



ภาคผนวก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright© by Chiang Mai University  
All rights reserved



ภาคผนวก ก

ปฏิกิริยาที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซล

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright© by Chiang Mai University  
All rights reserved

ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงเหลวที่ผลิตได้จากชีวมวลจำพวกพืชน้ำมัน เช่น ถั่วเหลือง ปาล์ม มะพร้าว เป็นต้น ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานไม่รู้หมด (renewable energy) สามารถปลูกทดแทนได้ใน กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง พืชจะดึงแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศไปใช้ จึงเป็นหนทาง ควบคุมปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศและลดปัญหาโลกร้อน การเผาไหม้ เชื้อเพลิงไบโอดีเซลบริสุทธิ์ (B100) เกิดขึ้นได้สมบูรณ์กว่าและให้อิเสงที่สะอาดกว่าน้ำมันดีเซล ไม่ก่อให้เกิดแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เนื่องจากในไบโอดีเซลไม่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบ ช่วย ลดปริมาณไฮโดรคาร์บอนลงร้อยละ 65 ลดปริมาณเขม่าลงร้อยละ 45 และลดปริมาณคาร์บอนมอน ออกไซด์ลงร้อยละ 41 แต่ปริมาณแก๊สไนโตรเจนออกไซด์เพิ่มขึ้นเล็กน้อย (ร้อยละ 6) ซึ่งแก้ไขได้ โดยการปรับแต่งเครื่องยนต์ให้เหมาะสม

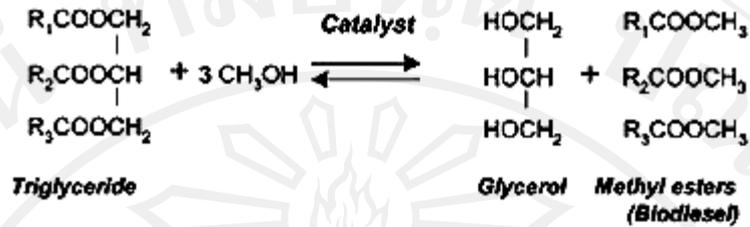
น้ำมันพืชมีค่าความร้อน (heating value) คิดเป็นร้อยละ 83-85 ของน้ำมันดีเซล แต่มีความ ถ่วงจำเพาะสูงกว่าและมีความหนืดมากกว่าน้ำมันดีเซลถึง 10 เท่า การใช้น้ำมันพืชเป็นเชื้อเพลิง โดยตรงจึงพบปัญหาการทำงานของหัวฉีดน้ำมัน การป้อนน้ำมันไม่คงที่ การสันดาปไม่สมบูรณ์ เกิดคราบเขม่าที่หัวฉีด ผนังลูกสูบ แหวนและวาล์วหลังการเผาไหม้ และที่อุณหภูมิค่าประมาณ 24-26 องศาเซลเซียส น้ำมันพืชเกิดเป็นไข จึงเกิดปัญหาการใช้งาน การผสมน้ำมันพืชกับน้ำมันดีเซล จากปิโตรเลียม หรือการทำไมโครอิมัลชัน (microemulsion) ของน้ำมันพืชและแอลกอฮอล์โมเลกุล ขนาดเล็ก เช่น เมทานอล เอทานอล หรือ 1-บิวทานอล ช่วยลดความหนืดของน้ำมันพืชลงได้ แต่ ผสมได้ในอัตราส่วนไม่มากนัก

การผลิตไบโอดีเซลที่นิยมใช้ในปัจจุบัน เป็นการเปลี่ยนโมเลกุลไตรกลีเซอไรด์ในน้ำมัน พืชเป็น โมเลกุลที่เล็กลงและมีความซับซ้อนน้อยกว่า เพื่อลดความหนืดและความถ่วงจำเพาะ

**กระบวนการผลิตไบโอดีเซลเชิงพาณิชย์ที่นิยมใช้ แบ่งออกเป็น 3 กระบวนการหลัก**

1. ทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน (Transesterification)

ทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน หรือแอลกอฮอล์ไลซิส (alcoholysis) เป็นปฏิกิริยาเปลี่ยนโมเลกุล ไตรกลีเซอไรด์ ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์เป็นเอสเทอร์ตัวใหม่ หรือ โมโนแอลคิลเอสเทอร์ (mono-alkyl ester) และกลีเซอรอล โดยทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์โมเลกุล ขนาดเล็ก ดังสมการ



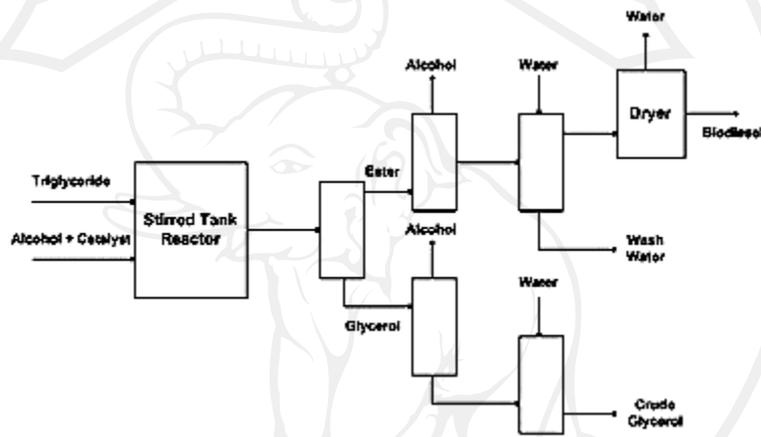
รูปที่ 1 ปฏิกริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของโมเลกุลไตรกลีเซอไรด์กับเมทานอล

ในภาวะที่มีตัวเร่งปฏิกิริยา ปฏิกริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันสามารถเกิดได้ด้วยความดันบรรยากาศ ตั้งแต่อุณหภูมิห้องถึงจุดเดือดของแอลกอฮอล์ (ประมาณ 65 องศาเซลเซียส) ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้โดยทั่วไปเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาแบบเอกพันธ์ (homogeneous catalyst) ซึ่งแบ่งออกเป็นสองชนิด คือ กรดและเบส โรงงานผลิตไบโอดีเซลเชิงพาณิชย์เกือบทั้งหมดในปัจจุบันใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส เบสจะเร่งปฏิกิริยาได้เร็วกว่า ใช้ปริมาณเมทานอลน้อยกว่า และใช้ระยะเวลาสั้นกว่าประมาณ 5 นาทีจนถึงประมาณ 1 ชั่วโมง ขึ้นกับอุณหภูมิ ความเข้มข้น การกวนผสม และอัตราส่วนระหว่างแอลกอฮอล์และน้ำมัน โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบสที่นิยมมากกว่าโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ เนื่องจากมีราคาถูกกว่า และของผสมกลีเซอรอลที่ได้จากกระบวนการที่ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ เป็นที่ต้องการของโรงกลั่นกลีเซอรอลมากกว่าด้วย โซเดียมเมทอกไซด์ (sodium methoxide) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบสอีกชนิดหนึ่งที่ใช้กัน มีความว่องไวมากกว่าโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ละลายในเมทานอล ส่วนหนึ่งเนื่องจากการทำปฏิกิริยาของโซเดียมไฮดรอกไซด์กับเมทานอลทำให้มีน้ำเกิดขึ้น ( $\text{CH}_3\text{OH} + \text{NaOH} \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{O}^- + \text{H}_2\text{O}$ ) ซึ่งจะปลดความว่องไวของเมทอกไซด์ไอออน ( $\text{CH}_3\text{O}^-$ ) ในการเข้าทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

วัตถุดิบน้ำมันเริ่มต้นที่ใช้ในกระบวนการเร่งด้วยเบสต้องมีปริมาณกรดไขมันอิสระ (free fatty acid) และน้ำต่ำ โดยต้องควบคุมให้มีปริมาณกรดไขมันอิสระน้อยกว่าร้อยละ 1 ซึ่งอาจทำได้โดยการเปลี่ยนกรดไขมันอิสระเป็นเอสเทอร์ด้วยปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน (หัวข้อที่ 2) ไม่เช่นนั้นแล้วตัวเร่งปฏิกิริยาเบสจะทำปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชัน (saponification) กับกรดไขมันอิสระเกิดเป็นสบู่ขึ้น

คังสมการ

ปฏิกิริยาการเกิดสบู่เกิดขึ้นรวดเร็วมาก และอาจเกิดอย่างสมบูรณ์ก่อนปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอร์ฟิเคชันจะเริ่มต้นขึ้น สบู่มีสมบัติเป็นอิมัลซิไฟเออร์ (emulsifier) ทำให้ผลิตภัณฑ์เมทิลเอสเทอร์และกลีเซอรอลไม่แยกออกจากกัน หรือใช้เวลานานในการแยก และทำให้ร้อยละผลได้ของไบโอดีเซลลดลง



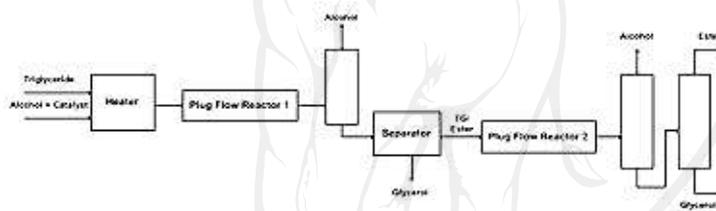
รูปที่ 2 กระบวนการผลิตไบโอดีเซลแบบเบตซ์

กระบวนการแบบเบตซ์ (batch process) เป็นระบบการผลิตไบโอดีเซลที่ง่ายที่สุดโดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวน อัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมันอยู่ในช่วง 4 ต่อ 1 จนถึง 20 ต่อ 1 โดยทั่วไปจะใช้ที่อัตราส่วน 6 ต่อ 1 เครื่องปฏิกรณ์อาจเป็นระบบปิด หรือต่อเข้ากับเครื่องควบแน่น (reflux condenser) อุณหภูมิของปฏิกิริยาประมาณ 65 องศาเซลเซียส ตัวเร่งปฏิกิริยาที่นิยมใช้มากที่สุด คือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ รองลงมา คือ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ โดยมีปริมาณที่ใช้อยู่ในช่วงร้อยละ 0.3 ถึง 1.5 โดยน้ำหนักเทียบกับน้ำหนักของวัตถุดิบน้ำมันเริ่มต้น

รูปที่ 2 แสดงตัวอย่างกระบวนการผลิตไบโอดีเซลแบบเบตซ์ เริ่มแรกน้ำมันจะถูกป้อนเข้าเครื่องปฏิกรณ์ ตามด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาที่ละลายในเมทานอล ภายใต้ภาวะการกวนอย่างต่อเนื่อง ในช่วงแรกต้องมีการกวนอย่างทั่วถึง เพื่อให้ให้น้ำมัน ตัวเร่งปฏิกิริยา และแอลกอฮอล์ผสมเข้ากัน ในขณะที่ช่วงท้ายของปฏิกิริยา ควรกวนให้ช้าลง เพื่อให้กลีเซอรอลที่เกิดขึ้นแยกตัวออกจากผลิตภัณฑ์น้ำมันได้ง่าย และลดการเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับ ร้อยละการเปลี่ยนของปฏิกิริยาอยู่ที่ 85 ถึง 94 เมื่อสิ้นสุดปฏิกิริยาจึงหยุดกวน ในบางกระบวนการผลิตภัณฑ์ที่ได้จะถูกพักให้แยกชั้นเมทิลเอสเทอร์และกลีเซอรอลภายในเครื่องปฏิกรณ์ และบางกระบวนการใช้บี๊มคิงของผสมเข้าถังแยก

ต่างหาก (settling vessel) หรือแยกด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยง (centrifuge) แอลกอฮอล์ถูกแยกออกจากชั้นกลีเซอรอลและชั้นเมทิลเอสเทอร์โดยใช้เครื่องระเหย (evaporator) หรือหน่วยแฟลช (flash unit) จากนั้นทำเมทิลเอสเทอร์ให้เป็นกลางด้วยกรด ล้างด้วยน้ำอุ่น ตามด้วยสารละลายกรดเจือจางเพื่อกำจัดเมทานอลและเกลือที่เหลืออยู่ และทำให้แห้ง ถ่ายผลิตภัณฑ์เมทิลเอสเทอร์สุดท้ายที่ได้เข้าสู่ถังเก็บ ส่วนกลีเซอรอลจะถูกทำให้เป็นกลางและล้างด้วยน้ำ จากนั้นผ่านเข้าสู่หน่วยกลั่นต่อไป

ผู้ผลิตบางรายใช้กระบวนการแบบสองขั้นตอน โดยมีระบบแยกกลีเซอรอลออกระหว่างขั้นตอนนี้ทั้งสองด้วย เพื่อเพิ่มร้อยละการเปลี่ยนให้มากกว่า 95 ในบางกรณีอาจเพิ่มอุณหภูมิของปฏิกิริยาและอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันด้วย เวลาในการทำปฏิกิริยาอยู่ระหว่าง 20 นาที ถึงมากกว่า 1 ชั่วโมง



รูปที่ 3 กระบวนการผลิตไบโอดีเซลแบบต่อเนื่องในเครื่องปฏิกรณ์แบบ plug flow

จากลักษณะอย่างง่ายของระบบแบตช์ มีการประยุกต์ใช้ระบบเครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวนต่อเรียงกัน (continuous stirred tank reactors: CSTR) ปริมาตรภายในเครื่องปฏิกรณ์แรกจะถูกออกแบบให้มีขนาดใหญ่เพื่อเพิ่มเวลาและให้เกิดปฏิกิริยาได้มาก เมื่อออกจากเครื่องปฏิกรณ์แรก กลีเซอรอลจะถูกแยกออก และน้ำมันจะผ่านเข้าสู่เครื่องปฏิกรณ์ที่สอง โดยมีการเติมตัวเร่งปฏิกิริยาและเมทานอลเข้าไปใหม่ ซึ่งปฏิกิริยาจะเกิดอย่างรวดเร็ว ให้ร้อยละการเปลี่ยนมากกว่า 98 สิ่งที่สำคัญในการออกแบบระบบเครื่องปฏิกรณ์ CSTR คือ การกวนผสมอย่างทั่วถึงเพื่อให้ของผสมภายในเครื่องปฏิกรณ์มีองค์ประกอบเหมือนกัน อย่างไรก็ตาม การกวนผสมนี้อาจทำให้กลีเซอรอลกระจายตัวเข้าไปในชั้นเมทิลเอสเทอร์ได้มากขึ้น ทำให้ต้องใช้เวลาเพิ่มขึ้นในการแยกกลีเซอรอลออกจากผลิตภัณฑ์น้ำมัน

นอกจากการกวนผสมโดยใช้ใบพัดแล้ว บางกระบวนการใช้ปั๊มทำให้เกิดการไหลเวียนขณะทำปฏิกิริยา บางกระบวนการใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบท่อไหล (plug flow reactor) แทน ซึ่งจะมีการผสมกันตามแนวแกนเพียงเล็กน้อย การใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบนี้ในระบบต่อเนื่อง จะมีช่วง

ระยะเวลาทำปฏิกิริยาสั้นประมาณ 6 ถึง 10 นาที ดังนั้นโดยทั่วไปจะใช้ระบบแบบสองขั้นตอน โดยมีส่วนแยกเมทานอลและกลีเซอรอลขึ้นระหว่างเครื่องปฏิกรณ์ทั้งสอง (ดังรูปที่ 3) และทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิและความดันสูงขึ้น เพื่อเพิ่มอัตราเร็วของปฏิกิริยา

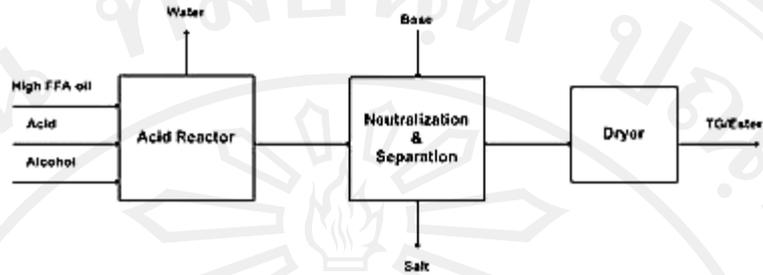
## 2. เอสเทอร์ฟิเคชันและทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน (Esterification and transesterification)

เนื่องจากในกระบวนการเร่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันด้วยเบส จำเป็นต้องควบคุมปริมาณกรดไขมันอิสระในวัตถุดิบน้ำมันให้ต่ำกว่าร้อยละ 2 ซึ่งโดยทั่วไปจะลดให้เหลือน้อยกว่าร้อยละ 1 ดังนั้นในกระบวนการที่ใช้วัตถุดิบราคาถูกและมีปริมาณกรดไขมันอิสระสูง เช่น ไขมันสัตว์ น้ำมันพืชใช้แล้ว ซึ่งมีปริมาณกรดไขมันอิสระร้อยละ 2-30 จำเป็นต้องมีขั้นตอนการกำจัดกรดไขมันอิสระออกในกระบวนการนี้ ขั้นตอนแรกเป็นการทำเอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันพืชด้วยแอลกอฮอล์ โดยมีกรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งนิยมใช้กรดซัลฟิวริก ได้ผลิตภัณฑ์เป็นเอสเทอร์และน้ำ ดังสมการ



รูปที่ 4 แสดงตัวอย่างกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระด้วยปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน

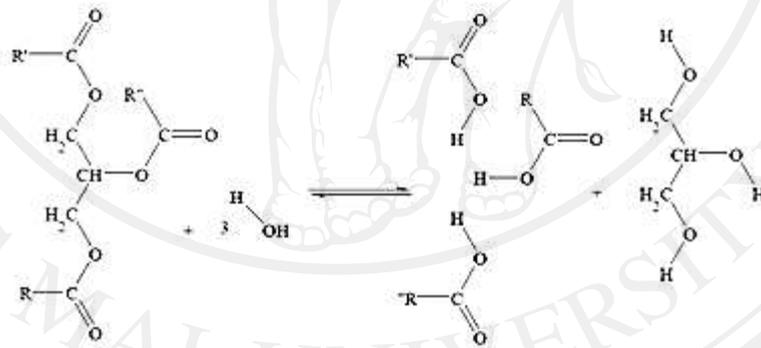
โดยทั่วไปใช้อัตราส่วนโดยโมลระหว่างแอลกอฮอล์ต่อน้ำมันสูง เช่นเดียวกับกรณีการทำทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรด คือ ประมาณ 20 ต่อ 1 ถึง 40 ต่อ 1 และเวลาในการทำปฏิกิริยาประมาณ 10 นาทีจนถึงประมาณ 2 ชั่วโมง ในบางกระบวนการจำเป็นต้องใช้กรดปริมาณมาก เนื่องจากในปฏิกิริยานี้มีน้ำเกิดขึ้นเป็นผลิตภัณฑ์ร่วม กรดจะรวมตัวกับน้ำอยู่ด้านล่างของเครื่องปฏิกรณ์ ทำให้สูญเสียตัวเร่งปฏิกิริยาและการเร่งปฏิกิริยาลดลง จึงจำเป็นต้องแยกน้ำออกโดยการระเหย การปล่อยให้แยก หรือการปั่นเหวี่ยง น้ำที่ถูกแยกออกจะเป็นของผสมของน้ำและเมทานอล จากนั้นทำเมทิลเอสเทอร์ให้เป็นกลางด้วยเบส และทำให้แห้ง ไตรกลีเซอไรด์และเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากขั้นตอนนี้ สามารถผ่านเข้าสู่เครื่องปฏิกรณ์ทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันที่ใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาได้เลย



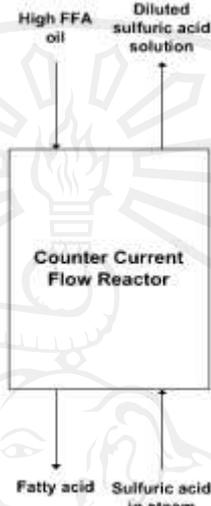
รูปที่ 5 กระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระในวัตถุดิบน้ำมัน

### 3. ไฮโดรไลซิสและเอสเทอริฟิเคชัน (Hydrolysis and esterification)

กระบวนการนี้เป็นวิธีการหนึ่งในการผลิตไบโอดีเซลจากวัตถุดิบราคาถูกที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระสูง ทำโดยการเปลี่ยนน้ำมันพืชตั้งต้นทั้งหมดเป็นกรดไขมันและกลีเซอรอลผ่านปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ในภาวะที่มีกรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ดังสมการ



ปกติขั้นตอนนี้ทำในเครื่องปฏิกรณ์แบบไหลสวนทางต่อเนื่อง (counter-current continuous flow reactor) โดยใช้กรดซัลฟิวริกและไอน้ำ (รูปที่ 6) ผลิตภัณฑ์ที่ได้เป็นกรดไขมันบริสุทธิ์และกลีเซอรอล สิ่งเจือปนอื่น ๆ ที่ผสมอยู่ในวัตถุดิบน้ำมันส่วนใหญ่จะปะปนในชั้นกรีเซอรอล และบางส่วนออกมาพร้อมกับไอน้ำและน้ำ กรดไขมันบริสุทธิ์จะถูกป้อนเข้าเครื่องปฏิกรณ์แบบไหลสวนทางอีกเครื่องหนึ่ง เพื่อทำเอสเทอริฟิเคชันด้วยตัวเร่งปฏิกิริยากรดต่อไป



รูปที่ 6 การไฮโดรไลซิสตัวตูดไขมันที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระสูง

การผลิตไบโอดีเซลโดยการเร่งปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันของกรดไขมันบริสุทธิ์ด้วยกรด มีการทำมานานกว่า 10 ปีแล้ว ซึ่งให้ร้อยละผลได้เมทิลเอสเทอร์มากกว่า 99 กระบวนการอาศัยหลักการไหลสวนทางกันของกรดไขมันและสารละลายกรดซัลฟิวริกในเมทานอล น้ำที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาจะถูกแยกออกจากผลิตภัณฑ์ไปในตัวโดยการละลายในเมทานอล สำหรับในระบบที่เป็นแบตช์ น้ำที่เกิดขึ้นในปฏิกิริยาจะรวมตัวกันและแยกเฟสออกจากของผสม ทำให้ปฏิกิริยาชะงักได้ เนื่องจากกรดซัลฟิวริกในเมทานอลจะละลายรวมกับน้ำ ทำให้ไม่สามารถเร่งปฏิกิริยาได้ วิธีหนึ่งที่จะช่วยลดปัญหาปริมาณน้ำในระบบได้ คือ การแบ่งกระบวนการออกเป็นสองขั้นตอน โดยภายหลังการทำปฏิกิริยาในขั้นตอนแรก สารละลายกรดในเมทานอลจะถูกแยกออก และมีการเติมกรดและเมทานอลเข้าไปใหม่ ซึ่งจะช่วยลดปริมาณน้ำได้และทำให้ปฏิกิริยาเกิดได้เกือบสมบูรณ์

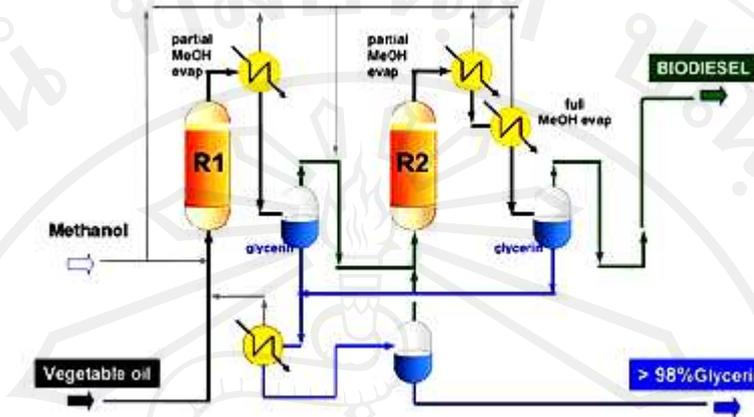
เนื่องจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลดังกล่าวข้างต้น ใช้กรดหรือเบสที่ละลายเป็นวัฏภาคเดียวกันกับเมทานอล น้ำมันตั้งต้น ผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลและกลีเซอรอลที่ได้ ทำให้ต้องใช้น้ำปริมาณมากในการล้างเพื่อแยกตัวเร่งปฏิกิริยาออก ผลิตภัณฑ์ที่ได้จึงจะมีความบริสุทธิ์และมีสมบัติเหมาะสมในการใช้งาน ซึ่งก่อให้เกิดน้ำเสียปริมาณมาก ดังนั้นเพื่อเป็นการลดขั้นตอนการล้าง และลดการปนเปื้อนของผลิตภัณฑ์ เทคโนโลยีการผลิตไบโอดีเซลแบบต่าง ๆ จึงได้ถูกวิจัยและพัฒนามาขึ้น

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบกระบวนการผลิตไบโอดีเซลด้วยเทคโนโลยีต่าง ๆ

Process	Homogeneous alkali catalysis	Metal oxide catalyst	Immobilized enzyme catalyst	Supercritical methanolysis
Contamination in glycerin	+	±	-	-
Reaction rate	++	-	-	+
Reaction conditions	60°C Atmospheric	60°C Atmospheric	40°C Atmospheric	350°C 43 MPa
FFA pre-elimination	Required	Required	Unnecessary	Unnecessary
Conversion of FFA to FAME	Difficult	Difficult	Difficult	Possible
Other advantages/disadvantages	Dated Process Alkaline waste	Short catalyst service life	Clean process Temperature control required	Higher plant construction/maintenance cost

ตารางที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสียของแต่ละเทคโนโลยี การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ (heterogeneous catalyst) ชนิดเบสประเภทโลหะออกไซด์ (metal oxide) ซึ่งละลายได้น้อยในเมทานอล ช่วยลดการเกิดปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชัน ลดการปนเปื้อนของตัวเร่งปฏิกิริยา และลดขั้นตอนการล้างไบโอดีเซลได้ ปฏิกิริยาทำได้ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส แต่ตัวเร่งประเภทนี้มีควมว่องไวน้อยกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาแบบเอกพันธุ์ เนื่องจากมีข้อจำกัดการถ่ายโอนมวลสาร (mass transfer limitation) ของโมเลกุลไตรกลีเซอไรด์มายังพื้นผิวของตัวเร่ง โดยทั่วไปจำเป็นต้องใช้อุณหภูมิและอัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมันสูงขึ้น เพื่อให้ได้ร้อยละการเปลี่ยนสูงตามต้องการ การใช้ตัวทำละลายร่วม (co-solvent) เช่น THF เฮกเซน สามารถช่วยให้น้ำมัน เมทานอลและตัวเร่งปฏิกิริยาผสมกันได้ดีขึ้น และช่วยลดภาวะของการทำปฏิกิริยาลงได้ จุดเด่นของตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ คือ สามารถนำกลับมาใช้ได้หลายครั้ง จึงน่าจะช่วยลดต้นทุนการผลิตไบโอดีเซลได้

เมื่อเร็วๆ นี้ French Institute of Petroleum (IFP) และ Axens ได้ดำเนินการผลิตไบโอดีเซลเชิงพาณิชย์โดยใช้เทคโนโลยีการเร่งแบบวิวิธพันธุ์เป็นแห่งแรก มีกำลังการผลิตสูงสุด 160,000 ตันต่อปี กระบวนการประกอบด้วยเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง (fixed bed reactor) 2 เครื่องภายในบรรจุตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะออกไซด์ผสมซึ่งมีโครงสร้างแบบสไปเนล (spinel) ใช้อุณหภูมิและอัตราส่วนเมทานอลต่อน้ำมันสูงกว่ากระบวนการเร่งแบบเอกพันธุ์ทั่วไป ระหว่างเครื่องปฏิกรณ์ทั้งสองมีการระเหยเมทานอลที่มากเกินไปและแยกกลีเซอรอลออก เพื่อเพิ่มร้อยละการเปลี่ยนของน้ำมัน ร้อยละผลได้ของเมทิลเอสเทอร์เกือบ 100 และมีความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์มากกว่าร้อยละ 99 นอกจากนั้น ไม่มีขั้นตอนการล้าง จึงไม่มีน้ำเสียเกิดขึ้นจากกระบวนการ



รูปที่ 7 กระบวนการ Esterfip-H ซึ่งพัฒนาขึ้นโดย Institut Français du Pétrole (IFP)

ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเอนไซม์ ได้แก่ ไลเปส (lipase) ทั้งในรูปสารละลายหรือตรึงไว้บนวัสดุรองรับต่าง ๆ (immobilized lipase) มีสมบัติการจำเพาะ (selectivity) การเร่งปฏิกิริยาสูง ทำให้ไม่มีสบู่ออกขึ้น กระบวนการนี้ช่วยลดปริมาณน้ำเสียได้ เนื่องจากไม่ต้องล้างผลิตภัณฑ์ ใดๆ ก็ดี ต้องใช้เวลานานมากในการเร่งปฏิกิริยา นอกจากนี้ ความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาของเอนไซม์จะลดลงเมื่อเวลานานขึ้น เนื่องจากแอลกอฮอล์ (เมทานอลหรือเอทานอล) เป็นสารเคมีที่ทำให้กรดอะมิโนในเอนไซม์เสื่อมสภาพ

การทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันภายใต้ภาวะเหนือวิกฤตของเมทานอล (supercritical methanol conditions) เป็นทางเลือกหนึ่ง ในการลดการเกิดปฏิกิริยาข้างเคียงและเวลาในการทำปฏิกิริยา ปฏิกิริยาเกิดสมบูรณ์ภายใน 4 นาที ใช้ได้กับวัตถุดิบน้ำมันที่มีกรดไขมันอิสระสูง ผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลและกลีเซอรอลที่ได้จากกระบวนการสะอาด เนื่องจากไม่จำเป็นต้องใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา และสามารถลดปัญหาน้ำเสียได้ ใดๆ ก็ดี ต้องใช้อัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมันสูง (ประมาณ 42 ต่อ 1) กระบวนการต้องทำที่อุณหภูมิและความดันสูง (ประมาณ 350 องศาเซลเซียส 43 เมกกะพาสกัล) การขยายกำลังการผลิตและการบำรุงรักษาของกระบวนการต้องลงทุนมาก เสียค่าใช้จ่ายสูง



ภาคผนวก ข

คุณสมบัติของไบโอดีเซลและมาตรฐานไบโอดีเซล

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright© by Chiang Mai University  
All rights reserved

## 1. คุณสมบัติของไบโอดีเซล

สำหรับมาตรฐานของไบโอดีเซลแบ่งเป็น 2 มาตรฐานคือ มาตรฐานของประเทศสหรัฐอเมริกา ASTM D6751 และมาตรฐานของยุโรป EN 14214 มาตรฐานทั้งสองมีค่าที่แตกต่างกัน แต่สำหรับการนำไบโอดีเซลไปใช้ในทางการค้า นั้นจะมีอยู่ 2 ลักษณะคือ การใช้ไบโอดีเซลผสมกับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วนต่างๆ และการใช้ไบโอดีเซลแทนน้ำมันดีเซล ไบโอดีเซลที่ใช้ในทางการค้ามีอยู่หลายชนิดโดยใช้สัญลักษณ์ B หมายถึง ไบโอดีเซล ส่วนตัวเลขที่ต่อท้ายคือ สัดส่วนโดยปริมาตรของน้ำมันไบโอดีเซลที่มีการผสมลงไป ในน้ำมันดีเซล ได้แก่ B5, B20 และ B100 ตัวอย่างเช่น ไบโอดีเซล B5 หมายถึง การผสมไบโอดีเซลกับน้ำมันดีเซลให้เป็นเนื้อเดียวกัน โดยมีไบโอดีเซล 5% ส่วนที่เหลืออีก 95% เป็นน้ำมันดีเซล ซึ่งในประเทศไทยมีการกำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลถูกกำหนดโดยกรมธุรกิจพลังงาน กระทรวงพลังงาน ดังตาราง ข.1

## 2. มาตรฐานไบโอดีเซล

2.1 ปริมาณเมทิลเอสเทอร์ (Methyl ester) แสดงถึงความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซลและการเกิดปฏิกิริยาการผลิตไบโอดีเซลที่สมบูรณ์ มาตรฐานกำหนดให้มีปริมาณมากกว่าร้อยละ 96.5 โดยน้ำหนัก เมื่อปริมาณเอสเทอร์น้อยกว่าที่กำหนดชี้บ่งถึงยังมีโมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ หรือไตรกลีเซอไรด์อยู่ในไบโอดีเซลในปริมาณสูงกว่าที่กำหนดส่งผลให้ความหนืดของไบโอดีเซลมีค่าสูงและเกี่ยวเนื่องกับการอุดตันในหัวฉีดหรือกระบอกสูบของเครื่องยนต์

2.2 ความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15°C (Density at 15°C) ความหนาแน่นเป็นตัวแปรที่สำคัญในการออกแบบระบบหัวฉีดจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล ค่าความหนาแน่นเป็นตัวบ่งบอกถึงปริมาณของพลังงานเชื้อเพลิง เมื่อค่าความหนาแน่นมีค่ามากก็จะให้พลังงานความร้อนมากขึ้นตามไปด้วยเมื่อเทียบกับปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงในปริมาณเดียวกัน ความหนาแน่นของไบโอดีเซลจากวัตถุดิบน้ำมันพืชแต่ละชนิดจะมีความแตกต่างกัน นอกจากนี้ปริมาณเมทานอลที่ตกค้างในไบโอดีเซลยังเป็นสาเหตุให้ความหนาแน่นมีค่าต่ำอีกด้วย

2.3 ความหนืด ณ อุณหภูมิ 40°C (Kinematic at 40°C) ความหนืดเกี่ยวข้องกับการไหล การฉีดเป็นฝอยของหัวฉีดในห้องเผาไหม้ การฉีดเป็นฝอยขนาดเล็กจะทำให้การเผาไหม้สมบูรณ์ ความหนืดของไบโอดีเซลที่ผลิตได้ขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำมันพืชที่เป็นวัตถุดิบความหนืดยังเป็นดัชนีแสดงการเสื่อมสภาพของไบโอดีเซลเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันอีกทางหนึ่ง

2.4 จุดวาบไฟ (Flash point) เป็นค่าอุณหภูมิต่ำสุดเมื่อเปลวไฟผ่านเหนือไอของน้ำมันแล้วทำให้น้ำมันติดไฟ มาตรฐานกำหนดให้มีค่าจุดวาบไฟมากกว่า 120°C ปริมาณเมทานอลที่

หลงเหลือในไบโอดีเซลทำให้จุดวาบไฟมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานได้ จุดวาบไฟมีผลต่อการขนส่ง เคลื่อนย้ายและการจัดเก็บ ปริมาณเมทานอลที่ยังคงเหลืออยู่ในไบโอดีเซลในปริมาณมากกว่า 0.2% ส่งผลให้จุดวาบไฟมีค่าต่ำกว่า 100°C

2.5 กำมะถัน (Sulfur) ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงที่มีปริมาณกำมะถันต่ำเนื่องจากน้ำมันพืชดิบที่ใช้ในการผลิตมักมีองค์ประกอบของกำมะถันต่ำกว่า 15 ส่วนในล้านส่วน องค์ประกอบกำมะถันในน้ำมันเมื่อถูกเผาไหม้จะเปลี่ยนเป็นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ซึ่งถูกปล่อยออกมาพร้อมไอเสียจากเครื่องยนต์และส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

2.6 กากถ่าน (Carbon residue) ปริมาณกากถ่าน (ร้อยละ 10 ของกากที่เหลือจากการกลั่น) มีความสัมพันธ์กับปริมาณกลีเซอไรด์ กรดไขมันอิสระ สบู่ ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ยังหลงเหลืออยู่ในไบโอดีเซล หากมีปริมาณกากถ่านสูงกว่าข้อกำหนดซึ่งบ่งชี้ถึงยังคงมีสารต่างๆ ที่กล่าวข้างต้นหลงเหลืออยู่ในไบโอดีเซล นอกจากนั้นยังแสดงถึงแนวโน้มของปริมาณกากถ่านที่เหลืออยู่หลังจากการเผาไหม้ในห้องเผาไหม้ กากถ่านมีผลต่อการอุดตันในหัวฉีดหรือที่ลูกสูบ ทำให้กำลังของเครื่องยนต์ลดลง เครื่องยนต์สกปรกและต้องเปลี่ยนถ่ายน้ำมันเครื่องบ่อยครั้ง

2.7 จำนวนซีเทน (Cetane number) คือพารามิเตอร์ที่บ่งชี้ถึงประสิทธิภาพในการจุดติดไฟของเครื่องยนต์ดีเซล จำนวนซีเทนที่สูงช่วยให้การสตาร์ทเครื่องยนต์ได้ง่ายทั้งยังช่วยลดควันขาวที่เกิดขึ้นอีกด้วย โดยหลักการจำนวนซีเทนจะสัมพันธ์กับเวลาหน่วงการจุดติดไฟคือเวลาที่เชื้อเพลิงฉีดผ่านเข้าสู่ห้องเผาไหม้จนถึงจุดติดไฟเมื่อจำนวนซีเทนสูงเวลาหน่วงการจุดติดไฟจะมีค่าสั้น

2.8 เถ้าซัลเฟต (Sulfate ash) เกิดจากการเผาไหม้ของสารปนเปื้อนในไบโอดีเซล เนื่องมาจากการตกค้างของสบู่และตัวเร่งปฏิกิริยา ปริมาณเถ้าซัลเฟตมีผลต่อการอุดตันในเครื่องยนต์

2.9 น้ำ (Water) ปริมาณน้ำในน้ำมันทำให้การเผาไหม้ไม่ดีนอกจากนั้นน้ำในไบโอดีเซลยังเป็นสาเหตุให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลติกระหว่างน้ำกับเอสเทอร์เกิดเป็นกรดไขมันอิสระ ซึ่งส่งผลกระทบต่อการทำงานของเครื่องยนต์และเป็นตัวเร่งให้เกิดการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในถังเก็บน้ำมันซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้หัวฉีดอุดตัน

2.10 สิ่งปนเปื้อนทั้งหมด (Total contaminate) สารปนเปื้อนในน้ำมันไบโอดีเซลส่วนใหญ่เป็นผลมาจากกระบวนการทรานส์เอสเตอร์ฟิเคชันและปฏิกิริยาข้างเคียงเช่น ปฏิกิริยาการเกิดสบู่ของกรดไขมันอิสระและตัวเร่งปฏิกิริยาเบส ตัวเร่งปฏิกิริยาและสารที่ไม่สะปอนิฟาย ได้แก่ไขมันที่ไม่อยู่ในรูปของกลีเซอไรด์ กรดไขมันอิสระ Fatty alcohol สารประกอบไฮโดรคาร์บอน แอลกอฮอล์อย่างแข็ง Triterpene alcohol สารประกอบแคโรทีน วิตามิน และอื่นๆ ซึ่งขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัตถุดิบน้ำมันพืชเริ่มต้น โดยทั่วไปสิ่งปนเปื้อนทั้งหมดจะถูกกำจัดออกจาก

ไบโอดีเซลในขั้นตอนการล้างน้ำล้างปนเปื้อนในไบโอดีเซลมีผลเสียต่อเครื่องยนต์หลายด้าน เช่น คุณสมบัติด้านความเสถียรของไบโอดีเซลระหว่างการเก็บรักษาเนื่องสารประกอบของสารที่ไม่ระปอนิฟาย เปลี่ยนสภาพกลายเป็นสารที่มีผลในการลดคุณสมบัติด้านความเสถียรของไบโอดีเซล

2.11 การกัดกร่อนแผ่นทองแดง (Copper strip corrosion) แสดงการกัดกร่อนของน้ำมันต่อโลหะที่ใช้เป็นชิ้นส่วนในเครื่องยนต์ดีเซลเนื่องจากปริมาณกรด เช่น กรดไขมันอิสระและสารประกอบซัลเฟอร์ในน้ำมันซึ่งค่าการกัดกร่อนนี้มีผลต่อการทำงานของเครื่องยนต์

2.12 เสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ณ อุณหภูมิ 110°C (Oxidation stability at 110°C) การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติจากปฏิกิริยาออกซิเดชันเนื่องจากการเกิดสารประเภทเพอร์ออกไซด์ (Peroxide linkage) ขึ้นระหว่างพันธะคู่ของกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่อยู่ในโครงสร้างของไบโอดีเซล ปฏิกิริยาดังกล่าวเกิดเมื่อน้ำมันสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศโดยที่ความร้อนและแสงแดดมีผลช่วยเร่งปฏิกิริยาในขณะที่โลหะเช่นทองแดงและตะกั่วก็เป็นตัวเร่งให้ปฏิกิริยาเกิดเร็วขึ้น ผลของปฏิกิริยาทำให้เกิดสารพอลิเมอร์ (Oxidation polymerization) และเกิดของแข็งที่ไม่ละลายในไบโอดีเซลเสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน นอกจากจะขึ้นกับประเภทและคุณสมบัติของน้ำมันพืชที่เป็นวัตถุดิบแล้วยังขึ้นกับกระบวนการผลิตไบโอดีเซลอีกด้วย โดยกระบวนการผลิตที่มีการให้ความร้อนสูงแก่ไบโอดีเซลเป็นระยะเวลาานอาจส่งผลให้เสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน

2.13 ค่าของกรด (Acid value) แสดงความเป็นกรดในน้ำมันไบโอดีเซลเป็นผลมาจากปริมาณกรดไขมันอิสระในวัตถุดิบน้ำมันพืชและปริมาณกรดที่ใช้ในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลซึ่งมีผลต่อการกัดกร่อนในเครื่องยนต์ทำให้อายุการใช้งานของปั๊มและไส้กรองน้ำมันลดลง นอกจากนี้ยังแสดงถึงการเสื่อมสภาพของน้ำมันเนื่องเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลติกจากปริมาณน้ำที่ปนอยู่ในน้ำมันและผลของสภาวะในการจัดเก็บ

2.14 ค่าไอโอดีน (Iodin value) แสดงพันธะคู่ในน้ำมันซึ่งเป็นคุณสมบัติเฉพาะของน้ำมันพืชที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซล ค่าไอโอดีนต่ำแสดงถึงการมีส่วนกรดไขมันอิ่มตัวในโครงสร้างไบโอดีเซลสูงทำให้ไม่มีแนวโน้มในการเกิดออกซิเดชัน นอกจากนี้ค่าไอโอดีนยังมีความสัมพันธ์กับจุดขุ่นซึ่งแสดงถึงอุณหภูมิที่น้ำมันเริ่มเกิดไขหรือจับตัวเป็นก้อนแข็งไบโอดีเซลที่มีค่าไอโอดีนต่ำจะมีจุดขุ่นสูงซึ่งมีผลต่อการใช้งานสภาพอากาศเย็น

2.15 กรดลิโนเลนิกเมทิลเอสเทอร์ (Linolenic acid methyl ester contents) แสดงถึงพันธะคู่หรือความไม่อิ่มตัวของไบโอดีเซลซึ่งมีแนวโน้มทำให้เกิดพอลิเมอร์ในเครื่องยนต์ทำให้เกิดการอุดตันและการเสื่อมสภาพของน้ำมันเครื่อง ปริมาณกรดลิโนเลนิกเมทิลเอสเทอร์ขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำมันพืชที่เลือกมาใช้เป็นวัตถุดิบ

2.16 เมทานอล (Methanol content) เป็นสารตั้งต้นที่เหลือจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลซึ่งจำเป็นต้องกำจัดออกให้หมดก่อนนำไปโอดีเซลออกจำหน่ายจึงต้องมีปริมาณต่ำในผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซล เมทานอลมีค่าจุลควาไฟฟ้าต่ำยังมีเมทานอลปะปนอยู่ในไบโอดีเซลจะทำให้ไบโอดีเซลมีจุลควาไฟฟ้าต่ำลงด้วยซึ่งมีผลต่อความปลอดภัยในการเก็บรักษา การขนส่งและการนำมาใช้ในเครื่องยนต์ เมทานอลมีค่าความเข้มข้นมากกว่า 5% จะมีผลกระทบต่อค่าซีเทนและความหล่อลื่นของน้ำมัน

2.17 โมโนกลีเซอไรด์, ไดกลีเซอไรด์ และไตรกลีเซอไรด์ (Monoglyceride, Diglyceride, Triglyceride) แสดงถึงความสมบูรณ์ของปฏิกิริยาในการผลิตไบโอดีเซล ปริมาณโมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์และไตรกลีเซอไรด์ที่เหลือจากการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันที่ไม่สมบูรณ์ส่งผลให้เกิดการอุดตันบริเวณหัวฉีด กระจบอกสูบและวาล์วภายในเครื่องยนต์

2.18 กลีเซอรินอิสระ (Free glycerin) ปริมาณกลีเซอรินที่ยังเหลืออยู่ในไบโอดีเซลเนื่องมาจากการแยกกลีเซอรินไม่สมบูรณ์ทำให้มีปัญหาการแยกชั้นของกลีเซอรินในการจัดเก็บไบโอดีเซลรวมถึงการสะสมที่บริเวณด้านล่างของถังน้ำมันและกลีเซอรินมีผลต่อการอุดตันที่หัวฉีดและระบบลำเลียงน้ำมัน

2.19 กลีเซอรินทั้งหมด (Total glycerin) คือปริมาณของกลีเซอรินอิสระและปริมาณกลีเซอรินในโมเลกุลโมโนกลีเซอไรด์ไดกลีเซอไรด์และไตรกลีเซอไรด์ที่เจือปนในองค์ประกอบไบโอดีเซล ซึ่งเป็นผลจากการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันไม่สมบูรณ์มีผลก่อให้เกิดการอุดตันที่บริเวณหัวฉีดและไส้กรองและปัญหาการใช้งานในสภาพอากาศอากาศเย็น

2.20 โลหะกลุ่ม 1 (โซเดียมและโพแทสเซียม) (Sodium and Potassium content), โลหะกลุ่ม 2 (แคลเซียม และแมกนีเซียม) (Calcium and Magnesium content) เป็นการวัดปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาเบส สบู่และโลหะหนักจากน้ำที่ใช้ในขั้นตอนการล้างไบโอดีเซลที่หลงเหลือในผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซล แคลเซียมยังมีคุณสมบัติเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ดีสำหรับกระบวนการพอลิเมอไรซ์ของเอสเทอร์อีกด้วย

2.21 ฟอสฟอรัส (Phosphorus) เป็นสารที่ปนเปื้อนอยู่ในวัตถุดิบน้ำมันพืชตั้งแต่เริ่มต้น หากไม่ทำการกำจัดออกจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลจะทำให้ไบโอดีเซลที่ผลิตได้มีฟอสฟอรัสปะปนอยู่ด้วย ซึ่งจะทำความเสียหายให้กับอุปกรณ์คะตะไลติกส์ คอนเวอร์เตอร์ (Catalytic converter) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมการแพร่มลพิษจากการที่มาตรฐานของการแพร่มลพิษเป็นกฎข้อบังคับมากขึ้น อุปกรณ์ Catalytic converter จึงเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญที่ใช้ในเครื่องยนต์ดีเซล

2.22 สารเติมแต่ง (Additive) เป็นสารที่เติมผสมในไบโอดีเซลเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการเผาไหม้ ช่วยชะล้างและทำความสะอาดเครื่องยนต์ หรืออื่นๆ

ตาราง ข.1 กำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน พ.ศ. 2552 (กรมธุรกิจพลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2552)

รายการ	ข้อกำหนด	อัตราสูงต่ำ	วิธีทดสอบ		
1	เมทิลเอสเทอร์ (Methyl Ester,	ร้อยละโดยน้ำหนัก % wt.)	ไม่ต่ำกว่า 96.5	EN 14103	
2	ความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15°C (Density at 15°C,	กิโลกรัม/ลูกบาศก์ เมตร kg/m <sup>3</sup> )	ไม่ต่ำกว่าและ ไม่สูงกว่า	860 900	ASTM D 1298
3	ความหนืด ณ อุณหภูมิ 40°C (Viscosity at 40°C,	เซนติสโตกส์ cSt)	ไม่ต่ำกว่าและ ไม่สูงกว่า	3.5 5.0	ASTM D 445
4	จุดวาบไฟ (Flash Point,	องศาเซลเซียส °C)	ไม่ต่ำกว่า	120	ASTM D 93
5	กำมะถัน (Sulphur,	ร้อยละโดยน้ำหนัก %wt.)	ไม่สูงกว่า	0.0010	ASTM D 2622
6	กากถ่าน (Carbon Residue,	ร้อยละโดยน้ำหนัก %wt.)	ไม่สูงกว่า	0.30	ASTM D 4530
7	จำนวนซีเทน (Cetane Number,		ไม่ต่ำกว่า	51	ASTM D 613
8	เถ้าซัลเฟต (Sulphated Ash,	ร้อยละโดยน้ำหนัก %wt.)	ไม่สูงกว่า	0.02	ASTM D 874
9	น้ำ (Water,	ร้อยละโดยน้ำหนัก %wt.)	ไม่สูงกว่า	0.050	EN ISO 12937
10	สิ่งปนเปื้อนทั้งหมด (Total Contaminate,	ร้อยละโดยน้ำหนัก %wt.)	ไม่สูงกว่า	0.0024	EN 12662
11	การกัดกร่อนแผ่นทองแดง (Copper Strip Corrosion)		ไม่สูงกว่า	หมายเลข 1	ASTM D 130
12	เสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ณ อุณหภูมิ 110°C (Oxidation Stability at 110°C,	ชั่วโมง hours)	ไม่ต่ำกว่า	10	EN 14112
13	ค่าความเป็นกรด (Acid Value,	มิลลิกรัมโพแทสเซียม- ไฮดรอกไซด์/กรัม mg KOH/g)	ไม่สูงกว่า	0.50	ASTM D 664

ตาราง ข.1 กำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน พ.ศ.  
2552 (กรมธุรกิจพลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2552) (ต่อ)

รายการ	ข้อกำหนด	อัตราสูงต่ำ	วิธีทดสอบ
14	ค่าไอโอดีน (Iodine Value,	กรัมไอโอดีน/ 100 กรัม g Iodine/100 g)	ไม่สูงกว่า 120 EN 14111
15	กรดลิโนเลนิกเมทิลเอสเทอร์ (Linolenic Acid Methyl Ester,	ร้อยละโดยน้ำหนัก % wt.)	ไม่สูงกว่า 12.0 EN 14103
16	เมทานอล (Methanol,	ร้อยละโดยน้ำหนัก % wt.)	ไม่สูงกว่า 0.20 EN 14110
17	โมโนกลีเซอไรด์ (Monoglyceride,	ร้อยละโดยน้ำหนัก % wt.)	ไม่สูงกว่า 0.80 EN 14105
18	ไดกลีเซอไรด์ (Diglyceride,	ร้อยละโดยน้ำหนัก % wt.)	ไม่สูงกว่า 0.20 EN 14105
19	ไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride,	ร้อยละโดยน้ำหนัก % wt.)	ไม่สูงกว่า 0.20 EN 14105
20	กลีเซอรินอิสระ (Free glycerin,	ร้อยละโดยน้ำหนัก % wt.)	ไม่สูงกว่า 0.02 EN 14105
21	กลีเซอรินทั้งหมด (Total glycerin,	ร้อยละโดยน้ำหนัก % wt.)	ไม่สูงกว่า 0.25 EN 14105
22	โลหะกลุ่ม 1 (โซเดียมและ โพแทสเซียม) (Group 1 metals (Na+K),	มิลลิกรัม/กิโลกรัม Mg/kg)	ไม่สูงกว่า 5.0 EN 14108 และ EN 14109
	โลหะกลุ่ม 2 (แคลเซียมและ แมกนีเซียม) (Group 2 metals (K+Mg),	มิลลิกรัม/กิโลกรัม Mg/kg)	ไม่สูงกว่า 5.0 pr EN 14538
23	ฟอสฟอรัส (Phosphorus)	ร้อยละโดยน้ำหนัก % wt.)	ไม่สูงกว่า 0.0010 ASTM D 4951
24	สารเติมแต่ง (ถ้ามี) (Additive)		ให้เป็นไปตามที่ได้รับความเห็นชอบจากอธิบดี กรมธุรกิจพลังงาน



ภาคผนวก ค  
ข้อมูลผลการทดลอง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright© by Chiang Mai University  
All rights reserved

ตารางที่ ค.1 สมบัติทางกายภาพของน้ำมันเมล็ดพืชน้ำมัน 3 ชนิด เปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล

คุณสมบัติ	ค่าความหนืด Viscosity (cSt)	ค่าความหนาแน่น Density (kg/m <sup>3</sup> )	ค่าความร้อน Kcal/kg	ปริมาณกรดไขมันอิสระ (%FFA)
น้ำมันมะเดก	5.18	873	8,697.6	14.89
น้ำมันมะเขือเทศ	10.04	860	9,340.4	2.59
น้ำมันกระบอก	5.75	856	9,028.3	4.30
น้ำมันดีเซล	1.8-4.1	810-870	9,470	-

ตารางที่ ค.2 ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซล

ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา	ครั้งที่ 1 (มิลลิลิตร)	ครั้งที่ 2 (มิลลิลิตร)	ครั้งที่ 3 (มิลลิลิตร)	เฉลี่ย (มิลลิลิตร)
น้ำมันเมล็ดกระบอก	7.1	7.0	6.7	6.9
น้ำมันเมล็ดมะเขือเทศ	3.2	3.8	3.8	3.6
น้ำมันเมล็ดมะเดก	11.3	11.8	11.6	11.6

ตารางที่ ค.3 สมบัติทางกายภาพของไบโอดีเซลที่ผลิตได้เปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานของไบโอดีเซลสำหรับเครื่องยนต์การเกษตร (ไบโอดีเซลชุมชน) พ.ศ. 2549

คุณสมบัติ	ค่าความหนืด Viscosity (cSt.)	ค่าความหนาแน่น Density (kg/m <sup>3</sup> )	ค่าความร้อน kJ/kg	จุดวาบไฟ °C
ไบโอดีเซลมะเขือเทศ	6.1	867	38,186	197
ไบโอดีเซลกระบอก	4.2	846	37,230	174
มาตรฐานไบโอดีเซลชุมชน	3.5-5.0	860-900	36,550	>120

ตารางที่ ค.4 การทดลองผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันมะแตกด้วยกระบวนการเอสเทอร์ฟิเคชัน-ทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยใช้ (NaOH) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

condition	ตัวเร่งปฏิกิริยา	ทำปฏิกิริยาพอดี	เพิ่ม 10%	เพิ่ม 20%
1	โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)	✓		
	กรดซัลฟูริก (conc.H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	✓		
2	โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)		✓	
	กรดซัลฟูริก (conc.H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )		✓	
3	โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)			✓
	กรดซัลฟูริก (conc.H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )			✓
4	โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)	✓		
	กรดซัลฟูริก (conc.H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )		✓	
5	โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)	✓		
	กรดซัลฟูริก (conc.H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )			✓
6	โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)		✓	
	กรดซัลฟูริก (conc.H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	✓		
7	โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)		✓	
	กรดซัลฟูริก (conc.H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )			✓
8	โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)			✓
	กรดซัลฟูริก (conc.H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	✓		
9	โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)			✓
	กรดซัลฟูริก (conc.H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )		✓	

ตารางที่ ค.5 ข้อมูลทดสอบเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กโดยใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง

โหลด	ความเร็วรอบ (rpm)	อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง (L/hr)	Torque (Nm)	Power (kW)	อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ (kg/kWh)
NO	2870	0.60	0.64	0.19	2.68
2000	2730	0.90	6.10	1.74	0.44
4000	2632	1.30	12.75	3.51	0.32
6000	2547	1.80	16.68	4.45	0.34
8000	2407	2.60	18.44	4.65	0.47
10400	2242	4.50	18.74	4.40	0.86

ตารางที่ ค.6 ข้อมูลทดสอบเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กโดยใช้ไบโอดีเซลระบบเป็นเชื้อเพลิง

โหลด	ความเร็วรอบ (rpm)	อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง (L/hr)	Torque (Nm)	Power (kW)	อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ (kg/kWh)
NO	2870	0.60	0.64	0.19	2.68
2000	2752	1.00	6.28	1.81	0.47
4000	2620	1.50	12.65	3.47	0.37
6000	2571	2.25	17.17	4.62	0.41
8000	2377	3.00	18.15	4.52	0.56
10400	2130	4.50	17.27	3.85	0.99

ตารางที่ ค.7 ข้อมูลทดสอบเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กโดยใช้ไบโอดีเซลมะเขือหินเป็นเชื้อเพลิง

โหลด	ความเร็ว รอบ(rpm)	อัตราการสิ้นเปลือง เชื้อเพลิง (L/hr)	Torque (Nm)	Power (kW)	อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง จำเพาะ (kg/kWh)
NO	2870	0.75	0.64	0.19	3.42
2000	2738	1.00	6.67	1.91	0.46
4000	2660	1.50	13.44	3.74	0.35
6000	2564	2.00	17.68	4.74	0.37
8000	2423	3.00	19.13	4.85	0.54
10400	2214	4.60	18.84	4.37	0.91



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright© by Chiang Mai University  
All rights reserved



การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยครั้งที่ 12 ประจำปี 2554  
31 มีนาคม – 1 เมษายน 2554 ณ ซลจันทรื พัทยาวิสิทธ์รท จ. ซลบุรี



**กระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากเมล็ดพืชน้ำมันที่ปลูกบนพื้นที่สูง**  
**Biodiesel Production Process from Oil Seeds Grown in Highland Area**  
**รัตนา ไชยวรรณวงศ์<sup>1</sup>, ดามร บัณฑ์รัตน์<sup>1</sup>, อนุสาล เพิ่มสุวรรณ<sup>1</sup>**  
**Ruttana Chaiwannawong<sup>1</sup>, Damorn Bundhurat<sup>1</sup>, Anusan Permsuwan<sup>1</sup>**

**บทคัดย่อ**

ราคาน้ำมันที่เพิ่มสูงขึ้นและการคมนาคมขนส่งที่ยากลำบากบนพื้นที่สูงในภาคเหนือของประเทศไทยทำให้ราคาน้ำมันบนพื้นที่สูงมีราคาสูงมากกว่าปกติ ไบโอดีเซลจึงเป็นแหล่งพลังงานทดแทนการใช้น้ำมันดีเซลที่ต้องขนส่งขึ้นไปจากที่ราบที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก จากการศึกษาเบื้องต้นพบว่ามีเมล็ดพืชท้องถิ่น 3 ชนิดที่มีศักยภาพในการนำมาผลิตเป็นน้ำมันเชื้อเพลิง เนื่องจากในเมล็ดมีสัดส่วนเปอร์เซ็นต์น้ำมันอยู่สูง ได้แก่ เมล็ดกระบกมีน้ำมัน 46-75%, เมล็ดมะแตกมีน้ำมัน 30-65% และเมล็ดมะเขายินมีน้ำมันประมาณ 55% วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือ 1.ทดลองผลิตไบโอดีเซลด้วยกระบวนการ ทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จากน้ำมันเมล็ดกระบก เมล็ดมะแตก และเมล็ดมะเขายิน 2.ตรวจสอบคุณสมบัติไบโอดีเซล ได้แก่ ความหนืด ความถ่วงจำเพาะ ความหนาแน่น และความเป็นกรด-ด่าง 3.ทดสอบการใช้งานไบโอดีเซลที่ผลิตได้ในเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็ก

**คำสำคัญ :** ไบโอดีเซล กระบก มะแตก มะเขายิน

**Abstract**

Higher oil price and transport difficulty in highland in northern area of Thailand cause the oil price higher than usual. Biodiesel, produced locally, becomes an interesting choice of substitution for the partial usage of diesel from low land. The preliminary study found that 3 types of highland plants have a potential for oil production to use as fuel. The seeds of those plants contain high amount of oil. Krabok seed, Matak seed and Ma Yao Hin seed has 46-75%, 30-65% and 55% of oil by mass, respectively. The purpose of this research was to (1) trial production of biodiesel by the tranesterification process with alkali catalyst from oil, extracted from Krabok seed, Matak seed and Ma Yau Hin seed, (2) check the properties of biodiesel such as density, viscosity, specific gravity, and pH, and (3) validate the use of biodiesel for small diesel engine.

**Keywords:** Biodiesel Krabok Matak Ma Yau Hin

### บทนำ

เนื่องจากปัจจุบันน้ำมันปิโตรเลียมมีปริมาณลดลง ส่งผลให้น้ำมันดีเซลหมุนเร็วมีราคาเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จากการสำรวจพืชบนพื้นที่สูงในพื้นที่ขยายผลโครงการหลวงพบว่า ชุมชนบนพื้นที่สูงมีภูมิปัญญาการใช้ประโยชน์จากพืชพลังงานในท้องถิ่น โดยนำพืชพลังงานมาทำการหีบตามวิถีภูมิปัญญาชาวบ้าน และนำมาทำน้ำมันตะเกียงเพื่อใช้สำหรับให้แสงสว่างในครัวเรือน จากข้อมูลพบว่าพืชพลังงานท้องถิ่นที่นำมาใช้ส่วนใหญ่เป็นพืชที่เจริญในป่า เกิดเฉพาะถิ่น และยังไม่เป็นที่รู้จักกันแพร่หลาย อีกทั้งพืชท้องถิ่นที่มีศักยภาพในการให้น้ำมันในปริมาณที่ค่อนข้างสูงน่าจะนำมาพัฒนาเพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทนในอนาคต ซึ่งพืชพลังงานเหล่านี้มีปริมาณน้ำมันอยู่ในช่วง 30-75 % ได้แก่ มะแตก 30-65% มะเขาคิน ประมาณ 55 % กระบอก (มะมื่น) 46-75 % จึงมีแนวคิดที่จะนำมาผลิตน้ำมันไบโอดีเซลเพื่อเป็นพลังงานทดแทนใช้ในชุมชนบนพื้นที่สูง

มะแตก (*Celastrus paniculatus* Willd.) เป็นไม้เถาหรือเลื้อย เนื้อแข็ง ใบเดี่ยว เรียงสลับ รูปวงรี ดอกช่อ ออกที่ปลายกิ่งและซอกใบ กลีบดอกสีขาว ผลแห้ง แตกได้ รูปทรงกลมหรือรูปไข่ เมล็ดมีเยื่อสีน้ำตาลแดง มีสรรพคุณใช้เป็นยาแก้ไข้ แก้ไข้มาลาเรีย ใบ รักษาโรคบิด แก่น รักษาวัณโรค ผล แก้อลมจุกเสียด บำรุงโลหิต เมล็ด พอกหรือรับประทานรักษาโรคปวดตามข้อ กล้ามเนื้อและอัมพาต น้ำมันในเมล็ดรักษาโรคเหน็บชา และเป็นยาขับเหงื่อ

มะเขาคิน (*Vernicia montana* Lour.) เป็นไม้ยืนต้นขนาดกลางสูง 10-20 เมตร ใบใหญ่คล้ายแฉก ก้านใบยาว ดอกออกที่ปลายกิ่ง กลีบดอกสีขาวอมชมพูเป็นช่อกระจุก ดอกดกแน่น ออกดอกช่วง กุมภาพันธ์-มีนาคม เป็นผลช่วงเมษายน-พฤษภาคม

ผลขนาดเท่าลูกมะนาว มีสันนูนแบ่งเป็น 3-4 พู เมล็ด 3-4 เมล็ดตามจำนวนพู เมล็ดใหญ่ มีกะลาหุ้มเนื้อใน เมล็ด

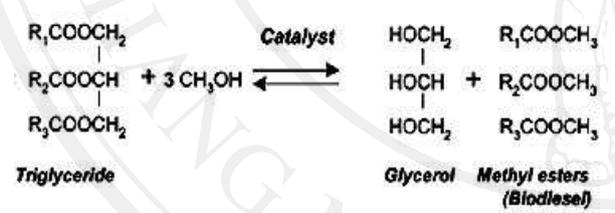
กระบอก (*Irvingia malayana* Oliv. ex a. Benn.)

เป็นไม้ต้นขนาดกลาง-ขนาดใหญ่ สูง 10-30 เมตร ผลัดใบในช่วงสั้นจะแตกใหม่ในเวลารวดเร็ว เปลือกสีเทาแกมน้ำตาลค่อนข้างเรียบหรือแตกเป็นสะเก็ดรูปทรง (เรื้อนยอด) เรื้อนยอดเป็นพุ่มทรงสูงกลมแน่นทึบ ใบเป็นชนิดใบเดี่ยวติดเรียงสลับขนาดกว้าง 2.5-9 ซม. ยาว 8-20 ซม. ดอกมีขนาดเล็ก มีขนนุ่ม ออกดอกรวมกันเป็นช่อโตตามปลายกิ่งกลีบดอกจะยาวประมาณ 3 เท่าของกลีบฐานดอกสีขาวอมเขียวอ่อนๆ ออกดอกระหว่างเดือนมกราคม - มีนาคม ผลกลมรี หรือป้อมออกสีเหลืองมีเนื้อและ ๆ หุ้มเมล็ด พอกควรเปลือกหุ้มเมล็ดแข็งมาก ผลแก่ติดผลระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ - เมษายน

ไบโอดีเซล คือสารประกอบอัลคิลเอสเทอร์ เช่น เมทิลเอสเทอร์ (methyl esters) หรือ เอทิลเอสเทอร์ (ethyl esters) ของกรดไขมัน ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงดีเซลที่ผลิตจากแหล่งทรัพยากรหมุนเวียน เช่น น้ำมันพืช ไขมันสัตว์ หรือสาหร่าย การผลิตไบโอดีเซลจากการทำปฏิกิริยาเปลี่ยนรูปเป็นอัลคิลเอสเทอร์ (Alkyl esters) นั้นเป็นไปได้ที่พิสูจน์ทราบและเป็นที่ยอมรับกันในการนำไบโอดีเซลไปใช้งานจริง (Fukuda Kondo and Noda, 2001) ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงดีเซลทางเลือกนอกเหนือจากดีเซลที่ผลิตจากปิโตรเลียม โดยมีคุณสมบัติการเผาไหม้เหมือนกับดีเซลจากปิโตรเลียมมาก (ดังตารางที่ 1) และสามารถใช้ทดแทนกันได้ สามารถนำมาใช้ประโยชน์กับเครื่องยนต์ดีเซลได้ทุกสัดส่วนโดยมีการดัดแปลงเครื่องยนต์น้อยมากหรือไม่มีการดัดแปลง เรียกน้ำมันที่ผสมกับน้ำมันดีเซลว่า B100 และเรียกไบโ

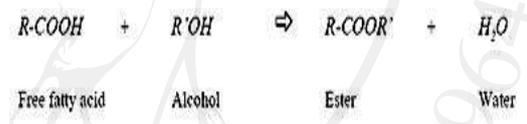
ดีเซลที่มีการผสมกับดีเซลตามสัดส่วนโดยปริมาตร เช่น B5 คือน้ำมันผสมระหว่างไบโอดีเซล 5 ส่วนต่อ ดีเซล 95 ส่วนเป็นต้น ไบโอดีเซลจึงเป็นเชื้อเพลิง ชนิดหนึ่งที่เตรียมมาจากการตัดแปลงโดยการทำ ปฏิกิริยาเคมีของน้ำมันที่มาจากสิ่งมีชีวิต ทั้งพืชและ สัตว์ ให้มีคุณลักษณะและคุณภาพใกล้เคียงกับน้ำมัน ดีเซล ไบโอดีเซลจึงสามารถทดแทนน้ำมันดีเซลได้ โดยตรงหรือใช้ผสมกับน้ำมันดีเซลในสัดส่วนต่างๆ โดยที่มีการตัดแปลงเครื่องยนต์ดีเซลน้อยที่สุด

ทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน หรือแอลกอฮอล์ ไกลซิซ (alcoholysis) เป็นปฏิกิริยาเปลี่ยนโมเลกุลไตรกลี เซอไรด์ ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของน้ำมันพืชหรือ ไขมันสัตว์เป็นเอสเทอร์ตัวใหม่ หรือ โมโนแอลคิล เอสเทอร์ (mono-alkyl ester) และกลีเซอรอล โดยทำ ปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์โมเลกุลขนาดเล็ก ดังสมการ (ภาพที่ 1)



ภาพที่ 1 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของ โมเลกุลไตรกลีเซอไรด์กับเมทานอล (อนุรักษ์ ปีติ รักษ์สกุล, 2548)

เอสเทอร์ฟิเคชันและทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน (Esterification and transesterification) เนื่องจากใน กระบวนการเร่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันด้วย เบส จำเป็นต้องควบคุมปริมาณกรดไขมันอิสระใน วัตถุดิบน้ำมันให้ต่ำกว่าร้อยละ 2 ซึ่งโดยทั่วไปจะลด ให้เหลือน้อยกว่าร้อยละ 1 ดังนั้นในกระบวนการที่ใช้ วัตถุดิบราคาถูกและมีปริมาณกรดไขมันอิสระสูง เช่น ไขมันสัตว์ น้ำมันพืชใช้แล้ว ซึ่งมีปริมาณกรดไขมัน อิสระร้อยละ 2-30 จำเป็นต้องมีขั้นตอนการกำจัดกรด ไขมันอิสระออกในกระบวนการนี้ ขั้นตอนแรกเป็นการทำ เอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันพืชด้วยแอลกอฮอล์ โดยมี กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งนิยมใช้กรดซัลฟิวริก ได้ ผลิตภัณฑ์เป็นเอสเทอร์และน้ำ ดังสมการ (ภาพที่ 2)



ภาพที่ 2 ตัวอย่างกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระ ด้วยปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน (อนุรักษ์ ปีติรักษ์สกุล, 2548)

ตารางที่ 1 มาตรฐานไบโอดีเซลชุมชน พ.ศ. 2549 ตามประกาศกรมธุรกิจพลังงาน สำหรับเครื่องยนต์การเกษตร

ลำดับที่	ข้อกำหนด		อัตราสูงต่ำ		วิธีทดสอบ
1	ความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 25 °	กิโลกรัม/ม <sup>3</sup>	ไม่ต่ำกว่าและไม่สูงกว่า	860 900	ASTM D 1298
2	ความหนืด ณ อุณหภูมิ 40 °	เซนติสโตกส์	ไม่ต่ำกว่าและไม่สูงกว่า	1.9 8.0	ASTN D 445
3	จุดวาบไฟ	องศาเซลเซียส	ไม่ต่ำกว่า	120	ASTM D 93
4	กำมะถัน	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า	0.0015	ASTN D 2622
5	จำนวนซีเทน		ไม่ต่ำกว่า	47	ASTM D 613
6	เถ้าซัลเฟต	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า	0.02	ASTM D 874
7	น้ำและตะกอน	ร้อยละโดยปริมาตร	ไม่สูงกว่า	0.2	ASTM D 2709
8	การกัดกร่อนแผ่นทองแดง		ไม่สูงกว่า	หมายเลข3	ASTM D 130
9	ค่าความเป็นกรด	mgKOH/g	ไม่สูงกว่า	0.80	ASTM D 664
10	กรีเซอร์อินอิสระ	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า	0.02	ASTM D 6584
11	กรีเซอร์อินทั้งหมด	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า	1.5	ASTM D 6584
12	สี			ม่วง*	ตรวจพินิจด้วยสายตา
13	สารเติมแต่ง(ถ้ามี)				

### อุปกรณ์และวิธีการ

#### อุปกรณ์

น้ำมันที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซลได้แก่ น้ำมันกระบก น้ำมันมะแตก น้ำมันมะเขยาคิน สารเคมีที่ใช้ในปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ได้แก่ เมทานอล กรดซัลฟิวริก โซเดียมไฮดรอก

#### ไซค์ ไอโซโพรพานอล ฟีนอล์ฟทาลิน

เครื่องมือที่ใช้ในการทดลองได้แก่ แผ่นให้ความร้อนพร้อมระบบควบคุมแม่เหล็ก อุปกรณ์วัดความหนืด(Brookfield รุ่น DV-II+) เทอร์โมมิเตอร์ กรวยแยก แท่งควบคุมแม่เหล็ก เครื่องชั่ง (METTLER TOLED รุ่น PG503-S)

### การตรวจสอบคุณสมบัติของน้ำมัน

โดยการตรวจสอบคุณสมบัติทำการวัดพารามิเตอร์หลักดังนี้ ความหนาแน่น ความหนืด ความเป็นกรดเบส ปริมาณกรดไขมันอิสระ และค่าความร้อน อย่างละ 3 ซ้ำ

### การหาปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา

การหาปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ที่ใช้ในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เตรียมสารละลายเพื่อใช้ในการไตเตรต โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 กรัม ผสมกับน้ำกลั่น 1 ลิตร นำน้ำมันแต่ละชนิด 1 ml ผสมกับ isopropyl alcohol 10 ml และหยดฟีนอล์ฟทาไลน์ 2-3 หยด ทำการไตเตรตจนตัวอย่างจะเปลี่ยนเป็นสีชมพู นานประมาณ 30 วินาที ทำทั้งหมด 3 ซ้ำ ปริมาณของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (กรัม) เท่ากับปริมาณของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไตเตรต (ml) จะได้ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ต่อน้ำมันหนึ่งลิตร

### การผลิตไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันโดยใช้เบส (NaOH) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

ซังโซเดียมไฮดรอกไซด์ตามที่คำนวณได้ ผสมกับ เมทานอล 20% ของปริมาตรรวม ได้เป็นสารละลายเมทอกไซด์ นำน้ำมันมา 80% ของปริมาตรรวม ใส่ลงในบีกเกอร์ ให้ความร้อนจนมีอุณหภูมิประมาณ 50 องศาเซลเซียส และรักษาอุณหภูมิไว้ จากนั้นเทสารละลายเมทอกไซด์ลงไป กวนที่ 600 รอบต่อนาที ซึ่งขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนของการเกิดปฏิกิริยาจะต้องทำที่ระบบปิดเพื่อป้องกัน เมทานอลระเหย นำน้ำมันที่ผ่าน

ปฏิกิริยามาใส่กรวยแยกตั้งทิ้งไว้ประมาณ 12 ชั่วโมง เพื่อให้เกิดการแยกชั้นระหว่างไบโอดีเซล และกลีเซอรอล จากนั้นทำการแยก กลีเซอรอลออก แล้ววัดค่า pH ก่อนทำการล้างไบโอดีเซล แล้วทำการล้างไบโอดีเซล

### ขั้นตอนการล้างไบโอดีเซล

นำไบโอดีเซลที่ได้ใส่ลงในกรวยแยก เดิม นำล้างไปในกรวยแยกปริมาณเท่ากับไบโอดีเซลที่ต้องการล้าง เขย่าให้น้ำผสมกับไบโอดีเซล แล้วตั้งทิ้งไว้ให้แยกชั้นประมาณ 12 ชั่วโมง จากนั้นทำการแยกไบโอดีเซลออกจากชั้นน้ำ แล้วทำการวัดค่า pH ทำซ้ำในขั้นตอนนี้อีกกว่า pH จะเท่ากับ 7 หลังจากนั้นนำไบโอดีเซลที่ได้ไปต้มเพื่อไล่ความชื้นออกจากไบโอดีเซล

### ผลการทดลองและวิจารณ์

#### คุณสมบัติน้ำมัน

ผลการทดสอบหาคุณสมบัติเบื้องต้นน้ำมันกระบอก มะแตก และมะเขายี่สิบแสดงในตารางที่ 2 คุณสมบัติของน้ำมันมีค่าความหนาแน่น ความหนืด ค่า pH ค่าความร้อน ที่ใกล้เคียงกัน โดยมีความหนาแน่นอยู่ในช่วง 856 -873 kg/m<sup>3</sup> ค่า pH เป็นกรดเล็กน้อยระหว่าง 4-6 ค่าความหนืดของน้ำมันมะแตกและกระบอกใกล้เคียงกันคือ 5.2 และ 5.8 cSt ส่วนมะเขายี่สิบมีค่าความหนืดสูงกว่าที่ 10 cSt ค่าความร้อนของน้ำมันทั้ง 3 ชนิดมีค่าใกล้เคียงกันอยู่ระหว่าง 8,698-9,340 kcal/kg ส่วนปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันมะแตกสูงที่สุดคือ 14.8% รองลงมาคือกระบอก 4.3% และมะเขายี่สิบ 2.6%

### การผลิตไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันโดยใช้เบส (NaOH) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

จากผลการทดลองพบว่า ในการทำปฏิกิริยาน้ำมันกระบกไม่สามารถทำปฏิกิริยาได้ เนื่องจากเมื่อนำน้ำมันกระบกมาให้ความร้อนแล้วทำปฏิกิริยาแล้วตั้งทิ้งไว้สักระยะเวลาหนึ่งจะเกิดการแข็งตัวหรือเกิดไขขึ้น น้ำมันกระบกจะไม่สามารถผลิตไบโอดีเซลได้ จากคุณสมบัติเบื้องต้นของน้ำมันมะแตกมีปริมาณกรดไขมันอิสระสูงมาก และค่อนข้างเป็นกรด เมื่อนำมาทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาพบว่า เกิดสบู่ขึ้นในขั้นตอนการทำปฏิกิริยา น้ำมันมะแตกจะไม่สามารถที่จะนำมาผลิตเป็นไบโอดีเซลได้ น้ำมันมะเขือหินเมื่อนำมาทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาพบว่า ปฏิกิริยาเกิดขึ้นได้ดีเมื่อสิ้นสุดขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาตั้งทิ้งไว้ 12 ชั่วโมง เกิดการแยกชั้นระหว่างเมทิลเอสเทอร์ (ไบโอดีเซล) และกลีเซอรอล เมื่อนำไบโอดีเซลที่ได้ไปวิเคราะห์คุณสมบัติไบโอดีเซลได้ผลแสดงในตารางที่ 3 คุณสมบัติไบโอดีเซลที่ได้มีค่า pH ก่อนล้างเท่ากับ 10 หลังล้างเท่ากับ 7 ค่าความหนาแน่นเท่ากับ  $867 \pm 1.57 \text{ kg/m}^3$  ค่าความหนืดเท่ากับ  $6.1 \pm 0.44 \text{ cSt}$  ค่าความร้อนเท่ากับ  $9091.8 \pm 1.91 \text{ kcal/kg}$

ดังนั้นการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันจากพืชทั้ง 3 ชนิดด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา พืชที่สามารถผลิตไบโอดีเซลได้คือ มะเขือหินเพียงชนิดเดียว ส่วนพืชอีก 2 ชนิดคือ กระบก และมะแตกไม่สามารถที่จะผลิตไบโอดีเซลโดยผ่านปฏิกิริยา ทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาได้ แต่พืชน้ำมันทั้ง 2 ชนิดนี้อาจมีศักยภาพในการผลิตไบโอดีเซลได้แต่อาจจะต้องผลิตด้วยกรรมวิธีที่แตกต่างออกไปจึงต้องทำการศึกษาค้นคว้าต่อไป

#### ทดสอบการใช้งานไบโอดีเซลที่ผลิตได้ในเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็ก

จากการทดสอบการใช้งานไบโอดีเซลจากน้ำมันมะเขือหินในเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กพบว่าเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กสามารถเดินเครื่องได้ปกติ แต่มีอัตราการใช้เชื้อเพลิงมากกว่าการใช้น้ำมันดีเซลซึ่งอัตราการใช้ไบโอดีเซลจากมะเขือหินเท่ากับ  $0.488 \pm 0.07$  ลิตรต่อชั่วโมง ส่วนอัตราการใช้เชื้อเพลิงจากน้ำมันดีเซลปกติเท่ากับ  $0.429 \pm 0.03$  ลิตรต่อชั่วโมง ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 2 คุณสมบัติเบื้องต้นน้ำมันทั้ง 3 ชนิด ก่อนการผลิตไบโอดีเซล

น้ำมัน	ความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 25 ° ( $\text{kg/m}^3$ )	ความหนืด ณ อุณหภูมิ 40 ° (cSt)	ค่า pH	ค่าความร้อน (kcal/kg)	กรดไขมันอิสระ (%)
กระบก	$856 \pm 1.83$	$5.2 \pm 0.26$	6	$9,028 \pm 5.32$	$4.3 \pm 0.44$
มะแตก	$873 \pm 9.54$	$5.8 \pm 0.17$	4	$8,698 \pm 1.31$	$14.8 \pm 0.46$
มะเขือหิน	$860 \pm 1.85$	$10 \pm 0.53$	6	$9,340 \pm 8.32$	$2.6 \pm 0.20$

ตารางที่ 3 คุณสมบัติไบโอดีเซลจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

น้ำมัน	ค่า pH		ความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 25 °(kg/m <sup>3</sup> )	ความหนืด ณ อุณหภูมิ 40 ° (cSt)	ค่าความร้อน (kcal/kg)
	ก่อนล้าง	หลังล้าง			
กระบก	-	-	-	-	-
มะแตก	-	-	-	-	-
มะเขาคิน	10	7	867 ±1.57	6.1 ±0.44	9,091.8 ±1.91

ตารางที่ 4 อัตราการใช้เชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กโดยใช้ไบโอดีเซลเทียบกับดีเซลปกติ

เชื้อเพลิง	อัตราการใช้เชื้อเพลิง(ลิตร/ชั่วโมง)
ไบโอดีเซล (จากมะเขาคิน)	0.488 ±0.07
ดีเซลปกติ	0.429 ±0.03

### สรุป

จากการทดลองผลิตไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยา ทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา น้ำมันจากมะเขาคินสามารถผลิตเป็นไบโอดีเซลได้ดี และเมื่อนำไบโอดีเซลที่ผลิตได้ไปใช้ในเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กเครื่องยนต์สามารถเดินเครื่องได้เป็นปกติ โดยมีอัตราการใช้เชื้อเพลิงจะสิ้นเปลืองกว่าการใช้ดีเซลปกติ 13.75 %

### คำขอบคุณ

ผู้วิจัยขอขอบคุณคณาจารย์ สาขาวิศวกรรมเกษตร ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ให้การสนับสนุนงานวิจัย

### เอกสารอ้างอิง

อนุรักษ์ ปิตรีกษ์สกุล (2548), การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันที่ผ่านกระบวนการใช้แล้ว, รายงานการวิจัย ฉบับสมบูรณ์, [ระบบออนไลน์], <http://dcms.thailis.or.th/dcms/basic.php> (9 ก.ย. 2553)

Fukuda, H., Kondo, A. and Noda, H. (2001) "Biodiesel fuel production by transesterification of oils : review", *Journal of Bioscience and Bioengineering* Vol.92, No.5, p. 405-416.

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล

รัตนา ไชยวรรณวงศ์

วัน เดือน ปีเกิด

26 ธันวาคม 2529

ประวัติการศึกษา

สำเร็จการศึกษามัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนบัว  
ปีการศึกษา 2544สำเร็จการศึกษามัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนบัว  
ปีการศึกษา 2547

สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาอุตสาหกรรมเกษตร

ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยรัตนนคร ปีการศึกษา 2552

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright © by Chiang Mai University  
All rights reserved