mass spectrometry, GC/MS)
 - 1.4.7.1.4 วิเคราะห์ปริมาณน้ำด้วยเครื่อง Karl Fischer
 - 1.4.7.2 ผลิตภัณฑ์ของแข็ง
 - 1.4.7.2.1 คำนวณปริมาณร้อยละผลได้
 - 1.4.7.3 ผลิตภัณฑ์แก๊ส
 - 1.4.7.3.1 คำนวณปริมาณร้อยละผลได้
 - 1.4.7.3.2 วิเคราะห์องค์ประกอบของด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี (gas chromatography, GC)
- 1.4.8 วิเคราะห์ข้อมูล สรุปผลการทดลอง และเขียนวิทยานิพนธ์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

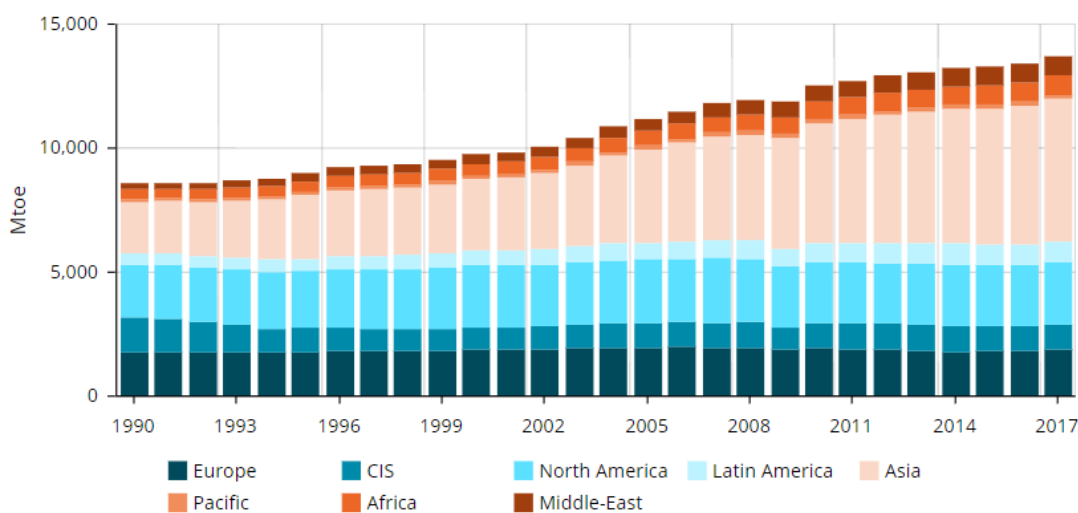
- 1.5.1 แนวทางการเพิ่มร้อยละผลได้ของเชื้อเพลิงเหลวจากชานอ้อย และแห้งำมัน
สำปะหลังโดยไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชัน
- 1.5.2 ทราบถึงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณองค์ประกอบหลักทางเคมีในชีวมวล
ต่อผลที่ได้จากพฤติกรรมการสลายตัวในไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชัน

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แนวคิดและทฤษฎี

ปัจจุบันประชากรโลกมีอัตราเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว และต่อเนื่อง ทำให้มนุษย์มีความต้องการใช้พลังงานเพิ่มมากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 2.1 [1] ซึ่งพลังงานส่วนใหญ่ที่ใช้นำมาจากแก๊สธรรมชาติและน้ำมันดิบที่ขุดเจาะจากใต้พื้นโลกที่กำลังจะหมดลง อีกทั้งการใช้น้ำมันเหล่านี้ล้วนก่อให้เกิดคาร์บอนไดออกไซด์ ดังนั้นพลังงานทางเลือก (renewable energy) จึงได้รับความสนใจจากนักวิจัยเป็นอย่างมาก เนื่องจากความกังวลเกี่ยวกับความมั่นคงทางด้านพลังงานและภาวะโลกร้อน [2]



รูปที่ 2.1 ความต้องการใช้พลังงานของประชากรทั่วโลก

พลังงานทางเลือก ได้แก่ แสงอาทิตย์ ลม ชีวมวล น้ำ และไฮโดรเจน เป็นต้น แต่ที่ได้รับความนิยมและสนใจเป็นอย่างมาก คือ ชีวมวล ซึ่งเป็นสารอินทรีย์ที่สามารถนำมาผลิตเป็นพลังงานได้ เช่น ผลผลิตเหลือทิ้งจากการเกษตร สหรัยหรือขยะ เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันแล้ว ชีวมวลเป็นพลังงานที่มีราคาถูก เพราะประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมทำให้มีผลผลิตทางการเกษตรเป็นจำนวนมาก [3] อีกทั้งยังเป็นหนึ่งในวิธีที่จะช่วยลดการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ แก๊สธรรมชาติและน้ำมันดิบที่ขุดเจาะจากใต้พื้นโลก มีการปลดปล่อยคาร์บอนออกไซด์เกิดขึ้น แต่เมื่อเทียบกับชีวมวล คาร์บอนไดออกไซด์ได้ถูกนำมาใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ของพืช พืชเหล่านั้นถูกนำมาใช้เป็นพลังงานเชื้อเพลิง ซึ่งเชื้อเพลิงเหล่านั้นก็ได้ปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาอีกครั้ง วงกันเป็นวัฏจักร

ไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชัน (hydrothermal liquefaction, HTL) เป็นหนึ่งในกระบวนการเปลี่ยนชีวมวลเป็นพลังงาน ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้จะอยู่ในสถานะของเหลวมากที่สุด และเป็นกระบวนการที่ใช้อุณหภูมิปานกลางและความดันสูง โดยชีวมวลตั้งต้นไม่ต้องผ่านกระบวนการทำให้แห้ง [4] จึงเหมาะกับชีวมวลหรือเศษวัสดุเหลือทิ้งที่มี ปริมาณความชื้นสูง แต่ในประเทศไทยมีชีวมวลให้เลือกใช้หลายชนิด ซึ่งแต่ละชนิดจะมีองค์ประกอบทางเคมีที่แตกต่างกัน ทำให้น้ำมันชีวภาพที่ได้มีปริมาณและคุณภาพแตกต่างกัน หากต้องการได้ปริมาณและคุณภาพของน้ำมันดิบที่สูงที่สุด ดังนั้นองค์ประกอบทางเคมีของสารตั้งต้นจึงเป็นปัจจัยสำคัญ ปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของกระบวนการ

2.2 ชีวมวล

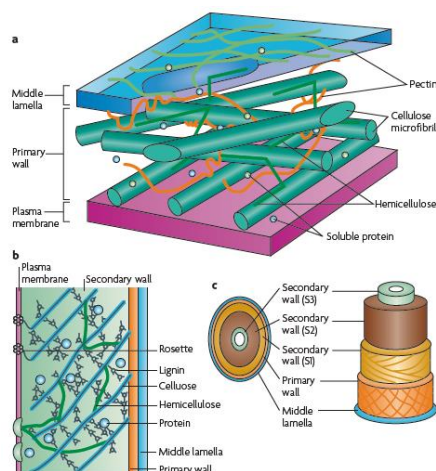
ชีวมวล (biomass) คือ สารอินทรีย์ที่สามารถเปลี่ยนเป็นพลังงานได้ ซึ่งเกิดขึ้นจากกระบวนการทางชีวภาพ หรือโดยธรรมชาติ และหมายรวมถึง พืช ต้นไม้ เศษวัสดุเหลือใช้จากการเกษตร เช่น ชานอ้อย เหง้ามันสำปะหลัง แกลบ ชังข้าวโพด เป็นต้น นอกจากนี้ยังรวมถึง มูลสัตว์ของเสียอินทรีย์ ขยะและวัสดุเหลือใช้ทั้งจากชุมชนและอุตสาหกรรม

2.2.1 ประเภทของชีวมวล

ชีวมวลแบ่งออกเป็น 2 ประเภทหลัก ๆ คือ ชีวมวลจำพวกไม้ (woody biomass) เช่น ต้นสน ไม้ยางพารา ไม้ยูคาลิปตัส ต้นปาล์ม เป็นต้น และชีวมวลที่ไม่ใช่ไม้ (non-woody biomass) คือ พืชล้มลุกที่ไม่มีเนื้อไม้ ได้แก่ อ้อย ข้าว หญ้า ฟืนน้ำ ได้แก่ สาหร่าย ผักตบชวา วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ได้แก่ เปลือกไม้ ฟาง แกลบ เป็นต้น ขยะมูลฝอย ได้แก่ เศษอาหาร น้ำมันพืชใช้แล้ว ไขมัน เป็นต้น [5]

2.2.2 องค์ประกอบสำคัญของชีวมวล

ชีวมวลโดยทั่วไปมีเซลลูโลสประกอบด้วย เซลลูโลส (cellulose) เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) ลิกนิน (lignin) เป็นหลัก จึงเรียกว่า วัสดุลิกโนเซลลูโลส (lignocellulosic material) ส่วนองค์ประกอบอื่น ๆ ได้แก่ แป้ง (starch) โปรตีน (protein) สารอินทรีย์และอนินทรีย์อื่น ๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.2 [6]

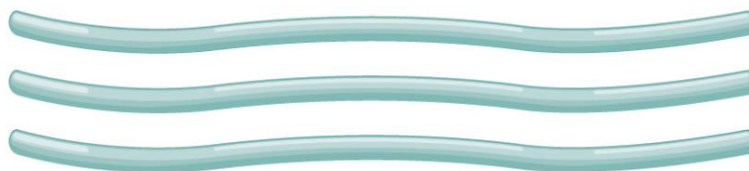


รูปที่ 2.2 องค์ประกอบของผนังเซลล์พืช

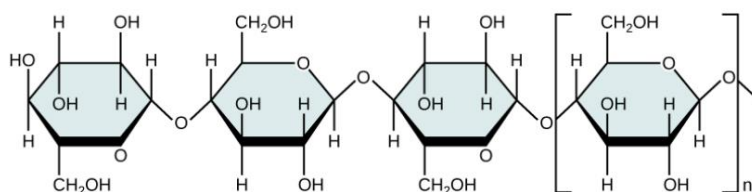
2.2.2.1 เซลลูโลส

เซลลูโลสเป็นคาร์โบไฮเดรตชนิดพอลิแซ็กคาไรด์ (polysaccharide) ที่พบมากในผนังเซลล์ของพืชช่วยทำให้ผนังแข็งแรง ป้องกันการแตกของเซลล์ ซึ่งเป็นสารพอลิเมอร์ที่เกิดจาก ดี-กลูโคส (D-glucose) ในรูปแบบตัว-ดี-กลูโคไพรานอส (β -D-glucopyranose) ต่อกันเป็นสายยาวคล้ายลูกโซ่ เชื่อมกันด้วยพันธะไกลโคซิดิกชนิดบีตา (β -1,4-glycosidic bonds) ดังแสดงในรูปที่ 2.3 [7] มีสูตรทั่วไปคือ $(C_6H_{10}O_5)_n$ เมื่อ n คือ จำนวนหน่วยกลูโคสทั้งหมดที่ประกอบกันเป็นโครงสร้าง [8] ซึ่งเอนไซม์อะไมเลสไม่สามารถย่อยเซลลูโลสได้ มีเพียงสัตว์กินพืชเท่านั้นที่สามารถใช้เซลลูโลสเป็นพลังงาน เพราะมีจุลินทรีย์ที่ไม่ใช้ออกซิเจนซึ่งมีเอนไซม์เซลลูเลสอยู่ในกระเพาะสำหรับย่อยเซลลูโลสให้เป็นกลูโคสได้ [9]

Cellulose fibers



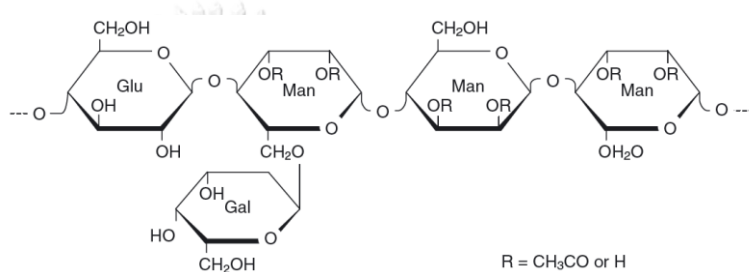
Cellulose structure



รูปที่ 2.3 โครงสร้างของเซลลูโลส

2.2.2.2 เฮมิเซลลูโลส

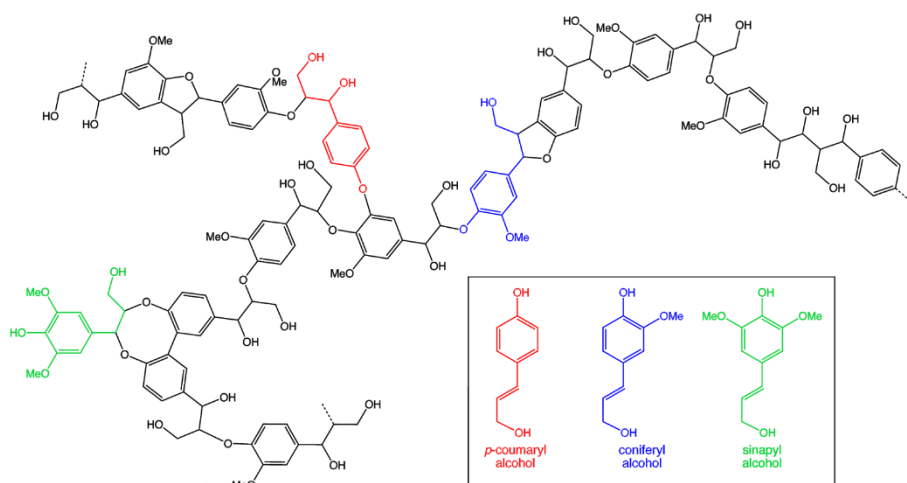
เฮมิเซลลูโลส เป็นสารอินทรีย์ที่พบมากเป็นอันดับ 2 รองจากเซลลูโลส เป็นพอลิแซ็กคาไรด์ที่ซับซ้อน เกิดขึ้นจากมโนเมอร์ (monomer) หลายชนิด เช่น ไซโลส (xylose) แมนโนส (mannose) กลูโคส (glucose) และกาแลคโตส (galactose) ดังแสดงในรูปที่ 2.4 [10] มีสูตรทั่วไปคือ $(C_5H_8O_4)_n$ เมื่อ n คือจำนวนหน่วยกลูโคสทั้งหมดที่ประกอบกันเป็นโครงสร้าง เฮมิเซลลูโลสมีโครงสร้างที่เสถียรน้อยกว่าเซลลูโลส ดังนั้นเฮมิเซลลูโลสจึงสลายตัวได้ง่ายกว่า เมื่อถูกให้ความร้อน [11]



รูปที่ 2.4 โครงสร้างของเฮมิเซลลูโลส

2.2.2.3 ลิกนิน

ลิกนินเป็นสารประกอบอะโรมาติกเชิงซ้อน มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ประกอบด้วยหน่วยของฟีนิลโพรเพนเชื่อมกับกลุ่มของไฮดรอกซิล และเมทิลผ่านพันธะของอีเทอร์ ดังแสดงในรูปที่ 2.5 [12] เป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติพบในผนังเซลล์พืชที่มีความสัมพันธ์เชิงโครงสร้างกับเซลลูโลสและพอลิแซ็กคาไรด์ชนิดอื่น ๆ จึงทำหน้าที่เหมือนเป็นตัวประสานส่วนประกอบพื้นฐานของเส้นใยในพืช มีโครงสร้างแข็งแรงที่สุดเมื่อเทียบกับส่วนอื่น ๆ จึงย่อยสลายได้ยากและมีเสถียรภาพทางความร้อน โครงสร้างของลิกนินมีผลกระทบต่อผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้จากไฮโดรเทอร์มัล โดยพบว่าสารประกอบฟีนอลกับกลุ่มของเอทิลและเมทิลเป็นสารประกอบหลักที่ได้จากการย่อยสลายของลิกนิน [11]



รูปที่ 2.5 โครงสร้างของลิกนิน

2.2.3 สมบัติทางเชื้อเพลิงของชีวมวล

การแสดงสมบัติเชื้อเพลิงแข็งของชีวมวล ทำได้ 2 วิธี คือ การวิเคราะห์แบบประมาณ ได้แก่ ความชื้น ปริมาณสารระเหย ปริมาณคาร์บอนคงตัว และเถ้า และการวิเคราะห์แบบแยกธาตุ จะแสดงปริมาณคาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน [13]

2.2.3.1 ความชื้น (moisture)

ปริมาณน้ำภายในของสาร แสดงเป็นค่าร้อยละโดยน้ำหนักของน้ำต่อน้ำหนักของสารทั้งหมด โดยทั่วไปชีวมวลมีความชื้นค่อนข้างสูง ถ้าต้องการแปรรูปเป็นพลังงานโดยการเผาไหม้ จะต้องมีค่าความชื้นไม่เกินร้อยละ 50

2.2.3.2 เถ้า (ash)

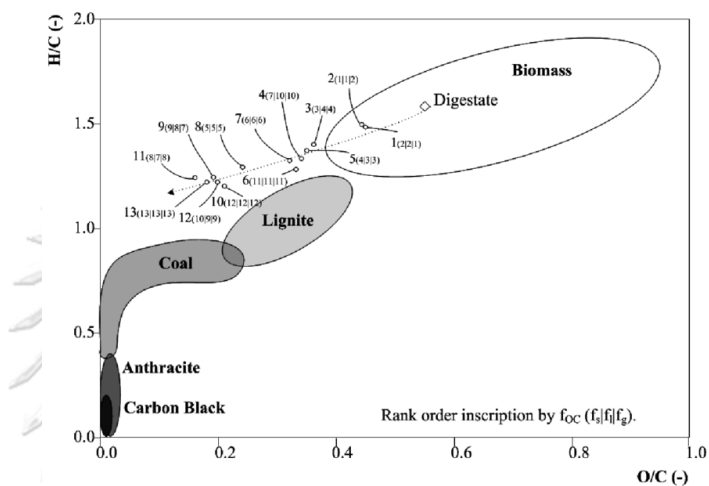
ปริมาณสารอนินทรีย์ในชีวมวลที่เผาไหม้ไม่ได้ แสดงเป็นค่าร้อยละโดยน้ำหนัก โดยชีวมวลส่วนใหญ่จะมีเถ้าประมาณ ร้อยละ 1 ถึง 3 องค์ประกอบและปริมาณของสารอนินทรีย์ต่าง ๆ ในเถ้าเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการนำชีวมวลไปใช้งาน เพราะถ้าหากอุณหภูมิสูงเกินไปจนเกิดเถ้าหลอมจะทำให้เกิดการอุดตันเกิดสแลก (slagging) ในเครื่องปฏิกรณ์ได้

2.2.3.3 สารระเหย (volatile matter)

ส่วนประกอบของชีวมวลที่ลุกติดไฟได้ง่าย ในที่ไม่มีอากาศ โดยการสลายตัวด้วยความร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 400 – 500 องศาเซลเซียส เกิดเป็นผลิตภัณฑ์ 2 ส่วน คือ ไอของสารระเหยที่ถูกปลดปล่อยออก และชาร์หรือของแข็งที่เหลืออยู่

2.2.3.4 ธาตุองค์ประกอบ (elemental composition)

องค์ประกอบธาตุหลัก ได้แก่ คาร์บอน (C) ออกซิเจน (O) ไฮโดรเจน (H) ไนโตรเจน (N) และซัลเฟอร์ (S) สามารถเปรียบเทียบสมบัติทางเชื้อเพลิงแข็งระหว่างถ่านหินกับชีวมวล ได้จากอัตราส่วนโดยโมลระหว่างธาตุ (atomic ratio) ของออกซิเจนกับคาร์บอน (O/C) และของไฮโดรเจนกับคาร์บอน (H/C) ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ได้ตามแผนภาพ van Krevelen แสดงดังรูปที่ 2.6 [14]



รูปที่ 2.6 แผนภาพ van Krevelen

2.2.3.5 ค่าความร้อน (heating value)

ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงเป็นเกณฑ์สำหรับการประเมินผลประสิทธิภาพของเชื้อเพลิงเหลว แบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ ค่าความร้อนสูง (higher heating value, HHV) และค่าความร้อนต่ำ (lower heating value, LHV) ซึ่งค่าความร้อนสูงมีความสัมพันธ์กับการวิเคราะห์องค์ประกอบแบบประมาณ และแบบแยกธาตุ โดยมีสมการที่นิยมใช้ 3 ดังนี้

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

สูตรของดulong (Dulong formular)

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

สูตรของเดเมียบาส (Demirba, 1997)

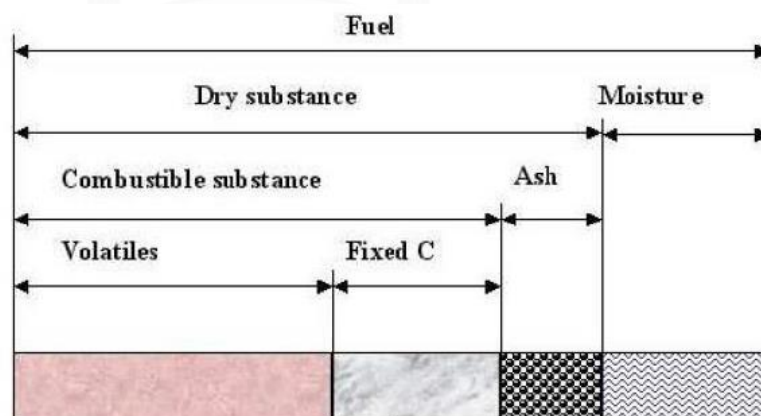
$$\text{HHV (MJ/kg)} = 33.5\text{C} + 142.3\text{H} - 15.4\text{O} - 24.5\text{N}$$

$$\text{HHV (MJ/kg)} = 32.1\text{FC} + 15.34\text{VM}$$

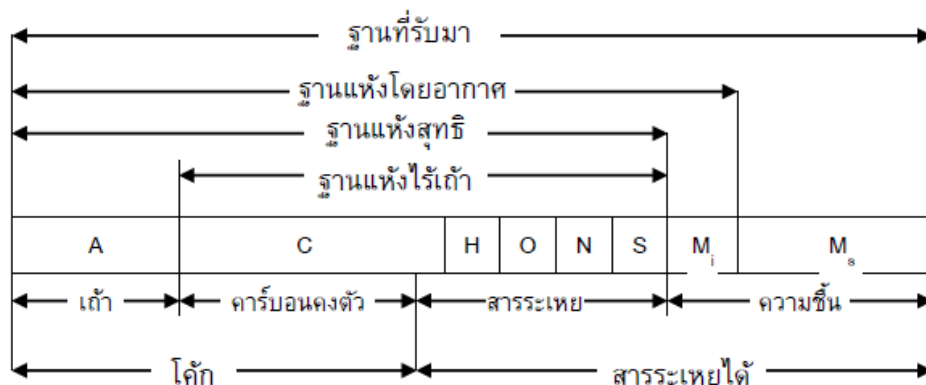
| | | |
|-----|-----|--------------------|
| โดย | FC | ปริมาณคาร์บอนคงตัว |
| | VM | ปริมาณสารระเหย |
| | ASH | ปริมาณเถ้า |
| | C | ปริมาณคาร์บอน |
| | H | ปริมาณไฮโดรเจน |
| | O | ปริมาณออกซิเจน |
| | N | ปริมาณไนโตรเจน |

2.2.4 การวิเคราะห์สมบัติของชีวมวล

การวิเคราะห์สมบัติของชีวมวล ทำได้ 2 วิธี ดังนี้ การวิเคราะห์แบบประมาณ ได้แก่ ความชื้น ปริมาณสารระเหย ปริมาณคาร์บอนคงตัว และเถ้า ดังแสดงในรูปที่ 2.7 [15] และการวิเคราะห์แบบแยกธาตุ ได้แก่ ปริมาณคาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน และซัลเฟอร์ [13] ดังแสดงในรูปที่ 2.8 [5]



รูปที่ 2.7 องค์ประกอบของชีวมวล



รูปที่ 2.8 ฐานการคิดสำหรับรายงานผลส่วนประกอบต่าง ๆ ของเชื้อเพลิง

2.2.5 แนวทางการใช้ชีวมวลในประเทศไทย

ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีการเกษตรกรรมอย่างกว้างขวาง ในแต่ละปีจะมีผลพลอยได้จากผลผลิตทางการเกษตร หรือวัสดุเหลือทิ้งทางเกษตรกรรม ซึ่งปริมาณของวัสดุชีวมวลที่เหลือทิ้งในแต่ละปีขึ้นกับผลผลิตการเกษตร [16]

กระทรวงพลังงาน (พ.น.) ได้กำหนดแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2558 – 2579 (Alternative Energy Development Plan: AEDP2015) โดยมอบหมายให้ กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) เป็นผู้ดำเนินการจัดทำแผนปฏิบัติการตามกรอบแผนพัฒนาพลังงานทดแทน โดยในการแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือกจะให้ความสำคัญในการส่งเสริมการผลิตพลังงานจากวัตถุดิบพลังงานทดแทนที่มีอยู่ภายในประเทศให้ได้เต็มตามศักยภาพ การพัฒนาศักยภาพการผลิตพลังงานทดแทนด้วยเทคโนโลยีที่มีความเหมาะสม และการพัฒนาพลังงานทดแทนเพื่อผลประโยชน์ร่วมในมิติด้านสังคมและสิ่งแวดล้อมแก่ชุมชน [17]

ตารางที่ 2.1 ผลการประเมินศักยภาพชีวมวลแต่ละชนิด [18]

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

ตารางที่ 2.1 ผลการประเมินศักยภาพชีวมวลแต่ละชนิด (ต่อ)

| ชนิดของชีวมวล | ส่วนประกอบ | ปริมาณที่ผลิตได้ (ตัน) | ปริมาณที่นำไปใช้ ประโยชน์แล้ว (ตัน) | ปริมาณคงเหลือ (ตัน) | ศักยภาพพลังงาน | |
|---------------------|----------------------|------------------------|--|------------------------|---------------------|------------------------------|
| | | | | | ค่าความร้อน (TJ) | เทียบเท่าน้ำมันดิบ (ktoe) |
| ปาล์มน้ำมัน | กะลา | 512,482.44 | 512,482.44 | 0 | 0 | 0 |
| ถั่วเหลือง/ถั่วลิสง | ใบและลำต้น | 65,017.48 | 3,250.87 | 61,766.61 | 1,002.47 | 23.80 |
| | ตอ รากและกิ่งก้านไม้ | 1,094,365.00 | 218,873.00 | 875,492.00 | 5,751.98 | 136.56 |
| ยางพารา | 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 |
| | เปลือกและกาก | 333,310.89 | 329,976.78 | 3,334.11 | 54.11 | 1.28 |
| มะม่วงหิมพานต์ | กะลา | 252,508.25 | 230,540.03 | 21,968.22 | 393.89 | 9.35 |
| | เปลือก | 70,038.56 | 1,674.28 | 68,364.29 | 375.32 | 8.91 |
| รวม | | 134,134,102.21 | 71,289,681.68 | 62,844,420.53 | 562,222.85 | 13,348.12 |

*หมายเหตุ ข้อมูลของปีการเพาะปลูก พ.ศ. 2556

2.2.5.1 อ้อย

รูปที่ 2.9 แสดงรูปอ้อย (sugarcane - *Saccharum officinarum* L.) [19] ซึ่งเป็นพืชพวกหญ้าชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญมาก ในการใช้เป็นอาหาร อ้อยนับเป็นพืชสำคัญอันดับ 4 ของโลกรองจากข้าวสาลี ข้าวโพด และข้าว ตามลำดับ อ้อยยังเป็นพืชที่ปลูกง่าย และสามารถเก็บเกี่ยวได้หลายครั้ง ชอบอากาศร้อนและชุ่มชื้น ดังนั้นประเทศที่ปลูกอ้อย ซึ่งมีประมาณ 70 ประเทศจึงอยู่ในแถบร้อนและชุ่มชื้นรวมทั้งประเทศไทยด้วย [20]



รูปที่ 2.9 อ้อย

อ้อยเป็นพืชมีดอก ที่มีลำต้นใหญ่แข็งแรง ต้น และมักจะตั้งตรง ลำต้นประกอบด้วยข้อและปล้องเช่นเดียวกับพืชของพวกหญ้า ขนาด รูปร่าง และความยาวของปล้องแตกต่างกันตามพันธุ์และสภาพแวดล้อม

แหล่งปลูกในประเทศไทย มีอยู่ทุกภาคยกเว้นภาคใต้ เพราะสภาพอากาศภาคใต้ไม่เหมาะแก่การปลูกอ้อย คือ มีฝนตกชุก และมีอากาศร้อนตลอดปี จะทำให้อ้อยไม่หวาน

การใช้ประโยชน์ของอ้อย คือ ใช้ได้ทุกส่วนตั้งแต่ยอดจนถึงราก แต่ส่วนที่นำมาใช้ประโยชน์มากที่สุด คือ ส่วนของลำต้น ซึ่งทำหน้าที่เก็บน้ำตาลไว้ แบ่งกว้าง ๆ ออกเป็น 2 ข้อ ได้แก่ การใช้ประโยชน์โดยตรง เช่น ใช้เป็นอาหารทั้งคนและสัตว์ ใช้เป็นเชื้อเพลิง ใช้เป็นวัตถุดิบ หรือบำรุงดิน และ การใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรม เช่น ใช้ผลิตแอลกอฮอล์ ใช้ทำน้ำตาล เป็นต้น

นอกจากนี้ยังมีการใช้ประโยชน์ผลพลอยได้ของอ้อย คือ ชานอ้อย (bagasse) ดังแสดงในรูปที่ 2.10 [21] เป็นส่วนของลำต้นอ้อยที่หีบเอาน้ำอ้อย หรือน้ำตาลออกแล้ว



รูปที่ 2.10 ชานอ้อย

2.2.5.2 มันสำปะหลัง

รูปที่ 2.11 แสดงรูปมันสำปะหลัง (cassava) [22] ซึ่งเป็นพืชสำคัญอย่างหนึ่งของประเทศไทย เพราะผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังเป็นสินค้าออกสำคัญของประเทศ มันสำปะหลังเป็นไม้พุ่มขนาดเล็ก และมีอายุอยู่ได้หลายปี เมื่ออายุประมาณ 2 เดือน รากจะค่อยๆ สะสมแป้ง ทำให้รากมีขนาดโตขึ้น เรียกว่า หัว โดยทั่วไปแล้วกสิกรจะเก็บเกี่ยวหัวพืชนี้เมื่ออายุได้ประมาณ 1 ปี ระยะเวลาที่ต้นมันสำปะหลังจะมีความสูง ประมาณ 2-3 เมตร

แหล่งปลูกมันสำปะหลัง ได้แก่ ประเทศที่อยู่ในบริเวณเส้นศูนย์สูตร ประเทศที่ปลูกมากได้แก่ บราซิล อินโดนีเซีย ไนจีเรีย แชร์ ไทย และอินเดีย เนื่องจากมันสำปะหลังเป็นพืชที่เจริญเติบโตได้ดี ในที่อุณหภูมิสูง สำหรับประเทศไทยผลิตมันสำปะหลังได้มากเป็นอันดับ 5 ของโลก คือ ผลิตได้ประมาณ 7 เปอร์เซ็นต์ของทั้งหมด ประเทศไทยมีการปลูกมันสำปะหลังทั่วประเทศ แต่ที่ปลูกมาก ได้แก่ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคตะวันออก

เนื่องจากหัวมันสำปะหลังเป็นที่สะสมแป้ง จึงเป็นอาหารประเภทแป้ง หรือคาร์โบไฮเดรต ที่ให้พลังงานสำหรับคนและสัตว์ ได้เป็นอย่างดี และใช้ใน

อุตสาหกรรมต่าง ๆ ประโยชน์ที่ได้จากหัวมันสำปะหลัง เช่น ใช้เป็นอาหารคนและสัตว์ ใช้ทำแป้ง ใช้หมักทำแอลกอฮอล์ เบียร์ และขนมปัง เป็นต้น



รูปที่ 2.11 มันสำปะหลัง

2.3 กระบวนการแปรรูปชีวมวลให้เป็นพลังงาน

2.3.1 การแปลงสภาพทางกายภาพ

การแปลงสภาพทางกายภาพ (physical conversion) เป็นกระบวนการสำหรับปรับปรุงสภาพของวัสดุ ก่อนนำไปใช้ในการแปลงสภาพอื่น ๆ ต่อไป ได้แก่ การลดความชื้น (moisture reduction) การลดขนาด (size reduction) และการเพิ่มความหนาแน่น (densification) [5]

2.3.2 การแปลงสภาพทางชีวภาพ

การแปลงสภาพทางชีวภาพ (biological conversion) เป็นกระบวนการย่อยชีวมวลให้เป็นพลังงานโดยอาศัยกลไกทางชีวภาพของจุลินทรีย์และเอนไซม์ ดำเนินการที่ภาวะอุณหภูมิและความดันบรรยากาศ มีค่าใช้จ่ายในการลงทุนต่ำจึงได้รับความสนใจและถูกนำไปใช้งานอย่างแพร่หลาย เช่น การผลิตมีเทนชีวภาพ (biomethanation) และการหมักเอทานอล (ethanol fermentation) [5]

2.3.3 การแปลงสภาพทางความร้อนเคมี

การแปลงสภาพทางความร้อนเคมี (thermochemical conversion) เป็นการแปรรูปชีวมวลโดยการย่อยสลายชีวมวลไปเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยความร้อนร่วมกับปฏิกิริยาเคมี [23] แบ่งออกเป็น 4 กระบวนการย่อย ดังนี้

2.3.3.1 การเผาไหม้

การเผาไหม้ (combustion) เป็นปฏิกิริยาเคมีระหว่างสารประกอบไฮโดรคาร์บอนและออกซิเจน (ในอากาศ) เปลี่ยนเป็นผลิตภัณฑ์แก๊สที่มีองค์ประกอบหลัก 2 ชนิด คือ น้ำ (H_2O) และ คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เป็นวิธีที่เก่าแก่และง่ายที่สุดที่นิยมสำหรับนำมาใช้แปรรูปชีวมวลเพื่อผลิตเป็นพลังงานในรูปแบบของความร้อน

2.3.3.2 ไพโรไลซิส

ไพโรไลซิส (pyrolysis) เป็นกระบวนการสลายตัวทางเคมีความร้อน (thermochemical decomposition) ในภาวะที่ไม่มีออกซิเจนหรืออากาศ โดยทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 450 – 600 องศาเซลเซียส ประกอบด้วยหลายปฏิกิริยาเคมีและซับซ้อนขึ้นกับชนิดของสารตั้งต้น ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการมีทั้งผลิตภัณฑ์ที่เป็นของแข็ง ของเหลว และแก๊ส

2.3.3.3 แกซิฟิเคชัน

แกซิฟิเคชัน (gasification) คือ กระบวนการแปลงสภาพทางเคมีความร้อนที่เปลี่ยนสารตั้งต้นทั้งเชื้อเพลิงแข็งหรือเชื้อเพลิงเหลว ให้เป็นเชื้อเพลิงแก๊สที่เผาไหม้ให้ความร้อน ซึ่งจะคล้ายการเผาไหม้แต่จะจำกัดปริมาณออกซิเจนเกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะประกอบด้วย ไฮโดรเจน คาร์บอนมอนอกไซด์ คาร์บอนไดออกไซด์ และมีเทน เป็นองค์ประกอบหลัก เรียกรวมกันว่า เชื้อเพลิงแก๊ส หรือ โพรดิวเซอร์แก๊ส (producer gas) ถ้าหากนำไปใช้ประโยชน์ด้านการผลิตเคมีภัณฑ์อื่น ๆ จะเรียกว่า แก๊สสังเคราะห์ (synthetic gas หรือ syngas)

2.3.3.4 ลิกวิแฟกชัน

กระบวนการทำให้เป็นของเหลว หรือ ลิกวิแฟกชัน (liquefaction) เป็นกระบวนการแปลงสภาพเชื้อเพลิงแข็งให้เป็นเชื้อเพลิงเหลว โดยผ่านการย่อยสลายโมเลกุลของชีวมวลด้วยความร้อนร่วมกับการใช้ตัวทำละลายที่เป็นของเหลว เช่น น้ำ หรือตัวทำละลายอื่น ๆ [11] เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นที่อุณหภูมิ 250-374 องศาเซลเซียส ภายใต้ความดัน 4-22 เมกะพาสคัล ข้อดี คือ สารตั้งต้นไม่ต้องผ่านกระบวนการทำให้แห้ง สามารถใช้กับสารตั้งต้นที่มีปริมาณความชื้นสูงได้ ผลิตภัณฑ์ที่ได้มี 3 สถานะ ได้แก่ ผลิตภัณฑ์ที่เป็นของแข็ง เรียกว่า ถ่านชีวภาพ (bio-char) ผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลว เรียกว่า น้ำมันชีวภาพ (bio-oil) และผลิตภัณฑ์แก๊ส

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Zhu และคณะ [24] ศึกษาผลของอุณหภูมิต่อการไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชันของข้าวบาร์เลย์ โดยทำการทดลองในช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 280 - 400 องศาเซลเซียสร่วมกับน้ำเสีย จากการทดลอง แสดงให้เห็นว่าที่อุณหภูมิต่ำจะให้ปริมาณผลิตภัณฑ์ของของเหลวสูงกว่าโดยที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียสจะให้ปริมาณถึงร้อยละ 34.9 โดยน้ำหนัก ในทางตรงกันข้ามที่อุณหภูมิสูง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีปริมาณน้อยกว่าแต่คุณภาพของดีกว่าทั้งในแง่ของปริมาณออกซิเจน และค่าความร้อนรวมถึง สารประกอบในผลิตภัณฑ์

Caprariis และคณะ [4] ศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิและองค์ประกอบของชีวมวลที่มีต่อ น้ำมันชีวภาพ โดยใช้ฟางข้าว ไม้ไผ่ค เปลือกวอลนัท และเซลลูโลสเป็นสารตั้งต้น เพื่อเปรียบเทียบกับ ชีวมวลชนิดอื่น ๆ งานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองในเครื่องปฏิกรณ์ขนาดเล็กภายใต้ภาวะกึ่งวิกฤต ในช่วง อุณหภูมิ 240 - 320 องศาเซลเซียส และใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาในเครื่องปฏิกรณ์ 30 นาที ผลิตภัณฑ์ที่ได้นำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ธาตุเคมีและเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ-แมสสเปกโตรมิเตอร์ จากผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าปริมาณลิกนินมีผลต่อปริมาณน้ำมันชีวภาพที่ผลิตได้

Cao และคณะ [25] ศึกษาการนำขยะจากพืชสีเขียว 8 ชนิด ซึ่งพืชทั้ง 8 ชนิดมีความแตกต่างกันในด้านพฤกษศาสตร์ ลักษณะทางสัณฐานวิทยาสภาพใบและการเจริญเติบโต ถูกนำมาใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตน้ำมันชีวภาพผ่านไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟก ในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์ ที่แรงดันสูงและอุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0.5 ชั่วโมง จากผลการทดลองพบว่าน้ำมันชีวภาพที่ได้จากพืชทั้ง 8 ชนิดนั้นแตกต่างกัน

Muley และคณะ [26] ศึกษาการไพโรไลซิสของซีเลื้อย ไม้สน ลิกนินและเซลลูโลส ดำเนินการโดยใช้เครื่องปฏิกรณ์ความร้อนแบบเหนี่ยวนำความร้อนในห้องปฏิบัติการ ที่อุณหภูมิแตกต่างกัน 5 อุณหภูมิ (500, 550, 600, 650 และ 700 องศาเซลเซียส) ผลิตภัณฑ์ที่ได้นำมาทดสอบ เพื่อประเมินปริมาณน้ำ องค์ประกอบทางเคมีและปริมาณพลังงาน ผลิตภัณฑ์ของเหลวได้สูงสุดร้อยละ 55.28 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส ปริมาณน้ำในของเหลวจะลดลงเมื่ออุณหภูมิของปฏิกิริยาสูงขึ้น จากการทดสอบด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ-แมสสเปกโตรมิเตอร์ พบว่าน้ำมันชีวภาพที่ได้จากเซลลูโลสมี้น้ำตาลแอนไฮดรัสมาก ในขณะที่ของเหลวส่วนใหญ่จากลิกนินมีปริมาณฟีนอลสูง

Yu และคณะ [27] ศึกษาการนำต้นไผ่, ต้นสนและไพน มาผ่านกระบวนการไพโรไลซิส โดยใช้เทคนิค TGA (thermogravimetric) และเครื่องปฏิกรณ์แบบตาข่ายลวด ผลการทดลองที่ได้พบว่าเซลลูโลสส่วนใหญ่ผลิตคอนเดนเสทซึ่งจะขึ้นอยู่กับอัตราการให้ความร้อน ในขณะที่ไซแลนและลิกนินจะสามารถผลิตถ่านได้มาก ส่วนประกอบของสารผสมสังเคราะห์ของสารทั้ง 3 ชนิดแสดงให้เห็นว่ามี

ปฏิสัมพันธ์ระหว่างเซลล์โลสและส่วนประกอบอื่น ๆ ที่เกิดขึ้น แต่ไม่พบปฏิสัมพันธ์ระหว่างไซแทนและ
ลิกนิน



บทที่ 3

เครื่องมือและวิธีการทดลอง

ในงานวิจัยนี้ศึกษาการผลิตน้ำมันดิบชีวภาพ ผลของเซลลูโลส และลิกนินที่มีต่อร้อยละผลได้ และคุณภาพจากไฮโดรเทอร์มัลลิควิฟิเคชันของชานอ้อย และเหง้ามันสำปะหลัง

3.1 สารตั้งต้นและสารเคมี

- 3.1.1. ชานอ้อย (bagasse) และเหง้ามันสำปะหลัง (cassava rhizome) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 150-250 ไมโครเมตร
- 3.1.2. เซลลูโลส จาก บริษัท ไฮมีเดีย เทคโนโลยี จำกัด
- 3.1.3. ลิกนิน จาก บริษัท โตเกียว เคมีคอล อินดัสทรี จำกัด
- 3.1.4. น้ำปราศจากไอออน (distilled water)
- 3.1.5. แอซิโตน (acetone)
- 3.1.6. ไนโตรเจน ความบริสุทธิ์ 99.99% จาก บริษัท แพรกซ์แอร์ (ประเทศไทย) จำกัด

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

- 3.2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมชานอ้อย และเหง้ามันสำปะหลัง
 - 1) เครื่องบดย่อยชีวมวลชนิดหยาบ
 - 2) เครื่องบดย่อยชีวมวลชนิดละเอียด
 - 3) ตะแกรงร่อนขนาด 150 และ 250 ไมโครเมตร
 - 4) เครื่องเขยาดตะแกรงร่อน
- 3.2.2 เครื่องปฏิกรณ์ และแบบจำลองอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้การทดลอง

3.2.2.1 เครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์หรือเครื่องปฏิกรณ์แรงดันสูง (high-pressure parr reactor)

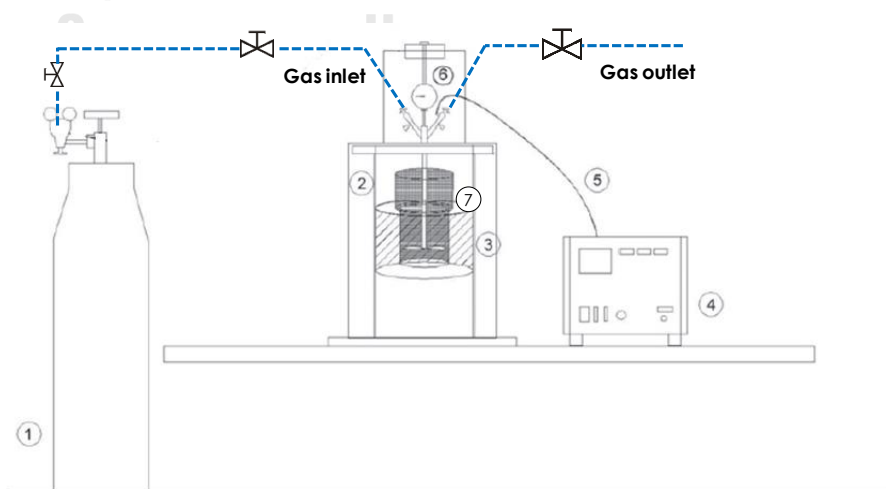
เครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์ ดังแสดงในรูปที่ 3.1 ผลิตโดยบริษัท Parr Instrument Company มีขนาดปริมาตร 500 มิลลิลิตร ตัวเครื่องทำจากเหล็กกล้าไร้สนิม (stainless steel no. 316) ประกอบด้วย 5 ส่วน คือ ส่วนให้ความร้อน (heater) อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ (temperature controller) มาตรวัดความดัน (pressure gauge) ระบบหล่อเย็น (cooling system) และอุปกรณ์การกวน โดยตัวเครื่องและอุปกรณ์ประกอบสามารถทำงานที่อุณหภูมิไม่เกิน 400 องศาเซลเซียส และความดันสูงสุดไม่เกิน 35 เมกะพาสคัล



รูปที่ 3.1 เครื่องปฏิกรณ์แรงดันสูง

รูปที่ 3.2 แสดงแบบจำลองอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดลองในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์ ประกอบด้วย 7 ชนิด ดังนี้

- 1) แก๊สไนโตรเจน ความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.99
- 2) ถ้วย Stainless ขนาด 500 มิลลิลิตร
- 3) ระบบให้ความร้อน
- 4) อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ
- 5) มาตรฐานอุณหภูมิ (thermocouple)
- 6) มาตรฐานความดัน
- 7) ระบบหล่อเย็น



รูปที่ 3.2 แบบจำลองอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดลองในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์

3.2.2.2 เครื่องปฏิกรณ์แบบกึ่งต่อเนื่อง (semi-continuous reactor)

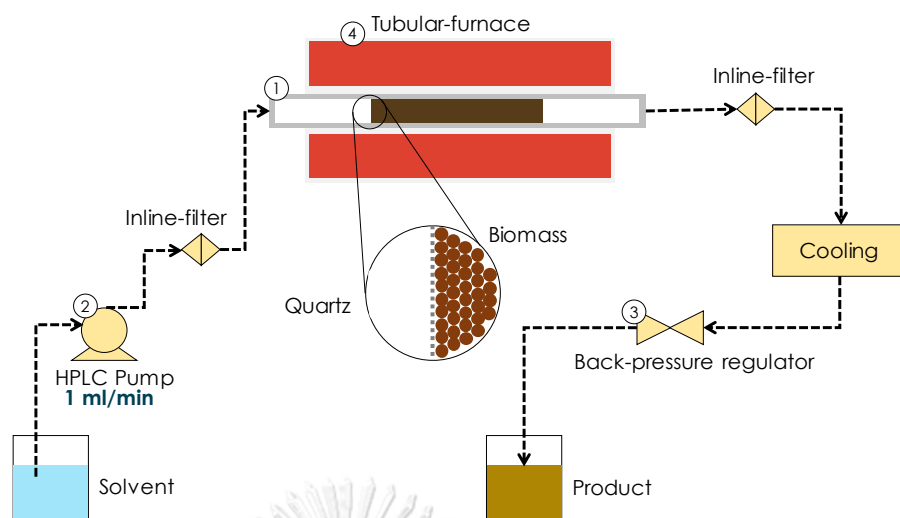
เครื่องปฏิกรณ์แบบกึ่งต่อเนื่อง ดังแสดงในรูปที่ 3.3 ประกอบด้วยเครื่องปฏิกรณ์สแตนเลสแบบท่อ (stainless steel tube reactor no.SUS316) ป้อน (HPLC Pump) ทำหน้าที่ป้อนตัวทำละลายผ่านตัวกรอง (filter) เพื่อเข้าไปยังท่อปฏิกรณ์ อุปกรณ์ประกอบสามารถทำงานที่อุณหภูมิไม่เกิน 350 องศาเซลเซียส และความดันสูงสุดไม่เกิน 25 เมกะพาสคัล



รูปที่ 3.3 เครื่องปฏิกรณ์แบบกึ่งต่อเนื่อง

รูปที่ 3.4 แสดงแบบจำลองอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดลองในเครื่องปฏิกรณ์แบบกึ่งต่อเนื่อง

- 1) เครื่องปฏิกรณ์สแตนเลสแบบท่อ เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.5 นิ้ว, ความยาว 29.5 นิ้ว, ความหนา 0.083 นิ้ว
- 2) ป้อน (HPLC pump) รุ่น PU-2080, JUSCO Ltd.
- 3) เครื่องควบคุมความดันย้อนกลับ (back-pressure regulator) BP-66, GO regulator
- 4) เตาเผาแบบท่อ (tubular furnace) CTF12/65/550, Carbolite Ltd



รูปที่ 3.4 แบบจำลองอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดลองในเครื่องปฏิกรณ์แบบกึ่งต่อเนื่อง

3.2.3 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

สารเคมี และอุปกรณ์ที่ใช้ในการระเหยตัวทำละลายประกอบด้วย 3 ชนิด ดังนี้

- 1) เครื่องระเหยแบบหมุน (rotary evaporator) ดังแสดงในรูปที่ 3.5
- 2) แอซีโตน
- 3) ขวดเก็บสารตัวอย่าง



รูปที่ 3.5 เครื่องระเหยแบบหมุน

3.2.4 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์

3.2.4.1 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ

การวิเคราะห์องค์ประกอบและปริมาณของผลิตภัณฑ์แก๊สด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟยี่ห้อ Shimadzu รุ่น GC 2014 ดังแสดงในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ

3.2.4.2 เครื่องวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (CHNS/O analyzer)

รูปที่ 3.7 แสดงเครื่องวิเคราะห์แบบแยกธาตุ ยี่ห้อ PerkinElmer รุ่น 2400 Series II ใช้ในการวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบคาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน ซัลเฟอร์ และออกซิเจน ในตัวอย่างทั้งชีวมวลที่ใช้เป็นสารตั้งต้น และน้ำมันดิบ

ชีวภาพที่เป็นผลิตภัณฑ์ ผลการวิเคราะห์คิดเป็นร้อยละธาตุองค์ประกอบแต่ละชนิด
โดยน้ำหนัก ของชีวมวลหรือน้ำมันดิบชีวภาพที่ใช้ในการวิเคราะห์



รูปที่ 3.7 เครื่องวิเคราะห์แบบแยกธาตุ

3.2.4.3 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ-แมสสเปกโตรเมตรี Shimadzu, QP-2010
การวิเคราะห์ห้องค่าน้ำมันดิบชีวภาพด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ-
แมสสเปกโตรเมตรี ยี่ห้อ Shimadzu รุ่น QP- 2010 ดังแสดงในรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ-แมสสเปกโตรเมตรี

3.2.4.4 เครื่องหาปริมาณน้ำคาร์ล ฟิสเซอร์ (Karl-Fischer Titration) METTLER TOLEDO V20 –volumetric KT titrator)

การวิเคราะห์หาปริมาณน้ำในน้ำมันดิบชีวภาพโดยใช้วิธีการไตเตรต คาร์ล ฟิสเซอร์ ด้วยเครื่อง METTLER TOLEDO รุ่น V20 Volumetric KT Titrator แสดงดังในรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 เครื่องหาปริมาณน้ำคาร์ล ฟิสเซอร์

3.3 ขั้นตอนดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย แบ่งออกเป็นทั้งหมด 3 ขั้นตอน ดังนี้

3.3.1 การเตรียมขานอ้อย และเหง้ามันสำปะหลัง

นำขานอ้อย และเหง้ามันสำปะหลังไปล้าง และตากแดด จากนั้นนำมาบด และเข้าเครื่องเขย่าตะแกรงร่อนเพื่อคัดขนาดให้อยู่ในช่วง 150 ถึง 250 ไมโครเมตร นำขานอ้อย และเหง้ามันสำปะหลังที่ได้ไปอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมงก่อนใช้ เพื่อไล่ความชื้นออกจากชีวมวล

3.3.2 การวิเคราะห์สมบัติของขานอ้อย และเหง้ามันสำปะหลัง

การวิเคราะห์แบบประมาณ ได้แก่ ปริมาณความชื้น ตามมาตรฐาน ASTM E871-82 ปริมาณสารระเหย ตามมาตรฐาน ASTM E872-82 ปริมาณเถ้าวิเคราะห์ ตามมาตรฐาน ASTM D1102-84 และปริมาณคาร์บอนคงตัว

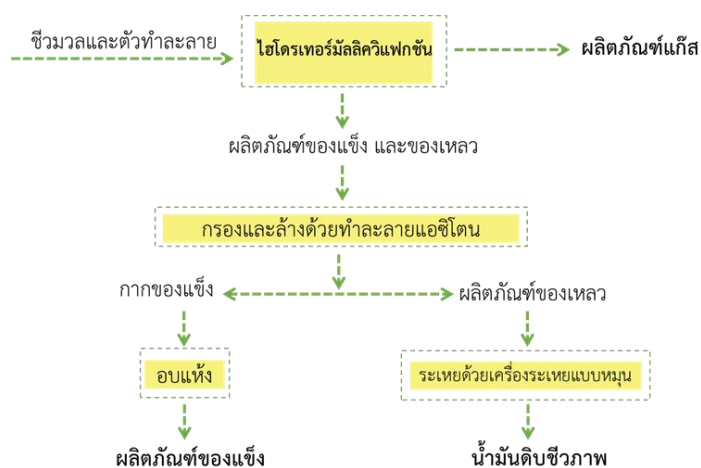
การวิเคราะห์แบบแยกองค์ประกอบธาตุ ได้แก่ ปริมาณร้อยละของธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน และซัลเฟอร์ โดยใช้เครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบแบบแยกธาตุ ส่วน

ปริมาณร้อยละของธาตุออกซิเจนหาได้จากการนำ ผลรวมของธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน และ ไนโตรเจนหักออกจากปริมาณร้อยละโดยรวม

3.3.3 การผลิตน้ำมันดิบชีวภาพด้วยไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชัน

3.3.3.1 ไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบดซ์

- 1) ชั่งชานอ้อย/เหง้ามันสำปะหลัง 20 กรัม ผสมกับตัวทำละลาย (น้ำ) 200 มิลลิลิตร โดยใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนักของชีวมวล 1 กรัมต่อตัวทำละลาย 10 มิลลิลิตร
- 2) ประกอบเครื่องปฏิกรณ์ และทำการไล่อากาศไล่อากาศหรือแก๊สที่ค้างและปนเปื้อนอยู่ภายในเครื่องปฏิกรณ์ ด้วยการอัดไนโตรเจน เริ่มต้นที่ความดัน 2 เมกะพาสคัล
- 3) ให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิที่กำหนด คือ 300 และ 350 องศาเซลเซียส กำหนดค่าความเร็วรอบใบกวน 300 รอบต่อนาที ให้ความเวลาทำปฏิกิริยา 60 นาที โดยเริ่มนับเวลาเมื่ออุณหภูมิในเครื่องปฏิกรณ์ถึงค่า
- 4) หลังจากครบเวลาทำการลดอุณหภูมิภายในเครื่องปฏิกรณ์จนถึงอุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส
- 5) ขั้นตอนการแยกเก็บผลิตภัณฑ์ แสดงในรูปที่ 3.10 คือ เก็บตัวอย่างผลิตภัณฑ์แก๊สด้วยถุงเก็บแก๊สตัวอย่าง นำส่วนที่ได้จากเครื่องปฏิกรณ์ (ของแข็งและของเหลว) มาทำการกรองด้วยชุดกรองโดยใช้กระดาษกรอง นำส่วนที่เป็นของแข็งด้านบนชะล้างด้วยตัวทำละลายแอสีโตน จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และนำผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้ทำการระเหยตัวทำละลายออก โดยใช้เครื่องระเหยแบบหมุน ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ความดัน 400 mbar ความเร็วรอบการหมุน 30 รอบต่อนาที เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

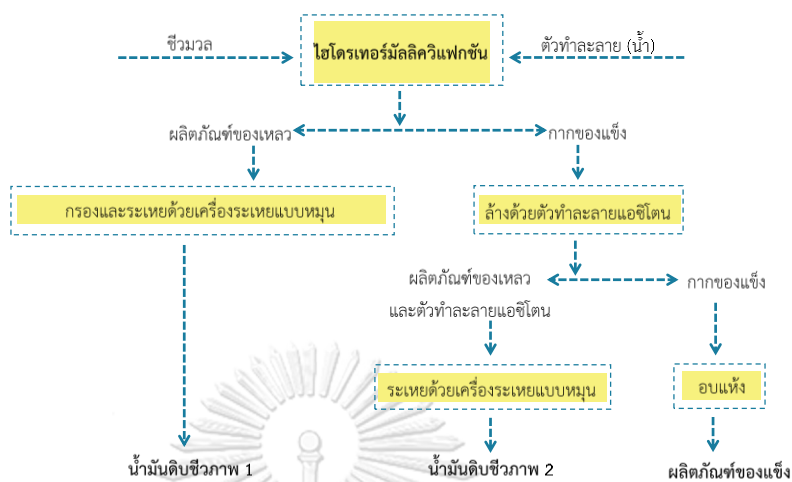


รูปที่ 3.10 แผนภาพการผลิตน้ำมันดิบชีวภาพด้วยไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชัน
ในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์

3.3.3.2 ไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชันในเครื่องปฏิกรณ์แบบกึ่งต่อเนื่อง

- 1) ชั่งชานอ้อย/เหง้ามันสำปะหลัง 2 กรัมผสมกับหินควอตซ์ จากนั้นบรรจุลงในเครื่องปฏิกรณ์สแตนเลสแบบท่อ
- 2) ประกอบเครื่องปฏิกรณ์แบบกึ่งต่อเนื่อง จากนั้นป้อน HPLC จะทำหน้าที่ป้อนตัวทำละลาย (น้ำ) เข้าไปยังท่อปฏิกรณ์อย่างต่อเนื่องที่อัตราการไหล 1 มิลลิลิตรต่อนาที
- 3) เมื่อตัวทำละลายไหลครบระบบ ทำการเปิดเครื่องควบคุมความดันย้อนกลับเพื่อปรับความดันให้มีค่ามากกว่าความดันไอ และเปิดเตาเผาให้ได้ตามอุณหภูมิที่กำหนด คือ 300 และ 350 องศาเซลเซียส ทำการทดลองเป็นเวลา 60 นาที จึงสามารถเก็บผลิตภัณฑ์ที่ออกมา รูปของเหลวได้ที่ปลายท่อ
- 4) หลังจากครบเวลาที่กำหนด สามารถแยกผลิตภัณฑ์ได้เป็น 2 ส่วน คือ น้ำมันดิบชีวภาพ 1 และของแข็ง นำส่วนที่เป็นของแข็งไปล้างด้วยเอซิโตนจะได้ผลิตภัณฑ์ออกมาอีก 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นของแข็งและน้ำมันดิบชีวภาพ 2 นำส่วนที่เป็นของแข็งไปอบแห้งในตู้อบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และนำน้ำมันดิบชีวภาพทั้ง 2 ส่วนไประเหย โดยใช้เครื่องระเหยแบบหมุน ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ความดัน 400 mbar ความเร็วรอบการ

หมุน 30 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ดังรูปที่ 3.11 แสดงขั้นตอนการแยกเก็บผลิตภัณฑ์



รูปที่ 3.11 แผนภาพการผลิตน้ำมันดิบชีวภาพด้วยไฮโดรเทอร์มัลลิวแพกชันในเครื่องปฏิกรณ์แบบกึ่งต่อเนื่อง

3.4 ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง

การศึกษาการทำไฮโดรเทอร์มัลลิวแพกชัน มีตัวแปรที่ศึกษา ดังนี้

- 1) ชีวมวลที่ใช้เป็นสารตั้งต้นในการทำปฏิกิริยา คือ ชานอ้อย เหม้ามันสำปะหลัง
- 2) สัดส่วนของเซลล์ูโลส และลิกนินที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา คือ ผสมเซลล์ูโลสหรือลิกนินลงในชีวมวลเป็นสัดส่วน ทั้งหมด 4 สัดส่วน ดังนี้ ร้อยละ 0 10 20 และ 100 โดยน้ำหนักของน้ำหนักสารตั้งต้นทั้งหมด
- 3) อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา คือ 300 และ 350 องศาเซลเซียส
- 4) เครื่องปฏิกรณ์ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา คือ เครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์ และแบบกึ่งต่อเนื่อง

ภาวะที่ใช้ในการทดลองทั้งหมด แสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ภาวะที่ใช้ในการทดลอง

| ตัวแปรที่ศึกษา | เครื่องปฏิกรณ์ แบบแบตช์ | เครื่องปฏิกรณ์แบบ กึ่งต่อเนื่อง |
|--|----------------------------|------------------------------------|
| น้ำหนักของชีวมวล (กรัม) | 20 | 2 |
| สัดส่วนของชีวมวลต่อเซลล์ลูโลสหรือลิกนิน | 0% 10% 20% 100% | 0% 10% 20% 100% |
| ชนิดของตัวทำละลาย | น้ำกลั่น | |
| สัดส่วนของชีวมวลต่อตัวทำละลาย | 1:10 | - |
| อัตราการไหลของตัวทำละลาย (มิลลิลิตรต่อนาที) | - | 1 |
| อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา (องศาเซลเซียส) | 300 และ 350 | 300 |
| เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา (นาที) | 60 | |
| รอบการกวน (รอบต่อนาที) | 300 | - |
| ความดันไนโตรเจนเริ่มต้น (เมกะพาสคัล) | 20 | - |

3.5 การวิเคราะห์ผลต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์

3.5.1 การวิเคราะห์น้ำมันดิบชีวภาพ

3.5.1.1 ค่าความร้อนของน้ำมันดิบชีวภาพ

ค่าความร้อนของน้ำมันดิบชีวภาพหาได้จากการนำค่าร้อยละของธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจนที่ได้จากการวิเคราะห์แบบแยกองค์ประกอบธาตุมาแทนลงในสมการของ Dulong ตามแสดงดังสมการ 3.1

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

3.5.1.2 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันดิบชีวภาพ

องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันดิบชีวภาพหาได้ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี - แมสสเปกโตรมิเตอร์ (GC-MS)

สารที่เตรียมเพื่อนำไปวิเคราะห์ จะต้องละลายในตัวทำละลายไอโซโพรพานอล ความเข้มข้น 500 ppm โดยภาวะที่ใช้ในการวิเคราะห์แสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ภาวะที่ใช้ในการวิเคราะห์น้ำมันดิบชีวภาพด้วยเครื่องโครมาโทกราฟ-แมสสเปกโตรเมตรี

| | |
|--|-------------------------|
| แก๊สพา (Carrier gas) | แก๊สฮีเลียม (He) |
| ชนิดคอลัมน์ | DB5-MS column |
| อุณหภูมิการฉีด (Injector temperature) | 200 องศาเซลเซียส |
| อุณหภูมิคอลัมน์ (Oven column temperature) | 40 ถึง 280 องศาเซลเซียส |
| อุณหภูมิท่อส่งผ่าน (Transfer line temperature) | 220 องศาเซลเซียส |
| อุณหภูมิในการผลิตไอออน (Ion source temperature) | 220 องศาเซลเซียส |

3.5.1.3 ปริมาณน้ำในน้ำมันดิบชีวภาพ

สามารถหาปริมาณน้ำในน้ำมันดิบชีวภาพโดยใช้วิธีการไตเตรทคาร์ล ฟิสเซอร์ ซึ่งมีวิธีการ ดังนี้

- การเจือจางสาร โดยใช้ 2-propanol เป็นตัวทำละลาย
 1. ชั่งน้ำหนักน้ำมันดิบชีวภาพ ประมาณ 0.02 กรัม ใส่ปิเปตเตอร์
 2. เติม 2-propanol 3.5 มิลลิลิตร
- การใช้เครื่องคาร์ล ฟิสเซอร์
 1. เปิดและกวด calibrate เครื่อง
 2. ระหว่างรอให้ชั่งน้ำหนักเข็มที่ตูดน้ำมันดิบชีวภาพที่ผ่านการเจือจางแล้วเตรียมไว้
 3. เมื่อเครื่องพร้อมใช้งาน ให้กด start และ หยดน้ำมันดิบชีวภาพลงไป 2-5 หยด
 4. ชั่งน้ำหนักที่หายไป พร้อมทั้งกรอกลงในเครื่อง
 5. รวผลและจดค่าที่ได้ในหน่วย ppm หรือ %

3.5.2 การวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์แก๊ส

3.5.2.1 องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์แก๊ส

องค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์แก๊สหาได้ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (GC) โดยภาวะที่ใช้ในการวิเคราะห์แสดงในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 ภาวะที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์แก๊สด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี

| | |
|--|--------------------------------|
| แก๊สพา (Carrier gas) | แก๊สอาร์กอน (Ar) |
| ชนิดคอลัมน์ | Unibeads C packed column |
| อุณหภูมิการฉีด (Injector temperature) | 120 องศาเซลเซียส |
| อุณหภูมิกอลัมน์ (Oven column temperature) | 50 ถึง 180 องศาเซลเซียส |
| ระบบตรวจวัด (Detector) | ระบบวัดสภาพการนำความร้อน (TCD) |

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

ในงานวิจัยนี้ ศึกษาการผลิตน้ำมันดิบชีวภาพจากไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกชั้นของขานอ้อย และเหง้ามันสำปะหลัง รวมถึงศึกษาผลของเซลลูโลส และลิกนินต่อร้อยละผลได้ และคุณภาพของน้ำมันดิบชีวภาพจากไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกชั้น อีกทั้งยังศึกษาเปรียบเทียบผลการทดลองในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์ และแบบกึ่งต่อเนื่อง โดยนำผลิตภัณฑ์ของเหลวไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีโดยเทคนิคการวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (CHON/S analysis) และแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี (GC/MS) ส่วนการวิเคราะห์องค์ประกอบผลิตภัณฑ์แก๊สสามารถวิเคราะห์โดยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (GC) ซึ่งสามารถแบ่งผลการทดลองออกได้ ดังนี้

- การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของสารตั้งต้น
- ผลของเซลลูโลส และลิกนินต่อร้อยละผลได้ และคุณภาพของน้ำมันดิบชีวภาพจากไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกชั้น
- ผลของเครื่องปฏิกรณ์ระหว่างเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์กับเครื่องปฏิกรณ์แบบกึ่งต่อเนื่องจากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกชั้นของขานอ้อย เซลลูโลส และลิกนิน

4.1 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของสารตั้งต้น

4.1.1 การวิเคราะห์แบบประมาณ การวิเคราะห์แบบแยกธาตุ และค่าความร้อนของขานอ้อย เหง้ามันสำปะหลัง เซลลูโลส และลิกนิน

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการวิเคราะห์แบบประมาณ การวิเคราะห์แบบแยกธาตุ และค่าความร้อนของขานอ้อย เหง้ามันสำปะหลัง เซลลูโลส และลิกนิน การวิเคราะห์แบบประมาณพบว่าขานอ้อยมีปริมาณเถ้า (ash) ร้อยละ 17.65 โดยน้ำหนัก มากกว่าเหง้ามันสำปะหลังที่มีปริมาณเถ้าเพียงร้อยละ 4.04 โดยน้ำหนัก และเมื่อพิจารณาปริมาณเถ้าในลิกนิน มีอยู่ร้อยละ 10.89 โดยน้ำหนัก ซึ่งมากกว่าเซลลูโลสที่มีเพียงร้อยละ 1.90 โดยน้ำหนัก เซลลูโลสมีสารระเหยมากที่สุด คือ มีมากถึงร้อยละ 92.80 โดยน้ำหนัก รองลงมาเป็นเหง้ามันสำปะหลัง ขานอ้อย และลิกนิน ตามลำดับ ปริมาณคาร์บอนคงตัว พบในลิกนินมากที่สุด คือ ร้อยละ 18.49 รองลงมาเป็น เหง้ามันสำปะหลัง ร้อยละ 11.84 โดยน้ำหนัก ขานอ้อย ร้อยละ 4.49 โดยน้ำหนัก และเซลลูโลส ร้อยละ 4.32 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ

จากการวิเคราะห์แบบแยกธาตุ และค่าความร้อนของสารตั้งทั้ง 4 ชนิด พบว่าสารตั้งต้นแต่ละชนิด ที่ประกอบด้วยสารอินทรีย์จะมีองค์ประกอบของไฮโดรคาร์บอนที่แตกต่างกัน ซึ่งมีคาร์บอนและไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบหลัก โดยจะใช้อัตราส่วนไฮโดรเจนต่อคาร์บอน (H/C ratio)

และ อัตราส่วนออกซิเจนต่อคาร์บอน (O/C ratio) เป็นการเปรียบเทียบสมบัติทางเชื้อเพลิงแข็ง พบว่าลิกนินแม้ว่าจะมีอัตราส่วนไฮโดรเจนต่อคาร์บอนน้อยที่สุด คือ 0.60 แต่มีอัตราส่วนออกซิเจนต่อคาร์บอนมากที่สุด คือ 1.03 ส่งผลให้ความร้อนของลิกนินมีค่าน้อยที่สุด คือ 6.65 เมกะจูลต่อกิโลกรัม เมื่อเทียบกับชีวมวลโดยทั่วไปแล้วอัตราส่วนออกซิเจนต่อคาร์บอนจะอยู่ระหว่าง 0.4-0.8 [28] เหน้้ำมันสำปะหลังมีอัตราส่วนออกซิเจนต่อคาร์บอนน้อยที่สุด คือ 0.75 และมีค่าความร้อนมากที่สุด คือ 16.08 เมกะจูลต่อกิโลกรัม ส่วนชานอ้อยมีอัตราส่วนออกซิเจนต่อคาร์บอนอยู่ 0.80 มีค่าความร้อน 15.27 เมกะจูลต่อกิโลกรัม และเซลลูโลสมีอัตราส่วนออกซิเจนต่อคาร์บอนอยู่ 0.89 มีค่าความร้อน 14.36 เมกะจูลต่อกิโลกรัม



ตารางที่ 4.1 การวิเคราะห์แบบประมาณ การวิเคราะห์แบบแยกธาตุ และค่าความร้อนของชานอ้อย
แห้งสำหรับปะหลัง เซลลูโลส และลิกนิน

| | ชานอ้อย | เห้งน้ำมันสำหรับปะหลัง | เซลลูโลส | ลิกนิน |
|---|---------|------------------------|----------|--------|
| การวิเคราะห์แบบประมาณ: proximate analysis (ร้อยละโดยน้ำหนัก)^a | | | | |
| ความชื้น (moisture) | 7.08 | 9.00 | 0.98 | 9.82 |
| เถ้า (ash) | 17.65 | 4.04 | 1.90 | 10.89 |
| สารระเหย (volatile) ^b | 70.78 | 75.12 | 92.80 | 60.80 |
| คาร์บอนคงตัว (fixed carbon) | 4.49 | 11.84 | 4.32 | 18.49 |
| การวิเคราะห์แบบแยกธาตุ: ultimate analysis (ร้อยละโดยน้ำหนัก)^c | | | | |
| คาร์บอน (C) | 44.75 | 46.16 | 42.35 | 40.64 |
| ไฮโดรเจน (H) | 6.06 | 6.07 | 6.28 | 2.03 |
| ออกซิเจน (O) ^d | 47.69 | 45.95 | 50.07 | 55.59 |
| ไนโตรเจน (N) | 0.52 | 1.12 | 0.41 | 1.16 |
| ซัลเฟอร์ (S) | 0.98 | 0.70 | 0.89 | 0.58 |
| อัตราส่วนไฮโดรเจนต่อคาร์บอน (H/C) | 1.62 | 1.58 | 1.78 | 0.60 |
| อัตราส่วนออกซิเจนต่อคาร์บอน (O/C) | 0.80 | 0.75 | 0.89 | 1.03 |
| ค่าความร้อน (เมกะจูล/กิโลกรัม) ^e | 15.27 | 16.08 | 14.36 | 6.65 |

^aร้อยละโดยน้ำหนักที่ได้จากการวิเคราะห์โดยตรง

^b100 – ผลรวมขององค์ประกอบแต่ละชนิดยกเว้นคาร์บอนคงตัว

^cร้อยละโดยน้ำหนักที่ไม่รวมความชื้นและเถ้า

^d100 – ผลรวมของปริมาณธาตุแต่ละชนิด

^eคำนวณจากสมการ Dulong's equation

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

4.1.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี (chemical composition) ของชานอ้อย และ เหง้ามันสำปะหลัง

ตารางที่ 4.2 แสดงการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของชานอ้อย และเหง้ามันสำปะหลัง พบว่าชีวมวลทั้ง 2 ชนิดมีปริมาณขององค์ประกอบทางเคมี คือ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน และอื่น ๆ แตกต่างกัน ทำการวิเคราะห์ด้วยวิธีของ Goering และ Van Soest (1970) พบว่า ชานอ้อยมีองค์ประกอบหลัก คือ เซลลูโลส มีปริมาณร้อยละ 54.93 โดยน้ำหนัก แต่ในทางกลับกัน ลิกนินกลับมีอยู่ในเหง้ามันสำปะหลังมากกว่าชานอ้อย คือ มีปริมาณร้อยละ 25.13 โดยน้ำหนัก อย่างไรก็ตาม ปริมาณของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินของชานอ้อยและเหง้ามันสำปะหลังนั้น ขึ้นกับชนิดของพืช ระยะเวลาการเก็บเกี่ยว การบำรุงรักษา สภาพอากาศ และชนิดของดินที่ปลูก [29] ส่วนปริมาณอื่น ๆ ของชานอ้อย และเหง้ามันสำปะหลังประกอบไปด้วย องค์ประกอบที่สำคัญ ได้แก่ โปรตีน แร่ธาตุ และไขมัน [30]

ตารางที่ 4.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของชานอ้อย เหง้ามันสำปะหลัง เซลลูโลส และ ลิกนิน (chemical composition)

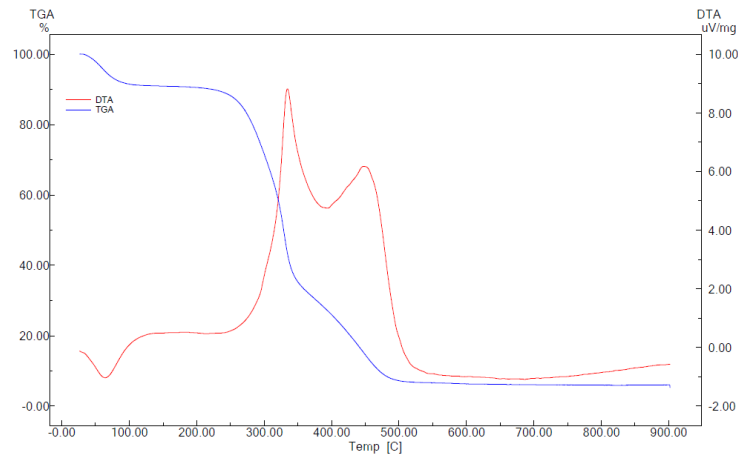
| | ชานอ้อย | เหง้ามันสำปะหลัง | เซลลูโลส | ลิกนิน |
|---|---------|------------------|----------|--------|
| องค์ประกอบทางเคมี: chemical composition (ร้อยละโดยมวล) | | | | |
| เซลลูโลส (cellulose) | 54.93 | 35.88 | 100.00 | 0.00 |
| เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) | 16.14 | 12.57 | 0.00 | 0.00 |
| ลิกนิน (lignin) | 13.33 | 25.13 | 0.00 | 100.00 |
| อื่น ๆ (other) ^a | 15.60 | 26.42 | 0.00 | 0.00 |

^a100 – ผลรวมขององค์ประกอบทางเคมี

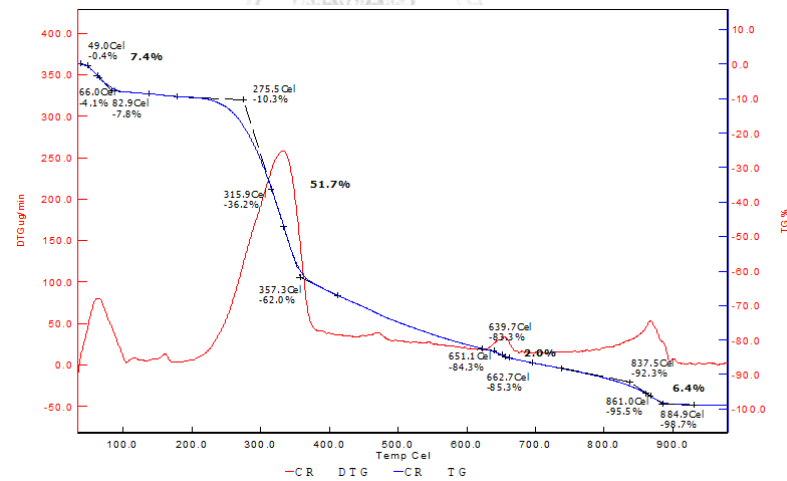
4.1.3 พฤติกรรมการสลายตัวทางความร้อนของชานอ้อย เหง้ามันสำปะหลัง เซลลูโลส และลิกนิน

รูปที่ 4.1-4.4 แสดงพฤติกรรมการสลายตัวทางความร้อนของชานอ้อย เหง้ามันสำปะหลัง เซลลูโลส และลิกนิน ตามลำดับ โดยการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง thermogravimetric analyzer (TG-TGA) ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน ช่วงอุณหภูมิ 0 ถึง 900 องศาเซลเซียส และอัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที พบว่าการสลายตัวของชานอ้อยเริ่มมีการสลายตัวที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส และมีการสลายตัวสูงสุดที่อุณหภูมิ 330 องศาเซลเซียส การสลายตัวของเหง้ามันสำปะหลัง เริ่มมีการสลายตัวที่อุณหภูมิ 220 องศาเซลเซียส และมีการสลายตัวสูงสุดที่อุณหภูมิ 310 องศาเซลเซียส การสลายตัวของเซลลูโลส เริ่มมีการสลายตัวที่อุณหภูมิ 220

องศาเซลเซียส และมีการสลายตัวสูงสุดที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส การสลายตัวของลิกนินเริ่มมีการสลายตัวที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส จากการวิเคราะห์การสลายตัวทางความร้อนของสารตั้งต้นทั้ง 4 ชนิด ทำให้ทราบช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมในการศึกษา โดยงานวิจัยนี้ ได้ทำการศึกษาไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแพกชั้นที่อุณหภูมิ 300 และ 350 องศาเซลเซียส

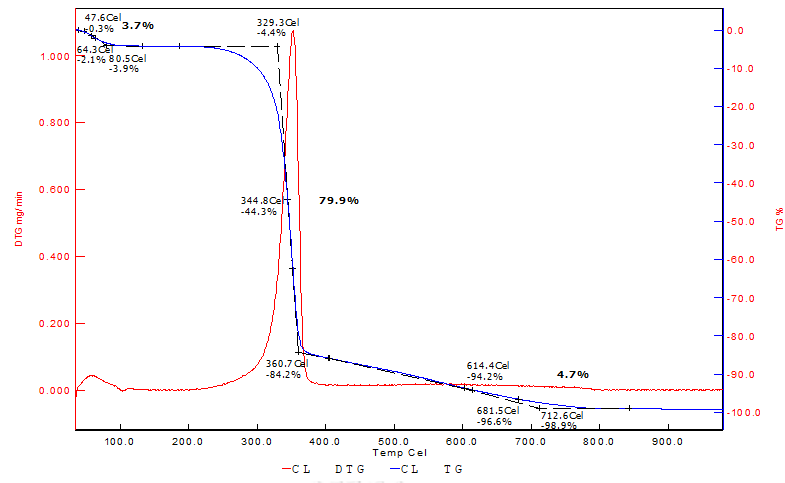


รูปที่ 4.1 พฤติกรรมการสลายตัวทางความร้อนของซานอ้อยจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค TG-DTA

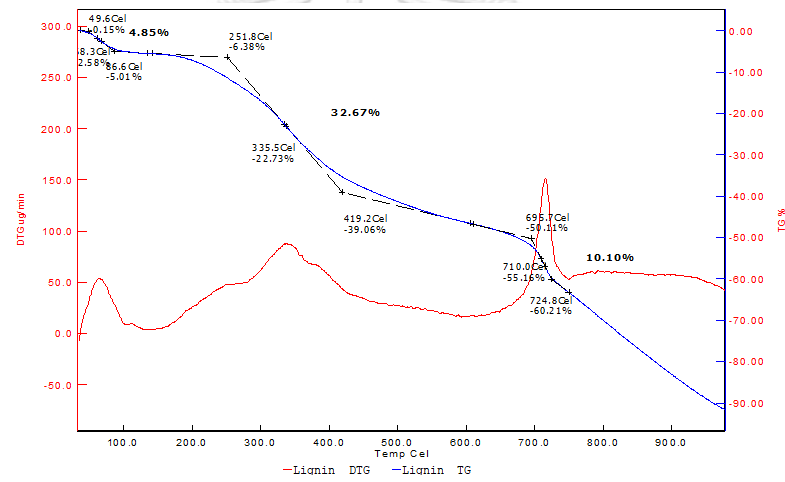


รูปที่ 4.2 พฤติกรรมการสลายตัวทางความร้อนของเหง้ามันสำปะหลังจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค

TG-DTA



รูปที่ 4.3 พฤติกรรมการสลายตัวทางความร้อนของเซลลูโลสจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค TG-DTA



รูปที่ 4.4 พฤติกรรมการสลายตัวทางความร้อนของลิกนินจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค TG-DTA

4.2 ไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแพกชั้นของชานอ้อย เหง้ามันสำปะหลัง เซลลูโลส และลิกนิน ด้วยเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์

4.2.1 ไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแพกชั้นของชานอ้อย เหง้ามันสำปะหลัง เซลลูโลส และลิกนินด้วยเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์

ไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแพกชั้นของชานอ้อย (Bg100) เหง้ามันสำปะหลัง (Cr100) เซลลูโลส (Cl100) และลิกนิน (Ln100) ดำเนินการที่อุณหภูมิ 300 และ 350 องศาเซลเซียส ในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์ ความดันไนโตรเจนเริ่มต้น 2 เมกะพาสคัล ความเร็วรอบใบกวน 300 รอบต่อนาที และเวลาที่ใช้ในการดำเนินปฏิกิริยา 60 นาที

รูปที่ 4.5 และ 4.6 แสดงร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพ กากของแข็ง แก๊ส และอื่น ๆ จากการทำให้ไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแพกชั้นของชานอ้อย เหง้ามันสำปะหลัง เซลลูโลส และลิกนิน ในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์ ที่อุณหภูมิ 300 และ 350 องศาเซลเซียส ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างเซลลูโลส และลิกนิน ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส พบว่า ลิกนินให้ร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพมากกว่าเซลลูโลส คือ ร้อยละ 65.63 และ 25.50 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ เนื่องจากพฤติกรรมของการสลายตัวทางความร้อนของสารตั้งต้นทั้ง 2 ชนิด [31] ในช่วงอุณหภูมิก่อน 300 องศาเซลเซียส ลิกนินมีการสลายตัวเกิดดีพอลิเมอไรเซชัน (depolymerization) [4] มากกว่าเซลลูโลส และค่อย ๆ สลายตัวลดลงไปเรื่อย ๆ ตามอุณหภูมิที่เพิ่มมากขึ้น แต่เซลลูโลสจะเริ่มแตกตัวอย่างช้า ๆ ตั้งแต่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส และแตกตัวหมดลงอย่างรวดเร็ว ที่อุณหภูมิมากกว่า 350 องศาเซลเซียส ทำให้ที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส เซลลูโลสให้ร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพมากขึ้น เป็นร้อยละ 45.10 โดยน้ำหนัก อีกทั้งการเพิ่มอุณหภูมิ จะทำให้การแตกตัวของพันธะเคมีและปฏิกิริยาดีพอลิเมอไรเซชัน (depolymerization) เกิดเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นอนุโมลิสระ โมเลกุลต่าง ๆ ที่ไม่เสถียร เกิดการจัดเรียงตัวใหม่หรือเกิดรีพอลิเมอไรเซชัน (repolymerization) ทำให้ปริมาณน้ำมันดิบชีวภาพที่ได้มีปริมาณเพิ่มมากขึ้น [32] แต่ในทางกลับกันลิกนินให้ร้อยละผลได้น้ำมันดิบชีวภาพลดลง เหลือร้อยละ 52.40 โดยน้ำหนัก เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะเกิดการแตกตัวทางความร้อน (thermal cracking) ของลิกนินไปเป็นผลิตภัณฑ์แก๊สมากขึ้น ซึ่งเห็นได้จาก ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์แก๊สของลิกนินที่เพิ่มจาก ร้อยละ 9.51 ไปเป็น 20.57 โดยน้ำหนักตามลำดับ [33] โดยเป็นไปตามหลักเทอร์โมไดนามิกส์ ปฏิกิริยานี้จะเกิดได้ดีที่อุณหภูมิสูง ซึ่งเซลลูโลสก็ให้ผลไปในทิศทางเดียวกันกับลิกนิน

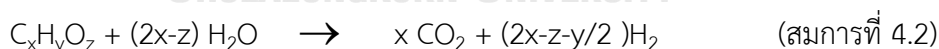
ในส่วนร้อยละผลได้ของกากของแข็ง ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส พบว่าทั้งเซลลูโลส และลิกนินให้ร้อยละผลได้ของกากของแข็งที่สูงถึงร้อยละ 23.37 และ 23.15 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ซึ่ง

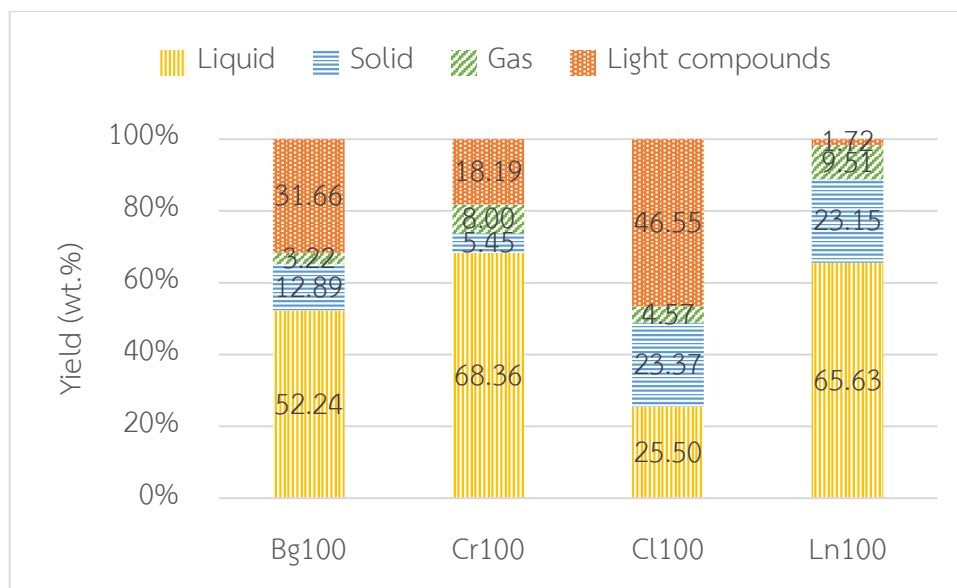
กากของแข็งที่เกิดจากการรีพอลิเมอไรเซชัน (repolymerization) จากอนุพันธ์ของลิกนิน คือ อนุมูลอิสระฟีนอกซิล (free phenoxy radicals) [34]

เมื่อพิจารณาผลิตภัณฑ์เบาอื่น ๆ ที่นอกเหนือจากน้ำมันดิบชีวภาพ กากของแข็ง และแก๊ส อาจจะเป็นน้ำมันเบา (light oil) จะเห็นว่าที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส พบว่าเซลลูโลสให้ปริมาณผลิตภัณฑ์อื่น ๆ มากถึง ร้อยละ 46.55 โดยน้ำหนัก ซึ่งมีปริมาณสูงเมื่อเทียบกับลิกนิน ที่ให้ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์อื่น ๆ เพียงร้อยละ 1.71 โดยน้ำหนัก เนื่องมาจากเซลลูโลสเกิดการแตกตัวออกเป็นไฮโดรคาร์บอน (hydrocarbon) ที่ละลายในน้ำได้ดี [35] ซึ่งอาจเกิดการระเหยออกไปในขณะที่ระเหยตัวทำลายออกด้วยเครื่องระเหยแบบหมุน

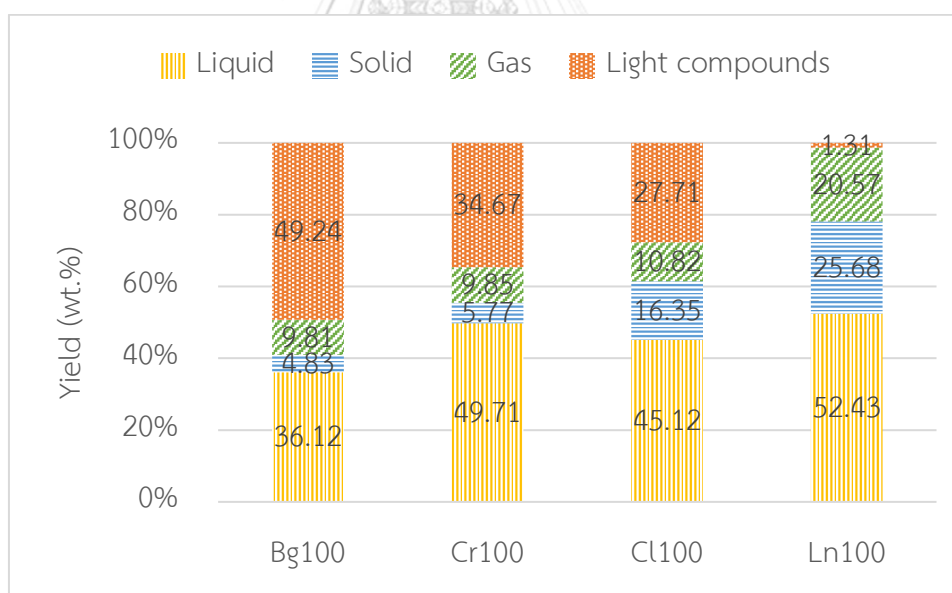
จึงสรุปได้ว่าน้ำมันดิบชีวภาพและแก๊สที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่มาจากลิกนินเป็นหลัก และเซลลูโลสจะให้ผลิตภัณฑ์อยู่ในรูปของผลิตภัณฑ์เบาอื่น ๆ และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิเซลลูโลสจะสลายตัวได้ดีขึ้นให้ร้อยละผลได้ของน้ำมันชีวภาพเพิ่มขึ้น แต่ในทางกลับกันลิกนินจะเกิดการแตกตัวกลายเป็นแก๊สโดยยืนยันได้จากผลการทดลองของชีวมวลทั้ง 2 ชนิด คือ ชานอ้อย และเหง้ามันสำปะหลัง ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส พบว่าเหง้ามันสำปะหลังที่ประกอบด้วยลิกนินมากกว่าชานอ้อย เหง้ามันสำปะหลังจะให้ร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพมากกว่าชานอ้อย คือ ร้อยละ 68.36 และ 52.24 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ และเมื่ออุณหภูมิไปที่ 350 องศาเซลเซียส พบว่าทั้งชานอ้อย และเหง้ามันสำปะหลังให้ร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพลดลง เหลือร้อยละ 36.12 และ 49.71 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะเกิดรีฟอร์มมิงด้วยไอน้ำ (steam reforming) ของน้ำมันดิบชีวภาพ [36] ตามสมการที่ 4.1 และ 4.2

รีฟอร์มมิงด้วยไอน้ำ:





รูปที่ 4.5 ร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพ กากของแข็ง แก๊ส และผลิตภัณฑ์เบาอื่น ๆ จากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกซ์ชันของขานอ้อย เหม้ามันสำปะหลัง เซลลูโลส และลิกนิน ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์



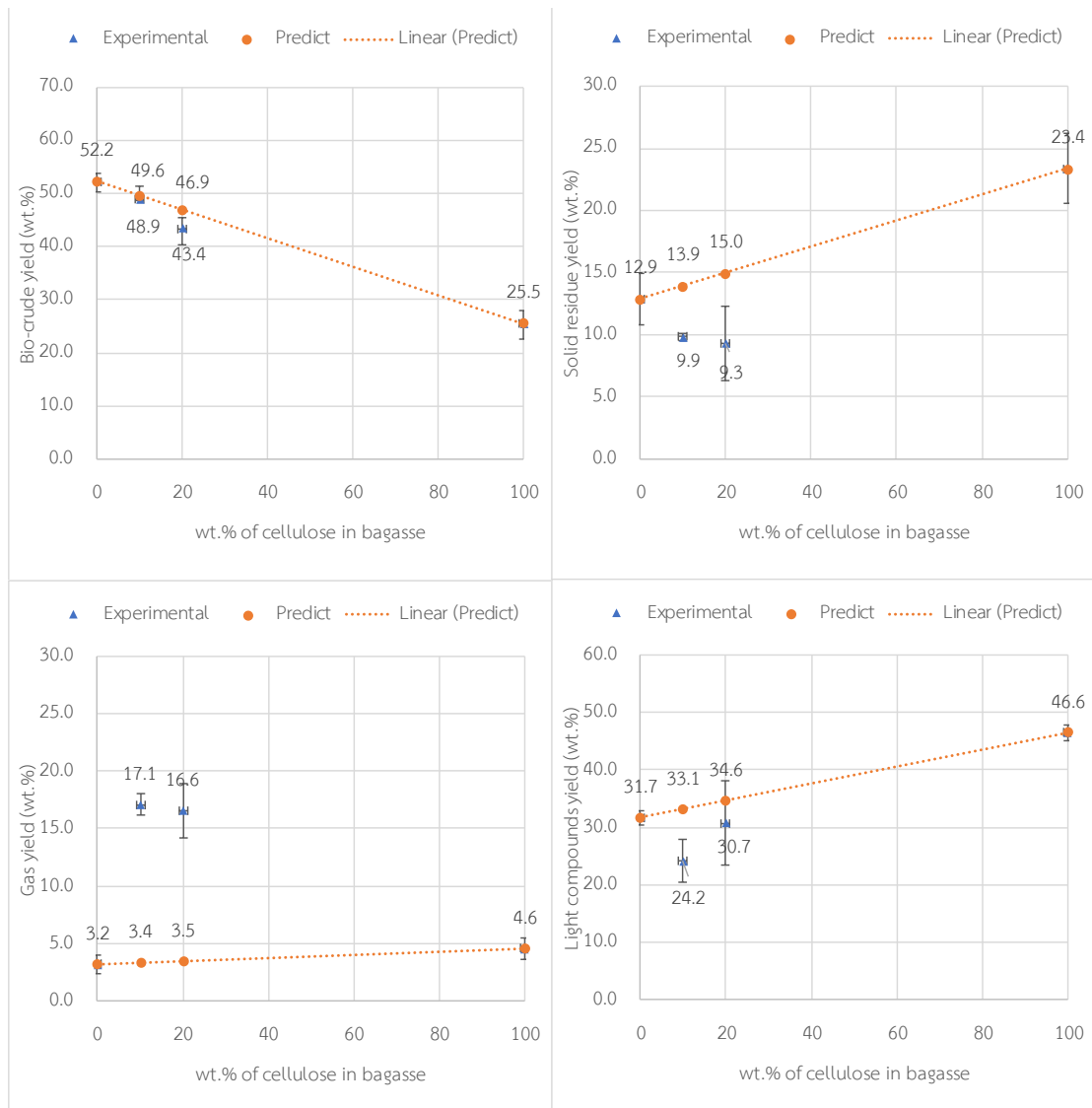
รูปที่ 4.6 ร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพ กากของแข็ง แก๊ส และผลิตภัณฑ์เบาอื่น ๆ จากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกซ์ชันของขานอ้อย เหม้ามันสำปะหลัง เซลลูโลส และลิกนิน ที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส ในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์

4.2.2 ผลของเซลลูโลสต่อร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพจากไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกชัน

4.2.2.1 ผลของเซลลูโลส เมื่อผสมกับขานอ้อยต่อร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพ จากไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกชัน

ไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกชันของขานอ้อยผสมกับเซลลูโลส ดำเนินการที่อุณหภูมิ 300 และ 350 องศาเซลเซียส ในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์ ความดันไนโตรเจนเริ่มต้น 2 เมกะพาสคัล ความเร็วรอบ ใบกวน 300 รอบต่อนาที และเวลาที่ใช้ในการดำเนินปฏิกิริยา 60 นาที รูปที่ 4.7 แสดงร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพ กากของแข็ง แก๊ส และผลิตภัณฑ์เบาอื่น ๆ จากการทำให้ไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกชันของขานอ้อยผสมกับเซลลูโลส สัดส่วนร้อยละ 0 10 20 และ 100 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์ จากผลการทดลอง พบว่าเมื่อมีปริมาณเซลลูโลสเพิ่มขึ้นในขานอ้อย ทำให้ได้ร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพลดลง คือ ร้อยละ 52.24 48.89 43.37 และ 25.5 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ เนื่องจากการเพิ่มปริมาณเซลลูโลสลงในสารตั้งต้น เสมือนเป็นการปรับสัดส่วนขององค์ประกอบทางเคมีของชีวมวล ทำให้ปริมาณลิกนินในสารตั้งต้นนั้นลดลง ซึ่งเป็นการยืนยันผลการทดลองการทดลองก่อนหน้า (หัวข้อ 4.2.1) ที่สรุปไว้ว่าปริมาณน้ำมันดิบชีวภาพส่วนใหญ่เกิดมาจากลิกนินเป็นหลัก

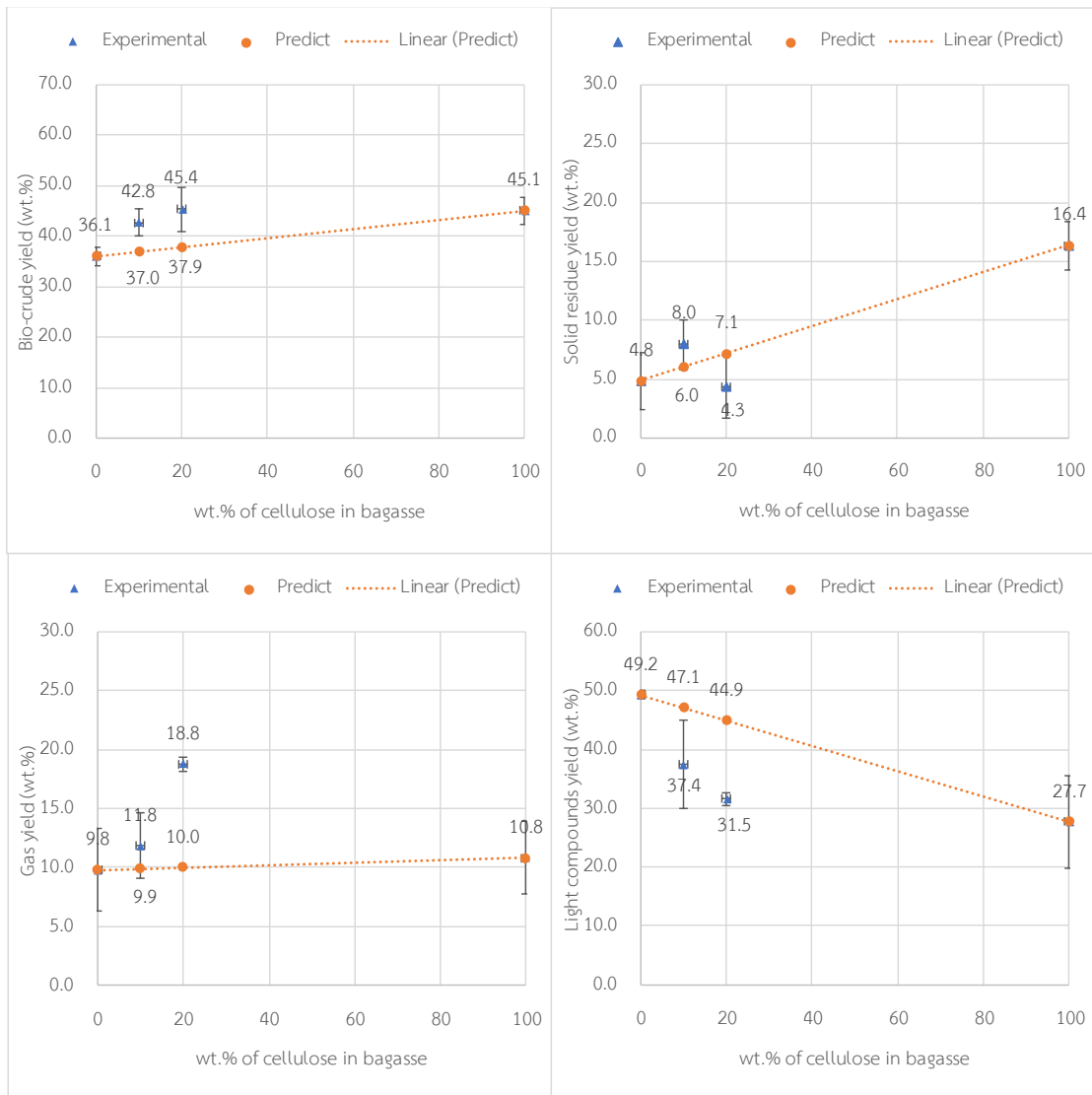
เมื่อพิจารณาร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพ และกากของแข็ง ระหว่างค่าที่ได้จากการทดลอง และค่าที่ได้จากการทำนาย พบว่าทั้ง 2 สัดส่วนที่มีการเติมเซลลูโลสลงในขานอ้อย ร้อยละ 10 และ 20 โดยน้ำหนัก มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน คือ ค่าที่ได้จากการทดลองน้อยกว่าค่าทำนาย ซึ่งเกิดผลในเชิงลบ แต่ในทางกลับกันแก๊สมีค่าที่ได้จากการทดลองมากกว่าค่าทำนาย แสดงว่าสารตั้งต้นเกิดการสลายตัวทางความร้อน น้ำมันดิบชีวภาพ และกากของแข็งแตกตัวไปเป็นแก๊สมากขึ้น



รูปที่ 4.7 ร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพ กากของแข็ง แก๊ส และผลิตภัณฑ์เบาอื่น ๆ จากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกซ์ชันของชานอ้อยผสมกับเซลลูโลส ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์

รูปที่ 4.8 แสดงร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพ กากของแข็ง แก๊ส และผลิตภัณฑ์เบาอื่น ๆ จากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกซ์ชันของชานอ้อยผสมกับเซลลูโลส สัดส่วนร้อยละ 0 10 20 และ 100 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส ในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์ จากผลการทดลองพบว่าที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส เมื่อมีปริมาณเซลลูโลสเพิ่มขึ้นในชานอ้อย จากร้อยละ 0 10 และ 20 โดยน้ำหนัก จะทำให้ได้ร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพเพิ่มขึ้น คือ ร้อยละ 36.12 42.79 และ 45.37 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ซึ่งเป็นไปตามผลการทดลองก่อนหน้า ที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส เซลลูโลสที่อยู่ในสารตั้งต้นจะสลายตัวหมด เมื่อพิจารณาร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพ

และกากของแข็ง ระหว่างค่าที่ได้จากการทดลองและค่าที่ได้จากการทำนาย พบว่าทั้ง 2 สัดส่วนร้อยละ 10 และ 20 โดยน้ำหนัก มีแนวโน้มตรงกันข้ามกับที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ซึ่งทุกสัดส่วนค่าที่ได้จากการทดลองมากกว่าค่าทำนาย แสดงว่าการเพิ่มขึ้นของเซลลูโลสในขานอ้อยเกิดการทำงานเสริมกัน (synergetic effect) ที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส เป็นผลเชิงบวก (positive effect)

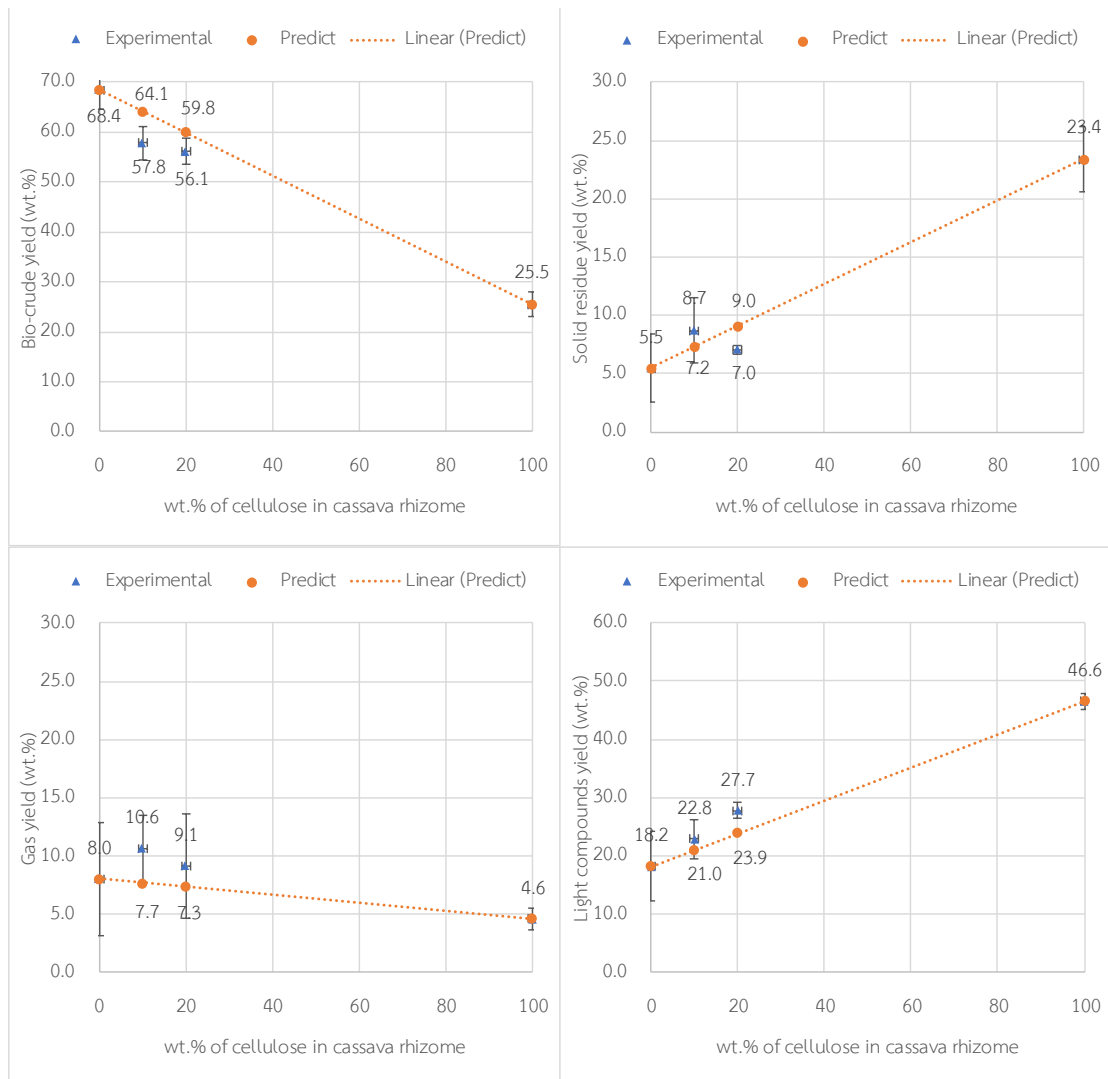


รูปที่ 4.8 ร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพ กากของแข็ง แก๊ส และผลิตภัณฑ์เบาอื่น ๆ จากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิกวิพกชั้นของขานอ้อยผสมกับเซลลูโลส ที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส ในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์

4.2.2.2 ผลของเซลลูโลส เมื่อผสมกับเหง้ามันสำปะหลังต่อร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพจากไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแพกซ์

ไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแพกซ์ของเหง้ามันสำปะหลังผสมกับเซลลูโลส ดำเนินการที่อุณหภูมิ 300 และ 350 องศาเซลเซียส ในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์ ความดันไนโตรเจนเริ่มต้น 2 เมกะพาสคัล ความเร็วรอบใบกวน 300 รอบต่อนาที และเวลาที่ใช้ในการดำเนินปฏิกิริยา 60 นาที รูปที่ 4.9 แสดงร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพ กากของแข็ง แก๊ส และผลิตภัณฑ์เบาอื่น ๆ จากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแพกซ์ของเหง้ามันสำปะหลังผสมกับเซลลูโลส สัดส่วนร้อยละ 0 10 20 และ 100 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์

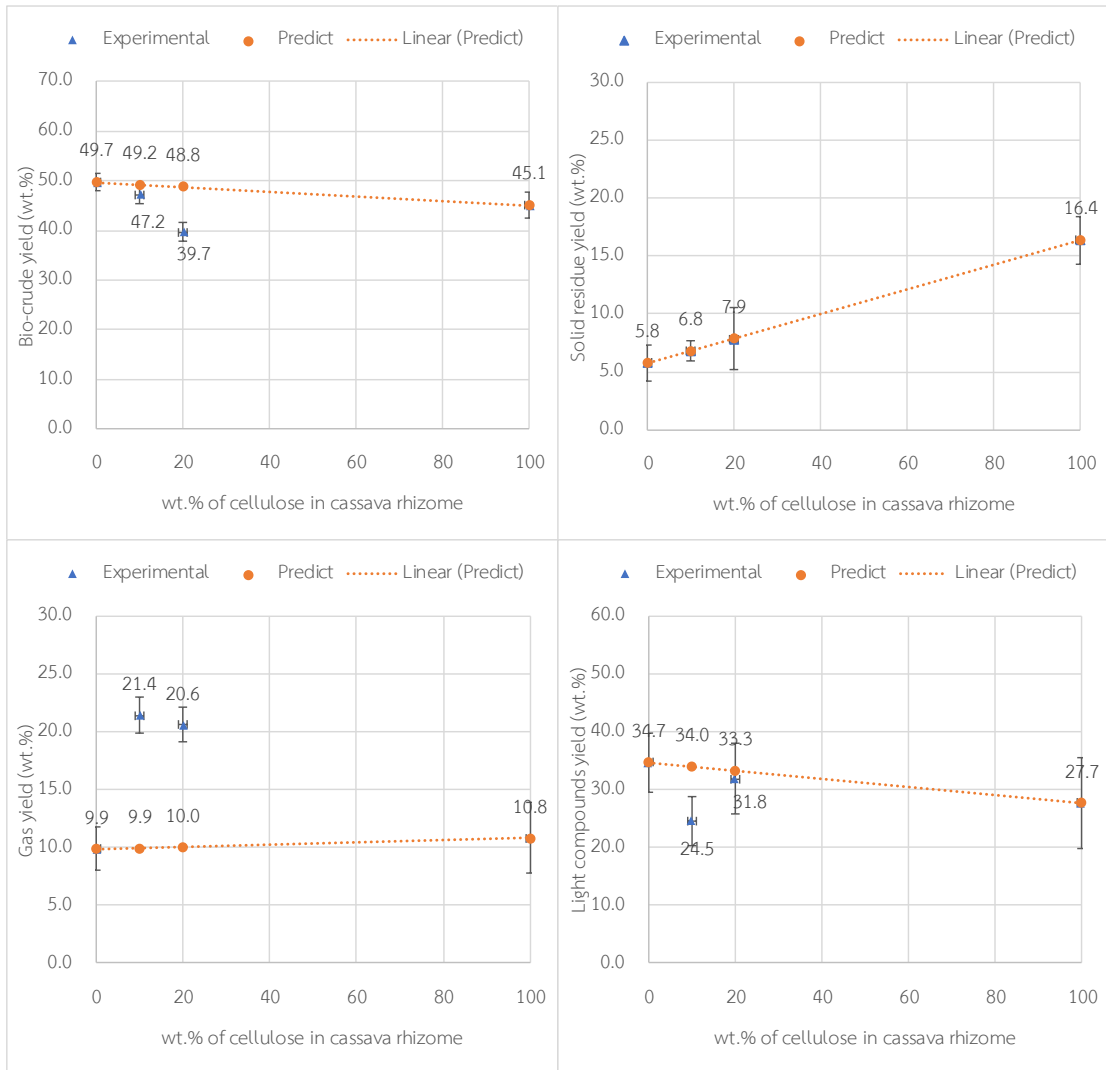
จากผลการทดลอง พบว่าเมื่อมีปริมาณเซลลูโลสเพิ่มขึ้นในเหง้ามันสำปะหลัง ทำให้ได้ร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพลดลง คือ ร้อยละ 68.36 57.81 56.13 และ 25.50 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ซึ่งให้แนวโน้มเหมือนกับการผสมเซลลูโลสลงในชานอ้อย เมื่อพิจารณาร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพ ระหว่างค่าที่ได้จากการทดลองและค่าที่ได้จากการทำนาย พบว่าทั้ง 2 สัดส่วนที่มีการเติมเซลลูโลสลงในเหง้ามันสำปะหลัง ทั้งร้อยละ 10 และ 20 โดยน้ำหนัก มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน คือ ค่าที่ได้จากการทดลองน้อยกว่าค่าทำนาย เกิดผลในเชิงลบ (negative effect) ซึ่งให้แนวโน้มเหมือนกับการผสมเซลลูโลสลงในชานอ้อย



รูปที่ 4.9 ร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพ กากของแข็ง แก๊ส และผลิตภัณฑ์เบาอื่น ๆ จากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันของเหง้ามันสำปะหลังผสมกับเซลลูโลส ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์

รูปที่ 4.10 แสดงร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพ กากของแข็ง แก๊ส และผลิตภัณฑ์เบาอื่น ๆ จากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันของเหง้ามันสำปะหลังผสมกับเซลลูโลส สัดส่วนร้อยละ 0 10 20 และ 100 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส ในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์ จากผลการทดลองพบว่าที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส เมื่อมีปริมาณเซลลูโลสเพิ่มขึ้นใน เหง้ามันสำปะหลัง จากร้อยละ 0 10 และ 20 โดยน้ำหนัก จะทำให้ได้ร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพลดลง คือ ร้อยละ 49.71 47.24 และ 39.74 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ซึ่งให้แนวโน้มเดียวกับที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส แต่ตรงกันข้ามกับเมื่อผสมเซลลูโลสลงในซานอ้อย เมื่อพิจารณาร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบ

ชีวภาพ ระหว่างค่าที่ได้จากการทดลองและค่าที่ได้จากการทำนาย พบว่าทั้ง 2 สัดส่วนร้อยละ 10 และ 20 โดยน้ำหนัก มีแนวโน้มเดียวกับที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส คือ ทุกสัดส่วนค่าที่ได้จากการทดลองน้อยกว่าค่าทำนาย ซึ่งเป็นผลเชิงลบ



รูปที่ 4.10 ร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพ กากของแข็ง แก๊ส และผลิตภัณฑ์เบาอื่น ๆ จากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชันของเหง้ามันสำปะหลังผสมกับเซลลูโลส สัดส่วนร้อยละ 0 10 20 และ 100 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส

จากผลการทดลองทั้งหมดที่ผ่านมา พบว่าที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ผลของเซลลูโลสไม่ขึ้นกับชนิดของชีวมวล ในทางกลับกันที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส เกิดการทำงานเสริมกันระหว่างเซลลูโลสและชานอ้อย แต่เมื่อผสมเซลลูโลสกับเหง้ามันสำปะหลังไม่เกิดการทำงานที่เสริมกัน

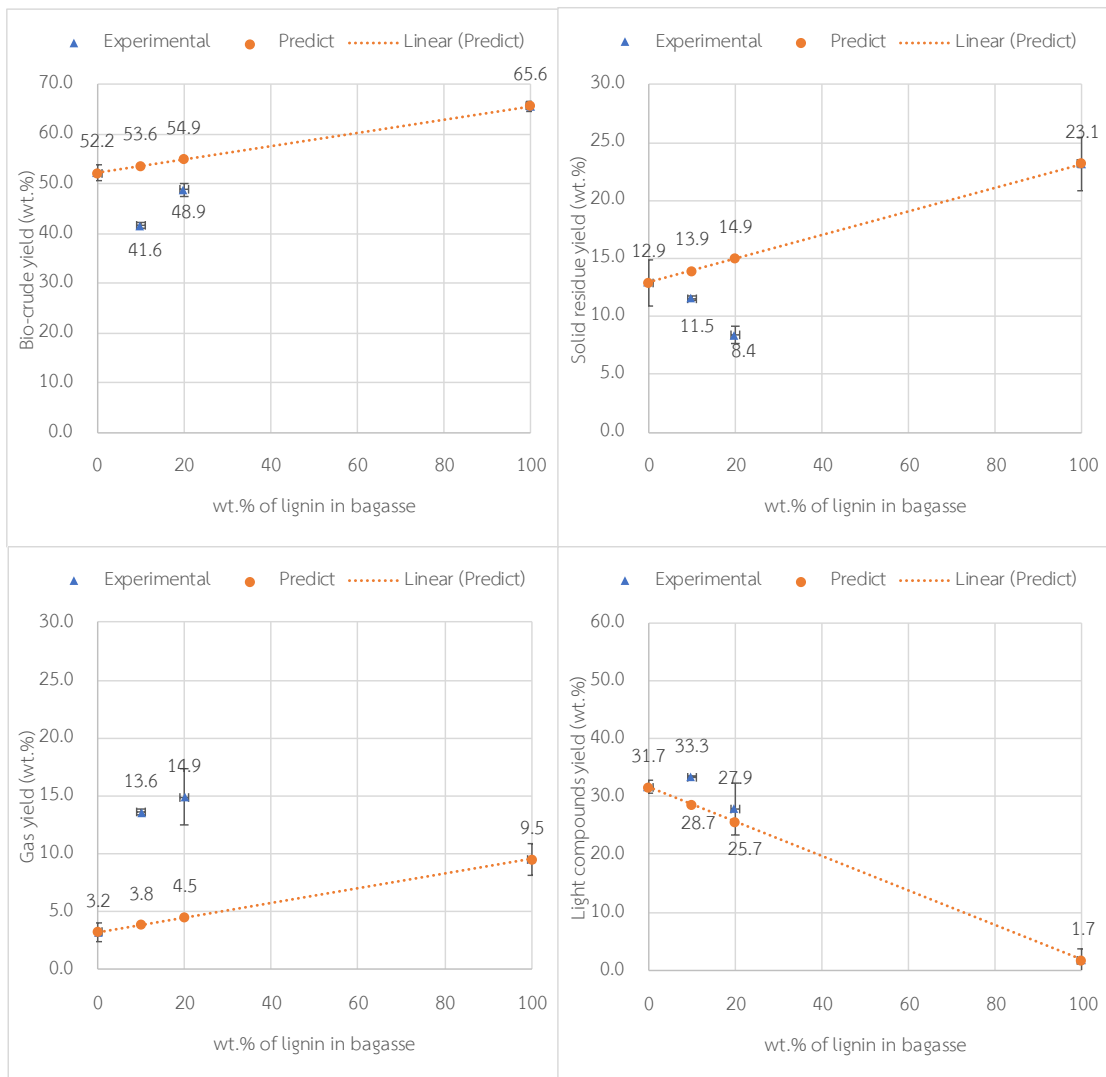
4.2.3 ผลของลิกนินต่อร้อยละผลได้น้ำมันดิบชีวภาพจากไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกซ์

4.2.3.1 ผลของลิกนิน เมื่อผสมกับชานอ้อยต่อร้อยละผลได้น้ำมันดิบชีวภาพจากไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกซ์

ไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกซ์ของชานอ้อยผสมกับลิกนิน ดำเนินการที่อุณหภูมิ 300 และ 350 องศาเซลเซียส ในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบดซ์ ความดันไนโตรเจนเริ่มต้น 2 เมกะพาสคัล ความเร็วรอบใบกวน 300 รอบต่อนาที และเวลาที่ใช้ในการดำเนินปฏิกิริยา 60 นาที

รูปที่ 4.11 แสดงร้อยละผลได้น้ำมันดิบชีวภาพ กากของแข็ง แก๊ส และผลิตภัณฑ์เบาอื่น ๆ จากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกซ์ของชานอ้อยผสมกับลิกนิน สัดส่วนร้อยละ 0 10 20 และ 100 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบดซ์ จากผลการทดลองพบว่าเมื่อมีปริมาณลิกนินเพิ่มขึ้นในชานอ้อย จากร้อยละ 10 เป็น 20 โดยน้ำหนัก ทำให้ได้ร้อยละผลได้น้ำมันดิบชีวภาพเพิ่มขึ้น จากร้อยละ 41.58 เป็น 48.86 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ เนื่องจากลิกนินในสารตั้งต้นมีปริมาณมากขึ้น ทำให้ได้น้ำมันดิบชีวภาพปริมาณมากขึ้น

เมื่อพิจารณาร้อยละผลได้น้ำมันดิบชีวภาพ และกากของแข็งระหว่างค่าที่ได้จากการทดลองและค่าที่ได้จากการทำนาย พบว่าทั้ง 2 สัดส่วนที่มีการเติมลิกนินลงในชานอ้อย ร้อยละ 10 และ 20 โดยน้ำหนัก มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน คือ ค่าที่ได้จากการทดลองน้อยกว่าค่าทำนายซึ่งเกิดผลในเชิงลบ แต่ในทางกลับกันแก๊สมีค่าที่ได้จากการทดลองมากกว่าค่าจริง แสดงว่าสารตั้งต้นเกิดการสลายตัวทางความร้อน น้ำมันดิบชีวภาพ และกากของแข็งแตกตัวไปเป็นแก๊สมากขึ้น



รูปที่ 4.11 ร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพ กากของแข็ง แก๊ส และผลิตภัณฑ์เบาอื่น ๆ จากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกซ์ของขานอ้อยผสมกับลิกนิน สัดส่วนร้อยละ 0 10 20 และ 100 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส

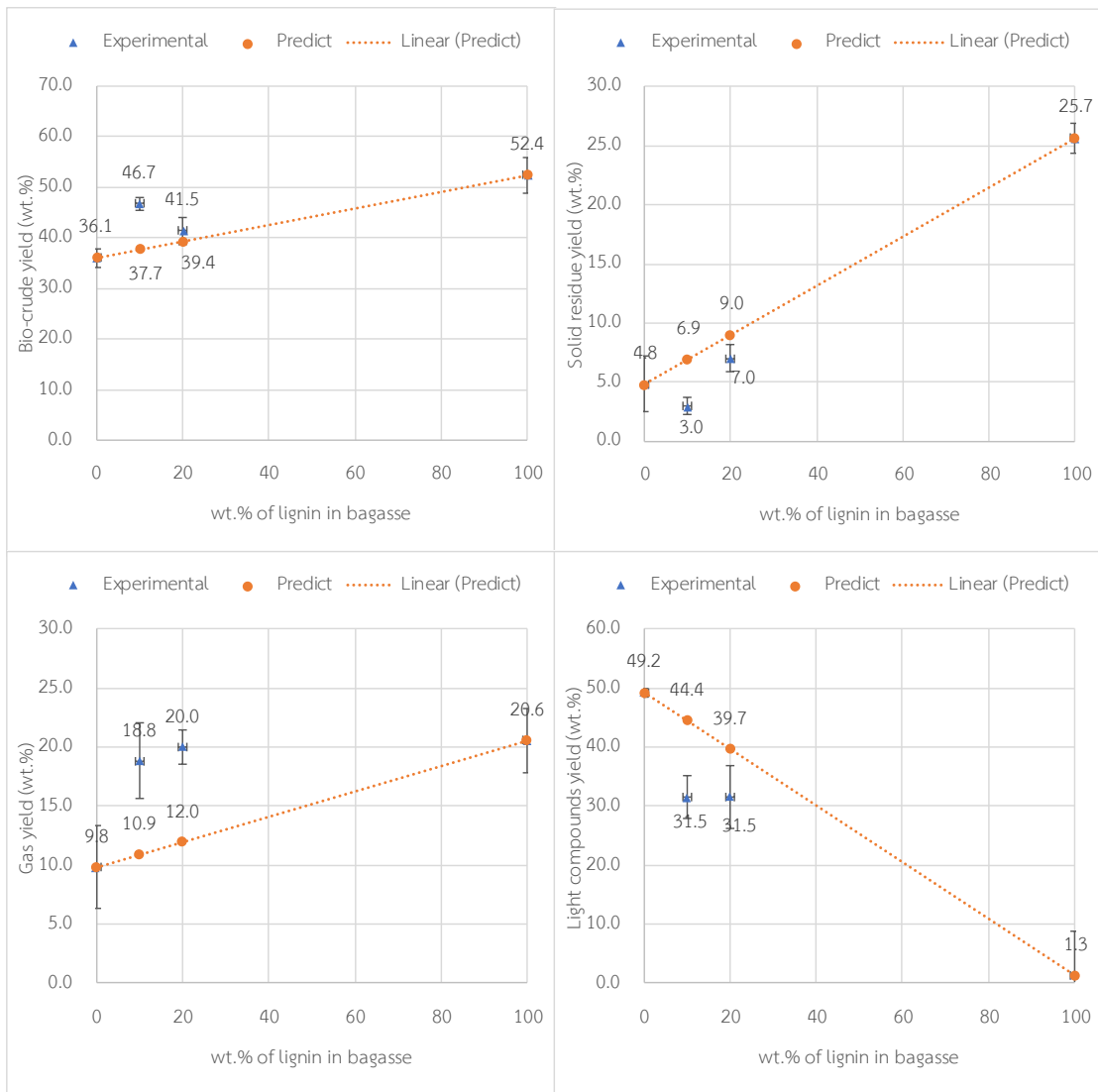
รูปที่ 4.12 แสดงร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพ กากของแข็ง แก๊ส และอื่น ๆ จากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกซ์ของขานอ้อยผสมกับลิกนิน สัดส่วนร้อยละ 0 10 20 และ 100 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส ในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบดซ์ จากผลการทดลองพบว่าที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส เมื่อมีปริมาณลิกนินเพิ่มขึ้นในขานอ้อย ร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก จะทำให้ได้ร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพเพิ่มขึ้น จากร้อยละ 36.12 เป็น 46.74 โดยน้ำหนัก แต่เมื่อเพิ่มลิกนินไปร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก จะทำให้ร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพลดลง จากร้อยละ 46.74 เหลือ 41.48 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ เนื่องมาจากในลิกนินมีปริมาณเถ้า อยู่มาก ซึ่งถ้ามีปริมาณมากเกินไป

ถ้าจะเป็นตัวช่วยยังให้สารระเหยเปลี่ยนไปเป็นน้ำมันดิบชีวภาพได้น้อยลง [37] อีกทั้งลิกนินส่วนใหญ่ จะเกิดไฮโดรไลซิส (hydrolysis) รีพอลิเมอร์ไรเซชัน (repolymerization) และการแตกตัวทางความร้อน (thermal cracking) กลายเป็นไฮโดรคาร์บอนโมเลกุลใหญ่ [38] เมื่อไฮโดรคาร์บอนโมเลกุลใหญ่อยู่รวมกันมาก ๆ จะมีโอกาสจับตัวกันแบบสุ่มกลายเป็นกากของแข็งมากขึ้น ซึ่งเห็นได้จากร้อยละผลได้กากของแข็งเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 2.96 เป็น 7.00 โดยน้ำหนัก

เมื่อพิจารณาร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพ ระหว่างค่าที่ได้จากการทดลองและค่าที่ได้จากการทำนาย พบว่าทั้ง 2 สัดส่วนร้อยละ 10 และ 20 โดยน้ำหนัก มีแนวโน้มตรงกันข้ามกับที่ อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ซึ่งทุกสัดส่วนค่าที่ได้จากการทดลองมากกว่าค่าทำนาย แสดงว่าการเพิ่มขึ้นของลิกนินในชานอ้อยเกิดการทำงานเสริมกัน ที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส เป็นผลเชิงบวก



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



รูปที่ 4.12 ร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพ กากของแข็ง แก๊ส และผลิตภัณฑ์เบาอื่น ๆ จากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกซ์ของชานอ้อยผสมกับลิกนิน สัดส่วนร้อยละ 0 10 20 และ 100 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส

4.2.3.2 ผลของลิกนิน เมื่อผสมกับเหง้ามันสำปะหลังต่อร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพจากไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกซ์

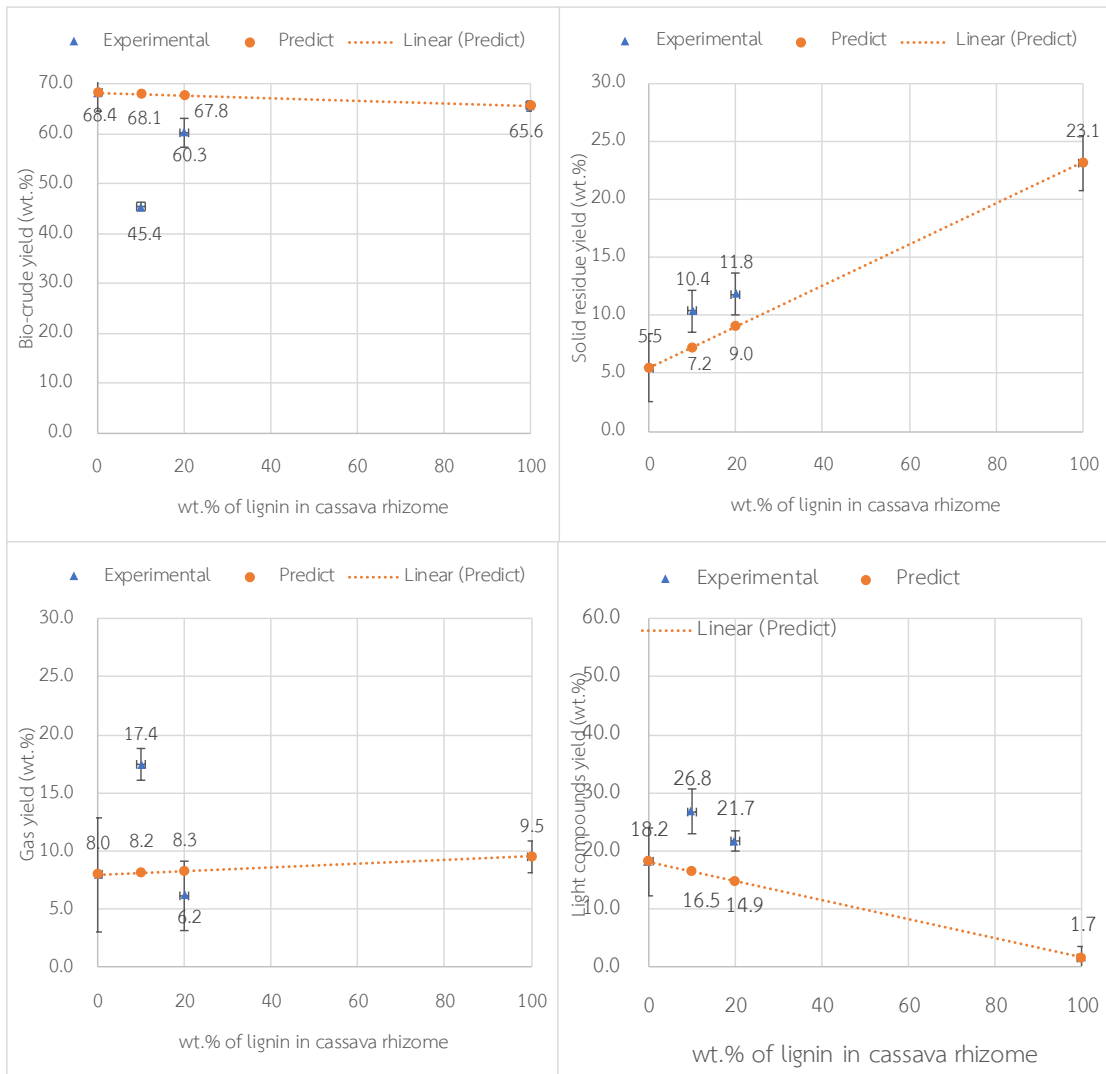
ไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกซ์ของเหง้ามันสำปะหลังผสมกับลิกนิน ดำเนินการที่อุณหภูมิ 300 และ 350 องศาเซลเซียส ในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์ ความดันไนโตรเจนเริ่มต้น 2 เมกะพาสคัล ความเร็วรอบใบกวน 300 รอบต่อนาที และเวลาที่ใช้ในการดำเนินปฏิกิริยา 60 นาที

รูปที่ 4.13 แสดงร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพ กากของแข็ง แก๊ส และผลิตภัณฑ์เบาอื่น ๆ จากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกซ์ของเหง้ามันสำปะหลังผสมกับลิกนิน สัดส่วนร้อยละ

0 10 20 และ 100 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์ จากผลการทดลอง พบว่าเมื่อมีปริมาณลิกนินเพิ่มขึ้นในเหง้ามันสำปะหลัง จากร้อยละ 10 เป็น 20 โดยน้ำหนัก ทำให้ได้ร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพเพิ่มขึ้น จากร้อยละ 45.37 เป็น 60.26 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ซึ่งให้แนวโน้มเดียวกับการผสมลิกนินลงในซานอ้อย

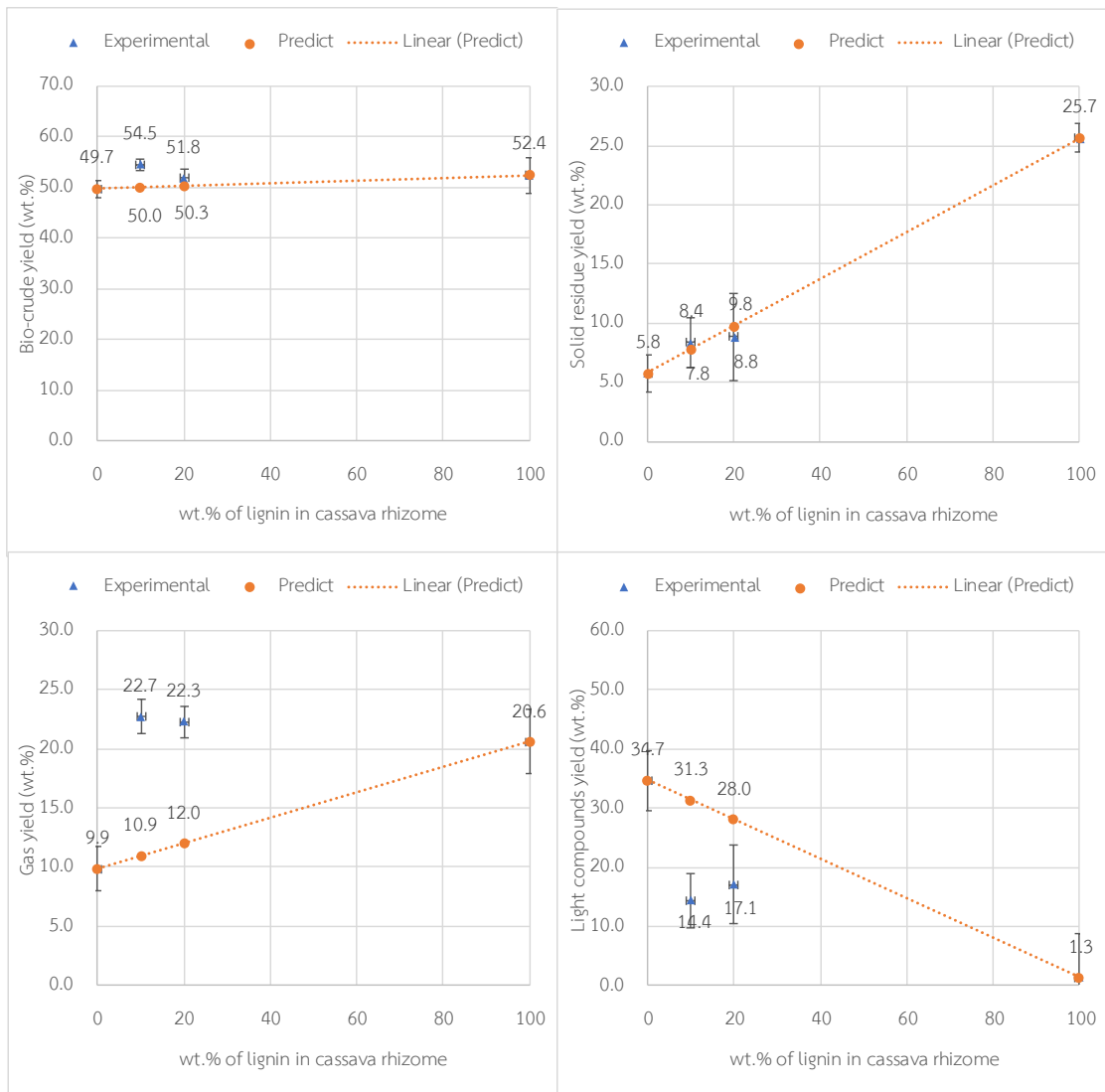
เมื่อพิจารณาร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพ ระหว่างค่าที่ได้จากการทดลองและค่าที่ได้จากการทำนาย พบว่าทั้ง 2 สัดส่วนที่มีการเติมลิกนินลงในซานอ้อย ทั้งร้อยละ 10 และ 20 โดยน้ำหนัก มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน คือ ค่าที่ได้จากการทดลองน้อยกว่าค่าทำนาย ซึ่งเกิดผลในเชิงลบ





รูปที่ 4.13 ร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพ กากของแข็ง แก๊ส และผลิตภัณฑ์เบาอื่น ๆ จากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชันของเหง้ามันสำปะหลังผสมกับลิกนิน สัดส่วนร้อยละ 0 10 20 และ 100 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส

รูปที่ 4.14 แสดงร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพ กากของแข็ง แก๊ส และผลิตภัณฑ์เบาอื่น ๆ จากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชันของเหง้ามันสำปะหลังผสมกับลิกนิน สัดส่วนร้อยละ 0 10 20 และ 100 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส ในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์ จากผลการทดลองพบว่าที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส เมื่อมีปริมาณลิกนินเพิ่มขึ้นในเหง้ามันสำปะหลัง ร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก จะทำให้ได้ร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพเพิ่มขึ้น จากร้อยละ 49.71 เป็น 54.53 โดยน้ำหนัก แต่เมื่อเพิ่มลิกนินไปร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก จะทำให้ร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพลดลง เหลือร้อยละ 51.83 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ซึ่งให้ผลไปในทิศทางเดียวกันกับผสมลิกนินลงในขาน้อย



รูปที่ 4.14 ร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพ กากของแข็ง แก๊ส และผลิตภัณฑ์เบาอื่น ๆ จากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิฟิเคชันของเหง้ามันสำปะหลังผสมกับลิกนิน สัดส่วนร้อยละ 0 10 20 และ 100 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส

จากผลการทดลองทั้งหมดที่ผ่านมา พบว่าทั้งที่อุณหภูมิ 300 และ 350 องศาเซลเซียส ผลของลิกนินไม่ขึ้นกับชนิดของชีวมวล คือ ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส การผสมลิกนินลงในชีวมวลทำให้เกิดผลทางลบ แต่ที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียสจะเกิดการทํางานเสริมกันระหว่างลิกนิน และชีวมวลในการผลิตน้ำมันดิบชีวภาพ

4.3 การวิเคราะห์คุณภาพของน้ำมันดิบชีวภาพจากขานอ้อย เหง้ามันสำปะหลัง เซลลูโลส และลิกนิน ด้วยเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์

4.3.1 การวิเคราะห์คุณภาพของน้ำมันดิบชีวภาพจากขานอ้อย เหง้ามันสำปะหลัง เซลลูโลส และลิกนินด้วยเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์

จากตารางที่ 4.3 แสดงผลการวิเคราะห์แบบแยกธาตุของน้ำมันดิบชีวภาพที่ได้จากขานอ้อย เหง้ามันสำปะหลัง เซลลูโลส และลิกนิน ที่ทำการทดลองในอุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส เมื่อเปรียบเทียบระหว่างเซลลูโลสและลิกนิน พบว่า เซลลูโลสมีปริมาณออกซิเจนมากกว่าลิกนินโดยเทียบที่ปริมาณคาร์บอนเท่ากัน เนื่องมาจากสูตรโมเลกุลของเซลลูโลส คือ $(C_6H_{10}O_5)_n$ และ ลิกนิน คือ $(C_{31}H_{24}O_{11})_n$ [26] การวิเคราะห์แบบแยกธาตุของชีวมวลทั้ง 2 ชนิด ก็เป็นไปตามองค์ประกอบหลักทางเคมี คือ ขานอ้อยที่มีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบ จะมีปริมาณออกซิเจนมากกว่าเหง้ามันสำปะหลัง ส่วนเหง้ามันสำปะหลังมีปริมาณลิกนินมากกว่าขานอ้อย จึงมีปริมาณคาร์บอนที่มากกว่า

ตารางที่ 4.3 การวิเคราะห์แบบแยกธาตุ ของน้ำมันดิบชีวภาพที่ได้จากขานอ้อย เหง้ามันสำปะหลัง เซลลูโลส และลิกนิน

| | Bg100 | Cr100 | Cl100 | Ln100 |
|--|-------|-------|-------|-------|
| การวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (ร้อยละโดยน้ำหนัก) | | | | |
| คาร์บอน (C) | 37.05 | 48.10 | 50.61 | 54.00 |
| ไฮโดรเจน (H) | 5.51 | 7.10 | 6.06 | 5.60 |
| ออกซิเจน (O) | 55.74 | 42.00 | 41.79 | 41.40 |
| ไนโตรเจน (N) | 0.65 | 1.90 | 0.78 | 0.50 |
| ซัลเฟอร์ (S) | 1.07 | 0.90 | 0.77 | 1.80 |

4.3.2 ผลของเซลลูโลสต่อคุณภาพของน้ำมันดิบชีวภาพจากไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกซ์

เมื่อพิจารณาคุณภาพของน้ำมันดิบชีวภาพ จากการวิเคราะห์แบบแยกธาตุของน้ำมันดิบชีวภาพที่ได้จากไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกซ์ของขานอ้อยผสมกับเซลลูโลส ในสัดส่วนร้อยละ 0 20 และ 100 โดยน้ำหนัก ดำเนินการที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ดังแสดงในตารางที่ 4.4 พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณเซลลูโลสในขานอ้อยลงไปร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก ปริมาณธาตุคาร์บอน (C) จะเพิ่มขึ้น จากร้อยละ 37.05 เป็น ร้อยละ 62.78 โดยน้ำหนัก ทำให้ค่าความร้อนเพิ่มขึ้นจาก 10.42 เป็น 23.86 เมกะจูลต่อกิโลกรัม ดังแสดงในรูปที่ 4.15 และให้ผลไปในทิศทางเดียวกับการเหง้ามันสำปะหลังผสมกับเซลลูโลส ในสัดส่วนร้อยละ 0 20 และ 100 โดยน้ำหนัก ดำเนินการที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส

ดังแสดงในตารางที่ 4.5 พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณเซลลูโลสในเหง้ามันสำปะหลังลงไปร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก ปริมาณธาตุคาร์บอน (C) จะเพิ่มขึ้น จากร้อยละ 48.05 เป็น ร้อยละ 61.43 โดยน้ำหนัก ทำให้ค่าความร้อนเพิ่มขึ้นจาก 18.89 เป็น 24.02 เมกะจูลต่อกิโลกรัม ดังแสดงในรูปที่ 4.16

ในทางกลับกันทั้งชานอ้อย และเหง้ามันสำปะหลังมีปริมาณออกซิเจน (O) ลดลง จากร้อยละ 55.74 เป็น 23.73 โดยน้ำหนัก และ ร้อยละ 42.04 เป็น 30.39 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ เนื่องจากเกิดปฏิกิริยากำจัดออกซิเจนในน้ำมันดิบชีวภาพ ได้แก่ ดีคาร์บอนิเลชัน (decarbonylation) และ ดีคาร์บอกซิเลชัน (decarboxylation) [39] ซึ่งไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นในระบบ จะไปทำปฏิกิริยากับ ไฮโดรคาร์บอนกำจัดออกซิเจนออกจากโมเลกุล แสดงตามสมการที่ 4.3 และ 4.4 ตามลำดับ



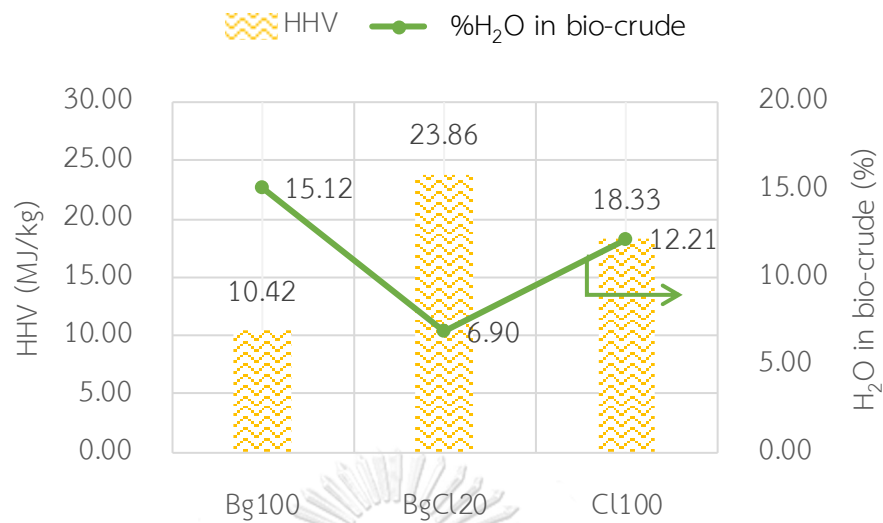
เมื่อพิจารณาปริมาณน้ำในน้ำมันดิบชีวภาพในกรณีของชานอ้อยผสมกับเซลลูโลสจะมีค่าลดลงจากร้อยละ 15.12 เป็น 6.90 โดยน้ำหนัก ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์แบบแยกธาตุ ก่อนหน้าที่มีปริมาณออกซิเจนลดลง

ตารางที่ 4.4 การวิเคราะห์แบบแยกธาตุของน้ำมันดิบชีวภาพที่ได้จากชานอ้อยผสมกับเซลลูโลส ใน สัดส่วนร้อยละ 0 20 และ 100 โดยน้ำหนัก

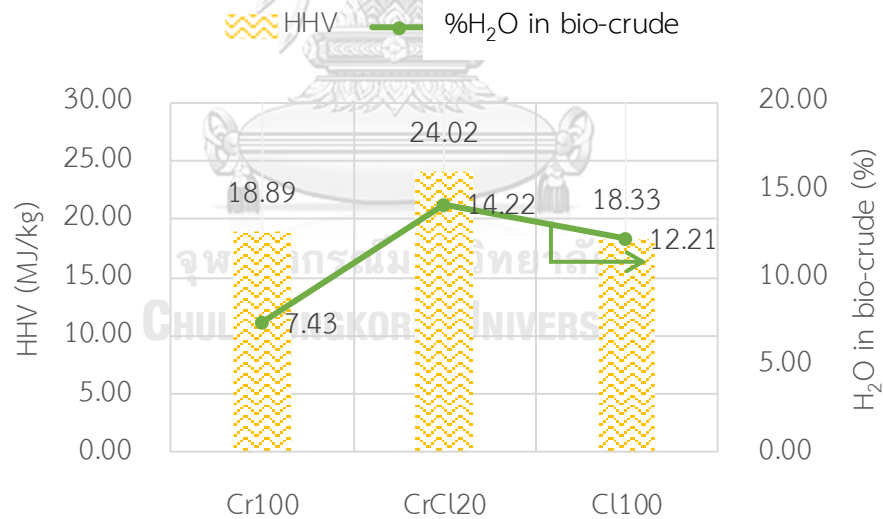
| | Bg100 | BgCl20 | | Cl100 |
|---|-------|-------------------|----------|-------|
| | | ค่าที่ได้จากทดลอง | ค่าทำนาย | |
| การวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (ร้อยละโดยน้ำหนัก) | | | | |
| คาร์บอน (C) | 37.05 | 62.78 | 39.76 | 50.61 |
| ไฮโดรเจน (H) | 5.51 | 5.54 | 5.62 | 6.06 |
| ออกซิเจน (O) | 55.74 | 29.73 | 52.95 | 41.79 |
| ไนโตรเจน (N) | 0.65 | 1.06 | 0.67 | 0.78 |
| ซัลเฟอร์ (S) | 1.07 | 0.90 | 1.01 | 0.77 |
| อัตราส่วนของต่าง ๆ ของธาตุที่พบในน้ำมันดิบชีวภาพ | | | | |
| อัตราส่วนไฮโดรเจนต่อคาร์บอน (H/C) | 1.77 | 1.18 | 1.70 | 1.44 |
| อัตราส่วนออกซิเจนต่อคาร์บอน (O/C) | 0.66 | 0.37 | 0.65 | 0.62 |

ตารางที่ 4.5 การวิเคราะห์แบบแยกธาตุของน้ำมันดิบชีวภาพที่ได้จากเหง้ามันผสมกับเซลลูโลส
ในสัดส่วนร้อยละ 0 20 และ 100 โดยน้ำหนัก

| | Cr100 | CrCl20 | | Cl100 |
|---|-------|-------------------|----------|-------|
| | | ค่าที่ได้จากทดลอง | ค่าทำนาย | |
| การวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (ร้อยละโดยน้ำหนัก) | | | | |
| คาร์บอน (C) | 48.05 | 61.43 | 48.56 | 50.61 |
| ไฮโดรเจน (H) | 7.08 | 6.05 | 6.88 | 6.06 |
| ออกซิเจน (O) | 42.04 | 30.39 | 41.99 | 41.79 |
| ไนโตรเจน (N) | 1.89 | 1.36 | 1.67 | 0.78 |
| ซัลเฟอร์ (S) | 0.94 | 0.78 | 0.91 | 0.77 |
| อัตราส่วนของต่าง ๆ ของธาตุที่พบในน้ำมันดิบชีวภาพ | | | | |
| อัตราส่วนไฮโดรเจนต่อคาร์บอน (H/C) | 1.77 | 1.18 | 1.70 | 1.44 |
| อัตราส่วนออกซิเจนต่อคาร์บอน (O/C) | 0.66 | 0.37 | 0.65 | 0.62 |

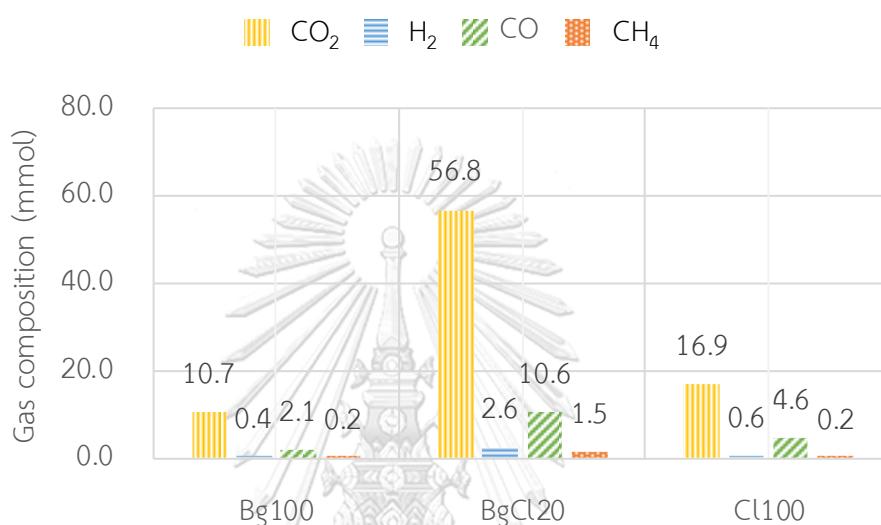


รูปที่ 4.15 ค่าความร้อนของน้ำมันดิบชีวภาพ (กราฟแท่ง) และปริมาณในน้ำมันดิบชีวภาพ (กราฟเส้น) จากการทำไฮโดรเทอร์มอลลิควิแฟกชันของชานอ้อยผสมกับเซลลูโลส สัดส่วนร้อยละ 0 20 และ 100 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์



รูปที่ 4.16 ค่าความร้อนของน้ำมันดิบชีวภาพ (กราฟแท่ง) และปริมาณในน้ำมันดิบชีวภาพ (กราฟเส้น) จากการทำไฮโดรเทอร์มอลลิควิแฟกชันของเหง้ามันสำปะหลังผสมกับเซลลูโลส สัดส่วนร้อยละ 0 20 และ 100 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์

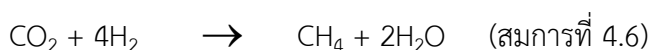
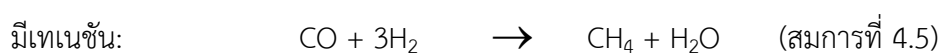
ส่วนการวิเคราะห์องค์ประกอบต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์แก๊สที่ได้จากไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกชันของชานอ้อยผสมกับเซลลูโลส ในสัดส่วนร้อยละ 0 20 และ 100 โดยน้ำหนัก ดำเนินการที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ดังแสดงในรูปที่ 4.17 พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณเซลลูโลสลงในสารตั้งต้น ทำให้ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ และคาร์บอนมอนอกไซด์เพิ่มขึ้น จาก 10.7 เป็น 56.8 และ 2.1 เป็น 10.6 มิลลิโมล ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับปฏิกิริยากำจัดออกซิเจนทั้ง 2 ปฏิกิริยาข้างต้น

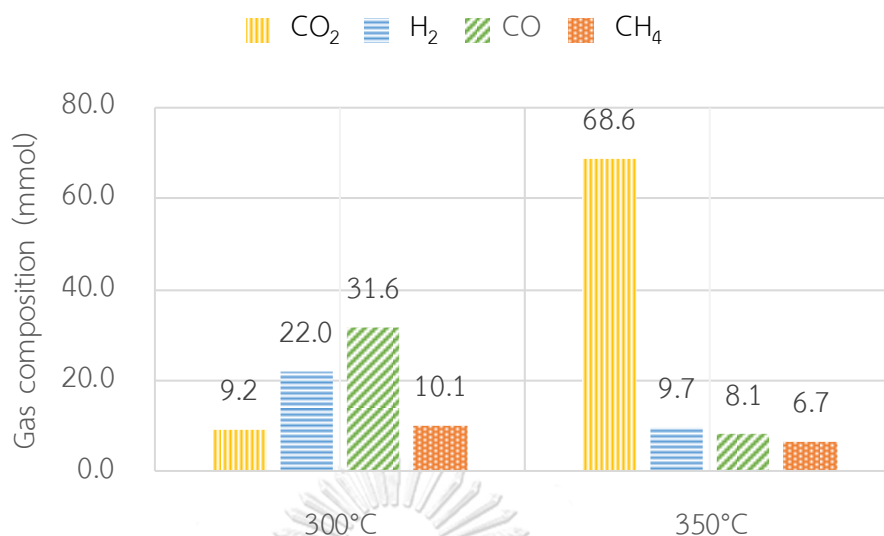


รูปที่ 4.17 องค์ประกอบต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์แก๊สจากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกชันของชานอ้อยผสมกับเซลลูโลส สัดส่วนร้อยละ 0 20 และ 100 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แต่เมื่อพิจารณาองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์แก๊สที่ได้จากไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกชันของเหง้ามันสำปะหลังผสมกับเซลลูโลส ในสัดส่วนร้อยละ 0 20 และ 100 โดยน้ำหนัก ดำเนินการที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ดังแสดงในรูปที่ 4.18 พบว่า พบว่าปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ ไฮโดรเจน และ มีเทน เพิ่มขึ้น แต่ในทางกลับกันคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าลดลง คือ คาร์บอนไดออกไซด์ และ คาร์บอนมอนอกไซด์ที่ได้จากเกิดปฏิกิริยากำจัดออกซิเจนในน้ำมันดิบชีวภาพนั้น จะไปเกิดปฏิกิริยา มีเทนเนชัน (methanation) ต่อ ดังแสดงในสมการที่ 4.5 และ 4.6 คาร์บอนไดออกไซด์รวมตัวกับ ไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นในระบบ ได้ผลิตภัณฑ์เป็นมีเทน และน้ำ





รูปที่ 4.18 องค์ประกอบต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์แก๊สจากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันของเหง้ามันผสมกับเซลลูโลส สัดส่วนร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 300 และ 350 องศาเซลเซียส ตามลำดับในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์

เมื่อพิจารณาปริมาณน้ำในน้ำมันดิบชีวภาพในกรณีของเหง้ามันสำปะหลังผสมกับเซลลูโลสจะมีค่าเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 7.43 เป็น 14.22 โดยน้ำหนัก ซึ่งตรงกับปฏิกิริยามีเทนชันข้างต้น ที่ได้น้ำเป็นผลิตภัณฑ์ร่วมด้วยกับมีเทน มีเทนชันเป็นปฏิกิริยาคายพลังงาน เพราะฉะนั้นถ้าในระบบมีอุณหภูมิสูงขึ้น ปฏิกิริยาจะเกิดย้อนกลับ และเพื่อเป็นการยืนยันผลข้างต้นว่ามีปฏิกิริยามีเทนชันเกิดขึ้นจริงจึงมาพิจารณาองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์แก๊สที่ได้จากไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันของเหง้ามันสำปะหลังผสมกับเซลลูโลส ในสัดส่วนร้อยละ 0 20 และ 100 โดยน้ำหนัก ดำเนินการที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส พบว่าปริมาณมีเทนที่ได้มีค่าลดลง คาร์บอนมอนอกไซด์ และคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าเพิ่มขึ้น สรุปได้ว่าถึงแม้การเพิ่มปริมาณเซลลูโลสลงในชีวมวลทั้ง 2 ชนิด จะส่งผลให้ร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพลดลง แต่กลับส่งผลดีต่อคุณภาพน้ำมันดิบชีวภาพ

4.3.3 ผลของลิกนินต่อคุณภาพของน้ำมันดิบชีวภาพจากไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชัน

เมื่อพิจารณาคูณภาพของน้ำมันดิบชีวภาพ จากการวิเคราะห์แบบแยกธาตุของน้ำมันดิบชีวภาพที่ได้จากไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันของชานอ้อยผสมกับลิกนิน ในสัดส่วนร้อยละ 0 20 และ 100 โดยน้ำหนัก ดำเนินการที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ดังแสดงในตารางที่ 4.6 พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณลิกนินในชานอ้อยลงไปร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก ปริมาณธาตุคาร์บอน (C) จะเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 37.05 เป็น ร้อยละ 53.01 โดยน้ำหนัก ทำให้ค่าความร้อนเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 10.42 เป็น 18.97 โดยน้ำหนัก ดังแสดงในรูปที่ 4.19 และให้ผลไปในทิศทางเดียวกับการเหง้ามันสำปะหลังผสม

กับลิกนิน ในสัดส่วนร้อยละ 0 20 และ 100 โดยน้ำหนัก ดำเนินการที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ดังแสดงในตารางที่ 4.7 พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณลิกนินในเหง้ามันสำปะหลังลงไปร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก ปริมาณธาตุคาร์บอน (C) จะเพิ่มขึ้น จากร้อยละ 48.05 เป็น ร้อยละ 61.98 โดยน้ำหนัก ทำให้ค่าความร้อนเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 18.89 เป็น 24.39 เมกะจูลต่อกิโลกรัม ดังแสดงในรูปที่ 4.40 ในทางกลับกันทั้งซังขาน้อย และเหง้ามันสำปะหลังมีปริมาณออกซิเจน (O) ลดลง จากร้อยละ 55.74 เป็น 39.37 โดยน้ำหนัก และ ร้อยละ 42.04 เป็น 29.37 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ เนื่องจากเกิดปฏิกิริยากำจัดออกซิเจนในน้ำมันดิบชีวภาพ ได้แก่ ดีคาร์บอนเลชัน (decarbonylation) และดีโอซีจีเนชัน (deoxygenation) [39] เหมือนกันกับผลของการผสมเซลล์โลสลงในชีวมวล

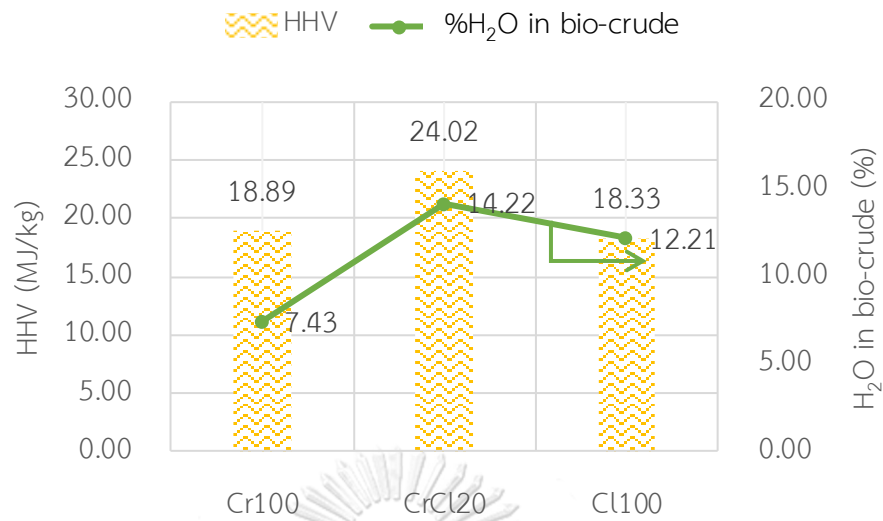
เมื่อพิจารณาปริมาณน้ำในน้ำมันดิบชีวภาพในกรณีของซังขาน้อยผสมกับเซลล์โลสจะมีค่าลดลงจากร้อยละ 15.12 เป็น 7.25 ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์แบบแยกธาตุก่อนหน้านี้ที่มีปริมาณออกซิเจนลดลง ในกรณีของเหง้ามันสำปะหลังผสมกับลิกนิน พบว่าปริมาณน้ำในน้ำมันดิบชีวภาพจะมีค่าเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 7.43 เป็น 16.77 เนื่องจากทั้งเหง้ามันสำปะหลัง และลิกนิน มีปริมาณเถ้า เป็นองค์ประกอบอยู่มาก ซึ่งเถ้าสามารถเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการสลายตัวของลิกนินเพื่อทำให้เกิดเป็นน้ำได้ [40]

ตารางที่ 4.6 การวิเคราะห์แบบแยกธาตุของน้ำมันดิบชีวภาพที่ได้จากซังขาน้อยผสมกับลิกนิน ในสัดส่วนร้อยละ 0 20 และ 100 โดยน้ำหนัก

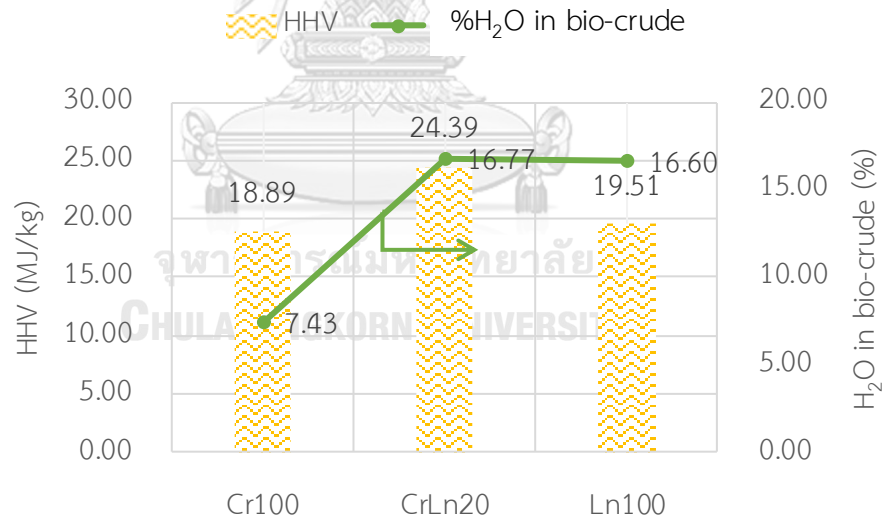
| | Bg100 | BgLn20 | | Ln100 |
|---|-------|-------------------|----------|-------|
| | | ค่าที่ได้จากทดลอง | ค่าทำนาย | |
| การวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (ร้อยละโดยน้ำหนัก) | | | | |
| คาร์บอน (C) | 37.05 | 53.21 | 40.44 | 54.00 |
| ไฮโดรเจน (H) | 5.51 | 5.60 | 5.53 | 5.63 |
| ออกซิเจน (O) | 55.74 | 39.37 | 52.21 | 38.09 |
| ไนโตรเจน (N) | 0.65 | 0.74 | 0.62 | 0.53 |
| ซัลเฟอร์ (S) | 1.05 | 1.08 | 1.20 | 1.75 |
| อัตราส่วนของต่าง ๆ ของธาตุที่พบในน้ำมันดิบชีวภาพ | | | | |
| อัตราส่วนไฮโดรเจนต่อคาร์บอน (H/C) | 1.78 | 1.26 | 1.68 | 1.25 |
| อัตราส่วนออกซิเจนต่อคาร์บอน (O/C) | 1.13 | 0.55 | 1.01 | 0.53 |

ตารางที่ 4.7 การวิเคราะห์แบบแยกธาตุของน้ำมันดิบชีวภาพที่ได้จากเหง้ามันสำปะหลังผสมกับ
ลิกนิน ในสัดส่วนร้อยละ 0 20 และ 100 โดยน้ำหนัก

| | Cr100 | CrLn20 | | Ln100 |
|---|-------|-------------------|----------|-------|
| | | ค่าที่ได้จากทดลอง | ค่าทำนาย | |
| การวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (ร้อยละโดยน้ำหนัก) | | | | |
| คาร์บอน (C) | 48.05 | 61.98 | 49.24 | 54.00 |
| ไฮโดรเจน (H) | 7.08 | 6.05 | 6.79 | 5.63 |
| ออกซิเจน (O) | 42.04 | 29.37 | 41.25 | 38.09 |
| ไนโตรเจน (N) | 1.89 | 1.47 | 1.62 | 0.53 |
| ซัลเฟอร์ (S) | 0.94 | 1.13 | 1.10 | 1.75 |
| อัตราส่วนของต่าง ๆ ของธาตุที่พบในน้ำมันดิบชีวภาพ | | | | |
| อัตราส่วนไฮโดรเจนต่อคาร์บอน (H/C) | 1.77 | 1.17 | 1.66 | 1.25 |
| อัตราส่วนออกซิเจนต่อคาร์บอน (O/C) | 0.66 | 0.36 | 0.63 | 0.53 |



รูปที่ 4.19 ค่าความร้อนของน้ำมันดิบชีวภาพ (กราฟแท่ง) และปริมาณในน้ำมันดิบชีวภาพ (กราฟเส้น) จากการทำไฮโดรเทอร์มอลลิควิแฟกชันของชานอ้อยผสมกับลิกนิน สัดส่วนร้อยละ 0 20 และ 100 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์



รูปที่ 4.20 ค่าความร้อนของน้ำมันดิบชีวภาพ (กราฟแท่ง) และปริมาณในน้ำมันดิบชีวภาพ (กราฟเส้น) จากการทำไฮโดรเทอร์มอลลิควิแฟกชันของเห้งน้ำมันสำปะหลังผสมกับลิกนิน สัดส่วนร้อยละ 0 20 และ 100 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์

สรุปได้ว่าถึงแม้การเพิ่มปริมาณลิกนินลงในชีวมวลทั้ง 2 ชนิด จะส่งผลให้ร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพลดลง แต่กลับส่งผลดีต่อคุณภาพน้ำมันดิบชีวภาพ

4.4 ไฮโดรเทอร์มัลลิกวิพากซ์ชันของขานอ้อย เหง้ามันสำปะหลัง เซลลูโลส และลิกนิน ด้วย เครื่องปฏิกรณ์แบบกึ่งต่อเนื่อง

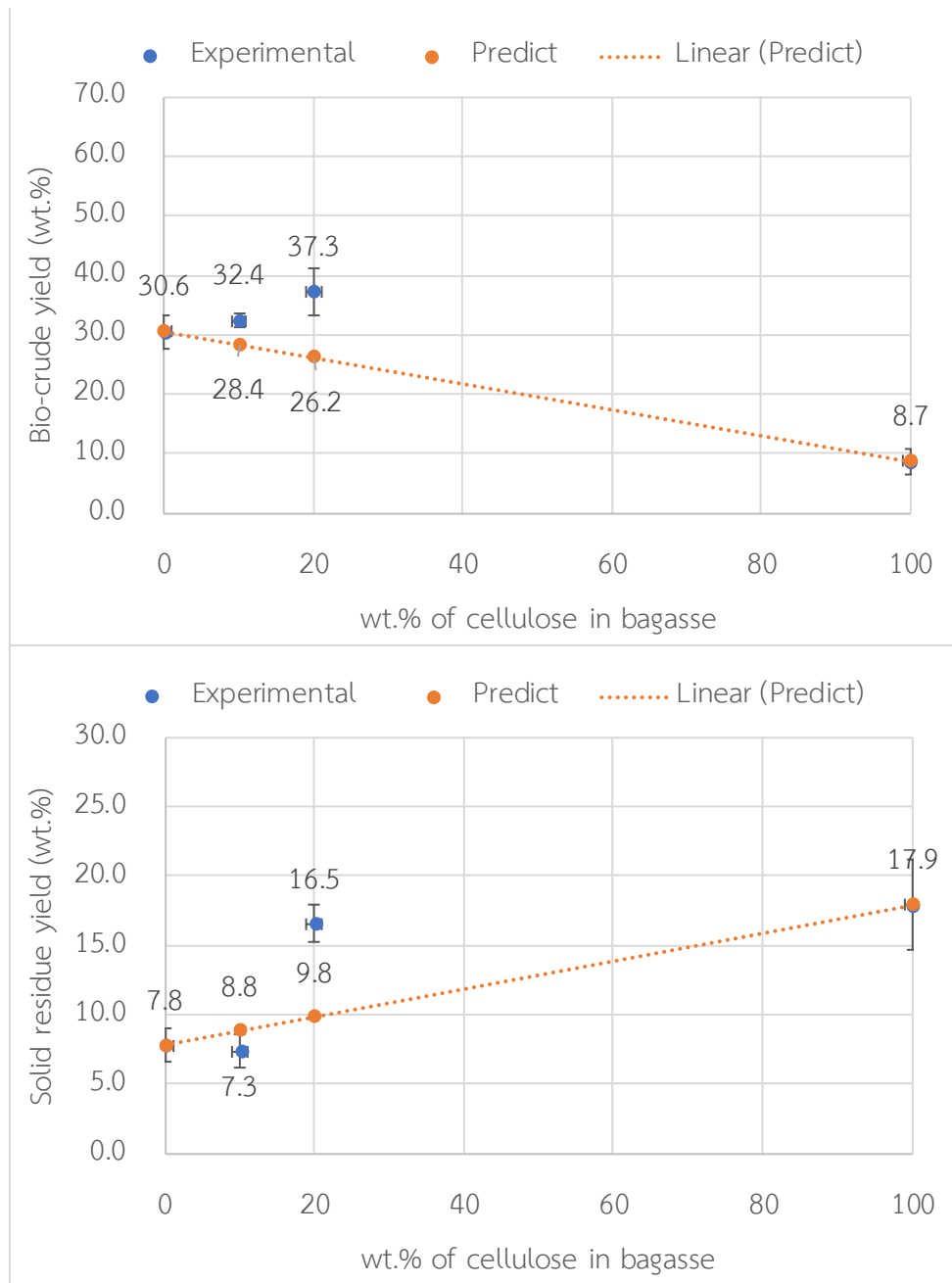
4.4.1 ผลของเซลลูโลสต่อร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพจากไฮโดรเทอร์มัลลิกวิพากซ์ชัน ในเครื่องปฏิกรณ์แบบกึ่งต่อเนื่อง

ไฮโดรเทอร์มัลลิกวิพากซ์ชันของขานอ้อยผสมกับเซลลูโลส สัดส่วนร้อยละ 0 20 และ 100 โดยน้ำหนัก ดำเนินการที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ในเครื่องปฏิกรณ์แบบกึ่งต่อเนื่อง และเวลาที่ใช้ในการดำเนินปฏิกิริยา 60 นาที

รูปที่ 4.21 แสดงร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพ และกากของแข็ง จากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิกวิพากซ์ชันของขานอ้อยผสมกับเซลลูโลส ในเครื่องปฏิกรณ์แบบกึ่งต่อเนื่อง ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส

จากผลการทดลอง พบว่าเมื่อมีปริมาณเซลลูโลสเพิ่มขึ้นในขานอ้อย จากร้อยละ 0 10 และ 20 โดยน้ำหนัก ทำให้ได้ร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพเพิ่มขึ้น จากร้อยละ 30.56 เป็น 32.38 และ 37.27 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาร้อยละผลได้ของน้ำดิบชีวภาพ และกากของแข็ง ระหว่างค่าที่ได้จากการทดลอง และค่าที่ได้จากการทำนาย พบว่าทั้ง 2 สัดส่วนร้อยละ 10 และ 20 โดยน้ำหนัก มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน คือ ค่าที่ได้จากการทดลองมากกว่าค่าทำนาย เป็นผลในเชิงบวก ซึ่งแตกต่างกับการทำการทดลองในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์ ที่ให้ผลในเชิงลบ ในกรณีแสดงให้เห็นว่าขานอ้อยและเซลลูโลสจะทำงานเสริมกันได้ดีในเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา (residence time) ที่เหมาะสม ซึ่งอาจสรุปได้เบื้องต้นว่าเมื่อใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาที่มากขึ้น อาจส่งผลยับยั้งการทำงานของร่วมกันของขานอ้อย และเซลลูโลสได้ อีกทั้งผลทำงานเสริมกันนี้อาจจะเห็นได้ไม่ชัดในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์



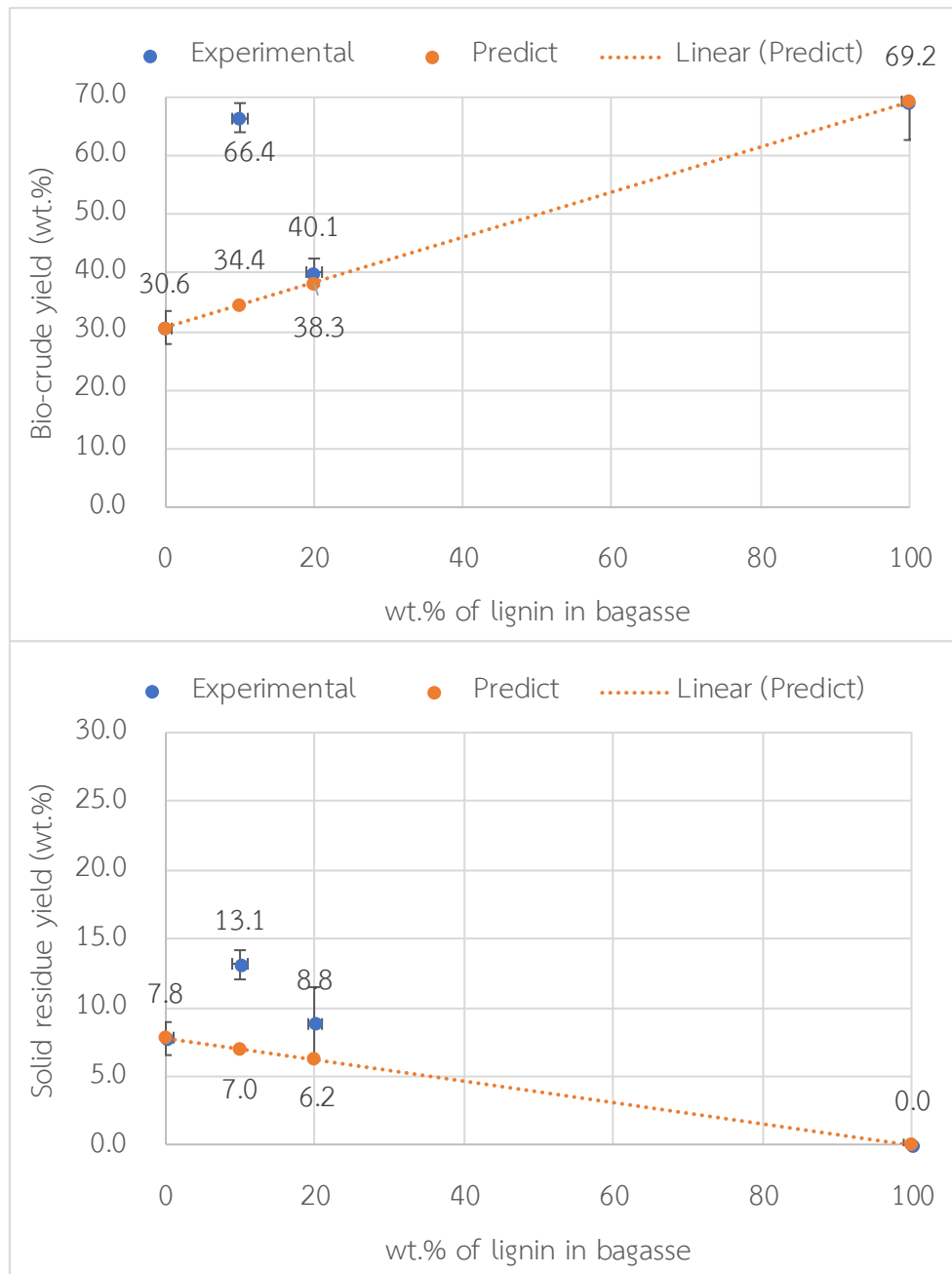
รูปที่ 4.21 ร้อยละผลได้น้ำมันดิบชีวภาพ และกากของแข็ง แก๊ส จากการทำไฮโดรเทอร์มัล ลิกวิแฟกชันของชานอ้อยผสมกับเซลลูโลส ในเครื่องปฏิกรณ์แบบกึ่งต่อเนื่อง ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส

4.4.2 ผลของลิกนินต่อร้อยละผลได้ ของน้ำมันดิบชีวภาพจากไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแพกชั้น ในเครื่องปฏิกรณ์แบบกึ่งต่อเนื่อง

ไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแพกชั้นของชานอ้อยผสมกับลิกนิน สัดส่วนร้อยละ 0 20 และ 100 โดยน้ำหนัก ดำเนินการที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ในเครื่องปฏิกรณ์แบบกึ่งต่อเนื่อง และเวลาที่ใช้ในการดำเนินปฏิกิริยา 60 นาที

รูปที่ 4.22 แสดงร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพ และกากของแข็ง จากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแพกชั้นของชานอ้อยผสมกับลิกนิน ในเครื่องปฏิกรณ์แบบกึ่งต่อเนื่อง ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส จากผลการทดลอง พบว่าเมื่อมีปริมาณลิกนินเพิ่มขึ้นในชานอ้อย ไปร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก จะได้รับร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพเพิ่มขึ้น จากร้อยละ 30.56 เป็น 66.39 โดยน้ำหนัก แต่เมื่อเพิ่มไปถึงร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก จะได้รับร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพลดลง เหลือร้อยละ 40.09 โดยน้ำหนัก เนื่องมาจากในลิกนินมีปริมาณเถ้าอยู่มาก ซึ่งถ้ามีปริมาณมากเกินไป เถ้าจะเป็นตัวยับยั้งให้สารระเหยเปลี่ยนไปเป็นน้ำมันดิบชีวภาพได้น้อยลง [11]

เมื่อพิจารณาร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพ และกากของแข็ง ระหว่างค่าที่ได้จากการทดลองและค่าที่ได้จากการทำนาย พบว่าทั้ง 2 สัดส่วนร้อยละ 10 และ 20 โดยน้ำหนัก มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน คือ ค่าที่ได้จากการทดลองมากกว่าค่าทำนาย เป็นผลในเชิงบวก ซึ่งแตกต่างกับการทำการทดลองในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์ ที่ให้ผลในเชิงลบ ในกรณีแสดงให้เห็นว่าชานอ้อยและลิกนินจะทำงานเสริมกัน ในเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาที่เหมาะสม ซึ่ง อาจสรุปได้เบื้องต้นว่าเมื่อใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาที่มากขึ้น อาจส่งผลยับยั้งการทำงานของร่วมกันของชานอ้อย และลิกนินได้อีกทั้งผลทำงานเสริมกันนี้อาจจะเห็นได้ไม่ชัดในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์



รูปที่ 4.22 ร้อยละผลได้น้ำมันดิบชีวภาพ และกากของแข็ง แก๊ส จากการทำไฮโดรเทอร์มัล ลิควิแฟกชันของชานอ้อยผสมกับลิกนิน ในเครื่องปฏิกรณ์แบบกึ่งต่อเนื่อง ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส

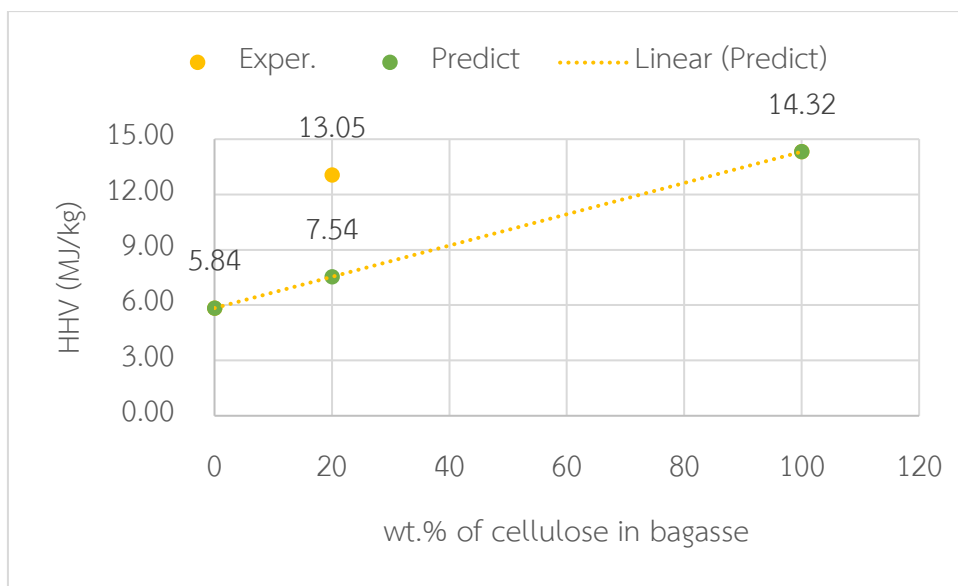
4.5 การวิเคราะห์คุณภาพของน้ำมันดิบชีวภาพจากขานอ้อย เหม้ามันสำปะหลัง เซลลูโลส และลิกนิน ด้วยเครื่องปฏิกรณ์แบบกึ่งต่อเนื่อง

4.5.1 ผลของเซลลูโลสต่อคุณภาพของน้ำมันดิบชีวภาพจากไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกซ์

เมื่อพิจารณาคุณภาพของน้ำมันดิบชีวภาพ จากการวิเคราะห์แบบแยกธาตุของน้ำมันดิบชีวภาพที่ได้จากไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกซ์ของขานอ้อยผสมกับเซลลูโลส ในสัดส่วนร้อยละ 0 20 และ 100 โดยน้ำหนัก ดำเนินการที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ดังแสดงในตารางที่ 4.8 พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณเซลลูโลสในขานอ้อยลงไปร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก ปริมาณธาตุคาร์บอน จะเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 28.38 เป็น ร้อยละ 39.51 โดยน้ำหนัก ทำให้ค่าความร้อนเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 5.84 เป็น 13.05 เมกะจูลต่อกิโลกรัม ดังแสดงในรูปที่ 4.23 ในทางกลับกันปริมาณออกซิเจนลดลง จากร้อยละ 64.09 เป็น 52.56 โดยน้ำหนัก เนื่องจากเกิดปฏิกิริยากำจัดออกซิเจนในน้ำมันดิบชีวภาพ เหมือนกันกับการทดลองในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์

ตารางที่ 4.8 การวิเคราะห์แบบแยกธาตุของน้ำมันดิบชีวภาพที่ได้จากขานอ้อยผสมกับเซลลูโลส ในสัดส่วนร้อยละ 0 20 และ 100 โดยน้ำหนัก

| | Bg100-C | BgCl20-C | | Cl100-C |
|---|---------|-------------------|----------|---------|
| | | ค่าที่ได้จากทดลอง | ค่าทำนาย | |
| การวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (ร้อยละโดยน้ำหนัก) | | | | |
| คาร์บอน (C) | 28.38 | 39.51 | 30.79 | 40.45 |
| ไฮโดรเจน (H) | 5.41 | 6.35 | 5.69 | 6.82 |
| ออกซิเจน (O) | 64.09 | 52.56 | 61.48 | 51.03 |
| ไนโตรเจน (N) | 0.56 | 0.81 | 0.55 | 0.52 |
| ซัลเฟอร์ (S) | 1.56 | 0.77 | 1.49 | 1.18 |
| อัตราส่วนของต่าง ๆ ของธาตุที่พบในน้ำมันดิบชีวภาพ | | | | |
| อัตราส่วนไฮโดรเจนต่อคาร์บอน (H/C) | 2.29 | 1.93 | 2.24 | 2.02 |
| อัตราส่วนออกซิเจนต่อคาร์บอน (O/C) | 1.69 | 1.00 | 1.54 | 0.95 |



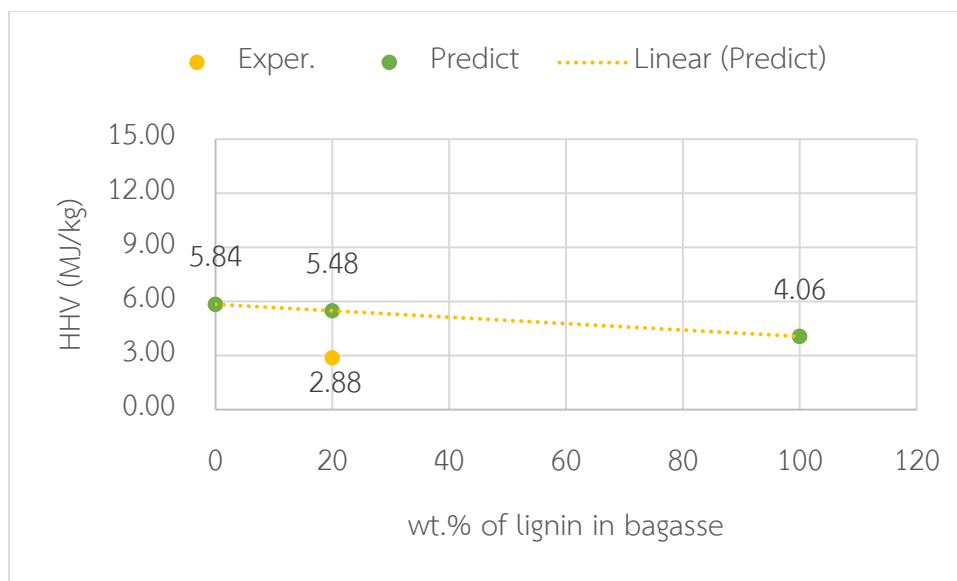
รูปที่ 4.23 ค่าความร้อนของน้ำมันดิบชีวภาพ จากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันของชานอ้อยผสมกับเซลลูโลส สัดส่วนร้อยละ 0 20 และ 100 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ในเครื่องปฏิกรณ์แบบกึ่งต่อเนื่อง

4.5.2 ผลของลิกนินต่อคุณภาพของน้ำมันดิบชีวภาพจากไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชัน

เมื่อพิจารณาคุณภาพของน้ำมันดิบชีวภาพ จากการวิเคราะห์แบบแยกธาตุของน้ำมันดิบชีวภาพที่ได้จากไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันของชานอ้อยผสมกับลิกนิน ในสัดส่วนร้อยละ 0 20 และ 100 โดยน้ำหนัก ดำเนินการที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ดังแสดงในตารางที่ 4.9 พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณลิกนินในชานอ้อยลงไปร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก ปริมาณธาตุคาร์บอนจะลดลง จากร้อยละ 28.38 เป็น ร้อยละ 16.51 โดยน้ำหนัก ทำให้ค่าความร้อนลดลงจากร้อยละ 5.84 เป็น 2.88 เมกะจูลต่อกิโลกรัม ดังแสดงในรูปที่ 4.24 ในทางกลับกันปริมาณออกซิเจนเพิ่มขึ้น จากร้อยละ 64.09 เป็น 74.51 โดยน้ำหนัก

ตารางที่ 4.9 การวิเคราะห์แบบแยกธาตุของน้ำมันดิบชีวภาพที่ได้จากชานอ้อยผสมกับลิกนิน
ในสัดส่วนร้อยละ 0 20 และ 100 โดยน้ำหนัก

| | Bg100-C | BgLn20-C | | Ln100-C |
|---|---------|-------------------|----------|---------|
| | | ค่าที่ได้จากทดลอง | ค่าทำนาย | |
| การวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (ร้อยละโดยน้ำหนัก) | | | | |
| คาร์บอน (C) | 28.38 | 16.51 | 25.50 | 14.00 |
| ไฮโดรเจน (H) | 5.41 | 7.44 | 6.12 | 8.94 |
| ออกซิเจน (O) | 64.09 | 74.51 | 66.29 | 75.10 |
| ไนโตรเจน (N) | 0.56 | 0.58 | 0.54 | 0.48 |
| ซัลเฟอร์ (S) | 1.56 | 0.96 | 1.55 | 1.48 |
| อัตราส่วนของต่าง ๆ ของธาตุที่พบในน้ำมันดิบชีวภาพ | | | | |
| อัตราส่วนไฮโดรเจนต่อคาร์บอน (H/C) | 2.29 | 5.41 | 3.36 | 7.66 |
| อัตราส่วนออกซิเจนต่อคาร์บอน (O/C) | 1.69 | 3.39 | 2.16 | 4.02 |



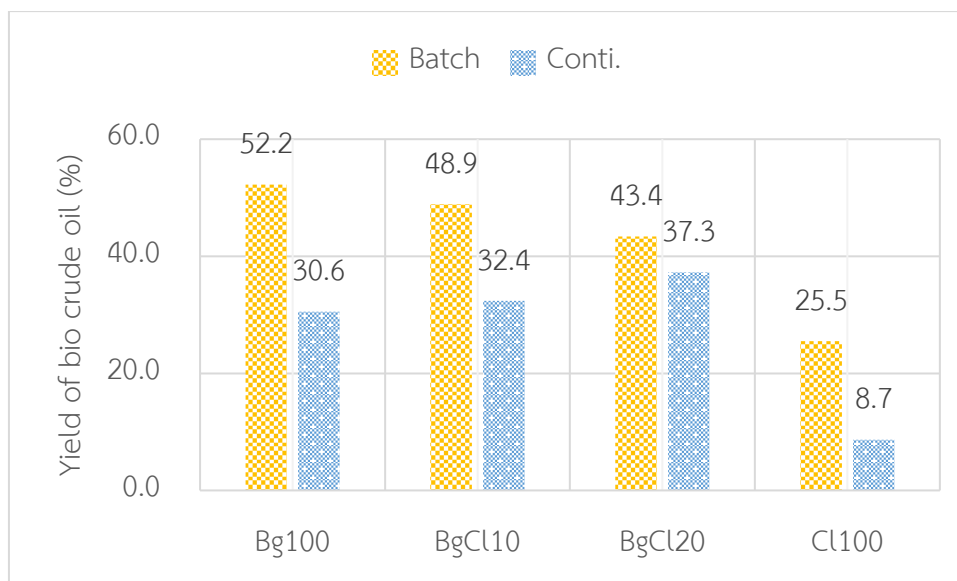
รูปที่ 4.24 ค่าความร้อนของน้ำมันดิบชีวภาพ จากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันของชานอ้อยผสมกับลิกนิน สัดส่วนร้อยละ 0 20 และ 100 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ในเครื่องปฏิกรณ์แบบกึ่งต่อเนื่อง

4.6 ผลของเครื่องปฏิกรณ์ระหว่างเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์กับเครื่องปฏิกรณ์แบบกึ่งต่อเนื่อง จากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันของชานอ้อย เซลลูโลส และลิกนิน

การศึกษาในส่วนนี้ จะเป็นการศึกษาผลของเครื่องปฏิกรณ์ระหว่างเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์ (batch reactor) กับเครื่องปฏิกรณ์แบบกึ่งต่อเนื่อง (semi-continuous reactor) ในไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันของชานอ้อย เซลลูโลส และลิกนิน ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส

4.6.1 ผลของเครื่องปฏิกรณ์ระหว่างเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์กับเครื่องปฏิกรณ์แบบกึ่งต่อเนื่องต่อร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพ และคุณภาพจากไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันของชานอ้อยผสมกับเซลลูโลส

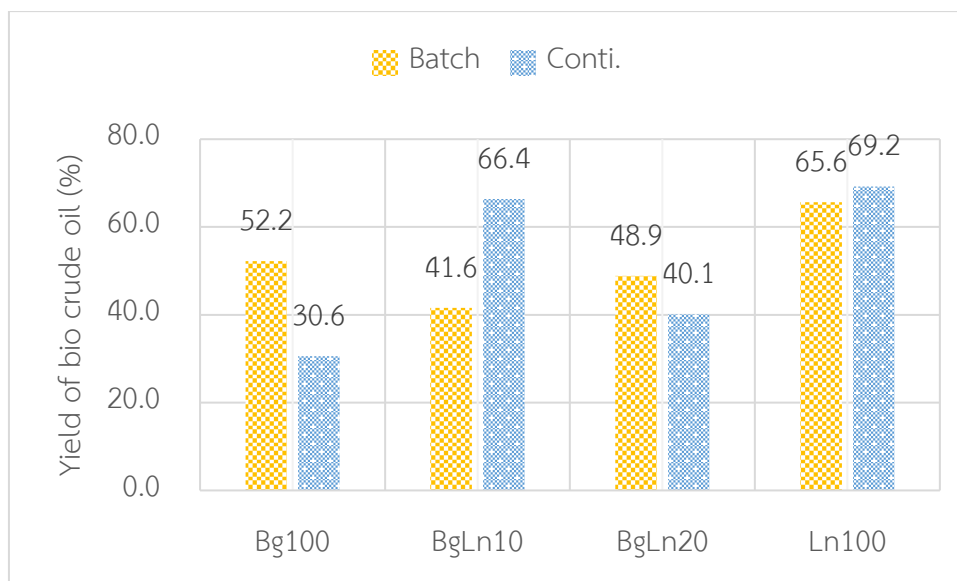
รูปที่ 4.25 แสดงร้อยละของน้ำมันดิบชีวภาพของชานอ้อย และเซลลูโลสในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์ และเครื่องปฏิกรณ์แบบกึ่งต่อเนื่อง จากผลการทดลองพบว่า ร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์ให้ร้อยละผลได้มากกว่าการทำการทดลองในเครื่องปฏิกรณ์แบบกึ่งต่อเนื่อง เนื่องจากเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาของทั้งสองเครื่องปฏิกรณ์ต่างกันโดยเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์ใช้เวลาในการเกิดปฏิกิริยานานกว่า ชีวมวลและตัวทำละลายจะเกิดไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันได้นานกว่า อาจทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ไม่เสถียรเกิดการรีพอลิเมอไรเซชัน และแตกตัวทางความร้อนเป็นผลิตภัณฑ์ของเหลวมากกว่าเครื่องปฏิกรณ์แบบกึ่งต่อเนื่อง



รูปที่ 4.25 ร้อยละของน้ำมันดิบชีวภาพของชานอ้อยผสมกับเซลลูโลส สัดส่วนร้อยละ 0 10 20 และ 100 โดยน้ำหนัก ในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์ และเครื่องปฏิกรณ์แบบกึ่งต่อเนื่อง ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส

4.5.2 ผลของเครื่องปฏิกรณ์ระหว่างเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์กับเครื่องปฏิกรณ์แบบกึ่งต่อเนื่องต่อร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพ และคุณภาพจากไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันของชานอ้อยผสมกับลิกนิน

รูปที่ 4.26 แสดงร้อยละของน้ำมันดิบชีวภาพของชานอ้อย และลิกนินในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์ และเครื่องปฏิกรณ์แบบกึ่งต่อเนื่อง จากผลการทดลองพบว่า ที่สัดส่วนการผสมลิกนินลงในชานอ้อย ร้อยละ 10 และ 20 โดยน้ำหนัก ร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์ให้ร้อยละผลได้น้อยกว่าการทำการทดลองในเครื่องปฏิกรณ์แบบกึ่งต่อเนื่อง เนื่องจากลิกนินสามารถเกิดปฏิกิริยาปฐมภูมิ (primary reaction) ได้ดีกว่าปฏิกิริยาทุติยภูมิ (secondary reaction) ได้แก่ ไฮโดรไลซิส (hydrolysis) และ ดีไฮเดรชัน (dehydration) ในทางกลับกันเมื่อเพิ่มปริมาณลิกนินลงไปเป็นร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก ร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์ให้ร้อยละผลได้มากกว่าการทำการทดลองในเครื่องปฏิกรณ์แบบกึ่งต่อเนื่อง เพราะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์ ทำให้เกิดทั้งปฏิกิริยาปฐมภูมิ และทุติยภูมิ

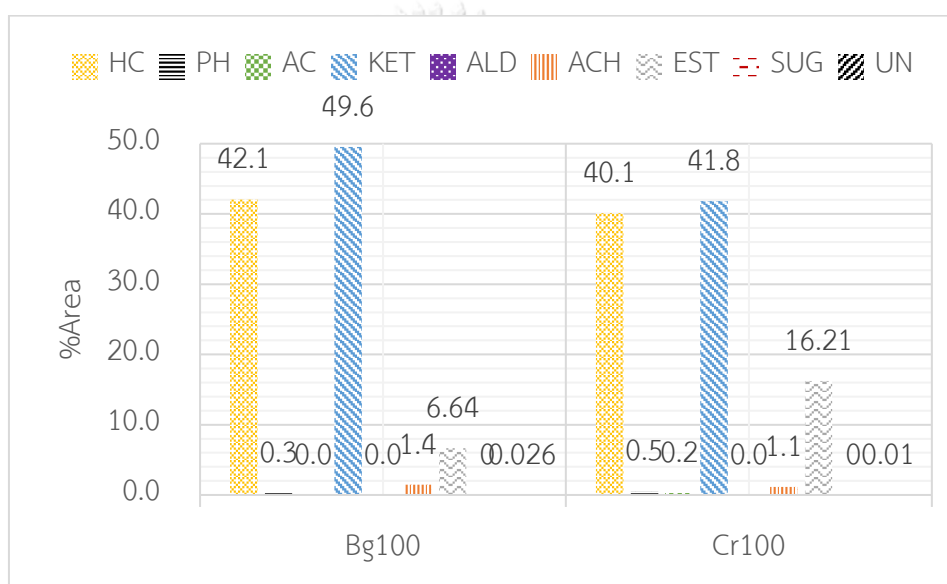


รูปที่ 4.26 ร้อยละของน้ำมันดิบชีวภาพของขานอ้อยผสมกับลิกนิน สัดส่วนร้อยละ 0 10 20 และ 100 โดยน้ำหนัก ในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์ และเครื่องปฏิกรณ์แบบกึ่งต่อเนื่อง ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส

4.7 ผลของการวิเคราะห์หาองค์ประกอบผลิตภัณฑ์น้ำมันดิบชีวภาพด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี (gas chromatography – mass spectrometry)

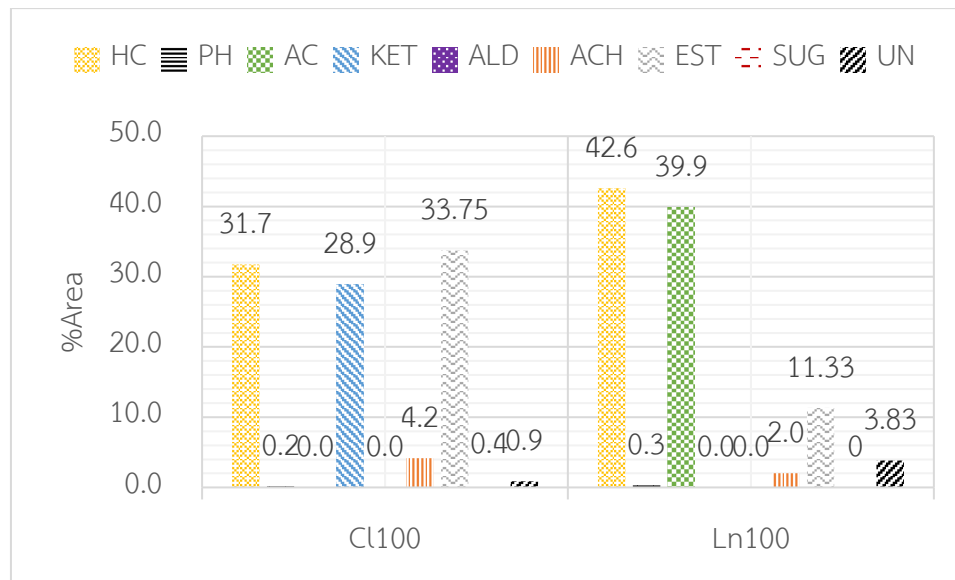
รูปที่ 4.27 แสดงองค์ประกอบของน้ำมันดิบชีวภาพจากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันของเซลลูโลส และลิกนินในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์ โดยจัดออกเป็น 9 กลุ่ม ตามหมู่ฟังก์ชัน ดังนี้ สารประกอบไฮโดรคาร์บอน (hydrocarbons, HC) สารประกอบประเภทฟีนอลิก (phenolic compounds, PH) สารประกอบที่เป็นกรด (acids compounds, AC) สารประกอบคีโตน (ketones, KET) สารประกอบแอลดีไฮด์ (aldehydes, ADL) สารประกอบเอสเทอร์ (esters, EST) แอลกอฮอล์ (alcohols, ACL) สารประกอบจำพวกน้ำตาล (anhydrosugars, SUG) และองค์ประกอบอื่น ๆ หรือ UN โดยพบว่า สารประกอบประเภทฟีนอลิกจะพบในน้ำมันชีวภาพที่ได้จากลิกนินมากกว่าเซลลูโลส เนื่องจากสูตรโครงสร้างทางเคมีของลิกนินที่มีลักษณะเป็นวงอะโรมาติก (aromatic) ทำให้อนุมูลอิสระ (free radicals) ที่เกิดจากการแตกตัวของพันธะ C-C (C-C bond) เกิด Aldol condensation ที่เป็นปฏิกิริยารวมตัวกันระหว่างแอลดีไฮด์ (aldehydes) หรือ คีโตน (ketone) 2 โมเลกุลขึ้นไป และเกิดรีฟอร์มมิง (reforming หรือ aromatization) เกิดเป็นสารประกอบจำพวกฟีนอลได้ [41] สารประกอบจำพวกฟีนอลเหล่านี้ จะเป็นตัวช่วยเร่งให้น้ำตาลเกิดดีไฮเดรชัน (dehydration) และแตกพันธะ (cleavage) [42] จึงไม่พบสารประกอบจำพวกน้ำตาลในน้ำมันดิบชีวภาพที่ได้จากลิกนิน แต่พบมากในน้ำมันดิบชีวภาพที่ได้จากเซลลูโลส เพราะหน่วยย่อยของ

เซลลูโลส คือ น้ำตาลกลูโคส ส่วนสารประกอบคีโตนและสารที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบจะพบได้ในน้ำมันชีวภาพที่ได้จากเซลลูโลส เนื่องจากเซลลูโลสจะเกิดดีโพลีเมอไรเซชัน (depolymerization) และการแตกตัวทางความร้อน (thermal cracking) ได้เป็นคาร์โบไฮเดรต หรือ แซ็กคาไรด์ (saccharide) จากนั้นพันธะ C-C (C-C bond) จะแตกออกเกิด Aldol condensation และ รีฟอร์มมิง (reforming หรือ aromatization) ได้เป็นสารประกอบคีโตน และสารที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ [41] สารประกอบที่เป็นกรดจะพบแต่ในน้ำมันดิบชีวภาพที่ได้จากลิกนินเท่านั้น ไม่พบในน้ำมันดิบชีวภาพที่ได้จากเซลลูโลส เนื่องจากหมู่โพรพิล (propyl, $-\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$) ในฟีนิลโพรเพนที่เป็นหน่วยย่อยของลิกนิน เกิดการแตกตัว (decomposition) [43]



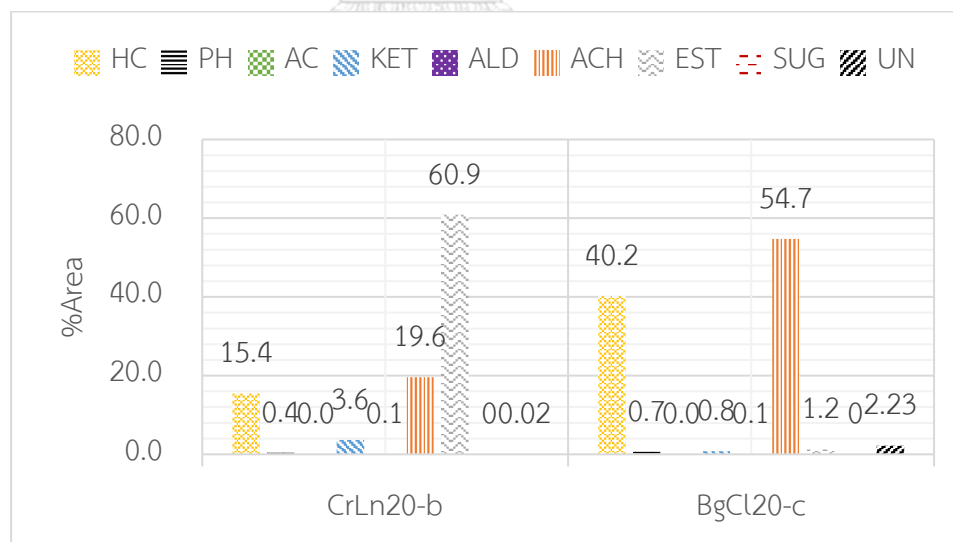
รูปที่ 4.27 องค์ประกอบของน้ำมันดิบชีวภาพจากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันของเซลลูโลสและลิกนินในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์

รูปที่ 4.28 แสดงองค์ประกอบของน้ำมันดิบชีวภาพจากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันของขานอ้อย และเหง้ามันในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์ พบว่าผลการทดลองที่ได้เป็นไปตามองค์ประกอบทางเคมี คือ ขานอ้อยมีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบมาก องค์ประกอบของน้ำมันดิบชีวภาพที่ได้ก็จะมีลักษณะใกล้เคียงกับน้ำมันดิบชีวภาพที่ได้จากเซลลูโลส ในทำนองเดียวกันกับน้ำมันดิบชีวภาพที่ได้จากเหง้ามันสำปะหลังก็จะมีลักษณะใกล้เคียงกับน้ำมันดิบชีวภาพที่ได้จากลิกนิน



รูปที่ 4.28 องค์ประกอบของน้ำมันดิบชีวภาพจากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกซ์ของชานอ้อย และเหง้ามันสำปะหลังในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบดซ์

รูปที่ 4.29 แสดงองค์ประกอบของน้ำมันดิบชีวภาพจากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกซ์ของเหง้ามันสำปะหลังผสมกับลิกนินในสัดส่วนร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก ในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบดซ์ และชานอ้อยผสมกับเซลลูโลสในสัดส่วนร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก ในเครื่องปฏิกรณ์แบบกึ่งต่อเนื่อง



รูปที่ 4.29 องค์ประกอบของน้ำมันดิบชีวภาพจากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกซ์ของเหง้ามันสำปะหลังผสมกับลิกนินในสัดส่วนร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก ในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบดซ์ และชานอ้อยผสมกับเซลลูโลสในสัดส่วนร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก ในเครื่องปฏิกรณ์แบบกึ่งต่อเนื่อง

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ ศึกษาการผลิตน้ำมันดิบชีวภาพจากการไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันของชานอ้อย และเหง้ามันสำปะหลัง ศึกษาผลของเซลลูโลส และลิกนินต่อร้อยละผลได้ และคุณภาพของน้ำมันดิบชีวภาพจากไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันของชานอ้อย และเหง้ามันสำปะหลัง อีกทั้งยังศึกษาเปรียบเทียบผลการทดลองในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์ และแบบกึ่งต่อเนื่อง จากการทดลองเป็นการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันของชานอ้อย และเหง้ามันสำปะหลังที่ผสมกับเซลลูโลส/ลิกนิน ในสัดส่วนร้อยละ 0 10 20 และ 100 โดยน้ำหนัก ดำเนินการที่อุณหภูมิ 300 และ 350 องศาเซลเซียส ความดันไนโตรเจนเริ่มต้น 2 เมกะพาสคัล ความเร็วรอบใบกวน 300 รอบต่อนาที เวลาที่ใช้ในการดำเนินปฏิกิริยา 60 นาทีในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์ และการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันของชานอ้อยผสมกับเซลลูโลส/ลิกนิน ในสัดส่วนร้อยละ 0 20 และ 100 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส อัตราการไหล 1.0 มิลลิลิตรต่อนาที เป็นเวลา 60 นาทีในเครื่องปฏิกรณ์แบบกึ่งต่อเนื่อง ซึ่งสามารถสรุปผลการทดลองได้ดังต่อไปนี้

5.1.1 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของสารตั้งต้น

ชานอ้อยมีองค์ประกอบหลัก คือ เซลลูโลส และเหง้ามันสำปะหลังมีองค์ประกอบหลัก คือ ลิกนิน

5.1.2 ผลของเซลลูโลสต่อร้อยละผลได้ และคุณภาพของน้ำมันดิบชีวภาพจากไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชัน ในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์

ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ผลของเซลลูโลสไม่ขึ้นกับชนิดของชีวมวล ในทางกลับกันที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส เกิดการทำงานเสริมกัน ระหว่างเซลลูโลสและชานอ้อย แต่เมื่อผสมเซลลูโลสกับเหง้ามันสำปะหลังไม่เกิดการทำงานที่เสริมกัน ถึงแม้การเพิ่มปริมาณเซลลูโลสลงในชีวมวลทั้ง 2 ชนิด จะส่งผลให้ร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพลดลง แต่กลับส่งผลดีต่อคุณภาพน้ำมันดิบชีวภาพ

- 5.1.3 ผลของลิกนินต่อร้อยละผลได้ และคุณภาพของน้ำมันดิบชีวภาพจากไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแพกชัน ในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์
 ทั้งที่อุณหภูมิ 300 และ 350 องศาเซลเซียส ผลของลิกนินไม่ขึ้นกับชนิดของชีวมวล คือ ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส การผสมลิกนินลงในชีวมวล ทำให้เกิดผลทางลบ แต่ที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียสจะเกิดการ ทำงานเสริมกัน ระหว่างลิกนินและชีวมวลถึงแม้การเพิ่มปริมาณเซลลูโลสลงในชีวมวลทั้ง 2 ชนิด จะส่งผลให้ร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพลดลง แต่กลับส่งผลดีต่อคุณภาพน้ำมันดิบชีวภาพ
- 5.1.4 ผลของเซลลูโลสและลิกนินต่อร้อยละผลได้ และคุณภาพของน้ำมันดิบชีวภาพจากไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแพกชัน ในเครื่องปฏิกรณ์แบบกึ่งต่อเนื่อง
 ผลของเซลลูโลส และลิกนินในเครื่องปฏิกรณ์แบบกึ่งต่อเนื่องให้ผลไปในทิศทางเดียวกัน คือ ค่าที่ได้จากการทดลองมากกว่าค่าทำนาย เป็นผลในเชิงบวก แสดงว่าเกิดการ ทำงานเสริมกัน ระหว่างองค์ประกอบทางเคมีทั้ง 2 ชนิดกับชีวมวล อีกทั้งยังให้คุณภาพน้ำมันดิบชีวภาพที่ดีขึ้นอีกด้วย
- 5.1.5 ผลของเครื่องปฏิกรณ์ระหว่างเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์กับเครื่องปฏิกรณ์แบบกึ่งต่อเนื่องต่อร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพ และคุณภาพจากไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแพกชันของชานอ้อยผสมกับเซลลูโลส
 ในการทดลองโดยใช้เครื่องเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์และเครื่องปฏิกรณ์แบบกึ่งต่อเนื่อง พบว่าผลของเครื่องปฏิกรณ์ส่งผลต่อร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพ โดยเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์ให้ร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพลดลง ส่วนเครื่องปฏิกรณ์แบบกึ่งต่อเนื่องให้ร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพเพิ่มขึ้น
- 5.1.6 ผลของการวิเคราะห์หาองค์ประกอบผลิตภัณฑ์น้ำมันดิบชีวภาพด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี
 น้ำมันดิบชีวภาพที่ได้จากเซลลูโลส จะให้สารประกอบจำพวกน้ำตาล สารประกอบคีโตน และสารที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ ส่วนน้ำมันดิบชีวภาพที่ได้จากลิกนินจะให้สารประกอบประเภทฟีนอลิกและสารประกอบที่เป็นกรด

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรศึกษาผลขององค์ประกอบทางเคมีอื่น ๆ ของชีวมวล เช่น เฮมิเซลลูโลส ไขมัน โปรตีน เพิ่มเติม
2. ควรศึกษาผลของแร่ธาตุต่อองค์ประกอบแต่ละชนิดของชีวมวล



ภาคผนวก ก

วิธีการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของซีเมนต์

การวิเคราะห์แบบประมาณ (proximate Analysis)

1. ความชื้น (moisture): ASTM E871-82

1.1. เครื่องมือและอุปกรณ์

1.1.1. เตาอบ (moisture oven)

1.1.2. ถ้วยพอสเลน (porcelain crucible)

1.1.3. โถดูดความชื้น (desiccators)

1.2. วิธีการทดลอง

1.2.1. ชั่งถ้วยพอสเลน (เปิดฝา) แล้วจมน้ำหนัก

1.2.2. ชั่งตัวอย่างชานอ้อย/เหง้ามันสำปะหลัง/เซลลูโลส/ลิกนิน ประมาณ 1 กรัม ใส่ลงในถ้วย

1.2.3. นำไปอบในเตาที่อุณหภูมิ 104-110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นในโถดูดความชื้น (desiccators)

1.2.4. ชั่งน้ำหนักหลังอบ และจมน้ำหนัก พร้อมทั้งคำนวณตามสมการ

1.3. สูตรคำนวณ

คำนวณหาปริมาณความชื้นเป็นร้อยละ ได้ดังนี้

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

2. เถ้า (ash): ASTM D1102-84

2.1. เครื่องมือและอุปกรณ์

2.1.1. เตาอบ (moisture oven)

2.1.2. ถ้วยพอสเลน (porcelain crucible)

2.1.3. โถดูดความชื้น (desiccators)

2.2. วิธีการทดลอง

2.2.1. ชั่งถ้วยพอสเลน (เปิดฝา) แล้วจมน้ำหนัก

2.2.2. ชั่งตัวอย่างชานอ้อย/เหง้ามันสำปะหลัง/เซลลูโลส/ลิกนิน ประมาณ 1 กรัม ใส่ลงในถ้วย

2.2.3. นำไปอบในเตาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วเผาต่อที่อุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นในโถดูดความชื้น (desiccators)

2.2.4. ชั่งน้ำหนักหลังอบ และจดน้ำหนัก พร้อมทั้งคำนวณตามสมการ

2.3. สูตรคำนวณ

คำนวณหาปริมาณเถ้าเป็นร้อยละ ได้ดังนี้

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

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

3.1. เครื่องมือและอุปกรณ์

3.1.1. เตาอบ (moisture oven)

3.1.2. ถ้วยพอสเลน (porcelain crucible)

3.1.3. โถดูดความชื้น (desiccators)

3.2. วิธีการทดลอง

3.2.1. ชั่งถ้วยพอสเลนพร้อมฝาแล้วจดน้ำหนัก

3.2.2. ชั่งตัวอย่างชานอ้อย/เหง้ามันสำปะหลัง/เซลลูโลส/ลิกนิน ประมาณ 1 กรัม ใส่ลงในถ้วย

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

3.2.4. ชั่งน้ำหนักหลังอบ และจดน้ำหนัก พร้อมทั้งคำนวณตามสมการ

3.3. สูตรคำนวณ

คำนวณหาปริมาณสารระเหยเป็นร้อยละ ได้ดังนี้

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

4. คาร์บอนคงตัว (fixed carbon)

ค่าผลต่างของร้อยละลบด้วยผลบวกของความชื้น เถ้า และสารระเหยที่คิดเป็นร้อยละ ดังนี้

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

ภาคผนวก ข

การคำนวณร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์

1. การคำนวณร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพ

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

2. การคำนวณร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ของแข็ง

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

3. การคำนวณร้อยละผลได้ของแก๊ส

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

4. การคำนวณร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ที่สูญหายและอื่น ๆ

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

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

ภาคผนวก ค
ข้อมูลดิบ

ตาราง ค.1 ข้อมูลการทดลองในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์

| no. | Conditions | | | | | | | | | |
|-----|-----------------|---------|----------------------|---------|------------|----------------------|------------|---------------------------------------|----------------------|--|
| | biomass | | chemical composition | | Temp. (°C) | Rotation speed (rpm) | Time (min) | Initial N ₂ pressure (bar) | Final pressure (bar) | |
| | type | wt. (g) | type | wt. (g) | | | | | | |
| 1 | ชานอ้อย | 0 | เซลลูโลส | 20 | 300 | 300 | 60 | 23.5 | 25.0 | |
| 2 | ชานอ้อย | 20 | เซลลูโลส | 0 | 300 | 300 | 60 | 24.5 | 25.4 | |
| 3 | ชานอ้อย | 18 | เซลลูโลส | 2 | 300 | 300 | 60 | 24.3 | 28.1 | |
| 4 | ชานอ้อย | 16 | เซลลูโลส | 4 | 300 | 300 | 60 | 24.2 | 29.1 | |
| 5 | ชานอ้อย | 0 | ลิกนิน | 20 | 300 | 300 | 60 | 23.6 | 25.9 | |
| 6 | ชานอ้อย | 18 | ลิกนิน | 2 | 300 | 300 | 60 | 23.2 | 27.0 | |
| 7 | ชานอ้อย | 16 | ลิกนิน | 4 | 300 | 300 | 60 | 23.3 | 27.1 | |
| 8 | แห้งมันสำปะหลัง | 20 | เซลลูโลส | 0 | 300 | 300 | 60 | 22.8 | 24.9 | |
| 9 | แห้งมันสำปะหลัง | 18 | เซลลูโลส | 2 | 300 | 300 | 60 | 22.0 | 27.8 | |
| 10 | แห้งมันสำปะหลัง | 16 | เซลลูโลส | 4 | 300 | 300 | 60 | 22.1 | 27.0 | |

ตาราง ค.1 ข้อมูลการทดลองในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์ (ต่อ)

| no. | Conditions | | | | | | | | | |
|-----|-----------------|---------|----------------------|---------|------------|----------------------|------------|---------------------------------------|----------------------|--|
| | biomass | | chemical composition | | Temp. (°C) | Rotation speed (rpm) | Time (min) | Initial N ₂ pressure (bar) | Final pressure (bar) | |
| | type | wt. (g) | type | wt. (g) | | | | | | |
| 11 | แห้งมันสำปะหลัง | 18 | ลิกนิน | 2 | 300 | 300 | 60 | 23.1 | 27.6 | |
| 12 | แห้งมันสำปะหลัง | 16 | ลิกนิน | 4 | 300 | 300 | 60 | 22.7 | 24.3 | |
| 13 | ชานอ้อย | 0 | เซลลูโลส | 20 | 350 | 300 | 60 | 22.7 | 29.1 | |
| 14 | ชานอ้อย | 20 | เซลลูโลส | 0 | 350 | 300 | 60 | 23.0 | 26.0 | |
| 15 | ชานอ้อย | 18 | เซลลูโลส | 2 | 350 | 300 | 60 | 21.8 | 28.4 | |
| 16 | ชานอ้อย | 16 | เซลลูโลส | 4 | 350 | 300 | 60 | 23.6 | 29.7 | |
| 17 | ชานอ้อย | 0 | ลิกนิน | 20 | 350 | 300 | 60 | 23.8 | 29.7 | |
| 18 | ชานอ้อย | 18 | ลิกนิน | 2 | 350 | 300 | 60 | 21.0 | 26.9 | |
| 19 | ชานอ้อย | 16 | ลิกนิน | 4 | 350 | 300 | 60 | 22.3 | 28.4 | |
| 20 | แห้งมันสำปะหลัง | 20 | เซลลูโลส | 0 | 350 | 300 | 60 | 22 | 29.1 | |
| 21 | แห้งมันสำปะหลัง | 18 | เซลลูโลส | 2 | 350 | 300 | 60 | 23.1 | 30.2 | |
| 22 | แห้งมันสำปะหลัง | 16 | เซลลูโลส | 4 | 350 | 300 | 60 | 22.8 | 29.6 | |

ตาราง ค.1 ข้อมูลการทดลองในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์ (ต่อ)

| no. | Conditions | | | | | | | | | |
|-----|-----------------|---------|----------------------|---------|------------|----------------------|------------|---------------------------------------|----------------------|--|
| | biomass | | chemical composition | | Temp. (°C) | Rotation speed (rpm) | Time (min) | Initial N ₂ pressure (bar) | Final pressure (bar) | |
| | type | wt. (g) | type | wt. (g) | | | | | | |
| 23 | เห้งงำนสำปะหลัง | 18 | ลิกนิน | 2 | 350 | 300 | 60 | 22.9 | 29.6 | |
| 24 | เห้งงำนสำปะหลัง | 16 | ลิกนิน | 4 | 350 | 300 | 60 | 22.1 | 29.0 | |

ตาราง ค.2 ข้อมูลการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ของเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์

| no. | Products | | | | | | | | | | |
|-----|---------------|-------|-------|---------------|------|-------|------|------|-------|-------------|--------------|
| | Yield (% wt.) | | | % Composition | | | | | | HHV (MJ/kg) | Water (wt.%) |
| | Bio-crude | Solid | Gas | C | H | O | N | S | | | |
| 1 | 25.50 | 23.37 | 4.57 | 50.61 | 6.06 | 41.79 | 0.78 | 0.77 | 18.33 | 12.21 | |
| 2 | 52.24 | 12.89 | 3.22 | 37.05 | 5.51 | 55.74 | 0.65 | 1.07 | 10.42 | 15.12 | |
| 3 | 48.89 | 9.87 | 17.1 | - | - | - | - | - | - | - | |
| 4 | 43.47 | 9.34 | 16.56 | 62.78 | 5.54 | 29.73 | 1.06 | 0.90 | 23.86 | 6.9 | |
| 5 | 65.63 | 23.15 | 9.51 | 54.00 | 5.63 | 38.09 | 0.53 | 1.77 | 19.51 | 16.60 | |
| 6 | 41.58 | 11.54 | 13.58 | - | - | - | - | - | - | - | |
| 7 | 48.86 | 8.39 | 14.89 | 53.21 | 5.60 | 39.37 | 0.74 | 1.10 | 18.97 | 7.25 | |
| 8 | 68.36 | 5.45 | 8.00 | 48.05 | 7.08 | 42.04 | 1.89 | 0.94 | 18.89 | 7.43 | |
| 9 | 57.81 | 8.72 | 10.63 | - | - | - | - | - | - | - | |
| 10 | 56.13 | 7.05 | 9.14 | 61.43 | 6.05 | 30.39 | 1.36 | 0.78 | 24.02 | 14.22 | |
| 11 | 45.37 | 10.37 | 17.42 | - | - | - | - | - | - | - | |
| 12 | 60.26 | 11.84 | 6.16 | 61.98 | 6.05 | 29.37 | 1.47 | 1.14 | 24.39 | 16.77 | |

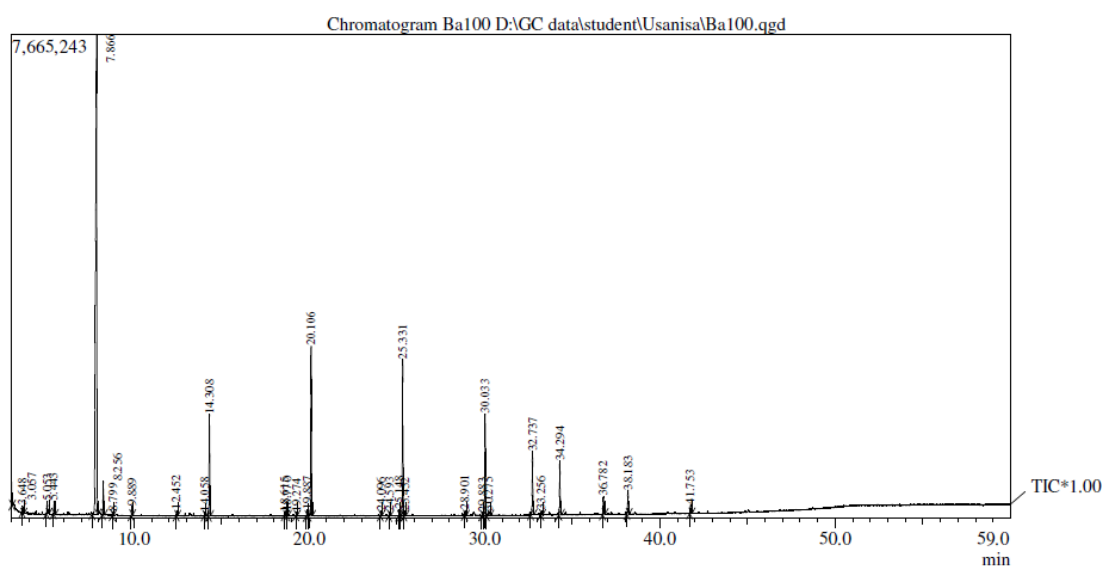
ตาราง ค.3 ข้อมูลผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลผลิตขั้นต้นของเครื่องปฏิกรณ์แบบกึ่งต่อเนื่อง

| no. | Conditions | | | | | Products | | | | | | | | |
|-----|------------|---------|----------------------|---------|---------------|---------------|---------------|-------|---------------|------|-------|------|------|----------------|
| | biomass | | chemical composition | | Temp. (°C) | Time (min) | Yield (% wt.) | | % Composition | | | | | HHV (MJ/kg) |
| | type | wt. (g) | type | wt. (g) | | | Bio-crude | Solid | C | H | O | N | S | |
| 1 | ชานอ้อย | 0 | เซลลูโลส | 2 | 300 | 60 | 17.92 | 8.67 | 40.45 | 6.82 | 51.03 | 0.52 | 1.19 | 14.32 |
| 2 | ชานอ้อย | 2 | เซลลูโลส | 0 | 300 | 60 | 30.56 | 7.78 | 28.38 | 5.41 | 64.09 | 0.56 | 1.58 | 5.84 |
| 3 | ชานอ้อย | 1.8 | เซลลูโลส | 0.2 | 300 | 60 | 32.38 | 7.31 | - | - | - | - | - | - |
| 4 | ชานอ้อย | 1.6 | เซลลูโลส | 0.4 | 300 | 60 | 37.27 | 16.54 | 39.51 | 6.35 | 52.56 | 0.81 | 0.78 | 13.05 |
| 5 | ชานอ้อย | 0 | ลิกนิน | 2 | 300 | 60 | 69.18 | 0.00 | 14.00 | 8.94 | 75.10 | 0.48 | 1.50 | 4.08 |
| 6 | ชานอ้อย | 1.8 | ลิกนิน | 0.2 | 300 | 60 | 66.39 | 13.11 | - | - | - | - | - | - |
| 7 | ชานอ้อย | 1.6 | ลิกนิน | 0.4 | 300 | 60 | 40.09 | 8.81 | 16.51 | 7.44 | 74.51 | 0.58 | 0.98 | 2.88 |

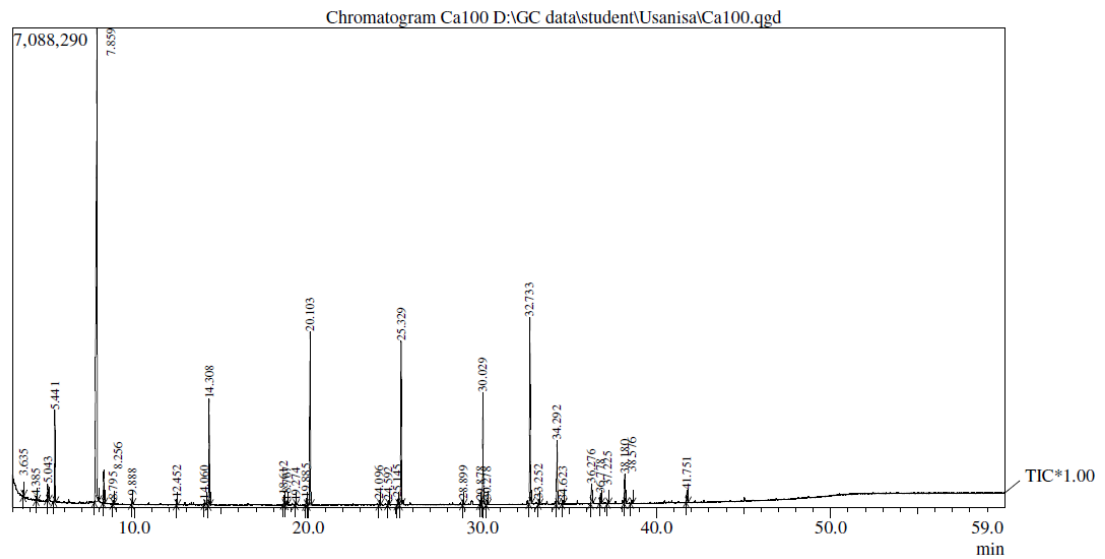
ภาคผนวก ง

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์ที่สูญหายและอื่น ๆ

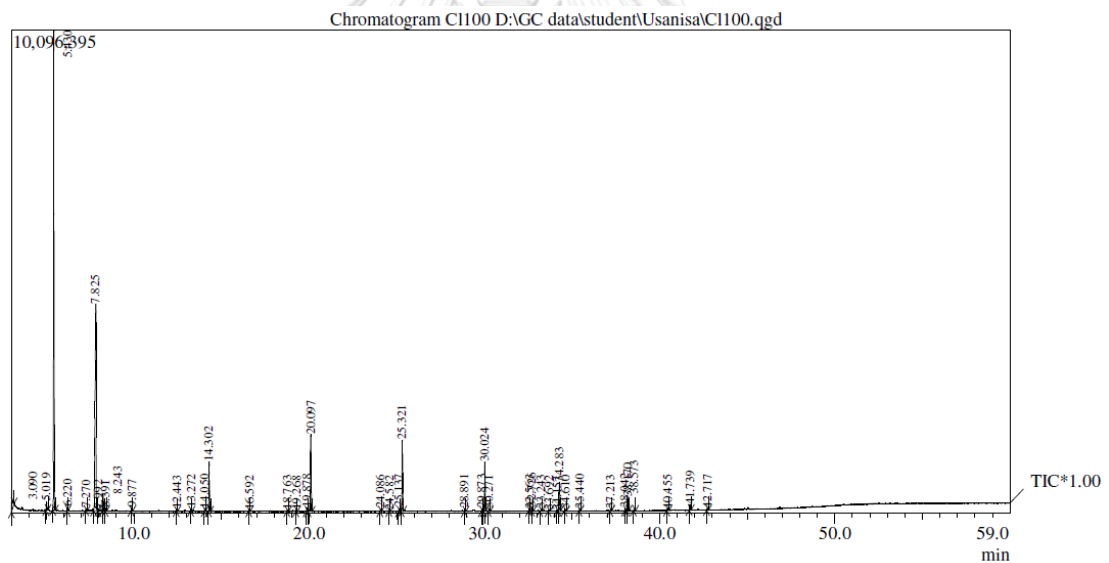
หลังจากทำการระเหยตัวทำละลายออกจากผลิตภัณฑ์ของเหลว ได้มีการนำสารละลายไปตรวจสอบด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ-แมสสเปกโตรเมตรี เพื่อหาองค์ประกอบที่อยู่ในส่วนสารละลายนั้น ดังแสดงในรูปที่ ง.1-ง.6



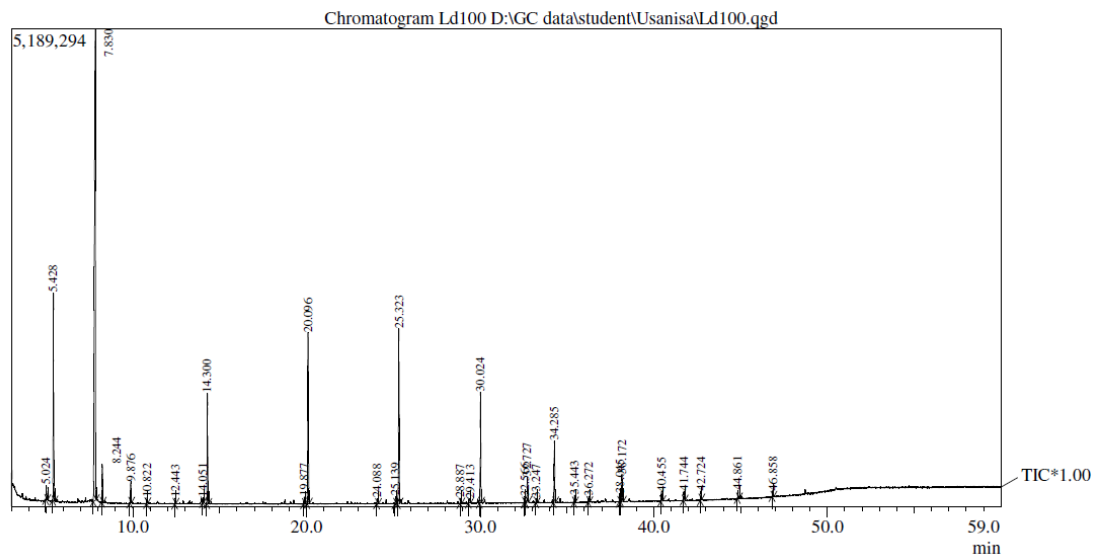
รูปที่ ง.1 โครมาโทแกรมของผลิตภัณฑ์น้ำมันดิบชีวภาพจากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟชันของชานอ้อย ในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบดซ์ ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส



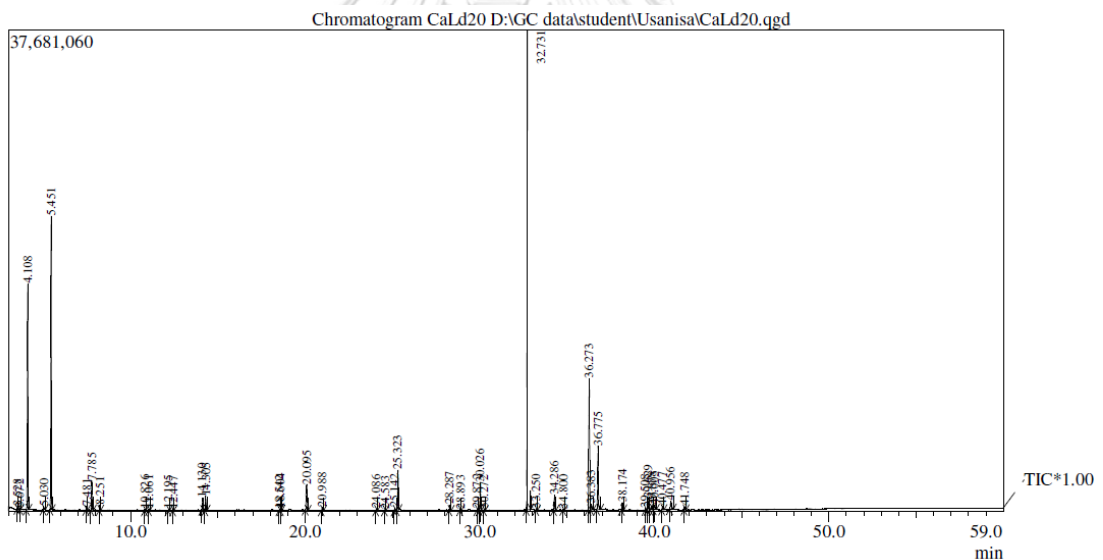
รูปที่ ง.2 โครมาโทแกรมของผลิตภัณฑ์น้ำมันดิบชีวภาพจากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันของ เหง้ามันสำปะหลัง ในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์ ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส



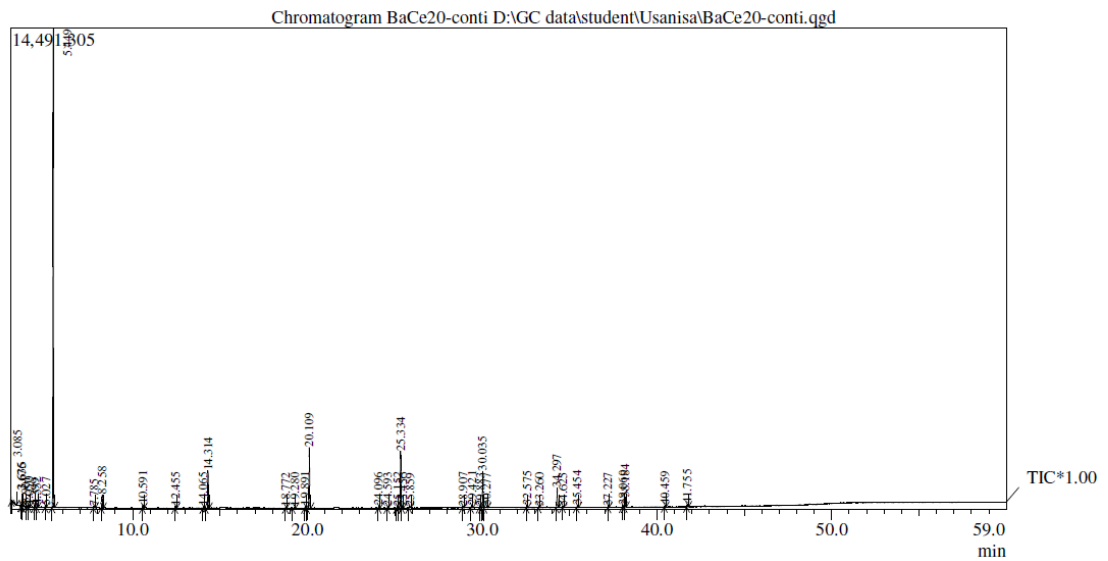
รูปที่ ง.3 โครมาโทแกรมของผลิตภัณฑ์น้ำมันดิบชีวภาพจากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันของ เซลลูโลส ในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์ ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส



รูปที่ ๑.๔ โครมาโทแกรมของผลิตภัณฑ์น้ำมันดิบชีวภาพจากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันของลิกนิน ในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์ ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส



รูปที่ ๑.๕ โครมาโทแกรมของผลิตภัณฑ์น้ำมันดิบชีวภาพจากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันของเหง้ามันสำปะหลังผสมลิกนินในสัดส่วนร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก ในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์ ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส



รูปที่ ง.6 โครมาโทแกรมของผลิตภัณฑ์น้ำมันดิบชีวภาพจากการทำไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันของ
 เหม้ามันสำปะหลังผสมลิกนินในสัดส่วนร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก ในเครื่องปฏิกรณ์แบบกึ่งต่อเนื่อง ที่
 อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส



ตาราง ง.1 ผลของการวิเคราะห์หาองค์ประกอบผลิตภัณฑ์น้ำมันดิบชีวภาพด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ-แมสสเปกโตรเมตรี

| No | Compound | % Area | | | | | |
|----|------------------------------|--------|-------|-------|-------|--------|----------|
| | | Bg100 | Cr100 | Cl100 | Ln100 | CrLn20 | BaCe20-C |
| 1 | Ethane | 0.12 | - | - | - | - | 0.58 |
| 2 | 2-Isopropoxyethylamine | - | - | 2.28 | - | - | - |
| 3 | Propanoic acid | - | - | - | - | 0.13 | - |
| 4 | Formic acid | 0.38 | 0.19 | - | - | 0.05 | 0.23 |
| 5 | Hexanal | - | - | - | - | - | 0.10 |
| 6 | 2-Propanone | - | - | - | - | - | 0.21 |
| 7 | Ethanol | - | - | - | - | 16.70 | 0.24 |
| 8 | 2-Pentanone | - | 0.19 | - | - | - | 0.17 |
| 9 | Ethanol, 2-(1-methylethoxy)- | - | - | - | - | - | 0.21 |
| 10 | 1-Propanol | - | - | - | 0.68 | 0.29 | - |
| 11 | 1,2-Propanediol | 0.8 | 0.83 | 0.74 | - | - | 0.26 |
| 12 | Acetic acid | 0.55 | 3.53 | 33.14 | 9.05 | 19.29 | 53.56 |
| 13 | p-Benzoquinone | - | - | 0.25 | - | - | - |
| 14 | Benzaldehyde | - | - | 0.16 | - | - | - |
| 15 | Decane | - | - | - | - | 0.31 | - |
| 16 | Acetohydroxamic Acid | 48.87 | 41.03 | 28.12 | 39.89 | 2.50 | 0.26 |
| 17 | -3-Hydroxytetrahydrofuran | - | - | 0.40 | - | - | - |
| 18 | Decane | 1.7 | 1.55 | 1.36 | 1.87 | 0.37 | 1.75 |
| 19 | Hydroperoxide | - | - | 0.21 | - | - | - |
| 20 | p-Benzoquinone,2 methyl- | 0.2 | 0.19 | - | - | - | - |

ตาราง ง.1 ผลของการวิเคราะห์หาองค์ประกอบผลิตภัณฑ์น้ำมันดิบชีวภาพด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ-แมสสเปกโตรเมตรี (ต่อ)

| No | Compound | % Area | | | | | |
|----|-------------------------|--------|-------|-------|-------|--------|----------|
| | | Bg100 | Cr100 | Cl100 | Ln100 | CrLn20 | BaCe20-C |
| 21 | 2-Propanone | 0.49 | 0.41 | 0.32 | 1.11 | - | - |
| 22 | Phenol, 2-methoxy- | - | - | - | 0.29 | 0.10 | 0.68 |
| 23 | Nonanal | - | - | - | - | 0.08 | - |
| 24 | 2-Propenoic acid | - | - | - | - | 0.07 | - |
| 25 | Malonic acid | 0.28 | 0.29 | 0.16 | 0.30 | 0.07 | 0.36 |
| 26 | Diacetamide | - | - | 0.22 | - | - | - |
| 27 | 1-Dodecanol | 0.29 | 0.31 | 0.16 | 0.25 | 0.98 | 0.25 |
| 28 | Dodecane | 5.69 | 5.19 | 4.22 | 6.04 | 1.16 | 5.56 |
| 29 | Carbonic acid | - | - | 0.13 | - | - | - |
| 30 | Phenol, 2,6-dimethoxy- | - | - | - | - | 0.10 | - |
| 31 | Phenol, 3,4-dimethoxy- | 0.27 | 0.52 | - | - | 0.19 | - |
| 32 | Tridecane | 0.22 | 0.18 | 0.15 | - | - | 0.19 |
| 33 | Undecane, 2,9-dimethyl- | 0.16 | 0.14 | 0.12 | - | - | 0.17 |
| 34 | 3-Hexadecene | 0.36 | 0.36 | 0.33 | 0.39 | - | 0.34 |
| 35 | Tetradecane | 10.02 | 9.31 | 7.36 | 10.33 | 3.59 | 9.69 |
| 36 | Nonanoic acid | - | - | - | - | 0.40 | - |
| 37 | Undecane, 3,7-dimethyl- | 0.26 | 0.24 | 0.19 | 0.28 | 0.10 | 0.25 |
| 38 | Pentadecane | 0.24 | 0.20 | 0.13 | - | 0.08 | 0.20 |
| 39 | 3-Octadecene | 0.34 | 0.31 | 0.30 | 0.38 | 0.21 | 0.29 |
| 40 | Hexadecane | 9.64 | 8.97 | 7.07 | 9.96 | 3.43 | 9.17 |

ตาราง ง.1 ผลของการวิเคราะห์หาองค์ประกอบผลิตภัณฑ์น้ำมันดิบชีวภาพด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ-แมสสเปกโตรเมตรี (ต่อ)

| No | Compound | % Area | | | | | |
|----|---|--------|-------|-------|-------|--------|----------|
| | | Bg100 | Cr100 | Cl100 | Ln100 | CrLn20 | BaCe20-C |
| 41 | Cyclopentane, 1-hexyl-3-methyl- | 0.35 | - | - | - | - | 0.34 |
| 42 | Methyl tetradecanoate | - | - | - | - | 0.44 | - |
| 43 | Heptane | 0.28 | 0.27 | 0.21 | 0.31 | 0.10 | 0.27 |
| 44 | 1-Hexadecanol | 0.23 | 0.21 | 0.19 | - | 0.09 | 0.18 |
| 45 | 3-Hydroxytetrahydrofuran | - | - | 4.94 | - | 2.41 | - |
| 46 | Octadecane | 6.47 | 6.23 | 0.21 | 6.63 | 0.11 | 6.16 |
| 47 | Cyclopentane, 1-methyl-3-(1-methylethyl)- | 0.38 | 0.29 | - | - | 20.31 | 0.30 |
| 48 | Hexadecanoic acid | 4.16 | 10.41 | 0.32 | 1.65 | 0.09 | - |
| 49 | Tetradecane, 5-methyl- | 0.24 | 0.25 | 0.20 | 0.25 | - | 0.2 |
| 50 | Nonane, 3,7-dimethyl- | - | - | 0.13 | - | - | - |
| 51 | 1-Heptanol | - | - | 0.08 | - | 1.40 | - |
| 52 | Tetracosane | 3.5 | 3.60 | 2.83 | 3.79 | - | 3.31 |
| 53 | Dodecane, 2-cyclohexyl- | - | 0.24 | 0.21 | - | - | 0.19 |
| 54 | Heptadecanoic acid | - | - | - | - | 0.1 | - |
| 55 | 9-Octadecenoic acid | - | 1.17 | - | 0.33 | 12.71 | - |
| 56 | 10-Octadecenoic acid | - | - | - | - | 0.69 | - |
| 57 | Octadecanoic acid | 1.27 | 0.60 | - | - | 6.23 | - |
| 58 | Hexane, 2,4-dimethyl- | - | 0.17 | 0.13 | - | 0.7 | 0.14 |
| 59 | Heneicosane | 1.61 | 1.75 | 1.45 | 1.79 | - | 1.46 |
| 60 | Decane, 4-cyclohexyl- | - | 0.18 | 0.15 | - | - | - |

ตาราง ง.1 ผลของการวิเคราะห์หาองค์ประกอบผลิตภัณฑ์น้ำมันดิบชีวภาพด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ-แมสสเปกโตรเมตรี (ต่อ)

| No | Compound | % Area | | | | | |
|--------------|---------------------------|--------------|--------------|-------------|--------------|--------------|--------------|
| | | Bg100 | Cr100 | Cl100 | Ln100 | CrLn20 | BaCe20-C |
| 61 | 7,10-Octadecadienoic acid | - | - | - | - | 0.15 | - |
| 62 | 7-Hexadecenoic acid | - | - | - | - | 1.38 | - |
| 63 | Cyclopropaneoctanoic acid | - | - | - | - | 0.4 | - |
| 64 | 9,12-Octadecadienoic acid | - | - | - | - | 0.7 | - |
| 65 | Eicosanoic acid | - | - | - | - | 0.4 | 0.21 |
| 66 | 1,22-Docosanediol | - | - | - | - | 1.06 | - |
| 67 | Heptadecane | 0.6 | 0.68 | 0.53 | 0.60 | 0.31 | 0.50 |
| Total | | 99.97 | 99.99 | 99.1 | 96.17 | 99.98 | 97.98 |



บรรณานุกรม

1. Total energy consumption [Available from: <https://yearbook.enerdata.net/total-energy/world-consumption-statistics.html>].
2. Stefanidis SD, Heracleous, E., Patiaka, TH., Kalogiannis, G., Michailof, M., Lappas, A. Optimization of bio-oil yields by demineralization of low quality biomass. *Biomass & Bioenergy*. 2015;83:105-15.
3. สำนักงานหอสมุดและศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. พลังงานจากชีวมวล (Biomass energy). 2553.
4. de Caprariis B, De Filippis P, Petruccio A, Scarsella M. Hydrothermal liquefaction of biomass: Influence of temperature and biomass composition on the bio-oil production. *Fuel*. 2017;208:618-25.
5. ประพันธ์ คุชฌารา, ศศิธร สรรพอคำ. พลังงานจากชีวมวลและวัสดุเหลือใช้ (Energy from Biomass and Waste)2558.
6. Sticklen MB. Plant genetic engineering for biofuel production: towards affordable cellulosic ethanol. *Nature Reviews Genetics*. 2008;9:433-43.
7. Structure and Function of Carbohydrates 2019 [Available from: <https://courses.lumenlearning.com/wm-biology1/chapter/reading-types-of-carbohydrates/>].
8. Yaman S. Pyrolysis of biomass to produce fuels and chemical feedstocks. *Energy Conversion and Management*,. 2004;45:651-71.
9. อรุณี ศุภสินสาธิต. พลังงานจากชีวมวลที่มีลิกโนเซลลูโลสสูง. *วารสารสิ่งแวดล้อม*.16(2):36-43.
10. Zhang Y. Chapter 10 Hydrothermal Liquefaction to Convert Biomass into Crude Oil. *Biofuels from Agricultural Wastes and Byproducts*. 2010:201-32.
11. Tekin K, Karagöz, S., Bektaş, S. . A review of hydrothermal biomass processing. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2014;40:673-87.
12. Lignin structure 2013 [Available from: <http://howaboutlignin.blogspot.com/2013/07/lignin-structure.html>].
13. อติศักดิ์ ปัตติยะ. ผลของการลดแร่ธาตุของชีวมวลที่มีต่อผลได้และคุณสมบัติของไบโอออยล์ที่ผลิตจากกระบวนการไพโรไลซิสแบบเร็ว (Effect of Biomass Demineralisation on Yields and

Properties of Bio-oil produced from Fast Pyrolysis Process). 2555.

14. S. K. Van-Krevelen Diagram 2016 [Available from:

https://www.researchgate.net/figure/Van-Krevelen-Diagram-for-the-HTC-of-biogas-digestate-showing-the-carbonization-pathway_fig13_309385817.

15. รศ.ดร.บุษบา พฤกษาพันธุ์รัตน์, ดร.บุญรอด สัจจกุลนุกิจ. โครงการแนวทางการส่งเสริมมาตรฐานเชื้อเพลิงชีวมวลแปรรูปในภาคอุตสาหกรรม Study of Biomass Transformation for Industrial Sector. 2555.

16. ศูนย์เชื้อเพลิงและพลังงานจากชีวมวล. ชีวมวล [Available from:

http://www.iscisaraburee.sc.chula.ac.th/?page_id=219.

17. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2558 – 2579 (Alternative Energy Development Plan: AEDP2015) 2558 [Available from: http://www.dede.go.th/download/files/AEDP2015_Final_version.pdf.

18. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. ฐานข้อมูลศักยภาพชีวมวลในประเทศไทยประจำปีเพาะปลูก พ.ศ. 2556 2019 [Available from:

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

19. สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน เล่ม ๕. อ้อย [Available from:

<http://kanchanapisek.or.th/kp6/sub/book/book.php?book=5&chap=3&page=chap3.htm>.

20. GRACE L. 5 Reasons Sugarcane is Guilt-Free and Good for You 2016 [Available from: <https://lovegracefoods.com/sugarcane/>.

21. พลังเกษตร. ชานอ้อย [Available from: <https://bit.ly/2WZ4ltj>].

22. สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน เล่ม ๕. เหม้ามันสำปะหลัง [Available from:

<http://kanchanapisek.or.th/kp6/sub/book/book.php?book=5&chap=4&page=chap4.htm>.

23. Yokoyama S. คู่มือสารชีวมวลเอเชีย แนวทางสำหรับการผลิตและการใช้สารชีวมวล. 2008.

24. Zhu Z, Rosendahl L, Toor SS, Yu D, Chen G. Hydrothermal liquefaction of barley straw to bio-crude oil: Effects of reaction temperature and aqueous phase recirculation. Applied Energy. 2015;137:183-92.

25. Cao L, Luo G, Zhang S, Chen J. Bio-oil production from eight selected green landscaping wastes through hydrothermal liquefaction. RSC Adv. 2016;6(18):15260-70.

26. Muley PD, Henkel C, Abdollahi KK, Marculescu C, Boldor D. A critical comparison of pyrolysis of cellulose, lignin, and pine sawdust using an induction heating reactor. Energy Conversion and Management. 2016;117:273-80.

27. Yu J, Paterson N, Blamey J, Millan M. Cellulose, xylan and lignin interactions during pyrolysis of lignocellulosic biomass. *Fuel*. 2017;191:140-9.
28. Chen W-H. Chapter 10 - Torrefaction A2 - Pandey, Ashok, in *Pretreatment of Biomass*. Elsevier: Amsterdam. 2015:173-92.
29. Takara DaSKK. Characterizing compositional changes of Napier grass at different stages of growth for biofuel and biobased products potential. *Bioresource Technology*. 2015;188:103-8.
30. Richard EPaWF. Anderson, Sugarcane, Energy Cane and Napier Grass, in *Cellulosic Energy Cropping Systems*. John Wiley & Sons, Ltd. 2014:91-108.
31. Yang H, Yan, R., Chen, H., Lee, D. H., Zheng, C. Characteristics of hemicellulose, cellulose and lignin pyrolysis. *Fuel*. 2007;86:1781-8.
32. Akhtar JaNASA. A review on process conditions for optimum bio- oil yield in hydrothermal liquefaction of biomass. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2011;15(3):1615-24.
33. Zhu Z, et al. Analysis of product distribution and characteristics in hydrothermal liquefaction of barley straw in subcritical and supercritical water. *Environmental Progress and Sustainable Energy*. 2014;33(3):737-43.
34. Feng SY, Z.; Leitch, M.; and Xu, C. Hydrothermal liquefaction of barks into bio-crude – Effects of species and ash content/composition. *Fuel*. 2014;116:214-20.
35. Karagöz S, Bhaskar T, Muto A, Sakata Y. Comparative studies of oil compositions produced from sawdust, rice husk, lignin and cellulose by hydrothermal treatment. *Fuel*. 2005;84(7-8):875-84.
36. Sudong Y. ea. 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;101:3657-64.
37. Tian C, et al. Hydrothermal liquefaction for algal biorefinery: A critical review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2014;38:933-50.
38. B. FHICR. Lignocellulosic biomass: a sustainable platform for the production of bio-based chemicals and polymers. *Polymer Chemistry*. 2015;6:4497-559.
39. Jena U, K. C. Das, J. R. Kastner. Effect of operating conditions of thermochemical liquefaction on biocrude production from *Spirulina platensis*. *Bioresource Technology*.

2011;102(10):6221-9.

40. Das PG, A.; Wangikar, P. Influence of pretreatment for deashing of sugarcane bagasse on pyrolysis products. *Biomass and Bioenergy*. 2004;5:455-7.

41. Fan Y, Cai, Y., Li, X., Jiao, L., Xia, J. , Deng, X. Effects of the cellulose, xylan and lignin constituents on biomass pyrolysis characteristics and bio-oil composition using the Simplex Lattice Mixture Design method. *Energy Conversion and Management*. 2017;138:106–18.

42. Wu SL, Shen, D.K., Hu, J., Zhang, H.Y., Xiao, R. S. Cellulose-lignin interactions during fast pyrolysis with different temperatures and mixing method. *Biomass Bioenergy*. 2016;90:209–17.

43. Yoshida K, Kusaki, J.,Ehara, K.,Saka, S. Characterization of low molecular weight organic acids from beech wood treated in supercritical water. *Applied Biochemistry and Biotechnology*. 2005;123:795-806.



ประวัติผู้เขียน

| | |
|-------------------|--|
| ชื่อ-สกุล | อุษณิษา จันทรวงศ์ไพศาล |
| วัน เดือน ปี เกิด | 13 ตุลาคม 2537 |
| สถานที่เกิด | สงขลา |
| วุฒิการศึกษา | ระดับปริญญาตรี ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย |
| ที่อยู่ปัจจุบัน | 83/68 หมู่บ้านสัมมากรมินบุรี 2 ซอย 4 ถนนสามวา แขวงบางชัน เขตคลองสามวา กทม. 10510 |
| ผลงานตีพิมพ์ | PPC & PETROMAT Symposium 2019 |

