

ผลของอุณหภูมิต่ำที่เตรียมดินเบาต่อประสิทธิภาพการดูดซับกลีเซอรินในน้ำมันไบโอดีเซล



นางสาวแพรวสุข วัังศิลา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต


สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา)

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2552

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EFFECT OF DIATOMITE HEAT TREATMENT ON GLYCERINE ADSORPTION IN BIODIESEL



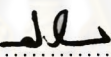
Miss Phraesuk Wungsila

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

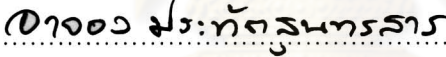
A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Environmental Science
(Interdisciplinary Program)
Graduate School
Chulalongkorn University
Academic Year 2009
Copyright of Chulalongkorn University

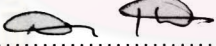
หัวข้อวิทยานิพนธ์ ผลของอุณหภูมิที่ใช้เตรียมดินเบาต่อประสิทธิภาพการดูดซับ
กลีเซอรินในน้ำมันไบโอดีเซล
โดย นางสาวแพรสุข วังศิลา
สาขาวิชา วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก รองศาสตราจารย์ ดร. สมใจ เพ็งปรีชา

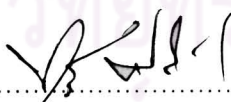
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

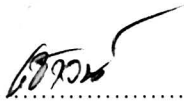

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.พรพจน์ เปี่ยมสมบุญ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อารอง ประทศสุนทรสาร)


..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.สมใจ เพ็งปรีชา)


..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ทวิวงศ์ ศรีบุรี)


..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร. เขาวงศ์ นกอยู่)

แพรสุข วังศิลา : ผลของอุณหภูมิที่ใช้เตรียมดินเบาต่อประสิทธิภาพการดูดซับกลีเซอริน
 ในน้ำมันไบโอดีเซล (EFFECT OF DIATOMITE HEAT TREATMENT ON GLYCERINE
 ADSORPTION IN BIODIESEL). อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รศ.ดร. สมใจ เพ็งปรีชา,
 66 หน้า.

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการดูดซับของดินเบาด้วยความ
 ร้อนสำหรับใช้ในการทำไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์ โดยดินเบาที่ถูกเผาทั้งหมดนำมาดูดซับกลีเซอริน
 ในน้ำมันไบโอดีเซลที่สังเคราะห์จากน้ำมันปาล์มโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา การดูดซับที่
 เหมาะสมที่สุดจะได้จากการแปรผันอัตราส่วนของตัวดูดซับต่อไบโอดีเซล เวลาสัมผัส และ
 อุณหภูมิ โดยใช้ปริมาณดินเบาและดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ร้อยละ 2 โดย
 น้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที กลีเซอรินในไบโอดีเซลจะถูกกำจัด
 ออกอย่างมาก นอกจากนี้การกำจัดกลีเซอรินถูกปรับปรุงได้โดยใช้ปริมาณดินเบาและดินเบา
 เผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก ในภาวะที่เมทานอลถูกกำจัดออก
 ก่อนทำการดูดซับ เมื่อพิจารณาไอโซเทอมการดูดซับพบว่ากระบวนการนี้สอดคล้องกับรูปแบบ
 ของแลงเมียร์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สาขาวิชา..... วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม.....
 ปีการศึกษา..... 2552.....

ลายมือชื่อนิสิต..... แพรสุข วังศิลา.....
 ลายมือ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....

4989219920 : MAJOR ENVIRONMENTAL SCIENCE

KEYWORDS : DIATOMITE/ GLYCERINE/ ADSORPTION/ BIODEISEL

PHRAESUK WUNGSILA : EFFECT OF DIATOMITE HEAT TREATMENT ON GLYCERINE ADSORPTION IN BIODIESEL. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. SOMCHAI PENGPREECHA, Ph.D., 66 pp.

The purpose of this research is to improve the adsorption efficiency of diatomite by heat treatment for purifying biodiesel. All heat-treated diatomites were subjected to adsorb glycerine in biodiesel synthesized from palm oil via a base-catalyzed process. The optimal adsorption was obtained by varying ratio of adsorbent to biodiesel, contact time and temperature. By using 2% wt of diatomite and heat-treated diatomite at 800°C at 50°C for 30 minutes, the glycerine in biodiesel could be drastically removed. Furthermore, the removal of glycerine was improved by using 1% (w/w) of diatomite and heat-treated diatomite at 800°C on the condition that methanol had been removed before treatment. According to the adsorption isotherm, this process is fit to Langmuir model.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Field of Study : Environmental Science

Student's Signature Phraesuk Wungasila

Academic Year : 2009

Advisor's Signature Somchai Pengpreecha

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. สมใจ เพ็งปรีชา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำปรึกษาและช่วยแก้ไขรายละเอียดต่าง ๆ เพื่อให้วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชาญวิทย์ โฆษิตานนท์ ผู้อำนวยการหลักสูตรสหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ที่สละเวลาให้คำปรึกษาตลอดจนคำแนะนำต่างๆ

ขอขอบพระคุณคณะกรรมการ รองศาสตราจารย์ ดร. ทวีวงศ์ ศรีบุรี ดร. เขาวน นกอยู่ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อัจจง ประทัดสุนทรสาร ที่กรุณาสละเวลามาเป็นกรรมการและประธานในการสอบวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบคุณทบวงมหาวิทยาลัย บัณฑิตวิทยาลัย สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือ ทุนเสนอผลงานวิจัยและทุนอุดหนุนการวิจัย

ขอขอบคุณนางสาวนิสากรณี แสงประทุม นายเมธวัจน์ รุ่งศิริวรพงศ์ นางสาวบุษยา ศรีวิจารณ์ พี่ ๆ น้อง ๆ และเพื่อน ๆ สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมที่ให้ความช่วยเหลือในการทำวิจัยในครั้งนี้และเป็นกำลังใจให้เสมอมา

ที่สำคัญที่สุด ขอขอบพระคุณ คุณพ่อสมนึก คุณแม่ไพโรศรี วังศิลา ที่ส่งเสริมและสนับสนุนการศึกษาเป็นอย่างดีมาโดยตลอด

ศุภณีย์วิทยทรัพย์ากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญรูป.....	ฏ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 วัตถุประสงค์.....	2
1.2 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 การสังเคราะห์ไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน.....	3
2.2 ตัวเร่งปฏิกิริยาที่นิยมใช้ในการสังเคราะห์ไบโอดีเซล.....	3
2.2.1 ตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทกรด.....	3
2.2.2 ตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทเบส.....	4
2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน.....	5
2.3.1 ความชื้นและกรดไขมันอิสระ.....	5
2.3.2 อัตราส่วนโดยโมลระหว่างแอลกอฮอล์ต่อน้ำมัน.....	6
2.3.3 ตัวเร่งปฏิกิริยา.....	6
2.3.4 เวลาและอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา.....	6
2.3.5 อัตราการกวนผสม.....	7
2.4 ข้อดีของการใช้น้ำมันไบโอดีเซลและการนำมาปรับใช้กับเครื่องยนต์.....	7
2.4.1 ด้านสิ่งแวดล้อม.....	7
2.4.2 ด้านสมรรถนะเครื่องยนต์.....	7
2.4.3 ด้านเศรษฐกิจ.....	8
2.5 คุณภาพของไบโอดีเซล.....	8

2.6 การดูดซับ.....	9
2.7 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการดูดซับ.....	10
2.7.1 พื้นที่ผิวและโครงสร้างรูพรุน.....	10
2.7.2 สมบัติของตัวถูกดูดซับ ขนาดของสารที่ถูกดูดซับ.....	11
2.7.2.1 ความสามารถในการละลาย.....	11
2.7.2.2 ขนาดของโมเลกุลตัวถูกดูดซับ.....	11
2.7.3 อุณหภูมิที่ใช้ในการดูดซับ.....	11
2.7.4 ความปั่นป่วน.....	11
2.8 อายุการใช้งานและความจุของการดูดซับ.....	12
2.9 ไอโซเทอมของการดูดซับ.....	13
2.9.1 ไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงเมียร์.....	13
2.9.2 ไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรุนดลิช.....	14
2.9.3 ไอโซเทอมการดูดซับแบบบีอีที.....	16
2.10 ตัวดูดซับที่ใช้ในงานวิจัย.....	17
2.10.1 ดินเบา.....	17
2.10.2 ถ่านกัมมันต์.....	18
2.11 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	20
2.11.1 กระบวนการสังเคราะห์ไบโอดีเซล.....	20
2.11.2 กระบวนการดูดซับโดยใช้ดินเบา.....	21
2.11.3 การศึกษาการดูดซับเพื่อทำไบโอดีเซลบริสุทธิ์.....	22
บทที่ 3 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย.....	24
3.1 สารเคมี.....	24
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือวิจัย.....	24
3.3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	25
3.3.1 ศึกษาคุณสมบัติของดินเบา.....	25
3.3.1.1 การเตรียมดินเบาและลักษณะของการเผา.....	25
3.3.1.2 การวิเคราะห์สมบัติของดินเบา.....	25

3.3.2 การสังเคราะห์น้ำมันไบโอดีเซล.....	25
3.3.3 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการใช้ดินเบาดูดซับกลีเซอริน ในไบโอดีเซลภายใต้สภาวะที่มีเมทานอล.....	26
3.3.3.1 การศึกษาอุณหภูมิในการตกตะกอนของกลีเซอริน.....	26
3.3.3.2 การศึกษาเวลาที่ใช้ในการดูดซับกลีเซอริน.....	26
3.3.3.3 การศึกษาปริมาณดินเบาและดินเบาเผา 800 องศาเซลเซียส ที่ใช้ในการดูดซับกลีเซอริน.....	26
3.3.4 การศึกษาประสิทธิภาพของตัวดูดซับชนิดต่างๆ ที่มีต่อการดูดซับกลีเซอริน.....	26
3.3.5 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ตกตะกอนกลีเซอรินที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส.....	27
3.3.6 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการใช้ดินเบากำจัดกลีเซอรินในไบโอดีเซล ภายใต้สภาวะที่ไม่มีเมทานอล.....	27
3.3.7 การวิเคราะห์และประเมินผลการดูดซับกลีเซอริน โดยใช้เทคนิค gas chromatography.....	27
3.3.8 การศึกษา breakthrough point และ capacity ของดินเบา.....	27
3.3.9 การทดสอบไอโซเทอมการดูดซับ.....	28
3.3.10 การวิเคราะห์ไบโอดีเซลด้วยวิธีต่างๆ.....	28
3.3.10.1 การไทเทรตหาปริมาณเบสและกลีเซอรินในไบโอดีเซล.....	28
3.3.10.2 การวิเคราะห์ปริมาณกลีเซอรินอิสระและกลีเซอรินทั้งหมด ในไบโอดีเซลตามมาตรฐาน EN14105.....	29
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	31
4.1 การศึกษาลักษณะเฉพาะของดินเบา.....	31
4.2 ปริมาณกลีเซอรินในน้ำมันไบโอดีเซล.....	32
4.3 ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการใช้ดินเบาและผงถ่าน ดูดซับกลีเซอรินในไบโอดีเซลภายใต้สภาวะที่มีเมทานอล.....	33
4.3.1 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อการตกตะกอนของกลีเซอรินในไบโอดีเซล.....	33
4.3.2 ผลของเวลาที่ใช้ในการดูดซับกลีเซอริน.....	34

4.3.3 ผลของปริมาณตัวดูดซับที่ใช้ในการดูดซับกลีเซอริน.....	34
4.3.4 ผลของประสิทธิภาพของตัวดูดซับชนิดต่างๆที่มีต่อการดูดซับกลีเซอริน.....	35
4.3.5 ผลการเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ตกตะกอนกลีเซอริน ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส.....	36
4.4 ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการใช้ดินเบาดูดซับ กลีเซอรินในไบโอดีเซลภายใต้สภาวะที่ไม่มีเมทานอล.....	38
4.4.1 ผลของปริมาณตัวดูดซับที่ใช้ในการดูดซับกลีเซอริน.....	38
4.5 การวิเคราะห์และประเมินผลการดูดซับกลีเซอรินโดยใช้ เทคนิค gas chromatography.....	39
4.6 ผลการทดลองค่า breakthrough point และ capacity ของดินเบา.....	39
4.7 ผลการทดสอบไอโซเทอมการดูดซับ.....	40
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....	43
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	43
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	43
รายการอ้างอิง.....	44
ภาคผนวก.....	47
ภาคผนวก ก.....	48
ภาคผนวก ข.....	51
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	66

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	ภาวะการทดลองของตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทกรด..... 4
2.2	ภาวะและผลการทดลองของตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทเบส..... 5
2.3	ลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลในประเทศไทย..... 8
4.1	แสดงธาตุซึ่งเป็นตัวประกอบของดินเบา..... 31
4.2	แสดงค่าปริมาณกลีเซอรินในน้ำมันไบโอดีเซลก่อนการนำไปดูดซับ..... 32
4.3	ปริมาณกลีเซอรินในไบโอดีเซลเมื่อทำการดูดซับที่เวลาต่างๆ..... 34
4.4	แสดงปริมาณกลีเซอรินอิสระและกลีเซอรินทั้งหมดในไบโอดีเซลเมื่อดูดซับด้วย ดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส..... 39

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงแผนภาพปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน.....	3
2.2 การยึดเกาะของโมเลกุลของตัวถูกดูดซับบนตัวดูดซับ.....	9
2.3 (a) การดูดซับแบบชั้นเดียว (monolayer adsorption) (b) การดูดซับแบบหลายชั้น (multilayer adsorption).....	10
2.4 กราฟเบรคธู (breakthrough curve).....	12
2.5 กราฟแสดงไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงเมียร์.....	14
2.6 กราฟแสดงไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรุนดลิช.....	15
2.7 กราฟแสดงไอโซเทอมการดูดซับแบบบีอีที.....	16
4.1 ภาพแสดงผลของ XRD ของดินเบา.....	31
4.2 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อการตกตะกอนกลีเซอรินในระบบเปิดและระบบปิด.....	33
4.3 แสดงผลของปริมาณตัวดูดซับที่ใช้ในการดูดซับกลีเซอริน.....	35
4.4 แสดงผลเปรียบเทียบผลของการดูดซับระหว่างดินเบา ถ่านกัมมันต์ ดินเบาและถ่านกัมมันต์เผาที่อุณหภูมิต่างๆ.....	36
4.5 แสดงผลการเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการตกตะกอนกลีเซอริน ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส.....	36
4.6 แสดงกราฟของกลีเซอรินเมื่อถูกดูดซับในเวลา 0.5 และ 2 ชั่วโมง.....	37
4.7 แสดงผลของปริมาณตัวดูดซับที่ใช้ดูดซับกลีเซอริน.....	38
4.8 แสดง breakthrough point และ capacity ของการดูดซับด้วยดินเบา.....	40
4.9 แสดงไอโซเทอมของการดูดซับแบบแลงเมียร์ในดินเบาที่ไม่ได้เผา.....	40
4.10 แสดงไอโซเทอมของการดูดซับแบบฟรุนดลิชในดินเบาที่ไม่ได้เผา.....	41
4.11 แสดงไอโซเทอมของการดูดซับแบบแลงเมียร์ในดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส.....	41
4.12 แสดงไอโซเทอมของการดูดซับแบบฟรุนดลิชในดินเบาที่เผาอุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส.....	42

บทที่ 1

บทนำ

ปัจจุบันความต้องการในการใช้น้ำมันดีเซลในประเทศไทยมีแนวโน้มที่สูงขึ้นเรื่อยๆ ซึ่งการใช้น้ำมันดีเซลที่ได้จากปิโตรเลียมนั้นก่อให้เกิดมลภาวะทางสิ่งแวดล้อมเป็นอย่างมากเช่น มลภาวะทางอากาศซึ่งเกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สะอาด เป็นต้น ดังนั้นไบโอดีเซลจึงเป็นพลังงานทางเลือกหนึ่งที่ได้รับคามนิยมเป็นอย่างยิ่งเนื่องจากเป็นพลังงานทางเลือกที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม มีการเผาไหม้ที่สะอาดกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซลจากปิโตรเลียม อีกทั้งยังผลิตได้จากวัตถุดิบที่มาจากธรรมชาติ เช่น น้ำมันพืชชนิดต่างๆอีกด้วย ความต้องการในการใช้ไบโอดีเซลในประเทศไทยนั้นเพิ่มสูงขึ้นถึง 22 ล้านลิตรต่อวันในปีพ.ศ.2553 และมีแนวโน้มที่จะสูงมากขึ้นอีกในอนาคต ประเทศไทยมีแหล่งวัตถุดิบที่ใช้ในการสังเคราะห์ไบโอดีเซลอยู่เป็นจำนวนมาก เช่น มะพร้าว ปาล์ม เมล็ดทานตะวัน ถั่วเหลือง เป็นต้น โดยพืชเหล่านี้เป็นวัตถุดิบที่ผลิตได้เองภายในประเทศจึงเป็นการลดการนำเข้าน้ำมันดิบจากต่างประเทศหากนำเอาพืชเหล่านี้มาสังเคราะห์เป็นไบโอดีเซล

ไบโอดีเซลสามารถสังเคราะห์ผ่านปฏิกิริยาที่เรียกว่าทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน โดยเป็นการทำปฏิกิริยาระหว่างไตรกลีเซอไรด์และแอลกอฮอล์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาทั้งที่เป็นกรด เบส เอนไซม์หรือไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาก็ได้ แต่ที่นิยมมากที่สุดคือ เบส เนื่องจากใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาน้อย ได้ผลิตภัณฑ์สูง อีกทั้งยังมีราคาถูก (Marchetti และคณะ, 2007) หลังจากทำปฏิกิริยาและแยกกลีเซอรินออกไปแล้วจะทำการล้างไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์ซึ่งจะนิยมใช้น้ำในการล้างเนื่องจากเป็นวิธีที่สะดวก แต่จะทำให้เกิดอิมัลชันซึ่งถ้ามีปริมาณสูงมากจะก่อให้เกิดปัญหาในการแยกและทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ลดลง (Berrios และคณะ, 2008) นอกจากนี้ยังก่อให้เกิดน้ำเสียจากการล้างเป็นปริมาณมากจึงมีการนำเอาตัวดูดซับมาใช้ทดแทนขั้นตอนในการล้างเพื่อลดการเกิดน้ำเสีย

ในงานวิจัยนี้จะใช้ดินเบาซึ่งเป็นวัสดุธรรมชาติมากำจัดกลีเซอรินที่อยู่ในไบโอดีเซลด้วยกระบวนการดูดซับ ซึ่งปัจจุบันมีการนำดินเบามาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมต่างๆมากมาย เช่น ใช้เป็นตัวดูดซับ ตัวกรอง และอุตสาหกรรมก่อสร้าง เป็นต้น ดินเบาเป็นดินตะกอนที่ประกอบด้วยซากไดอะตอมซึ่งมีรูพรุนมาก มีความคงทนทางเคมี ผงเซลล์เป็นแร่ซิลิกาพวกโอปอล จึงมีพื้นที่ผิวเป็น silanol group (Si-OH) ทำให้สามารถดูดซับโมเลกุลที่มีขั้วได้ ประกอบกับดินเบาที่มีพื้นที่ผิวมาก ซึ่งเป็นคุณสมบัติของตัวดูดซับที่ดี (อิธิชา บวรวัฒนานนท์, 2527) จึงมีความเป็นไปได้ในการดูดซับกลีเซอรินซึ่งเป็นสารที่มีขั้ว จากเหตุผลดังกล่าวนี้ดินเบาจึงมีความสามารถที่จะนำมาใช้ในกระบวนการดูดซับกลีเซอรินที่เกิดจากการสังเคราะห์ไบโอดีเซลได้

1.1 วัตถุประสงค์

งานวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ

1. ศึกษาผลของอุณหภูมิที่ใช้เผาดินเผาต่อกระบวนการดูดซับกลีเซอรินเพื่อทำไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์
2. เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพกระบวนการดูดซับกลีเซอรินของดินเผาไม่ได้เผาและดินเผาที่ถูกเผา
3. ศึกษาไอโซเทอมของกระบวนการดูดซับกลีเซอรินของดินเผาไม่ได้เผาและดินเผาที่ถูกเผา

1.2 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ลดปริมาณน้ำเสียจากกระบวนการทำไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์โดยการล้างด้วยน้ำ
2. เป็นแนวทางในการนำดินเผาที่มีอยู่มากมาใช้ประโยชน์ได้

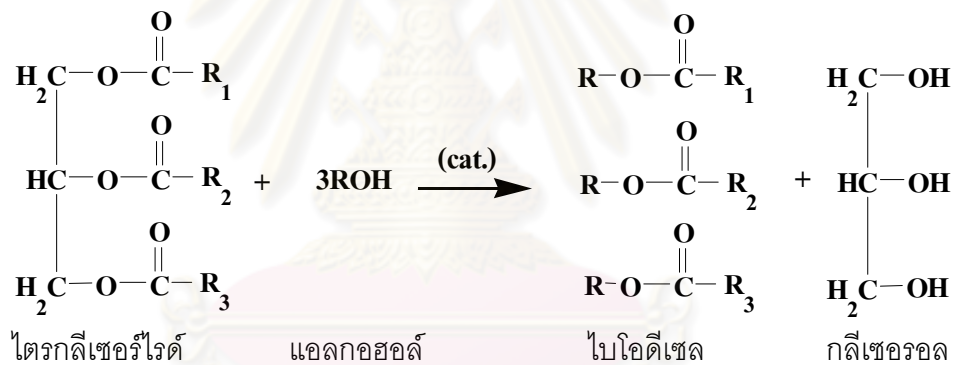
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การสังเคราะห์ไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน

น้ำมันพืชและสัตว์เป็นสารประกอบประเภทไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride) เชื่อมต่อกับกรดไขมันที่มีคาร์บอนตั้งแต่ 10 ถึง 30 ตัว โดยปกติในน้ำมันพืชจะประกอบไปด้วยกรดไขมันอิสระ ฟอสโฟไลปิด สเตียรอยด์ น้ำ และสิ่งเจือปนอื่นๆ ดังนั้นการที่จะนำน้ำมันเหล่านี้ไปใช้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงทำได้ผ่านปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันหรือแอลกอฮอล์ไลซิสซึ่งเป็นปฏิกิริยาการแลกเปลี่ยนของแอลกอฮอล์ในเอสเทอร์ (Srivastava และคณะ, 2000) ดังสมการ



รูปที่ 2.1 แสดงแผนภาพปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน

2.2 ตัวเร่งปฏิกิริยาที่นิยมใช้ในการสังเคราะห์ไบโอดีเซล

2.2.1 ตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทกรด

การทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันโดยใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยานั้นจะเกิดช้ากว่าเมื่อใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา นอกจากนี้ยังต้องใช้อุณหภูมิที่สูงและใช้เวลานานกว่าจึงจะเกิดปฏิกิริยาอย่างสมบูรณ์ หากกลีเซอไรด์มีส่วนประกอบของกรดไขมันอิสระและน้ำอยู่มากจะนิยมใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทกรดมากกว่าประเภทเบสโดยกรดที่นิยมใช้ คือ กรดซัลฟิวริก และ กรดซัลโฟนิก เป็นต้น (จันทรนาถ พลขำนิ, 2548)

ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดแรกที่มีการศึกษา ได้แก่ กรดซัลฟิวริก ผลการศึกษาพบว่าสามารถเร่งปฏิกิริยาได้ร้อยละผลิตรภัณฑ์ที่สูงมาก(>99%) ที่อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันพืชต่อแอลกอฮอล์เท่ากับ 1 ต่อ 30 สำหรับแอลกอฮอล์ 3 ชนิด ข้อมูลแสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ภาวะการทดลองของตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทกรด

ปริมาณกรดซัลฟิวริก	ชนิดแอลกอฮอล์	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา (ชั่วโมง)
1%	เมทานอล	50	50
1%	เอทานอล	78	18
1%	บิวทานอล	117	3

ที่มา: เรืองวิทย์ (2547)

จากการทดลองพบว่า เมื่อใช้กรดซัลฟิวริกร้อยละ 1 จะใช้เวลาในการทำปฏิกิริยานานมาก เช่น เมื่อทำปฏิกิริยากับเมทานอลต้องใช้เวลาจนถึง 50 ชั่วโมง

2.2.2. ตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทเบส

ตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทเบสที่นิยมใช้ในปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน คือ โซเดียมไฮดรอกไซด์และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาได้เร็ว สามารถหาได้ง่าย และมีราคาถูก การใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยานั้นจะเกิดการกัดกร่อนน้อยกว่ากรด นอกจากนี้เมื่อใช้ในปริมาณที่เท่ากันปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันที่ใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจะเกิดเร็วกว่าใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาถึง 4000 เท่า (Formo, 1954) ข้อมูลดังแสดงในตารางที่ 2.2

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.2 ภาวะและผลการทดลองของตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทเบส

ตัวเร่งปฏิกิริยา ชนิดเบส	ชนิดของ แอลกอฮอล์	สัดส่วนโมล ของเมทานอล ต่อน้ำมัน	อุณหภูมิ (องศา- เซลเซียส)	เวลาที่ ใช้ (ชั่วโมง)	ร้อยละ ผลิตภัณฑ์
1% NaOH	เมทานอลและ เอทานอล	3: 1 - 6:1	< 65 และ < 78	0.5 - 1	> 98
0.5% CH ₃ ONa	เมทานอล	3: 1 - 6: 1	< 65	0.5 - 1	> 98
1 - 3 % K ₂ CO ₃	เมทานอล	3: 1	70	1	84 - 92.4
1 - 3% MTBD	เมทานอล	3: 1	70	1	47
1 - 3% TBD	เมทานอล	3: 1	70	1	89 - 93

ที่มา: เรืองวิทย์ (2547)

2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

2.3.1 ความชื้นและกรดไขมันอิสระ

สำหรับปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส กลีเซอรอลและแอลกอฮอล์ที่ใช้จะต้องไม่มีน้ำเป็นส่วนผสมเพราะน้ำเป็นสาเหตุทำให้เกิดสบู่ขึ้นในระหว่างการทำปฏิกิริยา โดยสบู่ที่เกิดขึ้นจะไปลดประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาลง นอกจากนั้นยังส่งผลต่อคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลคือทำให้ค่าความหนืดสูงขึ้น ทำให้น้ำมันมีลักษณะเป็นเจลและยากต่อการแยกไบโอดีเซลออกจากกลีเซอรอลด้วย ดังนั้นในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา น้ำมันวัตถุดิบควรมีกรดไขมันอิสระไม่เกินร้อยละ 3 เพราะกรดไขมันอิสระที่มากเกินไปจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลลดน้อยลง แต่สำหรับน้ำมันวัตถุดิบที่มีกรดไขมันอิสระมากกว่า 3 จะต้องนำน้ำมันมาทำการลดค่าความเป็นกรดลง โดยใช้ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันซึ่งใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาแล้วจึงนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในขั้นตอนต่อไป (Ramadhass และคณะ, 2005)

2.3.2 อัตราส่วนโดยโมลระหว่างแอลกอฮอล์ต่อน้ำมัน

อัตราส่วนโดยโมลระหว่างแอลกอฮอล์ต่อน้ำมันถือเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลอย่างมากต่อการผลิตไบโอดีเซล เนื่องจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเป็นปฏิกิริยาแบบผันกลับได้ ดังนั้นแอลกอฮอล์ที่ใช้ในปฏิกิริยาจะต้องใช้ในปริมาณที่มากเกินพอเพื่อที่จะทำให้ปฏิกิริยาเกิดไปข้างหน้ามากขึ้นซึ่งก็จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์มากขึ้นเช่นกัน สัดส่วนที่ใช้ในปฏิกิริยา คือ 3 โมลของแอลกอฮอล์ต่อ 1 โมลของไตรกลีเซอไรด์ ดังนั้นหากใช้อัตราส่วนระหว่างแอลกอฮอล์ต่อน้ำมันมากเท่าไรก็จะทำให้ได้ไบโอดีเซลมากขึ้นเท่านั้น ในกระบวนการอุตสาหกรรมพบว่าได้เมื่อใช้อัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 6:1 จะได้ผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลมากกว่าร้อยละ 98 (Fukuda และคณะ, 2001)

2.3.3 ตัวเร่งปฏิกิริยา

ตัวเร่งปฏิกิริยาสามารถแบ่งได้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส กรด หรือ เอนไซม์ กระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันที่ใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจะเกิดเร็วกว่าเมื่อใช้กรดเป็นตัวเร่ง แต่อย่างไรก็ตามกลีเซอไรด์ที่มีกรดไขมันอิสระในปริมาณมากและมีน้ำผสมอยู่ด้วยการใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจะเหมาะสมกว่า (Ma และ Hanna, 1999)

2.3.4 เวลาและอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา

อัตราการเกิดไบโอดีเซลจะแปรผันโดยตรงกับเวลา กล่าวคือหากใช้เวลาในการทำปฏิกิริยามากขึ้นก็จะทำให้ได้ปริมาณไบโอดีเซลมากขึ้นเช่นกัน (Meher และคณะ, 2004) อุณหภูมิเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลกระทบต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเป็นอย่างมาก อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาโดยทั่วไปจะใช้อุณหภูมิที่ใกล้เคียงกับจุดเดือดของแอลกอฮอล์ที่ใช้ เช่น ถ้าเป็นเมทานอลอุณหภูมิที่ใช้คือ 60-70 องศาเซลเซียส ที่ความดันบรรยากาศ โดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (Agarwal, 2007)

2.3.5 อัตราการกวนผสม

การกวนผสมนับเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญมากสำหรับปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน เพราะน้ำมันหรือไขมันที่นำมาใช้ในการผลิตไบโอดีเซลนั้นไม่ละลายเป็นเนื้อเดียวกันกับ แอลกอฮอล์และตัวเร่งปฏิกิริยา ดังนั้นจึงต้องมีการกวนผสมให้เนื้อสารสัมผัสกันเพื่อให้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเกิดเป็นไบโอดีเซลได้อย่างสมบูรณ์ (Meher และคณะ, 2004)

2.4 ข้อดีของการใช้น้ำมันไบโอดีเซลและการนำมาปรับใช้กับเครื่องยนต์

2.4.1 ด้านสิ่งแวดล้อม

การใช้ไบโอดีเซลสามารถลดการปล่อยแก๊สเรือนกระจก เพราะผลิตจากพืช ทำให้ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าน้ำมันและการใช้ไบโอดีเซลก็ถือว่าเป็นอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมไปด้วย การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว นอกจากช่วยลดการนำน้ำมันที่ใช้แล้วไปประกอบอาหารซ้ำแล้วยังช่วยป้องกันมิให้น้ำมันที่ใช้แล้ว (ซึ่งมีสารไดออกซินที่เป็นสารก่อมะเร็ง) ไปผลิตเป็นอาหารสัตว์

2.4.2 ด้านสมรรถนะเครื่องยนต์

การผสมไบโอดีเซลในระดับร้อยละ 1-2 สามารถช่วยเพิ่มดัชนีการหล่อลื่นให้กับน้ำมันดีเซล จากการทดลองพบว่าการเติมไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันพืชใช้แล้วและน้ำมันมะพร้าว ในอัตราร้อยละ 0.5 สามารถเพิ่มการหล่อลื่นได้ถึง 2 เท่า และมีประสิทธิภาพการเผาไหม้ดีขึ้น เนื่องจากในไบโอดีเซลมีออกซิเจนผสมอยู่ประมาณร้อยละ 10 ทำให้การผสมระหว่างอากาศกับน้ำมันมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอและเป็นการเพิ่มอัตราส่วนปริมาตรของอากาศต่อน้ำมันได้เป็นอย่างดีจึงทำให้การเผาไหม้ดีขึ้น ถึงแม้ว่าค่าความร้อนของไบโอดีเซลจะต่ำกว่าน้ำมันดีเซลประมาณร้อยละ 10 แต่ข้อดีข้อนี้ไม่มีผลกระทบต่อการใช้งาน เพราะการใช้ไบโอดีเซลมาทำให้การเผาไหม้ดีขึ้นจึงทำให้กำลังเครื่องไม่ลดลง

2.4.3 ด้านเศรษฐกิจ

ไบโอดีเซลเป็นพลังงานที่ได้จากการเกษตรกรรมเป็นส่วนมาก ดังนั้นการนำเอาไบโอดีเซลมาใช้และมีการผลิตไบโอดีเซลที่เพิ่มขึ้นจะเป็นการช่วยในด้านการเกษตร ช่วยลดสภาวะการล้มตลาตของผลผลิตทางการเกษตร ช่วยพยุงราคาผลผลิตทางด้านเกษตร และเป็นการช่วยกระจายรายได้สู่การเกษตรกรรมอีกด้วย

2.5 คุณภาพของไบโอดีเซล

ไบโอดีเซลที่สังเคราะห์ได้นั้นจะต้องมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลที่ได้จากปิโตรเลียม โดยทั่วไปแล้วไบโอดีเซลที่สังเคราะห์ได้จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันจะมีความหนืดใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล เนื่องจากปฏิกิริยานี้จะลดน้ำหนักโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ลงเหลือเพียง 1 ใน 3 เท่านั้น นอกจากค่าความหนืดแล้วคุณภาพต่างๆของไบโอดีเซลที่สังเคราะห์ได้จะต้องเป็นไปตามประกาศของกรมธุรกิจพลังงานจึงจะสามารถนำออกจำหน่ายได้

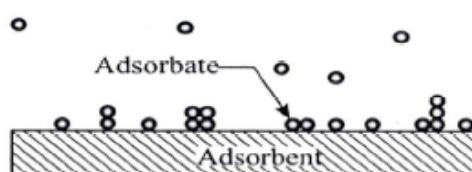
ตารางที่ 2.3 ลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลในประเทศไทย (กรมธุรกิจพลังงาน, 2548)

ข้อกำหนด	อัตรา	วิธีทดสอบ
ร้อยละเอสเทอร์, %wt	>96.5	EN 14103
ความหนาแน่นที่อุณหภูมิ 15°C, (kg/m ³)	860-900	ASTM D 1298
ความหนืดที่อุณหภูมิ 40°C, cSt	3.5-5.0	ASTM D445
จุดวาบไฟ, °C	>120	ASTM D 93
เถ้าคาร์บอน, %wt	<0.30	ASTM D 4530
จำนวนซีเทน	>51	ASTM D 613
กำมะถัน, %wt	<0.0010	ASTM D 2622
เถ้าซัลเฟต, %wt	<0.02	ASTM D 874
น้ำ, %wt.	<0.050	ASTM D 2709
สิ่งปนเปื้อนทั้งหมด, %wt.	<0.0024	ASTM D 5452
การกัดกร่อนแผ่นทองแดง	<96.5	ASTM D 130

ข้อกำหนด	อัตรา	วิธีทดสอบ
ความเสถียรต่อออกซิเดชัน ที่อุณหภูมิ 110°C, hours	>10	EN 14112
ค่าความเป็นกรด, mg KOH/g	<0.50	ASTM D 664
ค่าไอโอดีน, g Iodine/100 g	<120	EN 14111
Linolenic acid methyl ester, %wt.	<12.0	EN 14103
เมทานอล, %wt.	<0.20	EN 14110
โมนอกลิเซอไรด์, %wt.	<0.80	EN 14105
ไดกลีเซอไรด์, %wt.	<0.20	EN 14105
ไตรกลีเซอไรด์, %wt.	<0.20	EN 14105
กลีเซอรินอิสระ, %wt.	<0.02	EN 14105
กลีเซอรินทั้งหมด, %wt.	<0.25	EN 14105
โลหะหมู่ 1 (โซเดียมและโพแทสเซียม)	<5.0	EN 14108 และ EN 14109
โลหะหมู่ 2 (แคลเซียมและแมกนีเซียม)	<5.0	EN 14538
ฟอสฟอรัส, %wt.	<0.0010	ASTM D 4951

2.6 การดูดซับ

การดูดซับ (Adsorption) เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นระหว่างเฟส 2 เฟส โดยเกิดที่พื้นที่ผิวสัมผัส (Interface) ซึ่งเป็นพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างของเหลวกับก๊าซ ของแข็งกับก๊าซ ของแข็งกับของเหลว หรือของเหลวกับของเหลว โดยสารที่พื้นผิวเกิดการดูดซับขึ้น เรียกว่า ตัวดูดซับ (Adsorbent) ส่วนสารที่ถูกดูดซับ เรียกว่า ตัวถูกดูดซับ (Adsorbate)



รูปที่ 2.2 การยึดเกาะของโมเลกุลของตัวถูกดูดซับบนตัวดูดซับ

การดูดซับแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ดังนี้

1. การดูดซับทางกายภาพ (physical adsorption) เกิดขึ้นเนื่องจากแรงแวนเดอร์วาลส์ซึ่งโมเลกุลของสารดูดซับจะยึดติดกันทางกายภาพกับโมเลกุลของสารดูดซับโดยไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงใดๆทางเคมี การดูดซับแบบนี้เป็นการดูดซับแบบหลายชั้น (multilayer) กล่าวคือ แต่ละชั้นของโมเลกุลจะติดอยู่บนชั้นของโมเลกุลที่ถูกดูดติดก่อนหน้านั้น โดยจำนวนชั้นจะเป็นสัดส่วนกับความเข้มข้นของโมเลกุลของสารดูดซับ หรือจำนวนชั้นของโมเลกุลจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของสารดูดซับเพิ่มขึ้น

2. การดูดซับทางเคมี (chemical adsorption) เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างสารดูดซับและสารดูดซับที่ก่อให้เกิดสารประกอบทางเคมีขึ้น การดูดซับแบบนี้จะเป็นการดูดซับแบบชั้นเดียว (monolayer) และไม่สามารถที่จะผันกลับได้ (irreversible) การดูดซับทางเคมีโดยมากจะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิสูงเนื่องจากปฏิกิริยาเคมีจะกระทำอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิสูงมากกว่าที่อุณหภูมิต่ำ



รูปที่ 2.3 a) การดูดซับแบบชั้นเดียว (monolayer adsorption)

b) การดูดซับแบบหลายชั้น (multilayer adsorption)

2.7 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการดูดซับ

2.7.1 พื้นที่ผิวและโครงสร้างรูพรุน

พื้นที่ผิวมีความสัมพันธ์โดยตรงกับรูพรุน หากรูพรุนมีมากทำให้พื้นที่ผิวดูดซับมีมาก ดังนั้นความสามารถในการดูดซับก็จะมากขึ้น การดูดซับจะเกิดได้ดีเมื่อโมเลกุลตัวถูกดูดซับมีขนาดเล็กกว่ารูพรุนเล็กน้อย หากรูพรุนมีมากแต่ขนาดเล็กหรือรูพรุนขนาดใหญ่แต่ปากรูพรุนมีขนาดเล็กก็ไม่ทำให้ความสามารถในการดูดซับเพิ่มขึ้น

2.7.2 สมบัติของตัวถูกดูดซับ ขนาดของสารที่ถูกดูดซับ

ซึ่งประกอบด้วยคุณสมบัติ 2 ประการด้วยกัน คือ

2.7.2.1 ความสามารถในการละลาย

สารที่มีความสามารถในการละลายสูงจะถูกดูดซับได้น้อย เนื่องจากก่อนที่จะเกิดกระบวนการดูดซับขึ้นต้องมีการทำลายพันธะระหว่างตัวถูกละลายและตัวทำละลาย ซึ่งถ้าไม่มีการทำลายพันธะก็จะไม่สามารถเกิดการดูดซับได้

2.7.2.2 ขนาดของโมเลกุลตัวถูกดูดซับ

ขนาดของโมเลกุลตัวถูกดูดซับนั้นมีความสำคัญมากต่อการดูดซับ ซึ่งส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นในโพรงของตัวดูดซับ จากการวิจัยพบว่าการดูดซับจะเกิดขึ้นได้ดีที่สุดเมื่อสารถูกดูดซับมีขนาดเล็กกว่าโพรงของตัวดูดซับเล็กน้อย(พอดีเข้าไปในโพรงได้) ทั้งนี้เพราะแรงดึงดูดระหว่างสารและตัวดูดซับจะมีค่ามากที่สุด โมเลกุลขนาดเล็กจึงถูกดูดเข้าไปในโพรงก่อน จากนั้นโมเลกุลขนาดใหญ่กว่าจึงถูกดูดเข้าไปบ้าง

2.7.3 อุณหภูมิที่ใช้ในการดูดซับ

การเพิ่มอุณหภูมิจะทำให้การแพร่ผ่านของสารที่ถูกดูดซับลงไปยังรูพรุนของตัวดูดซับได้เร็วขึ้น แต่จะส่งผลให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับกับพื้นผิวของตัวดูดซับอ่อนลง ทั้งนี้เนื่องจากการดูดซับเป็นปฏิกิริยาแบบคายความร้อน (Exothermic) โดยทั่วไปเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นความสามารถในการดูดซับจะลดลงแต่อัตราเร็วในการดูดซับจะสูงขึ้น ในทางตรงกันข้ามเมื่ออุณหภูมิลดลงความสามารถในการดูดซับจะสูงขึ้นแต่อัตราเร็วในการดูดซับจะลดลง

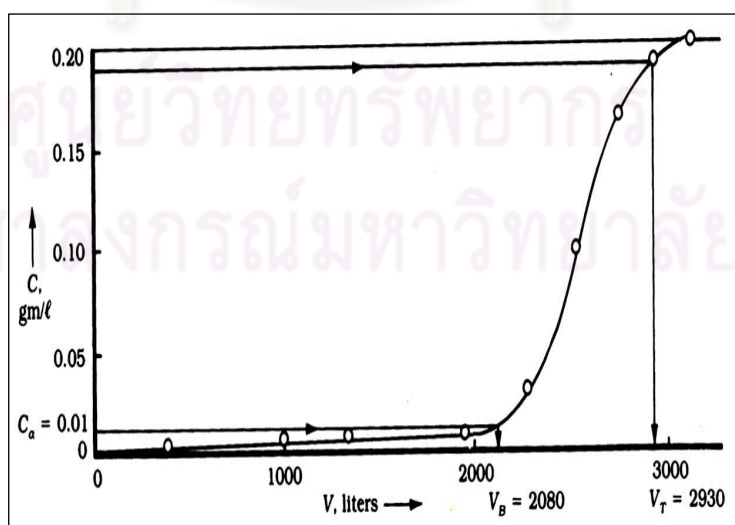
2.7.4 ความปั่นป่วน

อัตราเร็วในการดูดซับติดผิวอาจขึ้นอยู่กับ การขนส่งโมเลกุลของระบบซึ่งจัดว่าเป็นขั้นตอนที่จำกัดอัตราเร็วของการดูดซับ ขั้นตอนนี้ประกอบด้วย การแพร่ผ่านฟิล์ม (Film Diffusion)

และการแพร่เข้าสู่โพรง (Pore Diffusion) ในระบบที่ของเหลวมีความปั่นป่วนต่ำ พิล์มของเหลวที่อยู่ล้อมรอบตัวดูดซับจะมีความหนามากและเป็นอุปสรรคต่อการเคลื่อนที่ของโมเลกุลเข้าไปหาตัวดูดซับ ในกรณีนี้การแพร่ผ่านฟิล์มจะเป็นตัวกำหนดอัตราเร็วของการดูดซับ ในทางกลับกันหากความปั่นป่วนของของเหลวในระบบสูง ความหนาของชั้นฟิล์มจะลดลงทำให้โมเลกุลเคลื่อนที่เข้าหาสารดูดซับได้เร็ว ดังนั้นการแพร่เข้าสู่โพรงจะเป็นตัวกำหนดอัตราเร็วของการดูดซับ

2.8 อายุการใช้งานและความจุของการดูดซับ

การศึกษาอายุการใช้งานของตัวดูดซับและค่าคงที่ทำได้โดยการผ่านสารที่ต้องการจะดูดซับอย่างต่อเนื่องสู่ตัวดูดซับ เมื่อสารที่ต้องการจะดูดซับผ่านตัวดูดซับเป็นระยะเวลาหนึ่งจะเกิดการดูดซับที่ผิวอย่างต่อเนื่อง ทำให้ตัวดูดซับค่อยๆหมดประสิทธิภาพตามปริมาณสารดูดซับที่ผ่านตัวดูดซับ ดังนั้นความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆจนถึงสูงสุดที่ตัวดูดซับจะสามารถเกิดการดูดซับได้ เรียกจุดนี้ว่า เบรคพอยน์ (breakpoint) ภายหลังจากไม่เกิดแรงในการดูดซับแล้วก็จะถึงจุดอิ่มตัว เรียกจุดนี้ว่า ความจุของการดูดซับ (capacity of adsorbent) ซึ่งเมื่อเทียบกับความเข้มข้นเบื้องต้นแล้วจะมีค่าใกล้เคียงกัน ถือว่ามีประสิทธิภาพของกระบวนการดูดซับเท่ากับ 95 เปอร์เซ็นต์ โดยกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับที่ผ่านตัวดูดซับแล้วต่อความเข้มข้นเริ่มต้นเทียบกับปริมาตรที่ใช้ เรียกว่า กราฟเบรคธู (breakthrough curve)



รูปที่ 2.4 กราฟเบรคธู (breakthrough curve)

2.9 ไอโซเทอมของการดูดซับ (adsorption isotherm)

ไอโซเทอมการดูดซับเป็นการแสดงปริมาณของตัวถูกละลายที่ถูกดูดติดต่อหน่วยของตัวดูดซับ ซึ่งสัมพันธ์กับความเข้มข้นที่จุดสมดุลในสารละลายที่อุณหภูมิคงที่ ไอโซเทอมการดูดซับสามารถอธิบายได้หลายรูปแบบ ดังนี้

2.9.1 ไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงเมียร์ (Langmuir adsorption isotherm)

สมมติฐานพื้นฐานของแบบจำลองไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงเมียร์ คือ

- โมเลกุลถูกดูดติดอยู่บริเวณที่แน่นอนบนพื้นผิวของตัวดูดซับ
- มีโมเลกุลเดียวในบริเวณถูกดูดติด
- พื้นที่ของบริเวณดูดซับมีจำนวนแน่นอน ซึ่งกำหนดโดยลักษณะของพื้นผิว
- พลังงานการดูดซับมีค่าเท่ากันทุกบริเวณ

การดูดซับจากสารละลายโดยสารดูดซับ แสดงได้ดังสมการ

$$X = \frac{X_m b C_e}{1 + b C_e}$$

โดย X = ปริมาณตัวถูกละลายที่ถูกดูดติดต่อหน่วยน้ำหนักของคาร์บอน (มิลลิกรัม/กรัม หรือ โมล/กรัม)

X_m = ปริมาณตัวถูกละลายมากที่สุดที่ถูกดูดติดเพื่อสร้างแผ่นชั้นเดียว (monolayer) (มิลลิกรัม/กรัม หรือ โมล/กรัม)

C_e = ความเข้มข้นของตัวถูกละลายในสารละลายที่จุดสมดุล (มิลลิกรัม/กรัม หรือ โมล/ลิตร)

b = ค่าคงที่ทางพลังงานของการดูดซับ

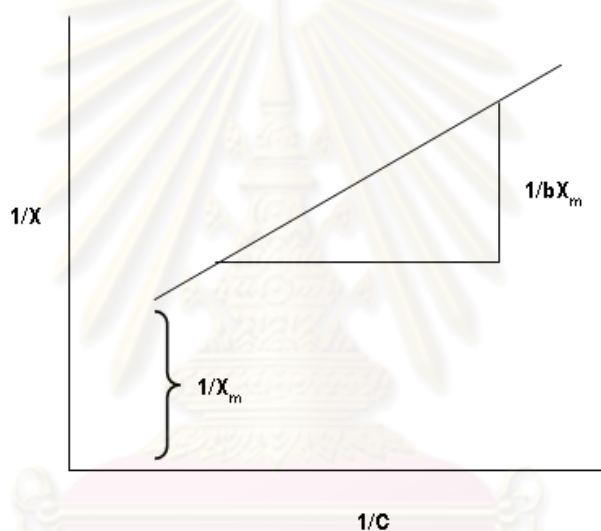
เมื่อ X เข้าสู่อันดับ X_m และ C_e เข้าสู่อันดับ ∞ จะเขียนสมการได้เป็น

$$C_e / X = \left(1 / b X_m \right) + \left(C_e / X_m \right) \quad \text{สมการที่ 2.1}$$

เมื่อเขียนกราฟระหว่าง C_e / X กับ C_e ซึ่งเป็นเส้นตรง จะมีความชัน $1 / X_m$ และจุดตัดแกน y เท่ากับ $1 / bX_m$ และเมื่อหารด้วย C_e จะได้สมการเส้นตรง คือ

$$1/X = (1/X_m) + (1/C_e)(1/bX_m) \quad \text{สมการที่ 2.2}$$

เมื่อเขียนกราฟระหว่าง $1/X$ กับ $1/C_e$ ซึ่งเป็นเส้นตรง จะมีความชัน $1/bX_m$ และจุดตัดแกน y เท่ากับ $1/X_m$ จากสมการ 2.1 และ 2.2 แสดงได้ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.5 กราฟแสดงไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงเมียร์

2.9.2 ไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรุนดลิช (freundlich adsorption isotherm)

สมการการดูดซับแบบฟรุนดลิชใช้กันแพร่หลายที่สุดในการอธิบายการดูดซับในระบบของเหลว ซึ่งมีสมการดังนี้ คือ

$$X/m = KC_e^{1/n} \quad \text{สมการที่ 2.3}$$

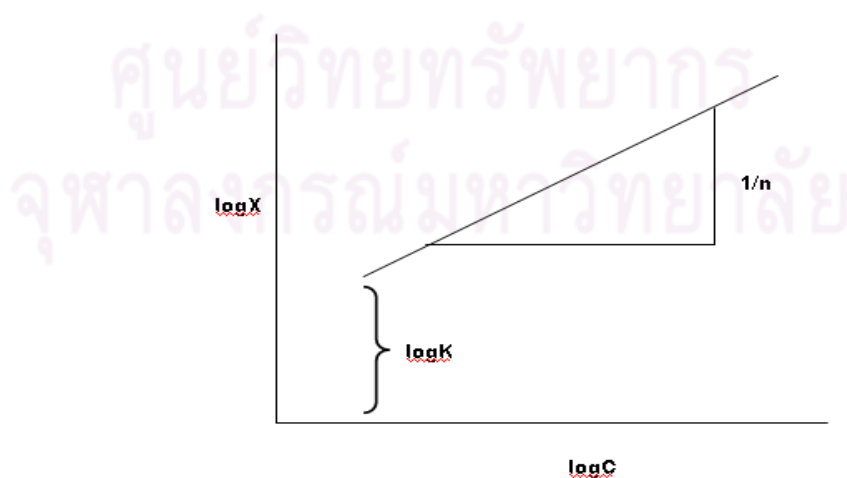
โดย	X	=	ปริมาณตัวถูกละลายที่ถูกดูดติดต่อหน่วยน้ำหนักของคาร์บอน (มิลลิกรัม/กรัม หรือ โมล/กรัม)
	C_e	=	ความเข้มข้นของตัวถูกละลายในสารละลายที่จุดสมดุล (มิลลิกรัม/กรัม หรือ โมล/ลิตร)
	K	=	ค่าคงที่สัมพันธ์กับความสามารถในการดูดซับของคาร์บอน
	$1/n$	=	ค่าคงที่สัมพันธ์กับพลังงานของการดูดซับ
	m	=	น้ำหนักของสารดูดซับ (กรัม)

จากสมการ 2.3 สามารถเขียนสมการในรูป logarithmic ได้ดังนี้ คือ

$$\log(X/m) = \log K + 1/n \log C_e \quad \text{สมการที่ 2.4}$$

เมื่อเขียนกราฟระหว่าง $\log(X/m)$ กับ $\log C_e$ จะเป็นเส้นตรงที่มีความชัน $1/n$ และ $\log K$ จุดตัดแกน y ของ $\log(X/m)$ ที่ $\log C_e = 0$ ($C_e = 1$) จากสมการที่ 2.3 และ 2.4 แสดงได้ดังรูปที่ 2.5

จากสมการการดูดติดผิวแบบฟรุนดลิช แสดงถึงความสามารถในการดูดซับ โดยถ้า $n < 1$ แสดงถึงการดูดซับที่ไม่ดี แต่ถ้าค่า $n > 1$ แสดงถึงการดูดซับที่ดี



รูปที่ 2.6 กราฟแสดงไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรุนดลิช

2.9.3 ไอโซเทอมการดูดซับแบบบีอีที (BET: Brunauer-Emmett-Teller adsorption isotherm)

ไอโซเทอมการดูดซับแบบบีอีทีที่พัฒนามาจากไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงมัวร์ โดยจากการดูดซับแบบชั้นเดียว (monolayer) เป็นการดูดซับแบบหลายชั้น (multilayers) ซึ่งแต่ละโมเลกุลในชั้นดูดซับชั้นแรก จะเป็นบริเวณที่ซึ่งมีโมเลกุลชั้นที่ 2 ดูดซับ เช่นเดียวกันกับชั้นอื่นๆ ต่อไป โดยแสดงได้ดังสมการ

$$X = (X_m b C_e) / (C_s - C_e)(1 + (b - 1)C_e / C_s) \quad \text{สมการที่ 2.5}$$

โดย X = ปริมาณตัวถูกละลายที่ถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักของคาร์บอน (มิลลิกรัม/กรัม หรือ โมล/กรัม)

X_m = ปริมาณตัวถูกละลายมากที่สุดที่ถูกดูดซับเพื่อสร้างแผ่นชั้นเดียว (monolayer) (มิลลิกรัม/กรัม หรือ โมล/กรัม)

C_e = ความเข้มข้นของตัวถูกละลายในสารละลายที่จุดสมดุล (มิลลิกรัม/กรัม หรือ โมล/ลิตร)

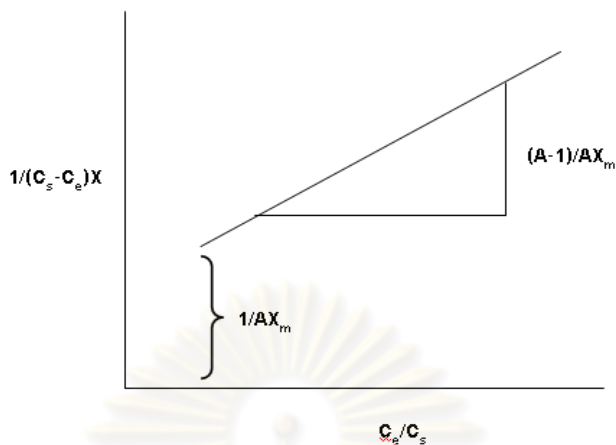
C_s = ความเข้มข้นของ ตัวถูกละลายในสารละลายที่จุดสมดุล (มิลลิกรัม/กรัม หรือ โมล/ลิตร)

b = ค่าคงที่ทางพลังงานของการดูดซับ

จากสมการที่ 2.5 สามารถเปลี่ยนได้เป็น

$$C_e / X (C_s - C_e) = (1 / X_m b) + ((b-1) / X_m b)(C_e / C_s) \quad \text{สมการที่ 2.6}$$

เมื่อเขียนกราฟระหว่าง $C_e / X (C_s - C_e)$ กับ C_e / C_s ซึ่งเป็นเส้นตรงที่มีความชัน $(b-1) / X_m b$ และจุดตัดแกน y เท่ากับ $1 / X_m b$ จากสมการ 2.5 และ 2.6 แสดงได้ดังรูป 2.6



รูปที่ 2.7 กราฟแสดงไอโซเทอมการดูดซับแบบปี้ซีที

2.10 ตัวดูดซับที่ใช้ในงานวิจัย

2.10.1 ดินเบา

ดินเบาหรือที่รู้จักกันในชื่อต่างๆ เช่น Diatomaceous earth, Kieselguhr, Tripolite, Fossil flour, Diatomaceous shale เป็นต้น เป็นหินตะกอนชนิดซิลิเซียส (siliceous) ชนิดหนึ่งที่เกิดขึ้นจากการตกตะกอนทับถมกันของเปลือกสาหร่ายเซลล์เดียวที่มีขนาดเล็กมาก เรียกว่า ไดอะตอม (Diatom) ผลังเซลล์ของไดอะตอมมีรูปร่างมาก ทำให้ดินเบามีความหนาแน่นของมวลรวมน้อย ผงเซลล์ของไดอะตอมส่วนใหญ่ประกอบด้วยซิลิกา 80-90% ดินเบามีส่วนประกอบหลักทางเคมีโดยเฉลี่ยอยู่ในช่วงดังนี้ คือ ซิลิกาออกไซด์ 62.09-69.50 เปอร์เซ็นต์ อะลูมินาออกไซด์ 11.88-15.68 เปอร์เซ็นต์ เฟอริกออกไซด์ 3.56-9.15 เปอร์เซ็นต์ และแคลเซียมออกไซด์ 0.20-0.89 เปอร์เซ็นต์

เนื่องจากไดอะตอมมีรูปร่างและขนาดที่แตกต่างกันมาก (5-1000 ไมครอน) เมื่อตกตะกอนทับถมกันการจัดเรียงตัวจึงไม่เป็นระเบียบ และเปลือกแต่ละชั้นจะไม่เบียดอัดกันแน่นสนิท ทำให้ดินเบามีลักษณะพิเศษ คือ มีความพรุนสูง (High porosity) และมีพื้นผิวมาก ดินเบาจึงมีประสิทธิภาพในการกรองอนุภาคเล็กๆ ที่แขวนลอยในของเหลวได้เป็นอย่างดี จึงมีการใช้เป็นสารช่วยกรองในการผลิตน้ำผลไม้ น้ำมันพืช เบียร์และของเหลวอื่นๆ ในประเทศไทยพบดินเบามากที่สุดที่อำเภอเกาะคา อำเภอแม่ทะ และอำเภอเมือง จังหวัดลำปาง ดินเบา มักจะมีน้ำหนักเบา สีค่อนข้างอ่อน สีขาวหรือสีครีมคล้ายซอล์ก โครงสร้างอาจเป็นแบบเนื้อแน่นหรือเป็นลาย ความแข็ง

ของอนุภาคดินเบาตามสเกลความแข็งมาตรฐานโมร์อยู่ระหว่าง 4.5-6 แต่ความแข็งปรากฏของแร่ดินเบาเนื้อแน่นประมาณ 1.5 ทั้งนี้เนื่องจากความหนาแน่นปรากฏน้อยและความร่วนของเนื้อดินที่มีรูพรุน ความหนาแน่นทั้งก้อนที่ 105 องศาเซลเซียส คือ 0.52-0.78 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ความถ่วงจำเพาะ คือ 2.30-2.32 และการดูดซับน้ำมัน คือ 153.5-235.2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

ประโยชน์ในทางอุตสาหกรรมของดินเบา อาจแบ่งออกได้ดังนี้

1. ใช้เป็นตัวกรอง (Filtering agent) สิ่งสกปรกหรือสิ่งที่ไม่ต้องการออกจากของเหลวพวกสารเคมี ถลุงแร่โลหะ ยา เครื่องดื่ม ปีโตรเลียม น้ำยาซักแห้ง และอุตสาหกรรมอื่นๆ
2. ดินเบาอยู่ในกลุ่มแรกของวัตถุดิบที่ใช้ทำฉนวนกันความร้อนและเสียง
3. ใช้เป็นตัวเติม (Mineral fillers) ในอุตสาหกรรมต่างๆเรียงตามลำดับความสำคัญ คือ ผสมทำสีทาภายในอาคาร กระดาษ ยาฆ่าแมลง พลาสติก แอสฟัลต์ ปูน ท่อต่อ หมึกพิมพ์ วัตถุระเบิด ไม้ขีดไฟ ทันตกรรม
4. ใช้เป็นตัวดูดซับ (Adsorbent) ใช้สำหรับเป็นสารเคมีทำลายเชื้อโรค ทำดินระเบิด เชื้อเพลิงแข็ง ประโยชน์ที่สำคัญอันหนึ่งก็คือ ใช้ในอุตสาหกรรมเกี่ยวกับสารทำความสะอาดพื้น
5. ใช้เป็นวัตถุขัดสีอย่างอ่อน (Mild abrasive) ส่วนใหญ่กับเครื่องเงิน โลหะและรถยนต์
6. ใช้ในโรงงานผลิตสีสังเคราะห์และเม็ดสี (Synthetic ultramarine and pigment) นอกจากนี้ก็ใช้เป็นส่วนผสมในโรงงานเครื่องเคลือบ เครื่องปั้นดินเผา คอนกรีต และซีเมนต์อื่นๆ
7. ใช้เป็นวัตถุก่อสร้างประเภทน้ำหนักเบาในรูปของอิฐ กระเบื้อง โดยอาจผสมกับดิน ยิปซัม ปูนขาว
8. ด้านกลกรรม ใช้ป้องกันไม่ให้ปุ๋ยแอมโมเนียไนเตรทแข็งตัวและยังใช้กับปุ๋ยเคมี

2.10.2 ถ่านกัมมันต์

ถ่านกัมมันต์ หมายถึง ผลิตภัณฑ์ถ่านที่อยู่ในรูปคาร์บอนอสัณฐาน (amorphous carbon) คือ มีรูปร่างไม่แน่นอน ถ่านกัมมันต์ผลิตได้จากวัสดุหลายประเภท ได้แก่ พวกเซลลูโลสที่มาจากพืช เช่น แกลบ กะลามะพร้าว ชี้อ้อย ชานอ้อย ชังข้าวโพด เมล็ดในของผลไม้ เปลือกหุ้ม

เมล็ดผลไม้บางชนิด เป็นต้น พวกถ่านหิน เช่น ลิกไนต์ ถ่านพีท บิทูมินัส และวัตถุดิบที่มาจากสัตว์ เช่น กระดุก เป็นต้น โดยจะนำมาผ่านกระบวนการเผาในที่อับอากาศและผ่านกระบวนการกระตุ้นซึ่งจะทำให้พื้นผิวภายใน (internal surface area) เพิ่มขึ้นอันเนื่องมาจากสารเคมีหรือการกระตุ้นทางกายภาพจะทำให้เกิดช่องว่างระหว่างผลึก (elementary crystallites) เพิ่มมากขึ้น โดยถ่านกัมมันต์จะต้องมีพื้นที่ผิวอย่างน้อยที่สุด 5 ตารางเมตรต่อกรัม แต่โดยทั่วไปโครงสร้างที่เป็นรูพรุนของถ่านกัมมันต์จะมีพื้นที่ผิวสูงอยู่ระหว่าง 500-2,000 ตารางเมตรต่อกรัม โครงสร้างเป็นรูพรุนหรือโพรงมีขนาดตั้งแต่ 20-20,000 อังสตรอม และมีสมบัติดูดซับสารต่างๆ ได้ดี

โครงสร้างของถ่านกัมมันต์ส่วนมากประกอบด้วยรูพรุนกระจาย โครงสร้างที่มีทั้งแมคโครพอร์ มีโซพอร์และไมโครพอร์ เรียกว่า “โครงสร้างผสม (Mixed structure type)” โดยทั่วไปถ่านกัมมันต์เกรดการค้าจะมีรูพรุนขนาดกลางประมาณ 200-300 ตารางเมตรต่อกรัม สำหรับรูพรุนขนาดเล็กซึ่งมีผลต่อความจุในการดูดซับ มีประมาณร้อยละ 90-95 ของพื้นที่ผิวทั้งหมด นอกจากนี้ยังพบว่าความจุในการดูดซับยังขึ้นกับลักษณะและธรรมชาติของผิวด้วย กล่าวคือ ถ้าบริเวณผิวของถ่านเป็นเพียงระนาบพื้นฐาน (Basal planes) ซึ่งไม่มีหมู่ฟังก์ชันอื่น ๆ การดูดซับจะเกิดจากแรงแวนเดอร์วาลส์ หรืออาจเกิดจากไฟอเล็กตรอน แรงยึดเหนี่ยวทั้งสองเป็นแรงที่ค่อนข้างอ่อน แม้ว่าจะดูดซับได้แต่มีโอกาสที่จะหลุดออกได้ง่าย แต่ถ้าเป็นผิวบริเวณที่มีหมู่ฟังก์ชันการดูดซับจะเกิดจากแรงที่แข็งแรง โอกาสที่โมเลกุลของสารถูกดูดซับจะหลุดออกจึงมีน้อยกว่า หมู่ฟังก์ชันบริเวณผิวถ่านกัมมันต์มี 2 ชนิด คือ พวกออกไซด์ของกรด ซึ่งพบมากในถ่านกัมมันต์ที่ผลิตที่อุณหภูมิต่ำกว่า 400-500 องศาเซลเซียส และพวกออกไซด์ของด่าง ซึ่งพบมากในถ่านกัมมันต์ที่ผลิตที่อุณหภูมิประมาณ 800-1,000 องศาเซลเซียส

ประโยชน์ทางอุตสาหกรรมของถ่านกัมมันต์ แบ่งได้หลายประเภท ดังนี้

1. ประเภทที่ใช้กับการดูดซับก๊าซหรือไอ
 - ใช้ในอุตสาหกรรมทำหน้าที่ปกป้องกันก๊าซพิษ ทั้งนี้เพราะถ่านกัมมันต์สามารถดูดซับก๊าซพิษและไอของสารอินทรีย์ได้
 - ใช้แยกก๊าซไฮโดรเจนออกจากก๊าซธรรมชาติ
 - ใช้แยกไอระเหยของตัวทำละลายที่ใช้แล้วเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ โดยถ่านกัมมันต์จะดูดซับไอระเหยเหล่านั้นที่อุณหภูมิห้อง และคายออกที่ความดันไอลดต่ำ
 - กำจัดสิ่งเจือปนออกจากก๊าซ เช่น ไฮโดรเจน ไนโตรเจน ฮีเลียม อะเซทิลีน

แอมโมเนีย คาร์บอนไดออกไซด์ สารประกอบออร์แกนิกซัลเฟอร์ เป็นต้น

- กำจัดกลิ่นออกจากอากาศในเครื่องปรับอากาศทำให้กลิ่นเหม็นน้อยลง
- ใช้ดูดซับกัมมันตภาพรังสีออกมาจากปฏิกรณ์นิวเคลียร์ สำหรับหน่วย

ปฏิกิริยาให้การสลายตัวเกิดขึ้นสมบูรณ์ขณะที่ยังถูกจับไว้ในเขตของถ่านกัมมันต์

2. ประเภทที่ใช้กับของเหลว

- ใช้ในอุตสาหกรรมน้ำตาล อุตสาหกรรมผลิตอาหาร เครื่องดื่มแอลกอฮอล์
- ใช้ในทางการแพทย์ อุตสาหกรรมเคมีและยา
- ใช้ทำน้ำดื่มให้บริสุทธิ์ เป็นการกำจัดรส สี และกลิ่น นอกจากนี้ยังใช้ในการ

บำบัดน้ำเสีย

- ใช้แยกโลหะจากสารละลายที่ต้องการ เช่น การแยกทองหลังการสกัดจาก

แร่ด้วยวิธีไซยาไนด์ เป็นต้น

- ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาหรือเป็นตัวพาสารเร่งปฏิกิริยา (Catalyst carrier)

เช่น ตัวพาสารเร่งปฏิกิริยาสำหรับปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชัน เป็นต้น

2.11 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.11.1 กระบวนการสังเคราะห์ไบโอดีเซล

พงศ์ประวิณ พานิชย์กุล (2548) ศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชด้วยทรานส์เอส-เทอร์พิกัดในเครื่องปฏิกรณ์แบบไหลผสมโดยทำการทดลองที่อัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมันพืช 6 ต่อ 1 9 ต่อ 1 12 ต่อ 1 15 ต่อ 1 และ 18 ต่อ 1 ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาไฮเดียมไฮดรอกไซด์ 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และทำการทดลองที่อุณหภูมิ 50 55 60 65 และ 70 องศาเซลเซียส ผลการศึกษาพบว่าที่อัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมันพืช 9 ต่อ 1 ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาไฮเดียมไฮดรอกไซด์ 1.0 เปอร์เซ็นต์โดยมวล อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และเวลาทำปฏิกิริยา 60 นาที ความเร็วรอบของใบพัด 1200 รอบต่อนาที ได้ร้อยละของผลิตภัณฑ์ที่สูงที่สุด จึงนำไปจำหน่ายเป็นน้ำมันไบโอดีเซล ตามท้องตลาดที่เป็นการนำน้ำมันดีเซลผสมกับเมทิลเอสเทอร์ โดยมีเมทิลเอสเทอร์เพียงเล็กน้อย (ไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์)

วัชรียา วุฒิสวัสดิ์ (2548) ทำการวิจัยหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการสังเคราะห์ไบโอดีเซลหรือเมทิลเอสเทอร์ โดยใช้ น้ำมันปาล์มที่แช่แล้วมาทำปฏิกิริยา ทำการทดลอง

ที่อุณหภูมิ 55, 60 และ 65 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.2 0.4 0.6 0.8 1.0 1.2 และ 1.4 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และทำปฏิกิริยาที่เวลา 0.5 1 1.5 2 และ 2.5 ชั่วโมง ผลการศึกษาพบว่าที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลกับน้ำมันเท่ากับ 9 ต่อ 1 เวลาทำปฏิกิริยา 1 ชั่วโมง ความดัน 0.95 บาร์ และเมทานอลชนิด commercial grade จะได้เปอร์เซ็นต์ผลิตภัณฑ์สูงถึง 90 เปอร์เซ็นต์

Antolin (2002) ศึกษาภาวะที่เหมาะสมสำหรับการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดดอกทานตะวันและเมทานอลโดยใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยวิธีการออกแบบการทดลองแบบ Taguchi Method ซึ่งทำการทดลองทั้งหมด 20 การทดลองโดยปัจจัยที่ทำการศึกษาประกอบด้วย ร้อยละตัวเร่งปฏิกิริยาต่อน้ำหนักของน้ำมันพืชช่วง 0.28 - 0.55 อัตราส่วนโดยโมลน้ำมันพืชต่อเมทานอลช่วง 1 ต่อ 6 ถึง 1 ต่อ 9 อุณหภูมิช่วง 60 - 70 องศาเซลเซียส และการล้างผลิตภัณฑ์ด้วยน้ำกลั่นเทียบกับการล้างด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริก (H_4PO_3) เข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก พบว่าภาวะที่เหมาะสมคือ ปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 0.28 อัตราส่วนโดยโมลน้ำมันพืชต่อเมทานอล 1 : 9 อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส และการล้างผลิตภัณฑ์ด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริก (H_4PO_3) จะได้เมทิลเอสเทอร์ร้อยละ 96 ซึ่งมีสมบัติทางเชื้อเพลิงตรงตามมาตรฐาน

2.11.2 กระบวนการดูดซับโดยใช้ดินเบา

ชฎาภรณ์ บุญแท้ (2545) การศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับ แคดเมียม (ประจุ+2) โครเมียม (ประจุ+3) และอาร์เซนิก (ประจุ+5) จากน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยดินเบา ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า ความเข้มข้นของสารละลายโลหะหนัก ปริมาณดินเบา ค่าพีเอชของสารละลาย และช่วงเวลาสัมผัส มีผลต่อประสิทธิภาพในการดูดซับ จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับซึ่งแคดเมียม มีประสิทธิภาพในการกำจัดเท่ากับ 99.92% สำหรับการดูดซับโครเมียม มีประสิทธิภาพในการกำจัดเท่ากับ 98.82% จากการศึกษาพบว่าดินเบาไม่เหมาะสม ที่จะใช้ในการดูดซับอาร์เซนิกในช่วงความเข้มข้นที่ศึกษา แต่สามารถดูดซับได้ดีเมื่อนำดินเบาไปเผาที่อุณหภูมิ 800 °C เป็นเวลา 6 ชั่วโมงมาใช้ในการดูดซับ พบว่าสามารถใช้กำจัดอาร์เซนิกได้ดี

เบญจมาศ เจริญตรา (2546) เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดปรอทออกจากน้ำเสียอมัลกัมทางทันตกรรม วัดความเข้มข้นของปรอทในน้ำเสียจากคลินิกบริการทันตกรรม คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พบว่ามีความเข้มข้นของปรอทอยู่ในช่วง 4.69

19.26 ไมโครกรัมต่อลิตร ศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดปรอทในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยแร่ดินเบา โดยแปรผัน ระยะเวลาในการสัมผัส พีเอชของสารละลาย และปริมาณของแร่ดินเบา ผลการทดลองพบว่า แร่ดินเบา 1 กรัม มีประสิทธิภาพในการกำจัดปรอทมากกว่า 95 เปอร์เซ็นต์

Hideyuki Katsumata และคณะ (2549) ศึกษาปริมาณสาร simazine และ atrazine ในน้ำ โดยใช้ตัวดูดซับคือ ดินเบา ตรวจวัดปริมาณการดูดซับโดยใช้ HPLC ดินเบาที่ถูกกระตุ้นด้วยการเผา ศึกษาประสิทธิภาพโดยพิจารณาความไวและ ความเลือกจำเพาะ ของกระบวนการดูดซับที่ผ่านคอลัมน์ การทำการเกษตรอย่างหนักทำให้มีสิ่งปนเปื้อนลงน้ำผิวดิน และน้ำใต้ดิน ซึ่งมีความเสี่ยงต่อสัตว์ทะเล โดยเฉพาะ สาร simazine และ atrazine เป็นมลพิษจากสารยาปราบศัตรูพืชทำให้มีปัญหาต่อระบบนิเวศทางทะเล โดยตรวจสอบประสิทธิภาพการดูดซับด้วย HPLC และ GC หลังจากแยกโดยวิธี liquid – liquid extraction (LLE) หรือ solid phase extraction (SPE)

Hsien และคณะ (2547) ศึกษาการขจัดยาปราบวัชพืชน้ำโดยใช้ดินเบาเป็นตัวดูดซับโดยกระตุ้นดินเบาด้วย NaOH ที่อุณหภูมิ 100 °C ใช้ดินเบาเป็นตัวดูดซับยาปราบวัชพืชพื้นผิวน้ำของดินเบาที่มีทั้งขั้วบวกและขั้วลบแลกเปลี่ยนไอออนภายใต้ pH และ T ปกติ พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดยาปราบวัชพืชด้วยดินเบาสัมพันธ์กับไอโซเทอมแบบฟรุนดลิช

Wen-Tien Tsai และคณะ (2548) ได้ศึกษาคุณลักษณะและสภาวะความเหมาะสมของดินเบาโดยการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของดินเบาโดยใช้สารละลาย hydrofluoric acid (HF) ในดินเบาซึ่งมี SiO₂ ปริมาณ 87-91 % มีพื้นที่โดยวัดจาก BET (ca . 10 m² g⁻¹) เมื่อถูกกระตุ้นโดย HF แล้วเปลี่ยนหมู่ซิลิกา จาก SiO₃²⁻ เป็น SiF₆²⁻ มีพื้นที่ผิวเปลี่ยนเป็น (ca . 4 m² g⁻¹) นำมากำจัดเบสแก่ เช่น NaOH

2.11.3 การศึกษาการดูดซับเพื่อทำไบโอดีเซลบริสุทธิ์

Munson และคณะ (1997) ได้ทำการทดลองปรับคุณภาพน้ำมันปรุงอาหารให้มีความบริสุทธิ์มากขึ้นโดยใช้ magnesium silicate ร่วมกับสารอัลคาไลชนิดต่างๆ เช่น calcium hydroxide, calcium oxide, magnesium oxide เป็นตัวดูดซับ พบว่าปริมาณกรดไขมันอิสระและสบู่ที่เจือปนในน้ำมันลดลง

Van Gerpen และคณะ (2004) ได้ทำการทดลองโดยใช้แมกนีซอลมาเป็นตัวดูดซับแทนการใช้ในขั้นตอนการล้างไบโอดีเซลซึ่งสังเคราะห์จากน้ำมันถั่วเหลืองและ yellow grease แล้วเปรียบเทียบคุณสมบัติกับไบโอดีเซลที่ได้จากการล้างด้วยน้ำ พบว่าปริมาณกลีเซ

อรอล น้ำ สบู่ คาร์บอน ซัลเฟอร์ที่เจือปนในน้ำมันมีค่าน้อยกว่าไบโอดีเซลที่ได้จากกระบวนการล้าง โดยใช้น้ำ และทำให้คุณสมบัติอื่นๆของไบโอดีเซลดีขึ้นด้วย นอกจากนี้ยังเป็นการลดน้ำเสียที่เกิดจากการล้าง ไบโอดีเซลอีกด้วย

Bertram และคณะ (2005) ใช้ตัวดูดซับชนิดต่างๆในการทำไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันถั่วเหลืองและ yellow grease ให้มีความบริสุทธิ์มากขึ้น โดยตัวดูดซับที่นำมาใช้ เช่น magnesium silicate, silica gel, alumina, clay เป็นต้น ซึ่งพบว่าเมื่อใช้ตัวดูดซับเป็นแมกนีซอล ทำให้ปริมาณของกลีเซอรอล น้ำ สบู่ ผงคาร์บอน ซัลเฟอร์ รวมไปถึงโลหะชนิดต่างๆที่เจือปนอยู่ในไบโอดีเซลลดลง นอกจากนี้ยังทำให้คุณสมบัติต่างๆของน้ำมันดีขึ้นไม่ว่าจะเป็นค่าความหนืด ค่า flash point ค่า acid number เป็นต้น

Selkirk และ William Robert (2007) ศึกษาการเตรียมไบโอดีเซลจากการนำน้ำมันถั่วเหลือง 100 แกลลอน น้ำมันก๊าด 12 แกลลอน และสารเพิ่มค่าซีเทนของน้ำมันเชื้อเพลิง 60 ออนซ์ มาผสมเข้าด้วยกัน ทิ้งไว้ 30 นาที จากนั้นนำมากรองผ่านถ่านกัมมันต์เพื่อแยกสิ่งเจือปนในไบโอดีเซลที่ได้ เช่น กลีเซอรอล และสารประกอบโพลีอะโรมาติก พบว่า ไบโอดีเซลที่ได้มีคุณสมบัติตามมาตรฐาน ASTM 6571

จิรพรธม เจริญสินวรกุล (2549) ศึกษาการลดปริมาณกรดไขมันอิสระในไบโอดีเซลที่สังเคราะห์จากน้ำมันปาล์มดิบโดยใช้ตัวดูดซับ ได้แก่ แมกนีซอล ถ่านกัมมันต์ อะลูมินา ชนิดเบส โมเลคูลาร์ซีฟ ดินเบนโทไนด์และดินเบนโทไนด์ที่ผ่านการทรีตด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ พบว่าถ่านกัมมันต์ในรูปผงและแมกนีซอลสามารถลดปริมาณกรดไขมันอิสระจาก 0.184 เปอร์เซ็นต์เหลือเพียง 0.014 และ 0.016 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย

3.1 สารเคมี

1. 2-โพรพานอล: commercial grade; Merck
2. โบรโมฟินอลบด: analytical grade; Carlo erba
3. EN 14105 standard and internal standard solution; Supelco
4. เฮปแทน: analytical grade; Merck
5. กรดไฮโดรคลอริก: analytical grade; Merck
6. เมทานอล: analytical grade; Merck
7. ฟีนอลเรด: analytical grade; Carlo erba
8. น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์
9. โซเดียมไฮดรอกไซด์: analytical grade; ACS
10. ถ่านกัมมันต์: commercial grade; N & P scientific CO., LTD.
11. ดินเบา: commercial grade; Amphur Maeta, Lampang

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือวิจัย

1. เครื่องชั่งไฟฟ้า: Mettler; PB3200-S
2. เครื่อง X-ray Diffraction; Perkin Elmer
3. เครื่อง Gas Chromatography: Varian; CP-3800
4. เครื่อง Rotary Evaporator: Buchi; R-200
5. เครื่อง Water bath and shaker: Mammert; W350

3.3 วิธีดำเนินการวิจัย

3.3.1 ศึกษาคุณสมบัติของดินเบา

3.3.1.1 การเตรียมดินเบาและลักษณะของการเผา

ทำการเตรียมดินเบาโดยนำมาแช่น้ำแล้วกรองเอาเศษหินและรากไม้ต่างๆที่ปนอยู่ออกจากนั้นจึงนำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อระเหยน้ำออกแล้วจึงนำไปร่อนบน sieve ขนาด 100 mesh

ส่วนการเผาเป็นขั้นตอนของการให้ความร้อนต่อจากการทำให้แห้งซึ่งอยู่ในการเตรียมสารดูดซับ โดยปกติการเผา หมายถึง การเผาที่มีการสัมผัสกับอากาศที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการเตรียมและการนำกลับมาใช้ใหม่ ในระหว่างการเผานี้จะเกิดกระบวนการย่อยหลายขั้นรวมถึงการสูญเสียพันธะทางเคมีกับน้ำและก๊าซบางชนิด เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ และปรับเปลี่ยน (Modification) เนื้อสัมผัส (texture) โดยการประสาน (sintering) การเกิดเฟสที่ไวต่อการเกิดปฏิกิริยา (active phase)

นำดินเบาที่เตรียมได้และผง่านมาเผาที่อุณหภูมิต่างๆกัน คือ 200 400 600 และ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง

3.3.1.2 การวิเคราะห์สมบัติของดินเบา

องค์ประกอบทางเคมีของดินเบาไม่ได้เผา สามารถวิเคราะห์ได้โดยใช้เครื่อง X-ray diffraction

3.3.2 การสังเคราะห์น้ำมันไบโอดีเซล

นำน้ำมันปาล์มปริมาณ 500 กรัมใส่ลงในขวดก้นกลมขนาด 1000 มิลลิลิตรที่ต่ออยู่กับชุดอุปกรณ์รีฟลักซ์ จากนั้นนำไปให้ความร้อนที่ 65 องศาเซลเซียสแล้วเติมสารละลายของโซเดียมไฮดรอกไซด์ (5 กรัม) ในเมทานอล (144.82 มิลลิลิตร) ในอัตราส่วน 1 ต่อ 6 ลงไปในน้ำมัน ทำการคนให้เข้ากันเป็นเวลา 1.50 ชั่วโมง จากนั้นนำมาเทใส่ในกรวยแยก ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 30 นาทีแล้วไขกลีเซอรินซึ่งอยู่ในชั้นล่างออกไป ส่วนไบโอดีเซลชั้นบนที่เหลืออยู่นั้นนำมาคำนวณหาร้อยละผลิตภัณฑ์ที่ได้ จากนั้นจึงนำไปทำให้บริสุทธิ์โดยการดูดซับในขั้นตอนต่อไป

3.3.3 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการใช้ดินเบาดูดซับกลีเซอรินในไบโอดีเซล ภายใต้สภาวะที่มีเมทานอล

3.3.3.1 การศึกษาอุณหภูมิในการตกตะกอนของกลีเซอริน

นำไบโอดีเซลที่ได้จากการสังเคราะห์มาตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิต่างๆกัน คือ 60 50 40 องศาเซลเซียสและอุณหภูมิห้องทั้งในระบบเปิดและระบบปิด จากนั้นทำการเก็บตัวอย่างไบโอดีเซลมาไทเทรตเพื่อหาปริมาณกลีเซอรินทุกๆ 10 นาทีเป็นเวลา 3 ชั่วโมง

3.3.3.2 การศึกษาเวลาที่ใช้ในการดูดซับกลีเซอริน

ทำการดูดซับไบโอดีเซลด้วยดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส โดยทำการดูดซับที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 20 และ 30 นาที โดยใช้ปริมาณตัวดูดซับร้อยละ 5 โดยน้ำหนักน้ำมัน จากนั้นกรองเอาตัวดูดซับออกแล้วนำไบโอดีเซลมาไทเทรตเพื่อหาปริมาณกลีเซอริน

3.3.3.3 การศึกษาปริมาณดินเบาและดินเบาเผา 800 องศาเซลเซียส ที่ใช้ในการดูดซับกลีเซอริน

ทำการดูดซับไบโอดีเซลด้วยดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส และดินเบาที่ไม่ได้เผา โดยทำการดูดซับที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที โดยใช้ปริมาณตัวดูดซับที่แตกต่างกันตั้งแต่ ร้อยละ 2 ร้อยละ 4 ร้อยละ 8 และ ร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก จากนั้นกรองเอาตัวดูดซับออกแล้วนำไบโอดีเซลมาไทเทรตเพื่อหาปริมาณกลีเซอริน

3.3.4 การศึกษาประสิทธิภาพของตัวดูดซับชนิดต่างๆที่มีต่อการดูดซับกลีเซอริน

นำไบโอดีเซลที่สังเคราะห์ได้มาทำการดูดซับด้วยตัวดูดซับชนิดต่างๆ คือ ดินเบา ดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 200 400 600 และ 800 องศาเซลเซียส ถ่านกัมมันต์ และถ่านกัมมันต์เผาที่อุณหภูมิ 200 400 600 และ 800 องศาเซลเซียส โดยทำการดูดซับที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที และใช้ปริมาณตัวดูดซับร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก จากนั้นทำการไทเทรตหาค่ากลีเซอรินในไบโอดีเซลเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดซับเมื่อใช้ตัวดูดซับต่างชนิดกัน

3.3.5 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ตกตะกอนกลีเซอรินที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

นำไบโอดีเซลที่สังเคราะห์ได้มาตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นำตัวอย่างไบโอดีเซลมาไทเทรตหาปริมาณกลีเซอรินเมื่อเวลาผ่านไป 30 นาที 1 2 3 4 และ 6 ชั่วโมง สังเกตเวลาที่ทำให้กลีเซอรินตกตะกอนจนคงที่ จากนั้นจึงนำเอาดินเบาและดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ปริมาณร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก มาทำการดูดซับไบโอดีเซลที่ตั้งทิ้งไว้ 30 นาทีและ 2 ชั่วโมง จากนั้นทำการไทเทรตหาค่ากลีเซอรินเพื่อเปรียบเทียบระหว่างการดูดซับที่เวลา 30 นาที และ 2 ชั่วโมง

3.3.6 ศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการใช้ดินเบากำจัดกลีเซอรินในไบโอดีเซล ภายใต้สภาวะที่ไม่มีเมทานอล

นำไบโอดีเซลที่สังเคราะห์ได้มาทำการระเหยเอาเมทานอลออก โดยใช้เครื่องระเหยสุญญากาศก่อนที่จะนำไปดูดซับกับดินเบาเผาและดินเบาที่เผา 800 องศาเซลเซียส จากนั้นตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสจนกระทั่งกลีเซอรินตกตะกอน แล้วจึงนำเอาส่วนใสที่อยู่ด้านบนมาทำการดูดซับต่อไป ปริมาณดินเบาและดินเบาที่เผา 800 องศาเซลเซียส ร้อยละ 0.2 ถึงร้อยละ 1 โดยน้ำหนักน้ำมัน จากนั้นกรองเอาตัวดูดซับออกแล้วนำไบโอดีเซลมาไทเทรตเพื่อหาปริมาณกลีเซอริน

3.3.7 การวิเคราะห์และประเมินผลการดูดซับกลีเซอรินโดยใช้เทคนิค gas chromatography

นำไบโอดีเซลที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์โดยใช้ตัวดูดซับชนิดที่ดีที่สุดมาทำการวิเคราะห์หาค่ากลีเซอรินอิสระและกลีเซอรินทั้งหมด โดยการวิเคราะห์ Gas chromatography ตามมาตรฐาน EN 14105 ที่กำหนดไว้ เพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพของตัวดูดซับที่มีต่อการกำจัดกลีเซอริน

3.3.8 การศึกษา breakthrough point และ capacity ของดินเบา

นำไบโอดีเซลที่ทำการระเหยเมทานอลออกแล้ว 30 กรัม มาทำการดูดซับโดยใช้ดินเบา ร้อยละ 1 โดยน้ำหนักน้ำมัน ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที เมื่อทำการดูดซับ

เสร็จแล้วจึงกรองเอาดินเบาออก แล้วนำตัวอย่างไบโอดีเซลมาทำการไทเทรตเพื่อหากลีสเออริน จากนั้นเทไบโอดีเซลที่ผ่านการดูดซับออกแล้วนำไบโอดีเซลปริมาณ 30 กรัม เติมน้ำไปในดินเบา ทำการดูดซับที่สภาวะดังกล่าวข้างต้น และทำซ้ำจนกว่าจะได้ค่าการไทเทรตที่คงที่

3.3.9 การทดสอบไอโซเทอมการดูดซับ

นำไบโอดีเซลที่ทำการระเหยเมทานอลออกแล้ว 20 กรัม มาทำการดูดซับโดยใช้ปริมาณของดินเบาแตกต่างกันตั้งแต่ร้อยละ 0.5 ถึงร้อยละ 10 โดยน้ำหนักน้ำมัน ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นกรองเอาดินเบาออกแล้วนำตัวอย่างไบโอดีเซลมาทำการไทเทรตเพื่อหากลีสเออริน นำผลการไทเทรตที่ได้ไปคำนวณในสมการของแลงเมียร์และฟรุนดลิช โดยไอโซเทอมของการดูดซับจะเป็นแบบใดนั้นจะพิจารณาจากค่า R^2 ที่มากกว่า 0.95 หรือเข้าใกล้ 1 มากที่สุด

3.3.10 การวิเคราะห์ไบโอดีเซลด้วยวิธีต่างๆ

3.3.10.1 การไทเทรตหาปริมาณเบสและกลีสเออรินในไบโอดีเซล

ขั้นตอนการวิเคราะห์

1. ละลายตัวอย่างไบโอดีเซลลงใน 100 มิลลิลิตรของไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ (isopropyl alcohol)
2. เติมน้ำละลายฟีนอลเรด (phenol red) ปริมาณ 1 มิลลิลิตรลงในสารละลายข้างต้น
3. ไทเทรตด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.01 โมลาร์ จนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนจากสีแดงเป็นสีเหลืองใส กำหนดให้กรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ไปมีค่าเป็น "A"
4. เติมน้ำละลายโบรมอฟีนอลบลู (bromophenol blue) ปริมาณ 1 มิลลิลิตรลงในสารละลายในข้อ 3 แล้วไทเทรตต่อด้วยกรดไฮโดรคลอริก จนกระทั่งเปลี่ยนสีจากสีน้ำเงินเป็นสีเหลืองใส กำหนดให้กรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ไปมีค่าเป็น "B"
5. นำไปคำนวณหาปริมาณเบสและกลีสเออรินดังสมการที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

$$C = \frac{Ax 0.01 \times 40}{W \times 1000} \quad (1)$$

โดย

C	=	ปริมาณเบสในไบโอดีเซล (กรัมของเบสต่อกรัมของไบโอดีเซล)
A	=	ปริมาณของสารละลายกรดไฮโดรคลอริก (มิลลิลิตร)
W	=	น้ำหนักของไบโอดีเซล (กรัม)

$$S = \frac{B \times 0.01 \times 304.4}{W \times 1000} \quad (2)$$

โดย

S	=	ปริมาณกลีเซอรินในไบโอดีเซล (ppm)
B	=	ปริมาณสารละลายกรดไฮโดรคลอริก (มิลลิลิตร)
W	=	น้ำหนักของไบโอดีเซล (กรัม)

3.3.10.2 การวิเคราะห์ปริมาณกลีเซอรินอิสระและกลีเซอรินทั้งหมดในไบโอดีเซล ตามมาตรฐาน EN14105

ขั้นตอนการวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่างไบโอดีเซล 100 มิลลิกรัมใส่ลงในขวด vial ขนาด 20 มิลลิลิตร
2. เติมสารละลายมาตรฐาน 1 (1,2,4-butanetriol) 80 ไมโครลิตร สารละลายมาตรฐาน 2 (tricaprin) 100 ไมโครลิตร และ MSTFA 100 ไมโครลิตรลงในข้อ 1
3. ปิดฝาให้สนิท เขย่าให้เข้ากัน แล้วทิ้งไว้ 15-20 นาที
4. เติม heptane 8 มิลลิลิตรลงไปในการละลายผสม
5. เขย่าให้เข้ากันแล้วนำไปฉีดเข้าเครื่อง gas chromatography ปริมาณ 1 ไมโครลิตร

สภาวะของเครื่อง gas chromatography ที่ใช้:

Instrument :	CP-3800 Varian gas chromatograph
Injector :	Cold on-column, 1 μ L, reversed liner
Column:	Glycerides Ultimetel (Varian) 10m x 0.32 mm(ID) x 0.1 μ m (film thickness) with guard column 2m x 0.53 mm(ID)
Temperature :	100 °C (1 min) - 15 °C / min --> 370°C

Detector : FID, 380 °C
Oven : 50 °C (1 min),
to 180 °C @ 15 °C / min
to 230 °C @ 7 °C / min
to 370 °C (5 min) @ 10 °C / min
Carrier gas : Helium, Constant flow 4 mL / min



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

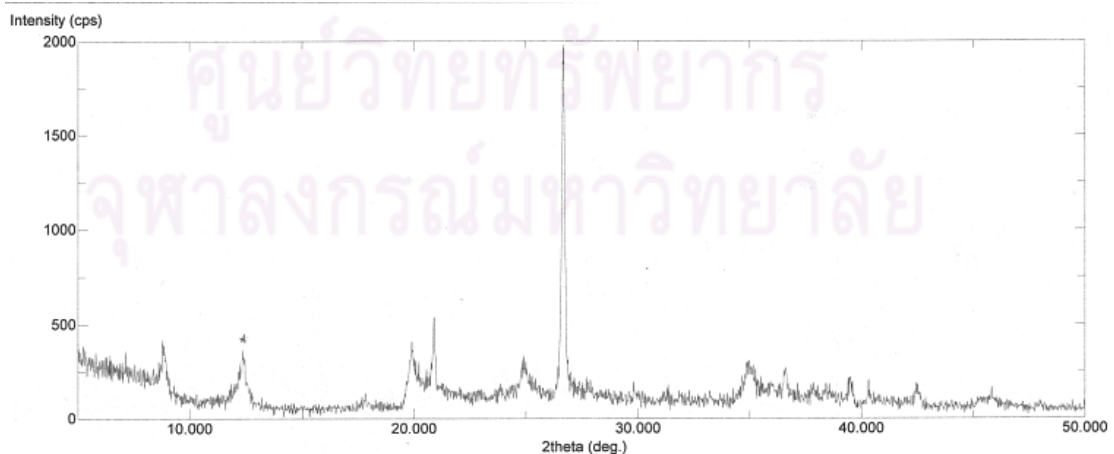
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 การศึกษาลักษณะเฉพาะของดินเบา

ตัวดูดซับที่ใช้ดูดซับกลีเซอรินในกระบวนการสังเคราะห์ไบโอดีเซลคือ ดินเบาจากการศึกษา รูปแบบ XRD ของดินเบาพบว่าองค์ประกอบส่วนใหญ่คือ SiO_2 ดังแสดงในตาราง 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงธาตุซึ่งเป็นตัวประกอบของดินเบา

ออกไซด์	ร้อยละขององค์ประกอบ
SiO_2	72.5
Al_2O_3	11.42
Fe_2O_3	5.81
MgO	0.25
CaO	1.48
Na_2O	7.21
K_2O	0.69



รูปที่ 4.1 ภาพแสดงผลของ XRD ของดินเบา

ผลปรากฏว่ามี SiO_2 อยู่ที่ตำแหน่ง 26.6

4.2 ปริมาณกลีเซอรินในน้ำมันไบโอดีเซล

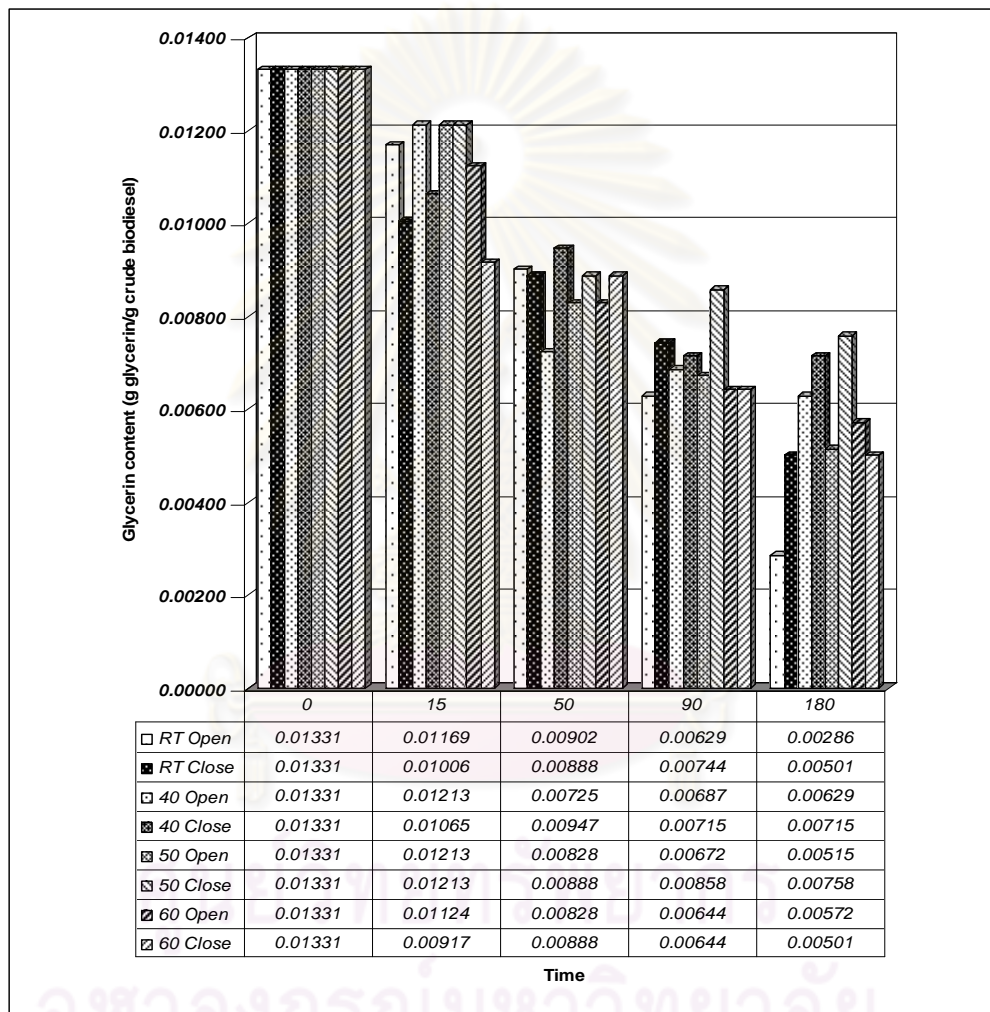
จากการสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มผ่านปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน พบว่าได้ %yield ประมาณ 95-98% และเมื่อนำไบโอดีเซลมาทำ TLC พบว่าเกิดเป็นไบโอดีเซลทั้งหมด ปริมาณกลีเซอรินในไบโอดีเซลมีค่าเท่ากับ 19,467 ppm ดังแสดงในตาราง 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าปริมาณกลีเซอรินในน้ำมันไบโอดีเซลก่อนการนำไปดูดซับ

ตัวอย่างที่	ปริมาณน้ำมัน (กรัม)	ปริมาณ HCl (มิลลิลิตร)	ปริมาณกลีเซอริน (ppm)
1	0.68	4.7	17252
2	0.51	3.1	18109
3	0.39	3.6	23041
เฉลี่ย			19467

4.3 ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการใช้ดินเบาและผงถ่านดูดซับกลีเซอรินในไบโอดีเซลภายใต้สภาวะที่มีเมทานอล

4.3.1 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อการตกตะกอนของกลีเซอรินในไบโอดีเซล



รูปที่ 4.2 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อการตกตะกอนกลีเซอรินในระบบเปิดและระบบปิด

การทดลองนี้เป็นการศึกษาเพื่อหาอุณหภูมิในระบบเปิดปิดที่เหมาะสมซึ่งกลีเซอรินยังสามารถแขวนลอยอยู่ในไบโอดีเซลได้ จากรูปที่ 4.2 พบว่ากลีเซอรินเริ่มตกตะกอนจาก 0.01331 จนถึง 0.00555 กรัมกลีเซอรินต่อกรัมไบโอดีเซล และเริ่มคงที่หลังจากที่ตั้งไบโอดีเซลทั้ง

ไว้ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 50 นาทีในระบบปิด ดังนั้นอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จึงเป็นเวลาที่เหมาะสมสำหรับการดูดซับกลีเซอรินที่แขวนลอยอยู่ในไบโอดีเซล

4.3.2 ผลของเวลาที่ใช้ในการดูดซับกลีเซอริน

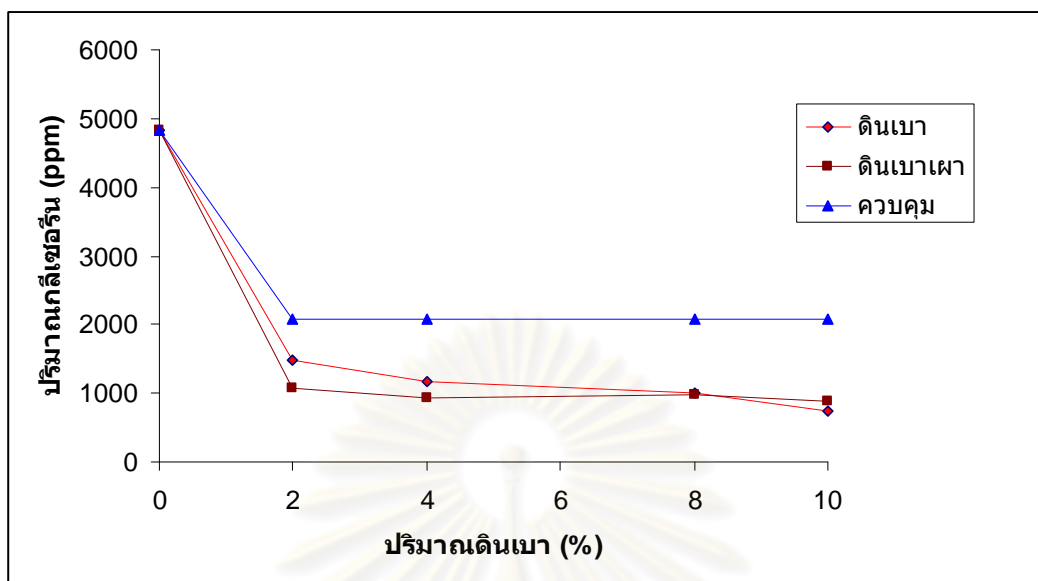
การทดลองนี้เป็นการศึกษาเพื่อหาเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับกลีเซอริน โดยใช้ปริมาณดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียสร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก ความเร็วในการเขย่า 150 รอบต่อนาที ดูดซับที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ใช้เวลาดังแต่ 10 ถึง 30 นาที จากผลการทดลองพบว่าเมื่อเวลาผ่านไป 30 นาทีปริมาณกลีเซอรินลดลงจาก 19,467 เป็น 502 ppm ดังนั้นเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับกลีเซอริน คือ 30 นาที ดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ปริมาณกลีเซอรินในไบโอดีเซลเมื่อทำการดูดซับที่เวลาต่างๆ

เวลา (นาที)	ปริมาณน้ำมัน (กรัม)	ปริมาณ HCl (ml)				ปริมาณกลีเซอริน (ppm)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	
10	18.21	3.8	3.8	3.8	3.8	520
20	26.29	5.9	5.9	5.9	5.9	560
30	30.02	6.4	6.4	6.4	6.4	502

4.3.3 ผลของปริมาณตัวดูดซับที่ใช้ในการดูดซับกลีเซอริน

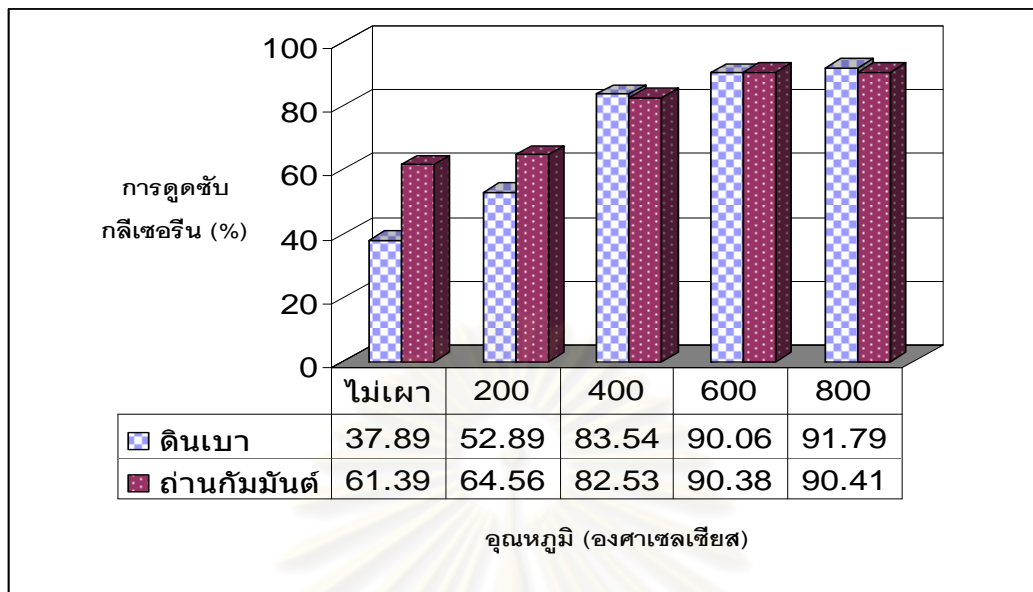
ผลของปริมาณตัวดูดซับที่มีต่อการดูดซับกลีเซอรินสามารถหาได้โดยใช้ปริมาณดินเบาและดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียสร้อยละ 2 ถึง ร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก ความเร็วในการเขย่า 150 รอบต่อนาที ดูดซับที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที จากรูปที่ 4.3 พบว่าปริมาณกลีเซอรินที่ผ่านดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส มีค่าใกล้เคียงกับดินเบาที่ไม่ได้เผา และดินเบาเผาจะมีปริมาณกลีเซอรินเริ่มคงที่ที่ร้อยละ 2 ส่วนดินเบาที่ไม่ได้เผาจะมีค่าลดลงน้อยที่สุดเมื่อใช้ปริมาณดินเบา ร้อยละ 10 โดยน้ำหนักน้ำมัน นอกจากนั้นยังพบว่า การเผาสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับกลีเซอรินของดินเบาให้เพิ่มขึ้นได้ ดังนั้นจึงเลือกใช้ปริมาณดินเบาเป็นร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก



รูปที่ 4.3 แสดงผลของปริมาณตัวดูดซับที่ใช้ในการดูดซับกลีเซอริน

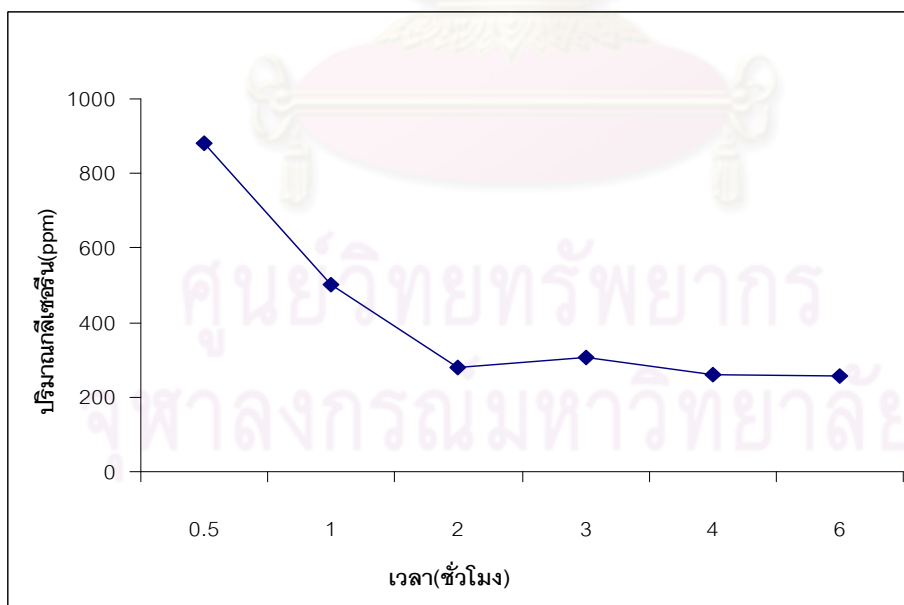
4.3.4 ผลของประสิทธิภาพของตัวดูดซับชนิดต่างๆที่มีต่อการดูดซับกลีเซอริน

จากการทดลองใช้ดินเบา ถ่านกัมมันต์ ดินเบาและถ่านกัมมันต์ที่เผาด้วยอุณหภูมิเดียวกับดินเบาเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดซับ โดยใช้ปริมาณตัวดูดซับร้อยละ 2 โดยน้ำหนักน้ำมัน ทำการดูดซับที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ความเร็วในการเขย่า 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที ดังแสดงในรูปที่ 4.4 พบว่าการดูดซับด้วยดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียสจะสามารถลดปริมาณกลีเซอรินในไบโอดีเซลลงได้มากที่สุด และเมื่อเปรียบเทียบการดูดซับระหว่างดินเบาที่เผาและไม่ได้เผา พบว่าการดูดซับด้วยดินเบาเผาทำให้ค่ากลีเซอรินลดลงได้มากกว่าดินเบาที่ไม่ได้เผา ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าการเผาดินเบาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของดินเบาในการดูดซับกลีเซอรินได้



รูปที่ 4.4 แสดงผลเปรียบเทียบผลของการดูดซับระหว่างดินเบา ถ่านกัมมันต์ ดินเบาและถ่านกัมมันต์เผาที่อุณหภูมิต่างๆ

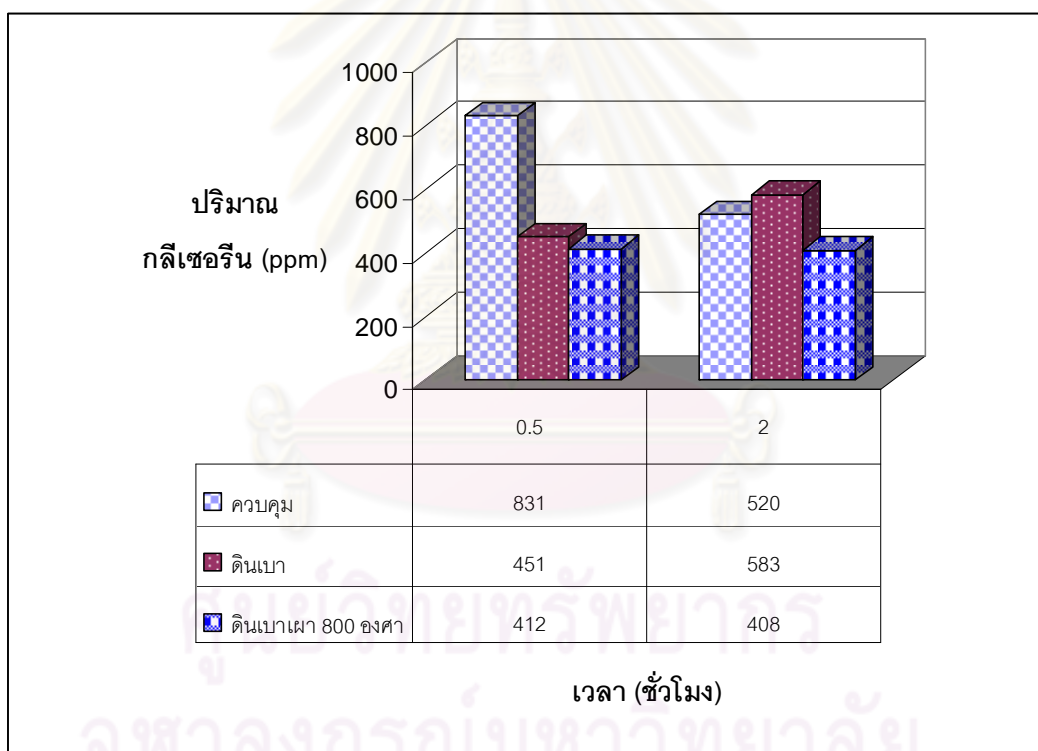
4.3.5 ผลการเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ตกตะกอนกลีเซอรินที่อุณหภูมิตั้ง 60 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.5 แสดงผลการเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการตกตะกอนกลีเซอรินที่อุณหภูมิตั้ง 60 องศาเซลเซียส

จากรูปที่ 4.5 พบว่าเมื่อเวลาผ่านไป 1-2 ชั่วโมงแรก กลีเซอรินจะตกตะกอนลงมาอย่างรวดเร็วและเริ่มคงที่เมื่อเวลาผ่านไป 2 ชั่วโมง จากนั้นปริมาณกลีเซอรินที่แขวนลอยอยู่ในไบโอดีเซลจะเริ่มคงที่

เพื่อเป็นการเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการดูดซับด้วยดินเบาและดินเบาเผาที่ 800 องศาเซลเซียส จึงนำไบโอดีเซลที่ตั้งทิ้งไว้ที่ 30 นาทีและ 2 ชั่วโมงมาทำการดูดซับด้วยดินเบา 2 ชนิดข้างต้น จากรูปที่ 4.6 พบว่าดินเบาทั้ง 2 ชนิดสามารถลดปริมาณกลีเซอรินให้น้อยลงใกล้เคียงกันเมื่อทำการดูดซับที่ 30 นาที และ 2 ชั่วโมง ดังนั้นจึงอาจสรุปได้ว่าการตั้งไบโอดีเซลหลังจากสังเคราะห์เสร็จแล้วเป็นเวลา 30 นาทีก็น่าที่จะเพียงพอในการทำการทดลอง เนื่องจากสามารถดูดซับปริมาณกลีเซอรินให้ลดน้อยลงได้เทียบเท่ากับที่ตั้งไบโอดีเซลทิ้งไว้เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

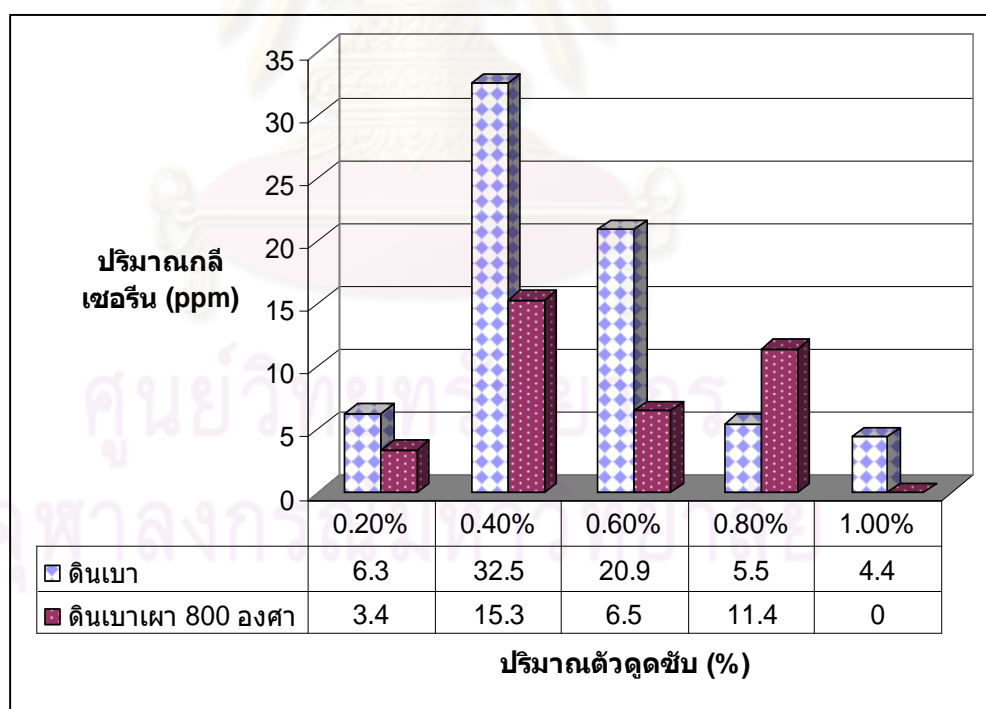


รูปที่ 4.6 แสดงกราฟของกลีเซอรินเมื่อถูกดูดซับในเวลา 0.5 และ 2 ชั่วโมง

4.4 ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการใช้ดินเบาดูดซับกลีเซอรินในไบโอดีเซลภายใต้สภาวะที่ไม่มีเมทานอล

4.4.1 ผลของปริมาณตัวดูดซับที่ใช้ในการดูดซับกลีเซอริน

หลังจากนำ crude ไบโอดีเซลที่สังเคราะห์ที่ได้มาทำการระเหยเอาเมทานอลออกโดยใช้เครื่องระเหยสุญญากาศแล้วจึงนำเอาไบโอดีเซลมาดูดซับด้วยดินเบา และดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส โดยใช้ปริมาณตัวดูดซับที่ต่างกันไปตั้งแต่ว้อยละ 0.2 ถึง 1 โดยน้ำมันดูดซับที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที จากผลการทดลองรูปที่ 4.7 พบว่าเมื่อใช้ปริมาณดินเบาเผา 1 โดยน้ำหนัก จะทำให้ปริมาณกลีเซอรินในไบโอดีเซลลดลงได้มากที่สุดและไบโอดีเซลที่ผ่านการดูดซับแล้วนั้นจะมีลักษณะใสเมื่อเปรียบ-เทียบกับการใช้ดินเบาเผาที่ปริมาณน้อยกว่านี้ ดังนั้นจึงใช้ปริมาณดินเบาเผา 1 โดยน้ำหนักในการดูดซับกลีเซอรินภายใต้สภาวะที่ไม่มีเมทานอล



รูปที่ 4.7 แสดงผลของปริมาณตัวดูดซับที่ใช้ดูดซับกลีเซอริน

4.5 การวิเคราะห์และประเมินผลการดูดซับกลีเซอรินโดยใช้เทคนิค gas chromatography

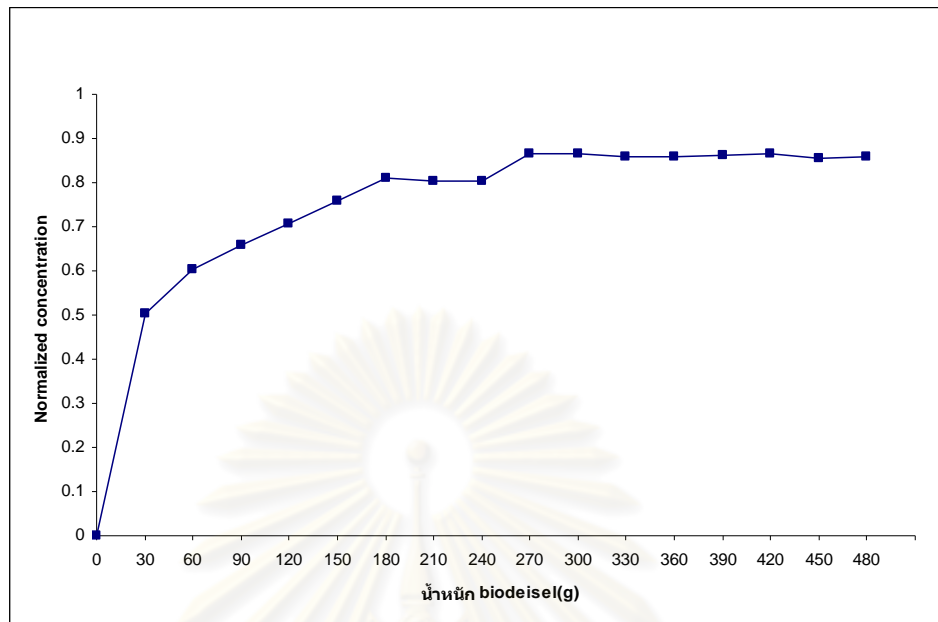
ตารางที่ 4.4 แสดงปริมาณกลีเซอรินอิสระและกลีเซอรินทั้งหมดในไบโอดีเซลเมื่อดูดซับด้วยดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส

กระบวนการ	Glycerol	Mono glyceride	Di glyceride	Tri glyceride	Total glycerin
ดูดซับด้วยดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส	0.0029	0.1264	0.0201	-	0.1494

จากการตรวจสอบปริมาณกลีเซอรินอิสระและกลีเซอรินทั้งหมดในไบโอดีเซลที่ผ่านการดูดซับด้วยดินเบาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส โดยใช้เทคนิค gas chromatography พบว่าค่าต่างๆที่ได้ผ่านตามมาตรฐานของ EN 14105 โดยมีค่ากลีเซอรินอิสระ โมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ ไตรกลีเซอไรด์ และกลีเซอไรด์ทั้งหมดไม่เกิน 0.02%, 0.8%, 0.2%, 0.2% และ 0.25% ตามลำดับ จึงสามารถสรุปได้ว่าดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียสมีประสิทธิภาพที่จะกำจัดกลีเซอรินในไบโอดีเซลได้ดี

4.6 ผลการทดลองค่า breakthrough point และ capacity ของดินเบา

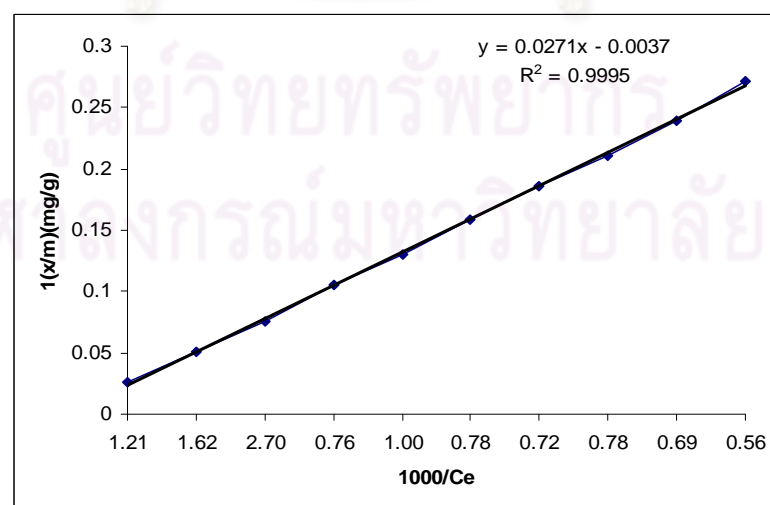
จากการทดลองหาจุดอิ่มตัวของการดูดซับ โดยใช้ไบโอดีเซลครั้งละ 30 กรัม ทำการดูดซับโดยใช้ดินเบา 1% โดยน้ำหนักน้ำมัน ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที จากรูปที่ 4.8 พบว่า breakthrough point ของการดูดซับโดยใช้ดินเบา คือ 10 กรัมต่อกรัมของไบโอดีเซล และมีความจุการดูดซับของดินเบาเป็น 270 กรัมต่อกรัมของไบโอดีเซล



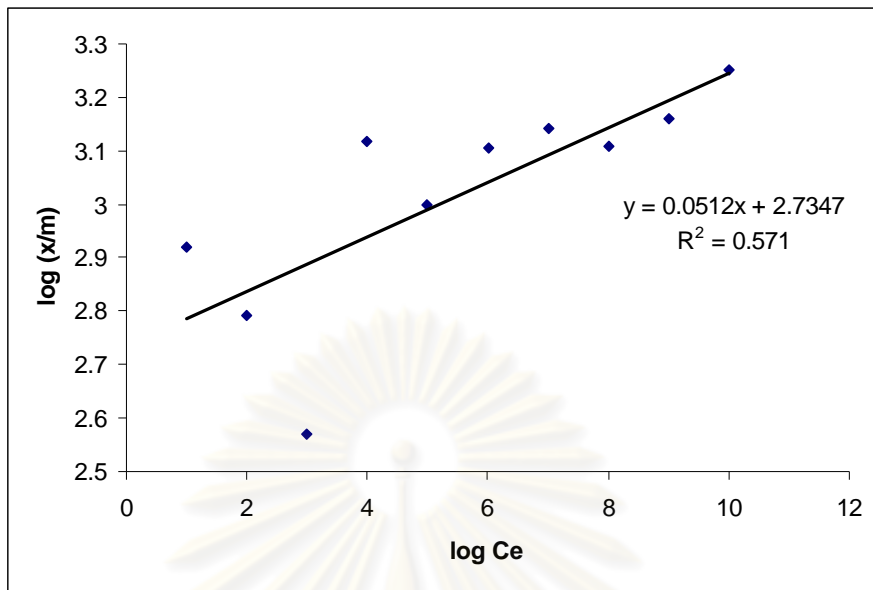
รูปที่ 4.8 แสดง breakthrough point และ capacity ของการดูดซับด้วยดินเบา

4.7 ผลการทดสอบไอโซเทอมการดูดซับ

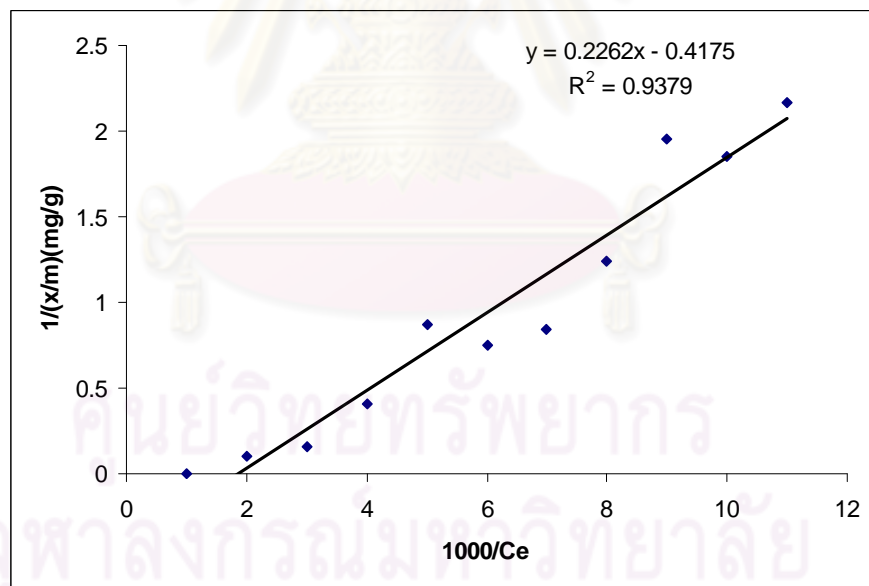
จากการทดลองนำค่าที่ไทเทรตได้จากการดูดซับด้วยดินเบาและดินเบาเผาที่ 800 องศาเซลเซียสมาสร้างกราฟของแลงเมียร์และฟรอนดลิช ได้ผลดังรูปที่ 4.9 ถึง 4.12



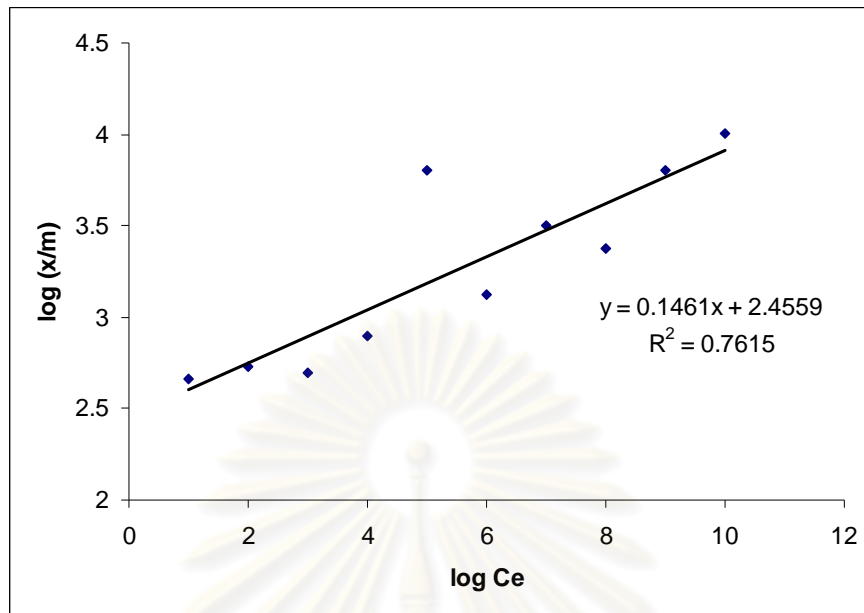
รูปที่ 4.9 แสดงไอโซเทอมของการดูดซับแบบแลงเมียร์ในดินเบาที่ไม่ได้เผา



รูปที่ 4.10 แสดงไอโซเทอมของการดูดซับแบบฟรุนดลิชในดินเบาที่ไม่ได้เผา



รูปที่ 4.11 แสดงไอโซเทอมของการดูดซับแบบแลงเมียร์ในดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.12 แสดงไอโซเทอมของการดูดซับแบบฟรุนดลิชในดินเบาที่เผาอุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส

จากรูปข้างต้นพบว่า การดูดซับด้วยดินเบาและดินเบาเผาต่างก็เป็นแบบแลงเมียร์ โดยพิจารณาจากค่า R^2 ที่มากกว่า 0.95 หรือเข้าใกล้ 1 มากกว่า ดังนั้นการดูดซับโดยใช้ดิน 2 ชนิดนี้ จึงเป็นการดูดซับแบบชั้นเดียว

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

การทดลองนี้ศึกษาผลของอุณหภูมิที่ใช้เตรียมดินเบาต่อประสิทธิภาพการดูดซับกลีเซอรินในไบโอดีเซล การสังเคราะห์ไบโอดีเซลทำได้โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา อัตราส่วนของน้ำมันต่อเมทานอลเท่ากับ 1 ต่อ 6 ที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1.5 ชั่วโมง กลีเซอรินที่เจือปนในไบโอดีเซลสามารถกำจัดออกโดยใช้ดินเบาและดินเบาที่อุณหภูมิต่างๆ เป็นตัวดูดซับ พบว่าภาวะที่เหมาะสมที่สุดที่ใช้ในการดูดซับ คือ ปริมาณดินเบาร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก เวลาสัมผัส 30 นาที อัตราเร็วในการกวนเท่ากับ 150 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ยังพบว่าประสิทธิภาพของการดูดซับกลีเซอรินจะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อใช้ดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ไบโอดีเซลที่กำจัดเมทานอลออกแล้วสามารถทำให้บริสุทธิ์ได้โดยการดูดซับด้วยดินเบาและดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส โดยใช้ตัวดูดซับทั้ง 2 ชนิดปริมาณร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก

จากการศึกษาไอโซเทอมการดูดซับกลีเซอรินของดินเบา พบว่าสอดคล้องกับไอโซเทอมการดูดซับของแลงเมียร์ซึ่งเป็นกระบวนการดูดซับแบบชั้นเดียว

ข้อดีของกระบวนการดูดซับกลีเซอรินในไบโอดีเซลด้วยดินเบาและดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส คือ สามารถลดปัญหาน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการล้างด้วยน้ำได้

ข้อเสนอแนะ

1. หาตัวดูดซับชนิดใหม่มาทดลองดูดซับสิ่งเจือปนต่างๆ ที่นอกเหนือจากกลีเซอรินในไบโอดีเซล เช่น โมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ และไตรกลีเซอไรด์ เป็นต้น
2. พัฒนาตัวดูดซับให้มีความสามารถในการดูดซับกลีเซอรินมากขึ้น เช่น การเคลือบตัวดูดซับด้วยเหล็กออกไซด์ เป็นต้น

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- จิรพรรณ เจริญสินวรกุล. การทำไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์โดยใช้สารดูดซับ. วิทยานิพนธ์ปริญญา
มหาบัณฑิต, สาขาวิชาปิโตรเคมีและวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2549.
- จันทร์นาก พลขำนิ. ภาวะที่เหมาะสมสำหรับการผลิตไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเค
ชันโดยไลเปสจากแบคทีเรีย. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาจุลชีววิทยาทาง
อุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2548.
- ชฎาภรณ์ บุญแท้. การดูดซับโลหะหนักบางชนิดจากน้ำเสียด้วยดินเบา. วิทยานิพนธ์ปริญญา
มหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย, 2545.
- เบญจมาศ เจริญตรา. ประสิทธิภาพการกำจัดปรอทจากน้ำเสียอ้อมกัมทางทันตกรรมโดยการดูด
ซับด้วยแร่ดินเบา. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะ
แวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2546.
- ประกาศกรมธุรกิจพลังงาน เรื่อง กำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอส-
เทอร์ของกรดไขมัน. ราชกิจจานุเบกษา [ออนไลน์]. 2548. แหล่งที่มา
http://www.ptplc.com/Files/Product/B5_Plus/standard_BioDiesel.pdf [2552,
กันยายน 9]
- พงศ์ประวิณ พานิชย์กุล. การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชด้วยทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันในเครื่อง
ปฏิกรณ์แบบไหลผสม. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาเคมีเทคนิค คณะ
วิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2548.
- เรื่องวิทย์ สว่างแก้ว. การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันในเมทา
นอลภาวะเหนือวิกฤตอย่างต่อเนื่องในเครื่องปฏิกรณ์ระดับนำร่อง. วิทยานิพนธ์ปริญญา
มหาบัณฑิต, สาขาวิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547.
- วัชรียา วุฒิสวัสดิ์. กระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มที่ใช้แล้ว. โครงการการเรียนการ
สอนเพื่อเสริมประสบการณ์, ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,
2548.

อธิชา บวรพัฒนานนท์. การเตรียมสารของแข็งรองรับจากไดอะตอมไมต์ในประเทศไทยสำหรับโครมาโตกราฟีคอลลัมน์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2527.

ภาษาอังกฤษ

Agarwal, A.K. Biofuels (alcohols and biodiesel) applications as fuels for internal combustion engines. Program of Energy and Combustion Science 33 (2007): 233-271.

Antolin, G. Optimization of biodiesel production by sunflower oil transesterification. Bioresource Technology 83 (2002): 111-114.

Berrios, M., Skelton, R.L. Comparison of purification methods for biodiesel. Chemical Engineering Journal 144 (2008): 459-465.

Bertram, B., Abrams, C., Cooke, B.S. Purification of biodiesel with adsorbent materials. U.S. Patent Application No.20050081436, 2005.

Formo, M.W. Ester reactions of fatty materials. Journal of American Oil Chemical Society 31 (1954): 548-559.

Fukuda, H., Kondo, A., Noda, H. Biodiesel fuel production by transesterification of oils. Journal of Bioscience and Bioengineering 92 (2001): 405-416.

Gerpen, V.J., Menges, K. Evaluation of magnesol R60 as an alternative to water washing during biodiesel production. Final report to the Dallas Group of America Department of mechanical engineering, Iowa State University, 2004.

Hsien, K.J., Tsai, W.T., Chang, Y.M., Lo, C.C. Removal of herbicide paraquat from an aqueous solution by adsorption onto spent and treated diatomaceous earth. Bioresource Technology 96 (2005): 657-663.

Katsumata, H., Keneco, S., Suzuki, T., Ohta, K. Determination of atrazine and simazine in water sample in water samples by high-performance liquid chromatography after preconcentration with heat – treated diatomaceous earth. Analytica Chimica acta 577 (2006): 214-219.

- Ma F. and Hanna M.A. Biodiesel production: a review. Bioresource technology 70 (1999): 1-15.
- Marchetti J.M., Miguel V.U. and Errazu A.F. Possible methods for biodiesel production. Renewable and Sustainable Energy Reviews 11 (2007): 1300-1311.
- Meher L.C., Dharmagadda V.S. and Naik S.N. Optimization of alkali-catalyzed transesterification of Pongamia pinnata oil for production of biodiesel. Bioresource Technology 97 (2004): 1392-1397.
- Munson, J.R.; Bertram, B.L.; Caldwell, J.D. Treatment of cooking oils and fats with magnesium silicate alkali materials. U.S. Patent No. 5597600, 1997.
- Ramadas, A.S., Jayaraj, S., Muraleecharan, C. Biodiesel production from high FFA rubber seed oil. Fuel 84 (2005): 335-340.
- Selkirk, M., Robert, W. Biodiesel fuel processing. U.S. Patent No. 20070175088, 1997.
- Srivastava A. and Prasad R. Triglycerides-based diesel fuels. Renewable and Sustainable Energy Reviews 4 (2000): 111–133.
- Tsai, W.T., Lai, C.W., Hsien, K.J., Characterization and adsorption properties of diatomaceous earth modified by hydrofluoric acid etching. Journal of Colloid and interface Science 297(2006): 749-754.



ภาคผนวก

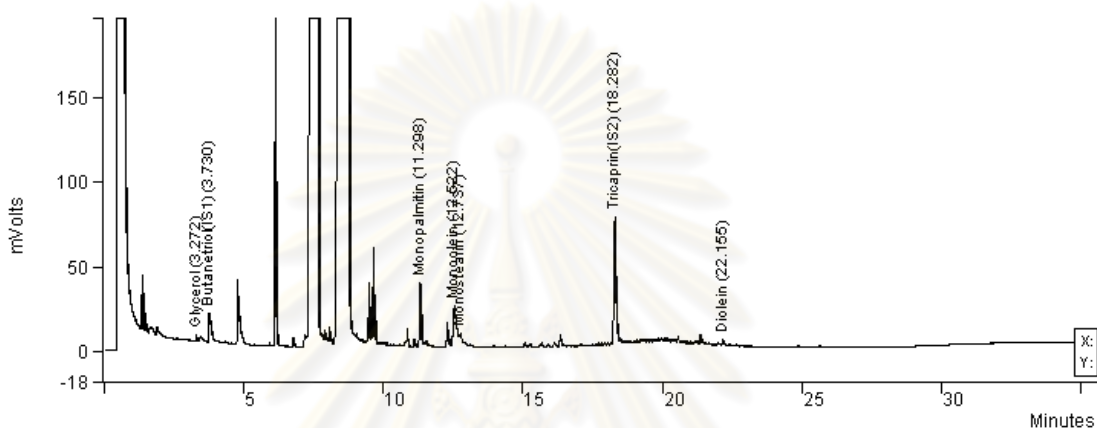
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Data File: c:\star\joe\1%d 10;52;30 am.run
 Channel: Front = FID RESULTS
 Sample ID: 1%D
 Operator (Inj): io
 Injection Date: 23/04/2010 10:52:30
 Injection Method: c:\star\en14105.mth
 Run Time (min): 35.775
 Workstation:
 Instrument (Inj): gc
 Operator (Calc): jo
 Calc Date: 23/04/2010 15:45:27
 Times Calculated: 10
 Calculation Method: 1%d 10;52;30 am-front.mth
 Instrument (Calc): gc
 Run Mode: Analysis
 Peak Measurement: Peak Area
 Calculation Type: Percent
 Calibration Level: N/A
 Verification Tolerance: N/A

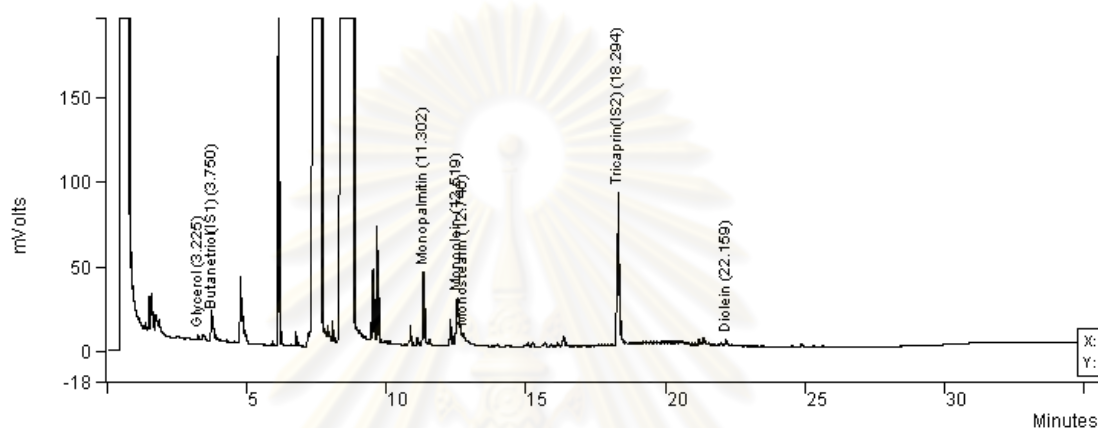


Peak No	Peak Name	Result (%)	Ret Time (min)	Time Offset (min)	Peak Area (counts)	Rel Ret Time	Sep. Code	Width 1/2 (sec)	Status Codes	Group
1	Glycerol	0.7624	3.272	0.072	9161	0.00	BV	2.3		0
2	Butanetriol(S1)	8.8742	3.730	-0.020	106639	0.00	GR	0.0		0
3	Monopalmitin	12.2917	11.298	-0.102	147706	0.00	BB	3.3		0
4	Monoolein	16.7854	12.522	-0.128	201704	0.00	VV	7.5		0
5	Monostearin	5.7187	12.737	-0.063	68719	0.00	VV	9.1		0
6	Tricaprin(S2)	35.3303	18.282	-0.068	424553	0.00	VP	4.6		0
7	Diolein	1.0586	22.155	-0.045	12720	0.00	GR	0.0		0
Totals		80.8213		-0.354	971202					

ศูนย์วิทยทรัพยากร
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ ก1 โครมาโทแกรมของไบโอดีเซลหลังผ่านการดูดซับด้วยดินเบาที่ไม่ได้เผา

Data File: c:\star\joe\1%d800 11;42;27 am.run Operator (Calc): jo
 Channel: Front = FID RESULTS Calc Date: 23/04/2010 15:44:00
 Sample ID: 1%D800 Times Calculated: 9
 Operator (Inj): io Calculation Method: 1%d800 11;42;27 am-front.mth
 Injection Date: 23/04/2010 11:42:27 Instrument (Calc): gc
 Injection Method: c:\star\en14105.mth Run Mode: Analysis
 Run Time (min): 35.775 Peak Measurement: Peak Area
 Workstation: Calculation Type: Percent
 Instrument (Inj): gc Calibration Level: N/A
 Verification Tolerance: N/A



Peak No	Peak Name	Result ()	Ret Time (min)	Time Offset (min)	Peak Area (counts)	Rel Ret Time	Sep. Code	Width 1/2 (sec)	Status Codes	Group
1	Glycerol	0.6184	3.225	0.148	7948	0.00	BV	1.9		0
2	Butanetriol(IS1)	8.1907	3.750	0.000	105264	0.00	GR	0.0		0
3	Monopalmitin	13.3848	11.302	-0.097	172017	0.00	BB	3.3		0
4	Monolein	18.1221	12.519	-0.081	232899	0.00	VV	7.2		0
5	Monostearin	5.2600	12.746	-0.054	67600	0.00	VV	10.3		0
6	Tricaprin(IS2)	36.0203	18.294	-0.006	462920	0.00	PP	4.0		0
7	Diolein	1.0306	22.159	-0.042	13245	0.00	GR	0.0		0
Totals		82.6269		-0.132	1061893					

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ ก2 โครมาโทแกรมของไบโอดีเซลหลังผ่านการดูดซับด้วยดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส



ภาคผนวก ข

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข1 ร้อยละผลผลิตภัณฑ์ของไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม

ลำดับที่	น้ำหนักน้ำมัน (กรัม)		ร้อยละผลผลิตภัณฑ์
	ก่อนทำปฏิกิริยา	หลังทำปฏิกิริยา	
1	116.21	112.51	96.81
2	230.32	225.61	97.95
3	198.43	190.25	95.87

ตารางที่ ข2 ปริมาณกลีเซอรินของการทำไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์โดยใช้ดินเบาและดินเบาเผาที่
อุณหภูมิต่างๆเป็นตัวดูดซับ

การทดลองที่	น้ำหนักน้ำมัน (กรัม)	ปริมาณ HCl (มล.)	ปริมาณกลีเซอริน (ppm)	ค่าเฉลี่ย (ppm)
ก่อนทำการดูดซับ				
1	1.00	6.40	18897.15	18995.57
2	1.00	6.40	18897.15	
3	1.00	6.50	19192.42	
ดินเบา				
1	2.00	6.00	8858.04	8911.80
2	2.01	6.10	8960.87	
3	2.02	6.10	8916.51	

ดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส				
1	2.00	6.00	8858.04	8877.63
2	2.01	6.00	8813.97	
3	2.00	6.10	8960.87	
ดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส				
1	5.00	4	2362.14	2399.94
2	5.01	4	2357.43	
3	5.00	4.2	2480.25	
ดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส				
1	5.00	3.2	1889.72	1888.46
2	5.00	3.2	1889.72	
3	5.01	3.2	1885.94	
ดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส				
1	7.02	3.8	1598.32	1556.30
2	7.00	3.7	1560.70	
3	7.04	3.6	1509.89	

ตารางที่ ข3 ปริมาณกลีเซอรินของการทำไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์โดยใช้ถ่านกัมมันต์และถ่านกัมมันต์
เผาที่อุณหภูมิต่างๆเป็นตัวดูดซับ

การทดลองที่	น้ำหนักน้ำมัน (กรัม)	ปริมาณ HCl (มล.)	ปริมาณกลีเซอริน (ppm)	ค่าเฉลี่ย (ppm)
ก่อนทำการดูดซับ				
1	1.00	7.90	23326.17	23173.71
2	1.02	7.90	22868.80	
3	1.00	7.90	23326.17	
ถ่านกัมมันต์				
1	2	6.1	9005.67	8916.95
2	2.03	6.1	8872.59	
3	2.03	6.1	8872.59	
ถ่านกัมมันต์เผาที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส				
1	2.00	5.60	8267.50	8194.93
2	2.02	5.6	8158.65	
3	2.02	5.6	8158.65	

ถ่านกัมมันต์เผาที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส				4061.18
1	5.01	6.90	4066.57	
2	5.03	6.90	4050.40	
3	5.01	6.90	4066.57	
ถ่านกัมมันต์เผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส				2296.97
1	5.00	3.90	2303.09	
2	5.02	3.90	2293.92	
3	5.02	3.90	2293.92	
ถ่านกัมมันต์เผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส				2245.37
1	7.02	5.40	2271.29	
2	7.02	5.30	2229.23	
3	7.00	5.30	2235.60	

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข4 ปริมาณกลีเซอรินในไบโอดีเซลเมื่อตั้งทิ้งไว้ที่เวลาต่างๆ

ตั้งทิ้งไว้ (วัน)	น้ำหนักน้ำมัน (กรัม)	ปริมาณ HCl (มล.)	ปริมาณกลีเซอริน (ppm)	ค่าเฉลี่ย (ppm)
การทดลองที่ 1				
0	1.02	6.20	17947.66	17930.68
	1.00	6.10	18011.35	
	1.01	6.10	17833.02	
การทดลองที่ 2				
3	7.00	5.00	2109.06	2131.06
	7.02	5.10	2145.11	
	7.04	5.10	2139.02	
การทดลองที่ 3				
4	12.01	7.40	1819.30	1834.67
	12.03	7.50	1840.82	
	12.01	7.50	1843.89	

การทดลองที่ 4				
7	20.03	8.3	1223.53	1233.14
	20.02	8.3	1224.14	
	20.05	8.5	1251.76	

ตารางที่ ข5 ปริมาณกลีเซอรินหลังทำการดูดซับด้วยดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียสร้อยละ 5 ของน้ำหนักน้ำมัน

เวลา (นาทีก)	น้ำหนักน้ำมัน (กรัม)	ปริมาณ HCl (มล.)	ปริมาณกลีเซอริน (ppm)	ค่าเฉลี่ย (ppm)
การทดลองที่ 1				
10	1.02	6.20	17947.66	17930.68
	1.00	6.10	18011.35	
	1.01	6.10	17833.02	
การทดลองที่ 2				
3	7.00	5.00	2109.06	2131.06
	7.02	5.10	2145.11	
	7.04	5.10	2139.02	

การทดลองที่ 3				
4	12.01	7.40	1819.30	1834.67
	12.03	7.50	1840.82	
	12.01	7.50	1843.89	

ตารางที่ ข6 ปริมาณกลีเซอรินหลังทำการดูดซับด้วยดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียสร้อยละ 5 ของน้ำหนักน้ำมัน ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

เวลา (นาที)	ปริมาณน้ำมัน (กรัม)	ปริมาณ HCl (มล.)				ปริมาณกลีเซอริน (ppm)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	
10	18.21	3.8	3.8	3.8	3.8	520
20	26.29	5.9	5.9	5.9	5.9	560
30	30.02	6.4	6.4	6.4	6.4	502

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข7 ปริมาณกลีเซอรินหลังทำการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์เผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียสร้อยละ 5 ของน้ำหนักน้ำมัน ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

เวลา (นาที่)	ปริมาณน้ำมัน (กรัม)	ปริมาณ HCl (มล.)				ปริมาณกลีเซอริน (ppm)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	
10	32.33	3.3	3.3	3.3	3.3	255
20	40.83	4.4	4.4	4.4	4.4	269
30	49.35	5	5	5	5	252

ตารางที่ ข8 ปริมาณกลีเซอรินหลังทำการดูดซับด้วยดินเบาและดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส

ปริมาณตัวดูดซับ	ปริมาณกลีเซอริน	ปริมาณตัวดูดซับ	ปริมาณกลีเซอริน
ก่อนดูดซับ	4821.83	ตัวควบคุม	2078.63
ดินเบา 800 °C 2%	1070.02	ดินเบา 2%	1481.95
ดินเบา 800 °C 4%	939.63	ดินเบา 4%	1172.91
ดินเบา 800 °C 8%	983.90	ดินเบา 8%	993.69
ดินเบา 800 °C 10%	892.38	ดินเบา 10%	736.98

ตารางที่ ข9 ปริมาณกลีเซอรินหลังทำการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์เผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียสร้อยละ 0.1 และ 0.5 ของน้ำหนักน้ำมัน ครั้งที่ 1

ตัวดูดซับ	ครั้งที่	น้ำหนักน้ำมัน (กรัม)	ปริมาณ HCl (มล.)	ปริมาณกลีเซอริน(ppm)
ตัวควบคุม	1	3.63	0.3	228.93
	2	3.48	0.3	238.80
			เฉลี่ย	233.87
0.1 %	1	19.32	0.2	28.67
0.5 %	1	70.65	0.2	7.84

ตารางที่ ข10 ปริมาณกลีเซอรินหลังทำการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์เผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียสร้อยละ 0.1, 0.5 และ 1 ของน้ำหนักน้ำมัน ครั้งที่ 2

ตัวดูดซับ	ครั้งที่	น้ำหนักน้ำมัน (g)	ปริมาณ HCl (มล.)	ปริมาณกลีเซอรอล (ppm)
ตัวควบคุม	1	1.21	0.5	1145
	2	1.35	0.4	821
			เฉลี่ย	983
0.1 %	1	22.82	0.4	49
0.5 %	1	16.75	0.2	33
1%	1	33.2		ไม่เห็นสี

ตารางที่ ข11 ปริมาณกลีเซอรินหลังทำการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์เผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียสร้อยละ 0.1, 0.5 และ 1 ของน้ำหนักน้ำมัน ครั้งที่ 3

ตัวดูดซับ	ครั้งที่	น้ำหนักน้ำมัน (g)	ปริมาณ HCl (มล.)	ปริมาณกลีเซอรอล (ppm)
ตัวควบคุม	1	1.51	0.3	367
	2	1.35	0.4	335
	เฉลี่ย			351
0.1 %	1	18.34	0.3	45.3
	2	21.82	0.4	50.8
	เฉลี่ย			48.05
0.5 %	1	38.1	0.1	7.3
		39.35	0.2	14.1
	เฉลี่ย			10.7
1%	1	43.3	ไม่เห็นสี	
	2	45	ไม่เห็นสี	

ตารางที่ ข12 ปริมาณกลีเซอรินในไบโอดีเซลเมื่อตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสที่เวลา
ต่างๆ

เวลา (ชั่วโมง)	น้ำหนักน้ำมัน (กรัม)	ปริมาณ HCl (ml)	ปริมาณกลีเซอริน (ppm)	ค่าเฉลี่ย (ppm)
การทดลองที่ 1				
0.5	0.52	0.30	1598.10	
	0.45	0.10	615.56	882.16
	0.32	0.05	432.82	
การทดลองที่ 2				
1	0.34	0.05	407.36	500.89
	0.33	0.05	419.70	
	0.41	0.10	675.62	
การทดลองที่ 3				
2	0.49	0.05	282.66	277.95
	0.47	0.05	294.69	
	0.54	0.05	256.49	
การทดลองที่ 4				
	0.45	0.05	307.78	

3	0.45	0.05	307.78	307.78
	0.45	0.05	307.78	
การทดลองที่ 5				
4	0.55	0.05	251.82	259.83
	0.52	0.05	266.35	
	0.53	0.05	261.32	
การทดลองที่ 6				
6	0.60	0.05	230.84	256.39
	0.53	0.05	261.32	
	0.50	0.05	277.00	

ตารางที่ ข13 ปริมาณกลีเซอรินในไบโอดีเซลหลังทำการดูดซับด้วยดินเบาและดินเบาเผาที่ 800 องศาเซลเซียสที่เวลาต่างๆ ครั้งที่ 1

เวลา(ชั่วโมง)	ปริมาณกลีเซอริน (ppm)		
	ตัวควบคุม	ดินเบา	ดินเบาเผาที่ 800 °C
0.5	1146	948	637
2	1144	1219	643

ตารางที่ ข14 ปริมาณกลีเซอรินในไบโอดีเซลหลังทำการดูดซับด้วยดินเบาและดินเบาเผาที่ 800 องศาเซลเซียสที่เวลาต่างๆ ครั้งที่ 2

เวลา(ชั่วโมง)	ปริมาณกลีเซอริน (ppm)		
	ตัวควบคุม	ดินเบา	ดินเบาเผาที่ 800 °C
0.5	831	451	412
2	520	583	408

ตารางที่ ข15 ปริมาณกลีเซอรินในไบโอดีเซลหลังทำการดูดซับด้วยดินเบาและดินเบาเผาที่ 800 องศาเซลเซียสที่เวลาต่างๆ ครั้งที่ 3

เวลา(ชั่วโมง)	ปริมาณกลีเซอริน (ppm)			
	ตัวควบคุม	ดินเบา	ดินเบาเผาที่ 400 °C	ดินเบาเผาที่ 800 °C
0.5	1245	1042	928	841
2	823	887	899	765

ตารางที่ ข16 ปริมาณกลีเซอรินในไบโอดีเซลหลังดูดซับด้วยดินเบาสำหรับ breakthrough curve

ครั้งที่	ไบโอดีเซล(กรัม)	น้ำหนักก่อนไทเทรต (กรัม)	ไทเทรตปริมาณ กรด HCl (มล.)	ปริมาณกลีเซอริน (ppm)
1	30	15.10	1.0	183
2	60	15.19	1.2	219
3	90	15.05	1.3	239
4	120	15.09	1.4	257
5	150	15.12	1.5	275
6	180	15.10	1.6	294
7	210	15.18	1.6	292
8	240	15.20	1.6	292
9	270	14.98	1.7	314
10	300	15.02	1.7	314
11	330	15.10	1.7	312
12	360	15.09	1.7	312
13	390	15.05	1.7	313
14	420	15.02	1.7	314
15	450	15.15	1.7	311
16	480	15.09	1.7	312

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวแพรวสุข วังศิลา เกิดเมื่อวันที่ 29 มกราคม พ.ศ. 2526 ที่จังหวัดนครสวรรค์ สำเร็จการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2548 และเข้าศึกษาต่อหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อ พ.ศ.2549



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย