



รายงานโครงการวิจัย

เรื่อง

ผลของชาร์จากชีวมวลต่อการผลิตน้ำมันดิบชีวภาพจากไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชัน

(Effect of biomass-derived char on biocrude production from hydrothermal liquefaction)

โดย

นายพรศภาคย์	จตุภัทร์ธนานนท์	รหัสนิสิต	5832922023
นางสาวสุภิญญา	กุลนรา	รหัสนิสิต	5832976023
นางสาวเสาวลักษณ์	คำก้อน	รหัสนิสิต	5832977623

อาจารย์ที่ปรึกษา

รองศาสตราจารย์ ดร.ประพันธ์ คูชลธารา

โครงการการยื่นเอกสารต้นฉบับของโครงการเพื่อเสริมประสบการณ์ ปีการศึกษา 2561

เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของโครงการทางวิชาการที่ส่งผ่านทางคณะที่สังกัด

ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
The abstract and full text of senior projects in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the senior project authors' files submitted through the faculty.

CHULALONGKORN UNIVERSITY



รายงานโครงการวิจัย

ผลของชาร์จากชีวมวลต่อการผลิตน้ำมันดิบชีวภาพจากไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชัน

(Effect of biomass-derived char on biocrude production from hydrothermal liquefaction)

โดย

นายพรศภาคย์	จตุภัทร์ธนานนท์	รหัสนิสิต 5832922023
นางสาวสุภิญญา	กุลนรา	รหัสนิสิต 5832976023
นางสาวเสาวลักษณ์	คำก้อน	รหัสนิสิต 5832977623

อาจารย์ที่ปรึกษา

รองศาสตราจารย์ ดร.ประพันธ์ คูชลธारा

โครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์ ปีการศึกษา 2561

ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ชื่อโครงการ ผลของซาร์จากชีวมวลต่อการผลิตน้ำมันดิบชีวภาพจากไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกซ์

นิสิตร่วมโครงการ นายทรงภคาศัย จุติภัทร์ธนานนท์
นางสาวสุภิญญา กุลนรา
นางสาวเสาวลักษณ์ คำก้อน

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.ประพันธ์ คูชลธาธา

ภาควิชา เคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2561

บทคัดย่อ

ปัจจุบันพลังงานทางเลือกถูกใช้เพื่อทดแทนแหล่งพลังงานหลัก ซึ่งหนึ่งในพลังงานทางเลือกนั้น คือ กระบวนการไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกซ์ที่ให้ร้อยละผลได้น้ำมันดิบชีวภาพสูง โดยกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกซ์เป็นเทคโนโลยีทางเลือกของการใช้ประโยชน์จากชีวมวลชนิดต่าง ๆ เพื่อผลิตเชื้อเพลิงที่เกี่ยวข้องกับการแปลงชีวมวลโดยตรงเป็นเชื้อเพลิงเหลว โดยเป็นการกระบวนการที่สภาวะน้ำร้อนอัดความดันในเวลาที่จะทำลายโครงสร้างของแข็งชีวภาพให้อยู่ในรูปของเหลวเป็นส่วนใหญ่ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของซาร์จากชีวมวลต่อการผลิตน้ำมันดิบชีวภาพจากไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกซ์ โดยตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาในงานวิจัยนี้ได้แก่ ชนิดของชีวมวล (ขานอ้อยและเหง้ามันสำปะหลัง) ชนิดของซาร์ (ซาร์สำหรับพุงชะโดและซาร์ไม้ไผ่) อุณหภูมิ (300 และ 350 องศาเซลเซียส) และตัวทำละลายเดี่ยว (น้ำปราศจากไอออนและเอทานอล) โดยเมื่อพิจารณาที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส พบว่าน้ำมันที่ได้จากซาร์ไม้ไผ่ผสมขานอ้อยให้ค่าร้อยละผลได้สูงสุด รองลงมา คือ ซาร์สำหรับพุงชะโดผสมขานอ้อย ซึ่งมีค่าเท่ากับร้อยละ 70.86 และ 39.29 ตามลำดับ โดยเป็นค่าที่มากกว่าค่าทำนายของการผสมชีวมวลกับซาร์ ซึ่งแสดงว่าการใส่ซาร์สำหรับพุงชะโดเข้าไปช่วยเพิ่มร้อยละผลได้น้ำมันดิบชีวภาพให้มากขึ้น

คำสำคัญ: น้ำมันดิบชีวภาพ, ชีวมวล, ซาร์, ไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกซ์

ภาควิชา เคมีเทคนิค

ลายมือชื่อนิสิต.....เสาวลักษณ์ คำก้อน.....

สาขาวิชา เคมีวิศวกรรม

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก.....

Title Effect of biomass-derived char on biocrude production from hydrothermal liquefaction

Student name Mr. Thassapak Jutipatthananon
Miss Suphinya Kulnara
Miss Saowaluck Khumgon

Advisor Assoc. Prof. Dr. Prapan Kuchonthara

Department of Chemical Technology, Faculty of Science, Chulalongkorn University,
Academic Year 2018

ABSTRACT

Nowadays, alternative energy is required to replace the main energy sources. Moreover, the one of those is hydrothermal liquefaction. It gives a high liquid yield, no drying step and high quality liquid product. It is an alternative technology of exploiting different types of biomass for fuels production, involving the direct biomass conversion to liquid fuels by processing in a hot, pressurized water environment for sufficient time to break down the solid biopolymeric structure to mainly liquid components. As a consequent biomass is considered to be one of the most promising options because throughout Thailand there are many sources. However, most of them were destroyed and burned in vain. Aim of this research is to study effects of biomass-derived char on biocrude production from hydrothermal liquefaction. The parameters in this research are the biomass types (bagasse and cassava rhizome), temperature (300°C and 350°C) and solvent types (DI water and ethanol). Considering at temperature 300°C, bamboo char mixed with bagasse has the highest percentage yield of liquid products and followed by Pungchado seaweed char mixed with bagasse give the liquid yield are 70.86% and 39.29% respectively. Those results are greater than the liquid yield of the biomass mixed with char, thus adding Pungchado seaweed char has increased the percentage of liquid yield.

Keywords: Biocrude, Biomass, Char, Hydrothermal liquefaction

Department of Chemical Technology
Major: Chemical Engineering

Student's signature.....เสาวลักษณ์ คำภีระ.....
Advisor's signature.....Pr Kutt.....

กิตติกรรมประกาศ

โครงการการวิจัยฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการเรียนการสอนในระดับปริญญาตรีเพื่อสร้างเสริมประสบการณ์ประจำปีการศึกษา 2561 ของภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ในการดำเนินโครงการนี้ นิสิตผู้ดำเนินโครงการได้รับความอนุเคราะห์และความช่วยเหลือจากบุคคลหลายท่านเพื่อให้การวิจัยสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี จึงขอขอบพระคุณไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.ประพันธ์ คูชลธारा อาจารย์ที่ปรึกษาที่ได้ให้ความรู้คำแนะนำและคำข้อคิดเห็นต่างๆ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการทำวิจัย ตลอดจนช่วยแก้ปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นขณะทำการวิจัยเพื่อปรับปรุงงานวิจัยให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี รวมทั้งคณาจารย์ทุกท่านในภาควิชาเคมีเทคนิคที่ได้ให้คำแนะนำและคอยช่วยเหลือเป็นอย่างดีตลอดมา

ขอขอบพระคุณ คุณจุมพล ส่องแสงเจริญ ที่ให้ความช่วยเหลือในด้านเครื่องมืออุปกรณ์ใน ห้องปฏิบัติการ ให้คำปรึกษาและความคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ตลอดการดำเนินโครงการ

ขอขอบพระคุณ คุณอุษณิษา จันทรวงศ์ไพศาล คุณกัศราศ รอดทอง และคุณนิพัทธ์พนธ์ ปะนามะสา ที่คอยช่วยเหลือและให้คำแนะนำในการทำงานวิจัยเพื่อให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ขอขอบคุณนิสิตระดับบัณฑิตศึกษา ภาควิชาเคมีเทคนิคที่ให้คำแนะนำและความช่วยเหลือในการใช้อุปกรณ์ในการทำวิจัย บุคลากรในภาควิชาเคมีเทคนิคทุกท่านที่ได้กรุณาอำนวยความสะดวกในการใช้ห้องปฏิบัติงานและช่วยเหลือในการใช้เครื่องมือวิเคราะห์ต่าง ๆ รวมทั้งพี่และเพื่อนในภาควิชาเคมีเทคนิคที่ให้คำปรึกษา ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจในการทำโครงการนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

สุดท้ายนี้ คณะผู้จัดทำ ขอขอบพระคุณบิดามารดาและครอบครัว รวมทั้งผู้มีพระคุณทุกท่านที่เปิดโอกาสให้ได้รับการศึกษาเล่าเรียนอันมีค่ายิ่ง ให้คำปรึกษา คำแนะนำ ให้กำลังใจ และให้การสนับสนุนในด้านต่าง ๆ ต่อคณะผู้จัดทำเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

คณะผู้จัดทำ

สารบัญ

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญภาพ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 ชีวมวล	4
2.2 องค์ประกอบของชีวมวล.....	5
2.3 ประโยชน์ของชีวมวล	10
2.4 ชีวมวลในประเทศไทย.....	10
2.5 ชาร์	12
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	14
บทที่ 3 เครื่องมือ และวิธีการดำเนินงานวิจัย	16
3.1 สารตั้งต้นและสารเคมี.....	16
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย.....	16
3.3 การดำเนินงานวิจัย	21
3.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	23
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง	25
4.1 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของชีวมวล.....	25
4.2 ผลของปัจจัยต่างๆ ต่อร้อยละผลได้และคุณภาพของน้ำมันชีวภาพจากไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกชันในตัวทำ ละลายเดียวในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ	27
4.3 การวิเคราะห์น้ำมันดิบชีวภาพ	35

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	37
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	37
5.2 ข้อเสนอแนะ	38
เอกสารอ้างอิง	39
ภาคผนวก.....	42
ภาคผนวก ก วิธีวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของซีเมนต์.....	43
ภาคผนวก ข การคำนวณร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์.....	46
ภาคผนวก ค การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์	48
ภาคผนวก ง ข้อมูลดิบ.....	50

สารบัญภาพ

รูปที่ 2.1	วัฏจักรคาร์บอนแบบปิดของเชื้อเพลิงชีวมวล	4
รูปที่ 2.2	โครงสร้างของลิกโนเซลลูโลสในชีวมวลที่ประกอบไปด้วย เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลสและลิกนิน	6
รูปที่ 2.3	ลักษณะการจัดเรียงตัวของโมเลกุลกลูโคสในเซลลูโลส	6
รูปที่ 2.4	Example of polymers in hemicellulose (Xylan)	7
รูปที่ 2.5	Structure of lignin and the main linkage motifs present in lignin	7
รูปที่ 3.1	เครื่องปฏิกรณ์แรงดันสูง (High-pressure Parr reactor).....	17
รูปที่ 3.2	แบบจำลองของอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ร่วมกับเครื่องปฏิกรณ์แรงดันสูง	17
รูปที่ 3.3	เครื่องระเหยแบบหมุน (Rotary evaporator).....	18
รูปที่ 3.4	เครื่องวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (CHN analyzer)	19
รูปที่ 3.5	เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (Gas chromatography).....	19
รูปที่ 3.6	เครื่องวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (CHN analyzer).....	20
รูปที่ 3.7	เครื่องวิเคราะห์หาปริมาณน้ำในน้ำมันดิบชีวภาพ (Karl-Fischer Titration)	20
รูปที่ 3.8	เครื่องวิเคราะห์หาปริมาณกรดในน้ำมันดิบชีวภาพ (Total Acid Number Titration)	21
รูปที่ 3.9	ขั้นตอนการแปรรูปชีวมวลให้เป็นเชื้อเพลิงเหลว	23
รูปที่ 4.1	ปริมาณผลได้น้ำมันดิบชีวภาพ กากของแข็ง และแก๊สของชานอ้อย เหง้ามันสำปะหลัง ชาร์สสำหรับพุงชะโด และชาร์ไม้ไผ่ ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส โดยใช้น้ำปราศจากไอออน (DI Water) เป็นตัวทำละลาย 28	
รูปที่ 4.2	ปริมาณผลได้น้ำมันดิบชีวภาพ กากของแข็ง และแก๊สของชีวมวลผสมชาร์สสำหรับพุงชะโดที่สัดส่วน 1:1 ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส โดยใช้น้ำปราศจากไอออน (DI Water) เป็นตัวทำละลาย.....	29
รูปที่ 4.3	ปริมาณผลได้น้ำมันดิบชีวภาพ กากของแข็ง และแก๊สของชีวมวลผสมชาร์ไม้ไผ่ที่สัดส่วน 1:1 ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส โดยใช้น้ำปราศจากไอออน (DI Water) เป็นตัวทำละลาย	30
รูปที่ 4.4	ปริมาณผลได้น้ำมันดิบชีวภาพ กากของแข็ง และแก๊สของเหง้ามันสำปะหลัง ชาร์สสำหรับพุงชะโด เหง้ามันสำปะหลังผสมชาร์สสำหรับพุงชะโด ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส โดยใช้น้ำปราศจากไอออน (DI Water) และเอทานอลเป็นตัวทำละลาย	31

รูปที่ 4.5 ปริมาณผลได้น้ำมันดิบชีวภาพ กากของแข็ง และแก๊สของชานอ้อย เหง้ามันสำปะหลัง ชาร์สำหรับรายพุง
 ชะโด และชาร์ไม้ไผ่ โดยใช้น้ำปราศจากไอออน (DI Water) เป็นตัวทำละลายที่อุณหภูมิ 300 และ 350 องศา
 เซลเซียส..... 32

รูปที่ 4.6 ปริมาณผลได้น้ำมันดิบชีวภาพ กากของแข็ง และแก๊สของชานอ้อยผสมชาร์ โดยใช้น้ำปราศจากไอออน
 (DI Water) เป็นตัวทำละลายที่อุณหภูมิ 300 และ 350 องศาเซลเซียส 33

รูปที่ 4.7 ปริมาณผลได้น้ำมันดิบชีวภาพ กากของแข็ง และแก๊สของเหง้ามันสำปะหลังผสมชาร์ โดยใช้น้ำปราศจาก
 ไอออน (DI Water) เป็นตัวทำละลายที่อุณหภูมิ 300 และ 350 องศาเซลเซียส..... 34

รูปที่ ค.1 โครมาโทแกรมของผลิตภัณฑ์น้ำมันดิบชีวภาพจากกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชันของชานอ้อย
 ผสมชาร์ไม้ไผ่ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส โดยใช้น้ำปราศจากไอออน (DI Water) เป็นตัวทำละลาย 40

รูปที่ ค.2 โครมาโทแกรมของผลิตภัณฑ์น้ำมันดิบชีวภาพจากกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชันของชานอ้อย
 ผสมชาร์ไม้ไผ่ที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส โดยใช้น้ำปราศจากไอออน (DI Water) เป็นตัวทำละลาย 41

รูปที่ ค.3 โครมาโทแกรมของผลิตภัณฑ์น้ำมันดิบชีวภาพจากกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชันของเหง้ามัน
 สำปะหลังผสมชาร์สำหรับรายพุงชะโดที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส โดยใช้น้ำปราศจากไอออน (DI Water) เป็นตัว
 ทำละลาย 42

สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีในสารชีวมวล	8
ตารางที่ 2.2 สมบัติเบื้องต้น และค่าพลังงานความร้อนที่ได้จากชีวมวลแต่ละประเภท.....	9
ตารางที่ 2.3 รายละเอียดพื้นที่ปลูก ผลผลิตพืชหลัก และไม้ยางพารา ปี 2551 และ 2552 (หน่วย: พันไร่/พันตัน).....	11
ตารางที่ 2.4 การใช้ชีวมวลในประเทศไทยระหว่าง ปี 2547-2552 (หน่วย : พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ)	11
ตารางที่ 2.5 ศักยภาพชีวมวลเชิงพื้นที่ของประเทศไทยปี 2552	12
ตารางที่ 3.1 สภาวะที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์แก๊สด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (Gas chromatography)	19
ตารางที่ 3.2 ตัวแปรที่ทำการศึกษาในกระบวนการแปรรูปชีวมวลให้เป็นเชื้อเพลิงเหลว.....	21
ตารางที่ 4.1 การวิเคราะห์แบบประมาณ การวิเคราะห์แบบแยกธาตุ และค่าความร้อนของขานอ้อย เหง้า มัน สำปะหลัง ชาร์สำหรับ่ายพุงชะโด และชาร์ไม้ไผ่.....	25
ตารางที่ 4.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของขานอ้อย เหง้ามันสำปะหลัง ชาร์สำหรับ่ายพุงชะโด และชาร์ไม้ ไผ่ (Chemical composition)	27
ตารางที่ 4.3 ผลของการวิเคราะห์หองค์ประกอบของน้ำมันดิบชีวภาพ	35
ตารางที่ ง.1 ข้อมูลการทดลองในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์และร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์แต่ละประเภท ...	42
ตารางที่ ง.2 ข้อมูลการวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลอง.....	45

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและมูลเหตุจูงใจ

ปัจจุบันทั่วโลกกำลังประสบปัญหาการขาดแคลนพลังงาน เนื่องจากพลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิลมีปริมาณลดลงและจำกัด อีกทั้งการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลยังเป็นสาเหตุหลักในการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ออกสู่ชั้นบรรยากาศ ซึ่งจะก่อปัญหาสิ่งแวดล้อม โดยกระแสสังคมโลกในปัจจุบัน มุ่งลดการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์เพื่อตอบโจทยการจัดการภาวะโลกร้อน ดังนั้นจึงมีความต้องการของพลังงานทางเลือกเพิ่มมากขึ้นเพื่อทดแทนพลังงานที่กำลังจะหมดไป ซึ่งพลังงานทางเลือกที่สามารถนำมาทดแทนได้มีหลายชนิด ชีวมวลเป็นแหล่งพลังงานทดแทนอีกทางเลือกหนึ่งที่อุดมสมบูรณ์และจะเป็นส่วนสำคัญของแหล่งพลังงานที่ยั่งยืนในอนาคต เนื่องจากเป็นเชื้อเพลิงที่สามารถหาได้ง่ายโดยมีอยู่ทั่วไปในท้องถิ่นนั้น ๆ มีต้นทุนที่ไม่สูงและยังเป็นการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับมวลชีวภาพให้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้สูงสุด อีกทั้งยังเป็นการส่งเสริมนโยบายการใช้พลังงานทดแทน เพื่อความมั่นคงทางด้านพลังงานของประเทศในระยะยาว

กระบวนการทางความร้อนที่ใช้ในการแปลงชีวมวลเป็นพลังงานทดแทนมีหลายรูปแบบ ได้แก่ แกซิฟิเคชัน (Gasification) การเผาไหม้ (Combustion) ไพโรไลซิส (Pyrolysis) และลิกวิแฟกชัน (Liquefaction) แต่ละกระบวนการที่แตกต่างกัน จะให้ผลิตภัณฑ์ซึ่งอาจอยู่ในรูปของก๊าซ ของเหลว และของแข็งที่แตกต่างกันแล้วแต่กรณี โดยทั้ง 4 กระบวนการ มีลักษณะที่คล้ายกันคือ การให้ความร้อนแก่ชีวมวลเพื่อสลายพันธะในโครงสร้างของชีวมวล ทำให้โมเลกุลขนาดใหญ่ของชีวมวลที่มีขนาดเล็กลง การเปลี่ยนชีวมวลให้เป็นเชื้อเพลิงเหลวชีวภาพนั้น สามารถทำได้ผ่าน 2 กระบวนการหลัก คือไพโรไลซิสและลิกวิแฟกชัน โดยลิกวิแฟกชันนั้นมิใช่ได้เปรียบเมื่อเทียบกับไพโรไลซิสคือ สารชีวมวลตั้งต้นไม่จำเป็นต้องผ่านกระบวนการทำให้แห้ง จึงเหมาะกับชีวมวลที่มีความชื้นสูงและร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ของเหลวที่สูง โดยกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชัน (Hydrothermal liquefaction, HTL) เป็นการสลายตัวเร่งความร้อนของชีวมวลในน้ำที่สภาวะอุณหภูมิและความดันสูง ซึ่งมวลชีวภาพจะถูกเปลี่ยนเป็นผลิตภัณฑ์ของเหลวสีดำคล้ายน้ำมันดิบหรือเรียกว่าน้ำมันดิบชีวภาพ (Bio-crude) ซึ่งมีปริมาณซัลเฟอร์และออกซิเจนเป็นองค์ประกอบต่ำกว่าน้ำมันที่ได้จากไพโรไลซิสทั่วไป ส่งผลให้มีขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันดิบชีวภาพมีความซับซ้อนน้อยลงเมื่อเทียบกับน้ำมันที่ได้จากไพโรไลซิส

ในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลของซาร์ ซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้จากกระบวนการทางอุตสาหกรรมต่าง ๆ ต่อการผลิตน้ำมันดิบชีวภาพ โดยเปรียบเทียบจากร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพจากกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชันที่ให้ร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพสูง ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาในงานวิจัยนี้ได้แก่

ชนิดของชีวมวล (ขานอ้อยและเหง้ามันสำปะหลัง) อุณหภูมิ (300 และ 350 องศาเซลเซียส) และตัวทำละลายเดี่ยว (น้ำปราศจากไอออนและเอทานอล)

1.2 วัตถุประสงค์งานวิจัย

1. ศึกษาผลของชาร์ต่อร้อยละผลได้และคุณภาพของน้ำมันดิบชีวภาพจากไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกชันในตัวทำละลายเดี่ยวที่ต่างกัน
2. ศึกษาผลของชาร์ต่อร้อยละผลได้และคุณภาพของน้ำมันดิบชีวภาพจากไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกชันที่อุณหภูมิที่ต่างกัน

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

ทำการทดลองแปรรูปขานอ้อย เหง้ามันสำปะหลัง ชาร์ไม้ไผ่ ชาร์สาหร่ายพวงชะโด ให้เป็นของเหลวในเครื่องปฏิกรณ์ (Parr Reactor) ขนาด 250 มิลลิลิตร และศึกษาผลของตัวแปรต่าง ๆ คือ ชนิดของชีวมวล ชนิดของชาร์ ชนิดของตัวทำละลายเดี่ยวและอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาที่มีผลต่อการผลิตน้ำมันดิบชีวภาพที่มีผลต่อปริมาณและสมบัติของผลิตภัณฑ์น้ำมันดิบชีวภาพ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ในด้านความรู้และประสบการณ์ต่อตัวนิสิตเอง

มีความรู้ ความเข้าใจในขั้นตอนและผลของชาร์ต่อการผลิตน้ำมันดิบชีวภาพจากกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกชัน สามารถสืบค้นข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยได้ เพื่อนำมาวางแผนการดำเนินงานอย่างเป็นระบบ หาสาเหตุของปัญหาที่เกิดขึ้น และนำไปใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดลองพร้อมอภิปรายผลที่เกิดขึ้นได้อย่างเป็นเหตุเป็นผล นอกจากนี้ยังได้ใช้เครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย ซึ่งก่อให้เกิดทักษะการใช้งาน และยังเป็นการฝึกความรับผิดชอบด้วย

2. ความรู้ ความเข้าใจที่นำไปสู่การแก้ไขปัญหาของสังคมหรือสภาพแวดล้อม

มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับปัจจัยต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อปริมาณของร้อยละน้ำมันดิบที่ได้จากกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกชัน เพื่อแปรรูปชีวมวลที่มีราคาถูกให้เป็นเชื้อเพลิงเหลวที่มีราคาที่สูงขึ้น

1.5 วิธีการดำเนินงานวิจัย

1. ค้นคว้า ศึกษา และทบทวนบทความวิจัยรวมทั้งเอกสารที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย
2. เตรียมชีวมวลและชาร์สำหรับการผลิตเชื้อเพลิงเหลว

3. ออกแบบและจัดสร้างชุดทดลองการผลิตเชื้อเพลิงเหลวจากชีวมวล โดยใช้กระบวนการไฮโดรเทอร์มอลลิควิแฟกชัน (Hydrothermal liquefaction, HTL) ในการผลิต
4. ทดลองผลิตและเปรียบเทียบคุณสมบัติของเชื้อเพลิงเหลวที่ได้จากชนิดของชีวมวล ชนิดของสารชนิดของตัวทำละลาย และอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาที่แตกต่างกัน
5. หาแนวทางพัฒนาที่มีประสิทธิภาพ เพื่อเพิ่มคุณภาพให้กับเชื้อเพลิงเหลวที่ได้ให้สามารถนำไปใช้ได้จริงและเพียงพอต่อการนำไปใช้ในงานด้านต่างๆ
6. วิเคราะห์ข้อมูล สรุปผลการทดลอง อภิปรายและจัดทำรายงานการวิจัย

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ชีวมวล

ชีวมวล (Biomass) คือสารอินทรีย์ที่เป็นแหล่งกักเก็บพลังงานจากธรรมชาติและสามารถนำมาใช้ผลิตพลังงานได้ เช่น เศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร หรือกากจากกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมเกษตร เช่น แกลบ ได้จากการสีข้าวเปลือกขานอ้อย ได้จากการผลิตน้ำตาลทรายเศษไม้ ได้จากการแปรรูปไม้ยางพาราหรือไม้ยูคาลิปตัสเป็นส่วนใหญ่ และบางส่วนได้จากสวนป่าที่ปลูกไว้จากปาล์ม ได้จากการสกัดน้ำมันปาล์มดิบออกจากผลปาล์มสดกากมันสำปะหลัง ได้จากการผลิตแป้งมันสำปะหลังซึ่งข้าวโพด ได้จากการสีข้าวโพดเพื่อนำเมล็ดตอกกากและกะลามะพร้าว ได้จากการนำมะพร้าวมาลอกเปลือกออกเพื่อนำเนื้อ มะพร้าวไปผลิตกะทิ และน้ำมันมะพร้าวสำเร็จรูป ได้จากการผลิตแอลกอฮอล์เป็นต้นชีวมวล สามารถเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานได้ เพราะในขั้นตอนของการเจริญเติบโตนั้น พืชใช้คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำแล้วเปลี่ยนพลังงานจากแสงอาทิตย์ โดยผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสงได้ออกมาเป็นแป้งและน้ำตาล แล้วกักเก็บไว้ตามส่วนต่าง ๆ ของพืช ดังนั้นเมื่อนำพืชมาเป็นเชื้อเพลิง เราก็จะได้พลังงานออกมา การใช้ประโยชน์จากพลังงานชีวมวล สามารถใช้ได้ทั้งในรูปแบบของพลังงานความร้อน ไอน้ำ หรือผลิตเป็นกระแสไฟฟ้า โดยจะใช้เชื้อเพลิงชีวมวลชนิดใดชนิดหนึ่งที่กล่าวมาข้างต้น หรือหลายชนิดรวมกันก็ได้ชีวมวลจึงเป็นแหล่งเชื้อเพลิงราคาถูก หากมีการใช้ประโยชน์ในบริเวณที่ไม่ไกลจากแหล่งเชื้อเพลิงมากนัก เพื่อลดต้นทุนในการขนส่งชีวมวลมีอยู่ทั่วไปในประเทศไทย การนำชีวมวลมาใช้จึงช่วยลดการสูญเสียเงินตราต่างประเทศในการนำเข้าเชื้อเพลิงและสร้างรายได้ให้กับคนท้องถิ่น นอกจากนี้การผลิตพลังงานจากเชื้อเพลิงชีวมวลด้วยเทคโนโลยีที่เหมาะสม จะไม่ก่อให้เกิดมลภาวะและไม่สร้างสภาพเรือนกระจก เนื่องจากการปลูกทดแทนทำให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เกิดการหมุนเวียนและไม่มีการปลดปล่อยเพิ่มเติม [1] ดังแสดงในรูปในรูปด้านล่าง



รูปที่ 2.1 วัฏจักรคาร์บอนแบบปิดของเชื้อเพลิงชีวมวล [2]

ชีวมวลสามารถแบ่งได้เป็น 6 ประเภทจากแหล่งกำเนิดของชีวมวลนั้น ๆ ได้แก่

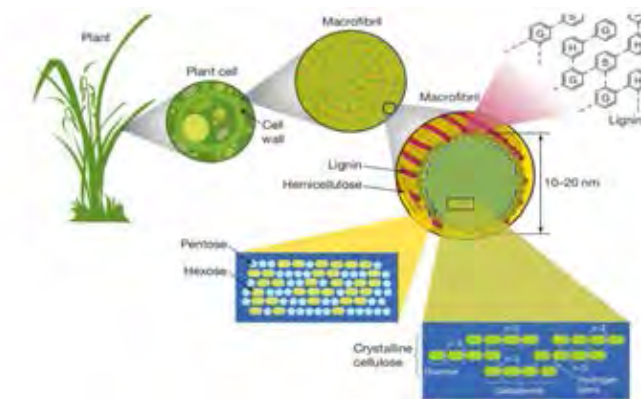
1. ชีวมวลที่เกิดจากการเพาะปลูก ซึ่งชีวมวลประเภทนี้มีการปลูกขึ้นมาแล้วเหลือจากการใช้ในจุดประสงค์หลักของการปลูก เช่น ปลูกเพื่อเป็นอาหารแก่คนหรือสัตว์ หรือปลูกขึ้นมาเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวมวลโดยตรง ชีวมวลประเภทนี้ เช่น ปาล์มน้ำมัน ข้าวโพด ถั่วเหลือง และมันสำปะหลัง เป็นต้น
2. ชีวมวลที่เกิดขึ้นหลังการเกิดไฟไหม้ป่า ชีวมวลชนิดนี้จะเกิดขึ้นหลังมีการเกิดไฟไหม้ป่าที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติเป็นประจำ โดยชีวมวลประเภทนี้ส่วนใหญ่เป็นพวกเศษกิ่งไม้และลำต้นของต้นไม้ที่หลงเหลือจากไฟไหม้ป่า
3. ชีวมวลที่เกิดขึ้นจากของเสียทางการเกษตร ชีวมวลประเภทนี้จะเกิดขึ้นระหว่างการเก็บเกี่ยวและการแปรรูปพืชผลทางการเกษตร เช่น แกลบ ฟางข้าวและกะลาปาล์ม
4. ชีวมวลที่เกิดขึ้นในป่าและอุตสาหกรรมป่าไม้ ชีวมวลประเภทนี้สามารถหาได้ในป่า เช่น เศษใบไม้ กิ่งไม้ที่หักจากต้นไม้ ต้นไม้ที่ตายไปแล้ว หรือแม้กระทั่งของเสียที่เกิดจากอุตสาหกรรมการแปรรูปไม้ เช่น ขี้เลื่อย และปึกไม้ เป็นต้น
5. ชีวมวลจากมูลสัตว์ ชีวมวลประเภทนี้เป็นสิ่งปฏิกูลที่เกิดจากการขับถ่ายของสัตว์ เช่น มูลวัว มูลแพะ มูลไก่ เป็นต้น ซึ่งชีวมวลเหล่านี้จะมีความชื้นที่สูงมาก
6. ชีวมวลจากขยะชุมชน ชีวมวลประเภทนี้คือ ขยะที่เราทิ้งกันทุก ๆ วัน ซึ่งสามารถเรียกอีกชื่อหนึ่งว่าขยะชุมชน (Municipal Solid Waste)

2.2 องค์ประกอบของชีวมวล

สารชีวมวลมีความหลากหลาย แต่ละชนิดมีองค์ประกอบต่างกัน องค์ประกอบขั้นต้นได้แก่ เซลลูโลส ลิกนิน แป้ง และโปรตีน สารชีวมวลต่างชนิดกัน ย่อมมีองค์ประกอบที่ต่างกัน เช่น ธัญพืชมีแป้งมาก ในขณะที่ของเสียจากปศุสัตว์มีโปรตีนมาก เนื่องจากโครงสร้างทางเคมีที่แตกต่างกันชีวมวล ประกอบด้วย ลิกโนเซลลูโลส (Lignocellulose) ประกอบด้วยเซลลูโลส (Cellulose) 25-50% เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) 20-35% และลิกนิน (Lignin) 18-35% โครงสร้างส่วนใหญ่มีน้ำตาลและพอลิเมอร์ของน้ำตาลเป็นองค์ประกอบซึ่งเรียกว่า พอลิแซ็กคาไรด์ (Polysaccharides)

2.2.1 องค์ประกอบทางเคมี (Chemical composition)

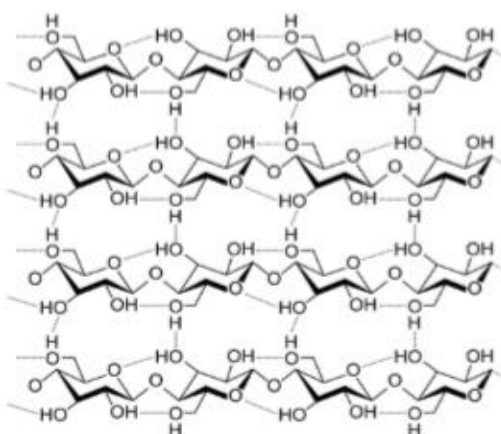
ในทางเคมีชีวมวลประกอบด้วยด้วยเซลลูโลส (Cellulose) เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) ลิกนิน (Lignin) และสารสกัดบางจำพวก (Extractives) ดังรูปที่ 2.2 โดยเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส รวมกลุ่มด้วยกันและถูกเรียกว่า โฮโลเซลลูโลส (Holocellulose)



รูปที่ 2.2 โครงสร้างของลิกโนเซลลูโลสในชีวมวลที่ประกอบไปด้วย เซลลูโลส
เฮมิเซลลูโลสและลิกนิน [3]

1) เซลลูโลส (Cellulose)

เซลลูโลสมีสูตรโมเลกุลคือ $(C_6H_{10}O_5)_n$ เป็นพอลิเมอร์ชีวภาพ (Biopolymer) ที่สามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติประกอบด้วยสารคาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate) ชนิดโฮโมพอลิแซ็กคาไรด์ (Homopolysaccharide) ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง สำหรับโครงสร้างของเซลลูโลสประกอบด้วยโมเลกุลของกลูโคส (Glucose) ที่มีหมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxyl group) เป็นหมู่หลักมาเรียงต่อกันด้วยพันธะไกลโคไซด์ที่ตำแหน่งเบต้า-1,4 (β -1,4 glycosidic bond) ดังแสดงในรูป 2.3

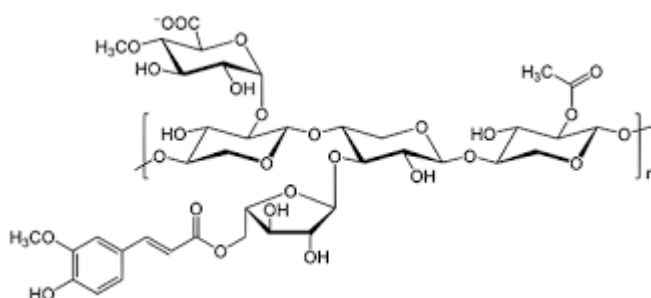


รูปที่ 2.3 ลักษณะการจัดเรียงตัวของโมเลกุลกลูโคสในเซลลูโลส [4]

2) เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose)

จากรูป 2.4 จะเห็นว่าโครงสร้างของเฮมิเซลลูโลสเป็นคาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate) ประเภทพอลิแซ็กคาไรด์ (Polysaccharide) โดยโมเลกุลของเฮมิเซลลูโลสเป็น Heteropolysaccharide

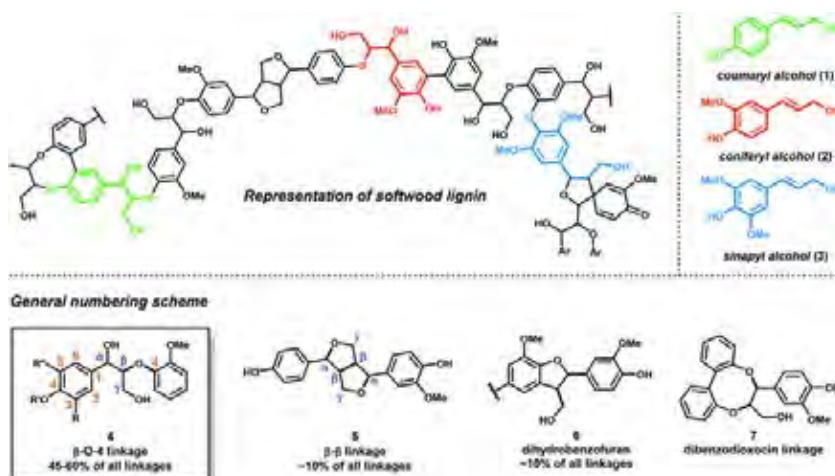
ประกอบด้วยน้ำตาลหลายชนิด เช่น น้ำตาลไซโลส (Xylose) ซึ่งเชื่อมต่อกันด้วยพันธะไกลโคไซด์ (Glycosidic bond) เป็นโซ่หลัก นอกจากนี้ยังมีน้ำตาลแมนโนส (Mannose) กาแล็กโทส (Galactose) หรือกลูโคส (Glucose) มาต่อกันเป็นโซ่หลักด้วยและมีน้ำตาลชนิดอื่นมาต่อกันเป็นโซ่แขนง ได้แก่ น้ำตาลอะราบินโนส (Arabinose) กรดกลูคูโรนิก (Glucuronic acid)



รูปที่ 2.4 Example of polymers in hemicellulose (Xylan) [5]

3) ลิกนิน (Lignin)

ลิกนินเป็นคาร์โบไฮเดรตประเภทใยอาหาร (Dietary fiber) ที่ไม่ให้พลังงาน โครงสร้างโมเลกุลของลิกนินเป็นพอลิแซ็กคาไรด์ที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่ (รูปที่ 2.5) ประกอบด้วยโซ่โมเลกุลของออกซิเจนฟีนิลโพรเพน (Oxygenated phenyl propane)



รูปที่ 2.5 Structure of lignin and the main linkage motifs present in lignin [6]

โดยทั่วไปไม้เนื้ออ่อนจะมีองค์ประกอบของเซลลูโลสอยู่ประมาณ 45-50% เฮมิเซลลูโลส 25-35% และลิกนิน 25-35% ในขณะที่ไม้เนื้อแข็งจะมีเซลลูโลสอยู่ประมาณ 40-55% เฮมิเซลลูโลส 24-40% และลิกนิน 18-25% นอกจากนี้ยังมีสารสกัดอื่น ๆ ซึ่งเป็นสารประกอบธรรมชาติที่พบในไม้คล้ายกับ

สารประกอบไฮโดรคาร์บอนอยู่อีกประมาณ 1-5% โดยในตารางที่ 2.1 จะแสดงถึงองค์ประกอบทางเคมีในชีวมวลที่เป็นพืชเกษตรกรรม

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีในสารชีวมวล [4]

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

2.2.2 องค์ประกอบแบบประมาณ (Proximate composition)

เป็นองค์ประกอบที่สามารถวิเคราะห์หาได้ด้วยมาตรฐาน American Society for Testing and Materials (ASTM) โดยแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลักได้แก่

1) ความชื้น (Moisture) หมายถึงปริมาณน้ำที่มีอยู่ โดยส่วนมากชีวมวลจะมีความชื้นค่อนข้างสูงเนื่องจากเป็นผลผลิตทางการเกษตร การนำชีวมวลไปเผาเพื่อให้ได้เป็นพลังงานควรมีความชื้นไม่เกิน 50 เปอร์เซ็นต์

2) ส่วนที่เผาไหม้ได้ (Combustible substance) โดยสามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ Volatiles matter และ Fixed Carbon Volatiles matter ซึ่งเป็นส่วนที่ลุกเผาไหม้ได้ง่าย ดังนั้นชีวมวลใดที่มีค่า Volatiles matter สูงแสดงว่าติดไฟได้ง่าย

3) ส่วนที่เผาไหม้ไม่ได้ ซึ่งก็คือขี้เถ้า (Ash) ซึ่งทั่วไปแล้วชีวมวลจะมีขี้เถ้าประมาณ 1-3 เปอร์เซ็นต์ ยกเว้นแกลบและฟางข้าวซึ่งมีสัดส่วนขี้เถ้าประมาณ 10-20 เปอร์เซ็นต์ทำให้มีปัญหาในการเผาไหม้และกำจัดพอสมควร

ซึ่งมาตรฐานสำหรับวิธีการวิเคราะห์หาค่าองค์ประกอบต่างๆในชีวมวลตาม ASTM ได้แบ่งออกตามการวิเคราะห์หาค่าองค์ประกอบแต่ละชนิด คือ วิเคราะห์หาค่าความชื้น (ASTM 3173), เถ้า (ASTM 3174), สารระเหยง่าย (ASTM 3175) เป็นต้น

2.2.3 พลังงานที่ได้จากชีวมวล (Heating value of biomass)

ชีวมวลแต่ละชนิดจะให้ค่าพลังงานจากการเผาไหม้ในปริมาณที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับลักษณะและองค์ประกอบรวมไปถึงความชื้นของชีวมวล โดยค่าความร้อนที่ได้ออกมาจากชีวมวลสามารถแสดงได้เป็น 2 แบบ คือ

1) ค่าความร้อนต่ำ (Low Heating Value, LHV) คือค่าพลังงานที่ได้จากการเผาไหม้ชีวมวลที่มีการระเหยน้ำออกไปแล้วหน่วยที่นิยมใช้คือกิโลจูลต่อกิโลกรัมชีวมวล (kJ/kg) หรือกิโลแคลอรีต่อกิโลกรัมชีวมวล (kcal/kg)

2) ค่าความร้อนสูง (High Heating Value, HHV) คือค่าพลังงานทั้งหมดที่ได้จากการเผาไหม้ชีวมวล โดยค่าพลังงานที่ได้ยังไม่หักค่าพลังงานที่ใช้ในการระเหยน้ำในชีวมวล หน่วยที่นิยมใช้เป็นหน่วยเดียวกับค่าความร้อนต่ำ

โดยปริมาณองค์ประกอบแบบประมาณและค่าความร้อนในชีวมวลที่เป็นพืชเกษตรกรรม จะถูกแสดงไว้ในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 สมบัติเบื้องต้น และค่าพลังงานความร้อนที่ได้จากชีวมวลแต่ละประเภท [7]

ชีวมวล	องค์ประกอบและค่าความร้อน					
	Moisture (%)	Ash (%)	Volatile Matter (%)	Fixed Carbon (%)	HHV (kJ/kg)	LHV (kJ/kg)
แกลบ	12.00	12.65	56.46	18.88	14,755	13,517
ฟางข้าว	10.00	10.39	60.70	18.90	13,650	12,330
ชานอ้อย	50.73	1.43	41.98	5.86	9,243	7,368
ใบอ้อย	9.20	6.10	67.80	16.90	16,794	15,479
ไม้ยางพารา	45.00	1.59	45.70	7.71	10,365	8,600
เส้นใยปาล์ม	38.50	4.42	42.68	14.39	13,127	11,400
กะลาปาล์ม	12.00	3.50	68.20	16.30	18,267	16,900
ทะลายปาล์ม	58.60	2.03	30.46	8.90	9,196	7,240
ต้นปาล์ม	48.40	1.20	38.70	11.70	9,370	7,556
ทางปาล์ม	78.40	0.70	16.30	4.60	3,908	1,760
ชังข้าวโพด	40.00	0.90	45.42	13.68	11,298	9,615
ลาดันข้าวโพด	41.70	3.70	46.46	8.14	11,704	9,830
เหง้ำมันสาปะหลัง	59.40	1.50	31.00	8.10	7,451	5,494
เปลือกไม้ยูคาลิปตัส	60.00	2.44	28.00	9.56	6,811	4,917

2.3 ประโยชน์ของชีวมวล

ชีวมวลถูกนำมาใช้เป็นพลังงานตั้งแต่สมัยโบราณจนกระทั่งโลกได้มีการพัฒนาเจริญทางด้านเทคโนโลยีประกอบกับมีความต้องการในด้านพลังงานเพิ่มมากขึ้น ถ่านหิน น้ำมันดิบและแก๊ส ธรรมชาติจึงได้ถูกนำมาใช้ในการผลิตพลังงานทำให้ชีวมวลมีบทบาทน้อยลง ปัจจุบันแหล่งพลังงานจากซากดึกดำบรรพ์มีแนวโน้มที่จะลดลงอย่างต่อเนื่องรวมถึงภาวะเรือนกระจกที่เพิ่มความรุนแรงขึ้นทุกปีทำให้พลังงานทางเลือกอย่างชีวมวลกลับมามีบทบาทอีกครั้ง การนำชีวมวลมาเป็นเชื้อเพลิงมีข้อดีหลายประการ คือ

1) ลดการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจก แม้การเผาไหม้จะก่อให้เกิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์หรือแก๊สเรือนกระจกซึ่งแก๊สเหล่านี้ จะห่อหุ้มโลกไว้ทำให้รังสีบางส่วนไม่สามารถสะท้อนกลับไป ออณหภูมิของโลกจึงสูงขึ้น หากแต่แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากการเผาไหม้ชีวมวลนั้นจะถูกหมุนเวียนกลับไปใช้ในการสังเคราะห์แสงโดยพืช ทำให้การเผาชีวมวลไม่ถือว่าก่อให้เกิดแก๊สเรือนกระจก

2) การปล่อยให้ชีวมวล เช่น มูลสัตว์ ย่อยสลายตามธรรมชาติจะทำให้เกิดแก๊สมีเทนซึ่งถือว่าเป็นแก๊สเรือนกระจกที่มีอันตรายมากกว่าแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ถึง 21 เท่า

3) เนื่องจากชีวมวลจะมีซัลเฟอร์ประกอบอยู่ไม่เกิน 0.2 เปอร์เซ็นต์ ทำให้การเผาไหม้ชีวมวลไม่เกิดปัญหาฝนกรดตามมา

4) ขี้เถ้าของชีวมวลมีสภาพเป็นต่างซึ่งต่างจากของถ่านหินที่จะมีโลหะหนักปะปนอยู่ ดังนั้นขี้เถ้าที่ได้จากการเผาชีวมวลจึงสามารถนำไปใช้ในการปรับสภาพดินที่เป็นกรดเพื่อทำให้ที่ดินเหล่านั้นพร้อมใช้ในการเพาะปลูกพืชต่อไป

5) ทำให้ชุมชนมีรายได้เพิ่มขึ้น จากการสำรวจประเมินพบว่า การนำชีวมวลในท้องถิ่นมาใช้ ทำให้มีเงินหมุนเวียนในระบบเพิ่มขึ้นถึง 7 เท่า

6) ประหยัดค่าใช้จ่ายในการนำเข้าเชื้อเพลิงจากต่างประเทศ

2.4 ชีวมวลในประเทศไทย

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมที่สำคัญแห่งหนึ่งของโลก ประชาชนมากกว่าร้อยละ 50 ประกอบอาชีพเกษตรกรรมทำให้มีผลผลิตทางการเกษตรหลากหลายชนิด เช่น ข้าว น้ำตาล มันสำปะหลัง ยางพารา น้ำมันปาล์ม เป็นต้น โดยตารางที่ 2.3 เป็นการแสดงถึงรายละเอียดการเพาะปลูก ผลิตภัณฑ์ต่างๆ ในประเทศ ซึ่งการเก็บเกี่ยวและการแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรเหล่านี้ก่อให้เกิดชีวมวลหรือวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เช่น เศษไม้ยางพารา แกลบ ฟางข้าว เหง้ามันสำปะหลัง กากอ้อย เป็นต้น โดยชีวมวลเหล่านี้บางส่วนถูกแปรรูปไปเป็นปุ๋ย ในขณะที่บางส่วนถูกนำไปกำจัดด้วยการเผา เช่น ฟางข้าว ใบอ้อย เป็นต้น

ตารางที่ 2.3 รายละเอียดพื้นที่ปลูก ผลผลิตพืชหลัก และไม้ยางพารา ปี 2551 และ 2552
(หน่วย: พันไร่/พันตัน) [6]

ชนิด	2551		2552	
	พื้นที่เก็บเกี่ยว	ผลผลิต	พื้นที่เก็บเกี่ยว	ผลผลิต
อ้อย	6,588	73,502	6,023	66,816
ข้าว	66,772	31,651	68,519	31,508
ข้าวโพด	6,518	4,249	6,905	4,616
ปาล์มน้ำมัน	2,885	9,271	3,189	8,162
มันสำปะหลัง	7,397	25,156	8,584	30,088
ไม้ยางพารา	11,372	3,166	11,600	3,090

ปัจจุบันมีแนวโน้มของการใช้ชีวมวลเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องดังแสดงในตารางที่ 2.4 ทั้งนี้ ศักยภาพของการผลิตชีวมวลในประเทศไทยประเมินจากผลคูณของปริมาณผลผลิตทางการเกษตรกับ สัดส่วนของการเปลี่ยนแปลงปริมาณผลผลิตเป็นชีวมวล ตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.4 การใช้ชีวมวลในประเทศไทยระหว่าง ปี 2547-2552 (หน่วย : พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ) [12]

ชนิด	ปี 2547	ปี 2548	ปี 2549	ปี 2550	ปี 2551	ปี 2552
พืชน้ำ	3,693	3,452	3,372	3,237	3,300	3,138
ถ่าน	2,608	2,698	2,807	2,932	3,095	2,996
แกลบ	1,073	1,084	998	1,043	1,184	1,234
กากอ้อย	2,949	2,866	2,435	2,636	2,818	2,829
วัสดุเหลือใช้	188	724	1,381	1,797	1,848	2,261
รวม	10,511	10,824	10,993	11,645	12,245	12,458

ตารางที่ 2.5 ศักยภาพชีวมวลเชิงพื้นที่ของประเทศไทยปี 2552 [8]

ชนิด	ผลผลิต (ตัน)	ชีวมวล	ชีวมวลเหลือใช้ (ตัน)	ค่าความร้อน (MJ/kg)	ศักยภาพพลังงาน (TJ)	ศักยภาพพลังงาน (ktoe)
อ้อย	66,816,446	ชานอ้อย	4,190,794.31	14.40	60,347.44	1,428.54
		ยอดและใบ	13,439,727.21	17.39	233,716.86	5,532.52
ข้าว	31,508,364	แกลบ	3,510,598.90	14.27	50,096.25	1,185.87
		ฟางข้าว	25,646,547.96	10.24	262,620.65	6,216.73
ถั่วเหลือง	190,480	ต้น/เปลือก/ใบ	170,383.17	19.44	3,312.35	78.41
ข้าวโพด	4,616,119	ซัง	584,539.15	18.04	10,545.09	249.62
		ลำต้น	2,758,777.96	18.04	49,768.34	1,178.11
ปาล์มน้ำมัน	8,162,379	ทะลายเปล่า	1,024,868.34	17.86	18,304.15	433.29
		ใบ	162,970.06	17.62	2,871.53	67.97
		กษลา	38,959.04	18.46	719.18	17.02
		ก้าน	2,203.74	9.83	21,824.24	516.62
มัน สำปะหลัง	30,088,025	ลำต้น	2,439,236.19	18.42	44,930.73	1,063.60
		เหง้า	1,834,466.88	18.42	33,790.88	799.89
มะพร้าว	1,380,980	ก้าน	628,990.82	15.40	9,686.46	229.30
		กาบ	464,250.95	16.23	7,534.79	178.36
		กษลา	128,936.58	17.93	2,311.83	54.73
ไม้ยางพารา	3,090,280	กิ่ง/ก้าน	312,118.28	14.98	4,675.53	110.68
รวม	145,853,073		59,539,905.20		504,339.40	11,938.67

2.5 ชาร์

ชาร์มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก เป็นวัสดุประเภทอโลหะ มีคุณสมบัติพิเศษชนิดที่หาธาตุอื่นใดมาเทียบได้ยาก มีทั้งชนิดที่สีดำสนิทและไม่มีสี มีทั้งที่เนื้อเปื่อยยุ่ยไปจนถึงแข็งแกร่งที่สุด มีคาร์บอนอีกชนิดหนึ่งที่ถูกพัฒนาขึ้นมาจากชาร์ทั่วไป เรียกว่า ถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon บางครั้งเรียกว่า Activated Charcoal หรือ Activated coal) ชาร์ชนิดนี้เป็นถ่านที่ผ่านกระบวนการที่ทำให้เกิดรูพรุนขึ้นในตัวเอง ซึ่งรูพรุนนั่นเองทำให้เกิดพื้นที่ผิวเพิ่มมากขึ้น มีคุณสมบัติในการดูดซับสิ่งต่างๆที่อยู่ในของเหลวหรือแก๊สได้ปริมาณสูง [9]

การใช้ประโยชน์จากซาร์

ซาร์สามารถนำไปใช้ประโยชน์หลากหลายทั้งในครัวเรือนและระดับอุตสาหกรรมได้ ดังนี้

1. การใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรม

ถ่านบริสุทธิ์เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมผลิตสารเคมีต่าง ๆ เช่น คาร์บอนไดซัลไฟด์ (Carbondisulphide), โซเดียมไซยาไนด์ (Sodium Cyanide) ซิลิคอนคาร์ไบด์ (Silicon Carbide) หรือ ถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) เป็นต้น ถ่านกัมมันต์ที่ได้จากถ่านไม้ที่มีค่าคาร์บอนเสถียรสูง (High Fixed Carbon) ใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอีกหลากหลาย อาทิใช้ในระบบกรองและบำบัดอุตสาหกรรมน้ำดื่ม ระบบผลิตน้ำประปา ระบบบำบัดน้ำเสีย เป็นต้น นอกจากนี้ยังใช้ประโยชน์จากคาร์บอนในอุตสาหกรรมโลหะ หรือใช้ซีเมนต์เพื่อเพิ่มคุณสมบัติของปูนซีเมนต์ให้แข็งตัวช้า และมีความแข็งแรงยิ่งขึ้น ฯลฯ

2. การใช้ประโยชน์ในครัวเรือน

คุณสมบัติในการดูดซับกลิ่นและความชื้นของถ่านเป็นที่รับรู้กันดี แต่ในต่างประเทศ อุตสาหกรรมผลิตเครื่องประดับจากถ่านเพื่อใช้ประโยชน์ในบ้านเรือนได้รับความนิยมมาก คนญี่ปุ่นเป็นตัวอย่างของผู้ที่มองเห็นคุณประโยชน์ของถ่านอย่างชัดเจน การใช้ถ่านเพื่อทำหน้าที่ลดกลิ่นในห้องปรับอากาศ มีประสิทธิภาพที่ดีมาก รุพูนและจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ในถ่านไม้จะดูดซับกลิ่นและเชื้อโรคต่าง ๆ เอาไว้ ช่วยลดกลิ่นไม่พึงประสงค์ได้อย่างดี หรือจะใช้ถ่านเพื่อการบำบัดน้ำเสียจากครัวเรือน ก่อนปล่อยสู่ท่อระบายสาธารณะก็ยังเป็นผลดีต่อสิ่งแวดล้อมอีกด้วย

3. การใช้ประโยชน์ในการเกษตร

ในภาคการผลิตเชิงเกษตรการนำถ่านไม้มาใช้ประโยชน์นั้นมีคุณค่าที่น่าสนใจไม่น้อย เนื่องจากถ่านมีคุณสมบัติที่ไม่เป็นพิษภัยต่อพืชและสัตว์จึงสามารถใช้ทดแทนสารเคมีราคาแพงได้อย่างกว้างขวางและมีประสิทธิภาพไม่แพ้กัน

- ใช้เป็นสารปรับปรุงดิน ถ่านไม้จะมีรูพูนมาก เมื่อใส่ถ่านปนลงในดินจะช่วยปรับสภาพดินให้ร่วนซุย อุ้มน้ำได้ดีขึ้นส่งผลให้รากพืชขยายตัวอย่างรวดเร็วช่วยลดการใช้ปุ๋ยเพราะสมบัติต่าง ๆ ของจุลธาตุที่มีอยู่หลายชนิดในถ่าน จะเป็นประโยชน์ให้แก่พืชที่ปลูก
- ถ่านไม้ที่นำมาใช้ปรับปรุงดินควรเป็นเศษถ่านขนาดไม่เกิน 5 มิลลิเมตร โดยอาจจะเป็นถ่านแกลบหรือถ่านชานอ้อย แต่ควรระวังซีเมนต์ที่มีฤทธิ์เป็นด่างสูงเพราะพืชก็ไม่ชอบดินที่มีค่าเป็นด่างสูง ควรรักษาค่าเป็นกรดต่างของดินไว้ที่ pH 6.0–6.8

- ช่วยรักษาผลผลิตให้สดนานขึ้น ผักและผลไม้จะมีกลิ่นผลิตแก๊สเอทิลีน (Ethylene) เพื่อทำให้ตัวเองสุก เราสามารถรักษาผลผลิตให้สดนานขึ้นโดยใส่ผงถ่านลงในกล่องบรรจุเพื่อดูดซับแก๊สดังกล่าวไว้ไม่ให้ ออกฤทธิ์ผักผลไม้จะยังคงสดอยู่ได้นานถึง 17 วัน โดยไม่เสียหายหรือสุกงอม ปัจจุบันได้มีการนำผง ถ่านกัมมันต์ผสมลงในกระดาษที่ใช้ทำกล่องบรรจุผลผลิตเพื่อการนี้แล้ว
- ถ่านแกลบหรือถ่านชานอ้อย ใช้ทดแทนแกลบรองพื้นคอกสัตว์ซึ่งราคาถูกและหาง่ายพอ ๆ กัน เพื่อหลีกเลี่ยงความร้อนและแก๊สต่าง ๆ อันเป็นสาเหตุหนึ่งของอาการเครียดในสัตว์ ส่งผลให้สุขภาพ และผลผลิตจากปศุสัตว์มีคุณภาพดีขึ้น
- ใช้ผสมอาหารสัตว์ นำผงถ่านผสมในอาหารสัตว์ด้วยอัตราส่วนเพียง 1% ถ่านจะช่วยดูดซับแก๊สใน กระเพาะและลำไส้ ช่วยลดอาการท้องอืดเนื่องจากปริมาณน้ำในอาหารสูงเกินไปได้โดยไม่เป็นอันตราย ต่อสัตว์
- ปรับปรุงคุณภาพแหล่งน้ำ นำถ่านไม้ใส่กระสอบ ไว้ที่ก้น (ในปริมาณที่สอดคล้องกับปริมาณแหล่งน้ำ) บ่อ และจัดให้มีการไหลเวียนน้ำบริเวณกระสอบถ่านนั้น เศษอินทรีย์วัตถุต่าง ๆ ในน้ำจะถูกย่อยสลาย โดยจุลินทรีย์ที่อยู่ในรูปของถ่าน ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพระบบบำบัดน้ำในบ่อเลี้ยงปลาหรือกุ้งได้ เช่นกัน

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Zhu และคณะ [10] ศึกษาผลของอุณหภูมิต่อการไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแพกชั้นของข้าวบาร์เลย์ โดยใช้ ช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 280–400 องศาเซลเซียสร่วมกับน้ำเสียจากกระบวนการผลิตดังกล่าว จากการทดลอง แสดงให้เห็นว่าที่อุณหภูมิต่ำจะให้ปริมาณผลิตภัณฑ์ของเหลวสูงกว่าโดยที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียสจะให้ ปริมาณถึง 34.9 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ในทางตรงข้ามที่อุณหภูมิสูงผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการจะมี ปริมาณน้อยกว่า แต่คุณภาพของน้ำมันที่ได้นั้นดีกว่าทั้งในแง่ของปริมาณออกซิเจนและค่าความร้อนรวมถึง สารประกอบในผลิตภัณฑ์

Caprariss และคณะ [11] ศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิและองค์ประกอบของชีวมวลที่มีต่อน้ำมัน ชีวภาพ โดยการนำ ฟางหญ้า ไม้ไผ่และเปลือกวอลนัทมาใช้รวมถึงใช้เซลลูโลสมาใช้เป็นสารตั้งต้นเพื่อใช้ เปรียบเทียบกับชีวมวลชนิดอื่น ๆ งานวิจัยนี้ ดำเนินการทดลองในเครื่องปฏิกรณ์ขนาดเล็กภายใต้ภาวะกึ่ง วิกฤต ในช่วงอุณหภูมิ 240–320 องศาเซลเซียส และใช้เวลาของการเกิดปฏิกิริยาในเครื่องปฏิกรณ์ 30 นาที ในส่วนของผลิตภัณฑ์ที่ได้นั้นจะถูกนำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ธาตุเคมีและเครื่อง แก๊สโครมาโตกราฟแมสสเปกโตรมิเตอร์ จากผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าปริมาณลิกนินซึ่งเป็นองค์ประกอบใน ชีวมวลมีผลต่อปริมาณน้ำมันชีวภาพที่ผลิตได้และจากผลการวิเคราะห์พบวาทสารดังกล่าวจะมีมากในเปลือก องค์ประกอบหลักและมีสารจำพวกแอลกอฮอล์ คีโตนและแอลดีไฮด์เป็นองค์ประกอบรองลงมา

Li และคณะ [12] ศึกษาเกี่ยวกับการนำกากของแข็งจากการหมักเซลลูโลสเพื่อผลิตไบโอเอทานอล โดยอาศัยไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแพคชันด้วยเครื่องปฏิกรณ์แบบกะของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการผลิตไบโอเอทานอล งานวิจัยฉบับนี้ ได้ศึกษาผลของอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในกระบวนการผลิตต่อร้อยละผลได้และองค์ประกอบของน้ำมันชีวภาพที่ได้ จากการทดลองพบว่า ภาวะที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการคือภาวะต่ำกว่าจุดวิกฤติที่อุณหภูมิ 370 องศาเซลเซียส ความดัน 21.25 เมกะปาสคาล ใช้เวลา 30 นาที ซึ่งจะได้ผลได้น้ำมันชีวภาพร้อยละ 40.79 โดยน้ำหนัก และจากผลการทดสอบด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟแมสสเปกโตรมิเตอร์พบว่าองค์ประกอบหลักในน้ำมันประกอบด้วยฟีนอล คีโตน ไฮโดรคาร์บอนสายยาว และกรดไขมัน นอกจากนี้ เมื่อทดลองที่ภาวะเหนือวิกฤติที่อุณหภูมิ 375 องศาเซลเซียส 23.50 เมกะปาสคาล พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีองค์ประกอบของสารโมเลกุลสายสั้นมากกว่าที่ภาวะต่ำกว่าจุดวิกฤติ เพราะมีการแตกตัวของสารโมเลกุลสายยาวมากขึ้น

Biswas และคณะ [13] ศึกษาอิทธิพลของตัวทำละลาย(น้ำ เมทานอล และเอทานอล) โดยจะใช้ อุณหภูมิที่ 260 280 และ 300 องศาเซลเซียส สำหรับตัวทำละลายน้ำ ในขณะที่ตัวทำละลายอินทรีย์จะทำการทดลองที่อุณหภูมิ 280 องศาเซลเซียส เวลาในการเกิดปฏิกิริยา 15 นาที จากการทดลองพบว่าตัวทำละลายอินทรีย์จะทำให้ปริมาณของผลิตภัณฑ์ของเหลวเพิ่มขึ้นโดยการใช้เมทานอลเป็นตัวทำละลายจะให้ค่าอยู่ที่ 22.8 และ 23.8 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักสำหรับการใช้เอทานอลในทางกลับกันการใช้น้ำเป็นตัวทำละลายจะให้ปริมาณผลิตภัณฑ์อยู่ที่ 16.33 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก นอกจากนี้ การวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟ แมสสเปกโตรมิเตอร์ พบว่าเมื่อใช้ตัวทำละลายอินทรีย์จะทำให้มีสารประกอบเอสเทอร์เพิ่มขึ้นในผลิตภัณฑ์

Wang และคณะ [14] ศึกษาอันตรกิริยาระหว่างลิกโนเซลลูโลสจากไบโอชาร์ของแกลบ และสารระเหยของสาหร่ายทะเล *Enteromorpha clathrate* โดยกระบวนการไพโรไลซิสร่วมในเครื่องปฏิกรณ์แบบตัดขวาง โดยศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของไบโอชาร์ พบว่าหลังจากอันตรกิริยากับสารระเหยของสาหร่ายทะเล ร้อยละผลได้ของไบโอชาร์ของแกลบหลังทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับไบโอชาร์ของแกลบก่อนทำปฏิกิริยา โดยน้ำมันชีวภาพที่ผลิตได้จากอันตรกิริยาระหว่างลิกโนเซลลูโลสจากไบโอชาร์ของแกลบกับสารระเหยของสาหร่ายมีปริมาณสารประกอบจำพวกเฮเทอโรไซคลิกและแอโรแมติกเพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นถึงน้ำมันชีวภาพที่มีคุณภาพดีขึ้น

บทที่ 3

เครื่องมือ และวิธีการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้ เป็นการศึกษากระบวนการแปรรูปชีวมวลให้กลายเป็นเชื้อเพลิงเหลว (Liquefaction) ด้วยตัวทำละลายน้ำปราศจากไอออนและเอทานอล อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส และที่ภาวะเหนือวิกฤต ณ อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส ในเครื่องปฏิกรณ์ (Parr Reactor) ตัวแปรที่ทำการศึกษาคือ ชนิดชีวมวลและชาร์ ชนิดตัวทำละลายและอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา ผลลัพธ์ที่ได้จากกระบวนการแปรรูปนี้ คือ น้ำมันชีวภาพ กากของแข็ง และแก๊ส โดยศึกษาผลของตัวแปรต่อร้อยละการเปลี่ยน ร้อยละผลได้ องค์กรประกอบและค่าความร้อนของผลิตภัณฑ์

3.1 สารตั้งต้นและสารเคมี

1. ชานอ้อยและเหง้ำมันสำปะหลังขนาด 150-250 ไมครอน
2. ชาร์สหารายพุงชะโดและชาร์ไม้ไผ่ขนาด 150-250 ไมครอน
3. น้ำปราศจากไอออน (DI water)
4. เอทานอล (Ethanol) 99.9 %
5. แก๊สไนโตรเจน 99.99 %
6. อะซิโตน (Acetone)

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

3.2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมชานอ้อยและเหง้ำมันสำปะหลัง

1. เครื่องบดชีวมวล
2. ตะแกรงร่อนขนาด 150, 250, 500 ไมครอน
3. เครื่องเขย่าตะแกรงร่อน

3.2.2 เครื่องปฏิกรณ์

เครื่องปฏิกรณ์แรงดันสูง (High-pressure Parr reactor) ผลิตโดยบริษัท Parr Instrument Company ดังแสดงในรูปที่ 3.1 ที่มีขนาดปริมาตร 250 มิลลิลิตร ตัวเครื่องทำจากเหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless Steel No. 316) ประกอบไปด้วยส่วนให้ความร้อน (Heater) อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิพร้อมชุดควบคุมอุณหภูมิ (Temperature controller) มาตรวัดความดัน (Pressure gauge) ระบบหล่อเย็น (Cooling system) และอุปกรณ์การกวนซึ่งประกอบด้วยใบกวนพร้อมชุดควบคุมและวัดความเร็วรอบ

ใบกวนโดยตัวเครื่องและอุปกรณ์ประกอบสามารถทำงานที่อุณหภูมิไม่เกิน 400 องศาเซลเซียส และความดันสูงสุดไม่เกิน 35 เมกะพาสคัล

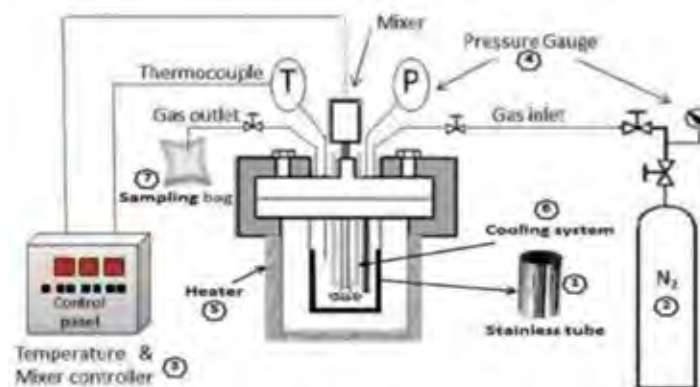


รูปที่ 3.1 เครื่องปฏิกรณ์แรงดันสูง (High-pressure Parr reactor)

3.2.3 แบบจำลองอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดลอง

อุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดลองในเครื่องปฏิกรณ์แรงดันสูงดังแสดงในรูปที่ 3.2

1. ถ้วย Stainless ขนาด 350 มิลลิลิตร
2. ถังแก๊สไนโตรเจน ความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.99
3. อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิพร้อมชุดควบคุมอุณหภูมิ (Temperature & Mixed controller)
4. มาตรวัดความดัน (Pressure gauge)
5. ระบบให้ความร้อน (Heater)
6. ระบบหล่อเย็น (Cooling system)
7. ถุงเก็บแก๊สตัวอย่าง (Sampling bag) ขนาด 2 ลิตร



รูปที่ 3.2 แบบจำลองของอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ร่วมกับเครื่องปฏิกรณ์แรงดันสูง

3.2.4 อุปกรณ์การกรอง

อุปกรณ์การกรองประกอบด้วยกรวยบุชเนอร์ (Buchner funnel) ขวดกรอง (Suction or filter flask) เครื่องดูดอากาศ (Aspiration) และกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 3 ขั้นตอนในการกรอง คือนำส่วนที่ได้จากเครื่องปฏิกรณ์ (ของแข็งและของเหลว) มาทำการกรองด้วยชุดกรอง ส่วนที่เป็นของแข็งที่อยู่ด้านบน ทำการชะล้างด้วยตัวทำละลายอะซิโตนเพื่อนำส่วนของน้ำมันออกให้หมด จากนั้นนำส่วนของแข็งที่ได้จากการกรองไปทำการอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และนำไปชั่งน้ำหนัก

3.2.5 อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการระเหยตัวทำละลาย

- 1) เครื่องระเหยแบบหมุน (Rotary evaporator)
- 2) ขวดเก็บสารตัวอย่าง
- 3) อะซิโตน

ขั้นตอนในการระเหยตัวทำละลายมีหลักการ คือ การแยกส่วนที่เป็นตัวทำละลายจากน้ำมันดิบชีวภาพในผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้จากการกรองของแข็งออก จากนั้นทำการระเหยตัวทำละลายออกโดยการใช้เครื่องระเหยแบบหมุน แสดงในรูปที่ 3.3 ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส และ ความดัน 600 มิลลิบาร์



รูปที่ 3.3 เครื่องระเหยแบบหมุน (Rotary evaporator) [15]

3.2.6 เครื่องวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (CHN analyzer)

การวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบคาร์บอน ไฮโดรเจน และไนโตรเจน ในตัวอย่างชีวมวลและน้ำมันดิบชีวภาพ ด้วยเครื่องวิเคราะห์แบบแยกธาตุ ยี่ห้อ LECO รุ่น CHN 628 ดังแสดงในรูปที่ 3.4 ผลการวิเคราะห์คิดเป็นร้อยละธาตุองค์ประกอบแต่ละชนิดโดยน้ำหนักของชีวมวลหรือน้ำมันดิบชีวภาพที่ทำการวิเคราะห์



รูปที่ 3.4 เครื่องวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (CHN analyzer) [16]

3.2.7 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (Gas chromatography)

การวิเคราะห์องค์ประกอบและปริมาณของผลิตภัณฑ์แก๊สจากไฮโดรเทอร์มอลลิควิแพกชั้นด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟียี่ห้อ Shimadzu รุ่น GC 2014 ดังแสดงในรูปที่ 3.5 โดยภาวะที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์แก๊สแสดงในตารางที่ 3.1



รูปที่ 3.5 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (Gas chromatography)

ตารางที่ 3.1 สภาวะที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์แก๊สด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (Gas chromatography)

แก๊สพา (Carrier gas)	แก๊สอาร์กอน (Ar)
ชนิดคอลัมน์	Unibeads C packed column
อุณหภูมิการฉีด (Injector temperature)	120 องศาเซลเซียส
อุณหภูมิคอลัมน์ (Oven column temperature)	50-180 องศาเซลเซียส
ชนิดระบบตรวจวัด	Thermal Conductivity Detector (TCD)

3.2.8 เครื่องวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (CHN analyzer)

การวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบคาร์บอน ไฮโดรเจน และไนโตรเจน ในตัวอย่างน้ำมันดิบชีวภาพ ด้วยเครื่องวิเคราะห์แบบแยกธาตุ ยี่ห้อ LECO รุ่น CHN 628 ดังแสดงในรูปที่ 3.6 ผลการวิเคราะห์คิดเป็นร้อยละธาตุองค์ประกอบแต่ละชนิดโดยน้ำหนักของน้ำมันดิบชีวภาพที่ทำการวิเคราะห์



รูปที่ 3.6 เครื่องวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (CHN analyzer)

3.2.9 เครื่องหาปริมาณน้ำคาร์ล ฟิสเซอร์ (Karl-Fischer Titration)

สามารถหาปริมาณน้ำในน้ำมันดิบชีวภาพโดยใช้วิธีการไตเตรต คาร์ล ฟิสเซอร์ ด้วยเครื่อง METTLER TOLEDO รุ่น V20 Volumetric KT Titrator แสดงดังในรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 เครื่องวิเคราะห์หาปริมาณน้ำในน้ำมันดิบชีวภาพ (Karl-Fischer Titration) [17]

3.2.10 เครื่องหาปริมาณกรดในน้ำมันดิบชีวภาพ (Total Acid Number Titration)

ปริมาณกรดในน้ำมันดิบชีวภาพสามารถหาได้โดยการไตเตรตด้วยเครื่อง METTLER TOLEDO รุ่น G20 compact titration ดังแสดงในรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 เครื่องวิเคราะห์หาปริมาณกรดในน้ำมันดิบชีวภาพ (Total Acid Number Titration) [18]

3.3 การดำเนินงานวิจัย

3.3.1 การออกแบบการทดลอง

งานวิจัยนี้ ต้องการศึกษาดัชนีแปรต่าง ๆ ต่อกระบวนการแปรรูปชีวมวลให้เป็นเชื้อเพลิงเหลว โดยตัวแปรที่ศึกษาในการทดลอง ได้แก่ ชนิดของชีวมวล ชนิดของชาร์ อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา และชนิดตัวทำละลาย ดังแสดงในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.2 ตัวแปรที่ทำการศึกษาในกระบวนการแปรรูปชีวมวลให้เป็นเชื้อเพลิงเหลว

ตัวแปร	
ชีวมวล	ชานอ้อย, เหง้ามันสำปะหลัง
ชาร์	ชาร์สำหรับรายพุงชะโด, ชาร์ไม้ไผ่
อุณหภูมิ	300, 350 องศาเซลเซียส
ตัวทำละลาย	น้ำปราศจากไอออน, เอทานอล

3.3.2 การเตรียมตัวอย่างชีวมวล

1. นำชานอ้อย เหง้ามันสำปะหลัง ชาร์สำหรับรายพุงชะโด และชาร์ไม้ไผ่ ไปบดละเอียด
2. คัดขนาดชีวมวลและชาร์ด้วยตะแกรงให้มีขนาด 150-250 ไมครอน
3. นำชีวมวลและชาร์ไปอบ 24 ชั่วโมง
4. นำชีวมวลและชาร์ที่ได้เก็บใส่ถุงซิปล็อค เพื่อไว้ดำเนินการทดลองต่อไป

3.3.3 การวิเคราะห์สมบัติของชานอ้อย เหม้ามันสำปะหลัง ชาร์สำหรับปุ๋ยชะโด และชาร์ไม้ไผ่

1. ค่าความร้อนของชีวมวล (Gross Calorific Value)
2. องค์ประกอบของชีวมวลโดยประมาณ (Proximate Analysis) ความชื้น เถ้า สารระเหย และคาร์บอนคงตัว ตาม ASTM D3172-3175
3. องค์ประกอบแบบแยกธาตุ (Ultimate analysis) ได้แก่ คาร์บอน, ไฮโดรเจน และไนโตรเจน ตาม ASTM D5291-96
4. องค์ประกอบของสารเคมี เช่น เซลลูโลส ลิกนิน และเฮมิเซลลูโลส

3.3.4 การศึกษาผลของชนิดชีวมวลต่อการผลิตน้ำมันชีวภาพ

ทำการทดลองโดยใช้ชานอ้อย เหม้ามันสำปะหลัง ที่อุณหภูมิที่กำหนด เป็นเวลา 60 นาที โดยใช้ตัวทำละลายที่กำหนด

3.3.5 การศึกษาผลของชนิดชาร์ต่อการผลิตน้ำมันชีวภาพ

ทำการทดลองโดยใช้ชาร์สำหรับปุ๋ยชะโด และชาร์ไม้ไผ่ ที่อุณหภูมิที่กำหนด เป็นเวลา 60 นาที โดยใช้ตัวทำละลายที่กำหนด

3.3.6 การศึกษาผลของชนิดชีวมวลและชาร์ต่อการผลิตน้ำมันชีวภาพ

ทำการทดลองโดยใช้ชีวมวลแต่ละชนิดผสมกับชาร์แต่ละชนิดในสัดส่วน 1:1 ที่อุณหภูมิที่กำหนด เป็นเวลา 60 นาที โดยใช้ตัวทำละลายที่กำหนด

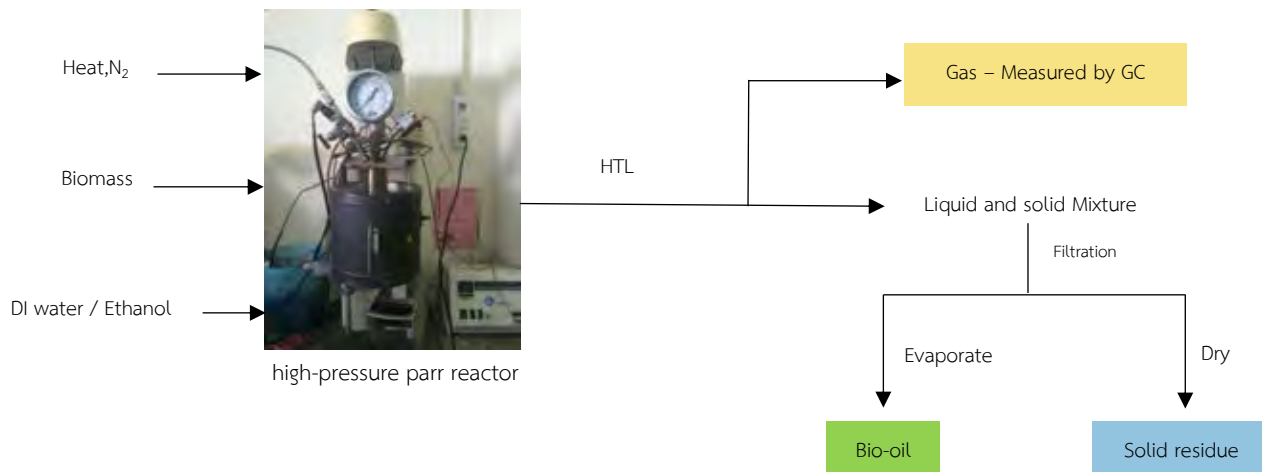
3.3.7 การศึกษาผลของอุณหภูมิต่อการผลิตน้ำมันชีวภาพ

ทำการทดลองโดยใช้สัดส่วนชีวมวลและชาร์แต่ละชนิดที่สัดส่วน 1:1 ที่อุณหภูมิ 300 และ 350 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที โดยใช้ตัวทำละลายที่กำหนด

3.3.8 การศึกษาผลของตัวทำละลายต่อการผลิตน้ำมันชีวภาพ

ทำการทดลองโดยใช้สัดส่วนชีวมวลและชาร์แต่ละชนิดที่สัดส่วน 1:1 ที่อุณหภูมิที่กำหนดเป็นเวลา 60 นาที โดยใช้ตัวทำละลายน้ำปราศจากไอออนและเอทานอล

3.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย



รูปที่ 3.9 ขั้นตอนการแปรรูปชีวมวลให้เป็นเชื้อเพลิงเหลว

3.4.1. กระบวนการแปรรูปชีวมวลให้เป็นเชื้อเพลิงเหลว

ขั้นตอนกระบวนการแปรรูปชีวมวลให้เป็นเชื้อเพลิงเหลวแสดงในรูปที่ 3.9

1. ชั่งชานอ้อย 10 กรัม ลงในเครื่องปฏิกรณ์ (Parr Reactor) เติมน้ำ DI 100 มิลลิลิตร
2. ประกอบเครื่องปฏิกรณ์ ใส่อากาศภายในเครื่องด้วยแก๊สไนโตรเจน และอัดแก๊สไนโตรเจน เริ่มต้นที่ 23-24 บาร์
3. ประกอบเครื่องปฏิกรณ์กับเครื่องให้ความร้อน ตั้งค่าอุณหภูมิที่ 300 องศาเซลเซียส ตั้งค่าความเร็วรอบของใบกวน 300 รอบต่อนาที เมื่ออุณหภูมิสูงถึงค่าที่ตั้งไว้ จับเวลา 60 นาที
4. เมื่อครบระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา ลดอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ลงจนถึงประมาณ 60 องศาเซลเซียส จากนั้นยกเครื่องปฏิกรณ์ออกจากอุปกรณ์ให้ความร้อน เป่าเครื่องปฏิกรณ์ด้วยพัดลมไฟฟ้า จนอุณหภูมิลดลงถึงอุณหภูมิห้อง จากนั้นเก็บแก๊สใส่ถุงเก็บแก๊ส ปล่อยแก๊สภายในเครื่องปฏิกรณ์ในตู้ดูดควัน
5. เก็บผลิตภัณฑ์ของเหลวและของแข็งใส่ในปิ๊กเกอร์ ชะล้างผลิตภัณฑ์ที่เหลืออยู่ในเครื่องปฏิกรณ์ ด้วยแอสีโตนผสมลงกับผลิตภัณฑ์ในปิ๊กเกอร์
6. กรองผลิตภัณฑ์ของเหลวออกจากของแข็งด้วยอุปกรณ์การกรองสุญญากาศ และล้างของแข็งด้วยแอสีโตน
7. นำสารละลายของเหลวที่กรองได้ปริมาตร 200 ml ไประเหยเพื่อแยกตัวทำละลายออกจากผลิตภัณฑ์ของเหลวด้วยเครื่องระเหยแบบหมุน ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ความดัน 600 มิลลิบาร์ เป็นเวลา 60 นาที
8. นำผลิตภัณฑ์ของเหลวที่เหลืออยู่จากการระเหยไปชั่งน้ำหนัก พร้อมนำสารละลายที่ระเหยแยกได้ไปตวงปริมาตร

9. นำของแข็งที่กรองได้พร้อมกระจกนาฬิกา ไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมงแล้วทิ้งไว้ให้เย็น

10. เปลี่ยนชีวมวลจากชานอ้อยเป็นเหง้ามันสำปะหลัง ชาร์ไม่ไผ่ และชาร์สาหร่ายพวงชะโดตามลำดับ จากนั้นทำตามข้อ 1-9

11. เปลี่ยนชีวมวลเป็นชีวมวลผสมกับชาร์แต่ละชนิด ในอัตราส่วน 1:1 จากนั้นทำตามข้อ 1-9

12. เปลี่ยนอุณหภูมิจาก 300 องศาเซลเซียสในข้อที่ 3 เป็น 350 องศาเซลเซียส จากนั้นทำตามข้อ 1-11

13. เปลี่ยนตัวทำละลายจากน้ำ DI เป็น เอทานอล จากนั้นทำตามข้อ 1-6

14. นำสารละลายของเหลวที่กรองได้ไประเหยเพื่อแยกตัวทำละลายออกจากผลิตภัณฑ์ของเหลว ด้วยเครื่องระเหยแบบหมุน ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ความดัน 250 มิลลิบาร์ เป็นเวลา 30 นาที

15. จากนั้นทำตามข้อ 8-12

3.4.2 การวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์

1. วิเคราะห์หาองค์ประกอบ Ultimate Analysis ของน้ำมันชีวภาพ ได้แก่ คาร์บอน ไฮโดรเจน และ ไนโตรเจน

2. วิเคราะห์ปริมาณน้ำคาร์ล ฟิชเชอร์ (Karl-Fischer Titration)

3. วิเคราะห์ปริมาณกรดในน้ำมันดิบชีวภาพ (Total Acid Number Titration)

4. วิเคราะห์องค์ประกอบของน้ำมันชีวภาพด้วยเครื่อง FTIR

3.4.3 การคำนวณผลลัพธ์จากการทดลอง

$$1. \text{ ค่าร้อยละผลได้น้ำมันชีวภาพ (\% Bio-oil yield, BO)} = \frac{100 \times W_{liq}}{W_{daf}}$$

$$2. \text{ ค่าร้อยละผลได้กากของแข็ง (\% Solid residue yield, SR)} = \frac{100 \times W_{ash}}{W_{daf}}$$

$$3. \text{ ค่าร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์แก๊ส (\% Gaseous yield)} = \frac{100 \times W_{gas}}{W_{daf}}$$

W_{daf} คือ น้ำหนักของชีวมวลที่ปราศจากความชื้นและขี้เถ้า (กรัม)

W_{ash} คือ น้ำหนักของกากที่ปราศจากความชื้น (กรัม)

W_{liq} คือ น้ำหนักของของเหลว (กรัม)

W_{gas} คือ น้ำหนักของแก๊ส (กรัม)

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

ในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลกระทบของชาร์จากชีวมวลต่อการผลิตน้ำมันดิบชีวภาพจากไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพคชัน โดยตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาในงานวิจัยนี้ได้แก่ ชนิดของชีวมวล (ขานอ้อยและเหง้ามันสำปะหลัง) ชนิดของชาร์ (ชาร์สาหร่ายพวงชะโดและชาร์ไม้ไผ่) อุณหภูมิ (300 และ 350 องศาเซลเซียส) และตัวทำละลายเดี่ยว (น้ำและเอทานอล) สำหรับผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้จะถูกนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีโดยเทคนิคการวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (CHNS Analysis) และแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี (GC-MS) ส่วนการวิเคราะห์องค์ประกอบผลิตภัณฑ์แก๊สสามารถวิเคราะห์โดยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (GC)

4.1 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของชีวมวล

4.1.1 การวิเคราะห์แบบประมาณ การวิเคราะห์แบบแยกธาตุ และค่าความร้อนของชีวมวล

การวิเคราะห์แบบประมาณ (Proximate analysis) เป็นการวิเคราะห์ชีวมวลเบื้องต้นเพื่อหาองค์ประกอบโดยประมาณของขานอ้อยและเหง้ามันสำปะหลัง ซึ่งในการวิเคราะห์จะเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D 3173-3175 ได้แก่ ความชื้น เถ้า สารระเหย คาร์บอนคงตัว และการวิเคราะห์ค่าความร้อนของชีวมวล ของขานอ้อยและเหง้ามันสำปะหลัง โดยผลการวิเคราะห์จะแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 การวิเคราะห์แบบประมาณ การวิเคราะห์แบบแยกธาตุ และค่าความร้อนของขานอ้อย เหง้ามันสำปะหลัง ชาร์สาหร่ายพวงชะโด และชาร์ไม้ไผ่

การวิเคราะห์	ขานอ้อย (Bagasse)	เหง้ามัน สำปะหลัง (Cassava root)	ชาร์สาหร่ายพวงชะโด (Poongchado Seaweed char)	ชาร์ไม้ไผ่ (Bamboo char)
การวิเคราะห์แบบประมาณ^a (ร้อยละโดยน้ำหนัก)				
ความชื้น (Moisture)	7.50	2.86	1.76	1.50
เถ้า (Ash)	7.84	4.04	52.08	27.27
สารระเหย (Volatile matter)	70.78	75.12	38.35	32.29
คาร์บอนคงตัว ^b (Fixed carbon)	13.88	17.98	7.82	38.94

การวิเคราะห์	ขานอ้อย (Bagasse)	เหง้ามัน สำหรับหลัง (Cassava root)	ชาร์สาหร่ายพุงชะโด (Poongchado Seaweed char)	ชาร์ไม้ไผ่ (Bamboo char)
การวิเคราะห์แบบแยกธาตุ^c (ร้อยละโดยน้ำหนัก)				
คาร์บอน (Carbon)	44.745	46.16	52.925	31.45
ไฮโดรเจน (Hydrogen)	6.055	6.065	2.585	1.625
ออกซิเจน (Oxygen) ^d	47.69	45.95	42.54	64.26
ไนโตรเจน (Nitrogen)	0.52	1.115	1.46	2.205
อัตราส่วนคาร์บอนต่อ ไฮโดรเจน (C/H)	0.14	0.13	0.05	0.05
ค่าความร้อน (เมกะจูล/ กิโลกรัม) ^e	15.27	16.08	13.96	1.40

a = ร้อยละโดยน้ำหนักที่ได้จากการวิเคราะห์โดยตรง

b = 100-ความชื้น-เถ้า-สารระเหย

c = ร้อยละโดยน้ำหนักที่ไม่รวมความชื้นและเถ้า

d = 100-ผลรวมปริมาณธาตุแต่ละชนิด

e = คำนวณจากสมการหาค่าความร้อน Chaniwala and Parikh สมการค่าความร้อนของชีวมวล

$$HHV = 349.1 \times X_C + 1178.3 \times X_H + 100.5 \times X_S - 15.1 \times X_N - 103.4 \times X_O - 21.1 \times X_{ash}$$

4.1.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของขานอ้อยและเหง้ามันสำหรับหลัง (Chemical composition)

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของชีวมวลเป็นการวิเคราะห์เพื่อหาองค์ประกอบทางเคมี (เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน) ซึ่งใช้การวิเคราะห์ด้วยวิธีของ Goering และ Van Soest, 1970 สำหรับผลการวิเคราะห์จะแสดงไว้ในตารางที่ 4.2 โดยจากผลการวิเคราะห์พบว่าขานอ้อยมีองค์ประกอบของไฮโดรเจนเซลลูโลสมากถึงร้อยละ 71 ซึ่งมากกว่าเหง้ามันสำหรับหลังที่มีปริมาณไฮโดรเจนเซลลูโลสร้อยละ 35 ในทางกลับกันพบว่าเหง้ามันสำหรับหลังนั้นมีปริมาณลิกนินร้อยละ 25 ซึ่งมากกว่าขานอ้อยที่มีเพียงร้อยละ 13 สำหรับองค์ประกอบอื่น ๆ นอกเหนือจากสารลิกโนเซลลูโลส ได้แก่ สารประกอบจำพวกโปรตีน และกรดไขมันที่สะสมอยู่ภายในพืช โดยจากผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าเหง้ามันสำหรับหลังมีสารประกอบดังกล่าวมากถึงร้อยละ 26.42 ในขณะที่ขานอ้อยมีสารประกอบนอกเหนือจากลิกโนเซลลูโลสอยู่เพียงร้อยละ 15.60

ตารางที่ 4.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของชานอ้อย เหง้ามันสำปะหลัง ชาร์สสำหรับพวงชะโด และ ชาร์สไม้ไผ่ (Chemical composition)

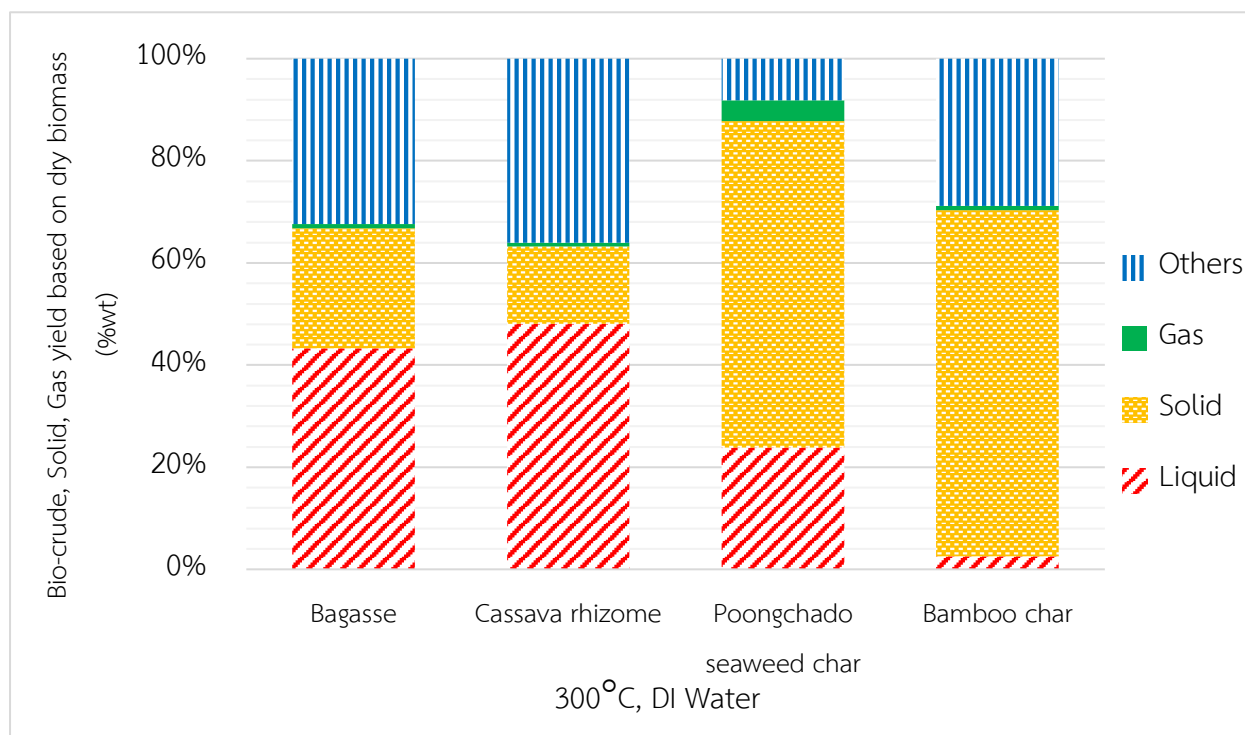
การวิเคราะห์	ชานอ้อย (Bagasse)	เหง้ามัน สำปะหลัง (Cassava root)
องค์ประกอบทางเคมี (ร้อยละ)		
เซลลูโลส (Cellulose)	54.93	35.88
เฮมิเซลลูโลส(Hemicellulose)	16.14	12.57
ลิกนิน (Lignin)	13.33	25.13
อื่น ๆ (Other) ^a	15.6	26.42

a = 100-ผลรวมขององค์ประกอบทางเคมี

4.2 ผลของปัจจัยต่างๆ ต่อร้อยละผลได้และคุณภาพของน้ำมันชีวภาพจากไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกซ์ในตัวทำละลายเดี่ยวในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ

ในงานวิจัยนี้ ได้ทำการทดลองด้วยการไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกซ์ของชานอ้อยและเหง้ามันสำปะหลัง ในตัวทำละลายน้ำและเอทานอลเดี่ยวในอัตราส่วนระหว่างชีวมวลและตัวทำละลายที่ 1:10 สภาวะการทดลองที่อุณหภูมิ 300 และ 350 องศาเซลเซียส ความดันไนโตรเจนเริ่มต้น 2 เมกะพาสคัล ความเร็วรอบใบกวน 300 รอบต่อนาที เวลาที่ใช้ในการดำเนินปฏิกิริยา คือ 60 นาที ในเครื่องปฏิกรณ์ Parr Reactor เนื่องจากเมื่ออัดแก๊สไนโตรเจนเข้าไปในปฏิกิริยาที่อุณหภูมิสูง จะเกิดปฏิกิริยาการแตกตัว (Hydro-cracking reaction) ของพันธะภายในของพอลิเมอร์ในชีวมวลขึ้น ได้แก่ เซลลูโลส (Cellulose), เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) และ ลิกนิน (Lignin) เกิดเป็นสาร Intermediates ที่ประกอบด้วยวงอะโรมาติกที่มีอนุมูลอิสระ (Aromatic free radicals) นอกจากนี้สาร Intermediates และน้ำมันชีวภาพ ยังสามารถเกิดการควบแน่น (Condensation), การรวมวง (Cyclization) และการรวมตัวของพอลิเมอร์อีกครั้ง (Re-polymerization)

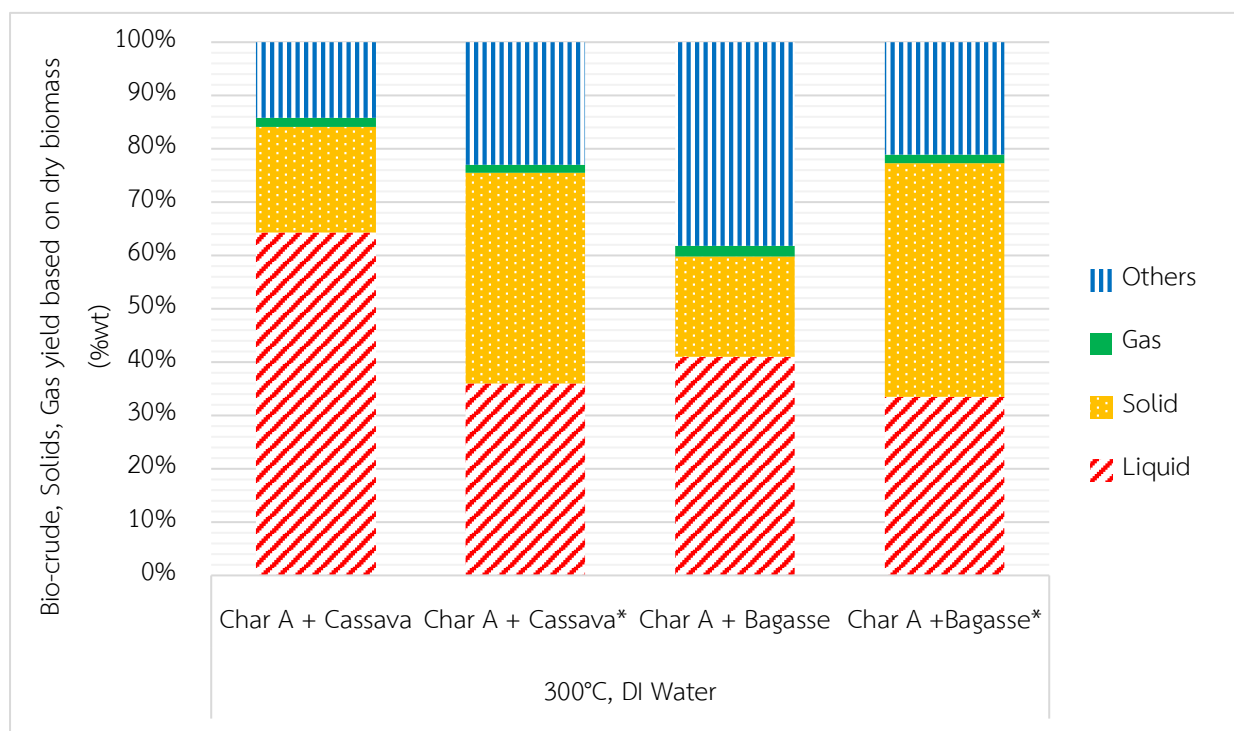
4.2.1 ร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพ กากของแข็ง และแก๊สจากการทำไฮโดรเทอร์มัล ลิกวิแฟกชันของขานอ้อย เหง้ามันสำปะหลัง ชาร์สสำหรับปุ๋ยชะโด และชาร์ไม้ไผ่ ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส โดยใช้ น้ำปราศจากไอออน (DI Water) เป็นตัวทำละลาย



รูปที่ 4.1 ปริมาณผลได้น้ำมันดิบชีวภาพ กากของแข็ง และแก๊สของขานอ้อย เหง้ามันสำปะหลัง ชาร์สสำหรับปุ๋ยชะโด และชาร์ไม้ไผ่ ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส โดยใช้ น้ำปราศจากไอออน (DI Water) เป็นตัวทำละลาย

จากรูปที่ 4.1 แสดงปริมาณผลได้น้ำมันดิบชีวภาพ กากของแข็ง และแก๊สของขานอ้อย เหง้ามันสำปะหลัง ชาร์สสำหรับปุ๋ยชะโด และชาร์ไม้ไผ่ จากกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชันที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส โดยใช้ น้ำปราศจากไอออน (DI Water) เป็นตัวทำละลาย พบว่าผลได้น้ำมันดิบชีวภาพของ เหง้ามันสำปะหลังมีปริมาณร้อยละ 48.12 ซึ่งมีค่าสูงกว่าผลได้น้ำมันดิบชีวภาพของขานอ้อย ชาร์สสำหรับปุ๋ยชะโด และชาร์ไม้ไผ่ ที่มีปริมาณร้อยละ 43.23, 23.83 และ 2.53 ตามลำดับ เนื่องจากเมื่อใช้น้ำเป็นตัวทำละลายจะทำให้สารอินทรีย์จากชีวมวลหลุดออกมามากที่สุด จากการที่น้ำสามารถให้โปรตอนกับสารชีวมวล ส่งผลให้สารอินทรีย์หลุดออกมา ซึ่งแสดงถึงผลได้น้ำมันดิบชีวภาพที่ได้มีค่ามากตามไปด้วย [19]

4.2.2 ร้อยละผลได้น้ำมันดิบชีวภาพ กากของแข็ง และแก๊สจากการทำไฮโดรเทอร์มัล ลิกวิแฟกชันของชีวมวลผสมซาร์ที่สัดส่วน 1:1 ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส โดยใช้น้ำปราศจากไอออน (DI Water) เป็นตัวทำละลาย

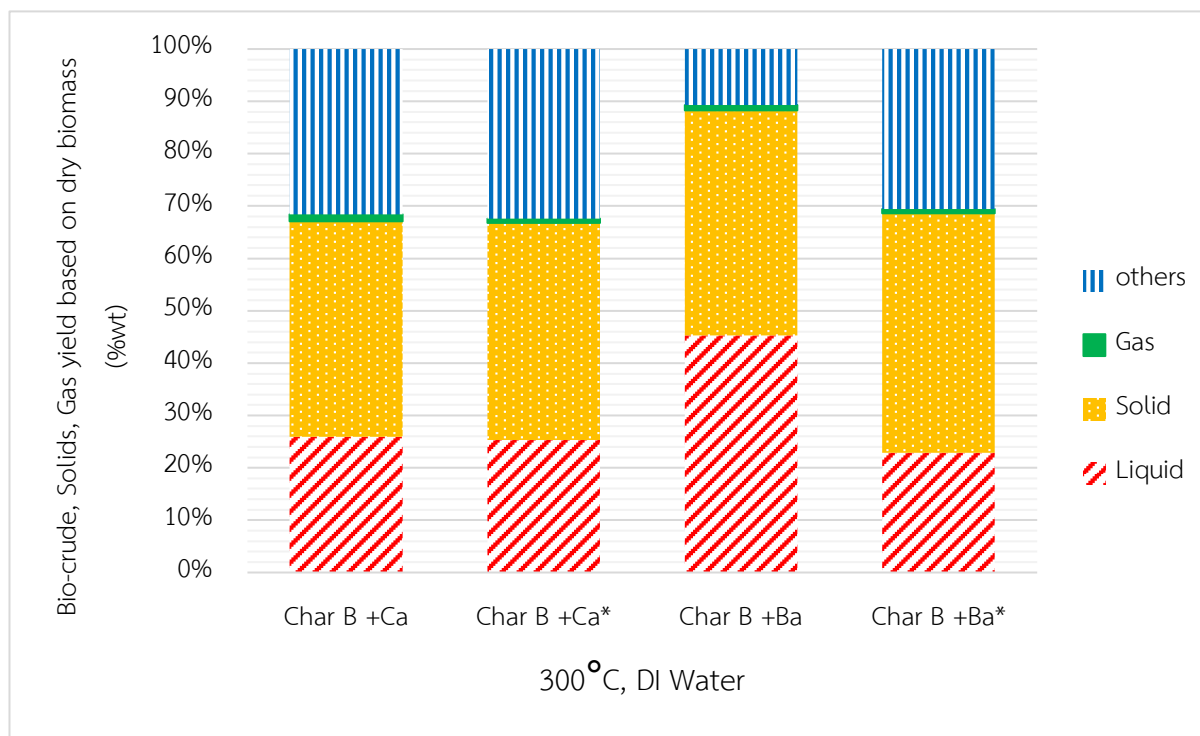


Char A คือ ชาร์สหาร่ายฟุงชะโต

* คือ ค่าการทำนายปริมาณน้ำมันดิบชีวภาพ กากของแข็ง และแก๊ส จากชีวมวลผสมซาร์

รูปที่ 4.2 ปริมาณผลได้น้ำมันดิบชีวภาพ กากของแข็ง และแก๊สของชีวมวลผสมซาร์สหาร่ายฟุงชะโตที่ สัดส่วน 1:1 ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส โดยใช้น้ำปราศจากไอออน (DI Water) เป็นตัวทำละลาย

จากรูปที่ 4.2 แสดงปริมาณผลได้น้ำมันดิบชีวภาพ กากของแข็ง และแก๊สของชีวมวลผสมซาร์ สหาร่ายฟุงชะโตที่สัดส่วน 1:1 จากกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชันที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส โดยใช้ น้ำปราศจากไอออน (DI Water) เป็นตัวทำละลาย พบว่าผลได้น้ำมันดิบชีวภาพของเหง้ำมันสำปะหลังผสม ซาร์สหาร่ายฟุงชะโตมีปริมาณร้อยละ 64.34 ซึ่งมีค่าสูงกว่าค่าการทำนายผลได้น้ำมันดิบชีวภาพของเหง้ำมัน สำปะหลังผสมซาร์สหาร่ายฟุงชะโต ซึ่งมีปริมาณร้อยละ 35.98 เช่นเดียวกับผลได้น้ำมันดิบชีวภาพของ ชานอ้อยผสมซาร์สหาร่ายฟุงชะโตมีปริมาณร้อยละ 40.97 ซึ่งมีค่าสูงกว่าค่าการทำนายผลได้น้ำมันดิบ ชีวภาพของชานอ้อยผสมซาร์สหาร่ายฟุงชะโต ซึ่งมีปริมาณร้อยละ 33.53 เนื่องจากซาร์ที่ผสมกับชีวมวลแล้ว ผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชัน มีบทบาทคล้ายตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการ ซึ่งองค์ประกอบ และหมู่ฟังก์ชันของชานอ้อยและเหง้ำมันสำปะหลังที่แตกต่างกัน ที่จะนำมาผสมกับซาร์นั้น มีผลต่อการทำงานของตัวเร่งปฏิกิริยาที่จะทำงานได้ดีในตำแหน่งกัมมันต์ (Active site) ที่แตกต่างกัน [20]



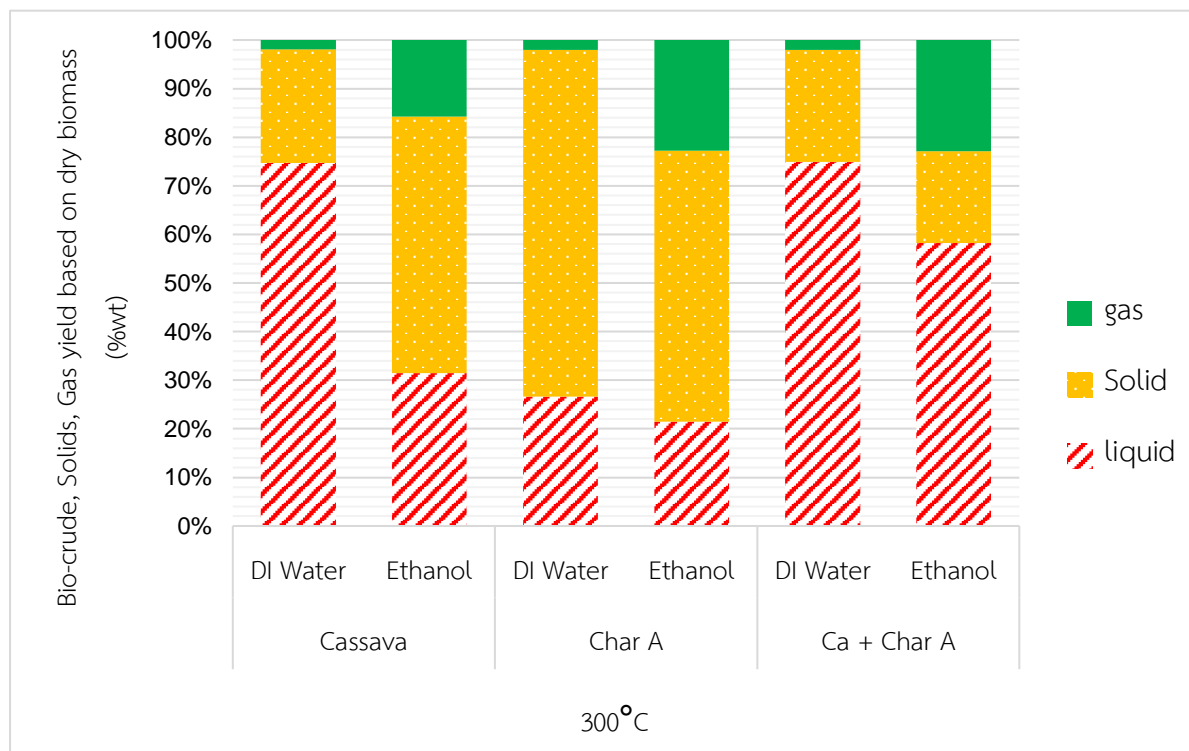
Char B คือ ชาร์ไม้ไผ่

* คือ ค่าการทำนายปริมาณน้ำมันดิบชีวภาพ กากของแข็ง และแก๊ส จากชีวมวลผสมชาร์

รูปที่ 4.3 ปริมาณผลได้น้ำมันดิบชีวภาพ กากของแข็ง และแก๊สของชีวมวลผสมชาร์ไม้ไผ่ที่สัดส่วน 1:1 ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส โดยใช้น้ำปราศจากไอออน (DI Water) เป็นตัวทำละลาย

จากรูปที่ 4.3 แสดงปริมาณผลได้น้ำมันดิบชีวภาพ กากของแข็ง และแก๊สของชีวมวลผสมชาร์ไม้ไผ่ที่สัดส่วน 1:1 จากกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลลิควิชั่นที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส โดยใช้น้ำปราศจากไอออน (DI Water) เป็นตัวทำละลาย พบว่าผลได้น้ำมันดิบชีวภาพของเหง้ำมันสำปะหลังผสมชาร์ไม้ไผ่มีปริมาณร้อยละ 25.92 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าการทำนายผลได้น้ำมันดิบชีวภาพของเหง้ำมันสำปะหลังผสมชาร์ไม้ไผ่ ซึ่งมีปริมาณร้อยละ 25.32 ขณะเดียวกับผลได้น้ำมันดิบชีวภาพของชานอ้อยผสมชาร์ไม้ไผ่มีปริมาณร้อยละ 45.29 ซึ่งมีค่าสูงกว่าค่าการทำนายผลได้น้ำมันดิบชีวภาพของชานอ้อยผสมชาร์ไม้ไผ่ ซึ่งมีปริมาณร้อยละ 22.88 เนื่องจากเมื่อชาร์ไม้ไผ่ผสมกับเหง้ำมันสำปะหลังซึ่งมีสัดส่วนลิกนินมากกว่าเมื่อเทียบกับสัดส่วนลิกนินในชานอ้อย แล้วผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกชัน ทำให้ผลได้ของปริมาณน้ำมันดิบชีวภาพในชาร์ไม้ไผ่ผสมกับเหง้ำมันสำปะหลังมีร้อยละผลได้น้อยกว่า เมื่อเทียบกับผลได้ของปริมาณน้ำมันดิบชีวภาพในชาร์ไม้ไผ่ผสมกับชานอ้อย [21]

4.2.3 ร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพ กากของแข็ง และแก๊สจากการทำไฮโดรเทอร์มัล ลิควิแฟกชันของชีวมวลและชีวมวลผสมชาร์ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส โดยใช้ตัวทำละลายต่าง ๆ กัน



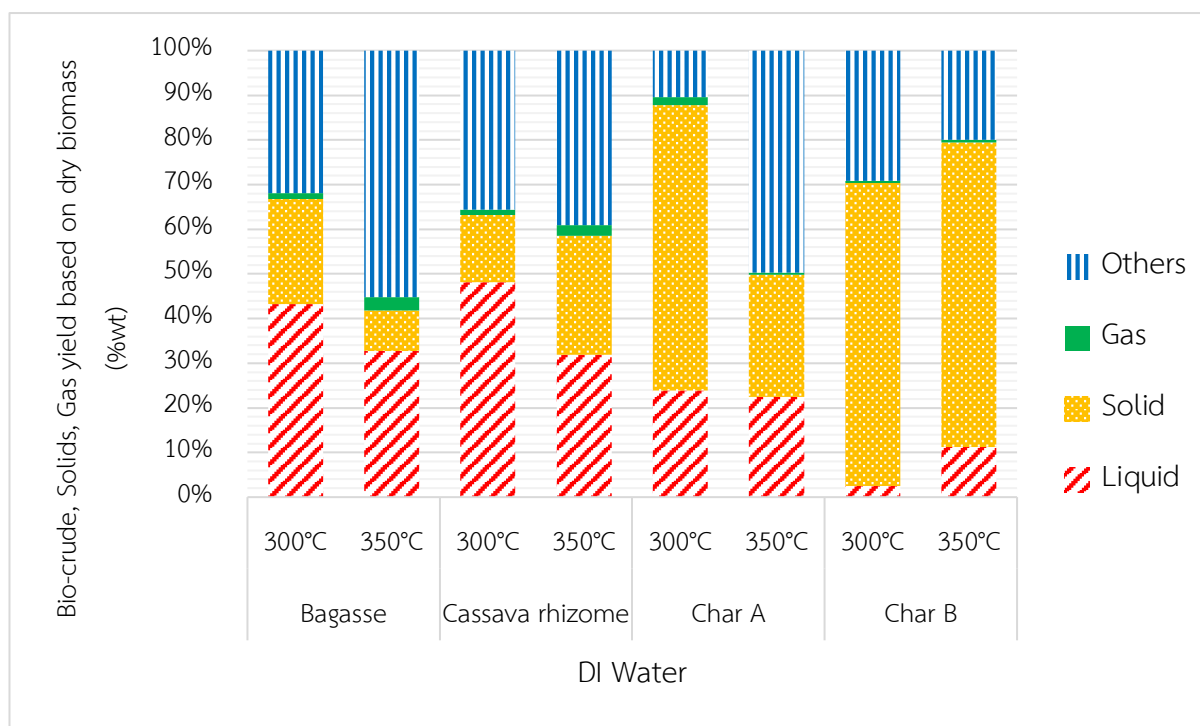
Char A คือ ชาร์สำหรับ่ายฟุงชะโด

รูปที่ 4.4 ปริมาณผลได้น้ำมันดิบชีวภาพ กากของแข็ง และแก๊สของแห้งน้ำมันสำปะหลัง ชาร์สำหรับ่ายฟุงชะโด แห้งน้ำมันสำปะหลังผสมชาร์สำหรับ่ายฟุงชะโด ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส โดยใช้ น้ำปราศจากไอออน (DI Water) และเอทานอลเป็นตัวทำละลาย

จากรูปที่ 4.4 แสดงปริมาณผลได้น้ำมันดิบชีวภาพ กากของแข็ง และแก๊สของแห้งน้ำมันสำปะหลัง ชาร์สำหรับ่ายฟุงชะโด แห้งน้ำมันสำปะหลังผสมชาร์สำหรับ่ายฟุงชะโด จากกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส โดยใช้ น้ำปราศจากไอออน (DI Water) และเอทานอลเป็นตัวทำละลาย พบว่าผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพของแห้งน้ำมันสำปะหลังที่ใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลายมีปริมาณร้อยละ 31.43 ซึ่งมีค่าต่ำกว่าผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพของแห้งน้ำมันสำปะหลังที่ใช้ น้ำปราศจากไอออน (DI Water) เป็นตัวทำละลายมีปริมาณร้อยละ 74.68 ผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพของชาร์สำหรับ่ายฟุงชะโดที่ใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลายมีปริมาณร้อยละ 21.52 ซึ่งมีค่าต่ำกว่าผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพของชาร์สำหรับ่ายฟุงชะโดที่ใช้น้ำปราศจากไอออน (DI Water) เป็นตัวทำละลายมีปริมาณร้อยละ 26.60 และผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพของชาร์สำหรับ่ายฟุงชะโดผสมแห้งน้ำมันสำปะหลังที่ใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลายมีปริมาณร้อยละ 58.25 ซึ่งมีค่าต่ำกว่าผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพของชาร์สำหรับ่ายฟุงชะโดผสมแห้งน้ำมันสำปะหลังที่ใช้น้ำปราศจากไอออน (DI Water) เป็นตัวทำละลายที่มีปริมาณร้อยละ 74.95 ซึ่งไม่สอดคล้องกับ

งานวิจัยก่อนหน้า ที่กล่าวว่าเอทานอลจะมีประสิทธิภาพในการละลายสารประกอบในน้ำมันดิบชีวภาพที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงที่ได้มาจากลิกโนเซลลูโลส (lignocellulosic) ในระหว่างไฮโดรเทอร์มอลลิควิแฟกชัน ซึ่งจะให้อนุผลอิสระเกิดความเสถียร ส่งผลต่อร้อยละผลได้ของน้ำมันชีวภาพมากกว่าปริมาณลิกนินที่เพิ่มขึ้น จึงส่งผลดีต่อร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพ [22]

4.2.4 ร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพ กากของแข็ง และแก๊สจากการทำไฮโดรเทอร์มอลลิควิแฟกชันของชีวมวลและชีวมวลผสมคาร์โดยใช้น้ำปราศจากไอออน (DI Water) เป็นตัวทำละลายที่อุณหภูมิต่าง ๆ กัน



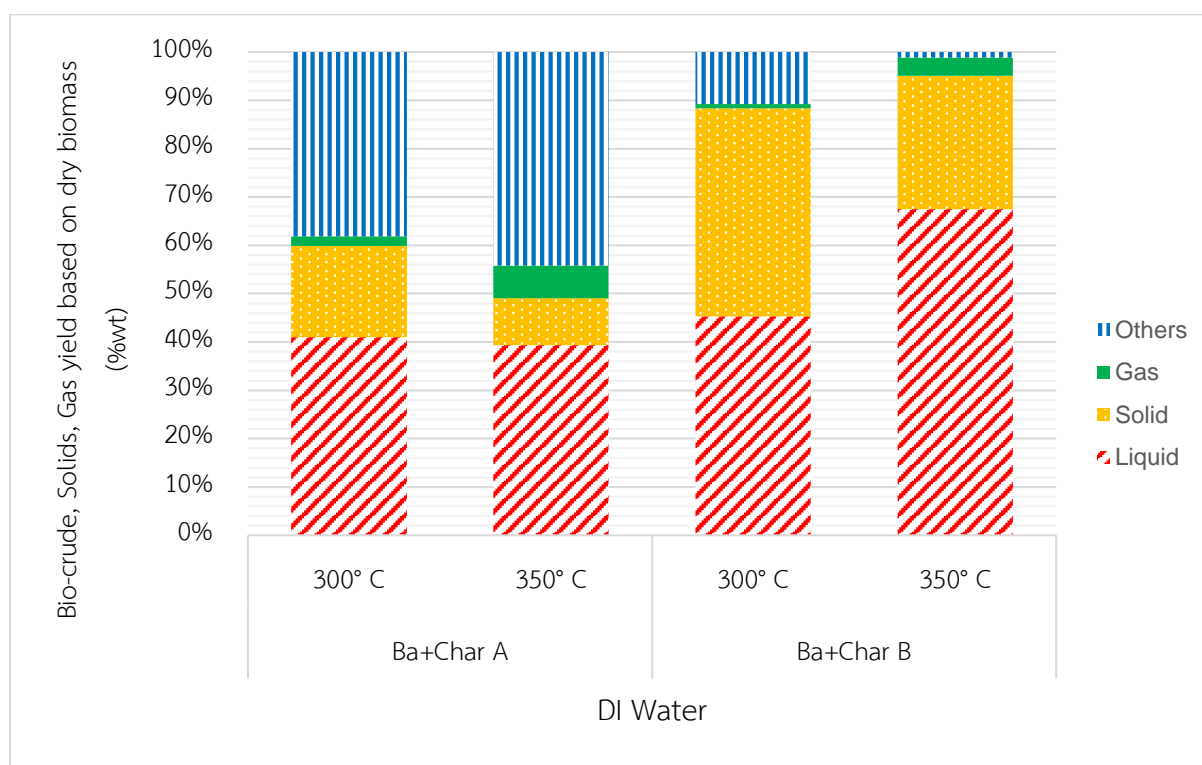
Char A คือ ชาร์สำหรับ่ายฟุงชะโด

Char B คือ ชาร์ไม้ไผ่

รูปที่ 4.5 ปริมาณผลได้น้ำมันดิบชีวภาพ กากของแข็ง และแก๊สของชานอ้อย เหม้ามันสำปะหลัง ชาร์สำหรับ่ายฟุงชะโด และชาร์ไม้ไผ่ โดยใช้ น้ำปราศจากไอออน (DI Water) เป็นตัวทำละลายที่อุณหภูมิ 300 และ 350 องศาเซลเซียส

จากรูปที่ 4.5 แสดงปริมาณผลได้น้ำมันดิบชีวภาพ กากของแข็ง และแก๊สของชานอ้อย เหม้ามันสำปะหลัง ชาร์สำหรับ่ายฟุงชะโด และชาร์ไม้ไผ่ จากกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลลิควิแฟกชัน โดยใช้ น้ำปราศจากไอออน (DI Water) เป็นตัวทำละลาย ที่อุณหภูมิ 300 และ 350 องศาเซลเซียส พบว่าผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพของชาร์ไม้ไผ่ที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส มีปริมาณร้อยละ 11.22 ซึ่งมีค่าสูงกว่าผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพของชาร์ไม้ไผ่ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ซึ่งมีปริมาณร้อยละ 2.53 เนื่องจากเมื่อ

อุณหภูมิสูงขึ้นจะเกิดปฏิกิริยาการแตกตัว (Thermal cracking) ของพันธะภายในของพอลิเมอร์ในชีวมวล เช่นเดียวกับกากของแข็งซึ่งจะแตกตัวกลายเป็นน้ำมันดิบชีวภาพและแก๊สเพิ่มมากขึ้น [23] แต่ผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพของเหง้ามันสำปะหลัง ที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส มีปริมาณต่ำกว่าผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพของชานอ้อย เหง้ามันสำปะหลัง และชาร์สำหรับ่ายฟุงชะโดที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส เนื่องจากในเหง้ามันสำปะหลังมีปริมาณลิกนินมาก ซึ่งลิกนินสลายตัวเป็นอนุมูลอิสระฟีนอกซิล (Free phenoxyl radicals) ซึ่งอนุมูลอิสระเหล่านี้จะทำปฏิกิริยาการควบแน่นหรือรีพอลิเมอไรเซชัน (repolymerization) กลายเป็นกากของแข็ง (solid residue) ได้ [24]



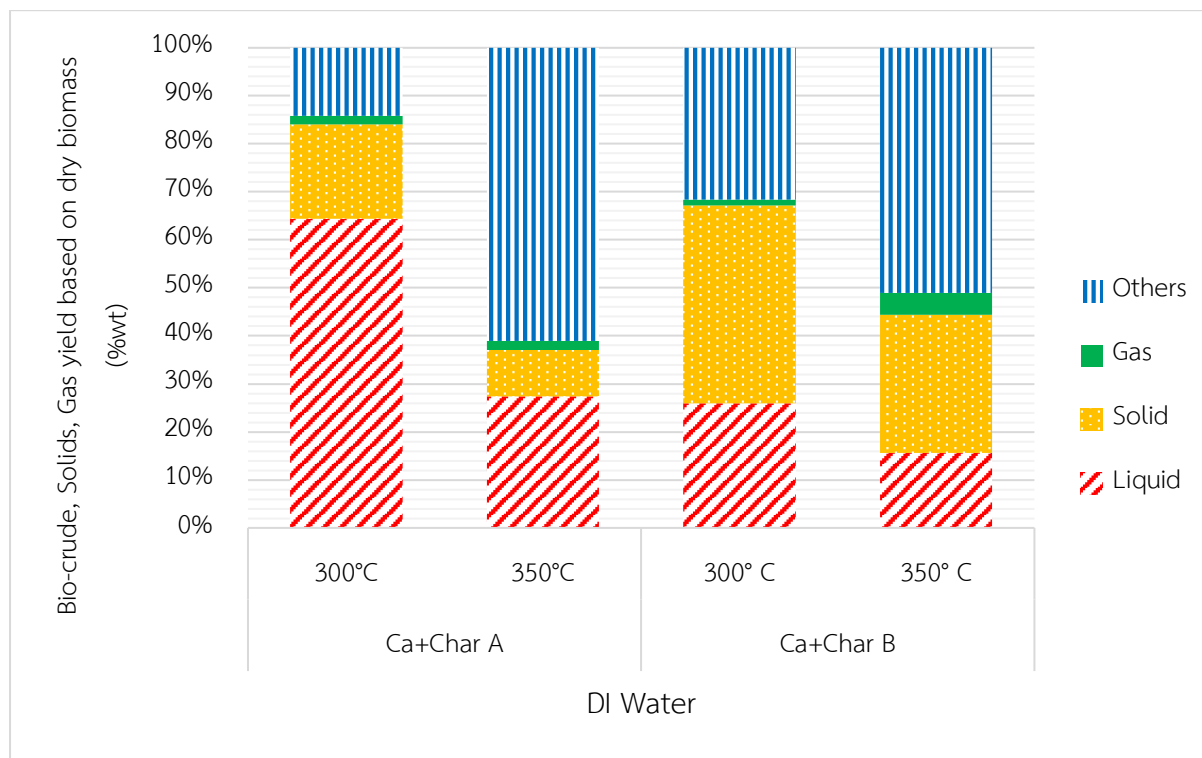
Char A คือ ชาร์สำหรับ่ายฟุงชะโด

Char B คือ ชาร์ไม้ไผ่

รูปที่ 4.6 ปริมาณผลได้น้ำมันดิบชีวภาพ กากของแข็ง และแก๊สของชานอ้อยผสมชาร์ โดยใช้ น้ำปราศจากไอออน (DI Water) เป็นตัวทำละลายที่อุณหภูมิ 300 และ 350 องศาเซลเซียส

จากรูปที่ 4.6 แสดงปริมาณผลได้น้ำมันดิบชีวภาพ กากของแข็ง และแก๊สของชานอ้อยผสมชาร์สำหรับ่ายฟุงชะโด และผสมชาร์ไม้ไผ่ จากกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชัน โดยใช้ น้ำปราศจากไอออน (DI Water) เป็นตัวทำละลาย ที่อุณหภูมิ 300 และ 350 องศาเซลเซียส พบว่าผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพของชานอ้อยผสมชาร์สำหรับ่ายฟุงชะโดที่อุณหภูมิ 300 และ 350 องศาเซลเซียส มีปริมาณใกล้เคียงกัน ขณะเดียวกันผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพของชานอ้อยผสมชาร์ไม้ไผ่ที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส

มีปริมาณร้อยละ 68.80 ซึ่งมีค่าสูงกว่าผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพของซ่านอ้อยผสมซาร์ไม้ไผ่ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ที่มีปริมาณร้อยละ 36.95 ซึ่งสอดคล้องกับการเกิดปฏิกิริยาการแตกตัว (Thermal cracking) ของพันธะในชีวมวลเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น [23]



Char A คือ ซาร์สำหรับ่ายฟุงชะโด

Char B คือ ซาร์ไม้ไผ่

รูปที่ 4.7 ปริมาณผลได้น้ำมันดิบชีวภาพ กากของแข็ง และแก๊สของเหง้ามันสำปะหลังผสมซาร์ โดยใช้น้ำปราศจากไอออน (DI Water) เป็นตัวทำละลายที่อุณหภูมิ 300 และ 350 องศาเซลเซียส

จากรูปที่ 4.7 แสดงปริมาณผลได้น้ำมันดิบชีวภาพ กากของแข็ง และแก๊สของเหง้ามันสำปะหลังผสมซาร์สำหรับ่ายฟุงชะโด และผสมซาร์ไม้ไผ่ จากกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลลิกวิฟกซัน โดยใช้น้ำปราศจากไอออน (DI Water) เป็นตัวทำละลาย ที่อุณหภูมิ 300 และ 350 องศาเซลเซียส พบว่าผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพของเหง้ามันสำปะหลังผสมซาร์สำหรับ่ายฟุงชะโดที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส มีปริมาณสูงกว่าผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพของเหง้ามันสำปะหลังผสมซาร์สำหรับ่ายฟุงชะโดที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส เช่นเดียวกันกับผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพของเหง้ามันสำปะหลังผสมซาร์ไม้ไผ่ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ที่มีร้อยละผลได้สูงกว่าร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพของเหง้ามันสำปะหลังผสมซาร์ไม้ไผ่ที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นผลมาจากการผสมซาร์ที่มีรพุนที่สามารถดูดซบ้น้ำมันดิบชีวภาพระหว่างกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลลิกวิฟกซันได้ [20] ส่งผลให้ร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพของเหง้ามันสำปะหลังผสมซาร์

สำหรับ่ายพุงชะโด และร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพของเหง้ามันสำปะหลังผสมชาร์ไม้ไผ่ที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส มีปริมาณร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพน้อยกว่ากระบวนการไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชันที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส เนื่องจากที่อุณหภูมิสูงกว่าพื้นผิวของชาร์จะมีรูพรุนมากกว่า [25]

4.3 การวิเคราะห์น้ำมันดิบชีวภาพ

จากตารางที่ 4.3 แสดงองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์น้ำมันดิบชีวภาพจากกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชันของขานอ้อยผสมชาร์ไม้ไผ่ ที่อุณหภูมิ 300 และ 350 องศาเซลเซียส โดยใช้น้ำปราศจากไอออน (DI Water) เป็นตัวทำละลาย และเหง้ามันสำปะหลังผสมชาร์สำหรับ่ายพุงชะโด ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส โดยใช้น้ำปราศจากไอออน (DI Water) เป็นตัวทำละลาย

ตารางที่ 4.3 ผลของการวิเคราะห์หาองค์ประกอบของน้ำมันดิบชีวภาพ

NO.	RT	Component	% Area		
			Bagasse+Char B (300°C, DI Water)	Bagasse+Char B (350°C, DI Water)	Cassava+Char A (300°C, DI Water)
1	12.928	Acetohydroxamic acid	15.03	33.3	92.39
2	24.398	Tetradecane	4.27	-	-
	18.932	Dodecane	-	5.83	16.38
3	29.259	Hexadecane	4.23	-	-
	24.398	Tetradecane	-	9.94	28.62
4	32.054	Methyl tetradecanoate	2.74	-	-
	29.259	Hexadecane	-	9.98	29.23
5	33.629	Octadecane	2.99	7.11	20.33
6	36.221	Hexadecanoic acid, methyl ester	100	100	100
7	39.382	9,12-Octadecadienoic acid (Z,Z)-, methyl ester	6.49	-	-
	37.595	Eicosane	-	4.36	11.98

NO.	RT	Component	% Area		
			Bagasse+Char B (300°C, DI Water)	Bagasse+Char B (350°C, DI Water)	Cassava+Char A (300°C, DI Water)
8	39.533	9-Octadecenoic acid, methyl ester, (E)-	66.45	-	-
	39.378	8,11-Octadecadienoic acid, methyl ester	-	3.66	-
	39.487	9-Octadecenoic acid, methyl ester, (E)-	-	-	42.52
9	39.573	9-Octadecenoic acid, methyl ester, (E)-	17.05	47.66	20.53
10	39.959	Methyl stearate	24.32	14.83	21.72

ซึ่งผลจากการวิเคราะห์หาองค์ประกอบของน้ำมันดิบชีวภาพด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีแมสสเปกโตรเมตรี (Gas chromatograph-mass spectrometry) พบว่าองค์ประกอบของน้ำมันดิบชีวภาพจากขานอ้อยผสมขาร์ไม้ไผ่โดยใช้น้ำปราศจากไอออน (DI Water) เป็นตัวทำละลาย ที่อุณหภูมิ 300 และ 350 องศาเซลเซียส และองค์ประกอบของน้ำมันดิบชีวภาพจากเหง้ามันสำปะหลังผสมขาร์สาหร่ายฟุงชะโด โดยใช้น้ำปราศจากไอออน (DI Water) เป็นตัวทำละลาย ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส พบว่ามีสารประกอบไฮโดรคาร์บอน (Hydrocarbon compounds) ได้แก่ Tetradecane, Dodecane, Hexadecane, Octadecane, Eicosane สารประกอบที่เป็นกรด (Acids compounds) ได้แก่ Acetohydroxamic acid, Hexadecanoic acid, 9,12-Octadecadienoic acid (Z,Z), 9-Octadecenoic acid, 8,11-Octadecadienoic acid และสารประกอบเอสเทอร์ (Ester compounds) ได้แก่ Methyl tetradecanoate, methyl ester, methyl ester, (E)-, Methyl stearate เป็นองค์ประกอบหลัก

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ เป็นการศึกษาผลของชนิดชีวมวลและชาร์ต่อปริมาณและคุณภาพน้ำมันดิบชีวภาพ จากกระบวนการการไฮโดรเทอร์มอลลิควิแฟกชันในตัวทำละลายเดี่ยวสองชนิด คือ น้ำปราศจากไอออน (DI Water) และเอทานอล โดยอัตราส่วนของชีวมวลต่อตัวทำละลายอยู่ที่ 1:10 สภาวะการทดลองที่อุณหภูมิ 300 และ 350 องศาเซลเซียส ความดันไนโตรเจนเริ่มต้น 2 เมกะพาสคัล ความเร็วรอบใบกวน 300 รอบต่อนาที เวลาที่ใช้ในการดำเนินปฏิกิริยา คือ 60 นาทีในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบดซ์ จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

5.1.1 ผลของชนิดชีวมวล

จากการทดลองในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบดซ์ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส โดยใช้ น้ำปราศจากไอออน (DI Water) เป็นตัวทำละลาย พบว่าเหง้ำมันสำปะหลังจะให้ร้อยละผลได้น้ำมันดิบชีวภาพมากที่สุด รองลงมาเป็นชานอ้อย ชาร์สาหร่ายฟุงชะโด และชาร์ไม้ไผ่ ตามลำดับ

5.1.2 ผลของชาร์

จากการทดลองในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบดซ์ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส โดยใช้ น้ำปราศจากไอออน (DI Water) เป็นตัวทำละลาย พบว่าชาร์สาหร่ายฟุงชะโดผสมเหง้ำมันสำปะหลังจะให้ร้อยละผลได้น้ำมันดิบชีวภาพดีกว่าชาร์สาหร่ายฟุงชะโดผสมชานอ้อย ในส่วนของชาร์ไม้ไผ่ผสมชานอ้อยจะให้ร้อยละผลได้น้ำมันดิบชีวภาพดีกว่าชาร์ไม้ไผ่ผสมเหง้ำมันสำปะหลัง

5.1.3 ผลของตัวทำละลาย

จากการทดลองในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบดซ์ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส พบว่าเหง้ำมันสำปะหลัง ชาร์สาหร่ายฟุงชะโด และชาร์สาหร่ายฟุงชะโดผสมเหง้ำมันสำปะหลัง เมื่อใช้น้ำปราศจากไอออน (DI Water) เป็นตัวทำละลาย จะให้ร้อยละผลได้น้ำมันดิบชีวภาพดีกว่า เมื่อใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลาย

5.1.4 ผลของอุณหภูมิ

จากการทดลองในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบดซ์ที่ใช้น้ำปราศจากไอออน (DI Water) เป็นตัวทำละลาย พบว่าที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส จะให้ผลได้ร้อยละน้ำมันดิบชีวภาพมากกว่าที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส เมื่อใช้เหง้ำมันสำปะหลังผสมชาร์สาหร่ายฟุงชะโด และเหง้ำมันสำปะหลังผสมชาร์ไม้ไผ่ในกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลลิควิแฟกชัน

5.1.5 ผลของการวิเคราะห์หาองค์ประกอบผลิตภัณฑ์น้ำมันดิบชีวภาพด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ แมสสเปกโตรเมตรี

จากผลการวิเคราะห์พบว่า องค์ประกอบผลิตภัณฑ์น้ำมันดิบชีวภาพด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ แมสสเปกโตรเมตรี พบว่ามีสารประกอบไฮโดรคาร์บอน (Hydrocarbon compounds) สารประกอบที่เป็นกรด (Acids compounds) และสารประกอบเอสเทอร์ (Ester compounds) เป็นองค์ประกอบหลัก

5.2 ข้อเสนอแนะ

ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์น้ำมันดิบชีวภาพที่ได้ว่ามีคุณสมบัติเหมาะสมกับการใช้งานประเภทใด

เอกสารอ้างอิง

- [1] ชีวมวล [ออนไลน์]. จาก <https://sites.google.com/site/bioenergynaka/phlangngan-haeng-xnakht/phuch-phlangngan-chnid-him>
- [2] ชีวมวล [ออนไลน์]. จาก <https://ienergyguru.com/2015/08/ชีวมวล-biomass/>
- [3] ชีวมวล [ออนไลน์]. จาก http://asp.plastics.or.th:8001/Article_Detail.aspx?id=32
- [4] เซลลูโลส [ออนไลน์]. จาก <http://asp.plastics.or.th:8001/ArticleKnowledgeListDetail.aspx?id=46>
- [5] ชีวมวล [ออนไลน์]. จาก <https://ienergyguru.com/2015/08/ชีวมวล-biomass/>
- [6] Markus D. Kärkäs, Bryan S. Matsuura, Timothy M. Monos, Gabriel Magallanes and Corey R.J. Stephenson. Transition-metal catalyzed valorization of lignin: the key to a sustainable carbon-neutral future, *Organic & Biomolecular Chemistry*, 14, 1853-1914 (2016).
- [7] ผลงานที่ได้จากชีวมวล [ออนไลน์]. จาก http://www.em-group.co.th/Technology_Biomass.html
- [8] ศักยภาพของการผลิตชีวมวลในประเทศไทย [ออนไลน์]. จาก http://www.dede.go.th/ewt_news.php?nid=486
- [9] ประโยชน์ของซาร์ [ออนไลน์]. จาก <http://www.tanncharcoal.com/>
- [10] Zhu Z., Rosendahl L., Toor S.S., Yu D., Chen G., Hydrothermal liquefaction of barley straw to bio-crude oil Effects of reaction temperature and aqueous phase recirculation, *Applied Energy*, 137 (2015) 183-192.
- [11] Caprariis B., Filippis P., Petrullo A., Scarsella M., Hydrothermal liquefaction of biomass Influence of temperature and biomass composition on the bio-oil production, *Fuel*, 208 (2017) 618-625.
- [12] Li R., Xie Y., Yang T., Li B., Zhang Y., Kai X., Characteristics of the products of hydrothermal liquefaction combined with cellulosic bio-ethanol process, *Energy*, 114 (2016) 862-867.

- [13] Biswas B., Kumar A.A., Bisht Y, Singh R., Kumar J., Bhaskar T., Effect of temperature and solvent on hydrothermal liquefaction of *Sargassum tenerrimum* algae, *Bioresource Technology*, 242 (2017) 344-350.
- [14] S.wang et al., Bio-char and bio-oil characteristics produced from the interaction of *Enteromorpha clathrate* volatiles and rice husk bio-char during co-pyrolysis in a sectional pyrolysis furnace: A complementary study, *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* (2018), 219-230.
- [15] Rotary Evaporator [ออนไลน์]. จาก <http://www.merittech.co.th/>
- [16] Carbon/Hydrogen/Nitrogen Determinator [ออนไลน์]. จาก <https://www.leco.com>
- [17] เครื่องหาปริมาณน้ำในน้ำมันดิบ [ออนไลน์]. จาก <http://aeha.org/ontario/mettler-toledo-v20-user-manual.php>
- [18] เครื่องหาปริมาณกรดในน้ำมันดิบ [ออนไลน์]. จาก <https://www.hogentogler.com/mettler-toledo/mettler-toledo-g10s-compact-potentiometric-titrator.asp>
- [19] ผลของตัวทำละลายที่ใช้เตรียมเหง้ำมันสำปะหลังต่อผลิตภัณฑ์ จากกระบวนการไพโรไลซิสแบบเร็ว [ออนไลน์]. จาก <https://www.tci-thaijo.org/index.php/sej/article/download/143655/106304/>
- [20] Besma K., Mejdi J., Lionel L., Simona B., Biomass derived chars for energy applications, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 108 (2019) 253-273.
- [21] Shuang W., Ding J., Bin C., Lili Q., Yamin H., Lu L., Chuan Y., Abd El-Fatah A., Zhixia H., Qian W., Bo Z., Bio-char and bio-oil characteristics produced from the interaction of *Enteromorpha clathrate* volatiles and rice husk bio-char during co-pyrolysis in a sectional pyrolysis furnace: A complementary study, *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 135 (2018) 219-230.
- [22] Cheng, S.; D'cruz, I; Wang, M.; Leitch, M.; and Xu, C. Highly Efficient Liquefaction of Woody Biomass in Hot-Compressed Alcohol–Water Co-solvents. *Energy Fuels*, 24 (2010) 4659–4667.

[23] Li R., Xie Y., Yang T., Li B., Zhang Y., Kai X., Characteristics of the products of hydrothermal liquefaction combined with cellulosic bio-ethanol process, *Energy*, 114 (2016) 862-867.

[24] Feng, S.; Yuan, Z.; Leitch, M.; and Xu, C. Hydrothermal liquefaction of barks into bio-crude – Effects of species and ash content/composition. *Fuel*, 116 (2014) 214-220.

[25] *S.wang et al.*, Bio-char and bio-oil characteristics produced from the interaction of *Enteromorpha clathrate* volatiles and rice husk bio-char during co-pyrolysis in a sectional pyrolysis furnace: A complementary study, *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*(2018), 219-230

[26] L. Leng, X. Yuan, Characterization and application of bio-chars from liquefaction of microalgae, lignocellulosic biomass and sewage sludge, *Fuel Processing Technology* 129 (2015) 8-14.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

วิธีวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของชีวมวล

1. การวิเคราะห์แบบประมาณ (Proximate analysis)

1.1 ความชื้น (Moisture) ASTM D3173

วิธีการทดลอง

- 1) อบถาดอะลูมิเนียมพร้อมฝาในเตาอบ (Drying Oven) 104-110 องศาเซลเซียสเป็น เวลา 30 นาทีจากนั้นนำเข้าเดสิเคเตอร์ (Desiccator) ที่งไว้ประมาณ 15 นาที นำไปชั่งบันทึกผล
- 2) ชั่งตัวอย่างประมาณ 1 กรัม ลงในถาดอะลูมิเนียมพร้อมฝาที่ทราบน้ำหนักแล้วบันทึกน้ำหนักตัวอย่างชีวมวล
- 3) นำไปเข้าเตาอบเตาอบที่อุณหภูมิ 104-110 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 1 ชั่วโมงหรือจน น้ำหนักตัวอย่างคงที่
- 4) นำถาดอะลูมิเนียมออกมาทิ้งไว้ให้เย็นลง แล้วนำเข้าเดสิเคเตอร์ประมาณ 15 นาที แล้วชั่งถาดอะลูมิเนียมพร้อมฝาที่มีตัวอย่างอบอยู่แล้ว บันทึกผล

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

$$M = \frac{100(W_1 - W_2)}{W}$$

โดย

- M = ร้อยละของความชื้น
- W_1 = น้ำหนักของถาดอะลูมิเนียมพร้อมฝารวมกับน้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้นก่อนอบ (กรัม)
- W_2 = น้ำหนักของถาดอะลูมิเนียมพร้อมฝารวมกับน้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้นหลังอบ (กรัม)
- W = น้ำหนักของตัวอย่าง (กรัม)

1.2 เถ้า (Ash) ASTM D3174

วิธีการทดลอง

- 1) เผาถ้วยกระเบื้องพร้อมฝาในเตาเผา (Muffle Furnace) ที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำออกมาทำให้เย็นในเดสิเคเตอร์ซึ่งน้ำหนักครุซีเบลพร้อมฝา
- 2) ชั่งน้ำหนักตัวอย่างใส่ถ้วยกระเบื้องประมาณ 1 กรัม
- 3) นำไปเผาบนตะเกียงเบนเซลจนควันระเหยหมด
- 4) ใส่ถ้วยกระเบื้องพร้อมฝาในเตาเผาที่อุณหภูมิประมาณ 750 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง หรือจนน้ำหนักคงที่
- 5) นำถ้วยกระเบื้องออกจากเตาเผาวางไว้ให้เย็นแล้วนำไปใส่เดสิเคเตอร์ ซึ่งน้ำหนักบันทึกผล

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

$$A = \frac{100(W_3 - W_4)}{W}$$

โดย

- A = ร้อยละของเถ้า
- W_3 = น้ำหนักของถาดกระเบื้องพร้อมฝาที่มีเถ้า (กรัม)
- W_4 = น้ำหนักของถาดกระเบื้องพร้อมฝา (กรัม)
- W = น้ำหนักของตัวอย่าง (กรัม)

1.3 สารระเหย (Volatile matter) ASTM D3175

วิธีการทดลอง

- 1) อบถ้วยกระเบื้องพร้อมฝาในเตาเผาที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสเป็นเวลาประมาณ 60 นาที นำออกมาทำให้เย็นในเดสิเคเตอร์ ชั่งน้ำหนักครุชชีเบลพร้อมฝา
- 2) ชั่งน้ำหนักตัวอย่างใส่ถ้วยกระเบื้องประมาณ 1 กรัม แล้วปิดฝา
- 3) นำไปให้ความร้อนโดยอยู่กึ่งกลางเตาเผา (turbular furnace) อุณหภูมิประมาณ 750 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 7 นาที
- 4) นำถ้วยกระเบื้องออกจากเตาเผาวางไว้ให้เย็นแล้วนำไปใส่เดสิเคเตอร์ ชั่งน้ำหนักบันทึกผล

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

$$V = \frac{100(W_5 - W_6)}{W} - M$$

โดย

- V = ร้อยละของสารระเหย
- W_5 = น้ำหนักของถ้วยกระเบื้องพร้อมฝากับน้ำหนักตัวอย่างก่อนเริ่มเผา (กรัม)
- W_6 = น้ำหนักของถ้วยกระเบื้องพร้อมฝากับน้ำหนักตัวอย่างหลังเริ่มเผา (กรัม)
- M = ร้อยละของความชื้น (กรัม)

ภาคผนวก ข

การคำนวณร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์

1. ค่ามวณร้อยละผลได้ของของแข็ง

$$\text{ร้อยละผลได้ของของแข็ง} = (W_{\text{ash}} / W_{\text{daf}}) \times 100$$

2. ค่ามวณร้อยละผลได้ของของเหลว

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

3. ค่ามวณร้อยละผลได้ของแก๊ส

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

4. ค่ามวณร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ที่สูญหาย

$$\begin{aligned} \text{ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ที่สูญหาย} = & 100 - (\text{ร้อยละผลได้ของของแข็ง} + \text{ร้อยละผลได้ของของเหลว} \\ & + \text{ร้อยละผลได้ของแก๊ส}) \end{aligned}$$

โดย

W_{daf}	คือ	น้ำหนักของชีวมวลที่ปราศจากความชื้นและขี้เถ้า(กรัม)
W_{ash}	คือ	น้ำหนักของกากที่ปราศจากความชื้น(กรัม)
W_{liq}	คือ	น้ำหนักของของเหลว (กรัม)
W_{gas}	คือ	น้ำหนักของของแก๊ส (กรัม)

ตัวอย่างการคำนวณ

ภาวะของการทดลอง : นำชานอ้อยมาทำการไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแพคชันโดยใช้เงื่อนไขคือ ความดันเริ่มต้น 20 บาร์ อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ปริมาตรของตัวทำละลาย 100 มิลลิลิตร (อัตราส่วนของชานอ้อยต่อตัวทำละลาย 1:10 กรัมต่อมิลลิลิตร ตัวทำละลายน้ำดีมีน) ความเร็ว รอบใบกวน 300 รอบต่อนาที เวลาในการเกิดปฏิกิริยา 60 นาที

การคำนวณ

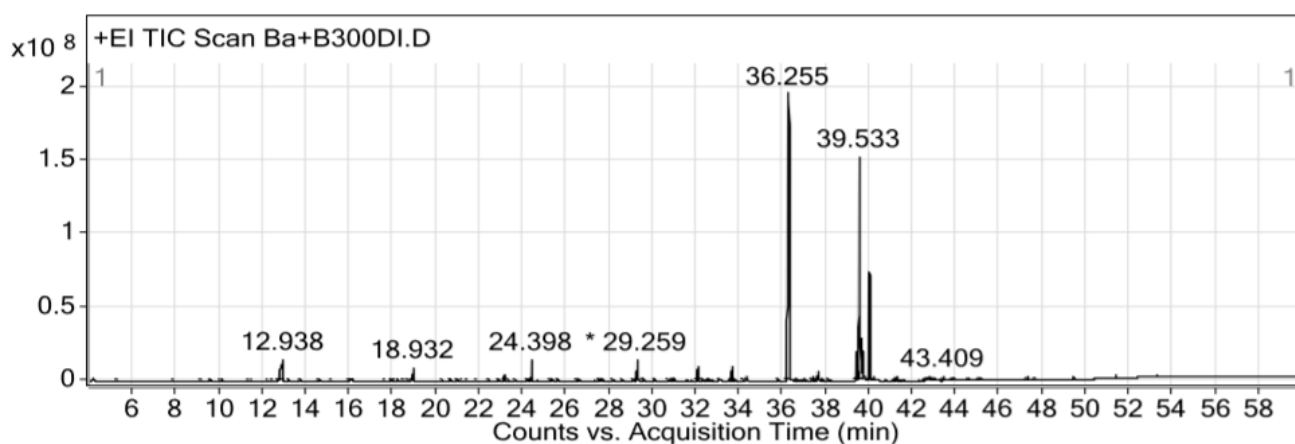
น้ำหนักของแห้งน้ำมัน (Dry basis)	=	10	กรัม
น้ำหนักของแห้งน้ำมัน (Dry ash free basis)	=	9.31	กรัม
น้ำหนักผลได้ของของแข็ง	=	1.41	กรัม
น้ำหนักผลได้ของของเหลว	=	4.48	กรัม
น้ำหนักผลได้ของแก๊ส	=	0.0694	กรัม
ร้อยละผลได้ของของแข็ง	=	$(1.41/9.31) \times 100$	
	=	15.04	
ร้อยละผลได้ของของเหลว	=	$(4.48/9.31) \times 100$	
	=	48.12	
ร้อยละผลได้ของแก๊ส	=	$(0.0694/9.31) \times 100$	
	=	0.75	
		$100 - (15.04 + 48.12 +$	
ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ที่สูญหาย	=	13.67)	
	=	23.17	

ภาคผนวก ค

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์

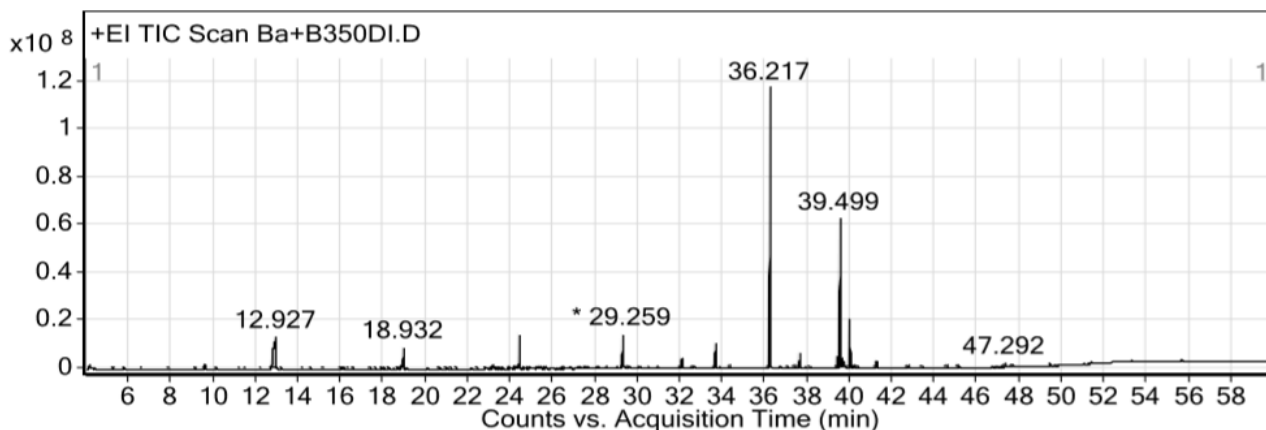
หลังทำการระเหยตัวทำละลายจากผลิตภัณฑ์ส่วนที่เป็นของเหลว จากนั้นได้มีนำผลิตภัณฑ์ส่วนดังกล่าวไปตรวจสอบด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟแมสสเปกโตรเมตรี (Gas chromatograph mass spectrometry) เพื่อหาองค์ประกอบที่อยู่ในส่วนสารละลายนั้น ดังแสดงในรูป ค.1

สภาวะการทดลอง นำชานอ้อยผสมซาร์ไมไฟในสัดส่วน 1:1 มาผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส โดยใช้น้ำปราศจากไอออน (DI Water) เป็นตัวทำละลาย ความเร็วรอบใบกวน 300 รอบต่อนาที เวลาในการเกิดปฏิกิริยา 60 นาที



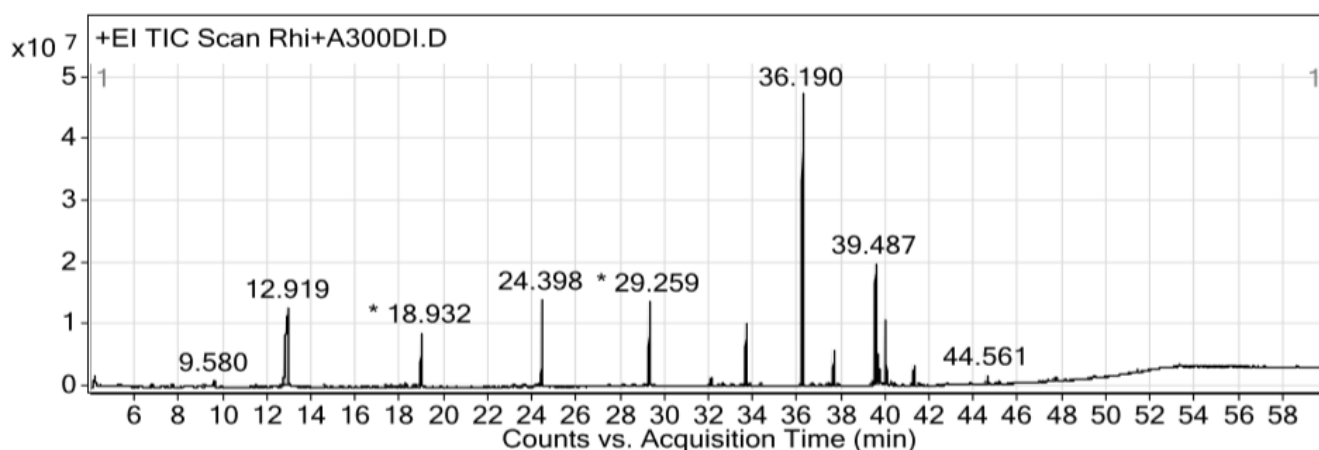
รูปที่ ค.1 โครมาโทแกรมของผลิตภัณฑ์น้ำมันดิบชีวภาพจากกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันของชานอ้อยผสมซาร์ไมไฟที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส โดยใช้น้ำปราศจากไอออน (DI Water) เป็นตัวทำละลาย

สภาวะการทดลอง นำชานอ้อยผสมขาร์ไม้ไฟในสัดส่วน 1:1 มาผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกซ์ที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส โดยใช้ น้ำปราศจากไอออน (DI Water) เป็นตัวทำละลาย ความเร็วรอบใบกวน 300 รอบต่อนาที เวลาในการเกิดปฏิกิริยา 60 นาที



รูปที่ ค.2 โครมาโทแกรมของผลิตภัณฑ์น้ำมันดิบชีวภาพจากกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกซ์ของชานอ้อยผสมขาร์ไม้ไฟที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส โดยใช้ น้ำปราศจากไอออน (DI Water) เป็นตัวทำละลาย

สภาวะการทดลอง นำเหง้ามันสำปะหลังผสมขาร์สำหรับยุงชะโดในสัดส่วน 1:1 มาผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกซ์ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส โดยใช้ น้ำปราศจากไอออน (DI Water) เป็นตัวทำละลาย ความเร็วรอบใบกวน 300 รอบต่อนาที เวลาในการเกิดปฏิกิริยา 60 นาที



รูปที่ ค.3 โครมาโทแกรมของผลิตภัณฑ์น้ำมันดิบชีวภาพจากกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกซ์ของเหง้ามันสำปะหลังผสมขาร์สำหรับยุงชะโดที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส โดยใช้ น้ำปราศจากไอออน (DI Water) เป็นตัวทำละลาย

ภาคผนวก ง

ข้อมูลดิบ

ตารางที่ ง.1 ข้อมูลการทดลองในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์และร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์แต่ละประเภท

No.	Temperature (°C)	Solvent type	Biomass ratio (Ba : Ri : Char A : Char B)	Initial N ₂ pressure (bar)	Rotation speed (rpm)	Time (min)	Final pressure (bar)	Bio-crude (%)	Residue solid (%)	Gaseous (%)
1	300	DI Water	(0:0:1:0)	22.9	300	60	24.6	23.83	63.95	1.82
2			(0:0:0:1)	22.7	300	60	24.9	2.53	67.85	0.47
3			(0:1:0:0)	23.0	300	60	29.2	48.12	15.10	1.22
4			(1:0:0:0)	23.1	300	60	29.4	43.23	23.58	1.31
5			(0:1:1:0)	22.1	300	60	26.6	64.34	19.73	1.77
6			(0:1:0:1)	23.2	300	60	28.0	25.92	41.19	1.28
7			(1:0:1:0)	22.7	300	60	29.4	40.97	18.86	2.01
8			(1:0:0:1)	22.1	300	60	24.8	45.29	43.04	0.95

ตารางที่ ง.1 ข้อมูลการทดลองในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์และร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์แต่ละประเภท (ต่อ)

No.	Temperature (°C)	Solvent type	Biomass ratio (Ba : Ri : Char A : Char B)	Initial N ₂ pressure (bar)	Rotation speed (rpm)	Time (min)	Final pressure (bar)	Bio-crude (%)	Residue solid (%)	Gaseous (%)
1	350	DI Water	(0:0:1:0)	21.7	300	60	30.9	22.45	27.31	0.51
2			(0:0:0:1)	21.7	300	60	30.0	11.22	68.18	0.69
3			(0:1:0:0)	21.8	300	60	22.7	31.89	26.65	2.41
4			(1:0:0:0)	23.7	300	60	26.1	32.73	9.03	3.02
5			(0:1:1:0)	22.8	300	60	28.1	27.40	9.67	1.83
6			(0:1:0:1)	23.9	300	60	29.2	15.62	28.79	4.50
7			(1:0:1:0)	22.9	300	60	29.9	39.29	9.78	6.76
8			(1:0:0:1)	23.1	300	60	28.3	70.86	31.24	3.85

ตารางที่ ง.1 ข้อมูลการทดลองในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์และร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์แต่ละประเภท (ต่อ)

No.	Temperature (°C)	Solvent type	Biomass ratio (Ba : Ca : Char A : Char B)	Initial N ₂ pressure (bar)	Rotation speed (rpm)	Time (min)	Final pressure (bar)	Bio-crude (%)	Residue solid (%)	Gaseous (%)
1	300	Ethanol	(0:0:1:0)	23.4	300	60	48	21.52	55.73	22.75
2			(0:1:0:0)	22.6	300	60	54.7	31.43	52.80	15.76
3			(0:1:1:0)	22.9	300	60	57.8	58.25	18.91	22.84

ตารางที่ ง.2 ข้อมูลการวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลอง

No.	Temperature (°C)	Solvent type	Biomass ratio (Ba : Ca : Char A : Char B)	%composition (Bio-crude production)					H/C	O/C	HHV (MJ/kg)	Water (%wt)	Acid (Mg KOH/g)
				C	H	N	S	O					
1	300	DI Water	(0:0:1:0)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2			(0:0:0:1)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3			(0:1:0:0)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4			(1:0:0:0)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5			(0:1:1:0)	69.46	8.49	1.86	1.07	19.13	0.12	0.28	32.29	16.39	13.103
6			(0:1:0:1)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7			(1:0:1:0)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8			(1:0:0:1)	64.45	6.78	2.03	0.94	25.81	0.11	0.38	26.93	1.71	97.436

ตารางที่ ง.2 ข้อมูลการวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลอง (ต่อ)

No.	Temperature (°C)	Solvent type	Biomass ratio (Ba : Ca : Char A : Char B)	%composition (Bio-crude production)					H/C	O/C	HHV (MJ/kg)	Water (% wt)	Acid (Mg KOH/g)
				C	H	N	S	O					
1	350	DI Water	(0:0:1:0)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2			(0:0:0:1)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3			(0:1:0:0)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4			(1:0:0:0)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5			(0:1:1:0)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6			(0:1:0:1)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7			(1:0:1:0)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8			(1:0:0:1)	48.50	5.49	1.80	0.72	43.50	0.11	0.90	16.48	0.83	27.575

ตารางที่ ง.2 ข้อมูลการวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลอง (ต่อ)

No.	Temperature (°C)	Solvent type	Biomass ratio (Ba : Ca : Char A : Char B)	%composition (Bio-crude production)					H/C	O/C	HHV (MJ/kg)	Water (% wt)	Acid Mg KOH/g
				C	H	N	S	O					
1	300	Ethanol	(0:0:1:0)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2			(0:1:0:0)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3			(0:1:1:0)	38.47	5.06	1.49	0.68	54.31	0.13	1.41	10.52	0.53	9.534