การเตรียมวัสดุแหล่งคาร์บอนจากมูลช้างโดยกระบวนการไฮโดรเทอร์มัล

มานพ ชุมภูแก้ว

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
บัณฑิตวิทยาลัย สาขาเทคโนโลยีวิศวกรรม
สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น
ปีการศึกษา 2557

PREPARATION OF CARBON SOURCE MATERIAL FROM ELEPHANT DUNG BY HYDROTHERMAL PROCESS

Manop Choomphukaew

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Engineering Technology
Graduate School
Thai-Nichi Institute of Technology
Academic Year 2014

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเตรียมวัสดุแหล่งคาร์บอนจากมูลช้าง โดยกระบวนการไฮโดรเทอร์มัล
โดย	มานพ ชุมภูแก้ว
สาขาวิชา	เทคโนโลยีวิศวกรรม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จินตวัฒน์ ไชยชนะวงศ์

บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร. พิชิต สุขเจริญพงษ์)

วันที่ .....เดือน.....พ.ศ.....

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรัตน์ อารีรัตน์)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วราคม เนิดน้อย)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ณัฐพล ลิ้มจีระจรัส)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จินตวัฒน์ ไชยชนะวงศ์)

สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น THAI-NICHI INSTITUTE OF TECHNOLOGY TNI

มานพ ชุมภูแก้ว : การเตรียมวัสดุแหล่งคาร์บอนจากมูลช้างโดยกระบวนการไฮโดรเทอร์มัล อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จินตวัฒน์ ไชยชนะวงศ์, 54 หน้า.

งานวิจัยนี้ได้ศึกษา การเตรียมวัสดุแหล่งคาร์บอนจากมูลช้างด้วยกระบวนการการไฮโดรเทอร์มัล โดยทำการศึกษาผลกระทบจากปัจจัยของ ปริมาณสารเร่งปฏิกิริยา อุณหภูมิ และระยะเวลาในการไฮโดรเทอร์มัลต่อปริมาณผลผลิตของวัสดุแหล่งคาร์บอน โดยทำการวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างพื้นผิวของวัสดุแหล่งคาร์บอนของวัสดุที่ได้ด้วยเครื่องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) และทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทั่วไป (Proximate Analysis) และองค์ประกอบธาตุ (Ultimate Analysis) เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์ที่ได้ นอกจากนี้ยังได้ทำการวัดค่าความร้อนของวัสดุแหล่งคาร์บอนที่ได้

จากการศึกษาพบว่าเมื่ออุณหภูมิในการไฮโดรเทอร์มัลสูงขึ้นและการใช้เวลานานขึ้นทำให้ปริมาณผลผลิตมีแนวโน้มที่ลดลง ขณะที่ปริมาณสารเร่งปฏิกิริยามีผลต่อปริมาณปริมาณผลผลิตที่ได้เล็กน้อย อย่างไรก็ตามเมื่อใช้เวลานานขึ้นและใช้ปริมาณสารเร่งมากขึ้นจะสังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างพื้นผิวของวัสดุได้ชัดเจนขึ้น โดยเมื่อใช้ปริมาณสารเร่งปฏิกิริยา 100 ml ที่อุณหภูมิ 200 ℃ เวลาทำปฏิกิริยา 8 ชั่วโมง จะได้วัสดุแหล่งคาร์บอนที่มีขนาดอนุภาคประมาณ 1 μm และมีค่าความร้อนเพิ่มขึ้นจากเดิม 66.46% เมื่อเปรียบเทียบกับค่าความร้อนของมูลช้างที่ใช้เป็นวัตถุดิบ

บัณฑิตวิทยาลัย ลายมือชื่อนักศึกษา.....

สาขาวิชา เทคโนโลยีวิศวกรรม ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ปีการศึกษา 2557

MANOP CHOOMPHUKAEW : PREPARATION OF CARBON-SOURCE MATERIAL FROM ELEPHANT DUNG BY HYDROTHERMAL PROCESS. ADVISOR : ASST. PROF. JINTAWAT CHAICHANAWONG (D.ENG.), 54 PP.

In this study, the carbon-source materials were successfully prepared from elephant dung by hydrothermal process. Effects of amount of catalyst, temperature and reaction time on the product yield. Surface structure of the prepared carbon-source materials was examined using Scanning Electron Microscope (SEM). Proximate analysis and ultimate analysis were also conducted to investigate the change of chemical composition of the products. In addition, Calorific values of the prepared carbon-source materials were also investigated.

It is found that the product yields increased with increasing in hydrothermal temperature and reaction time. In contrast, the amount of catalyst had slight effects on the product yields. However, the changes of surface structure were significantly observed with increasing in the amount of catalyst and reaction time. The average particle size of the carbon-source material prepared by hydrothermal process using 100 ml of catalyst at 200 ℃ for 8 hours was approximately 1 μm and its calorific value increased by 66.46% compared to the raw material.

TNI
THAI - NICHI INSTITUTE OF TECHNOLOGY

Graduate School Student's Signature.....
Field of Engineering of Technology Advisor's Signature .....
Academic Year 2014

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้กระทำสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี อันเนื่องมาจากความกรุณาของ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จินตวัฒน์ ไชยชนะวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ กรุณาสละเวลาอันมีค่าของท่าน มาให้คำแนะนำและให้คำปรึกษาแนวทางและการพัฒนาในการทำวิจัย ตลอดจนสอนขั้นตอนการดำเนินวิจัยตลอดการทำงานวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรัตน์ อารีรัตน์ (สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง) ที่กรุณากรุณาสละเวลาอันมีค่าของท่าน มาเป็นประธานกรรมการสอบและให้คำปรึกษา

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วราคม เนิดน้อย (สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น) ที่กรุณากรุณาสละเวลาอันมีค่าของท่าน มาเป็นกรรมการสอบและให้แนะนำ

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ณัฐพล ลิ้มจีระจรัส (สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น) ที่กรุณากรุณาสละเวลาอันมีค่าของท่าน มาเป็นกรรมการสอบและให้แนะนำ

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ศิริชัย พุธวัฒนะ (สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น) ที่ให้ความอนุเคราะห์เตาเผาและเครื่องมือในการทำวิจัย

ขอขอบพระคุณ อาจารย์เดชะ ตันมีสุข (สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น) ที่ที่ให้ความอนุเคราะห์เตาอบและเครื่องมือในการทำวิจัย

และท้ายที่สุดขอขอบพระคุณเพื่อนๆ อาจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่าน ทั้งผู้ที่กล่าวนามและไม่ได้กล่าวนามใน ณ ที่นี้ผู้เขียนมีความซาบซึ้งในความกรุณาอันดียิ่งจากทุกท่านและขอกราบขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

มานพ ชุมภูแก้ว

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ
กิตติกรรมประกาศ..... ฉ
สารบัญ..... ช
สารบัญตาราง..... ฌ
สารบัญรูป..... ญ

บทที่

1 บทนำ..... 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... 1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา..... 3
1.3 ขอบเขตการศึกษาและวิจัย..... 3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 4
1.5 แผนการดำเนินงาน..... 4

2 หลักการพื้นฐาน เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 5
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง..... 5
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 12

3 ระเบียบวิธีวิจัย..... 23
3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย..... 23

4 ผลการวิจัยและการวิเคราะห์ผลการทดลอง..... 29
4.1 พื้นผิวโครงสร้างของวัสดุแหล่งคาร์บอนที่ใช้น้ำเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา..... 29
4.2 ปริมาณผลผลิต (Yield) ของวัสดุแหล่งคาร์บอน..... 29
4.3 พื้นผิวโครงสร้างของวัสดุแหล่งคาร์บอน..... 33
4.4 การวิเคราะห์องค์ประกอบทั่วไปด้วยวิธี Proximate Analysis..... 37

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
4	4.5 การวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุด้วยวิธี Ultimate Analysis	38
	4.6 พฤติกรรมการเผาไหม้	38
5	สรุปผลการวิจัย	39
	5.1 ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณผลผลิตของวัสดุแหล่งคาร์บอน	39
	5.2 ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณผลผลิตของวัสดุแหล่งคาร์บอน	39
	5.3 สมบัติของผลิตภัณฑ์	40
	5.4 ข้อเสนอแนะ	40
บรรณานุกรม		41
ภาคผนวก		45
	ภาคผนวก ก. การถ่ายภาพโครงสร้างพื้นผิวด้วย Scanning Electron Microscope	46
	ภาคผนวก ข. ไอโซเทอมการดูดซับของก๊าซ	50
ประวัติย่อผู้วิจัย		54

สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น THAI - NICHI INSTITUTE OF TECHNOLOGY TNI

สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
1.1	แผนการดำเนินงาน.....	4
2.1	การเปรียบเทียบปฏิกิริยาที่สภาวะต่างๆ และอัตราการเกิดผลิตภัณฑ์สำหรับการแปรรูปผลิตภัณฑ์ให้เป็นถ่านโดยกระบวนการเคมีความร้อน(Thermochemical)	6
2.2	สรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	18
3.1	การทดลองที่สภาวะต่างๆ.....	27
4.1	การเปลี่ยนแปลงของ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และ ลิกนิน.....	29
4.2	ปริมาณผลผลิตของวัสดุแหล่งคาร์บอนที่สภาวะต่างๆ	32
4.3	ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของ วัตถุดิบตั้งต้นและวัสดุแหล่งคาร์บอน.....	37
4.4	ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุของ วัตถุดิบตั้งต้นและวัสดุแหล่งคาร์บอน.....	38

สถาบันเทคโนโลยีไทย - ญี่ปุ่น THAI - NICHI INSTITUTE OF TECHNOLOGY TNI

สารบัญรูป

รูป		หน้า
2.1	การแปรรูปชีวมวลกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลด้วยวิธีต่างๆ และผลิตภัณฑ์ที่ได้	5
2.2	การเปลี่ยนแปลงของการจัดเรียงคาร์บอนอะตอมตามอุณหภูมิที่เผา	8
2.3	การเปรียบเทียบวัฏจักรคาร์บอนระหว่างสารชีวมวลและฟอสซิล	9
2.4	ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการแปรรูปและลักษณะในการนำไปใช้งานต่างๆของถ่าน	11
3.1	ขั้นตอนการดำเนินงาน	23
3.2	มูลช้าง จากแหล่งข้อมูล (ปางช้างอยุธยา)	24
3.3	เตาอบรุ่น Redline RF115	24
3.4	Hydrothermal Chamber	24
3.5	เตาเผาอุณหภูมิสูง	25
3.7	มูลช้างหลังจากอบแห้งที่อุณหภูมิ 110 °C	25
4.1	ลักษณะพื้นผิวของมูลช้างก่อนทำไฮโดรเทอร์มัล	30
	(ก) กำลังขยาย 500 เท่า	30
	(ข) กำลังขยาย 1000 เท่า	30
	(ค) กำลังขยาย 1500 เท่า	30
	(ง) กำลังขยาย 5000 เท่า	30
4.2	ลักษณะพื้นผิวของวัสดุแหล่งคาร์บอนที่ใช้น้ำเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา	31
	(ก) Temp 240 °C Time 8 h 100 ml X500	31
	(ข) Temp 240 °C Time 8 h 100 ml X1000	31
	(ค) Temp 240 °C Time 8 h 100 ml X1500	31
	(ง) Temp 240 °C Time 8 h 100 ml X5000	31
4.3	ผลกระทบของอุณหภูมิในการไฮโดรเทอร์มัลต่อปริมาณผลผลิตที่ได้ของวัสดุแหล่งคาร์บอน	34
4.4	ผลกระทบของเวลาในการไฮโดรเทอร์มัลต่อปริมาณผลผลิตที่ได้ของวัสดุแหล่งคาร์บอน	35
4.5	ผลกระทบของปริมาณน้ำตั้งต้นในการไฮโดรเทอร์มัลต่อปริมาณผลผลิตที่ได้ของวัสดุแหล่งคาร์บอน	35

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป		หน้า
4.6	เปรียบเทียบลักษณะพื้นผิวของวัสดุแหล่งคาร์บอนหลังจากไฮโดรเทอร์มัล เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา	36
	(ก) มูลช้างยังไม่ทำไฮโดรเทอร์มัล	36
	(ข) Temp 180 ˚C Time 4 h 50 ml X5000	36
	(ค) Temp 200 ˚C Time 4 h 50 ml X5000	36
	(ง) Temp 240 ˚C Time 4 h 50 ml X5000	36
4.7	เปรียบเทียบลักษณะพื้นผิวของวัสดุแหล่งคาร์บอนหลังจากไฮโดรเทอร์มัล เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงเวลาในการทำปฏิกิริยา	36
	(ก) มูลช้างยังไม่ทำไฮโดรเทอร์มัล	36
	(ข) Temp 200 ˚C Time 4 h 50 ml X5000	36
	(ค) Temp 200 ˚C Time 8 h 50 ml X5000	36
4.8	เปรียบเทียบลักษณะพื้นผิวของวัสดุแหล่งคาร์บอนหลังจากไฮโดรเทอร์มัล เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารเร่งปกิกิริยาในการทำปฏิกิริยา	37
	(ก) มูลช้างยังไม่ทำไฮโดรเทอร์มัล	37
	(ข) Temp 200 ˚C Time 8 h 50 ml X5000	37
	(ค) Temp 200 ˚C Time 8 h 100 ml X5000	37
ก-1	แปะคอปเปอร์เทปกับแท่นวาง	47
ก-2	แปะคอปเปอร์เทปกับแท่นวาง	47
ก-3	นำตัวอย่างวางบนคอปเปอร์เทป	48
ก-4	โค๊ทตัวอย่างด้วยทอง	48
ก-5	โค๊ทตัวอย่างด้วยทอง	48
ก-6	นำตัวอย่างใส่เข้าเครื่อง	49
ก-7	ปรับกำลังขยายและโฟกัสให้เหมาะสม	49
ก-8	ปรับกำลังขยายและโฟกัสให้เหมาะสม	49
ข-1	ผสมวัตถุดิบกับน้ำกลั่น (DI water)	51
ข-2	ผสมน้ำกับวัตถุดิบให้เข้ากัน	51
ข-3	นำวัตถุดิบใส่ใน Hydrothermal Chamber	52

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป		หน้า
ข-4	ทำการไฮโดรเทอร์มัลด้วยเตาเผาอุณหภูมิสูง.....	52
ข-5	Cooling down Hydrothermal Chamber ด้วยน้ำแข็ง.....	53
ข-6	อบตัวอย่างให้แห้งในเตาอบ ที่อุณหภูมิ 80 °C.....	53

สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น THAI - NICHI INSTITUTE OF TECHNOLOGY TNI

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

วัสดุชีวมวล (Biomass) คือ วัสดุที่ได้มาจากพืชทั้งทางตรงและทางอ้อมซึ่งถูกทำไปใช้เป็นพลังงานหรือสารที่ถูกนำไปใช้อื่นๆในปริมาณมาก โดยทางอ้อมนั้นหมายถึงผลิตภัณฑ์ที่ได้มาจากการเพาะปลูกและอุตสาหกรรมอาหาร สารชีวมวลถูกเรียกว่าไฟโตแมส (Phytomass) และยังสามารถเปลี่ยนแหล่งที่มาชีวภาพได้ โดยแหล่งที่มาชีวภาพนั้นอาจมาจากพืชหลายสายพันธ์ทั้งที่อาศัยบนบกและในน้ำ วิธีการเพาะปลูกที่หลากหลาย ป่าไม้ สิ่งปฏิกูลและของเสียจากสัตว์ ตลอดจนของเสียจากกระบวนทางผลิตทางอุตสาหกรรมที่ใช้วัตถุดิบทางการเกษตร พืชพลังงานเป็นหนึ่งในสารชีวมวลทางเลือกใหม่เนื่องจากสามารถขยายพื้นที่เพาะปลูกได้กว้างขวาง แม้ว่าในปัจจุบันยังไม่ได้ผลิตเชิงธุรกิจก็ตาม สารชีวมวลได้แก่ไม้ หญ้าเนเปียร์ ผักกาดก้านขาว ผักตบชวา สาหร่ายไจแอนต์เคลป์ (Giant Kelp) สาหร่ายคลอเรลล่า (Chlorella) ขี้เลื่อย เศษไม้ ฟางข้าว เปลือกข้าว เปลือกข้าว ขยะมูลฝอยครัวเรือน กากไม้ มูลสัตว์ เป็นต้น วัสดุชีวมวลเหลือใช้เหล่านี้สามารถนำมาแปรรูปเพื่อให้เกิดประโยชน์ได้หลากหลายต่างกันออกไปตามคุณสมบัติของวัสดุชีวมวลแต่ละชนิด ปัจจุบันในประเทศไทยมีการนำชีวมวลเหลือใช้มาแปรรูปเพื่อให้สามารถนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์อย่างมากมาย เช่น แกลบนำไปเป็นเชื้อเพลิงหรือช่วยในการปรับสภาพดิน ฟางข้าวนำไปเป็นอาหารสัตว์ ชานอ้อยนำไปใช้เป็นอาหารสัตว์ [1] แม้ว่าในปัจจุบันจะมีการรณรงค์ให้มีการใช้พลังงานหมุนเวียน หรือพลังงานทดแทน โดยการนำวัสดุชีวมวลเหลือใช้มาทำให้เกิดประโยชน์หรือแปรรูปเป็นพลังงาน แต่ก็ยังมีวัสดุชีวมวลเหลือใช้ที่ไม่ได้นำมาใช้ให้เกิดประโยชน์อีกเป็นจำนวนมาก นอกจากเป็นการสูญเสียทรัพยากรทางธรรมชาติแล้ว ยังเป็นการสูญเสียเงินทุนเพื่อนำมากำจัดวัสดุชีวมวลเหล่านี้อีกด้วย

ในประเทศไทยมีการเลี้ยงช้างเพื่อช่วยในการทำงานในด้านต่างๆ มากมายตั้งแต่ในอดีต ถึงปัจจุบัน ในขณะเดียวกันหลายสถานที่ในประเทศไทยได้มีการเลี้ยงช้างเพื่อนำมาใช้งานในลักษณะต่างๆ เช่น ปางช้างอยุธยาได้เลี้ยงช้างเป็นจำนวนมากเพื่อรองรับนักท่องเที่ยวที่เข้ามา ท่องเที่ยวในจังหวัดพระนครศรีอยุธยา จึงมีปริมาณของมูลช้างมากมายที่ต้องกำจัดในแต่ละวัน เพราะช้างเป็นสัตว์ที่ต้องกินอาหารเป็นจำนวนมากในแต่ละวัน ซึ่งเศษซากของมูลช้างในแต่ละวันก็มีจำนวนมาก ในปัจจุบันนิยมนำมูลช้างไปเป็นส่วนผสมเพื่อใช้เป็นปุ๋ย ทำน้ำหมักเพื่อกำจัดศัตรูพืช ทำกระดาษจากมูลช้าง หมักเพื่อผลิตแก๊สชีวภาพ และใช้จุดเพื่อขับไล่ยุง [2] ซึ่งมูลช้างถือว่าเป็นวัสดุชีวมวลอย่างหนึ่งดังที่กล่าวข้างต้น

ในปัจจุบันมีการศึกษาวิจัยการนำวัสดุชีวมวลเหลือใช้มาแปรรูปเป็นแหล่งคาร์บอน (Carbon Source) เพื่อใช้เป็นสารตั้งต้นในการพัฒนาวัสดุเพื่อประโยชน์หลายด้าน เช่น ตัวดูดซับ ตัวเก็บพลังงาน เชื้อเพลิงและพลังงานอย่างแพร่หลาย โดยมีวิธีในการแปรรูปต่างกันออกไป ขึ้นอยู่กับชนิดและคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ

1.1.1 การแปรรูปวัสดุชีวมวลเป็นถ่าน (Carbonization) โดยกระบวนการไพโรไลซิส (Pyrolysis) จะได้ผลิตภัณฑ์ในรูปของถ่าน ที่เป็นของแข็งมากกว่าน้ำมัน การคาร์บอไนเซชันเป็นการเพิ่มปริมาณคาร์บอนให้สูงขึ้น โดยการเผาที่อับอากาศไม่มีออกซิเจนที่อุณหภูมิ 200–500 °C ทำให้โครงสร้างของผลิตภัณฑ์มีรูพรุน โดยทำให้เกิดการแตกตัวทางเคมีของสารที่ไม่ใช่คาร์บอน (เช่น ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน) ออกมาในรูปของก๊าซ [3]

1.1.2 การแปรรูปวัสดุชีวมวลเป็นเชื้อเพลิง แบ่งเป็น 2 วิธีคือ การเผาไหม้โดยตรง (Direct combustion) และกระบวนการเคมีความร้อน (Thermo-Chemical Conversion) สำหรับวิธีการเผาไหม้โดยตรงจะนำวัสดุชีวมวลมาใช้เป็นเชื้อเพลิงโดยไม่ผ่านกระบวนการแปรรูป โดยการนำวัสดุชีวมวลมาเผาไหม้ในเตาเผาที่ออกแบบเฉพาะให้มีความเหมาะสมกับประเภทเชื้อเพลิง จากนั้นจึงนำความร้อนจากปฏิกิริยาการเผาไหม้ไปใช้ในการผลิตไอน้ำสำหรับใช้ในกระบวนการผลิต หรือใช้ผลิตไฟฟ้า ส่วนวิธีกระบวนการเคมีความร้อนเป็นการนำวัสดุชีวมวลมาใช้เป็นเชื้อเพลิงโดยกระบวนการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ โดยเปลี่ยนแปลงสถานะให้เป็นก๊าซ (Gasification) ซึ่งจะได้ผลิตภัณฑ์คือก๊าซที่เป็นเชื้อเพลิง เช่น คาร์บอนมอนออกไซด์ มีเทน และ ไฮโดรเจน [4]

1.1.3 การแปรรูปวัสดุชีวมวลโดยใช้วิธีไฮโดรเทอร์มัล กระบวนการไฮโดรเทอร์มัลเป็นกระบวนการเคมีความร้อน (Thermo-Chemical Conversion) ชนิดหนึ่ง โดยใช้น้ำหรือตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดอื่นเป็นตัวกลางในการทำปฏิกิริยา อุณหภูมิของกระบวนการจะอยู่ในช่วง 180-250 °C ซึ่งกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้หลากหลายวิธีและจะให้ผลิตภัณฑ์ที่แตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ สำหรับปัจจัยที่มีผลต่อผลิตภัณฑ์ได้แก่ วัตถุดิบตั้งต้น อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาและปริมาณความชื้น ข้อดีของวิธีนี้ คือ โดยทั่วไปวัสดุชีวมวลที่จะนำมาแปรรูปจากพืชนั้นจะมีความชื้นอยู่ในตัว ซึ่งก่อนทำการแปรรูปจำเป็นต้องนำวัสดุชีวมวลเหล่านั้นมากำจัดความชื้นเสียก่อนโดยอาจทำการอบไล่ความชื้น หรือนำไปตากแดดจนแห้ง จึงจะสามารถนำไปสู่กระบวนการต่อไปได้ ซึ่งจะเป็นการเสียเวลา แต่สำหรับเทคนิคการแปรรูปด้วยวิธีการไฮโดรเทอร์มัลนั้นสามารถนำวัสดุชีวมวลเหล่านั้นมาเข้าสู่กระบวนการได้ทันที เนื่องจากกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลจะใช้น้ำเป็นตัวกลางในการทำปฏิกิริยา จึงเป็นกระบวนการที่ปราศจากสารพิษ เป็นมิตรกับ

สิ่งแวดล้อม มีราคาไม่สูง และกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลจะให้ปริมาณอัตราส่วนของผลผลิตคาร์บอนมากกว่าวิธีการเผาโดยทั่วไปอีกด้วย [5,6]

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นไปที่การใช้เทคนิคไฮโดรเทอร์มัลในการแปรรูปวัสดุชีวมวล เพื่อศึกษาผลกระทบของกระบวนการที่มีผลต่อปริมาณผลผลิต (Yield) และองค์ประกอบโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ที่ได้ โดยทำการศึกษาพฤติกรรมการไฮโดรเทอร์มัลของวัสดุชีวมวลในสภาวะที่ต่างกันออกไป วัสดุชีวมวลที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้คือ มูลช้างที่ปางช้างอยุธยา เนื่องจากปางช้างอยุธยาได้เลี้ยงช้างเป็นจำนวนมากเพื่อรองรับนักท่องเที่ยวที่เข้ามา ท่องเที่ยวในจังหวัดพระนครศรีอยุธยา จึงมีปริมาณของมูลช้างมากมายที่ต้องกำจัดในแต่ละวัน มูลช้างจึงเป็นวัตถุดิบที่สามารถหาได้ง่าย และไม่ส่งผลกระทบต่อการนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ชนิดอื่นๆ เนื่องจากในปัจจุบันมูลช้างมีทางเลือกในการนำไปใช้งานที่ค่อนข้างจำกัด

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อศึกษาผลกระทบจากปัจจัยในการแปรรูปมูลช้างซึ่งเป็นวัสดุชีวมวลเหลือใช้ (Biomass) ให้เป็นแหล่งคาร บอน (Carbon Resource) โดยกระบวนการไฮโดรเทอร์มัล (Hydrothermal Process)

1.2.2 ปัจจัยที่ทำการศึกษาได้แก่ อุณหภูมิในการไฮโดรเทอร์มัล ระยะเวลาในการไฮโดรเทอร์มัลและปริมาณน้ำตั้งต้นและสารเร่งปฏิกิริยาในการไฮโดรเทอร์มัล

1.3 ขอบเขตการศึกษาและวิจัย

1.3.1 ศึกษาผลกระทบสภาวะของกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้น เวลาในการทำปฏิกิริยา ต่อปริมาณผลผลิต (Yield) และ องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ที่ได้

1.3.2 กำหนดสภาวะการศึกษาดังนี้

1.3.2.1 ช่วงอุณหภูมิในการไฮโดรเทอร์มัลที่ทำการศึกษา คือ 180-240 °C

1.3.2.2 ปริมาณน้ำตั้งต้นทำการศึกษา อยู่ในช่วง 0-500% โดยน้ำหนัก

1.3.2.3 สารเร่งปฏิกิริยาในการไฮโดรเทอร์มัลที่ใช้คือ กรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 5%

1.3.2.4 เวลาในการทำปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มัล 4-8 ชั่วโมง

1.3.2.5 สมบัติเฉพาะของผลิตภัณฑ์

- วิเคราะห์โครงสร้างพื้นผิวโดยเครื่องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)
- วิเคราะห์องค์ประกอบทั่วไป (Proximate Analysis)
- ร้อยละความชื้น

- ร้อยละปริมาณสารระเหย
- ร้อยละปริมาณเถ้า
- ร้อยละคาร์บอนคงตัว

- วิเคราะห์หาธาตุประกอบด้วยวิธี (Ultimate Analysis)
  - ร้อยละคาร์บอน
  - ร้อยละไฮโดรเจน
  - ร้อยละไนโตรเจน
  - ร้อยละซัลเฟอร์

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ทราบสภาวะที่แนะนำในการแปรรูปมูลช้างซึ่งเป็นวัสดุชีวมวลเหลือใช้ ให้เป็นวัสดุแหล่งคาร์บอน โดยกระบวนการไฮโดรเทอร์มัล

1.5 แผนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงาน

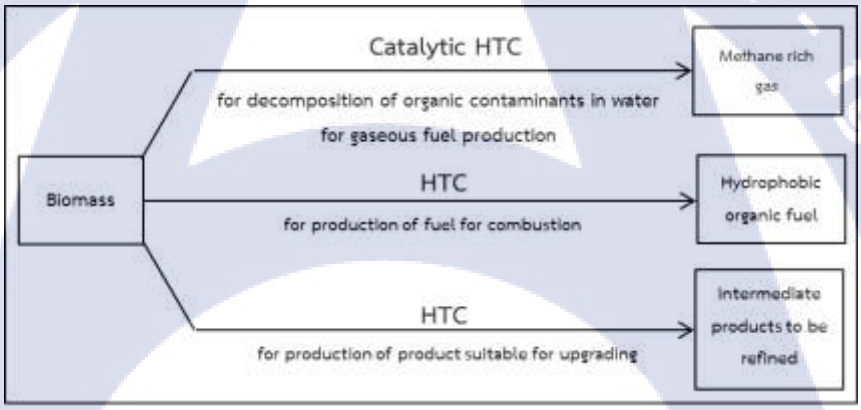
รายระเอียด	2556							2557								
	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.
ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	←														→	
ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	←									→						
จัดหาวัสดุและอุปกรณ์	←								→							
ทำการทดลอง								←							→	
วิเคราะห์ผลการทดลอง												←			→	
สรุปผลและทำบทความทางวิชาการ					←										→	

บทที่ 2
หลักการพื้นฐาน เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 ไฮโดรเทอร์มัล (Hydrothermal)

กระบวนการไฮโดรเทอร์มัลเป็นกระบวนการเคมีความร้อน (Thermo-Chemical Conversion) ชนิดหนึ่ง โดยใช้น้ำเป็นตัวกลางในการทำปฏิกิริยาการแปรรูปวัสดุชีวมวล ซึ่งกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้หลากหลายวิธีและสามารถให้ผลิตภัณฑ์ที่แตกต่างกันออกไปตามความต้องการ เช่น ผลิตภัณฑ์ในรูปของก๊าซมีเทน เชื้อเพลิงในการเผาไหม้จากธรรมชาติ หรือ ผลิตภัณฑ์ที่สามารถนำไปพัฒนาเพื่อใช้ในด้านอื่นๆ ตามความเหมาะสม ดัง**รูปที่ 2.1** โดยสามารถเลือกที่จะใช้หรือไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาก็ได้ ขึ้นอยู่กับผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการที่ต้องการ



รูปที่ 2.1 ตัวอย่างการแปรรูปชีวมวลด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มัล และผลิตภัณฑ์ที่ได้ [6]

สำหรับกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลนั้น ระหว่างการทำปฏิกิริยาจะนำวัสดุชีวมวลที่อยู่ในรูปของแข็งมาแช่อยู่ในน้ำ ซึ่งกระบวนการจะอยู่ในสถานะของเหลว และจะปล่อยให้ความดันเพิ่มสูงขึ้นในเตาปฏิกรณ์ความดันสูง เมื่อกระบวนการมี อุณภูมิเพิ่มขึ้นสูงถึงประมาณ 220 ℃ ที่ความดันประมาณ 20 Bar จะเกิดก๊าซขึ้นประมาณ 1-5% และสารอินทรีย์เกือบทั้งหมดจะเปลี่ยนรูปอยู่ในสภาวะของแข็ง เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นถึงประมาณ 400 ℃ โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจะได้ผลิตภัณฑ์ไฮโดรคาร์บอนเหลว (Liquid Hydrocarbons) และก๊าซเพิ่มมากขึ้น ซึ่งจะเรียกกระบวนการนี้ว่า “Hydrothermal Liquefaction” และเมื่อปล่อยให้อุณหภูมิและความดันเพิ่มสูงขึ้นไปจนถึงสภาวะวิกฤต (Supercritical state) จะได้ผลิตภัณฑ์หลักที่เป็นก๊าซ เรียกกระบวนการนี้ว่า “Hydrothermal

Gasification” การเปรียบเทียบปฏิกิริยาที่สภาวะต่างๆ และสัดส่วนของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากการแปรรูปผลิตภัณฑ์ให้เป็นถ่านโดยกระบวนการเคมีความร้อน (Thermo-Chemical) แสดงดัง**ตารางที่ 2.1** [5]

ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบปฏิกิริยาที่สภาวะต่างๆ และอัตราการเกิดผลิตภัณฑ์สำหรับการแปรรูปผลิตภัณฑ์ให้เป็นถ่านโดยกระบวนการเคมีความร้อน [5]

Process	Reaction conditions (temperature [°C]; vapor residence time)	Product distribution (weight %)		
		Char	Liquid	Gas
Pyrolysis: slow	~400; h-week	0	30	35
Pyrolysis intermediate	~500; ~10-20 s	0	50	30
Pyrolysis: fast	~500; ~1 s	2	75	13
Gasification	~800; ~10-20 s	0	5	85
HTC	~180-250; no vapor residence time, ~1-12 h processing time	0-80	5-20% (dissolved in process water, TOC)	2-5

2.1.2 ผลกระทบจากปัจจัยต่างๆในการคาร์บอไนเซชัน

ในการคาร์บอไนเซชัน ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อผลิตภัณฑ์ที่สำคัญแบ่งเป็น 2 ปัจจัยด้วยกัน คือ ปัจจัยทางเคมี ได้แก่องค์ประกอบต่างๆของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ที่มีในชีวมวลแต่ละชนิดที่มีคุณสมบัติแตกต่างกันออกไป และปัจจัยทางกายภาพได้แก่ อุณหภูมิ ระยะเวลา และอัตราการเพิ่มอุณหภูมิ ซึ่งปัจจัยเหล่านี้เป็นปัจจัยที่สำคัญต่อผลกระทบในการคาร์บอไนเซชันวัสดุชีวมวลโดยอธิบายลายระเอียดได้ดังนี้

2.1.2.1 องค์ประกอบของวัสดุชีวมวล

วัสดุชีวมวลเป็นวัสดุซับซ้อนไม่เป็นเนื้อเดียวกัน ซึ่งพืชแต่ละชนิดจะมีโครงสร้างและองค์ประกอบที่แตกต่างกันไปตามสัดส่วนต่างๆตามลักษณะของพืชชนิดนั้นๆ ซึ่งองค์ประกอบหลักของพืชได้แก่ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน องค์ประกอบเหล่านี้จะคุณสมบัติทางความร้อนที่แตกต่างกันออกไป มีการสลายตัวและเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีในช่วงอุณหภูมิที่แตกต่างกันส่งผลให้ ปริมาณสัดส่วนและลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความแตกต่างกันออกไป โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้จะอยู่ในรูปของ ของแข็ง (Char) ของเหลว (Liquid) และก๊าซ (Gas)

ซึ่งจากงานวิจัยก่อนหน้านี้พบว่าวัสดุชีวมวลที่มีปริมาณสัดส่วนลิกนิน ในองค์ประกอบที่น้อยและมีปริมาณสัดส่วนเซลลูโลสในองค์ประกอบที่มาก มีแนวโน้มที่จะคาร์บอไนเซ

ชันได้ดี เนื่องจากลิกนินมีหน้าทีในการเสริมสร้างความแข็งแรงให้กับโครงสร้างผนังเซลล์ของพืช ดังนั้น พืชที่มีปริมาณลิกนินที่น้อยจะมีการสลายตัวขององค์ประกอบได้ง่ายกว่าพืชที่มีปริมาณลิกนินที่มาก

2.1.2.2 ปัจจัยด้านอุณหภูมิ

ช่วงอุณหภูมิมีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงทางองค์ประกอบและทางปริมาณของผลผลิตที่ได้ ซึ่งจากงานวิจัยของ Liu และคณะ [7] ได้รายงานว่า เซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสจะสลายตัวเกือบทั้งหมดที่อุณหภูมิไม่เกิน 250 °C โดยการสลายตัวที่ช่วงอุณหภูมิต่างๆจะมีการสลายตัวขององค์ประกอบในวัสดุชีวมวลที่แตกต่างกันไป กระบวนการคาร์บอไนเซชันเป็นการกลั่นสลายของสารอินทรีย์เพื่อเพิ่มปริมาณสัดส่วนของคาร์บอนของวัสดุชีวมวล ขณะเดียวกันก็ได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวและก๊าซออกมาด้วย โดยจะเกิดการสลายตัวในบริเวณที่มีพันธะที่ไม่แข็งแรงหรือหมู่ที่หลุดออกได้ง่ายทำให้กลุ่มโมเลกุลวงแหวนแตกออกจากกันเป็นกลุ่มๆ เป็นจำนวนมาก โครงสร้างวงแหวนอะโรมาติกหลักที่เหลือกลายเป็นโครงสร้างของถ่าน (Char) ซึ่งการจัดเรียงตัวของคาร์บอนอะตอมจะเปลี่ยนไปตามช่วงของอุณหภูมิที่ใช้ ดัง**รูปที่ 2.2** เมื่อเพิ่มอุณหภูมิของการคาร์บอไนเซชันเป็นผลให้ปริมาตรทั้งหมดของรูพรุนที่เกิดขึ้นในชั้นแรกของของการคาร์บอไนเซชันลดลงและเม็ดถ่านมีความแข็งมากขึ้น อย่างไรก็ตามพบว่าถ่าน (Char) ที่ได้จากการคาร์บอไนเซชันที่อุณหภูมิ 300 °C มีความว่องไวในการทำปฏิกิริยาน้อยกว่าถ่านที่ได้จากการคาร์บอไนเซชันที่อุณหภูมิ 600 °C ซึ่งความว่องไวในการทำปฏิกิริยาจะลดลงเมื่อค่าคาร์บอนคงตัวลดลง [3]

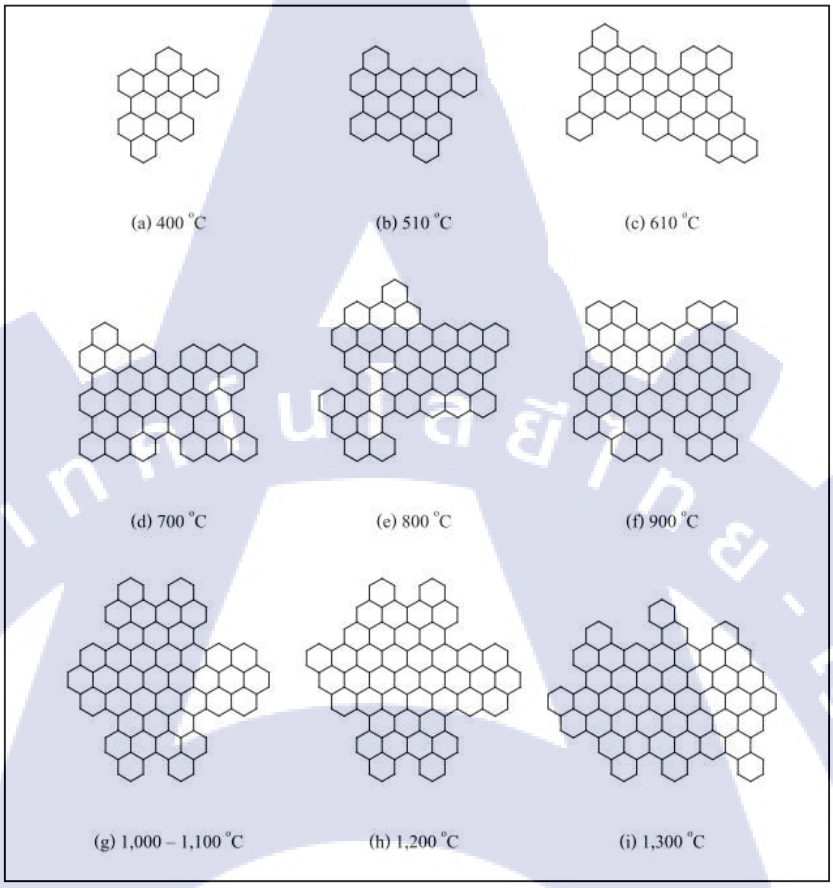
2.1.2.3 ปัจจัยด้านระยะเวลา

เวลาที่ใช้ในการคาร์บอไนเซชันวัสดุชีวมวล ต้องนานพอเพื่อทีจะเกิดการคาร์บอไนเซชันได้อย่างสมบูรณ์ หากใช้เวลาน้อยเกินไปการสลายตัวขององค์ประกอบต่างๆที่จะสลายตัวเป็นคาร์บอนของวัสดุชีวมวลอาจยังสลายตัวได้ไม่สมบูรณ์ หรือหากใช้เวลามากเกินไปอาจทำให้ผลิตภัณฑ์มีปริมาณเถ้าที่เพิ่มขึ้น และมีปริมาณค่าคาร์บอนคงตัว ปริมาณสารระเหย ที่ลดลงได้ [8] ดังนั้นควรเลือกใช้ระยะเวลาให้เหมาะสมกับชนิดของวัตถุดิบที่เลือกใช้ เนื่องจากวัสดุชีวมวลแต่ละชนิดมีองค์ประกอบและความแข็งแรงของโครงสร้างที่แตกต่างกันออกไป

2.1.2.4 ปัจจัยด้านอัตราการเพิ่มอุณหภูมิ

ผลกระทบของอัตราการให้ความร้อน เป็นตัวแปรที่ สำคัญต่อปริมาณและองค์ประกอบของสารระเหยที่ ได้จากการคาร์บอไนเซชัน แต่เดิมสภาวะในการให้ความร้อนถูกแบ่งด้วยอัตราการเพิ่มอุณหภูมิประมาณ 20 °C/s ซึ่งเป็นช่วงที่ทำให้เกิดการปลดปล่อยสารระเหยอย่างรวดเร็ว ถ้าอัตราการให้ความร้อนสูง ปริมาณสารระเหยจะถูกปลดปล่อยอย่างรวดเร็ว จะได้ถ่านที่มีรูพรุนขนาดใหญ่ ความว่องไวในการทำปฏิกิริยาสูงกว่าถ่านที่ได้จากการให้ความร้อนด้วยอัตราที่ต่ำกว่า เนื่องจากถ่านที่ได้จากการคาร์บอไนเซชันด้วยอัตราการเพิ่มอุณหภูมิสูง คาร์บอนจะเรียงตัวกันเป็นระเบียบน้อย ทำให้เกิดช่องว่างมากเป็นรูพรุนขนาดใหญ่ เมื่อทำปฏิกิริยากระตุ้นตัวกระตุ้นจะเข้าไป

ทำปฏิกิริยาได้ง่าย แต่หากต้องการผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดรูพรุนเล็ก และมีการเรียงตัวที่เป็นระเบียบมากขึ้นควรใช้อัตราการเพิ่มอุณหภูมิที่ต่ำกว่า



รูปที่ 2.2 การเปลี่ยนแปลงของการจัดเรียงคาร์บอนอะตอมตามอุณหภูมิที่เผา [9]

2.1.3 วัสดุชีวมวล [10]

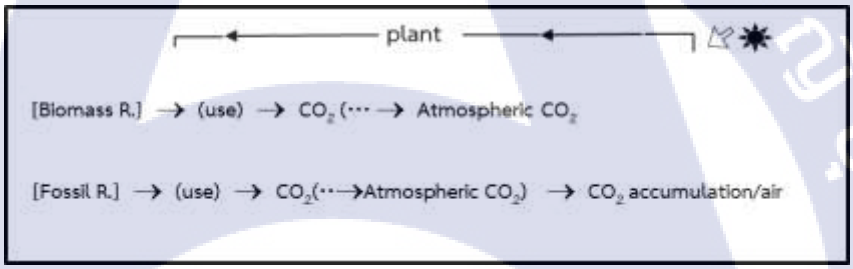
โดยทั่วไปวัสดุชีวมวลคือ สารที่ได้มาจากพืชทั้งทางตรงและทางอ้อมซึ่งถูกนำไปใช้เป็นพลังงานหรืออื่นๆ ในปริมาณมาก นอกจากนี้วัสดุชีวมวลยังรวมไปถึง สิ่งปฏิกูลและของเสียจากสัตว์ ตลอดจนของเสียจากกระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรม คำว่า “วัสดุชีวมวล” ปรากฏครั้งแรกในสิ่งตีพิมพ์ในวารสารสมาพันธุ์ชีวภาพทางทะเล โดยนักวิทยาศาสตร์ ชาว รัสเซียชื่อ Bogorov ซึ่งเขาได้ชั่งน้ำหนักแพลงตอนทะเล (Calanus Finmarchicus) หลังจากทำให้แห้งเพื่อการศึกษาการเปลี่ยนแปลงการเจริญเติบโตของแพลงตอนตามฤดูกาล โดยเรียกแพลงตอนแห้งนี้ว่าเป็นวัสดุชีวมวล

วัสดุชีวมวลเป็นแหล่งพลังงานที่มีการหมุนเวียนไม่มีวันหมด ดังนั้นพลังงานที่ได้จากวัสดุชีวมวลจึงเป็นพลังงานทดแทนที่ไม่มีวันหมด ปัจจุบันมีการใช้งานจากพลังงานชีวมวลกันอย่างแพร่หลาย และจากรายงานพบว่า ปริมาณการใช้พลังงานชีวมวลในอนาคตมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นจึงต้องมี

การจัดการการใช้พลังงานชีวมวลเพื่อให้เพียงพอต่อใช้งานและตลอดจนเพื่อการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมด้วย

สารชีวมวลนั้นมีคุณสมบัติทางเคมี ทางกายภาพ ความชื้น และคุณสมบัติอื่นๆ ที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งทำให้การที่จะแปรรูปสารชีวมวลไปเป็นพลังงานนั้น จะใช้วิธีที่แตกต่างกัน นักวิจัยจึงต้องศึกษาและพัฒนาเทคโนโลยีการแปรรูปวัสดุชีวมวลให้เป็นพลังงานชีวมวล เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด และไม่เป็นการทำลายสิ่งแวดล้อม เพื่อลดการใช้เชื้อเพลิงพลังงานและลดการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ ตลอดจนเป็นการกระตุ้นเศรษฐกิจทางการเกษตรอีกด้วย

คุณสมบัติพิเศษของสารชีวมวล แหล่งกำเนิดของสารชีวมวลสามารถใช้ได้ไม่มีวันหมด ตามพื้นฐาน วัฏจักรการหมุนเวียนของคาร์บอนโดยกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช ในทางกลับกันแหล่งกำเนิดของฟอสซิลนั้นมีปริมาณจำกัดและไม่ยั่งยืน นอกจากนั้นการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลยังปล่อยคาร์บอนมอนออกไซด์ซึ่งส่งผลรุนแรงต่อสภาพภูมิอากาศของโลก การเปรียบเทียบวัฏจักรคาร์บอนระหว่างสารชีวมวลและฟอสซิลแสดงดัง**รูปที่ 2.3**



รูปที่ 2.3 การเปรียบเทียบวัฏจักรคาร์บอนระหว่างสารชีวมวลและฟอสซิล [10]

โดยเงื่อนไขของระบบชีวมวลคือ การรักษาสมดุลของการเก็บเกี่ยวกับความเร็วในการเจริญเติบโตและระบบรักษาสิ่งแวดล้อมของพื้นที่ในการเพาะปลูก ถ้าเกิดความไม่สมดุลความยั่งยืนของระบบสารชีวมวลนั้นจะหายไป

2.1.3.1 การแปรรูปและการใช้ประโยชน์

ในปัจจุบันมีเทคโนโลยีมากมายในการเปลี่ยนคุณสมบัติของสารชีวมวลเพื่อรองรับกับวัตถุประสงค์ในการใช้งานที่แตกต่างกันออกไป ทั้งทางกายภาพ ทางเคมีและทางชีวภาพ การแปรรูปวัสดุชีวมวลนั้นสามารถทำได้หลายวิธีซึ่งแต่ละวิธีจะให้ผลิตภัณฑ์ที่มีรูปแบบหรือสถานะที่แตกต่างกันออกไป เช่น เป็นของแข็ง ของเหลวหรือก๊าซ สำหรับปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อลักษณะและรูปแบบของผลิตภัณฑ์นั้นมีหลายปัจจัยด้วยกัน ซึ่งงานวิจัยของ Libra และคณะ [5] ได้ทำการสรุปปัจจัยหลักที่มี

ผลต่อผลิตภัณฑ์ดังนี้ ชนิดของวัตถุดิบ เช่น วัตถุดิบที่มาจากของเหลือใช้จากการเกษตร วัตถุดิบจากไม้ หรือจากของเสียต่างๆ รูปแบบกระบวนการในการแปรรูป เช่น กระบวนการไพโรไลซิส กระบวนการก๊าซซิฟิเคชัน กระบวนการไฮโดรเทอร์มัล สภาวะในกระบวนการ เช่น อุณหภูมิ ระยะเวลาของกระบวนการ อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ ปัจจัยเหล่านี้ล้วนมีผลต่อลักษณะและรูปแบบของผลิตภัณฑ์ ดัง **รูปที่ 2.4**

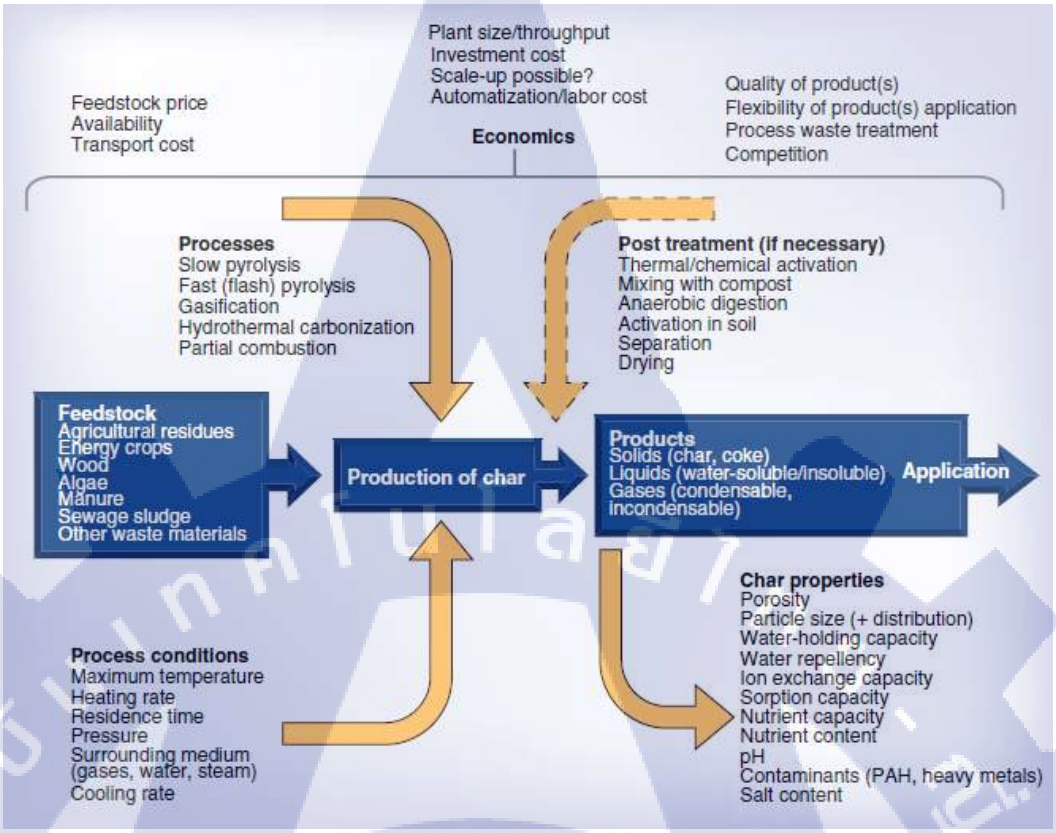
การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพคือ การทำให้โครงสร้างทางกายภาพของวัตถุดิบสลายตัวซึ่งวิธีที่ทำให้โครงสร้างมีการเปลี่ยนแปลง ได้แก่ การบดหรือการใช้ไอน้ำเพื่อสลายโครงสร้างของสารชีวมวล ทำให้มีพื้นที่ผิวเพิ่มมากขึ้น เพื่อเร่งกระบวนการทางเคมีความร้อนและทางชีวภาพตลอดจนการแยกสกัดและการกลั่นเพื่อสกัดส่วนผสมที่สำคัญ การเพิ่มความหนาแน่น การอบแห้งและการควบคุมความชื้นเพื่อเพิ่มความสะดวกในการขนย้ายและการจัดเก็บ โดยการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพมักใช้ก่อนทำปฏิกิริยาเพื่อเร่งกระบวนการหลักเรียกว่าการบำบัดก่อน

การเปลี่ยนแปลงทางเคมีคือ การไฮโดรไลซิส การออกซิเดชันบางส่วน การเผาไหม้ การคาร์บอไนเซชัน การไพโรไลซิส และ ปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มัลเพื่อสลายสารชีวมวล รวมถึงการสังเคราะห์ โพลิเมอร์ไรเซชัน ไฮโดรจีเนชัน เพื่อสร้างโมเลกุลใหม่หรือปรับปรุงวัสดุชีวมวล การสร้างอิเล็กตรอนในกระบวนการออกซิเดชันของสารชีวมวลนั้นสามารถใช้สำหรับเซลล์เชื้อเพลิงเพื่อสร้างกระแสไฟฟ้าได้

การเปลี่ยนแปลงทางชีวภาพคือ กระบวนการหมัก เช่น เอทานอล มีเทน อะซีโตน บิวทานอล ไฮโดรเจน เป็นต้น กระบวนการใช้เอนไซม์จะมีบทบาทสำคัญในการผลิตสารลำดับที่สองของไบโอเอทานอล โดยกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงและโฟโตไลซิสจะมีความสำคัญในการพัฒนาระบบวัสดุชีวมวล

2.1.3.2 ชีวมวลในประเทศไทย [11]

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน ซึ่งเป็นหน่วยงานหลักในด้านพลังงานหมุนเวียนของประเทศไทย ได้ทำการสำรวจศักยภาพของวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรของพืช 10 ชนิดของประเทศ โดยพิจารณาถึงความเป็นไปได้ในนำวัสดุเหล่านั้นกลับมาใช้ตามสภาพความเป็นจริง พบว่า ในปี 2543 ประเทศไทยมีปริมาณวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรรวม 63 ล้านตัน และมีการนำไปใช้งานเป็นเชื้อเพลิงและอื่นๆเพียง 16 ล้านตันเท่านั้น ส่วนที่ยังไม่ได้ถูกนำมาใช้และมีศักยภาพในการให้พลังงานนั้นมีสูงถึง 42 ล้านตัน และหากนับรวมถึงก๊าซชีวภาพที่ได้จากมูลสัตว์ ขยะ และน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม มาประกอบการประเมิน และได้คิดเผื่อถึงความเป็นไปได้ทุกอย่างในการนำพลังงานกลับมาใช้จริงแล้ว พบว่า ในปี 2543 เพียงปีเดียว ประเทศไทยมีศักยภาพของพลังงานชีวมวลถึง 650 PJ หรือเท่ากับพลังงานที่ได้จากน้ำมันดีเซลหมุนเร็วปริมาณ 17,850 ล้านลิตร



รูปที่ 2.4 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการแปรรูปและลักษณะในการนำไปใช้งานต่างๆของถ่าน [5]

2.1.3.3 ข้อดีและข้อเสียของวัสดุชีวมวล [12]

ชีวมวลเป็นพลังงานที่มาจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่ไม่มีวันหมดไป เพราะวงจรการผลิตชีวมวลคือวงจรของพืชที่มีระยะเวลาสั้น อีกทั้งชีวมวลสามารถผลิตได้ภายในประเทศส่งผลให้เกษตรกรมีรายได้เพิ่มขึ้นจากการจำหน่ายชีวมวลอีกทางหนึ่ง และยังเป็นการช่วยลดการนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศได้อีกด้วย แต่ก็ใช่ว่าชีวมวลจะไม่มีข้อเสียเลยทีเดียวซึ่งสามารถสรุปเป็นข้อดีและข้อเสียได้ดังนี้

ข้อดีการนำชีวมวลมาใช้เป็นพลังงาน

1) การใช้ชีวมวลในการผลิตไฟฟ้าไม่เพิ่มปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สู่บรรยากาศของโลก เพราะก๊าซที่ปล่อยจากการเผาไหม้จะถูกดูดกลืนกลับมาโดยการสังเคราะห์แสงของพืชอีกครั้งหนึ่ง

2) การไม่นำชีวมวลมาใช้ให้เกิดประโยชน์ โดยปล่อยให้ย่อยสลายเองตามธรรมชาติจะส่งผลให้เกิดก๊าซมีเทนขึ้น ซึ่งเป็นก๊าซเรือนกระจกชนิดหนึ่ง โดยมีอันตรายมากกว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ถึง 21 เท่า

3) ชีวมวลจะมีกำมะถันไม่เกิน 0.2% ดังนั้นการเผาไหม้ชีวมวลจะไม่เป็นการสร้างปัญหาการเกิดฝนกรด

4) ขี้เถ้าของชีวมวลเป็นด่างซึ่งสามารถที่จะไปใช้ในการปรับสภาพดินที่เป็นกรดได้ และยังสามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมจำพวกการถลุงเหล็กและซิเมนต์ได้อีกด้วย

5) การนำชีวมวลมาใช้เป็นการเพิ่มรายได้และลดรายจ่ายในการกำจัดชีวมวล เช่น การเผา หรือ การฝังกลบ เป็นต้น

6) เป็นการลดการนำเข้าพลังงานและเชื้อเพลิงจากต่างประเทศ เช่น น้ำมันเตา และถ่านหิน เป็นต้น

ข้อเสียการนำชีวมวลมาใช้เป็นพลังงาน

1) การขนส่งค่อนข้างยุ่งยากเนื่องจากชีวมวลมีขนาดใหญ่แต่มีน้ำหนักที่เบา ทำให้ต้องขนส่งเป็นจำนวนหลายรอบ

2) ชีวมวลมีความชื้นสูง ทำให้ต้องติดตั้งอุปกรณ์ลดความชื้นในหม้อไอน้ำเพิ่มเติม ซึ่งเป็นการเพิ่มต้นทุนในการลงทุน อีกทั้งหากชีวมวลมีความชื้นมากเกินไปอาจทำให้หม้อไอน้ำทำงานได้ไม่เต็มประสิทธิภาพ

3) ขี้เถ้าชีวมวลมีจุดหลอมเหลวต่ำ ซึ่งถ้าอุณหภูมิการเผาไหม้สูงเกินไป อาจทำให้ขี้เถ้าหลอมละลายและเกิดการอุดตันภายในหม้อต้มได้

4) ชีวมวลบางประเภทอาจมีสารกรัดกร่อนท่อน้ำในหม้อไอน้ำ ดังนั้นการเลือกใช้ชีวมวลต้องคำนึงถึงความปลอดภัยในการเลือกใช้วัสดุภายในหม้อต้มด้วย

5) เถ้าที่เกิดจากชีวมวลบางประเภท อาจก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศ หากฟุ้งในอากาศระหว่างการเผาไหม้

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Liu et al. [7] ได้ทำการศึกษาการคาร์บอนไนเซชันด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลเพื่อที่จะเพิ่มประสิทธิภาพการให้พลังงานแก่วัสดุชีวมวลเหลือใช้ โดยใช้ตัวอย่างในการทดลองคือ ใยมะพร้าวและใบยูคาลิปตัส โดยใช้ตัวอย่างประมาณ 10 g แช่ในน้ำ 100 ml ทำการไฮโดรเทอร์มัลที่อุณหภูมิในช่วง 150-375 ℃ เป็นเวลา 30 นาที จากการทดลองพบว่า อุณหภูมิมีผลต่อปริมาณคาร์บอนของผลิตภัณฑ์โดยพบว่าอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีปริมาณคาร์บอนที่มากขึ้นโดยมีปริมาณคาร์บอนประมาณ 46.7-78.2% โดยเซลลูโลสจะแตกตัวเกือบทั้งหมดที่อุณหภูมิต่ำกว่า 250°C และที่สภาวะอุณหภูมิ 250 ℃ ผลิตภัณฑ์มีความเหมาะสมที่สุดที่ใช้สำหรับเป็นเชื้อเพลิงในการเผาไหม้

Romero et al. [8] ได้ทำการศึกษาการไฮโดรเทอร์มัลและการกระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริกของใยพืชธรรมชาติสองชนิด โดยวัตถุดิบที่ใช้ได้แก่ Banana Pseudostem และ ใยมะพร้าว โดยใช้ตัวเร่งด้วยกรดฟอสฟอริกในการไฮโดรเทอร์มัลที่อุณหภูมิ 200 °C ระยะเวลานาน 24 ชั่วโมง จากการศึกษาพบว่าการกระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริกหลังการไฮโดรเทอร์มัลถ่านกัมมันต์มีพื้นที่ผิวมากที่สุดเท่ากับ 2244 m^2/g และ 1765 m^2/g สำหรับใยมะพร้าว และ Banana Pseudostem ตามลำดับ

นฤมล บูชัวทอง [12] ได้ทำการศึกษาผลขององค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และ ลิกนิน จากชีวมวล 7 ชนิด ต่อพฤติกรรมการสลายตัวในการไพโรไลซิสและการเผาไหม้ จากการศึกษาพบว่า องค์ประกอบที่สลายตัวง่ายที่สุดได้แก่ เฮมิเซลลูโลส เซลลูโลส และ ลิกนิน ตามลำดับ โดยชีวมวลที่มีลิกนินสูงจะมีอัตราการไพโรไลซิสที่ช้ากว่าชีวมวลที่มีลิกนินต่ำ

นคร วรสุวรรณรักษ์ และคณะ [13] ได้ทำการศึกษากระบวนการคาร์บอนไนเซชันโดยการเผาชีวมวลในที่ที่ไม่อากาศ โดยได้ทำการศึกษาพฤติกรรมการคาร์บอนไนเซชันของชีวมวลในน้ำร้อนความดันสูง ที่อุณหภูมิ 350 °C ที่ความดัน 100-250 Bar (10-25 MPa) เพื่อศึกษาอิทธิพลของความดันที่มีผลต่อผลผลิต (Yield) และโครงสร้างรูพรุนของถ่าน จากการวิจัยพบว่าที่อุณหภูมิเดียวกันผลผลิตของถ่านจากกระบวนการคาร์บอนไนเซชันในน้ำร้อนความดันสูงนั้นให้ผลผลิตที่มากกว่าการคาร์บอนไนเซชันในบรรยากาศปกติ และได้นำถ่านที่ได้จากการคาร์บอนไนเซชันในน้ำร้อนความดันสูงมาคาร์บอนไนเซชันภายใต้บรรยากาศของไนโตรเจนที่อุณหภูมิ 700 °C พบว่าพื้นที่ผิวจำเพาะของถ่านที่ได้จากการคาร์บอนไนเซชันในน้ำร้อนความดันสูงนั้นมีค่าสูงกว่าพื้นที่ผิวจำเพาะของถ่านที่เตรียมจากกระบวนการคาร์บอนไนเซชันในชั้นบรรยากาศปกติ

Bhaskar et al. [14] ได้ทำการศึกษาการใช้กระบวนการไฮโดรเทอร์มัลในการปรับปรุงวัสดุชีวมวล ด้วยสารตัวเร่ง K_2CO_3 โดยใช้วัสดุชีวมวลตัวอย่าง 2 ชนิด คือ เชอรี่ (ไม้เนื้อแข็ง) และไซเปรซ (ไม้เนื้ออ่อน) โดยทำการไฮโดรเทอร์มัลที่อุณหภูมิ 280 °C เป็นเวลา 15 นาที โดยใช้ ตัวเร่ง K_2CO_3 ในความเข้มข้น (0-1 M) ซึ่งจะได้ผลิตภัณฑ์อยู่ในรูปของเหลว (Oil) จากการศึกษาพบว่า วัสดุชีวมวลจากไม้เนื้ออ่อนมีปริมาณลิกนินที่มากกว่าไม้เนื้อแข็ง และพบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเชอรี่จะมีปริมาณสัดส่วนของกรดอะซิติกมากกว่าไซเปรซ และผลิตภัณฑ์ที่ได้จากไซเปรซจะมีสัดส่วนปริมาณไฮโดรคาร์บอนมากกว่าจากเชอรี่

Asirvatham et al. [15] ได้ทำการศึกษาการเตรียมถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) จากดอกมะพร้าวโดยใช้ High temperature fluidized bed reactor โดยใช้ไอน้ำเป็นตัวกระตุ้น โดยใช้อุณหภูมิที่ทำการศึกษาคือ 650 700 750 800 และ 850 °C และใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาที่ 30, 60, 120 และ 240 นาที และนำผลิตภัณฑ์มาทดสอบการดูดซับสารต่างๆ เช่น เมทิลีนบลู ไอโอดีน ฯลฯ และทำการหาพื้นที่ผิวด้วย SEM จากการศึกษาพบว่า ช่วงอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมที่สุดในการทำปฏิกิริยาคือ 850 °C ที่เวลา 60 นาที

Budinova et al. [16] ได้ทำการศึกษาการเตรียมถ่านกัมมันต์จากถั่วและเพื่อที่จะใช้ในการกำจัดสารโลหะหนัก โดยทำการทดสอบการดูดซับ อาร์เซนิก และ แมงกานีส ในงานวิจัยนี้ทำการคาร์บอไนเซชัน (Carbonization) ในชั้นบรรยากาศที่อุณหภูมิ 600 °C และทำการกระตุ้นด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 700 °C เป็นเวลา 60 นาที จากการทดลองพบว่าผลิตภัณฑ์สามารถดูดซับ อาร์เซนิก และแมงกานีส ได้โดยมีปริมาณในการดูดซับสูงสุดที่ 1.01 และ 23.4 mg/g

Sun and Jiang [17] ได้ทำการศึกษาการเตรียมการเตรียมถ่านกัมมันต์จากเปลือกเมล็ดยางโดยการกระตุ้นด้วยไอน้ำ โดยผู้วิจัยได้นำเปลือกเมล็ดยางมาทำการคาร์บอไนเซชัน ภายใต้สภาวะไนโตรเจนที่อุณหภูมิ 400-650 °C และทำการกระตุ้นด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 800-900 °C โดยใช้เวลาในการกระตุ้น 40-60 นาที และอัตราการป้อนไอน้ำที่ 4-8 kg/h จากการทดลองพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการกระตุ้นอยู่ที่ 880 °C อัตราการป้อนไอน้ำที่ 6 kg/h เวลาในการกระตุ้นที่ 60 นาที โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้มีรูพรุนทั้ง ไมโครพอร์ และ เมโซพอร์ ซึ่งเหมาะสมกับการดูดซับในสถานะของเหลวและก๊าซ

วิทวัส จิรัฐพงศ์ กฤษณเวช ทรงธนศักดิ์ [18] ได้ทำการศึกษาปริมาณเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินจากของเหลือทิ้งจากพืชเพื่อใช้ในการผลิตแผ่นฟิล์มพลาสติกชีวภาพ โดยของเหลือทิ้งจากพืชที่นำมาศึกษา คือ ต้นกก ชานอ้อย ซังข้าวโพด ฟางข้าว และกาบมะพร้าว ในการสกัดและวิเคราะห์ปริมาณเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน จากนั้นทำการเลือกวัตถุดิบที่มีปริมาณเซลลูโลสมากที่สุดมาทำการขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มพลาสติกชีวภาพโดยเปลี่ยนเซลลูโลสมาอยู่ในรูปของคาร์บอกซีเมทธิลเซลลูโลส จากการทดลองพบว่า ก้านกล้วยมีปริมาณเซลลูโลสประมาณ 33.9% มีปริมาณเฮมิเซลลูโลสคือ 9.4% และมีปริมาณลิกนิน 16.9%

Sevilla et al. [19] ได้ทำการศึกษาผลกระทบของกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลต่อ ผงขี้เลื่อยยูคาลิปตัสและฟางข้าวบาร์เลย์ โดยใช้ตัวอย่างประมาณ 8 กรัมแช่ในน้ำ 50 มิลลิลิตร ทำการไฮโดรเทอร์มัลที่อุณหภูมิ 250°C อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 4 °C ต่อนาที ความดันประมาณ 40 Bar (4 MPa) เป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ทำการคาร์บอนไนเซชันภายใต้สภาวะไฮโดรเจนที่อุณหภูมิ 400°C อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 3°C ต่อนาที เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากการทดลองพบว่า ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีส่วนประกอบที่เป็นคาร์บอนเพิ่มขึ้นเป็น 50-60% และพบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้มีขนาดอนุภาคประมาณ 1-10 ไมโครเมตร และมีปริมาณผลผลิต (Yield) ที่ 400 และ 370 g/kg

Xiao et al. [20] ได้ทำการศึกษา กระบวนการไฮโดรเทอร์มัลเพื่อแปรรูปวัสดุชีวมวลให้อยู่ในรูปของคาร์บอน (Hydrothermal Carbonization) เพื่อเป็นการเพิ่มคุณค่าของวัสดุชีวมวลให้มากยิ่งขึ้น โดยผู้วิจัยได้เลือกใช้วัสดุชีวมวลที่แตกต่างกันสองชนิดคือ ก้านข้าวโพด และ ต้นทามาริกซ์ โดยก้านข้าวโพดมีส่วนประกอบที่เป็น เฮมิเซลลูโลส ลิกนินและปริมาณเถ้ามากกว่า แต่จะมีเซลลูโลสที่น้อยกว่าโดยมีขั้นตอนการทดลองดังนี้

ขั้นตอนเตรียมวัตถุดิบ

1) นำวัตถุดิบมาสกัดด้วยวิธี Soxhlet-extracted โดยใช้ ethanol/benzene เป็นเวลา 8 ชั่วโมง

2) นำตัวอย่างที่สกัดแล้วมาอบแห้งที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 16 ชั่วโมง และเก็บในที่ไม่มีความชื้น

ขั้นตอนกระบวนการไฮโดรเทอร์มัล

3) ใช้ตัวอย่างจำนวน 10 g แช่ในน้ำกลั่น ที่อุณหภูมิห้องหนึ่งคืน

4) ใส่ตัวอย่างในเตาปฏิกรณ์ที่อุณหภูมิ 250 °C ความดันประมาณ 40 Bar (580 psi) โดยให้อัตราการเพิ่มอุณหภูมิประมาณ 4 °C/min เป็นระยะเวลา 4 ชั่วโมงและทำการกวนที่ 150 rpm

5) ทำการเก็บตัวอย่างและนำตัวอย่างที่เป็นของแข็งมาล้างด้วยน้ำกลั่นร้อน จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง

จากผลการทดลองพบว่า อัตราส่วนผลผลิตของวัสดุชีวมวลเท่ากับ 35.5 % และ 38.1 % และมีปริมาณคาร์บอนเพิ่มขึ้นจาก 46.8 %-48.0 % เป็น 71.4 %-72.1 % โดยผลผลิตที่ได้ในส่วนของของแข็งจะมีส่วนประกอบหลักเป็นลิกนินในปริมาณที่สูง

Román et al. [21] ได้ทำการศึกษาถ่านกัมมันต์ (activated carbon) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับของถ่านที่ได้จากวัสดุชีวมวลที่ผ่านการแปรรูปโดยกระบวนการไฮโดรเทอร์มัล โดยวัสดุชีวมวลตัวอย่างที่นำมาศึกษาทั้งหมดสามชนิดได้แก่ เปลือกวอลนัท ก้านดอกทานตะวัน และผลมะกอก หลังจากการไฮโดรเทอร์มัลนำผลิตภัณฑ์ทำการกระตุ้นด้วยคาร์บอนไดออกไซด์และอากาศ สำหรับกระบวนการกระตุ้นนั้นทำการกระตุ้นภายใต้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 40 ml/min ที่อุณหภูมิ 850 °C ระยะเวลา 30 นาที หรือ ในอากาศ 100 ml/min ที่อุณหภูมิ 250 °C ระยะเวลา 30 นาที จากการศึกษาพบว่า ถ่านที่ได้จากการไฮโดรเทอร์มัลนั้นมีปริมาณผลผลิตที่สูงกว่า แต่มีความสามารถในการเพิ่มพื้นที่ผิวได้น้อย โดยมีพื้นที่ผิวประมาณ 22-31 m^2/g และหลังจากการกระตุ้นด้วยคาร์บอนไดออกไซด์และอากาศพบว่าถ่านกัมมันต์ที่ทำการกระตุ้นด้วยคาร์บอนไดออกไซด์มีพื้นที่ผิวเท่ากับ 379-438 m^2/g และถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการกระตุ้นด้วยอากาศมีพื้นที่ผิวเท่ากับ 204-434 m^2/g

Ratchahat et al. [22] ได้ทำการศึกษาการสักเคราะห์อนุภาคคาร์บอนทรงกลมขนาดเล็กของแป้งข้าวโพด ด้วยการไฮโดรเทอร์มัล โดยทำการไฮโดรเทอร์มัลที่อุณหภูมิ 180 °C ระยะเวลา 12 ชั่วโมง จากนั้นนำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และนำไปคาร์บอไนเซชันต่อภายใต้สภาวะไนโตรเจน อัตราการป้อนไนโตรเจนเท่ากับ 100 ml/min ที่อุณหภูมิ 600 °C อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 1°C/min โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้มีอนุภาคขนาดเล็ก 0.4 – 4.0 μm เป็นสาเหตุมาจากการละลายน้ำ และการไฮรโดรไลซ์ในระหว่างการไฮโดรเทอร์มัล

Asadullah et al. [23] ได้ทำการศึกษาการดูดซับของถ่านกัมมันต์ จากการเตรียมด้วยวิธีการ ไพโรไลซิส และนำมากกระตุ้นด้วยไอน้ำ โดยทำการศึกษาปัจจัยของอุณหภูมิ อัตราการป้อนไอน้ำ โดยพบว่าอุณหภูมิในการกระตุ้นที่ 750 °C และอัตตราการป้อนไอน้ำเท่ากับ 75 mg/min เป็นสภาวะที่ได้พื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์มากที่สุดโดยได้พื้นที่ผิวเท่ากับ 724 m^2/g

Gonzalez et al. [24] ได้ทำการศึกษาการเตรียมถ่านกัมมันต์จากวัสดุชีวมวล ด้วยวิธีการไพโรไลซิส และทำการกระตุ้นด้วยไอน้ำ โดยใช้วัตถุดิบจาก เปลือกอัลมอนด์ เปลือกวอลนัท Almond Tree Prunning และ Olive Stone โดยพบว่าการกระตุ้นถ่านกัมมันต์ด้วยไอน้ำสามารถเพิ่มพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ได้มากที่สุดถึง 1080 m^2/g

ณัฐยา พูนสุวรรณ และ สุพรรณี จันทร์ภิรมณ์ [25] ได้ทำการศึกษาการเตรียมถ่านกัมมันต์จากวัสดุชีวมวลโดยเลือกใช้วัสดุชีวมวลจากชานอ้อยซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้จากโรงงานน้ำตาล และเม็ดลำไย โดยใช้วิธีการกระตุ้นทางกายภาพด้วย ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และไอน้ำ และใช้การกระตุ้นทางเคมีด้วยกรดฟอสฟอริก พบว่าชานอ้อยจะมีพื้นที่ผิวมากที่สุดโดยการกระตุ้นด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สภาวะที่ได้ผลดีที่สุดที่สภาวะอุณหภูมิ 850-900 °C เป็นเวลา 60 นาที โดยได้พื้นที่ผิวสูงสุดประมาณ 1000 m^2/g และเม็ดลำไยการกระตุ้นด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้พื้นที่ผิวมากที่สุดประมาณ 1200 m^2/g ที่สภาวะอุณหภูมิ 900 °C ระยะเวลา 60 นาที สำหรับการกระตุ้นด้วยเคมีพบว่าชานอ้อยได้พื้นที่ผิวมากที่สุดเท่ากับ 1600 m^2/g และ เม็ดลำไยได้พื้นที่ผิวมากที่สุด 1000 m^2/g

Regmi et al. [26] ได้ทำการศึกษาการกำจัดทองแดงและแคดเมียมจากสารละลายด้วยต้นหญ้าที่เตรียมจากกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลคาร์บอไนเซชัน โดยทำการไฮโดรเทอร์มัลที่อุณหภูมิ 300 °C อัตราการเพิ่มอุณหภูมิเท่ากับ 7°C/min เป็นระยะเวลานาน 30 นาที จากนั้นนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปทำการกระตุ้นด้วย KOH จากการศึกษาพบว่า ผลิตภัณฑ์มีความเป็นคาร์บอนเท่ากับ 70.5% และมีพื้นที่ผิวเท่ากับ 2.1 m^2/g หลังจากกระตุ้นด้วย KOH พบว่ามีพื้นที่เพิ่มขึ้นประมาณ 2.4 เท่า คือเพิ่มขึ้นเป็น 5.0 m^2/g และพบว่าผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการกระตุ้นด้วย KOH มีความสามารถในการดูดซับทองแดงและแคดเมียมได้ดีกว่าผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้ผ่านการกระตุ้นและดีกว่าผงถ่านกัมมันต์

Budinova et al. [27] ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการกระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริก และการกระตุ้นด้วยไอน้ำ โดยได้ทำการศึกษาในวิธีการดังนี้ (ก).ทำการกระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริกและไพโรไลซิสที่ 600 °C (ข) ทำตามวิธีเดียวกันกับวิธี (ก) จากนั้นทำการกระตุ้นด้วยไอน้ำต่อที่อุณหภูมิเดียวกัน (ค) ทำการกระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริกและทำการไพโรไลซิสด้วยไอน้ำโดยตรงที่อุณหภูมิ 700°C จากการศึกษาพบว่าถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระตุ้นด้วย กรดฟอสฟอ-ริกและตามด้วยการกระตุ้นด้วยไอน้ำสามารถเพิ่มปริมาณพื้นที่ผิวได้มากที่สุดโดยมีพื้นที่ผิวมากที่สุดเท่ากับ 1360 m^2/g

Sevilla et al. [28] ได้ทำการศึกษาผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการไฮโดรเทอร์มัลคาร์บอไนเซชันด้วยเซลลูโลส โดยได้ทำการศึกษาการไฮโดรเทอร์มัลในช่วงอุณหภูมิ 200-250 °C ระยะเวลานาน 2-4 ชั่วโมง จากการศึกษาพบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการไฮโดรเทอร์มัลมีปริมาณคาร์บอนประมาณ 70.7-72.5% ขนาดพื้นที่ผิวประมาณ 26-30 m^2/g และมีอนุภาคเป็นทรงกลมขนาด 2-10 µm โดยเกิดภายใต้สภาวะอุณหภูมิ 210 °C และ 220 °C สาเหตุที่ทำให้ผลิตภัณฑ์มีอนุภาคทรงกลมขนาดเล็กเพราะการไฮโดรไลซิสของเซลลูโลส การพอลิเมอร์ไลเซชัน หรือ การรวมตัวของผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในรูปสารละลาย

Parshetti et al. [29] ได้ทำการศึกษาโครงสร้างเคมีและคุณสมบัติค่าการเผาไหม้ของถ่านที่ได้จากการไฮโดรเทอร์มัลคาร์บอไนเซชันของปาล์ม โดยทำการศึกษาการไฮโดรเทอร์มัลที่อุณหภูมิ 150 250 และ 350 °C จากการศึกษาพบว่าถ่านที่ได้จากการไฮโดรเทอร์มัลคาร์บอไนเซชันที่อุณหภูมิ 350 °C มีค่าการเผาไหม้มากที่สุดเท่ากับ 27 MJ/kg

Li et al. [30] ได้ทำการศึกษาการเตรียมถ่านกัมมันต์จากกากตะกอนน้ำเสียของโรงงานกระดาษเพื่อใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากสีย้อมผ้า โดยทำการคาร์บอไนเซชัน และการกระตุ้นด้วยไอน้ำ โดยทำการคาร์บอไนเซชันที่อุณหภูมิ 300 °C ระยะเวลานาน 60 นาที และใช้อุณหภูมิในการกระตุ้นที่ 850 °C ระยะเวลานาน 40 นาที จากการศึกษาพบว่าการกระตุ้นด้วยไอน้ำสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดน้ำเสียได้ดี โดยถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้มีค่าการดูดซับเมธิลีนบลูประมาณ 130.7 mg/g

Boonam et al. [31] ได้ทำการศึกษาการเตรียมถ่านกัมมันต์จากเมล็ดกาแฟเพื่อใช้ในการดูดซับฟอมาดีไฮด์ โดยทำการศึกษาวิธีการและสภาวะในการกระตุ้นที่ต่างกันออกไปดังนี้ ทำการไพโรไลซิสภายใต้สภาวะไนโตรเจน ไพโรไลซิสโดยการกระตุ้นด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภายใต้สภาวะไนโตรเจนและไพโรไลซิสโดยการกระตุ้นด้วยไอน้ำภายใต้สภาวะไนโตรเจน จากการศึกษาพบว่าถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการกระตุ้นด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีปริมาณผลผลิตและพื้นที่ผิวมากที่สุดเท่ากับ 914 m^2/g แต่มีความสามารถในการดูดซับฟอมาดีไฮด์น้อยกว่าถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยไนโตรเจน

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง สามารถสรุปได้ดัง**ตารางที่ 2.2**

ตารางที่ 2.2 สรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผู้แต่ง	วัตถุดิบ	วิธีการ	Temp (°C)	Time (h)	ผลที่ได้
Liu et al. [7]	ใยมะพร้าวและใบยูคาลิปตัส	HTC	150-375	0.5	อุณหภูมิมีผลต่อปริมาณคาร์บอนของผลิตภัณฑ์ อุณหภูมิที่สูงขึ้นจะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีปริมาณคาร์บอนที่มากขึ้น โดยเซลลูโลสจะแตกตัวเกือบทั้งหมดที่อุณหภูมิต่ำกว่า 250°C
Romero et al. [8]	ใยมะพร้าวและ Banana Pseudostem	HTC H_3PO_4 เป็นตัวเร่ง	200	24	อุณหภูมิยิ่งสูงจะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีปริมาณคาร์บอนเพิ่มมากขึ้นโดยมีปริมาณคาร์บอนประมาณ 46.7-78.2% และที่สภาวะอุณหภูมิ 250 °C เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการใช้ผลิตภัณฑ์เป็นเชื้อเพลิง
Bhaskar et al. [14]	ต้นเซอรี่/ต้นไซเปรส	HTC (ใช้ K_2CO_3 เป็นตัวเร่ง)	280	0.25	ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากต้นไซเปรส (ไม้เนื้ออ่อน) มีอัตราส่วนปริมาณไฮโดรคาร์บอนมากกว่าจากเซอรี่ (ไม้เนื้อแข็ง)

ตารางที่ 2.2 สรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (ต่อ)

ผู้แต่ง	วัตถุดิบ	วิธีการ	Temp (°C)	Time (h)	ผลที่ได้
Asirvatham et al. [15]	ดอกมะพร้าว	High temperature fluidized bed reactor	650 700 750 800 850	0.5 1 2 4	นำผลิตภัณฑ์มาทดสอบการดูดซับสารต่างๆ เช่น ไอโอดีน เมทิลีนบลู ฯลฯ และทำการหาพื้นที่ผิวด้วย SEM จากการศึกษาพบว่า ช่วงอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมที่สุดในการทำปฏิกิริยาคือ 850 °C ที่เวลา 60 นาที
Budinova et al. [16]	ถั่ว	คาร์บอไนเซชัน (Carbonization) ในชั้นบรรยากาศ	600	1	ผลิตภัณฑ์สามารถดูดซับ อาร์เซนิก และแมงกานีส ได้โดยมีปริมาณในการดูดซับสูงสุดที่ 1.01 และ 23.4 mg/g
Sun and Jiang [17]	เปลือกเมล็ดยาง	คาร์บอไนเซชันภายใต้สภาวะไนโตรเจน	400-600	0.75-1	จากการทดลองพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการกระตุ้นอยู่ที่ 880 °C อัตราการป้อนไอน้ำที่ 6 kg/h เวลาในการกระตุ้นที่ 60 นาที โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้มีรูพรุนทั้ง ไมโครพอร์ และ เมโซพอร์ ซึ่งเหมาะสมกับการดูดซับในสถานะของเหลวและก๊าซ

ตารางที่ 2.2 สรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (ต่อ)

ผู้แต่ง	วัตถุดิบ	วิธีการ	Temp (°C)	Time (h)	ผลที่ได้
Sevilla et al. [19]	ยูคาลิปตัส/ข้าวบาเลย์	HTC	250	2	ผลิตภัณฑ์มีปริมาณคาร์บอนเพิ่มขึ้นเป็น 50-60% และมีขนาดอนุภาคประมาณ 1-10 µm ปริมาณผลผลิต 37%-40% g/kg
Xiao et al. [20]	ก้านข้าวโพด/ต้นทามาริกซ์	HTC	250	4	มีปริมาณคาร์บอนเพิ่มขึ้นเป็น 71.4-72.1% ปริมาณผลผลิต 35.5-38.1% ผลผลิตที่เป็นของแข็งจะมีปริมาณลิกนินเป็นส่วนประกอบหลัก
Román et al. [21]	ดอกทานตะวัน/เปลือกวอลนัท/ผลมะกอก	HTC และกระตุ้นด้วย CO2 และอากาศ	220	20	ผลิตภัณฑ์จากการไฮโดรเทอร์มัลมีปริมาณพื้นที่ผิวประมาณ 22-31 m^2/g หลังจากการกระตุ้นด้วย CO2 และอากาศ มีพื้นที่ผิวเพิ่มขึ้นเป็น379-438 และ 204-304 m^2/g
Ratchahat et al. [22]	แป้งข้าวโพด	HTC	180	12	โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้มีอนุภาคขนาดเล็ก 0.4 – 4.0 µm เป็นสาเหตุมาจากการละลายน้ำ และการไฮโดรไลซ์ในระหว่างการไฮโดรเทอร์มัล

ตารางที่ 2.2 สรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (ต่อ)

ผู้แต่ง	วัตถุดิบ	วิธีการ	Temp (°C)	Time (h)	ผลที่ได้
Regmi et al. [26]	ต้นหญ้า	HTC และกระตุ้นด้วย KOH	300	0.5	ผลิตภัณฑ์มีปริมาณคาร์บอนเพิ่มขึ้นประมาณ 70.5% และมีพื้นที่ผิวเท่ากับ 2.1 m^2/g หลังจากนำผลิตภัณฑ์ไปกระตุ้นด้วย KOH พบว่ามีพื้นที่ผิวเท่ากับ 5.0 m^2/g
Parshetti et al. [29]	เซลลูโลส	HTC	200-250	2-4	ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการไฮโดรเทอร์มัลมีขนาดพื้นที่ผิวประมาณ 26-30 m^2/g และมีอนุภาคเป็นทรงกลมขนาดประมาณ 2-10 μm
Li et al. [30]	ปาล์ม	HTC	150-350	-	ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการไฮโดรเทอร์มัลคาร์บอไนเซชันที่อุณหภูมิ 350 °C มีค่าการเผาไหม้มากที่สุดเท่ากับ 27 MJ/kg

จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาพบว่ากระบวนการไฮโดรเทอร์มัลได้ผลดีและนิยมใช้อุณหภูมิในช่วง 200-250 °C เนื่องจากการใช้อุณหภูมิที่ต่ำกว่านี้ทำให้การคาร์บอไนเซชันทำได้ไม่ดี และหากใช้อุณหภูมิที่สูงเกินไปอาจทำให้เกิดอันตรายเนื่องจากความดันจะเพิ่มสูงมากขึ้นตามอุณหภูมิ ซึ่งตรงตามกับวัตถุประสงค์เบื้องต้นของงานวิจัยที่ต้องการใช้อุณหภูมิที่ไม่สูงมากในการคาร์บอไนเซชัน ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกศึกษาอุณหภูมิในช่วง 180–240 °C สำหรับในส่วนปัจจัยด้านระยะเวลาจากการศึกษาพบว่ามีการใช้ช่วงเวลาที่ค่อนข้างหลากหลายตั้งแต่ 15 นาที ไปจนถึง 24 ชั่วโมง ในส่วนของงานวิจัยที่ใช้เวลาน้อยพบว่าจำเป็นต้องใช้ตัวเร่งที่เป็นสารเคมีจำพวก กรด หรือ เบส ในการ

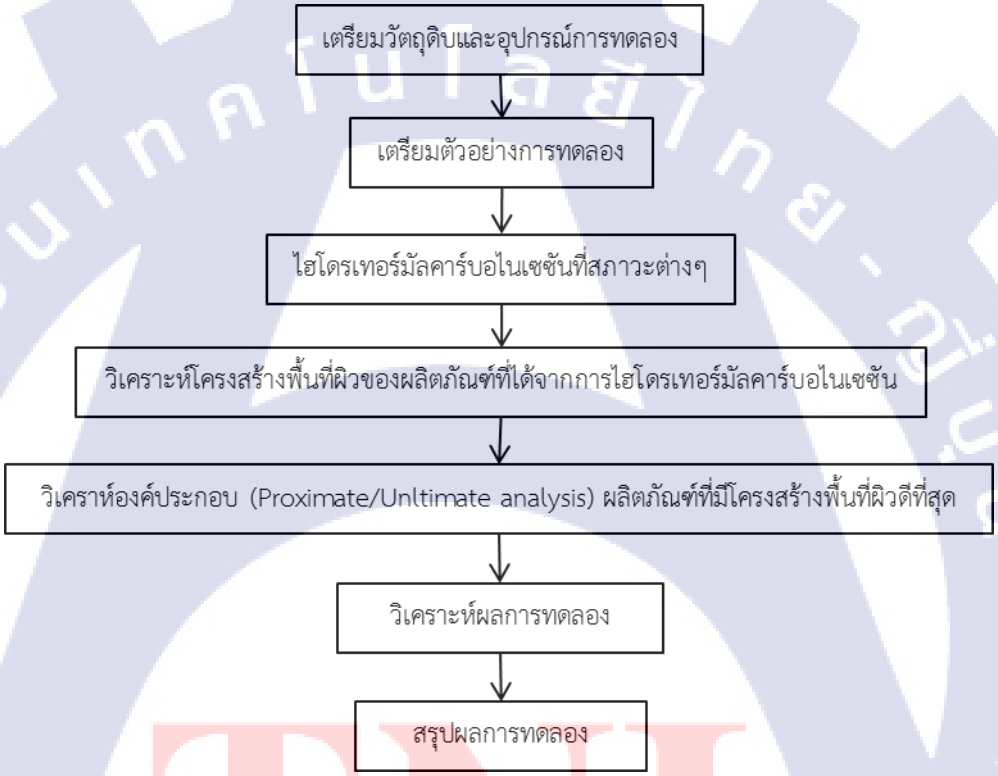
ทำปฏิกิริยา ซึ่งงานวิจัยนี้ ในเบื้องต้นไม่ต้องการใช้ตัวเร่งที่เป็นสารเคมี ดังนั้นจึงเลือกใช้ระยะเวลาในการศึกษาช่วง 2-8 ชั่วโมง ในส่วนของปัจจัยปริมาณน้ำตั้งต้นจากการศึกษาพบว่ายังไม่มีงานวิจัยใดที่ศึกษาถึงปัจจัยในด้านของปริมาณน้ำตั้งต้นดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกที่จะศึกษาถึงผลกระทบของปริมาณน้ำ โดยจะทำการศึกษาปริมาณน้ำในช่วง 0-500% โดยน้ำหนัก จากนั้นจึงศึกษากรณีที่มีการเติมตัวเร่งปฏิกิริยาโดยใช้ กรดซัลฟิวริก เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลผลิตภัณฑ์ที่ได้

สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น THAI - NICHI INSTITUTE OF TECHNOLOGY TNI

บทที่ 3
ระเบียบวิธีวิจัย

3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

การดำเนินงานวิจัยจะเริ่มจากการเตรียมวัตถุดิบและตัวอย่างการทดลองจากนั้นนำมาทดลองด้วยการไฮโดรเทอร์มัล เพื่อที่จะนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปวิเคราะห์องค์ประกอบและโครงสร้าง และทำการวิเคราะห์และสรุปผลการทดลองต่อไป โดยมีขั้นตอนการดำเนินงาน ดัง**รูปที่ 3.1**



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

3.1.1 เตรียมวัตถุดิบและอุปกรณ์การทดลอง

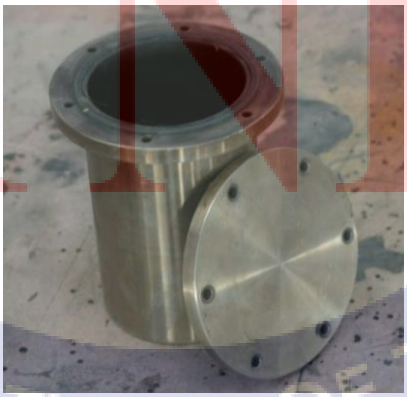
วัตถุดิบและอุปกรณ์ประกอบด้วย

- มูลช้าง จากแหล่งข้อมูล (ปางช้างอยุธยา) แสดงดัง**รูปที่ 3.2**
- น้ำกลั่น (Distilled Water)
- เครื่องแก้วต่างๆที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ
- ตู้อบ ยี่ห้อ Redline รุ่น RF115 แสดงดัง**รูปที่ 3.3**

- Hydrothermal Chamber แสดงดัง**รูปที่ 3.4**
- เตาเผาอุณหภูมิสูง Thaiburner89 แสดงดัง**รูปที่ 3.5**

รูปที่ 3.2 มูลช้าง จากแหล่งข้อมูล (ปางช้างอยุธยา)

รูปที่ 3.3 ตู้อบ ยี่ห้อ Redline รุ่น RF115



รูปที่ 3.4 Hydrothermal Chamber

รูปที่ 3.5 เตาเผาอุณหภูมิสูง

3.1.2 เตรียมตัวอย่างการทดลอง

- นำมูลช้างตากแห้งเพื่อลดกลิ่น และเตรียมการแปรสภาพเพื่อย่อยขนาดให้เล็กลงให้ได้ขนาดเล็กกว่า 0.5 cm

- นำตัวอย่างมูลช้างไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 110 ℃ และชั่งน้ำหนักจนน้ำหนักไม่มีการเปลี่ยนแปลง เพื่อให้วัตถุดิบตั้งต้นไม่มีความชื้น แสดงดัง**รูปที่ 3.6**

รูปที่ 3.6 มูลช้างหลังจากอบแห้งที่อุณหภูมิ 110 ℃

3.1.3 ทำการทดลอง

1) นำตัวอย่างวัตถุดิบผสมกับน้ำกลั่นและผสมสารเร่งปฏิกิริยาในอัตราส่วนความชื้น 0-500% (30 ml – 100 ml)

2) ทำการไฮโดรเทอร์มัลที่อุณภูมิช่วง 180-240 °C เวลา 4-8 ชั่วโมง

3) ทำการทดลองในสภาวะต่างๆ ซึ่งมีวิธีการออกแบบการทดลองโดยจะเลือกทำการทดลองจากปัจจัยในวงกว้างก่อนแล้วจึงค่อยศึกษาถึงผลกระทบของปัจจัยอื่นให้ละเอียดมากขึ้น โดยในขั้นต้นจะทำการทดลองโดยศึกษาจากปัจจัยด้านอุณหภูมิเป็นอันดับแรกเนื่องจากน่าจะเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุด โดยเลือกใช้อุณหภูมิที่ 200 °C จากนั้นจึงศึกษาในช่วงอุณหภูมิที่มากขึ้นและน้อยลงที่ 240 และ 180 °C ตามลำดับ ต่อมาศึกษาปัจจัยด้านระยะเวลาโดยทำการศึกษาระยะเวลาที่ช่วง 4 6 และ 8 ชั่วโมง โดยทำการศึกษาที่ช่วงอุณหภูมิสามช่วงคือ 180 200 และ 240 °C และสุดท้ายศึกษาปัจจัยในด้านปริมาณน้ำตั้งต้นโดยศึกษาปริมาณน้ำที่ 30 50 100 ml ในช่วงอุณหภูมิ 180 200 และ 240 °C ระยะเวลา 4 ชั่วโมงโดยการทดลองทั้งหมดแสดงดัง**ตารางที่ 3.1**

4) นำตัวอย่างออกจากเตาเผาและลดอุณหภูมิ โดยนำ Hydrothermal Chamber แช่ในน้ำแข็งทันทีหลังจากที่เสร็จสิ้นกระบวนการไฮโดรเทอร์มัล เพื่อหยุดปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นภายใน

5) ทำการอบตัวอย่างเพื่อกำจัดน้ำที่ตกค้างภายในตัวอย่างที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 6 ชั่วโมงหรือจนไม่มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของตัวอย่าง

6) หาร้อยละปริมาณผลผลิต (%Yield) โดยคำนวณจากน้ำหนักของตัวอย่างจาก**สมการที่ (3.1)**

$$\%Yield = \frac{W_{carbon}}{W_{Rawmatl}} \times 100 \qquad (3.1)$$

3.1.4 นำผลิตภัณฑ์ไปวิเคราะห์โครงสร้างพื้นผิว (Morphology)

- วิเคราะห์โครงสร้างพื้นผิวโดย Scanning Electron Microscopy (SEM)

3.15 วิเคราะห์คุณสมบัติและองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์

จากการวิเคราะห์โครงสร้างพื้นผิว (SEM) นำผลิตภัณฑ์ที่มีพื้นผิวโครงสร้างที่ดีที่สุดไปวิเคราะห์

- วิเคราะห์องค์ประกอบทั่วไป Proximate Analysis วิเคราะห์ตามวิธีมาตรฐานของ ASTM D7582 โดยทำการศึกษา ปริมาณความชื้น ปริมาณเถ้า ปริมาณสารระเหยและปริมาณคาร์บอนคงตัว

- วิเคราะห์องค์ประกอบธาตุโดย Ultimate Analysis วิเคราะห์เพื่อศึกษาหาองค์ประกอบธาตุที่มีอยู่ในตัวอย่าง โดยทำการศึกษาปริมาณธาตุ คาร์บอน ไนโตรเจน ไฮโดรเจน และ ซัลเฟอร์

3.16 นำผลิตภัณฑ์ไปวิเคราะห์หาค่าความร้อน

- วิเคราะห์หาค่าความร้อน (Heating Value) โดย บอมบ์คาลอริมิเตอร์ (Bomb Calorimeter) เป็นการทดสอบหาค่าความร้อนโดยอาศัยหลักการทำงานด้วยกระบวนการปริมาตรคงที่

3.1.7 วิเคราะห์ผลการทดลอง

- วิเคราะห์ผลกระทบจากปัจจัยต่างๆต่อปริมาณผลผลิต

- วิเคราะห์ผลกระทบจากปัจจัยต่างๆต่อพื้นที่ผิวโครงสร้างของวัสดุแหล่งคาร์บอนที่ได้ เพื่อศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างที่สภาวะต่างๆ ทำให้ทราบว่าปัจจัยต่างๆมีผลกระทบต่อโครงสร้างพื้นผิวอย่างไร

- วิเคราะห์องค์ประกอบทั่วไป (Proximate Analysis) เพื่อศึกษาถึงองค์ประกอบของตัวอย่าง เพื่อดูถึงความเป็นไปได้ในการพัฒนาวัตถุดิบหรือตัวอย่างนั้นๆต่อไป

- วิเคราะห์องค์ประกอบธาตุ (Ultimate Analysis) เพื่อศึกษาถึงองค์ประกอบธาตุ คาร์บอน ไนโตรเจน ไฮโดรเจน และซัลเฟอร์ ในตัวอย่างเพื่อเป็นการยืนยันว่าตัวอย่างนั้นมีปริมาณอัตราส่วนคาร์บอนเป็นองค์ประกอบในปริมาณเท่าใด

ตารางที่ 3.1 การทดลองที่สภาวะต่างๆ

ตัวอย่าง	อุณหภูมิ (°C)	เวลาในการทำปฏิกิริยา (h)	ปริมาณน้ำตั้งต้นผสมสารเร่ง (ml)	อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ (°C/min)
1	180	4	30	4
2	180	6	30	4
3	180	8	30	4
4	180	4	50	4
5	180	6	50	4
6	180	8	50	4
7	180	4	100	4

ตารางที่ 3.1 การทดลองที่สภาวะต่างๆ (ต่อ)

ตัวอย่าง	อุณหภูมิ (°C)	เวลาในการทำปฏิกิริยา (h)	ปริมาณน้ำตั้งต้นผสมสารเร่ง (ml)	อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ (°C/min)
8	180	6	100	4
9	180	8	100	4
10	200	4	30	4
11	200	6	30	4
12	200	8	30	4
13	200	4	50	4
14	200	6	50	4
15	200	8	50	4
16	200	4	100	4
17	200	6	100	4
18	200	8	100	4
19	240	4	30	4
20	240	6	30	4
21	240	8	30	4
22	240	4	50	4
23	240	6	50	4
24	240	8	50	4
25	240	4	100	4
26	240	6	100	4
27	240	8	100	4

บทที่ 4
ผลการวิจัยและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

4.1 พื้นผิวโครงสร้างของวัสดุแหล่งคาร์บอนที่ใช้น้ำเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

จากการศึกษาพื้นผิวโครงสร้างของวัสดุแหล่งคาร์บอนจากภาพถ่ายโดยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) ของพื้นผิวโครงสร้างของวัสดุแหล่งคาร์บอนที่เตรียมจากมูลช้างโดยการไฮโดรเทอร์มัลในสภาวะต่างๆ เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของพื้นผิวโครงสร้างที่เกิดขึ้น โดยพบว่าที่สภาวะที่ต่างกันลักษณะพื้นผิวโครงสร้างจะมีลักษณะต่างกันออกไป แต่เมื่อเทียบโครงสร้างพื้นผิวของมูลช้างกับพื้นผิวโครงสร้างของวัสดุแหล่งคาร์บอนที่ทำปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มัลที่อุณหภูมิ 240 °C เวลาทำปฏิกิริยา 8 ชั่วโมง น้ำตั้งต้นที่ 100 ml ดัง**รูปที่ 4.1** กับ**รูปที่ 4.2** ตามลำดับ จะเห็นว่าโครงสร้างพื้นผิวของวัสดุแหล่งคาร์บอนที่ใช้น้ำเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา มีการเปลี่ยนแปลง เกิดการย่อยสลายแต่เมื่อพิจารณาในด้านการการแตกตัวของผนังเซลล์จะเห็นว่าไม่มีมีการแตกตัวของผนังเซลล์ เมื่อพิจารณาการสลายตัวของ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และ ลิกนิน จะมีการย่อยสลายเพียงเล็กน้อย ดัง**ตารางที่ 4.1** ซึ่งไม่เป็นไปตามงานวิจัยของ Liu et al. [7] และคณะได้กล่าวไว้ว่าเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสจะสลายตัวเกือบทั้งหมดที่อุณหภูมิไม่เกิน 250 °C แนวโน้มการลดลงของปริมาณผลผลิต จึงสรุปได้ว่า มูลช้างเมื่อนำมาทำการไฮโดรเทอร์มัลโดยใช้น้ำเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเพียงอย่างเดียว อาจต้องใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา และอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา ที่สูงขึ้นกว่า ที่ทำการทดลอง ทางผู้วิจัยจึงได้พิจารณา เปลี่ยน จากการใช้น้ำเป็นสารเร่งปฏิกิริยาเพียงอย่างเดียวเป็น ใช้กรดซัลฟูริก ความเข้มข้นที่ 5% เป็นสารเร่งปฏิกิริยาแทน

ตารางที่ 4.1 การเปลี่ยนแปลงของ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และ ลิกนิน

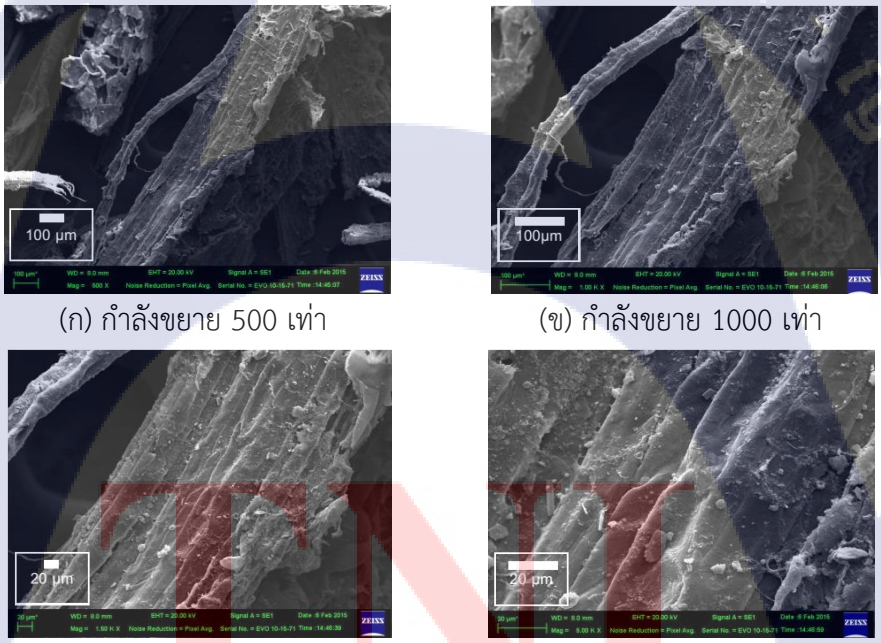
ตัวอย่าง	เซลลูโลส	เฮมิเซลลูโลส	ลิกนิน
วัตถุดิบตั้งต้น	35.47	26.16	38.79
HTC 200°C 8 h Water 100 ml	28.32	22.22	37.12

4.2 ปริมาณผลผลิต (Yield) ของวัสดุแหล่งคาร์บอน

การหาปริมาณผลผลิตทำได้โดยการนำน้ำหนักของผลผลิตมาคำนวณโดยใช้สมการที่ (3.1) ในการคำนวณ ซึ่งจะทำการทดลองหาปริมาณผลผลิตในสภาวะที่แตกต่างกันดังนี้ อุณหภูมิในการไฮโดรเทอร์มัลที่อุณหภูมิ 180 200 และ 240 °C ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 4 6 และ 8 ชั่วโมง

ปริมาณน้ำตั้งต้นผสมกับสารเร่งปฏิกิริยา กรดซัลฟิวริค ในการทำปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มัลเท่ากับ 30 50 100 ml และกำหนดให้ค่าอัตราการเพิ่มอุณหภูมิคงที่เท่ากับ 4 °C/min

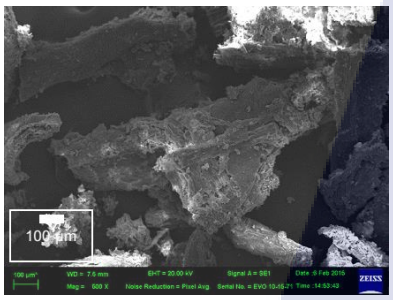
จาก**ตารางที่ 4.2** ปริมาณผลผลิตของวัสดุแหล่งคาร์บอนจากการศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิในการไฮโดรเทอร์มัลต่อปริมาณผลผลิตของวัสดุแหล่งคาร์บอนพบว่าการไฮโดรเทอร์มัลที่อุณหภูมิสูงจะได้ปริมาณผลผลิตของวัสดุแหล่งคาร์บอนต่ำกว่าการไฮโดรเทอร์มัลที่อุณหภูมิต่ำ เช่นเดียวกันผลกระทบของเวลาในการทำปฏิกิริยาต่อปริมาณผลผลิตของวัสดุแหล่งคาร์บอนพบว่าปริมาณผลผลิตของวัสดุแหล่งคาร์บอนมีแนวโน้มลดลงเมื่อเวลาในการทำปฏิกิริยาให้นานขึ้น สำหรับในส่วนของผลกระทบจากปริมาณน้ำตั้งต้นในการทำปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มัลต่อปริมาณผลผลิตของวัสดุแหล่งคาร์บอนพบว่า ปริมาณน้ำตั้งต้นส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณผลผลิตในปริมาณที่น้อยมากหรือไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลง โดยสามารถสรุปปัจจัยต่างๆที่มีผลกระทบต่อปริมาณผลผลิตได้ดังนี้



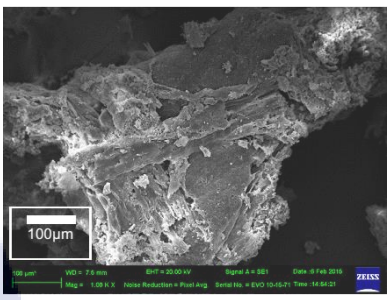
(ก) กำลังขยาย 500 เท่า (ข) กำลังขยาย 1000 เท่า

(ค) กำลังขยาย 1500 เท่า (ง) กำลังขยาย 5000 เท่า

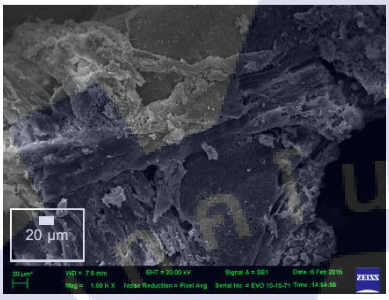
รูปที่ 4.1 ลักษณะพื้นผิวของมูลช้างก่อนทำไฮโดรเทอร์มัล



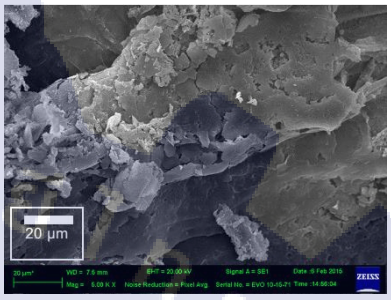
(ก) Temp 240 °C Time 8 h 100 ml X500



(ข) Temp 240 °C Time 8 h 100 ml X1000



(ค) Temp 240 °C Time 8 h 100 ml X1500



(ง) Temp 240 °C Time 8 h 100 ml X5000

รูปที่ 4.2 ลักษณะพื้นผิวของวัสดุแหล่งคาร์บอนที่ใช้น้ำเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

4.2.1 ผลกระทบจากปัจจัยด้านอุณหภูมิต่อปริมาณผลผลิต

จากการศึกษาถึงผลกระทบจากปัจจัยด้านอุณหภูมิต่อปริมาณผลผลิตพบว่า ที่อุณหภูมิที่สูงขึ้นปริมาณผลผลิตมีแนวโน้มที่ลดลงอย่างต่อเนื่อง ทั้งนี้เป็นไปได้ว่าเป็นสาเหตุมาจากการสลายตัวองค์ประกอบต่างๆของวัสดุชีวมวล เช่น สารระเหยต่างๆ รวมไปถึงการสลายตัวของ เซลลูโลส และ เฮมิเซลลูโลส และยังสอดคล้องกับ งานวิจัยของ Liu et al. [7] และคณะได้รายงานไว้ว่า เซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสจะสลายตัวเกือบทั้งหมดที่อุณหภูมิไม่เกิน 250 °C แนวโน้มการลดลงของปริมาณผลผลิตแสดงดัง**รูปที่ 4.3**

4.2.2 ผลกระทบจากปัจจัยด้านระยะเวลาต่อปริมาณผลผลิต

จากการศึกษาถึงผลกระทบจากปัจจัยด้านระยะเวลาต่อปริมาณผลผลิตพบว่าเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการไฮโดรเทอร์มัล ให้นานขึ้นปริมาณผลผลิตมีแนวโน้มที่ลดลงอย่างต่อเนื่อง จนเมื่อถึงระยะเวลาช่วงที่ 6-8 ชั่วโมง แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของปริมาณผลผลิตไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก สาเหตุเพราะ องค์ประกอบที่สลายตัวในช่วงอุณหภูมิไม่เกิน 240 °C เช่น ความชื้น สารระเหยต่างๆ รวมถึง เฮมิเซลลูโลส และ เซลลูโลส สลายตัวไปจนเกือบหมดแล้ว ส่งผลให้น้ำหนักของผลิตภัณฑ์มีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Liu et al. [7] ที่ได้รายงานดัง**รูปที่ 4.4**

ตารางที่ 4.2 ปริมาณผลผลิตของวัสดุแหล่งคาร์บอนที่สภาวะต่างๆ

ตัวอย่าง	อุณหภูมิ (°C)	เวลาในการทำปฏิกิริยา (h)	ปริมาณน้ำตั้งต้นผสมสารเร่ง (ml)	อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ (°C/min)	ปริมาณผลผลิตของวัสดุแหล่งคาร์บอน %
1	180	4	30	4	81.3
2	180	6	30	4	71.9
3	180	8	30	4	71.0
4	180	4	50	4	81.5
5	180	6	50	4	75.0
6	180	8	50	4	74.9
7	180	4	100	4	79.3
8	180	6	100	4	73.7
9	180	8	100	4	73.4
10	200	4	30	4	75.6
11	200	6	30	4	70.7
12	200	8	30	4	70.6
13	200	4	50	4	72.1
14	200	6	50	4	66.7
15	200	8	50	4	65.2
16	200	4	100	4	70.6
17	200	6	100	4	64.1
18	200	8	100	4	63.4
19	240	4	30	4	65.3
20	240	6	30	4	59.0
21	240	8	30	4	59.2
22	240	4	50	4	69.6
23	240	6	50	4	53.0
24	240	8	50	4	52.6
25	240	4	100	4	67.1
26	240	6	100	4	50.4

ตารางที่ 4.2 ปริมาณผลผลิตของวัสดุแหล่งคาร์บอนที่สภาวะต่างๆ (ต่อ)

ตัวอย่าง	อุณหภูมิ (°C)	เวลาในการทำปฏิกิริยา (h)	ปริมาณน้ำตั้งต้นผสมสารเร่ง (ml)	อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ (°C/min)	ปริมาณผลผลิตของวัสดุแหล่งคาร์บอน %
27	240	8	100	4	49.2

4.2.3 ผลกระทบจากปัจจัยด้านปริมาณน้ำตั้งต้นต่อปริมาณผลผลิต

จากการศึกษาถึงผลกระทบจากปัจจัยด้านปริมาณน้ำตั้งต้นต่อปริมาณผลผลิตพบว่าปริมาณน้ำส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณผลผลิตเพียงเล็กน้อย โดยมีการเปลี่ยนแปลงแบบไม่เป็นแนวโน้มที่ชัดเจน ซึ่งการเปลี่ยนแปลงในลักษณะนี้อาจจะเป็นผลมาจากความผิดพลาดของผู้ทำการทดลองเช่น เศษตัวอย่างการทดลองอาจตกค้างอยู่ในบีกเกอร์ ทำให้ได้น้ำหนักมีการคลาดเคลื่อนเล็กน้อย ดังนั้นจึงอาจจะสรุปได้ว่าปริมาณน้ำไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณผลผลิต แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของปริมาณผลิตต่อปัจจัยด้านปริมาณน้ำดัง**รูปที่ 4.5**

4.3 พื้นผิวโครงสร้างของวัสดุแหล่งคาร์บอน

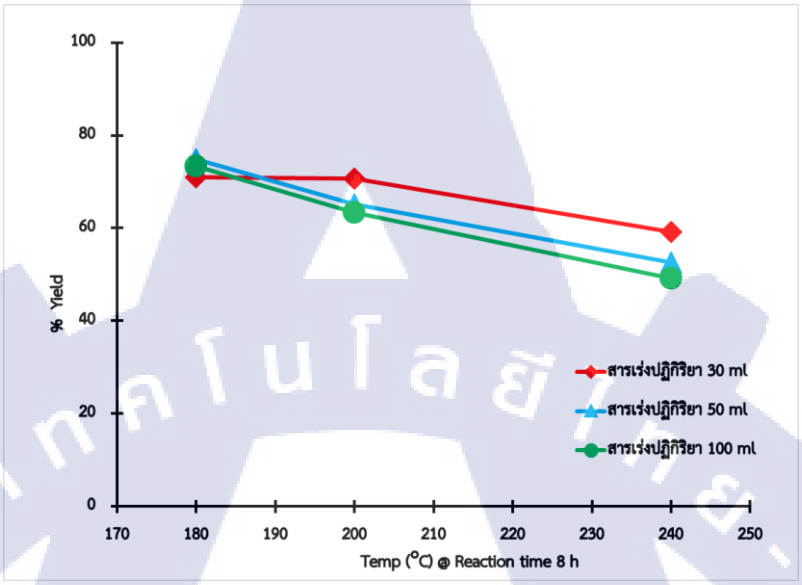
4.3.1 ผลกระทบจากปัจจัยด้านอุณหภูมิต่อพื้นผิวโครงสร้างของวัสดุแหล่งคาร์บอน

จากการศึกษาปัจจัยด้านอุณหภูมิต่อพื้นผิวโครงสร้างของวัสดุแหล่งคาร์บอนพบว่า เมื่อทำการเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นพื้นผิวโครงสร้างมีแนวโน้มในการแตกตัวของผนังเซลล์มากยิ่งขึ้น จาก**รูปที่ 4.6** เป็นการไฮโดรเทอร์มัลในสภาวะอุณหภูมิที่ 180 200 และ 240 °C โดย ระยะเวลา และปริมาณสารเร่งปฏิกิริยาคงที่ จากรูปจะเห็นว่าเมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิ โครงสร้างผนังเซลล์จะมีการแตกตัวมากยิ่งขึ้น โดยที่อุณหภูมิ 180 °C ผนังเซลล์มีการแตกตัวเพียงเล็กน้อย ที่อุณหภูมิ 200 °C ผนังเซลล์มีการแตกตัวมากขึ้น และที่อุณหภูมิ 240 °C ผนังเซลล์มีการแตกตัวเกือบทั้งหมด ซึ่งน่าจะเป็นการสลายตัวของ เซลลูโลส และ เฮมิเซลลูโลส โดยจะเริ่มสลายตัวที่อุณหภูมิช่วง 200-240 °C ตามที่งานวิจัยของ Liu et al. [7] ได้รายงาน

4.3.2 ผลกระทบจากปัจจัยด้านระยะเวลาต่อพื้นผิวโครงสร้างของวัสดุแหล่งคาร์บอน

จากการศึกษาปัจจัยด้านระยะเวลาต่อพื้นผิวโครงสร้างของวัสดุแหล่งคาร์บอนพบว่าเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการไฮโดรเทอร์มัลให้นานขึ้นโครงสร้างพื้นผิวมีแนวโน้มในการแตกตัวของผนังเซลล์มากยิ่งขึ้น จาก**รูปที่ 4.7** เป็นการไฮโดรเทอร์มัลโดยมีปัจจัยในด้านของระยะเวลาที่ต่างกันคือ 4 และ 8 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิและสารเร่งปฏิกิริยาคงที่ที่ 200 °C และ 50 ml โดยที่ระยะเวลาที่ 4 ชั่วโมง ผนังเซลล์มีการแตกตัวเพียงเล็กน้อย แต่เมื่อเพิ่มระยะเวลาเป็น 8 ชั่วโมง พบว่าผนังเซลล์มีการแตกตัวเกือบทั้งหมด แม้ว่าจากงานวิจัยก่อน Liu et al. [7] รายงานว่า เซลลูโลส และ เฮมิเซลลูโลสจะ

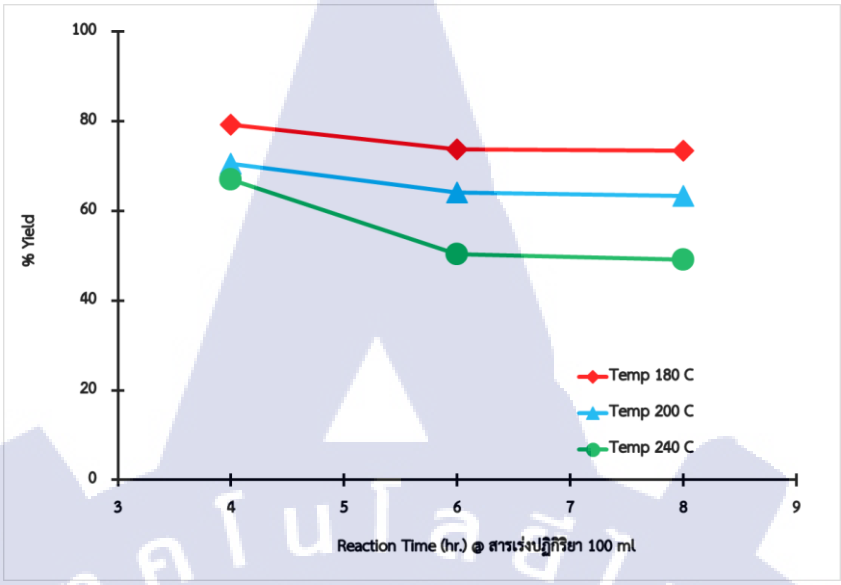
สลายตัวที่อุณหภูมิช่วง 200-240 °C แต่หากระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาไม่นานพอ องค์ประกอบเหล่านั้นก็ไม่สามารถที่จะสลายตัวได้อย่างสมบูรณ์



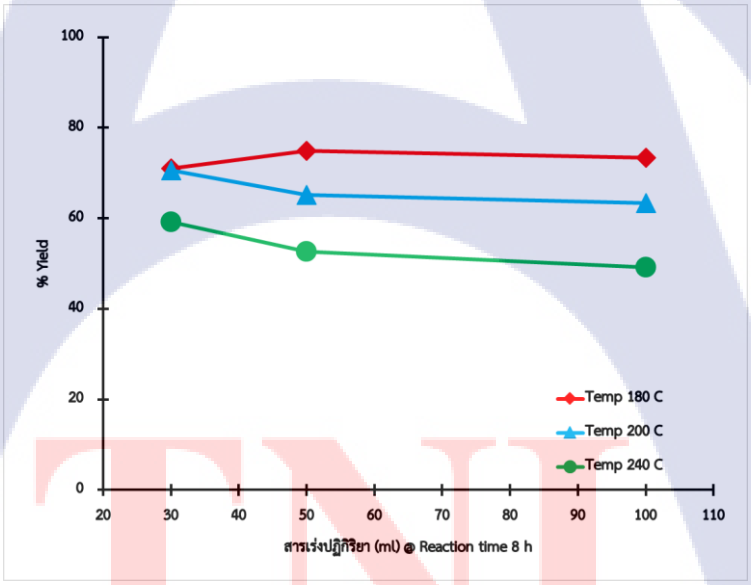
รูปที่ 4.3 ผลกระทบของอุณหภูมิในการไฮโดรเทอร์มัลต่อปริมาณผลผลิตที่ได้ของวัสดุแหล่งคาร์บอน

4.3.3 ผลกระทบจากปัจจัยด้านปริมาณน้ำตั้งต้นต่อพื้นผิวโครงสร้างของวัสดุแหล่งคาร์บอน

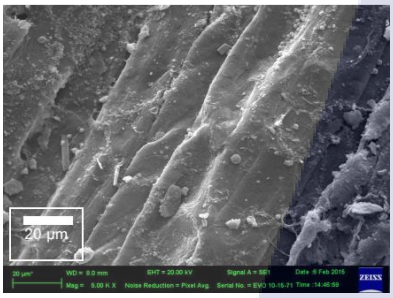
จากการศึกษาปัจจัยด้านปริมาณน้ำตั้งต้นต่อพื้นผิวโครงสร้างของวัสดุแหล่งคาร์บอนพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำตั้งต้นในการไฮโดรเทอร์มัลให้มากขึ้นโครงสร้างพื้นผิวมีแนวโน้มในการแตกตัวของผนังเซลล์มากยิ่งขึ้น จากการเปรียบเทียบพื้นผิวโครงสร้างของ **รูปที่ 4.8** เป็นการไฮโดรเทอร์มัลที่มีปัจจัยปริมาณสารเร่งปฏิกิริยาต่างกันที่ 50 และ 100 ml โดยกำหนดให้อุณหภูมิและระยะเวลาคงที่ พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณสารเร่งปฏิกิริยาอนุภาคที่แตกตัวแล้วจะมีขนาดการแตกตัวที่เล็กลงและมีความกลมมากยิ่งขึ้น โดยพบว่าที่สภาวะอุณหภูมิ 200 °C ระยะเวลาทำปฏิกิริยา 8 ชั่วโมง ปริมาณสารเร่งปฏิกิริยา 100 ml อนุภาคมีการแตกตัวเป็นขนาดเล็กในช่วงประมาณ 1 µm ทำให้เราทราบว่าปริมาณสารเร่งปฏิกิริยามีผลต่อการแตกตัวของโครงสร้างพื้นผิวของวัสดุชีวมวล โดยส่งผลให้มีการแตกตัวได้ดีและมีความกลมมากยิ่งขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Ratchachat et al. [22] ที่รายงานว่า น้ำมีผลต่อขนาดอนุภาคในกระบวนการไฮโดรเทอร์มัล โดยน้ำที่มากขึ้นจะทำให้อัตราการไฮโดรไลซิสสามารถทำได้ดียิ่งขึ้น



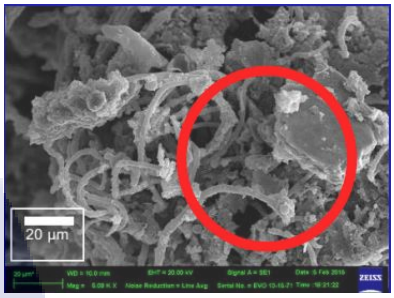
รูปที่ 4.4 ผลกระทบของเวลาในการไฮโดรเทอร์มัลต่อปริมาณผลผลิตที่ได้ของวัสดุแหล่งคาร์บอน



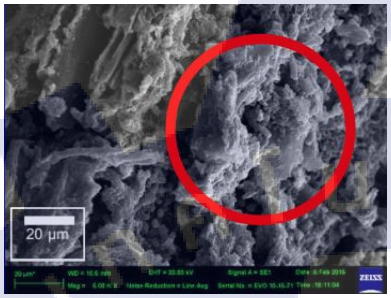
รูปที่ 4.5 ผลกระทบของปริมาณน้ำตั้งต้นในการไฮโดรเทอร์มัลต่อปริมาณผลผลิตที่ได้ของวัสดุแหล่งคาร์บอน



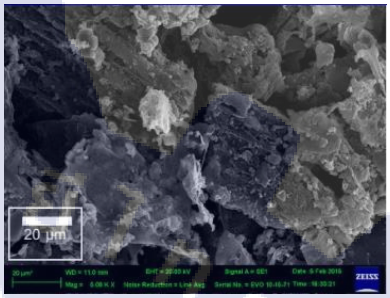
(ก) มูลช้างยังไม่ทำไฮโดรเทอร์มัล



(ข) Temp 180 °C Time 4 h 50 ml X5000

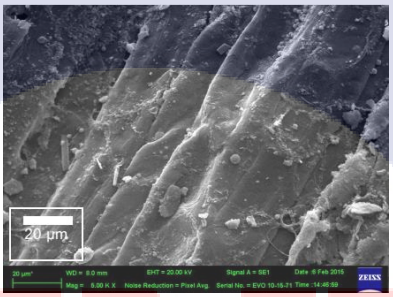


(ค) Temp 200 °C Time 4 h 50 ml X5000

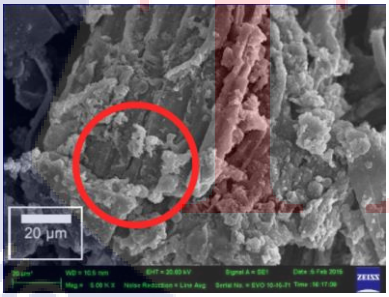


(ง) Temp 240 °C Time 4 h 50 ml X5000

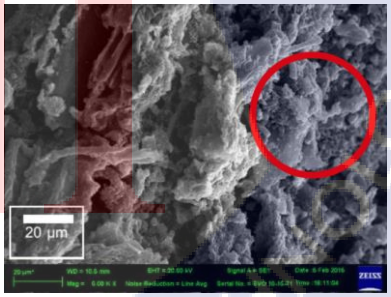
รูปที่ 4.6 เปรียบเทียบลักษณะพื้นผิวของวัสดุแหล่งคาร์บอนหลังจากไฮโดรเทอร์มัล เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา



(ก) มูลช้างยังไม่ทำไฮโดรเทอร์มัล

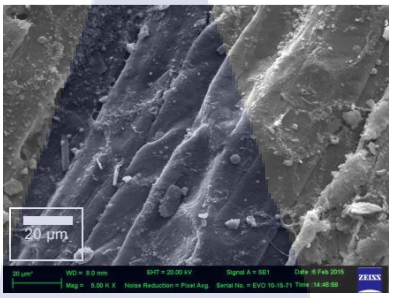


(ข) Temp 200 °C Time 4 h 50 ml X5000

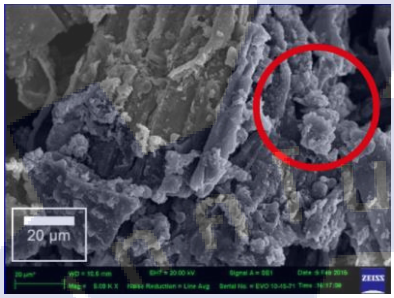


(ค) Temp 200 °C Time 8 h 50 ml X5000

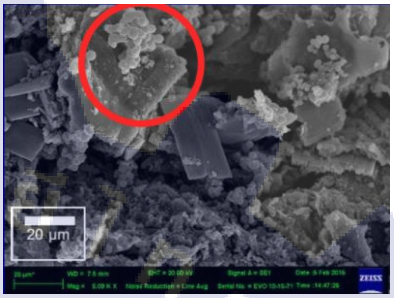
รูปที่ 4.7 เปรียบเทียบลักษณะพื้นผิวของวัสดุแหล่งคาร์บอนหลังจากไฮโดรเทอร์มัล เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงเวลาในการทำปฏิกิริยา



(ก) มูลช้างยังไม่ทำไฮโดรเทอร์มัล



(ข) Temp 200 °C Time 8 h 50 ml X5000



(ค) Temp 200 °C Time 8 h 100 ml X5000

รูปที่ 4.8 เปรียบเทียบลักษณะพื้นผิวของวัสดุแหล่งคาร์บอนหลังจากไฮโดรเทอร์มัล เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารเร่งปกิกิริยาในการทำปฏิกิริยา

4.4 การวิเคราะห์องค์ประกอบทั่วไปด้วยวิธี Proximate Analysis

ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของ วัตถุดิบตั้งต้น และ วัสดุแหล่งคาร์บอนจากการเตรียมด้วยการไฮโดรเทอร์มัลที่สภาวะ 200°C 8 ชั่วโมง 100 ml แสดงใน**ตารางที่ 4.3** พบว่า วัสดุแหล่งคาร์บอนมีค่าความชื้นเพิ่มมากขึ้น สาเหตุมาจาก สาเหตุมาจาก สารเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในการไฮโดรเทอร์มัลที่ยังคงตกค้างอยู่ตามรูพรุนต่างๆของวัสดุแหล่งคาร์บอน ในขณะเดียวกันการไฮโดรเทอร์มัลที่ใช้สารเร่งปฏิกิริยา ส่งผลให้ปริมาณสารระเหยลดลงจากเดิม 76.23% เป็น 36.50% และเพิ่มปริมาณคาร์บอนคงตัวจากเดิม 9.88% เป็น 10.73% เนื่องจากระหว่างการไฮโดรเทอร์มัลอาจทำให้เกิดการสลายตัวของโครงสร้างหรือสารระเหยโดยสลายตัวไปในรูปของเถ้าและก๊าซต่างๆ ส่งผลให้วัสดุแหล่งคาร์บอนที่เตรียมจากมูลช้างโดยการไฮโดรเทอร์มัลมีปริมาณคาร์บอนคงตัวมากขึ้น

ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทั่วไปของวัตถุดิบตั้งต้นและวัสดุแหล่งคาร์บอน

ตัวอย่าง	ร้อยละความชื้น	องค์ประกอบแบบประมาณ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)		
		สารระเหย	เถ้า	คาร์บอนคงตัว
วัตถุดิบตั้งต้น	7.93	76.23	5.96	9.88
HTC 200°C 8 h 100 ml	46.30	36.50	6.47	10.73

ตารางที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุของ วัตถุดิบตั้งต้นและวัสดุแหล่งคาร์บอน

ตัวอย่าง	ร้อยละ คาร์บอน	ร้อยละ ไฮโดรเจน	ร้อยละ ไนโตรเจน	ร้อยละ ซัลเฟอร์
วัตถุดิบตั้งต้น	17.05	4.47	0.19	10.88
HTC 200°C 8 h 100 ml	18.51	3.90	0.21	11.82

4.5 การวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุด้วยวิธี Ultimate Analysis

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุของ วัตถุดิบตั้งต้น และ วัสดุแหล่งคาร์บอนจากการเตรียมด้วยการไฮโดรเทอร์มัลที่สภาวะ 200°C 8 ชั่วโมง 100 ml โดยทำการศึกษาปริมาองค์ประกอบธาตุ คาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน และ ซัลเฟอร์ ที่มีอยู่ในตัวอย่าง เพื่อให้ทราบความสามารถการไฮโดรเทอร์มัล และเป็นการยืนยันว่าผลิตภัณฑ์มีความเป็นคาร์บอนเท่าใด แสดงใน**ตารางที่ 4.4** พบว่า ร้อยละปริมาณคาร์บอนมีปริมาณเพิ่มขึ้นจาก 17.05% เป็น 18.51% เนื่องจากการสลายตัวและการรวมตัวทางโครงสร้างของพืชได้แก่ เซลลูโลส และ เฮมิเซลลูโลส ส่งผลให้มีปริมาณคาร์บอนเพิ่มขึ้น

4.6 พฤติกรรมการเผาไหม้

จากการศึกษาพฤติกรรมการเผาไหม้ของวัสดุแหล่งคาร์บอนจากมูลช้างพบว่า มูลช้างที่ผ่านการไฮโดรเทอร์มัลมีค่าการเผาไหม้ที่เพิ่มขึ้น โดยมีค่าการเผาไหม้เท่ากับ 18.56 MJ/Kg มีปริมาณค่าความร้อนเพิ่มขึ้นเท่ากับ 66.46% ภายใต้การไฮโดรเทอร์มัลที่สภาวะ อุณหภูมิ 200 °C ระยะเวลา 8 ชั่วโมง ปริมาณสารเร่งปฏิกิริยา 100 ml ซึ่งจากเดิมก่อนการไฮโดรเทอร์มัล มูลช้างมีค่าการเผาไหม้เท่ากับ 11.15 MJ/Kg และจากเปรียบเทียบกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ พบว่ามีค่าการเผาไหม้ที่ใกล้เคียงกัน โดย Parshetti et al. [29] ได้ศึกษาพฤติกรรมการเผาไหม้ของ วัสดุเหลือใช้จากโรงงานน้ำมันปาล์ม ที่ผ่านการไฮโดรเทอร์มัลที่อุณหภูมิ 350 °C ระยะเวลา 20 นาที พบว่ามีค่าการเผาไหม้ที่มากที่สุดเท่ากับ 27 MJ/Kg โดยมีปริมาณผลผลิตเท่ากับ 49% และที่อุณหภูมิ 250 °C มีค่าการเผาไหม้เท่ากับ 22.1 MJ/Kg ปริมาณผลผลิตเท่ากับ 62%

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย

5.1 ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณผลผลิตของวัสดุแหล่งคาร์บอน

จากการศึกษาการเตรียมวัสดุแหล่งคาร์บอนจากมูลช้างด้วยวิธีการไฮโดรเทอร์มัลพบว่าผลผลิตของวัสดุแหล่งคาร์บอนมีแนวโน้มที่ลดลง เมื่อเพิ่มอุณหภูมิและระยะเวลาในการไฮโดรเทอร์มัลให้มากขึ้น ในส่วนของปริมาณสารเร่งปฏิกิริยานั้นจากการศึกษาพบว่าไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณผลผลิตของวัสดุแหล่งคาร์บอน

5.2 ปัจจัยที่มีผลต่อพื้นผิวโครงสร้างของวัสดุแหล่งคาร์บอน

จากการศึกษาการเตรียมวัสดุแหล่งคาร์บอนจากการกล้วยด้วยวิธีการไฮโดรเทอร์มัลพบว่าปัจจัยที่มีผลต่อพื้นผิวโครงสร้างและอัตราส่วนผลผลิตได้แก่

5.2.1 อุณหภูมิ จากการศึกษาปัจจัยด้านอุณหภูมิพบว่า เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลจะส่งผลให้พื้นผิวโครงสร้างของวัตถุดิบตั้งต้นเกิดการเปลี่ยนแปลง โดยโครงสร้างของพื้นผิวของมูลช้างมีการแตกตัวของผนังเซลล์มากขึ้น โดยการไฮโดรเทอร์มัลที่สภาวะอุณหภูมิ 200 °C ระยะเวลานาน 4 ชั่วโมง ปริมาณสารเร่งปฏิกิริยา 50 ml โครงสร้างผนังเซลล์ของมูลช้างมีการแตกตัวเกือบทั้งหมด เมื่อเพิ่มอุณหภูมิขึ้นไปจนกระทั้ง สภาวะอุณหภูมิ 240 °C ระยะเวลานาน 4 ชั่วโมง ปริมาณน้ำตั้งต้น 50 ml โครงสร้างผนังเซลล์ของมูลช้างที่มีการแตกตัวเกิดการแปลสภาพไปเป็นเถ้าไปบางส่วน

5.2.2 เวลาในการไฮโดรเทอร์มัล จากการศึกษาปัจจัยด้านเวลาในการไฮโดรเทอร์มัลพบว่าเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการไฮโดรเทอร์มัลให้นานขึ้น โครงสร้างพื้นผิวของวัสดุแหล่งคาร์บอนเกิดการเปลี่ยนแปลง โดยโครงสร้างพื้นผิวของมูลช้างมีการรวมตัวของอนุภาค โดยการไฮโดรเทอร์มัลที่สภาวะอุณหภูมิ 200 °C ระยะเวลานาน 4 ชั่วโมง ปริมาณน้ำตั้งต้น 100 ml อนุภาคเริ่มมีการจับตัวเป็นก้อนทรงกลม

5.2.3 ปริมาณสารเร่งปฏิกิริยา จากการศึกษาปัจจัยด้านปริมาณน้ำตั้งต้นพบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำตั้งต้นให้มากขึ้น โครงสร้างพื้นผิวของวัสดุแหล่งคาร์บอนเกิดการเปลี่ยนแปลง โดยโครงสร้างพื้นผิวของมูลช้างมีการรวมตัวของอนุภาคเป็นทรงกลมขนาดเล็ก โดยการไฮโดรเทอร์มัลที่

สภาวะอุณหภูมิ 200 °C ระยะเวลานาน 8 ชั่วโมง ปริมาณน้ำตั้งต้น 100 ml อนุภาคมีการจับตัวกันเป็นก้อนทรงกลมมากยิ่งขึ้นโดยมีขนาดอนุภาคเล็กในช่วงประมาณ 1 μm

5.3 สมบัติของผลิตภัณฑ์

5.3.1 วิเคราะห์องค์ประกอบทั่วไป Proximate analysis

จากการศึกษาสมบัติทางกายภาพของวัสดุแหล่งคาร์บอนจากมูลช้างด้วยการไฮโดรเทอร์มัลที่สภาวะ อุณหภูมิ 200 °C ระยะเวลา 8 ชั่วโมง ปริมาณน้ำตั้งต้น 100 ml พบว่าวัสดุแหล่งคาร์บอนมีการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพดังนี้ ปริมาณความชื้นจากเดิม 7.93% เพิ่มขึ้นเป็น 46.30% ปริมาณสารระเหยจากเดิม 76.23% ลดลงเป็น 36.50% ปริมาณเถ้าจากเดิม 5.96% เพิ่มขึ้นเป็น 6.47% และปริมาณคาร์บอนคงตัวจากเดิม 9.88% เพิ่มขึ้นเป็น 10.73%

5.3.2 วิเคราะห์องค์ประกอบธาตุ Ultimate analysis

จากการศึกษาสมบัติทางองค์ประกอบธาตุของวัสดุแหล่งคาร์บอนจากมูลช้างด้วยการไฮโดรเทอร์มัลที่สภาวะ อุณหภูมิ 200 °C เวลา 8 ชั่วโมง ปริมาณน้ำตั้งต้น 100 ml พบว่าวัสดุแหล่งคาร์บอนมีการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบธาตุดังนี้ ปริมาณคาร์บอนจากเดิม 17.05% เพิ่มขึ้นเป็น 18.51% ปริมาณไฮโดรเจนจากเดิม 4.47% ลดลงเหลือ 3.9% ปริมาณไนโตรเจนจากเดิม 0.19% เพิ่มขึ้นเป็น 0.21% และ ปริมาณซัลเฟอร์จากเดิม 10.88% เพิ่มขึ้นเป็น 11.82%

5.3.4 วิเคราะห์พฤติกรรมการเผาไหม้

จากการศึกษาพฤติกรรมการเผาไหม้ของวัสดุแหล่งคาร์บอนที่เตรียมจากมูลช้างโดยการไฮโดรเทอร์มัลที่สภาวะอุณหภูมิ 200°C เวลา 8 ชั่วโมง ปริมาณน้ำตั้งต้น 100 ml พบว่าวัสดุแหล่งคาร์บอนมีค่าการเผาไหม้เท่ากับ 18.56 MJ/Kg ซึ่งมีค่าการเผาไหม้เพิ่มขึ้น จากเดิมที่มูลช้างยังไม่ผ่านการไฮโดรเทอร์มัลมีค่าการเผาไหม้เท่ากับ 11.15 MJ/Kg คิดเป็น 66.46% ของค่าความร้อนที่เพิ่มขึ้น

5.4 ข้อเสนอแนะ

5.4.1 ศึกษาการไฮโดรเทอร์มัลของวัสดุชีวมวลชนิดอื่นที่เหลือใช้ เช่น มูลสัตว์ต่างๆรวมถึงกากวัสดุชีวมวลจากโรงงานอุตสาหกรรม เพื่อเป็นการลดค่าใช้จ่ายในการกำจัด และเป็นการสร้างมูลค่าให้กับวัสดุชีวมวลเหล่านั้น

5.4.2 ศึกษาการเตรียมถ่านกัมมันต์โดยการใช้สารเร่งปฏิกิริยาตัวอื่นเพื่อลดเวลาในการผลิต

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

[1] กระทรวงพลังงาน, *ชีวมวล*, [Online] Available: http://www.eppo.go.th/energy/Load/ET08.pdf. [Accessed: Apr. 30, 2556].

[2] ช.ช้าง, *ขี้ช้างมีประโยชน์*, [Online] Available: http://chor-chang. exteen.com/20090801/elephant-dung. [Accessed: June. 24, 2556].

[3] ปรินทร เต็มญารศิลป์, "*การเตรียมและการวิเคราะห์คุณลักษณะเฉพาะของถ่านกัมมันต์จากไผ่ตงและไผ่หมาจู๋*," วิทยานิพนธ์ วทบ. (เคมี), มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ, 2551

[4] มูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม, *พลังงานชีวมวลวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรน้ำมันบนดิน,* [Online] Available: http://www.efe.or.th/pdf/biomas.pdf. [Accessed: Apr. 30, 2556].

[5] J.A. Libra et al., "Hydrothermal carbonization of biomass residuals a comparative review of the chemistry processes and applications of wet and dry pyrolysis," *Biofuels*, vol. 2, no. 1, pp. 89-124, January 2011.

[6] L.P. Xiao et al., "Hydrothermal carbonization of lignocellulosic biomass," *Bioresource Technology,* vol. 118, no. 1, pp. 619-623, May 2012.

[7] Z. Liu et al., "Production of solid biochar fuel from waste biomass by hydrothermal carbonization," *Fuel,* vol. 103, no. 1, pp. 943-949, April 2009.

[8] A.J. Romero-Anaya et al., "Hydrothermal and conventional H_3PO_4 activation of two natural bio-fibers," *Carbon,* vol. 50, no. 9, pp. 3158-3169, August 2012.

[9] D. Knežević, *Hydrothermal Conversion of Biomass Research Report (NWO-CW).* Netherland: Netherlands Organization, 2009.

[10] Y. Shinya and M. Yukuhiko, *คู่มือสารชีวมวลเอเชียแนวทางสำหรับการผลิตและการใช้สารชีวมวล.* Tokyo: The Japan Institute of Energy, 2008.

[11] วงกต วงศ์อภัย, "ชีวมวลอีกทางเลือกหนึ่งของพลังงานไทย" *มติชนสุดสัปดาห์,* ปีที่ 24, ฉบับที่ 1238, หน้า 31-34, มีนาคม 2547.

[12] นฤมล ชูบัวทอง, *ผลขององค์ประกอบทางเคมีของชีวมวลต่อไพโรไลซิสและการเผาไหม้.* กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2550.

[13] นคร วรสุวรรณรักษ์ และคณะ, “การศึกษาพฤติกรรมการคาร์บอนไนเซชันของชีวมวลในน้ำร้อนความดันสูง” *การประชุมวิชาการวิศวกรรมเคมี และเคมีประยุกต์สมาคมแห่งประเทศไทย,* กรุงเทพฯ, 20-22 ตุลาคม 2549, หน้า 1-5.

[14] T. Bhaskar et al., “Hydrothermal upgrading of wood biomass influence of the addition of K_2CO_3 and cellulose/lignin Ration,” *Fuel,* vol. 87, no. 1, pp. 2236-2242, February 2008.

[15] H. Asirvatham et al., “Steam activated carbon preparation using HTFBR from biomass and its adsorption characteristics,” *Carbon letters,* vol. 9, no. 1, pp. 203-209, May 2008.

[16] T. Budinova et al., “Biomass waste-derived activated carbon for the removal of arsenic and manganese ions from aqueous solutions,” *Applied Surface Science,* vol. 255, no. 1, pp. 4650-4657, June 2008.

[17] K. Sun and C.J. Jiang, “Preparation and characterization of activated carbon from rubber-seed shell by physical activation with steam” *Biomass and Bioenergy,* vol. 34, no. 1, pp. 539-544, August 2010.

[18] วิทวัส จิรัฐพงศ์ และ กฤษณเวช ทรงธนศักดิ์, “การศึกษาปริมาณเซลลูโลสเฮมิเซลลูโลและลิกนินจากของเหลือทิ้งจากพืชเพื่อใช้ในการผลิตแผ่นฟิล์มพลาสติกชีวภาพ” *การประชุมวิชาการวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์สมาคมแห่งประเทศไทย*, กรุงเทพฯ, 20-22 ธันวาคม 2554, หน้า 1-5.

[19] M.Sevilla et al., “Hydrothermal carbonization of biomass as a route for the sequestration of CO_2 chemical and structural properties of the carbonized products,” *Biomass and Bioenergy*, vol. 35, no. 1, pp. 3152-3159, March 2011.

[20] L.P. Xiao et al., “Hydrothermal carbonization of lignocellulosic biomass,” *Bioresource Technology,* vol. 118, no. 1, pp. 619-623, September 2012

[21] S. Romas et al., “Production of low-cost adsorbents with tunable surface chemistry by conjunction of hydrothermal carbonization and activation processes,” *Microporous and Mesoporous Materials,* vol. 165, no. 1, pp. 127-133, November 2013.

[22] S. Ratchahat et al., “Synthesis of carbon microspheres from starch by hydrothermal process,” *Science Journal of Ubon Ratchathani University,* vol. 2, no. 1, pp. 40-45, November 2010.

[23] M. Asadullah et al., “Adsorption studies no activated carbon derived from steam activation of jute stick char,” *Journal of surface science Technology,* vol. 23, no. 1, pp. 73-80, December 2007.

[24] J.F. Gonzalez et al., “Pyrolysis of various biomass residues and char utilization for the production of activated carbons,” *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis,* vol. 85, no. 1, pp. 134-141, December 2009.

[25] ณัฐยา พูนสุวรรณ และ สุพรรณี จันทร์ภิรมณ์, “การเตรียมถ่านกัมมันต์จากวัสดุชีวมวลและวัดสมบัติโครงสร้างรูพรุน” *การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี,* นครราชสีมา, 20-22 ตุลาคม 2546, หน้า 1-5.

[26] P. Regmi et al., “Removal of copper and cadmium from aqueos solution using switchgrass biochar produced via hydrothermal carbonization process,” *Journal of Environmental Management,* vol. 109, no. 1, pp. 61-69, December 2012.

[27] T. Budinova et al., “Characterization and application of activated carbon produced by H_3PO_4 and water vapor activation,” *Fuel Processing Technology*, vol. 87, no. 1, pp. 899-905, December 2006.

[28] M. Sevilla and A.B. Fvetes “The production of carbon materials by hydrothermal carbonization of cellulose,” Carbon, vol. 47, no. 1, pp. 2281-2289, August 2009.

[29] G. Parshetti et al., “Chemical structural and combustion characteristics of carbonaceous products obtained by hydrothermal carbonization of palm empty fruit bunches,” *Biosource Technology,* vol. 135, no. 1, pp. 683-689, April 2013.

[30] W.H. Li et al., “Preparation of sludge-based activated carbon made from paper mill sewage sludge by steam activation for dye wastewater Treatment,” *Desalination,* vol. 275, no. 1, pp. 179-185, May 2013.

[31] V. Boonamnuayvitaya et al., “Preparation of activated carbons from coffee residue for the adsorption of formaldehyde,” *Separation and Purification Technology*, vol. 42, no. 1, pp. 159-168, May 2005.

ภาคผนวก

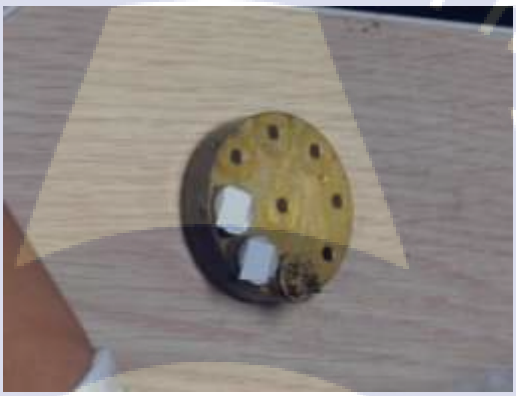
ภาคผนวก ก.

การถ่ายภาพโครงสร้างพื้นผิวด้วย Scanning Electron Microscope

ภาคผนวก ก.
การถ่ายภาพโครงสร้างพื้นผิวด้วย Scanning Electron Microscope

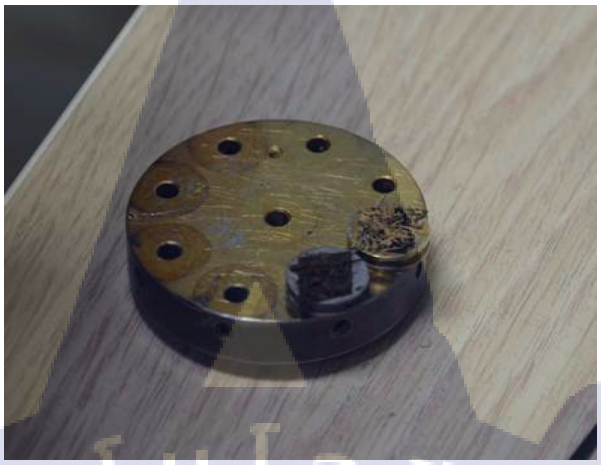
การถ่ายภาพโครงสร้างพื้นผิวด้วย Scanning Electron Microscope

1. ติดคอปเปอร์เทปเข้ากับแท่นวางตัวอย่าง แสดงใน**รูปที่ ก-1** และ **รูปที่ ก-2**
2. นำตัวอย่างมาวางลงบนคอปเปอร์เทป แสดงใน**รูปที่ ก-3**
3. นำตัวอย่างที่ติดกับคอปเปอร์เทปโค๊ทด้วยทอง แสดงใน**รูปที่ ก-4** และ **รูปที่ ก-5**
4. นำแท่นวางตัวอย่างใส่เข้าไปในเครื่อง Scanning electron microscope แสดงใน**รูปที่ ก-6**



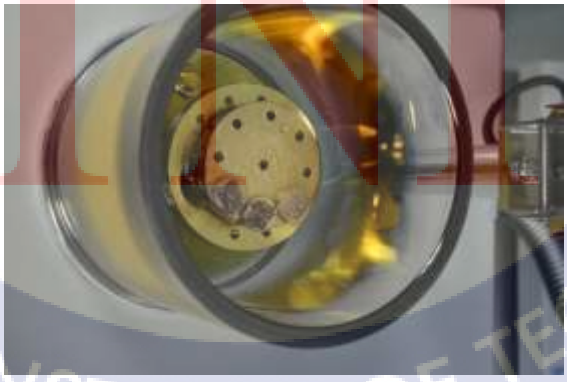
รูปที่ ก-1 แปะเทปกับแท่นวาง

รูปที่ ก-2 แปะเทปกับแท่นวาง

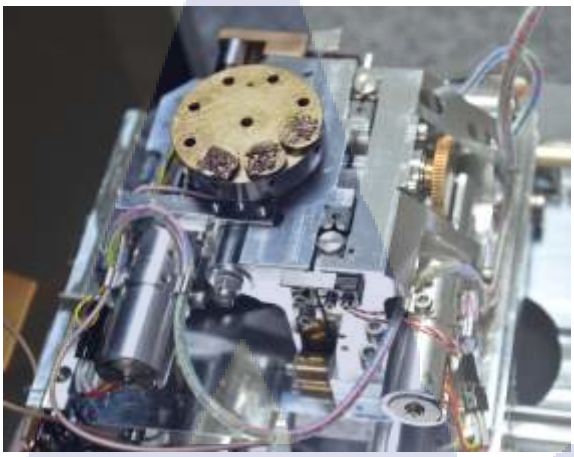


รูปที่ ก-3 นำตัวอย่างวางบนคอปเปอร์เทป

รูปที่ ก-4 โค๊ทตัวอย่างด้วยทอง

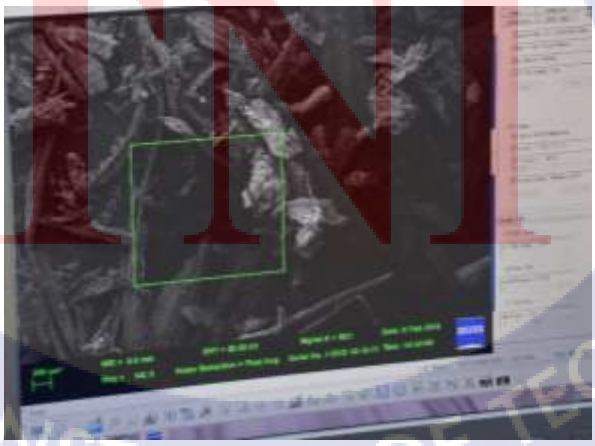


รูปที่ ก-5 โค๊ทตัวอย่างด้วยทอง



รูปที่ ก-6 นำตัวอย่างใส่เข้าเครื่อง

รูปที่ ก-7 ปรับกำลังขยายและโฟกัสให้เหมาะสม



รูปที่ ก-8 ปรับกำลังขยายและโฟกัสให้เหมาะสม

ภาคผนวก ข.

ขั้นตอนการทดลองการไฮโดรเทอร์มัล

ภาคผนวก ข.
ขั้นตอนการทดลองการไฮโดรเทอร์มัล

1. นำวัตถุดิบผสมกับน้ำกลั่น (DI water) ในปริมาณที่กำหนด **รูปที่ ข-1**
2. ผสมน้ำกับวัตถุดิบให้เข้ากัน จากนั้นนำไปใส่ใน Hydrothermal chamber **รูปที่ ข-2** และ **รูปที่ ข-3**
3. ทำการไฮโดรเทอร์มัลด้วยเตาเผาอุณหภูมิสูง โดยควบคุมอุณหภูมิและระยะเวลาตามที่กำหนด และกำหนดให้อัตราการเพิ่มอุณหภูมิเท่ากับ 4 °C/min **รูปที่ ข-4**
4. หลังจากไฮโดรเทอร์มัล Cooling down Hydrothermal chamber ด้วยน้ำแข็ง **รูปที่ ข-5**
5. อบตัวอย่างให้แห้งในเตาอบ ที่อุณหภูมิ 80 °C ระยะเวลาประมาณ 6 ชั่วโมงหรือจนน้ำหนักไม่มีการเปลี่ยนแปลง **รูปที่ ข-6**

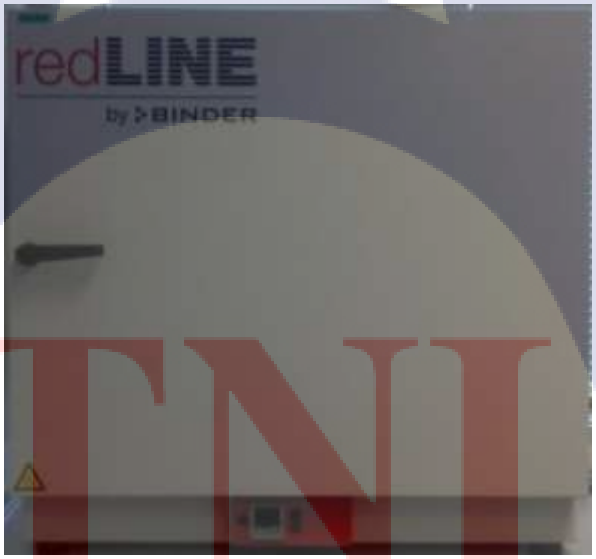
รูปที่ ข-1 ผสมวัตถุดิบกับน้ำกลั่น (DI water)

รูปที่ ข-2 ผสมน้ำกับวัตถุดิบให้เข้ากัน

รูปที่ ข-3 นำวัตถุดิบใส่ใน Hydrothermal Chamber

รูปที่ ข-4 ทำการไฮโดรเทอร์มัลด้วยเตาเผาอุณหภูมิสูง

รูปที่ ข-5 Cooling down Hydrothermal chamber ด้วยน้ำแข็ง



รูปที่ ข-6 อบตัวอย่างให้แห้งในเตาอบ ที่อุณหภูมิ 80 °C

สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น
THAI - NICHI INSTITUTE OF TECHNOLOGY
TNI