

ถ่านกัมมันต์จากเปลือกเต็งโมโตโดยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนไนเซชัน



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2563

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

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

ACTIVATED CARBON FROM WATERMELON 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

ACADEMIC YEAR 2020

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

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

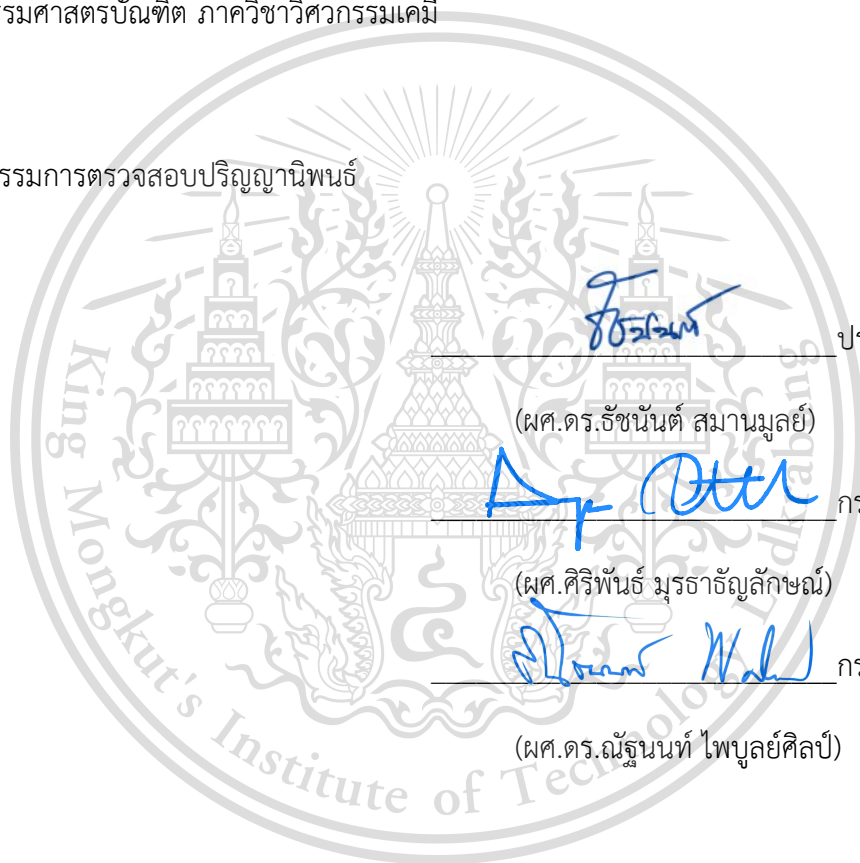
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับเอาไว้ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาบัตรเรื่อง ถ่านกัมมันต์จากเปลือกเตาโมโดยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล
คาร์บอนไนเซชัน
โดย นายสรณคม พัฒทวี
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.ธัชพันธ์ สมานมุลย์
ปริญญาบัตร ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปริญญาบัตรนี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

คณะกรรมการตรวจสอบปริญญาบัตร




ประธานกรรมการ
(ผศ.ดร.ธัชพันธ์ สมานมุลย์)


กรรมการ
(ผศ.ศิริพันธ์ มุราธัญลักษณ์)


กรรมการ
(ผศ.ดร.ณัฐนันท์ ไพบูลย์ศิลป์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

| | |
|---------------------|---|
| ปริญญาานิพนธ์เรื่อง | ถ่านกัมมันต์จากเปลือกแตงโมโดยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนไนเซชัน |
| โดย | นายสรณคม พัฒทวี |
| ปริญญา | วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต |
| สาขาวิชา | วิศวกรรมเคมี |
| ปีการศึกษา | 2563 |
| อาจารย์ที่ปรึกษา | ผศ.ดร.ธัชพันธ์ สมานมุลย์ |

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้จะศึกษาอิทธิพลของ อุณหภูมิ และเวลาในการทำปฏิกิริยาของกระบวนการ Hydrothermal carbonization (HTC) เพื่อดูแนวโน้มคุณสมบัติของถ่านที่ได้โดยผลการทดลองแบ่งเป็นผลการทดลองที่ได้และแนวโน้มผลการทดลองจากงานวิจัยอื่น โดยผลการทดลองที่ได้พบว่า อิทธิพลของอุณหภูมิมีมากกว่าเวลาในการทำปฏิกิริยา โดยเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจะทำให้ร้อยละผลได้ของถ่านไฮโดรชาร์ลดลง ส่วนแนวโน้มผลการทดลองจากงานวิจัยอื่น ที่ศึกษาปริมาณเถ้า, สารระเหย, คาร์บอนคงที่ และธาตุองค์ประกอบของถ่านไฮโดรชาร์ สามารถสรุปได้ว่า ยิ่งเพิ่มอุณหภูมิและเวลาในการทำปฏิกิริยาจะส่งผลให้ปริมาณเถ้าและสารระเหยลดลงแต่จะส่งผลทำให้ปริมาณคาร์บอนคงที่เพิ่มขึ้น และกระบวนการ Hydrothermal carbonization (HTC) จะส่งผลกระตุ้นทำให้ปริมาณธาตุคาร์บอน (C) เพิ่มขึ้น แต่ในทางกลับกันจะส่งผลทำให้ปริมาณธาตุไฮโดรเจน (H) และออกซิเจน (O) ลดลง และศึกษาแนวโน้มอิทธิพลของเวลาในการทำให้เปียกชุ่มโดยใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ในการกระตุ้นให้เกิดถ่านกัมมันต์ มีเวลาเวลาในการทำให้เปียกชุ่มคือ 6 และ 12 ชั่วโมง โดยทดสอบการพัฒนาคุณภาพของถ่านกัมมันต์โดยใช้ไอโอดีน จากผลการทดลองของงานวิจัยที่อ้างอิง สามารถคาดการณ์ผลการทดลองได้เป็น 2 กรณี 1. ในกรณีที่เมื่อทำการกระตุ้นแล้วถ่านกัมมันต์ส่วนใหญ่เกิดการพัฒนารูพรุนเป็นรูพรุนขนาดเล็ก คาดการณ์ว่าผลการทดลองที่มีค่าการดูดซับไอโอดีนที่มากที่สุดควรอยู่ที่ อุณหภูมิ 210 °C เวลา 90 นาที และเวลาที่ใช้ในการทำให้เปียกชุ่ม 12 ชั่วโมง 2. ในกรณีที่เมื่อทำการกระตุ้นแล้วถ่านกัมมันต์ส่วนใหญ่เกิดการพัฒนารูพรุนเป็นรูพรุนขนาดกลางถึงใหญ่ คาดการณ์ว่าผลการทดลองที่มีค่าการดูดซับไอโอดีนที่มากที่สุดควรอยู่ที่ อุณหภูมิ 210 °C เวลา 90 นาที และเวลาที่ใช้ในการทำให้เปียกชุ่ม 6 ชั่วโมง

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.

Report Title Activated carbon from watermelon peel by hydrothermal carbonization

By Mr. Saranakom Patthawee

Degree Bachelor of Engineering

Program Chemical Engineering

Year 2020

Advisor Asst. Prof. Dr. Thachanan Samanmulya

ABSTRACT

This research studied the influence of temperature and reaction time of the Hydrothermal carbonization (HTC) process in order to see trends in the properties of the hydrochar. The results of the experiments were divided into the results obtained and the trend of the experimental results from other researches. The results showed that the influence of temperature was greater than the reaction time. As the temperature increases, the percentage yield of hydrochar will decrease. As for the trend of experimental results from other research studying the content of ash, volatile matter, fixed carbon, and the elemental composition of hydrochar., it can be concluded that increasing the temperature and reaction time will result in a decrease in the ash and volatile content but will result in an increase in the fixed carbon content. HTC stimulates an increase in the carbon (C) content, but in turn, results in a decrease in the hydrogen (H) and oxygen (O) content. And the influence of the impregnation time (6 and 12 h) using potassium hydroxide (KOH) on the activation of activated carbon was studied. Pores development of activated carbon was tested by using iodine numbers. The results of the experiment can be predicted in two cases. 1. In the event that, when activated, most pores of the activated carbon develop into micropores. The maximum iodine absorption should be at a temperature of 210 °C for 90 min and an impregnation time of 12 h. 2. In cases when activated, most pores of the activated carbon develop into mesopores to macropores. The maximum iodine absorption should be at 210 °C for 90 min and impregnation time for 6 h.

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

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

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีเนื่องด้วยความเมตตาจาก ผศ.ดร.ธัชพันธ์ สมานมุลย์ อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์ ที่ได้เมตตาตลอดเวลาให้ความรู้ในด้านของวิชาการ ชี้แนะแนวทาง ให้คำแนะนำและคำปรึกษา ในการแก้ปัญหาที่เป็นประโยชน์ ตลอดจนการตรวจทานและแก้ไขปัญหาก็ให้ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ ผศ.ศิริพันธ์ มุรธาธัญลักษณ์ และ ผศ.ดร.ณัฐนนท์ ไพบูลย์ศิลป์ คณะกรรมการ ตรวจสอบปริญญาานิพนธ์ที่ให้คำแนะนำในการสอบ และตรวจสอบแก้ไขปริญญาานิพนธ์ทำให้ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณอาจารย์ภาควิศวกรรมเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกท่านที่คอยเมตตา อบรม สั่งสอน ให้ความรู้ในทางวิศวกรรมอย่างเต็มที่

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ของภาควิศวกรรมเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่านที่คอยช่วยเหลือทางด้านอุปกรณ์ในการวิจัย และอำนวยความสะดวกสถานที่ในการทำวิจัย ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณครอบครัวที่เมตตาอบรม สั่งสอน ให้ความรู้และกำลังใจ ในทุกเรื่องที่ผ่านมา และขอขอบคุณเพื่อน ๆ ภาควิศวกรรมเคมีที่คอยช่วยเหลือ ให้คำปรึกษา และให้คำแนะนำในทุกด้าน ทำให้ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี หากปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้มีข้อผิดพลาดประการใด ผู้วิจัยขอน้อมรับ ณ ที่นี้

สรณคม พัฒทวี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

Forbidden to modify the content,^{III} and cite the document when use.

สารบัญ

| | หน้า |
|--|------|
| บทคัดย่อ..... | I |
| ABSTRACT..... | II |
| กิตติกรรมประกาศ..... | III |
| สารบัญ..... | IV |
| หน้า..... | IV |
| สารบัญรูป..... | VI |
| สารบัญตาราง..... | VII |
| บทที่ 1 บทนำ..... | 1 |
| 1.1 ที่มาและความสำคัญ..... | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์..... | 2 |
| 1.3 ขอบเขตงานวิจัย..... | 2 |
| 1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ..... | 2 |
| บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... | 3 |
| 2.1 แตงโม..... | 3 |
| 2.2 ถ่านกัมมันต์..... | 3 |
| 2.3 การกระตุ้น..... | 5 |
| 2.4 การดูดซับ..... | 6 |
| 2.5 ไอโอดีน นัมเบอร์..... | 10 |
| 2.6 กระบวนการไฮโดรเทอร์มอลทรินเมนต์..... | 11 |
| 2.7 Hydrothermal carbonization (HTC)..... | 13 |
| 2.8 ไฮโดรชาร์..... | 14 |

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.

สารบัญ (ต่อ)

| | หน้า |
|--|------|
| 2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... | 14 |
| บทที่ 3 ขั้นตอนการทดลอง..... | 16 |
| 3.1 วัตถุประสงค์..... | 16 |
| 3.2 สารเคมี..... | 17 |
| 3.3 เครื่องมือ..... | 17 |
| 3.4 กระบวนการไฮโดรเทอร์มอล คาร์บอนไนเซชัน..... | 19 |
| 3.5 การกระตุ้นถ่านกัมมันต์..... | 19 |
| 3.6 การทำไอโอดีน นัมเบอร์..... | 19 |
| 3.7 ภาพรวมขั้นตอนการทดลอง..... | 22 |
| บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล..... | 23 |
| 4.1 ผลการทดลองที่ได้..... | 23 |
| 4.2 แนวโน้มผลการทดลองจากงานวิจัยอื่น..... | 25 |
| บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ..... | 30 |
| 5.1 สรุปผลการทดลอง..... | 30 |
| 5.2 วิเคราะห์ผลการทดลอง..... | 31 |
| 5.3 ข้อเสนอแนะ..... | 31 |
| บรรณานุกรม..... | 32 |
| ภาคผนวก ก..... | 35 |
| ภาคผนวก ข..... | 38 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

สารบัญรูป

| รูปที่ | หน้า |
|--|------|
| รูปที่ 2.1 แสดงลักษณะรูพรุนขนาดต่างๆของถ่านกัมมันต์..... | 4 |
| รูปที่ 2.2 แสดงกลไกการดูดซับ..... | 6 |
| รูปที่ 2.3 ประเภทของไอโซเทอมตาม IUPAC | 8 |
| รูปที่ 2.4 แผนภาพเฟสของน้ำที่แบ่งพื้นที่ตามกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลทรีทเมนต์..... | 12 |
| รูปที่ 2.5 แสดงปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอลในการแปรสภาพชีวมวล | 12 |
| รูปที่ 2.6 การจำแนกประเภทของกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลโดยใช้แผนภาพความดัน-อุณหภูมิของน้ำ | 14 |
| รูปที่ 3.1 เปลือกเตงโม | 16 |
| รูปที่ 3.2 ถังปฏิกรณ์เคมีความดันสูงสแตนเลส | 18 |
| รูปที่ 3.3 แผนภาพขั้นตอนการทดลองทั้งหมด | 22 |
| รูปที่ 4.1 แสดงปริมาณสารระเหยที่อุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ | 26 |
| รูปที่ 4.2 แสดงปริมาณคาร์บอนคงที่ที่อุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ..... | 26 |
| รูปที่ 4.3 แสดงค่าการดูดซับไอโอดีนที่ใช้เวลาในการทำให้เปียก 12 24 และ 48 ชั่วโมง | 29 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

Forbidden to modify the content,^{VI} and cite the document when use.

สารบัญตาราง

| ตารางที่ | หน้า |
|--|------|
| ตารางที่ 4.1 แสดงร้อยละผลได้ของถ่านไฮโดรคาร์ที่อุณหภูมิต่าง ๆ | 23 |
| ตารางที่ 4.2 แสดงร้อยละผลได้ของถ่านไฮโดรคาร์จากเปลือกกล้วยที่อุณหภูมิต่าง ๆ..... | 25 |
| ตารางที่ 4.3 แสดงปริมาณเถ้าของวัตถุดิบและถ่านไฮโดรคาร์ที่อุณหภูมิต่าง ๆ | 25 |
| ตารางที่ 4.4 ตารางแสดงธาตุองค์ประกอบของถ่านไฮโดรคาร์ที่อุณหภูมิต่าง ๆ..... | 27 |
| ตารางที่ 4.5 ตารางแสดงพื้นที่ผิวและปริมาตรรูพรุนของถ่านกัมมันต์ | 29 |
| ตารางที่ ข.1 คุณลักษณะทางเคมีและฟิสิกส์ของถ่านกัมมันต์ชนิดผง | 39 |
| ตารางที่ ข.2 คุณลักษณะทางเคมีและฟิสิกส์ของถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด..... | 39 |
| ตารางที่ ข.3 คุณลักษณะทางเคมีและฟิสิกส์ของถ่านกัมมันต์ชนิดอัดเม็ด | 39 |
| ตารางที่ ข.4 คุณลักษณะทางเคมีและฟิสิกส์ของถ่านกัมมันต์ชนิดแท่ง | 40 |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

Forbidden to modify the content,^{VII} and cite the document when use.

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ขยะหรือขยะมูลฝอย หมายถึง ของเสียที่อยู่ในรูปของแข็ง โดยปกติแล้ววัตถุต่าง ๆ ที่ถูกทิ้งมาในรูปของขยะ จะมีทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ ซึ่งวัตถุต่าง ๆ เหล่านี้บางชนิดก็สามารถย่อยสลายได้ด้วยจุลินทรีย์ในเวลาอันรวดเร็ว เช่น เศษอาหาร เศษพืชผัก แต่บางชนิดก็ไม่อาจจะย่อยสลายได้เลย เช่น พลาสติก เศษแก้ว เป็นต้น ในปัจจุบันอ้างอิงจากกรมควบคุมมลพิษในปี 2563 ของข้อมูลรอบ 9 เดือน (1 ตุลาคม 2562 - 30 มิถุนายน 2563) พบว่ามีปริมาณขยะมูลฝอยเกิดขึ้นทั่วประเทศไทย 73,492.09 ตัน/วัน และที่สามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้มีเพียง 29,666.13 ตัน/วัน หรือคิดเป็น 40.37% [1] เท่านั้นทางผู้จัดทำจึงเล็งเห็นว่าควรจะนำเปลือกแอมโมเนียที่เป็นขยะมูลฝอยในรูปแบบของขยะอินทรีย์มาใช้ให้เกิดประโยชน์โดยผ่านกระบวนการ Hydrothermal carbonization (HTC) เพื่อให้ได้ถ่าน และถ่านกัมมันต์ซึ่งเป็นการเพิ่มมูลค่าของขยะขึ้นมาอย่างมหาศาล

Hydrothermal carbonization (HTC) หรือที่เรียกว่า Wet torrefaction เป็นกระบวนการความร้อนทางเคมีในการเปลี่ยนวัตถุดิบอินทรีย์ให้เป็นผลิตภัณฑ์ของแข็งที่มีคาร์บอนสูง Hydrothermal carbonization (HTC) ดำเนินการที่ช่วงอุณหภูมิ 180-260 °C ระหว่างที่มวลชีวภาพจมอยู่ในน้ำและถูกทำให้ร้อนในระบบที่จำกัดภายใต้ความดัน (2-6 MPa) เป็นเวลา 5-240 นาที โดยปกติแล้วความดันปฏิกิริยาจะไม่ได้รับการควบคุมในกระบวนการเพราะจะเกิดขึ้นเองโดยอัตโนมัติด้วยความดันไออิ่มตัวของน้ำ (น้ำที่สภาวะกึ่งวิกฤต) ที่สอดคล้องกับอุณหภูมิของปฏิกิริยา กระบวนการ Hydrothermal carbonization (HTC) ส่งผลให้เกิดผลิตภัณฑ์หลัก 3 ชนิด ได้แก่ ของแข็ง (ไฮโดรชาร์) ของเหลว (น้ำมันชีวภาพผสมกับน้ำ) และสัดส่วนก๊าซเล็กน้อย (ส่วนใหญ่เป็น CO₂) ไฮโดรชาร์ (Hydrochar) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ต้องการในกระบวนการของ Hydrothermal carbonization (HTC) โดยให้ผลผลิตมวลประมาณ 40-70% [2]

ถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) เป็นรูปแบบของคาร์บอนที่ผ่านกระบวนการทำให้มีรูพรุนมากและทำให้มีพื้นที่ผิวขนาดใหญ่มากสำหรับการดูดซับและปฏิกิริยาทางเคมี ถ่านกัมมันต์สามารถเตรียมจากวัสดุทางธรรมชาติโดยมีองค์ประกอบหลักเป็นธาตุคาร์บอน 87%-97% และยังประกอบด้วยธาตุอื่น ๆ เช่น ออกซิเจน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน และกำมะถัน ถ่านกัมมันต์สามารถนำไปใช้งานได้หลากหลาย ตัวอย่างเช่นการทำแก๊สให้บริสุทธิ์ (gas purification), การทำน้ำให้บริสุทธิ์ (water purification), การสกัดโลหะ (metal extraction),

ใช้ทางการแพทย์ (medicine), การบำบัดน้ำเสีย, ตัวกรองอากาศในหน้ากากป้องกันแก๊ส เป็นต้น นอกจากนี้ ถ่านกัมมันต์ยังมีประโยชน์สำหรับการดักกลิ่นในพื้นที่ปิดได้อีกด้วย [3]

1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 เพื่อทำความเข้าใจผลกระทบของเงื่อนไขกระบวนการผลิตต่อคุณสมบัติของถ่านไฮโดร
- 1.2.2 เพื่อศึกษาเปรียบเทียบแนวโน้มคุณสมบัติทางเคมีของถ่านไฮโดรจากงานวิจัยอื่น
- 1.2.3 เพื่อคาดการณ์สถานะที่เหมาะสมต่อการดูดซับไอโอดีนของเวลาในการทำให้เปียกชุ่มต่อการกระตุ้นถ่านกัมมันต์จากงานวิจัยอื่น

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

- 1.3.1 ศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิในกระบวนการ Hydrothermal carbonization (HTC) ในช่วง $180\text{ }^{\circ}\text{C}$ และ $210\text{ }^{\circ}\text{C}$
- 1.3.2 ศึกษาอิทธิพลของระยะเวลาในกระบวนการ Hydrothermal carbonization (HTC) ในช่วง 30, 60, และ 90 นาที
- 1.3.3 ศึกษาอิทธิพลของการกระตุ้นถ่านไฮโดรด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ด้วยอัตราส่วน ถ่าน:KOH คือ 1:4 ที่อุณหภูมิห้อง มีเวลาในการทำให้เปียกชุ่ม 6 และ 12 ชั่วโมง

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 ได้ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงโมโนไปผลิตเป็นถ่านไฮโดร
- 1.4.2 ได้ทราบแนวโน้มอิทธิพลของอุณหภูมิและเวลาในการทำปฏิกิริยาต่อคุณสมบัติของถ่านไฮโดร
- 1.4.3 ได้ทราบแนวโน้มอิทธิพลของเวลาในการทำให้เปียกชุ่มและสถานะที่เหมาะสมต่อการกระตุ้นถ่านกัมมันต์

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 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แดงโม

มีหลักฐานบ่งชี้ว่าแดงโมมีถิ่นกำเนิดในแอฟริกาเขตร้อน การเพาะปลูกเริ่มขึ้นในอียิปต์และอินเดียโบราณและแพร่กระจายไปยังประเทศต่าง ๆ ผ่านทางทะเลเมดิเตอร์เรเนียน, ตะวันออกไกล, และเอเชีย ผลจากการเพาะปลูกและการคัดเลือกเมล็ดพันธุ์มาเป็นเวลานานรูปแบบสายพันธุ์ใหม่ของแดงโมจึงได้พัฒนาขึ้น พันธุ์ที่ปลูกในปัจจุบันมีความคล้ายคลึงกับรูปแบบของแอฟริกันสมัยก่อนเล็กน้อย แดงโมเป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรต, วิตามินเอ, และแร่ธาตุมากมาย แดงโมเป็นพืชล้มลุกประเภทเถาเลื้อย โตเร็ว ลักษณะทั่วไปของแดงโมคือผลมีทั้งทรงกลมและทรงกระบอก ลักษณะของเปลือกจะแข็งโดยทั่วไปเปลือกจะมีทั้งสีเขียวและสีเหลืองแต่บางสายพันธุ์เปลือกจะมีลวดลาย [4]

ชื่อวิทยาศาสตร์: Citrullus lanatus

ชื่อวงศ์: Cucurbitaceae

ชื่อสามัญ: Watermelon

ชื่ออื่น: แดงโม (ทั่วไปในปัจจุบัน), อุลิต หรือผลอุลิต (เป็นคำสุภาพของแดงโม ใช้ในสมัยก่อน), บักโม (ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ), บะเต้า(ภาคเหนือ), แดงจิ้น(ภาคใต้และจังหวัดตรัง)

ประเภทไม้: ไม้เถาล้มลุก

2.2 ถ่านกัมมันต์

ถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) เป็นรูปแบบของคาร์บอนที่ผ่านกระบวนการทำให้มีรูพรุนมากและทำให้มีพื้นที่ผิวขนาดใหญ่มากสำหรับการดูดซับและปฏิกิริยาทางเคมี ถ่านกัมมันต์สามารถเตรียมจากวัสดุทางธรรมชาติโดยมีองค์ประกอบหลักเป็นธาตุคาร์บอน 87%-97% และยังประกอบด้วยธาตุอื่น ๆ เช่น ออกซิเจน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน และกำมะถัน ถ่านกัมมันต์สามารถนำไปใช้งานได้หลากหลาย ตัวอย่างเช่นการทำแก๊สให้บริสุทธิ์ (gas purification), การทำน้ำให้บริสุทธิ์ (water purification), การสกัดโลหะ (metal extraction), ใช้ทางการแพทย์ (medicine), การบำบัดน้ำเสีย, ตัวกรองอากาศในหน้ากากป้องกันแก๊ส เป็นต้น นอกจากนี้

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

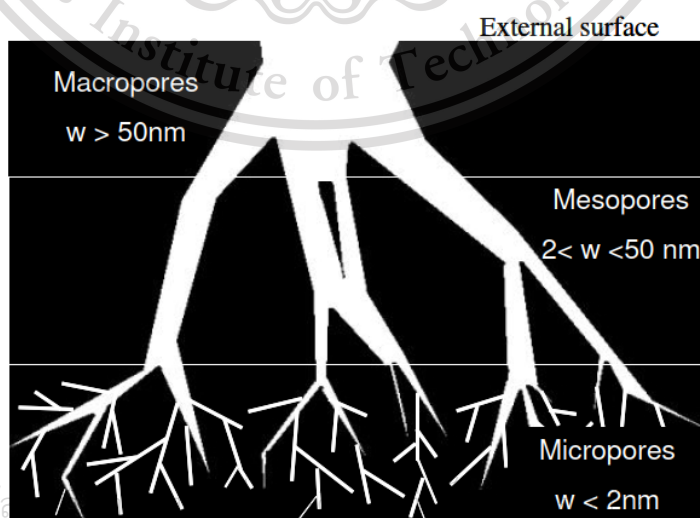
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ถ่านกัมมันต์ยังมีประโยชน์สำหรับการดักกลืนในพื้นที่ปิด [3] ในทางปฏิบัติ ไม้, กะลามะพร้าว, ผลไม้กลุ่มที่เป็นผลเดี่ยวประเภท ดรูป (drupe) หรือที่เรียกว่า Stone fruit, ถ่านหิน, ลิกไนต์ ฯลฯ ล้วนเป็นวัสดุราคาไม่แพงที่มีปริมาณคาร์บอนสูงและมีอนินทรีย์ต่ำดังนั้นจึงเหมาะสำหรับใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตถ่านกัมมันต์ คุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่ได้จะได้รับอิทธิพลอย่างมากจากการบำบัดด้วยการกระตุ้น การเลือกวัตถุดิบที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์ขึ้นอยู่กับเกณฑ์ต่อไปนี้ [5]

- วัตถุดิบที่ใช้มีความหนาแน่นและความแข็งสูง ซึ่งส่งผลต่อความเป็นไปได้ในการทำให้ถ่านกัมมันต์มีความสามารถในการดูดซับที่ดี
- ต้องมีสารอนินทรีย์ต่ำ ความสามารถในการดูดซับของถ่านกัมมันต์วัดได้ต่อหน่วยมวลและเนื่องจากวัสดุอนินทรีย์ไม่มีรูพรุนการมีอยู่ของสารพวกนี้จึงส่งผลทำให้ลดความสามารถในการดูดซับของถ่านกัมมันต์
- ความพร้อมใช้งานและค่าใช้จ่าย เช่นเดียวกับผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ราคาต้นทุนของวัตถุดิบมีผลต่อราคาสินค้าในตอนสุดท้ายดังนั้นความพร้อมใช้งานที่สูงจึงเป็นสิ่งสำคัญในการรับประกันราคาที่มีเสถียรภาพ นอกจากนี้ควรคำนึงด้วยว่ามีการสูญเสียมวลจำนวนมากในบำบัดด้วยการกระตุ้นซึ่งจะผลให้ผลผลิตที่ได้ต่ำลง

2.2.1 ชนิดของถ่านกัมมันต์แบ่งตามรูพรุน [5]

โครงสร้างที่มีรูพรุนเป็นคุณสมบัติทางกายภาพหลักที่แสดงลักษณะของถ่านกัมมันต์ ซึ่งเกิดจากรูพรุนที่มีขนาดแตกต่างกันสามารถแสดงได้ตามคำแนะนำของ IUPAC แบ่งออกเป็นสามกลุ่มใหญ่ ๆ ดังรูปที่ 2.1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้

ใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for commercial use.

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

รูปที่ 2.1 แสดงลักษณะรูพรุนขนาดต่างๆของถ่านกัมมันต์

2.2.1.1 รูพรุนขนาดเล็ก (Micropores) มีความกว้างของรูพรุนน้อยกว่า 2 นาโนเมตร

2.2.1.2 รูพรุนขนาดกลาง (Mesopores) มีขนาดความกว้างของรูพรุน 2-50 นาโนเมตร

2.2.1.3 รูพรุนขนาดใหญ่ (Macropores) มีขนาดความกว้างของรูพรุนใหญ่กว่า 50 นาโนเมตร

2.3 การกระตุ้น

เป็นการทำให้ถ่านมีความสามารถทางการดูดซับมากขึ้นโดยการเพิ่มพื้นที่ผิวและรูพรุนให้กับถ่านมากขึ้นโดยปกติแล้วการกระตุ้นมีด้วยกัน 2 แบบดังต่อไปนี้

2.3.1 การกระตุ้นทางกายภาพ [6]

การกระตุ้นทางกายภาพที่ใช้ในเชิงพาณิชย์เป็นกระบวนการสองขั้นตอนที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการคาร์บอนไอเซชัน (ไพโรไลซิส) ในบรรยากาศที่เป็นกลางแล้วจากนั้นนำไปกระตุ้นในก๊าซออกซิเดชันในชั้นบรรยากาศ เช่น ไอน้ำ, ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และไนโตรเจนหรือของผสมในอากาศที่มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นในช่วง 800-1100 °C วิธีแบบกายภาพเป็นวิธีการเตรียมถ่านกัมมันต์ที่มีราคาไม่แพงและถือเป็นแนวทางที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมเนื่องจากปราศจากสารเคมี อย่างไรก็ตามในกระบวนการกระตุ้นทางกายภาพของถ่านกัมมันต์ใช้เวลาในการกระตุ้นที่นานและความสามารถในการดูดซับต่ำที่สุดของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้และการใช้พลังงานที่สูงเป็นข้อเสียเปรียบหลักในการกระตุ้นแบบกายภาพ

2.3.2 การกระตุ้นทางเคมี [7]

การกระตุ้นทางเคมีที่เรียกว่าการออกซิเดชันแบบเปียกมักใช้กับวัสดุที่มีเซลลูโลส ในการกระตุ้นทางเคมีเพื่อเตรียมถ่านกัมมันต์สารตั้งต้นอินทรีย์จะถูกกระตุ้นด้วยสารเคมีที่อุณหภูมิสูง ในกระบวนการกระตุ้นทางเคมีตัวแปรที่มีผลต่อลักษณะของถ่านกัมมันต์ในตอนสุดท้ายคือปริมาณการทำให้ชุ่มและอัตราส่วนน้ำหนักของสารเคมีต่อสารตั้งต้นแบบแห้ง เมื่อเทียบกับการกระตุ้นทางกายภาพการกระตุ้นประเภทเคมีนี้จะประหยัดกว่าเนื่องจากต้องใช้อุณหภูมิในการกระตุ้นที่ต่ำกว่า, เวลาในการกระตุ้นน้อยลง และประสิทธิภาพของคาร์บอนที่ได้สูงขึ้น นอกจากนี้ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมโดยการกระตุ้นทางเคมีจะมีโครงสร้างที่มีรูพรุนมากกว่าการกระตุ้นทางกายภาพ สารเคมีประเภทต่าง ๆ ที่ใช้ในการกระตุ้นจะทำปฏิกิริยากับสารตั้งต้นที่แตกต่างกันจึงส่งผลต่อพฤติกรรมการดูดซับของถ่านกัมมันต์ สารเคมีหลักที่ใช้เป็นตัวกระตุ้นที่มีศักยภาพ ได้แก่ กลุ่มอัลคาไลน์ เช่น โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH), โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH), แคลเซียมคลอไรด์ (CaCl₂), และโพแทสเซียม

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

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

คาร์บอเนต (K_2CO_3) กลุ่มที่เป็นกรด เช่น กรดฟอสฟอริก (H_3PO_4), และกรดซัลฟูริก (H_2SO_4) เกลือโลหะ เช่น ซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$), และสารกระตุ้นอื่น ๆ

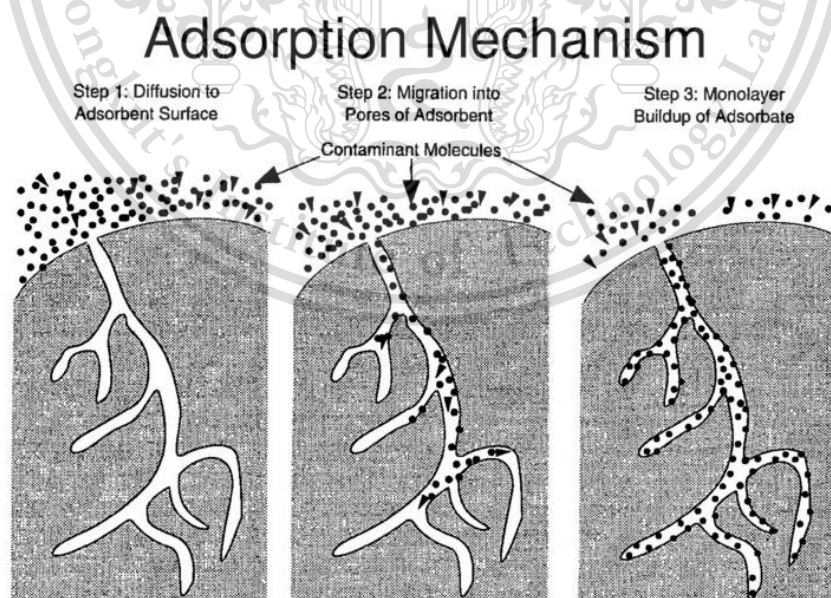
2.4 การดูดซับ [8]

การดูดซับเป็นกระบวนการถ่ายโอนมวลซึ่งเป็นปรากฏการณ์ของการดูดซับก๊าซหรือตัวถูกละลายโดยพื้นผิวที่เป็นของแข็งหรือของเหลว การดูดซับบนพื้นผิวของแข็งคือการที่โมเลกุลหรืออะตอมบนพื้นผิวของแข็งมีพลังงานที่ผิวเหลือเนื่องจากแรงไม่สมดุล เมื่อสารบางชนิดชนกับพื้นผิวของแข็งสารเหล่านี้จะถูกดึงดูดโดยแรงที่ไม่สมดุลเหล่านี้และเกาะอยู่บนพื้นผิวของแข็ง โดยสารที่เกาะบนพื้นผิวของแข็งเราจะเรียกว่าตัวถูกดูดซับ (Adsorbate) ส่วนของแข็งหรือของเหลวที่ให้ตัวถูกดูดซับมาเกาะเราจะเรียกว่าตัวดูดซับ (Adsorbent) ตามปกติกลไกการดูดซับจะมี 3 ขั้นตอนหลักคือ

ขั้นตอนที่ 1 โมเลกุลตัวถูกดูดซับจะแพร่เข้ามาที่บริเวณรอบนอกของตัวดูดซับ

ขั้นตอนที่ 2 โมเลกุลของตัวถูกดูดซับเคลื่อนเข้าไปในรูพรุนของตัวดูดซับ

ขั้นตอนที่ 3 เกิดการดูดซับขึ้นในรูพรุนโดยจะใช้แรงทางกายภาพหรือแรงทางเคมี



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการ **รูปที่ 2.2** แสดงกลไกการดูดซับไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
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.

การดูดซับแบ่งตามแรงดูดซับที่แตกต่างกันซึ่งกระบวนการดูดซับสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ การดูดซับทางกายภาพและการดูดซับทางเคมี

2.4.1 การดูดซับทางกายภาพ

การดูดซับทางกายภาพเกิดจากปฏิสัมพันธ์ของแรงระหว่างโมเลกุลคือแรงแวนเดอร์วาลส์ ตัวอย่างเช่น การดูดซับของถ่านกัมมันต์สำหรับก๊าซ โดยทั่วไปการดูดซับทางกายภาพจะดำเนินการที่อุณหภูมิต่ำ, มีอัตราการดูดซับที่รวดเร็ว, ความร้อนในการดูดซับต่ำ, และเป็นการดูดซับแบบ Nonselective adsorption การดูดซับทางกายภาพไม่จำเป็นต้องใช้พลังงานกระตุ้นซึ่งเป็นกระบวนการที่ผันกลับได้ การดูดซับประเภทนี้สามารถเกิดการดูดซับบนผิวของตัวดูดซับได้เลยและยังสามารถเกิดบนชั้นของโมเลกุลที่เป็นตัวถูกดูดซับไปเรื่อยๆ ได้ อีกด้วยซึ่งเราจะเรียกการดูดซับลักษณะนี้ว่าการดูดซับหลายชั้น (Multilayer adsorption)

2.4.2 การดูดซับทางเคมี

การดูดซับทางเคมีเป็นการดูดซับที่เกิดจากการกระทำของพันธะเคมีระหว่างสารที่ถูกดูดซับและพื้นผิวของตัวดูดซับ การดูดซับหรือการปลดปล่อยความร้อนจากการดูดซับจะสูงและต้องใช้พลังงานกระตุ้นในปริมาณมาก จึงทำให้การดูดซับเกิดได้ดีและเร็วที่อุณหภูมิสูง การดูดซับทางเคมีจะเกิดแค่บนพื้นผิวของตัวดูดซับเท่านั้นจะไม่สามารถเกิดบนชั้นโมเลกุลของตัวถูกดูดซับเหมือนการดูดซับทางกายภาพได้ จึงทำให้การดูดซับทางเคมีเป็นการดูดซับแบบชั้นเดียว (Monolayer adsorption) และเป็นกระบวนการที่ไม่สามารถผันกลับได้

ตารางที่ 2.1 ตารางเปรียบเทียบระหว่างการดูดซับทางกายภาพและเคมี

| การดูดซับทางกายภาพ | การดูดซับทางเคมี |
|---|--|
| การดูดซับเกิดจากแรงแวนเดอร์วาลส์ | การดูดซับเกิดจากพันธะเคมี |
| การดูดซับเกิดได้ทั้งบนผิวตัวดูดซับและชั้นโมเลกุลของตัวถูกดูดซับ | การดูดซับเกิดได้แค่บนผิวของตัวดูดซับเท่านั้น |
| ความร้อนที่ใช้ในการดูดซับต่ำ | ความร้อนที่ใช้ในการดูดซับสูง |
| อัตราการดูดซับเร็ว | อัตราการดูดซับช้า |
| ผันกลับได้ | ผันกลับไม่ได้ |

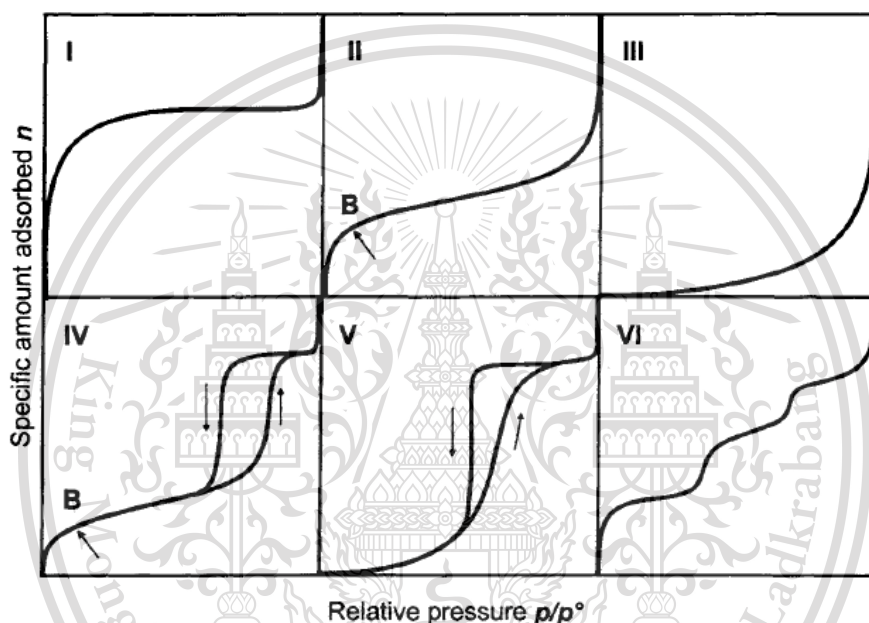
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

2.4.4 ไอโซเทอมของการดูดซับ [9,10]

ไอโซเทอมเป็นข้อมูลความสัมพันธ์ที่สภาวะสมดุลของการดูดซับใช้อธิบายปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในรูพรุนโดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของตัวถูกดูดซับกับความดันหรือความเข้มข้นที่สภาวะสมดุลของสารละลาย โดยมีการควบคุมให้อุณหภูมิคงที่ การทดลองการดูดซับไอโซเทอมที่บันทึกไว้ในเอกสารซึ่งวัดจากระบบของแข็ง-แก๊สมีหลายรูปแบบ อย่างไรก็ตามไอโซเทอมเหล่านี้ส่วนใหญ่ซึ่งเป็นผลมาจากการดูดซับทางกายภาพถูกแบ่งออกเป็น 6 แบบในการจำแนกตาม IUPAC ดังรูปภาพที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ประเภทของไอโซเทอมตาม IUPAC

ชนิดที่ I เป็นไอโซเทอมชนิดที่ผันกลับได้ซึ่งเป็นไอโซเทอมที่ได้มาจากการดูดซับของแข็งแบบรูพรุนขนาดเล็ก (Micropores) ที่มีพื้นผิวภายนอกค่อนข้างน้อยและมีรูพรุนขนาดเล็ก เช่น ถ่านกัมมันต์, ซีโอไลต์, และออกไซด์ที่มีรูพรุนบางชนิด ทำให้การดูดซับถูกจำกัดเนื่องจากไม่สามารถเข้ารูพรุนขนาดเล็กได้ ลักษณะไอโซเทอมประเภท I จะโค้งเข้าที่กับแกน p/p° ไอโซเทอมประเภท I บางครั้งเรียกว่า Langmuir isotherms

ชนิดที่ II เป็นไอโซเทอมชนิดที่ผันกลับได้ซึ่งส่วนใหญ่ได้มาจากการดูดซับทางกายภาพของก๊าซบนตัวดูดซับที่ไม่มีรูพรุนหรือมีรูพรุนแบบรูพรุนขนาดใหญ่ (Macropores) ไอโซเทอมชนิด II แสดงถึงเป็นการดูดซับแบบหลายชั้น จุด B ถูกนำมาใช้เพื่อระบุว่า การดูดซับแบบชั้นเดียวได้เสร็จสมบูรณ์แล้วและเมื่อความดันเพิ่มขึ้นจะทำให้เกิดการดูดซับหลายชั้นขึ้น

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

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

ชนิดที่ III เป็นไอโซเทอมชนิดที่ผันกลับได้ ลักษณะจะนูนหรือโค้งออกจากแกน p/p° ไอโซเทอรัมประเภทนี้ไม่ค่อยพบบ่อยนัก แต่สามารถพบได้ในระบบ เช่น ไนโตรเจนบนโพลีเอทิลีน ไอโซเทอมประเภทนี้จะมีแรงดูดซับระหว่างตัวดูดซับกับตัวถูกดูดซับแบบอ่อนๆ แต่แรงดึงดูดระหว่างตัวถูกดูดซับด้วยกันเองจะมีมาก การดูดซับประเภทนี้จะพบได้ในช่องเชิงดูดซับที่ไม่มีรูพรุนหรือมีรูพรุนแบบรูพรุนขนาดใหญ่ (Macropores)

ชนิดที่ IV ไอโซเทอมประเภทนี้จะได้มาจากการดูดซับจากตัวดูดซับแบบรูพรุนขนาดกลาง (Mesopores) เช่น เจลออกไซด์ชนิดต่าง ๆ, ตัวดูดซับในอุตสาหกรรม, และ Mesoporous molecular sieves ไอโซเทอมชนิดที่ IV ในช่วงแรกที่มีความดันสัมพัทธ์ต่ำจะมีลักษณะการดูดซับเหมือนกับชนิดที่ II แต่เมื่อความดันสัมพัทธ์สูงขึ้น จะมีคุณลักษณะเฉพาะของไอโซเทอมแบบที่ IV คือเกิด Hysteresis loop ซึ่งเป็นผลมาจากการควบแน่นของแคปิลารีที่เกิดขึ้นในรูพรุน

ชนิดที่ V ไอโซเทอมประเภทนี้ในช่วงความดันสัมพัทธ์ต่ำรูปร่างไอโซเทอมจะมีลักษณะคล้ายกับชนิดที่ III แต่ต่างกันตรงที่ชนิดที่ V จะมีการเกิด Hysteresis loop ขึ้นด้วย ส่วนใหญ่ไอโซเทอมประเภทนี้จะสังเกตได้จากการดูดซับน้ำบนตัวดูดซับที่ไม่ชอบน้ำที่มีรูพรุนแบบรูพรุนขนาดเล็ก (Micropores) และรูพรุนขนาดกลาง (Mesopores)

ชนิดที่ VI ไอโซเทอมชนิดนี้ได้จากการดูดซับที่ละชั้นของสารดูดซับที่ไม่มีรูพรุนบนพื้นผิวที่มีความสม่ำเสมอสูง ความสูงของชั้นแต่ละชั้นนั้นแสดงถึงความสามารถของการดูดซับในแต่ละชั้น โดยรูปร่างของไอโซเทอมจะขึ้นอยู่กับระบบและอุณหภูมิ ตัวอย่างที่ดีที่สุดของไอโซเทอมประเภทนี้ คือตัวอย่างที่ได้จากอาร์กอนหรือคริปทอนที่อุณหภูมิต่ำบนคาร์บอนแบล็คแบบกราฟไฟต์

2.4.4.1 แบบจำลองไอโซเทอมแบบแลงเมียร์ (Langmuir isotherm model) [11,12]

ในปี ค.ศ. 1932 แบบจำลองการดูดซับแลงเมียร์ ได้รับการเสนอโดยเออร์วิง แลงเมียร์ (Irving Langmuir) โดยแบบจำลองนี้สามารถแสดงไอโซเทอมการดูดซับแบบง่ายได้ ซึ่งมีสมมติฐานหลักของแบบจำลองไอโซเทอรัมนี้มีดังต่อไปนี้:

- การดูดซับจะเกิดขึ้นบนตำแหน่งยึดเกาะที่แน่นอนที่ซึ่งมีพื้นที่อยู่บนพื้นผิวของตัวดูดซับ
- ตำแหน่งการดูดซับทั้งหมดบนพื้นผิวของตัวดูดซับจะเหมือนกัน
- พื้นผิวของตัวดูดซับถูกปกคลุมด้วยโมเลกุลที่ถูกดูดซับแบบชั้นเดียว (Monolayer)
- ไม่เกิดปฏิกิริยาระหว่างโมเลกุลที่ดูดซับด้วยกันเองบนพื้นผิวของตัวดูดซับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

แบบจำลองการดูดซับแลงเมียร์สามารถแสดงได้ด้วยสมการต่อไปนี้:

$$q_e = \frac{C_e K_L q_m}{1 + C_e K_L} \quad (1)$$

- เมื่อ q_e = ปริมาณของตัวถูกดูดซับต่อน้ำหนักของตัวดูดซับที่สภาวะสมดุล (มิลลิกรัม/กรัม)
 C_e = ความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับที่สภาวะสมดุล (มิลลิกรัม/ลิตร)
 K_L = ค่าคงที่ของแลงเมียร์ (ลิตร/มิลลิกรัม)
 q_m = ปริมาณของตัวถูกดูดซับสูงสุดที่ถูกดูดซับแบบชั้นเดียวบนพื้นผิวของตัวดูดซับต่อน้ำหนักของตัวดูดซับ (มิลลิกรัม/กรัม)

จากสมการที่ 1 จัดรูปสมการให้อยู่ในรูปสมการเส้นตรง คือ

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_m K_L} + \frac{C_e}{q_m} \quad (2)$$

2.5 ไอโอดีน นัมเบอร์ [13]

เลขไอโอดีนเป็นตัวบ่งชี้สัมพัทธ์ของรูพรุนในถ่านกัมมันต์ อาจใช้ค่าไอโอดีนเป็นค่าประมาณของพื้นที่ผิวสำหรับถ่านกัมมันต์บางประเภท อย่างไรก็ตามต้องตระหนักว่าความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ผิวและค่าไอโอดีนไม่สามารถเป็นค่าที่สรุปได้ กล่าวคือค่าไอโอดีน นัมเบอร์มันจะแตกต่างกันไปตามการเปลี่ยนแปลงของวัตถุดิบของถ่านที่ใช้, เงื่อนไขในกระบวนการผลิตถ่าน, และการกระจายปริมาตรของรูพรุน การเกิดขึ้นของสารระเหยที่ถูกดูดซับ, กำมะถัน, และสารสกัดจากน้ำอาจส่งผลต่อค่าไอโอดีนที่วัดได้ของถ่านกัมมันต์

2.5.1 คำนวณหาค่าไอโอดีนนัมเบอร์โดย

ค่าการดูดซับจำเพาะของไอโอดีน (X/M) หาได้จากสูตร

$$X/M = [A - (DF) (B) (S)] / M \quad (3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 เมื่อ X/M = มิลลิกรัมของไอโอดีนที่ถูกดูดซับต่อกรัมของถ่านที่ใช้ดูดซับ (มิลลิกรัม/กรัม)
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังเป็นข้อตกลงเบื้องต้นและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
 S = ปริมาณโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้ (มิลลิลิตร)

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

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

| | | |
|-------|---|---|
| M | = | ปริมาณถ่านที่ใช้ (กรัม) |
| A | = | $(N_2)(12693.0)$ |
| N_2 | = | ความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีน (นอร์มอล) |
| B | = | $(N_1)(126.93)$ |
| N_1 | = | ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต (นอร์มอล) |
| DF | = | ค่าคงที่ของการเจือจาง |

ค่าคงที่ของการเจือจาง (DF) หาได้จากสูตร

$$DF = (I + H) / F \quad (4)$$

| | | | |
|-------|---|---|---|
| เมื่อ | I | = | ปริมาตรของสารละลายไอโอดีน (มิลลิลิตร) |
| | H | = | ปริมาตรสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 5% ที่ใช้ (มิลลิลิตร) |
| | F | = | ปริมาตรของสารละลายไอโอดีนที่ใช้ไตเตรท (มิลลิลิตร) |

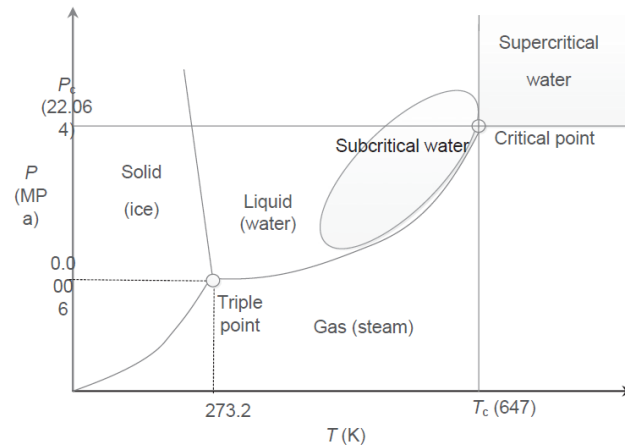
2.6 กระบวนการไฮโดรเทอร์มอลทรีทเมนต์ [14]

เทคโนโลยีที่มีแนวโน้มสำหรับการเปลี่ยนชีวมวลของเสียเป็นสารเคมีชีวภาพและเชื้อเพลิงชีวภาพคือ กระบวนการไฮโดรเทอร์มอล ซึ่งใช้น้ำที่สภาวะกึ่งวิกฤตและวิกฤตยิ่งยวดเป็นตัวกลางในกระบวนการ รูปที่ 2.4 แสดงแผนภาพเฟสของน้ำ น้ำที่สภาวะกึ่งวิกฤต คือน้ำที่อุณหภูมิสูงกว่าจุดเดือดภายใต้ความดันสูงเพียงพอที่ทำให้น้ำอยู่ในสภาวะของเหลวและอุณหภูมิกับความดันต้องต่ำกว่าที่จุดวิกฤต (616 K, 22.1 MPa) ภายในบริเวณที่ใกล้กับสภาวะวิกฤตคุณสมบัติของระบบจะไวต่อการเปลี่ยนแปลงความดันและอุณหภูมิมากขึ้น เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นความหนาแน่นของเฟสของเหลวจะลดลงและความหนาแน่นของไอจะเพิ่มขึ้นแต่ที่จุดวิกฤตจะมีความคล้ายคลึงและมีความเหมือนกันมากขึ้น น้ำที่อยู่เหนือจุดวิกฤตมีชื่อว่าน้ำวิกฤตยิ่งยวดจะมีคุณสมบัติระหว่างเฟสคล้ายของเหลวและก๊าซ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

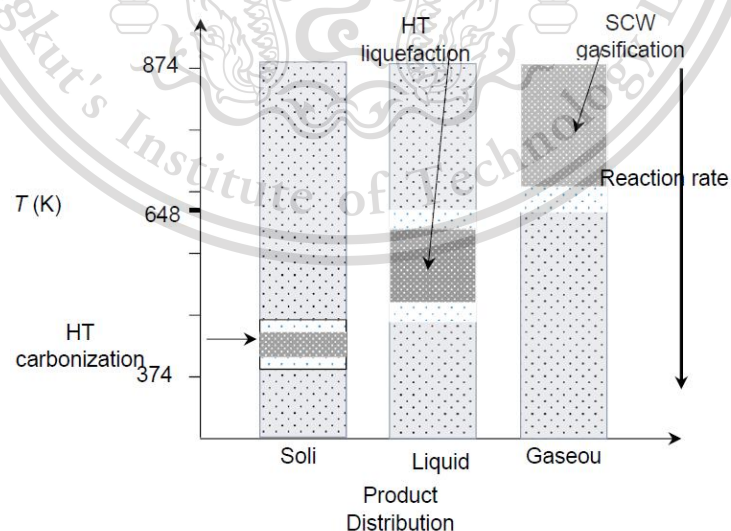
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

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



รูปที่ 2.4 แผนภาพเฟสของน้ำที่แบ่งพื้นที่ตามกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลที่ที่หมั้นต์

โดยทั่วไปกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล สามารถแบ่งออกเป็น 4 กระบวนการหลัก ได้แก่ Carbonization (HTC), Aqueous phase reforming (APR), Liquefaction (HTL), และ Gasification (HTG) ในกระบวนการเหล่านี้มีน้ำทำหน้าที่เป็นทั้งตัวทำปฏิกิริยา, ตัวทำละลาย, และตัวเร่งปฏิกิริยา ข้อได้เปรียบหลักที่เหนือกว่ากระบวนการแบบอื่นได้แก่ ความสามารถในการใช้ชีวมวลเปียกโดยไม่ต้องแยกน้ำออกก่อนและช่วยให้สามารถผลิตสารเคมีและเชื้อเพลิงที่หลากหลายในสถานะที่เป็นทั้งก๊าซ, ของเหลว, และของแข็ง กระบวนการไฮโดรเทอร์มอลมีพารามิเตอร์การทำงานที่แตกต่างกันดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.5



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 2.5 แสดงปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอลในการแปรสภาพชีวมวล ประโยชน์ด้านการค้า
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.

จากรูปกระบวนการแต่ละชนิดขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความดันของปฏิกิริยาที่แตกต่างกัน โดยใช้เวลาดั้งแต่วินาทีไปจนถึงหลายชั่วโมง ผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ได้มาจากพารามิเตอร์ของกระบวนการที่ได้รับการปรับแต่งมาอย่างละเอียด ดังแสดงในรูปที่ 2.5 กระบวนการ Hydrothermal carbonization (HTC) จะดำเนินการที่อุณหภูมิไม่สูงมากโดยปกติจะทำถึงแค่ 524 K โดยจะได้ผลิตภัณฑ์เป็นของแข็งที่มีคาร์บอนสูง ผลิตภัณฑ์ดังกล่าวจะมีพลังงานสูงและเป็นสารเคมีที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานที่แตกต่างกัน Hydrothermal liquefaction (HTL) แสดงให้เห็นว่าเป็นกระบวนการที่ดำเนินการที่อุณหภูมิระหว่าง 524 K ถึง 648 K ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะเป็นของเหลวที่มีความหนืดสูงหรือน้ำมันไพโรไลซิสซึ่งสามารถใช้เป็นสารเคมีบริสุทธิ์หรือสามารถเติมลงในน้ำมันดีเซลได้ นอกจากนี้ยังแสดงให้เห็นว่าที่อุณหภูมิสูงสุดที่สูงกว่า 648 K จะมีการทำ Supercritical water gasification ได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นก๊าซที่มีไฮโดรเจนและคาร์บอนมอนอกไซด์ในปริมาณสูง และได้ CO₂ และไฮโดรคาร์บอนอื่นๆ ในปริมาณที่น้อยกว่า ก๊าซที่ได้นี้สามารถใช้เป็นแหล่งพลังงานหรือเป็น "ซินแกซ (Syn gas)" สำหรับการสังเคราะห์สารเคมีที่มีมูลค่าสูงได้

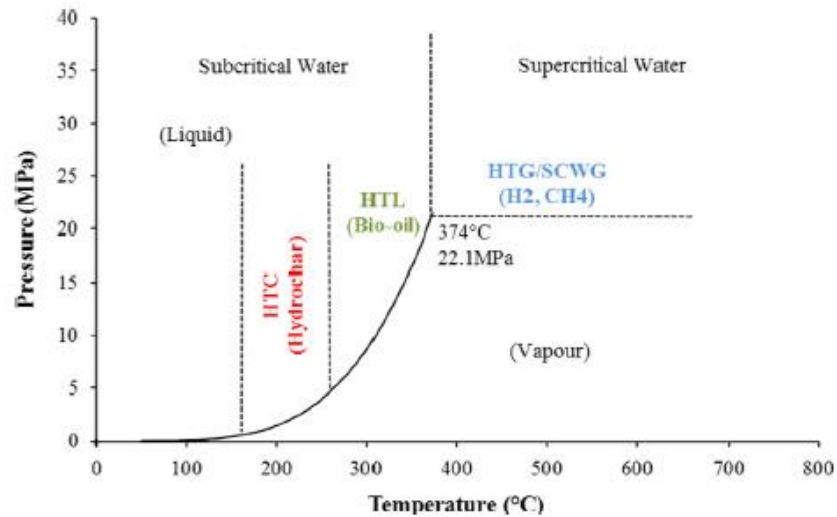
2.7 Hydrothermal carbonization (HTC) [2]

Hydrothermal carbonization (HTC) หรือที่เรียกว่า Wet torrefaction เป็นกระบวนการความร้อนทางเคมีในการเปลี่ยนวัตถุดิบอินทรีย์ให้เป็นผลิตภัณฑ์ของแข็งที่มีคาร์บอนสูง Hydrothermal carbonization (HTC) ดำเนินการที่ช่วงอุณหภูมิ 180-260 °C ระหว่างที่มวลชีวภาพจมอยู่ในน้ำและถูกทำให้ร้อนในระบบที่จำกัดภายใต้ความดัน (2-6 MPa) เป็นเวลา 5-240 นาที โดยปกติแล้วความดันปฏิกิริยาจะไม่ได้รับการควบคุมในกระบวนการเพราะจะเกิดขึ้นเองโดยอัตโนมัติด้วยความดันไออิ่มตัวของน้ำ (น้ำที่สภาวะกึ่งวิกฤต) ที่สอดคล้องกับอุณหภูมิของปฏิกิริยา การจำแนกประเภทของกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลของชีวมวลที่เกี่ยวข้องกับอุณหภูมิและความดันแสดงไว้ในรูปที่ 2.6 กระบวนการ Hydrothermal carbonization (HTC) ส่งผลให้เกิดผลิตภัณฑ์หลัก 3 ชนิด ได้แก่ ของแข็ง (ไฮโดรชาร์), ของเหลว (น้ำมันชีวภาพผสมกับน้ำ), และสัดส่วนก๊าซเล็กน้อย (ส่วนใหญ่เป็น CO₂) คุณสมบัติและเปอร์เซ็นต์การกระจายตัวของผลิตภัณฑ์สุดท้ายขึ้นอยู่กับเงื่อนไขของกระบวนการ แม้ว่าเวลาในการทำปฏิกิริยาและอุณหภูมิจะมีผลต่อลักษณะทางเคมีกายภาพของผลิตภัณฑ์ แต่อุณหภูมิของปฏิกิริยาจะเป็นตัวแปรหลักในการมีผลต่อกระบวนการและลักษณะของผลิตภัณฑ์ ไฮโดรชาร์ (Hydrochar) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ต้องการในกระบวนการของ Hydrothermal carbonization (HTC) โดยให้ผลผลิตมวลประมาณ 40-70%

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.



รูปที่ 2.6 การจำแนกประเภทของกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลโดยใช้แผนภาพความดัน-อุณหภูมิของน้ำ

2.8 ไฮโดรชาร์

ไฮโดรชาร์ (Hydrochar) คือผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการ Hydrothermal carbonization (HTC) และเมื่อได้ออกมาในตอนแรกจะอยู่ในลักษณะของของเหลวและของแข็งผสมกันเรียกว่าสารละลาย [2] ส่วนคำจำกัดความของไบโอชาร์ (Biochar) ที่ได้มาตรฐานที่สุดที่ทาง International Biochar Initiative (IBI) ซึ่งระบุไว้ว่า “ไบโอชาร์ (Biochar) เป็นวัสดุของแข็งที่ได้จากการเปลี่ยนชีวมวลทางความร้อนเคมีในสภาพแวดล้อมที่มีออกซิเจนจำกัด” ส่วนใหญ่จะได้จากกระบวนการไพโรไลซิส [15]

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

O. A. Ekpete และคณะ [16] ได้ผลิตถ่านจากกล้วย ถ่านที่ได้ถูกแบ่งออกเป็นสองส่วนเพื่อกระตุ้นโดยกระบวนการกระตุ้นทางเคมีโดยใช้ กรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) และสังกะสีคลอไรด์ ($ZnCl_2$) จะได้ถ่านกัมมันต์ CPPAC (ถ่านกัมมันต์จากกรดฟอสฟอริก) และ CPZAC (ถ่านกัมมันต์จากสังกะสีคลอไรด์) หลังจากได้ทำการศึกษาคุณลักษณะต่าง ๆ และเปรียบเทียบการดูดซับกับไอโอดีน ได้ผลสรุปออกมาว่าเมื่อเปรียบเทียบผลที่ได้จาก CPPAC (ถ่านกัมมันต์จากกรดฟอสฟอริก) กับ CPZAC (ถ่านกัมมันต์จากสังกะสีคลอไรด์) พบว่า CPPAC (ถ่านกัมมันต์จากกรดฟอสฟอริก) มีการดูดซับได้ดีกว่าเนื่องจากมีความหนาแน่นรวมน้อย, มีเล็ทต่ำ, และมีค่าไอโอดีนสูงซึ่งหมายความว่าสารกระตุ้นทั้งสองมีปฏิกิริยาแตกต่างกันกับกล้วยที่ใช้ในการทดลอง

Wang-Quan Zhang และคณะ [17] ได้ทำการศึกษาถ่านกัมมันต์ซึ่งเตรียมโดยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ทำโดยเลือกปัจจัย 4 อย่างที่มีอิทธิพลอย่างมากต่อประสิทธิภาพการดูดซับและผลผลิตของถ่านกัมมันต์ ได้แก่ อัตราส่วนการทำให้ชุ่ม, ความเข้มข้นของอัลคาไล, เวลาในการคาร์บอนไนเซชัน, และอุณหภูมิของคาร์บอนไนเซชัน พบว่าถ่านกัมมันต์ที่เตรียมภายใต้สภาวะที่เหมาะสมได้พัฒนาโครงสร้างรูพรุน, ประสิทธิภาพ

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

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

การดูดซับที่ดีเยี่ยม, และพื้นที่ผิวจำเพาะขนาดใหญ่ ในการทดลองใช้อัตราส่วนการทำให้ชุ่ม ถ่าน:KOH คือ 1:2, 1:2.5, 1:3, และ 1:3.5 ความเข้มข้นของอัลคาไล (KOH) คือ 30%, 35%, 40%, และ 45% เวลาในการคาร์บอนเซชัน คือ 1, 1.5, 2, และ 2.5 ชั่วโมง และอุณหภูมิของคาร์บอนเซชัน คือ 650 °C, 700 °C, 800 °C, และ 850 °C โดยปัจจัยที่ส่งผลจากมากไปน้อยมีดังนี้ ในกรณีทดสอบการดูดซับด้วยเมทิลีนบลูพบว่า อุณหภูมิคาร์บอนเซชันเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดตามด้วย ความเข้มข้นของอัลคาไล, เวลาคาร์บอนเซชัน, และ อัตราส่วนของการทำให้ชุ่ม โดยการทดสอบแสดงให้เห็นว่าสภาวะการเตรียมถ่านกัมมันต์ที่เหมาะสมคือ อัตราส่วนของการทำให้ชุ่มเท่ากับ 1:2 (ถ่าน:KOH) ความเข้มข้นของสารละลายอัลคาไลเท่ากับ 40% อุณหภูมิ ในการคาร์บอนเซชัน 800 °C และเวลาในการกระตุ้นคือ 2.5 ชั่วโมง . ภายใต้เงื่อนไขเหล่านี้ค่าการดูดซับของ ถ่านกัมมันต์สำหรับเมทิลีนบลูเท่ากับ 442.85 มิลลิกรัม/กรัม และผลผลิตของถ่านกัมมันต์เท่ากับ 22.05% ใน กรณีใช้ไอโอดีนจะได้ว่าอุณหภูมิคาร์บอนเซชันเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดตามด้วย อัตราส่วนการทำให้ชุ่ม, เวลา คาร์บอนเซชัน, และความเข้มข้นของอัลคาไล การทดสอบแสดงให้เห็นว่าสภาวะการเตรียมถ่านกัมมันต์ที่ เหมาะสมที่สุดคือ อัตราส่วนของการทำให้ชุ่มเท่ากับ 1:2 (ถ่าน:KOH) ความเข้มข้นของสารละลายอัลคาไล เท่ากับ 40% อุณหภูมิ 800 °C และเวลาคือ 2 ชั่วโมง ภายใต้เงื่อนไขเหล่านี้ค่าการดูดซับของถ่านกัมมันต์ สำหรับไอโอดีนคือ 1662.38 มิลลิกรัม/กรัม

N. GENLI และคณะ [23] ในการศึกษาี้ถ่านกัมมันต์ถูกสังเคราะห์โดยวิธีกระตุ้นทางเคมีโดยใช้ ตัวกระตุ้น คือ ซิงคลอไรด์ ($ZnCl_2$) ทำการกระตุ้นถ่านไฮโดรคาร์ที่ได้จากถ่านถั่วชิกพี โดยถ่านไฮโดรคาร์ที่ได้มา จากวิธี Hydrothermal carbonization (HTC) มีการตรวจสอบถ่านกัมมันต์ที่ได้ด้วยวิธี BET พบว่าพื้นที่ผิว ของถ่านกัมมันต์เท่ากับ 572 ตารางเมตร/กรัม และมีพื้นที่ผิวรูพรุนขนาดเล็กเท่ากับ 362 ตารางเมตร/กรัม ใน การสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์ ได้มีการกล่าวถึงผลกระทบของพารามิเตอร์ที่สำคัญ เช่น อัตราการทำให้เปียกชุ่ม (ถ่าน/ซิงคลอไรด์), เวลาในการทำให้เปียกชุ่ม, อุณหภูมิในการกระตุ้น และเวลาในการกระตุ้น พบว่าสภาวะที่ เหมาะสมในการได้ค่าการดูดซับไอโอดีนมากที่สุดเท่ากับ เวลาในการทำให้เปียกชุ่ม 24 ชั่วโมง อัตราการทำให้ เปียกชุ่ม 1/2 (ถ่าน/ซิงคลอไรด์) อุณหภูมิในการกระตุ้น 400 °C และเวลาในการกระตุ้น 45 นาที พบว่า จำนวนไอโอดีนสูงสุดของถ่านกัมมันต์ที่ได้เท่ากับ 734 มิลลิกรัม/กรัม มีการทดสอบการดูดซับด้วยเมทิลีนบลู ของถ่านกัมมันต์และไฮโดรคาร์โดยมีค่าการดูดซับเท่ากับ 105 มิลลิกรัม/กรัม และ 45 มิลลิกรัม/กรัม ตามลำดับ จากการทดลองสามารถสรุปได้ว่าควรมีสภาวะที่เหมาะสมกับการกระตุ้นเพื่อให้เกิดการดูดซับ ไอโอดีนให้ได้มากที่สุด เมื่อใช้เวลาหรืออุณหภูมิในการกระตุ้นมากไปจะส่งผลให้รูพรุนของถ่านกัมมันต์เกิด ความเสียหายหรือรูพรุนขนาดเล็กอาจพัฒนาไปเป็นรูพรุนขนาดกลางทำให้ส่งผลต่อค่าการดูดซับไอโอดีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับงานวิจัยที่ไม่ใช่เพื่อการพาณิชย์ การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

บทที่ 3

ขั้นตอนการทดลอง

3.1 วัตถุประสงค์

เตรียมเปลือกเต็งโมที่ไม่มีเนื้อ โดยนำเปลือกเต็งโมจากร้านค้าในโรงเรียนพรตพิทยพยัตมาล้างน้ำและหั่นเป็นชิ้นเล็ก ๆ จากนั้นนำไปตำและปั่นด้วยเครื่องปั่นผลไม้ตามครีวเรือนทั่วไป จากนั้นคั้นน้ำออกด้วยผ้าขาวบางให้เหลือแต่กากของเปลือกเต็งโมดังรูปที่ 3.1



3.1.1 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างจากเปลือกเต็งโม

3.1.1.1 นำเปลือกเต็งโมที่ได้มาเข้าเตาอบที่อุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง

3.1.1.2 จากนั้นนำตัวอย่างที่ผ่านการอบมาตำและบดให้ละเอียดให้มีขนาดเล็กมากที่สุด

3.1.1.3 นำตัวอย่างที่ผ่านการบดมาผ่านตะแกรงร่อนที่มีขนาด 150 ไมโครเมตร จากนั้นนำตัวอย่างที่ผ่านการร่อนเก็บไว้ในถุงซีลสุญญากาศ

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.

3.2 สารเคมี

1. น้ำกลั่น
2. กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น (Conc. HCl)
3. โซเดียมไทโอซัลเฟต ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)
4. สารละลายไอโอดีนมาตรฐาน (I_2)
5. โพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI)
6. โพแทสเซียมไอโอเดต (KIO_3)
7. แป้ง
8. โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3)
9. โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH)

3.3 เครื่องมือ

1. ตู้อบ
2. ปีกเกอร์
3. กระบอกตวง
4. เครื่องชั่งน้ำหนัก 4 ตำแหน่ง
5. ขวดรูปชมพู
6. ถังปฏิกรณ์เคมีความดันสูงสแตนเลส
7. กระจกชากรอง
8. ขวดแก้วสีเหลืองอำพัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น หากพบว่ามีให้ตัดแปลงเนื้อหา 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.

10. โถดูดความชื้น
11. ปีเปตต์
12. เครื่องให้ความร้อนพร้อมปั่นกวนสารละลาย
13. เครื่องวิเคราะห์หาธาตุองค์ประกอบ CHN



รูปที่ 3.2 ถังปฏิกรณ์เคมีความดันสูงสแตนเลส [24]

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.

3.4 กระบวนการไฮโดรเทอร์มอล คาร์บอนไนเซชัน

การทดลองนี้ศึกษาอุณหภูมิที่ต่างกัน 2 ค่าสำหรับการทำกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล คาร์บอนไนเซชัน คือ 180 °C และ 210 °C นำเปลือกเต็งโม 10 กรัมและน้ำ 110 มิลลิลิตรใส่ลงในถังปฏิกรณ์เคมี ความดันสูงสแตนเลส จากนั้นปรับความดันให้ได้ 10 บาร์ ไนโตรเจนจะถูกป้อนเข้าไปในเครื่องปฏิกรณ์ จนกระทั่งความดันในเครื่องปฏิกรณ์สูงถึงสภาวะที่กำหนด จากนั้นเครื่องปฏิกรณ์จะถูกทำให้ร้อนถึงอุณหภูมิที่ต้องการที่ 180 °C และ 210 °C และคงไว้ที่อุณหภูมินั้นด้วยเวลาในการทำปฏิกิริยา คือ 30, 60 และ 90 นาที จากนั้นจึงนำผลิตภัณฑ์ที่ได้มากรอง จะได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นของแข็ง (ไฮโดรชาร์) นำมาทำให้แห้งในเตาอบที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมงเพื่อทำการวิเคราะห์

3.5 การกระตุ้นถ่านกัมมันต์

ตัวอย่างเปลือกเต็งโมที่ได้ จะทำการกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) โดยอัตราส่วนในการกระตุ้น ปริมาณถ่าน:KOH เท่ากับ 1:4 ที่อุณหภูมิห้อง มีเวลาเวลาในการทำให้เปียกชุ่มคือ 6 และ 12 ชั่วโมง จากนั้นนำไปอบแห้งในเตาอบที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ถ่านไฮโดรชาร์ที่ทำให้เปียกชุ่มแล้วจะนำไปอบที่อุณหภูมิ 400 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ภายใต้การไหลของไนโตรเจนในเตาเผา จากนั้นนำถ่านกัมมันต์มาล้างด้วยน้ำกลั่นจนมี pH เท่ากับ 7 จากนั้นอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

3.6 การหาไอโอดีน นัมเบอร์

3.6.1 วิธีการเตรียมสารละลาย

3.6.1.1 สารละลายกรดไฮโดรคลอริก (5% โดยน้ำหนัก)

สารละลายกรดไฮโดรคลอริก (5% โดยน้ำหนัก) เติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 70 มิลลิลิตร ลงในน้ำกลั่น 550 มิลลิลิตร แล้วผสมให้เข้ากัน

3.6.1.2 สารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต (0.1 นอร์มอล)

ทำการชั่งและละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต 24.820 กรัม ในน้ำกลั่นต้มเดือดใหม่ ๆ ประมาณ 75 ± 25 มิลลิลิตร จากนั้นทำการเติมโซเดียมคาร์บอเนต 0.10 ± 0.01 กรัม เพื่อป้องกันการสลายตัวของแบคทีเรียในสารละลายไทโอซัลเฟต ทำการเจือจางส่วนผสมที่ได้ไปยังขวดวัดปริมาตร 1 ลิตร จากนั้นเทเก็บไว้ในขวดแก้วสีเหลืองอำพัน (Amber Glass) ปล่อยให้สารละลายอยู่ในขวด 4 วัน ก่อนทำการหาความเข้มข้นที่แน่นอน

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

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

3.6.1.3 สารละลายไอโอดีนมาตรฐาน (0.1 นอร์มอล)

ชั่งไอโอดีน 12.700 กรัมและโพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI) 19.100 กรัมลงในบีกเกอร์ ผสมให้เข้ากัน จากนั้นเติมน้ำกลั่น 2-5 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์แล้วคนให้เข้ากันเติมน้ำที่ละน้อย (ครั้งละประมาณ 5 มิลลิลิตร) ในขณะที่กวนจนสารละลายมีปริมาตรรวมถึง 50-60 มิลลิลิตร ปล่อยให้สารละลายทิ้งไว้อย่างน้อย 4 ชั่วโมง ในช่วง 4 ชั่วโมงมีการคนเป็นระยะเพื่อให้แน่ใจว่าผลึกทั้งหมดละลายอย่างทั่วถึง จากนั้นถ่ายสารละลายไปยังขวดวัดปริมาตร 1 ลิตรทำการเจือจางด้วยน้ำกลั่นจนมีปริมาตร 1 ลิตร สิ่งสำคัญคือสารละลายไอโอดีนมาตรฐานมีอัตราส่วนน้ำหนักไอโอไดด์:ไอโอดีน เท่ากับ 1.5:1 ทำการเก็บสารละลายไว้ในขวดแก้วสีเหลืองอำพัน (Amber Glass)

3.6.1.4 สารละลายโพแทสเซียมไอโอเดต (0.1000 นอร์มอล)

นำโพแทสเซียมไอโอเดต (KIO_3) น้ำหนัก 4 กรัมหรือมากกว่าไปอบที่ 110 ± 5 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และทำให้เย็นลงในโถดูดความชื้น (Desiccator) จากนั้นละลายโพแทสเซียมไอโอเดตแห้ง 3.5667 ± 0.1 มิลลิกรัมในน้ำกลั่นประมาณ 100 มิลลิลิตร จากนั้นถ่ายสารละลายไปยังขวดวัดปริมาตร 1 ลิตรทำการเจือจางด้วยน้ำกลั่นจนมีปริมาตร 1 ลิตร ผสมให้เข้ากันแล้วเก็บไว้ในขวดเก็บสารจุกแก้ว

3.6.1.5 สารละลายแป้ง

ผสมแป้ง 1.0 ± 0.5 กรัมกับน้ำเย็น 5-10 มิลลิลิตร ในขณะที่คนสารละลายแป้งเติมน้ำกลั่นเพิ่มอีก 25 ± 5 มิลลิลิตร เทสารละลายลงในน้ำเดือด 1 ลิตรแล้วต้มประมาณ 4-5 นาที วิธีนี้ควรทำใหม่ทุกวัน

3.6.2 ขั้นตอนการวิเคราะห์หาค่าการดูดซับไอโอดีน

3.6.2.1 อบอุ่นที่จะใช้ทดสอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 120 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมงจากนั้นทำให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้องในโถดูดความชื้น (Desiccator)

3.6.2.2 การหาไอโอดีน นัมเบอร์จำเป็นต้องมีการประมาณปริมาณน้ำหนักตัวอย่างถ่าน 3 ค่าตัวอย่าง หลังจากประมาณแล้วให้ชั่งปริมาณถ่าน 3 ค่าให้มีค่าใกล้เคียงกันในหน่วยมิลลิกรัม จากนั้นนำตัวอย่างถ่านแต่ละตัวอย่างไปใส่ไว้ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร ที่มีฝาปิด

3.6.2.3 ทำการปิเปตต์ 10 มิลลิลิตร ของสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 5% โดยน้ำหนัก ลงในแต่ละขวดรูปชมพู่ ปิดจุกแล้วแกว่งขวดเบา ๆ เพื่อให้ถ่านชุ่มด้วยสารละลายในทุกส่วน จากนั้นคลายจุกเพื่อระบายไม่ว่ากรณีใดเหตุทั้งสิ้น อีกทั้งหมั่นให้ดูดเปลี่ยนเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเงาของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้อากาศแล้ววางบนเครื่องให้ความร้อนพร้อมปั่นกวนสารละลายในตู้ดูดควัน ต้มให้เดือดเป็นเวลา 30 ± 2 วินาที

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

เพื่อขจัดกำมะถันที่อาจรบกวนต่อผลการทดสอบ นำขวดออกจากเครื่องให้ความร้อนพร้อมปั่นกวนสารละลาย และทำให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้อง

3.6.2.4 ทำการปิเปตต์ 100 มิลลิลิตร ของสารละลายไอโอดีนมาตรฐานที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอน 0.100 นอร์มัล ลงในขวดอย่างรวดเร็วแล้วปิดจุกทันทีทำการเขย่าขวดแรง ๆ เป็นเวลา 30 ± 1 วินาที กรองสารละลายอย่างรวดเร็วด้วยแรงโน้มถ่วงผ่านกระดาษกรองลงในปิกเกอร์ ควรเตรียมอุปกรณ์กรองล่วงหน้าเพื่อไม่ให้เกิดความล่าช้าในการกรองตัวอย่าง

3.6.2.5 ingsสารละลายที่กรองได้ 20-30 มิลลิลิตรแรกในการล้างปิเปตต์ ใช้ปิกเกอร์ที่สะอาดเพื่อเก็บสารละลายที่เหลือ ปิเปตต์ 50 มิลลิลิตร ของแต่ละสารละลายที่กรองได้ลงในขวดรูปชมพู่ที่สะอาดขนาด 250 มิลลิลิตร จากนั้นทำการไตเตรทแต่ละสารละลายที่ได้ด้วยสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอน 0.100 นอร์มัล จนกระทั่งสารละลายมีสีเหลืองซีดหรือสีขาวอ่อนแล้วจึงเติมสารละลายแป้งที่เป็นอินดิเคเตอร์ 2 มิลลิลิตร ทำการไตเตรทด้วยโซเดียมไทโอซัลเฟตต่อไปจนกระทั่งหยุดแล้วได้สารละลายสีใส บันทึกปริมาตรของโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้

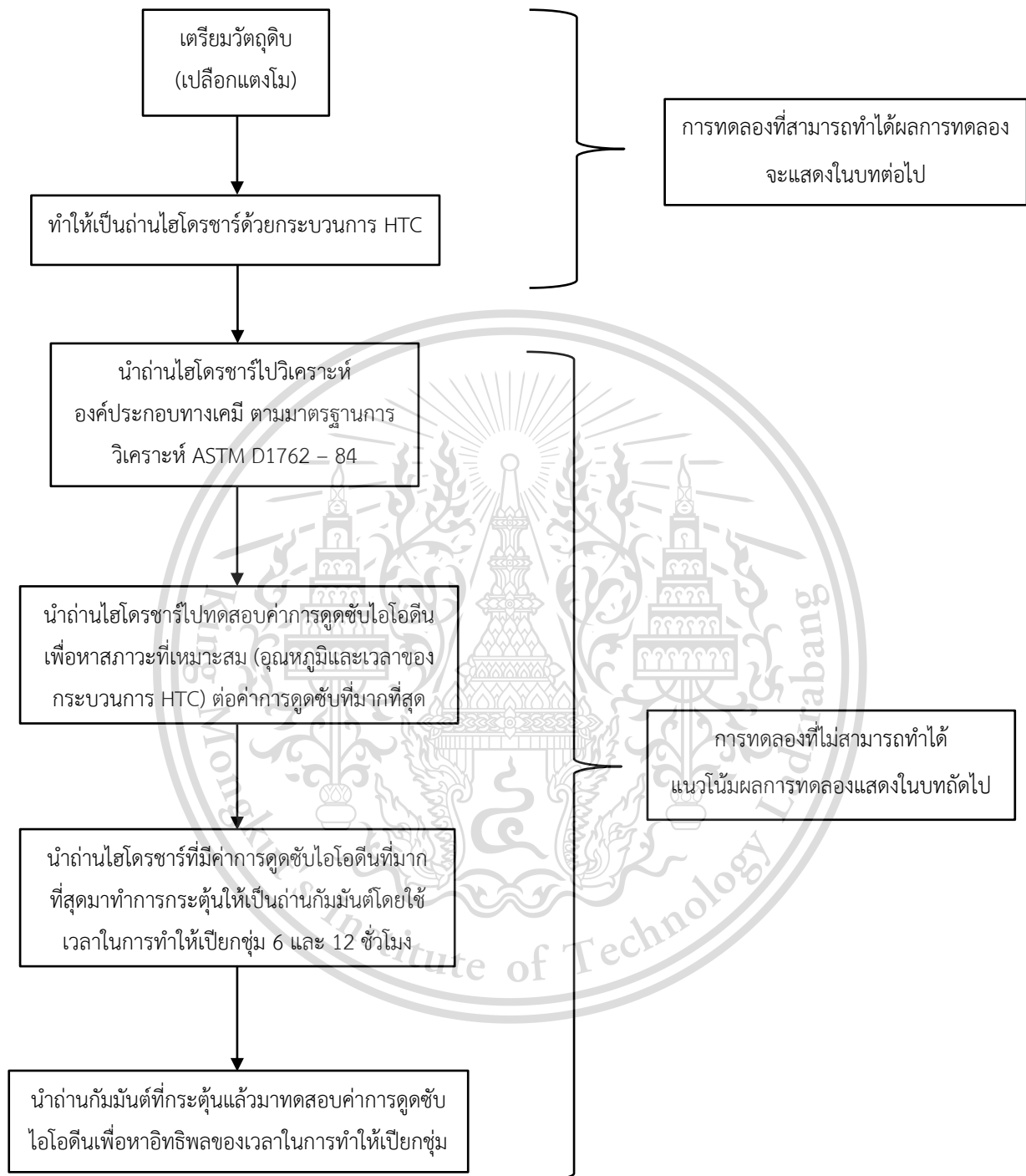


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

3.7 ภาพรวมขั้นตอนการทดลอง



รูปที่ 3.3 แผนภาพขั้นตอนการทดลองทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ผู้ใดเห็นนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
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 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

4.1 ผลการทดลองที่ได้

4.1.1 ร้อยละผลได้ของถ่านไฮโดรคาร์

หลังจากทำการทดลองเพื่อผลิตถ่านไฮโดรคาร์ด้วยกระบวนการ Hydrothermal carbonization (HTC) โดยใช้เปลือกแคงโตะ 10 กรัม และใช้น้ำกลั่นปริมาตร 110 มิลลิลิตร โดยสภาวะในการดำเนินการของกระบวนการใช้อุณหภูมิ 180 และ 210 °C และใช้เวลา 30, 60 และ 90 นาที ตามลำดับหลังจากนำไปอบเพื่อให้ได้ถ่านไฮโดรคาร์สามารถนำมาวิเคราะห์หาร้อยละผลได้ของถ่านได้ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงร้อยละผลได้ของถ่านไฮโดรคาร์ที่อุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ

| อุณหภูมิ (°C) | เวลา (นาที) | ร้อยละผลได้ของถ่าน (%wt) |
|---------------|-------------|--------------------------|
| 180 | 30 | 44.0 |
| | 60 | 46.8 |
| | 90 | 44.1 |
| 210 | 30 | - |
| | 60 | - |
| | 90 | 41.2 |

อุณหภูมิของไฮโดรเทอร์มอลมีอิทธิพลอย่างมากต่อผลผลิตของไฮโดรคาร์เมื่อเทียบกับเวลาในการทำปฏิกิริยา อุณหภูมิที่สูงขึ้นของกระบวนการ Hydrothermal carbonization (HTC) จะผลักดันให้เกิดปฏิกิริยาเพื่อสร้างผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวและก๊าซมากขึ้นดังนั้นจึงส่งผลให้เกิดการลดลงของเฟสของแข็งในขั้นตอนที่เกิดปฏิกิริยาของถ่านไฮโดรคาร์ นอกจากนี้อุณหภูมิที่สูงขึ้นอาจทำให้เกิดการย่อยสลายของส่วนหนึ่งของถ่านไฮโดรคาร์ที่ผลิตขึ้นซึ่งปัจจัยสำคัญทำให้อุณหภูมิของถ่านไฮโดรคาร์ลดลง ดังจะเห็นได้จากตารางที่ 4.1 เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นร้อยละผลได้ของถ่านไฮโดรคาร์ก็จะลดลง โดยที่อุณหภูมิ 180 °C เวลา 90 นาที จะได้อุณหภูมิร้อยละผลได้เท่ากับ 44.1 %wt และที่อุณหภูมิ 210 °C เวลา 90 นาที จะได้เท่ากับ 41.2 %wt จะเห็นว่าอุณหภูมิในการทดลองนี้มีผลมากกว่าเวลาในการทำปฏิกิริยา ถ้าสังเกตจะเห็นว่าเวลาที่เพิ่มขึ้นไม่ค่อย

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

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

ส่งผลต่อร้อยละผลได้ของถ่าน เนื่องจากเวลาที่ใช้ห่างกันไม่มากจึงอาจทำให้เวลาในการทำปฏิกิริยาที่ใช้ในการเปลี่ยนองค์ประกอบของเปลือกแดงไม่ไปเป็นเฟสของเหลวและแก๊สใกล้เคียงกัน ส่งผลทำให้ร้อยละผลได้ไม่ต่างกันมาก สามารถดูผลการทดลองของ Herlian Eriska Putra และคณะ [20] โดยงานวิจัยนี้ใช้เปลือกผลไม้เป็นเปลือกกล้วยเป็นวัตถุดิบในการทำถ่าน ซึ่งเมื่ออุณหภูมิและเวลาในการทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นจะแสดงให้เห็นว่าร้อยละผลได้ของถ่านที่ได้จะลดลง แต่ที่เวลาที่ใช้ส่งผลไม่มากเท่ากับอุณหภูมิโดยร้อยละผลได้ของเวลาที่เพิ่มขึ้นไม่ค่อยแตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงร้อยละผลได้ของถ่านไฮโดรซาร์จากเปลือกกล้วยที่อุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ [20]

| อุณหภูมิ (°C) | อัตราส่วนวัตถุดิบ : น้ำ | เวลา (นาที) | ร้อยละผลได้ของถ่าน (%wt) |
|---------------|-------------------------|-------------|--------------------------|
| 190 | 1/3 | 30 | 64.21 |
| | | 60 | 64.11 |
| | 1/5 | 30 | 63.54 |
| | | 60 | 63.28 |
| | 1/10 | 30 | 62.87 |
| | | 60 | 62.76 |
| 210 | 1/3 | 30 | 63.25 |
| | | 60 | 62.04 |
| | 1/5 | 30 | 61.43 |
| | | 60 | 60.95 |
| | 1/10 | 30 | 60.06 |
| | | 60 | 59.55 |
| 230 | 1/3 | 30 | 59.26 |
| | | 60 | 59.21 |
| | 1/5 | 30 | 59.12 |
| | | 60 | 58.86 |
| | 1/10 | 30 | 58.46 |
| | | 60 | 57.85 |

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 แนวโน้มผลการทดลองจากงานวิจัยอื่น

4.2.1 ศึกษาแนวโน้มของปริมาณเถ้า

ข้อดีอย่างหนึ่งของกระบวนการ Hydrothermal carbonazation (HTC) คือการลดปริมาณเถ้าของสารชีวมวลโดยการลดปริมาณของสารอินทรีย์ ปริมาณเถ้าอาจทำให้เกิดปัญหาการเปราะเปื้อน ตะกรัน และการกัดกร่อน ปัญหาเหล่านี้ส่งผลเสียทำให้ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการเพิ่มค่าบำรุงรักษาและส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงที่ได้จากถ่าน จากผลงานในปัจจุบันที่ได้ศึกษาจากงานวิจัยที่ใช้วัตถุดิบจากเปลือกผลไม้ของ Bide Zhang และคณะ [18] และ Louis Azaare [19] และคณะ สามารถแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาจะส่งผลทำให้ปริมาณเถ้าของไฮโดรคาร์บอเนตที่ผลิตได้ลดลงซึ่งเป็นผลดี การลดลงของปริมาณเถ้าจะชี้ให้เห็นถึงการลดลงของแร่ธาตุของเชื้อเพลิงผ่านการละลายของเกลืออัลคาไลน์ลงในน้ำในกระบวนการระหว่าง Hydrothermal carbonazation (HTC) ซึ่งส่งผลทำให้กำจัดปริมาณแร่ธาตุในเชื้อเพลิงจำนวนมากและส่งผลทำให้เถ้าลดลง สามารถดูตัวอย่างผลการทดลองจากงานวิจัยของ Louis Azaare และคณะ ซึ่งใช้วัตถุดิบเป็นเปลือกแอปเปิลและแตงโมในอัตราส่วน 50:50 จากตารางจะเห็นว่าปริมาณเถ้าจะลดลงเมื่อเพิ่มอุณหภูมิและเวลาในการทำปฏิกิริยาดังที่กล่าวไปข้างต้น

ตารางที่ 4.3 แสดงปริมาณเถ้าของวัตถุดิบและถ่านไฮโดรคาร์บอเนตที่อุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ [19]

| อุณหภูมิ (°C) | เวลา (นาที) | ปริมาณเถ้า (%wt) |
|---------------|-------------|------------------|
| - | - | 18.07 |
| 180 | 90 | 12.36 |
| 180 | 120 | 11.56 |
| 220 | 90 | 11.13 |
| 220 | 120 | 10.97 |
| 250 | 90 | 9.63 |
| 250 | 120 | 9.04 |

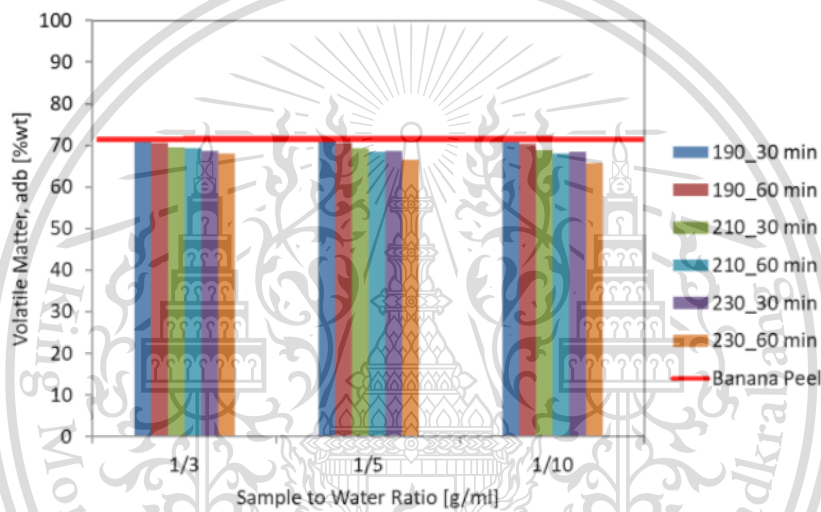
4.2.2 ศึกษาแนวโน้มของปริมาณสารระเหยและคาร์บอนคงที่

ปริมาณสารระเหยที่ได้จากการวิเคราะห์เป็นลักษณะสำคัญอีกประการหนึ่งในการเผาไหม้ ปริมาณสารระเหยที่สูงขึ้น จะส่งผลทำให้เกิดประสิทธิภาพในการเผาไหม้ต่ำและก่อให้เกิดปัญหาด้านการปลดปล่อยมลพิษ จากการวิเคราะห์ในงานวิจัยปัจจุบันที่ใช้วัตถุดิบจากเปลือกผลไม้ของ Bide Zhang [18] และคณะ

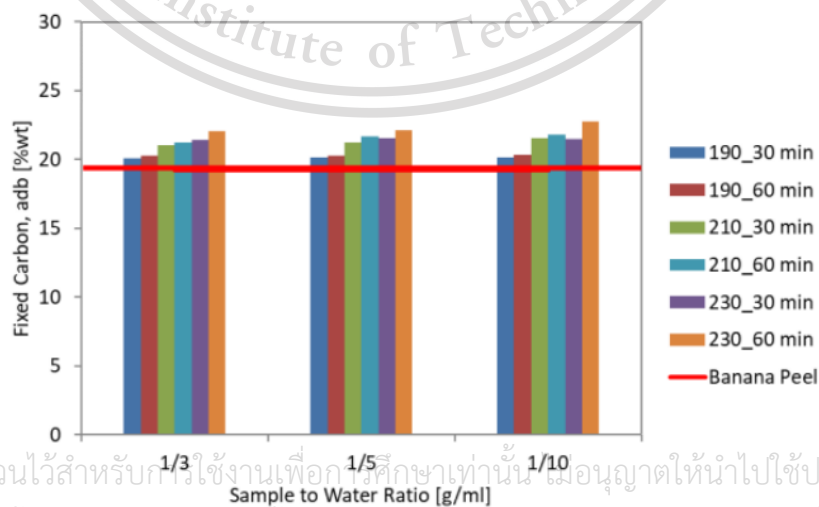
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

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

และ Herlian Eriska Putra และคณะ [20] สามารถแสดงให้เห็นว่าปริมาณสารระเหยจะลดลงเมื่ออุณหภูมิและเวลาของกระบวนการ Hydrothermal carbonazation (HTC) เพิ่มขึ้น ปริมาณสารระเหยในตัวอย่างที่ลดลงหลังจากเพิ่มอุณหภูมิและเพิ่มระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา จะส่งผลทำให้ทำให้ปริมาณคาร์บอนคงที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากสารระเหยบางชนิดอาจจะระเหยออกไป และคาร์บอนคงที่คือสารตกค้างที่ติดไฟได้หลังจากเผาสารระเหย ดังนั้นเมื่อสารระเหยลดลงปริมาณคาร์บอนคงที่ที่จะเพิ่มขึ้น สามารถดูตัวอย่างผลการทดลองของ Herlian Eriska Putra และคณะ โดยงานวิจัยนี้ใช้เปลือกผลไม้เป็นเปลือกกล้วยเป็นวัตถุดิบในการทำถ่านไฮโดรชาร์จากรูปภาพที่ 4.1 และ 4.2 จะสังเกตเห็นว่าปริมาณสารระเหยจะลดลงเมื่ออุณหภูมิและเวลาเพิ่มขึ้นแต่ในทางกลับกันปริมาณคาร์บอนคงที่ที่จะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิและเวลาเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.1 แสดงปริมาณสารระเหยที่อุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ [20]



รูปที่ 4.2 แสดงปริมาณคาร์บอนคงที่ที่อุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ [20]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
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.

4.2.3 ศึกษาแนวโน้มขององค์ประกอบธาตุในถ่านไฮโดรซาร์

การใช้วิธี Hydrothermal carbonazation (HTC) มีอิทธิพลอย่างมากต่อโครงสร้างองค์ประกอบของถ่านไฮโดรซาร์ จากงานวิจัยที่ใช้เปลือกแตงโมเป็นวัตถุดิบในการผลิตถ่านไฮโดรซาร์ของ Louis Azaare และคณะ [19] และ Xuejiao Chen และคณะ [21] สามารถแสดงให้เห็นว่ากระบวนการ Hydrothermal carbonazation (HTC) จะส่งผลกระตุ้นทำให้ปริมาณธาตุคาร์บอน (C) เพิ่มขึ้น แต่ในทางกลับกันจะส่งผลทำให้ปริมาณธาตุไฮโดรเจน (H) และออกซิเจน (O) ลดลง กระบวนการคายน้ำ (Dehydration) และกระบวนการดีคาร์บอกซิเลชัน (Decarboxylation) ถือได้ว่าเป็นสาเหตุหลักของการลดลงของปริมาณธาตุไฮโดรเจน (H) และออกซิเจน (O) ในขณะที่กระบวนการการควบแน่น (Condensation) และการทำให้เกิดอะโรมาไทเซชัน (Aromatization) ส่งผลต่อธาตุคาร์บอน (C) ในถ่านไฮโดรซาร์ สามารถดูตัวอย่างผลการทดลองจากงานวิจัยของ Louis Azaare และคณะ ซึ่งใช้วัตถุดิบเป็นเปลือกแอปเปิลและแตงโมในอัตราส่วน 50:50 จากตารางจะเห็นได้ว่า Hydrothermal carbonazation (HTC) จะส่งผลกระตุ้นทำให้ปริมาณธาตุคาร์บอน (C) เพิ่มขึ้น แต่ในทางกลับกันจะส่งผลทำให้ปริมาณธาตุไฮโดรเจน (H) และออกซิเจน (O) ลดลง ดังที่กล่าวไปข้างต้น

ตารางที่ 4.4 ตารางแสดงธาตุองค์ประกอบของถ่านไฮโดรซาร์ที่อุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ [21]

| อุณหภูมิ (°C) | เวลา (นาที) | (%wt) | | | |
|---------------|-------------|-------|------|-------|------|
| | | C | H | O | N |
| - | - | 36.49 | 6.89 | 36.47 | 2.08 |
| 180 | 90 | 46.36 | 5.43 | 34.00 | 1.85 |
| 180 | 120 | 48.72 | 5.01 | 32.02 | 2.70 |
| 220 | 90 | 49.84 | 5.07 | 31.14 | 2.81 |
| 220 | 120 | 50.71 | 4.91 | 30.40 | 3.00 |
| 250 | 90 | 51.73 | 4.79 | 29.62 | 4.24 |
| 250 | 120 | 53.84 | 4.74 | 28.84 | 3.55 |

4.2.4 ศึกษาแนวโน้มอิทธิพลของอุณหภูมิและเวลาในการทำปฏิกิริยาต่อการดูดซับไอโอดีน

ถ่านที่ได้จากอุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ ของกระบวนการ Hydrothermal carbonazation (HTC) ที่ต่างกันจะส่งผลให้มีสภาพโครงสร้างรูพรุนของถ่านที่ได้ก็จะต่างกัน โดยจากงานวิจัยของ Dolrudee Jaruwat และคณะ [22] ได้ศึกษาพบว่าเมื่ออุณหภูมิและเวลามากขึ้นโครงสร้างพื้นผิวรูพรุนของถ่านไฮโดรซาร์จะถูกปรับปรุงให้ดีขึ้นเนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส โมเลกุลน้ำจะไปย่อยสลายพวก เฮมิเซลลูโลส

เซลลูโลส และลิกนิน โดยในงานวิจัยแสดงให้เห็นถึงการย่อยสลายของเฮมิเซลลูโลส เซลลูโลส และลิกนิน ที่อุณหภูมิประมาณ 200 °C ซึ่งทำให้ไฮโดรคาร์บอนเกิดรูพรุนขึ้นมา ดังนั้นจึงคาดการณ์ผลการทดลองในการใช้ถ่านไฮโดรคาร์บอนดูดซับไอโอดีนเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับไอโอดีนได้มากที่สุด จากอุณหภูมิและเวลาในการทำปฏิกิริยาที่ใช้ทดลองในงานวิจัยนี้ คาดการณ์ว่าผลการดูดซับไอโอดีนของถ่านที่ดีที่สุดควรจะอยู่ที่อุณหภูมิ 210 °C เวลา 90 นาที เนื่องจากที่อุณหภูมิที่สูงและเวลาที่มากพอจะทำให้ไฮโดรคาร์บอนเกิดรูพรุนขึ้นมา

4.2.5 ศึกษาแนวโน้มอิทธิพลของเวลาในการทำให้เปียกชุ่มต่อการดูดซับไอโอดีน

เวลาในการทำให้เปียกชุ่มในการทำให้เป็นถ่านกัมมันต์ส่งผลต่อการดูดซับไอโอดีนต่างกัน โดยเมื่อเวลาในการทำให้เปียกชุ่มเพิ่มขึ้นนั้นจะส่งผลทำให้เกิดรูพรุนจำนวนมากขึ้นบนถ่านกัมมันต์จึงส่งผลทำให้การดูดซับไอโอดีนทำได้ดีขึ้นในกรณีนี้ถ่านชนิดนั้นเป็นถ่านกัมมันต์ที่ส่วนใหญ่เป็นรูพรุนขนาดเล็ก แต่ถ้าใช้เวลาในการทำให้เปียกชุ่มนานเกินไปจะส่งผลเสียต่อถ่านกัมมันต์อาจไปทำลายโครงสร้างของรูพรุนได้และส่งผลทำให้รูพรุนเกิดความเสียหาย ทำให้การดูดซับไอโอดีนทำได้ไม่ดี ดังนั้นจึงควรมีเวลาที่เหมาะสมในการทำให้เปียกชุ่มและขึ้นอยู่กับว่าจะใช้ถ่านกัมมันต์ไปดูดซับอะไร เพื่อจะได้กำหนดขนาดรูพรุนให้ชัดเจนจึงจะสามารถนำไปใช้งานได้เหมาะสม โดยการใช้ไอโอดีนดูดซับนั้นจะดูดซับได้ดีจากการดูดซับถ่านกัมมันต์ขนาดเล็ก (Micropores) เนื่องจากโมเลกุลไอโอดีนมีขนาด 0.40 นาโนเมตร ดังนั้นหลังจากทำการดูดซับไอโอดีนโดยใช้ถ่านที่ได้จากกระบวนการ Hydrothermal carbonization (HTC) เพื่อเลือกถ่านที่มีค่าการดูดซับไอโอดีนที่ดีที่สุดมาทดลองให้เป็นถ่านกัมมันต์ จึงคาดการณ์ว่าสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับไอโอดีนจากการทดลองโดยใช้เวลาในการทำให้เปียกชุ่มต่างกัน คาดการณ์ผลการทดลองได้เป็น 2 กรณี

1. ในกรณีที่เมื่อทำการกระตุ้นแล้วถ่านกัมมันต์ส่วนใหญ่เกิดการพัฒนารูพรุนเป็นรูพรุนขนาดเล็ก คาดการณ์ว่าผลการทดลองที่มีค่าการดูดซับไอโอดีนที่มากที่สุดควรอยู่ที่ อุณหภูมิ 210 °C เวลา 90 นาที และเวลาที่ใช้ในการทำให้เปียกชุ่ม 12 ชั่วโมง

2. ในกรณีที่เมื่อทำการกระตุ้นแล้วถ่านกัมมันต์ส่วนใหญ่เกิดการพัฒนารูพรุนเป็นรูพรุนขนาดกลางถึงใหญ่ คาดการณ์ว่าผลการทดลองที่มีค่าการดูดซับไอโอดีนที่มากที่สุดควรอยู่ที่ อุณหภูมิ 210 °C เวลา 90 นาที และเวลาที่ใช้ในการทำให้เปียกชุ่ม 6 ชั่วโมง เนื่องจากยิ่งเวลาในการทำให้เปียกชุ่มนานขึ้นอาจส่งผลให้มีพื้นที่ผิวรูพรุนขนาดกลางถึงใหญ่มากขึ้น การดูดซับไอโอดีนจะทำได้ลดลง

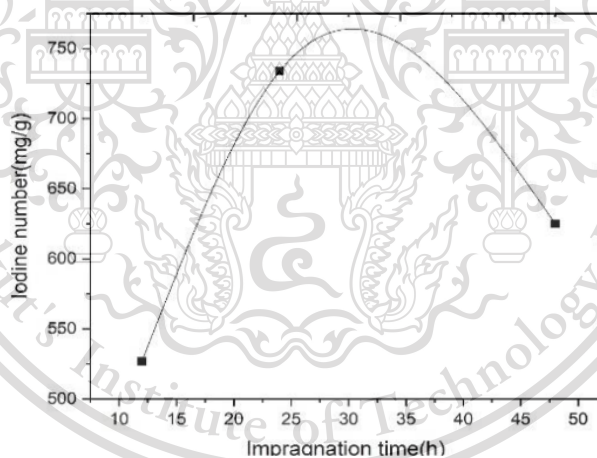
เอกสารนี้เป็นเอกสารทรัพย์สินทางปัญญาของสถาบันวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีชีวภาพ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี การคัดลอกโดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย

สามารถดูอิทธิพลของเวลาในการทำให้เปียกชุ่มได้ในงานวิจัยของ N. GENLI และคณะ [23] ทำการทดลองโดยใช้ถ่านถั่วชิกพี ซึ่งทำการวัดพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์แล้วส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ผิวที่มีรูพรุนขนาดเล็ก สามารถดูได้ดังตารางที่ 4.4 ในงานวิจัยนี้มีการศึกษาอิทธิพลของเวลาในการทำให้เปียกชุ่ม โดยมีการทดลอง

กรณีที่ใช้เวลาในการทำให้เปียกชุ่ม 12, 24 และ 48 ชั่วโมง ซึ่งเอาตัวอย่างมาจาก อุณหภูมิ และ เวลาในการกระตุ้นเดียวกันมาทำการทดลอง พบว่า เมื่อใช้เวลา 12 ชั่วโมงมีค่าการดูดซับไอโอดีนน้อยสุดมีค่า 527 มิลลิกรัมต่อกรัม เนื่องจากยังใช้เวลาในการทำให้เปียกชุ่มน้อยเกินไปซึ่งสารเคมีที่ใช้กระตุ้นยังไม่สามารถกระตุ้นให้ถ่านกัมมันต์เกิดการพัฒนารูพรุนขนาดเล็กได้อย่างเต็มที่ เวลา 24 ชั่วโมงได้ค่าการดูดซับไอโอดีนมากที่สุดมีค่า 734 มิลลิกรัมต่อกรัม เพราะว่าเป็นเวลาที่เหมาะกับการที่สารเคมีทำการกระตุ้นได้ดีที่สุดซึ่งไปช่วยในการพัฒนาให้เกิดรูพรุนขนาดเล็กมากขึ้น ส่วน 48 ชั่วโมงนั้นค่าการดูดซับเท่ากับ 625 มิลลิกรัมต่อกรัม ซึ่งทำไม่ได้ดีเท่ากับ 24 ชั่วโมงเนื่องจากใช้เวลาในการทำให้เปียกชุ่มนานเกินไป สารเคมีที่ใช้กระตุ้นจะส่งผลให้รูพรุนเสียหายได้หรืออาจทำให้เกิดการพัฒนารูพรุนจากขนาดเล็กไปสู่ขนาดกลางทำให้ดูดซับไอโอดีนไม่ได้ดี สามารถดูผลการทดลองได้ดังรูปที่ 4.3

ตารางที่ 4.5 ตารางแสดงพื้นที่ผิวและปริมาตรรูพรุนของถ่านกัมมันต์ [23]

| พื้นที่ผิว (m^2/g) | ปริมาตรรูพรุนทั้งหมด (cc/g) | พื้นที่ผิวรูพรุนขนาดเล็ก (m^2/g) |
|--------------------------------------|---|--|
| 572 | 9,189 | 352 |



รูปที่ 4.3 แสดงค่าการดูดซับไอโอดีนที่ใช้เวลาในการทำให้เปียกชุ่ม 12 24 และ 48 ชั่วโมง [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 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 ผลการทดลองที่ได้

จากการทดลองของกระบวนการ Hydrothermal carbonazation (HTC) เพื่อผลิตถ่านไฮโดรซาร์ โดยใช้อุณหภูมิและเวลาในการทำปฏิกิริยาที่ต่างกันซึ่งทำการวิเคราะห์องค์ประกอบต่างและคุณสมบัติต่าง ๆ ของถ่านไฮโดรซาร์ที่ได้จากกระบวนการนี้ โดยสามารถสรุปแนวโน้มของร้อยละผลได้ของถ่านไฮโดรซาร์ว่า อิทธิพลของอุณหภูมิมีมากกว่าเวลาในการทำปฏิกิริยา โดยเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจะทำให้ร้อยละผลได้ของถ่านไฮโดรซาร์ลดลงแต่เวลาในการทดลองไม่ค่อยส่งผลต่อร้อยละผลได้ของถ่าน โดยที่อุณหภูมิ 180 °C เวลา 90 นาที จะได้รับร้อยละผลได้เท่ากับ 44.1 %wt และที่อุณหภูมิ 210 °C เวลา 90 นาที จะได้เท่ากับ 41.2 %wt

5.1.2 แนวโน้มผลการทดลององค์ประกอบทางเคมีและการดูดซับไอโอดีนของถ่านไฮโดรซาร์จากงานวิจัยอื่น

แนวโน้มของปริมาณเถ้า, สารระเหย, คาร์บอนคงที่ และธาตุองค์ประกอบของถ่านไฮโดรซาร์ที่ได้ศึกษาจากงานวิจัยอื่นสามารถสรุปได้ว่า ยิ่งเพิ่มอุณหภูมิและเวลาในการทำปฏิกิริยาจะส่งผลให้ปริมาณเถ้าและสารระเหยลดลงแต่จะส่งผลทำให้ปริมาณคาร์บอนคงที่เพิ่มขึ้น และกระบวนการ Hydrothermal carbonazation (HTC) จะส่งผลกระตุ้นทำให้ปริมาณธาตุคาร์บอน (C) เพิ่มขึ้น แต่ในทางกลับกันจะส่งผลทำให้ปริมาณธาตุไฮโดรเจน (H) และออกซิเจน (O) ลดลง ในการใช้ถ่านไฮโดรซาร์ไอดูดซับไอโอดีน สามารถคาดการณ์ผลการทดลองจากงานวิจัยนี้โดยอ้างอิงจากงานวิจัยที่กล่าวไปในบทที่ 4 ในการใช้ถ่านไฮโดรซาร์ดูดซับไอโอดีนเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับไอโอดีนได้มากที่สุด จากอุณหภูมิและเวลาในการทำปฏิกิริยาที่ใช้ทดลอง คาดการณ์ว่าผลการทดลองที่มีค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านที่ดีที่สุดควรจะอยู่ที่อุณหภูมิ 210 °C เวลา 90 นาที เนื่องจากที่อุณหภูมิสูงและเวลาที่มากจะทำให้ไฮโดรซาร์เกิดรูพรุนขึ้นมาได้

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.

5.1.3 แนวโน้มผลการทดลองอิทธิพลของเวลาในการทำให้เปียกชุ่มต่อการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์จากงานวิจัยอื่น

จากการทดลองในการวิจัยนี้โดยทำการกระตุ้นถ่านไฮโดรซาร์ให้ได้เป็นถ่านกัมมันต์โดยจะทำการกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) โดยอัตราส่วนในการกระตุ้น ปริมาณถ่าน:KOH เท่ากับ 1:4 ที่อุณหภูมิห้อง มีเวลาเวลาในการทำให้เปียกชุ่มคือ 6 และ 12 ชั่วโมง โดยใช้ตัวอย่างจากไฮโดรซาร์ที่มีค่าการดูดซับไอโอดีนมากที่สุด จากงานวิจัยที่ได้กล่าวไปในบทที่ 4 สามารถคาดการณ์ผลการทดลองได้ว่าสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับไอโอดีนจากการทดลองโดยใช้เวลาในการทำให้เปียกชุ่มต่างกัน คาดการณ์ผลการทดลองได้เป็น 2 กรณี 1. ในกรณีที่เมื่อทำการกระตุ้นแล้วถ่านกัมมันต์ส่วนใหญ่เกิดการพัฒนารูพรุนเป็นรูพรุนขนาดเล็ก คาดการณ์ว่าผลการทดลองที่มีค่าการดูดซับไอโอดีนที่มากที่สุดควรอยู่ที่ อุณหภูมิ 210 °C เวลา 90 นาที และเวลาที่ใช้ในการทำให้เปียกชุ่ม 12 ชั่วโมง 2. ในกรณีที่เมื่อทำการกระตุ้นแล้วถ่านกัมมันต์ส่วนใหญ่เกิดการพัฒนารูพรุนเป็นรูพรุนขนาดกลางถึงใหญ่ คาดการณ์ว่าผลการทดลองที่มีค่าการดูดซับไอโอดีนที่มากที่สุดควรอยู่ที่ อุณหภูมิ 210 °C เวลา 90 นาที และเวลาที่ใช้ในการทำให้เปียกชุ่ม 6 ชั่วโมง

5.2 วิจัยการทดลอง

เนื่องจากปัญหาสถานการณ์โควิด-19 ที่เกิดขึ้นในปัจจุบันทำให้ระยะเวลาในการทดลองไม่พอ ทำให้ไม่สามารถทำการทดลองทั้งหมดตามที่วางแผนภาพรวมขั้นตอนการทดลองไว้ในบทที่ 3 จึงทำให้ผลการทดลองที่ได้ไม่ครบถ้วน และผลที่ได้ออกมาอาจยังไม่สามารถสรุปผลได้ชัดเจนเพราะไม่ได้ทำการทดลองซ้ำ และอีกประการหนึ่งที่อาจส่งผลกระทบต่อผลการทดลองทำให้ร้อยละผลได้ของถ่านไฮโดรซาร์คลาดเคลื่อน คือระยะเวลาในการทำให้เครื่องปฏิกรณ์ที่ใช้อุ่นถึงอุณหภูมิที่กำหนดไว้ใช้ระยะเวลาไม่เท่ากันในแต่ละครั้ง เนื่องด้วยสภาพเครื่องและอุณหภูมิสภาพแวดล้อมแต่ละวันแตกต่างกัน จึงส่งผลทำให้ผลที่ได้ออกมาอาจคลาดเคลื่อนได้

5.3 ข้อเสนอแนะ

- ควรมีการทดลองช่วงเวลาและอุณหภูมิมากขึ้นในกระบวนการ Hydrothermal carbonization (HTC) เพื่อศึกษาแนวโน้มอิทธิพลตัวแปรต่าง ๆ ได้แม่นยำขึ้น
- ควรมีการทดสอบถ่านกัมมันต์ด้วยเมทิลีนบลูด้วย เพื่อดูว่าถ่านกัมมันต์มีแนวโน้มการดูดซับเป็นอย่างไร ซึ่งสามารถนำมาเปรียบเทียบความแตกต่างกับการดูดซับไอโอดีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ตรวจสอบ BET เพื่อวิเคราะห์หาพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ได้อย่างแม่นยำนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า 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.

บรรณานุกรม

- [1] ส่วนขยะมูลฝอยชุมชน กองจัดการกากของเสียและสารอันตราย กรมควบคุมมลพิษ, รายงานผลการดำเนินงานตัวชี้วัดร้อยละของปริมาณขยะมูลฝอยชุมชนได้รับการจัดการอย่างถูกต้อง ตามมาตรการปรับปรุงประสิทธิภาพในการปฏิบัติราชการประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2563, 2020.
- [2] H.S. Kambo, A. Dutta, A comparative review of biochar and hydrochar in terms of production, physico-chemical properties and applications, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 45 (2015) 359–378. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.01.050>.
- [3] A.F. Nicholas, M.Z. Hussein, Z. Zainal, T. Khadiran, Activated carbon for shape-stabilized phase change material, Elsevier Inc., 2018. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815757-2.00013-9>.
- [4] B. Quebedeaux, A. Bliss, E. Cliffs, R.C. Field, Cucumbers , Melons , (2017) 298–313.
- [5] J.A. Menéndez-Díaz, I. Martín-Gullón, Types of carbon adsorbents and their production. Activated carbon surfaces in environmental remediation., 2006.
- [6] Z. Heidarinejad, M.H. Dehghani, M. Heidari, G. Javedan, I. Ali, M. Sillanpää, Methods for preparation and activation of activated carbon: a review, *Environ. Chem. Lett.* 18 (2020) 393–415. <https://doi.org/10.1007/s10311-019-00955-0>.
- [7] V. Hernandez-Montoya, J. Garca-Servin, J. Ivn, Thermal Treatments and Activation Procedures Used in the Preparation of Activated Carbons, Lignocellul. Precursors Used Synth. Act. Carbon - Charact. Tech. Appl. Wastewater Treat. (2012). <https://doi.org/10.5772/39365>.
- [8] H. Hu, K. Xu, Physicochemical technologies for HRP and risk control, 2019. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816448-8.00008-3>.
- [9] S. Wacharasindhu, S. Likitmaskul, L. Punnakanta, K. Chaichanwatanakul, K. Angsusingha, C. Tuchinda, Serum IGF-I and IGFBP-3 Levels for Normal Thai Children and their Usefulness in Clinical Practice, *J. Med. Assoc. Thail.* 81 (1998) 420–430.
- [10] M. Thommes, K. Kaneko, A. V. Neimark, J.P. Olivier, F. Rodriguez-Reinoso, J. Rouquerol, K.S.W. Sing, Physisorption of gases, with special reference to the evaluation of surface

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามแก้ไขข้อมูลและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

- area and pore size distribution (IUPAC Technical Report), *Pure Appl. Chem.* 87 (2015) 1051–1069. <https://doi.org/10.1515/pac-2014-1117>.
- [11] O. Sahu, N. Singh, Significance of bioadsorption process on textile industry wastewater, Elsevier Ltd., 2018. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102491-1.00013-7>.
- [12] R. Kecili, C.M. Hussain, Mechanism of adsorption on nanomaterials, Elsevier Inc., 2018. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812792-6.00004-2>.
- [13] ASTM D4607- 94, Standard Test Method for Determination of Iodine Number of Activated Carbon, *Astm Int.* 94 (1999) 1–5.
- [14] M.K. Hrnčič, G. Kravanja, Ž. Knez, Hydrothermal treatment of biomass for energy and chemicals, *Energy.* 116 (2016) 1312–1322. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.06.148>.
- [15] J. Lee, A.K. Sarmah, E.E. Kwon, Production and formation of biochar, *Biochar from Biomass Waste Fundam. Appl.* (2018) 3–18. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811729-3.00001-7>.
- [16] O.A. Ekpete, A.C. Marcus, V. Osi, Preparation and Characterization of Activated Carbon Obtained from Plantain (*Musa paradisiaca*) Fruit Stem, *J. Chem.* 2017 (2017). <https://doi.org/10.1155/2017/8635615>.
- [17] W.Q. Zhang, X. Sui, B. Yu, Y.Q. Shen, H.L. Cong, Preparation of high specific surface area and high adsorptive activated carbon by KOH activation, *Integr. Ferroelectr.* 199 (2019) 22–29. <https://doi.org/10.1080/10584587.2019.1592594>.
- [18] B. Zhang, M. Heidari, B. Regmi, S. Salaudeen, P. Arku, M. Thimmannagari, A. Dutta, Hydrothermal carbonization of fruit wastes: A promising technique for generating hydrochar, *Energies.* 11 (2018) 1–14. <https://doi.org/10.3390/en11082022>.
- [19] L. Azaare, M.K. Commeh, A.M. Smith, F. Kemausuor, Co-hydrothermal carbonization of pineapple and watermelon peels: Effects of process parameters on hydrochar yield and energy content, *Bioresour. Technol. Reports.* 15 (2021) 100720. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2021.100720>.

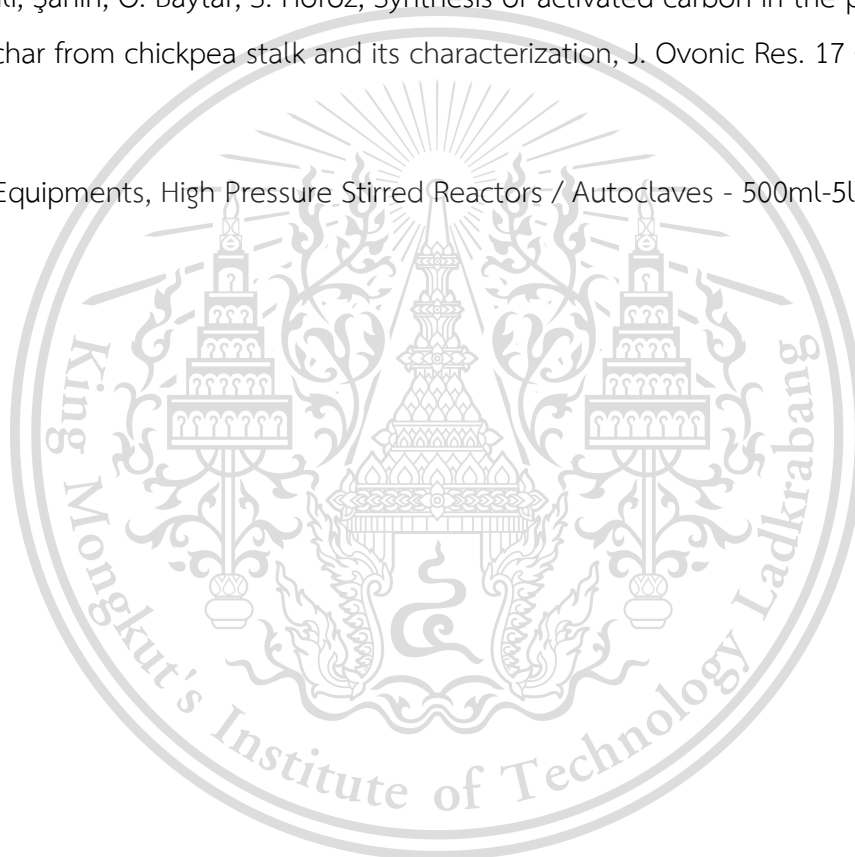
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 [20] H.E. Putra, E. Damanhuri, K. Dewi, A.D. Pasek, Hydrothermal carbonization of biomass waste under low temperature condition, *MATEC Web Conf.* 154 (2018) 1–5.

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

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

<https://doi.org/10.1051/mateconf/201815401025>.

- [21] X. Chen, Q. Lin, R. He, X. Zhao, G. Li, Hydrochar production from watermelon peel by hydrothermal carbonization, *Bioresour. Technol.* 241 (2017) 236–243.
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.04.012>.
- [22] D. Jaruwat, P. Udomsap, N. Chollacoop, M. Fuji, A. Eiad-Ua, Effects of hydrothermal temperature and time of hydrochar from Cattail leaves, *AIP Conf. Proc.* 2010 (2018).
<https://doi.org/10.1063/1.5053192>.
- [23] N. Genli, Şahin, O. Baytar, S. Horoz, Synthesis of activated carbon in the presence of hydrochar from chickpea stalk and its characterization, *J. Ovonic Res.* 17 (2021) 117–124.
- [24] Amar Equipments, High Pressure Stirred Reactors / Autoclaves - 500ml-5ltr, (n.d.).



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



ภาคผนวก ก

วิธีทดสอบมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์ทางเคมีของถ่านไฮโดรซาร์

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.

วิธีทดสอบมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์ทางเคมีของถ่านไฮโดรคาร์บอนตามมาตรฐาน ASTM D1762 – 84

1. การวิเคราะห์หาค่าความชื้น

อบเข้าเคลือบทนความร้อน (Porcelain crucible) ที่อุณหภูมิ 750 °C เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นทำให้เย็นลงในโถดูดความชื้น (Desiccator) เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นชั่งน้ำหนักและบันทึกค่าน้ำหนักของเข้าเคลือบทนความร้อนที่คงที่ ทำการชั่งตัวอย่างน้ำหนักของถ่านที่ใช้ตัวอย่างละประมาณ 1 กรัม โดยน้ำหนักของแต่ละตัวอย่างควรใกล้เคียงกันไม่เกิน 0.1 มิลลิกรัม จากนั้นใส่ลงเข้าเคลือบทนความร้อน ทำการอบในเตาอบที่อุณหภูมิ 105±1 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง วางตัวอย่างที่อบแห้งแล้วในโถดูดความชื้นเป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นจึงชั่งน้ำหนักตัวอย่าง คำนวณปริมาณความชื้นได้ดังสมการที่ 1

$$\text{ร้อยละความชื้น} = \frac{(A-B)}{W} \times 100 \quad (1)$$

เมื่อ A คือ (น้ำหนักเข้าเคลือบ+น้ำหนักถ่านไฮโดรคาร์บอน) ก่อนอบ (กรัม)

B คือ (น้ำหนักเข้าเคลือบ+น้ำหนักถ่านไฮโดรคาร์บอน) หลังอบ (กรัม)

W คือ น้ำหนักของถ่านไฮโดรคาร์บอนก่อนอบ (กรัม)

2. การวิเคราะห์หาค่าสารระเหย

อบเข้าเคลือบทนความร้อนพร้อมฝาปิดที่อุณหภูมิ 105±1 °C เป็นเวลา 30 นาที ทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น ทำการชั่งน้ำหนักและบันทึกค่าน้ำหนักของเข้าเคลือบทนความร้อนพร้อมฝาปิด จากนั้นชั่งน้ำหนักถ่านไฮโดรคาร์บอนประมาณ 1 กรัม ใส่ในเข้าเคลือบทนความร้อนที่ทราบน้ำหนักแล้วจึงนำไปอบในเตาอบที่อุณหภูมิ 900±10 °C เป็นเวลา 7 นาที จากนั้นนำมาปล่อยให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักและบันทึกค่าน้ำหนักของถ่านไฮโดรคาร์บอนหลังอบ ทำการคำนวณหาค่าปริมาณสารระเหยดังสมการที่ 2

$$\text{ร้อยละสารระเหย} = \frac{(C-D)}{W} \times 100 \quad (2)$$

เมื่อ C คือ (น้ำหนักเข้าเคลือบ+น้ำหนักถ่านไฮโดรคาร์บอน) ก่อนอบ (กรัม)

D คือ (น้ำหนักเข้าเคลือบ+น้ำหนักถ่านไฮโดรคาร์บอน) หลังอบ (กรัม)

W คือ น้ำหนักของถ่านไฮโดรคาร์บอนก่อนอบ (กรัม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
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. การวิเคราะห์หาปริมาณเถ้า

อบเถ้าเคลือบทนความร้อนพร้อมปิดฝาในเตาอบ ที่อุณหภูมิ 950 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น ทำการชั่งน้ำหนักและบันทึกค่าน้ำหนักของเถ้าเคลือบทนความร้อนพร้อมฝาปิด จากนั้นชั่งน้ำหนักถ่านไฮโดรคาร์บประมาณ 1 กรัม ใส่ในเถ้าเคลือบทนความร้อนที่ทราบน้ำหนักแล้ว จึงนำไปอบในเตาอบที่อุณหภูมิ 250 °C เป็นเวลา 30 นาที แล้วอบต่ออุณหภูมิ 600 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นนำมาปล่อยให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักและบันทึกค่าน้ำหนักของถ่านไฮโดรคาร์บหลังอบ ทำการคำนวณหาค่าปริมาณเถ้าดังสมการที่ 3

$$\text{ร้อยละปริมาณเถ้า} = \frac{\text{น้ำหนักเถ้า (กรัม)}}{\text{น้ำหนักถ่านไฮโดรคาร์บ (กรัม)}} \times 100 \quad (3)$$

4. การวิเคราะห์หาคาร์บอนคงที่ สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 4

$$\text{ร้อยละปริมาณคาร์บอนคงที่} = 100 - \text{ร้อยละความชื้น} - \text{ร้อยละสารระเหย} - \text{ร้อยละปริมาณเถ้า} \quad (4)$$



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

มาตรฐานคุณสมบัติทางฟิสิกส์และเคมีของถ่านกัมมันต์

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.

คุณลักษณะทางเคมีและฟิสิกส์ของถ่านกัมมันต์ตาม มอก. 900-2547

1. ถ่านกัมมันต์ชนิดผง ให้เป็นไปตามตารางที่ ข.1

ตารางที่ ข.1 คุณลักษณะทางเคมีและฟิสิกส์ของถ่านกัมมันต์ชนิดผง

| รายการที่ | คุณลักษณะ | เกณฑ์ที่กำหนด | วิธีทดสอบตาม |
|-----------|---|---------------|--------------|
| 1 | ค่าไอโอดีนไม่น้อยกว่า | 600 | AWWA B600 |
| 2 | ความหนาแน่นปรากฏ กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร | 0.20 ถึง 0.75 | |

2. ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด ให้เป็นไปตามตารางที่ ข.2

ตารางที่ ข.2 คุณลักษณะทางเคมีและฟิสิกส์ของถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด

| รายการที่ | คุณลักษณะ | เกณฑ์ที่กำหนด | | วิธีทดสอบตาม |
|-----------|---|-----------------|-----------------|--------------------------------------|
| | | ชั้นคุณภาพพิเศษ | ชั้นคุณภาพที่ 1 | |
| 1 | ค่าไอโอดีนไม่น้อยกว่า | 1,000 | 600 | AWWA B604 |
| 2 | ความชื้น ร้อยละ ไม่เกิน | 8 | | |
| 3 | ความหนาแน่นปรากฏ กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ไม่น้อยกว่า | 0.20 | | |
| 4 | ความแข็ง (abrasion resistance) ร้อยละ ไม่น้อยกว่า | 70 | | AWWA B604 Ro-Tap abrasion test |

3. ถ่านกัมมันต์ชนิดอัดเม็ด ให้เป็นไปตามตารางที่ ข.3

ตารางที่ ข.3 คุณลักษณะทางเคมีและฟิสิกส์ของถ่านกัมมันต์ชนิดอัดเม็ด

| รายการที่ | คุณลักษณะ | เกณฑ์ที่กำหนด | วิธีทดสอบตาม |
|-----------|---|---------------|--------------------------------------|
| 1 | ค่าไอโอดีนไม่น้อยกว่า | 600 | AWWA B604 |
| 2 | ความชื้น ร้อยละ ไม่เกิน | 8 | |
| 3 | ความหนาแน่นปรากฏ กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ไม่น้อยกว่า | 0.20 | |
| 4 | ความแข็ง (abrasion resistance) ร้อยละ ไม่น้อยกว่า | 70 | AWWA B604 Ro-Tap abrasion test |

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. ถ่านกัมมันต์ชนิดแห้ง ให้เป็นไปตามตารางที่ ข.4

ตารางที่ ข.4 คุณลักษณะทางเคมีและฟิสิกส์ของถ่านกัมมันต์ชนิดแห้ง

| รายการที่ | คุณลักษณะ | เกณฑ์ที่กำหนด | วิธีทดสอบตาม |
|-----------|-------------------------|---------------|--------------|
| 1 | ค่าไอโอดีนไม่น้อยกว่า | 600 | AWWA B604 |
| 2 | ความชื้น ร้อยละ ไม่เกิน | 8 | |



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.