การผลิตถ่านกัมมันต์ระดับขยายส่วนจากพีตโดยคาร์บอไนเซชัน และการกระตุ้นด้วยไอน้ำในฟลูอิไดซ์เบด

นาย จักริน นิธีจันทร์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาเคมีเทคนิค
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พ.ศ.2537

ISBN 974-583-903-5

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I17902770

LARGE SCALE PRODUCTION OF ACTIVATED CARBON FROM PEAT BY CARBONIZATION AND STEAM ACTIVATION IN FLUIDIZED BED

Mr. Chakrin Nithechan

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of Requirements
for the Degree of Master of Science
Department of Chemical Technology
Graduate school
Chulalongkorn University
1994

ISBN 974-583-903-5

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การผลิตถ่านกัมมันต์ระดับขยายส่วนโดยคาร์บอไนเซชันและการกระตุ้นด้วยไอน้ำในฟลูอิไดซ์เบด
โดย	นายจักริน นิธีจันทร์
ภาควิชา	เคมีเทคนิค
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธราพงษ์ วิทิตศานต์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ดำรงค์เลิศ

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ ดร.ถาวร วัชราภัย)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ภัทรพรรณ ประศาสน์สารกิจ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธราพงษ์ วิทิตศานต์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ดำรงค์เลิศ)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เลอสรวง เมฆสุต)

..... กรรมการ
(ดร.เกศรา นุตาลัย)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวเพียงแผ่นเดียว

จักริน นิธีจันทร์ : การผลิตถ่านกัมมันต์ระดับขยายส่วนจากพีตโดยคาร์บอไนเซชันและการกระตุ้นด้วยไอน้ำในฟลูอิไดซ์เบด (LARGE SCALE PRODUCTION OF ACTIVATED CARBON FROM PEAT BY CARBONIZATION AND STEAM ACTIVATION IN FLUIDIZED BED) อ.ที่ปรึกษา : ผศ.ดร.ธราพงษ์ วิทิตศานต์, อ.ที่ปรึกษาร่วม ศ.ดร.สมศักดิ์ ตำรงค์เลิศ, 147 หน้า. ISBN 974-583-903-5

พีตจากพรุบาเจาะ จ.นราธิวาส นำมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์โดยคาร์บอไนเซชันและการกระตุ้นด้วยไอน้ำในฟลูอิไดซ์เบด การทดลองแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน ขั้นแรก คาร์บอไนซ์ในฟลูอิไดซ์เบดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 150 มิลลิเมตร ความสูง 1,100 มิลลิเมตร มีตัวแปรที่ศึกษา คือ ความเร็วอากาศ 1.2-2.1 เท่าของความเร็วต่ำสุดในการเกิดฟลูอิไดเซชัน หรือ 0.94-1.64 เมตรต่อวินาที (ที่ 200 องศาเซลเซียส) เวลาในการคาร์บอไนซ์ 3-8 นาที พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในในการคาร์บอไนซ์ในฟลูอิไดซ์เบด คือ ขนาดของเม็ดพีต 0.5-2.0 มิลลิเมตร ความเร็วอากาศ 0.94 เมตรต่อวินาที หรือ 1.2 เท่าของความเร็วต่ำสุดในการเกิดฟลูอิไดเซชัน ปริมาณการป้อนเม็ดพีต 2.0 กิโลกรัม อุณหภูมิเริ่มต้นของเบด 400 องศาเซลเซียส เวลาในการคาร์บอไนซ์ 5 นาที ได้ผลิตภัณฑ์เป็นถ่านชาร์ร้อยละ 34.0 มีปริมาณคาร์บอนคงตัวร้อยละ 83.6 สารระเหยร้อยละ 10.9 เถ้าร้อยละ 4.0

ขั้นตอนที่สอง การกระตุ้นด้วยไอน้ำในฟลูอิไดซ์เบดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 120 มิลลิเมตร ความสูง 770 มิลลิเมตร มีตัวแปรที่ศึกษา คือ ร้อยละของสารระเหยในวัตถุดิบ 3.6, 16.2, 31.3, 41.9 และ 61.9 ขนาดถ่านพีต 0.5-1.0, 1.0-1.4 และ 1.4-2.0 มิลลิเมตร เวลาในการกระตุ้นด้วยไอน้ำ 3, 5, 7, 9 และ 10 นาที อุณหภูมิของเบดขณะเริ่มป้อนไอน้ำ 700-925 องศาเซลเซียส ปริมาณการป้อนถ่านพีต 0.5-2.0 กิโลกรัม พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการกระตุ้นด้วยไอน้ำในฟลูอิไดซ์เบด คือ ถ่านพีตขนาด 1.0-2.0 มิลลิเมตร ปริมาณการป้อนถ่านพีต 2.0 กิโลกรัม ความเร็วอากาศ 3.21 เมตรต่อวินาที หรือ 1.4 เท่าของความเร็วต่ำสุดในการเกิดฟลูอิไดเซชัน อุณหภูมิเบดขณะเริ่มป้อนไอน้ำ 700 องศาเซลเซียส ก๊าซออกซิไดซ์เป็นของผสมระหว่างไอน้ำกับอากาศ โดยมีอัตราส่วนระหว่างไอน้ำกับอากาศ 7.6 เปอร์เซ็นต์ เวลากระตุ้นด้วยไอน้ำ 7 นาที ได้ผลิตภัณฑ์เป็นถ่านกัมมันต์ร้อยละ 59.1 ของน้ำหนักถ่านพีต หรือ ร้อยละ 20.1 ของน้ำหนักพีตแห้ง มีค่าพื้นที่ผิว-จำเพาะ 1,023 ตารางเมตรต่อกรัม ค่าไอโอดีนนัมเบอร์ 1,053 มิลลิกรัมต่อกรัม ค่าการดูดซับเมทิลีนบลู 354.5 มิลลิกรัมต่อกรัม

ภาควิชา เคมีเทคนิค ลายมือชื่อนิสิต จักริน นิธีจันทร์

สาขาวิชา เคมีเทคนิค ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2536 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

C225506 : MAJOR CHEMICAL TECHNOLOGY
KEY WORD : LARGE SCALE PRODUCTION OF ACTIVATED CARBON/ PEAT/
CARBONIZATION/ STEAM ACTIVATION/ FLUIDIZED BED
CHAKRIN NITHECHAN : LARGE SCALE PRODUCTION OF ACTIVATED CARBON
FROM PEAT BY CARBONIZATION AND ACTIVATION IN FLUIDIZED BED
THESIS ADVISOR : ASST. PROF. THARAPONG VITIDSANT, Ph.D.,
THESIS COADVISOR : PROF. SOMSAK DAMRONGLERD, Ph.D., 147 pp.
ISBN 974-583-903-5

Peat soil from Bacho swamp in Narathiwat Province was used to produce activated carbon by carbonization and steam activation in fluidized bed. The experiments consisted of two steps. In step one, Peat soil was carbonized in fluidized bed having inside diameter 150 mm. and 1,100 mm. high. The air velocity was 1.2-2.1 times that of minimum fluidizing velocity or 0.94-1.64 m/sec. (at 200 °C). The time of carbonization was 3-8 min. The result showed that the suitable condition for fluidized bed carbonization of peat was as follows : 0.5-2.0 mm. size., air velocity 0.94 m/sec. or 1.2 times that of minimum fluidization, feed 2.0 Kg., temperatureof bed before feed 400 °C, carbonization time 5 min., The yield of char was 34.0 (%W). The proximate analysis of char were fixed carbon 83.6 %, volatile matter 10.9 %, ash content 4.0 %

In step two, it was activated with steam in fluidized bed having inside diameter 120 mm. and 770 mm. high. The volatile matter of raw materials was 3.6-61.9 %. The particle size was 0.5-1.0, 1.0-1.4 and 1.4-2.0 mm. The temperature for feed was 700-925 °C. The feed of charwas 0.5-2.0 Kg. The result showed that the suitable condition for fluidized bed activation peat char was as follows : 1.0-2.0 mm. size., feed 2.0 Kg., air velocity 3.21 m/sec. or 1.4 times that of minimum fluidizing velocity (at 700 °C)., feed steam at 700 °C., Oxidizing gas was a mixture of steam and air (steam / air 7.6 %)., activation time 7 min., The yield was 59.1 (%Weight of char) or 20.1 % by weight of dry peat. The specific surface area was 1,023 m^2/g. The Iodine number was 1,053 mg/g. The methylene blue adsorption was 354.5 mg/g.

ภาควิชา เคมีเทคนิค ลายมือชื่อนิสิต .....
สาขาวิชา เคมีเทคนิค ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....
ปีการศึกษา 2536 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร.ธราพงษ์ วิทิตศานต์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ศ.ดร.สมศักดิ์ ดำรงค์เลิศ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม และ ดร.เกศรา นุตาลัย ที่กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำตักเตือน และช่วยเหลือในการทำวิจัยครั้งนี้ให้ลุล่วงไปด้วยดี รวมทั้งคณาจารย์ทุกท่านในภาควิชาเคมีเทคนิคที่ได้ให้คำแนะนำ และช่วยเหลือ

ขอขอบคุณสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ที่กรุณาสนับสนุนทุนวิจัย ตลอดจนให้ความเอื้อเฟื้อในการใช้สถานที่ วัตถุดิบในการวิจัย วัสดุอุปกรณ์ในการวิจัยและห้องปฏิบัติการ รวมทั้งเจ้าหน้าที่และบุคคลากรทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือในงานวิจัย

ขอขอบคุณ คุณสังข์ ชมชื่น ที่ช่วยซ่อมแซมอุปกรณ์ในการทำวิจัยครั้งนี้จนสามารถดำเนินการวิจัยได้ดี

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ บุคลากรในภาควิชาเคมีเทคนิคทุกท่าน ที่อำนวยความสะดวกในการใช้ห้องปฏิบัติการ และขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆ ในภาควิชาเคมีเทคนิคที่ให้การสนับสนุนช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์มาโดยตลอด

ทุนในงานวิจัยครั้งนี้บางส่วนได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยของบัณฑิตวิทยาลัยจึงขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัยมา ณ ที่นี้ด้วย

ท้ายสุดนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ให้ความช่วยเหลือ เป็นกำลังใจ และให้การสนับสนุนเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญตาราง ..... ญ

สารบัญภาพ ..... ฏ

สัญลักษณ์ ..... ฒ

บทที่

1. บทนำ 1

2. วารสารปริทัศน์ 4

2.1 พืช 4

2.1.1 การจำแนกประเภทของพืช 4

2.1.2 องค์ประกอบของพืช 5

2.2 ถ่านกัมมันต์ 7

2.2.1 โครงสร้างของถ่านกัมมันต์ 7

2.2.2 ชนิดของถ่านกัมมันต์ 13

2.2.3 คุณสมบัติในการดูดซับของถ่านกัมมันต์ 14

2.2.4 การทดสอบคุณสมบัติการดูดซับของถ่านกัมมันต์ 15

2.2.5 คุณลักษณะของถ่านกัมมันต์ 16

2.2.6 การฟื้นคุณภาพถ่านกัมมันต์ 20

2.2.7 ประโยชน์ของถ่านกัมมันต์ 23

2.3 กระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ 24

2.3.1 การเตรียมวัตถุดิบ 24

2.3.2 คาร์บอไนเซชัน 25

2.3.3 การกระตุ้น หรือแอคติเวชัน 31

2.4 การถ่ายเทความร้อนในฟลูอิไดซ์เบด 36

2.5 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 38

3. อุปกรณ์และวิธีทดลอง 46

สารบัญ(ต่อ)

บทที่		หน้า
	3.1 อุปกรณ์ทดลอง	46
	3.1.1 ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ	46
	3.1.2 ขั้นตอนการคาร์บอไนซ์	46
	3.1.3 ขั้นตอนกระตุ้น หรือแอคติเวชัน	48
	3.2 การเตรียมวัตถุดิบ	50
	3.3 วิธีดำเนินการทดลอง	62
	3.3.1 ขั้นตอนคาร์บอไนเซชัน	62
	3.3.2 ขั้นตอนการกระตุ้น	62
4.	ผลการทดลอง	64
	4.1 ผลการวิเคราะห์หาคุณสมบัติของนิตที่ใช้ในการทดลอง	64
	4.2 การคาร์บอไนซ์นิตในฟลูอิไดซ์เบด	68
	4.2.1 อิทธิพลของอัตราป้อนอากาศที่มีต่อคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์	68
	4.2.2 อิทธิพลของเวลาที่มีต่อคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์	69
	4.2.3 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในเครื่องปฏิกรณ์ระหว่างการคาร์บอไนซ์	70
	4.3 การกระตุ้นในฟลูอิไดซ์เบด	71
	4.3.1 คุณสมบัติของวัตถุดิบ	71
	4.3.2 อิทธิพลของปริมาณสารระเหยในวัตถุดิบที่มีต่อคุณสมบัติการดูดซับของถ่านกัมมันต์	72
	4.3.3 อิทธิพลของขนาดวัตถุดิบและเวลาที่ได้รับไอน้ำที่มีต่อค่าพื้นที่ผิวจำเพาะ	74
	4.3.4 อิทธิพลของขนาดวัตถุดิบและเวลาได้รับไอน้ำที่มีต่อไอโอดีนนัมเบอร์	75
	4.3.5 อิทธิพลของขนาดวัตถุดิบและเวลาได้รับไอน้ำที่มีต่อการดูดซับเมทิลีนบลู	76
	4.3.6 อิทธิพลของขนาดวัตถุดิบและเวลาได้รับไอน้ำที่มีต่อผลที่ได้ของผลิตภัณฑ์	77
	4.3.7 อิทธิพลของอุณหภูมิเริ่มป้อนไอน้ำที่มีต่อคุณสมบัติการดูดซับของถ่านกัมมันต์	78
	4.3.8 อิทธิพลของปริมาณวัตถุดิบที่มีต่อคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์	80
	4.3.9 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในเบด	82
	4.3.10 การกระจายขนาดของผลิตภัณฑ์หลังการกระตุ้น	83
	4.3.11 การศึกษาลักษณะของถ่านกัมมันต์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน	83

สารบัญ(ต่อ)

บทที่ หน้า

5. วิจารณ์ผลการทดลอง 96
5.1 การคาร์บอไนซ์ชัน 96
5.1.1 ขนาดของวัตถุดิบ หรือพีต 96
5.1.2 ตัวกลางในการคาร์บอไนเซชัน 97
5.1.3 อุณหภูมิในการคาร์บอไนซ์ 97
5.1.4 ผลกระทบของตัวแปรที่มีผลต่อคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ 99
5.1.5 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในเบด 103
5.2 การกระตุ้น 104
5.2.1 ตัวกลางในการทำปฏิกิริยา 105
5.2.2 อัตราการไหลอากาศ 106
5.2.3 ปริมาณไอน้ำ 106
5.2.4 อิทธิพลของปริมาณสารระเหยของวัตถุดิบที่มีต่อคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ .. 107
5.2.5 เวลาในการกระตุ้นด้วยไอน้ำ 108
5.2.6 อุณหภูมิเริ่มให้ไอน้ำ 116
5.2.7 ปริมาณการป้อนวัตถุดิบ 118
5.2.8 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในเบด 120
5.2.9 การศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน 120
5.2.10 ความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ผิวจำเพาะกับค่าไอโอดีนนัมเบอร์ 120
5.2.11 ความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ผิวจำเพาะกับค่าการดูดซับเมทิลีนบลู 121
6. สรุป และข้อเสนอแนะ 124
รายการอ้างอิง 129
ภาคผนวก 132
ประวัติผู้เขียน 147

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 แสดงธาตุองค์ประกอบของพืช 6
2.2 แสดงองค์ประกอบหลักของพืชตามระดับของการสลายตัว 6
2.3 ตารางแสดงเส้นผ่าศูนย์กลางที่น้อยที่สุดสำหรับตัวถูกดูด 15
2.4 แสดงความสัมพันธ์ของพื้นที่ผิวกับค่าการดูดซับ 16
2.5 ตารางแสดงคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตขายในท้องตลาด 17
2.6 แสดงคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตในประเทศไทย 18
2.7 แสดงชนิดต่างๆ ของถ่านกัมมันต์ 18
2.8 แสดงผลของอัตราการเพิ่มอุณหภูมิต่อคุณสมบัติของเม็ดถ่าน 30
2.9 แสดงการดูดซับของถ่านกัมมันต์ที่ใช้ตัวกระตุ้นต่างกัน 32
2.10 แสดงผลการทดลองของ Ninomiya et al. 38
2.11 แสดงคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์จากวัตถุดิบที่ล้างด้วยกรด 40
2.12 แสดงคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์จากวัตถุดิบที่สกัดด้วยกรด 40
2.13 แสดงผลของอุณหภูมิและเวลาต่อคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ 41
2.14 แสดงคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการกระตุ้นด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส เวลา 10, 20, 30 และ 40 นาที 43
2.15 แสดงคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการกระตุ้นด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส เวลา 10, 20, 30 และ 40 นาที 44
2.16 แสดงผลของเวลาที่มีต่อคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ในการกระตุ้นด้วยไอน้ำที่ อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส 45
4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของความชื้นกับเวลาที่ใช้ในการอบ 65
4.2 แสดงการกระจายของพืชที่แยกขนาดแล้ว 67
4.3 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของพืช 67
4.4 แสดงการกระจายขนาดของถ่านพืชจากการคาร์บอไนซ์ 5 นาที 71
4.5 แสดงค่าการวิเคราะห์โดยประมาณของถ่านพืชขนาดต่างๆ 72

สารบัญภาพ

รูปที่ หน้า

2.1 การจัดเรียงอะตอมของคาร์บอนในผลึกแกรไฟต์ 8
2.2 แผนภาพแสดงการเปรียบเทียบภาพสามมิติผลึกแกรไฟต์กับลักษณะโครงสร้างเทอร์โบสแตติก 8
2.3 แผนภาพอธิบายโครงสร้างถ่านกัมมันต์ โครงสร้างที่เป็นแกรไฟต์ได้ง่ายกับโครงสร้างที่มีลักษณะแกรไฟต์เล็กน้อย 9
2.4 กราฟแสดงการกระจายความแตกต่างของปริมาตรกับรัศมีรูพรุน 10
2.5 การดูดซับโมเลกุลของสิ่งสกปรกโดยถ่านกัมมันต์ 11
2.6 รูปแสดงชนิดของหมู่ฟังก์ชันนัลที่เป็นกรด 12
2.7 รูปแสดงชนิดของหมู่ฟังก์ชันนัลที่เป็นเบส 13
2.8 แสดงแบบจำลองของผิวคาร์บอนที่ถูกออกซิไดซ์ 13
2.9 รูปแสดงโมเลกุลของเมทิลีนบลู 15
2.10 แผนภาพแสดงระบบการฟื้นฟูคุณภาพการดูดซึมของถ่านกัมมันต์ 21
2.11 แสดงการนำสารละลายกลับมาใช้ใหม่โดยใช้ถ่านกัมมันต์โคลัมเบีย 22
2.12 แสดงกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ 25
2.13 การเปลี่ยนแปลงทางความร้อนของชีวมวล 26
2.14 อุณหภูมิของปฏิกิริยาแบบอะเดียบาติกของชีวมวล 27
2.15 แสดงเครื่องปฏิกรณ์การทดลองของ Ninomiya et al. 39
2.16 แสดงเตากระตุ้นแบบฟลูอิไดซ์เบด 42
3.1 แสดงอุปกรณ์ และขนาดของเครื่องคาร์บอไนซ์ 51
3.2 แสดงแผนผังการทำงานของเครื่องคาร์บอไนซ์ 52
3.3 แสดงอุปกรณ์ และขนาดของเครื่องกระตุ้น 53
3.4 แสดงแผนผังการทำงานของเครื่องกระตุ้น 54
3.5 แสดงเครื่องคาร์บอไนซ์ และเครื่องกระตุ้น 55
3.6 แสดงเครื่องคาร์บอไนซ์ 56
3.7 แสดงเครื่องกระตุ้น 57
3.8 แสดงระบบเพิ่มความร้อนของก๊าซ และไอน้ำ 58
3.9 แสดงระบบกำจัดก๊าซแบบดูดซึม 59

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่ หน้า

3.10 แสดงเครื่องดูดสุญญากาศ 60
3.11 แสดงเครื่องวัดพื้นที่ผิวจำเพาะ 61
4.1 แสดงแหล่งของพืชที่พรุบาเจาะ จ.นราธิวาส 64
4.2 แสดงลักษณะของพืชก่อนการบด 65
4.3 แสดงลักษณะของพืชที่คัดขนาดแล้ว และเส้นใยที่ต้องแยกออก 66
4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลอากาศกับคุณสมบัติของพืช 68
4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ 69
4.6 แสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในเครื่องปฏิกรณ์ระหว่างคาร์บอไนซ์ 70
4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละสารระเหยของวัตถุดิบกับคุณสมบัติการดูดซับของถ่านกัมมันต์ 73
4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาได้รับไอน้ำกับค่าพื้นที่ผิวจำเพาะที่วัตถุดิบขนาดต่างๆ 74
4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาได้รับไอน้ำกับไอโอดีนนัมเบอร์ที่วัตถุดิบขนาดต่างๆ 75
4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาได้รับไอน้ำกับค่าการดูดซับเมทิลีนบลูที่วัตถุดิบขนาดต่างๆ 76
4.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาได้รับไอน้ำที่มีต่อผลที่ได้ของผลิตภัณฑ์ที่วัตถุดิบขนาดต่างๆ 77
4.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเริ่มป้อนไอน้ำกับคุณสมบัติการดูดซับ 78
4.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเริ่มป้อนไอน้ำกับผลที่ได้ของผลิตภัณฑ์ 79
4.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณวัตถุดิบกับคุณสมบัติการดูดซับ 80
4.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณวัตถุดิบกับผลที่ได้ของผลิตภัณฑ์ 81
4.16 แสดงตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในเบด 82
4.17 แสดงภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนกำลังขยาย 100 เท่าของถ่านที่ยังไม่ได้กระตุ้น 84
4.18 แสดงภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนกำลังขยาย 500 เท่าของถ่านที่ยังไม่ได้กระตุ้น 85
4.19 แสดงภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนกำลังขยาย 1000 เท่าของถ่านที่ยังไม่ได้กระตุ้น 86

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.20 แสดงภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนกำลังขยาย 100 เท่า ของตัวอย่างที่มีพื้นที่ผิวจำเพาะ 746.8 ตารางเมตรต่อกรัม 87
4.21 แสดงภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนกำลังขยาย 1,000 เท่าของตัวอย่างที่มีพื้นที่ผิวจำเพาะ 746.8 ตารางเมตรต่อกรัม 88
4.22 แสดงภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนกำลังขยาย 100 เท่า ของตัวอย่างที่มีพื้นที่ผิวจำเพาะ 796.7 ตารางเมตรต่อกรัม 89
4.23 แสดงภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนกำลังขยาย 1,000 เท่าของตัวอย่างที่มีพื้นที่ผิวจำเพาะ 796.7 ตารางเมตรต่อกรัม 90
4.24 แสดงภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนกำลังขยาย 100 เท่า ของตัวอย่างที่มีพื้นที่ผิวจำเพาะ 891.5 ตารางเมตรต่อกรัม 91
4.25 แสดงภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนกำลังขยาย 1,000 เท่าของตัวอย่างที่มีพื้นที่ผิวจำเพาะ 891.5 ตารางเมตรต่อกรัม 92
4.26 แสดงภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนกำลังขยาย 100 เท่า ของตัวอย่างที่มีพื้นที่ผิวจำเพาะ 1,091 ตารางเมตรต่อกรัม 93
4.27 แสดงภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนกำลังขยาย 1,000 เท่าของตัวอย่างที่มีพื้นที่ผิวจำเพาะ 1,091 ตารางเมตรต่อกรัม 94
4.28 แสดงถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้ 95
5.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลที่ได้ของผลิตภัณฑ์กับเวลาที่อุณหภูมิต่างๆ 98
5.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละสารระเหยกับเวลาที่อุณหภูมิต่างๆ 99
5.3 แสดงความสัมพันธ์ของการสูญเสียน้ำหนักกับอุณหภูมิ 104
5.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ผิวจำเพาะกับค่าไอโอดีนนัมเบอร์ 121
5.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ผิวจำเพาะกับค่าการดูดซับเมทิลีนบลู 123

สัญลักษณ์

dp = ความดันลด (เซนติเมตรน้ำ)

FC = ค่าคาร์บอนคงตัว (เปอร์เซ็นต์)

ΔH = เอนทาลปีของปฏิกิริยา

I.A., I = ค่าไอโอดีนนัมเบอร์ (มิลลิกรัมต่อกรัม)

M.B., MB = ค่าการดูดซับเมทิลีนบลู (มิลลิกรัมต่อกรัม)

S.A., S, SA = พื้นที่ผิวจำเพาะ (ตารางเมตรต่อกรัม)

t = เวลา (นาที)

T = อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)

Temp. = อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)

T_b = อุณหภูมิภายในเบด (องศาเซลเซียส)

U = อัตราการไหลก๊าซ (เมตรต่อวินาที)

Umf = ความเร็วต่ำสุดในการเกิดฟลูอิไดเซชัน (เมตรต่อวินาที)

v = อัตราเร็วของปฏิกิริยา

VM = ปริมาณสารระเหย (เปอร์เซ็นต์)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย