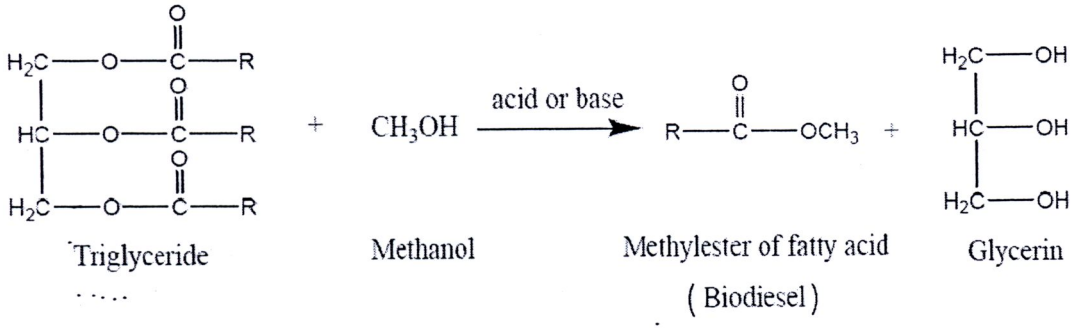
# บทที่ 2

# ทบทวนเอกสาร

## 2.1 ไบโอดีเซล

ไบโอดีเซล (biodiesel) หมายถึง น้ำมันเชื้อเพลิงชนิดหนึ่งที่ได้จากน้ำมันพืช ไขมันสัตว์ หรือน้ำมันปรุงอาหารที่ใช้แล้ว ไปผ่านกระบวนการทรานเอสเทอริฟิเคชัน (tranesterification) โดยการเติมแอลกอฮอล์ เช่น เมทานอล หรือเอทานอล และตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ หรือโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ เพื่อเปลี่ยนโครงสร้างของน้ำมันจากไตรกลีเซอไรด์ (triglyceride) ให้เป็นโมโนอัลคิลเอสเทอร์ (mono alkyl ester) ของกรดไขมัน ได้แก่ เมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน (fatty acid methyl ester; FAMEs) หรือเอทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน (fatty acid ethyl ester) และได้กลีเซอรีน (glycerine) เป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้ (by product) เนื่องจากเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันที่ได้นี้มีลักษณะคล้ายดีเซลปิโตรเลียม ดังนั้นจึงเรียกเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันนี้ว่า ไบโอดีเซล แสดงดังภาพ 2.1




**ภาพ 2.1** ปฏิกิริยาการเกิดทรานเอสเทอริฟิเคชัน

ไบโอดีเซลโดยทั่วไปหมายถึง ไบโอดีเซลบริสุทธิ์ จะใช้สัญลักษณ์ B100 หมายถึงน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีไบโอดีเซลอย่างเดียว แต่ถ้าเป็นไบโอดีเซลผสมจะใช้สัญลักษณ์ BXX หมายถึงเชื้อเพลิงที่ประกอบด้วยไบโอดีเซลร้อยละ XX และดีเซลปิโตรเลียมร้อยละ 100-XX เช่น B20 หมายถึงน้ำมันเชื้อเพลิงที่ประกอบด้วยไบโอดีเซลร้อยละ 20 ผสมกับดีเซลปิโตรเลียมร้อยละ 80

ไบโอดีเซลได้มีการใช้ในหลายประเทศ ดังตาราง 2.1 แสดงรายชื่อประเทศที่ใช้ไบโอดีเซลเป็น 10 ลำดับแรกของโลก [10]

**ตาราง 2.1** ประเทศที่มีการใช้ไบโอดีเซลเป็น 10 ลำดับแรกของโลก

| ลำดับ | ประเทศ | ปริมาณการใช้ (ลิตร) | ต้นทุนการผลิต (เหรียญสหรัฐ/ลิตร) |
|---|---|---|---|
| 1 | มาเลเซีย (Malaysia) | 14,540,000,000 | 0.53 |
| 2 | อินโดนีเซีย (Indonesia) | 7,595,000,000 | 0.49 |
| 3 | อาร์เจนตินา (Argentina) | 5,255,000,000 | 0.62 |
| 4 | สหรัฐอเมริกา (USA) | 3,212,000,000 | 0.70 |
| 5 | บราซิล (Brazil) | 2,567,000,000 | 0.62 |
| 6 | เนเธอร์แลนด์ (Netherlands) | 2,496,000,000 | 0.75 |
| 7 | เยอรมนี (Germany) | 2,024,000,000 | 0.79 |
| 8 | ฟิลิปปินส์ (Philippines) | 1,234,000,000 | 0.53 |
| 9 | เบลเยียม (Belgium) | 1,213,000,000 | 0.78 |
| 10 | สเปน (Spain) | 1,073,000,000 | 1.71 |

## 2.2 ไบโอดีเซล และไบโอดีเซลชุมชนในประเทศไทย

ประเทศไทยมีการนำน้ำมันพืชมาใช้เป็นเชื้อเพลิงเพื่อทดแทนน้ำมันเชื้อเพลิงที่ขาดแคลนตั้งแต่สมัยสงครามโลกครั้งที่ 2 แต่เมื่อสงครามสงบลงและน้ำมันจากปิโตรเลียมมีราคาถูกและหาได้ง่าย จึงเลิกใช้ จนกระทั่งเกิดวิกฤติน้ำมันของโลกในปี 2514 เป็นต้นมา จึงได้มีการวิจัยศึกษาหาพลังงานทดแทนมาใช้อีก โดยในปี 2528 พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวทรงมีพระราชดำริให้..... มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์สร้างโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม ณ ศูนย์การศึกษาพัฒนาพิกุลทอง ต่อมาในปี 2545 ศูนย์ศึกษาการพัฒนาพิกุลทอง อันเนื่องมาจากพระราชดำริ ได้ทดลองนำน้ำมันปาล์มดิบแปรรูปเป็นเมทิลเอสเทอร์ (ไบโอดีเซล) เพื่อใช้ทดแทนน้ำมันดีเซลปิโตรเลียมในเครื่องจักรกลทางการเกษตร และรถยนต์ภายในศูนย์ฯ และตั้งแต่ปี 2548 เป็นต้นมา ได้สร้างสถานีจ่ายไบโอดีเซลภายในศูนย์ฯ และจำหน่ายให้แก่บุคคลทั่วไปในพื้นที่ โดยติดตั้งปั๊มและหัวจ่ายไบโอดีเซลภายในศูนย์ฯ เชื้อเพลิงที่จำหน่ายเป็นไบโอดีเซลชนิด B100 มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์เป็นสถาบันแห่ง

หนึ่งที่ได้วิจัยไบโอดีเซล ชนิด B100 ตั้งแต่ปี 2544 ปัจจุบันได้เปิดจำหน่ายให้แก่ประชาชนทั่วไป เป็นชนิด B100 โดยใช้วัตถุดิบคือน้ำมันปาล์มดิบ และน้ำมันพืช/สัตว์ที่ใช้แล้ว นอกจากนี้ยังมีหน่วยงานต่างๆ เช่น โครงการส่วนพระองค์ในสวนจิตรลดา บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน) กรมอู่ทหารเรือ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย และบริษัทราชาไบโอดีเซล จำกัด ที่ทำการผลิตไบโอดีเซลด้วย

วัตถุดิบที่สามารถนำมาผลิตไบโอดีเซลในประเทศไทย ได้แก่ น้ำมันพืชใช้แล้ว และน้ำมันพืชสกัดใหม่อีก 8 ชนิด ได้แก่

1) น้ำมันปาล์ม
2) น้ำมันมะพร้าว
3) น้ำมันถั่วเหลือง
4) น้ำมันถั่วลิสง
5) น้ำมันละหุ่ง
6) น้ำมันงา
7) น้ำมันเมล็ดทานตะวัน
8) น้ำมันสบู่ดำ

โดยวัตถุดิบหลักที่นำมาผลิตไบโอดีเซล ได้แก่ ปาล์มน้ำมัน เนื่องจากปาล์มน้ำมันเป็นพืชที่มีศักยภาพในการแข่งขันสูงกว่าพืชน้ำมันชนิดอื่น ทั้งด้านการผลิตและการตลาด คือ มีต้นทุนการผลิตและราคาต่ำกว่าน้ำมันพืชชนิดอื่น นอกจากนี้ปาล์มยังสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างหลากหลายทั้งในสินค้าอุปโภคและบริโภค [11]

ไบโอดีเซลชุมชน เป็นโครงการที่สนับสนุนให้ชุมชน หมู่บ้าน กลุ่มเกษตรกร ที่ใช้เชื้อเพลิงน้ำมันดีเซลอยู่แล้วให้ผลิตไบโอดีเซลใช้เอง ให้พึ่งพาตนเองด้านพลังงานได้ในระดับหนึ่ง โดยภาครัฐได้ส่งเสริมให้มีการผลิตไบโอดีเซลในชุมชนเพิ่มขึ้นในทุกภูมิภาค มีการผลักดันให้ชุมชนมีโรงงานผลิตไบโอดีเซลเพื่อใช้เองในชุมชน โดยใช้วัตถุดิบที่หาได้ในท้องถิ่น เช่น น้ำมันพืชใช้แล้ว น้ำมันปาล์ม น้ำมันจากเมล็ดสบู่ดำ น้ำมันจากไขมันสัตว์ เป็นต้น ประชาชนในชุมชนสามารถนำน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตได้ไปใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องจักรกลทางการเกษตร และเครื่องยนต์รอบต่ำต่างๆ ซึ่งช่วยให้ชุมชนประหยัดค่าใช้จ่ายในการซื้อน้ำมันได้มากทีเดียว และเป็นการลดการนำเข้าน้ำมันเชื้อเพลิงจากต่างประเทศได้เป็นอย่างดี รวมทั้งยังเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมอีกด้วย [12]

**2.3 สมบัติทั่วไปของไบโอดีเซล**

ไบโอดีเซลเป็นผลผลิตที่ได้จากน้ำมันพืชที่ผ่านกระบวนการทางเคมี ให้มีสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลปิโตรเลียม อย่างไรก็ตามเนื่องจากดีเซลปิโตรเลียมและไบโอดีเซลมีองค์ประกอบและมีโครงสร้างที่แตกต่างกัน ทำให้ไบโอดีเซลยังคงมีสมบัติที่แตกต่างจากดีเซลปิโตรเลียม ซึ่งบางสมบัติเป็นข้อได้เปรียบ และบางสมบัติเป็นข้อเสียเปรียบ เมื่อนำไบโอดีเซลมาใช้เป็นเชื้อเพลิงเปรียบเทียบกับดีเซลปิโตรเลียม เช่น ไบโอดีเซลมีจุดวาบไฟสูงกว่าดีเซลปิโตรเลียม ทำให้มีความปลอดภัยในการขนส่งมากกว่า เป็นต้น โดยทั่วไปแล้วสามารถเปรียบเทียบสมบัติของไบโอดีเซลกับดีเซลปิโตรเลียมได้ดังนี้

1) ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงสะอาด ไม่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบ ทำให้ไอเสียที่ปล่อยออกจากเครื่องยนต์ไม่ก่อให้เกิดภาวะฝนกรด เมื่อเปรียบเทียบกับดีเซลปิโตรเลียมที่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบ เมื่อถูกเผาไหม้แล้วกำมะถันในดีเซลปิโตรเลียมจะเปลี่ยนรูปเป็นซัลเฟอร์ไดออกไซด์และกรดซัลฟิวริกหรือกรดกำมะถัน ตามลำดับ เกิดเป็นมลพิษทางอากาศ เมื่อฝนตกจะชะล้างมลพิษเหล่านี้เกิดเป็นฝนกรดได้

2) ดีเซลปิโตรเลียมไม่มีออกซิเจนอยู่ในโครงสร้างโมเลกุล และมีองค์ประกอบของสารประกอบอะโรมาติกถึงร้อยละ 20-40 ขณะที่ไบโอดีเซลไม่มีสารประกอบประเภทสารประกอบอะโรมาติก แต่มีออกซิเจนอยู่ในโครงสร้างโมเลกุลถึงร้อยละ 10-12 ทำให้เมื่อใช้ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิง ไอเสียที่เกิดขึ้นมีปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็ก และมีควันดำต่ำกว่าการใช้ดีเซลปิโตรเลียม

3) ไบโอดีเซลมีจุดวาบไฟสูงกว่าดีเซลปิโตรเลียม จึงมีค่าการจุดระเบิดในเครื่องยนต์ช้ากว่าดีเซลปิโตรเลียม

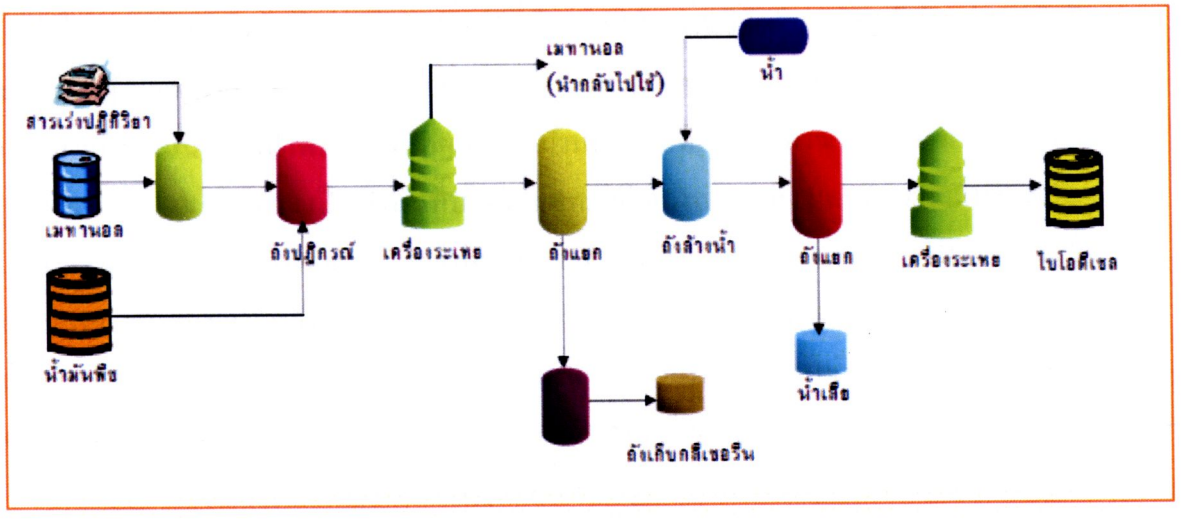
4) ดีเซลปิโตรเลียมไม่มีพันธะคู่ในโครงสร้างโมเลกุล ขณะที่ไบโอดีเซลมีพันธะคู่ในน้ำมันพืช ซึ่งมีปริมาณที่แตกต่างกันตามชนิดของน้ำมันพืช ทำให้ไบโอดีเซลไม่เสถียรตัว เกิดออกซิเดชันได้เร็วกว่าดีเซลปิโตรเลียม และมีระยะการเก็บรักษาหลังการผลิตสั้นกว่าดีเซลปิโตรเลียม

5) ไบโอดีเซลมีสมบัติในการหล่อลื่นเครื่องยนต์ดีกว่าดีเซลปิโตรเลียม ทำให้ช่วยลดการสึกหรอของเครื่องยนต์ได้ดี

ไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันพืชต่างชนิดกัน จะมีสมบัติแตกต่างกัน ทั้งนี้เนื่องจากน้ำมันพืชเป็นสารประกอบไตรกลีเซอไรด์ที่มีกรดไขมันอยู่ในโครงสร้างของไตรกลีเซอไรด์ถึงร้อยละ 94-96 ของน้ำหนักโมเลกุล ทำให้สมบัติของน้ำมันมีสมบัติทั้งทางกายภาพและทางเคมีเป็นไปตามกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบอยู่ ดังนั้นเมื่อนำน้ำมันพืชชนิดนั้นๆ มาเป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซล ไบโอดีเซลที่ผลิตได้จะมีสมบัติตามกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบนั้นๆ ด้วย [13]

**2.4กระบวนการผลิตไบโอดีเซลในประเทศไทย**

กระบวนการผลิตไบโอดีเซลในประเทศไทยในปัจจุบันเป็นกระบวนการผลิตแบบดั้งเดิม (conventional process) โดยใช้ปฏิกิริยาทรานเอสเทอริฟิเคชันประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆดังภาพ 2.2




**ภาพ2.2** แผนภาพกระบวนการผลิตไบโอดีเซลแบบทั่วไปในประเทศไทย

กระบวนการผลิตไบโอดีเซลในประเทศโดยทั่วไปประกอบด้วยการผลิตหลักๆ มี7 ขั้นตอนส่วนขั้นตอนการผลิตขึ้นกับการออกแบบกระบวนการผลิตของแต่ละโรงงานบางโรงงานอาจมีครบถ้วนทุกขั้นตอนบางโรงงานอาจไม่มีหน่วยการผลิตที่นำเมทานอลกลับคืนและไม่มีหน่วยการล้างไบโอดีเซลด้วยน้ำซึ่งขั้นตอนการผลิตมีดังนี้

1)การเตรียมวัตถุดิบน้ำมันพืช

2)การเตรียมสารเร่งปฏิกิริยา

3)การทำปฏิกิริยาเพื่อผลิตไบโอดีเซล

4)การนำเมทานอลกลับคืน

5)การแยกส่วนผลิตภัณฑ์

6)การล้างไบโอดีเซลด้วยน้ำ

7)การนำกลีเซอรีนกลับคืน

ในปัจจุบัน กระบวนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลในประเทศไทย สามารถจำแนกได้เป็น 2 ระดับได้แก่ กระบวนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลระดับเชิงพาณิชย์ และกระบวนการผลิตไบโอดีเซลระดับชุมชน [14]

ในปัจจุบัน กระบวนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลในประเทศไทย สามารถจำแนกได้เป็น 2 ระดับ ได้แก่ กระบวนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลระดับเชิงพาณิชย์ และกระบวนการผลิตไบโอดีเซลระดับชุมชน [14]

**2.4.1 กระบวนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลระดับเชิงพาณิชย์**

เนื่องจากน้ำมันไบโอดีเซลเชิงพาณิชย์ที่ใช้ทดสอบในงานวิจัยนี้มาจาก บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน) ผู้วิจัยจึงทำการรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับน้ำมันไบโอดีเซล (B100) ที่ทาง บริษัท ปตท. ใช้ในการผสมกับน้ำมันดีเซลปิโตรเลียมเพื่อผลิตเป็นน้ำมันไบโอดีเซลเชิงพาณิชย์ หรือ B3 โดยน้ำมันไบโอดีเซล B100 ดังกล่าว เป็นน้ำมันที่บริษัท ปตท. ผลิตเองส่วนหนึ่ง และซื้อมาจากบริษัทอื่นๆ อีก อาทิเช่น บริษัท กรีนพาวเวอร์ คอร์ปอเรชัน จำกัด และบริษัท น้ำมันพืชปทุม จำกัด ซึ่งกระบวนการผลิตของแต่ละโรงงาน จะใช้กระบวนการทรานเอสเทอริฟิเคชันเหมือนกัน มีข้อแตกต่างกันบ้างในเชิงเทคนิคที่ใช้ อย่างไรก็ตามในส่วนของกระบวนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลเชิงพาณิชย์นั้น ผู้วิจัยจึงจะขอกล่าวในเชิงภาพรวม โดยมีรายละเอียดดังนี้

โรงงานไบโอดีเซลเชิงพาณิชย์ในประเทศเป็นโรงงานที่มีกำลังการผลิตระหว่าง 10,000-200,000 ลิตรต่อวันขึ้นไป เป็นกระบวนการผลิตด้วยการทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอริฟิเคชันแบบสองครั้ง วัตถุดิบน้ำมันที่ใช้ส่วนใหญ่เป็นน้ำมันพืชใช้แล้ว หรือปาล์มสเตียรีน เนื่องจากน้ำมันทั้งสองประเภทมีค่ากรดไขมันอิสระต่ำ ทำให้ผลิตได้ง่ายกว่าการใช้น้ำมันปาล์มดิบเป็นวัตถุดิบ อย่างไรก็ตาม ยังมีบางโรงงานที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบเป็นวัตถุดิบ

การใช้น้ำมันปาล์มดิบเป็นวัตถุดิบ จะมีปัญหาที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระสูงและเปลี่ยนแปลงเร็ว ในการผลิตไบโอดีเซลต้องใช้สารเคมีในกระบวนการผลิตเพิ่มมากขึ้น และมีปัญหาที่ต้องใช้เวลานานในการแยกกลีเซอรีนออกจากไบโอดีเซล นอกเหนือจากที่ต้องเพิ่มขั้นตอนการลดปริมาณกรดไขมันอิสระด้วยกระบวนการเอสเทอริฟิเคชัน ก่อนเข้าสู่กระบวนการทรานเอสเทอริฟิเคชันอีกด้วย

ในการผลิตนิยมใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา มากกว่าใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ เนื่องจากมีราคาถูกกว่า การผลิตในเชิงพาณิชย์มีทั้งกระบวนการผลิตแบบไม่ต่อเนื่องและแบบต่อเนื่อง เมื่อผ่านขั้นตอนการทำปฏิกิริยาแล้วจึงเข้าสู่การแยกกลีเซอรีนที่ใช้การปล่อยให้แยกชั้น โดยอาศัยแรงโน้มถ่วงของโลก ในระบบชุดถังแยกหลายถังต่อเนื่องกัน ในบางโรงงานอาจมีระบบแยกระเหยกลับเพื่อนำเมทานอลจากส่วนกลีเซอรีนที่แยกออกไปแล้วกลับมาใช้ใหม่ด้วย จากนั้นจึงส่งไบโอดีเซลไปทำให้บริสุทธิ์ ซึ่งมีทั้งแบบล้างด้วยน้ำ และแบบไม่ใช้น้ำล้าง

ระบบล้างด้วยน้ำ ใช้น้ำอุ่นอุณหภูมิประมาณ 50-60 องศาเซลเซียส (°C) แล้วแยกน้ำล้างออก ซึ่งเป็นวิธีการทั่วไป โดยมากมักทำการล้างเป็นแบบไม่ต่อเนื่อง อัตราส่วนโดยปริมาตรของน้ำที่ใช้ล้างต่อไบโอดีเซลอยู่ระหว่าง 1:1 จนถึง 3:1 จนกว่าสารปนเปื้อนในไบโอดีเซลจะหมด หรือจนกว่าไบโอดีเซลจะมีสภาพเป็นกลาง หลังจากนั้นจึงนำไบโอดีเซลที่ล้างแล้วไปกำจัดน้ำที่ยังเจือปนอยู่ โดยให้ความร้อนเพื่อต้มให้น้ำระเหยออก หรือใช้ระบบการระเหยแบบสูญญากาศ จนกว่าไบโอดีเซลจะมีสภาพใส และปราศจากสิ่งเจือปน จึงผ่านเข้าระบบกรองหรือตกตะกอนก่อนเก็บเข้าถังเก็บผลิตภัณฑ์ และเก็บตัวอย่างไปทำการวิเคราะห์

ระบบไม่ใช้น้ำ ในปัจจุบันมีเพียง 2 แห่งเท่านั้น ที่ใช้ระบบนี้ คือ บริษัท กรีนเพาเวอร์ คอร์ปอเรชัน จำกัด ซึ่งหลังจากแยกกลีเซอรีนออกด้วยถังตกตะกอนแล้วไบโอดีเซลชั้นบนจะถูกป้อนเข้าหอกลั่นระเหยเพื่อดึงเมทานอลส่วนเกินที่เจือปนอยู่กลับมาใช้ใหม่ หลังจากนั้นจึงกำจัดด่างและสารเคมีอื่นๆ โดยผ่านเข้าหอบรรจุสารดูดซับจำพวกแมกนีเซียมซิลิเกต แล้วจึงได้ผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลตามต้องการ อีกแห่งหนึ่งคือ บริษัท วีระสุวรรณ จำกัด ใช้เทคโนโลยีการกลั่นลำดับส่วนของโรงกลั่นน้ำมันปิโตรเลียมมาใช้ โดยหลังจากผ่านการแยกกลีเซอรีนแล้ว ไบโอดีเซลจะถูกเก็บเข้าถังเก็บเพื่อทำการระเหยเมทานอลออกหมดก่อน แล้วจึงส่งไบโอดีเซลเข้าหอกลั่นสูญญากาศ เพื่อกลั่นไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์และควบแน่นทางยอดหอ ซึ่งไบโอดีเซลที่ได้นี้จะมีความบริสุทธิ์สูงมาก โดยทั้งสองกระบวนการนี้ ปราศจากน้ำเสียจากระบบผลิต [14]

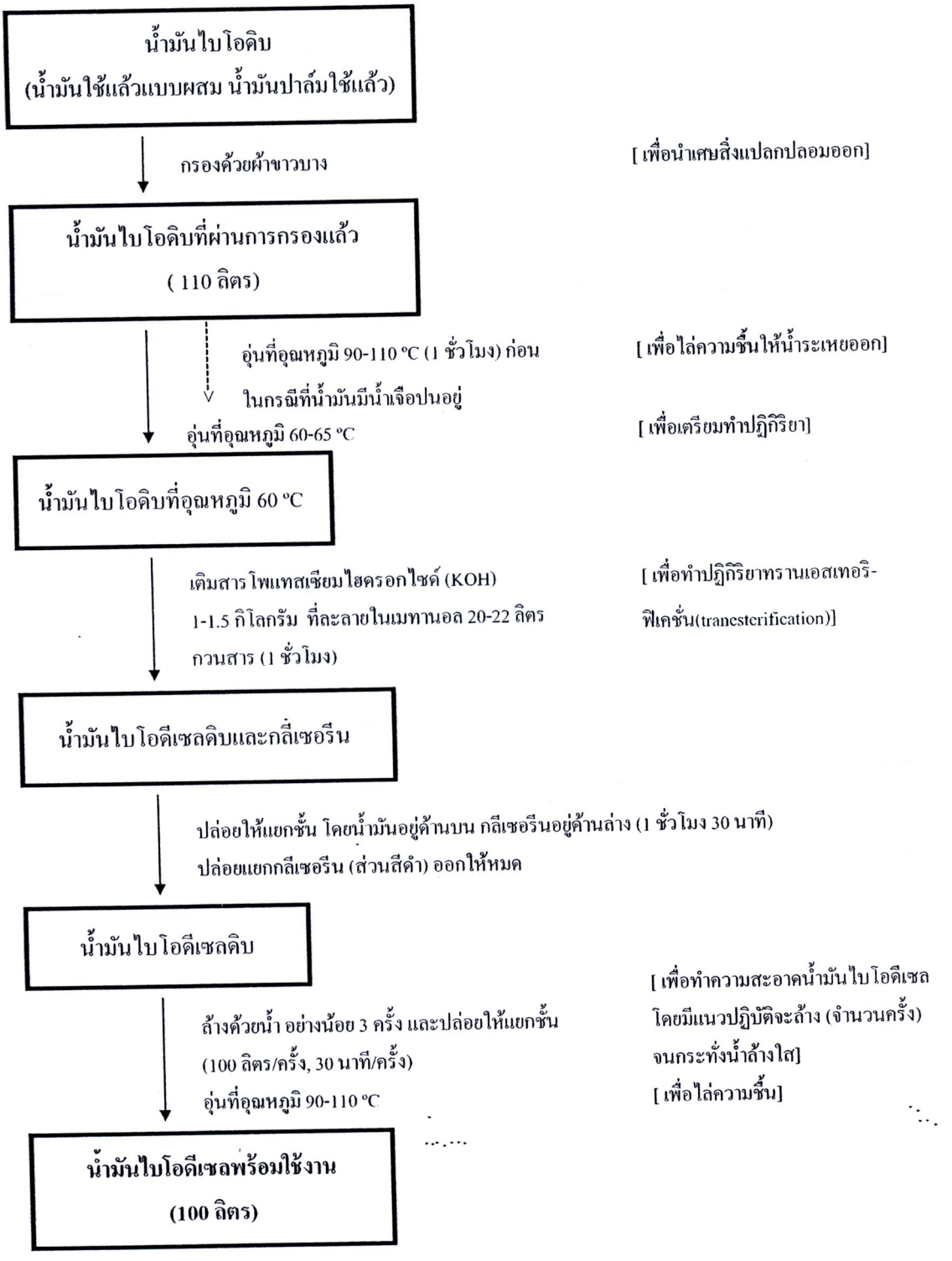
**2.4.2 กระบวนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลระดับชุมชน**

ระบบการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลในระดับนี้ ไม่มีความซับซ้อนมากนัก ซึ่งอาจจะแตกต่างกันในเชิงเทคนิคเล็กน้อย โดยทั่วไปเป็นเครื่องผลิตขนาดเล็กที่มีกำลังผลิตอยู่ที่ 100 ลิตรต่อวัน และเป็นกระบวนการทรานเอสเทอริฟิเคชันแบบไม่ต่อเนื่องขั้นตอนเดียว โดยมากใช้น้ำมันพืชใช้แล้วเป็นวัตถุดิบ ซึ่งได้จากการรวบรวมเองหรือรับซื้อตามชุมชน ซึ่งมักจะมีตะกอนเศษอาหารและน้ำเจือปนอยู่มาก จึงจำเป็นต้องมีขั้นตอนการตกตะกอนออก เพื่อไม่ให้สิ่งปนเปื้อนเหล่านี้ไปขัดขวางปฏิกิริยา และเนื่องจากไบโอดีเซลชุมชนมีวัตถุประสงค์เพื่อส่งเสริมและช่วยเหลือภาคการเกษตร ดังนั้นมาตรฐานต่างๆ ของผลิตภัณฑ์จึงมีการวัดคุณสมบัติน้อยกว่า และผ่อนปรนมากกว่า เพื่อให้สามารถผลิตไบโอดีเซลใช้ได้เองในราคาถูก อุปกรณ์เครื่องผลิตที่ใช้ไม่ซับซ้อนมากนัก โดยเทคโนโลยีของเครื่องผลิตส่วนใหญ่ได้รับการส่งเสริมและถ่ายทอดเทคโนโลยีจากกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) กระทรวงพลังงาน ตามโครงการไบโอดีเซลชุมชน 72 แห่ง และโครงการพึ่งพาตนเองด้านพลังงานด้วยไบโอดีเซลชุมชนของ พพ. ซึ่งส่วนใหญ่จะมีลักษณะเป็นเครื่องชุดสำเร็จ มีราคาไม่สูง มีศักยภาพเพียงพอสำหรับการผลิตไบโอดีเซลเพื่อใช้กับเครื่องจักรกลทางการเกษตรได้ [14]

เนื่องจากน้ำมันไบโอดีเซลชุมชนที่ใช้เพื่อการทดสอบในงานวิจัยนี้ ได้รับความอนุเคราะห์มาจากเทศบาลตำบลอุโมงค์ จังหวัดลำพูน จึงขอสรุปข้อมูลเกี่ยวกับลักษณะและขั้นตอนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลชุมชน ดังแสดงในตาราง 2.2 สำหรับขั้นตอนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลชุมชนแบบทั่วไป สามารถสรุปข้อมูลขั้นตอนการผลิตได้ดังภาพ 2.3 ส่วนสถานที่ผลิตไบโอดีเซลชุมชนเทศบาลตำบลอุโมงค์ แสดงดังภาพ 2.4

**ตาราง 2.2** ลักษณะและขั้นตอนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลชุมชน เทศบาลตำบลอุโมงค์

| | |
|---|---|
| ชื่อกลุ่ม/ชื่อโครงการ | ไบโอดีเซลชุมชน (เทศบาลตำบลอุโมงค์) |
| สถานที่ตั้ง | เทศบาลตำบลอุโมงค์ อ.เมือง จ.ลำพูน 51000 |
| รูปแบบ/ต้นแบบการผลิต | กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน |
| กำลังการผลิต | 100 ลิตร/รอบการผลิต |
| กำลังการผลิตไบโอดีเซลเฉลี่ย | 300 ลิตร/วัน |
| วัตถุดิบ (แหล่งน้ำมันไบโอดีเซลดิบ) | น้ำมันปาล์มใช้แล้ว |
| ขั้นการกรองก่อนทำปฏิกิริยา | มี |
| ชนิดและปริมาณสารเร่งปฏิกิริยา | MeOH 20 ลิตร, KOH 1 กิโลกรัม |
| รายละเอียดในการเตรียมสารเร่งปฏิกิริยา | คนให้ละลายเป็นเนื้อเดียวกันก่อน |
| ปริมาณน้ำมันไบโอดิบเริ่มต้น | 100 ลิตร |
| ปริมาณน้ำมันไบโอดีเซลพร้อมใช้ | 95 ลิตร |
| ระยะเวลากวนสาร | 60 นาที |
| ระยะเวลาการปล่อยให้แยกชั้น | 24 ชั่วโมง |
| การล้างด้วยน้ำ | > 4 ครั้ง |
| ปริมาณน้ำ และเวลาที่ใช้ในการแยกชั้นในแต่ละครั้ง | 100 ลิตร, 30 นาที |
| ระยะเวลาที่ใช้เฉลี่ยต่อรอบการผลิต | 6 ชั่วโมง/รอบ |
| การจัดการเรื่องน้ำเสียจากระบบ | มีบ่อบำบัด |
| ลักษณะการใช้ประโยชน์ | ใช้ในกิจการของเทศบาลฯ เท่านั้น (รถยนต์ รถไถนา รถอีแต๋น รถขนขยะ เครื่องสูบน้ำ) |




**ภาพ 2.3** ขั้นตอนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลชุมชนแบบทั่วไป

ที่มา: ธนียา และคณะ [12]

(ก) (ข)

(ค)

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ห้องสมุดงานวิจัย
วันที่ 14 พ.ย. 2556
เลขทะเบียน 248737
เลขเรียกหนังสือ

**ภาพ 2.4**สถานที่ผลิตไบโอดีเซลชุมชน เทศบาลตำบลอุโมงค์

(ก)โรงงานผลิตไบโอดีเซลชุมชน

(ข) เครื่องผลิตไบโอดีเซลชุมชนขนาด 100 ลิตร/ครั้ง

(ค)ไบโอดีเซลชุมชนถูกใช้กับรถยนต์ในเทศบาลฯ

**2.5การควบคุมคุณภาพและมาตรฐานไบโอดีเซล**

ปัจจุบัน ไบโอดีเซลได้รับการผลิตขึ้นตามมาตรฐานต่างๆ ที่กำหนดขึ้น มาตรฐานไบโอดีเซลที่ได้รับความนิยมในการใช้เป็นมาตรฐานอ้างอิงกันอย่างกว้างขวาง คือมาตรฐานของสหภาพยุโรป EN 14214 และมาตรฐานของสหรัฐอเมริกา US ASTM D 6751 โดยมาตรฐาน EN 14214เป็นมาตรฐานสากลสำหรับไบโอดีเซลที่ได้รับการรับรองจากหน่วยงานมาตรฐานสินค้าของสหภาพยุโรป ได้แก่European Committee for Standardization (CEN) ซึ่งถูกร่างขึ้นมาเพื่อควบคุมคุณภาพของไบโอดีเซลที่ผลิตและใช้ในแถบสหภาพยุโรป และใช้เป็นมาตรฐานอ้างอิงของหลายๆ ประเทศ อย่างไรก็ตามมาตรฐานนี้จะเหมาะกับเชื้อเพลิงไบโอดีเซลที่ผลิตจากเมล็ดเรพและน้ำมันผสมอื่นๆ

ที่มีสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันเรพ เช่น น้ำมันดอกทานตะวัน ในขณะที่มาตรฐาน ASTM D 6751 เป็นมาตรฐานที่ใช้ในสหรัฐอเมริกา ซึ่งใช้ในรูปไบโอดีเซลล้วน ไม่มีการผสม ที่เรียกว่า B100 และน้ำมันที่มีส่วนผสมของไบโอดีเซลสูงถึงร้อยละ 20 ของปริมาตรน้ำมันทั้งหมด หรือเรียกว่า B20 โดยมาตรฐานนี้เหมาะสำหรับเชื้อเพลิงไบโอดีเซลที่ส่วนใหญ่ผลิตจากถั่วเหลืองและน้ำมันประกอบอาหารที่ผ่านการใช้แล้ว มาตรฐานนี้ร่างขึ้นโดยสมาคมเพื่อการทดสอบและวัสดุแห่งสหรัฐอเมริกา (The American Society for Testing and Materials; ASTM) ซึ่งเป็นองค์กรที่ทำหน้าที่ในการพัฒนามาตรฐาน โดยมาตรฐานนี้ถูกออกแบบมาเพื่อวัตถุดิบและกรรมวิธีที่แตกต่างไปจากมาตรฐาน EN 14214 ดังนั้น บางปัจจัยกำหนดของ ASTM D 6751 จึงมีความแตกต่างจากมาตรฐานของทางสหภาพยุโรป

อย่างไรก็ตาม วัตถุดิบ เช่น น้ำมันเมล็ดเรพ ที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซลในสหภาพยุโรป และน้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันที่ผ่านการใช้แล้วที่ใช้ในสหรัฐอเมริกา มีสมบัติแตกต่างจากน้ำมันปาล์ม และน้ำมันสบู่ดำ ที่เป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซลในประเทศไทย กลุ่มสมาชิกเอเปคจึงมีความพยายามในการสร้างมาตรฐานและความสอดคล้องกลมกลืนของการผลิตไบโอดีเซลในภูมิภาคเอเปค ซึ่งยังอยู่ในระหว่างการดำเนินการ

สำหรับประเทศไทย กรมธุรกิจพลังงาน กระทรวงพลังงาน ได้กำหนดมาตรฐานของไบโอดีเซลจำแนกเป็น 2 ระดับ ได้แก่ มาตรฐานไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน (B100) พ.ศ. 2552 และ มาตรฐานไบโอดีเซลชุมชนสำหรับเครื่องยนต์การเกษตร พ.ศ. 2549 ดังแสดงในภาคผนวก ก

การกำหนดมาตรฐานของไบโอดีเซลชุมชนสำหรับเครื่องยนต์การเกษตรในประเทศอื่นๆ นั้นยังไม่มีมาตรฐานเหมือนกับของในประเทศไทย สืบเนื่องจากนโยบายของกระทรวงพลังงานที่จะส่งเสริมการผลิตและการใช้ไบโอดีเซลในระดับชุมชน เพื่อให้ชุมชนสามารถนำวัตถุดิบในท้องถิ่น เช่น น้ำมันใช้แลว มาผลิตเป็นไบโอดีเซลชุมชนใช้แทนน้ำมันดีเซลสำหรับเครื่องยนต์การเกษตรภายในชุมชน หรือหากมีเหลือสามารถจำหน่ายเพื่อนำรายไดเขาชุมชนต่อไป เพื่อให้ชุมชนสามารถพึ่งพาตนเองด้านพลังงานไดอย่างยั่งยืน ดังนั้น กรมธุรกิจพลังงานจึงไดกำหนดมาตรฐานคุณภาพของไบโอดีเซลชุมชนสำหรับเครื่องยนต์การเกษตร โดยไดมีการประชุมหารือกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ไดแก ผู้ผลิตไบโอดีเซล ผู้ค้าน้ำมันและผู้ผลิตเครื่องยนต์การเกษตร เพื่อให้ไบโอดีเซลชุมชนที่ผลิตได้มีมาตรฐานเดียวกัน และมีคุณภาพเหมาะสมกับการใช้งานของเครื่องยนต์การเกษตร

อย่างไรก็ตาม มาตรฐานไบโอดีเซลชุมชนสำหรับเครื่องยนต์การเกษตร กำหนดให้เหมาะสมสำหรับการใช้งานกับเครื่องยนต์การเกษตรประเภทเครื่องยนต์ดีเซล สูบเดียว 4 จังหวะ สูบนอน ระบายความร้อนด้วยน้ำ เนื่องจากเป็นเครื่องยนต์ที่มีกลไกไมซับซ้อน ส่วนเครื่องยนต์การเกษตร

ประเภทอื่นๆ ที่มีหลายสูบ เช่น รถแทรกเตอร์ เป็นเครื่องยนต์ที่มีระบบการทำงานเช่นเดียวกับเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ในรถยนต์ทั่วไป จึงไม่เหมาะสมที่จะใช้ไบโอดีเซลชุมชนสำหรับเครื่องยนต์การเกษตรเป็นเชื้อเพลิง อีกทั้งไบโอดีเซลชุมชนสำหรับเครื่องยนต์การเกษตรมีคุณภาพแตกต่างจากไบโอดีเซลที่ใช้กับรถยนต์ และเพื่อให้ผู้บริโภคสามารถแยกความแตกต่างระหว่างไบโอดีเซลชุมชนสำหรับเครื่องยนต์การเกษตรกับไบโอดีเซลที่ใช้กับรถยนต์ จึงได้มีการเติมสารสีม่วงลงในไบโอดีเซลชุมชนสำหรับเครื่องยนต์การเกษตร

## 2.6 ผลกระทบจากการใช้ไบโอดีเซล

จากการรวบรวมข้อมูลผลกระทบจากการใช้ไบโอดีเซล สามารถสรุปจำแนกได้ดังนี้ [15,16]

### 2.6.1 ผลกระทบด้านบวก

**: ด้านสิ่งแวดล้อม**

1) ไบโอดีเซลสามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ ทำให้ไม่เป็นพิษกับสิ่งแวดล้อม
2) มีการเผาไหม้ที่สมบูรณ์กว่าการใช้ดีเซลปิโตรเลียม เนื่องจากมีออกซิเจนผสมอยู่ประมาณร้อยละ 10 จึงสามารถช่วยลดปริมาณมลพิษจากท่อไอเสีย สามารถลดควันดำลงได้อย่างมีนัยสำคัญ (สามารถลดจำนวนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ร้อยละ 100 ลดจำนวนก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ได้ร้อยละ 100 ลดจำนวนก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ได้ร้อยละ 10-50 ลดจำนวนก๊าซไฮโดรคาร์บอนได้ร้อยละ 10-50 ลดจำนวนพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนทุกชนิด)
3) เป็นเชื้อเพลิงสะอาด มีปริมาณกำมะถันน้อยมาก เมื่อเทียบกับดีเซลปิโตรเลียม เมื่อนำมาใช้ในเมืองใหญ่และพื้นที่ที่มีปัญหาสิ่งแวดล้อมจะช่วยลดผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อมได้ และลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

**: ด้านสมรรถนะของเครื่องยนต์**

1) ช่วยยืดอายุการใช้งานของเครื่องยนต์ดีเซลให้ยาวนานขึ้น เนื่องจากไบโอดีเซลเป็นน้ำมันที่มีค่าความหล่อลื่นสูง ช่วยหล่อลื่นเครื่องยนต์ได้ดีกว่าดีเซลปิโตรเลียม
2) เพิ่มประสิทธิภาพการเผาไหม้ดีขึ้น จึงไม่ทำให้เกิดการอุดตันของระบบท่อไอเสีย
3) เป็นน้ำมันเพียงชนิดเดียวที่สามารถนำมาใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลทั่วไป (เครื่องยนต์ดีเซลที่มีรอบต่ำ หรือเครื่องยนต์ที่ผลิตรุ่นใหม่) ได้ทันที โดยที่กำลังเครื่อง แรงบิด การจุดระเบิด และอัตราการกินน้ำมันยังคงเหมือนเดิม และสามารถเลือกได้ว่าใช้ไบโอดีเซลเพียงอย่าง หรือจะใช้ผสมดีเซลปิโตรเลียมในอัตราส่วนต่างๆ ได้ตามต้องการ

**: ด้านสุขภาพ**

1) ลดการใช้น้ำมันทอดซ้ำ โดยการนำน้ำมันที่ผ่านการใช้งานแล้วมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซล ซึ่งน้ำมันพืชที่นำกลับมาใช้ซ้ำจะมีลักษณะเสื่อมสภาพทั้งทางกายภาพและทางเคมี ผู้บริโภคที่รับประทานอาหารที่ปรุงด้วยน้ำมันดังกล่าวต่อเนื่องเป็นเวลานาน ทำให้เกิดอันตรายต่อร่างกายและอาจเกิดโรคมะเร็งต่อผู้บริโภคได้อีกด้วย
2) ลดมลพิษทางอากาศ ส่งผลดีต่อสุขภาพโดยรวมของประชาชน

**: ด้านเศรษฐกิจ**

1) ลดการนำเข้าน้ำมันดิบจากต่างประเทศ
2) ไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการปรับแต่งเครื่องยนต์ สามารถใช้ได้เลย
3) สามารถใช้ร่วมกับดีเซลปิโตรเลียมได้โดยไม่ต้องรอให้น้ำมันหมดถัง
4) ช่วยสร้างงานให้เกษตรกรผู้ปลูกพืชน้ำมัน
5) น้ำมันไบโอดีเซลที่สามารถผลิตได้ในประเทศ เป็นการเสริมสร้างความมั่นคงและเสถียรภาพทางด้านพลังงานของประเทศได้

**2.6.2 ผลกระทบด้านลบ**

1) หากใช้ไบโอดีเซล B100 อาจทำให้ชิ้นส่วนต่างๆ ของเครื่องยนต์ที่ทำจากยางธรรมชาติเปื่อยได้ ดังนั้นอาจต้องมีการเปลี่ยนท่อยางต่างๆ ให้เป็นยางสังเคราะห์
2) รถยนต์ที่ใช้ไบโอดีเซล มีรอบระยะการบำรุงรักษามากกว่าการใช้ดีเซลปิโตรเลียม เช่น ต้องมีการตรวจไส้กรองบ่อยกว่ารถยนต์ที่ใช้ดีเซลปิโตรเลียม

## 2.7 อันตรายของมลพิษไอเสียจากเครื่องยนต์ดีเซล

ไอเสียจากเครื่องยนต์ดีเซลมีส่วนประกอบของสารพิษหลายร้อยชนิด ทั้งในสถานะก๊าซและฝุ่นขนาดเล็กผสมปะปนกันอยู่ องค์ประกอบที่เป็นก๊าซ ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ($CO_2$) ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO), ก๊าซที่มีองค์ประกอบของซัลเฟอร์ ไนโตรเจน และไฮโดรคาร์บอนโมเลกุลต่ำ โดยมีสารหลายชนิดที่ถูกจัดว่าเป็นสารที่ก่อให้เกิดโรคมะเร็งและ/หรือสารก่อกลายพันธุ์ปะปนอยู่ด้วย เช่น เบนซีน (benzene), ฟอร์มัลดีไฮด์ (formaldehyde), PAHs, NPAHs เป็นต้น ส่วนองค์ประกอบที่เป็นฝุ่นประกอบไปด้วย เขม่า (soot หรือ elemental carbon) สารหนู (arsenic) นิกเกิล (nickel) ทั้งนี้รวมถึงฝุ่นหยาบ (coarse particle) หรือ $PM_{10}$ ที่มีขนาดอนุภาคเล็กกว่า 10 ไมครอน และฝุ่นขนาดเล็ก (fine particle) หรือ $PM_{2.5}$ ที่มีขนาดอนุภาคเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ซึ่งสามารถเข้าไปสู่ทางเดินของระบบทางเดินหายใจและปอดได้เป็นอย่างดี จึงอาจก่อให้เกิดความ

ผิดปกติของระบบทางเดินหายใจได้ เนื่องจากมีสารหลายชนิดที่เป็นสารก่อมะเร็ง เช่น PAHs และ NPAHs เป็นต้น [17]

ในปัจจุบันจะเห็นได้ว่า เครื่องยนต์ดีเซลได้รับความนิยมเพิ่มมากขึ้น เช่น รถยนต์ รถบรรทุก รถไฟ รถไถ เป็นต้น ส่วนหนึ่งของความนิยมในการใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงสืบเนื่องมาจากเครื่องยนต์ดีเซลให้พลังงานสูง มีความประหยัด เชื้อเพลิงมีราคาถูก และเครื่องยนต์มีความทนทาน จึงส่งผลให้ความนิยมในการใช้รถกระบะ รถบรรทุกเป็นยานพาหนะเอนกประสงค์ของสังคมไทย เป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพอากาศบริเวณริมถนนที่มีการสัญจรหนาแน่น ซึ่งในที่สุดจะส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชนที่ได้รับสารพิษในไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซลที่ปลดปล่อยออกสู่บรรยากาศ [18] ดังนั้นจึงมีงานวิจัยจำนวนมากที่ได้ศึกษาเกี่ยวกับความเป็นพิษของไอเสียจากเครื่องยนต์ดีเซลที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพมนุษย์ เช่น

งานวิจัยในต่างประเทศ โดย Yadav *et al.* ได้ทำการตรวจสอบชนิดของสารประกอบ PAHs ในไอเสียจากเครื่องยนต์ดีเซลขนาด 3,455 ซีซี ที่ทดสอบด้วยน้ำมันดีเซลปิโตรเลียม โดยตรวจพบสาร PAHs จำนวน 13 ชนิด ได้แก่ napthalene, acenapthylene, fluorene, acenapthene, phenanthrene, anthracene, fluoranthene, pyrene, benzo*[a]*anthracene, chrysene, benzo*[k]*fluoranthene, benzo*[a]*pyrene และ dibenzo*[a, h]*anthracene ซึ่งเป็นสารก่อกลายพันธุ์และสารก่อมะเร็งที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพของมนุษย์ [19]

Coburn *et al.* ยืนยันพบว่า การใช้พลังงานทางเลือกกลุ่มน้ำมันเชื้อเพลิงชนิดไบโอดีเซลแทนการใช้ดีเซลปิโตรเลียม สามารถช่วยลดมลพิษที่เกิดจากไอเสียเครื่องยนต์ดีเซลในสิ่งแวดล้อมได้ เนื่องจากไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงที่ผลิตจากแหล่งทรัพยากรหมุนเวียน เช่น น้ำมันจากพืชหรือไขมันจากสัตว์ จึงมีคุณสมบัติที่สามารถย่อยสลายได้เองตามกระบวนการทางชีวภาพ และไม่มีพิษ [20] เช่นเดียวกับ Wang *et al.* ซึ่งได้ทดสอบมลพิษจากไอเสียและรายงานว่า การใช้ไบโอดีเซล B35 กับเครื่องยนต์รถบรรทุกขนาดใหญ่ที่ปราศจากการดัดแปลงเครื่องยนต์ สามารถลดปริมาณการปล่อยฝุ่นละอองได้อย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้น้ำมันดีเซลปิโตรเลียม นอกจากนี้ยังสามารถลดปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และไฮโดรคาร์บอน (HC) ได้อีกด้วย แต่การใช้ B35 ในการวิจัยนี้ไม่สามารถลดปริมาณการปล่อยของไนโตรเจนออกไซด์ ($NO_x$) ได้เมื่อเปรียบเทียบกับกับการใช้น้ำมันดีเซลปิโตรเลียม [21]

ส่วนงานวิจัยในประเทศ โดย ธนียา และคณะ ทำการศึกษาผลกระทบด้านคุณภาพอากาศจากการใช้น้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตโดยชุมชนในจังหวัดเชียงใหม่ ลำพูน และพิษณุโลก ทั้ง 10 แห่ง เปรียบเทียบกับการใช้น้ำมันดีเซลธรรมดา (B2) ผลการประเมินที่ทำการทดสอบกับเครื่องยนต์ดีเซลการเกษตร พบว่า ค่ามลพิษจากการปล่อยไอเสียชนิด $CO_2$, CO, $NO_x$, Pyrene และ Benzo*(a)*pyrene

มีระดับลดลงที่ระดับสูงสุดประมาณร้อยละ 45, 50, 45, 90 และ 95 ตามลำดับ นอกจากนี้เมื่อนำไปเทียบเคียงกับการทดสอบในชุดไบโอดีเซลหมุนเร็ว (B5) ก็พบการลดลงของมลพิษดังกล่าวมากกว่า B5 คิดเป็นสัดส่วนประมาณ 2.5, 2.0, 3.5, 10 และ 1.5 ตามลำดับ ตลอดจนค่าปริมาณอนุภาคไอเสียก็ลดลงด้วย มีเพียง $NO_2$ ที่พบว่า เพิ่มขึ้นที่ระดับสูงสุดประมาณร้อยละ 25 [12]

Phoungthong ทำการศึกษาคุณลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของอนุภาคไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ทางการเกษตรที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลปิโตรเลียมสัดส่วนร้อยละ 30 (PB30) และ 40 (PB40) โดยปริมาตร ซึ่งไม่ผ่านกระบวนการทรานเอสเทอริฟิเคชัน ผลการศึกษาพบว่า เมื่อสัดส่วนการผสมโดยปริมาตรของน้ำมันปาล์มผสมเพิ่มขึ้น ค่าความเข้มข้นของอนุภาคไอเสียและความเข้มข้นของสาร PAHs จะลดลง ทั้งนี้เนื่องมาจากปริมาณออกซิเจนที่มีมากกว่าทำให้เกิดการเผาไหม้ได้สมบูรณ์มากกว่าในกรณีของน้ำมันดีเซลปิโตรเลียม [22]

Srijainoi ทำการศึกษาเปรียบเทียบปริมาณการปล่อยสาร PAHs ในอนุภาคไอเสียของเครื่องยนต์การเกษตร ซึ่งเป็นเครื่องยนต์ดีเซลรอบต่ำ ซึ่งใช้น้ำมันไบโอดีเซลชุมชนจาก 10 แหล่ง และน้ำมันไบโอดีเซลเชิงพาณิชย์ (B2) ในการทดสอบ พบว่า ในชุดการทดสอบกับน้ำมันไบโอดีเซลชุมชนสามารถลดปริมาณการปล่อยสาร PAHs และอนุภาคไอเสียได้เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้น้ำมันไบโอดีเซลเชิงพาณิชย์ แสดงให้เห็นว่าการใช้น้ำมันไบโอดีเซลระดับชุมชนกับเครื่องยนต์การเกษตร มีแนวโน้มในการช่วยลดปริมาณการปล่อยสาร PAHs สู่สิ่งแวดล้อมทางอากาศ เมื่อทำการเปรียบเทียบกับการใช้น้ำมันไบโอดีเซลเชิงพาณิชย์ [23]

จากข้อมูลงานวิจัยดังที่ได้กล่าวข้างต้น นับว่าภาพรวมของการใช้ไบโอดีเซลช่วยทำให้อากาศสะอาดขึ้น ทั้งยังช่วยลดความเสี่ยงต่อการรับสัมผัสสาร PAHs ที่มีความเป็นอันตราย ซึ่งส่งผลดีต่อสุขภาพของประชาชนและสิ่งแวดล้อม

**2.8 การทดสอบการก่อกลายพันธุ์**

สารก่อกลายพันธุ์ (mutagen) หมายถึง สารที่ทำให้เบสใดเบสหนึ่งในสายดีเอ็นเอผิดปกติไปจากเดิม เมื่อมีการนำสายดีเอ็นเอส่วนที่เบสถูกเปลี่ยนแปลงไปถ่ายทอด จะทำให้ได้โปรตีนที่ผิดปกติไป

การกลายพันธุ์ (mutation) หมายถึง การที่ดีเอ็นเอที่ผิดปกติไปจากเดิม ถูกนำไปถ่ายทอดรหัสแบบผิดปกตินั้น ทำให้ได้สิ่งที่ผิดไปจากธรรมชาติ ดีเอ็นเอที่ผิดปกติจะมีเบสใดเบสหนึ่งในสายดีเอ็นเอถูกเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม

การทดสอบการก่อกลายพันธุ์ในแบคทีเรีย เป็นวิธีการทดสอบที่นิยมใช้กันมากในการวิเคราะห์หาสารที่มีฤทธิ์ทำให้เกิดการกลายพันธุ์ เพราะว่าการทดสอบทำได้ง่าย สะดวกและรวดเร็ว ใช้เวลาสั้น เห็นผลการทดลองเร็ว ภายใน 2-3 วัน ซึ่งรวดเร็วเมื่อเทียบกับการทดสอบการกลายพันธุ์โดยเทคนิคอื่นๆ ดังนั้นห้องปฏิบัติการแต่ละแห่งที่ปฏิบัติงานเกี่ยวข้องกับสารพิษตลอดจนสารก่อกลายพันธุ์ สารก่อมะเร็ง และงานวิจัยค้นคว้าด้านการเกิดมะเร็ง จึงนิยมและแนะนำให้ใช้เป็นวิธีการทดสอบที่ต้องทำก่อนเป็นขั้นตอนแรก เพื่อจะได้ข้อมูลพื้นฐานชั้นต้นก่อนนำไปสู่การตัดสินใจที่จะเลือกทำงานวิจัยวิธีใดวิธีหนึ่งต่อไป

การทดสอบการกลายพันธุ์โดยใช้แบคทีเรียเป็นการทดสอบที่มีประโยชน์ ดังนี้

1. ใช้ในการตรวจสอบสารก่อกลายพันธุ์ต่างๆ เพื่อให้ได้ข้อมูลพื้นฐาน นำไปเป็นแนวทางการทดลองฤทธิ์การก่อมะเร็งโดยการทดสอบระยะยาว
2. เพื่อช่วยให้การแยกและวิเคราะห์สารก่อกลายพันธุ์ในสิ่งแวดล้อมเป็นไปได้รวดเร็ว ทำให้ค้นพบสารก่อกลายพันธุ์ตัวใหม่ได้มากขึ้น เพื่อนำไปศึกษาฤทธิ์การก่อมะเร็งต่อไป

**2.9 การทดสอบของเอมส์ (Ames' test)**

การทดสอบเอมส์เป็นการทดสอบการกลายพันธุ์แบบย้อนกลับ (backward or reverse mutation) ในแบคทีเรีย *Salmonella typhimurium* เพราะว่าแบคทีเรียที่นำมาเป็นเครื่องมือของการทดลองถูกทำให้กลายพันธุ์ไปจนไม่สามารถสังเคราะห์กรดอะมิโนฮิสทีดีนได้ แบคทีเรียจะไม่เจริญในตัวกลางที่ขาดกรดอะมิโนฮิสทีดีน เรียกว่า Histidine dependent ใช้สัญลักษณ์ His- สารที่นำมาทดสอบสามารถทำให้แบคทีเรียกลายพันธุ์ไปสร้างกรดอะมิโนฮิสทีดีนได้อีกครั้งหนึ่ง การกลายพันธุ์ครั้งที่สองนี้จึงเป็นการกลายพันธุ์ย้อนกลับของการกลายพันธุ์ครั้งแรก แบคทีเรียที่เป็นเครื่องมือในการทดสอบนี้ นอกจากต้องอาศัยกรดอะมิโนฮิสทีดีนแล้วยังมีคุณสมบัติอื่นๆ ที่ทำให้แบคทีเรียมีความไวต่อการเกิดการกลายพันธุ์ ได้แก่

1. rfa mutation คือการทำให้แบคทีเรียขาดสารไลโปพอลิแซคคาไรด์ที่เคลือบบนผนังเซลล์ของแบคทีเรีย ทำให้สารกลายพันธุ์ที่มีโมเลกุลใหญ่สามารถซึมผ่านผนังเซลล์เข้าไปในตัวแบคทีเรียได้
2. uvrB mutation คือการทำให้แบคทีเรียขาดระบบซ่อมแซมดีเอ็นเอที่ผิดปกติ (loss of DNA excision repairing system) ดังนั้นเมื่อมีดีเอ็นเอกลายพันธุ์เกิดขึ้นจะไม่ถูกซ่อมแซมให้ดีเหมือนเดิม ทำให้ดีเอ็นเอผิดปกตินี้ถูกนำไปถ่ายทอดได้
3. R factor คือการเติมพลาสมิด เช่น pKM 101 หรือ pAQ1 เข้าไปในแบคทีเรียเพื่อช่วยให้แบคทีเรียมีความไวต่อการถูกเปลี่ยนแปลงโดยสารก่อกลายพันธุ์ได้มากขึ้น

นอกจากนี้ การทดสอบเอมส์ได้มีการเพิ่มระบบการกระตุ้นด้วยเอนไซม์ที่ได้จากตับหนู (S9 fraction) เข้าไปในการทดลองด้วย เมื่อสารแปลกปลอมที่เป็นพิษเข้าสู่ในร่างกาย จะถูกเปลี่ยนแปลงโดยกระบวนการเมแทบอลิซึมของร่างกาย ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเพื่อช่วยในการสลายความเป็นพิษ หรืออาจเป็นการเปลี่ยนแปลงที่เป็นการกระตุ้นความเป็นพิษต่อร่างกาย กระบวนการนี้อาศัยเอนไซม์และโคแฟกเตอร์ที่อยู่ในเซลล์

การทดสอบสารก่อกลายพันธุ์โดยเติมเอนไซม์ S9 mix เข้าไป ทำให้สารก่อกลายพันธุ์ถูกกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาได้โดยเอนไซม์ที่พบในร่างกาย ทั้งนี้เพราะแบคทีเรียไม่มีระบบการกระตุ้นดังกล่าว เปรียบเสมือนการจำลองสถานการณ์การกระตุ้นสารเคมีด้วยเอนไซม์ที่พบในร่างกายมนุษย์เข้าไปในการทดลองด้วย อย่างไรก็ตาม การเติมเอนไซม์ S9 mix เข้าไปในปฏิกิริยา หมายถึงการทำให้เกิดการกระตุ้น (metabolic activation) สารเคมีโดยเอนไซม์ในหลอดทดลอง เป็นการทดลองที่ทดสอบฤทธิ์ก่อกลายพันธุ์ของสารเคมีที่ออกฤทธิ์โดยอ้อม เรียกว่า indirect-acting mutagenicity ส่วนการทดลองที่ไม่มีการเติมเอนไซม์ S9 mix เข้าไปกระตุ้นสารเคมีในปฏิกิริยา แต่ใช้ฟอสเฟสบัฟเฟอร์แทนนั้น เป็นการทดลองที่ทดสอบฤทธิ์ก่อกลายพันธุ์ของสารเคมีที่ออกฤทธิ์โดยตรง ไม่ผ่านการกระตุ้น โดยเอนไซม์ หรือเรียกว่า direct-acting mutagenicity [24]

ในการทดสอบเอมส์ นิยมใช้แบคทีเรีย *S. typhimurium* สายพันธุ์ TA98 เพื่อทดสอบการกลายพันธุ์จากการเลื่อนของเบส (frameshift mutation) และสายพันธุ์ TA100 เพื่อทดสอบการกลายพันธุ์จากการแทนที่ของเบส (base substitution mutation) [25] แบคทีเรียทั้งสองถูกคัดแยกสายพันธุ์โดย Rosenkranz and Speck [26, 27] เป็นสายพันธุ์ที่นิยมใช้ในการศึกษาสารก่อกลายพันธุ์และ/สารก่อมะเร็ง เนื่องจากเป็นสายพันธุ์ที่ถูกดัดแปลงมาให้มีความไวต่อการตรวจสอบสารดังกล่าว [28]

## 2.10 อันตรายของฤทธิ์ก่อกลายพันธุ์จากไอเสียเครื่องยนต์ดีเซล

ไอเสียจากเครื่องยนต์ดีเซลนั้นเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดมลพิษทางอากาศในเขตเมืองที่มีการจราจรหนาแน่น และอาจก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพของมนุษย์ เนื่องจากไอเสียจากเครื่องยนต์ดีเซลนั้นประกอบไปด้วยสารอินทรีย์มากมายหลายชนิด ที่สำคัญ ได้แก่ PAHs และ NPAHs ซึ่งเป็นสารก่อกลายพันธุ์และ/หรือสารก่อมะเร็ง ที่มีฤทธิ์ก่อกลายพันธุ์ต่อแบคทีเรีย *S. thyphimurium* โดยมีรายงานการทดสอบฤทธิ์ก่อกลายพันธุ์ของอนุภาคไอเสียจากเครื่องยนต์ดีเซลด้วยวิธีเอมส์ จาก Huisingh *et al.* พบว่า สารสกัดของไอเสียจากเครื่องยนต์ดีเซลมีฤทธิ์ก่อกลายพันธุ์ต่อแบคทีเรีย *S. thyphimurium* [8]

ต่อมาในปี 1998 Bunger *et al.* ได้ทำการศึกษาฤทธิ์ก่อกลายพันธุ์ของอนุภาคไอเสียจากเครื่องยนต์ดีเซลแบบ turbo charged direct injection และมี catalytic converter (VW Vento 1.9 l

TDI) ทดสอบด้วยน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตมาจากเมล็ดเรพ (rapeseed oil) เปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซลปิโตรเลียม พบว่าสารสกัดอนุภาคไอเสียของน้ำมันทั้งสองชนิดมีฤทธิ์ก่อกลายพันธุ์ต่อเชื้อ *S. thyphimurium* สายพันธุ์ TA98 และ TA100 โดยที่สารสกัดไอเสียจากน้ำมันดีเซลปิโตรเลียมมีฤทธิ์ก่อกลายพันธุ์สูงกว่าสารสกัดไอเสียจากน้ำมันไบโอดีเซลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และพบว่ามีฤทธิ์ก่อกลายพันธุ์แบบโดยตรง (direct-acting mutagenicity) [9]

ในปี 2000 Bunger *et al.* ได้ทำการศึกษาฤทธิ์ก่อกลายพันธุ์ของอนุภาคไอเสียจากรถแทรกเตอร์ที่เป็นเครื่องยนต์ดีเซล 4 จังหวะ ระบบ direct injection โดยการใช้น้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตมาจากเมล็ดเรพเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซลปิโตรเลียม พบว่า สารสกัดอนุภาคไอเสียจากน้ำมันดีเซลปิโตรเลียมมีฤทธิ์ก่อกลายพันธุ์สูงกว่าสารสกัดอนุภาคไอเสียจากน้ำมันไบโอดีเซลถึง 4 เท่า เมื่อทดสอบด้วยเชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์ TA98 และสูงกว่า 2 เท่า เมื่อทดสอบด้วยเชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์ TA100 [29]

ในปี 2004 Baldassarri *et al.* มีการศึกษาฤทธิ์ก่อกลายพันธุ์ของอนุภาคไอเสียจากเครื่องยนต์ดีเซลรอบสูง (A turbocharged EURO 2 IVECO 8360 46R) ซึ่งเป็นเครื่องยนต์ของรถโดยสารประจำทางในประเทศอิตาลี ทำการทดสอบด้วยน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตมาจากเมล็ดเรพ (B20) เปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซลปิโตรเลียม ผลการทดสอบพบว่า สารสกัดจากน้ำมันทั้งสองชนิดมีฤทธิ์ก่อกลายพันธุ์แบบโดยตรง (direct-acting mutagenicity) ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ [3]

และในปี 2009 มีการศึกษาฤทธิ์ก่อกลายพันธุ์ของอนุภาคไอเสียจากเครื่องยนต์ดีเซลขนาดใหญ่ (Mercedes-Benz Euro 3 engine OM 906 LA with turbocharger and intercooler) ทดสอบด้วยน้ำมันเมล็ดเรพ (rapeseed oil) น้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากเมล็ดเรพ (rapeseed methyl ester; Biodiesel) และเชื้อเพลิง GTL (gas-to-liquid) เปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซลปิโตรเลียม พบว่า สารสกัดไอเสียจากน้ำมันเมล็ดเรพมีฤทธิ์ก่อกลายพันธุ์อย่างแรงต่อเชื้อแบคทีเรีย *S. thyphimurium* สายพันธุ์ TA98 และ TA100 และมีฤทธิ์ก่อกลายพันธุ์สูงกว่าสารสกัดไอเสียจากน้ำมันทุกชนิด ส่วนสารสกัดไอเสียจากน้ำมันไบโอดีเซลมีฤทธิ์ก่อกลายพันธุ์ต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันทุกชนิดที่ใช้ทดสอบ โดยออกฤทธิ์ก่อกลายพันธุ์แบบโดยอ้อม (indirect-acting mutagenicity) ต่อเชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์ TA98 และออกฤทธิ์ก่อกลายพันธุ์แบบโดยตรง (direct-acting mutagenicity) ต่อเชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์ TA100 [30]