การผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์มน้ำมันโดยการกระตุ้นด้วยพลังงานไมโครเวฟ

นายวราวุฒิ ประชาศิริสกุล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาเคมีเทคนิค ภาควิชาเคมีเทคนิค
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2541

ISBN 974-639-430-4

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I18993151

PRODUCTION OF ACTIVATED CARBON FROM PALM-OIL SHELL BY ACTIVATED WITH MICROWAVE ENERGY

Mr. Warawut Prachasirisakul

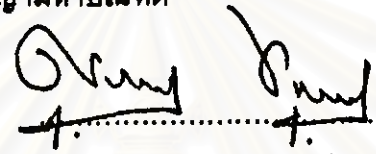
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Chemical Technology
Department of Chemical Technology
Graduate School
Chulalongkorn University
Academic Year 1998

ISBN 974-639-430-4

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การผลิตด่านกัมมันต์จากกะลาปาล์มน้ำมันโดยการกระตุ้นด้วยพลังงานไมโครเวฟ
โดย	นายวราวุฒิ ประชาศิริสกุล
ภาควิชา	เคมีเทคนิค
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธราพงษ์ วิทิตศานต์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	รองศาสตราจารย์ กัญจนา บุณยเกียรติ

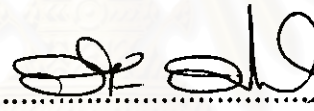
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต



..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

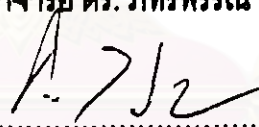
(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ศุภวัฒน์ ชุติวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



..... ประธานกรรมการ

(ศาสตราจารย์ ดร. ภัทรพรรณ ประศาสน์สารกิจ)



..... อาจารย์ที่ปรึกษา

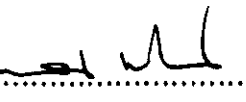
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธราพงษ์ วิทิตศานต์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(รองศาสตราจารย์ กัญจนา บุณยเกียรติ)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เลอสรวง เมฆสุต)



..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พรพจน์ เปี่ยมสมบูรณ์)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

วราวุฒิ ประชาศิริสกุล : การผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์มน้ำมันโดยการกระตุ้นด้วยพลังงานไมโครเวฟ (PRODUCTION OF ACTIVATED CARBON FROM PALM-OIL SHELL BY ACTIVATED WITH MICROWAVE ENERGY.) อ. ที่ปรึกษา : ผศ. ดร. ธราพงษ์ วิทิตศานต์, อ. ที่ปรึกษาร่วม รศ. กัญจนา บุณยเกียรติ ; 104 หน้า. ISBN 974-639-430-4.

การผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์มน้ำมัน โดยการกระตุ้นด้วยพลังงานไมโครเวฟ วิธีเตรียมแบ่งเป็น 2 ขั้นตอนคือ การคาร์บอไนซ์ และ การกระตุ้น ขั้นตอนแรกทำการคาร์บอไนซ์มีตัวแปรที่ใช้ศึกษาคือ อุณหภูมิช่วง 350 ถึง 450 องศาเซลเซียส และเวลาในการคาร์บอไนซ์ 60 ถึง 180 นาที พบว่าภาวะที่เหมาะสมในการคาร์บอไนซ์ คือที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที ได้ผลิตภัณฑ์ถ่านชาร์ร้อยละ 30.06 ถ่านชาร์ที่ได้มีปริมาณสารระเหยอยู่ร้อยละ 25.22±0.12 ปริมาณเถ้าร้อยละ 10.22±0.07 ปริมาณคาร์บอนคงตัวร้อยละ 63.34±0.13 ค่าพื้นที่ผิว (BET) 3.45±0.16 ตารางเมตรต่อกรัม ค่าพื้นที่ผิวรูพรุนขนาดเล็ก 0.3566 ตารางเมตรต่อกรัม และค่าปริมาตรรูพรุนขนาดเล็ก 0.0002 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม

การกระตุ้นทำในเครื่องปฏิกรณ์ที่ทำจากหลอดแก้วทนไฟ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 32 มิลลิเมตร รูปตัวยูยาว 150 มิลลิเมตร กว้าง 100 มิลลิเมตร ติดตั้งอยู่ภายในเตาไมโครเวฟ โดยผ่านแก๊สกระตุ้น คาร์บอนไดออกไซด์ ออกซิเจน และไอน้ำ ตัวแปรที่ใช้ศึกษาคือ เวลาในการกระตุ้นช่วง 30 ถึง 90 นาที อัตราการไหลแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ช่วง 0.2 ถึง 1.5 ลิตรต่อนาที ขนาดอนุภาคถ่านชาร์ช่วง 0.6 ถึง 4.75 มิลลิเมตร และชนิดของแก๊สกระตุ้น ภาวะในการกระตุ้นที่เหมาะสมคือ การใช้ถ่านขนาด 1.18 ถึง 2.36 มิลลิเมตร กระตุ้นด้วยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ในอัตราการไหล 0.2 ลิตรต่อนาที เป็นเวลา 90 นาที ได้ผลิตภัณฑ์ถ่านกัมมันต์ร้อยละ 81.23 โดยถ่านกัมมันต์ที่ได้มีสมบัติดังนี้ ค่าการดูดซับไอโอดีน 411.27±2.81 มิลลิกรัมต่อกรัม ค่าการดูดซับเมทธิลีนบลู 174.94±4.59 มิลลิกรัมต่อกรัม ค่าความหนาแน่นปรากฏ 0.524±0.03 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ค่าความเป็นกรด-ด่าง 9.84 ค่าพื้นที่ผิว (BET) 476.64±11.54 ตารางเมตรต่อกรัม ค่าพื้นที่ผิว (Langmuir) 628.86±2.05 ตารางเมตรต่อกรัม ค่าพื้นที่ผิวรูพรุนขนาดเล็ก 365.93 ตารางเมตรต่อกรัม ค่าปริมาตรรูพรุนขนาดเล็ก 0.1696 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม ร้อยละเถ้า 4.28±0.12 ร้อยละสารระเหย 5.90±0.05

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา เคมีเทคนิค	ลายมือชื่อนิสิต วราวุฒิ ประชาศิริสกุล
สาขาวิชา เคมีเทคนิค	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา ๒๕๔๑	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวเพียงแผ่นเดียว

3971592523: MAJOR CHEMICAL TECHNOLOGY
KEY WORD:
ACTIVATED CARBON / MICROWAVE ENERGY / MICROWAVE INDUCED REACTIONS
WARAWUT PRACHASIRISAKUL : PRODUCTION OF ACTIVATED CARBON FROM PALM-OIL SHELL BY ACTIVATED WITH MICROWAVE ENERGY. THESIS ADVISOR : ASSIST. PROF. TARAPONG VITIDSANT, Dr. Ing. THESIS CO-ADVISOR : ASSOC. KUNCHANA BUNYAKIAT, 104 pp. ISBN 974-639-430-4.

Experimental production of activated carbon from Palm oil shell using microwave energy was carried out. The first step was carbonization. The variables studied were; temperature 350-450^{0}C and time 60-180 min. The optimum condition for carbonization was found to be 400^{0}C, 60 min. and 30.06% yield. The characteristics of char were found to be; %volatile matter 25.22±0.12, %ash 10.22±0.07, %fixed carbon 63.34±0.13, BET surface area 3.45±0.16 m^2/g, micropore area 0.3566 m^2/g, and micropore volume 0.0002 cm^3/g.

In the second step, the reactor for activation with gas inlet and outlet was made of Pyrex tube (U-shape), diameter 32 mm., length 150 mm. and height 100 mm., mounted in microwave oven. Carbon dioxide, Oxygen, and steam were employed for activation. The variables studied were; time 30-90 min., flow of CO_2 range 0.2-1.5 l./min., particle size range of 0.6-4.75 mm. and activation gases. The optimum condition for activation were found to be; the particles size range of 1.18-2.36 mm., flow rate of CO_2 0.2 l./min. for 90 min. and 81.23% product yield. The activated carbon produced at the optimum condition had the following properties; iodine adsorption number 411.27±2.81 mg./g., methylene blue adsorption number 174.94±4.59 mg./g., apparent density 0.524±0.03 g/cm^3, pH 9.84, BET surface area 476.64 m^2/g, Langmuir surface area 628.86±2.05 m^2/g, micropore surface area 365.93 m^2/g, micropore volume 0.1696 cm^3/g, %ash 4.28±0.12 and %volatile matter 5.90±0.05 .

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา เคมี เทคนิค ลายมือชื่อนิสิต วรวุฒิ ประสิริสกุล

สาขาวิชา เคมี เทคนิค ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา ๒๕๔๑ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร.ธราพงษ์ วิทิตศานต์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ รศ. กัญจนา บุณยเกียรติ ซึ่งท่านทั้งสองได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่าง ๆ ตลอดจนแก้ไขข้อผิดพลาด ในการวิจัยมาด้วยดีตลอด ตั้งแต่แรกเริ่มจนกระทั่งวิทยานิพนธ์เสร็จสิ้นอย่างสมบูรณ์

ขอขอบคุณ คุณ ศรายุทธ วงศ์ศรีชัย และเจ้าหน้าที่ภาควิชาเคมีเทคนิค จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทุกท่านที่ให้คำแนะนำช่วยเหลือในการซ่อมและสร้างเครื่องมือ ขอขอบคุณบริษัท ทักษิณปาล์ม จำกัด ที่ได้มอบกะลาปาล์มมาใช้ในงานวิจัยนี้ และขอขอบคุณ คุณนิชชรี นิลนนท์ และ คุณ สมิทธ์ ฉัตรภูติ ที่ช่วยแปลเอกสาร ตลอดจนเพื่อน ๆ ชาวเคมีเทคนิคทุกคนที่ให้กำลังใจ เนื่องจากทุนการวิจัยครั้งนี้บางส่วนได้รับมาจากกองทุน ศ.ดร.ประสม สถาปิตานนท์ และจากทุนอุดหนุนการวิจัยของบัณฑิตวิทยาลัย จึงขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

ท้ายนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ซึ่งสนับสนุนในด้านการเงิน และให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย .....ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....จ
กิตติกรรมประกาศ .....ฉ
สารบัญ .....ช
สารบัญตาราง .....ญ
สารบัญรูป .....ฏ
สัญลักษณ์และคำย่อ .....ด

บทที่

1 บทนำ 1
1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการ 2
1.2 วัตถุประสงค์ 5
2 วารสารปริทัศน์ 7
2.1 ความหมายของถ่านกัมมันต์ 7
2.2 วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตถ่านกัมมันต์ 7
2.3 ชนิดของถ่านกัมมันต์ 8
2.3.1 แบ่งตามชนิดตัวกระตุ้น 8
2.3.2 แบ่งตามขนาดรูพรุนของถ่านกัมมันต์ 8
2.3.3 แบ่งตามลักษณะรูปร่าง 8
2.3.4 แบ่งตามความหนาแน่น 9
2.4 กระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ 9
2.4.1 การเตรียมวัตถุดิบ 9
2.4.2 การคาร์บอไนซ์ 9
2.4.3 การกระตุ้น 13
2.5 โครงสร้างรูพรุนของถ่านกัมมันต์ 20
2.6 โครงสร้างทางเคมีของถ่านกัมมันต์ 21
2.6.1 ชนิดที่เป็นกรด 22

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ หน้า

2.6.2 ชนิดที่เป็นด่าง 23

2.7 ทฤษฎีการดูดซับ 24

2.7.1 แรงตึงผิว 26

2.7.2 การกลั่นตัวในคาปิลลารี 27

2.7.3 ทฤษฎีของแลงเมียร์ 27

2.7.4 การดูดซับทางกายภาพและทางเคมี 27

2.7.5 ลักษณะทางคุณภาพผิว 28

2.8 ปัญจัยที่มีอิทธิพลต่อการดูดซับสีของถ่านกัมมันต์ 29

2.9 สมบัติของไมโครเวฟ 30

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 33

2.10.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องในประเทศ 33

2.10.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องต่างประเทศ 34

3 การดำเนินการทดลอง 46

3.1 รูปแบบการศึกษา 46

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย 46

3.3 ขั้นตอนการดำเนินการทดลอง 51

4 ผลการวิจัย 53

4.1 สมบัติของวัตถุดิบ 53

4.2 ภาวะที่เหมาะสมในการคาร์บอไนซ์กะลาปาล์ม 54

4.3 ภาวะที่เหมาะสมในการกระตุ้นถ่านด้วยแก๊ส คาร์บอนไดออกไซด์ 59

4.4 ผลจากการแปรขนาดอนุภาคถ่านชาร์ ในการกระตุ้น 67

4.5 ผลจากการแปรชนิดแก๊สกระตุ้น 69

4.6 ลักษณะพื้นผิวของกะลาปาล์ม ถ่านชาร์ และถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการกระตุ้น ที่ภาวะต่าง ๆ โดยใช้กล้องอิเลคตรอนไมโครสโคปกำลังขยาย 2000 เท่า 71

5 อภิปรายและวิจารณ์ผลการทดลอง 73

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ หน้า

5.1 ผลการศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการคาร์บอไนซ์.....73
5.1.1 ผลของอุณหภูมิในการคาร์บอไนซ์.....73
5.1.2 ผลของเวลาในการคาร์บอไนซ์.....73
5.2 การผลิตถ่านกัมมันต์โดยการกระตุ้นด้วยแก๊ส คาร์บอนไดออกไซด์.....75
5.2.1 ผลของเวลาต่อการกระตุ้นด้วยแก๊ส คาร์บอนไดออกไซด์.....75
5.2.2 ผลของอัตราการไหลแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ต่อการกระตุ้น.....77
5.3 ผลของขนาดอนุภาคถ่านชาร์ ต่อการกระตุ้น.....78
5.4 ผลของชนิดแก๊สกระตุ้นที่ใช้ในการกระตุ้น.....79
6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....84
6.1 สรุปผลงานวิจัย.....84
6.2 ข้อเสนอแนะ.....85
6.3 ปัญหาที่พบในงานวิจัย.....86
รายการอ้างอิง.....87
ภาคผนวก.....92
ประวัติผู้เขียน.....104

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1.1 สถิติการนำเข้าถ่านกัมมันต์ในประเทศไทย 2

1.2 สถิติการส่งออกถ่านกัมมันต์ของประเทศไทย 3

2.1 ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการคาร์บอไนซ์ต่อสมบัติถ่าน 11

2.2 ผลของอัตราการให้ความร้อนที่มีต่อสมบัติของเม็ดถ่าน 12

2.3 การดูดซับของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้น ณ ภาวะต่าง ๆ กัน 19

2.4 ส่วนประกอบหมู่ฟังก์ชันนัลของออกซิเจนบนผิวของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากวัตถุดิบที่เหลือจากการเกษตรต่างชนิดกัน 24

2.5 ความสัมพันธ์ของเวลาการกระตุ้นที่มีต่อค่าพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์กับค่าการดูดซับ 29

2.6 สมบัติการดูดซับของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากวัตถุเหลือทิ้งทางการเกษตร 35

2.7 องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบชนิดต่าง ๆ ที่ใช้ในการผลิตถ่านกัมมันต์ 35

2.8 คุณลักษณะของรูพรุน และความสามารถในการดูดซับของถ่านลิกนิน และถ่านเซลลูโลส 36

2.9 ลักษณะโครงสร้างรูพรุนของถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการกระตุ้นถ่านไม้ยูคาริปตัสที่คาร์บอไนซ์ ที่ 800 องศาเซลเซียส ด้วยแก๊ส คาร์บอนไดออกไซด์ 38

2.10 ลักษณะโครงสร้างรูพรุนของถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการกระตุ้นถ่านไม้ยูคาริปตัสที่คาร์บอไนซ์ ที่ 800 องศาเซลเซียส ด้วยแก๊สผสม คาร์บอนไดออกไซด์กับ แก๊สออกซิเจน 38

2.11 ลักษณะโครงสร้างรูพรุนของถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการกระตุ้นถ่านไม้ยูคาริปตัสที่คาร์บอไนซ์ ที่ 800 องศาเซลเซียส ด้วย ไอน้ำ 39

2.12 ค่าไดอิเลคตริกของถ่านชาร์ ชนิดต่าง ๆ 43

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่ หน้า

4.1 แสดงค่าการวิเคราะห์โดยประมาณของกะลาปาล์มน้ำมันและถ่านกะลาปาล์ม ที่ได้จากการคาร์บอไนซ์ ณ. ภาวะต่าง ๆ 54
4.2 ผลการกระตุ้นถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์มน้ำมัน ด้วยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ต่อค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าการดูดซับไอโอดีน ค่าการดูดซับเมทธิลีนบลู และค่าความหนาแน่นปรากฏ 59
4.3 ผลการทดลองกระตุ้นถ่านกัมมันต์ด้วยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ต่อค่าพื้นที่ผิว และ ปริมาตรรูพรุนขนาดเล็ก 60
4.4 ค่าพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์โดยการใช้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์กระตุ้น (ผลการแปรขนาดถ่านชาร์) 67
4.5 ค่าการดูดซับไอโอดีน เมทธิลีนบลูและค่าความหนาแน่นปรากฏ ของถ่านกัมมันต์โดยการใช้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์กระตุ้น (ผลการแปรขนาดถ่านชาร์) 67
4.6 ผลการกระตุ้นโดยการแปรชนิดแก๊สกระตุ้นต่อ ค่าการดูดซับไอโอดีน ค่าการดูดซับเมทธิลีนบลู ค่าความเป็นกรด-ด่าง และ ค่าความหนาแน่นปรากฏ 69
4.7 ผลการกระตุ้นโดยการแปรชนิดแก๊สกระตุ้น ต่อค่าพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ และปริมาตรรูพรุนขนาดเล็ก 70
4.8 ผลการวิเคราะห์โดยประมาณของถ่านกัมมันต์ ที่ได้จากการใช้แก๊สกระตุ้นต่างกัน 70
5.1 ค่าสมบัติถ่านชาร์ ที่มีปริมาณสารระเหยอยู่ในช่วงร้อยละ 20-25 ที่ได้จากการทดลอง 74
5.2 ค่าเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนที่ใช้ในการดูดซับสาร 76
5.3 การเปรียบเทียบผลงานวิจัยการเตรียมถ่านกัมมันต์โดยการให้ความร้อน แบบธรรมดาเปรียบเทียบกับ การให้ความร้อนด้วยพลังงานไมโครเวฟ ในการกระตุ้น ถ่านชาร์ จากกะลาปาล์มน้ำมัน 83

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

1.1 ลักษณะและส่วนต่าง ๆ ของผลปาล์ม 1

1.2 ปริมาณการนำเข้าและส่งออกถ่านกัมมันต์ของประเทศไทย ในระหว่าง พศ. 2530-2540 4

2.1 การเปลี่ยนแปลงและการจัดเรียงตัวของคาร์บอนอะตอม ตามอุณหภูมิที่เผา 11

2.2 แสดงตำแหน่งของอิเล็คตรอนของคาร์บอนที่เกิดจาก sp^2 Hybridization 14

2.3 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีโดยการเตรียมถ่านจากวัสดุทางการเกษตร 14

2.4 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีของปฏิกิริยาการกระตุ้นด้วยแก๊สออกซิไดซ์ (ก) การจัดเรียงโครงสร้าง (ข) การกำจัดโมเลกุลแปลกปลอม 15

2.5 ผลของปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีต่อปฏิกิริยาการกระตุ้นด้วยไอน้ำ 18

2.6 การจัดเรียงตัวของคาร์บอนอะตอมในผลึกของแกรไฟต์ 20

2.7 ตัวอย่างหมู่ฟังก์ชันนอลที่เป็นกรดบนผิวถ่านกัมมันต์ 22

2.8 ตัวอย่างปฏิกิริยาของถ่านกัมมันต์ที่มีผิวเป็นกรด 23

2.9 ตัวอย่างปฏิกิริยาการดูดซับโมเลกุลกรดด้วยถ่านกัมมันต์ที่มีผิวเป็นด่าง 23

2.10เส้นไอโซเทอมของถ่านกัมมันต์ชนิดต่าง ๆ 25

2.11 การให้ความร้อนแบบธรรมดาเปรียบเทียบกับการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ 32

2.12 ลักษณะของขบวนการที่ใช้ในการศึกษากำจัด SO_2 และ NO_x ด้วยพลังงานไมโครเวฟ 42

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

3.1 เครื่องคาร์บอไนเซอร์ของภาควิชาเคมีเทคนิค 47
3.2 ชุดครื่องกระตุ้นถ่านกัมมันต์ด้วยไมโครเวฟ 48
3.3 ตัวหลอดแก้วรูปตัวยู สำหรับใส่ตัวอย่างถ่านชาร์ ในการกระตุ้นติดตั้งอยู่ภายในเตาไมโครเวฟ 48
3.4 ชุดการทดลองเครื่องมือกระตุ้นถ่านกัมมันต์ด้วยไมโครเวฟ 49
3.5 เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง UV/VIS Spectrophotometer Jasco Model 7800 ของภาควิชาเคมีเทคนิค 50
3.6 เครื่องวัดพื้นที่ผิว Micromeritics ASAP 2000 ของภาควิชาวิศวกรรมเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.....50
4.1 ตัวอย่างกะลาปาล์มน้ำมัน ก่อนการคาร์บอไนซ์และหลังการคาร์บอไนซ์ 53
4.2 ผลของเวลาการคาร์บอไนซ์ ต่อค่าร้อยละสารระเหยที่อุณหภูมิต่าง ๆ โดยใช้กะลาปาล์มน้ำมัน 500 กรัม 55
4.3 ผลของเวลาการคาร์บอไนซ์ ต่อค่าร้อยละเถ้าที่อุณหภูมิต่าง ๆ โดยใช้กะลาปาล์มน้ำมัน 500 กรัม 55
4.4 ผลของเวลาการคาร์บอไนซ์ ต่อค่าร้อยละคาร์บอนคงตัวที่อุณหภูมิต่าง ๆ โดยใช้กะลาปาล์มน้ำมัน 500 กรัม 56
4.5 ผลของเวลาการคาร์บอไนซ์ ต่อค่าร้อยละผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิต่าง ๆ โดยใช้กะลาปาล์มน้ำมัน 500 กรัม 56
4.6 ผลของอุณหภูมิการคาร์บอไนซ์ ต่อค่าร้อยละสารระเหยที่เวลาต่าง ๆ โดยใช้กะลาปาล์มน้ำมัน 500 กรัม 57
4.7 ผลของอุณหภูมิการคาร์บอไนซ์ ต่อค่าคาร์บอนคงตัวที่เวลาต่าง ๆ โดยใช้กะลาปาล์มน้ำมัน 500 กรัม 57
4.8 ผลของอุณหภูมิการคาร์บอไนซ์ ต่อค่าร้อยละผลิตภัณฑ์ที่เวลาต่าง ๆ โดยใช้กะลาปาล์มน้ำมัน 500 กรัม 58
4.9 ผลของอัตราการไหลแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ต่อค่าการดูดซับไอโอดีน ที่เวลาต่างกัน โดยใช้ขนาดตัวอย่างถ่านชาร์ ขนาด 1.18-2.36 มม. จำนวน 40 กรัม 61

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.10 ผลของอัตราการไหลแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ต่อค่าการดูดซับเมทธิลีนบลู
ที่เวลาต่างกันโดยใช้ขนาดตัวอย่างถ่านชาร์
ขนาด 1.18-2.36 มม. จำนวน 40 กรัม 61
4.11 ผลของอัตราการไหลแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีต่อค่าความหนาแน่นปรากฏ
ที่เวลาต่างกัน โดยใช้ตัวอย่างถ่านขนาดชาร์ ขนาด 1.18-2.36 มม.
จำนวน 40 กรัม 62
4.12 ผลของเวลาในการกระตุ้นต่อค่าการดูดซับไอโอดีนที่อัตราการไหล
แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ต่าง ๆ โดยใช้ตัวอย่างถ่านชาร์ ขนาด 1.18-2.36 มม.
จำนวน 40 กรัม 62
4.13 ผลของเวลาในการกระตุ้นต่อค่าการดูดซับเมทธิลีนบลู
ที่อัตราการไหลแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ต่างกัน
โดยใช้ตัวอย่างถ่านชาร์ ขนาด 1.18-2.36 มม.
จำนวน 40 กรัม 63
4.14 ผลของเวลาในการกระตุ้น ต่อค่าความหนาแน่นปรากฏ
ที่อัตราการไหลแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ต่างกัน
โดยใช้ตัวอย่างถ่านชาร์ ขนาด 1.18-2.36 มม.
จำนวน 40 กรัม 63
4.15 ผลของอัตราไหลแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ต่อค่าพื้นที่ผิว BET
ที่เวลาต่างกัน โดยใช้ตัวอย่างถ่านชาร์ ขนาด 1.18-2.36 มม.
จำนวน 40 กรัม 64
4.16 ผลของอัตราการไหลแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์
ที่มีต่อพื้นที่ผิว Langmuir ที่เวลาต่างกัน
โดยใช้ตัวอย่างถ่านชาร์ ขนาด 1.18-2.36 มม.
จำนวน 40 กรัม 64

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.17ผลของอัตราการไหลแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ต่อค่าพื้นที่ผิวรูพรุนขนาดเล็ก
ที่เวลาต่างกัน โดยใช้ตัวอย่างถ่านชาร์ ขนาด 1.18-2.36 มม.
จำนวน 40 กรัม 65
4.18 ผลของอัตราการไหลแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ที่มีต่อค่าปริมาตรรูพรุนขนาดเล็ก
ที่เวลาต่างกัน โดยใช้ตัวอย่างถ่านชาร์ ขนาด 1.18-2.36 มม.
จำนวน 40 กรัม 65
4.19 ผลของเวลา ต่อค่าพื้นที่ผิว BET ที่อัตราการไหลแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์
ต่างกัน โดยใช้ขนาดตัวอย่างถ่านชาร์ ขนาด 1.18-2.36 มม.
จำนวน 40 กรัม 66
4.20ผลจากการแปรขนาดถ่านที่มีต่อค่าพื้นที่ผิวและค่าการดูดซับ โดยกระตุ้นด้วย
แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ 0.2 ลิตรต่อนาที เป็นเวลา 90 นาที
จำนวนตัวอย่าง 40 กรัม 68
4.21 ผลจากการแปรขนาดถ่านที่มีต่อค่าความหนาแน่นปรากฏ
และ ค่าปริมาตรรูพรุนขนาดเล็ก โดยการกระตุ้นด้วย
แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ 0.2 ลิตรต่อนาที เป็นเวลา 90 นาที
จำนวนตัวอย่าง 40 กรัม 68
4.22 รูปผิวกะลาปาล์มน้ำมัน 71
4.23 รูปผิวถ่านชาร์ ที่ได้จากการคาร์บอไนซ์ ที่ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 71
4.24 รูปผิวถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการกระตุ้นด้วย แก๊สออกซิเจน (0.4 ลิตรต่อนาที) 71
4.25 รูปผิวถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการกระตุ้นด้วย แก๊สผสมคาร์บอนไดออกไซด์
(0.2 ลิตรต่อนาที) กับ ออกซิเจน (0.4 ลิตรต่อนาที) 71
4.26 รูปผิวถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการกระตุ้นด้วย ไอน้ำ 72
4.27 รูปผิวถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการกระตุ้นด้วย
แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (0.2 ลิตรต่อนาที) 72

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.28 รูปผิวถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการกระตุ้นด้วย แก๊สผสมคาร์บอนไดออกไซด์ (0.2 ลิตรต่อนาที) กับ ออกซิเจน (0.6 ลิตรต่อนาที) 72
4.29 รูปผิวถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการกระตุ้นด้วย แก๊สออกซิเจน (0.6 ลิตรต่อนาที) 72

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สัญลักษณ์และคำย่อ

M = ค่าร้อยละความชื้น

A = ค่าร้อยละเถ้า

VM = ค่าร้อยละสารระเหย

FC = ค่าร้อยละคาร์บอนคงตัว

YC = ค่าร้อยละผลิตภัณฑ์

pH = ค่าความเป็นกรด-ด่าง

BD= ค่าความหนาแน่นปรากฏ (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)

IA = ค่าการดูดซับไอโอดีน (มิลลิกรัมต่อกรัม)

MB = ค่าการดูดซับเมทธิลีนบลู (มิลลิกรัมต่อกรัม)

S_{BET} = ค่าพื้นที่ผิวจำเพาะของรูพรุน (ตารางเมตรต่อกรัม)

$S_{Langmuir}$ = ค่าพื้นที่ผิวจำเพาะของรูพรุน (ตารางเมตรต่อกรัม)

$S_{Micropore}$ = ค่าพื้นที่ผิวรูพรุนขนาดเล็ก (ตารางเมตรต่อกรัม)

$V_{Micropore}$ = ค่าปริมาตรรูพรุนขนาดเล็ก (ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย