

ถ่านไฮโดรจากเปลือกสับปรดโดยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนเซชัน



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ปีการศึกษา 2563
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.

HYDROCHAR FROM PINEAPPLE PEEL

BY HYDROTHERMAL CARBONIZATION



A REPORT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT

FOR THE DEGREE OF BACHELOR 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.

ปริญญาานิพนธ์เรื่อง ถ่านไฮโดรจากเปลือกสับประรดโดยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์-
บอไนเซชัน
โดย นายสุกัลย์ ลีโคตร
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.ธัชนันต์ สมานมุลย์
ปริญญาานิพนธ์ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปริญญาานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

คณะกรรมการตรวจสอบปริญญาานิพนธ์





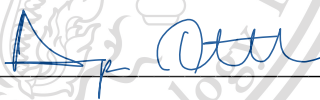
ประธานกรรมการ

(ผศ.ดร.ธัชนันต์ สมานมุลย์)



กรรมการ

(ผศ.ดร.ธนวรรณ พิณรัตน์)



กรรมการ

(ผศ.ศิริพันธ์ มุระธาธัญลักษณ์)

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.

ปริญญานิพนธ์เรื่อง	ถ่านไฮโดรจากเปลือกสับปะรดโดยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอไนเซชัน
โดย	นายสุกัลย์ ลีโคตร
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี
ปีการศึกษา	2563
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.ธัชนันต์ สมานมุลย์

บทคัดย่อ

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมที่มีผลผลิตทางการเกษตรจำนวนมาก เมื่อนำมาแปรรูปหรือนำมาใช้ประโยชน์ จะก่อให้เกิดวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะผลไม้ที่นำไปทำผลไม้กระป๋อง คือ สับปะรด เป็นผลไม้ที่มีความชื้นสูงจึงยากต่อการกำจัด โดยในงานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อหาอิทธิพลของอุณหภูมิและเวลาต่อร้อยละผลได้และเพื่อหาอิทธิพลของอุณหภูมิและเวลาต่อค่าความร้อนสูงและรุกรุ่นจากงานวิจัยอื่นๆ ซึ่งทำการทดลองโดยนำเปลือกสับปะรดมาผ่านวิธีการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอไนเซชันที่อุณหภูมิ 150 200 และ 250 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ 1 2 และ 3 ชั่วโมง โดยพิจารณาผลของอุณหภูมิ เวลา โดยเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้ร้อยละผลได้น้อยลง และเมื่อเวลานานขึ้นจะทำให้ร้อยละผลได้น้อยลง โดยถ่านที่ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมงจะให้ค่าร้อยละผลได้มากที่สุด อีกทั้งค่าพลังงานและรุกรุ่นของถ่านไฮโดร ได้รับอิทธิพลมาจากอุณหภูมิและเวลาเช่นเดียวกับร้อยละผลได้ คือ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นและเวลานานขึ้นจะทำให้ค่าความร้อนสูงและรุกรุ่นมากขึ้น โดยถ่านที่ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จะให้ค่าพลังงานและรุกรุ่นที่มากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

Report Title	Hydrochar from pineapple peel by hydrothermal carbonization
By	Mr.Sukan Leekote
Degree	Bachelor of Engineering
Program	Chemical Engineering
Year	2020
Advisor	Ast. Prof. Dr.Thachanan Samanmulya

ABSTRACT

Thailand is an agricultural country with many agricultural products. When processed or utilized, a large amount of agricultural waste especially the fruit that is used to make canned fruit is pineapple. It is a fruit with high humidity, so it is difficult to get rid of. This research aimed to determine the influence of temperature and time on the yield and to determine the influence of temperature and time on HHV and porosity of hydrochar from another research. In this experiment, pineapple peels were subjected to hydrothermal carbonization at 150, 200, and 250 °C for 1, 2, and 3 hours, considering the effects of temperature and time. When the temperature rises, the yield decreases, and the longer the time, the yield decreases. The hydrochar that reacted at 150 °C for 1 hour has the highest yield. In addition, HHV and porosity of the hydrochar are influenced by temperature and time. When the temperature is higher and the time is longer, HHV and porosity increase. The hydrochar that reacted at 250 °C for 3 hours gave the highest HHV and porosity.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

II

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

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.ธัชพันธ์ สมานมุลย์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ให้ความรู้
ในด้านของวิชาการ ให้คำแนะนำ ช่วยเหลือและชี้แนะแนวทางในการแก้ปัญหา ตลอดจนการดูแลเอา
ใจใส่ให้การสนับสนุนจนทำให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.ธนาวรรณ พิณรัตน์ และ ผศ.ศิริพันธ์ มุรธาธัญลักษณ์ กรรมการ
ตรวจสอบวิทยานิพนธ์ที่ให้คำแนะนำในการสอบปริญญานิพนธ์ทำให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์
ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณอาจารย์ภาควิศวกรรมเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
ลาดกระบังทุกท่านที่คอยแนะนำช่วยเหลือ ให้ความรู้ และให้ความหวังใจต่อลูกศิษย์เสมอมา

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณครอบครัวที่ให้กำลังใจ ให้โอกาส สนับสนุนในทุกๆ เรื่องที่ผ่านมา
ขอขอบคุณเพื่อนๆ ภาควิศวกรรมเคมีที่คอยช่วยเหลือ ให้คำปรึกษา และให้กำลังใจที่ดีตลอดการทำ
วิทยานิพนธ์นี้ หากมีข้อผิดพลาดประการใดข้าพเจ้าน้อมรับและขออภัยมา ณ ที่นี้

นายสุกัลย์ ลีโคตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial 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 จุดประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 สืบประวัติ.....	3
2.2 น้ำ.....	5
2.3 กระบวนการไฮโดรเทอร์มอลทรีตเมนต์.....	5
2.4 ถ่านไฮโดร.....	8
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	12
บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	14
3.1 วัตถุประสงค์และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....	14
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์.....	14
3.3 ขั้นตอนการทดลอง.....	15

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน	17
4.1 อิทธิพลของอุณหภูมิที่ส่งผลต่อร้อยละผลได้ของถ่านไฮโดร.....	17
4.2 อิทธิพลของเวลาที่ส่งผลต่อร้อยละผลได้ของถ่านไฮโดร.....	20
4.3 อิทธิพลของอุณหภูมิและเวลาที่ส่งผลต่อรูพรุนของถ่านไฮโดร.....	22
4.4 อิทธิพลของอุณหภูมิและเวลาที่ส่งผลต่อค่าความร้อนสูง.....	23
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	25
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	25
5.2 วิจารณ์ผลการทดลอง	26
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	26
บรรณานุกรม	27
ภาคผนวก	30
ภาคผนวก ก วิธีการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของเปลือกสับปะรด.....	31
ภาคผนวก ข ข้อมูลผลการทดลอง.....	32
ภาคผนวก ค วิธีการคำนวณ.....	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 คุณสมบัติของน้ำ.....	5
2.2 ข้อดีและข้อเสียของกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนเซชัน.....	8
2.3 คุณสมบัติของถ่านชีวภาพและถ่านไฮโดรที่ผลิตจากหญ้ามีสแคนทัส.....	9
4.1 อิทธิพลของอุณหภูมิที่ส่งผลต่อถ่านไฮโดรจากชีวมวลชนิดต่างๆ	18
4.2 ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์จากเปลือกมะนาว	19
4.3 อิทธิพลของเวลาส่งผลต่อถ่านไฮโดรจากชีวมวลต่างๆ	21
4.4 อิทธิพลของอุณหภูมิและเวลาที่ส่งผลต่อพื้นที่ผิวจำเพาะของรูพรุนของถ่านไฮโดร	22
4.5 ลักษณะเฉพาะของถ่านกัมมันต์จากใบไม้.....	23
5.1 การวิเคราะห์คุณสมบัติของถ่านไฮโดร.....	26
ข.1 ความชื้นของเปลือกสับปะรด.....	32
ข.2 ผลได้ร้อยละของถ่านไฮโดร.....	32



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 เซลลูโลส.....	3
2.2 องค์ประกอบพื้นฐานของเฮมิเซลลูโลส.....	4
2.3 โครงสร้างตัวอย่างของลิกนิน.....	4
2.4 กระบวนการไฮโดรเทอร์มอลทรีตเมนต์.....	6
2.5 พื้นที่ผิวจำเพาะ.....	11
3.1 เครื่องปฏิกรณ์ความดันสูงขนาด 250 มิลลิลิตร.....	14
3.2 เครื่องบดเนกประสงค์.....	15
3.3 เปลือกสับประรดสด.....	15
3.4 เปลือกสับประรดแห้ง.....	15
4.1 กราฟแสดงร้อยละผลได้และเวลา.....	17
4.2 กราฟแสดงร้อยละผลได้และอุณหภูมิ.....	20



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ชีวมวล (biomass) เป็นสิ่งที่พบมากในธรรมชาติและเป็นส่วนสำคัญที่มีผลต่อแหล่งพลังงานที่ยั่งยืน พลังงานทดแทนและพลังงานสะอาด ชีวมวลถูกนำมาใช้ประโยชน์มากมาย เช่น ลดการใช้เชื้อเพลิงซากดึกดำบรรพ์ ลดการพึ่งพาน้ำมัน ลดมลพิษ ลดภาวะโลกร้อนและสนับสนุนเศรษฐกิจชีวมวลสามารถแปรรูปเป็นพลังงานได้หลายรูปแบบโดยกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับความร้อนเคมีและกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับชีวเคมี [1] ชีวมวลเป็นแหล่งของพลังงานทั่วโลกมีองค์ประกอบของสารอินทรีย์ชนิดต่างๆ แต่ชีวมวลมีคุณสมบัติเฉพาะซึ่งถือว่าเป็นข้อเสียที่สำคัญในการมาเป็นสารตั้งต้น ได้แก่ ปริมาณสารระเหยสูง มีปริมาณออกซิเจนสูง และปริมาณน้ำที่สูง [2] ซึ่งคุณสมบัติเหล่านี้มีผลต่อการนำมาใช้และการเก็บรักษา ซึ่งผลผลิตทางการเกษตรเป็นชีวมวลชนิดหนึ่งที่มีอยู่เป็นจำนวนมากในประเทศเกษตรกรรม โดยประเทศไทยเป็นประเทศที่มีการทำการเกษตรเป็นจำนวนมาก จึงทำให้มีวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรเกิดขึ้นจำนวนมาก การนำวัสดุเหลือใช้จากการเกษตรมาใช้ประโยชน์ จะช่วยลดปริมาณของเสียที่ต้องกำจัดและช่วยเพิ่มมูลค่าของพืชผลทางการเกษตร การใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือใช้จากการเกษตรมีหลากหลายแนวทางด้วยกัน เช่น ผลิตพลังงานทดแทน เป็นอาหารสัตว์ และอื่นๆ ซึ่งอย่างไรก็ตามการใช้งานชีวมวลเหล่านี้ จะต้องมีการบริหารจัดการที่เหมาะสม โดยควรเริ่มตั้งแต่การจัดระเบียบพื้นที่ของการเพาะปลูก การเก็บรวบรวม และการขนส่ง

สับปะรดเป็นพืชที่นิยมนำมารับประทานในประเทศหรือนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ มีการปลูกภายในประเทศจำนวน 1,679,688 ต้นต่อปี ในปี พ.ศ. 2561 [3] เมื่อนำมาแปรรูปหรือบริโภคก็จะทำให้เหลือส่วนที่ไม่นำมาใช้เป็นจำนวนมากโดยเฉพาะในส่วนของเปลือกสับปะรดซึ่งถือว่าเป็นชีวมวลชนิดหนึ่ง สามารถนำของเหลือเหล่านี้มาแปรรูปด้วยกระบวนการทางความร้อนเคมี

ไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนไนเซชัน (hydrothermal carbonization) เป็นวิธีแปรรูปชีวมวลด้วยกระบวนการทางความร้อนเคมีที่ใช้เพื่อเพิ่มความหนาแน่นของพลังงานในชีวมวลที่มีส่วนประกอบของน้ำสูง หรือรู้จักกันในชื่อ กระบวนการไพโรไลซิสแบบเปียก (wet pyrolysis) ผลิตภัณฑ์ที่ได้ออกมาจะอยู่ในรูปของแข็งที่เป็นคาร์บอน มีชื่อเรียกว่า ถ่านไฮโดร (hydrochar) ตัวแปรที่มีผลต่อกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนไนเซชัน ประกอบด้วยประเภทชีวมวล ความชื้น อุณหภูมิและเวลาในการทำปฏิกิริยา [4] เทคนิคนี้เป็นวิธีที่ได้รับความนิยมในการแปรรูปชีวมวล ซึ่งข้อดี คือ การลดแก๊สเรือนกระจก ซึ่งถ่านไฮโดรเป็นถ่านที่ไม่มีพิษ [1] อีกทั้งวิธีการนี้สามารถใช้เพิ่มประสิทธิภาพให้สารตั้งต้นแบบเปียกได้เพื่อสร้างเชื้อเพลิงของแข็งที่เหมาะสมกับการเผาไหม้ สามารถนำถ่านไฮโดรมาเป็นปุ๋ยปรับปรุงน้ำในระบบบำบัดน้ำเสีย อีกทั้งสามารถนำถ่านไฮโดรมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อื่นอีกได้ คือ

ถ่านกัมมันต์ได้ โดยถ่านชนิดนี้มีโครงสร้างเป็นรูพรุน ผลิตได้จากการนำถ่านมาผ่านการกระตุ้น (activation) จนได้ถ่านกัมมันต์ที่มีโครงสร้างเป็นรูพรุน มีพื้นที่ผิวสูง มีสมบัติในการดูดซับ (adsorption) ได้เป็นอย่างดี

1.2 จุดประสงค์

1. เพื่อศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิและเวลาในกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนในเซชันที่ส่งผลต่อร้อยละผลได้ของถ่านไฮโดร
2. เพื่อศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิและเวลาในกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนในเซชันที่ส่งผลต่อค่าความร้อนสูงของถ่านไฮโดร โดยศึกษาแนวโน้มอิทธิพลของอุณหภูมิและเวลาจากงานวิจัยอื่นๆ
3. เพื่อศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิและเวลาในกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนในเซชันที่ส่งผลต่อรูพรุนของถ่านไฮโดร โดยศึกษาแนวโน้มอิทธิพลของอุณหภูมิและเวลาจากงานวิจัยอื่นๆ

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1. ศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิในการทำไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนในเซชันในช่วง 150 200 และ 250 องศาเซลเซียส
2. ศึกษาอิทธิพลของระยะเวลาในการทำไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนในเซชันในช่วง 1 2 และ 3 ชั่วโมง

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ทราบอิทธิพลของอุณหภูมิและเวลาในกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนในเซชันที่ส่งผลต่อร้อยละผลได้ของถ่านไฮโดรจากเปลือกสับปะรด
2. ได้ทราบอิทธิพลของอุณหภูมิและเวลาในกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนในเซชันที่ส่งผลต่อค่าความร้อนสูงของถ่านไฮโดรจากเปลือกสับปะรด
3. ได้ทราบอิทธิพลของอุณหภูมิและเวลาในกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนในเซชันที่ส่งผลต่อรูพรุนของถ่านไฮโดรจากเปลือกสับปะรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในที่การศึกษาเท่านั้น 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.

บทที่ 2

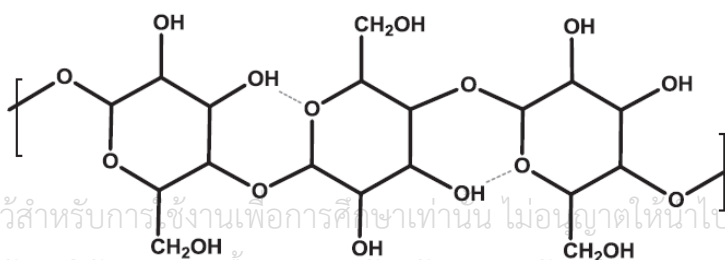
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 สับปะรด

สับปะรดเป็นพืชวงศ์สับปะรด (bromeliaceae) มีลักษณะใบเลี้ยงเดี่ยวเป็นพืชล้มลุกและเป็นผลไม้เมืองร้อนมีต้นกำเนิดในบราซิลและแพร่กระจายไปยังเขตร้อนอื่นๆ ของโลก [5] โดยทั่วไปคาดว่าต้นสับปะรดจะออกผลภายใน 15 เดือนหรือไม่เกินสองปีหลังปลูก หนึ่งในสามเดือนหลังปลูกเป็นช่วงสำคัญสำหรับการออกดอกและการสุกของผลไม้ เนื่องจากพืชมีความอ่อนไหวต่อปัจจัยทางภูมิอากาศ อุณหภูมิและเมฆปกคลุม พืชชนิดนี้ต้องการอุณหภูมิที่เหมาะสมระหว่าง 20 ถึง 30 องศาเซลเซียส โดยมีแสงแดดเพียงพอในที่ที่มีฝนตกพอประมาณ [6] สับปะรดเป็นผลไม้แปลกใหม่ที่มีมูลค่าสูงเนื่องจากมีกลิ่นหอม รสชาติหวานและชุ่มฉ่ำ ปัจจุบันมีสับปะรดหลายพันธุ์ซึ่งมีสี รูปร่าง ขนาดและรสชาติต่างๆ สับปะรดมีขนาดค่อนข้างปานกลางเมื่อเทียบกับผลไม้เมืองร้อนอื่นๆ โดยสับปะรดเป็นผลไม้บริโภคสดหรือแปรรูปในเชิงพาณิชย์เป็นผลไม้กระป๋อง น้ำผลไม้เข้มข้นและแยม [7] สับปะรดเมื่อนำมาทำการแปรรูป ส่วนของผลสับปะรดจะถูกแบ่งออกได้ดังนี้ เนื้อของผลสับปะรด 22 ถึง 30 เปอร์เซ็นต์ของผลสับปะรด เปลือกติดเนื้อ 29 ถึง 34 เปอร์เซ็นต์ของผลสับปะรด แกน 3.5 ถึง 4.5 เปอร์เซ็นต์ของผลสับปะรด จุกและก้าน 26 ถึง 35 เปอร์เซ็นต์ของผลสับปะรด น้ำหนักระหว่างที่หายไประหว่างทำการแปรรูป 3 ถึง 4.5 เปอร์เซ็นต์ของผลสับปะรด [8] โดยเปลือกสับปะรดเป็นวัสดุประเภทลิกโนเซลลูโลส (lignocellulose) ซึ่งวัสดุประเภทลิกโนเซลลูโลสเป็นชีวมวลที่ประกอบด้วยเซลลูโลส (cellulose) เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) และลิกนิน (lignin) [9]

2.1.1 เซลลูโลส

เซลลูโลสเป็นพอลิแซ็กคาไรด์สายยาวที่ประกอบด้วยมอนอเมอร์เป็นจำนวนมาก มีมวลโมเลกุลสูง มีรูปแบบโดยทั่วไปเป็น $(C_6H_{10}O_5)_n$ [10] โดยเซลลูโลสจะเริ่มย่อยสลายที่อุณหภูมิ 180 ถึง 200 องศาเซลเซียส ในน้ำกึ่งวิกฤติ (sub-critical water) แต่จะเริ่มย่อยสลายที่อุณหภูมิ 300 ถึง 400 องศาเซลเซียส ในสภาวะปกติ [11]



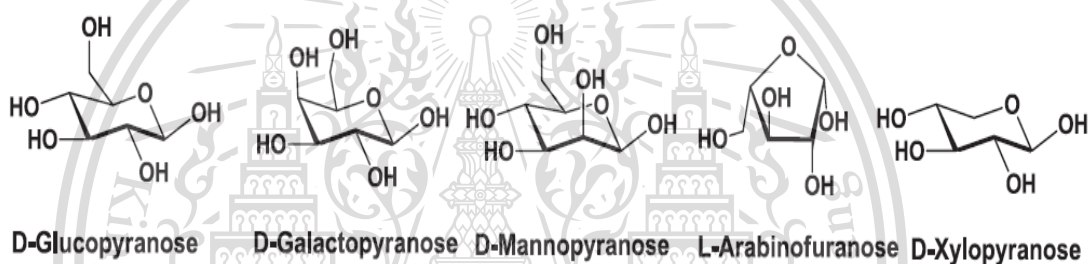
รูปที่ 2.1 เซลลูโลส [10]

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

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

2.1.2 เฮมิเซลลูโลส

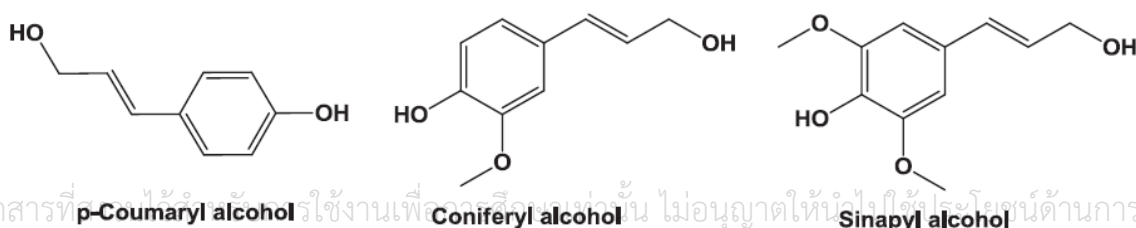
เฮมิเซลลูโลสมีน้ำหนักประมาณร้อยละ 20 ถึงร้อยละ 30 ของน้ำหนักแห้งของไม้ เป็นเฮเทอโรพอลิแซ็กคาไรด์และมีจำนวนพอลิเมอร์น้อยกว่าเซลลูโลส มีรูปร่างเป็นแบบกิ่งที่เป็นสายโซ่ของไซแลน (xylan) และกลูโคแมนแนน (gulucomannan) ถึงแม้โครงสร้างของเฮมิเซลลูโลสจะเปลี่ยนไปตามชนิดแหล่งของชีวมวล แต่ส่วนใหญ่ก็จะประกอบไปด้วย ดี-กลูโคไพแรนอส (D-glucopyranose) ดี-กาแล็กโทไพแรนอส (D-galactopyranose) และ ดี-แมนโนไพแรนอสมอนอเมอร์ (D-mannopyranose monomer) แอล-อะราบินโนไพแรนอส (L-arabinofuranose) และ ดี-ไซโลไพแรนอสมอนอเมอร์ (D-xylo-pyranose monomer) โดยเฮมิเซลลูโลสจะมีความเสถียรน้อยกว่าเซลลูโลสจึงทำให้เมื่อได้รับความร้อนจะสลายตัวได้ง่ายกว่า [10] โดยเฮมิเซลลูโลสจะเริ่มย่อยสลายที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส ในน้ำกึ่งวิกฤติ แต่จะเริ่มย่อยสลายที่อุณหภูมิ 200 ถึง 300 องศาเซลเซียส ในสภาวะปกติ [11]



รูปที่ 2.2 องค์ประกอบพื้นฐานของเฮมิเซลลูโลส [10]

2.1.3 ลิกนิน

ลิกนินเป็นโพลีเมอร์ธรรมชาติและสารประกอบอะโรมาติก ซึ่งประกอบด้วย หน่วยฟีนิล-โพรเพน (phenylpropane unit) หมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl group) และหมู่เมทอกซี (methoxy group) ยึดเกาะกันด้วยพันธะอีเทอร์ (ether bond) โดยลิกนินจะมีความต้านทานต่อการผุและการย่อยสลายทางชีวภาพมากกว่าเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส อีกทั้งลิกนินให้ค่าความร้อนสูงมากกว่าเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส [10] โดยลิกนินจะเริ่มย่อยสลายที่อุณหภูมิมากกว่า 220 องศาเซลเซียส ในน้ำกึ่งวิกฤติ แต่จะเริ่มย่อยสลายที่อุณหภูมิเหนือกว่า 600 องศาเซลเซียสในสภาวะปกติ [11]



รูปที่ 2.3 โครงสร้างตัวอย่างของลิกนิน [10]

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 น้ำ

น้ำจะมีจุดวิกฤตที่ 374 องศาเซลเซียสและ 22.1 เมกะปาสคาล น้ำสภาวะกึ่งวิกฤตถูกจัดอยู่ในช่วงอุณหภูมิที่ต่ำกว่าจุดวิกฤตมีอุณหภูมิในช่วง 100 ถึง 374 องศาเซลเซียส และภายใต้ความดันที่เพียงพอที่ยังเป็นของเหลวอยู่ ส่วนน้ำสภาวะวิกฤต คือ น้ำที่มีอุณหภูมิสูงกว่า 374 องศาเซลเซียส และความดันสูงกว่า 22.1 เมกะปาสคาล ที่อุณหภูมิที่ใกล้จุดวิกฤตการแลกเปลี่ยนไอออนิกของน้ำดีกว่าที่อุณหภูมิต่ำ อื่นทั้งความหนืดของน้ำจะลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น เมื่อความหนืดส่งผลให้สัมประสิทธิ์การแพร่มีค่าสูงและอัตราการเกิดปฏิกิริยาสูง นอกจากนี้ น้ำที่อุณหภูมิสูงสามารถเป็นตัวกลางในการทำกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลทรีตเมนต์ได้ดี [10]

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติของน้ำ

ข้อมูล	น้ำสภาวะปกติ	น้ำสภาวะกึ่งวิกฤต	น้ำสภาวะวิกฤต	
อุณหภูมิ (°C)	25	250	400	400
ความดัน (MPa)	0.1	5	25	50
ความหนาแน่น (g cm ⁻³)	0.997	0.80	0.17	0.58
ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก	78.5	27.1	5.9	10.5
ความจุความร้อน (kJ kg ⁻¹ K ⁻¹)	4.22	4.86	13	6.8
ความหนืด (mPa s)	0.89	0.11	0.03	0.07
ค่าการนำความร้อน (mW m ⁻¹ K ⁻¹)	608	620	160	438

2.3 กระบวนการไฮโดรเทอร์มอลทรีตเมนต์

กระบวนการไฮโดรเทอร์มอลทรีตเมนต์เป็นการแปรสภาพทางเคมีความร้อนที่สำคัญในการแปรรูปชีวมวลไปเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีค่าหรือเชื้อเพลิงชีวภาพ โดยใช้จะใช้ความร้อนในการทำลายชีวมวล กระบวนการไฮโดรเทอร์มอลทรีตเมนต์เป็นกระบวนการที่นิยมทำในน้ำที่อุณหภูมิ 250 ถึง 374 องศาเซลเซียส ภายใต้ความดัน 4 ถึง 22 เมกะปาสคาล ข้อดีของกระบวนการคือสามารถทำกับชีวมวลที่มีปริมาณความชื้นสูงโดยไม่จำเป็นต้องผ่านการทำให้แห้ง (pre-drying) ถ้ากระบวนการไฮโดรเทอร์มอลแก๊สซิฟิเคชัน (hydrothermal gasification) ใช้ชีวมวลที่มีความชื้นร้อยละ 30 ภายใต้สภาวะน้ำวิกฤตจะต้องการพลังงานที่ใช้ในกระบวนการนี้น้อยกว่ากระบวนการที่ทำให้ชีวมวล

แห้ง [10]

สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

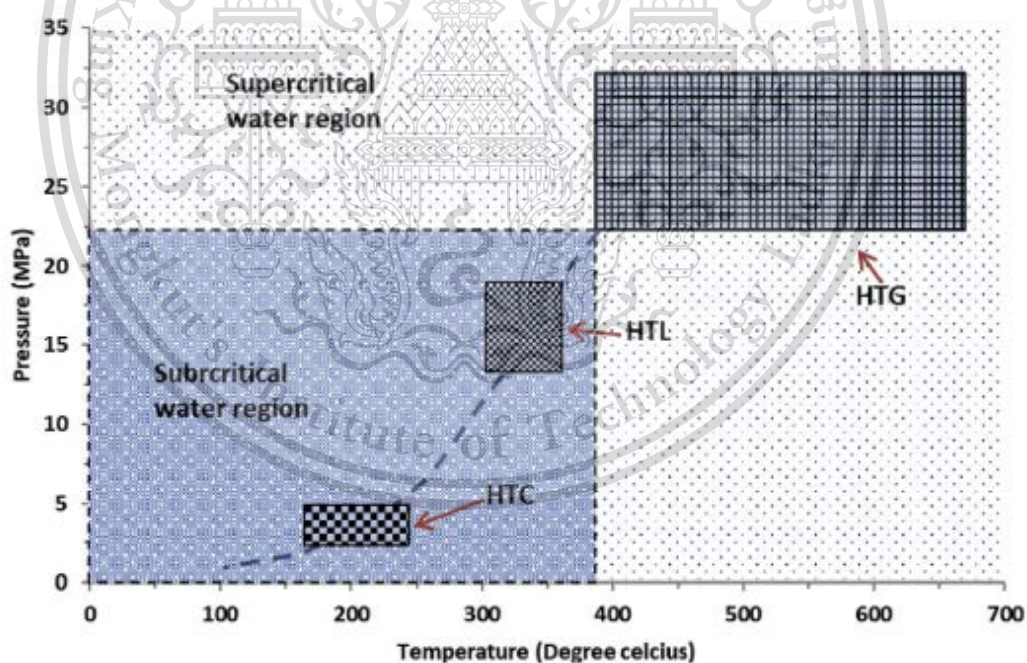
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

กระบวนการไฮโดรเทอร์มอลทรีตเมนต์สามารถแบ่งสถานะของการทำปฏิกิริยาได้ 2 แบบ คือสถานะของน้ำที่เป็นกึ่งวิกฤตและสถานะวิกฤต โดยสองสถานะนี้จะขึ้นอยู่กับจุดวิกฤตของน้ำ สำหรับสถานะที่แตกต่างกัน ลักษณะเฉพาะของน้ำก็แตกต่างกัน โดยสถานะเหล่านี้มีข้อดีคือ เซลลูโลสและลิกนินจะไม่ละลายในน้ำสถานะปกติแต่จะละลายก็ต่อเมื่อน้ำมีอุณหภูมิสูงหรือน้ำมีสถานะวิกฤต อีกทั้งที่สถานะวิกฤตจะทำให้โมเลกุลที่มีขนาดใหญ่ในชีวมวลแตกออกแล้วทำให้ได้ผลได้ที่ผลิตภัณฑ์เป็นแก๊สและภายใต้สถานะที่อุณหภูมิและความดันน้อยกว่าสถานะวิกฤต จะทำให้โมเลกุลที่มีขนาดใหญ่ในชีวมวลแตกออกแล้วทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นน้ำมันชีวภาพ (bio-oil) และเมื่อใช้อุณหภูมิและความดันในสถานะน้ำกึ่งวิกฤตในช่วงอุณหภูมิไม่มากจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ของแข็งที่เป็นถ่านไฮโดร การย่อยสลายของชีวมวลระหว่างชีวมวลจะเกิดจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ซึ่งปฏิกิริยานี้จะเริ่มที่อุณหภูมิมากกว่า 150 องศาเซลเซียส [10]

กระบวนการไฮโดรเทอร์มอลทรีตเมนต์สามารถแบ่งออกเป็น 3 ชนิดได้แก่ กระบวนการไฮโดรเทอร์มอลลิกวิแฟกชัน (hydrothermal liquefaction) กระบวนการไฮโดรเทอร์มอลแก๊สซิฟิเคชัน และกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนเซชัน



รูปที่ 2.4 กระบวนการไฮโดรเทอร์มอลทรีตเมนต์ [12]

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.

2.3.1 กระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนในเซชัน

โดยปกติกระบวนการคาร์บอนในเซชันเป็นกระบวนการสร้างวัสดุให้มืองค์ประกอบของคาร์บอนเพิ่มขึ้นจากวัสดุที่เป็นสารอินทรีย์ แต่เมื่อเป็นกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนในเซชัน จะเป็นกระบวนการการแปรสภาพทางเคมีความร้อนชนิดหนึ่งที่มีน้ำเป็นส่วนในการช่วยในการทำคาร์บอนในเซชัน กระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนในเซชันใช้น้ำที่อุณหภูมิ 180 ถึง 250 องศาเซลเซียส ในสถานะเหล่านี้จะกลายเป็นตัวทำปฏิกิริยาและตัวทำละลาย โดยชีวมวลประกอบด้วยโซ่โพลีเมอร์ที่แตกต่างกัน กลไกสำหรับการแปลงเป็นถ่านไฮโดรนั้นค่อนข้างซับซ้อน ปริมาณเฮมิเซลลูโลส เซลลูโลสและลิกนิน จะถือว่าเป็นองค์ประกอบหลักของชีวมวล [13] โดยองค์ประกอบเหล่านี้จะถูกไฮโดรไลซิส (hydrolysis) และจะเกิดโพลีเมอร์ไรเซชัน (polymerization) เป็นถ่านไฮโดร ซึ่งกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนในเซชันนี้เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและเป็นกระบวนการที่ใช้เงินในการดำเนินงานน้อย กระบวนการนี้ใช้พลังงานน้อยกว่าการผลิตถ่านดั้งเดิม และให้ผลได้ของผลิตภัณฑ์ที่สูงกว่าในระยะเวลาสั้น โดยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนในเซชันมีปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นดังนี้ [10]

- กระบวนการไฮโดรไลซิส

กระบวนการไฮโดรไลซิสเป็นกระบวนการทางเคมีที่ใช้น้ำไปสลายพันธะในชีวมวล โดยโมเลกุลของน้ำจะก่อตัวในรูปของไฮดรอกซิล (OH^-) และไฮโดรเนียม (H_3O^+) ไอออน และจะไปตีพอลิเมอร์ไรเซชัน พันธะโพลีเมอร์ที่มีอยู่ในพืชให้เป็นพันธะที่เล็กกว่า เช่น เซลลูโลสเป็นกลูโคส เป็นต้น [12]

- กระบวนการดีไฮเดรชันหรือกระบวนการดีคาร์บอกซิเลชัน

กระบวนการดีไฮเดรชัน (dehydration) จะทำให้โมเลกุลออกซิเจนและไฮโดรเจนถูกขับออกจากชีวมวล และกระบวนการดีคาร์บอกซิเลชัน (decarboxylation) จะทำการขับโมเลกุลออกซิเจนและคาร์บอนออกไปจากชีวมวล โดยการบวนการดีไฮเดรชันจะทำให้น้ำถูกขับออกจากชีวมวล ส่วนกระบวนการดีคาร์บอกซิเลชันจะทำให้คาร์บอนแตกตัวออกมาในรูปของหมู่ไฮดรอกซิลจากโครงสร้าง [12]

- กระบวนการคาร์บอนในเซชัน

ในกระบวนการนี้จะทำให้โครงสร้างคาร์บอนเกิดขึ้น โดยจะเกิดกระบวนการรีโพลีเมอร์ไรเซชัน (repolymerization) ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ในรูปของแข็งที่มีคาร์บอนสูง [12]

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.

ตารางที่ 2.2 ข้อดีและข้อเสียของกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนเซชัน [14]

ข้อดี	ข้อเสีย
<ul style="list-style-type: none"> - สามารถใช้กับชีวมวลเปียกได้ - สามารถเพิ่มคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของถ่านไฮโดรเมื่อเปรียบเทียบกับชีวมวลดิบ - ผลិតภัณฑ์ของแข็งมีปริมาณต่ำกว่า - ของเหลวมีเปอร์เซ็นต์ที่เพิ่มขึ้นของวัสดุที่ละลายน้ำได้ - อุณหภูมิและเวลาในการทำงานค่อนข้างต่ำ 	<ul style="list-style-type: none"> - จำเป็นต้องแยกผลิตภัณฑ์ที่เป็นของแข็งและของเหลวออก - จำเป็นต้องเลือกรูปแบบการกรอง - จำเป็นต้องอบแห้งผลิตภัณฑ์ที่เป็นของแข็ง

2.4 ถ่านไฮโดร

ถ่านไฮโดรเป็นถ่านที่ผลิตในอุณหภูมิค่อนข้างต่ำ โดยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนเซชัน ซึ่งถ่านชีวภาพ (biochar) และถ่านไฮโดร จะมีลักษณะคล้ายคลึงกัน แต่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในแง่ของวิธีการผลิต ตลอดจนคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมี โดยถ่านชีวภาพจะผลิตในบรรยากาศที่ขาดออกซิเจน ในขณะที่ถ่านไฮโดรจะผลิตในน้ำกึ่งวิกฤตที่อุณหภูมิต่ำกว่า โดยคุณสมบัติของตัวอย่างถ่านชีวภาพและถ่านไฮโดร แสดงดังตารางที่ 2.3 ซึ่งเป็นคุณสมบัติของถ่านชีวภาพและถ่านไฮโดรที่ผลิตจากหญ้ามีสแคนทัส ภายใต้สภาวะที่คล้ายคลึงกันยกเว้นเวลาปฏิกิริยา เนื่องจากไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนเซชันเป็นกระบวนการที่เร็วกว่า ฉะนั้นต้องใช้เวลาที่สั้นกว่าการทำเทอร์รีเฟกชันแบบแห้ง จะเห็นได้ว่าถ่านไฮโดรมีคาร์บอนคงที่สูงกว่า ความหนาแน่นของพลังงานสูงกว่า แต่มีผลได้ร้อยละน้อยกว่า คุณสมบัติที่สำคัญของถ่านไฮโดร คือ การลดลงของปริมาณเถ้า (ash content: AC) [15]

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.

ตารางที่ 2.3 คุณสมบัติของถ่านชีวภาพและถ่านไฮโดรที่ผลิตจากหญ้ามิสแคนทัส

ข้อมูล	ถ่านชีวภาพ (30 นาที)	ถ่านไฮโดร (5 นาที)
อุณหภูมิ (°C)	260	260
ความชื้น (%) (wb)	แห้ง	แห้ง
สารระเหย (%db)	84.8	68.9
คาร์บอน (%db)	14.2	30.3
ผลได้ร้อยละ	84.8	47.8
ความหนาแน่นของพลังงาน (db) (MJ/kg)	20.3	25.9

*db = dry basis

2.4.1 เชิงพลังงาน

2.4.1.1 การวิเคราะห์ผลเชิงพลังงาน

- ถ้ำ

ถ้ำ หมายถึง ส่วนหนึ่งที่อยู่ในชีวมวล ประกอบด้วยแร่ธาตุที่ไม่ติดไฟซึ่งเป็นสารจำพวกสารประกอบอนินทรีย์ เช่น โซเดียม โพแทสเซียม แคลเซียม ซิลิกอน ฟอสฟอรัสและคลอรีน เป็นต้น สารอนินทรีย์จำพวกแคลเซียมและโพแทสเซียมเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาการสลายตัวของชีวมวลและการเกิดปฏิกิริยาการเกิดถ่าน การมีถ้ำปริมาณมากจะทำให้เกิดความยากในการใช้เครื่องจักรสำหรับเผาไหม้ เพราะเมื่อเกิดการเผาไหม้ ถ้ำจะเกิดการละลายแล้วทำให้เกิดคราบบนพื้นผิว (fouling) และคราบเหนียวที่ติดตรงกันถึงของเครื่องจักรสำหรับเผาไหม้ (slagging) [16]

- สารระเหย

สารระเหย (volatile matter: VM) คือ ส่วนที่ลุกไหม้ได้ง่าย ดังนั้น ถ่านหรือชีวมวลที่มีค่าสารระเหยสูง ก็จะติดไฟได้ง่าย [17]

- คาร์บอนคงที่

คาร์บอนคงที่ (fixed carbon: FC) เป็นส่วนที่เสถียรที่สุดในชีวมวล ประกอบด้วยคาร์บอนเป็นส่วนใหญ่ ถ้าวถ่านมีค่าคาร์บอนคงที่ต่ำ ก็จะทำให้สันดาปได้ไม่ดี มีอุณหภูมิจุดติดไฟต่ำ [17]

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.

- ค่าความร้อนสูง

ค่าความร้อนสูง (high heating value: HHV) คือ ปริมาณความร้อนที่ปล่อยออกมาเมื่อเกิดการเผาไหม้ แล้วรวมไปถึงความร้อนจากการกลั่นตัวของไอน้ำ สามารถหาได้จาก Bomb calorimeter อีกทั้งสามารถคำนวณได้จากสมการของ Channiwala และ Parikh ที่เผยแพร่ในปี 2002 ซึ่งเป็นสมการที่ใช้หาค่าความร้อนสูงจากองค์ประกอบธาตุของเชื้อเพลิงของแข็ง ของเหลว และแก๊ส โดยที่เชื้อเพลิงต้องมีคาร์บอนอยู่ระหว่าง 0 ถึง 92.25 เปอร์เซ็นต์ ไฮโดรเจน 0.43 ถึง 25.15 เปอร์เซ็นต์ ออกซิเจน 0 ถึง 50 เปอร์เซ็นต์ ไนโตรเจน 0 ถึง 5.60 เปอร์เซ็นต์ ซัลเฟอร์ 0 ถึง 94.08 เปอร์เซ็นต์ และเถ้า 0 ถึง 71.4 เปอร์เซ็นต์ ข้อจำกัดของสมการคือ ต้องมีค่าขององค์ประกอบธาตุอยู่ในช่วงที่กำหนด และเมื่อนำสมการไปคิดการเผาวัสดุจำพวก หนั ยาง พลาสติก และแร่ธาตุ การคำนวณที่ได้ออกมาจะไม่แม่นยำ [14]

$$\text{HHV (MJ}\cdot\text{kg}^{-1}) = 0.3491 \times C + 1.1783 \times H + 0.1005 \times S - 0.1034 \times O - 0.0151 \times N - 0.0211 \times AC \quad (2-1)$$

เมื่อ AC หมายถึง ปริมาณเถ้า (% โดยมวล) C หมายถึง ปริมาณคาร์บอน (% โดยมวล) O หมายถึง ปริมาณออกซิเจน (% โดยมวล) N หมายถึง ปริมาณไนโตรเจน (% โดยมวล) และ S หมายถึง ปริมาณซัลเฟอร์ (% โดยมวล)

2.4.2 เชิงการดูดซับ

2.4.2.1 การกระตุ้น

ถ่านไฮโดรสามารถนำไปผลิตถ่านกัมมันต์ได้โดยผ่านการกระตุ้นโดยการกระตุ้นมี 2 แบบ คือ การกระตุ้นทางกายภาพ (physical activation) และการกระตุ้นทางเคมี (chemical activation) วัตถุประสงค์ของกระบวนการกระตุ้น คือ การเพิ่มรูพรุนและพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ กระบวนการกระตุ้นสามารถแบ่งประเภทได้ดังนี้

- การกระตุ้นทางกายภาพ

การกระตุ้นทางกายภาพเกิดขึ้นที่อุณหภูมิสูงโดยการใช้แก๊สเฉื่อยในระหว่างกระบวนการกระตุ้น เช่น ไอน้ำ แก๊สไนโตรเจน แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ แก๊สอาร์กอนหรือของผสมของแก๊สเฉื่อย เพื่อเป็นการป้องกันการเผาไหม้ของเส้นใยคาร์บอนของชีวมวล โดยปกติแล้วแก๊สไนโตรเจนนิยมใช้เป็นแก๊สบรรยากาศในระหว่างกระบวนการกระตุ้นเพราะสามารถขับไล่แก๊สออกซิเจนออกจากห้องไพโรไลซิส ดังนั้นจึงสามารถหลีกเลี่ยงการเผาไหม้ของชีวมวลได้ แก๊สไนโตรเจน

สะดวก ง่ายต่อการจัดการและราคาประหยัด นอกจากนี้ยังช่วยในการควบคุมอุณหภูมิของกระบวนการกระตุ้น ในขั้นตอนการกระตุ้นจะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิตั้งแต่ 700 ถึง 1100 องศาเซลเซียส [18]

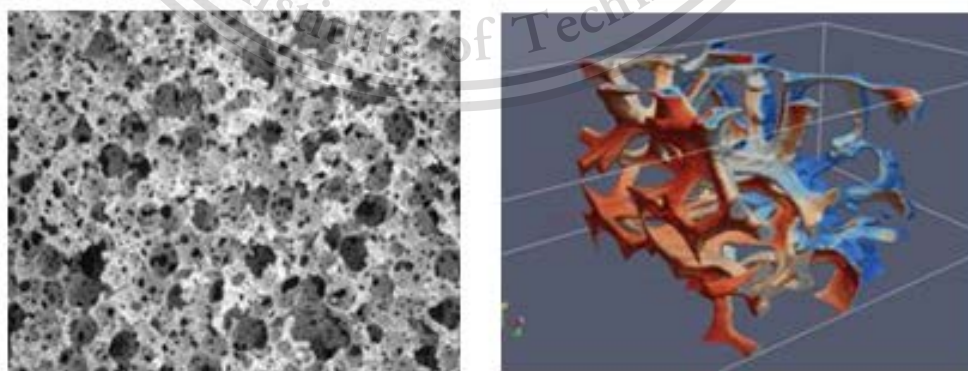
- การกระตุ้นทางเคมี

การกระตุ้นทางเคมีทำได้โดยการทำให้สารตั้งต้นชุ่มไปด้วยสารเคมีก่อนหรือหลังขั้นตอนการทำให้เป็นถ่าน สารที่ใช้ในการกระตุ้นทางเคมีมีหลากหลายเช่น กรดซัลฟิวริก กรดไนตริก กรดฟอสฟอริก ซิงค์(II)คลอไรด์ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ โซเดียมไฮดรอกไซด์ แคลเซียมคาร์บอเนต ฯลฯ สารตั้งต้นที่ชุ่มด้วยสารเคมีจะอยู่ภายใต้การให้ความร้อนที่อยู่ระหว่าง 400 ถึง 1000 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศเฉื่อยเพื่อให้ได้โครงสร้างที่มีรูพรุนพร้อมมีพื้นที่ผิวมากขึ้น สารเคมีช่วยในการพัฒนารูพรุนของถ่านกัมมันต์โดยกระบวนการดีไฮเดรชันและการย่อยสลายของโครงสร้างของชีวมวล โดยเฉพาะสารที่เป็นอัลคาไลน์จะช่วยในการสร้างรูพรุนขนาดเล็ก การกระตุ้นประเภทนี้มีข้อดีมากกว่าการกระตุ้นทางกายภาพ โดยการกระตุ้นประเภทนี้ใช้อุณหภูมิที่ต่ำกว่า ใช้เวลาในกระบวนการน้อยกว่า ได้ผลได้ที่มากกว่า แต่ข้อเสียคือ ต้องมีการล้างถ่านกัมมันต์หลังจากทำการกระตุ้น [18]

2.4.2.2 การวิเคราะห์ผลเชิงการดูดซับ

- พื้นที่ผิวจำเพาะ

พื้นที่ผิวจำเพาะของวัสดุที่มีรูพรุน หมายถึง พื้นที่ผิวคั่นระหว่างหน้าของช่องว่างและรูพรุนต่อหน่วยมวลหรือต่อปริมาตรปริมาณมากต่อหน่วยของวัสดุที่มีรูพรุน นิยมวิเคราะห์ด้วยเครื่อง BET ซึ่งเป็นเครื่องที่วิเคราะห์รูพรุนของอนุภาคโดยใช้หลักการดูดซับแก๊สไนโตรเจน [19]



รูปที่ 2.5 พื้นที่ผิวจำเพาะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น 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.

- ขนาดรูพรุน

ขนาดของรูพรุนมีทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ รูพรุนขนาดใหญ่ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 50 นาโนเมตร รูพรุนขนาดกลางมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 ถึง 50 นาโนเมตร รูพรุนขนาดเล็กมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 2 นาโนเมตร โดยขนาดของรูพรุนสามารถมีการตรวจสอบเบื้องต้นก่อนได้ว่า ถ้ามีรูพรุนชนิดใดเป็นจำนวนมากโดย ถ้าเป็นรูพรุนชนิดกลางเมื่อนำไปทดสอบด้วยวิธีการเมทิลลีนบลู จะได้ค่าการดูดซับเมทิลลีนบลูที่สูง ส่วนรูพรุนขนาดเล็กสามารถตรวจสอบได้ด้วยวิธีการไอโอดีนนัมเบอร์

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในปี 2016 วิชชญา พลภักกิจ และ สุธรรม ปทุมสวัสดิ์ ศึกษาค้นคว้าทำการทดลองโดยมีสารตั้งต้นเป็นอ้อย ทำการทดลองโดยการทำให้ไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนเซชันโดยใช้อุณหภูมิที่ต่างกัน ได้แก่ 180 220 และ 250 องศาเซลเซียส และใช้เวลาในการทำการทดลองที่ต่างกัน ได้แก่ 0.5 1 และ 2 ชั่วโมง ภายใต้ความดันอิสระ ได้ผลคือ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ผลได้ร้อยละ ค่าออกซิเจน และค่าไฮโดรเจน มีแนวโน้มลดลงเนื่องจากการไฮโดรไลซิสของเฮมิเซลลูโลส เซลลูโลส และลิกนิน และเมื่อเวลาในการทำการทดลองเพิ่มขึ้นค่าคาร์บอนจะมีสูงขึ้นแต่ผลได้ร้อยละจะน้อยลง [20]

ในปี 2019 Noor Syuhadah Subki และคณะ ศึกษาค้นคว้าทำการทดลองโดยมีสารตั้งต้นเป็นของเหลือใช้จากสับปะรด ได้แก่ จุก แกน และเปลือก ทำการทดลองโดยใช้สารกระตุ้นแตกต่างกัน 2 ชนิด ได้แก่ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) และซิงค์(II)คลอไรด์ ($ZnCl_2$) ได้ผลคือ ถ่านกัมมันต์ที่ได้มาจากส่วนเปลือกและกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์มีประสิทธิภาพของการดูดซับโลหะหนัก ได้แก่ ตะกั่วและอะลูมิเนียมสูงที่สุด [21]

ในปี 2019 Guangzhi Yang และคณะ ศึกษาค้นคว้าทำการทดลองโดยมีสารตั้งต้นเป็นใบไม้ ทำการทดลองโดยการทำให้ไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนเซชันโดยใช้อุณหภูมิที่ต่างกัน ได้แก่ 180 210 240 270 และ 300 องศาเซลเซียส ในเวลา 5 ชั่วโมง แล้วนำไปกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์โดยการแช่ด้วยอัตราของถ่านไฮโดรต่อโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ด้วยอัตรา 1:3 โดยมวล เป็นเวลา 16 ชั่วโมง แล้วนำไปเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ได้ผลคือ ในช่วง 180 ถึง 240 องศาเซลเซียสให้ค่าการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นตามการเพิ่มของอุณหภูมิและอุณหภูมิ 240 องศาเซลเซียสให้ค่าการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์สูงที่สุดเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของปริมาตรรูพรุนและ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ห้ามเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
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.

พื้นที่ผิว แต่ในช่วงอุณหภูมิ 270 ถึง 300 องศาเซลเซียสให้ค่าการดูดซับที่น้อยลงเองจากการลดลงของปริมาตรรูพรุนและพื้นที่ผิว [22]

ในปี 2021 อังกิตา เศรษฐธา และคณะ ศึกษาค้นคว้าทำการทดลองโดยมีสารตั้งต้นเป็นผักกาดทะเล ทำการทดลองโดยการทำไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนเซชันโดยใช้อุณหภูมิที่ต่างกัน ได้แก่ 150 180 200 และ 220 องศาเซลเซียส และใช้เวลาในการทำการทดลองที่ต่างกัน ได้แก่ 0.5 1 และ 2 ชั่วโมง ได้ผลคือ เมื่อนำชีวมวลไปผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนเซชันจะทำให้ค่าพลังงานที่มากกว่าการนำสารตั้งต้นไปทำเป็นเชื้อเพลิง โดยเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นและระยะเวลาเพิ่มมากขึ้น จะทำให้ค่าคาร์บอนสูงขึ้นส่งผลให้ค่าพลังงานที่ได้สูงขึ้น [23]



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.

บทที่ 3

ขั้นตอนการดำเนินงาน

3.1 วัสดุดิบและสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. เปลือกสับประรดพันธุ์ภูเก็ต จากบริเวณโรงเรียนพรตพิทยพยัต มีความชื้น 83%
2. น้ำ DI

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. ตู้อบ
2. ปีกเกอร์
3. กระบอกลดแรงดัน
4. เครื่องชั่งน้ำหนัก 2 ตำแหน่ง
5. ขวดรูปชมพู่
6. เครื่องปฏิกรณ์ความดันสูงขนาด 250 มิลลิลิตร (high pressure autoclave reactor)
7. กระดาษกรอง
8. เครื่องกรองแบบลดความดัน
9. เครื่องเขย่าตะแกรง (sieve shaker)
10. ตะแกรงคัดขนาด (sieve)
11. เครื่องบดเนกประสงค์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.1 เครื่องปฏิกรณ์ความดันสูงขนาด 250 มิลลิลิตร [24]

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

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



รูปที่ 3.2 เครื่องบดอเนกประสงค์ [25]

3.3 ขั้นตอนการทดลอง

3.3.1 การเตรียมวัตถุดิบตั้งต้น

นำเปลือกสับปะรดเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่ แล้วนำเปลือกสับปะรดแห้งไปบดด้วยเครื่องบดอเนกประสงค์ให้มีขนาดเล็กลง จากนั้นผงสับปะรดแห้งไปคัดขนาดด้วยตะแกรงคัดขนาดและเครื่องเขย่าตะแกรงให้ได้ผงสับปะรดที่มีขนาดน้อยกว่า 250 ไมโครเมตร



รูปที่ 3.3 เปลือกสับปะรดสด



รูปที่ 3.4 เปลือกสับปะรดแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่ให้บุคคลภายนอกนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

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.

3.3.2 การทำถ่านไฮโดร

1. นำผงของวัตถุดิบตั้งต้น 15 กรัมผสมกับน้ำ 120 มิลลิลิตรไปใส่เครื่องปฏิกรณ์ความดันสูง
2. ปรับความดันของเครื่องปฏิกรณ์ความดันสูงด้วยแก๊สไนโตรเจน 10 บาร์ ปรับอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ความดันสูงเป็น 150 องศาเซลเซียส แล้วปรับความเร็วรอบของใบกวนให้มีค่า 92 รอบต่อนาที เมื่ออุณหภูมิถึงค่าที่ตั้งค่าไว้ ทำการจับเวลา 1 ชั่วโมง
3. นำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปกรองลดความดัน จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
4. ทำการทดลองซ้ำโดยทำการเปลี่ยนอุณหภูมิเป็น 200 และ 250 องศาเซลเซียส
5. ทำการทดลองอีกครั้งตามข้อ 1 ถึงข้อ 4 แต่เปลี่ยนเวลาที่จับตอนที่อุณหภูมิถึงค่าที่ตั้งค่าเป็น 2 และ 3 ชั่วโมง

3.3.3 การวิเคราะห์ร้อยละผลได้

จากการทดลองสามารถคิดวิเคราะห์ร้อยละผลได้จากสมการดังนี้

$$\text{ร้อยละผลได้ของถ่านไฮโดร (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักของถ่านไฮโดร}}{\text{น้ำหนักของสารตั้งต้น}} \times 100 \quad (3-1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

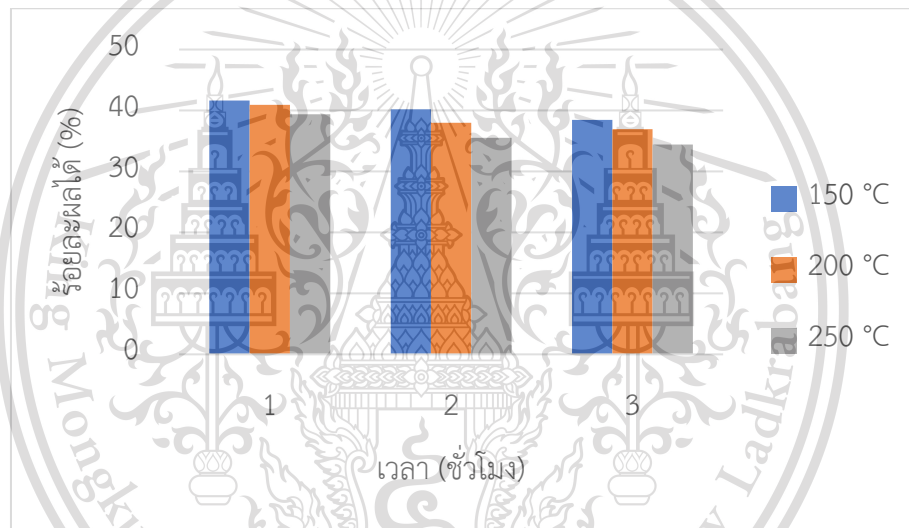
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 4

ผลการดำเนินงาน

เนื่องจากสถานการณ์แพร่ระบาดของ COVID-19 ทำให้ไม่สามารถทดสอบและวิเคราะห์ถ่านไฮโดรที่ผลิตได้อย่างครบถ้วน จึงนำงานวิจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องมาทำการศึกษา เพื่อศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิและเวลาในกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนเซชันที่ส่งผลต่อร้อยละผลได้ ค่าความร้อนสูง และรูปพรุนของถ่านไฮโดรที่ผลิตจากเปลือกสับประรด โดยคุณสมบัติที่ดีของถ่านไฮโดรควรมีค่าร้อยละผลได้ ค่าความร้อนสูง และรูปพรุน ที่เหมาะต่อการใช้งาน ซึ่งเมื่อนำไปเป็นเชื้อเพลิงควรมีค่าความร้อนสูงที่มาก และเมื่อนำไปดูดซับควรมีค่ารูปพรุนที่สูง แต่ก็ควรอยู่ในค่าร้อยละผลได้ที่เหมาะสม

4.1 อิทธิพลของอุณหภูมิที่ส่งผลต่อร้อยละผลได้ของถ่านไฮโดร



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงร้อยละผลได้และเวลา

จากรูปที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าอิทธิพลของอุณหภูมิของกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนเซชันส่งผลต่อร้อยละผลได้ของถ่านไฮโดร โดยเมื่อทำการเพิ่มอุณหภูมิร้อยละผลได้จะลดลง โดยในแต่ละเวลาจะเห็นได้ว่าอุณหภูมิที่ 250 องศาเซลเซียสจะมีค่าร้อยละผลได้น้อยที่สุด คือ 1 2 และ 3 ชั่วโมง จะมีค่าร้อยละผลได้ 39.39 35.52 และ 34.42 ตามลำดับ และจะเห็นได้ว่าอุณหภูมิที่ 150 องศาเซลเซียสจะมีค่าร้อยละผลได้มากที่สุด คือ 1 2 และ 3 ชั่วโมง จะมีค่าร้อยละผลได้ 41.63 40.20 และ 38.46 ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Loreto Suarez และคณะ และงานวิจัยของ Manfredi Picciotto Maniscalco และคณะ

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.

ในปี 2020 Loreto Suarez และคณะ ศึกษาค้นคว้าทำการทดลองโดยมีสารตั้งต้นเป็นกากแอปเปิ้ล ทำการทดลองโดยการทำไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนเซชันโดยใช้อุณหภูมิที่ต่างกัน ได้แก่ 180 และ 230 องศาเซลเซียส และใช้เวลาในการทำการทดลองที่ต่างกัน ได้แก่ 2 และ 4 ชั่วโมง เมื่อนำผลการทดลองที่ 2 ชั่วโมงมาศึกษา ได้ผลคือ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นค่าร้อยละผลได้ของถ่านไฮโดรจะสูงขึ้น [26]

ในปี 2020 Manfredi Picciotto Maniscalco และคณะ ได้ทำการศึกษาค้นคว้าทำการทดลองโดยมีสารตั้งต้นเป็นชีวมวลชนิดต่างๆ เช่น กากใบชา กากธัญพืช และฟัทมอส เป็นต้น ทำการทดลองโดยใช้กระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนเซชัน ใช้อุณหภูมิและเวลาที่แตกต่างกัน เมื่อนำผลการทดลองของ กากใบชา และกากธัญพืชมาศึกษา ได้ผลคือ ถ่านไฮโดรจากชีวมวลที่ได้จากกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนเซชันมีสมบัติด้านการเผาไหม้ตามอุณหภูมิที่เพิ่ม แต่ค่าร้อยละผลได้น้อยลงตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น [27]

ตารางที่ 4.1 อิทธิพลของอุณหภูมิที่ส่งผลต่อถ่านไฮโดรจากชีวมวลชนิดต่างๆ [26,27]

ชีวมวล	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (ชั่วโมง)	การวิเคราะห์โดยละเอียด (%)			สารระเหย (%)			ร้อยละผลได้ (%)	HHV (MJ/kg)
			VM (%)	FC (%)	Ash (%)	C (%)	H (%)	O (%)		
กากใบชา	-	-	69.4	17.2	13.4	45.1	5.9	32.7	-	19.3
	180	0.5	65.8	16.0	18.1	58.6	6.9	31.6	69	20.5
	210		63.4	16.6	20.0	62.6	6.9	27.6	63	22.1
	240		58.4	19.1	22.5	68.4	6.5	22.1	53	26.3
กากธัญพืช	-	-	76.2	16.0	7.8	51.2	6.9	36.5	-	22.3
	180	2.0	74.2	22.4	3.4	60.2	7.4	28.3	66	26.7
	200		71.7	25.1	3.2	62.3	7.2	26.2	62	27.5
	220		68.0	28.7	3.2	66.5	7.3	21.9	52	29.6
กากแอปเปิ้ล	-	-	79.0	18.7	2.3	47.1	6.4	45.9	-	18.7
	180	2.0	70.1	29.1	0.8	59.9	5.5	32.9	73	23.75
	230		56.1	42.9	1.0	72.3	6.0	19.9	62	28.99

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น 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.

จากตารางที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้ปริมาณสารระเหย คาร์บอนคองก์ และถ้าเกิดการเปลี่ยนแปลงอันเนื่องมาจากการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ดีไฮเดรชัน ดีคาร์บอกซิเลชัน และคาร์บอนไนเซชัน แล้วทำให้ได้ถ่านออกมาซึ่งเป็นของแข็งที่มีคาร์บอนคองก์ที่เพิ่มขึ้น ค่าออกซิเจน ค่าไฮโดรเจนและถ่านลดลง เมื่อทำการเพิ่มอุณหภูมิ โดยค่าร้อยละผลได้ที่ลดน้อยลง เกิดจากองค์ประกอบต่างๆ ในชีวมวล เกิดการแปรสภาพเป็นผลิตภัณฑ์อื่นออกมาในรูป ของเหลวและแก๊ส ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Antonio Picone และคณะ

ในปี 2021 Antonio Picone และคณะ ได้ทำการทดลองศึกษาค้นคว้าทำการทดลองโดยมีสารตั้งต้นเป็นเปลือกมะนาว ทำการทดลองโดยการทำให้ไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนไนเซชันโดยใช้อุณหภูมิที่ต่างกัน ได้แก่ 180 220 และ 250 องศาเซลเซียส และใช้เวลาในการทำการทดลองที่ 1 ชั่วโมง ได้ผลคือ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจะทำให้ผลิตภัณฑ์ออกมาในรูปของของเหลวและแก๊สมากขึ้น [28]

ตารางที่ 4.2 ร้อยละผลได้ที่ของผลิตภัณฑ์จากเปลือกมะนาว [28]

ตัวอย่าง	ร้อยละผลได้ที่ (%)		
	ของแข็ง	ของเหลว	แก๊ส
LP180	55.9	37.6	6.5
LP220	51.2	37.6	11.2
LP250	41.9	43.4	14.8

*LP = เปลือกมะนาว

จากตารางที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการสูงขึ้นจะทำให้ของแข็งที่ได้ลดลง ของเหลวและแก๊สสูงขึ้น

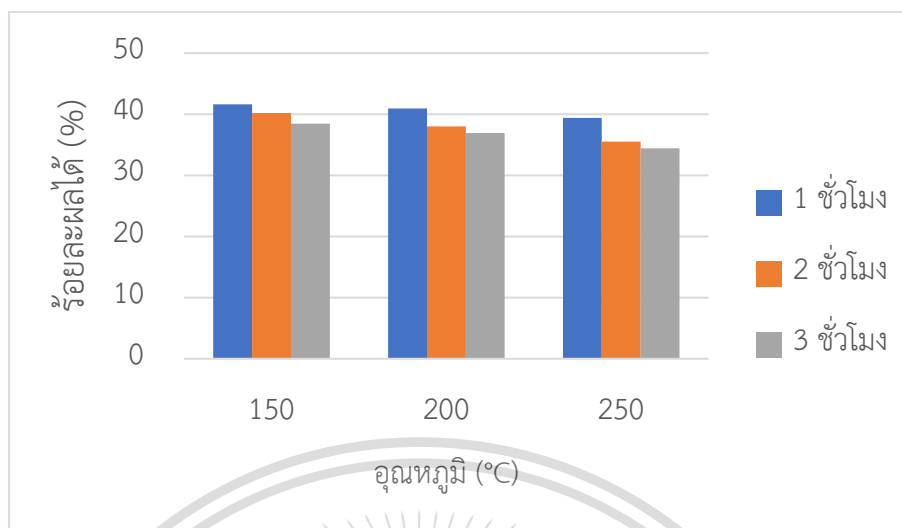
ดังนั้น จากการทดลองศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิของกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนไนเซชันต่อถ่านไฮโดร จะเห็นได้ว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ร้อยละผลได้ที่ได้จะลดลง อันเนื่องมาจากองค์ประกอบต่างๆ ในชีวมวลเกิดการแปรสภาพไปเป็นผลิตภัณฑ์อื่น คือ ของเหลวและแก๊ส โดยถ่านไฮโดรที่ได้จะมีปริมาณคาร์บอนคองก์ที่เพิ่มขึ้น ค่าออกซิเจน ค่าไฮโดรเจนและถ่านลดลง เมื่อทำการเพิ่มอุณหภูมิ ซึ่งแนวโน้มขององค์ประกอบของถ่านไฮโดรที่เปลี่ยนแปลงไปเป็นการศึกษาจากงานวิจัยอื่นๆ เพราะฉะนั้นควรมีการวิเคราะห์ถ่านไฮโดรของงานวิจัยนี้ โดยทำการวิเคราะห์ค่าคาร์บอนคองก์ สารระเหย และถ่าน

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.

4.2 อิทธิพลของเวลาที่ส่งผลต่อร้อยละผลได้ของถ่านไฮโดร



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงร้อยละผลได้และอุณหภูมิ

จากรูปที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าอิทธิพลของเวลาของกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอไนเซชันส่งผลต่อร้อยละผลได้ของถ่านไฮโดร โดยในแต่ละอุณหภูมิจะเห็นได้ว่าเวลาในกระบวนการที่ 3 ชั่วโมงจะมีค่าร้อยละผลได้น้อยที่สุด คือ 150 200 และ 250 องศาเซลเซียส จะมีค่าร้อยละผลได้ 38.46 36.93 และ 34.42 ตามลำดับ และจะเห็นได้ว่าเวลาในกระบวนการที่ 1 ชั่วโมงจะมีค่าร้อยละผลได้มากที่สุด คือ 150 200 และ 250 องศาเซลเซียส จะมีค่าร้อยละผลได้ 41.63 40.94 และ 39.39 ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Loreto Suarez และคณะ และงานวิจัยของ Manfredi Picciotto Maniscalco และคณะ

ในปี 2020 Loreto Suarez และคณะ ศึกษาค้นคว้าทำการทดลองโดยมีสารตั้งต้นเป็นกากแอปเปิ้ล ทำการทดลองโดยการทำให้ไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอไนเซชันโดยใช้อุณหภูมิที่ต่างกัน ได้แก่ 180 และ 230 องศาเซลเซียส และใช้เวลาในการทำการทดลองที่ต่างกัน ได้แก่ 2 และ 4 ชั่วโมง เมื่อนำผลการทดลองที่อุณหภูมิ 230 องศาเซลเซียสมาศึกษา จะเห็นได้ว่า เมื่อเวลานานขึ้นค่าร้อยละผลได้ของถ่านไฮโดรจะน้อยลง [26]

ในปี 2020 Manfredi Picciotto Maniscalco และคณะ ได้ทำการศึกษาค้นคว้าทำการทดลองโดยมีสารตั้งต้นเป็นชีวมวลชนิดต่างๆ เช่น กากใบชา กากธัญพืช และฟัทมอส เป็นต้น ทำการทดลองโดยใช้กระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอไนเซชัน ใช้อุณหภูมิและเวลาที่แตกต่างกัน เมื่อนำผลการทดลองของฟัทมอสมาศึกษา จะเห็นได้ว่า ถ่านไฮโดรจากชีวมวลที่ได้จากกระบวนการ

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

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

ไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนเซชันมีสมบัติด้านเผาไหม้ตามเวลาที่เพิ่ม แต่ค่าร้อยละผลได้น้อยลงตามเวลาที่นานขึ้น [27]

ตารางที่ 4.3 อิทธิพลของเวลาส่งผลต่อถ่านไฮโดรจากชีวมวลต่างๆ [26,27]

ชีวมวล	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (ชั่วโมง)	การวิเคราะห์โดยละเอียด (%)			สารระเหย (%)			ร้อยละผลได้ (%)	HHV (MJ/kg)
			VM (%)	FC (%)	Ash (%)	C (%)	H (%)	O (%)		
พีทมอส	-	-	65.9	27.4	6.7	51.1	5.4	42.0	-	21.3
	240	0.25	52.4	40.5	7.1	59.5	4.8	34.1	74	25.2
		0.5	51.4	42.4	6.2	61.5	5.0	31.8	73	25.3
		0.75	51.5	41.8	6.8	62.5	4.9	31.3	70	25.8
กากแอปเปิ้ล	-	-	79.0	18.7	2.3	47.1	6.4	45.9	-	18.7
	230	2.0	56.1	42.9	1.0	72.3	6.0	19.9	62	28.99
		4.0	51.4	47.8	0.8	73.7	5.7	18.5	53	29.73

จากตารางที่ 4.3 จะเห็นได้ว่าเมื่อเวลานานขึ้นจะทำให้ปริมาณสารระเหยในชีวมวลลดลง เนื่องจากเกิดการทำปฏิกิริยาระหว่างน้ำและส่วนประกอบในชีวมวลนานขึ้นและการเกิดปฏิกิริยาโรลลิเมอไรเซชันมากขึ้น ทำให้ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ลดลง ถ่านไฮโดรที่ได้มีค่าคาร์บอนคงที่เพิ่มขึ้น ค่าออกซิเจน ค่าไฮโดรเจนและเถ้าลดลง ตามระยะเวลาที่นานขึ้น โดยเมื่อทำการเทียบอิทธิพลระหว่างอุณหภูมิจากตารางที่ 4.1 และเวลาจากตารางที่ 4.3 ต่อร้อยละผลพลอยได้จะเห็นได้ว่าอิทธิพลของอุณหภูมิส่งผลมากกว่า เนื่องมาจากการที่ร้อยละผลได้ลดลงมากกว่า

ดังนั้น จากการทดลองศึกษาอิทธิพลของเวลาของกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนเซชันต่อถ่านไฮโดร จะเห็นได้ว่าเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น ร้อยละผลได้ที่ได้จะลดลง อันเนื่องมาจากการทำปฏิกิริยาระหว่างน้ำและส่วนประกอบในชีวมวลนานขึ้นและการเกิดปฏิกิริยาโรลลิเมอไรเซชันมากขึ้น ทำให้ได้ถ่านไฮโดรที่ได้มีค่าคาร์บอนคงที่เพิ่มขึ้น ค่าออกซิเจน ค่าไฮโดรเจนและเถ้าลดลง ตามระยะเวลาที่นานขึ้น ซึ่งแนวโน้มขององค์ประกอบของถ่านไฮโดรที่เปลี่ยนแปลงไปเป็นการศึกษาจากงานวิจัยอื่นๆ เพราะฉะนั้นควรมีการวิเคราะห์ถ่านไฮโดรของงานวิจัยนี้ โดยทำการวิเคราะห์ค่า

คาร์บอนคงที่ สารระเหย และเถ้า อีกทั้งเมื่อเปรียบเทียบอิทธิพลของอุณหภูมิและเวลาจากงานวิจัยการคำนวณการคำนวณค่า

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.

อื่นๆ จะเห็นได้ว่า อิทธิพลของอุณหภูมิส่งผลมากกว่าเวลา แต่จากงานวิจัยนี้อิทธิพลของอุณหภูมิและเวลามีผลใกล้เคียงกัน

4.3 อิทธิพลของอุณหภูมิและเวลาที่ส่งผลต่อรูพรุนของถ่านไฮโดร

จากการศึกษาของงานวิจัยของ Loreto Suarez และคณะ ในปี 2020 Loreto Suarez และคณะ ศึกษาค้นคว้าทำการทดลองโดยมีสารตั้งต้นเป็นกากแอปเปิ้ล ทำการทดลองโดยการทำให้ไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนเซชันโดยใช้อุณหภูมิที่ต่างกัน ได้แก่ 180 และ 230 องศาเซลเซียส และใช้เวลาในการทำการทดลองที่ต่างกัน ได้แก่ 2 และ 4 ชั่วโมง จะเห็นได้ว่า เมื่ออุณหภูมิและเวลาสูงขึ้นพื้นที่ผิวของถ่านไฮโดรจะสูงขึ้น เพราะว่าถ่านไฮโดรมีรูพรุนมากขึ้น แต่รูพรุนที่ได้ไม่มีรูพรุนขนาดเล็ก [26] ได้ผลดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 อิทธิพลของอุณหภูมิและเวลาที่ส่งผลต่อพื้นที่ผิวจำเพาะของรูพรุนของถ่านไฮโดร [26]

ตัวอย่าง	พื้นที่ผิวจำเพาะของรูพรุน (m^2/g)
H180-2	29
H180-4	39
H230-2	29
H230-4	61

จากตารางที่ 4.4 เมื่ออุณหภูมิและเวลาเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้พื้นที่ผิวจำเพาะของรูพรุนเพิ่มขึ้น แต่ขนาดรูพรุนจะไม่มีรูขนาดเล็ก โดยนิยมนำถ่านไฮโดรมากระตุ้นต่อเพื่อให้เกิดรูพรุนมากขึ้น ถ่านไฮโดรที่ไม่ผ่านการกระตุ้นทำให้รูพรุนที่ได้ไม่มีขนาดเล็ก มีการดูดซับที่เป็นไปได้้น้อยมาก โดยจากงานวิจัยของ Guangzhi Yang และคณะ เมื่อทำถ่านไฮโดรไปผ่านการกระตุ้นจะทำให้ถ่านไฮโดรมีรูพรุนมากขึ้น

ในปี 2019 Guangzhi Yang และคณะ ศึกษาค้นคว้าทำการทดลองโดยมีสารตั้งต้นเป็นใบไม้ ทำการทดลองโดยการทำให้ไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนเซชันโดยใช้อุณหภูมิที่ต่างกัน ได้แก่ 180 210 240 270 และ 300 องศาเซลเซียส ในเวลา 5 ชั่วโมง แล้วนำไปกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์โดยการแช่ด้วยอัตราของถ่านไฮโดรต่อโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ด้วยอัตรา 1:3 โดยมวล เป็นเวลา 16 ชั่วโมง แล้วนำไปเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ได้ผลคือ ในช่วง 180 ถึง 240 องศาเซลเซียสให้ค่าการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นตามการเพิ่มของอุณหภูมิและอุณหภูมิ 240

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

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

องศาเซลเซียสให้ค่าการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์สูงที่สุดเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของปริมาตรรูพรุนและพื้นที่ผิว [22]

ตารางที่ 4.5 ลักษณะเฉพาะของถ่านกัมมันต์จากใบไม้ [22]

ตัวอย่าง	พื้นที่ผิว BET (m ² /g)	ปริมาตรของรูพรุน (cm ³ /g)	พื้นที่ผิว จำเพาะของรู พรุนขนาดเล็ก (m ² /g)	ปริมาตรของรู พรุนขนาดเล็ก (cm ³ /g)	เส้นผ่าน กลางรูพรุน (nm)
AC-180	514.98	0.37	192.65	0.11	2.84
AC-210	773.63	0.50	601.72	0.32	2.59
AC-240	1633.71	0.98	1083.57	0.58	2.41

จากตารางที่ 4.5 เมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนไอโซชันเพิ่มขึ้น จะได้ถ่านไฮโดรที่มีรูพรุนเล็กน้อย และเมื่อนำถ่านไฮโดรที่ได้ไปผ่านกระบวนการกระตุ้น จะส่งผลให้พื้นที่ผิวจำเพาะของรูพรุนเพิ่มขึ้น ขนาดรูพรุนจะมีรูขนาดเล็กเพิ่มขึ้น โดยแนวโน้ม คือ เมื่อถ่านไฮโดรมีพื้นที่ผิวสูง เมื่อนำไปกระตุ้นก็จะให้ถ่านกัมมันต์ที่มีรูพรุนและความพรุนมาก

ดังนั้น จากการทดลองศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิและเวลาของกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนไอโซชันต่อรูพรุนถ่านไฮโดร จะเห็นได้ว่าเมื่ออุณหภูมิและเวลาเพิ่มขึ้น รูพรุนของถ่านไฮโดรจะเพิ่มขึ้น แต่รูพรุนที่ได้จะมีลักษณะกลางและใหญ่ เมื่อนำถ่านไฮโดรที่มีรูพรุนมากไปกระตุ้นต่อจะได้ถ่านที่มีรูพรุนขนาดเล็กมากขึ้น มีความพรุนมาก ซึ่งถ่านไฮโดรที่ได้จากงานวิจัยนี้ น่าจะมีรูพรุนและความพรุนที่สูงที่สุดที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส เวลา 3 ชั่วโมงและน้อยที่สุดที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เวลา 1 ชั่วโมง ซึ่งแนวโน้มของพื้นที่ผิวของถ่านไฮโดรที่เปลี่ยนแปลงไปเป็นการศึกษาจากงานวิจัยอื่นๆ เพราะฉะนั้นควรมีการวิเคราะห์ถ่านไฮโดรของงานวิจัยนี้ โดยทำการวิเคราะห์พื้นที่ผิวของถ่านไฮโดร

4.4 อิทธิพลของอุณหภูมิและเวลาที่ส่งผลต่อค่าความร้อนสูง

จากตารางที่ 4.1 และตารางที่ 4.3 ผลของอุณหภูมิและเวลาของไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนไอโซชันส่งผลต่อค่าความร้อนสูง กล่าวคือ เมื่อชีวมวลผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนไอโซชัน การค้าไม่ว่ากรณีใดทำให้ผลผลิตที่ได้มีค่าคาร์บอนคงที่ที่สูงขึ้นมากกว่าชีวมวลดั้งเดิม โดยเมื่ออุณหภูมิและเวลาที่สูงขึ้นไปใช้

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

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

ค่าคาร์บอนคงที่ก็จะสูงขึ้น ค่าออกซิเจน ค่าไฮโดรเจนและเถ้าลดลง โดยค่าความร้อนสูงของถ่านไฮโดร จะมีแนวโน้มตามอุณหภูมิและเวลา เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นและเวลาในกระบวนการนานขึ้นจะทำให้ได้ถ่านไฮโดรที่มีค่าความร้อนสูงขึ้นตามไปด้วย อีกทั้งเมื่อพิจารณาค่าเถ้าในถ่านไฮโดร จะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงที่แตกต่างกับค่าความร้อนสูงซึ่งส่งผลต่อการนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิง แต่ในบางครั้งจะเห็นได้ว่าเมื่อพิจารณาถ่านไฮโดรเมื่ออุณหภูมิและเวลาที่สูงขึ้น ค่าเถ้าก็จะสูงขึ้น เป็นผลอันเนื่องมาจากการที่ถ่านไฮโดรมีรูพรุนมากขึ้นทำให้ในกระบวนการคาร์บอนเซชันถ้าเกาะตามรูพรุนได้จากการพิจารณาแนวโน้มที่ได้ จะเห็นได้ว่าถ่านไฮโดรที่ได้จากงานวิจัยนี้จะมีค่าความร้อนสูงที่สุดที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส เวลา 3 ชั่วโมงและน้อยที่สุดที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เวลา 1 ชั่วโมง ซึ่งแนวโน้มของค่าความร้อนสูงของถ่านไฮโดรที่เปลี่ยนแปลงไปเป็นการศึกษาจากงานวิจัยอื่นๆ เพราะฉะนั้นควรมีการวิเคราะห์ถ่านไฮโดรของงานวิจัยนี้ โดยทำการวิเคราะห์ค่าความร้อนสูงของถ่านไฮโดร



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.

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองเมื่อนำเปลือกสับปะรดมาทดลองด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอน-เซชัน ที่อุณหภูมิ 150 200 และ 250 องศาเซลเซียส ในช่วงระยะเวลา 1 2 และ 3 ชั่วโมง ในสภาวะความดันที่ 10 บาร์ด้วยแก๊สไนโตรเจน

จากการพิจารณาอิทธิพลของอุณหภูมิที่ส่งผลต่อร้อยละผลได้ของถ่าน จะเห็นได้ว่า เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นค่าร้อยละผลได้ของถ่านไฮโดรที่ได้จะมีค่าน้อยลง โดยจะเห็นได้ว่า ณ อุณหภูมิที่ 150 องศาเซลเซียส จะมีค่าร้อยละผลได้ที่มากที่สุด คือ 1 2 และ 3 ชั่วโมง จะมีค่าร้อยละผลได้ 41.63 40.20 และ 38.46 ตามลำดับ และที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส จะมีค่าร้อยละผลได้ที่น้อยที่สุด คือ 1 2 และ 3 ชั่วโมง จะมีค่าร้อยละผลได้ 39.39 35.52 และ 34.42 ตามลำดับ โดยถ่านไฮโดรที่ได้จะมีค่าคาร์บอนคงที่ที่สูงขึ้น ค่าออกซิเจน ค่าไฮโดรเจนและเถ้าลดลง เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

จากการพิจารณาในด้านอิทธิพลของเวลาที่ส่งผลต่อร้อยละผลได้ของถ่านไฮโดรจะเห็นได้ว่า เมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นค่าร้อยละผลได้ของถ่านไฮโดรที่ได้จะมีค่าน้อยลง โดยจะเห็นได้ว่า ณ เวลาที่ 1 ชั่วโมง จะมีค่าร้อยละผลได้ที่มากที่สุด คือ 150 200 และ 250 องศาเซลเซียส จะมีค่าร้อยละผลได้ 41.63 40.94 และ 39.39 ตามลำดับ และที่เวลา 3 ชั่วโมง จะมีค่าร้อยละผลได้ที่น้อยที่สุด คือ 150 200 และ 250 องศาเซลเซียส จะมีค่าร้อยละผลได้ 38.46 36.93 และ 34.42 ตามลำดับ โดยถ่านไฮโดรที่ได้จะมีค่าคาร์บอนคงที่ที่สูงขึ้น ค่าออกซิเจน ค่าไฮโดรเจนและเถ้าลดลง เมื่อเวลานานขึ้น ดังนั้น เมื่อพิจารณาสภาวะโดยรวมจะทำให้ทราบว่าถ่านที่มีผลได้ร้อยละสูงที่สุดคือถ่านไฮโดรที่ผลิตจากสภาวะที่ 150 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 1 ชั่วโมง

จากการพิจารณาคูณสมบัติในด้านของค่าความร้อนสูงและรุกรุน จะเห็นได้ว่าจากงานวิจัยต่างๆ ทำให้ทราบว่าเมื่ออุณหภูมิและเวลาเพิ่มขึ้นจะส่งผลทำให้ค่าความร้อนสูงที่สูงขึ้นและรุกรุนที่มากขึ้น ซึ่งเป็นผลที่ตรงกันข้ามกับร้อยละผลได้ของถ่านไฮโดร จึงทำให้อนุมานได้ว่า ถ่านที่ทำจากการทดลองที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียสและเวลา 3 ชั่วโมง จะให้ค่าความร้อนสูงและรุกรุนที่มากที่สุด

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.

5.2 วิจารณ์ผลการทดลอง

จากการทดลองเนื่องจากสถานการณ์แพร่ระบาด COVID-19 ทำให้ไม่สามารถทดสอบและวิเคราะห์ถ่านไฮโดรที่ผลิตได้อย่างครบถ้วน จึงนำงานวิจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องมาทำการศึกษา ซึ่งเมื่อนำไปทำการทดลองอาจจะไม่ให้ผลที่เหมือนกัน อีกทั้งผลการทดลองที่ได้จากงานวิจัยนี้อาจจะมีข้อผิดพลาดอันเนื่องมาจากการทำการทดลองเพียงครั้งเดียว และเครื่องปฏิกรณ์ความดันสูงที่ใช้มีอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิในแต่ละครั้งที่ทำการทดลองไม่เท่ากันอาจจะทำให้ผลการทดลองที่ได้มีข้อผิดพลาดได้

5.3 ข้อเสนอแนะ

- จากการทดลอง ผลการทดลองที่ได้เป็นผลการทดลองที่ทำการทดลองเพียงครั้งเดียว ดังนั้นเพื่อความแม่นยำของผลการทดลอง ควรทำการทดลองอย่างน้อย 3 ครั้ง
- ควรวิเคราะห์คุณสมบัติของถ่านไฮโดร ตามตารางที่ 5.1
- ควรศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิและเวลาที่มากขึ้น เพื่อหาช่วงอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมทั้งในด้านร้อยละผลได้ที่สอดคล้องกับการนำไปใช้งาน เช่น ด้านเชื้อเพลิง และด้านการดูดซับ เป็นต้น

ตารางที่ 5.1 การวิเคราะห์คุณสมบัติของถ่านไฮโดร

คุณสมบัติ	เครื่องมือและการวิเคราะห์
ปริมาณความชื้น สารระเหย และเถ้า	ASTM D1762 - 84
ปริมาณคาร์บอนคงที่	ผลต่างของของปริมาณความชื้น สารระเหย และเถ้า
ปริมาณไฮโดรเจน คาร์บอน ไนโตรเจน และซัลเฟอร์	เครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุ (elemental analyzer)
ออกซิเจน	ผลต่างขององค์ประกอบธาตุในถ่านไฮโดร
ปริมาณความร้อนสูง	Bomb calorimeter หรือสมการของ Channiwala และ Parikh
พื้นที่ผิว	เครื่องวิเคราะห์ BET

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.

บรรณานุกรม

- [1] S. Guo, X. Dong, T. Wu, C. Zhu, Influence of reaction conditions and feedstock on hydrochar properties, *Energy Convers. Manag.* 123 (2016) 95–103. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.06.029>.
- [2] M. Pala, I.C. Kantarli, H.B. Buyukisik, J. Yanik, Hydrothermal carbonization and torrefaction of grape pomace: A comparative evaluation, *Bioresour. Technol.* 161 (2014) 255–262. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.03.052>.
- [3] สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, สับปรตโรงงาน: เนื้อที่เพาะปลูก เนื้อที่เก็บเกี่ยวผลผลิต และผลผลิตต่อไร่ปี 2562 รายจังหวัด, (2562).
- [4] A. Toptas Tag, G. Duman, J. Yanik, Influences of feedstock type and process variables on hydrochar properties, *Bioresour. Technol.* 250 (2018) 337–344. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.11.058>.
- [5] M. Mohd Ali, N. Hashim, S. Abd Aziz, O. Lasekan, Pineapple (*Ananas comosus*): A comprehensive review of nutritional values, volatile compounds, health benefits, and potential food products, *Food Res. Int.* 137 (2020) 109675. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109675>.
- [6] S.S. Todkar, S.A. Patil, Review on mechanical properties evaluation of pineapple leaf fibre (PALF) reinforced polymer composites, *Compos. Part B Eng.* 174 (2019) 106927. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2019.106927>.
- [7] T. Vasiljevic, Chapter 10. Pineapple, Elsevier Inc., 2020. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817106-6.00010-1>.
- [8] ส. ไทรทับทิม, การใช้ผลพลอยได้จากสับปรตเป็นผลพลอยได้ของโคเนื้อและโคนม, สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์, 2554.
- [9] H.A. Ruiz, R.M. Rodríguez-Jasso, B.D. Fernandes, A.A. Vicente, J.A. Teixeira, Hydrothermal processing, as an alternative for upgrading agriculture residues and marine biomass according to the biorefinery concept: A review, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 21 (2013) 35–51. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.11.069>.
- [10] K. Tekin, S. Karagöz, S. Bektaş, A review of hydrothermal biomass processing,

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่สามารถนำเอกสารนี้ไปใช้ในการค้า

ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น

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

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

Renew. Sustain. Energy Rev. 40 (2014) 673–687.

<https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.216>.

- [11] M. Heidari, A. Dutta, B. Acharya, S. Mahmud, A review of the current knowledge and challenges of hydrothermal carbonization for biomass conversion, *J. Energy Inst.* 92 (2019) 1779–1799. <https://doi.org/10.1016/j.joei.2018.12.003>.
- [12] T.A. Khan, A.S. Saud, S.S. Jamari, M.H.A. Rahim, J.W. Park, H.J. Kim, Hydrothermal carbonization of lignocellulosic biomass for carbon rich material preparation: A review, *Biomass and Bioenergy*. 130 (2019) 105384. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2019.105384>.
- [13] Y. Shen, Biomass and Bioenergy A review on hydrothermal carbonization of biomass and plastic wastes to energy products, *Biomass and Bioenergy*. 134 (2020) 105479. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2020.105479>.
- [14] S. Kieseler, Y. Neubauer, N. Zobel, Ultimate and Proximate Correlations for Estimating the Higher Heating Value of Hydrothermal Solids, *Energy & Fuels*. 27 (2013) 908–918. <https://doi.org/10.1021/ef301752d>.
- [15] P. Basu, Chp. 04: Torrefaction, 2013. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812992-0/00004-2>.
- [16] A. Awasthi, T. Bhaskar, Combustion of lignocellulosic biomass, 2nd ed., Elsevier Inc., 2019. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816856-1.00011-7>.
- [17] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานกระทรวงพลังงาน, พลังงานชีวมวล, 2558.
- [18] M. Danish, T. Ahmad, A review on utilization of wood biomass as a sustainable precursor for activated carbon production and application, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 87 (2018) 1–21. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.02.003>.
- [19] P. Inc., Specific surface area, (n.d.). <https://perminc.com/resources/fundamentals-of-fluid-flow-in-porous-media/chapter-2-the-porous-medium/specific-surface-area/> (accessed June 30, 2021).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น ยกเว้นผู้มีเหตุพิเศษขออนุญาต และต้องจ่ายค่าธรรมเนียมการนำไปใช้

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

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

- Stranded: Effect of Operation Condition to Hydrochar Production, *Energy Procedia*. 100 (2016) 223–226. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2016.10.169>.
- [21] N.S. Subki, R. Hashim, N.Z.M. Muslim, Heavy metals adsorption by pineapple wastes activated carbon: KOH and ZnCl₂ activation, *AIP Conf. Proc.* 2068 (2019). <https://doi.org/10.1063/1.5089334>.
- [22] G. Yang, S. Song, J. Li, Z. Tang, J. Ye, J. Yang, Preparation and CO₂ adsorption properties of porous carbon by hydrothermal carbonization of tree leaves, *J. Mater. Sci. Technol.* 35 (2019) 875–884. <https://doi.org/10.1016/j.jmst.2018.11.019>.
- [23] A. Shrestha, B. Acharya, A.A. Farooque, Study of hydrochar and process water from hydrothermal carbonization of sea lettuce, *Renew. Energy*. 163 (2021) 589–598. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.08.133>.
- [24] A. Equipments, High pressure autoclave reactor, (n.d.).
- [25] เคแมนเซ่, เครื่องบดเนกประสงค์สมุนไพรม, (n.d.). <https://www.colliplus.com/category/38/อุปกรณ์ต่างๆ/เครื่องบดแห้งเนกประสงค์-บดสมุนไพรม> (accessed June 30, 2021).
- [26] L. Suárez, I. Benavente-Ferraces, C. Plaza, S. de Pascual-Teresa, I. Suárez-Ruiz, T.A. Centeno, Hydrothermal carbonization as a sustainable strategy for integral valorisation of apple waste, *Bioresour. Technol.* 309 (2020) 123395. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123395>.
- [27] M.P. Maniscalco, M. Volpe, A. Messineo, Hydrothermal carbonization as a valuable tool for energy and environmental applications: A review, *Energies*. 13 (2020). <https://doi.org/10.3390/en13164098>.
- [28] A. Picone, M. Volpe, M.G. Giustra, G. Di Bella, A. Messineo, Hydrothermal carbonization of lemon peel waste: Preliminary results on the effects of temperature during process water recirculation, *Appl. Syst. Innov.* 4 (2021). <https://doi.org/10.3390/asi4010019>.

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.



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 ก

วิธีการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของเปลือกสับประรด

1. การวิเคราะห์ความชื้น

1.1 นำเปลือกสับประรดเข้าเตาอบที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส

1.2 ทำการชั่งน้ำหนักทุกๆ 6 ชั่วโมง

1.3 ชั่งน้ำหนักดังกล่าวจนกว่าผลต่างของน้ำหนักที่ชั่งได้นั้นต้องแตกต่างกันไม่เกิน 0.003-0.005 กรัม

1.4 นำมาคำนวณตามสูตรดังนี้

$$\text{ความชื้น (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักก่อนอบ} - \text{น้ำหนักหลังอบ}}{\text{น้ำหนักก่อนอบ}} \times 100$$

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 ข
ข้อมูลผลการทดลอง

ตาราง ข.1 ความชื้นของเปลือกสับปะรด

น้ำหนักก่อนอบสับปะรด (g)	น้ำหนักหลังอบสับปะรด (g)	ความชื้น (%)
2737.60	466.51	82.95

ตาราง ข.2 ผลได้ร้อยละของถ่านไฮโดร

ตัวอย่าง	สารตั้งต้น (g)	น้ำ (ml)	ถ่านไฮโดร (g)	ร้อยละผลได้ (%)
HC150-1	15.02	120	6.25	41.63
HC150-2	15.03	120	6.04	40.20
HC150-3	15.03	120	5.78	38.46
HC200-1	15.02	120	6.15	40.94
HC200-2	15.00	120	5.70	38.00
HC200-3	15.00	120	5.54	36.93
HC250-1	15.02	120	5.92	39.39
HC250-2	14.98	120	5.32	35.52
HC250-3	15.01	120	5.16	34.42

*HC = ถ่านไฮโดร

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 ค

วิธีการคำนวณ

1. ตัวอย่างการคำนวณความชื้นของเปลือกสับปรด

เมื่อนำเปลือกสับปรดมาคำนวณหาปริมาณความชื้น แสดงดังนี้

$$\text{ความชื้น (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักก่อนอบ} - \text{น้ำหนักหลังอบ}}{\text{น้ำหนักก่อนอบ}} \times 100$$

$$\text{ความชื้น (\%)} = \frac{2737.60 - 466.51}{2737.60} \times 100$$

$$\text{ความชื้น (\%)} = 82.95$$

2. ตัวอย่างการคำนวณร้อยละผลได้ของถ่านไฮโดร

เมื่อนำถ่านไฮโดรที่ได้จากการทดลองที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียสและเวลา 1 ชั่วโมงมาคำนวณหาค่าร้อยละผลได้ของถ่านไฮโดร แสดงดังนี้

$$\text{ร้อยละผลได้ของถ่านไฮโดร (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักของถ่านไฮโดร}}{\text{น้ำหนักของสารตั้งต้น}} \times 100$$

$$\text{ร้อยละผลได้ของถ่านไฮโดร (\%)} = \frac{6.25}{15.02} \times 100$$

$$\text{ร้อยละผลได้ของถ่านไฮโดร (\%)} = 41.63$$

3. ตัวอย่างการคำนวณค่าความร้อนสูงของถ่านไฮโดร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์และใช้เฉพาะเพื่อวัตถุประสงค์ทางการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปอย่างอื่นโดยไม่ได้รับอนุญาตด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดก็ตาม กรุณาแจ้งให้คณาจารย์เจ้าของ และต้นสังกัดแจ้งถึงลิขสิทธิ์ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

$$\text{HHV (MJ}\cdot\text{kg}^{-1}) = 0.3491 \times C + 1.1783 \times H + 0.1005 \times S - 0.1034 \times O \\ - 0.0151 \times N - 0.0211 \times AC$$

$$\text{HHV (MJ}\cdot\text{kg}^{-1}) = \{0.3491 \times [22.4 + (0.742 \times 60.2)]\} + (1.1783 \times 7.4 \times 0.742) \\ + (0.1005 \times 0 \times 0.742) - (0.1034 \times 28.3 \times 0.742) \\ - (0.0151 \times 0 \times 0.742) - (0.0211 \times 3.4)$$

$$\text{HHV (MJ}\cdot\text{kg}^{-1}) = 27.6$$

โดยเมื่อเปรียบเทียบค่าที่ได้จากตารางจะเห็นได้ว่าค่าจากการคำนวณมีค่าที่คลาดเคลื่อนจาก
ค่าในตารางประมาณ 3.37 เปอร์เซ็นต์ อันเนื่องมาจากค่าที่ได้จากตารางเป็นค่าที่ผ่านการใช้
Bomb calorimeter



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.