การสังเคราะห์ไททาเนียมไดออกไซด์บนคาร์บอนนาโนคอมโพสิตเพื่อใช้ในการบำบัดสีย้อมด้วยเครื่องปฏิกรณ์ระดับไมโคร

SYNTHESIS OF TITANIUM DIOXIDE SUPPORTED ON CARBON NANOCOMPOSITE FROM RABBIT MANURE FOR WASTEWATER TREATMENT WITH MICROREACTOR

กิตติภพ เสริมสุขประดิษฐ์

KITTIPOB SERMSOOKPRADITH

ปกรณ์ คงคลอด

PAKORN KHONGKHLOT

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศกรรมวัสดุนาโน

วิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SYNTHESIS OF TITANIUM DIOXIDE SUPPORT ON CARBON NANOCOMPOSITE FROM RABBIT MANURE FOR WASTEWATER TREATMENT WITH MICROREACTOR

KITTIPOB SERMSOOKPRADITH

PAKORN KHONGKHLOT

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT

FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF ENGINEERING

IN NANOMATERIAL ENGINEERING

COLLEGE OF NANOTECHNOLOGY

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2018

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPYRIGHT 2018

COLLEGE OF NANOTECHNOLOGY

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABAN

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชานาโนวิทยาและนาโนเทคโนโลยี
วิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
โครงงานพิเศษ

หัวข้อโครงงานพิเศษ	การสังเคราะห์ไททาเนียมไดออกไซด์บนคาร์บอนนาโนคอมโพสิตใช้ในการบำบัดสีย้อมด้วยเครื่องปฏิกรณ์ระดับไมโคร
Special Project Title	SYNTHESIS OF TITANIUM DIOXIDE SUPPORTED ON CARBON NANOCOMPOSITE FROM RABBIT MANURE FOR WASTEWATER TREATMENT WITH MICROREACTOR
นักศึกษา	นาย กิตติภพ เสริมสุขประดิษฐ์ และ นาย ปกรณ์ คงคลอด
รหัสประจำตัว	58110005 และ 58110031
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชา	นาโนวิทยาและนาโนเทคโนโลยี
สาขาวิชา	วิศวกรรมวัสดุนาโน
ปีการศึกษา	2561
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร. อภิลักษณ์ เอียดเอื้อ
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผศ.ดร. ทุติยาภรณ์ ทิวาวงศ์

คณะกรรมการสอบโครงงานพิเศษ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร. วินัดดา วงศ์วิริยะพันธ์	
ผศ.ดร. กรกช อ่อนละออ	
ผศ.ดร. อภิลักษณ์ เอียดเอื้อ	
ผศ.ดร. ทุติยาภรณ์ ทิวาวงศ์	

ภาควิชานาโนวิทยาและนาโนเทคโนโลยี วิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบังอนุมัติให้โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมวัสดุนาโน

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดารินี พรหมโยธิน)
หัวหน้าภาควิชานาโนวิทยาและนาโนเทคโนโลยี
วันที่ 20 **เดือน** มี.ค. **พ.ศ.** 2562

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงงานพิเศษเรื่อง	การสังเคราะห์ไททาเนียมไดออกไซด์บนคาร์บอนนาโนคอมโพสิตเพื่อใช้ในการบำบัดย้อมด้วยเครื่องปฏิกรณ์ระดับไมโคร
นักศึกษา	นายกิตติภพ เสริมสุขประดิษฐ์ และ นายปกรณ์ คงคลอด
รหัสประจำตัว	58110005 และ 58110031
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมวัสดุนาโน
พ.ศ.	2561
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.อภิลักษณ์ เอียดเอื้อ
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผศ.ดร.ทุติยาภรณ์ ทิวาวงศ์

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการศึกษาวิเคราะห์คุณสมบัติของ คาร์บอนนาโนคอมโพสิตจากมูลกระต่าย เพื่อนำมาบำบัดน้ำเสียจากโรงงานสีย้อม แรงจูงใจในการเลือกมูลกระต่ายมาจากปริมาณที่มากและมูลกระต่ายมีลักษณะเป็นเม็ดกลมเมื่อทำการเผาทำให้ยังคงรูปร่างทำให้ง่ายต่อการใช้งาน โดยงานวิจัยศึกษาอุณหภูมิในการคาร์บอนไนเซชัน ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจนที่อุณหภูมิ 400-800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทำการศึกษาการกระตุ้นทางเคมีด้วยกรด (H_2SO_4) และเบส (NaOH KOH) โดยอัตราส่วนต่อน้ำหนัก ทำการศึกษาการกระตุ้นด้วยคลื่นไมโครเวฟที่กำลังไฟที่ 600 -800 วัตต์ เป็นเวลา 4-8 นาที ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน จากนั้นทำการสังเคราะห์ไททาเนียมไดออกไซด์บนคาร์บอนจากมูลกระต่ายด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มัล ที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง คาร์บอนจากมูลกระต่ายถูกวิเคราะห์สัณฐานด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope) ศึกษาหมู่ฟังก์ชัน (Functional group) บนพื้นผิวของตัวอย่างด้วยวิธีฟูเรียร์ทรานฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Fourier Transform infrared spectroscopy) จากการทดลองพบว่าการคาร์บอนไนเซชัน ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจนที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และ กระตุ้นทางเคมีด้วย NaOH ในอัตราส่วนต่อน้ำหนักที่ 3:1 โดยกระตุ้นด้วยคลื่นไมโครเวฟที่กำลังไฟ 700 วัตต์เป็นเวลา 8 นาที สังเคราะห์ไททาเนียม ด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลคาร์บอนไนเซชันที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ในอัตราส่วนน้ำหนักต่อปริมาตรเท่ากับ 0.15 พบว่ามีประสิทธิภาพในการบำบัดสีย้อมครั้งที่ 1, 2 และ 3 เท่ากับ 49.53%, 74.69% และ 88.47% ตามลำดับ

คำสำคัญ : ไททาเนียมไดออกไซด์; ตัวรองรับคาร์บอน; ไฮโดรเทอร์มัลคาร์บอนไนเซชัน; คาร์บอนไนเซชัน;

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Report Title	Synthesis of titanium dioxide supported on carbon nanocomposite from rabbit manure for wastewater treatment with microreactor
Student	Kittipob Sermsookpradith & Pakorn Khongkhlot
Student ID	58110005 & 58110031
Degree	Bachelor of Engineering
Program	Nanomaterial Engineering
Year	2018
Adviser	Asst.Prof. Dr. Apiluck Eiad-ua
Co-Adviser	Asst.Prof. Dr. Thutiyaporn Thiwawong

ABSTRACT

The objective of this work is to synthesis carbon nanocomposite derived from rabbit manure for using as wastewater treatment in dye industry. Rabbit manure is selected as a raw material due to its round shape which easily to maintain structure via carbonization. Moreover, there is a lot of manure found in rabbit farm which is priceless. In this work, rabbit manure was carbonized under nitrogen atmosphere at 400-800 °C for 2 hr. After that, H_2SO_4 acid, NaOH and KOH bases were used to chemically activated and followed by microwave stimulation at 600-800 W for 4-8 min under nitrogen atmosphere for all samples. Titanium dioxide was then synthesis on carbon by using the hydrothermal process at 160 °C for 12 hr. The morphology of all samples was analyzed by scanning electron microscope. The functional group of sample surfaces was characterized by fourier transform infrared spectroscopy. From the results, it is found that the rabbit manure which was carbonized under nitrogen atmosphere at 700 °C for 2 hr, chemically activated with NaOH at weight ratio of 3:1, followed by microwave stimulation at 700 W for 8 min and hydrothermally carbonized at 160 °C for 12 hr with weight per volume of 0.15 showed high performance of carbon, the percentage of wastewater treatment for 1st, 2nd and 3rd were 49.53%, 74.69% and 88.47%, respectively.

Keywords: Carbon-supported, hydrothermal carbonization, rabbit manure

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานพิเศษระดับปริญญาตรีฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร.อภิลักษณ์ เอียดเอื้อ และ ผศ.ดร.ทุติยาภรณ์ ทิวาวงศ์ วิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อาจารย์ที่ปรึกษาและอาจารย์ที่ปรึกษาร่วมโครงงานพิเศษ ที่ให้ความกรุณาแนะนำ ดูแลช่วยเหลือในการทำโครงงานวิจัย และขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร.วินัดดา วงศ์วิริยะพันธ์ ประธานกรรมการสอบและ ผศ.ดร. กรกช อ่อนละออ กรรมการสอบโครงงานพิเศษ ที่ให้ความกรุณาในการตรวจสอบข้อบกพร่องของรูปเล่มโครงงานพิเศษฉบับนี้ และขอขอบคุณวิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง และห้องปฏิบัติการวัสดุรูพรุน ที่เอื้อเฟื้อเครื่องมือ อุปกรณ์ และสถาที่ในการวิจัย

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัว ที่คอยให้กำลังใจและส่งเสริมผลักดันในด้านการศึกษาจนทำให้ผู้วิจัยทำโครงงานพิเศษได้สำเร็จ และขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่ได้อบรมประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ในการทำโครงงานพิเศษฉบับนี้ และหวังเป็นอย่างยิ่งว่าเนื้อหาความรู้ในโครงงานพิเศษฉบับนี้จะเป็นประโยชน์กับผู้อ่านทุกท่านไม่มากก็น้อย สำหรับความงามความดีที่ได้จากโครงงานพิเศษนี้ผู้วิจัยขอมอบแด่บุพการี คณาจารย์และผู้มีพระคุณทุกท่าน

กิตติภพ เสริมสุขประดิษฐ์

ปกรณ์ คงคลอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ i

ABSTRACT ii

กิตติกรรมประกาศ ii

สารบัญรูป ix

สารบัญตาราง xiii

บทที่1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย 1

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ 2

1.3 แผนการดำเนินงานวิจัย 3

1.4 สมมุติฐานงานวิจัย 3

บทที่2 ทฤษฎีและหลักการ 5

2.1 กระต่าย 5

2.1.1 ลักษณะทั่วไปของกระต่าย 5

2.1.2 อาหารที่ใช้เลี้ยงกระต่าย 6

2.2 มูลกระต่าย 8

2.2.1 ลักษณะของมูลกระต่าย 8

2.3 ไททาเนียมไดออกไซด์ 9

2.3.1 ประโยชน์ไททาเนียมไดออกไซด์ 10

2.3.2 ชนิดของไททาเนียมไดออกไซด์ 11

2.4 กระบวนการไฮโดรเทอร์มัล 12

2.4.1 กลไกลการเกิดปฏิกิริยา 12

2.4.2 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อกระบวนการไฮโดรเทอร์มัล 13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.5 กระบวนการคาร์บอไนเซชัน 15
2.5.1 ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการคาร์บอนไนเซชัน 16
2.6 การกระตุ้น 17
2.6.1 การกระตุ้นทางกายภาพ (Physical activation) 17
2.6.2 การกระตุ้นด้วยสารเคมี (Chemical activation) 18
2.7 กระบวนการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสง 18
2.7.1 กระบวนการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงมีองค์ประกอบ 19
2.7.2 ชนิดของกระบวนการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสง 19
2.7.3 พลังงานแสง (Light Energy) 19
2.7.4 กลไกการเกิดกระบวนการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสง (Photocatalytic reaction mechanism) 21
2.8 การดูดซับ 22
2.8.1 การดูดซับทางกายภาพ 23
2.8.2 การดูดซับทางทางเคมี 23
2.8.3 สมดุลการดูดซับ 23
2.9 การจำแนกรูพรุนตามมาตรฐาน IUPAC 26
2.9.1 ประเภทรูพรุน 26
2.10 การบำบัดน้ำเสียสีฟอกย้อม 27
2.10.1 กระบวนการบำบัดทางกายภาพ (Physical treatment) 27
2.10.2 กระบวนการบำบัดทางเคมีกายภาพ (Physicochemical treatment) 27
2.10.3 กระบวนการบำบัดทางชีวภาพ (Biological treatment) 27
2.10.4 ค่ามาตรฐานก่อนปล่อยสู่แหล่งน้ำ 30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.11 เครื่องปฏิกรณ์ไมโครรีแอคเตอร์ 30
2.11.1 ประโยชน์ 30
2.11.2 ปัญหา 31
2.12 เทคนิคและเครื่องมือวัด 31
2.12.1 ศึกษาความเป็นผลึก (Crystallinity) ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซเรย์ (Xray-Diffraction, XRD) 31
2.12.2 ศึกษาสัณฐานวิทยา (Morphology) ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) 34
2.12.3 ศึกษาหมู่ฟังก์ชัน (Functional group) ด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานฟอร์ม อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Fourier Transform Infrared Spectroscopy, FTIR) 37
2.12.4 ศึกษาค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) ด้วยยูวี วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (UV-Visible Spectrophotometer, UV-VIS) 39
2.13 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 40
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย 42
3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย 42
3.1.1 อุปกรณ์ 42
3.1.2 วัสดุและสารเคมี 46
3.1.3 เครื่องวิเคราะห์ 46
3.2 การเตรียมมูลกระต่าย 48
3.3 การเตรียมตัวรองรับคาร์บอนจากมูลกระต่าย 48
3.3.1 ศึกษาปัจจัยในการสังเคราะห์ตัวรองรับคาร์บอนที่ผ่านกระบวนการคาร์บอนไนเซชันภายใต้บรรยากาศปกติ และไนโตรเจน 48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.3.2 ศึกษาปัจจัยในการสังเคราะห์ตัวรองรับคาร์บอนที่ผ่านการกระตุ้นด้วยกรดหรือเบสด้วยกระบวนการคาร์บอนไนเซชันด้วยคลื่นไมโครเวฟ 48

3.3.3 ศึกษาปัจจัยในการสังเคราะห์ไททาเนียมบนตัวรองรับคาร์บอนจากมูลกระต่ายด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มัล 49

3.3.4 เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียที่มีสีย้อมเจือปนจากปฏิกริยาโฟโตแคทตาไลติกของตัวคาร์บอนนาโนคอมโพสิตด้วยเครื่องปฏิกรณ์ระดับไมโคร 49

3.4 การตรวจวัดและวิเคราะห์คุณสมบัติต่างๆ 49

3.4.1 การศึกษาสัณฐานวิทยา (Morphology) ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) 49

3.4.2 การศึกษาความเป็นผลึก (Crystallinity) ด้วยเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray Diffraction, XRD) 50

3.4.3 การศึกษาหมู่ฟังก์ชัน (Functional group) ด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Fourier Transform Infrared Spectroscopy, FTIR) 50

3.4.4 การศึกษาค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) ด้วยยูวี วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (UV-Visible Spectrophotometer, UV-VIS) 50

บทที่4 ผลการทดลองและการอภิปรายผล 51

4.1 การศึกษาอุณหภูมิในคาร์บอนในการสังเคราะห์ตัวรองรับคาร์บอนที่ผ่านกระบวนการคาร์บอนไนเซชันภายใต้บรรยากาศปกติ และ ไนโตรเจน 4.1.1 การศึกษาน้ำหนักของคาร์บอนไนเซชันภายใต้บรรยากาศปกติ และ ไนโตรเจน 51

4.1.2 การศึกษาหมู่ฟังก์ชันบนพื้นผิวของคาร์บอนมูลกระต่าง 52

4.1.3 การศึกษาสัณฐานของคาร์บอนมูลกระต่าย 54

4.2 การศึกษาคาร์บอนมูลกระต่ายที่ผ่านการกระตุ้นด้วยเบสและกรดด้วยกระบวนการคาร์บอนไนเซชันด้วยคลื่นไมโครเวฟ 56

4.2.1 การศึกษาหมู่ฟังก์ชันบนพื้นผิวคาร์บอนมูลกระต่าย 56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.2.2 การศึกษาสัณฐานของคาร์บอนมูลกระต่าย 67

4.3 การศึกษาการสังเคราะห์ไททาเนียมไดออกไซด์บนคาร์บอนมูลกระต่ายที่ผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลคาร์บอนไนเซชัน 78

4.3.1 การศึกษาโครงสร้างผลึกของไททาเนียมไดออกไซด์บนคาร์บอนมูลกระต่าย 78

4.3.2 การวิเคราะห์ธาตุของไททาเนียมไดออกไซด์บนคาร์บอนมูลกระต่าย 80

4.4 การศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียสีย้อมด้วยไททาเนียมไดออกไซด์บนคาร์บอนมูลกระต่ายควบคู่ด้วยเครื่องปฏิกรณ์ระดับไมโคร 81

4.4.1 ศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียสีย้อมด้วยไททาเนียมไดออกไซด์บนคาร์บอนมูลกระต่าย 81

บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ 84

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน 84

5.2 ข้อเสนอแนะ 84

บรรณานุกรม 85

ประวัติของผู้เขียน 87

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 กระต่าย 5

2.2 ไททาเนียมไดออกไซด์ 9

2.3 โครงสร้างผลึกของไททาเนียมไดออกไซด์ 12

2.4 การถูกดูดกลืนและการกระเจิงของแสงในชั้นบรรยากาศ 20

2.5 รูปแบบตางๆ ที่เกิดขึ้นของกระบวนการเรงปฏิกิริยาดวยแสง 21

2.6 ประเภทไอโซเทอมของการดูดซับของ IUPAC (IUPAC, 1985) 24

2.7 การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ในผลึก 33

2.8 องค์ประกอบของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด 36

2.9 องค์ประกอบของเครื่องฟูเรียร์ทรานฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี 38

3.1 ภาชนะเซรามิกใส่สารสำหรับทำปฏิกิริยาคาร์บอนไนเซชัน 42

3.2 เตาเผาสารแบบแนวนอน 42

3.3 ท่อแสตนเลสสำหรับการเผาสาร 43

3.4 ตู้อบ 43

3.5 เครื่องชั่นสารแบบดิจิตอล 43

3.6 แท่งแก้ว 43

3.7 บีกเกอร์ 44

3.8 กระบอกตวง 44

3.9 ช้อนตักสาร 44

3.10 ไมโครเวฟ 44

3.11 เตาเผาสารแบบกล่อง 45

3.12 เครื่องปั่นกวนสาร 45

3.13 ถังปฏิกรณ์สำหรับกระบวนการไฮโดรเทอร์มัล 45

3.14 ภาชนะเทฟลอนสำหรับบรรจุในถังปฏิกรณ์ไฮโดรเทอร์มัล 45

3.15 มูลกระต่าย 46

3.16 แผนภาพแสดงขั้นตอนงานวิจัย 47

4.1 ร้อยละของน้ำหนักมูลกระต่ายหลังผ่านกระบวนการคาร์บอนไนเซชัน
ภายใต้บรรยากาศ a.) Air b.) Nitrogen 51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

4.2 กราฟ FT-IR ของคาร์บอนมูลกระต่ายที่ผ่านกระบวนคาร์บอนไนเซชัน
ภายใต้บรรยากาศปกติที่อุณหภูมิแตกต่างกัน 52
4.3 กราฟ FT-IR ของคาร์บอนมูลกระต่ายที่ผ่านกระบวนคาร์บอนไนเซชัน
ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน ที่อุณหภูมิแตกต่างกัน 53
4.4 ภาพ SEM (กำลังขยาย 100x) ของคาร์บอนมูลกระต่ายที่ผ่านกระบวนการ
คาร์บอนไนเซชันภายใต้บรรยากาศปกติ ที่อุณหภูมิแตกต่างกัน 54
4.5 ภาพ SEM (กำลังขยาย 100x) ของคาร์บอนมูลกระต่ายที่ผ่านกระบวนการ
คาร์บอนไนเซชันภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน ที่อุณหภูมิแตกต่างกัน 55
4.6 กราฟ FT-IR ของคาร์บอนมูลกระต่ายที่กระตุ้นด้วยเบส NaOH อัตราส่วน 1:1
ที่กำลังไฟฟ้า 600 วัตต์ เวลา 4 ,6 และ 8 นาที 56
4.7 กราฟ FT-IR ของคาร์บอนมูลกระต่ายที่กระตุ้นด้วยเบส NaOH อัตราส่วน 1:1
ที่กำลังไฟฟ้า 700 วัตต์ เป็นเวลา 4 ,6 และ 8 นาที 57
4.8 กราฟ FT-IR ของคาร์บอนมูลกระต่ายที่กระตุ้นด้วยเบส NaOH อัตราส่วน 1:1
ที่กำลังไฟฟ้า 800 วัตต์ เป็นเวลา 4 ,6 และ 8 นาที 58
4.9 กราฟ FT-IR ของคาร์บอนมูลกระต่ายที่กระตุ้นด้วยเบส NaOH อัตราส่วน 2:1
ที่กำลังไฟฟ้า600 วัตต์ เป็นเวลา 4 ,6 และ 8 นาที 59
4.10 กราฟ FT-IR ของคาร์บอนมูลกระต่ายที่กระตุ้นด้วยเบส NaOH อัตราส่วน 2:1
ที่กำลังไฟฟ้า 700 วัตต์ เป็นเวลา 4 ,6 และ 8 นาที 60
4.11 กราฟ FT-IR ของคาร์บอนมูลกระต่ายที่กระตุ้นด้วยเบส NaOH อัตราส่วน 2:1
ที่กำลังไฟฟ้า 800 วัตต์ เป็นเวลา 4 ,6 และ 8 นาที 61
4.12 กราฟ FT-IR ของคาร์บอนมูลกระต่ายที่กระตุ้นด้วยเบส NaOH อัตราส่วน 3:1
ที่กำลังไฟฟ้า 600 วัตต์ เป็นเวลา 4 ,6 และ 8 นาที 62
4.13 กราฟ FT-IR ของคาร์บอนมูลกระต่ายที่กระตุ้นด้วยเบส NaOH อัตราส่วน 3:1
ที่กำลังไฟฟ้า 700 วัตต์ เป็นเวลา 4 ,6 และ 8 นาที 63
4.14 กราฟ FT-IR ของคาร์บอนมูลกระต่ายที่กระตุ้นด้วยเบส NaOH อัตราส่วน 3:1
ที่กำลังไฟฟ้า 800 วัตต์ เป็นเวลา 4 ,6 และ 8 นาที 64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

4.15 กราฟ FT-IR ของคาร์บอนมูลกระต่ายที่กระตุ้นด้วยเบส KOH อัตราส่วน 2:1
ที่กำลังไฟฟ้า 700 วัตต์ เป็นเวลา 4 ,6 และ 8 นาที 65
4.16 กราฟ FT-IR ของคาร์บอนมูลกระต่ายที่กระตุ้นด้วยเบส H2SO4 อัตราส่วน 2:1
ที่กำลังไฟฟ้า 700 วัตต์ เป็นเวลา 4 ,6 และ 8 นาที 66
4.17 ภาพ SEM (กำลังขยาย 100x) ของคาร์บอนมูลกระต่ายที่กระตุ้นด้วยเบส NaOH
อัตราส่วน 1:1 ที่กำลังไฟฟ้า 600 วัตต์ เวลา 4 ,6 และ 8 นาที 67
4.18 ภาพ SEM (กำลังขยาย 100x) ของคาร์บอนมูลกระต่ายที่กระตุ้นด้วยเบส NaOH
อัตราส่วน 1:1 ที่กำลังไฟฟ้า 700 วัตต์ เวลา 4 ,6 และ 8 นาที 68
4.19 ภาพ SEM (กำลังขยาย 100x) ของคาร์บอนมูลกระต่ายที่กระตุ้นด้วยเบส NaOH
อัตราส่วน 1:1 ที่กำลังไฟฟ้า 800 วัตต์ เวลา 4 ,6 และ 8 นาที 69
4.20 ภาพ SEM (กำลังขยาย 100x) ของคาร์บอนมูลกระต่ายที่กระตุ้นด้วยเบส NaOH
อัตราส่วน 2:1 ที่กำลังไฟฟ้า 600 วัตต์ เวลา 4 ,6 และ 8 นาที 70
4.21 ภาพ SEM (กำลังขยาย 100x) ของคาร์บอนมูลกระต่ายที่กระตุ้นด้วยเบส NaOH
อัตราส่วน 2:1 ที่กำลังไฟฟ้า 700 วัตต์ เวลา 4 ,6 และ 8 นาที 71
4.22 ภาพ SEM (กำลังขยาย 100x) ของคาร์บอนมูลกระต่ายที่กระตุ้นด้วยเบส NaOH
อัตราส่วน 2:1 ที่กำลังไฟฟ้า 800 วัตต์ เวลา 4 ,6 และ 8 นาที 72
4.23 ภาพ SEM (กำลังขยาย 100x) ของคาร์บอนมูลกระต่ายที่กระตุ้นด้วยเบส NaOH
อัตราส่วน 3:1 ที่กำลังไฟฟ้า 600 วัตต์ เวลา 4 ,6 และ 8 นาที 73
4.24 ภาพ SEM (กำลังขยาย 100x) ของคาร์บอนมูลกระต่ายที่กระตุ้นด้วยเบส NaOH
อัตราส่วน 3:1 ที่กำลังไฟฟ้า 700 วัตต์ เวลา 4 ,6 และ 8 นาที 74
4.25 ภาพ SEM (กำลังขยาย 100x) ของคาร์บอนมูลกระต่ายที่กระตุ้นด้วยเบส NaOH
อัตราส่วน 3:1 ที่กำลังไฟฟ้า 800 วัตต์ เวลา 4 ,6 และ 8 นาที 75
4.26 ภาพ SEM (กำลังขยาย 100x) ของคาร์บอนมูลกระต่ายที่กระตุ้นด้วยเบส KOH
อัตราส่วน 2:1 ที่กำลังไฟฟ้า 700 วัตต์ เวลา 4 ,6 และ 8 นาที 76
4.27 ภาพ SEM (กำลังขยาย 100x) ของคาร์บอนมูลกระต่ายที่กระตุ้นด้วยกรด H2SO4
อัตราส่วน 2:1 ที่กำลังไฟฟ้า 700 วัตต์ เวลา 4 ,6 และ 8 นาที 77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

4.28 ภาพ XRD ของไททาเนียมไดออกไซด์บนคาร์บอนมูลกระต่าย ที่อัตราส่วน 0.05 78
4.29 ภาพ XRD ของไททาเนียมไดออกไซด์บนคาร์บอนมูลกระต่าย ที่อัตราส่วน 0.10 79
4.30 ภาพ XRD ของไททาเนียมไดออกไซด์บนคาร์บอนมูลกระต่าย ที่อัตราส่วน 0.15 79
4.31 ภาพการเคราะห์ธาตุของไททาเนียมไดออกไซด์บนคาร์บอนมูลกระต่าย 80
4.33 ภาพแสดงในการดูดซับจริง 81
4.34 ค่าประสิทธิภาพในการดูดซับของตัว 81
4.35 ภาพแสดงในการดูดซับจริง 82

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

1.1 แผนการดำเนินงานวิจัย 3
2.1 คุณสมบัติพื้นฐานต่างๆ ของไททาเนียมไดออกไซด์ 10
2.2 การดูดซับทางเคมีและกายภาพ 23
2.3 เปรียบเทียบข้อดีข้อเสียเทคโนโลยีการบำบัดทางกายภาพ 28
2.4 เปรียบเทียบข้อดีข้อเสียเทคโนโลยีการบำบัดทางเคมี 29
2.5 เปรียบเทียบข้อดีข้อเสียเทคโนโลยีการบำบัดทางชีววิทยา 29
4.1 หมู่ฟังก์ชันของคาร์บอนมูลกระต่าย 54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

ปัจจุบันปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อมโดยเฉพาะมลพิษทางน้ำที่เกิดจากการเจริญเติบโตทางอุตสาหกรรมนับทวีความรุนแรงมากขึ้น โดยเฉพาะอุตสาหกรรมสิ่งทอซึ่งเป็นอุตสาหกรรมที่มีการขยายตัวสูง ทำให้มีการพัฒนาทั้งทางด้านกระบวนการผลิตและการแข่งขันที่สูงขึ้นเพื่อเพิ่มปริมาณสินค้าหรือผลิตภัณฑ์ให้มากขึ้น น้ำเป็นปัจจัยที่สำคัญที่ต้องใช้ร่วมกับวัตถุดิบในทุกขั้นตอนการผลิต ไม่ว่าจะเป็นการผลิตเส้นใย การปั่น การทอ การถักผ้า และการฟอกย้อมก็ตาม โดยวัตถุดิบที่ใช้ เช่น สีย้อมผ้า สารเคมี เป็นต้น บางชนิดละลายน้ำได้ บางชนิดละลายน้ำไม่ได้ จึงทำให้น้ำมีสภาพที่แปรเปลี่ยนไปที่เราเรียกว่าน้ำเสีย เช่น อุณหภูมิสูงขึ้น มีกลิ่น มีสี ตลอดจนทำให้สิ่งมีชีวิตที่อยู่ในน้ำตายเนื่องจากมีสารอินทรีย์ในน้ำปริมาณที่สูง ทำให้ขาดออกซิเจนและผลกระทบของน้ำเสียนี้ยังเป็นตัวยับยั้งการทำงานของจุลินทรีย์ต่าง ๆ ในกระบวนการบำบัดทางชีวภาพ

อุตสาหกรรมฟอกย้อมเป็นอุตสาหกรรมประเภทที่มีการใช้น้ำและสารเคมีจำนวนมาก ปัญหาใหญ่ที่พบและนับว่ามีผลกระทบโดยตรงต่อสิ่งแวดล้อมคือ การปล่อยน้ำเสียจากโรงงานลงสู่สิ่งแวดล้อม น้ำเสียที่ปล่อยออกมาอิออนโลหะหนักอย่าง ทองแดง นิกเกิล โครเมียม ปรอทและโคบอลต์ ซึ่งเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต โดยที่มาของอิออนโลหะหนักที่เจือปนอยู่ในสีย้อมได้แก่ กระบวนการสังเคราะห์สี ส่วนของโครงสร้างโมเลกุลของสี สีย้อมนั้นเป็นสารอินทรีย์ซึ่งสามารถทำให้ค่า BOD (Biochemical oxygen demand) ได้สูงมาก ซึ่ง BOD เป็นตัวที่ใช้ชี้วัดถึงความต้องการออกซิเจนของจุลินทรีย์ในน้ำในการย่อยสลายสารต่าง ๆ ดังนั้นถ้ามีค่า BOD สูงจะแสดงให้เห็นว่าน้ำขาดออกซิเจนทำให้แหล่งน้ำเน่าเสียสิ่งมีชีวิตไม่สามารถอาศัยอยู่ได้ สีย้อมบางชนิดมีค่า BOD ได้สูงถึง 100,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ในขณะที่มาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมได้กำหนดให้มีค่าไม่เกิน 20 มิลลิกรัมต่อลิตรและตามมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดินกำหนดไว้ว่าควรมี BOD น้อยกว่า 1.5 มิลลิกรัมต่อลิตร นอกจากนี้ตัวสีย้อมนั้นสามารถดูดกลืนแสงได้ ทำให้พืชน้ำที่ต้องการแสงในการสังเคราะห์แสงนั้นได้รับผลกระทบอย่างรุนแรงจากการขาดแสงสว่าง ค่ากรด-ด่างที่ใช้ในการย้อม ส่งผลทางตรงและทางอ้อมต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำทั้งการกัดกร่อนและการเปลี่ยนรูปแบบสารละลายต่างๆในน้ำ โดยค่า pH ที่เป็นมาตรฐานน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรมกำหนดให้มีช่วงค่า pH 5.5-9.0 ซึ่งเป็นช่วงที่เป็นกลางไม่เป็นกรดหรือด่างมากเกินไป ซึ่งมีผลต่อสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ ทำให้เกิดการทำลายทัศนียภาพ และ เป็นที่น่ารังเกียจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทคโนโลยีการกำจัดสิ่งเจือปนในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมฟอกย้อม ซึ่งส่วนใหญ่เป็นสีย้อมและสารเคมีที่เหลือตกค้างอยู่ในน้ำ สามารถใช้เทคนิคการบำบัดน้ำเสียได้หลายวิธี ได้แก่ กระบวนการบำบัดทางกายภาพ (Physical treatment) กระบวนการบำบัดทางเคมี (Chemical treatment) เทคโนโลยีที่นิยมใช้ เช่น การตกตะกอนทางเคมี (Chemical coagulation-flocculation) กระบวนการโอโซนออกซิเดชัน (Ozone oxidation) การดูดซับ (Adsorption) การกรอง (Filtration) กระบวนการไฟฟ้าเคมี (Electrochemical process) แต่อย่างไรก็ตามวิธีที่กล่าวมาข้างต้นยังมีต้นทุนสูง เมื่อเทียบกับประสิทธิภาพในการบำบัด

ผู้วิจัยจึงคิดค้นหาวิธีในการพัฒนาระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมสิ่งทอเพื่อให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยการใช้ไททาเนียมไดออกไซด์ที่มีราคาไม่แพง ไม่มีความเป็นพิษ มีความเสถียร ผสานเข้ากับตัวรองรับคาร์บอนที่ได้จากมูลกระต่ายเพื่อเป็นการนำของเสียกลับมาใช้ให้เป็นประโยชน์และลดต้นทุนในการผลิต พร้อมทั้งใช้ควบคู่กับเครื่องปฏิกรณ์ระดับไมโคร โดยจะอาศัยปฏิกิริยาโฟโตแคทตาไลติคของสารไททาเนียมไดออกไซด์ในการกำจัดสีย้อมในน้ำเสียและคุณสมบัติการมีพื้นที่ผิว และรูพรุนสูงของตัวคาร์บอนในการดูดซับสิ่งเจือปนในน้ำเสีย และเครื่องปฏิกรณ์ระดับไมโครรีใช้เพื่อควบคุมการไหลในการบำบัดน้ำเสียสีย้อมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับและกำจัดสีย้อม ผู้วิจัยคาดหวังว่างานวิจัยชิ้นนี้จะช่วยลดขั้นตอนและเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดเสียให้ดียิ่งขึ้น อย่างไรก็ตาม ปัจจัยและเทคนิคอื่น ๆ ที่มีผลต่อการพัฒนาคุณสมบัติตัวรองรับเช่น อุณภูมิ เวลา ชนิดและอัตราส่วนของสารเคมีที่ทำการกระตุ้น จะมีการศึกษาในงานวิจัยนี้

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.2.1 เพื่อศึกษาปัจจัยของอุณหภูมิและเวลาในการทำปฏิกิริยาคาร์บอนไนเซชันที่มีผลต่อการสังเคราะห์ตัวรองรับจากมูลกระต่าย

1.2.2 เพื่อศึกษาปัจจัยของการกระตุ้นด้วยตัวเร่งปฏิกิริยากรดและเบสที่ส่งผลต่อตัวรองรับคาร์บอนจากมูลกระต่ายร่วมกับเครื่องปฏิกรณ์ระดับไมโคร

1.2.3 เพื่อศึกษาปัจจัยของอุณหภูมิและเวลาในการทำปฏิกิริยาไฮโดรเทอมัลที่มีผลต่อการสังเคราะห์ไททาเนียมไดออกไซด์บนตัวรองรับคาร์บอนจากมูลกระต่าย

1.2.4 เพื่อศึกษาอัตราการไหลและการบำบัดน้ำเสียที่มีสีย้อมเจือปนจากปฏิกริยาโฟโตแคทตาไลติกของตัวคาร์บอนนาโนคอมโพสิตด้วยเครื่องปฏิกรณ์ระดับไมโคร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 แผนการดำเนินงานวิจัย

ตารางที่ 1.0.1 แผนการดำเนินงานวิจัย

กิจกรรม	เดือน (2561)					เดือน (2562)				
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.
1. ศึกษาค้นคว้างานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการคาร์บอนไนเซชัน และ สังเคราะห์ไททาเนียมไดออกไซด์บนตัวรองรับคาร์บอน										
2. วางแผนการดำเนินงานวิจัยและศึกษาตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อการสังเคราะห์ตัวรองรับคาร์บอน และการสังเคราะห์ไททาเนียมไดออกไซด์										
3. ทำการทดลองหาเงื่อนไขและอัตราส่วนที่เหมาะสม										
4. ศึกษาคุณลักษณะ / สมบัติทางกายภาพและเคมี										
5. ทดสอบประสิทธิภาพในการดูดซับ และตรวจวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำเสียสีย้อม										
6. สรุปผลการวิจัยพร้อมทั้งจัดทำเล่มปริญญานิพนธ์										

1.4 สมมุติฐานงานวิจัย

1.4.1 เมื่ออุณภูมิที่ใช้คาร์บอไนเซชันสูงขึ้นจะทำให้ตัวรองรับคาร์บอนมีพื้นที่ผิว และความเป็นรูพรุนเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ตัวเร่งปฏิกริยาสามารถกระจายตัวได้เพิ่มมากขึ้น

1.4.2 ตัวรองรับคาร์บอนที่ผ่านการกระตุ้นด้วยปฏิกริยากรด และ เบสจะทำให้รูพรุนเปิดกว้างขึ้นส่งผลให้ตัวเร่งปฏิกริยาสามารถกระจายตัวได้เพิ่มขึ้น

1.4.3 เวลา และอุณหภูมิ ที่ใช้เหมาะสมกับการไฮโดรเทอร์มัลคาร์บอไนเซชัน จะทำให้ไททาเนียมกระจายตัวที่ดีบนตัวรองรับคาร์บอนจากมูลกระต่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4.4 น้ำเสียหลังผ่านการบำบัดมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตราฐาน

1.5 ขอบเขตการดำเนินงาน

งานวิจัยนี้จะจำกัดขอบเขตของงานในส่วนการสังเคราะห์ไททาเนียมบนตัวรองรับคาร์บอนนาโนคอมโพสิต โดยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอไนเซชัน เพื่อศึกษากระปัจจัยเงื่อนไขอุณภูมิเวลาที่ใช้ไฮโดรเทอมอลคาร์บอไนเซชัน ชนิดของสารที่ใช้ในการกระตุ้นตัวรองรับและอุณภูมิคาร์บอไนเซชันที่ส่งผลต่อการเพิ่มพื้นที่ผิว และความเป็นรูพรุนของตัวรองคาร์บอน จากนั้นทำการศึกษาปฏิกริยาโฟโตแคทตาไลติกและอัตราการไหลของเครื่องปฏิกรณ์ระดับไมโครว่ามีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียเพียงใด

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 สามารถสังเคราะห์วัสดุคอมโพสิตบนตัวรองรับคาร์บอนจากมูลกระต่ายได้

1.6.2 สามารถปรับปรุงคุณสมบัติของตัวรองรับคาร์บอนให้มีรูพรุนได้

1.6.3 สามารถเพิ่มมูลค่าทรัพยากรธรรมชาติ โดยการนำของเสียกลับมาใช้ให้เป็นประโยชน์

1.6.4 ลดขั้นตอนและต้นทุนในการบำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนสีย้อม

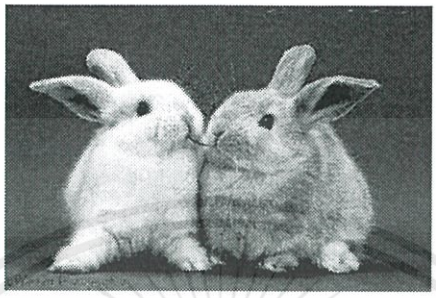
1.6.5 สามารถนำวัสดุคาร์บอนนาโนคอมโพสิตที่สังเคราะห์ไปใช้งานผ่านเครื่องปฏิกรณ์ระดับไมโครบำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนสีย้อมได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 กระต่าย



รูปที่ 2.1 กระต่าย

ชื่อวิทยาศาสตร์ : Lepus peguensis

ชื่อสามัญ : กระต่าย (Rabbit)

วงศ์ : Leporidae

อาณาจักร : Animalia

ไฟลัม : Chordata

ชั้น : Mammalia

อันดับ : Lagomorpha

2.1.1 ลักษณะทั่วไปของกระต่าย

กระต่ายแม้จะมีฟันแทะเหมือนกับสัตว์ฟันแทะ (Rodentia) แต่ถูกจัดออกมาเป็นอันดับต่างหาก เนื่องจากมีจำนวนฟันไม่เท่ากัน เพราะกระต่ายมีฟันแทะที่ขากรรไกรบน 2 แถว เรียงซ้อนกัน แถวละ 2 ซี่ ฟันกรามบนข้างละ 6 ซี่ และฟันกรามล่างข้างละ 5 ซี่ เมื่อเวลาเคี้ยวอาหาร กระต่ายจะใช้ฟันทั้ง 2 ด้านเคี้ยวสลับกันไปต่างจากสัตว์ฟันแทะโดยทั่วไปที่เคี้ยวเคลื่อนหน้าเคลื่อนหลัง นอกจากนั้น ฟันกระต่ายจะยาวขึ้นเรื่อยๆ เฉลี่ย 10-12 mm ต่อเดือน ดังนั้นกระต่ายจึงต้องมีการลับฟัน โดยการกินหญ้าแห้ง อีกทั้งยังต้องการไฟเบอร์ในการขับเคลื่อนอาหารภายในลำไส้อีกด้วย กระต่ายเป็นสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมที่มีขนาดเล็ก มีขนปุกปุยทั่วลำตัว มีหางกลมสั้น มีใบหูยาวเมื่อเทียบกับสัตว์อื่น ซึ่งวิวัฒนาการมาใช้สำหรับฟังเสียงได้เป็นอย่างดี และยังมีประสาทสัมผัสในการดมกลิ่นที่ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาก กระต่ายมีขาหน้าที่มี 5 นิ้ว ขาหลังมี 4 นิ้ว มีสะโพกที่ยาวและทรงพลัง เต็มไปด้วยกล้ามเนื้อ จึงสามารถกระโดดได้เป็นอย่างดี เคยมีการประกวดการกระโดดของกระต่ายที่ประเทศเนเธอร์แลนด์ กระต่ายตัวที่กระโดดได้สูงที่สุดกระโดดได้สูงถึง 99.5 เซนติเมตรเลยทีเดียวใต้ฝ่าเท้าของกระต่ายมีขนนุ่ม ๆ รองรับอยู่ เพื่อมิให้เกิดเสียงเมื่อเคลื่อนไหว กระต่ายเป็นสัตว์ที่ตื่นตกใจง่ายและมีความว่องไวปราดเปรียวมากในการระแวดระวังภัย นอกจากนี้แล้วตาของกระต่ายยังมีหนังตาหรือเปลือกตาถึง 3 ชั้นด้วยกันดวงตาของกระต่ายมีลักษณะกลมโต ทำให้กระต่ายสามารถเหลือบมองภาพด้านหลังได้โดยที่ไม่ต้องหันหัวเลย กระต่ายจัดเป็นสัตว์ที่มีระบบการมองเห็นที่ดีกว่าสัตว์ชนิดอื่นๆมาก แต่กระต่ายสามารถมองเห็นสีได้เพียงแค่ 2 สีเท่านั้น คือ สีเขียวและสีน้ำเงิน และจะยิ่งมองได้ชัดเจนขึ้นเมื่ออยู่ในที่มืด กระต่ายเป็นสัตว์ที่กินพืชเป็นอาหารเท่านั้น ต่างจากสัตว์ฟันแทะที่กินได้ทั้งเนื้อและพืช อาหารของกระต่ายได้แก่ หญ้าและพืชผักชนิดต่าง ๆ อายุขัยโดยเฉลี่ยของกระต่ายตามธรรมชาติจะอยู่ที่ 2-3 ปี หรือเต็มที่ก็ 5-10 ปี แต่กระต่ายเลี้ยงมีอายุเฉลี่ยอยู่ที่ 7-12 ปี โดยอาหารได้แก่ หญ้าแห้ง 80-90% อาหารเม็ด5-10% และผักผลไม้5% กระต่ายนับเป็นสัตว์ที่สืบพันธุ์เร็วมาก ใช้เวลาในการตั้งครรภ์ 30 วัน และสามารถติดลูกได้ทันทีหลังคลอด โดยปีหนึ่ง ๆ กระต่ายสามารถออกลูกได้ถึง 2-3 ครั้ง ครั้งละหลายตัวขึ้นกับชนิดและสายพันธ์ กระต่ายในธรรมชาติ มักอาศัยอยู่ในที่ราบโล่งที่เป็นทุ่งหญ้ามากกว่าป่าทึบ โดยขุดโพรงใต้ดินเป็นรังและที่อยู่อาศัย ลูกกระต่ายป่าในธรรมชาติ เมื่อแรกเกิดจะลืมตา และในวันรุ่งขึ้นก็สามารถวิ่งและกระโดดได้เลย เมื่อกระต่ายตัวเมียจะคลอดลูก จะแยกออกจากรังเดิมไปขุดรังใหม่ เพื่อป้องกันลูกอ่อนจากกระต่ายตัวผู้ ซึ่งอาจฆ่าลูกกระต่ายเกิดใหม่ได้ โดยจะกัดขนตัวเองเพื่อปูรองรับลูกใหม่ที่จะเกิดขึ้นมา นอกจากนี้แล้วตามธรรมชาติของกระต่าย ไม่ว่าจะเป็นกระต่ายป่าหรือกระต่ายบ้าน จะมีพฤติกรรมกินมูลของตัวเองที่ขับถ่ายออกมา มูลลักษณะนี้ถูกเรียกว่า "มูลพวงองุ่น" เป็นมูลซึ่งยังมีสารอาหารอยู่ ที่กระต่ายไม่สามารถย่อยหรือดูดซึมสารอาหารไปได้หมด จึงต้องกินเข้าไปในร่างกายอีกครั้งเพื่อดูดซึมสารอาหารให้หมด กระต่ายกระจายพันธุ์ไปในทุกภูมิภาคทั่วโลก ไม่เว้นแม้กระทั่งเขตอาร์กติก ยกเว้นโอเชียเนียและทวีปออสเตรเลีย ในประเทศไทยพบกระต่ายที่เป็นกระต่ายสายพันธุ์ที่มีอยู่ในธรรมชาติเพียงชนิดเดียว คือ กระต่ายป่า

2.1.2 อาหารที่ใช้เลี้ยงกระต่าย

1. อาหารหยาบ (Roughage) เป็นอาหารที่มีโภชนะย่อยได้ต่ำ มีเยื่อใยสูงกว่า 18 เปอร์เซ็นต์ อาหารประเภทนี้ได้แก่ หญ้าสด หญ้าแห้ง ถั่ว ฟางข้าว เป็นต้น โดยทั่วไปจะอยู่ในรูปอาหารหยาบสดและอาหารหยาบแห้ง ได้แก่พืชตระกูลหญ้า หญ้าที่นิยมใช้กันมากคือหญ้าขน เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศในเขตร้อน โดยทั่วไปหญ้าขนเป็นหญ้าค้างปี ต้นอ่อนจะมีลำต้นที่นุ่มน่ากิน แต่ถ้าแก่ปล้องจะแข็ง กระต่ายจะไม่กินนอกจากนี้ยังมีหญ้าอื่นๆ ที่ปลูกได้ดีในประเทศเขตร้อน เช่น หญ้าเนเปียร์ หญ้ากินนี หญ้าแพรยักษ์ เป็นต้น เนื่องจากจากการเลี้ยงกระต่ายส่วนมากเป็นแบบขังกรง หญ้าที่ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลี้ยงควรจะเป็นหญ้าตัดสดมากที่สุด ควรเลือกหญ้าอ่อน เนื่องจากมีคุณค่าอาหารสูงกว่าหญ้าแก่ ส่วนพืชตระกูลถั่วก็สามารถนำมาเลี้ยงกระต่ายได้ดีเช่นกัน เนื่องจากมีโปรตีนสูงกว่าหญ้า และกระต่ายก็ชอบกิน ชนิดที่ปลูกได้ดีในประเทศเขตร้อนได้แก่ ถั่วเหลือง ถั่วลิสง ถั่วซีดาฏตร ถั่วไกลซิน ถั่วเทาสวิล ไดโล อย่างไรก็ตามควรระวังการใช้พืชบางชนิดเช่น กระถิน เพราะอาจทำให้ท้องอืดได้ อย่างไรก็ตามได้หญ้ามาแล้ว ควรล้างให้สะอาดด้วยน้ำสะอาดหรือด่างทับทิมเสียก่อนเพราะหญ้าอาจมีไข่พยาธิหรือแมลงติดมาด้วย อาจทำให้ท้องเสียหรือเป็นโรคต่างๆได้ ที่สำคัญมากคือ ผักที่ได้จากตลาดหรือที่เราใช้รับประทาน ไม่ควรนำไปให้กระต่ายกินถึงแม้จะล้างสะอาดแล้วก็ตาม เพราะยาฆ่าแมลงที่ตกค้างอยู่ในผักมีปริมาณสูง และถ้ากระต่ายกินผักเหลือ ผักก็จะเน่า เมื่อกลับมากินอีกครั้งก็จะทำให้กระต่ายท้องเสียได้ ส่วนหญ้าถึงกระต่ายจะกินเหลือก็จะกลายเป็นหญ้าแห้งทำให้หญ้าไม่เน่าเสีย กระต่ายสามารถเก็บกินได้ทั้งวัน และหญ้าบ้างชนิดเมื่อแห้งจะมีคุณค่าทางอาหารมากกว่าญ้าสด

2. อาหารข้น หรือ อาหารเม็ด (Concentrate) เป็นอาหารที่มีความเข้มข้นสูง มีโภชนะย่อยได้สูง และมีระดับเยื่อใยต่ำกว่า 18 เปอร์เซ็นต์ อาหารประเภทนี้ได้แก่เมล็ดธัญพืชต่างๆ แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

2.1 อาหารข้นที่เป็นแหล่งโปรตีนจากพืช เช่นกากถั่วเหลือง กากเมล็ดฝ้าย กากถั่วลิสง ส่าเหล้าแห้ง กากเบียร์ เป็นต้น

2.2 อาหารข้นที่เป็นโพราตีนจากสัตว์ เช่น ปลาป่น เนื้อกระดูกป่น ขนไก่ป่น เป็นต้น แต่แหล่งจากโปรตีนนี้จะใช้เป็นจำนวนน้อยในสูตรอาหารกระต่าย เนื่องจากกระต่ายไม่ชอบกิน

กากถั่วเหลืองเป็นแหล่งโปรตีนที่ดีที่สุด ในสูตรอาหารกระต่าย เพราะมีความน่ากินและย่อยได้ง่าย มีความสมดุลของกรดอะมิโนที่ดี แต่การนำไปใช้ต้องนำไปผ่านความร้อนโดยการอบ นึ่งหรือคั่วก่อน เพื่อทำลายสารยับยั้งการย่อยของเอมไซม์ทริปซินเสียก่อน อาจใช้กากถั่วลิวงแทนกากถั่วเหลืองได้ดี้เช่นกัน แต่ต้องระวังสารพิษจากเชื้อรา เช่น อะฟาทอกซิน ในปัจจุบันมีอาหารเม็ดผลิตออกมาขายจำนวนมากหลายยี่ห้อ เลือกซื้อได้ตามความเหมาะสมมีราคาตั้งแต่ กิโลกรัมละ 15-150 บาท การเลือกซื้ออาหารเม็ดควรพิจารณาวิตถุดิบที่ใช้เป็นส่วนผสม และปริมาณสารอาหารที่ได้รวมถึงความต้องการของกระต่ายตามวัยดำรงชีวิต เวลาในการให้อาหารควรให้วันละ 2 ครั้ง เช้าและเย็น ให้กินพร้อมทั้งหญ้าก็ได้ แต่ที่เห็นว่าเหมาะสมคือ มื้อเช้าเป็นอาหารเม็ด และตอนเย็นเป็นหญ้า เหตุผลเพราะกระต่ายเป็นสัตว์ตอนกลางคืน เวลากลางคืนจะเล่นซุกซนมาก มักจะคุ้ยเขี่ยอาหารเล่น ทำให้หกเสียหาย อีกวิธีคือการให้อาหารที่สามารถกินได้ตลอดทั้งวัน วิธีนี้มรแนวโน้มจะทำให้กระต่ายเจริญเติบโตเร็วกว่าการให้เป็นเวลา แต่ควรใช้กับกระต่ายเลี้ยงลูกและกระต่ายหลังหย่านม ส่วนกระต่ายในระยะดำรงชีพ ไม่ควรให้อาหารแบบนี้ เพราะจะเกินความต้องการของร่างกาย

3. น้ำ (Water) อาจคิดเข้าใจผิดว่ากระต่ายไม่จำเป็นต้องกินน้ำ เนื่องจากได้รับน้ำจากผักและผลไม้ที่กินเข้าไป ความจริงน้ำสะอาดก็ยังเป็นสิ่งสำคัญสำหรับการดำรงชีวิตของกระต่ายเหมือนสัตว์อื่นๆ ดังนั้นจังต้องจัดเตรียมน้ำสะอาดให้กระต่ายได้กินด้วย เพื่อกระต่ายจะได้กินตลอดในเวลาที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต้องการ ควรให้น้ำไว้กินตลอดเวลาไม่ควรเท่น้ำใส่จานหรือถาดใส่น้ำ เนื่องจากกระต่ายจะลงไปเหยียบทำให้น้ำสกปรก เมื่อกินเข้าไปอาจทำให้เกิดการท้องเสียได้ กระต่ายเป็นสัตว์ซึ่งมีจมูกต่ำกว่าปาก ดังนั้นเวลากินน้ำอาจจะสำลักเข้าจมูกได้และเป็นสาเหตุทำให้กระต่ายเป็นหวัดได้ง่าย จึงต้องให้กระต่ายกระกินน้ำจากจุกน้ำแบบดูด โดยใช้จุกน้ำใส่กับขวดแล้วแขวนไว้ข้างกรง มีเพียงปลายจุกที่ทำจากโลหะเท่านั้นที่ยื่นเข้าไปในกรง และต้องเปลี่ยนน้ำใหม่เสมอๆ อย่างน้อยวันละหนึ่งครั้ง

2.2 มูลกระต่าย

เป็นมูลที่มีความเหมาะสมต่อการใช้เป็นปุ๋ยในการปรับปรุงดิน ปลูกพืช โดยเฉพาะไม้ผล เมื่อวิเคราะห์มูลแห้งของกระต่ายพบว่า มีไนโตรเจน 3.7% ฟอสฟอรัส 1.3% และ โปตัสเซียม 3.5% นอกจากนี้การนำมูลกระต่ายมาใช้ก็ไม่ต้องใช้เวลาหมักนาน เพราะมูลกระต่ายไม่ก่อให้เกิดความร้อนสูงและรวดเร็วเหมือนมูลวัวสามารถนำมูลกระต่ายไปเป็นวัสดุรองพื้นในการเพาะเลี้ยงไส้เดือนดิน ซึ่งวัสดุดังกล่าวไม่ควรมรไนโตรเจนสูง เพราะการย่อยสลายจะทำให้เกิดแอมโมเนียเป็นด่างไส้เดือนดินจะตาย ดังนั้นจะมีไนโตรเจนสูงไม่มากนักในมูลกระต่าย ถ้าจพทำปุ๋ย ควรทิ้งไว้ให้เปื่อยยุ่ยก่อนนำมาใช้อย่างน้อย 3 อาทิตย์ เพื่อ ลกเชื้อโรค หรือสิ่งก่อให้เกิดโรค เพื่อย่อยสลายได้ง่ายขึ้นพืชจะดูดซับไปใช้ได้ง่ายขึ้น และ ลดกลิ่นด้วย

2.2.1 ลักษณะของมูลกระต่าย

การขับถ่ายของมูลของกระต่าย หากเราสังเกตจะเห็นว่ามีลักษณะ อยู่หลายแบบและสามารถบ่งบอกถึงสุขภาพของกระต่ายได้

1. มูลกระต่ายปกติทั่วไป มูลกระต่ายมีลักษณะเป็นก้อนกลมสีน้ำตาลแข็งบ่งบอกว่ากระต่ายมีสุขภาพดี ได้รับสารอาหารที่มีไฟเบอร์ในระดับที่ดี ส่งผลใหเกระต่ายมีระบบขับถ่ายที่ดีด้วย

2. มูลกระต่ายพวงองุ่น มูลกระต่ายมีลักษณะนิ่มชื้นและเงาติดกันคล้ายเป็นพวงองุ่น มีกลิ่นเหม็นมูลพวงองุ่นคือสารอารที่ลำไส้ของกระต่ายดูดซึมไม่หมด บางครั้งเราอาจเห็นกระต่ายดินมูลของตัวเอง นั้นคือกระต่ายกำลังกินเสริมจากมูลพวงองุ่น เพื่อสุขภาพที่แข็งแรง

3. มูลกระต่ายสายสร้อย มูลกระต่ายลักษณะมีลักษณะเหมือนมีด้ายเชื่อมต่อกันระหว่างมูลแต่ละก้อน บ่งบอกให้รู้ว่าขนที่หลุดร่วงของกระต่ายทำให้กระต่ายกินเข้าไปพร้อมกับอาหาร ร่างกายกระต่ายสามารถขับออกมาได้การป้องกันหรือแก้ปัญหากระต่ายกินขนของตัวเอง แก้ไขได้โดยการแปรงขนกระต่ายบ่อยๆเพื่อป้องกันขนหลุดร่วงเข้าไปปนกับอาหาร

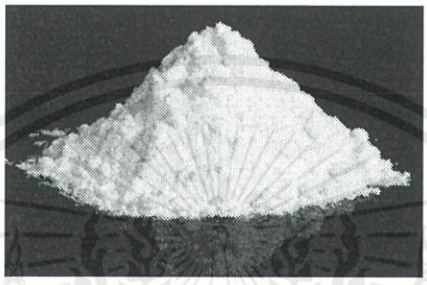
4. มูลกระต่ายยาสีฟัน มูลกระต่ายมีลักษณะคล้ายยาสีฟันถูกบีบออกมาจากหลอด บ่งบอกให้รู้ว่าระบบขับถ่ายของกระต่ายกำลังมีปัญหา สิ่งแรกที่ควรทำคืองดอาหารเม็ดรวมถุงผักและผลไม้ ควรให้กระต่ายกินหญ้าแห้ง น้ำสะอาด และใบกระเพรา 2-3 ก้านภายใน 6-8 ชั่วโมง หากกระต่ายยังไม่ถ่ายเป็นมูลปกติหรือยังไม่หยุดถ่ายเป็นมูลยาสีฟัน ควรพาไปพบสัตวแพทย์ทันที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. มูลกระต่ายเป็นน้ำหรือเป็นเมือกปนน้ำ มูลกระต่ายมีลักษณะเป็นน้ำเหลว หรือนิ่มปนเมือก บ่งบอกว่าเป็นอาการท้องเสียและอาจติดเชื้อทางเดินอาหาร ซึ่งมีโอกาสในการตายจากอาการท้องเสียสูง ควรต้องรีบพาไปพบแพทย์

6. มูลกระต่ายเม็ดเล็กผิดปกติ มูลกระต่ายมีลักษณะเม็ดเล็กๆ เกิดจากได้รับอาหารที่ไม่เหมาะสมหรือกินอาหารประเภทแป้งมากเกินไป บ่งบอกให้รู้ว่าความผิดปกติของลำไส้ส่วนปลาย เมื่อกระต่ายได้รับไฟเบอร์ที่ต่ำ

2.3 ไททาเนียมไดออกไซด์



รูปที่ 2.2 ไททาเนียมไดออกไซด์

ไททาเนียมไดออกไซด์ (Titanium dioxide:TiO_2) เป็นสารประกอบออกไซด์ของโลหะ ไททาเนียม ที่ถูกนำมาใช้มากในอุตสาหกรรมด้านต่างๆ เนื่องจากมีความเสถียรสูง ไม่เป็นพิษ และราคาถูก มีชื่อทางการค้า คือ ไททาเนียมไดออกไซด์ (Titanium dioxide) ไททาเนียมเป็นแร่ที่ถูกค้นพบครั้งแรกเมื่อ ค.ศ. 1791 ในเหมืองแร่เหมืองคอร์นวอลล์ ประเทศอังกฤษ โดยนักธรณีวิทยาชื่อ William Gregor ใช้สัญลักษณ์แทนคือ Ti มีเลขอะตอม 22 มีคุณสมบัติแข็งแรง ทนต่อสภาพกัดกร่อนของคลอรีน น้ำทะเล และกรด-ด่าง ได้ดี ไททาเนียมไดออกไซด์โดยธรรมชาติจะพบน้อยมาก ส่วนใหญ่อยู่ในรูปของแร่อิลเมไนต์ (ilmenite) โดยทำให้บริสุทธิ์ได้โดยวิธี rutile beach sand ซึ่งตารางที่ 2.1 ได้แสดงคุณสมบัติพื้นฐานต่างๆ ของไททาเนียมไดออกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติพื้นฐานต่างๆ ของไททาเนียมไดออกไซด์

ชื่อ	Titanium dioxide
สัญลักษณ์	TiO_2
มวลโมเลกุล	79.9 กรัม/โมล
จุดเดือด	2500 องศาเซลเซียส
จุดหลอดดเหลว	1850 องศาเซลเซียส
สถานะภาพ	ผงสีขาว
ขนาดอนุภาค	20 นาโนเมตร
ความหนาแน่น	130 กรัม/ลัตร
ความถ่วงจำเพาะ	0.7 กรัม/ลูกบาศก์เดซิเมตร
กำลังแรงกด	680 MPa

2.3.1 ประโยชน์ไททาเนียมไดออกไซด์

ปัจจุบันไททาเนียมไดออกไซด์ที่นิยมนำมาใช้ประโยชน์มาก มักใช้ในรูปของผลึกแบบ รูไทล์ (rutile) ที่เกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมในด้านต่างๆ ซึ่งพบมากในธรรมชาติ ส่วนชนิดอนาเทส (anatase) นิยมใช้ในกระบวนการใช้แสงขั้นสูง การนำมาใช้ประโยชน์เกี่ยวข้องกับด้านต่างๆ ได้แก่

1. ใช้สำหรับสารให้สี อุตสาหกรรมสีที่เกี่ยวข้อง มักใช้ไททาเนียมไดออกไซด์เป็นส่วนผสมของสีทาบ้านด้วยคุณสมบัติให้สารสีขาว สามารถดูดกลืน และหักเหช่วงแสงที่ตามนุษย์มองเห็นได้สูง ขนาดอนุภาคเล็ก มีความยืดหยุ่นสูงทำให้ปกปิดรอยร้าว รอยตำหนิได้ดี และทนต่อสภาพความเป็นกรด-ด่าง ทนต่อแสง และความร้อน รวมถึงใช้เป็นส่วนผสมของสีสำหรับงานพิมพ์ งานศิลปะ เนื่องจากมีคุณสมบัติให้สีขาวสว่าง

2. ใช้เป็นสารเคลือบผลิตภัณฑ์ มักใช้เป็นสารเคลือบในอุตสาหกรรมต่างๆ อาทิ อุตสาหกรรมพลาสติก อุตสาหกรรมแก้ว กระจก อุตสาหกรรมผลิตกระเบื้อง การผลิตสุขภัณฑ์ การผลิตเซรามิก อุตสาหกรรมโลหะสำหรับการเคลือบผิวโลหะ อุตสาหกรรมกระดาษสำหรับการเคลือบกระดาษเพื่อลดการทะลุผ่านของแสง ด้วยคุณสมบัติที่สามารถยึดเกาะ และเคลือบติดผิวได้ง่าย มีความทนทานต่อการกัดกร่อน รวมถึงคุณสมบัติที่กล่าวในข้างต้น นอกจากนั้น การใช้ไททาเนียมไดออกไซด์สำหรับเคลือบผิวผลิตภัณฑ์สามารถช่วยลดต้นทุนการผลิต และลดน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ได้อีกทาง

3. เป็นสารกึ่งตัวนำผลิตกระแสไฟฟ้า การผลิตเซลล์แสงอาทิตย์นิยมใช้ไททาเนียมไดออกไซด์เป็นส่วนประกอบ ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า

4. ใช้ในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ที่เกี่ยวข้องกับวงจรไฟฟ้ามักใช้ไททาเนียมไดออกไซด์เป็นตัวเก็บประจุไฟฟ้า ด้วยคุณสมบัติมีค่าคงที่ทางไฟฟ้า และค่าความต้านทานไฟฟ้าสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ใช้เป็นส่วนผสมในเครื่องสำอาง เครื่องสำอางบางยี่ห้อมีการใช้ไททาเนียมไดออกไซด์เป็นส่วนผสมสำหรับทำหน้าที่ให้ผงละเอียดสีขาว มีคุณสมบัติทึบแสง สามารถสะท้อน และหักเหแสงได้สูง และสะท้อนรังสียูวีได้ดี ไม่เป็นอันตรายต่อผิว ผลิตภัณฑ์ที่พบใช้เป็นส่วนผสมมาก ได้แก่ ครีมบำรุงผิว ครีมกันแดด แป้งรองพื้น และทาทับ เป็นต้น

6. ใช้ในด้านการบำบัดมลพิษ

6.1 ใช้เป็นสารดูดซับ โดยใช้งานในด้านการบำบัดมลพิษทางอากาศ และมลพิษทางน้ำ ทำหน้าที่เป็นสารตัวดูดซับมลพิษ

6.2 ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาสังเคราะห์แสงไททาเนียมไดออกไซด์เมื่อได้รับแสง และความร้อน จะแตกตัวให้สาร และรังสีที่มีคุณสมบัติหลายประการที่สามารถกำจัดของเสียหรือมลพิษในน้ำ และอากาศ รวมถึงการกำจัด และต้านเชื้อจุลินทรีย์ โดยมีกลไก ดังนี้

6.2.1 สำหรับการต้านเชื้อจุลินทรีย์ เมื่อแผ่นนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ได้รับแสงจะปลดปล่อยไฮดรอกซิล แรดิคัล (OH^+) และซุปเปอร์ออกไซด์ไอออน (O^{2-}) ออกมาสู่อากาศ และอะตอมดังกล่าวจะเข้าดึงอะตอมไฮโดรเจน และคาร์บอนจากผนังเซลล์ของเชื้อจุลินทรีย์ รวมถึงสารอินทรีย์ที่ทำให้เกิดกลิ่นทำให้จุลินทรีย์ และสารมลพิษต่างๆสลายตัวไป

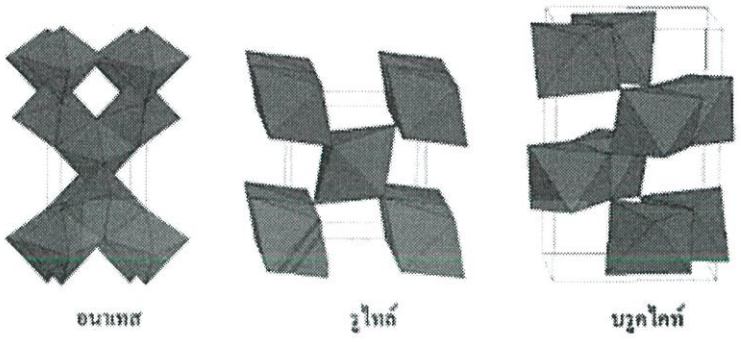
6.2.2 สำหรับการบำบัดมลพิษทางอากาศ เช่น การกำจัดก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_x) ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) และสารอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs) ด้วยการผ่านแสงอุลตร้าไวโอเลตในช่วงคลื่น 300-400 นาโนเมตร จะทำให้เกิดอนุภาคข้างต้นเข้าทำปฏิกิริยากับสารมลพิษดังกล่าวทำให้กลายเป็นกรดไนตริก และกรดซัลฟูริก ส่วนสารอินทรีย์ระเหยง่ายจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างกลายเป็นสารอื่นที่มีความเป็นอันตรายน้อยลง

6.2.3 สำหรับบำบัดมลพิษในน้ำ ด้วยการให้แสงแก่แผ่นตัวกลางนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ที่แขวนอยู่ในน้ำ เมื่อได้รับแสงจะเกิดการปลดปล่อยอนุภาคดังที่กล่าวข้างต้นเข้าทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ที่แขวนลอยในน้ำกลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

2.3.2 ชนิดของไททาเนียมไดออกไซด์

แบ่งตามโครงสร้างของผลึก ได้แก่ รูไทล์ (rutile) มีโครงสร้างผลึกแบบเททระโกนัล (tetragonal) เป็นชนิดที่พบมากที่สุดในธรรมชาติ มีความคงทน และเสถียรต่อการเปลี่ยนแปลงต่ออุณหภูมิที่สูง อนาเทส (anatase) มีโครงสร้างผลึกแบบเททระโกนัล (tetragonal) เป็นชนิดที่พบในธรรมชาติปานกลาง หากให้ความร้อนสูงกว่า 915 องศาเซลเซียส จะเปลี่ยนโครงสร้างผลึกเป็นแบบรูไทล์ บรูคไคท์ (brookite) มีโครงสร้างผลึกแบบออร์โทรอมบิก (orthorhombic) เป็นชนิดที่พบได้น้อยในธรรมชาติ มีความเสถียรต่ออุณหภูมิต่ำ หากได้รับความร้อนมากกว่า 750 องศาเซลเซียส จะเปลี่ยนโครงสร้างผลึกเป็นแบบรูไทล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 โครงสร้างผลึกของไททาเนียมไดออกไซด์

2.4 กระบวนการไฮโดรเทอร์มัล

กระบวนการไฮโดรเทอร์มัลเป็น กระบวนการแปรรูปทางเคมีที่สำคัญที่ใช้ในการแปลงชีวมวลเป็นผลิตภัณฑ์ของแข็ง หรือไฮโดรชาร์ ไฮโดนเทอร์มัลเป็นกระบวนการคายความร้อนที่ช่วยลดปริมาณออกซิเจนและไฮโดรเจนของวัตถุดิบชีวมวล โดยใช้น้ำเป็นตัวทำปฏิกิริยาเพื่อสลายตัวสารคาร์โบไฮเดรต (Carbohydrates) เนื่องจากองค์ประกอบของชีวมวลจะมีความเสถียรน้อยลงเมื่ออยู่ภายใต้สภาวะอิ่มตัวไปด้วยน้ำ โดยจะทำปฏิกิริยาภายใต้ความร้อนและความดัน อุณหภูมิที่ใช้อยู่ในช่วง 140-220 องศาเซลเซียสในถังปฏิกรณ์ที่ปิดสนิท จะได้วัสดุคล้ายคาร์บอนภายใต้สภาวะการสังเคราะห์ด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลที่ไม่รุนแรง โดยเวลาในการทำปฏิกิริยาสั้นๆไปจนถึงหลายชั่วโมง ที่ความดันประมาณ 10 บาร์ โดยปกติการย่อยสลายชีวมวลจะเริ่มต้นที่อุณหภูมิประมาณ 180 องศาเซลเซียส ซึ่งความรุนอรงของปฏิกิริยามีผลมาจากอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นและเวลาในการทำปฏิกิริยาซึ่งจะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณคาร์บอนสูงขึ้น ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการไฮโดรเทอร์มัล ได้แก่ ของแข็ง (ไฮโดรชาร์) สารละลายของเหลว และก๊าซ (ประมาณ 10% โดยน้ำหนักของวัตถุดิบ) คุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ไฮโดรชาร์ที่เกิดขึ้นจะมีปริมาณคาร์บอนคง ที่เพิ่มขึ้น ความเป็นเนื้อเดียวกัน และมีสมบัติไม่ชอบน้ำ มีความสามารถในการดูดความชื้นลดลง

2.4.1 กลไกลการเกิดปฏิกิริยา

2.4.1.1 ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส

ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) เป็นการให้โมเลกุลของน้ำ (H_2O) ไปทำปฏิกิริยากับสาร ตัวอย่างเช่น ชีวมวล เป็นต้น โดยโมเลกุลของน้ำจะเข้าไปทำลายพันธะ (Break bond) ของลิกนิน เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส ซึ่งเป็นส่วนประกอบในชีวมวล จากพันธะที่ต่อกันเป็นสายโซ่ยาว (โมเลกุลขนาดใหญ่) ก็จะเกิดการแยกเป็นสายโซ่สั้นหรือโมเลกุลที่มีขนาดเล็กลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1.2 ปฏิกิริยาดีไฮเดรชัน

ปฏิกิริยาดีไฮเดรชันเป็นการกำจัดโมเลกุลของน้ำ (H_2O) ออกระหว่างไฮโดรเทอร์มัล ส่งผลให้มีปริมาณคาร์บอน (Carbon content, %C) มากขึ้น หรืออีกในแง่หนึ่งคือเป็นการกำจัดออกซิเจนในรูปของน้ำ โดยไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีในช่วงที่เกิดไฮโดรเทอร์มัล อัตราการเกิดปฏิกิริยาดีไฮเดรชันจะสูงกว่า ดีคาร์บอกซิเลชันมาก

2.4.1.3 ดีคาร์บอกซิเลชัน

ดีคาร์บอกซิเลชัน (Decarboxylation) เป็นปฏิกิริยาทางเคมีที่จะกำจัดกลุ่มคาร์บอกซิลออก จากสารประกอบและปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) โดยปกติดีคาร์บอกซิเลชันหมายถึง ปฏิกิริยาของกรดคาร์บอกซิลิกเอาอะตอมของคาร์บอนออกจากสายโซ่คาร์บอนเป็นปฏิกิริยาเคมี ย้อนกลับของครั้งแรกในการสังเคราะห์แสงเรียกว่าคาร์บอกซิเลชัน ซึ่งเป็นการเติมคาร์บอนไดออกไซด์ ลงในสารประกอบ

2.4.1.4 ปฏิกิริยาการควบแน่น

ปฏิกิริยาการควบแน่น (Condensation) ปฏิกิริยาการควบแน่นเป็นปฏิกิริยาทางเคมีที่โมเลกุล สองตัวซึ่งมักทำงานกลุ่มรวมกันเพื่อสร้างโมเลกุลที่ใหญ่กว่าแต่โดยทั่วไปในปฏิกิริยาทางชีววิทยาเป็นน้ำ การควบแน่นที่เกิดจากการผลิตน้ำเป็นผลพลอยได้

2.4.1.6 ปฏิกิริยาอะโรมาไตเซชัน

ปฏิกิริยาอะโรมาไตเซชัน (Aromatization) เป็นการเปลี่ยนสารประกอบไฮโดรคาร์บอนโซ่ ตรงเป็นโว่ก่ง หรือการเปลี่ยนไฮโดรคาร์บอนแบบวงเป็นสารประกอบอะโรมาติก โดยใช้ความร้อนและ ตัวเร่งปฏิกิริยา

2.4.2 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อกระบวนการไฮโดรเทอร์มัล

2.4.2.1 อุณหภูมิ

อัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มัลขึ้นอยู่กับอุณหภูมิเป็นปัจจัยหลักและมีอิทธิพลกับ ปฏิกิริยาการย่อยสลายพันธะของชีวมวล เมื่ออุณหภูมิทำให้ประสิทธิภาพของการแปลงชีวมวลเพิ่มขึ้น เพิ่มขึ้นเนื่องจากมีพลังงานในการทำลายพันธะของชีวมวล นอกจากนี้อุณหภูมิที่สูงขึ้นระหว่างกระบวนการของไฮโดรเทอร์มัลช่วยเพิ่มอะโรมะติกของโครงสร้างคาร์บอน โดยทั่วไปผลิตภัณฑ์ที่เป็นของแข็งจะเกิดขึ้นมากที่สุดในช่วงอุณหภูมิ 150-200 องศาเซลเซียส และในช่วงอุณหภูมิปานกลาง 250-350 องศาเซลเซียสทำให้ผลิตภัณฑ์ของแข็งลดลง และในขณะที่อุณหภูมิสูงกว่า 350 องศาเซลเซียสทำให้ผลผลิตของแข็งลดลงเป็นอย่างมากเนื่องจากปริมาณออกซิเจนและไฮโดรเจนลดลงส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ก๊าซมากขึ้น นอกจากนี้อุณหภูมิยังส่งผลทางอ้อมต่อกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลเนื่องจากทำให้น้ำมีความหนืดลดลงซึ่งช่วยให้โมเลกุลของน้ำแพร่เข้าไปทำลายโครงสร้างชีวมวลส่งผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้ชีวมวลมีการสลายตัวเพิ่มขึ้น โดยอิทธิพลของความดันต่อปฏิกิริยามีความสำคัญน้อยเมื่อเทียบกับอุณหภูมิ

2.4.2.2 เวลา

เวลาในการทำปฏิกิริยามีบทบาทสำคัญในการกำหนดขอบเขต การทำปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มัล เป็นปฏิกิริยาช้า โดยกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลจะใช้เวลาแตกต่างกันไปในช่วงหลายนาทีหรือ 2-3 วัน ซึ่งเวลาในการทำปฏิกิริยาจะมีผลต่อปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสเฉพาะช่วงเวลาหนึ่งเท่านั้น ถ้าเกินกว่านี้จะไม่มีผลกระทบใดๆต่อกระบวนการ โดยทั่วไปปริมาณผลิตภัณฑ์ของแข็งจะมากขึ้นถ้าใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาเวลาที่เกิดปฏิกิริยายาวนานขึ้น โดยระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาจะเป็นตัวกำหนดองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์โดยรวม ภายใต้สภาวะเหนือวิกฤตการไฮโดรไลซิสและอัตราการย่อยสลายของชีวมวลจะค่อนข้างเร็ว ดังนั้นเวลาในการทำปฏิกิริยาจะสั้น และการใช้เวลาสั้นๆในการทำปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มัลจะได้ผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงที่เป็นของแข็งที่มีค่าความร้อนสูง เนื่องจากกำจัดออกซิเจนที่มีอยู่ในชีวมวลถูกกำจัดออกไปหรือเป็นการไฮโดรไลซิสเฮมิเซลลูโลส ดังนั้นเวลาในการทำปฏิกิริยาที่สูงขึ้นจะเพิ่มการก่อตัวของรูพรุน ปริมาณรูพรุนและพื้นที่ผิวสูง

2.4.2.3 ชนิดของชีวมวล

โครงสร้างและองค์ประกอบของชีวมวลมีความแตกต่างกัน เนื่องจากมีความแตกต่างของสภาพแวดล้อมในการเจริญเติบโต และเวลาในการเจริญเติบโต ซึ่งส่วนประกอบหลักของชีวมวล ได้แก่ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน โดยทั่วไปชีวมวลที่มีองค์ประกอบเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสสูงจะก่อให้เกิดผลิตภัณฑ์ที่เป็นน้ำมันมาก และชีวมวลที่มีองค์ประกอบลิกนินสูงจะให้ผลผลิตไฮโดรชาร์มาก เนื่องจากลิกนินสามารถย่อยสลายได้ยากและมีโครงสร้างที่ซับซ้อนส่งผลให้ยังคงเหลืออยู่ในโครงสร้างชีวมวล ภายใต้เงื่อนไขกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลของเซลลูโลสจะถูกไฮโดรไลซิสที่อุณหภูมิสูงกว่า 200 องศาเซลเซียส เฮมิเซลลูโลสที่ประมาณ 180 องศาเซลเซียส และลิกนินจะสลายตัวที่ประมาณ 200 องศาเซลเซียส ดังนั้นส่วนประกอบของลิกนินและเซลลูโลสในชีวมวลมีบทบาทสำคัญที่จะทำให้เกิดความพรุนของไฮโดรชาร์

2.4.2.4 ความดัน

ความดันเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีอิทธิพลต่อการย่อยสลายชีวมวลในกระบวนการไฮโดรไลซิส การย่อยสลายชีวมวลและอัตราการไฮโดรไลซิสสามารถควบคุมได้โดยการรักษาความดัน โดยความดัน มีผลต่อความหนาแน่นของตัวทำละลาย ถ้าตัวทำละลายที่มีความหนาแน่นสูงการสลายตัวของชีวมวลจะมากขึ้น เนื่องจากตัวทำละลายสามารถแทรกซึมเข้าไปในชิ้นส่วนชีวมวลได้ทั่วถึง อย่างไรก็ตามในสภาวะเหนือวิกฤตความดันจะมีอิทธิพลน้อยมากต่อผลิตภัณฑ์น้ำมันหรือแก๊ส เนื่องจากความดันจะไม่มีผลกระทบต่อความหนาแน่นของน้ำหรือตัวทำละลายมากนักความดันในถังปฏิกรณ์สามารถเพิ่มได้ โดยการเพิ่มอุณหภูมิโดยตรงหรือโดยการเติมของเหลวเช่น ไนโตรเจน ซึ่งความดันที่เกิดขึ้นมีผลต่อการเกิดไฮโดรชาร์ เนื่องจากความดันสูงทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นส่งผลให้การ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำลายองค์ประกอบของชีวมวลเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว และผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพสูง ดังนั้นผลกระทบของความดันที่เพิ่มขึ้นทำให้การก่อตัวของไฮโดรชาร์ได้มากขึ้น

2.4.2.5 ตัวเร่งปฏิกิริยา

ลักษณะของตัวเร่งปฏิกิริยามีความสำคัญต่อการก่อตัวของไฮโดรชาร์การใช้สารลดแรงตึงผิว หรือตัวเร่งปฏิกิริยาในปริมาณน้อยจะช่วยเพิ่มปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส โดยการกระจายตัวของอนุภาคตัวเร่งปฏิกิริยาในสารชีวมวลจะช่วยในการสลายสารประกอบลิกนินและเซลลูโลสเพื่อสร้างไฮโดรชาร์ ได้มากขึ้นระหว่างกระบวนการของไฮโดรเทอร์มัลชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยาจะมีผลต่อปฏิกิริยา โดยทั่วไปตัวเร่งปฏิกิริยากรดมีประสิทธิภาพมากที่สุดสำหรับปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ในขณะที่ตัวเร่งปฏิกิริยาเบสจะขัดขวางการก่อตัวของไฮโดรชาร์และเพิ่มการสะสมของน้ำมันเหลว การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยายังทำให้เกิดการรีดิวซ์ NO_x เนื่องจากตัวเร่งปฏิกิริยาสามารถเปลี่ยน NO_x เป็นไนโตรเจน และน้ำได้อย่างรวดเร็ว สำหรับการเลือกตัวเร่งปฏิกิริยาที่ดีที่ควรจะมีเสถียรทางความร้อน มีประสิทธิภาพราคาคุ้มค่า และมีความสามารถในการเลือกสูงสามารถแปลงชีวมวลเป็นผลผลิตได้มาก ตัวอย่างเช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) โพแทสเซียมคาร์บอเนต (K_2CO_3) โพรพานอล (C_3H_8O) เอทานอล (C_2H_6O) กรดซิตริก ($C_6H_8O_7$)

2.5 กระบวนการคาร์บอไนเซชัน

คาร์บอนไนเซชันเป็นกระบวนการทางไพโรไลซิส (Pyrolysis) ทำโดยการเผาวัตถุดิบในที่อับอากาศในที่อุณหภูมิต่ำกว่า 1,000 องศาเซลเซียส ขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบทำให้เกิดผลิตภัณฑ์สามประเภท ได้แก่ ถ่านที่มีลักษณะสีดำเรียกว่า ชาร์ (Char) ส่วนที่เป็นของเหลวเรียกว่าทาร์ (Tar) และส่วนที่เป็นแก๊ส ขั้นตอนการทำปฏิกิริยาคาร์บอนไนเซชันจัดว่าเป็นขั้นตอนหนึ่งที่มีความสำคัญมากที่สุด เนื่องจากในการทำปฏิกิริยาคาร์บอนไนเซชันจะมีการเริ่มสร้างของโครงสร้างรูพรุน โดยในระหว่างการทำปฏิกิริยาธาตุและองค์ประกอบต่างๆที่ไม่ใช่คาร์บอนรวมถึงสารระเหยต่างๆ เช่น ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน และน้ำจะถูกกำจัดออกจากโครงสร้างของวัตถุดิบในรูปของแก๊ส และน้ำมันทาร์จากนั้นจะได้ชาร์ (คุณสมบัติใกล้เคียงกับคาร์บอน) ที่มีการจัดตัวของโครงสร้างผลึกที่ไม่เป็นระเบียบซึ่งจะมีช่องว่างรูพรุนระหว่างผลึก

จากการทำปฏิกิริยาคาร์บอไนเซชันอะตอมอื่นๆที่ไม่ใช่คาร์บอน เช่น ออกซิเจน ไนโตรเจน และโฮโดรเจนจะถูกกำจัดออกในรูปของแก๊สอะตอมคาร์บอนที่เหมือนจะเรียงตัวเป็นชั้นๆ แต่ละชั้นประกอบไปด้วยวงหกเหลี่ยม (Aromatic ring) เชื่อมโยงกันแบบไม่เป็นระเบียบและเกิดเป็นช่องว่างหรือโพรง ซึ่งเป็นที่อยู่ของพวกทาร์และสารอื่นๆที่ได้ จากการเผาช่องว่างดังกล่าวจะเปลี่ยนเป็นรูพรุนที่มีสมบัติการดูดซับ เมื่อผ่านกระบวนการการกระตุ้น ซึ่งการชะล้างผลิตภัณฑ์ทาร์และสารอื่นๆที่เกิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการเผาออกจากโพรงหรือช่องว่าง และเกิดหมู่ฟังก์ชันขึ้นมาแทนที่ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการดูดซับของผลิตภัณฑ์ที่ เกิดขึ้นจะเป็นผลมาจากโครงสร้างทางเคมี และประสิทธิภาพในการดูดซับซึ่งเกิดจากอิเล็กตรอนอิสระนั้นอยู่ในสภาวะที่ไม่เสถียร คือ วาเลนซ์ไม่อิ่มตัว มันจึงต้องการที่จะไปเกาะกับโมเลกุลหรืออะตอมอื่น เช่น ออกซิเจนในอากาศหรืออะตอมอื่นๆที่อยู่ในสารตั้งต้น กระบวนการกระตุ้นจะช่วยให้การจับกันระหว่างอะตอมคาร์บอนกับอะตอมอื่นเกิดเป็นพันธะเคมีที่มีความแข็งแรง มักจะเกิดกับอะตอมของคาร์บอนที่บริเวณขอบของวงหกเหลี่ยมทำให้สามารถดูดซับแบบเคมี กับออกซิเจนที่อุณหภูมิ 400-500 องศาเซลเซียส และเปลี่ยนสภาพเป็นออกไซด์เมื่อมีอุณหภูมิสูงขึ้น นอกจากนี้ยังสร้างพันธะเคมีที่แข็งแรงกับอะตอมไฮโดรเจน ถึงแม้ว่าจะใช้อุณหภูมิสูงถึง 1,000 องศาเซลเซียสก็ไม่สามารถทำให้อะตอมหลุดออกจากกันได้ และสามารถดึงอะตอมไนโตรเจนออกจากโมเลกุลแอมโมเนียและซัลเฟอร์ออกจากโมเลกุลไฮโดรเจนซัลไฟด์และดึงอะตอมกลุ่มฮาโลเจน (Halogen) ออกจากโมเลกุลฮาโลเจน ทั้งที่อยู่ในสภาพแก๊สหรือของเหลวก็ได้จึงเกิดเป็นหมู่ฟังก์ชันต่างๆบนผิวของตัวอย่างแต่ที่สำคัญคือผิวที่เกิดจากอะตอมของคาร์บอนและออกซิเจน หรือที่เรียกว่าผิวออกไซด์

2.5.1 ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการคาร์บอนไนเซชัน

2.5.1.1 ธรรมชาติของวัตถุดิบ

ชีวมวลแต่ละชนิดมีภาวะที่เหมาะสมแตกต่างกันในการทำปฏิกิริยาคาร์บอนไนเซชัน โดยชีวมวลที่มีปริมาณลิกนินและไนโตรเจนสูงเมื่อทำปฏิกิริยาคาร์บอนไนเซชันแล้ว จะให้ผลิตภัณฑ์ชาร์มากกว่าชีวมวลที่มีปริมาณลิกนินและไนโตรเจนน้อย และชีวมวลที่มีความชื้นต่ำจะให้ผลิตภัณฑ์ชาร์มากกว่าชีวมวลที่มีความชื้นสูง

2.5.1.2 อุณหภูมิ

อุณหภูมิเป็นปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณผลิตภัณฑ์มากที่สุด เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นปริมาณชาร์ที่เกิดขึ้นจะลดลง ส่วนน้ำมันทาร์และแก๊สที่ได้เพิ่มมากขึ้น และคุณสมบัติของน้ำมันทาร์จะมีกลุ่มโครงสร้างเปลี่ยนแปลงไปด้วย เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิเป็นการเพิ่มพลังงานเพื่อทำลายพันธะภายในโครงสร้างของชีวมวล

2.5.1.3 ความดัน

การทำปฏิกิริยาโดยใช้ความดันสูง เนื่องจากทำให้ไอระเหยของแก๊สมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นส่งผลให้อัตราปฏิกิริยาการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น

2.5.1.4 อัตราความร้อน

อัตราการเพิ่มอุณหภูมิต่ำทำให้สามารถชะลอการก่อตัวของไอระเหยอินทรีย์จากอนุภาควัตถุดิบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.15 อัตราการไหลของแก๊ส

แก๊สที่เป็นตัวกลาง เช่น ไนโตรเจน (เฉื่อยต่อปฏิกิริยาเผาไหม้ของคาร์บอน) จะมีผลกระทบต่อปฏิกิริยา ถ้าอัตราการไหลของแก๊สต่ำจะช่วยเพิ่มการก่อตัวของผลิตภัณฑ์ชาร์ เนื่องจากชีวมวลสัมผัสกับแก๊สได้เป็นเวลานานและลดปริมาณเถ้าที่เกิดขึ้น

2.6 การกระตุ้น

การกระตุ้นเป็นกระบวนการที่เปลี่ยนวัตถุดิบไปเป็นถ่านกัมมันต์ในสภาพที่มีปริมาณออกซิเจน จำกัดซึ่งเป็นขั้นตอนการเพิ่มคุณภาพ และประสิทธิภาพการดูดซับให้กับถ่านกัมมันต์จะมีทั้งกระบวนการที่เปลี่ยนวัตถุดิบไปเป็นถ่านกัมมันต์โดยตรง และกระบวนการที่เปลี่ยนวัตถุดิบไปเป็นถ่านชาร์ จากนั้นจึงเปลี่ยนถ่านชาร์ไปเป็นถ่านกัมมันต์ โดยทั่วไปการกระตุ้นทำได้ 2 วิธี คือ การกระตุ้นทางกายภาพ และการกระตุ้นทางเคมี ดังนี้

2.6.1 การกระตุ้นทางกายภาพ (Physical activation)

เป็นขั้นตอนการทำให้ถ่านชาร์ เกิดการพัฒนารูพรุนได้มากขึ้นโดยการออกซิไดซ์ด้วยแก๊ส เช่น แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) หรือไอน้ำ (H_2O) เป็นต้น โดยใช้อุณหภูมิกระตุ้นค่อนข้างสูงในช่วง 800-1,100 องศาเซลเซียสขึ้นกับชนิดของวัตถุดิบซึ่งในระหว่างการกระตุ้นจะเกิดปฏิกิริยาแก๊สซิฟิเคชัน (Gasification) ระหว่างแก๊สออกซิไดซ์กับสารระเหยที่ตกค้างอยู่ในถ่านชาร์และอะตอมคาร์บอน ทำให้มีการพัฒนารูพรุนเกิดขึ้นในการกระตุ้นด้วยไอน้ำ ไอน้ำที่ใช้ต้องเป็นไอน้ำที่ร้อนยิ่งยวด (Superheated steam) เพื่อทำให้สารอินทรีย์ต่างๆสลายตัวไป โดยเมื่อไอน้ำสัมผัสกับถ่านชาร์จะเกิดปฏิกิริยาแก๊สซิฟิเคชันขึ้นระหว่างไอน้ำ และอะตอมคาร์บอน ตามสมการปฏิกิริยาดังนี้

$$C(s) + H_2O(g) \rightarrow CO(g) + H_2(g) \qquad \Delta H = +117 \text{ กิโลจูลต่อโมล} \qquad (2.1)$$

$$CO(g) + H_2O(g) \rightarrow CO_2(g) + H_2(g) \qquad \Delta H = -42.3 \text{ กิโลจูลต่อโมล} \qquad (2.2)$$

จากปฏิกิริยานี้ทำให้เกิดแก๊สผลิตภัณฑ์ที่เป็นแก๊สเชื้อเพลิง เรียกว่า Syngas ประกอบไปด้วยสารอินทรีย์ต่างๆ เช่น คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และไฮโดรเจน (H_2) โดยแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ที่เกิดขึ้นบางส่วนนี้จะทำปฏิกิริยากับไอน้ำควบคู่ไปด้วย (ดังสมการ (2.2)) ทำให้มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เกิดขึ้นในระบบส่วนการกระตุ้นด้วยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ สมการปฏิกิริยาแสดงได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$C(s) + CO_2(g) \rightarrow 2CO(g) \qquad \Delta H = +159 \text{ กิโลจูลต่อโมล} \qquad (2.3)$$

จากปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นนี้ได้แก๊สผลิตภัณฑ์เป็นแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ ซึ่งเมื่อแก๊สเชื้อเพลิงที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่นี้หลุดออกไป จะทำให้โครงสร้างภายในของถ่านชาร์เกิดการเปลี่ยนแปลง โดยมีลักษณะเป็นรูพรุนกระจายอยู่ทั่วไป แต่รูพรุนที่ได้จากการกระตุ้นด้วยวิธีนีจะมีขนาดเล็กกว่าการกระตุ้นทางเคมีซึ่งส่งผลต่อความสามารถในการดูดซับของถ่านกัมมันต์และจากการที่ไอน้ำ หรือแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ทำปฏิกิริยากับคาร์บอนพร้อมทั้งดูดความร้อนจากผิวคาร์บอนนี้ทำให้ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นแบบดูดความร้อน (Endothermic reaction) ข้อดี ของการกระตุ้นถ่านกัมมันต์ด้วยวิธีนี คือ ถ่านกัมมันต์ที่ได้ไม่มีสารเคมีตกค้างเหมือนการกระตุ้นทางเคมีจึงสามารถนำไปใช้งานได้ทันทีโดยที่ไม่ต้องล้างสารเคมีที่ตกค้างออก

2.6.2 การกระตุ้นด้วยสารเคมี (Chemical activation)

เป็นการผลิตถ่านกัมมันต์ โดยการผสมสารเคมีที่ทำหน้าที่เป็นสารกระตุ้นเข้ากับวัตถุดิบ จากนั้นนำวัตถุดิบที่ได้ไปผ่านกระบวนการคาร์บอไนเซชันที่อุณหภูมิแตกต่างกันในช่วงประมาณ 400-700 องศาเซลเซียส ขึ้นกับสารเคมีที่ใช้ในการกระตุ้น โดยสารเคมีที่นิยมใช้กันมากมักมีคุณสมบัติดูดน้ำได้ (Dehydrating agent) เช่น แคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$), ซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$), โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH), โพแทสเซียมซัลไฟด์ (K_2S), โพแทสเซียมไทโอไซยาเนต (KSCN), กรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) และกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) เป็นต้น ในการทำให้เกิดรูพรุนนั้นทำได้โดยการให้ความร้อนแก่วัตถุดิบร่วมกับสารเคมี โดยสารเคมีนี้มีบทบาทในการทำลายโครงสร้างเดิมของวัตถุดิบ เมื่อนำไปผ่านกระบวนการคาร์บอไนเซชันจะเกิดการสลายตัวของสารองค์ประกอบอินทรีย์บางชนิดบนผิวของวัตถุดิบทำให้โครงสร้างเกิดการเชื่อมไขว้กันเกิดเป็นโครงข่ายรูพรุน ในการกระตุ้นด้วยวิธีนี้จะยังคงมีสารองค์ประกอบบางชนิดที่ไม่สามารถสลายตัวออกไปได้ส่งผลให้ได้เนื้อถ่านเพิ่มขึ้น และเกิดทาร์ หรือน้ำมันดินได้น้อยลง และจากการที่สารเคมีที่ใช้แทรกตัวอยู่ภายในโครงสร้างของถ่านกัมมันต์ทำให้ถ่านเกิดการหดตัวได้น้อย และเมื่อนำมาล้างสารเคมีออกจะทำให้ได้ถ่านกัมมันต์ที่มีรูพรุนเพิ่มขึ้น ซึ่งในการกระตุ้นด้วยวิธีนี้อาจมีปัญหาในเรื่องของสารตกค้างในถ่านกัมมันต์ได้

2.7 กระบวนการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสง

เป็นการปฏิกิริยาเคมีโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มารถทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาได้โดยการกระตุ้นด้วยแสง ตัวเรงปฏิกิริยานี้จะทำหนาที่ลดพลังงานกระตุนของการเกิดปฏิกิริยาเคมี จึงสามารถเพิ่มอัตราเร็วของปฏิกิริยาเคมีได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.1 กระบวนการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงมีองค์ประกอบ

1. สารแคทตาลิสต์ ซึ่งมี 2 ชนิด ได้แก่ สารกึ่งตัวนำ (Semiconductor) เช่น ไททาเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) แคดเมียซัลไฟด์ (CdS) สังกะสีออกไซด์ (ZnO) และ สารโลหะตัวนำ (Transition Metal) เช่น ทองแดง (Cu) โครเมียม (Cr) นิเกิล (Ni) เป็นต้น

2. พลังงานแสง ซึ่งมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับพลังงานโฟตอนของตัวแคตาลิสต์ (Energy)

3. เฟสของเหลว (Liquid phase) หรือเฟสน้ำ

4. ออกซิเจน (Oxygen) หรือตัวออกซิแดนท์ (Oxidants) อื่นๆ

2.7.2 ชนิดของกระบวนการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสง

1. สารเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงแบบสถานะเดียว (Homogeneous Photocatalyst)

เป็นกระบวนการที่ใช้ตัวแคทตาลิสต์ (Catalyst) ซึ่งมีสถานะเดียวกับสารอินทรีย์หรือมวลสารที่ต้องกำจัด (โดยทั่วไปแล้วจะเป็นของเหลว) เช่น การย่อยสลาย 2,4, Dinitro lune โดยใช้ UV/H_2O เป็นต้น

2. สารเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงแบบสถานะต่าง (Heterogeneous Photocatalyst)

เป็นกระบวนการที่ใช้ตัวแคตาลิสต์ (Catalyst) ซึ่งมีสถานะต่างกับสารอินทรีย์ที่ต้องกำจัด เช่น การย่อยสลาย 2-Chlorophenol โดยใช้ UV/TiO_2 เป็นต้น

2.7.3 พลังงานแสง (Light Energy)

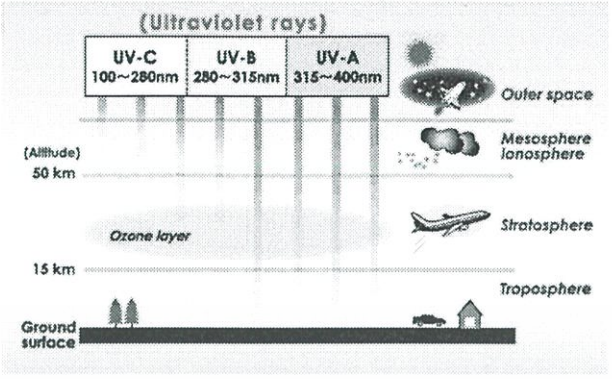
โดยทั่วไปพลังงานแสงที่เรารู้จักกันดีคือพลังงานแสงจากดวงอาทิตย์ (Solar energy) โดยแสงอาทิตย์ที่ส่องลงมายังโลกนั้นจะประกอบไปด้วยแสงอุลตร้าไวโอเล็ต (UV) และ แสงขาว (Visible) ซึ่งจะมีความยาวคลื่นอยู่ในชวง 100 – 400 และ 380 – 750 นาโนเมตร ตามลำดับ ในทางทฤษฎีรังสียูวี (UV) สามารถแบงออกได้เป็น3ชวงดังนี้

1. คลื่นยาว (Long Wave UV,UV-A) อยู่ในช่วง400–320นาโนเมตร
2. คลื่นกลาง(Middle Wave UV,UV-B) อยู่ในช่วง320–280นาโนเมตร
3. คลื่นสั้น(Short Wave UV,UV-C) อยู่ในช่วง280–200นาโนเมตร

ถึงแม้พลังงานแสงจากดวงอาทิตยจะมีชวงความยาวคลื่นที่กว้างมากแต่ความเข้มของแสงยูวีและแสงขาว ที่สองลงมายังพื้นผิวโลกจะมีคาลดลงเนื่องจากการถูกดูดกลืนและการกระเจิงของแสงในชั้นบรรยากาศดัง แสดงในรูปที่ 2.4 จากรูปพบวารังสีที่มีความยาวคลื่นมากจะสามารถเคลื่อนที่ไดไกลกวาจึงมีเพียงรังสี UV-A และ UV-B บางสวนเทานั้นที่สองผ่านมายังผิวโลกได โดยที่รังสี UV-A เป็นรังสีที่มีอันตรายไม่มากอีกทั้งยัง มีประโยชนในการสังเคราะห์วิตามินดีในขณะที่รังสี UV-B นั้นเป็นรังสีที่เป็นอันตรายตอสิ่งมีชีวิตเช่นทำให้ ผิวหนังแดงไหม้เกรียมยับยั้งระบบภูมิคุ้มกันร่างกายทำลาย DNA และก่อใหเกิดมะเร็งผิวหนัง ฯลฯ โดยรังสี UV-B จะถูกดูดกลืนจากชั้นโอโซน และออกซิเจนและเขาถึงพื้นโลกได้ประมาณ 10% แต่ถ้าโอโซน และ ออกซิเจนถูกทำลายมากขึ้นรังสี UV-B จะเขาถึงพื้นโลกมากขึ้นก็ยิ่งเปนอันตรายตอสิ่งมีชีวิตมากขึ้น เช่นกันใน ส่วนของรังสีที่มีความยาวคลื่นสั้น (UV-C)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะถูกดูดกลืนจากชั้นโอโซน และออกซิเจนในอากาศจนหมด ซึ่ง เป็นผลดีเนื่องจากรังสี UV-C นั้นเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตเป็นอย่างมาก



รูปที่ 2.4 การถูกดูดกลืนและการกระเจิงของแสงในชั้นบรรยากาศ

นอกจากนี้ยังกล่าวได้ว่าความยาวคลื่นจากดวงอาทิตย์ที่สามารถส่องผ่านมายังผิวโลกนั้น ก็จะมีความสัมพันธ์กับกระบวนการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงบางส่วนเท่านั้น เนื่องจากไทเทเนียมไดออกไซด์ที่นิยมใช้งานนั้น จะมีพลังงานแบนด์แก็พประมาณ 3.2 โวลต์ ดังนั้นการให้พลังงานกับระบบจึงต้องให้พลังงานมากกว่า หรือ เท่ากับพลังงานแบนด์แก็พ จึงจะส่งผลทำให้กระบวนการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงเกิดขึ้นได้ ซึ่งจะต้องใช้พลังงานแสงในช่วงที่มีความยาวคลื่นต่ำกว่า 400 นาโนเมตร กล่าวได้ว่ามักจะเป็นแสง UV เท่านั้น ที่สามารถให้ค่าพลังงานที่มากกว่า หรือเท่ากับพลังงานแบนด์แก็พของไทเทเนียมไดออกไซด์ โดยพลังงานที่ให้กับระบบจะอยู่ในรูปของพลังงานโฟตอน (Photon Energy) ซึ่งพลังงานดังกล่าวนี้จะถูก เรียกว่าพลังงานกระตุน (Activation Energy) และสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.4) ซึ่งกล่าวได้ว่า พลังงานกระตุ้นที่เกิดขึ้นจะแปรผกผันกับความยาวคลื่นของแสงที่ทำปฏิกิริยา

$$E = h\nu = hc / \lambda \qquad (2.4)$$

เมื่อ E คือ พลังงานควอนตัม (Quantum Energy), จูล

h คือ คาคงที่ของพลังค (Planck's Contant) = 6.625×10-34,จูล-วินาที

ν คือ ความถี่ของคลื่นแสง, เฮิรตซหรือวินาที-1

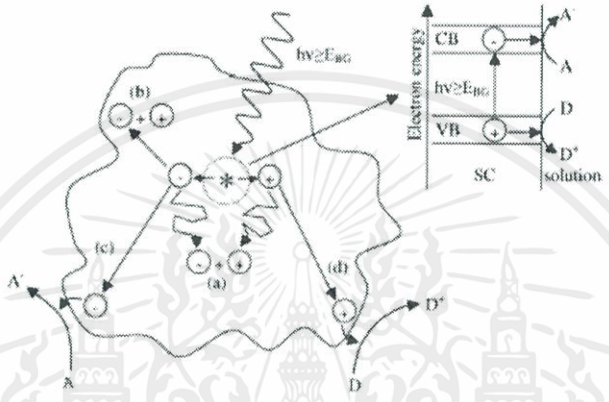
λ คือ ความยาวคลื่นแสง, นาโนเมตร

c คือ ความเร็วของคลื่นแสง = 2.997×108, เมตร/วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.4 กลไกการเกิดกระบวนการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสง (Photocatalytic reaction mechanism)

กล่าวได้ว่ากระบวนการข้างต้นจะเกิดขึ้นที่ผิวของสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor) โดยจะดูดซับโฟตอนจากแสง UV ที่มีพลังงานมากกว่าหรือเท่ากับพลังงานแบนด์แก็พ ($h\nu \geq E_{BG}$) โดยส่งผลให้เกิดการเคลื่อนที่ของอิเลคตรอนในแถบวาเลนซ์ไปสู่แถบคอนดักชัน (Electron in Conduction Band) และทำให้เกิด โฮล (หลุม) ในแถบวาเลนซ์ (Hole in Valence Band) ดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 รูปแบบต่างๆ ที่เกิดขึ้นของกระบวนการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสง

ความสัมพันธ์กับการประยุกต์ใช้งานเพื่อบำบัดมลพิษ (Pollutant) หรือสารอินทรีย์(Organic Substances) ที่สัมพันธ์กับปรากฏการณ์ของการเกิดคู่ อิเลคตรอน-โฮล (e^--h^+)เมื่อสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor) ดูดซับโฟตอนจากแสง UV ในกระบวนการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงสามารถแบ่งออกเป็นกลไกต่างๆ อาจเกิดขึ้น ได้เป็น 4 รูปแบบ คือ

1. รูปแบบ a

จะเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดการรวมตัวอีกครั้งของคู่อิเล็กตรอน – โฮล (Electron–Hole Pairs, e^-/h^+) ภายในสารกึ่งตัวนำที่เลือกใช้ ซึ่งในบริเวณดังกล่าวอาจมีพลังงานแบนด์แก็พที่ต่ำ จนกระทั่งคล้ายกับสภาวะไม่มีพลังงาน

2. รูปแบบ b

ขั้นตอนนี้จะเกิดปรากฏการณ์เช่นเดียวกันกับการเกิดคู่อิเล็กตรอน–โฮล (Electron–Hole Pairs, e^-/h^+) ในรูปแบบ a ที่กล่าวถึงข้างต้น โดยประเด็นที่แตกต่างกันคือในกรณีนี้จะเกิดการรวมตัวกันใหม่ที่ผิวของสารกึ่งตัวนำในการนี้อาจกลาวไดวาทั้ง 2 รูปแบบข้างต้น (a และ b) นั้น มีส่วนร่วมค่อนข้างน้อยต่อกลไกการบำบัดมลพิษหรือสารอินทรีย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. รูปแบบ c

กล่าวได้ว่าขณะที่อิเล็กตรอนเคลื่อนที่อย่างอิสระที่บริเวณผิวของสารกึ่งตัวนำ เมื่อมีตัวรับอิเล็กตรอน(Electron acceptor, A) หรือตัวออกซิแดนท์ (Oxidants) ยกตัวอย่างเช่น ออกซิเจน (Oxygen, O_2) เข้ามาใกลบริเวณผิวบนสารกึ่งตัวนำจะเกิดปฏิกิริยารีดักชัน (Reduction reaction) ทำให้ไดซุปเปอร์ออกไซด์อิออนเรดิคอล (O_2°) เปอร์ไฮดรอกซิลเรดิคอล (OH_2°) และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ซึ่งส่งผลต่อการเปลี่ยนโครงสร้างของมลพิษที่เราต้องการกำจัดให้กลายเป็นโครงสร้างที่ไม่เป็นพิษ หรือเป็นอันตรายด้วยปฏิกิริยารีดอกซ์ (Redox reaction) ที่เกิดขึ้น หรืออาจเรียกว่ากลไกการโฟโตรีดักชัน (Photo-reduction mechanism)

4. รูปแบบ d

จะเกี่ยวข้องกับส่วนที่เป็นโฮล (Hole, h+) ที่อยู่บริเวณผิวของสารกึ่งตัวนำ ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation reaction) กับเฟสน้ำ (H_2O) หรือไฮดรอกไซด์อิออน (OH^-) ทำให้เกิดเป็นไฮดรอกซิลเรดิคอล (OH°) ที่มีความสามารถสูงในการย่อยมลพิษในรูปของสารอินทรีย์ โดยทั่วไปมลพิษในรูปของสารอินทรีย์มักจะมีลักษณะที่เป็นตัวให้อิเลคตอน (Electron donor, D) ดังนั้นเมื่อเกิดการเคลื่อนที่เข้ามาใกล้หรือเกาะติดผิวที่ผิวของสารกึ่งตัวนำจึงสามารถถูกย่อยสลาย (Degradation) ให้เกิดเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และน้ำ (H_2O) โดยกลไกดังกล่าวสัมพันธ์กับการย่อยสลายมลพิษด้วยกระบวนการออกซิเดชันขั้นสูง (Advanced Oxidation Processes, AOPs)

2.8 การดูดซับ

การดูดซับ (Adsorption) หมายถึง การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารที่พื้นผิวของสารถูกดูดซับ (Adsorbate) ที่สัมผัสโดยตรงกับสารดูดซับ (Adsorbent) โดยสารที่มีพลังงานอิสระที่ผิว (Surface free energy) ต่ำจะถูกดูดซับได้ แต่สารที่มีพลังงานอิสระที่ผิวสูงจะไม่ถูกดูดซับ กระบวนการดูดซับเกิดขึ้นเมื่อมีการสัมผัสกันโดยตรงระหว่างสารถูกดูดซับกับสารดูดซับ ปริมาณการดูดซับขึ้นกับหลายปัจจัย เช่น ธรรมชาติของสารถูกดูดซับกับสารดูดซับพื้นที่ผิวของตัวดูดซับ พลังงานกระตุ้นของตัวดูดซับ และสภาวะการดูดซับ อาทิ อุณหภูมิ ความเข้มข้น ความดัน และพลังงานศักย์ของอันตรกิริยาระหว่างสารที่ถูกดูดซับ (อาจเป็นของแข็งของเหลวหรือแก๊ส) กับสารดูดซับ (ซึ่งอาจเป็นของเหลวหรือของแข็ง) ดังนั้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความดันหรือความเข้มข้น และการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิจะทำให้ปริมาณการดูดซับเปลี่ยนแปลงการดูดซับเกิดขึ้นเฉพาะบริเวณผิวสัมผัส (Interface) โดยที่มีวัฏภาคหนึ่งเป็นของแข็งเสมอ และเป็นวัฏภาคคายความร้อน โมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับเกาะอยู่บนผิวหน้าของของแข็งของสารดูดซับดังนั้นการดูดซับด้วยของแข็งจะขึ้นอยู่กับพื้นที่ผิวสัมผัสของของสารดูดซับ การดูดซับจะเกิดขึ้น เนื่องจากแรงดึงดูดที่พื้นผิวของของแข็งซึ่งเป็นสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดูดซับมีค่ามากกว่าค่าพลังงานจลน์ของโมเลกุลของของเหลวนั้น การดูดซับบนผิวของแข็ง แบ่งออกได้ตามแรงที่ดูดซับระหว่างพื้นผิวโมเลกุลเป็น 2 ชนิดคือ การดูดซับทางกายภาพ และการดูดซับทางเคมี

2.8.1 การดูดซับทางกายภาพ

การดูดซับทางกายภาพ (Physical adsorption หรือ Physisorption) อาศัยแรงดึงดูดทางไฟฟ้าอย่างอ่อนๆ เรียกว่าแรงแวนเดอร์วาลส์ (Van der Waals) หรือพันธะไฮโดรเจน (Hydrogen bond) แรงดึงดูดระหว่างสารที่อยู่ในของเหลวกับสารดูดซับมีมากกว่าแรงดึงดูดระหว่างสารในของเหลวกับของเหลวทำให้สารที่อยู่ในของเหลวเข้าติดอยู่ที่สารดูดซับแทน การดูดซับทางกายภาพไม่มีแรงกระตุ้น (Activation energy) มาเกี่ยวข้อง ความร้อนของการดูดซับมีค่าน้อย การกำจัดตัวถูกดูดซับออกจากผิวตัวดูดซับได้ง่ายและการดูดซับเกิดซ้อนกันได้หลายชั้น (Multilayer) โดยแต่ละชั้นจะซ้อนทับกันอยู่เหนือชั้นที่เกิดขึ้นก่อน โดยจำนวนชั้นจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของสารและเกิดขึ้นได้ไม่ดีที่อุณหภูมิต่ำ

2.8.2 การดูดซับทางทางเคมี

การดูดซับทางเคมีการดูดซับทางเคมี (Chemical adsorption หรือ Chemisorption) เกิดขึ้นเมื่อตัวถูกดูดซับทำปฏิกิริยาเคมีกัน ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีจากตัวถูกดูดซับเดิม คือมีการทำลายแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอม และกลุ่มอะตอมเดิมแล้วมีการจัดเรียงอะตอมขึ้นใหม่ โดยมีพันธะเคมีที่แข็งแรง แรงที่ใช้ดูดซับเป็นพันธะโคเวเลนซ์มักเกิดขึ้น เมื่ออุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิวิกฤตของสารที่ถูกดูดซับมีพลังงานกระตุ้น (Activation energy) เข้ามาเกี่ยวข้องความร้อนของการดูดซับมีค่าสูงการก้าจัดตัวถูกดูดซับออกจากผิวตัวดูดซับได้ยากและการดูดซับเป็นแบบชั้นเดียว

ตารางที่ 2.2 การดูดซับทางเคมีและกายภาพ

การดูดซับทางเคมี	การดูดซับทางกายภาพ
ค่าความร้อนของการดูดซับ 400-500 kJ/mol	ค่าความร้อนของการดูดซับประมาณ 20 kJ/mol หรือน้อยกว่า
เกิดได้ที่อุณหภูมิสูง	เกิดได้ที่อุณหภูมิต่ำ
ไม่เกิดการผันกลับ	เกิดการผันกลับได้เป็นส่วนใหญ่
เกิดการดูดซับเพียงชั้นเดียว	เกิดการดูดซับหลานชั้น
มีพลังงานก่อกัมมันต์เกี่ยวข้อง	ไม่มีพลังงานก่อกัมมต์เกี่ยวข้องในกระบวนการ

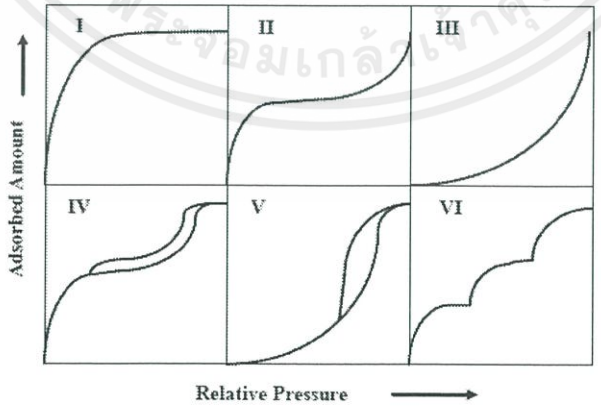
2.8.3 สมดุลการดูดซับ

สมดุลของการดูดซับจะอาศัยความสัมพันธ์ที่สภาวะสมดุลของสมดุลของมวลสาร ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับในวัฏภาคของเหลว กับความเข้มข้นของตัวถูกดูด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซับบนวัฏภาคของแข็ง กระบวนการดูดซับจะเกิดขึ้นต่อไปเรื่อยๆ โดยสารที่ถูกดูดซับและมีการคายการดูดซับ (Desorption) ไปพร้อมกัน ซึ่งสมดุลจะเกิดขึ้นเมื่ออัตราการดูดซับและการคายการดูดซับเท่ากัน การวัดปริมาณสารที่ถูกดูดซับที่อุณหภูมิคงที่หนึ่งๆ โดยการแสดงด้วยรูปกราฟ เรียกว่า ไอโซเทอมการ ดูดซับ (Adsorption isotherm) ซึ่งเป็นตัวแทนในการอธิบายการกระจายตัวของตัวถูกดูดซับ ระหว่างวัฏภาคของเหลวและของแข็ง โดยอัตราการกระจายตัวนี้สามารถวัดได้ที่จุดสมดุลและจะขึ้นอยู่ กับความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับหรือคุณสมบัติของตัวถูกดูดซับ เมื่อเกิดการดูดซับขึ้น โมเลกุลของตัวที่ ถูกดูดซับจะเข้าครอบครองทุกตำแหน่งที่สามารถจะเกิดการดูดซับจนเต็มทุกตำแหน่ง และจะทำให้แรงดึงดูดของผิวตัวดูดซับอ่อนลงเนื่องจากตำแหน่งพื้นผิวมีน้อยลง แต่อาจยังคงสามารถดูดซับโมเลกุลตัวถูกดูดซับได้ โดยทำให้เกิดเป็นการดูดซับชั้นที่สองหรือชั้นที่สามเกิดขึ้น ซึ่งอาจเกิดการดูดซับชั้นที่สอง ก่อนที่ชั้นแรกจะเต็มทุกตำแหน่งและในบางตำแหน่งอาจจะดูดซับต่อหลายชั้นซ้อนสูงขึ้น รูปร่างของไอโซเทอมการดูดซับจะให้ข้อมูลเกี่ยวกับกระบวนการดูดซับ และปริมาณของสารถูกดูดซับบนพื้นผิวตัวดูดซับ

ไอโซเทอมการดูดซับมีหลายแบบแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของสารดูดซับชนิดสารที่ถูกดูดซับและอันตรกิริยาระหว่างโมเลกุลกับพื้นผิวของสารดูดซับ ในปี ค.ศ.1940 ได้มีการจำแนกไอโซเทอมการดูดซับของสมดุลวัฏภาคแก๊สกับของแข็งขึ้นโดย Brunauer, Deming, Deming และ Teller เรียกว่า BDDT ได้แบ่งลักษณะไอโซเทอมการดูดซับออกเป็น 5 แบบ ซึ่งการแบ่งประเภทไอโซเทอมการดูดซับของ BDDT ได้เป็นหลักในการแบ่งประเภทไอโซเทอม การดูดซับของ IUPAC และปัจจุบันได้มีการเสนอประเภทไอโซเทอมการดูดซับเพิ่มอีก 1 ประเภท ซึ่งทำให้ไอโซเทอมการดูดซับของ IUPAC สมบูรณ์เป็น 6 ประเภท ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ประเภทไอโซเทอมของการดูดซับของ IUPAC (IUPAC, 1985)

ไอโซเทอมของการดูดซับทางกายภาพแต่ละประเภทอธิบายได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบ I เป็นไอโซเทอมของการดูดซับลักษณะเฉพาะของสารดูดซับที่มีขนาดเล็กกว่า 2 nm (Microporous adsorbent) การดูดซับส่วนใหญ่จะเป็นการดูดซับในรูพรุนขนาดเล็ก ลักษณะไอโซเทอมจะเป็นโค้งเข้า (Concave) หาแกน P/P_0 สารดูดซับมีขนาดใหญ่กว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของโมเลกุลที่ถูกดูดซับไม่มากสารดูดซับมีพื้นที่ผิวภายนอกน้อย ดังนั้นการดูดซับจะถูกจำกัดเนื่องจากไม่สามารถเข้าไปยังรูพรุนขนาดเล็กได้ การบรรจุโมเลกุลลงในรูขนาดเล็กของสารดูดซับนี้อย่างสมบูรณ์และมีการอิ่มตัวที่แน่นอนโดยเกิดการเรียงเป็นชั้นเดียว ไอโซเทอมแบบนี้บางครั้ง เรียกว่า Langmuir หรือ L-shape isotherm

แบบ II เป็นรูปแบบปกติของไอโซเทอมที่เกิดในสารดูดซับที่ไม่มีรูพรุน (Nonporous) หรือตัวดูดซับที่มีรูพรุนขนาดใหญ่ (Microporous) โดยในแบบนี้จะเกิดการดูดซับที่ต่อเนื่องจากการเรียงตัวโมเลกุลเพียงชั้นเดียว (Monolayer) อย่างสมบูรณ์ก่อนจึงเกิดเป็นหลายชั้น (Multilayer) ในต่อมาจากไอโซเทอมตรงบริเวณจุดเปลี่ยนโค้ง หรือจุด B (Break through) จะแสดงถึงการดูดซับแบบชั้นเดียวนั้นเสร็จสมบูรณ์ จากนั้นที่ความดันสูงขึ้นจะเกิดการดูดซับที่ต่อเนื่องจากชั้นแรกต่อไป และจะเกิดการดูดซับเสร็จสมบูรณ์ที่ความดันย่อยสูงๆ ไอโซเทอมแบบนี้บางครั้งเรียกว่า Sigmoid หรือ S-shape isotherm

แบบ III เป็นรูปแบบของการดูดซับที่มีแรงดึงดูดที่อ่อนระหว่างตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับ แต่แรงดึงดูดระหว่างตัวถูกดูดซับด้วยกันมีค่อนข้างมาก จากกรณีนี้จะทำให้เกิดการรวมตัวกันของตัวถูกดูดซับก่อนที่การดูดซับชั้นแรกจะเสร็จสมบูรณ์ในแบบที่ III จะมีแรงกระทำระหว่างโมเลกุลที่ถูกดูดซับกับผิวสารดูดซับมากกว่าแบบ II ซึ่งเส้นกราฟจะโค้งออก (Convex) จากแกน P/P_0 จำนวนสารที่ถูกดูดซับเพิ่มขึ้นอย่างไม่จำกัด ซึ่งเป็นแบบพิเศษ

แบบ IV เป็นไอโซเทอมของการดูดซับที่มีรูพรุนที่มีขนาดใหญ่กว่าขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของโมเลกุลที่ถูกดูดซับมาก จึงเกิดการเรียงตัวของโมเลกุลที่ผิวของสารดูดซับเป็นสองชั้น (bilayer) ความชันของกราฟเพิ่มขึ้นอีกครั้งเมื่อความดันเพิ่มขึ้นแสดงให้เห็นว่าตัวถูกดูดซับเริ่มเข้าเติมใน รูพรุนอีกครั้ง และการเปลี่ยนระดับของกราฟเมื่อความดันเพิ่มขึ้นอีก เป็นผลมาจากการควบแน่นภายในรูพรุนของของแข็ง (Capillary Condensation in Pores) โดยลักษณะของกราฟในช่วงแรกจะเหมือนกับชนิดที่ 2 ซึ่งจุดเปลี่ยนโค้งจะแสดงถึงการดูดซับชั้นแรกอย่างสมบูรณ์

แบบ V เป็นไอโซเทอมรูปแบบพิเศษมีความคล้ายกับแบบ III เกิดขึ้นเมื่อแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลที่ถูกดูดซับกับผิวของสารดูดซับมีค่าน้อย ซึ่งจะพบในสารดูดซับที่มีขนาดรูพรุนในช่วงเดียวกับไอโซเทอมแบบ IV สำหรับไอโซเทอมแบบ III และแบบ V นี้จะคำนวณหาพื้นที่ผิวได้ยากเนื่องจากชั้นการดูดซับชั้นที่ 2 จะถูกสร้างขึ้นก่อนที่ชั้นแรกจะเสร็จสมบูรณ์

แบบ VI เป็นการดูดซับแบบ multilayer เป็นชั้นๆขึ้นบนผิวของ nonporous โดยความสูงของแต่ละชั้นจะเป็นความสามารถของ monolayer ในชั้นนั้นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9 การจำแนกรูพรุนตามมาตรฐาน IUPAC

2.9.1 ประเภทรูพรุน

1. กลุ่มไมโครพอร์ (Micropore) เป็นรูพรุนที่มีขนาดความกว้างไม่เกิน 2 นาโนเมตร (มีขนาดน้อยกว่า 20 อังสตรอม) โครงสร้างรูพรุนแบบไมโครพอร์นี ถ้ามีอยู่จ้านวนมากจะส่งผลให้วัสดุดังกล่าวมีขนาดพื้นที่ผิวจำเพาะสูงมาก และ เนื่องจากความกว้างของรูพรุนแบบไมโครพอร์มีขนาดที่โตกว่าขนาดของโมเลกุลทั่วไปไม่มากนักผลที่ตามมา คือ เมื่อมีโมเลกุลใดๆเคลื่อนที่เข้ามาอยู่ในรูพรุนแล้วโมเลกุลเหล่านั้นจะตกอยู่ภายใต้อิทธิพลของแรงอันตรกิริยาจากผนังของรูพรุนเราเรียกแรงอันตรกิริยานี้ว่า “แรงแวนเดอร์วาลส์ (Van der Waals interaction)” และแรงแวนเดอร์วาลส์นี้เองที่ทำให้โครงสร้างรูพรุนแบบไมโครพอร์สามารถกักเก็บโมเลกุลบางชนิดเอาไว้ได้ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างยิ่งเมื่อนำวัสดุที่มีรูพรุนแบบไมโครพอร์ไปประยุกต์ในเทคโนโลยีการดูดซับ (Adsorption) หรือ วัสดุสำหรับตรึงรูปตัวเร่งปฏิกิริยาเคมี

2. กลุ่มมีโซพอร์ (Mesopore) มีขนาดรูพรุนที่กว้างกว่าแบบแรก คือ มีขนาดความกว้างในช่วง 2 ถึง 50 นาโนเมตร (อยู่ในช่วง 20 อังสตรอม – 500 อังสตรอม) จะมีประโยชน์คล้ายกับรูพรุนแบบไมโครพอร์ในด้านความสามารถในการกักเก็บโมเลกุลโดยเฉพาะอย่างยิ่งโมเลกุลขนาดใหญ่จำพวกสารชีวโมเลกุล เช่น เอนไซม์ หรือดีเอ็นเอ เป็นต้น เนื่องจากสารชีวโมเลกุลโดยมากมีขนาดโมเลกุลที่ใหญ่ในระดับนาโนเมตร จึงท้าให้แรงแวนเดอร์วาลส์จากผนังของมีโซพอร์ยังคงมีอิทธิพลต่อโมเลกุลขนาดใหญ่เหล่านี้ผลที่ตามมาคือทำให้โครงสร้างรูพรุนแบบมีโซพอร์ขนาดเล็กยังคงมี ศักยภาพในการกักเก็บสารชีวโมเลกุลเหล่านี้ได้เป็นอย่างดี ด้วยลักษณะดังกล่าวจึงทำให้โครงสร้างรูพรุนแบบมีโซพอร์นั้นมักถูกนิยมนำมาใช้เป็นวัสดุสำหรับการตรึงรูปเอนไซม์

3. กลุ่มแมคโครพอร์ (Macropore) หมายถึงรูพรุนที่มีขนาดความกว้างตั้งแต่ 50 นาโนเมตร ขึ้นไป (มากกว่า 500 อังสตรอม) เดิมทีในอดีตนั้นโครงสร้างรูพรุนขนาดใหญ่เหล่านี้ (ทั้งมีโซพอร์ขนาดใหญ่ และแมคโครพอร์) ไม่ได้รับความสนใจมากนัก เนื่องจากไม่ได้มีส่วนช่วยโดยตรงต่อการเพิ่มขนาดพื้นที่ผิวจำเพาะของวัสดุพรุนรวมถึงการมีขนาดความกว้างของรูพรุนที่ใหญ่กว่าโมเลกุลทั่วไปมาก (หลายร้อยเท่า) จึงทำให้แรงแวนเดอร์วาลส์ไม่มีอิทธิพลภายในรูพรุนเหล่านี้ อย่างไรก็ตามในปัจจุบันนักวิจัยด้านวัสดุที่มีรูพรุนได้มุ่งความสำคัญไปยังการมีอยู่ของโครงสร้างรูพรุนขนาดใหญ่เหล่านี้ในวัสดุ เนื่องจากโครงสร้างรูพรุนดังกล่าวมีประโยชน์เป็นอย่างมากในด้านการเป็นช่องทางลำเลียงขนาดใหญ่สำหรับการเคลื่อนที่ของโมเลกุลต่างๆ ไปยังรูพรุนแบบไมโครพอร์ที่มีขนาดเล็กกว่าได้ง่ายและรวดเร็วขึ้น เนื่องจากช่วยลดความต้านทานที่เกิดจากการแพร่ผ่านรูพรุนของโมเลกุลของของไหลที่เคลื่อนที่เข้ามาได้นั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10 การบำบัดน้ำเสียสีฟอกย้อม

2.10.1 กระบวนการบำบัดทางกายภาพ (Physical treatment)

เป็นการกำจัดสารแขวนลอยด้วยวิธีทางกายภาพ เช่น การแยกเศษขยะออกจากน้ำเสียด้วยตะแกรง การตกตะกอนกรวดทรายโดยอาศัยแรงโน้มถ่วงเพื่อลดภาระการทำงานและเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดในขั้นต่อไป ระบบบำบัดขั้นต้นที่ใช้กันทั่วไป ได้แก่ ตะแกรงดักขยะ (Screen) และถังปรับสภาพ (Equalization)

2.10.2 กระบวนการบำบัดทางเคมีกายภาพ (Physicochemical treatment)

เทคโนโลยีที่มีการนำมาใช้ในโรงงานฟอกย้อมสิ่งทอในประเทศไทย ได้แก่

1. การตกตะกอนทางเคมี (Chemical coagulation-flocculation) เป็นวิธีสำหรับแยกสารแขวนลอยที่มีขนาดเล็กออกจากน้ำเสีย โดยใช้สารเคมีในการตกตะกอน เช่น สารส้ม และปูนขาว เป็นต้น นิยมนำมาใช้ในการกำจัดสี และสารอินทรีย์

2. กระบวนการโอโซนออกซิเดชัน (Ozone Oxidation) โอโซน (O_3) เป็นสารออกซิไดซ์ที่มีความสามารถในการย่อยสลายสารอินทรีย์สูง จึงนิยมนำมาใช้ในการย่อยสลายสี และสารอินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสียของอุตสาหกรรมฟอกย้อม

3. การดูดซับ (Adsorption) นิยมใช้การดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ในการกำจัดสีที่ไม่สามารถกำจัดในระบบตกตะกอนทางเคมี หรือระบบบำบัดทางชีวภาพ มักใช้เป็นระบบขั้นสุดท้ายก่อนระบายน้ำทิ้งออกจากโรงงาน แต่ถ่านกัมมันต์อาจมีราคาแพง และ ไม่คุ้มค่ากับการนำมาใช้ใหม่สารดูดซับที่ราคาถูก และ มีประสิทธิภาพดี เช่น ไคโตซาน และแทนนิน ถูกนำมาพัฒนาเม็ดบีดไคโตซาน-แทนนินเพื่อใช้กำจัดสีในน้ำเสีย

4. การกรอง (Filtration) นิยมใช้เป็นถังกรองทราย มักใช้เป็นระบบขั้นสุดท้ายก่อนระบายน้ำทิ้ง ทำหน้าที่กรองสารแขวนลอย หรือตะกอนเบาที่หลุดออกมาจากระบบบำบัดก่อนหน้า

5. กระบวนการไฟฟ้าเคมี (Electrochemical process) เป็นกระบวนการที่มีความสัมพันธ์ระหว่างเคมีและพลังงานไฟฟ้า เรียกว่า ปฏิกิริยารีดอกซ์ สามารถกำจัดสีรีแอกทีฟในน้ำเสียได้

นอกจากนี้ ยังมีการศึกษาวิธีการบำบัดน้ำเสียแบบใหม่ที่อาศัยกระบวนการทางกายภาพร่วมกับทางเคมี เรียกว่า วิธีออกซิเดชันแบบก้าวหน้า (Advanced oxidation process, AOPs) โดยการนำโฟโตคะตะลิสต์ชนิดซิงค์ออกไซด์ (ZnO photocatalyst) มาใช้เพื่อสลายสีย้อมอินทรีย์ที่ปนเปื้อนในน้ำเสีย

2.10.3 กระบวนการบำบัดทางชีวภาพ (Biological treatment)

วิธีนี้มีวัตถุประสงค์หลัก คือ การกำจัดบีโอดีที่ก่อให้เกิดปัญหาน้ำเน่าเสีย โดยอาศัยจุลินทรีย์มาย่อยสลายเปลี่ยนสภาพของสารอินทรีย์ต่างๆ ไปเป็น CO_2 (ถ้าใช้ระบบเติมอากาศ) หรือไปเป็น CH_4 และ H_2S (ถ้าใช้ระบบไม่เติมอากาศ) สามารถแบ่งออกเป็น 3 ระบบ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.ระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจน (Aerobic treatment process) ได้แก่ ระบบแอกติเวทเต็ดสลัดจ์ (Activated sludge) และบ่อเติมอากาศ (Aerated lagoon)

2.ระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic treatment process) ได้แก่ ระบบบ่อไร้ออกซิเจน (Anaerobic ponds)

3.ระบบบำบัดน้ำเสียที่เลียนแบบกลไกทางธรรมชาติ ได้แก่ ระบบบ่อปรับเสถียร (Stabilization ponds)

ตารางที่ 2.3 เปรียบเทียบข้อดีข้อเสียเทคโนโลยีการบำบัดทางกายภาพ

เทคโนโลยีการบำบัด	ข้อดี	ข้อเสีย
กระบวนการบำบัดทางกายภาพ		
การดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์	เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงสามารถกำจัดสีและสีปรากฏได้อย่างมีประสิทธิภาพ	- การนำกลับมาใช้ใหม่จะต้องฟื้นฟูสภาพด้วยการเผาที่ความร้อนสูง มีค่าใช้จ่ายสูง - มีข้อจำกัดที่น้ำหนักโมเลกุลของสี ที่จะดูดซับ
การกรองผ่านเยื่อกรองออสโมซิสย้อนกลับ	ใช้กำจัดอินออนสีย้อมและโมเลกุลของสีย้อมที่มีขนาดใหญ่	-ไม่สามารถใช้กับสีย้อมเส้นใยประเภทฝ้ายได้ -เกิดปัญหาจากการอุตตัน และเกิดการเสียหายของเยื่อแผ่นได้ง่ายหากน้ำที่นำมาบำบัดมีการปนเปื้อนสูง
การกรองผ่านเยื่อกรองอัลตร้าฟิลเตรชั่น	มีประสิทธิภาพในการบำบัดสูง สามารถนำวัสดุ (พีวีเอ โซดาไฟ สีย้อมอินดิโก) และน้ำกลับมาใช้ใหม่ได้	ค่าใช้จ่ายสูง
การกรองผ่านเยื่อกรองไมโครฟิลเตรชั่น	สีย้อมดิสเพอร์เมื่อผ่านกระบวนการแล้วสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้	ค่าใช้จ่ายสูง
การกรองผ่านเยื่อกรองนาโนฟิลเตรชั่น	มีประสิทธิภาพสูง สามารถแยกสารพวกอิเลคโตรไลท์ออกมาและนำกลับมาใช้ใหม่ได้	ค่าใช้จ่ายสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 เปรียบเทียบข้อดีข้อเสียเทคโนโลยีการบำบัดทางเคมี

เทคโนโลยีการบำบัด	**ข้อดี**	**ข้อเสีย**
กระบวนการบำบัดทางเคมี		
การตกตะกอน	เป็นวิธีประสิทธิภาพสูง	กากตะกอนเกิดขึ้นในปริมาณมากซึ่งยุ่งยากในการกำจัด
กระบวนการเฟนตัน	มีประสิทธิภาพสูงในการกำจักสีของโรงงานย้อมสิ่งทอ	ต้องควบคุมความเข้มข้นของเหล็ก ความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ค่าอุณหภูมิ ค่าความเป็นกรดด่าง และระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยา
การใช้โอโซน/การออกซิเดชั่นด้วยโอโซน	สามารถทำลายโมเลกุลของสี หมู่โครโมฟอร์ที่เป็นพันธะคู่หรือพันธะเดี่ยว ซึ่งการบำบัดทางชีววิทยาไม่สามารถทำได้	ต้องควบคุม อุณหภูมิ ความดัน ความเป็นกรดด่าง สิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า อาจส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ เนื่องจากโอโซนจะทำปฏิกิริยากับสารบางชนิด ทำให้เกิดเป็นสารก่อมะเร็ง
การใช้ไฟฟ้าเคมี	สามารถกำจัดสีรีแอกทีฟในน้ำเสีย มีประสิทธิภาพสูงในการกำจัด สามารถใช้บำบัดน้ำเสียที่ปริมาณที่มากได้และใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาน้อย	ต้องควบคุมปริมาตรกระแสไฟฟ้า ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา และระยะเวลาในการตกตะกอน

ตารางที่ 2.5 เปรียบเทียบข้อดีข้อเสียเทคโนโลยีการบำบัดทางชีววิทยา

เทคโนโลยีการบำบัด	ข้อดี	ข้อเสีย
กระบวนการบำบัดทางชีววิทยา		
ระบบบำบัดแบบใช้ออกซิเจน	สามารถกำจัดสีย้อมกลุ่ม azo และ anthraquinone เหมาะสมกับการใช้งานในโรงงาน คุณภาพน้ำทิ้งได้มาตรฐาน	มีอันตราเร็วในการกำจัดสีต่ำ เป็นระบบที่ต้องการแหล่งพลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน	สามารถกำจัดสีรีแอกทีฟในน้ำเสียอาจได้ก๊าซชีวภาพเป็นแหล่งพลังงาน ใช้แบคทีเรียที่เป็น obligate และ facultative ในการกำจัดสีเอโซ	อาจเกิดสารที่เป็นพิษ ต้องการระบบบำบัดขั้นที่สองต่อจากการบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน

2.10.4 ค่ามาตรฐานก่อนปล่อยสู่แหล่งน้ำ

ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2539) ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 เรื่อง กำหนดคุณลักษณะของน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงาน โดยส่วนหนึ่งกำหนดคุณลักษณะของน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงานไว้ ดังนี้

1. บีโอดี (Biochemical Oxygen Demand, BOD) ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เวลา 5 วัน ไม่มากกว่า 20 มิลลิกรัมต่อลิตร

2. สารแขวนลอย (Suspended solids) ไม่มากกว่า 50 มิลลิกรัมต่อลิตร

3. ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ระหว่าง 5.5-9

4. สี ต้องไม่เป็นที่พึงรังเกียจ

2.11 เครื่องปฏิกรณ์ไมโครรีแอคเตอร์

ไมโครรีแอคเตอร์เป็นอุปกรณ์ที่ปฏิกริยาเคมีสามารถเกิดขึ้นได้ ภายในท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 1 mm เรียกว่าไมโครแชแนล ไมโครรีแอคเตอร์มีข้อดีกว่าเครื่องปฏิกรณ์ธรรมดา คือ ใช้พื้นที่ในการเกิดปฏิกริยาน้อยกว่า ใช้พลังงานน้อย เกิดปฏิกริยาได้ไว มีความปลอดภัย

2.11.1 ประโยชน์

ไมโครรีแอคเตอร์ค่อนข้างจะแตกต่างกับการใช้ท่อแก้วแบบปกติ โดยไมโครรีแอคจะเป็นเครื่องมือที่เป็นประโยชน์กับนักเคมีหรือวิศวกรเคมีอย่างมาก

1. ไมโครรีแอคเตอร์มักมีค่าสัมประสิทธิการแลกเปลี่ยนความร้อนอย่างน้อย 1 เมกะวัตต์ต่อลูกบาศก์เมตรต่อเคลวิน สูงสุด 500 เมกกะวัตต์ต่อลูกบาศก์เมตรต่อเคลวิน เมื่อเทียบกับท่อแก้วปกติที่มีค่า 1 ลิตร 10 กิโลวัตต์ต่อลูกบาศก์เมตรต่อเคลวิน แสดงว่าไมโครรีแอคเตอร์สามารถกำจัดความร้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าท่อแก้วปกติ ทำให้เมื่อต้องทำปฏกริยาเช่น Nitrations ก็สามารถทำได้อย่างปลอดภัยที่อุณภูมิสูงการทำความร้อน และการทำความเย็น Microreactor ทำได้รวดเร็วและอุณหภูมิในการทำงานจะต่ำถึง -100 องศาเซลเซียส จากการถ่ายเทความร้อนที่เหนือกว่าอุณหภูมิของปฏิกิริยาอาจสูงกว่าเครื่องปฏิกรณ์แบบทั่วไป ปฏิกิริยาอุณหภูมิต่ำหลายชนิดในรูปของเคมีอินทรีย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โลหะสามารถทำได้ในไมโครรีแอคเตอร์ที่อุณหภูมิ -10 องศาเซลเซียส มากกว่า -50 องศาเซลเซียส ถึง -78 องศาเซลเซียส เช่น เดียวกับในอุปกรณ์เครื่องแก้วในห้องปฏิบัติการ

2. ไมโครรีแอคเตอร์สามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องทำให้ใช้เวลาน้อย

2.11.2 ปัญหา

1.ไมโครรีแอคเตอร์มักมีปัญหาเรื่องอุดตันซึ่งเป็นปัญหาใหญ่ที่สุดสำหรับ ไมโครรีแอคเตอร์จนถึงตอนนี้สิ่งที่เรียกว่า microjetreactor ทำให้ปราศจากการอุดตันด้วยการตกตะกอน

2. การกัดกร่อนเป็นปัญหาใหญ่ในไมโครรีแอคเตอร์เนื่องจากอัตราส่วนของพื้นที่ต่อปริมาตรสูง

3. ไม่สามารถทำได้เมื่อไม่ใช่ microfluidic

รูปแบบของไมโครรีแอคเตอร์ที่ง่ายที่สุดคือคือรูปร่าง T โดยจะฝังลงในแผ่นที่มีความลึก 40 ไมโครมีเตอร์ กว้าง 100 ไมโครมิเตอร์ เส้นทางที่แกะสลักจะกลายเป็นท่อโดยปิดผนึกด้วยแผ่นเรียบที่ด้านบนของร่องที่ฝัง

2.12 เทคนิคและเครื่องมือวัด

2.12.1 ศึกษาความเป็นผลึก (Crystallinity) ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซเรย์ (Xray-Diffraction, XRD)

2.12.1.1หลักการเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซเรย์

หลักการทำงานของเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ ภายในเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ประกอบด้วยหลอดกำเนิดรังสีเอ็กซ์ที่เป็นหลอดปิด และ อยู่ภายใต้สภาวะสุญญากาศซึ่งรังสีเอ็กซ์จะถูกสร้างขึ้น โดยให้กระแสไฟฟ้าแก่เส้นลวดฟิลาเมนท์ (Filament) ที่อยู่ภายในหลอดกำเนิดรังสีเอ็กซ์ทำให้เส้นลวดร้อนขึ้น และก่อให้เกิดการปลดปล่อยอิเล็กตรอนออกจากเส้นลวดอิเล็กตรอนเหล่านี้จะถูกเร่งด้วยความต่างศักย์สูงทำให้เคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงจากเส้น ลวดฟิลาเมนท์ที่เป็นขั้วแคโทดเข้าชนขั้วแอโนดซึ่งโดยทั่วไปทำจากโลหะทองแดงอิเล็กตรอนที่พุ่งเข้า ชนจะทำให้อิเล็กตรอนวงในสุด (K-shell) ของอะตอมทองแดงหลุด ออกไปจึงเกิดเป็นช่องว่างขึ้นเป็น ผลให้อิเล็กตรอนวงนอกที่อยู่ถัดมา (L- และ M-shell) เกิดการเปลี่ยนระดับพลังงานลงมาแทนที่ช่องว่างนั้น โดยการคายรังสีเอ็กซ์ออกมาจากหลอดกำเนิดรังสีเอ็กซ์ไปยังสารตัวอย่าง และรังสีเอ็กซ์ที่ เลี้ยวเบนออกจากสารตัวอย่างจะถูกตรวจจับด้วยอุปกรณ์ตรวจจับรังสีเอ็กซ์ (Detector)

เทคนิคเอ็กซเรย์ดิฟแฟรกชันหรือเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซเรย์เป็นเทคนิคที่นำรังสี เอ็กซ์มาใช้วิเคราะห์สารประกอบที่มีอยู่ในสารตัวอย่าง และนำมาใช้ศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับโครงสร้างผลึกของสารตัวอย่างเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซเรย์อาศัยหลักการของ การยิงรังสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอ็กซ์ที่ทราบความยาวคลื่นไปกระทบชิ้นงานทำให้เกิดการเลี้ยวเบนของรังสีที่มุมต่างๆกันโดยมีหัววัดเป็นตัวรับข้อมูล เนื่ององศาในการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์จะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบ และโครงสร้างของสารที่มีอยู่ในตัวอย่างข้อมูลที่ได้รับจึงสามารถบ่งบอกชนิดของสารประกอบที่มีอยู่ในสารตัวอย่าง และข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์วัสดุด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซเรย์มีได้หลายชนิด ได้แก่ ขนาดผลึก ระยะห่างระหว่างระนาบ (D-spacing) ของโครงสร้างผลึกปริมาณความเป็นผลึกความสมบูรณ์ของผลึก พารามิเตอร์โครงผลึก (Lattice parameter) การจัดเรียงของผลึก และความเครียด (Strain) ในฟิล์มบางโดยข้อมูลที่กล่าวมาสามารถวิเคราะห์ได้จากตำแหน่งและรูปร่างของพีค จากสมการการคำนวณระยะห่างระหว่างระนาบ (D-spacing) ของผลึกตามกฎของแบรก (Bragg's Law)

2.12.1.2 กฎของแบรกก์

โครงสร้างผลึกประกอบด้วยชั้นหรือระนาบของอะตอมที่สามารถสะท้อนคลื่นที่ตกกระทบได้ โดยมุมตกกระทบเท่ากับมุมสะท้อน ทั้งนี้ลำคลื่นที่ถูกสะท้อนออกมาจากระนาบต่างๆ ดังกล่าวจะมีความเข้มสูง(เกิดจากการแทรกสอดแบบเสริม)ก็ต่อเมื่อความแตกต่างระหว่างระยะเดินทาง (Path difference) ของคลื่นที่ถูกสะท้อนจากระนาบใดๆกับระนาบที่อยู่ข้างเคียงกันมีค่าเป็นจ้านวนเท่าของ ความยาวคลื่นที่ตกกระทบ คำนวณจากสมการที่ที่ถูกสะท้อนจากระนาบใดๆกับระนาบที่อยู่ข้างเคียงกันมีค่าเป็นจ้านวนเท่าของ ความยาวคลื่นที่ตกกระทบ คำนวณจากสมการที่ 2.5

$$2d_{hkl} \sin\alpha = n\theta \qquad (2.5)$$

เมื่อ α หมายถึง ความยาวคลื่นของรังสีเอกซ์

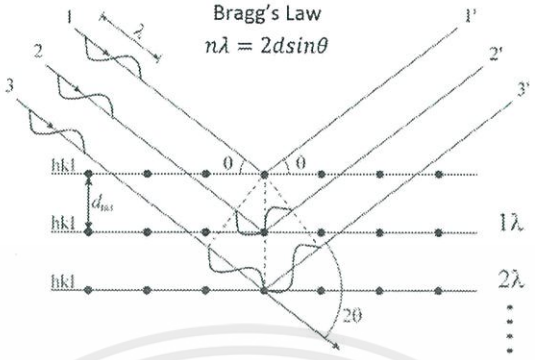
n หมายถึง ลำดับการสะท้อน

d_{hkl} หมายถึง ระยะห่างระหว่างระนาบ

α หมายถึง มุมตกกระทบและมุมสะท้อนเมื่อวัดจากแนวระนาบที่ก้าลังพิจารณา

เมื่อ d_{hkl} คือระยะห่างระหว่างระนาบของแลททิซที่มีดัชนีมิลเลอร์ (Miller Indices) ของระนาบ hkl โดยที่เทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์จะอาศัยลำรังสีเอ็กซ์ (X-ray Beam) ที่มีค่าความยาว คลื่นเป็น λ จากแหล่งกำเนิดพุ่งชนกับผิวเคลือบ เกิดการเลี้ยวเบนขึ้นความเข้มของลำรังสีที่เลี้ยวเบน ออกมานั้นจะถูกเก็บบันทึกในรูปของฟังก์ชันของมุมการเลี้ยวเบน (Diffracted Angle, θ) โดยความเข้มของสัญญาณ (Intensity) จะมีค่าไม่เป็นศูนย์ถ้ามุมของการเลี้ยวเบนเป็นไปตาม Bragg's Law

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ในผลึก

2.12.1.3 การเตรียมตัวอย่าง

1. สารตัวอย่างที่เป็นผงจะต้องมีขนาดอนุภาคประมาณ 40 ไมครอน หรือบดให้มีความละเอียดมากที่สุด โดยปริมาณที่ต้องใช้ในการทดสอบต่อครั้งประมาณ 1–2 กรัม ตักสารตัวอย่างลง ในหลุมใส่ตัวอย่างแล้วใช้กระจกสไลด์กดอัดตัวอย่างให้แน่นเพื่อให้มีผิวหน้าที่เรียบที่สุดสาร

2. ตัวอย่างที่เป็นของแข็งหรือฟิล์มบางจะต้องมีขนาด กว้าง x ยาว x หนา ไม่เกิน 10x10x2 มิลลิเมตรและใช้ด้านหน้าที่เรียบที่สุดในการวิเคราะห์โดยใช้เทปใสยึดติดตัวอย่างเข้ากับหลุมใส่ตัวอย่าง

2.12.1.4 การประยุกต์ใช้เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์

1. การวิเคราะห์โครงสร้างผลึกในสารตัวอย่างเทียบกับฐานข้อมูลมาตรฐาน (Phase analysis) รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของเฟสที่เป็นผลึกจะมีลักษณะแตกต่างกันขึ้นกับการจัดเรียงตัวของอะตอมภายใน ผลึก ดังนั้นจึงสามารถใช้เป็นตัวชี้บอกได้ว่าสารตัวอย่างนั้น ประกอบด้วยผลึกชนิดใดบ้างและมีโครงสร้างเป็นแบบใด

2. การวิเคราะห์องค์ประกอบสารตัวอย่างในเชิงปริมาณ (Quantitative analysis) ความเข้มของพีคการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์จะเป็นค่าที่แปรผันตามปริมาณของเฟสที่เป็นผลึกภายในสารตัวอย่าง ดังนั้นจึง สามารถใช้ค่าความเข้มของพีคค้านวณหาปริมาณของเฟสองค์ ประกอบต่างๆในสารตัวอย่างได้

3. การวิเคราะห์ขนาดของผลึก (Crystallite size) และ ความเครียดระดับจุลภาค (Micro strain) ความกว้างของพีคการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์เป็นผล เนื่องมาจากเครื่องมือ และลักษณะทางกายภาพของสารตัวอย่าง ได้แก่ ความเครียดจุลภาค ข้อบกพร่องของผลึกและขนาดของ ตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น จึงสามารถคำนวณหาขนาดผลึกและความเครียด จุลภาคจากความกว้างของพีคการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ได้

2.12.2 ศึกษาสัณฐานวิทยา (Morphology) ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM)

Scanning Electron Microscope (SEM) เป็นกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่มีกำลังขยายไม่สูงเท่ากับเครื่อง TEM (เครื่อง SEM มีกำลังขยายสูงสุดประมาณ 10 นาโนเมตร) การสร้างภาพทำได้โดยการตรวจวัดอิเล็กตรอนที่สะท้อนจากพื้นผิวหน้าของตัวอย่างที่ทำการสำรวจ ซึ่งภาพที่ได้จากเครื่อง SEM นี้จะเป็นภาพลักษณะของ 3 มิติ ดังนั้นเครื่อง SEM จึงถูกนำมาใช้ในการศึกษาสัณฐานและรายละเอียดของลักษณะพื้นผิวของตัวอย่าง เช่น ลักษณะพื้นผิวด้านนอกของเนื้อเยื่อและเซลล์ หน้าตัดของโลหะและวัสดุ เป็นต้น

2.12.2.1 หลักการทำงานกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

หลักการทำงานของเครื่อง SEM จะประกอบด้วยแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอนซึ่งทำหน้าที่ผลิตอิเล็กตรอนเพื่อป้อนให้กับระบบโดยกลุ่มอิเล็กตรอนที่ได้จากแหล่งกำเนิดจะถูกเร่งด้วยสนามไฟฟ้า จากนั้นกลุ่มอิเล็กตรอนจะผ่านเลนส์รวบรวมรังสี (Condenser lens) เพื่อทำให้กลุ่มอิเล็กตรอนกลายเป็นล้าอิเล็กตรอน ซึ่งสามารถปรับให้ขนาดของลำอิเล็กตรอนใหญ่หรือเล็กได้ตามต้องการ หากต้องการภาพที่มีความคมชัดจะปรับให้ลำอิเล็กตรอนมีขนาดเล็ก หลังจากนั้นล้าอิเล็กตรอนจะถูกปรับระยะโฟกัสโดยเลนส์ใกล้วัตถุ (Objective lens) ลงไปบนผิวชิ้นงานที่ต้องการศึกษา หลังจากลำอิเล็กตรอนถูกกราดลงบนชิ้นงานจะทำให้เกิดอิเล็กตรอนทุติยภูมิ (Secondary electron) ขึ้นซึ่งสัญญาณจากอิเล็กตรอนทุติยภูมินี้จะถูกบันทึก และแปลงไปเป็นสัญญาณทางอิเล็กทรอนิกส์ และถูกนำไปสร้างเป็นภาพบนจอโทรทัศน์ต่อไปและสามารถบันทึกภาพจากหน้าจอโทรทัศน์ได้เลย

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดมีต้นกำเนิดเป็นอิเล็กตรอนแทนแสง โดยต้นกำเนิดอิเล็กตรอนถูกสร้างจากการจ่ายกระแสไฟฟ้าสูงแก่ขดลวดทังสเตน ทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกจากขดลวด จากนั้นอิเล็กตรอนที่หลุดออกมาจะถูกควบคุมทิศทางภายใต้สนามแม่เหล็ก ซึ่งอาศัยหลักการการเลี้ยวเบนของอิเล็กตรอนในสนามแม่เหล็กหรือที่เรียกว่าเลนส์แม่เหล็กทำให้ลำอิเล็กตรอนปฐมภูมิวิ่งเข้ามากระทบกับชิ้นงาน เกิดอันตรกิริยาของอิเล็กตรอนต่อชิ้นงานหลายแบบ เนื่องจากลำอิเล็กตรอนที่วิ่งมากระทบชิ้นงานมีพลังงานสูง ทำให้อิเล็กตรอนที่หลุดออกจากชิ้นงานมีหลายระดับพลังงาน แบ่งได้เป็น

1. อิเล็กตรอนทุติยภูมิ (Secondary electron) เป็นอิเล็กตรอนที่หลุดออกจากชั้นแถบการนำ (Conduction band) หรือแถบพลังงานเวเลนซ์ (Valance band) ซึ่งไม่ต้องใช้พลังงานสูงสามารถหลุดออกจากผิวชิ้นงานได้ง่าย บางครั้งเรียกว่าอิเล็กตรอนอิสระซึ่งจะมีช่วงพลังงาน 10 ถึง 50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อิเล็กตรอนโวลต์ อิเล็กตรอนชนิดนี้จะใช้ในการสร้างภาพที่บริเวณพื้นผิวของชิ้นงานสำหรับ กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

2. อิเล็กตรอนแบบกระเจิงกลับ (Back scattered electron) เป็นอิเล็กตรอนที่เกิดจากการที่ลำอิเล็กตรอนปฐมภูมิวิ่งเข้าชนกับชิ้นงาน โดยสูญเสียพลังงานให้กับอะตอมในชิ้นงานเพียงบางส่วน แล้วเกิดการกระเจิงกลับออกมาจากชิ้นงาน ซึ่งพลังงานของอิเล็กตรอนชนิดนี้จะมีค่าตั้งแต่พลังงานของอิเล็กตรอนปฐมภูมิไปจนถึงพลังงานอิเล็กตรอนทุติยภูมิ ค่าพลังงานต่างๆที่กระเจิงกลับมานั้นจะขึ้นกับเลขมวลอะตอมของธาตุที่เป็นองค์ประกอบในชิ้นงาน ดังนั้นอิเล็กตรอนชนิดนี้จึงสามารถใช้สร้างภาพที่แสดงความแตกต่างของธาตุได้ โดยแสดงในรูปแบบของความเข้ม และความสว่างของภาพที่เกิดขึ้นในแต่ละบริเวณใช้ในการวิเคราะห์การกระจายตัวของธาตุที่เป็นองค์ประกอบในชิ้นงาน

3. รังสีเอกซ์ (X-ray) เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นสั้น มีความถี่สูง เกิดจากการที่ลำอิเล็กตรอนพลังงานสูงวิ่งเข้าชนชิ้นงาน ทำให้อิเล็กตรอนในระดับชั้นโคจรต่างๆ (K, L, M, ...) ได้รับพลังงานมากพอจนหลุดออกจากวงโคจร แล้วอิเล็กตรอนจากชั้นโคจรถัดไปเข้ามาแทนที่ทำให้มีการปลดปล่อยรังสีเอกซ์ออกมา ซึ่งสเปกตรัมของรังสีเอกซ์ที่ปล่อยออกมานี้สามารถนำไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบของธาตุได้ทั้งในเชิงคุณภาพและปริมาณ โดยค่าพลังงานนี้จะขึ้นกับเลขอะตอมของธาตุ ซึ่งจะใช้หัววัดรังสีเอกซ์ (EDS) ในการวิเคราะห์ข้อมูลประกอบกับกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

2.12.2.2 ระบบการวิเคราะห์

1. ระบบ High Vacuum Mode จะให้รายละเอียดสูงกำลังขยายสูงภาพคมชัดดี โดยตัวอย่างที่สามารถวิเคราะห์ได้ต้องนำไฟฟ้า ไม่มีความชื้นหาก ตัวอย่างไม่นำไฟฟ้า จะต้องสามารถเคลือบทองหรือคาร์บอนได้ โดยไม่ทำลายลักษณะผิวตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์ทดสอบ

2. ระบบ Variable Pressure Mode จะให้รายละเอียดที่ต่ำ กำลังขยายต่ำ โดยตัวอย่างต้องไม่มีความชื้น อาจไม่ต้องนำไฟฟ้าก็ได้ไม่ต้องมีการเคลือบผิวตัวอย่างด้วยทองหรือคาร์บอน

2.12.2.3 องค์ประกอบกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

ส่วนประกอบของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสองกราด แสดงดังรูปที่ 2.8 และมีส่วนประกอบสำคัญอยู่ในท่อสุญญากาศ โดยหน้าที่ของส่วนประกอบแต่ละอันมีรายละเอียดดังนี้

1. แหล่งกำเนิดอิเล็กตรอนแบบปืนอิเล็กตรอน (Electron gun) โดยทั่วไปใช้ขดลวดทังสเตน อิเล็กตรอนที่ใช้ในกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสองกราดคือ อิเล็กตรอนที่กระเจิงกลับ และอิเล็กตรอนทุติยภูมิ

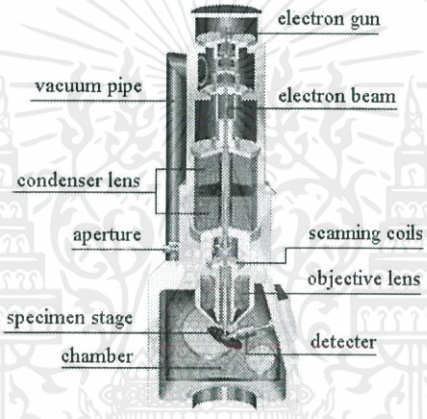
2. เลนส์รวมแสง (Condenser lens) ทำหน้าที่บังคับให้อีเล็กตอนมีขนาดและความเข้มข้นเหมาะสมกับตัวอย่างเพื่อให้ได้ภาพที่ชัดเจนที่สุดที่กำลังขยายต้องการ การลดขนาดของล้าอิเล็กตรอนจะช่วยเพิ่มขนาดของกำลังขยาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ขดลวดสำหรับการส่องกราด (Scanning Coil) ทำหน้าที่บังคับให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ในแนวนอนและแกนตั้งบนระนาบของตัวอย่าง

4. เลนส์วัตถุ (Objective Lens) เป็นเลนส์ที่ทำหน้าที่ให้อิเล็กตรอนเกิดภาพขั้นต้น อาศัยอำนาจสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก สามารถปรับเปลี่ยนกำลังขยายความคมชัดของภาพได้ โดยการปรับปริมาณกระแสไฟฟ้าในขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า เพื่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก

5. ตัวตรวจวัดอิเล็กตรอน (Detector) ตัวเปลี่ยนสัญญาณอิเล็กตรอนให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า หรือ สัญญาณภาพโดยการเก็บสัญญาณแต่ละจุดจากปลายอิเล็กตรอนปรากฏเป็นภาพบนจอภาพ



รูปที่ 2.8 องค์ประกอบของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

2.12.2.4 การเตรียมตัวอย่าง

เครื่อง SEM สามารถทำการวิเคราะห์ทดสอบตัวอย่างได้ทั้ง แบบของแข็ง แบบผง ฟิล์มเคลือบ ตัวอย่างทางชีวภาพ ตัวอย่างทางวัสดุและอิเล็กทรอนิกส์ ปริมาณตัวอย่างที่ต้องเตรียมเพื่อทำการวิเคราะห์ หากเป็นแบบผงใช้เพียงเล็กน้อยเท่านั้น หากเป็นของแข็งควรเตรียมมาอย่างน้อย 2 ชิ้น เพื่อป้องกันความผิดพลาดกรณีตัวอย่างเสียหาย โดยมีขนาดไม่เกิน 3 ลูกบาศก์เซนติเมตร (มีขนาดเล็กจะดีกว่า เนื่องจากตัวอย่างจะสามารถถ่ายเทอิเล็กตรอนลงกราวด์ได้ดีกว่าป้องกันการ Charging effects ส่วนตัวอย่างทางชีวภาพที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบ เช่นเนื้อเยื่อต้องทำการ Dehydrate ด้วย Ethanol หรือ Acetone มาก่อน และต้องมีขนาดไม่เกิน 5 ลูกบาศก์มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.12.3 ศึกษาหมู่ฟังก์ชัน (Functional group) ด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Fourier Transform Infrared Spectroscopy, FTIR)

จะใช้หลักการกระจายแสงของสเปกตรัมการแผ่รังสีแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงของอินฟราเรดแล้วทำการวัดค่าความเข้มแสงเปรียบเทียบกับความยาวคลื่นหรือเลขคลื่น (Frequency - Domain Spectrum) ซึ่งก็จะได้ออกมาเป็นสเปกตรัม แต่สำหรับ FT-IR จะใช้การวัดความเข้มเข้มแสงที่ความยาวคลื่นต่าง ๆ กันอย่างต่อเนื่องเปรียบเทียบกับเวลา (Time - Domain Spectrum) จากนั้นจะถูกเปลี่ยนให้เป็นสเปกตรัมของความเข้มของแสงต่อความยาวคลื่นหรือเลขคลื่นโดยการฟูเรียร์ทรานฟอร์มด้วยคอมพิวเตอร์ก็จะได้ออกมาเป็นสเปกตรัมฟูเรียร์ทรานฟอร์มวิธีการนี้จะช่วยให้การวิเคราะห์มีความรวดเร็วเพิ่มขึ้นพร้อมทั้งความละเอียดก็ดีขึ้นด้วย โดยทั่วไปรังสีอินฟราเรดมีความยาวคลื่นอยู่ระหว่าง 0.78 มิลลิเมตร ถึง 1,000 มิลลิเมตร หรือมี Wave Number ที่ 12,500 เซนติเมตร ถึง 5 เซนติเมตร จะจัดช่วงสเปกตรัมของรังสีอินฟราเรดออกเป็น 3 ช่วงซึ่งเมื่อนำเอาแต่ละช่วงมาวิเคราะห์ทางสเปกโทรสโกปีจะให้ผลช่วงการวิเคราะห์ที่ได้ต่างกัน คือ

1. ช่วงใกล้อินฟราเรด (Near Infrared Region Wavenumber, NIR) 12,500-4,000 cm^{-1} เป็นช่วงที่จะให้สเปกตรัมที่ได้จากโอเวอร์โทน (Overtone Band)

2. ช่วงใกล้อินฟราเรด (Middle Infrared Region Wavenumber, MIR) 4,000-400 cm^{-1} เป็นช่วงที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์เนื่องจากใช้ประโยชน์ได้มากในการวิเคราะห์

3. Far Infrared Region Wavenumber (FIR) 400 – 5 cm^{-1} สเปกตรัมที่ได้จะเป็นการสั่นทั้งแกนของโครงสร้างโมเลกุลหรือเรียกว่า ช่วงลายพิมพ์นิ้วมือของสาร (Fingerprint Region) ซึ่งมีประโยชน์ในการเปรียบเทียบสาร เนื่องจากลายพิมพ์นิ้วมือของสารเดียวกันจะให้สเปกตรัมที่เหมือนกัน

2.12.3.1 องค์ประกอบเครื่อง

1. แหล่งกำเนิดเลเซอร์ เพื่อใช้แสงเลเซอร์ในการปรับระยะของ Mobile Mirror

2. กระจกเคลื่อนที่ (Mobile Mirror) เป็นกระจกเงาที่สามารถสะท้อนรังสีอินฟราเรดและสามารถที่จะเคลื่อนที่ได้

3. กระจกอยู่กับที่ (Fixed Mirror) เป็นกระจกเงาที่สามารถสะท้อนรังสีอินฟราเรดเช่นเดียวกับกระจกเคลื่อนที่ (Mobile Mirror) แต่ไม่สามารถที่จะเคลื่อนที่ได้

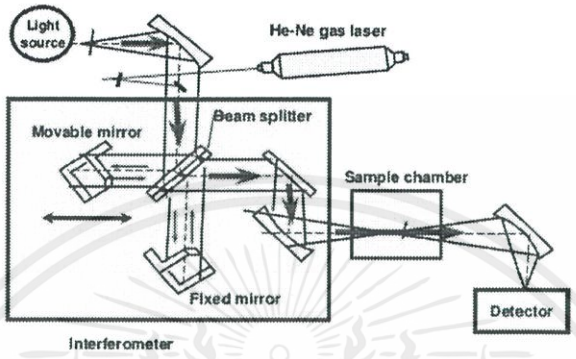
4. ตัวแยกลำแสง (Beam Splitter) เป็นส่วนที่จะทำการแยกอินฟราเรดที่ผ่านเข้ามาให้เป็นสองส่วนคือสามารถให้แสงทะลุผ่านได้ 50 % และจะสะท้อนกลับ 50 %

5. โมโนโครเมเตอร์ (Monochromator) เป็นกระจกเงาที่สามารถสะท้อนรังสีอินฟราเรดใช้ในการบังคับทิศทางการเดินของรังสีอินฟราเรดให้ไปตามทิศทางที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ช่องตัวอย่าง (Sample Compartment) เป็นส่วนที่จะใช้ในการบรรจุ Sample เข้าไปเพื่อการวิเคราะห์

7. เครื่องวัดแสงอินฟราเรด (IR Detector) ใช้วัดความเข้มแสงที่เหลือจากการดูดกลืนของตัวอย่าง



รูปที่ 2.9 องค์ประกอบของเครื่องฟูเรียร์ทรานฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี

2.12.3.2 หลักการทำงาน

1. แหล่งกำเนิดรังสีอินฟราเรดจะทำการผลิตรังสีอินฟราเรดในช่วงความยาวคลื่นหรือเลขคลื่นที่จะใช้ในการวิเคราะห์

2. Beam Splitter ซึ่ง Beam Splitter จะปล่อยให้ทะลุผ่านไปที่ Fixed Mirror 50% และสะท้อนกลับมาที่ Mobile Mirror 50%

3. Fixed Mirror จะสะท้อนกลับมาที่ Beam Splitter

4. Mobile Mirror จะสะท้อนกลับมาที่ Beam Splitter

5. อินฟราเรดที่สะท้อนมาจาก ทั ง Mobile Mirror และ Fixed Mirror จะมารวมกัน และเกิดการแทรกสอดกันขึ้นแต่จากการที่ Mobile Mirror สามารถเคลื่อนที่ได้โดยการควบคุมระยะการเคลื่อนที่ โดยเลเซอร์เมื่อ Mobile Mirror เคลื่อนที่ก็จะทำให้ระยะทางการสะท้อนกลับของรังสีอินฟราเรดของ Mobile Mirror และ Fixed Mirror ไม่เท่ากันซึ่งก็จะส่งผลให้รังสีอินฟราเรดที่ได้มีความยาวคลื่นเปลี่ยนไปอันเกิดจากการแทรกสอดแบบเสริมกันหรือหักล้างกัน เรียกว่า Interferogram

6. อินฟราเรดที่ความยาวคลื่นต่างๆจะสะท้อนไปที่ Sample Compartment ผ่าน Sample ซึ่งจะมีการดูดกลืนอินฟราเรดเอาไว้บางส่วนในบางความยาวคลื่น ส่วนอินฟราเรดที่ไม่ถูก ดูดกลืนก็จะผ่านเข้าสู่ Detector สัญญาณที่ได้คอมพิวเตอร์จะทำการแปลงสัญญาณ Interferogram ด้วยสมการ Fourier Transform ผลที่ได้จะเป็นสเปกตรัมการดูดกลืนแสงอินฟราเรดของสารที่ความยาวคลื่นต่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.12.3.3 ข้อดีของเทคนิค

1. ให้ผลการวิเคราะห์ที่รวดเร็วและมีความไวสูง

2. มีอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (Signal-to-noise ratio : s/n) ต่ำอัตรา s/n จะแปรผันกับรากที่สองของปริมาณสัญญาณที่ตรวจวัดได้ทั้งหมด

3. ความไวของเครื่องตรวจวัดสามารถเพิ่มขึ้นได้ด้วยการเพิ่ม s/n ร่วมกับการเพิ่มจำนวนรอบของสแกนมีการใช้ Circular optical aperture แทนที่ Entrance slit ทำให้ลำรังสีมีขนาด มากกว่าแบบ Dispersive ถึง 75-100 เท่า

4. มีกำลังแสงสูงเหมาะสำหรับตัวอย่าง หรือเทคนิคบางเทคนิคที่มีข้อจำกัดของกำลังแสง

5. นอกจากนี้ FTIR ยังให้ประสิทธิภาพในการแยกสูงรวมทั้งมีความถูกต้องไม่ต่ำกว่า 0.01 cm-1 มีกลไกทำงานที่ง่าย

2.12.3.4 ข้อจำกัดของเทคนิค

ในการเตรียมตัวอย่างบางเทคนิคที่ต้องใช้สารละลายที่ยินยอมให้รังสีทะลุผ่าน และตัวอย่างจะต้องกระตุ้นในช่วงอินฟราเรด และเครื่องมือที่ใช้มีราคาค่อนข้างสูงและมีค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาสูง

2.12.4 ศึกษาค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) ด้วยยูวี วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (UV-Visible Spectrophotometer, UV-VIS)

2.12.4.1 หลักการทำงานของยูวี วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

UV-VIS Spectrophotometer เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัดปริมาณแสงและค่า intensity ในช่วงรังสียูวีและช่วงแสงขาวที่ทะลุผ่านหรือถูกดูดกลืนโดยตัวอย่างที่วางอยู่ในเครื่องมือ โดยที่ความยาวคลื่นแสงจะมีความสัมพันธ์กับปริมาณและชนิดของสารที่อยู่ในตัวอย่าง ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นสารอินทรีย์ สารประกอบเชิงซ้อนและสารอนินทรีย์ที่สามารถดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นเหล่านี้ได้

คุณสมบัติในการดูดกลืนแสงของสาร เมื่อโมเลกุลของตัวอย่างถูกฉายด้วยแสงที่มีพลังงานเหมาะสมจะทำให้อิเล็กตรอนภายในอะตอมเกิดการดูดกลืนแสง แล้วเปลี่ยนสถานะไปอยู่ในชั้นที่มีระดับพลังงานสูงกว่าเมื่อทำการวัดปริมาณของแสงที่ผ่าน หรือ สะท้อนมาจากตัวอย่างเทียบกับแสงจากแหล่งกำเนิดที่ความยาวคลื่นค่าต่างๆตามกฎของ Beer-Lambert ค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) ของสารจะแปรผันกับจำนวนโมเลกุลที่มีการดูดกลืนแสง ดังนั้นจึงสามารถใช้เทคนิคนี้ในระบุชนิดและปริมาณของสารต่างๆที่มีอยู่ในตัวอย่างได้

2.12.4.2 ส่วนประกอบของเครื่องยูวี วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิสเตอร์

1. แหล่งกำเนิดแสง แหล่งกำเนิดแสงในเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์จะต้องให้รังสีในช่วงความยาวคลื่นที่ต้องการอย่างต่อเนื่องและคงที่ตลอดเวลา รวมทั้งมีความเข้มแสงที่มากพอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้วย หลอดกำเนิดแสง มีหลายชนิดตามความยาวคลื่นแสงที่เปล่งออกมา ซึ่งต้องเลือกใช้ให้ถูกต้องเหมาะสมกับของเหลวที่นำมาวัดค่าดูดกลืนแสง ตัวอย่างแหล่งกำเนิดแสง ช่วง UV ใช้หลอด H_2 and D_2 lamp ให้ความยาวคลื่นอยู่ในย่าน 160-380 nm ชนิดของสเปกโทรสโกปี UV molecular absorption และช่วง visible ใช้หลอด Tungsten/halogen ให้ความยาวคลื่นในช่วง 240-2,500 nm ชนิดของสเปกโทรสโกปีเป็นแบบ UV/visible/near-IR molecular absorption

2. Monochromator ส่วนประกอบนี้เป็นส่วนที่ใช้ควบคุมแสงโดยจะทำให้แสงที่ออกมาจากต้นกำเนิดแสง ซึ่งเป็นพอลิโครเมติก ให้เป็นแสงโมโนโครเมติก ซึ่งเป็นแถบแสงแคบๆ หรือมีความยาวคลื่นเดียว ใช้ฟิลเตอร์(กระจกสี) ปริซึม (prism) หรือ เกรตติ้ง (grating)

3. เซลล์ที่ใช้บรรจุสารละลายตัวอย่างเซลล์ที่ใส่สารตัวอย่าง (cell sample) บางครั้งอาจเรียกว่า คิวเวทท์ (cuvettes) รูปแบบที่ใช้กันทั่วไปได้แก่เซลล์ที่ทำด้วยแก้วธรรมดา จะใช้ได้เฉพาะช่วงวิสิเบิล เพราะเนื้อแก้วธรรมดาถูกดูดกลืนแสงในช่วงยูวีได้ และเซลล์ที่ทำด้วยซิลิกา และควอร์ตซ์ (quartz) ใช้ได้ทั้งช่วงยูวีและวิสิเบิล

4. Detector ทำหน้าที่ในการวัดความเข้มของรังสีที่ถูกดูดกลืนโดยการแปลงพลังงานคลื่นรังสีเป็นพลังงานไฟฟ้าเครื่องตรวจจับสัญญาณที่ดีต้องมีสภาพไวสูง คือแม้ปริมาณแสงจะเปลี่ยนไปเล็กน้อย ก็สามารถตรวจจับสัญญาณความแตกต่างได้ เครื่องวัดแสงที่ยังนิยมกันอยู่ในปัจจุบัน คือ หลอดโฟโตมัลติพลายเออร์ (photomultiplier tube, PMT) และเครื่องวัดแสงชนิดซิลิกอนไดโอด (silicon diode detector)

2.13 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในงานวิจัยได้ทำการศึกษาการสังเคราะห์คาร์บอนจากมูลกระต่ายเพื่อเป็นตัวดูดซับน้ำเสียสีย้อมควบคู่กับไททาเนียมไดออกไซด์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดน้ำเสียสีย้อมโดยใช้ควบคู่กับเครื่องปฏิกรณ์ระดับไมโคร โดยได้ทำการคาร์บอนไนเซชัน ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน แล้วทำการกระตุ้นด้วยสารเคมีและคลื่นไมโครเวฟ หลังจากนั่นทำการสังเคราะห์ไททาเนียมไดออกไซด์ลงบนตัวคาร์บอนจากมูลกระต่ายด้วยกระบวนไฮโดรเทอร์มัลคาร์บอนไนเซชัน เมื่อได้ตัวที่ดีที่สุดทำการศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียสีย้อมควบคู่กับเครื่องปฏิกรณ์ระดับไมโคร

Rock keey Liew และคณะ งานวิจัยนี้ต้องการทำ Micro-mesoporous activated (AC) ด้วยวิธี Microwave pyrolysis จากเปลือกกล้วยกับสารกระตุ้นที่มีส่วนผสมของ KOH/NaOH pyrolysis โดยจะใช้สารอัตราส่วนของสารและเวลาในการฉายรังสีไมโครเวฟที่ต่างกันโดยจะตรวจสอบโดยใช้เครื่องวัด SEM เพื่อดูลักษณะพื้นผิวความเป็นรูพรุนและเครื่อง TGA เพื่อวิเคราะห์องประกอบของธาตุพบว่า activated carbon ที่ดีที่สุดเป็นการกระตุ้นเชิงเคมีที่ใช้อัตรส่วน 1.0 ใช้กำลัง 700 w ใช้เวลา 10 นาทีโดยมีเปอเซนต์ในการกำสีย้อมสีเขียวมากที่สุด สูงสุดถึง 90 % แสดงให้เห็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ว่าการใช้ Microwave pyrolysis ร่วมกับการกระตุ้นด้วยสารเคมีสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของตัวรองรับคาร์บอนให้มีความสามารถในการดูดซับสีย้อมได้มากยิ่งขึ้น

Qi-xuan Lin และคณะ งานวิจัยนี้ศึกษาโครงสร้างและความเป็นรูพรุณของตัวรองรับคาร์บอนโดยจะเปรียบเทียบ Non-activated กับ KOH-activated และ $ZnCl_2$-activated ว่าก่อนการกระตุ้นและกลังการกระตุ้นมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร โดยจะตรวจสอบด้วยเครื่อง Zeiss Supra 35VP SEM, FTIR พบว่า สารกระตุ้น $ZnCl_2$ เป็นตัวที่ดีที่สุด เพราะมีพื้นที่ผิวมากที่สุด เส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนน้อยที่สุด ปริมาตรของรูพรุณสูงกว่าตัวอื่น

Marina และคณะ งานวิจัยนี้ต้องการสังเคราะห์ TiO2/carbon composite ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัลเพื่อนำมาบำบัดน้ำเสีย (ยา สีย้อม ยาฆ่าแมลง) โดยการสังเคราะห์ตัวคอมโพสิตจะใช้สารตั้งต้น Glucose และ Titanium isoproproxide ผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลเพื่อให้ได้ตัวคอมโพสิตออกมา สามารถตรวจวัดด้วยเครื่อง FT-IR, XRD, UV-VIS พบว่าตัว TiO2/HTC4 มีคุณสมบัติที่ดีที่สุด เพราะให้พื้นที่ผิวมาก รูพรุนมาก ได้เฟสอนาเทสสูง ทำให้ TIO2 สามารถเข้าไปอยู่ในตัวรองรับคาร์บอนได้มากขึ้นทำให้ปฏิกริยาโฟโตแคทตาไลติกเกิดได้มากขึ้น

Osman และคณะ งานวิจัยนี้ต้องการศึกษาเกี่ยวกับ อุณภูมิที่ และเวลาที่ใช้ Carbonization โดยอัตราส่วนของสารที่ใช้กระตุ้นตัวรองรับคาร์บอนที่ได้จากต้นอ้อ โดยใช้ ZnCl2 อัตราส่วน 0.5-3 (w/w) เป็นตัวกระตุ้น เวลา carbonization 30-180 นาที และอุณภูมิ 300-700 องศาเซลเซียส ตรวจวัดโดยเครื่อง TGA, FT-IR และ SEM พบว่า ที่อัตรส่วนสารเคมี 1.5 และ อุณภูมิ 400 องศาเซลเซียส ช่วงเวลา 60, 90 และ 120 นาที ให้พื้นที่ผิวสูงที่สุด คือ 1784, 1781 และ 1785 m^2/g

Prashant L. และคณะ งานวิจัยนี้ต้องการอธิบายเกี่ยวกับไมโครรีแอคเตอร์ โดยวัสดุที่มักจะนำมาใช้สร้างไมโครรีแอคเตอร์ได้แก่ โพลิเมอร์ ซิลกอน โลหะ สแตนเลส แก้ว เซรามิค Perfluoroalkoxy เทคนิคที่ใช้สร้างลวดลายเช่น Micromachining Lithographie , Etching

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการสังเคราะห์ไททาเนียมไดออกไซด์บน ตัวรองรับคาร์บอนจากมูลกระต่ายเพื่อใช้ในการบำบัดน้ำเสียย้อมด้วยเครื่องปฏิกรณ์ระดับไมโคร โดยทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการทำปฏิกิริยาคาร์บอนไนเซชันและปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มัลคาร์บอนไนเซชัน ได้แก่ อุณหภูมิ เวลา ชนิดตัวเร่งปฏิกิริยากรดและเบส และชนิดของสารเคมีที่ใช้ในการกระตุ้น จากนั้นทำการเปรียบเทียบอิทธิพลในการคาร์บอนไนเซชันเพื่อหา เงื่อนไขที่เหมาะสมในการนำมาเป็นตัวรองรับของไททาเนียมไดออกไซด์และหาอัตราส่วนของไททาเนียมไดออกไซด์ต่อตัวรองรับคาร์บอนจากมูลกระต่ายจากนั้นนำไปทดสอบประสิทธิภาพการดูดซับและกำจัดสีย้อมด้วยเครื่องปฏิกรณ์ระดับไมโคร

3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

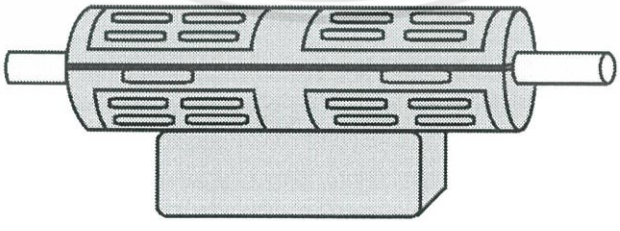
3.1.1 อุปกรณ์

1. ภาชนะเซรามิกใส่สารสำหรับทำปฏิกิริยาคาร์บอนไนเซชัน (Boat)



รูปที่ 3.1 ภาชนะเซรามิกใส่สารสำหรับทำปฏิกิริยาคาร์บอนไนเซชัน

2. เตาเผาสารแบบแนวนอน (Horizontal Tube Furnace)



รูปที่ 3.2 เตาเผาสารแบบแนวนอน

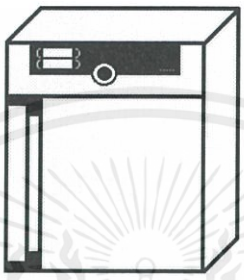
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ท่อแสตนเลสสำหรับการเผาสาร (Stainless tube)



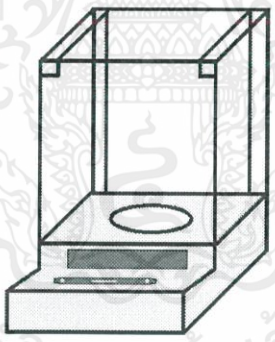
รูปที่ 3.3 ท่อแสตนเลสสำหรับการเผาสาร

4. ตู้อบ (Oven)



รูปที่ 3.4 ตู้อบ

5. เครื่องชั่นสารแบบดิจิตอล (Digital balance)



รูปที่ 3.5 เครื่องชั่นสารแบบดิจิตอล

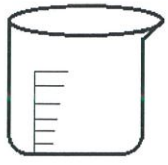
6. แท่งแก้ว (Stirring Rod)



รูปที่ 3.6 แท่งแก้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. บีกเกอร์ (Beaker)



รูปที่ 3.7 บีกเกอร์

8. กระบอกตวง (Cylinder)



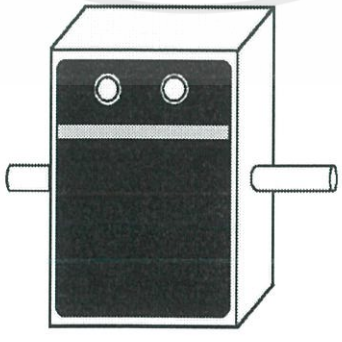
รูปที่ 3.8 กระบอกตวง

9. ช้อนตักสาร (Spatula)



รูปที่ 3.9 ช้อนตักสาร

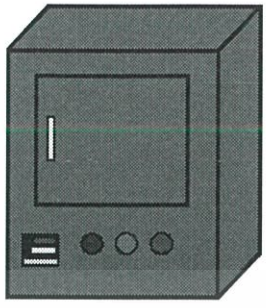
10. เตาไมโครเวฟ (Microwave Oven)



รูปที่ 3.10 ไมโครเวฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11. เตาเผาสารแบบกล่อง (Furnace)



รูปที่ 3.11 เตาเผาสารแบบกล่อง

12. เครื่องปั่นกวนสาร (Magnetic Stirrer)



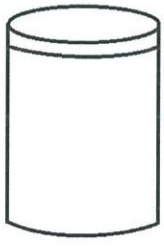
รูปที่ 3.12 เครื่องปั่นกวนสาร

13. ถังปฏิกรณ์สำหรับกระบวนการไฮโดรเทอร์มัล (Autoclave)



รูปที่ 3.13 ถังปฏิกรณ์สำหรับกระบวนการไฮโดรเทอร์มัล

14. ภาชนะเทฟลอนสำหรับบรรจุในถังปฏิกรณ์ไฮโดรเทอร์มัล (Teflon)



รูปที่ 3.14 ภาชนะเทฟลอนสำหรับบรรจุในถังปฏิกรณ์ไฮโดรเทอร์มัล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 วัสดุและสารเคมี

1. มูลกระต่าย (Rabbit's droppings)



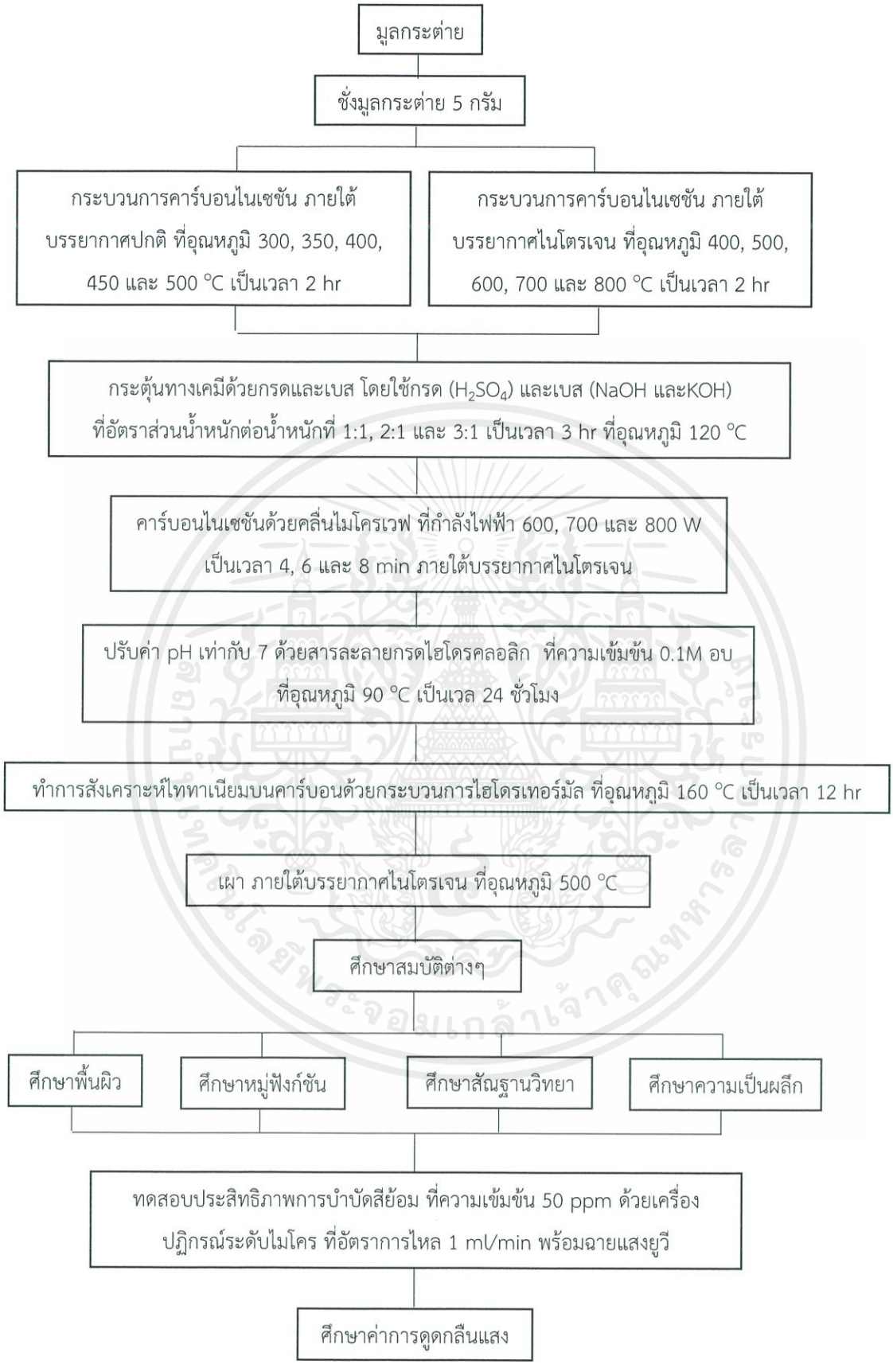
รูปที่ 3.15 มูลกระต่าย

2. น้ำปราศจากไอออน (Deionized water)
3. กรดซัลฟิวริก (Sulphuric acid, H_2SO_4)
4. กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid, HCl)
5. กรดไนตริก (Nitric acid, HNO_3)
6. กรดฟอสฟอริก (Phosphoric acid, H_3PO_4)
7. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide, NaOH)
8. โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (Potassium hydroxide, KOH)
9. โซเดียมคาร์บอเนต (Sodium carbonate, Na_2CO_3)
10. โพแทสเซียมคาร์บอเนต (Potassium carbonate, K_2CO_3)
11. ไททาเนียมเตตระไอโซโพรพอกไซด์ (Titanium(IV) isopropoxide, $Ti[OCH(CH_3)_2]_4$)

3.1.3 เครื่องวิเคราะห์

1. เครื่องฟูเรียร์ทรานฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตมิเตอร์ (Fourier Transform Infrared Spectroscopy, FTIR) รุ่น Perkin Elmer Spectrum Two
2. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) รุ่น Zeiss EVO MA10c
3. เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray Diffraction, XRD) รุ่น SmartLab
4. เครื่องวิเคราะห์ ค่าการดูดกลืนแสง ยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (UV-VIS Spectrophotometer)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.16 แผนภาพแสดงขั้นตอนงานวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การเตรียมมูลกระต่าย

1. นำมูลกระต่ายมาคัดแยกเม็ดกลมเพื่อนำไปใช้

2. นำมูลกระต่ายเม็ดกลมไปอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หรือจนกว่าจะปราศจากความชื้น แล้วนำเก็บใส่ภาชนะปิด

3.3 การเตรียมตัวรองรับคาร์บอนจากมูลกระต่าย

3.3.1 ศึกษาปัจจัยในการสังเคราะห์ตัวรองรับคาร์บอนที่ผ่านกระบวนการคาร์บอนไนเซชันภายใต้บรรยากาศปกติ และไนโตรเจน

1. ชั่งน้ำหนักของมูลกระต่ายที่ผ่านการไล่ความชื้นจำนวน 5 กรัม ใส่ลงในภาชนะใส่สารสำหรับทำปฏิกิริยาคาร์บอนไนเซชัน

2. ทำการคาร์บอนไนเซชัน ภายใต้บรรยากาศปกติ (Air Atmosphere) ที่อุณหภูมิ 300, 350, 400, 450 และ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ด้วยอัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียสต่อนาที (^{o}C/min) และ ภายใต้บรรยากาศ ไนโตรเจน (N_2 Atmosphere) ที่อุณหภูมิ 400, 500, 600, 700 และ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวล 2 ชั่วโมง ด้วยอัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียสต่อนาที (^{o}C/min) และ ความเร็วในการไหลของแก๊ส 100 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที

3. ทำการชั่งน้ำหนักหลังการคาร์บอนไนเซชัน และเก็บใส่ภาชนะปิด

3.3.2 ศึกษาปัจจัยในการสังเคราะห์ตัวรองรับคาร์บอนที่ผ่านการกระตุ้นด้วยกรดหรือเบสด้วยกระบวนการคาร์บอนไนเซชันด้วยคลื่นไมโครเวฟ

1. นำมูลกระต่ายที่ผ่านการคาร์บอนไนเซชัน จำนวน 10 กรัม ใส่บีเกอร์ขนาด 200 มิลลิลิตร

2. นำมูลกระต่ายมาทำการปั่นกวนสารละลายกรด (H_2SO_4) และเบส (NaOH และ KOH) ที่อัตราส่วนน้ำหนักต่อน้ำหนัก (%wt) ที่ 1:1, 2:1 และ 3:1 น้ำ DI 60 มิลิลิตร เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส จากนั่นทำการกรองและอบให้แห้ง

3. นำมูลกระต่ายที่ผ่านการกระตุ้นด้วยกรดหรือเบสเข้าสู่ไมโครเวฟ (Microwave) จากนั้นทำการคาร์บอนไนเซชันที่กำลังไฟ 600, 700 และ 800 วัตต์ เป็นเวลา 4, 6 และ 8 นาที ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน (N_2 Atmosphere) ด้วยความเร็วในการไหลของแก๊ส 100 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อวินาที

4. ทำการล้างเฉพาะตัวรองรับคาร์บอนที่ผ่านการกระตุ้นด้วยเบสโดยปรับให้มีค่า pH ประมาณ 7 ด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอลิกที่ความเข้มข้น 0.1 โมล จากนั่นทำการกรองและอบให้แห้ง แล้วนำไปชั่งน้ำหนักและเก็บใส่ภาชนะปิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3 ศึกษาปัจจัยในการสังเคราะห์ไททาเนียมบนตัวรองรับคาร์บอนจากมูลกระต่ายด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มัล

1. เตรียมคาร์บอนจากมูลกระต่าย 2.5 กรัม โดยใช้อัตราส่วนต่อปริมาตรไททาเนียมเตตระไอโซโพรพอกไซด์กับตัวรองรับคาร์บอน 0.05, 0.1, 0.15 และ 0.30

2. บรรจุลงไปในภาชนะเทฟลอนและใส่ลงในถังปฏิกรณ์ไฮโดรเทอร์มัล จากนั่นนำถังปฏิกรณ์เข้าตู้อบ โดยใช้เงื่อนไขในกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง จากนั้นนำถังปฏิกรณ์ออกจากตู้อบ และนำไประบายความร้อนโดยการหล่อเย็นเพื่อให้ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นสิ้นสุดทันที

3. หลังจากทำการไฮโดรเทอร์มัล นำตัวอย่างมาอบไล่ความชื้นจนแห้งในตู้อบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นชั่งน้ำหนักตัวอย่างและเก็บใส่ภาชนะปิด

3.3.4 เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียที่มีสีย้อมเจือปนจากปฏิกริยาโฟโตแคทตาไลติกของตัวคาร์บอนนาโนคอมโพสิตด้วยเครื่องปฏิกรณ์ระดับไมโคร

1. เตรียมไททาเนียมไดออกไซด์บนคาร์บอนมูลกระต่าย 1 กรัม เมทิลีนบลู ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 20 มิลลิลิตร

2. บรรจุลงไปในกระบอกฉีดยา แล้วทำการอัดตาข่าย จากนั้นทำการไหลเข้าสู่เครื่องปฏิกรณ์ระดับไมโคร ในอัตราการไหล 1 มิลลิลิตร พร้อมฉายแสงยูวี (UV)

3.น้ำตัวอย่างออกมาทำการตรวจวัด และ วิเคราะห์ผล โดยไม่ให้น้ำเสียสีย้อมโดนแสง

3.4 การตรวจวัดและวิเคราะห์คุณสมบัติต่างๆ

นำตัวอย่างตัวรองรับคาร์บอนจากมูลกระต่ายที่ไม่ได้ผ่านการคาร์บอนไนเซชันและที่ผ่านกระบวนการคาร์บอนไนเซชัน และ นำตัวอย่างมูลกระต่ายที่ผ่านกระบวนการคาร์บอนไนเซชันที่เติมตัวเร่งปฏิกิริยา(กรดและเบส) ไททำการวิเคราะห์เพื่อตรวจคุณสมบัติต่างๆดังนี้

3.4.1 การศึกษาสัณฐานวิทยา (Morphology) ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM)

การศึกษาสัณฐานวิทยา (Morphology) โดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) (รุ่น Zeiss EVO MA10) ของตัวเร่งปฏิกิริยาที่สังเคราะห์โดยตัวอย่างจะต้องถูกเคลือบด้วยทองโดยใช้วิธี Sputtering ก่อนทำการวัดเพื่อให้ตัวอย่างมีพื้นผิวที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำไฟฟ้าทำให้ได้ภาพที่คมชัดมากยิ่งขึ้นโดยในการศึกษาจะใช้ความต่างศักย์ในการเร่งอิเล็กตรอน 10 และ 20 kV และกำลังขยาย 10x และ 50x

3.4.2 การศึกษาความเป็นผลึก (Crystallinity) ด้วยเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray Diffraction, XRD)

การศึกษาความเป็นผลึก (Crystallinity) ด้วยเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray Diffraction, XRD) (รุ่น SmartLab) เพื่อหาองค์ประกอบธาตุและสารประกอบที่มีอยู่ในตัวเร่งปฏิกิริยาบนตัวรองรับคาร์บอนชีวมวลจากมูลกระต่ายและทำการวิเคราะห์โดยใช้โหมด Theta-2Theta โดยใช้มุมในการสแกนตั้งแต่ 20° ถึง 90° และใช้ $Cu_K\alpha$ เป็นแหล่งกำเนิดรังสีเอ็กซ์เรย์

3.4.3 การศึกษาหมู่ฟังก์ชัน (Functional group) ด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Fourier Transform Infrared Spectroscopy, FTIR)

การศึกษาหมู่ฟังก์ชัน (Functional group) บนพื้นผิวของตัวอย่างโดยเครื่องฟูเรียร์ทรานฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Fourier Transform Infrared Spectroscopy, FTIR) (รุ่น Perkin Elmer Spectrum Two)และทำการวิเคราะห์โดยใช้โหมด ART สแกนในช่วงเลขคลื่นตั้งแต่ 400 cm^{-1} ถึง 4000 cm^{-1}

3.4.4 การศึกษาค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) ด้วยยูวี วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (UV-Visible Spectrophotometer, UV-VIS)

การศึกษาค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) หลังจากการดูดซับน้ำเสียก่อนและหลังโดยเครื่องสิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (UV-Visible Spectrophotometer, UV-VIS) สแกนในช่วงความยาวคลื่นตั้งแต่ 200 ถึง 700 nm

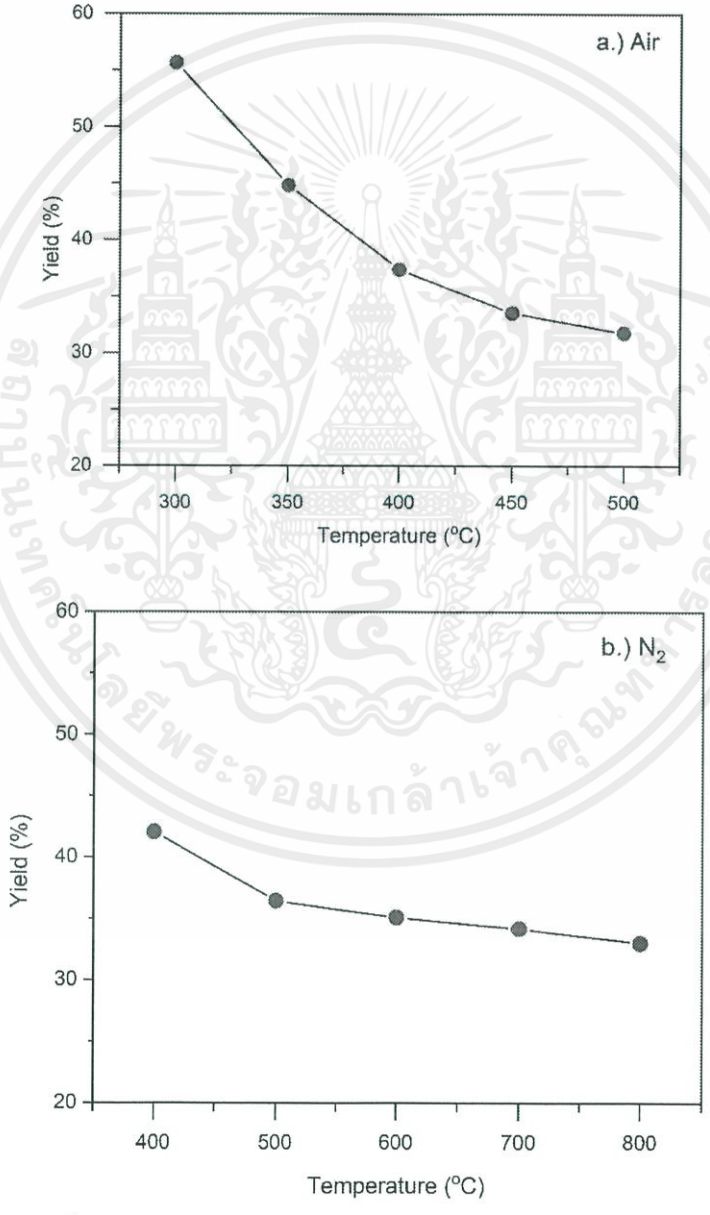
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่4

ผลการทดลองและการอภิปรายผล

4.1 การศึกษาอุณหภูมิในคาร์บอนในการสังเคราะห์ตัวรองรับคาร์บอนที่ผ่านกระบวนการคาร์บอนไนเซชันภายใต้บรรยากาศปกติ และ ไนโตรเจน

4.1.1 การศึกษาน้ำหนักของคาร์บอนไนเซชันภายใต้บรรยากาศปกติ และ ไนโตรเจน

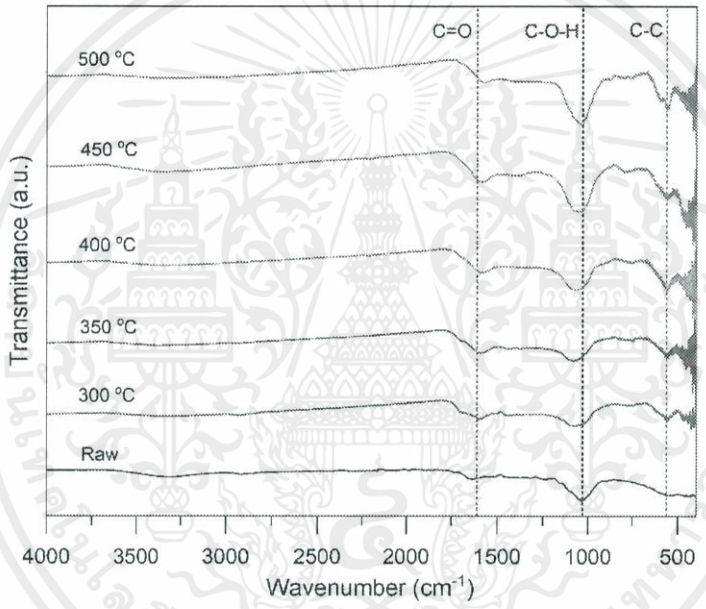


รูปที่ 4.1 ร้อยละของน้ำหนักมูลกระต่ายหลังผ่านกระบวนการคาร์บอนไนเซชัน ภายใต้บรรยากาศ a.) Air b.) Nitrogen

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.1 a และ b พบว่าเมื่ออุณหภูมิในกระบวนการคาร์บอนไนเซชันเพิ่มขึ้นผลผลิตของมูลกระต่ายมีแนวโน้มลดลง โดยน้ำหนักที่เหลือหลังจากการคาร์บอนไนเซชัน ภายใต้บรรยากาศปกติ คิดเป็นร้อยละ 55.68 , 44.82 , 37.40 , 33.55 และ 31.78 ตามลำดับ และ น้ำหนักที่เหลือหลังจากการคาร์บอนไนเซชัน ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน คิดเป็น ร้อยละ 42.06 , 36.44 , 35.08 , 34.17 และ 32.99 ตามลำดับ โดยภายใต้บรรยากาศปกติ มีน้ำหนักของมูลกระต่ายเหลือน้อยกว่าภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน เพราะว่าการคาร์บอไนเซชันภายใต้บรรยากาศปกติ มีออกซิเจนอยู่ภายในทำให้เกิดปฏิกิริยาในเผาไหม้ที่สมบูรณ์ส่วนตัวภายใต้บรรยากาศไนโตร ที่เป็นแก๊สเฉื่อยทำให้เกิดปฏิกิริยาในการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์

4.1.2 การศึกษาหมู่ฟังก์ชันบนพื้นผิวของคาร์บอนมูลกระต่าง

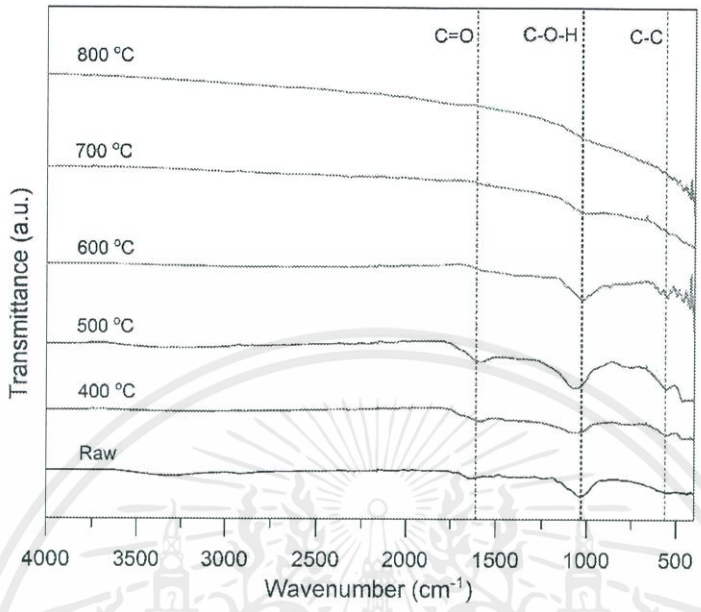


รูปที่ 4.2 กราฟ FT-IR ของคาร์บอนมูลกระต่ายที่ผ่านกระบวนคาร์บอนไนเซชัน ภายใต้บรรยากาศปกติที่อุณหภูมิแตกต่างกัน

ผลการวิเคราะห์ของเครื่อง FTIR ของตัวรองรับคาร์บอนก่อนการคาร์บอนไนเซชัน มีพีคอยู่ในช่วงประมาณ 561 cm^{-1}(C-C deformation), 1031 cm^{-1}(C-O-H deformation in Cellulose) และ 1610 cm^{-1}(Aromatic ring (C=O in plane) stretching symmetric) เมื่อคาร์บอนไนเซชันแล้วทำให้มีพีคของ 561 cm^{-1}(C-C deformation) เกิดมากขึ้นทำให้ตัวรองรับมีความเป็นคาร์บอนมากขึ้น ตามอุณหภูมิที่สูงขึ้น ส่วนของ 1031 cm^{-1}(C-O-H deformation in Cellulose) มีพีคที่สูงขึ้นซึ่งเกิดจากการคาร์บอนไนเซชัน ภายใต้บรรยากาศปกติ แล้วออกซิเจนเข้าไปทำปฏิกิริยากับ C-O-H deformation in Cellulose ทำให้เกิดพันธะส่งผลให้พีคสูงขึ้น ตามอุณหภูมิที่สูงขึ้น ส่วนของ 1633 cm^{-1}Aromatic ring (C=O in plane) stretching symmetric) มีแนวโน้มที่พีคจะลดลงตาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิที่สูงขึ้น หากอุณหภูมิมากพอที่เข้าทำลายพันธะของ Aromatic ring (C=O in plane) stretching symmetric ทำให้พีคลดลงหรือหายไป



รูปที่ 4.3 กราฟ FT-IR ของคาร์บอนมูลกระต่ายที่ผ่านกระบวนคาร์บอนไนเซชัน ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน ที่อุณหภูมิแตกต่างกัน

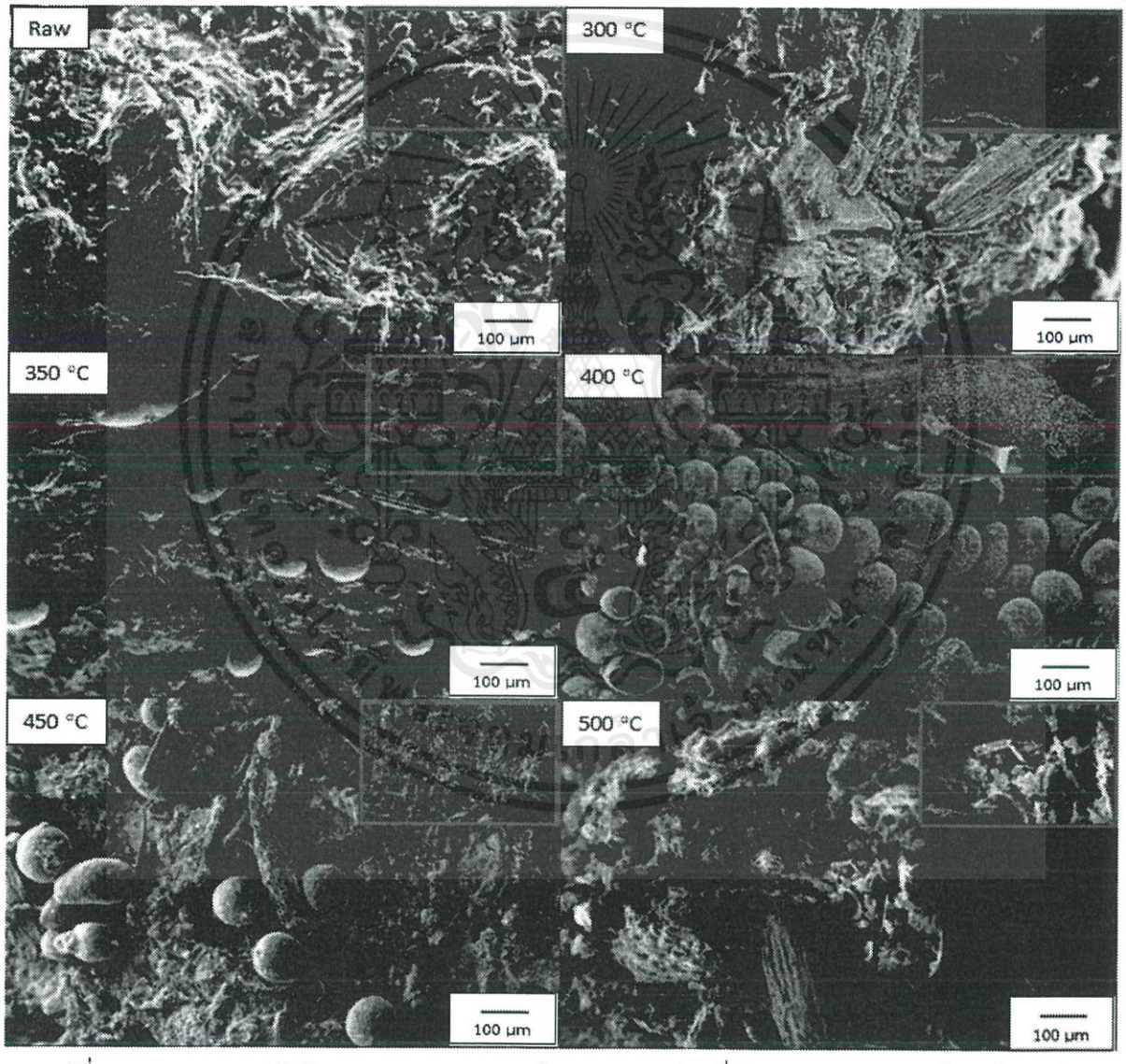
ผลการวิเคราะห์ของเครื่อง FTIR ของตัวรองรับคาร์บอนก่อนการคาร์บอนไนเซชัน มีพีคอยู่ในช่วง ประมาณ 561 cm^{-1}(C-C deformation), 1031 cm^{-1}(C-O-H deformation in Cellulose) และ 1610 cm^{-1}(Aromatic ring (C=O in plane) stretching symmetric) เมื่อคาร์บอนไนเซชันแล้วทำให้พีคของ 1031 cm^{-1}(C-O-H deformation in Cellulose) และ 1610 cm^{-1}(Aromatic ring (C=O in plane) stretching symmetric) ลดลงเมื่อมีอุณหภูมิที่สูงขึ้น โดยอุณหภูมิที่ 400 , 500 และ 600 องศาเซลเซียส พีคทั้งสองมีความเป็นพีคลดลง ส่วนอุณหภูมิที่ 700 องศาเซลเซียส เหลือแค่พีคที่ 1031 (C-O-H deformation in Cellulose) และ อุณหภูมิที่ 800 องศาเซลเซียส พีคทั้งสองพีคได้หายไป ซึ่งเกิดจากการเผาไหม้ที่อุณหภูมิสูงขึ้นเข้าไปสลายพันธะทำให้ไม่เหลือความเป็นพันธะของพีคทั้งสองทำให้โครงสร้างเปราะบางขึ้นเมื่อนำไปกระตุ้นกับกรดและเบสได้ดีและง่ายขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 หมู่ฟังก์ชันของคาร์บอนมูลกระต่าย

Wavenumber (cm^{-1})	Functional group	Description
1610 1031 561	C=O in plane C-O-H C-C	Aromatic ring stretching symmetric deformation in Cellulose deformation

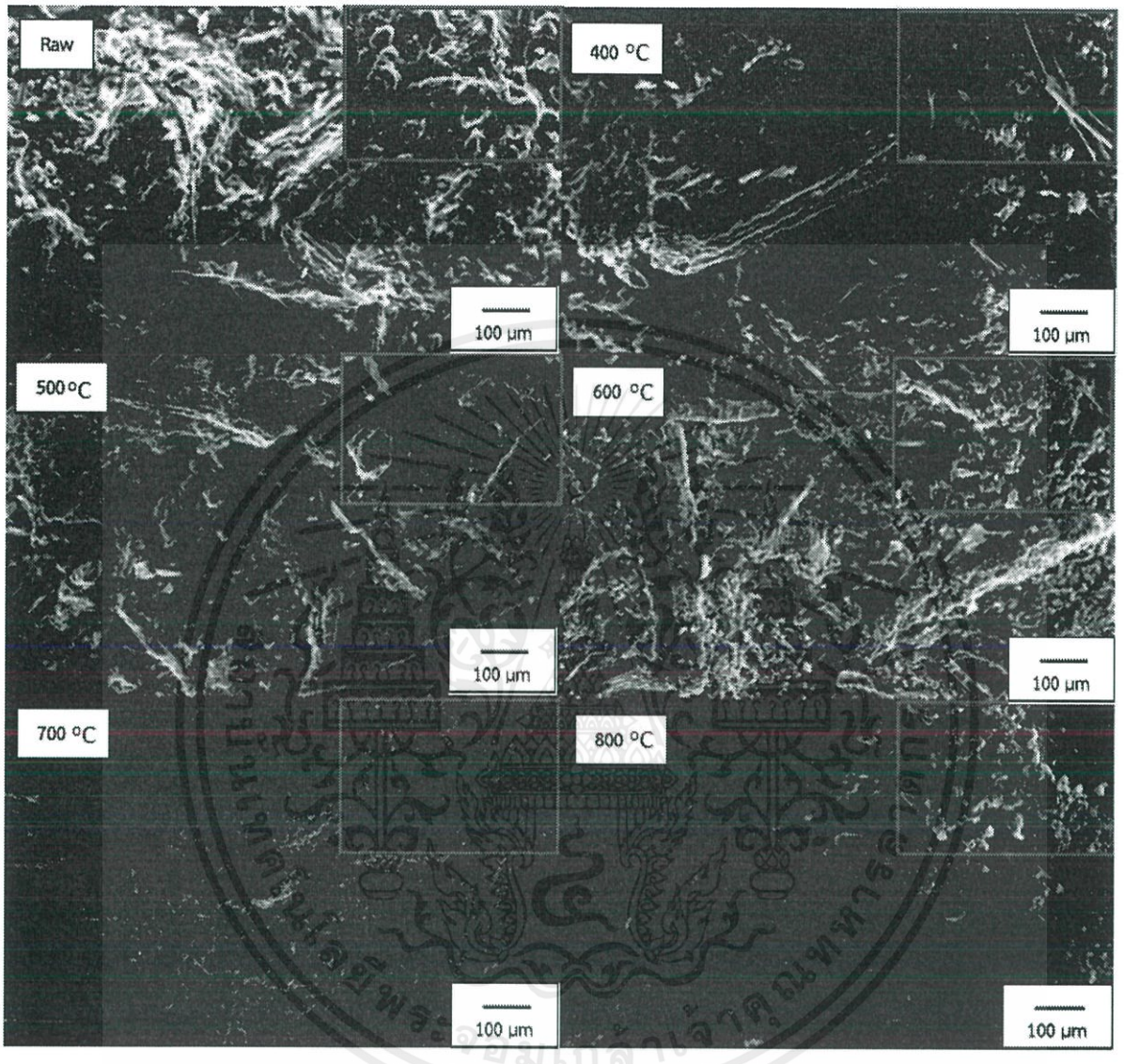
4.1.3 การศึกษาสัณฐานของคาร์บอนมูลกระต่าย



รูปที่ 4.4 ภาพ SEM (กำลังขยาย 100x) ของคาร์บอนมูลกระต่ายที่ผ่านกระบวนการคาร์บอนไนเซชัน ภายใต้บรรยากาศปกติ ที่อุณหภูมิแตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พบว่ามีพื้นที่ผิวที่เพิ่มมากขึ้นตามอุณหภูมิที่สูงขึ้นสังเกตุจากพื้นผิวมีความขรุขระมากขึ้น เมื่อเทียบกับมูลกระต่ายก่อนคาร์บอนไนเซชัน โดยพบว่าในช่วงอุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส มีรูพรุนและพื้นที่ผิวมากที่สุด



รูปที่ 4.5 ภาพ SEM (กำลังขยาย 100x) ของคาร์บอนมูลกระต่ายที่ผ่านกระบวนการคาร์บอนไนเซชันภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน ที่อุณหภูมิแตกต่างกัน

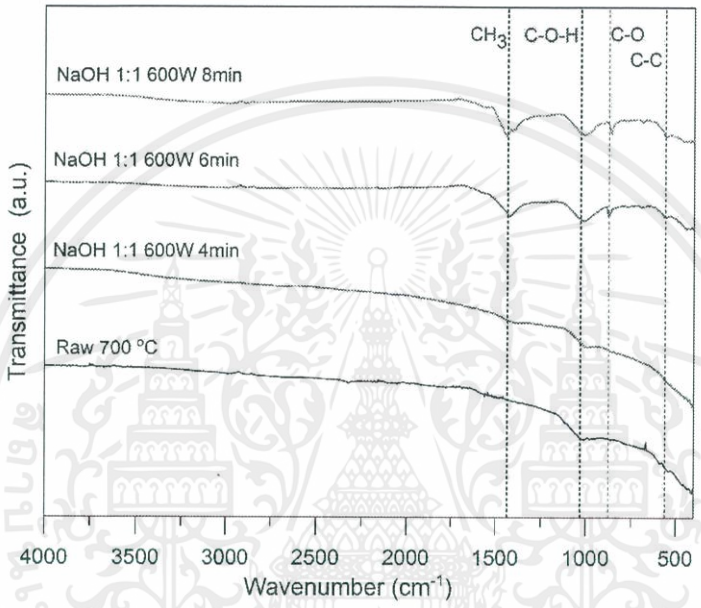
จากรูปที่ 4.5 แสดงให้เห็นว่ามูลกระต่ายที่ผ่านกระบวนการคาร์บอนไนเซชันมีการเปลี่ยนแปลงของพื้นผิวพบว่ามีพื้นที่ผิวที่เพิ่มมากขึ้นตามอุณหภูมิที่สูงขึ้นสังเกตุจากพื้นผิวมีความขรุขระมากขึ้น เมื่อเทียบกับมูลกระต่ายก่อนคาร์บอนไนเซชัน พบว่าตัวรองรับมีพื้นที่ผิวเพิ่มขึ้นและความเสียหายของโครงสร้างเพิ่มมากขึ้นตามอุณหภูมิที่สูงขึ้น โดยอุณหภูมิที่ 700 องศาเซลเซียส มีความเหมาะสมในการทำตัวรองรับมากที่สุด เพราะมีพื้นที่ผิวมากและมีการกระจายตัวของพื้นที่ผิวที่ดี โดยเมื่อเทียบกับอุณหภูมิที่ 800 องศาเซลเซียส ที่มีพื้นที่ผิวและความขรุขระใกล้เคียงกัน แต่อุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ 800 องศาเซลเซียส มีความเสียหายของโครงสร้างมากกว่าอุณหภูมิที่ 700 องศาเซลเซียส และได้ใช้พลังงานในการคาร์บอนไนเซชันมากกว่าของตัวอุณหภูมที่ 700 องศาเซลเซียส

4.2 การศึกษาคาร์บอนมูลกระต่ายที่ผ่านการกระตุ้นด้วยเบสและกรดด้วยกระบวนการคาร์บอนไนเซชันด้วยคลื่นไมโครเวฟ

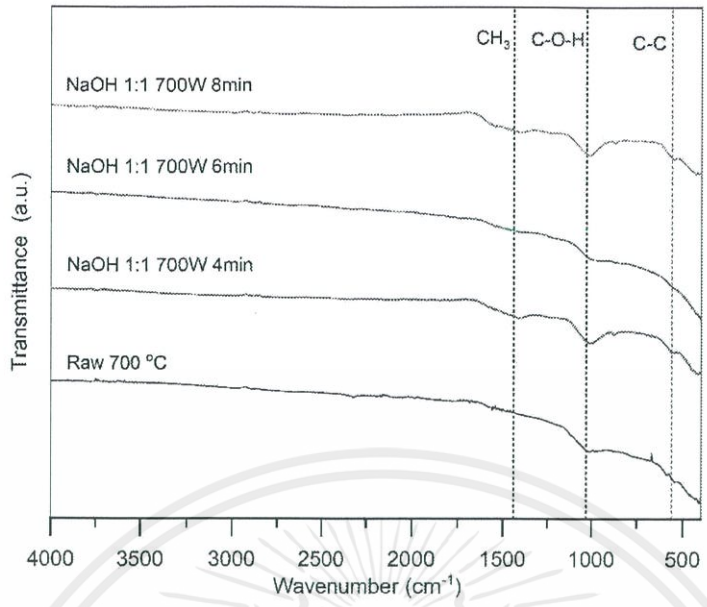
4.2.1 การศึกษาหมู่ฟังก์ชันบนพื้นผิวคาร์บอนมูลกระต่าย



รูปที่ 4.6 กราฟ FT-IR ของคาร์บอนมูลกระต่ายที่กระตุ้นด้วยเบส NaOH อัตราส่วน 1:1 ที่กำลังไฟฟ้า 600 วัตต์ เวลา 4, 6 และ 8 นาที

จากรูปที่ 4.6 แสดงให้เห็นว่าคาร์บอนมูลกระต่ายที่ผ่านการกระตุ้นด้วยเบส NaOH ที่อัตราส่วน 1:1 ด้วยกำลังไฟของไมโครเวฟ 600 วัตต์ เป็นเวลา 4, 6 และ 8 นาที เปรียบเทียบกับตัวคาร์บอนที่ไม่ได้ผ่านการกระตุ้น พบว่าเมื่อทำการกระตุ้นคาร์บอนมูลกระต่ายด้วยกำลังไฟฟ้า 600 วัตต์ พบว่าหมู่ฟังก์ชันไม่มีการสลายตัวไป เพราะว่ากำลังไฟของไมโครเวฟที่น้อยเกินไปจนไม่สามารถไปทำลายหมู่ฟังก์ชันได้ และพบว่าตัวเบสที่ใส่เข้าไปเข้าไปกระตุ้นหมู่ฟังก์ชัน C-O-H เพิ่มมากขึ้น ซึ่งอาจเกิดจากกำลังไฟฟ้าที่น้อยเกิดไปทำให้ตัวเบสหลงเหลืออยู่ และทำการล้างตัวเบสออกไม่หมดหลังการกระตุ้นด้วยคลื่นไมโครเวฟ

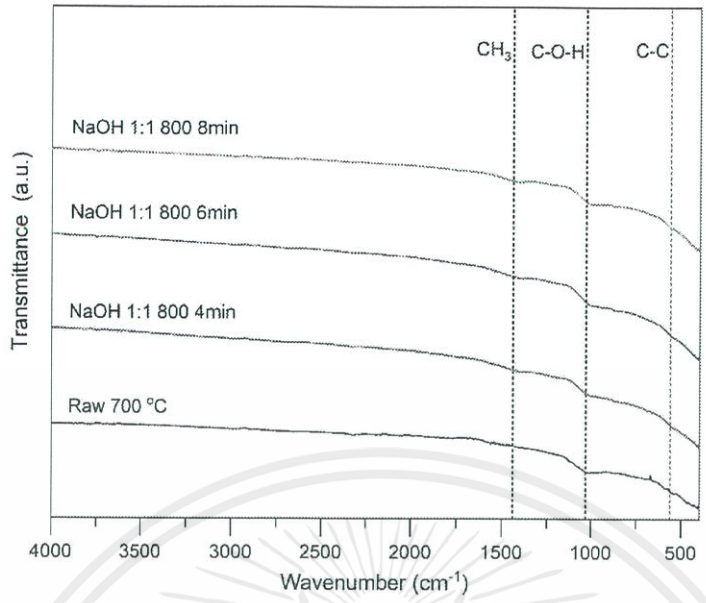
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 กราฟ FT-IR ของคาร์บอนมูลกระต่ายที่กระตุ้นด้วยเบส NaOH อัตราส่วน 1:1 ที่กำลังไฟฟ้า 700 วัตต์ เป็นเวลา 4, 6 และ 8 นาที

จากรูปที่ 4.7 แสดงให้เห็นว่าคาร์บอนมูลกระต่ายที่ผ่านการกระตุ้นด้วยเบส NaOH ที่อัตราส่วน 1:1 ด้วยกำลังไฟของไมโครเวฟ 700 วัตต์ เป็นเวลา 4, 6 และ 8 นาที เปรียบเทียบกับตัวคาร์บอนที่ไม่ได้ผ่านการกระตุ้น พบว่าเมื่อทำการกระตุ้นคาร์บอนมูลกระต่ายด้วยกำลังไฟฟ้า 700 วัตต์ พบว่าหมู่ฟังก์ชันไม่มีการสลายตัวไป เพราะว่ากำลังไฟของไมโครเวฟที่น้อยเกินไปจนไม่สามารถไปทำลายหมู่ฟังก์ชันได้

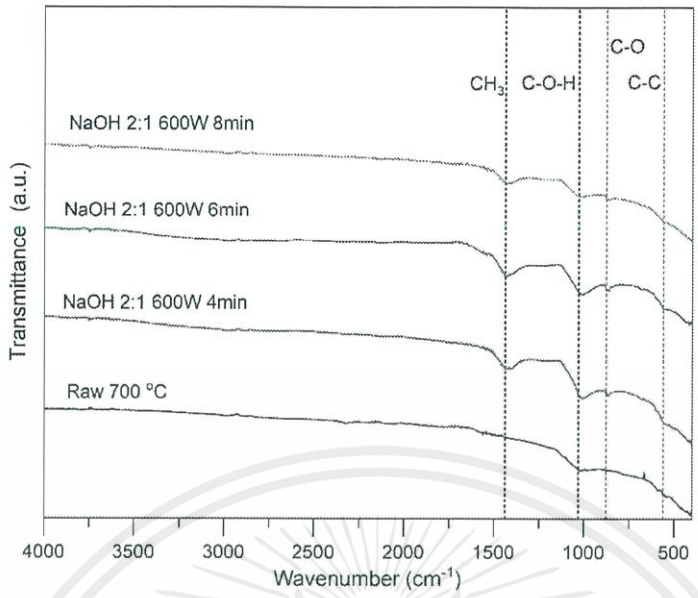
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 กราฟ FT-IR ของคาร์บอนมูลกระต่ายที่กระตุ้นด้วยเบส NaOH อัตราส่วน 1:1 ที่กำลังไฟฟ้า 800 วัตต์ เป็นเวลา 4, 6 และ 8 นาที

จากรูปที่ 4.8 แสดงให้เห็นว่าคาร์บอนมูลกระต่ายที่ผ่านการกระตุ้นด้วยเบส NaOH ที่อัตราส่วน 1:1 ด้วยกำลังไฟของไมโครเวฟ 800 วัตต์ เป็นเวลา 4, 6 และ 8 นาที เปรียบเทียบกับตัวคาร์บอนที่ไม่ได้ผ่านการกระตุ้น พบว่าเมื่อทำการกระตุ้นคาร์บอนมูลกระต่ายด้วยกำลังไฟฟ้า 800 วัตต์ พบว่าหมู่ฟังก์ชันมีแนวโน้มลดลงของหมู่ฟังก์ชัน เพราะว่ากำลังไฟของไมโครเวฟที่เริ่มเพียงพอในการกระตุ้น NaOH ให้เข้าไปสลายหมู่ฟังก์ชัน

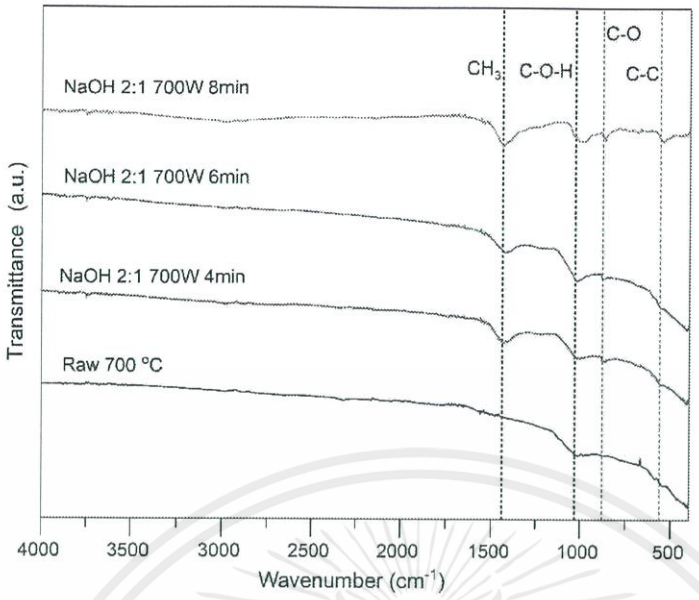
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 กราฟ FT-IR ของคาร์บอนมูลกระต่ายที่กระตุ้นด้วยเบส NaOH อัตราส่วน 2:1 ที่กำลังไฟฟ้า 600 วัตต์ เป็นเวลา 4, 6 และ 8 นาที

จากรูปที่ 4.9 แสดงให้เห็นว่าคาร์บอนมูลกระต่ายที่ผ่านการกระตุ้นด้วยเบส NaOH ที่อัตราส่วน 2:1 ด้วยกำลังไฟของไมโครเวฟ 600 วัตต์ เป็นเวลา 4, 6 และ 8 นาที เปรียบเทียบกับตัวคาร์บอนที่ไม่ได้ผ่านการกระตุ้น พบว่าเมื่อทำการกระตุ้นคาร์บอนมูลกระต่ายด้วยกำลังไฟฟ้า 600 วัตต์ พบว่าหมู่ฟังก์ชันไม่มีการสลายตัวไป เพราะว่ากำลังไฟของไมโครเวฟที่น้อยเกินไปจนไม่สามารถไปทำลายหมู่ฟังก์ชันได้ และพบว่าตัวเบสที่ใส่เข้าไปเข้าไปกระตุ้นหมู่ฟังก์ชัน C-O-H เพิ่มมากขึ้น ซึ่งอาจเกิดจากกำลังไฟฟ้าที่น้อยเกิดไปทำให้ตัวเบสหลงเหลืออยู่ และทำการล้างตัวเบสออกไม่หมดหลังการกระตุ้นด้วยคลื่นไมโครเวฟ

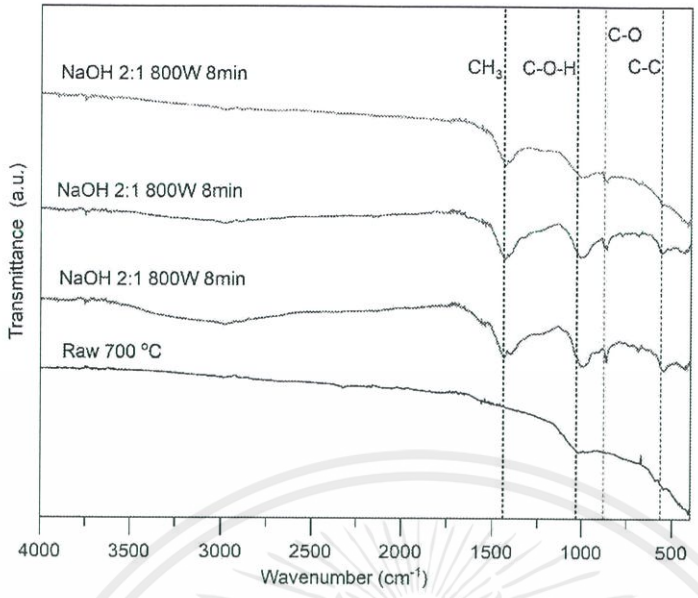
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 กราฟ FT-IR ของคาร์บอนมูลกระต่ายที่กระตุ้นด้วยเบส NaOH อัตราส่วน 2:1 ที่กำลังไฟฟ้า 700 วัตต์ เป็นเวลา 4, 6 และ 8 นาที

จากรูปที่ 4.10 แสดงให้เห็นว่าคาร์บอนมูลกระต่ายที่ผ่านการกระตุ้นด้วยเบส NaOH ที่อัตราส่วน 2:1 ด้วยกำลังไฟของไมโครเวฟ 700 วัตต์ เป็นเวลา 4, 6 และ 8 นาที เปรียบเทียบกับตัวคาร์บอนที่ไม่ได้ผ่านการกระตุ้น พบว่าเมื่อทำการกระตุ้นคาร์บอนมูลกระต่ายด้วยกำลังไฟฟ้า 700 วัตต์ พบว่าหมู่ฟังก์ชันไม่มีการสลายตัวไป เพราะว่ากำลังไฟของไมโครเวฟที่น้อยเกินไปจนไม่สามารถไปทำลายหมู่ฟังก์ชันได้

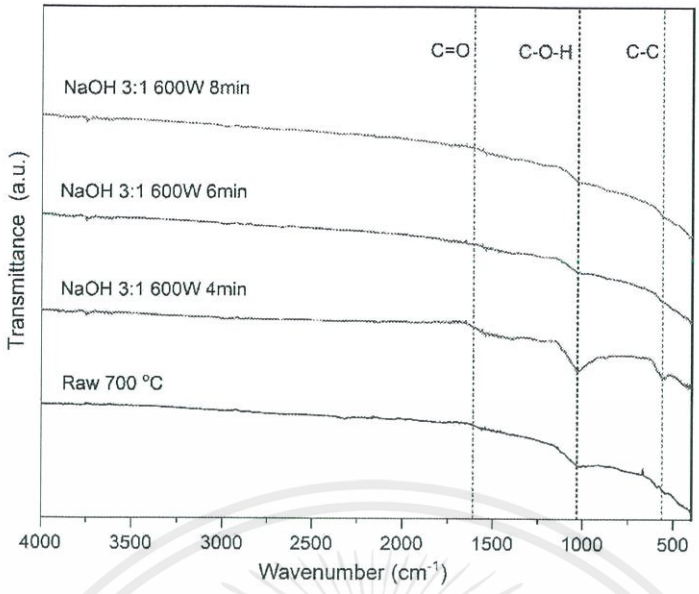
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 กราฟ FT-IR ของคาร์บอนมูลกระต่ายที่กระตุ้นด้วยเบส NaOH อัตราส่วน 2:1 ที่กำลังไฟฟ้า 800 วัตต์ เป็นเวลา 4, 6 และ 8 นาที

จากรูปที่ 4.11 แสดงให้เห็นว่าคาร์บอนมูลกระต่ายที่ผ่านการกระตุ้นด้วยเบส NaOH ที่อัตราส่วน 2:1 ด้วยกำลังไฟของไมโครเวฟ 800 วัตต์ เป็นเวลา 4, 6 และ 8 นาที เปรียบเทียบกับตัวคาร์บอนที่ไม่ได้ผ่านการกระตุ้น พบว่าเมื่อทำการกระตุ้นคาร์บอนมูลกระต่ายด้วยกำลังไฟฟ้า 800 วัตต์ พบว่าหมู่ฟังก์ชันไม่มีการสลายตัวไป อาจเกิดจากการล้างตัวเบสไม่สะอาด ยังคงหลงเหลืออยู่

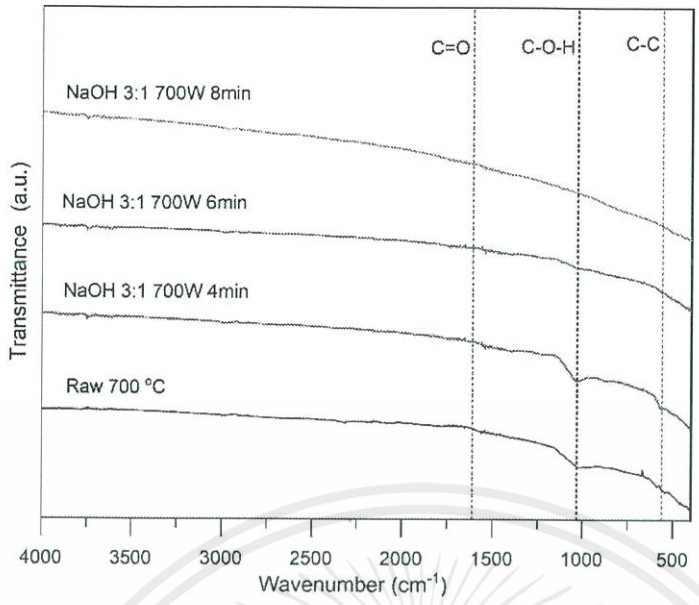
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 กราฟ FT-IR ของคาร์บอนมูลกระต่ายที่กระตุ้นด้วยเบส NaOH อัตราส่วน 3:1 ที่กำลังไฟฟ้า 600 วัตต์ เป็นเวลา 4, 6 และ 8 นาที

จากรูปที่ 4.12 แสดงให้เห็นว่าคาร์บอนมูลกระต่ายที่ผ่านการกระตุ้นด้วยเบส NaOH ที่อัตราส่วน 3:1 ด้วยกำลังไฟของไมโครเวฟ 600 วัตต์ เป็นเวลา 4, 6 และ 8 นาที เปรียบเทียบกับตัวคาร์บอนที่ไม่ได้ผ่านการกระตุ้น พบว่าเมื่อทำการกระตุ้นคาร์บอนมูลกระต่ายด้วยกำลังไฟฟ้า 600 วัตต์ พบว่าหมู่ฟังก์ชันมีแนวโน้มการสลายหมู่ฟังก์ชันตามเวลาที่สูงขึ้น เพราะว่าด้วยจำนวน NaOH ที่เหมาะ ทำให้คลื่นไมโครเวฟเข้าไปกระตุ้นได้ดี

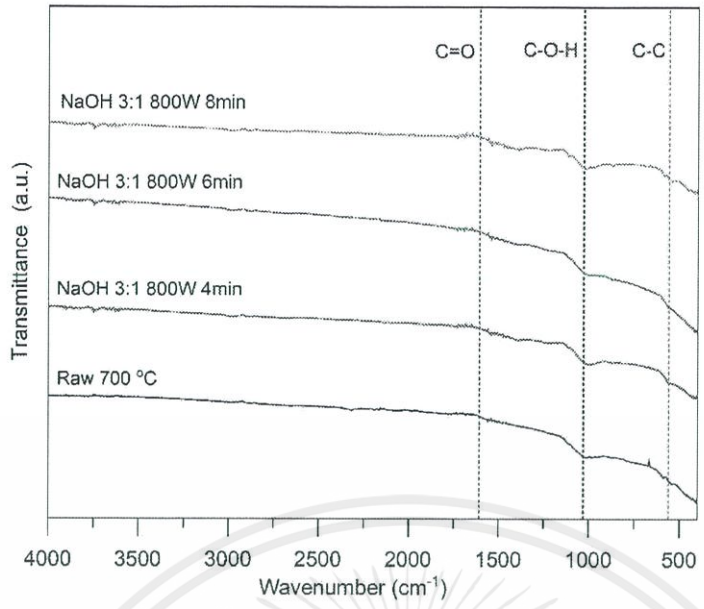
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 กราฟ FT-IR ของคาร์บอนมูลกระต่ายที่กระตุ้นด้วยเบส NaOH อัตราส่วน 3:1 ที่กำลังไฟฟ้า 700 วัตต์ เป็นเวลา 4, 6 และ 8 นาที

จากรูปที่ 4.13 แสดงให้เห็นว่าคาร์บอนมูลกระต่ายที่ผ่านการกระตุ้นด้วยเบส NaOH ที่อัตราส่วน 3:1 ด้วยกำลังไฟของไมโครเวฟ 700 วัตต์ เป็นเวลา 4, 6 และ 8 นาที เปรียบเทียบกับตัวคาร์บอนที่ไม่ได้ผ่านการกระตุ้น พบว่าเมื่อทำการกระตุ้นคาร์บอนมูลกระต่ายด้วยกำลังไฟฟ้า 700 วัตต์ พบว่าหมู่ฟังก์ชันมีแนวโน้มการสลายหมู่ฟังก์ชันตามเวลาที่สูงขึ้น เพราะว่าด้วยจำนวน NaOH ที่เหมาะ ทำให้คลื่นไมโครเวฟเข้าไปกระตุ้นได้ดี โดยตัวเวลาที่ 8 นาที มีการสลายหมู่ฟังก์ชันหมดไป จึงเป็นตัวที่เหมาะสมที่สุดในการทำตัวรองรับคาร์บอน

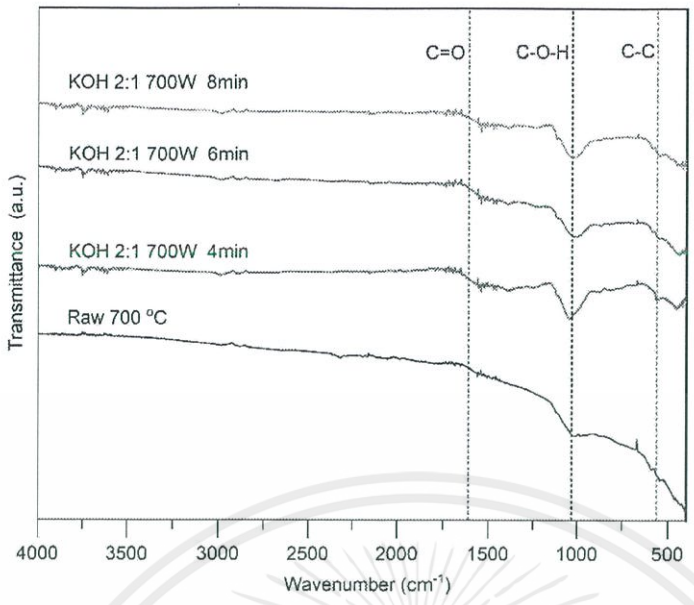
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 กราฟ FT-IR ของคาร์บอนมูลกระต่ายที่กระตุ้นด้วยเบส NaOH อัตราส่วน 3:1 ที่กำลังไฟฟ้า 800 วัตต์ เป็นเวลา 4, 6 และ 8 นาที

จากรูปที่ 4.14 แสดงให้เห็นว่าคาร์บอนมูลกระต่ายที่ผ่านการกระตุ้นด้วยเบส NaOH ที่อัตราส่วน 3:1 ด้วยกำลังไฟของไมโครเวฟ 800 วัตต์ เป็นเวลา 4, 6 และ 8 นาที เปรียบเทียบกับตัวคาร์บอนที่ไม่ได้ผ่านการกระตุ้น พบว่าเมื่อทำการกระตุ้นคาร์บอนมูลกระต่ายด้วยกำลังไฟฟ้า 800 วัตต์ พบว่าหมู่ฟังก์ชันมีแนวโน้มการสลายหมู่ฟังก์ชันตามเวลาที่สูงขึ้น เพราะว่าด้วยจำนวน NaOH ที่เหมาะ ทำให้คลื่นไมโครเวฟเข้าไปกระตุ้นได้ดี

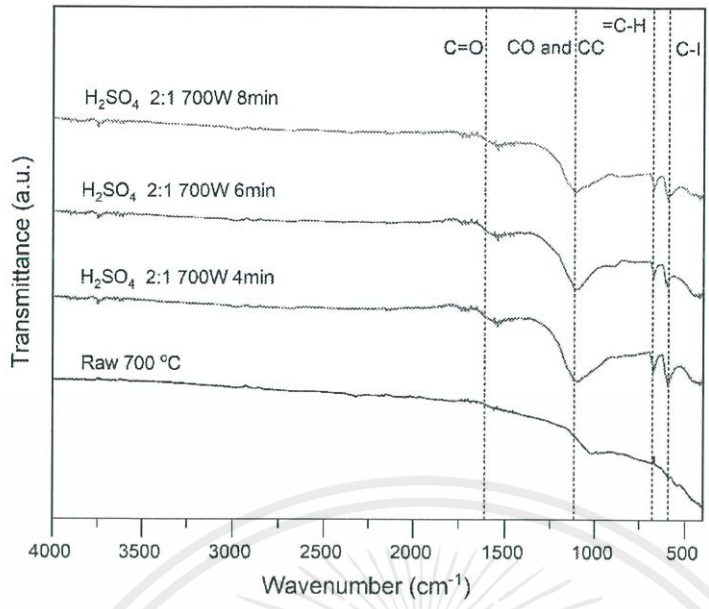
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 กราฟ FT-IR ของคาร์บอนมูลกระต่ายที่กระตุ้นด้วยเบส KOH อัตราส่วน 2:1 ที่กำลังไฟฟ้า 700 วัตต์ เป็นเวลา 4, 6 และ 8 นาที

จากรูปที่ 4.15 แสดงให้เห็นว่าคาร์บอนมูลกระต่ายที่ผ่านการกระตุ้นด้วยเบส KOH ที่อัตราส่วน 2:1 ด้วยกำลังไฟของไมโครเวฟ 700 วัตต์ เป็นเวลา 4, 6 และ 8 นาที เปรียบเทียบกับตัวคาร์บอนที่ไม่ได้ผ่านการกระตุ้น พบว่าเมื่อทำการกระตุ้นคาร์บอนมูลกระต่ายด้วยกำลังไฟฟ้า 700 วัตต์ พบว่าหมู่ฟังก์ชันไม่มีการสลายตัวไป อาจเกิดจากการล้างตัวเบสไม่สะอาด ยังคงหลงเหลืออยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

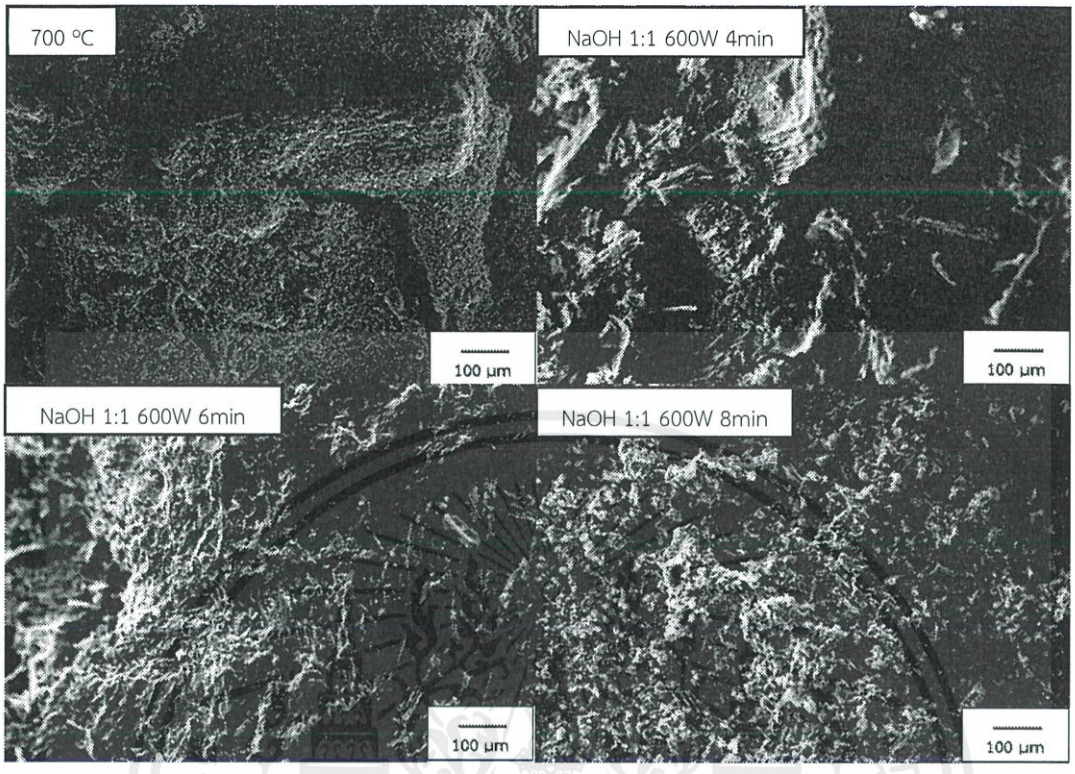


รูปที่ 4.16 กราฟ FT-IR ของคาร์บอนมูลกระต่ายที่กระตุ้นด้วยเบส H_2SO_4 อัตราส่วน 2:1 ที่กำลังไฟฟ้า 700 วัตต์ เป็นเวลา 4, 6 และ 8 นาที

จากรูปที่ 4.16 แสดงให้เห็นว่าคาร์บอนมูลกระต่ายที่ผ่านการกระตุ้นด้วยเบส H_2SO_4 ที่อัตราส่วน 2:1 ด้วยกำลังไฟของไมโครเวฟ 700 วัตต์ เป็นเวลา 4, 6 และ 8 นาที เปรียบเทียบกับตัวคาร์บอนที่ไม่ได้ผ่านการกระตุ้น พบว่าเมื่อทำการกระตุ้นคาร์บอนมูลกระต่ายด้วยกำลังไฟฟ้า 700 วัตต์ พบว่าหมู่ฟังก์ชันไม่มีการสลายตัวไป อาจเกิดจากการล้างตัวกรดไม่สะอาด ยังคงหลงเหลืออยู่ ส่งผลให้เกิดพีคขึ้นมาใหม่จากตัวคาร์บอนที่ไม่ได้ผ่านการกระตุ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

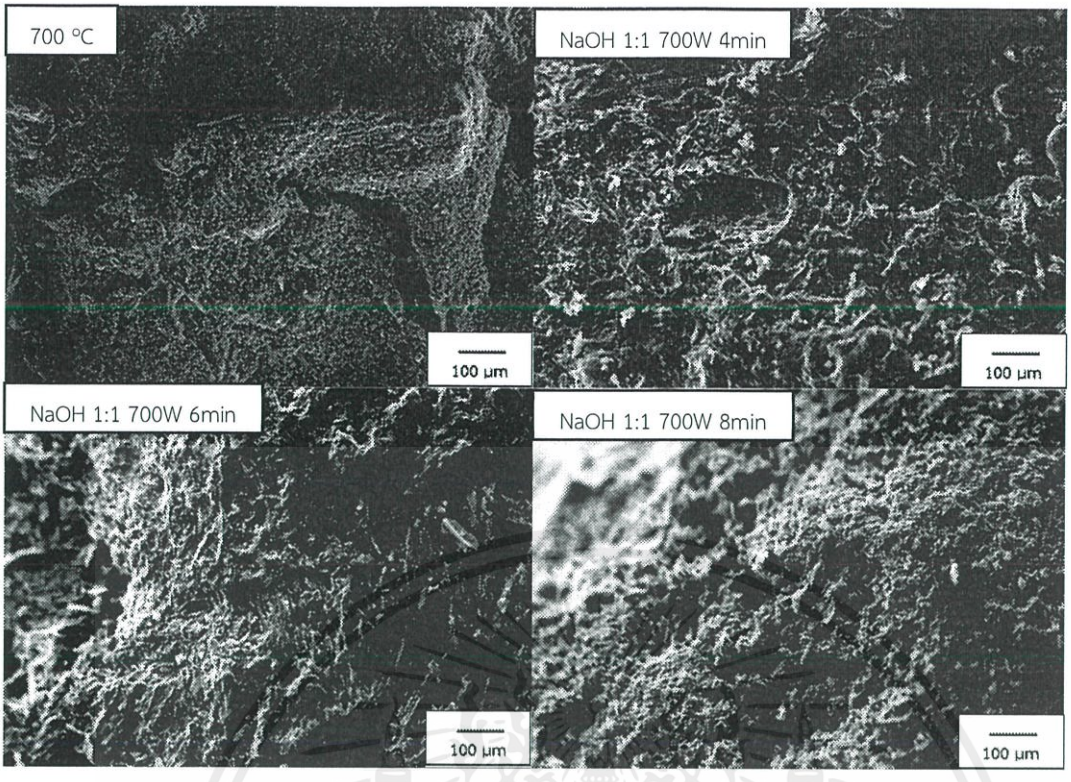
4.2.2 การศึกษาสัณฐานของคาร์บอนมูลกระต่าย



รูปที่ 4.17 ภาพ SEM (กำลังขยาย 100x) ของคาร์บอนมูลกระต่ายที่กระตุ้นด้วยเบส NaOH อัตราส่วน 1:1 ที่กำลังไฟฟ้า 600 วัตต์ เวลา 4, 6 และ 8 นาที

จากรูปที่ 4.17 แสดงให้เห็นว่าคาร์บอนมูลกระต่ายที่ผ่านการกระตุ้นด้วยเบส NaOH ที่อัตราส่วน 1:1 ด้วยกำลังไฟของไมโครเวฟ 600 วัตต์ เป็นเวลา 4, 6 และ 8 นาที เปรียบเทียบกับตัวคาร์บอนที่ไม่ได้ผ่านการกระตุ้น พบว่าพื้นผิวไม่ได้มีการเปลี่ยนแปลง

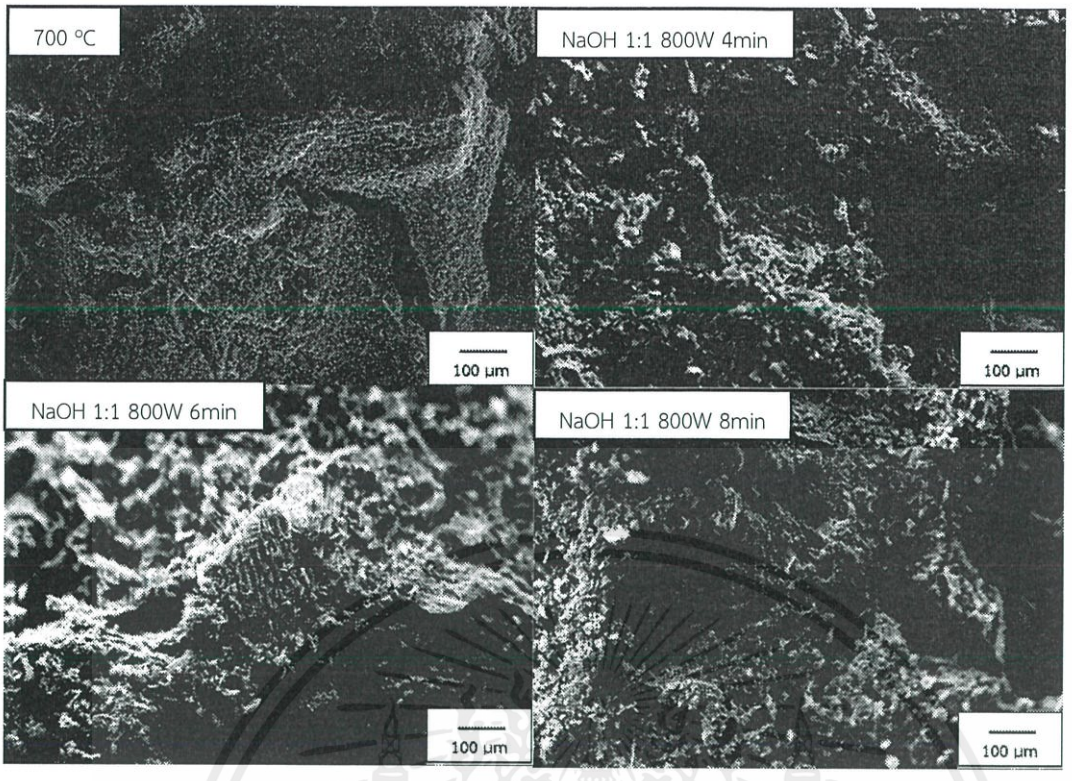
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.18 ภาพ SEM (กำลังขยาย 100x) ของคาร์บอนมูลกระต่ายที่กระตุ้นด้วยเบส NaOH อัตราส่วน 1:1 ที่กำลังไฟฟ้า 700 วัตต์ เวลา 4, 6 และ 8 นาที

จากรูปที่ 4.18 แสดงให้เห็นว่าคาร์บอนมูลกระต่ายที่ผ่านการกระตุ้นด้วยเบส NaOH ที่อัตราส่วน 1:1 ด้วยกำลังไฟของไมโครเวฟ 700 วัตต์ เป็นเวลา 4, 6 และ 8 นาที เปรียบเทียบกับตัวคาร์บอนที่ไม่ได้ผ่านการกระตุ้น พบว่าพื้นผิวไม่ได้มีการเปลี่ยนแปลง

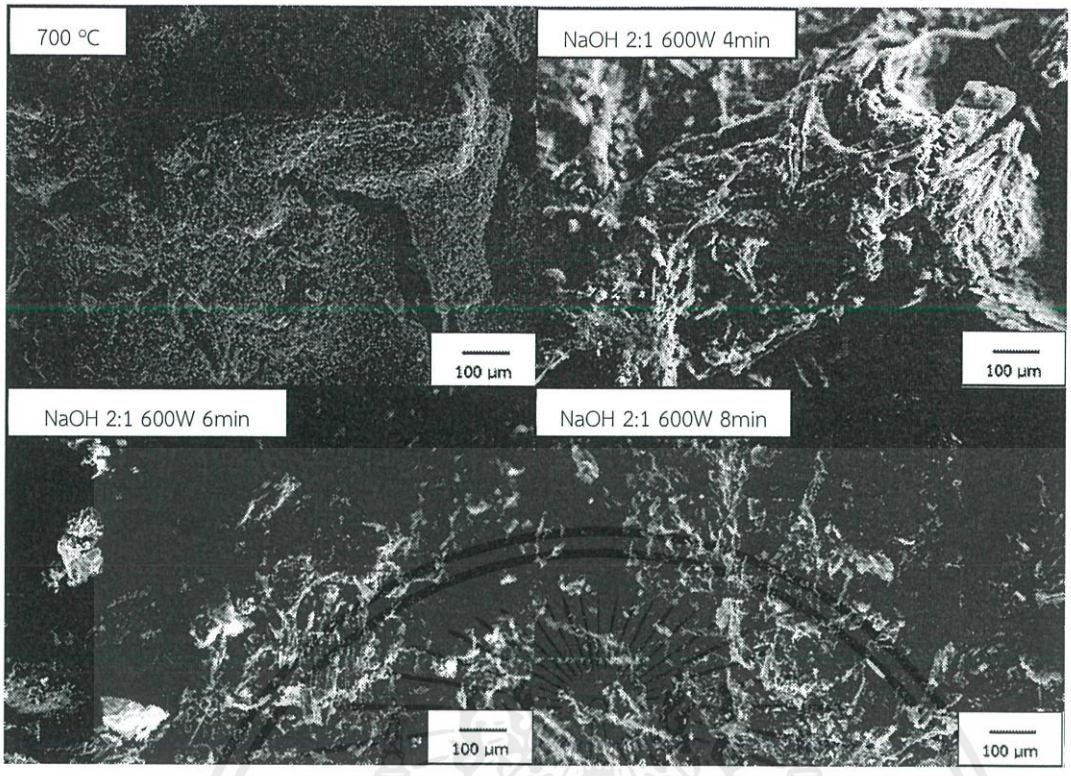
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.19 ภาพ SEM (กำลังขยาย 100x) ของคาร์บอนมูลกระต่ายที่กระตุ้นด้วยเบส NaOH อัตราส่วน 1:1 ที่กำลังไฟฟ้า 800 วัตต์ เวลา 4, 6 และ 8 นาที

จากรูปที่ 4.19 แสดงให้เห็นว่าคาร์บอนมูลกระต่ายที่ผ่านการกระตุ้นด้วยเบส NaOH ที่อัตราส่วน 1:1 ด้วยกำลังไฟของไมโครเวฟ 800 วัตต์ เป็นเวลา 4, 6 และ 8 นาที เปรียบเทียบกับตัวคาร์บอนที่ไม่ได้ผ่านการกระตุ้น พบว่าพื้นผิวเริ่มเกิดการเปลี่ยนแปลงเริ่มรูพรุนเพิ่มมากขึ้นตามเวลาที่สูงขึ้น

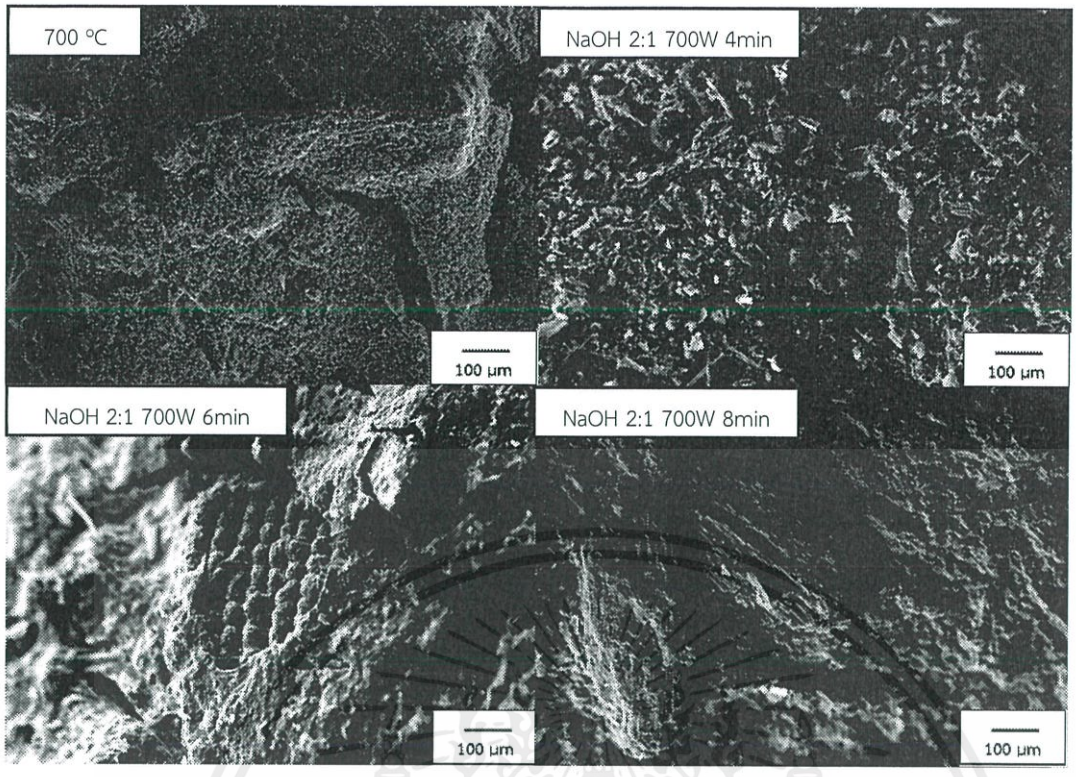
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.20 ภาพ SEM (กำลังขยาย 100x) ของคาร์บอนมูลกระต่ายที่กระตุ้นด้วยเบส NaOH อัตราส่วน 2:1 ที่กำลังไฟฟ้า 600 วัตต์ เวลา 4, 6 และ 8 นาที

จากรูปที่ 4.20 แสดงให้เห็นว่าคาร์บอนมูลกระต่ายที่ผ่านการกระตุ้นด้วยเบส NaOH ที่อัตราส่วน 2:1 ด้วยกำลังไฟของไมโครเวฟ 600 วัตต์ เป็นเวลา 4, 6 และ 8 นาที เปรียบเทียบกับตัวคาร์บอนที่ไม่ได้ผ่านการกระตุ้น พบว่าพื้นผิวไม่ได้มีการเปลี่ยนแปลง

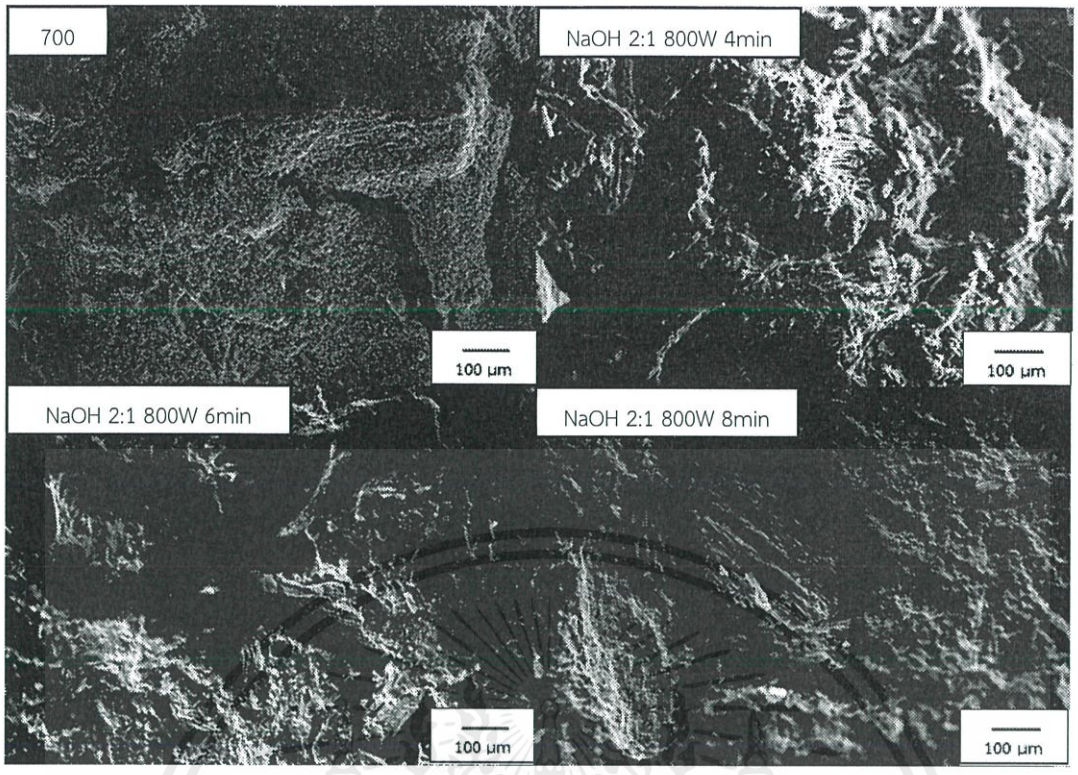
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.21 ภาพ SEM (กำลังขยาย 100x) ของคาร์บอนมูลกระต่ายที่กระตุ้นด้วยเบส NaOH อัตราส่วน 2:1 ที่กำลังไฟฟ้า 700 วัตต์ เวลา 4, 6 และ 8 นาที

จากรูปที่ 4.21 แสดงให้เห็นว่าคาร์บอนมูลกระต่ายที่ผ่านการกระตุ้นด้วยเบส NaOH ที่อัตราส่วน 2:1 ด้วยกำลังไฟของไมโครเวฟ 700 วัตต์ เป็นเวลา 4, 6 และ 8 นาที เปรียบเทียบกับตัวคาร์บอนที่ไม่ได้ผ่านการกระตุ้น พบว่าพื้นผิวเริ่มเกิดการเปลี่ยนแปลงเริ่มรูพรุนเพิ่มมากขึ้นตามเวลาที่สูงขึ้น

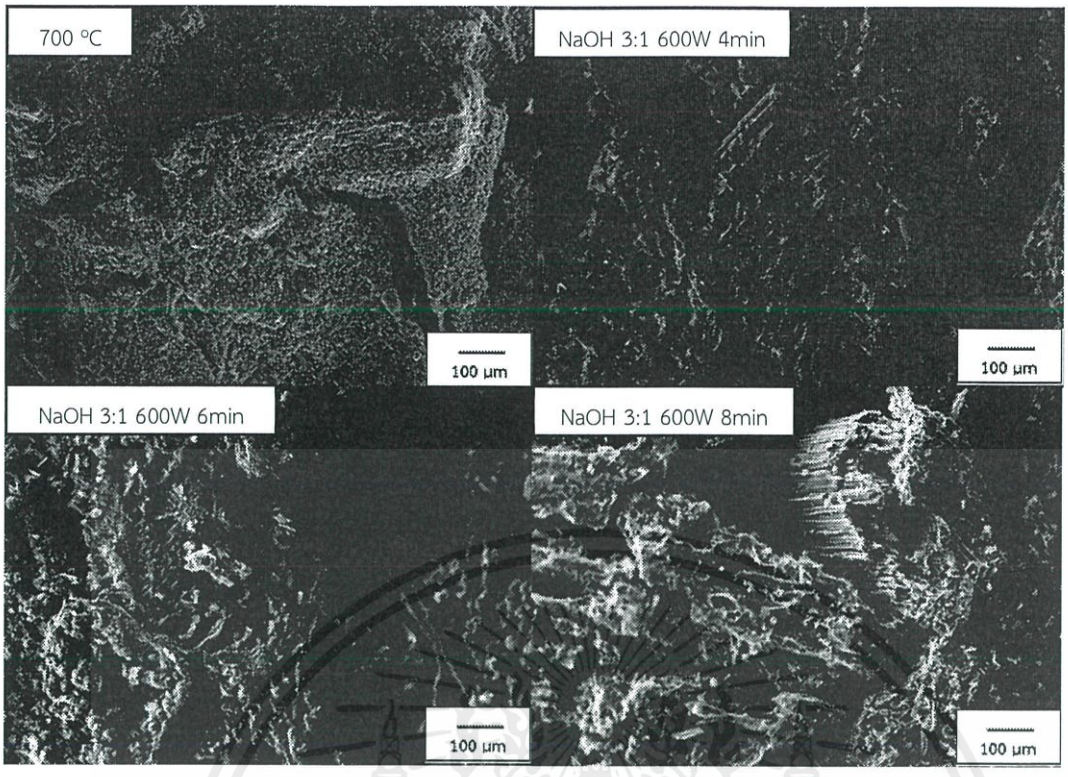
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.22 ภาพ SEM (กำลังขยาย 100x) ของคาร์บอนมูลกระต่ายที่กระตุ้นด้วยเบส NaOH อัตราส่วน 2:1 ที่กำลังไฟฟ้า 800 วัตต์ เวลา 4, 6 และ 8 นาที

จากรูปที่ 4.22 แสดงให้เห็นว่าคาร์บอนมูลกระต่ายที่ผ่านการกระตุ้นด้วยเบส NaOH ที่อัตราส่วน 2:1 ด้วยกำลังไฟของไมโครเวฟ 800 วัตต์ เป็นเวลา 4, 6 และ 8 นาที เปรียบเทียบกับตัวคาร์บอนที่ไม่ได้ผ่านการกระตุ้น พบว่าพื้นผิวเริ่มเกิดการเปลี่ยนแปลงเริ่มรูพรุนเพิ่มมากขึ้นตามเวลาที่สูงขึ้น

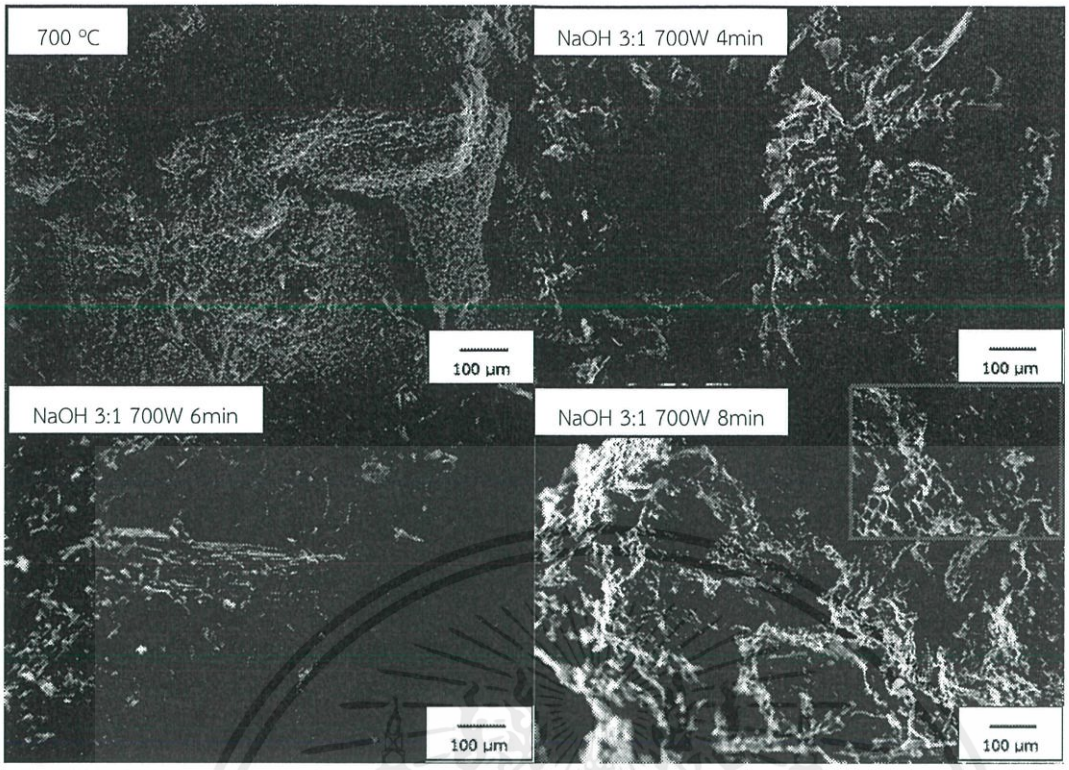
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.23 ภาพ SEM (กำลังขยาย 100x) ของคาร์บอนมูลกระต่ายที่กระตุ้นด้วยเบส NaOH อัตราส่วน 3:1 ที่กำลังไฟฟ้า 600 วัตต์ เวลา 4, 6 และ 8 นาที

จากรูปที่ 4.23 แสดงให้เห็นว่าคาร์บอนมูลกระต่ายที่ผ่านการกระตุ้นด้วยเบส NaOH ที่อัตราส่วน 3:1 ด้วยกำลังไฟของไมโครเวฟ 600 วัตต์ เป็นเวลา 4, 6 และ 8 นาที เปรียบเทียบกับตัวคาร์บอนที่ไม่ได้ผ่านการกระตุ้น พบว่าพื้นผิวเริ่มเกิดการเปลี่ยนแปลงเริ่มรูพรุนเพิ่มมากขึ้นตามเวลาที่สูงขึ้น

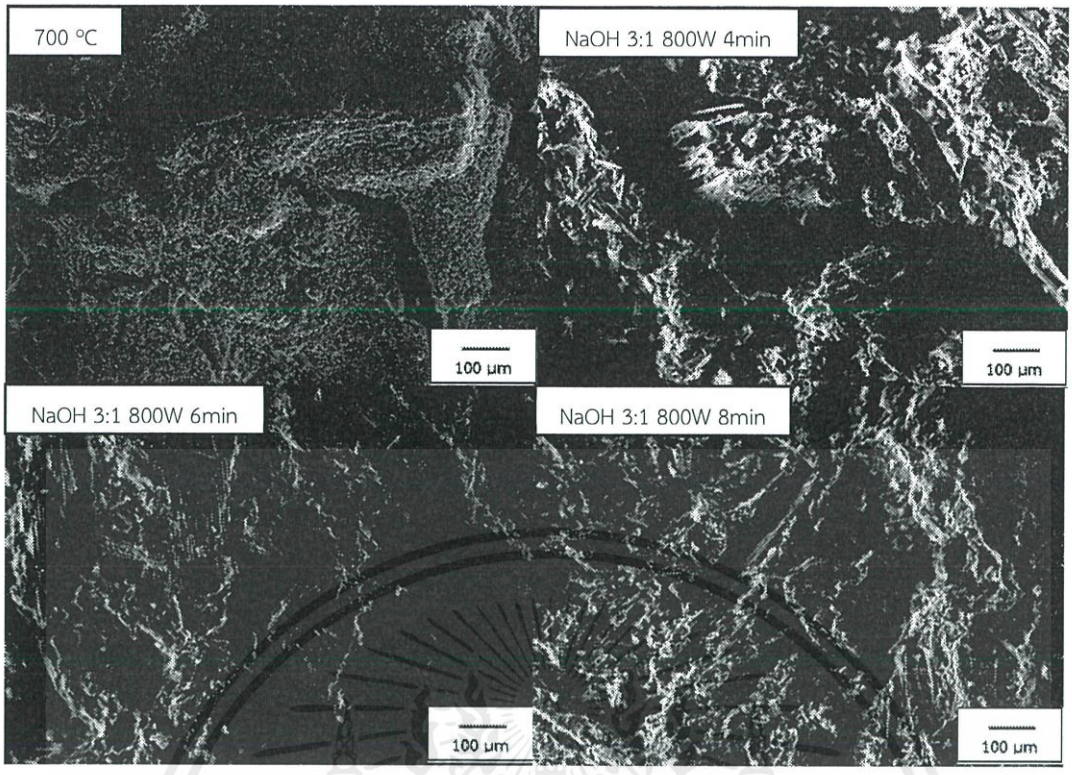
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.24 ภาพ SEM (กำลังขยาย 100x) ของคาร์บอนมูลกระต่ายที่กระตุ้นด้วยเบส NaOH อัตราส่วน 3:1 ที่กำลังไฟฟ้า 700 วัตต์ เวลา 4, 6 และ 8 นาที

จากรูปที่ 4.24 แสดงให้เห็นว่าคาร์บอนมูลกระต่ายที่ผ่านการกระตุ้นด้วยเบส NaOH ที่อัตราส่วน 3:1 ด้วยกำลังไฟของไมโครเวฟ 700 วัตต์ เป็นเวลา 4, 6 และ 8 นาที เปรียบเทียบกับตัวคาร์บอนที่ไม่ได้ผ่านการกระตุ้น พบว่าพื้นผิวเริ่มเกิดการเปลี่ยนแปลงเริ่มรูพรุนเพิ่มมากขึ้นตามเวลาที่สูงขึ้น โดยตัวที่กระตุ้นเป็นเวลา 8 นาที เป็นตัวที่มีรูพรุนบนพื้นผิวมากที่สุด กระจายอยู่ทั่วพื้นผิวและมีขนาดเฉลี่ยประมาณ 10 ไมโครเมตร

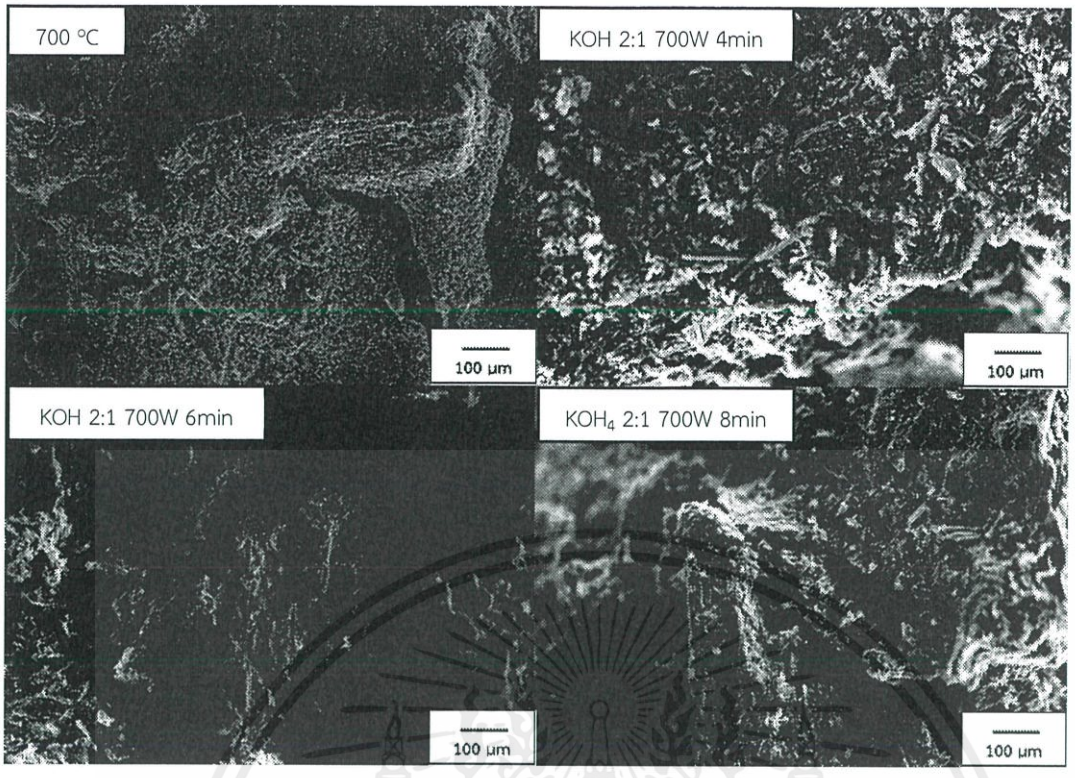
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.25 ภาพ SEM (กำลังขยาย 100x) ของคาร์บอนมูลกระต่ายที่กระตุ้นด้วยเบส NaOH อัตราส่วน 3:1 ที่กำลังไฟฟ้า 800 วัตต์ เวลา 4, 6 และ 8 นาที

จากรูปที่ 4.25 แสดงให้เห็นว่าคาร์บอนมูลกระต่ายที่ผ่านการกระตุ้นด้วยเบส NaOH ที่อัตราส่วน 3:1 ด้วยกำลังไฟของไมโครเวฟ 800 วัตต์ เป็นเวลา 4, 6 และ 8 นาที เปรียบเทียบกับตัวคาร์บอนที่ไม่ได้ผ่านการกระตุ้น พบว่าพื้นผิวเริ่มเกิดการเปลี่ยนแปลงเริ่มรูพรุนเพิ่มมากขึ้นตามเวลาที่สูงขึ้น

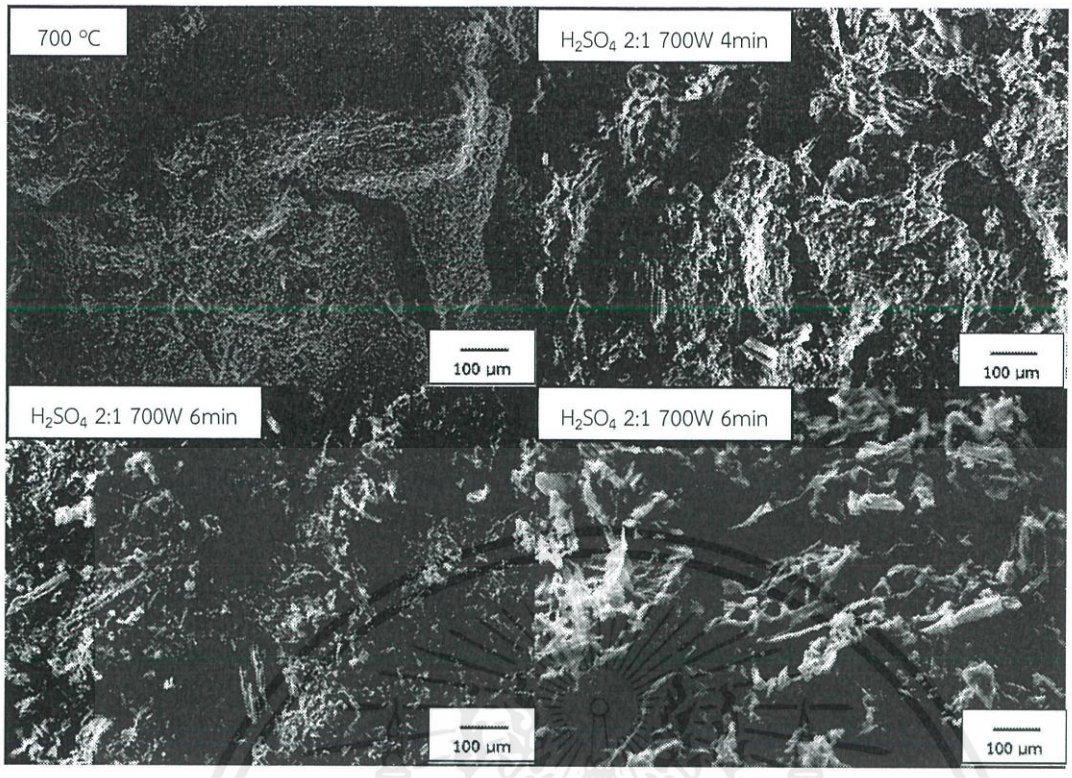
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.26 ภาพ SEM (กำลังขยาย 100x) ของคาร์บอนมูลกระต่ายที่กระตุ้นด้วยเบส KOH อัตราส่วน 2:1 ที่กำลังไฟฟ้า 700 วัตต์ เวลา 4, 6 และ 8 นาที

จากรูปที่ 4.26 แสดงให้เห็นว่าคาร์บอนมูลกระต่ายที่ผ่านการกระตุ้นด้วยเบส NaOH ที่อัตราส่วน 2:1 ด้วยกำลังไฟของไมโครเวฟ 700 วัตต์ เป็นเวลา 4, 6 และ 8 นาที เปรียบเทียบกับตัวคาร์บอนที่ไม่ได้ผ่านการกระตุ้น พบว่าพื้นผิวเริ่มเกิดการเปลี่ยนแปลงเริ่มรูพรุนเพิ่มมากขึ้นตามเวลาที่สูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



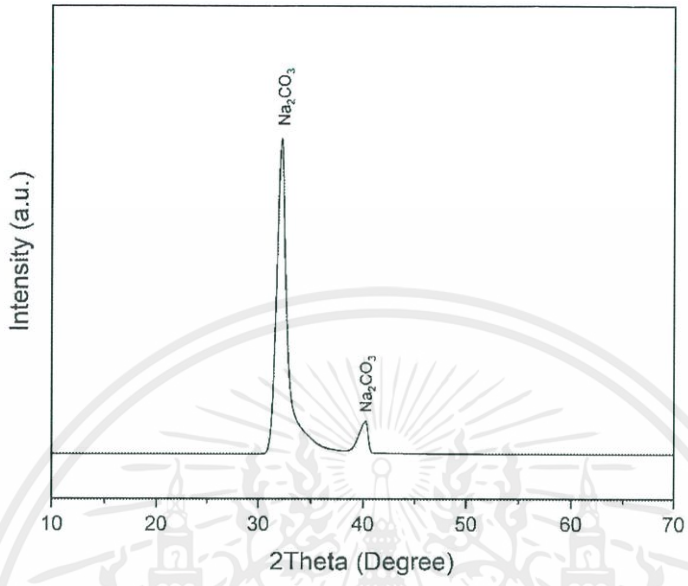
รูปที่ 4.27 ภาพ SEM (กำลังขยาย 100x) ของคาร์บอนมูลกระต่ายที่กระตุ้นด้วยกรด H_2SO_4 อัตราส่วน 2:1 ที่กำลังไฟฟ้า 700 วัตต์ เวลา 4, 6 และ 8 นาที

จากรูปที่ 4.27 แสดงให้เห็นว่าคาร์บอนมูลกระต่ายที่ผ่านการกระตุ้นด้วยกรด H_2SO_4 ที่อัตราส่วน 2:1 ด้วยกำลังไฟของไมโครเวฟ 700 วัตต์ เป็นเวลา 4, 6 และ 8 นาที เปรียบเทียบกับตัวคาร์บอนที่ไม่ได้ผ่านการกระตุ้น พบว่าพื้นผิวเริ่มเกิดการเปลี่ยนแปลงเริ่มรูพรุนเพิ่มมากขึ้นตามเวลาที่สูงขึ้นและมีความเสียหายของโครงมากกว่าตัวที่ถูกกระตุ้นด้วยเบสเพราะกรดมีฤทธิ์ในการทำลายมากเกินไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การศึกษาการสังเคราะห์ไททาเนียมไดออกไซด์บนคาร์บอนมูลกระต่ายที่ผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลคาร์บอนไนเซชัน

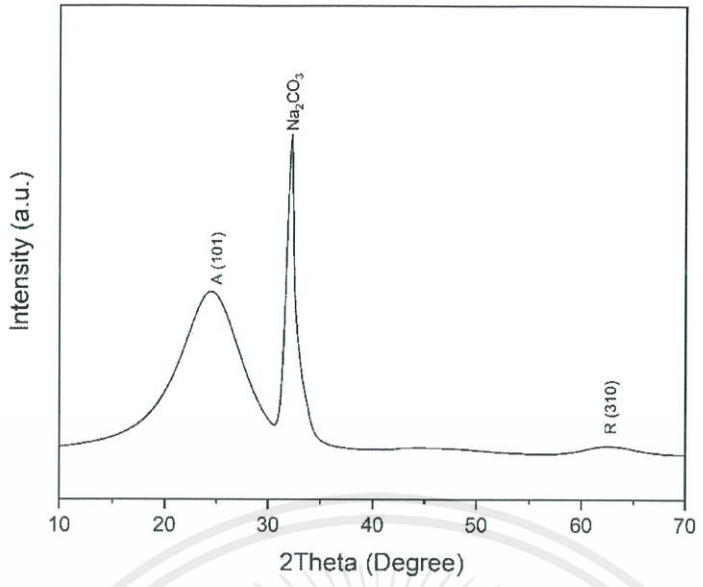
4.3.1 การศึกษาโครงสร้างผลึกของไททาเนียมไดออกไซด์บนคาร์บอนมูลกระต่าย



รูปที่ 4.28 ภาพ XRD ของไททาเนียมไดออกไซด์บนคาร์บอนมูลกระต่าย ที่อัตราส่วน 0.05

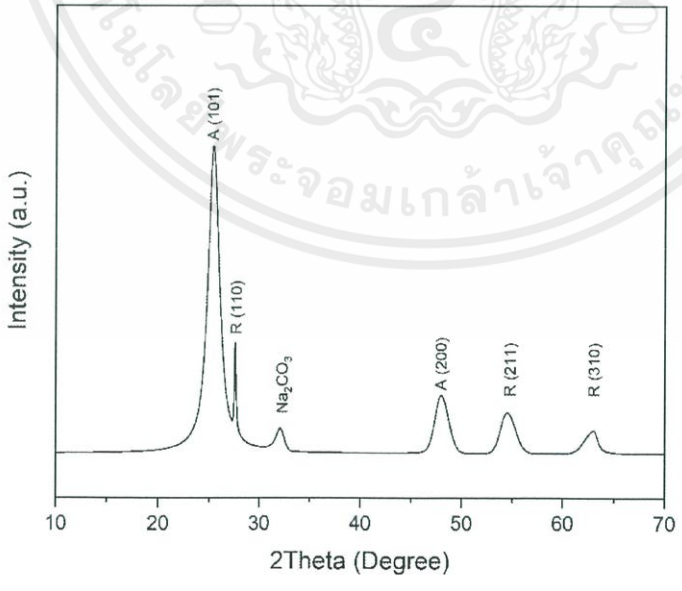
จากรูปที่ 4.28 แสดงให้เห็นว่าการสังเคราะห์ไททาเนียมไดออกไซด์บนคาร์บอนมูลกระต่ายที่อัตราส่วนน้ำหนักต่อปริมาตร 0.05 ไม่เจอระนาบของไททาเนียมไดออกไซด์คือ เฟสอะนาเทส และรูไทล์ ซึ่งเกิดจากการใส่อัตราส่วนน้ำหนักต่อปริมาตรที่น้อยเกินไปจนไม่สามารถตรวจพบเจอได้ แต่ตรวจพบเจอ Na_2CO_3 ที่ได้มาจากการกระตุ้นทางเคมีด้วย NaOH ซึ่งเกิดมาจากการล้างเบสที่ตกค้างหลงเหลืออยู่ทำให้ตรวจเจอในระนาบนั้นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.29 ภาพ XRD ของไททาเนียมไดออกไซด์บนคาร์บอนมูลกระต่าย ที่อัตราส่วน 0.10

จากรูปที่ 4.29 แสดงให้เห็นว่าการสังเคราะห์ไททาเนียมไดออกไซด์บนคาร์บอนมูลกระต่ายที่อัตราส่วนน้ำหนักต่อปริมาตร 0.10 มีการเจอระนาบของไททาเนียมไดออกไซด์คือ เฟสอะนาเทส และรูไทล์ ซึ่งเจอที่ระนาบของเฟสอะนาเทสที่ 101 และ เฟสรูไทล์ที่ 301 โดยเมื่อเพิ่มอัตราส่วนเข้าไป ทำให้มีการตรวจพบของเฟสทั้งสอง และ ตรวจพบเจอ Na_2CO_3 ที่ได้มาจากการกระตุ้นทางเคมีด้วย NaOH ซึ่งเกิดมาจากการล้างเบสที่ตกค้างหลงเหลืออยู่ทำให้ตรวจเจอในระนาบนั้นๆ

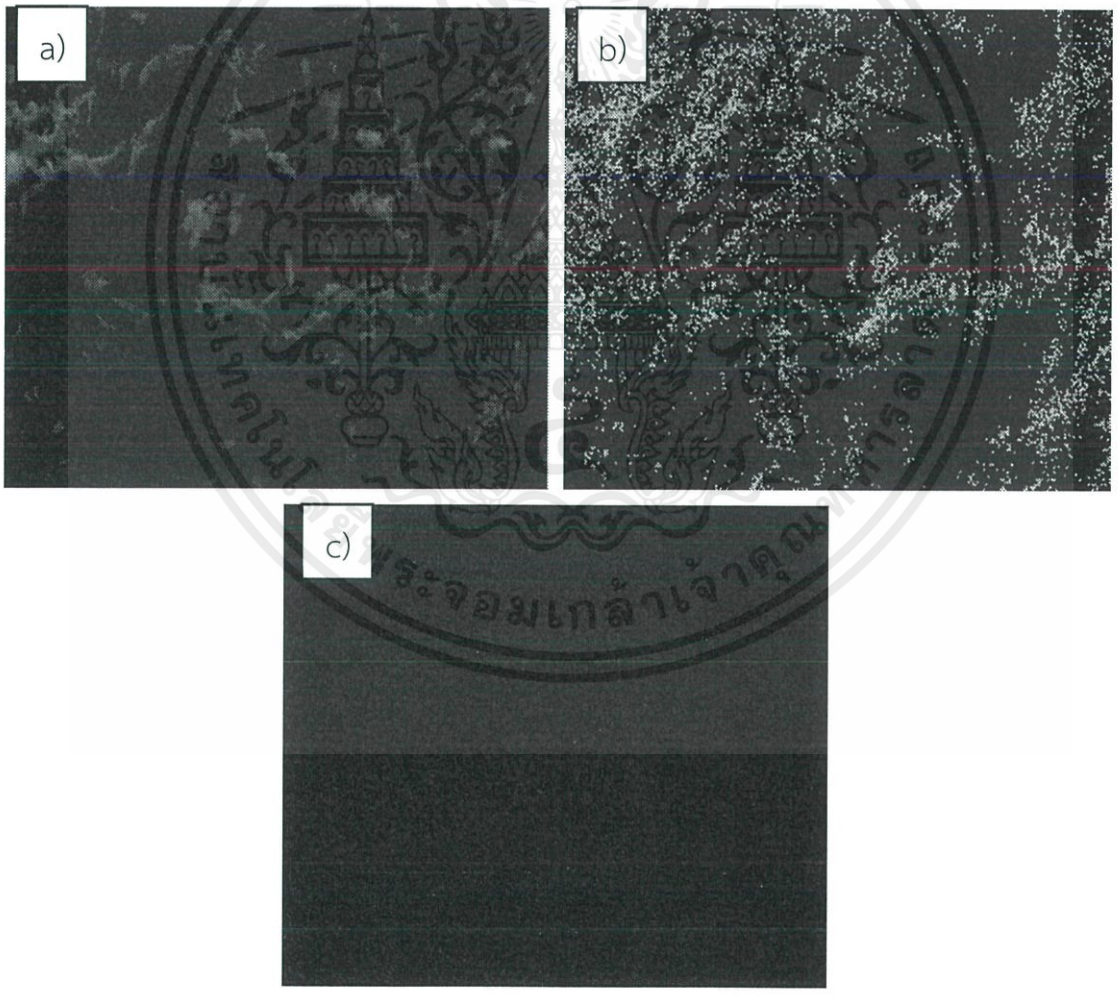


รูปที่ 4.30 ภาพ XRD ของไททาเนียมไดออกไซด์บนคาร์บอนมูลกระต่าย ที่อัตราส่วน 0.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.29 แสดงให้เห็นว่าการสังเคราะห์ไททาเนียมไดออกไซด์บนคาร์บอนมูลกระต่ายที่อัตราส่วนน้ำหนักต่อปริมาตร 0.15 มีการเจอระนาบของไททาเนียมไดออกไซด์คือ เฟสอะนาเทส และรูไทล์ ซึ่งเจอที่ระนาบของเฟสอะนาเทสที่ 101, 200 และ เฟสรูไทล์ที่ 110, 211, 310 โดยเมื่อเพิ่มอัตราส่วนเข้าไป ทำให้มีการตรวจพบของเฟสทั้งสองโดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามลำดับของอัตราส่วนที่เพิ่มขึ้น จึงทำให้อัตราส่วน 0.15 เป็นอัตราส่วนที่ดีที่สุดในการสังเคราะห์ไททาเนียมไดออกไซด์บนคาร์บอนมูลกระต่าย โดยมีขนาดเฉลี่ยนของผลึก (Crystallite size Average) ของอะนาเทสและรูปไทล์ที่ 577 และ 1199 นาโนเมตร ตามลำดับ และตรวจพบเจอ Na_2CO_3 ที่ได้มาจากการกระตุ้นทางเคมีด้วย NaOH ซึ่งเกิดมาจากการล้างเบสที่ตกค้างหลงเหลืออยู่ ทำให้ตรวจเจอในระนาบนั้นๆ โดยมีแนวโน้มที่ลดลงตามอัตราส่วนที่เพิ่มขึ้น ซึ่งอาจเกิดจากการที่ไททาเนียมไดออกไซด์มีปริมาณเพิ่มขึ้นทำให้พีคมีแนวโน้มลดลง

4.3.2 การวิเคราะห์ธาตุของไททาเนียมไดออกไซด์บนคาร์บอนมูลกระต่าย



รูปที่ 4.31 ภาพการเคราะห์ธาตุของไททาเนียมไดออกไซด์บนคาร์บอนมูลกระต่าย

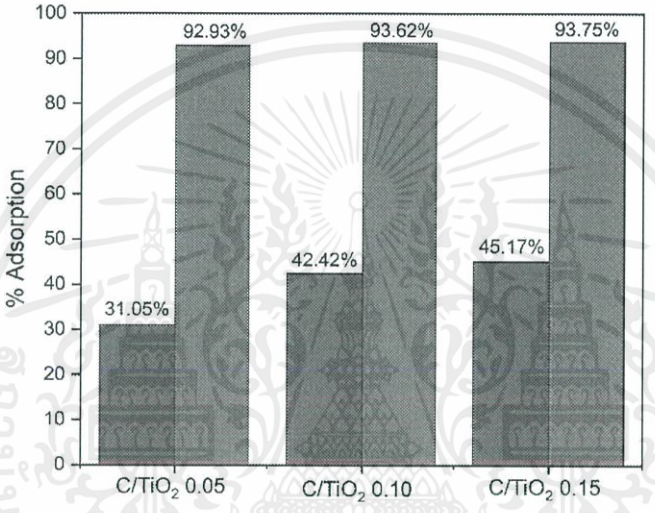
a) Raw, b) ธาตุ O และ c) ธาตุ Ti

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.31 แสดงให้เห็นว่าการสังเคราะห์ไททาเนียมไดออกไซด์บนคาร์บอนมูลกระต่ายที่อัตราส่วนน้ำหนักต่อปริมาตร 0.15 มีการเจอธาตุของ O และ Ti โดยมีน้ำหนักที่ 97.43% และ 2.57% ตามลำดับ พบว่าธาตุ Ti มีการกระจายตัวบนพื้นผิวที่ดี และ มีการเกาะกลุ่มกันบางจุด

4.4 การศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียสีย้อมด้วยไททาเนียมไดออกไซด์บนคาร์บอนมูลกระต่ายควบคู่ด้วยเครื่องปฏิกรณ์ระดับไมโคร

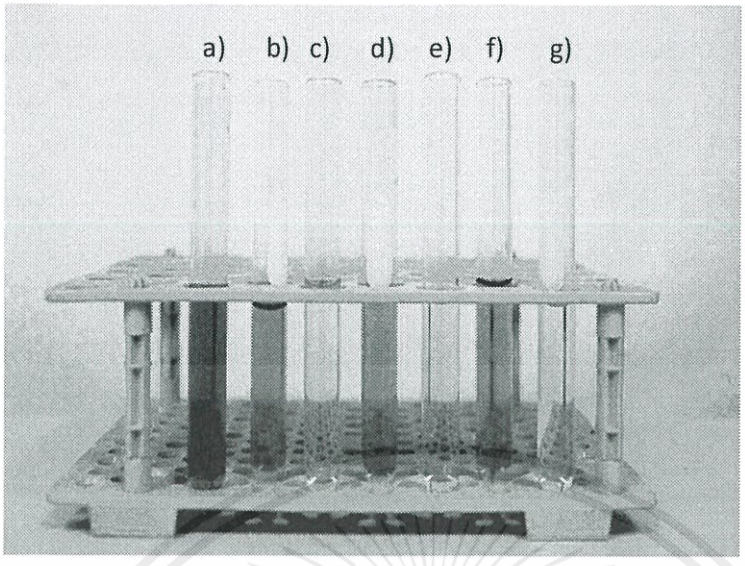
4.4.1 ศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียสีย้อมด้วยไททาเนียมไดออกไซด์บนคาร์บอนมูลกระต่าย



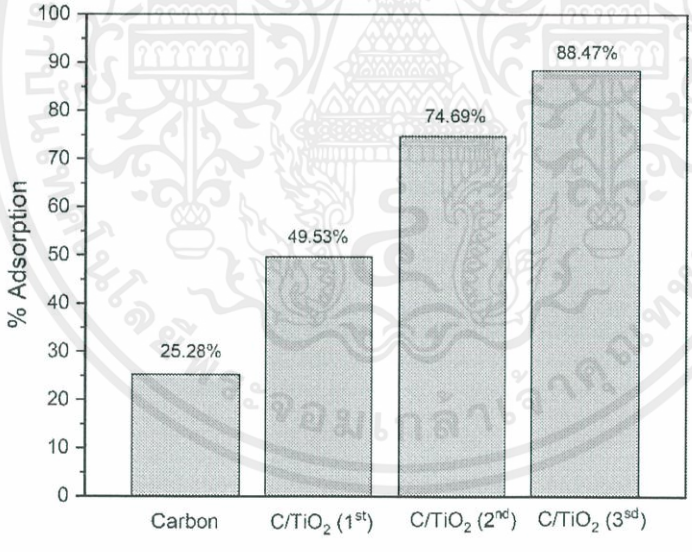
รูปที่ 4.32 ค่าประสิทธิภาพการดูดซับของตัว C/TiO_2 0.05, C/TiO_2 0.10 และ C/TiO_2 0.15

จากรูปที่ 4.32 แสดงให้เห็นว่าค่าประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียสีย้อมด้วย ไททาเนียมไดออกไซด์บนคาร์บอนมูลกระต่ายที่ยังไม่ได้ทำการแพ็คเกจ มีแนวโน้มที่ดีขึ้นตามอัตราส่วนของที่ไททาเนียมที่เพิ่มขึ้น ซึ่งเกิดจากไททาเนียมจำนวนมากทำให้เกิดปฏิกิริยาโฟโตแคทตาไลติกที่ดี โดยอัตราส่วนน้ำหนักต่อปริมาตรมี 0.15 มีประสิทธิภาพถึง 45.17% และมีประสิทธิภาพสูงสุดถึง 93.75% จากรูป 4.33 เป็นภาพแสดงถึงประสิทธิในการดูดซับและกำจัดจริง จะเห็นได้ว่ามีความลดลงของสีจริงจากความเข้มเริ่มต้น 50 ppm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.33 ภาพแสดงในการดูดซับจริงของ a)Raw, b) C/TiO_2 0.05 1ml/min, c) C/TiO_2 0.05 highest efficiency, d) C/TiO_2 0.10 1ml/min, e) C/TiO_2 0.10 highest efficiency, f) C/TiO_2 0.15 1ml/min และ g) C/TiO_2 0.15 highest efficiency

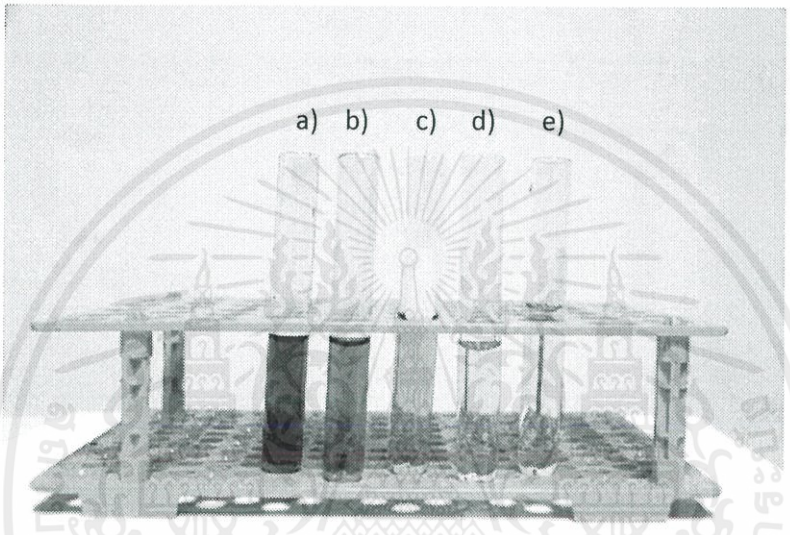


รูปที่ 4.34 ค่าประสิทธิภาพในการดูดซับของตัว Carbon, C/TiO_2 (1^{st}), C/TiO_2(2^{nd}) และ C/TiO_2(3^{sd})

จากรูปที่ 4.34 แสดงให้เห็นว่าค่าประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียสีย้อมด้วย คาร์บอนจากมูลกระต่าย และ ไททาเนียมไดออกไซด์บนคาร์บอนมูลกระต่ายที่แพ็คเกจ และ ทำการบำบัดซ้ำ พบว่าคาร์บอนทำการดูดซับ มีประสิทธิภาพ 25.28% เมื่อเทียบกับตัวไททาเนียมไดออกไซด์บน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คาร์บอนมูลกระต่ายที่มีประสิทธิภาพ 49.53% แสดงให้เห็นว่าเมื่อได้ทำการสังเคราะห์ไททาเนียมไดออกไซด์บนตัวคาร์บอนมูลกระต่ายมีการเพิ่มขึ้นของประสิทธิภาพถึง 24.25% และเมื่อทำการนำน้ำเสียสีย้อมที่ผ่านการบำบัดมาแล้ว 1 รอบ นำน้ำเสียสีย้อมมาทำการบำบัดสีย้อมเพิ่มอีกครั้งหนึ่ง พบว่ามีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นเป็น 74.69% และรอบที่สามประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นเป็น 88.47% แสดงให้เห็นว่าสามารถทำการบำบัดซ้ำ แล้วประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นแต่ตัววัสดุ มีแนวโน้มการลดลงของประสิทธิภาพในแต่ละครั้ง จากภาพ 4.35 เป็นภาพแสดงถึงประสิทธิในการดูดซับและกำจัดจริง จะเห็นได้ว่ามีความลดลงของสีจริง



รูปที่ 4.35 ภาพแสดงในการดูดซับจริงของ a)Raw, b)Carbon, c)C/TiO_2 (1^{st}), d)C/TiO_2(2^{nd}) และ e)C/TiO_2(3^{sd})

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

จากการทดลองพบว่ากระบวนการคาร์บอนไนเซชัน ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน มีการเหลือของน้ำหนักมูลกระต่ายมากกว่า ภายใต้บรรยากาศปกติ โดยอุณหภูมิที่ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เป็นเงื่อนไขคาร์บอนไซซันที่เหมาะสมที่สุด พบว่าพื้นที่ผิวของตัวคาร์บอนจากมูลกระต่ายมีเพิ่มขึ้นด้วยวิเคราะห์จากสัณฐานวิทยา และพบว่ามีหมู่ฟังก์ชันลดลงตามอุณหภูมิที่สูงขึ้นแสดงถึงความเป็นคาร์บอนมากขึ้น หลังจากนั่นได้ทำการกระตุ้นทางเคมีกรดและเบสด้วยคลื่นไมโครเวฟ พบว่าโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นเบสที่มีความเหมาะสมในการกระตุ้นมากที่สุด โดยใช้อัตราส่วนน้ำหนักต่อน้ำหนักที่ 3:1 ที่กำลังไฟฟ้า 700 วัตต์ เป็นเวลา 8 นาที พบว่ากระตุ้นทำให้เกิดรูพรุนมากที่สุดขนาดของรูพรุนที่ตรวจสอบสัณฐานวิทยา มีขนาดเฉลี่ยน 10 ไมโครเมตร และมีการลดลงของหมู่ฟังก์ชันทำให้มีความเป็นคาร์บอนมากขึ้น หลังจากนั่นได้ทำสังเคราะห์ไททาเนียมไดออกไซด์ลงบนคาร์บอนด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มัล ที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ที่อัตราส่วนคาร์บอนต่อปริมาตรไททาเนียมไททาเนียมเตตระไอโซโพรพอกไซด์ที่ 0.15 เป็นอัตราส่วนที่ดีที่สุด ในการวิเคราะห์โครสร้างผลึกพบระนาบของ อะนาเทส และ รูไทล์ มีขนาดของผลึกเฉลี่ย 577 และ 1199 นาโนเมตร ตามลำดับ ในส่วนของการวิเคราะห์ธาตุพบว่ามีการกระจายตัวที่ดีและมีเกาะกลุ่มกันบางจุด จึงเหมาะสมในการนำไปบำบัดน้ำเสียสีย้อมควบคู่ไมโครรีแอคเตอร์ อัตราการไหล 1 มิลลิลิตรต่อนาที พร้อมฉายแสง UV พบว่ามีประสิทธิภาพในการบำบัดสีย้อมครั้งที่ 1, 2 และ 3 เท่ากับ 49.53%, 74.69% และ 88.47% ตามลำดับ

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในงานวิจัยครั้งนี้ได้ทำการกระตุ้นทางเคมีกรดเบส โดยในงานวิจัยครั้งนี้มีจำนวนชนิดของสารเคมีน้อยเกินไปควรปรับปรุงโดยการเพิ่มชนิดของสารเคมีเพื่อหาชนิดของสารเคมีตัวที่ดีที่สุดและเพิ่มเทคนิคการตรวจวัดในการวิเคราะห์คาร์บอนให้มีความแม่นยำเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังควรเพิ่มหาอัตราส่วนในการสังเคราะห์ไททาเนียมเพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของตัววัสดุให้ดีขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

Azadeh B. Namazi, D. Grant Allen, และ Q. Jia Charles. "Benefits of Microwave Heating Method in Production of Activated." ม.ป.ป.

B Li-li, และ Y Tie-jun. "Evaluation and Comparison of Composting Rabbit Manure Mixed with Mushroom Residue and Rice Straw." *J. Agr. Sci. Tech.*, 2013: 1069-1081.

Dalia Heggo, และ Shinichi Ookawara. "Multiphase photocatalytic microreactors." *Chemical Engineering Science*, 2017: 67-77.

Marina Maletić, และคนอื่นๆ. "Hydrothermal synthesis of TiO2/carbon composites and their application for removal of organic pollutants." *Arabian Journal of Chemistry*, 2016.

Marina Maletic´, และคนอื่นๆ. "Hydrothermal synthesis of TiO2/carbon composites." *Arabian Journal of Chemistry*, 2016.

Masaki Takaoka, Hiromu Yokokawa, และ Nobuo Takeda. "The effect of treatment of activated carbon by H2O2 or HNO3." *Applied Catalysis B: Environmental 74*, 2007: 179–186.

Osman Uner, และ Yikesel Bayrak. "The effect of carbonization temperature, carbonization time and impregnation ratio on the properties of activated carbon produced from Arundo donax." *Microporous and Mesoporous Materials*, 2018: 225-234.

Qi-xuan Lin, Chun-hui Zhang, Xiao-hui Wang, Bang-gui Cheng, Ning Mai, และ Jun-li Ren. "Impact of activation on properties of carbon-based solid acid catalysts for the hydrothermal conversion of xylose and hemicelluloses." *Catalysis Today*, 2019: 31-40.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม (ต่อ)

Qi-xuan Lin, Chun-hui Zhanga, Xiao-hui Wangb, Bang-gui Cheng, Ning Mai, และ Jun-li Ren. "Impact of activation on properties of carbon-based solid acid catalysts for the hydrothermal conversion of xylose and hemicelluloses." *Catalysis Today*, ม.ป.ป.

Rock Keey Liew, Elfina Azwar, Nai Peter yuh, Yi Xin Lim, และ Kui Chin Cheng. "Microwaver pyrolysis with KOH/NaOH mixture activation: A new approach to produce micro-mesoporous activated carbon for textile dye adsorption." *Bioresource Technology*, 2018: 1-10.

Rock Keey Liew, และ Elfina Azwar. "Microwave pyrolysis with KOH/NaOH mixture activation: A new approach to produce micro-mesoporous activated carbon for textile dye adsorption." *Bioresource Technology*, 2018: 1-10.

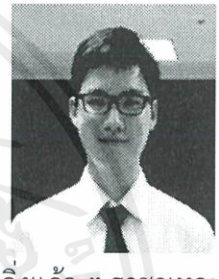
Rong Chen, และคนอื่นๆ. "High-performance optofluidic membrane microreactor with a mesoporous CdS/TiO2/SBA-15@carbon paper composite membrane for the CO_2 photoreduction." *Chemical Engineering Journal*, 2017: 911-918.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติของผู้เขียน



ชื่อ-นามสกุล	นายปกรณ์ คงคลอด
วัน เดือน ปีเกิด	20 สิงหาคม 2539
ที่อยู่	50/508 หมู่บ้านสถาพร ซอย25 ถ.รังสิต-นครนายก ต. บึงยี่โถ อ.ธัญญบุรี จ.ปทุมธานี 12130
E-mail	pakorn.aong@gmail.com
ประวัติการศึกษา	ระดับมัธยมศึกษา โรงเรียนอุดมวิทยา จังหวัดปทุมธานี



ชื่อ-นามสกุล	นายกิตติภพ เสริมสุขประดิษฐ์
วัน เดือน ปีเกิด	4 ตุลาคม 2539
ที่อยู่	42/583 ซ.14 หมู่บ้านจามจุรี ถ.กิ่งแก้ว ต.ราชาเทวะ อ.บางพลี จ.สมุทรปราการ 1540
E-mail	kittipobsermsookpradith@gmail.com
ประวัติการศึกษา	ระดับมัธยมศึกษา โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษาน้อมเกล้า จังหวัดกรุงเทพฯ

International Conference

Pakorn Khongkhlot, Kittipob Sermsookpradith, Napat Kaewtrakulchai, Masayoshi Fuji Thutiyapron Thiwawawong and Apiluck Eiad-ua[1], Influence of Carbonization Temperature on supported Carbon from Rabbit manure, The Pure and Applied Chemistry International Conference 2019 (PACCON2019), 7-8 February 2019, at Bangkok International Trade & Exhibition Center (BITEC), Thailand (Poster Presentation).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้