บทที่ 1
บทนำ

เชื้อเพลิงปิโตรเลียมเป็นแหล่งพลังงานหลักที่ใช้ในการขับเคลื่อนเครื่องยนต์ และเครื่องจักร ในช่วงหลายปีที่ผ่านมา เนื่องจากราคาน้ำมันปิโตรเลียมในตลาดโลกปรับตัวสูงขึ้นอย่างมาก ในช่วงปีที่ผ่านมา ซึ่งส่งผลกระทบต่อเศรษฐกิจ และการพัฒนาประเทศ จึงมีความจำเป็นต้องหาแหล่งพลังงานใหม่ที่สามารถผลิตได้จากวัตถุดิบภายในประเทศมาทดแทน ดังนั้นไบโอดีเซล (Biodiesel) ซึ่งเป็นเชื้อเพลิงทางเลือกหนึ่งที่ได้รับความสนใจใช้เป็นพลังงานทดแทนหลักของประเทศ โดยสามารถนำมาใช้แทนน้ำมันดีเซลที่ผลิตจากปิโตรเลียมได้ โดยไม่ต้องปรับแต่งเครื่องยนต์ เนื่องจากมีสมบัติทางเชื้อเพลิงใกล้เคียงกัน ไบโอดีเซลหรือไบโอเอสเทอร์เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำน้ำมันพืช (ไตรกลีเซอไรด์) หรือไขมันสัตว์ชนิดต่างๆ รวมทั้งน้ำมันใช้แล้วจากการปรุงอาหาร เข้าสู่การเปลี่ยนแปลงทางเคมีผ่านกระบวนการทรานเอสเทอริฟิเคชัน (Transesterification Process)

1.1 ไบโอดีเซล (Biodiesel)

ไบโอดีเซลเป็นผลผลิตจากปฏิกิริยาทรานเอสเทอริฟิเคชัน โดยการเติมแอลกอฮอล์ เช่น เมทานอลหรือเอทานอล และตัวเร่งปฏิกิริยาซึ่งมีหลายชนิด เพื่อเปลี่ยนไตรกรีเซอร์ไรด์เป็นไบโอดีเซลและกลีเซอรอล (เป็นผลพลอยได้ที่สามารถใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับอุตสาหกรรมยา เครื่องสำอาง สบู่ ผงซักฟอก) คุณสมบัติสำคัญของไบโอดีเซล คือ สามารถย่อยสลายได้เอง ตามกระบวนการชีวภาพในธรรมชาติ (biodegradable) และไม่เป็นพิษ (non-toxic)

1.2 ชนิดของไบโอดีเซล

1.2.1 ไบโอดีเซลสายตรง (Straight Vegetable)

ใช้น้ำมันจากพืชหรือไขมันจากสัตว์โดยตรง ไม่ผ่านกรรมวิธีหรือสารเคมีใดๆ ถึงแม้ว่าจะมีราคาที่ถูก หาได้ง่าย และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม (เพราะไม่ได้ผ่านกรรมวิธีทางเคมี) แต่จะมีข้อเสียที่ทำให้น้ำมันชนิดนี้ไม่เป็นที่นิยมอยู่ คือ การที่มันมีความหนืดสูง ในการนำมาใช้ต้องทำการอุ่นน้ำมันให้ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เสียก่อน เพื่อลดค่าความหนืด ทำให้มันมีคุณสมบัติที่ระเหยตัวเป็นไอได้น้อย และช้ามาก ฉีดให้เป็นฝอยได้ยาก ทำให้เครื่องยนต์จุดระเบิดได้ยาก การสันดาปที่เกิดขึ้นไม่สมบูรณ์ เครื่องยนต์ส่งกำลังได้ไม่เต็มที่ เกิดเขม่า และควันพิษ

1.2.2 **ไบโอดีเซลลูกผสม** (Veggie/Kero Mix)

เป็นการผสมน้ำมันจากพืชหรือไขมันจากสัตว์ กับน้ำมันก๊าดหรือน้ำมันดีเซล เพื่อลดความหนืดของน้ำมันไบโอดีเซลลง ช่วยให้ระบบหัวฉีดฉีดน้ำมันให้เป็นฝอยได้ดีขึ้น ทำให้การจุดระเบิดและการเผาไหม้สมบูรณ์ขึ้น แต่อัตราส่วนผสมยังต้องคล้อยตามสภาวะอากาศ เช่น ถ้าอากาศในบริเวณนั้นหนาวเย็น (ที่ราบสูง หรือยอดดอยในเมืองไทย) ก็จะใช้ น้ำมันไบโอดีเซล:น้ำมันก๊าด (5:95) ส่วนถ้าเป็นพื้นที่ราบทั่วไปของประเทศไทยจะใช้อัตราส่วน น้ำมันไบโอดีเซล:น้ำมันก๊าด (40:60) หรือ (90:10) เลยก็ได้ แล้วแต่สภาพอากาศ เพราะอุณหภูมิมีผลต่อค่าความหนืดของน้ำมันไบโอดีเซลมาก แต่ก็ยังมีโอกาสเสี่ยงต่ออาการเครื่องกระตุก แรงตก อันเนื่องมาจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์อยู่ เพราะอากาศในบ้านเรานั้นเปลี่ยนแปลงได้บ่อยๆ

1.2.3 **ไบโอดีเซลแบบเอสเทอร์** (Bioester)

นับว่าไบโอดีเซลชนิดนี้เป็นไบโอดีเซลที่ทุกคนรู้จักกันอย่างแท้จริง เพราะมีการใช้กันอย่างกว้างขวาง มีการผลิตในเชิงพานิชย์แล้ว สามารถนำไปเติมในเครื่องยนต์ดีเซลได้ทุกชนิด เช่น B2 , B5 (มีไบโอดีเซลแบบเอสเทอร์:น้ำมันดีเซล 5:95), B10, B20, B99, B100

ไบโอดีเซลบริสุทธิ์ หรือ B100 เป็นเชื้อเพลิงสะอาด ช่วยให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีขึ้น เมื่อเปรียบเทียบการใช้น้ำมันดีเซลแล้ว ไบโอดีเซลจะช่วยลดมลพิษทางอากาศได้มาก

ไบโอดีเซลมีใช้อย่างแพร่หลายทั้งในยุโรป สหรัฐอเมริกา ญี่ปุ่น แคนาดา ฯลฯ อันเนื่องมาจากข้อกังวลด้านสิ่งแวดล้อม ปัจจุบันเยอรมันเป็นประเทศที่ใช้ไบโอดีเซลมากที่สุดในโลก โดยนำไปใช้ผสมกับน้ำมันดีเซล

1.3 ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซล

ในกระบวนการผลิตไบโอดีเซล ตัวเร่งปฏิกิริยา และอุณหภูมิที่ใช้ในการควบคุมการผลิต มีความสำคัญมากต่อคุณภาพของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตได้ ซึ่งจะแสดงวิธีการ และตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซลไว้ ดังตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 แสดงตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในกระบวนการผลิตไบโอดีเซล

ชนิด	% ที่ได้	มี FFA ใน ปฏิกิริยา	มีน้ำใน ปฏิกิริยา	อุณหภูมิ (°C)	ความยาก/ง่ายใน การทดลอง	ค่าใช้จ่าย
เอนไซม์	สูงมาก	เกิดmethyl ester	ไม่เป็นไร	30-40	ยาก	แพงมาก
กรด	ปาน กลาง	เกิดester	เป็นสิ่งรบกวน	55-80	ง่าย	ถูก
เบส	ปาน กลาง	เกิดสบู่	เป็นสิ่งรบกวน	60-70	ง่าย	ถูก
จุดวิกฤตยิ่งยวด ของ MeOH	สูง	เกิดester	-	239-385	ปานกลาง	ปานกลาง

1.3.1 **เอนไซม์ไลเปส** (Lipase Enzyme Catalysis)

วิธีการนี้จะได้ผลผลิตที่สูง ปฏิกิริยาเกิดได้เร็ว มีสิ่งรบกวนในปฏิกิริยาน้อย แต่มีค่าใช้จ่ายที่สูง และมีหลายขั้นตอนที่ต้องอาศัยเครื่องมือกับเทคนิคขั้นสูงในการทำ

1.3.2 **เบส** (Alkali Catalysis)

ข้อดีของปฏิกิริยานี้ คือ เร่งให้เกิดปฏิกิริยาได้เร็ว และมีราคาถูก แต่สิ่งรบกวนในปฏิกิริยานี้ก็คือ การเกิดสบู่ (Saponification) และน้ำ โดยเริ่มเกิดจาก เบส เข้าทำปฏิกิริยากับกรดไขมันอิสระ (FFA) ได้ สบู่กับน้ำ จากนั้นน้ำจะไปเร่งปฏิกิริยาให้เอสเทอร์ (ซึ่งเป็นสารผลิตภัณฑ์ไปแล้ว) และเบส ให้เกิดเป็นสบู่ และแอลกอฮอร์ (สารตั้งต้น)

1.3.3 **กรด** (Acid Catalysis)

การใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจะมีปฏิกิริยาการเกิดเมทิลเอสเทอร์คล้ายๆกับการใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา แต่จะไม่เกิดสบู่ขึ้นในปฏิกิริยาเมื่อทำปฏิกิริยากับกรดไขมันอิสระ ซึ่งถือเป็นข้อดีของตัวเร่งชนิดนี้เมื่อเทียบกับตัวเร่งชนิดที่เป็นเบส แต่จะใช้เวลาในการทำปฏิกิริยานานมากกว่าตัวเร่งชนิดอื่น

1.3.4 สภาวะยิ่งยวดของแอลกอฮอล์ (Supercritical Alcohol)

วิธีการนี้จะไม่อาศัยตัวเร่งชนิดอื่นในการเกิดปฏิกิริยา แต่จะเป็นการเร่งปฏิกิริยาด้วยแอลกอฮอล์ที่สถานะยิ่งยวด ภายใต้ความดันสูง และอุณหภูมิสูง เป็นวิธีใหม่ในวงการไบโอดีเซล ต้องมีเครื่องมือควบคุมความดัน และอุณหภูมิที่ทันสมัย และเอสเทอร์ของกรดไขมันที่ได้ก็จะเสื่อมสภาพมากกว่าวิธีอื่น เนื่องจากมันเกิดการ Cracking ที่อุณหภูมิสูง

1.3.5 ตัวเร่งกรดวัฏภาคของแข็ง (Solid Acid Catalysis)

การใช้กรดที่ตรึงอยู่บนพื้นผิวของของแข็ง (Solid Support) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จะมีปฏิกิริยาร่วมจากการใช้เมทิลเอสเทอร์แบบเดียวกับกับการใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งจะใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาค่อนข้างนาน

1.4 การผลิตไบโอดีเซล

1.4.1 วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซล

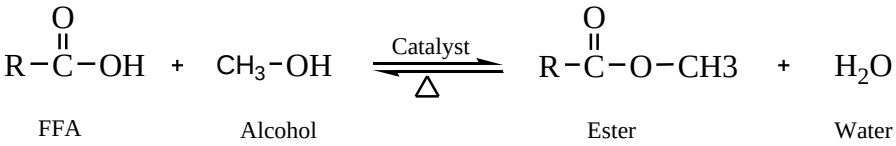
1. น้ำมันปาล์มดิบ
2. น้ำมันมะพร้าว ราคาวัตถุดิบต่ำ แต่เสถียรภาพด้านปริมาณ และมูลค่าเพิ่มไม่ดีเท่าน้ำมันปาล์มดิบ
3. น้ำมันสบู่ดำ
4. น้ำมันดอกทานตะวัน
5. น้ำมันเมล็ดเรพ (rape seed oil)
6. น้ำมันถั่วเหลือง
7. น้ำมันถั่วลิสง
8. น้ำมันละหุ่ง
9. น้ำมันงา
10. น้ำมันพืชใช้แล้ว มีปัญหาเรื่องการปนเปื้อนในรูปของน้ำ และตะกอน

1.4.2 ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตไบโอดีเซล

1. เอสเทอริฟิเคชัน (Esterification)

เป็นการเปลี่ยนกรดไขมันอิสระ (Free Fatty Acid ; FFAs) ไปเป็นเมทิลเอสเทอร์ (Methyl Ester) หรือเอทิลเอสเทอร์ (Ethyl Ester) ขึ้นอยู่กับว่าจะใช้เมทานอล (Methanol) หรือเอทานอล (Ethanol) เป็นตัวเข้าทำปฏิกิริยา แต่ที่นิยมใช้กันจะใช้เมทานอล เนื่องจากมีต้นทุนในการผลิตต่ำกว่าเอทานอลมาก

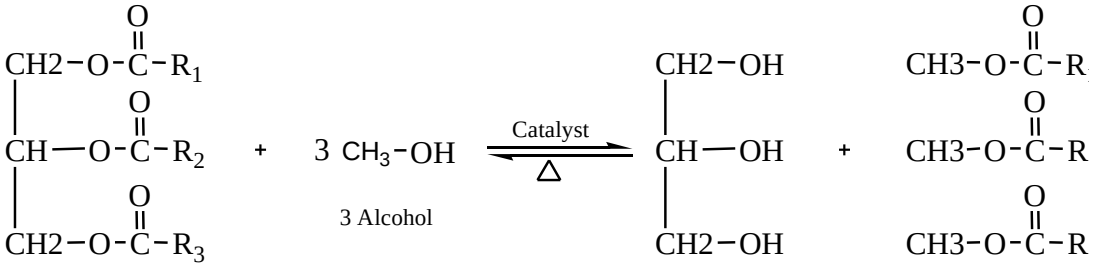
Esterification



2. **ทรานเอสเทอริฟิเคชัน** (Transesterification)

เป็นการเปลี่ยนไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride) ไปเป็นเอสเทอร์ (Ester) และกลีเซอรอล (Glycerin) ด้วยแอลกอฮอล์ พวกไตรกลีเซอไรด์จะมีอยู่ในน้ำมันพืชบรรจุขวดซึ่งผ่านการทำให้บริสุทธิ์ (Purifier) แล้ว

Transesterification

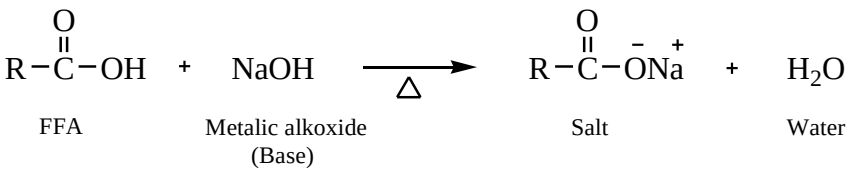


เมื่อ R คือ กรดไขมัน

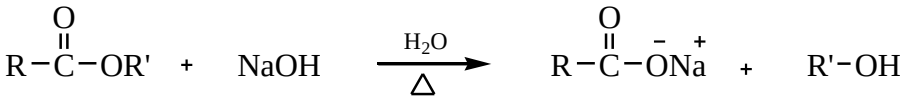
3. **ปฏิกิริยาการเกิดสบู่** (Saponification)

เป็นปฏิกิริยาระหว่างเอสเทอร์กับเบสแก่ หรือกรดไขมันกับเบส ได้สบู่กับแอลกอฮอล์ (หรือน้ำ) โดยอาศัยความร้อนเป็นตัวเร่งให้เกิดปฏิกิริยา หลังจากนั้นน้ำที่เกิดขึ้นในปฏิกิริยาจะเป็นตัวทำให้เกิดการผันกลับของปฏิกิริยาโดยสารผลิตภัณฑ์ คือ เอสเทอร์จะถูกเปลี่ยนกลับไปเป็นสารตั้งต้น คือ แอลกอฮอล์กับสบู่ และจากปฏิกิริยาจะเกิดไปเรื่อยๆจนกว่าเบสจะหมดไปจากปฏิกิริยา

Saponification



Hydrolysis by metalic alkoxide

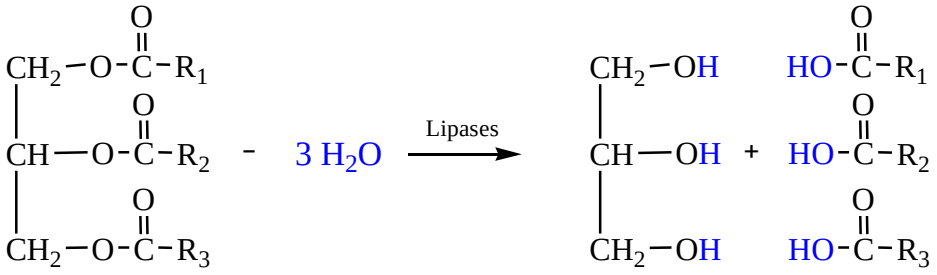


Ester | Metalic alkoxide (Base) | Salt | Alcohol

4. ปฏิกิริยาการเปลี่ยนไตรกลีเซอไรด์ไปเป็นกรดไขมันอิสระ และกลีเซอรอล

เมื่อน้ำมันทำปฏิกิริยากับน้ำ โดยมีเอนไซม์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จะถูกเปลี่ยนไปเป็นกรดไขมันอิสระ และกลีเซอรอล

Hydrolysis by lipases



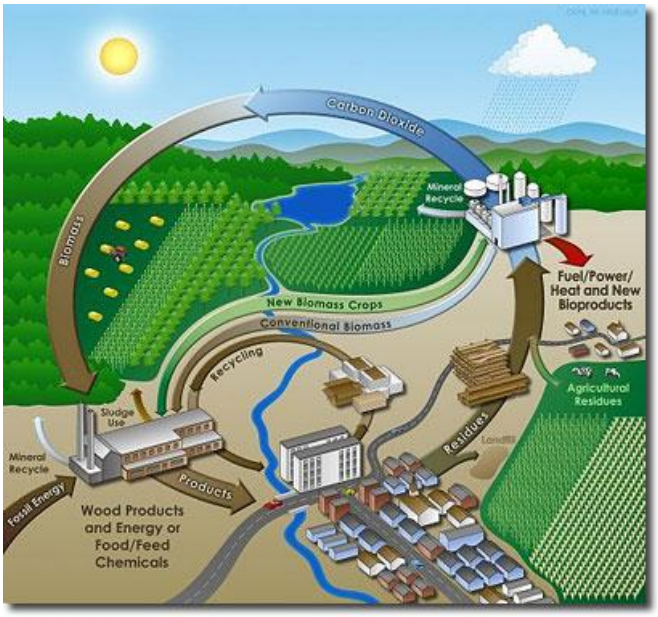
Triglyceride | Glycerin | 3 FFA

1.5 ความสำคัญ และที่มาของการศึกษา

ปัจจุบันปัญหาโลกร้อนเป็นปัญหาสำคัญที่ทุกประเทศจะต้องร่วมแก้ไข ก๊าซเรือนกระจกตัวสำคัญที่เป็นตัวทำให้เกิดภาวะโลกร้อนหนีไม่พ้น CO_2 เนื่องจากมีการปล่อยออกมามากที่สุด การเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องของ CO_2 ที่ออกมาจากโรงงานอุตสาหกรรม รถยนต์ หรือการกระทำใดๆ ที่เผาเชื้อเพลิงฟอสซิล (เช่น ถ่านหิน น้ำมัน ก๊าซธรรมชาติ หรือสารประกอบไฮโดรคาร์บอน) ส่งผลให้ระดับปริมาณ CO_2 ในปัจจุบันสูงเกิน 300 ppm (300 ส่วนในล้านส่วน) เป็นครั้งแรกในรอบกว่า 6 แสนปี ซึ่งคาร์บอนไดออกไซด์ที่มากขึ้นนี้ ได้เพิ่มการกักเก็บความร้อนไว้ในโลกของเรามากขึ้นเรื่อยๆ จนเกิดเป็น ภาวะโลกร้อน ดังเช่นปัจจุบัน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซเรือนกระจกอื่นๆ เป็นตัวการกักเก็บความร้อนจากแสงอาทิตย์ไว้ไม่ให้คายออกไปสู่บรรยากาศ ซึ่งเป็นสิ่งที่ดี เพราะทำให้โลกของเรามีอุณหภูมิอบอุ่น สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้แต่ปัจจุบัน การเผาผลาญเชื้อเพลงฟอสซิลต่างๆ เช่น ถ่านหิน น้ำมันเชื้อเพลิง และการตัดไม้ทำลายป่า ซึ่งการกระทำเหล่านี้ส่งผลให้ปริมาณ คาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ เพิ่มขึ้นอย่างมหาศาล อันส่งผลกระทบต่างๆมากมายไม่ว่าจะเป็นอุณหภูมิของโลกที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ภัยธรรมชาติต่างๆ

เกิดบ่อยขึ้น เช่น จำนวนพายุ Hurricane Category 4 และ 5 เพิ่มขึ้นสองเท่า ในสามสิบปีที่ผ่านมา, เชื้อมาลาเรียได้แพร่กระจายไปในที่สูงขึ้น แม้แต่ใน Columbian, Andes ที่สูง 7000 ฟุตเหนือระดับน้ำทะเล, น้ำแข็งในธารน้ำแข็ง เขตกรีนแลนด์ ละลายเพิ่มมากขึ้นเป็นสองเท่าในช่วงทศวรรษที่ผ่านมา, สัตว์ต่างๆ อย่างน้อย 279 สปีชี่ส์กำลังตอบสนองต่อ ภาวะโลกร้อน โดยพยายามย้ายถิ่นที่อยู่

ในการลด CO_2 จากบรรยากาศโลกเรานั้นทำได้หลายวิธี แต่วิธีที่ง่ายที่สุด คือ การปลูกต้นไม้ เพราะต้นไม้ทุกๆ ต้นสามารถดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ถึง 1 ตันต่อต้น ตลอดช่วงอายุของมัน ซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นให้มีทฤษฎีคาร์บอนไดออกไซด์ศูนย์เปอร์เซ็นต์เกิดขึ้น (CO_2-ZERO) คาร์บอนไดออกไซด์สามารถหมุนเวียน และนำกลับมาใช้ใหม่ได้เรื่อยๆ โดยการปลูกพืชทดแทน ซึ่งแสดงไว้ใน รูปที่ 1 เพื่อใช้พืชเหล่านั้นมาเข้ากระบวนการผลิตเป็นน้ำมันไบโอดีเซล ซึ่งน้ำมันไบโอดีเซลที่ผ่านกระบวนการทรานเอสเทอริฟิเคชันแล้วจะเรียกว่าน้ำมันไบโอเอสเทอร์ ซึ่งมีคุณสมบัติดีเทียบเท่าน้ำมันดีเซลปกติ (ขึ้นอยู่กับมาตรฐานการผลิต) โดยปกติจะใช้ผสมลงในน้ำมันดีเซลปกติ เช่น B5 (นำมันไบโอเอสเทอร์:ไบโอดีเซล, 5:95), B10 (10:90), B20 (20:80) และในอนาคต เมื่อเทคโนโลยีการผลิตไบโอดีเซลมาถึงขั้นที่ควบคุมคุณภาพในการผลิตให้เสถียรได้ไบโอเอสเทอร์ที่มีคุณภาพสูงแล้ว เราจะสามารถใช้ B100 (ไบโอเอสเทอร์ 100 เปอร์เซ็นต์) ได้เพราะไบโอเอสเทอร์คุณภาพดีนั้น จะมีคุณภาพไม่ต่างจากดีเซลปกติเลย หรืออาจจะดีกว่าด้านลดการปล่อย CO_2 เพราะในโมเลกุลของไบโอเอสเทอร์แต่ละโมเลกุลประกอบไปด้วย O 2 อะตอม อีกทั้งการขนส่งยังปลอดภัยกว่า เพราะมีจุดวาบไฟสูงกว่าน้ำมันดีเซลปกติ และในน้ำมันดีเซลมีกำมะถันสูง แต่น้ำมันไบโอดีเซลจะไม่มีกำมะถัน (หรือมีน้อยมาก) ดังแสดงในรูปที่ 2



Oak Ridge National Laboratory

รูปที่ 1 แสดงการหมุนเวียนของคาร์บอนไดออกไซด์ ในวัฏจักร CO_2-ZERO

Credit : https://publicaffairs.llnl.gov/news/news_releases/2006/images/bioenergy-cycle-409x381.jpg

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 kg/l @ 60°F	0.85	0.88
Density, lb/gal @ 15°C	7.079	7.328
Water and Sediment, vol%	0.05 max	0.05 max
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
Cloud Point, °C	-15 to 5	-3 to 12
Pour Point, °C	-35 to -15	-15 to 10
Cetane Number	40-55	48-65
Lubricity SLBOCLE, grams	2000-5000	>7,000
Lubricity HFRR, microns	300-600	<300

*Sulfur content for on-road fuel will be lowered to 15 ppm maximum in 2006.

รูปที่ 2 เปรียบเทียบน้ำมันไบโอดีเซล กับน้ำมันไบโอเอสเทอร์

Credit : http://www.vcharkarn.com/venergy/pic/A409p2x2.gif

ในการผลิตไบโอดีเซลทางการพาณิชย์นั้น มีการใช้เบสเป็นตัวเร่งในกระบวนการผลิต เบสนั้นให้ผลดีในด้านการเข้าทำปฏิกิริยาที่รวดเร็ว แต่ก็มีข้อเสียอยู่คือ ในกระบวนการผลิตที่ใช้น้ำมันจากธรรมชาติ ที่มีกรดไขมันอิสระในน้ำมันสูง (สูงเกิน 4 เปอร์เซ็นต์) จะทำให้เกิดสบู่ขึ้นในปฏิกิริยา (สบู่ที่เกิดขึ้น หากเกิดจากไขมันพืชจะเป็นสบู่ที่เหลว เละ) ซึ่งถือเป็นสิ่งที่เราไม่ต้องการให้เกิดในกระบวนการผลิต ด้วยเหตุนี้เองจึงมีการนำตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นกรดมาใช้ แม้ให้ผลที่ช้ากว่าแต่ใน

กระบวนการผลิตจะไม่เกิดสบู่ขึ้นในปฏิกิริยา แต่ข้อเสียสำคัญของตัวเร่งปฏิกิริยาทั้งสองชนิด (กรดและเบส) ที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม คือ แยกออกจากสารผลิตภัณฑ์ได้ยากเนื่องจากตัวเร่งเป็นเนื้อเดียวกันกับสารผลิตภัณฑ์ การใช้งานก็ใช้ได้เพียงครั้งเดียวแล้วทิ้ง จึงทำให้ต้นทุนในการผลิตสูง เราจึงได้พัฒนาตัวเร่งชนิดที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกันกับสารตั้งต้น และสารผลิตภัณฑ์ เพื่อลดปัญหาที่เกิดขึ้นเหล่านี้ และเนื่องจากตัวเร่งของเราเป็นของแข็งที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน ทำให้สามารถนำมาพัฒนาให้นำกลับมาใช้ใหม่ได้

1.6 **วัตถุประสงค์**

1. เพื่อศึกษาการเกิดปฏิกิริยาโอ-ซัลโฟเนชันในเซลลูโลส และพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้นำกลับมาใช้ได้ใหม่

2. ศึกษาการเกิดปฏิกิริยาทรานเอสเทอริฟิเคชัน โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบกรดชนิดไม่เป็นเนื้อเดียวกัน เพื่อเปรียบเทียบกับตัวเร่งปฏิกิริยาแบบกรดชนิดเป็นเนื้อเดียวกัน ด้วยเทคนิคนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์

1.7 **ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ**

1. ส่งเสริมผลิตภัณฑ์ที่ทำมาจากวัตถุดิบธรรมชาติ ที่หาได้ง่าย และมีราคาถูก
2. ใช้ทำปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชันแทนเบสเพื่อลดการเกิดสบู่ในปฏิกิริยา
3. ลดต้นทุนในการผลิตน้ำมันไบโอเอสเทอร์