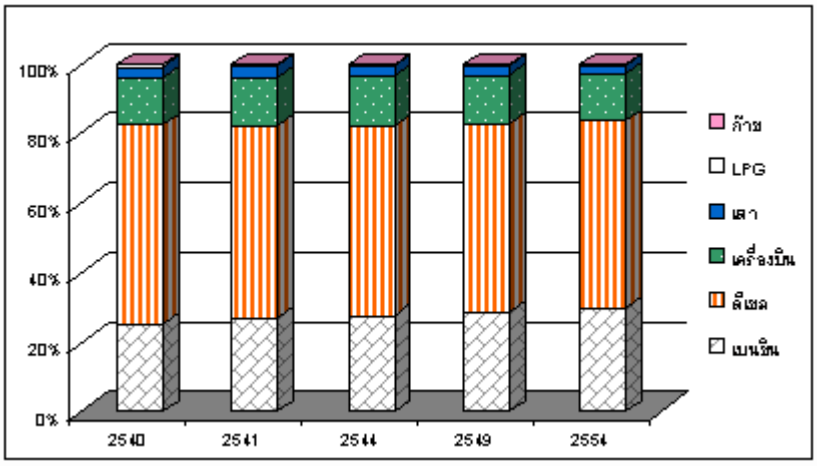
บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา

จากการขยายตัวทางเศรษฐกิจของประเทศ ทำให้มีความต้องการใช้พลังงานมากขึ้นแต่เนื่องจาก ในประเทศไทยมีแหล่งน้ำมันดิบไม่เพียงพอกับความต้องก าร ทำให้ต้องพึ่งพาการนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศ โดยในปี 2555 มีมูลค่าการนำเข้าพลังงานประมาณ 1.45 ล้านล้านบาท (ส่วนใหญ่เป็นน้ำมันดิบคิดเป็นสัดส่วน 77.4% ผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม (ทั้งน้ำมันสำเร็จรูปและก๊าซ LPG) 8.6% และก๊าซธรรมชาติ 8.0%) ในขณะที่มูลค่าส่งออกพลังงานมีเพียงประมาณ 4 แสนล้านบาท (ส่วนใหญ่เป็นผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม โดยเฉพาะน้ำมันสำเร็จรูป 85.9% และน้ำมันดิบ 12.8%) จึงทำให้ประเทศขาดดุลประมาณ 1 ล้านล้านบาทแสดงในรูปที่1.1

รูปที่ 1.1 มูลค่าการนำเข้าและส่งออกพลังงานของไทย

โดยเฉพาะน้ำมันดีเซลซึ่งมีการนำไปใช้มากในภาค คมนาคมขนส่ง ดังแสดงในรูปที่ 1.2 จึงต้องมีการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับพลังงานทดแทนเพื่อหาพลังงานที่ยั่งยืนและ เชื้อเพลิงที่สามารถทดแทนน้ำมันดีเซลได้เป็นอย่างดี คือไบโอดีเซล ซึ่งเป็นหนึ่งในเชื้อเพลิงจากแหล่งทรัพยากรหมุนเวียนที่ได้จากพืชและไขมันสัตว์ ข้อดีของไบโอดีเซลคือ สามารถย่อยสลายได้เองตามกระบวนการชีวภาพและไม่เป็นพิษ หลายประเทศทั่วโลกให้ความสนใจและสนับสนุนการพัฒนาไบโอดีเซลเพื่อเพิ่มศักยภาพการผลิตให้เพียงพอต่อความต้องการด้านพลังงานในปัจจุบัน



รูปที่ 1.2 สัดส่วนการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงในภาคคมนาคมขนส่ง

ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงดีเซลทางเลือกที่ผลิตจากแหล่งทรัพยากรหมุนเวียน เช่น น้ำมันจากพืช หรือไขมันจากสัตว์ โดยไบโอดีเซลมีคุณสมบัติที่สามารถย่อยสลายได้เองตามกระบวนการทางชีวภาพ (biodegradable) และไม่มีพิษ (nontoxic) ดังนั้นจึงไม่ส่งผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม (Krawczyk,1996) ไบโอดีเซลสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงให้กับยานพาหนะได้ โดยมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล จึงสามารถนำมาใช้ทดแทนน้ำมันดีเซลได้ โดยไม่จำเป็นต้องดัดแปลงเครื่องยนต์อีกทั้งยังช่วยรักษาสภาพเครื่องยนต์ให้ใช้งานได้นานอีกด้วย เนื่องจากออกซิเจนในไบโอดีเซลให้การสันดาปที่สมบูรณ์กว่าดีเซลปกติ ทำให้มีเขม่าคาร์บอนน้อย จึงช่วยลดการอุดตันของระบบไอเสีย นอกจากนี้การใช้ไบโอดีเซลสามารถลดมลพิษทางอากาศ ซึ่งเป็นผลจากการเผาไหม้ในเครื่องยนต์ได้ส มบูรณ์ เนื่องจากองค์ประกอบของไบโอดีเซลไม่มีธาตุกำมะถัน แต่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จึงช่วยการเผาไหม้ได้ดีขึ้น (คณะกรรมาธิการพลังงาน สภาผู้แทนราษฎร, 2545) และลดมลพิษซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ไฮโดรคาร์บอน คาร์บอนมอนนอกไซด์ และฝุ่นละออง ทำให้ไบโอดีเซลได้รับความสนใจอย่างยิ่ง

การผลิตไบโอดีเซล โดยการนำมาแปรสภาพให้มีคุณภาพใกล้เคียงกับคุณสมบัติของน้ำมันดีเซลปกติ ทำได้หลายวิธีคือ ไมโครอิมัลซิฟิเคชั่น (Microemulsification) และ ทรานส์เอสเทอริฟิเคชั่น (Transesterification)(Ma and Hanna, 1999)

ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชั่นเป็นวิธีการหนึ่งซึ่งเป็นที่นิยมในการสังเคราะห์ไบโอดีเซลโดยเป็นกระบวนการทำปฏิกิริยาของไตรกลีเซอไรด์กับแอลกอฮอล์ ที่ให้เกิดน้ำมันชนิดใหม่ในรูปของอัลคิลเอสเทอร์ (Alkyl ester) ซึ่งมีวิธีแบบที่ใช้และไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้มีทั้งเป็นกรด เบส หรือเอนไซม์ไลเปส โดยทั่วไปแล้วการใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นที่นิยมมากที่สุด เนื่องจากตัวเร่งปฏิกิริยามีราคาถูก และเวลาในการทำปฏิกิริยาสั้น ซึ่งสารที่ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาส่วนใหญ่จะเป็นโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) เป็นต้น แต่ในงานวิจัยนี้จะใช้แคลเซียมออกไซด์ (CaO) ที่ได้จากเปลือกไข่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อเป็นการนำของเหลือที่ไม่ใช้แล้วมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดเนื่องจากแคลเซียมออกไซด์ที่ได้จากเปลือกไข่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้

เมล็ดเงาะเป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซลอย่างหนึ่งที่น่าสนใจ เนื่องจากในปัจจุบันอุตสาหกรรมการผลิตเงาะกระป๋องมีเมล็ดเงาะซึ่งเป็นของเหลือใช้ทางการเกษตรเป็นจำนวนมากและยังไม่นำไปใช้ประโยชน์เท่าที่ควร ดังนั้นถ้าสามารถนำเมล็ดเงาะที่เหลือไปผลิตเป็นน้ำมันไบโอดีเซลจะทำให้สามารถลดต้นทุนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลลงไปได้อย่างมาก แต่เนื่องจากน้ำมันที่ผลิตได้จากเมล็ดเงาะจะกลายเป็นไขที่อุณหภูมิห้อง ดังนั้นจึงได้ใช้ตัวทำละลายร่วมเข้ามาช่วย และเมล็ดเงาะที่ไม่ได้นำไปใช้ประโยชน์เมื่อเก็บไว้นานๆจะเกิดการเน่าเสียเป็นสาเหตุให้มีกรดไขมันอิสระในเมล็ดเป็นปริมาณสูงจึงต้องทำการลดกรดด้วยปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชั่นก่อน

งานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาเกี่ยวกับการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากเล็ดเงาะโดยใช้แคลเซียมออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาและตัวทำละลายร่วมเข้ามาช่วย ซึ่งทำการลดกรดด้วยปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชั่น โดยจะทำการศึกษาตัวแปรที่มีผลกระทบต่อกระบวนการเพื่อนำไปพัฒนาในระดับอุตสาหกรรมต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตไบโอดีเซลจากเมล็ดเงาะโดยใช้ตัวทำละลายร่วม
2. ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลจากเมล็ดเงาะโดยใช้ตัวทำละลายร่วม
3. ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่มาเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการผลิตไบโอดีเซลจากเมล็ดเงาะ

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1. สกัดน้ำมันจากเมล็ดเงาะด้วยตัวทำละลายเฮกเซน
2. ใช้เมทานอลเป็นแอลกอฮอล์ในสารตั้งต้นในอัตราส่วนโดยโมลเป็น 6:1, 9:1 และ 12:1
3. ใช้แคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา
4. ใช้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันร่วมกับตัวทำละลาย คือ เฮกเซน และ เตรตะไฮโดรฟูแรน
5. เวลาในการทำปฏิกิริยาคือ 20, 40 และ 60 นาที
6. ตรวจสอบสมบัติทางเชื้อเพลิงของไบโอดีเซลตามมาตรฐาน EN 14214 (ไบโอดีเซลชุมชน)

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากเมล็ดเงาะซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรจากโรงงานเงาะกระป๋อง เพื่อเป็นการพัฒนาพลังงานทางเลือกอีกทางหนึ่ง
2. สามารถลดต้นทุนและช่วยลดมลภาวะจากการนำของเหลือทางการเกษตรมาใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา
3. ช่วยลดภาวะโลกร้อนจากการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลโดยใช้น้ำมันไบโอดีเซลทดแทนน้ำมันดีเซล
4. ช่วยลดการนำเข้าน้ำมันดีเซลจากต่างประเทศโดยการใช้น้ำมันไบโอดีเซลทดแทนเป็นการสร้าง ความมั่นคงทางด้านพลังงานให้กับประเทศ
5. สามารถขยายไปสู่ชีวมวลชนิดอื่นที่เป็นไขง่ายที่อุณหภูมิห้อง

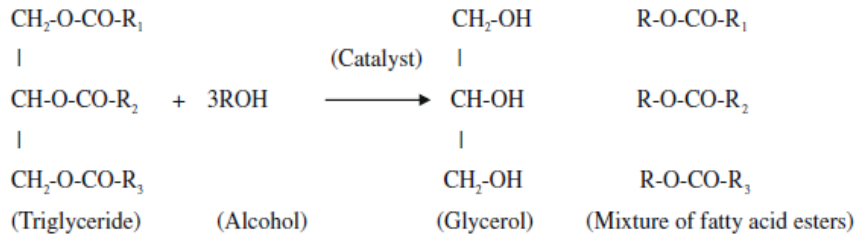
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ไบโอดีเซล

ไบโอดีเซล (Biodiesel) คือ เชื้อเพลิงที่ได้จากน้ำมันพืชและไขมันสัตว์ที่ผ่านกระบวนการทางเคมี เกิดเป็นสารที่เรียกว่า อัลคิลเอสเทอร์ ซึ่งมีสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลที่กลั่นได้จากปิโตรเลียม สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลได้ดี โดยไม่ต้องทำการดัดแปลงเครื่องยนต์ กระบวนการทางเคมีที่ใช้เปลี่ยนน้ำมันพืชและน้ำมันจากไขมันสัตว์ให้มีสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล คือ ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (Transesterification) ของไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride) ที่มีอยู่ในน้ำมันพืชและน้ำมันจากไขมันสัตว์ กับแอลกอฮอล์ โดยกรดหรือเบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาภายใต้อุณหภูมิใกล้เคียงจุดเดือดแอลกอฮอล์ เพื่อเปลี่ยนโครงสร้างของไตรกลีเซอไรด์ การเรียกชื่อ ขึ้นกับชนิดของแอลกอฮอล์ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา เช่น เมทิลเอสเทอร์(Methyl Ester) เป็นเอสเทอร์ที่ได้จากการใช้เมทานอลเป็นสารในการทำปฏิกิริยา หรือ เอทิลเอสเทอร์(Ethyl Ester) เป็นเอสเทอร์ที่ได้จากการใช้เอทานอล เป็นสารในการทำปฏิกิริยาเป็นต้น

2.2 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน

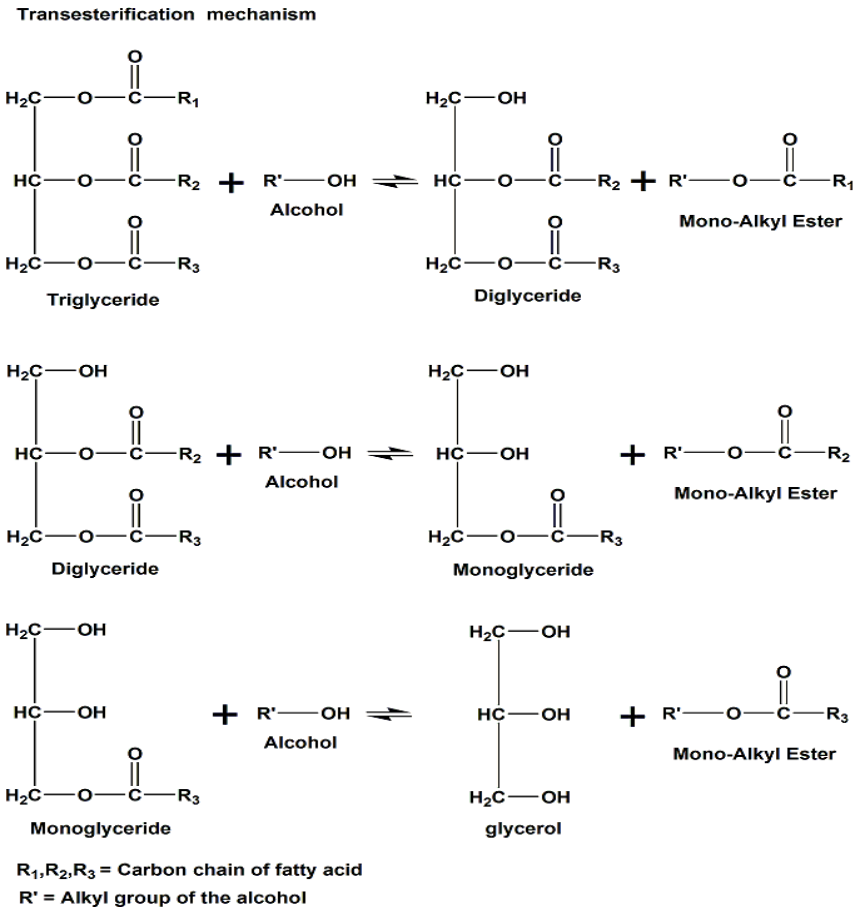
ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน เป็นปฏิกิริยาที่นิยมใช้กันมากในการผลิตไบโอดีเซล เนื่องจากต้นทุนต่ำกว่าวิธีอื่น เป็นปฏิกิริยาแลกเปลี่ยนหมู่เอสเทอร์ด้วยการเปลี่ยนไตรกลีเซอร์ไรด์ของไขมันสัตว์หรือน้ำมันพืชให้เป็นสารประกอบเอสเทอร์ปกติปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของไตรกลีเซอไรด์เกิดได้ค่อนข้างช้ามากและสามารถผันกลับได้ ดังนั้นในการทดลองโดยทั่วไปจะใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา โดยตัวเร่งปฏิกิริยาสามารถเป็นได้ทั้ง กรด เบส และเอนไซม์ และสัดส่วนปริมาณแอลกอฮอล์ตั้งต้นให้เกินความต้องการของระบบเพื่อกระตุ้นให้มีการเกิดปฏิกิริยาและปฏิกิริยาเลื่อนไปในทิศทางการสังเคราะห์ผลิตภัณฑ์มากที่สุดดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของกรดไขมัน 1 โมล กับแอลกอฮอล์ 3 โมลเกิดแป็นกลีเซอรอล 1 โมลกับอัลคิลเอสเทอร์ 3 โมล [23]

2.2.1 ขั้นตอนย่อยการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน

โดยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันเป็นปฏิกิริยาที่ประกอบด้วยลำดับชุดปฏิกิริยาที่สามารถผันกลับได้โดยเริ่มจากไตรกลีเซอไรด์ถูกแทนที่ด้วยแอลกอฮอล์เกิดเป็นไดกลีเซอไรด์กับโมโนอัลคิลเอสเทอร์ ต่อมาถูกเปลี่ยนให้เป็น โมโนกลีเซ อไรด์กับโมโนอัลคิลเอสเทอร์ และท้ายสุดจะได้ โมโนอัลคิลเอสเทอร์กับกลีเซอรอลซึ่งเป็นผลพลอยได้จากปฏิกิริยาดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ขั้นตอนย่อยของปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน [24]

2.3 เทคโนโลยีและกระบวนการผลิตไบโอดีเซล

การผลิตไบโอดีเซลเมื่อมีส่วนที่เป็นน้ำมันแล้ว จะต้องอาศัยแอลกอฮอล์และตัวเร่งปฏิกิริยาด้วย การผลิตไบโอดีเซลทางการค้าจำเป็นต้องอาศัยความร้อน และเทคโนโลยีต่างๆ เพื่อทำให้การผลิตไบโอดีเซลมีความคุ้มทุนและสามารถผลิตเพื่อจำหน่ายทางการค้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันเป็นปฏิกิริยาที่นิยมนำมาใช้โดยใช้ไขมันหรือน้ำมันทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์เพื่อให้ได้เอสเทอร์และกลีเซอรอล รูปแบบของปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน สามารถแบ่งได้เป็น 4 รูปแบบ ดังนี้

2.3.1 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันแบบใช้ด่าง

ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันโดยการใช้ด่างสามารถเกิดได้เร็วกว่าการใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในปริมาณที่เท่ากัน อีกทั้งเป็นที่นิยมกว่า จะเห็นได้จากโรงงานอุตสาหกรรมส่วนใหญ่นิยมใช้ด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ได้แก่ โซเดียมเมทอกไซด์ โพแตสเซียมเมทอกไซด์ โซเดียมไฮดรอกไซด์ และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ จากการศึกษาพบว่า ตัวเร่งปฏิกิริยา KOH มีประสิทธิภาพดีที่สุดรองลงมาคือ ตัวเร่งปฏิกิริยา NaOH, CH_3ONa และ CH_3OK ตามลำดับ ตัวเร่งปฏิกิริยาด่างที่นิยมใช้ในระดับอุตสาหกรรมคือ NaOH และ KOH เนื่องจากมีราคาถูกการเกิดปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยาจะเกิดจากเมทอกไซด์ไอออนที่เกิดขึ้นได้ 2 ทาง คือ เกลือเมทอกไซด์และการทำปฏิกิริยาของเมทานอลกับหมู่ไฮดรอกซิลของอัลคาไลด์ไฮดรอกไซด์ซึ่งเมทอกไซด์ไอออนจะเป็นนิวคลีโอไฟล์ที่แข็งแรงเพื่อไปชนกับหมู่คาร์บอนิลแล้วเกิดเป็นอัลคิลเอสเ ทอร์การใช้ด่างในการเร่งปฏิกิริยานั้นน้ำมันที่ใช้จะต้องมีปริมาณกรดไขมันอิสระต่ำไม่เกิน 1% โดยน้ำหนัก ผลการเปรียบเทียบปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาพบว่า มีการใช้ NaOH น้อยกว่า KOH และ CH_3ONa เนื่องจากมีมวลโมเลกุลน้อยที่สุด แต่ในเทอมของความเข้มข้นพบว่า CH_3ONa ใช้น้อยกว่า NaOH และ KOH ผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลที่ได้จาก CH_3ONa มีค่ามากที่สุด การใช้ด่างในการเร่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันต้องเป็นภาวะที่ปราศจากน้ำ การเตรียม KOH หรือ NaOH ต้องใช้เมทานอลแอนไฮดรัสเพื่อให้ได้ CH_3ONa และ ถ้ามีน้ำเกิดขึ้นในปฏิกิริยาจะทำให้เกิดปฏิกิริยากับไตรกลีเซอไรด์ และ Na^+ ทำให้เกิดสบู่จึงมีการสูญเสียไตรกลีเซอไรด์บางส่วนไปขณะที่ CH_3ONa พอแตกตัวให้ CH_3O^- กับ Na^+ นั้นจะไม่มีน้ำเข้ามาทำปฏิกิริยา เมื่อใช้ NaOH และCH_3ONa จะได้ชั้น เอสเทอร์ที่เป็นของเหลว โดยชั้นล่างเป็นกลีเซอรอลที่มีความหนืดสูง และถ้ามีสบู่ขึ้นจะทำให้จับตัวเป็นก้อน แต่การใช้ KOH จะได้ของเหลว 2 ชั้น ทำให้โรงงานอุตสาหกรรมมักใช้ KOH เนื่องจากสะดวกและง่ายต่อการใช้งาน การเปรียบเทียบราคาของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นด่างพบว่า NaOH มีราคาถูกที่สุด รองลงมาคือ KOH และ CH_3ONa โดยสรุปพบว่า NaOH มีความเหมาะสมกว่า KOH ทั้งในด้านราคาและปริมาณการใช้ [14]

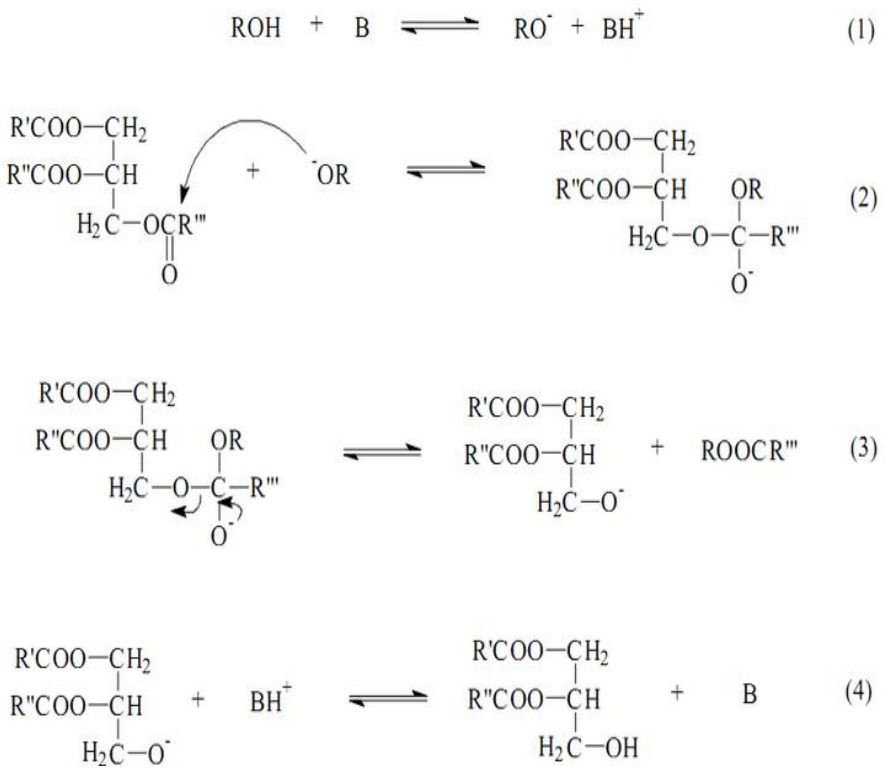
กลไกลของปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันมี 4 ขั้นตอน

ขั้นตอนที่ 1 เกิดขึ้นเมื่อเบส (B) ทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ได้แอลคอกไซด์ (RO^-)

ขั้นตอนที่ 2 เป็นปฏิกิริยา Nucleophilic Attack ของแอลคอกไซด์ที่ตำแหน่งหมู่คาร์บอนิล (Carbonyl) ของไตรกลีเซอไรด์เกิดเป็น Trahedral Intermediate

ขั้นตอนที่ 3 เป็นผลสืบเนื่องจากขั้นที่ 2 เกิดอัลคิลเอสเทอร์และไดกลีเซอไรด์

ขั้นตอนที่ 4 ไดกลีเซอไรด์จะดึงเอาโปรตอนออกจากแอลกอฮอล์ ทำให้ตัวเร่งปฏิกิริยาคืนสู่สถานะชนิดว่องไวอีกครั้ง ไดกลีเซอไรด์และโมโนกลีเซอไรด์จะทำปฏิกิริยาด้วยกลไกเดียวกันนี้ได้อัลคิลเอสเทอร์และกลีเซอรอลต่อไป ดังแสดงในรูปที่ 2.3 แสดงกลไกลการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันแบบใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา



รูปที่ 2.3 กลไกลการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันแบบใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา [25]

2.3.2 ปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชันแบบใช้กรด

การใช้กรดในการเร่งปฏิกิริยามีข้อดี คือ สามารถใช้กับวัตถุดิบที่มีความชื้นและปริมาณกรดไขมันอิสระสูง(FFA>1%) เช่น การใช้กรดจะมีความประหยัดกว่าการใช้ด่าง แต่ก็ทำให้ปฏิกิริยาเกิดช้ากว่าถึง 4,000 เท่าในทางทฤษฎี และต้องใช้อุณหภูมิสูงในการทำปฏิกิริยา ทำให้การใช้กรดในการเร่งปฏิกิริยาเหมาะสมกับวัตถุดิบที่เป็นไขมันที่ใช้แล้ว เช่น การใช้กรดกับวัตถุดิบที่มีน้ำ 0.1% จะมีผลเล็กน้อย แต่ถ้าวัตถุดิบนั้นมีน้ำอยู่ 5% จะทำให้เกิดการยับยั้งปฏิกิริยาอย่างสมบูรณ์ [14] นอกจากนี้ยังพบว่าการใช้สารที่มีความเป็นขั้วมากในปฏิกิริยาของกรดจะทำให้ลดอัตราการเกิดของปฏิกิริยา เนื่องจากสารที่มีขั้วจะไปแย่งการจับตัวกับไฮโดรเจนไอออนและไปขัดขวางไอออนอื่นๆ ของตัวเร่งปฏิกิริยา นอกจากนี้การใช้กรดอาจทำให้เกิดการแยกชั้นอีกด้วย แต่สามารถแก้ไขได้โดยการใช้ตัวทำละลายร่วม การใช้วัตถุดิบที่มีกรดไขมันอิสระสูงสามารถทำการย่อยด้วยกรดก่อน จากนั้นจึงใช้ด่างในการเร่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันซึ่งจะทำให้ราคาต้นทุนของผลิตภัณฑ์ที่ได้มีมีค่าสูงขึ้นแต่ได้ผลดีในการผลิตไบโอดีเซล

2.9.3 ปฏิกิริยาแบบใช้เอนไซม์

เอนไซม์ไลเพส (Enzyme Lipase) เรียกอีกชื่อหนึ่งว่า กลีเซอรอลเอสเทอร์ไฮโดรเลส (Glycerol Ester Hydrolase) หรือ เอซิลกลีเซอรอลไฮโดรเลส (Acyl Glycerol Hydrolase) เป็นเอนไซม์ที่เร่งปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสของโมเลกุลไตรกลีเซอไรด์เพื่อได้ผลิตภัณฑ์เป็นกรดไขมันและกลีเซอรอล นอกจากนี้ยังสามารถประยุกต์ใช้เอนไซม์ไลเพสในกระบวนการสังเคราะห์ ทำให้มีการใช้เอนไซม์ไลเพสไปใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ ได้แก่ อุตสาหกรรมอาหารที่ใช้เอนไซม์ไลเพสเป็นตัวสังเคราะห์กลิ่นและรสชาติ อุตสาหกรรมการผลิตหนังใช้เอนไซม์ไลเพสกำจัดเศษเนื้อหรือไขมันที่ไม่ต้องการออกจากวัตถุดิบ หรือใช้เอนไซม์ไลเพสในการบำบัดน้ำเสียจากแหล่งชุมชน แหล่งของเอนไซม์ไลเพสมี 3 แหล่งคือ สัตว์ (ตับอ่อน) พืช (ข้าวสาลี ข้าวโอ๊ต ฝ้าย ถั่วเหลือง) และจุลินทรีย์ (ราและยีสต์บางชนิด) ส่วนใหญ่นิยมใช้เอนไซม์ไลเพสจากจุลินทรีย์ เนื่องจากจุลินทรีย์เจริญเติบโตและเพิ่มผลผลิตได้เร็วสามารถปรับสภาวะให้เหมาะสมต่อการผลิตเอนไซม์ได้ง่ายกว่าพืช การผลิตไบโอดีเซลด้วยเอนไซม์ไลเพสนับเป็นกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงที่ไม่มีผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม และกระบวนการใช้เอนไซม์มีความสะอาดปลอดภัยต่อผู้บริโภค ในระดับมลพิษที่เกิดจากกระบวนการผลิตนี้มีน้อยมากเมื่อเทียบกับการผลิตด้วยสารเคมี การใช้เอนไซม์มีปัญหาที่เอนไซม์มีราคาแพง แต่ปัจจุบันมีการพัฒนาเอนไซม์ให้อยู่ในรูปตรึง (Immobilized Lipase) ทำให้ราคาของเอนไซม์ลดลงเนื่องจากกระบวนการตรึงทำได้ง่ายและทำให้ผลิตภัณฑ์ไม่ต้องผ่านการทำให้บริสุทธิ์ ความเสถียรของเอนไซม์มีค่อนข้าง สูง [14] ไลเพสสามารถนำมาเร่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของไตรกลีเซอไรด์ได้อย่างมีประสิทธิภาพทั้งในระบบที่มี

น้ำและไม่มีน้ำ ผลิตภัณฑ์สามารถแยกออกได้โดยง่าย นอกจากนี้ยังสามารถผลิตไบโอดีเซลได้สูงกว่าการใช้ด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เนื่องจากเอนไซม์มีความจำเพาะต่อสารตั้งต้นสูง ทั้งในความจำเพาะต่อหมู่ฟังก์ชันและต่อ Stereospecificity แต่ในระดับอุตสาหกรรมมีการใช้เอนไซม์ที่มีราคาสูงกว่าการใช้ด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และการตรึงเอนไซม์ไลเพสถูกนำมาใช้เพื่อให้สามารถนำเอนไซม์กลับมาใช้ซ้ำได้หลายๆ ครั้ง

2.3.4 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันแบบไม่ใช้ตัวเร่ง

เป็นวิธีการที่ไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแต่ใช้วิธีเหนือจุดวิกฤตเมทานอลและเป็นวิธีการแบบขั้นตอนเดียว เพื่อเปลี่ยนน้ำมันเป็นไบโอดีเซลด้วยวิธีทรานส์เอสเทอริฟิเคชันที่ใช้อุณหภูมิ 350 ^{o}C และ ใช้ความดัน 20-50 MPa ตามลำดับส่วน วิธีการแบบ 2 ขั้นตอน คือ การไฮโดรลิซิสไขมันด้วยน้ำแล้วใช้วิธีเหนือจุดวิกฤติเมทานอลเพื่อทำปฏิกิริยาเมทิลเอสเทอริฟิเคชันในภาวะอุณหภูมิและความดันปานกลาง คือ น้อยกว่า 300 ^{o}C และ 7-20 MPa ตามลำดับ ซึ่งเป็นภาวะที่ทำได้ยากกว่าการใช้ด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา การทนต่อความร้อนของไบโอดีเซลเป็นสิ่งที่ต้องพิจารณาโดยเฉพาะอย่างยิ่งกรดไขมันไม่อิ่มตัวในน้ำมันพืชจะเกิดปฏิกิริยาได้ง่าย

2.4 ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน

ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันและอิทธิพลที่มีผลต่อปฏิกิริยามีอยู่หลายปัจจัย ได้แก่ อัตราส่วนระหว่างเมทานอลต่อน้ำมัน อุณหภูมิ เวลา ความเข้มข้น และชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา ดังต่อไปนี้

2.4.1 อัตราส่วนระหว่างเมทานอลต่อน้ำมัน

แอลกอฮอล์ที่ใช้ในการเร่งปฏิกิริยามีหลายชนิด เช่น เมทานอล เอทานอล โพรพานอล บิวทานอล และเอทิลแอลกอฮอล์ โดยเมทานอลและเอทานอลถูกนำไปใช้มากที่สุดเนื่องจากเป็นโมเลกุลมีขนาดเล็กสามารถเข้าทำปฏิกิริยาได้ดี โดย เฉพาะเมทานอลจะถูกใช้มากที่สุดเนื่องจากราคาถูก ปฏิกิริยาเกิดขึ้นเร็ว แต่มีความเป็นพิษอยู่ในตัว ส่วนเอทานอลได้จากผลิตผลทางการเกษตร ซึ่งสามารถผลิตขึ้นมาใหม่ได้และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เอทานอลยังเป็นเชื้อเพลิงได้อีกด้วย แต่ปฏิกิริยาด้วยเอทานอลจะให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาช้า ปัจจัยที่มีผลต่อการเข้ากันได้ของสารตั้งต้นในการทำปฏิกิริยาคือ ความเป็นขั้ว และอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา เมื่อนำแอลกอออล์มาใช้ในการผลิตไบโอดีเซลจากทางทฤษฎีพบว่าต้องใช้แอลกอฮอล์ 3 โมลต่อไตรกลีเซอไรด์ 1โมลเพื่อให้ได้เอสเทอร์ 3 โมลและกลีเซอรอล 1 โมล หมายถึง ต้องใช้อัตราส่วนของแอลกอฮอล์ต่อน้ำมันเป็น 3 ต่อ 1 อย่างไรก็ตามเมื่อใช้น้ำมันใหม่

บริสุทธิ์โดยใช้อัตราส่วนของแอลกอฮอล์เพิ่มมากขึ้นจะทำให้ปฏิกิริยาเกิดได้เร็วและสมบูรณ์ขึ้น รวมทั้งเกิดเอสเทอร์เพิ่มมากขึ้น แต่อาจจะมีแอลกอฮอล์เหลือในชั้นเอสเทอร์มากตามไปด้วยซึ่งจะไปรบกวนการแยกชั้นระหว่างเอสเทอร์กับกลีเซอรีน เนื่องจากแอลกอฮอล์จะไปทำให้การละลายของทั้งสองชั้นดีขึ้นดังแสดงในรูปที่ 2.1

Kumar และคณะ [27] ทำการทดลองปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันน้ำมันกับเมทานอลทำการเปรียบเทียบอัตราส่วนโมลตั้งแต่ 1:3, 1:6 และ 1:10 พบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมคือ 1:6 เพราะที่อัตราส่วน 1:6 และ 1:10 ให้ผลต่างกันน้อยมากอยู่ที่ 98.7 และ 99.3 ตามลำดับ

Meher และคณะ [28] ได้ศึกษาผลของชนิดแอลกอฮอล์ที่มีผลต่อปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของเอทานอลและเมทานอล พบว่าความเร็วในการเกิดปฏิกิริยามีค่าใกล้เคียงกันมากแต่ความเร็วในการแยกชั้นของผลิตภัณฑ์หลังเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันระหว่างไบโอดีเซลกับกลีเซอรอล ใช้เมทานอลเป็นแอลกอฮอล์ทำให้เกิดการแยกชั้นได้เร็วกว่า และจากงานวิจัยข้างต้นพบว่าอัตราส่วนโมลน้ำมันต่อแอลกอฮอล์ที่ทำให้ได้เมทิลเอสเทอร์สูงที่สุดคือ 1:6

2.4.2 อุณหภูมิ

อุณหภูมิเป็นปัจจัยที่สำคัญในการผลิตไบโอดีเซลการใช้อุณหภูมิสูงในการทำปฏิกิริยาจะทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเร็วขึ้นโดยอุณหภูมิสูงจะ เป็นการเพิ่งพลังงานจลน์ให้กับสารมีผลทำให้ ค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มมากขึ้นและเพิ่มการเข้ากันได้ของสารตั้งต้นและเร่งปฏิกิริยาทำให้เวลาในการทำปฏิกิริยาลดลง ทำให้การละลายของน้ำมันในเมทานอลดีขึ้นและเพิ่มพื้นที่การสัมผัสทำให้เกิดปฏิกิริยากับไตรกลีเซอไรด์สูงขึ้น ทำให้ปฏิกิริยาเกิดดีและเร็ว แต่การใช้อุณหภูมิสูง มากเกินไปทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้ลดลงตามไปด้วย เนื่องจาก ในน้ำมันที่ใช้แล้วการใช้อุณหภูมิสูงจะเพิ่มความหนืดของไบโอดีเซลและทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ลดลง แสดงว่าอุณหภูมิสูงมีผลในทาง บวกต่อน้ำมันบริสุทธิ์ แต่มีผลทางลบต่อน้ำมันที่ใช้แล้วเพราะทำให้มีความหนืดมาก ซึ่งอุณหภูมิที่ใช้จะสัมพันธ์กับเวลาที่ใช้ควรหลีกเลี่ยงการใช้อุณหภูมิที่มากกว่าจุดเดือดของแอลกอฮอล์เนื่องจากจะทำให้แอลกอฮอล์ระเหยออกหมด Encinar และคณะ [29] ได้ทำปฏิกิริยาของเมทานอลกับน้ำมันถั่วเหลืองบริสุทธิ์ โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา 1% โดยน้ำหนัก ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 32, 45 และ 60 ^{o}C พบว่าเวลาผ่านไป 6 นาที เกิดเอสเทอร์มากสุดที่อุณหภูมิ 60 ^{o}C เมื่อปล่อยให้ปฏิกิริยาดำเนินต่อไปถึง 1 ชั่วโมงพบว่าปริมาณการเกิดเอสเทอร์เท่ากันแต่ที่อุณหภูมิ 32 ^{o}C ให้ค่าที่ต่ำกว่าเล็กน้อย สรุปได้ว่าอุณหภูมิมีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา Darnoko และคณะ [31] ศึกษาปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันโดยใช้น้ำมันปาล์มเป็นสารตั้งต้น ใช้อัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมัน 6:1 ใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ที่อุณหภูมิ 50, 55, 60 และ 65 ^{o}C พบว่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิถึง 60 ^{o}C

2.4.3 เวลา

ระยะเวลาที่ใช้ในการทำให้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันจะสมบูรณ์หรือไม่ขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์กับอุณหภูมิที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา กล่าวคือ ถ้าใช้อุณหภูมิสูง ระยะเวลาที่ใช้จะน้อย แต่ถ้าใช้อุณหภูมิต่ำ ระยะเวลาที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาที่สมบูรณ์จะใช้เวลานานขึ้น ส่วนกลไกการเกิดปฏิกิริยาพบว่า ถ้าใช้เวลา 15 นาทีในการเกิดปฏิกิริยา ปฏิกิริยาจะเกิดเร็วในช่วง 5 นาทีแรกโดยเกิดเป็นเอสเทอร์ถึง 90% จากนั้นปฏิกิริยาจะเกิดอย่างช้าๆ จนสมบูรณ์ที่ 15 นาที และถ้าปล่อยเวลาให้ผ่านไปจนกระทั่งอยู่ในช่วง 15-30 นาที พบว่าปริมาณเอสเทอร์ที่ได้ไม่เพิ่มขึ้น แต่จะไปลดผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น เนื่องจากเวลาที่มากจะทำให้เกิดการไฮโดรลิซิสของเอสเทอร์ ทำให้ปริมาณเอสเทอร์ลดลง มีกรดไขมันเพิ่มและเกิดสบู่ในที่สุดเมื่อเวลาผ่านไปจะเริ่มเห็นสบู่มากขึ้น ดังนั้นต้องควบคุมไม่ให้ใช้เวลานานเกินไป เนื่องจากจะไปเร่งการเกิดปฏิกิริยาผันกลับทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ลดลงแต่ความเข้มข้นของเมทิลเอส-เทอร์เพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น Ma และคณะ [30] ทำการทดลองไขมันที่ได้จากวัวกับเมทานอล ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบสในช่วง 1 นาทีแรก อัตราเร็วเริ่มต้นของปฏิกิริยาจะค่อนข้างช้ามากซึ่งอาจจะเกิดจากกระบวนการการผสมและแพร่ของสารตั้งต้น แต่หลังจากนาทีที่ 5 อัตราการเกิดปฏิกิริยาเร็วขึ้นอย่างมาก ทำให้อัตราการผันกลับของปฏิกิริยาเร็วขึ้นเช่นกัน หลังจากนั้นความเร็วค่อยๆ ลดลงจนไม่มีการเปลี่ยนแปลง โดยปริมาณของผลผลิตสูงสุดที่นาทีที่ 15 ส่วน Freedman และคณะ [32] ทดลองใช้น้ำมันจากพืช 4 ชนิด คือน้ำมันของเมล็ดสาลี่ น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันถั่วลิสง และน้ำมันเมล็ดดอกทานตะวัน เป็นสารตั้งต้นในปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน พบว่าเมื่อสุ่มตัวอย่างที่เวลา 1 ชั่วโมง อัตราการผันกลับของปฏิกิริยาส่วนใหญ่มีลักษณะคล้ายกันและมีแนวโน้มไปในทางเดียวกัน พบว่าการใช้น้ำมันทั้ง 4 ชนิดให้ผลผลิตในอัตราส่วนร้อยละ 93 ถึงร้อยละ 98 สรุปได้ว่าระยะเวลาในการทำปฏิกิริยามีผลกับอัตราการเกิดปฏิกิริยาโดยอัตราการเกิดปฏิกิริยาจะสูงขึ้นตามเวลาที่เพิ่มขึ้น Danoko และคณะ [31] ได้ศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มโดยใช้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นปริมาณร้อยละ 1.0 โดยน้ำหนัก โดยพบว่าในช่วงเวลา 5 นาทีแรกเป็นช่วงที่ปฏิกิริยาเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ปริมาณไตรกลีเซอร์ไรด์จะลดลงอย่างรวดเร็ว ส่วนปริมาณไดกลีเซอไรด์จะเพิ่มขึ้น และลดลงอย่างรวดเร็ว เช่นเดียวกับโมโนกลีเซอไรด์ ปฏิกิริยาจะเริ่มเข้าสู่สมดุลที่เวลา 60 นาที เมื่อเวลามากกว่า 60 นาที ร้อยละเมทิลเอสเทอร์จะคงที่ เนื่องจากปริมาณไตรกลีเซอไรด์มีปริมาณน้อยลง

2.4.4 ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา

ตัวเร่งปฏิกิริยาที่นิยมใช้มากที่สุด คือ ตัวเร่งปฏิกิริยาด่าง ซึ่งการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาด่างมากเกินไปจะทำให้ไตรกลีเซอไรด์เปลี่ยนไปเป็นสบู่ ยิ่งมีด่างมากไตรกลีเซอไรด์ยิ่งเปลี่ยนเป็นสบู่มากยิ่งขึ้น ทำให้เปลี่ยนเป็นเอสเทอร์ได้น้อยลง การเกิดสบู่จะทำให้เอสเทอร์ละลายในชั้นกลีเซอรอล ทำให้การแยกชั้นของเอสเทอร์กับชั้นกลีเซอรอลทำได้ยากขึ้น นอกจากนี้ยังส่งผลถึงการแยกตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีมากเกินไปและการกำจัดสบู่ที่ต้องเสียค่าใช้จ่ายมาก ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยามีผลมากกว่าอุณหภูมิ เวลาในการทำปฏิกิริยา และอัตราส่วนของแอลกอฮอล์ต่อน้ำมันที่ใช้ ส่วนการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบกรดอัตราการเกิดปฏิกิริยาจะเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ปริมาณกรดมากขึ้น แต่การใช้กรดมากจะกระตุ้นให้เกิดอีเทอร์จากปฏิกิริยา Alcohol Degradation มากขึ้น กรดจะมีสภาพชอบน้ำ (Hygroscopicity) ซึ่งมีความสำคัญสำหรับกระบวนการเอสเตอริฟิเคชันของกรดไขมันอิสระ โดยจะดูดน้ำที่ได้จากการทำปฏิกิริยาไว้ ทำให้ปฏิกิริยาผันกลับต่ำลง แต่การใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจะเกิดช้ากว่าด่างและมีการกัดกร่อนสูงอีกด้วย Formo [33] พบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาแบบเบสจะให้อัตราเร็วกว่าแบบกรดประมาณ 4,000 เท่า ภายใต้สภาวะเงื่อนไขของปฏิกิริยาที่เหมือนกันที่อุณหภูมิห้อง นอกจากนี้

Ma และคณะ [30] พบว่าการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์และโซเดียมเมทอกไซด์ เป็นตัวเร่งในปฏิกิริยาจะแสดงประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาอย่างเหมาะสมที่สุดประมาณร้อยละ 0.3 และ 0.5 โดยน้ำหนักของไขมันวัวตามลำดับ

Gemma และคณะ [34] ได้ศึกษาชนิดตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีผลต่อปฏิกิริยาได้แก่ โซเดียมไฮดรอกไซด์ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ โซเดียมเมทอกไซด์ และโพแทสเซียมเมทอกไซด์ ทำการทดลองที่อุณหภูมิ 65 ^{o}C อัตราส่วนโมลเมทานอลต่อน้ำมัน 6:1 ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 1% โดยมวล และอัตราการกวน 600 รอบต่อนาที จากการทดลองพบว่า โซเดียมไฮดรอกไซด์สามารถเร่งปฏิกิริยาได้เร็วสุดรองมาคือ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ โซเดียมเมทอกไซด์ และโพแทสเซียมเมทอกไซด์ ตามลำดับ

Ma และคณะ [30] อัตราส่วนโดยโมลแอลกอฮอล์ต่อน้ำมันโดยทั่วไป 6:1 โดยตัวเร่งปฏิกิริยาด่างมีประสิทธิภาพมากกว่าตัวเร่งปฏิกิริยากรด และเอนไซม์ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาเบสที่เหมาะสมในการใช้ทำปฏิกิริยาอยู่ระหว่าง 0.1 และ 1% (w/w) ของน้ำมัน ที่อุณหภูมิสูงปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นเร็วและใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาสั้น ในช่วงแรกปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นช้าในช่วงระยะเวลาหนึ่งและจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วแล้วจะช้าลงอีกครั้ง ซึ่งโดยปกติการใช้ด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจะใช้เวลาอยู่ที่ 1 ชั่วโมง

2.5 ตัวทำละลาย

ตัวทำละลาย (Solvent) เป็นของเหลวที่สามารถละลายตัวถูกละลายที่เป็นของแข็ง ของเหลว และก๊าซได้ ชนิดของตัวทำละลายที่ใช้ในการละลายสารประกอบไฮโดรคาร์บอน เช่น น้ำมันและแอลกอฮอล์ จะเป็นประเภทตัวทำละลายอินทรีย์ซึ่งเป็นตัวทำละลายที่มีสารประกอบอินทรีย์ และมีคาร์บอนอะตอมอยู่ด้วยโดยปกติตัวทำละลายจะมีจุดเดือดต่ำ และระเหยง่าย หรือสามารถกำจัดโดยการกลั่นได้ โดยทั่วไปแล้วตัวทำละลายไม่ควรทำปฏิกิริยากับตัวถูกละลายจนเกิดสารใหม่ คือ มันจะต้องมีสมบัติเฉื่อยทางเคมี ตัวทำละลายสามารถใช้สกัดสารประกอบที่ละลายในของผสมได้

2.5.1 ปัจจัยที่มีผลต่อการละลายของสารในตัวทำละลาย

การละลายของสารแต่ละชนิดจะแตกต่างกันไปซึ่งสารจะละลายได้ดีหรือไม่ขึ้นอยู่กับปัจจัย [16] ดังนี้

1) ชนิดของสาร สารแต่ละชนิดมีความสามารถในการละลายที่แตกต่างกัน สารต่างชนิดกันจะละลายในตัวทำละลายชนิดเดียวกันได้ไม่เท่ากัน

2) ปริมาณสาร จะเกี่ยวข้องกับอัตราส่วนระหว่างปริมาณของตัวละลายกับตัวทำละลาย ถ้าใช้ปริมาณตัวทำละลายน้อยก็จะละลายตัวละลายได้น้อย ถ้าใช้ตัวทำละลายมากก็จะละลายตัวถูกละลายได้มาก

3) อุณหภูมิ การละลายของสารจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ยกเว้นแก๊สจะละลายได้น้อยลงจึงพบว่าเมื่อให้อุณหภูมิสารละลายอิ่มตัวสูงขึ้น ตัวละลายจะยังคงละลายได้อีก

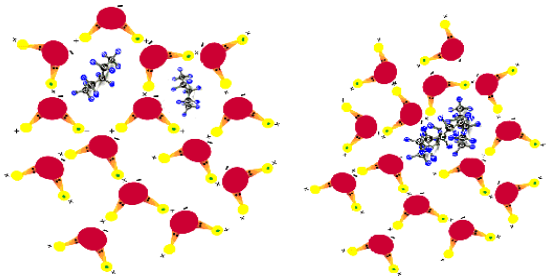
4) ความดันอากาศ ในกรณีที่ตัวละลายเป็นแก๊สจึงต้องใช้ความดันอากาศมากกว่าความดันบรรยากาศปกติในการอัดแก๊สลงไปในสารละลาย

2.6 สภาพการละลายแบบมีขั้วและไม่มีขั้ว

พันธะโคเวเลนต์ คือ พันธะที่เกิดขึ้นอันเนื่องมาจากอะตอม 2 อะตอม นำอิเล็กตรอนมาใช้ร่วมกันในสภาพมีขั้วและไม่มีขั้ว ดังรูปที่ 2.5 สภาพขั้วของโมเลกุลโคเวเลนต์เกิดจากการที่อะตอมต่างชนิดกันหรืออะตอมที่มีค่าอิเล็กโตรเนกาติวิตีต่างกันสร้างพันธะกันโดยที่ความหนาแน่นของอิเล็กตรอนในแต่ละอะตอมจะกระจายตัวอย่างไม่สม่ำเสมอ โมเลกุลโคเวเลนต์แบบไม่มีขั้วเกิดจาก อะตอมทั้งสองมีค่าอิเล็กโทร เน-ตาติวิตีเท่ากันหรือใกล้เคียงกันมาก หรือโมเลกุลที่มีรูปร่างสมมาตร ทิศทางของขั้วพันธะทุกพันธะจะหักล้างกันหมดเหลือแต่ปริมาณ ถ้าอะตอมล้อมรอบเหมือนกันหมด ปริมาณของขั้วพันธะจะหักล้างกันหมด [15]

รูปที่ 2.4 พันธะโคเวาเลนต์โมเลกุลแบบมีขั้วและไม่มีขั้ว

พันธะโคเวเลนต์แบบมีขั้วอะตอมทั้งสองมีการใช้อิเล็กตรอนร่วมกันแต่ไม่เท่ากันนั่น คือ อะตอมที่มีค่าอิเล็กโทรเนกาติวิตีสูงจะดึงอิเล็กตรอนเข้าหาตัวเองได้มากกว่าสารไม่มีขั้ว การละลายของโมเลกุลแบบมีขั้วและไม่มีขั้วสารทุกชนิดที่ไม่เข้ากับน้ำ เช่น น้ำมัน สารที่ไม่มีขั้วจะละลายในสารไม่มีขั้ว แต่ไม่ละลายในสารมีขั้ว สารมีขั้วละลายในสารมีขั้วแต่ไม่ละลายในสารไม่มีขั้ว น้ำเป็นสารมีขั้ว เพราะขั้วของน้ำมีทิศทาง น้ำมันเป็นสารไม่มีขั้วเพราะขั้วหักล้างกัน จากรูปที่ 2.5 แสดงการละลายของโมเลกุลมีขั้วสีแดงจะรวมตัวกับโมเลกุลที่มีขั้วเหมือนกันส่วนโมเลกุลไม่มีขั้วสีฟ้าจะไม่จับตัวกับมีขั้วสีแดงแต่จะรวมตัวกับส่วนที่ไม่มีขั้วสีฟ้าเหมือนกัน



รูปที่ 2.5 การละลายของโมเลกุลแบบมีขั้วและไม่มีขั้ว

ดังนั้นการที่ตัวทำละลายจะแทรกเข้าไปอยู่ระหว่างสารประกอบดังกล่าวอันจะมีผลทำให้สารละลายนั้นละลายในตัวทำละลายได้ ตัวทำละลายจำเป็นต้องใช้ พลังงานจำนวนหนึ่งเพื่อเอาชนะแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลโดยเฉพาะแรงดึงดูดของสารที่เป็นไอออนิกของสารที่เป็นไอออนิก หรือสารที่มีขั้วสูง พลังงานที่ตัวทำละลายแต่ละชนิดจะใช้เพื่อเอาชนะแรงดึงดูดดังกล่าวจะมีค่าแตกต่างกันค่าคงที่นี้เรียกว่า ค่าไดอิเลคทริกคอนสแตนท์ (Dielectric Constant) หรือค่าคงที่ไดอิเลคทริกของตัวทำ ละลายดังตารางที่ 2.1จะเป็นตัวบ่งบอกว่าตัวทำละลายนั้นจะเหมาะสมกับการใช้ละลายสารประกอบที่มีขั้วได้หรือไม่ เพราะว่าถ้าตัวทำละลายมีค่าคงที่ไดอิเลคทริกสูง พลังงานที่ตัวทำละลายนั้นจะใช้แยกส่วนที่มีประจุต่างกันในสารที่มีขั้วออกจากกันหรือเพื่อเอาชนะแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลจะมีค่าน้อย ดังนั้นสารประกอบที่มีขั้วสูง จะละลายในตัวทำละลายที่มีค่าคงที่ไดอิเลคทริกสูงได้ดี ถ้าตัวทำละลายที่มีค่าคงที่ไดอิเลคทริกต่ำ จะละลายสารที่มีขั้วสูงได้ไม่ดี เพราะ พลังงานที่ต้องใช้เพื่อแยกสารที่มีขั้ว

ออกจากกันมีค่ามาก นอกจากค่าคงที่ไดอิเลคทริกแล้วความสามารถในการเกิดพันธะไฮโดรเจนก็เป็นอีกองค์ประกอบหนึ่ง ที่ทำให้น้ำและตัวทำละลายที่มีหมู่ไฮดรอกซิลสามารถละลายสารประกอบที่มีขั้วสูงได้ เนื่องจากน้ำมีค่าคงที่ไดอิเลคทริกสูงทำให้สามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนได้สูงด้วย น้ำจึงเป็นตัวทำละลายที่ดีสำหรับสารประกอบที่มีขั้วสูงๆ

ตารางที่ 2.1 ค่าคงที่ไดอิเลคทริกของตัวทำละลายอินทรีย์ [17]

ตัวทำละลาย	ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก
n-Hexane	1.9
Isooctane	1.9
Cyclohexane	2.0
Carbontetrachloride	2.2
Benzene	2.3
Xylene	2.3
Toluene	2.4
Carbondisulfide	2.6
di-iso-propylether	3.9
Diethylether	4.3
Chloroform	4.8
n-Butylacetate	5.0
Phenyl chloride	5.7
Ethyl acetate	6.0
Acetic acid	6.3
Tetrahydrofuran	7.6
Dichloro methane	9.1
Pyridine	13.2
Iso-propane	13.8
n-Butanol	17.9
Acetone	21.5
n-propanol	22.5
Ethanol	25.0
Methanol	33.6

ตารางที่ 2.1 ค่าคงที่ไดอิเลคทริกของตัวทำละลายอินทรีย์ (ต่อ)

ตัวทำละลาย	ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก
Acetonitrile	38.8
Water	81

เนื่องจากไขมันและกรดไขมัน สามารถละลายได้ดีในตัวทำละลายอินทรีย์ดังนั้นการเลือกใช้สารละลายอินทรีย์ให้เหมาะสมกับกรดไขมันแต่ละชนิดจึงเป็นสิ่งสำคัญ ตัวทำละลายที่นิยมใช้ในการสกัดไขมันมีมากมายหลายชนิด ได้แก่ เฮกเซน โทลูอีน คลอโรฟอร์ม และเบนซีน เป็นต้น แต่ทั้งนี้ต้องคำนึงถึงความปลอดภัยในการใช้และความบริสุทธิ์ของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการด้วย ควรหลีกเลี่ยงตัวทำละลายที่เป็นพิษในการเลือกสกัดไขมันที่จะนำไปบริโภค เบนซีน มีคุณสมบัติเป็นตัวทำละลายที่ดีแต่มีความเป็นพิษสูง ปัจจุบันจึงนิยมใช้โทลูอีนแทนเบนซีนกันมาก เนื่องจากมีพิษน้อยกว่าเบนซีน เมทานอลก็เป็นตัวทำละลายที่ดีแต่เป็นพิษต่อระบบประสาทตาทำให้ตาพิการได้ ส่วนคลอโรฟอร์มเป็นสารก่อมะเร็ง ตัวทำละลายอินทรีย์ที่ใช้ได้ดีพอสมควร และค่อนข้างปลอดภัยก็ คือ เอทานอล นอกจากจะคำนึงถึงความเป็นพิษของตัวทำละลายแล้ว ความมีขั้วของตัวทำละลายต้องเหมาะสมกับความมีขั้วของกรดไขมันที่ใช้ เป็นที่ทราบกันดีแล้วว่ากรดไขมันส่วนใหญ่จะไม่มีขั้ว แต่ความมีขั้วของกรดไขมันจะเพิ่มขึ้นได้ถ้ามีพันธะคู่ในสายไฮโดรคาร์บอน ดังนั้นกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อนจะมีความเป็นประจุสูงกว่ากรดไขมันอิ่มตัว

2.7 การนำตัวทำละลายมาใช้ในปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน

สำหรับงานวิจัยด้านการศึกษาการผลิตไบโอดีเซลโดยนำตัวทำละลายร่วมมาใช้ในการผลิตไบโอดีเซลรูปแบบของกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันซึ่งตัวทำละลายร่วมที่ใช้ในการทดลองนี้ส่วนใหญ่ใช้เป็นตัวทำละลายอินทรีย์มีผู้ดำเนินงานวิจัยในกรณีต่างๆ ดังนี้

Krisnangkura และคณะ [38] ได้ผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันร่วมกับตัวทำละลายอินทรีย์ ที่อุณหภูมิ 70 ^{o}C โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ใช้ตัวทำละลายโทลูอีนต่อน้ำมันที่สัดส่วน 1:1 (v/v) และใช้สัดส่วนโมลเมทานอลต่อน้ำมันที่ 13:1 ทำให้ปฏิกิริยาเกิดขึ้นสมบูรณ์ที่เวลา 60 นาที ได้เมทิลเอสเทอร์สูงสุด 96% และที่โมลเมทานอลต่อน้ำมัน 17:1 จะได้เมทิลเอสเทอร์สูงสุด 99% ในเวลา 15 วินาที สำหรับที่สัดส่วนโมลเมทานอลต่อน้ำมันที่ 9:1 และ 5.8:1

จะได้ปริมาณเมทิลเอสเทอร์ 84 และ 58% ตามลำดับ ซึ่งเบนซีนที่เป็นตัวทำละลายอินทรีย์ที่ดีที่สุดแต่ปริมาณเมทิลเอสเทอร์ที่เกิดยังน้อยกว่าโทลูอีน

ราตรี พันธุชา [15] ศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันใช้สัดส่วนโมลเมทานอลต่อน้ำมันปาล์ม 6:1 โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 1.00 โดยน้ำหนักน้ำมันเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาและใช้ตัวทำละลายร่วม 1.25 เท่าโดยปริมาตรของเมทานอล ตัวทำละลาย 2 ชนิด คือ เตตระไฮโดรฟูแรน และ เฮกเซน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการเกิดปฏิกิริยา ใช้เวลาทำปฏิกิริยา 20, 40 และ 60 นาที ที่อุณหภูมิ 40 และ 60 ^{o}C พบว่าเมื่ออุณหภูมิ 60 ^{o}C สำหรับทุกเงื่อนไขการทดลองจะให้ปริมาณเมทิลเอสเทอร์สูงใกล้เคียงกัน และเพิ่มขึ้นตามเวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยาสำหรับการใช้ตัวทำละลายร่วมในปฏิกิริยา สารเตตระไฮโดรฟูแรนให้ค่าร้อยละเมทิลเอสเทอร์ที่สูงกว่าเฮกเซน ดังนั้นตัวทำละลายร่วมมีส่วนช่วยให้เฟสของน้ำมันและเฟสของแอลกอออล์รวมกันเป็นเฟสเดียว และปฏิกิริยาสามารถเกิดได้ดีขึ้น

Boocock และคณะ [39] ได้ศึกษาปฏิกิริยาทรานเอสเทอริฟิเคชั่นที่มีตัวทำละลายอินทรีย์ หรือปฏิกิริยาแบบเฟสเดี่ยว จะเกิดเร็วกว่าในปฏิกิริยาที่ไม่มีตัวทำละลายอินทรีย์ หรือปฏิกิริยาแบบสองเฟส และยังได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบอัตราการเกิดปฏิกิริยาทรานเอสเทอริฟิเคชั่นโดยใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ชนิดต่าง ๆ คือ เททระไฮโดรฟูแลน , ไดออกซีน, ไดเอสทิลอีเทอร์, ไดไอโซโพพิวอีเทอร์ และ Tert-Butyl Methyl Ether พบว่า เททระไฮโดรฟูแลนเป็นตัวทำละลายที่ดีที่สุดสำหรับปฏิกิริยาทรานส์เอส - เทอริฟิเคชั่นในน้ำมันชนิดต่างๆ

Ataya และคณะ [40] ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบอัตราเร็วของปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชั่น ในน้ำมันคาโนล่า ที่มีตัวทำละลาย และไม่มีตัวทำละลายโดยใช้เททระไฮโดรฟูแลนเป็นตัวทำละลาย โดยมีด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่อุณหภูมิห้องที่25องศาเซลเซียส พบว่าน้ำมันคาโนล่าในตัวทำละลายเททระไฮโดรฟูแลน ถูกเปลี่ยนไปเป็นไบโอดีเซล ประมาณ 80% ภายในเวลา 120 นาที แต่สำหรับปฏิกิริยาที่ไม่มีตัวทำละลาย จะได้ผลิตภัณฑ์ เพียง 20% เท่านั้น ซึ่งตัวทำละลายช่วยให้น้ำมันคาโนล่า และเมทานอลรวมเป็นเนื้อเดียวกัน โอกาสที่สารจะทำปฏิกิริยาก็มีมากขึ้น การเกิดไบโอดีเซลจึงเร็วขึ้นโดยไม่ต้องมีการให้ความร้อนแก่ปฏิกิริยา ช่วยให้สามารถประหยัดพลังงานในกระบวนการผลิต

Fengxian และคณะ [41] ได้ศึกษาการนำน้ำมันถั่วเหลืองมาผสมกับน้ำมันเมล็ดเรปในอัตราส่วนที่เหมาะสมนำตัวทำละลายเฮกเซนมาใช้ร่วมกับปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันได้แก่ อัตราส่วนน้ำมันต่อแอลกอฮอล์ อุณหภูมิที่ใช้ในปฏิกิริยาปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ และเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา

ต่อจากนั้นศึกษาปริมาณเอสเทอร์ที่เกิดขึ้นที่ภาวะเหมาะสมที่ให้ปริมาณเมทิลเอสเทอร์ที่ดีที่สุดพบว่าที่อัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมันจาก 5:1 ตัวเร่งปฏิกิริยา 0.8% โดยปริมาตร ใช้อุณหภูมิที่ 55 ^{o}C และใช้เวลา 2 ชั่วโมง เมทิลเอสเทอร์ที่เกิดขึ้นประมาณ 94%

Yihuai และคณะ [42] จึงได้ศึกษาปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันน้ำมันถั่วเหลืองโดยการนำตัวทำละลายไดคลอโรมีเทนมาใช้ร่วมกับปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันที่ภาวะเหมาะสมซึ่งได้แก่ อัตราส่วนน้ำมันต่อแอลกอฮอล์ 5:1 อุณหภูมิ 45 ^{o}C ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 1.0% โดยน้ำหนัก เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 2 ชั่วโมง และใช้ไดคลอโรมีเทนเป็นตัวทำละลายปริมาณ 4.0% โดยน้ำหนัก จะได้ปริมาณเมทิลเอสเทอร์ประมาณ 94.59% ถึงอย่างไรก็ตาม ถ้าใส่ไดคลอโรมีเทนในปริมาณมากเกินภาวะที่เหมาะสมปริมาณเมทิลเอสเทอร์ที่เกิดขึ้นจะเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อยแต่จะได้ปริมาณเอสเทอร์ที่มากกว่า 90% ซึ่งก็เป็นการละลายของสารละลายแบบไม่มีขั้วทำปฏิกิริยาพอเหมาะกับตัวทำละลายแบบไม่มีขั้วจึงทำให้เกิดการละลายที่มากขึ้นและเกิดเมทิลเอสเทอร์มากในเวลาสั้น นำเอสเทอร์ที่เกิดขึ้นมานี้ไปวิเคราะห์หาสมบัติทางเชื้อเพลิงของน้ำมันไบโอดีเซลเทียบกับดีเซล

Jian-Zhong และคณะ [43] ได้ศึกษาการใช้น้ำมันถั่วเหลืองผ่านกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันแบบไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาผลิตไบโอดีเซลด้วยวิธีจุดเหนือวิกฤตเมทานอลโดยใช้เฮกเซนเป็นตัวทำละลายร่วมในปริมาณ 2.5% โดยน้ำหนัก เกิดเมทิลเอสเทอร์ประมาณ 85.5% ที่อุณหภูมิ 300 ^{o}C ความดัน 100 Bar เวลา 20 นาที อย่างไรก็ตามเมื่อเติมเฮกเซนในปริมาณที่มากขึ้นผลิตภัณฑ์เมทิลเอสเทอร์ที่เกิดขึ้นจะเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยแต่ก็ยังมากกว่าแบบไม่ใช้ตัวทำละลายเฮกเซนเหตุผลหลักๆ ในการเกิดเมทิลเอสเทอร์ที่มากเกิดจากละลายที่ดีขึ้นระหว่างเมทานอลและน้ำมันถั่วเหลือง

Tapaswy และคณะ [45] ได้ศึกษากระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันแบบไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยวิธีเหนือจุดวิกฤตเอทานอลที่อุณหภูมิสูงความดันสูงโดยใช้เฮกเซนเป็นตัวทำละลายร่วมในปฏิกิริยาร่วมกับการใช้อัตราส่วนน้ำมันต่อแอลกอฮอล์ และเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา การใช้ตัวทำละลายร่วมในกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันภาวะการทำงานที่เหมาะสมของจุดวิกฤตเอทานอลจะพบว่าที่อุณหภูมิ 295 ^{o}C ความดัน 100 Bar เวลา 20 นาที สามารถเพิ่มอัตราการเกิดเอทิลเอสเทอร์ ได้ผลการใช้อัตราส่วนตัวทำละลายร่วมต่อน้ำมันที่อัตราส่วนที่แตกต่างกันไปในสัดส่วนโดยโมลเอทานอลต่อน้ำมันที่ใช้ 25:1, 35:1, และ 45:1 แสดงให้เห็นว่าการไม่ใช้เฮกเซนจะได้เอทิลเอสเทอร์ปริมาณ 44.6%, 53.4% และ 65.33% ตามลำดับ ปริมาณเอทิลเอสเทอร์จะเกิดขึ้นสูงสุดเมื่อใช้อัตราส่วนตัวทำละลายร่วมต่อน้ำมัน 0.2 (v/v) เอทิลเอสเทอร์เกิดขึ้นปริมาณ 67.7%-85.3% ตามลำดับจะพบว่าเฮกเซนเป็นตัวทำละลายสำหรับน้ำมันพืชที่สามารถละลายระหว่างน้ำมันและแอลกอฮอล์ที่อุณหภูมิต่ำและให้ปริมาณเอสเทอร์มาก

2.8 การทดสอบมาตรฐานคุณภาพน้ำมันไบโอดีเซล

คุณสมบัติของไบโอดีเซลสามารถนำไปใช้กับเครื่องยนต์ดีเซล โดยเครื่องยนต์บางรุ่นอาจต้องการปรับปรุงระบบเชื่อเพลิงและถังเชื้อเพลิงเล็กน้อย การใช้งานส่วนใหญ่จึงนิยมไปผสมกับน้ำมันดีเซลเพื่อส่งเสริมให้เกิดการใช้ไบโอดีเซลอย่างแพร่หลาย หลายประเทศทั่วโลกจึงต้องได้กำหนดมาตรฐานสำหรับคุณภาพไบโอดีเซลขึ้น เช่น ในประเทศสหรัฐอเมริกา มีมาตรฐาน ASTM D6751 ในทวีปยุโรปมีมาตรฐานรวมกัน ที่ใช้ EN14214 : 2003 ประเทศสหพันธรัฐเยอรมนีมีมาตรฐาน DIN E51606 และประเทศออสเตรเลีย มีมาตรฐานที่กำหนดขึ้นใช้เองเรียกว่า Fuel Standard Determination 2003 เป็นต้น สำหรับประเทศไทยกรมธุรกิจพลังงาน กระทรวงพลังงานได้ออกประกาศเพื่อกำหนดคุณภาพ และลักษณะของไบโอดีเซลขึ้น2ฉบับได้แก่

1) ประกาศกรมธุรกิจพลังงาน เรื่อง กำหนดลักษณะและคุณภาพไบโอดีเซล ประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน พ.ศ. 2550 สำหรับไบโอดีเซลที่จะนำมาผสมกับน้ำมันดีเซล เพื่อจำหน่ายเชิงพาณิชย์ ซึ่งสามารถใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลทุกประเภท

2) ประกาศกรมธุรกิจพลังงาน เรื่อง กำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลสำหรับเครื่องยนต์การเกษตร (ไบโอดีเซลชุมชน) พ.ศ. 2549 ประกาศขึ้นเพื่อกำกับคุณภาพของไบโอดีเซลที่ผลิตขึ้นในชุมชนและใช้กันเองภายในชุมชน ใช้กับเครื่องจักรกลการเกษตรประเภทรอบต่ำเท่านั้นซึ่งมาตรฐานของต่างประเทศ และของประเทศไทยที่กล่าวมา สำหรับมาตรฐานกรมธุรกิจพลังงาน พ.ศ. 2550 จะมีข้อกำหนด23 ข้อ รวมกับสารเติมแต่งอีก 1 ข้อ รวมทั้งสิ้นเป็น 24 ข้อ ซึ่งคุณสมบัติแต่ละข้อสามารถอธิบายได้ดังนี้[47]

2.8.1 เมทิลเอสเทอร์ (Methyl Ester)

ค่าเมทิลเอสเทอร์ คือ ประมาณโมเลกุลเมทิลเอสเทอร์หรือไบโอดีเซล ค่าที่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานบ่งชี้ว่าการผลิตไบโอดีเซลทำให้ได้โมเลกุลไบโอดีเซลมากตามเกณฑ์ โมเลกุลหรือสารอื่นๆ ที่ปะปนมาจะมีปริมาณน้อย ซึ่งทำให้ไบโอดีเซลมีคุณสมบัติในทุกๆ ด้านดีตามไปด้วย การนำไปใช้จะทำให้ผลด้านประสิทธิภาพ การสึกหรอ เขม่าควัน หรือคุณสมบัติอื่นๆ ในทางที่ดีทั้งหมด การแสดงผลจะ ระบุเป็นค่าความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซล วิธีทดสอบใช้ตาม EN14103 ซึ่งใช้เทคนิคโครมาโตกราฟี และผลที่ได้ต้องได้ขั้นต่ำ 96.5 wt% เทคนิคโครมาโตกราฟี (Chromatography) เป็นการแยกสารมากกว่า 1 ชนิดที่ผสมอยู่ให้ออกจากกันโดยอาศัยคุณสมบัติที่แตกต่างกันของสารต่างชนิด 2 ชนิด คุณสมบัติ คือ ความสามารถในการละลายตัวในการทำละลายที่ไม่เท่ากัน และความสามารถในการดูดซับด้วยตัวดูดซับไม่เท่ากัน หลักการคือ สารที่ละลายได้ดีและถูกดูดซับได้น้อย จะเคลื่อนที่ซึมผ่านตัวดูดซับได้เร็ว

และไปได้ไกล ส่วนสารละลายได้ไม่ดี และถูกดูดซับได้มากจะเคลื่อนที่ซึมผ่านตัวดูดซับได้น้อยและสั้นกว่า ดังนั้นการทำโคมากราฟีจะใช้ตัวทำละลายและตัวดูดซับเข้าช่วย วิธีการก็คือ นำตัวทำละลาย เช่น น้ำ อีเทอร์ เอทานอล หรือสารละลายโซเดียมคลอไรด์เป็นต้น ผสมลงในสารที่ต้องการทดสอบ แล้วใช้ตัวดูดซับเข้าสัมผัสเพื่อดูดซับสารแต่ละชนิดจะสามารถละลาย และถูกดูดซับเข้าไปได้

2.8.2 ความหนาแน่น (Density)

เป็นค่าที่ระบุคุณสมบัติเบื้องต้นทางกายภาพของไบโอดีเซล ทดสอบตามวิธี ASTM D1298 ซึ่งผลที่ได้จะได้ค่าไม่ต่ำกว่า 860 kg/m^3 และไม่สูงกว่า 900 kg/m^3 ที่ 15 ^{o}C การวัดค่าความหนาแน่นหรือค่าความถ่วงจำเพาะนี้ ทำการวัดค่าโดยใช้อุปกรณ์วัดความถ่วงจำเพาะ โดยเทน้ำมันที่ต้องการทดสอบลงในกระบอกตวงประมาณ 3 ใน 4 ของกระบอกตวง โดยเอียงกระบอกตวง ตวงให้น้ำมันไหลลงไปตามผนังของกระบอกตวงเพื่อป้องกันการเกิดฟองอากาศ รอให้ฟองอากาศที่เกิดขึ้นลอยขึ้นมาที่ผิวหน้าของน้ำมัน แล้วทำการกำจัดออก วางกระบอกตวงให้อยู่ในแนวดิ่งรักษาอุณหภูมิของน้ำมันให้คงที่ ที่ 15 ^{o}C ในแนวเครื่องควบคุมอุณหภูมิ จากนั้นจึงค่อยๆหย่อนอุปกรณ์วัดความถ่วงจำเพาะลงไป แล้วปล่อยให้ลอยอยู่อย่างอิสระ ไม่เกาะติดกับกระบอกตวง จากนั้นทำการอ่านค่าความถ่วงจำเพาะที่ขีดระดับอุปกรณ์วัดความถ่วงจำเพาะ

2.8.3 ความหนืด (Viscosity)

ความหนืดในน้ำมันมีความสำคัญมากในการใช้งานเครื่องยนต์เพราะเป็นตัวบอกถึงความสามารถในการต้านทานการไหลและบอกถึงคุณสมบัติในการหล่อลื่นพื้นผิว ใช้วิธีทดสอบตาม ASTM D445 ซึ่งผลที่ได้ให้ค่าในช่วง 3.5-5.0 cSt ณ .อุณหภูมิ 40 ^{o}C วิธีการทำการทดสอบกระทำโดยใช้เครื่องมือวัดความหนืด (Viscometer) ใช้หลักการโดยให้ของเหลวไหลผ่านช่องแคบๆ ที่ได้ออกแบบและปรับตั้ง (Calibrated) ตามมาตรฐาน แล้วจับเวลาที่ของเหลวไหลผ่านช่องแคบนั้น แล้วนำค่าเวลาไปคำนวณ คำนวณหาค่าความหนืดในน้ำมันดิบที่มีค่าความหนืดสูงเกินไป จะส่งผลให้จ่ายน้ำมันเข้าจุดระเบิดให้ห้องเผาไหม้กระจายตัวไม่ดี มีผลต่อการเผาไหม้เชื้อเพลิงโดยตรง ทำให้เผาไหม้ไม่สมบูรณ์ เกิดเขม่าอีกทั้งยังสิ้นเปลืองน้ำมันการตรวจวัดความหนืดทำได้โดยนำอุปกรณ์วัดความหนืด ใส่ในอ่างน้ำที่มีการควบคุมอุณหภูมิที่ 40 ^{o}C และเติมน้ำมันลงในอุปกรณ์ที่ปริมาตรกำหนดรอจนอุณหภูมิคงที่จึงเริ่มทดสอบ

2.8.4 จุดวาบไฟ (Flash Point)

จุดวาบไฟ คือ อุณหภูมิต่ำสุดที่เชื้อเพลิงเกิดระเหย มีจำนวนเพียงพอที่จะลุกติดไฟได้วูบหนึ่งแล้วดับเมื่อมีเปลวไฟผ่านเข้ามา ให้ใช้วิธีตาม ASTM D93 (Pensky Martens Closed Cup Tester) ซึ่งผลที่ได้ต้องให้ค่าไม่ต่ำกว่า 120 ^{o}C วิธีการทดสอบใช้อุปกรณ์ และวิธีของ Pensky Martens ใช้ถ้วยปิด (Closed

Cup) ต่อกับต่อจุดประกายไฟ และน้ำหล่อเย็นเพื่อป้องกันความร้อนจากการติดไฟที่สูงขึ้น โดยนำสารตัวอย่างที่ใช้ทดสอบจะถูกเติมเข้าในถ้วยปิดแล้วให้ความร้อนสูงขึ้นพร้อมการกวนเพื่อให้สารระเหยขึ้นอุณหภูมิที่สารติดลุกเป็นไฟจะเป็นค่าจุดวาบไฟที่วัดได้การกำหนดจุดวาบไฟที่สูงขึ้นนี้ทำให้ต้องกำจัดแอลกอฮอล์โดยเฉพาะเมทานอลออกไปจากไบโอดีเซลให้หมด จุดวาบไฟนั้นนอกจากจะใช้ประเมินการจุดติดไฟของผลิตภัณฑ์แล้วยังเป็นดัชนีที่บอกถึงความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์ที่เกิดการเผาไหม้อีกด้วย โดยสรุปแล้วจุดวาบไฟมีความสำคัญในแง่ความปลอดภัยในการเก็บรักษา และการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำมันเชื้อเพลิง

2.8.5 กำมะถัน (Sulfur)

ปริมาณกำมะถันในน้ำมัน มีความจำเป็นอย่างมากในการตรวจวัดเนื่องจากกำมะถันมีผลให้เกิดการกัดกร่อนของชิ้นส่วนภายในเครื่องยนต์ โดยออกไซด์ของกำมะถันที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ จะกลายเป็นกรดกัดกร่อนโลหะได้ เกิดกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์เกิดเขม่าจับในห้องเผาไหม้

การทดสอบปริมาณกำมะถันใช้วิธี ASTM D2622 การหาปริมาณกำมะถันทดสอบด้วยวิธี Wavclength ซึ่งผลที่ได้ต้องให้ค่าไม่เกิน 0.0010% โดยน้ำหนัก

2.8.6 กากถ่าน (Carbon Residue)

กากถ่าน คือ กากที่เหลือจากการเผาไหม้ในที่อับอากาศปริมาณกากคาร์บอนสูงเป็นสิ่งที่ไม่พึงประสงค์ในเชื้อเพลิง เช่น กลีเซอรอล กรดไขมันอิสระ สบู่ และตัวเร่งปฏิกิริยา เป็นต้น เพราะมีแนวโน้มที่จะก่อให้เกิดเขม่าตกค้าง และไอเสียที่มีควันดำมาก วิธีการทดสอบให้ทดสอบตาม ASTM D4530 ซึ่งผลที่ได้ต้องให้ค่าไม่สูงกว่า 0.30 wt% (ทดสอบจากร้อยละ 10 ของกากที่เหลือจากการกลั่น)

วิธีทดสอบที่ใช้ คือ การนำตัวอย่างไบโอดีเซลมาให้ความร้อนเผาไหม้จนระเหยเหลือแต่กาก และให้ความร้อนจนกากลุกไหม้ จากนั้นหาปริมาณเถ้าที่ตกค้าง

2.8.7 จำนวนซีเทน (Cetane Number)

จำนวนซีเทน คือ พารามิเตอร์ที่บ่งชี้ถึงประสิทธิภาพในการติดไฟ (Ignition) ของเครื่องยนต์ดีเซล จำนวนซีเทนที่สูงช่วยให้การสตาร์ทเครื่องยนต์ได้ง่ายทั้งยังช่วยลดควันขาวที่เกิดขึ้นด้วย โดยหลักการจำนวนค่าซีเทนจะสัมพันธ์กับเวลาหน่วงการจุดติดไฟ (Ignition Delay Time) (คือเวลาที่เชื้อเพลิงฉีด

ผ่านเข้าสู่ห้องเผาไหม้ถึงจุดติดไฟ) เมื่อจำนวนซีเทนสูงเวลาหน่วงการจุดติดไฟจะมีค่าสั้น การทดสอบจำนวนค่าซีเทน ใช้วิธีตาม ASTM D613 ซึ่งผลที่ได้ต้องให้ค่าไม่ต่ำกว่าเลข 51 มาตรฐานการทดสอบจำนวนค่าซีเทนตาม ASTM D613 หรือ EN ISO 5165 ระบุให้สารประกอบไฮโดรคาร์บอนสายตรงเฮกซะเดกเคน (Long Straight–Chain Hydrocarbon, Hexadecane ($C_{16}H_{34}$)) มีจำนวนซีเทนเท่ากับ 100 ในขณะที่สารประกอบที่มีโครงสร้างที่เป็นกิ่งสาขา (Highly Branched Compound) ได้แก่ 2,2,4,4,6,8,-Heptamethylnonane, HMN ซึ่งมีสูตรโมเลกุลอย่างง่ายเหมือนเฮกซะเดกเคน คือ $C_{16}H_{34}$ มีจำนวนซีเทนเท่ากับ 15 จากสารประกอบทั้งสองชนิดพอสรุปได้ว่าเมื่อเชื้อเพลิงมีโครงสร้างทางเคมีที่มีกิ่งก้านเพิ่มขึ้นจากจำนวนซีเทนที่มีแนวโน้มลดลง อย่างไรก็ตามในสารประกอบของกรดไขมัน หรือไบโอดีเซล พบว่าจำนวนค่าซีเทนมีค่าสูงกว่าปิโตรเลียมดีเซลทั้งนี้อาจมาจากการเผาไหม้ของน้ำมันมีประสิทธิภาพที่ดีกว่า วิธีการทดสอบทำโดยการฉีดน้ำมันตัวอย่างที่เตรียมไว้ ภายในห้องปิดอากาศที่ควบคุมอุณหภูมิ เมื่อฉีดเข้าไปแล้วจะเกิดการเผาไหม้จุดระเบิดอย่างรวดเร็ว ในห้องปิดจะติดตั้งเซนเซอร์ (Sensor) เพื่อวัดเวลาตั้งต้นเริ่มฉีดจนถึงเริ่มการเผาไหม้หน่วยที่เป็นมิลลิวินาที (Millisecond) กระทำหลายครั้งแล้วเวลานำไปคำนวณหาค่าซีเทน ซึ่งมีสหสัมพันธ์ (Correlate) กับเวลาที่บันทึกไว้

2.8.8 เถ้าซัลเฟต (Sulfate Ash)

การทดสอบเพื่อหาค่าปริมาณเถ้าของสารประกอบอื่นๆ ที่สามารถทำให้เกิดการอุดตันในระบบจ่ายน้ำมันเข้าสู่ห้องเผาไหม้ นอกจากนั้นเถ้าซัลเฟตในปริมาณสูงยังส่งผลให้เกิดการสึกหรอของเครื่องยนต์เนื่องจากการขัดสีอีกด้วย ในการทดสอบทั้งตามข้อกำหนดของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ กรมธุรกิจพลังงานและมาตรฐานไบโอดีเซล (B100) การทดสอบทำโดยการนำไบโอดีเซลตัวอย่างมาเติมกรดซัลฟูริกก่อนนำไปเผาไหม้ให้เหลือเฉพาะเถ้าซัลเฟต ซึ่งถ้าเถ้าซัลเฟตนี้ คือโซเดียมซัลเฟตหรือโ พแทสเซียมซัลเฟต ซึ่งจะระเหยได้ยากและระเหยเพียงเล็กน้อยในความร้อนสูง

2.8.9 น้ำ (Water)

การวัดปริมาณน้ำในไบโอดีเซล คือ การตรวจหาปริมาณน้ำที่เหลืออยู่ในน้ำมันเพราะการมีน้ำปริมาณสูงเกินไปจะเร่งให้เกิดออกซิเดชั่นได้ง่าย ส่งผลต่อการทำงานของเครื่องยนต์และอายุการใช้งา นต่ำลง เพราะการเกิดสนิมและตะกรันตกค้างในส่วนต่างๆ ของเครื่องยนต์ นอกจากนั้นน้ำยังเป็นแหล่งเพาะจุลินทรีย์ทำให้เกิดกรดและนำไปสู่การกัดกร่อนและอุดตันระบบกรองน้ำมัน การทดสอบใช้มาตรฐาน EN ISO 12937 ซึ่งต้องให้ค่าไม่เกิน 0.050 wt%

วิธีการทดสอบใช้วิธีการไตเตรทของคาร์ลฟิชเชอร์ (Karl Fischer Titration) ด้วยการฉีดไบโอดีเซลตัวอย่างจากหลอดฉีดยา (Syringe) เข้าไปใน Coulometric Cell ซึ่งภายในบรรจุตัวทำละลายและได้รับการควบคุมให้แห้งสนิท เมื่อเข้าไปก็จะเกิดปฏิกิริยาระหว่างไบโอดีเซลกับตัวทำละลายซึ่งจะเกิดได้ก็ต่อเมื่อมีน้ำปนอยู่ในไบโอดีเซลเท่านั้น การวัดก็จะทำการวัดอัตราการเกิดปฏิกิริยาก็จะทำให้ทราบปริมาณน้ำ

2.8.10 สิ่งปนเปื้อนทั้งหมด (Total Contaminate)

เป็นปริมาณสารแขวนลอยที่ปะปนอยู่ทั้งหมดในไบโอดีเซล ถ้ามีมากกว่าเกณฑ์มาตรฐานจะส่งผลเสียต่อระบบฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงเพราะจะเข้าไปอุดตันและจับตัวอยู่ในระบบ ในข้อกำหนดของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน กรมธุรกิจพลังงาน ให้ทดสอบตามวิธี EN12662 ซึ่งให้ค่าไม่เกิน 0.0024 wt%

2.8.11 การกัดกร่อนแผ่นทองแดง (Copper Strip Corrosion)

การทดสอบการกัดกร่อนไบโอดีเซล ใช้หลักการตรวจวัดการกัดกร่อนแบบทางตรง ทดสอบโดยแท่งทองแดงขัดเงามาแช่ในน้ำมัน ตามความดัน เวลา และอุณหภูมิที่กำหนดจากนั้นนำมาเปรียบเทียบกับแท่งตัวอย่างกัดกร่อนมาตรฐาน (Copper Strip Corrosion Standard) ถ้าตัวอย่างตรงกับแท่งใดก็มีค่าเท่านั้น ในการทดสอบที่ระบุในข้อกำหนดของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ กรมธุรกิจพลังงานให้ทดสอบตามวิธี ASTM D130 ซึ่งผลที่ได้ต้องค่าไม่เกินหมายเลข 1 โดยน้ำมันไบโอดีเซลที่ดีไม่ควรมีสารใดที่ทำปฏิกิริยากับชิ้นส่วนในเครื่องจักร เครื่องยนต์ที่เป็นทองแดงหรือโลหะผสม โดยตามมาตรฐาน ASTM D130 กำหนดให้แผ่นทองแดงหลังแช่น้ำมันเป็นดังนี้

เลข 1 : มัวเล็กน้อย (Slight Tarnish)

เลข 2 : มัวปานกลาง (Middle Tarnish)

เลข 3 : มัวมาก (Dark Tarnish)

เลข 4 : กัดกร่อน (Corrosion)

วิธีการทดสอบใช้แผ่นทองแดงขัดผิวแช่ลงในน้ำมันตัวอย่างไบโอดีเซลปริมาณ 30 ml ที่อุณหภูมิปกติเป็นระเวลาตามที่กำหนดแล้วนำแผ่นทองแดงมาตรวจสภาพการถูกกัดกร่อนโดยเปรียบเทียบ ระดับหมายเลข 1-4

2.8.12 เสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่น (Oxidation Stability)

เป็นการเสื่อมสภาพของไบโอดีเซล โดยการทดสอบเพื่อดูแนวโน้มการรวมตัวกับออกซิเจนว่าสามารถเกิดขึ้นได้ช้าหรือเร็วเพียงใด โดยปกติไบโอดีเซลจะมีค่าเสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นซึ่งบอกเป็นเวลามีค่าต่ำกว่าน้ำมันดีเซล หมายถึง ไบโอดีเซลรวมตัวกับออกซิเจนได้ดีกว่าน้ำมันดีเซล เพราะไบโอดีเซลมีโครงสร้างทางเคมีเป็นเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน เมื่อรวมตัวกับออกซิเจนแล้วไบโอดีเซลจะมีคุณสมบัติเปลี่ยนไปจากเดิม ค่าต่างๆ ที่เป็นคุณสมบัติที่ต้องการที่เป็นเชื้อเพลิงก็จะเปลี่ยนไปด้วย ในข้อกำหนดของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ กรมธุรกิจพลังงาน ให้ทดสอบตามวิธี EN 14112 ซึ่งผลการวัดค่าจะต้องมีค่าไม่ต่ำกว่า 6 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิทดสอบ 110 ^{o}C

วิธีการทดสอบ คือ การการนำน้ำมันตัวอย่างไบโอดีเซลปริมาณ 10 กรัม มาเร่งการเกิดออกซิเดชั่นโดยรักษาอุณหภูมิคงที่อยู่ที่ 110 ^{o}C ฉีดอากาศที่มีออกซิเจนเป็นส่วนประกอบอยู่แล้วผ่านสารตัวอย่างในอัตรา 10 ลิตรต่อชั่วโมง ไหลผ่านไปยังชุดตรวจวัดที่บรรจุน้ำกลั่นอยู่ภายใน ที่อุปกรณ์ตรวจวัดจะวัดค่าการนำไฟฟ้าของน้ำกลั่นและบันทึกไว้อย่างต่อเนื่องในขณะที่อากาศไหลผ่านตัวอย่างไบโอดีเซลจะเกิดการออกซิเดชั่นทำให้เกิดไอกรดปะปนไปกับอากาศเมื่อไปกลั่นตัวอยู่ในน้ำกลั่นก็จะทำให้ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำกลั่นเพิ่มขึ้น

2.8.13 ค่าความเป็นกรด (Acid Value)

ในไบโอดีเซลใช้บ่งชี้ถึงกรดไขมันอิสระที่ทำปฏิกิริยาไม่สมบูรณ์ หรือการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นกรดหรือมีข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากขั้นตอนการล้างไบโอดีเซลที่มีการเติมกรดช่วยปรับ pH เป็นกลาง การมีค่าความเป็นกรดในน้ำมันสูงเกินไปส่งผลให้อายุการใช้งานของระบบจ่ายน้ำมันและเครื่องสั้นลง กำหนดของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ กรมธุรกิจพลังงาน ให้ทดสอบตามวิธี ASTM D664 ซึ่งผลที่ได้ต้องให้ค่าไม่สูงกว่า 0.5 mg KOH/g วิธีการทดสอบใช้วิธีการไตเตรทของ Pearson โดยเตรียมไบโอดีเซลตัวอย่างปริมาณ 2 g และแอลกอฮอล์ที่มีค่า pH เป็นกลางปริมาณ 50 ml นำแอลกอฮอล์ผสมรวมกับไบโอดีเซลตัวอย่าง แล้วหยดฟีนอฟทาลีน (Phenolpthalein) จำนวน 2-3 หยด แล้วเขย่าให้เข้ากัน จากนั้นทำการไตเตรทด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.5 N ค่อยๆ หยดลงไป

ทีละหยดพร้อมพับเขย่าตลอดเวลา จนกระทั่งสารผสมที่เขย่าเปลี่ยนเป็นสีชมพู ก็จะบันทึกปริมาณสารไตเตรท (โซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เติมลงไปนำไปคำนวณ) จะได้ค่าความเป็นกรด

2.8.14 ค่าไอโอดีน (Iodine Value)

เป็นอีกค่าหนึ่งที่บ่งบอกความมีเสถียรภาพทางเคมีของไบโอดีเซล ถ้ามีค่าไอโอดีนสูงกว่าเกณฑ์ไบโอดีเซลจะมีแนวโน้มที่จะเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติได้ง่ายมากขึ้น ในข้อกำหนดของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ กรมธุรกิจพลังงาน ให้ทดสอบตามวิธี EN 14111 ซึ่งผลจากการวัดค่าต้องไม่สูงกว่า 120 กรัมไอโอดีนต่อ 100 กรัมน้ำมัน วิธีทดสอบทำโดยวิธีการไตเตรทของ Pearson ซึ่งทำการเตรียมไบโอดีเซลตัวอย่างมาผสมกับสาร ละลาย ที่เป็นสารประกอบ จากนั้นทำการไตเตรทด้วยสารละลาย Triosulphate 0.1 N แล้วนำปริมาณที่ได้ไปหาค่าไอโอดีน

2.8.15 กรดลิโนลินิกเอสเตอร์ (Linolenic Acid Methyl Ester Content)

เป็นการทดสอบหาปริมาณกรดลิโนลินิกเอสเตอร์ในไบโอดีเซล ในข้อกำหนดของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ กรมธุรกิจพลังงาน ให้ทดสอบตามวิธี EN 14103 ซึ่งตรวจวัดโดยใช้เทคนิคโครมาโต - กราฟี ผลทดสอบต้องมีกรดลิโนลินิกเอสเตอร์ในไบโอดีเซลไม่สูงกว่า 12.0 wt%

2.8.16 เมทานอล (Methanol Content)

เป็นการทดสอบหาเมทานอลในไบโอดีเซลถ้าในน้ำมันไบโอดีเซลมีเมทานอลปนอยู่มากจะมีความเสี่ยงมากขึ้นที่จะลุกติดไฟในการขนย้ายและจัดเก็บ ในข้อกำหนดของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอส - เทอร์ กรมธุรกิจพลังงาน ให้ทดสอบตามวิธี EN 14110 ซึ่งตรวจวัดโดยให้ความร้อนกับไบโอดีเซลในภาชนะปิดที่อุณภูมิ 80 ^{o}C จนมีการละเหยเป็นก๊าซจนเกิดดุลยภาพ (Equilibrium) จากนั้นปล่อยส่วนที่เป็นก๊าซฉีดเข้าเครื่องก๊าซโครมาโตกราฟี ผลทดสอบต้องมีเมทานอลในไบโอดีเซลไม่เกิน 0.20 wt%

2.8.17 โมโนกลีเซอไรด์ (Monoglyceride)

ในข้อกำหนดของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ กรมธุรกิจพลังงาน ให้ทดสอบตามวิธี EN 14105 ซึ่งตรวจวัดโดยใช้เทคนิคโครมาโตกราฟี (ดูที่หัวข้อกลีเซอรีนอิสระ) ผลการทดสอบต้องไม่สูงกว่า 0.80 wt%

2.8.18 ไดกลีเซอไรด์ (Diglyceride)

ในข้อกำหนดของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์กรมธุรกิจพลังงาน ให้ทดสอบตามวิธี EN 1405 ซึ่งตรวจวัดโดยใช้เทคนิคโครมาโตกราฟี ผลการทดสอบไตรกลีเซอไรด์ไม่สูงกว่า 0.20 wt%

2.8.19 ไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride)

ในข้อกำหนดของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์กรมธุรกิจพลังงาน ให้ทดสอบตามวิธี EN 1405 ซึ่งตรวจวัดโดยใช้เทคนิคโครมาโตกราฟี ผลการทดสอบไตรกลีเซอไรด์ไม่สูงกว่า 0.20 wt%

2.8.20 กลีเซอรีนอิสระ (Free Glycerin)

ใช้ระบุถึงกลีเซอรีนอิสระที่แยกไม่หมดในไบโอดีเซล เมื่อมีค่าสูงไม่เกินไปอาจส่งให้เกิดผงการอุดตันที่ระบบกรองน้ำมัน อีกทั้งการมีกลีเซอรีนสูงเกินไปยังส่งผลให้การเผาไหม้ไบโอดีเซลจะเกิดสารพิษปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมในปริมาณที่อาจก่อให้เกิดอันตราย วิธีการตรวจวัดกลีเซอรีนมีหลายวิธีแต่ที่ระบุในข้อกำหนดไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ กรมธุรกิจพลังงาน ให้ทดสอบตามวิธี EN 14105 และผลที่ได้ต้องมีค่าไม่สูงกว่า 0.20 wt%

2.8.21 กลีเซอรีนทั้งหมด (Total Glycerin)

มาตรฐานนี้ใช้ระบุถึงกลีเซอรีนทั้งหมดที่แยกไม่หมดในไบโอดีเซลซึ่งประกอบด้วย กลีเซอรีนอิสระ โมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ และไตรกลีเซอไรด์ในการทดสอบมีหลายวิธีแต่ที่ระบุในข้อกำหนดไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ กรมธุรกิจพลังงานให้ทดสอบตามวิธี EN 14105 ซึ่งผลที่ได้ต้องมีค่าไม่สูงกว่า 0.25 wt% มาตรฐาน EN 14105 เป็นการทดสอบของ กลีเซอรีนอิสระ โมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ ไตรกลีเซอไรด์ และกลีเซอรีนทั้งหมดทำโดยใช้เทคนิคก๊าซโครมาโตกราฟี กลีเซอรีนที่มีทั้งหมดในไบโอดีเซล ถ้ามากเกินเกณฑ์มาตรฐาน จะเป็นสาเหตุให้เกิดเป็นเขม่าหรือตะกันเกาะอยู่ในระบบจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงและกระบอกสูบมากเป็นผลให้เกิดการอุด -ตันและสมรรถนะของเครื่องยนต์ตกลง

2.8.22 โลหะกลุ่ม 1 (Sodium and Potassium Content)

ตามข้อกำหนดไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ กรมธุรกิจพลังงาน ให้ทดสอบตามวิธี EN 14108 สำหรับการวัดโซเดียม และ EN 14109 สำหรับการวัดโปแตสเซียม ผลทดสอบต้องมีปริมาณโซเดียมและโปแตสเซียมไม่สูงกว่า 5.0 mg/kg และการตรวจวัดโลหะกลุ่ม 2 (แคลเซียมและแมกนีเซียม) ให้ทดสอบตามวิธี EN 14538 ต้องมีโลหะกลุ่มสองรวมกันไม่สูงกว่า 5.0 mg/kg วิธีการทดสอบจะทำการป้อนพลังงานให้กับสารทดสอบ แล้วตรวจวัดโดยใช้เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometry ตรวจวัดปริมาณพลังงานที่ถูกดูดซับจากสารโลหะนี้ที่มีผสมอยู่ในไบโอดีเซล จะทราบว่ามีโลหะกลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 2 อยู่ปริมาณเท่าไร

2.8.23 ฟอสฟอรัส (Phosphorus)

อาจปนอยู่ในไบโอดีเซลได้จากการปนเปื้อนจากภายนอกจากสารเติมแต่งหรือจากการเกิดสบู่ใ น กระบวนการผลิตแล้วกำจัดออกไม่หมด เป็นสารที่สามารถลดประสิทธิภาพของคะตะไลติกคอนเวอร์เตอร์ (คือ อุปกรณ์ที่ติดตั้งเพื่อบำบัดไอเสียให้มีปริมาณคาร์บอนมอนนอกไซด์ให้ลดลง) จะทำให้เกิดตะกันตกค้างในกระบอกสูบและระบบหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง ข้อกำหนดไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอส - เทอร์ กรมธุรกิจพลังงาน ให้ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D4951 จะต้องได้ค่าไม่สูงกว่า 0.001 wt%

วิธีการทดสอบนี้ทำได้โดยใช้เทคนิคการหาปริมาณฟอสฟอรัส ทำโดยนำตัวอย่างไบโอดีเซลมาให้พลังงานใส่เข้าไป ฟอสฟอรัสจะดูดซับและปลดปล่อยพลังงานออกมาต่างจากไบโอดีเซลแล้ววัดค่าพลังงาน ที่ปลดปล่อยจะทำให้ทราบปริมาณฟอสฟอรัสที่ปนอยู่

2.8.24 สารเติมแต่ง (Additive)

เป็นสารที่เติมผสมลงในไบโอดีเซลเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการเผาไหม้ช่วย ชะล้างและทำความสะอาดเครื่องยนต์หรืออื่นๆ ไม่มีการระบุวิธีทดสอบที่ชัดเจน แต่ให้เป็นไปตามที่ได้รับความเห็นชอบจากอธิบดี กรมธุรกิจพลังงานในมาตรฐาน ASTM สำหรับการทดสอบไบโอดีเซลมีการกำหนดเบื้องต้นจาก ASTM PS121 และปรับแก้ไขเป็น ASTM D6751 ซึ่งในการตรวจสอบไบโอดีเซล (B100) ในปัจจุบันคือมาตรฐาน ASTM D6751-03 ซึ่งแสดงถึงคุณลักษณะและคุณภาพน้ำมันทั้งหมด 14 ค่า มาตรฐานคุณสมบัติไบโอดีเซลนี้ ได้รับการยอมรับและอ้างอิงนำไปใช้อย่างแพร่หลายทั่วโลกรวมถึงประเทศไทยด้วยเมื่อพิจารณาตามมาตรฐาน ASTM D6751 พบว่ามีคุณสมบัติที่แตกต่างจากประกาศกรมธุรกิจพลังงานเพียงเล็กน้อย เนื่องจากสภาพอุณหภูมิในภูมิภาคที่ไม่เหมือนกันสำหรับคุณสมบัติในมาตรฐาน ASTM D6751 ที่ไม่กำหนดในประกาศกรมธุรกิจพลังงาน

2.8.25 จุดขุ่นมัว (Cloud Point)

ใช้ระบุถึงประสิทธิภาพของการใช้น้ำมัน ณ สถานะที่มีอุณหภูมิต่ำโดยจุดขุ่นมัวของไบโอดีเซลส่วนใหญ่สูงกว่าดีเซล ในมาตรฐานไบโอดีเซล (B100) ตามมาตรฐาน ASTM D6751 ให้ทดสอบตามวิธี ASTM D2500 โดยรายงานเป็นอุณหภูมิที่เกิดจุดขุ่นมัว ในขณะที่ตามข้อกำหนดไบโอดีเซ ลประเภทเมทิลเอสเทอร์ กรมธุรกิจพลังงาน ไม่กำหนดแต่ในประเทศที่มีอากาศหนาวเย็น มีหิมะตกเป็นสมบัติที่สำคัญมากสำหรับการนำไปใช้งาน

2.9 มาตรฐานคุณภาพไบโอดีเซลในประเทศไทย

2.9.1 รายละเอียดแนบท้ายประกาศกรมธุรกิจพลังงาน เรื่อง กำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเตอร์ของกรดไขมัน พ.ศ. 2550 [48]

รายการ	ข้อกำหนด		อัตราสูง-ต่ำ		วิธีทดสอบ [1/]
1	เมทิลเอสเตอร์ (Methyl Ester,	*ร้อยละโดยน้ำหนัก* *% wt.)*	ไม่ต่ำกว่า	96.5	EN 14103
2	ความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15 °ซ (Density at 15 °C,	*กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร* *kg/m ^{3})*	ไม่ต่ำกว่า และ ไม่สูงกว่า	860 900	ASTM D 1298
3	ความหนืด ณ อุณหภูมิ 40 °ซ (Viscosity at 40 °C,	*เซนติสโตกส์* *cSt)*	ไม่ต่ำกว่า และ 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 (ร้อยละ 10 ของกากที่เหลือจากการกลั่น) (Carbon Residue , on 10 % distillation 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	เสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่น ณ อุณหภูมิ110 องศาเซลเซียส (Oxidation Stability at 100 °C,	*ชั่วโมง* *hours)*	ไม่ต่ำกว่า	6	EN 14112

2.9.1 รายละเอียดแนบท้ายประกาศกรมธุรกิจพลังงาน เรื่อง กำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเตอร์ของกรดไขมัน พ.ศ. 2550 (ต่อ)

รายการ	ข้อกำหนด		อัตราสูง-ต่ำ		วิธีทดสอบ [1/]
13	ค่าความเป็นกรด (Acid Value ,	*มิลลิกรัมโปตัสเซียมไฮดรอกไซด์/กรัม mg KOH/g)*	ไม่สูงกว่า	0.50	ASTM D 664
14	ค่าไอโอดีน (Iodine Value ,	*กรัมไอโอดีน/ 100 กรัม g Iodine / 100 g)*	ไม่สูงกว่า	120	EN 14111
15	กรดลิโนเลนิกเมทิลเอสเตอร์ (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	กลีเซอรีนอิสระ (Free glycerin ,	*ร้อยละโดยน้ำหนัก %wt.)*	ไม่สูงกว่า	0.02	EN 14105
21	กลีเซอรีนทั้งหมด (Total glycerin,	*ร้อยละโดยน้ำหนัก %wt.)*	ไม่สูงกว่า	0.25	EN 14105
22	โลหะกลุ่ม 1 (โซเดียมและโปแตสเซียม) (Group I metals (Na+K),	*มิลลิกรัม/กิโลกรัม mg/kg)*	ไม่สูงกว่า	5.0	EN 14108 และ EN 14109
	โลหะกลุ่ม 2 (แคลเซียมและแมกนีเซียม) (Group II metals (Ca+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)		ให้เป็นไปตามที่ได้รับความเห็นชอบจากอธิบดีกรมธุรกิจพลังงาน		

หมายเหตุ 1/ วิธีทดสอบอาจใช้วิธีอื่นที่เทียบเท่าก็ได้ แต่ในกรณีที่มีข้อโต้แย้งให้ใช้วิธีที่กำหนดในรายละเอียดแนบท้ายนี้

2.9.2 รายละเอียดแนบท้ายประกาศกรมธุรกิจพลังงานเรื่อง กำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลสำหรับเครื่องยนต์การเกษตร (ไบโอดีเซลชุมชน) พ.ศ. 2549 [49]

รายการ	ข้อกำหนด		อัตราสูง-ต่ำ		วิธีทดสอบ 1/
1	ความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15°ซ (Density at 15 °C,	กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร *kg/m³*)	ไม่ต่ำกว่า และ ไม่สูงกว่า	860 900	ASTM D 1298
2	ความหนืด ณ อุณหภูมิ 40°ซ (Viscosity at 40 °C,	เซนติสโตกส์ *cSt)*	ไม่ต่ำกว่า และ ไม่สูงกว่า	1.9 8.0	ASTM D 445
3	จุดวาบไฟ (Flash Point ,	องศาเซลเซียส °C)	ไม่ต่ำกว่า	120	ASTM D 93
4	กำมะถัน (Sulphur,	ร้อยละโดยน้ำหนัก *%wt.)*	ไม่สูงกว่า	0.0015	ASTM D 2622
5	จำนวนซีเทน (Cetane Number)		ไม่ต่ำกว่า	47	ASTM D 613
6	เถ้าซัลเฟต (Sulphated Ash,	ร้อยละโดยน้ำหนัก *%wt.)*	ไม่สูงกว่า	0.02	ASTM D 874
7	น้ำและตะกอน (Water and Sediment,	ร้อยละโดยปริมาตร *%vol.)*	ไม่สูงกว่า	0.2	ASTM D 2709
8	การกัดกร่อนแผ่นทองแดง (Copper Strip Corrosion)		ไม่สูงกว่า	หมายเลข 3	ASTM D 130
9	ค่าความเป็นกรด (Acid Number,	มิลลิกรัมโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์/กรัม *mg KOH/g)*	ไม่สูงกว่า	0.80	ASTM D 664
10	กลีเซอรีนอิสระ (Free glycerin,	ร้อยละโดยน้ำหนัก *%wt.)*	ไม่สูงกว่า	0.02	ASTM D 6584
11	กลีเซอรีนทั้งหมด (Total glycerin,	ร้อยละโดยน้ำหนัก *%wt.)*	ไม่สูงกว่า	1.5	ASTM D 6584
12	สี (Colour)			ม่วง 2/	ตรวจพินิจด้วยสายตา
13	สารเติมแต่ง (ถ้ามี) (Additive)		ให้เป็นไปตามที่ได้รับความเห็นชอบจากอธิบดีกรมธุรกิจพลังงาน		

หมายเหตุ 1/ วิธีทดสอบอาจใช้วิธีอื่นที่เทียบเท่าก็ได้ แต่ในกรณีที่มีข้อโต้แย้งให้ใช้วิธีที่กำหนดในรายละเอียดแนบท้ายนี้

2/ ใช้สารประกอบประเภท 1,4-dialkylamino anthraquinone และ alkyl derivatives of azobenzene-4-azo-2-naphthol

2.10 เงาะ

เงาะ (อังกฤษ: Rambutan; ชื่อวิทยาศาสตร์ : *Nephelium lappaceum* Linn.) เป็นไม้ผลเมืองร้อน มีถิ่นกำเนิดในประเทศอินโดนีเซีย และมาเลเซีย โดยทั่วไปเงาะ เป็นไม้ผลที่เจริญเติบโตได้ดี ในบริเวณที่มีความชื้นค่อนข้างสูง เงาะในประเทศไทย จึงนิยมปลูกในบริเวณภาค ตะวันออกและภาคใต้ อาทิ พันธุ์สีทอง พันธุ์น้ำตาลกรวด พันธุ์สีชมพู พันธุ์โรงเรียน และพันธุ์เจ๊ะมง เป็นต้น แต่ พันธุ์เงาะที่นิยมปลูกเป็นการค้า มีแค่ 3 พันธุ์ คือ พันธุ์โรงเรียน พันธุ์สีทอง และพันธุ์สีชมพู ส่วนพันธุ์อื่นๆ จะมีปลูก กันบ้างประปรายและโดยมากมักใช้เพื่อบริโภคในครัวเรือน หรือใช้ประโยชน์ เพื่อการศึกษาทางวิชาการ ในอดีตประ เทศที่ผลิตและส่งออกรายใหญ่ได้แก่ ไทย มาเลเซีย และอินโดนีเซีย แต่ปัจจุบันพบว่าประเทศผู้ผลิตใหม่ เช่น ออสเตรเลีย และฮอนดูรัส ได้เข้ามามีส่วนแบ่งในตลาดเพิ่มมากขึ้น

เงาะเป็นไม้ผลยืนต้นขนาดกลางถึงขนาดใหญ่ ชอบอากาศร้อนชื้น อุณหภูมิที่เหมาะสม อยู่ในช่วง 25 – 30° C ความชื้นสัมพัทธ์สูงประมาณ 75 – 85 % ดินปลูกที่เหมาะสมควรมีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (ค่า pH) ของดินประมาณ 5.5 – 6.5 และที่สำคัญควรเลือกแหล่งปลูกที่มีน้ำเพียงพอตลอดปี เงาะเป็นไม้ผลที่มีระบบรากหาอาหารลึกประมาณ 60 – 90 เซนติเมตรจากผิวดินจึงต้องการสภาพแล้งก่อนออกดอกติดต่อกัน ประมาณ 21 – 30 วัน เมื่อต้นเงาะผ่านสภาพแล้งและมีการจัดการน้ำอย่างเหมาะสมเงาะจะออกดอก ช่วงพัฒนาการของดอก (ผลิตดอก – ดอกแรกเริ่มบาน) ประมาณ 10 – 12 วัน ดอกเงาะจะทยอยบานจากโคนช่อไปหาปลายช่อ ใช้เวลาประมาณ 25 – 30 วัน จึงจะบานหมดช่อ อกเงาะมี 2 ชนิด คือ ดอกตัวผู้และดอกสมบูรณ์เพศ ต้นที่มีดอกตัวผู้จะไม่ติดผล ส่วนต้นที่มีดอกสมบูรณ์เพศนั้นเกสรตัวผู้ไม่ค่อยแข็งแรง ต้องปลูกต้นตัวผู้แซมในสวนเพื่อเพิ่มละอองเกสรหรือฉีดพ่นฮอร์โมนพืชเพื่อช่วยให้เกสรตัวผู้แข็งแรงขึ้น

เงาะเป็นที่รู้จักกันอย่างแพร่หลายในหมู่คนไทย เนื้อเงาะนอกจากจะรับประทานสดๆแล้วยังนำไปผลิตเป็นเงาะกระป๋อง เงาะที่ใช้ผลิตเป็นเงาะจากทางใต้และจันทบุรี สำหรับเมล็ดเงาะเป็นของเหลือทิ้งจากโรงงานเหล่านี้ส่วนใหญ่ยังไม่ได้นำไปใช้ประโยชน์เท่าที่ควรซึ่งในแต่ละปีมีเมล็ดเงาะที่สำรวจได้จาก 13 โรงงาน ในจำนวน 18 โรงงาน คือ 170 ตัน/ปี, ซึ่งจะให้ไขมัน 33 ตัน/ปี (เงาะ 1 Kg จะให้เมล็ดเงาะประมาณ 70-80 g) หรือมูลค่า 357,000/ปี จุดประสงค์ของงานวิจัยนี้ จึงต้องการนำเอาเมล็ดเงาะมาสกัดเป็นน้ำมันเพื่อใช้ผลิตเป็นไบโอดีเซลและจากงานวิจัยของ Jamieson พบว่าเมล็ดเงาะมีส่วนประกอบที่น่าสนใจดังนี้

Specific gravity 99/15.5°C	0.8629
Sponification value	193.0
Iodine number	43.8

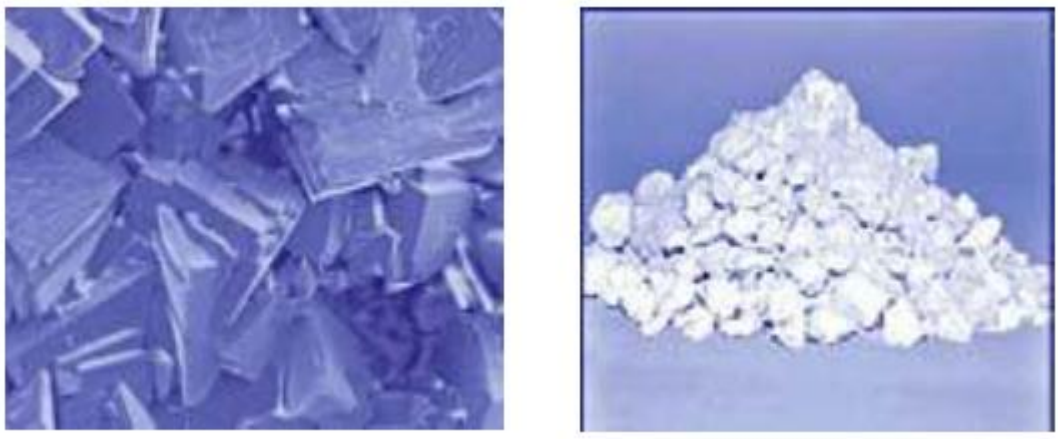
Melting point	40-42°C
Acid value	4.8

กรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบสำคัญมีดังนี้

Palmitic acid	2.0%
Steric acid	13.8%
Oleic acid	45.12%
Arachidic acid	34.5%
Eicoseonic acid (Gadoleic acid)	4.23%

2.11 แคลเซียมออกไซด์

แคลเซียมออกไซด์มีลักษณะเป็นผงสีขาว คุณสมบัติของแคลเซียมออกไซด์ดังตารางที่ 2.6 แคลเซียมออกไซด์เตรียมได้จากการให้ความร้อนแก่ แร่ที่มีส่วนประกอบของ $CaCO_3$ เช่น หินปูน ปูนขาว แร่แคลไซต์ ดังรูปที่ 2.15 และการให้ความร้อนแก่ เปลือกของสัตว์ทะเล เช่น เปลือกหอย



รูปที่ 2.6 แร่ที่มีส่วนประกอบของแคลเซียมคาร์บอเนต [15]

แคลเซียมคาร์บอเนต มีสูตรเคมี $CaCO_3$ ส่วนประกอบทางเคมีประกอบด้วย CaO ร้อยละ 56 CO_2 ร้อยละ 44 มีความแข็ง 3 ความถ่วงจา เพาะ 2.71 สลายตัวเมื่อเผาที่อุณหภูมิ 825°C [15] ลักษณะทาง

กายภาพของแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นผงสีขาวไม่ละลายน้ำ แต่เมื่อได้รับความร้อนที่อุณหภูมิมากกว่า 825°C แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จะสลายออกไป ดังสมการที่ 2.4

$$CaCO_3(s) \xrightleftharpoons{825^{\circ}C} CaO(s) + CO_2 \qquad \textbf{(2.1)}$$

ปฏิกิริยาข้างต้นนี้สามารถผันกลับได้ คือ แคลเซียมออกไซด์สามารถเกิดปฏิกิริยากับคาร์บอนไดออกไซด์กลายเป็นแคลเซียมคาร์บอเนต

ตารางที่ 2.2 แสดงสมบัติทางเคมีของแคลเซียมออกไซด์ [16]

รายการ	รายละเอียด
IUPAC Name	Calcium oxide
Other Name	Quicklime
Molecular formula	CaO
Molar mass	56.077 g/mol
Appearance	White to pale yellow powder
Density	3.35 g/ cm^3
Melting point	2572 oC (2845 K)
Boiling point	2850 oC (3123 K)
Solubility in water	reacts
Solubility in [acids, glycerol, sugar solution]	soluble
Solubility in [methanol, diethyl ether n-octanol]	insoluble
Acidity (pKa)	12.5

2.12 เปลือกไข่

เปลือกไข่เป็นวัสดุธรรมชาติที่ถูกทิ้งเป็นของเสียจานวนมาก จากการประกอบอาหารในครัวเรือนและอุตสาหกรรมอาหาร และเนื่องจากความต้องการในการบริโภคไข่มีมากขึ้นเรื่อยๆ ซึ่งคนไทยมีปริมาณการบริโภคไข่ไก่เฉลี่ยถึง 150 ฟองต่อคนต่อปี ดังนั้นจะมีเปลือกไข่ไก่ที่เหลือทิ้งจากการบริโภคประมาณ 5,940 เมกตริกตันต่อปี

2.12.1 ส่วนประกอบของเปลือกไข่

1. ส่วนเคลือบผิว (Cuticle)

ส่วนเคลือบผิวเป็นส่วนที่อยู่นอกสุดของเปลือกไข่ มีลักษณะบาง ใส องค์ประกอบโดยน้าหนักประกอบด้วย โปรตีน 58-87% คาร์โบไฮเดรต 3.5-4.4% ไขมัน 2.5-3.5% และเถ้า 3.5% [16] ส่วนเคลือบผิวนี้มีทาหน้าที่อุดรูเปลือกไข่ ทาให้เปลือกไข่สามารถป้องกันเชื้อจุลินทรีย์ได้ นอกจากนี้ในส่วนนี้ยังจะมี รงควัตถุ (Pigment) ที่เกิดจากวัตถุสีของเม็ดเลือดแดง (Porphyrin) ปะปนอยู่กับเกลือแคลเซียมของเปลือกไข่จึงทาให้มีสีเกิดขึ้นที่ผิวของเปลือกไข่

2. เปลือกไข่ (true shell)

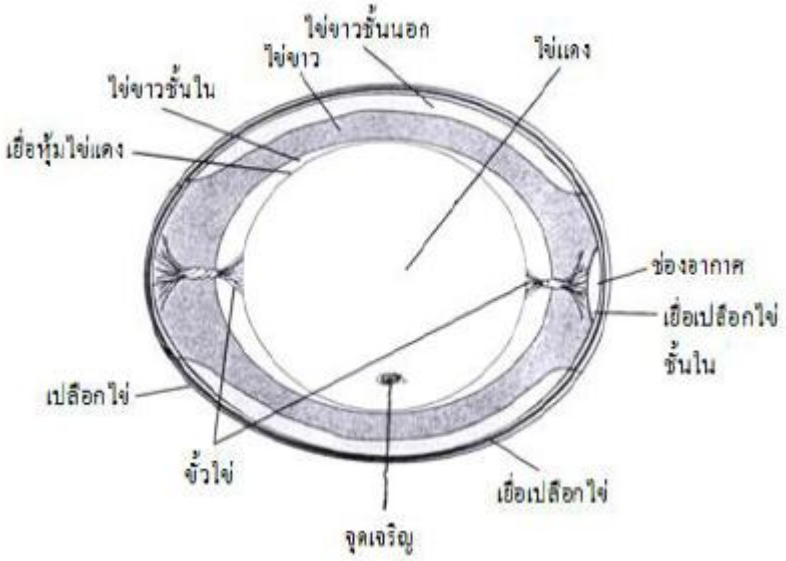
ก) เปลือกไข่ชั้นนอกหรือชั้นฟองน้า (Outer shell/Spongy matrix)

เปลือกไข่ชั้นนอกหรือชั้นฟองน้าเป็นส่วนที่อยู่ถัดเข้ามาหรือเป็นส่วนที่ถูกส่วนเคลือบผิวเคลือบอยู่ ซึ่งเป็นชั้นที่ผนึกกันแน่นและมีรูเล็กๆเป็นจานวนมาก ทาให้เปลือกไข่ชั้นนอกมีลักษณะเป็นรูพรุนแบบฟองน้า ส่วนประกอบที่สาคัญในชั้นนี้ประกอบด้วยผลึกแคลเซียมที่หนาแน่นรวมเข้ากับเมทริกซ์อินทรีย์ โดยเมทริกซ์อินทรีย์เหล่านี้จะมีลักษณะเป็นเส้นใยละเอียด กระจายอยู่อย่างสม่าเสมอตลอดทั้งเปลือกไข่และเป็นสารจาพวก Protein acid mucopolysaccharide complex ที่ประกอบด้วยโปรตีน non-collagenous ประมาณ 70% โดยน้าหนัก คาร์โบไฮเดรต เปลือกไข่อาจมีสีน้าตาลหรือสีขาวขึ้นอยู่กับพันธุ์แม่ไก่ สีไข่ในเปลือกไข่จะมีคอลลาเจน (Collagen) สานเป็นตัวตาข่าย และมีหินปูน (แคลเซียมคาร์บอเนต) เป็นส่วนใหญ่ ทาให้เปลือกแข็ง เปลือกไข่จะมีรูขนาดเล็กมาก มองไม่เห็นด้วยตาเปล่า อากาศและความชื้นสามารถแทรกผ่านรูเล็กๆที่อยู่ในไข่ได้ อากาศจาเป็นสาหรับตัวอ่อนหายใจ เมื่อไข่ออกมาใหม่ๆ จะมีเมือกเคลือบที่เปลือกไข่ด้านบน เพื่อป้องกันไม่ให้อากาศและน้าผ่านเข้าไปได้ เปลือกไข่ในช่วงแรกๆจึงมีลักษณะเป็นนวล เมื่อเก็บไว้นานๆ เมือกเหล่านี้จะแห้งไป

ข) เปลือกไข่ชั้นใน (Mammillary layer)

เปลือกไข่ชั้นในนี้จะอยู่ถัดเข้ามาจากเปลือกไข่ชั้นนอก ประกอบด้วยสารประกอบของแมกนีเซียมกับฟอสเฟตที่ไม่อยู่ในรูปผลึกเป็นชั้นหนาประมาณ 0.11 มิลลิเมตรหรือเป็นเนื้อที่ประมาณ 1 ใน 3 ของความหนาของพื้นผิวไข่ มีลักษณะเป็นปุ่มหยาบๆ ครึ่งวงกลมหรือรูปกรวยที่ประกอบด้วยผลึกแคลเซียมคาร์บอเนตรูป 6 เหลี่ยม โดยในแต่ละปุ่มพื้นเปลือกจะมีสารอินทรีย์รวมเข้าไปกับส่วนที่เป็น

ชั้นฟองน้ำ ซึ่งจะทาให้เชื่อมกับเส้นใยของเยื่อเปลือกไข่ด้วยพันธะไดซัลไฟด์และพันธะไฮโดรเจน ขนาดและรูปร่างของปุ่มพื้นเปลือกและการเรียงตัวของพื้นเปลือกจะแตกต่างกันตามชนิดของสัตว์ปีก แต่ละปุ่มมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.096-0.144 มิลลิเมตร ส่วนความสูงจะขึ้นกับความหนาของเปลือกชั้นใน



รูปที่ 2.7 ส่วนประกอบของไข่ [16]

ข) เยื่อชั้นนอก (Out membranes)

เยื่อชั้นนอก เป็นชั้นที่อยู่ระหว่างเยื่อชั้นในกับเปลือก เยื่อชั้นนี้จะติดแน่นกับเปลือกชั้นในและขนานไปกับเปลือกไข่ เยื่อชั้นนอกนี้แบ่งออกเป็น 3 ชั้น ซึ่งแต่ละชั้นประสานกันด้วยร่างแหโปรตีน ชั้นนอกสุดเป็นเส้นใยโปรตีนพวกเคราติน มีลักษณะเป็นเส้นแบนขนาด 0.002-0.015 มิลลิเมตร เส้นใยชั้นกลางส่วนใหญ่เป็นมิวซินประสานกัน ขนานกับเปลือกไข่ขนาด 0.008 มิลลิเมตร มีลักษณะเป็น 2 ชั้นย่อย ติดกันแนบสนิทจนเกือบเป็นเนื้อเดียวกัน ส่วนชั้นในจะเป็นกิ่งก้านสาขาของเส้นเคราตินเล็กๆ ประสานกันเป็นร่างแห ขนานกับผิวไข่บ้าง ตั้งฉากบ้าง ทาให้ชั้นนี้เหนียวขึ้นและมีความหนาประมาณ 0.015 มิลลิเมตร

4. รูเปลือกไข่ (Pores)

รูเปลือกไข่ เป็นตัวเชื่อมโยงจากภายนอกเข้าไปถึงเยื่อเปลือกไข่ สาหรับรูที่ผ่านเปลือกชั้นในออกมานั้นจะมีขนาดเล็กที่สุด และเปิดกว้างเป็นแฉกผายออกที่ผิวของเปลือกชั้นใน บางรูจะถูกอุดตันหรือถูกปิดด้วยเส้นใยโปรตีน โดยรูขนาดใหญ่สุดมีขนาด 0.022-0.029 มิลลิเมตร ส่วนรูขนาดเล็กสุดจะมีขนาด 0.004-0.005 มิลลิเมตร สาหรับไข่เป็ดจะมีจานวนรูต่อตารางเซนติเมตรมากกว่าไข่ไก่ ซึ่งไข่ไก่จะมีจานวนรูประมาณ 7,000-17,000 รูต่อฟอง ในแต่ละพื้นที่ของเปลือกไข่จะมีจานวนรูไม่เท่ากัน

Xuejun และคณะ [26] ศึกษาปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันของน้ำมันถั่วเหลืองเป็นไบโอดีเซล โดยใช้แคลเซียมออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดของแข็งที่เป็นเบส ผลการทดลองพบว่า อัตราส่วนโมลของ เมทานอลต่อน้ำมันเท่ากับ 12:1 เติมตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์ 8% อุณหภูมิของปฏิกิริยา 65°C และปริมาณน้ำ 2.03% ในเมทานอลจะให้ผลดี และให้ผลผลิตไบโอดีเซลมากกว่า 95% ในเวลา 3 ชั่วโมง อายุการใช้งานของตัวเร่งปฏิกิริยามากกว่า การเผาของตัวเร่งปฏิกิริยา K_2CO_3/γc-Al_2O_3 และ KF/γc-Al_2O_3 แคลเซียมคาร์บอเนตรักษาอัตราการเกิดสูงได้ยาวนาน แม้หลังจากถูกใช้หลายครั้งสามารถใช้งานได้ถึง 20 รอบ และการทดลองซ้ำไม่เกิดผลกระทบผลผลิตไบโอดีเซลที่เวลา 1.5 ชั่วโมง

จันทร และคณะ [16] ศึกษาการสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มโดยใช้กระบวนการทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน และใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นของแข็ง คือ แคลเซียมออกไซด์ที่ได้จากเปลือกไข่ ซึ่งมีร้อยละเอสทิลเอสเทอร์ประมาณ 100 เปลือกไข่มีคุณสมบัติบางประการ เช่น พื้นที่ผิวมาก ทาให้เกิดปฏิกิริยาได้เป็นอย่างดี โดยศึกษาตัวแปร ได้แก่ เวลาที่ใช้ในการทาปฏิกิริยา และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาแล้วทำการสังเคราะห์ไบโอดีเซลโดยเปรียบเทียบระหว่างแคลเซียมออกไซด์เกรดวิเคราะห์กับแคลเซียมออกไซด์ที่ได้จากเปลือกไข่เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม

Wai และคณะ [27] ศึกษาการประยุกต์ใช้เปลือกไข่ที่เป็นของแข็งและมีต้นทุนต่าเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลโดยใช้กระบวนการทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน ทาการทดลองเผาเปลือกไข่ที่อุณหภูมิ 200-1000๐C ภายใต้ความดันคงที่ โดยใช้วัตถุดิบคือน้ำมันถั่วเหลือง ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่ากลุ่มตัวอย่างเปลือกไข่ที่เผาอุณหภูมิมากกว่า 800๐C เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาให้ผลผลิตมากที่สุด คือ 97-99% และเมื่อเผาที่อุณหภูมิ 700๐C ให้ผลผลิต 90% และใช้อุณหภูมิเผาต่ากว่า 600๐C จะให้ผลผลิตในระดับต่าคือน้อยกว่า 30%