

การดูดซับเมทานอลจากไบโอดีเซลโดยก้านกล้วยที่ปรับสภาพด้วยกรดฟอสฟอริก



นาย ธีรวุฒิ ศักดิ์สุภา

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

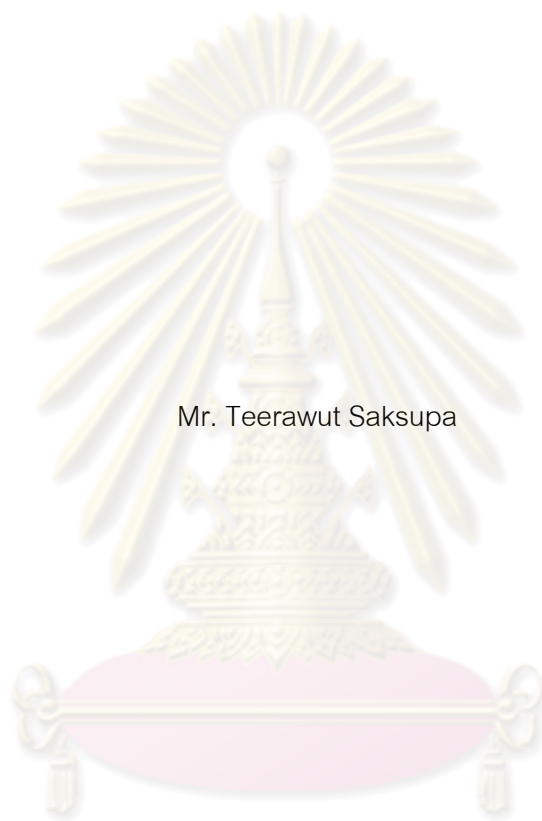
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2552

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ADSORPTION OF METHANOL FROM BIODIESEL BY BANANA STEM TREATED WITH
PHOSPHORIC ACID



Mr. Teerawut Saksupa

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Chemical Engineering

Department of Chemical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2009

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การดูดซับเมทานอลจากไบโอดีเซลโดยก้านกล้วยที่ปรับสภาพด้วยกรดฟอสฟอริก

โดย

นายธีรภูมิ ศักดิ์สุภา


สาขาวิชา

วิศวกรรมเคมี

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

รองศาสตราจารย์ ดร. เดชา ฉัตรศิริเวช

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโท

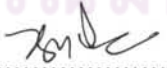

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร. บุญสม เลิศhiratวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. เหมือนเดือน พิศาลพงศ์)


..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร. เดชา ฉัตรศิริเวช)


..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร. เจ็ดศักดิ์ ไชยคุนา)


..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร. นุรักษ์ กฤษดา นุรักษ์)

ธีรวิมล ศักดิ์สุภา : การดูดซับเมทานอลจากไบโอดีเซลโดยก้านกล้วยที่ปรับสภาพด้วยกรดฟอสฟอริก. (ADSORPTION OF METHANOL FROM BIODIESEL BY BANANA STEM TREATED WITH PHOSPHORIC ACID) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รองศาสตราจารย์ ดร. เดชา ฉัตรศิริเวช, 80 หน้า.

เมทานอลในไบโอดีเซลถูกดูดซับที่อุณหภูมิห้องด้วยตัวดูดซับก้านกล้วยสดขนาด $2 \times 2 \times 2$ ลูกบาศก์เซนติเมตร ที่ถูกกระตุ้นด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริกเข้มข้นร้อยละ 5-20 โดยมวล ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที สมดุลการดูดซับของเมทานอลสอดคล้องกับแบบจำลองสมดุลดูดซับของเฮนรี และค่าคงที่สมดุลของเฮนรีจะมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 0.0241 กิโลกรัมไบโอดีเซลต่อกรัมตัวดูดซับ สำหรับการใส่สารละลายกรดฟอสฟอริกเข้มข้นร้อยละ 5 โดยมวล เป็น 0.083 กิโลกรัมไบโอดีเซลต่อกรัมตัวดูดซับ สำหรับการใส่สารละลายกรดฟอสฟอริกเข้มข้นร้อยละ 20 โดยมวล

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา..... วิศวกรรมเคมี.....
สาขาวิชา..... วิศวกรรมเคมี.....
ปีการศึกษา..... 2552.....

ลายมือชื่อนิสิต..... ธีรวิมล ศักดิ์สุภา.....
ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์..... อ. เดชา ฉัตรศิริเวช.....

5070306021 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING

KEYWORDS : ADSORPTION / METHANOL / BANANA STEM / PHOSPHORIC ACID

TEERAWUT SAKSUPA : ADSORPTION OF METHANOL FROM BIODIESEL
BY BANANA STEM TREATED WITH PHOSPHORIC ACID. THESIS ADVISOR :
ASSOC. PROF. DEACHA CHATSIRIWECH, Ph.D., 80 pp.

Adsorbents were synthesised from $2 \times 2 \times 2 \text{ cm}^3$ fresh banana stem by reacting with 5-20 % phosphoric solution at 200°C for 60 minutes. Adsorption property of methanol in biodiesel on such adsorbents was investigated at room temperature. Methanol adsorption equilibria were agreed with Henry's model. The adsorption equilibrium constant (K_H) was improved from 0.0241 kg biodiesel per g adsorbent for 5 % phosphoric solution to 0.083 kg biodiesel per g adsorbent for 20 % phosphoric solution.



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department : Chemical Engineering

Field of Study : Chemical Engineering

Academic Year : 2009

Student's Signature Teerawut Saksupa

Advisor's Signature Decha Chatta

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร. เดชา ฉัตรศิริเวช ที่ให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ และคอยเอาใจใส่ สำหรับงานวิจัยนี้ด้วยดีตลอดมา

ขอขอบคุณประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร. เหมือนเดือน พิศาลพงศ์ และกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ อาจารย์ ดร. เจ็ดศักดิ์ ไชยคุนา และ รองศาสตราจารย์ ดร. นุรักษ์ กฤษदानุรักษ์ สำหรับความช่วยเหลือ ตั้งแต่การตรวจสอบโครงร่างวิทยานิพนธ์ ตลอดจนข้อเสนอแนะต่าง ๆ ในการศึกษาวิจัยนี้

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการวิศวกรรมเคมีทุกท่าน ที่เอื้อเฟื้ออุปกรณ์และสถานที่ในการทดลอง ตลอดจนจบการศึกษาวิจัยนี้

ท้ายที่สุดนี้ ขอขอบคุณครอบครัว และเพื่อน ๆ ที่ช่วยสนับสนุน และให้กำลังใจด้วยดีตลอดมา



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฌ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตงานวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
1.5 วิธีดำเนินการวิจัย.....	3
2 แนวคิดและทฤษฎี.....	4
2.1 หลักการดูดซับ.....	4
2.1.1 กลไกการดูดซับ.....	4
2.1.2 การดูดซับด้วยแรงแคปิลารีในการดูดซับของเหลว.....	5
2.1.3 ประเภทของการดูดซับ.....	7
2.2 สมดุลการดูดซับ.....	7
2.2.1 แบบจำลองสมดุลการดูดซับ.....	9
2.3 ตัวดูดซับถ่านกัมมันต์.....	10
2.3.1 ชนิดของคุณสมบัติถ่านกัมมันต์.....	11
2.3.2 วัตถุประสงค์สำหรับผลิตตัวดูดซับชนิดถ่าน.....	13
2.3.3 การผลิตตัวดูดซับชนิดถ่าน.....	14
2.4 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	18
3 วิธีดำเนินงานวิจัย.....	20
3.1 การหาปริมาณเมทานอลในไบโอดีเซลด้วยซิลิกาเจล.....	20

บทที่	หน้า
3.2 การสังเคราะห์ตัวดูดซับ.....	20
3.3 การทดลองหาสมมูลการดูดซับของเมทานอลในโพลีเอทิลีน.....	21
4 ผลการศึกษาและการวิเคราะห์ข้อมูล.....	23
4.1 ผลการสังเคราะห์ตัวดูดซับ.....	23
4.2 การหาปริมาณเมทานอลในโพลีเอทิลีน.....	27
4.3 ผลสมมูลการดูดซับ.....	30
4.3.1 คำนวณปริมาณเมทานอลที่ดูดซับ โดยใช้ตัวดูดซับ-00.....	30
4.3.2 คำนวณปริมาณเมทานอลที่ดูดซับ โดยใช้ตัวดูดซับ-05.....	31
4.3.3 คำนวณปริมาณเมทานอลที่ดูดซับ โดยใช้ตัวดูดซับ-10.....	33
4.3.4 คำนวณปริมาณเมทานอลที่ดูดซับ โดยใช้ตัวดูดซับ-15.....	34
4.3.5 คำนวณปริมาณเมทานอลที่ดูดซับ โดยใช้ตัวดูดซับ-20.....	35
4.3.6 เปรียบเทียบการดูดซับเมทานอลโดยใช้ตัวดูดซับที่กระตุ้นด้วยสารละลาย กรดฟอสฟอริกที่เข้มข้นความเข้มข้นต่าง ๆ.....	36
4.4 ค่าคงที่สมมูลการดูดซับ.....	37
5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ.....	38
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	38
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	38
รายการอ้างอิง.....	39
ภาคผนวก.....	41
ภาคผนวก ก ข้อมูลประกอบในงานวิจัย.....	42
ภาคผนวก ข แบบจำลองสมมูลการดูดซับ.....	47
ภาคผนวก ค ข้อมูลการทดลอง.....	58
ภาคผนวก ง ปริมาณการดูดซับของตัวดูดซับ.....	75
ประวัติผู้เขียน.....	80

สารบัญญัตราจ

ตารางที่		หน้า
3.1	ชื่อย่อตัวอย่างตัวดูดซับที่สังเคราะห์ได้ในงานวิจัย.....	21
4.1	แสดงค่าคงที่ของสมการที่ใช้ทำนายในกราฟสอบเทียบ.....	28
4.2	แสดงปริมาณเมทานอลที่เหลือหลังถูกซิลิกาเจลดูดซับ.....	29
ก.1	ข้อมูลเปอร์เซ็นต์ความชื้นและสารละลายที่อยู่ในไบโอดีเซล.....	42
ค.1	ข้อมูลการสังเคราะห์ตัวดูดซับ โดยการกระตุ้นด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ.....	58
ค.2	ข้อมูลการสังเคราะห์ตัวดูดซับ โดยใช้เตาเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ.....	59
ค.3	ความสัมพันธ์ของกราฟสอบเทียบน้ำหนักซิลิกาเจลกับของผสมเฮกเซนกับเมทานอลที่ความเข้มข้นต่าง ๆ.....	59
ค.4	ความสัมพันธ์ของกราฟสอบเทียบน้ำหนักซิลิกาเจลกับของผสมไบโอดีเซลกับเมทานอลที่ความเข้มข้นต่าง ๆ.....	60
ค.5	ปริมาณคาร์บอนรวมของตัวที่ใช้สารละลายกรดฟอสฟอริกความเข้มข้นต่าง ๆ กระตุ้นที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส.....	61
ค.6	ปริมาณคาร์บอนรวมของตัวดูดซับที่กระตุ้นด้วยการใช้ความร้อนที่อุณหภูมิต่าง ๆ.....	61
ค.7	น้ำหนักซิลิกาเจลที่ใช้วัดสมมูลการดูดซับของตัวดูดซับ-00 ณ เวลาต่าง ๆ ที่สัดส่วนตัวดูดซับต่อน้ำหนักไบโอดีเซล 1:12 กรัม.....	62
ค.8	น้ำหนักซิลิกาเจลที่ใช้วัดสมมูลการดูดซับของตัวดูดซับ-00 ณ เวลาต่าง ๆ ที่สัดส่วนตัวดูดซับต่อน้ำหนักไบโอดีเซล 1:15 กรัม.....	62
ค.9	น้ำหนักซิลิกาเจลที่ใช้วัดสมมูลการดูดซับของตัวดูดซับ-00 ณ เวลาต่าง ๆ ที่สัดส่วนตัวดูดซับต่อน้ำหนักไบโอดีเซล 1:18 กรัม.....	63
ค.10	น้ำหนักซิลิกาเจลที่ใช้วัดสมมูลการดูดซับของตัวดูดซับ-00 ณ เวลาต่าง ๆ ที่สัดส่วนตัวดูดซับต่อน้ำหนักไบโอดีเซล 1:18 กรัม.....	63
ค.11	น้ำหนักซิลิกาเจลที่ใช้วัดสมมูลการดูดซับของตัวดูดซับ-00 ณ เวลาต่าง ๆ ที่สัดส่วนตัวดูดซับต่อน้ำหนักไบโอดีเซล 1:24 กรัม.....	64
ค.12	น้ำหนักซิลิกาเจลที่ใช้วัดสมมูลการดูดซับของตัวดูดซับ-05 ณ เวลาต่าง ๆ ที่สัดส่วนตัวดูดซับต่อน้ำหนักไบโอดีเซล 1:12 กรัม.....	64

ตารางที่		หน้า
ค.27	น้ำหนักซิลิกาเจลที่ใช้วัดสมมูลการดูดซับของตัวดูดซับ-20 ณ เวลาต่าง ๆ ที่ สัดส่วนตัวดูดซับต่อน้ำหนักไบโอดีเซล 1:12 กรัม.....	72
ค.28	น้ำหนักซิลิกาเจลที่ใช้วัดสมมูลการดูดซับของตัวดูดซับ-20 ณ เวลาต่าง ๆ ที่ สัดส่วนตัวดูดซับต่อน้ำหนักไบโอดีเซล 1:15 กรัม.....	72
ค.29	น้ำหนักซิลิกาเจลที่ใช้วัดสมมูลการดูดซับของตัวดูดซับ-20 ณ เวลาต่าง ๆ ที่ สัดส่วนตัวดูดซับต่อน้ำหนักไบโอดีเซล 1:18 กรัม.....	73
ค.30	น้ำหนักซิลิกาเจลที่ใช้วัดสมมูลการดูดซับของตัวดูดซับ-20 ณ เวลาต่าง ๆ ที่ สัดส่วนตัวดูดซับต่อน้ำหนักไบโอดีเซล 1:21 กรัม.....	73
ค.31	น้ำหนักซิลิกาเจลที่ใช้วัดสมมูลการดูดซับของตัวดูดซับ-20 ณ เวลาต่าง ๆ ที่ สัดส่วนตัวดูดซับต่อน้ำหนักไบโอดีเซล 1:24 กรัม.....	74
ง.1	ปริมาณสมมูลการดูดซับจากการทดลองกรณีใช้ตัวดูดซับ-00 และที่แบบจำลอง สมมูลดูดซับต่าง ๆ.....	75
ง.2	ปริมาณสมมูลการดูดซับจากการทดลองกรณีใช้ตัวดูดซับ-05 และที่แบบจำลอง สมมูลดูดซับต่าง ๆ.....	76
ง.3	ปริมาณสมมูลการดูดซับจากการทดลองกรณีใช้ตัวดูดซับ-10 และที่แบบจำลอง สมมูลดูดซับต่าง ๆ.....	77
ง.4	ปริมาณสมมูลการดูดซับจากการทดลองกรณีใช้ตัวดูดซับ-15 และที่แบบจำลอง สมมูลดูดซับต่าง ๆ.....	78
ง.5	ปริมาณสมมูลการดูดซับจากการทดลองกรณีใช้ตัวดูดซับ-20 และที่แบบจำลอง สมมูลดูดซับต่าง ๆ.....	79

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1.1	แผนผังการผลิตไบโอดีเซล.....	2
2.1	กลไกการดูดซับ.....	5
2.2	กลไกการดูดซับของก๊าซและของเหลวในรูพรุน.....	5
2.3	วิธีวัดความตึงผิวโดยใช้หลอดคะปิลารี.....	6
2.4	แสดงรูปแบบไอโซเทอมการดูดซับ.....	8
4.1	ค่าปริมาณคาร์บอนของตัวดูดซับ ที่ใช้เตาเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ เป็นเวลา 60 นาที.....	23
4.2	ร้อยละผลได้ของตัวดูดซับ ที่ใช้เตาเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ เป็นเวลา 60 นาที.....	24
4.3	ค่าปริมาณคาร์บอนรวมของตัวดูดซับอบที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที กระตุ้นด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ.....	24
4.4	ร้อยละผลได้ของตัวดูดซับ อบที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที กระตุ้นด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ.....	25
4.5	ปริมาณการดูดความชื้นของตัวดูดซับที่ได้จากสังเคราะห์.....	25
4.6	ปริมาณกรดในตัวดูดซับที่ได้จากการกระตุ้นด้วย สารละลายกรดฟอสฟอริก ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ.....	26
4.7	กราฟความสัมพันธ์สอปเทียบน้ำหนักซิลิกาเจลกับของผสมของเมทานอลที่ความเข้มข้นต่าง ๆ.....	28
4.8	แสดงเส้นโค้งมาตรฐานที่มีความสัมพันธ์กับพื้นที่ได้กราฟจากผลวิเคราะห์และร้อยละความเข้มข้นเมทานอลในเฮกเซน.....	29
4.9	แสดงสมดุลการดูดซับของเมทานอลในไบโอดีเซล โดยใช้ตัวดูดซับ-00.....	30
4.10	แสดงสมดุลการดูดซับของเมทานอลในไบโอดีเซล โดยใช้ตัวดูดซับ-05.....	31
4.11	แสดงสมดุลการดูดซับของเมทานอลในไบโอดีเซล โดยใช้ตัวดูดซับ-10.....	33
4.12	แสดงสมดุลการดูดซับของเมทานอลในไบโอดีเซล โดยใช้ตัวดูดซับ-15.....	34
4.13	แสดงสมดุลการดูดซับของเมทานอลในไบโอดีเซลโดยใช้ตัวดูดซับ-20.....	35

ภาพที่	หน้า
4.14 ค่าคงที่สมดุลการดูดซับของตัวดูดซับที่เตรียมโดยเปลี่ยนความเข้มข้นกรดให้สูงขึ้น.....	37
ก.1 ผลการวิเคราะห์ของผสมเมทานอลในเฮกเซนมาตรฐานที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.1 โดยมวล.....	43
ก.2 ผลการวิเคราะห์ของผสมเมทานอลในเฮกเซนมาตรฐานที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.3 โดยมวล.....	43
ก.3 ผลการวิเคราะห์ของผสมเมทานอลในเฮกเซนมาตรฐานที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 โดยมวล.....	44
ก.4 ผลการวิเคราะห์ของผสมเมทานอลในเฮกเซนมาตรฐานที่ความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยมวล.....	44
ก.5 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างของผสมเมทานอลในเฮกเซนที่ความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยมวล หลังถูกดูดซับด้วยซิลิกาเจล.....	45
ก.6 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างของผสมเมทานอลในเฮกเซนที่ความเข้มข้นร้อยละ 3 โดยมวล หลังถูกดูดซับด้วยซิลิกาเจล.....	45
ก.7 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างของผสมเมทานอลในเฮกเซนที่ความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยมวล หลังถูกดูดซับด้วยซิลิกาเจล.....	46
ข.1 แสดงการพอดีเส้นโค้งข้อมูลสมดุลการดูดซับแบบเฮนรี กรณีใช้ตัวดูดซับ-00.....	48
ข.2 แสดงการพอดีเส้นโค้งข้อมูลสมดุลการดูดซับแบบแลงมัวร์ กรณีใช้ตัวดูดซับ-00.....	48
ข.3 แสดงการพอดีเส้นโค้งข้อมูลสมดุลการดูดซับแบบฟรุนดริช กรณีใช้ตัวดูดซับ-00.....	49
ข.4 แสดงการพอดีเส้นโค้งข้อมูลสมดุลการดูดซับแบบเฮนรี กรณีใช้ตัวดูดซับ-05.....	50
ข.5 แสดงการพอดีเส้นโค้งข้อมูลสมดุลการดูดซับแบบแลงมัวร์ กรณีใช้ตัวดูดซับ-05.....	50
ข.6 แสดงการพอดีเส้นโค้งข้อมูลสมดุลการดูดซับแบบฟรุนดริช กรณีใช้ตัวดูดซับ-05.....	51

ภาพที่	หน้า
ข.7 แสดงการพอดีเส้นโค้งข้อมูลสมดุการดูดซับแบบเฮนรี กรณีใช้ ตัวดูดซับ-10.....	52
ข.8 แสดงการพอดีเส้นโค้งข้อมูลสมดุการดูดซับแบบแลงมัวร์ กรณีใช้ ตัวดูดซับ-10.....	52
ข.9 แสดงการพอดีเส้นโค้งข้อมูลสมดุการดูดซับแบบฟรุนดริช กรณีใช้ ตัวดูดซับ-10.....	53
ข.10 แสดงการพอดีเส้นโค้งข้อมูลสมดุการดูดซับแบบเฮนรี กรณีใช้ ตัวดูดซับ-15.....	54
ข.11 แสดงการพอดีเส้นโค้งข้อมูลสมดุการดูดซับแบบแลงมัวร์ กรณีใช้ ตัวดูดซับ-15.....	54
ข.12 แสดงการพอดีเส้นโค้งข้อมูลสมดุการดูดซับแบบฟรุนดริช กรณีใช้ ตัวดูดซับ-15.....	55
ข.13 แสดงการพอดีเส้นโค้งข้อมูลสมดุการดูดซับแบบเฮนรี กรณีใช้ ตัวดูดซับ-20.....	56
ข.14 แสดงการพอดีเส้นโค้งข้อมูลสมดุการดูดซับแบบแลงมัวร์ กรณีใช้ ตัวดูดซับ-20.....	56
ข.15 แสดงการพอดีเส้นโค้งข้อมูลสมดุการดูดซับแบบฟรุนดริช กรณีใช้ ตัวดูดซับ-20.....	57

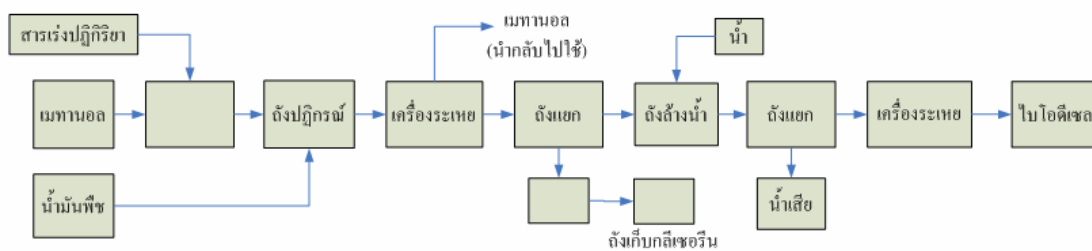
บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันน้ำมัน ไฟฟ้า ก๊าซธรรมชาติ นับเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญมาก ในการประกอบธุรกิจ และใช้ในชีวิตประจำวัน ซึ่งการใช้พลังงานเหล่านี้มีแต่เพิ่มสูงขึ้นประเทศไทยมีการนำเข้าพลังงานเชิงพาณิชย์ประมาณร้อยละ 79 ของการใช้พลังงานรวมของประเทศ โดยเฉพาะน้ำมันดิบมีปริมาณนำเข้ามากถึงร้อยละ 85 ของการนำเข้าพลังงานเชิงพาณิชย์ [1] การใช้ น้ำมันเชื้อเพลิงนี้มีความต้องการใช้น้ำมันดีเซลคิดเป็นสัดส่วนถึงกว่าร้อยละ 44.7 [1] ของการใช้น้ำมันสำเร็จรูปโดยกลุ่มผู้ใช้น้ำมันดีเซลส่วนใหญ่อยู่ในภาคการขนส่ง และภาคเกษตรกรรม ด้วยราคาน้ำมันดิบและน้ำมันสำเร็จรูปของโลกมีแนวโน้มปรับตัวสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทำให้เกิดผลกระทบต่อประชาชนส่วนใหญ่ตามมาและประเทศต้องสูญเสียเงินตราต่างประเทศในการจัดหา น้ำมันเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้น [1] จึงมีการรณรงค์ประหยัดพลังงาน เพื่อลดการนำเข้าพลังงาน และใช้พลังงานอย่างคุ้มค่า การใช้พลังงานทดแทนจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่ง โดยเฉพาะอย่างยิ่งจากพลังงานหมุนเวียน (renewable energy) ที่สามารถหาได้ในท้องถิ่น เช่น การนำน้ำมันพืชมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซล เป็นต้น

ไบโอดีเซล เป็นสารเอสเทอร์ที่สังเคราะห์ด้วยปฏิกิริยาทางเคมี ระหว่างน้ำมันพืช หรือไขมันสัตว์ กับแอลกอฮอล์ โดยใช้ด่าง หรือกรดเป็นสารเร่งปฏิกิริยา เรียกว่า ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน (Transesterification) แอลกอฮอล์ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยานิยมใช้เมทานอล และใช้ในปริมาณที่มากเกินพอ เพื่อให้ไขมันพืชเกิดปฏิกิริยาได้อย่างสมบูรณ์ ได้ผลิตภัณฑ์ออกเป็นสองส่วนคือ เมทิลเอสเทอร์กับกลีเซอรอล หลังจากปฏิกิริยาเกิดเสร็จสิ้นแล้ว ต้องแยกเมทานอลที่เหลือนำกลับมาใช้ใหม่ ในการหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่นั้น อาจทำการกลั่นเมทานอลกลับคืนจากส่วนก่อนการแยกส่วนผลิตภัณฑ์ หรือหลังจากแยกส่วนเป็นไบโอดีเซล และกลีเซอรอลแล้วก็ได้ [2] ในขั้นตอนการกลั่นระเหยเป็นการบวนการที่ใช้พลังงานมาก หากมีวิธีที่สามารถลดการใช้พลังงานในส่วนนี้ลงได้ก็จะเป็นอีกทางที่สามารถลดค่าใช้จ่ายลงได้



รูปที่ 1.1 แผนผังการผลิตไบโอโอดีเซล [2]

ถ่านดูดซับคาร์บอนถูกใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอย่างแพร่หลาย เช่น ใช้ในการแยกก๊าซผสมด้วยการดูดซับขึ้นกับสมดุลการดูดซับ หรือใช้กำจัดสิ่งปนเปื้อนออกจากก๊าซ/ของเหลว เป็นต้น โดยทั่วไปถ่านกัมมันต์จะมีพื้นที่ผิวประมาณ 800–1500 ตารางเมตรต่อกรัม ซึ่งวิเคราะห์หาได้โดยวิธีการวัดพื้นที่ผิว [3] การผลิตถ่านกัมมันต์ ถ่านหินเป็นวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตตัวดูดซับคาร์บอนที่สำคัญ ปัจจุบันวัตถุดิบทางการเกษตรที่เหลือใช้ ได้ถูกนำมาใช้ในการผลิตตัวดูดซับคาร์บอน (carbon adsorbent) และถูกพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ตัวอย่างเช่น เปลือกถั่วลิสง เปลือกไม้ยูคาลิปตัส ข้าวฟ่าง เป็นต้น การสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์ประกอบด้วยสองกระบวนการคือ คาร์บอนไนเซชัน (carbonization) และก๊าซซิฟิเคชัน (gasification) โดยกระบวนการคาร์บอนไนเซชันสำหรับถ่านหิน และผลิตภัณฑ์การเกษตร จะใช้อุณหภูมิ 400-600 องศาเซลเซียส ส่วนกระบวนการก๊าซซิฟิเคชัน จะใช้อุณหภูมิ 800-1000 องศาเซลเซียส หรือสูงกว่านั้น เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวดูดซับ การใช้กรดในการสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์เป็นอีกทางเลือกหนึ่ง ซึ่งส่งผลให้กระบวนการคาร์บอนไนเซชัน และก๊าซซิฟิเคชันเกิดขึ้นพร้อมกัน ทำให้สามารถลดพลังงานที่ใช้ในการสังเคราะห์ลงได้

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. หาสมดุลการดูดซับเมทานอลที่เหลือในไบโอโอดีเซลผลิตจากน้ำมันปาล์ม โดยใช้ตัวดูดซับที่ทำจากกากถั่วลิสง

2. หาแบบจำลองสมดุลการดูดซับที่เหมาะสม

ขอบเขตของการวิจัย

1. ในงานวิจัยใช้สารละลายกรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 5, 10, 15 และ 20 โดยมวล ในการสังเคราะห์ตัวดูดซับ

2. อุณหภูมิที่ใช้สังเคราะห์ตัวดูดซับอยู่ที่ 200 องศาเซลเซียส

3. สัดส่วนน้ำหนักของก้านกล้วยต่อน้ำหนักของสารละลายกรดที่แช่ คือ 1:3
โดยมวล
4. หาสมดุลการดูดซับโดยเปลี่ยนแปลงน้ำหนักไบโอดีเซลต่อน้ำหนักตัวดูดซับที่ผลิตขึ้น ดังนี้ น้ำหนักไบโอดีเซล 12, 15, 18, 21 และ 24 กรัม ต่อ น้ำหนักตัวดูดซับ 1 กรัม

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบสมดุลการดูดซับของเมทานอลในเมทิลเอสเทอร์
2. เป็นทางเลือกสำหรับการใช้วัตถุดิบจากธรรมชาติในการสังเคราะห์ตัวดูดซับ

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ศึกษาทฤษฎีการดูดซับ และการสังเคราะห์ตัวดูดซับชนิดถ่าน
2. เตรียมอุปกรณ์การทดลอง ออกแบบการทดลอง และดำเนินการทดลอง คือ
 - สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักซิลิกาเจลกับของผสมของเมทานอลที่ความเข้มข้นต่าง ๆ
 - สังเคราะห์ตัวดูดซับ โดยใช้สารละลายกรดฟอสฟอริกเข้มข้นร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 โดยมวล เป็นตัวกระตุ้น และอบที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส
 - วัดสมดุลการดูดซับของเมทานอล โดยใช้น้ำมันไบโอดีเซลน้ำหนัก 12, 15, 18, 21 และ 24 กรัม เติมตัวดูดซับที่สังเคราะห์ได้ โดยกำหนดให้น้ำหนักคงที่
4. รวบรวมข้อมูลการทดลอง
5. วิเคราะห์ข้อมูลการทดลอง
6. สรุปผลการทดลอง

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

แนวคิดและทฤษฎี

2.1 หลักการดูดซับ [4]

การดูดซับเป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้แยกองค์ประกอบที่ต้องการออกจากของผสม เกิดจากสารสองชนิดมาสัมผัสกันทำให้โมเลกุลหรืออะตอมมีความเข้มข้นเฉพาะบริเวณระหว่างผิวสัมผัส เรียกว่าปรากฏการดูดซับ (Adsorption) เมื่อพิจารณาระบบดูดซับที่ประกอบด้วยของไหล และของแข็ง

- ของแข็งที่สามารถดูดซับโมเลกุลของของเหลว หรือโมเลกุลของก๊าซไว้ เรียกว่าตัวดูดซับ (Adsorbent)

- ของเหลวหรือก๊าซ เรียกว่าเป็น สารถูกดูดซับ (Adsorbate)

- สารถูกดูดซับ ที่ถูกดูดซับไว้ในผิวของแข็ง หลุดออกจากผิวของสารดูดซับกลับเข้าสู่วัฏภาคของก๊าซ เพื่อให้สามารถนำเอาตัวดูดซับมาใช้ใหม่ เรียกว่า การคายกลับ (Desorption) ซึ่งอาจทำได้โดยใช้ความร้อน หรือการลดความดัน

2.1.1 กลไกการดูดซับ

การดูดซับแบ่งเป็น 3 ขั้นตอน สำหรับการดูดซับก๊าซ คือ

ขั้นที่หนึ่ง

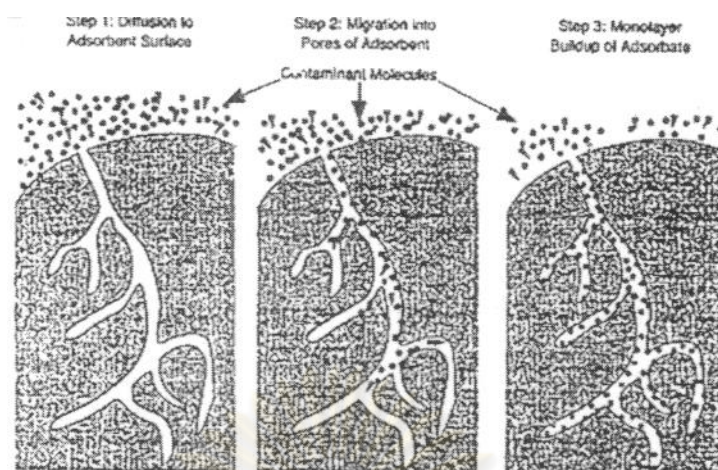
โมเลกุลของก๊าซแพร่ไปยังผิวภายนอกของสารดูดซับ

ขั้นที่สอง

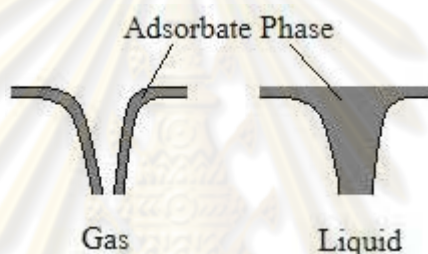
เคลื่อนที่เข้าไปยังผิวภายในรูพรุนซึ่งเป็นกระบวนการแพร่ อาจโดยวิธีแพร่เข้าทางรูพรุนหรือทางผิว (Surface migration) หรือโดยแรงแคปิลลารี (Capillary force for liquid only)

ขั้นที่สาม

คือการเกาะติดกับพื้นผิวซึ่งขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่แท้จริงของการดูดซับ ขั้นตอนนี้เกิดขึ้นเร็วมากเมื่อเทียบกับสองขั้นตอนแรก



รูปที่ 2.1 กลไกการดูดซับ

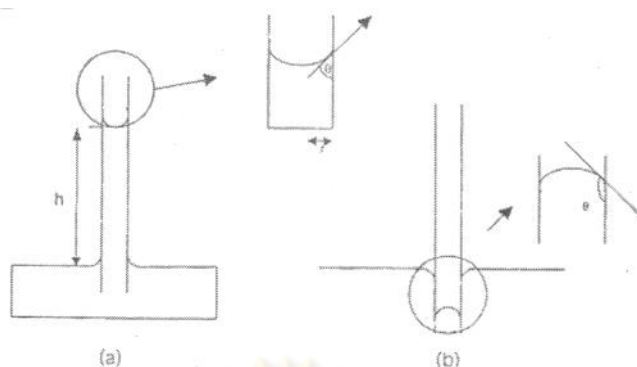


รูปที่ 2.2 กลไกการดูดซับของก๊าซและของเหลวในรูพรุน

สำหรับการดูดซับของเหลวนั้นมีเพียงขั้นตอนการแพร่ไปยังผิวภายนอกตัวดูดซับ และการเคลื่อนที่เข้ารูพรุนตัวดูดซับโดยแรงแคปิลลารี (Capillary force) ไม่เกิดขั้นตอนการเกาะติดพื้นผิว

2.1.2 การดูดซับด้วยแรงแคปิลลารีในการดูดซับของเหลว

การดูดซับด้วยแรงแคปิลลารีนั้นขึ้นกับแรงตึงผิวของสาร แรงตึงผิวของสารเกิดจากโมเลกุลของของเหลวเคลื่อนที่ตลอดเวลา ภายใต้อิทธิพลของโมเลกุลรอบด้านเกือบเท่ากันทุกทิศทาง ส่วนโมเลกุลที่ผิวถูกดึงดูดด้วยโมเลกุลที่อยู่ด้านข้างและด้านล่าง ทำให้ดูเหมือนว่าโมเลกุลนั้นถูกแรงดึงเข้าภายในของเหลวมากกว่าแรงนี้จะพยายามลดพื้นที่ผิวของของเหลวให้เหลือน้อยที่สุดเท่าที่จะน้อยได้ เพื่อลดจำนวนโมเลกุลที่ผิวหน้าของของเหลวให้น้อยลง จึงเกิดความตึงผิวขึ้น การวัดความตึงผิวของของเหลววิธีหนึ่งที่ใช้คือ จุ่มหลอดคะปิลลารีรัศมี r ลงในของเหลวที่ต้องการวัดความตึงผิว แสดงดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 วิธีวัดความตึงผิวโดยใช้หลอดคะปิลลารี

- (a) ปรากฏการณ์โดยทั่วไปของของเหลวในหลอดคะปิลลารี
 (b) เมื่อแรงดึงดูดของโมเลกุลที่เหมือนกันมากกว่าแรงดึงดูดของโมเลกุลที่ต่างกัน

ค่าแรงตึงผิวสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\gamma = \frac{h\rho gr}{2 \cos \theta} \quad (2.1)$$

ของเหลวส่วนมากพบว่าสามารถไหลสูงขึ้นไปในหลอดคะปิลลารีได้ แต่มีของเหลวบางอย่างไม่เกิดปรากฏการณ์แบบนี้ เช่นปรอท ที่เป็นเช่นนี้อธิบายได้จากแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุล แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลสารที่เหมือนกันเรียกว่า แรงโคฮีชัน (Cohesion) แรงดึงดูดโมเลกุลสารที่ต่างกันเรียกว่า แรงแอดฮีชัน (Adhesion) ถ้าแรงแอดฮีชันแข็งแรงกว่าแรงโคฮีชันของเหลวจะถูกดึงขึ้นไปตามผนัง แต่ถ้าแรงโคฮีชันแข็งแรงกว่าแรงแอดฮีชันของเหลวในหลอดคะปิลลารีจะต่ำลง ความแตกต่างระหว่างแรงโคฮีชันและแรงแอดฮีชันนี้เราจะเห็นได้เมื่อหยดน้ำเล็กๆ ลงบนพื้นผิวที่สะอาดน้ำมีแนวโน้มแผ่กระจายออกทำมุม θ น้อยกว่า 90 องศา ส่วนการหยดปรอทลงบนพื้นผิว ลักษณะของมันจะคล้ายเป็นทรงกลมและทำมุมอยู่ระหว่าง 90-180 องศา ปรากฏการณ์การไหลของของเหลวขึ้นสู่หลอดคะปิลลารีด้วยความตึงผิวสามารถนำมาอธิบายปรากฏการณ์การไหลของของเหลวขึ้นสู่วัตถุที่มีรูพรุนขนาดเล็กได้เช่นกัน

2.1.3 ประเภทของการดูดซับ

2.1.3.1 การดูดซับทางกายภาพ (Physical adsorption)

การดูดซับที่เกิดขึ้นด้วยแรงดึงดูดระหว่างมวล หรือระหว่างโมเลกุล หรือระหว่างประจุ การดูดซับชนิดนี้ไม่ต้องมีพลังงานกระตุ้นและปริมาณของการดูดซับชนิดนี้จะลดลงเมื่ออุณหภูมิของระบบสูงขึ้น

2.1.3.2 การดูดซับทางเคมี (Chemical adsorption หรือ Chemisorption)

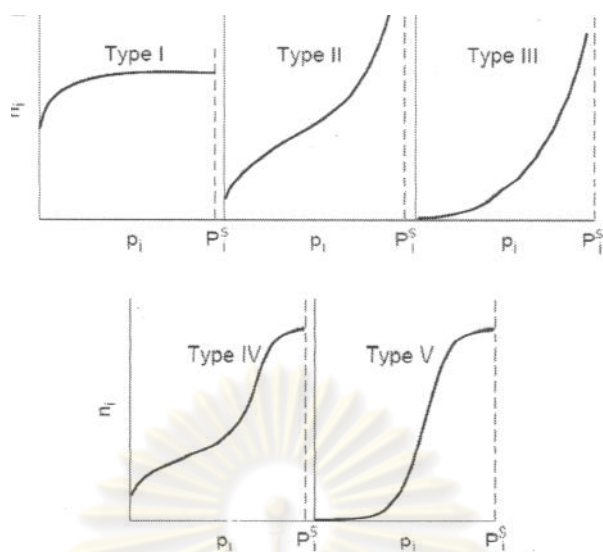
การดูดซับที่เกิดขึ้นด้วยพันธะเคมีระหว่างโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับกับพื้นที่ผิวของตัวดูดซับ การดูดซับชนิดนี้จำเป็นต้องใช้พลังงานกระตุ้นเสมือนหนึ่งเกิดปฏิกิริยาเคมี และอาจดูดซับได้เร็วยิ่งขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

2.2 สมดุลการดูดซับ (Equilibrium Adsorption) [4]

ในขณะที่เกิดการดูดซับ ตัวถูกละลายจะเคลื่อนที่ไปยังผิวหน้าตัวดูดซับ ทำให้ความเข้มข้นที่ผิวหน้าของของแข็งเพิ่มขึ้น เกิดสภาพสมดุลพลศาสตร์ระหว่างความเข้มข้นของของผสมกับความเข้มข้นของสารที่ถูกดูดซับต่อหน่วยพื้นที่ต่อตัวดูดซับ สมดุลของการดูดซับ (Equilibrium Adsorption) แสดงในรูปร้อยละโดยมวลของตัวดูดซับหรือโดยปริมาณของตัวถูกละลายที่ถูกดูดซับไว้บนตัวดูดซับหนึ่งหน่วยมวล (ปริมาณสมดุลการดูดซับจำเพาะ) อาจแสดงด้วยกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสมดุลดูดซับจำเพาะตัวดูดซับที่ถูกดูดซับไว้เทียบกับความดันย่อยในกรณีดูดซับก๊าซ หรือความเข้มข้นของตัวดูดซับในกรณีดูดซับของเหลว ที่อุณหภูมิคงที่ อธิบายถึงการกระจายตัวของตัวถูกละลายระหว่างวัฏภาคของเหลวและของแข็ง โดยอัตราการกระจายตัวนี้สามารถวัดได้ที่จุดสมดุล และจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของตัวทำละลาย คุณสมบัติของตัวถูกละลาย หรือความเข้มข้นและคุณสมบัติของตัวถูกละลาย โดยทั่วไปเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารที่ถูกดูดซับที่อุณหภูมิคงที่ ปริมาณสารที่ถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักของตัวดูดซับจะเพิ่มขึ้น

จากการศึกษาของ BDDT พบว่าเส้นสมดุลการดูดซับแบ่งออกเป็น 5 แบบ ดังรูป

ที่ 2.4



รูปที่ 2.4 แสดงรูปแบบไอโซเทอม [5]

- สมดุลการดูดซับแบบที่ I มักพบในการดูดซับที่มีสารดูดซับมีรูพรุนขนาดเล็ก เกิดการดูดซับแบบชั้นเดียว (monolayer) เช่น การดูดซับออกซิเจนบน carbon block ที่อุณหภูมิ -182°C
- สมดุลการดูดซับแบบที่ II พบได้ในการดูดซับของแข็งพวก nonporous จุดที่เกิดหักเหของเส้นไอโซเทอมมักเกิดใกล้กับบริเวณการดูดซับแบบชั้นเดียวสมบูรณ์และเมื่อเพิ่มความดันจะเกิดการดูดซับหลายชั้น (multilayer) จนเข้าใกล้ค่าอนันต์
- สมดุลการดูดซับแบบที่ III จากกราฟเห็นได้ว่าปริมาณการดูดซับเพิ่มขึ้นไม่จำกัด เช่น การดูดซับโบรมีนบนซิลิกาเจลที่อุณหภูมิ 20°C
- สมดุลการดูดซับแบบที่ IV คล้ายกับแบบที่ II แต่มีการเกิดการดูดซับหลายชั้นอย่างจำกัด
- สมดุลการดูดซับแบบที่ V พบในการดูดซับไอน้ำด้วยถ่านกัมมันต์

ส่วนการดูดซับในของเหลวสององค์ประกอบนั้นส่วนใหญ่จะเกิดสมดุลการดูดซับแบบที่ I และ III ที่ความเข้มข้นของสารถูกดูดซับในสารละลายต่ำจะเกิดไอโซเทอมการดูดซับแบบเชิงเส้น

2.2.1 แบบจำลองสมดุลการดูดซับ

มีหลายทฤษฎีและแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในการอธิบายถึงความแตกต่างของประเภทไอโซเทอมการดูดซับแต่ละแบบ และสามารถทำนายปริมาณการดูดซับสำหรับการดูดซับของของเหลวสององค์ประกอบที่ได้รับความนิยมมีดังนี้

2.2.1.1 ไอโซเทอมการดูดซับเชิงเส้น (Linear Adsorption Isotherm)

สมมติฐานพื้นฐานของแบบจำลองไอโซเทอมการดูดซับแบบเชิงเส้น คือ

- เหมาะกับปริมาณการดูดซับน้อยๆ หรือความเข้มข้นของสารที่ถูกดูดซับเจือจาง ซึ่งมีผลให้แต่ละโมเลกุลถูกดูดซับจะไม่ส่งผลกระทบต่อโมเลกุลอื่นๆ ที่ถูกดูดซับไว้แล้ว
- ค่าคงที่สมดุลการดูดซับบางครั้งเรียกเป็น ค่าคงที่ของเฮนรี (Henry)
- กราฟไอโซเทอมมีลักษณะเป็นเส้นตรง

แสดงดังสมการ

$$q = K_H C \quad (2.2)$$

2.2.1.2 ไอโซเทอมการดูดซับของแลงมัวร์ (Langmuir Adsorption Isotherm)

สมมติฐานพื้นฐานของแบบจำลองไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงมัวร์ คือ

- โมเลกุลถูกดูดซับอยู่บริเวณที่แน่นอนบนพื้นผิวของสารดูดซับ
- มีโมเลกุลชั้นเดียวในบริเวณถูกดูดซับ
- พื้นที่ของบริเวณดูดซับมีจำนวนที่แน่นอน กำหนดโดยลักษณะของพื้นผิว
- พลังงานการดูดซับมีค่าเท่ากันทุกทุกบริเวณ
- กราฟไอโซเทอมตรงกับไอโซเทอมแบบที่ I

แสดงดังสมการ

$$q = \frac{q_m K_L C}{1 + K_L C} \quad (2.3)$$

2.2.1.3 ไอโซเทอมการดูดซับของฟรอนด์ริช (Freundlich Adsorption Isotherm)

- ไอโซเทอมการดูดซับของฟรอนด์ริชนิยมใช้มาก โดยเฉพาะในกรณีดูดซับสารละลายที่ค่อนข้างเจือจาง
- กราฟไอโซเทอมตรงกับไอโซเทอมแบบที่ I กรณีค่า n มากกว่า 1

- กราฟไอโซเทอมตรงกับไอโซเทอมแบบที่ III กรณีค่า n น้อยกว่า 1

แสดงดังสมการ

$$q = K_F C^n \quad (2.4)$$

2.3 ตัวดูดซับถ่านกัมมันต์ [6]

ตัวดูดซับชนิดถ่าน (Carbon Adsorbent) หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำเอาวัตถุดิบธรรมชาติที่มีธาตุคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลักมาผ่านกระบวนการทางเคมีจนได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นถ่าน มีโครงสร้างที่มีลักษณะเป็นรูพรุน มีพื้นที่ผิวสูง ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่มีความสามารถในการดูดซับสารต่างๆ ได้เป็นอย่างดี โดยทั่วไปตัวดูดซับชนิดถ่านที่ได้มักมีพื้นที่ผิวอยู่ในช่วง 300-2500 ตารางเมตรต่อกรัม [7] และลักษณะพื้นผิวที่ได้มักเป็นพื้นผิวที่ไม่มีขั้ว หรือมีความเป็นขั้วอ่อนๆ จึงเหมาะสมกับการดูดซับสารประเภทไม่มีขั้ว นอกจากนี้ขนาดของรูพรุนที่ได้มีหลายขนาด โดยสามารถแบ่งตามมาตรฐานของ International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC) [7] ได้ดังนี้

- รูพรุนขนาดเล็ก (Micropores) เป็นตัวดูดซับชนิดถ่านที่มีรัศมีของรูพรุนเล็กกว่า 1 นาโนเมตร มักนิยมใช้ประโยชน์ในการดูดซับไอระเหย และก๊าซ
- รูพรุนขนาดกลาง (Mesopores) เป็นตัวดูดซับชนิดถ่านที่มีรัศมีรูพรุนระหว่าง 1-25 นาโนเมตร เป็นขนาดรูพรุนที่ใช้งานเป็นส่วนใหญ่ เนื่องจากเป็นช่วงที่สามารถดูดซับสารที่อยู่ในวัฏภาคก๊าซ และของเหลวได้เป็นอย่างดี
- รูพรุนขนาดใหญ่ (Macropores) เป็นตัวดูดซับชนิดถ่านที่มีรัศมีรูพรุนใหญ่กว่า 25 นาโนเมตร มักนิยมใช้ในการดูดซับสารที่มีโมเลกุลใหญ่ โดยปกติถ้าขนาดของรูพรุนมีขนาดใหญ่มากๆ บริเวณที่เป็นรูพรุนขนาดใหญ่จะไม่มีผลสำคัญในการดูดซับสารต่างๆ แต่จะช่วยให้สารที่จะถูกดูดซับสามารถเคลื่อนที่ผ่านไปยังรูเล็กๆ ได้ง่ายขึ้น

เนื่องจากตัวดูดซับชนิดถ่านมีลักษณะสมบัติในการดูดซับที่ดี ปัจจุบันจึงมีการใช้ตัวดูดซับชนิดถ่านในอุตสาหกรรมหลายประเภท เช่น ในโรงงานน้ำตาล มีการใช้ตัวดูดซับชนิดถ่านในการฟอกสีน้ำตาล ในโรงงานไขมันและน้ำมัน ใช้ตัวดูดซับชนิดถ่านในการดูดซับสิ่งปนเปื้อนที่มีอยู่ในน้ำมันพืช ในโรงงานเครื่องดื่มที่มีแอลกอฮอล์ ใช้ตัวดูดซับชนิดถ่านในการกำจัดรสและกลิ่นที่ไม่ต้องการออกจากไวน์ หรือใช้ในการดูดซับไอของตัวทำละลายเพื่อลดมลภาวะทางอากาศและเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ เป็นต้น ตัวดูดซับชนิดถ่านจึงมีประโยชน์ต่ออุตสาหกรรมอย่างกว้างขวางโดยสามารถใช้ในการดูดซับสารที่อยู่ในสถานะของเหลว หรือก๊าซได้

2.3.1 ชนิดของคุณสมบัติถ่านกัมมันต์ [8]

2.3.1.1 แบ่งตามชนิดของตัวกระตุ้น

- ถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นทางเคมี (Chemical Activation Carbon) เป็นถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการใช้สารเคมีทำปฏิกิริยากับผิวคาร์บอน มักเป็นถ่านกัมมันต์ที่มีรูพรุนขนาดใหญ่ ตัวกระตุ้นที่ใช้ได้แก่ กรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) และสังกะสีคลอไรด์ ($ZnCl_2$) เป็นต้น
- ถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นทางกายภาพ (Physical Activation Carbon) เป็นถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการใช้ก๊าซออกซิไดซ์ เช่น ไอน้ำ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ อากาศ ถ่านกัมมันต์ที่ได้จะมีรูพรุนขนาดเล็ก นิยมใช้ในการดูดซับก๊าซและไอระเหย

2.3.1.2 แบ่งตามขนาดรูพรุนของถ่านกัมมันต์

- ถ่านกัมมันต์ที่มีรูพรุนขนาดเล็ก (Micropore) คือถ่านกัมมันต์ที่มีรัศมีของรูพรุนเล็กกว่า 1.5 นาโนเมตร มักใช้ในการดูดซับก๊าซหรือไอระเหย
- ถ่านกัมมันต์ที่มีรูพรุนขนาดกลาง (Mesopore) คือถ่านกัมมันต์ที่มีรัศมีของรูพรุนอยู่ในช่วงประมาณ 1.5 ถึง 100 นาโนเมตร มักนำไปใช้ประโยชน์ในปฏิกิริยา (Catalytic Reaction) ใช้ดูดซับสารที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ เช่น การฟอกสี
- ถ่านกัมมันต์ที่มีรูพรุนขนาดใหญ่ (Macropore) คือถ่านกัมมันต์ที่มีรัศมีของรูพรุนมากกว่า 100 นาโนเมตร โดยปกติไม่มีความสำคัญในการดูดซับสารต่างๆ แต่เป็นตัวช่วยให้สารที่ถูกดูดซับสามารถเคลื่อนที่ผ่านไปยังรูพรุนเล็กได้ง่ายขึ้น มักนำไปใช้ประโยชน์ในการฟอกสี และการผลิตยา

2.3.1.3 แบ่งตามลักษณะของรูปร่าง

- ถ่านกัมมันต์แบบผง (Power Activated Carbon) เป็นถ่านกัมมันต์ที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาด 150 นาโนเมตร ไม่น้อยกว่าร้อยละ 99 โดยน้ำหนัก มีลักษณะเป็นผง ใช้สำหรับฟอกสีและดูดกลิ่นในของเหลว
- ถ่านกัมมันต์แบบเกร็ด (Granular Activated Carbon) เป็นถ่านกัมมันต์ที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาด 150 นาโนเมตรไม่เกินร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก ถ่านกัมมันต์แบบเกล็ดที่ใช้มานานจนประสิทธิภาพลดลงแล้วสามารถนำไปทำการฟื้นฟู

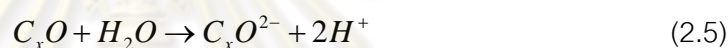
สภาพเพื่อทำให้มีอำนาจการดูดซับที่ผิวมากขึ้น และการนำกลับมาใช้งานใหม่ได้

2.3.1.4 แบ่งตามความหนาแน่นของถ่านกัมมันต์

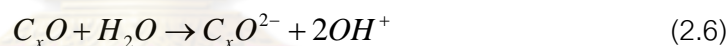
- ถ่านกัมมันต์ที่มีความหนาแน่นต่ำ ถ่านกัมมันต์ชนิดนี้มักใช้ประโยชน์ในสถานะที่เป็นสารละลาย เช่น ใช้ในการฟอกสีน้ำตาลดิบ หรือการทำน้ำให้บริสุทธิ์
- ถ่านกัมมันต์ที่มีความหนาแน่นสูง มักใช้ในการดูดก๊าซหรือไอระเหย

2.3.1.5 แบ่งตามค่าความเป็นกรดต่างเมื่อละลายน้อย

- ถ่านกัมมันต์ชนิดแอล (L-Type Activated Carbon) เป็นถ่านกัมมันต์ที่อยู่ในสารละลายแล้วมีคุณสมบัติเป็นกรด เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาดังนี้



- ถ่านกัมมันต์ชนิดเอช (H-Type Activated Carbon) เป็นถ่านกัมมันต์ที่อยู่ในสารละลายแล้วมีคุณสมบัติเป็นด่าง เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาดังนี้



2.3.1.6 แบ่งตามหมู่ฟังก์ชันของถ่านกัมมันต์

- หมู่ฟังก์ชันออกไซด์ที่เป็นกรด ซึ่งแสดงคุณสมบัติเป็นกรดเมื่ออยู่ในสารละลาย คือ ส่วนใหญ่เป็นอนุพันธ์ของหมู่คาร์บอกซิล (Carboxyl) หมู่ฟังก์ชันนี้พบในถ่านกัมมันต์ชนิดแอล เตรียมจากการเผาวัตถุดิบที่อุณหภูมิ 200-400 องศาเซลเซียสในอากาศ และเผากระตุ้นโดยใช้สารกระตุ้นที่อุณหภูมิไม่เกิน 1,000 องศาเซลเซียส ถ่านกัมมันต์ชนิดนี้มักผลิตจากวัตถุดิบจำพวกไม้ หรือวัตถุดิบที่มีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบสูง ตัวอย่างของหมู่ฟังก์ชันกลุ่มนี้เช่น หมู่คาร์บอกซิล (Carboxyl) หมู่ฟีนอลิคคาร์บอกซิล (Phenolic Carboxyl) หมู่ควิโนนอยด์ (Quinonoid) หมู่กรดคาร์บอกซิลิก (Carboxylic Acid Group) หมู่แอนไฮไดรด์ (Anhydrides) หมู่แลคโตน (Lactone) และหมู่ไซคลิกเปอร์ออกไซด์ (Cyclic Peroxide) เป็นต้น

- หมู่ฟังก์ชันออกไซด์ที่เป็นต่าง ซึ่งแสดงคุณสมบัติเป็นต่างเมื่ออยู่ในสารละลาย มักพบในถ่านกัมมันต์ชนิดเอช ซึ่งเตรียมจากการกระตุ้นด้วยไอน้ำหรือก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่อุณหภูมิสูงมากประมาณ 1,000-1,200 องศาเซลเซียส ถ่านกัมมันต์ชนิดนี้มักผลิตจากวัตถุดิบจำพวก กะลามะพร้าว ถ่านหิน หรือวัสดุชีวมวลที่มีองค์ประกอบธาตุคาร์บอนไม่สูงมากนัก ได้แก่ หมู่ควินิน (Quinines) หมู่ฟีนอล (Phenols) และหมู่คาร์บอกซิเลท (Carboxylates) เป็นต้น

2.3.2 วัตถุดิบสำหรับผลิตตัวดูดซับชนิดถ่าน

วัตถุดิบที่นำมาผลิตตัวดูดซับชนิดถ่านจะขึ้นอยู่กับกระบวนการที่ใช้ในการผลิต และคุณสมบัติของตัวดูดซับชนิดถ่านที่ต้องการ จากการศึกษาพบว่าการผลิตตัวดูดซับชนิดถ่านสามารถเริ่มจากวัตถุดิบโดยตรง หรือเริ่มจากวัตถุดิบที่เป็นถ่านแล้วก็ได้ ขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบที่นำมาใช้ โดยวัตถุดิบที่ใช้ผลิตตัวดูดซับมักพิจารณาจากสารที่มีธาตุคาร์บอนเป็นองค์ประกอบเป็นหลัก อินทรีย์วัตถุที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตตัวดูดซับชนิดถ่านสามารถแบ่งเป็นชนิดต่างๆ ได้ดังนี้

- พวกเซลลูโลสที่มาจากพืช เช่น แกลบ กะลามะพร้าว ชี้เลื่อย ชานอ้อย ชังข้าวโพด ผักตบชวา เปลือกถั่ว เป็นต้น
- พวกถ่านหิน เช่น ลิกไนต์ (Lignite) พีท (Peat) บิทูมินัส (Bituminous)
- วัตถุดิบที่มาจากสัตว์ เช่น กระดุก

สำหรับวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตตัวดูดซับในรูปของถ่านนั้นพบว่าส่วนใหญ่มักใช้ถ่านที่ได้จากการเผาอินทรีย์วัตถุ หรือใช้วัตถุดิบจากธรรมชาติ ซึ่งเรียกว่า ถ่านสังเคราะห์ (Artificial char) โดยถ่านที่ได้จากอินทรีย์วัตถุยังแบ่งออกตามอินทรีย์วัตถุที่นำมาใช้เป็น 2 ประเภทคือ

- ถ่านสังเคราะห์ชนิดแข็ง (Hard artificial char) เช่น ถ่านที่ได้จากเปลือก หรือเมล็ดของผลไม้ ถ่านไม้เผาที่ความดันสูง
- ถ่านสังเคราะห์ชนิดอ่อน (Soft artificial char) เช่น ถ่านชานอ้อย ถ่านแกลบ ถ่านกากน้ำตาล ถ่านชังข้าวโพด เป็นต้น

ถ่านหรือวัตถุดิบอินทรีย์เหล่านี้ยังไม่มีลักษณะสมบัติในการดูดซับที่ดี จำเป็นต้องนำไปผ่านขั้นตอนการเพิ่มพื้นที่ผิวด้วยกระบวนการทางเคมี เพื่อทำให้มีความสามารถในการดูดซับสูงขึ้นต่อไป

2.3.3 การผลิตตัวดูดซับชนิดถ่าน

ปัจจุบันได้มีผู้วิจัยและพัฒนาการผลิตตัวดูดซับชนิดถ่านทั้งในประเทศและต่างประเทศอย่างแพร่หลาย การผลิตตัวดูดซับภายในประเทศยังคงจำกัดอยู่เพียงในห้องปฏิบัติการ เนื่องจากพบว่าโดยส่วนใหญ่ยังไม่สามารถควบคุมให้ลักษณะสมบัติของตัวดูดซับชนิดถ่านที่ผลิตได้ให้คงที่ เมื่อต้องการผลิตในปริมาณมากๆ และบางกระบวนการไม่เหมาะสมในแง่เศรษฐศาสตร์ ส่วนในต่างประเทศได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีในการผลิตตัวดูดซับเพื่อใช้งานในอุตสาหกรรม โดยหลักการออกแบบเครื่องมือจะเน้นถึงประสิทธิภาพในการผลิต ความประหยัด และความปลอดภัย

การผลิตตัวดูดซับชนิดถ่านมีด้วยกันหลายวิธีขึ้นอยู่กับความต้องการใช้ตัวดูดซับที่มีลักษณะสมบัติอย่างไร และต้องการนำไปดูดซับสารชนิดใด วิธีการโดยทั่วไปจะประกอบด้วยขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ เช่น การบด การอบแห้ง การทำให้เป็นเม็ด แล้วจึงเข้าสู่ขั้นตอนการเพิ่มพื้นที่ผิวเพื่อทำให้เป็นตัวดูดซับชนิดถ่านต่อไป

โดยทั่วไปการผลิตตัวดูดซับจะแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนแรกเป็นการแปรสภาพอินทรีย์วัตถุให้เป็นถ่านเรียกว่าขั้นตอนการให้เป็นถ่าน ขั้นตอนที่สองเป็นขั้นตอนการเพิ่มพื้นที่ผิว ถ่านที่ได้จะมีความพรุน และพื้นที่ผิวสูงขึ้น ทำให้เหมาะสมในการนำไปดูดซับสารต่างๆ

2.3.3.1 ขั้นตอนการทำให้เป็นถ่าน

การทำให้เป็นถ่าน (Carbonization) สามารถทำได้โดยการนำเอาวัตถุดิบที่มีธาตุคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลักมาเผาในสภาวะที่ปราศจากออกซิเจน ในขั้นตอนนี้แร่ธาตุต่างๆ ที่ไม่ใช่คาร์บอน เช่น ไฮโดรเจน ออกซิเจน และไนโตรเจน จะถูกไล่ออกไปทำให้ได้ถ่านที่มีสัดส่วนของธาตุคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลักมากขึ้น โดยในการทำให้เป็นถ่านมักจะใช้อุณหภูมิในการเผาไม่สูงนัก โดยทั่วไปจะเผาที่อุณหภูมิต่ำกว่า 600 องศาเซลเซียส เนื่องจากที่อุณหภูมิสูงกว่า 600 องศาเซลเซียส จะได้ถ่านที่มีร้อยละของผลผลิตต่ำมาก ซึ่งเป็นสภาวะที่ไม่เหมาะสมในการผลิต

อย่างไรก็ตามพบว่าถ่านที่ผ่านขั้นตอนขั้นตอนการทำให้เป็นถ่านมีความสามารถในการดูดซับต่ำ เพราะมีพื้นที่ผิว และรูพรุนน้อย จึงจำเป็นต้องนำถ่านที่ได้ไปผ่านขั้นตอนการเพิ่มพื้นที่ผิวเพื่อเพิ่มความสามารถในการดูดซับต่อไป

2.3.3.2 ขั้นตอนการเพิ่มพื้นที่ผิว

ขั้นตอนการเพิ่มพื้นที่ผิว (Activation) เป็นกระบวนการที่สำคัญในการช่วยเพิ่มความพรุน และพื้นที่ผิวให้กับถ่านที่ได้จากกระบวนการทำให้เป็นถ่านเพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับสารต่างๆ โดยการนำถ่านที่ได้มาผ่านกระบวนการทางเคมี โดยใช้สารเคมีที่มีความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) กับโมเลกุลของคาร์บอนในถ่านให้เป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ หรือก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ เพื่อให้ถ่านที่ได้มีรูพรุน และพื้นที่ผิวเพิ่มขึ้น แต่ปฏิกิริยาเคมีอาจแตกต่างกันไปตามชนิดของสารประกอบ (Oxidant) ที่ใช้ โดยทั่วไปวิธีที่ใช้ในการเพิ่มพื้นที่ผิวมี 2 วิธี คือ การเกิดปฏิกิริยาเคมีกับก๊าซออกซิไดส์ และการเกิดปฏิกิริยาเคมีกับสารละลายที่มีฤทธิ์เป็นกรด

การเกิดปฏิกิริยาเคมีด้วยแก๊สออกซิไดส์

เป็นการนำถ่านที่ได้จากกระบวนการทำให้เป็นถ่านมาทำปฏิกิริยาเคมีด้วยก๊าซ ซึ่งเรียกก๊าซที่ใช้กระตุ้นว่า ก๊าซออกซิไดส์ (Oxidizing Gas) ก๊าซพวกนี้จะไปทำปฏิกิริยากับถ่านที่ยังเหลืออยู่ และคาร์บอนบางอะตอมในถ่านให้หลุดไป ทำให้ถ่านมีรูพรุน และมีพื้นที่ผิวเพิ่มมากขึ้น จึงส่งผลให้ความสามารถในการดูดซับสูงขึ้น โดยก๊าซที่นิยมใช้ได้แก่ ไอน้ำ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซออกซิเจน ดังรายละเอียดต่อไปนี้

ปฏิกิริยาเคมีกับไอน้ำ

ปฏิกิริยาระหว่างคาร์บอนกับไอน้ำมีผู้ศึกษาเป็นจำนวนมาก โดยเป็นปฏิกิริยาดูดซับความร้อน ซึ่งมีค่าความร้อนของปฏิกิริยาประมาณ 31 กิโลแคลอรีต่อกรัมโมลของถ่าน เรียกปฏิกิริยาระหว่างคาร์บอนกับไอน้ำว่า ปฏิกิริยาอวเทอร์-ก๊าซ (Water-Gas reaction) ปฏิกิริยาสามารถแสดงในรูปสมการเคมีได้ดังนี้ [9]



เนื่องจากปฏิกิริยาเป็นปฏิกิริยาดูดความร้อน ดังนั้นปฏิกิริยาน่าจะเกิดได้ดีถ้าหากใช้อุณหภูมิสูงขึ้น แต่จากการศึกษาพบว่าถ้าอุณหภูมิสูงกว่า 1,000 องศาเซลเซียส ปฏิกิริยาจะถูกควบคุมโดยกลไกการแพร่ของไอน้ำ โดยอะตอมของธาตุคาร์บอนที่อยู่ในชั้นนอกๆ จำนวนมากจะถูกเผาไหม้ ทำให้ความพรุนของถ่านที่ได้ลดลง ทำให้ความสามารถในการดูดซับของถ่านลดลง

ปฏิกิริยาเคมีกับไอน้ำจะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิ 750-950 องศาเซลเซียส โดยออกซิเจนที่มาจากไอน้ำจะถูกกำจัดออกไปในรูปของออกไซด์ของคาร์บอนเมื่อมากระทบกับคาร์บอน ทำให้

ปริมาณคาร์บอนลดลง ปฏิกริยาระหว่างคาร์บอนกับไอน้ำสามารถใช้ตัวเร่งปฏิกริยาได้ โดยเร่งปฏิกริยาที่นิยมใช้ได้แก่ สารประกอบออกไซด์ และคาร์บอนเนตของโลหะหมู่ I

ปฏิกริยาเคมีกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

ปฏิกริยานี้ใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทำปฏิกริยากับถ่านที่อุณหภูมิประมาณ 800-900 องศาเซลเซียส ปฏิกริยาเป็นแบบดูดความร้อนมีค่าความร้อนของปฏิกริยาประมาณ 38.2 กิโลแคลลอรี่ต่อกรัมโมลของถ่าน ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นแสดงในรูปสมการเคมีได้ดังนี้ [9]



สำหรับปฏิกริยานี้ความดันของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะมีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกริยา โดยมีผู้ทำการศึกษาและให้ข้อสรุปว่า อัตราปฏิกริยาจะเป็นอันดับหนึ่งเทียบกับความดันของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความดันต่ำกว่า 1 บรรยากาศ และอัตราปฏิกริยาจะเป็นอันดับศูนย์ที่ความดันสูงขึ้น

ปฏิกริยาเคมีกับก๊าซออกซิเจน

ปฏิกริยานี้ใช้ก๊าซออกซิเจนทำปฏิกริยากับถ่านซึ่งทำได้ 2 วิธี คือ

- ใช้แก๊สออกซิเจนทำปฏิกริยากับถ่านที่อุณหภูมิ 800-900 องศาเซลเซียส ปฏิกริยาเป็นแบบคายความร้อนมีค่าความร้อนของปฏิกริยาเป็น -54 กิโลแคลลอรี่ต่อกรัมโมลของถ่าน ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นแสดงในรูปสมการเคมีได้ดังนี้ [9]



- ใช้ก๊าซออกซิเจนทำปฏิกริยากับถ่านที่อุณหภูมิต่ำกว่า 600 องศาเซลเซียส ปฏิกริยาเป็นแบบคายความร้อนมีค่าความร้อนของปฏิกริยาเป็น -92 กิโลแคลลอรี่ต่อกรัมโมลของถ่าน ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นแสดงในรูปสมการเคมีได้ดังนี้ [9]



การเกิดปฏิกริยาเคมีกับก๊าซออกซิเจนมักไม่ค่อยนิยมใช้มากนัก เนื่องจากเป็นปฏิกริยาคายความร้อนทำให้ควบคุมปฏิกริยาได้ยาก และออกซิเจนทำให้ถ่านไหม้ทำให้เกิดการ

สูญเสียอย่างมาก โดยถ้าเปรียบเทียบการเกิดปฏิกิริยาเคมีกับก๊าซออกซิเจนทั้ง 2 วิธีข้างต้น พบว่าวิธีที่ 2 นิยมใช้มากกว่าแต่ต้องใช้ร่วมกับสารอินทรีย์ตัวอื่นเพื่อให้ปฏิกิริยาเกิดช้าลง

การผลิตตัวดูดซับชนิดถ่านโดยการเกิดปฏิกิริยาเคมีกับก๊าซออกซิไดซ์ มีข้อดีคือหลังจากผ่านขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาเคมีจนได้ตัวดูดซับชนิดถ่านแล้วสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้เลย ไม่ต้องสิ้นเปลืองในขั้นตอนการล้างสารติดค้างหรือสารพิษที่เหลืออยู่ ส่วนข้อเสียคือ ต้องใช้อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาเคมีสูงทำให้สิ้นเปลืองพลังงานมาก

การเกิดปฏิกิริยาเคมีกับสารละลายชนิดกรด

การผลิตตัวดูดซับโดยวิธีนี้เป็น การนำเอาวัสดุที่มีธาตุคาร์บอนเป็นองค์ประกอบมาผสมกับสารละลายชนิดกรด ปฏิกิริยาเคมีมักเกิดขึ้นได้เร็วเมื่อได้รับความร้อน เช่นทำให้เกิดรูพรุน ทำให้พื้นที่ผิวเพิ่มมากขึ้น เมื่อเทียบกับวิธีการเผาให้เป็นถ่านธรรมดา ผลที่ได้จากการทำเช่นนี้จะทำให้ร้อยละของคาร์บอนคงตัวเพิ่มขึ้น ยิ่งกว่านั้นอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาก็ลดต่ำลงด้วย โดยวิธีการนี้มักนิยมใช้กับวัสดุที่มีโครงสร้างอ่อน และเป็นรูพรุน เช่น เปลือกถั่ว ชั่งข้าวโพด เป็นต้น สารเคมีที่ใช้มักเป็นเกลืออนินทรีย์ของพวกเกลือโลหะคลอไรด์ เช่น แคลเซียมคลอไรด์ แมกนีเซียมคลอไรด์ ซึ่งละลายน้ำได้ดี ต่อมานิยมใช้ซิงค์คลอไรด์ [6]

หลักการของการผลิตตัวดูดซับโดยวิธีนี้อธิบายได้ดังนี้ เมื่อนำวัสดุที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบมาผสมกับเกลืออนินทรีย์ด้วยอัตราส่วนต่างๆ แล้วนำไปเผาในที่อับอากาศ อุณหภูมิที่จะทำให้อินทรีย์วัตถุสลายตัว เกลืออนินทรีย์จะเป็นตัวทำให้เกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุให้เกิดขึ้นที่อุณหภูมิต่ำ และยังคงปริมาณของสารที่ระเหยได้ให้น้อยลง เนื่องจากเกลืออนินทรีย์เหล่านี้มีความคงทนต่อการสลายตัวที่อุณหภูมิสูงๆ จึงยังคงสภาพหุ้มอยู่รอบๆ และแทรกอยู่ภายในถ่านและเนื่องจากคุณสมบัติในการดูดความชื้นของเกลืออนินทรีย์ ทำให้เกิดการดูดโมเลกุลของน้ำ เกลืออนินทรีย์ซึ่งแตกตัวให้ไฮโดรเจนไอออนอยู่ทั่วไปบนวัสดุถ่าน ระหว่างนั้นเมื่อให้ความร้อนเข้าสู่ระบบจะทำให้ไฮโดรเจนไอออนที่อยู่ทั่วไปเกิดการกักร้อนวัสดุถ่านขึ้น ทำให้ได้ตัวดูดซับชนิดถ่านที่มีความพรุนและพื้นที่ผิวสูง

โดยหลักการแล้วเกลืออนินทรีย์ทุกชนิดที่ทนต่อการเผาไหม้ได้น่าจะนำมาใช้ได้ แต่จากการทดลองพบว่าคุณสมบัติการดูดสี และดูดกลิ่นของตัวดูดซับที่เตรียมได้จากซิงค์คลอไรด์ นั้นจะสูงกว่าเกลืออนินทรีย์ชนิดอื่นๆ ทั้งนี้เนื่องจากซิงค์คลอไรด์มีความสามารถในการทนต่ออุณหภูมิได้ดีกว่าเกลืออนินทรีย์ชนิดอื่นทำให้มีปริมาณซิงค์คลอไรด์เหลืออยู่บนวัสดุถ่านได้มากกว่าเกลือชนิดอื่น ทำให้สามารถดูดความชื้นและให้ไฮโดรเจนไอออนได้มากกว่า [6]

นอกจากเกลืออนินทรีย์ที่นิยมใช้เป็นสารเคมีสำหรับปฏิกิริยาเคมีเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวแล้ว กรดอนินทรีย์ก็นิยมใช้ในการเพิ่มพื้นที่ผิวเช่นกัน เนื่องจากสารละลายกรดสามารถแตกตัวให้ไฮโดรเจนไอออนได้ด้วยตัวของมันเอง โดยกรดที่นิยมใช้ในการทำปฏิกิริยาเคมีเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวคือ กรดซัลฟูริก และกรดฟอสฟอริก โดยการผสมสารละลายเหล่านี้ลงไปจะกระจายอยู่ทั่วไปในถ่าน วิธีนี้มีข้อดีว่าการเพิ่มพื้นที่ผิวโดยใช้เกลืออนินทรีย์คือ นอกจากกรดที่ใส่เข้าไปจะทำหน้าที่แตกตัวให้ไฮโดรเจนไอออนได้ด้วยตัวของมันเอง กรดบางตัว เช่น กรดฟอสฟอริก ยังมีความสามารถในการดูดความชื้นอันเป็นการเพิ่มปริมาณของไฮโดรเจนไอออนได้อีกทางหนึ่งด้วย โดยกรดที่นิยมใช้ในการเพิ่มพื้นที่ผิวได้แก่กรดฟอสฟอริก เนื่องจากมีความสามารถในการทนต่อการสลายตัวที่อุณหภูมิสูง

ข้อดีของการใช้สารละลายกรดชนิดกรดในการเกิดปฏิกิริยาเคมีคือ ได้ตัวดูดซับที่มีรูพรุนแทรกซึมอยู่ทั่วเนื้อถ่านโดยใช้อุณหภูมิในการผลิตไม่สูงมากนัก ส่วนข้อเสียก็คือต้องล้างสารเคมีที่ใช้ในขั้นตอนการเพิ่มพื้นที่ผิวออกให้หมดไม่ให้เหลือตกค้างอยู่เพื่อความปลอดภัยในการใช้งาน จึงเป็นการสิ้นเปลืองเวลา แรงงาน และค่าใช้จ่ายในการล้าง อบ และค่าสารเคมีซึ่งมีราคาสูง นอกจากนี้สารเคมีบางชนิดเช่น ซิงค์คลอไรด์ยังมีฤทธิ์กัดกร่อนภาชนะบรรจุหรือเครื่องมือที่ใช้ในการผลิต เป็นเหตุให้อายุการใช้งานของเครื่องมือสั้นลง ในกรณีนี้ระบบดูดซับมีน้ำเป็นองค์ประกอบสำคัญ

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Wisarut และ Deacha [10] ศึกษาการทำตัวดูดซับชนิดถ่านจากเปลือกถั่วลิสงบด โดยทำการแช่ไว้ในสารละลายกรดฟอสฟอริกเข้มข้นร้อยละ 20-60 โดยน้ำหนัก และนำไปเผาเป็นเวลา 120 นาที พบว่าที่ความเข้มข้นของสารละลายกรดฟอสฟอริกเข้มข้นร้อยละ 60 โดยน้ำหนัก เเผาที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เป็นสภาวะที่สามารถผลิตตัวดูดซับชนิดถ่านที่มีพื้นที่ผิวมากกว่า 1000 ตารางเมตรต่อกรัม

Phussadee และ Prasert [11] ศึกษาการทำตัวดูดซับชนิดถ่านจากเปลือกไม้ยูคาลิปตัส โดยทำการแช่ในสารละลายกรดฟอสฟอริกเข้มข้นร้อยละ 85 โดยน้ำหนัก ในสัดส่วนที่กำหนด และนำไปเผาเป็นเวลา 60 นาที พบว่าที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส และสัดส่วนโดยน้ำหนักของเปลือกไม้ยูคาลิปตัสกับกรดฟอสฟอริก 1:1 สามารถผลิตตัวดูดซับชนิดถ่านที่มีพื้นที่ผิว 1239 ตารางเมตรต่อกรัม และมีค่าการดูดซับไอโอดีน 1043 มิลลิกรัมต่อกรัม

Yulu Diao และคณะ [12] ศึกษาการทำตัวดูดซับชนิดถ่านจากข้าวฟ่าง โดยทำการแช่ในสารละลายกรดฟอสฟอริกเข้มข้นร้อยละ 10-50 โดยน้ำหนัก และนำไปเผา โดยดำเนินการแบบหนึ่งกระบวนการ และแบบสองกระบวนการ พบว่าที่ความเข้มข้นสารละลายกรดฟอสฟอริกเข้มข้นร้อยละ 35 โดยน้ำหนัก และอุณหภูมิ 600 และ 500 องศาเซลเซียส เหมาะกับการดำเนินการแบบหนึ่งกระบวนการและแบบสองกระบวนการ สามารถสังเคราะห์ตัวดูดซับชนิดถ่านที่มีพื้นที่ผิวสูง คือ 528 และ 1522 ตารางเมตรต่อกรัม ตามลำดับ

Larisa G. Gordeeva และคณะ [13] ศึกษาสมมูลการดูดซับเมทานอลโดยตัวดูดซับประกอบของ ลิเทียมคลอไรด์ และลิเทียมโบรไมด์ ที่ถูกกักเก็บไว้ในรูปอนุขนาดกลางของซิลิกาเจล ทดลองที่ความเข้มข้นต่าง ๆ โดยดำเนินการที่อุณหภูมิ 293-423 องศาเซลวิน ความดันเมทานอล 21-300 มิลลิบาร์ โดยใช้เทคนิค thermo - gravimetric การวิเคราะห์หาเมทานอลที่ถูกดูดซับจะใช้วิธี X-ray diffraction พบว่าของประกอบทั้งสองมีการดูดซับสูงสุด 0.8 กรัมเมทานอล/กรัมตัวดูดซับ และสามารถกักเก็บพลังงานได้ 1.0 กิโลจูล/กรัมตัวดูดซับ ซึ่งมีความน่าสนใจสำหรับการพัฒนาประสิทธิภาพการดูดซับความเย็น/ร้อน และการเก็บรักษาพลังงานระบบขับเคลื่อนด้วยแหล่งความร้อนอุณหภูมิต่ำ

R. Nasuto [14] ศึกษาการดูดซับเมทานอลในสภาวะไอ โดยใช้ซิลิกาเจลที่มีความเข้มข้นฟลูออไรด์ไอออน 2 และ 4 ไมโครโมลต่อตารางเมตร วัดไอโซเทอมการดูดซับเมทานอลดำเนินการโดยใช้วิธี gravimetric ในสภาวะก๊าซ พบว่าปริมาณการดูดซับเมทานอลลดลงเนื่องจากการเสื่อมสภาพผิวหน้าที่รุนแรงของซิลิกาเจลเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของฟลูออไรด์ไอออน

ในงานวิจัยนี้ใช้ก้านกล้วยเป็นวัตถุดิบในการสังเคราะห์ตัวดูดซับชนิดถ่าน เนื่องจากลักษณะตามธรรมชาติภายในของต้นกล้วยผนังเซลล์ถูกแบ่งออกเป็นห้อง และผิวนอกมีความเหนียว หากสามารถคงลักษณะเดิมไว้ และทำเป็นตัวดูดซับคาร์บอน มีความเป็นไปได้ที่จะเป็นตัวดูดซับที่ดี

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

ในส่วนของ การดำเนินการวิจัยจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ การหาปริมาณเมทานอลในไบโอดีเซลด้วยซิลิกาเจลเจล การสังเคราะห์ตัวดูดซับ และการวัดหาสมมูลการดูดซับของเมทานอลในไบโอดีเซล

3.1 การหาปริมาณเมทานอลในไบโอดีเซลด้วยซิลิกาเจลเจล

1. นำเฮกเซนผสมเข้ากับเมทานอลให้มีความเข้มข้นร้อยละ 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5, 4, 4.5 และ 5 โดยมวล
2. นำตัวอย่างของผสมของแต่ละความเข้มข้นมา 5 กรัม
3. เติมซิลิกาเจลงน้ำหนักร้อยละ 0.0400 กรัม (2 เม็ด) ลงไป และเขย่าด้วยความเร็วรอบ 100 rpm พร้อมทั้งจับเวลา 1 ชั่วโมง
4. หากเม็ดซิลิกาเจเปลี่ยนสีภายใน 1 ชั่วโมง ให้เติมซิลิกาเจลงไปใหม่ ทำซ้ำจนกว่าเม็ดซิลิกาเจที่เติมลงไปไม่เปลี่ยนสี ที่เวลามากกว่า 1 ชั่วโมง
5. ทำข้อ 1-4 ซ้ำ โดยใช้น้ำมันไบโอดีเซลที่กำหนดสิ่งเจือปนออกตามวิธี ASTM D5556-95 [15] แทนเฮกเซน
6. เปรียบเทียบผลระหว่างของผสมเมทานอลกับเฮกเซน และของผสมเมทานอลกับน้ำมันไบโอดีเซล

3.2 การสังเคราะห์ตัวดูดซับ

1. เตรียมก้านกล้วยสดหลังถูกตัดทิ้งไว้เป็นเวลา 1 วัน
2. ตัดก้านกล้วยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร ยาว 2 เซนติเมตร และผ่าครึ่งตามแนวยาว
3. เตรียมสารละลายกรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 5, 10, 15 และ 20 โดยมวล แล้วนำก้านกล้วยในข้อ 2 แผลงในสารละลายกรดฟอสฟอริกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ด้วยสัดส่วน 1:3 โดยมวล เป็นเวลา 30 นาที และอบที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อศึกษาผลของความเข้มข้นของสารละลายกรดฟอสฟอริกต่อคุณสมบัติการดูดซับของตัวดูดซับ
4. นำตัวดูดซับที่สังเคราะห์ได้ไปวิเคราะห์หาคาร์บอนรวมในตัวดูดซับ

ตารางที่ 3.1 แสดงชื่อย่อตัวอย่างตัวดูดซับที่สังเคราะห์ได้ในงานวิจัย

ชื่อย่อ	ความหมาย
ตัวดูดซับ-00	ตัวดูดซับก้านกล้วยที่สังเคราะห์ โดยการแช่ในน้ำ 30 นาที และเผาที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที
ตัวดูดซับ-05	ตัวดูดซับก้านกล้วยที่สังเคราะห์ โดยการแช่ในสารละลายกรด ฟอสฟอริกเข้มข้นร้อยละ 5 โดยมวล 30 นาที และเผาที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที
ตัวดูดซับ-10	ตัวดูดซับก้านกล้วยที่สังเคราะห์ โดยการแช่ในสารละลายกรด ฟอสฟอริกเข้มข้นร้อยละ 10 โดยมวล 30 นาที และเผาที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที
ตัวดูดซับ-15	ตัวดูดซับก้านกล้วยที่สังเคราะห์ โดยการแช่ในสารละลายกรด ฟอสฟอริกเข้มข้นร้อยละ 15 โดยมวล 30 นาที และเผาที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที
ตัวดูดซับ-20	ตัวดูดซับก้านกล้วยที่สังเคราะห์ โดยการแช่ในสารละลายกรด ฟอสฟอริกเข้มข้นร้อยละ 20 โดยมวล 30 นาที และเผาที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที

3.3 การทดลองหาสมดุลการดูดซับของเมทานอลในไบโอดีเซล

1. เตรียมน้ำมันไบโอดีเซลน้ำหนัก 12 กรัม พร้อมปิดฝาให้แน่น 20 ชุดการทดลอง
2. ชั่งน้ำหนักตัวดูดซับที่สังเคราะห์ได้ในข้อ 3.2 ปริมาณ 1 กรัม จำนวน 4 ชุด
3. นำตัวดูดซับที่ชั่งไว้ในข้อ 2 ใส่ลงในน้ำมันไบโอดีเซลที่ได้เตรียมไว้ในข้อ 1 เขย่าด้วยความเร็วรอบ 100 rpm
4. เก็บตัวอย่างเมื่อเขย่าได้เวลา 1, 2, 3 และ 4 ชั่วโมง
5. แยกตัวดูดซับและน้ำมันไบโอดีเซลออกจากกัน ดึงตัวอย่างเฉพาะน้ำมันไบโอดีเซลออกมา 5 กรัม
6. นำน้ำมันไบโอดีเซลในข้อ 5 เขย่าที่ความเร็วรอบ 100 rpm และเติมซิลิกาเจลลงไป จนกว่าซิลิกาเจลไม่เปลี่ยนสี ที่เวลาเกินกว่า 1 ชั่วโมง

7. นำผลน้ำหนักซีลีก้าเจลที่ใช้ แปลผลกับกราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักซีลีก้าเจลกับของผสมของเมทานอลที่ความเข้มข้นต่าง ๆ จะได้ค่าความเข้มข้นของเมทานอลที่เหลืออยู่ในไบโอดีเซล
8. ดำเนินการทำข้อ 1-7 ซ้ำ โดยเปลี่ยนน้ำหนักน้ำมันไบโอดีเซลเป็น 15, 18, 21 และ 24 กรัม



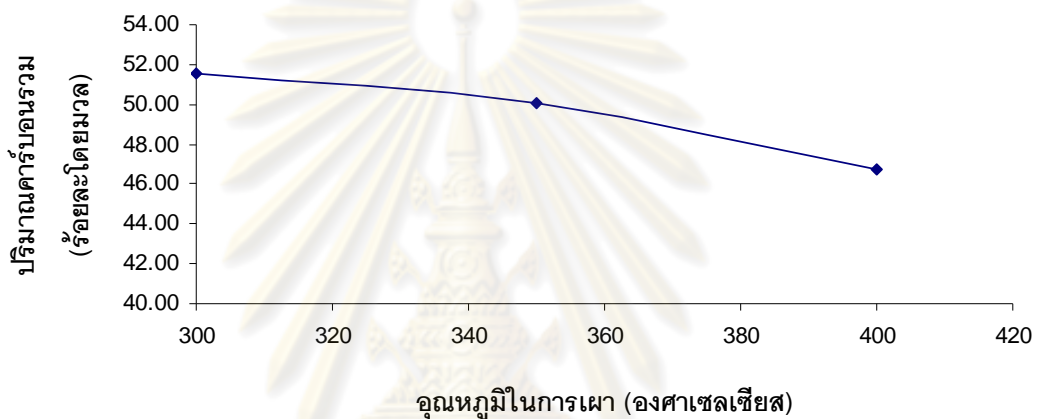
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

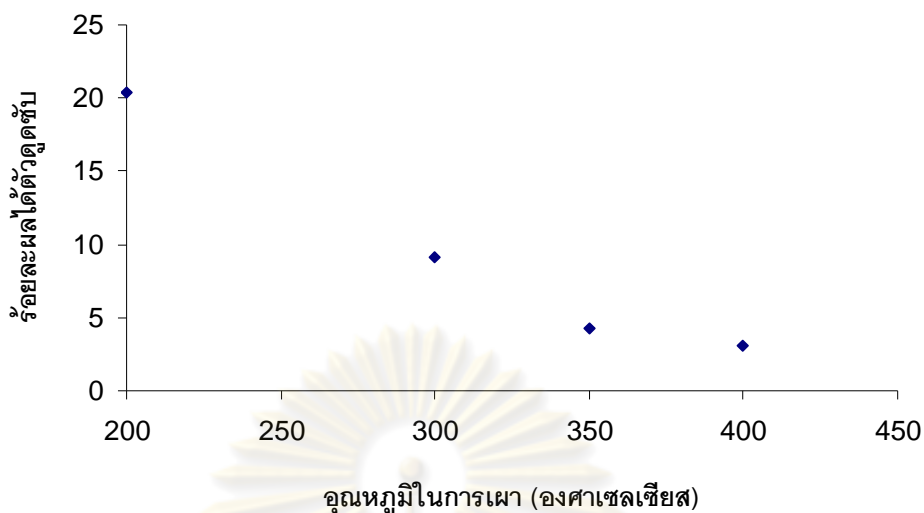
4.1 ผลการสังเคราะห์ตัวดูดซับ

การสังเคราะห์ตัวดูดซับโดยการเพิ่มอุณหภูมิ และใช้สารละลายกรดฟอสฟอริก ช่วยกระตุ้นในการสังเคราะห์ ที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส ถูกนำไปตรวจหาปริมาณคาร์บอนรวมด้วยเครื่อง CHNS/O ANALYZER (Perkin Elmer PE2400 SeriesII) ได้ผลดังต่อไปนี้

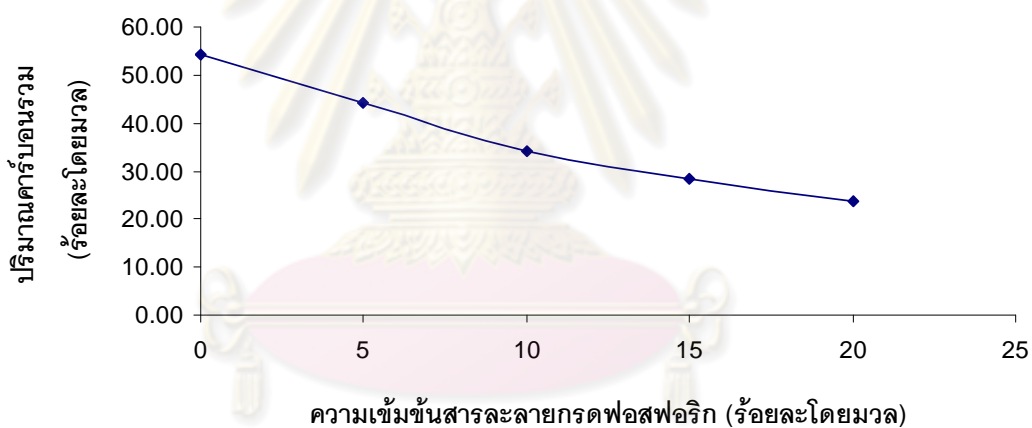


รูปที่ 4.1 ค่าปริมาณคาร์บอนรวมของตัวดูดซับ ที่ใช้เตาเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ เป็นเวลา 60 นาที

รูปที่ 4.1 แสดงค่าปริมาณคาร์บอนรวมที่ลดลง เมื่อทำการเผากำกัด้วยเตาเผาที่อุณหภูมิสูง พบว่าปริมาณคาร์บอนรวมลดลงเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการสังเคราะห์ให้สูงขึ้น จากการทดลองที่อุณหภูมิในการสังเคราะห์ต่ำกว่า 300 องศาเซลเซียส ตัวดูดซับที่สังเคราะห์ได้มีลักษณะเป็นสีน้ำตาลเหมือนกับการอบแห้ง และเมื่ออุณหภูมิในการสังเคราะห์สูงกว่า 400 องศาเซลเซียส ตัวดูดซับที่สังเคราะห์ได้มีบางส่วนเริ่มกลายเป็นขี้เถ้า เป็นอันเนื่องมาจากสภาวะที่ใช้ในการเผากำกัด้วยเป็นสภาวะที่จำกัดอากาศ จึงมีออกซิเจนอยู่ในระบบ วัสดุคิบจึงไม่สามารถทนต่ออุณหภูมิที่สูงมากกว่า 400 องศาเซลเซียส ได้ รูปที่ 4.2 แสดงร้อยละผลได้ของตัวดูดซับ ที่ใช้เตาเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ เป็นเวลา 60 นาที พบว่าการเพิ่มอุณหภูมิในการเผาให้สูงขึ้น ร้อยละผลได้ของตัวดูดซับจะลดลง ซึ่งเกิดจากสลายตัวของวัสดุคิบที่อุณหภูมิสูง



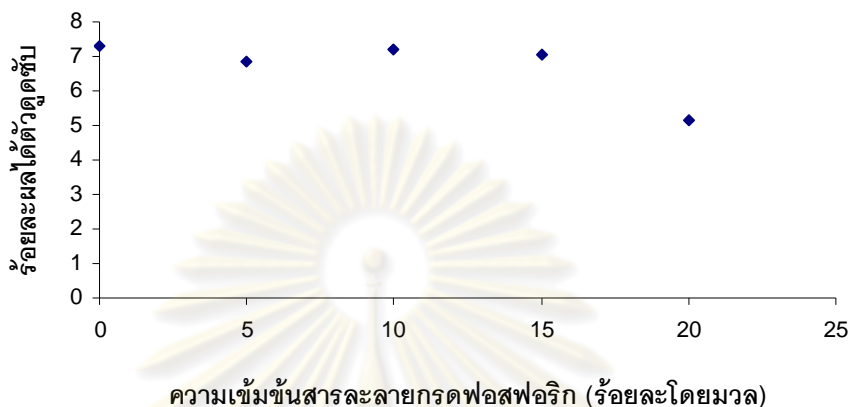
รูปที่ 4.2 ร้อยละผลได้ของตัวดูดซับ ที่ใช้เตาเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ เป็นเวลา 60 นาที



รูปที่ 4.3 ค่าปริมาณคาร์บอนรวมของตัวดูดซับอบที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที กระตุ้นด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริกที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ

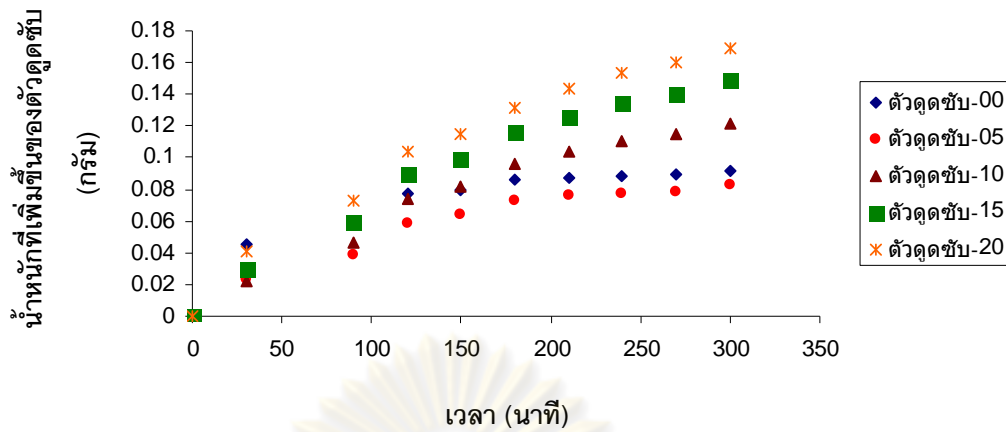
รูปที่ 4.3 แสดงค่าปริมาณคาร์บอนรวมที่ลดลง เมื่อใช้สารละลายกรดที่มีความเข้มข้นสูงกระตุ้น เมื่อเปรียบเทียบกราฟรูปที่ 4.1 และ 4.3 พบว่าการใช้สารละลายกรดร่วมกับอุณหภูมิในการสังเคราะห์ทำให้ปริมาณคาร์บอนรวมของตัวดูดซับลดลงมากกว่าการใช้อุณหภูมิในการสังเคราะห์เพียงอย่างเดียว การลดลงของคาร์บอนอาจเกิดจากอุณหภูมิในการสังเคราะห์ที่สูงและสารละลายกรดฟอสฟอริกที่มีความเข้มข้นสูง จะมีปริมาณไฮโดรเจนไอออนมากขึ้น [6]

ทำให้อะตอมไนโมเลกุลของเซลล์เกิดการสลายตัว ซึ่งค่าพลังงานพันธะ C-C มีค่าพลังงานที่ต่ำกว่า เมื่อเทียบกับค่าพลังงานพันธะ C-O และ C-H [16] จึงทำให้คาร์บอนไนโมเลกุลหลุดออกมาได้ง่าย

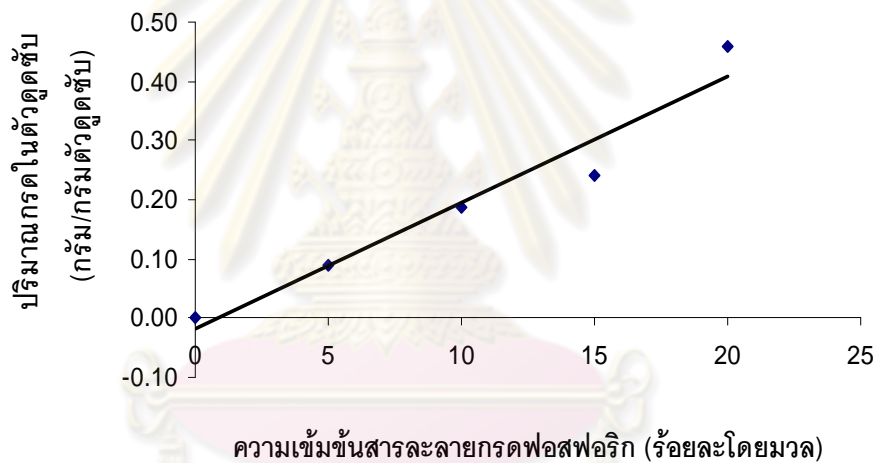


รูปที่ 4.4 ร้อยละผลได้ของตัวดูดซับ อบที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที กระตุ้นด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

รูปที่ 4.4 แสดงร้อยละผลได้ของตัวดูดซับ (ไม่นับรวมปริมาณกรดที่อยู่ภายในตัวดูดซับ) โดยอบที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที กระตุ้นด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ พบว่าที่ความเข้มข้นสารละลายกรดร้อยละ 0, 5 10 และ 15 โดยมวล ร้อยละผลได้ของตัวดูดซับมีค่าใกล้เคียงกัน และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นสารละลายกรดเป็นร้อยละ 20 โดยมวล พบว่าค่าร้อยละของตัวดูดซับที่ได้มีค่าลดลง เนื่องจากก้านกล้วยเป็นวัสดุคิบบที่อ่อนนิ่มเมื่อแช่ในสารละลายกรดเข้มข้นร้อยละ 20 โดยมวล จึงเกิดการย่อยสลายขึ้น ค่าร้อยละผลได้ของตัวดูดซับจึงลดลง



รูปที่ 4.5 ปริมาณการดูดความชื้นของตัวดูดซับที่ได้จากสังเคราะห์



รูปที่ 4.6 ปริมาณกรดในตัวดูดซับที่ได้จากการกระตุ้นด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

รูปที่ 4.5 แสดงปริมาณการดูดความชื้นของตัวดูดซับที่สังเคราะห์ได้ พบว่าตัวดูดซับที่สังเคราะห์มีความสามารถในการดูดความชื้นเพิ่มขึ้น ตามลำดับความเข้มข้นของสารละลายกรดฟอสฟอริกที่ใช้สังเคราะห์ตัวดูดซับที่สูงขึ้น เป็นผลอันเนื่องมาจากสมบัติของกรดฟอสฟอริกมีความสามารถในการดูดความชื้น [17] รูปที่ 4.6 แสดงให้เห็นถึงปริมาณกรดที่เข้าไปอยู่ภายในตัวดูดซับ ซึ่งสอดคล้องกับรูปที่ 4.5 ที่ว่าปริมาณกรดที่มากขึ้นส่งผลให้ตัวดูดซับมีความสามารถในการดูดความชื้นเพิ่มขึ้น

4.2 การหาปริมาณเมทานอลในไบโอดีเซล

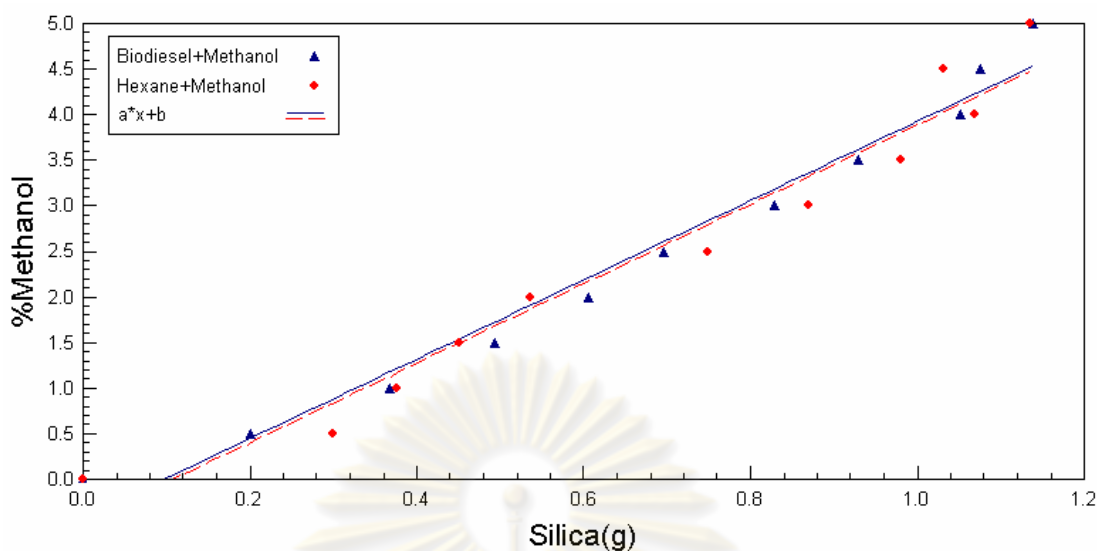
ปริมาณเมทานอลในไบโอดีเซลหลังเข้าสู่สมดุลดูดซับ สามารถหาปริมาณเมทานอลได้จากน้ำหนักทั้งหมดของซิลิกาเจลที่ใช้ในการดูดซับเมทานอลที่เหลืออยู่ในไบโอดีเซลตั้งแต่เม็ดแรกที่เปลี่ยนเป็นสีม่วงจนเม็ดสุดท้ายที่ไม่เปลี่ยนสี น้ำหนักซิลิกาที่ใช้ทั้งหมดสามารถเทียบเป็นปริมาณเมทานอลได้จากกราฟความสัมพันธ์สอเทียบน้ำหนักซิลิกาเจลกับของผสมของเมทานอลที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ดังรูปที่ 4.7 โดยการดูดซับของเมทานอลบนซิลิกาเจล จะเกิดการแพร่ระหว่างโมเลกุลและแลกเปลี่ยนโปรตอนกับผิวหน้าของซิลานอล (silanols) ดังกลไกต่อไปนี้ [17]



การดูดซับที่ต่อเนื่องอยู่บนสมมติฐานที่ว่า โปรตอนที่ถูกดูดจากหมู่ SiOH และถูกจับโดย AH^+ เกิดเป็นพันธะ $AH^+ \cdots A$ พันธะไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นแบบสมมาตรหรือเกือบสมมาตร ส่งผลต่อความมีขั้ว ก่อให้เกิดการเลื่อนระดับพลังงานที่สูงขึ้นจึงทำให้เกิดการดูดซับที่ต่อเนื่อง [17]

ในการทดสอบสีของเม็ดซิลิกาเจลที่เปลี่ยนแปลงไปจะใช้เมทานอลที่มีความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.8 โดยมวล โดยดำเนินการวางซิลิกาเจลไว้ในสภาวะบรรยากาศอิมมิดด้วยไอของเมทานอล พบว่าสีของเม็ดซิลิกาเจลเปลี่ยนจากสีน้ำเงินเป็นสีม่วง และการวางซิลิกาเจลไว้ในสภาวะบรรยากาศห้อง พบว่าสีของเม็ดซิลิกาเจลเปลี่ยนจากสีน้ำเงินเป็นสีชมพู ดังนั้นซิลิกาเจลน่าจะมีความสามารถในการดูดซับเมทานอลและให้สีเป็นสีม่วง เช่นเดียวกับการดูดซับความชื้นหรือน้ำ จะให้สีเป็นสีชมพู

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.7 กราฟความสัมพันธ์สอปเทียบน้ำหนักซิลิกาเจลกับของผสม
ของเมทานอลที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

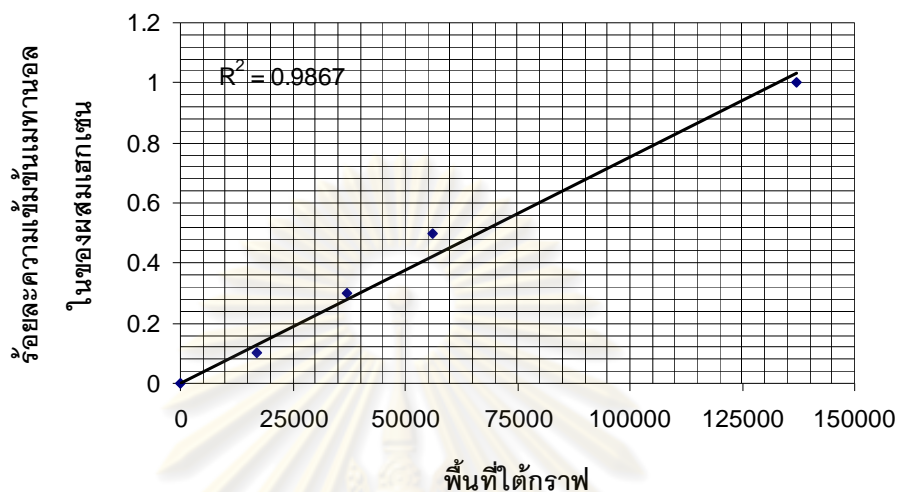
ตารางที่ 4.1 แสดงค่าคงที่ของสมการที่ใช้ทำนายในกราฟสอปเทียบ

	a	b	R ²
ของผสมเฮกเซน-เมทานอล	4.3573	-0.4701	0.9565
ของผสมไบโอดีเซล-เมทานอล	4.3499	-0.4222	0.9758

จากกราฟรูปที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักซิลิกาเจลกับของผสมเฮกเซนกับเมทานอล และของผสมไบโอดีเซลกับเมทานอล พบว่ากราฟที่ได้มีแนวโน้มใกล้เคียงกัน จึงสามารถใช้ของผสมชนิดใดชนิดหนึ่งสร้างกราฟความสัมพันธ์ทดแทนกันได้ กราฟของผสมไบโอดีเซลกับเมทานอลที่มีแนวโน้มมากกว่ากราฟของผสมเฮกเซนกับเมทานอลอยู่เล็กน้อยนั้นอาจเป็นเพราะในขั้นตอนการทำจัดสิ่งปนเปื้อนในไบโอดีเซลยังไม่ดีพอ จึงมีความชื้นหรือเมทานอลหลงเหลืออยู่ ทำให้ต้องให้ซิลิกาเจลในปริมาณที่มากกว่า

ในการทดลองจะทำการตรวจสอบของผสมเฮกเซนกับเมทานอลหลังใช้ซิลิกาเจลดูดซับเมทานอล ด้วยวิธีแก๊สโครมาโทกราฟี (Gas Chromatography) เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของการหาปริมาณเมทานอลที่ถูกดูดซับด้วยกราฟความสัมพันธ์สอปเทียบน้ำหนักซิลิกาเจลกับของ

ผสมของเมทานอลที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ จากการตรวจสอบด้วยวิธีแก๊สโครมาโทกราฟีของของผสมมาตรฐานเมทานอลในเฮกเซนที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ สามารถสร้างกราฟโค้งมาตรฐานได้ดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 แสดงเส้นโค้งมาตรฐานที่มีความสัมพันธ์กับพื้นที่ได้กราฟจากผลวิเคราะห์ และร้อยละความเข้มข้นเมทานอลในเฮกเซน [ก.2]

ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างของผสมเมทานอลในเฮกเซนหลังถูกดูดซับด้วยซิลิกาเจล แสดงดังตารางที่ 4.2 โดยนำพื้นที่ได้กราฟที่ได้จากการวิเคราะห์ไปเทียบกับเส้นโค้งมาตรฐานในรูปที่ 4.8 จะได้ความเข้มข้นของเมทานอลที่เหลืออยู่ในของผสม และเมื่อหักลบกับความเข้มข้นเริ่มต้นจะได้ปริมาณเมทานอลที่ถูกซิลิกาเจลดูดซับไป

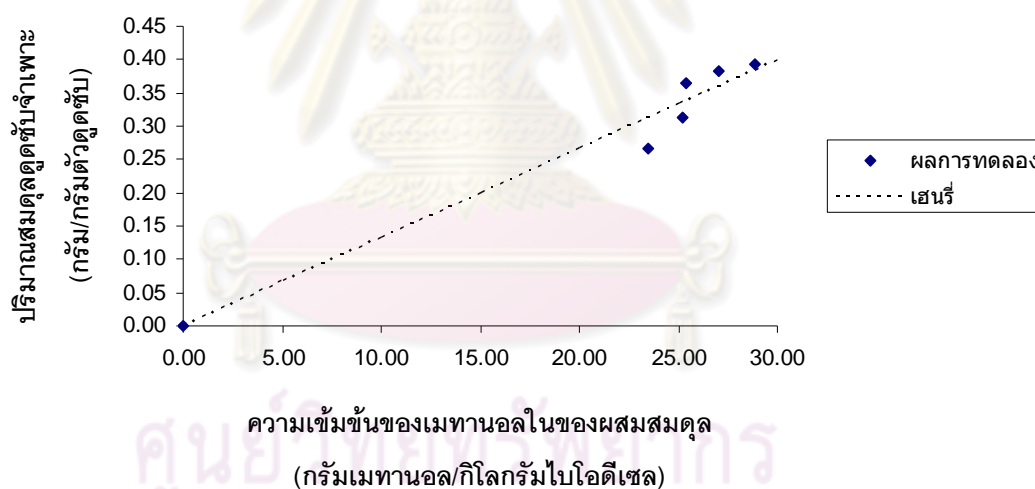
ตารางที่ 4.2 แสดงปริมาณเมทานอลที่เหลือหลังถูกซิลิกาเจลดูดซับ

ร้อยละความเข้มข้น ตัวอย่างของผสม	พื้นที่ได้กราฟ	ซิลิกาที่ใช้ (กรัม)	เมทานอล ที่เหลือ (%)	เมทานอล ที่ถูกดูดซับ (%)
1	9471	0.3375	0.07	0.93
3	6861	0.9502	0.06	2.94
5	33930	1.2225	0.25	4.75

เมื่อนำน้ำหนักซิลิกาที่ใช้ในการทดสอบการดูดซับเมทานอลจนไม่เปลี่ยนแปลง สอบเทียบกับกราฟรูปที่ 4.7 พบว่าที่ตัวอย่างของผสมเข้มข้นร้อยละ 1 โดยมวล ค่าความเข้มข้นของเมทานอลที่สอบเทียบได้จะเท่ากับร้อยละ 1 โดยมวล ซึ่งมีค่าความคลาดเคลื่อนกับการตรวจวัดด้วยวิธีแก๊สโครมาโทกราฟี ร้อยละ 0.07 โดยมวลของของผสมเมทานอลในเฮกเซน ที่ตัวอย่างของผสมเข้มข้นร้อยละ 3 โดยมวล ค่าความเข้มข้นของเมทานอลที่สอบเทียบได้จะเท่ากับร้อยละ 3.5 โดยมวล ซึ่งมีค่าความคลาดเคลื่อนกับการตรวจวัดด้วยวิธีแก๊สโครมาโทกราฟี ร้อยละ 0.56 โดยมวลของของผสมเมทานอลในเฮกเซน และที่ตัวอย่างของผสมเข้มข้นร้อยละ 5 โดยมวล ค่าความเข้มข้นของเมทานอลที่สอบเทียบได้จะเท่ากับร้อยละ 4.8 โดยมวล ซึ่งมีค่าความคลาดเคลื่อนกับการตรวจวัดด้วยวิธีแก๊สโครมาโทกราฟี ร้อยละ 0.05 โดยมวลของของผสมเมทานอลในเฮกเซน

4.3 ผลสมมูลการดูดซับ

4.3.1 คำนวณปริมาณเมทานอลที่ดูดซับ โดยใช้ตัวดูดซับ-00



รูปที่ 4.9 แสดงสมมูลการดูดซับของเมทานอลในไบโอดีเซล โดยใช้ตัวดูดซับ-00

จากรูปที่ 4.9 แสดงปริมาณเมทานอลที่ถูกดูดซับ พบว่าที่ความเข้มข้นของเมทานอลในของผสมเพิ่มขึ้น เมทานอลที่ถูกดูดซับในตัวดูดซับจะสูงขึ้น สมมูลการดูดซับเมทานอลด้วยตัวดูดซับ-00 สามารถทำการเปรียบเทียบตัวแปรกับสมการที่ 2.2 ได้ค่าสมมูลการดูดซับของเฮนรี่ (K_H) เท่ากับ 0.0133 เขียนสมการแบบจำลองสมมูลการดูดซับเฮนรี่ได้ดังสมการที่ 4.3

$$q = 0.0133C \quad ; R^2 = 0.9646 \quad (4.3)$$

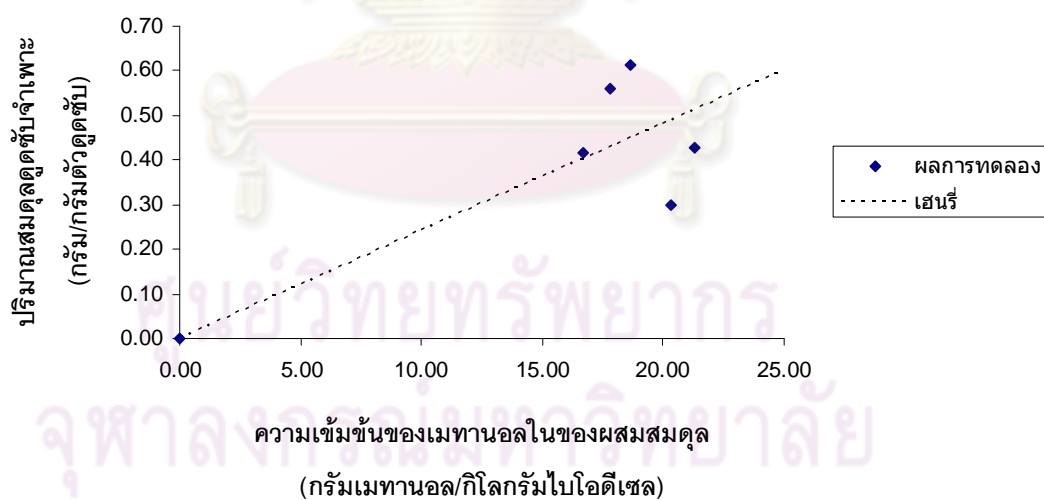
สมดุลการดูดซับเมทานอลด้วยตัวดูดซับ-00 สามารถทำการเปรียบเทียบตัวแปรกับสมการที่ 2.3 ได้ค่าสมดุลการดูดซับของแลงมัวร์ (K_L) เท่ากับ 0.0189 และ ปริมาณเมทานอลที่ถูกดูดซับสูงสุดต่อมวลตัวดูดซับ (q_m) เท่ากับ 0.3503 กรัมเมทานอลต่อกรัมตัวดูดซับ เขียนสมการแบบจำลองสมดุลการดูดซับแลงมัวร์ได้ดังสมการที่ 4.4

$$q = \frac{0.0066C}{1 + 0.0189C} \quad ; R^2 = 0.8057 \quad (4.4)$$

สมดุลการดูดซับเมทานอลด้วยตัวดูดซับ-00 สามารถทำการเปรียบเทียบตัวแปรกับสมการที่ 2.4 ได้ค่าสมดุลการดูดซับของฟรุนดริช (K_F) เท่ากับ 0.0008 และค่า n เท่ากับ 1.8613 เขียนสมการแบบจำลองสมดุลการดูดซับฟรุนดริชได้ดังสมการที่ 4.5

$$q = 0.0008C^{1.8613} \quad ; R^2 = 0.8017 \quad (4.5)$$

4.3.2 จำนวนปริมาณเมทานอลที่ดูดซับ โดยใช้ตัวดูดซับ-05



รูปที่ 4.10 แสดงสมดุลการดูดซับของเมทานอลในไบโอดีเซล โดยใช้ตัวดูดซับ-05

จากรูปที่ 4.10 แสดงปริมาณเมทานอลที่ถูกดูดซับ พบว่าที่ความเข้มข้นของเมทานอลในของผสมเพิ่มขึ้น เมทานอลที่ถูกดูดซับในตัวดูดซับจะสูงขึ้น สมดุลการดูดซับเมทานอลด้วย

ตัวดูดซับ-05 สามารถทำการเปรียบเทียบตัวแปรกับสมการที่ 2.2 ได้ค่าสมดุลการดูดซับของเฮนรี (K_H) เท่ากับ 0.0241 เขียนสมการแบบจำลองสมดุลการดูดซับเฮนรีได้ดังสมการที่ 4.6

$$q = 0.0241C \quad ; R^2 = 0.6332 \quad (4.6)$$

สมดุลการดูดซับเมทานอลด้วยตัวดูดซับ-05 สามารถทำการเปรียบเทียบตัวแปรกับสมการที่ 2.3 ได้ค่าสมดุลการดูดซับของแลงมัวร์ (K_L) เท่ากับ 0.0982 และ ปริมาณเมทานอลที่ถูกดูดซับสูงสุดต่อมวลตัวดูดซับ (q_m) เท่ากับ 0.1992 กรัมเมทานอลต่อกรัมตัวดูดซับ เขียนสมการแบบจำลองสมดุลการดูดซับแลงมัวร์ได้ดังสมการที่ 4.7

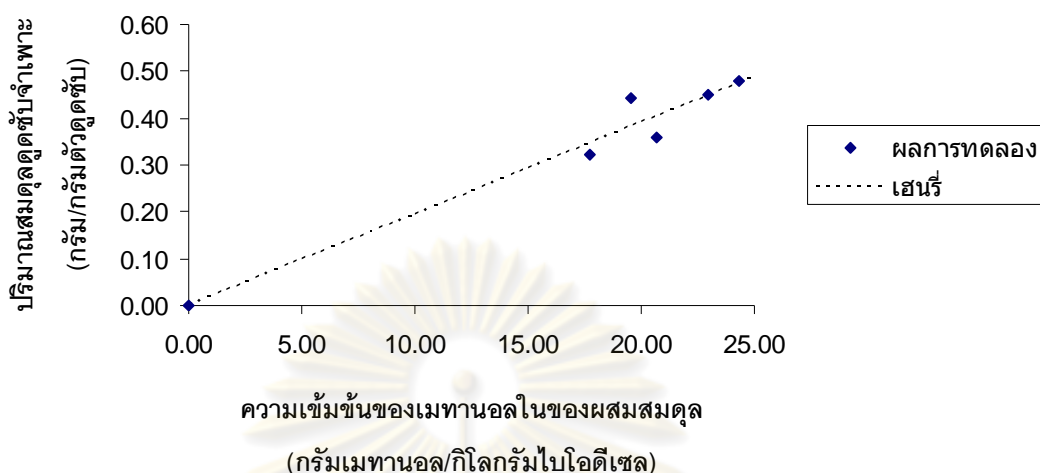
$$q = \frac{0.0195C}{1 + 0.0982C} \quad ; R^2 = 0.1564 \quad (4.7)$$

สมดุลการดูดซับเมทานอลด้วยตัวดูดซับ-05 สามารถทำการเปรียบเทียบตัวแปรกับสมการที่ 2.4 ได้ค่าสมดุลการดูดซับของฟรุนดริช (K_F) เท่ากับ 12.1898 และค่า n เท่ากับ -1.1236 เขียนสมการแบบจำลองสมดุลการดูดซับฟรุนดริชได้ดังสมการที่ 4.8

$$q = 12.1898C^{-1.1236} \quad ; R^2 = 0.1535 \quad (4.8)$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.3.3 จำนวนปริมาณเมทานอลที่ดูดซับ โดยใช้ตัวดูดซับ-10



รูปที่ 4.11 แสดงสมดุลการดูดซับของเมทานอลในไบโอดีเซล โดยใช้ตัวดูดซับ-10

จากรูปที่ 4.11 แสดงปริมาณเมทานอลที่ถูกดูดซับ พบว่าที่ความเข้มข้นของเมทานอลในของผสมเพิ่มขึ้น เมทานอลที่ถูกดูดซับในตัวดูดซับจะสูงขึ้น สมดุลการดูดซับเมทานอลด้วยตัวดูดซับ-10 สามารถทำการเปรียบเทียบตัวแปรกับสมการที่ 2.2 ได้ค่าสมดุลการดูดซับของเฮนรี (K_H) เท่ากับ 0.0195 เขียนสมการแบบจำลองสมดุลการดูดซับเฮนรีได้ดังสมการที่ 4.9

$$q = 0.0195C \quad ; R^2 = 0.9603 \quad (4.9)$$

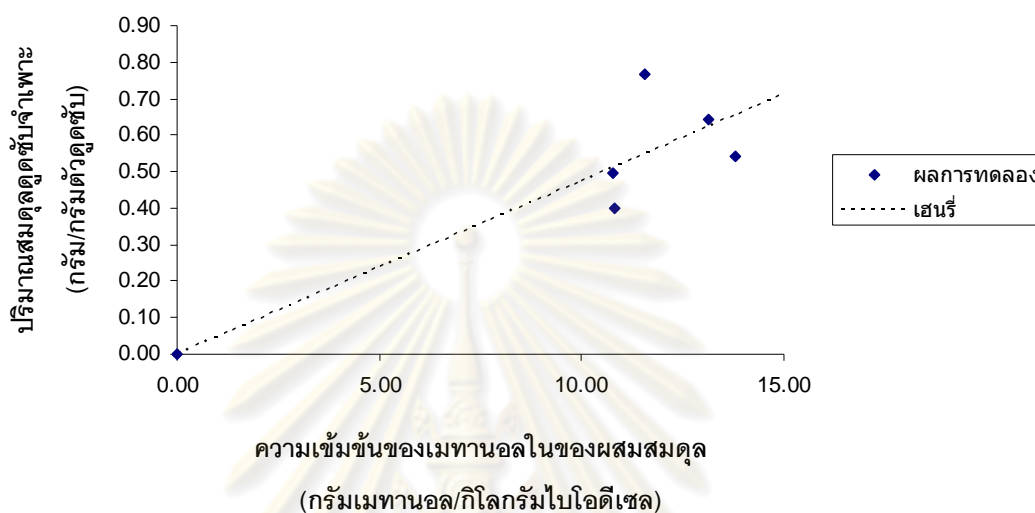
สมดุลการดูดซับเมทานอลด้วยตัวดูดซับ-10 สามารถทำการเปรียบเทียบตัวแปรกับสมการที่ 2.3 ได้ค่าสมดุลการดูดซับของแลงมัวร์ (K_L) เท่ากับ 0.0046 และ ปริมาณเมทานอลที่ถูกดูดซับสูงสุดต่อมวลตัวดูดซับ (q_m) เท่ากับ 3.8183 กรัมเมทานอลต่อกรัมตัวดูดซับ เขียนสมการแบบจำลองสมดุลการดูดซับแลงมัวร์ได้ดังสมการที่ 4.10

$$q = \frac{0.0175C}{1 + 0.0046C} \quad ; R^2 = 0.6528 \quad (4.10)$$

สมดุลการดูดซับเมทานอลด้วยตัวดูดซับ-10 สามารถทำการเปรียบเทียบตัวแปรกับสมการที่ 2.4 ได้ค่าสมดุลการดูดซับของฟรุนดริช (K_F) เท่ากับ 0.0157 และค่า n เท่ากับ 1.071 เขียนสมการแบบจำลองสมดุลการดูดซับฟรุนดริชได้ดังสมการที่ 4.11

$$q = 0.0157C^{1.071} \quad ; R^2 = 0.6463 \quad (4.11)$$

4.3.4 คำนวณปริมาณเมทานอลที่ดูดซับ โดยใช้ตัวดูดซับ-15



รูปที่ 4.12 แสดงสมดุลการดูดซับของเมทานอลในไบโอดีเซล โดยใช้ตัวดูดซับ-15

จากรูปที่ 4.12 แสดงปริมาณเมทานอลที่ถูกดูดซับ พบว่าที่ความเข้มข้นของเมทานอลในของผสมเพิ่มขึ้น เมทานอลที่ถูกดูดซับในตัวดูดซับจะสูงขึ้น สมดุลการดูดซับเมทานอลด้วยตัวดูดซับ-15 สามารถทำการเปรียบเทียบตัวแปรกับสมการที่ 2.2 ได้ค่าสมดุลการดูดซับของเฮนรี (K_H) เท่ากับ 0.0473 เขียนสมการแบบจำลองสมดุลการดูดซับเฮนรีได้ดังสมการที่ 4.12

$$q = 0.0473C \quad ; R^2 = 0.7871 \quad (4.12)$$

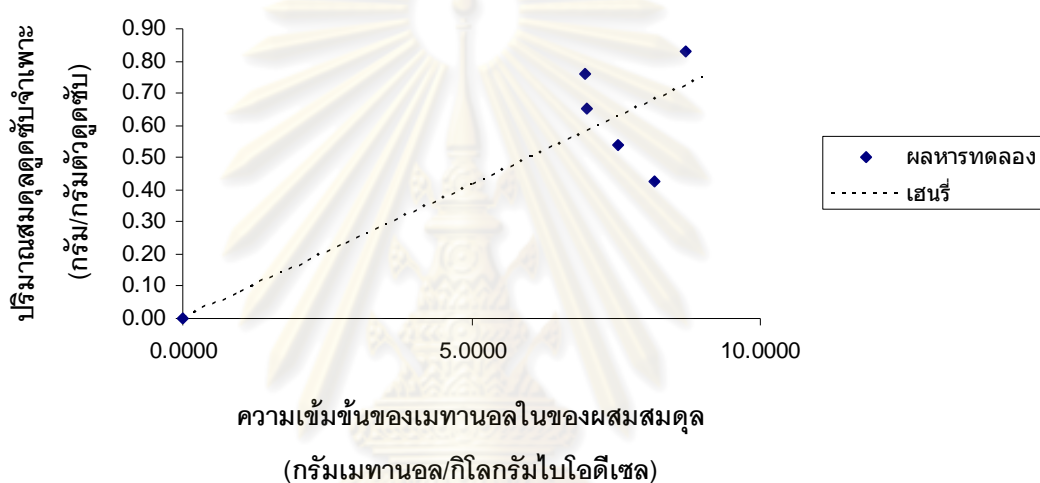
สมดุลการดูดซับเมทานอลด้วยตัวดูดซับ-15สามารถทำการเปรียบเทียบตัวแปรกับสมการที่ 2.3 ได้ค่าสมดุลการดูดซับของแลงมัวร์ (K_L) เท่ากับ 0.0027 และ ปริมาณเมทานอลที่ถูกดูดซับสูงสุดต่อมวลตัวดูดซับ (q_m) เท่ากับ 16.6113 กรัมเมทานอลต่อกรัมตัวดูดซับ เขียนสมการแบบจำลองสมดุลการดูดซับแลงมัวร์ได้ดังสมการที่ 4.13

$$q = \frac{0.0448C}{1 + 0.0027C} \quad ; R^2 = 0.2141 \quad (4.13)$$

สมการการดูดซับเมทานอลด้วยตัวดูดซับ-15 สามารถทำการเปรียบเทียบตัวแปรกับสมการที่ 2.4 ได้ค่าสมการการดูดซับของฟรุนดริช (K_F) เท่ากับ 0.0669 และค่า n เท่ากับ 0.8532 เขียนสมการแบบจำลองสมการการดูดซับฟรุนดริชได้ดังสมการที่ 4.14

$$q = 0.0669C^{0.8532} \quad ; R^2 = 0.1509 \quad (4.14)$$

4.3.5 จำนวนปริมาณเมทานอลที่ดูดซับ โดยใช้ตัวดูดซับ-20



รูปที่ 4.13 แสดงสมการการดูดซับของเมทานอลในไบโอดีเซล โดยใช้ตัวดูดซับ-20

จากรูปที่ 4.13 แสดงปริมาณเมทานอลที่ถูกดูดซับ พบว่าที่ความเข้มข้นของเมทานอลในของผสมเพิ่มขึ้น เมทานอลที่ถูกดูดซับในตัวดูดซับจะสูงขึ้น สมการการดูดซับเมทานอลด้วยตัวดูดซับ-20 สามารถทำการเปรียบเทียบตัวแปรกับสมการที่ 2.2 ได้ค่าสมการการดูดซับของเฮนรี (K_H) เท่ากับ 0.083 เขียนสมการแบบจำลองสมการการดูดซับเฮนรีได้ดังสมการที่ 4.15

$$q = 0.083C \quad ; R^2 = 0.7288 \quad (4.15)$$

สมการการดูดซับเมทานอลด้วยตัวดูดซับ-20 สามารถทำการเปรียบเทียบตัวแปรกับสมการที่ 2.3 ได้ค่าสมการการดูดซับของแลงมัวร์ (K_L) เท่ากับ 0.3813 และ ปริมาณเมทานอลที่ถูกดูดซับสูงสุดต่อมวลตัวดูดซับ (q_m) เท่ากับ 0.3969 กรัมเมทานอลต่อกรัมตัวดูดซับ เขียนสมการแบบจำลองสมการการดูดซับแลงมัวร์ได้ดังสมการที่ 4.16

$$q = \frac{0.1513C}{1 + 0.3813C} \quad ; R^2 = 0.0321 \quad (4.16)$$

สมการการดูดซับเมทานอลด้วยตัวดูดซับ-20 สามารถทำการเปรียบเทียบตัวแปร กับสมการที่ 2.4 ได้ค่าสมการการดูดซับของฟรุนดริช (K_F) เท่ากับ 1.0196 และค่า n เท่ากับ -0.2419 เขียนสมการแบบจำลองสมการการดูดซับฟรุนดริชได้ดังสมการที่ 4.17

$$q = 1.0196C^{-0.2419} \quad ; R^2 = 0.0076 \quad (4.17)$$

4.3.6 เปรียบเทียบการดูดซับเมทานอลโดยใช้ตัวดูดซับที่กระตุ้นด้วยสารละลาย กรดฟอสฟอริกที่เข้มข้นความเข้มข้นต่าง ๆ

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณการดูดซับเมทานอลในไบโอดีเซล จากรูป 4.9, 4.10, 4.11, 4.12 และ 4.13 พบว่าตัวดูดซับสามารถดูดซับเมทานอลได้เพิ่มขึ้นเมื่อใช้สารละลาย กรดฟอสฟอริกที่มีความเข้มข้นกระตุ้น เป็นเพราะกรดฟอสฟอริกที่เข้าไปอยู่ในตัวดูดซับ มีสมบัติการ ดูดความชื้น ซึ่งเมทานอลมีความเป็นขั้วเช่นเดียวกับน้ำ กรดจึงน่าจะดูดซับเมทานอลได้ เช่นเดียวกับน้ำ ในการทดลองสามารถเพิ่มความเข้มข้นกรดในการกระตุ้นให้สูงขึ้นกว่านี้ได้ แต่จะ ส่งผลกระทบต่อในขั้นตอนหาสมการการดูดซับ คือกรดฟอสฟอริกที่อยู่ภายในตัวดูดซับจะออกมาปน กับไบโอดีเซลที่ทำการทดลองหาสมการการดูดซับเมทานอล ทำให้ผลการดูดซับคลาดเคลื่อนได้

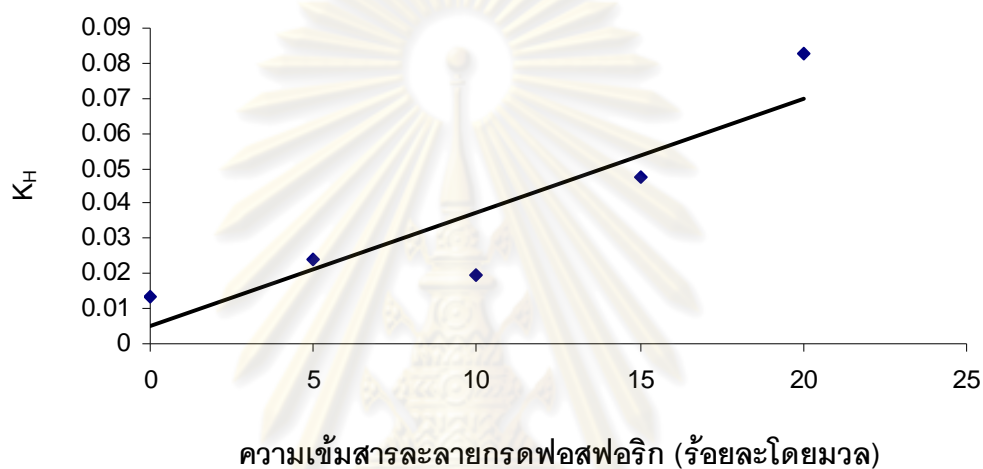
สมการการดูดซับเมทานอลที่ได้จากการทดลอง จะใช้สมการแบบจำลองสมการการดูดซับของเฮนรี แลงมัวร์ และฟรุนดริช เพื่อทำนายการดูดซับและหาแบบจำลองที่เหมาะสมกับการ ทดลอง ซึ่งจะใช้ค่า $\sum \Delta q^2$ คือ ผลรวมของผลต่างของปริมาณการดูดซับเมทานอลที่ได้จากการ ทดลองกับปริมาณการดูดซับเมทานอลที่คำนวณได้จากแบบจำลองสมการการดูดซับกำลังสอง และค่า R^2 ในการพิจารณาความเหมาะสมของแบบจำลองสมการการดูดซับ เมื่อเปรียบเทียบค่า $\sum \Delta q^2$ ที่คำนวณได้ (ง.1-ง.5) จากสมการแบบจำลองสมการการดูดซับทั้ง 3 สมการ ค่าที่คำนวณแล้วได้ คำน้อยสุดเมื่อเทียบกัน แสดงว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนกับผลการทดลองน้อยที่สุด จึงเหมาะที่จะ เป็นสมการแบบจำลองสมการการดูดซับสำหรับงานวิจัยนี้

จากค่า $\sum \Delta q^2$ ของแต่ละแบบจำลองสมการการดูดซับ และพิจารณาค่า R^2 พบว่า แบบจำลองสมการการดูดซับของเฮนรีเหมาะสมกับทุก ๆ สมการการดูดซับของเมทานอลในไบโอ ดีเซล โดยใช้ตัวดูดซับที่กระตุ้นด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริกเข้มข้นร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20

โดยมวล โดยแบบจำลองสมดุลดูดซับของแลงมัวร์ และฟรุนดริช ไม่สามารถใช้ทำนายการดูดซับ
ในงานวิจัยนี้ได้

4.4 ค่าคงที่สมดุลการดูดซับ

การดูดซับเมทานอลบนตัวดูดซับที่ได้จากการเปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลาย
กรดฟอสฟอริก ค่าคงที่สมดุลการดูดซับที่ความเข้มข้นต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ ง.1-ง.5



รูปที่ 4.14 ค่าคงที่สมดุลการดูดซับของตัวดูดซับที่เตรียมโดย
เปลี่ยนความเข้มข้นกรดให้สูงขึ้น

จากรูปที่ 4.14 แสดงค่าคงที่สมดุลการดูดซับของเมทานอลจากแบบจำลองสมดุล
การดูดซับของเฮนรี่ ซึ่งเป็นแบบจำลองสมดุลดูดซับที่เหมาะสม พบว่าค่าคงที่สมดุลมีแนวโน้ม
เพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นสารละลายกรดสูงขึ้น โดยค่าคงที่สมดุลการดูดซับของตัวดูดซับที่เตรียม
โดยใช้สารละลายกรดฟอสฟอริกเข้มข้นร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก จะมีค่าสูงที่สุด และลดลงตาม
ความเข้มข้นของสารละลายกรดฟอสฟอริกที่ใช้ เนื่องจากที่สารละลายกรดฟอสฟอริกเข้มข้นร้อยละ
20 โดยน้ำหนัก มีปริมาณไฮโดรเจนไอออนในระบบมาก จึงทำให้ปฏิกิริยาเกิดได้มาก ส่งผลให้
ค่าคงที่สมดุลการดูดซับสูงขึ้น

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

สรุปผลการวิจัย

1. การใช้สารละลายกรดฟอสฟอริกที่มีความเข้มข้นสูงช่วยในการสังเคราะห์ตัวดูดซับ พบว่าตัวดูดซับที่สังเคราะห์ได้มีความสามารถในการดูดความชื้นเพิ่มขึ้น
2. เมื่อเปรียบเทียบปริมาณเมทานอลที่ถูกดูดซับในตัวดูดซับ พบว่าตัวดูดซับที่สังเคราะห์จากการใช้สารละลายกรดฟอสฟอริกเข้มข้นร้อยละ 20 โดยมวล มีความสามารถในการดูดซับเมทานอลได้สูงที่สุด
3. แบบจำลองสมดุลดูดซับที่เหมาะสมกับงานวิจัยนี้คือ แบบจำลองสมดุลการดูดซับของเฮนรี

ข้อเสนอแนะ

1. ควรจะมีการทดลองเงื่อนไขอื่นที่มีผลต่อการดูดซับและการสังเคราะห์ตัวดูดซับ เช่น เพิ่มอุณหภูมิในการสังเคราะห์ตัวดูดซับให้สูงขึ้น หรือวัสดุดิบที่ใช้ผลิตตัวดูดซับชนิดอื่นเพิ่มขึ้น
2. ศึกษาการคายกลับ เพื่อนำเมทานอลออกมาจากถ่าน โดยการนำตัวดูดซับหลังเข้าสู่สมดุล ระเหยที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส นำไอที่ระเหยไปควบแน่นที่อุณหภูมิห้องโดยให้เวลาในการคายกลับนานที่สุดจนไม่มีไอน้ำควบแน่นกลับออกมา [4]

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

- [1] ศิวะพงษ์ เพ็ชรสงค์. ไบโอดีเซล พลังงานทางเลือก, มิตรภาพการพิมพ์และสตีวดีโอ, 2550
- [2] พิสมัย เจนวนิชปัญญกุล และลลิตา อัดตนโธ. รอบรู้...เรื่องราว ไบโอดีเซล, วิทยาลัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วท.), 2549
- [3] T.Vermeulen, G.Klein, N.K.Hiester, in:R.H.Perry, C.H.Chilton(Eds.). Chemical Engineers' Handbook, 5thed., .(n.p.): McGraw-Hill, 1975.
- [4] ชวริน โปยมรัตน์. การแยกเอทานอลออกจากสารผสมเอทานอล-น้ำ โดยใช้ตัวดูดซับเชิงพาณิชย์จากกะลามะพร้าว. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2550
- [5] Don W. Green. Peery's chemical engineering'Handbook, 7thed., .(n.p.): McGraw-Hill, 1999. section16
- [6] วิศรุต โฉจนานนท์. ผลของการเตรียมตัวดูดซับชนิดถ่านจากเปลือกถั่วลิสงด้วยกรดฟอสฟอริก ต่อการดูดซับไอเบนซีนเจือจาง. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542
- [7] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. ถ่านกัมมันต์ : มอก. 90-2532. 2532
- [8] ประพิณ ทักกาญจนะ. การศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการกระตุ้นเปลือกเมล็ดทานตะวันสำหรับการผลิตวัสดุดูดซับ. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2548.
- [9] John W. Hassler. Purification with Activated Carbon. Chemical Publishing Co., Inc., 1974
- [10] Wisarut Lochananon and Deacha Chatsiriwech. Effect of phosphoric acid concentration on properties of peanut shell adsorbents. Journal of Industrial and Engineering Chemistry 14 (2008) : 84-88
- [11] Phussadee Patnukao and Prasert Pavasant. Activated carbon from Eucalyptus camaldulensis Dehn bark using phosphoric acid activation. Bioresource Technology 99 (2008) : 8540-8543
- [12] Yulu Diao และคณะ. Activated carbon prepared from phosphoric acid activation of grain sorghum. Bioresource Technology 81 (2002) : 45-52

- [13] Larisa G. Gordeeva และคณะ. Composites “lithium halides in silica gel pores”:
Methanol sorption equilibrium. Microporous and Mesoporous Materials 112
(2008) : 254–261
- [14] R. Nasuto. THE ADSORPTION OF METHANOL VAPORS ON SILICA GEL Si-100
AND ITS SURFACE CONTAINING DIFFERENT CONCENTRATIONS OF
CHEMICALLY BONDED FLUORIDE IONS. Journal of Thermal Analysis and
Calorimetry 62 (2000) : 581-585
- [15] Standard Test Method for Determination of the Moisture and Other Volatile Matter
Contained in Fats and Oils in Fat Liquors and Softening Compounds. Annual
book of ASTM standards, 15.04, D5556-95, 2006
- [16] เกษรา คำภาพักตร์. เคมีเบื้องต้น. [ออนไลน์]. 2547. แหล่งที่มา:
<http://student.nu.ac.th/46410551/lesson4.htm> [2553, เมษายน 20]
- [17] Wales, J.; and Sanger, L. Hygroscopy [Online]. 2005. Available from :
<http://en.wikipedia.org/wiki/Hygroscopy> [2553, March 7]
- [18] P. Salvador and J. J. Frapiat. Molecular Diffusion and Proton Exchange in Methanol
Adsorbed by a Sodium and a Hydrogen Y Zeolite. The Journal of physical
Chemistry 79 (1975) : 1842-1849
- [19] Wales, J.; and Sanger, L. Phosphoric acid [Online]. 2005. Available from :
http://en.wikipedia.org/wiki/Phosphoric_acid [2553, March 7]
- [20] Wales, J.; and Sanger, L. Silica gel [Online]. 2005. Available from :
http://en.wikipedia.org/wiki/Silica_gel [2553, March 7]



ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

ข้อมูลประกอบในงานวิจัย

ก.1 คำนวณปริมาณความชื้นและสารระเหยที่ถูกกำจัด

ใช้น้ำมันน้ำหนักเริ่มต้น 20.0002 กรัม ทำตามขั้นตอน ASTM D5556-95 น้ำหนักน้ำมันสุดท้ายหนัก 19.2208 ซึ่งน้ำหนักหายไปเท่ากับ 0.7794 กรัม สามารถคำนวณหาปริมาณความชื้นและสารระเหยที่ถูกกำจัดไปได้ดังนี้

$$\%moisture \text{ and } volatile = \frac{0.7794 \times 100}{20.0002} \quad (ก.1)$$

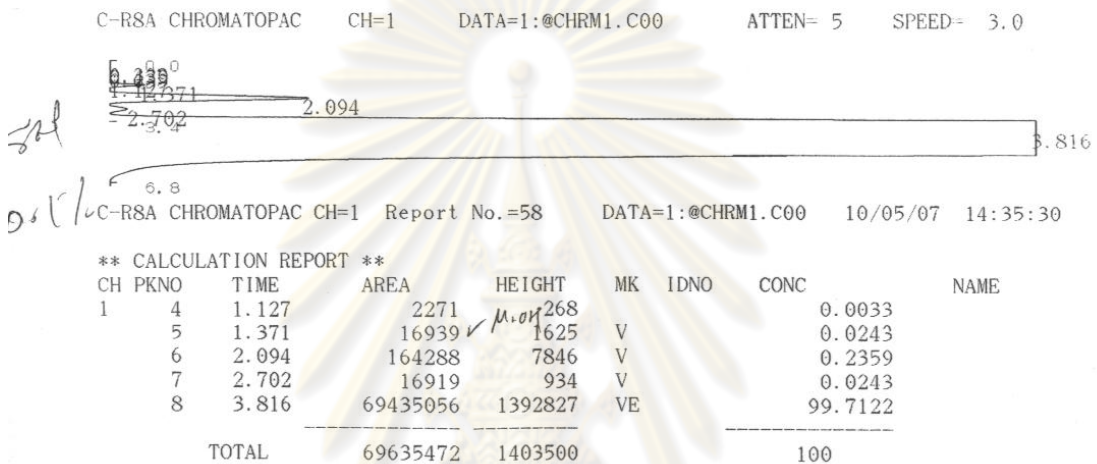
จากสมการที่ ก.1 เปอร์เซ็นต์ความชื้นและสารระเหยที่มีอยู่ในน้ำมันหรือที่ถูกกำจัดไป มีค่าประมาณ 3.8969%

ตารางที่ ก.1 ข้อมูลเปอร์เซ็นต์ความชื้นและสารระเหยที่อยู่ในไบโอดีเซล

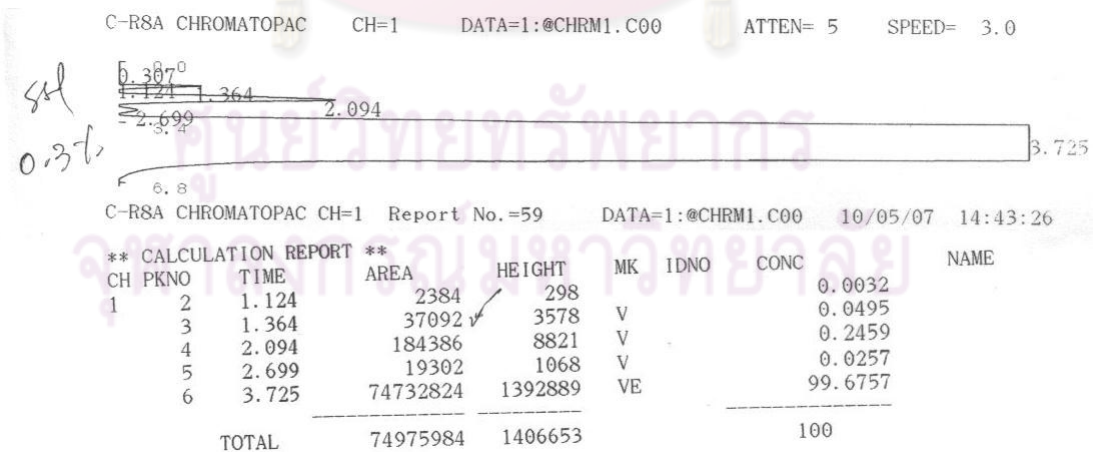
ครั้งที่	น้ำมันเริ่มต้น (g)	น้ำมันสุดท้าย (g)	น้ำหนักที่หายไป (g)	%moisture and volatile
1	20.0002	19.2208	0.7794	3.8970
2	19.9980	19.2825	0.7155	3.5779
3	20.0064	19.2535	0.7529	3.7633

ก.2 ผลการตรวจสอบหาปริมาณเมทานอลในเฮกเซนหลังดูดซับด้วยซิลิกาเจล ด้วยวิธีแก๊สโครมาโทกราฟี

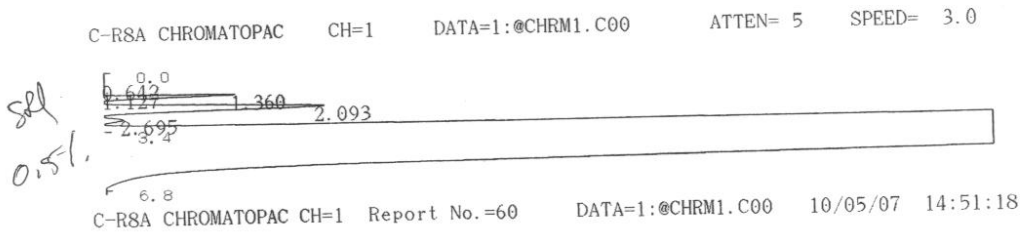
ในการตรวจหาปริมาณเมทานอลในเฮกเซนที่ถูกดูดซับด้วยซิลิกา ทำการเลือกตัวอย่างมาทดสอบ 3 ตัวอย่าง คือ ของผสมเมทานอลในเฮกเซนหลังถูกดูดซับที่ความเข้มข้นร้อยละ 1 3 และ 5 โดยมวล ด้วยวิธีโครมาโทกราฟี ซึ่งจุดยอดของกราฟที่เวลาประมาณ 1.3 จะเป็นช่วงของปริมาณเมทานอลในของผสม โดยได้ผลวิเคราะห์ดังต่อไปนี้



รูปที่ ก.1 ผลการวิเคราะห์ของผสมเมทานอลในเฮกเซนมาตรฐาน ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.1 โดยมวล



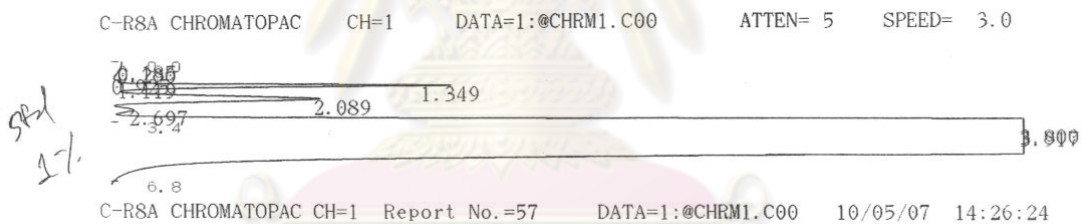
รูปที่ ก.2 ผลการวิเคราะห์ของผสมเมทานอลในเฮกเซนมาตรฐาน ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.3 โดยมวล



** CALCULATION REPORT **

CH	PKNO	TIME	AREA	HEIGHT	MK	IDNO	CONC	NAME
1	2	1.127	1997	273			0.7809	
	3	1.36	55960	5520	V		21.8837	
	4	2.093	185431	9073	V		72.5141	
	5	2.695	12329	851			4.8214	
TOTAL			255718	15717			100	


รูปที่ ก.3 ผลการวิเคราะห์ของผสมเมทานอลในเฮกเซนมาตรฐาน ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 โดยมวล



** CALCULATION REPORT **

CH	PKNO	TIME	AREA	HEIGHT	MK	IDNO	CONC	NAME
1	4	1.119	1584	245			0.0022	
	5	1.349	136969	13025	V		0.1931	
	6	2.089	167386	7990	V		0.236	
	7	2.697	13333	816	V		0.0188	
	8	3.8	23097492	1392503	VE		32.5647	
	9	3.917	47511320	1392480	VE		66.9852	
TOTAL			70928080	2807058			100	


รูปที่ ก.4 ผลการวิเคราะห์ของผสมเมทานอลในเฮกเซนมาตรฐาน ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยมวล

C-RSA CHROMATOPAC CH=1 DATA=1:@CHRM1.C00 ATTEN= 5 SPEED= 3.0
ofach
5/1

 C-RSA CHROMATOPAC CH=1 Report No.=64 DATA=1:@CHRM1.C00 10/05/07 15:26:54

**** CALCULATION REPORT ****

CH	PKNO	TIME	AREA	HEIGHT	MK	IDNO	CONC	NAME
1	2	1.374	9471	903	V		7.6981	
	3	2.095	113558	5567			92.3019	
TOTAL			123029	6470			100	

รูปที่ ก.5 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างของผสมเมทานอลในเฮกเซน ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยมวล หลังถูกดูดซับด้วยซิลิกาเจล

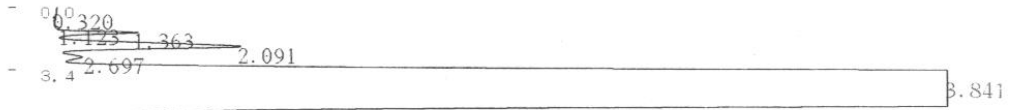
C-RSA CHROMATOPAC CH=1 DATA=1:@CHRM1.C00 ATTEN= 5 SPEED= 3.0
ของ

 C-RSA CHROMATOPAC CH=1 Report No.=62 DATA=1:@CHRM1.C00 10/05/07 15:11:40

**** CALCULATION REPORT ****

CH	PKNO	TIME	AREA	HEIGHT	MK	IDNO	CONC	NAME
1	2	1.127	1602	191			0.0022	
	3	1.377	6861	630	V		0.0095	
	4	2.093	148625	7039	V		0.2069	
	5	2.7	18736	976	V		0.0261	
	6	3.775	71674400	1390572	VE		99.7553	
TOTAL			71850216	1399409			100	

รูปที่ ก.6 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างของผสมเมทานอลในเฮกเซน ที่ความเข้มข้นร้อยละ 3 โดยมวล หลังถูกดูดซับด้วยซิลิกาเจล

C-RSA CHROMATOPAC CH=1 DATA=1:@CHRM1.C00 ATTEN= 5 SPEED= 3.0



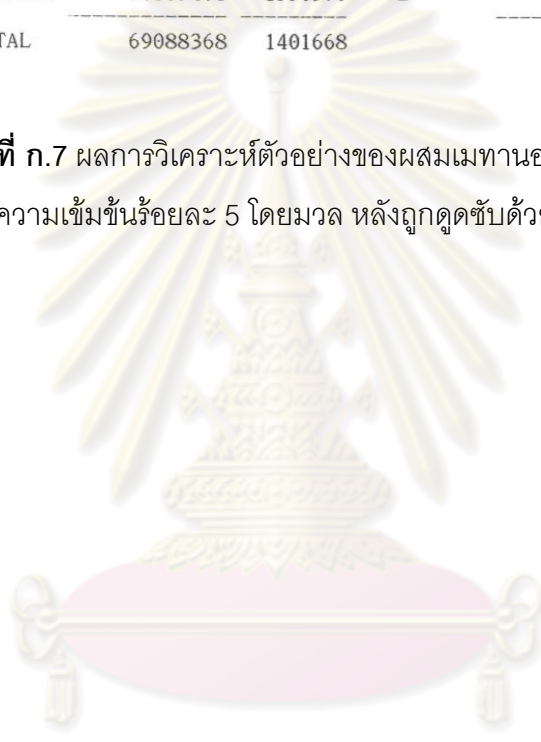
std.

C-RSA CHROMATOPAC CH=1 Report No.=63 DATA=1:@CHRM1.C00 10/05/07 15:19:36

** CALCULATION REPORT **

CH	PKNO	TIME	AREA	HEIGHT	MK	IDNO	CONC	NAME
1	2	1.123	1414	181			0.002	
	3	1.363	33930	3083	V		0.0491	
	4	2.091	145964	6895	V		0.2113	
	5	2.697	17656	932	V		0.0256	
	6	3.841	68889408	1390576	VE		99.712	
TOTAL			69088368	1401668			100	

รูปที่ ก.7 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างของผสมเมทานอลในเฮกเซน ที่ความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยมวล หลังถูกดูดซับด้วยซิลิกาเจล



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข
แบบจำลองสมดุลดูดซับ

ข.1 แสดงแบบจำลองสมดุลการดูดซับเมทานอลกรณีใช้ตัวดูดซับ-00

แบบจำลองสมดุลการดูดซับของเฮนรีแสดงดังสมการ:

$$q = K_H C \quad (ข.1)$$

แบบจำลองสมดุลการดูดซับของแลงมัวร์แสดงดังสมการ:

$$q = \frac{q_m K_L C}{1 + K_L C} \quad (ข.2)$$

จัดรูปสมการ ข.2 เป็นสมการเส้นตรง ได้ดังนี้

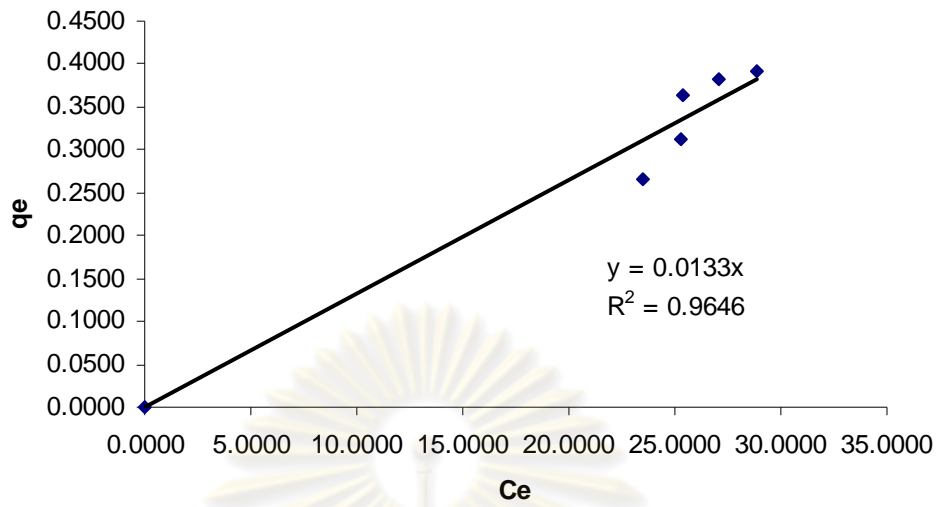
$$\frac{1}{q} = \frac{1}{C} \left(\frac{1}{q_m K_L} \right) + \frac{1}{q_m} \quad (ข.3)$$

แบบจำลองสมดุลการดูดซับของฟรุนดริชแสดงดังสมการ:

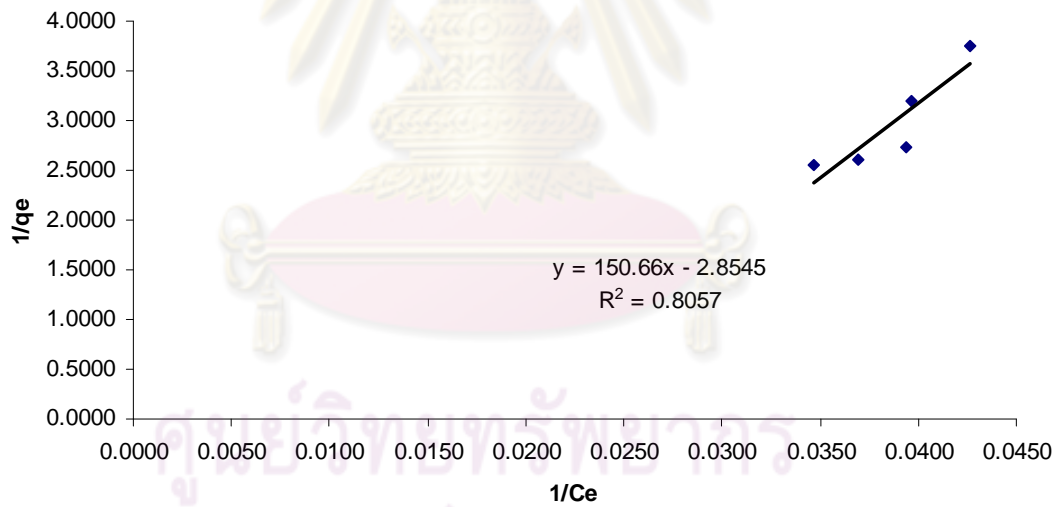
$$q = K_F C^n \quad (ข.4)$$

จัดรูปสมการ ข.4 เป็นสมการเส้นตรง ได้ดังนี้

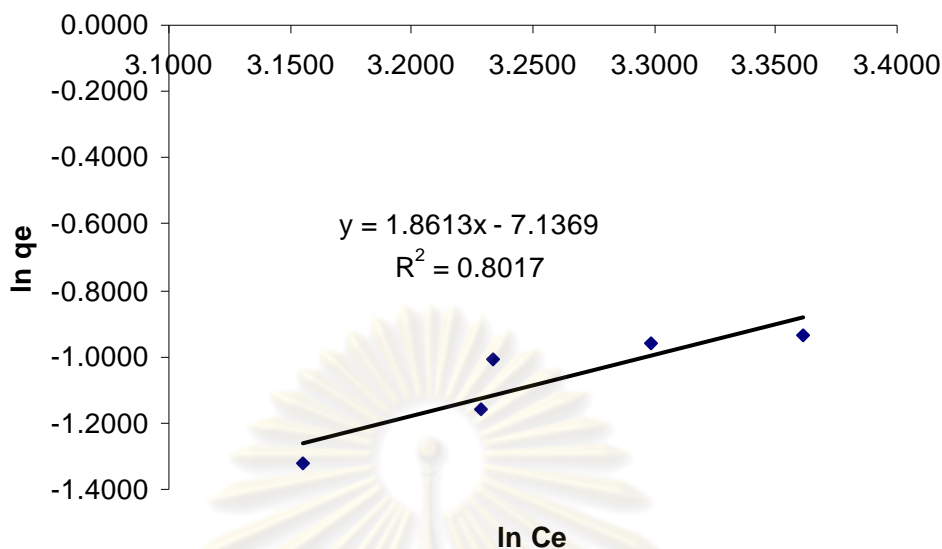
$$\ln q = n \ln C + \ln K_F \quad (ข.5)$$



รูปที่ ๑.1 แสดงการพอดีเส้นโค้งข้อมูลสมดุลการดูดซับแบบเฮนรี่



รูปที่ ๑.2 แสดงการพอดีเส้นโค้งข้อมูลสมดุลการดูดซับแบบแลงมัวร์



รูปที่ ข.3 แสดงการพอดีเส้นโค้งข้อมูลสมดุลการดูดซับแบบฟรุนดริช

จากรูป ข.1 สามารถหาค่าคงที่สมดุลการดูดซับของเฮนรีเท่ากับ 0.0133 รูป ข.2 สามารถหาค่าคงที่สมดุลการดูดซับของแลงมัวร์เท่ากับ 0.0189 และรูป ข.3 สามารถหาค่าคงที่สมดุลการดูดซับของฟรุนดริชเท่ากับ 0.0008 แบบจำลองสมดุลการดูดซับที่สอดคล้องกับการทดลองจะพิจารณาจากค่า $\sum \Delta q^2$ ที่คำนวณได้ (ง.1) จากสมการแบบจำลองสมดุลการดูดซับทั้ง 3 สมการ ค่าที่คำนวณแล้วได้ค่าน้อยสุดจะเป็นแบบจำลองการสมดุลดูดซับที่เหมาะสม และค่า R^2 การพอดีของเส้นโค้งสมดุลแต่ละแบบจำลอง หากมีค่าเข้าใกล้ 1 จะเป็นค่าที่เหมาะสม พบว่าแบบจำลองสมดุลการดูดซับของเฮนรีเป็นสมการที่เหมาะสม

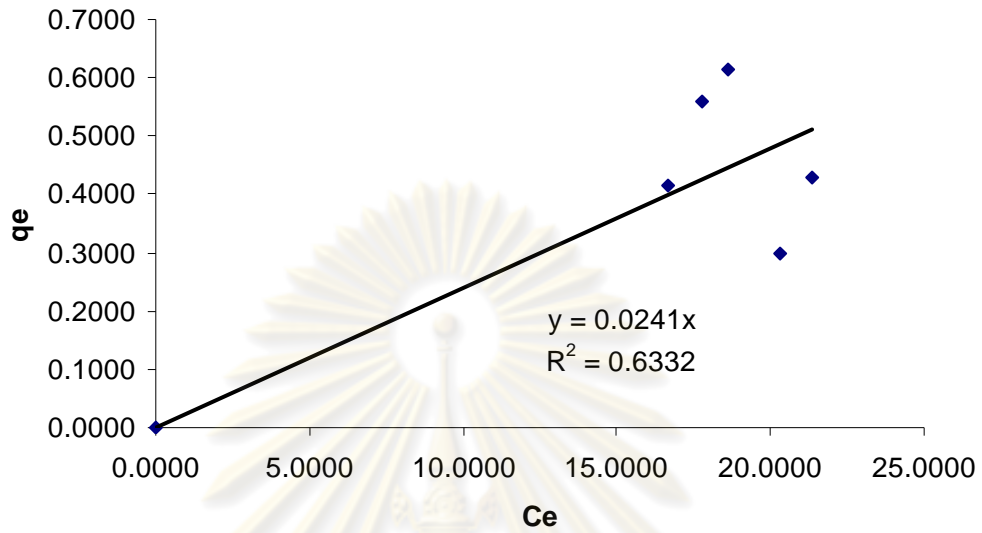
จากรูปที่ ข.1-ข.3 สามารถแสดงความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างปริมาณการดูดซับของเมทานอลหลังการดูดซับต่อปริมาณสารที่ถูกดูดซับต่อปริมาณตัวดูดซับ กับความเข้มข้นของเมทานอลหลังการดูดซับ ดังสมการต่อไปนี้ :

$$\text{เฮนรี : } q = 0.0133C \quad (\text{ข.6})$$

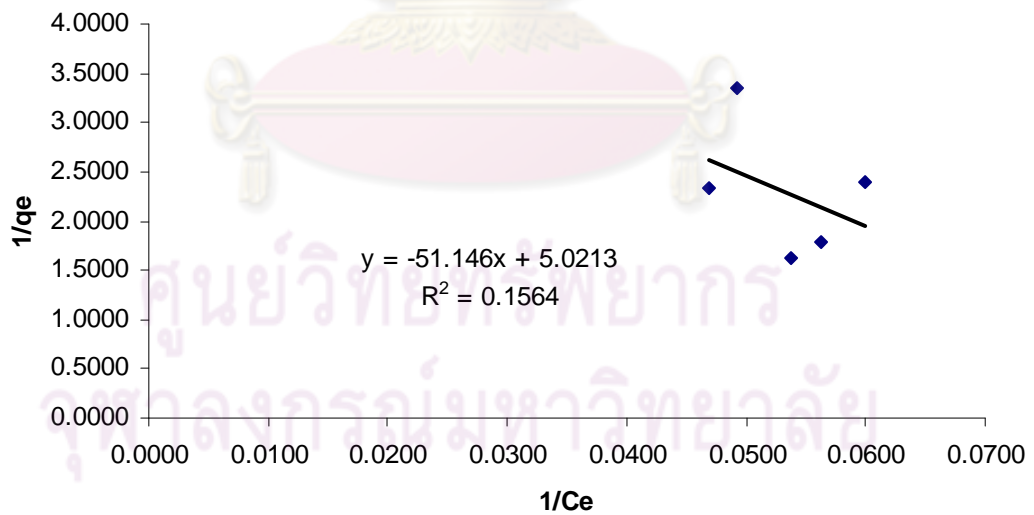
$$\text{แลงมัวร์ : } q = \frac{0.0066C}{1 + 0.0189C} \quad (\text{ข.7})$$

$$\text{ฟรุนดริช : } q = 0.0008C^{1.8613} \quad (\text{ข.8})$$

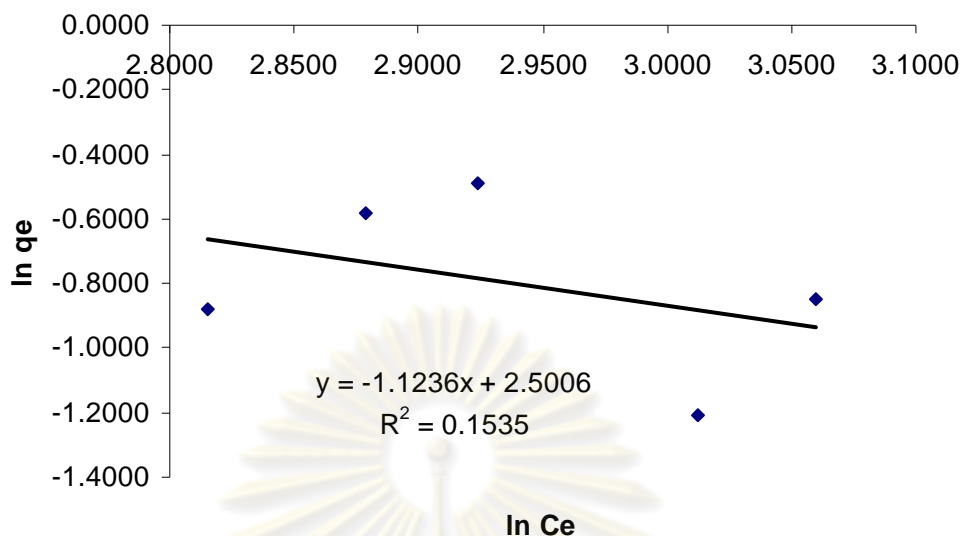
ข.2 แสดงแบบจำลองสมดุลการดูดซับเมทานอลกรณีใช้ตัวดูดซับ-05



รูปที่ ข.4 แสดงการพอดีเส้นโค้งข้อมูลสมดุลการดูดซับแบบเฮนรี



รูปที่ ข.5 แสดงการพอดีเส้นโค้งข้อมูลสมดุลการดูดซับแบบแลงมัวร์



รูปที่ ๖.6 แสดงการพอดีเส้นโค้งข้อมูลสมดุลการดูดซับแบบฟรุนดริช

จากรูป ๖.4 สามารถหาค่าคงที่สมดุลการดูดซับของเฮนรีเท่ากับ 0.0241 รูป ๖.5 สามารถหาค่าคงที่สมดุลการดูดซับของแลงมัวร์เท่ากับ 0.0982 และรูป ๖.6 สามารถหาค่าคงที่สมดุลการดูดซับของฟรุนดริชเท่ากับ 12.1898 แบบจำลองสมดุลการดูดซับที่สอดคล้องกับการทดลองจะพิจารณาจากค่า $\sum \Delta q^2$ ที่คำนวณได้ (ง.2) จากสมการแบบจำลองสมดุลการดูดซับทั้ง 3 สมการ ค่าที่คำนวณแล้วได้ค่าน้อยสุดจะเป็นแบบจำลองการสมดุลดูดซับที่เหมาะสม และค่า R^2 การพอดีของเส้นโค้งสมดุลแต่ละแบบจำลอง หากมีค่าเข้าใกล้ 1 จะเป็นค่าที่เหมาะสม พบว่าแบบจำลองสมดุลการดูดซับของเฮนรีเป็นสมการที่เหมาะสม

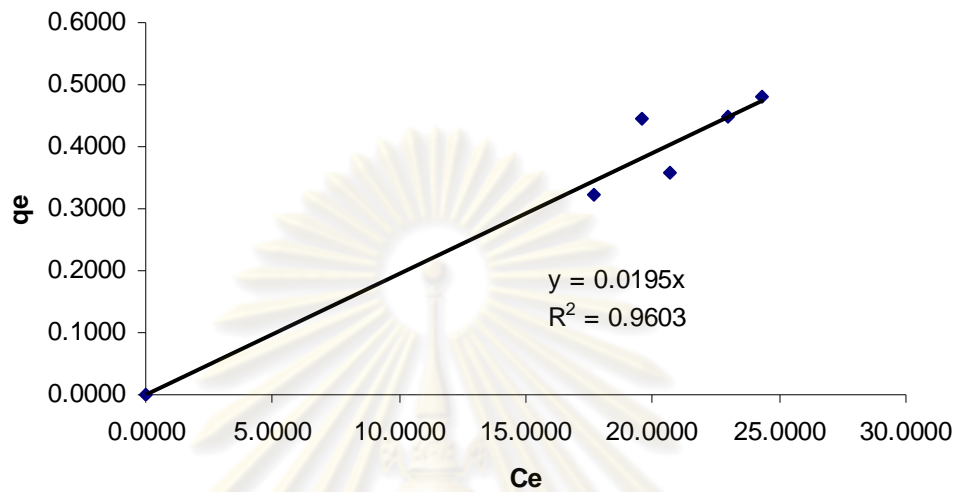
จากกราฟรูปที่ ๖.4-๖.6 สามารถแสดงความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างปริมาณการดูดซับของเมทานอลหลังการดูดซับต่อปริมาณสารที่ถูกดูดซับต่อปริมาณตัวดูดซับ กับความเข้มข้นของเมทานอลหลังการดูดซับ ดังสมการต่อไปนี้ :

$$\text{เฮนรี : } q = 0.0241C \quad (๖.9)$$

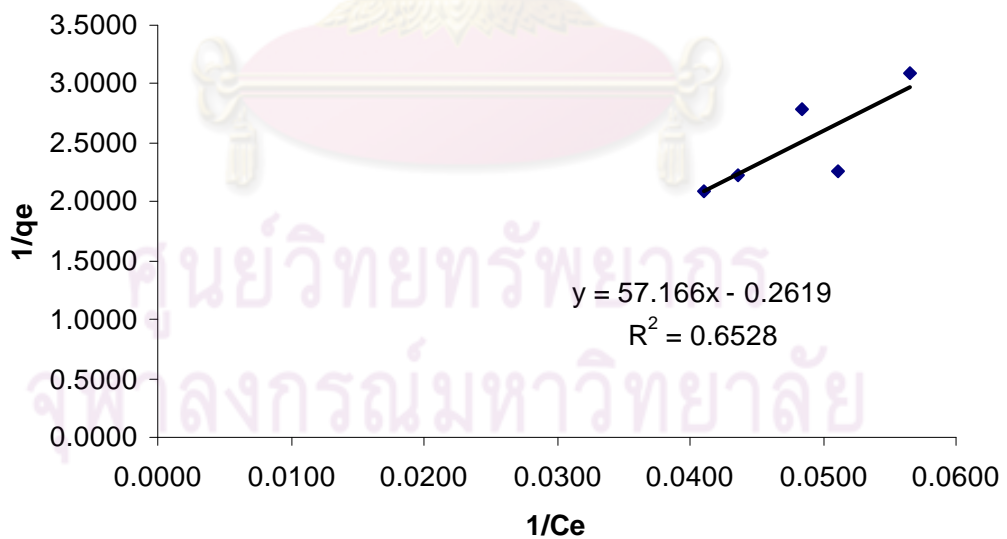
$$\text{แลงมัวร์ : } q = \frac{0.0195C}{1 + 0.0982C} \quad (๖.10)$$

$$\text{ฟรุนดริช : } q = 12.1898C^{-1.1236} \quad (๖.11)$$

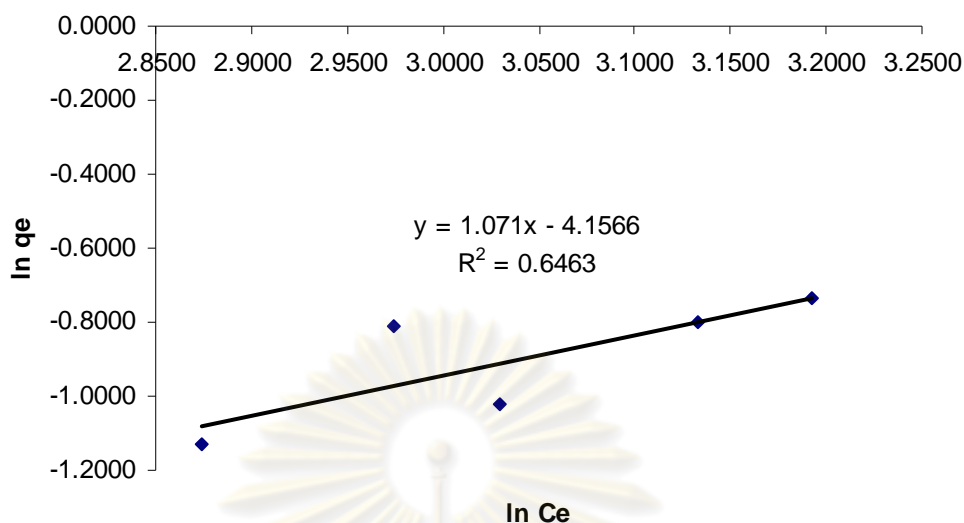
ข.3 แสดงแบบจำลองสมดุลการดูดซับเมทานอลกรณีใช้ตัวดูดซับ-10



รูปที่ ข.7 แสดงการพอดีเส้นโค้งข้อมูลสมดุลการดูดซับแบบเฮนรี



รูปที่ ข.8 แสดงการพอดีเส้นโค้งข้อมูลสมดุลการดูดซับแบบแลงมีวอร์



รูปที่ ๙.๙ แสดงการพอดีเส้นโค้งข้อมูลสมดุลการดูดซับแบบฟรุนดริช

จากรูป ๙.๗ สามารถหาค่าคงที่สมดุลการดูดซับของเฮนรีเท่ากับ 0.0195 รูป ๙.๘ สามารถหาค่าคงที่สมดุลการดูดซับของแลงมัวร์เท่ากับ 0.0046 และรูป ๙.๙ สามารถหาค่าคงที่สมดุลการดูดซับของฟรุนดริชเท่ากับ 0.0157 แบบจำลองสมดุลการดูดซับที่สอดคล้องกับการทดลองจะพิจารณาจากค่า $\sum \Delta q^2$ ที่คำนวณได้ (ง.๓) จากสมการแบบจำลองสมดุลการดูดซับทั้ง 3 สมการ ค่าที่คำนวณแล้วได้ค่าน้อยสุดจะเป็นแบบจำลองการสมดุลดูดซับที่เหมาะสม และค่า R^2 การพอดีของเส้นโค้งสมดุลแต่ละแบบจำลอง หากมีค่าเข้าใกล้ 1 จะเป็นค่าที่เหมาะสม พบว่าแบบจำลองสมดุลการดูดซับของเฮนรีเป็นสมการที่เหมาะสม

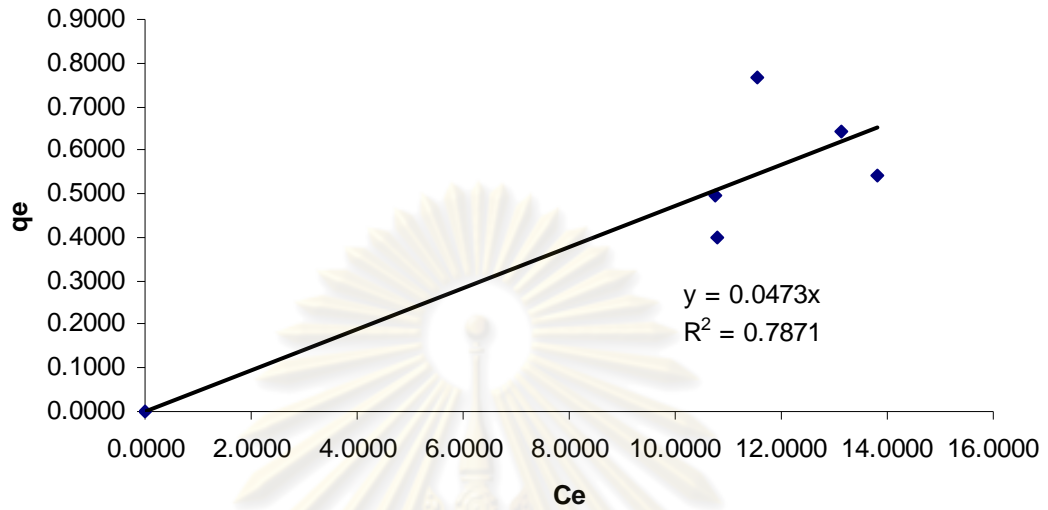
จากกราฟรูปที่ ๙.๗-๙.๙ สามารถแสดงความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างปริมาณการดูดซับของเมทานอลหลังการดูดซับต่อปริมาณสารที่ถูกดูดซับต่อปริมาณตัวดูดซับ กับความเข้มข้นของเมทานอลหลังการดูดซับ ดังสมการต่อไปนี้ :

$$\text{เฮนรี : } q = 0.0195C \quad (๙.12)$$

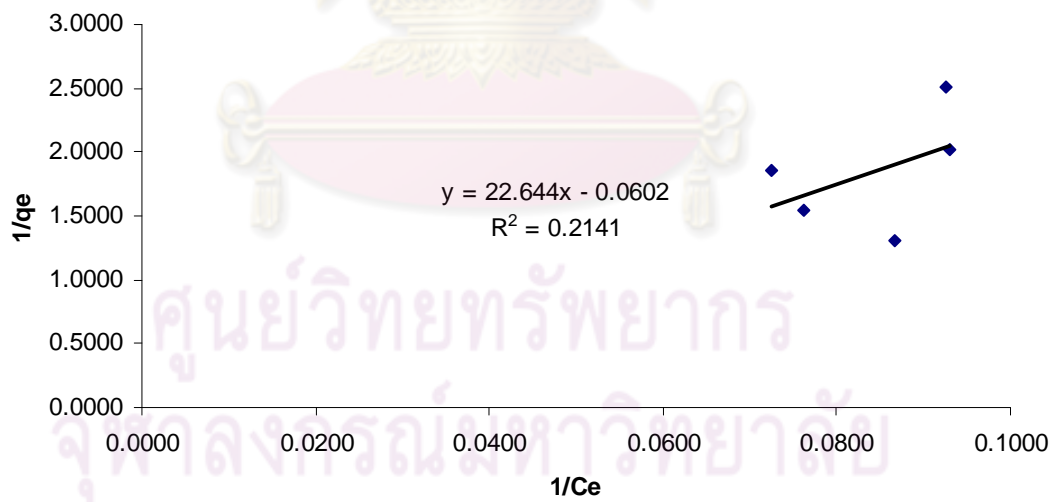
$$\text{แลงมัวร์ : } q = \frac{0.0175C}{1 + 0.0046C} \quad (๙.13)$$

$$\text{ฟรุนดริช : } q = 0.0157C^{1.071} \quad (๙.14)$$

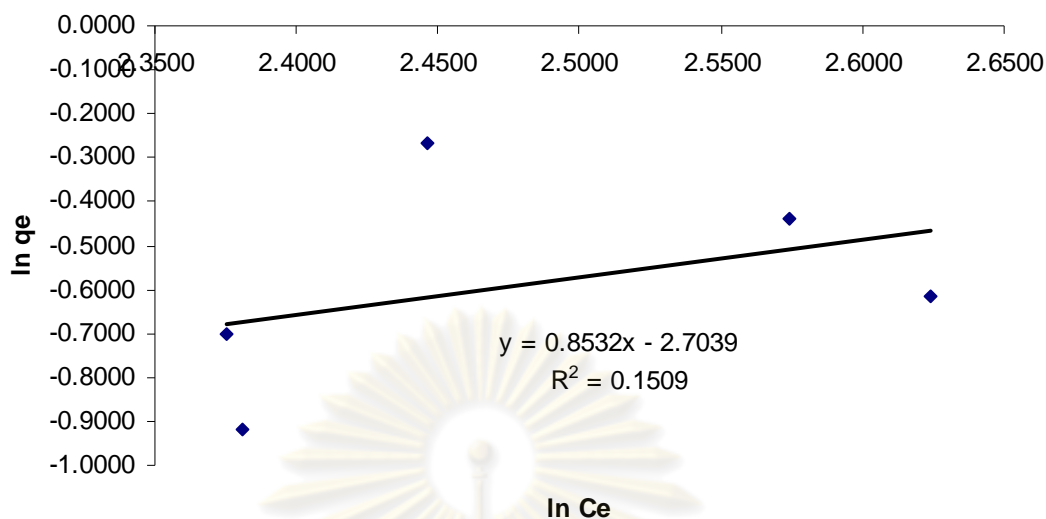
ข.4 แสดงแบบจำลองสมดุลการดูดซับเมทานอลกรณีใช้ตัวดูดซับ-15



รูปที่ ข.10 แสดงการพอดีเส้นโค้งข้อมูลสมดุลการดูดซับแบบเฮนรี



รูปที่ ข.11 แสดงการพอดีเส้นโค้งข้อมูลสมดุลการดูดซับแบบแลงมัวร์



รูปที่ ข.12 แสดงการพอดีเส้นโค้งข้อมูลสมดุลการดูดซับแบบฟรุนดริช

จากรูป ข.10 สามารถหาค่าคงที่สมดุลการดูดซับของเฮนรีเท่ากับ 0.0473 รูป ข.11 สามารถหาค่าคงที่สมดุลการดูดซับของแลงมัวร์เท่ากับ 0.0027 และรูป ข.12 สามารถหาค่าคงที่สมดุลการดูดซับของฟรุนดริชเท่ากับ 0.0669 แบบจำลองสมดุลการดูดซับที่สอดคล้องกับการทดลองจะพิจารณาจากค่า $\sum \Delta q^2$ ที่คำนวณได้ (ง.4) จากสมการแบบจำลองสมดุลการดูดซับทั้ง 3 สมการ ค่าที่คำนวณแล้วได้ค่าน้อยสุดจะเป็นแบบจำลองการสมดุลดูดซับที่เหมาะสม และค่า R^2 การพอดีของเส้นโค้งสมดุลแต่ละแบบจำลอง หากมีค่าเข้าใกล้ 1 จะเป็นค่าที่เหมาะสม พบว่าแบบจำลองสมดุลการดูดซับของเฮนรีเป็นสมการที่เหมาะสม

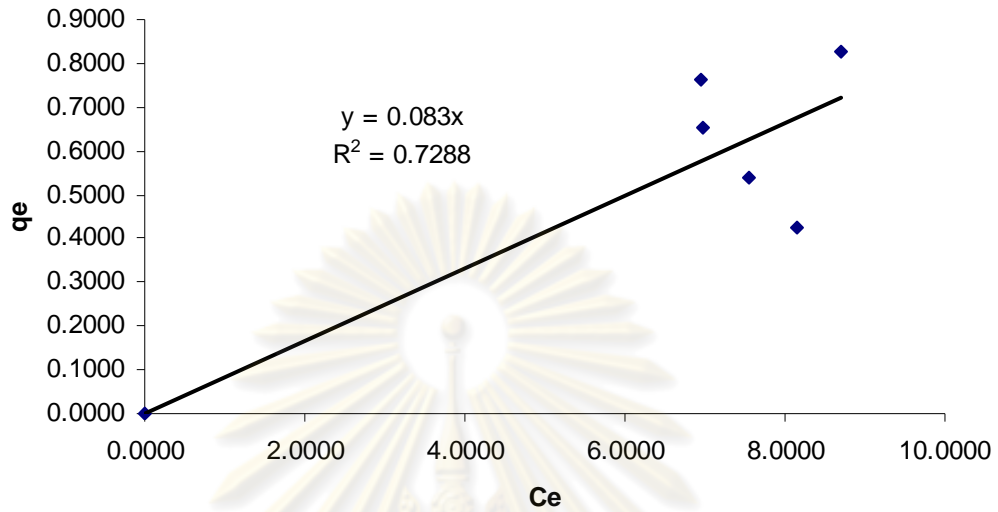
จากรูปที่ ข.10-ข.12 สามารถแสดงความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างปริมาณการดูดซับของเมทานอลหลังการดูดซับต่อปริมาณสารที่ถูกดูดซับต่อปริมาณตัวดูดซับ กับความเข้มข้นของเมทานอลหลังการดูดซับ ดังสมการต่อไปนี้ :

$$\text{เฮนรี : } q = 0.0473C \quad (ข.15)$$

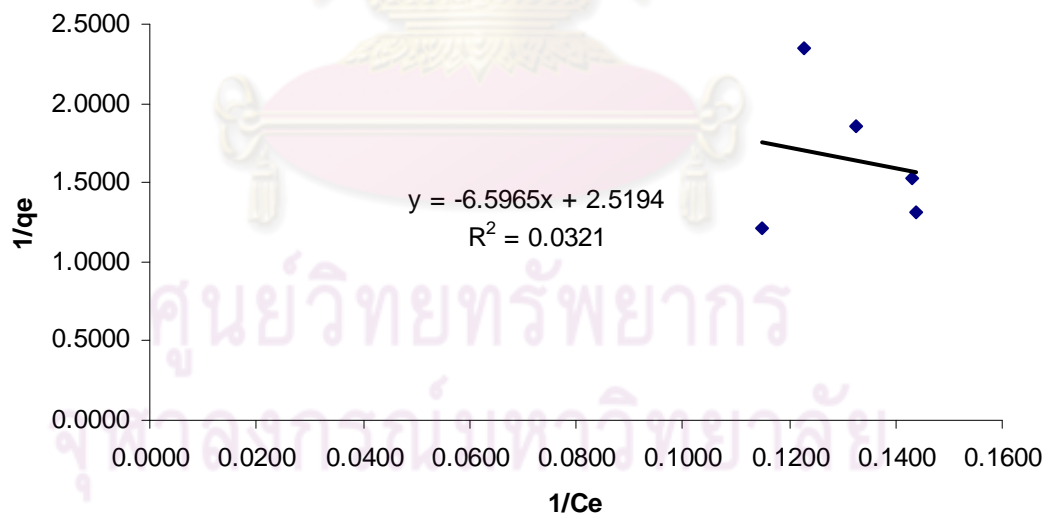
$$\text{แลงมัวร์ : } q = \frac{0.0448C}{1 + 0.0027C} \quad (ข.16)$$

$$\text{ฟรุนดริช : } q = 0.0669C^{0.8532} \quad (ข.17)$$

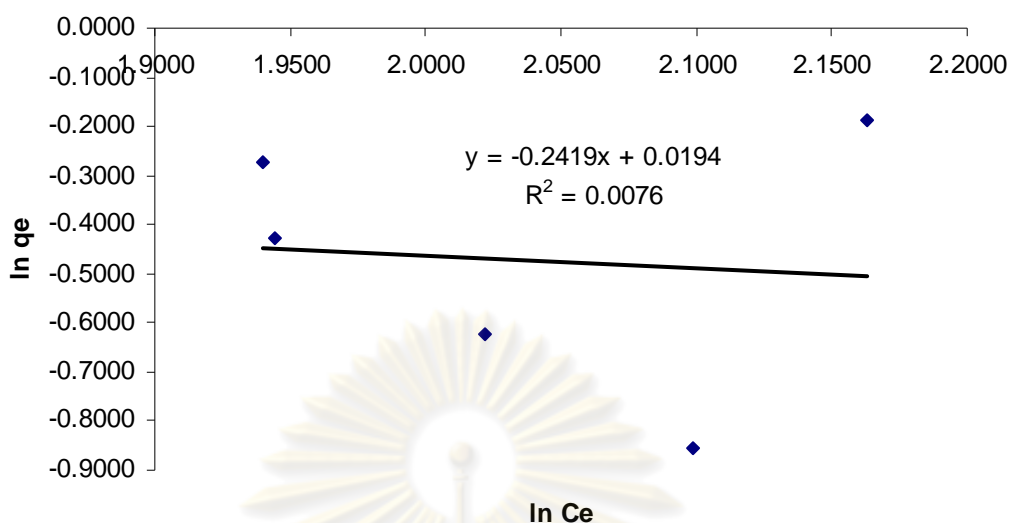
ข.5 แสดงแบบจำลองสมดุลการดูดซับเมทานอลกรณีใช้ตัวดูดซับ-20



รูปที่ ข.13 แสดงการพอดีเส้นโค้งข้อมูลสมดุลการดูดซับแบบเฮนรี



รูปที่ ข.14 แสดงการพอดีเส้นโค้งข้อมูลสมดุลการดูดซับแบบแลงมัวร์



รูปที่ ๑.15 แสดงการพอดีเส้นโค้งข้อมูลสมดุลการดูดซับแบบฟรุนดริช

จากรูป ๑.13 สามารถหาค่าคงที่สมดุลการดูดซับของเฮนรีเท่ากับ 0.083 รูป ๑.14 สามารถหาค่าคงที่สมดุลการดูดซับของแลงมัวร์เท่ากับ 0.3968 และรูป ๑.15 สามารถหาค่าคงที่สมดุลการดูดซับของฟรุนดริชเท่ากับ 1.0196 แบบจำลองสมดุลการดูดซับที่สอดคล้องกับการทดลองจะพิจารณาจากค่า $\sum \Delta q^2$ ที่คำนวณได้ (ง.5) จากสมการแบบจำลองสมดุลการดูดซับทั้ง 3 สมการ ค่าที่คำนวณแล้วได้ค่าน้อยสุดจะเป็นแบบจำลองการสมดุลดูดซับที่เหมาะสม และค่า R^2 การพอดีของเส้นโค้งสมดุลแต่ละแบบจำลอง หากมีค่าเข้าใกล้ 1 จะเป็นค่าที่เหมาะสม พบว่าแบบจำลองสมดุลการดูดซับของเฮนรีเป็นสมการที่เหมาะสม

จากกราฟรูปที่ ๑.13-๑.15 สามารถแสดงความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างปริมาณการดูดซับของเมทานอลหลังการดูดซับต่อปริมาณสารที่ถูกดูดซับต่อปริมาณตัวดูดซับ กับความเข้มข้นของเมทานอลหลังการดูดซับ ดังสมการต่อไปนี้ :

$$\text{เฮนรี : } q = 0.083C \quad (๑.18)$$

$$\text{แลงมัวร์ : } q = \frac{0.1513C}{1 + 0.3813C} \quad (๑.19)$$

$$\text{ฟรุนดริช : } q = 1.0196C^{-0.2419} \quad (๑.20)$$

ภาคผนวก ค
ข้อมูลการทดลอง

ตารางที่ ค.1 ข้อมูลการสังเคราะห์ตัวดูดซับ โดยการกระตุ้นด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

ความเข้มข้นกรด	ก้านกล้วยก่อนแช่กรด(g)	ก้านกล้วยหลังแช่กรด(g)	ก้านกล้วยหลังเผา(g)	สารละลายกรดก่อนแช่(g)	สารละลายกรดหลังแช่(g)
0% (แช่น้ำ)	50.71	63.26	3.70	150	137.61
5%	50.97	58.93	4.43	150	140.20
10%	50.26	60.18	5.31	150	134.99
15%	50.55	59.47	5.52	150	138.30
20%	50.52	64.68	6.17	150	138.66

ตารางที่ ค.1(ต่อ) ข้อมูลการสังเคราะห์ตัวดูดซับ โดยการกระตุ้นด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

ความเข้มข้นกรด	% สารละลายที่ถูกกำจัด	% เนื้อกรดที่อยู่ในตัวดูดซับ	ร้อยละผลได้ตัวดูดซับ (ไม่รวมเนื้อกรดในตัวดูดซับ)
0% (แช่น้ำ)	94.15	0.00	7.2964
5%	92.48	8.98	6.8420
10%	91.18	18.68	7.1751
15%	90.72	24.24	7.0321
20%	90.46	45.90	5.1608

ตารางที่ ค.2 ข้อมูลการสังเคราะห์ตัวดูดซับ โดยใช้เตาเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ

อุณหภูมิ(องศาเซลเซียส)	ก้านกล้วยก่อนเผา(g)	ก้านกล้วยหลังเผา(g)	น้ำหนักที่หายไป(g)	%สารละลายที่ถูกกำจัด	ร้อยละผลได้ตัวดูดซับ
300	41.7436	3.8240	37.9196	90.83931429	9.1607
350	10.5994	0.4565	10.1429	95.69315244	4.3068
400	42.2362	1.2908	40.9454	96.94385385	3.0561

ตารางที่ ค.3 ความสัมพันธ์ของกราฟสอบเทียบน้ำหนักซีลีเนียมกับของผสมเฮกเซนกับเมทานอลที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

% ความเข้มข้นเมทานอล	เฮกเซน (g)	เมทานอล (g)	ซีลีเนียม (g)
0.5	9.9575	0.0649	0.2998
1	4.9571	0.0581	0.3759
1.5	4.927	0.0827	0.4512
2	4.9098	0.1017	0.5366
2.5	4.8824	0.1295	0.7487
3	4.8562	0.1539	0.8694
3.5	4.8259	0.1825	0.9808
4	4.8082	0.2075	1.0691
4.5	4.7782	0.2253	1.031
5	4.7598	0.2518	1.1355

ตารางที่ ค.4 ความสัมพันธ์ของกราฟสอบเทียบน้ำหนักซิลิกา กับของผสมไบโอดีเซลกับเมทานอลที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

% ความเข้มข้นเมทานอล	ไบโอดีเซล (g)	เมทานอล (g)	ซิลิกา (g)
0.5	4.9753	0.0329	0.2017
1	4.9526	0.0527	0.3678
1.5	4.9269	0.0773	0.4928
2	4.9008	0.1066	0.6067
2.5	4.8762	0.1288	0.6967
3	4.8513	0.1554	0.8285
3.5	4.8281	0.1769	0.929
4	4.8022	0.2057	1.0513
4.5	4.777	0.2279	1.0757
5	4.7549	0.2574	1.1395

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.5 ปริมาณคาร์บอนรวมของตัวดูดซับที่ใช้สารละลายกรดฟอสฟอริกความเข้มข้นต่าง ๆ กระตุ้นที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส

ตัวอย่าง	%C(1)	%C(2)	%C(3)	%C เฉลี่ย
200 °C, 0% กรดฟอสฟอริก	54.11	54.06	54.37	54.18
200 °C, 5% กรดฟอสฟอริก	44.30	44.25	44.51	44.35
200 °C, 10% กรดฟอสฟอริก	34.00	33.97	34.17	34.05
200 °C, 15% กรดฟอสฟอริก	28.22	28.19	28.35	28.25
200 °C, 20% กรดฟอสฟอริก	23.70	23.68	23.81	23.73

ตารางที่ ค.6 ปริมาณคาร์บอนรวมของตัวดูดซับที่กระตุ้นด้วยการใช้ความร้อนที่อุณหภูมิต่าง ๆ

ตัวอย่าง	%C(1)	%C(2)	%C(3)	%C เฉลี่ย
Furnace 300 °C	51.80	51.32	51.52	51.55
Furnace 350 °C	50.35	49.88	49.93	50.05
Furnace 400 °C	46.83	46.40	46.99	46.74

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.7 น้ำหนักซิลิกาเจลที่ใช้วัดสมมูลการดูดซับของตัวดูดซับ-00 ณ เวลาต่าง ๆ ที่สัดส่วนตัวดูดซับต่อน้ำหนักไบโอดีเซล 1:12 กรัม

เวลา(min)	น้ำมันเริ่ม(g)	ถ่าน(g)	น้ำมันหลังเขย่า(g)	ถ่านหลังเขย่า(g)	น้ำหนักที่หายไป(g)	น้ำมันที่ใช้ทดสอบ(g)	ซิลิกา(g)	% เมทานอล
0	12.0000	-	-	-	-	5.0067	1.1939	4.3
60	12.0711	1.0489	10.5347	2.4991	0.0862	5.0281	0.6572	2.2
120	12.0738	1.0112	10.8609	2.2045	0.0196	5.0224	0.5626	1.9
180	12.0493	1.0436	10.8758	2.1758	0.0413	5.0351	0.5253	1.8
240	12.0348	1.0417	10.1972	2.8531	0.0262	5.023	0.5172	1.75

ตารางที่ ค.8 น้ำหนักซิลิกาเจลที่ใช้วัดสมมูลการดูดซับของตัวดูดซับ-00 ณ เวลาต่าง ๆ ที่สัดส่วนตัวดูดซับต่อน้ำหนักไบโอดีเซล 1:15 กรัม

เวลา(min)	น้ำมันเริ่ม(g)	ถ่าน(g)	น้ำมันหลังเขย่า(g)	ถ่านหลังเขย่า(g)	น้ำหนักที่หายไป(g)	น้ำมันที่ใช้ทดสอบ(g)	ซิลิกา(g)	% เมทานอล
0	15.0000	-	-	-	-	5.0067	1.1939	4.3
60	15.0271	1.0081	13.124	2.9105	0.0007	5.0085	0.6887	2.4
120	15.0212	1.0181	13.5935	2.5424	0.0334	5.0057	0.6764	2.3
180	15.0197	1.0578	13.1026	3.0261	0.0488	5.0056	0.6629	2.25
240	15.0228	1.0435	12.7511	3.3744	0.0408	5.0245	0.6678	2.25

ตารางที่ ค.9 น้ำหนักซิลิกาเจลที่ใช้วัดสมมูลการดูดซับของตัวดูดซับ-00 ณ เวลาต่าง ๆ ที่สัดส่วนตัวดูดซับต่อน้ำหนักไบโอดีเซล 1:18 กรัม

เวลา(min)	น้ำมันเริ่ม(g)	ถ่าน(g)	น้ำมันหลังเขย่า(g)	ถ่านหลังเขย่า(g)	น้ำหนักที่หายไป(g)	น้ำมันที่ใช้ทดสอบ(g)	ซิลิกา(g)	% เมทานอล
0	18.0000	-	-	-	-	5.0067	1.1939	4.3
60	18.0028	1.0228	16.2882	2.5591	0.1783	5.0266	0.9346	3.4
120	18.0126	1.0097	16.1223	2.7605	0.1395	5.0237	0.7916	3.1
180	18.0231	1.0028	16.2223	2.6737	0.1299	5.0213	0.7752	2.9
240	18.0157	1.0276	15.8589	3.0083	0.1761	5.0242	0.699	2.6

ตารางที่ ค.10 น้ำหนักซิลิกาเจลที่ใช้วัดสมมูลการดูดซับของตัวดูดซับ-00 ณ เวลาต่าง ๆ ที่สัดส่วนตัวดูดซับต่อน้ำหนักไบโอดีเซล 1:21 กรัม

เวลา(min)	น้ำมันเริ่ม(g)	ถ่าน(g)	น้ำมันหลังเขย่า(g)	ถ่านหลังเขย่า(g)	น้ำหนักที่หายไป(g)	น้ำมันที่ใช้ทดสอบ(g)	ซิลิกา(g)	% เมทานอล
0	21.0000	-	-	-	-	5.0067	1.1939	4.3
60	21.0105	1.001	18.9549	3.0213	0.0353	5.0075	1.1104	4
120	21.0156	1.0217	19.5556	2.4699	0.0118	5.0169	0.9457	3.5
180	21.023	1.0136	19.4034	2.5553	0.0779	5.0098	0.9204	3.3
240	21.0194	1.0528	18.8972	2.9889	0.1861	5.0182	0.9038	3.2

ตารางที่ ค.11 น้ำหนักชิลิก้าเจลที่ใช้วัดสมมูลการดูดซับของตัวดูดซับ-00 ณ เวลาต่าง ๆ ที่สัดส่วนตัวดูดซับต่อน้ำหนักไบโอดีเซล 1:24 กรัม

เวลา(min)	น้ำมันเริ่ม(g)	ถ่าน(g)	น้ำมันหลังเขย่า(g)	ถ่านหลังเขย่า(g)	น้ำหนักที่หายไป(g)	น้ำมันที่ใช้ทดสอบ(g)	ชิลิก้า(g)	% เมทานอล
0	24.0000	-	-	-	-	5.0067	1.1939	4.3
60	24.0226	1.0084	22.2069	2.6732	0.1509	5.0179	1.1199	4
120	24.0319	1.0071	22.288	2.637	0.114	5.0119	0.9515	3.6
180	24.0241	1.0284	22.3741	2.5887	0.0897	5.0268	0.9387	3.45
240	24.0105	1.0244	21.9012	2.98	0.1537	5.0291	0.9269	3.3

ตารางที่ ค.12 น้ำหนักชิลิก้าเจลที่ใช้วัดสมมูลการดูดซับของตัวดูดซับ-05 ณ เวลาต่าง ๆ ที่สัดส่วนตัวดูดซับต่อน้ำหนักไบโอดีเซล 1:12 กรัม

เวลา(min)	น้ำมันเริ่ม(g)	ถ่าน(g)	น้ำมันหลังเขย่า(g)	ถ่านหลังเขย่า(g)	น้ำหนักที่หายไป(g)	น้ำมันที่ใช้ทดสอบ(g)	ชิลิก้า(g)	% เมทานอล
0	12.0000	-	-	-	-	5.0067	1.1939	4.30
60	12.0174	1.0209	10.7713	2.1795	0.0875	5.0193	0.4907	1.60
120	12.0302	1.0220	10.6233	2.3535	0.0754	5.0334	0.4539	1.50
180	12.0268	1.0297	10.7503	2.2521	0.0541	5.0157	0.4219	1.40
240	12.0356	1.0160	10.7673	2.1688	0.1155	5.0458	0.4154	1.30

ตารางที่ ค.13 น้ำหนักซีลีง้าเจลที่ใช้วัดสมมูลการดูดซับของตัวดูดซับ-05 ณ เวลาต่าง ๆ ที่สัดส่วนตัวดูดซับต่อน้ำหนักไบโอดีเซล 1:15 กรัม

เวลา(min)	น้ำมันเริ่ม(g)	ถ่าน(g)	น้ำมันหลังเขย่า(g)	ถ่านหลังเขย่า(g)	น้ำหนักที่หายไป(g)	น้ำมันที่ใช้ทดสอบ(g)	ซีลีง้า(g)	% เมทานอล
0	15.0000	-	-	-	-	5.0067	1.1939	4.30
60	15.0294	1.0473	14.0324	1.9967	0.0476	5.0157	0.5648	1.90
120	15.0466	1.0142	13.6561	2.3727	0.032	5.0233	0.4704	1.55
180	15.0466	1.0579	13.7324	2.3226	0.0495	5.0198	0.4130	1.30
240	15.0340	1.0630	13.4188	2.5820	0.0962	5.0319	0.4232	1.35

ตารางที่ ค.14 น้ำหนักซีลีง้าเจลที่ใช้วัดสมมูลการดูดซับของตัวดูดซับ-05 ณ เวลาต่าง ๆ ที่สัดส่วนตัวดูดซับต่อน้ำหนักไบโอดีเซล 1:18 กรัม

เวลา(min)	น้ำมันเริ่ม(g)	ถ่าน(g)	น้ำมันหลังเขย่า(g)	ถ่านหลังเขย่า(g)	น้ำหนักที่หายไป(g)	น้ำมันที่ใช้ทดสอบ(g)	ซีลีง้า(g)	% เมทานอล
0	18.0000	-	-	-	-	5.0067	1.1939	4.30
60	18.0126	1.0032	16.3711	2.6057	0.039	5.0222	0.5255	1.75
120	18.0282	1.0056	15.9731	3.0083	0.0524	5.0263	0.4438	1.40
180	18.0390	1.0072	16.4672	2.5420	0.037	5.0252	0.4843	1.55
240	18.0320	1.0018	15.8686	3.0922	0.073	5.0230	0.4432	1.40

ตารางที่ ค.15 น้ำหนักชิลิก้าเจลที่ใช้วัดสมมูลการดูดซับของตัวดูดซับ-05 ณ เวลาต่าง ๆ ที่สัดส่วนตัวดูดซับต่อน้ำหนักไบโอดีเซล 1:21 กรัม

เวลา(min)	น้ำมันเริ่ม(g)	ถ่าน(g)	น้ำมันหลังเขย่า(g)	ถ่านหลังเขย่า(g)	น้ำหนักที่หายไป(g)	น้ำมันที่ใช้ทดสอบ(g)	ชิลิก้า(g)	% เมทานอล
0	21.0000	-	-	-	-	5.0067	1.1939	4.30
60	21.0217	1.0186	19.2721	2.7318	0.0364	5.0222	0.4885	1.60
120	21.0424	1.0336	19.4241	2.5901	0.0618	5.0377	0.4551	1.50
180	21.0216	0.9967	19.2307	2.7251	0.0625	5.0214	0.4463	1.40
240	21.0119	1.0478	19.1805	2.8360	0.0432	5.0263	0.4381	1.35

ตารางที่ ค.16 น้ำหนักชิลิก้าเจลที่ใช้วัดสมมูลการดูดซับของตัวดูดซับ-05 ณ เวลาต่าง ๆ ที่สัดส่วนตัวดูดซับต่อน้ำหนักไบโอดีเซล 1:24 กรัม

เวลา(min)	น้ำมันเริ่ม(g)	ถ่าน(g)	น้ำมันหลังเขย่า(g)	ถ่านหลังเขย่า(g)	น้ำหนักที่หายไป(g)	น้ำมันที่ใช้ทดสอบ(g)	ชิลิก้า(g)	% เมทานอล
0	24.0000	-	-	-	-	5.0067	1.1939	4.30
60	24.0241	1.0248	22.6006	2.4673	0.011	5.0403	0.6663	2.40
120	24.0283	1.0398	22.7962	2.2411	0.0308	5.0230	0.6358	2.20
180	24.0522	1.0205	22.4938	2.5688	0.0101	5.0258	0.5681	1.90
240	24.0377	0.9988	22.1201	2.9067	0.0097	5.0300	0.5127	1.70

ตารางที่ ค.17 น้ำหนักซีลีง้าเจลที่ใช้วัดสมมูลการดูดซับของตัวดูดซับ-10 ณ เวลาต่าง ๆ ที่สัดส่วนตัวดูดซับต่อน้ำหนักไบโอดีเซล 1:12 กรัม

เวลา(min)	น้ำมันเริ่ม(g)	ถ่าน(g)	น้ำมันหลังเขย่า(g)	ถ่านหลังเขย่า(g)	น้ำหนักที่หายไป(g)	น้ำมันที่ใช้ทดสอบ(g)	ซีลีง้า(g)	% เมทานอล
0	12.0000	-	-	-	-	5.0067	1.1939	4.30
60	12.0772	1.0463	10.9892	2.0824	0.0519	5.0227	0.4899	1.60
120	12.5980	0.9959	11.0449	1.9784	0.5706	5.0211	0.4573	1.50
180	12.0368	1.0257	10.8373	2.2092	0.016	5.0217	0.4093	1.25
240	12.0346	1.0269	10.8254	2.2291	0.007	5.0312	0.4017	1.25

ตารางที่ ค.18 น้ำหนักซีลีง้าเจลที่ใช้วัดสมมูลการดูดซับของตัวดูดซับ-10 ณ เวลาต่าง ๆ ที่สัดส่วนตัวดูดซับต่อน้ำหนักไบโอดีเซล 1:15 กรัม

เวลา(min)	น้ำมันเริ่ม(g)	ถ่าน(g)	น้ำมันหลังเขย่า(g)	ถ่านหลังเขย่า(g)	น้ำหนักที่หายไป(g)	น้ำมันที่ใช้ทดสอบ(g)	ซีลีง้า(g)	% เมทานอล
0	15.0000	-	-	-	-	5.0067	1.1939	4.30
60	15.0221	1.0561	13.8796	2.1475	0.0511	5.0154	0.5694	1.95
120	15.0156	1.0257	13.6388	2.4446	-0.0421	5.0165	0.5258	1.80
180	15.0251	1.0627	13.8071	2.2728	0.0079	5.0116	0.4871	1.60
240	15.0230	1.0361	13.8765	2.1962	-0.0136	5.0222	0.4744	1.55

ตารางที่ ค.19 น้ำหนักชิลิก้าเจลที่ใช้วัดสมมูลการดูดซับของตัวดูดซับ-10 ณ เวลาต่าง ๆ ที่สัดส่วนตัวดูดซับต่อน้ำหนักไบโอดีเซล 1:18 กรัม

เวลา(min)	น้ำมันเริ่ม(g)	ถ่าน(g)	น้ำมันหลังเขย่า(g)	ถ่านหลังเขย่า(g)	น้ำหนักที่หายไป(g)	น้ำมันที่ใช้ทดสอบ(g)	ชิลิก้า(g)	% เมทานอล
0	18.0000	-	-	-	-	5.0067	1.1939	4.30
60	18.0214	1.0529	17.0505	1.8822	0.1416	5.0188	0.5475	1.90
120	18.0203	1.0128	16.7026	2.0982	0.2323	5.0174	0.5127	1.70
180	18.0130	1.0557	16.8371	2.0704	0.1612	5.0243	0.4835	1.60
240	18.0145	1.0458	16.8320	2.0627	0.1656	5.0188	0.4522	1.55

ตารางที่ ค.20 น้ำหนักชิลิก้าเจลที่ใช้วัดสมมูลการดูดซับของตัวดูดซับ-10 ณ เวลาต่าง ๆ ที่สัดส่วนตัวดูดซับต่อน้ำหนักไบโอดีเซล 1:21 กรัม

เวลา(min)	น้ำมันเริ่ม(g)	ถ่าน(g)	น้ำมันหลังเขย่า(g)	ถ่านหลังเขย่า(g)	น้ำหนักที่หายไป(g)	น้ำมันที่ใช้ทดสอบ(g)	ชิลิก้า(g)	% เมทานอล
0	21.0000	-	-	-	-	5.0067	1.1939	4.30
60	21.0190	1.0781	20.0669	2.0232	0.007	5.0184	0.6918	2.55
120	21.0125	1.0376	19.6873	2.3165	0.0463	5.0191	0.6581	2.35
180	21.0117	0.9950	19.9661	2.0493	-0.0087	5.0118	0.6497	2.30
240	21.0163	1.0686	19.3200	2.4019	0.363	5.0285	0.5714	2.00

ตารางที่ ค.21 น้ำหนักซิลิกาเจลที่ใช้วัดสมมูลการดูดซับของตัวดูดซับ-10 ณ เวลาต่าง ๆ ที่สัดส่วนตัวดูดซับต่อน้ำหนักไบโอดีเซล 1:24 กรัม

เวลา(min)	น้ำมันเริ่ม(g)	ถ่าน(g)	น้ำมันหลังเขย่า(g)	ถ่านหลังเขย่า(g)	น้ำหนักที่หายไป(g)	น้ำมันที่ใช้ทดสอบ(g)	ซิลิกา(g)	% เมทานอล
0	24.0000	-	-	-	-	5.0067	1.1939	4.30
60	24.0108	1.0451	22.4739	2.4376	0.1444	5.0119	0.9926	3.90
120	24.0201	1.0160	22.8964	2.0399	0.0998	5.0178	0.9392	3.55
180	24.0190	0.9953	22.7378	2.1723	0.1042	5.0280	0.8731	3.35
240	24.0176	0.9976	22.6716	2.1883	0.1553	5.0239	0.8107	3.00

ตารางที่ ค.22 น้ำหนักซิลิกาเจลที่ใช้วัดสมมูลการดูดซับของตัวดูดซับ-15 ณ เวลาต่าง ๆ ที่สัดส่วนตัวดูดซับต่อน้ำหนักไบโอดีเซล 1:12 กรัม

เวลา(min)	น้ำมันเริ่ม(g)	ถ่าน(g)	น้ำมันหลังเขย่า(g)	ถ่านหลังเขย่า(g)	น้ำหนักที่หายไป(g)	น้ำมันที่ใช้ทดสอบ(g)	ซิลิกา(g)	% เมทานอล
0	12.0000	-	-	-	-	5.0067	1.1939	4.30
60	12.0154	1.0262	10.6312	2.3746	0.0358	5.0148	0.4445	1.40
120	12.0262	1.0093	10.8760	2.0987	0.0608	5.0157	0.3548	1.05
180	12.0209	1.0511	10.7897	2.2012	0.0811	5.0131	0.2836	0.80
240	12.0155	1.0040	10.8285	2.1307	0.0603	5.0192	0.2218	0.50

ตารางที่ ค.23 น้ำหนักชิลิก้าเจลที่ใช้วัดสมมูลการดูดซับของตัวดูดซับ-15 ณ เวลาต่าง ๆ ที่สัดส่วนตัวดูดซับต่อน้ำหนักไบโอดีเซล 1:15 กรัม

เวลา(min)	น้ำมันเริ่ม(g)	ถ่าน(g)	น้ำมันหลังเขย่า(g)	ถ่านหลังเขย่า(g)	น้ำหนักที่หายไป(g)	น้ำมันที่ใช้ทดสอบ(g)	ชิลิก้า(g)	% เมทานอล
0	15.0000	-	-	-	-	5.0067	1.1939	4.30
60	15.0306	0.9992	13.8245	2.1749	0.0304	5.0187	0.5091	1.70
120	15.0294	1.0023	14.2401	1.5806	0.211	5.0213	0.4357	1.40
180	15.0147	1.0512	13.7570	2.2242	0.0847	5.0170	0.3427	1.00
240	15.0319	1.0141	13.8361	2.1494	0.0605	5.0185	0.2587	0.60

ตารางที่ ค.24 น้ำหนักชิลิก้าเจลที่ใช้วัดสมมูลการดูดซับของตัวดูดซับ-15 ณ เวลาต่าง ๆ ที่สัดส่วนตัวดูดซับต่อน้ำหนักไบโอดีเซล 1:18 กรัม

เวลา(min)	น้ำมันเริ่ม(g)	ถ่าน(g)	น้ำมันหลังเขย่า(g)	ถ่านหลังเขย่า(g)	น้ำหนักที่หายไป(g)	น้ำมันที่ใช้ทดสอบ(g)	ชิลิก้า(g)	% เมทานอล
0	18.0000	-	-	-	-	5.0067	1.1939	4.30
60	18.0324	1.0186	16.9865	2.0406	0.0239	5.0100	0.6409	2.30
120	18.0222	0.9946	16.7497	2.3611	-0.094	5.0173	0.5522	1.90
180	18.0254	1.0338	17.0031	1.9791	0.077	5.0185	0.4742	1.60
240	18.0290	1.0294	16.9755	2.0162	0.0667	5.0210	0.4079	1.25

ตารางที่ ค.25 น้ำหนักชิลิก้าเจลที่ใช้วัดสมมูลการดูดซับของตัวดูดซับ-15 ณ เวลาต่าง ๆ ที่สัดส่วนตัวดูดซับต่อน้ำหนักไบโอดีเซล 1:21 กรัม

เวลา(min)	น้ำมันเริ่ม(g)	ถ่าน(g)	น้ำมันหลังเขย่า(g)	ถ่านหลังเขย่า(g)	น้ำหนักที่หายไป(g)	น้ำมันที่ใช้ทดสอบ(g)	ชิลิก้า(g)	% เมทานอล
0	21.0000	-	-	-	-	5.0067	1.1939	4.30
60	20.0116	1.0312	18.9278	2.0270	0.088	5.0124	0.6947	2.50
120	21.0108	1.0513	19.9286	2.0534	0.0801	5.0163	0.5586	1.90
180	21.0113	1.0231	19.8732	2.0774	0.0838	5.0190	0.5121	1.75
240	21.0207	1.0317	19.9215	2.0376	0.0933	5.0165	0.4731	1.60

ตารางที่ ค.26 น้ำหนักชิลิก้าเจลที่ใช้วัดสมมูลการดูดซับของตัวดูดซับ-15 ณ เวลาต่าง ๆ ที่สัดส่วนตัวดูดซับต่อน้ำหนักไบโอดีเซล 1:24 กรัม

เวลา(min)	น้ำมันเริ่ม(g)	ถ่าน(g)	น้ำมันหลังเขย่า(g)	ถ่านหลังเขย่า(g)	น้ำหนักที่หายไป(g)	น้ำมันที่ใช้ทดสอบ(g)	ชิลิก้า(g)	% เมทานอล
0	24.0000	-	-	-	-	5.0067	1.1939	4.30
60	24.0105	1.0293	22.9473	2.0070	0.0855	5.0193	0.6451	2.30
120	24.0298	1.0315	22.8796	2.0645	0.1172	5.0170	0.5116	1.70
180	24.0242	1.0583	22.9594	2.0111	0.112	5.0249	0.4492	1.45
240	24.0203	0.9928	23.1089	1.7984	0.1058	5.0187	0.4205	1.40

ตารางที่ ค.27 น้ำหนักชิลิก้าเจลที่ใช้วัดสมมูลการดูดซับของตัวดูดซับ-20 ณ เวลาต่าง ๆ ที่สัดส่วนตัวดูดซับต่อน้ำหนักไบโอดีเซล 1:12 กรัม

เวลา(min)	น้ำมันเริ่ม(g)	ถ่าน(g)	น้ำมันหลังเขย่า(g)	ถ่านหลังเขย่า(g)	น้ำหนักที่หายไป(g)	น้ำมันที่ใช้ทดสอบ(g)	ชิลิก้า(g)	% เมทานอล
0	12.0000	-	-	-	-	5.0067	1.1939	4.30
60	12.0250	1.0374	11.3695	1.6819	0.011	5.0198	0.3040	0.80
120	12.0395	1.0517	11.0586	2.0234	0.0092	5.0329	0.2528	0.60
180	12.0449	1.0498	11.1677	1.9225	0.0045	5.0272	0.2392	0.50
240	12.0754	1.0434	10.9595	2.1551	0.0042	5.0235	0.2067	0.40

ตารางที่ ค.28 น้ำหนักชิลิก้าเจลที่ใช้วัดสมมูลการดูดซับของตัวดูดซับ-20 ณ เวลาต่าง ๆ ที่สัดส่วนตัวดูดซับต่อน้ำหนักไบโอดีเซล 1:15 กรัม

เวลา(min)	น้ำมันเริ่ม(g)	ถ่าน(g)	น้ำมันหลังเขย่า(g)	ถ่านหลังเขย่า(g)	น้ำหนักที่หายไป(g)	น้ำมันที่ใช้ทดสอบ(g)	ชิลิก้า(g)	% เมทานอล
0	15.0000	-	-	-	-	5.0067	1.1939	4.30
60	15.0233	1.0569	14.2585	1.7780	0.0437	5.0214	0.1990	0.40
120	15.0465	1.0424	14.2934	1.7115	0.084	5.0200	0.1654	0.25
180	15.0382	1.0422	14.3851	1.5285	0.1668	5.0213	0.1740	0.25
240	15.0318	1.0077	14.1556	1.7744	0.1095	5.0261	0.1681	0.25

ตารางที่ ค.29 น้ำหนักซิลิกาเจลที่ใช้วัดสมมูลการดูดซับของตัวดูดซับ-20 ณ เวลาต่าง ๆ ที่สัดส่วนตัวดูดซับต่อน้ำหนักไบโอดีเซล 1:18 กรัม

เวลา(min)	น้ำมันเริ่ม(g)	ถ่าน(g)	น้ำมันหลังเขย่า(g)	ถ่านหลังเขย่า(g)	น้ำหนักที่หายไป(g)	น้ำมันที่ใช้ทดสอบ(g)	ซิลิกา(g)	% เมทานอล
0	18.0000	-	-	-	-	5.0067	1.1939	4.30
60	18.0446	1.0420	17.4933	1.5324	0.0609	5.0183	0.2521	0.50
120	18.0338	1.0213	17.0960	1.8390	0.1201	5.0248	0.2120	0.45
180	18.0208	1.0050	17.3228	1.5949	0.1081	5.0182	0.2174	0.45
240	18.0457	1.0032	17.1926	1.7250	0.1313	5.0233	0.1606	0.25

ตารางที่ ค.30 น้ำหนักซิลิกาเจลที่ใช้วัดสมมูลการดูดซับของตัวดูดซับ-20 ณ เวลาต่าง ๆ ที่สัดส่วนตัวดูดซับต่อน้ำหนักไบโอดีเซล 1:21 กรัม

เวลา(min)	น้ำมันเริ่ม(g)	ถ่าน(g)	น้ำมันหลังเขย่า(g)	ถ่านหลังเขย่า(g)	น้ำหนักที่หายไป(g)	น้ำมันที่ใช้ทดสอบ(g)	ซิลิกา(g)	% เมทานอล
0	21.0000	-	-	-	-	5.0067	1.1939	4.30
60	21.0378	1.0391	20.3512	1.6566	0.0691	5.0312	0.2383	0.50
120	21.0287	1.0493	20.2842	1.7040	0.0898	5.0186	0.2130	0.45
180	21.0332	0.9908	20.5699	1.3846	0.0695	5.0203	0.2049	0.40
240	21.0274	1.0224	20.0730	1.9033	0.0735	5.0258	0.1855	0.30

ตารางที่ ค.31 น้ำหนักชิลิก้าเจลที่ใช้วัดสมมูลการดูดซับของตัวดูดซับ-20 ณ เวลาต่าง ๆ ที่สัดส่วนตัวดูดซับต่อน้ำหนักไบโอดีเซล 1:24 กรัม

เวลา(min)	น้ำมันเริ่ม(g)	ถ่าน(g)	น้ำมันหลังเขย่า(g)	ถ่านหลังเขย่า(g)	น้ำหนักที่หายไป(g)	น้ำมันที่ใช้ทดสอบ(g)	ชิลิก้า(g)	% เมทานอล
0	24.0000	-	-	-	-	5.0067	1.1939	4.30
60	24.0222	1.0199	23.4298	1.5820	0.0303	5.0188	0.3427	1.00
120	24.0386	0.9929	23.3387	1.6393	0.0535	5.0238	0.3210	0.90
180	24.0216	1.0350	23.2430	1.7427	0.0709	5.0157	0.2407	0.55
240	24.0342	1.0776	23.3937	1.6526	0.0655	5.0207	0.2124	0.45

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ง
ปริมาณการดูดซับของตัวดูดซับ

ตารางที่ ง.1 ปริมาณสมดุลการดูดซับจากการทดลองกรณีใช้ตัวดูดซับ-00 และที่แบบจำลองสมดุลดูดซับต่าง ๆ

สัดส่วน	ผลการทดลอง		เฮนรี่		แลงมั้วร์		ฟรุนดริช	
	q_e (g/g)	C_e (g/kg)	q_H	$\Delta(q-q_H)^2$	q_L	$\Delta(q-q_L)^2$	q_F	$\Delta(q-q_F)^2$
1:12	0.2668	23.4673	0.3121	0.0020	0.1078	0.0253	0.2827	0.0003
1:15	0.3133	25.2417	0.3357	0.0005	0.1133	0.0400	0.3238	0.0001
1:18	0.3648	25.3773	0.3375	0.0007	0.1137	0.0630	0.3270	0.0014
1:21	0.3829	27.0866	0.3603	0.0005	0.1188	0.0697	0.3692	0.0002
1:24	0.3922	28.8280	0.3834	0.0001	0.1238	0.0721	0.4146	0.0005
			$\Sigma\Delta q^2 = 0.0039$		$\Sigma\Delta q^2 = 0.2701$		$\Sigma\Delta q^2 = 0.0025$	
			$K_H = 0.0133$		$K_L = 0.0189$		$K_F = 0.0008$	
					$q_m = 0.3503$		$n = 1.8613$	

ศูนย์วิทยพักร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง.2 ปริมาณสมดุลการดูดซับจากการทดลองกรณีใช้ตัวดูดซับ-05 และที่แบบจำลองสมดุลดูดซับต่าง ๆ

สัดส่วน	ผลการทดลอง		เฮนรี่		แลงมัวร์		ฟรุนดริช	
	q_e (g/g)	C_e (g/kg)	q_H	$\Delta(q-q_H)^2$	q_L	$\Delta(q-q_L)^2$	q_F	$\Delta(q-q_F)^2$
1:12	0.2979	20.3288	0.4899	0.0369	0.1327	0.0273	0.4132	0.0133
1:15	0.4161	16.6951	0.4024	0.0002	0.1237	0.0855	0.5156	0.0099
1:18	0.4291	21.3289	0.5140	0.0072	0.1348	0.0866	0.3915	0.0014
1:21	0.5599	17.7980	0.4289	0.0172	0.1267	0.1877	0.4798	0.0064
1:24	0.6132	18.6113	0.4485	0.0271	0.1287	0.2347	0.4563	0.0246
			$\Sigma\Delta q^2 = 0.0885$		$\Sigma\Delta q^2 = 0.6219$		$\Sigma\Delta q^2 = 0.0556$	
			$K_H = 0.0241$		$K_L = 0.0982$		$K_F = 12.1898$	
					$q_m = 0.1992$		$n = -1.1236$	

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง.3 ปริมาณสมดุลการดูดซับจากการทดลองกรณีใช้ตัวดูดซับ-10 และที่แบบจำลองสมดุลดูดซับต่าง ๆ

สัดส่วน	ผลการทดลอง		เฮนรี่		แลงมัวร์		ฟรุนดริช	
	q_e (g/g)	C_e (g/kg)	q_H	$\Delta(q-q_H)^2$	q_L	$\Delta(q-q_L)^2$	q_F	$\Delta(q-q_F)^2$
1:12	0.3226	17.7018	0.3452	0.0005	0.2864	0.0013	0.3400	0.0003
1:15	0.3596	20.6807	0.4033	0.0019	0.3305	0.0008	0.4016	0.0018
1:18	0.4440	19.5810	0.3818	0.0039	0.3143	0.0168	0.3788	0.0042
1:21	0.4497	22.9412	0.4474	0.0000	0.3631	0.0075	0.4488	0.0000
1:24	0.4793	24.3517	0.4749	0.0000	0.3832	0.0092	0.4784	0.0000
			$\Sigma\Delta q^2 = 0.0063$		$\Sigma\Delta q^2 = 0.0357$		$\Sigma\Delta q^2 = 0.0063$	
			$K_H = 0.0195$		$K_L = 0.0046$		$K_F = 0.0157$	
					$q_m = 3.8183$		$n = 1.0710$	

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง.4 ปริมาณสมดุลการดูดซับจากการทดลองกรณีใช้ตัวดูดซับ-15 และที่แบบจำลองสมดุลดูดซับต่าง ๆ

สัดส่วน	ผลการทดลอง		เฮนรี่		แลงมัวร์		ฟรุนดริช	
	q_e (g/g)	C_e (g/kg)	q_H	$\Delta(q-q_H)^2$	q_L	$\Delta(q-q_L)^2$	q_F	$\Delta(q-q_F)^2$
1:12	0.3994	10.8112	0.5114	0.0125	0.4641	0.0042	0.5103	0.0123
1:15	0.4953	10.7572	0.5088	0.0002	0.4619	0.0011	0.5081	0.0002
1:18	0.5405	13.7942	0.6525	0.0125	0.5876	0.0022	0.6282	0.0077
1:21	0.6450	13.1194	0.6205	0.0006	0.5598	0.0073	0.6019	0.0019
1:24	0.7668	11.5456	0.5461	0.0487	0.4947	0.0740	0.5397	0.0515
			$\Sigma\Delta q^2 = 0.0745$		$\Sigma\Delta q^2 = 0.0888$		$\Sigma\Delta q^2 = 0.0736$	
			$K_H = 0.0473$		$K_L = 0.0027$		$K_F = 0.0669$	
					$q_m = 16.6113$		$n = 0.8532$	

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง.5 ปริมาณสมดุลการดูดซับจากการทดลองกรณีใช้ตัวดูดซับ-20 และที่แบบจำลองสมดุลดูดซับต่าง ๆ

สัดส่วน	ผลการทดลอง		เฮนรี่		แลงมัวร์		ฟรุนดริช	
	q_e (g/g)	C_e (g/kg)	q_H	$\Delta(q-q_H)^2$	q_L	$\Delta(q-q_L)^2$	q_F	$\Delta(q-q_F)^2$
1:12	0.4252	8.1544	0.6768	0.0633	0.3004	0.0156	0.6137	0.0355
1:15	0.5372	7.5505	0.6267	0.0080	0.2947	0.0588	0.6252	0.0077
1:18	0.6533	6.9867	0.5799	0.0054	0.2887	0.1329	0.6371	0.0003
1:21	0.7616	6.9581	0.5775	0.0339	0.2884	0.2239	0.6377	0.0154
1:24	0.8289	8.6971	0.7219	0.0115	0.3051	0.2744	0.6042	0.0505
			$\Sigma\Delta q^2 = 0.1221$		$\Sigma\Delta q^2 = 0.7056$		$\Sigma\Delta q^2 = 0.1094$	
			$K_H = 0.0830$		$K_L = 0.3819$		$K_F = 1.0196$	
					$q_m = 0.3969$		$n = -0.2419$	

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายธีรวุฒิ ศักดิ์สุภา เกิดในเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2528 จบการศึกษาระดับปริญญาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ในปี พ.ศ. 2550 และได้เข้าศึกษาต่อในระดับบัณฑิตศึกษา ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย