การผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลาตาลโตนดในฟลูอิไดซ์เบด

นาย บุญชัย ตระกูลมหชัย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาเคมีเทคนิค
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พ.ศ. 2537

ISBN 974-583-915-9

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PRODUCTION OF ACTIVATED CARBON FROM PALMYRA PALM SHELL IN FLUIDIZED BED

Mr. Boonchai Thakunmahachai

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

ISBN 974-583-915-9

I17152896

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลาตาลโตนดในฟลูอิไดซ์เบด

โดย นาย บุญชัย ตระกูลมหชัย

อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธราพงษ์ วิทิตศานต์

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม นาง กรรณิการ์ สถาปิตานนท์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(ศาสตราจารย์ ดร.ถาวร วัชราภัย)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(ศาสตราจารย์ ดร. สมศักดิ์ ดำรงค์เลิศ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธราพงษ์ วิทิตศานต์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(นาง กรรณิการ์ สถาปิตานนท์)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. ภัทรพรรณ ประศาสน์สารกิจ)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เลอสรวง เมมสุต)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

บุญยัง ตระกูลมหยัง : การผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลาตาลโตนดในฟลูอิไดซ์เบด (PRODUCTION OF ACTIVATED CARBON FROM PALMYRA PAIM SHELL IN FLUIDIZED BED) อ.ที่ปรึกษา : ผศ.ดร. ธราพงษ์ วิทิตคำนต์ อ.ที่ปรึกษาร่วม : นางกรรณิการ์ ลลาบีตานนท์, 233 หน้า. ISBN 974-583-915-9

การทดลองผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลาตาลโตนด ได้ดำเนินงาน 2 วิธี คือวิธีทางเคมี และวิธีทางฟิสิกส์ โดยทั่วไปการผลิตถ่านกัมมันต์ในระดับอุตสาหกรรม นิยมใช้วิธีทางฟิสิกส์ คือใช้ก๊าซออกซิไดซ์ในฟลูอิไดซ์เบด เพราะมีต้นทุนการผลิตต่ำกว่า

จากการทดลองพบว่า การผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลาตาลโตนดด้วยวิธีทางเคมี ควรคาร์โบไนซ์กะลาตาลโตนดที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง เพื่อให้บดได้ง่าย และมีผลน้อยที่สุดต่อคุณภาพของถ่านกัมมันต์ที่ได้ ลักษณะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์ คือใช้ถ่านที่มีขนาด 1.68 ถึง 2.38 มิลลิเมตร ผสมกับสารละลายซิงค์คลอไรด์เข้มข้น ร้อยละ 60 โดยน้ำหนัก ใช้อัตราส่วนของสารละลายซิงค์คลอไรด์ต่อถ่านเท่ากับ 3 ต่อ 2 แช่ไว้เป็นเวลานาน 72 ชั่วโมง แล้วนำไปกระตุ้นด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง จะได้ถ่านกัมมันต์ที่มีพื้นที่ผิว 1,600 ถึง 1,700 ตารางเมตรต่อกรัม, ค่าไอโอดีน 1,100 ถึง 1,200 มิลลิกรัมต่อกรัม, ค่าเมทธิลีนบลู 350 ถึง 400 มิลลิกรัมต่อกรัม, ค่าเถ้า ร้อยละ 2 ถึง 5 โดยน้ำหนัก, ค่าร้อยละของผลิตภัณฑ์ที่ได้ 40 ถึง 50

สำหรับการผลิตถ่านกัมมันต์ด้วยวิธีทางฟิสิกส์ พบว่าลักษณะที่เหมาะสม คือใช้ถ่านกะลาตาลโตนดซึ่งคาร์โบไนซ์ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมงขนาด 1.19 ถึง 1.68 มิลลิเมตร กระตุ้นด้วยก๊าซผสมระหว่างก๊าซที่ได้จากการเผาไหม้น้ำมันดีเซลกับไอน้ำอิ่มตัวยิ่งยวด ที่มีความเร็ว 6.44 เมตรต่อวินาที ในฟลูอิไดซ์เบด ได้ถ่านกัมมันต์ที่มีพื้นที่ผิว 1,800 ถึง 1,900 ตารางเมตรต่อกรัม, ค่าไอโอดีน 1,000 ถึง 1,300 มิลลิกรัมต่อกรัม, ค่าเมทธิลีนบลู 250 ถึง 350 มิลลิกรัมต่อกรัม, ค่าเถ้า ร้อยละ 10 ถึง 15 โดยน้ำหนัก, ค่าร้อยละของผลิตภัณฑ์ที่ได้ 30 ถึง 40

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา เคมีเทคนิค ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา - ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2536 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

C425549 : MAJOR CHEMCAL TECHNOLOGY
KEY WORD: PALMYRA PALM SHELL/ ACTIVATED CARBON/ FLUIDIZED BED
BOONCHAI THAKUNMAHACHAI : PRODUCTION OF ACTIVATED CARBON FROM PALMYRA PALM SHELL IN FLUIDIZED BED. THESIS ADVISOR : ASSO. PROF. THARAPONG VITIDSANT, Ph.D. THESIS COADVISOR : KANNIKA STHAPITANONDA. 233 pp. ISBN 974-583-915-9

The activated carbon could be produced from palmyra palm shell by physical or chemical method. In this work, the physical activation in the fluidized bed and the chemical activation in the fixed bed were studied.

In order to get the charcoal which could be ground easily, the palmyra palm shell was carbonized at temperature of 200 C for 2 h. The sample of charcoal was mixed the solution of 60 %(wt) Zinc chloride at the ratio of 3:2 in the porcelain crucible for 72 h. The optimum condition for the charcoal particle size of 1.68-2.38 mm was at activation temperature 500 C for 1 h. The properties of the activated carbon was 1,600-1,700 sq.m/g surface area, 1,100-1,200 mg/g iodine adsorption, 350-400 mg/g methylene blue adsorption, 2-5 % ash and 40-45 % yield.

The palmyra palm shell was physically activated with the mixed gas of flue gas which obtained from diesel oil and superheated steam in fluidized bed. The optimum condition for charcoal particle size of 1.19-1.68 mm was at activation temperature of 900 C for 5 min and gas velosity of 6.44 m/sec. The properties of activated carbon was 1,800-1,900 sq.m/g surface area, 1,000-1,300 mg/g iodine adsorption, 250-350 mg/g methylene blue adsorption, 10-15 % ash and 30-45 % yield.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา เคมีเทคนิค ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา - ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2536 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธราพงษ์ วิทิตศานต์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และนาง กรรณิการ์ สถาปิตานนท์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านทั้งสองได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆของการวิจัยมาด้วยดียิ่งตลอด ขอขอบคุณผู้บังคับบัญชา ได้แก่ ผู้ว่าการสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, ผู้อำนวยการสาขาวิจัยอุตสาหกรรมเคมี, ผู้อำนวยการห้องปฏิบัติการพัฒนาสูตรและกระบวนการเคมี ที่ให้โอกาสและความช่วยเหลือในการวิจัย รวมทั้งช่วยเหลือในด้านเวลาและเงินทุนบางส่วน

ขอขอบคุณ คุณ สังข์ ชมชื่น ที่ให้คำแนะนำและความช่วยเหลือในการซ่อมและสร้างเครื่องมือ ตลอดจนเจ้าหน้าที่ทุกท่านของภาควิชาเคมีเทคนิค จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและของสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการวิจัย และเนื่องจากทุนการวิจัยครั้งนี้ได้รับมาจากทุนอุดหนุนการวิจัยของบัณฑิตวิทยาลัยและภาควิชาเคมีเทคนิค จึงขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

ท้ายนี้ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณบิดาที่ล่วงลับและมารดา รวมทั้งขอขอบคุณพี่น้องทุกคนและภรรยา ที่ให้กำลังใจด้วยดีเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บุญชัย ตระกูลมหชัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ฆ

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... ง

กิตติกรรมประกาศ..... จ

สารบัญตาราง..... ฎ

สารบัญรูป..... ฑ

คำอธิบายสัญญลักษณ์และคำย่อ..... ถ

บทที่ 1. บทนำ..... 1

บทที่ 2. ทฤษฎีและสมมุติฐานที่สำคัญ..... 7

- ถ่านกัมมันต์..... 7

- วัตถุดิบที่ใช้ผลิตถ่านกัมมันต์..... 7

- วิธีผลิตถ่านกัมมันต์..... 10

- วิธีทางเคมี..... 12

- วิธีทางฟิสิกส์..... 17

- เครื่องมือที่ใช้ในการผลิตถ่านหรือถ่านกัมมันต์..... 23

- เครื่องคาร์โบไนเซอร์(Carbonizer)..... 23

- เครื่องแอคติเวเตอร์(Activator)..... 23

- ลักษณะและโครงสร้างของถ่านกัมมันต์..... 26

- ลักษณะและชนิดของถ่านกัมมันต์..... 26

- ประโยชน์ของถ่านกัมมันต์..... 27

- โครงสร้างรูพรุนของถ่านกัมมันต์..... 29

- โครงสร้างทางเคมีของผิวถ่านกัมมันต์..... 32

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
- การดูดซับและไอโซเทอมของถ่านกัมมันต์	38
- หลักการวิเคราะห์คุณสมบัติของถ่านกัมมันต์	43
- การแพร่ในรูพรุน	50
- เทคนิคฟลูอิไดเซชั่น(Fluidization)	53
- การเกิดและชนิดของฟลูอิไดเซชั่น	53
- ปัจจัยที่มีผลต่อการฟลูอิไดซ์ในก๊าซ	53
- การหาความเร็วต่ำสุดของการฟลูอิไดซ์	56
- จากการทดลอง	56
- จากการคำนวณ	58
- การใช้ฟลูอิไดเซชั่นในอุตสาหกรรม	59
- การถ่ายเทมวลในก๊าซฟลูอิไดซ์เบด	62
- การถ่ายเทความร้อนในก๊าซฟลูอิไดซ์เบด	65
บทที่ 3. ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	71
- ผลงานของนักวิจัยชาวต่างประเทศ	71
- ผลงานของนักวิจัยชาวไทย	78
บทที่ 4. วิธีทดลอง	87
- วิธีผลิตถ่านกัมมันต์ด้วยสารละลาย $ZnCl_2$	87
- อุปกรณ์, สารเคมีและการเตรียม	87
- การเตรียมวัตถุดิบ	93

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
- ขั้นตอนการผลิตถ่านกัมมันต์	93
- หาสภาวะการเตรียมถ่านกะลาตาลโตนดที่เหมาะสม	93
- หาความเข้มข้นและปริมาณของ $ZnCl_2$ ที่เหมาะสม	94
- หาขนาดเริ่มต้นของอนุภาคและการเพิ่มประสิทธิภาพ$ZnCl_2$ ด้วยการเขย่า	95
- หาระยะเวลาในการเขย่าที่เหมาะสม	95
- วิธีผลิตถ่านกัมมันต์ด้วยก๊าซผสมระหว่างก๊าซเผาไหม้และไอน้ำ	96
- อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้	96
- การเตรียมวัตถุดิบ	111
- ขั้นตอนการผลิต	111
- การหาความเร็วต่ำสุดของการฟลูอิไดซ์(U_{mf})	111
- ขั้นตอนการผลิตถ่านกัมมันต์	111
บทที่ 5. ผลการทดลอง	113
- คุณสมบัติของวัตถุดิบ	113
- ลักษณะทั่วไปของกะลาตาลโตนด	113
- คุณสมบัติโดยประมาณ(Proximate)	114
- กะลาและถ่านกะลาตาลโตนด	114
- ถ่านกะลาตาลโตนดสำหรับทดลองผลิตถ่านกัมมันต์ด้วย $ZnCl_2$	115
- ถ่านกะลาตาลโตนดสำหรับทดลองผลิตถ่านกัมมันต์ด้วยก๊าซผสม	115

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
- คุณสมบัติทางฟิสิกส์และความสามารถในการดูดซับ.....	116
- ถ่านกะลาตาลโตนดสำหรับทดลองผลิตถ่านกัมมันต์ด้วย $ZnCl_2$.....	116
- ถ่านกะลาตาลโตนดสำหรับทดลองผลิตถ่านกัมมันต์ด้วยก๊าซผสม.....	116
- ไอโซเทอมของการดูดซับก๊าซไนโตรเจน.....	116
- คุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการกระตุ้นด้วย $ZnCl_2$.....	120
- เมื่อแปรสภาวะของการเตรียมถ่านกะลาตาลโตนด.....	120
- เมื่อแปรความเข้มข้นและปริมาณของ $ZnCl_2$.....	120
- เมื่อแปรขนาดเริ่มต้นของวัตถุดิบ และระยะเวลาการแช่ย่า....	120
- เปรียบเทียบผลการแช่ย่าและไม่แช่ย่าสารละลาย$ZnCl_2$....	120
- ผลของระยะเวลาการแช่ย่าสารละลาย$ZnCl_2$ก่อนนำไปกระตุ้น.....	120
- ไอโซเทอมของการดูดซับก๊าซไนโตรเจนของถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการกระตุ้นด้วย $ZnCl_2$.....	120
- คุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการกระตุ้นด้วยก๊าซผสม.....	128
- การเปลี่ยนแปลงขณะเกิดปฏิกิริยา.....	128
- ลักษณะทั่วไปของผลิตภัณฑ์ที่ได้.....	128
- คุณสมบัติของถ่านกัมมันต์จากการทดลอง.....	130
- ไอโซเทอมของการดูดซับก๊าซไนโตรเจนของถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการกระตุ้นด้วยก๊าซผสม.....	132
บทที่ 6. อภิปราย, ข้อสรุปและข้อเสนอแนะ.....	134
- การผลิตถ่านกัมมันต์ด้วย$ZnCl_2$.....	134
- การผลิตถ่านกัมมันต์ด้วยก๊าซผสม.....	139

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

รายการอ้างอิง..... 144

ภาคผนวก

ก. วิธีวิเคราะห์คุณสมบัติโดยประมาณของกะลาและถ่านกะลาตาลโตนด..... 149

ข. วิธีวิเคราะห์ค่าเถ้าของถ่านกัมมันต์..... 153

ค. วิธีวิเคราะห์ค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตรของถ่านกัมมันต์..... 154

ง. วิธีวิเคราะห์ค่าพื้นที่ผิวจำเพาะของรูพรุนทั้งหมด, รูพรุนขนาดเล็ก, รูพรุนขนาดกลาง และเส้นไอโซเทอมการดูดซับก๊าซไนโตรเจนของถ่านกัมมันต์..... 155

จ. วิธีวิเคราะห์ค่าเมทธิลีนบลู..... 159

ฉ. วิธีวิเคราะห์ค่าไอโอดีน..... 166

ช. ตัวอย่างคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์เกรดการค้า..... 170

- ผงถ่านกัมมันต์..... 170

- เม็ดถ่านกัมมันต์..... 171

ซ. ผลการหาความเร็วต่ำสุดของการเกิดฟลูอิไดซ์..... 173

ฌ. ส่วนผสมของก๊าซผสมระหว่างก๊าซเผาไหม้และไอน้ำ..... 177

ญ. การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่เวลาต่างๆในเครื่องคาร์โบไนเซอร์และเครื่องแอคติเวเตอร์..... 181

ฎ. การทดลองผลิตถ่านกัมมันต์ที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส ในที่อับอากาศ..... 192

ฏ. กราฟแสดงผลของสภาวะการเตรียมถ่านกะลาตาลโตนดต่อถ่านถ่านกัมมันต์ที่เตรียมด้วย$ZnCl_2$..... 194

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

ฐ. กราฟแสดงผลของความเข้มข้นและปริมาณ$ZnCl_2$ต่อถ่านถ่านกัมมันต์ที่เตรียมด้วย$ZnCl_2$..... 198

ฑ. กราฟแสดงผลของระยะเวลาการแช่ต่อถ่านกัมมันต์ที่เตรียมด้วย$ZnCl_2$..... 205

ฒ. กราฟแสดงผลของอุณหภูมิของการกระตุ้นต่อถ่านกัมมันต์ที่เตรียมด้วยก๊าซผสม..... 209

ณ. กราฟแสดงผลของระยะเวลาของการกระตุ้นต่อถ่านกัมมันต์ที่เตรียมด้วยก๊าซผสม..... 219

ด. กราฟแสดงผลของขนาดเริ่มต้นของวัตถุดิบต่อถ่านกัมมันต์ที่เตรียมด้วยก๊าซผสม..... 229

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่	1.1 สถิติการนำเข้าถ่านกัมมันต์ของประเทศไทย	4
	2.1 คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตถ่านกัมมันต์ และการใช้ประโยชน์.....	8
	2.2 คุณสมบัติเบื้องต้นของกะลาตาลโตนดเปรียบเทียบกับกะลามะพร้าว	9
	2.3 คุณสมบัติของซิงค์คลอไรด์.....	14
	2.4 ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่และค่าเทอทาวชิตี้ของสารดูดซับต่างๆ....	50
	2.5 พลังงานกระตุ้นที่ได้จากการคำนวณ.....	52
	2.6 เปรียบเทียบเทคนิคต่างๆที่ใช้ในปฏิกิริยาระหว่างก๊าซกับของแข็ง.	60
	2.7 การประยุกต์เทคนิคฟลูอิไดเซชั่นในอุตสาหกรรม.....	61
	2.8 ค่าคงที่จากการทดลองการถ่ายเทมวลของระบบต่างๆ.....	64
	2.9 สภาวะการทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ของตัวแปรใน การถ่ายเทความร้อนของนักวิจัยแต่ละกลุ่ม.....	68
	2.10 เลขไร้หน่วยของการทดลองการถ่ายเทความร้อน.....	69
	3.1 ผลการทดลองของ Johnson et al.(1977).....	73
	3.2 ตัวแปรที่ใช้ในการทดลองของ Kirubakaran,C.J(1974)....	75
	3.3 คุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่ได้ในการทดลองของบุญชัย ตระกูลมหชัย และคณะ(2534).....	80
	3.4 แสดงผลการทดลองของBoonchai Thakunmahachai et al.(1992).....	83
	5.1 คุณสมบัติโดยประมาณของกะลาและถ่านกะลาตาลโตนด.....	114
	5.2 คุณสมบัติโดยประมาณของถ่านกะลาตาลโตนดสำหรับการทดลอง ผลิตถ่านกัมมันต์ด้วย$ZnCl_2$.....	115

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

5.3 คุณสมบัติโดยประมาณของถ่านกะลาตาลโตนดสำหรับการทดลองผลิตถ่านกัมมันต์ด้วยก๊าซผสม..... 116

5.4 คุณสมบัติทางฟิสิกส์และความสามารถในการดูดซับของถ่านกะลาตาลโตนดสำหรับการทดลองผลิตถ่านกัมมันต์ด้วย$ZnCl_2$..... 117

5.5 คุณสมบัติทางฟิสิกส์และความสามารถในการดูดซับของถ่านกะลาตาลโตนดสำหรับการทดลองผลิตถ่านกัมมันต์ด้วยก๊าซผสม..... 117

5.6 ข้อมูลไอโซเทอมของวัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง..... 118

5.7 คุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่ได้จากถ่านที่เตรียมที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ..... 121

5.8 คุณสมบัติของสารละลาย$ZnCl_2$ที่ใช้ในการทดลอง..... 122

5.9 คุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่ได้เมื่อใช้ความเข้มข้นและปริมาณของ$ZnCl_2$แตกต่างกัน..... 123

5.10 คุณสมบัติของถ่านกัมมันต์เมื่อแช่และไม่แช่สารละลาย$ZnCl_2$ขณะตั้งทิ้งไว้..... 124

5.11 คุณสมบัติของถ่านกัมมันต์เมื่อแช่สารละลาย$ZnCl_2$ เป็นระยะเวลาต่างๆ..... 125

5.12 ข้อมูลไอโซเทอมของถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการกระตุ้นด้วย$ZnCl_2$. 126

5.13 คุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการกระตุ้นด้วยก๊าซผสม..... 130

5.14 ข้อมูลไอโซเทอมของถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการกระตุ้นด้วยก๊าซผสม 132

6.1 สรุปคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์เมื่อใช้ตัวแปรที่เหมาะสมของแต่ละการทดลอง..... 142

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่

1.1 ลักษณะทั่วไปของต้นตาลโตนด..... 2

1.2 ลักษณะของผลตาลโตนดและกะลาตาลโตนด..... 3

2.1 แสดงตำแหน่งของอิเล็คตรอนของคาร์บอนที่เกิดจาก
เอสพี-2 ไฮบริดไดเซชั่น..... 11

2.2 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมี (ก)การเตรียมถ่านจาก
วัสดุทางการเกษตร (ข)การเตรียมถ่านกัมมันต์ด้วยซิงค์คลอไรด์. 12

2.3 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีของปฏิกิริยาการกระตุ้นด้วย
ก๊าซออกซิไดซ์ (ก)การจัดเรียงโครงสร้าง
(ข)การกำจัดโมเลกุลแปลกปลอม..... 13

2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายซิงค์คลอไรด์กับ
ค่าความเป็นกรดด่าง(pH)..... 15

2.5 ขั้นตอนการผลิตถ่านกัมมันต์ด้วย$ZnCl_2$..... 16

2.6 ขั้นตอนการผลิตถ่านกัมมันต์ด้วยก๊าซออกซิไดซ์..... 18

2.7 ผลของปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อปฏิกิริยาการกระตุ้น
ด้วยไอน้ำ..... 22

2.8 ผลของปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อปฏิกิริยาการกระตุ้นรวม. 22

2.9 เครื่องแอคติเวเตอร์แบบต่างๆ..... 24

2.10 ตัวอย่างการใช้ประโยชน์ถ่านกัมมันต์..... 29

2.11 เปรียบเทียบขนาดและการวางตัวของรูพรุนขนาดต่างๆ..... 30

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

2.12 เปรียบเทียบการกระจายขนาดรูพรุนของถ่านกัมมันต์จากวัตถุดิบและวิธีผลิตต่างๆ 31
2.13 โครงสร้างของถ่านกัมมันต์ 33
2.14 การเคลื่อนที่ของไพอิเล็คตรอนในโครงสร้างถ่านและถ่านกัมมันต์ 34
2.15 การเคลื่อนที่ของไพอิเล็คตรอนในโครงสร้างถ่านและถ่านกัมมันต์ที่มีอะตอมออกซิเจน 34
2.16 ตัวอย่างหมู่ฟังก์ชันนัลที่เป็นกรดบนผิวถ่านกัมมันต์ 35
2.17 ตัวอย่างปฏิกิริยาของถ่านกัมมันต์ที่มีผิวเป็นกรด 36
2.18 ตัวอย่างปฏิกิริยาการดูดซับโมเลกุลกรดด้วยถ่านกัมมันต์ที่มีผิวเป็นด่าง 37
2.19 เส้นไอโซเทอมของสารดูดซับชนิดต่างๆ 39
2.20 เส้นไอโซเทอมของถ่านกัมมันต์แบบต่างๆ 39
2.21 กราฟการดูดซับของไอเบนซีนที่อุณหภูมิต่างๆ 40
2.22 กราฟดีอาร์ 42
2.23 หลักการหาพื้นที่ผิว 44
2.24 ลักษณะกราฟตามสมการบีอีที 45
2.25 กราฟที 46
2.26 โครงสร้างของเมทธิลีนบลู 48
2.27 จลนพลศาสตร์ของการดูดซับเมทธิลีนบลู 48
2.28 สัมประสิทธิ์การดูดซับในรูพรุนขนาดเล็ก 52
2.29 สภาวะต่างๆของฟลูอิไดเซชั่น 54
2.30 เครื่องมือหาความเร็วต่ำสุดของการเกิดฟลูอิไดซ์ 57
2.31 กราฟหาความเร็วต่ำสุดของการเกิดฟลูอิไดซ์ 57

สารบัญรูป(ต่อ)

หน้า

2.32 โมเดลของการเกิดปฏิกิริยาอย่างต่อเนื่อง..... 62

2.33 ผลการทดลองของ Resnick และ White..... 63

2.34 ผลของความเร็วของตัวกลางต่อค่าสัมประสิทธิ์
การถ่ายเทความร้อน..... 66

2.35 กราฟที่ใช้หาค่า n ในการทดลองของ Wen และ Leva..... 68

3.1 เครื่องแอคติเวเตอร์ที่ใช้ในการทดลองของ
Nimomiya et al.(1974)..... 74

3.2 เครื่องแอคติเวเตอร์แบบฟลูอิไดซ์เบดของ
Kirubakaran,C.J(1974)..... 77

3.3 เครื่องแอคติเวเตอร์แบบเบดนิ่งของ
Kirubakaran,C.J(1974)..... 77

3.4 เตาหมุนที่ใช้ในการทดลองของ เกศรา นุตาลัย และคณะ(2531) 79

3.5 เครื่องคาร์โบไนเซอร์แบบฟลูอิไดซ์เบดในการทดลองของ
บุญชัย ตระกูลมหชัย และคณะ(2534)..... 81

3.6 เครื่องแอคติเวเตอร์แบบฟลูอิไดซ์เบดในการทดลองของ
บุญชัย ตระกูลมหชัย และคณะ(2534)..... 82

3.7 เครื่องคาร์โบไนเซอร์แบบเบดนิ่งในการทดลองของ
Boonchai Thakunmahachai et al.(1992)..... 83

3.8 เครื่องแอคติเวเตอร์แบบฟลูอิไดซ์เบดในการทดลองของ
นเรศ จันทร์เทียน และคณะ(2534)..... 85

3.9 เครื่องคาร์โบไนเซอร์แบบเบดนิ่งในการทดลองของ
นเรศ จันทร์เทียน และคณะ(2534)..... 86

4.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตถ่านกัมมันต์ด้วย$ZnCl_2$..... 89

สารบัญรูป(ต่อ)

หน้า

4.2 เครื่องคาร์โบไนเซอร์แบบเบดนิ่ง..... 100
4.3 เครื่องแอคติเวเตอร์แบบฟลูอิไดซ์เบด..... 101
4.3.1 ส่วนป้อนวัตถุดิบแบบสกรูของเครื่องแอคติเวเตอร์..... 103
4.3.2 ส่วนผลิตก๊าซเผาไหม้ของเครื่องแอคติเวเตอร์..... 103
4.3.3 ส่วนประกอบของหัวพ่นไฟของเครื่องแอคติเวเตอร์..... 104
4.3.4 ห้องเผาไหม้สมบูรณ์ของเครื่องแอคติเวเตอร์..... 104
4.3.5 ท่อส่งก๊าซเผาไหม้ร้อนของเครื่องแอคติเวเตอร์..... 105
4.3.6 วาล์วลดความดันไอน้ำของเครื่องแอคติเวเตอร์..... 105
4.3.7 เกจ์วัดความดันไอน้ำเข้าของเครื่องแอคติเวเตอร์..... 106
4.3.8 เครื่องดักไอน้ำของเครื่องแอคติเวเตอร์..... 106
4.3.9 ส่วนเกิดปฏิกิริยาของเครื่องแอคติเวเตอร์..... 107
4.3.10 การต่อที่วัดอุณหภูมิของส่วนเกิดปฏิกิริยาของ
เครื่องแอคติเวเตอร์..... 107
4.3.11 การพันขดลวดให้ความร้อนของส่วนที่เกิดปฏิกิริยาของ
เครื่องแอคติเวเตอร์..... 108
4.3.12 ท่อระบายควันของเครื่องแอคติเวเตอร์..... 108
4.3.13 ถังเก็บผลิตภัณฑ์ของเครื่องแอคติเวเตอร์..... 109
4.3.14 ปั๊มสุญญากาศของเครื่องแอคติเวเตอร์..... 109
4.3.15 เครื่องบันทึกการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของ
เครื่องแอคติเวเตอร์..... 110
4.3.16 แผงควบคุมของเครื่องแอคติเวเตอร์..... 110
5.1(ก) ถ่านกะลาตาลโตนดที่คาร์โบไนซ์ที่ 200 องศาเซลเซียส
นาน 2 ชั่วโมง(ข) กะลาตาลโตนดก่อนเผา..... 113

สารบัญรูป(ต่อ)

หน้า

5.2 ไอโซเทอมของกะลาตาลโตนด..... 119

5.3 ไอโซเทอมของถ่านกะลาตาลโตนดสำหรับกระตุ้นด้วย$ZnCl_2$.... 119

5.4 ไอโซเทอมของถ่านกะลาตาลโตนดสำหรับกระตุ้นด้วยก๊าซผสม... 119

5.5 ไอโซเทอมของถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการกระตุ้นด้วย$ZnCl_2$
จากกะลาตาลโตนด และจากถ่านกะลาตาลโตนด..... 127

5.6 การเปลี่ยนแปลงขณะเกิดปฏิกิริยาการกระตุ้นด้วยก๊าซผสม..... 128

5.7 ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการกระตุ้นด้วยก๊าซผสม..... 129

5.8 ถ่านกัมมันต์ซึ่งคัดเลือกจากผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการกระตุ้นด้วย
ก๊าซผสม..... 129

5.9 ไอโซเทอมของถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการกระตุ้นด้วยก๊าซผสม..... 133

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คำอธิบายสัญญลักษณ์และคำย่อ

$^{\circ}A$ = อังสตรอม(Angstrom)เป็นหน่วยวัดความยาวมีค่าเท่ากับ 10^{-10} ม.

ASH = ค่าเถ้า(Ash) มีหน่วยเป็นร้อยละโดยน้ำหนัก

BD = ค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตร(Bulk density) มีหน่วยเป็น กรัมต่อซีซี

$CaCl_2$ = แคลเซียมคลอไรด์

FC = ค่าถ่านคงตัว(Fixed carbon) มีหน่วยเป็นร้อยละโดยน้ำหนัก

HCl = กรดไฮโดรคลอริก

H_3PO_4 = กรดฟอสฟอริก(Phosphoric acid)

IA = ค่าไอโอดีน(Iodine adsorption number) มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อกรัมของถ่านกัมมันต์

M = ค่าความชื้น(Moisture)มีหน่วยเป็นร้อยละโดยน้ำหนัก

N = นอร์มัล(Normal)เป็นหน่วยความเข้มข้นของสารละลาย มีหน่วยเป็นน้ำหนักกรัมสมมูลย์ต่อสารละลาย 1 ลิตร

N_A = เลขอาโวกาโด(Avogado number) เป็นค่าคงที่ มีค่าเท่ากับ $6.023X10^{23}$ โมเลกุลต่อโมล

NaOH = โซเดียมไฮดรอกไซด์

Na_2CO_3 = โซเดียมคาร์โบเนต

P/P_o = ความดันสัมพัทธ์(Relative pressure)เป็นความดันของสารถูกดูดซับ ณ จุดสมดุลของการดูดซับเทียบกับความดันมาตรฐาน ในงานวิจัยนี้ใช้ความดันไอของไนโตรเจนเหลวเป็นความดันมาตรฐาน

S_{BET} = พื้นที่ผิวจำเพาะของรูพรุนทั้งหมด(Total specific surface area) มีหน่วยเป็น ตารางเมตรต่อกรัมของถ่านกัมมันต์

S_{mp} = พื้นที่ผิวจำเพาะของรูพรุนขนาดเล็ก(Micropore specific surface area) มีหน่วยเป็น ตารางเมตรต่อกรัมของถ่านกัมมันต์

S_{s} = พื้นที่ผิวจำเพาะของรูพรุนขนาดกลาง(Mesopore specific surface area) มีหน่วยเป็น ตารางเมตรต่อกรัมของถ่านกัมมันต์

VCM = ค่าสารระเหยที่เผาไหม้ได้(Volatile combustible matter) มีหน่วยเป็นร้อยละโดยน้ำหนัก

Y = ร้อยละของผลิตภัณฑ์ที่ได้(Yield)มีหน่วยเป็นร้อยละโดยน้ำหนักของกะลาตาลโตนด

$ZnCl_2$ = ซิงค์คลอไรด์(Zinc chloride)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย