

การทำไฮโดรซาร์จากเปลือกหมากโดยใช้กระบวนการไฮโดรเทอร์มอล



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
ปีการศึกษา 2563

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

HYDROTHERMAL TREATMENT OF ARECANUT HUSK FOR
HYDROCHAR PRODUCTION



A REPORT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT
FOR THE DEGREE OF BECHELOR OF ENGINEERING IN CHEMICAL ENGINEERING
SCHOOL OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ACADEMIC YEAR 2020
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

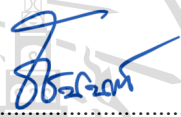
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

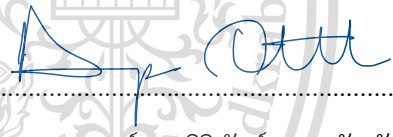
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ปริญญานิพนธ์เรื่อง การทำไฮโดรซาร์จากเปลือกหมากโดยใช้กระบวนการไฮโดรเทอร์มอล
โดย นายอดิศร ชื่นชวน รหัสนักศึกษา 60011130
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.ธัชนันต์ สมานมุลย์
ปริญญานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปริญญานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

คณะกรรมการตรวจสอบปริญญานิพนธ์


.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธัชนันต์ สมานมุลย์)


.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริพันธ์ มุรธาธัญลักษณ์)


.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐนนท์ ไพบุญศิลป์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ปริญญาานิพนธ์เรื่อง	การทำไฮโดรซาร์จากเปลือกหมากโดยใช้กระบวนการไฮโดรเทอร์มอล
โดย	นายอดิศร ชื่นชวน
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี
ปีการศึกษา	2563
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.ธัชพันธ์ สมานมูลย์

บทคัดย่อ

กระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนไนเซชันของชีวมวลเป็นวิธีการหนึ่งที่มีความน่าสนใจในการเพิ่มคุณค่าให้ขยะชีวภาพทางการเกษตร เนื่องจากเป็นกระบวนการที่ใช้พลังงานไม่สูงมาก มีรูปแบบกระบวนการทำที่เข้าใจง่าย และส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเพียงเล็กน้อย งานวิจัยนี้ได้ศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิและเวลาที่ส่งผลต่อกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนไนเซชันของเปลือกหมาก และศึกษาคุณสมบัติของไฮโดรซาร์ที่เหมาะสมในการเป็นเชื้อเพลิง โดยอุณหภูมิที่ศึกษา ได้แก่ 160 200 และ 240 องศาเซลเซียส เวลาในการทดลองที่ศึกษา 60 และ 120 นาที ผลการทดลองพบว่า ณ สภาวะอุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส และเวลา 60 นาที ทำให้ร้อยละโดยมวลของไฮโดรซาร์มากที่สุดเป็นร้อยละ 61.32 เมื่อใช้อุณหภูมิและเวลามากขึ้น ส่งผลให้แนวโน้มของร้อยละโดยน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ของแข็งที่ได้ลดลง และร้อยละโดยมวลของไฮโดรซาร์ลดลงไปด้วย นอกจากนี้เมื่อพิจารณาองค์ประกอบของไฮโดรซาร์จะมีปริมาณไฮโดรเจนรวมถึงออกซิเจนลดลง ปริมาณสารระเหยลดลง และมีปริมาณคาร์บอนคงที่เพิ่มขึ้น ซึ่งองค์ประกอบเหล่านี้เป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อความสามารถในการเป็นเชื้อเพลิงของไฮโดรซาร์ เมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นจะส่งผลให้ไฮโดรซาร์มีค่าความร้อนสูง (HHV) เพิ่มขึ้น และการใช้เวลามากขึ้นทำให้ค่าความร้อนสูงเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย ดังนั้นอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการศึกษากระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนไนเซชันเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการผลิตไฮโดรซาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Report Title	Hydrothermal treatment of arecanut husk for hydrochar production
By	Mr.Adisorn Chuenchuan
Degree	Bachelor of Engineering
Program	Chemical Engineering
Year	2020
Advisor	Asst. Prof. Dr.Thachanan Samanmulya

ABSTRACT

Hydrothermal carbonization of biomass is an interesting method of enriching agricultural bio-waste. It is a process that does not necessitate a large amount of energy. There is a simple procedure and little impact on the environment. This research examines the effects of temperature and time on the hydrothermal carbonization of arecanut husk, as well as the features of hydrochar that might be used as a fuel. Temperatures of 160, 200, and 240 °C were investigated. The time of the experiment was 60 and 120 minutes. The results showed that the percentage by mass of the hydrochar was highest at 160 °C and 60 minutes, with a value of 61.32. Using a higher temperature and a longer period of time. As a result, the trend of solid product percentage by weight is declined and the percentage by mass of the hydrochar is also reduced. Furthermore, when examining the hydrochar composition, there is a decrease in the amount of hydrogen and oxygen. The amount of volatile matter is reduced. There is an increase in the amount of fixed carbon. These elements are an impact on the fuel efficiency of hydrochar. When the temperature is increased, the hydrochar is an increase in higher heating value (HHV). And using more time is an increase the higher heating value only slightly. As a result, the temperature and time necessary to research the hydrothermal carbonization process are a significant impact on hydrochar formation.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เรื่อง “การทำไฮโดรซาร์จากเปลือกหมากโดยใช้กระบวนการไฮโดรเทอร์มอล” สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.รัชพันธ์ สมานมุลย์ ที่ให้คำปรึกษา คำแนะนำ ตลอดจนช่วยแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ อันเป็นประโยชน์ในการวิจัย ตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดีแก่ผู้วิจัย ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.ศิริพันธ์ มุรธาธัญลักษณ์ และ ผศ.ดร.ณัฐนนท์ ไพบูลย์ศิลป์ กรรมการผู้ตรวจสอบปริญญานิพนธ์ที่ให้คำปรึกษาและคำแนะนำ ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องในการทำปริญญานิพนธ์นี้ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่าน ที่คอยเมตตา อบรม สั่งสอน ให้ความรู้ด้านการศึกษา

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาวิศวกรรมเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่าน ที่ให้ความรู้ และช่วยเหลือในด้านของอุปกรณ์และเครื่องมือการทดลอง

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา ครอบครัวของผู้วิจัยที่คอยช่วยสนับสนุนในด้านการศึกษารวมทั้งเพื่อนๆ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี รุ่นที่ 24 ที่คอยช่วยเหลือและให้กำลังใจ ซึ่งทำให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี หากมีข้อผิดพลาดประการใดผู้จัดทำขอน้อมรับและขอภัยอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

อดิศร ชื่นชวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

|||

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญรูป	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา	2
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 ไฮโดรซาร์	3
2.2 ลิกโนเซลลูโลส	3
2.3 หมาก	7
2.4 การแปลงชีวมวลด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล	8
2.5 กระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนเซชัน	10
2.6 คุณสมบัติของไฮโดรซาร์	12
บทที่ 3 วิธีการทดลอง	15
3.1 การเตรียมเปลือกหมาก	15
3.2 การทำกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนเซชัน	16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	21
4.1 ร้อยละของผลิตภัณฑ์ที่ได้.....	21
4.2 อิทธิพลของอุณหภูมิที่ส่งผลต่อไฮโดรซาร์.....	24
4.3 อิทธิพลของเวลาที่ส่งผลต่อไฮโดรซาร์.....	25
4.4 ลักษณะทางกายภาพและคุณสมบัติของไฮโดรซาร์.....	26
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....	28
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	28
5.2 วิจารณ์ผลการทดลอง.....	29
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	29
บรรณานุกรม.....	30
ภาคผนวก.....	33
ภาคผนวก ก.....	34
ภาคผนวก ข.....	38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

v

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบของเปลือกหามาก	7
ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองร้อยละโดยมวลของไฮโดรซาร์ที่ได้จากการใช้อุณหภูมิและเวลาที่ต่างกัน.....	21
ตารางที่ 4.2 คุณสมบัติของไฮโดรซาร์จากลิกโนเซลลูโลสหลายชนิด	26
ตารางที่ 4.3 คุณสมบัติของไฮโดรซาร์จากลิกโนเซลลูโลสหลายชนิด (ต่อ).....	27
ตารางที่ 5.1 เครื่องมือ และวิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบของไฮโดรซาร์.....	29
ตารางที่ ก.1 ผลการทดลองน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการใช้อุณหภูมิและเวลาที่ต่างกัน.....	34
ตารางที่ ก.2 ผลการทดลองร้อยละของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการใช้อุณหภูมิและเวลาที่ต่างกัน.....	34
ตารางที่ ก.3 อุณหภูมิของเครื่องหลังเริ่มจับเวลาในการทดลอง การทดลอง 160 องศาเซลเซียส.....	35
ตารางที่ ก.4 อุณหภูมิของเครื่องหลังเริ่มจับเวลาในการทดลอง การทดลอง 200 องศาเซลเซียส.....	36
ตารางที่ ก.5 อุณหภูมิของเครื่องหลังเริ่มจับเวลาในการทดลอง การทดลอง 240 องศาเซลเซียส.....	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 องค์ประกอบของลิกโนเซลลูโลส.....	4
รูปที่ 2.2 โครงสร้างของเซลลูโลส.....	5
รูปที่ 2.3 น้ำตาลที่เป็นหน่วยย่อยของเฮมิเซลลูโลส	5
รูปที่ 2.4 โครงสร้างแอลกอฮอล์ที่เป็นสารตั้งต้น และโมนอเมอร์ฟีนิลโพรพานอยด์.....	6
รูปที่ 2.5 สภาวะของน้ำที่ใช้ในกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล	9
รูปที่ 2.6 แผนภาพ Van Krevelen.....	12
รูปที่ 3.1 เครื่องบดพีซี	15
รูปที่ 3.2 เครื่องเขย่าตะแกรงร้อน.....	15
รูปที่ 3.3 เปลือกหมากดิบ.....	16
รูปที่ 3.4 แบบร่างของเครื่อง high pressure autoclave	16
รูปที่ 3.5 ตัวควบคุมแบบพีไอดี.....	17
รูปที่ 3.6 เครื่อง high pressure autoclave	18
รูปที่ 4.1 การเปรียบเทียบปริมาณร้อยละโดยมวลของไฮโดรคาร์บอนจากเปลือกหมากที่ได้กับงานวิจัยอื่น ๆ	22
รูปที่ 4.2 ปริมาณร้อยละโดยมวลของไฮโดรคาร์บอนที่อุณหภูมิ 160 ถึง 240 องศาเซลเซียส.....	24
รูปที่ 4.3 ปริมาณร้อยละโดยมวลของไฮโดรคาร์บอนที่เวลา 60 และ 120 นาที.....	25
รูปที่ 4.4 ลักษณะและสีของไฮโดรคาร์บอนที่ได้จากเครื่อง high pressure autoclave	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ในปัจจุบันมีขยะชีวภาพทางการเกษตรที่เกิดจากการแยกเอาสิ่งที่มีประโยชน์ออกไปใช้แล้ว ส่วนสิ่งที่จะต้องทิ้ง ได้รับความสนใจในการนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทนหรือการเพิ่มมูลค่าให้กับของเสีย ซึ่งขยะชีวภาพเหล่านี้เป็นแหล่งพลังงานหมุนเวียนที่อุดมสมบูรณ์ ก่อให้เกิดประโยชน์ต่อสิ่งแวดล้อม เศรษฐกิจ และสังคมอย่างมาก [1] การทำไฮโดรชาร์จากชีวมวลเป็นสิ่งที่ได้รับความสนใจ สามารถลดปริมาณขยะชีวภาพและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการกำจัดของเสีย ซึ่งชีวมวลที่ต้องการศึกษา คือ หมาก โดยทั่วไปส่วนเนื้อของหมากถูกใช้ในการบริโภคและอุตสาหกรรมยา ส่วนเปลือกหมากที่มีลักษณะเป็นเส้นใยถูกทิ้งเป็นขยะชีวภาพทางการเกษตรจำนวนมาก จึงสามารถใช้เปลือกหมากในการแปรรูปด้วยกระบวนการทางความร้อนเคมีเพื่อลดขยะทางชีวภาพ

ปัจจุบันกระบวนการที่ใช้ในการบำบัดชีวมวลแบ่งออกเป็น 2 กระบวนการ ได้แก่ ทางชีวภาพ และทางความร้อนเคมี แต่กระบวนการทางชีวภาพใช้ระยะเวลาในการบำบัดนาน จึงทำให้กระบวนการทางความร้อนเคมีได้รับความนิยมมากกว่า ซึ่งตัวอย่างกระบวนการทางความร้อนเคมี เช่น ก๊าซซิฟิเคชัน ลิควิดแฟคชัน คาร์บอนไนเซชัน และเอควียสเฟสรีฟอร์มมิง [2]

กระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนไนเซชัน (hydrothermal carbonization) เป็นการใช้ความร้อนและน้ำในการบำบัดชีวมวล โดยใช้ช่วงอุณหภูมิที่ไม่สูงมาก ผลิตภัณฑ์ของแข็งที่ได้ถูกเรียกว่า ไฮโดรชาร์ (hydrochar) สำหรับอิทธิพลสำคัญที่มีผลต่อกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนไนเซชัน ได้แก่ ประเภทของชีวมวล อุณหภูมิ และเวลา ซึ่งกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนไนเซชันได้รับความสนใจเนื่องจากเป็นกระบวนการที่สะอาด ใช้พลังงานต่ำ สามารถใช้ชีวมวลเปียกได้ และกระบวนการนี้จะช่วยลดปัญหาขยะชีวภาพในปัจจุบันได้อย่างมีประสิทธิภาพ [3] ไฮโดรชาร์ที่ได้จากกระบวนการจะมีปริมาณคาร์บอนสูงเหมาะสำหรับการนำไปใช้บำรุงดินหรือใช้เป็นเชื้อเพลิง ซึ่งไฮโดรชาร์สามารถที่จะนำมาเพิ่มคุณสมบัติทั้งทางกายภาพและทางเคมี เพื่อนำไปประยุกต์ใช้งานในด้านอื่น ๆ ในลำดับถัดไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

งานวิจัยนี้จึงศึกษาการผลิตไฮโดรซาร์จากเปลือกหมาก โดยผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอไนเซชัน เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการ ซึ่งจะพิจารณาจากร้อยละของผลิตภัณฑ์ที่เป็นของแข็ง ของเหลว ก๊าซ และมวลของไฮโดรซาร์ รวมทั้งความสามารถในการเป็นเชื้อเพลิงของไฮโดรซาร์

1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิในการทำกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอไนเซชัน
- 1.2.2 เพื่อศึกษาผลของเวลาในการทำกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอไนเซชัน
- 1.2.3 เพื่อศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิ และเวลาในกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอไนเซชันที่ส่งผลต่อลักษณะทางกายภาพ และแนวโน้มความสามารถในการใช้เป็นเชื้อเพลิงจากงานวิจัยอื่น

1.3 ขอบเขตการศึกษา

- 1.3.1 ศึกษาอุณหภูมิที่มีผลต่อกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอไนเซชัน โดยใช้อุณหภูมิที่แตกต่างกันดังนี้ 160 200 และ 240 องศาเซลเซียส
- 1.3.2 ศึกษาเวลาที่มีผลต่อกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอไนเซชัน โดยใช้เวลาที่แตกต่างกัน ดังนี้ 60 และ 120 นาที

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

- 1.4.1 มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอไนเซชันของไฮโดรซาร์ที่ทำจากเปลือกหมาก
- 1.4.2 ได้ทราบอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการทำกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอไนเซชัน
- 1.4.3 ได้ทราบลักษณะทางกายภาพและองค์ประกอบทางเคมีของไฮโดรซาร์ ที่ส่งผลต่อความสามารถในการใช้เป็นเชื้อเพลิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ไฮโดรชาร์

ไฮโดรชาร์ (hydrochar) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำชีวมวลผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนไนเซชัน ลักษณะเป็นของแข็งสีน้ำตาลเข้มหรือสีดำ มีปริมาณคาร์บอนสูง มีความเปราะบาง และมีประสิทธิภาพในการเป็นเชื้อเพลิงแข็งสำหรับเผาไหม้ ปัจจุบันมีการนำวัสดุหลายชนิดมาทำไฮโดรชาร์ เช่น ชีวมวลลิกโนเซลลูโลส กากพืชจากการเกษตร ของเสียจากสิ่งมีชีวิต เศษอาหาร ขยะทั่วไป และกากตะกอนจากโรงงาน [4] การเติมไฮโดรชาร์จะช่วยกักเก็บคาร์บอนลงในดิน เพื่อเพิ่มอุดมสมบูรณ์ของดินเป็นวิธีการคล้ายคลึงกับการเติมดิน Terra Preta de Indio ของวัฒนธรรมแอมะซอน เมื่อพิจารณาถึงประโยชน์ทางการเกษตรและสิ่งแวดล้อมในอนาคต การนำไฮโดรชาร์ไปใช้กับดินที่มีธาตุอาหารน้อยจึงได้รับการความนิยมมากขึ้น [5] เมื่อปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของไฮโดรชาร์ สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย เช่น ความสามารถในการดูดซับสารเคมี หรือใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาได้อีกด้วย

2.2 ลิกโนเซลลูโลส

ลิกโนเซลลูโลส (lignocellulose) คือ ชีวมวลที่มีลักษณะเป็นเส้นใย เมื่อถูกทำให้แห้งจะเป็นวัสดุที่เหมาะสมกับการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ โดยประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรตโพลีเมอร์ ได้แก่ เซลลูโลส (cellulose) เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) และพอลิเมอร์อะโรมาติก ได้แก่ ลิกนิน (lignin) คาร์โบไฮเดรตเหล่านี้มีจำนวนน้ำตาลโมโนเมอร์ที่แตกต่างกัน ปริมาณเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินจะส่งผลต่อพลังงานความร้อนและปริมาณคาร์บอนคงที่ของชีวมวล

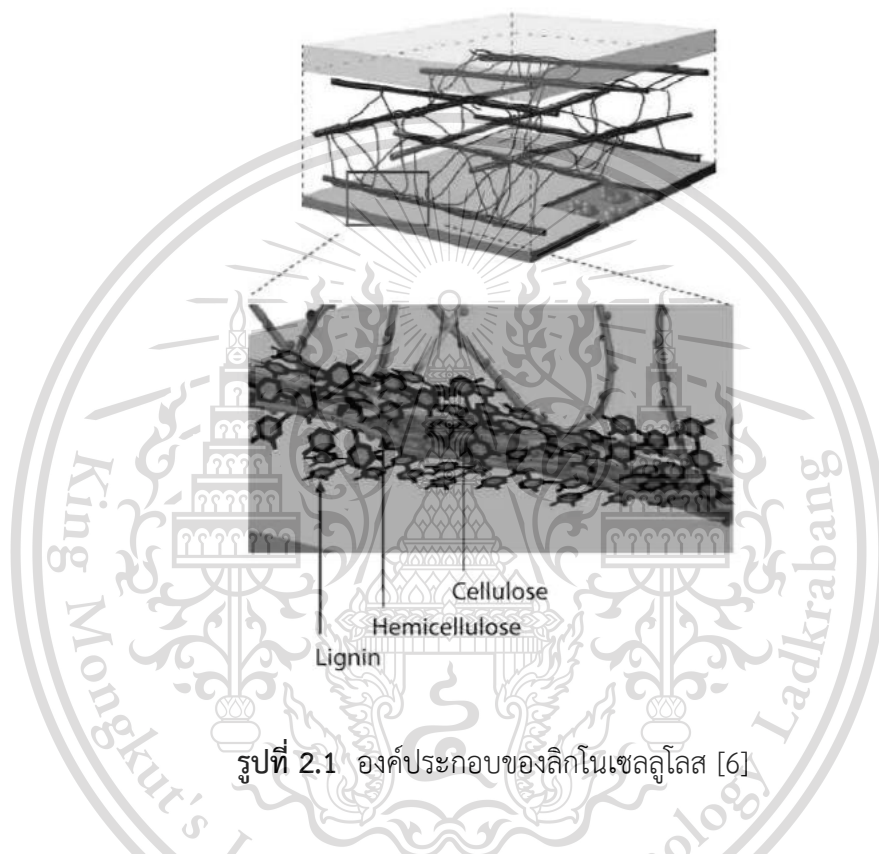
ลิกโนเซลลูโลสสามารถแบ่งอย่างง่ายออกเป็น ลิกโนเซลลูโลสบริสุทธิ์ ลิกโนเซลลูโลสของเสีย และลิกโนเซลลูโลสที่ให้พลังงานสูง ลิกโนเซลลูโลสบริสุทธิ์เป็นจำพวกพืชบกทั้งหมดที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ เช่น ต้นไม้ และพุ่มไม้ ลิกโนเซลลูโลสของเสียเป็นผลพลอยได้ที่มียูทิลิตีต่ำกว่าจากภาคอุตสาหกรรมและเกษตรกรรม เช่น ข้าวโพด ชานอ้อย ฟาง และ เศษไม้ ลิกโนเซลลูโลสที่ให้พลังงานสูงเป็นพืชจำพวกไม้หมุ่นเวียนระยะสั้นหรือไม้ล้มลุก ได้แก่ หญ้าสวิตซ์ และหญ้าช้าง [6],[7] ลิกโนเซลลูโลสเป็นวัตถุดิบที่น่าสนใจสำหรับการผลิตเชื้อเพลิงในรูปของแข็ง เนื่องจากมีปริมาณคาร์บอนคงที่สูง มีความเป็นกลางทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้วยการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

คาร์บอน เมื่อนำมาใช้ทดแทนเชื้อเพลิงฟอสซิล จะช่วยลดการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งมวลที่เป็นลิกโนเซลลูโลสของเสียจากอุตสาหกรรมและเกษตรกรรมมีต้นทุนต่ำ สามารถหาได้ง่าย เมื่อนำมาผลิตไฮโดรซาร์จะช่วยลดปริมาณขยะชีวภาพได้จำนวนมาก อย่างไรก็ตามการนำไปใช้งานต้องมีการปรับสภาพเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติให้เหมาะสมอีกด้วย [8]



รูปที่ 2.1 องค์ประกอบของลิกโนเซลลูโลส [6]

2.2.1 เซลลูโลส

เซลลูโลส (cellulose) เป็นส่วนประกอบหลักของโครงสร้างลิกโนเซลลูโลส พบที่ผนังเซลล์ของพืช และองค์ประกอบของเซลลูโลสประมาณร้อยละ 40 ถึง 60 โดยน้ำหนัก เป็นพอลิแซ็กคาไรด์ (polysaccharide) ที่มีจำนวนกลูโคสตั้งแต่ 3,000 หน่วยขึ้นไป เชื่อมกันด้วยพันธะ เบต้า-1,4-ไกลโคซิดิก (β -1,4-glycosidic bonds) ระหว่างห่วงโซ่ย่อยของดีกลูโคพิราโนส (D-glucopyranos) ซึ่งดีกลูโคพิราโนสแต่ละตัวจะเชื่อมต่อกันด้วยพันธะไฮโดรเจนที่ก่อตัวขึ้นระหว่างหมู่ไฮดรอกซิล โครงสร้างของเซลลูโลสแสดงดังรูปที่ 2.2 เซลลูโลสเป็นโมเลกุลที่ไม่แตกแขนง สายโซ่โพลีเมอร์ของกลูโคสจัดเรียงเป็นเส้นตรง ไม่

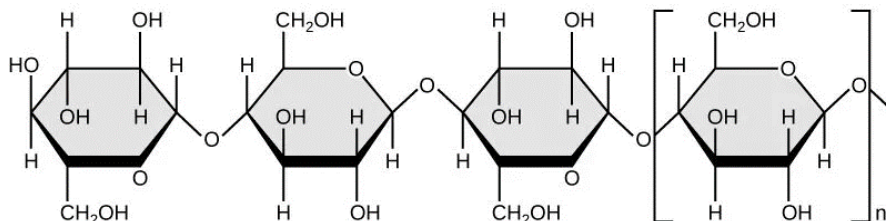
เอกสารนี้เป็นเหมือนกับการแบ่งหรือไกลโคเจน ซึ่งโซ่เหล่านี้ไม่เกิดการม้วนงอเป็นเกลียว แต่จัดเรียงตัวขนานกัน เซลลูโลสสารคาร์บอน

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

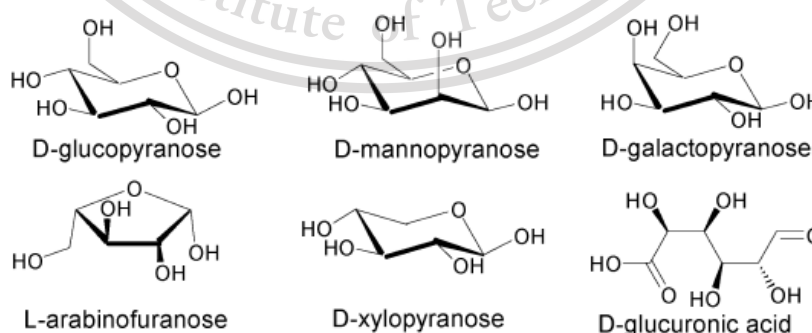
เป็นคาร์โบไฮเดรตที่มีอยู่มากที่สุดในธรรมชาติ ไม่ละลายน้ำ แต่ละลายได้ในตัวทำละลายอินทรีย์ มีลักษณะเป็นผงสีขาว เซลลูโลสเป็นอาหารสำหรับสัตว์ที่กินพืชเป็นอาหาร มนุษย์ไม่สามารถย่อยได้ [9]



รูปที่ 2.2 โครงสร้างของเซลลูโลส [9]

2.2.2 เฮมิเซลลูโลส

เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) เป็นเฮเทอโรพอลิแซ็กคาไรด์ (heteropolysaccharide) ที่ประกอบด้วยน้ำตาลหลายชนิด เช่น น้ำตาลไซโลส (xylose) แมนโนส (mannose) กาแล็กโทส (galactose) หรือกลูโคส (glucose) แสดงดังรูปที่ 2.3 น้ำตาลเหล่านี้จะต่อกันเป็นโซ่หลัก และเชื่อมกันด้วยพันธะเบต้า-1,4-ไกลโคซิดิก ด้วยความหลากหลายของน้ำตาลที่มาเชื่อมพันธะกัน จึงทำให้ระบุโครงสร้างอย่างชัดเจนของเฮมิเซลลูโลสได้ยาก แต่เฮมิเซลลูโลสจะมีจำนวนน้ำตาลน้อยกว่าเซลลูโลสหรือน้อยกว่า 3,000 หน่วย สามารถละลายน้ำได้จากโครงสร้างที่มีลักษณะแตกแขนง เฮมิเซลลูโลสเป็นอสังฐาน ไม่เป็นผลึกเหมือนเซลลูโลส ดังนั้นจึงมีความไวต่อปฏิกิริยาทางไฮโดรเทอร์มอลมากกว่าเซลลูโลส ทำเฮมิเซลลูโลสมีบทบาทสำคัญในการยึดติดระหว่างเส้นใย [10]



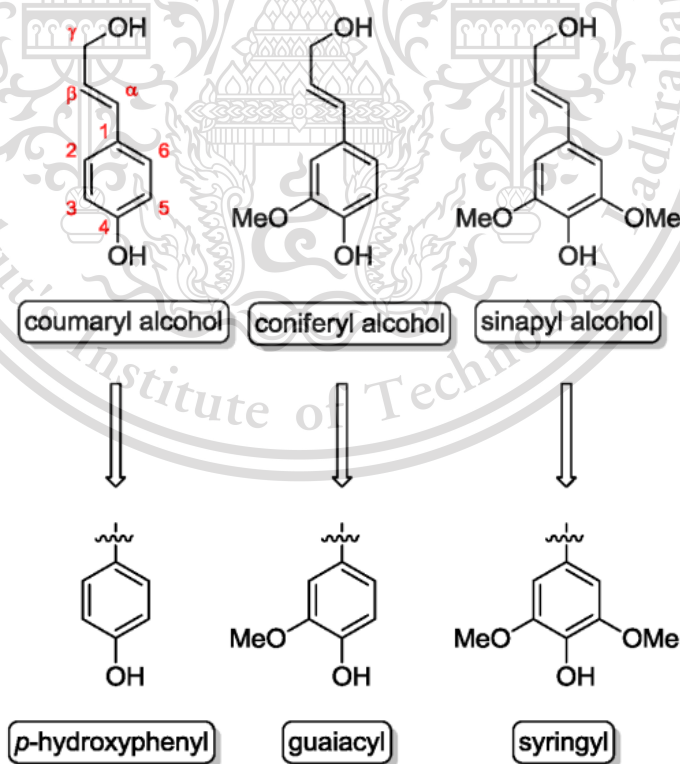
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่สามารถนำออกจำหน่ายไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.2.3 ลิกนิน

ลิกนิน (lignin) เป็นสารอินทรีย์ประเภทโพลีฟีนอล มีหน้าที่หลักในการรองรับโครงสร้างของผนังเซลล์ ขนส่งน้ำ และสารอาหาร แม้ว่าโครงสร้างทางเคมีจะซับซ้อนมาก แต่เป็นที่ยอมรับกันโดยทั่วไปว่า ลิกนินเกิดขึ้นจากกระบวนการสังเคราะห์ทางชีวภาพ ซึ่งสร้างจากโมโนเมอร์ฟีนิลโพรพานอยด์ (phenylpropanoid) พื้นฐานสามชนิด ได้แก่ พาราไฮดรอกซีฟีนิล (p-hydroxyphenyl) กัวไอซิล (guaiacyl) และไซริงกิล (syringyl) ที่ได้จากสารตั้งต้นประเภทแอลกอฮอล์ชนิดคูมาริล (coumaryl) โคนิเฟอริล (coniferyl) และซินแนพซิล (sinapyl) ตามลำดับแสดงดังรูปที่ 2.4 ปริมาณลิกนินโดยทั่วไปในไม้เนื้ออ่อน ไม้เนื้อแข็ง และพืชจำพวกหญ้า พบประมาณร้อยละ 33 28 และ 25 ตามลำดับ เมื่อหมู่ฟังก์ชันต่าง ๆ ในลิกนินเชื่อมโยงกับสารอะโรมาติกด้วยปริมาณและสัดส่วนที่ต่างกัน ทำให้องค์ประกอบและโครงสร้างของลิกนินแตกต่างกันออกไปด้วย [12] โครงสร้างของลิกนินเป็นอสัณฐาน และแตกแขนงสูง ลิกนินสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้อย่างหลากหลาย เช่น อิมัลซิไฟเออร์ (emulsifier) สีย้อม สารยึดเกาะ และเชื้อเพลิง [10]



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 2.4 โครงสร้างแอลกอฮอล์ที่เป็นสารตั้งต้น และโมโนเมอร์ฟีนิลโพรพานอยด์ [10]

2.3 หมาก

หมากสง (Arecanut) เป็นพืชที่จัดอยู่ในจำพวกเดียวกับปาล์ม ซึ่งเป็นพืชเขตร้อนในแถบทวีปเอเชียแปซิฟิก และบางส่วนของแอฟริกา มีการปลูกเป็นพืชเศรษฐกิจจำนวนมากในประเทศอินเดีย จีน กัมพูชา ลาว ไทย และเวียดนาม ในอดีตคนไทยนิยมนำหมากชนิดนี้มาเคี้ยวคู่กับใบพลู หมากเป็นไม้ยืนต้นที่มีอายุยืนยาว 100 ปี ลำต้นมีลักษณะตรงเป็นทรงกระบอก เส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 25 ถึง 40 เซนติเมตร และสามารถสูงได้ถึง 30 เมตร ส่วนใบมีลักษณะเหมือนใบมะพร้าว ยาว 1.5 ถึง 2 เมตร ชาวบ้านในภาคใต้นิยมใช้ใบพับห่อทำเป็นภาชนะสำหรับตักน้ำเรียกว่า หมากตักน้ำ ผลของหมากเป็นรูปกลมรีคล้ายลูกรักบี้ มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 2.5 ถึง 5 เซนติเมตร เปลือกหมากด้านนอกเป็นเส้นใย ผิวของผลเมื่อยังอ่อนจะมีสีเขียว ตอนแก่จะมีสีส้มแดง ตัวหมากด้านในประกอบด้วยอัลคาลอยด์ต่าง ๆ เมื่อเคี้ยวเข้าไปจะทำให้มีนิเมาและเสพติดได้ และสารแทนนินเป็นสารก่อมะเร็ง หมากมีประโยชน์หลายด้าน แต่ส่วนใหญ่ใช้เพียงแค่ส่วนของเนื้อหมากเท่านั้น เช่น สามารถนำเนื้อหมากมาสกัดเอาเอทานอล ใช้เนื้อหมากเป็นยาถ่ายพยาธิในสัตว์ได้ อีกทั้งหมากถูกปลูกเป็นต้นไม้ตกแต่งเพื่อเสริมภูมิทัศน์ได้ด้วย โดยนิยมปลูกภายในบริเวณที่ไม่โดนแดด ซึ่งหมากจะเติบโตช้าหรือไม่ติดผลเมื่อปลูกในพื้นที่ร่ม ส่วนของเปลือกหมากที่ถูกทิ้งเป็นขยะชีวภาพทางการเกษตร มีส่วนประกอบที่สามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบเพื่อเพิ่มมูลค่าและทำให้เกิดประโยชน์มากยิ่งขึ้น ตัวผลหมากเต็มวัยสามารถสร้างเส้นใยที่เปลือกได้ประมาณ 2.5 ถึง 2.75 กรัม องค์ประกอบเป็นร้อยละโดยน้ำหนักแสดงได้ดังตารางที่ 2.1 [13]

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบของเปลือกหมาก

องค์ประกอบ	ร้อยละ (%)
เซลลูโลส	53.20
เฮมิเซลลูโลส	32.98
ลิกนิน	7.20
สารพวกไขมัน	0.64
เถ้า	1.05
อื่นๆ	3.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.4 การแปลงชีวมวลด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล

กระบวนการไฮโดรเทอร์มอลเป็นการแปลงชีวมวลหรือของเสียอินทรีย์ด้วยความร้อนและความดันสูง โดยใช้น้ำที่อยู่ในสภาวะกึ่งวิกฤตหรือวิกฤตเป็นสื่อกลางในการแปลง เพื่อสร้างผลิตภัณฑ์ โดยของแข็งที่ได้จะเป็นตัวพาพลังงานที่มีความหนาแน่นของพลังงานเพิ่มขึ้น ซึ่งแนวคิดของกระบวนการคล้ายกับวิธีที่โลกผลิตเชื้อเพลิงฟอสซิล จัดว่าเป็นกระบวนการที่สะอาดและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมจึงมีการศึกษาการประยุกต์ใช้กระบวนการนี้จำนวนมาก กระบวนการไฮโดรเทอร์มอลสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 กระบวนการย่อย ได้แก่ กระบวนการคาร์บอนไนเซชัน (carbonization) ลิควิดแฟคชัน (liquefaction) ก๊าซซิฟิเคชัน (gasification) และเอควียสเฟสรีฟอร์มมิง (aqueous phase reforming) ในกระบวนการเหล่านี้จำเป็นต้องใช้น้ำที่มีบทบาทเป็นสารตั้งต้น ตัวทำละลาย และตัวเร่งปฏิกิริยา [2]

2.4.1 อิทธิพลของอุณหภูมิ

อุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญในกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล เนื่องจากเป็นตัวกำหนดคุณสมบัติของน้ำที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาไอออนิกในบริเวณกึ่งวิกฤต การเพิ่มอุณหภูมิจะเปลี่ยนค่าความหนืดของน้ำ ทำให้น้ำมีความสามารถแทรกซึมเข้าไปในตัวกลางที่มีรูพรุนได้ง่ายยิ่งขึ้น จึงส่งผลต่อความสามารถในการสลายพันธะต่าง ๆ ในชีวมวลได้ง่ายยิ่งขึ้น แม้ว่าการใช้อุณหภูมิที่สูงจะทำให้ปริมาณของแข็งลดลง แต่การศึกษาจำนวนมากพบว่าไฮโดรคาร์บอเนชันจะมีความหนาแน่นของพลังงานสูงขึ้น ซึ่งเหมาะสำหรับการใช้เป็นแหล่งเชื้อเพลิงแข็งที่ดี [3] ซึ่งในแง่ของปฏิกิริยานั้นอุณหภูมิมีอิทธิพลอย่างมากต่อสารประกอบของชีวมวลที่สามารถไฮโดรไลซ์ได้ เฮมิเซลลูโลสจะถูกไฮโดรไลซ์เกือบทั้งหมดที่อุณหภูมิประมาณ 180 องศาเซลเซียส ลิกนินกับเซลลูโลสจะถูกไฮโดรไลซ์บางส่วน ที่อุณหภูมิประมาณ 200 และ 220 องศาเซลเซียส ตามลำดับ [14]

2.4.2 อิทธิพลของเวลา

เวลาเป็นอีกปัจจัยที่ส่งผลกับการก่อตัวของไฮโดรคาร์บ ซึ่งมีความจำเป็นต่อโมโนเมอร์ขนาดเล็กที่ต้องใช้เวลาในการทำโพลีเมอไรเซชัน แต่ก็ยังเกี่ยวเนื่องกับปฏิกิริยาการสลายตัวของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ซึ่งการใช้เวลานานขึ้นไม่ได้มีอิทธิพลต่อผลิตภัณฑ์ของแข็งอย่างชัดเจน แต่ส่งผลในส่วนของการเพิ่มการคายน้ำของเซลลูโลสและการก่อตัวของกรดอินทรีย์ [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

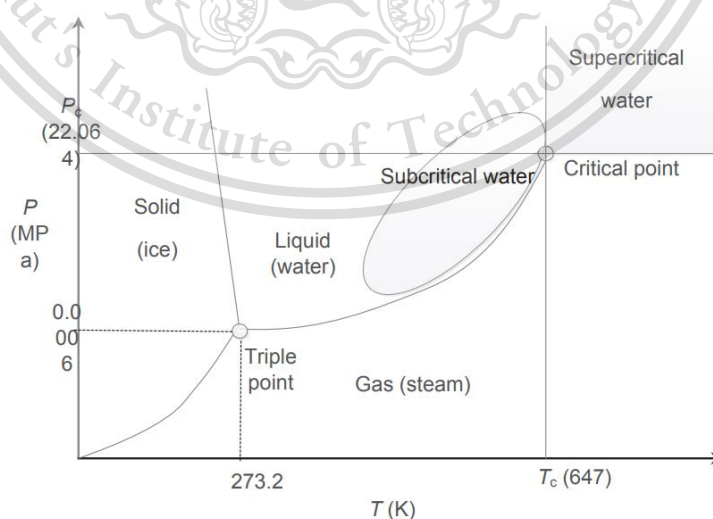
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.4.3 อิทธิพลสถานะของน้ำ

สถานะของน้ำที่ใช้ในกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลถูกกำหนดด้วยอุณหภูมิและความดัน โดยธรรมชาติแล้วเมื่อเพิ่มอุณหภูมิของกระบวนการจะเพิ่มค่าพลังงานความร้อนทำให้ปฏิกิริยาเกิดขึ้นในอัตราที่เพิ่มขึ้น และเมื่อใช้ความดันที่เพิ่มขึ้นปฏิกิริยามีการสลายตัวของสารชีวมวลทำให้แนวโน้มเกิดผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวและของแข็งมากยิ่งขึ้น ซึ่งสถานะน้ำในช่วงที่เป็นน้ำกึ่งวิกฤต (subcritical region) อยู่ต่ำกว่าอุณหภูมิวิกฤต (critical temperature) และความดันที่ความดันวิกฤต (critical pressure) เพียงเล็กน้อย แสดงดังรูปที่ 2.5 ส่งผลให้พันธะไฮโดรเจนอ่อนลง และมีค่าคงที่ไอออนไนเซชันสูงขึ้น ช่วยเพิ่มการแตกตัวของน้ำให้เป็นไฮโดรเนียมไอออน (H_3O^+) และไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) น้ำจึงมีบทบาทเป็นสารตั้งต้น ตัวทำละลาย และตัวเร่งปฏิกิริยา [15]

การเติมกรดหรือด่างสามารถใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในระหว่างกระบวนการ ซึ่งเมื่อความเข้มข้นของไอออนโปรตอนหรือไฮดรอกไซด์เพิ่มขึ้น ส่งผลให้มีความเข้มข้นของไอออนิกสูงขึ้น ช่วยเร่งอัตราการเกิดปฏิกิริยา แต่เมื่อนำมาใช้กระบวนการจะมีความซับซ้อนในการควบคุมและล้างผลิตภัณฑ์มากยิ่งขึ้น ในระหว่างการทำปฏิกิริยาของกระบวนการ ส่งผลให้ค่า pH ลดลงเนื่องจากการสร้างกรดอินทรีย์ในระหว่างกระบวนการ ซึ่งกรดอินทรีย์ทำหน้าที่เป็นตัวกลางสำหรับเร่งการสลายตัวของสารชีวโมเลกุล และการก่อตัวของไฮโดรคาร์บอน ดังนั้น ความแปรผันของค่า pH ในระหว่างกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลมีอิทธิพลต่อไฮโดรคาร์บอน [16]



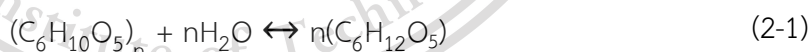
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 รูปที่ 2.5 สถานะของน้ำที่ใช้ในกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล [2]

2.5 กระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนเซชัน

กระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนเซชันเป็นกระบวนการทางความร้อนเคมีสำหรับการปรับปรุงชีวมวลที่มีความชื้นสูงภายใต้ความดันน้ำวิกฤต มีวิธีการทำในเครื่องปฏิกรณ์แบบปิด ที่ช่วงอุณหภูมิประมาณ 180 ถึง 280 องศาเซลเซียส ภายใต้ความดันสูงประมาณ 2 ถึง 10 บาร์ ใช้เวลาประมาณ 30 ถึง 240 นาที ผลิตภัณฑ์หลักของกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนเซชัน คือ ผลิตภัณฑ์ของแข็งคล้ายถ่านหินที่เรียกว่า ไฮโดรชาร์ ผลิตภัณฑ์ของเหลวประกอบไปด้วยสารอินทรีย์ขนาดเล็ก และก๊าซส่วนใหญ่เป็นคาร์บอนไดออกไซด์ คาร์บอนมอนอกไซด์ มีเทน และไฮโดรเจน ข้อดีของกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนเซชัน คือ สามารถทำให้ชีวมวลเปียกเปลี่ยนเป็นของแข็งที่มีปริมาณคาร์บอนปริมาณสูงได้ ไฮโดรชาร์ที่ได้มีความหนาแน่นของพลังงาน อัตราส่วนพลังงานต่อน้ำหนักมากกว่าของวัสดุตั้งต้น ในระหว่างการทำปฏิกิริยาของกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนเซชัน อาจสามารถช่วยลดโมเลกุลอินทรีย์ขนาดเล็กที่เป็นพิษได้อีกด้วย [10] ซึ่งมีปฏิกิริยาอย่างง่าย ๆ เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการ ได้แก่ ไฮโดรไลซิส ดีไฮเดรชัน ดีคาร์บอกซิเรชัน และไพริเมอไรเซชัน [3]

2.5.1 ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส

ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (hydrolysis) เป็นการทำลายพันธะของชีวมวลขนาดใหญ่ด้วยน้ำ ปฏิกิริยาใช้เวลาเพียงไม่กี่นาที โดยส่วนมากนั้นเกิดจากการแตกพันธะเอสเทอร์และอีเทอร์ ผลที่ได้เป็นโอลิโกแซ็กคาไรด์ (oligosaccharide) จากเซลลูโลส และฟีนอล (phenol) จากลิกนิน เซลลูโลสสามารถถูกไฮโดรไลซ์ภายใต้สภาวะไฮโดรเทอร์มอล โดยใช้อุณหภูมิที่สูงประมาณ 200 องศาเซลเซียส [17] แสดงการไฮโดรไลซ์ของเซลลูโลสได้ดังสมการที่ (2-1)



เฮมิเซลลูโลสสามารถไฮโดรไลซ์ได้ที่อุณหภูมิประมาณ 180 องศาเซลเซียส [14] ซึ่งลักษณะการเกาะของเฮมิเซลลูโลสกับบางส่วนของลิกนิน เมื่อถูกไฮโดรไลซ์ทำให้ง่ายต่อการทำลายโครงสร้างอะโรมาติก หลังจากนั้นลิกนินและเฮมิเซลลูโลสจะก่อตัวเป็นโอลิโกแซ็กคาไรด์ ซึ่งมักจะคงตัวภายใต้สภาวะของไฮโดรเทอร์มอล การไฮโดรไลซ์ของลิกนินส่วนใหญ่เป็นการทำลายพันธะอีเทอร์ ซึ่งทำได้ดีที่อุณหภูมิประมาณ 300 องศาเซลเซียส [18]

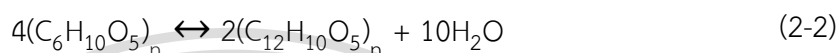
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.5.2 ปฏิกริยาดีไฮเดรชัน

ปฏิกริยาดีไฮเดรชัน (dehydration) โดยทั่วไปปฏิกริยาการคายน้ำจะอธิบายได้โดยการกำจัดหมู่ไฮดรอกซิล เป็นปฏิกริยาหลักที่เกิดในกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนไนเซชัน ปฏิกริยาการคายน้ำทำให้ชีวมวลกลายเป็นโครงสร้างคาร์บอนแข็งอย่างมีนัยสำคัญ โดยการลดปริมาณไฮโดรเจนและออกซิเจน คล้ายกระบวนการสร้างลิกไนต์ [19] ซึ่งเซลลูโลสสามารถสลายตัวกลายเป็นกรดอะซิติกกับน้ำ ได้ดังสมการที่ (2-2)



โดยผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวส่วนใหญ่จากปฏิกริยาดีไฮเดรชัน ได้แก่ กรดเมทอกซีคูมาริน (7-methoxycoumarin-4-acetic acid) เป็นกรดอะซิติกที่สำคัญจากการดีไฮเดรชันชีวมวล และไฮดรอกซีเมทิลเฟอร์ฟูรัล (5-hydroxymethylfurfural: HMF) เมื่อเกิดการดีไฮเดรชันจำนวนมาก ส่งผลให้แนวโน้มของน้ำหลังกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนไนเซชันมีค่าความเป็นกรดมากยิ่งขึ้น [20]

2.5.3 ปฏิกริยาดีคาร์บอกซิเรชัน

ปฏิกริยาดีคาร์บอกซิเรชัน (decarboxylation) จะเป็นปฏิกริยาหลักของการเกิดผลิตภัณฑ์ที่เป็นก๊าซของกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนไนเซชัน กลุ่มคาร์บอกซิลและคาร์บอนิลสามารถถูกย่อยสลายอย่างรวดเร็วเมื่อใช้อุณหภูมิประมาณ 150 องศาเซลเซียส ผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่ได้แก่ คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) และคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ตามลำดับ [21] ซึ่งเป็นไปได้จากการย่อยสลายเซลลูโลส และการควบแน่นของไอออน การศึกษาเทียบอัตราการเกิดปฏิกริยาระหว่างปฏิกริยาไฮโดรไลซิสกับปฏิกริยาดีคาร์บอกซิเรชัน พบว่าแนวโน้มอิทธิพลของปฏิกริยาไฮโดรไลซิสมีมากกว่า จึงสามารถคาดเดาการเกิดผลิตภัณฑ์ของเหลวจะมีปริมาณมากกว่าก๊าซตามไปด้วย [3]

2.5.4 ปฏิกริยาโพรโมโรเซชัน

ปฏิกริยาโพรโมโรเซชัน (polymerization) เป็นปฏิกริยาที่ทำให้กลุ่มคาร์บอนขนาดเล็กรวมตัวเป็นไฮโดรคาร์บอน โดยส่วนมากแล้วสารประกอบไม่อิ่มตัวทำให้ปฏิกริยาโพรโมโรเซชันเกิดขึ้นได้ง่ายจากการกำจัดหมู่คาร์บอกซิลและหมู่ไฮดรอกซิล และมีผลข้างเคียงในการสร้างผลิตภัณฑ์ที่เป็นก๊าซมากยิ่งขึ้น [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

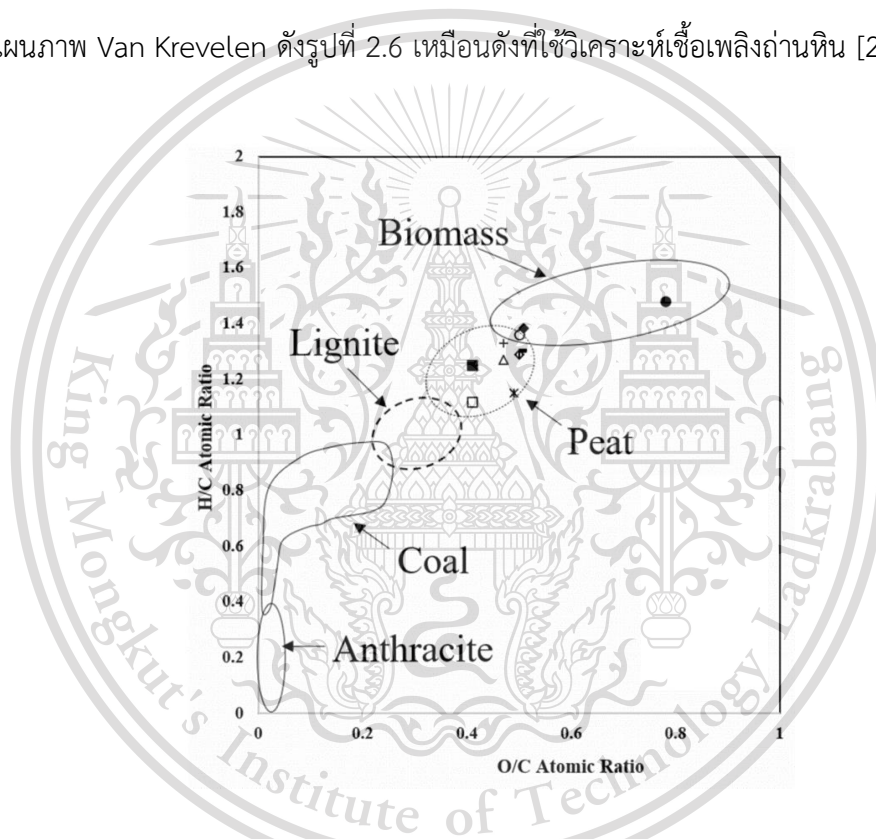
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.6 คุณสมบัติของไฮโดรคาร์

2.6.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบของไฮโดรคาร์

การวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนไนเซชัน ซึ่งกล่าวถึงการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ของแข็งโดยมีอิทธิพลของอุณหภูมิและเวลาในการทำปฏิกิริยา ส่งผลให้เกิดการลดลงของสารระเหยและเถ้า เมื่อวิเคราะห์ธาตุที่เป็นองค์ประกอบของไฮโดรคาร์ จะสามารถแสดงออกในอัตราส่วนคาร์บอน (H/C) และออกซิเจนต่อคาร์บอน (O/C) ซึ่งเป็นผลจากแนวโน้มการเปลี่ยนไฮโดรเจนและออกซิเจนเป็นน้ำ หากการนำมาเปรียบเทียบความเหมาะสมในการใช้เป็นเชื้อเพลิงได้อย่างง่าย จึงมีการใช้แผนภาพ Van Krevelen ดังรูปที่ 2.6 เหมือนดังที่ใช้วิเคราะห์เชื้อเพลิงถ่านหิน [22]



รูปที่ 2.6 แผนภาพ Van Krevelen [22]

2.6.1.1 ธาตุที่เป็นองค์ประกอบของไฮโดรคาร์

ธาตุที่เป็นองค์ประกอบของไฮโดรคาร์ สามารถตรวจสอบโดยใช้เครื่องวิเคราะห์ธาตุที่เป็นองค์ประกอบของสารอินทรีย์ (CHN elemental analyzer) หรือสามารถใช้มาตรฐาน ASTM E-775 ถึง ASTM E-778 ในการวิเคราะห์ธาตุที่เป็นองค์ประกอบของไฮโดรคาร์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.6.1.2 ปริมาณสารระเหย

ปริมาณสารระเหย (volatile matter: VM) เป็นปริมาณสารที่ปล่อยออกมาเมื่อชีวมวลได้รับความร้อน ปริมาณขึ้นอยู่กับอัตราการให้ความร้อนและอุณหภูมิของกระบวนการ สามารถใช้มาตรฐาน ASTM E-872 ในการวิเคราะห์ปริมาณสารระเหยสำหรับชีวมวลได้

2.6.1.3 ปริมาณเถ้า

ปริมาณเถ้า (ash) เป็นของแข็งอนินทรีย์ที่เหลือจากการเผาไหม้ สามารถใช้มาตรฐาน ASTM D-1102 ในการวิเคราะห์ปริมาณเถ้าสำหรับชีวมวลได้

2.6.1.4 ปริมาณคาร์บอนคงที่

ปริมาณคาร์บอนคงที่ (fixed carbon: FC) เป็นส่วนที่เสถียรของโครงสร้างหลังจากการให้ความร้อนแก่ชีวมวล สามารถคำนวณโดยใช้สมการที่ (2-3) [11]

$$FC (\%) = 100 - VM - ash \quad (2-3)$$

2.6.2 คุณสมบัติของไฮโดรคาร์บอนที่มีผลต่อค่าความร้อนสูง

สามารถวิเคราะห์หาค่าความร้อนสูง (higher heating values: HHV) มีขึ้นเพื่อออกแบบการคำนวณหรือการจำลองเชิงตัวเลขของระบบการแปลงความร้อนสำหรับเชื้อเพลิงโดยสมการของ Dulong ใช้สมการในการคำนวณค่าความร้อนสูงของลิทอนเซลลูโลสได้ตั้งสมการที่ (2-4) หน่วยที่ได้อยู่ในรูป เมกะจูลต่อกิโลกรัม (MJ/kg) โดยใช้สำหรับคำนวณถ่านหินและชีวมวลเส้นใย ผลของความร้อนแฝงในการกลายเป็นไอของน้ำไม่สามารถนำคิดผ่านสมการนี้ได้ ซึ่งต่างจากการใช้เครื่องมือวิเคราะห์ที่จะรวมความร้อนนี้เข้าไป การคำนวณออกมาได้ไม่แม่นยำเมื่อนำไปใช้กับวัสดุจำพวกพลาสติก ยาง และน้ำมัน [23]

$$HHV = (0.3516 \times C) + (1.16225 \times H) - (0.1109 \times O) + (0.628 \times N) \quad (2-4)$$

เมื่อ C, H, O และ N แทนร้อยละโดยมวลของคาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน และไนโตรเจน ตามลำดับ

นอกจากนี้สามารถวิเคราะห์หาค่าความร้อนสูงได้ด้วยเครื่อง bomb calorimeter เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดเพื่อหาค่าพลังงานความร้อนของตัวอย่างต่าง ๆ จะใส่ตัวอย่างลงไปในกลุ่มบอมบ์ จากนั้นนำไปใส่ในเครื่อง โดยรอบ ๆ กลุ่มบอมบ์จะมีน้ำที่ควบคุมอุณหภูมิ เครื่องก็จะทำงานโดยการจุดติดไฟเพื่อเผาไหม้ตัวอย่างจนสมบูรณ์และให้ความร้อนออกมา ความร้อนจะแพร่กระจายไปยังน้ำที่อยู่รอบ ๆ เครื่องจะตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของน้ำ และคำนวณออกมาเป็นค่าพลังงานความร้อนออกมาให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สามารถหาอัตราส่วนความหนาแน่นของค่าความร้อน (energy densification ratio: EDR) และ ร้อยละพลังงานที่ได้ (energy yield) จากสมการที่ (2-5) และ (2-6) ตามลำดับ

$$\text{อัตราส่วนความหนาแน่นของความร้อน} = \frac{\text{ค่าความร้อนสูงของผลิตภัณฑ์}}{\text{ค่าความร้อนสูงของสารตั้งต้น}} \quad (2-5)$$

$$\text{ร้อยละพลังงานที่ได้ (\%)} = \text{อัตราส่วนความหนาแน่นของความร้อน} \times \text{ร้อยละของมวลที่ได้} \quad (2-6)$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 3

วิธีการทดลอง

3.1 การเตรียมเปลือกหอย

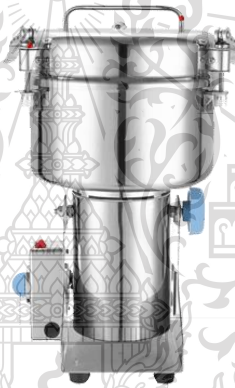
3.1.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

3.1.1.1 เครื่องบดพืช

3.1.1.2 เครื่องเขย่าตะแกรงร่อน

3.1.1.3 ตู้อบ

3.1.1.4 ถังสุญญากาศ



รูปที่ 3.1 เครื่องบดพืช



รูปที่ 3.2 เครื่องเขย่าตะแกรงร่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.1.2 ขั้นตอนการเตรียมเปลือกหามา

นำหามาหาคั่วจนเอาเนื้อหามาออกเหลือไว้เพียงเปลือกที่เป็นเส้นใย หั่นให้มีขนาดประมาณ กว้าง 2 เซนติเมตร และยาว 2 เซนติเมตร นำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำมาลดขนาดอีกครั้งโดยใช้เครื่องบดพีช จากนั้นใช้ตะแกรงร่อนเพื่อคัดขนาดให้เล็กกว่า 250 ไมโครเมตร และนำไปเก็บไว้ในถุงสุญญากาศ

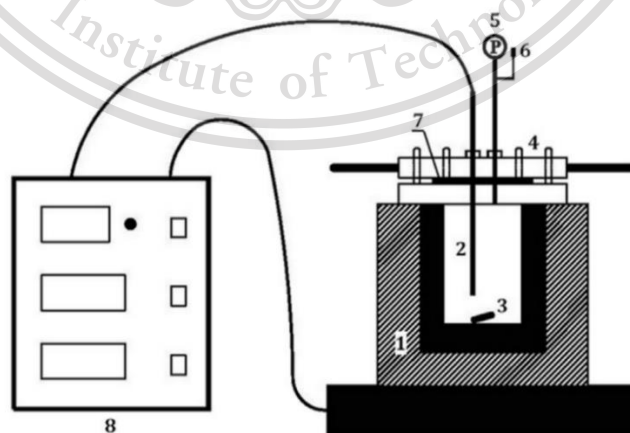


รูปที่ 3.3 เปลือกหามาหาคั่ว

3.2 การทำกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนในเซชัน

3.2.1 ส่วนประกอบของเครื่อง high pressure autoclave

จากเครื่อง high pressure autoclave สามารถแสดงส่วนประกอบของเครื่องได้ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 แบบร่างของเครื่อง high pressure autoclave

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุที่เปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

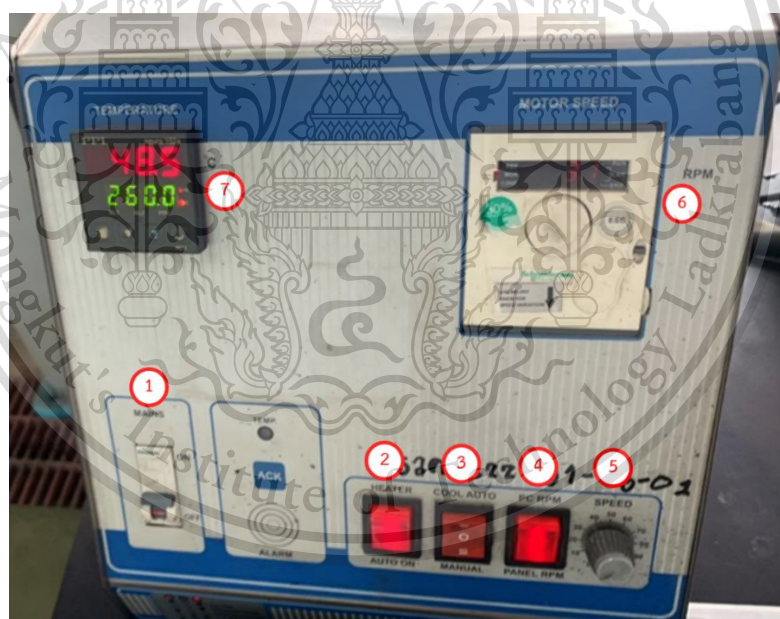
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

- 3.2.1.1 แจ็คเก็ตทำความร้อน
- 3.2.1.2 ตัววัดอุณหภูมิ
- 3.2.1.3 แม่เหล็กกวาน
- 3.2.1.4 ตัวเครื่อง
- 3.2.1.5 ตัววัดความดัน
- 3.2.1.6 วาล์วที่ใช้ในการควบคุมความดัน
- 3.2.1.7 ปะเก็นกราไฟท์
- 3.2.1.8 ตัวควบคุมแบบพีไอดี

3.2.2 ส่วนประกอบของตัวควบคุมแบบพีไอดี

เครื่อง high pressure autoclave สามารถควบคุมการใช้งานโดยตัวควบคุมแบบพีไอดี สามารถแสดงส่วนประกอบของตัวควบคุมได้ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 ตัวควบคุมแบบพีไอดี

3.2.2.1 ตัวเปิด-ปิดเครื่อง

3.2.2.2 ปุ่มให้ความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

- 3.2.2.3 ปุ่มควบคุมการลดอุณหภูมิของเครื่องอัตโนมัติ
- 3.2.2.4 ปุ่มลดอุณหภูมิของเครื่องแบบควบคุมด้วยตัวเอง
- 3.2.2.5 ตัวปรับความเร็วรอบในการกวน
- 3.2.2.6 หน้าจอแสดงความเร็วรอบ
- 3.2.2.7 หน้าจอแสดงอุณหภูมิของเครื่อง

3.2.3 เครื่องมือ และอุปกรณ์

- 3.2.3.1 ปีกเกอร์ขนาด 150 มิลลิลิตร
- 3.2.3.2 กระบอกตวงขนาด 250 มิลลิลิตร
- 3.2.3.3 แท่งแก้ว
- 3.2.3.4 กระบอกฉีดน้ำ
- 3.2.3.5 ฟองน้ำทำความสะอาด
- 3.2.3.6 นาฬิกาจับเวลา
- 3.2.3.7 เครื่องชั่งน้ำหนัก
- 3.2.3.8 กระจดาชกรอง
- 3.2.3.9 บิมสุญญากาศ
- 3.2.3.10 ชุดเครื่องแก้วกรองสุญญากาศ
- 3.2.3.11 เครื่อง high pressure autoclave



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงชื่อของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.2.4 ขั้นตอนการทดลองของเครื่อง high pressure autoclave

3.2.4.1 การทำกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนไอเซนของเปลือกหมาก โดยใช้เปลือกหมากแห้งที่มีขนาดเล็กกว่า 250 ไมโครเมตร จำนวน 18 กรัม รวมกับน้ำปราศจากไอออน 126 มิลลิลิตร ลงในเครื่อง high pressure autoclave จากนั้นปิดเครื่องให้สนิท เช็กระบบให้อยู่ในสภาวะพร้อมใช้

3.2.4.2 ส่วนผสมที่เป็นของแข็งและของเหลวถูกทำปฏิกิริยาในสภาวะของก๊าซไนโตรเจนที่ต่อจากถังเข้าเครื่อง กำหนดความดันสำหรับทำปฏิกิริยาไว้คงที่ที่ 10 บาร์ เมื่อความดันถึงแล้วปิดวาล์วก๊าซให้เรียบร้อย

3.2.4.3 ปรับการควบคุมความเร็วรอบและการให้ความร้อนที่ตัวควบคุมแบบพีไอดี โดยใช้ความเร็วรอบในการกวน 93 รอบต่อนาที จากนั้นกดเปิดตัวให้ความร้อน พร้อมทั้งเปิดปุ่มควบคุมการลดอุณหภูมิของเครื่องอัตโนมัติไปด้วย เพื่อให้ระบบไม่มีการแกว่งของอุณหภูมิมากเกินไป โดยเครื่องจะใช้เพียงน้ำที่อุณหภูมิห้องในการลดอุณหภูมิ

3.2.4.4 เมื่อให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิที่ต้องการ ได้แก่ 160 200 และ 240 องศาเซลเซียส จึงเริ่มจับเวลาในการทำปฏิกิริยาตามที่ต้องการจะศึกษา ได้แก่ 60 และ 120 นาที สังเกตพฤติกรรมของอุณหภูมิที่หน้าจอแสดงอุณหภูมิของเครื่อง จดบันทึกเพื่อนำไปวิเคราะห์

3.2.4.5 เมื่อครบกำหนดเวลาที่ต้องการจะศึกษา จึงหยุดการทำปฏิกิริยาโดยการปิดตัวให้ความร้อนและปิดปุ่มควบคุมการลดอุณหภูมิของเครื่องอัตโนมัติด้วย จากนั้นจึงเปิดปุ่มลดอุณหภูมิของเครื่องแบบควบคุมด้วยตัวเอง ซึ่งจะเป็นการลดอุณหภูมิของเครื่องโดยใช้น้ำเย็น รอจนกระทั่งสามารถสัมผัสเครื่องได้จึงปิดตัวควบคุมด้วยตัวเอง

3.2.4.6 ทำการเปิดวาล์วด้านทางออกของผลิตภัณฑ์ที่เป็นก๊าซออก เปิดเครื่องออกเก็บผลิตภัณฑ์ของแข็งและของเหลวที่ได้เพิ่มไปกรอง จากนั้นทำความสะอาดและเก็บเครื่องเข้าที่ให้เรียบร้อย

3.2.5 ขั้นตอนการกรองแยกผลิตภัณฑ์

3.2.5.1 การแยกผลิตภัณฑ์ที่เป็นของแข็งกับของเหลว ใช้การกรองแบบลดความดันโดยต่อระบบปั๊มสุญญากาศ ของแข็งที่ได้เป็นไฮโดรซาร์แบบเปียก นำไปชั่งน้ำหนักและบันทึกผล

3.2.5.2 ไฮโดรซาร์เปียกจะถูกอบในเตาที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นชั่งน้ำหนักไฮโดรซาร์แห้งและบันทึกผล ชั่งน้ำหนักผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้และบันทึกผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.6 การคำนวณหาร้อยละของแข็ง ของเหลว ก๊าซ และมวลของไฮโดรคาร์

สามารถคำนวณหาร้อยละของแข็ง (solid yield) ของเหลว (liquid yield) ก๊าซ (gas yield) และมวลของไฮโดรคาร์ (mass yield) เป็นไปตามสมการที่ (3-1) (3-2) (3-3) และ (3-4) ตามลำดับ

$$\text{ร้อยละของแข็งที่ได้ (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักของแข็งเปียกหลังการทดลอง}}{\text{น้ำหนักรวมของสารตั้งต้นก่อนการทดลอง}} \times 100 \quad (3-1)$$

$$\text{ร้อยละของเหลวที่ได้ (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักของเหลวหลังการทดลอง}}{\text{น้ำหนักรวมของสารตั้งต้นก่อนการทดลอง}} \times 100 \quad (3-2)$$

$$\text{ร้อยละก๊าซที่ได้ (\%)} = 100 - (\text{ร้อยละของแข็งที่ได้} + \text{ร้อยละของเหลวที่ได้}) \quad (3-3)$$

$$\text{ร้อยละของมวลที่ได้ (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักของแข็งหลังการกรองและอบแห้ง}}{\text{น้ำหนักของสารตั้งต้นแห้ง}} \times 100 \quad (3-4)$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 4

ผลการทดลอง

การทำไฮโดรซาร์จากเปลือกหมากโดยใช้กระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนไนเซชัน ทำการทดลองโดยใช้เครื่อง high pressure autoclave บรรจุเปลือกหมากแห้งที่มีขนาดอนุภาคเล็กกว่า 250 ไมโครเมตร จำนวน 18 กรัม รวมเข้ากับน้ำปราศจากไอออนปริมาตร 126 มิลลิลิตร ซึ่งคิดเป็นอัตราส่วนโดยมวลต่อปริมาตรของเปลือกหมากและน้ำเป็น 1 ต่อ 7 โดยในกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนไนเซชันประกอบด้วยตัวแปรที่ต้องการศึกษา ได้แก่ อุณหภูมิที่ 160 200 และ 240 องศาเซลเซียส และเวลา 60 และ 120 นาที โดยผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลองแบ่งออกเป็น 4 ส่วน ได้แก่ ปริมาณร้อยละของผลิตภัณฑ์ที่ได้ อิทธิพลของอุณหภูมิที่ส่งผลต่อไฮโดรซาร์ อิทธิพลของเวลาที่ส่งผลต่อไฮโดรซาร์ และลักษณะทางกายภาพและคุณสมบัติของไฮโดรซาร์

4.1 ร้อยละของผลิตภัณฑ์ที่ได้

การทำไฮโดรซาร์จากเปลือกหมากโดยใช้กระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนไนเซชัน ประกอบด้วยการทดลองจำนวน 6 ตัวอย่าง ซึ่งใช้อุณหภูมิและเวลาในการทดลองที่แตกต่างกัน แสดงผลร้อยละโดยมวลของไฮโดรซาร์ที่ได้ ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองร้อยละโดยมวลของไฮโดรซาร์ที่ได้จากการใช้อุณหภูมิและเวลาที่ต่างกัน

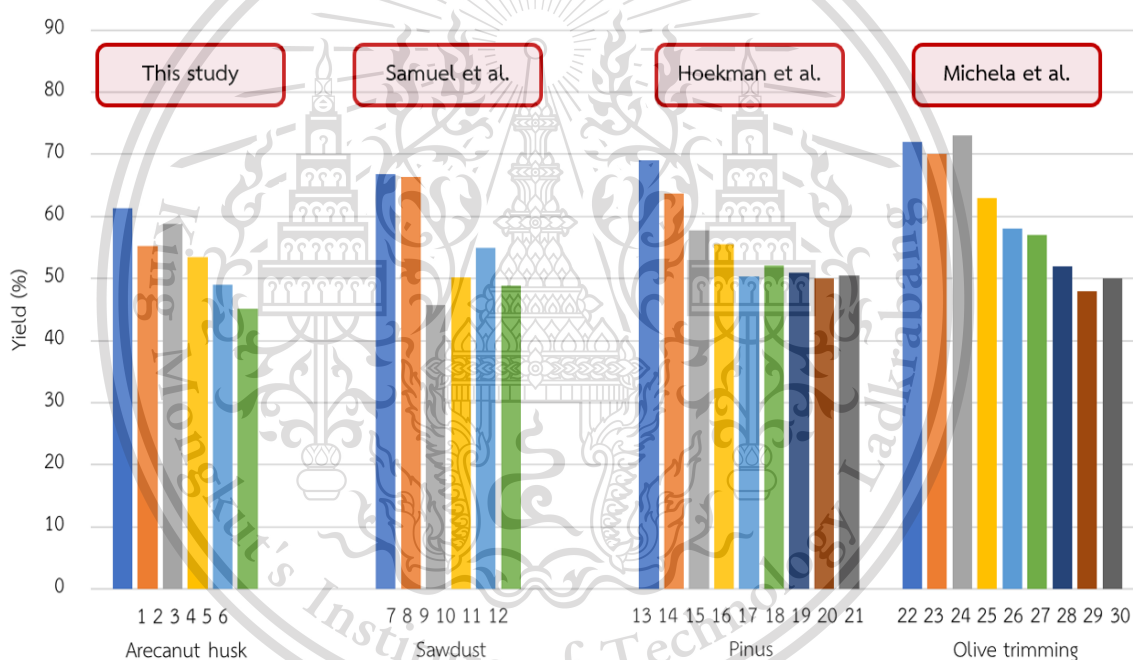
ตัวอย่าง	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)	ร้อยละโดยมวลของไฮโดรซาร์
1	160	60	61.32
2		120	55.26
3	200	60	58.84
4		120	53.43
5	240	60	49.03
6		120	45.07

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จากตารางที่ 4.1 แสดงปริมาณร้อยละโดยมวลของไฮโดรซาร์ เมื่อเปรียบเทียบปริมาณร้อยละโดยมวลของไฮโดรซาร์ที่ได้กับเปลือกหมากก่อนทำการทดลอง ผลการทดลองที่ส่งผลให้มีปริมาณร้อยละโดยมวลของไฮโดรซาร์ที่ได้มากที่สุด คือ ตัวอย่างที่ใช้อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส เวลา 60 นาที คิดเป็นร้อยละ 61.32 ตัวอย่างที่ใช้อุณหภูมิ 240 องศาเซลเซียส เวลา 120 นาที มีร้อยละโดยมวลของไฮโดรซาร์น้อยที่สุดเท่ากับ 45.07 จากผลการทดลองทั้ง 6 การทดลองสามารถเฉลี่ยร้อยละโดยมวลของไฮโดรซาร์ที่ได้เท่ากับ 53.83 เมื่อนำผลที่ได้ทั้ง 6 ตัวอย่างไปเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่น ๆ โดยมีการใช้อุณหภูมิ และเวลาในการทดลองใกล้เคียงกัน แต่ชีวมวลที่ใช้แตกต่างกัน แสดงผลได้ดังรูปที่ 4.1 โดยเรียงลำดับจากตัวอย่างที่ 1 ถึง 6



รูปที่ 4.1 การเปรียบเทียบปริมาณร้อยละโดยมวลของไฮโดรซาร์จากเปลือกหมากที่ได้กับงานวิจัยอื่น ๆ

จากการเปรียบเทียบร้อยละโดยมวลของไฮโดรซาร์จากเปลือกหมากที่ได้กับงานวิจัยอื่น ๆ ดังรูปที่ 4.1 ซึ่งงานวิจัยของ Samuel และคณะ [24] แสดงผลดังตัวอย่างที่ 7 ถึง 12 โดยใช้ชีเลื่อยไม้ในช่วงอุณหภูมิ 220 ถึง 270 องศาเซลเซียส เวลา 30 ถึง 60 นาที ส่วนงานวิจัยของ Hoekman และคณะ [25]

แสดงผลดังตัวอย่างที่ 13 ถึง 21 โดยใช้ไม้สนขาว ช่วงอุณหภูมิ 140 ถึง 280 องศาเซลเซียส เวลา 5 ถึง 60 นาที และงานวิจัยของ Michela และคณะ [26] แสดงผลดังตัวอย่างที่ 22 ถึง 30 โดยใช้ไม้มะกอก

ช่วงอุณหภูมิ 180 ถึง 250 องศาเซลเซียส เวลา 60 ถึง 360 นาที จะเห็นว่าช่วงมวลของไฮโดรคาร์ที่ได้จะอยู่ประมาณร้อยละ 40 ถึง 70 ซึ่งเกิดจากการสลายตัวไปเป็นสารอินทรีย์ขนาดเล็กที่อยู่ในรูปของเหลวและก๊าซ รวมถึงการใช้ชีวมวลที่ต่างกันจะทำให้ผลลัพธ์ที่ต่างกันออกไปด้วย

งานวิจัยของ Ying และคณะ [27] ได้ศึกษาผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลของเซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส โดยใช้อุณหภูมิ 200 ถึง 400 องศาเซลเซียส เวลา 5 ถึง 240 นาที ผลการทดลองพบว่าการสลายตัวของเซลลูโลสมีค่ามากที่สุดในช่วงอุณหภูมิ 200 ถึง 250 องศาเซลเซียส เฮมิเซลลูโลสในช่วงอุณหภูมิ 180 ถึง 200 องศาเซลเซียส เมื่อใช้เวลามากขึ้นการสลายตัวก็มีค่าสูงขึ้น และจากงานวิจัยของ Emmanuel และคณะ [28] ศึกษาผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลของลิกนิน โดยใช้อุณหภูมิ 200 ถึง 350 องศาเซลเซียส เวลา 60 นาที ผลการทดลองพบว่าการสลายตัวของลิกนินจะมีการสลายตัวน้อยที่อุณหภูมิต่ำ และจะเห็นได้ชัดเมื่อใช้อุณหภูมิสูงกว่า 350 องศาเซลเซียส จากช่วงอุณหภูมิที่ใช้ทดลอง 160 ถึง 240 องศาเซลเซียส ปริมาณร้อยละโดยมวลของไฮโดรคาร์มีแนวโน้มลดลง โดยส่วนใหญ่อาจเกิดจากการสลายตัวของเซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส และการสลายตัวของลิกนินบางส่วน

งานวิจัยของ Pauline และคณะ [29] ศึกษาผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลของลิกโนเซลลูโลสหลายชนิด โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้เป็นสารอินทรีย์ในของเหลวหลัก 4 กลุ่มดังนี้ กลุ่มเพนโทส กลุ่มเฮกโซส กลุ่มกรด และกลุ่มฟูแรน และผลิตภัณฑ์ก๊าซส่วนใหญ่ประกอบด้วย คาร์บอนไดออกไซด์ คาร์บอนมอนอกไซด์ มีเทน และไฮโดรเจน จากผลการทดลองจะเห็นว่า กลุ่มกรด ได้แก่ กรดอะซิติก กรดฟอร์มิก กรดลิวลินิก และกลุ่มฟูแรน ได้แก่ เฟอร์ฟูรัล และ ไฮดรอกซีเมทิลเฟอร์ฟูรัล จะมีปริมาณมากที่สุด ส่งผลต่อค่า pH ที่ได้หลังกระบวนการจะลดลง และยังบอกได้ว่ากรดอินทรีย์เหล่านี้ช่วยเร่งการสลายตัวของชีวโมเลกุล จึงทำให้ปริมาณร้อยละโดยมวลของไฮโดรคาร์มีแนวโน้มลดลง

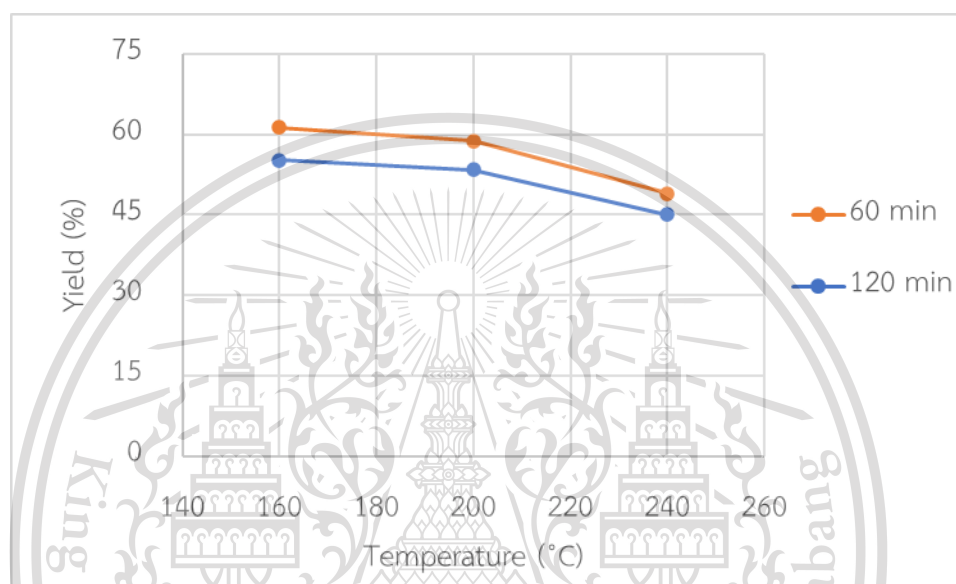
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.2 อิทธิพลของอุณหภูมิที่ส่งผลต่อไฮโดรซาร์

อุณหภูมิเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญต่อกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนไอเซน ซึ่งมีความสัมพันธ์กับปฏิกิริยาภายในต่าง ๆ ของกระบวนการ แสดงผลร้อยละโดยมวลของไฮโดรซาร์ เมื่อเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในการทดลอง ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 ปริมาณร้อยละโดยมวลของไฮโดรซาร์ที่อุณหภูมิ 160 ถึง 240 องศาเซลเซียส

จากรูปที่ 4.2 แสดงปริมาณร้อยละโดยมวลของไฮโดรซาร์ที่อุณหภูมิต่าง ๆ เมื่อพิจารณาที่เวลาในการทดลอง 60 นาที และอุณหภูมิในการทดลอง 160 180 และ 240 องศาเซลเซียส จะได้รับร้อยละโดยมวลของไฮโดรซาร์เท่ากับ 61.32 58.84 และ 49.03 ตามลำดับ แต่เมื่อเปลี่ยนเวลาในการทดลองเป็น 120 นาที และอุณหภูมิในการทดลอง 160 180 และ 240 องศาเซลเซียส จะได้รับร้อยละโดยมวลของไฮโดรซาร์เท่ากับ 55.26 53.43 และ 45.07 ตามลำดับ จากงานวิจัยของ Michela และคณะ [26] ศึกษากระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนไอเซนของไม้มะกอก พิจารณาที่การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ผลการทดลองเมื่อใช้เวลา 60 นาที และอุณหภูมิ 180 220 และ 250 องศาเซลเซียส จะได้รับร้อยละโดยมวลของไฮโดรซาร์เท่ากับ 72 63 และ 52 ตามลำดับ และมีงานวิจัยอื่น ๆ ที่ให้ผลเป็นไปในแนวทางเดียวกัน

จึงสามารถบอกแนวโน้มได้ว่า เมื่อใช้อุณหภูมิในการทดลองสูงขึ้นจะทำให้ร้อยละโดยมวลของไฮโดรซาร์มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

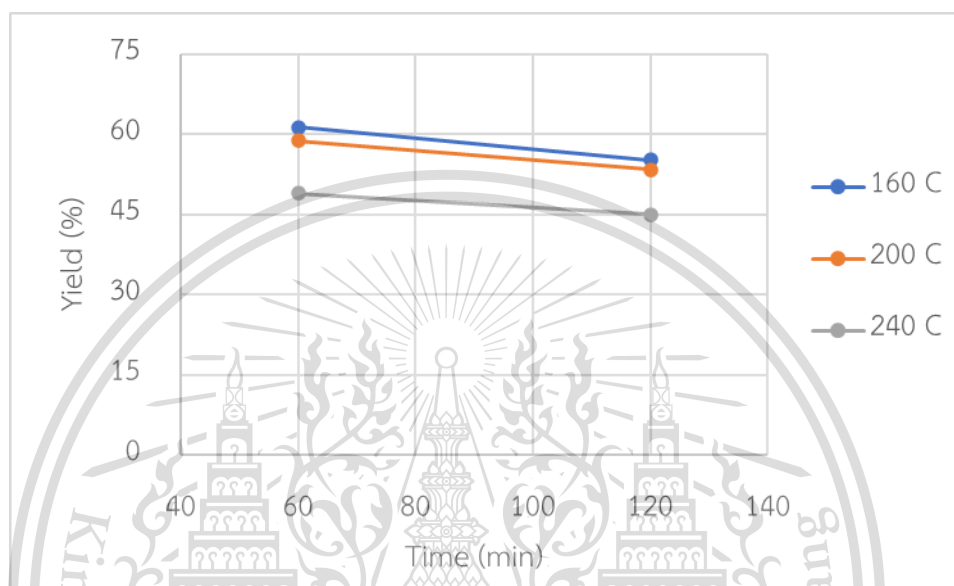
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.3 อิทธิพลของเวลาที่ส่งผลต่อไฮโดรซาร์

เวลาเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญต่อกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนเซชัน แสดงผลร้อยละโดยมวลของไฮโดรซาร์ เมื่อเปลี่ยนแปลงเวลาในการทดลอง ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 ปริมาณร้อยละโดยมวลของไฮโดรซาร์ที่เวลา 60 และ 120 นาที

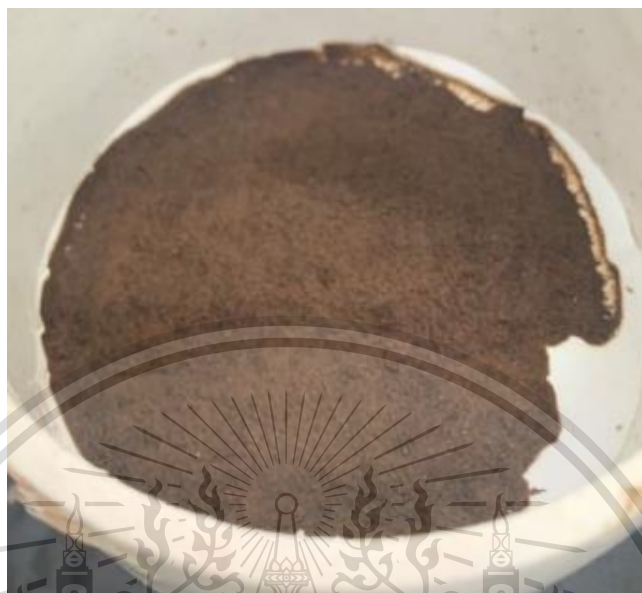
จากรูปที่ 4.3 แสดงปริมาณร้อยละโดยมวลของไฮโดรซาร์ที่เวลาต่าง ๆ เมื่อพิจารณาที่อุณหภูมิในการทดลอง 160 องศาเซลเซียส และเวลาในการทดลอง 60 และ 120 นาที จะได้รับร้อยละโดยมวลของไฮโดรซาร์เท่ากับ 61.32 และ 55.26 ตามลำดับ เมื่อใช้เวลาเท่าเดิมแต่เปลี่ยนอุณหภูมิในการทดลองเป็น 200 องศาเซลเซียส จะได้รับร้อยละโดยมวลของไฮโดรซาร์เท่ากับ 58.84 และ 53.43 ตามลำดับ และเมื่อทดลองที่อุณหภูมิ 240 องศาเซลเซียส จะได้รับร้อยละโดยมวลของไฮโดรซาร์เท่ากับ 49.03 และ 45.07 ตามลำดับ จากงานวิจัยของ Michela และคณะ [26] ศึกษากระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนเซชันของไม้มะกอก พิจารณาที่การเปลี่ยนแปลงเวลา ผลการทดลองใช้อุณหภูมิ 220 องศาเซลเซียส และเวลา 60 180 และ 360 นาที จะได้รับร้อยละโดยมวลของไฮโดรซาร์เท่ากับ 63 58 และ 57 ตามลำดับ และมีงานวิจัยอื่น ๆ ที่ให้ผลเป็นไปในแนวทางเดียวกัน จึงสามารถบอกแนวโน้มได้ว่า เมื่อใช้เวลาในการทดลองมากขึ้น จะทำให้ร้อยละโดยมวลของไฮโดรซาร์มีค่าลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.4 ลักษณะทางกายภาพและคุณสมบัติของไฮโดรซาร์



รูปที่ 4.4 ลักษณะและสีของไฮโดรซาร์ที่ได้จากเครื่อง high pressure autoclave

จากรูปที่ 4.4 แสดงลักษณะของไฮโดรซาร์ที่ได้จากเครื่อง high pressure autoclave ซึ่งไฮโดรซาร์ที่ได้มีสีของเปลือกหมากเปลี่ยนแปลงจากสีน้ำตาลอ่อนเป็นน้ำตาลเข้ม ขนาดอนุภาคมีความละเอียด เมื่อนำไฮโดรซาร์ที่ได้มาธาตุที่เป็นองค์ประกอบ ปริมาณสารระเหย ปริมาณเถ้า และปริมาณคาร์บอนคงที่ของไฮโดรซาร์ จะสามารถบอกแนวโน้มผลของไฮโดรซาร์ที่มีต่อค่าความร้อนสูง (HHV)

จากงานวิจัยของ Manfredi และคณะ [30] ศึกษาและรวบรวมข้อมูลกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนไนเซชันของลิกโนเซลลูโลสหลายชนิด เพื่อแปลงวัสดุอินทรีย์ที่เหลือทิ้งเป็นวัสดุแข็งที่มีพลังงานสูง แสดงผลการทดลองดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 คุณสมบัติของไฮโดรซาร์จากลิกโนเซลลูโลสหลายชนิด [30]

ชีวมวล	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)	C (%)	H (%)	O (%)	VM (%)	Ash (%)	FC (%)	HHV (MJ/kg)
pine	220	240	66	5.9	27.5	68.8	0.4	30.8	25.9
straw	220	240	57.9	5.0	34.4	72.6	2.2	25.2	22.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารวิจัยที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่สามารถนำเนื้อหาไปใช้ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.3 คุณสมบัติของไฮโดรคาร์บอนจากลิกโนเซลลูโลสหลายชนิด (ต่อ) [30]

ชีวมวล	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)	C (%)	H (%)	O (%)	VM (%)	Ash (%)	FC (%)	HHV (MJ/kg)
herb tea waste	150	30	54.9	6.9	34.8	68.8	15.8	15.3	19.8
	180	30	58.6	6.9	31.6	65.8	18.1	16.0	20.5
	210	30	62.6	6.9	27.6	63.4	20.0	16.6	22.1
	240	30	68.4	6.5	22.1	58.4	22.5	19.1	26.3
olive trimming	180	60	54.3	6.1	34.3	76.1	3.5	20.3	22.6
	180	180	56.7	6.2	31.4	72.9	3.9	23.2	23.4
	180	360	58.9	5.9	29.2	73.8	4.3	21.9	24.1
	220	60	59.4	6.2	28.3	70.6	4.3	25.1	24.7
	220	180	63.0	6.3	24.4	64.4	4.2	31.4	26.4
	220	360	65.5	6.0	21.8	66.9	4.6	28.4	26.7
	250	60	65.3	6.2	22.2	66.8	4.0	29.2	27.8
	250	180	68.9	6.3	17.6	59.6	4.7	35.7	29.0
	250	360	70.6	5.9	17.5	56.3	3.8	39.9	29.6

จากตารางที่ 4.2 และ 4.3 แสดงปริมาณธาตุที่เป็นองค์ประกอบ ปริมาณสารระเหย (VM) ปริมาณเถ้า (Ash) ปริมาณคาร์บอนคงที่ (FC) และค่าความร้อนสูง (HHV) ของไฮโดรคาร์บอน เมื่อใช้อุณหภูมิ เวลา และชีวมวลในการทดลองที่แตกต่างกัน จากผลการทดลองจะได้ว่าลิกโนเซลลูโลสที่แตกต่างกัน จะมีปริมาณคาร์บอน (C) ไฮโดรเจน (H) และออกซิเจน (O) แตกต่างกันไป

เมื่อพิจารณาส่วนของปริมาณธาตุที่เป็นองค์ประกอบของไฮโดรคาร์บอน จะได้ว่าการใช้อุณหภูมิสูงขึ้น จะทำให้แนวโน้มการมีปริมาณคาร์บอนสูงขึ้น แต่ปริมาณไฮโดรเจน และออกซิเจนลดลง และการใช้เวลาในการทดลองมากขึ้นจะให้ผลไปทิศทางเดียวกันกับอุณหภูมิ

เมื่อพิจารณาการมีผลต่อค่าความร้อนสูง (HHV) ของไฮโดรคาร์บอน จะได้ว่าการใช้อุณหภูมิสูงขึ้น จะทำให้แนวโน้มการมีปริมาณคาร์บอนคงที่สูงขึ้น แต่ปริมาณสารระเหยลดลง ส่วนค่าเถ้าจะขึ้นอยู่กับชีวมวล นั้น ๆ ทำให้แนวโน้มค่าความร้อนสูงมีค่าสูงขึ้น และการใช้เวลาการทดลองมากขึ้นจะให้ผลไปทิศทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็น ใบเขียวหรือเห็นการนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาต ถือว่าผิดกฎหมาย และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ทดลองการทำกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนไนเซชันจากเปลือกหมาก โดยใช้ อุณหภูมิและเวลาที่แตกต่างกัน โดยใช้อุณหภูมิ 160 200 และ 240 องศาเซลเซียส เวลาในการทดลอง 60 และ 120 นาที เมื่อวิเคราะห์ปริมาณร้อยละของผลิตภัณฑ์ที่ได้ อิทธิพลของอุณหภูมิและเวลาที่ส่งผล ต่อไฮโดรชาร์ แนวโน้มองค์ประกอบของธาตุในไฮโดรชาร์ ปริมาณสารระเหย เถ้า คาร์บอนคงที่ และค่า ความร้อนสูงของไฮโดรชาร์

จากการศึกษาพบว่า การทดลองโดยเปลี่ยนอุณหภูมิ เมื่อพิจารณาที่เวลาในการทดลอง 60 นาที และอุณหภูมิในการทดลอง 160 180 และ 240 องศาเซลเซียส จะได้รับร้อยละโดยมวลของไฮโดรชาร์เท่ากับ 61.32 58.84 และ 49.03 ตามลำดับ แต่เมื่อเปลี่ยนเวลาในการทดลองเป็น 120 นาที และอุณหภูมิในการ ทดลอง 160 180 และ 240 องศาเซลเซียส จะได้รับร้อยละโดยมวลของไฮโดรชาร์เท่ากับ 55.26 53.43 และ 45.07 ตามลำดับ

จากการศึกษาพบว่า การทดลองโดยเปลี่ยนเวลา เมื่อพิจารณาที่อุณหภูมิในการทดลอง 160 องศาเซลเซียส และเวลาในการทดลอง 60 และ 120 นาที จะได้รับร้อยละโดยมวลของไฮโดรชาร์เท่ากับ 61.32 และ 55.26 ตามลำดับ เมื่อใช้เวลาเท่าเดิมแต่เปลี่ยนอุณหภูมิในการทดลองเป็น 200 องศา เซลเซียส จะได้รับร้อยละโดยมวลของไฮโดรชาร์เท่ากับ 58.84 และ 53.43 ตามลำดับ และเมื่อทดลองที่ อุณหภูมิ 240 องศาเซลเซียส จะได้รับร้อยละโดยมวลของไฮโดรชาร์เท่ากับ 49.03 และ 45.07 ตามลำดับ

ดังนั้นจากการทดลองพบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อปริมาณร้อยละโดยมวลของไฮโดรชาร์จากเปลือก หมากนั้น เมื่อใช้อุณหภูมิและเวลามากขึ้น ส่งผลให้แนวโน้มของร้อยละโดยน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ของแข็ง ที่ได้ลดลง และร้อยละโดยมวลของไฮโดรชาร์ลดลงไปด้วย นอกจากนี้เมื่อพิจารณาองค์ประกอบของไฮโดร ชาร์จะมีปริมาณสารระเหยและเถ้าลดลงเพียงเล็กน้อย มีปริมาณคาร์บอนคงที่เพิ่มขึ้น และปริมาณ ไฮโดรเจนรวมถึงออกซิเจนลดลง ซึ่งองค์ประกอบเหล่านี้เป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อความสามารถในการเป็น เชื้อเพลิงของไฮโดรชาร์ เมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นจะส่งผลให้ไฮโดรชาร์มีค่าความร้อนสูง (HHV) เพิ่มขึ้น

และการใช้เวลามากขึ้นทำให้ค่าความร้อนสูงเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย ดังนั้นอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า การศึกษากระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนไนเซชันเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการผลิตไฮโดรชาร์ ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

5.2 วิจารณ์ผลการทดลอง

เนื่องจากสถานการณ์ของโรคไวรัสโคโรนา (COVID-19) จึงสามารถศึกษาได้เพียงอิทธิพลของอุณหภูมิ และเวลาของกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนในเซชัน ซึ่งแสดงร้อยละผลที่ได้ของไฮโดรซาร์ ไม่มีการวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุในไฮโดรซาร์ ปริมาณสารระเหย เถ้า คาร์บอนคงที่ และค่าความร้อนสูงของไฮโดรซาร์ จึงศึกษาผลการทดลองจากงานวิจัยอื่น ๆ เพื่อนำมาวิเคราะห์แนวโน้มของผลที่ควรจะได้จากการทดลอง การผลิตไฮโดรซาร์ในระดับห้องปฏิบัติการควบคุมตัวแปรต่าง ๆ อย่างระมัดระวังมากยิ่งขึ้น ควรพิจารณาอัตราการเพิ่มอุณหภูมิของเครื่องในการทดลองแต่ละครั้ง ระยะเวลาการทำให้เครื่องร้อนถึงอุณหภูมิที่ต้องการใช้เวลาแต่ละครั้งไม่เท่ากัน จึงทำให้ผลออกมาคลาดเคลื่อนได้

5.3 ข้อเสนอแนะ

- 5.3.1 ควรมีการทดลองมากกว่าหนึ่งครั้ง
- 5.3.2 ควรมีการนำไฮโดรซาร์ที่ได้ไปตรวจวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุในไฮโดรซาร์ ปริมาณสารระเหย เถ้า คาร์บอนคงที่ และค่าความร้อนสูงของไฮโดรซาร์ ด้วยเครื่องมือและวิธีการวิเคราะห์ดังตารางที่ 5.1
- 5.3.3 ควรมีการศึกษาช่วงของอุณหภูมิ และเวลาที่กว้างขึ้น เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมทั้งในส่วน ของร้อยละผลที่ได้ และค่าความร้อนสูงของไฮโดรซาร์
- 5.3.4 ควรมีการศึกษ้อัตราการเพิ่มอุณหภูมิของเครื่องในแต่ละครั้งที่ทำการทดลอง

ตารางที่ 5.1 เครื่องมือ และวิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบของไฮโดรซาร์

คุณสมบัติ	เครื่องมือ และวิธีการตรวจวิเคราะห์
ค่าความร้อนสูง	bomb calorimeter
ปริมาณสารระเหย	ASTM E 872
ปริมาณเถ้า	ASTM D 1102
ปริมาณคาร์บอนคงที่	ผลต่างร้อยละของไฮโดรซาร์กับสารระเหยและเถ้า
องค์ประกอบของธาตุในไฮโดรซาร์	CHN elemental analyzer
- คาร์บอน และไฮโดรเจน	- ASTM E 777
- ไนโตรเจน	- ASTM E 778
- ออกซิเจน	- ผลต่างขององค์ประกอบธาตุในไฮโดรซาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ใช้ในเชิงพาณิชย์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บรรณานุกรม

- [1] M. Fatih Demirbas, M. Balat, and H. Balat, “Biowastes-to-biofuels,” *Energy Convers. Manag.*, vol. 52, no. 4, pp. 1815–1828, 2011, doi: 10.1016/j.enconman.2010.10.041.
- [2] M. K. Hrnčič, G. Kravanja, and Ž. Knez, “Hydrothermal treatment of biomass for energy and chemicals,” *Energy*, vol. 116, pp. 1312–1322, 2016, doi: 10.1016/j.energy.2016.06.148.
- [3] L. Axelsson, M. Franzén, M. Ostwald, G. Berndes, G. Lakshmi, and N. H. Ravindranath, “Perspective: Jatropha cultivation in southern India: Assessing farmers’ experiences,” *Biofuels, Bioprod. Biorefining*, vol. 6, no. 3, pp. 246–256, 2012, doi: 10.1002/bbb.
- [4] A. A. Azzaz, B. Khiari, S. Jellali, C. M. Ghimbeu, and M. Jeguirim, “Hydrochars production, characterization and application for wastewater treatment: A review,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 127, 2020, doi: 10.1016/j.rser.2020.109882.
- [5] B. Glaser, J. Lehmann, and W. Zech, “Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal - A review,” *Biol. Fertil. Soils*, vol. 35, no. 4, pp. 219–230, 2002, doi: 10.1007/s00374-002-0466-4.
- [6] A. Zoghlami and G. Paës, “Lignocellulosic Biomass: Understanding Recalcitrance and Predicting Hydrolysis,” *Front. Chem.*, vol. 7, no. December, 2019, doi: 10.3389/fchem.2019.00874.
- [7] M. E. Walsh, *Biomass Resource Assessment*, no. November 2013. Elsevier Inc., 2014.
- [8] M. Mäkelä, V. Benavente, and A. Fullana, “Hydrothermal carbonization of lignocellulosic biomass: Effect of process conditions on hydrochar properties,” *Appl. Energy*, vol. 155, pp. 576–584, 2015, doi: 10.1016/j.apenergy.2015.06.022.
- [9] R. H. Atalla, “The Structures of Cellulose,” *MRS Proc.*, vol. 197, pp. 89–98, 1990, doi: 10.1557/proc-197-89.
- [10] S. T. Yoganandham, G. Sathyamoorthy, and R. R. Renuka, *Emerging extraction techniques: Hydrothermal processing*. Elsevier Inc., 2020.
- [11] P. Basu, *Biomass Characteristics*, First Edit. © 2010 Elsevier Inc., 2010.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

- [12] Y. Lu, Y. C. Lu, H. Q. Hu, F. J. Xie, X. Y. Wei, and X. Fan, "Structural characterization of lignin and its degradation products with spectroscopic methods," *J. Spectrosc.*, vol. 2017, 2017, doi: 10.1155/2017/8951658.
- [13] W. Peng *et al.*, "Areca catechu L. (Arecaceae): A review of its traditional uses, botany, phytochemistry, pharmacology and toxicology," *J. Ethnopharmacol.*, vol. 164, pp. 340–356, 2015, doi: 10.1016/j.jep.2015.02.010.
- [14] O. Bobleter, "Hydrothermal degradation of polymers derived from plants," *Prog. Polym. Sci.*, vol. 19, no. 5, pp. 797–841, 1994, doi: 10.1016/0079-6700(94)90033-7.
- [15] M. Möller, P. Nilges, F. Harnisch, and U. Schröder, "Subcritical water as reaction environment: Fundamentals of hydrothermal biomass transformation," *ChemSusChem*, vol. 4, no. 5, pp. 566–579, 2011, doi: 10.1002/cssc.201000341.
- [16] A. Jain, R. Balasubramanian, and M. P. Srinivasan, "Hydrothermal conversion of biomass waste to activated carbon with high porosity: A review," *Chem. Eng. J.*, vol. 283, pp. 789–805, 2016, doi: 10.1016/j.cej.2015.08.014.
- [17] A. A. Peterson, F. Vogel, R. P. Lachance, M. Fröling, M. J. Antal, and J. W. Tester, "Thermochemical biofuel production in hydrothermal media: A review of sub- and supercritical water technologies," *Energy Environ. Sci.*, vol. 1, no. 1, pp. 32–65, 2008, doi: 10.1039/b810100k.
- [18] S. M. Masselter, A. J. Zemann, and O. Bobleter, "Separation of cresols using coelectroosmotic capillary electrophoresis," *Electrophoresis*, vol. 14, no. 1, pp. 36–39, 1993, doi: 10.1002/elps.1150140107.
- [19] C. Bergins, S. Berger, and K. Strauß, "Entwässerung fossiler Brennstoffe und feinstkörniger Schlämme durch mechanisch/thermische Behandlung," *Chemie-Ingenieur-Technik*, vol. 71, no. 4, pp. 380–384, 1999, doi: 10.1002/cite.330710414.
- [20] B. M. Kabyemela, T. Adschiri, R. M. Malaluan, and K. Arai, "Glucose and fructose decomposition in subcritical and supercritical water: Detailed reaction pathway, mechanisms, and kinetics," *Ind. Eng. Chem. Res.*, vol. 38, no. 8, pp. 2888–2895, 1999, doi: 10.1021/ie9806390.
- [21] J. B. Murray and D. G. Evans, "The brown-coal/water system: Part 3. Thermal dewatering of brown coal," *Fuel*, vol. 51, no. 4, pp. 290–296, 1972, doi: 10.1016/0016-2361(72)90006-3.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่สามารถนำออกจำหน่ายหรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ยกเว้นแต่มีมติเห็นชอบเป็นอย่างอื่น และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

- [22] N. Patel, B. Acharya, and P. Basu, “Hydrothermal carbonization (Htc) of seaweed (macroalgae) for producing hydrochar,” *Energies*, vol. 14, no. 7, pp. 1–16, 2021, doi: 10.3390/en14071805.
- [23] A. Demirbas, “Calculation of higher heating values of fatty acids,” *Energy Sources, Part A Recover. Util. Environ. Eff.*, vol. 38, no. 18, pp. 2693–2697, 2016, doi: 10.1080/15567036.2015.1115924.
- [24] S. Carrasco *et al.*, “Experimental study on hydrothermal carbonization of lignocellulosic biomass with magnesium chloride for solid fuel production,” *Processes*, vol. 8, no. 4, pp. 1–12, 2020, doi: 10.3390/PR8040444.
- [25] S. K. Hoekman, A. Broch, and C. Robbins, “Hydrothermal carbonization (HTC) of lignocellulosic biomass,” *Energy and Fuels*, vol. 25, no. 4, pp. 1802–1810, 2011, doi: 10.1021/ef101745n.
- [26] M. Lucian, M. Volpe, and L. Fiori, “Hydrothermal carbonization kinetics of lignocellulosic agro-wastes: Experimental data and modeling,” *Energies*, vol. 12, no. 3, 2019, doi: 10.3390/en12030516.
- [27] Y. Gao, X. H. Wang, H. P. Yang, and H. P. Chen, “Characterization of products from hydrothermal treatments of cellulose,” *Energy*, vol. 42, no. 1, pp. 457–465, 2012, doi: 10.1016/j.energy.2012.03.023.
- [28] E. Atta-Obeng, B. Dawson-Andoh, M. S. Seehra, U. Geddam, J. Poston, and J. Leisen, “Physico-chemical characterization of carbons produced from technical lignin by sub-critical hydrothermal carbonization,” *Biomass and Bioenergy*, vol. 107, no. September, pp. 172–181, 2017, doi: 10.1016/j.biombioe.2017.09.023.
- [29] A. L. Pauline and K. Joseph, “Hydrothermal carbonization of organic wastes to carbonaceous solid fuel – A review of mechanisms and process parameters,” *Fuel*, vol. 279, no. December 2019, p. 118472, 2020, doi: 10.1016/j.fuel.2020.118472.
- [30] M. P. Maniscalco, M. Volpe, and A. Messineo, “Hydrothermal carbonization as a valuable tool for energy and environmental applications: A review,” *Energies*, vol. 13, no. 15, 2020, doi: 10.3390/en13164098.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ภาคผนวก ก
ข้อมูลผลการทดลอง

ตารางที่ ก.1 ผลการทดลองน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการใช้อุณหภูมิและเวลาที่ต่างกัน

อุณหภูมิ (°C)	เวลา (min)	น้ำหนักของผลิตภัณฑ์ที่ได้ (g)		
		ของแข็งเปียก	ของเหลว	ของแข็งหลังการกรองและอบแห้ง
160	60	13.72	126.77	11.04
	120	13.20	128.71	9.95
200	60	12.86	128.87	10.59
	120	12.34	130.60	9.62
240	60	12.09	130.32	8.83
	120	11.41	129.86	8.11

ตารางที่ ก.2 ผลการทดลองร้อยละของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการใช้อุณหภูมิและเวลาที่ต่างกัน

อุณหภูมิ (°C)	เวลา (min)	ร้อยละผลิตภัณฑ์ที่ได้ (%)			
		ของแข็ง	ของเหลว	ก๊าซ	มวลของไฮโดรคาร์บ
160	60	9.53	88.03	2.44	61.32
	120	9.16	89.38	1.45	55.26
200	60	8.93	89.49	1.58	58.84
	120	8.57	90.69	0.73	53.43
240	60	8.39	90.50	1.10	49.03
	120	7.92	90.18	1.90	45.07

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ ก.3 อุณหภูมิของเครื่องหลังเริ่มจับเวลาในการทดลอง การทดลอง 160 องศาเซลเซียส

การทดลอง 60 นาที				การทดลอง 120 นาที			
เวลา (min)	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (min)	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (min)	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (min)	อุณหภูมิ (°C)
0	160.0	15	156.8	0	160.0	15	156.9
1	160.4	16	158.4	1	157.5	16	156.7
2	159.7	17	159.3	2	156.2	17	156.9
3	156.5	18	159.6	3	154.7	18	158.0
4	154.5	19	159.4	4	153.4	19	159.8
5	154.2	20	159.0	5	154.5	20	161.6
6	154.8	21	158.0	6	152.8	21	162.8
7	156.2	22	156.9	7	153.2	22	163.2
8	157.9	23	156.3	8	156.0	23	162.8
9	158.8	24	156.0	9	159.5	24	161.6
10	159.4	25	156.9	10	162.1	25	160.5
11	157.9	26	159.1	11	162.4	26	159.5
12	156.9	27	162.3	12	162.3	27	158.6
13	156.2	28	164.6	13	161.7	28	157.8
14	155.7	29	164.6	14	160.3	29	157.7
15	156.0	30	164.1	15	158.5	30	157.7
สูงสุด		164.6		สูงสุด		163.2	
ต่ำสุด		154.2		ต่ำสุด		152.8	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ ก.4 อุณหภูมิของเครื่องหลังเริ่มจับเวลาในการทดลอง การทดลอง 200 องศาเซลเซียส

การทดลอง 60 นาที				การทดลอง 120 นาที			
เวลา (min)	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (min)	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (min)	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (min)	อุณหภูมิ (°C)
0	200.0	15	200.9	0	200.0	15	198.9
1	201.2	16	201.4	1	200.6	16	199.4
2	200.5	17	201.9	2	199.6	17	200.3
3	198.9	18	202.2	3	197.2	18	201.1
4	197.4	19	202.5	4	195.3	19	201.6
5	195.7	20	202.8	5	194.3	20	202.2
6	194.2	21	203.1	6	193.8	21	202.8
7	193.4	22	203.7	7	193.4	22	203.6
8	192.8	23	204.3	8	194.8	23	203.9
9	193.1	24	203.3	9	195.6	24	204.7
10	194.4	25	202.7	10	196.3	25	205.1
11	195.6	26	202.2	11	196.7	26	204.2
12	196.8	27	201.9	12	197.4	27	203.6
13	198.2	28	201.6	13	197.9	28	203.1
14	199.7	29	201.2	14	198.2	29	202.4
15	200.3	30	200.7	15	198.5	30	201.5
สูงสุด		204.3		สูงสุด		205.1	
ต่ำสุด		192.8		ต่ำสุด		193.4	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ ก.5 อุณหภูมิของเครื่องหลังเริ่มจับเวลาในการทดลอง การทดลอง 240 องศาเซลเซียส

การทดลอง 60 นาที				การทดลอง 120 นาที			
เวลา (min)	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (min)	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (min)	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (min)	อุณหภูมิ (°C)
0	240.0	15	241.3	0	240.0	15	238.2
1	238.6	16	242.2	1	238.7	16	239.5
2	237.2	17	242.9	2	236.9	17	241.4
3	235.4	18	243.4	3	235.6	18	242.7
4	234.3	19	244.1	4	233.7	19	243.2
5	233.8	20	244.7	5	232.2	20	243.9
6	233.2	21	245.3	6	230.4	21	244.4
7	232.3	22	245.9	7	231.5	22	245.1
8	232.7	23	246.2	8	232.3	23	245.7
9	233.8	24	246.6	9	232.9	24	246.1
10	234.7	25	246.9	10	233.7	25	246.7
11	235.9	26	247.1	11	234.6	26	246.4
12	236.5	27	246.8	12	235.1	27	245.9
13	237.8	28	246.3	13	235.8	28	244.6
14	238.4	29	245.8	14	236.7	29	243.8
15	240.1	30	245.2	15	237.6	30	243.1
สูงสุด		247.1		สูงสุด		246.7	
ต่ำสุด		232.3		ต่ำสุด		230.4	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ภาคผนวก ข

วิธีการคำนวณ

1. ตัวอย่างการคำนวณปริมาณร้อยละผลิตภัณฑ์ที่ได้ ของแข็ง ของเหลว ก๊าซ

เมื่อนำไฮโดรคาร์ที่ผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนเนชันมาหาปริมาณร้อยละผลิตภัณฑ์ที่ได้ ของแข็ง ของเหลว ก๊าซ โดยใช้สมการในการคำนวณ (3-1) (3-2) และ (3-3) ตามลำดับ

ตัวอย่างที่ใช้อุณหภูมิตั้งที่ 160 องศาเซลเซียส และเวลา 60 นาที

$$\text{ร้อยละของแข็งที่ได้ (\%)} = \frac{13.7212}{144.1021} \times 100$$

$$= 9.53$$

$$\text{ร้อยละของเหลวที่ได้ (\%)} = \frac{126.7654}{144.1021} \times 100$$

$$= 88.03$$

$$\text{ร้อยละก๊าซที่ได้ (\%)} = 100 - (9.53 + 88.03)$$

$$= 2.44$$

2. ตัวอย่างการคำนวณปริมาณร้อยละมวลของไฮโดรคาร์ที่ได้

เมื่อนำไฮโดรคาร์ที่ผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนเนชันมาเข้าสู่ขั้นตอนการกรองแยกผลิตภัณฑ์ จากนั้นหาปริมาณร้อยละโดยมวลของไฮโดรคาร์ที่ได้ โดยใช้สมการที่ (3-4) ในการคำนวณ

ตัวอย่างที่ใช้อุณหภูมิตั้งที่ 160 องศาเซลเซียส และเวลา 60 นาที

$$\text{ร้อยละของมวลที่ได้ (\%)} = \frac{11.0376}{18} \times 100$$

$$= 61.32$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.