



รายงานการวิจัย
เรื่อง

การสังเคราะห์สารประกอบไฮโดรคาร์บอนจากน้ำมันปาล์มด้วยกระบวนการ
ไฮโดรดีออกซิจีเนชันเพื่อใช้เป็นน้ำมันดีเซล

The Synthesis of Hydrocarbon from Palm Oil using
Hydrodeoxygenation Process for Diesel Application

ผศ.ดร.จิตินาถ สุขนเขตร์
ดร.นครินทร์ ศรีสุวรรณ
นายวีรชน ภูหินกอง

มหาวิทยาลัยสวन्दุสิต

2560

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสวन्दุสิต



รายงานการวิจัย
เรื่อง

การสังเคราะห์สารประกอบไฮโดรคาร์บอนจากน้ำมันปาล์มด้วยกระบวนการ
ไฮโดรดีออกซิจีเนชันเพื่อใช้เป็นน้ำมันดีเซล

The Synthesis of Hydrocarbon from Palm Oil using
Hydrodeoxygenation Process for Diesel Application

ผศ.ดร.ฐิตินาถ สุคนเขตร์

(คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี)

ดร.นครินทร์ ศรีสุวรรณ

(สถาบันนวัตกรรมเทคโนโลยีไทย-ฝรั่งเศส)

นายวีรชน ภูหินกอง

(คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี)

มหาวิทยาลัยสวนดุสิต

2560

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสวนดุสิต

(งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากงบประมาณแผ่นดินด้านการวิจัย ปีงบประมาณ 2559)

หัวข้อวิจัย	การสังเคราะห์สารประกอบไฮโดรคาร์บอนจากน้ำมันปาล์มด้วยกระบวนการไฮโดรดีออกซิจีเนชันเพื่อใช้เป็นน้ำมันดีเซล
ผู้ดำเนินการวิจัย	ผศ.ดร.ฐิตินาถ สุขนเขตร์ ดร.นครินทร์ ศรีสุวรรณ นายวีรชน ภูหินกอง
หน่วยงาน	หลักสูตรอาชีวอนามัยและความปลอดภัย คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสวนดุสิต
ปี พ.ศ.	2560

งานวิจัยนี้มุ่งศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์ไปโอไฮโดรจีเนเตดดีเซลจากน้ำมันปาล์มด้วยกระบวนการไฮโดรดีออกซิจีเนชันเพื่อใช้เป็นน้ำมันดีเซล โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแพลเลเดียมบนตัวรองรับถ่านกัมมันต์ ในการสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว พบว่า ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นกระตุ้นทางเคมีด้วยโซเดียมคลอไรด์ ความเข้มข้น 1 โมลาร์ อัตราส่วนถ่านต่อสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 1:3 กระตุ้นเป็นเวลา 24 ชั่วโมง และเผากระตุ้นที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ที่สภาวะนี้ให้ค่าไอโอดีนนัมเบอร์สูงสุดเท่ากับ 503.45 มิลลิกรัมต่อกรัม ตัวเร่งปฏิกิริยาแพลเลเดียมถูกเตรียมด้วยวิธีการฝังตัวแบบเปียก ซึ่งพื้นที่ผิวเท่ากับ 620 ตารางเมตรต่อกรัม มีขนาดรูพรุนเฉลี่ย เท่ากับ 5.3 ไมโครเมตร และมีปริมาตรรูพรุนเฉลี่ย เท่ากับ 0.26 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม ตัวเร่งปฏิกิริยามีโครงสร้างผลึกแกรไฟต์ และมีอุณหภูมิของการเกิดรีดักชันในช่วง 280-520 องศาเซลเซียส จากปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชัน พบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์ไฮโดรจีเนเตดไปโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม คือ ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง และใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 3 กรัม ที่สภาวะนี้จะให้สารประกอบไฮโดรคาร์บอนส่วน Light fraction (C₈-C₁₂) สูงสุด 89% มีค่าจุดไหลเทลดลง จุดวาบไฟสูงขึ้น และมีค่าความร้อนที่เหมาะสมสำหรับใช้เป็นน้ำมันดีเซลได้

Research Title	The Synthesis of hydrocarbon from Palm Oil using Hydrodeoxygenation process for Diesel Application
Researcher	Asst. Prof. Thitinat Sukonket, Ph.D. Nakarin Srisuwan, Ph.D. Veerachon Phuhinkong
Organization	Occupational Health and Safety Science Faculty of Science and Technology Suan Dusit University
Year	2017

This research aims to study the condition of the synthesis of hydrocarbon from palm oil using hydrodeoxygenation process for diesel application using the palladium catalyst supported on activated carbon. In the synthesis of activated carbon, it was found that at 400°C for 1 h and then activated by 1M sodium chloride solution at the ratio of char:NaCl 1:3 for 24 h and carbonized at 700°C yields the highest iodine number at 503.45 mg/g. The palladium catalyst was prepared by incipient wetness impregnation has the surface area at 620 m²/g, the average pore size about 5.3 μm and the average pore volume about 0.26 cm³/g. The catalyst shows the graphite crystalline structure and has the reduction temperature in the range of 280-520°C. From the hydrodeoxygenation reaction, it was found that, the optimum conditions for synthesis of hydrogenated biodiesel from palm oil are at 300 °C for 3 h and using 3 grams of catalyst. At this condition will obtain the highest Light fraction of hydrocarbon (C₈-C₁₂) at 89%, the pour point was decrease, and the flash point was increase and has the optimum heating value for using as diesel fuel.

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เนื่องจากคณะผู้วิจัยได้รับความช่วยเหลือ ดูแลเอาใจใส่ เป็นอย่างดีจากหลายๆ ฝ่าย คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ประยูร สุรินทร์ ที่กรุณา เป็นผู้ทรงคุณวุฒิในการแนะนำและตรวจสอบคุณภาพของงานวิจัย ขอขอบคุณผู้เชี่ยวชาญและ บุคลากรของสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยสวนดุสิตทุกท่าน ที่สละเวลาในการตรวจทานแก้ไข ข้อบกพร่องของการเขียนงานวิจัย ตรวจทานความถูกต้องของภาษาและพิจารณาความเหมาะสมของ เนื้อหาและเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย คณะผู้วิจัยขอขอบคุณบุคลากรและคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสวนดุสิต ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และเครื่องมือในการทำวิจัย คณะผู้วิจัย ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยสวนดุสิตที่สนับสนุนทุนการวิจัยในครั้งนี้ คณะผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความ กรุณาและความปรารถนาดีของทุกท่านเป็นอย่างยิ่ง จึงขอบคุณไว้ในโอกาสนี้

คณะผู้วิจัย

2560

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
ความเป็นมาและความสำคัญ	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	3
ขอบเขตการวิจัย	3
คำจำกัดความที่ใช้ในงานวิจัย	3
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎี เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
น้ำมันปาล์ม (Palm oil)	5
น้ำมันไบโอดีเซล (Biodiesel)	12
ไบโอไฮโดรจีเนเตดดีเซล (Bio Hydrogenated Diesel)	14
การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (Information) ที่เกี่ยวข้อง	16
กรอบแนวคิดในการวิจัย	
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	20
สารเคมี เครื่องแก้ว และเครื่องมือวิเคราะห์	20
วิธีการทดลอง	22

บทที่ 4	ผลการวิจัย	30
	การผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว	30
	การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาแพลเลเดียมบนตัวรองรับถ่านกัมมันต์ (Pd/C) สำหรับกระบวนการไฮโดรดีออกซีจีเนชัน	33
	ศึกษาสมบัติของน้ำมันปาล์มก่อนผ่านปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซีจีเนชัน	36
	ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์ไฮโดรจีเนเตดไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม	37
	เปรียบเทียบสมบัติของไฮโดรจีเนเตดไบโอดีเซลที่สังเคราะห์ได้กับสมบัติของน้ำมันปาล์ม	40
บทที่ 5	สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	42
	สรุปผลการวิจัย	42
	อภิปรายผล	42
	ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้	43
	ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป	43
บรรณานุกรม		44
	บรรณานุกรมภาษาไทย	44
	บรรณานุกรมภาษาต่างประเทศ	45
ประวัติผู้วิจัย		48

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	มีส่วนประกอบของกรดไขมันเป็นร้อยละของกรดไขมันทั้งหมดของน้ำมันปาล์มจากเนื้อปาล์ม	8
2.2	มีส่วนประกอบของกรดไขมันเป็นร้อยละของกรดไขมันทั้งหมดของน้ำมันปาล์มจากเมล็ดปาล์ม	10
2.3	องค์ประกอบกรดไขมัน (fatty acid) ของน้ำมันปาล์มดิบ และน้ำมันเมล็ดในปาล์ม	11
2.4	สัดส่วนการใช้การใช้เชื้อเพลิงของประเทศไทย	13
4.1	แสดงผลของอุณหภูมิกการเผาถ่านชาร์ที่มีผลต่อถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว	30
4.2	แสดงพื้นที่ผิว ปริมาตรรูพรุน และขนาดรูพรุนของถ่านกัมมันต์	34
4.3	สมบัติของน้ำมันปาล์มก่อนผ่านปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซีจีเนชัน	37
4.4	เปรียบเทียบสมบัติของไฮโดรจีเนเตดไบโอดีเซลที่สังเคราะห์ได้จากสมบัติของน้ำมันปาล์ม	41

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	ลักษณะผลปาล์ม	5
2.2	กรรมวิธีการผลิตน้ำมันปาล์มดิบ (Crude palm oil)	7
2.3	องค์ประกอบของไตรกลีเซอไรด์	12
2.4	ปฏิกิริยา Trans-esterification ในการผลิต Biodiesel จากน้ำมันพืช	13
2.5	แผนพัฒนาไบโอดีเซลปี 2551-2565	14
2.6	การเกิดไฮโดรจีเนชัน การเปลี่ยนน้ำมันให้กลายเป็นไขมัน	15
2.7	กรอบแนวคิดการวิจัย	16
3.1	The Brunauer, Emmett and Teller (BET)	27
3.2	เทคนิคเอกซเรย์ดิฟแฟรกชันและเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนส์ (XRD)	27
3.3	Temperature-programmed Reduction /Oxidation	28
3.4	High Pressure Reactors	29
4.1	แสดงผลของเวลาในการเผาถ่านที่มีผลต่อค่าไอโอดีนนัมเบอร์	32
4.2	แสดงผลของความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่มีผลต่อค่าไอโอดีนนัมเบอร์	33
4.3	แสดงผลของเวลาในการกระตุ้นด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่มีผลต่อค่าไอโอดีนนัมเบอร์	33
4.4	XRD spectra ของถ่านกัมมันต์และแพลเลเดียมบนตัวรองรับถ่านกัมมันต์	35
4.5	อุณหภูมิในการรีดักชันของถ่านกัมมันต์และแพลเลเดียมบนตัวรองรับถ่านกัมมันต์	36
4.6	ผลของอุณหภูมิต่อการสังเคราะห์ไฮโดรจีเนเตดไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม	38
4.7	ผลของเวลาต่อการสังเคราะห์ไฮโดรจีเนเตดไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม	39
4.8	ผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาต่อการสังเคราะห์ไฮโดรจีเนเตดไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม	40

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญ

เนื่องจากจำนวนประชากรเพิ่มสูงขึ้นและการขยายตัวทางเศรษฐกิจอย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้ความต้องการใช้พลังงานของประเทศไทยเพิ่มขึ้นตลอด 30 ปีที่ผ่านมา ในสภาวะปัจจุบันน้ำมันปิโตรเลียมได้ปรับราคาเพิ่มสูงขึ้น ขณะที่เชื้อเพลิงฟอสซิลซึ่งเป็นแหล่งเชื้อเพลิงใช้แล้วหมดไปนับวันจะลดน้อยลง ส่งผลให้ประเทศไทยที่จำเป็นต้องพึ่งพาการนำเข้าน้ำมันปิโตรเลียมจากต่างประเทศเพื่อมาใช้เป็นแหล่งพลังงานหลักของประเทศมากขึ้นเรื่อยๆ โดยในช่วง 5 ปีที่ผ่านมามีการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นเฉลี่ยร้อยละ 2.1 ต่อปี จึงต้องมีการนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศ โดยเฉพาะน้ำมันดิบที่มีสัดส่วนการนำเข้าสูงถึงเกือบร้อยละ 70 ของปริมาณการนำเข้าพลังงานเชิงพาณิชย์ทั้งหมด [กระทรวงพลังงาน, 2557] นำมาซึ่งปัญหาด้านความมั่นคง เศรษฐกิจ และพลังงานของประเทศ ดังนั้นการพัฒนาพลังงานทางเลือกอื่นๆ เพื่อทดแทนการนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศจึงเป็นเรื่องที่ได้รับความสนใจทั้งระดับชาติและนานาชาติ จึงได้มีการสนับสนุนให้วิจัยและพัฒนาด้านพลังงานหมุนเวียน และพลังงานทดแทนที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ในประเทศไทยได้มีนโยบายที่จะส่งเสริมการใช้พลังงานจากแหล่งต่างๆ ภายในประเทศ ได้แก่ ไบโอดีเซลและแก๊สโซฮอลล์ เพื่อเพิ่มสัดส่วนของการใช้พลังงานทดแทนในเชิงพาณิชย์ เป็นร้อยละ 20.3 ในปี 2565 ตามแผนพัฒนาพลังงานทดแทน 15 ปี เพื่อใช้ทดแทนในภาคขนส่งที่มีสัดส่วนการใช้พลังงานร้อยละ 36 ของการใช้พลังงานทั้งหมด [สุวรรณาทวนไกรพล, 2555] ประเทศไทยได้มีการใช้น้ำมันแก๊สโซฮอลล์และน้ำมันไบโอดีเซลกันอย่างแพร่หลาย นอกจากจะเป็นการนำชีวมวลที่เพาะปลูกได้ในประเทศมาแปรรูปให้ได้เป็นพลังงานทางเลือกแล้วยังช่วยเพิ่มมูลค่าให้กับผลผลิตและวัสดุเหลือใช้จากการเกษตร ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อรายได้ของเกษตรกรที่เพิ่มมากขึ้น และพลังงานทดแทนที่ได้จากภาคการเกษตรนับเป็นพลังงานที่สะอาดส่งผลเสียต่อสิ่งแวดล้อมน้อย

น้ำมันไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงที่มีความสำคัญต่อภาคคมนาคมขนส่งของประเทศไทยอย่างยิ่ง เนื่องจากมีสัดส่วนการใช้น้ำมันไบโอดีเซล คิดเป็นร้อยละ 56 ของปริมาณการใช้น้ำมันทั้งหมด [กระทรวงพลังงาน, 2557] ปัจจุบันการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลในประเทศไทยส่วนใหญ่ใช้กระบวนการทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน (Transesterification) ซึ่งจากการวิจัยพบว่าน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตได้นี้มีข้อจำกัดบางประการเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซลที่ได้จากฟอสซิล เช่น มีความหนืดสูงกว่า ให้ค่าความร้อนต่ำกว่า ซึ่งทำให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับเครื่องยนต์ เกิดกลีเซอรอลเป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้ และเกิดน้ำเสียจากกระบวนการจำนวนมาก ดังนั้นกระบวนการไฮโดรดีออกซิเจเนชัน (Hydrodeoxygenation)

เพื่อผลิตไบโอดีเซลไฮโดรเจเนตเตดดีเซล (Bio Hydrogenated diesel: BHD) จึงได้รับความสนใจอย่างมาก กระบวนการนี้ใช้การแตกตัวของไฮโดรเจน (Hydrogenation) ซึ่งเป็นการทำปฏิกิริยาระหว่างน้ำมันพืชกับไฮโดรเจน แล้วกำจัดออกซิเจนออกมาในรูปของน้ำ (Dehydration) หรือคาร์บอนไดออกไซด์ (Decarbonation) ได้ผลิตภัณฑ์เป็นสารไฮโดรคาร์บอนที่ไม่มีซัลเฟอร์ ไม่มีน้ำปน มีสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลอย่างมาก [สุวรรณ ทวนไกรพล, 2555] เมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการทรานเอสเทอร์ริฟิเคชัน พบว่าผลิตภัณฑ์ใหม่นี้ให้ค่าซีเทนและค่าความร้อนสูงกว่า มีความหนืดต่ำกว่า ได้โพรเพนเป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้แทนกลีเซอรอล น้ำมันนี้สามารถนำไปใช้กับเครื่องยนต์เก่าได้โดยไม่ต้องผสมกับน้ำมันดีเซล และมีการปลดปล่อยมลพิษน้อยกว่าเนื่องจากออกซิเจนในโมเลกุลถูกกำจัดออกไป อย่างไรก็ตามกระบวนการนี้ยังต้องใช้ไฮโดรเจนในการเกิดปฏิกิริยา และจำเป็นต้องใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา จึงเป็นงานวิจัยที่ยังคงต้องศึกษาหาภาวะที่เหมาะสมต่อไป จากงานวิจัยที่ผ่านมามีการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาหลายประเภท ทั้งที่เป็นโลหะ เช่น แพลเลเดียม (Pd) [A. Santana, 2007, M. Izadifar, 2007, M.Cristian, 2006, Jhon F., 2009, Natthida Numwong, 2012] แพลทตินัม (Pt) [Madsen A.T., 2011] โมลิตินัม (Mo) [Sankaranarayanan, T.M., 2011] โคบอลต์ (Co) [M.Cristian, 2006, Ochoa-Hernandez, C., 2013] วาเนเดียม (V) [Jhon F., 2009] และ นิกเกิล (Ni) [Kubic'ka, D., 2010, Santillan-Jimenez, E., 2013, Liu, J., 2012, Morgan, T., 2012, Ochoa-Hernandez, C., 2013, Onyestyak, G., 2012, Sankaranarayanan, T.M., 2011, Bruno S. Souza. 2012, Yang, Y., 2013] เป็นต้น ตัวเร่งปฏิกิริยา พบว่า โลหะแพลเลเดียมและนิกเกิลเหมาะสมสำหรับปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิเจเนชัน โดยโลหะแพลเลเดียมจะใช้ได้ดีกับสารตั้งต้นที่เป็นกรดไขมันอิสระ ในขณะที่นิกเกิลใช้ได้ดีกับสารตั้งต้นที่เป็นไตรกลีเซอไรด์ [Onyestyak, G., 2012] โลหะเหล่านี้ส่วนใหญ่จะใช้กับตัวรองรับอลูมินา ซิลิกาหรือถ่านกัมมันต์ จากผลการวิจัยพบว่าตัวรองรับประเภทถ่านกัมมันต์จะให้พื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาที่มากกว่าตัวรองรับชนิดอื่น [Worapon Kiatkittipong, 2013] ในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้ตัวรองรับถ่านกัมมันต์สำหรับเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาแพลเลเดียมและนิกเกิล

ปัจจุบันการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลในประเทศไทยส่วนใหญ่ใช้น้ำมันปาล์มเป็นวัตถุดิบ ซึ่งส่งผลให้มีการส่งเสริมการเพาะปลูกปาล์มอย่างกว้างขวางเพื่อให้มีปริมาณน้ำมันปาล์มส่วนเกินจากการบริโภคมาใช้ในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซล แต่ในปี 2555 ประเทศไทยได้มีการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนไบโอดีเซลในน้ำมันดีเซลจากร้อยละ 5 (B5) เป็นร้อยละ 3.5 (B3.5) เนื่องจากปริมาณสต็อกน้ำมันปาล์มต่ำกว่าปกติ และได้ปรับสัดส่วนเป็นไม่เกินร้อยละ 5 จนปัจจุบันและคาดว่าจะมีการใช้สัดส่วน ร้อยละ 7 (B7) ในปี 2557 และพัฒนาส่งเสริมให้มีสัดส่วนเป็นร้อยละ 10 และ เป็น B100 ในปี พ.ศ. 2565 โดยกระทรวงพลังงานได้มีแนวทางในการส่งเสริมพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมัน และมีการวิจัยเพื่อหาน้ำมันไบโอ

ดีเซลประเภทอื่นๆ มาทดแทนน้ำมันไบโอดีเซลจากกระบวนการทรานเอสเทอร์ริฟิเคชัน [สุวรรณาทวนไกรพล, 2555]

จากความต้องการในการพัฒนาน้ำมันไบโอดีเซลชนิดใหม่ คณะผู้วิจัยจึงมีความสนใจจะนำน้ำมันปาล์มมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซล โดยใช้กระบวนการไฮโดรดีออกซิจีเนชันแทนกระบวนการทรานเอสเทอร์ริฟิเคชัน มุ่งเน้นศึกษาหาภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์ไฮโดรจีเนเตดไบโอดีเซล โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีพื้นที่ผิวมาก และเปรียบเทียบสมบัติของไฮโดรจีเนเตดไบโอดีเซลที่สังเคราะห์ได้กับน้ำมันไบโอดีเซลจากกระบวนการอื่น ซึ่งคาดว่าจะได้น้ำมันไบโอดีเซลที่มีความหนืดลดลง ให้ค่าความร้อนมากขึ้น ความเป็นกรดเบสเหมาะสมมากยิ่งขึ้น เพื่อเป็นทางเลือกสำหรับประเทศในการสร้างความมั่นคงด้านพลังงานให้มากขึ้น

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มด้วยกระบวนการไฮโดรดีออกซิจีเนชัน
2. ศึกษาเปรียบเทียบสมบัติของไบโอดีเซลที่สังเคราะห์ได้กับน้ำมันดีเซล และน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากกระบวนการอื่น

ขอบเขตการวิจัย

ศึกษากระบวนการสังเคราะห์น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มด้วยกระบวนการไฮโดรดีออกซิจีเนชัน ผลิตภัณฑ์ที่ได้เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล

คำจำกัดความที่ใช้ในงานวิจัย

น้ำมันปาล์ม (Palm oil) เป็นน้ำมันพืช ที่ใช้วัตถุดิบ คือผลของต้นปาล์ม ที่มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า อีเลอีส กินีเอ็นซิส (*Elaeis guineensis*) ผลปาล์มน้ำมัน เป็นพืชน้ำมันซึ่งมีน้ำมันร้อยละ 56 มีสีเหลืองส้มของแคโรทีน

น้ำมันไบโอดีเซล (Biodiesel) เป็นเชื้อเพลิงเหลวที่ผลิตจากที่ผลิตจากน้ำมันพืชและไขมันสัตว์ เช่น ปาล์ม สนุ่นดำ มะพร้าว ทานตะวัน ถั่วเหลือง เมล็ดเรพ และน้ำมันพืช/น้ำมันสัตว์ที่ผ่านการใช้งานแล้ว นำมาทำปฏิกิริยาทางเคมี "transesterification" ร่วมกับเมทานอลจนเกิดเป็นสารเอสเทอร์ที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล เรียกว่า "ไบโอดีเซล" หรือ "B100" น้ำมันไบโอดีเซลสามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงแทนปิโตรเลียมดีเซลในสัดส่วนผสมต่างๆ ได้โดยไม่เกิดผลกระทบต่อ

ระบบต่าง ๆ กับเครื่องยนต์ดีเซล ไม่เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม สามารถย่อยสลายได้โดยกระบวนการทางชีวภาพ และเกิดมลพิษทางอากาศน้อยกว่าน้ำมันดีเซล

ไบโอไฮโดรจีเนเตดดีเซล (Biohydrogenated diesel) เป็นเชื้อเพลิงดีเซลผลิตจากน้ำมันพืชโดยใช้กระบวนการไฮโดรทรีตติ้ง (hydrotreating process) ซึ่งคล้ายคลึงกับเทคโนโลยีการผลิตที่ใช้ในโรงกลั่น ในการเกิดปฏิกิริยาจะใช้แก๊สไฮโดรเจนน้ำมันทำปฏิกิริยากับโมเลกุลไตรกลีเซอไรด์ของน้ำมันพืช โดยมีตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะบนตัวรองรับ ที่อุณหภูมิ 350-400°C ความดัน 2-5 Mpa จะได้ผลผลิตหลักเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนเหลวบริสุทธิ์ร้อยละ 83-86 ที่มีสมบัติใกล้เคียงน้ำมันดีเซลจากปิโตรเลียม แต่มีค่าดัชนีซีเทนสูงกว่า มีจุดหมอกต่ำ ไม่มีสารพอลิเอโรแมติกและซัลเฟอร์ ใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลได้โดยตรงหรือปรับปรุงโครงสร้างให้มีจุดเดือดเหมาะสมเพื่อเป็นเชื้อเพลิงเครื่องบินชีวภาพ (bio-jet fuel) ผลผลิตข้างเคียงจากกระบวนการ ได้แก่ ไฮโดรคาร์บอนเบา เช่น โพรเพนและแนฟทา ร้อยละ 2-5 น้ำและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 12-16 (วัณณฉัตรบุญหลง, 2555)

กระบวนการไฮโดรดีออกซิจีเนชัน (Hydrodeoxygenation) เป็นกระบวนการที่ใช้ในการผลิตไบโอไฮโดรจีเนเตดดีเซล (Hydrogenated biodiesel) กระบวนการนี้ใช้การแตกตัวของไฮโดรเจน (Hydrogenation) ซึ่งเป็นการทำปฏิกิริยาระหว่างน้ำมันพืชกับไฮโดรเจน แล้วกำจัดออกซิเจนออกมาในรูปของน้ำ (Dehydration) หรือคาร์บอนไดออกไซด์ (Decarbonation) ได้ผลิตภัณฑ์เป็นสารไฮโดรคาร์บอนที่ไม่มีซัลเฟอร์ไม่มีน้ำปน มีสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล บางครั้งเรียกกระบวนการนี้ว่า ไฮโดรจีเนชัน/ ดีไฮเดรชัน

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้กระบวนการสังเคราะห์น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มด้วยกระบวนการไฮโดรจีเนชัน ซึ่งเป็นพลังงานทางเลือกชนิดใหม่ที่มีสมบัติที่ดีในการใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลและจัดเป็นพลังงานสะอาดสามารถนำไปขยายผลในระดับชุมชนและอุตสาหกรรมได้ ผลงานวิจัยสามารถเผยแพร่หรือลงตีพิมพ์ในวารสารทางวิชาการ ตีพิมพ์ในวารสารระดับนานาชาติ พร้อมทั้งนำเสนอผลงานทางวิชาการในรูปแบบต่างๆ ตลอดจนนำเสนอในเชิงพาณิชย์ได้

บทที่ 2

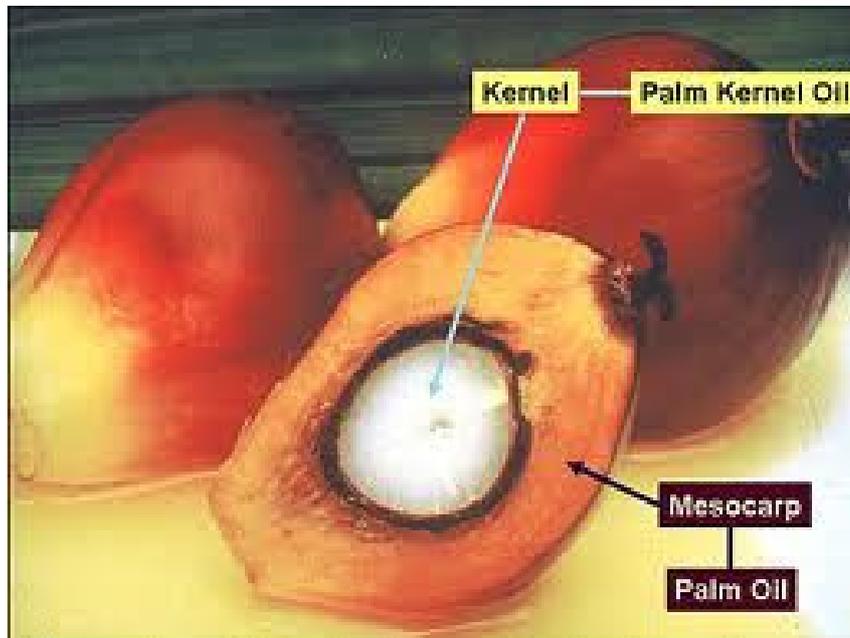
แนวคิด ทฤษฎี เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. น้ำมันปาล์ม (Palm oil)

น้ำมันปาล์ม (palm oil) เป็นน้ำมันพืช (vegetable oil) ที่ใช้วัตถุดิบ คือผลของต้นปาล์ม ที่มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า อีเลอีส กินีเอ็นซิส (*Elaeis guineensis*) ผลปาล์มน้ำมัน (palm) เป็นพืช น้ำมัน (oil corp) ซึ่งมีน้ำมันร้อยละ 56 มีสีเหลืองส้มของแคโรทีน (carotene) น้ำมันปาล์ม ได้จาก ผลปาล์ม 2 ส่วนคือ (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์, 2557)

1. จากเปลือกหุ้มภายนอก (mesocarp) น้ำมันที่ได้เรียกว่า น้ำมันจากเนื้อเมล็ดปาล์ม (palm oil)

2. จากเนื้อในของเมล็ด (palm kernel) น้ำมันที่ได้เรียกว่า น้ำมันจากเมล็ดปาล์ม palm kernel oil ซึ่งมีน้ำมันร้อยละ 44-48



ภาพที่ 2.1 ลักษณะผลปาล์ม

ที่มา: พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์. 2557

ชนิดของน้ำมันปาล์ม (palm oil)

น้ำมันปาล์ม เป็นอาหารควบคุมเฉพาะ จากประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 56 (พ.ศ. 2524) เรื่อง น้ำมันปาล์ม ได้แบ่งประเภทของน้ำมันปาล์มดังนี้

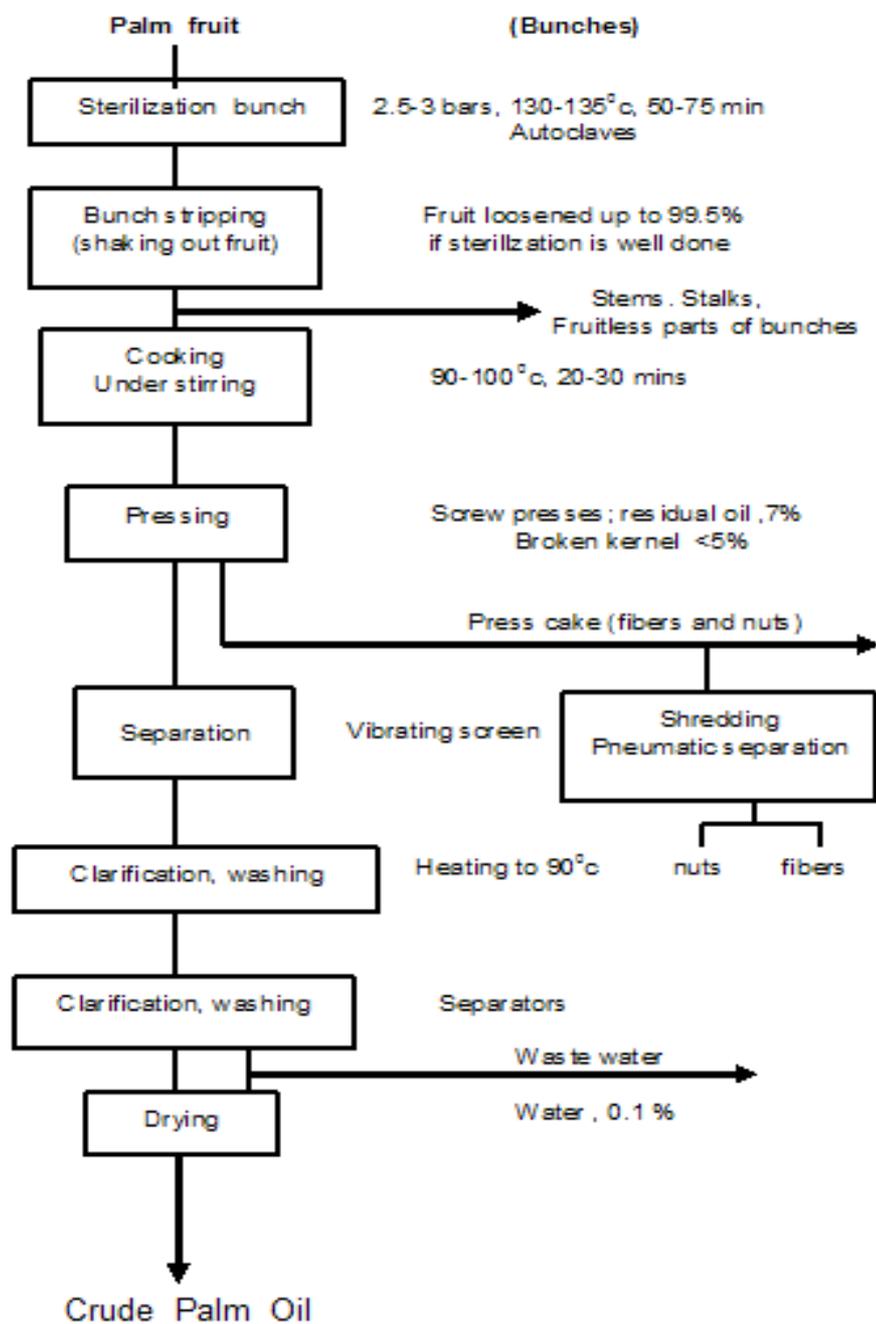
- (1) น้ำมันปาล์มจากเนื้อปาล์ม (palm oil)
- (2) น้ำมันปาล์มโอสีอินจากเนื้อปาล์ม (palm olein)
- (3) น้ำมันปาล์มสเตียรินจากเนื้อปาล์ม (palm stearin)
- (4) น้ำมันปาล์มจากเมล็ดปาล์ม (palm kernel oil)
- (5) น้ำมันปาล์มโอสีอินจากเมล็ดปาล์ม (palm kernel olein)
- (6) น้ำมันปาล์มสเตียรินจากเมล็ดปาล์ม (palm kernel stearin)

การแปรรูปน้ำมันปาล์ม การผลิตน้ำมันปาล์มให้ทำได้ ดังนี้

(1) วิธีธรรมชาติ ทำโดยการบีบอัด หรือบีบอัดโดยใช้ความร้อน หรือวิธีธรรมชาติอื่น ตามที่ได้รับความเห็นชอบจาก สำนักงาน คณะกรรมการอาหารและยา และนำมาทำให้สะอาดโดยการล้าง การตั้งไว้ให้ตกตะกอน (sedimentation) การกรอง (filtration) หรือการหมุนเหวี่ยง (centrifuge)

(2) วิธีผ่านกรรมวิธี ทำโดยนำน้ำมันปาล์มที่ได้จากธรรมชาติหรือที่ได้จากการสกัดด้วย สารละลายตามที่ได้รับความเห็นชอบจากสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา และนำมาผ่านกรรมวิธี ทำให้บริสุทธิ์อีกครั้งหนึ่ง

(3) วิธีอื่นตามที่ได้รับความเห็นชอบจากสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา
คุณภาพมาตรฐานของน้ำมันปาล์ม



ภาพที่ 2.2 กรรมวิธีการผลิตน้ำมันปาล์มดิบ (Crude palm oil)

ที่มา: ศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันสุราษฎร์ธานี. 2559

คุณภาพมาตรฐานของน้ำมันปาล์ม (ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 56 พ.ศ.2524) เรื่อง น้ำมันปาล์ม กำหนดคุณภาพน้ำมันปาล์ม ดังนี้

1. น้ำมันปาล์มจากเนื้อปาล์ม (palm oil)

น้ำมันจากเนื้อปาล์ม น้ำมันปาล์มโอลีนจากเนื้อปาล์ม (palm olein) และ น้ำมันปาล์มสเตียรีนจากเนื้อปาล์ม (palm stearin) ที่ผลิตเพื่อจำหน่าย นำเข้าเพื่อจำหน่าย หรือที่จำหน่าย เพื่อใช้รับประทานหรือใช้ปรุงแต่งอาหาร ต้องมีคุณภาพหรือมาตรฐาน ดังต่อไปนี้

(1) มีค่าของกรด (acid value) ไม่เกิน 10 มิลลิกรัม โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ต่อ น้ำมัน 1 กรัม สำหรับน้ำมันปาล์ม ที่ทำโดยวิธีธรรมชาติ และไม่เกิน 0.6 มิลลิกรัม โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ต่อน้ำหนัก 1 กรัม สำหรับน้ำมันปาล์มที่ทำโดยวิธีผ่านกรรมวิธี

(2) มีค่าเพอร็อกไซด์ (peroxide value) ไม่เกิน 10 มิลลิกรัมสมมูลย์เพอร็อกไซด์ออกซิเจน ต่อน้ำมัน 1 กิโลกรัม

(3) มีส่วนประกอบของกรดไขมันเป็นร้อยละของกรดไขมันทั้งหมด โดยใช้วิธีก๊าซลิควิดโครมาโตกราฟี หรือ จีแอลซี (Gas Liquid Chromatography หรือ GLC) ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 2.1 มีส่วนประกอบของกรดไขมันเป็นร้อยละของกรดไขมันทั้งหมดของน้ำมันปาล์มจากเนื้อปาล์ม

กรดไขมันองค์ประกอบ	ค่ามาตรฐาน (ร้อยละ)
กรดลอริก (Lauric acid)	ไม่เกิน 1.2
กรดไมริสติก (Myristic acid)	ระหว่าง 0.5 ถึง 5.9
กรดปาลมิติก (Palmitic acid)	ระหว่าง 32 ถึง 59
กรดปาลมิโตเลอิก (Palmitoleic acid)	ไม่เกิน 0.6
กรดสเตียริก (Stearic acid)	ระหว่าง 1.5 ถึง 8.0
กรดโอลีอิก (Oleic acid)	ระหว่าง 27 ถึง 52.0
กรดลิโนลีนิก (Linoleic acid)	ระหว่าง 5.0 ถึง 14
กรดลิโนเลนิก (Linolenic acid)	ไม่เกิน 1.5
กรดอะราชิดิก (Arachidic acid)	ไม่เกิน 1.0

ที่มา: ศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันสุราษฎร์ธานี. 2559

(4) มีค่าสaponification value) ระหว่าง 190 ถึง 209 มิลลิกรัม โปแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ต่อน้ำมัน 1 กรัม

(5) มีค่าไอโอดีนแบบวิจส์ (iodine value, Wijs) ดังนี้

(ก) ระหว่าง 50-56 สำหรับน้ำมันปาล์มจากเนื้อปาล์ม

(ข) ไม่น้อยกว่า 55 สำหรับน้ำมันปาล์มโอลีนจากเนื้อปาล์ม

(ค) ไม่เกิน 48 สำหรับน้ำมันปาล์มสเตอรินจากเนื้อปาล์ม

6) มีสารที่สaponifyไม่ได้ (unsaponifiable matter) ไม่เกินร้อยละ 1.2 ของน้ำหนัก

(7) มีสิ่งระเหยได้ (volatile matter) ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ไม่เกินร้อยละ 0.2 ของน้ำหนัก

(8) มีปริมาณสบู่ (soap content) ไม่เกินร้อยละ 0.005 ของน้ำหนัก

(9) มีกลิ่นและรสตามลักษณะเฉพาะของน้ำมันปาล์มจากเนื้อปาล์ม

(10) มีสิ่งอื่นที่ไม่ละลาย (Insoluble impurities) ไม่เกินร้อยละ 0.05 ของน้ำหนัก

(11) มีปริมาณแคโรทีนอยด์ (carotenoid) ทั้งหมด คำนวณเป็นบีตา-แคโรทีน ไม่น้อยกว่า 500 มิลลิกรัม ต่อน้ำมัน 1 กิโลกรัม และไม่เกิน 2,000 มิลลิกรัม ต่อน้ำมัน 1 กิโลกรัม สำหรับน้ำมันปาล์มที่ทำโดยวิธีธรรมชาติ

(12) ไม่มีกลิ่นหืน (rancidity)

(13) ไม่มีน้ำมันแร่

2. น้ำมันจากเมล็ดปาล์ม

น้ำมันปาล์มจากเมล็ดปาล์ม (palm kernel oil) น้ำมันปาล์มโอลีนจากเมล็ดปาล์ม (palm kernel olein) น้ำมันปาล์มสเตอรินจากเมล็ดปาล์ม (palm kernel stearin) ที่ผลิตเพื่อจำหน่ายนำเข้าเพื่อจำหน่าย หรือที่จำหน่าย เพื่อใช้รับประทานหรือใช้ปรุงแต่งอาหาร ต้องมีคุณภาพหรือมาตรฐาน ดังต่อไปนี้

(1) มีค่าของกรด (Acid value) ไม่เกิน 0.6 มิลลิกรัม โปแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ต่อน้ำมัน 1 กรัม สำหรับน้ำมันปาล์มที่ทำโดยวิธีผ่านกรรมวิธี

(2) มีค่าเปอร์ออกไซด์ (Peroxide value) ไม่เกิน 10 มิลลิกรัมสมมูลย์เปอร์ออกไซด์ออกซิเจน ต่อน้ำมัน 1 กิโลกรัม

(3) มีส่วนประกอบของกรดไขมันเป็นร้อยละของกรดไขมันทั้งหมดโดยใช้วิธีกาซาลิควิดโครมาโตกราฟี หรือ จีแอลซี (Gas Liquid Chromatography) หรือ G L C) ดังนี้ เว้นแต่น้ำมัน

ปาล์ม โอลีอินจากเมล็ดปาล์มและน้ำมันปาล์มสเตียรินจากเมล็ดปาล์ม ให้มีได้ตามที่ได้รับความเห็นชอบจากสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา

ตารางที่ 2.2 มีส่วนประกอบของกรดไขมันเป็นร้อยละของกรดไขมันทั้งหมดของน้ำมันปาล์มจากเมล็ดปาล์ม

กรดไขมันองค์ประกอบ	ค่ามาตรฐาน (ร้อยละ)
กรดคาโปรอิก (Caproic acid)	ไม่เกิน 0.5
กรดคาปริลิก (Caprylic acid)	ระหว่าง 2.4 ถึง 6.2
กรดคาปริค (Capric acid)	ระหว่าง 2.6 ถึง 7.0
กรดลอริก (Lauric acid)	ระหว่าง 41 ถึง 55
กรดไมริสติก (Myristic acid)	ระหว่าง 14 ถึง 20
กรดปาล์มมิติก (Palmitic acid)	ระหว่าง 6.5 ถึง 11
กรดสเตียริก (Stearic acid)	ระหว่าง 1.3 ถึง 3.5
กรดโอลีอิก (Oleic acid)	ระหว่าง 10 ถึง 23
กรดไลโนลีโอิก (Linoleic acid)	ระหว่าง 0.7 ถึง 5.4

ที่มา: ศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันสุราษฎร์ธานี. 2559

(4) มีค่าสaponification value) ระหว่าง 230 ถึง 254 มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ต่อน้ำมัน 1 กรัม

(5) มีค่าไอโอดีนแบบวิจส์ (Iodine value, Wijs) ระหว่าง 13 ถึง 23 เว้นแต่น้ำมันปาล์มโอลีอินจากเมล็ดปาล์ม และน้ำมันปาล์มสเตียรินจากเมล็ดปาล์ม ให้มีได้ตามที่ได้รับความเห็นชอบจากสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา

(6) มีสารที่สaponification ไม่ได้ (Unsaponifiable matter) ไม่เกินร้อยละ 1 ของน้ำหนัก

(7) มีสิ่งที่ระเหยได้ (Volatile matter) ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ไม่เกินร้อยละ 0.2 ของน้ำหนัก

(8) มีปริมาณสบู่ (Soap content) ไม่เกินร้อยละ 0.005 ของน้ำหนัก

(9) มีกลิ่นและรสตามลักษณะเฉพาะของน้ำมันปาล์มจากเมล็ดปาล์ม

(10) มีสิ่งอื่นที่ไม่ละลาย (Insoluble impurities) ไม่เกินร้อยละ 0.05 ของน้ำหนัก

(11) ไม่มีกลิ่นหืน

(12) ไม่มีน้ำมันแร่ น้ำมันปาล์มที่ผลิตตามวิธีอื่นในข้อ 3 (3) ให้ได้รับการยกเว้นไม่ต้องมีคุณภาพหรือมาตรฐานตาม (3) (4) (5) (6) และ (9) แต่ต้องมีคุณภาพหรือมาตรฐานตามที่ได้รับความคิดเห็นชอบจากสำนักงาน คณะกรรมการอาหารและยา

ตารางที่ 2.3 องค์ประกอบกรดไขมัน (fatty acid) ของน้ำมันปาล์มดิบ และน้ำมันเมล็ดในปาล์ม

กรดไขมัน	น้ำมันปาล์มดิบ (Crude Palm Oil)	น้ำมันเมล็ดในปาล์ม (Palm Kernel Oil)
กรดไขมันอิ่มตัว (saturated fatty acid)	50%	82%
Caproic acid (C6:0)	-	0.1 - 0.5
Caprylic acid (C8:0)	-	3.4 - 5.9
Capric acid (C10:0)	-	3.3 - 4.4
Lauric acid (C12:0)	0.1 - 0.4	46.3 - 51.1
Myristic acid (C14:0)	1.0 - 1.4	14.3 - 16.8
Palmitic acid (C16:0)	40.9 - 47.5	6.5 - 8.9
Stearic acid (C18:0)	3.8 - 4.8	1.6 - 2.6
Arachidic acid (C20:0)	0 - 0.8	-
กรดไขมันไม่อิ่มตัว (unsaturated fatty acid)	50%	18%
Palmitoleic acid (C16:1)	0 - 0.6	-
Oleic acid (C18:1)	36.4 - 41.2	13.2 - 16.4
Linoleic acid (C18:2)	9.2 - 11.6	2.2 - 3.4
Linolenic acid (C18:3)	0 - 0.5	-

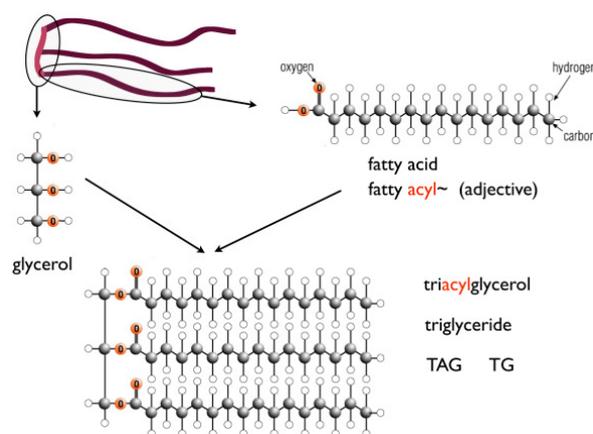
ที่มา: ศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันสุราษฎร์ธานี. 2559

2.2 น้ำมันไบโอดีเซล (Biodiesel)

น้ำมันไบโอดีเซล เป็นเชื้อเพลิงเหลวที่ผลิตจากที่ผลิตจากน้ำมันพืชและไขมันสัตว์ เช่น ปาล์ม สบู่ดำ มะพร้าว ทานตะวัน ถั่วเหลือง เมล็ดเรพ และน้ำมันพืช/น้ำมันสัตว์ที่ผ่านการใช้งานแล้ว นำมาทำปฏิกิริยาทางเคมี "transesterification" ร่วมกับเมทานอลจนเกิดเป็นสารเอสเทอร์ที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล เรียกว่า "ไบโอดีเซล" หรือ "B100" น้ำมันไบโอดีเซลสามารถนำไปใช้เป็น

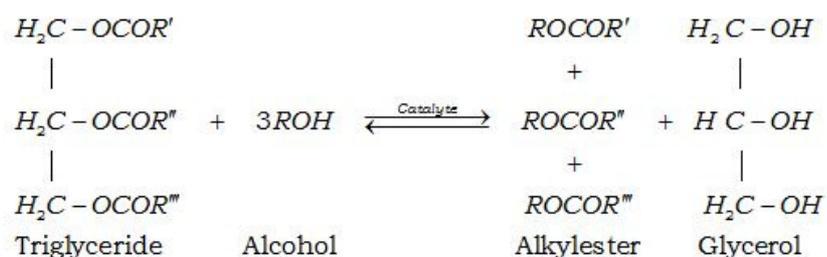
เชื้อเพลิงแทนปิโตรเลียมดีเซลในสัดส่วนผสมต่างๆ ได้โดยไม่เกิดผลกระทบต่อระบบต่าง ๆ กับเครื่องยนต์ดีเซล ไม่เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม สามารถย่อยสลายได้โดยกระบวนการทางชีวภาพ และเกิดมลพิษทางอากาศน้อยกว่าน้ำมันดีเซล (ERIA Research Project Working Group, 2010)

การผลิตไบโอดีเซลจะนำน้ำมันพืชและไขมันสัตว์ ซึ่งมีองค์ประกอบทางเคมีของเป็นไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride) ที่ประกอบด้วยกรดไขมัน (Fatty acid) และกรีเซอริน (Glycerin) ดังแสดงในภาพที่ 2.3 เมื่อไตรกรีเซอไรด์นี้ รวมตัวกับสารเร่งปฏิกิริยาชนิดที่เป็นด่าง (Base catalyst) เช่น โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (Potassium Hydroxide (KOH)) โดยมีปริมาณแอลกอฮอล์ที่เกินพอ (Excess alcohol) จะทำให้เกิดการรวมพันธะของกรดไขมัน และแอลกอฮอล์ เกิดเป็น "Biodiesel" โดยได้กลีเซอรอล (Glycerol) ซึ่งเป็นสารเคมีที่สามารถใช้ประโยชน์ได้ในอุตสาหกรรมยา และเครื่องสำอาง เป็นผลพลอยได้ (By product) ปฏิกิริยานี้ เรียกว่า "Trans-esterification" ดังแสดงรูปที่ 1 โดยที่ R คือ คาร์บอน 16-18 อะตอม ซึ่งมีพันธะคู่ระหว่าง C = C ตั้งแต่ 1-3 คู่ [Richard Feinman, 2011]



ภาพที่ 2.3 องค์ประกอบของไตรกลีเซอไรด์

ที่มา: Richard Feinman, 2011



ภาพที่ 2.4 ปฏิกิริยา Trans-esterification ในการผลิต Biodiesel จากน้ำมันพืช

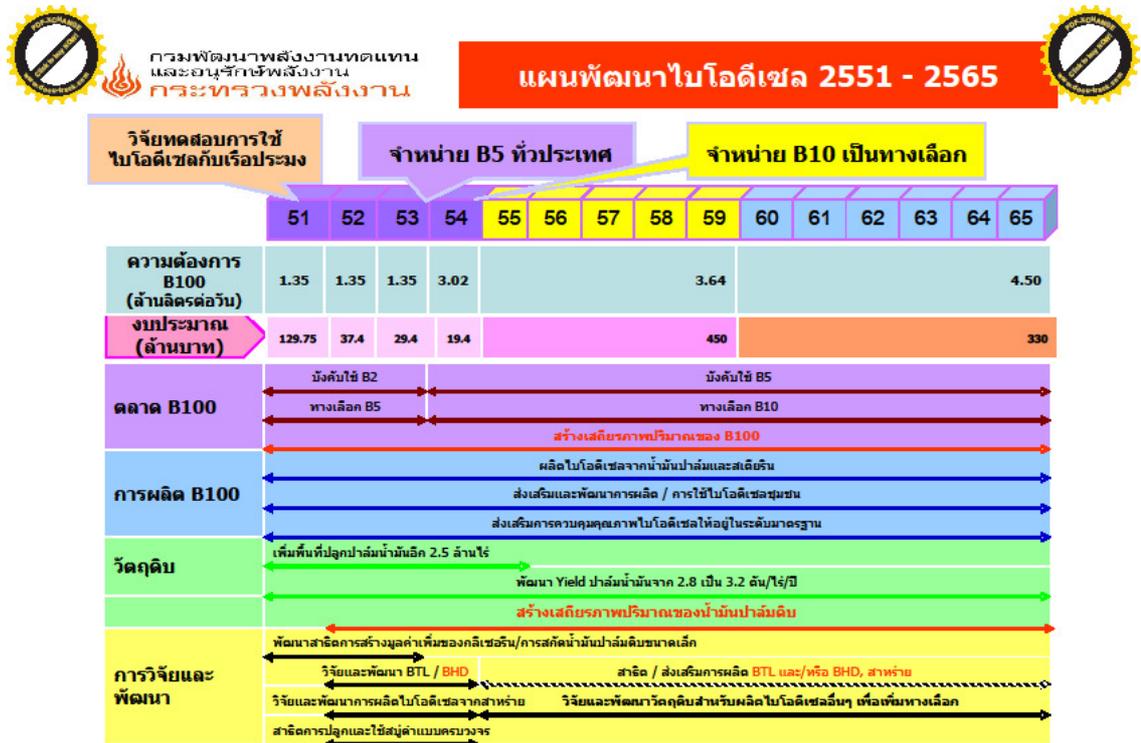
ปัจจุบันมีการนำม้นดีเซลที่จำหน่ายจะผสมไบโอดีเซลไม่เกินร้อยละ 5 และเรียกว่าน้ำมันดีเซล ซึ่งมีสัดส่วนการใช้ร้อยละ 56 ซึ่งสูงกว่าการใช้เชื้อเพลิงชนิดอื่น [2] ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 2.4 สัดส่วนการใช้การใช้เชื้อเพลิงของประเทศไทย

ประเภทเชื้อเพลิง	สัดส่วน (%)
เบนซิน	25
ดีเซล	56
LPG	8
NGV	11
รวม	100

อ้างอิงข้อมูลจาก สถานการณ์การใช้น้ำมันและไฟฟ้า 3 เดือนแรกของปี 2556 (กระทรวงพลังงาน, 2557)

จากข้อมูลการใช้น้ำมันดีเซล ในช่วง 3 เดือนแรกของ ปี 2556 ศูนย์พยากรณ์และสารสนเทศพลังงาน รายงานว่ามีปริมาณการใช้น้ำมันดีเซลเฉลี่ยอยู่ที่ระดับ 60.6 ล้านลิตรต่อวัน เพิ่มขึ้นจากช่วงเดียวกันของปี 2555 ร้อยละ 5.7 และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงานจึงได้จัดทำแผนพัฒนาไบโอดีเซล ปี 2551-2565 ดังแสดงในแผนภาพที่ 1 จากแผนพัฒนาแสดงให้เห็นว่าในปี 2555-2559 จะมีการเพิ่มสัดส่วนของปริมาณไบโอดีเซลในน้ำมันเป็น B10 และมีการวิจัยพัฒนาการผลิตไฮโดรเจนเตตไบโอดีเซลในเชิงพาณิชย์



ภาพที่ 2.5 แผนพัฒนาไบโอดีเซลปี 2551-2565

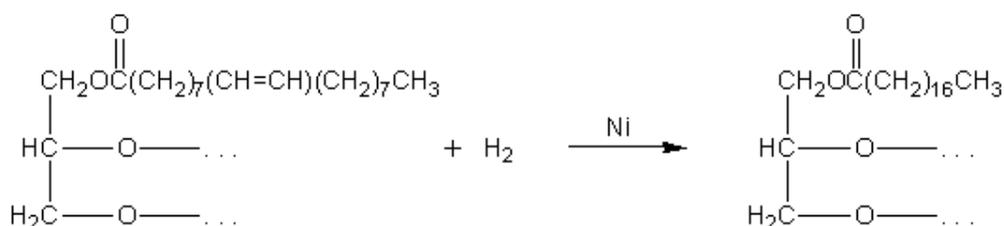
ที่มา: กระทรวงพลังงาน, 2557

2.3 ไบโอดีโรเจเนเตดดีเซล (Bio Hydrogenated diesel: BHD)

กระบวนการไฮโดรดีออกซิจีเนชัน (Hydrodeoxygenation) เป็นกระบวนการที่ใช้ในการผลิตไบโอดีโรเจเนเตดดีเซล (Hydrogenated biodiesel) กระบวนการนี้ใช้การแตกตัวของไฮโดรเจน (Hydrogenation) ซึ่งเป็นการทำปฏิกิริยาระหว่างน้ำมันพืชกับไฮโดรเจน แล้วกำจัดออกซิเจนออกมาในรูปของน้ำ (Dehydration) หรือคาร์บอนไดออกไซด์ (Decarbonation) ได้ผลิตภัณฑ์เป็นสารไฮโดรคาร์บอนที่ไม่มีขั้วจึงไม่มีน้ำปน มีสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล บางครั้งเรียกกระบวนการนี้ว่า ไฮโดรจีเนชัน/ ดีไฮเดรชัน (Hydrogenation/ Dehydration) [4]

ปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชันเป็นการเติมไฮโดรเจนเข้าไปยังคาร์บอน ณ ตำแหน่งที่ไม่อิ่มตัวของกรดไขมัน ทำให้กรดไขมันเปลี่ยนจากชนิดที่ไม่อิ่มตัวมาเป็นชนิดที่อิ่มตัว ทำให้เปลี่ยนจากน้ำมันมาเป็นไขมันเนื่องจากเมื่อกรดไขมันอิ่มตัวมากขึ้นจุดหลอมเหลวจะเพิ่มขึ้นจึงทำให้เปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นของแข็ง นิยมใช้ในการทำเนยขาวและเนยเทียม อย่างไรก็ตามระหว่างกระบวนการทำไฮโดรจีเนชันจะทำให้กรดไขมันจำนวนหนึ่งถูกเปลี่ยนไปอยู่ในรูปทรานส์ไอโซเมอร์ การผลิตเนยขาว

หรือเนยเทียมในระดับอุตสาหกรรมมีการผ่านก๊าซไฮโดรเจนที่ความดันสูงลงน้ำมันโดยใช้ไอออนของโลหะหนัก เช่น นิเกิลหรือพลาตินัมเป็นสารเร่งปฏิกิริยา ดังรูปที่ 4



ภาพที่ 2.6 การเกิดไฮโดรจีเนชัน การเปลี่ยนน้ำมันให้กลายเป็นไขมัน

ในการสังเคราะห์ไฮโดรจีเนเตดไบโอดีเซล ไตรกลีเซอไรด์ของน้ำมันจะเกิดปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชันกลายเป็นสารที่มีขนาดโมเลกุลเล็กลง ได้แก่ ไดกลีเซอไรด์ มอนอกลิเซอไรด์ และกรดคาร์บอกซิลิก เป็นต้น จากนั้นจะมีการกำจัดออกซิเจนออกจากสารโมเลกุลเล็กเหล่านี้โดยอาจเกิดปฏิกิริยาต่างๆ ดังนี้ [11]

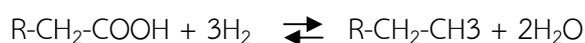
1. ปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชัน (Decarboxylation)



2. ปฏิกิริยาดีคาร์บอนิลเลชัน (Decarbonylation)



3. ปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชัน (Hydrodeoxygenation)



2.4 การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (information) ที่เกี่ยวข้อง

ในปี 2010 Alamu และคณะ ได้สังเคราะห์และน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันมะพร้าว โดยใช้กระบวนการทรานเอสเทอริฟิเคชัน ใช้ น้ำมันมะพร้าว 100g 20% เอทานอล และใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.8% เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ที่อุณหภูมิ 65°C เวลา 120 min พบว่าได้ปริมาณน้ำมันไบโอดีเซลที่ 10.4% จากนั้นศึกษาการผสมน้ำมันไบโอดีเซลที่สังเคราะห์ได้ พบว่าก่อนผสมน้ำมันไบโอดีเซลมีความหนืด 43.3 mm²/s ซึ่งมากกว่าน้ำมันดีเซลจากปิโตรเลียม (2.847 mm²/s) แต่เมื่อผสมกับน้ำมันดีเซลจากปิโตรเลียม (B10) พบว่าความหนืดลดลง (3.03 mm²/s)

ในปี 2012 Hossain และคณะ ได้สังเคราะห์น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันมะพร้าวเพื่อเป็นเชื้อเพลิงทางเลือกให้กับเครื่องยนต์ดีเซล โดยศึกษาสมบัติและประสิทธิภาพของไบโอดีเซลที่สังเคราะห์ได้และปริมาณที่ผสมในน้ำมันดีเซล พบว่าน้ำมันไบโอดีเซลที่สังเคราะห์ได้มีสมบัติต่างจากน้ำมันดีเซลเล็กน้อย เครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดสอบสามารถทำงานอย่างมีประสิทธิภาพเมื่อใช้น้ำมันไบโอดีเซลที่สังเคราะห์ได้โดยไม่ต้องปรับแต่งเครื่องยนต์

ในปี 2007 Santana และคณะ ได้สังเคราะห์ *trans* C 18:1 และ stearic ด้วยกระบวนการพาร์เชียลไฮโดรจีเนชัน (partial hydrogenation) จาก น้ำมันดอกทานตะวัน และใช้ supercritical (SC) dimethyl ether (DME) เป็นตัวทำละลาย บนตัวเร่งปฏิกิริยา eggshell 0.5% Pd/Al₂O₃ และ uniform 2% Pd/C ใช้อุณหภูมิในช่วง 456–513 K ความดัน 18–23MPa space-velocity (WHSV = 41–975 h⁻¹) อัตราส่วนสารตั้งต้น (oil:H₂:DME) เท่ากับ 1:4:95 mol% พบว่าตัวเร่งปฏิกิริยา 2% Pd/C ให้ *trans* C 18:1 ต่ำกว่า ส่วน eggshell 0.5% Pd/Al₂O₃ ให้ stearic น้อย

ในปี 2007 Izadifar และคณะ ได้ศึกษาหาภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์ cisoleic acid และ trans isomer จากน้ำมันพืช ด้วยกระบวนการไฮโดรจีเนชัน เพื่อให้ได้ ปริมาณ cisoleic acid มากขึ้น และลดปริมาณ trans isomer ให้น้อยลง โดยใช้ Genetic Algorithm ช่วยในการรวมกระบวนการต่างๆ เข้าด้วยกันแล้วได้ cisoleic acid ให้ได้ปริมาณมากและให้ trans isomer ลดลง พบว่า Genetic Algorithm สามารถช่วยในการหากระบวนการที่มีประสิทธิภาพในการผลิตได้

ในปี 2008 Karabulut และคณะ ได้ศึกษาสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการไฮโดรจีเนชันน้ำมันถั่วเหลือง ได้แก่ iodine value, refractive index, selectivity ratio, fatty acid composition, trans fatty acids และ solid fat content (SFC) เมื่อทำปฏิกิริยาที่ 100 min, 220

°C และความดันก๊าซไฮโดรเจน 2.5 atm บนตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิล พบว่า ค่า refractive index และ iodine number ลดลง แต่ปริมาณ total trans fatty acid เพิ่มขึ้นตั้งแต่นาทีที่ 10 จนถึงสิ้นสุดปฏิกิริยา cis 18:3 และ cis 18:2 fatty acids จะอิมตัวและถูกเปลี่ยนไปเป็น dien, monoen หรือไอโซเมอร์ของตัวเอง ในขณะที่ oleic acid เริ่มเปลี่ยนไปเป็น stearic acid และค่า SFC เพิ่มขึ้นตลอดปฏิกิริยา

ในปี 2013 Pinto และคณะ ได้สังเคราะห์ liquid bio-chemicals จากน้ำมัน rapeseed ด้วยกระบวนการไฮโดรจีเนชัน (hydrogenation) โดยมุ่งเน้นศึกษากระบวนการที่ให้ผลิตภัณฑ์เป็นสารประกอบแอรอแมติก ซึ่งมีคุณค่าทางเศรษฐกิจ ตัวแปรที่ศึกษาได้แก่ อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา เพื่อหาภาวะที่ดีที่สุดในการสังเคราะห์ ในการทดลองใช้ความดันของก๊าซไฮโดรเจนเริ่มต้นที่ 1.10 MPa อุณหภูมิในช่วง 200 °C ถึง 400 °C และเวลา 6 และ 180 min และใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Co และ Mo จากการทดลองพบว่าที่ 400 °C เวลา 120 min จะได้สารประกอบไฮโดรคาร์บอน 92% เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา เมื่อไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ได้ลดลงเหลือ 85% และที่ 400 °C เวลา 180 min จะได้ปริมาณสารประกอบไฮโดรคาร์บอนสูงสุดที่ 97% โดยเป็นสารประกอบแอรอแมติกประมาณ 50%ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงได้ เนื่องจากความหนืดต่ำ นอกจากนี้ยังได้สารอื่นที่มีประโยชน์จากปฏิกิริยาอีกหลายชนิด

ในปี 2006 Piqueras และคณะ ได้สังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาแพลเลเดียมบนตัวรองรับแอลฟา-อลูมินา โดยเน้นศึกษาผลของขนาดอนุภาคตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีต่อความว่องไวและความเลือกจำเพาะ ในภาวะที่ใช้โพรเพนเหนือจุดวิกฤตเป็นตัวทำละลาย พบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีขนาดอนุภาคเล็ก (<2 nm) จะให้ fatty acid อิมตัว และได้ cis-isomer

ในปี 2009 Sanchez และคณะ ได้สังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาแพลเลเดียมอลูมินา (Pd/Al₂O₃) และใช้ cordierite และ Fecralloy เป็น substrates แบบ metallic และ ceramic ด้วยเทคนิค washcoating เพื่อใช้ในกระบวนการพาร์เซียลไฮโดรจีเนชันของน้ำมันดอกทานตะวันที่อุณหภูมิ 373 K และ ความดัน 413 kPa และเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับตัวเร่งปฏิกิริยาแบบผง พบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาแบบที่มีโครงสร้างให้ผลิตภัณฑ์ที่เป็น trans-isomers น้อยกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาแบบผง ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบ ceramic ยังคงมีประสิทธิภาพและความเลือกจำเพาะที่ดี แต่สำหรับตัวเร่งปฏิกิริยาแบบ metallic มีการเสื่อมประสิทธิภาพประมาณ 10%

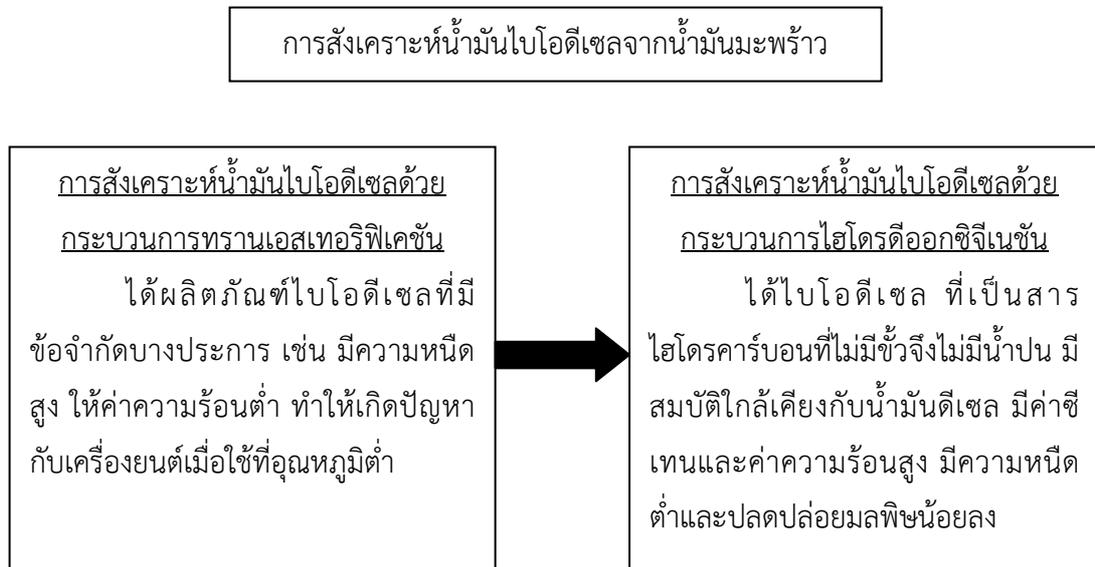
ในปี 2012 Natthida และคณะ ได้ศึกษาสมบัติและองค์ประกอบของไบโอดีเซล หรือ fatty acid methyl ester (FAMES) ที่ได้จากปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชันบางส่วน โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Pd/C ตัวแปรที่ศึกษา ได้แก่ ชนิดของรีแอกเตอร์แบบ batch และแบบ continuous flow พบว่าปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชันบางส่วนของ FAMES ภายในรีแอกเตอร์แบบ batch ให้ร้อยละความจำเพาะ ของ C18:1 มากกว่าแบบต่อเนื่อง แต่อย่างไรก็ตามที่ร้อยละคอนเวอร์ชันต่ำ (78%) ค่าร้อยละความจำเพาะ ของ C18:1 ของรีแอกเตอร์ทั้งสองชนิดไม่แตกต่างกัน

ในปี 2012 Bruno และคณะ ได้ศึกษาการสังเคราะห์ไบโอดีเซลจาก polyunsaturated oils จากปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชันบางส่วน โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Pd/ImS3-12 บน Al_2O_3 พบว่าปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชันบางส่วนของที่ใช้ Pd/ImS3-12 บน Al_2O_3 ให้ผลดีกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาแบบเดิม Pd/C

ในปี 2013 Worapon และคณะ ได้สังเคราะห์ไฮโดรจีเนเตดไบโอดีเซล (BHD) จากน้ำมันปาล์ม โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Pd/C และ $NiMoS_2/\gamma-Al_2O_3$ และศึกษาผลของตัวแปรต่างๆ ได้แก่ อุณหภูมิ 350-450 °C ความดันของก๊าซไฮโดรเจน 20-60 bar เวลา 0.25-5 h โดยใช้สารตั้งต้นชนิดต่างๆ คือ Crude palm oil (CPO), Degummed palm oil (DPO) และ Palm fatty acid distillate (PFAD) จากการศึกษาพบว่าโลหะแพลเลเดียมจะใช้ได้ดีกับสารตั้งต้นที่เป็นกรดไขมันอิสระ โดย CPO ให้ไบโอดีเซล 51% ที่อุณหภูมิ 400 °C เวลา 3 h DPO ให้ไบโอดีเซล 70% ที่เวลา 1 h และ PFAD ให้ไบโอดีเซลสูงสุด 81% ที่อุณหภูมิ 375 °C เวลา 0.5 h ในขณะที่นิกเกิลใช้ได้ดีกับสารตั้งต้นที่เป็นไตรกลีเซอไรด์

ในปี 2014 Atthapon และคณะ ได้สังเคราะห์ไฮโดรจีเนเตดไบโอดีเซล (BHD) จากน้ำมันปาล์ม โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา $NiMoS_2/\gamma-Al_2O_3$ และศึกษาผลของตัวแปรต่างๆ ได้แก่ อุณหภูมิ 270-420 °C ความดันของก๊าซไฮโดรเจน 15-80 bar ค่า LHSV 0.25-5.0 h⁻¹ และ อัตราส่วนของ H_2/oil 250-2000 N(cm³/cm³) ที่มีต่อค่าคอนเวอร์ชัน ผลผลิตที่ได้อัตราส่วนของ H_2/oil และ การกระจายของ hydrodeoxygenation (HDO) และ decarbonylation/decarboxylation (DCO/DCO₂) จากการศึกษาพบว่าทุกภาวะเกิด BHD, HDO และ DCO DCO₂ อย่างสมบูรณ์ โดยแต่ละภาวะมีความเหมาะสมและข้อจำกัดที่แตกต่างกัน

2.5 กรอบแนวคิดในการวิจัย



ภาพที่ 2.7 กรอบแนวคิดการวิจัย

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 สารเคมี เครื่องแก้ว และเครื่องมือวิเคราะห์

3.1.1 สารเคมี

- 1) แพลเลเดียมไนเตรต (PdNO_3), CARLO ERBA REAGENTS
- 2) นิกเกิลไนเตรต (NiNO_3), assay 85%, CARLO ERBA REAGENTS
- 3) กรดฟอสฟอริก (H_3PO_4), CARLO ERBA REAGENTS
- 4) โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH), assay 85%, CARLO ERBA REAGENTS
- 5) โซเดียมคลอไรด์ (NaCl), CARLO ERBA REAGENTS
- 6) ไฮโดรคลอริก (HCl), MALLINKRODT, USA.
- 7) กรดไนตริก (HNO_3), assay 65%, Density 1.400 ± 0.010 , CARLO ERBA

REAGENTS

- 8) ไอโอดีน (I), CARLO ERBA REAGENTS
- 9) โซเดียมไทโอซัลเฟต ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$), assay 99.5%, Ajax Finechem
- 10) โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3), assay 99.5%-100.5%, CARLO ERBA

REAGENTS

- 11) โพแทสเซียมไอโอไดต์ (KI), CARLO ERBA REAGENTS
- 12) โพแทสเซียมไอโอเดต (KIO_3), CARLO ERBA REAGENTS
- 13) ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2), assay $29.0\pm 31.0\%$, CARLO ERBA

REAGENTS

- 14) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH), assay 98%, CARLO ERBA REAGENTS
- 15) น้ำแป้ง ($\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5$)_n, ศึกษาภัณฑ์พาณิชย์
- 16) น้ำมันปล้ำม (มรกต)
- 17) น้ำกลั่น

3.1.2 เครื่องมือ

- 1) อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Water Bath)
- 2) พาร์รีแอกเตอร์ (High Pressure Reactor)
- 3) อุปกรณ์วัดอัตราการไหล (Flow Meter)
- 4) เตาเผาไฟฟ้า ยี่ห้อ Incinerator (rang 0-1999 °C)

- 5) ถ้วยเผา
- 6) ตู้อบความร้อน ยี่ห้อ Memmert รุ่น UNB 100
- 7) เครื่องชั่งแบบละเอียด 4 ตำแหน่ง (Analytical Balance) รุ่น 202A ยี่ห้อ Precisa
- 8) โถดูดความชื้น
- 9) ตะแกรงคัดขนาด 100 เมช
- 10) เครื่องเขย่าสาร ยี่ห้อ GFL
- 11) ถ้วยระเหย
- 12) ขวดชมพู ขนาด 250 มิลลิลิตร ยี่ห้อ Pyrex
- 13) ขวดปรับปริมาตร ขนาด 50, 100, 250 และ 500 มิลลิลิตร ยี่ห้อ SCHOTT
- 14) กรวยกรอง ยี่ห้อ Pyrex
- 15) ปีกเกอร์ ยี่ห้อ Pyrex
- 16) ซ้อนตักสาร
- 17) ปีเปต ยี่ห้อ Hamburg Precicolor
- 18) กระดาษกรอง เบอร์ 5 และเบอร์ 42 ยี่ห้อ Whatman
- 19) นาฬิกาจับเวลา
- 20) กระดาษลิตมัส
- 21) ครกเซรามิก
- 22) แท่งแก้วคนสาร
- 23) หลอดหยดสาร
- 24) กระจกนาฬิกา
- 25) เครื่อง Hot Plate ยี่ห้อ GLOBAL LAB
- 26) ชุดบิวเรต ยี่ห้อ Hamburg Precicolor
- 27) กระบอกตวง ขนาด 10, 25 และ 250 มิลลิลิตร ยี่ห้อ Pyrex
- 28) ถูงซีปล็อค ยี่ห้อ SUNZIP

3.1.3 เครื่องมือวิเคราะห์

1. X-ray Diffractometer
2. The Brunauer, Emmett and Teller (BET)
3. Temperature-programmed Reduction / Oxidation TPR/TPO

3.2 วิธีการทดลอง

3.2.1 สังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาแพลเลเดียมบนตัวรองรับถ่านกัมมันต์ (Pd/C)

1) การเตรียมถ่านกะลามะพร้าว

- 1) คัดเลือกและทำความสะอาดกะลามะพร้าว ปริมาณ 100 กรัม
- 2) นำกะลามะพร้าวมาอบในตู้อบความร้อนที่อุณหภูมิ 145-150 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง
- 3) นำกะลามะพร้าวที่อบเสร็จแล้วมาใส่ไว้ในโถดูดความชื้นจนเย็น
- 4) เผากะลามะพร้าวที่อุณหภูมิ 400, 500 และ 600 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
- 5) ทดสอบค่าไอโอดีนนัมเบอร์
- 6) เมื่อได้อุณหภูมิที่ดีที่สุดแล้ว เผาถ่านที่อุณหภูมิที่ดีที่สุด เป็นเวลา 1, 2, 3 ชั่วโมง เพื่อหาเวลาที่ดีที่สุด
- 7) นำถ่านที่เผาได้มาหาค่าไอโอดีนนัมเบอร์ ปริมาณถ่าน ปริมาณความชื้น และความหนาแน่น เพื่อหาเวลาที่ดีที่สุดในการเตรียมถ่านชาร์ก่อนนำไปกระตุ้นเป็นถ่านกัมมันต์ในขั้นต่อไป

การวิเคราะห์การดูดซับไอโอดีนนัมเบอร์ตามมาตรฐาน ASTM D4607-94

- 1) เตรียมสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก โดยตวงกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นจำนวน 70 มิลลิลิตร เทใส่น้ำกลั่นที่มีปริมาตร 550 มิลลิลิตร
- 2) เตรียมน้ำแข็งเข้มข้นร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก โดยชั่งแบ่ง 1 กรัม ละลายด้วยน้ำร้อนจนมีน้ำหนักเป็น 10 กรัม น้ำแข็งที่เตรียมได้จะใช้ภายในวันที่เตรียมเท่านั้น
- 3) เตรียมสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตเข้มข้น 0.100 ± 0.001 นอร์มัล โดยชั่งโซเดียมไทโอซัลเฟต 24.820 กรัมในน้ำ 75 มิลลิลิตร เติมโซเดียมคาร์บอเนต 0.1 กรัม เติมน้ำกลั่นให้มีปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร ด้วยขวดวัดปริมาตร
- 4) เตรียมสารละลายไอโอดีนเข้มข้น 0.100 ± 0.001 นอร์มัลเตรียมโดยละลายไอโอดีนละลายหมด แล้วจึงเติมน้ำกลั่นให้มีปริมาตร 1,000 มิลลิลิตรด้วยขวดวัดปริมาตร
- 5) เตรียมสารละลายโพแทสเซียมไอโอเดตเข้มข้น 0.001 นอร์มัล เตรียมโดยอบโพแทสเซียมไอโอเดตที่ 110 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง ทำให้เย็นในโถดูดความชื้น และชั่งมา 3.5667 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่น 1,000 มิลลิลิตร

วิธีเทียบมาตรฐานสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต

- 1) ปิเปตสารละลายโพแทสเซียมไอโอเดต 25 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ 250 มิลลิลิตร เติมโพแทสเซียมไอโอไดด์ 2 กรัม เขย่าให้ละลาย เติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นปริมาณ 5 มิลลิลิตร

2) ไตเตรทด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ โดยใช้ น้ำแบ่งเป็นอินดิเคเตอร์ จุดจุดยุติที่การละลายไม่มีสี

คำนวณความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

$$\text{เมื่อ } N1 = (P \times R)/S \quad \dots\dots\dots (1)$$

- โดย N1 คือ ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (นอร์มัล)
 P คือ ความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (มิลลิลิตร)
 R คือ ความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (นอร์มัล)
 S คือ ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (มิลลิลิตร)

3. วิธีเทียบมาตรฐานของสารละลายไอโอดีน

ปิเปตสารละลายไอโอดีน 25 มิลลิลิตร ใส่ในขวดรูปชมพู่ 250 มิลลิลิตร ไตเตรทด้วยสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต โดยใช้ น้ำแบ่งเป็นอินดิเคเตอร์ จุดยุติ คือ จุดที่สารละลายไม่มีสี คำนวณความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีนได้จาก

$$N2 = (S \times N1)/I \quad \dots\dots\dots (2)$$

- โดย N2 คือ ความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีน (นอร์มัล)
 S คือ ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต (มิลลิลิตร)
 N1 คือ ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต (นอร์มัล)
 I คือ ปริมาตรของสารละลายไอโอดีน (มิลลิลิตร)

4. วิธีวิเคราะห์การดูดซับไอโอดีน

- 1) บดและคัดขนาดให้มีขนาด 0.2-0.25 mm.
- 2) อบตัวอย่างให้แห้งที่อุณหภูมิ 110-120 °C นาน 2 ชั่วโมง ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น ในโถดูดความชื้น
- 3) ชั่งและบันทึกน้ำหนักตัวอย่างเท่ากับ M ให้ละเอียดถึงทศนิยมตำแหน่งที่ 4 ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร
- 4) ใส่สารละลายกรดไฮโดรคลอริกจำนวน 10 มิลลิลิตร (ตวงด้วยปิเปตขนาด 10 มิลลิลิตร ต้มให้เดือดประมาณ 30 วินาที แก้วขวดเบาๆ เพื่อให้ผงถ่านกัมมันต์ทุกขุ่มด้วยสารละลายเพื่อกำจัดเถ้าหรือซัลเฟตออกจากผิวถ่านกัมมันต์)
- 5) สารละลายไอโอดีน 100 มิลลิลิตร ปิดจุกแล้วเขย่าแรงๆเป็นเวลา 30 วินาที
- 6) กรองด้วยกระดาษกรอง whatman เบอร์ 42 ทิ้งสารละลายที่กรองได้ 20 มิลลิลิตรแรก

7) ดูดสารละลายที่กรองได้ 50 มิลลิลิตร ด้วยปิเปต

8) ไตเตรตด้วยสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต 0.1 นอร์มัล โดยใช้น้ำแบ่งเป็นอินดิเคเตอร์ จุดยุติ คือจุดที่สารละลายไม่มีสี บันทึกปริมาตรของสารละลายไทโอซัลเฟตที่ใช้สีเป็นมิลลิลิตร (S) คำนวณการดูดซับจำเพาะ (X/M) และความเข้มข้นที่สมดุลของสารละลายไอโอดีน (C) ได้จาก

คำนวณความสามารถในการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์จากสูตรสมการ ดังนี้

$$X/M \text{ (mg/g)} = [A - (DF \times B \times S)]/M \dots\dots\dots (3)$$

เมื่อ X/M คือมิลลิลิตรของไอโอดีนที่ถูกดูดซับต่อกรัมของถ่านกัมมันต์ที่ใช้ดูดซับ

N1 คือความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต มีหน่วยเป็นนอร์มัล

N2 คือความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีน มีหน่วยเป็นนอร์มัล

A คือ $N1 \times 12693$

B คือ $N2 \times 126.93$

DF คือ $(I + H) \times F$

I คือ ปริมาตรไอโอดีน มีหน่วยเป็นมิลลิลิตร

H คือ ปริมาตรกรดไฮโดรคลอริก มีหน่วยเป็นมิลลิลิตร

F คือ ปริมาตรขวดรูปชมพู่ มีหน่วยเป็นมิลลิลิตร

S คือ ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต มีหน่วยเป็นมิลลิลิตร

M คือ ปริมาณของถ่านกัมมันต์ มีหน่วยเป็นกรัม

C คือ ความเข้มข้นของสารละลายที่กรองได้ มีหน่วยเป็นนอร์มัล

9) นำค่า X/M ที่ได้ทั้งสามค่ามาสร้างกราฟระหว่างแกนราบคือ logC แกนตั้งฉาก คือ log/M จะได้ความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง

คำนวณค่าความเข้มข้นสมดุลของสารละลายไอโอดีนจากสูตรสมการ ดังนี้

$$C = (N1 \times S)/F \dots\dots\dots (4)$$

เพื่อให้ค่าความเข้มข้นที่สมดุลของสารละลายไอโอดีน (C) อยู่ในช่วง 0.008-0.04 นอร์มัล ถ้าค่าความเข้มข้นที่สมดุลของสารละลายไอโอดีนมีอยู่ในช่วงดังกล่าวควรทำการทดลองใหม่ นำค่า X/M ที่ได้ทั้งสามค่ามาสร้างกราฟระหว่าง C กับ X/M

การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า (ash) (วิธีของ ASTM. D 2826 -83)

1) ชั่งถ่านกัมมันต์อย่างละ 3 กรัม ให้มีความละเอียดถึงทศนิยมตำแหน่งที่ 4 ในถ้วยทนไฟที่อบแห้ง และรู้น้ำหนักแล้ว

2) นำเข้าเตาเผาโดยค่อยๆเพิ่มอุณหภูมิทีละน้อยๆจนกระทั่งอุณหภูมิถึง 400-500 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

3) เผาต่อจนกระทั่งอุณหภูมิถึง 600-700 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำออกจากเตาเผา ใส่โถดูดความชื้นเป็นเวลา 30 นาที แล้วชั่งน้ำหนัก

คำนวณหาปริมาณแถ้าได้จากสูตร

$$\text{แถ้า (ร้อยละโดยน้ำหนัก)} = [(A-B)/C] \times 100 \quad \dots\dots\dots (5)$$

เมื่อ A = น้ำหนัก crucible และ ash มีหน่วยเป็นกรัม

B = น้ำหนักcrucible

C = น้ำหนักตัวอย่างมีหน่วยเป็นกรัม

การวิเคราะห์หาปริมาณความชื้น (วิธีของ AWWA B604)

1) ชั่งถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ดและชนิดผง ให้ได้น้ำหนักแน่นอนถึง 2 กรัม ในถ้วยทนไฟที่อบแห้ง และรู้น้ำหนักแล้ว

2) อบตัวอย่างในตู้อบที่อุณหภูมิ 140 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักทันทีและบันทึกน้ำหนักไว้ แล้วคำนวณหาความชื้นได้ จากสูตรดังนี้

$$\text{วิธีการคำนวณ ความชื้น, ร้อยละโดยน้ำหนัก} = \frac{[(C - D)]}{(C - B)} \times 100 \quad \dots\dots\dots (6)$$

เมื่อ B = น้ำหนักของถ้วยทนไฟ, กรัม

C = น้ำหนักของถ้วยทนไฟกับน้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น, กรัม

D = น้ำหนักของถ้วยทนไฟกับน้ำหนักตัวอย่างที่อบแห้ง, กรัม

การวิเคราะห์หาความหนาแน่น (Apparent Density) (วิธีของ AWWA-B604)

1) อบตัวอย่างถ่านกัมมันต์ให้แห้งที่อุณหภูมิ 110-120 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้นเป็นเวลา 30 นาที

2) ชั่งน้ำหนักกระบอกตวงที่มีปริมาตร 10 มิลลิลิตร ให้มีความละเอียดถึงทศนิยมตำแหน่งที่ 4 บันทึกเป็น X_0

3) ใส่ตัวอย่างถ่านลงในกระบอกตวงจนเต็ม กระแทกกันกระบอกตวงจนกระทั่งระดับของตัวอย่างในกระบอกตวงคงที่ ที่ขีดปริมาตร 10 มิลลิลิตร

4) ชั่งน้ำหนักตัวอย่างพร้อมกระบอกตวง บันทึกผลเป็น X_1

คำนวณหาค่าความหนาแน่น ได้จากสูตร

$$BD \text{ (ก./ลบ.ซม.)} = \frac{X_1 - X_0}{10} \dots\dots\dots (7)$$

เมื่อ X_0 = น้ำหนักกระบอกตวง

X_1 = น้ำหนักตัวอย่าง+ กระบอกตวง

2) การกระตุ้นถ่านกัมมันต์

1) นำถ่านชาร์ที่ได้มาเผาแซในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 0.25, 0.5, 1.0 M. ในอัตราส่วน 1:2 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อหาความเข้มข้นที่ดีที่สุด

2) นำมากรองโดยกระดาษกรอง Whatnam No.42 ก่อนนำไปอบที่อุณหภูมิ 110-120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

3) นำไปเผากระตุ้นที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

4) ล้างถ่านที่กระตุ้นด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 10% และล้างด้วยน้ำร้อน หลากๆรอบจนค่า pH เป็นกลาง

5) อบถ่านที่อุณหภูมิ 110-120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

6) ทดสอบค่าไอโอดีนนัมเบอร์เพื่อหาความเข้มข้นที่ดีที่สุดในการแ่สารกระตุ้นซิงค์ คลอไรด์

7) แ่ถ่านในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นที่ดีที่สุดเป็นเวลา 12, 24, 36 ชั่วโมง

8) นำไปเผากระตุ้นที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

9) นำมาหาค่าไอโอดีนนัมเบอร์เพื่อหาเวลาที่ที่ดีที่สุดในการแ่สารกระตุ้นโซเดียม คลอไรด์

3.2.2 สั้เคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาแพลเลเดียมบนตัวรองรับถ่านกัมมันต์ (Pd/C)

ตัวเร่งปฏิกิริยาแพลเลเดียมถูกเตรียมด้วยวิธี Incipient wetness impregnation โดยใช้ $\text{Pd}(\text{NO}_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ เป็นตัวตั้งต้น และใช้ Activated carbon เป็นตัวรองรับ อบตัวรองรับที่อุณหภูมิ 110°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมงเพื่อระเหยน้ำออก นำตัวรองรับจุ่มในสารละลายแพลเลเดียม เป็นเวลา 24 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง อบที่อุณหภูมิ 110°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เผาตัวเร่งปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 500°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ในสภาวะไนโตรเจน ตรวจสอบสมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยเทคนิค The

Brunauer, Emmett and Teller (BET) เทคนิคเอกซเรย์ดิฟแฟรกชันและเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนส์ (XRD) และ Temperature-programmed Reduction / Oxidation TPR/TPO ดังภาพที่ 3.1-3.4



ภาพที่ 3.1 The Brunauer Emmett and Teller (BET)

ที่มา: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2559

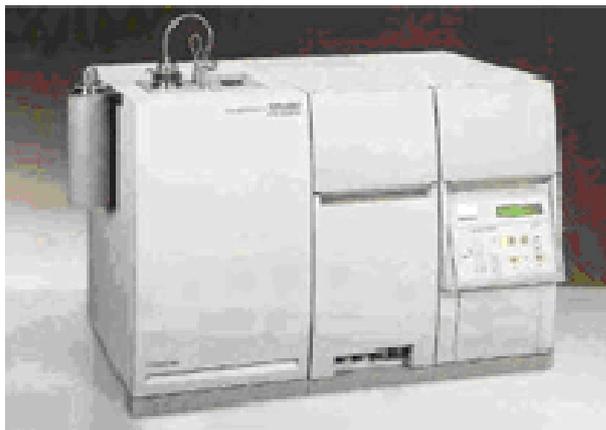
จากภาพที่ 3.1 เทคนิค The Brunauer Emmett and Teller (BET) จะใช้ในการตรวจสอบพื้นที่ผิว ปริมาตรรูพรุน และขนาดรูพรุนของถ่านกัมมันต์ และของแพลเลตเตียมบนตัวรองรับถ่านกัมมันต์



ภาพที่ 3.2 เทคนิคเอกซเรย์ดิฟแฟรกชันและเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนส์ (XRD)

ที่มา: ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ. 2559

จากภาพที่ 3.2 เทคนิคเอกซเรย์ดิฟแฟรกชันและเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนส์ (XRD) จะใช้ในการตรวจสอบโครงสร้างของตัวเร่งปฏิกิริยา



ภาพที่ 3.3 Temperature-programmed Reduction /Oxidation

ที่มา: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2559

จากภาพที่ 3.3 เทคนิค Temperature-programmed Reduction /Oxidation จะใช้ในการตรวจวัดอุณหภูมิรีดักชัน/ ออกซิเดชัน ของตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อเปลี่ยนโลหะออกไซด์เป็นโลหะ ให้พร้อมสำหรับการเร่งปฏิกิริยา

3.2.3 ศึกษาสมบัติของน้ำมันปาล์มก่อนผ่านปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชัน โดยศึกษา

- Refractive Indices (RI): AOCS official methods Tp 1a-64 (1998)
- Iodine Value (IV): AOCS official methods Cd 1-25 (1998)
- Fatty acid composition: AOCS methods Ce 2-66

3.2.4 ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์ไฮโดรจีเนเตดไปโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม โดยการทำให้ปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชัน ที่ตัวแปรต่างๆ ได้แก่ อุณหภูมิ ความดัน ชนิดและปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา

การสังเคราะห์ไฮโดรจีเนเตดไปโอดีเซลจะใช้ Pressure reactor เติมน้ำมันปาล์มลงในกระบอกแอสตันเลส เติมตัวเร่งปฏิกิริยา ใส่ก๊าซออกซิเจนด้วยก๊าซไนโตรเจน 1-2 นาที ให้ความร้อนคนสารละลายด้วยความเร็วปานกลาง เมื่ออุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิที่ทดลองประมาณ 10°C เปิดก๊าซไฮโดรเจนเป็นเวลา 15 วินาที จากนั้นปรับความดันให้ได้ตามที่ต้องการ คนสารละลายด้วยความเร็วรอบสูง และเริ่มจับเวลาการสังเคราะห์ สุ่มตัวอย่างที่เวลาต่างๆ กรองตัวอย่างที่ได้ด้วยกระดาษกรองเก็บสารไว้ในตู้เย็นเพื่อรอการวิเคราะห์สมบัติของไฮโดรจีเนเตดไปโอดีเซลที่สังเคราะห์ได้



ภาพที่ 3.4 High Pressure Reactors

ที่มา: Direct Industry. 2559

จากภาพที่ 3.4 High Pressure Reactors จะใช้ในการทำปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชัน

3.2.5 คำนวณปริมาณผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้ (% yield) และ (% Conversion of triglyceride) เพื่อสรุปภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์ไฮโดรจีเนเตดไบโอดีเซล

3.2.6 เปรียบเทียบสมบัติของไฮโดรจีเนเตดไบโอดีเซลที่สังเคราะห์ได้กับสมบัติของน้ำมันดีเซลตามประกาศกรมธุรกิจพลังงาน เรื่อง กำหนดลักษณะและคุณภาพของน้ำมันดีเซล และเปรียบเทียบกับผลงานวิจัยที่ใช้กระบวนการอื่นๆ ในการสังเคราะห์

3.2.7 วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

3.2.8 เขียนรายงานผลการวิจัย และบทความเผยแพร่ผลงานวิจัย

บทที่ 4 ผลการวิจัย

การวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์ไบโอไฮโดรจีเนเตดดีเซลจากน้ำมันปาล์มด้วยกระบวนการไฮโดรต็อกซิจีเนชัน โดยเริ่มจากการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาแพลเลเดียมบนตัวรองรับถ่านกัมมันต์ (Pd/C) ซึ่งศึกษาตัวแปรที่เหมาะสมในการสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว ได้แก่ อุณหภูมิ เวลา และการกระตุ้นทางเคมี ที่มีต่อสมบัติการดูดซับ เมื่อได้ถ่านกัมมันต์ที่มีสมบัติการดูดซับที่ดีแล้วจึงทำการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาแพลเลเดียมบนถ่านกัมมันต์ ด้วยวิธี incipient wetness impregnation ทำการศึกษาโครงสร้าง สมบัติเชิงผิว สมบัติการดูดซับทางกายภาพและทางเคมี จากนั้นจึงนำไปใช้ในปฏิกิริยาไฮโดรต็อกซิจีเนชัน เพื่อเปลี่ยนน้ำมันปาล์มให้เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีสมบัติเป็นน้ำมันไบโอดีเซล ผลการวิจัยมีรายละเอียดดังนี้

4.1 การผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว

4.1.1 ผลของอุณหภูมิในการเผาถ่านที่มีผลสมบัติของถ่านจากกะลามะพร้าว

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวเพื่อดูดซับสารตะกั่วและแคดเมียมในน้ำเสียโดยมีขั้นตอนการทดลอง 3 ขั้นตอน ได้แก่ การคาร์บอนไนเซชัน การกระตุ้นทางเคมี และการดูดซับโลหะหนักในน้ำเสียสังเคราะห์ โดยในขั้นตอนการคาร์บอนไนเซชัน จะศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์ถ่าน ได้แก่ อุณหภูมิและเวลาในการเผาถ่าน ศึกษาผลของอุณหภูมิ (300, 400 และ 500 องศาเซลเซียส) ที่เวลาเวลา 1 ชั่วโมง ที่มีต่อสมบัติทางกายภาพของถ่าน ได้แก่ ความหนาแน่น ความชื้น ปริมาณเถ้า และค่าไอโอดีนนัมเบอร์ ผลของอุณหภูมิในการเผาถ่านแสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงผลของอุณหภูมิการเผาถ่านชาร์ที่มีผลต่อถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว

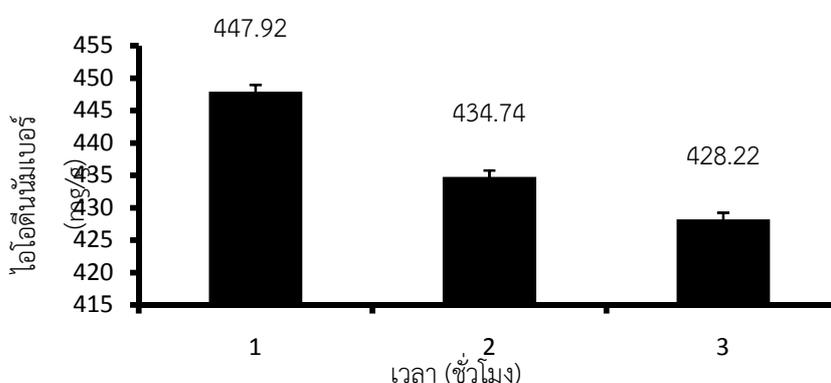
ผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อถ่านกัมมันต์	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)		
	400	500	600
ปริมาณเถ้า (%)	60.95	70.96	77.04
ความชื้น (%)	2.24	2.38	2.71
ความหนาแน่น (g/ml)	0.57	0.51	0.49
ค่าไอโอดีนนัมเบอร์ (mg/g)	447.92	452.50	472.50

จากตารางที่ 4.1 พบว่าอุณหภูมิมีผลต่อปริมาณเถ้า ซึ่งอุณหภูมิที่ 400 องศาเซลเซียส มีปริมาณเถ้า เท่ากับ 60.95 มีปริมาณเถ้าต่ำที่สุด อุณหภูมิที่ 500 องศาเซลเซียส มีปริมาณเถ้า เท่ากับ 70.96 และอุณหภูมิที่ 600 องศาเซลเซียส มีปริมาณเถ้า เท่ากับ 77.04 มีปริมาณเถ้ามากที่สุด ดังนั้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้ปริมาณเถ้ามากขึ้น อุณหภูมิมีผลต่อปริมาณความชื้น ซึ่งอุณหภูมิที่ 400 องศาเซลเซียส มีความชื้น เท่ากับ 2.24 มีปริมาณเถ้าต่ำที่สุด อุณหภูมิที่ 500 องศาเซลเซียส มีความชื้น เท่ากับ 2.38 และอุณหภูมิที่ 600 องศาเซลเซียส มีความชื้น เท่ากับ 2.71 มีความชื้นมากที่สุด ดังนั้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้ความชื้นมากขึ้น อุณหภูมิมีผลต่อความหนาแน่น ซึ่งอุณหภูมิที่ 400 องศาเซลเซียส มีค่าความหนาแน่น เท่ากับ 0.57 g/mL มีค่าความหนาแน่นมากที่สุด อุณหภูมิที่ 500 องศาเซลเซียส มีค่าความหนาแน่น เท่ากับ 0.51 g/mL และอุณหภูมิที่ 600 องศาเซลเซียส มีค่าความหนาแน่น เท่ากับ 0.49 g/mL มีค่าความหนาแน่นน้อยที่สุด ดังนั้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้ค่าความหนาแน่นมีค่าลดลง และอุณหภูมิมีผลต่อการดูดซับไอโอดีน ซึ่งอุณหภูมิที่ 400 องศาเซลเซียส มีค่าการดูดซับเท่ากับ 447.92 mg/g มีค่าการดูดซับน้อยที่สุด อุณหภูมิที่ 500 องศาเซลเซียส มีค่าการดูดซับเท่ากับ 452.50 mg/g และอุณหภูมิที่ 600 องศาเซลเซียส มีค่าการดูดซับเท่ากับ 472.5 mg/g มีค่าการดูดซับมากที่สุด ดังนั้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้ค่าการดูดซับไอโอดีนมีค่าเพิ่มขึ้น

จากผลการทดลองนี้พบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเผาถ่านสำหรับนำไปกระตุ้นด้วยวิธีทางเคมีคือที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เนื่องจากมีความหนาแน่นมาก มีความชื้นและเถ้าต่ำ ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่เหมาะสมสำหรับผลิตถ่านกัมมันต์ โดยสามารถดูดซับไอโอดีนนัมเบอร์ได้ 447.92 มิลลิกรัมต่อกรัม เมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิ 500 และ 600 องศาเซลเซียส ที่มีค่าการดูดซับไอโอดีนนัมเบอร์ 452.502 และ 472.50 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ แต่มีค่าความหนาแน่นน้อย มีความชื้นและเถ้ามาก จึงไม่เหมาะในการนำไปผลิตถ่านกัมมันต์

4.1.2 ผลของเวลาที่มีผลต่อถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว

จากการวิเคราะห์หาค่าการดูดซับไอโอดีน ของถ่านที่เผาด้วยอุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ที่ 1, 2 และ 3 ชั่วโมง ได้ผลการทดลอง ตามภาพที่ 4.1

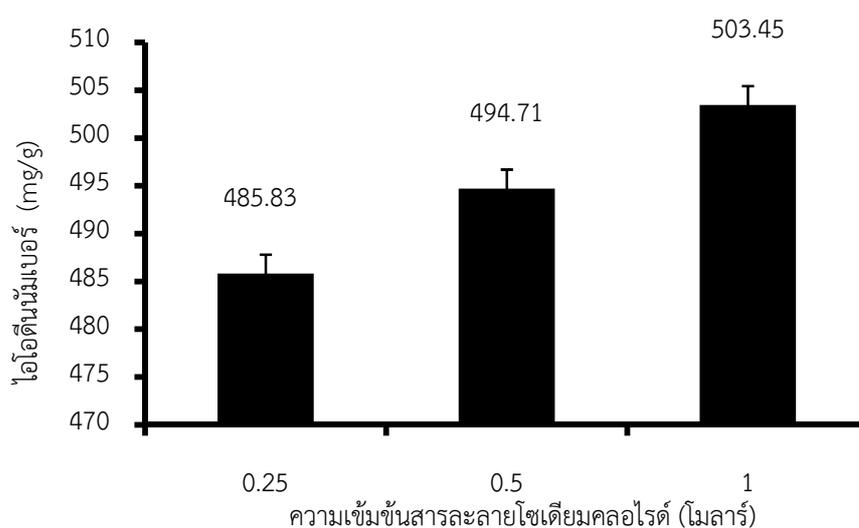


ภาพที่ 4.1 แสดงผลของเวลาในการเผาถ่านที่มีผลต่อค่าไอโอดีนนัมเบอร์

จากการทดลองพบว่า เวลาในการเผาผ่านที่เหมาะสมคือที่เวลา 1 ชั่วโมง โดยมีค่าการดูดซับไอโอดีนัมเบอร์เท่ากับ 447.92 มิลลิกรัมต่อกรัม ซึ่งสูงกว่าค่าการดูดซับไอโอดีนัมเบอร์ที่เวลา 2 และ 3 ชั่วโมง ซึ่งมีค่าการดูดซับไอโอดีนัมเบอร์เท่ากับ 434.74 และ 428.22 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ

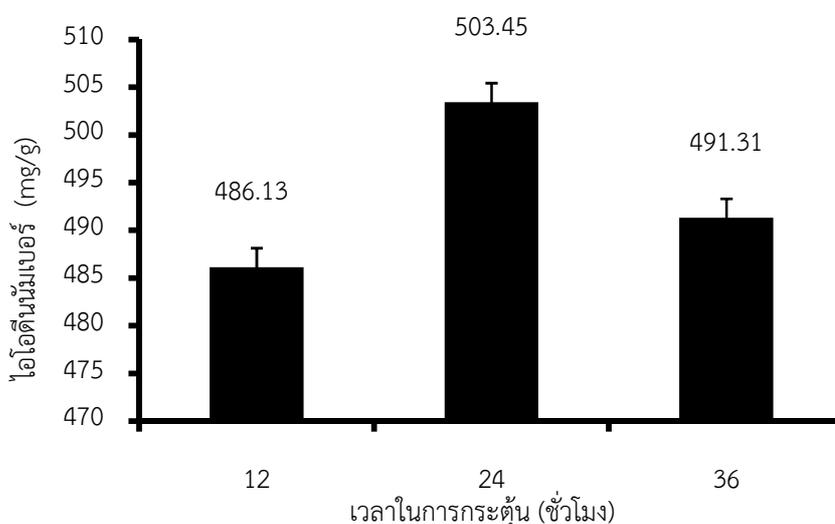
4.1.3 ผลของความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์และเวลาในการกระตุ้นที่มีผลต่อความสามารถในการดูดซับของถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว

ถ่านกะลามะพร้าวที่ได้จากการเผาที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จะถูกนำไปกระตุ้นทางเคมีด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ที่ความเข้มข้นของสารละลายต่างๆ และใช้เวลาในการกระตุ้นต่างๆ นำมาเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 4.2 และ 4.3



ภาพที่ 4.2 แสดงผลของความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่มีผลต่อค่าไอโอดีนัมเบอร์

จากการทดลองพบว่าความเข้มข้นที่เหมาะสมในการกระตุ้นถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว คือความเข้มข้นที่ 1 M โดยมีค่าการดูดซับไอโอดีนัมเบอร์เท่ากับ 503.45 มิลลิกรัมต่อกรัม ซึ่งมากกว่าความเข้มข้นที่ 0.25 M. และ 0.5 M. ซึ่งมีค่าการดูดซับไอโอดีนัมเบอร์เท่ากับ 485.83 และ 494.71 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ



ภาพที่ 4.3 แสดงผลของเวลาในการกระตุ้นด้วยสารละลายไซเตียมคลอไรด์ที่มีผลต่อค่าไอโอดีนนมเบอร์

จากการทดลองพบว่า เวลาในการกระตุ้นที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวที่กระตุ้นด้วยไซเตียมคลอไรด์คือที่เวลา 24 ชั่วโมง โดยมีค่าการดูดซับไอโอดีนเท่ากับ 503.45 มิลลิกรัมต่อกรัม ซึ่งมากกว่าการกระตุ้นที่เวลา 12 และ 36 ชั่วโมง ซึ่งมีค่าการดูดซับไอโอดีนนมเบอร์เท่ากับ 486.13 และ 491.31 มิลลิกรัมต่อกรัม

4.2 การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาแพลเลเดียมบนตัวรองรับถ่านกัมมันต์ (Pd/C) สำหรับกระบวนการไฮโดรดีออกซีจีเนชัน

ตัวเร่งปฏิกิริยาแพลเลเดียมถูกเตรียมด้วยวิธี Incipient wetness impregnation โดยใช้ $\text{Pd}(\text{NO}_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ เป็นตัวตั้งต้น และใช้ Activated carbon เป็นตัวรองรับ อบตัวรองรับที่อุณหภูมิ 110°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมงเพื่อระเหยน้ำออก นำตัวรองรับจุ่มในสารละลายแพลเลเดียม เป็นเวลา 24 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง อบที่อุณหภูมิ 110°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เผาตัวเร่งปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 500°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ในสภาวะไนโตรเจน ตรวจสอบสมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยเทคนิค BET, XRD และ TPR/TPO สมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยาแพลเลเดียมบนตัวรองรับถ่านกัมมันต์แสดงดังตารางที่ 4.2

4.2.1 การศึกษาสมบัติการดูดซับ

การหาพื้นที่ผิว ปริมาตรรูพรุน และขนาดรูพรุนของถ่านกัมมันต์ และของแพลเลเดียมบนตัวรองรับถ่านกัมมันต์ เป็นการศึกษาสมบัติทางกายภาพ ด้วยวิธี BET (Brunauer-Emmett-Teller) ผลการทดลองแสดงตารางที่ 4.2

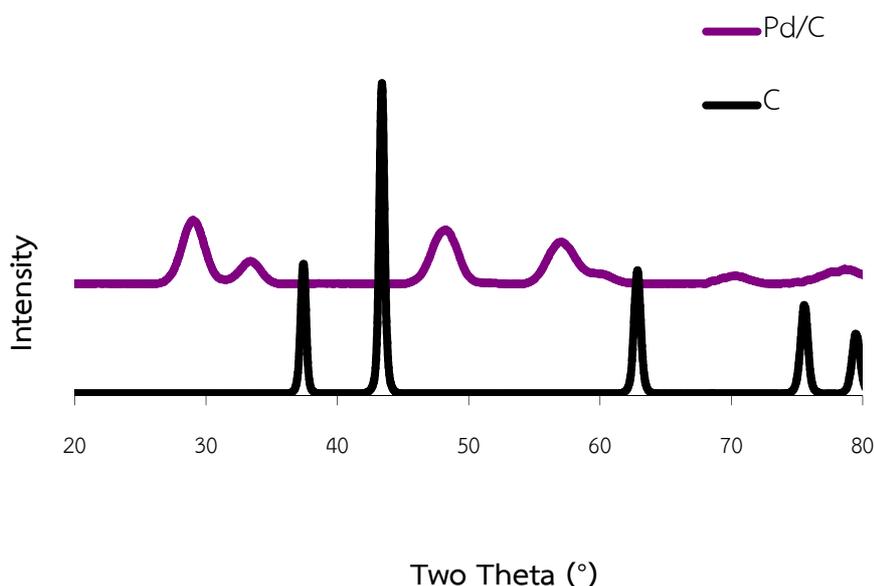
ตารางที่ 4.2 แสดงพื้นที่ผิว ปริมาตรรูพรุน และขนาดรูพรุนของถ่านกัมมันต์

ตัวอย่าง	พื้นที่ผิว (m^2/g)	ขนาดรูพรุนเฉลี่ย (μm)	ปริมาตรรูพรุนเฉลี่ย (cm^3/g)
ถ่านกัมมันต์	687	9.2	0.28
แพลเลเดียมบนตัวรองรับถ่านกัมมันต์	620	5.3	0.26

จากผลการทดลองพบว่าถ่านกัมมันต์มีพื้นที่ผิว BET เท่ากับ $687 \text{ m}^2/\text{g}$ มีขนาดรูพรุนเฉลี่ย เท่ากับ $9.2 \mu\text{m}$ และมีปริมาตรรูพรุนเฉลี่ย เท่ากับ $0.28 \text{ cm}^3/\text{g}$ เมื่อทำการฝังแพลเลเดียมลงบนถ่านกัมมันต์ พบว่ามีพื้นที่ผิว BET เท่ากับ $620 \text{ m}^2/\text{g}$ มีขนาดรูพรุนเฉลี่ย เท่ากับ $5.3 \mu\text{m}$ และมีปริมาตรรูพรุนเฉลี่ย เท่ากับ $0.26 \text{ cm}^3/\text{g}$

4.2.2 การศึกษาโครงสร้างของตัวเร่งปฏิกิริยาแพลเลเดียมบนตัวรองรับถ่านกัมมันต์

ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้ไปตรวจหาโครงสร้างผลึกโดยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรกโตมิเตอร์ (X-ray diffractometer; XRD)) ผลการทดลองแสดงในภาพที่ 4.4

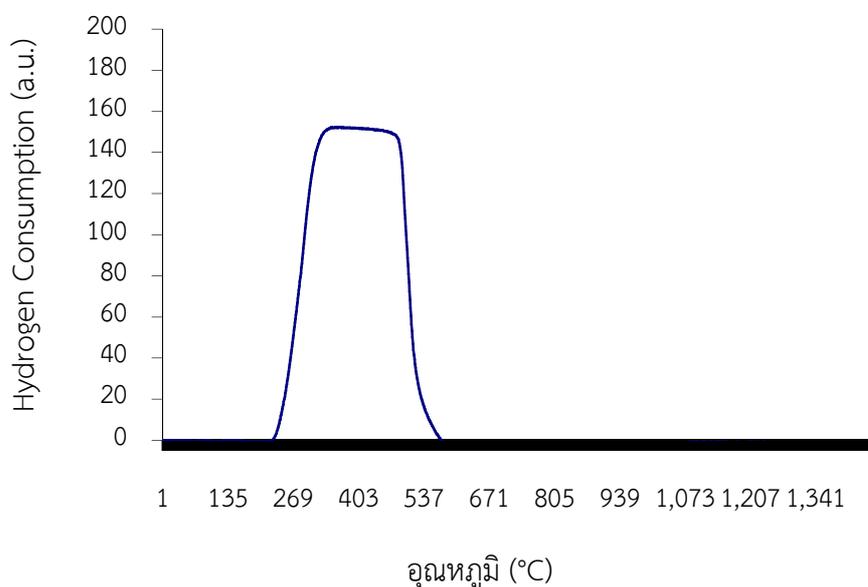


ภาพที่ 4.4 XRD spectra ของถ่านกัมมันต์และแพลเลเดียมบนตัวรองรับถ่านกัมมันต์

จากการตรวจหาโครงสร้างของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นทางเคมีด้วยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟร็กโตมิเตอร์ (XRD) จะได้รูปแบบการเลี้ยวเบน (diffraction pattern) แสดงดังรูปที่ 4.4 ากรูปแบบการเลี้ยวเบนของถ่านกัมมันต์ตำแหน่งพีคจะปรากฏที่มุมเทต้า (theta; θ) ตำแหน่งของพีคแสดงในตำแหน่งที่ 37 (ระนาบ 002) และ 45 ° แสดงว่าถ่านกัมมันต์มีลักษณะของโครงสร้างผลึกแกรไฟต์ (graphite) สามารถอธิบายได้ว่าระหว่างกระบวนการให้ความร้อนเกิดการจัดเรียงตัวของคาร์บอนเป็นชั้นระนาบของแกรไฟต์และในระหว่างการคาร์บอนไชน์จะมีการกระจายตัวของโครงสร้างแกรไฟต์ในถ่านกัมมันต์

4.2.3 การศึกษาอุณหภูมิในการรีดักชันของตัวเร่งปฏิกิริยาแพลเลเดียมบนตัวรองรับถ่านกัมมันต์

ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้ไปตรวจหาโครงสร้างผลึกโดยเครื่อง Temperature-programmed Reduction / Oxidation TPR/TPO ซึ่งเทคนิค H_2 -TPR นี้เป็นเทคนิคหนึ่งที่ใช้ในการวัดความยากง่ายในการรีดิวซ์สารประกอบโลหะออกไซด์ ซึ่งอาจบ่งบอกถึงอันตรกิริยา (Interaction) ระหว่างสารประกอบโลหะออกไซด์ (Active species) กับตัวรองรับ (Support) โดยการเกิดปฏิกิริยารีดักชันเป็นขั้นตอนสุดท้ายในการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะบนตัวรองรับและไม่มีตัวรองรับ ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อเปลี่ยนโลหะออกไซด์ให้อยู่ในรูปโลหะ หรือเปลี่ยนตัวเร่งปฏิกิริยาเกลือเป็นโลหะ โดยการทำปฏิกิริยากับแก๊สไฮโดรเจน (H_2) หรือรีดิวซ์เชิงเอเจนต์อื่น เช่น แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) แก๊สสังเคราะห์ (CO และ H_2) ผลการทดลองแสดงในภาพที่ 4.5



ภาพที่ 4.5 อุณหภูมิในการรีดักชันของถ่านกัมมันต์และแพลเลเดียมบนตัวรองรับถ่านกัมมันต์

จากผลการศึกษาการเกิดรีดักชันพบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาแพลเลเดียมที่เตรียมได้มีอุณหภูมิของการเกิดรีดักชันในช่วง 280-520 องศาเซลเซียส ซึ่งอุณหภูมิรีดักชันนี้จะนำไปใช้ในการกำหนดอุณหภูมิของการใช้งานตัวเร่งปฏิกิริยานี้ต่อไป

4.3 ศึกษาสมบัติของน้ำมันปาล์มก่อนผ่านปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชัน

ศึกษาสมบัติของน้ำมันปาล์มก่อนผ่านปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชัน โดยจะศึกษา

- 1) ค่า Refractive Indices (RI): AOCS official methods Tp 1a-64 (1998)
- 2) ค่า Iodine Value (IV): AOCS official methods Cd 1-25 (1998) ค่าไอโอดีนเป็นคุณสมบัติหนึ่งของไบโอดีเซลที่มีความสำคัญ และถูกประกาศโดยกรมธุรกิจพลังงานในปี พ.ศ.2552 ให้เป็น 1 ใน 24 คุณภาพมาตรฐานของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน ซึ่งค่าไอโอดีนสามารถใช้เป็นดัชนีบ่งชี้การเกิดพอลิเมอร์ไรซ์ (การเกิดยางเหนียวติดในเครื่องยนต์) น้ำมันที่มีค่าไอโอดีนสูงจะสามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเจนในอากาศได้มาก ทำให้โครงสร้างของน้ำมันพืชเกิดการเสถียรภาพได้เป็นสารประเภทคีโตนอัลดีไฮด์และกรดออกมาผสมอยู่ในน้ำมัน ซึ่งสารเหล่านี้จะมีผลกระทบต่อเครื่องยนต์ในระยะยาว

- 3) ค่า Fatty acid composition: AOCS methods Ce 2-66 ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 สมบัติของน้ำมันปาล์มก่อนผ่านปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซีจีเนชัน

สมบัติ	น้ำมันปาล์ม	มาตรฐาน
Refractive Indices	1.45	AOCS official methods Tp 1a-64 (1998)
Iodine Value (1g/100 g)	52	AOCS official methods Cd 1-25 (1998)
Fatty acid composition (%)		AOCS methods Ce 2-66
C ₁₄ H ₂₈ O ₂ (C14, n=0)	3.8	
C ₁₆ H ₃₂ O ₂ (C16, n=0)	45.3	
C ₁₈ H ₃₆ O ₂ (C18, n=0)	4.5	
C ₁₈ H ₃₄ O ₂ (C18, n=1)	36.5	
C ₁₈ H ₃₂ O ₂ (C18, n=2)	8.7	

จากการศึกษาพบว่าน้ำมันปาล์มก่อนผ่านปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซีจีเนชัน มีค่า Refractive Indices เท่ากับ 1.45 มีค่า Iodine Value เท่ากับ 52 g/100 g และมี Fatty acid composition ดังนี้ C₁₄H₂₈O₂ เท่ากับ 3.8% C₁₆H₃₂O₂ เท่ากับ 45.3% C₁₈H₃₆O₂ เท่ากับ 4.5% C₁₈H₃₄O₂ เท่ากับ 36.5% และ C₁₈H₃₂O₂ เท่ากับ 8.7%

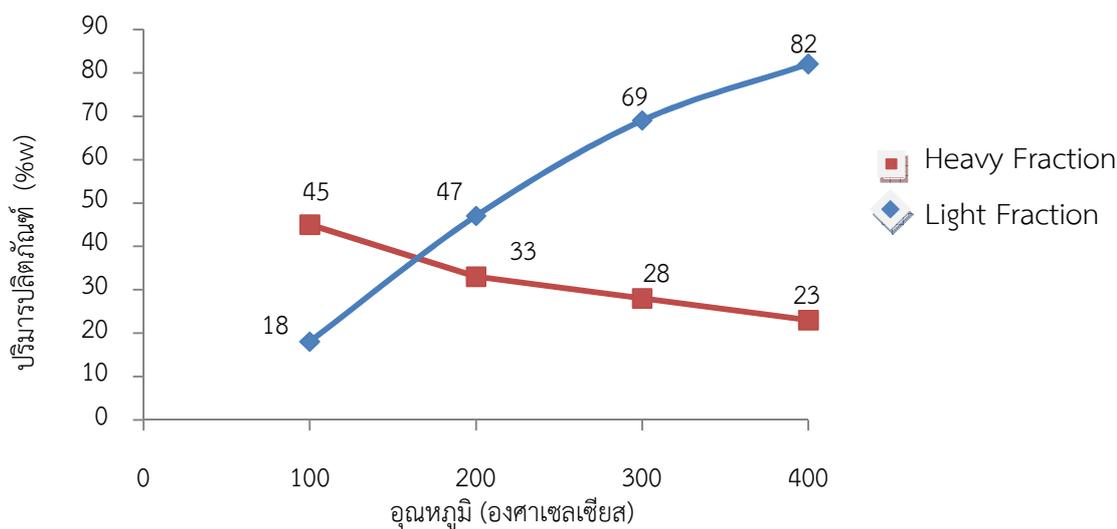
4.4 ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์ไฮโดรจีเนเตดไปโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม

การทำปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซีจีเนชัน ที่ตัวแปรต่างๆ ได้แก่ อุณหภูมิ ความดัน และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา

การสังเคราะห์ไฮโดรจีเนเตดไปโอดีเซลจะใช้ Pressure reactor เติมน้ำมันปาล์มลงในกระบอกแอสตันเลส เติมตัวเร่งปฏิกิริยา ใส่ก๊าซออกซิเจนด้วยก๊าซไนโตรเจน 1-2 นาที ให้ความร้อนคนสารละลายด้วยความเร็วปานกลาง เมื่ออุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิที่ทดลองประมาณ 10°C เปิดก๊าซไฮโดรเจนเป็นเวลา 15 วินาที จากนั้นปรับความดันให้ได้ตามที่ต้องการ คนสารละลายด้วยความเร็วรอบสูง และเริ่มจับเวลาการสังเคราะห์ สุ่มตัวอย่างที่เวลาต่างๆ กรองตัวอย่างที่ได้ด้วยกระดาษกรองเก็บสารไว้ในตู้เย็นเพื่อรอการวิเคราะห์สมบัติของไฮโดรจีเนเตดไปโอดีเซลที่สังเคราะห์ได้ ผลการทดลองแสดงในภาพที่ 4.6-4.8

4.4.1 ผลของอุณหภูมิต่อการสังเคราะห์ไฮโดรจีเนเตดไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม

การสังเคราะห์ไฮโดรจีเนเตดไบโอดีเซลจะใช้อุณหภูมิ 100-300 °C ความดัน 1 atm เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ผลการทดลองแสดงในภาพที่ 4.6

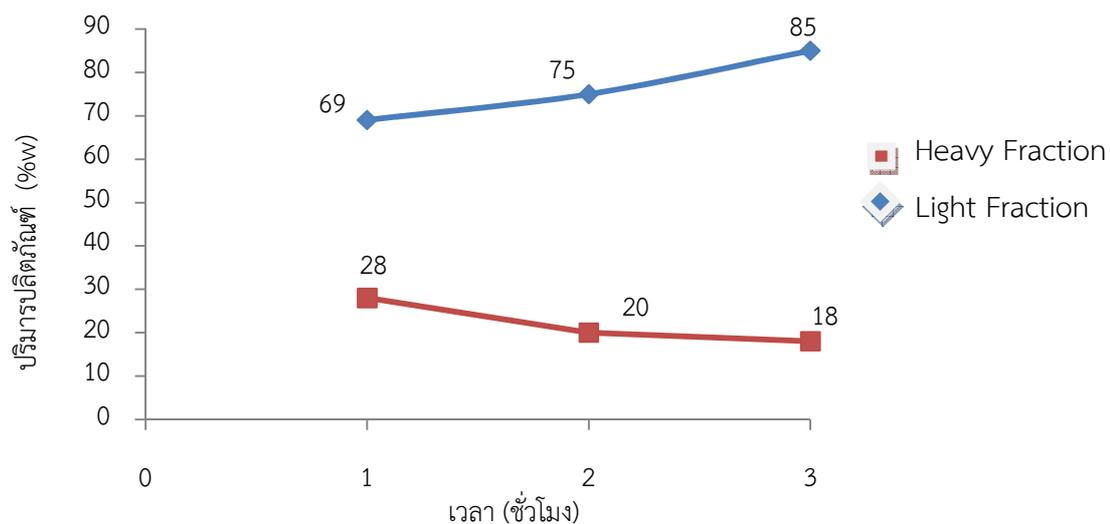


ภาพที่ 4.6 ผลของอุณหภูมิต่อการสังเคราะห์ไฮโดรจีเนเตดไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม

การสังเคราะห์ไฮโดรจีเนเตดไบโอดีเซลจะใช้อุณหภูมิ 100-300 °C ความดัน 1 atm เป็นเวลา 1 ชั่วโมง พบว่า ที่อุณหภูมิ 100 °C จะได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็น Light fraction 18% และจะได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็น Heavy fraction 45% เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นเป็น 200, 300 และ 400 °C ผลิตภัณฑ์ที่เป็น Light fraction จะเพิ่มมากขึ้นจนสูงสุดที่ 82% ส่วนผลิตภัณฑ์ที่เป็น Heavy fraction จะลดลงเรื่อยๆ จนเหลือ 23 %

4.4.2 ผลของเวลาต่อการสังเคราะห์ไฮโดรจีเนเตดไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม

การสังเคราะห์ไฮโดรจีเนเตดไบโอดีเซลจะใช้อุณหภูมิที่ 300 °C เป็นเวลา 1-3 ชั่วโมง ผลการทดลองแสดงในภาพที่ 4.7

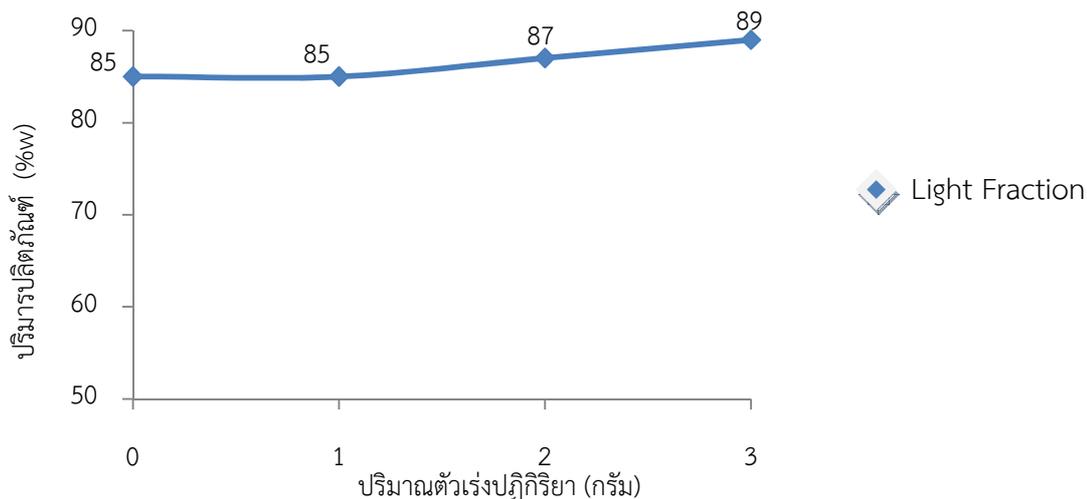


ภาพที่ 4.7 ผลของเวลาต่อการสังเคราะห์ไฮโดรจีเนเตดไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม

การสังเคราะห์ไฮโดรจีเนเตดไบโอดีเซลจะใช้อุณหภูมิ 300 °C ความดัน 1 atm เป็นเวลา 1-3 ชั่วโมง พบว่า ที่เวลา 1 ชั่วโมง จะได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็น Light fraction 69% และจะได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็น Heavy fraction 28% เมื่อเพิ่มเวลาเป็น 2 และ 3 ชั่วโมง พบว่า ผลิตภัณฑ์ที่เป็น Light fraction จะเพิ่มมากขึ้นจนสูงสุดที่ 85% ส่วนผลิตภัณฑ์ที่เป็น Heavy fraction จะลดลงเรื่อยๆ จนเหลือ 18 %

4.4.3 ผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาต่อการสังเคราะห์ไฮโดรจีเนเตดไปโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม

การสังเคราะห์ไฮโดรจีเนเตดไปโอดีเซลจะใช้อุณหภูมิ 300 °C ความดัน 1 atm เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ใช้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 0-3 กรัม ผลการทดลองแสดงในภาพที่ 4.6



ภาพที่ 4.8 ผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาต่อการสังเคราะห์ไฮโดรจีเนเตดไปโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม

การสังเคราะห์ไฮโดรจีเนเตดไปโอดีเซลจะใช้อุณหภูมิ 300 °C ความดัน 1 atm เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ใช้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 0-3 กรัม พบว่า แม้ไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ปริมาณผลิตภัณฑ์ Light fraction ก็มีค่าสูงถึง 85 % เมื่อใช้และเพิ่มปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา จาก 1-3 กรัม พบว่า ปริมาณผลิตภัณฑ์ Light fraction ก็มีค่าสูงขึ้นเพียงเล็กน้อย เป็น 85, 87 และ 89% ตามลำดับ

4.5 เปรียบเทียบสมบัติของไฮโดรจีเนเตดไปโอดีเซลที่สังเคราะห์ได้กับสมบัติของน้ำมันปาล์ม

เปรียบเทียบสมบัติของไฮโดรจีเนเตดไปโอดีเซลที่สังเคราะห์ได้กับสมบัติของน้ำมันปาล์มโดยจะศึกษา

- 1) ค่า Refractive Indices (RI): AOCS official methods Tp 1a-64 (1998)
- 2) ค่า Iodine Value (IV): AOCS official methods Cd 1-25 (1998)
- 3) ค่า Fatty acid composition: AOCS methods Ce 2-66
- 4) Density
- 5) Pour point
- 6) Viscosity
- 7) Flash point
- 8) Higher heating value
- 9) Lower heating value

ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบสมบัติของไฮโดรจีเนเตดไบโอดีเซลที่สังเคราะห์ได้กับสมบัติของน้ำมันปาล์ม

สมบัติ	น้ำมันปาล์ม	ไฮโดรจีเนเตดไบโอดีเซล	มาตรฐาน
Refractive Indices	1.45	0.9	AOCS official methods Tp 1a-64 (1998)
Iodine Value (1g/100 g)	52		AOCS official methods Cd 1-25 (1998)
Fatty acid composition (%)			
C ₈ H ₁₆ O ₂ (C8, n=0)		3.0	
C ₁₀ H ₂₀ O ₂ (C10, n=0)		5.5	
C ₁₂ H ₂₄ O ₂ (C12, n=0)		44.5	
C ₁₄ H ₂₈ O ₂ (C14, n=0)	3.8	17.6	AOCS methods Ce 2-66
C ₁₆ H ₃₂ O ₂ (C16, n=0)	45.3	9.0	
C ₁₈ H ₃₆ O ₂ (C18, n=0)	4.5	3.1	
C ₁₈ H ₃₄ O ₂ (C18, n=1)	36.5	15.4	
C ₁₈ H ₃₂ O ₂ (C18, n=2)	9.9	1.9	
Density (g/ml)	0.9	0.85	ASTM D4052
Pour point (°C)	9	3	ASTM D97
Flash point (°C)	134	162	ASTM D93
Viscosity (mm ² /s)	1.8	4.5	ASTM D445
Higher heating value (Btu/lb)		19,375	ASTM D240
Lower heating value (Btu/lb)		18,235	ASTM D240

จากตารางที่ 4.4 ไฮโดรจีเนเตดไบโอดีเซลที่สังเคราะห์ได้มีสมบัติที่ต่างไปจากกับสมบัติของน้ำมันปาล์ม โดยไฮโดรจีเนเตดไบโอดีเซลที่สังเคราะห์ได้มีค่า Fatty acid composition เป็น C₈-C₁₂ และผลิตภัณฑ์ Light fraction เพิ่มสูงขึ้น มี Pour point ลดลง Flash point สูงขึ้น และมีค่าความร้อนที่ดีเหมาะสมสำหรับใช้เป็นน้ำมันดีเซลได้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

สรุปผลการวิจัย

การวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์ไบโอไฮโดรจีเนเตดดีเซลจากน้ำมันปาล์มด้วยกระบวนการไฮโดรต็อกซิฟิเคชัน โดยเริ่มจากการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาแพลเลเดียมบนตัวรองรับถ่านกัมมันต์ (Pd/C) ซึ่งศึกษาตัวแปรที่เหมาะสมในการสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว ได้แก่ อุณหภูมิ เวลา และการกระตุ้นทางเคมี ที่มีต่อสมบัติการดูดซับ เมื่อได้ถ่านกัมมันต์ที่มีสมบัติการดูดซับที่ดีแล้วจึงทำการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาแพลเลเดียมบนถ่านกัมมันต์ ด้วยวิธี incipient wetness impregnation ทำการศึกษาโครงสร้าง สมบัติเชิงผิว สมบัติการดูดซับทางกายภาพและทางเคมี จากนั้นจึงนำไปใช้ในปฏิกิริยาไฮโดรต็อกซิฟิเคชัน เพื่อเปลี่ยนน้ำมันปาล์มให้เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีสมบัติเป็นน้ำมันไบโอดีเซล โดยศึกษาผลของอุณหภูมิ เวลาในการสังเคราะห์และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ จากผลการวิจัยสามารถสรุปได้ดังนี้

5.1 การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาแพลเลเดียมบนถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว

การผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว พบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเผาถ่านคือ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง กระตุ้นเป็นถ่านกัมมันต์ด้วยโซเดียมคลอไรด์ ที่ความเข้มข้น 1 M และใช้เวลาในการกระตุ้น 24 ชั่วโมง โดยให้ค่าไอโอดีนัมเบอร์สูงสุดที่ 503.45 มิลลิกรัมต่อกรัม ทำการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาแพลเลเดียมบนถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว ได้ตัวเร่งที่มีโครงสร้างเป็นระเบียบ มีค่าพื้นที่ผิว 620 m²/g ขนาดรูพรุนเฉลี่ย 5.3 (μm) ปริมาตรรูพรุนเฉลี่ย 0.26 cm³/g มีอุณหภูมิในการรีดักชันในช่วง 280-520 องศาเซลเซียส

5.2 ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์ไฮโดรจีเนเตดไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม

สภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์ไฮโดรจีเนเตดไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม คือ ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง และใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 3 กรัม จะให้สารประกอบไฮโดรคาร์บอนส่วน Light fraction สูงสุด 89%

อภิปรายผล

ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ได้จากแพลเลเดียมบนถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว ยังมีประสิทธิภาพไม่ดีมากพอ เนื่องจากประสิทธิภาพในการทำปฏิกิริยามีความแตกต่างจากการไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาไม่มาก อาจต้องมีการปรับปรุงคุณภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาให้เหมาะสมกับปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชัน สำหรับตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการผลิตไบโอไฮโดรจีเนเตดดีเซล พบว่า นิกเกิล (Ni) และเหล็ก (Fe) เป็น

ตัวเร่งปฏิกิริยาที่นิยมใช้สำหรับกระบวนการไฮโดรจีเนชัน เนื่องจากมีราคาไม่แพงและสามารถสังเคราะห์ได้ง่าย (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2557)

การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตไบโอดีเซล พบว่าต้นทุนการผลิตไบโอดีเซลจะขึ้นอยู่กับราคาของน้ำมันปาล์มดิบเป็นหลัก เมื่อราคาน้ำมันปาล์มดิบสูงขึ้นส่งผลให้ต้นทุนการผลิตก็จะสูงขึ้นตามไปด้วย จากการศึกษา พบว่า ที่กำลังการผลิตไบโอดีเซล 1 ล้านลิตรต่อวัน สูงกว่ากำลังการผลิตไบโอดีเซล 1.8 ล้านลิตรต่อวันอยู่ 3.51 บาทต่อลิตร อย่างไรก็ตามเนื่องจากการลงทุนผลิตไบโอดีเซลในช่วงแรกต้นทุนการผลิตต่อหน่วยของไบโอดีเซลจะอยู่ในระดับราคาที่สูงกว่าราคาจำหน่ายน้ำมันดีเซลในตลาด ซึ่งจะส่งผลให้ผลผลิตที่ได้ไม่สามารถแข่งขันกับราคาน้ำมันดีเซลได้ รวมถึงการตัดสินใจลงทุนของผู้ประกอบการที่มีความเสี่ยงต่อการขาดทุนโดยเฉพาะในช่วงต้นของโครงการ ดังนั้นหากต้องการให้ประชาชนหันมาเลือกใช้เชื้อเพลิงไบโอดีเซล ทดแทนน้ำมันดีเซล ภาครัฐจะต้องมีการกำหนดมาตรการต่างๆ เพื่อจูงใจให้ประชาชน รวมถึงการสนับสนุนการลงทุนของผู้ประกอบการที่สนใจลงทุนในโครงการผลิตไบโอดีเซล (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2557)

ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้

1. สามารถนำไฮโดรจีเนตไบโอดีเซลที่ผลิตได้ไปใช้แทนน้ำมันดีเซลได้
2. สามารถนำกระบวนการผลิตไฮโดรจีเนตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มที่ได้นี้ ซึ่งมีคุณภาพเบื้องต้นเป็นไปตามมาตรฐาน แต่อาจต้องมีการปรับสมบัติบางประการให้ได้น้ำมันดีเซลที่มีคุณภาพดี ตลอดจนการศึกษาต้นทุนการผลิต เพื่อจะได้ข้อมูลพื้นฐานต่อการนำไปใช้ประโยชน์

ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

1. ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยสำหรับผู้สนใจใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาการผลิตไฮโดรจีเนตไบโอดีเซลจากน้ำมันชนิดอื่นๆ
2. อาจมีการพัฒนาตัวเร่งให้สามารถเพิ่มผลผลิตส่วนที่ต้องการให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด

บรรณานุกรม

บรรณานุกรมภาษาไทย

- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2557). “โครงการศึกษาความเหมาะสมของการจัดตั้งโรงงานผลิตBHD (Bio-hydrogenated Diesel) เชิงพาณิชย์” สืบค้นเมื่อ 20 พฤษภาคม 2557. เข้าถึงได้จาก: http://www.dede.go.th/ewt_dl_link.php?nid=44054.
- จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. (2559). “Equipment list”. สืบค้นเมื่อ 20 พฤษภาคม 2559. เข้าถึงได้จาก: <http://www.strec.chula.ac.th/equipment/32/>.
- จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. (2559). “Surface analysis”. สืบค้นเมื่อ 20 พฤษภาคม 2559. เข้าถึงได้จาก: http://www.chemtech.sc.chula.ac.th/facilities_detail.php?categoryid=17&category_subid=32&detailid=122.
- จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. (2559). “Temperature Programmed Desorption /Reduction /Oxidation Analyzer”. สืบค้นเมื่อ 20 พฤษภาคม 2559. เข้าถึงได้จาก:http://www.ppc.chula.ac.th/service_center/level3/surface_gr/3TPDRO.htm.
- พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์. (2557). “น้ำมันปาล์ม”. สืบค้นเมื่อ 20 พฤษภาคม 2557. เข้าถึงได้จาก: <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1300/palm-oil-%>.
- วัฒนฉัตร บุญหลง. (2555). “น้ำมันดีเซลชีวภาพสังเคราะห์ (Bio-Hydrogenated Diesel, BHD) เทคโนโลยีใหม่สำหรับรถยนต์ดีเซล”. สืบค้นเมื่อ 20 พฤษภาคม 2557. เข้าถึงได้จาก: http://bta.excise.go.th/admin/upload_km/3020.pdf.
- ศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันสุราษฎร์ธานี. 2559. “การแปรรูปปาล์มน้ำมัน”. สืบค้นเมื่อ 15 พฤษภาคม 2558. เข้าถึงได้จาก: <http://it.doa.go.th/palm/linkTechnical/oil%20palm%20processing.html>.
- สุวรรณ ทวนไกรพล. (2555). ไบโอดีเซล. *รักษ์พลังงาน*. ปีที่ 10, ฉบับที่ 78, ธันวาคม 2555, หน้า 16-27.

บรรณานุกรมภาษาต่างประเทศ

- Atthapon Srifa, Kajornsak Faungnawakij, Vorranutth Itthibenchapong, Nawin Viriyempikul, Tawatchai Charinpanitkul, Suttichai Assabumrungrat. (2014). *Production of bio-hydrogenated diesel by catalytic hydrotreating of palm oil over NiMoS₂/γ-Al₂O₃ catalyst*, *Bioresource Technology*. 158, 81-90.

- Bruno S. Souza, David M.M. Pinho, Elder C. Leopoldino, Paulo A.Z. Suarez, Faruk Nomea. (2012). *Selective partial biodiesel hydrogenation using highly active supported palladium nanoparticles in imidazolium-based ionic liquid*, Applied Catalysis A: General. 433–434, 109–114.
- Cristian M. Piqueras, Mari´a B. Fern´andez, Gabriela Marta Tonetto, Susana Bottini, Daniel E. Damiani. (2006). *Hydrogenation of sunflower oil on Pd catalysts in supercritical conditions: Effect of the particle size*, Catalysis Communications. 7, 344–347.
- Direct Industry, 2559 “Parr”. Retrieved from <http://www.directindustry.com/prod/parr-instrument-company/product-28323-99617.html>
- ERIA Research Project Working Group. (2010). EAS-ERIA Biodiesel Fuel TradeHandbook. 184-190.
- Ihsan Karabulut, Muammer Kayahan, Semra Yaprak. (2008). *Determination of changes in some physical and chemical properties of soybean oil during hydrogenation*, Food Chemistry. 81, 453–456.
- Izadifar M., Zolghadri Jahromi M. (2007). *Application of genetic algorithm for optimization of vegetable oil hydrogenation process*, Journal of Food Engineering. 78, 1–8.
- Jhon F. Sanchez Ma, Orlando J. Gonz´alez Bello b,1, Mario Montes b, Gabriela M. Tonetto, Daniel E. Damiani. (2009). *Pd/Al₂O₃-cordierite and Pd/Al₂O₃-Fecralloy monolithic catalysts for the hydrogenation of sunflower oil*, Catalysis Communications. 10, 1446–1449.
- Kubicˇka, D., Kaluzˇa, L. (2010). *Deoxygenation of vegetable oils over sulfided Ni, Mo and NiMo catalysts*, Appl. Catal., A. 372 (2), 199–208.
- Liu, J., Fan, K., Tian, W., Liu, C., Rong, L. (2012). *Hydroprocessing of Jatropha oil over NiMoCe/Al₂O₃ catalyst*. Int. J. Hydrogen Energy. 37 (23), 17731–17737.
- Liu, Y., Sotelo-Boyas, R., Murata, K., Minowa, T., Sakanishi, K. (2011). *Hydrotreatment of vegetable oils to produce bio-hydrogenated diesel and liquefied petroleum gas fuel over catalysts containing sulfided Ni–Mo and solid acids*, Energy Fuels. 25 (10), 4675–4685.
- Madsen A.T., Ahmed E., Christensen C.H., Fehrmann R., Riisager A. (2011). *Hydrodeoxygenation of waste fat for diesel production: study on model feed with Pt/alumina catalyst*, Fuel. 90, 3433–3438.

- Md A. Hossain, Shabab M. Chowdhury, Yamin Rekhu, Khandakar S. Faraz, Monzur Ul Islam. (2012). *Biodiesel from coconut oil: a renewable alternative fuel for diesel engine*, *World academy of science, Engineering and technology*. 68, 1289-1293.
- Morgan, T., Santillan-Jimenez, E., Harman-Ware, A.E., Ji, Y., Grubb, D., Crocker, M. (2012). *Catalytic deoxygenation of triglycerides to hydrocarbons over supported nickel catalyst*, *Chem. Eng. J.* 189–190, 346–355.
- Natthida Numwong, Apanee Luengnaruemitchai, Nuwong Chollacoop, Yuji Yoshimura. (2012). *Partial hydrogenation of polyunsaturated fatty acid methyl esters over Pd/activated carbon: Effect of type of reactor*, *Chemical Engineering Journal*. 210, 173–181.
- Ochoa-Hernandez, C., Yang, Y., Pizarro, P., de la Pena O’Shea, V.A., Coronado, J.M., Serrano, D.P. (2013). *Hydrocarbons production through hydrotreating of methyl esters over Ni and Co supported on SBA-15 and Al-SBA-15*, *Catal. Today*. 210, 81–88.
- Oguntola J Alamu, Opeoluwa Dehinbo and Adedoyin M Sulaiman, (2010). *Production and Testing of Coconut Oil Biodiesel Fuel and its Blend*, *Leonardo Journal of Sciences*. 16, 95-104.
- Onyestyak, G., Harnos, S., Szegedi, A., Kallo, D. (2012). *Sunflower oil to green diesel over Raney-type Ni-catalyst*. *Fuel*. 102, 282–288.
- Pinto F., Martins S., Goncalves M., Costa P., Gulyurtlu I., Alves A., Mendes B. (2013). *Hydrogenation of rapeseed oil for production of liquid bio-chemicals*, *Applied Energy*. 102, 272–282.
- Richard Feinman, (2011). *“Intro to Fatty Acids and Triglycerides”*. Retrieved from <https://feinmantheother.com/2011/10/20/intro-to-fatty-acids-and-triglycerides/>
- Santana A., Larrayoz M.A., Ramírez E., Nistal J., Recasens F. (2007). *Sunflower oil hydrogenation on Pd in supercritical solvents: Kinetics and selectivities*, *J. of Supercritical Fluids*. 41, 391–403.
- Santillan-Jimenez, E., Morgan, T., Lacny, J., Mohapatra, S., Crocker, M. (2013). *Catalytic deoxygenation of triglycerides and fatty acids to hydrocarbons over carbon-supported nickel*. *Fuel*. 103, 1010–1017.
- Sankaranarayanan, T.M., Banu, M., Pandurangan, A., Sivasanker, S. (2011). *Hydroprocessing of sunflower oil–gas oil blends over sulfided Ni–Mo–Al–zeolite beta composites*, *Bioresour. Technol.* 102 (22), 10717–10723.

- Worapon Kiatkittipong, Songphon Phimsen , Kunlanan Kiatkittipong, Suwimol Wongsakulphasatch, Navadol Laosiripojana, Suttichai Assabumrungrat. (2013). *Diesel-like hydrocarbon production from hydroprocessing of relevantrefining palm oil*. Fuel Processing Technology. 116, 16–26.
- Yang, Y., Wang, Q., Zhang, X., Wang, L., Li, G. (2013). *Hydrotreating of C₁₈ fatty acids to hydrocarbons on sulphided NiW/SiO₂-Al₂O₃*, Fuel Process. Technol. 116, 165–174.

ประวัติผู้วิจัย

นางฐิตินาถ สุขคนตร์ เกิดเมื่อวันที่ 19 กันยายน 2518 ที่จังหวัดระนอง สำเร็จการศึกษา ระดับปริญญาตรี สาขาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ เมื่อปี พ.ศ. 2540 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาโท สาขาปิโตรเคมีและวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปี พ.ศ. 2543 และสำเร็จปริญญาเอก สาขาปิโตรเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปี พ.ศ. 2553 ปัจจุบันดำรงตำแหน่งผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาเคมี และเป็นอาจารย์ผู้สอนหลักสูตรอาชีวอนามัยและความปลอดภัย คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสวนดุสิต