



การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม โดยตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิธีพ่นคู่

โดย

นายนิธิ นิธิวัฒน์เลิศ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาการและวิศวกรรมพอลิเมอร์

ภาควิชาวิทยาการและวิศวกรรมวัสดุ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2554

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

**THE PRODUCTION OF BIODIESEL FROM PALM OIL USING
HETEROGENEOUS CATALYST**

By

Niti Nitiwattanalert

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree

MASTER OF ENGINEERING

Department of Materials Science and Engineering

Graduate School

SILPAKORN UNIVERSITY

2011

การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม โดยตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิธีพ่นคู่

โดย

นายนิธิ นิธิวัฒนเลิศ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาการและวิศวกรรมพอลิเมอร์

ภาควิชาวิทยาการและวิศวกรรมวัสดุ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2554

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร อนุมัติให้วิทยานิพนธ์เรื่อง “การผลิตไบโอดีเซล
จากน้ำมันปาล์ม โดยตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธุ์” เสนอโดย นายนิธิ นิธิวัฒน์เลิศ เป็นส่วนหนึ่งของการ
ศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการและ
วิศวกรรมพอลิเมอร์

.....

(รองศาสตราจารย์ ดร.ปานใจ ธารทัศน์วงศ์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุศรินทร์ เหมะปะบุตร

คณะกรรมการตรวจสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐกาญจน์ หงส์ศรีพันธ์)

...../...../.....

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สอาด ริยะจันทร์)

...../...../.....

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุศรินทร์ เหมะปะบุตร)

...../...../.....

.....กรรมการ

(อาจารย์ ดร.ณัฐวุฒิ ชัยยุตต์)

...../...../.....

51402223 : สาขาวิชาวิทยาการและวิศวกรรมพอลิเมอร์

คำสำคัญ : ไบโอดีเซล / ปฏิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน / ตัวเร่งปฏิริยาแบบวิวิธพันธุ์

นิธิ นิธิวัฒนเลิศ : การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม โดยตัวเร่งปฏิริยาแบบวิวิธพันธุ์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุศรินทร์ เหมะปะบุตร. 69 หน้า

งานวิจัยนี้ได้ทำการเตรียมไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม โดยใช้ตัวเร่งปฏิริยาวิวิธพันธุ์ชนิดเบสผ่านปฏิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน โดยตัวเร่งปฏิริยาจะถูกเตรียมจากวัสดุคาร์บอนกัมมันต์และท่อนาโนคาร์บอนผ่านการทำให้เอบซุ่มในสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ โดยมีการศึกษาปัจจัยด้านความเข้มข้นของสารละลาย และเวลาที่ใช้ในการทำให้เอบซุ่มของวัสดุคาร์บอน จากนั้นนำตัวเร่งปฏิริยาที่เหมาะสมมาเตรียมไบโอดีเซล โดยในขั้นการเตรียมไบโอดีเซลจะทำการศึกษาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพ และมาตรฐานของไบโอดีเซล ทั้งชนิดและปริมาณตัวเร่งปฏิริยา อุณหภูมิและเวลาในการสังเคราะห์ เพื่อให้ได้ตัวเร่งปฏิริยา และสภาวะการเตรียมไบโอดีเซลที่เหมาะสม และได้มาตรฐานตามต้องการจากผลการทดลองพบว่า สภาวะการเตรียมตัวเร่งปฏิริยาเบสที่เหมาะสมและคุ้มทุนต้องใช้สารละลายเอบซุ่มโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ 10 โมลาร์ เป็นเวลา 12 ชั่วโมง แล้วนำไปผ่านกระบวนการทางความร้อนที่ 800 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศไนโตรเจน ก่อนจะนำมาเตรียมไบโอดีเซล และพบว่าตัวเร่งปฏิริยาเบสบนตัวรองรับชนิดคาร์บอนกัมมันต์มีประสิทธิภาพการเป็นตัวเร่งปฏิริยาที่ดีกว่าท่อนาโนคาร์บอน เมื่อนำมาเตรียมไบโอดีเซลในสภาวะ และปริมาณการใช้ตัวเร่งปฏิริยาที่เท่ากัน และพบว่าตัวเร่งปฏิริยาชนิดนี้สามารถเตรียมไบโอดีเซลได้ที่อุณหภูมิต่ำใช้เวลา น้อย และใช้ปริมาณตัวเร่งปฏิริยาต่ำ โดยพบว่าในกรณี ตัวเร่งปฏิริยาชนิดคาร์บอนกัมมันต์สามารถเตรียมไบโอดีเซลได้ร้อยละการเปลี่ยนแปลง 94.5 โดยใช้ ตัวเร่งปฏิริยาเพียงร้อยละ 1 ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส และเวลา 2 ชั่วโมง และสามารถเตรียมไบโอดีเซลได้ร้อยละการเปลี่ยนแปลง 99.02 เมื่อเพิ่มตัวเร่งปฏิริยาเป็นร้อยละ 1.5 นอกจากนี้ไบโอดีเซลที่เตรียมได้สามารถผ่านมาตรฐานต่าง ๆ ทางไบโอดีเซลที่กำหนด

ภาควิชาวิทยาการและวิศวกรรมวัสดุ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร ปีการศึกษา 2554

ลายมือชื่อนักศึกษา.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

51402223 : MAJOR : POLYMER SCIENCE AND ENGINEERING

KEY WORDS :BIODIESEL / TRANSESTERIFICATION / HETEROGENEOUS CATALYST

NITINITIWATTANALERT : THE PRODUCTION OF BIODIESEL FROM PALM OIL
USING HETEROGENEOUS CATALYST. THESIS ADVISOR:ASST.PROF Dr. BUSSARIN
KSAPABUTR. 69 pp.

In this work, biodiesel production has been studied via transesterification of palm oil using heterogeneous base catalyst. The catalysts were prepared by impregnation of activated carbon and multi-walled carbon nanotubes in an aqueous solution of potassium hydroxide (KOH). The concentration of the KOH solution and impregnation time were varied. The optimal catalysts obtained were used for biodiesel production. The effects of catalyst type and amount, reaction temperature and time on quality and quantity of biodiesel were investigated. For economic reasons, a solution concentration of 10 M and an impregnation time of 12 h gave the best results. The impregnation activated carbon and multi-walled carbon nanotubes were calcined at 800 °C under a nitrogen atmosphere before using for biodiesel production. The results showed that the catalysts derived from activated carbon gave better efficiency for biodiesel production than those from multi-walled carbon nanotubes at the same reaction condition and at the same catalyst content. For the activated carbon, 94.5% conversion into biodiesel was obtained using only 1%wt of catalyst and reaction temperature of 70 °C for 2 h, whereas 99.02% conversion into biodiesel was obtained using only 1.5%wt of catalyst at the same reaction temperature and time for the system of multi-walled carbon nanotubes. Moreover, the fuel properties of the resulting biodiesel were within the standard limits according to EN 14214.

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับคำแนะนำและสนับสนุนอันดีจากท่านผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. บุศรินทร์ เหมะปะบุตร และท่าน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ มาณพ ปานะโปย ที่ให้คำชี้แนะที่เป็นประโยชน์จนงานวิจัยสำเร็จเป็นอันดี

ภาควิชาวิทยาการและวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร ที่ให้โอกาสข้าพเจ้าได้มีโอกาสทำงานวิจัยนี้

ศูนย์ความเป็นเลิศแห่งชาติด้านปิโตรเลียม ปิโตรเคมี และวัสดุขั้นสูง ที่ได้มอบทุนสนับสนุนบางส่วนในการทำวิจัย และค่าใช้จ่ายในการนำเสนอผลงานวิจัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐกาญจน์ หงส์ศรีพันธ์ อาจารย์ ดร.ณัฐวุฒิ ชัยยุตต์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สอาด ริยะจันทร์ ที่สละเวลามาเป็นคณะกรรมการคุมสอบวิทยานิพนธ์

รศ. อุทัย ผ่องศรีมี คณบดี คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี ที่ให้ความอนุเคราะห์ด้านเครื่องมือทดสอบคุณภาพไบโอดีเซล และให้คำชี้แนะด้านต่าง ๆ

คุณ พินิจ เจียนระลึก และพี่ๆทุกคนที่ทำงานในคณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ภาควิชาวิทยาการและวิศวกรรมวัสดุ ที่ให้ความสะดวกในการทำงานวิจัย

บิดา มารดา ที่สนับสนุนทุนทรัพย์ และส่งเสริมด้านการศึกษาแก่ข้าพเจ้า

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ

	บทที่	หน้า
1	บทนำ.....	1
	ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....	1
	วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	3
	ขอบเขตและวิธีการดำเนินการวิจัยโดยสังเขป.....	4
	ประโยชน์ที่จะได้รับ.....	4
2	เอกสารที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย.....	5
	ไบโอดีเซล.....	5
	ประวัติความเป็นมาของไบโอดีเซล.....	5
	การเตรียมไบโอดีเซล.....	6
	ตัวเร่งปฏิกิริยาสำหรับไบโอดีเซล.....	11
	ลักษณะของตัวเร่งปฏิกิริยา.....	12
	วัตถุดิบในการผลิตตัวเร่งปฏิกิริยาวีรพันธุ์.....	16
	คาร์บอนกัมมันต์ (Activated carbon)	17
	การกระตุ้นทางกายภาพ (Physical reactivation)	18
	การกระตุ้นด้วยสารเคมี (Chemical activation)	18
	ชนิดของคาร์บอนกัมมันต์.....	19
	คาร์บอนกัมมันต์ชนิดผง (Powdered activated carbon, PAC)	19
	คาร์บอนกัมมันต์ชนิดเกล็ด (Granular activated carbon, GAC)	19
	คาร์บอนกัมมันต์ชนิดอัดแท่ง (Extruded activated carbon, EAC)	20

บทที่	หน้า
ท่อนาโนคาร์บอน (Carbon nanotubes)	21
วัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซล.....	23
ข้อมูลทั่วไปของวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซล.....	24
ปัจจัยที่มีผลต่อปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน.....	27
การใช้ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์และรถยนต์.....	30
คุณภาพไบโอดีเซลที่มีผลต่อเครื่องยนต์ดีเซล.....	31
ประโยชน์ของการใช้ไบโอดีเซลกับเครื่องยนต์.....	35
ตัวอย่างงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์ในวารสารวิชาการนานาชาติ.....	37
3 วิธีการทดลอง.....	42
อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง.....	42
สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....	42
การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธุ์สำหรับปฏิกิริยาทรานส์ เอสเทอร์ริฟิเคชันชนิดเบส.....	43
การเตรียมไบโอดีเซลผ่านปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน โดยใช้ ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธุ์.....	43
การศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อปริมาณและคุณภาพของไบโอดีเซล.....	44
ชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา.....	44
ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา.....	44
สภาวะที่ใช้ในการเตรียมไบโอดีเซล.....	44
การศึกษาคุณลักษณะของไบโอดีเซลที่เตรียมได้.....	44

บทที่		หน้า
4	ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	45
	การศึกษาคุณลักษณะของตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธุ์.....	45
	ตัวเร่งปฏิกิริยาเบสจากคาร์บอนกัมมันต์และท่อนาโนคาร์บอน.....	45
	การทดสอบพื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยเทคนิค Brunauer Emmett Teller (BET)	48
	การทดสอบสัณฐานวิทยาของตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscope (SEM)	50
	การศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อร้อยละการผลิตไบโอดีเซล.....	51
	ชนิดของการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา.....	51
	ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา.....	52
	เวลาและอุณหภูมิที่ใช้ในปฏิกิริยา.....	52
	การศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อร้อยละการเปลี่ยนแปลงสารตั้งต้น.....	54
	การศึกษาคุณภาพไบโอดีเซลตามค่ามาตรฐานที่กำหนด.....	57
5	สรุปผลการทดลอง.....	59
	บรรณานุกรม.....	61
	ภาคผนวก.....	65
	ภาคผนวก ก ข้อมูลดิบการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค แก๊สโครมาโทกราฟีของวัสดุ คาร์บอนกัมมันต์ และท่อนาโนคาร์บอน.....	66
	ประวัติผู้วิจัย.....	69

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
4.1	การวิเคราะห์พื้นผิวคาร์บอนกัมมันต์และท่อนาโนคาร์บอน- ผนังหลายชั้นด้วยเครื่องมือ BET.....	48
4.2	การวิเคราะห์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนของคาร์บอนกัมมันต์และ ท่อนาโนคาร์บอนผนังหลายชั้นด้วยเครื่องมือ BET.....	49
4.3	ร้อยละผลผลิตไบโอดีเซลจากตัวเร่งปฏิกิริยาคาร์บอนกัมมันต์ที่เอิบชุ่มด้วยเบส ในปริมาณที่แตกต่างกัน.....	52
4.4	ร้อยละการเปลี่ยนแปลงไบโอดีเซลที่ผ่านการเตรียมด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาเบสบน วัสดุรองรับชนิดคาร์บอนกัมมันต์และท่อนาโนคาร์บอน.....	54
4.5	ร้อยละการเปลี่ยนแปลงเมทิลเอสเทอร์ที่ผ่านการเตรียมด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาเบส บนวัสดุรองรับชนิดคาร์บอนกัมมันต์ร้อยละ 1.5.....	56
4.6	ค่ามาตรฐานของไบโอดีเซลที่เตรียมได้ เทียบมาตรฐานยุโรป (EN 14214).....	58

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 ปฏิกริยาการเกิดทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน (Transesterification).....	7
2.2 ขั้นตอนย่อยของการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน.....	7
2.3 กลไกการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเบส.....	8
2.4 อนุภาคของตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีรูพรุน.....	13
2.5 ขั้นตอนในการเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธุ์.....	14
2.6 การดูดซับเชิงเคมีของสารตั้งต้น A บนพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา.....	15
2.7 การเกิดปฏิกิริยาบนพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา.....	15
2.8 การคายของผลิตภัณฑ์ จากผิวหน้าของตัวเร่งปฏิกิริยา.....	16
2.9 การดูดซับ และดักจับอนุภาคอยู่ในพื้นที่รูพรุนของคาร์บอนกัมมันต์.....	17
2.10 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจากการกระตุ้นทางเคมีด้วยซิงค์คลอไรด์.....	18
2.11 คาร์บอนกัมมันต์ชนิดผง.....	19
2.12 คาร์บอนกัมมันต์ชนิดเกล็ด.....	20
2.13 คาร์บอนกัมมันต์ชนิดอัดแท่ง.....	20
2.14 เครื่อง Arc discharge ที่ใช้ในการสังเคราะห์ท่อนาโนคาร์บอน.....	21
2.15 เครื่อง Pulsed-laser vaporization ที่ใช้ในการสังเคราะห์ท่อนาโนคาร์บอน.....	22
2.16 เครื่อง Chemical vapour deposition ในการสังเคราะห์ท่อนาโนคาร์บอน.....	23
2.17 ปฏิกริยาการเกิดสบู่ (Saponification)	27
2.18 ปฏิกริยาเอสเทอร์ริฟิเคชัน.....	28
4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละน้ำหนักสุทธิที่เปลี่ยนแปลงกับเวลา.....	46
4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละน้ำหนักสุทธิที่เปลี่ยนแปลงกับความเข้มข้น โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์.....	47
4.3 การทดสอบสัณฐานวิทยาของตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยเครื่องมือ SEM.....	50
4.4 ร้อยละผลผลิตไบโอดีเซลจากตัวเร่งปฏิกิริยาคาร์บอนกัมมันต์ที่เอิบชุ่มด้วยเบส (A)และคาร์บอนกัมมันต์ที่เอิบชุ่มด้วยเบสแล้วผ่านการให้ความร้อน(B)...	51
4.5 กราฟค่าร้อยละผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลที่อุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ.....	53

ภาพที่		หน้า
ก.1	การวิเคราะห์ไบโอดีเซลด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟีของตัวเร่งปฏิกิริยาเบส บนวัสดุรองรับชนิดคาร์บอนกัมมันต์ในปริมาณร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก.....	67
ก.2	การวิเคราะห์ไบโอดีเซลด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟีของตัวเร่งปฏิกิริยาเบส บนวัสดุรองรับชนิดท่อนาโนคาร์บอนในปริมาณร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก.....	67
ก.3	การวิเคราะห์ไบโอดีเซลด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟีของตัวเร่งปฏิกิริยาเบส บนวัสดุรองรับชนิดคาร์บอนกัมมันต์ในปริมาณร้อยละ 1.5 โดยน้ำหนัก.....	68
ก.4	การวิเคราะห์ไบโอดีเซลด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟีของตัวเร่งปฏิกิริยาเบส บนวัสดุรองรับชนิดท่อนาโนคาร์บอนในปริมาณร้อยละ 1.5 โดยน้ำหนัก.....	68

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การก้าวไปของวิวัฒนาการที่ตอบรับกับความต้องการของมนุษย์ที่ไม่หยุดนิ่ง ทำให้เกิดความเจริญก้าวหน้าทางด้านเทคโนโลยี เพื่อจุดมุ่งหมายที่นำความสะดวกสบายให้แก่มนุษย์ในทุกๆ ด้าน ซึ่งสิ่งสำคัญที่ทำให้เกิดการขับเคลื่อนของเทคโนโลยีทั้งในปัจจุบันและอนาคตคือ พลังงาน ในปัจจุบันแหล่งที่ถูกนำมาใช้มากที่สุด คือ แหล่งพลังงานจากฟอสซิล (Fossil fuel) ได้แก่ น้ำมันดิบ แก๊สธรรมชาติและถ่านหิน ซึ่งในระยะแรกของการขุดแหล่งพลังงานฟอสซิลขึ้นมาใช้ ส่วนใหญ่นำมาจุดตะเกียงเพื่อให้ความสว่างเท่านั้น ต่อมาเมื่อรถยนต์และเครื่องจักรกลได้ถูกสร้างขึ้นจนเป็นที่นิยมในการใช้งานที่มากขึ้น แหล่งพลังงานจากฟอสซิลจึงมีการใช้งานที่มากขึ้น [1] ซึ่งเป็นที่ทราบทั่วกันว่าเป็นแหล่งพลังงานจากฟอสซิลที่ไม่สามารถเกิดขึ้นได้ใหม่ (Nonrenewable energy resource) เมื่อพิจารณาจากปริมาณสำรองของแหล่งพลังงานชนิดนี้ควบคู่กับอัตราความต้องการในการใช้งานพบว่าทิศทางที่สวนทาง จึงทำให้แหล่งพลังงานจากฟอสซิลมีแนวโน้มที่ลดลงอย่างรวดเร็ว ดังนั้นพลังงานทดแทน (Renewable energy) หรือพลังงานทางเลือก (Alternative energy) เป็นสิ่งที่ได้รับสนใจจากนักวิจัยและคนทั่วโลก เพราะพลังงานทดแทนนอกจากเป็นพลังที่สะอาด เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมแล้ว วัตถุดิบที่นำมาทำยังหาได้ง่ายสามารถเกิดขึ้นใหม่และประหยัดกว่าการใช้เชื้อเพลิงปิโตรเลียม และมีประสิทธิภาพการใช้งานใกล้เคียงกัน

เครื่องยนต์ดีเซลเครื่องแรกได้รับการคิดค้น โดย รูดอล์ฟ ดีเซล [1] เมื่อวันที่ 10 สิงหาคม พ.ศ. 2436 จนเป็นที่นิยม และได้รับการพัฒนาจนมีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น จนได้รับความนิยมใช้งานเพิ่มมากขึ้น เมื่อเครื่องยนต์และเครื่องจักรกลมีความต้องการในการใช้งานที่เพิ่มมากขึ้น เชื้อเพลิงดีเซลที่ต้องใช้เป็นแหล่งพลังงานของเครื่องก็เพิ่มมากขึ้น จนกระทั่งปัจจุบันเกิดเป็นวิกฤตการณ์ขาดแคลนน้ำมันจนมีราคาที่สูงและมีแนวโน้มที่จะหมดไปใน 40 ปีข้างหน้า [1] ด้วยเหตุผลนี้นักวิจัย

และนักวิทยาศาสตร์จึงได้คิดค้นพลังงานทดแทนน้ำมันดีเซล คือ น้ำมันไบโอดีเซล เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากแหล่งพลังงานจากน้ำมันพืช หรือ ไขมันสัตว์ที่ถูกนำมาใช้มากที่สุดชนิดหนึ่ง โดยได้รับการคิดค้นและทดลองใช้เป็นครั้งแรกโดยรูดอล์ฟ ดีเซลในปี พ.ศ. 2441 ที่ประเทศฝรั่งเศส [1] ซึ่งไบโอดีเซลที่ใช้ได้มาจากน้ำมันถั่วลิสง และจากนั้นได้มีการเริ่มนำมาใช้งานสลับกับเชื้อเพลิงดีเซลเดิม นอกจากนี้ไบโอดีเซลจะสามารถผลิตได้จากสารตั้งต้นทางธรรมชาติแล้ว ยังเกิดการย่อยสลายได้ง่ายตามธรรมชาติ และไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม เมื่อนำมาทดสอบใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลยังพบว่าประสิทธิภาพในการใช้งานใกล้เคียงน้ำมันดีเซลเดิม นอกจากนี้ยังสามารถนำมาใช้กับเครื่องยนต์เดิมได้ โดยไม่ต้องมีการปรับปรุงเครื่องยนต์ นอกจากนี้ น้ำมันไบโอดีเซลสามารถช่วยรักษาสภาพเครื่องยนต์ ทำให้มีปริมาณควันดำและก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์น้อยลง ช่วยลดมลพิษทางอากาศ รวมทั้งลดการอุดตันของระบบไอเสียของเครื่องยนต์ลง เนื่องจากองค์ประกอบของไบโอดีเซลไม่มีธาตุกำมะถัน และมีธาตุออกซิเจนเป็นองค์ประกอบประมาณร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก จึงช่วยให้การเผาไหม้เกิดอย่างสมบูรณ์มากขึ้นและปริมาณแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ไฮโดรคาร์บอน คาร์บอนมอนอกไซด์ และฝุ่นละอองให้น้อยลง สารตั้งต้นของน้ำมันไบโอดีเซลได้มาจากน้ำมันพืช และไขมันสัตว์ที่ผ่านการใช้งานแล้วได้ ซึ่งนอกจากจะได้น้ำมันไบโอดีเซลมาใช้งานแล้ว ยังเป็นการกำจัดน้ำมันที่เหลือใช้จากส่วนการใช้งานอื่น ๆ ได้อีก

การสังเคราะห์ไบโอดีเซลในปัจจุบัน นิยมใช้การสังเคราะห์ผ่านปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน (Transesterification reaction) เป็นการทำปฏิกิริยากันระหว่างน้ำมันพืช หรือ ไขมันสัตว์ กับแอลกอฮอล์ โดยมีใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อเปลี่ยนโมเลกุลน้ำมันหรือ ไตรกลีเซอไรด์ ให้เป็นไบโอดีเซลหรือ อัลคิลเอสเทอร์ (Alkyl ester) ตัวเร่งปฏิกิริยาในปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเนื้อเดียว (Homogeneous catalyst) และตัวเร่งปฏิกิริยาเนื้อผสม (Heterogeneous catalyst) ข้อดีของตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเนื้อเดียว คือ ลักษณะของสารที่อยู่ในวัฏภาคเดียวกันกับสารตั้งต้นทำให้ในระบบการสังเคราะห์เกิดปฏิกิริยาได้อย่างสมบูรณ์ ซึ่งตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดนี้ได้ถูกนำมาใช้ในภาคอุตสาหกรรมกันอย่างแพร่หลายแต่อย่างไรก็ตามตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดนี้มีข้อเสียที่สำคัญในขั้นตอนการแยกตัวเร่งปฏิกิริยาและกลีเซอรินออกจากผลิตภัณฑ์ได้ยาก ต้องใช้ปริมาณน้ำในการล้างไบโอดีเซลในปริมาณมากและส่งผลต่อปริมาณน้ำเสียที่เกิดในส่วนนี้มากตามไปด้วย ซึ่งในปัจจุบันจึงได้มีการพัฒนา ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเนื้อผสมขึ้นมาซึ่งสามารถลดปัญหาใน

ขั้นตอนการแยกตัวเร่งปฏิกิริยาออกจากผลิตภัณฑ์ แต่จะพบปัญหาในขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาด้วยคุณลักษณะของตัวเร่งปฏิกิริยาที่อยู่ต่างวิภาคกับสารตั้งต้น ส่งผลให้ความสำเร็จในการเกิดปฏิกิริยาลดลงกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเนื้อเดียวกัน

เนื่องจากตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดวิวิธพันธุ์ โดยทั่วไปพบว่ามีข้อเสียในด้านความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาอันเนื่องมาจากอยู่ต่างสถานะกับสารตั้งต้น ดังนั้นในงานวิจัยต่าง ๆ ได้ทำการพัฒนาประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดนี้เพื่อให้มีความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาได้เทียบเคียงกับตัวเร่งปฏิกิริยาแบบเอกพันธุ์ ซึ่งปัจจัยหลักที่ทำการพัฒนา คือ การเพิ่มตำแหน่งและหมู่ทำหน้าที่ในการเกิดปฏิกิริยาระหว่างตัวเร่งปฏิกิริยากับสารตั้งต้น (Active sites) ให้มากที่สุด

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการเตรียมและศึกษาคุณลักษณะของตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธุ์ชนิดเบส บนตัวรองรับเป็นวัสดุคาร์บอนที่มีพื้นที่ผิวสูง 2 ชนิด คือ คาร์บอนกัมมันต์ (Activated carbon) และท่อนาโนคาร์บอนผนังหลายชั้น (Multi-walled carbon nanotubes ; MWCNTs) เพื่อใช้เร่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน นอกจากนี้ยังทำการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมทั้งในส่วนการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาและขั้นตอนการเตรียมไบโอดีเซล เพื่อให้ได้ไบโอดีเซลที่มีปริมาณและคุณภาพที่ดีสามารถผ่านมาตรฐานสากลได้

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อเตรียมไบโอดีเซลจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธุ์ชนิดเบสบนตัวรองรับที่มาจากวัสดุคาร์บอน 2 ชนิด คือ คาร์บอนกัมมันต์ และท่อนาโนคาร์บอน
2. เพื่อศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบสบนตัวรองรับที่ได้จากวัสดุคาร์บอน เพื่อให้ได้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสมสำหรับเตรียมไบโอดีเซล
3. เพื่อศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อปริมาณและคุณภาพของไบโอดีเซลที่เตรียมได้รวมทั้งสามารถหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเตรียมไบโอดีเซล

1.3 ขอบเขตและวิธีการดำเนินการวิจัยโดยสังเขป

1. ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธุ์ชนิดเบส บนตัวรองรับที่มาจากวัสดุคาร์บอน 2 ชนิด คือคาร์บอนกัมมันต์ และท่อนาโนคาร์บอน
2. วิเคราะห์สมบัติทางเคมีและกายภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมได้
3. ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม ผ่านปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันแล้วทำการวิเคราะห์ไบโอดีเซลที่เตรียมได้ทั้งด้านปริมาณและคุณภาพตามมาตรฐานกำหนด

1.4 ประโยชน์ที่จะได้รับ

1. สามารถเตรียมไบโอดีเซลจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันโดยใช้ ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธุ์ชนิดเบส บนตัวรองรับที่มาจากวัสดุคาร์บอน 2 ชนิด คือ คาร์บอนกัมมันต์ และท่อนาโนคาร์บอน ที่มีคุณภาพและปริมาณที่ผ่านมาตรฐานอันเป็นที่ยอมรับในวงกว้าง
2. ทราบถึงปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณลักษณะของตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธุ์ชนิดเบส บนตัวรองรับที่มาจากวัสดุคาร์บอน 2 ชนิด คือคาร์บอนกัมมันต์ และท่อนาโนคาร์บอน และสภาวะที่เหมาะสมต่อการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธุ์ให้เหมาะสมสำหรับเตรียมไบโอดีเซล
3. เป็นแนวพัฒนาศักยภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธุ์สำหรับการเตรียมไบโอดีเซลให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีทั้งปริมาณและคุณภาพที่สูง และสามารถนำไปประยุกต์ใช้เตรียมไบโอดีเซลในภาคอุตสาหกรรมได้

บทที่ 2

เอกสารที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

2.1 ไบโอดีเซล [1]

ไบโอดีเซล (Biodiesel) หมายถึง เชื้อเพลิงที่ผลิตจากน้ำมันพืช หรือ ไขมันสัตว์ ซึ่งเป็นพืชผลเกษตรกรรม โดยผ่านกระบวนการทางเคมี เพื่อเปลี่ยนโครงสร้างของน้ำมันหรือไขมันให้เป็นเอสเทอร์ของกรดไขมัน ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงที่มีสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลหมุนเร็วและสามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลได้โดยไม่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อเครื่องยนต์

ไบโอดีเซล เป็นสารเอสเทอร์ที่สังเคราะห์ด้วยปฏิกิริยาทางเคมี ระหว่างน้ำมันพืชหรือน้ำมันหรือไขมันสัตว์กับแอลกอฮอล์ ซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันดีเซลหรือผสมกับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วนร้อยละ 5 โดยปริมาตรขึ้นไป

2.2 ประวัติความเป็นมาของไบโอดีเซล [1]

การนำไบโอดีเซลมาเป็นเชื้อเพลิงนั้นเกิดขึ้นในปี พ.ศ. 2440 เมื่อ ดร.รูคอล์ฟ ดีเซล ได้คิดค้นและสร้างเครื่องยนต์ดีเซลเครื่องแรกขึ้นมา แรงจูงใจของรูคอล์ฟ คือการนำเสนอเครื่องยนต์ให้กับบริษัทขนาดเล็กซึ่งเป็นจุดที่ทำให้เขาพยายามคิดค้นสร้างเครื่องยนต์ขึ้นมาโดยเครื่องยนต์นั้นจะต้องมีประสิทธิภาพมากกว่าเครื่องยนต์ไอน้ำขนาดใหญ่ที่มีราคาแพงรวมถึงเครื่องยนต์ประเภทเผาไหม้ภายในซึ่งผลิตขึ้นโดย นิคอลัสออตโตได้ ในปี พ.ศ.2436 เครื่องยนต์ต้นแบบของรูคอล์ฟ ดีเซลนั้นเปิดแสดงตัวครั้งแรกที่เมืองออกซ์เบิร์ก (เยอรมัน) เมื่อวันที่ 10 สิงหาคม พ.ศ. 2436 ซึ่งต่อมาถูกประกาศให้เป็น “วันไบโอดีเซลนานาชาติ” หลังจากที่ได้ทำการทดลองกับเชื้อเพลิงหลาย ๆ ครั้งนั้นเขาได้แสดงให้เห็นถึงสมรรถนะของเครื่องยนต์ประเภท “จุดระเบิดด้วยการอัด” ที่มีความเสถียรในงานแสดงเครื่องยนต์โลกที่กรุงปารีสในปี พ.ศ.2442 ซึ่งได้รับรางวัลกรุงปารีส (รางวัลสูงสุด) เนื่องจากเครื่องยนต์นั้นทำงานได้โดยใช้น้ำมันถั่วลิสง

ดร.รูดอล์ฟ ดีเซล ได้กล่าวไว้ในปี พ.ศ. 2455 ขณะบรรยายว่า “การนำน้ำมันจากผักมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในปัจจุบันนี้อาจดูไม่ใช่เรื่องที่สำคัญเท่าไร แต่ในอนาคตน้ำมันเหล่านี้อาจมีความสำคัญเทียบเท่ากับน้ำมันปิโตรเลียมและน้ำมันถ่านหินในปัจจุบัน” [1]

สำหรับประเทศไทยนั้น เทคโนโลยีไบโอดีเซลได้ถูกพัฒนามาอย่างต่อเนื่องเริ่มตั้งแต่ปี พ.ศ.2544 ในรูปแบบโครงการตามพระราชดำริของพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวฯ เช่น โครงการหลวงสวนจิตรลดาเพื่อช่วยเหลือชาวนา โดยในปี พ.ศ. 2528 พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวฯ ทรงโปรดให้มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์สร้างโรงกลั่นขนาดเล็กขึ้น ที่อำเภอเล็กเพื่อผลิตน้ำมันปาล์ม และในปี พ.ศ.2543 นั้นได้โปรดให้กองการในพระองค์ได้ทดลองใช้น้ำมันปาล์มกับรถยนต์เครื่องดีเซลที่พระตำหนักไกลกังวล อำเภอหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ต่อมาในปี พ.ศ. 2544 การใช้งานไบโอดีเซลได้กลายเป็นโครงการระดับชาติซึ่งรัฐบาลไทยได้ดำเนินการสนับสนุนการนำไบโอดีเซลมาใช้ลดการนำเข้าน้ำมันจากต่างประเทศส่งเสริมความมั่นคงทางด้านพลังงานของประเทศและเพื่อเป็นการแนะนำพลังงานทางเลือกใหม่จากพืชที่ปลูกได้เองภายในประเทศ [1]

2.3 การเตรียมไบโอดีเซล

กระบวนการเตรียมไบโอดีเซลหรือการสังเคราะห์สารเอสเทอร์จากน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์ ทำได้ 4 แนวทาง ดังนี้ [1]

2.3.1 การนำน้ำมันพืชมาใช้โดยตรง ดังเช่น การที่นายรูดอล์ฟ ดีเซล ได้ใช้น้ำมันถั่วลิสงในการเดินเครื่องยนต์ดีเซล ในปี พ.ศ.2436 ซึ่งปัจจุบันมีการนำมาใช้กับเครื่องยนต์ทางการเกษตร แต่ต้องมีตัวสร้างความร้อนสำหรับอุ่นน้ำมันเพื่อลดความหนืดของน้ำมันพืชลง และสามารถฉีดเข้าสู่เครื่องยนต์เพื่อให้เกิดการเผาไหม้ได้อย่างสมบูรณ์

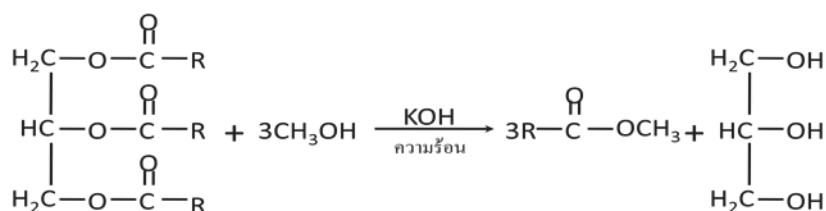
2.3.2 การผสมไบโอดีเซลกับน้ำมันดีเซลโดยใช้ตัวทำละลายที่เหมาะสม เช่น ดีเซลมะพร้าว และสูตรที่มีการผสมและนำมาใช้งานจริงในประเทศไทย คือ การผสมไบโอดีเซล ร้อยละ 5 กับน้ำมันดีเซลร้อยละ 95 หรือที่รู้จักในชื่อ น้ำมันดีเซลสูตรบี 5 เป็นต้น

2.3.3 การแตกตัวด้วยความร้อน (Thermal cracking) เป็นการทำให้โมเลกุลของน้ำมันพืชแตกตัวด้วยความร้อนในสถานะที่ไม่มีออกซิเจน เพื่อให้โมเลกุลน้ำมันแตกตัวเป็นฟอย และสามารถฉีดเข้าสู่เครื่องยนต์เพื่อให้เกิดการเผาไหม้ได้อย่างสมบูรณ์

2.3.4 การสังเคราะห์ไบโอดีเซลผ่านปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน (Transesterification) โดยการนำน้ำมันพืชหรือไขมันจากสัตว์ มาผสมกับแอลกอฮอล์ โดยมี

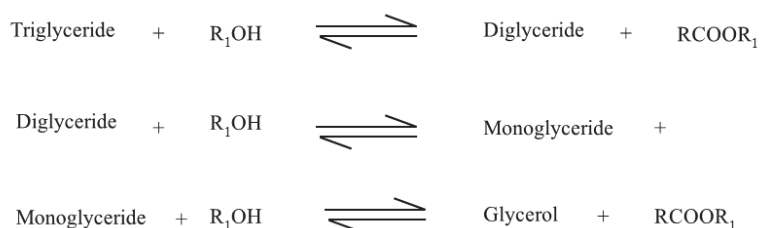
ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นชนิดกรด หรือเบส ซึ่งภายหลังการเกิดปฏิกิริยาดังกล่าวโมเลกุลของน้ำมันพืชหรือไขมันจากสัตว์จะมีขนาดที่เล็กลง ความหนืดต่ำลง และมีสมบัติใกล้เคียงน้ำมันดีเซล

กรณีกระบวนการสังเคราะห์ไบโอดีเซลผ่านปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันนิยมใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส เช่น โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา แสดงดังภาพที่ 2.1



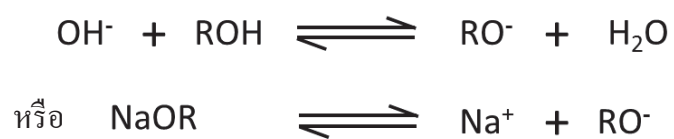
ภาพที่ 2.1 ปฏิกิริยาการเกิดทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน [2]

ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันจากภาพที่ 2.1 นั้นประกอบด้วยปฏิกิริยาย่อย 3 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนแรกน้ำมันพืชหรือไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride) ทำปฏิกิริยากับเมทานอล เกิดเป็นเมทิลเอสเทอร์หรือไบโอดีเซลกับไดกลีเซอไรด์ (Diglyceride) จากนั้นไดกลีเซอไรด์ ทำปฏิกิริยากับเมทานอลเกิดเป็นเมทิลเอสเทอร์กับโมนอกลิเซอไรด์ ในขั้นตอนสุดท้ายโมนอกลิเซอไรด์ (Monoglyceride) ทำปฏิกิริยากับเมทานอลเกิดเป็นเมทิลเอสเทอร์กับกลีเซอรอล ดังนั้นการผลิตไบโอดีเซล เมื่อทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันได้อย่างสมบูรณ์จะสามารถควบคุมปริมาณไตรกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ และโมนอกลิเซอไรด์ ไม่ให้หลงเหลือในไบโอดีเซลเกินที่มาตรฐานกำหนดได้ ภาพที่ 2.2 และ 2.3 แสดงขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาและกลไกการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน

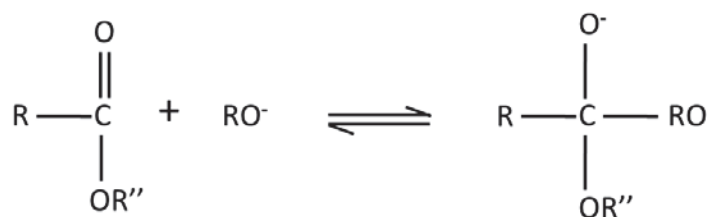


ภาพที่ 2.2 ขั้นตอนย่อยของการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน [2]

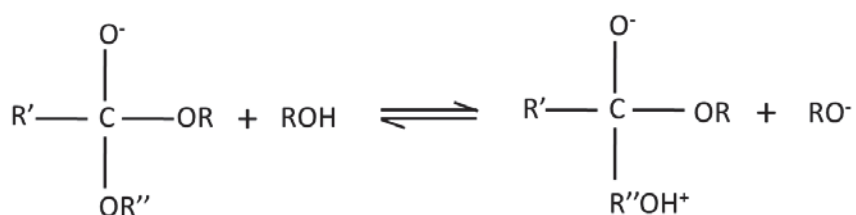
ขั้นตอนเริ่มต้น



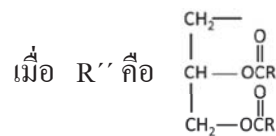
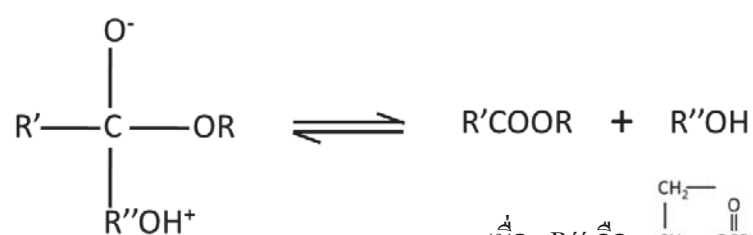
ขั้นตอนที่ 1



ขั้นตอนที่ 2



ขั้นตอนที่ 3



R' คือ สายโซ่คาร์บอนของกรดไขมัน

R คือ หมู่ฟังก์ชันของแอลกอฮอล์

ภาพที่ 2.3 กลไกการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเบส [3]

โดยทั่วไปขั้นตอนการสังเคราะห์ไบโอดีเซลผ่านปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันประกอบด้วยขั้นตอนต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 การเตรียมวัตถุดิบน้ำมันพืช [4]

ป้อนน้ำมันเข้าสู่ระบบการผลิตโดยต้องทำการวิเคราะห์ชนิดและสมบัติของน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์ก่อน เนื่องจากน้ำมันหรือไขมันตั้งต้นต่างชนิดกันจะมีสมบัติที่แตกต่างกัน จากนั้นนำน้ำมันหรือไขมันดังกล่าวไปให้ความร้อนเพื่อไล่ความชื้นและสิ่งปนเปื้อน เพื่อให้ได้น้ำมันตั้งต้นที่มีความบริสุทธิ์ที่สุด ซึ่งจะส่งผลให้ปฏิกิริยาการผลิตไบโอดีเซลได้ผลผลิตสูง เกิดปฏิกิริยาได้อย่างสมบูรณ์ จากนั้นจึงป้อนน้ำมันเข้าถังเตรียมวัตถุดิบ และควบคุมอุณหภูมิตามที่กำหนดไว้โดยทั่วไปจะให้อุณหภูมิการผลิตอยู่ที่ 60 ถึง 70 องศาเซลเซียส

ขั้นตอนที่ 2 การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา [4]

เลือกชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยากรด หรือเบส แล้วคำนวณปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในปฏิกิริยา จากนั้นจึงทำการผสมตัวเร่งปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ให้เข้ากัน ในการผสมต้องระมัดระวังไม่ให้มีน้ำปะปนลงไป ทำการผสมตัวเร่งปฏิกิริยาและแอลกอฮอล์ในสัดส่วนที่กำหนดและเหมาะสมกับน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์ที่ใช้เป็นวัตถุดิบ จากนั้นจึงเติมตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมได้เข้าถังพัก เพื่อใช้ในการทำปฏิกิริยากับน้ำมันต่อไป

ขั้นตอนที่ 3 การทำปฏิกิริยาเพื่อผลิตไบโอดีเซล [4]

ในการผลิตจำเป็นต้องให้สารตั้งต้นมีเวลาเพียงพอที่ผสมกันและทำปฏิกิริยาอย่างสมบูรณ์ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับชนิดน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์ตั้งต้น และชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยากรด หรือเบส จากนั้นตรวจสอบการเกิดปฏิกิริยาเป็นระยะเพื่อทราบสถานะการปฏิกิริยาเกิดได้อย่างสมบูรณ์ ทำให้ได้ไบโอดีเซลที่มีคุณภาพสม่ำเสมอและได้มาตรฐาน

ขั้นตอนที่ 4 การนำแอลกอฮอล์กลับคืน [4]

โดยทั่วไปปฏิบัติการผลิตไบโอดีเซลมักใช้แอลกอฮอล์ในปริมาณที่มากเกินไปมากกว่าความต้องการในการทำปฏิกิริยาในทางทฤษฎี เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันได้อย่างรวดเร็วและเกิดได้อย่างสมบูรณ์ ดังนั้น หลังการทำปฏิกิริยาแล้วจะมีแอลกอฮอล์เหลืออยู่ ซึ่งควรนำหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ ในการหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่นั้นอาจทำการกลั่นแอลกอฮอล์กลับคืนจากส่วนก่อนการแยกส่วนผลิตภัณฑ์ หรือหลังการแยกส่วนเป็นไบโอดีเซลและกลีเซอรอลแล้ว แต่อย่างไรก็ตามต้องระวังไม่ให้มีน้ำปะปนในส่วน of แอลกอฮอล์ที่กลั่นได้เพื่อให้หมุนเวียนนำกลับมาใช้ใหม่เกิดประสิทธิภาพได้อย่างสูงสุด

ขั้นตอนที่ 5 การแยกส่วนผลิตภัณฑ์ [4]

ภายหลังจากการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันแล้ว จะได้ผลิตภัณฑ์ 2 ชนิด คือไบโอดีเซลและกลีเซอรอล โดยที่สาร 2 ชนิด มีความหนาแน่นที่แตกต่างกัน คือ เอสเทอร์และกลีเซอรอลมีความหนาแน่นประมาณ 880 และ 1,200 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ทำให้ผลผลิตทั้งสองชนิดนี้สามารถแยกชั้นได้ดี โดยมีสารเอสเทอร์หรือไบโอดีเซลอยู่ด้านบนและกลีเซอรอลอยู่ด้านล่าง ในการผลิตไบโอดีเซลทำการแยกส่วนผลิตภัณฑ์ได้โดยปล่อยกลีเซอรอลแยกออกจากส่วนล่างของถังไปยังถังเก็บกลีเซอรอลต่อไป

ขั้นตอนที่ 6 การล้างไบโอดีเซลด้วยน้ำ [4]

เมื่อไบโอดีเซลถูกส่งมายังถังล้างไบโอดีเซลด้วยน้ำทำการล้างไบโอดีเซลด้วยน้ำอุ่นเพื่อล้างตัวเร่งปฏิกิริยาออกจากผลิตภัณฑ์ เพื่อให้ไบโอดีเซลที่ได้มีความบริสุทธิ์สูงไม่มีสารปนเปื้อนหลงเหลืออยู่ หลังจากล้างน้ำแล้วไบโอดีเซลยังมีน้ำเหลืออยู่เล็กน้อย ซึ่งสามารถกำจัดน้ำออกได้โดยผ่านเครื่องระเหยน้ำ และผ่านการกรองอีกครั้งจึงส่งไบโอดีเซลเข้าถังเก็บไบโอดีเซลเพื่อรอการจำหน่ายและใช้งานต่อไป

ขั้นตอนที่ 7 การนำกลีเซอรอลกลับคืน [4]

กลีเซอรอลเป็นผลพลอยได้จากการผลิตไบโอดีเซลจะมีน้ำเจือปนอยู่ด้วย ดังนั้น จากชั้นของกลีเซอรอลที่แยกออกมา มีกลีเซอรอลผสมอยู่กับน้ำ อย่างไรก็ตามกลีเซอรอลดิบที่เป็นผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลมักมีความบริสุทธิ์ต่ำประมาณร้อยละ 60 นอกจากกลีเซอรอลและน้ำเจือปนอยู่จำนวนมากแล้วยังมีตัวเร่งปฏิกิริยาที่หลงเหลือจากการใช้ในปฏิกิริยาการสังเคราะห์ไบโอดีเซลและมีสบู่ที่เกิดจากปฏิกิริยาการเกิดสบู่ (Saponification) ปะปนรวมอยู่ด้วย จึงต้องทำการแยกออกเพื่อเพิ่มบริสุทธิ์ให้กับกลีเซอรอลดิบ โดยทั่วไปมักใช้วิธีแยกออกโดยการทำปฏิกิริยาด้วยกรด เช่น กรดไฮโดรคลอริก หรือกรดฟอสฟอริก ซึ่งสบู่จะถูกเปลี่ยนเป็นกรดไขมันและเกลือ เมื่อตั้งทิ้งไว้กรดไขมันจะแยกชั้นออกจากกลีเซอรอลทำให้กลีเซอรอลมีความบริสุทธิ์เพิ่มขึ้น โดยทั่วไปแล้วกลีเซอรอลที่ได้จะมีความบริสุทธิ์ประมาณร้อยละ 80-88 ส่งออกสู่ถังเก็บกลีเซอรอลต่อไป

2.4 ตัวเร่งปฏิกิริยาสำหรับไบโอดีเซล

กระบวนการสังเคราะห์ไบโอดีเซลส่วนใหญ่สังเคราะห์ผ่านผ่านปฏิกิริยาทรานส์-เอสเทอร์ริฟิเคชัน โดยจะนิยมใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาสองชนิด คือ ชนิดกรด และ ชนิดเบส ซึ่งชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยาทั้งสองที่เลือกจะมีสถานะในการสังเคราะห์ไบโอดีเซลที่แตกต่างกัน โดยทั่วไปจะมีการเลือกตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบสมากกว่าเนื่องจาก [5]

1. เป็นกระบวนการทางเคมีที่ใช้สถานะในการผลิต เช่น อุณหภูมิ ความดันต่ำ ระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยาสั้นกว่าการใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา
2. เป็นกระบวนการที่ให้ผลผลิต หรือร้อยละผลิตภัณฑ์ (Yield) สูง และควบคุมการผลิตได้ง่าย
3. ไม่ต้องใช้วัสดุที่ทนต่อความร้อนสูงในการสร้างอุปกรณ์การผลิตทำให้ค่าใช้จ่ายในการสร้างอุปกรณ์การผลิตต่ำ

ในขณะที่การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรดจะมีการใช้สถานะการผลิตที่สูงกว่า และใช้เวลานานกว่าแต่อย่างไรก็ตามไม่ว่าจะเลือกตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดใดในการผลิตต้องคำนึงถึงสถานะการทำปฏิกิริยาอย่างสมบูรณ์เพื่อให้ได้ผลผลิตที่สูงที่สุดและเกิดการสูญเสียน้อยที่สุด นอกจากนั้นยังต้องให้ไบโอดีเซลที่ผลิตได้มีความบริสุทธิ์สูงตามมาตรฐานที่กำหนดด้วย เพื่อให้ต้นทุนการผลิตต่ำที่สุด ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อผลผลิตเมทิลเอสเทอร์ ในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลได้แก่ [6-9]

1. อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา
2. อัตราส่วนระหว่างน้ำมันและแอลกอฮอล์
3. ชนิดและความเข้มข้นของสารเร่งปฏิกิริยา
4. การผสมสารตั้งต้น
5. ความบริสุทธิ์ของสารตั้งต้น

2.4.1 ลักษณะของตัวเร่งปฏิกิริยา [5]

เมื่อทำการเลือกชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยาแล้วยังมีอีกปัจจัยที่ส่งผลต่อความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยา คือ ลักษณะของตัวเร่งปฏิกิริยา พบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้มี 2 ลักษณะคือ

1. ตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธ์ (Homogeneous catalyst)
2. ตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธ์ (Heterogeneous catalyst)

ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเอกพันธ์ จะมีคุณลักษณะความเข้ากันได้ หรือละลายอยู่ในวัฏภาคเดียวกันกับสารตั้งต้นในการผลิตไบโอดีเซล เช่น โพลีเอสเตอร์ไฮดรอกไซด์หรือโซเดียมไฮดรอกไซด์ เป็นต้น โดยทั่วไปการใช้งานตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเอกพันธ์ จะเป็นการเติมสารดังกล่าวลงใน อุปกรณ์การเตรียมไบโอดีเซลทันที ซึ่งจะมีข้อดี คือ [5]

1. เนื่องจากตัวเร่งปฏิกิริยามีลักษณะที่สามารถละลายเป็นเนื้อเดียวกันกับสารตั้งต้นในการเตรียมไบโอดีเซลส่งผลให้การทำงานของตัวเร่งปฏิกิริยามีประสิทธิภาพ
2. เนื่องจากตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดนี้อยู่ในรูปสารเคมีที่จัดซื้อได้ง่าย ลดขั้นตอนการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา

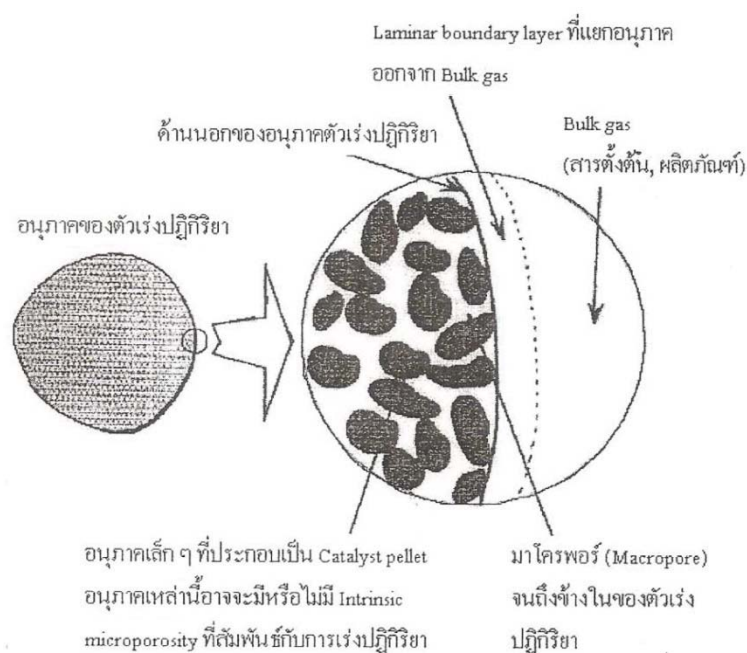
การเตรียมไบโอดีเซลโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเอกพันธ์ ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย ดังจะเห็นได้จากหลากหลายงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์ แต่จะพบว่า ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดนี้กลับมีข้อเสีย คือ [5]

1. ภายหลังเสร็จสิ้นกระบวนการในการสังเคราะห์ไบโอดีเซลจะพบว่า ขั้นตอนการล้างตัวเร่งปฏิกิริยาออกจากผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซล จำเป็นต้องใช้น้ำในขั้นตอนนี้น้ำมาก ส่งผลให้เกิดน้ำเสียในขั้นตอนการล้างที่มาก ส่งผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม
2. ตัวเร่งปฏิกิริยาเมื่อใช้แล้วจะถูกกำจัดโดยการล้างน้ำ จึงเป็นการสิ้นเปลือง เนื่องจากใช้แล้วหมดไป

3. ในขั้นตอนการล้างกลีเซอรอลออกมาโดยใช้น้ำ จะมีส่วนของตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดนี้ติดมาด้วย ทำให้กลีเซอรอลที่สกัดแยกออกมาไม่บริสุทธิ์

ด้วยเหตุผลนี้เองนักวิจัยและนักวิทยาศาสตร์ จึงได้หันมาพัฒนาตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดวิวิธพันธุ์เพื่อนำมาใช้เตรียมไบโอดีเซลให้มีประสิทธิภาพ และสถานะที่ใกล้เคียงกับการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธุ์ เนื่องจากตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์จะมีลักษณะทางกายภาพเป็นของแข็ง ซึ่งอยู่ต่างวิธภาคกับสารตั้งต้นในการผลิตไบโอดีเซล จึงมีข้อเสียในเรื่องความสามารถในการละลายและความสามารถในการเกิดปฏิกิริยา แต่จะมีข้อดีในขั้นตอนการแยกตัวเร่งปฏิกิริยาออกจากผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลที่ง่ายกว่า เนื่องจากมีลักษณะเป็นของแข็ง

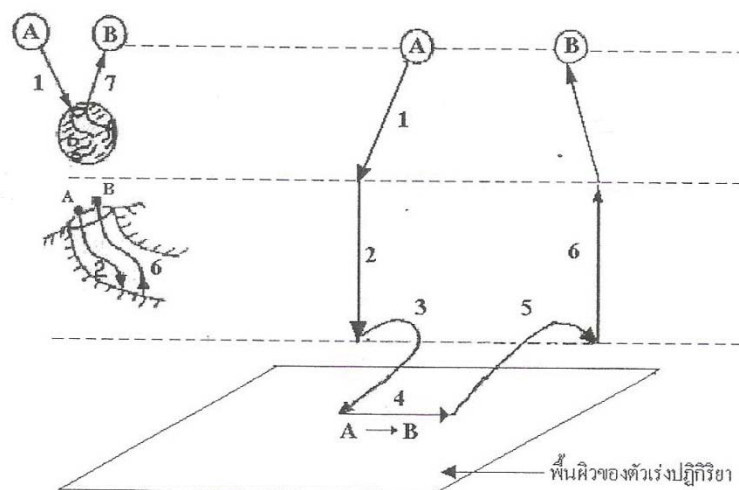
กระบวนการของการเร่งปฏิกิริยาโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดวิวิธพันธุ์ จะมีพฤติกรรมการทำงานโดยทั่วไป ดังต่อไปนี้ [10]



ภาพที่ 2.4 อนุภาคของตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีรูพรุน [10]

กลไกของการเร่งปฏิกิริยาเชิงการเร่ง (Catalytic reaction) มีขั้นตอนที่สำคัญอยู่ 7 ขั้นตอน คือ

1. การถ่ายเทมวลจากภายนอก (External mass transfer) ของสารตั้งต้นจากของไหล (Bulk fluid) ไปยังพื้นผิวภายนอกของตัวเร่งปฏิกิริยา
2. การถ่ายเทมวลจากภายใน (Internal mass transfer) ของสารตั้งต้นจากบริเวณปากของรูพรุนผ่านรูพรุนเข้าไปยังพื้นผิวภายในรูพรุนในบริเวณใกล้เคียง
3. การดูดซับ (Adsorption) ของสารตั้งต้นบนพื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา
4. การเกิดปฏิกิริยา (Reaction) บนพื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา
5. การคายออก (Desorption) ของผลิตภัณฑ์จากพื้นผิวหน้าของตัวเร่งปฏิกิริยา
6. การแพร่ของผลิตภัณฑ์จากภายในรูพรุนของตัวเร่งปฏิกิริยาไปยังบริเวณปากของรูพรุนที่พื้นผิวภายนอก
7. การถ่ายเทมวลภายนอกของผลิตภัณฑ์จากพื้นผิวภายนอกไปยังของไหล



ภาพที่ 2.5 ขั้นตอนในการเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธุ์ (ตัวเลขในรูปแบบแต่ละขั้นของกลไกในการเร่งปฏิกิริยา ส่วน A แทนสารตั้งต้นชนิด A และ B แทนสารผลิตภัณฑ์ชนิด B) [10]

ขั้นตอนต่าง ๆ มีรายละเอียดดังนี้ [10]

1. การแพร่จากภายนอกของสารตั้งต้น

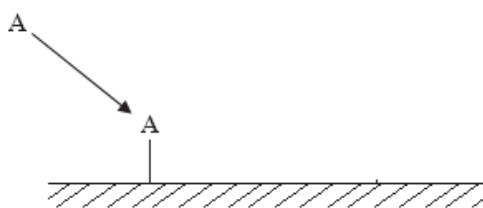
เมื่อสารตั้งต้นไหลผ่านผิวหน้าของตัวเร่งปฏิกิริยา จะเกิดการแพร่ไปยังผิวด้านนอกของตัวเร่งปฏิกิริยา ขั้นนี้ยังไม่มี การเปลี่ยนแปลงทางเคมีเกิดขึ้น

2. การแพร่ของสารตั้งต้นเข้าสู่ภายในรูพรุน

การแพร่ของสารตั้งต้นที่บริเวณผิวหน้าของตัวเร่งปฏิกิริยา เนื่องจากตัวเร่งปฏิกิริยามีพื้นที่ผิวรูพรุน ดังนั้นการแพร่จากปากของรูพรุนเข้าไปข้างในรูพรุน ซึ่งมีขนาดเล็กและมีรูปร่างที่ไม่แน่นอน ทำให้มีการชนกันเองระหว่างโมเลกุลของสารตั้งต้น หรือการชนกันของโมเลกุลสารตั้งต้นกับผนังของรูพรุนในระหว่างการแพร่ขั้นนี้ยังไม่มีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีเกิดขึ้น

3. การดูดซับของสารตั้งต้นบนพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา

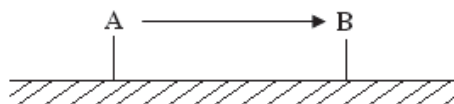
เมื่อโมเลกุลของสารตั้งต้นแพร่เข้าไปถึงในรูพรุนของตัวเร่งปฏิกิริยาแล้ว โมเลกุลของสารตั้งต้นจะถูกดูดซับอยู่บนพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ตำแหน่งกัมมันต์ การดูดซับเป็นการเปลี่ยนแปลงทางเคมี ทำให้เกิดสารทางเคมีใหม่เกิดขึ้น ดังภาพที่ 2.6 ในการเร่งปฏิกิริยานั้นจะเกี่ยวข้องกับการดูดซับเชิงเคมีเสมอ (Chemical adsorption) ซึ่งเป็นการเกิดพันธะทางเคมีระหว่างโมเลกุลของสารตั้งต้นกับผิวหน้าของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นของแข็ง ในที่นี้จะเรียกโมเลกุลของสารตั้งต้นว่า ตัวถูกดูดซับ (Adsorbate) และเรียกตัวเร่งปฏิกิริยาของแข็งว่า ตัวดูดซับ (Adsorbent)



ภาพที่ 2.6 การดูดซับเชิงเคมีของสารตั้งต้น A บนพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา [10]

4. การเกิดปฏิกิริยาบนพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา

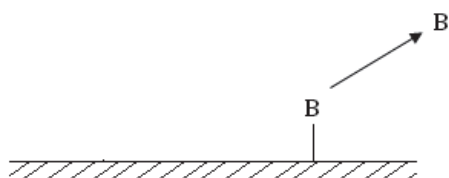
โมเลกุลของสารตั้งต้นที่ถูกดูดซับนั้นทำปฏิกิริยากับโมเลกุลของสารตั้งต้นอีกโมเลกุลหนึ่งที่ถูกดูดซับและอยู่ข้างเคียง หรือทำปฏิกิริยากับโมเลกุลของสารตั้งต้นอีกโมเลกุลหนึ่งที่มาจากวัฏภาคของแก๊สดังภาพที่ 2.7



ภาพที่ 2.7 การเกิดปฏิกิริยาบนพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาโดยเปลี่ยนจากสารตั้งต้นชนิด A เป็นสารผลิตภัณฑ์ชนิด B [10]

5. การคายออกของผลิตภัณฑ์จากผิวหน้าของตัวเร่งปฏิกิริยา

ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจะหลุดออกจากบริเวณผิวหน้าของตัวเร่งปฏิกิริยาซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงทางเคมีขั้นสุดท้ายดังภาพที่ 2.8



ภาพที่ 2.8 การคายของผลิตภัณฑ์ B จากผิวหน้าของตัวเร่งปฏิกิริยา [10]

6. การแพร่ของผลิตภัณฑ์จากภายในรูพรุนของตัวเร่งปฏิกิริยาไปยังบริเวณปากของรูพรุนที่พื้นผิวภายนอก

ขั้นตอนนี้เป็นกระบวนการย้อนกลับของขั้นที่ 2 ยกเว้นสารที่แพร่ออกมาเป็นผลิตภัณฑ์ที่ไม่ใช่สารตั้งต้น

2.5 วัตถุดิบในการผลิตตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์

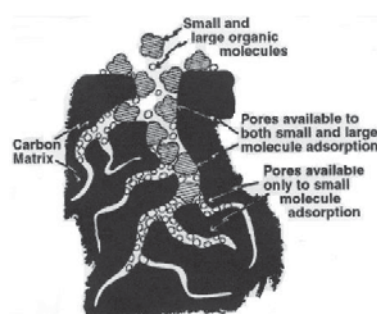
วัสดุที่เหมาะสมต่อการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ที่เหมาะสมต้องมีสมบัติพื้นที่ผิวสูง มีความเป็นรูพรุนมาก สามารถทำหน้าที่เป็นวัสดุยึดจับที่ดีของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ต้องการได้ดี และมีความเฉื่อยต่อปฏิกิริยา

คาร์บอน (Carbon) เป็นธาตุที่เป็นองค์ประกอบพื้นฐานของสิ่งมีชีวิตบนโลกคือ ไฮโดรเจน คาร์บอน ไนโตรเจน และ ออกซิเจน สิ่งมีชีวิตทุกชนิดบนโลกใบนี้ มีคาร์บอนเป็นพื้นฐานของชีวิต หรือกล่าวได้ว่า โมเลกุลที่ได้ชื่อว่าเป็นสารอินทรีย์ทุกชนิดนั้น มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ ไม่ว่าจะเป็นแบคทีเรียที่อยู่ลึกหลายกิโลเมตรจากผิวโลก จุลินทรีย์จากน้ำพุร้อนหรือปล่องร้อนใต้สมุทรที่ร้อนกว่าอุณหภูมิน้ำเดือด หรือแม้แต่สิ่งมีชีวิตที่อยู่แต่กับความเย็นกลางก้อนน้ำแข็งบริเวณขั้วโลก ก็ล้วนแล้วแต่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ นอกจากนี้ คาร์บอนยังเป็นองค์ประกอบอยู่ในอาหารที่เรารับประทาน เสื้อผ้าที่เราสวมใส่ น้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้กับรถยนต์ และในสิ่งอื่นๆ อีกมากมาย ที่กล่าวมานี้เป็นเพียงบทบาทบางส่วนของคาร์บอนเท่านั้น

2.5.1 คาร์บอนกัมมันต์ (Activated carbon) [11]

คาร์บอนกัมมันต์ หรือถ่านกัมมันต์ คือ คาร์บอนที่ผ่านกระบวนการกระตุ้นทางเคมี หรือทางกายภาพ เพื่อให้โครงสร้างทางกายภาพของคาร์บอนเกิดรูพรุนหรือเกิดรอยแตกในเนื้อระดับนาโนเมตรจำนวนมาก พื้นที่ผิวภายในรูพรุนหรือรอยแตกดังกล่าวจะเกิดเป็นช่องว่างในปริมาณที่มาก ซึ่งเหมาะสมอย่างมากที่โมเลกุลของแก๊ส หรืออนุภาคของสารเคมีใด ๆ จะมาเกิดปฏิกิริยาและเกิดอันตรกิริยากับพื้นที่ว่างภายใน โดยคาร์บอนกัมมันต์ 1 กรัม จะมีพื้นที่ผิวภายในเฉลี่ยระหว่าง 500-1500 ตารางเมตร ซึ่งจะขึ้นอยู่กับวัตถุดิบตั้งต้นในการทำคาร์บอนกัมมันต์ และกระบวนการในการผลิต

โดยทั่วไปของคาร์บอนกัมมันต์มีสมบัติในการดูดซับ และดักจับอนุภาคอยู่ภายในพื้นที่ผิวและรูพรุนรอยแยก โดยจะเป็นลักษณะการเกิดปฏิกิริยาทางกายภาพโดยแรงแวนเดอร์วาลส์ (Van der Waals force) ประสิทธิภาพในการเกิดอันตรกิริยาหรือปฏิกิริยาดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับพื้นที่ผิวรูพรุนหรือรอยแยกที่เหลืออยู่หลังจากการนำไปใช้งานของคาร์บอนกัมมันต์ โดยคาร์บอนกัมมันต์ที่ผ่านการใช้งานแล้วจนพื้นที่ผิวเหลือน้อย แต่สามารถนำคาร์บอนกัมมันต์ดังกล่าวกลับมาปรับปรุงและใช้ใหม่ได้ ผ่านกระบวนการกระตุ้นซ้ำ (Re-activated) ซึ่งจะเป็นกระบวนการในการกำจัดสารและอนุภาคที่ติดอยู่ภายในรูพรุนของคาร์บอนกัมมันต์ออก แล้วนำคาร์บอนกัมมันต์ดังกล่าวกลับมาใช้ใหม่ได้



ภาพที่ 2.9 การดูดซับ และดักจับอนุภาคอยู่ภายในพื้นที่รูพรุนของคาร์บอนกัมมันต์ [11]

การผลิตคาร์บอนกัมมันต์ สามารถใช้วัตถุดิบตั้งต้นที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก ไม่ว่าจะเป็นวัตถุดิบจากธรรมชาติ เช่น ไม้ กะลาปาล์มและ กะลามะพร้าว เป็นต้น หรือวัสดุเหลือใช้

เช่น ยางรถยนต์ ขี้เลื่อย สามารถนำมาเป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการผลิตคาร์บอนกัมมันต์ได้โดยจะนำวัตถุดิบไปผ่านกระบวนการผลิต 2 วิธีดังนี้

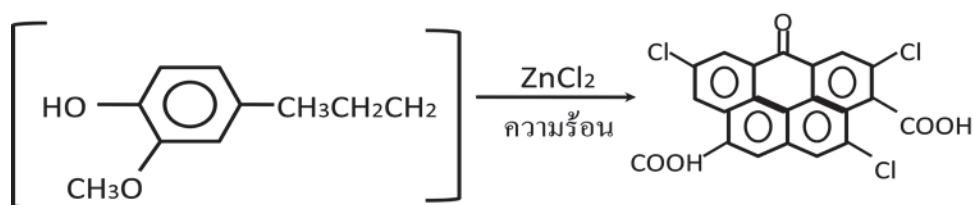
1. การกระตุ้นทางกายภาพ (Physical activation) วัตถุดิบจะถูกเปลี่ยนสภาพไปเป็นคาร์บอนกัมมันต์ด้วยความร้อนในช่วงอุณหภูมิ 700-800 องศาเซลเซียส ในภาวะปราศจากออกซิเจน เพื่อป้องกันวัตถุดิบเกิดการเผาไหม้ในอากาศ โดยจุดประสงค์การให้ความร้อนในขั้นตอนนี้เพื่อกำจัดสิ่งปนเปื้อนที่ปะปนมากับวัตถุดิบ จากนั้นนำวัสดุคาร์บอนไปให้ความร้อนในช่วงอุณหภูมิ 900-1100 องศาเซลเซียส ในภาวะที่มีไอน้ำซึ่งต้องใช้ไอน้ำประเภทไอน้ำร้อนยิ่งยวด (Superheated steam) ผ่านเข้าไปในคาร์บอน หรือแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ เมื่อคาร์บอนสัมผัสกับไอน้ำจะเกิดปฏิกิริยาดูดความร้อน (Endothermic reaction) ดังนี้ [11]



ส่งผลให้เกิดรูพรุนและรอยแตกในเนื้อวัสดุคาร์บอนกัมมันต์ จากนั้นนำวัสดุคาร์บอนกัมมันต์ไปบดให้ได้ขนาดอนุภาคตามที่ต้องการใช้งาน

2. การกระตุ้นด้วยสารเคมี (Chemical activation) วัตถุดิบจะถูกเปลี่ยนสภาพไปเป็นคาร์บอนกัมมันต์ด้วยสารเคมีบางชนิด เช่น ซิงค์คลอไรด์ กรดฟอสฟอริกและโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ เป็นต้น ภายใต้ภาวะที่มีการให้ความร้อนในช่วงอุณหภูมิ 400-600 องศาเซลเซียส

ในการผลิตคาร์บอนกัมมันต์ในภาคอุตสาหกรรมนิยมผลิตด้วย การกระตุ้นด้วยสารเคมี เนื่องจากมีต้นทุนการผลิตในส่วนของพลังงานที่น้อยกว่าเนื่องจากใช้อุณหภูมิในการให้ความร้อนที่ต่ำกว่าการกระตุ้นทางกายภาพ และใช้เวลาในการผลิตที่น้อยกว่า แต่ก็พบว่าการใช้เทคนิคการกระตุ้นด้วยสารเคมีจะมีการปนเปื้อนสารเคมีในคาร์บอนกัมมันต์



ภาพที่ 2.10 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจากการกระตุ้นทางเคมีด้วยซิงค์คลอไรด์ [11]

ชนิดของคาร์บอนกัมมันต์

เนื่องจากสมบัติเฉพาะของคาร์บอนกัมมันต์ที่มีความเหมาะสมต่อการนำไปประยุกต์ใช้งานในหลากหลายรูปแบบ ส่งผลให้มีการพัฒนาการผลิตคาร์บอนกัมมันต์ให้มีลักษณะทางกายภาพที่หลากหลาย ดังต่อไปนี้

1. คาร์บอนกัมมันต์ชนิดผง (Powdered activated carbon, PAC) เป็นคาร์บอนกัมมันต์ชนิดแรกๆ ที่ได้รับความนิยม และมีการนำมาใช้งานจนถึงปัจจุบัน ซึ่งจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.15-0.25 มิลลิเมตร มีพื้นที่ผิวต่อปริมาตรภายนอกมาก เหมาะสมอย่างมากที่โมเลกุลของแก๊ส หรืออนุภาคของสารเคมีมาเกิดปฏิกิริยาและเกิดอันตรกิริยากับคาร์บอนกัมมันต์ชนิดนี้



ภาพที่ 2.11 คาร์บอนกัมมันต์ชนิดผง [11]

2. คาร์บอนกัมมันต์ชนิดเกล็ด (Granular activated carbon, GAC) คาร์บอนกัมมันต์ชนิดนี้จะมีขนาดอนุภาคใหญ่กว่าชนิดผง เหมาะสมต่อการนำไปใช้งานในรูปแบบของการดูดซับแก๊สและไอระเหยเนื่องจากลักษณะทางกายภาพที่อำนวยความสะดวกให้ไหลผ่านของอนุภาคแก๊สและไอระเหย



ภาพที่ 2.12 คาร์บอนกัมมันต์ชนิดเกล็ด [11]

3. คาร์บอนกัมมันต์ชนิดอัดแท่ง (Extruded activated carbon, EAC) คาร์บอนกัมมันต์ชนิดนี้มีลักษณะภายนอกเป็นทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.8-4.5 มิลลิเมตร ผ่านกระบวนการขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดรีด (Extruder) มีความแข็งแรงสูงเกิดฝุ่นละอองน้อยเหมาะสำหรับการนำไปใช้งานในรูปแบบการกรอง และดูดซับแก๊ส



ภาพที่ 2.13 คาร์บอนกัมมันต์ชนิดอัดแท่ง [11]

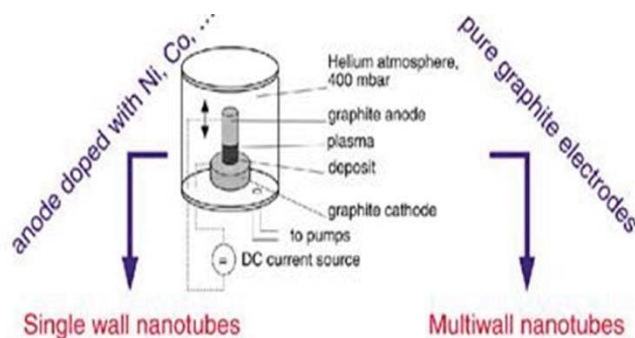
คาร์บอนกัมมันต์ชนิดผง อนุภาคมีขนาดเล็กกว่าคาร์บอนกัมมันต์ชนิดเกล็ด และ ชนิดอัดแท่ง และยังมีพื้นที่ผิวมาก มีรูพรุนเล็กกว่า เหมาะสมต่อการนำไปใช้ในสารละลายหรือของเหลว ใช้ในอุตสาหกรรมเคมี เช่น สีย้อม สารเคมีอัดรูป สารทำความสะอาด เป็นต้น ส่วนคาร์บอนกัมมันต์ชนิดเกล็ด และชนิดอัดแท่ง นิยมใช้ในอุตสาหกรรมทำน้ำอากาศป้องกันแก๊สพิษ การปรับอากาศ บำบัดการผลิตน้ำบริสุทธิ์ เป็นต้น เนื่องจากรูพรุนค่อนข้างใหญ่ เหมาะสมต่อการดูดแก๊สและไอ

2.5.2 ท่อนาโนคาร์บอน (Carbon nanotubes) [12]

ท่อนาโนคาร์บอนเป็นโครงสร้างหนึ่งของธาตุคาร์บอน ซึ่งได้รับการค้นพบในปี พ.ศ. 2534 มีโครงสร้างเป็นทรงกระบอก (Cylindrical shape) ชื่อของท่อนาโนคาร์บอนมาจากขนาดที่เล็ก ระดับนาโน(10^{-9} เมตร) หรือมีความกว้างประมาณ 1 ใน 10,000 ของความกว้างของเส้นผมมนุษย์ มีความยาวประมาณ 1 ล้านเท่าของความกว้างของมัน ท่อนาโนคาร์บอนมีด้วยกัน 2 ชนิด คือ ชนิดที่มีผนังซ้อนกัน 2 - 50 ชั้น เรียกว่า Multi-walled carbon nanotubes (MWNTs) และท่อนาโนคาร์บอนชนิดที่มีผนังชั้นเดียวหรือเป็นท่อผนังเดี่ยว เรียกว่า Single-walled carbon nanotube (SWNT) มีขนาดระหว่าง 10 ถึง 300 นาโนเมตร โดยมีช่องว่างระหว่างชั้นของแต่ละท่อขนาดอยู่ในระหว่าง 0.34 ถึง 0.36 นาโนเมตร สามารถยาวได้ถึง 20 เซนติเมตร และมีรายงานว่าสามารถ ทำให้อยาวได้ถึง 100 เมตร ล่าสุดสามารถทำท่อนาโนคาร์บอน ขนาดเล็กที่สุดขนาด 3 อังสตรอม มีพื้นที่ผิวได้ถึง 1500 ตารางเมตรต่อกรัม (m^2/g) โดยมีความหนาแน่น 1.33 ถึง 1.40 กรัมต่อลูกบาศก์-เซนติเมตร (g/cm^3)

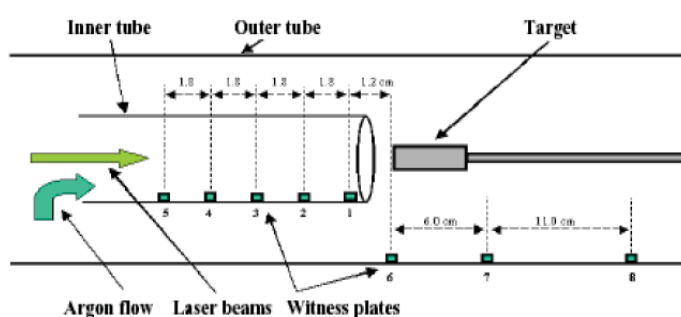
การผลิตท่อนาโนคาร์บอน สามารถผลิตได้จาก 3 กระบวนการ ดังนี้

1. **Arc discharge** ซึ่งเป็นการใช้กระแสไฟตรงขนาด 100 แอมแปร์ และศักย์ประมาณ 20 โวลต์ โดยควบคุมอุณหภูมิในช่วง 2,000 ถึง 3,000 องศาเซลเซียส ซึ่งจะทำให้เกิดโอพลาสมาร้อนระหว่างขั้วคาร์บอนทั้ง 2 ขั้ว (วางห่างกันระยะ 2 - 3 มิลลิเมตร) จะเกิดการควบแน่นที่ขั้วคาโทดได้ ผลผลิตเป็น ท่อนาโนคาร์บอนประมาณร้อยละ 30 ของน้ำหนัก และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2 - 20 นาโนเมตร ความยาวน้อยกว่า 50 มิลลิเมตร



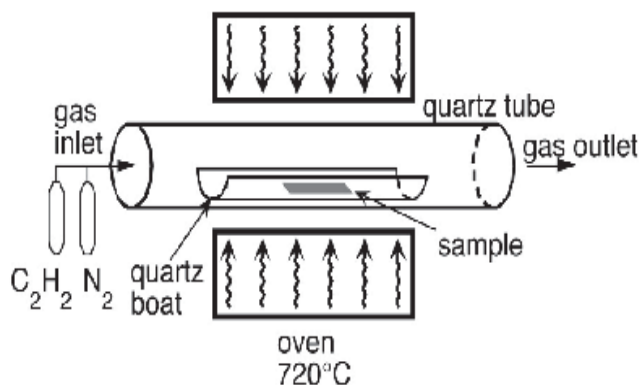
ภาพที่ 2.14 เครื่อง Arc discharge ที่ใช้ในการสังเคราะห์ท่อนาโนคาร์บอน [14]

2. Pulsed-laser vaporization เป็นการทำให้คาร์บอนผสมโลหะกลายเป็นไอในเตาเผา ที่อุณหภูมิ 1,100 – 1,200 องศาเซลเซียส และใช้แก๊สเฉื่อย เช่น อาร์กอนหรือไนโตรเจน ไปไล่วัสดุ ท่อนาโนคาร์บอนที่ได้ออกจากเตาเผาไปหล่อเย็นที่วัสดุเก็บกัก (Collector) ทองแดงนอกเตาเผา เทคนิคนี้ใช้โคบอลต์และนิกเกิลเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จะได้ท่อนาโนคาร์บอนที่เป็นระเบียบมากกว่าวิธีแรกแต่มีข้อเสียคือ ต้นทุนการผลิตสูง โดยทั้งสองเทคนิคข้างต้นมีปัญหาในเรื่องของการสังเคราะห์ให้ได้ปริมาณมาก และได้ท่อนาโนคาร์บอนที่ไม่มีระเบียบ



ภาพที่ 2.15 เครื่อง Pulsed-laser vaporization ที่ใช้ในการสังเคราะห์ Carbon nanotube [14]

3. Chemical vapour deposition (CVD) เป็นทางเลือกหนึ่งในการผลิตท่อนาโนคาร์บอนที่มีต้นทุนต่ำ โดยอาศัยการก่อรูปของท่อนาโนคาร์บอนบนวัสดุรองรับ (Substrate) เมื่อทำปฏิกิริยาของแก๊สผสมพวกไฮโดรคาร์บอน (เช่น Acetylene Methane หรือ Ethylene) และไนโตรเจน ภายในห้องปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 600 - 800 องศาเซลเซียส สำหรับการผลิตท่อนาโนคาร์บอนผนังหลายชั้นและที่อุณหภูมิ 900 - 1200 องศาเซลเซียส สำหรับการผลิตท่อนาโนคาร์บอนผนังชั้นเดียวในบรรยากาศปกติ การเร่งปฏิกิริยาทำได้โดยใช้วัสดุรองรับพวกโลหะหรือโลหะออกไซด์ หรือป้อนแก๊สดังกล่าวร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะเข้าไปในห้อง ซึ่งทำให้สามารถผลิตท่อนาโนคาร์บอน ได้ในปริมาณมาก และสามารถควบคุมขนาดและความยาวของท่อนาโนคาร์บอนได้ง่ายโดยควบคุมอัตรา การไหลของแก๊สและระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยา



ภาพที่ 2.16 เครื่อง Chemical vapour deposition ในการสังเคราะห์ท่อนาโนคาร์บอน [14]

ปัจจุบันสามารถผลิตท่อนาโนคาร์บอนได้ 10 เมตริกตันต่อปี โดยบริษัทในญี่ปุ่นด้วยเทคนิคที่เรียกว่า Vapor-grown carbon fiber รวมถึงการสังเคราะห์ให้บริสุทธิ์ขึ้นโดยบริษัท Hyperion Catalysis International ด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์ความดันสูง (High-pressure CO₂) ที่ใช้แก๊สของโลหะเช่น Ferrocene แทนอนุภาคของโลหะ วิธีนี้ให้ผลผลิต 200-400 กรัมต่อวัน

2.6 วัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซล

เมื่อพิจารณาอุตสาหกรรมการผลิตไบโอดีเซลทั่วโลกพบว่ามีการใช้น้ำมันจากเมล็ดเรพเป็นวัตถุดิบมากที่สุดมีส่วนแบ่งในการผลิตถึงร้อยละ 80 รองลงมาได้แก่ น้ำมันเมล็ดทานตะวันและน้ำมันถั่วเหลืองในส่วนชนิดร้อยละ 10 ในสหภาพยุโรปน้ำมันจากเมล็ดเรพนับเป็นวัตถุดิบหลักที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซล ไบโอดีเซลที่ผลิตได้รู้จักกันในชื่อ Rapeseed Methyl Ester หรือ RME รองลงมาได้แก่ น้ำมันเมล็ดทานตะวันซึ่งทำการผลิตในประเทศฝรั่งเศส ขณะที่สหรัฐอเมริกาใช้น้ำมันที่ใช้แล้ว (Waste vegetable oil หรือ WVO) และน้ำมันจากเมล็ดถั่วเหลืองเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตไบโอดีเซล นอกจากนี้ทั้ง 3 ชนิดแล้วยังมีการใช้น้ำมันปาล์มและไขสัตว์ เป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงทดแทนด้วย

2.6.1 ข้อมูลทั่วไปของวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซล [15]

2.6.1.1 เรพ (Rape)

พืชล้มลุกมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Brasicanapus* เป็นพืชในตระกูล *Brassicaceae* ที่ปลูกและขึ้นได้ดีในพื้นที่ที่มีภูมิอากาศหนาวเย็น มีฝนตกมากและมีความชื้นสูง โดยทั่วไปแล้วผลผลิตเมล็ดเรพอยู่ระหว่าง 320-640 กิโลกรัมต่อไร่ มีการปลูกกันมากในประเทศสภายุโรป แคนาดา สหรัฐอเมริกา ออสเตรเลีย จีน และอินเดีย เพื่อใช้เป็นอาหารสัตว์ น้ำมันใช้เพื่อการบริโภค ตั้งแต่ พ.ศ. 2543 เป็นต้นมาประเทศในสภายุโรปเริ่มใช้น้ำมันเมล็ดเรพเป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซล

เมล็ดเรพมีปริมาณน้ำมันอยู่ร้อยละ 38-40 น้ำมันเมล็ดเรพ เป็นน้ำมันที่มีกรดไขมันอีรูสิก (Erucic) เป็นองค์ประกอบหลัก ต่อมาประเทศแคนาดาได้นำเมล็ดพันธุ์ *Brassica napus* และ *Brassica rapa* (*Campestris*) มาทำการปรับปรุงได้พันธุ์ที่ให้น้ำมันที่มีองค์ประกอบของกรดไขมันอีรูสิกต่ำกว่าเดิม และเรียกน้ำมันชนิดนี้ว่าคาโนลา (Canola) ซึ่งน้ำมันทั้งสองนี้เป็นน้ำมันที่ได้จากเมล็ดเรพเช่นเดียวกัน โดยมีความแตกต่างกันที่สายพันธุ์และปริมาณกรดไขมันอีรูสิกที่แตกต่างกัน ปัจจุบันยังไม่มีการปลูกเมล็ดเรพในประเทศไทย

2.6.1.2 ปาล์มน้ำมัน (Palm)

น้ำมันปาล์มและน้ำมันจากเมล็ดปาล์มมีสมบัติทางเคมีที่แตกต่างกันอย่างมากระหว่างน้ำมันปาล์มมีกรดไขมันที่มีคาร์บอน 16 เป็นองค์ประกอบหลัก ในขณะที่น้ำมันเมล็ดปาล์มจะมีสมบัติคล้ายคลึงกับน้ำมันมะพร้าว คือ มีกรดไขมันที่มี คาร์บอน 12 เป็นองค์ประกอบหลัก น้ำมันปาล์มมีลักษณะเป็นของเหลวผสมอยู่กับของแข็งที่อุณหภูมิห้อง เมื่อนำน้ำมันปาล์มมาบรรจุขวดเพื่อจำหน่ายหรือปรุงอาหารจะต้องให้น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์โดยการกำจัดกรด สี และกลิ่นก่อน จากนั้นจึงทำการแยกส่วนของเหลวและของแข็งออกจากกัน ส่วนที่เป็นของเหลวแยกออกมาเรียกว่า น้ำมันปาล์มโอลีนสำหรับส่วนที่เป็นของแข็งเรียกว่า ปาล์มสเตียรีน ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการทำเนยเทียม ครีมเทียม และสบู่ โดยทั่วไปแล้วน้ำมันปาล์มโอลีน และ ปาล์มสเตียรีน มีปริมาณเป็นสัดส่วนระหว่างร้อยละ 65-70 ต่อ ร้อยละ 30-35 ขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิตของแต่ละโรงงาน

การผลิตไบโอดีเซล สามารถใช้น้ำมันทุกส่วนที่ได้จากน้ำมันปาล์มนำมาเป็นวัตถุดิบ เช่น น้ำมันปาล์มดิบ น้ำมันปาล์มโอลีน ไชสเตียรีน กรดไขมันปาล์มกลั่น และน้ำมันในเมล็ดปาล์ม

2.6.1.3 มะพร้าว (Coconut)

การผลิตน้ำมันมะพร้าวในเชิงอุตสาหกรรมเป็นการสกัดน้ำมันจากเนื้อมะพร้าวที่แห้งซึ่งมีปริมาณน้ำมันอยู่ร้อยละ 45-50 ของเนื้อมะพร้าวแห้งโดยมีกรดไขมันลอริกที่มีจำนวนคาร์บอน 129 เป็นองค์ประกอบหลัก โดยทั่วไปมีการใช้น้ำมันมะพร้าวเป็นน้ำมันเพื่อการบริโภคและอุตสาหกรรม จนกระทั่งเมื่อเร็ว ๆ นี้มีผลวิจัยหลายชิ้นชี้ให้เห็นว่าน้ำมันมะพร้าวที่สกัดที่อุณหภูมิต่ำไม่ผ่านกระบวนการที่ให้ความร้อน หรือที่เรียกว่า น้ำมันมะพร้าวบีบเย็น มีคุณค่าสูงต่อสุขภาพเหมาะที่จะเพิ่มมูลค่าของน้ำมันมะพร้าวให้สูงขึ้น ดังนั้นประเทศไทยจึงเริ่มการผลิตน้ำมันมะพร้าวบีบเย็นในระดับชุมชน และนำมาใช้ประโยชน์เพื่อสุขภาพ และใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องสำอางกันมากขึ้น

2.6.1.4 ถั่วเหลือง (Soybean)

ถั่วเหลืองเป็นพืชประเภทล้มลุก เมล็ดถั่วเหลืองมีองค์ประกอบหลักคือ โปรตีน และน้ำมัน ประมาณร้อยละ 40 และ 20 ตามลำดับ จึงเป็นแหล่งอาหารโปรตีนทั้งของมนุษย์และสัตว์ น้ำมันถั่วเหลืองมีกรดไขมันลิโนลิก เป็นกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวที่มีคาร์บอน 18 จำนวน 2 คู่ เป็นองค์ประกอบหลัก

การสกัดน้ำมันถั่วเหลืองจากเมล็ดถั่วเหลือง ทำได้โดยมีการใช้เครื่องบีบอัด (Expeller pressing) หรือสกัดด้วยตัวทำละลาย (Solvent extraction) ในปัจจุบันการผลิตเชิงอุตสาหกรรมจะใช้วิธีสกัดน้ำมันด้วยตัวทำละลายเฮกเซน เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพในการสกัดน้ำมันสูงสุดและได้น้ำมันถั่วเหลืองดิบที่มีคุณภาพดี

2.6.1.5 ทานตะวัน (Sunflower)

ทานตะวันมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Helianthus annuus* รัสเซียเป็นประเทศที่ปลูกทานตะวันมากที่สุดในโลก มีพื้นที่เพาะปลูกประมาณ 30 ล้านไร่มีผลผลิต 4.3 ล้านตัน ต่อปี สำหรับประเทศไทยมีการปลูกทานตะวันมากที่สุดคือจังหวัดลพบุรีและสระบุรี มีผลผลิตประมาณ 49 พันล้านตัน ให้ผลผลิตต่อไร่เฉลี่ยประมาณ 153 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี และมีปริมาณน้ำมันในเมล็ดทานตะวัน ร้อยละ 40 ปัจจุบันในการส่งเสริมการเพาะปลูกทานตะวันในประเทศไทยใช้เมล็ดพันธุ์ลูกผสมแปซิฟิก 33 ซึ่งยังต้องนำเข้าจากต่างประเทศ

2.6.1.6 สนุ่นดำ (Physic nut)

สนุ่นดำมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Jatropha curcas* Linn. มีชื่อสามัญว่า Physic nut หรือ Purging nut อยู่ในวงศ์ Euphorbiaceae สนุ่นดำเป็นไม้พุ่มยืนต้นขนาดกลางเป็นไม้ทนแห้งแล้งได้ดีสามารถให้ผลผลิตเป็นเมล็ดสนุ่นดำเมื่ออายุต้นได้ 8-12 เดือน ผลของสนุ่นดำ 1 ผลมี 2-4 เมล็ด โดยทั่วไปจะพบ 3 เมล็ด ผลสดของสนุ่นดำ 1 กิโลกรัม เมื่อกระเถาะเปลือกออกจะมีเมล็ดสนุ่นดำ 260-270 เมล็ด โดยเฉลี่ยแล้วน้ำหนัก 1 กิโลกรัมจะมีเมล็ดสนุ่นดำ 1,200 เมล็ด

สนุ่นดำมีส่วนประกอบของน้ำมันสนุ่นดำร้อยละ 52.8 ของน้ำหนักรวมเนื้อเมล็ด หรือ ร้อยละ 33.5 ของน้ำหนักเมล็ดในกากสนุ่นดำหลังการสกัดน้ำมันออกแล้วมีไนโตรเจน ฟอสฟอริกแอซิด และโพแทสเซียม ที่ละลายน้ำได้ในปริมาณร้อยละ 4.25, 1.88 และ 1.51 ตามลำดับ อย่างไรก็ตามเมล็ดของสนุ่นดำมีสารเคอร์ซิน (Curcin) เป็นองค์ประกอบอยู่ด้วยเมื่อคนบริโภคน้ำมันเข้าไปมีผลให้เกิดอาการท้องเดิน คลื่นไส้และอาเจียน น้ำมันสนุ่นดำจึงไม่สามารถนำมาใช้เป็นน้ำมันที่ใช้เพื่อการบริโภคได้ แต่เนื่องจากเมล็ดของสนุ่นดำมีน้ำมันเป็นองค์ประกอบในปริมาณสูงทำให้น้ำมันเมล็ดสนุ่นดำมีจุดเด่นและมีศักยภาพสูงในการนำมาใช้เป็นแหล่งวัตถุดิบสำหรับผลิตพลังงานทดแทนโดยไม่ต้องไปแย่งพืชอาหารเหมือนน้ำพืชชนิดอื่น ๆ เป็นต้น

2.6.1.7 น้ำมันพืชและสัตว์ที่ใช้แล้ว (Waste cooking oil)

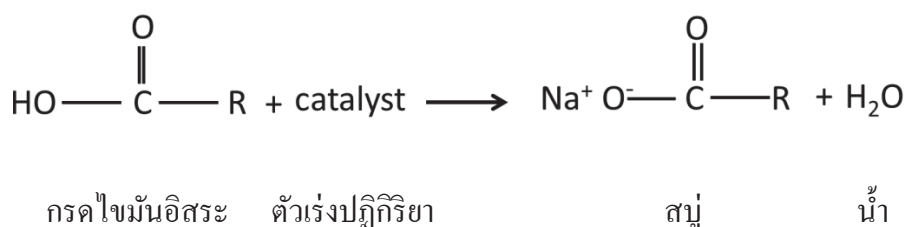
น้ำมันพืชที่ผ่านการใช้แล้วเป็นแหล่งวัตถุดิบอีกแหล่งหนึ่งในการผลิตไบโอดีเซลในต่างประเทศ มีการออกกฎหมายมิให้นำน้ำมันบริโภคที่ผ่านการทอดแล้วกลับมาใช้ในการบริโภคอีก เนื่องจากน้ำมันบริโภคที่ใช้ทอดซ้ำหลายครั้งจะเกิดสารใหม่เกิดขึ้นที่เป็นสารที่เกิดการกลายพันธุ์ และก่อมะเร็งระบบฮอร์โมน และก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพของผู้บริโภค

อย่างไรก็ตามการนำน้ำมันพืชที่ใช้แล้วนำมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซลมีปัญหาในการรวบรวมน้ำมันใช้แล้ว นอกจากนั้นแล้วยังมีปัญหาด้านคุณภาพน้ำมันเนื่องจากน้ำมันได้ผ่านการทอดที่อุณหภูมิสูงหลายครั้ง และมีการปนเปื้อนจากกระบวนการทำอาหารทำให้ต้องควบคุมคุณภาพน้ำมันทั้งก่อนและหลังการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันจึงจะผลิตไบโอดีเซลที่มีคุณภาพตามมาตรฐานที่กำหนด

2.7 ปัจจัยที่มีผลต่อปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน [6-9]

2.7.1 ผลของความชื้นและกรดไขมันอิสระ

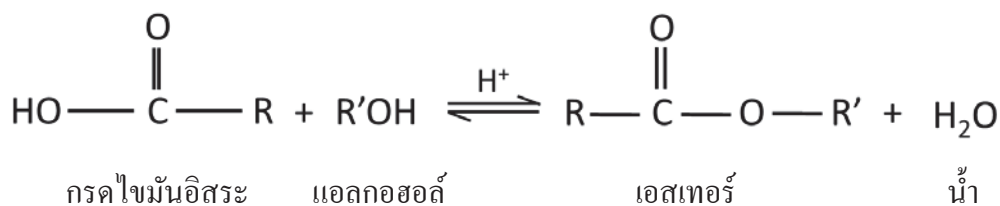
สำหรับปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส (โซเดียมไฮดรอกไซด์ และ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ เป็นต้น) กลีเซอรอลและแอลกอฮอล์ที่ใช้ต้องไม่มีน้ำเป็นส่วนผสมเพราะน้ำเป็นสาเหตุทำให้เกิดสบู่ขึ้นในระหว่างการทำปฏิกิริยาดังแสดงในภาพที่ 2.17 โดยสบู่ที่เกิดขึ้นจะไปลดประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาลง นอกจากนั้นยังส่งผลกระทบต่อสมบัติของ น้ำมันไบโอดีเซลคือ ทำให้ค่าความหนืดสูงขึ้น ทำให้น้ำมันมีลักษณะเป็นเจล และ ขาดต่อการแยก ไบโอดีเซลออกจากกลีเซอรอลด้วย



ภาพที่ 2.17 ปฏิกิริยาการเกิดสบู่ (Saponification) [4]

จากภาพที่ 2.17 จะเห็นได้ว่าปัจจัยที่ทำให้ปฏิกิริยาการทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันเกิดสบู่ได้นอกจากน้ำแล้วยังมี กรดไขมันอิสระ (Free fatty acid) ที่มีอยู่ในน้ำมันวัตถุดิบ ดังนั้นในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา น้ำมันที่เป็นวัตถุดิบควรมีค่าความเป็นกรด (Acid value) ไม่เกิน 4 มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อกรัม เพราะการมีกรดไขมันอิสระในน้ำมันวัตถุดิบที่มากเกินไปจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลน้อยลง

สำหรับน้ำมันวัตถุดิบที่ค่าความเป็นกรดสูง (มากกว่า 4 มิลลิกรัมโพแทสเซียมต่อกรัม) จะต้องนำน้ำมันมาลดค่าความเป็นกรดให้น้อยลง โดยให้ปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันซึ่งใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (Acid esterification) ดังแสดงในภาพที่ 2.18 แล้วจึงนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาต่อ



ภาพที่ 2.18 ปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชัน [4]

2.7.2 ผลของอัตราส่วนโดยโมลระหว่างแอลกอฮอล์ต่อน้ำมัน

อัตราส่วนโดยโมลระหว่างแอลกอฮอล์ต่อน้ำมันถือเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลอย่างมากต่อการผลิตไบโอดีเซล เนื่องจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันเป็นปฏิกิริยาแบบผันกลับ เพราะฉะนั้นแอลกอฮอล์ที่ใช้ในปฏิกิริยาจะต้องใช้ในปริมาณที่มากเกินไปเพื่อที่จะทำให้ปฏิกิริยาเกิดไปทางขวามากขึ้นซึ่งก็จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์มากขึ้นเช่นกัน โดยในภาพที่ 2.18 สัดส่วนที่ใช้ในปฏิกิริยาคือ 3 โมล ของแอลกอฮอล์ต่อ 1 โมลของไตรกลีเซอไรด์ ดังนั้นยิ่งใช้อัตราส่วนมากเท่าไรก็จะทำให้ได้เอสเทอร์ (ไบโอดีเซล) มากขึ้นเท่านั้นและภายในเวลาที่สั้นลงด้วย อัตราส่วน 6:1 เป็นค่าที่ถูกใช้ในกระบวนการอุตสาหกรรมพบว่าได้เมทิลเอสเทอร์มากกว่าร้อยละ 98 โดยน้ำหนัก

2.7.3 ผลของตัวเร่งปฏิกิริยา

ตัวเร่งปฏิกิริยาสามารถแบ่งได้เป็นชนิด เบสและ กรด กระบวนการทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันที่ใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจะเกิดเร็วกว่าเมื่อใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา แต่อย่างไรก็ตามกลีเซอไรด์ที่มีกรดไขมันอิสระในปริมาณมากและมีน้ำผสมอยู่ด้วยการใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจะเหมาะสมกว่า การเพิ่มปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาเบสเป็นการช่วยทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดมากขึ้นเพียงเล็กน้อย แต่กลับเพิ่มค่าใช้จ่ายในขั้นตอนของการล้างเอาตัวเร่งปฏิกิริยาเบสออกจากผลิตภัณฑ์ และต้นทุนค่าจัดซื้อตัวเร่งปฏิกิริยาดังกล่าวที่มากขึ้น

2.7.4 ผลกระทบเวลาและอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา

อัตราการเกิดไบโอดีเซลจะแปรผันโดยตรงกับเวลา นั่นคือ ถ้าเวลาในการทำปฏิกิริยามากขึ้นก็จะทำให้ได้ปริมาณไบโอดีเซลมากขึ้นเช่นกัน อุณหภูมิเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลกระทบต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันอย่างมาก อย่างไรก็ตามถ้าเพิ่มเวลาในการทำปฏิกิริยาให้

เพียงพอ ปฏิกริยาสามารถเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ภายใต้อุณหภูมิห้อง แต่อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกริยาโดยทั่วไปจะใช้อุณหภูมิที่ใกล้เคียงกับจุดเดือดของแอลกอฮอล์ที่ใช้เช่น ถ้าเป็นเมทานอล อุณหภูมิที่ใช้คือ 60-70 องศาเซลเซียส ที่ความดันบรรยากาศ (โดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกริยา)

2.7.5 ผลกระทบของอัตราการกวนผสม

เนื่องจากการผลิตไบโอดีเซลสารตั้งต้นคือ น้ำมัน และแอลกอฮอล์มีสภาพที่ไม่ละลายหรือละลายเข้ากันได้ ในปริมาณที่น้อยมาก การที่จะทำให้สารตั้งต้นทำปฏิกริยากันนั้นจำเป็นต้องมีการกวนเพื่อให้สารมีการแพร่เข้าหากันเพื่อทำปฏิกริยา เพราะฉะนั้นการผสมจึงเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญในการผลิตไบโอดีเซล

2.7.6 ความบริสุทธิ์ของสารตั้งต้น

สิ่งเจือปนในน้ำมันที่เป็นสารตั้งต้น มีผลต่อปริมาณผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นอย่างมาก ถ้าใช้น้ำมันที่ยังไม่ผ่านการกลั่น ไปผลิตเป็นน้ำมันไบโอดีเซล จะได้ผลิตภัณฑ์ประมาณร้อยละ 65-84 แต่ถ้าน้ำมันที่ผ่านการกลั่นแล้ว มาใช้ในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจะได้ผลิตภัณฑ์สูงถึงร้อยละ 94-97 ที่สภาวะเดียวกัน ความแตกต่างที่เกิดขึ้นนั้น อาจเกิดจากกรดไขมันอิสระในน้ำมันดิบไปแทรกแซงการทำงานของตัวเร่ง แต่สามารถแก้ไขโดยทำปฏิกริยาที่อุณหภูมิและความดันสูง

2.7.7 ปริมาณของน้ำ

ปริมาณความชื้นหรือน้ำที่มีในน้ำมันที่ใช้สามารถส่งผลกระทบต่อการผลิตไบโอดีเซล โดยปริมาณน้ำในน้ำมันจะส่งผลเสียต่อปฏิกริยา กล่าวคือทำให้เกิดสบู่อขึ้นในระหว่างการทำปฏิกริยาเมื่อใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกริยา การเกิดสบู่อนอกจากจะทำให้สิ้นเปลืองตัวเร่งปฏิกริยาแล้วยังลดประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกริยาอีกด้วย ส่วนปริมาณกรดไขมันอิสระนั้นจะส่งผลให้สิ้นเปลืองตัวเร่งปฏิกริยาที่ใช้ในการทำปฏิกริยาเช่นกัน แต่อย่างไรก็ตามปริมาณความชื้นในน้ำมันเป็นตัวแปรที่สำคัญต่อปฏิกริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันมากกว่ากรดไขมันอิสระ

2.7.8 ผลกระทบของตัวทำละลายร่วม (Co-solvent)

ปฏิกริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งเพื่อผลิตไบโอดีเซลมีการใช้ตัวทำละลายร่วมเช่น เตตระไฮโดรฟูแรน (Tetrahydrofuran) 1,4-ไดออกเซน (1,4 -dioxane) และ

ไดเอทิลอีเทอร์ (Diethyl ether) เป็นต้น มาช่วยให้น้ำมันและแอลกอฮอล์เกิดการรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน จะทำให้ร้อยละผลผลิตที่ได้มีค่ามากขึ้น

2.8 การใช้ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์และรถยนต์ [15,16]

ไบโอดีเซลมีโครงสร้างและสมบัติใกล้เคียงน้ำมันดีเซลจึงสามารถนำมาใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลได้ ทั้งรูปแบบการใช้ไบโอดีเซลบริสุทธิ์หรือใช้ผสมกับน้ำมันดีเซล อย่างไรก็ตามเนื่องจากการไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงใหม่ที่สังเคราะห์จากพืชที่จะนำมาทดแทนน้ำมันดีเซล ถึงแม้ว่าการศึกษาทดลองสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลรวมถึงการศึกษาผลกระทบเมื่อใช้ไบโอดีเซลในเครื่องยนต์กันอย่างแพร่หลายในหลาย ๆ ประเทศก็ตาม ความรู้ในการนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิง รวมถึงการยอมรับจากผู้บริโภคและบริษัทประกอบรถยนต์ยังอยู่ในวงจำกัด แตกต่างจากน้ำมันดีเซลที่มีการใช้มาเป็นเวลานานแล้ว นอกจากนั้นแล้วที่ผ่านมา บริษัทผู้ผลิตเครื่องยนต์และรถยนต์ได้ทำการพัฒนาเครื่องยนต์ของตนเอง ให้รองรับการใช้งานกับเชื้อเพลิงที่มีคุณภาพตามมาตรฐานน้ำมันดีเซลที่มีจำหน่ายในปัจจุบัน

World-Wide Fuel Charter (WWFC) เป็นองค์กรที่กำหนดมาตรฐานสากลของน้ำมันเชื้อเพลิงซึ่งรวมทั้งน้ำมันดีเซลและน้ำมันเบนซิน เป็นองค์กรที่ประกอบด้วยสมาชิกจากกลุ่มบริษัทผู้ผลิตรถยนต์ทั้งค่ายยุโรปและค่ายรถยุโรปและญี่ปุ่น ประกอบด้วย European Automobile Manufacturers Association (ACEA), Alliance of Automobile Manufacturers, Engine Manufacturers Association (EMA), Japan Automobile Manufacturers Association (JAMA) สำหรับการใส่ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์และรถยนต์ดีเซล WWFC มีการยอมรับการใช้ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์รอบสูงที่ไม่ต้องดัดแปลงเครื่องยนต์ หรือชิ้นส่วนใด ๆ โดยไบโอดีเซลผสมกับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วนร้อยละ 5 โดยปริมาตรหรือต่ำกว่าร้อยละ 5 โดยปริมาตร (B5) สำหรับการใช้งานทั่วไป ไบโอดีเซลที่นำมาใช้ผสมกับน้ำมันดีเซลต้องเป็นไบโอดีเซลที่มีคุณภาพตามมาตรฐาน EN 14214 และมาตรฐาน ASTM 6751 และเมื่อผสมแล้วเป็น B5 น้ำมันต้องมีคุณสมบัติตรงตามมาตรฐานน้ำมันดีเซลด้วย หากต้องการใส่ไบโอดีเซลในสัดส่วนการผสมสูงกว่าร้อยละ 5 หรือใช้โดยไม่ผสมในน้ำมันดีเซลเลย จะต้องมีการดัดแปลงเครื่องยนต์และชิ้นส่วนประกอบในรถยนต์ตามน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ เพื่อลดปัญหาที่จะเกิดขึ้น

เครื่องยนต์ที่ใช้ไบโอดีเซลโดยไม่ผสมกับน้ำมันดีเซล หรือที่เรียกว่า B100 นั้นจะต้องมีการดัดแปลงเครื่องยนต์ และอุปกรณ์ในระบบเชื้อเพลิงบางชนิดที่ต้องสัมผัสกับไบโอดีเซล เนื่องจากไบโอดีเซลมีคุณสมบัติในการทำละลาย จึงส่งผลต่อสมบัติของชิ้นส่วนที่ทำมาจากยางธรรมชาติในเครื่องยนต์ที่ทำการผลิตก่อนปี พ.ศ. 2539 โดยทั่วไปแล้วบริษัทผู้ผลิตรถยนต์มีขอบเขต

การรับประกันเฉพาะความบกพร่องของวัสดุหรือฝีมือการประกอบรถยนต์ในระยะเวลาประกันเท่านั้น ความเสียหายในกรณีมีการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงผิดไปจากข้อแนะนำในสมุดคู่มือการใช้รถและการบำรุงรักษาจะถูกเว้นจากการรับประกัน

2.8.1 คุณภาพไบโอดีเซลที่มีผลต่อเครื่องยนต์ดีเซล [16]

น้ำมันไบโอดีเซลบริสุทธิ์ B100 ที่จะนำไปใช้โดยตรงในเครื่องยนต์ที่มีการดัดแปลงหรือในผสมกับน้ำมันดีเซลที่อัตราส่วนต่าง ๆ นั้น จะต้องมีความเป็นไปตามมาตรฐานไบโอดีเซล ASTM D 6751-03 ของสหรัฐอเมริกา และมาตรฐาน EN 14214:2003 น้ำมันไบโอดีเซลที่มีสมบัติบางประการ ไม่เป็นไปตามมาตรฐานดังกล่าว อาจก่อให้เกิดผลเสียต่อเครื่องยนต์ดีเซลเมื่อใช้งานในระยะยาว ดังแสดงคุณภาพไบโอดีเซลที่มีผลต่อเครื่องยนต์ดังนี้

2.8.1.1 ปริมาณเมทิลเอสเทอร์

ปริมาณเมทิลเอสเทอร์ แสดงถึงความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซล และการเกิดปฏิกิริยาการผลิตไบโอดีเซลที่สมบูรณ์ มาตรฐานกำหนดให้มีปริมาณมากกว่าร้อยละ 96.5 โดยน้ำหนัก เมื่อปริมาณเอสเทอร์น้อยกว่าที่กำหนด ชีบอกถึงยังมีโมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ หรือไตรกลีเซอไรด์อยู่ในไบโอดีเซลในปริมาณสูงกว่าที่กำหนด ส่งผลให้ความหนืดของไบโอดีเซลมีค่าสูงและเกี่ยวเนื่องกับการอุดตันในหัวฉีด หรือกระบอกสูบเครื่องยนต์

2.8.1.2 ความหนาแน่น

ความหนาแน่นเป็นตัวแปรที่สำคัญในการออกแบบระบบหัวฉีดจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล ค่าความหนาแน่นเป็นตัวบ่งบอกถึงปริมาณพลังงานเชื้อเพลิง เมื่อความหนาแน่นมีค่ามากจะต้องใช้พลังงานความร้อนมากขึ้นตามไปด้วยเมื่อเทียบกับน้ำมันเชื้อเพลิงในปริมาณเดียวกัน น้ำมันไบโอดีเซลมีความหนาแน่นมากกว่าน้ำมันดีเซล แต่ค่าปริมาณพลังงานโดยรวมของน้ำมันไบโอดีเซลมีค่าต่ำกว่า ความหนาแน่นของไบโอดีเซลจากวัตถุดิบน้ำมันพืชแต่ละชนิดจะมีความแตกต่างกัน นอกจากนี้ปริมาณเมทานอลที่ตกค้างในไบโอดีเซลยังเป็นสาเหตุให้ความหนาแน่นมีค่าอีกด้วย

2.8.1.3 ความหนืด

ความหนืดเกี่ยวข้องกับการไหล การฉีดเป็นฝอยของหัวฉีดในห้องเผาไหม้ การฉีดเป็นฝอยขนาดเล็กทำให้การเผาไหม้สมบูรณ์ ความหนืดของไบโอดีเซลขึ้นอยู่กับชนิดน้ำมันพืชที่เป็นวัตถุดิบตั้งต้น เกณฑ์มาตรฐานไบโอดีเซลกำหนดให้ค่าความหนืด ณ อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส มีค่า

ในช่วง 3.5-5 เซนติสโตรก ความหนืดยังเป็นดัชนีการเสื่อมสภาพของไบโอดีเซลเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันอีกทางหนึ่ง

2.8.1.4 จุลวบน้ำไฟ

จุลวบน้ำไฟเป็นค่าอุณหภูมิต่ำสุดเมื่อเปลวไฟผ่านเหนือไอของน้ำมัน แล้วทำให้น้ำมันติดไฟ มาตรฐานกำหนดให้ค่าจุลวบน้ำไฟมากกว่า 120 องศาเซลเซียส ปริมาณเมทานอลที่หลงเหลือในไบโอดีเซลทำให้จุลวบน้ำไฟมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานได้ จุลวบน้ำไฟมีผลต่อการขนส่ง เคลื่อนย้าย และการจัดเก็บ ปริมาณที่เมทานอลยังคงเหลือในไบโอดีเซลในปริมาณมากกว่าร้อยละ 0.2 โดยปริมาตร ส่งผลให้จุลวบน้ำไฟมีค่าต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส

2.8.1.5 กำมะถัน

ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงที่มีกำมะถันต่ำ เนื่องจากน้ำมันพืชดิบที่ใช้ในการผลิตมักมีองค์ประกอบของกำมะถันต่ำกว่า 15 มิลลิกรัมต่อลิตร องค์ประกอบของกำมะถันในน้ำมันพืชเมื่อถูกเผาไหม้จะเปลี่ยนเป็นแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ซึ่งถูกปล่อยออกมาพร้อมไอเสียจากเครื่องยนต์ และส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

2.8.1.6 แก๊สซัลเฟต

แก๊สซัลเฟตเกิดจากการเผาไหม้ของสารปนเปื้อนในไบโอดีเซล เนื่องมาจากการตกค้างมาจากสบู่ และตัวเร่งปฏิกิริยาปริมาณแก๊สซัลเฟตมีผลต่อการอุดตันในเครื่องยนต์

2.8.1.7 น้ำ

ปริมาณน้ำในน้ำมันทำให้การเผาไหม้ไม่ดี นอกจากนั้นน้ำในไบโอดีเซลยังเป็นสาเหตุให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลติกระหว่างน้ำกับเอสเทอร์ เกิดเป็นกรดไขมันอิสระ ส่งผลให้เกิดการกัดกร่อนในเครื่องยนต์ และเป็นตัวเร่งให้เกิดการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในถังเก็บน้ำมัน ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้หัวฉีดเกิดการอุดตันและการกัดกร่อนได้

2.8.1.8 สิ่งปนเปื้อนทั้งหมด

สารปนเปื้อนในน้ำมันไบโอดีเซลส่วนใหญ่เป็นผลมาจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน และปฏิกิริยาข้างเคียง เช่น ปฏิกิริยาการเกิดสบู่ของกรดไขมันอิสระและตัวเร่งปฏิกิริยาเบส ตัวเร่งปฏิกิริยาและสารที่ไม่ละลายน้ำ ได้แก่ ไขมันที่อยู่ในรูปของกลีเซอไรด์ กรดไขมันอิสระ กรด

แอลกอฮอล์ สารประกอบไฮโดรคาร์บอน ไตรเทอพีนแอลกอฮอล์ สารประกอบแคโรทีน วิตามินและอื่น ๆ ซึ่งขึ้นอยู่กับสมบัติของวัตถุดิบน้ำมันพืชเริ่มต้น โดยทั่วไปสิ่งปนเปื้อนทั้งหมดจะถูกกำจัดออกจากไบโอดีเซลในขั้นตอนการล้างน้ำ สิ่งปนเปื้อนในไบโอดีเซลมีผลเสียต่อเครื่องยนต์หลายด้าน เช่น สมบัติด้านความเสถียรของไบโอดีเซลระหว่างเก็บรักษา

2.8.1.9 การกักกร่อนแผ่นทองแดง

การกักกร่อนแผ่นทองแดง แสดงการกักกร่อนของน้ำมันต่อโลหะที่ใช้เป็นชิ้นส่วนในเครื่องยนต์ดีเซล เนื่องจากปริมาณกรด เช่น กรดไขมันอิสระ และสารประกอบซัลเฟอร์ในน้ำมัน ซึ่งค่าการกักกร่อนนี้มีผลต่อการทำงานของเครื่องยนต์

2.8.1.10 ค่าของกรด

แสดงความเป็นกรดในน้ำมันไบโอดีเซล เป็นผลมาจากปริมาณกรดไขมันอิสระในวัตถุดิบในน้ำมันพืช แสดงปริมาณกรดที่ใช้ในกระบวนการผลิตไบโอดีเซล ซึ่งมีผลต่อการกักกร่อนในเครื่องยนต์ ทำให้อายุการใช้งานของปั๊มและไส้กรองน้ำมันลดลง นอกจากนี้ยังแสดงถึงการเสื่อมสภาพของน้ำมัน เนื่องจากปฏิกิริยาไฮดรอลิซิส จากปริมาณน้ำที่ปนอยู่ในน้ำมันและผลของสถานะในการจัดเก็บ

2.8.1.11 กรดลิโนเลนิกเมทิลเอสเทอร์

แสดงถึงพันธะคู่หรือความไม่อิ่มตัวของไบโอดีเซล ซึ่งมีแนวโน้มทำให้เกิดพอลิเมอร์ในเครื่องยนต์ ทำให้เกิดการอุดตัน และการเสื่อมสภาพในน้ำมันเครื่อง ปริมาณกรดลิโนเลนิกเมทิลเอสเทอร์ ขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำมันพืชที่เลือกมาใช้เป็นวัตถุดิบ

2.8.1.12 เสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน ที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส

การเปลี่ยนแปลงสมบัติจากปฏิกิริยาออกซิเดชันเนื่องจากเกิดสารประกอบเพอร์ออกไซด์ (Peroxide linkage) ขึ้นระหว่างพันธะคู่ของกรดไขมันไม่อิ่มตัว ที่อยู่ในโครงสร้างของไบโอดีเซล ปฏิกิริยาดังกล่าวเกิดเมื่อน้ำมันสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศ โดยที่ความร้อนและแสงแดดมีผลช่วยเร่งปฏิกิริยา ในขณะที่โลหะ เช่น ทองแดง และตะกั่ว ก็เป็นตัวเร่งให้ปฏิกิริยาเกิดเร็วขึ้น ผลของปฏิกิริยาทำให้เกิดสารพอลิเมอร์ (Oxidation polymerization) และเกิดของแข็งที่ไม่ละลายในไบโอดีเซล เสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน นอกจากจะขึ้นกับประเภทและสมบัติของน้ำมันพืชที่เป็น

วัตถุดิบแล้ว ยังขึ้นกับกระบวนการผลิตไบโอดีเซลอีกด้วย โดยกระบวนการผลิตที่มีการให้ความร้อนสูงแก่ไบโอดีเซลเป็นเวลานาน อาจส่งผลให้เสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดให้มีค่าสูงกว่า 6 ชั่วโมง ที่ 110 องศาเซลเซียส

2.8.1.13 ค่าไอโอดีน

ค่าไอโอดีนแสดงพันธะคู่ในน้ำมัน ซึ่งเป็นสมบัติเฉพาะของน้ำมันพืชที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซล ค่าไอโอดีนต่ำแสดงถึงการมีสัดส่วนกรดไขมันอิ่มตัวในโครงสร้าง ไบโอดีเซลทำให้ไม่มีแนวโน้มในการเกิดออกซิเดชันนอกจากนี้ค่าไอโอดีนยังมีความสัมพันธ์กับจุดขุ่น ซึ่งแสดงถึงอุณหภูมิที่น้ำมันเริ่มเกิดไข หรือจับตัวเป็นก้อนแข็ง ไบโอดีเซลที่มีค่าไอโอดีนต่ำจะมีจุดขุ่นสูง ซึ่งมีผลต่อการใช้งานในสภาพเย็น ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบมีค่าไอโอดีน 50-55 ประกาศกรมธุรกิจพลังงานกำหนดให้ ค่าไอโอดีนไม่สูงกว่า 120 กรัมไอโอดีน ต่อ 100 กรัม

2.8.1.14 เมทานอล

เมทานอลเป็นสารตั้งต้นที่เหลือจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล ซึ่งจำเป็นต้องกำจัดออกให้หมดก่อนนำไบโอดีเซลออกจำหน่าย จึงต้องมีปริมาณต่ำในผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซล จุดวาบไฟขั้นต่ำของไบโอดีเซล คือ 130 องศาเซลเซียสเมทานอลมีค่าจุดวาบไฟต่ำ ถ้ายังเมทานอลปะปนอยู่ในไบโอดีเซล จำทำให้ไบโอดีเซลมีจุดวาบไฟต่ำลงด้วย ซึ่งมีผลต่อความปลอดภัยในการเก็บรักษา การขนส่งและการนำมาใช้ในเครื่องยนต์ เมทานอลมีค่าความเข้มข้นมากกว่าร้อยละ 5 โดยจะมีผลกระทบต่อค่าซีเทน และความหล่อลื่นของน้ำมัน

2.8.1.15 โมโนกลีเซอไรด์ไดกลีเซอไรด์และไตรกลีเซอไรด์

ปริมาณโมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์และไตรกลีเซอไรด์แสดงถึงความสมบูรณ์ของปฏิกิริยาในการผลิตไบโอดีเซล ปริมาณโมโนกลีเซอไรด์ไดกลีเซอไรด์และไตรกลีเซอไรด์ที่เหลือจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันที่ไม่สมบูรณ์ส่งผลให้อุดตันบริเวณหัวฉีด กระบอกสูบ และวาล์วในเครื่องยนต์

2.8.1.16 กลีเซอรอลอิสระ

ปริมาณกลีเซอรอลที่หลงเหลืออยู่ในไบโอดีเซล เนื่องมาจากการแยกกลีเซอรอลไม่สมบูรณ์ ทำให้เกิดปัญหาการแยกชั้นของกลีเซอรอลในการจัดเก็บไบโอดีเซลรวมถึงการสะสมบริเวณถังด้านล่างของถังน้ำมัน กลีเซอรอลมีผลต่อการอุดตันที่หัวฉีดและระบบลำเลียงน้ำมัน

2.8.1.17 กลีเซอรอลทั้งหมด

กลีเซอรอลทั้งหมดคือปริมาณกลีเซอรินอิสระและปริมาณกลีเซอรอลในโมเลกุลโมโน-กลีเซอไรด์ และไตรกลีเซอไรด์ที่เจือปนในองค์ประกอบของไบโอดีเซล ซึ่งเป็นผลมาจากการเกิดปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ริฟิเคชัน ไม่สมบูรณ์ มีผลก่อให้เกิดการอุดตันบริเวณหัวฉีดและไส้กรอง และปัญหาการใช้งานที่อากาศเย็น

2.8.1.18 โลหะอัลคาไลน์ (โซเดียมและโพแทสเซียม) หรือโลหะอัลคาไลน์เอิร์ท (แคลเซียมและแมกนีเซียม)

เป็นการวัดปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาเบส สบู่ และโลหะหนักจากน้ำที่ใช้ในขั้นตอนการล้างไบโอดีเซลที่หลงเหลือในผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซล แคลเซียมยังมีสมบัติเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ดีสำหรับกระบวนการพอลิเมอไรเซชันของเอสเทอร์อีกด้วย ข้อกำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลตามประกาศกรมธุรกิจพลังงาน กำหนดให้ โลหะอัลคาไลน์และโลหะอัลคาไลน์เอิร์ทไม่สูงกว่าอย่างละ 5.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

2.8.1.19 ฟอสฟอรัส

ฟอสฟอรัสเป็นสารที่ปนเปื้อนอยู่ในวัตถุดิบน้ำมันพืชตั้งแต่เริ่มต้น หากไม่ทำการกำจัดออกจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล จะทำให้ไบโอดีเซลที่ผลิตได้มีฟอสฟอรัสปะปนอยู่ด้วย ซึ่งจะทำความเสียหายให้กับอุปกรณ์กระตะไลติกส์ คอนเวอร์เตอร์ (Catalytic converter) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมมลพิษ จากการที่มาตรฐานของการแพร่มลพิษเป็นกฎข้อบังคับมากขึ้น อุปกรณ์ Catalytic converter จึงเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญที่ใช้ในเครื่องยนต์ดีเซล

2.8.2 ประโยชน์ของการใช้ไบโอดีเซลกับเครื่องยนต์ [15]

การใช้น้ำมันพืชเพื่อทดแทนน้ำมันดีเซลนั้นสามารถทำได้หลายแนวทาง แต่สิ่งที่ควรคำนึงถึงก็คือ ต้องลดค่าความหนืดของน้ำมันพืชให้ต่ำลงมาอยู่ในระดับเดียวกับน้ำมันดีเซล ความหนืดควรต่ำกว่า 4.2 เซนติสโตก ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ผู้ใช้ก็ควรคำนึงถึงสมบัติ

ด้านอื่น ๆ ของน้ำมันพืชด้วย อาทิ ค่าซีเทน ค่าจุดไหลเท เป็นต้น การใช้ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงกับเครื่องยนต์มีประโยชน์หลายด้าน ดังต่อไปนี้

2.8.2.1 ด้านสิ่งแวดล้อม

การใช้ไบโอดีเซลสามารถลดมลพิษทางอากาศซึ่งเป็นผลจากการเผาไหม้ในเครื่องยนต์ กรมอุทกหารเรือ กองทัพเรือ ได้รายงานผลการทดลองการใช้น้ำมันไบโอดีเซลกับเครื่องยนต์ดีเซล ขนาด 145 แรงม้า พบว่าสามารถลดวันค่าได้มากกว่าร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก การใช้ไบโอดีเซลสามารถลดการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกเพราะผลิตจากพืชการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว ช่วยลดการนำน้ำมันที่ใช้แล้วไปประกอบอาหารซ้ำ และยังช่วยป้องกันมิให้น้ำมันพืชที่ใช้แล้ว ซึ่งมีสารไดออกซิน ที่เป็นสารก่อมะเร็งไปผลิตเป็นอาหารสัตว์

2.8.2.2 ด้านสมรรถนะเครื่องยนต์

การผสมไบโอดีเซลในปริมาณร้อยละ 1-2 โดยปริมาตร สามารถช่วยเพิ่มดัชนีการหล่อลื่นให้กับน้ำมันดีเซล จากผลการทดลองของสถาบันวิจัยและเทคโนโลยีของบริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน) พบว่าการเติมไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันพืชที่ใช้แล้วและน้ำมันมะพร้าวในอัตราร้อยละ 0.5 โดยปริมาตร สามารถเพิ่มดัชนีการหล่อลื่นได้ถึง 2 เท่า ประสิทธิภาพการเผาไหม้ดีขึ้น เนื่องจากไบโอดีเซลมีออกซิเจนผสมอยู่ประมาณร้อยละ 10 ทำให้การผสมระหว่างอากาศกับน้ำมันมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ และเป็นการเพิ่มอัตราส่วนปริมาตรของอากาศต่อน้ำมันได้เป็นอย่างดี จึงทำให้การเผาไหม้ดีขึ้น ถึงแม้ว่าค่าความร้อนของไบโอดีเซลจะต่ำกว่าน้ำมันดีเซลประมาณร้อยละ 10 แต่ข้อด้อยนี้ไม่มีผลกระทบต่อการใช้งาน เพราะการใช้ไบโอดีเซลทำให้การเผาไหม้ดีขึ้น จึงทำให้กำลังเครื่องยนต์ไม่ลดลง

2.8.2.3 ด้านเศรษฐศาสตร์

การใช้ไบโอดีเซลช่วยสร้างงานในชนบท ด้วยการสร้างตลาดพลังงานไว้รองรับผลผลิตทางการเกษตรที่เหลือจากการบริโภค การใช้ไบโอดีเซล ช่วยลดการนำเข้าน้ำมันดิบจากต่างประเทศได้บางส่วน ซึ่งในแต่ละปีประเทศไทยสูญเสียเงินตราต่างประเทศเพื่อนำเข้าน้ำมันดิบกว่า 300,000 ล้านบาท

2.8.2.4 ด้านการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงในประเทศ

ประเทศไทยมีสัดส่วนการใช้น้ำมันดีเซลสูงกว่าน้ำมันเบนซินมาก ตลาดน้ำมันดีเซลในประเทศไทยมีมูลค่ามากกว่าน้ำมันเบนซิน 2 เท่า และในอนาคตมีแนวโน้มที่โรงกลั่นอาจจะผลิตน้ำมันดีเซลไม่เพียงพอต่อการใช้งานภายในประเทศ ดังนั้นการใช้ไบโอดีเซลจึงช่วยลดความไม่สมดุลของการผลิตของโรงกลั่นได้ การผสมน้ำมันไบโอดีเซลในอัตราส่วนร้อยละ 1-2 โดยปริมาตรสามารถเพิ่มความสามารถในการหล่อลื่นในน้ำมันดีเซลได้ โดยเฉพาะกรณีที่จะมีการลดปริมาณกำมะถันในน้ำมันดีเซล

2.9 ตัวอย่างงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์ในวารสารวิชาการนานาชาติ

J.P. Boudou และคณะ [17] ได้ทำการติดหมู่ฟังก์ชันคาร์บอกซิลิกที่ผิวของถ่านกัมมันต์ที่อุณหภูมิต่ำในสภาวะการเกิดพลาสมาในบรรยากาศออกซิเจน ในไมโครเวฟขนาด 2450 จิกะเฮิร์ตซ์ 150 วัตต์ โดยจะมีการวิเคราะห์ทางเคมีพื้นผิวถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการปรับปรุงแล้วกับที่ไม่ผ่านการปรับปรุงจากสมบัติทางความร้อน ไทเทรตหาหมู่ฟังก์ชันกรดและกลีโกลจุลทรรศน์อิเล็กตรอนในส่วนการวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบซึ่งพบว่าการใช้ไมโครเวฟในการทำปฏิกิริยาพลาสมาให้เกิดหมู่ฟังก์ชันที่ผิวคาร์บอนกัมมันต์ ให้ประสิทธิภาพที่ดี ใช้เวลาน้อย เกิดการเผาไหม้เมื่อคาร์บอนน้อยและใช้พลังงานต่ำ

Q.Shu และคณะ [18] ได้ทำการสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันเหลือใช้ผ่าน ตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ชนิด คาร์บอนกัมมันต์กรด ที่ผ่านการปรับปรุงโดยปฏิกิริยาซัลโฟเนชัน ซึ่งพบว่าปฏิกิริยาการเตรียมไบโอดีเซลจากตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดนี้จะเกิดได้ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นต้นไป และจะเกิดปฏิกิริยาได้อย่างสมบูรณ์ที่ 150-300 องศาเซลเซียส และงานวิจัยนี้ทำการเตรียมตัวเร่งด้วยเทคนิคการไหลกลับ (Reflux) ด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น ที่ 210 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 ชั่วโมง ก่อนจะนำไปล้างและอบแห้งเพื่อนำมาเตรียมไบโอดีเซลต่อไป ซึ่งพบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดนี้เตรียมไบโอดีเซลได้ร้อยละผลิตภัณฑ์ที่สูง เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมเนื่องจากสามารถนำตัวเร่งปฏิกิริยามาทำการปรับปรุงแล้วใช้ซ้ำได้ดีกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นของเหลว

J. A. Melero และคณะ [19] ได้ทำการเตรียมไบโอดีเซลจากกากปาล์ม ด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดต่างๆที่ผ่านการคิดหุ้ฟุ้งกัซนซัลโฟนิก ร่วมกับเมทานอล ซึ่งจะพบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิหพันธุ์ชนิดกรดที่เตรียมได้สามารถนำมาเตรียมไบโอดีเซลได้ร้อยละผลิตภันท์สูงถึง 95 ที่เวลาในการสังเคราะห์ 4 ชั่วโมง และอัตราส่วนโมลของเมทานอลต่อน้ำมันที่ 20 ต่อ 1 โดยโมล ที่ 140 องศาเซลเซียส และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 6 ภายใต้สภาวะการกวนและไหลย้อนกลับ

Q. Shu และคณะ [20] ได้ทำการเตรียมไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดฝ้าย ผ่านตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิหพันธุ์ชนิดท่อนาโนคาร์บอนผนังหลายชั้น ที่ผ่านการปรับปรุงผ่านปฏิกิริยาซัลโฟเนชัน โดยตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมได้ผ่านการการวิเคราะห์สมบัติด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดในส่วนการวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบ และเทคนิคการวิเคราะห์พื้นผิว โดยตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมได้จะนำมาเตรียมไบโอดีเซล ซึ่งได้ร้อยละผลิตภันท์สูงถึง 89.93 อัตราส่วนโมลของเมทานอลต่อน้ำมันที่ 18 ต่อ 1 ที่ 260 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 0.2 ซึ่งตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในงานวิจัยนี้สามารถนำกลับมาปรับปรุงสมบัติ และใช้เตรียมไบโอดีเซลซ้ำได้เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

H. Yu และคณะ [21] ทำการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาท่อนาโนคาร์บอนผนังชั้นเดียวผ่านปฏิกิริยาซัลโฟเนชัน ด้วยกรดซัลฟูริกที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 ชั่วโมง แล้วทำการวิเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด อินฟราเรดสเปกโตรสโกปี และรามานสเปกโตรสโกปี โดยจะเปรียบเทียบกับวัสดุคาร์บอนกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงเดียวกัน พบว่าการวิเคราะห์ผลด้วยอินฟราเรดสเปกโตรสโกปีจะพบตำแหน่งสัญญาณเอกลักษณ์ของซัลโฟนิกส์ เช่นที่ตำแหน่ง 1120 cm^{-1} และ 1040 cm^{-1} และพบตำแหน่งสัญญาณ C-S ที่ 520 cm^{-1} อย่างชัดเจน และพบตำแหน่งสัญญาณที่ 684 cm^{-1} แสดงตำแหน่ง S=O เป็นต้น

Y. Li และคณะ [22] ทำการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิหพันธุ์ของนีโอเดียมออกไซด์ที่มีการเติมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ในอัตราส่วนร้อยละ 30 และนำไปผ่านการให้ความร้อนให้เกิดปฏิกิริยาแคลซิเนชันที่ 600 องศาเซลเซียส แล้วนำมาสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันถั่วเหลือง ซึ่งพบว่าตัวเร่ง-

ปฏิกิริยาชนิดนี้สามารถนำมาใช้ซ้ำได้นานกว่า 5 ครั้ง ไม่เกิดมลพิษ และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยผู้วิจัยทำการศึกษาดัชนีปัจจัยด้านอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลและน้ำมัน อุณหภูมิ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา และเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา ซึ่งพบว่าอัตราส่วนโมลเมทานอลต่อน้ำมันถั่วเหลืองที่ดีที่สุดคือ 14 ต่อ 1 ใช้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 6 ที่ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1.5 ชั่วโมง พบว่าได้ร้อยละผลผลิตกัณฑ์ไบโอดีเซลสูงถึง 92.41 ซึ่งได้คุณภาพใช้งานได้เช่นเดียวกับน้ำมันดีเซล

S. Baroutian และคณะ [23] ได้ทำการศึกษาเทคนิคการสังเคราะห์ไบโอดีเซลแบบต่อเนื่องจากน้ำมันปาล์ม โดยตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธุ์ชนิดโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ติดลงบนพื้นผิวคาร์บอนกัมมันต์จากกะลาปาล์มโดยจะนำคาร์บอนกัมมันต์มาทำให้มีตัวในสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ภายใต้สภาวะการกวนที่ 180 รอบต่อนาที ที่ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เตรียมไบโอดีเซลในสภาวะอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส โดยไบโอดีเซลที่ได้จะมีการทดสอบทั้งทางกายภาพและทางเคมี

F. E. Soetaredjo และคณะ [24] ได้ศึกษาการเตรียมไบโอดีเซลจากตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ชนิด เบนโทไนท์ที่มีตัวด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ โดยได้ทำการศึกษาปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อปริมาณเบนโทไนท์ในอัตราส่วนต่างๆ ซึ่งพบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดนี้สามารถเตรียมไบโอดีเซลได้ร้อยละผลผลิตกัณฑ์ที่สูงถึง 90.70 ± 2.47 ที่เวลา 3 ชั่วโมง ที่ 60 องศาเซลเซียส ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 3 อัตราส่วนโมลน้ำมันปาล์มต่อเมทานอลเท่ากับ 6

P.M. Slangen และคณะ [25] ได้ทำการสังเคราะห์โซเดียมเอซิโอไลต์ (NaA) โดยใช้พลังงานจากไมโครเวฟพบว่าเกิดผลึกได้เร็วกว่าการให้ความร้อนทั่วไปเนื่องจากความร้อนสามารถเพิ่มได้อย่างรวดเร็ว และมีการส่งผ่านความร้อนที่ดี โดยจะพบว่าเกิดผลึกขนาด 0.1 ถึง 0.3 ไมโครเมตร ภายในช่วงเวลาเพียง 1 นาที ซึ่งการให้ความร้อนทั่วไปต้องใช้เวลามากถึง 10 นาที โดยทำการวิเคราะห์ผลึกที่ได้ด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด นอกจากนี้ยังพบว่าผลึกที่เกิดขึ้นมีความสมบูรณ์เป็นเนื้อเดียวกัน ขนาดเท่ากัน

R.Kumar และคณะ [26] ได้ศึกษาการเตรียมไบโอดีเซลจากหยีน้ำ (Pongamiapinnata seed oil) โดยใช้ไมโครเวฟมาช่วยในการเกิดปฏิกิริยา ใช้เมทานอลในอัตราส่วนโมล 6 ต่อ 1 และตัวเร่งปฏิกิริยา 2 ชนิด ระหว่างโซเดียมไฮดรอกไซด์และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ที่ 60 องศาเซลเซียส โดยได้ทำการศึกษาปัจจัยปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา และเวลาในการเกิดปฏิกิริยา ซึ่งพบว่าอัตราส่วนตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสม ที่ให้ร้อยละไบโอดีเซลสูงถึง 97 คือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก

A. Demirbas [27] ได้ทำการศึกษาการเตรียมไบโอดีเซลจากน้ำมันเหลือใช้ผ่านปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ร่วมกับเมทานอลพบว่าที่ 87 องศาเซลเซียสจะให้ร้อยละไบโอดีเซลสูงถึง 85 ต้องใช้เมทานอลถึงร้อยละ 90 และใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 6 และพบว่าถ้าใช้อุณหภูมิในการสังเคราะห์ที่ 250 องศาเซลเซียสขึ้นไปในสภาวะเมทานอลที่ความดันสูงจะใช้เวลาเพียง 15 นาที ในการเกิดไบโอดีเซลที่ร้อยละ 80 นอกจากนี้ยังพบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดไบโอดีเซลอย่างมากคือปริมาณน้ำที่ปนเปื้อนในระบบที่จะทำให้ได้ไบโอดีเซลที่ต่ำและทำให้เกิดปฏิกิริยาข้างเคียงที่ทำให้เกิดสบู่

M.Atapour และคณะ [28] ได้ทำการศึกษาการเตรียมไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดอัลมอนสายพันธุ์อิหร่าน ผ่านปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ในช่วงอุณหภูมิ 30-70 องศาเซลเซียส ร้อยละตัวเร่งปฏิกิริยาในช่วงระหว่าง 0.3 ถึง 1.7 และอัตราส่วนโมลเมทานอลต่อน้ำมันตั้งต้นระหว่าง 3 ถึง 11 ต่อ 1 พบว่าได้ร้อยละผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลสูงถึง 90.8 เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 0.9 ที่ 50 องศาเซลเซียส และอัตราส่วนโมลเมทานอลต่อน้ำมัน 7 ต่อ 1 และทำการทดสอบคุณภาพไบโอดีเซลตามมาตรฐานที่กำหนด

S. Sinha และคณะ [29] ได้ศึกษาการเตรียมไบโอดีเซลจากน้ำมันรำข้าว (Rice bran oil) ผ่านปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน ด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมไฮดรอกไซด์ พบว่าสภาวะที่เหมาะสมต่อการเตรียมไบโอดีเซลคือที่ 55 องศาเซลเซียส เวลา 1 ชั่วโมง ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 0.75 และอัตราส่วนโมลเมทานอลต่อน้ำมันรำข้าว 9 ต่อ 1 ให้ร้อยละไบโอดีเซลที่ 90.18 หลัง

สิ้นสุดปฏิกิริยาจะทำการล้างสิ่งปนเปื้อนที่ไม่ใช่ไบโอดีเซลโดยน้ำกลั่นปราศจากไอออนอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส 3 ถึง 4 รอบ

R. Ghanei และคณะ [30] ได้ศึกษาการเตรียมไบโอดีเซลจากน้ำมันดอกทานตะวันผ่านปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน ด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์สภาวะในการสังเคราะห์ที่เวลา 5 ถึง 120 นาที ตัวเร่งร้อยละ 1 ที่ 65 องศาเซลเซียส ได้ร้อยละผลิตภัณฑ์สูงถึง 90 โดยจะทำการวิเคราะห์คุณภาพไบโอดีเซลด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี

บทที่ 3

วิธีการทดลอง

3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

- เตาอบรุ่น Binder
- เครื่องทำความเย็น รุ่น Eyela cool Ace CA-1100
- เครื่องควบคุมความร้อน รุ่น Maxthermo MC-2438
- เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง รุ่น SARTORIUS No.BL201S
- แก๊สโครมาโทกราฟี (Gas chromatography) รุ่น Shimadazu GC-2010+AOC 5000
- เครื่องวัดการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-Ray diffractometer) รุ่น Bruker D8
- เครื่องวิเคราะห์พื้นผิว (Brunauer Emmett Teller) รุ่น SA3100
- กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope)

รุ่น CamScan MX 2000

3.2 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

- น้ำมันปาล์ม จากบริษัทมรกต จำกัด
- เมทานอล เกรดการค้า บริษัท CARLO ERBA reagents
- คาร์บอนกัมมันต์
- ท่อนาโนคาร์บอน
- โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ บริษัท LAB-SCAN analytical science
- แก๊สไนโตรเจน บริษัท Masser Specialty Gas Co.,Ltd.

3.3 การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธุ์สำหรับปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันชนิดเบส

งานวิจัยนี้สารละลายเบสโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ถูกนำไปดูดซับบนพื้นผิวของวัสดุคาร์บอน 2 ชนิดคือ คาร์บอนกัมมันต์และท่อนาโนคาร์บอน โดยใช้กระบวนการทำให้เปียกชุ่ม (Impregnation) โดยนำคาร์บอนกัมมันต์หรือท่อนาโนคาร์บอน จำนวน 10 กรัมไปใส่ในบีกเกอร์บรรจุสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 100 มิลลิลิตร นำไปอบแห้งที่ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ทำการศึกษาหาเวลาที่ใช้ในการทำให้เปียกชุ่ม ที่เหมาะสมโดยพิจารณาจากน้ำหนัก สุทธิของคาร์บอนกัมมันต์หรือท่อนาโนคาร์บอนที่เปลี่ยนไป แล้วแบ่งวัสดุที่ทำให้เปียกชุ่ม ด้วยเบสทั้ง 2 ชนิด เป็น 2 กลุ่ม โดยกลุ่มแรกนำมาเตรียมไบโอดีเซล กลุ่มที่ 2 นำมาให้ความร้อนที่ 800 องศาเซลเซียส แล้วนำมาวิเคราะห์สมบัติ และนำไปใช้ไบโอดีเซลต่อไป

3.4 การเตรียมไบโอดีเซลผ่านปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธุ์

งานวิจัยนี้ทำการเตรียมไบโอดีเซลโดยใช้น้ำมันปาล์มและเมทานอลเป็นสารตั้งต้น และใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธุ์ที่เตรียมได้จากข้างต้น ผ่านปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน ในระบบไหลกลับ (Reflux) เริ่มจากนำน้ำมันปาล์มไปอุ่นที่ 130 องศาเซลเซียส เพื่อไล่ความชื้นและทำการกรองเพื่อกำจัดสิ่งเจือปน จากนั้นนำน้ำมันปาล์มที่ผ่านการเพิ่มความบริสุทธิ์จำนวน 10 มิลลิลิตร ใส่ในขวดก้นกลม จากนั้นทำการเติมเมทานอลจำนวน 50 มิลลิลิตร (อัตราส่วนน้ำมันปาล์ม : เมทานอล ที่ 1:18 โดยโมล) ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาในชนิดและสัดส่วนที่ทำการศึกษา จากนั้นนำของผสมต่อเข้าสู่ระบบไหลกลับและปรับอุณหภูมิที่ทำการศึกษา เมื่อครบเวลาที่ทำการศึกษาให้นำของผสมไบโอดีเซลมาทำการแยกโดยใช้กรวยแยก โดยของเหลวชั้นบนเป็นส่วนของเมทานอลกับน้ำจะถูกแยกออก และชั้นล่างจะเป็นส่วนของไบโอดีเซลและกลีเซอรอลทำการแยกกลีเซอรอลออกจากไบโอดีเซลโดยใช้ น้ำอุ่น 60 องศาเซลเซียส ล้างจนไบโอดีเซลที่ได้จะมีค่าความเป็นกรด เบส เท่ากับ 7 จากนั้นนำผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลที่ได้มาศึกษาทั้งเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณตามมาตรฐานที่กำหนดต่อไป

3.5 การศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อปริมาณและคุณภาพของไบโอดีเซล

3.5.1 ชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา

งานวิจัยนี้ทำการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาบนตัวรองรับตัวเร่งปฏิกิริยาจากวัสดุคาร์บอน 2 ชนิด คือ คาร์บอนกัมมันต์และท่อนาโนคาร์บอน เพื่อพิจารณาว่าตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมจากสถานะใดเหมาะสมต่อการเตรียมไบโอดีเซลเพื่อให้ได้ไบโอดีเซลที่มีสมบัติที่ดีทั้งปริมาณและคุณภาพตามมาตรฐานต่อไป

3.5.2 ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา

จากผลการศึกษาชนิดตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสมต่อการเตรียมไบโอดีเซล ในงานวิจัยนี้ทำการศึกษาผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่ส่งผลต่อสมบัติทั้งด้านปริมาณและคุณภาพของไบโอดีเซลที่เตรียมได้ ซึ่งในงานวิจัยนี้ศึกษาปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่ร้อยละ 1 ถึงร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก

3.5.3 สถานะที่ใช้ในการเตรียมไบโอดีเซล

งานวิจัยนี้ศึกษาสถานะในการเตรียมไบโอดีเซลในระบบไหลกลับ 2 ปัจจัยคือ อุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน โดยอุณหภูมิที่ทำการศึกษายู่ในช่วง 50 ถึง 150 องศาเซลเซียส และเวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยาที่ 1 ถึง 3 ชั่วโมง เพื่อพิจารณาว่าสถานะใดสามารถเตรียมไบโอดีเซลที่มีสมบัติที่ดีทั้งปริมาณและคุณภาพตามมาตรฐานกำหนด

3.6 การศึกษาคุณลักษณะของไบโอดีเซลที่เตรียมได้

การศึกษาลักษณะของไบโอดีเซลที่เตรียมในงานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 2 ด้านคือ เชิงปริมาณ ทำการหาปริมาณร้อยละผลผลิตไบโอดีเซลที่ได้สำหรับการเตรียมไบโอดีเซลในแต่ละสถานะที่ทำการศึกษาเพื่อให้ทราบถึงสถานะที่เหมาะสมสำหรับการเตรียมไบโอดีเซล และเชิงคุณภาพ ทำการหาร้อยละการเปลี่ยนแปลงของน้ำมันปาล์มที่เป็นสารตั้งต้นในรูปของไตรกลีเซอไรด์ ที่เปลี่ยนแปลงเป็นเมทิลเอสเทอร์ หรือไบโอดีเซล โดยใช้เทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี และค่ามาตรฐานอื่น ๆ

บทที่ 4

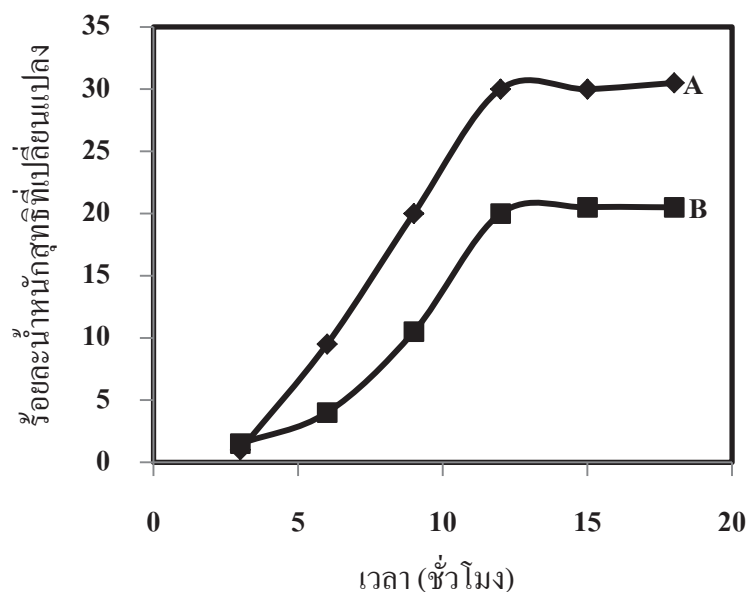
ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ทำการทดลองเตรียมไบโอดีเซลผ่านปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิธีพั่นธุ์ ซึ่งงานวิจัยนี้แบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่ 1 การเตรียมและศึกษาคุณลักษณะของตัวเร่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน และส่วนที่ 2 การเตรียมไบโอดีเซลผ่านปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิธีพั่นธุ์ที่เตรียมได้จากส่วนที่ 1 โดยศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพและปริมาณของไบโอดีเซลที่เตรียมได้ ดังต่อไปนี้ ชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา อุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ในปฏิกิริยา จากนั้นนำไบโอดีเซลที่ได้มาหาค่าร้อยละของผลผลิตและศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซลด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี และมาตรฐานไบโอดีเซลอื่น ๆ

4.1 การศึกษาคุณลักษณะของตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิธีพั่นธุ์

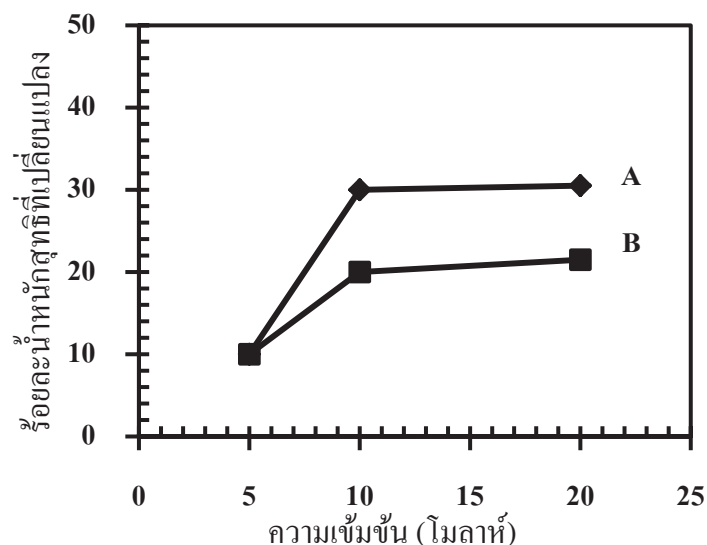
4.1.1 ตัวเร่งปฏิกิริยาเบสจากคาร์บอนกัมมันต์และท่อนานคาร์บอน

การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิธีพั่นธุ์ชนิดเบสจากวัสดุทั้ง 2 ชนิดถูกเตรียมผ่านกระบวนการทำให้เอบซุ่มด้วยเบสชนิดโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 10 โมลาร์ โดยในงานวิจัยนี้จะทำการหาเวลาที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการทำให้วัสดุทั้ง 2 ชนิดเกิดการเอบซุ่ม ด้วยสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์อย่างสมบูรณ์ โดยผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 4.1



ภาพที่ 4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละน้ำหนักสุทธิที่เปลี่ยนแปลงกับเวลาที่ใช้ในการทำให้เหิบซุ่ม ในสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ของคาร์บอนกัมมันต์ (A) และท่อนาโนคาร์บอน (B)

จากภาพที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงภายหลังการนำวัสดุทั้ง 2 ชนิดคือ คาร์บอนกัมมันต์และท่อนาโนคาร์บอนไปทำให้เหิบซุ่ม ด้วยสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ที่เวลาต่าง ๆ จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเมื่อใช้เวลาในการทำให้เหิบซุ่ม มากขึ้น ทำให้ร้อยละน้ำหนักสุทธิที่เปลี่ยนไปเพิ่มขึ้น แต่อย่างไรก็ตามเมื่อเวลาที่ใช้ในการเหิบซุ่มเพิ่มขึ้นมากกว่า 9 ชั่วโมง ค่าร้อยละน้ำหนักสุทธิที่เปลี่ยนแปลงจะเริ่มคงที่ทั้งในกรณีคาร์บอนกัมมันต์และท่อนาโนคาร์บอน แสดงให้เห็นว่าเมื่อใช้เวลาในการอิมตัว 12 ชั่วโมงทำให้วัสดุทั้ง 2 สามารถเหิบซุ่มด้วยสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์อย่างสมบูรณ์ ดังนั้นในการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส จะทำให้เหิบซุ่ม ในสารละลายเป็นเวลา 12 ชั่วโมง



ภาพที่ 4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละน้ำหนักสุทธิที่เปลี่ยนแปลงกับความเข้มข้นโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ของคาร์บอนกัมมันต์ (A) และท่อนาโนคาร์บอน (B) ที่เวลาที่ใช้ในการทำให้อบซอร์บ ในสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 12 ชั่วโมง

จากภาพที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงภายหลังการนำวัสดุทั้ง 2 ชนิด คือ คาร์บอนกัมมันต์และท่อนาโนคาร์บอนไปทำให้อบซอร์บด้วยสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ที่เวลา 12 ชั่วโมง เพื่อศึกษาผลของความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ไปที่ 20 โมลาร์ อัตราการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักผลิตภัณฑ์มีการเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย เมื่อเทียบกับ 10 โมลาร์ ดังนั้นความเข้มข้นที่เหมาะสมในการเตรียมความเข้มข้นสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ จึงเหมาะสมที่ 10 โมลาร์

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบร้อยละการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักสุทธิระหว่างคาร์บอนกัมมันต์กับท่อนาโนคาร์บอน ในภาพที่ 4.1 และ 4.2 พบว่า คาร์บอนกัมมันต์มีร้อยละการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักสุทธิที่มากกว่าท่อนาโนคาร์บอน แสดงให้เห็นว่าสารละลายสามารถเข้าไปในรูพรุนของคาร์บอนกัมมันต์ได้มากกว่าท่อนาโนคาร์บอนเมื่อเปรียบเทียบที่เวลาในการอบซอร์บด้วยสารละลายเท่ากัน

4.1.2 การทดสอบพื้นที่ผิวและขนาดรูพรุนของตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยเทคนิค Brunauer

Emmett Teller (BET)

จากตารางที่ 4.1 แสดงผลการวิเคราะห์พื้นที่ผิวด้วยเครื่องมือ BET พบว่าพื้นที่ผิวของคาร์บอนกัมมันต์มีค่ามากกว่าท่อนาโนคาร์บอน จึงเป็นเหตุผลสนับสนุนการดูดซับสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ใน รูพรุนของคาร์บอนกัมมันต์ได้มากกว่าท่อนาโนคาร์บอน จากนั้นนักหลังการทำให้เอบซุ่มด้วยเบสดังแสดงร้อยละการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักในภาพที่ 4.1 และ 4.2

ตารางที่ 4.1 การวิเคราะห์พื้นที่ผิวคาร์บอนกัมมันต์และท่อนาโนคาร์บอนผนังหลายชั้นด้วยเครื่องมือ BET

สารตัวอย่าง	พื้นที่ผิว (ไม่ผ่านการปรับปรุง) (ตารางเมตร ต่อ กรัม)	พื้นที่ผิว (ผ่านการปรับปรุง) (ตารางเมตร ต่อ กรัม)
คาร์บอนกัมมันต์	816.65	295.87
ท่อนาโนคาร์บอน	421.48	25.35

นอกจากนี้เมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์พื้นที่ผิวต่อน้ำหนักของวัสดุคาร์บอนกัมมันต์ที่ผ่านการปรับปรุงสมบัติความเป็นเบส พบว่ามีพื้นที่ผิวที่ลดลงเท่ากับ 520.78 ตารางเมตรต่อกรัม ขณะที่ท่อนาโนคาร์บอนมีพื้นที่ผิวลดลง 396.13 ตารางเมตรต่อกรัม ซึ่งพื้นที่ผิวที่ลดลงนี้เป็นการบ่งบอกเมื่อนำวัสดุคาร์บอนทั้ง 2 ชนิดไปทำการเผาจะเกิดเป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งสามารถไปทำปฏิกิริยากับโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์และได้ผลผลิตหลักเป็นเกลือโพแทสเซียมคาร์บอเนต ซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาหลักสำหรับปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน โดยข้อดีของตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดนี้คือ จะไม่ถูกชะออกโดยเมทานอล [31] ทำให้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดนี้สามารถทำหน้าที่ในการเร่งปฏิกิริยาได้อย่างมีประสิทธิภาพตั้งแต่เริ่มต้นปฏิกิริยาจนถึงสิ้นสุดปฏิกิริยา

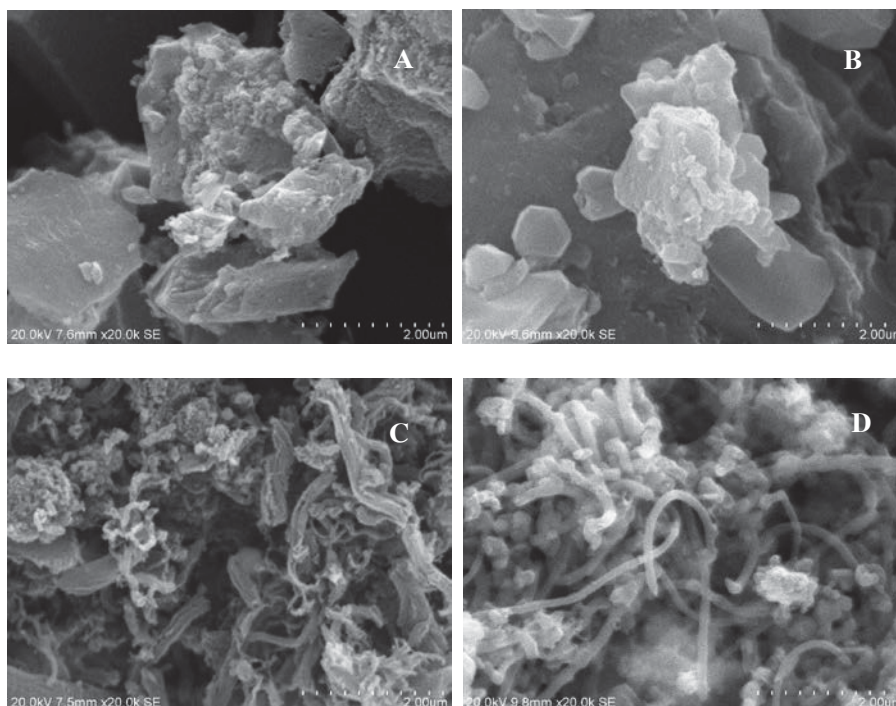
ตารางที่ 4.2 การวิเคราะห์ห้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนของคาร์บอนกัมมันต์และท่อนาโนคาร์บอน-ผนังหลายชั้นด้วยเครื่องมือ BET

สารตัวอย่าง	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนเฉลี่ย (นาโนเมตร)
คาร์บอนกัมมันต์	2.49
ท่อนาโนคาร์บอน	30.82

จากตารางที่ 4.2 แสดงผลการวิเคราะห์ห้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนของคาร์บอนกัมมันต์และท่อนาโนคาร์บอนผนังหลายชั้นด้วยเครื่องมือ BET พบว่าขนาดค่าเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของวัสดุคาร์บอนที่ผ่านการปรับปรุงสมบัติความเป็นเบสทั้งสองมีค่าเกิน 2 นาโนเมตร ซึ่งเป็นค่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนต่ำสุดที่โมเลกุลของน้ำมันพืชจะสามารถเข้าไปทำปฏิกิริยากับหมู่ทำหน้าที่ในการเกิดปฏิกิริยาได้ [31] จึงแสดงให้เห็นว่าตัวเร่งปฏิกิริยาทั้งสองชนิดที่เตรียมได้มีสมบัติที่ดีในการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน สำหรับไบโอดีเซล

4.1.3 การทดสอบสัณฐานวิทยาของตัวเร่งปฏิกิริยาโดยใช้ Scanning Electron Microscope (SEM)

จากภาพที่ 4.3 แสดงผลการทดสอบพื้นที่ผิวก่อน และภายหลังการปรับปรุงสมบัติความเป็นเบสของตัวเร่งปฏิกิริยาคาร์บอนกัมมันต์และท่อนาโนคาร์บอน



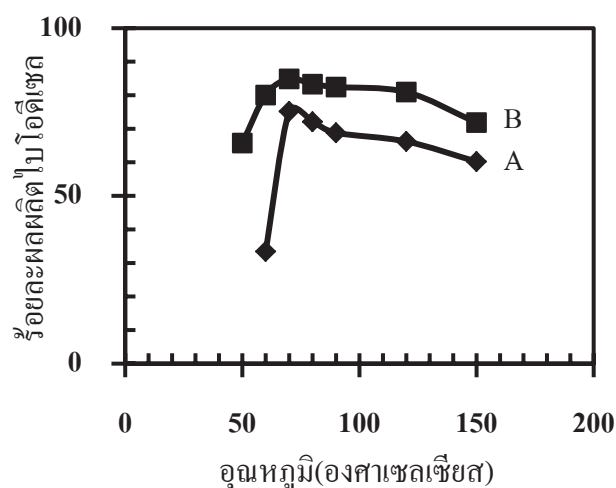
ภาพที่ 4.3 ภาพ SEM ของคาร์บอนกัมมันต์ก่อนการปรับปรุง (A) เทียบกับหลังการปรับปรุงความเป็นเบส (B) และท่อนาโนคาร์บอนก่อนการปรับปรุง (C) เทียบกับหลังการปรับปรุงความเป็นเบส (D)

พิจารณาผลการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาของคาร์บอนกัมมันต์และท่อนาโนคาร์บอนเปรียบเทียบกัน ระหว่างก่อนการปรับปรุง และภายหลังการปรับปรุงความเป็นเบส แสดงให้เห็นว่า ภายหลังการปรับปรุงความเป็นเบสภาพที่ 4.3 (C) และ (D) จะพบว่ามีโพแทสเซียมคาร์บอเนตเกาะอยู่โดยรอบ สอดคล้องกับการทดสอบด้วยเทคนิค BET ในตารางที่ 4.1 ที่แสดงการลดลงของพื้นที่ผิวอย่างชัดเจนทั้งวัสดุคาร์บอนกัมมันต์และท่อนาโนคาร์บอน

4.2 การศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อร้อยละการผลิตไบโอดีเซล

4.2.1 ชนิดของการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาค้นคว้าด้านการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาที่ส่งผลต่อความสามารถในการเตรียมไบโอดีเซล โดยจะแบ่งสภาวะการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาออกเป็น 2 ชนิด คือ คาร์บอนกัมมันต์ที่ผ่านการเอิบซุ่มด้วยเบสเพียงอย่างเดียว (A) และคาร์บอนกัมมันต์ที่ผ่านการเอิบซุ่มด้วยเบสแล้วนำมาให้ความร้อนที่ 800 องศาเซลเซียสในบรรยากาศไนโตรเจน (B) ที่สภาวะการเตรียม ไบโอดีเซลที่อุณหภูมิต่าง ๆ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก



ภาพที่ 4.4 ร้อยละผลผลิตไบโอดีเซลจากตัวเร่งปฏิกิริยาคาร์บอนกัมมันต์ที่อิมตัวด้วยเบส(A) และ คาร์บอนกัมมันต์ที่อิมตัวด้วยเบสแล้วผ่านการให้ความร้อน(B) ที่อุณหภูมิต่างๆ

จากภาพที่ 4.4 แสดงร้อยละผลผลิตไบโอดีเซลเมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเบสที่ต่างชนิดกัน ระหว่างคาร์บอนกัมมันต์ที่ผ่านการเอิบซุ่มด้วยเบสเพียงอย่างเดียว(A) และ คาร์บอนกัมมันต์ที่ผ่านการเอิบซุ่มด้วยเบสแล้วนำมาให้ความร้อนที่ 800 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศไนโตรเจน (B) ที่อุณหภูมิต่าง ๆ พบว่าร้อยละผลผลิตไบโอดีเซลชนิดที่ผ่านการเตรียมด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาคาร์บอนกัมมันต์ที่ผ่านการเอิบซุ่มด้วยเบสแล้วนำมาให้ความร้อนที่ 800 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศไนโตรเจน จะได้ผลผลิตที่มากกว่า อันเนื่องมาจากการให้ความร้อนซ้ำในบรรยากาศไนโตรเจนจะเกิดอนุภาคของเกลือชนิดโพแทสเซียมคาร์บอเนตมายึดเกาะที่ผิวของวัสดุคาร์บอน ซึ่งเกลือชนิดนี้จะทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันของน้ำมันปาล์มได้อย่างมีประสิทธิภาพ

4.2.2 ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาปัจจัยด้านปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ส่งผลต่อความสามารถในการเตรียมไบโอดีเซล โดยพิจารณาร้อยละของผลผลิตที่ได้คาร์บอนกัมมันต์ที่ผ่านการเอิบซุ่มด้วยเบสแล้วนำมาให้ความร้อนที่ 800 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศไนโตรเจน เนื่องจากมีประสิทธิภาพในการเตรียมไบโอดีเซลที่ดีกว่าดังแสดงในภาพที่ 4.4 โดยเตรียมไบโอดีเซลที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง

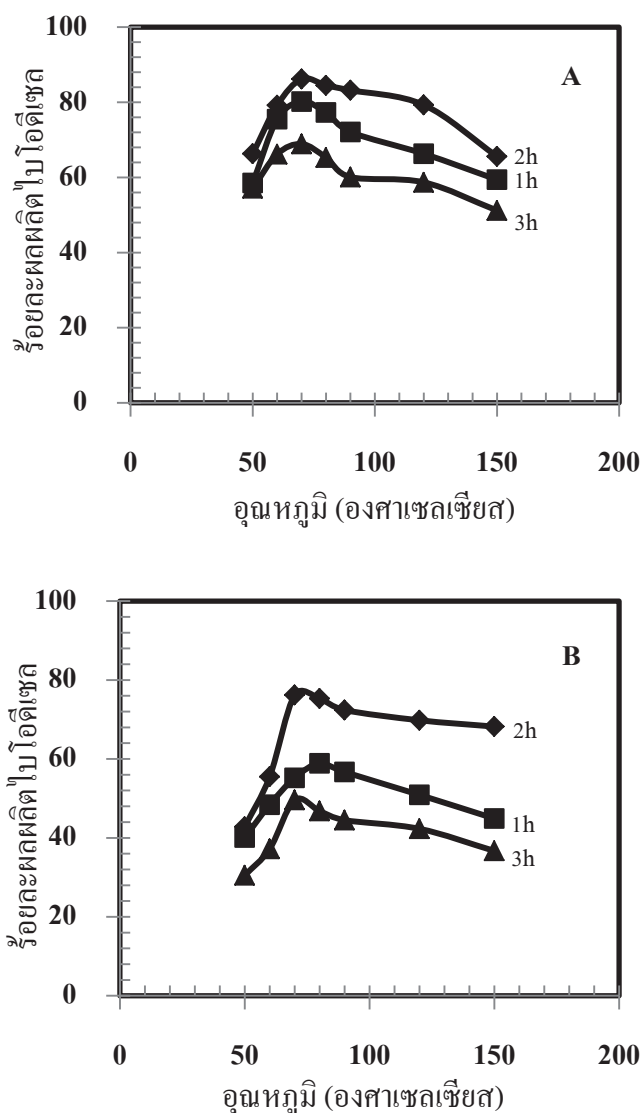
ตารางที่ 4.3 ร้อยละผลผลิตไบโอดีเซลจากตัวเร่งปฏิกิริยาคาร์บอนกัมมันต์ที่เอิบซุ่มด้วยเบสในปริมาณที่แตกต่างกัน

ปริมาณตัวเร่ง- ปฏิกิริยา	ร้อยละผลผลิต			
	ร้อยละ 1	ร้อยละ 3	ร้อยละ 5	ร้อยละ 10
ตัวเร่งปฏิกิริยา				
คาร์บอนกัมมันต์เบส	85.5	89.2	90.4	91.9

จากตารางที่ 4.3 แสดงร้อยละผลผลิตไบโอดีเซลที่เตรียมจากตัวเร่งปฏิกิริยาคาร์บอนกัมมันต์เอิบซุ่มด้วยเบสที่ผ่านการให้ความร้อนที่ 800 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศไนโตรเจน พบว่าเมื่อมีการใช้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น ร้อยละผลผลิตไบโอดีเซลจะเพิ่มขึ้น แต่จะพบว่าที่ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 1 และร้อยละ 3 ร้อยละผลผลิตไบโอดีเซลเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย เมื่อพิจารณาความคุ้มค่าในการใช้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสม จึงเลือกสภาวะการใช้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 1 โดยนำหลักในการศึกษาสมบัติต่าง ๆ ในการเตรียมไบโอดีเซลต่อไป

4.2.3 เวลาและอุณหภูมิที่ใช้ในปฏิกิริยา

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาปัจจัยด้านเวลาและอุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยาที่ส่งผลต่อร้อยละผลผลิตไบโอดีเซล ทั้งระบบที่มีการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาทั้ง 2 ชนิด ที่ผ่านการเอิบซุ่มด้วยเบสและผ่านการให้ความร้อนที่ 800 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศไนโตรเจน ที่เวลาในการเกิดปฏิกิริยาที่ 1, 2 และ 3 ชั่วโมง ในช่วงอุณหภูมิ 50 ถึง 150 องศาเซลเซียส ผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 4.5



ภาพที่ 4.5 กราฟค่าร้อยละผลิตก๊าซไบโอดีเซลที่อุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเบสชนิดคาร์บอนกัมมันต์ (A) และท่อนาโนคาร์บอน (B)

จากผลการทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มเวลาให้กับปฏิกิริยาสามารถทำให้ร้อยละของผลผลิตไบโอดีเซลสูงขึ้น เนื่องจากระบบมีเวลามากขึ้นเพื่อใช้ในการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันเพื่อใช้เปลี่ยนไตรกลีเซอไรด์เป็นเมทิลเอสเทอร์หรือไบโอดีเซล แต่เมื่อเพิ่มเวลาเกินสองชั่วโมงจะได้ร้อยละผลผลิตที่ลดลง อันเนื่องมาจากเวลาที่นานขึ้นส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาย้อนกลับ [32] และได้ร้อยละผลผลิตที่ต่ำกว่าที่สองชั่วโมง

4.3 การศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อร้อยละการเปลี่ยนแปลงสารตั้งต้น

การศึกษาในส่วนนี้ใช้บ่งชี้สมบัติด้านคุณภาพของไบโอดีเซลที่เตรียมได้ภายหลังปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันโดยตรวจสอบปริมาณการเกิดเมทิลเอสเทอร์หรือไบโอดีเซลด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี ผลการทดลองเป็นไปดังตารางที่ 4.4 โดยแสดงร้อยละการเปลี่ยนแปลงไบโอดีเซลที่ผ่านการเตรียมด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาเบสบนวัสดุรองรับชนิดคาร์บอนกัมมันต์และท่อนาโนคาร์บอนที่ผ่านการเอิบซุ่มด้วยเบสและผ่านการให้ความร้อนที่ 800 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศไนโตรเจน

ตารางที่ 4.4 ร้อยละการเปลี่ยนแปลงไบโอดีเซลที่ผ่านการเตรียมด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาเบสบนวัสดุรองรับชนิดคาร์บอนกัมมันต์และท่อนาโนคาร์บอน

ชนิดและปริมาณ ตัวเร่งปฏิกิริยา ชนิดเมทิลเอสเทอร์	คาร์บอนกัมมันต์ ร้อยละ 1	คาร์บอนกัมมันต์ ร้อยละ 1.5	ท่อนาโน คาร์บอน ร้อยละ 1	ท่อนาโน คาร์บอน ร้อยละ 1.5
Myristate(C14:0)	0.78	1.37	-	0.75
Pamitate(C16:0)	35.52	37.13	18.60	37.68
Pamitoleate(C16:1)	0.27	0.32	1.51	0.25
Stearate(C18:0)	3.98	4.27	4.30	3.85
Oleate(C18:1)	44.56	44.25	19.96	44.22
Linoleate(C18:2)	10.35	11.25	6.25	11.05
Linolenate(C18:3)	0.16	0.41	0.86	0.31
รวม(ร้อยละ)	94.5	99.02	51.50	98.47

จากผลการทดลองการหาร้อยละการเปลี่ยนแปลงไบโอดีเซลด้วยเทคนิค GC ที่เตรียมจาก ปฏิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดคาร์บอนกัมมันต์ และท่อนาโนคาร์บอน ที่ผ่านการเอิบซุ่มด้วยเบสและผ่านการให้ความร้อนที่ 800 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศไนโตรเจน พบว่าเมื่อพิจารณาสถานะการเตรียมไบโอดีเซลที่ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่เท่ากัน ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิด คาร์บอนกัมมันต์จะได้ร้อยละการเปลี่ยนแปลงไบโอดีเซลที่มากกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดท่อนาโน- คาร์บอน เนื่องจากวัสดุคาร์บอนกัมมันต์สามารถดูดซับสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ใน รูปพรุนได้มากกว่าท่อนาโนคาร์บอน ดังแสดงในผลการวิเคราะห์พื้นที่ผิวก่อนและหลังการปรับปรุง ด้วยเครื่องมือ BET ในตารางที่ 4.1 ที่พื้นที่ผิวภายหลังการปรับปรุงของคาร์บอนกัมมันต์ลดลง มากกว่าท่อนาโนคาร์บอนจึงเป็นการบ่งบอกถึงปริมาณโพแทสเซียมคาร์บอเนตที่เข้าไปยึดเกาะกับ วัสดุคาร์บอนกัมมันต์ได้มากกว่าท่อนาโนคาร์บอน จึงทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาได้ดีกว่าและได้ผล ร้อยละการเปลี่ยนแปลงไบโอดีเซลที่มากกว่า เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาในปริมาณที่เท่ากันดังแสดงใน ตารางที่ 4.4

ในกรณีที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดคาร์บอนกัมมันต์ในปริมาณร้อยละ 1.5 ที่ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ในการเตรียมไบโอดีเซลพบว่าได้ร้อยละการเปลี่ยนแปลง ไบโอดีเซลสูงถึง 99.02 ซึ่งร้อยละการเปลี่ยนแปลงนี้เป็นการคิดการเปลี่ยนแปลงไปเป็นเมทิลเอส- เทอร์ที่ปริมาณคาร์บอนไม่เกิน C18 แต่ถ้าคิดร้อยละการเปลี่ยนแปลงเป็นเมทิลเอสเทอร์ทั้งหมดใน ระบบพบว่า ได้ร้อยละการเปลี่ยนแปลงสูงถึง 99.98 ดังแสดงในตารางที่ 4.5 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความ สมบูรณ์ของปฏิกิริยาการเตรียมไบโอดีเซลทั้งในส่วนสถานะการเตรียม ปริมาณและชนิดของ ตัวเร่งปฏิกิริยาที่นำมาใช้

ตารางที่ 4.5 ร้อยละการเปลี่ยนแปลงเมทิลเอสเทอร์ที่ผ่านการเตรียมด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาเบสบนวัสดุ
รองรับชนิดคาร์บอนกัมมันตร้อยละ 1.5

ชนิดและปริมาณ ตัวเร่งปฏิกิริยา ชนิดเมทิลเอสเทอร์	คาร์บอนกัมมันต์ ร้อยละ 1.5
Myristate(C14:0)	1.37
Pamitate(C16:0)	37.13
Pamitoleate(C16:1)	0.32
Stearate(C18:0)	4.27
Oleate(C18:1)	44.25
Linoleate(C18:2)	11.25
Linolenate(C18:3)	0.41
Eicosenoate(C20:1)	0.50
Arachidate(C20:0)	0.06
Eicosatrienoate(C20:3)	0.01
Arachidonate(C20:4)	0.01
Eicosatrienoate(C20:3)	0.02
Erucate(C22:1)	0.15
Behenate(C22:0)	0.19
Docosahexaenoate(C22:6)	0.02
รวม(ร้อยละ)	99.98

4.4 การศึกษาคุณภาพไบโอดีเซลตามค่ามาตรฐานที่กำหนด

การศึกษาการเตรียมไบโอดีเซลในปัจจุบัน พบว่าการที่ไบโอดีเซลนอกเหนือจากการผลิตเพื่อให้ได้ผลผลิตมากที่สุดแล้วไบโอดีเซลที่เตรียมได้จะต้องผ่านมาตรฐานต่าง ๆ ตามที่แต่ละมาตรฐานนั้นกำหนด ดังนั้นในงานวิจัยนี้จำเป็นต้องศึกษาค่ามาตรฐานต่าง ๆ โดยในงานวิจัยนี้เลือกเทียบมาตรฐานไบโอดีเซลกับมาตรฐานยุโรป (EN 14214) ของไบโอดีเซลที่เตรียมจากตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดคาร์บอนกัมมันต์ที่ผ่านการเอิบซุ่มด้วยเบสและผ่านการให้ความร้อนที่ 800 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศไนโตรเจน ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.6

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าไบโอดีเซลที่เตรียมได้มีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมเป็นไปตามที่มาตรฐาน EN 14214 กำหนด

ตารางที่ 4.6 ค่ามาตรฐานของไบโอดีเซลที่เตรียมได้ เทียบกับมาตรฐานยุโรป (EN 14214)

คุณสมบัติ	หน่วย	ค่าจากการทดลอง	ค่ามาตรฐาน EN 14214
ปริมาณเมทิลเอสเทอร์	ร้อยละโดยน้ำหนัก	99.02	96.50
ความหนาแน่นที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส	กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร	891	860-900
ความหนืดที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส	ตารางมิลลิเมตร	5.0	3.5-5.0
จุดวาบไฟ	องศาเซลเซียส	175	มากกว่า 101
ค่าซีเทน	-	55.3	มากกว่า 51
ค่าความเป็นกรด	มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ต่อ กรัมไบโอดีเซล	0.29	น้อยกว่า 0.5
ความเสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน	ชั่วโมง	7.2	มากกว่า 6
ปริมาณน้ำที่คงเหลือ	มิลลิกรัม ต่อ กิโลกรัม	370	น้อยกว่า 500
ปริมาณเมทานอลที่คงเหลือ	ร้อยละโดยน้ำหนัก	0.14	น้อยกว่า 0.2
ปริมาณมอนอกลิเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ และไตรกลีเซอไรด์	ร้อยละโดยน้ำหนัก (รวม 3 ชนิด)	0.09	น้อยกว่า 1.2

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อทำการศึกษาสภาวะการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ชนิดเบส บนตัวรองรับวัสดุคาร์บอน 2 ชนิด คือ คาร์บอนกัมมันต์ และท่อนาโนคาร์บอน ให้มีคุณลักษณะที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้งานเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการเปลี่ยนโมเลกุลของน้ำมันปาล์มให้เป็นไบโอดีเซล

การศึกษาการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบสบนวัสดุคาร์บอนทั้ง 2 ชนิดพบว่า เมื่อพิจารณาน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไปของวัสดุทั้งสองมีค่ามากที่สุดเมื่อเตรียมโดยใช้ความเข้มข้นสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ 10 โมลาร์ ที่เวลา 12 ชั่วโมง แต่อย่างไรก็ตามจากผลการทดลองพบว่าคาร์บอนกัมมันต์มีการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักที่มากกว่าท่อนาโนคาร์บอน เนื่องจากพื้นที่ผิวของคาร์บอนกัมมันต์มีค่ามากกว่าท่อนาโนคาร์บอน ซึ่งสอดคล้องกับผลที่ได้รับจากเทคนิค BET จากนั้นทำการศึกษาปัจจัยด้านการให้ความร้อนต่อวัสดุคาร์บอนทั้ง 2 ภายหลังจากเอิบซุ่มด้วยสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์พบว่า ค่าพื้นที่ผิวต่อน้ำหนักของวัสดุคาร์บอนมีค่าลดลง ซึ่งจากผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค SEM ของวัสดุคาร์บอนกัมมันต์และท่อนาโนคาร์บอนพบว่า ภายหลังจากเอิบซุ่มด้วยสารละลายเบสและเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศไนโตรเจน พบว่าจะเกิดอนุภาคของเกล็ดชนิดโพแทสเซียมคาร์บอเนตมายึดเกาะที่ผิวของวัสดุคาร์บอน ซึ่งเกล็ดชนิดนี้จะทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันของน้ำมันปาล์มในการทดลองนี้

จากนั้นนำตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมได้มาใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาสำหรับการเตรียมไบโอดีเซล โดยศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อสมบัติของไบโอดีเซลทั้งเชิงปริมาณและคุณภาพพบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมบนวัสดุคาร์บอนชนิดคาร์บอนกัมมันต์มีประสิทธิภาพการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ดีกว่าท่อนาโนคาร์บอน เมื่อนำมาเตรียมไบโอดีเซลในสภาวะการเตรียมไบโอดีเซล และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่เท่ากัน

โดยพบว่าในกรณีตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมบนวัสดุคาร์บอนชนิดคาร์บอนกัมมันต์สามารถ เตรียม ไบโอดีเซลได้ร้อยละการเปลี่ยนแปลงที่ 99.02 โดยน้ำหนักได้ โดยใช้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 1.5 โดยน้ำหนัก ที่สภาวะการเตรียมที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส และเวลา 2 ชั่วโมง และเมื่อนำ ไบโอดีเซลไปทดสอบสมบัติต่าง ๆ ตามมาตรฐาน EN 14214 พบว่า ไบโอดีเซลที่เตรียมได้สามารถ ผ่านมาตรฐานต่าง ๆ ตามที่มาตรฐานกำหนด

บรรณานุกรม

1. สุพรชัย มั่งมีสิทธิ์. ไบโอดีเซลชุมชนคนรักแก้ว วิธีการอยู่อย่างพอเพียง. พิมพ์ครั้งที่ 1. สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยศิลปากร
2. A.Demirbas “Progress and recent trends in biodiesel fuels” Energy Conversion and Management 50 (2009) 14-34.
3. L.C.Meher, D. VidyaSagar, S.N. Naik “Technical aspects of biodiesel production by transesterification a review” Renewable and Sustainable Energy Reviews 10 (2006) 248–268.
4. D.Y.C Leung, X. Wu, M.K.H. Leung “A review on biodiesel production using catalyzed transesterification” Applied Energy 87 (2010) 1083-1095.
5. Z.Helwani, M.R.Othman, N.Aziz, W.J.N.Fernando, J.Kin “Technologies for production of biodiesel focusing on green catalytic techniques: A review” Fuel Processing Technology 90 (2009) 1502-1514.
6. M.Agarwal, G.Chauhan, S.P.Chaurasia, K.Singh “Study of catalytic behavior of KOH as homogeneous and heterogeneous catalyst for biodiesel production” Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers 43 (2012) 89-94.
7. Q.Shu, Q.Zhang, G.Xu, J.Wang “Preparation of biodiesel using s-MWCNT catalysts and the coupling of reaction and separation” FOOD AND BIOPRODUCTS PROCESSING 87 (2009) 164-170.
8. K.T.Tan, K.T.Lee, A.R.Mohamed “Potential of waste palm cooking oil for catalyst-free biodiesel production” Energy 36 (2011) 2085-2088.
9. T.W.Charpe, V.K.Rathod “Biodiesel production using waste frying oil” Waste Management xxx (2010) xxx-xxx.
10. บุศรินทร์ เมษะปะบุตร. เอกสารประกอบการสอน วิชาเคมีของกระบวนการเร่งปฏิกิริยา. ภาควิชาวิทยาการและวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร

11. รศ.ดร.ธราพงษ์ วิทิตสานต์.ถ่านกัมมันต์ การผลิตและการนำไปใช้.พิมพ์ครั้งที่ 1. ศูนย์วิจัยและตรวจสอบคุณภาพถ่านกัมมันต์ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
12. บทความท่อนาโนคาร์บอน เทคโนโลยีแห่งศตวรรษที่ 21[Online]Accessed 9 March 2009.Available from <http://physics.science.cmu.ac.th/staff/pisith/carbon1.html>
13. I.Sumio. “Helical microtubes of graphitic carbon” Nature 354 (1991) 56-58
14. Synthesis carbon nanotube[Online] Accessed 9 march 2009. Available from <http://ipn2.epfl.ch/CHBU/NTproduction1.htm>
15. สารนำรู้เรื่องพลังงานทดแทน ไบโอดีเซล, กรุงเทพฯ : สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน
16. I.M. Atadashi, M.K.Aroua, A.Abdul Aziz “High quality biodiesel and its diesel engine application : A review” Renewable and Sustainable Energy Reviews 14 (2010) 1999-2008
17. J.P. Boudou , A. Martinez-Alonzo , J.M.D. Tascon “Introduction of acidic groups at the surface of activated carbon by microwave-induced oxygen plasma at low pressure” Carbon 38 (2000) 1021–1029
18. Q. Shu, Z. Nawaz, J. Gao, Y. Liao, Q. Zhang, D. Wang, J. Wang “Synthesis of biodiesel from a model waste oil feedstock using a carbon-based solid acid catalyst: Reaction and separation” Bioresource Technology 101 (2010) 5374–5384
19. J. A. Melero , L.F. Bautista, G. Morales, J. Iglesias, R. Sánchez-Vázquez “Biodiesel production from crude palm oil using sulfonic acid-modified mesostructured catalysts” Chemical Engineering Journal 161 (2010) 323–331
20. Q. Shu, Q. Zhang, G.Xu, Z. Nawaz, D. Wang, J. Wang “Synthesis of biodiesel from cottonseed oil and methanol using a carbon-based solid acid catalyst” Fuel Processing Technology 90 (2009) 1002–1008
21. H. Yu, Y. Jin, Z. Li, F. Peng, H. Wang “Synthesis and characterization of sulfonated single-walled carbon nanotubes and their performance as solid acid catalyst” Journal of Solid State Chemistry 181 (2008) 432–438

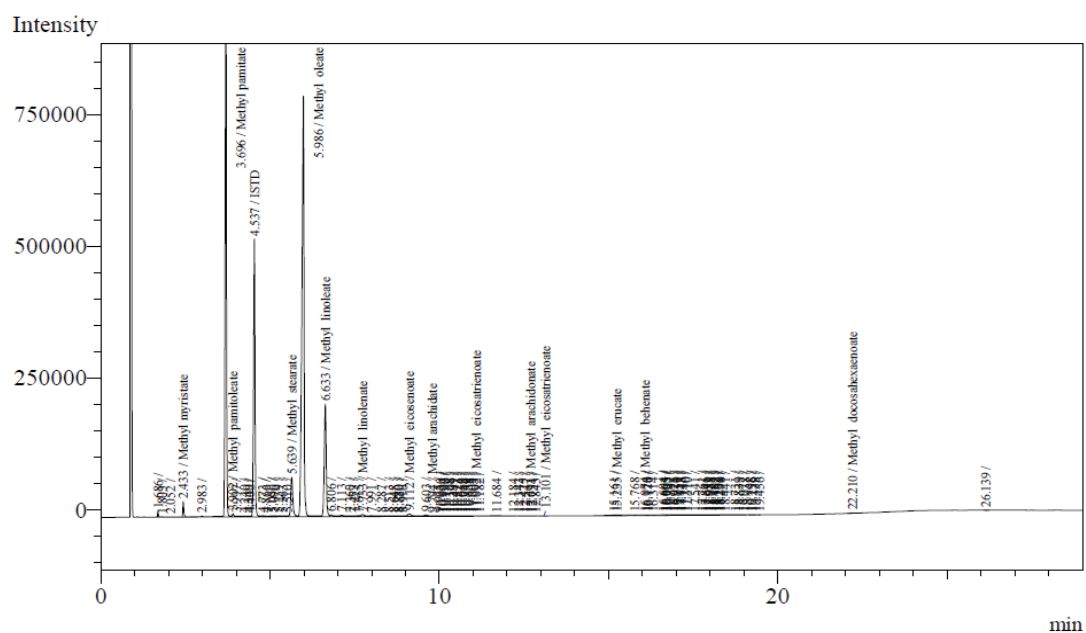
22. Y. Li, F. Qiu, D. Yang, X. Li, P. Sun "Preparation, characterization and application of heterogeneous solid base catalyst for biodiesel production from soybean oil" biomass and bioenergy 35 (2011) 2787-2795
23. S. Baroutian, M. K. Aroua, A. Aziz A. Raman, Nik M.N. Sulaiman "A packed bed membrane reactor for production of biodiesel using activated carbon supported catalyst" Bioresource Technology 102 (2011) 1095–1102
24. F.E. Soetaredjo, A. Ayucitra, S. Ismadji, A.L. Maukar "KOH/bentonite catalysts for transesterification of palm oil to biodiesel" Applied Clay Science 53 (2011) 341–346
25. P.M. Slangen, J.C. Jansen, H. van Bekkum "The effect of ageing on the microwave synthesis of zeolite NaA" Microporous Materials 9 (1997) 259-265
26. R. Kumar, G. Ravi Kumar, N. Chandrashekar "Microwave assisted alkali-catalyzed transesterification of Pongamiapinnata seed oil for biodiesel production" Bioresource Technology 102 (2011) 6617–6620
27. A. Demirbas "Biodiesel from waste cooking oil via base-catalytic and supercritical methanol transesterification" Energy Conversion and Management 50 (2009) 923–927
28. M. Atapour, H.R. Kariminia "Characterization and transesterification of Iranian bitter almond oil for biodiesel production" Applied Energy 88 (2011) 2377–2381
29. S. Sinha, A.K. Agarwal, S. Garg "Biodiesel development from rice bran oil: Transesterification process optimization and fuel characterization" Energy Conversion and Management 49 (2008) 1248–1257
30. R. Ghanei, G.R. Moradi, R. Taherpour Kalantari, E. Arjmandzadeh "Variation of physical properties during transesterification of sunflower oil to biodiesel as an approach to predict reaction progress" Fuel Processing Technology 92 (2011) 1593–1598
31. I. Lukic, J. Krstic, D. Jovanovic, D. Skala "Alumina/silica supported K_2CO_3 as a catalyst for biodiesel synthesis from sunflower oil" Bioresource Technology 100 (2009) 4690-4696

32. J. Yao, L. Ji, P. Sun, L. Zhang, N. Xu “Low boiling point organic amine-catalyzed transesterification of cottonseed oil to biodiesel with trace amount of KOH as co-catalyst” Fuel 89 (2010) 3871-3875

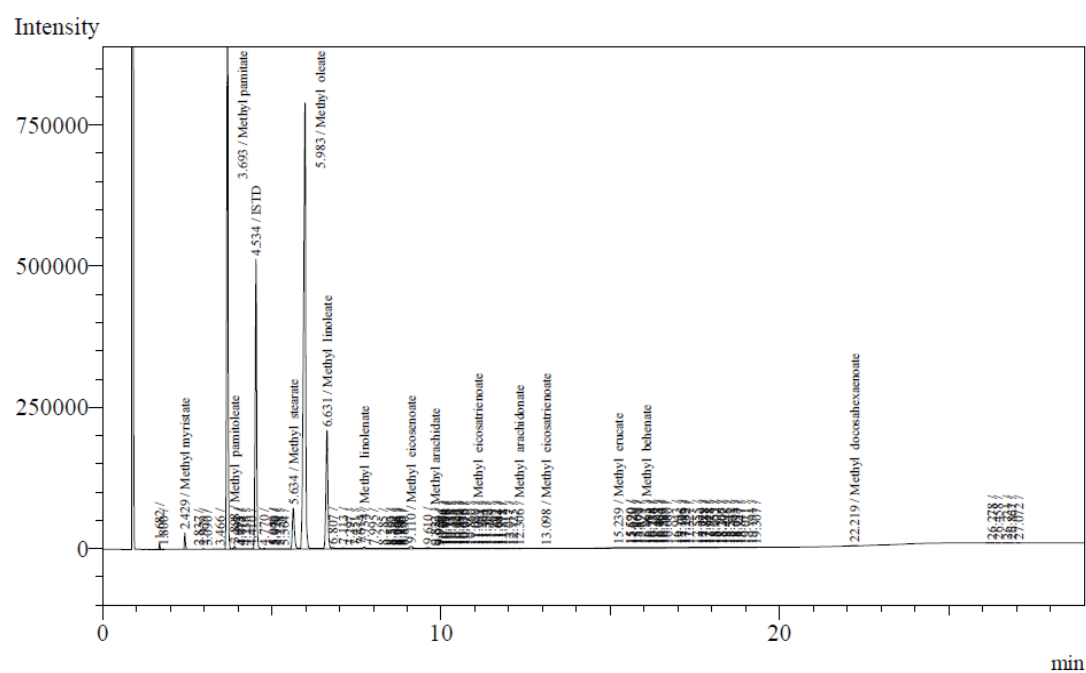
ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ข้อมูลดิบที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟีของไบโอดีเซล
ที่เตรียมจากตัวเร่งปฏิกิริยาเบสบนวัสดุรองรับคาร์บอนกัมมันต์และท่อนาโนคาร์บอน



ภาพที่ ก.3 การวิเคราะห์ไขมันโอดีเซลด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟีของตัวเร่งปฏิกิริยาเบสบนวัสดุรองรับชนิดคาร์บอนกัมมันต์ในปริมาณร้อยละ 1.5 โดยน้ำหนัก ที่ 70 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง



ภาพที่ ก.4 การวิเคราะห์ไขมันโอดีเซลด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟีของตัวเร่งปฏิกิริยาเบสบนวัสดุรองรับชนิดท่อนานาโนคาร์บอนในปริมาณร้อยละ 1.5 โดยน้ำหนัก ที่ 70 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล นาย นิธิ นิธิวัฒนเลิศ
ที่อยู่ 22/2 ซอย นารถสุนทร 4 ถนนสุขุมวิท ตำบล ปากน้ำ อำเภอ เมือง
จังหวัด สมุทรปราการ

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2551 สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาปิโตรเคมีและวัสดุพอลิเมอร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร
วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์ นครปฐม

พ.ศ. 2551 ศึกษาต่อระดับปริญญาโท
สาขาวิชาวิทยาการและวิศวกรรมพอลิเมอร์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร
วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์ นครปฐม

ประสบการณ์ฝึกงาน -

ผลงานทางวิชาการ

- (1) N. Nitiwattanalert, M. Panapoy, B. Ksapabutr “The Production of Biodiesel via Transesterification Reaction of Palm Oil Using Alkali Impregnated Activated Carbon as Heterogeneous Catalyst”, The 2nd MJU-Phare National Research Conference, Phrae, Thailand, 1-2 September 2011