

การดูดซับออกซิเจนและไนโตรเจนด้วยถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากกะลามะพร้าว
โดยการกระตุ้นด้วยซิงก์คลอไรด์

นาย เกรียงศักดิ์ กิตติพิมาน



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2542
ISBN 974-334-878-6
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ADSORPTION OF OXYGEN AND NITROGEN WITH ACTIVATED CARBONS
FROM COCONUT SHELL ACTIVATED BY ZINC CHLORIDE

Mr. Kriangsak Kittiphiman

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Chemical Engineering
Department of Chemical Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 1999
ISBN 974-334-878-6

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การดูดซับออกซิเจนและไนโตรเจนด้วยถ่านกัมมันต์ที่เตรียม
จากกะลามะพร้าวโดยการกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์

โดย

นาย เกรียงศักดิ์ กิตติพิमान


ภาควิชา

วิศวกรรมเคมี

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

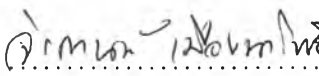
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เตชา ฉัตรศิริเวช

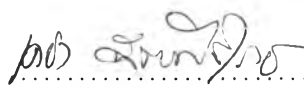
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการ
ศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต

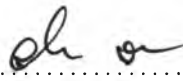
..... คณะบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

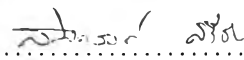
(ศาสตราจารย์ ดร. สมศักดิ์ บัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. จิรگانต์ เมืองนาโพธิ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เตชา ฉัตรศิริเวช)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิจิตรา จงวิศาล)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร. สมประสงค์ ศรีชัย)

เกียรติกิติ กิตติพิมาน : การดูดซับออกซิเจนและไนโตรเจนด้วยถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจาก
กะลามะพร้าวโดยการกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ (ADSORPTION OF OXYGEN AND
NITROGEN WITH ACTIVATED CARBONS FROM COCONUT SHELL
ACTIVATED BY ZINC CHLORIDE) อ.ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เดชา
ฉัตรศิริเวช, 67 หน้า. ISBN 974-334-878-6

ถ่านกัมมันต์ถูกผลิตจากถ่านกะลามะพร้าวด้วยสารละลายซิงค์คลอไรด์เข้มข้น 50 % โดยน้ำ
หนัก ที่อุณหภูมิ 500 °C ผลกระทบของอัตราส่วนของซิงค์คลอไรด์ต่อถ่าน และอัตราการเพิ่มอุณหภูมิ
ไปที่ 500°C โดยการหาลักษณะสมบัติของตัวดูดซับ การเพิ่มอัตราส่วนเป็น 2.5:1 พื้นที่ผิวจำเพาะ
เพิ่มขึ้น อย่างชัดเจนเป็น 870 m²/g ในขณะที่การดูดซับไอโอดีนเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยจาก 550 mg/g
- 600 mg/g ลักษณะสมบัติทั้งสองเพิ่มขึ้นกว่า 900 m²/g และ 900 mg/g ตามลำดับ โดยการลดอัตรา
การเพิ่มอุณหภูมิเป็น 50 °C ในเวลา 15 นาที

สำหรับการศึกษาการดูดซับ ไอโซเทอรัมของ ไนโตรเจนและออกซิเจน ถู่วัดที่อุณหภูมิ 50
°C โดยเส้นโค้งไหลผ่านทะเล และวัดที่อุณหภูมิห้องโดยวิธีเชิงปริมาตร โดยที่ไอโซเทอรัมของออกซิเจน
และไนโตรเจนสำหรับตัวดูดซับชนิดเดียวกันจะมีลักษณะคล้ายคลึงกัน อย่างไรก็ตามปริมาณการดูด
ซับด้วยวิธีแรก จะมีค่ามากกว่าวิธีหลัง

ภาควิชา วิศวกรรมเคมี
สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี
ปีการศึกษา 2542

ลายมือชื่อนิสิต
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

3970139821 :MAJOR CHEMICAL ENGINEERING

KEY WORD: ADSORPTION / OXYGEN / NITROGEN / CARBON

KRIANGSAK KITTIPHIMAN : ADSORPTION OF OXYGEN AND NITROGEN
WITH ACTIVATED CARBONS FROM COCONUT SHELL ACTIVATED BY ZINC
CHLORIDE. : THESIS ADVISOR ASSISTANT PROFESSOR DEACHA
CHATSIRIWECH, Ph.D, 67pp. ISBN 974-334-878-6

Activated carbons were produced from char of coconut shell with zinc chloride solution of 50 % w/w at 500 °C . Effect of the ratio of zinc chloride to char ,and rate of heating to 500 °C on adsorbent characteristics were investigated. Specific surface area could be increased significantly to 870 m²/g with an increase in the ratio to 2.5:1, while iodine adsorption was increased slightly from 550 mg/g - 600 mg/g. Both characteristics could be improved to over 900 m²/g and 900 mg/g, respectively, by reducing the heating rate to 50 degree celcius in 15 minute.

For adsorption investigation, isotherms of nitrogen and oxygen at 50 °C were measured from breakthrough curves and at room temperature were measured with volumetric method. All isotherms of nitrogen and oxygen on the same adsorbents were similar. However the amount adsorbed from the former method were higher than that from the latter.

ภาควิชา วิศวกรรมเคมี
สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี
ปีการศึกษา 2542

ลายมือชื่อนิสิต *ทศพรวิมล กิตติพิมาน*
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา... *ดร. ฉัตรวิมล*
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

กิตติกรรมประกาศ



ผู้เขียนขอขอบคุณอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เตชา ฉัตรศิริเวช ที่ให้ความเอาใจใส่และให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ สำหรับงานวิจัยด้วยดีตลอดมา

ขอขอบคุณประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร. จิรกานต์ เมืองนาโพธิ์ และกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิจิตรา จงวิศาล และ ดร. สมประสงค์ ศรีชัย สำหรับความช่วยเหลือ ตลอดจนข้อเสนอแนะต่างๆ ในการศึกษาวิจัย

ขอขอบคุณ บริษัท คาร์โบภาณูญ จำกัด ที่ให้การสนับสนุนถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในอุตสาหกรรม ในงานวิจัย

ขอขอบคุณ คุณพิบูลย์ เกิดโภคทรัพย์ เจ้าหน้าที่ศูนย์เครื่องมือวิเคราะห์ และเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการทุกท่านที่ช่วยให้คำแนะนำและอำนวยความสะดวกด้วยดีตลอดมา

ท้ายที่สุด ขอขอบคุณครอบครัว และเพื่อนๆ ที่ช่วยสนับสนุน และเป็นกำลังใจด้วยดีตลอดมา

สารบัญ

บทคัดย่อ(ภาษาไทย)	ง
บทคัดย่อ(ภาษาอังกฤษ).....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ค
สารบัญรูป	ณ
สารบัญตาราง	ญ
สัญลักษณ์และอักษรย่อ	1
1 บทนำ	2
2 ทฤษฎี	4
2.1 ตัวดูดซับในอุตสาหกรรม	4
2.1.1 อลูมินา	4
2.1.2 ซิลิกาเจล	5
2.1.3 ซีโอไลต์	5
2.1.4 ถ่านกัมมันต์	5
2.2 สมดุลการดูดซับ	7
2.2.1 สมดุลเชิงเส้น	7
2.2.2 สมดุลที่ไม่เป็นเส้นตรง	7
2.2.3 การวัดสมดุลการดูดซับ	8
2.3 กลไกการดูดซับ	9
3 การทดลอง	10
3.1 การผลิตถ่านกัมมันต์	10
3.1.1 วัสดุและอุปกรณ์	10
3.1.2 วิธีการเตรียม	10
3.2 การวัดสมดุลการดูดซับ	11

3.2.1	วัสดุและอุปกรณ์	11
3.2.2	แก๊สถูกดูดซับ	12
3.2.3	แก๊สพาหะ	12
3.2.4	การวัดสมมูลด้วยวิธีการไหลผ่านทะเล	12
3.2.5	การวัดสมมูลด้วยวิธีเชิงปริมาตร	13
4	ผลการทดลองและการวิเคราะห์	16
4.1	ลักษณะสมบัติของตัวดูดซับ	16
4.1.1	ลักษณะของถ่านกะลามะพร้าว	16
4.1.2	ผลกระทบของปริมาณซิงก์คลอไรด์	17
4.1.3	ผลกระทบของวิธีการเพิ่มอุณหภูมิ	18
4.1.4	ลักษณะพื้นผิวภายนอกของถ่าน	20
4.2	การดูดซับ	20
4.2.1	การประมาณข้อมูลการดูดซับจากเส้นโค้งผ่านทะเล	20
4.2.2	การประมาณข้อมูลการดูดซับจากวิธีเชิงปริมาตร	23
4.2.3	แบบจำลองของแลงเมียร์	23
4.2.4	ผลของวิธีการวัดสมมูลการดูดซับ	25
4.2.5	อัตราการดูดซับ	35
5	บทสรุปและข้อเสนอแนะ	39
5.1	บทสรุป	39
5.2	ข้อเสนอแนะ	39
	รายการอ้างอิง	41
	ภาคผนวก	42
ก	ตัวอย่างการคำนวณ	43
ก. 1	การหาค่าไอโอดีน	43
ก. 1.1	วัสดุและอุปกรณ์	43
ก. 1.2	การเตรียมสารเคมีสำหรับการทดลอง	43
ก. 1.3	การหาค่าความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลาย	44
ก. 1.4	วิธีการทดสอบการดูดซับไอโอดีน	45
ก. 2	การหาความพรุนของหอดูดซับ	46
ก. 3	ปริมาณการดูดซับการไหลผ่านทะเล	47
ก. 4	ปริมาณการดูดซับด้วยวิธีเชิงปริมาตร	49
ข	ข้อมูลการทดลอง	50
ข. 1	การดูดซับวิธีการไหลผ่านทะเล	50
ข. 2	การดูดซับวิธีการเชิงปริมาตร	54

ค	ลักษณะพื้นผิวภายนอกของตัวดูดซับ	64
	ประวัติผู้เขียน.....	67

สารบัญรูป

2.1	ไอโซเทิร์มเชิงเส้น	7
2.2	สมมูลแบบแลงเมียร์	8
3.1	แผนผังการติดตั้งเครื่องมือในการศึกษาการดูดซับ โดยวิธีการไหลผ่านทะลุหอดูดซับแบบต่อเนื่อง	13
3.2	แผนผังการติดตั้งเครื่องมือในการศึกษาการดูดซับ โดยวิธีเชิงปริมาตร	15
4.1	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง iodine adsorption กับระยะเวลาและอุณหภูมิในการกระตุ้นถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว	19
4.2	ลักษณะพื้นผิวภายนอกของตัวดูดซับที่ผลิตขึ้นในงานวิจัย	21
4.3	ลักษณะพื้นผิวภายนอกของตัวดูดซับใช้ในอุตสาหกรรม	22
4.4	เส้นโค้งไหลผ่านทะลุหอดูดซับถ่านซึ่งกระตุ้นด้วย CS10D	23
4.5	ความสัมพันธ์เชิงเส้นของแบบจำลองของแลงเมียร์	28
4.6	สมมูลการดูดซับด้วยถ่านซึ่งกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ในอัตราส่วนต่างๆโดยวิธีการไหลผ่านทะลุ ณ อุณหภูมิ 50 °C (บน) แก๊สออกซิเจน (ล่าง) แก๊สไนโตรเจน	29
4.7	สมมูลการดูดซับด้วยถ่านซึ่งกระตุ้นด้วยวิธีการเพิ่มอุณหภูมิต่างๆโดยวิธีการไหลผ่านทะลุ ณ อุณหภูมิ 50 °C(บน) แก๊สออกซิเจน (ล่าง) แก๊สไนโตรเจน	30
4.8	สมมูลการดูดซับถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมโดยวิธีการไหลผ่านทะลุ ณ อุณหภูมิ 50 °C(บน) แก๊สออกซิเจน (ล่าง) แก๊สไนโตรเจน	31
4.9	สมมูลการดูดซับด้วยถ่านซึ่งกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ในอัตราส่วนต่างๆโดยวิธีเชิงปริมาตร ณ อุณหภูมิ 27 °C (บน) แก๊สออกซิเจน (ล่าง) แก๊สไนโตรเจน	32
4.10	สมมูลการดูดซับด้วยถ่านซึ่งกระตุ้นด้วยวิธีการเพิ่มอุณหภูมิต่างๆโดยวิธีเชิงปริมาตร ณ อุณหภูมิ 27 °C(บน) แก๊สออกซิเจน (ล่าง) แก๊สไนโตรเจน	33
4.11	สมมูลการดูดซับด้วยตัวดูดซับที่ใช้ในอุตสาหกรรมโดยวิธีเชิงปริมาตร ณ อุณหภูมิ 27 °C(บน) แก๊สออกซิเจน (ล่าง) แก๊สไนโตรเจน	34
4.12	การเปรียบเทียบปริมาณการดูดซับแก๊สออกซิเจนและไนโตรเจนด้วยคาร์บอนโมเลกุลลาซีฟ กับข้อมูลจากเอกสารอ้างอิง	35
4.13	การดูดซับแก๊สออกซิเจนและไนโตรเจนด้วยคาร์บอนโมเลกุลลาซีฟ	36
4.14	การเปลี่ยนแปลงความดันในชุดอุปกรณ์การวัดสมมูลการดูดซับด้วยวิธีเชิงปริมาตรด้วยคาร์บอนโมเลกุลลาซีฟ (1)ออกซิเจน (2)ไนโตรเจน	37

4.15	การเปลี่ยนแปลงความดันในชุดอุปกรณ์การวัดสมมูลการดูดซับด้วยวิธีเชิงปริมาตรด้วย ถ่านกึ่งกลางกระตุ้นด้วยซิงก์คลอไรด์ในอัตราส่วน 1:1 ของออกซิเจนและไนโตรเจน	38
ก.1	ความสัมพันธ์ระหว่าง $\log F$ กับ $\log Re$	47
ค.1	ลักษณะพื้นผิวภายนอกของถ่านกึ่งกลางมะพร้าวที่กำลังขยาย 2000 เท่า	64
ค.2	ลักษณะพื้นผิวภายนอกของถ่านกึ่งกลางมะพร้าวกระตุ้นด้วยซิงก์คลอไรด์ อัตราส่วน 1 ต่อ 1 ที่อุณหภูมิ 500 C เวลา 1 ชั่วโมงที่กำลังขยาย 2000 เท่า	64
ค.3	ลักษณะพื้นผิวภายนอกของถ่านกึ่งกลางมะพร้าวกระตุ้นด้วยซิงก์คลอไรด์ อัตราส่วน 1.5 ต่อ 1 ที่อุณหภูมิ 500 C เวลา 1 ชั่วโมงที่กำลังขยาย 2000 เท่า	65
ค.4	ลักษณะพื้นผิวภายนอกของถ่านกึ่งกลางมะพร้าวกระตุ้นด้วยซิงก์คลอไรด์ อัตราส่วน 2 ต่อ 1 ที่อุณหภูมิ 500 C เวลา 1 ชั่วโมงที่กำลังขยาย 2000 เท่า	65
ค.5	ลักษณะพื้นผิวภายนอกของถ่านกึ่งกลางมะพร้าวกระตุ้นด้วยซิงก์คลอไรด์ อัตราส่วน 2.5 ต่อ 1 ที่อุณหภูมิ 500 C เวลา 1 ชั่วโมงที่กำลังขยาย 10000 เท่า	65
ค.6	ลักษณะพื้นผิวภายนอกของถ่านกัมมันต์ YAO 4/8 ที่กำลังขยาย 10000 เท่า	66
ค.7	ลักษณะพื้นผิวภายนอกของถ่านกัมมันต์ YAO 12/30 ที่กำลังขยาย 10000 เท่า	66
ค.8	ลักษณะพื้นผิวภายนอกของคาร์บอนโมเลกุลอาชีพที่กำลังขยาย 10000 เท่า	66

สารบัญตาราง

3.1	สมบัติทางกายภาพของแก๊สฮีเลียม ออกซิเจน และไนโตรเจน	12
4.1	ลักษณะสมบัติของซิงก์คลอไรด์	17
4.2	ค่าไอโอดีนและพื้นที่ผิว BET ของตัวดูดซับซึ่งกระตุ้นด้วยซิงก์คลอไรด์ปริมาณต่างๆ	17
4.3	ค่าไอโอดีนและพื้นที่ผิว BET ของตัวดูดซับที่ใช้ในอุตสาหกรรม	18
4.4	ค่าไอโอดีนและพื้นที่ผิว BET ของถ่านซึ่งผลิตด้วยวิธีการเพิ่มอุณหภูมิแตกต่างกัน	19
4.5	ลักษณะของหอดูดซับที่บรรจุตัวดูดซับซึ่งมีความยาว 0.11 เมตร	24
4.6	มวลตัวดูดซับและปริมาตรที่เหลือของชุดอุปกรณ์หลังบรรจุตัวดูดซับ	25
4.7	ค่าคงที่ในแบบจำลองของแลงเมียร์จากวิธีการไหลผ่านทะเลาะโดยการดูดซับออกซิเจนและไนโตรเจนด้วยถ่านชนิดต่างๆที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส	26
4.8	ค่าคงที่ในแบบจำลองของแลงเมียร์โดยการดูดซับด้วยวิธีเชิงปริมาตร	27
ข.1	ความดัน เวลาเฉลี่ย และปริมาณการดูดด้วยถ่านกะลามะพร้าว	50
ข.2	ความดัน เวลาเฉลี่ย และปริมาณการดูดด้วย CS10D	50
ข.3	ความดัน เวลาเฉลี่ย และปริมาณการดูดด้วย CS15D	51
ข.4	ความดัน เวลาเฉลี่ย และปริมาณการดูดด้วย CS20D	51
ข.5	ความดัน เวลาเฉลี่ย และปริมาณการดูดด้วย CS25D	52
ข.6	ความดัน เวลาเฉลี่ย และปริมาณการดูดด้วย CS10DS	52
ข.7	ความดัน เวลาเฉลี่ย และปริมาณการดูดด้วย CS10S	53
ข.8	ความดัน เวลาเฉลี่ย และปริมาณการดูดด้วย YAO 4/8	53
ข.9	ความดัน เวลาเฉลี่ย และปริมาณการดูดด้วย YAO 12/30	53
ข.10	ความดัน เวลาเฉลี่ย และปริมาณการดูดด้วย CMS	54
ข.11	ปริมาณแก๊สเข้าระบบ ความดัน และอุณหภูมิด้วย ถ่านกะลามะพร้าว โดยวิธีเชิงปริมาตร	54
ข.12	ปริมาณแก๊สเข้าระบบ ความดัน และอุณหภูมิด้วย CS10D โดยวิธีเชิงปริมาตร	55
ข.13	ปริมาณแก๊สเข้าระบบ ความดัน และอุณหภูมิด้วย CS15D โดยวิธีเชิงปริมาตร	56
ข.14	ปริมาณแก๊สเข้าระบบ ความดัน และอุณหภูมิด้วย CS20D โดยวิธีเชิงปริมาตร	57
ข.15	ปริมาณแก๊สเข้าระบบ ความดัน และอุณหภูมิด้วย CS25D โดยวิธีเชิงปริมาตร	57
ข.16	ปริมาณแก๊สเข้าระบบ ความดัน และอุณหภูมิด้วย CS10DS โดยวิธีเชิงปริมาตร	58
ข.17	ปริมาณแก๊สเข้าระบบ ความดัน และอุณหภูมิด้วย CS20S โดยวิธีเชิงปริมาตร	59
ข.18	ปริมาณแก๊สเข้าระบบ ความดัน และอุณหภูมิด้วย YAO4/8 โดยวิธีเชิงปริมาตร	60

ข.19 ปริมาณแก๊สเข้าระบบ ความดัน และอุณหภูมิด้วย YAO12/30 โดยวิธีเชิงปริมาตร . . .	61
ข.20 ปริมาณแก๊สเข้าระบบ ความดัน และอุณหภูมิด้วย คาร์บอนโมเลกุลลาซีพ โดยวิธีเชิง ปริมาตร	62

สัญลักษณ์และอักษรย่อ

สัญลักษณ์

c	ความเข้มข้นของตัวถูกละลาย (mol/cm ³)
D_p	เส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคตัวถูกละลาย (mm)
K_F	ค่าคงที่การดูดซับของฟรอยดลิช
K_H	ค่าคงที่การดูดซับของเฮนรี
K_L	ค่าคงที่การดูดซับของแลงเมียร์ (kPa ⁻¹)
P	ความดัน (kPa)
q	ปริมาณการดูดซับ (mmol/g)
q_s	ปริมาณการดูดซับสูงสุด (mmol/g)
T	อุณหภูมิ (°C)
t_m	เวลาเฉลี่ยที่ตัวถูกละลายอยู่ในหลอดดูดซับ (s)
V	ปริมาตร (m ³)

อักษรกรีก

ϵ	ความพรุนของส่วนบรรจุตัวถูกละลาย
ρ_b	ความหนาแน่นของตัวถูกละลายที่บรรจุแล้ว (g/cm ³)
ρ_p	ความหนาแน่นของตัวดูดซับ (g/cm ³)