



รายงานการวิจัย

โครงการวิจัยเรื่อง การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วโดยใช้ตัวเร่ง
ปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธุ์

Production of Biodiesel from Used Vegetable Oil using Heterogeneous
Catalysts

คณะผู้วิจัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ไชยยันต์ ไชยยะ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วราภรณ์ ชนะกุลรังสรรค์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ประเสริฐ เรียบร้อยเจริญ

โครงการวิจัยทุนสนับสนุนงานวิจัยของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

งบประมาณผลประโยชน์ ปี พ.ศ. 2551

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

รายงานการวิจัย
โครงการวิจัยเรื่อง การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วโดยใช้ตัวเร่ง
ปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธุ์
Production of Biodiesel from Used Vegetable Oil using Heterogeneous
Catalysts

คณะผู้วิจัย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ไชยยันต์ ไชยยะ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วราภรณ์ ฐนะกุลรังสรรค์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ประเสริฐ เรียบร้อยเจริญ

โครงการวิจัยทุนสนับสนุนงานวิจัยของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
งบประมาณผลประโยชน์ ปี พ.ศ. 2551
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

บทคัดย่อ

ถ่านกัมมันต์ผลิตจากกะลามะพร้าว ถูกนำมาเตรียมเป็นตัวรองรับของตัวเร่งปฏิกิริยา 2 ชนิด ด้วยวิธีฝังตัวแบบเปียก คือชนิดที่เติมโพแทสเซียมซึ่งผ่านการแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 600°C และชนิดที่เติมแคลเซียมที่อุณหภูมิ 900°C จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง X-ray fluorescence พบว่าชนิดที่เติมโพแทสเซียม (K/Ac) มีปริมาณโพแทสเซียมปรากฏอยู่ร้อยละ 6.44 โดยน้ำหนัก และชนิดที่เติมแคลเซียม (Ca/Ac) มีปริมาณแคลเซียมปรากฏอยู่ร้อยละ 4.48 โดยน้ำหนัก ตัวเร่งปฏิกิริยาทั้ง 2 ชนิด ถูกนำไปทดสอบในปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน โดยแปรผันจำนวนการใช้งานน้ำมันพืช 1, 3 และ 5 ครั้ง และอัตราส่วนโดยโมลระหว่างน้ำมันต่อเมทานอล ที่ 1:10, 1: 15 และ 1: 20 โดยควบคุมอุณหภูมิที่ 60°C ที่เวลา 3 ชั่วโมง ผลจากเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ แสดงให้เห็นว่าปริมาณร้อยละ เมทิลเอสเทอร์มีค่าเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนระหว่างน้ำมันต่อเมทานอล โดยปฏิกิริยาที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดแคลเซียมจะให้ค่าปริมาณร้อยละเมทิลเอสเทอร์ระหว่าง 1.15-4.56 ในขณะที่ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดโพแทสเซียม จะให้ปริมาณร้อยละเมทิลเอสเทอร์สูงกว่าอย่างชัดเจนระหว่าง 83.24-98.97



Activated carbon (Ac) produced from coconut shell was prepared to be the supporter of two type catalysts using the wet impregnation method. The K type was calcined at 600°C and Ca type was at 900°C . The results of X-ray fluorescence showed the K/Ac contained of 6.44% K and Ca/Ac contained of 4.48% Ca by weight. They were operated in trans-esterification reaction by varying the number of reuse oil at 1, 3 and 5 times and the molar ratio between oil and methanol was 1:10, 1: 15 and 1: 20, controlled at 60°C for 3 hours. The results of Gas chromatograph showed the percentage of methyl ester increased with increasing of the molar ratio. The percentage of methyl ester reacted by Ca/Ac was the range of 1.15-4.56%, while the K/Ac provided the higher percentage of methyl ester significantly, was the range of 83.24-98.97%



กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยงบประมาณผลประโยชน์จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยี
ราชมงคลกรุงเทพ ปี 2551



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ค
ABSTRACT	ง
กิตติกรรมประกาศ	จ
สารบัญ	ฉ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพ	ฌ
ประมวลคำศัพท์และคำย่อ	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	2
1.3 ขอบเขตของโครงการ	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรม	
2.1 ไบโอดีเซล	4
2.2 ตัวเร่งปฏิกิริยา	11
2.3 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันพืชและไขมันสัตว์	15
2.4 สมบัติเมื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงของน้ำมันพืชและไขมันสัตว์	20
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	24
บทที่ 3 วิธีการทำวิจัย	
3.1 อุปกรณ์และสารเคมี	26
3.2 การสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยา	27
3.3 การสังเคราะห์ไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน	28

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.4 การวิเคราะห์ปริมาณของเมทิลเอสเทอร์	30
3.5 การวิเคราะห์สมบัติของน้ำมันพืชใช้แล้วและไบโอดีเซล	31
บทที่ 4 ผลการวิจัยและข้อวิจารณ์	
4.1 การเตรียมน้ำมันที่ใช้แล้ว	32
4.2 การสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยา	33
4.3 การสังเคราะห์ไบโอดีเซล	33
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการทำโครงการ	39
5.2 ข้อเสนอแนะ	39
บรรณานุกรม	41
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก การคำนวณน้ำหนักโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์	43
ภาคผนวก ข การคำนวณปริมาณสารที่ใช้	45
ภาคผนวก ค ข้อมูลดิบที่ใช้ในการวิเคราะห์ค่าปริมาณเมทิลเอสเทอร์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี	49
ประวัติคณะวิจัย	50

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	เงื่อนไขในการผลิตไบโอดีเซลโดยวิธีต่างๆ
2.2	องค์ประกอบเฉลี่ยกรดไขมันของน้ำมันพืชก่อนและหลังการใช้ประกอบอาหาร
2.3	องค์ประกอบกรดไขมันของน้ำมันพืชชนิดต่างๆ
2.4	สมบัติและค่าความร้อนของน้ำมันพืชชนิดต่างๆ
2.5	สมบัติของไบโอดีเซลเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล
4.1	ผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของน้ำมันพืชใช้แล้ว
4.2	องค์ประกอบธาตุในตัวอย่างปฏิกิริยาที่สังเคราะห์ขึ้น
4.4	สมบัติทางกายภาพและทางเชื้อเพลิงของไบโอดีเซลที่สังเคราะห์ขึ้น
ก.1	องค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันปาล์ม
ข.1	ปริมาณน้ำมันต่อเมทานอล และตัวเร่งปฏิกิริยาที่อัตราส่วนโดยโมลต่างๆ
ข.2	ข้อมูลดิบในการสังเคราะห์ไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันที่ภาวะต่างๆ
ค.1	น้ำหนักของสารตัวอย่างที่ใช้วิเคราะห์ปริมาณเมทิลเอสเทอร์ที่ภาวะต่างๆ

สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 กลไกการเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรด	12
2.2 กลไกการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส	13
3.1 การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาถ่านกัมมันต์ชนิดเบส (ก) ถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว (ข) สารละลาย	27
3.2 การติดตั้งอุปกรณ์การสังเคราะห์ไบโอดีเซล	28
3.3 ผลิตภัณฑ์ผสมที่ได้จากการสังเคราะห์ไบโอดีเซล	29
3.4 การแยกของเหลวที่ได้จากการกรองโดยใส่ในกรวยแยก	29
3.5 การล้างเมทิลเอสเทอร์ที่ได้ด้วยน้ำอุ่น	30
3.6 การระเหยนํ้าออกจากเมทิลเอสเทอร์	30
3.7 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ รุ่น Shimadzu GC-2014 GC/FID	31
4.1 ลักษณะของน้ำมันพืชที่ผ่านการใช้แล้ว 0, 1, 3 และ 5 ครั้ง	33
4.2 ตัวเร่งปฏิกิริยาที่สังเคราะห์ขึ้น	37
4.3 ผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้จากตัวเร่งปฏิกิริยา K/AC โดยใช้น้ำมันพืชที่ผ่านการ ใช้งาน 1 ครั้งที่อัตราส่วน 1:10, 1:15 และ 1:20	34
4.4 ผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้จากตัวเร่งปฏิกิริยา Ca/AC โดยใช้น้ำมันพืชที่ผ่านการ ใช้งาน 1 ครั้งที่อัตราส่วน 1:10, 1:15 และ 1:20	34
4.5 ผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้จากตัวเร่งปฏิกิริยา K/AC โดยใช้น้ำมันพืชที่ผ่านการ ใช้งาน 3 ครั้งที่อัตราส่วน 1:10, 1:15 และ 1:20	34
4.6 ผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้จากตัวเร่งปฏิกิริยา Ca/AC โดยใช้น้ำมันพืชที่ผ่านการ ใช้งาน 3 ครั้งที่อัตราส่วน 1:10, 1:15 และ 1:20	35
4.7 ผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้จากตัวเร่งปฏิกิริยา K/AC โดยใช้น้ำมันพืชที่ผ่านการ ใช้งาน 5 ครั้งที่อัตราส่วน 1:10, 1:15 และ 1:20	35
4.8 ผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้จากตัวเร่งปฏิกิริยา Ca/AC โดยใช้น้ำมันพืชที่ผ่านการ ใช้งาน 5 ครั้งที่อัตราส่วน 1:10, 1:15 และ 1:20	35

รายการรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนครั้งการใช้น้ำมันพืชกับปริมาณเมทิลเอสเทอร์ ที่ใช้ K/AC เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่อัตราส่วน ■ 1:10, ■ 1:15 และ ■ 1:20	36
4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนครั้งการใช้น้ำมันพืชกับปริมาณเมทิลเอสเทอร์ ที่ใช้ Ca/AC เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่อัตราส่วน ■ 1:10, ■ 1:15 และ ■ 1:20	37
ก.1 ไตรกลีเซอไรด์	43



ประมวลคำศัพท์และคำย่อ

K/AC = Potassium/Activated Carbon

Ca/AC = Calcium/ Activated Carbon

GC = Gas Chromatograp

g = Grams

MW = Molecular Weight

n = Mole

V = Volume

ρ = Density



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

จากวิกฤตการณ์เรื่องราคาน้ำมันดิบในตลาดโลกที่เพิ่มสูงขึ้น และมีแนวโน้มที่จะเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากทรัพยากรปิโตรเลียมได้ลดน้อยลง ประกอบกับอัตราการใช้น้ำมันของประเทศไทย โดยเฉพาะน้ำมันดีเซลมีอัตราเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้ส่งผลต่อเศรษฐกิจเป็นอย่างมากเนื่องจากประเทศไทยต้องเสียเงินตราไปยังต่างประเทศในการนำเข้าน้ำมัน จึงได้มีการส่งเสริมและ สนับสนุนให้มีการใช้เชื้อเพลิงทดแทน เพื่อนำมาช่วยแก้ไขปัญหาคาใช้น้ำมันแพงในปัจจุบัน ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงทดแทนชนิดหนึ่งที่มีความสนใจเป็นอย่างมาก เนื่องจากไบโอดีเซลสามารถสังเคราะห์ได้ง่าย ไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ยังมีคุณภาพทัดเทียมน้ำมันดีเซลในการเดินเครื่องยนต์โดยไม่ก่อปัญหาให้แก่เครื่องยนต์ และการใช้ไบโอดีเซลกับเครื่องยนต์ดีเซลไม่จำเป็นต้องมีการดัดแปลงเครื่องยนต์แต่อย่างใด การสังเคราะห์ไบโอดีเซลในปัจจุบันสามารถสังเคราะห์ได้ง่ายจากพืชผลทางการเกษตร นิยมสังเคราะห์จากน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์ และน้ำมันที่ใช้แล้วก็เป็นอีกทางเลือกหนึ่ง值得ส่งเสริมในการสังเคราะห์ไบโอดีเซล เนื่องจากน้ำมันพืชที่ใช้แล้วเป็นวิธีที่นำของเหลือทิ้งมาทำให้เกิดประโยชน์ และยังช่วยลดปัญหาทางด้าน สิ่งแวดล้อมและสาธารณสุข เนื่องจากน้ำมันพืชที่ใช้เมื่อปล่อยทิ้งลงสู่แม่น้ำจะก่อให้เกิดมลพิษทางน้ำ นำไปสู่การสิ้นเปลืองเงินในการบำบัดน้ำเสีย และน้ำมันที่ใช้แล้วเมื่อนำเอามาบริโภคซ้ำๆ อาจจะก่อให้เกิดโรคกับร่างกายได้ อาทิเช่น โรคมะเร็ง เป็นต้น

การสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว ก็เหมือนกับการสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชและไขมันสัตว์ โดยนำมาทำปฏิกิริยาเคมีกับแอลกอฮอล์ เช่น เมทานอลหรือเอทานอล ทำให้เกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน (Esterification) โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นตัวช่วยให้เกิดปฏิกิริยาเคมี เกิดเป็นสารเอสเทอร์หรือเรียกว่าไบโอดีเซล (Biodiesel) ส่วนตัวเร่งปฏิกิริยาที่นิยมใช้ในปัจจุบันจะมีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneous catalyst) กับสารตั้งต้น เช่น สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์หรือโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งสามารถหาได้ง่ายและราคาถูก แต่เมื่อปฏิกิริยาสิ้นสุดลงตัวเร่งปฏิกิริยาดังกล่าวจะรวมตัวอยู่กับไบโอดีเซล จึงทำให้กระบวนการสุดท้ายของการผลิตไบโอดีเซลนอกจากจะต้องแยกกลีเซอรอลออก และระเหยแอลกอฮอล์ออกแล้วยังต้องเพิ่มขั้นตอนการล้าง (Washing) ด้วยน้ำอีกปริมาณมากเพื่อชะล้างตัวเร่งปฏิกิริยาที่ยังผสมอยู่ออกไป ซึ่งจากงานวิจัยของกุลเชษฐ์ และคณะ แสดงให้เห็นว่าการล้างด้วยน้ำนี้จะต้องใช้น้ำประมาณ 50% ของปริมาตรไบโอดีเซลที่ผลิตขึ้นหรือจนกว่าจะแน่ใจว่าไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยาเหลืออยู่ (กุลเชษฐ์ เพียรทอง และคณะ 2548: 1-7)

จากปัญหาดังกล่าวนี้นี้จึงมีแนวคิดที่จะวิจัย การสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชที่ใช้งานแล้ว โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบบิวิวิรพันธุ์ได้แก่ โพแทสเซียมและแคลเซียม ซึ่งจะสังเคราะห์ขึ้นด้วยวิธีฝังตัวแบบเปียกลงบนผิวของถ่านกัมมันต์และเผาที่อุณหภูมิ 600 และ 900°C ตามลำดับ

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1.2.1 เพื่อผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิธีพังก์ที่สังเคราะห์ขึ้น
- 1.2.2 เพื่อศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน
- 1.2.3 เพื่อศึกษาจำนวนครั้งการใช้งานน้ำมันพืชที่มีผลต่อปริมาณและความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์ที่สังเคราะห์ได้

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1.3.1 วิเคราะห์สมบัติของน้ำมันพืชใช้แล้ว
 - 1) ค่ากรด (Acid Value) ด้วยมาตรฐาน AOAC
 - 2) ค่าสะพอนิฟิเคชัน (Saponification Value) ด้วยวิธีมาตรฐาน AOAC
 - 3) ค่าไอโอดีน (Iodine Value) ด้วยวิธีมาตรฐาน EN 14111
- 1.3.2 สังเคราะห์ไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันจากน้ำมันพืชใช้แล้วกับแอลกอฮอล์ คือ เมทานอล โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา คือ โพแทสเซียมและ แคลเซียม
- 1.3.3 ตัวแปรในการศึกษา ได้แก่
 - 1.3.3.1 อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน คือ 1:10, 1:15 และ 1:20
 - 1.3.3.2 ปริมาณครั้งการใช้ของน้ำมันพืช คือ 1, 3 และ 5
 - 1.3.3.3 ชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา 2 ชนิด ได้แก่ K และ Ca
- 1.3.4 การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของไบโอดีเซลที่สังเคราะห์ได้ ด้วยวิธีมาตรฐาน ASTM
 - 1.3.4.1 สมบัติทางกายภาพ
 - 1) ค่าความหนืดจลน์ที่ 40°C ด้วยวิธีมาตรฐาน ASTM D 445
 - 1.3.4.2 สมบัติทางเคมี
 - 1) ค่าความร้อนการเผาไหม้แบบกรอส (Gross) ด้วยวิธีมาตรฐาน ASTM D 240
 - 2) จุดหมอก (Cloud point) ด้วยวิธีมาตรฐาน ASTM D 2500
 - 3) จุดไหลเท (Pour point) ด้วยวิธีมาตรฐาน ASTM D 97
- 1.3.5 วิเคราะห์ปริมาณเมทิลเอสเทอร์ ด้วยวิธีมาตรฐาน EN 14103 ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (Gas Chromatograph, GC)

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 รู้เงื่อนไขภาวะในการสังเคราะห์ไบโอดีเซล โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ชนิดเบส
- 1.4.2 สามารถลดขั้นตอนในการแยกตัวเร่งปฏิกิริยาออกจากไบโอดีเซลหลังจากปฏิกิริยาสิ้นสุดลง ซึ่งถือเป็นการช่วยประหยัดทรัพยากรน้ำอีกทางหนึ่ง
- 1.4.3 นำสิ่งของเหลือใช้มาใช้ให้เกิดประโยชน์
- 1.4.4 ลดการนำเข้าน้ำมันดีเซลจากต่างประเทศ



บทที่ 2

บททวนวรรณกรรม

2.1 ไบโอดีเซล

ไบโอดีเซล (Biodiesel) เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลที่ผลิตได้จาก น้ำมันพืช ไขมันสัตว์ หรือน้ำมันปรุงอาหารที่ใช้แล้ว ซึ่งได้รับการกำจัดยางเหนียวหรือสิ่งสกปรกออก และนำไปผ่านกระบวนการทางเคมีที่เรียกว่า ทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (Transesterification) โดยการเติม แอลกอฮอล์ เช่น เมทานอล หรือ เอทานอลและตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ หรือ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ภายใต้สภาวะที่เกิดปฏิกิริยาที่เหมาะสม เพื่อเปลี่ยนไขมันหรือเปลี่ยนโครงสร้างของน้ำมันจากไตรกลีเซอไรด์ (Triglycerides) ให้เป็นโมโนอัลคิลเอสเทอร์ (Mono Alkyl Ester) ได้แก่ เมทิลเอสเทอร์ (Methyl Ester) หรือเอทิลเอสเทอร์ (Ethyl Ester) และกลีเซอริน (Glycerine) ถือเป็นผลพลอยได้ใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับอุตสาหกรรมยา เครื่องสำอาง น้ำมันหล่อลื่น ฯลฯ

ไบโอดีเซล (Biodiesel) เป็นเชื้อเพลิงสะอาด ปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อม และมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล สามารถเผาไหม้ได้อย่างสมบูรณ์และไอเสียมีมลพิษต่ำกว่าเมื่อใช้น้ำมันดีเซลในเครื่องยนต์ดีเซลโดยไม่ต้องปรับแต่งเครื่องยนต์แต่อย่างใดและให้ค่าพลังงานเช่นเดียวกับน้ำมันดีเซลปกติ

2.1.1 วิธีการผลิตไบโอดีเซล

2.1.1.1 การใช้โดยตรงหรือการผสม (Direct use and Blending) เป็นการนำน้ำมันพืชมาผสมกับน้ำมันดีเซลโดยตรงในสัดส่วนต่างๆ เพื่อให้เกิดความหนืดของน้ำมันพืชลดลง สามารถผสมน้ำมันได้ตั้งแต่ 10% ขึ้นไปตามความเหมาะสมของน้ำมันที่ใช้ พบว่าข้อเสียของวิธีนี้คือให้ค่าความหนืดที่สูงแต่ค่าเกี่ยวกับการระเหยต่ำ ซึ่งจะส่งผลต่อเครื่องยนต์ในระยะยาว และถ้าผสมมากเกินไปจะทำให้การกลายเป็นไอต่ำ เกิดโค้กพอกบนหัวฉีดของเครื่องยนต์

2.1.1.2 การทำไมโครอิมัลชัน (Microemulsions) เป็นการกระจายของอนุภาคของเหลวที่แขวนลอยในตัวกลางของเหลวอีกชนิดหนึ่งอย่างสมดุล ด้วยการผสมน้ำมันพืชกับ แอลกอฮอล์ที่มีสายโซ่สั้น เช่น เมทานอล เอทานอล 1-บิวทานอล ซึ่งเป็นตัวทำละลาย ของเหลวทั้งสองชนิดไม่ละลายเป็นเนื้อเดียวกัน แต่จะกระจายอยู่ได้ด้วยสารลดแรงตึงผิว วิธีนี้สามารถปรับปรุงลักษณะที่เป็นละอองฝอยจากหัวฉีด เนื่องจากตัวทำละลายมีจุดเดือดต่ำเมื่อเทียบกับน้ำมันพืช

2.1.1.3 การสลายตัวด้วยความร้อน (Thermal Cracking or Pyrolysis) เป็นการเปลี่ยนสารหนึ่งๆไปเป็นสารอื่นๆมากกว่าหนึ่งสาร โดยการให้ความร้อนที่ 450°C เพียงอย่างเดียว หรือมีตัวเร่งปฏิกิริยา SiO_2 , Al_2O_3 , Na_2CO_3 และซีโอไลต์ช่วยเพื่อทำให้น้ำมันที่มีโมเลกุลใหญ่แตกเป็นโมเลกุลที่เล็กลง วิธีนี้พบว่ามีความคุ้มค่าใช้จ่ายสูง สมบัติที่ได้มีแนวโน้มจะเป็นเชื้อเพลิงแก๊สโซลีนมากกว่าเชื้อเพลิงดีเซล

2.1.1.4 ทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน (Transesterification) เป็นการทำปฏิกิริยาระหว่างไตรกลีเซอไรด์ของไขมันสัตว์หรือน้ำมันที่ผ่านการแปรรูปด้วยกระบวนการทางเคมี ที่เรียกว่าทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยการนำเอาน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์มาผ่านการกรองก่อนที่จะถูกนำไปทำปฏิกิริยากับด่างเพื่อกำจัดอนุมูลไขมันอิสระ แล้วจึงผสมรวมกับเมทานอลและโซเดียมไฮดรอกไซด์หรือโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ทำให้สารไตรกลีเซอไรด์ในน้ำมันถูกเปลี่ยนเป็นสารเอสเทอร์และกลีเซอรอล เมื่อกลีเซอรอลถูกออกจากน้ำมันพืชแล้ว โมเลกุลที่เหลือจะมีสมบัติคล้ายกับน้ำมันปิโตรเลียม จะต่างกันว่าโมเลกุลของไบโอดีเซลเป็นกลุ่มของไฮโดรคาร์บอน ที่ไม่มีกำมะถันหรือองค์ประกอบที่ซับซ้อนอื่น ๆ วิธีนี้นิยมในเชิงพาณิชย์

2.1.2 ประเภทของไบโอดีเซล สามารถแบ่งตามประเภทของน้ำมันได้ 3 ประเภท ดังนี้

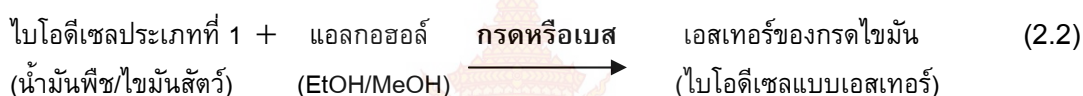
2.1.2.1 ไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์โดยตรง ไบโอดีเซลประเภทนี้ก็คือน้ำมันพืชแท้ๆ เช่น น้ำมันมะพร้าว น้ำมันปาล์ม น้ำมันถั่วลิสง น้ำมันถั่วเหลือง หรือน้ำมันจากไขมันสัตว์ เช่น ไขมันหมู ซึ่งสามารถนำมาใช้ได้เลยกับเครื่องยนต์ดีเซลโดยไม่ต้องผสม หรือเติมสารเคมีอื่นใด ไม่ต้องนำมาเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของน้ำมันให้สั้นเปลืองเวลา และสิ้นเปลืองทรัพยากรอีก อย่างไรก็ตามการใช้งานของไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์โดยตรง คือ ต้องมีการอุ่นน้ำมันทุกจุดที่น้ำมันผ่านให้มีอุณหภูมิอย่างน้อย 70°C ได้แก่ ถังน้ำมัน ท่อทางเดินน้ำมัน ชุดกรองน้ำมัน เป็นต้น เพราะการใช้งานที่เหมาะสมจำเป็นต้องอาศัยความร้อนในการหลอมเหลวไขแข็ง และช่วยลดความหนืดของน้ำมัน เนื่องจากน้ำมันพืชมีความหนืดสูงกว่าน้ำมันดีเซลประมาณ 11-17 เท่า ที่อุณหภูมิที่น้ำมันพืชยังมีความหนืดสูงขึ้นเป็นลำดับจนเกิดเป็นไข การที่น้ำมันพืชมีความหนืดสูงกว่าน้ำมันดีเซล ทำให้หัวฉีดน้ำมันฉีดน้ำมันให้เป็นฝอยได้ยาก อันเป็นอุปสรรคต่อการป้อนน้ำมันเชื้อเพลิงเข้าสู่ห้องเผาไหม้ และเกิดการสันดาปไม่สมบูรณ์ นอกจากนี้แล้ว น้ำมันพืชมีคุณสมบัติที่ระเหยตัวกลายเป็นไอได้ช้าและน้อยมาก (Slow volatility) ยิ่งทำให้เกิดการจุดระเบิดทำได้ยาก การติดเครื่องทำได้ยาก และหลงเหลือคราบเขม่าเกาะที่หัวฉีด ผนังลูกสูบ แหวน และ วาล์ว จากสมบัติที่น้ำมันพืชมีความหนืดสูงและระเหยตัวได้ต่ำกว่าน้ำมันดีเซลนี้ ทำให้เกิดความยุ่งยากเมื่อใช้น้ำมันพืชโดยตรงในเครื่องยนต์ดีเซล

2.1.2.2 ไบโอดีเซลแบบลูกผสม เป็นการผสมระหว่างน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์ กับน้ำมันก๊าด น้ำมันดีเซล หรืออะไรก็ได้เพื่อให้ไบโอดีเซลที่ได้มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลให้มากที่สุด อย่างเช่น โคโคดีเซล (coco-diesel) ที่อำเภอทับสะแก จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ซึ่งเป็นการผสมกันระหว่างน้ำมันมะพร้าวกับน้ำมันก๊าด หรือปาล์มดีเซล (palm-diesel) เป็นการผสมระหว่างน้ำมันปาล์มกับน้ำมันดีเซล



น้ำมันที่ได้จากวิธีการดังกล่าวเหมาะสมกับกรณีที่ต้องการใช้น้ำมันอย่างเร่งด่วน และใช้กับเครื่องยนต์ที่ใช้งานหนัก ตลอดจนใช้งานในภูมิอากาศเขตร้อน ซึ่งอัตราส่วนผสมระหว่างน้ำมันก๊าด และน้ำมันพืชขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของพื้นที่ใช้งาน อัตราส่วนผสมมีตั้งแต่ 10% ของน้ำมันก๊าด ต่อ 90% ของน้ำมันพืช จนถึง 40% ของน้ำมันก๊าด ต่อ 60% ของน้ำมันพืช โดยอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมอยู่ที่ 20% ของน้ำมันก๊าด 80% ของน้ำมันพืช ปัจจุบันมีการนำวิธีการดังกล่าวไปประยุกต์ใช้งานจริง แต่เนื่องจากราคาน้ำมันก๊าดค่อนข้างสูงทำให้ปริมาณของน้ำมันก๊าดน้อยเกินไป ส่งผลให้น้ำมันผสมที่ได้มีผลกระทบต่อเครื่องยนต์ดีเซลที่ไม่มีการดัดแปลงเครื่องยนต์ จึงจำเป็น ต้องเลือกชนิดของน้ำมัน ชนิดตัวทำละลาย และสัดส่วนที่เหมาะสม ซึ่งต้องพิจารณาประกอบกับปัจจัยเรื่องพื้นที่ และฤดูกาลที่ใช้งาน

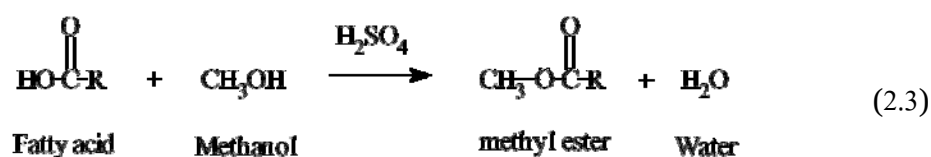
2.1.2.3 ไบโอดีเซลแบบเอสเทอร์ เป็นไบโอดีเซลที่ต่างประเทศใช้กันทั่วไป อาทิ ในเยอรมัน สหรัฐอเมริกา แม้แต่มาเลเซีย ดังนั้นถ้าพูดถึงคำว่า “ไบโอดีเซล” ในความหมายของสากลหมายถึง ไบโอดีเซลแบบเอสเทอร์ สำหรับไบโอดีเซลประเภทนี้ต้องผ่านกระบวนการแปรรูปด้วยกระบวนการทางเคมีที่เรียกว่า ทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน แสดงได้ดังสมการ 2.2



คือ การนำเอาน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์ไปทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ โดยใช้กรดหรือด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ทำให้ได้เอสเทอร์ โดยจะเรียกชนิดของไบโอดีเซลแบบเอสเทอร์ตามชนิดของแอลกอฮอล์ ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาไบโอดีเซลชนิดเอสเทอร์นี้มีคุณสมบัติที่เหมือนกับน้ำมันดีเซลมากที่สุด ทำให้ไม่มีปัญหากับเครื่องยนต์ เชื้อเพลิงชนิดนี้มีความหนืดใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลและมีค่าคงตัว ค่าความหนืดเปลี่ยนแปลงได้น้อยมากเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยน จุดวาบไฟของไบโอดีเซล มีค่าสูงกว่าน้ำมันดีเซล ทำให้มีความปลอดภัยในการใช้งาน ดังนั้นจึงสามารถนำไปเติมในเครื่องยนต์ดีเซลได้ทุกชนิด ทั้งแบบเติมโดยตรงและแบบเติมผสมในน้ำมันดีเซลในอัตราส่วนต่างๆ เช่น B5 หมายถึงการผสมไบโอดีเซลต่อน้ำมันดีเซลในอัตราส่วน 5:95 หรือ B100 ซึ่งหมายถึงน้ำมันไบโอดีเซล 100% เป็นต้น แต่การผลิตไบโอดีเซลแบบเอสเทอร์มีต้นทุนการผลิตสูงเมื่อเทียบกับไบโอดีเซลประเภทอื่นๆ

กระบวนการสังเคราะห์ไบโอดีเซลแบบเอสเทอร์สามารถแบ่งออกได้เป็น 4 กระบวนการ

(1) กระบวนการเอสเทอริฟิเคชัน (Esterification Process) ต้องอาศัยปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชัน (Esterification Reaction) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาระหว่างกลีเซอไรด์ของกรดไขมันกับแอลกอฮอล์ จะได้สารเอสเทอร์ และน้ำ ได้เป็นผลิตภัณฑ์ ดังสมการที่ 2.3 ปฏิกิริยาเอส

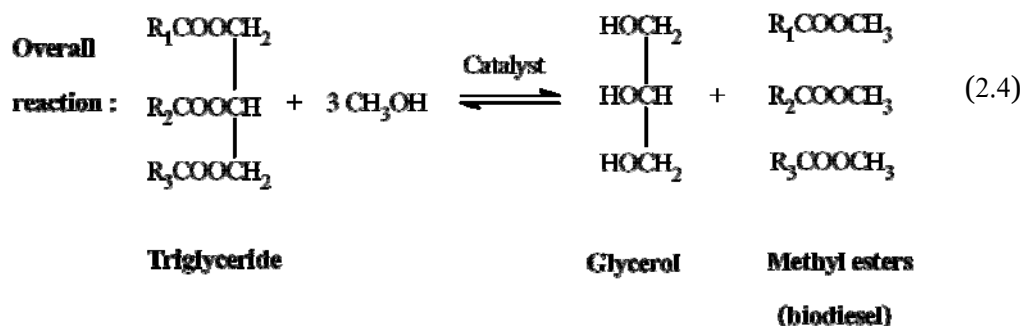


กระบวนการนี้สามารถใช้ได้กับวัตถุดิบทุกชนิด และใช้ได้กับค่ากรดไขมันทุกระดับ แต่มีข้อด้อย คือใช้เวลาในการทำปฏิกิริยานาน และใช้อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาสูงจึงทำให้ต้นทุนในการผลิตสูง

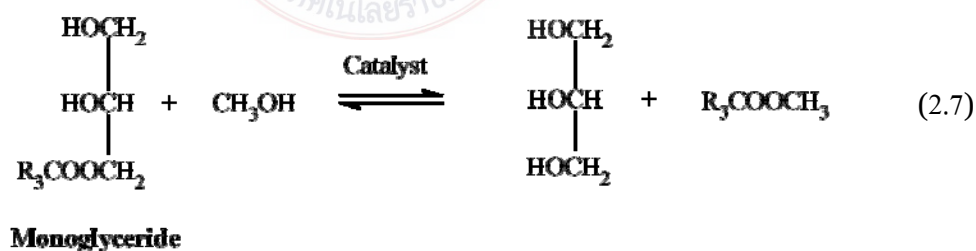
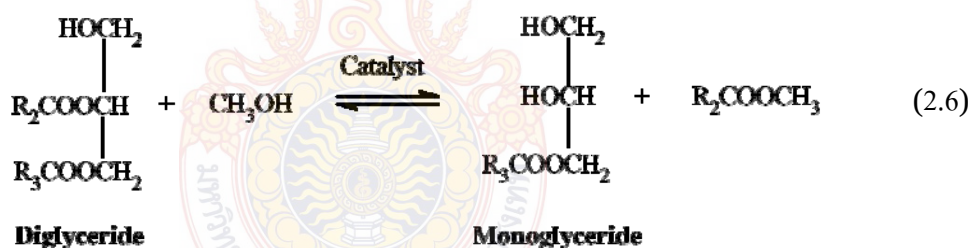
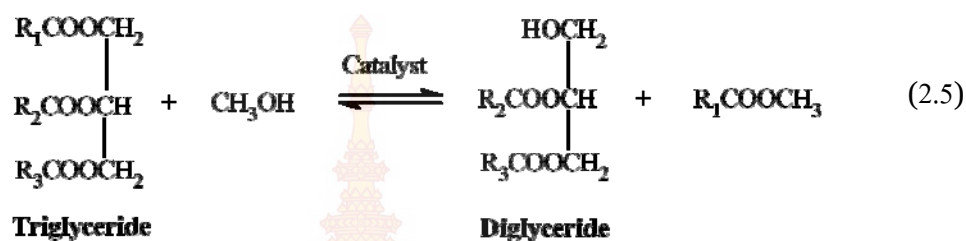
(2) กระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน (Transesterification Process)

กระบวนการนี้ต้องอาศัยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน เกิดขึ้นระหว่างไตรกลีเซอไรด์ของกรดไขมันกับแอลกอฮอล์ โดยเกิดการเปลี่ยนหมู่แอลคอกซิล (Alkoxy Group, RO-) ของไตรกลีเซอไรด์ด้วยแอลกอฮอล์ที่มีโมเลกุลเล็กกว่า ปฏิกิริยานี้อาจเรียกว่า ปฏิกิริยาแยกสลายด้วยแอลกอฮอล์ (Alcoholysis Reaction) ปฏิกิริยานี้จะใช้เตรียมสารเอสเทอร์ที่ไม่สามารถเตรียมได้ด้วยการทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน ได้โดยตรง แอลกอฮอล์ที่นำมาใช้ต้องมีจำนวนคาร์บอนอะตอมตั้งแต่ 1 ถึง 8 อะตอม ส่วนมากนิยมใช้เมทานอลและเอทานอลในการทำปฏิกิริยา กรณีการใช้เมทานอลมีข้อได้เปรียบคือ สามารถผลิตได้จากเกษตรและย่อยสลายได้ดีด้วยกระบวนการทางชีวภาพมีอันตรายน้อยกว่าเอทานอล (จิราวัลย์ แลบัว 2530: 33) จากสมการที่ 2.4 เป็นปฏิกิริยารวมของการเกิดไบโอดีเซลซึ่งพบว่าเป็นระหว่างการทำปฏิกิริยาTriglyceride จะแตกตัวเป็น Diglyceride และ Monoglyceride ทำให้เมื่อปฏิกิริยาลิ้นสุดลง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะเป็น R-ester จำนวน 3 โมเลกุล แสดงดังสมการ 2.5-2.7

ปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน



โดยสามารถแบ่งปฏิกิริยาออกเป็น 3 ขั้นตอน



ปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน ต้องใช้อัตราส่วนโดยโมลระหว่าง ไตรกลีเซอไรด์กับแอลกอฮอล์ คือ 1:3 ตามทฤษฎี แต่เนื่องจากปฏิกิริยาดังกล่าวเป็นปฏิกิริยาผันกลับได้ ในทางปฏิบัติต้องการอัตราส่วนโดยโมลที่สูงมากเกินพอ เพื่อเป็นการผลักดันสมดุลของปฏิกิริยาให้เกิดผลได้ (Yield) ของเอสเทอร์ที่สูงสุด ดังนั้นการใช้แอลกอฮอล์มากเกินพอจะช่วยให้ไตรกลีเซอไรด์ถูกทำปฏิกิริยาได้อย่างสมบูรณ์

กระบวนการนี้นิยมใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และใช้เมทานอลเป็นสารตั้งต้นในกระบวนการ ข้อดีของกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน คือเป็นเทคโนโลยีที่ไม่ต้องลงทุนมากเนื่องจากเป็นกระบวนการที่ใช้อุณหภูมิต่ำ ผลได้ของปฏิกิริยาสูงถึง 98% แต่กระบวนการนี้ไม่เหมาะกับวัตถุดิบที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระสูง เนื่องจากจะทำให้เกิดสบู่และส่งผลให้เกิดผลได้ลดลง

(3) กระบวนการแบบ 2 ขั้นตอน (Two-Stage Process) เป็นการแก้ปัญหาจุดด้อยของ 2 กระบวนการข้างต้น กล่าวคือ สามารถใช้กับน้ำมันที่ค่ากรดไขมันอิสระสูง และในขณะเดียวกันใช้พลังงานต่ำ โดยหลักการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรด เปลี่ยนกรดไขมันของน้ำมันเป็นสารเอสเทอร์ในขั้นตอนแรก และขั้นตอนที่สอง ใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เหมือนกับกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ถึงแม้ว่ากระบวนการนี้จะใช้พลังงานต่ำกว่ากระบวนการเอสเทอร์ฟิเคชันอย่างเดียว แต่หากวัตถุดิบมีค่ากรดสูงมากๆ กระบวนการในขั้นตอนแรกจะใช้เวลามากขึ้น ส่งผลทำให้ต้นทุนในการผลิตไบโอดีเซลสูงตามไปด้วย

(4) วิธีเหนือจุดวิกฤตของเมทานอล (Supercritical Method) เป็นการผลิตไบโอดีเซล โดยทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิสูงกว่า 300°C ภายใต้ภาวะระบบควบคุมความดัน 30 MPa ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาประมาณ 4 นาที และอัตราส่วนโดยโมลระหว่างน้ำมันพืชต่อเมทานอลเป็น 1:42 ได้เมทิลเอสเทอร์มากกว่า 95% แต่เนื่องจากวิธีการนี้จะมีค่าใช้จ่ายสูง จึงทำให้ไม่นิยมใช้ผลิตไบโอดีเซลเท่าที่ควร (บัณฑิต หาญเวช และพิมภรณ์ บุญวิเชียร 2550: 7)

ตารางที่ 2.1 เงื่อนไขในการผลิตไบโอดีเซลโดยวิธีต่างๆ

Variable	Alkali catalysis	Lipase catalysis	Supercritical alcohol	Acid catalysis
-Reaction temperature ($^{\circ}\text{C}$)	60-70	30-40	239-385	55-80
-Free fatty acid in raw materials	Saponified product	Methyl ester	Esters	Esters
-Yield of methyl ester	Normal	Higher	Good	Normal
-Recovery of glycerol	Difficult	Easy		Difficult
-Purification of methyl ester	Repeated washing	None		Repeated washing
- Production cost of catalyst	Cheap	Relatively expensive	Medium	Cheap

2.1.3 ข้อดีของไบโอดีเซล

2.1.3.1 เป็นพลังงานที่ปราศจากสารพิษ ย่อยสลายง่าย ปลอดภัยจากสารกำมะถันและเบนซิน ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็ง ไม่มีกลิ่นและควันพิษ เพราะออกซิเจนในไบโอดีเซลให้การสันดาปที่สมบูรณ์กว่าดีเซลปกติ จึงมีคาร์บอนมอนอกไซด์น้อยกว่า จึงทำให้ไม่เกิดการอุดตันของระบบท่อไอเสียได้ง่าย ช่วยยืดอายุการทำงานของเครื่องยนต์เป็นอย่างดี

2.1.3.2 ในกระบวนการเผาไหม้เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซลธรรมดาแล้ว ไบโอดีเซลสามารถผลิตก๊าซออกซิเจนได้ 10% และสามารถลดปริมาณของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ 44% ลดปริมาณสารไฮโดรคาร์บอนซึ่งเครื่องยนต์เผาไหม้ไม่หมดลงได้ 68% รวมทั้งลดอนุภาคของสารพิษหรือประจุขนาดเล็กของสารพิษลงได้ 40% อีกด้วย

2.1.3.3 ช่วยลดปัญหาของสภาวะเรือนกระจก (Greenhouse Effect) ที่ทำให้อุณหภูมิในชั้นบรรยากาศเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งมีผลเสียต่อสุขภาพและสภาพแวดล้อม

2.1.3.4 จุดวาบไฟของไบโอดีเซลสูงไม่ทำให้ติดไฟง่าย จึงไม่อันตรายปลอดภัยต่อการขนย้ายและการเก็บรักษา โดยสามารถเก็บไว้จนถึงที่ใช้บรรจุน้ำมันปิโตรเลียมได้ ยกเว้นถังคอนกรีตหรือภาชนะที่ผลิตจากสารประเภทโพลีเอทิลีน และยางพารา

2.1.3.5 เป็นพลังงานที่ได้จากกระบวนการนำทรัพยากรที่ใช้แล้ว ได้แก่ การนำน้ำมันพืชชนิดต่าง ๆ มาผลิตเป็นไบโอดีเซลใช้เองภายในท้องถิ่น ซึ่งช่วยลดปริมาณความต้องการน้ำมันจากต่างประเทศ และยังช่วยประหยัดเงินตราของประเทศอีกด้วย (ศิริวรรณ บรค์ 2544: 20)

2.1.4 ไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว

น้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์ที่ใช้แล้ว สามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้อีก ทางเลือกหนึ่งคือการนำมาผลิตไบโอดีเซล โดยนำมาทำปฏิกิริยาทางเคมีกับแอลกอฮอล์ โดยมีตัวเร่งปฏิกิริยา โซเดียมไฮดรอกไซด์ หรือ โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา แต่ข้อสำคัญในการนำเอาน้ำมันพืชที่ใช้แล้วมาผลิตไบโอดีเซล คือ การขจัดสิ่งปนเปื้อนในน้ำมันก่อนทำปฏิกิริยา โดยตั้งทิ้งไว้ 1 คืน แล้วดูดหรือกรองน้ำมันส่วนชั้นน้ำมันใสขึ้นมา สิ่งที่ต้องพิจารณาได้แก่

ก) มีน้ำปนเปื้อนในน้ำมันซึ่งจะมีผลเสียต่อการทำปฏิกิริยาสำหรับไบโอดีเซล ดังนั้นต้องกำจัดน้ำออกจากน้ำมัน

ข) มีปริมาณกรดไขมันอิสระสูงในน้ำมัน ทำให้น้ำมันเป็นกรดมากและอาจทำให้เกิดเป็นสบู่ได้ง่าย ดังนั้นต้องกำจัดกรดโดยการใส่ปริมาณด่างที่เหมาะสมที่จะทำปฏิกิริยากับน้ำมันและกรดไขมันอิสระ (Free Fatty Acid) ในน้ำมันเพื่อให้ไขมันไบโอดีเซลมีค่าเป็นกลาง

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบเฉลี่ยกรดไขมันของน้ำมันพืชก่อนและหลังการใช้ประกอบอาหาร

ชนิดของกรดไขมัน	ชื่อของกรดไขมัน	ร้อยละกรดไขมัน	
		ก่อนประกอบอาหาร	หลังประกอบอาหาร
C12:0	กรดลอริก (Lauric acid)	0.45	0.32
C14:0	กรดไมริสติก (Myristic acid)	0.38	0.93
C16:0	กรดปาล์มมิติก (Palmitic acid)	34.13	38.37
C18:0	กรดสเตียริก (Stearic acid)	4.58	4.00
C20:0	กรดอาราซิดิก (Arachidic acid)	0.34	0.34
รวมกรดไขมันอิ่มตัว		40.38	43.97
C16:1	กรดปาล์มมิตอเลอิก (Palmitoleic acid)	1.51	0.25
C18:1	กรดโอเลอิก (Oleic acid)	42.89	45.59
C18:2	กรดลิโนเลอิก (Linoleic acid)	14.60	10.03
C18:3	กรดลิโนเลนิก (Linolenic acid)	0.62	0.16
รวมกรดไขมันไม่อิ่มตัว		59.62	56.03
ค่าเปอร์ออกไซด์ (Peroxide Value)	มิลลิอิกวาเลนซ์ของเปอร์ออกไซด์ ต่อ กิโลกรัม	2.98	28.08

น้ำมันพืชใช้แล้วมีองค์ประกอบของกรดไขมันอิ่มตัวสูงขึ้น และการกระจายขนาดโมเลกุล ที่มีขนาดมวลโมเลกุลต่ำมีร้อยละสูงขึ้นเมื่อเทียบกับน้ำมันพืชก่อนการใช้ อาจมีสาเหตุจากการทำให้แตกตัวบางส่วนด้วยความร้อนขณะเมื่อถูกความร้อน ระหว่างการถูกประกอบอาหาร นอกจากนั้นยังพบปริมาณเปอร์ออกไซด์ในน้ำมันพืชใช้แล้วมีค่าสูงเกินกว่ามาตรฐาน

2.2 ตัวเร่งปฏิกิริยา

2.2.1 ความหมายของตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst)

ปัจจุบันได้มีการให้นิยามความหมายของตัวเร่งปฏิกิริยาครอบคลุมความหมายได้ดีขึ้น ตัวเร่งปฏิกิริยาคือ สารที่เพิ่มอัตราความเร็วของปฏิกิริยาเข้าสู่สมดุลโดยเร็วโดยที่ตัวมันเองไม่ถูกใช้อย่างถาวรในปฏิกิริยา แม้ว่าตัวเร่งปฏิกิริยาอาจมีส่วนร่วมในบางขั้นตอนของการเกิดปฏิกิริยา แต่สุดท้ายต้องเปลี่ยนกลับมาอยู่ในรูปเดิมหลังจากปฏิกิริยาสิ้นสุดแล้ว การทำงานของตัวเร่งปฏิกิริยามักจะเกิดขึ้นโดยการเกิดพันธะเคมีกับสารตั้งต้นอย่างน้อยหนึ่งตัว

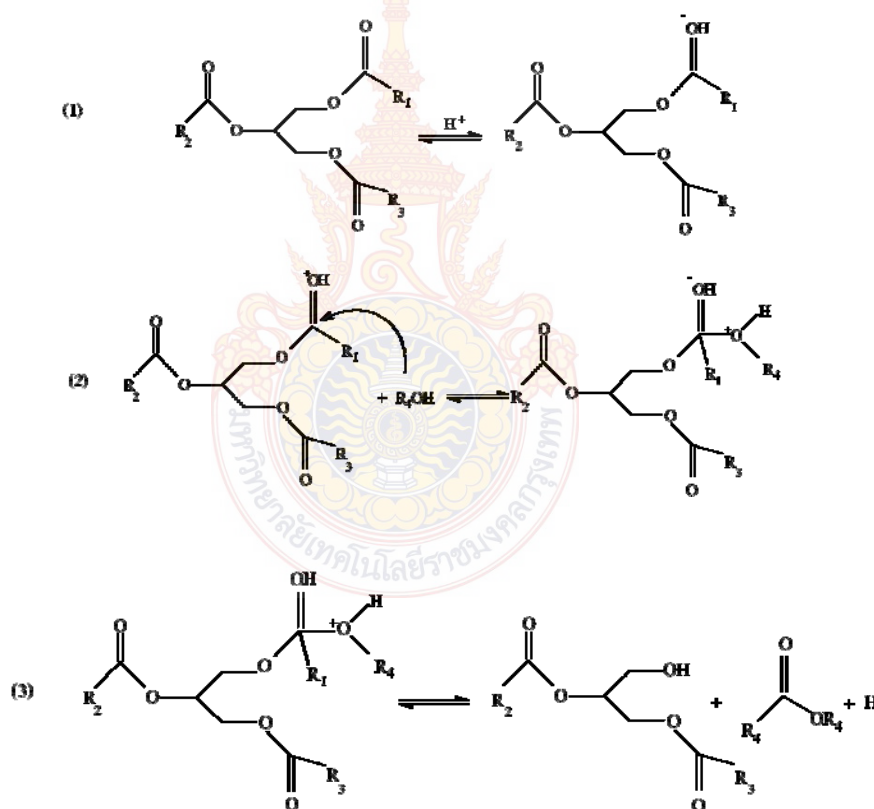
2.2.2 ความหมายของการเร่งปฏิกิริยา (Catalysis)

การเร่งปฏิกิริยา คือ การทำให้อัตราเร็วของการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) ซึ่งเป็นสารที่เพิ่มอัตราเร็วของการเกิดปฏิกิริยาโดยที่ตัวมันเองไม่ถูกใช้ไป

2.2.3 ชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา

2.2.3.1 ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรด ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดนี้เหมาะสำหรับใช้สำหรับไตรกลีเซอไรด์ที่มีปริมาณน้ำและกรดไขมันอิสระมากเนื่องจากจะไม่ทำปฏิกิริยา Saponification หลังการทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันของไตรกลีเซอไรด์ ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจะประกอบด้วย เอสเทอร์ กลีเซอรอล แอลกอฮอล์ ตัวเร่งปฏิกิริยา และไตรกลีเซอไรด์ ดังนั้นจำเป็นต้องผ่านกระบวนการล้างผลิตภัณฑ์ที่ได้ การเกิดสบู่จะทำให้ปริมาณผลได้ของเอสเทอร์ลดลง และยังทำให้ขั้นตอนการแยกและล้างเอสเทอร์ทำได้ยากขึ้น

ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรด ได้แก่ H_2SO_4 , HSO_3 และ HCl เป็นต้น กลไกการเกิดปฏิกิริยาในตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรด แสดงดังรูปที่ 2.1



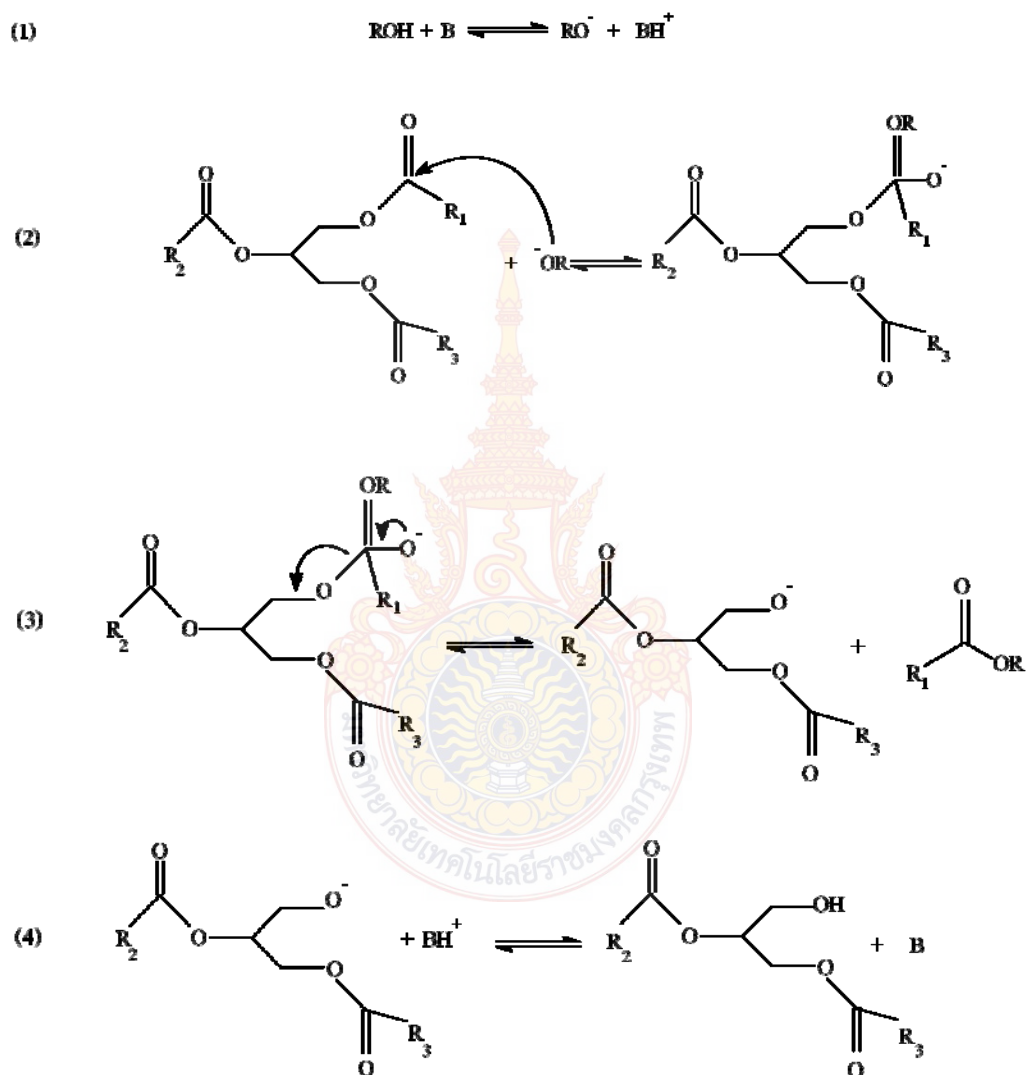
$\text{R}_1\text{R}_2\text{R}_3$: Carbon chain of the fatty acids

R_4 : alkyl group of the alcohol

รูปที่ 2.1 กลไกการเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรด

[ศิตา เบ็ญจพรกุลพงศ์, 2548: 6-25]

2.2.3.2 ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเหมาะสำหรับใช้สำหรับไตรกลีเซอไรด์ที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระน้อย ตัวอย่างของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นเบส ได้แก่ NaOH, K_2CO_3 , CH_3ONa , C_2H_5ONa , C_3H_7ONa และ C_4H_9ONa เป็นต้น กลไกการเกิดปฏิกิริยาในตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบสแสดงดังรูปที่ 2.2



B: base catalyst

R1R2R3: carbon chain of the fatty acids

R: alkyl group of the alcohol

รูปที่ 2.2 กลไกการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส

[ศิตา เบ็ญจพรกุลพงศ์, 2548: 6-25]

2.2.3.3 ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นเอนไซม์ ปฏิกิริยานี้เป็นปฏิกิริยาชีวภาพ โดยมีเอนไซม์ที่นิยมนำมาเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาคือ ไลเปส การใช้ไลเปสปฏิกิริยานั้นต้องไม่มีน้ำ (non-aqueous) หรืออยู่ในสารละลายอินทรีย์ (Organic solvent) โดยที่สภาวะของปฏิกิริยาขึ้นอยู่กับชนิดของไลเปสที่มีแหล่งที่มาต่างกัน ตัวอย่างเอนไซม์ไลเปส เช่น *Pseudomonas lipase*, *Candida lipase* และ *Mucor lipase* เป็นต้น

2.2.4 การแบ่งตัวเร่งปฏิกิริยาตามวิธภาค

2.2.4.1 ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบเอกพันธ์ (Homogeneous catalyst) คือตัวเร่งที่อยู่ในสถานะเดียวกับสารที่ทำปฏิกิริยา ไม่ว่าจะเป็นแก๊สหรือของเหลว ตัวอย่างเช่นปฏิกิริยาในสิ่งมีชีวิตที่เร่งด้วยเอนไซม์ และปฏิกิริยาในสารละลาย ตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธ์มักเป็นโมเลกุลที่มีตำแหน่งสำหรับเร่งปฏิกิริยาชัดเจน แต่มีข้อเสียคือมักสลายตัวหรือเสียสภาพในสภาวะที่ใช้ ความร้อน หรือความดันสูง

2.2.4.2 ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธ์ (Heterogeneous catalyst) คือตัวเร่งปฏิกิริยาที่อยู่ในสถานะแตกต่างกับสารที่ทำปฏิกิริยา เช่น ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นของแข็ง สารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์ เป็นแก๊สหรือของเหลว การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธ์พบได้ในอุตสาหกรรมหลาย ๆ อย่าง เช่น ปิโตรเคมี ผลิตภัณฑ์ยา เชื้อเพลิง เส้นใยสังเคราะห์ เป็นต้น เนื่องจากสามารถแยกตัวเร่งปฏิกิริยาออกจากสารผลิตภัณฑ์และสารตั้งต้นที่เหลือได้ง่ายกว่า สามารถใช้ได้ในสภาวะที่มีอุณหภูมิ หรือ ความดันสูงได้ ตัวเร่งปฏิกิริยามีอายุการใช้งานที่ยาวนาน และสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้

1) องค์ประกอบของตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธ์

ตัวเร่งปฏิกิริยาประกอบด้วย 2 องค์ประกอบหลักคือ องค์ประกอบว่องไวเพื่อช่วยให้ทำปฏิกิริยา (Active component) และตัวรองรับ (Support) หรือตัวพา (Carrier) ซึ่งเป็นวัสดุที่มีพื้นที่ผิวสูง เพื่อให้ง่ายต่อการกระจายตัวของสารว่องไวในการทำปฏิกิริยา (ภาวิณี คณาสวัสดิ์ และดวง พุทธศุภ 2540: 3)

2) สมบัติของตัวรองรับชนิดถ่านกัมมันต์ (Activated carbon หรือ Activated charcoal)

ถ่านกัมมันต์เป็นของแข็งที่ประกอบด้วยคาร์บอนเป็นหลัก มีรูพรุน และพื้นที่ผิวสูง สามารถผลิตได้จากชีวมวล เช่น กะลามะพร้าว ไม้ไผ่ มักมีความเป็นขี้ดหรือไม่มีขี้ด การใช้ประโยชน์ของคาร์บอนจะนำมาเป็นตัวดูดซับ ตัวกรอง และช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้กับยางและอื่นๆ

ถ่านกัมมันต์เตรียมได้จากการให้ความร้อน วัสดุที่ประกอบด้วยคาร์บอน เช่น ถ่านหิน ลิกไนต์ ไม้ ในบรรยากาศที่ไม่มีออกซิเจน เพื่อกำจัดน้ำและสารที่ระเหยไต่ออกไป และยังช่วยให้เกิดการละลายตัวของโมเลกุลอินทรีย์ ผลที่ได้คือวัสดุที่มีองค์ประกอบหลักเป็นคาร์บอนและยังมีหมู่ฟังก์ชันอื่นๆเกาะอยู่ หลังจากนั้นจึงนำมากัมมันต์ (Activated) ทำ

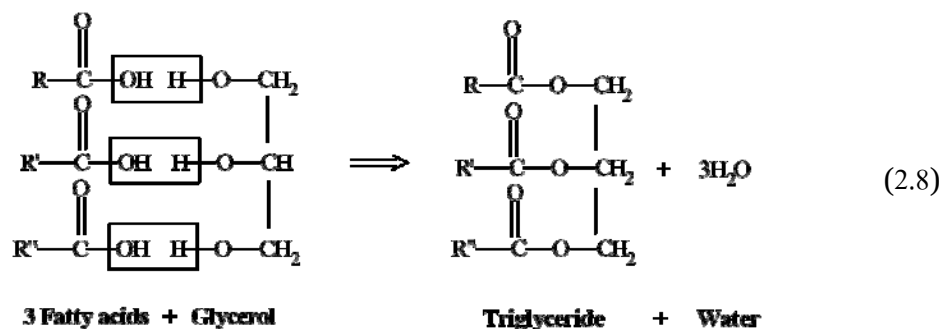
ถ่านกัมมันต์ที่เหมาะสมกับการใช้เป็นตัวรองรับ จะต้องอยู่ในรูปของคาร์บอนที่ไม่มีโลหะเจือปนและมีพื้นที่ผิวสูง ถ่านกัมมันต์ที่มีสมบัติดังกล่าวมักมีราคาสูงกว่าถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการดูดซับเพื่อกำจัดสิ่งเจือปนหลายเท่า ถ่านกัมมันต์จากถ่านหินหรือลิกไนต์มักจะนุ่มและมีสิ่งเจือปนอยู่มากเกินไป ส่วนถ่านที่เผาจนหมดควัน หรือถ่านโค้ก (Coke) ที่มีปิโตรเลียมประกอบมักจะแข็งแต่จะมีกำมะถัน เวนเดียม และนิกเกิลปนอยู่เล็กน้อย ถ่านกัมมันต์ที่แข็งแรง มีความบริสุทธิ์สูง มีคุณภาพดี สามารถเตรียมได้จากกะลามะพร้าว หรือกะลาปาล์มซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้ ถ่านกัมมันต์ที่ได้มีพื้นที่ผิวสูงถึง $1200-1400 \text{ m}^2/\text{g}$

2.3 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันพืชและไขมันสัตว์

2.3.1 ไขมันและน้ำมัน

ไขมันและน้ำมัน เรียกรวมกันว่า ลิพิด (Lipid) เป็นสารเอสเทอร์ที่มีอยู่ในธรรมชาติ เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างกลีเซอรอลกับกรดไขมัน ไขมันและน้ำมันแต่ละโมเลกุลประกอบด้วยกลีเซอรอล 1 โมเลกุล และกรดไขมัน 3 โมเลกุล ส่วน R ในกรดไขมันคือ หมู่อัลคิล ซึ่งเป็นกลุ่มของไฮโดรคาร์บอน R ทั้ง 3 หมู่ อาจจะเป็นเลขคู่ แสดงดังสมการที่ 2.8

สูตรโครงสร้างทั่วไปของไตรกลีเซอไรด์



ไขมันและน้ำมันเป็นโมเลกุลที่ไม่มีขั้วจึงไม่ละลายน้ำ องค์ประกอบกรดไขมันของน้ำมันพืชต่างๆ ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 องค์ประกอบกรดไขมันของน้ำมันพืชชนิดต่างๆ

ชนิดน้ำมัน	ค่าไอโอดีน	องค์ประกอบกรดไขมันหลัก						
		C12:0	C14:0	C16:0	C18:0	C18:1*	C18:2*	C18:3*
ปาล์ม	50-55	ND-0.5	0.5-2	39.3-47.5	3.5-6	36-44	9-12	ND-0.5
ปาล์มโอลีน	≥56	0.1-0.5	0.5-1.5	38-43.5	3.5-5	39.8-46	10-13.5	ND-0.6
ปาล์มสเตียรีน	≤48	0.1-0.5	1-2	48-74	3.9-6	15.5-36	3-10	0.5
เมล็ดในปาล์ม	14.1-21	45-55	14-18	6.5-10	1-3	12-19	1-3.5	ND-0.2
มะพร้าว	6.3-10.6	45.1-53.2	16.8-21	7.5-10.2	2-4	5-10	1-2.5	ND
ถั่วลิสง	86-107	ND-0.1	ND-0.1	8-14	1-4.5	35-67	13-43	ND-0.3
เมล็ดสบู่ดำ	101	ND	ND	14.9	6.0	41.2	37.4	ND
เมล็ดเร้ง	94-120	ND	ND-0.2	1.5-6	0.5-3.1	8-60	11-23	5-13
ถั่วเหลือง	124-139	ND-0.1	ND-0.2	8-13.5	2-5.4	17.7-28	49.8-59	5-11

ND = ไม่พบ

*1 กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวมีพันธะคู่ ระหว่างคาร์บอน 1 แห่ง

*2 กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวมีพันธะคู่ ระหว่างคาร์บอน 2 แห่ง

*3 กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวมีพันธะคู่ ระหว่างคาร์บอน 3 แห่ง

2.3.2 กรดไขมัน

กรดไขมันเป็นสารประกอบอินทรีย์ ที่มีคาร์บอนอะตอมที่เกาะกันเป็นเส้นตรง กรดไขมันที่มีในธรรมชาติมักมีจำนวนคาร์บอนอะตอมเป็นจำนวนคู่ กรดไขมันมี 2 ประเภทคือ กรดไขมันชนิดอิ่มตัวและไม่อิ่มตัว กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวจะมีพันธะคู่ระหว่างคาร์บอน 1 แห่ง และ 2 แห่ง ไขมันและน้ำมันมีชนิดและปริมาณของกรดไขมันที่แตกต่างกัน เช่น ไข่ไก่ มีกรดไขมันชนิดอิ่มตัวโมเลกุลยาวจำนวนมาก จึงมีจุดหลอมเหลวสูง ทำให้มีลักษณะเป็นของแข็งที่อุณหภูมิปกติ ส่วนน้ำมันมะพร้าวมีกรดไขมันชนิดอิ่มตัวโมเลกุลสั้นจำนวนมาก มีกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัว

2.3.3 การวิเคราะห์สมบัติเฉพาะทางเคมีของน้ำมันพืช

2.3.3.1 ค่าสะพอนิฟิเคชัน (Saponification Value) หมายถึง จำนวนมิลลิกรัมของโพแทสเซียม ไฮดรอกไซด์ที่ทำปฏิกิริยาพอดีกับน้ำมันหรือไขมัน 1 กรัม เป็นตัวบ่งชี้ให้ทราบถึงขนาดหรือน้ำหนักของโมเลกุลของกรดไขมัน ที่เป็นส่วนประกอบอยู่ในโมเลกุลของไขมันหรือน้ำมันนั้น ไขมันหรือน้ำมันที่โมเลกุลประกอบด้วยกรดไขมันที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำหรือขนาดของโมเลกุล หรือมีจำนวนคาร์บอนในโมเลกุลน้อยจะมีค่าสะพอนิฟิเคชันสูง ในทางตรงกันข้าม ไขมันหรือน้ำมันที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงจะทำให้ค่าสะพอนิฟิเคชันต่ำ

2.3.3.2 ค่าของกรด (Acid Value) เป็นจำนวนมิลลิกรัมของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ที่ทำให้กรดไขมันอิสระที่มีอยู่ในไขมัน 1 กรัมสะเทินพอดี กรดไขมันอิสระที่มีในน้ำมันก็เนื่องมาจากการสลายตัวของกลีเซอไรด์ทางเคมีหรือโดยการกระทำของแบคทีเรีย ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ว่าไตรกลีเซอไรด์ที่มีอยู่ในไขมันหรือน้ำมันถูกทำงานด้วยเอนไซม์ไลเปส เป็นกรดไขมันอิสระมากน้อยเพียงใด ถ้าค่าสูงแสดงว่าไตรกลีเซอไรด์ถูกทำลายได้เป็นกรดไขมันอิสระมาก

2.3.3.3 ค่าไอโอดีน (Iodine Value) เป็นอีกลักษณะที่มีการกำหนดค่ามาตรฐานตามประกาศกรมธุรกิจพลังงาน เรื่องกำหนดลักษณะและคุณภาพไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน พ.ศ. 2548 โดยกำหนดค่าไอโอดีนของเมทิลเอสเทอร์ควรมีค่าไม่สูงเกิน 120 กรัมไอโอดีนต่อ 100 กรัมไขมัน ซึ่งใช้วิธีทดสอบ EN 14111

ค่าไอโอดีน คือ ค่าที่มีความสัมพันธ์กับความไม่อิ่มตัวของน้ำมันพืช โดยวัดเป็นจำนวนกรัมของไอโอดีนที่ถูกดูดซับด้วยน้ำมัน 100 กรัม ซึ่งค่าไอโอดีนสามารถใช้เป็นตัวบ่งชี้การเกิดพอลิเมอร์ไรซ์ (การเกิดยางเหนียวเกิดในเครื่องยนต์) ถ้าน้ำมันพืชที่ถูกนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงมีค่าตัวเลขไอโอดีนต่ำ ก็จะป้องกันการเกิดพอลิเมอร์ไรซ์ของน้ำมันพืชในเครื่องยนต์ได้ นอกจากนี้ไขมันพืชที่มีค่าไอโอดีนสูง จะสามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับออกซิเจนในอากาศได้มาก ทำให้โครงสร้างของน้ำมันพืชเกิดการเสียสภาพได้เป็นสารประเภทคีโตนแอลดีไฮด์ และกรดออกมาผสมอยู่ในน้ำมัน ดังนั้นน้ำมันพืชที่มีค่าไอโอดีนสูงมักมีแนวโน้มที่

2.3.4 กลีเซอรอล (Glycerol)

กลีเซอรอล คือ ผลิตผลพลอยได้ของการผลิตไบโอดีเซล มีลักษณะใส ไม่มีสี ไม่มีพิษ หนืด ค่อนข้างคงตัว การเกิดออกซิเดชันทำให้สามารถเก็บรักษาโดยไม่มีกลิ่น รส สี ได้นาน กลีเซอรอลที่จะนำไปจำหน่ายต้องผ่านการทำให้เป็นกลาง ซึ่งในการผลิตดีเซลชีวภาพโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา กลีเซอรอลที่ได้สามารถทำให้เป็นกลางโดยใช้กรดไฮโดรคลอริก กรดฟอสฟอริก หรือโซเดียมคลอไรด์ สำหรับสีของกลีเซอรอลสามารถกำจัดออกได้โดยการกรองผ่านถ่าน

กลีเซอรอลเมื่อถูกทำให้เย็นจะเย็นจัดแต่ไม่แข็งตัว เนื่องจากกลีเซอรอลสามารถละลายได้ดีทั้งในน้ำและแอลกอฮอล์ จึงเป็นตัวทำละลายที่ดีสำหรับองค์ประกอบในอุตสาหกรรมต่างๆ กลีเซอรอลที่มีความเข้มข้น 55-75% จะมีรสหวาน สามารถใช้เป็นสารให้ความหวานแทนน้ำตาลได้ กลีเซอรอลเป็นสารดูดความชื้น (Hygroscopic) สามารถดูดซับความชื้นจากอากาศได้ดี จึงนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์ที่ต้องการความนุ่ม (Softness) ความยืดหยุ่น (Flexibility) และความเป็นครีม (Creaminess) ในทางการค้ามีการใช้กลีเซอรอลเป็นสารรักษาความชุ่มชื้นเป็นตัวเพิ่มสภาพพลาสติกชนิดที่ช่วยเก็บรักษาความอ่อนนุ่มและความหนืด กลีเซอรอลถูกใช้ในผลิตภัณฑ์เกี่ยวข้องกับช่องปาก เช่น ยาสีฟัน น้ำยาบ้วนปาก เนื่องจากสมบัติในการดูดความชื้นและการระเหยต่ำ จึงถูกใช้เพื่อป้องกันไม่ให้ยาสีฟันแห้งแข็งในหลอด กลีเซอรอลส่วนใหญ่ที่ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารและเครื่องสำอางจะเป็นตัวทำละลายและเป็นสารดูดความชื้นโมโนกลีเซอรอล ในผลิตภัณฑ์ประเภทมารีน น้ำสลัด และลูกกวาด ในผลิตภัณฑ์ยาสูบ บุหรี่ จะใช้กลีเซอรอลเพื่อรักษาความชื้นให้กับ ใบยาสูบและใช้เป็นส่วนผสมในไส้กรอง ในอุตสาหกรรมยาใช้กลีเซอรอลเป็นสารให้ความหวานและเป็นสารให้ความนุ่ม ในอุตสาหกรรมเครื่องสำอางใช้เป็นอิมัลชัน (จันทร์จิรา แก้วพิมาย และอรรณณ เอี่ยมศิริ. 2549: 11)

2.3.5 น้ำมันทอดซ้ำ

ตามมาตรฐานของน้ำมันที่ยังไม่ผ่านการใช้งานจะมีสารโพลาร์ (Polar compound) ค่อนข้างต่ำ แต่สารนี้จะพบในน้ำมันที่ใช้แล้วในปริมาณสูง ซึ่งสารโพลาร์เป็นตัวบ่งบอกถึงคุณภาพน้ำมันทอดอาหารที่ใช้ทอดมาแล้ว โดยน้ำมันที่ผ่านการทอดกันซ้ำหลายๆ ครั้ง จะมีคุณภาพเสื่อมลงทั้งสี กลิ่น รสชาติเปลี่ยนไป จุดเกิดควันลดลง มีความหนืดมากขึ้น ที่สำคัญจะเกิดสารประกอบที่สามารถสะสมในร่างกายและส่งผลกระทบต่อการทำงานของเซลล์ได้

สำหรับประชาชนทั่วไปที่ใช้ น้ำมันทอดหรือประกอบอาหารบริโภคระดับครัวเรือนควรเลือกประเภทน้ำมันที่เหมาะสมสำหรับการปรุงอาหาร ได้แก่ กรณทอดอาหารประเภทเนื้อสัตว์ชิ้นใหญ่ แบบน้ำมันท่วมที่ใช้ น้ำมันปริมาณมาก อุณหภูมิของน้ำมันสูงประมาณ 170 ถึง 180°C ควรใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน ส่วนน้ำมันรำข้าว น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันทานตะวัน น้ำมันข้าวโพด น้ำมันดอกคำฝอย เป็นต้น ควรใช้ในการผัดหรือปรุงอาหารแบบอื่น การใช้น้ำมันทอดแต่ละครั้งต้องใช้

2.3.5.1 อันตรายจากน้ำมันทอดซ้ำ

จากรายงานการวิจัยพบว่าน้ำมันที่ผ่านการทอดซ้ำหลายๆ ครั้ง จะมีคุณภาพที่เสื่อมลงทั้งสี กลิ่น รสชาติที่เปลี่ยนไป จุดเกิดควันลดลง ที่สำคัญจะเกิดสารประกอบที่สามารถสะสมในร่างกายและส่งผลกระทบต่อการทำงานของเซลล์ได้ จากข้อมูลการศึกษาในสัตว์ทดลองพบสาร mutagenesis ซึ่งอาจส่งผลให้ดีเอ็นเอของแบคทีเรียกลายพันธุ์ รวมทั้งยังก่อให้เกิดเนื้องอกในตับ ปอด และก่อให้เกิดมะเร็งในเม็ดเลือดขาวในหนูที่ใช้ทดลอง ขณะเดียวกันก็ยังพบสาร carcinogenesis ที่ก่อให้เกิดมะเร็งผิวหนังอีกด้วย ระหว่างการทอดอาหารแบบน้ำมันท่วมที่ใช้ไขมันปริมาณมาก อุณหภูมิสูงประมาณ 170 ถึง 180°C และทอดเป็นเวลานานในอาหารและออกซิเจนจากอากาศจะไปเร่งการเสื่อมสภาพของน้ำมัน ทำให้น้ำมันแตกตัวทำปฏิกิริยากับออกซิเจนและสร้างเป็นสารพอลิเมอร์ในน้ำมัน มีผลให้สี กลิ่น และรสชาติของน้ำมันเปลี่ยนไป จุดเกิดควันลดต่ำลง ฟองและความหนืดมากขึ้น นอกจากนี้ น้ำมันซึ่งเดิมเป็นสารไม่มีประจุเกิดการแตกตัวเป็นสารมีประจุ (สารโพลาร์) เช่นกรดไขมันอิสระ โมโนเอซิลกลีเซอรอลและไดเอซิลกลีเซอรอล แม้สารประกอบดังกล่าวไม่อันตรายต่อร่างกายแต่ไวต่อการเกิดปฏิกิริยากับออกซิเจน หากใช้น้ำมันทอดซ้ำหลายครั้ง การเสื่อมสภาพของน้ำมันทอดอาหารจะเกิดมากขึ้น มีการสะสมที่ไม่พึงประสงค์เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ

น้ำมันที่ผ่านการทอดอาหารซ้ำนานเกินไป มีคุณค่าทางโภชนาการลดลง พบว่าทำให้การเจริญเติบโตของหนูทดลองลดลง ตับและไตมีขนาดใหญ่ มีการสะสมไขมันในตับ การหลั่งน้ำย่อยทำลายสารพิษกระเพาะอาหารเพิ่มขึ้น นอกจากนั้นมีการดัดไขมันที่ถูกออกซิไดซ์ปริมาณสูงอาจทำให้ไลโปโปรตีนชนิดแอลดีแอลมีโอกาสเกิดอนุมูลอิสระมากขึ้น รวมทั้งมีการดัดไขมันทรานส์เกิดขึ้น จึงมีโอกาเสี่ยงก่อการเกิดโรคหัวใจและหลอดเลือด (ภักดี โพธิศิริ 2547: ออนไลน์)

2.3.5.2 การเปลี่ยนแปลงของไขมันและน้ำมันระหว่างการทอด

การใช้ไขมันหรือน้ำมันในการทอดอาหาร ระหว่างที่ไขมันหรือน้ำมันได้รับความร้อนและขณะทอด จะมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นกับโมเลกุลของไตรเอซิลกลีเซอรอล

1) คุณค่าทางโภชนาการของน้ำมันและไขมัน เมื่อได้รับความร้อนสูงจะเกิดเป็นสารพิษขึ้นได้

2) คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของน้ำมันขณะทอดอาหารที่จะเห็นได้ชัดเจนคือ น้ำมันมีสีคล้ำมากขึ้น มีความหนืดเพิ่มขึ้น smoke point ลดลง และเกิดฟองมากขึ้น นอกจากนี้ยังมีปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นขณะได้รับความร้อนได้อีก คือ

ก) ไขมันและน้ำมันถูกไฮโดรไลซ์ได้เป็นกรดไขมันอิสระ โมโนกลีเซอรอล และไดเอซิลกลีเซอรอล

ข) ไขมันถูกออกซิไดซ์ได้เป็นสารประกอบชนิดใหม่ได้แก่ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ อีพอกไซด์ ไฮดรอกไซด์ คีโตน และ conjugated dienoic acid สารประกอบเหล่านี้อาจเกิด fission ได้เป็นส่วนหนึ่งของโมเลกุลที่มีขนาดเล็กลง หรืออาจยังคงอยู่เป็นส่วนหนึ่งในโมเลกุลไตรเอซิลกลีเซอรอลหรืออาจจะมาจับตัวรวมกัน (cross-link) ทำให้เกิดเป็นไดเมอร์และพอลิเมอร์ขึ้น

3) ไขมันและน้ำมันสามารถเกิดพันธะใหม่ ระหว่างคาร์บอนกับคาร์บอน ในภาวะที่ไม่มีออกซิเจนได้ซึ่งถ้าเกิดพันธะใหม่ระหว่างคาร์บอนกับคาร์บอน ภายในโมเลกุลของกรดไขมันเดียวกันจะทำให้เกิดวงแหวน (cyclic fatty acid) ถ้าเกิดพันธะใหม่ระหว่างคาร์บอนกับคาร์บอนจากกรดไขมันต่างโมเลกุลกัน จะทำให้เกิดไดเมอร์หรืออาจจะเกิดขึ้นได้ระหว่างกรดไขมันที่มีอยู่ในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์เดียวกันหรือต่างโมเลกุลกันก็ได้ ซึ่งจะทำให้เกิดเป็นพอลิเมอร์ของสารประกอบที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง

2.4 สมบัติเมื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงของน้ำมันพืชและไขมันสัตว์

ก) ใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซล น้ำมันพืชมีค่าความร้อนประมาณร้อยละ 83-85 ของน้ำมันดีเซล

ข) น้ำมันพืชและไขมันสัตว์มีความหนืดสูงกว่าน้ำมันดีเซลเป็น 10 เท่า ถ้าอุณหภูมิต่ำลง น้ำมันพืชจะยังมีความหนืดสูงขึ้นจนเกิดเป็นไข ซึ่งเป็นอุปสรรคต่อการป้องกันเชื้อเพลิงในบางพื้นที่ และบางฤดูกาลที่มีอุณหภูมิต่ำ

ค) น้ำมันพืชมีสมบัติที่ระเหยได้น้อยมาก (Low Volatility) ทำให้เมื่อป้อนเข้าสู่ห้องเผาไหม้จะเกิดจุดระเบิดได้ช้ากว่า และมีกาการบอณหลงเหลือหลังการเผาไหม้มากกว่าน้ำมันดีเซล

ง) สมบัติและค่าความร้อนของน้ำมันพืชชนิดต่างๆ แสดงดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 สมบัติและค่าความร้อนของน้ำมันพืชชนิดต่างๆ

น้ำมัน	ค่าไอโอดีน (wachs)	ความถ่วงจำเพาะ ที่ 21°C	ความหนืด(mm ² /s) ที่ 21°C	ค่าความร้อน (KJ/Kg)
ถั่วเหลือง	124-139	0.918	57.2	39,350
มะพร้าว	6-11	0.915	51.9	37,540
ถั่วลิสง	86-107	0.914	67.1	39,470
ปาล์ม	14-21	0.898	88.6	39,550
เมล็ดในปาล์ม	50-55	0.904	66.3	93,720
เมล็ดสบู่ดำ	101	0.915	36.9 ที่ 38°C	39,000
น้ำมันดีเซล	ND	0.845	3.8	46,800

หมายเหตุ wachs คือ 100 g ของไอโอดีน/100 g ของน้ำ

เนื่องจากน้ำมันพืชมีสมบัติแตกต่างจากน้ำมันดีเซลมาก เมื่อใช้โดยตรงในเครื่องยนต์จึงจำเป็นต้องมีการดัดแปลงเครื่องยนต์ ในส่วนของลูกสูบ ระบบหัวฉีด และห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์ให้ใช้พลังงานความร้อนจากน้ำมันพืช เพื่อเปลี่ยนเป็นแรงบิดได้อย่างคุ้มค่า

2.4.1 สมบัติทางกายภาพและทางเชื้อเพลิงของน้ำมันเชื้อเพลิง

ตารางที่ 2.5 สมบัติของไบโอดีเซลเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล

Fuel Property	Diesel	Biodiesel
Fuel Standard	ASTM D975	ASTM D6751
Lower Heating Value, Btu/gal	~129,050	~118,170
Kinematic Viscosity, @40°C	1.3-4.1	4.0-6.0
Specific Gravity, @60°F	0.85	0.88
Density, lb/gal @15°C	7.079	7.328
Carbon, wt%	87	77
Hydrogen, wt%	13	12
Oxygen, by dif. Wt%	0	11
Sulfur, wt%	0.05 max	0.0 to 0.0024
Boiling Point, °C	180 to 340	315 to 350
Flash Point, °C	60 to 80	100 to 170
Fuel Property	Diesel	Biodiesel
Cloud Point, °C	-15 to 5	-3 to 12
Pour Point, °C	-35 to -15	-15 to 10
Cetene Number	40-55	48-65
Libricity SLBOCLE, grams	2,000-5,000	>7,000
Libricity HFRR, microns	300-600	<300

2.4.1.1 สมบัติทางกายภาพ

1) ความถ่วงเอพียู (API Gravity) เป็นตัวเลขที่แสดงถึงค่าความหนาแน่นของปิโตรเลียมและผลิตภัณฑ์ของน้ำมันสำเร็จรูปชนิดต่างๆ การรายงานค่าความถ่วง API จะรายงานที่อุณหภูมิมาตรฐานเท่ากับ 60°F (15.6°C) ทั้งนี้เนื่องจากปริมาตรของน้ำมันจะเปลี่ยนไปตามการเปลี่ยนไปของอุณหภูมิ ดังนั้นความถ่วง API จะมีค่าแตกต่างกันเมื่ออุณหภูมิที่วัดได้แตกต่างกัน ค่าความถ่วง API นอกจากจะเป็นตัวแปรพื้นฐานที่ใช้ในการกำหนดคุณภาพของผลิตภัณฑ์น้ำมันสำเร็จรูปแล้ว ยังใช้ในการทำนายฐานของน้ำมันดิบ เนื่องจากองค์ประกอบส่วนใหญ่ของน้ำมันปิโตรเลียม คือสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีธาตุคาร์บอนและไฮโดรเจน เป็นองค์ประกอบหลัก จากความแตกต่างของน้ำหนักระหว่างคาร์บอนและไฮโดรเจน ทำให้ทราบว่ามีอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนและไฮโดรเจน (C/H Ratio) สูงกว่าค่าความถ่วง API ต่ำ จะเป็นฐานแนฟทีน แต่น้ำมันที่มีอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนกับไฮโดรเจนต่ำ จะมีค่าความถ่วง API สูง จะเป็นฐานพาราฟิน

2) ความหนืด (Viscosity) หรือความข้นใส คือแรงต้านทานภายในตัวของน้ำมันต่อการไหล มีอิทธิพลต่อรูปร่างของน้ำมันที่ฉีดจากหัวฉีด ถ้าน้ำมันมีความข้นใสสูง การฉีดเป็นฝอยละอองจะไม่ดี ละอองน้ำมันจะมีขนาดใหญ่ และจะพุ่งไปไกลและเป็นสายแทนที่จะกระจายเป็นฝอยเล็กๆ ทำให้น้ำมันรวมตัวกับอากาศได้ไม่ดี การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ ทำให้ประสิทธิภาพเป็นของเครื่องยนต์ลดลง ถ้าเป็นเครื่องยนต์ขนาดเล็กน้ำมันเชื้อเพลิงอาจพุ่งไปกระทบกระบอกสูบได้ เป็นการชะล้างฟิล์มน้ำมันหล่อลื่นลงสู่ก้นอ่างทำให้เครื่องยนต์สึกหรอเร็ว และน้ำมันเครื่องสกปรกเร็ว แต่ถ้าน้ำมันดีเซลมีความข้นใสต่ำเกินไปจะทำให้การฉีดเป็นฝอยละเอียดดี แต่ไม่พุ่งไปไกลเท่าที่ควร การเผาไหม้ไม่ดี มีการรั่วของน้ำมันกลับมาในตัวปั๊มหัวฉีดได้มากทำให้น้ำมันที่ผ่านหัวฉีดออกไปมีปริมาณลดลง ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์จึงลดลงด้วยเช่นกัน นอกจากนี้ การสึกหรอของชิ้นส่วนในระบบเชื้อเพลิงจะเพิ่มขึ้น เนื่องจากน้ำมันใสเกินไป ทำให้การหล่อลื่นพวกปั๊มไม่ดีเท่าที่ควร ทำให้เครื่องตกและเกิดควันดำ เครื่องยนต์รอบต่ำสามารถใช้น้ำมันที่มีความหนืดได้สูงกว่าเครื่องยนต์รอบสูง

ความหนืดจะมีหน่วยเป็นพอยต์ (Poise, P) ซึ่งมีค่าเท่ากับแรงที่ใช้เคลื่อนของไหลขนาดพื้นที่ 1 ตารางเซนติเมตรที่อยู่ระหว่างพื้นที่ผิวที่มีของไหลดังกล่าวคั่นกลางด้วยความเร็ว คงที่ 1 เซนติเมตรต่อวินาที สำหรับความหนืดไคเนมาติก (Kinematic Viscosity) คืออัตราส่วนระหว่างความหนืดต่อความหนาแน่นซึ่งมีหน่วยเป็นสโตก (Stoke, St) ค่าความหนืดทั้งสองนิยมรายงานเป็นเซนติพอยส์ (cP) และเซนติสโตก (cSt) ในหน่วย SI

2.4.1.2 สมบัติทางเชื้อเพลิง

1) จุดหมอก (Cloud Point) คือ จุดอุณหภูมิที่ไขในน้ำมันเชื้อเพลิงเริ่มแข็งตัวเป็นขี้ผึ้ง ซึ่งจะมีผลต่อการเดินของเชื้อเพลิง ทำให้ไส้กรองอุดตัน สามารถทำได้โดยการใส่น้ำมันดีเซลไว้ในภาชนะใสแล้วลดอุณหภูมิด้วยอัตราคงที่จนสามารถมองเห็นกลุ่มหมอกได้ โดยทั่วไปจุดเกิดหมอกจะมีค่าประมาณ 10 ถึง -20°C

2) จุดไหลเท (Pour Point) คือ อุณหภูมิต่ำที่สุดที่น้ำมันยังเป็นของเหลวพอที่จะไหลได้ด้วยแรงโน้มถ่วงของโลกเมื่อได้รับความเย็นหรือยังสามารถใช้งานได้ ต้องมีค่ากำหนดสูงสุดเพื่อให้ น้ำมันไหลถ่ายได้เมื่อต้องการใช้ขณะอุณหภูมิต่ำ เช่น ห้องเย็น หรือในฤดูหนาว จะต้องใช้น้ำมันที่มีจุดไหลเทต่ำกว่าอุณหภูมิใช้งาน จุดไหลเทจะมีค่าเท่าใดจะขึ้นอยู่กับปริมาณและลักษณะของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีอยู่ในน้ำมัน น้ำมันที่มีปริมาณไฮโดรคาร์บอนสูงจะมีจุดไหลเทสูง คุณสมบัติข้อนี้ถือว่าไม่จำเป็นนักสำหรับน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้กับประเทศเมืองร้อน จุดเกิดหมอกและจุดไหลเท เป็นสมบัติทางเชื้อเพลิงที่ใช้สำหรับน้ำมันดีเซลที่ต้องการใช้งานอุณหภูมิต่ำหรือในประเทศเมืองหนาว เนื่องจาก ณ อุณหภูมิต่ำ องค์ประกอบ ของพวกที่เป็นพาราฟินของน้ำมันดีเซลอาจแยกออกเป็นไข ซึ่งจะอุดตันทางเดินของน้ำมันเชื้อเพลิงและหม้อกรองเชื้อเพลิงทำให้เครื่องยนต์ผิดปกติและดับในที่สุด ซึ่งอุณหภูมินี้จะเป็นเท่าไรขึ้นอยู่กับแหล่งน้ำมันดิบและอุณหภูมิการกลั่นของน้ำมันนั้น

3) ค่าความร้อนจากการเผาไหม้ (Heating Value) การหาปริมาณค่าความร้อนจากการเผาไหม้น้ำมัน โดยใช้อุปกรณ์แคลอรีมิเตอร์ (Bomb Calorimeter) ใช้วิธีเผาไหม้น้ำมันตัวอย่างทั้งน้ำมันหนักและน้ำมันเบาภายใต้บรรยากาศของออกซิเจน ค่าความร้อนจากการเผาไหม้ แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

ก) ค่าความร้อนจากการเผาไหม้รวม (Gross Heat of Combustion) หมายถึงปริมาณความร้อนที่น้ำมันปลดปล่อยออกมาหน่วยเป็น แคลอรีต่อกรัม หรือ เมกะจูลต่อกิโลกรัม ค่าความร้อนที่ได้เกิดจากการเผาไหม้ของธาตุองค์ประกอบในน้ำมัน เช่น คาร์บอน ไฮโดรเจน กำมะถัน ไนโตรเจน และออกซิเจนในภาชนะปิดที่ปริมาณคงที่ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเผาไหม้ทุกชนิดอยู่ในสถานะแก๊ส คือแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ไนโตรเจน ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ยกเว้นที่อยู่ในสถานะของเหลวทั้งนี้ให้อุณหภูมิเริ่มการเผาไหม้ และสิ้นสุดการเผาไหม้ที่ 25°C

ข) ค่าความร้อนจากการเผาไหม้สุทธิ (Net Heat of Combustion) หมายถึง ปริมาณความร้อนที่น้ำมันปลดปล่อยออกมาเป็นหน่วย แคลอรีต่อกรัม หรือ เมกะจูลต่อกิโลกรัม ค่าความร้อนที่ได้เกิดจากการเผาไหม้ของธาตุองค์ประกอบในน้ำมัน เช่น คาร์บอน ไฮโดรเจน กำมะถัน ไนโตรเจน และออกซิเจน กระทำที่ความดันคงที่ 1 atm ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเผาไหม้ทุกชนิดอยู่ในสถานะแก๊สคือ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ไนโตรเจน ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ รวมทั้งไอน้ำที่อยู่ในสถานะแก๊สทั้งนี้ให้อุณหภูมิเริ่มการเผาไหม้ และสิ้นสุดการเผาไหม้ที่ 25°C

4) จุดวาบไฟ (Flash Point) คือ อุณหภูมิที่น้ำมันได้รับความร้อนจนกลายเป็นไอ และเมื่อไอนี้ถูกเปลวไฟจะลุกวาบไฟขึ้น จุดวาบไฟของน้ำมันดีเซล คืออุณหภูมิที่น้ำมันดีเซลจะต้องถูกทำให้ร้อน เพื่อให้เกิดส่วนผสมของไอน้ำมันกับอากาศที่จะจุดติดไฟได้ เหนือผิวหน้าของน้ำมันเมื่อมีเปลวไฟเป็นตัวอย่าง ในทางปฏิบัติจุดวาบไฟมีความสำคัญในด้าน

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วุฒินนท์ ดันวราวุฒิกุล และสุชนก อัสวสันติ (2549) ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ได้ทำการศึกษาปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างน้ำมันพืชใช้แล้ว และแอลกอฮอล์ โดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยศึกษาผลของปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) และโซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_4) ต่อการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน และอัตราส่วนโดยโมลระหว่างน้ำมันปาล์มที่ใช้แล้วต่อเมทานอลที่เหมาะสมในการสังเคราะห์ไบโอดีเซล พบว่าปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) และโซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_4) ที่เหมาะสมต่อการสังเคราะห์ไบโอดีเซล คือ 1.0% และ 5.0% โดยน้ำหนัก ตามลำดับ และอัตราส่วนโดยโมลน้ำมันปาล์มใช้แล้วต่อเมทานอลที่เหมาะสมคือ 1:9

Sukhawanit (2004) ภาควิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ได้ศึกษาปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างกรดไขมันในน้ำมันดอกทานตะวันและแอลกอฮอล์ โดยแปรอัตราส่วนโดยโมลระหว่างน้ำมันต่อเมทานอลเป็น 1:3, 1:4, 1:6, 1:10, 1:15 และ 1:20 ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นเบสได้แก่ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และโซเดียมเมทอกไซด์ (NaOCH_3) ในช่วงความเข้มข้นระหว่าง 0.1 ถึง 1.5% โดยน้ำหนัก เป็นเวลา 0.5 ถึง 4 ชั่วโมง และอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 30 ถึง 65°C พบว่าโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ให้ร้อยละผลิตภัณฑ์ที่สูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับตัวเร่งปฏิกิริยาอื่น ในขณะที่โซเดียมเมทอกไซด์ (NaOCH_3) ให้ร้อยละผลิตภัณฑ์ต่ำที่สุด เนื่องจากของผสมระหว่าง (NaOCH_3) และแอลกอฮอล์สามารถระเหยได้ง่าย นอกจากนี้การละลายของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ใน เมทานอลยังดีกว่าโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และโซเดียมเมทอกไซด์ (NaOCH_3) ในความเข้มข้นเท่ากัน ข้อดีของ KOH อีกประการคือไม่ก่อให้เกิดพิษเหมือนกับอีกสองตัวและปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันที่ใช้ KOH เข้มข้น 1% โดยน้ำหนักเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความหนืดต่ำสุด และให้ร้อยละผลิตภัณฑ์สูงสุดถึงประมาณ 92.07% ในขณะที่เมื่อใช้ KOH เข้มข้น 1.5% ร้อยละผลิตภัณฑ์จะลดลงเป็น 80.89%

Hamed M. El-Mashad และคณะ (2008) ได้ศึกษากระบวนการแบบสองขั้นตอนในการสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันปลาแซลมอน โดยใช้กรดซัลฟริก 1% เป็นตัวเร่งปฏิกิริยากรดในขั้นตอนแรกเพื่อลดค่ากรดให้ต่ำกว่า 2 เพื่อให้สอดคล้องกับ Canakci และ Van Gerpen (2001) ที่เสนอว่าสำหรับการเกิดทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันแบบต่าง ค่ากรดควรมีค่าไม่เกินค่ากรดสูงสุดที่ 2 มิลลิกรัม KOH/กรัมไขมัน และใช้ KOH เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในขั้นตอนที่สองโดยงานวิจัยนี้

A.S. Ramadhas และคณะ (2005) สังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดยางพาราที่มีกรดไขมันอิสระสูง (FFA) โดยใช้กระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันแบบสองขั้นตอน ขั้นตอนแรกเป็นปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาซัลฟิวริกเพื่อลดปริมาณ FFA ให้น้อยกว่า 2% ขั้นตอนที่สองกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมไฮดรอกไซด์ จะเปลี่ยนสารผลิตภัณฑ์จากขั้นตอนแรกให้เป็นโมโนเอสเทอร์และกลีเซอรอล

Ayato Kawashima และคณะ (2007) ได้ศึกษาปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของน้ำมัน โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเบสวិวิพันธ์เพื่อการผลิตไบโอดีเซลอย่างมีประสิทธิภาพ โดยเตรียมโลหะออกไซด์ที่แตกต่างกัน 13 ชนิด ซึ่งประกอบด้วย แคลเซียม แบเรียม แมกนีเซียม หรือแลนทานัมเพื่อใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ศึกษาความว่องไวในการเร่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันที่อุณหภูมิ 60°C ด้วยอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน เท่ากับ 6:1 และเวลาในการเกิดปฏิกิริยา 10 ชั่วโมง จากการศึกษาพบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีแคลเซียม ได้แก่ CaTiO_3 , CaMnO_3 , $\text{Ca}_2\text{Fe}_2\text{O}_5$, CaZrO_3 , และ $\text{CaO}-\text{CeO}_2$ มีค่าความว่องไวสูงและให้ผลได้ของเมทิลเอสเทอร์ประมาณ 90% นอกจากนั้นยังได้ศึกษาความทนทานของการเร่งปฏิกิริยา โดยทำการวิจัยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันซ้ำหลาย ๆ ครั้ง โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีแคลเซียมจากของผสมของปฏิกิริยาที่ทำการวิจัยแล้วนำกลับมาใช้ใหม่ จากการศึกษาพบว่า CaZrO_3 และ $\text{CaO}-\text{CeO}_3$ มีความทนทานสูง และมีศักยภาพที่จะใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเบสวิวิพันธ์ในกระบวนการผลิตไบโอดีเซล

Srivatava และ Prasad (2000) ได้เลือกใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เนื่องจากมีประสิทธิภาพสูงและกัดกร่อนมากกว่าการใช้กรด โดยเบสที่ทดลองใช้คือ KOH และ NaOH ที่ความเข้มข้นระหว่าง 0.5 ถึง 1% โดยน้ำหนัก ให้อัตราผลเมทิลเอสเทอร์ระหว่าง 94 ถึง 99% และเลือกใช้อุณหภูมิที่ใกล้จุดเดือดของเมทานอลในการทำปฏิกิริยา คือ 60°C ถึง 70°C ที่อัตราส่วนระหว่างน้ำมันต่อ เมทานอลเป็น 1:6 โดยพบว่าเมื่ออุณหภูมิมากขึ้น ปฏิกิริยาผันกลับจะเกิดขึ้นและทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดขึ้นน้อยลง

Schuchardt และคณะ (1999) ทำการศึกษาผลของอุณหภูมิต่อการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของน้ำมันพืช โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เป็นเวลา 1 ชั่วโมง พบว่าเมื่อใช้อุณหภูมิ 70, 60 และ 50°C จะให้ปริมาณเมทิลเอสเทอร์ 88, 92 และ 76% ตามลำดับ

บทที่ 3

วิธีการทำวิจัย

3.1 อุปกรณ์และสารเคมี

3.1.1 อุปกรณ์ทางวิทยาศาสตร์

- 1) ขวดก้นกลม (Round Bottom Flask) 1000 ml
- 2) บีกเกอร์ (Beaker) 50-1000 ml
- 3) เครื่องให้ความร้อนและแท่งกวนแม่เหล็ก (Hotplate & Stirrer รุ่น IKA C-MAG HS7)
- 4) กรวยแยก (Separating Funnel) 500 ml
- 5) กรวยกรอง (Funnel) 75 ml
- 6) เทอร์โมมิเตอร์ (Thermometer) 0-100°C
- 7) กระดาษกรอง (Whatman #1)
- 8) อะลูมิเนียมฟอยล์ (Aluminium Foil)
- 9) อ่างควบคุมอุณหภูมิ (Water Bath)
- 10) ขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer Flask) 250 ml
- 11) ขวดใส่สารตัวอย่าง (Evaporating Flask)
- 12) ถ้วยกระเบื้อง (Crucible)
- 13) ปิเปต (Pipette) 20 ml
- 14) กระบอกตวง (Cylinder) 100 ml
- 15) คอนเดนเซอร์ (Condenser)

3.1.2 สารเคมี

- 1) น้ำมันพืชที่ผ่านการใช้แล้ว
- 2) เมทานอล (Methanol $\geq 99.9\%$)
- 3) โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (Potassium Hydroxide, KOH) MERCK
- 4) แคลเซียมคลอไรด์ (Calcium Chloride, CaCl_2) AJAX CHEMICALS
- 5) ถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว (Activated Carbon: AC)
- 6) น้ำกลั่น

3.1.3 เครื่องมือ

- 1) เครื่องให้ความร้อนและแท่งกวนแม่เหล็ก (Hotplate & Stirrer รุ่น IKA C-MAG HS7)
- 2) เครื่องไล่ความชื้น (Desiccators)

- 3) ตู้อบ (Oven)
- 4) เตาเผา (Furnace)

3.2 การสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยา

3.2.1 ศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการแคลไซต์ตัวเร่งปฏิกิริยาเบส K/AC, Ca/AC ด้วยเครื่อง TGA เพื่อหาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการแคลไซต์ตัวเร่งปฏิกิริยาแต่ละชนิดพบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเผา K/AC, Ca/AC เป็น 600°C และ 900°C ตามลำดับ

3.2.2 เตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาถ่านกัมมันต์ชนิดเบส ได้แก่ K/AC, Ca/AC มีขั้นตอนดังนี้

- 1) ชั่งถ่านกัมมันต์ 400 กรัม
- 2) ชั่งโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 101 กรัม ลงในบีกเกอร์ ละลายด้วยน้ำกลั่น 600 มิลลิลิตร
- 3) นำถ่านกัมมันต์มาแช่ในสารละลายในข้อ (2) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
- 4) นำบีกเกอร์ในข้อ (3) ไปอบที่อุณหภูมิ 120°C เพื่อระเหยน้ำออก
- 5) นำถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้ใส่ในถ้วยกระเบื้องแล้วนำไปเผาที่อุณหภูมิ 600°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง
- 6) เก็บตัวเร่งปฏิกิริยาที่ได้จากการเผาในภาชนะป้องกันความชื้น
- 7) เตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา Ca/AC เช่นเดียวกับ K/AC แต่เปลี่ยนน้ำหนักแคลเซียมคลอไรด์เป็น 260 กรัม และอุณหภูมิในการเผาเป็น 900°C



(ก)

(ข)

รูปที่ 3.1 การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาถ่านกัมมันต์ชนิดเบส (ก) ถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว
(ข) สารละลาย

3.3 การสังเคราะห์ไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน

สังเคราะห์ไบโอดีเซลโดยแปรผันอัตราส่วนโดยโมลระหว่างน้ำมันและเมทานอล เป็น 1:10, 1:15 และ 1:20 และแปรผันจำนวนครั้งการใช้ไขมันพืชเป็น 1, 3 และ 5 ครั้งโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเปรียบเทียบกัน 2 ชนิด คือ ชนิด K และ ชนิด Ca บนตัวรองรับถ่านกัมมันต์ซึ่งในแต่ละการทดลองจะใช้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นร้อยละ 1 โดยน้ำหนักเทียบกับน้ำหนักน้ำมันที่อุณหภูมิและเวลาในการทำปฏิกิริยาเป็น $60 \pm 5^{\circ}\text{C}$ และ 3 ชั่วโมง ตามลำดับ

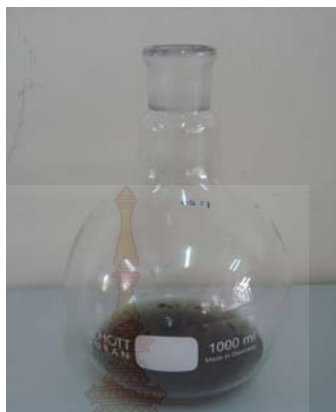


รูปที่ 3.2 การติดตั้งอุปกรณ์การสังเคราะห์ไบโอดีเซล

ขั้นตอนการสังเคราะห์ไบโอดีเซลมีดังนี้

- 1) เติมน้ำมันตามสัดส่วน และตัวเร่งปฏิกิริยาโดยน้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อน้ำมันที่ร้อยละ 1 กวนและให้ความร้อนด้วย Hot plate & Stirrer ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 10 นาทีแล้ววัดค่า pH
- 2) เติมน้ำมันพืชใช้แล้ว เมทานอลและตัวเร่งปฏิกิริยาที่ได้จากข้อ 1 ในขวดกันกลมแบนขนาด 1000 มิลลิลิตร แล้วต่อเข้ากับชุดเครื่องปฏิกรณ์จำลองดังรูปที่ 3.2 โดยทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ $60 \pm 5^{\circ}\text{C}$ และความเร็วรอบในการกวนของผสม 500 รอบ/นาทีเบอร์ 2 ทิ้งไว้ให้ทำปฏิกิริยาเป็นเวลา 3 ชั่วโมง
- 3) ทิ้งของผสมที่ได้จากการทำปฏิกิริยาไว้ให้เย็น แล้วแยกตัวเร่งปฏิกิริยาออกจากของผสมด้วยการกรองโดยใช้กระดาษกรองเบอร์ 1
- 4) แยกของเหลวที่ได้จากการกรองโดยใส่ในกรวยแยก ตั้งทิ้งไว้จนกว่าเกิดการแยกชั้นของเมทิลเอสเทอร์และกลีเซอรอล โดยแยกกลีเซอรอลออกแล้ววัดค่า pH ของเมทิลเอสเทอร์ ดังรูปที่ 3.4

- 5) ล้างเมทิลเอสเทอร์ที่ได้ด้วยน้ำอุ่นอุณหภูมิ $50 \pm 5^{\circ}\text{C}$ เพื่อกำจัดกลีเซอรอล เมทานอล และสิ่งเจือปนที่เหลือจากปฏิกิริยาออกเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากขั้นตอนนี้มีสีเหลืองขุ่น ดังรูปที่ 3.5
- 6) ระเหยน้ำออกจากเมทิลเอสเทอร์โดยการนำไปอุ่นด้วยความร้อนบน Hot plate นาน 1 ชั่วโมง จนเมทิลเอสเทอร์มีสีเหลืองใส ดังรูปที่ 3.6
- 7) เก็บตัวอย่างใส่ขวดเพื่อรอการวิเคราะห์ปริมาณเมทิลเอสเทอร์ต่อไป



รูปที่ 3.3 ผลิตภัณฑ์ผสมที่ได้จากการสังเคราะห์ไบโอดีเซล



รูปที่ 3.4 การแยกของเหลวที่ได้จากการกรองโดยใส่ในกรวยแยก



รูปที่ 3.5 การล้างเมทิลเอสเทอร์ที่ได้ด้วยน้ำอุ่น



รูปที่ 3.6 การระเหยน้ำออกจากเมทิลเอสเทอร์

3.4 การวิเคราะห์ปริมาณเมทิลเอสเทอร์

วิเคราะห์ด้วยวิธีมาตรฐาน EN 14103 ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ (Shimadzu GC-2014 GC/FID) โดยใช้ Methyl heptadecanoate (C_{17}) (สารละลายมาตรฐาน methyl heptadecanoate เตรียมโดยใช้ methyl heptadecanoate จำนวน 0.5 กรัม ละลายใน n-heptane 50 มิลลิกรัม เป็นสารละลายมาตรฐานในการอ้างอิงของเครื่อง อุปกรณ์ที่ใช้มีแคพิลารีคอลัมน์ (DB wax L = 30 m I.D. = 0.25 mm Film thickness = 0.25 μ m) ดีเทคเตอร์แบบ Flame ionization detection (FID) ใช้อุณหภูมิที่ดีเทคเตอร์ 250°C ใช้ฮีเลียมเป็นแก๊สพา การฉีดสารตัวอย่างกระทำด้วยโหมดแยก (Split mode) ด้วยอัตราการแยกคือ 30 ใช้เวลา 20 นาที

3.4.1 เตรียมสารที่ใช้ในการฉีด GC

- 1) ชั่งน้ำหนักสารตัวอย่างประมาณ 0.05 กรัมใส่ขวด
- 2) ผสมสารตัวอย่างที่ชั่งได้กับสารละลายมาตรฐาน

3.4.2 นิตสารละลายเข้าในเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟเพื่อทำการวิเคราะห์



รูปที่ 3.7 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ รุ่น Shimadzu GC-2014 GC/FID

3.5 การวิเคราะห์สมบัติของน้ำมันพืชใช้แล้วและไบโอดีเซล

3.5.1 น้ำมันพืชใช้แล้ว

- 1) ค่ากรด (Acid Value) ด้วยมาตรฐาน AOAC
- 2) ค่าสะพอนิฟิเคชัน (Saponification Value) ด้วยวิธีมาตรฐาน AOAC
- 3) ค่าไอโอดีน (Iodine Value) ด้วยวิธีมาตรฐาน EN 14111

3.5.2 ไบโอดีเซล

3.5.2.1 สมบัติทางกายภาพ

- 1) ค่าความหนืดจลน์ที่ 40°C ด้วยวิธีมาตรฐาน ASTM D 1298

3.5.2.2 สมบัติทางเชื้อเพลิง

- 1) ค่าความร้อนการเผาไหม้แบบกรอส (Gross) ด้วยวิธีมาตรฐาน ASTM D 240
- 2) จุดหมอก (Cloud point) ด้วยวิธีมาตรฐาน ASTM D2500
- 3) จุดไหลเท (Pour Point) ด้วยวิธีมาตรฐาน ASTM D97

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 ลักษณะทางกายภาพของน้ำมันไบโอดีเซลที่สังเคราะห์ได้จะมีสีเหลืองใส มีกลิ่นหอมเล็กน้อย เมื่อนำไปเก็บที่อุณหภูมิ 4-6°C จะไม่เป็นไข

5.1.2 การสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยา K/AC, Ca/AC ผลจากเครื่อง XRF แสดงให้เห็นว่ามีปริมาณธาตุ K และ Ca ร้อยละ 6.44 และ 4.48 โดยน้ำหนักตามลำดับ

5.1.3 การสังเคราะห์ไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา K/AC และ Ca/AC ที่อัตราส่วนโดยโมลระหว่างน้ำมันและเมทานอลต่าง ๆ โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 1% โดยน้ำหนักเทียบน้ำหนักน้ำมัน ผลจากเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟแสดงให้เห็นว่าปริมาณเมทิลเอสเทอร์มีค่าเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนระหว่างน้ำมันต่อเมทานอล โดยปฏิกิริยาที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดแคลเซียมจะให้ค่าปริมาณเมทิลเอสเทอร์ 1.15-4.56 ในขณะที่ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดโพแทสเซียม จะให้ปริมาณเมทิลเอสเทอร์สูงกว่าอย่างชัดเจนคือ 83.24-98.97

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ในการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาถ่านกัมมันต์ชนิดเบส โดยใช้ถ่านกัมมันต์เป็นตัวรองรับ พบว่าอุณหภูมิในการแคลไซด์มีผลต่อการยึดติดของสารที่เคลือบบนถ่านกัมมันต์ ดังนั้นควรศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการแคลไซด์ตัวเร่งปฏิกิริยาแต่ละชนิดก่อน

5.2.2 การศึกษาจำนวนการใช้ไขมันพืช เพื่อใช้ในการสังเคราะห์ไบโอดีเซล ควรมีการแปรผันจำนวนครั้งการใช้ไขมันพืชให้มีค่าที่กว้างขึ้น

5.2.3 จากการศึกษการหลุดของตัวเร่งปฏิกิริยา พบว่ามีการหลุดของตัวเร่งปฏิกิริยาเกิดขึ้น ดังนั้นควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยา

บทที่ 4

ผลการวิจัยและข้อวิจารณ์

4.1 การเตรียมน้ำมันที่ใช้แล้ว

การเตรียมน้ำมันที่ใช้แล้วด้วยการนำน้ำมันพืชผ่านการทอดหมูแปรรูปจำนวนครั้งการใช้ น้ำมัน 1, 3 และ 5 ครั้ง ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ลักษณะของน้ำมันพืชที่ผ่านการใช้แล้ว 0, 1, 3 และ 5 ครั้ง

จากรูปที่ 4.1 เป็นลักษณะทางกายภาพของน้ำมันพืชที่ผ่านการใช้เทียบกับน้ำมันบริสุทธิ์ จะเห็นว่าสีของน้ำมันบริสุทธิ์รูปซ้ายมือสุดจะมีลักษณะเป็นสีเหลืองใสไม่มีสิ่งเจือปน เมื่อผ่านการ ใช้งานตามจำนวนครั้งการใช้ น้ำมันสีของน้ำมันก็จะเริ่มมีสีเข้มขึ้นเรื่อยๆ และพบว่าจำนวนครั้ง การใช้ น้ำมันพืชมากเท่าไรจะมีสิ่งเจือปนอยู่มากและมีกลิ่นเหม็น

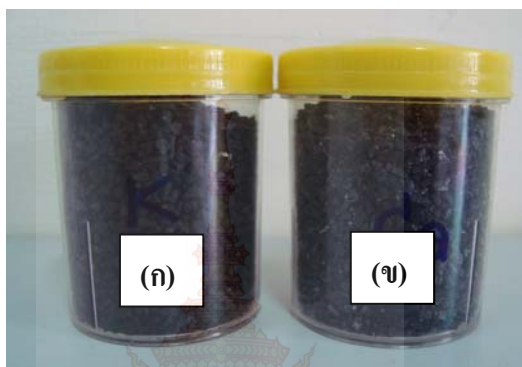
ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของน้ำมันพืชใช้แล้ว

จำนวนการใช้ น้ำมัน (ครั้ง)	ผลการทดสอบ		
	ค่าไอโอดีน (wicks)	ค่าของกรด (mg KOH/g)	ค่าสะพอนิฟิเคชัน (mg KOH/g)
0	62.4	1.35	197.8
1	63.5	1.61	197.7
3	68.5	0.90	196.0
5	69.2	1.18	197.7

จากตารางที่ 4.1 พบว่าน้ำมันพืชที่ผ่านการใช้ 1, 3 และ 5 ครั้ง มีค่าสะพอนิฟิเคชันที่ใกล้เคียงกับน้ำมันพืชที่มีจำนวนการใช้ น้ำมัน 0 ครั้ง และค่ากรดของน้ำมันมีค่าไม่เกิน 2 ทำให้รู้

4.2 การสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยา

ตัวเร่งปฏิกิริยาถูกสังเคราะห์ขึ้นด้วยวิธีการฝังตัวแบบเปียกบนถ่านกัมมันต์ โดยใช้สารละลาย KOH และ CaCl_2 แสดงได้ดังรูปที่ 4.2 โดยภาพหลังการสังเคราะห์จะได้ตัวเร่งปฏิกิริยา K บนถ่านกัมมันต์ (K/AC) และ Ca บนถ่านกัมมันต์ (Ca/AC) ผลจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRF แสดงได้ดังตารางที่ 4.2



รูปที่ 4.2 ตัวเร่งปฏิกิริยาที่สังเคราะห์ขึ้น (ก) K/AC (ข) Ca/AC

ตารางที่ 4.2 องค์ประกอบธาตุในตัวเร่งปฏิกิริยาที่สังเคราะห์ขึ้น

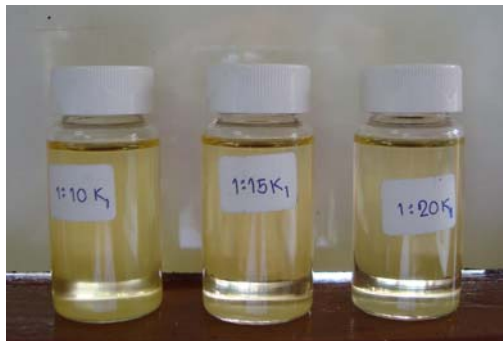
ตัวเร่งปฏิกิริยา	ปริมาณธาตุ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)*		
	K	Ca	อื่นๆ
K/AC	6.44	-	93.56
Ca/AC	-	4.48	95.52

*ปริมาณธาตุหาโดยวิธี Theoretical formulas, “fundamental parameter calculations”

จากตารางที่ 4.2 พบว่ามีปริมาณธาตุเหลืออยู่ในตัวเร่งปฏิกิริยา K/AC และ Ca/AC จากสังเคราะห์ด้วยวิธีฝังตัวแบบเปียกบนถ่านกัมมันต์ โดยพบ K และ Ca ร้อยละ 6.44 และ 4.48 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ทำให้สามารถคำนวณปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่ต้องใช้ทำปฏิกิริยาต่อไปได้

4.3 การสังเคราะห์ไบโอดีเซล

โดยแปรผันอัตราส่วนโดยโมลระหว่างน้ำมันและเมทานอลเป็น 1:10, 1:15 และ 1:20 และแปรผันจำนวนครั้งการใช้ไขมันพืชเป็น 1, 3 และ 5 ครั้ง โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเปรียบเทียบกัน 2



รูปที่ 4.3 ผลิตกณฑ์ที่สังเคราะห์ได้จากตัวเร่งปฏิกิริยา K/AC โดยใช้น้ำมันพืชที่ผ่านการใช้งาน 1 ครั้ง ที่อัตราส่วน 1:10, 1:15 และ 1:20



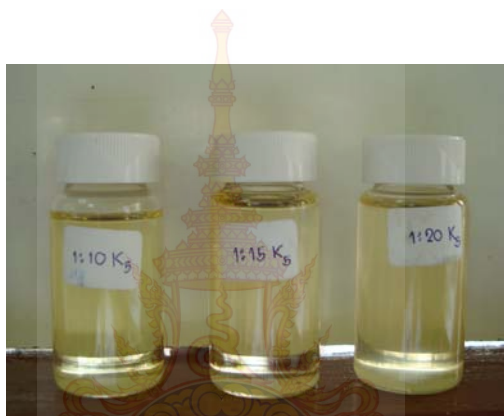
รูปที่ 4.4 ผลิตกณฑ์ที่สังเคราะห์ได้จากตัวเร่งปฏิกิริยา Ca/AC โดยใช้น้ำมันพืชที่ผ่านการใช้งาน 1 ครั้ง ที่อัตราส่วน 1:10, 1:15 และ 1:20



รูปที่ 4.5 ผลิตกณฑ์ที่สังเคราะห์ได้จากตัวเร่งปฏิกิริยา K/AC โดยใช้น้ำมันพืชที่ผ่านการใช้งาน 3 ครั้ง ที่อัตราส่วน 1:10, 1:15 และ 1:20



รูปที่ 4.6 ผลิตรภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้จากตัวเร่งปฏิกิริยา Ca/AC โดยใช้น้ำมันพืชที่ผ่านการใช้งาน 3 ครั้ง ที่อัตราส่วน 1:10, 1:15 และ 1:20

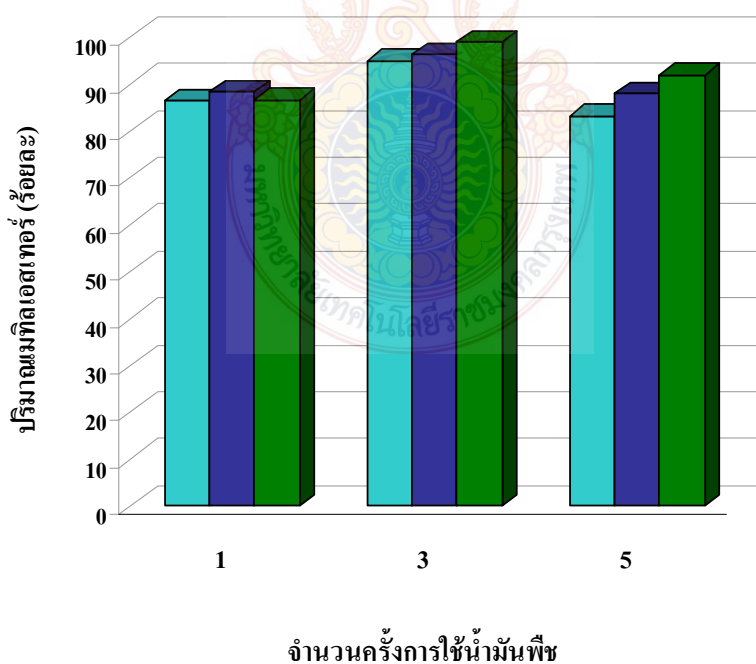


รูปที่ 4.7 ผลิตรภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้จากตัวเร่งปฏิกิริยา K/AC โดยใช้น้ำมันพืชที่ผ่านการใช้งาน 5 ครั้ง ที่อัตราส่วน 1:10, 1:15 และ 1:20



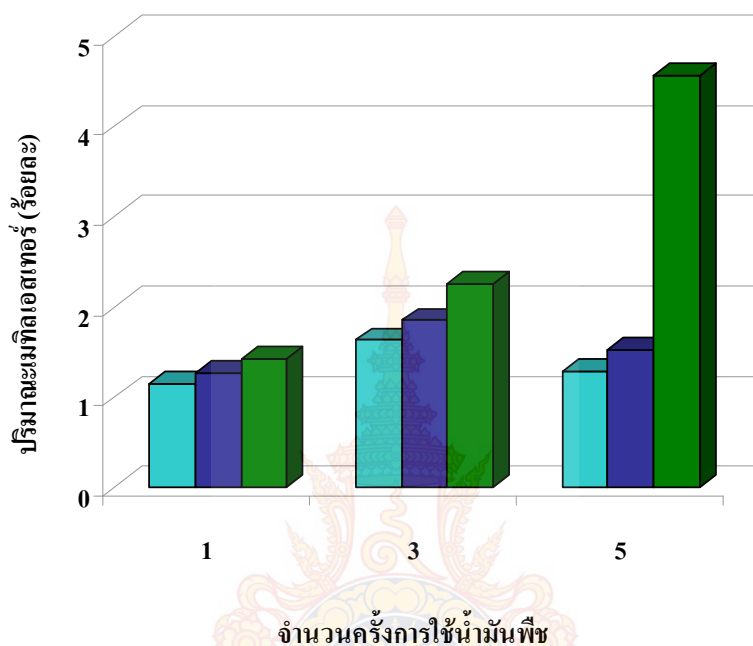
รูปที่ 4.8 ผลิตรภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้จากตัวเร่งปฏิกิริยา Ca/AC โดยใช้น้ำมันพืชที่ผ่านการใช้งาน 5 ครั้ง ที่อัตราส่วน 1:10, 1:15 และ 1:20

ลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ตัวอย่างที่ได้จากการทำปฏิกิริยาโดยใช้ K/AC และ Ca/AC เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่อัตราส่วนโดยโมลระหว่างน้ำมันและเมทานอลเป็น 1:10, 1:15 และ 1:20 แปรผันจำนวนครั้งการใช้ไขมันพืชเป็น 1, 3 และ 5 ครั้งในการสังเคราะห์ไบโอดีเซล ผลปรากฏว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้นั้นมีสีเหลือง มีกลิ่นหอมเล็กน้อย และเมื่อนำไปแช่ตู้เย็นจะไม่ใช่ และจากผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ ดังตารางที่ จ.1 พบว่าปริมาณเมทิลเอสเทอร์ที่ใช้ K/AC เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนโดยโมลระหว่างน้ำมันกับแอลกอฮอล์ แต่มีแนวโน้มใกล้เคียงกันเมื่อพิจารณาเทียบกับจำนวนครั้งการใช้ไขมันพืช ซึ่งมีผลอยู่ระหว่าง 83-98% และยังพบอีกว่าที่อัตราส่วนโดยโมลระหว่างน้ำมันกับเมทานอลที่อัตราส่วน 1:20 ที่จำนวนครั้งการใช้ไขมันพืช 3 ครั้ง ให้ปริมาณเมทิลเอสเทอร์สูงสุด 98.97% ส่วนปริมาณเมทิลเอสเทอร์ที่ใช้ Ca/AC เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา พบว่ามีค่าต่ำมากมีค่าอยู่ในช่วง 1.15-4.56 แต่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนโดยโมลระหว่างน้ำมันกับแอลกอฮอล์ และมีแนวโน้มใกล้เคียงกันเมื่อพิจารณาเทียบกับจำนวนครั้งการใช้ไขมันพืชเช่นเดียวกับที่ใช้ K/AC เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และยังพบอีกว่าที่อัตราส่วนโดยโมลระหว่างน้ำมันกับเมทานอลที่อัตราส่วน 1:20 ที่จำนวนครั้งการใช้ไขมันพืช 5 ครั้ง ให้ปริมาณเมทิลเอสเทอร์สูงสุด 4.56% และเมื่อนำผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟทั้งสองครั้งมาหาค่าเฉลี่ยได้ผล ดังรูปที่ 4.9 และ 4.10 ตามลำดับ



รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนครั้งการใช้ไขมันพืชกับปริมาณเมทิลเอสเทอร์ที่ใช้ K/AC เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่อัตราส่วน 1:10, 1:15 และ 1:20

จากรูปที่ 4.9 เป็นการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยแปรผันอัตราส่วนโดยโมลระหว่างน้ำมันและเมทานอล เป็น 1:10, 1:15 และ 1:20 และแปรผันจำนวนครั้งการใช้ไขมันพืชเป็น 1, 3 และ 5 ครั้งโดยใช้ตัวเร่ง K/AC ปฏิกิริยา จะเห็นว่าจำนวนครั้งการใช้ไขมันพืชทั้ง 3 ตัวอย่างมีปริมาณเมทิลเอสเทอร์ใกล้เคียงกัน และที่อัตราส่วนโดยโมลระหว่างน้ำมันต่อเมทานอลเพิ่มขึ้นพบว่าปริมาณของเมทิลเอสเทอร์ในผลิตภัณฑ์ตัวอย่างแต่ละตัว มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น



รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนครั้งการใช้ไขมันพืชกับปริมาณเมทิลเอสเทอร์ที่ใช้ Ca/AC เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่อัตราส่วน 1:10, 1:15 และ 1:20

จากรูปที่ 4.10 เป็นการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยแปรผันอัตราส่วนโดยโมลระหว่างน้ำมันและเมทานอล เป็น 1:10, 1:15 และ 1:20 และแปรผันจำนวนครั้งการใช้ไขมันพืชเป็น 1, 3 และ 5 ครั้งโดยใช้ตัวเร่ง Ca/AC ปฏิกิริยา จะเห็นว่าจำนวนครั้งการใช้ไขมันพืชทั้ง 3 ตัวอย่างมีปริมาณเมทิลเอสเทอร์น้อยมาก ซึ่งมีสาเหตุสำคัญมาจากชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา แต่จะมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่ออัตราส่วนโดยโมลระหว่างน้ำมันต่อเมทานอลเพิ่มขึ้น

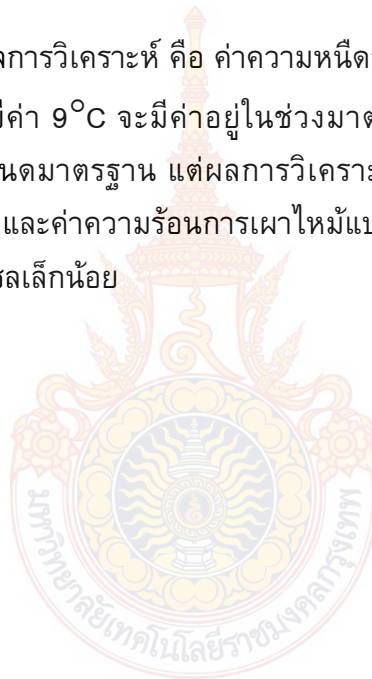
ตารางที่ 4.4 สมบัติทางกายภาพและทางเชื้อเพลิงของไบโอดีเซลที่สังเคราะห์ขึ้น

สมบัติ	ผลวิเคราะห์ ^a	มาตรฐานไบโอดีเซล ^b
ค่าความหนืดจลน์ที่อุณหภูมิ 40°C (mm ² /s)	4.611	1.9-6.0
ค่าความร้อนการเผาไหม้แบบกรอส (kJ/kg)	39,886	46,768
จุดหมอก (°C)	10	ไม่สูงกว่า 12
จุดไหลเท (°C)	9	ไม่สูงกว่า 10

หมายเหตุ ^a กรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

^b กรมธุรกิจพลังงาน

จากตารางที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์ คือ ค่าความหนืดจลน์ที่อุณหภูมิ 40°C (mm²/s) มีค่า 4.611°C และจุดไหลเทมีค่า 9°C จะมีค่าอยู่ในช่วงมาตรฐานไบโอดีเซล ส่วนจุดหมอกในประเทศไทยไม่มีการกำหนดมาตรฐาน แต่ผลการวิเคราะห์ที่ได้เปรียบเทียบกับต่างประเทศพบว่า มีค่าอยู่ในมาตรฐาน และค่าความร้อนการเผาไหม้แบบกรอสเท่ากับ 39,886 kJ/kg ซึ่งต่ำกว่ามาตรฐานของไบโอดีเซลเล็กน้อย



บรรณานุกรม

Wang, Ou, Liu and Zhang, 2007, "Preparation of biodiesel from waste cooking oil via two-step catalyzed process", **Energy Conversion Management**, Vol 48, pp.186-188.

Jitputti, Kitiyanan, Rangsunvigit, Bunyakiat and Jenvanitpanjakul, 2006, "Transesterification of crude palm kernel oil and crude coconut oil by different solid catalysts", **Chemical Engineering Journal**, Vol 116, pp.61-66.

F. Rouquerol, J. Rouquerol and K. Sing (1999) Adsorption by powers and porous solids, pp.237-242, Academic Press, London, England

Ma, F. Clements L.D.and Hanna M.A., 1998, The Effect of Catalyst, Free Fatty Acid and Water on Tranesterification of Beff Tallow, *Trans ASAE* 41, pp. 1261-1264.

กุลเชษฐ์ เพียรทอง และคณะ 2548 "การผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วขนาด 150 ลิตร ต่อรอบการผลิตและการใช้งานกับเครื่องยนต์ขนาดเล็ก" การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย. 11-13 พฤษภาคม โรงแรมแอมบาสเดอร์ ซิตี้ จอมเทียน จังหวัดชลบุรี

จิราวัลย์ แลบัว 2530 การเตรียมเมธิลเอสเทอร์จากน้ำมันพืชโดยปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน. โครงการวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต. คณะวิชาพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระเจ้าเกล้าธนบุรี

วิโรจน์ จันสุต และจินดา เจริญพรพาณิชย์ 2548 การใช้ไขมันเมล็ดยางพาราในเครื่องยนต์ขนาดเล็กโครงการวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ศิริวรรณ บรคำ 2544 "ไบโอดีเซล: ทางเลือกใหม่ทดแทนพลังงานเชื้อเพลิง" วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 15, 2: 20-21

ศิตา เบ็ญจพรกุลพงศ์ 2548 การเร่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันแบบวิธีพั่นธุ์ของไขมันเมล็ดในปาล์มและน้ำมันมะพร้าว วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาวิณี คณาสวัสดิ์ และต๋วง พุทธศุภร์ 2540 การสังเคราะห์เมทิลและเอทิลเอสเทอร์จากน้ำมัน
ปาล์ม โดยวิธีทางเคมีและทางเอนไซม์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ “คำไอโอดีน” [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก:
http://www.nstda.or.th/nac2007/images/stories/exhibit/energy/energy_16.pdf. (วันที่
สืบค้นสิงหาคม 2551)

ภักดี โพธิศิริ 2547 “คุณสมบัติฐานน้ำมันทอดมือสอง” “สกัดมะเร็ง” “ร้ายทำลายชีวิต” [ออนไลน์]
เข้าถึงได้จาก: <http://wave.prohosting.com/biotik/oil4.html>. (วันที่สืบค้น 2 สิงหาคม 2551)

วุฒินนท์ ตันวรารุณกุล และสุชนก อัสวสันติ 2549 การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วโดย
ใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โครงการวิทยาศาสตร์บัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย

Hamed, M., Ruihong, Z., and Roberto, J. 2008. “**A two-step process for biodiesel
production.**” [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก: www.sciencedirect.com (สืบค้นวันที่ 25 พฤษภาคม
2551)

Kawashima, A., Matsubara, K. and Honda, K. 2007. “**Development of heterogeneous
bas catalysts for biodiesel production**” [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก:
www.sciencedirect.com (สืบค้นวันที่ 25 พฤษภาคม 2551)

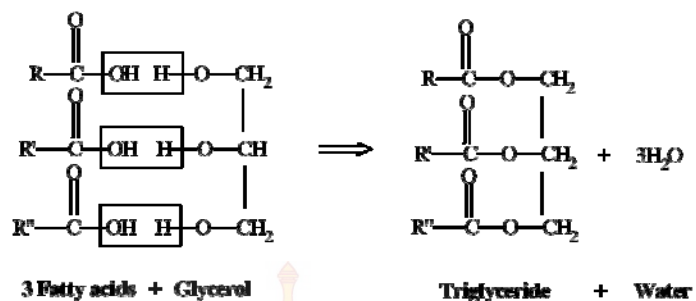
ภาคผนวก



ภาคผนวก ก

การคำนวณน้ำหนักโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์

มวลโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์แสดงได้ดังรูป ก.1



รูปที่ ก.1 ไตรกลีเซอไรด์

องค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันปาล์ม (ที่มา: Suratthani Oil Plam Research Center)

ตาราง ก.1 องค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันปาล์ม

ชนิดกรดไขมัน	องค์ประกอบ	สูตรโครงสร้าง	สูตรโมเลกุล	น้ำหนัก โมเลกุล
Lauric acid $C_{12:0}$	0.2	$CH_3(CH_2)_{10}COOH$	$C_{12}H_{24}$	168
Stearic acid $C_{14:0}$	1.0	$CH_3(CH_2)_{12}COOH$	$C_{14}H_{28}$	196
Plamitic acid $C_{16:0}$	39.8	$CH_3(CH_2)_{14}COOH$	$C_{16}H_{32}$	224
Myristic acid $C_{18:0}$	4.4	$CH_3(CH_2)_{16}COOH$	$C_{18}H_{36}$	252

ตาราง ก.1 องค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันปาล์ม (ต่อ)

ชนิดกรดไขมัน	องค์ประกอบ	สูตรโครงสร้าง	สูตรโมเลกุล	น้ำหนัก โมเลกุล
Linoleic acid C _{18:1}	42.5	CH ₃ (CH ₂) ₄ (CH=CHCH ₂) ₂ (CH ₂) ₆ COOH	C ₁₈ H ₃₄	250
Oleic acid C _{18:2}	11.2	CH ₃ (CH ₂) ₇ CH=CH(CH ₂)COOH	C ₁₈ H ₃₀	246

สูตรการคำนวณ

$$MW_{TG} = (3R_{av} + MW_G) - 3MW_{H_2O}$$

$$R_{av} = \sum \left(\frac{\%F \times MW}{100} \right)$$

$$R_{av} = \left(\frac{(0.2 \times 200) + (1.0 \times 228) + (39.8 \times 256) + (4.4 \times 284) + (42.5 \times 282) + (11.2 \times 280)}{100} \right)$$

$$R_{av} = \frac{40.0 + 228.0 + 10188.8 + 1249.6 + 11985.0 + 3136.0}{100}$$

$$R_{av} = \frac{26827.4}{100}$$

$$R_{av} = 268.274$$

แทนค่าใน $MW_{TG} = (3R_{av} + MW_G) - 3MW_{H_2O}$

จะได้ $MW_{TG} = (3(268.273) + 92) - 54$

$$MW_{TG} = 842.82 \text{ g/mol}$$

เพราะฉะนั้นน้ำหนักโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์คือ 842.82 g/mol

ภาคผนวก ข

การคำนวณปริมาณสารที่ใช้

น้ำหนักของน้ำมันปาล์ม และเมทานอลในอัตราส่วนโดยโมล (1:10)

- น้ำหนักน้ำมันปาล์ม

น้ำมันปาล์ม 1 mol (มวลโมเลกุลน้ำมันปาล์มเท่ากับ 842.82 g/mol)

จาก
$$n = \frac{m}{MW}$$

$$1 \text{ mol} = \frac{m}{842.82 \text{ g/mol}}$$

$$m = 842.82 \text{ g}$$

เพราะฉะนั้นน้ำหนักของน้ำมันปาล์ม 1 mol เท่ากับ 842.82 g

- น้ำหนักเมทานอล

เมทานอล 10 mol (มวลโมเลกุลของ CH₃OH เท่ากับ 32.04 g/mol)

จาก
$$n = \frac{m}{MW}$$

$$10 \text{ mol} = \frac{m}{32.4 \text{ g/mol}}$$

$$m = 320.4 \text{ g}$$

เพราะฉะนั้นน้ำหนักของเมทานอล 10 mol เท่ากับ 320.4 g

หมายเหตุ ที่เมทานอล 15 และ 20 mol สามารถคำนวณน้ำหนักเมทานอลด้วยวิธีดังกล่าว

โดยที่ เมทานอล 15 mol มีค่าเท่ากับ 480.6 g

เมทานอล 20 mol มีค่าเท่ากับ 640.8 g

- เทียบปริมาณสารที่ใช้

ที่อัตราส่วนโดยโมลระหว่างน้ำมันพืชและเมทานอลเท่ากับ 1:10

น้ำมันปาล์ม 842.82 g : เมทานอล 320.4 g

น้ำมันปาล์ม 50 g : เมทานอล $\frac{320.4 \times 50}{842.82} = 19 \text{ g}$

หมายเหตุ ที่อัตราส่วน 1:15 และ 1:20 สามารถคำนวณด้วยวิธีดังกล่าว

น้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก เทียบน้ำหนักน้ำมัน

ปริมาณธาตุ K 6.44 กรัม ในถ่านกัมมันต์ 100 กรัม

ปริมาณธาตุ K $50 \times 0.01 \text{ กรัม}$ ในถ่านกัมมันต์ $\frac{50 \times 0.01 \times 100}{6.44} = 7.76 \text{ g}$

หมายเหตุ ตัวเร่งปฏิกิริยา Ca ก็สามารถคำนวณด้วยวิธีเดียวกัน แต่เปลี่ยนปริมาณธาตุเป็น 4.48



ตารางที่ ข.1 ปริมาณน้ำมันต่อเมทานอล และตัวเร่งปฏิกิริยาที่อัตราส่วนโดยโมลต่างๆ

อัตราส่วนโดยโมล ของน้ำมันต่อเมทานอล	น้ำหนักน้ำมันปาล์ม (g)	น้ำหนักเมทานอล (g)	น้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยา	
			K/AC (g)	Ca/AC (g)
1:10	50.0	19.0	7.76	11.16
1:15	50.0	28.50	7.76	11.16
1:20	50.0	38.02	7.76	11.16

ตารางที่ ข.2 ข้อมูลดิบในการสังเคราะห์ไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันที่ภาวะต่างๆ

จำนวน ครั้งการใช้ น้ำมัน พืช(ครั้ง)	ชนิดของ ตัวเร่ง ปฏิกิริยา	อัตราส่วน โดยโมล (น้ำมัน:เม ทานอล)	น้ำหนัก ของน้ำมัน (g)	น้ำหนัก ของเมทา นอล (g)	น้ำหนักของ ตัวเร่ง ปฏิกิริยา (g)	pH		
						1	2	3
1	K/AC	1:10	50.5700	19.0057	7.7650	11	10	9
		1:15	50.3670	28.5147	7.7639	10	10	9
		1:20	50.3300	38.0268	7.7614	10	10	9
	Ca/AC	1:10	50.0081	19.0073	11.1671	5	5	5
		1:15	50.0142	28.5003	11.1634	5	5	5
		1:20	50.1065	38.0203	11.1618	5	5	6
3	K/AC	1:10	50.1518	19.0690	7.7640	9	11	11
		1:15	50.2468	28.5102	7.7653	12	10	10
		1:20	51.4668	38.0243	7.7673	11	11	11
	Ca/AC	1:10	50.0193	19.0093	11.1658	5	5	5
		1:15	50.0151	28.3040	11.1691	5	5	5
		1:20	50.0706	38.0296	11.1638	5	5	5

ตารางที่ ข.2 ข้อมูลดิบในการสังเคราะห์ไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันที่ภาวะต่าง (ต่อ)

จำนวน ครั้งการใช้ น้ำมัน พืช (ครั้ง)	ชนิดของ ตัวเร่ง ปฏิกิริยา	อัตราส่วน โดยโมล (น้ำมัน:เม ทานอล)	น้ำหนัก ของน้ำมัน (g)	น้ำหนัก ของเมทา นอล (g)	น้ำหนักของ ตัวเร่ง ปฏิกิริยา (g)	pH		
						1	2	3
5	K/AC	1:10	50.0237	19.0282	7.7687	11	10	10
		1:15	50.0585	28.5105	7.7616	10	10	9
		1:20	50.7512	38.0214	7.7667	11	10	10
	Ca/AC	1:10	50.6187	19.0215	11.1602	5	5	6
		1:15	50.3060	28.5159	11.1633	5	5	5
		1:20	50.8790	38.0224	11.1666	5	5	5

หมายเหตุ 1 คือ ค่า pH ที่วัดได้จากของผสมก่อนทำปฏิกิริยา

2 คือ ค่า pH ที่วัดได้หลังจากทำปฏิกิริยาเสร็จแล้วแยกตัวเร่งปฏิกิริยาออกจากของผสมแล้ว

3 คือ ค่า pH ที่วัดได้จากของผสมก่อนทำปฏิกิริยา



ภาคผนวก ค

ข้อมูลดิบที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณเมทิลเอสเทอร์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี

ตารางที่ ค.1 น้ำหนักของสารตัวอย่างที่ใช้วิเคราะห์ปริมาณเมทิลเอสเทอร์ที่ภาวะต่างๆ

ตัวอย่าง			น้ำหนัก (g)	
จำนวนครั้ง การใช้น้ำมัน พืช (ครั้ง)	ชนิดของ ตัวเร่ง ปฏิกิริยา	อัตราส่วน โดยโมล (น้ำมัน: เมทา นอล)	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
1	K/AC	1:10	0.0599	0.0599
		1:15	0.0532	0.0547
		1:20	0.0532	0.0530
	Ca/AC	1:10	0.0537	0.0540
		1:15	0.0555	0.0507
		1:20	0.0547	0.0580
3	K/AC	1:10	0.0551	0.0556
		1:15	0.0525	0.0530
		1:20	0.0533	0.0533
	Ca/AC	1:10	0.0528	0.0528
		1:15	0.0564	0.052
		1:20	0.0528	0.0528
5	K/AC	1:10	0.0536	0.0504
		1:15	0.0503	0.0583
		1:20	0.0538	0.0516
	Ca/AC	1:10	0.0545	0.0589
		1:15	0.0544	0.0562
		1:20	0.0518	0.0539

ประวัติคณะนักวิจัย

หัวหน้าโครงการวิจัย

1. ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) นาย ไชยยันต์ ไชยยะ
ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Mr. Chaiyan Chaiya
2. เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 3-1202-00156-44-0
3. ตำแหน่งปัจจุบัน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ระดับ 8
4. หน่วยงานและสถานที่ติดต่อได้สะดวก
สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
2 ถนนนางลิ้นจี่ แขวงทุ่งมหาเมฆ เขตสาทร กรุงเทพฯ
รหัสไปรษณีย์ 10120 โทรศัพท์ 0 2287 9600 ต่อ 1201
E-mail address chaiyan.c@rmutk.ac.th
5. ประวัติการศึกษาปริญญาเอก Ph.D.
สาขาวิชา Environmental Technology,
Joint Graduate school of Energy and Environment
(JGSEE), Thailand
6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ
Chemical Engineering, Activated carbon, Adsorption technology,
Material science
7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ
7.1 หัวหน้าโครงการวิจัย :
 - การผลิตถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟโดยใช้ฟลูอิดไอเซชันไอน้ำ งบประมาณแผ่นดิน 2548
 - การสังเคราะห์เส้นใยซิลิกาด้วยวิธีโซล-เจลโดยใช้เทคนิคอิเล็กโตรสปินนิง งบประมาณแผ่นดิน 2548
 - การแยกโลหะหนักออกจากสารละลายด้วยถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวโดยใช้หลอดดูดแบบชั้นตรึง งบประมาณแผ่นดิน 2549
 - อิทธิพลของสารกระตุ้นที่มีต่อหมู่หน้าที่และประสิทธิภาพในการดูดซับ ของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกากกาแฟ งบประมาณแผ่นดิน 2550
 - การผลิตไบโอดีเซลในเครื่องปฏิกรณ์แบบกึ่งกะโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธุ์ งบประมาณแผ่นดิน 2550
 - การสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลออกไซด์แบบเส้นใยด้วยวิธีโซล-เจลโดยใช้เทคนิคอิเล็กโตรสปินนิง สกว.
 - การผลิตถ่านกัมมันต์จากเปลือกเมล็ดยางพาราโดยใช้ฟลูอิดไอเซชันไอน้ำ งบประมาณแผ่นดิน 2551

- การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วโดยการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิธีพ่นธุ่งปม.แผ่นดิน 2551
- อิทธิพลของสารกระตุ้นที่มีต่อหมุ่ทำหน้าทีและประสิทธิภาพในการดูดซับ ของ ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเปลือกเมล็ดยางพารา งบประมาณ.แผ่นดิน 2552
- การสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันที่ผ่านกระบวนการทอดเนื้อหมูโดยใช้ตัวเร่งแบบ วิธีพ่นธุ่ง สนพ.2551

7.2 งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว :

1. Chaiya C., Synthesis of Silica Fiber with Sol-Gel Method by Electro-Spinning Technique, Proceedings of the 55th Canadian Chemical Engineering Conference, Metro Toronto Convention Centre, Ontario, Canada, 2005
2. ไชยยันต์ ไชยยะ ทวีวรรณ เกษอินทร์ และอลิษา ใจเอื้อ, การสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟโดยใช้ซิงค์คลอไรด์, 2548, การประชุมสัมมนาทางวิชาการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 21, 28-30 มีนาคม 2548, โรงแรม เชียงใหม่ภูคำ, จังหวัดเชียงใหม่
3. ไชยยันต์ ไชยยะ และ ภาวิณี สายอุดม, การสังเคราะห์เส้นใยซิลิกาโดยวิธีโซล-เจล โดยใช้เทคนิคอิเล็กโตรสปินนิง, งานประชุมวิชาการวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทยครั้งที่ 15, นานาเทคโนโลยีและพลังงานกับการพัฒนาอุตสาหกรรมเคมี, 27-28 ตุลาคม 2548, มหาวิทยาลัยบูรพา, จังหวัดชลบุรี
4. ไชยยันต์ ไชยยะ และโสธิญา มัยแก้ว, การผลิตถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟโดยใช้ฟลูอิดไอเซนไอน้ำ, งานประชุมวิชาการวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทยครั้งที่ 16, 26-27 ตุลาคม 2549, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ
5. Boonamnuyvitaya V., Chaiya C. and Jarudilokkul S., Removal of heavy metals by adsorbent prepared from pyrolyzed coffee residues and clay, Separation and Purification Technology, 35, 11-22.
6. Boonamnuyvitaya V., Chaiya C. and Tanthapanichakoon W., The preparation and characterization of activated carbon from coffee residue, Journal of Chemical Engineering of Japan, 37, 1504-1512.
7. Chaiya, C. and Boonamnuyvitaya, V. 2000. The Adsorption of Heavy Metal Ions with Adsorbent Comprised of Coffee Residue, Proceedings of the 1st Asian Particle Technology Symposium, Bangkok, Thailand, 66.
8. Chaiya, C. and Boonamnuyvitaya, V. 2003. Adsorption of Toluene Vapor under Humid Condition by Activated Carbon Produced from Coffee Residue, Proceedings of the 2nd Regional Conference on Energy Technology Towards a Clean Environment, Phuket, Thailand, 2 : 1079-1085.

9. Chaiya, C. and Boonamnuayvitaya, V. 2003. Adsorption of Toluene Vapor under Humid Condition by Activated Carbon produced from Coffee Residue, proceedings of the Regional Conference on Advances in Petrochemicals and Polymers in the New Millennium, 22-25 July 2003, Le royal meridian hotel, Bangkok.
10. Chaiya, C. and Boonamnuayvitaya, V. 2003. Production and Characterization of Activated Carbon from Coffee Bean Residuals, Proceedings of the Materials Development and Particle Technology (MaDPart2003), The Center of the Excellence in Particle Technology, 14 Oct 2003, Mandarin hotel, Bangkok.
11. Chaiya, C. and Boonamnuayvitaya, V. 2003. Preparation of Activated Carbon from Coffee Residue : Characterization and Toluene Vapor Adsorption under Humidity, Proceedings of the 2nd Asian Particle Technology Symposium, Department of Chemical & Process Engineering, Universiti Kebangsaan, 16-19 Dec 2003, Penang, Malaysia.



นักวิจัยคนที่ 1

1. ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) นางสาววารภรณ์ ณะกุลรังสรรค์
ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) MISS WARAPORN TANAKULRUNGSANK

2. เลขหมายประจำตัวประชาชน 3 1008 00092 33 7

3. ตำแหน่งปัจจุบัน ผู้ช่วยศาสตราจารย์

4. หน่วยงานที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้สะดวก

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

2 ถนนนางลิ้นจี่ เขตสาทร กรุงเทพฯ 10120

โทรศัพท์ 0 2287 9734

โทรสาร 0 2287 9734

e-mail: waraporn@rmutk.ac.th

5. ประวัติการศึกษา

ปีที่จบ การศึกษา	ระดับ ปริญญา	อักษรย่อปริญญา และชื่อเต็ม	สาขาวิชา	วิชาเอก	ชื่อสถาบัน การศึกษา	ประเทศ
2536	เอก	D. Eng. Doctor of Engineering	Catalyst Engineerin g	Catalyst Engineering	Kyoto University	ญี่ปุ่น
2530	โท	วศ.ม. วิศวกรรมศาสตร มหาบัณฑิต	วิศวกรรม เคมี	วิศวกรรมเคมี	จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย	ไทย
2521	ตรี	วท.บ. วิทยาศาสตร์ บัณฑิต	เคมี วิศวกรรม	เคมีวิศวกรรม	จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย	ไทย

6. สาขาวิชาการศึกษาที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ
วิศวกรรมเคมี วิศวกรรมตัวเร่งปฏิกิริยา

7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ โดยระบุสถานภาพในการ
ทำวิจัยว่าเป็นผู้อำนวยการแผนงานวิจัย หัวหน้าโครงการวิจัย หรือผู้ร่วมวิจัยในแต่ละข้อเสนอการวิจัย

7.1 ผู้อำนวยการแผนงานวิจัย: ชื่อแผนงานวิจัย

—

7.2 หัวหน้าโครงการวิจัย: ชื่อโครงการวิจัย

- 7.2.1 การศึกษาการนำปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจากไอของสารประกอบซัลเฟอร์โดยใช้เทคนิค XPS และ DRIFT ด้วยปฏิกิริยาการใช้แสง ร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยาไทเทเนียมขนาดนาโนเมตรที่สังเคราะห์ด้วยเทคนิคการเผาแบบเฟลมสเปรย์
- 7.2.2 การควบคุมโครงสร้างรูพรุนขนาดเมโซของตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลออกไซด์
- 7.2.3 การสังเคราะห์พอลิ (เมทิลเมทาคริเลต) ที่กราฟต์บนแป้งข้าวโพดโดยใช้โพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟตเป็นสารเริ่มปฏิกิริยา
- 7.3 งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว: ชื่อผลงานวิจัย ปีที่พิมพ์ การเผยแพร่และแหล่งทุน
1. การสังเคราะห์อนุภาคไทเทเนียมขนาดนาโนเมตรด้วยเทคนิคการเผาแบบเฟลมสเปรย์ การประชุม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลวิชาการ ครั้งที่ 1 ระหว่างวันที่ 27 – 23 สิงหาคม 2551 ณ โรงแรมธรรมรินทร์ ธนา อำเภอเมือง จังหวัดตรัง งบประมาณประจำปี 2550
 2. การสังเคราะห์พอลิ(เมทิลเมทาคริเลต) กราฟต์บนแป้งข้าวโพดโดยใช้โพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟตเป็นสารเริ่มปฏิกิริยา การประชุมวิชาการวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 17 ระหว่างวันที่ 29 – 30 ตุลาคม 2550 ณ โรงแรม ดิเอมเพรส อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ งบประมาณประจำปี 2550
 3. การควบคุมโครงสร้างรูพรุนขนาดเมโซของตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลออกไซด์ งบประมาณผลประโยชน์ ประจำปี 2549
 4. การแยกโลหะหนักออกจากสารละลายด้วยถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว โดยใช้หูดูดซับแบบชั้นตริง งบประมาณประจำปี 2549
 5. การสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะออกไซด์ด้วยวิธีโซล-เจลเพื่อเคลือบบนเยื่อแผ่นอะลูมินา สำหรับสังเคราะห์สารประกอบโอเลฟิน งบประมาณผลประโยชน์ ประจำปี 2548 หัวหน้าโครงการ
 6. การสังเคราะห์เส้นใยซิลิกาด้วยวิธีโซล-เจลโดยใช้เทคนิคอิเล็กโตรสปินนิง งบประมาณผลประโยชน์ ประจำปี 2548 ผู้ร่วมวิจัย
 7. การผลิตถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟโดยใช้ฟลูอิดเซชันไอน้ำ งบประมาณผลประโยชน์ ประจำปี 2548 ผู้ร่วมวิจัย
 8. การสร้างอิมูโนโมเตอร์วัดปริมาณแอลกอฮอล์ความเข้มข้นสูง งบประมาณผลประโยชน์ ประจำปี 2548 ผู้ร่วมวิจัย
 9. กระดาษต้นไม้จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร งบประมาณผลประโยชน์ประจำปี 2548 ผู้ร่วมวิจัย
 10. การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอด้วยปฏิกิริยาโฟโตแคตะไลซิส โดยใช้ไทเทเนียม การประชุมสัมมนาทางวิชาการ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 21 ระหว่างวันที่ 28 – 30 มีนาคม 2548 ณ โรงแรมเชียงใหม่ภูคำ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ งบประมาณประจำปี 2546 (งบวัสดุฝึก) สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตเทคนิคกรุงเทพฯ
 11. การปรับปรุงน้ำมันปาล์มดิบเป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลหมุนช้า การประชุมสัมมนาทางวิชาการ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 20 ระหว่างวันที่ 11 – 13

12. การผลิตถ่านอัดก้อนจากผงถ่านแอนทราไซต์และวัสดุเหลือทิ้งทางเกษตร การประชุมสัมมนาทางวิชาการ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 20 ระหว่างวันที่ 11 – 13 กุมภาพันธ์ 2547 ณ โรงแรมอมรินทร์ลากูน อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก งบประมาณประจำปี 2545 (งบวัสดุฝึก) สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตเทคนิคกรุงเทพฯ
13. การศึกษาสมบัติการดูดซับของถ่านกัมมันต์. 2543 รายงานการประชุมสัมมนาทางวิชาการสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 17. 3, 740-752 โครงการวิจัยและพัฒนาหน้ากากป้องกันสารพิษทางทหาร งบประมาณประจำปี 2541 กองทัพอากาศ กระทรวงกลาโหม
14. The influence of base type on the characterization of a nickel oxide catalyst formed by a sol-gel technique, 2005, Proceeding of the International Conference on Recent Advances in Mechanical & Materials Engineering (ICRAMME 05), May 30-31, 2005, Kuala Lumpur, Malaysia, Paper No. 57.
15. Modification of Crude Palm Oil to Diesel Engine Fuel, 29th Congress on Science and Technology of Thailand, October 20-22, 2003, Khon Kean, Thailand, SI-3 งบประมาณประจำปี 2545 สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล
16. The effect of silica added on large surface area of nanocrystalline titania", Proceeding of the 10th International Ceramics Congress: Part B, Section D Sintering Science and Technology, Florence, Italy, July 2002, p.101-108 ทุนเมธีวิจัยอาวุโส สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)
17. Phase transformation behavior of nanocrystalline χ -alumina powder obtained by thermal decomposition of AIP in inert organic solvent, 2004, *Journal of Materials Science* 39 (10): 2417-2421 ทุนกาญจน์นภิเชก สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)
18. Synthesis of thermally stable micro spherical χ -alumina by thermal decomposition of aluminum isopropoxide in mineral oil, 2003, *Inorganic Chemistry Communication* 6: 930-934 ทุนกาญจน์นภิเชก สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)
19. The influence of Si-O-Zr bonds on the crystal-growth inhibition of zirconia prepared by the glycothermal method, 2003, *Journal of Material processing Technology* 136: 186-189 ทุนกาญจน์นภิเชก สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)
20. Critical nanoparticle size for thermal stability, 2003, *Journal of Materials Science Letters*, 22: 1587-1589 ทุนเมธีวิจัยอาวุโส สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)
21. Synthesis of thermally stable micro spherical chi-alumina by thermal decomposition of aluminum isopropoxide in mineral oil, 2003, *Inor. Chem. Comm.*, 6 930-934, ทุนกาญจน์นภิเชก สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

22. Effect of crystallite size and calcination temperature on the thermal stability of single nanocrystalline chromium oxide: expressed by novel correlation, 2003, *Materials Research Innovation*, 7, 118-123 ทุนเมธีวิจัยอาวุโส สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)
23. New correlation for the effects of the crystallite size and calcination temperature on the single iron oxide nano-crystallites, 2003, *Crystal Growth & Design*, 2 (3), 215-210 ทุนเมธีวิจัยอาวุโส สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)
24. Synthesis of large-surface area silica-modified zirconia by the glycothermal method, 2002, *Journal of Materials Science Letters*, 21 (18), 1461-1464 ทุนกาญจนาภิเษก สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)
25. Thermal Stability of Silica-Modified Titania Ultrafine Particles Synthesized by the Glycothermal Method, 2000, *Ceramic Transactions*, 115, 643-654 ทุนเมธีวิจัยอาวุโส สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)
26. One pot solvothermal synthesis of thermal stable, porous silica-modified alumina powders by supercritical removal of organic solvents, 2000, *Journal of Metals, Materials and Minerals*, 9 (2), 35-54 ทุนเมธีวิจัยอาวุโส สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)
27. Effect of organic solvents on the thermal stability of porous silica-modified alumina powders prepared via one pot solvothermal synthesis, 2000 *Inorganic Chemistry Communication*, 3, 671-676, 2000. ทุนเมธีวิจัยอาวุโส สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)
28. Synthesis of large-surface area silica-modified titania ultrafine particles by the glycothermal method, 2000, *J. Material Science Letters*, 19, 1439-1443 ทุนเมธีวิจัยอาวุโส สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)
29. Mechanism of Diesel Exhaust Gas Abatement by Synthetic Zeolite ZSM-5, 1998, *Journal of Metals, Materials and Minerals*, 7 (2), 32-38 ทุนวิจัยบัณฑิตศึกษา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
30. Selective Aromatization of Propane on Metallosilicate Catalysts , 1996, Journal of Science Faculty, Chiangmai University, 23 (2), 42-49 งบประมาณประจำปี 2537 สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล
31. Inui, T., K. Fujioka, Y. Fujii, T. Takeguchi, H. Nishiyama and W. Tanakulrungsank, "Highly Active Catalysts for Syngas Production to Methanol and More Valuable Hydrocarbons", *Study of Surface Science and Catalysis*, 1993. ผู้ร่วมวิจัย
32. Inui, T., K. Fujioka, W. Tanakulrungsank and T. Takeguchi, "Spillover Effect in Methane Reforming Reactions in Ni-based Composite Catalysts Modified with Precious Metals", *Study of Surface Science and Catalysis*, 1993. ผู้ร่วมวิจัย

33. Takeguchi, T., W. Tanakulrungsank and T. Inui, "Separation and/or Concentration of $\text{CO}_2\text{-N}_2$ Gaseous Mixture by Pressure-Swing Adsorption using Metal-incorporated Microporous Crystals with High Surface Area", *Gas Separation and Purification*, 7, 3, 1993. ผู้วิจัย
34. Inui, T., S. Shibata and W. Tanakulrungsank, "Purification of $\text{O}_2\text{-N}_2$ Gaseous Mixture by Pressure-Swing Adsorption using Na-A Zeolites", *Gas Separation and Purification*, 6, 185, 1992. ผู้ร่วมวิจัย



นักวิจัยคนที่ 2

1. ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) นาย ประเสริฐ เรียบร้อยเจริญ
ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Mr. Prasert Reubroycharoen
2. เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 3 1020 01186 47 2
3. ตำแหน่งปัจจุบัน ผู้ช่วยศาสตราจารย์
4. หน่วยงานและสถานที่อยู่ที่ติดต่อได้สะดวก
ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
โทรศัพท์ 02-2187523-25 โทรสาร 02-2555831
E-mail: Prasert.r@chula.ac.th
5. ประวัติการศึกษา ปริญญาเอก Doctor of Engineering
สาขาวิชา Material Science & Technology,
Toyama University, Japan
6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ
Catalysis, Fischer-Tropsch Synthesis, Chemical Engineering
7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ (โดยระบุ
สถานภาพในการทำการวิจัยว่าเป็นผู้อำนวยการแผนงานวิจัย หัวหน้าโครงการวิจัย หรือ
ผู้ร่วมวิจัยในแต่ละข้อเสนอการวิจัย)
- 7.1 หัวหน้าโครงการวิจัย :
 - การพัฒนาตัวเร่งปฏิกิริยาการสังเคราะห์เมทานอลและไดเมทิลอีเทอร์ผลิตเมทานอล
 - การผลิตเชื้อเพลิงเหลวจากยางในรถจักรยานยนต์และรถจักรยาน
 - การผลิตน้ำตาลจากเซลลูโลส
 - การผลิตแก๊สเชื้อเพลิงสังเคราะห์จากแก๊สสังเคราะห์
- 7.2 งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว :
 1. Prasert Reubroycharoen, Suwattana Teppood, Tharapong Vitidsant, Noritatsu Tsubaki "DME synthesis at low temperature" Topics in Catalysis, Accepted (2008) แหล่งทุน สกว. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและ ปตท.
 2. Prasert Reubroycharoen, Jun Bao, Yi Zhang, and Noritatsu Tsubaki "Continuous Supercritical Low-temperature Methanol Synthesis with n-Butane as a Supercritical Fluid" Chemistry letter, 37 (2008) 790-791. แหล่งทุน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
 3. P. Reubroycharoen, N. Tsubaki, "Methanol Synthesis in Inert or Catalytic Supercritical Fluid" Studies in surface science and catalysis, 163 (2007) 367-378. แหล่งทุน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4. P. Reubroycharoen, Y. Liu, G. Yang, N. Tsubaki, "Highly Active Fischer-Tropsch Synthesis Co/SiO₂ Catalysts Prepared from Microwave Irradiation" Catalysis Communications, 8 (2006) 375-378. แหล่งทุน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
5. R. Prasert, Y. Yoneyama, V. Tharapong, N. Tsubaki, "Development of A New Low-Temperature Methanol Synthesis Process" Catalysis Today, 89 (2004) 447-454.
6. P. Reubroycharoen, T. Yamagami, Y. Yoneyama, M. Ito, T. Vitidsant, N. Tsubaki, "A New low-temperature methanol synthesis process from low-grade syngas" Studies in Surface Science and Catalysis, 147 (2004) 409-414.

