

การกำจัดกลีเซอรินออกจากไบโอดีเซลที่เตรียมจากน้ำมันประกอบอาหารที่ใช้แล้ว
โดยใช้ถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไยเป็นตัวดูดซับ

นางสาวสโรชา เพ็งศรี

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา)

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2555

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)

เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the Graduate School.

REMOVING GLYCERINE FROM BIODIESEL PREPARED FROM
USED COOKING OIL USING ACTIVATED CARBON
FROM LONGAN SEED

Miss Sarocha Phengsri

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 2012
Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การกำจัดกลิ่นเซอรินออกจากไบโอดีเซลที่เตรียมจากน้ำมัน
ประกอบอาหารที่ใช้แล้วโดยใช้ถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไย
เป็นตัวดูดซับ

โดย

นางสาวสโรชา เพ็งศรี

สาขาวิชา

วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

รองศาสตราจารย์ ดร. สมใจ เพ็งปรีชา

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยเป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร. อมร เพชรสม)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชาญวิทย์ โฆษิตานนท์)

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

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. ธารพงษ์ วิทิตสานต์)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร. อนุรักษ์ วินิตสร)

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้โดยดีด้วยความช่วยเหลือจากบุคคลหลายฝ่าย ผู้วิจัย
จึงขอขอบพระคุณทุกท่านไว้ ณ ที่นี้

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.สมใจ เพ็งปรีชา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
หลัก ที่กรุณาให้ความช่วยเหลือ แนวคิด คำแนะนำ ความเอาใจใส่ และตรวจแก้ไขข้อผิดพลาด
ตลอดจนให้ข้อคิดเห็นเพื่อปรับปรุงการทำวิจัยให้สมบูรณ์ จนกระทั่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วง
ไปได้โดยดี

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชาญวิทย์ โฆษิตานนท์ รองศาสตราจารย์
ดร. ธารพงษ์ วิทิตสานต์ และ ดร. อนุรักษ วินิตสร ที่กรุณาให้คำแนะนำในการจัดทำวิทยานิพนธ์ให้
มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณหลักสูตรสหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ภาควิชาเคมีเทคนิค และ
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้สถานที่
เครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ ในห้องปฏิบัติการตลอดระยะเวลาทำการวิจัย

ขอขอบคุณทบวงมหาวิทยาลัย บัณฑิตวิทยาลัยที่ให้การสนับสนุนทุนเสนาผลงานวิจัย
และทุนอุดหนุนการวิจัย

นอกจากนี้ขอขอบคุณ นางสาวจันทร์เลขา ภูทองคำ และนางสาวณัฐวิภา จงรัก ที่ให้ความ
ช่วยเหลือ และคำปรึกษาในระหว่างการทำวิจัย ขอขอบคุณนางสาวธนพร สายตา นายสุพัฒน์ เพ็ง
พันธ์ นางสาวนันทิยา กาวิต และนางสาวจันทร์ทิพย์ ทรงฤทธิ์ เพื่อนร่วมชั้นปี ที่ให้ความช่วยเหลือ
คำแนะนำ และกำลังใจในการแก้ปัญหาต่างๆ และขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆ สหสาขา
วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำปรึกษาและคอยให้กำลังใจเสมอมา

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา พี่น้องทุกคนที่ให้ความเข้าใจ ให้คำปรึกษา
ต่างๆ อันเป็นประโยชน์ รวมทั้งเป็นกำลังใจในการทำวิจัยครั้งนี้ จนสำเร็จการศึกษาได้ด้วยดี

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญภาพ.....	ฐ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	ณ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 วิธีดำเนินการศึกษา.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 ที่มาของไบโอดีเซล.....	5
2.2 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับไบโอดีเซล.....	5
2.2.1 คำจำกัดความ.....	5
2.2.2 วัตถุดิบที่ใช้ผลิตไบโอดีเซล.....	6
2.2.3 คุณสมบัติและมาตรฐานไบโอดีเซล.....	8
2.2.4 เทคนิคในการผลิตไบโอดีเซล.....	9
2.2.5 กระบวนการผลิตไบโอดีเซล.....	13
2.2.6 การทำไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์.....	16
2.2.6.1 การล้างด้วยน้ำ (Water Washing).....	16
2.2.6.2 การล้างแห้ง (Dry Washing).....	16
2.3 การดูดซับ.....	22

บทที่	หน้า
2.3.1 ประเภทของการดูดซับ.....	22
2.3.1.1 การดูดซับทางกายภาพ.....	23
2.3.1.2 การดูดซับทางเคมี.....	23
2.3.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ.....	24
2.3.2.1 ลักษณะของตัวดูดซับ.....	24
2.3.2.2 ลักษณะของตัวถูกดูดซับ.....	25
2.3.3 การวิเคราะห์สมบัติตัวดูดซับ.....	27
2.3.3.1 การวิเคราะห์โดยอาศัยหลักการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์.....	27
2.3.3.2 หลักการวิเคราะห์พื้นที่ผิวด้วยวิธีการของ BET.....	27
2.3.4 สมดุลของการดูดซับ.....	29
2.4 ถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon).....	33
2.5 วัสดุดิบที่จะนำมาทำเป็นถ่านกัมมันต์.....	34
2.6 โครงสร้างและสมบัติของถ่านกัมมันต์.....	35
2.6.1 โครงสร้างของถ่านกัมมันต์.....	35
2.6.2 ความพรุน (Porosity).....	37
2.6.3 ความเป็นกรด-เบสของพื้นผิวถ่านกัมมันต์.....	38
2.6.4 สมบัติของถ่านกัมมันต์.....	39
2.6.4.1 สมบัติทางกายภาพของถ่านกัมมันต์.....	39
2.6.4.2 สมบัติทางเคมีของถ่านกัมมันต์.....	40
2.6.5 โครงสร้างทางเคมีของผิวถ่านกัมมันต์.....	41
2.7 ชนิดของถ่านกัมมันต์.....	43
2.7.1 แบ่งตามชนิดของตัวกระตุ้น.....	43
2.7.2 แบ่งตามรูพรุนบนผิวคาร์บอน.....	43
2.7.3 แบ่งตามความหนาแน่นของถ่านกัมมันต์.....	44
2.7.4 แบ่งตามชนิดของสารที่ถูกดูดซับ.....	44
2.7.5 แบ่งตามรูปร่างลักษณะ.....	44
2.8 การผลิตถ่านกัมมันต์.....	45
2.8.1 การเตรียมวัสดุดิบ.....	46

บทที่	หน้า
2.8.2 การเผาให้เป็นถ่าน (carbonization).....	46
2.8.3 การกระตุ้น (activation).....	47
2.8.3.1 การกระตุ้นด้วยวิธีทางกายภาพ (physical activation).....	47
2.8.3.2 วิธีการกระตุ้นด้วยวิธีทางเคมี (chemical activation).....	49
2.9 ประโยชน์ของถ่านกัมมันต์.....	51
2.9.1 ถ่านกัมมันต์ประเภทที่ใช้กับการดูดติดผิวก๊าซหรือไอ.....	51
2.9.2 ถ่านกัมมันต์ประเภทที่ใช้กับการดูดติดของเหลว.....	52
2.10 ลำไย (Longan).....	52
2.10.1 ประวัติลำไย.....	52
2.10.2 ลักษณะทั่วไปของต้นลำไย.....	53
2.10.3 พันธุ์ลำไย.....	54
2.10.4 ประโยชน์ของลำไย.....	56
2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	57
3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	62
3.1 สารเคมี วัสดุ และอุปกรณ์.....	62
3.1.1 วัสดุดิบ.....	62
3.1.2 สารเคมี.....	62
3.1.3 วัสดุและอุปกรณ์.....	63
3.2 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย.....	64
3.2.1 การผลิตถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไย.....	64
3.2.1.1 การเตรียมวัสดุดิบ.....	64
3.2.1.2 การกระตุ้นเมล็ดลำไย.....	64
3.2.1.3 การวิเคราะห์สมบัติต่างๆของถ่านกัมมันต์.....	65
3.2.2 การสังเคราะห์ไบโอดีเซล.....	67
3.2.3 ศึกษาปริมาณกลีเซอรินเมื่อตั้งทิ้งไว้ที่เวลาต่างๆ.....	68
3.2.4 ศึกษาสภาวะเหมาะสมในการทำไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วให้บริสุทธิ์ โดยใช้ถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไยเป็นตัวดูดซับ.....	68
3.2.4.1 ผลของเวลาที่ใช้ในการดูดซับกลีเซอรินในไบโอดีเซล.....	69

บทที่	หน้า
3.2.4.2 ผลของขนาดถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไยที่ใช้ในการดูดซับ กลีเซอรินในไบโอดีเซล.....	69
3.2.4.3 ผลของปริมาณถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไยที่ใช้ในการดูดซับ กลีเซอรินในไบโอดีเซล.....	69
3.2.4.4 ผลของเมทานอลในไบโอดีเซลต่อการดูดซับกลีเซอริน.....	69
3.2.4.5 ประสิทธิภาพในการดูดซับกลีเซอรินระหว่างถ่านกัมมันต์จาก เมล็ดลำไยและถ่านกัมมันต์ทางการค้า.....	70
3.2.4.6 การหาค่าความหนืดของไบโอดีเซล (ASTM D445).....	70
3.2.4.7 วิเคราะห์หาปริมาณกลีเซอรอลอิสระและกลีเซอรอลทั้งหมดโดย การใช้เทคนิคก๊าซโครมาโทกราฟี.....	72
3.2.5 การศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับ.....	72
3.2.6 การวิเคราะห์ไบโอดีเซล.....	73
3.2.6.1 วิเคราะห์หาปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหลือและปริมาณกลีเซอรินโดย วิธีการไทเทรชัน.....	73
3.2.6.2 การวิเคราะห์ปริมาณค่าความเป็นกรดของไบโอดีเซลตามมาตรฐาน ASTM D664.....	74
4 ผลการทดลองและการอภิปรายผล.....	76
4.1 ศึกษากระบวนการผลิตและคุณสมบัติตัวดูดซับถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไย.....	76
4.1.1 ศึกษากระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไย.....	76
4.1.2 ร้อยละผลผลิตจากการเตรียมถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไย.....	78
4.1.3 ศึกษาคุณสมบัติตัวดูดซับถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไย.....	79
4.2 ศึกษากระบวนการทำไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์.....	83
4.2.1 ศึกษาผลของระยะเวลาการตั้งทิ้งไว้ต่อการตกตะกอนของกลีเซอริน.....	85
4.2.2 ศึกษาผลของระยะเวลาการสัมผัสต่อการดูดซับกลีเซอรินในไบโอดีเซล.....	86
4.2.3 ศึกษาผลของขนาดตัวดูดซับต่อการดูดซับกลีเซอรินในไบโอดีเซล.....	87
4.2.4 ศึกษาผลของปริมาณตัวดูดซับต่อการดูดซับกลีเซอรินใน.....	91
4.2.5 ศึกษาวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด (acid value) จากวิธีการไทเทรต.....	93
4.2.6 ผลของเมทานอลต่อการดูดซับกลีเซอรินในไบโอดีเซล.....	94

บทที่	หน้า
4.2.7 วิเคราะห์ค่าความหนืดของไบโอดีเซล (ASTM D445).....	96
4.2.8 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดซับกลีเซอรินระหว่างถ่านกัมมันต์จาก เมล็ดลำไยถ่านกัมมันต์ทางการค้าและการล้างด้วยน้ำ.....	96
4.2.9 การวิเคราะห์หาปริมาณกลีเซอรอลอิสระ และกลีเซอรอลทั้งหมดด้วย เทคนิคก๊าซโครมาโทกราฟี.....	98
4.3 ศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับ.....	99
4.3.1 รูปแบบไอโซเทอมของการดูดซับของ N ₂ ของตัวดูดซับถ่านกัมมันต์ จากเมล็ดลำไย.....	99
4.3.2 รูปแบบไอโซเทอมของการดูดซับของ N ₂ ของตัวดูดซับถ่านกัมมันต์ ทางการค้า.....	101
4.3.3 รูปแบบไอโซเทอมการดูดซับของการดูดซับกลีเซอริน.....	102
5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	106
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	106
5.1.1 ศึกษาคุณสมบัติตัวดูดซับถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไย.....	106
5.1.2 ศึกษากระบวนการทำไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์.....	106
5.1.3 ศึกษาไอโซเทอมการดูดซับ.....	107
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	107
รายการอ้างอิง.....	109
ภาคผนวก.....	114
ภาคผนวก ก.....	115
ภาคผนวก ข.....	130
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	144

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ศักยภาพการผลิตน้ำมันของพืชน้ำมันชนิดต่างๆ.....	6
2.2 ลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลในประเทศไทย.....	8
2.3 ผลกระทบของสารปนเปื้อนในไบโอดีเซลที่มีต่อเครื่องยนต์.....	17
2.4 ข้อแตกต่างระหว่างการดูดซับทางกายภาพและการดูดซับทางเคมี.....	24
2.5 ชนิดสารกระตุ้นในวิธีการกระตุ้นทางเคมี.....	49
4.1 ร้อยละผลผลิตของถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไย.....	78
4.2 ผลการวิเคราะห์หาพื้นที่ผิว ขนาดของรูพรุน และปริมาตรของรูพรุน.....	79
4.3 แสดงค่าการดูดซับไอโอดีดินนัมเบอร์ และเมทิลีนบลูของตัวดูดซับถ่านกัมมันต์ จากเมล็ดลำไยและถ่านกัมมันต์ทางการค้า.....	81
4.4 ค่าความเป็นกรดของไบโอดีเซลเมื่อดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ร้อยละ 1 3 5 และ 7 โดยน้ำหนักไบโอดีเซล (40 กรัม).....	93
4.5 แสดงปริมาณกลีเซอรินและค่าความเป็นกรดในไบโอดีเซลของกระบวนการต่างๆ ที่ใช้ในการทำไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์.....	97
4.6 แสดงปริมาณกลีเซอรอลอิสระและกลีเซอรอลทั้งหมด.....	98
4.7 แสดงค่าคงที่ไอโซเทอมของการดูดซับกลีเซอรินของถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไย.....	105

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 ปฏิบัติงานทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน.....	11
2.2 กระบวนการผลิตไบโอดีเซลอย่างง่าย.....	15
2.3 แสดงการดูดซับแบบชั้นเดียวและการดูดซับแบบหลายชั้น.....	23
2.4 ไอโซเทอมของการดูดซับ.....	29
2.5 ไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงเมียร์.....	32
2.6 ไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรุนดลิช.....	33
2.7 โครงสร้างผลึกแกรไฟต์.....	36
2.8 โครงสร้างของถ่านกัมมันต์.....	37
2.9 โครงสร้างของเมทิลีนบลู.....	41
2.10 กลุ่มฟังก์ชันนอลบนพื้นผิวของถ่านกัมมันต์.....	42
2.11 กระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์.....	45
2.12 ขั้นตอนการผลิตถ่านกัมมันต์ด้วยวิธีทางกายภาพ.....	48
2.13 รูปแบบการผลิตถ่านกัมมันต์ด้วยวิธีการกระตุ้นทางเคมี.....	50
2.14 ลำไย.....	52
2.15 ดอกลำไย.....	54
2.16 ลำไยกะโหลกสายพันธุ์สีชมพู.....	56
3.1 ท่อสแตนเลสของเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง.....	65
3.2 แผนภาพเครื่องมือและอุปกรณ์ในขั้นตอนการกระตุ้นถ่านกัมมันต์.....	66
3.3 การสังเคราะห์ไบโอดีเซล.....	68
3.4 การกำจัดเมทานอลออกจากไบโอดีเซล.....	70
3.5 เครื่องวัดความหนืด.....	71
3.6 viscometer.....	71
4.1 (ก) เมล็ดลำไยก่อนการกระตุ้นด้วย $ZnCl_2$ (ข) เมล็ดลำไยหลังจากการกระตุ้นด้วย $ZnCl_2$ ที่อัตราส่วนเมล็ดลำไยต่อ ซิงค์คลอไรด์เท่ากับ 1:2 (ค) ถ่านกัมมันต์ที่ได้หลังจากการเผาที่อุณหภูมิ 800 °C เป็นเวลา 180 นาที.....	77

ภาพที่	หน้า
4.2 โครงสร้างของเมทิลีนบลู.....	81
4.3 ลักษณะสัณฐานวิทยาของเมล็ดลำไยก่อนการกระตุ้นด้วย $ZnCl_2$ ที่กำลังขยาย 3,500 เท่า.....	82
4.4 ลักษณะสัณฐานวิทยาของเมล็ดลำไยหลังการกระตุ้นด้วย $ZnCl_2$ ที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักของเมล็ดลำไยต่อ $ZnCl_2$ เท่ากับ 1:2 และผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 800 °C เป็นเวลา 180 นาที ที่กำลังขยาย 3,500 เท่า.....	82
4.5 การตรวจสอบว่าเป็นไบโอดีเซลด้วย Thin Layer Chromatography (TLC).....	83
4.6 ปฏิกริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน.....	84
4.7 การแยกชั้นระหว่างไบโอดีเซลและกลีเซอริน.....	85
4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ตั้งทิ้งไว้กับปริมาณกลีเซอรินที่เหลือ.....	86
4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาสัมผัสกับปริมาณกลีเซอรินที่เหลือ.....	87
4.10 การดูดซับกลีเซอรินในไบโอดีเซลด้วยถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไย.....	88
4.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละตัวดูดซับกับร้อยละการดูดซับเมื่อใช้ถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไยขนาด 8-10 เมช เป็นตัวดูดซับ.....	89
4.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละตัวดูดซับกับร้อยละการดูดซับเมื่อใช้ถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไยขนาด 100-120 เมช เป็นตัวดูดซับ.....	90
4.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับกับร้อยละตัวดูดซับในการดูดซับกลีเซอรินเมื่อใช้ตัวดูดซับขนาดต่างกัน.....	90
4.14 แสดงปริมาณกลีเซอรินที่เหลือเมื่อใช้ถ่านกัมมันต์ขนาด 8-10 เมช เป็นตัวดูดซับ.....	91
4.15 แสดงปริมาณกลีเซอรินที่เหลือเมื่อใช้เมื่อใช้ถ่านกัมมันต์ขนาด 100-120 เมช เป็นตัวดูดซับ.....	92
4.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับและร้อยละตัวดูดซับในการดูดซับกลีเซอรินเมื่อใช้ตัวดูดซับขนาดต่างกัน.....	92
4.17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละตัวดูดซับกับค่าความเป็นกรด (mgKOH/g).....	94
4.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละตัวดูดซับและปริมาณกลีเซอรินเมื่อใช้ตัวดูดซับดูดซับกลีเซอรินในสภาวะที่มีเมทานอลและไม่มีเมทานอล.....	95
4.19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละตัวดูดซับและร้อยละการดูดซับเมื่อใช้ถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไย ถ่านกัมมันต์ทางการค้า และการล้างด้วยน้ำ ในการทำไบโอดีเซล	

ภาพที่	หน้า
ให้บริสุทธิ์.....	96
4.20 (ก) BET-Plot (ข) ไอโซเทอมการดูดซับ N_2 ที่อุณหภูมิ 77 K ของถ่านกัมมันต์จาก เมล็ดลำไยที่กระตุ้นด้วย $ZnCl_2$ อัตราส่วนโดยน้ำหนักของถ่านกัมมันต์ต่อ $ZnCl_2$ เท่ากับ 1:2	100
4.21 (ก) BET-Plot (ข) ไอโซเทอมการดูดซับ N_2 ที่อุณหภูมิ 77 K ของถ่านกัมมันต์ ทางการค้า.....	101
4.22 รูปแบบของ (ก) ไอโซเทอมแบบแลงเมียร์ของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย $ZnCl_2$ อัตราส่วนโดยน้ำหนักของเมล็ดลำไยต่อ $ZnCl_2$ เท่ากับ 1:2 (ข) ไอโซเทอมแบบฟรุนดิชของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย $ZnCl_2$ อัตราส่วนโดยน้ำหนักของเมล็ดลำไยต่อ $ZnCl_2$ เท่ากับ 1:2.....	102

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

ASTM	American Society for the testing of Materials
EN	European Standards
FFA	กรดไขมันอิสระ (Free Fatty Acid)
N	นอร์มัล (normal) หน่วยความเข้มข้นพื้นฐานของปริมาณสาร เป็นสมมูลย์ (equivalent; eq) หมายถึง จำนวนกรัมสมมูลย์ของตัวถูกละลายในสารละลาย 1 ลิตร
ppm	ส่วนในล้าน (parts per million) หน่วยวัดปริมาณตัวถูกละลายในสารละลาย 1 ล้านส่วน
SD	Standard Deviation คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
% wt	ร้อยละโดยมวล หรือเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก หมายถึง น้ำหนักของตัวถูกละลายในสารละลาย 100 หน่วยน้ำหนัก

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันราคาน้ำมันในตลาดโลกมีราคาสูงและประเทศไทยต้องเสียเงินตราต่างประเทศในการนำเข้าน้ำมัน ประกอบกับอัตราการใช้น้ำมันของประเทศไทยนั้นมีอัตราเพิ่มมากขึ้น ดังจะเห็นได้จากในปี 2554 การใช้น้ำมันสำเร็จรูปมีปริมาณรวมทั้งสิ้น 42,045 ล้านลิตร ซึ่งเพิ่มขึ้นจากปี 2553 ในอัตราร้อยละ 3.9 หรือปี 2554 มีการนำเข้าน้ำมันสำเร็จรูปรวมทั้งสิ้น 462 ล้านลิตร ซึ่งเพิ่มขึ้นจากปีก่อน 2 เท่าตัวกว่า และคิดเป็นมูลค่าการนำเข้ารวมทั้งสิ้น 10,382 ล้านบาท เพิ่มขึ้นจากปีก่อน 3 เท่าตัวกว่า (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานกระทรวงพลังงาน, 2554) ดังนั้นจึงจำเป็นต้องพัฒนาเชื้อเพลิงทดแทนจากแหล่งเชื้อเพลิงอื่น เพื่อเป็นการลดปริมาณการนำเข้าน้ำมัน ซึ่งไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงทดแทนประเภทหนึ่งที่ได้รับ ความสนใจในปัจจุบันนี้

ไบโอดีเซลเป็นพลังงานทดแทนเชื้อเพลิงดีเซล จัดเป็นสารประเภทเอสเทอร์ได้จากการนำ น้ำมันพืชและน้ำมันสัตว์มาทำปฏิกิริยาทางเคมีร่วมกับแอลกอฮอล์ เช่น เมทานอล หรือเอทานอล โดยมีกรดหรือเบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เรียกปฏิกิริยาดังกล่าวว่าปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน แต่น้ำมันไบโอดีเซลที่ได้จากกระบวนการผลิตนี้จะมีการปนเปื้อนของสารต่างๆออกมากับไบโอดีเซล ไม่ว่าจะเป็น กลีเซอรอล เมทานอล สบู่ ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ตกค้าง ทำให้ประสิทธิภาพไบโอดีเซลที่ได้นี้ไม่ดีเท่าที่ควร ดังนั้นไบโอดีเซลที่จะนำมาใช้ได้ควรผ่านกระบวนการที่ทำให้บริสุทธิ์ก่อน

กระบวนการทำให้ไบโอดีเซลบริสุทธิ์นั้นสามารถทำได้หลายวิธี ซึ่งวิธีที่นิยมใช้ในปัจจุบัน คือ การล้างแบบเปียก โดยการใช้น้ำในการล้างไบโอดีเซล แต่กระบวนการดังกล่าวมีข้อเสีย คือ จะก่อให้เกิดน้ำเสียในปริมาณมาก และมีการสูญเสียไบโอดีเซลไปกับน้ำเสีย ซึ่งกระบวนการทำให้ไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์อีกกระบวนการหนึ่งที่มีความสนใจ คือการล้างแบบแห้งโดยการใช้ตัวดูดซับ เนื่องจากกระบวนการดังกล่าวไม่ก่อให้เกิดน้ำเสียจากกระบวนการล้าง และยังไม่ทิ้งสารตกค้างในไบโอดีเซลที่ผ่านการล้างอีกด้วย ทำให้ไบโอดีเซลที่ได้มีปริมาณและคุณภาพสูงขึ้น

ถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) เป็นวัสดุที่มีความสามารถในการดูดซับมีการนำไปประยุกต์ใช้กับงานต่างๆ ด้วยคุณสมบัติที่เป็นที่รู้จักมานานนับศตวรรษ วัสดุดูดซับที่นำมาผลิตเป็น

ถ่านกัมมันต์นั้นจะต้องมีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ โดยวัตถุดิบนั้นอาจเกิดขึ้นโดยธรรมชาติหรือได้จากการสังเคราะห์ขึ้น วัตถุดิบที่นิยมนำมาผลิตถ่านกัมมันต์ในระดับอุตสาหกรรมคือ พีต ถ่านหิน ลิกไนต์ ไม้ และกะลามะพร้าว เนื่องจากสามารถผลิตถ่านกัมมันต์ที่มีความสามารถในการดูดซับสูง และมีรพุนขนาดเล็กสูง ซึ่งวัตถุดิบที่นำมาผลิตถ่านกัมมันต์ควรมีสมบัติดังต่อไปนี้ มีปริมาณสารระเหยต่ำ มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบในปริมาณสูง มีราคาถูก หาได้ง่าย และมีสมบัติคงที่ (ถ่านกัมมันต์การผลิตและการนำไปใช้, 2553)

เมล็ดลำไยเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น โรงงานผลไม้กระป๋องและโรงงานผลไม้อบแห้ง ซึ่งโรงงานเหล่านี้มีเมล็ดลำไยเหลือทิ้งปีหนึ่งๆปริมาณมาก จึงได้คิดหาวิธีการที่จะนำเมล็ดลำไยมาแปรรูปจากของเหลือทิ้งซึ่งมีราคาถูกทำให้มีมูลค่าที่เพิ่มสูงขึ้น อีกทั้งยังช่วยลดปริมาณขยะ เพิ่มรายได้ให้แก่เกษตรกร และสร้างรายได้ให้กับประเทศ (วารสารเกษตรกรรมธรรมชาติ, 2553) ดังนั้นงานวิจัยนี้ได้ศึกษาการดูดซับกลีเซอรินในไบโอดีเซลโดยใช้ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเมล็ดลำไยเป็นตัวดูดซับแทนการใช้น้ำล้าง เพื่อเป็นการลดน้ำเสียจากขั้นตอนการทำไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. ศึกษาตัวดูดซับถ่านกัมมันต์เพื่อใช้ในการดูดซับกลีเซอรินจากการทำไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์
2. เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดกลีเซอรินโดยตัวดูดซับจากถ่านกัมมันต์

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1. ศึกษาข้อมูลทฤษฎี และรวบรวมงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งในและต่างประเทศ
2. ศึกษาการสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว โดยใช้อัตราส่วนระหว่างน้ำมันต่อเมทานอลเป็น 1:6 ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็น 1% NaOH ของน้ำหนักน้ำมัน
3. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับกลีเซอรินด้วยถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเมล็ดลำไย

1.4 วิธีดำเนินการศึกษา

1. ค้นคว้าและรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

2. เตรียมเครื่องมือสารเคมี และวัสดุที่จะนำมาใช้ผลิตเป็นไบโอดีเซล และถ่านกัมมันต์ คือน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว และเมล็ดลำไย

3. ดำเนินการทดลองมีขั้นตอนดังนี้

3.1 การผลิตถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไย

- นำเมล็ดลำไยมาล้างด้วยน้ำสะอาด แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำไปบดด้วยเครื่องบดและคัดขนาดอนุภาคด้วยตะแกรงร่อนขนาด 8-10 เมช

- นำเมล็ดลำไยที่บดและคัดขนาดแล้วไปแช่ในสารละลายซิงค์คลอไรด์ที่อัตราส่วน 1:2 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำเมล็ดลำไยที่แช่ด้วยซิงค์คลอไรด์แล้วไปอบจนแห้งที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง

- นำเมล็ดลำไยจากขั้นตอนที่แล้วมาคาร์บอนไนซ์ต่อเพื่อให้ได้ถ่านกัมมันต์ภายใต้บรรยากาศก๊าซไนโตรเจนด้วยอัตราการไหล 100 มิลลิลิตรต่อนาที ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส และเวลาในการคาร์บอนไนซ์เท่ากับ 3 ชั่วโมง จากนั้นนำถ่านกัมมันต์ที่แช่ในสารละลายซิงค์คลอไรด์ไปล้างด้วยกรดไฮโดรคลอริกและน้ำกลั่นจนค่า pH ของน้ำล้างมีค่าประมาณ 7 จากนั้นจึงนำถ่านกัมมันต์ไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นในเดซิเคเตอร์

- นำไปวิเคราะห์หาสมบัติต่างๆของถ่านกัมมันต์ เช่น วิเคราะห์หาพื้นที่ผิวจำเพาะ ขนาดและปริมาตรของรูพรุนโดยวิธี BET วิเคราะห์ค่าการดูดซับตามความสามารถในการดูดซับ ไอโอดีน และเมทธิลีนบลู

3.2 สังเคราะห์ไบโอดีเซล โดยมีขั้นตอนดังนี้

- นำน้ำมันพืชที่ใช้แล้วมาทำการหากรดไขมันอิสระ ถ้าน้ำมันพืชที่ใช้แล้วมีปริมาณกรดไขมันอิสระมากกว่า 3% ต้องทำการสังเคราะห์ไบโอดีเซลโดยใช้กระบวนการ 2 ขั้นตอน คือ เอสเทอร์ริฟิเคชัน-ทรานเอสเทอร์ริฟิเคชัน แต่ถ้าน้ำมันพืชที่ใช้แล้วมีปริมาณกรดไขมันอิสระน้อยกว่า 3% จะเตรียมโดยขั้นตอนเดียวคือ ทรานเอสเทอร์ริฟิเคชัน

- ทำการสังเคราะห์ไบโอดีเซล

- แยกไบโอดีเซลที่ได้ข้างต้นออกจากกลีเซอริน

3.3 วิเคราะห์ปริมาณกลีเซอรินที่มีอยู่โดยใช้เทคนิคโทรเทอร์ซัน นำไบโอดีเซลที่ได้มาทำให้บริสุทธิ์โดยใช้ถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไยเป็นตัวดูดซับ แล้ววิเคราะห์หาปริมาณกลีเซอรินหลังจากผ่านตัวดูดซับ

3.4 ศึกษาสภาวะการดูดซับ ได้แก่ ขนาดของตัวดูดซับ ปริมาณของตัวดูดซับ และช่วงเวลาสัมผัสที่เหมาะสมในการดูดซับ

3.5 ตรวจสอบสมบัติทางกายภาพของไบโอดีเซลที่ได้ตามมาตรฐานที่กำหนด ได้แก่ Free glycerin Total glycerin Monoglyceride Diglyceride และ Triglyceride ตามมาตรฐาน EN 14105 Acid Value ตามมาตรฐาน ASTM D 664 และ Viscosity ตามมาตรฐาน ASTM D 445

3.6 เปรียบเทียบความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซลระหว่างการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไยถ่านกัมมันต์เชิงพาณิชย์และการล้างด้วยน้ำ

4. วิเคราะห์ข้อมูล สรุปผล และเขียนวิทยานิพนธ์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถนำวัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมมาใช้ประโยชน์ เพิ่มมูลค่าโดยการนำมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์
2. ทราบปัจจัยและภาวะที่เหมาะสมในการทำไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันพืชใช้แล้วให้มีความบริสุทธิ์ด้วยกระบวนการดูดซับ

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ที่มาของไบโอดีเซล

สำหรับการนำน้ำมันพืชมาเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลนั้นไม่ใช่แนวคิดใหม่ แต่ได้มีการใช้มาตั้งแต่สมัยสงครามโลกครั้งที่ 2 ซึ่งในขณะนั้นน้ำมันปิโตรเลียมยังคงมีราคาถูก และหาได้ง่าย ทำให้เชื้อเพลิงจากน้ำมันพืชไม่ได้รับความสนใจเท่าที่ควร ต่อมาได้เกิดวิกฤตการณ์ขาดแคลนน้ำมันในปี ค.ศ. 1971 ทำให้เชื้อเพลิงจากน้ำมันพืชกลับมาได้รับความสนใจอีกครั้ง เหตุนี้เพราะน้ำมันพืชเป็นเชื้อเพลิงที่ได้จากแหล่งพลังงานหมุนเวียนที่สามารถหาได้ตามท้องถิ่นทั่วไป ในต่างประเทศได้มีการนำน้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันทานตะวัน และน้ำมันใช้แล้วมาใช้ทดลองกับเครื่องยนต์ สำหรับในประเทศไทยได้เริ่มทำการวิจัยตั้งแต่ปี พ.ศ. 2524 โดยใช้น้ำมันถั่วลิสง น้ำมันเมล็ดสบู่ดำ น้ำมันมะพร้าว และน้ำมันปาล์ม รวมถึงเอสเทอร์ของน้ำมันปาล์มด้วย แต่เมื่อวิกฤตการณ์น้ำมันผ่านไปความสนใจในการผลิตเชื้อเพลิงจากน้ำมันพืชก็ลดลง เป็นเหตุให้ข้อมูลการใช้ น้ำมันพืชเป็นเชื้อเพลิงในประเทศไทยมีจำกัด จนเกิดวิกฤตการณ์น้ำมันขึ้นอีกครั้งเมื่อต้นปี พ.ศ. 2544 ทำให้ไบโอดีเซลเป็นคำที่ทุกคนได้ยินกันอย่างกว้างขวางมากขึ้นรองลงมาจากแก๊สโซฮอล์ แต่ข้อมูลที่มีอยู่มีปริมาณไม่เพียงพอในการที่จะอธิบายถึงผลกระทบที่มีต่อเครื่องยนต์ในระยะยาวได้ (กนกทัศน์, 2544)

2.2 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับไบโอดีเซล

2.2.1 คำจำกัดความ

ไบโอดีเซลผลิตได้จากน้ำมันพืช ไขมันสัตว์ หรือน้ำมันใช้แล้ว เป็นพลังงานหมุนเวียนโดยในไบโอดีเซลจะมีองค์ประกอบของเอสเทอร์ของกรดไขมัน (Fatty Acid Alkyl Ester: FFAE) ซึ่งนำไปใช้โดยตรงหรือนำมาผสมกับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วนต่างๆ เนื่องจากไบโอดีเซลมีคุณสมบัติที่ใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล จึงทำให้ไบโอดีเซลได้รับการพิจารณาแล้วว่าเป็นน้ำมันที่มีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทนในเครื่องยนต์ดีเซลได้ (Ma และ Hanna, 1999; Demirbas, 2003)

2.2.2 วัตถุดิบที่ใช้ผลิตไบโอดีเซล

ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงเหลวที่ผลิตจากน้ำมันพืช และไขมันสัตว์ เช่น ปาล์ม ถั่วเหลือง มะพร้าว ทานตะวัน สนุ่นดำ เมล็ดเรพ หรือน้ำมันพืช น้ำมันสัตว์ที่ใช้แล้ว ซึ่งพืชน้ำมันเหล่านี้เป็นทรัพยากรที่สามารถผลิตทดแทนได้ในธรรมชาติ สำหรับวัตถุดิบที่ใช้ผลิตไบโอดีเซลในประเทศไทยจะผลิตจากพืชน้ำมัน 6 ชนิดด้วยกัน คือ ปาล์มน้ำมัน มะพร้าว ถั่วเหลือง ถั่วลิสง งา และละหุ่ง โดยปาล์มน้ำมันเป็นพืชน้ำมันที่มีศักยภาพในการผลิตน้ำมันสูงที่สุด (ดังตารางที่ 2.1)

ตารางที่ 2.1 ศักยภาพการผลิตน้ำมันของพืชน้ำมันชนิดต่างๆ

ชนิดของพืช	ปริมาณการผลิตน้ำมัน (กิโลกรัม/ไร่)
ปาล์มน้ำมัน (น้ำมันปาล์มดิบ)	512
ปาล์มน้ำมัน (น้ำมันเมล็ดใน)	73
เรพซีด	89
ทานตะวัน	81
มะพร้าว	54
ถั่วเหลือง	52
ถั่วลิสง	51

ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานและจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, คณะวิศวกรรมศาสตร์ (2551)

1) เมล็ดเรพ

เมล็ดเรพมีลักษณะเป็นเม็ดเล็กๆเหมือนเมล็ดงา จัดเป็นพืชล้มลุก เจริญเติบโตได้ดีในพื้นที่ที่มีอากาศเย็น มีปริมาณฝนและความชื้นสูง ในประเทศแถบยุโรป แคนาดา สหรัฐอเมริกา ออสเตรเลีย จีน และอินเดีย ได้มีการปลูกเรพมาก เพื่อนำมาใช้เป็นอาหารสัตว์ และน้ำมันพืชเพื่อบริโภค แต่เมื่อในปี พ.ศ.2543 ประเทศในแถบยุโรปก็ได้เริ่มหันมาใช้น้ำมันจากเมล็ดเรพเป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซล เนื่องจากเมล็ดเรพให้ปริมาณน้ำมันสูงถึงร้อยละ 38-44

2) ปาล์มน้ำมัน

เนื่องจากปาล์มน้ำมันเป็นพืชที่ให้ปริมาณน้ำมันสูงเมื่อเปรียบเทียบกับพืชน้ำมันชนิดอื่น ทำให้ปาล์มน้ำมันเป็นพืชที่นิยมใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซล อีกทั้งปาล์ม

น้ำมันยังมีต้นทุนในการผลิตที่ต่ำและให้ผลผลิตต่อพื้นที่สูง น้ำมันปาล์มนั้น แบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ น้ำมันปาล์มดิบและน้ำมันเมล็ดในปาล์ม สำหรับน้ำมันปาล์มดิบ คือ ส่วนที่สกัดได้จากส่วนเปลือกสดของผลปาล์มน้ำมัน และน้ำมันเมล็ดในปาล์ม คือ ส่วนที่สกัดได้จากเมล็ดส่วนในของผลปาล์มน้ำมัน แต่ว่าน้ำมันปาล์มดิบและน้ำมันเมล็ดในปาล์ม มีคุณสมบัติทางเคมีที่ไม่เหมือนกัน โดยที่น้ำมันปาล์มดิบนั้นจะมีลักษณะที่เป็นของเหลวปนอยู่กับของแข็งที่อุดมภูมิห้อง ต้องมีการทำให้น้ำมันปาล์มดิบบริสุทธิ์โดยทำการแยกส่วนของเหลวและของแข็งออกจากกัน ส่วนของเหลวที่แยกออกมาเรียกว่าน้ำมันปาล์มโอดีลีน และส่วนที่เป็นของแข็งเรียกว่าปาล์มสเตียร์น หรือไฮสเตียร์น โดยไปโอดีเซลนั้นสามารถผลิตได้จากทุกส่วนที่ได้จากปาล์มน้ำมัน

3) มะพร้าว

มะพร้าวจัดเป็นพืชที่อยู่ในตระกูลปาล์ม เป็นพืชยืนต้นชนิดหนึ่ง ซึ่งในประเทศไทยได้มีการปลูกมะพร้าวมากเป็นอันดับ 7 ของโลก เนื่องจากมะพร้าวสามารถปลูกได้ ทุกภาคในประเทศ ในประเทศฟิลิปปินส์เป็นประเทศที่มีการปลูกมะพร้าวมากที่สุดและได้มีการส่งเสริมให้มีการนำน้ำมันมะพร้าวมาผลิตเป็นไบโอดีเซล

4) ถั่วเหลือง

ถั่วเหลืองเป็นพืชน้ำมันประเภทล้มลุก เมล็ดถั่วเหลืองประกอบด้วยโปรตีนประมาณร้อยละ 40 และน้ำมันประมาณร้อยละ 20 สหรัฐอเมริกานิยมใช้ถั่วเหลืองเป็นวัตถุดิบเพื่อผลิตไบโอดีเซลมากที่สุด ซึ่งสหรัฐอเมริกามีปริมาณการผลิตถั่วเหลืองสูงถึงกว่า 30 ล้านตันต่อปี นอกจากนี้ประเทศอิตาลีนิยมใช้ถั่วเหลืองในการผลิตไบโอดีเซลอีกด้วย

5) สบู่ดำ

สบู่ดำเป็นไม้พุ่มยืนต้นขนาดกลาง ทนแล้งได้ดี ในสบู่ดำประกอบด้วยน้ำมันสบู่ดำร้อยละ 52.8 ของน้ำหนักเนื้อในเมล็ดหรือร้อยละ 33.5 ของน้ำหนักเมล็ด เนื่องจากว่าเมล็ดสบู่ดำมีน้ำมันเป็นองค์ประกอบในปริมาณสูง ทำให้สบู่ดำมีศักยภาพที่สูงในการนำมาใช้เป็นวัตถุดิบหลักสำหรับผลิตพลังงานทดแทน ทางภาครัฐได้มีนโยบายส่งเสริมให้ปลูกสบู่ดำเพื่อนำมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซลชุมชน เนื่องจากสบู่ดำเป็นพืชที่ทนต่อสภาพแล้งและน้ำท่วมเพาะปลูกง่ายไม่ต้องดูแลมากนัก สามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้ภายในหนึ่งปีหลังปลูก มีหลายประเทศได้ให้ความสนใจในการนำน้ำมันสบู่ดำมาเป็นพลังงานทดแทน เช่น อินเดีย จีน และเยอรมนี

6) น้ำมันพืชและน้ำมันสัตว์ที่ใช้แล้ว

จัดได้ว่าเป็นวัตถุดิบอีกประเภทหนึ่งที่ควรส่งเสริมให้นำไปผลิตไบโอดีเซล ซึ่งนอกจากจะเป็นประโยชน์ทางด้านพลังงานแล้ว ยังช่วยลดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมและสาธารณสุข โดยในช่วง 20 ปีที่ผ่านมา ทั่วโลกมีอัตราเฉลี่ยในการบริโภคน้ำมันพืชเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 4 ต่อปี ส่งผลให้ในปัจจุบันมีการบริโภคน้ำมันพืชเพิ่มขึ้นสูงกว่า 100 ล้านตันต่อปี ที่เป็นเช่นนี้เป็นเพราะวิถีการบริโภคที่หันมารับประทานอาหารประเภทจานด่วนที่ปรุงด้วยการทอดมากขึ้น ผลที่ตามมาคือมีน้ำมันพืชใช้แล้วจำนวนมากที่เหลือจากการประกอบอาหาร สำหรับในประเทศไทยมีการบริโภคน้ำมันพืชมากกว่า 800,000 ตันต่อปี ประเมินกันว่าน่าจะมีน้ำมันพืชใช้แล้วเหลือมากกว่า 100 ล้านลิตรต่อปี ในจำนวนนี้ส่วนหนึ่งนำไปใช้ผลิตสบู่ หรือนำไปผสมเป็นอาหารสัตว์ บางส่วนปล่อยลงสู่คลองสาธารณะเป็นเหตุทำให้เกิดปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อม ด้วยเหตุนี้ทางภาครัฐจึงได้ให้ความสนใจในการนำน้ำมันพืชใช้แล้วมาผลิตเป็นไบโอดีเซล

2.2.3 คุณสมบัติและมาตรฐานไบโอดีเซล

จากการที่ไบโอดีเซลได้ผลิตมาจากน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์ และมีกระบวนการผลิตที่แตกต่างกัน จึงทำให้ไบโอดีเซลมีคุณสมบัติทั้งทางเคมีและกายภาพเป็นไปตามปริมาณกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบ ดังนั้นเพื่อให้ได้ไบโอดีเซลที่มีคุณสมบัติเหมาะสมต่อการใช้งาน จึงได้มีการกำหนดคุณสมบัติมาตรฐานของไบโอดีเซล โดยหน่วยงานทั้งในประเทศและต่างประเทศ เช่น มาตรฐานของไบโอดีเซล ในสหรัฐอเมริกาได้กำหนดมาตรฐาน ASTM D6751 สหภาพยุโรปได้กำหนดมาตรฐาน EN 14214 สำหรับในประเทศไทยจะต้องมีคุณสมบัติเป็นไปตามประกาศของกรมธุรกิจพลังงาน กระทรวงพลังงานเรื่องกำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน พ.ศ. 2550 ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลในประเทศไทย

ข้อกำหนด	อัตรา	วิธีทดสอบ
ร้อยละของเอสเทอร์, %wt	>96.5	EN 14103
ความหนาแน่นที่อุณหภูมิ 15°C, (kg /m ³)	860-900	ASTM D1298
ความหนืดที่อุณหภูมิ 40°C, cSt	3.5-5.0	ASTM D445
จุดวาบไฟ, °C	>120	ASTM D93

ข้อกำหนด	อัตรา	วิธีทดสอบ
เถ้าคาร์บอน, %wt	<0.30	ASTM D4530
จำนวนซีเทน	>51	ASTM D613
กำมะถัน, %wt	<0.0010	ASTM D2622
เถ้าซัลเฟต, %wt	<0.02	ASTM D874
น้ำ, %wt	<0.050	EN ISO 12937
สิ่งปนเปื้อนทั้งหมด, %wt	<0.0024	EN 12662
การกัดกร่อนแผ่นทองแดง	<96.5	ASTM D130
ความเสถียรต่อออกซิเดชันที่อุณหภูมิ 110°C, hours	>10	EN 14112 ASTM D664
ค่าความเป็นกรด, mg KOH/g	<0.50	ASTM D664
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
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 D4951

ที่มา: กรมธุรกิจพลังงาน (2550)

2.2.4 เทคนิคในการผลิตไบโอดีเซล

การผลิตไบโอดีเซลสามารถแบ่งออกเป็น 6 วิธี ได้แก่

1) การใช้โดยตรงและการผสม (direct use and blending)

- การใช้โดยตรง เป็นการนำน้ำมันพืช เช่น น้ำมันปาล์ม น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันมะพร้าว นำมาใช้ได้เลย โดยไม่ต้องนำไปผสมกับสารเคมีอื่นๆหรือไม่ต้องนำมาผ่านกระบวนการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของน้ำมันนั้นๆ

- ส่วนแบบผสม คือ การนำน้ำมันพืชที่ได้ไปผสมรวมกันกับน้ำมันก๊าด น้ำมันดีเซลหรือน้ำมันชนิดอื่นๆ ก่อนที่จะนำมาใช้งานจริง เพื่อให้ได้น้ำมันที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลมากที่สุด แต่ทั้งนี้การนำน้ำมันพืชมาใช้โดยตรงจะก่อให้เกิดปัญหาแก่เครื่องยนต์ เพราะน้ำมันพืชมีความหนืดสูงและมีการระเหยที่ต่ำ อีกทั้งในระหว่างการเผาไหม้จะเกิดการพอลิเมอร์ไรเซชันได้อย่างเหนียว ซึ่งจะไปเกาะติดอยู่ตามเครื่องยนต์ทำให้เครื่องยนต์เสียหายได้

2) ไมโครอิมัลชัน (microemulsion)

ไมโครอิมัลชัน เป็นการใช้ตัวทำละลายแก้ปัญหาค่าความหนืดของน้ำมันพืชให้น้ำมันพืชนั้นมีค่าความหนืดลดลง ตัวทำละลายนั้นได้แก่ เมทานอล เอทานอล และบิวทานอล โดยไมโครอิมัลชันที่เกิดจากเมทานอลกับน้ำมันพืชจะให้น้ำมันที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล แต่น้ำมันที่ผลิตโดยวิธีนี้มีข้อเสียคือ เมื่อมีการนำมาทดสอบกับเครื่องยนต์พบว่า ได้เกิดการสะสมตัวของคราบรอบหัวฉีดและวาล์วของเครื่องยนต์

3) กระบวนการแตกสลายด้วยความร้อน (pyrolysis)

เป็นกระบวนการที่ใช้ความร้อนหรือความร้อนร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยา เพื่อเปลี่ยนจากสารประกอบชนิดหนึ่งไปเป็นสารประกอบอื่นๆ แต่ว่าจะต้องมีการจำกัดปริมาณอากาศที่ใช้ในกระบวนการเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ โดยสารประกอบที่ผ่านกระบวนการไพโรไลซิสนั้นจะถูกทำให้มีขนาดโมเลกุลที่เล็กลง ซึ่งกระบวนการดังกล่าวยากแก่การควบคุมเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ตามที่ต้องการเนื่องจากความหลากหลายของปฏิกิริยา โดยวัตถุดิบที่สามารถนำมาใช้ในกระบวนการไพโรไลซิสได้แก่ น้ำมันพืช ไขมันสัตว์ กรดไขมันธรรมชาติ และเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน

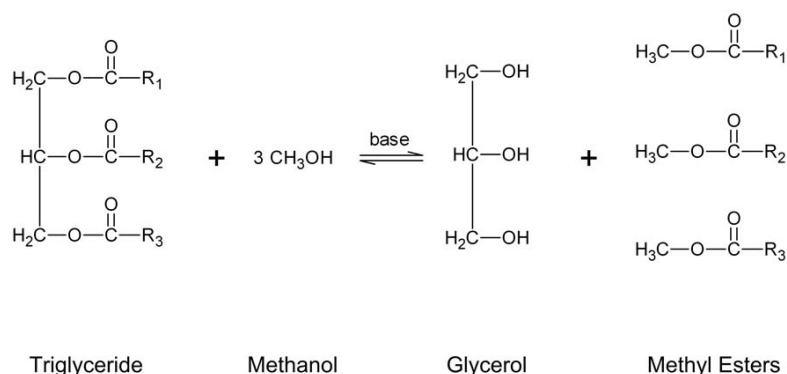
4) การทำปฏิกิริยากับเมทานอลในภาวะเหนือวิกฤต

วิธีการนี้เป็นกระบวนการผลิตไบโอดีเซลโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ทำได้โดยนำน้ำมันพืชมาทำปฏิกิริยาร่วมกับเมทานอลในสภาวะเหนือวิกฤต ซึ่งข้อดีของวิธีการนี้ คือ ไม่เกิด

ของเสียจากกระบวนการ ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาน้อยกว่าวิธีอื่น แต่จะต้องใช้อุณหภูมิและความดันค่อนข้างสูง เพื่อให้เมทานอลอยู่ในภาวะเหนือวิกฤต

5) ปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน (transesterification)

เป็นกระบวนการทำปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างไขมันหรือน้ำมันกับแอลกอฮอล์ เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์เป็นเอสเทอร์ และกลีเซอรอล ดังแสดงในภาพที่ 2.1 โดยมีตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นตัวช่วยให้ปฏิกิริยาเกิดเร็วขึ้น กระบวนการนี้เป็นวิธีที่นิยมมากที่สุด เนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลมากที่สุด ยังเกิดปัญหาต่อเครื่องยนต์น้อยที่สุด



ภาพที่ 2.1 ปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน

ที่มา: http://ww2.mackblackwell.org/web/research/ALL_RESEARCH_PROJECTS/2000s/2092/MBTC-

จากภาพที่ 2.1 ตามสมการการเกิดปฏิกิริยาการเกิดปฏิกิริยานั้นจะเกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์ต้องใช้อัตราส่วนน้ำมันต่อเมทานอลเท่ากับ 1:3 แต่เนื่องจากปฏิกิริยานี้เป็นปฏิกิริยาที่ผันกลับได้ ในทางปฏิบัติจึงต้องมีการใช้แอลกอฮอล์ปริมาณมากเกินไป เพื่อเป็นการบังคับสมดุลของปฏิกิริยาให้เลื่อนไปทางขวา ทำให้เกิดเป็นผลิตภัณฑ์มากขึ้น (Fukada และคณะ; Leung, 2001)

แอลกอฮอล์ที่นำมาใช้ในการทำปฏิกิริยา ได้แก่ เมทานอล เอทานอล โพรพานอล และ บิวทานอล โดยส่วนมากจะใช้เมทานอลในการทำปฏิกิริยา เพราะว่ามีราคาถูก เป็นโมเลกุลมีขนาดเล็ก ทำให้เมทานอลละลายในโซเดียมไฮดรอกไซด์ได้เป็นอย่างดี และเข้าทำปฏิกิริยากับไตรกลีเซอไรด์ได้อย่างรวดเร็ว (Marchetti และคณะ, 2007) และเอสเทอร์ที่ได้จะเรียกตามชนิดของแอลกอฮอล์ที่ใช้ เช่น ถ้าใช้เมทานอลก็จะได้ fatty acid methyl esters หรือ methyl esters

ชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยาสามารถแบ่งได้เป็น 4 ชนิด ได้แก่

- ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส

โซเดียมไฮดรอกไซด์หรือโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบสที่นิยมใช้กันโดยทั่วไป ซึ่งมีข้อดี คือ มีการลงทุนไม่สูง ให้ผลผลิตสูงถึงร้อยละ 98 เป็นกระบวนการที่ใช้อุณหภูมิและความดันต่ำ แต่ก็พบว่ากระบวนการนี้ไม่เหมาะกับวัตถุดิบที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระสูง

- ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรด

ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรดที่นิยมใช้กันโดยทั่วไป คือ กรดซัลฟูริก สำหรับข้อดีของกระบวนการนี้ คือ กระบวนการนี้สามารถใช้ได้กับวัตถุดิบทุกชนิด แต่ข้อเสียคือ กระบวนการนี้ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยานานและอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาสูงกว่ากระบวนการที่ใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

- เอนไซม์ไลเปส

ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดนี้นิยมใช้ในกระบวนการต่างๆ เช่น ไฮโดรไลซิสของกลีเซอรอล แอลกอฮอล์ไลซิส และแอซิโดไลซิส โดยข้อดีของกระบวนการนี้คือ ไม่มีของเสียออกจากกระบวนการ และเอนไซม์สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีก

- ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธ์

เป็นการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ไม่ละลายเป็นเนื้อเดียวกันในปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ริฟิเคชัน เช่น ซิงค์ออกไซด์ ซิงค์โคโรเนียมออกไซด์ ซีโอไลต์ เป็นต้น สำหรับการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดนี้มีข้อดีคือสามารถลดการเกิดสบู่ได้เป็นอย่างดี

6) กระบวนการ 2 ขั้นตอน

กระบวนการ 2 ขั้นตอน ในขั้นตอนแรกเป็นการใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อเปลี่ยนกรดไขมันเป็นสารเอสเทอร์ก่อนในกระบวนการเอสเทอร์ริฟิเคชัน จากนั้นในขั้นตอนที่สองเป็นการใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการทรานเอสเทอร์ริฟิเคชัน แต่ถ้าหากว่าวัตถุดิบมีค่าความเป็นกรดสูงมากๆ จะต้องใช้เวลาในขั้นตอนแรกมากขึ้น ส่งผลให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้นตามไปด้วย

2.2.5 กระบวนการผลิตไบโอดีเซล (ลลิตา อัครนโก, 2549)

ขั้นตอนที่ 1 การเตรียมวัตถุดิบ

ต้องทำการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรดและปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันพืช ก่อนที่จะมีการป้อนน้ำมันพืชเข้าสู่ระบบ เพื่อให้ทราบถึงปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่ต้องใช้ใน กระบวนการผลิต เพราะว่าทั้งน้ำมันพืชใหม่และน้ำมันที่ใช้แล้วนั้นจะมีสมบัติที่แตกต่างกัน เพราะฉะนั้นก่อนที่จะนำน้ำมันพืชไปใช้งานจะต้องทราบค่าความเป็นกรดของน้ำมันพืช เพื่อเป็น การลดการสูญเสียน้ำมันและป้องกันการเกิดปฏิกิริยาที่ไม่สมบูรณ์

ขั้นตอนที่ 2 การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา

ทำการคำนวณปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้คือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ เมื่อทราบ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่ต้องใช้แล้วจึงทำการผสมโซเดียมไฮดรอกไซด์กับเมทานอลให้เข้ากัน โดย เรียกสารผสมที่ได้ว่าโซเดียมเมทอกไซด์ ในการผสมต้องระวังไม่ให้มีน้ำปะปนลงไป หลังจากนั้นจึง ทำการป้อนสารที่ได้เข้าถังพัก เพื่อเตรียมพร้อมในการป้อนเข้าทำปฏิกิริยาต่อไป

ขั้นตอนที่ 3 การทำปฏิกิริยา

เพื่อให้ได้ไบโอดีเซลที่มีคุณภาพจะต้องให้สารตั้งต้นทั้งหมดมีเวลามากพอที่จะทำ ปฏิกิริยาและเกิดปฏิกิริยาอย่างสมบูรณ์

ขั้นตอนที่ 4 การนำเมทานอลกลับคืน

ในการผลิตไบโอดีเซลโดยทั่วไปมักจะมีการใช้เมทานอลในปริมาณที่มากเกินไป เพื่อ ให้ปฏิกิริยาเกิดได้อย่างสมบูรณ์และรวดเร็ว ซึ่งหลังจากการเกิดปฏิกิริยาแล้วนั้น จะมีปริมาณ เมทานอลเหลืออยู่ จึงควรที่จะนำเมทานอลที่เหลือกลับมาใช้งานใหม่ โดยการนำเมทานอลกลับมา ใช้ใหม่อาจจะนำกลับคืนจากส่วนก่อนหรือหลังจากการแยกไบโอดีเซลและกลีเซอรอลแล้วก็ได้

ขั้นตอนที่ 5 การแยกไบโอดีเซล

ภายหลังจากปฏิกิริยาเกิดสมบูรณ์แล้วจะได้ผลิตภัณฑ์ 2 ชนิด คือ ไบโอดีเซลและกลีเซอรอล โดยที่ผลิตภัณฑ์ทั้ง 2 ชนิด มีความหนาแน่นที่แตกต่างกัน จึงมีผลทำให้ผลิตภัณฑ์ทั้ง 2 ชนิดแยกออกจากกันได้เป็นอย่างดี โดยไบโอดีเซลมีความหนาแน่นน้อยกว่ากลีเซอรอล ทำให้ไบโอดีเซลจะอยู่ในชั้นบนและกลีเซอรอลอยู่ในชั้นล่าง ในการผลิตไบโอดีเซลจะทำการแยกกลีเซอรอลที่ได้ ออกทางส่วนล่างของถังไปยังถังเก็บกลีเซอรอล ส่วนไบโอดีเซลที่ได้จะถูกส่งผ่านต่อไปยังถังล้างไบโอดีเซลด้วยน้ำ

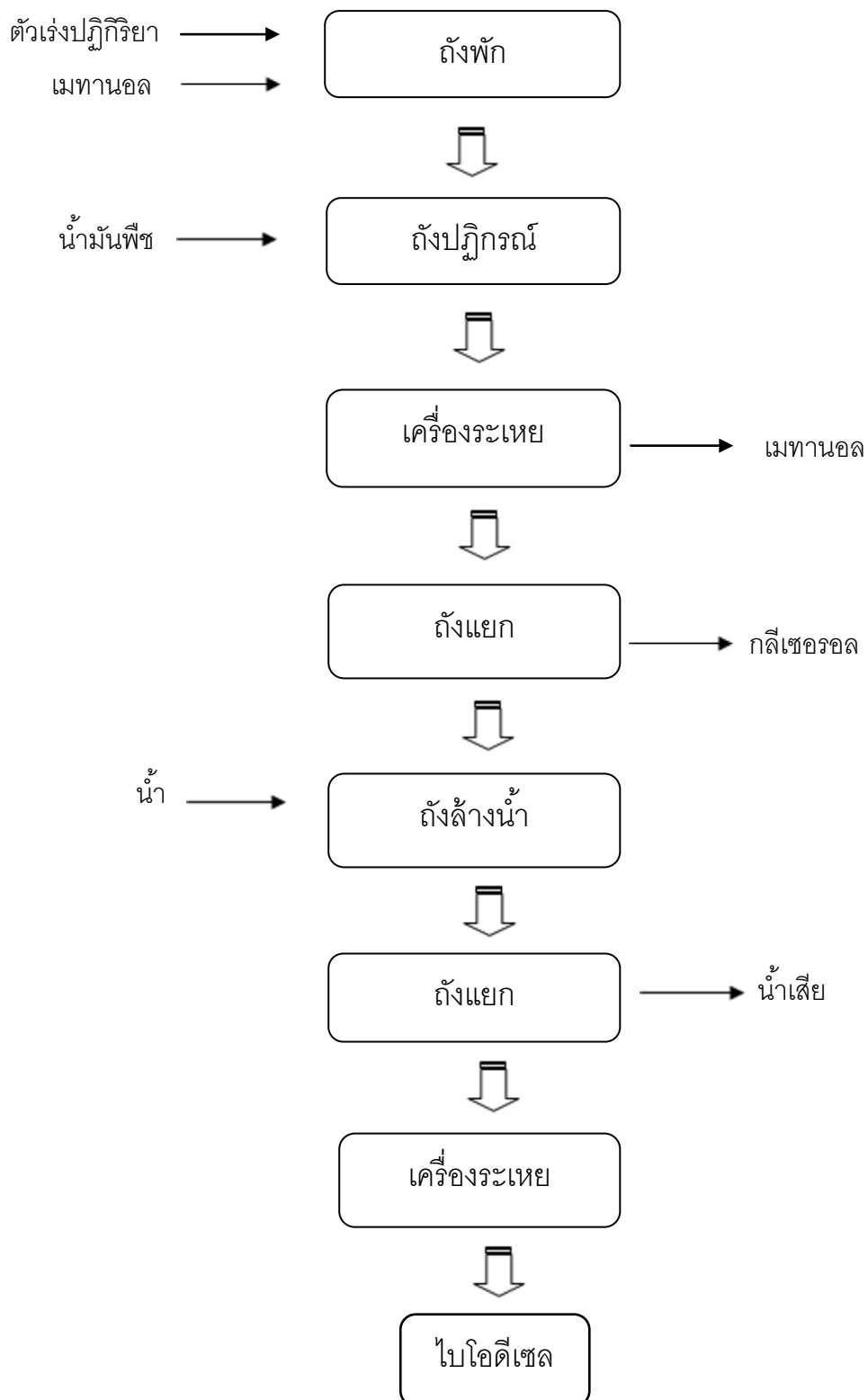
ขั้นตอนที่ 6 การล้างไบโอดีเซลด้วยน้ำ

ไบโอดีเซลที่ได้จากกระบวนการผลิตจะพบว่ามีสารเจือปนอยู่มาก เช่น กลีเซอรอลอิสระ สบู่ กรดไขมันอิสระ โลหะ แอลกอฮอล์ และน้ำ เป็นต้น เพราะฉะนั้นต้องนำไบโอดีเซลที่ได้มาผ่านกระบวนการล้างด้วยน้ำก่อนเพื่อให้ไบโอดีเซลบริสุทธิ์ โดยมักจะใช้น้ำอุ่นในการล้าง ในการล้างตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหลือ และล้างสบู่ที่เกิดขึ้น หลังจากผ่านกระบวนการล้างน้ำแล้วนั้น ไบโอดีเซลที่ได้ยังคงมีน้ำเจือปนอยู่เล็กน้อยซึ่งสามารถกำจัดน้ำออกได้โดยผ่านเครื่องระเหยน้ำ และผ่านการกรองอีกครั้ง แล้วจึงส่งไบโอดีเซลที่ได้เข้าถังเก็บไบโอดีเซลต่อไป

ขั้นตอนที่ 7 การนำกลีเซอรอลกลับ

กลีเซอรอลนั้นเป็นผลพลอยได้ที่ได้จากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล แต่กลีเซอรอลที่ได้ไม่มีความบริสุทธิ์เพียงพอที่จะใช้งาน จึงต้องมีการนำกลีเซอรอลไปผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ก่อน เช่น การทำปฏิกิริยากับกรดเกลือ หรือกรดฟอสฟอริก ซึ่งในปฏิกิริยานี้ สบู่จะถูกเปลี่ยนเป็นกรดไขมันกับเกลือ เมื่อตั้งทิ้งไว้กรดไขมันจะแยกออกจากกลีเซอรอล ทำให้ได้กลีเซอรอลที่มีความบริสุทธิ์เพิ่มขึ้น ซึ่งกลีเซอรอลที่ได้จะต้องมีความบริสุทธิ์มากกว่าร้อยละ 85 ก่อนจะส่งต่อไปยังถังเก็บกลีเซอรอลต่อไป

โดยกระบวนการผลิตไบโอดีเซลอย่างง่าย แสดงดังภาพ 2.2



ภาพที่ 2.2 กระบวนการผลิตไบโอดีเซลอย่างง่าย

2.2.6 การทำไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์

น้ำมันไบโอดีเซลที่ได้จากกระบวนการผลิตนี้จะมีการปนเปื้อนของสารต่างๆ ออกมากับไบโอดีเซล ไม่ว่าจะเป็น กลีเซอรอล สบู่ ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ตกค้าง หรือการมีแอลกอฮอล์ ที่เป็นส่วนเกินจากการทำปฏิกิริยาในน้ำมัน ซึ่งสิ่งเหล่านี้จะส่งผลกระทบต่อสมบัติของไบโอดีเซลและ ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ (แสดงดังตาราง 2.3) ดังนั้นไบโอดีเซลที่จะนำมาใช้ได้ควรผ่าน กระบวนการที่ทำให้บริสุทธิ์ก่อน โดยการทำให้ไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์สามารถทำได้หลายวิธีดังนี้

2.2.6.1 การล้างด้วยน้ำ (Water Washing)

การล้างด้วยน้ำนั้นมีประสิทธิภาพสูงในการกำจัดกลีเซอรอลและ แอลกอฮอล์เนื่องจากกลีเซอรอลและแอลกอฮอล์สามารถละลายในน้ำได้ อีกทั้งการล้างด้วยน้ำยังสามารถกำจัดพวกเกลือโซเดียมและสบู่ที่เหลืออยู่ สำหรับน้ำที่ใช้ในการล้างไบโอดีเซลนั้นเป็น น้ำกลั่นอุ่นหรือเป็นน้ำที่มีความเป็นกรดเล็กน้อย การที่เป็นน้ำอุ่นเพราะน้ำอุ่นจะป้องกันการ ตกตะกอนของเอสเทอร์ที่อิ่มตัวและป้องกันการเกิดอิมัลชัน และน้ำที่มีความเป็นกรดอ่อนๆ จะสามารถกำจัดพวกแคลเซียมและแมกนีเซียมที่ปนอยู่ ช่วยป้องกันการเกิดสบู่ในขั้นตอนการล้าง ทำให้ปริมาณสบู่ลดลงได้ และทำให้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบแอลคาไลน์เป็นกลาง การล้างด้วยน้ำเป็น กระบวนการที่นิยมใช้ในปัจจุบัน เนื่องจากวิธีการนี้เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพค่อนข้างสูง สามารถ กำจัดสิ่งเจือปนในไบโอดีเซลได้มาก แต่กระบวนการดังกล่าวมีข้อเสีย คือ เป็นการเพิ่มต้นทุนและ ระยะเวลาในการผลิต อีกทั้งไบโอดีเซลที่ได้อาจสูญเสียไปกับกระบวนการล้าง ที่สำคัญคือ จะเกิด น้ำเสียปริมาณมาก ซึ่งถ้าหากมีการปล่อยน้ำเสียโดยไม่ผ่านการบำบัดก่อนปล่อยลงสู่สิ่งแวดล้อม อาจกระทบต่อระบบนิเวศได้ เพราะน้ำจากการล้างไบโอดีเซลจะอยู่ในรูปของเกลือของกรดไขมัน มีองค์ประกอบหลักเป็นไขมัน คาร์บอนในปริมาณสูง ทำให้น้ำเสียดังกล่าวย่อยสลายในธรรมชาติ ได้ยาก

2.2.6.2 การล้างแห้ง (Dry Washing)

การล้างแบบแห้งเป็นกระบวนการหนึ่งที่กำลังได้รับความนิยม เพราะมี ข้อดีคือไม่ก่อให้เกิดปัญหาในเรื่องน้ำเสีย ไม่ทิ้งสารตกค้างในไบโอดีเซลที่ผ่านการล้าง โดยการล้าง แบบแห้งแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

1) การแลกเปลี่ยนไอออน (Ion exchange)

เป็นการแลกเปลี่ยนไอออนระหว่างอะตอมของไฮโดรเจนในเรซินกับสารเจือปนที่อยู่ในไบโอดีเซล สำหรับในการใช้งานอาจมีการเพิ่มรพูนหรือเพิ่มพื้นที่ผิวของตัวดูดซับ เพื่อให้ตัวดูดซับนั้นสามารถดูดซับสารเจือปนได้มากขึ้น

2) การดูดซับด้วยตัวดูดซับ

ตัวดูดซับที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรม คือ แมกนีเซียมซิลิเกต หรือ แมกนีซอล โดยแมกนีเซียมซิลิเกตเป็นสารผสมที่มีขั้ว จะสามารถดูดซับสารปนเปื้อนในไบโอดีเซลเป็นอย่างดี เช่น เมทานอล กลีเซอรอลอิสระ โมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ กรดไขมันอิสระ และสบู่

ตารางที่ 2.3 ผลกระทบของสารปนเปื้อนในไบโอดีเซลที่มีต่อเครื่องยนต์

สารปนเปื้อน	ผลกระทบต่อเครื่องยนต์
1. ปริมาณเมทิลแอลกอฮอล์	ปริมาณเมทิลแอลกอฮอล์ แสดงถึงความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซล และการเกิดปฏิกิริยาการผลิตไบโอดีเซลที่สมบูรณ์ โดยมาตรฐานกำหนดให้มีปริมาณเมทิลเอสเทอร์มากกว่าร้อยละ 96.5 โดยน้ำหนัก เมื่อปริมาณเอสเทอร์น้อยกว่าที่กำหนด จะบ่งบอกได้ว่ายังมีปริมาณโมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ หรือไตรกลีเซอไรด์อยู่ในไบโอดีเซลในปริมาณสูงกว่าที่กำหนด ส่งผลให้ความหนืดของไบโอดีเซลมีค่าสูง และยังส่งผลให้เกิดการอุดตันในหัวฉีด และกระบอกสูบ
2. ความหนาแน่น (ณ อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส)	ความหนาแน่นของไบโอดีเซลที่ผ่านข้อกำหนดจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0.86-0.90 กรัมต่อมิลลิเมตร โดยความหนาแน่นเป็นตัวแปรที่สำคัญในการออกแบบระบบหัวฉีดจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล นอกจากนี้ค่าความหนาแน่นยังเป็นตัวบ่งบอกถึงปริมาณของพลังงานเชื้อเพลิง เมื่อค่าความหนาแน่นมีค่ามากก็จะให้พลังงานความร้อนมากขึ้นตามไปด้วยเมื่อเทียบกับปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงในปริมาณเดียวกัน โดยไบโอดีเซลมีความหนาแน่นมากกว่าน้ำมันดีเซล แต่ค่าปริมาณพลังงานโดยรวมของน้ำมันไบโอดีเซลมีค่าต่ำกว่า

สารปนเปื้อน	ผลกระทบต่อเครื่องยนต์
	ที่นำมาผลิตไบโอดีเซล นอกจากนี้ปริมาณเมทานอลที่ตกค้างในไบโอดีเซลยังเป็นสาเหตุให้ความหนาแน่นมีค่าต่ำอีกด้วย
3. จุดวาบไฟ	จุดวาบไฟเป็นค่าอุณหภูมิต่ำสุดเมื่อเปลวไฟผ่านเหนือไอน้ำมันแล้วทำให้น้ำมันติดไฟ มาตรฐานกำหนดให้มีค่าจุดวาบไฟมากกว่า 120 องศาเซลเซียส โดยจุดวาบไฟแสดงถึงปริมาณแอลกอฮอล์ที่ไม่เกิดปฏิกิริยาและตกค้างอยู่ในไบโอดีเซล โดยจะส่งผลกระทบต่อการใช้งาน เคลื่อนย้าย และการจัดเก็บ
4. ความหนืด (ณ อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส)	ค่าความหนืดเกี่ยวข้องกับกาไหล การฉีดเป็นฝอยของหัวฉีดในห้องเผาไหม้ โดยการฉีดเป็นฝอยขนาดเล็กจะทำให้การเผาไหม้สมบูรณ์ ความหนืดของไบโอดีเซลที่ผลิตได้ขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำมันพืชที่เป็นวัตถุดิบ เกณฑ์มาตรฐานไบโอดีเซลกำหนดให้ความหนืด ณ อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส มีค่าในช่วง 3.5-5 เซนติสโตกส์ นอกจากนี้ค่าความหนืดยังเป็นดัชนีแสดงการเสื่อมสภาพของไบโอดีเซลเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันอีกทางหนึ่ง
5. กำมะถัน	ไบโอดีเซล เป็นเชื้อเพลิงที่มีปริมาณกำมะถันต่ำ เนื่องจากน้ำมันพืชดิบที่ใช้ในการผลิตมักมีองค์ประกอบของกำมะถันต่ำกว่า 15 ส่วนในล้านส่วน องค์ประกอบกำมะถันในน้ำมันเมื่อถูกเผาไหม้จะเปลี่ยนเป็นแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของระบบควบคุมไอเสีย และคุณภาพของสิ่งแวดล้อม
6. กากถ่าน (ร้อยละ 10 ของกากที่เหลือจากการกลั่น)	ปริมาณกากถ่านมีความสัมพันธ์กับปริมาณกลีเซอไรด์กรดไขมันอิสระ สบู่ ตัวเร่งปฏิกิริยา ที่ยังหลงเหลืออยู่ในไบโอดีเซล หากมีปริมาณกากถ่านสูงกว่าข้อกำหนดแสดงแนวโน้มของปริมาณกากถ่านที่เหลืออยู่หลังจากการเผาไหม้ในห้องเผาไหม้ กากถ่านมีผลต่อการอุดตันใน

สารปนเปื้อน	ผลกระทบต่อเครื่องยนต์
	หัวฉีดหรือที่ลูกสูบ ทำให้กำลังของเครื่องยนต์ลดลง เครื่องยนต์สกปรกและต้องเปลี่ยนถ่ายน้ำมันเครื่องบ่อยครั้ง
7. เถ้าซัลเฟต	เถ้าซัลเฟตในไบโอดีเซลเกิดจากของแข็ง โลหะที่ละลายในรูปสบู่ และตัวเร่งปฏิกิริยาที่หลงเหลือ โดยเถ้าซัลเฟตเกิดจากการเผาไหม้ของสารปนเปื้อนในไบโอดีเซล จะส่งผลกระทบต่อการอุดตันของเครื่องยนต์
8. น้ำ	ปริมาณน้ำในน้ำมันทำให้การเผาไหม้ไม่ดี นอกจากนั้นน้ำในไบโอดีเซลยังเป็นสาเหตุให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลติกระหว่างน้ำกับเอสเทอร์ เกิดเป็นกรดไขมันอิสระ ซึ่งส่งผลกระทบต่อการกัดกร่อนในเครื่องยนต์ และเป็นตัวเร่งให้เกิดการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในถังเก็บน้ำมัน ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้หัวฉีดอุดตัน
9. สิ่งปนเปื้อนทั้งหมด	สารปนเปื้อนในน้ำมันไบโอดีเซลส่วนใหญ่เป็นผลมาจากกระบวนการทรานเอสเทอริฟิเคชัน และปฏิกิริยาข้างเคียง สารปนเปื้อนที่มักพบในไบโอดีเซล ได้แก่ ไขมันที่ไม่อยู่ในรูปของกลีเซอไรด์ กรดไขมันอิสระ สารประกอบไฮโดรคาร์บอน แอลกอฮอล์อย่างแข็ง สารประกอบแคโรทีน วิตามิน และอื่นๆ ซึ่งขึ้นอยู่กับสมบัติของวัตถุดิบ น้ำมันพืชเริ่มต้น สิ่งปนเปื้อนในไบโอดีเซลส่งผลเสียต่อเครื่องยนต์หลายด้าน เช่น สมบัติด้านเสถียรภาพของไบโอดีเซลระหว่างการเก็บรักษา โดยทั่วไปสิ่งปนเปื้อนทั้งหมดจะถูกกำจัดออกจากไบโอดีเซลในขั้นตอนการล้างน้ำ
10. การกัดกร่อนแผ่นทองแดง	การกัดกร่อนแผ่นทองแดง แสดงถึงผลกระทบต่อชิ้นส่วนที่เป็นทองแดงหรือทองเหลืองในระบบเชื้อเพลิง เนื่องจากปริมาณกรด เช่น กรดไขมันอิสระ และสารประกอบซัลเฟอร์ในน้ำมัน ซึ่งการกัดกร่อนนี้มีผลต่อเครื่องยนต์

สารปนเปื้อน	ผลกระทบต่อเครื่องยนต์
11. ค่าความเป็นกรด	ค่าความเป็นกรด แสดงปริมาณกรดไขมันอิสระหรือกรดที่เหลือจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล ซึ่งมีผลต่อการกัดกร่อนในเครื่องยนต์ ทำให้อายุการใช้งานของปั๊มและไส้กรองน้ำมันลดลง นอกจากนี้ยังแสดงถึงการเสื่อมสภาพของน้ำมัน
12. เสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (ณ อุณหภูมิ 110 °C)	การเปลี่ยนแปลงสมบัติจากปฏิกิริยาออกซิเดชันเนื่องจากการเกิดสารประเภทเปอร์ออกไซด์ ขึ้นระหว่างพันธะคู่ของกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่อยู่ในโครงสร้างไบโอดีเซล ปฏิกิริยาดังกล่าวเกิดเมื่อน้ำมันสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศ โดยที่ความร้อนและแสงแดดมีผลช่วยเร่งปฏิกิริยา ในขณะที่โลหะ เช่น ทองแดงและตะกั่ว ก็เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเกิดเร็วขึ้น ผลของปฏิกิริยาทำให้เกิดสารพอลิเมอร์ และเกิดของแข็งที่ไม่ละลายในไบโอดีเซล นอกจากนี้จะขึ้นกับประเภทและคุณสมบัติของน้ำมันพืชที่ใช้เป็นวัตถุดิบแล้วยังขึ้นกับกระบวนการผลิตไบโอดีเซลอีกด้วย โดยกระบวนการผลิตที่มีการให้ความร้อนสูงแก่ไบโอดีเซลเป็นระยะเวลาาน อาจส่งผลให้เสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน
13. ค่าไอโอดีน	ค่าไอโอดีน แสดงพันธะคู่ในน้ำมัน ซึ่งเป็นสมบัติเฉพาะของน้ำมันพืชที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซล ค่าไอโอดีนต่ำแสดงถึงการมีสัดส่วนกรดไขมันอิ่มตัวในโครงสร้างไบโอดีเซลสูง ทำให้ไม่มีแนวโน้มในการเกิดออกซิเดชัน นอกจากนี้ค่าไอโอดีนยังมีความสัมพันธ์กับจุดขุ่น ซึ่งแสดงถึงอุณหภูมิน้ำมันที่เริ่มเกิดไข หรือจับตัวเป็นก้อนแข็ง ไบโอดีเซลที่มีค่าไอโอดีนต่ำจะมีจุดขุ่นสูง
14. กรดลิโนเลนิกเมทิลเอสเทอร์	แสดงถึงพันธะคู่หรือความไม่อิ่มตัวของไบโอดีเซล ซึ่งมีแนวโน้มทำให้เกิดพอลิเมอร์ในเครื่องยนต์ ทำให้เกิดการอุดตันและการเสื่อมสภาพของน้ำมันเครื่อง ปริมาณกรด

สารปนเปื้อน	ผลกระทบต่อเครื่องยนต์
	ลิโนเลนิกเมทิลเอสเทอร์ ขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำมันพืชที่เลือกมาใช้เป็นวัตถุดิบ
15. โมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ และไตรกลีเซอไรด์	ปริมาณโมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ และไตรกลีเซอไรด์ แสดงถึงความสมบูรณ์ของปฏิกิริยาในการผลิตไบโอดีเซล ปริมาณโมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ และไตรกลีเซอไรด์ ที่เหลือจากการเกิดปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันที่ไม่สมบูรณ์ ส่งผลให้เกิดการอุดตันบริเวณหัวฉีด กระบอกสูบ และวาล์วภายในเครื่องยนต์
16. ฟอสฟอรัส	ฟอสฟอรัสเป็นสารที่ปนเปื้อนอยู่ในวัตถุดิบน้ำมันพืชตั้งแต่เริ่มต้น หากไม่ทำการกำจัดออกจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล จะทำให้ ไบโอดีเซลที่ผลิตได้มีฟอสฟอรัสปะปนอยู่ด้วย ซึ่งจะทำความเสียหายให้กับอุปกรณ์คะตะไลติกส์ คอนเวอเตอร์ ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมการแพร่มลพิษ
17. เมทานอล	เมทานอลเป็นสารตั้งต้นที่เหลือจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล ซึ่งจำเป็นต้องกำจัดออกให้หมดก่อนนำไปโอดีเซลออกจำหน่าย จึงต้องมีปริมาณต่ำในผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซล โดยถ้ายังมีเมทานอลปะปนอยู่ในไบโอดีเซล จะทำให้ไบโอดีเซลมีจุดวาบไฟต่ำลง ซึ่งมีผลต่อความปลอดภัยในการเก็บรักษาการขนส่งและการนำมาใช้ในเครื่องยนต์ นอกจากนี้ถ้ามีปริมาณเมทานอลเข้มข้นมากกว่าร้อยละ 5 จะมีผลกระทบต่อค่าซีเทนและความหล่อลื่นของน้ำมัน
18. กลีเซอรินอิสระ	ปริมาณกลีเซอรินที่ยังหลงเหลืออยู่ในไบโอดีเซล เนื่องมาจากการแยกกลีเซอรินไม่สมบูรณ์ ทำให้มีปัญหาการแยกชั้นของกลีเซอรินในการจัดเก็บไบโอดีเซลรวมถึงการสะสมที่บริเวณด้านล่างของถังน้ำมัน และยังส่งผลต่อการอุดตันของหัวฉีดและระบบลำเลียงน้ำมัน
19. กลีเซอรินทั้งหมด	กลีเซอรินทั้งหมด คือ ปริมาณของกลีเซอรินอิสระ และ

สารปนเปื้อน	ผลกระทบต่อเครื่องยนต์
	ปริมาณกลีเซอรินในโมเลกุลโมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ และไตรกลีเซอไรด์ที่เจือปนในองค์ประกอบไบโอดีเซล ซึ่งเป็นผลจากการเกิดปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันไม่สมบูรณ์ มีผลก่อให้เกิดการอุดตันที่บริเวณหัวฉีดและไส้กรอง
20. โลหะกลุ่ม 1 (โซเดียมและโพแทสเซียม) โลหะกลุ่ม 2 (แคลเซียมและแมกนีเซียม)	เป็นการวัดปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาเบส สบู่ และโลหะหนักจากน้ำที่ใช้ในขั้นตอนการล้างไบโอดีเซลที่หลงเหลือในผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซล แคลเซียมยังมีคุณสมบัติเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่สำคัญกระบวนการพอลิเมอไรด์ของเอสเทอร์อีกด้วย

ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2550

2.3 การดูดซับ

กระบวนการดูดซับ (Adsorption Process) เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นระหว่างเฟส 2 เฟส เกี่ยวข้องกับความเข้มข้นของสารที่พื้นผิวหรือระหว่างผิวหน้า ซึ่งกระบวนการดูดซับนี้เกิดขึ้นที่บริเวณผิวสัมผัสระหว่าง 2 สภาวะ เช่น ของเหลวกับของเหลว ก๊าซกับของแข็ง ก๊าซกับของเหลว หรือของเหลวกับของแข็ง โดยโมเลกุลที่ถูกดูดซับเรียกว่าสารถูกดูดซับ (adsorbate) และสารที่ทำหน้าที่ดูดซับเรียกว่า สารดูดซับ (adsorbent)

2.3.1 ประเภทของการดูดซับ

หลักสำคัญในการบอกชนิดของการดูดซับจะต้องพิจารณาจากแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลที่ถูกดูดซับกับผิวของสารดูดซับ ถ้าแรงที่ยึดเหนี่ยวกันนั้นเป็นแรงแวนเดอร์วาลส์ (Van der Waals Forces) จะเป็นการดูดซับทางกายภาพ (physical adsorption) ถ้าการดูดซับมีแรงยึดเหนี่ยวที่ทำให้เกิดพันธะเคมีระหว่างโมเลกุลที่ถูกดูดซับกับผิวสารดูดซับ จะเรียกว่า การดูดซับทางเคมี (chemical adsorption)

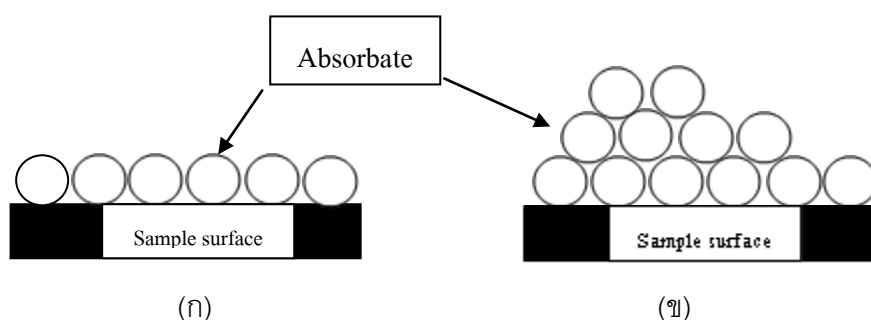
การดูดซับได้แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

2.3.1.1 การดูดซับทางกายภาพ

การดูดซับนี้จะเกิดจากแรงแวนเดอร์วาลส์ (Van der Waals) ซึ่งเป็นแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลอย่างอ่อน สารที่ถูกดูดซับนั้นสามารถเกาะอยู่บนรอบๆผิวของตัวดูดซับได้หลายชั้น (multilayer) คือในแต่ละชั้นของโมเลกุลสารดูดซับจะดูดซับติดกับชั้นโมเลกุลของสารถูกดูดซับในชั้นก่อนหน้า โดยที่จำนวนชั้นจะเป็นสัดส่วนกับความเข้มข้นของสารถูกดูดซับ และเพิ่มมากขึ้นตามความเข้มข้นของตัวถูกละลายในสารละลาย สามารถเกิดการผันกลับของกระบวนการได้ง่าย ซึ่งการที่สามารถเกิดการผันกลับของกระบวนการได้ง่ายนี้เป็นข้อดีคือทำให้สามารถฟื้นฟูสภาพของตัวดูดซับได้ง่าย ดังภาพที่ 2.3

2.3.1.2 การดูดซับทางเคมี

การดูดซับประเภทนี้จะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของตัวถูกดูดซับเดิม จะมีการทำลายแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอมหรือกลุ่มอะตอมเดิมแล้วมีการจัดเรียงอะตอมเป็นสารประกอบใหม่ขึ้น มีพันธะเคมีเข้ามาเกี่ยวข้องซึ่งเป็นพันธะที่แข็งแรง การกำจัดตัวถูกดูดซับออกจากผิวดูดซับทำได้ยาก กล่าวคือจะไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาผันกลับได้ (irreversible) การดูดซับจะเป็นการดูดซับแบบชั้นเดียว (monolayer) ดังภาพที่ 2.3 ข้อแตกต่างระหว่างการดูดซับทางกายภาพและการดูดซับทางเคมีแสดงดังตารางที่ 2.4



ภาพที่ 2.3 แสดงการดูดซับแบบชั้นเดียวและการดูดซับแบบหลายชั้น
 (ก) การดูดซับแบบชั้นเดียว (monolayer adsorption)
 (ข) การดูดซับแบบหลายชั้น (multilayer adsorption)

ตารางที่ 2.4 ข้อแตกต่างระหว่างการดูดซับทางกายภาพและการดูดซับทางเคมี

ตัวแปร	การดูดซับทางกายภาพ	การดูดซับทางเคมี
1. ค่าความร้อนของการดูดซับ	น้อยกว่า 20 กิโลจูลต่อโมล	50-400 กิโลจูลต่อโมล
2. อุณหภูมิที่เกิดการดูดซับ	ต่ำ	สูง
3. แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุล	แรงแวนเดอร์วาลส์	พันธะเคมี
4. การผันกลับของปฏิกิริยา	ผันกลับได้	ส่วนใหญ่ไม่ผันกลับ
5. การดูดซับบนแก๊ส-ของแข็ง	เกิดได้เกือบทุกชนิด	เกิดเฉพาะบางระบบ
6. พลังงานก่อกัมมันต์ในกระบวนการเกิด	ไม่เกี่ยวข้อง	เกี่ยวข้อง
7. รูปแบบชั้นของการดูดซับ	ชั้นเดียวและหลายชั้น	ชั้นเดียว

ที่มา: จิตภา และสุภานิตย์ (2552)

2.3.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ

สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ ลักษณะของตัวดูดซับ และตัวถูกดูดซับ

2.3.2.1 ลักษณะของตัวดูดซับ

1) พื้นที่ผิวและโครงสร้างของรูพรุน

พื้นที่ผิวเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อความสามารถของโมเลกุลที่เป็นตัวดูดซับในการดูดซับ กล่าวคือ เมื่อพื้นที่ผิวของโมเลกุลที่เป็นตัวดูดซับมากขึ้นความสามารถในการดูดซับจะเพิ่มขึ้น แต่พื้นที่ผิวโมเลกุลที่เป็นตัวดูดซับแค่เพียงอย่างเดียวไม่เพียงพอที่จะอธิบายความสามารถในการดูดซับได้ดี โครงสร้างของรูพรุนก็มีผลต่อความสามารถในการดูดซับด้วยเช่นกัน

2) ขนาดของตัวดูดซับ

อัตราการดูดซับเป็นสัดส่วนผกผันกับขนาดตัวดูดซับ ถ้าขนาดของ

ตัวดูดซับมีขนาดเล็กจะทำให้มีความสามารถในการดูดซับที่เร็วกว่าตัวดูดซับที่มีขนาดใหญ่ นอกจากนี้ขนาดโมเลกุลของสารถูกดูดซับก็มีผลเช่นกัน คือ ถ้าขนาดโมเลกุลของสารถูกดูดซับไม่สามารถเข้าไปในรูพรุนของโมเลกุลตัวดูดซับได้ จะทำให้ความสามารถในการดูดซับลดลงด้วย

3) เคมีที่ผิวหน้า

หมู่ฟังก์ชันเฉพาะบนผิวของตัวดูดซับ มีผลต่อกระบวนการดูดซับ เช่น ถ้าโมเลกุลตัวดูดซับเป็นพวกออกไซด์และมีหมู่ฟังก์ชันที่เป็นกรด ความสามารถในการดูดซับจะลดลง แต่ถ้าหากมีหมู่ฟังก์ชันเป็นหมู่คาร์บอนิล ความสามารถในการดูดซับจะเพิ่มขึ้น

2.3.2.2 ลักษณะของตัวถูกดูดซับ

1) ความสามารถในการละลายของตัวถูกดูดซับ

ความสามารถในการละลายน้ำของตัวถูกดูดซับเป็นปัจจัยสำคัญในการดูดซับ การดูดซับจะเพิ่มขึ้นเมื่อความสามารถในการละลายน้ำของสารถูกดูดซับในตัวทำละลายลดลง เนื่องจากในการดูดซับสารถูกดูดซับจะต้องถูกแยกออกจากตัวทำละลายซึ่งในที่นี้คือ น้ำ โดยสารถูกดูดซับที่ละลายน้ำได้ดีหรือแตกตัวเป็นไอออนได้ดีจะมีแรงยึดเหนี่ยวกับน้ำสูงจึงเป็นการยากในการดูดซับ ดังนั้น สารที่ไม่ละลายน้ำ หรือละลายได้น้อยจะสามารถดูดซับได้ดี นอกจากความสามารถในการละลายแล้ว ขนาดโมเลกุลของสารถูกดูดซับยังมีความสัมพันธ์กับการดูดซับ ซึ่งถ้าอัตราการเคลื่อนที่ภายในโพรงเป็นอัตราที่ควบคุมได้แล้ว ความสามารถในการดูดซับจะแปรผกผันกับขนาดโมเลกุลของตัวละลาย

2) น้ำหนักโมเลกุลและขนาดของโมเลกุล

เมื่อน้ำหนักโมเลกุลและขนาดของโมเลกุลของตัวถูกดูดซับเพิ่มขึ้น ความสามารถในการดูดซับจะเพิ่มขึ้น เช่น ตัวถูกดูดซับเป็นสารอินทรีย์ ถ้าจำนวนอะตอมคาร์บอนมากขึ้น การดูดซับจะเกิดมากขึ้น เพราะการเพิ่มน้ำหนักโมเลกุลจะทำให้ความสามารถในการละลายลดลง เช่น การดูดซับ PCP และ TCP ด้วยถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากกะลามะพร้าว พบว่า ความสามารถในการดูดซับ PCP สูงกว่า TCP เนื่องจาก PCP มีน้ำหนักโมเลกุลและขนาดของโมเลกุลสูงกว่า TCP จึงทำให้ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากกะลามะพร้าว มีความสามารถดูดซับ PCP มากกว่า TCP (Radhika และ Palanivelu, 2006)

3) ความมีขั้ว (polarity)

ความมีขั้วของตัวถูกดูดซับ นอกจากลักษณะของตัวถูกดูดซับแล้วยังขึ้นอยู่กับตัวทำละลายและตัวดูดซับด้วย โดยเมื่อความมีขั้วเพิ่มขึ้น ความสามารถในการดูดซับจะลดลง เพราะความมีขั้วที่สูงขึ้นทำให้ความสามารถในการละลายมากขึ้น

4) ผลของ $[H^+]$ หรือ pH

ถ้า $[H^+]$ ลดลง อัตราการดูดซับจะมากและเร็ว เพราะเมื่อ $[H^+]$ เพิ่มขึ้นทำให้สามารถเกาะติดผิวคาร์บอนได้ดี จะทำให้คาร์บอนมีสภาพเป็นกลางเสมอ เนื่องจากคาร์บอนที่ไม่มีขั้ว ค่อนข้างจะมีประจุเล็กน้อย จึงทำให้สารที่ไม่มีขั้ว (non polarity) ในน้ำเกาะติดผิวคาร์บอนได้ดี ซึ่ง pH มีผลต่อความสามารถดูดซับ

5) ผลของอุณหภูมิ

Weber (1972) กล่าวว่า การดูดติดผิวโดยทั่วไปเป็นกระบวนการคายความร้อน (Exothermic) ดังนั้น ความสามารถในการดูดติดผิวจะเพิ่มขึ้นเมื่อลดอุณหภูมิ แต่อัตราเร็วในการดูดติดผิวจะลดลง ในทางตรงข้ามเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นความสามารถในการดูดติดผิวจะลดลง แต่อัตราเร็วในการดูดติดผิวจะสูงขึ้น นอกจากนี้ อุณหภูมิยังมีผลต่อความสามารถในการดูดติดผิว โดยจะเปลี่ยนความสามารถในการละลาย เช่น เมื่อเพิ่มอุณหภูมิซึ่งโดยปกติจะทำให้ความสามารถในการละลายสูงขึ้น มีผลทำให้ความสามารถในการดูดติดผิวลดลง

6) ความปั่นป่วน

อัตราเร็วในการดูดซับขึ้นอยู่กับชั้น film diffusion และ pore diffusion ซึ่งแล้วแต่ความปั่นป่วนของระบบ ถ้าน้ำมีความปั่นป่วนต่ำ ชั้นฟิล์มที่ล้อมรอบสารดูดซับมีความหนามาก ซึ่งเป็นอุปสรรคต่อการเคลื่อนที่ของตัวถูกดูดซับเข้าไปหาตัวดูดซับ ทำให้ชั้น film diffusion เป็นตัวกำหนดอัตราเร็วการดูดซับ ในทางตรงกันข้าม ถ้าน้ำมีความปั่นป่วนสูง ทำให้ชั้น pore diffusion บางลง เป็นปัจจัยกำหนดอัตราเร็วการดูดซับ ทำให้อัตราการดูดซับเร็วขึ้น (สันทัด ศิริอนันต์ไพบูลย์, 2549)

2.3.3 การวิเคราะห์สมบัติตัวดูดซับ

2.3.3.1 การวิเคราะห์โดยอาศัยหลักการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์

การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-ray Diffraction, XRD) เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อรังสีเอ็กซ์ตกกระทบผิวหน้าของผลึก (Crystal) โดยทำมุม θ กับผิวหน้าผลึก โดยที่รังสีเอ็กซ์บางส่วนจะเกิดการกระเจิงด้วยชั้นอะตอมที่ผิวหน้า อีกส่วนหนึ่งของรังสีเอ็กซ์จะผ่านเข้าไปที่ชั้นที่สองของอะตอม ซึ่งบางส่วนก็จะเกิดการกระเจิงและส่วนที่เหลือก็จะผ่านเข้าไปในชั้นที่สามของอะตอม รังสีเอ็กซ์ที่ผ่านเข้าไปในแต่ละชั้นของอะตอมจะเกิดการเลี้ยวเบนแบบเดียวกัน แล้วคลื่นของรังสีเกิดการเสริมสร้างหรือหักล้างกันโดยมีเงื่อนไขตามกฎของแบรกก์ (Bragg's law)

XRD นั้นเป็นการใช้ประโยชน์จากรังสีเอ็กซ์ โดยจะอาศัยความเป็นคลื่นของรังสี ซึ่ง XRD จะเกิดอันตรกิริยาที่โครงสร้างผลึกในที่นี้อาจเป็นผลึกของธาตุ (ในกรณีที่มีธาตุชนิดเดียวเป็นองค์ประกอบชนิดเดียว) หรือเป็นผลึกของสารประกอบเช่น NaCl, SiO₂ ฯลฯ ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าการวิเคราะห์โดยเทคนิค XRD จะได้ผลของการวิเคราะห์ออกมาในรูปของสารประกอบ

2.3.3.2 หลักการวิเคราะห์พื้นที่ผิวด้วยวิธีการของ BET

จากการวิเคราะห์พื้นที่ผิวด้วยเครื่อง High speed gas analyzer ค่าพื้นที่ผิวทั้งหมด (total surface area) และค่าพื้นที่ผิวจำเพาะ (specific surface area) จะถูกคำนวณให้โดยอัตโนมัติเมื่อทราบค่าน้ำหนักของตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์ซึ่งใช้หลักการวัดพื้นที่ผิวโดยวิธีที่นิยมใช้กันมากคือวิธีการของ Brunauer-Emmett-Teller (BET method) ซึ่งได้หาความสัมพันธ์ระหว่างความดันและน้ำหนักสารที่ถูกดูดซับไว้ได้ดังนี้

$$\frac{1}{W(P/P_0)-1} = \frac{1}{W_m C} + \frac{C-1}{W_m C} \left(\frac{P}{P_0} \right)$$

เมื่อ W คือ น้ำหนักของแก๊สที่ถูกดูดซับ ณ ความดันสัมพัทธ์ P/P_0
 W_m คือ น้ำหนักของแก๊สที่ถูกดูดซับจนปกคลุมพื้นผิวทั้งหมดเพียงชั้นเดียว
 C คือ ค่าคงที่ของ BET ซึ่งจะขึ้นอยู่กับพลังงานที่ใช้ในการดูดซับแบบชั้นเดียว บอกถึงแรงกระทำระหว่างตัวดูดซับ และตัวถูกดูดซับ

แก๊สที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์พื้นที่ผิวคือแก๊สไนโตรเจนซึ่งจะจำกัดค่าความดันสัมพัทธ์ในช่วง 0.05-0.35 ส่วนค่าคงที่ C สำหรับไนโตรเจนจะมีค่าเท่ากับ 50-250 เมื่อทำการพล็อตกราฟระหว่าง $\frac{1}{W(P/P_0)-1}$ กับ P/P_0 ตามสมการของ BET จะพบว่าความชันของกราฟและจุดตัดแกน y หาได้จากสมการต่อไปนี้

$$\begin{aligned} \text{ความชัน} \quad S &= \frac{C-1}{W_m C} \\ \text{จุดตัดแกน } y \quad i &= \frac{1}{W_m C} \end{aligned}$$

เพราะฉะนั้นจึงสามารถหาค่า W_m ได้จากความชันและจุดตัดแกน y ของกราฟดังนี้

$$W_m = \frac{1}{S+i}$$

เมื่อ N คือ เลขอวกาโดร = 6.23×10^{23} โมเลกุลต่อโมล
 M คือ มวลโมเลกุลของตัวถูกดูดซับ
 A_{cs} คือ พื้นที่หน้าตัดของตัวถูกดูดซับสำหรับออกซิเจนที่ 77K มีค่าเท่ากับ 16.2 \AA^2 ซึ่งพื้นที่ผิวจำเพาะของตัวอย่างจะหาได้จากสมการต่อไปนี้

$$\text{พื้นที่ผิวจำเพาะเท่ากับ } S = \frac{S_i}{W}$$

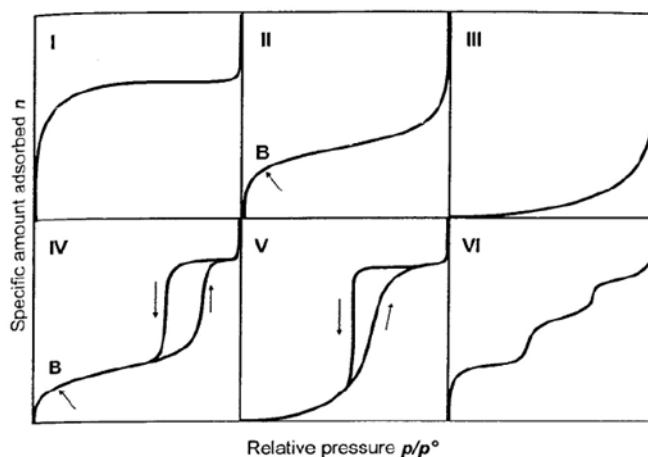
เมื่อ S คือ พื้นที่ผิวจำเพาะ

W คือ น้ำหนักของตัวดูดซับ (น้ำหนักของตัวอย่างที่ทำการวัดพื้นที่ผิว)

A_{cs} คือ พื้นที่หน้าตัดของตัวถูกดูดซับ สำหรับไนโตรเจนที่อุณหภูมิ 77K มีค่าเท่ากับ 16.2 \AA^2

2.3.4 สมดุลของการดูดซับ

จะต้องมีการศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับ (adsorption isotherm) ซึ่งไอโซเทอม คือ กราฟที่แสดงความสามารถของตัวดูดซับเทียบกับความดันของตัวถูกดูดซับที่อุณหภูมิคงที่ ข้อมูลที่ได้จากไอโซเทอมคือ ค่าของพื้นที่ผิว ค่าของปริมาตรรูพรุน ข้อมูลพื้นฐานของการดูดซับ และทราบประสิทธิภาพของตัวดูดซับที่ใช้ในการทำให้บริสุทธิ์ ไอโซเทอมมีรูปแบบพื้นฐานของการดูดซับในสารละลาย 6 แบบด้วยกัน ดังแสดงในภาพที่ 2.4 โดยตอนแรกการแบ่งกลุ่มได้ถูกเรียกว่า Brunaur, Deming, and Teller (BDDT) แต่ในปัจจุบันการแบ่งกลุ่มได้ถูกเรียกว่า Brunauer, Emmett and Tellet (BET) classification สำหรับไอโซเทอมแบบที่ 1 เป็นไอโซเทอมการดูดซับเกิดขึ้นแบบขั้นเดียว (ไอโซเทอมแบบแลงเมียร์) ส่วนแบบอื่นๆ เป็นไอโซเทอมการดูดซับแบบหลายชั้น ในทุกกรณีเมื่อค่าความดันย่อยมีค่าเพิ่มขึ้น ปริมาณการดูดซับจะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วยจนการดูดซับเป็นแบบขั้นเดียว หลังจากนั้นจะเพิ่มขึ้นเป็นแบบหลายชั้น



ภาพที่ 2.4 ไอโซเทอมของการดูดซับ

ที่มา: จตุพร และนุรักษ์ (2547)

ไอโซเทอมแบ่งออกเป็น 6 ชนิด ดังนี้

1) ไอโซเทอมชนิดที่ 1 หรือไอโซเทอมแบบแลงเมียร์

เป็นการดูดซับของตัวดูดซับที่มีลักษณะเป็นของแข็ง มีขนาดรูพรุนที่เล็กมีพื้นที่ผิวภายนอก (external surface area) ต่ำ ที่ความดันย่อยต่ำ ($< 0.1 p/p_0$) ก็จะสามารถดูดซับได้มาก ซึ่งเป็นการดูดซับแบบชั้นเดียวเสร็จสมบูรณ์ที่ความดันย่อย ประมาณ $0.5 p/p_0$ ตัวอย่างของการดูดซับไอโซเทอมแบบแลงเมียร์ คือ การดูดซับก๊าซไนโตรเจนบนถ่านที่มีรูพรุนขนาดเล็กที่ อุณหภูมิ 77 K (-196 °C) การดูดซับบนซีโอไลต์ และการดูดซับของแอมโมเนียบนผิวถ่านชาร์ที่อุณหภูมิ 273K

2) ไอโซเทอมชนิดที่ 2 ไอโซเทอมที่มีรูปแบบซิกมอยด์หรือแบบ

เอส (sigmoid or S-shaped)

เป็นรูปแบบไอโซเทอมการดูดซับของตัวดูดซับที่มีรูพรุนขนาดใหญ่ หรือไม่มีรูพรุน โดยจะเกิดการดูดซับแบบชั้นเดียว (monolayer) เสร็จสมบูรณ์ก่อน จากนั้นที่ความดันสูงขึ้นจะเกิดการดูดซับที่ต่อเนื่องจากชั้นแรกต่อไป และจะเกิดการดูดซับเสร็จสมบูรณ์ที่ความดันย่อยสูงๆ เกิดเป็นการดูดซับแบบหลายชั้น (multilayer)

3) ไอโซเทอมชนิดที่ 3

เป็นรูปแบบการดูดซับที่มีแรงดึงดูดระหว่างตัวถูกดูดซับด้วยกันค่อนข้างมากแต่มีแรงดึงดูดระหว่างตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับน้อย จึงทำให้เกิดการรวมตัวกันของตัวถูกดูดซับก่อนที่การดูดซับชั้นแรกจะเสร็จสมบูรณ์ ตัวอย่างการดูดซับของไอโซเทอมชนิดที่ 3 เช่น การดูดซับของไอน้ำบนผิวถ่านที่ไม่มีรูพรุน

4) ไอโซเทอมชนิดที่ 4

พบในสารที่มีขนาดรูพรุนประมาณ 1.5-100 nm เมื่อความดันเพิ่มขึ้น ตัวถูกดูดซับจะเริ่มเข้าไปในรูพรุน ความชันของกราฟจะเพิ่มขึ้นและมีการเปลี่ยนระดับของกราฟเมื่อความดันเพิ่มขึ้นอีก ซึ่งเป็นผลมาจากการควบแน่นภายในรูพรุนของของแข็ง (capillary condensation in pores) โดยลักษณะกราฟในช่วงแรกจะเหมือนกับชนิดที่ 2 คือ มีการดูดซับชั้นแรกอย่างสมบูรณ์ ตัวอย่างการดูดซับไอโซเทอมชนิดที่ 4 เช่น การดูดซับเบนซีน (benzene) บนไอออนออกไซด์เหล็ก (iron (III) oxide gel) ที่อุณหภูมิ 320 K

5) ไอโซเทอมชนิดที่ 5

เป็นการดูดซับที่มีลักษณะคล้ายกับไอโซเทอมชนิดที่ 3 คือ เกิดแรงดึงดูดระหว่างตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับน้อย แต่จะสามารถเกิดการควบแน่นในรูพรุนได้ ซึ่งจะพบในตัวดูดซับที่มีขนาดรูพรุนชนิดเดียวกับไอโซเทอมชนิดที่ 4 เช่นการดูดซับไอน้ำบนถ่านหินที่อุณหภูมิ 373 K

6) ไอโซเทอมชนิดที่ 6 (stepped isotherm)

เป็นไอโซเทอมแบบขั้นบันได ไอโซเทอมแบบนี้ไม่พบบ่อย โดยส่วนมากพบในระบบที่เป็นการดูดซับแบบขั้นต่อขั้นบนพื้นที่ผิวที่คล้ายกัน

ไอโซเทอมของการดูดซับมีหลายชนิด เนื่องจากมีหลายทฤษฎีอธิบายสมดุลการดูดซับที่เกิดขึ้น แต่ทฤษฎีที่นิยมใช้มากที่สุดคือ ทฤษฎีแลงเมียร์ (Langmuir) และฟรุนดิช (Freundlich)

1) Langmuir Adsorption Isotherm

สมการของแลงเมียร์เป็นไอโซเทอมที่ง่ายที่สุด ซึ่งใช้กันมากสำหรับการดูดซับแบบชั้นเดียว และเป็นการดูดซับทางเคมี โดยสมการแลงเมียร์มีสมมติฐาน คือ

- เป็นการดูดซับแบบชั้นเดียว (monolayer)
- พลังงานของการดูดซับจะเหมือนกับทุกๆพื้นที่ของตัวดูดซับ
- เป็นการดูดซับที่ไม่เกิดปฏิกิริยาระหว่างตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับ
- ตำแหน่งดูดซับ 1 ตำแหน่งสามารถดูดซับโมเลกุลตัวถูกดูดซับได้ 1 โมเลกุล

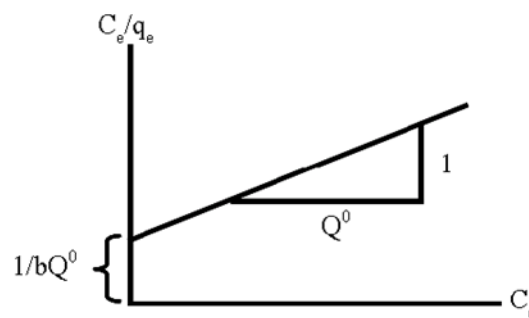
สมการแลงเมียร์สามารถเขียนได้ดังนี้

$$Q = \frac{Q_m b C_{eq}}{(1 + b C_{eq})} \quad (2.6)$$

$$\frac{C_{eq}}{Q} = \frac{1}{Q_m b} + \frac{C_{eq}}{Q_m} \quad (2.7)$$

เมื่อ	C_{eq} = ความเข้มข้นที่สภาวะสมดุล (mg/l)
	Q = ความสามารถในการดูดซับ (mg/g)
	Q_m = ความสามารถสูงสุดในการดูดซับ
	b = ค่าคงที่การดูดซับแบบชั้นเดียว

นำสมการที่ (2.7) ไปเขียนกราฟ ซึ่ง b และ Q_m สามารถหาได้จาก slope และ intercept ดังภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.5 ไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงเมียร์
ที่มา: Ruiying and Jianlong (2007)

2) Freundlich Adsorption isotherm

สมการของฟรอนด์ลิชใช้สำหรับการดูดซับบนพื้นที่ผิวที่ไม่สม่ำเสมอ (rough surface) โดยแต่ละพื้นผิวที่เกิดการดูดซับจะให้พลังงานของการดูดซับออกมาไม่คงที่ สมการฟรอนด์ลิชเป็นการดูดซับบนพื้นผิวของตัวถูกดูดซับเป็นแบบหลายชั้น (multilayer) สามารถอธิบายทั้งการดูดซับทางเคมีและการดูดซับทางกายภาพ มักอธิบายการดูดซับของสารประเภท อินทรีย์และสารอนินทรีย์บนตัวดูดซับหลายประเภท เช่น ถ่านกัมมันต์ และเรซิน

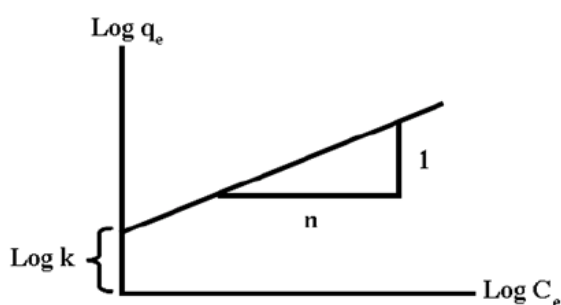
สมการที่ได้จากการสังเคราะห์และทดลองโดยอาศัยสมมติฐานของ ทฤษฎีนี้เป็นแนวความคิดของแบบจำลองแบบ multilayer แสดงดังสมการ (2.8) และ (2.9)

$$Q = K_F C^{1/n} \quad (2.8)$$

$$\log Q = \log K_F + \frac{1}{n} \log C_{eq} \quad (2.9)$$

เมื่อ K_F = ค่าคงที่แสดงความสามารถในการดูดซับหลายชั้น (mg/g)
 N = ค่าคงที่แสดงการขึ้นตรงกับความเข้มข้นของสารละลาย

นำสมการ (2.9) ไปเขียนกราฟ ซึ่ง n และ KF สามารถหาได้จาก slope และ intercept ได้ ดังแสดงในภาพที่ 2.6



ภาพที่ 2.6 ไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรุนดิช
 ที่มา: Ruiying และ Jianlong (2007)

2.4 ถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon)

ถ่านกัมมันต์เป็นวัสดุที่มีความสามารถในการดูดซับ โครงสร้างจะมีลักษณะพรุน มีพื้นที่ผิวสูง และมีอิเล็กตรอนอิสระอยู่บนผิวและรูพรุน จากคุณสมบัตินี้จึงทำให้ถ่านกัมมันต์มีประสิทธิภาพในการดูดซับสารพิษ สามารถดูดซับสารที่อยู่ในสภาพก๊าซและของเหลวได้

ได้มีผู้ให้ความหมายของถ่านกัมมันต์ไว้มากมายด้วยกัน เช่น

ถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) เป็นวัสดุที่มีรูพรุน มีความสามารถในการดูดซับสูง วัสดุดิบที่นำมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์นั้นจะต้องมีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ โดยวัสดุดิบนั้นอาจเกิดขึ้นโดยธรรมชาติหรือได้จากการสังเคราะห์ขึ้น ซึ่งวัสดุดิบที่นำมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ควรมีคุณสมบัติดังนี้ คือ มีปริมาณสารระเหยต่ำ มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบในปริมาณสูง มีราคาถูกหาได้ง่าย และมีคุณสมบัติคงที่ (ธราพงษ์, 2553)

ถ่านกัมมันต์ หมายถึง ถ่านที่อยู่ในรูปของคาร์บอนอสัณฐาน (amorphous carbon) ชนิดหนึ่ง แต่ถูกผลิตขึ้นมาเป็นพิเศษ โดยกระบวนการก่อกัมมันต์ (activation) ซึ่งทำให้พื้นที่ผิวภายใน

(internal surface area) เพิ่มขึ้น อันเนื่องมาจากโครงสร้างที่เป็นรูพรุนจำนวนมาก แต่ถ้าหากศึกษาด้วยเอ็กซเรย์ดิฟแฟรคชัน (X-ray-diffraction) หรือศึกษาโครงสร้างจากการสะท้อนและการเบี่ยงเบนของรังสีเอ็กซ์เมื่อตกกระทบวัตถุ โครงสร้างของถ่านกัมมันต์จะมีความเป็นผลึกอยู่บ้าง แต่ไม่สมบูรณ์เหมือนกับแกรไฟต์ จากคุณสมบัติเหล่านี้จึงทำให้ถ่านกัมมันต์แตกต่างจากถ่านชนิดอื่นๆ เช่น ถ่านลิกไนท์ ถ่านโค้ก ถ่านไม้ หรือแกรไฟต์ เป็นต้น ถ่านกัมมันต์จึงมีความสามารถในการดูดซับสูง อันเนื่องมาจากมีพื้นที่ผิวมาก มีความจุในการดูดซับสูง ผิวโครงสร้างเป็นแบบรูพรุนขนาดเล็กจำนวนมาก และมีความว่องไวในการดูดซับสูง (ปริญทร, 2551)

ถ่านกัมมันต์ คือ วัสดุที่มีพื้นที่ผิวภายในและมีความพรุนสูง ดังนั้นจึงมีประสิทธิภาพในการดูดซับสารเคมีจากแก๊สและของเหลวได้ในปริมาณสูง โดยที่ถ่านกัมมันต์นั้นสามารถใช้ประโยชน์ได้หลายด้าน เช่น อาจใช้ในกระบวนการทำสารเคมีให้บริสุทธิ์หรือกระบวนการนำสารเคมีกลับมาใช้ใหม่ นอกจากนี้ถ่านกัมมันต์ยังสามารถใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาหรือตัวรองรับของตัวเร่งปฏิกิริยา ด้วยคุณสมบัติที่เหมาะสมและด้วยราคาที่ไม่แพงของถ่านกัมมันต์ ทำให้ถ่านกัมมันต์นั้นได้มาเป็นตัวดูดซับที่ใช้กันมาก (Derbyshire F., 1995)

ถ่านกัมมันต์ คือ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำวัตถุดิบธรรมชาติที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลักมาผ่านกรรมวิธีก่อถ่านกัมมันต์ จนได้ผลิตภัณฑ์สีดำ มีโครงสร้างที่มีรูพรุน มีพื้นที่ผิวสูง มีสมบัติในการดูดซับสารต่างๆได้เป็นอย่างดี (มอก. 900-2532)

2.5 วัตถุดิบที่จะนำมาทำเป็นถ่านกัมมันต์

สำหรับวัตถุดิบที่จะนำมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์นั้นควรมีสมบัติดังนี้

- เป็นสารอินทรีย์ที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก
- มีสารระเหยและมีความชื้นน้อย
- มีสารอินทรีย์ต่ำ เช่น มีปริมาณเถ้า ซัลเฟอร์ต่ำ
- เป็นของเหลือทิ้งที่มีราคาถูก
- สะดวกในการนำมาใช้งาน คือ ไม่สลายตัวเมื่อเก็บ และควรมีรูปร่างและขนาดที่เหมาะสม
- ควรมีสมบัติคงที่
- สามารถผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ที่มีคุณภาพสูง

โดยวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตเป็นถ่านกัมมันต์อาจจะเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ หรือได้จากการสังเคราะห์ สามารถแบ่งได้เป็น 3 ชนิด คือ

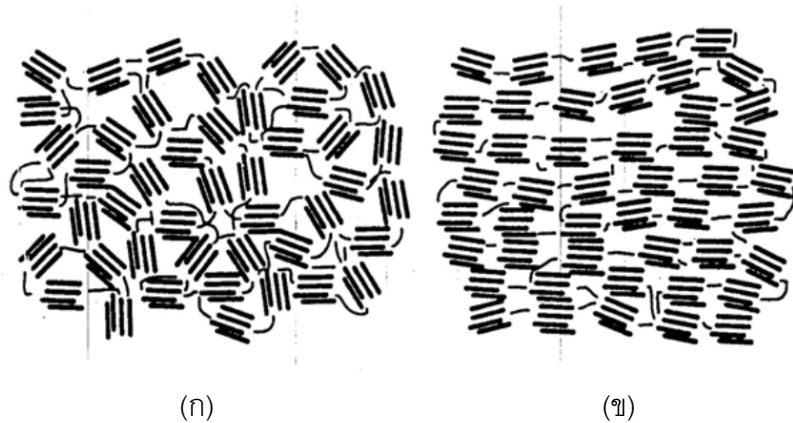
- 1) เซลลูโลสที่ได้จากพืช ยกตัวอย่างเช่น เปลือก เมล็ดของพืช ชานอ้อย แกลบ กะลามะพร้าว ชีเลื่อย เป็นต้น
- 2) ถ่านหิน เช่น ลิกไนท์ (lignite) พีท (peat) และบิทูมินัส (bituminous)
- 3) วัตถุดิบที่ได้มาจากสัตว์ เช่น กระดุกและเลือด

สำหรับวัตถุดิบในการผลิตถ่านกัมมันต์จะมีผลต่อคุณสมบัติถ่านกัมมันต์ เช่น วัตถุดิบที่มีความหนาแน่นต่ำและมีปริมาณสารระเหยมาก ยกตัวอย่างเช่นไม้เนื้ออ่อน เปลือกไม้ ลิกไนต์ เป็นต้น ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้จะมีปริมาตรรูพรุนสูง (pore volume) และมีความหนาแน่นต่ำ ซึ่งถ่านกัมมันต์ประเภทนี้จะมีความสามารถในการดูดซับแก๊สได้ไม่ดี สำหรับวัตถุดิบที่มีความหนาแน่นสูงและมีปริมาณสารระเหยมาก ได้แก่ กะลามะพร้าว ถ่านหิน เป็นต้น ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้นี้จะมีปริมาตรรูพรุนขนาดเล็กสูง (micropore volume) มีความหนาแน่นสูง มีความสามารถในการดูดซับแก๊สและสารละลายได้ดี

2.6 โครงสร้างและสมบัติของถ่านกัมมันต์

2.6.1 โครงสร้างของถ่านกัมมันต์

ถ่านกัมมันต์ประกอบด้วยกลุ่มของอะตอมคาร์บอนที่มีลักษณะโครงสร้างคล้ายกับแกรไฟต์ แต่มีการจัดเรียงตัวเป็นระเบียบน้อยกว่าผลึกแกรไฟต์ ประกอบไปด้วยชั้นคาร์บอนอะตอมในรูปของเบนซีนริง (Benzene Ring) หรือกลุ่มของอะตอมคาร์บอนที่มีโครงสร้างคล้ายรูปหกเหลี่ยม คือแต่ละอะตอมจะเกิดพันธะเดียวกับอีก 3 อะตอมในแผ่นราบ (Plane) ในลักษณะสมมาตรกัน (Regular hexagonal) อย่างต่อเนื่องกัน (Benzene Ring) โดยที่แต่ละชั้นจะห่างกันประมาณ 0.355 นาโนเมตร ดังภาพที่ 2.7



(ก)

(ข)



ภาพที่ 2.8 โครงสร้างของถ่านกัมมันต์

- (ก) โครงสร้างของถ่านกัมมันต์ที่มีลักษณะเป็นแกรไฟต์เล็กน้อย
 (ข) โครงสร้างของถ่านกัมมันต์ที่มีลักษณะเป็นแกรไฟต์ง่าย

ที่มา: จากหนังสือ Introduction to carbon technologies โดย Marsh, H., 1997, Spain : Secretariado.

2.6.2 ความพรุน (Porosity)

เมื่อพิจารณาลักษณะผิวของถ่านกัมมันต์ จะเห็นได้ว่ามีลักษณะเป็นรูพรุนจำนวนมากมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางแตกต่างกัน รูพรุนเหล่านี้จะลึกเข้าไปในเนื้อของถ่านกัมมันต์อย่างไม่เป็นระเบียบและมีความลึกที่ไม่สม่ำเสมอ ลักษณะของรูปร่างของรูนั้นไม่สามารถบอกได้แน่นอน บางรูมีลักษณะเปิดข้างหนึ่งปิดข้างหนึ่ง บางครั้งเป็นรูปตัววี (Dubinin, 1996) โดยทั่วไป

ถ่านกัมมันต์มีปริมาตรรูพรุน 0.5 ถึง 1.5 มิลลิลิตรต่อกรัม ลักษณะความพรุนและขนาดรูพรุนสามารถแบ่งเป็น 3 ขนาด ตามขนาดของรูพรุน คือ

1) รูพรุนขนาดใหญ่ (Macropores)

ถ่านกัมมันต์ที่มีรูพรุนขนาดใหญ่จะมีรัศมีอยู่ในช่วง 5,000-20,000 อังสตรอม ปริมาตรความพรุนมีค่าระหว่าง 0.2-0.8 มิลลิลิตรต่อกรัม และพื้นที่ผิวมีค่า 0.5-2 ตารางเมตรต่อกรัม สำหรับรูพรุนขนาดใหญ่มักเป็นทางส่งผ่านอนุภาคของสารเพื่อที่จะได้เข้าไปในรูพรุนอื่น เพราะฉะนั้นรูพรุนขนาดใหญ่จึงไม่มีบทบาทในการดูดซับ

2) รูพรุนขนาดกลาง (Transitional pores)

รัศมีของถ่านกัมมันต์ที่มีรูพรุนขนาดกลางมีค่าอยู่ในช่วง 20-1,000 อังสตรอม ปริมาตรรูพรุนมีค่าอยู่ระหว่าง 0.02-0.1 มิลลิลิตรต่อกรัม พื้นที่ผิวบริเวณนี้มีค่าอยู่ในช่วง 20-70 ตารางเมตรต่อกรัม ตัวอย่างสารหรือตัวดูดซับที่มีรูพรุนขนาดกลาง ได้แก่ อะลูมินา ซิลิกา ซิลิกาเจล

3) รูพรุนขนาดเล็ก (Micropores)

รัศมีของถ่านกัมมันต์ที่มีรูพรุนขนาดเล็กมีค่าน้อยกว่า 20 อังสตรอม ปริมาตรความพรุนมีค่าระหว่าง 0.15-0.5 มิลลิลิตรต่อกรัม และพื้นที่ผิวมีค่าอย่างน้อยที่สุดร้อยละ 95 ของพื้นที่ผิวทั้งหมด

รูพรุนขนาดใหญ่เปิดโดยตรงสู่ผิวภายนอกของอนุภาคถ่านกัมมันต์ โดยที่รูพรุนขนาดกลางจะแตกสาขาออกมาจากรูพรุนขนาดใหญ่ และในรูปแบบเดียวกันนี้รูพรุนขนาดเล็กจะแตกสาขาออกจากรูพรุนขนาดกลาง รูพรุนขนาดเล็กมีความสำคัญที่สุดในการดูดซับอินทรีย์เนื่องจากมีพื้นที่ผิวจำเพาะ และปริมาตรความพรุนสูงที่สุด

2.6.3 ความเป็นกรด-เบสของพื้นผิวถ่านกัมมันต์

พื้นผิวถ่านกัมมันต์ส่วนใหญ่ไม่มีขั้ว (Non polar) หรือมีความเป็นขั้วน้อย โดยที่ความเป็นขั้วที่บริเวณพื้นผิวของถ่านกัมมันต์ เกิดจากสารประกอบจำพวกออกไซด์หรือหมู่ฟังก์ชันที่อยู่บนพื้นผิวถ่านกัมมันต์ ซึ่งสมบัติดังกล่าวนี้จะมีผลต่อการดูดซับสารของถ่านกัมมันต์

ความเป็นกรด-เบสของถ่านกัมมันต์เมื่อมีการผสมและกระจายตัวในสารละลาย (Mohan และ Pittman, 2006) ทำให้สามารถแบ่งถ่านกัมมันต์ได้ 2 ชนิด ดังนี้

1) ถ่านกัมมันต์ชนิด L (L carbons)

คือ ถ่านกัมมันต์ที่มีสภาพเป็นกรดเมื่อกระจายตัวอยู่ในสารละลาย ถ่านกัมมันต์ชนิดนี้จะเกิดจากการกระตุ้นที่อุณหภูมิ 200 – 400 องศาเซลเซียส และมีสารประกอบออกไซด์บนพื้นผิวของถ่านกัมมันต์ ใช้ดูดซับสารที่เป็นเบสและสารที่มีขั้วหรือสารที่ชอบน้ำ

2) ถ่านกัมมันต์ชนิด H (H carbons)

คือ ถ่านกัมมันต์ที่มีสภาพเป็นเบสเมื่อกระจายตัวอยู่ในสารละลาย จะเกิดจากการกระตุ้นที่อุณหภูมิ 800 – 1000 องศาเซลเซียส และมีสารประกอบออกไซด์บนพื้นผิวของถ่านกัมมันต์ที่เป็นเบส

2.6.4 สมบัติของถ่านกัมมันต์

2.6.4.1 สมบัติทางกายภาพของถ่านกัมมันต์

1) พื้นที่ผิว (surface area)

ในการวัดพื้นที่ผิวจะต้องใช้ไอโซเทอมของการดูดซับ จะทำการทดลองที่อุณหภูมิคงที่ ที่ความดันย่อยต่างๆ เพื่อสร้างไอโซเทอมของการดูดซับ จากไอโซเทอมของการดูดซับข้อมูลที่ได้คือ

- ค่าของพื้นที่ผิว
- ค่าของปริมาตรรูพรุน
- ทราบลักษณะเคมีพื้นที่ผิว (surface chemistry) ของตัวดูดซับ
- ทราบข้อมูลพื้นฐานของการดูดซับ
- ทราบประสิทธิภาพของตัวดูดซับที่ใช้ในระบบการแยกหรือการทำให้บริสุทธิ์

2) ความหนาแน่น (apparent density)

ถ่านกัมมันต์ที่มีความหนาแน่นสูงกว่าสามารถบอกได้ว่าเป็นถ่านที่มี

คุณภาพดีกว่าเนื่องจากสามารถดูดซับสารได้ในปริมาณมากกว่า

3) ค่าความแข็งหรือค่าการขัดถู (hardness/ abrasion number)

เป็นค่าที่บอกถึงความต้านทานการสึกกร่อนของถ่านกัมมันต์ บอกถึงความสามารถในการทนต่อแรงเสียดสี และความสามารถในการคงสภาพของถ่านกัมมันต์ที่มีต่อกระบวนการการล้างวัสดุกรอง ซึ่งค่านี้จะแตกต่างกันอย่างชัดเจนตามชนิดวัสดุดิบและระดับที่ถ่านถูกกระตุ้น

4) ค่าการกระจายตัวของขนาดอนุภาคถ่าน (particle size distribution)

ค่านี้จะเกี่ยวข้องกับความละเอียดของผงถ่าน ถ้ายิ่งถ่านมีขนาดอนุภาคละเอียดมากเท่าใดก็เป็นการเพิ่มพื้นที่ของถ่านให้มากขึ้น มีผลทำให้โมเลกุลแก๊สถูกดูดซับเข้าไปในโครงสร้างถ่านได้เร็วขึ้น และทำให้ความดันแก๊สของระบบไม่ลดลงมากด้วย

2.6.4.2 สมบัติทางเคมีของถ่านกัมมันต์

1) การดูดซับไอโอดีนนัมเบอร์

เป็นสมบัติที่บอกถึงประสิทธิภาพและความสามารถในการดูดซับสารของถ่านกัมมันต์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ซึ่งรูพรุนในถ่านกัมมันต์ที่ดูดซับไอโอดีนนั้นมีขนาดประมาณ 10 อังสตรอม และถ่านกัมมันต์ควรมีค่าไอโอดีนนัมเบอร์มากกว่า 600

2) การดูดซับเมทิลีนบลู (Methylene Blue)

เป็นค่าที่สามารถบอกค่าการดูดซับของถ่านกัมมันต์ได้สำหรับโมเลกุลที่ถูกดูดซับที่มีขนาดใกล้เคียงกับโมเลกุลของเมทิลีนบลู รูพรุนในถ่านกัมมันต์ที่ดูดซับไอโอดีนมีขนาดประมาณ 15 อังสตรอม ถ่านกัมมันต์ควรมีค่าเมทิลีนบลู 200 ถึง 350 โครงสร้างเมทิลีนบลูแสดงดังภาพที่ 2.9

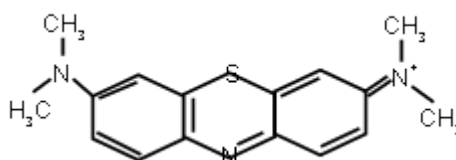
4) โมลาสนัมเบอร์ (molass number)

เป็นค่าที่บอกปริมาณของรูพรุนขนาดใหญ่ (macropore) รูพรุนในถ่านกัมมันต์ที่ดูดซับมีขนาดมากกว่า 20 อังสตรอม (หรือมากกว่า 2 nm) โดยถ่านกัมมันต์ที่รูขนาด

ใหญ่จำนวนมาก (ค่าโมลาสเบอ์สูง) จะดูดซับสารที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่อย่างโมเลกุลสีได้ดีกว่า ถ่านกัมมันต์ที่รูพรุนเล็ก (ค่าโมลาสบัมเบอ์ต่ำ)

5) แทนนิน (tannin)

ค่าแทนนินเป็นค่าที่ใช้บอกความสามารถในการดูดซับสารแทนนินหรือสารโมเลกุลขนาดใหญ่และขนาดกลางของถ่าน แทนนินเป็นสารผสมประกอบด้วยสารโมเลกุลขนาดใหญ่และสารโมเลกุลขนาดกลาง เช่นเดียวกับผิวของถ่านกัมมันต์ที่มีทั้งรูพรุนขนาดใหญ่และกลาง และระบุในหน่วย ppm (part per million เท่ากับล้านในล้านส่วน) ซึ่งถ่านกัมมันต์ควรมีค่านี้อยู่ในช่วง 200–362 ppm



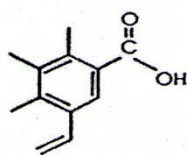
ภาพที่ 2.9 โครงสร้างของเมทิลีนบลู (Kind, 2009)

2.6.5 โครงสร้างทางเคมีของผิวถ่านกัมมันต์

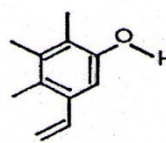
ถ่านกัมมันต์นั้นมักจะเตรียมจากถ่านที่ได้จากการเผาผลาญสารอินทรีย์ด้วยความร้อน (Pyrolysis) ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 1,000 องศาเซลเซียส เรียกกระบวนการนี้ว่า การคาร์บอนไนซ์เซชัน ในระหว่างการเผาผลาญอะตอมต่างๆ ที่ไม่ใช่คาร์บอน เช่น ออกซิเจน ไนโตรเจน และไฮโดรเจน จะถูกกำจัดออกไปในรูปของก๊าซ ส่วนอะตอมคาร์บอนที่เหลือจะเกิดการจัดเรียงเป็นชั้นๆ โดยที่แต่ละชั้นประกอบด้วยวงแหวนอะโรมาติก (Aromatic Ring) เชื่อมโยงกันอย่างไม่เป็นระเบียบและเกิดช่องว่างหรือโพรง โดยช่องว่างหรือโพรงจะเป็นที่อยู่ของพวกทาร์และสารอื่นที่ได้จากการเผาผลาญ ช่องว่างเหล่านี้จะกลายเป็นรูพรุนที่มีความสามารถในการดูดซับผิวด้วยกระบวนการที่เรียกว่าการกระตุ้น โดยการล้างพวกทาร์และสารต่างๆที่ได้จากการเผาผลาญออกจากช่องว่างหรือโพรงและมีสร้างหมู่ฟังก์ชันนัลขึ้นมาแทน ความสามารถในการดูดซับผิวของถ่านกัมมันต์จึงเป็นผลสืบเนื่องจากโครงสร้างทางเคมีด้วย

ความสามารถในการดูดซับผิวของถ่านกัมมันต์เกิดจาก อิเล็กตรอนอิสระซึ่งอยู่ในสภาพที่ไม่เสถียร คือ วาเลนซ์ไม่อิ่มตัว (Unsaturated Valencies) ได้พยายามที่จะเกาะกับอะตอมหรือโมเลกุลอื่นๆ เช่น ออกซิเจนในอากาศหรืออะตอมต่างๆที่อยู่ในสารตั้งต้น โดยที่

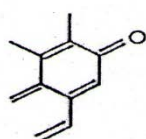
กระบวนการกระตุ้นจะช่วยให้อะตอมคาร์บอนเกาะกับอะตอมอื่นจนกลายเป็นพันธะทางเคมีที่แข็งแรง โดยส่วนมากมักจะเกิดกับอะตอมคาร์บอนที่อยู่ทีขอบของวงแหวนเฮลียม ถ่านกัมมันต์สามารถดูดติดผิวแบบเคมี (Chemisorption) กับออกซิเจนที่อุณหภูมิ 400-500 องศาเซลเซียส และกลายเป็นออกไซด์เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าสามารถสร้างพันธะที่แข็งแรงกับอะตอมไฮโดรเจน โดยจะไม่หลุดออกมาแม้จะใช้อุณหภูมิที่สูงถึง 1,000 องศาเซลเซียส และสามารถดึงอะตอมไนโตรเจนออกจากโมเลกุลแอมโมเนียและซัลเฟอร์ออกจากโมเลกุลไฮโดรเจนซัลไฟด์ และดึงอะตอมกลุ่มฮาโลเจน (Halogen) ออกจากโมเลกุลฮาโลเจน ทั้งที่อยู่ในสภาพก๊าซหรือของเหลวก็ได้ จึงเกิดเป็นหมู่ฟังก์ชันต่างๆ บนผิวของถ่านกัมมันต์ แต่ที่สำคัญคือผิวที่เกิดจากอะตอมของคาร์บอนและออกซิเจนหรือที่เรียกว่า ผิวออกไซด์ กลุ่มของฟังก์ชันนอลที่พบบนพื้นผิวของคาร์บอนประกอบด้วยกลุ่ม Carboxyl, Phenolic Hydroxyl, Quinone Type Carbonyl, Normal Lactone, Fluorescein Type Lactone, Carboxylic Acid Anhydride และ Cyclic Peroxide ดังแสดงในภาพที่ 2.10



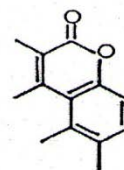
(a) Carboxylic Group



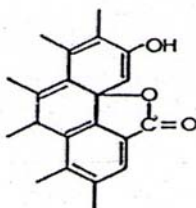
(b) Phenolic Hydroxyl Group



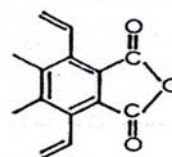
(c) Quinone Type Carbonyl Group



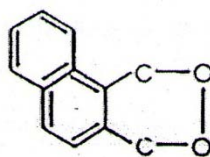
(d) Normal Lactone Group



(e) Fluorescein Type Lactone Group



(f) Carboxyl Acid Anhydride Group



(g) Cyclic Peroxide Group

ภาพที่ 2.10 (a-g) กลุ่มฟังก์ชันนอลบนพื้นผิวของถ่านกัมมันต์
ที่มา: Cookson, 1978

2.7 ชนิดของถ่านกัมมันต์

ถ่านกัมมันต์ได้แบ่งออกเป็นหลายชนิดด้วยกัน ซึ่งมีเกณฑ์การแบ่งดังนี้

2.7.1 แบ่งตามชนิดของตัวกระตุ้น

- 1) ถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยวิธีทางเคมี (Chemical activated carbon) เป็นถ่านกัมมันต์ที่มักจะมีรูพรุนขนาดใหญ่ ได้จากการใช้สารเคมีทำปฏิกิริยากับพื้นผิวคาร์บอน
- 2) ถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยวิธีทางกายภาพ (Physical activated carbon) ถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยวิธีนี้มักจะมีรูพรุนขนาดเล็ก ได้จากการใช้ก๊าซออกซิไดซ์ เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ไอน้ำ เป็นต้น ในการผลิตถ่านกัมมันต์

2.7.2 แบ่งตามรูพรุนบนผิวคาร์บอน

(แบ่งตามเกณฑ์ของ International Union of Pure and Applied Chemistry, IUPAC)

- 1) รูพรุนขนาดเล็ก (Micropores) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนที่มีขนาดเล็กกว่า 2 นาโนเมตร นิยมใช้ในการดูดซับไอระเหย และก๊าซ
- 2) รูพรุนขนาดกลาง (Mesopores) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนระหว่าง 2-50 นาโนเมตร มักใช้ดูดซับสารโมเลกุลขนาดใหญ่ เช่น การฟอกสี
- 3) รูพรุนขนาดใหญ่ (Macropores) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนใหญ่กว่า

50 นาโนเมตร โดยปกติมักไม่มีบทบาทในการดูดซับ มักเป็นทางส่งผ่านอนุภาคของสารเพื่อที่จะได้เข้าไปในรูพรุนอื่น

2.7.3 แบ่งตามความหนาแน่นของถ่านกัมมันต์

- 1) ถ่านกัมมันต์ความหนาแน่นต่ำ ใช้ในการทำน้ำให้บริสุทธิ์ ฟอกสีน้ำตาลดิบให้ขาวบริสุทธิ์
- 2) ถ่านกัมมันต์ความหนาแน่นสูง ใช้ในการดูดไอระเหย สารพิษ

2.7.4 แบ่งตามชนิดของสารที่ถูกดูดซับ

- 1) ดูดซับสี (Colour adsorbents) ส่วนมากเป็นถ่านที่ได้จากขานไม้ ขานอ้อย แกลบ หินน้ำมัน เป็นต้น ใช้สำหรับฟอกสี
- 2) ดูดซับก๊าซ (Gas adsorbents) เป็นถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการเผากระตุ้น ถ่านสังเคราะห์ชนิดแข็ง ใช้สำหรับดูดสารพิษ ไอ และกลิ่นของสารอินทรีย์
- 3) ดูดซับโลหะ (Metal adsorbents) ถ่านกัมมันต์ชนิดนี้ใช้เป็นตัวแยกพวกโลหะชนิดต่างๆ อาทิเช่น ถ่านที่ใช้ในการแยกทอง แพลตตินัม แร่เงิน

2.7.5 แบ่งตามรูปร่างลักษณะ

สามารถแบ่งออกเป็น 4 ชนิด ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก. 900-2547) ได้แก่

- 1) ถ่านกัมมันต์ชนิดผง (Power Activated Carbon)

เป็นถ่านที่มีขนาดปริมาณที่ร่อนผ่านร่อน 150 ไมโครเมตร ต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 99 โดยน้ำหนัก มีค่าไอโอดีน 600 มิลลิกรัมต่อกรัม ถ่านกัมมันต์ชนิดนี้มักใช้สำหรับฟอกสี และดูดกลิ่นสารละลาย
- 2) ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด (Pelleted Activated Carbon)

เป็นถ่านที่มีขนาดปริมาณที่ร่อนผ่านร่อน 150 ไมโครเมตร ต้องไม่เกินร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก มีค่าไอโอดีนอยู่ในช่วง 600-1000 มิลลิกรัมต่อกรัม ถ่านกัมมันต์ชนิดนี้ใช้สำหรับทำสารละลายให้บริสุทธิ์

3) ถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ด (Granular Activated Carbon)

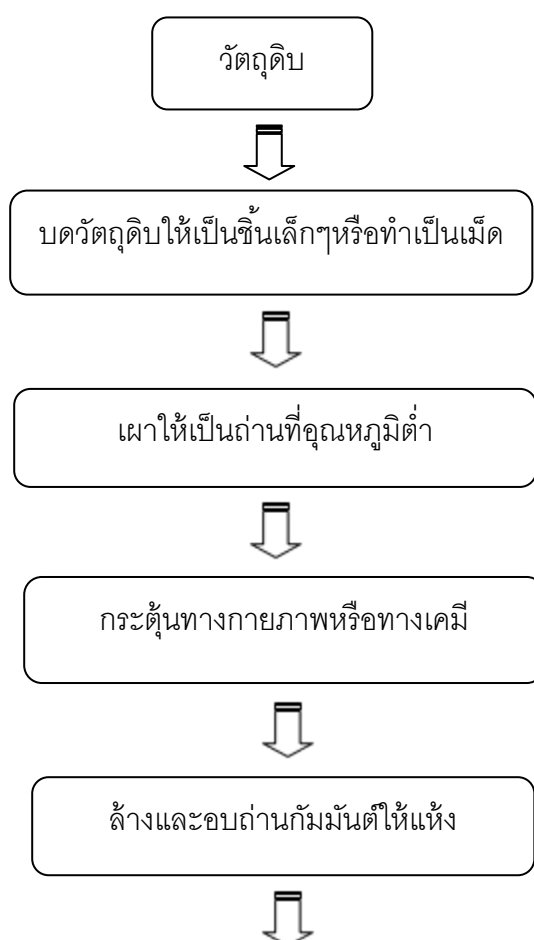
มีขนาดอยู่ในช่วง 0.2-5.0 มิลลิเมตร มักจะมีรูปร่างไม่แน่นอนมีค่าไอโอดีน 600 มิลลิกรัมต่อกรัม มักใช้สำหรับทำตัวละลายที่ใช้แล้วให้บริสุทธิ์ หรือใช้สำหรับทำก๊าซให้บริสุทธิ์

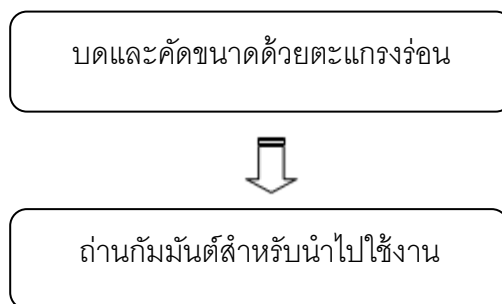
4) ถ่านกัมมันต์ชนิดแท่ง (Cloth and Fibres Activated Carbon)

มีลักษณะเป็นแท่งสีดำ มีค่าไอโอดีน 600 มิลลิกรัมต่อกรัม

2.8 การผลิตถ่านกัมมันต์

การผลิตถ่านกัมมันต์ในปัจจุบันนี้มีหลายวิธีขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบ คุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่ต้องการและการนำถ่านกัมมันต์ไปใช้งาน ซึ่งกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์โดยทั่วไปนั้นมี 3 ขั้นตอนด้วยกันคือ การเตรียมวัตถุดิบ การเผาให้เป็นถ่าน(carbonization) และการกระตุ้น(activation) แสดงดังภาพที่ 2.11





ภาพที่ 2.11 กระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์

2.8.1 การเตรียมวัตถุดิบ

ส่วนใหญ่วัตถุดิบที่นำมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์นั้นมักเป็นพวกอินทรีย์วัตถุที่มาจากธรรมชาติ เช่น ไม้ กะลามะพร้าว กะลาปาล์ม ชานอ้อย แกลบ ชี้เลี้ยง เปลือกและเมล็ดพืชต่างๆ พวกถ่านหิน เช่น ลิกไนต์ พีท อีกทั้งยังได้จากส่วนต่างๆของสัตว์ เช่น กระดุกและเลือด นอกจากนี้วัตถุดิบที่ได้จากการสังเคราะห์ยังสามารถนำมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ได้อีกด้วย เช่น ยางรถยนต์ พลาสติก เป็นต้น สำหรับคุณสมบัติของวัตถุดิบที่จะนำมาทำเป็นถ่านกัมมันต์จะต้องมีปริมาณคาร์บอนสูง มีปริมาณสารระเหยต่ำ หาง่าย มีราคาถูกหรือเป็นของเหลือทิ้ง และไม่สลายตัวเมื่อนำมาเก็บไว้

2.8.2 การเผาให้เป็นถ่าน (carbonization)

การเผาให้เป็นถ่านเป็นขั้นตอนที่ทำให้ถ่านกัมมันต์มีโครงสร้างรูพรุน ทำได้โดยนำวัตถุดิบมาเผาในภาวะจำกัดอากาศหรือมีออกซิเจนอยู่น้อยที่อุณหภูมิ 200-500 องศาเซลเซียส เรียกว่า กระบวนการไพโรไลซิส การไพโรไลซิสรูปแบบนี้เป็นการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นในที่อับอากาศ ด้วยอัตราการให้ความร้อนต่ำ เป็นการใช้ความร้อนเพื่อกำจัดความชื้น น้ำ สารระเหยต่างๆ น้ำมัน ทาร์ รวมทั้งสารที่ไม่ใช่คาร์บอน เช่น ไฮโดรเจน ออกซิเจน และซัลเฟอร์ ถูกไล่ออกมาในรูปของก๊าซ ส่วนคาร์บอนที่มีอยู่จะรวมตัวกันเป็นผลึก (microcrystalline) ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์อยู่ในรูปของแข็ง เรียกว่าถ่านชาร์ ขนาดของถ่านนั้นจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ระยะเวลาในการเผา องค์ประกอบและโครงสร้างของวัตถุดิบ

ขั้นตอนการกระบวนการเผาให้เป็นถ่าน แบ่งได้เป็น 3 ขั้นตอน ตามช่วงอุณหภูมิ

คือ

- ช่วงอุณหภูมิ 27-197 องศาเซลเซียส จะมีก๊าซเกิดขึ้น เกิดการสูญเสียน้ำออกจากโครงสร้างของวัตถุดิบ
- อุณหภูมิสูงขึ้นอยู่ในช่วง 197-497 องศาเซลเซียส จะเข้าสู่ขั้นตอนการเผาแบบไพโรไลซิส ทำให้เกิดก๊าซและน้ำมันดินหลุดออกมา
- ในช่วงอุณหภูมิ 497-847 องศาเซลเซียส เป็นช่วงที่น้ำหนักของวัตถุดิบจะลดลง ส่วนที่เหลืออยู่จะเป็นคาร์บอนอิสระที่จะรวมตัวกันอยู่ในรูปของถ่าน

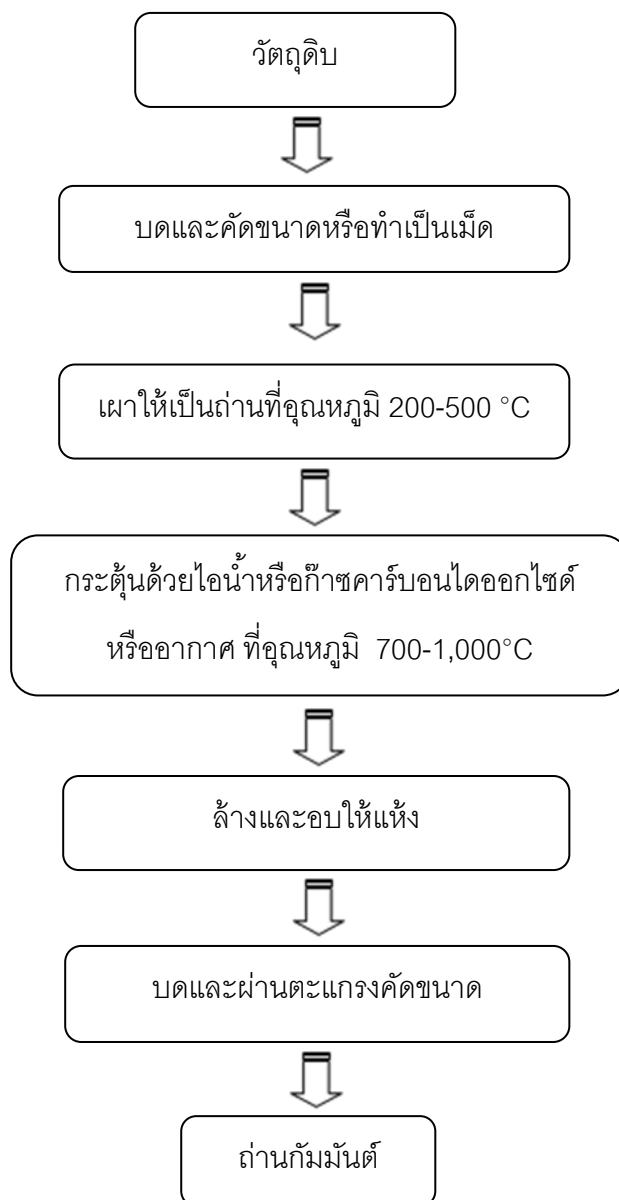
ถ่านชาร์ที่ได้นั้นควรที่จะมีลักษณะเป็นสีดำตลอด (uniformly black) ถ้าหักดูส่วนที่หักจะมีผิวที่เป็นมันเงา (shiny surface) ปลายส่วนที่หักจะมีลักษณะแหลมคม (sharp) และปราศจากขี้เถ้า (no ash) ส่วนความสามารถในการดูดซับของถ่านนั้นต่ำมาก เพราะว่าการเผาแบบไพโรไลซิส จะยังคงมีน้ำมันดินเหลืออยู่ภายในรูพรุนหรือเกาะอยู่ตามผิว เพราะฉะนั้นจึงต้องนำถ่านไปผ่านกระบวนการกระตุ้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับให้ดียิ่งขึ้น

2.8.3 การกระตุ้น (activation)

ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่สำคัญในการทำให้ถ่านมีรูพรุนมากขึ้น เพิ่มพื้นที่ผิวในการดูดซับ และยังเป็นการทำพื้นที่ผิวมีความว่องไวในการทำปฏิกิริยา เนื่องจากมีโมเลกุลบางกลุ่มหลุดออกไป และเกิดส่วนที่มีความสามารถในการดูดซับขึ้นมาแทน อีกทั้งยังช่วยกำจัดสารปนเปื้อนให้หลุดออกไปจากพื้นผิว การกระตุ้นนั้นแบ่งออกเป็น 2 วิธี ได้แก่

2.8.3.1 การกระตุ้นด้วยวิธีทางกายภาพ (physical activation)

เป็นการผลิตถ่านกัมมันต์เพื่อทำให้ถ่านกัมมันต์มีพื้นที่ผิวมาก มีรูพรุนมากขึ้นด้วยปฏิกิริยาก๊าซซิฟิเคชัน (gasification) หรือทำให้รูพรุนและพื้นที่ผิวของถ่านชาร์ที่มีอยู่แล้วมีความว่องไวในการดูดซับมากขึ้น วิธีการคือนำวัตถุดิบมาทำปฏิกิริยากับก๊าซที่เป็นตัวออกซิไดซ์ (oxidizing gas) เช่น ไอน้ำ อิมิตวียิงวด ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ หรือ อากาศ บัจจัยที่มีผลต่อการกระตุ้นทางกายภาพ คือ ชนิดและปริมาณขององค์ประกอบที่มีอยู่ในวัตถุดิบ คุณสมบัติทางเคมี อัตราส่วนของก๊าซที่ใช้ อุณหภูมิขณะเกิดปฏิกิริยา และระยะเวลาของการเกิดปฏิกิริยา ขั้นตอนการผลิตถ่านกัมมันต์ด้วยวิธีทางกายภาพ แสดงดังภาพที่ 2.12



ภาพที่ 2.12 ขั้นตอนการผลิตถ่านกัมมันต์ด้วยวิธีทางกายภาพ

ข้อดีและข้อเสียของการกระตุ้นทางกายภาพ คือ

- **ข้อดี** ถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการกระตุ้นแล้วสามารถนำไปใช้ได้เลย เพราะไม่มีปัญหาในเรื่องของสารเคมีเหลือตกค้าง
- **ข้อเสีย** ต้องใช้อุณหภูมิในการเผาที่สูงทำให้เกิดการสิ้นเปลืองพลังงาน และรูพรุนของถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการกระตุ้นทางกายภาพจะมีขนาดเล็กกว่าถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการกระตุ้นทางเคมี

2.8.3.2 วิธีการกระตุ้นด้วยวิธีทางเคมี (chemical activation)

การผลิตถ่านกัมมันต์ด้วยวิธีนี้เป็นการใช้สารเคมีเป็นสารกระตุ้น (activation agent) ผสมกับวัตถุดิบ เพื่อให้สารกระตุ้นทำปฏิกิริยาเคมีกับผิวคาร์บอน โดยมีความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา สำหรับชนิดสารเคมีที่ใช้ในการกระตุ้นแสดงดังตารางที่ 2.5 และวิธีการกระตุ้นด้วยวิธีทางเคมีแสดงดังภาพที่ 2.13

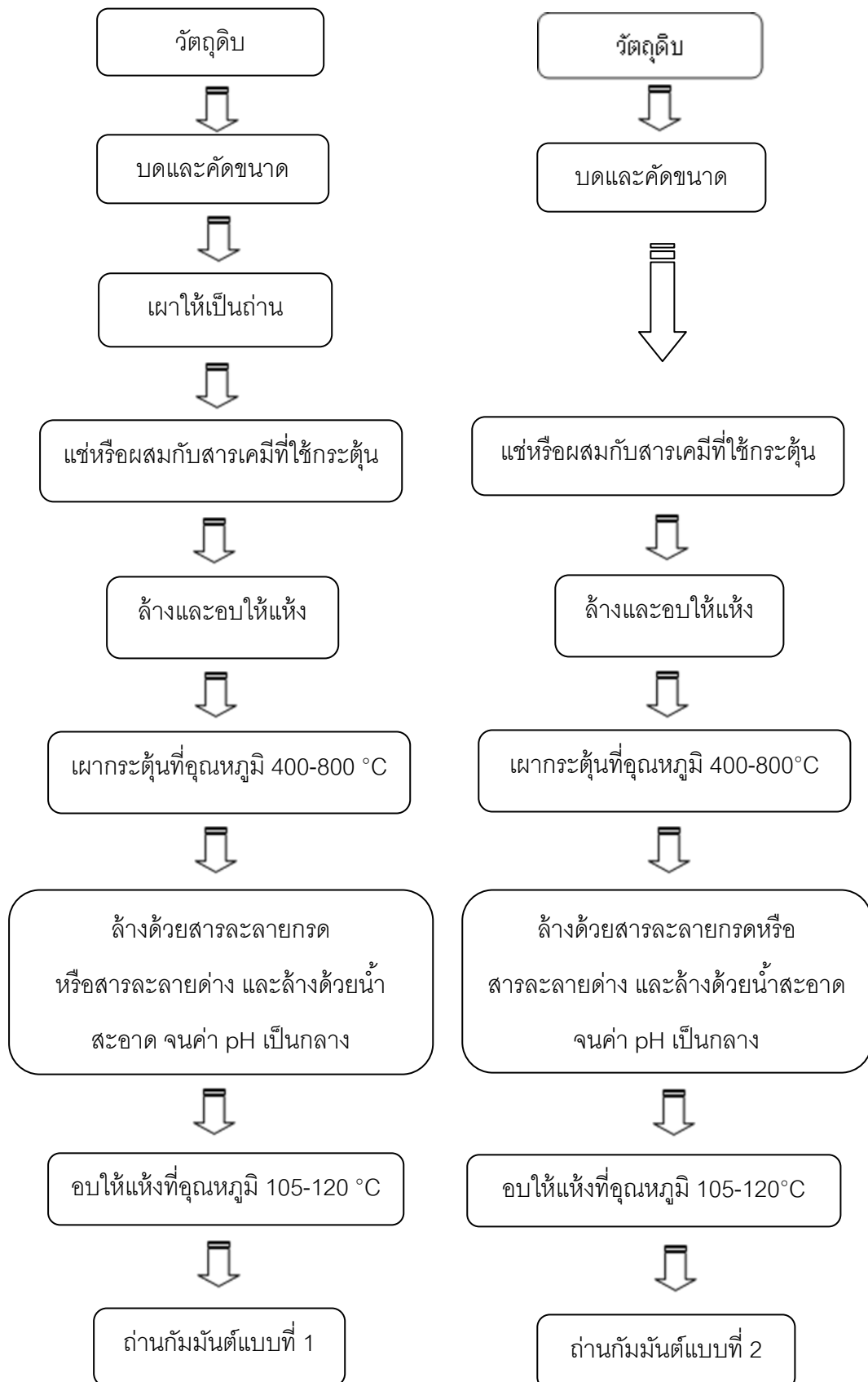
ตารางที่ 2.5 ชนิดสารกระตุ้นในวิธีการกระตุ้นทางเคมี

ชนิดสารกระตุ้น	สารกระตุ้น (Activating agent)
กรด	กรดซัลฟูริก (H_2SO_4) กรดไนตริก (HNO_3) กรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) และกรดบอริก (H_3BO_3)
เบส	โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) และแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($CaOH_2$)
เกลือ	ซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$) แคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$) เฟอริกคลอไรด์ ($FeCl_2$) โพแทสเซียมซัลไฟด์ (K_2S) โพแทสเซียมไทโอไซยาเนต (KSCN) โพแทสเซียมคาร์บอเนต (K_2CO_3) และแคลเซียมฟอสเฟต ($Ca_3(PO_4)_2$)

ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตด้วยวิธีการกระตุ้นทางเคมี คือ

- **ชนิดของวัตถุดิบ** โครงสร้างของวัตถุดิบที่แตกต่างกันทำให้ได้ถ่านกัมมันต์ที่มีคุณภาพที่แตกต่างกันไปด้วย
- **วิธีในการกระตุ้น** เช่น ชนิดและปริมาณของสารกระตุ้น อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการกระตุ้น

การกระตุ้นด้วยวิธีทางเคมีสามารถทำได้ 2 แบบ คือ



ภาพที่ 2.13 รูปแบบการผลิตถ่านกัมมันต์ด้วยวิธีการกระตุ้นทางเคมี

ข้อดีและข้อเสียของการกระตุ้นทางเคมี คือ

- **ข้อดี** มีการใช้อุณหภูมิที่ต่ำกว่า ระยะเวลาในการกระตุ้นน้อยกว่า และผลผลิตที่ได้มากกว่าวิธีการกระตุ้นทางกายภาพ
- **ข้อเสีย** วิธีการกระตุ้นทางเคมีจะต้องมีการล้างสารเคมีออกจากถ่านกัมมันต์ก่อนใช้งาน และอาจมีสารเคมีตกค้างได้ อีกทั้งสารเคมีบางชนิดมีฤทธิ์กัดกร่อนที่รุนแรงทำให้เครื่องมือและอุปกรณ์เกิดการสึกกร่อน

2.9 ประโยชน์ของถ่านกัมมันต์

สำหรับการใช้งานและใช้ประโยชน์ของถ่านกัมมันต์มีหลายรูปแบบขึ้นอยู่กับสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้ ยกตัวอย่างเช่น

2.9.1 ถ่านกัมมันต์ประเภทที่ใช้กับการดูดติดผิวก๊าซหรือไอ

- ใช้ในอุตสาหกรรมทำหน้าที่ปกป้องกันก๊าซพิษ เพราะว่าถ่านกัมมันต์มีความสามารถในการดูดติดผิวก๊าซพิษและไอของสารอินทรีย์ระเหยง่ายได้
- ใช้ในการแยกไอระเหยของตัวทำละลายที่ใช้แล้วเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ โดยถ่านกัมมันต์จะดูดติดผิวไอระเหยนั้นที่อุณหภูมิห้องและคายออกมาที่ความดันของไอต่ำๆ
- ใช้กำจัดสิ่งเจือปนออกจากก๊าซ เช่น ไฮโดรเจน ไนโตรเจน อะเซทิลีน ฮีเลียม คาร์บอนไดออกไซด์ คาร์บอนมอนอกไซด์ แอมโมเนีย เป็นต้น
- ใช้ดูดติดผิวกัมมันตภาพรังสีออกจากปฏิกิริยานิวเคลียร์ สำหรับหน่วยปฏิบัติการให้การสลายตัวเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ขณะที่ยังถูกจับไว้ในเบดของถ่านกัมมันต์ (Activated carbon bed)

2.9.2 ถ่านกัมมันต์ประเภทที่ใช้กับการดูดติดของเหลว

- ใช้ในการแยกสารอินทรีย์ออกจากของเหลวในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น อุตสาหกรรมน้ำตาล อุตสาหกรรมผลิตอาหาร เครื่องดื่ม แอลกอฮอล์
- ใช้ทำน้ำดื่มให้บริสุทธิ์ เป็นการกำจัดสี รส และกลิ่น
- ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย
- ใช้แยกโลหะจากสารละลายที่ต้องการ เช่น การแยกทองหลังจากสกัดจากแร่ ด้วยวิธีไซยาไนด์ เป็นต้น
- ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาหรือเป็นตัวพาสารเร่งปฏิกิริยา (Catalyst-carrier) เช่น ตัวพาสารเร่งปฏิกิริยาสำหรับปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชัน (Hydrogenation) เป็นต้น
- ใช้ทางการแพทย์ อุตสาหกรรมเคมีและยา

2.10 ลำไย (Longan)



- ชื่อสามัญ : ลำไย (Longan)
 ชื่อพื้นบ้าน : บ่าลำไย
 ชื่อวิทยาศาสตร์ : Dimocarpus longan
 ชื่อวงศ์ : Sapindaceae (Native)
 ชื่อพฤกษศาสตร์ : Nephelium, Canb. หรือ Euphorialongana, Lamk.

ภาพที่ 2.14 ลำไย

ที่มา: <http://health.giggog.com/113191>

2.10.1 ประวัติลำไย

ลำไยเป็นไม้ที่มีถิ่นกำเนิดในเขตร้อนและกึ่งร้อนของเอเชีย สันนิษฐานว่าอาจมีถิ่นกำเนิดในลังกาอินเดียนพม่าหรือจีน แต่ที่พบหลักฐานที่ปรากฏในวรรณคดีของจีนในสมัยพระเจ้าเซ็งแทง เมื่อ 1,766 ปีก่อนคริสกาล และจากหนังสือ RuYa ของจีนเมื่อ 110 ปีก่อนคริสตกาล ได้มี

การกล่าวถึงลำไยไว้แล้ว และชาวยุโรปที่ได้เดินทางไปยังประเทศจีน เมื่อปีพ.ศ. 1514 ก็เขียนเรื่องราวเกี่ยวกับลำไยไว้ในปี พ.ศ. 1585 แสดงว่า ลำไยมีการปลูกในจีนที่มณฑล กวางตุ้ง เสฉวน มีศูนย์กลางอยู่ที่มณฑลฟูเจี้ยน

ต่อมาลำไยได้แพร่หลายเข้าไปในประเทศอินเดีย ลังกา พม่า และประเทศแถบเอเชีย ลังกา พม่าและประเทศ แถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ และเข้าสู่ประเทศอเมริกาในปลายพุทธศตวรรษที่ 25 สำหรับในประเทศไทย คาดว่าลำไยคงแพร่เข้ามาในประเทศพร้อมๆ กับประเทศในเขตนี้ หลักฐานที่พบเป็นต้นลำไยในสวนเก่าแก่ของ ร.อ.หลวงราญอริพล (เหรียญสรพเสน) ที่ปลูกในตรอกจันทร์ ถนนสาธุประดิษฐ์ ใกล้เคียงวัดปริวาสในสมัยรัชกาลที่ 5 เป็นลำไยที่ขยายพันธุ์ มาจากเมล็ดเพาะ แสดงว่าลำไยมีในประเทศไทยมาก่อนแล้ว และมีการพัฒนาพันธุ์ตามลำดับตามสภาพภูมิอากาศ จากนั้นพระราชชายาเจ้าดารารัศมีได้นำลำไยจากกรุงเทพฯ ขึ้นมาขยายพันธุ์ในจังหวัดเชียงใหม่ และขยายพันธุ์สู่ภูมิภาคต่างๆ ในล้านนา โดยการเพาะเมล็ดจนเกิดการแปรพันธุ์ (Mutation) เกิดพันธุ์ใหม่ตามสภาพคุณลักษณะที่ดีของภูมิอากาศที่เหมาะสม และเกื้อกูลต่อการเจริญเติบโตของลำไย โดยเฉพาะอย่างยิ่งจังหวัดลำพูนมีสภาพภูมิประเทศที่ดี ในลุ่มแม่น้ำใหญ่หลายสาย จนเกิดลำไยต้นหมื่นที่บ้านหนองช้างคืน อำเภอเมืองลำพูนซึ่งเก็บผลขายต้นเดียวได้ ราคาเป็นหมื่นเมื่อปี พ.ศ.2511 ผลิตผลต่อต้นได้ 40-50 เช่ง พัฒนาการของลำไยในภูมิภาค นี้โดยเฉพาะที่จังหวัดลำพูน ถ้านับจากการเสด็จกลับล้านนาครั้งแรกของพระราชชายาเจ้าดารารัศมี เมื่อปี พ.ศ.2457 จนถึงลำไยต้นหมื่นที่ หนองช้างคืน เมื่อปี พ.ศ. 2511 ก็พัฒนามาร่วม 60 ปี และถ้านับถึงปัจจุบัน ได้มีการพัฒนา พันธุ์ร่วม 90 ปีแล้ว จนขณะนี้มีลำไยมากมายหลายพันธุ์ และมีการปลูกมากถึง 157,220 ไร่

2.10.2 ลักษณะทั่วไปของต้นลำไย

- **ต้น** ลำไยเป็นพรรณไม้ยืนต้นขนาดกลาง จะแตกกิ่งก้านสาขาที่เรือนยอดของต้น ลำต้นและกิ่งก้านมีสีน้ำตาลอมเทา

- **ใบ** เป็นใบเดี่ยว มีขนาดเล็ก แต่ใบจะดกหนาทึบ ซึ่งเป็นพรรณไม้ที่ให้ร่มเงาได้เป็นอย่างดี ลักษณะของใบเป็นรูปหอกปลายแหลม โคนใบสอบ ขอบใบเรียบหรือเป็นคลื่นเล็กน้อย มีสีเขียวเข้ม

- **ดอก** ออกเป็นช่ออยู่ตรงส่วนยอดของต้น ซึ่งดอกลำไยนี้จะมีขนาดเล็ก สีเหลือง หรือน้ำตาลอ่อน ๆ แสดงดังภาพที่ 2.15

- **ผล** ผลลำไยมีลักษณะเป็นลูกกลม เปลือกสีน้ำตาล เนื้อในผลสีขาวใส และผลหนึ่งจะมีเมล็ดอยู่ 1 เม็ดมีสีดำ ผลทานได้มีรสหวานจะแก่จัดในราวเดือนมิถุนายน-กรกฎาคม เป็นพรรณไม้ที่มีผู้นิยมทานผลกันมาก และเป็นผลไม้ที่มีชื่อเสียงของทางภาคเหนือด้วย

ในการขยายพันธุ์ต้นลำไย ลำไยเป็นพรรณไม้กลางแจ้ง เจริญเติบโตได้ดีในดินที่ร่วนซุย และมีความชื้นเล็กน้อย ไม่ชอบน้ำมาก จะมีขยายพันธุ์ด้วยเมล็ดและการตอน ส่วนที่ใช้ในการขยายพันธุ์ ได้แก่ ใบ ดอก เมล็ด ราก เปลือกผล และเนื้อหุ้มเมล็ด



ภาพที่ 2.15 ดอกลำไย

ที่มา: http://xn--12c2cpkdfcd3d2dc9e5h.blogspot.com/2013/02/blog-post_9470.html

2.10.3 พันธุ์ลำไย (เศรษฐมนต์, 2555)

ลำไยได้มีการปลูกในหลายประเทศที่สำคัญ คือประเทศจีนมีการปลูกลำไยถึง 26 พันธุ์ พันธุ์ที่ปลูกในมณฑล กวางตุ้ง 12 สายพันธุ์ ปลูกในประเทศไต้หวันอีก 15 สายพันธุ์ ปลูกในสหรัฐอเมริกา 1 สายพันธุ์คือ พันธุ์โคฮาลา สำหรับพันธุ์ลำไยในประเทศไทย จำแนกออกตามลักษณะผลเนื้อเมล็ดและรสชาติได้ดังนี้ คือ

1) **ลำไยกะโหลก** เป็นพันธุ์ลำไยที่ให้ผลขนาดใหญ่ มีเนื้อหนารสหวานมีหลายสายพันธุ์คือ

- **สีชมพู** เป็นพันธุ์กลางทรงพุ่มสูง ใบร่วง กิ่งเปราะหักง่าย ออกดอกง่าย แต่

ติดผลไม่สม่ำเสมอ ทรงผลค่อนข้างกลม ผิวสีน้ำตาลอมแดง เนื้อหนาปานกลาง นุ่มและกรอบ สีชมพูเรื่อๆ รสหวานและหอม เมล็ดค่อนข้างเล็ก ผลใหญ่ รสดีมากที่สุด ดังภาพที่ 2.14

- **ตลับนาค** ผลใหญ่ เนื้อหนา เมล็ดเล็ก หวานกรอบแห้ง เปลือกบาง
- **เบี้ยวเขียว** เป็นพันธุ์หนัก เจริญเติบโตดี ทนแล้งได้ดี แต่อ่อนแอต่อโรค

พุ่มไม่กวาด ออกดอกยากและมักเว้นปี สามารถแบ่งเป็นเบี้ยวเขียวก้านแข็งและก้านอ่อน ผลมีขนาดใหญ่ ทรงผลกลมแบนเบี้ยวมาก เปลือกสีเขียวอม น้ำตาล และหนา เนื้อหนากรอบและล่อน รสหวานแหลมและหอม เมล็ดค่อนข้างเล็ก

- **อีตอ** เป็นพันธุ์เบา ทำให้ชาวสวนนิยมปลูกมากที่สุด เจริญเติบโตดี ยอดอ่อนมีทั้งยอดสีเขียวและสีแดงลำต้น แข็งแรงเปลือกผลหนา ออกดอกติดผลค่อนข้างสม่ำเสมอ ทรงผลกลมแบนและเบี้ยวยกบ้างข้างเดียว ผิวผลสีน้ำตาล มีกระหรือตาห่าง เนื้อค่อนข้างเหนียว สีขาวชุ่น เมล็ดใหญ่ ปานกลางผลขนาดปานกลาง เมล็ดเล็ก รสหวาน แบ่งเป็น 2 ชนิดคือ อีตอยอดแดง ใบอ่อนมีสีแดงกับอีตอยอดเขียว ใบอ่อนมีสีเขียว

- **อีแดง** สีเปลือกของผลค่อนข้างแดง เป็นพันธุ์กลาง กิ่งเปราะหักง่าย ผลกลมใหญ่เมล็ดใหญ่ รสหวานแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คืออีแดงเปลือกหนา มีใบป้อมใหญ่ผลใหญ่ กับอีแดงเปลือกบาง ใบยาวผลเล็กกว่าอีแดงเปลือกหนา

- **อีดำ** ผลใหญ่ ใบดำ เนื้อหนา เมล็ดเล็ก หวานกรอบ แบ่งเป็น 2 ชนิด คือ อีแห้วยอดแดง เมล็ดปานกลาง อีแห้วยอดขาว ผลกลมใหญ่ หัวเบี้ยว เนื้อกรอบ ไม่หวาน

2) **ลำไยกระดูก** เป็นพันธุ์พื้นเมือง ทรงพุ่มกว้างใบหนาทึบ ผลเล็กมีน้ำมาก เนื้อน้อยไม่หวาน มีน้ำตาลประมาณ 13.75% ขึ้นได้ทั่วไปปลูกง่าย เหลือให้เห็นน้อย เพราะไม่นิยมปลูก ไม่มีราคา

3) **ลำไยธรรมชาติ** ผลปานกลาง เนื้อหนากว่าลำไยพันธุ์กระดูก เนื้อกรอบบางมีน้ำมาก ให้ผลดก

4) **ลำไยสายน้ำผึ้ง** ลักษณะคล้ายลำไยธรรมชาติ แต่เนื้อมีสีเหลืองอ่อน เนื้อมีรสดี หอมกรอบ เมล็ดเล็ก

5) **ลำไยเถาหรือลำไยเครือ** เป็นไม้ต้นรอเลื้อย ลำต้นไม่มีแก่นจึงพันเข้ากับรั้ว

หรือหลัก ผลเล็กและเมล็ดโตกว่าลำไยบ้าน เนื้อหุ้มเมล็ดบาง นิยมปลูกไว้ประดับมากกว่าปลูกไว้รับประทาน ชอบขึ้นตามป่าเขา

6) **ลำไยขาว** ผลขนาดเล็กกว่าลำไยทั่วไป เปลือกสีน้ำตาลอ่อนเกือบขาว เนื้อสีขาวใส เมล็ดลีบ รสหวาน



ภาพที่ 2.16 ลำไยกะโหลกสายพันธุ์สีชมพู

ที่มา : <http://pting00726.igetweb.com/?mo=3&art=505383>

2.10.4 ประโยชน์ของลำไย

ลำไยถือได้ว่าเป็นผลไม้ที่มีคุณค่าอย่างมากมาย อุดมไปด้วยคุณค่าทางโภชนาการจากสารอาหารที่จำเป็นต่อร่างกาย เช่น วิตามิน เกลือแร่ และแร่ธาตุอีกหลายชนิดที่ดี และมีประโยชน์ต่อสุขภาพในองค์ประกอบหลักของเนื้อลำไยคือ Soluble Substances 79.77% ซึ่งประกอบด้วย กลูโคส 26.91% ซูโครส 0.22% กรดทาทาริค 1.26% สารประกอบไนโตรเจน 6.31% โปรตีน 5.6% ไขมัน 0.5% และธาตุอาหารอื่น ๆ เช่น Ca, Fe, P, Na, K และวิตามิน ในเมล็ดลำไยประกอบไปด้วยปริมาณโปรตีนรวม 6.5% ปริมาณไขมันรวม 1.94% และปริมาณเยื่อใยรวมเป็น 8.33% ค่าพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้จริงเป็น 3,365 kcal/kg สามารถนำไปใช้เป็น ส่วนประกอบของอาหารสัตว์ได้ ในเปลือกหุ้มเมล็ดของลำไยมีปริมาณแทนนินสูง (บัวเรียม, เผ่าพงษ์ และ โยธิน, 2554)

นอกจากนี้ลำไยยังเป็นไม้ผลเศรษฐกิจสำคัญที่รัฐบาลจัดให้อยู่ในกลุ่มสินค้า

เพื่อการส่งออก ลำไยนั้นก็มีมูลค่าการส่งออกสูงปีละหลาย พันล้านบาท มีการส่งออกทั้งในรูปลำไยสด อบแห้ง แช่แข็ง และลำไยกระป๋อง

ลำไยนอกจากส่วนเนื้อที่สามารถนำมารับประทานได้แล้วนั้น ส่วนต่างๆของต้นลำไยยังมีประโยชน์มากมายด้วยกัน เช่น

- **ใบ** เป็นใบสด มีรสจืดและชุ่ม สุขุม เป็นยาแก้โรคมาลาเรีย ริดสีดวง- ทวาร ฝีหัวขาดและแก้ไข้หวัด โดยนำเอาต้มน้ำกิน
- **ดอก** ใช้ดอกสดหรือตากแห้งเก็บไว้ใช้ เป็นยาแก้โรคเกี่ยวกับหนองทั้งหลาย โดยใช้ใบสดประมาณ 5-30 กรัม ต้มน้ำกิน
- **เมล็ด** ต้มหรืออบเป็นผงกินจะมีรสฝาด ใช้ภายนอกจะรักษากลากเกลื้อน แผลมีหนอง แก้ปวด สมานแผล ใช้ห้ามเลือด
- **รากสด** นำรากสดมาต้มน้ำตาลกรวด ต้มแต่น้ำ จะช่วยรักษาอาการแก้ช้ำใน
- **รากแห้ง** นำรากแห้งมาต้มน้ำ ช่วยรักษาอาการวิงเวียนศีรษะ แก้อาการสตรีตกขาวมากผิดปกติ ขับพยาธิเส้นด้าย
- **เปลือกผล** เปลือกของต้นมีสีน้ำตาลอ่อนหรือเทา มีรสฝาดใช้ต้มเป็นยาหม้อแก้ท้องร่วงใช้ที่แห้งนำมาต้มน้ำกิน แก้อาการวิงเวียนศีรษะและอ่อนเพลีย ทำให้สดชื่นจะมีรสชุ่มหรือใช้ทาภายนอกโดยเผาเป็นเถ้าหรืออบเป็นผงโรยแผลไฟไหม้ น้ำร้อนลวก
- **เนื้อหุ้มเมล็ด** นำมาต้มน้ำกินหรือแช่เหล้าเป็นยาบำรุงกล้ามเนื้อและหัวใจ บำรุงร่างกาย สงบประสาท แก้อ่อนเพลียจากการทำงานหนัก ลืมง่าย นอนไม่หลับ ประสาทอ่อนหรือจะบดเป็นผงผสมกับยาเม็ดกินก็ได้
- **ลำต้น** ลำต้นมีขนาดใหญ่ สูงประมาณ 30-40 ฟุต เนื้อไม้มีสีแดงและแข็งสามารถใช้ทำเครื่องใช้ประดับบ้านได้

2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การทำไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์ด้วยกระบวนการดูดซับ

Bertram และคณะ (2005) ได้ศึกษาการทำให้ไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันถั่วเหลืองและจารบีเหลืองมีความบริสุทธิ์มากขึ้น โดยใช้ตัวดูดซับชนิดต่างๆ ได้แก่ แมกนีเซียมซิลิเกต ซิลิกาเจล

อะลูมินา และ clay พบว่าเมื่อใช้แมกนีเซียมซัลเฟตเป็นตัวดูดซับ จะทำให้ปริมาณกลีเซอรอล น้ำ สบู่ ผงคาร์บอน ซัลเฟอร์ รวมไปถึงโลหะต่างๆที่เจือปนอยู่ในไบโอดีเซลลดลง นอกจากนี้ยังทำให้สมบัติต่างๆของน้ำมันดีขึ้น คือค่าความหนืดจะลดลงจาก 4.207 เป็น 4.127 เซนติสโตก ค่า flash point เพิ่มขึ้นจาก 163 เป็น 190 องศาเซลเซียส และค่า acid number มีค่าลดลงจาก 0.31 เป็น 0.27 mgKOH/g

Predojevic (2008) ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดสารเจือปนในไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันใช้แล้วโดยใช้ 3 กระบวนการ ได้แก่ การดูดซับด้วยซิลิกาเจล การล้างด้วยกรดฟอสฟอริกเข้มข้นร้อยละ 5 และการล้างด้วยน้ำกลั่นร้อน จากการทดลองพบว่าการดูดซับด้วยซิลิกาเจลและการล้างด้วยกรดฟอสฟอริกจะมีประสิทธิภาพสูงที่สุดในการกำจัดสารปนเปื้อนโดยสามารถกำจัดได้ถึงร้อยละ 92 ในขณะที่การล้างด้วยน้ำกลั่นสามารถกำจัดได้เพียงร้อยละ 89

Fadhi และคณะ (2012) ได้ศึกษาการใช้ถ่านกัมมันต์จากกากชา เป็นตัวดูดซับในกระบวนการทำไบโอดีเซลโดยบรรจุเป็นคอลัมน์ พบว่าสามารถทำให้ไบโอดีเซลผ่านเกณฑ์มาตรฐาน และเปรียบเทียบกับกรล้างด้วยน้ำการใช้ถ่านกัมมันต์จากการชาจะให้ผลที่ดีกว่า

จิรพรรณ เจริญสินวรกุล (2548) ได้ทำการศึกษาการลดปริมาณกรดไขมันอิสระในไบโอดีเซลที่สังเคราะห์จากน้ำมันปาล์มดิบโดยใช้ตัวดูดซับ ได้แก่ แมกนีซอล ถ่านกัมมันต์ อะลูมินาชนิดเบส โมเลคิวลาร์ซีฟ ดินเบนโทไนด์ และดินเบนโทไนด์ที่ผ่านการปรับปรุงด้วยไฮเดียมไฮดรอกไซด์ พบว่า ถ่านกัมมันต์และแมกนีซอลสามารถลดปริมาณกรดไขมันอิสระจาก 0.184 เหลือเพียง 0.014 และ 0.016% ตามลำดับ

จิตาภา สุวรรณมุกต์ และ สุภนิตย์ ไตรธเนศ (2552) ศึกษาการเพิ่มความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซลโดยกระบวนการล้างแบบแห้ง โดยใช้การดูดซับสารปนเปื้อนด้วยตัวดูดซับ ศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับสารปนเปื้อนด้วยตัวดูดซับ โดยตัวแปรที่ศึกษาได้แก่ ชนิดตัวดูดซับ คือ ถ่านกัมมันต์ เบนโทไนด์ และซิลิกาเจลปริมาณตัวดูดซับ อัตราการเขย่า และระยะเวลาในการดูดซับ พบว่าถ่านกัมมันต์ให้ประสิทธิภาพในการดูดซับสิ่งเจือปนในไบโอดีเซลสูงกว่าตัวดูดซับชนิดอื่น เมื่อนำไบโอดีเซลไปผ่านกระบวนการดูดซับโดยใช้ถ่านกัมมันต์ปริมาณ 6.67 กรัม/ลิตรไบโอดีเซล อัตราการเขย่า 200 รอบ/นาที ระยะเวลาการดูดซับ 30 นาที พบว่าสารเจือปนในไบโอดีเซล ได้แก่

ปริมาณสบู่ น้ำ และกลีเซอรอล ลดลงเหลือร้อยละ 18.72 0.0167 และ 0.014 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ

กนกกาญจน์ ชำนาญ และ สุกัญญา นาลาด (2553) ศึกษาการทำไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์โดยการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์จากแกลบ ทำการสังเคราะห์ไบโอดีเซลผ่านปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันระหว่างน้ำมันปาล์มและเมทานอลด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส ใช้อัตราส่วนระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 6:1 ที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1.50 ชั่วโมง เตรียมถ่านกัมมันต์จากแกลบเพื่อใช้ในการดูดซับกลีเซอรินในไบโอดีเซลได้โดยการกระตุ้นด้วยสารละลายซิงค์คลอไรด์ จากนั้นนำไปเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากการทดลองพบว่าสภาวะที่เหมาะสมที่ใช้ในการดูดซับกลีเซอรินในภาวะที่มีเมทานอลคือ ทำการดูดซับที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 20 นาที นอกจากนี้ยังพบอีกว่าเมทานอลมีผลต่อการตกตะกอนของกลีเซอริน ภายหลังจากการระเหยเอาเมทานอลออกแล้วพบว่าใช้ปริมาณถ่านกัมมันต์จากแกลบร้อยละ 5 โดยน้ำหนักสามารถกำจัดกลีเซอรินได้หมด เมื่อเปรียบเทียบกับ การดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์เชิงพาณิชย์และกระบวนการล้างด้วยน้ำพบว่าการทำไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์ด้วยถ่านกัมมันต์จากแกลบ ให้ค่าความเป็นกรดน้อยกว่า ถ่านกัมมันต์พาณิชย์และการล้างด้วยน้ำถึง 4 และ 7 เท่า ตามลำดับ และทั้ง 3 กระบวนการสามารถทำไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์ได้และมีค่าความเป็นกรดของไบโอดีเซลต่ำกว่า 0.5 mg KOH/g ซึ่งตรงตามมาตรฐาน ASTM D 664

การผลิตตัวดูดซับจากถ่านกัมมันต์

Ahmadrup และ Do (1997) ศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลาแมคคาเดเมียโดยใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์และซิงค์คลอไรด์เป็นสารเคมีในการกระตุ้น อุณหภูมิในการกระตุ้น 500-800 องศาเซลเซียส จากผลการทดลองพบว่า อุณหภูมิและสารเคมีในการกระตุ้นมีบทบาทสำคัญต่อโครงสร้างรูพรุนของถ่านกัมมันต์ ถ่านกัมมันต์จากกะลาแมคคาเดเมียที่กระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์มีพื้นที่ผิวรูพรุนน้อยกว่าถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ ภาวะที่เหมาะสมในการกระตุ้น คือ อุณหภูมิในการกระตุ้น 500 องศาเซลเซียส เวลาในการกระตุ้น 60 นาที ถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นโดยใช้ซิงค์คลอไรด์เป็นสารเคมีกระตุ้นมีพื้นที่ผิวสูงสุด 1,718 ตารางเมตรต่อกรัมและปริมาตรรูพรุน 0.732 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม

Dimitrios และคณะ (2008) ได้ผลิตถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากชานอ้อยและแกลบโดยการกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ โซเดียมไฮดรอกไซด์ และกรดฟอสฟอริก โดยการใช้อุณหภูมิที่ 600 700 และ 800 องศาเซลเซียส พบว่าการที่ใช้ซิงค์คลอไรด์เป็นสารกระตุ้นทำให้ได้ถ่านกัมมันต์ที่มีคุณภาพที่ดี และใช้อัตราส่วนของชานอ้อยต่อซิงค์คลอไรด์เท่ากับ 1:0.75 และแกลบต่อซิงค์คลอไรด์เท่ากับ 1:1 ถ่านกัมมันต์ที่ได้มีพื้นผิวเป็น 674 m^2/g และ 750 m^2/g ตามลำดับ

Suat และคณะ (2009) เป็นการนำเมล็ดทับทิมมาเป็นสารตั้งต้นสำหรับการเตรียมถ่านกัมมันต์ โดยการกระตุ้นทางเคมีกับ ZnCl_2 ได้มีการศึกษาตัวแปรต่างๆ ได้แก่ การคาร์บอนไนซ์ อุณหภูมิ และพื้นที่ผิว คุณสมบัติพื้นผิวทางเคมีของถ่านกัมมันต์ มีการใช้อุณหภูมิเท่ากับ 600 องศาเซลเซียส พื้นที่ผิวเฉพาะคาร์บอนมีพื้นที่ผิวสูงถึง 978.8 m^2/g^{-1} ผลสรุปที่ได้พบว่าพื้นที่ผิวและปริมาตรรูพรุนทั้งหมดของถ่านกัมมันต์ อัตราการทำให้มีขึ้นของพื้นที่ผิวดำที่สุดและการคาร์บอนไนซ์ อุณหภูมิ มีค่าสูงถึง 709.4 m^2/g^{-1} และ 0.329 $\text{cm}^3/\text{g}^{-1}$ ตามลำดับ ZnCl_2 จะมีอิทธิพลอย่างมากต่ออัตราการเพิ่มพื้นที่ผิว การคาร์บอนไนซ์ และอุณหภูมิจะมีอิทธิพลเป็นลำดับต่อมา

สุพรรณิ จันท์ภิรมณ์ (2550) งานวิจัยนี้เป็นการผลิตถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไยโดยวิธีการกระตุ้นทางกายภาพด้วยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และการกระตุ้นทางเคมีด้วยกรดฟอสฟอริก สมบัติพื้นผิวของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้ถูกวิเคราะห์โดยวิธีดูดซับแก๊สไนโตรเจนที่ -196 องศาเซลเซียส ได้ศึกษาผลของสภาวะการเตรียมที่มีต่อสมบัติความพรุนของถ่านกัมมันต์ ขอบเขตของสภาวะในการกระตุ้นทางกายภาพ ได้แก่ อุณหภูมิ กระตุ้นอยู่ในช่วง 800-900 องศาเซลเซียส และเวลาในการกระตุ้นที่ใช้ ได้แก่ 30, 60, 120 และ 180 นาที ส่วนการกระตุ้นทางเคมีด้วยกรดฟอสฟอริกนั้นได้ศึกษาเฉพาะผลของอุณหภูมิการกระตุ้นในช่วง 400-900 องศาเซลเซียส พบว่าในการกระตุ้นทางกายภาพผลจากการเพิ่มอุณหภูมิหรือเวลาการกระตุ้นทำให้ร้อยละน้ำหนักที่หายไปในช่วงการกระตุ้นเพิ่มขึ้นมีค่าอยู่ในช่วง 14-90 เปอร์เซ็นต์ และมีผลโดยตรงต่อสมบัติความพรุนของถ่านกัมมันต์ โดยพบว่าเมื่อค่าร้อยละน้ำหนักที่หายไปมีค่าเพิ่มขึ้นจนถึง 70 เปอร์เซ็นต์ ค่าพื้นที่ผิวและปริมาตรรูพรุนรวมมีค่าเพิ่มมากขึ้น โดยได้พื้นที่ผิวมากที่สุดเท่ากับ 1,278 ตารางเมตรต่อกรัม และปริมาตรรูพรุนรวมเท่ากับ 0.81 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม แต่ที่ร้อยละน้ำหนักที่หายไปสูงชันกว่านี้สมบัติเหล่านี้มีค่าลดลง สำหรับการกระตุ้นทางเคมีนั้นพบว่าในช่วงอุณหภูมิที่เพิ่มจาก 400-700 องศาเซลเซียส พื้นที่ผิวและปริมาตรรูพรุนรวมมีค่าลดลง และกลับมีค่าเพิ่มขึ้นอีกเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในช่วง 700-900 องศาเซลเซียส ซึ่งถ่านกัมมันต์ที่ได้จากสภาวะเตรียมทางเคมี

ในงานวิจัยนี้มีพื้นที่ผิวอยู่ในช่วง 651-946 ตารางเมตรต่อกรัม และปริมาตรรูพรุนรวมเท่ากับ 0.33-0.49 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเชิงการทดลองในห้องปฏิบัติการ ศึกษาการดูดซับกลีเซอรินในไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันประกอบอาหารที่ใช้แล้วโดยใช้ถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไยเป็นตัวดูดซับ เพื่อเป็นการลดปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากการทำไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์ด้วยกระบวนการล้างด้วยน้ำ

3.1 สารเคมี วัสดุ และอุปกรณ์

3.1.1 วัตถุดิบ

- น้ำมันประกอบอาหารที่ใช้แล้ว
- เมล็ดลำไย

3.1.2 สารเคมี

- โซเดียมไฮดรอกไซด์: analytical grade; CARLO ERBA reagent
- กรดไฮโดรคลอริก: analytical grade; Merck
- เมทานอล: analytical grade; Merck
- โทลูอีน: analytical grade; Merck
- เฮปแทน: analytical grade; Merck
- ฟีนอล์ฟทาซีน: analytical grade; CARLO ERBA reagent
- ฟีนอลเรด: analytical grade; CARLO ERBA reagent
- โบรโมฟีนอลบลู: analytical grade; CARLO ERBA reagent
- p-Naptholbenzein
- ซิงค์คลอไรด์: R.O.C Made in Taiwan
- โซเดียมไทโอซัลเฟต: Ajax Finechem Assay 99.5-101.0%
- โซเดียมคาร์บอเนต: MERCK, F.R. Germany

- โซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต: Ajax Finechem Assay 99.0-101.0%
- โบแตสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต: CARLO ERBA Assay 99.0%
- โบแตสเซียมไอโอไดด์: Ajax Finechem Assay 99.0-100.5%
- โบแตสเซียมไอโอเดต: Ajax Finechem Assay 99.4-100.4%
- ไอโอดีน: QReC Assay 99.8% min
- แป้ง (Starch)
- เมทิลีนบลู: QReC Assay 82% min
- ก๊าซไนโตรเจน 99.99%

3.1.3 วัสดุและอุปกรณ์

- เครื่องบดซีวมวลชนิดละเอียด Retsch GMBH wesa-Germany รุ่น 5657 HAAN
- ตะแกรงร่อน ขนาด 100-120 เมช และ 8 - 10 เมช
- โถดูดความชื้น (Desiccator)
- ตู้อบความร้อน: Model UE/ BE 200-800, Memmert, Germany
- กระดาษกรอง เบอร์ 1 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 125 มิลลิเมตร: Whatman
- กระดาษกรอง เบอร์ 42 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 110 มิลลิเมตร: Whatman
- Syringe Filters (100/pk): LUBITECH 0.45 Nylon 13 มิลลิเมตร
- เครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง: Model BJ 10006, Switzerland
- เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง: Model BP 1211D, Sartorius, Germany
- เครื่องเขย่าแนวราบ: GFL-306
- เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (Gas Chromatography): Varian CP-3800
- ชุดกระตุ้นแบบเบดนิ่ง เป็นลักษณะเตาให้ความร้อนแบบรีทอร์ต (retort) แนวตั้ง (vertical) ปรับอุณหภูมิได้สูงถึง 1,200 องศาเซลเซียส ตรงกลางจะเป็นท่อรูปทรงกระบอก เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.02 เมตร ยาว 0.50 เมตร เป็นส่วนของเครื่องปฏิกรณ์เพื่อใส่ตัวอย่าง
- เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) ชนิด K
- เครื่องควบคุมอุณหภูมิ (Temperature controller)
- เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (UV-VIS Spectrophotometer) รุ่น Model UVA 150318 Type Helios Alpha, Thermo, England.

- Scanning Electron Microscope (SEM) รุ่น JSM-6400
- เครื่อง Rotary Evaporator; Model Buchi
- นาฬิกาจับเวลา
- ชุดเครื่องแก้ว
- viscometer

3.2 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย

3.2.1 การผลิตถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไย

3.2.1.1 การเตรียมวัตถุดิบ

- นำเมล็ดลำไยมาล้างด้วยน้ำให้สะอาดแล้วนำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำเมล็ดลำไยที่อบแห้งแล้วมาบดและคัดขนาดด้วยตะแกรงร่อนขนาด 8 - 10 เมช นำเมล็ดลำไยที่บดและคัดขนาดแล้วเก็บในภาชนะเพื่อทำการกระตุ้นในขั้นตอนต่อไป

3.2.1.2 การกระตุ้นเมล็ดลำไย

- นำเมล็ดลำไยที่บดและคัดขนาดอนุภาคแล้วมาแช่ในสารละลายซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$) ในอัตราส่วนเมล็ดลำไยต่อซิงค์คลอไรด์ เท่ากับ 1:2 (20 กรัม: 40 กรัม) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
- เมื่อแช่เมล็ดลำไยในสารละลายครบ 24 ชั่วโมงแล้ว นำเมล็ดลำไยที่แช่สารละลายซิงค์คลอไรด์แล้วไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
- นำเมล็ดลำไยใส่ลงท่อทรงกระบอกแสดงตัวเลขของเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่งภาพที่ 3.1 โดยท่อทรงกระบอกแสดงตัวเลขจะมีตะแกรงเหล็กกรองไว้ตรงบริเวณสามส่วนสี่ของท่อทรงกระบอกแสดงตัวเลข เพื่อรองรับไม่ให้เมล็ดลำไยไหลออกทางด้านล่างของเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง
- ประกอบท่อทรงกระบอกแสดงตัวเลขของเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง (ภาพที่ 3.1) กับเทอร์โมคัปเปิลชนิด K เข้าด้วยกันทางด้านบนของเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง จากนั้นนำไปใส่ลงในเตาเผาแบบท่อ ทำการต่อท่อแสดงตัวเลขรูปตัวแอลทางด้านล่างของเครื่องปฏิกรณ์

แบบเบตนิ่ง เพื่อเป็นทางออกของแก๊สและสารระเหย แผนภาพเครื่องมือและอุปกรณ์การกระตุ้น แสดงดังภาพที่ 3.2



ภาพที่ 3.1 ท่อสแตนเลสของเครื่องปฏิกรณ์แบบเบตนิ่ง

- ทำการเผาเมล็ดลำไยในอุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 180 นาที ภายใต้บรรยากาศก๊าซไนโตรเจนด้วยอัตราการไหล 100 มิลลิลิตรต่อนาที เมื่อครบเวลาที่กำหนด ทำการปิดเครื่องเตาเผาแบบท่อ แล้วทิ้งไว้จนอุณหภูมิของเครื่องเตาเผาเย็นลงจนถึงอุณหภูมิห้อง

- นำถ่านกัมมันต์ที่ได้มาแช่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นร้อยละ 10 จากนั้นล้างด้วยน้ำกลั่นอุ่น จนค่า pH ของน้ำล้างมีค่าเป็นกลาง นำถ่านกัมมันต์ไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

- บดและคัดขนาดอนุภาคด้วยตะแกรงร่อน ในการทดลองนี้จะศึกษา ถ่านกัมมันต์ขนาด 100-120 เมช และ 8 - 10 เมช เมื่อบดและคัดขนาดแล้วนำถ่านกัมมันต์ที่ได้ เก็บไว้ในตู้ดูดความชื้นเพื่อใช้วิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป

3.2.1.3 การวิเคราะห์สมบัติต่างๆของถ่านกัมมันต์

- 1) หาร้อยละผลผลิตที่ได้ของผลิตภัณฑ์
- 2) หาค่าการดูดซับไอโอดีน

3) หาค่าการดูดซับเมทธิลินบลู

4) วิเคราะห์พื้นที่ผิว ปริมาตรรูพรุน และขนาดเฉลี่ยรูพรุน ด้วยวิธี BET

5) วิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวภายนอกโดยการใช้เทคนิคการถ่ายภาพด้วย

กล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) โดยการนำถ่านกัมมันต์มาทำการเคลือบผิวด้วยโลหะทองในเครื่องเคลือบโลหะสุญญากาศ เพื่อให้ถ่านกัมมันต์นั้นมีสภาพนำได้ (Conductivity) และทำให้เกิดอิเล็กตรอน จากนั้นนำตัวอย่างถ่านกัมมันต์ที่เคลือบผิวแล้วมาวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน เพื่อที่จะดูลักษณะพื้นผิวของถ่านกัมมันต์

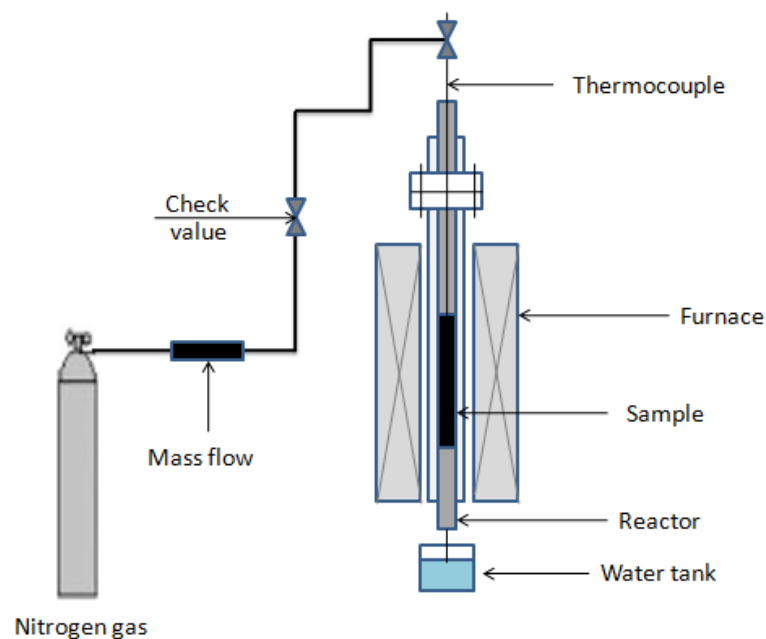
การคำนวณร้อยละผลผลิตที่ได้ของถ่านกัมมันต์

ก่อนนำถ่านกัมมันต์มาซึ่งเพื่อคำนวณร้อยละผลผลิตที่ได้ของถ่านกัมมันต์ต้องทำการอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง เพื่อกำจัดความชื้น

$$\text{ร้อยละผลผลิตที่ได้ของถ่านกัมมันต์} = 100 \times \left(\frac{W_{AC}}{W_C} \right)$$

เมื่อ W_{AC} = น้ำหนักของแข็งที่เหลือหลังจากการกระตุ้น

W_C = น้ำหนักของวัตถุดิบเริ่มต้น



(ก)



(ข)

ภาพที่ 3.2 (ก) และ (ข) แผนภาพเครื่องมือและอุปกรณ์ในขั้นตอนการกระตุ้นถ่านกัมมันต์

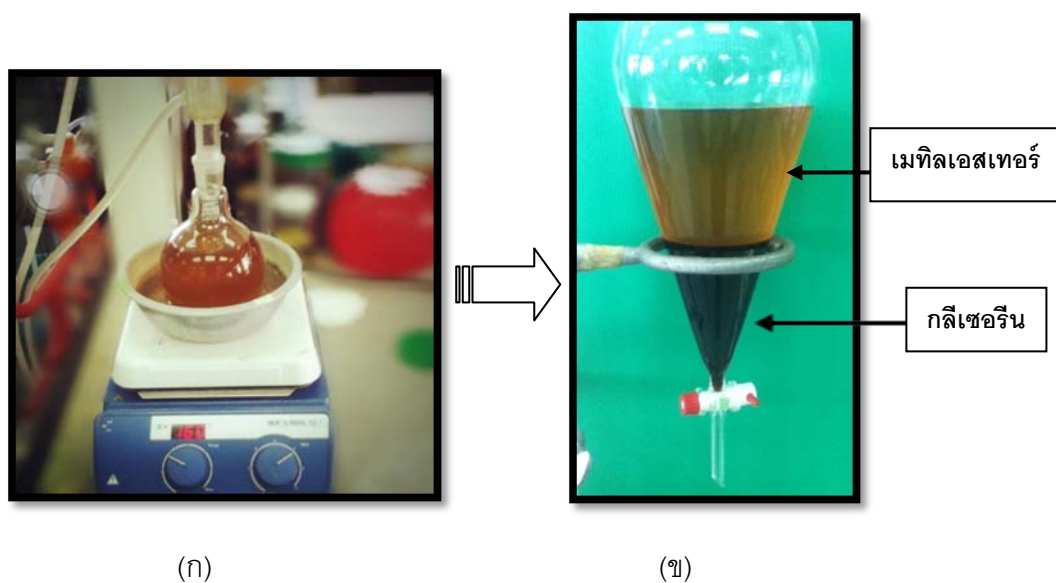
3.2.2 การสังเคราะห์ไบโอดีเซล

เนื่องจากน้ำมันที่ใช้ในการสังเคราะห์ไบโอดีเซลนี้เป็นน้ำมันพืชใช้แล้ว ดังนั้นจึงต้องทำการวิเคราะห์หาปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันก่อน (วิธีการคำนวณหาปริมาณกรดไขมันอิสระแสดงในภาคผนวก ก) ถ้าปริมาณกรดไขมันอิสระน้อยกว่า 3 ทำการสังเคราะห์ไบโอดีเซลโดยใช้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน แต่ถ้าปริมาณกรดไขมันอิสระมากกว่า 3 เพื่อป้องกันการเกิดสบู่จะทำการสังเคราะห์ไบโอดีเซลแบบ 2 ขั้นตอน คือ จะใช้ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันในขั้นแรก จากนั้นจึงทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

น้ำมันที่ใช้ในการทดลองนี้มีค่ากรดไขมันอิสระเท่ากับ 1.54% ดังนั้นจึงทำการสังเคราะห์ไบโอดีเซลโดยใช้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งปริมาณของโซเดียมไฮดรอกไซด์คือ 1% โดยน้ำหนักของน้ำมัน อัตราส่วนน้ำมันต่อเมทานอลเท่ากับ 1:6

ทำการตั้งอุณหภูมิฟลักซ์ โดยมีขวดก้นกลมต่อกับคอนเดนเซอร์ ซึ่งน้ำมันพืชใช้แล้ว 500 กรัม ลงในขวดก้นกลมขนาด 1000 มิลลิลิตร ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60-65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที ระหว่างนี้ทำการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาในสารละลายแอลกอฮอล์ โดยการละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์กับเมทานอล เมื่อได้ตัวเร่งปฏิกิริยาแล้วทำการเติมลงในน้ำมันที่

อุ่นไว้ คนด้วยแท่งแม่เหล็ก ตั้งรีฟลักซ์ที่อุณหภูมิ 60-65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 นาที (ดังภาพที่ 3.3) เมื่อครบกำหนดเวลาทำการเทสารละลายใส่กรวยแยก ตั้งทิ้งไว้ให้แยกชั้นเป็นเวลา 30 นาที โดยชั้นบนจะเป็นชั้นเมทิลเอสเทอร์มีลักษณะเป็นของเหลวคล้ายน้ำมันสีเหลืองเข้มส่วนชั้นล่างเป็นชั้นกลีเซอรินมีลักษณะเป็นของเหลวหนืดสีน้ำตาล (ภาพที่ 3.3) เก็บชั้นบนเพื่อทำการทดลองในขั้นตอนต่อไป



ภาพที่ 3.3 (ก) การสังเคราะห์ไบโอดีเซล (ข) เมื่อตั้งไบโอดีเซลทิ้งไว้ในกรวยแยก 30 นาที

3.2.3 ศึกษาปริมาณกลีเซอรินเมื่อตั้งทิ้งไว้ที่เวลาต่างๆ

นำไบโอดีเซลที่สังเคราะห์ได้จาก 3.2.2 มาตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง ทำการวิเคราะห์หาปริมาณกลีเซอรินในไบโอดีเซลที่เวลา 0, 0.5, 1, 3, 5, 50 ชั่วโมง คำนวณหาปริมาณกลีเซอรินซึ่งแสดงในหัวข้อ 3.2.6.1

3.2.4 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการทำไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วให้บริสุทธิ์โดยใช้ถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไยเป็นตัวดูดซับ

3.2.4.1 ผลของเวลาที่ใช้ในการดูดซับกลีเซอรินในไบโอดีเซล

ทำการดูดซับกลีเซอรินในไบโอดีเซลโดยใช้ถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไยเป็นตัวดูดซับ ดูดซับที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งเวลาที่ใช้ดูดซับคือ 10 20 และ 30 นาที โดยใช้ถ่านกัมมันต์ร้อยละ 5 โดยน้ำหนักไบโอดีเซล (40 กรัม) เป็นตัวดูดซับ ที่อัตราการเขย่า 200 รอบต่อนาที จากนั้นกรองเอาตัวดูดซับออกด้วยตัวกรอง (Filter) คำนวณหาปริมาณกลีเซอรินซึ่งแสดงในหัวข้อ 3.2.6.1

3.2.4.2 ผลของขนาดถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไยที่ใช้ในการดูดซับกลีเซอรินในไบโอดีเซล

ทำการดูดซับกลีเซอรินในไบโอดีเซลโดยใช้ถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไยขนาด 100-120 เมช และ 8 - 10 เมช เป็นตัวดูดซับ โดยใช้ปริมาณถ่านกัมมันต์ในปริมาณต่างๆกันคือ ร้อยละ 1 3 และ 5 โดยน้ำหนักไบโอดีเซล (40 กรัม) ทำการดูดซับที่อุณหภูมิห้อง 20 นาที ที่อัตราการเขย่า 200 รอบต่อนาที จากนั้นกรองเอาตัวดูดซับออกด้วยตัวกรอง (Filter) คำนวณหาปริมาณกลีเซอรินซึ่งแสดงในหัวข้อ 3.2.6.1

3.2.4.3 ผลของปริมาณถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไยที่ใช้ในการดูดซับกลีเซอรินในไบโอดีเซล

ทำการดูดซับกลีเซอรินในไบโอดีเซลโดยใช้ถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไยขนาด 100-120 เมช และ 8 - 10 เมช เป็นตัวดูดซับ โดยใช้ปริมาณถ่านกัมมันต์ในปริมาณต่างๆกันคือ ร้อยละ 1 3 5 และ 7 โดยน้ำหนักไบโอดีเซล (40 กรัม) ทำการดูดซับที่อุณหภูมิห้อง 20 นาที ที่อัตราการเขย่า 200 รอบต่อนาที จากนั้นกรองเอาตัวดูดซับออกด้วยตัวกรอง (Filter) คำนวณหาปริมาณกลีเซอรินซึ่งแสดงในหัวข้อ 3.2.6.1

3.2.4.4 ผลของเมทานอลในไบโอดีเซลต่อการดูดซับกลีเซอริน

นำไบโอดีเซลที่สังเคราะห์ได้จาก 3.2.2 มาทำการกำจัดเมทานอลที่เหลืออยู่โดยใช้เครื่องกลั่นระเหยสารแบบหมุน (ภาพที่ 3.4) ประมาณ 30 นาที ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จากนั้นนำไบโอดีเซลที่กำจัดเมทานอลแล้วมาทำการดูดซับกลีเซอรินด้วยถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไยขนาด 100-120 เมช ร้อยละ 0.5 1 1.5 และ 5 โดยน้ำหนักไบโอดีเซล (40 กรัม) ทำการดูดซับที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 20 นาที ที่อัตราการเขย่า 200 รอบต่อนาที จากนั้นกรองเอาตัวดูดซับออกด้วยตัวกรอง (Filter) คำนวณหาปริมาณกลีเซอรินซึ่งแสดงในหัวข้อ 3.2.6.1



ภาพที่ 3.4 การกำจัดเมทานอลออกจากไบโอดีเซล

3.2.4.5 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดซับกลีเซอรินระหว่างถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไยและถ่านกัมมันต์ทางการค้า

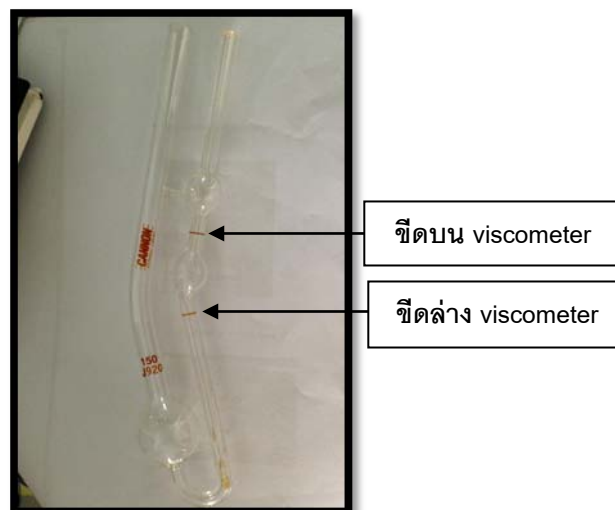
ดูดซับกลีเซอรินในไบโอดีเซลโดยทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับกลีเซอรินโดยใช้ถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไยและถ่านกัมมันต์ทางการค้า ร้อยละ 1 3 5 และ 7 ของน้ำหนักไบโอดีเซล (40 กรัม) ทำการดูดซับที่อุณหภูมิห้อง 20 นาที ที่อัตราการเขย่า 200 รอบต่อนาที จากนั้นกรองเอาตัวดูดซับออกด้วยตัวกรอง (Filter) คำนวณหาปริมาณกลีเซอรินแสดงในหัวข้อ 3.2.5.1 และเปรียบเทียบกับการล้างไบโอดีเซลด้วยน้ำปราศจากไอออนที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส โดยทำการล้างไบโอดีเซลจนกว่าไบโอดีเซลจะมีลักษณะใสและน้ำที่ล้างมีลักษณะใสเก็บตัวอย่างไบโอดีเซลไปคำนวณหาปริมาณกลีเซอริน

3.2.4.6 การหาค่าความหนืดของไบโอดีเซล (ASTM D445)

- เปิดเครื่องวัดความหนืด (ภาพที่ 3.5) ให้มีอุณหภูมิเท่ากับ 40 องศาเซลเซียส
- ใช้ปิเปตดูดตัวอย่างไบโอดีเซลที่ผ่านการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไยแล้ว มาปริมาณ 7 มิลลิลิตร ใส่ลงใน viscometer ขนาด 150 มิลลิลิตร
- ใช้ลูกยางดูดตัวอย่างไบโอดีเซลขึ้นมาให้เลยขีดบนของ viscometer
- ปลดปล่อยตัวอย่างให้ไหลลงมา และเริ่มจับเวลาเมื่อตัวอย่างอยู่ระดับขีดบนของ viscometer และหยุดจับเวลาเมื่อตัวอย่างอยู่ขีดล่างของ viscometer (ภาพที่ 3.6)



ภาพที่ 3.5 เครื่องวัดความหนืด



ภาพที่ 3.6 viscometer

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

$$\text{viscosity} = Ct$$

เมื่อ $C =$ ค่าคงที่ของ viscometer (mm^2/s^2)

Time = เวลาที่ตัวอย่างเคลื่อนที่จากขีดบนไปขีดล่าง (s)

โดยที่กรมธุรกิจพลังงานได้กำหนดค่าความหนืด ณ อุณหภูมิ 40 °C ของเมทิลเอสเตอ์ไว้ในช่วง 3.5-5.0 เซนติสโตกส์ (cSt)

3.2.4.7 การวิเคราะห์หาปริมาณกลีเซอรอลอิสระและกลีเซอรอลทั้งหมด โดยการใช้เทคนิคก๊าซโครมาโทกราฟี

ใช้เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี CP-3800 Varian ซึ่งเป็นวิธีการวิเคราะห์ตามมาตรฐาน EN14105 โดยมี Flame Ionization Detection (FID) เป็นตัวตรวจวัด

การเตรียมไบโอดีเซลเพื่อทำการวิเคราะห์ เตรียมได้โดยทำการชั่งตัวอย่างไบโอดีเซล 100 มิลลิกรัม ในขวดแก้วขนาด 10 มิลลิตร เติม internal standard 1 และ internal standard ปริมาณ 80 และ 100 ไมโครลิตร ตามลำดับ และทำการเติม MSTFA 100 ไมโครลิตร ปิดฝาทันทีและเขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ 15-20 นาที ที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นเติมเฮปเทน 8 มิลลิตร เขย่าให้เข้ากัน จากนั้นดูดสารตัวอย่าง 1 ไมโครลิตร ฉีดเข้าไปในเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีที่อุณหภูมิเตาอบ (oven temperature) เท่ากับ 50 องศาเซลเซียส แก๊สตัวนำที่ใช้คือ ฮีเลียม คำนวณปริมาณกลีเซอรอลอิสระและกลีเซอรอลทั้งหมด

3.2.5 การศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับ

เป็นการศึกษาความสามารถในการดูดซับกลีเซอรินของถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไยและถ่านกัมมันต์ทางการค้าที่เป็นตัวดูดซับ มีวิธีการดังนี้

- 1) ชั่งน้ำหนักตัวดูดซับจากเมล็ดลำไยและถ่านกัมมันต์ทางการค้าร้อยละ 1- 10 โดยน้ำหนักไบโอดีเซล (40 กรัม)
- 2) ทำการดูดซับกลีเซอรินที่อุณหภูมิห้อง โดยใช้รอบการเขย่าเท่ากับ 200 รอบต่อนาที
- 3) กรองเอาตัวดูดซับออกด้วยตัวกรอง (Filter) หาปริมาณกลีเซอรินคงเหลือที่อยู่ในไบโอดีเซลที่ผ่านการดูดซับออกแล้วด้วยวิธีการไทเทรต
- 4) คำนวณไอโซเทอมการดูดซับของตัวดูดซับจากเมล็ดลำไยโดยการนำปริมาณกลีเซอรินที่ได้เข้าสมการไอโซเทอรัมแลงเมียร์ และฟรอนดิช ดังสมการที่ 3.1 และ 3.2

สมการไอโซเทอมแลงเมียร์

$$\frac{1}{(X/M)} = \frac{1}{abC_e} + \frac{1}{a} \quad (3.1)$$

เมื่อ X/M = ความสามารถในการดูดซับ (mg/g)
 C_e = ความเข้มข้นกลีเซอรินที่สภาวะสมดุล (mg/l)
 a = ค่าคงที่การดูดซับแบบชั้นเดียว (mg/g)
 b = ค่าคงที่ของสมการแลงเมียร์ (l/mg)

ซึ่งค่าคงที่ของสมการไอโซเทอมแลงเมียร์ a และ b สามารถหาได้จาก slope และ intercept

สมการไอโซเทอมฟรอนดิช

$$\log(X/M) = \log C_e \frac{1}{n} + \log K_F \quad (3.2)$$

เมื่อ C_e = ความเข้มข้นที่สภาวะสมดุล (mg/l)
 X/M = ความสามารถในการดูดซับ (mg/g)
 K_F = ค่าคงที่แสดงความสามารถในการดูดซับหลายชั้น (mg/g)
 n = ค่าคงที่ของฟรอนดิชที่อุณหภูมิหนึ่งๆ

ซึ่งค่าคงที่ของสมการไอโซเทอรัมฟรอนดิช $1/n$ และ K_F สามารถหาได้จาก slope และ intercept

3.2.6 การวิเคราะห์ไบโอดีเซล

3.2.6.1 การวิเคราะห์หาปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหลือและปริมาณกลีเซอรินโดยวิธีการไทเทรชัน

- 1) ชั่งตัวอย่างไบโอดีเซล 10 กรัม ละลายตัวอย่างไบโอดีเซลด้วยไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ (isopropyl alcohol) 100 มิลลิลิตร
- 2) เติม 1% ฟีนอลเรด (phenol red) ปริมาณ 1 มิลลิลิตร ลงในสารละลาย
- 3) ไทเทรตสารละลายด้วยกรดไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้น 0.01 โมลาร์ จนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนจากสีแดงเป็นสีเหลืองใส กำหนดให้ปริมาณกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการไทเทรตจนถึงจุดยุติมีค่าเป็น "A"

4) เติม 0.04% โบรโมฟีนอลบลู (bromophenol blue) ปริมาณ 1 มิลลิลิตร ลงในสารละลายในข้อ 3 นำไปไทเทรตกับสารละลายไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.01 โมลาร์ จนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลืองใส กำหนดให้ปริมาณกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการไทเทรตจนถึงจุดยุติมีค่าเป็น “B”

5) คำนวณหาปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหลือและปริมาณกลีเซอริน (วิธีการคำนวณแสดงในภาคผนวก ก)

3.2.6.2 การวิเคราะห์ปริมาณค่าความเป็นกรดของไบโอดีเซลตามมาตรฐาน ASTM D664

สารเคมีที่ใช้

- สารละลายมาตรฐานแอลกอฮอล์ลิคของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์
- สารละลายพาราแนพทอลเบนซีน (*p*-naphtholbenzene)
- สารละลายไทเทรชัน (titration solvent)

ขั้นตอนการวิเคราะห์

1) นำตัวอย่างไบโอดีเซลไปล้างด้วยน้ำ เพื่อกำจัดสบู่ที่เหลืออยู่ โดยทำการเข้าเครื่องปั่นเหวี่ยง ที่ความเร็ว 5000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 นาที จากนั้นทิ้งไว้ 10 นาที เพื่อให้น้ำมันเกิดการแยกชั้น ดูดไบโอดีเซลที่อยู่ชั้นบนมาทำการวิเคราะห์หาค่าความเป็นกรด

2) ทำตัวควบคุมโดยปิเปตสารละลายไทเทรชัน 25 มิลลิลิตร และสารละลายพาราแนพทอลเบนซีน อินดิเคเตอร์ 0.125 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน จากนั้นไทเทรตด้วยสารละลายมาตรฐานแอลกอฮอล์ลิคของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ จนได้จุดยุติจากสีส้มเป็นสีเขียว

3) ชั่งน้ำมันตัวอย่าง 2 กรัม (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) ปิเปตสารละลายไทเทรชัน 25 มิลลิลิตร และสารละลายพาราแนพทอลเบนซีน อินดิเคเตอร์ 0.125 มิลลิลิตร เขย่าสารละลายให้เข้ากัน

4) นำสารละลายข้อ 2 ไปไทเทรตด้วยสารละลายมาตรฐานแอลกอฮอล์ลิคของ

โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ จนได้จุดยุติจากสีส้มเป็นสีเขียว จดปริมาณสารมาตรฐานปฐมภูมิที่ใช้ในการไทเทรต แล้วไปคำนวณหาค่าความเป็นกรด (การเตรียมสารเคมีและการคำนวณแสดงในภาคผนวก ก)

บทที่ 4

ผลการทดลองและการอภิปรายผล

การศึกษานี้ได้ทำการทดลองตามวิธีการในบทที่ 3 ซึ่งแบ่งผลการทดลองออกเป็น 3 ส่วนดังนี้

ส่วนที่ 1 ศึกษากระบวนการผลิตและคุณสมบัติของตัวดูดซับถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไย

ส่วนที่ 2 ศึกษากระบวนการทำไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์

ส่วนที่ 3 ศึกษาไอโซเทอมการดูดซับ

4.1 ศึกษากระบวนการผลิตและคุณสมบัติตัวดูดซับถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไย

4.1.1 ศึกษากระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไย

เมล็ดลำไยมีคุณสมบัติเหมาะสมในการเลือกใช้เป็นวัตถุดิบในการเตรียมถ่านกัมมันต์ เนื่องจากเมล็ดลำไยมีปริมาณคาร์บอนสูงคือ ร้อยละ 19.07 โดยน้ำหนัก มีปริมาณความชื้นต่ำและซัลเฟอร์ต่ำ (ณัฐวิภา, 2549) ซึ่งใกล้เคียงกับวัสดุชีวมวลชนิดอื่นๆ เช่น เมล็ดองุ่น (19.0 เปอร์เซ็นต์) (Gergova et al., 1994) และกะลาผลปาล์ม (19.08 เปอร์เซ็นต์) (Guo and Lua, 2001) จัดว่าเป็นปริมาณคาร์บอนคงตัวที่สูงในวัสดุชีวมวลโดยทั่วไป การที่มีปริมาณคาร์บอนคงตัวที่สูงนั้นถือได้ว่าเป็นสมบัติเบื้องต้นที่ดีของวัตถุดิบในการเตรียมถ่านกัมมันต์ (Ioannidou, O. และ Zabanitoutou, A., 2007)

การผลิตถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไย เตรียมได้จากการนำเมล็ดลำไยมากระตุ้นด้วยสารละลาย $ZnCl_2$ ในอัตราส่วนเมล็ดลำไยต่อสารละลายซิงค์คลอไรด์ เท่ากับ 1:2 (เมล็ดลำไย 20 กรัม ซิงค์คลอไรด์ 40 กรัม) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำเมล็ดลำไยที่ผ่านการกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์แล้วไปเผาในเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่งที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 180 นาที ในบรรยากาศของไนโตรเจน ด้วยอัตราการไหล 100 มิลลิลิตรต่อนาที นำถ่านกัมมันต์ที่ได้ล้างด้วย 10% HCl และน้ำกลั่นอุณหภูมิ pH ของน้ำล้างเป็นกลาง การที่ล้างด้วย HCl เพื่อเป็นการกำจัด $ZnCl_2$ ที่ตกค้างและยึดติดอยู่บนผิวของถ่านกัมมันต์ เพราะเมื่อทำการเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส $ZnCl_2$ จะอยู่ในรูปไอออน Zn^{2+} เกาะตามพื้นผิวของถ่านกัมมันต์ ซึ่งการล้างถ่านกัมมันต์ด้วยน้ำเพียงอย่างเดียววิธีนั้นไม่สามารถกำจัด ไอออน Zn^{2+} ได้อย่างสมบูรณ์ ต้องอาศัยการล้างด้วยสารละลายกรดอ่อน เพื่อเป็นการช่วยชะล้างไอออน Zn^{2+} ที่ตกค้างได้ดี (จันทร์เลขา, 2554)

จากนั้นนำถ่านกัมมันต์ที่ได้อบให้แห้งที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไยที่ได้แสดงดังภาพที่ 4.1



(ก)



(ข)



(ค)

- ภาพที่ 4.1** ก) เมล็ดลำไยก่อนการกระตุ้นด้วย $ZnCl_2$
 ข) เมล็ดลำไยหลังจากการกระตุ้นด้วย $ZnCl_2$ ที่อัตราส่วนเมล็ดลำไยต่อซิงค์คลอไรด์ เท่ากับ 1:2
 ค) ถ่านกัมมันต์ที่ได้หลังจากการเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 180 นาที ในบรรยากาศของไนโตรเจน ที่อัตราการไหล 100 มิลลิลิตรต่อนาที

4.1.2 ร้อยละผลผลิตจากการเตรียมถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไย

ศึกษาร้อยละผลผลิตจากการเตรียมถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไยด้วยการกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ในอัตราส่วน 1:2 และเผาในบรรยากาศไนโตรเจนเป็นเวลา 180 นาที พบว่าได้ผลดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ร้อยละผลผลิตของถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไย

ครั้งที่	น้ำหนักก่อนเผา (กรัม)	น้ำหนักหลังเผา (กรัม)	ร้อยละของ ผลผลิต	ร้อยละของ ผลผลิต เฉลี่ย
1	20.02	9.01	45.01	44.91 ± 0.45
2	20.05	8.96	44.69	
3	20.06	9.02	44.97	
4	20.00	8.99	44.95	
5	20.08	9.13	45.47	
6	20.04	8.89	44.36	
7	20.02	9.04	45.15	
8	20.03	9.03	45.08	
9	20.01	8.78	43.88	
10	20.05	9.06	45.19	
11	20.06	9.01	44.92	
12	20.08	9.15	45.57	
13	20.05	8.97	44.74	
14	20.07	9.10	45.34	
15	20.04	8.89	44.36	

จากตารางที่ 4.1 พบว่าจากการเตรียมถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไยจะมีร้อยละผลผลิตเท่ากับ 44.91 ± 0.45 ทั้งนี้เนื่องมาจากเมื่อทำการเผาที่อุณหภูมิสูง (800 องศาเซลเซียส) ทำให้ความชื้นและสารระเหยบางส่วนที่อยู่ภายในโครงสร้างของเมล็ดลำไยหลุดออกไป น้ำหนักของ

เมล็ดลำไยจึงมีค่าลดลง อีกทั้งเมล็ดลำไยนอกจากจะมีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบแล้ว ยังมีสารอื่นๆอีก เช่น เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน ซึ่งจะสลายตัวในช่วงอุณหภูมิที่แตกต่างกัน (Yang และคณะ, 2007)

4.1.3 ศึกษาคุณสมบัติตัวดูดซับถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไย

1) ลักษณะทางกายภาพของถ่านกัมมันต์

ทำการวิเคราะห์หาพื้นที่ผิว ขนาดของรูพรุน และปริมาตรของรูพรุนของถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไย ด้วยเครื่อง Surface Area Analyzer (BET method) รุ่น BELSORP-mini, BEL แสดงดังตาราง 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์หาพื้นที่ผิว ขนาดของรูพรุน และปริมาตรของรูพรุน

ถ่านกัมมันต์	พื้นที่ผิว (m^2/g)	ขนาดของรูพรุน (nm)	ปริมาตรของ รูพรุน (cm^3/g)
ถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไย 100-120 mesh	296.72	2.75	0.2039
ถ่านกัมมันต์ทางการค้า 100-120 mesh	357.43	1.46	0.2468

จากตารางจะเห็นได้ว่าถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไยมีขนาดพื้นที่ผิว $296.72 m^2/g$ ขนาดของรูพรุน $2.75 nm$ และปริมาตรของรูพรุน $0.2039 cm^3/g$ ซึ่งตามมาตรฐานของ IUPAC จัดเป็นรูพรุนขนาดกลาง ($2-50 nm$) และถ่านกัมมันต์ทางการค้ามีขนาดพื้นที่ผิว $357.43 m^2/g$ ขนาดของรูพรุน $1.46 nm$ และปริมาตรของรูพรุน $0.2468 cm^3/g$ ซึ่งตามมาตรฐานของ IUPAC จัดเป็นรูพรุนขนาดเล็ก ($< 2 nm$) เมื่อทำการเปรียบเทียบถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไยและถ่านกัมมันต์ทางการค้า พบว่าขนาดของพื้นที่ผิว ขนาดรูพรุน และปริมาตรรูพรุน นั้นมีค่าแตกต่างกัน เนื่องจากวัตถุดิบตั้งต้นที่ใช้ และขั้นตอนกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์นั้นไม่เหมือนกัน โดยถ่านกัมมันต์ทางการค้านั้นวัตถุดิบตั้งต้นที่ใช้คือ กะลา

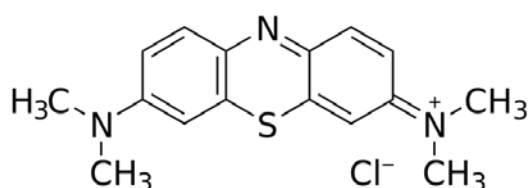
2) การวิเคราะห์หาค่าการดูดซับไอโอดีนตามวิธีมาตรฐาน ASTM D 4607-94

ค่าไอโอดีนน้ำมันเบอร์ดัชนีเป็นค่าที่แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการดูดติดผิวของ ถ่านกัมมันต์ คือ ถ่านกัมมันต์ที่มีค่าไอโอดีนน้ำมันเบอร์ดัชนีสูง ถ่านกัมมันต์นั้นจะมีความสามารถในการดูดติดผิวสูง มีงานวิจัยการศึกษาค่าไอโอดีนน้ำมันเบอร์ดัชนีของถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไยในอัตราส่วน 1:1 1:2 และ 1:3 พบว่า เมล็ดลำไยที่เตรียมโดยการกระตุ้นด้วย $ZnCl_2$ ในอัตราส่วน 1:1 และ 1:2 เมื่ออุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการเผากระตุ้นสูงขึ้น ค่าการดูดซับไอโอดีนน้ำมันเบอร์ดัชนีมีค่าเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเพิ่มอัตราส่วนเป็น 1:3 ค่าการดูดซับไอโอดีนจะมีค่าลดลง เมื่ออุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการเผากระตุ้นสูงขึ้น (ณัฐวิภา, 2549) แสดงว่าการเพิ่มสารกระตุ้น $ZnCl_2$ อาจทำให้ขนาดของรูพรุนมีขนาดใหญ่ขึ้น ทำให้ความสามารถในการดูดซับไอโอดีนมีค่าลดลง เพราะฉะนั้นค่าการดูดซับไอโอดีนจะเพิ่มขึ้น เมื่อมีการเติมสารกระตุ้นจนถึงอัตราส่วนหนึ่ง และจะลดลงเมื่ออัตราส่วนของสารกระตุ้นเพิ่มมากขึ้นจนถึงช่วงหนึ่ง (ลลิตา, 2544)

ในงานวิจัยนี้ค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไยมีค่าเท่ากับ 524.22 มิลลิกรัมต่อกรัม และค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์ทางการค้ามีค่าเท่ากับ 617.18 มิลลิกรัมต่อกรัม ซึ่งค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านทางการค้ามีค่ามากกว่าถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไยเพราะว่าขนาดรูพรุนของถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไยมีขนาดที่ใหญ่กว่าถ่านกัมมันต์ทางการค้า และมีขนาดรูพรุนเฉลี่ยที่ใหญ่กว่าขนาดของโมเลกุลไอโอดีน ทำให้โมเลกุลของไอโอดีนนั้นเข้าไปอยู่ในรูพรุนแต่ไม่สามารถกักเก็บไอโอดีนไว้ภายในรูพรุนได้ ส่งผลทำให้การดูดซับเกิดขึ้นน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์ทางการค้า

3) การดูดซับเมทธิลีนบลูตามวิธีมาตรฐาน JIS 1470-1975

ค่าการดูดซับเมทธิลีนบลูสามารถบอกค่าการดูดซับของตัวดูดซับสำหรับโมเลกุลที่มีขนาดใกล้เคียงกับโมเลกุลของเมทธิลีนบลู โดยขนาดโมเลกุลของเมทธิลีนบลูจัดอยู่ในประเภทขนาดกลางซึ่งถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไยมีค่าการดูดซับเมทธิลีนบลูเท่ากับ 56.42 มิลลิกรัมต่อกรัม และค่าการดูดซับเมทธิลีนบลูของถ่านกัมมันต์ทางการค้ามีค่าเท่ากับ 37.42 มิลลิกรัมต่อกรัม โครงสร้างเมทธิลีนบลูแสดงดังภาพที่ 4.2



ภาพที่ 4.2 โครงสร้างของเมทิลีนบลู

ที่มา: <http://en.wikipedia.org>

ซึ่งค่าการดูดซับเมทิลีนบลูของถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไยมีค่ามากกว่าถ่านกัมมันต์ทางการค้าอาจเป็นเพราะว่าขนาดรูพรุนของถ่านกัมมันต์ทางการค้ามีขนาดรูพรุนที่เล็กกว่า จึงทำให้โมเลกุลของเมทิลีนบลูเข้าไปอยู่ภายในรูพรุนได้ไม่พอดีจึงทำให้ค่าการดูดซับเมทิลีนบลูของถ่านกัมมันต์ทางการค้ามีค่าน้อยกว่าถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไย

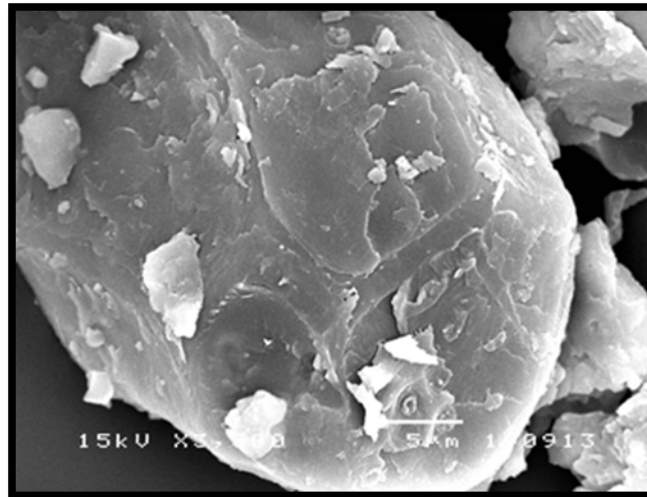
การวิเคราะห์ค่าการดูดซับไอโอดีนัมเบอร์ตามวิธีมาตรฐานของ ASTM D 4607- 94 และค่าการดูดซับเมทิลีนบลู ตามวิธีมาตรฐานของ JIS 1470-1975 ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าการดูดซับไอโอดีนัมเบอร์ และเมทิลีนบลูของตัวดูดซับถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไยและถ่านกัมมันต์ทางการค้า

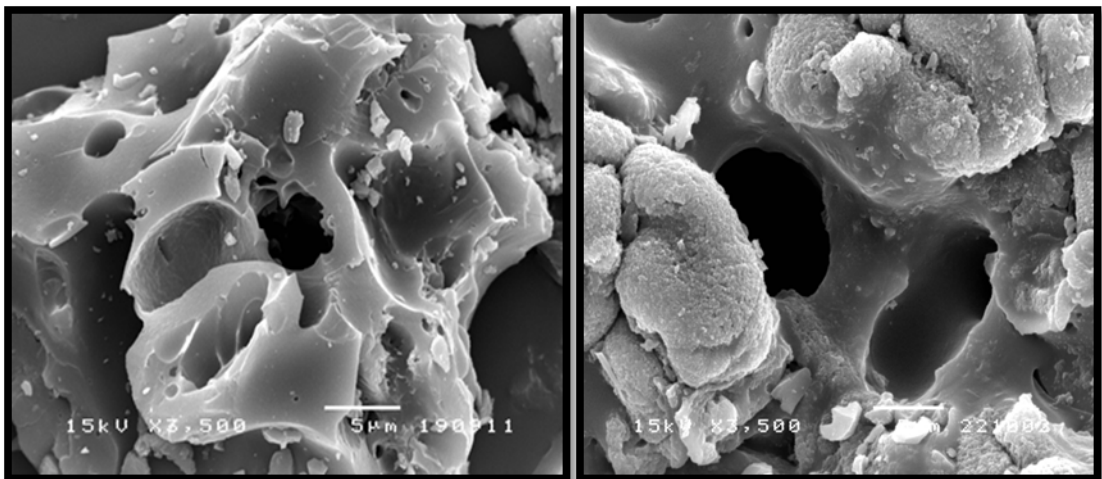
ถ่านกัมมันต์	ค่าการดูดซับไอโอดีนัมเบอร์ (mg/g)	ค่าการดูดซับเมทิลีนบลู (mg/g)
ถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไย	524.22	56.42
ถ่านกัมมันต์ทางการค้า	617.18	37.42

4) ลักษณะสัณฐานวิทยาของถ่านกัมมันต์

ศึกษาลักษณะผิวภายนอกของตัวดูดซับถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไยโดยใช้เครื่อง scanning electron microscopy (SEM) ลักษณะผิวภายนอกของถ่านกัมมันต์ก่อนและหลังกระตุ้นด้วย $ZnCl_2$ ที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักของเมล็ดลำไยต่อ $ZnCl_2$ เท่ากับ 1:2 แสดงดังภาพที่ 4.3 และ 4.4 ตามลำดับ



ภาพที่ 4.3 ลักษณะสัณฐานวิทยาของเมล็ดยี่ก่อนการกระตุ้นด้วย $ZnCl_2$ ที่กำลังขยาย 3,500 เท่า

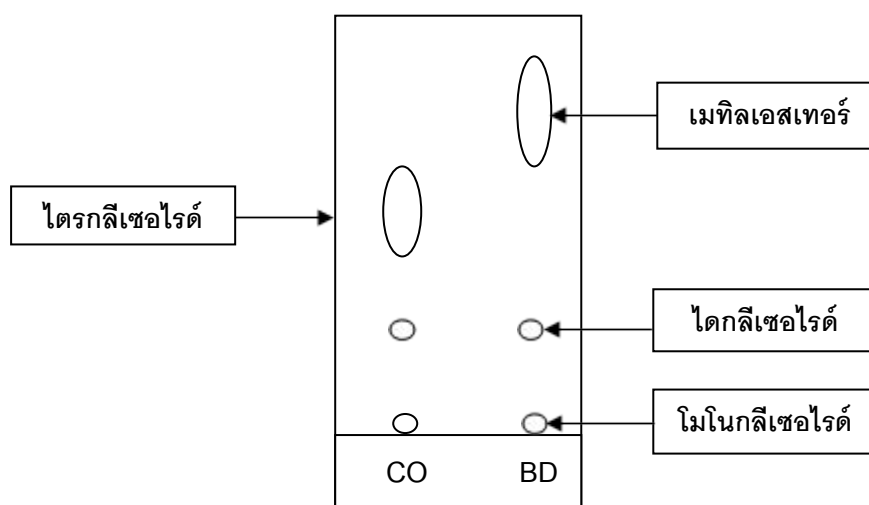


ภาพที่ 4.4 ลักษณะสัณฐานวิทยาของเมล็ดยี่หลังการกระตุ้นด้วย $ZnCl_2$ ที่อัตราส่วนโดย น้ำหนักของเมล็ดยี่ต่อ $ZnCl_2$ เท่ากับ 1:2 และผ่านการเผาที่อุณหภูมิ $800\text{ }^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 180 นาที ที่กำลังขยาย 3,500 เท่า

จากภาพเห็นได้ว่าเมื่อดำเนินการกระตุ้นด้วย $ZnCl_2$ จะมีพื้นผิวเรียบยังไม่มีรูพรุน (ภาพที่ 4.3) แต่เมื่อทำการกระตุ้นด้วย $ZnCl_2$ นั้นจะมีรูพรุนเกิดขึ้น (ภาพที่ 4.4) เนื่องจาก $ZnCl_2$ นั้นจะไปกัดกร่อนทำปฏิกิริยาเคมีกับอะตอมคาร์บอนที่ผิวและโครงสร้างของวัสดุ จึงทำให้มีรูพรุนเกิดขึ้น

4.2 ศึกษากระบวนการทำไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์

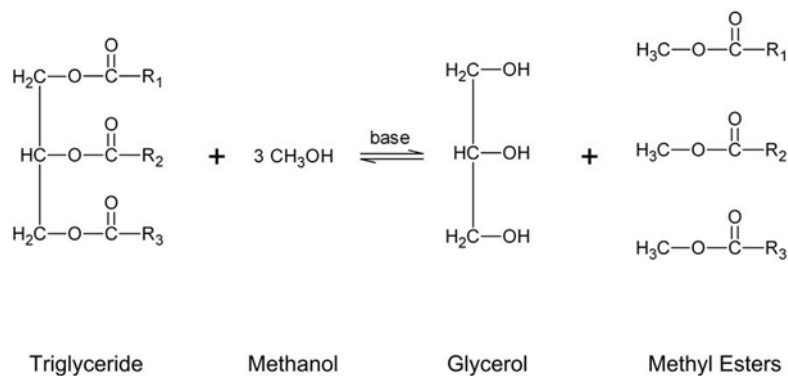
ทำการสังเคราะห์ไบโอดีเซลด้วยน้ำมันประกอบอาหารที่ใช้แล้ว และได้ทำการตรวจสอบว่าเป็นไบโอดีเซลด้วย Thin Layer Chromatography (TLC) (ภาพที่ 4.5) โดยมี mobile phase คือ สารผสมระหว่าง hexane : ethyl acetate : acetic acid เท่ากับ 90 : 10 : 1 โดยปริมาตร พบว่าน้ำมันที่สังเคราะห์ได้นั้นเป็นไบโอดีเซล



ภาพที่ 4.5 การตรวจสอบว่าเป็นไบโอดีเซลด้วย Thin Layer Chromatography (TLC)
CO คือ น้ำมันประกอบอาหารที่ใช้แล้ว BD คือ ไบโอดีเซล

จากภาพที่ 4.5 จะเห็นได้ว่าน้ำมันประกอบอาหารที่ใช้แล้วจะปรากฏที่ตำแหน่งของ ไตรกลีเซอไรด์ และน้ำมันไบโอดีเซลจะปรากฏที่ตำแหน่งโมโนกลีเซอไรด์ ไตรกลีเซอไรด์ แต่ไม่ปรากฏที่ตำแหน่งไตรกลีเซอไรด์ การที่ไม่ปรากฏที่ตำแหน่งไตรกลีเซอไรด์เพราะว่าปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน (Transesterification) เป็นกระบวนการเปลี่ยนไตรกลีเซอไรด์ของน้ำมันพืช

ให้เป็นสารประกอบเอสเทอร์ (Ma and Hanna, 1901) ซึ่งจะประกอบด้วยกัน 3 ขั้นตอน โดยเริ่มจากการเปลี่ยนไตรกลีเซอไรด์ในน้ำมันพืชไปเป็น ไคกลีเซอไรด์ จากนั้นไคกลีเซอไรด์จะเปลี่ยนไปเป็นโมโนกลีเซอไรด์ และสุดท้ายโมโนกลีเซอไรด์เปลี่ยนไปเป็นเมทิลเอสเทอร์ และกลีเซอรอล (Marchetti, Miguel และErrazu, 2007) ดังภาพที่ 4.6 และสมการที่ 4.1-4.3

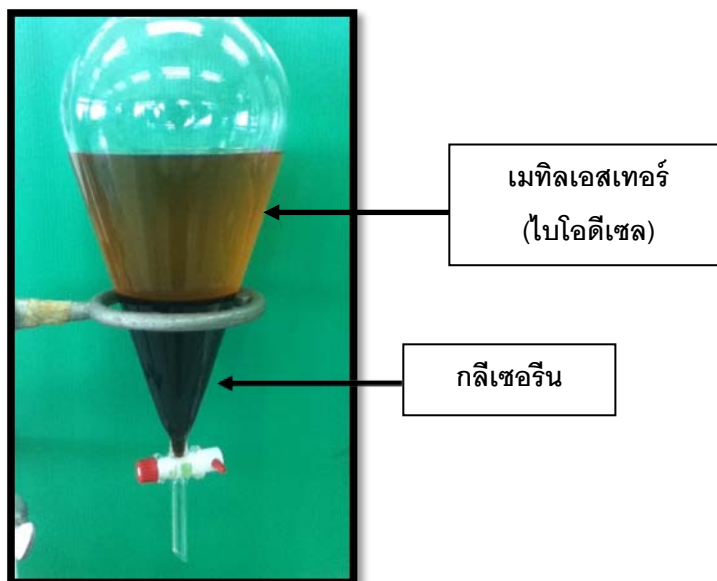


ภาพที่ 4.6 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน

ที่มา: http://ww2.mackblackwell.org/web/research/ALL_RESEARCH_PROJECTS/2000s/2



เมื่อทำการสังเคราะห์ไบโอดีเซลจนปฏิกิริยาเกิดสมบูรณ์แล้ว ทำการทดสอบละลายที่ได้ลงในกรวยแยกตั้งทิ้งไว้ 30 นาที จะพบว่าเกิดการแยกชั้นระหว่างเมทิลเอสเทอร์ (ไบโอดีเซล) และกลีเซอริน เนื่องจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลนั้นจะได้กลีเซอรินเป็นผลพลอยได้ และเกิดการแยกชั้นเนื่องมาจากไบโอดีเซลและกลีเซอรินมีความหนาแน่นที่แตกต่างกัน โดยกลีเซอรินมีความหนาแน่นมากกว่าจะอยู่ชั้นล่าง และไบโอดีเซลมีความหนาแน่นน้อยกว่าจะอยู่ชั้นบน ดังภาพที่ 4.7

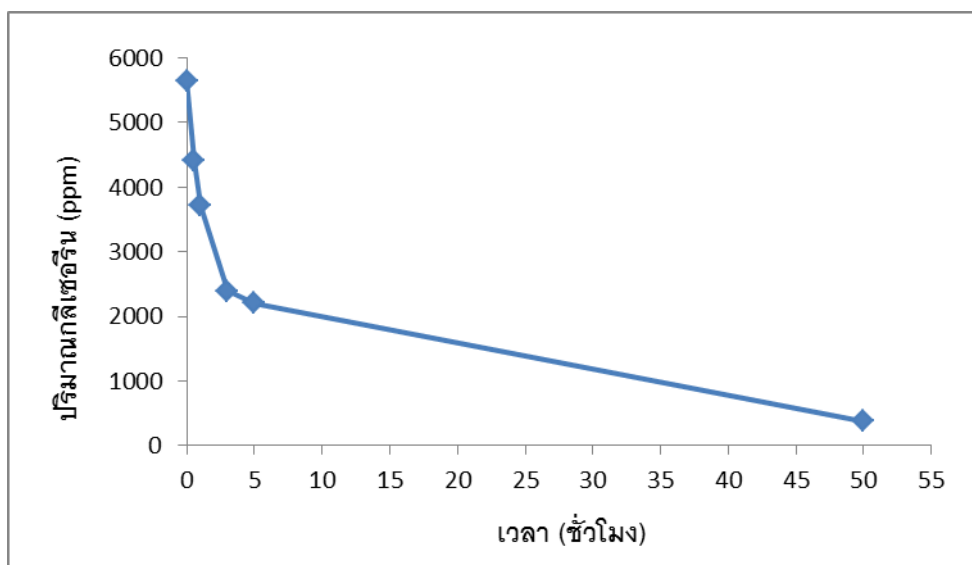


ภาพที่ 4.7 การแยกชั้นระหว่างไบโอดีเซลและกลีเซอริน

จากภาพที่ 4.7 ไบโอดีเซลที่ได้จากการสังเคราะห์จะเกิดการปนเปื้อนของสาร เช่น กรดไขมันอิสระ ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหลือ กลีเซอรอล แอกอฮอล์ กลีเซอรไรด์ และ สบู่ (Schumacher, 2007) ดังนั้นในการศึกษานี้จึงใช้ถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไยเป็นตัวดูดซับทำไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์ เพื่อเป็นการลดน้ำเสียจากกระบวนการทำไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์แทนวิธีการล้างด้วยน้ำ เพราะว่าการล้างไบโอดีเซลด้วยน้ำจะเกิดน้ำเสียปริมาณมาก กล่าวคือ การผลิตไบโอดีเซล 100 ลิตร จะก่อให้เกิดน้ำเสีย 20 ลิตร (Suehara และคณะ, 2005) ซึ่งการศึกษานี้เหมาะสมควรในการกำจัดกลีเซอรินในไบโอดีเซลด้วยตัวดูดซับถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไยมีผลการศึกษาดังนี้

4.2.1 ศึกษาผลของระยะเวลาการตั้งทิ้งไว้ต่อการตกตะกอนของกลีเซอริน

ได้ทำการตรวจวัดหาปริมาณกลีเซอรินในไบโอดีเซลเมื่อเวลาผ่านไป 0, 0.5, 1, 3, 5, 50 ชั่วโมง ได้ผลดังภาพที่ 4.8

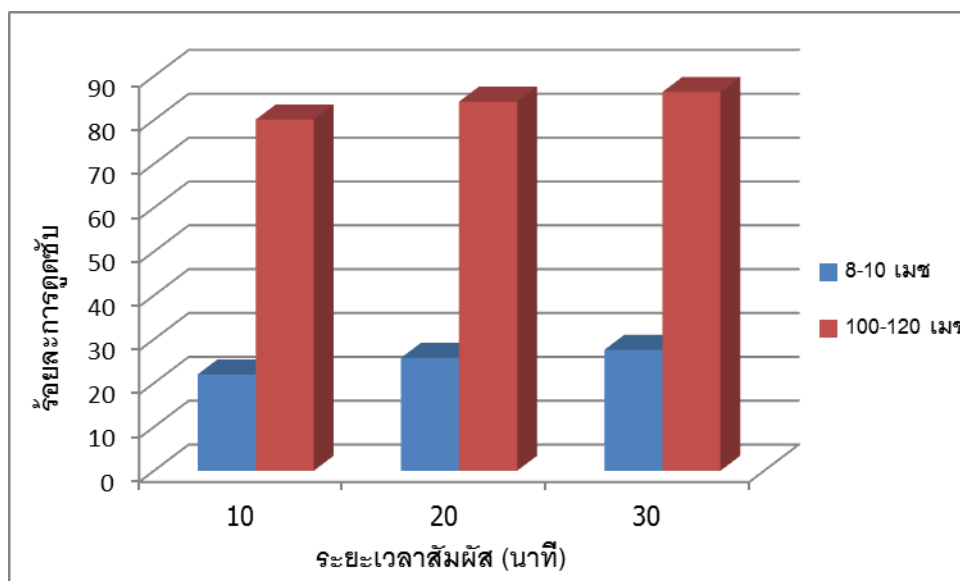


ภาพที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ตั้งทิ้งไว้กับปริมาณคลอรีนที่เหลือ

จากภาพที่ 4.8 จะเห็นได้ว่าเมื่อเวลาผ่านไปคลอรีนตกตะกอนได้มากขึ้น ได้ทำการวัดปริมาณคลอรีนจากการตั้งทิ้งไว้ 3 ชั่วโมง พบว่ามีปริมาณคลอรีนเท่ากับ 2,391.04 ppm หรือมีร้อยละการตกตะกอนเท่ากับ 57.82 ปริมาณคลอรีนนี้ลดลงจากปริมาณคลอรีนเริ่มต้นอย่างมาก ซึ่งปริมาณคลอรีนเริ่มต้นหลังจากปฏิกิริยาเกิดสมบูรณ์แล้วมีค่าเท่ากับ 5,615.98 ppm จากนั้นได้ทำการตั้งไปโอดีเซลทิ้งไว้ 50 ชั่วโมง และทำการวัดปริมาณคลอรีน พบว่ามีค่าเท่ากับ 431.98 ppm หรือมีร้อยละการตกตะกอนเท่ากับ 92.30 ผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าการตั้ง ไปโอดีเซลทิ้งไว้ สามารถกำจัดคลอรีนในไปโอดีเซลได้แต่ต้องใช้เวลาในการกำจัด ซึ่งผลการทดลองนี้สอดคล้องกับการศึกษาของ Lueng และคณะ (2006) ที่ได้ศึกษาและพบว่าเมื่อตั้งผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 10-20 ชั่วโมง ปริมาณคลอรีนในไปโอดีเซลจะลดลง

4.2.2 ศึกษาผลของระยะเวลาการสัมผัสต่อการดูดซับคลอรีนในไปโอดีเซล

ทำการดูดซับคลอรีนในไปโอดีเซลโดยใช้ถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไยเป็นตัวดูดซับ ดูดซับที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งเวลาที่ใช้ดูดซับคือ 10 20 และ 30 นาที โดยใช้ถ่านกัมมันต์ร้อยละ 5 โดยน้ำหนักไปโอดีเซล (40 กรัม) เป็นตัวดูดซับ ที่อัตราการเขย่า 200 รอบต่อนาที ผลแสดงดังภาพที่ 4.9



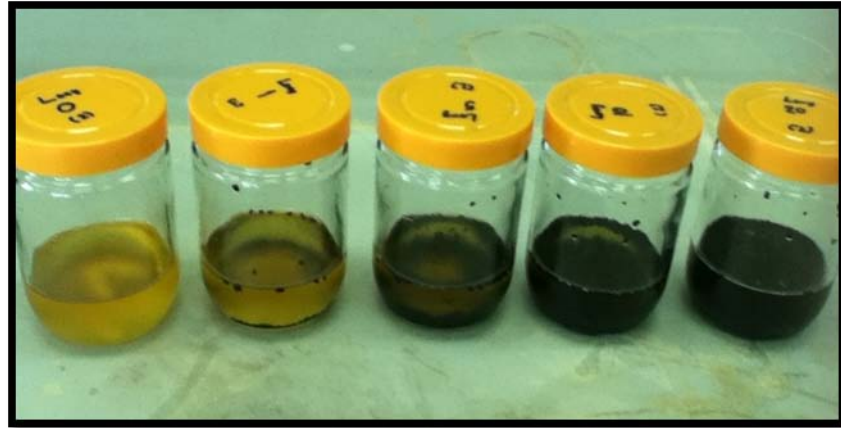
ภาพที่ 4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาสัมผัสมักกับปริมาณคลอโรฟิลล์ที่เหลื่อ

จากภาพที่ 4.9 จะเห็นได้ว่าระยะเวลาสัมผัสมักมีผลต่อการดูดซับคลอโรฟิลล์ในใบโอดีเซล เมื่อเวลาในการสัมผัสมากขึ้นถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไยสามารถดูดซับคลอโรฟิลล์ได้มากขึ้น จากแผนภูมิจะเห็นได้ว่าในช่วง 10 นาที ร้อยละการดูดซับของถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไยขนาด 8-10 เมช และ 100-120 เมช จะมีค่าเท่ากับ 21.98 % และ 80.09% แต่เมื่อเพิ่มระยะเวลาสัมผัสมักเป็น 20 นาที ร้อยละการดูดซับมีค่าเพิ่มมากขึ้นเป็น 25.74 % และ 84.19% และเมื่อเพิ่มเป็น 30 นาที ร้อยละการดูดซับมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 27.57 % และ 86.39% จะเห็นได้ว่าที่เวลา 30 นาที ทั้งขนาด 8-10 เมช และขนาด 100-120 เมช จะมีร้อยละการดูดซับซึ่งเพิ่มขึ้นจากเวลา 20 นาที เพียง 1.83 % และ 2.2% ดังนั้นเพื่อเป็นการประหยัดเวลา ระยะเวลาสัมผัสมัก 20 นาที จึงเป็นเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับคลอโรฟิลล์ในใบโอดีเซล

4.2.3 ศึกษาผลของขนาดตัวดูดซับต่อการดูดซับคลอโรฟิลล์ในใบโอดีเซล

ทำการดูดซับคลอโรฟิลล์ในใบโอดีเซลด้วยถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไยที่อุณหภูมิห้อง อัตราการเขย่า 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 นาที (ดังภาพที่ 4.10)

(ก)



(ข)



ภาพที่ 4.10 การดูดซับกลีเซอรินในไบโอดีเซลด้วยถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไย

(ก) ดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ขนาด 8 - 10 เมช

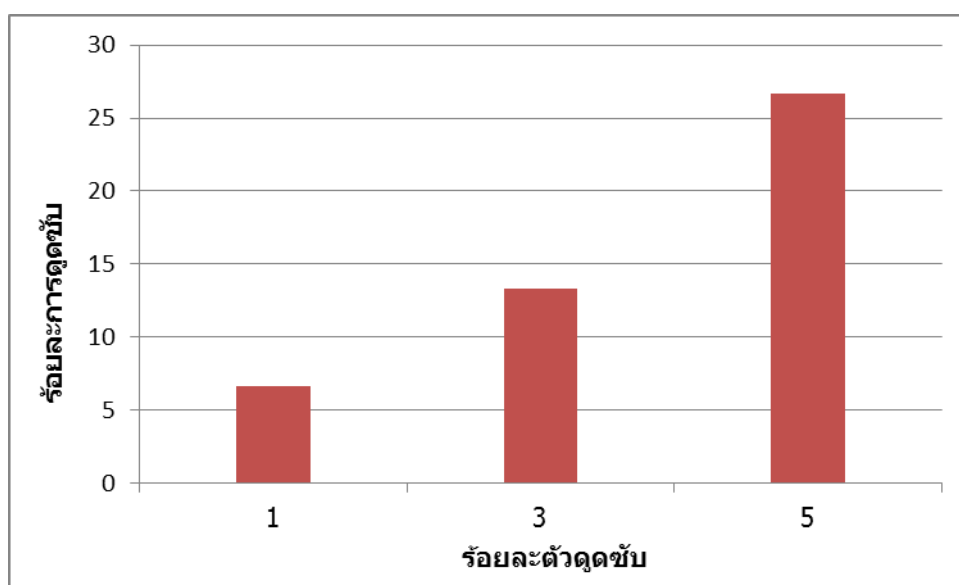
(ข) ดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ขนาด 100-120 เมช

จากภาพที่ 4.10 จะเห็นได้ว่าถ่านกัมมันต์ขนาด 8 - 10 เมช เมื่อทำการเขย่ากับตัวดูดซับแล้ว ถ่านกัมมันต์มีการตกตะกอนอยู่ด้านล่างเร็วกว่าถ่านกัมมันต์ขนาด 100-120 เมช เนื่องจากถ่านกัมมันต์ขนาด 8 - 10 เมช มีลักษณะเป็นเม็ดเล็กๆ จึงทำให้ตกตะกอนอยู่ด้านล่างได้เร็ว ส่วนถ่านกัมมันต์ขนาด 100-120 เมช นั้นมีลักษณะเป็นผงละเอียดทำให้กระจายลอยตัวอยู่ในน้ำมัน ดังนั้นจึงต้องทำการกรองน้ำมันด้วย filters ก่อนนำไปทดสอบหาปริมาณกลีเซอริน

เพราะวิธีทดสอบหาปริมาณกลีเซอรินเป็นการใช้เทคนิคการไทเทรตจึงต้องดูสีของจุดยุติ ซึ่งถ้าไม่ทำการกรองน้ำมันก่อนจะทำให้ยากแก่การมองสีของจุดยุติ

- **ดูดัชนีกลีเซอรินด้วยถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไยขนาด 8 - 10 เมช**

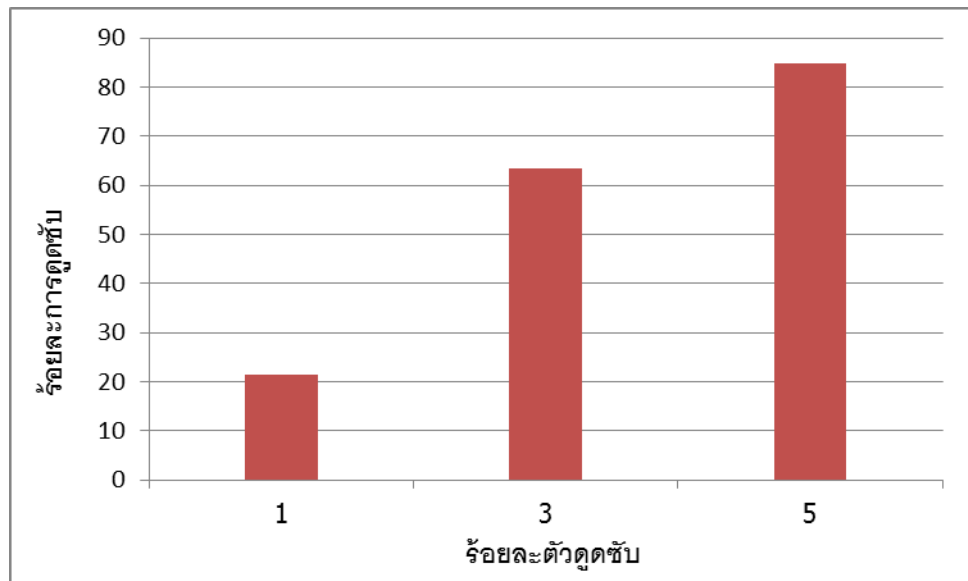
ทำการดูดซับกลีเซอรินในไบโอดีเซลด้วยถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไยที่อุณหภูมิห้อง อัตราการเขย่า 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 นาที โดยใช้ตัวดูดซับร้อยละ 1 3 และ 5 ของน้ำหนักไบโอดีเซล (40 กรัม) ผลแสดงดังภาพที่ 4.11



ภาพที่ 4.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละตัวดูดซับกับร้อยละการดูดซับเมื่อใช้ถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไยขนาด 8 - 10 เมช เป็นตัวดูดซับ

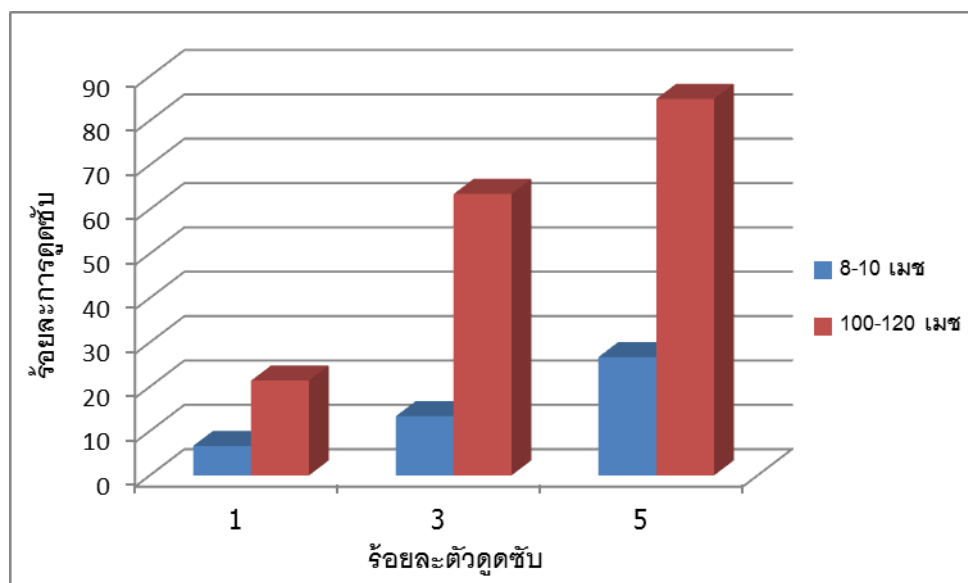
- **ดูดัชนีกลีเซอรินด้วยถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไยขนาด 100-120 เมช**

ทำการดูดซับกลีเซอรินในไบโอดีเซลด้วยถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไยที่อุณหภูมิห้อง อัตราการเขย่า 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 นาที โดยใช้ตัวดูดซับร้อยละ 1 3 และ 5 ของน้ำหนักไบโอดีเซล (40 กรัม) ผลแสดงดังภาพที่ 4.12



ภาพที่ 4.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละตัวดูดซับกับร้อยละการดูดซับเมื่อใช้ถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไยขนาด 100-120 เมช เป็นตัวดูดซับ

ทำการเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับกลีเซอรินระหว่างถ่านกัมมันต์ขนาด 8 - 10 เมช และขนาด 100-120 เมช ได้ผลดังภาพที่ 4.13



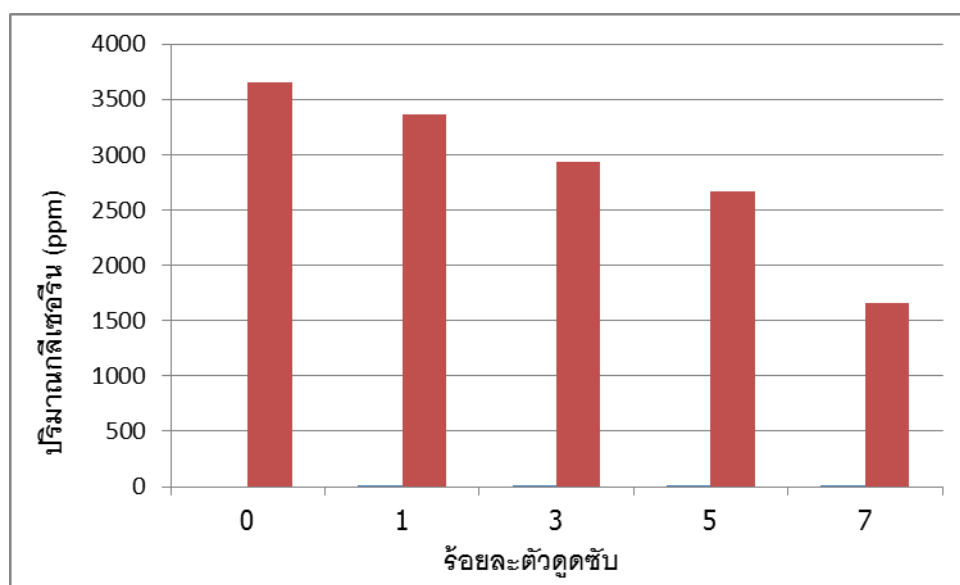
ภาพที่ 4.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับกับร้อยละตัวดูดซับในการดูดซับกลีเซอรินเมื่อใช้ตัวดูดซับขนาดต่างกัน

จากภาพที่ 4.13 จะเห็นได้ว่าขนาดของถ่านกัมมันต์มีผลต่อการดูดซับกลีเซอรินในไบโอดีเซล โดยถ่านกัมมันต์ขนาด 100-120 เมช มีประสิทธิภาพในการดูดซับกลีเซอรินได้ดีกว่าถ่านกัมมันต์ขนาด 8 - 10 เมช ดังเช่นจากภาพ 4.13 จะเห็นว่าที่ร้อยละตัวดูดซับเท่ากับ 5 ถ่านกัมมันต์ขนาด 100-120 เมช สามารถดูดซับกลีเซอรินได้ถึง 84.91 % แต่เมื่อใช้ถ่านกัมมันต์ขนาด 8 - 10 เมช ดูดซับกลีเซอรินได้เพียง 26.68 % ทั้งนี้เนื่องมาจากว่าถ่านกัมมันต์ขนาด 100-120 เมช มีพื้นที่ผิวในการสัมผัสมากกว่าขนาด 8 - 10 เมช ทำให้กลีเซอรินสามารถเกาะอยู่ที่พื้นผิวถ่านกัมมันต์ได้มากกว่า ดังนั้นถ่านกัมมันต์ขนาด 100-120 เมช จึงเป็นขนาดที่เหมาะสมในการดูดซับกลีเซอรินในไบโอดีเซล

4.2.4 ศึกษาผลของปริมาณตัวดูดซับต่อการดูดซับกลีเซอรินในไบโอดีเซล

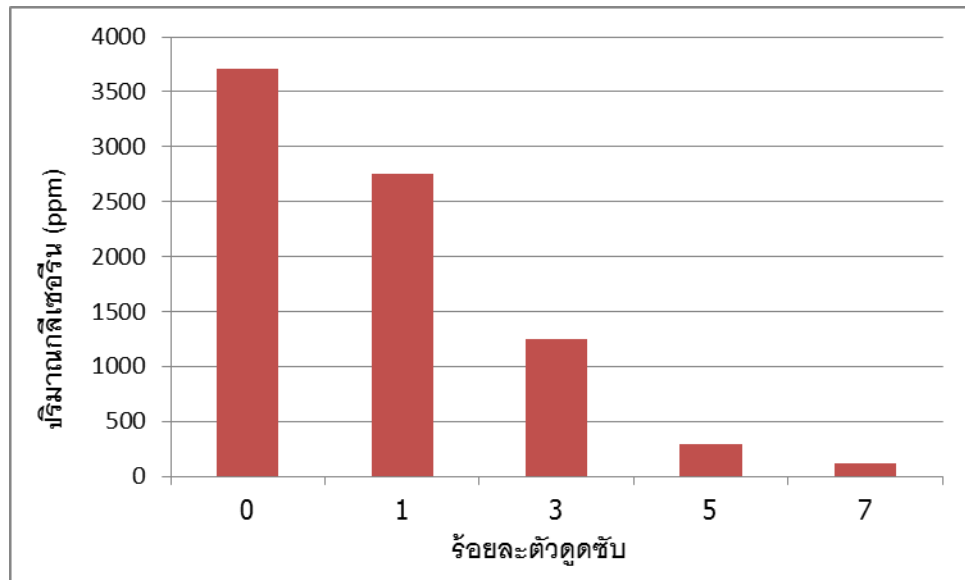
ทำการศึกษาผลของปริมาณตัวดูดซับ โดยใช้ตัวดูดซับร้อยละ 1 3 5 และ 7 โดยน้ำหนัก ไบโอดีเซล (40 กรัม) ในการดูดซับกลีเซอรินในไบโอดีเซลที่อุณหภูมิห้อง อัตราการเขย่า 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 นาที ได้ผลดังภาพที่ 4.14

- ถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไยขนาด 8 - 10 เมช

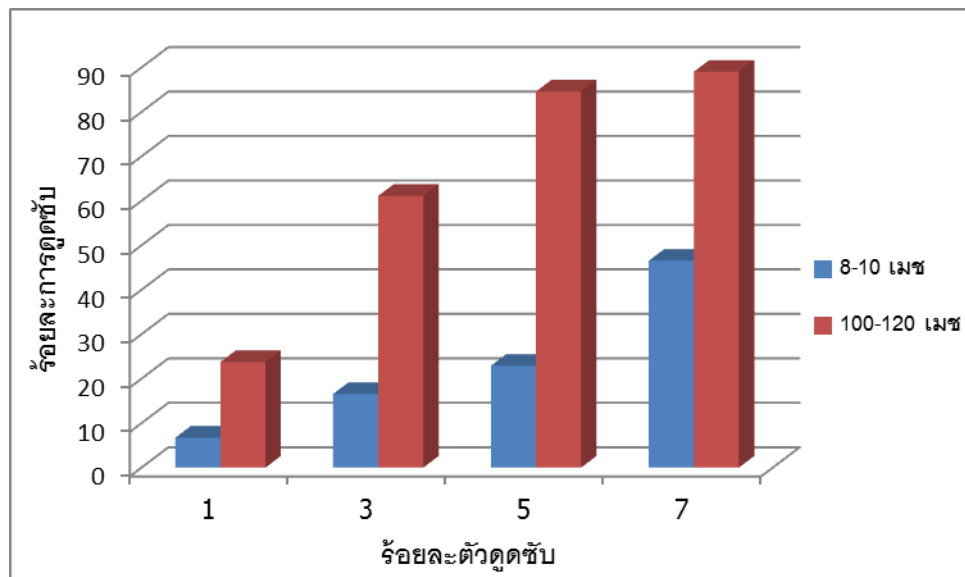


ภาพที่ 4.14 แสดงปริมาณกลีเซอรินที่เหลือเมื่อใช้ถ่านกัมมันต์ขนาด 8 - 10 เมช เป็นตัวดูดซับ

- ถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไยขนาด 100-120 เมช



ภาพที่ 4.15 แสดงปริมาณกลีเซอรินที่เหลือเมื่อใช้เมื่อใช้ถ่านกัมมันต์ขนาด 100-120 เมช เป็นตัวดูดซับ



ภาพที่ 4.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างรอบดูดซับและรอบดูดซับในการดูดซับ กลีเซอรินเมื่อใช้ตัวดูดซับขนาดต่างกัน

จากการศึกษาพบว่าเมื่อปริมาณตัวดูดซับมากขึ้นจะสามารถดูดซับกลีเซอรินในไบโอดีเซลได้มากขึ้น ซึ่งเมื่อนำมาเปรียบเทียบกันจะเห็นได้ว่าถ้าใช้ถ่านกัมมันต์ในการดูดซับกลีเซอรินร้อยละ 7 โดยน้ำหนักไบโอดีเซล (40 กรัม) ถ่านกัมมันต์ขนาด 8 - 10 เมช จะมีปริมาณกลีเซอรินเหลืออยู่ 1,659.05 ppm คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ดูดซับได้ 46.52 % แต่เมื่อใช้ถ่านกัมมันต์ขนาด 100-120 เมช ในการดูดซับจะมีปริมาณกลีเซอรินเหลืออยู่ 118.33 คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ดูดซับได้ 89.03 % ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์ในการดูดซับมากกว่าขนาด 8 - 10 เมช เกือบเท่าตัว

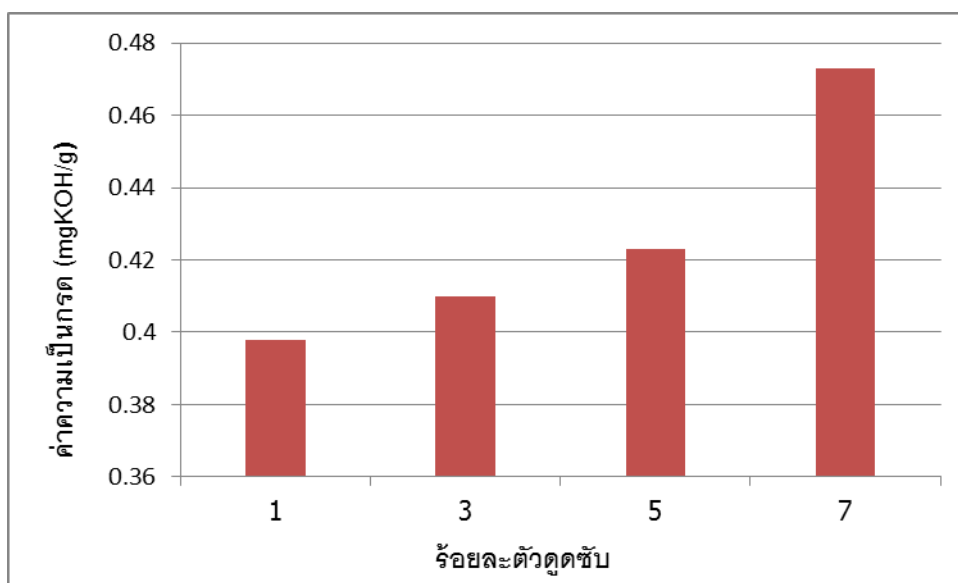
โดยถ่านกัมมันต์ขนาด 100-120 เมช ที่ปริมาณตัวดูดซับเท่ากับ ร้อยละ 5 และ 7 มีร้อยละการดูดซับกลีเซอรินที่ใกล้เคียงกัน จึงนำไบโอดีเซลที่ผ่านการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์มาวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด (acid value) จากการไทเทรต

4.2.5 ศึกษาวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด (acid value) จากวิธีการไทเทรต

นำไบโอดีเซลที่ผ่านการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไยร้อยละ 1 3 5 และ 7 ของน้ำหนักน้ำไบโอดีเซล (40 กรัม) มาทำการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด (acid value) ด้วยวิธีการไทเทรต ผลการศึกษาแสดงดังตารางที่ 4.4 และภาพที่ 4.17

ตารางที่ 4.4 ค่าความเป็นกรดของไบโอดีเซลเมื่อดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ร้อยละ 1 3 5 และ 7 โดยน้ำหนักไบโอดีเซล (40 กรัม)

ร้อยละตัวดูดซับถ่านกัมมันต์ จากเมล็ดลำไยโดยน้ำหนักไบโอดีเซล	ค่าความเป็นกรด (mgKOH/g) (<0.5 mgKOH/g)
1	0.398
3	0.410
5	0.423
7	0.473



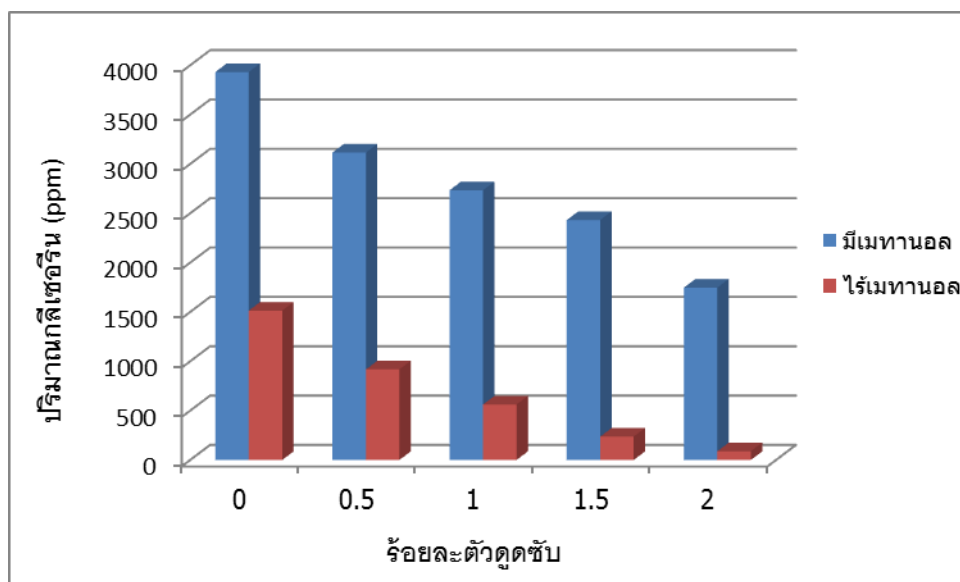
ภาพที่ 4.17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละตัวดูดซับกับค่าความเป็นกรด (mgKOH/g)

จากตารางที่ 4.4 และภาพที่ 4.17 จะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มปริมาณตัวดูดซับค่าความเป็นกรดเพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจากในกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไยมีขั้นตอนการล้างด้วยสารละลายไฮโดรคลอริกเพื่อกำจัดไอออน Zn^{2+} ทำให้อาจมีกรดหลงเหลืออยู่ตามรูพรุนของถ่านกัมมันต์ ดังนั้นการเลือกใช้ถ่านกัมมันต์ร้อยละ 5 ของน้ำหนักน้ำมันจึงเป็นปริมาณที่เหมาะสมที่สุดในการกำจัดกลีเซอรินในไบโอดีเซล เพราะว่าตามมาตรฐาน EN 14111 ค่าความเป็นกรดของไบโอดีเซลต้องไม่มากกว่า 0.5 mgKOH/g ซึ่งค่าความเป็นกรดนี้มีผลต่อการกัดกร่อนในเครื่องยนต์ ถ้าหากค่าความเป็นกรดของไบโอดีเซลไม่ได้อยู่ในมาตรฐานจะทำให้อายุการใช้งานของปั๊มและไส้กรองน้ำมันลดลง นอกจากนี้ยังแสดงถึงการเสื่อมสภาพของน้ำมัน (จิตาภา และสุภานิตย์, 2552)

4.2.6 ผลของเมทานอลต่อการดูดซับกลีเซอรินในไบโอดีเซล

นำไบโอดีเซลที่ผ่านการแยกชั้นกลีเซอรินออกแล้วทำการกำจัดเมทานอลที่เหลืออยู่โดยใช้เครื่องกลั่นระเหยสารแบบหมุนประมาณ 30 นาที ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จากนั้นนำไบโอดีเซลที่กำจัดเมทานอลแล้วมาทำการดูดซับกลีเซอรินด้วยถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไยขนาด 100-120 เมช ร้อยละ 0.5 1 1.5 และ 5 โดยน้ำหนักไบโอดีเซล (40 กรัม) ทำการดูดซับที่

อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 20 นาที ที่อัตราการเขย่า 200 รอบต่อนาที และนำมาเปรียบเทียบกับ การดูดซับกลีเซอรินในสภาวะที่มีเมทานอล ผลแสดงดังภาพที่ 4.18



ภาพที่ 4.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละตัวดูดซับและปริมาณกลีเซอรินเมื่อใช้ตัวดูดซับดูดซับกลีเซอรินในสภาวะที่มีเมทานอลและไม่มีเมทานอล

จากภาพที่ 4.18 จะเห็นได้ว่าเมื่อเปรียบเทียบปริมาณกลีเซอรินในไบโอดีเซลในสภาวะที่มีและไม่มีเมทานอล พบว่าไบโอดีเซลที่ไม่มีเมทานอลจะมีปริมาณกลีเซอรินทั้งก่อนการดูดซับและหลังการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์น้อยกว่าไบโอดีเซลที่มีเมทานอล โดยเมื่อระเหยเอาเมทานอลออกแล้ว ปริมาณกลีเซอรินในไบโอดีเซลจะลดลงจาก 3,931.30 ppm เหลือเพียง 1,513.94 ppm แสดงได้ว่าเมทานอลมีผลต่อปริมาณกลีเซอรินในไบโอดีเซล ซึ่งในสภาวะที่ไร้เมทานอลจะใช้ปริมาณตัวดูดซับน้อยลงในการกำจัดกลีเซอริน โดยเมื่อใช้ปริมาณตัวดูดซับร้อยละ 2 โดยน้ำหนักน้ำมัน (40 กรัม) ในสภาวะที่มีเมทานอลจะมีปริมาณกลีเซอรินเหลืออยู่ 1,747.06 ppm ในขณะที่ในสภาวะไร้เมทานอลจะมีกลีเซอรินเหลือเพียง 88.97 ppm ซึ่งใช้ตัวดูดซับแค่ร้อยละ 2 โดยน้ำหนักน้ำมันก็สามารถกำจัดกลีเซอรินได้เกือบหมด และการที่ในสภาวะไร้เมทานอลมีประสิทธิภาพในการกำจัดกลีเซอรินมากกว่าสภาวะที่มีเมทานอลนั้น เนื่องจากว่าในสภาวะที่มีเมทานอล เมทานอลเป็นโมเลกุลที่มีขั้วจึงสามารถถูกดูดซับได้ด้วยถ่านกัมมันต์ จึงทำให้ถ่านกัมมันต์ดูดซับได้ทั้งเมทานอลและกลีเซอริน แต่ในสภาวะไร้เมทานอลถ่านกัมมันต์นั้นสามารถดูดซับ

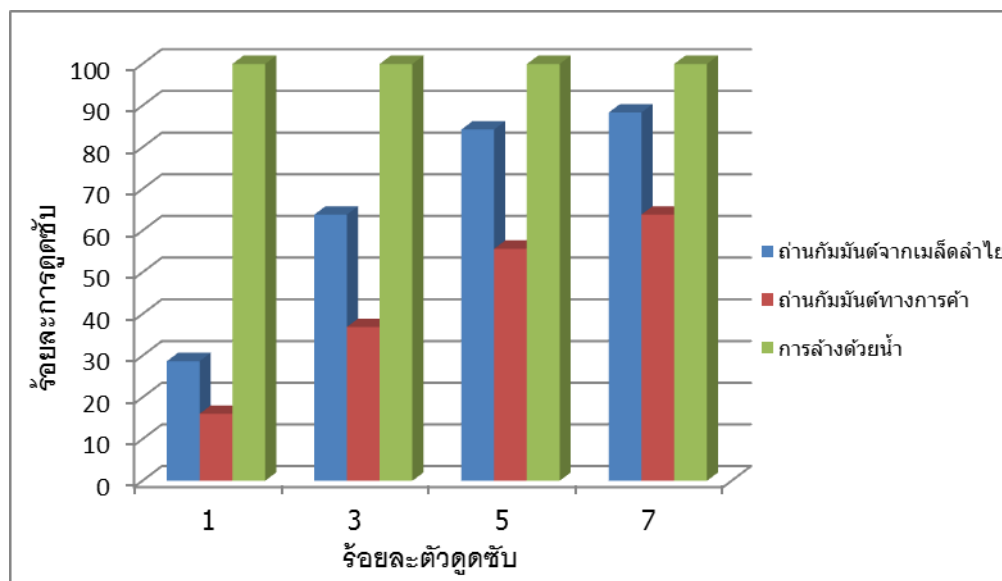
ได้แต่กลีเซอริน ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ในสภาวะไรเมทานอลสามารถดูดซับกลีเซอรินได้มากกว่า แต่ทั้งนี้ในสภาวะที่ไรเมทานอลไปโอดีเซลเมื่อได้ทำการระเหยเมทานอลออกแล้ว ไปโอดีเซลมีความหนืดมากขึ้น เนื่องจากการละลายกลีเซอรินในไปโอดีเซลลดลง ทำให้ยากต่อการเก็บตัวอย่างไปโอดีเซลมาทำการดูดซับ

4.2.7 วิเคราะห์ค่าความหนืดของไปโอดีเซล (ASTM D445)

นำไปโอดีเซลที่ผ่านการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไยร้อยละ 5 โดยน้ำหนักน้ำมันมาทำการวัดความหนืดที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส จากผลการวิเคราะห์พบว่าไปโอดีเซลมีความหนืดเท่ากับ 3.61 เซนติสโตกส์ ซึ่งค่าความหนืดนี้ผ่านเกณฑ์มาตรฐานไปโอดีเซล เพราะว่าเกณฑ์มาตรฐานไปโอดีเซลได้กำหนดให้ความหนืด ณ อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ต้องมีค่าในช่วง 3.5-5 เซนติสโตกส์

4.2.8 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดซับกลีเซอรินระหว่างถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไยถ่านกัมมันต์ทางการค้า และการล้างด้วยน้ำ

นำไปโอดีเซลมาดูดซับกลีเซอรินด้วยถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไย และถ่านกัมมันต์ทางการค้าปริมาณร้อยละ 1 3 5 และ 7 โดยน้ำหนักไปโอดีเซล (40 กรัม) และการล้างด้วยน้ำให้ผลดังภาพที่ 4.19



ภาพที่ 4.19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละตัวดูดซับและร้อยละการดูดซับเมื่อใช้ถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไย ถ่านกัมมันต์ทางการค้า และการล้างด้วยน้ำ ในการทำไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์

เมื่อพิจารณาปริมาณกลีเซอรินที่เหลืออยู่ และค่าความเป็นกรด เมื่อใช้ปริมาณถ่านกัมมันต์ร้อยละ 5 โดยน้ำหนักน้ำมัน (40 กรัม) ซึ่งเป็นปริมาณที่เหมาะสมในการดูดซับกลีเซอรินเปรียบเทียบระหว่างถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไย และถ่านกัมมันต์ทางการค้า ได้ผลดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.5 แสดงปริมาณกลีเซอรินและค่าความเป็นกรดในไบโอดีเซลของกระบวนการต่างๆ ที่ใช้ในการทำไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์

กระบวนการทำไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์	ปริมาณกลีเซอริน (ppm)	ค่าความเป็นกรด (mgKOH/g) (<0.5 mgKOH/g)
5% ถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไย	148.13	0.436
5% ถ่านกัมมันต์ทางการค้า	1,545.94	0.413
การล้างด้วยน้ำ	**	0.431

หมายเหตุ ** หมายถึง ไม่สามารถตรวจวัดค่าด้วยวิธีการไทเทรต

จากภาพที่ 4.19 และตารางที่ 4.6 เมื่อทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดซับกลีเซอรินระหว่างถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไย ถ่านกัมมันต์ทางการค้า จะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มปริมาณตัวดูดซับจะสามารถกำจัดกลีเซอรินได้มากขึ้น โดยถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไยมีประสิทธิภาพในการกำจัดกลีเซอรินมากกว่าถ่านกัมมันต์ทางการค้า เมื่อใช้ถ่านกัมมันต์ร้อยละ 5 โดยน้ำหนักไบโอดีเซล (40 กรัม) ในการดูดซับกลีเซอริน ถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไยจะดูดซับกลีเซอรินได้มากกว่าคือ มีปริมาณกลีเซอรินเหลืออยู่ 148.13 ppm คิดเป็นร้อยละการดูดซับเท่ากับ 84.28 % ในขณะที่เมื่อใช้ถ่านกัมมันต์ทางการค้าในการดูดซับกลีเซอริน จะมีปริมาณกลีเซอรินเหลืออยู่ 1,545.94 ppm คิดเป็นร้อยละการดูดซับเท่ากับ 55.67 % ทั้งนี้เนื่องจากถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไยขนาด 100-120 เมช มีขนาดของรูพรุนประมาณ 2.75 nm ซึ่งมีขนาดใกล้เคียงกับขนาดของกลีเซอรินซึ่งมีขนาดเฉลี่ยประมาณ 3 nm (Liu และคณะ, 2009) ทำให้การดูดซับกลีเซอรินของถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไยสามารถเกิดได้ทั้งบริเวณผิวภายนอกและภายในได้ ในขณะที่การใช้ถ่านกัมมันต์ทางการค้าในการดูดซับ ถ่านกัมมันต์ทางการค้านี้วัตถุดิบตั้งต้นที่ใช้ในการผลิต คือ กะลาซึ่งถ่าน

กัมมันต์ที่ผลิตจากกะลาจะมีรูพรุนขนาดเล็ก (1.46 nm) ทำให้กลีเซอรินไม่สามารถเข้ารูพรุนของถ่านกัมมันต์ได้ ถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไยจึงมีประสิทธิภาพในการดูดซับกลีเซอรินได้ดีกว่าถ่านกัมมันต์ทางการค้า สำหรับการล้างด้วยน้ำสามารถทำไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์ได้ แต่วิธีการนี้จะเกิดน้ำเสียจากกระบวนการล้างเป็นจำนวนมาก โดยในการทดลองไบโอดีเซล 40 กรัม ต้องใช้น้ำอุ่นในการล้าง 650 มิลลิลิตร อีกทั้งองค์ประกอบส่วนใหญ่ของน้ำเสียจะอยู่ในรูปของเกลือของกรดไขมัน มีองค์ประกอบหลักเป็นไขมัน คาร์บอน ส่งผลให้น้ำเสียดังกล่าวย่อยสลายในธรรมชาติได้ยาก ซึ่งอาจก่อให้เกิดปัญหาต่อระบบนิเวศหากไม่มีการบำบัดก่อนปล่อยลงสู่สิ่งแวดล้อม (จิตาภา และสุภานิตย์, 2552)

การดูดซับกลีเซอรินโดยใช้ถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไย ถ่านกัมมันต์ทางการค้า และการล้างด้วยน้ำพบว่ามีความเป็นกรดผ่านมาตรฐานคุณภาพไบโอดีเซล เพราะตามมาตรฐาน EN 14111 ค่าความเป็นกรดของไบโอดีเซลต้องไม่มากกว่า 0.5 mgKOH/g

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไยมีประสิทธิภาพในการดูดซับกลีเซอรินได้มากกว่าถ่านกัมมันต์ทางการค้า หรือมีประสิทธิภาพในการกำจัดกลีเซอรินใกล้เคียงกับการล้างด้วยน้ำ

4.2.9 การวิเคราะห์หาปริมาณกลีเซอรอลอิสระ และกลีเซอรอลทั้งหมดด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี

นำไบโอดีเซลที่ผ่านการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไยขนาด 100-120 เมช ร้อยละ 5 โดยน้ำหนักน้ำมัน มาทำการวิเคราะห์หาปริมาณกลีเซอรอลอิสระ และกลีเซอรอลทั้งหมดด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟีได้ผลดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 แสดงปริมาณกลีเซอรอลอิสระและกลีเซอรอลทั้งหมด

คุณสมบัติ	ไบโอดีเซลที่ผ่านการดูดซับด้วย ถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไย ร้อยละ 5 โดยน้ำหนักน้ำมัน
กลีเซอรอลอิสระ (ร้อยละโดยน้ำหนัก) (< 0.02)	8.43×10^{-4}
โมโนกลีเซอไรด์ (ร้อยละโดยน้ำหนัก) (< 0.80)	0.44
ไดกลีเซอไรด์ (ร้อยละโดยน้ำหนัก) (< 0.20)	0.03
ไตรกลีเซอไรด์ (ร้อยละโดยน้ำหนัก) (< 0.20)	-
กลีเซอรินทั้งหมด (ร้อยละโดยน้ำหนัก) (< 0.25)	0.12

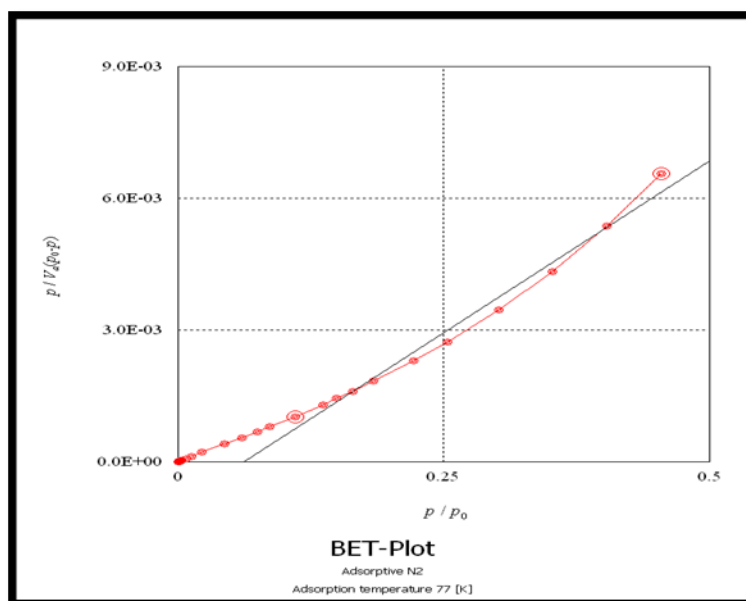
จากตารางที่ 4.6 จะเห็นได้ว่าเมื่อนำไบโอดีเซลไปวิเคราะห์หาปริมาณกลีเซอรอลอิสระ และ กลีเซอรอลทั้งหมดด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี พบว่าไบโอดีเซลผ่านเกณฑ์มาตรฐานไบโอดีเซล เพราะฉะนั้นการใช้ตัวดูดซับถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไยขนาด 100-120 เมช น้ำหนักตัวดูดซับร้อยละ 5 ของน้ำหนักน้ำมันจึงเป็นสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับกลีเซอรินในไบโอดีเซล

4.3 ศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับ

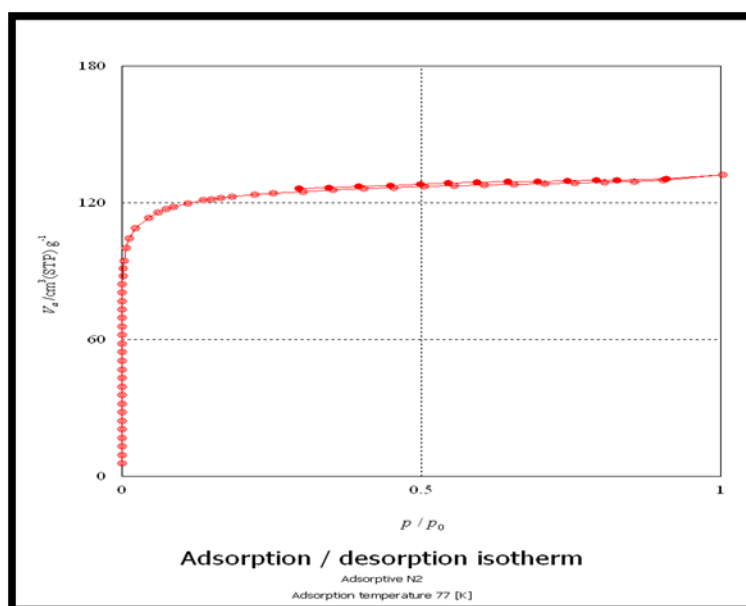
4.3.1 รูปแบบไอโซเทอมของการดูดซับของ N_2 ของตัวดูดซับถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไย

รูปแบบไอโซเทอมของการดูดซับของ N_2 ของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย $ZnCl_2$ อัตราส่วนโดยน้ำหนักของถ่านกัมมันต์ต่อ $ZnCl_2$ เท่ากับ 1:2 กราฟแสดงความสามารถในการดูดซับ N_2 ที่อุณหภูมิ 77 K แสดงดังภาพที่ 4.20

(ก)



(ข)

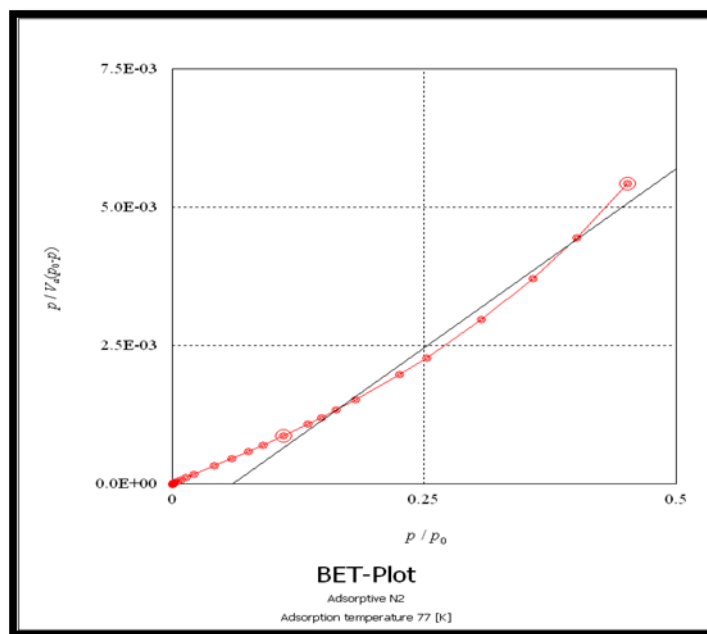


ภาพที่ 4.20 (ก) BET-Plot

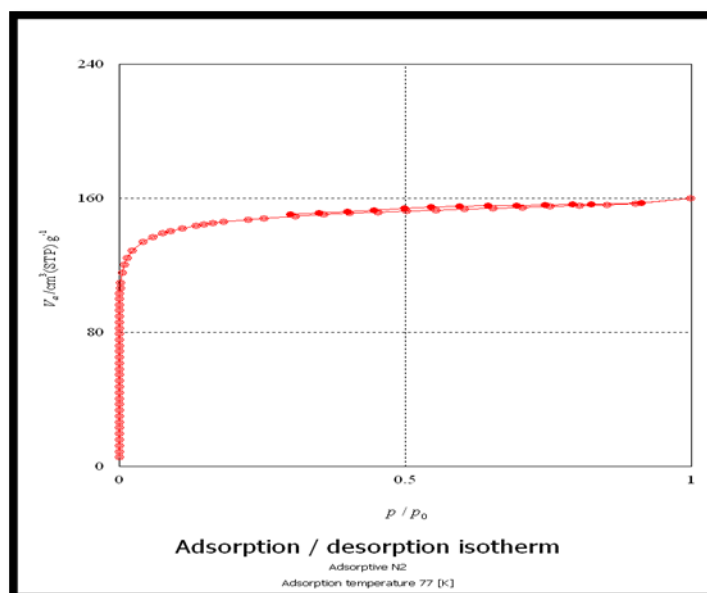
(ข) ไอโซเทอมการดูดซับ N_2 ที่อุณหภูมิ 77 K ของถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไย ที่กระตุ้นด้วย $ZnCl_2$ อัตราส่วนโดยน้ำหนักของถ่านกัมมันต์ต่อ $ZnCl_2$ เท่ากับ 1:2

4.3.2 รูปแบบไอโซเทอมของการดูดซับของ N_2 ของตัวดูดซับถ่านกัมมันต์ทางการค้า

(ก)



(ข)



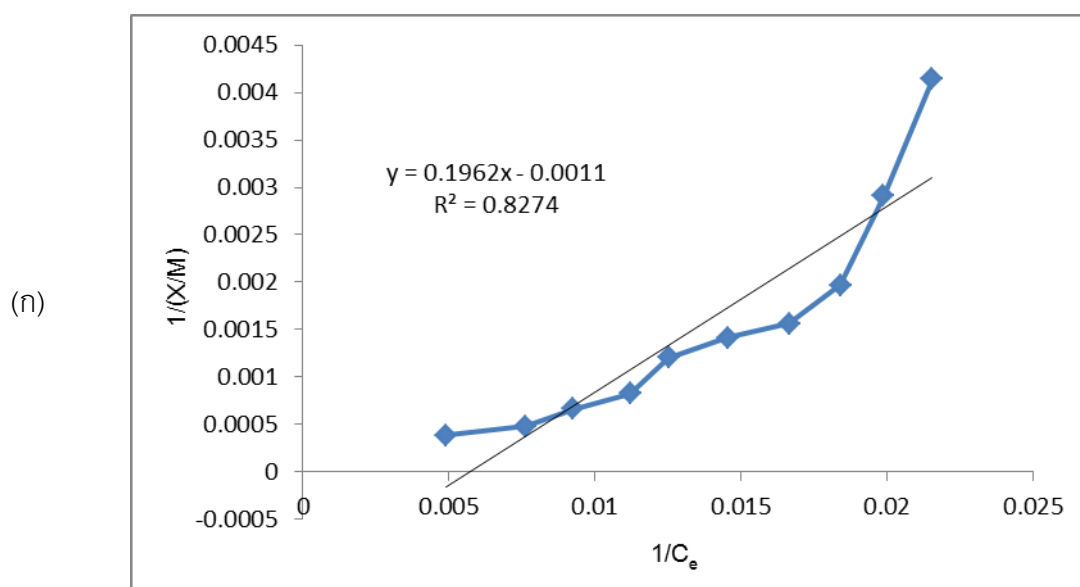
ภาพที่ 4.21 (ก) BET-Plot

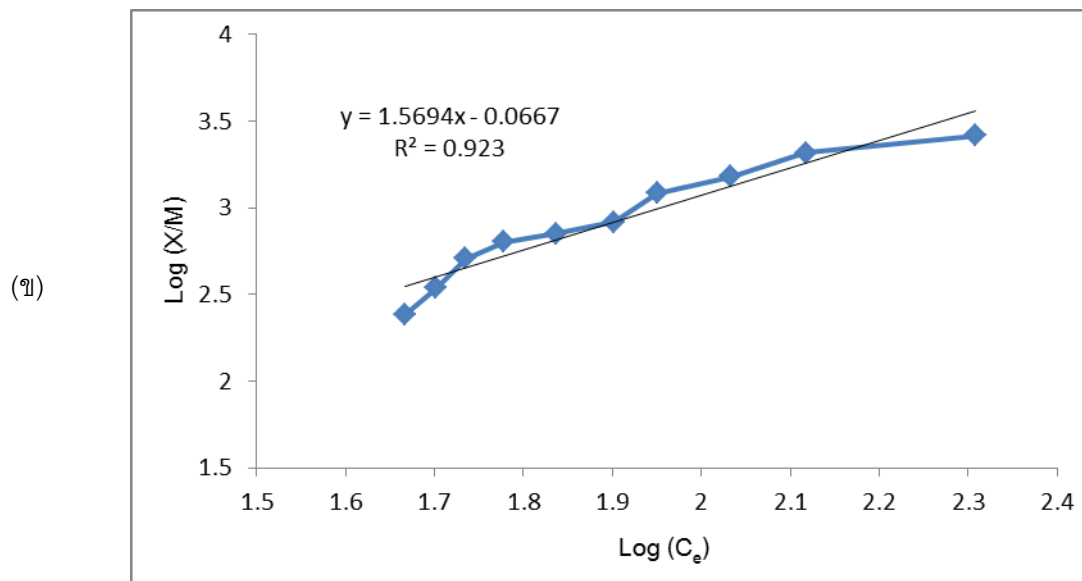
(ข) ไอโซเทอมการดูดซับ N_2 ที่อุณหภูมิ 77 K ของถ่านกัมมันต์ทางการค้า

จากภาพที่ 4.20 (ข) และ 4.21 (ข) พบว่ารูปแบบไอโซเทอมของการดูดซับของ N_2 ของถ่านกัมมันต์ที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักของเมล็ดลำไยต่อ $ZnCl_2$ ที่อัตราส่วน 1:2 และถ่านกัมมันต์ทางการค้า เป็นรูปแบบ ไอโซเทอมแบบที่ 1 ตาม Brunauer, Emmett and Tellet (BET) classification ซึ่งเป็นไอโซเทอมสำหรับการดูดซับชั้นเดียว คือพื้นผิวของถ่านกัมมันต์ในตอนแรกว่างเปล่าปราศจาก N_2 จากนั้นเมื่อเพิ่มความดันจำนวนโมเลกุล N_2 จะดูดซับเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ อย่างรวดเร็ว ทำให้ปริมาณ N_2 ถูกดูดซับอย่างรวดเร็ว และเมื่อพื้นที่ของถ่านกัมมันต์ลดลงความเร็วของการดูดซับ N_2 ค่อยๆลดลง จนปริมาณ N_2 เริ่มคงที่ (เกศศิริ เหล่าชิระสุวรรณ, 2554) เช่น ถ่านกัมมันต์ หรือ ซีโอไลต์

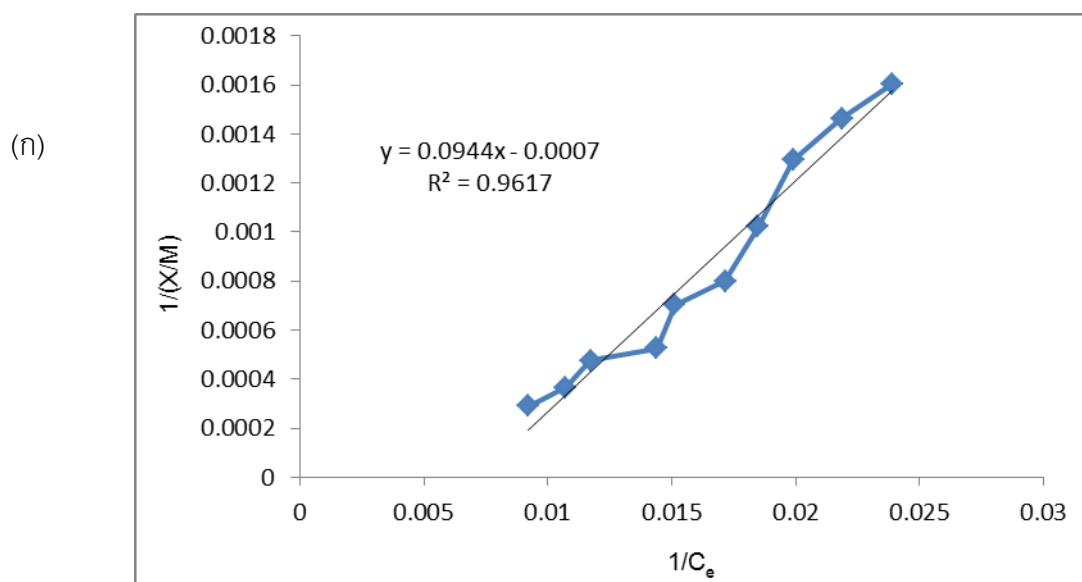
4.3.3 รูปแบบไอโซเทอมการดูดซับของการดูดซับกลีเซอริน

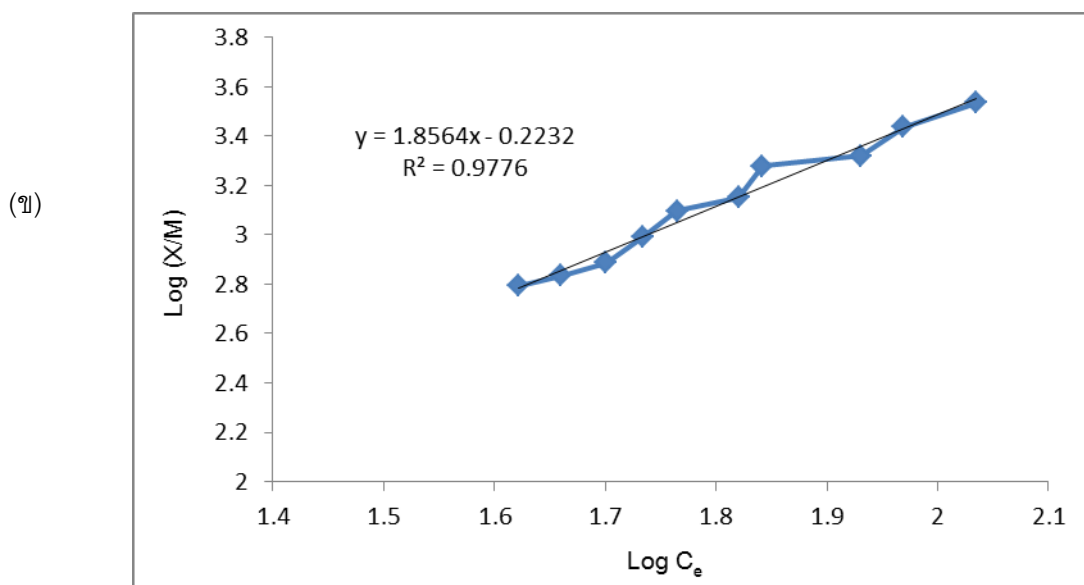
ใช้ตัวดูดซับถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไยที่กระตุ้นด้วย $ZnCl_2$ อัตราส่วนโดยน้ำหนักของเมล็ดลำไยต่อ $ZnCl_2$ เท่ากับ 1:2 และถ่านกัมมันต์ทางการค้าร้อยละ 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 โดยน้ำหนักไปโอดีเซล (40 กรัม) เขย่าที่อุณหภูมิห้อง 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 นาที นำไปโอดีเซลที่ผ่านการดูดซับด้วยตัวดูดซับถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไยและถ่านกัมมันต์ทางการค้าที่ปริมาณต่างๆ วิเคราะห์หาปริมาณกลีเซอรินคงเหลือโดยวิธีการไทเทรต และสามารถนำข้อมูลเขียนกราฟไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงเมียร์ และฟรุนดิช ดังภาพที่ 4.22 และ 4.33 และตารางที่ 4.7





ภาพที่ 4.22 รูปแบบของ (ก) ไอโซเทอมแบบแลงเมียร์ของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย $ZnCl_2$ อัตราส่วนโดยน้ำหนักของเมล็ดลำไยต่อ $ZnCl_2$ เท่ากับ 1:2
(ข) ไอโซเทอมแบบฟรุนดิชของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย $ZnCl_2$ อัตราส่วน โดยน้ำหนักของเมล็ดลำไยต่อ $ZnCl_2$ เท่ากับ 1:2





ภาพที่ 4.23 รูปแบบของ (ก) ไอโซเทอมแบบแลงเมียร์ของถ่านกัมมันต์ทางการค้า

(ข) ไอโซเทอมแบบฟรุนดิชของถ่านกัมมันต์ทางการค้า

จากภาพที่ 4.22 และ 4.23 พบว่าไอโซเทอมการดูดซับกลีเซอรินแบบแลงเมียร์ของถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไยและถ่านกัมมันต์ทางการค้า เมื่อสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า $1/(X/M)$ และ $1/C_e$ จะได้สมการ คือ $y = 0.1962x - 0.0011$ และ $y = 0.0944x - 0.0007$ ตามลำดับ โดยความชันของกราฟเส้นตรงมีค่าเท่ากับ $1/abC_e$ และจุดตัดมีค่าเท่ากับ $1/a$ และไอโซเทอมการดูดซับกลีเซอรินแบบฟรุนดิชของถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไยและถ่านกัมมันต์ทางการค้า เมื่อสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า $\log (X/M)$ และ $\log (C_e)$ จะได้จะได้สมการ $y = 1.5694x - 0.0667$ และ $y = 1.8564x - 0.2232$ ตามลำดับ ความชันของกราฟเส้นตรงมีค่าเท่ากับ $1/n$ และจุดตัดมีค่าเท่ากับ K_F ซึ่งค่าคงที่ของสมการไอโซเทอมของการดูดซับกลีเซอริน แสดงดังตารางที่ 4.7

$$\text{ไอโซเทอมแบบแลงเมียร์} \quad \frac{1}{(X/M)} = \frac{1}{abC_e} + \frac{1}{a}$$

$$\text{ไอโซเทอมแบบฟรุนดิช} \quad \log (X/M) = \log C_e \frac{1}{n} + \log K_F$$

ตารางที่ 4.7 แสดงค่าคงที่ของไอโซเทอมของการดูดซับกลีเซอรินของถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไย และถ่านกัมมันต์ทางการค้า

ถ่านกัมมันต์	ไอโซเทอมแบบแลงเมียร์				ไอโซเทอมแบบฟรุนดิช		
	a (mg/g)	b (l/mg)	R ²	R _L	K _F (l/g)	1/n	R ²
จากเมล็ด ลำไย	909.09	5.09	0.8274	4.99×10 ⁻⁵	0.86	1.57	0.923
ถ่านกัมมันต์ ทางการค้า	1,428.57	10.59	0.9617	2.13×10 ⁻⁵	0.59	1.86	0.9776

จากตารางที่ 4.7 พบว่าเมื่อพิจารณารูปแบบกลไกการดูดซับกลีเซอรินทั้งถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไยและถ่านกัมมันต์ทางการค้ามีแนวโน้มการดูดซับไอโซเทอมเป็นแบบฟรุนดิช เนื่องจากมีสัมประสิทธิ์การตัดสินใจความสัมพันธ์เชิงเส้น (R²) ของสมการเข้าใกล้ 1 มากกว่าแบบจำลองการดูดซับตามสมการแลงเมียร์ ซึ่งแสดงว่าการดูดซับกลีเซอรินของถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไยและถ่านกัมมันต์ทางการค้ามีแนวโน้มสอดคล้องกับแบบจำลองการดูดซับหลายชั้น โดยที่ไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรุนดิชนั้น จะเป็นการดูดซับทางกายภาพที่เกิดจากแรงแวนเดอร์วาลส์ (Van der Waals) ซึ่งเป็นแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลอย่างอ่อน ทำให้โมเลกุลของกลีเซอรินสามารถเกาะอยู่บนรอบๆ ผิวของถ่านกัมมันต์ได้หลายชั้น (multilayer)

จากสมการไอโซเทอมฟรุนดิช K_F จะเป็นค่าที่แสดงถึงปริมาณความสามารถในการดูดซับของตัวดูดซับ (adsorption capacity) (Hameed et al., 2007) และ 1/n บ่งบอกถึงความแรงของการดูดซับ (adsorption intensity) (Kalavathy et al., 2005) ของความเป็นพื้นผิวหลายชั้น เมื่อพิจารณาจากค่า K_F แล้วพบว่าถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไยมีความสามารถในการดูดซับกลีเซอรินมากกว่าถ่านกัมมันต์ทางการค้า ซึ่งถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไยมีค่า K_F เท่ากับ 0.86 และถ่านกัมมันต์ทางการค้ามีค่า K_F เท่ากับ 0.59

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลองสามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

5.1.1 ศึกษาคุณสมบัติตัวดูดซับถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไย

ถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไยที่ได้จากการกระตุ้นด้วย $ZnCl_2$ ในอัตราส่วนโดยน้ำหนักเมล็ดลำไยต่อ $ZnCl_2$ เท่ากับ 1:2 มีค่าร้อยละผลผลิตของถ่านกัมมันต์เท่ากับ 44.91 ± 0.45 มีค่าการดูดซับเมทิลีนบลู และไอโอดีนนัมเบอร์ เท่ากับ 56.42 และ 524.22 mg/g ตามลำดับ พื้นที่ผิวสูงสุดเท่ากับ 296.72 (m^2/g) ขนาดของรูพรุนเท่ากับ 2.75 nm และปริมาตรรูพรุนเท่ากับ 0.2039 (cm^3/g) ซึ่งรูพรุนเฉลี่ยของถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไยนี้ตามมาตรฐานของ IUPAC จัดได้ว่าเป็นรูพรุนขนาดกลาง (2–50 nm)

5.1.2 ศึกษากระบวนการทำไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์

ศึกษาการทำไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์โดยใช้ถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไยในการดูดซับ โดยทำการสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันใช้แล้วกับเมทานอล ในอัตราส่วนโดยโมลน้ำมันต่อเมทานอลเท่ากับ 1:6 ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1% ของน้ำหนักน้ำมัน ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 นาที เมื่อปฏิกิริยาเกิดสมบูรณ์ตั้งสารผสมทิ้งไว้ในกรวยแยก 30 นาที ทำการแยกกลีเซอรินที่อยู่ชั้นล่างออก และนำไบโอดีเซลที่อยู่ชั้นบนมาทำการทดลองต่อไป

ทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับกลีเซอรินในไบโอดีเซล โดยศึกษาขนาดของตัวดูดซับ ปริมาณตัวดูดซับ และระยะเวลาในการดูดซับ ผลการศึกษาพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับกลีเซอรินในไบโอดีเซล คือ ตัวดูดซับถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไยขนาด 100-120 เมช ปริมาณตัวดูดซับเท่ากับ ร้อยละ 5 โดยน้ำหนักของไบโอดีเซล ดูดซับที่อุณหภูมิห้อง

รอบการเขย่า 20 รอบต่อนาที ระยะเวลาในการดูดซับ 20 นาที พบว่าถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไยมีความสามารถในการดูดซับกลีเซอรินร้อยละ 84.60

เมื่อพิจารณาผลของเมทานอลในไบโอดีเซล พบว่าในสภาวะไร้มethanol ถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไยจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดกลีเซอรินได้มากกว่าในสภาวะที่มีเมทานอล แสดงว่าเมทานอลมีผลต่อถ่านกัมมันต์ในการดูดซับกลีเซอริน เพราะเมทานอลเป็นโมเลกุลที่มีขั้ว ดังนั้นจึงเกิดการแย่งจับกับถ่านกัมมันต์ จึงทำให้ถ่านกัมมันต์ดูดซับกลีเซอรินได้ไม่ดีเท่าในสภาวะไร้มethanol

เปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับกลีเซอรินในไบโอดีเซลระหว่างถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไย และถ่านกัมมันต์ทางการค้า พบว่าถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไยมีประสิทธิภาพในการดูดซับกลีเซอรินได้มากกว่าถ่านกัมมันต์ทางการค้า โดยถ่านกัมมันต์ทางการค้ามีความสามารถในการดูดซับกลีเซอรินร้อยละ 55.67 %

ซึ่งคุณภาพของไบโอดีเซลที่ผ่านการดูดซับด้วยตัวดูดซับถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไย และการล้างด้วยน้ำนั้นมีค่าใกล้เคียงกัน ค่าความหนืด ค่าความเป็นกรด ปริมาณกลีเซอรอลอิสระ และกลีเซอรอลทั้งหมด ผ่านเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพไบโอดีเซล

5.1.3 ศึกษาไอโซเทอมการดูดซับ

ไอโซเทอมการดูดซับ N_2 ที่อุณหภูมิ 77 K ของถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไยที่กระตุ้นด้วย $ZnCl_2$ ในอัตราส่วนโดยน้ำหนักเมล็ดลำไยต่อ $ZnCl_2$ เท่ากับ 1:2 เป็นตามไอโซเทอมแบบที่ 1 ตาม Brunauer, Emmett and Teller (BET) classification เป็นการดูดซับแบบชั้นเดียว

ไอโซเทอมการดูดซับของกลีเซอรินของถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไย มีแนวโน้มเป็นแบบฟรอนดิช

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรศึกษาการเตรียมถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไยด้วยวิธีกระตุ้นทางกายภาพ เช่น การกระตุ้นด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ หรือ ไออน้ำ เพื่อเป็นการลดปัญหาด้านการล้างสารเคมีซึ่งอาจเป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมได้

5.2.2 ควรมีการนำถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไยไปใช้ในการดูดซับสารชนิดอื่นๆ เช่น การดูดซับโลหะหนัก

5.2.3 ควรศึกษาถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไยที่มีขนาดระหว่าง 8-10 เมช และ 100-120 เมช เพื่อดูประสิทธิภาพในการดูดซับกลิ่นในไปโอดีเซล

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- กนกกาญจน์ ชำนาญ และสุกัญญา นาลาด. 2553. การทำไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์โดยการดูดซับด้วย ถ่านกัมมันต์จากแกลบ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- เกศศิริ เหล่าวิชวะสุวรรณ. การเตรียมและศึกษาถ่านกัมมันต์จากเปลือกและเมล็ดลิ้นจี่โดยวิธีการ กระตุ้นทางเคมี. วารสารวิชาการ มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย 31 (กรกฎาคม-กันยายน 2554) : 83-102.
- ไกรพัฒน์ จินขจร. 2550. ไบโอดีเซลในพลังงานหมุนเวียน, หน้า 37-55, กรุงเทพมหานคร: สมาคม ส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).
- จิตพร วิทยาคุณ และ นุรักษ์ กฤษดานุรักษ์. 2547. การเร่งปฏิกิริยาพื้นฐาน และการประยุกต์. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- จันทร์เลขา ภูทองคำ. 2554. การกำจัดกลีเซอรินในกระบวนการทำไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์โดยตัวดูดซับจากแกลบ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา) บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- จิตภา สุวรรณมุกต์ และสุกัญญา ไตรธเนศ. 2552. การทำไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์ด้วยกระบวนการล้างแบบแห้ง. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรบัณฑิต, คณะวิทยาศาสตร์. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ณัฐวิภา จงรัก. 2554. การผลิตถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไยโดยการกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์และ โฟแทสเซียมไฮดรอกไซด์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา) บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ธราพงษ์ วิทิตสานต์. 2553. ถ่านกัมมันต์การผลิตและการนำไปใช้. ศูนย์วิจัยและตรวจสอบคุณภาพถ่านกัมมันต์, ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- นิพนธ์ ตังคณานุรักษ์ และคณิตา ตังคณานุรักษ์. 2550. หลักการการตรวจวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

บัวเรียม มณีวรรณ, ทองเลียน บัวจุม, เผ่าพงษ์ ปุระณะพงษ์ และ โยธิน นันตา. การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีการย่อยได้ของภาชนะ และพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ของเมล็ดลำไยและเนื้อในเมล็ดลำไยในไก่พื้นเมือง, หน้า 29-30. ในการประชุมวิชาการนเรศวรวิจัยครั้งที่ 7. 29 – 30 กรกฎาคม 2554.

ปริญทร เต็มถาวรศิลป์. 2551. การเตรียมและการวิเคราะห์คุณลักษณะของถ่านกัมมันต์จากไม้ตองและไม้หมาจู้. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, สาขาวิชาเคมีอินทรีย์ ภาควิชาเคมีบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พรพรกร ใจประดับเพชร. 2549. การกำจัดแคดเมียมและสังกะสีในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากกะลามะพร้าวและเมล็ดมะขาม. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา) บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

พัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, กรม. 2550. เอกสารประกอบการอบรม ครั้งที่ 3 เรื่องไบโอดีเซล. กรุงเทพมหานคร: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. วิศวกรรมศาสตร์. สำนักพิมพ์การ์เทลพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน.

พัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, กรม. กระทรวงพลังงาน. 2554. รายงานน้ำมันเชื้อเพลิงของประเทศไทย 2554. [ออนไลน์] แหล่งที่มา: http://www.dede.go.th/dede/images/stories/stat_dede/oil_54_13sep55.pdf [10 มีนาคม 2556]

พัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน และคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2551. โครงการจัดทำยุทธศาสตร์พัฒนาอุตสาหกรรมต่อเนื่องจากไบโอดีเซลแบบครบวงจร. กรุงเทพมหานคร: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน.

ลลิตา นิตศนจากรกุล. 2544. การกำจัดตะกั่วจากน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยกระบวนการดูดติดผิวโดยใช้ถ่านกัมมันต์จากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ลลิตา อัดทนโก. 2549. รอบรู้เรื่องราวไบโอดีเซล. หน้า 10-16, กรุงเทพมหานคร: สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย กระทรวงวิทยาศาสตร์.

เศรษฐกิจมั่นคง กาญจนกุล. 2555. ลำไยขาวในผลไม้ในเมืองไทย. หน้า 104 – 105, กรุงเทพมหานคร: เศรษฐศิลป์.

- สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) ฝ่ายเทคโนโลยีอาหาร. 2552. วารสารเกษตรกรรมธรรมชาติ. [ออนไลน์] แหล่งที่มา: http://www.tistr-foodprocess.net/download/article/Lumyai_th.htm [15 กรกฎาคม 2554]
- สันทัด ศิริอนันต์ไพบุลย์. 2549. ระบบบำบัดน้ำเสีย (Wastewater treatment system). กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ท็อป.
- สุพรรณณี จันทร์ภิรมณ์. 2550. การเตรียมถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไยโดยวิธีกระตุ้นทางกายภาพและทางเคมี. วารสารเทคโนโลยีสุรนารี 14(1): 63-76.

ภาษาอังกฤษ

- Ahmadroup, A., and Do, DD. 1997. The preparation of activated carbon from Macadamia nutshell by chemical activated. Carbon. 35: 1723-1732.
- Bertram, B., Abrams, C., and Cooke, B.S. 2005. Purification of biodiesel with adsorbent materials. U.S. Patent Application No.20050081436 .
- Cookson, J.T., Jr. 1978. Adsorption mechanisms: the chemistry of organic adsorption on activated carbon. In Cheremisinoff, P.N., and Ellerbusch, F.(eds.). carbon adsorption handbook. Michigan: Ann Arbor Science.
- Fadhil, A.B., Dheyab, M. M., and Abdul-Qader, Y. 2012. Purification of biodiesel using activated carbons produced from spent tea waste. Journal of the Association of Arab Universities for Basic and Applied Sciences. 11: 45-49.
- Fukada, H., Kondo, A., and Noda, H. 2001. Biodiesel fuel production by transesterification of oil. Journal of Bioscience and Bioengineering. 92: 405-416.
- Gergova, K., Petrov, N., and Eser, S. 1994. Adsorption properties and microstructure of activated carbons produced from agricultural by-products by stream pyrolysis. Carbon. 32: 693-702.

- Guo, J., and Lua, A.C. 2001. Kinetic study on pyrolysis process of oil-palm solid waste using two-step consecutive reaction model. Biomass and Bioenergy. 20: 223-233.
- Haghseresht, F. and Lu, G. Q. 1998. Adsorption characteristics of phenolic compounds onto coal-reject-derived adsorbents. Energy Fuels. 12: 1100-1177.
- Kalavathy, M. H., Karthikeyan, T., Rajgopal, S. and Miranda, L. R. 2005. Kinetic and isotherm studies of Cu(II) adsorption onto H_3PO_4^- activated rubber wood sawdust. Journal of Colloid and Interface Science. 292: 354-362.
- Kalderis, D., Bethanis, S., Paraskeva, P. and Diamadopoulos, E. 2008. Production of activated carbon from bagasse and rice husk by a single-stage chemical activation method at low retention times. Bioresource Technology. 99: 6809-6816.
- Leung, D. Y. C., and Guo, Y. 2006. Transesterification of neat and used frying oil: Optimization for biodiesel production. Fuel Processing Technology. 87: 883-890.
- Liu, S., Musuku, S.R., Adhikari, S. and Fernando, S. 2009. Adsorption of glycerol from biodiesel washwaters. Environmental Technology. 30: 505-510.
- Loannidou, O., and Zabaniotou, A. 2007. Agricultural residues as precursors for activated carbon production-a review. Renewable Sustainable Energy Reviews. 11: 1966-2005.
- Ma, S., and Hanna, M. A. 1999. Biodiesel production: a review. Bioresource Technology. 70: 1-15.
- Marchetti, J. M., Miguel, V. U., and Errazu, A.F. 2007. Possible methods for biodiesel production. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 11: 1300-1311.

- Mohan, D., and Pittman, C.U. 2006. Activated carbons and low cost adsorbents for remediation of tri- and hexavalent chromium from waste. Journal of Hazardous Materials B. 137: 762-811.
- Predojevic, Z.J. 2008. The production of biodiesel from waste frying oils: A comparison of different purification steps. Fuel. 87: 3522-3528.
- Ruiying, G., and Jianlong, W. 2007. Effects of pH and temperature on isotherm parameters of chlorophenols biosorption to anaerobic granular sludge. Journal of Hazardous Materials. 145: 398-403.
- Schumacher, J. 2007. Small scale biodiesel production: an overview. agricultural marketing policy [online]. Available from: <http://www.ampc.montana.edu/policypaper/policy22.pdf> [2012, July 22]
- Suehara, K., Kawamoto, Y., Fuji, E., Coda, J., Nakano, Y. and Yano, T. 2005. Biological treatment of wastewater discharged from biodiesel fuel production plant with alkali-catalyzed transesterification. J. Bio. Sci. Bio. Eng. Sci. 100: 437-442.
- Ucar, S., Erdem, M., Tay, T. and Karagoz, S. 2009. Preparation and characterization of activated carbon produced from pomegranate seeds by $ZnCl_2$ activation. Journal of Applied Surface Science. 255: 8890-8896.
- Yang, H., Yan, R., Chen, H., Lee, D. H., and Zheng, C. 2007. Characteristics of hemicellulose, cellulose and lignin pyrolysis. Fuel. 86: 1781-1788.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก วิธีการวิเคราะห์

ก.1 ร้อยละผลผลิตของถ่านกัมมันต์

สูตรการคำนวณ

$$\text{ร้อยละผลผลิตรวม} = \frac{W_{ac}}{W_0} \times 100$$

$$\begin{aligned} \text{เมื่อ } W_{ac} &= \text{น้ำหนักของถ่านกัมมันต์ (กรัม)} \\ W_0 &= \text{น้ำหนักวัตถุดิบตั้งต้น (กรัม)} \end{aligned}$$

ก.2 การวิเคราะห์ค่าไอโอดีนนัมเบอร์ของถ่านกัมมันต์

การวิเคราะห์ความสามารถในการดูดซับไอโอดีน มีรายละเอียดการวิเคราะห์ ดังนี้

1. เครื่องมือ

- เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง
- เตาอบ
- โถดูดความชื้น
- ขวดสีชา
- บิวเรต ขนาด 50 มิลลิลิตร
- ขวดปริมาตรรูปชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตร พร้อมจุกปิด
- ปีกเกอร์ขนาด 50 และ 250 มิลลิลิตร
- กระจกตวง ปริมาตร ขนาด 100 และ 500 มิลลิลิตร
- กรวยกรอง
- ขวดปรับปริมาตรขนาด 1,000 มิลลิลิตร

- ปีเปตขนาด 5, 10, 25, 50 และ 100 มิลลิลิตร
- กระจกทรงเบอร์ 42 มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 150 มิลลิเมตร

2. สารเคมี

2.1 สารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก

เตรียมโดย ผสม Conc. HCl จำนวน 70 มิลลิลิตร ในน้ำกลั่น 550 มิลลิลิตร เขย่าผสมให้เข้ากัน

2.2 สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไอโอเดต (KIO_3) ความเข้มข้น 0.1000 N

เตรียมโดยอบ KIO_3 ที่อุณหภูมิ 110 ± 5 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนัก 3.5667 ± 0.1 กรัม ละลายในน้ำกลั่นปริมาณ 100 มิลลิลิตร ถ่ายสารละลายลงขวดปริมาตรขนาด 1,000 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร

2.3 สารละลายมาตรฐานโซเดียมไทโอซัลเฟต ($Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$) ความเข้มข้น 0.100 N

เตรียมโดย ชั่งน้ำหนัก $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$ 24.820 กรัม ละลายน้ำกลั่นที่ผ่านการต้มให้เดือด 75 ± 25 มิลลิลิตร เติมโซเดียมคาร์บอเนต ($NaCO_3$) จำนวน 0.10 ± 0.01 กรัม ถ่ายสารละลายลงขวดปริมาตรขนาด 1,000 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร เก็บสารละลายในขวดสีชา ตั้งทิ้งไว้อย่างน้อย 4 วัน ก่อนทำการทดลองควรตรวจสอบความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน $Na_2S_2O_3$

2.4 สารละลายมาตรฐานไอโอดีน ความเข้มข้น 0.100 N

เตรียมโดย ชั่งน้ำหนักไอโอดีน 12.7 กรัม และโพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI) 19.1 กรัม ผสมให้เข้ากัน เติมน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้อย่างน้อย 4 ชั่วโมง คนเป็นระยะเพื่อให้สารทั้ง 2 ชนิดละลาย ถ่ายสารละลายลงขวดปริมาตรขนาด 1,000 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร

1,000 มิลลิลิตร เก็บสารละลายในขวดสีชา และตรวจสอบความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน ไอโอดีนด้วยสารละลายมาตรฐาน $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ความเข้มข้น 0.100 N

2.5 สารละลายแป้ง

เตรียมโดยชั่งน้ำหนักแป้งมันจำนวน 1.0 กรัม ในน้ำเย็น 5 – 10 มิลลิลิตร คนให้ละลายและเติมน้ำกลั่นเพิ่มอีก 25 ± 5 มิลลิลิตร เทลงน้ำเดือด 1,000 ต้มต่อให้เดือดอีก 4 – 5 นาที น้ำแป้งที่เตรียมได้ควรใช้ให้หมดภายใน 1 วัน

3. การตรวจสอบความเข้มข้นของสารละลาย

3.1 การตรวจสอบความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$

ปิเปตสารละลาย KIO_3 25 มิลลิลิตร ใส่ขวดรูปชมพู่ ชั่งน้ำหนัก KI จำนวน 2.0 กรัม เติมในสารละลาย เขย่าจะละลาย เติม Conc. HCl 5 มิลลิลิตร ไทเทรตทันทีด้วยสารละลายมาตรฐาน $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 0.100 N จนสีของสารละลายเป็นสีเหลืองอ่อน (ใกล้จุดยุติ) หยคน้ำแป้ง 2–3 หยด สีของสารละลายเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงิน ไทเทรตต่อจนสารละลายเปลี่ยนสีเป็นใสไม่มีสี บันทึกปริมาตรของสารละลาย $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ที่ใช้ ทำการตรวจสอบซ้ำอย่างน้อย 3 ครั้ง คำนวณความเข้มข้นของสารละลาย $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ จากสมการที่ ก.1

$$N_1 = \frac{(P \times R)}{S} \quad (\text{ก.1})$$

เมื่อ N_1 = ความเข้มข้นของสารละลาย $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ (N)

P = ปริมาตรของสารละลาย KIO_3 (มิลลิลิตร)

R = ความเข้มข้นของสารละลาย KIO_3 (N)

S = ปริมาตรของสารละลาย $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ (มิลลิลิตร)

3.2 การตรวจสอบความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีน

ปิเปตสารละลายไอโอดีน 25 มิลลิลิตร ใส่ขวดรูปชมพู่ ไทเทรตทันทีด้วยสารละลายมาตรฐาน $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 0.100 N จนสีของสารละลายไอโอดีนเป็นสีเหลืองอ่อน (ใกล้จุดยุติ) หยดน้ำแบ่ง 2–3 หยด สีของสารละลายเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงิน ไทเทรตต่อจนสารละลายเปลี่ยนสีเป็นใสไม่มีสี บันทึกปริมาตรของสารละลาย $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ที่ใช้ ทำการตรวจสอบซ้ำอย่างน้อย 3 ครั้ง คำนวณความเข้มข้นของสารละลาย $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ จากสมการที่ ก.2

$$N_2 = \frac{(S \times N_1)}{L} \quad (\text{ก.2})$$

เมื่อ N_2 = ความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีน (N)

S = ปริมาตรของสารละลาย $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ที่ใช้ (มิลลิลิตร)

N_1 = ความเข้มข้นของสารละลาย $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ (N)

L = ปริมาตรสารละลายไอโอดีน (มิลลิลิตร)

4. วิธีการหาค่าไอโอดีนนมเบอร์

4.1 บดถ่านกัมมันต์ที่ต้องการทดสอบค่าไอโอดีนนมเบอร์ จนได้ขนาดที่สามารถร่อนผ่านตะแกรงขนาดเบอร์ 100 เมช ได้ 95% และสามารถผ่านตะแกรงขนาดเบอร์ 325 เมช ได้ 60%

4.2 นำถ่านกัมมันต์ที่ได้บดไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 110 – 120°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น

4.3 ชั่ง และบันทึกน้ำหนักถ่านกัมมันต์ (ด้วยเครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง) ใส่ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร

หมายเหตุ ต้องชั่งน้ำหนัก 3 ค่า เพื่อให้ได้ค่า C มีค่าน้อยกว่า เท่ากับ และมากกว่า 0.02

4.4 ปิเปตสารละลาย 5% HCl จำนวน 10 มิลลิลิตร ใส่ขวดรูปชมพู่แต่ละใบ ปิดจุกเขย่าเบาๆ เพื่อให้สารละลายสัมผัสตัวอย่างอย่างทั่วถึง เปิดจุกตั้งบน hot plate ในตู้ดูดควัน

จนสารละลายเดือดประมาณ 30 ± 2 วินาที เพื่อกำจัดเถ้าหรือซัสเพนเดอร์ออกจากผิวถ่านกัมมันต์ ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

4.5 ปิเปตสารละลายมาตรฐานไอโอดีน 0.001 N จำนวน 100 มิลลิลิตร ใส่ขวดรูปชมพู่ ปิดจุกขวดทันที เขย่าอย่างแรงเป็นเวลา 30 ± 1 วินาที เปิดจุกกรองสารละลายด้วยกระดาษกรอง เบอร์ 42 โดยทิ้งสารละลาย 5 มิลลิลิตร แรก เพื่อป้องกันการปนเปื้อน

4.6 ปิเปตสารละลายที่ผ่านการกรอง 50 มิลลิลิตร ใส่ขวดรูปชมพู่ ไทเทรตด้วย สารละลายมาตรฐาน $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 0.100 N จนสารละลายเปลี่ยนสีเป็นสีเหลืองอ่อน เติมน้ำแบ่ง 2 มิลลิลิตร ไทเทรตต่อจนสารละลายสีจากสีน้ำเงินเป็นใสไม่มีสี บันทึกปริมาตรของสารละลาย มาตรฐาน $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ที่ใช้

4.7 คำนวณความเข้มข้นสุดท้ายของสารละลายมาตรฐานไอโอดีนหลังการดูดซับโดยตัว ดูดซับ (C) จากสมการ ก.3

$$C = \frac{(N_2 \times S)}{F} \quad (\text{ก.3})$$

เมื่อ C = ความเข้มข้นสุดท้ายของสารละลายมาตรฐานไอโอดีนหลังการดูดซับ (มิลลิลิตร)

N_2 = ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ (มิลลิลิตร)

S = ปริมาตรของสารละลายมาตรฐาน $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ที่ใช้ (มิลลิลิตร)

F = ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานไอโอดีนที่ใช้ (มิลลิลิตร)

ค่า C ที่คำนวณต้องมีค่าอยู่ในช่วง 0.008–0.0334 N ถ้าไม่อยู่ในช่วงดังกล่าวต้องทำการ ทดลองซ้ำ โดยการเปลี่ยนน้ำหนักของถ่านกัมมันต์ตัวอย่าง โดยถ้าค่า C น้อยกว่าที่กำหนดต้องลด ปริมาณถ่านกัมมันต์ตัวอย่างลง แต่ถ้าค่า C มากกว่าที่กำหนดต้องเพิ่มปริมาณถ่านกัมมันต์ ตัวอย่าง จนได้ค่า C อยู่ในช่วงดังกล่าว

4.8 คำนวณหาค่าการดูดซับจำเพาะ (X/M) จากสมการ ก.4

$$\frac{X}{M} = A - \frac{(2.2B \times S)}{M} \quad (\text{ก.4})$$

เมื่อ X/M = ค่าการดูดซับเฉพาะ (มิลลิกรัม/กรัม)

$$A = N_1 \times 12693.0$$

$$B = N_2 \times 126.93$$

S = ปริมาตรของสารละลายมาตรฐาน $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ที่ใช้ (มิลลิลิตร)

M = น้ำหนักของถ่านกัมมันต์ตัวอย่าง (กรัม)

นำค่า X/M ที่ได้ทั้ง 3 ค่า สร้างกราฟระหว่างแกน X คือ $\log C$ แกน y คือ $\log [X/M]$ ได้เส้นความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง ตำแหน่งที่ $C = 0.02$ หรือ $\log C = 1.699$ ทำให้ทราบค่าบนแกน y โดยสมมติให้เท่ากับ Y นำค่าที่ได้คำนวณหาค่าไอโอดีนัมเบอร์ (I_2 No.) ดังสมการ ก.5

$$I_2 \text{ No.} = 10^Y \quad (\text{ก.5})$$

ตารางที่ ก.1 น้ำหนักประมาณของตัวอย่างที่ใช้วิเคราะห์ค่าไอโอดีนัมเบอร์ (ASTM)

M (g)				M (g)			
E	C = 0.01	C = 0.02	C = 0.03	E	C = 0.01	C = 0.02	C = 0.03
300	3.766	3.300	2.835	1550	0.729	0.639	0.549
350	3.228	2.829	2.430	1600	0.706	0.619	0.531
400	2.824	2.475	2.126	1650	0.684	0.600	0.515
450	2.510	2.200	1.890	1700	0.664	0.582	0.500
500	2.259	1.980	1.701	1750	0.645	0.566	0.486
550	2.054	1.800	1.546	1800	0.625	0.550	0.472
600	1.883	1.650	1.417	1850	0.610	0.535	0.460
650	1.738	1.523	1.308	1900	0.594	0.521	0.447
700	1.614	1.414	1.215	1950	0.579	0.508	0.460
750	1.506	1.320	1.134	2000	0.565	0.495	0.425
800	1.412	1.237	1.063	2050	0.551	0.483	0.415

M (g)				M (g)			
E	C = 0.01	C = 0.02	C = 0.03	E	C = 0.01	C = 0.02	C = 0.03
850	1.329	1.164	1.000	2100	0.538	0.471	0.405
900	1.255	1.100	0.945	2150	0.525	0.460	0.396
950	1.189	1.0442	0.895	2200	0.513	0.450	0.386
1000	1.130	0.990	0.850	2250	0.502	0.440	0.378
1050	1.076	0.943	0.810	2300	0.491	0.430	0.370
1100	1.027	0.943	0.810	2350	0.481	0.421	0.362
1150	0.982	0.861	0.739	2400	0.471	0.412	0.354

ตารางที่ ก.1 น้ำหนักประมาณของตัวอย่างที่ใช้วิเคราะห์ค่าไอโอดีนนมเบอร์ (ASTM)

M (g)				M (g)			
E	C = 0.01	C = 0.02	C = 0.03	E	C = 0.01	C = 0.02	C = 0.03
1200	0.941	0.825	0.709	2450	0.461	0.404	0.347
1250	0.904	0.792	0.680	2500	0.452	0.396	0.340
1300	0.869	0.761	0.654	2550	0.443	0.386	0.333
1350	0.837	0.733	0.630	2600	0.434	0.381	0.327
1400	0.807	0.707	0.607	2650	0.426	0.374	0.321
1450	0.779	0.683	0.586	2700	0.418	0.367	0.315
1500	0.753	0.660	0.567	2750	0.411	0.360	0.309

ก.3 วิธีวิเคราะห์ค่าการดูดซับเมทิลีนบลูของถ่านกัมมันต์

มีรายละเอียดการวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

1. เครื่องมือที่ใช้

- เครื่องเขย่าตามแนวราบ
- เครื่องวัดการดูดกลืนแสง
- เครื่องเซนติฟิวจ์

2. วิธีเตรียมสารละลาย

2.1 การเตรียมสารละลายบัฟเฟอร์ (Buffer solution)

- อบโปแตสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (KH_2PO_4) ให้แห้งที่อุณหภูมิ 110-120 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และทิ้งให้เย็นในหม้อดูดความชื้นนาน 20 นาที

- ชั่งมา 9.0 กรัม แล้วละลายด้วยน้ำกลั่นให้มีปริมาตรรวมเป็น 1,000 มิลลิลิตร ด้วยขวดวัดปริมาตร สารละลายที่ได้นี้ คือ A

- อบโซเดียมโมโนฟอสเฟต (Na_2HPO_4) ให้แห้งที่อุณหภูมิ 110-120 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และทิ้งให้เย็นในหม้อดูดความชื้นนาน 20 นาที

- ชั่งมา 23.88 กรัม แล้วละลายด้วยน้ำกลั่นให้มีปริมาตรรวมเป็น 1,000 มิลลิลิตร ด้วยขวดวัดปริมาตร สารละลายที่ได้นี้ คือ B

- นำสารละลาย A จำนวน 400 มิลลิลิตร ผสมกับสารละลาย B จำนวน 600 มิลลิลิตร กวนให้เข้ากัน จะได้สารละลายบัฟเฟอร์ที่มีค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 7

3. สารละลายเมทิลีนบลู

3.1 การเตรียม

อบสารเมทิลีนบลูให้แห้งที่อุณหภูมิ 110-120 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และทิ้งให้เย็นในหม้อดูดความชื้นนาน 20 นาที ชั่งมา 1.2060 กรัม (สมมุติว่ามีความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.5) ละลายด้วยสารละลายบัฟเฟอร์ในข้อ 1 จนมีปริมาตรเป็น 4,000 มิลลิลิตร สารละลายที่ได้นี้มี ความเข้มข้น 0.3000 mg/g กวนสารละลายอย่างน้อย 3 วัน ก่อนนำไปใช้

3.2 วิธีสร้างกราฟมาตรฐาน

ดูดสารละลายเมทิลีนบลูที่เตรียมได้ มา 5.0 มิลลิลิตร เจือจางด้วยน้ำกลั่นจนมีปริมาตรเป็น 50 มิลลิลิตร ให้สารละลายนี้ คือ M ซึ่งมีความเข้มข้น 0.3000 มิลลิกรัมต่อกรัม เจือจางสารละลาย M ให้มีความเข้มข้นต่างๆ ดังนี้

ดูดมา 1.0 mL เจือจางเป็น 100 mL ความเข้มข้น = 0.00030 mg/mL

ดูดมา 1.5 mL เจือจางเป็น 100 mL ความเข้มข้น = 0.00045 mg/mL

ดูดมา 2.0 mL เจือจางเป็น 100 mL ความเข้มข้น = 0.00060 mg/mL

ดูดมา 2.5 mL เจือจางเป็น 100 mL ความเข้มข้น = 0.00075 mg/mL

ดูดมา 3.0 mL เจือจางเป็น 100 mL ความเข้มข้น = 0.00090 mg/mL

วัดค่าการดูดกลืนแสงที่มีความยาวคลื่น 663 nm บันทึกค่าการดูดกลืนแสง แล้วนำไปสร้างกราฟระหว่างแกนราบ คือ ความเข้มข้นในหน่วย 100 mg/mL แกนตั้งฉาก คือ ค่าการดูดกลืน จะได้ความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงมีความชันเท่ากับ $\tan \theta$

หมายเหตุ ค่า $\tan \theta$ เป็นค่าที่แสดงถึงความเข้มข้นของสารละลายที่เตรียมได้ ในการทดลองนี้กำหนดว่าค่าดังกล่าวต้องอยู่ในช่วง 2.0 ถึง 2.2 เท่านั้น ถ้าไม่ได้ค่าตามนี้ให้ถือว่าสารละลายที่เตรียมมาใช้ไม่ได้

3.3 วิธีวิเคราะห์

- บดและคัดขนาดตัวอย่างให้ละเอียดน้อยกว่า 250 μm (No. 60)
- อบตัวอย่างให้แห้งที่อุณหภูมิ 110-120 °C นาน 2 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในหม้อดูดความชื้นนาน 20 นาที
- ชั่งและบันทึกน้ำหนักเท่ากับ D ให้ละเอียดถึงทศนิยมตำแหน่งที่ 4 (คือ มีความละเอียด 0.1 mg) ในขวดชมพูขนาด 300 มิลลิลิตร ซึ่งมีจุกปิด

- ใส่สารละลายเมทธิลีนบลู 50 มิลลิลิตร ปิดจุกแล้วเขย่าแรงๆ 10 วินาที สังเกตดูว่าสีของสารละลายเจือจางหรือไม่ ถ้าเจือจางให้ใส่สารละลายเมทธิลีนบลูลงไปอีก ครึ่งละ 50 มิลลิลิตร

- เมื่อสีของสารละลายไม่เจือจาง ให้ใส่สารละลายเพิ่มอีก 50 มิลลิลิตร เพื่อให้ความเข้มข้นของสารละลายที่จุดสมดุลของการดูดซับเท่ากับ 0.3 mg/g แล้วนำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าด้วยความเร็ว 2,500 รอบต่อนาที นาน 30 นาที

- เทสารละลายส่วนบนลงในหลอดเซนติฟิวจ์ แล้วนำไปเซนติฟิวจ์ด้วยความเร็ว 3,000 รอบต่อนาที นาน 10 นาที

- ดูดสารละลายส่วนบนมา 0.5 มิลลิลิตร เจือจางด้วยน้ำกลั่นจนมีปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร (ค่าคงที่ของการเจือจาง, $C = 100/0.5 = 200$) ถ้าวัดการดูดกลืนแสง แล้วอยู่นอกช่วงของกราฟมาตรฐาน ให้เพิ่มปริมาตรหลังการเจือจาง เช่น เจือจางเป็น 200 มิลลิลิตร ($C = 400$) เป็นต้น

- วัดค่าการดูดกลืนแสงที่มีความยาวคลื่น 663 nm

ค่าการดูดกลืนแสง (Methylene blue adsorption, MB) (มิลลิกรัมต่อกรัม) คำนวณได้จาก

$$MB \text{ (mg/g)} = [0.3000 A/D] - [ABC/100D \tan\theta]$$

โดย A = ปริมาตรของสารละลายเมทธิลีนบลูที่ใช้ตอนเริ่มต้น (มิลลิลิตร)

B = ค่าการดูดกลืนแสง

C = ค่าคงที่ของการเจือจาง = 200 (หรือ 400)

ก.4 การวิเคราะห์หาปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (alkaline catalyst) และกลีเซอรินคงเหลือ

1. สารเคมี

1.1 สารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.01 N

เตรียมโดย ปิเปต Conc. HCl จำนวน 0.83 มิลลิลิตร ใส่ขวดปรับปริมาตรขนาด 1,000 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรให้ได้ 1,000 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น หาความเข้มข้นของกรดไฮโดร

คลอริกโดยนำไปไทเทรตกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่รู้ความเข้มข้น เพื่อหาความเข้มข้นที่แน่นอนของกรดไฮโดรคลอริก

- การหาความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริก

ตวงกรดไฮโดรคลอริกที่เตรียมไว้ 25 มิลลิลิตร ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมฟีนอล์ฟทาไลน์ ประมาณ 2-3 หยด นำไปไทเทรตกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่รู้ความเข้มข้น ไทเทรตจนสารละลายเปลี่ยนเป็นสีชมพูอ่อน คำนวณได้จากสูตร

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

- เมื่อ C_1 = ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ (N)
 V_1 = ปริมาตรของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ไทเทรต (มิลลิลิตร)
 C_2 = ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริก (N)
 V_2 = ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ (25 มิลลิลิตร)

1.2 อินดิเคเตอร์ ฟีนอล์ฟทาเลอิน (phenolphthalein) 1%

เตรียมโดย ชั่งน้ำหนักฟีนอล์ฟทาเลอินจำนวน 0.25 กรัม ใส่ขวดปรับปริมาตรขนาด 250 มิลลิลิตร เติมไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ (IPA) 50 มิลลิลิตร เขย่าให้ละลาย และปรับปริมาตรให้เป็น 250 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น

1.3 อินดิเคเตอร์โบรมิฟีนอล์ฟทาเลอิน 1%

ชั่งน้ำหนักโบรมิฟีนอล์ฟทาเลอิน 0.1 กรัม ใส่ใส่ขวดปรับปริมาตรขนาด 250 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรให้เป็น 250 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน

2.วิธีหาปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (alkaline catalyst) และกลีเซอรินที่คงเหลือ

2.1. ชั่งน้ำหนักไบโอดีเซล (ไบโอดีเซลยังไม่ผ่านการดูดซับ เท่ากับ 5 กรัม และไบโอดีเซลที่ผ่านการดูดซับ เท่ากับ 10 กรัม) ใส่ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร

2.2. เติมสารละลายไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ (IPA) จำนวน 100 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน

2.3. เติมอินดิเคเตอร์ ฟีนอลเรด (phenol red) 1 มิลลิลิตร ไทเทรตทันทีด้วย 0.01 N HCl จนสารละลายเปลี่ยนสีจากสีส้มเป็นสีเหลือง จดปริมาตรกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ (A)

2.4. เติมอินดิเคเตอร์ โบรโมฟีนอลบลู (bromophenol blue) ไทเทรตทันทีด้วย 0.01 N HCl จนสารละลายเปลี่ยนสีจากสีฟ้าเป็นสีเหลือง จดปริมาตรกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ (B)

3. วิธีการคำนวณหาปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (alkaline catalyst) และกลีเซอรินคงเหลือ

3.1 วิธีการคำนวณหาปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (alkaline catalyst) คงเหลือ จากสมการ ก.6

ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหลือ (กรัม) ต่อน้ำหนักไบโอดีเซล (กรัม)

$$\text{ปริมาณ alkaline catalyst} = \frac{(A \times 0.01 \text{ N HCl} \times 40.0)}{M \times 1000} \quad (\text{ก.6})$$

เมื่อ A = ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ (มิลลิลิตร)

M = น้ำหนักไบโอดีเซล (กรัม)

3.2 วิธีการคำนวณหาปริมาณกลีเซอรินคงเหลือ จากสมการ ก.7

$$\text{ปริมาณกลีเซอริน (ppm)} = \frac{(B \times 0.01 \text{ N HCl} \times 303.4)}{M \times 1000} \quad (\text{ก.7})$$

เมื่อ B = ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ (mL)

M = น้ำหนักไบโอดีเซล (กรัม)

ก.5 การวิเคราะห์หาปริมาณความเป็นกรด (acid value)

1. สารเคมี

1.1 สารละลายอินดิเคเตอร์ p – naphtholbenzein 1%

เตรียมโดย ชั่งน้ำหนัก p – naphtholbenzein ใส่ขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตร โดยเติมสารละลายสำหรับการไทเทรต (titration solvent) เขย่าให้เข้ากัน

1.2 สารละลาย alcoholic KOH ความเข้มข้น 0.1 M

เตรียมโดย ชั่งน้ำหนัก โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) จำนวน 0.6 กรัม ใส่ขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตร โดยเติมไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ (IPA) เขย่าให้เข้ากัน

ตรวจสอบความเข้มข้นโดย

- ชั่งน้ำหนัก KHP จำนวน 0.2 กรัม (จุดน้ำหนักที่แน่นอน) ใส่ขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตร โดยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน (สารละลายมาตรฐาน)
- ปิเปตสารละลาย KHP จำนวน 25 มิลลิลิตร เติมอินดิเคเตอร์ ฟีนอล์ฟธาเลิน (phenolphthalein) จำนวน 6 หยด ไทเทรตทันทีด้วยสารละลาย alcoholic KOH จนสารละลายเปลี่ยนจากใสไม่มีสีเป็นสีชมพู จุดปริมาตรสารละลาย alcoholic KOH ที่ใช้

การคำนวณความเข้มข้นของสารละลาย alcoholic KOH จากสมการ ก.8 และ ก.9

$$C_1 = \frac{g}{M} \times \frac{1000}{V} \quad (\text{ก.8})$$

เมื่อ C_1 = ความเข้มข้นของสารละลาย KHP (M)
 g = น้ำหนักของ KHP (g)
 M = โมเลกุลของ KHP เท่ากับ 204.23
 V = ปริมาตรของสารละลาย KHP ที่เตรียม (100 mL)

$$C_2 = \frac{C_1 V_1}{V_2} \quad (\text{ก.9})$$

เมื่อ C_1 = ความเข้มข้นของสารละลาย KHP (M)
 V_1 = ปริมาตรของสารละลาย KHP (25 mL)
 C_2 = ความเข้มข้นของสารละลาย alcoholic KOH (M)
 V_2 = ปริมาตรของสารละลาย alcoholic KOH (mL)

1.3 สารละลายสำหรับการไทเทรต (titration solvent)

เตรียมโดยผสมทูลูอีน (toluene) จำนวน 250 มิลลิลิตร กับไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ จำนวน 247.5 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรให้ 1000 มิลลิลิตร โดยน้ำกลั่น 25 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน

2. วิธีการวิเคราะห์หาปริมาณความเป็นกรด (acid value)

2.1 ชั่งน้ำหนักไปไอดีเซล 1 กรัม ใส่ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมสารละลายไทเทรตจำนวน 25 มิลลิลิตร

2.2 เติมอินดิเคเตอร์ p-naphtholbenzein 1% จำนวน 0.125 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน ไทเทรตทันทีด้วยสารละลาย alcoholic KOH จนสารละลายเปลี่ยนจากสีส้มเป็นสีเขียว จุดปริมาตรของสารละลาย alcoholic KOH ที่ใช้ (A)

2.3 ทำ blank โดยเติมสารละลายไทเทรตจำนวน 25 มิลลิลิตร เติมอินดิเคเตอร์ p-naphtholbenzein 1% จำนวน 0.125 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน ไทเทรตทันทีด้วยสารละลาย

alcoholic KOH จนสารละลายเปลี่ยนจากสีส้มเป็นสีเขียว จดปริมาตรของสารละลาย alcoholic KOH ที่ใช้ (B)

2.4 คำนวณปริมาณความเป็นกรด (acid value) จากสมการ ก.10

$$\text{Acid value} = \frac{[(A - B) \times M \times 56.1]}{W} \quad (\text{ก.10})$$

- เมื่อ
- A = ปริมาตรของสารละลาย alcoholic KOH ที่ใช้กับตัวอย่าง (มิลลิลิตร)
 - B = ปริมาตรของสารละลาย alcoholic KOH ที่ใช้กับ blank (มิลลิลิตร)
 - M = ความเข้มข้นของสารละลาย alcoholic KOH (M)
 - W = น้ำหนักไปโอดีเซล (กรัม)

ภาคผนวก ข
ผลการวิเคราะห์และคำนวณ

ข.1 ผลการทดลอง

ตารางที่ ข.1 ผลการทดลองหาค่าไอโอดีนนมเบอร์รี่ของถ่านกัมมันต์

ตัวอย่าง	ความเข้มข้นของ $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$	ความเข้มข้นของ I_2	A	B	น้ำหนักถ่านกัมมันต์	ปริมาตรของ $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$	C	X/M (mg/g)	Log (C)	Log (X/M)	I_2 No. (mg/g)
ถ่านกัมมันต์	0.0906	0.0956	1,149.9858	1.2135	3.7688	1.05	0.0020	304.3894	-2.6973	2.4834	524.22
จากเมล็ด					3.3008	1.95	0.0037	346.8242	-2.4285	2.5401	
ลำไย					2.8357	3.37	0.0064	402.3739	-2.1913	2.6046	
ถ่านกัมมันต์	0.0906	0.0956	1,149.9858	1.2135	3.2287	6.43	0.0133	340.6615	-1.8746	2.5323	617.18
ทางการค้า					2.8309	7.00	0.0145	382.7804	-1.8379	2.5829	
					2.4302	7.63	0.0158	438.4082	-1.8003	2.6419	

ตาราง ข.2 ผลการทดลองของระยะเวลาการตั้งทิ้งไว้ต่อการตกตะกอนของกลีเซอริน

เวลาดั่ง ทิ้งไว้	ซ้ำ	น้ำหนัก ตัวอย่าง ไบโอดีเซล	ปริมาณ ไทเทรต	กลีเซอริน (ppm)	เฉลี่ย	SD
0	1	5.01	10.4	5,610.37	5,615.98	7.93
	2	5.00	10.4	5,621.59		
0.5	1	5.02	8.2	4,414.75	4,414.75	0
	2	5.02	8.2	4,414.75		
1	1	5.01	7.0	3,776.21	3,772.45	5.32
	2	5.02	7.0	3,768.69		
3	1	5.02	4.4	2,391.04	2,391.04	0
	2	5.02	4.4	2,391.04		
5	1	5.00	3.6	1,945.93	1,943.99	2.75
	2	5.01	3.6	1,942.05		
50	1	5.00	0.8	432.43	431.98	0.61
	2	5.01	0.8	431.57		

ตาราง ข.3 ผลการทดลองระยะเวลาการสัมผัสระหว่างตัวดูดซับและไบโอดีเซลมีผลต่อปริมาณ
กลีเซอรินที่เหลือในไบโอดีเซล

- ถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไยขนาด 8 – 10 เมช

ชนิดตัว ดูดซับ	เวลา	ซ้ำ	น้ำหนัก ตัวอย่าง ไบโอดีเซล	ปริมาณ ไทเทรต	กลีเซอริน (ppm)	เฉลี่ย	SD
crude	-	1	10.02	13.6	3,301.49	3,303.14	2.33
		2	10.01	13.6	3,304.78		
control	10	1	10.02	12.4	3,010.18	3,010.18	0
		2	10.02	12.4	3,010.18		
	10	1	10.01	9.4	2,284.19	2,284.19	0
		2	10.01	9.4	2,284.19		
control	20	1	10.02	12.3	2,985.90	2,987.39	2.11
		2	10.01	12.3	2,988.89		
	20	1	10.01	8.8	2,138.39	2,137.32	1.51
		2	10.02	8.8	2,136.26		
control	30	1	10.01	12.3	2,988.89	2,999.53	15.05
		2	10.02	12.4	3,010.18		
	30	1	10.01	8.6	2,089.79	2,088.75	1.47
		2	10.02	8.6	2,087.70		

- ถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไยขนาด 100-120 เมช

ชนิดตัว ดูดซับ	เวลา	ซ้ำ	น้ำหนัก ตัวอย่าง ไบโอดีเซล	ปริมาณ ไทเทรต	กลีเซอริน (ppm)	เฉลี่ย	SD
crude	-	1	10.02	13.6	3,301.49	3,303.13	2.33
		2	10.01	13.6	3,304.78		
control	10	1	10.02	12.4	3,010.18	3,010.18	0
		2	10.02	12.4	3,010.18		
	10	1	10.01	1.5	364.49	364.49	0
		2	10.01	1.5	364.49		
control	20	1	10.02	12.3	2,985.90	2,987.39	2.11
		2	10.01	12.3	2,988.89		
	20	1	10.01	0.8	194.39	206.44	17.03
		2	10.02	0.9	218.48		
control	30	1	10.01	12.3	2,988.89	2,999.53	15.06
		2	10.02	12.4	3,010.18		
	30	1	10.01	0.6	145.79	145.73	0.11
		2	10.02	0.6	145.65		

ตาราง ข.4 ผลการทดลองขนาดของตัวดูดซับมีผลต่อการดูดซับกลีเซอรินในไบโอดีเซล

- ถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไยขนาด 8 – 10 เมช

ชนิดตัวดูดซับ	ร้อยละตัวดูดซับ	ซ้ำ	น้ำหนักตัวอย่างไบโอดีเซล	ปริมาณไทเทรต	กลีเซอริน (ppm)	เฉลี่ย	SD
crude	-	1	10.02	13.5	4,005.48	4,005.48	0
		2	10.02	13.5	4,005.48		
control	-	1	10.01	12.3	3,653.08	3,651.26	2.58
		2	10.02	12.3	3,649.44		
	1	1	10.01	11.4	3,385.79	3,384.10	2.39
		2	10.02	11.4	3,382.41		
	3	1	10.02	10.5	3,115.37	3,116.93	2.20
		2	10.01	10.5	3,118.49		
	5	1	10.02	8.7	2,581.31	2,582.60	1.82
		2	10.01	8.7	2,583.89		

- ถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไยขนาด 100-120 เมช

ชนิดตัว ดูดซับ	ร้อยละ ตัว ดูด ซับ	ซ้ำ	น้ำหนัก ตัวอย่าง ไบโอดีเซล	ปริมาณ ไทเทรต	กลีเซอริน (ppm)	เฉลี่ย	SD
crude	-	1	10.03	13.5	4,001.49	4,016.31	20.95
		2	10.03	13.6	4,031.13		
control	-	1	10.03	12.5	3,705.08	3,706.93	2.61
		2	10.02	12.5	3,708.78		
	1	1	10.02	9.6	2,848.34	2,848.34	0
		2	10.02	9.6	2,848.34		
	3	1	10.02	3.9	1,157.14	1,157.72	0.82
		2	10.01	3.9	1,158.29		
	5	1	10.03	1.0	296.41	296.70	0.42
		2	10.01	1.0	296.99		

ตาราง ข.5 ผลการทดลองปริมาณของตัวดูดซับมีผลต่อการดูดซับกลีเซอรินในไบโอดีเซล

- ถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไยขนาด 8 – 10 เมช

ชนิดตัวดูดซับ	ร้อยละตัวดูดซับ	ซ้ำ	น้ำหนักตัวอย่างไบโอดีเซล	ปริมาณไทเทรต	กลีเซอริน (ppm)	เฉลี่ย	SD
crude	-	1	10.00	14.4	4,281.06	4,278.92	3.02
		2	10.01	14.4	4,276.78		
control	-	1	10.02	12.3	3,649.44	3,649.44	0
		2	10.02	12.3	3,649.44		
	1	1	10.04	11.4	3,375.67	3,360.86	20.94
		2	10.04	11.3	3,346.06		
	3	1	10.01	9.9	2,940.29	2,940.29	0
		2	10.01	9.9	2,940.29		
	5	1	10.02	9.0	2,670.32	2,668.99	1.89
		2	10.03	9.0	2,667.66		
	7	1	10.03	5.6	1,659.88	1,659.05	1.17
		2	10.04	5.6	1,658.22		

- ถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไยขนาด 100-120 เมช

ชนิดตัว ดูดซับ	ร้อยละ ตัวดูด ซับ	ซ้ำ	น้ำหนัก ตัวอย่าง ไบโอดีเซล	ปริมาณ ไทเทรต	กลีเซอริน (ppm)	เฉลี่ย	SD
crude	-	1	10.01	13.6	4,039.18	4,039.18	0
		2	10.01	13.6	4,039.18		
control	-	1	10.01	12.5	3,712.48	3,714.34	2.63
		2	10.00	12.5	3,716.19		
	1	1	10.03	9.3	2,756.58	2,755.21	1.94
		2	10.04	9.3	2,753.83		
	3	1	10.03	4.2	1,244.91	1,245.53	0.88
		2	10.02	4.2	1,246.15		
	5	1	10.01	1.0	296.99	296.99	0
		2	10.01	1.0	296.99		
	7	1	10.05	0.4	118.33	118.32	0
		2	10.05	0.4	118.33		

ตาราง ข.6 ผลการทดลองของปริมาณของตัวดูดซับมีผลต่อการดูดซับกลีเซอรอลในไบโอดีเซล
ในสภาวะไร้มทานอล

เปรียบเทียบการดูดซับกลีเซอรอลในสภาวะที่มีเมทานอลและไร้มทานอลโดยใช้
ถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไยขนาด 100-120 เมช เป็นตัวดูดซับ

- สภาวะที่มีเมทานอล

ชนิดตัว ดูดซับ	ร้อยละ ตัวดูด ซับ	ซ้ำ	น้ำหนัก ตัวอย่าง ไบโอดีเซล	ปริมาณ ไทเทรต	กลีเซอรอล (ppm)	เฉลี่ย	SD
crude	-	1	10.02	13.2	3,916.47	3,931.30	20.98
		2	10.02	13.3	3,946.14		
control	-	1	10.03	12.2	3,616.16	3,617.96	2.55
		2	10.02	12.2	3,619.77		
	0.5	1	10.02	10.5	3,115.37	3,115.37	0
		2	10.02	10.5	3,115.37		
	1.0	1	10.00	9.2	2,735.12	2,733.75	1.93
		2	10.01	9.2	2,732.39		
	1.5	1	10.02	8.2	2,432.96	2,431.74	1.71
		2	10.03	8.2	2,430.53		
	2.0	1	10.04	5.9	1,747.06	1,747.06	0
		2	10.04	5.9	1,747.06		

- สภาวะไร่เมทานอล

ชนิดตัว ดูดซับ	ร้อยละ ตัวดูด ซับ	ซ้ำ	น้ำหนัก ตัวอย่าง ไบโอดีเซล	ปริมาณ ไทเทรต	กลีเซอริน (ppm)	เฉลี่ย	SD
crude	-	1	10.02	13.2	3,916.47	3931.30	20.98
		2	10.02	13.3	3,946.14		
control	-	1	10.02	5.1	1,513.18	1513.94	1.07
		2	10.01	5.1	1,514.69		
	0.5	1	10.04	3.1	917.95	917.49	0.61
		2	10.05	3.1	917.03		
	1.0	1	10.1	1.9	559.27	562.07	3.95
		2	10.0	1.9	564.86		
	1.5	1	10.04	0.8	236.89	237.01	0.17
		2	10.03	0.8	237.12		
	2.0	1	10.02	0.3	89.01	88.97	0.06
		2	10.03	0.3	88.92		

ตาราง ข.7 ผลการทดลองการเปรียบเทียบการดูดซับกลีเซอรินในไบโอดีเซลด้วยถ่านกัมมันต์จาก
เมล็ดลำไย ถ่านกัมมันต์ทางการค้า และการล้างด้วยน้ำ

ชนิดตัว ดูดซับ	ร้อยละ ตัวดูดซับ	ซ้ำ	น้ำหนัก ตัวอย่าง ไบโอดีเซล	ปริมาณ ไทเทรต	กลีเซอริน (ppm)	เฉลี่ย	SD
crude	-	1	10.00	13.5	4,013.49	4,011.49	2.84
		2	10.01	13.5	4,009.48		
control	-	1	10.01	13.4	3,979.78	3,977.80	2.81
		2	10.02	13.4	3,975.81		
longan	1	1	10.1	9.3	2,737.47	2724.06	0.10
		2	10.2	9.3	2,710.64		
	3	1	10.00	4.0	1,189.18	1189.18	18.98
		2	10.00	4.0	1,189.18		
	5	1	10.04	1.0	296.11	296.26	0
		2	10.03	1.0	296.41		
	7	1	10.02	0.4	118.68	118.68	0.21
		2	10.02	0.4	118.680		
comercial	1	1	10.04	11.8	3,494.11	3,494.11	0
		2	10.04	11.8	3,494.11		
	3	1	10.03	10.1	2,993.70	2,995.19	0
		2	10.02	10.1	2,996.69		
	5	1	10	5.2	1,545.94	1,545.94	2.11
		2	10	5.2	1,545.94		
	7	1	10.01	4.0	1,187.99	1,187.99	0
		2	10.01	4.0	1,187.99		

ตาราง ข.8 ไอโซโทมการดูดซับกลีเซอรินของถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไย

ชนิดตัว ดูดซับ	ร้อยละ ตัวดูด ซับ	ซ้ำ	น้ำหนัก ตัวอย่าง ไบโอดีเซล	ปริมาณ ไทเทรต	กลีเซอริน (ppm)	เฉลี่ย	SD
crude	-	1	10.00	15.8	4,697.27	4,697.27	0
		2	10.00	15.8	4,697.27		
control	-	1	10.00	13.2	3,924.30	3,924.30	0
		2	10.00	13.2	3,924.30		
	1	1	10.05	8.8	2,603.19	2,609.69	9.20
		2	10.00	8.8	2,616.20		
	2	1	10.02	7.0	2,076.92	2,077.95	1.47
		2	10.01	7.0	2,078.99		
	3	1	10.02	5.1	1,513.18	1,513.18	0
		2	10.02	5.1	1,513.18		
	4	1	10.03	4.1	1,215.27	1,215.87	0.86
		2	10.02	4.1	1,216.48		
	5	1	10.03	2.8	829.94	829.52	0.58
		2	10.04	2.8	829.11		
	6	1	10.06	2.4	709.25	708.90	0.49
		2	10.07	2.4	708.55		
	7	1	10.01	2.1	623.69	638.87	21.46
		2	10.00	2.2	654.05		
	8	1	10.01	2.0	593.99	608.85	21.00
		2	10.01	2.1	623.69		
	9	1	10.04	1.5	444.17	444.17	0
		2	10.04	1.5	444.17		
	10	1	10.02	1.1	326.37	341.39	21.23
		2	10.01	1.2	356.39		

ตาราง ข.9 ไอโซโทมการดูดซับกลีเซอรินของถ่านกัมมันต์จากถ่านกัมมันต์ทางการค้า

ชนิดตัว ดูดซับ	ร้อยละ ตัวดูด ซับ	ซ้ำ	น้ำหนัก ตัวอย่าง ไบโอดีเซล	ปริมาณ ไทเทรต	กลีเซอริน (ppm)	เฉลี่ย	SD
crude	-	1	10.00	15.2	4,518.89	4,516.64	3.19
		2	10.01	15.2	4,514.38		
control	-	1	10.02	14.9	4,420.86	4,425.28	6.25
		2	10.00	14.9	4,429.70		
	1	1	10.05	11.6	3,431.47	3,440.05	12.13
		2	10.00	11.6	3,448.63		
	2	1	10.02	9.2	2,729.66	2,731.02	1.93
		2	10.01	9.2	2,732.39		
	3	1	10.10	7.1	2,089.89	2,098.24	11.79
		2	10.02	7.1	2,106.59		
	4	1	10.03	6.4	1,897.00	1,898.89	2.68
		2	10.01	6.4	1,900.79		
	5	1	10.05	4.8	1,419.92	1,420.63	1.00
		2	10.04	4.8	1,421.33		
	6	1	10.00	4.2	1,248.64	1,248.64	0
		2	10.00	4.2	1,248.64		
	7	1	10.01	3.3	980.09	979.61	0.69
		2	10.02	3.3	979.12		
	8	1	10.00	2.6	772.97	772.58	0.55
		2	10.01	2.6	772.19		
	9	1	10.00	2.3	683.78	683.44	0.48
		2	10.01	2.3	683.09		
	10	1	10.02	2.1	623.08	622.76	0.439262
		2	10.03	2.1	622.45		

ข.2 วิธีการคำนวณ

1. วิธีการคำนวณหาปริมาณกลีเซอรินคงเหลือ

$$\text{ปริมาณกลีเซอริน} = \frac{B \times 0.01 \text{ N HCl} \times (303.4 \times 10^6)}{M \times 1000}$$

เมื่อ B = ปริมาตรของ HCl ที่ใช้ (mL)

M = น้ำหนักไบโอดีเซล (กรัม)

ตัวอย่างการคำนวณ

จากศึกษาผลของระยะเวลาทิ้งไว้ต่อตกตะกอนกลีเซอริน ที่เวลา 1 ชั่วโมง

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณกลีเซอริน} &= \frac{8.6 \times 0.011688 \times (303.4 \times 10^6)}{5.00 \times 1000} \\ &= 6,099.36 \text{ ppm} \end{aligned}$$

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวสโรชา เพ็งศรี เกิดวันที่ 31 มกราคม 2532 ที่จังหวัดนครสวรรค์ จบการศึกษา ระดับชั้นมัธยมศึกษาที่ โรงเรียนนครสวรรค์ จังหวัดนครสวรรค์ ในปี 2549 จากนั้นเข้าศึกษา หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์ สาขาวิชาเคมี มหาวิทยาลัยนเรศวร และ จบในปีการศึกษา 2552 หลังจากนั้นในปี 2553 เข้าศึกษาในหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และในปี 2555 ได้ เข้าร่วมนำเสนอผลงานวิจัยในการประชุมวิชาการแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขต กำแพงแสน ครั้งที่ 9 ระหว่างวันที่ 6-7 ธันวาคม 2555