

## การใช้รังสีไมโครเวฟเร่งการผลิตไบโอดีเซลแบบต่อเนื่อง และผลกระทบของการใช้ไบโอดีเซลในเครื่องยนต์ดีเซลกำเนิดไฟฟ้าขนาด 100 kW

วีรชัย เลิศสภาพรสข<sup>1</sup> รัตนชัย ไพรินทร์<sup>2</sup> และ คณิต กฤษณังกูร<sup>3</sup>

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี บางมด ทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140

### บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้เป็นการศึกษากระบวนการผลิตไบโอดีเซลแบบต่อเนื่องจากน้ำมันพืชที่ผ่านการใช้งานแล้ว ภายใต้การทำปฏิกิริยาทรานส์เอทิลเลชันด้วยรังสีไมโครเวฟ ไบโอดีเซลที่ผลิตได้นั้นนำไปทดสอบความบริสุทธิ์ด้วยเครื่อง HPLC ทดสอบสมบัติทางเชื้อเพลิงตามมาตรฐาน ASTM และนำไปทดสอบสมรรถนะและมลพิษในเครื่องยนต์ดีเซลกำเนิดไฟฟ้าที่ควบคุมความเร็วรอบคงที่ 1,500 รอบต่อนาที และปรับเปลี่ยนภาระของเครื่องยนต์ที่ 0 , 25 , 50 และ 75 กิโลวัตต์ ตามลำดับ และนำไปเปรียบเทียบกับการทำงานของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง

ผลการศึกษาพบว่าภายใต้การให้ความร้อนในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอทิลเลชันแบบต่อเนื่องด้วยรังสีไมโครเวฟที่อัตราส่วนเชิงโมลของน้ำมันพืช 1 ส่วน ต่อเอทานอล 12 ส่วน ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 3% โดยน้ำหนักเป็นสารเร่งปฏิกิริยา และใช้เวลาทำปฏิกิริยา 30 วินาที สามารถเปลี่ยนน้ำมันพืชใช้แล้วไปเป็นไบโอดีเซลได้สมบูรณ์ ด้านผลกระทบต่อสมรรถนะเครื่องยนต์พบว่า การใช้ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงส่งผลให้ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ลดลงเล็กน้อย ส่วนผลกระทบต่อมลพิษ พบว่าการใช้ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงมีอัตราการผลิตปล่อยไฮโดรคาร์บอนบนลงได้ราวร้อยละ 25.11 และมีอัตราการปล่อยคาร์บอนออกไซด์เฉลี่ยลดลงร้อยละ 17.96 แต่มีอัตราการปล่อยไนโตรเจนออกไซด์เฉลี่ยเพิ่มขึ้นร้อยละ 2.74 เมื่อเปรียบเทียบการใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง

**คำสำคัญ :** ไบโอดีเซล / ไมโครเวฟ / สมรรถนะและมลพิษ / ทรานส์เอสเตอร์ริฟิเคชัน / น้ำมันพืชใช้แล้ว

<sup>1</sup> นักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา สายวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงาน สิ่งแวดล้อม และวัสดุ

<sup>2</sup> ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สายวิชาเทคโนโลยีชีวเคมี คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี

<sup>3</sup> รองศาสตราจารย์ สายวิชาเทคโนโลยีชีวเคมี คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี

## Microwave Irradiation Assisted in Continuous Production of Biodiesel and Its Effects in a 100 kW Diesel Generator

Veerachai Lertsathapornsuk<sup>1</sup>, Rattanachai Pairintra<sup>2</sup>, and Kanit Krisnangkura<sup>3</sup>  
King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangmod, Toongkru, Bangkok 10140

### Abstract

This paper studied the effect of microwave irradiation on the continuous transesterification of used vegetable oil. The conversion yield from used vegetable oil to biodiesel was analyzed using high performance liquid chromatography (HPLC). The physical properties of biodiesel were investigated using ASTM standards. The biodiesel product was fueled in a 100 kW diesel generator for testing in term of performance and emission. The engine load was varied from 0 kW to 75 kW (at 25 kW intervals) at maximum electrical rating using an electrical loading device and comparing its performance to high speed diesel engine.

The results showed that a complete conversion occurred within 30 seconds using the continuous transesterification with microwave irradiation process. The performance of the engine operated using biodiesel was slightly lower than that using high speed diesel fuel. Compared with high speed diesel fuel, the biodiesel generated lower emissions of NO<sub>x</sub>, CO and HC except for the 75 kW engine load where the biodiesel produced higher levels of NO<sub>x</sub>.

**Keywords** : Biodiesel / Microwave / Performance and Emission / Transesterification / Used Vegetable Oil

---

<sup>1</sup> Graduate Student, Division of Energy Technology, School of Energy Environment and Materials.

<sup>2</sup> Assistant Professor, Division of Biochemical Technology, School of Bioresources and Technology.

<sup>3</sup> Associate Professor, Division of Biochemical Technology, School of Bioresources and Technology.

## 1. บทนำ

จากปัญหาการลดลงของปริมาณปิโตรเลียมสำรองของโลก ซึ่งมีทิศทางตรงกันข้ามกับความต้องการใช้ในปริมาณที่สูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง และปัญหาราคาน้ำมันปิโตรเลียมที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจากหลายปัจจัย รวมถึงผลกระทบต่อสภาวะแวดล้อมจากการใช้เชื้อเพลิงปิโตรเลียม ส่งผลให้เกิดการวิจัยและพัฒนาเพื่อหาแหล่งพลังงานทดแทนเชื้อเพลิงปิโตรเลียม

เครื่องยนต์ดีเซลเป็นเครื่องยนต์ที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจเพราะเป็นเครื่องยนต์หลักที่ใช้มากในด้านการขนส่งและเครื่องจักรกลเกษตร ทำให้มีปริมาณการใช้น้ำมันดีเซลสูงถึง 53.8 ล้านลิตรต่อวัน หรือคิดเป็น 47% ของการบริโภคปริมาณปิโตรเลียมในประเทศในปี พ.ศ. 2547 [สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน, กระทรวงพลังงาน] โดยน้ำมันพืชและไขมันสัตว์เป็นวัตถุดิบสำคัญที่สามารถนำมาใช้ทดแทนน้ำมันดีเซลได้ดี [1-9] ข้อดีของน้ำมันพืชและไขมันสัตว์คือ เป็นแหล่งเชื้อเพลิงทดแทนที่หาง่ายและพร้อมสำหรับการนำไปใช้ในเครื่องยนต์ดีเซลได้โดยตรง แต่ก็สามารถใช้ได้เพียงระยะสั้นๆ เพราะน้ำมันพืชมีความหนืดสูงกว่าดีเซล 6 ถึง 20 เท่า ขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำมันพืช [3, 10-12] ทำให้เกิดปัญหาต่อการสเปรย์เชื้อเพลิงในห้องเผาไหม้ ทำให้เผาไหม้ได้ไม่สมบูรณ์ เกิดการสะสมของคาร์บอนที่หัวฉีดและกระบอกสูบ และส่งผลให้ปริมาณมลพิษเพิ่มขึ้น [13-15] อีกทั้งน้ำมันพืชมีค่าจุดไหลเทสูงเมื่อเปรียบเทียบกับดีเซล [10-11, 16] เครื่องยนต์จึงสตาร์ทติดยาก เมื่อนำไปใช้งานในสภาวะแวดล้อมที่มีอุณหภูมิต่ำ

เพื่อลดปัญหาด้านสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซล จากการใช้ น้ำมันพืชเป็นเชื้อเพลิงโดยตรงและมลพิษที่เกิดขึ้นระยะยาวจึงต้องทำการปรับปรุงสมบัติน้ำมันพืช ซึ่งมี 4 วิธี [15, 17-18] คือ การผสมน้ำมันพืชกับดีเซล (Direct blending with diesel) การแตกตัวด้วยความร้อน (Thermal cracking) การทำไมโครอิมัลชัน (Micro emulsion) และการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน (Transesterification) การทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันเป็นวิธีที่นิยมกันแพร่หลาย เนื่องจากสามารถปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันและไขมันได้ทุกชนิดให้อัตราการเปลี่ยนน้ำมันพืชให้เป็นไบโอดีเซลสูง ผลผลิตที่ได้มีสมบัติใกล้เคียงกับดีเซล ทำให้สามารถนำไปใช้กับเครื่องยนต์โดยไม่ต้องดัดแปลงเครื่องยนต์ โดยผลิตภัณฑ์หลักจากปฏิกิริยานี้เรียกว่า “เอสเทอร์ของกรดไขมัน (Fatty Acid Ester)” หรือที่เรารู้จักในชื่อ “ไบโอดีเซล (Biodiesel)” ซึ่งถูกนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันดีเซล และได้ “กลีเซอรอล (Glycerol)” เป็นผลพลอยได้ที่สามารถนำไปใช้กับอุตสาหกรรมการผลิตสบู่หรือเครื่องสำอางต่อไป

ปัจจุบันกระบวนการผลิตไบโอดีเซลส่วนมากเป็นแบบ Batch reaction โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นต่าง [15, 19-25] ซึ่งเป็นวิธีที่ง่าย แต่สำหรับอุตสาหกรรมการผลิตไบโอดีเซลขนาดใหญ่จะต้องมีค่าใช้จ่ายสำหรับถึงทำปฏิกิริยาขนาดใหญ่ค่อนข้างสูง ซึ่งการผลิตแบบ Batch reaction นี้ ให้ผลได้ (Yield) ประมาณ 80% ถึง 94% โดยใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาประมาณ 30 นาที ถึง 2 ชั่วโมง ส่วนกระบวนการผลิตแบบต่อเนื่อง (Continuous process) ซึ่งกระบวนการผลิตแบบต่อเนื่องนี้แม้จะมีระบบที่ซับซ้อนกว่าแบบ Batch reaction แต่ก็มีข้อดีสำหรับอุตสาหกรรมการผลิตไบโอดีเซลคือ สามารถลดต้นทุนของระบบได้เพราะมีขนาด Reactor ที่เล็กกว่าแต่ให้ผลได้ (Yield) ที่ค่อนข้างสูงกว่า 96% ในขณะที่ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาน้อยกว่าคือตั้งแต่ 1 นาที ถึง 1 ชั่วโมง [26-28]

ถึงแม้การผลิตไบโอดีเซลด้วยน้ำมันพืชบริสุทธิ์จะให้อัตราการเปลี่ยนน้ำมันพืชเป็นไบโอดีเซลเร็วและได้ผลผลิตสูง แต่ก็ทำให้ต้นทุนของวัตถุดิบสำหรับการผลิตไบโอดีเซลสูงขึ้นด้วย อีกทั้งยังเป็นการแย่งตลาดของน้ำมันสำหรับบริโภค ซึ่งจะเป็นการยากหากต้องการส่งเสริมให้ไบโอดีเซลสามารถแข่งขันกับน้ำมันดีเซลในเชิงเศรษฐศาสตร์ได้ ดังนั้นการใช้วัตถุดิบที่ไม่สามารถนำมาบริโภคได้ เช่น น้ำมันเมล็ดสบู่ดำ (*Jathropa curcas* Linn) [29-30] หรือน้ำมันพืชที่ผ่านการใช้งานแล้ว [31-37] จึงเป็นอีกหนทางหนึ่งที่มีผู้ให้ความสนใจนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซลที่มีต้นทุนต่ำลง แต่น้ำมันพืชที่ผ่านการใช้งานแล้วมีกรดไขมันในปริมาณที่สูง การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชที่มีปริมาณกรดไขมันมากกว่า 1% นิยมใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเพราะให้ผลผลิตสูงกว่าการใช้ตัวเร่ง ปฏิกิริยาต่าง [38-39] ในขณะที่ Canakci and Van Gerpen (2003) [40] ได้เสนอวิธีการผลิตไบโอดีเซลแบบสองขั้นตอนจากวัตถุดิบที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระสูง โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยากรดเปลี่ยนกรดไขมันอิสระให้เป็นเอสเทอร์ ในขั้นตอนแรก เพื่อลดปริมาณกรดไขมันอิสระให้น้อยกว่า 1% และนำไปทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันครั้งที่สองโดยใช้ด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งจะได้ผลผลิตไบโอดีเซลที่ 91 ถึง 99% โดยใช้เวลาในการผลิตประมาณ 39 ชั่วโมง ซึ่งการทำปฏิกิริยาด้วยการใช้การถ่ายโอนความร้อนปกตินี้ค่อนข้างจะใช้เวลาในการเพิ่มอุณหภูมิของวัตถุดิบให้พร้อมสำหรับทำปฏิกิริยา (ประมาณ 60°ซ. ถึง 80°ซ. ขึ้นอยู่กับชนิดของแอลกอฮอล์) แต่จากรายงานของ Jeyachoke และคณะ (1998) [41] ได้ศึกษาการทำปฏิกิริยาทรานส์เมทิลเลชันด้วยรังสีไมโครเวฟพบว่า สามารถช่วยลดเวลาในการเตรียมเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันรำข้าวได้สมบูรณ์ในเวลา 15 วินาที และ Lertsathapornsuk และคณะ (2003) [42] ได้ศึกษาการเตรียมเอทิลเอสเทอร์ของมันเป็นพืชที่ผ่านการใช้งานแล้วโดยใช้ไมโครเวฟในการเร่งปฏิกิริยาทรานส์เอทิลเลชันสามารถผลิตเอทิลเอสเทอร์จากน้ำมันพืชใช้แล้วได้ภายในเวลา 10 วินาที

ดังนั้นการศึกษานี้จึงได้พัฒนากระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชที่ผ่านการใช้งานแล้วแบบต่อเนื่องด้วยรังสีไมโครเวฟ เพื่อลดเวลาในการทำปฏิกิริยาโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยศึกษาถึงความบริสุทธิ์และสมบัติทางเชื้อเพลิงของไบโอดีเซลที่ผลิตภายใต้การให้ความร้อนด้วยรังสีไมโครเวฟ รวมถึงศึกษาผลกระทบของการใช้ไบโอดีเซลที่ผลิตได้ต่อสมรรถนะและมลพิษของเครื่องยนต์ดีเซลกำเนิดไฟฟ้า

## 2. วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการ

### 2.1 วัตถุดิบ

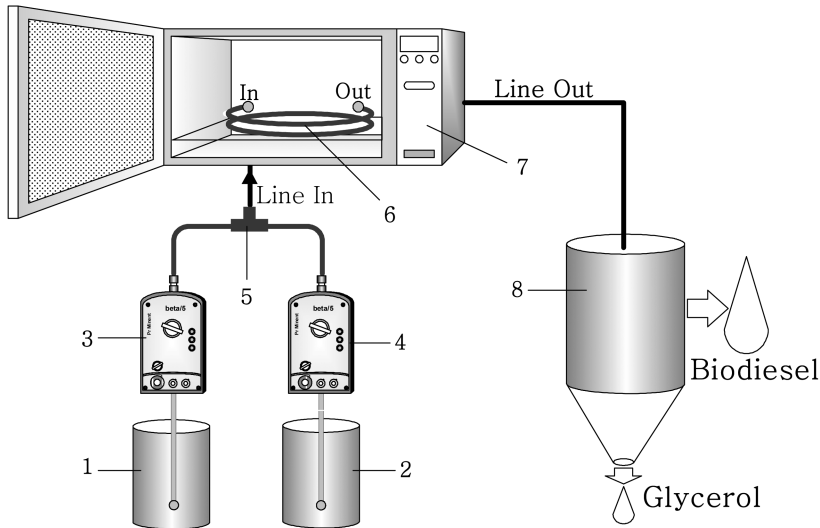
วัตถุดิบหลักสำหรับการผลิตไบโอดีเซลในการศึกษานี้ได้แก่ น้ำมันปาล์มที่ผ่านการใช้งานแล้ว จากบริษัท KFC International (Thailand) โดยองค์ประกอบของน้ำมันที่ผ่านการใช้แล้ว สำหรับการศึกษาี้แสดงดังตารางที่ 1 เอทานอล 99.8% ขององค์การสุราไทย โซเดียมไฮดรอกไซด์ และกรดไฮโดรคลอริกของบริษัท Merck ประเทศเยอรมัน

ตารางที่ 1 องค์ประกอบของน้ำมันที่ผ่านการใช้งานแล้ว [42]

Fatty Acid Compositions (%)	
C <sub>12:0</sub>	0.48
C <sub>14:0</sub>	0.91
C <sub>16:0</sub>	37.05
C <sub>18:0</sub>	4.82
C <sub>18:1</sub>	46.20
C <sub>18:2</sub>	10.54
Iodine Value	55.91
Saponification	209.53
Molecular weight	850.25
% Free Fatty Acid	4.60

## 2.2 อุปกรณ์ผลิตไบโอดีเซล

กระบวนการผลิตไบโอดีเซลแบบต่อเนื่องด้วยรังสีไมโครเวฟได้นำเตาอบไมโครเวฟที่ใช้ในครัวเรือน มาดัดแปลง แสดงดังรูปที่ 1 ประกอบด้วยภาชนะบรรจุน้ำมันพืช (1) และภาชนะบรรจุแอลกอฮอล์ (2) มีเครื่องปั๊ม (ProMinent model Beta5A, Heidelberg, Germany) (3) และ (4) ทำหน้าที่สูบน้ำมันพืชจาก (1) และสูบแอลกอฮอล์จาก (2) ตามลำดับ เครื่องปั๊มทั้ง 2 ตัวสามารถปรับอัตราไหลของวัตถุดิบได้ตามต้องการโดยทำหน้าที่สูบวัตถุดิบผ่านท่อที่ทนต่อสารเคมีไปผสมกันที่อุปกรณ์รวมวัตถุดิบ (5) และไหลผ่านเข้าไปทำปฏิกิริยาในท่อทำปฏิกิริยา (poly-tetrafluoroethylene tube) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 8 มม. ยาว 260 ซม. (6) เพื่อทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันแบบต่อเนื่องภายในห้องทำปฏิกิริยาของเครื่องไมโครเวฟขนาด 800 วัตต์ ความถี่ 2,450 MHz (Ecolux, Japan) (7) และเป็นท่อให้วัตถุดิบที่ทำปฏิกิริยาแล้วไหลไปตามท่อที่สามารถทนต่อความร้อน และทนต่อการกัดกร่อนของสารเคมีที่ต่ออยู่กับ (6) และส่งผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน ไปรวมกันที่ภาชนะรองรับ (8) เพื่อรอทำการแยกไบโอดีเซลออกจากผลิตภัณฑ์อื่นๆ ก่อนนำไบโอดีเซลไปผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ต่อไป



รูปที่ 1 อุปกรณ์ผลิตไบโอดีเซลแบบต่อเนื่องด้วยรังสีไมโครเวฟ

## 2.3 การเตรียมไบโอดีเซล

ทางทฤษฎีมวลสารสัมพันธ์ของการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน น้ำมันพืช 1 โมล ใช้แอลกอฮอล์ 3 โมลสำหรับทำปฏิกิริยา แต่ในทางปฏิบัตินิยมใช้อัตราส่วนโมลของแอลกอฮอล์ ตั้งแต่ 6 โมล ถึง 15 โมล (กรณีที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเบส) [15, 19-29] เพื่อเร่งให้เกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันได้สมบูรณ์เร็วขึ้น สำหรับการศึกษา นี้ต้องการผลิตไบโอดีเซลที่สมบูรณ์และเพียงพอสำหรับการทดสอบเครื่องยนต์ จึงเลือกใช้อัตราส่วนเชิงโมลระหว่าง น้ำมันพืชใช้แล้วกับเอทานอลที่เกินพอ (Excess ethanol) ที่ 1:12 โดยเอทานอลมีโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ละลายอยู่ที่ความเข้มข้น 3% โดยน้ำหนัก (NaOH 1% สำหรับเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และ อีก 2% สำหรับกำจัด กรดไขมันอิสระ 4.6% ที่มีอยู่ในน้ำมันใช้แล้ว) โดยทำปฏิกิริยาภายใต้รังสีไมโครเวฟเป็นเวลา 30 วินาที [42] (ซึ่ง เป็นเวลาที่เพียงพอในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันที่สมบูรณ์ด้วยรังสีไมโครเวฟ) และปล่อยให้อุณหภูมิ ลดลงเหลือประมาณ 50 °C. ทำการหยุดปฏิกิริยาด้วยกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 3 M ปล่อยให้ไบโอดีเซลและ กลีเซอรอลเกิดการแยกชั้น โดยนำไบโอดีเซล (ชั้นบน) มาทำการล้างด้วยน้ำอุ่นที่อุณหภูมิ 50 °C. จนไบโอดีเซลมี ค่า pH 7 นำไบโอดีเซลที่ได้ไปกลั่นแยกน้ำและแอลกอฮอล์ที่อุณหภูมิ 105 °C. เป็นเวลา 30 นาที

## 2.4 การวิเคราะห์ปริมาณสารตั้งต้นและความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซล

การศึกษาปริมาณสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์ ได้แก่ ปริมาณสารตั้งต้น (Triglyceride, TG) กรดไขมัน อิสระ (Free Fatty Acid, FFA) และไบโอดีเซล (เอทิลเอสเตอริฟิเคชันของกรดไขมันจากน้ำมันพืชที่ผ่านการใช้งานแล้ว, Used Vegetable Oil Ethyl Ester, UVOEE) ใช้เครื่อง High Performance Liquid Chromatography (HPLC) ที่มีเครื่องตรวจวัดแบบอีแวพอเรทีฟไลต์สแคตเทอริง (Evaporative Light Scattering Detector, ELSD) รุ่น Sedex 55 (Sedere Alfortville, France) ซึ่งเป็นเทคนิคการตรวจวัดการกระจายแสงของสารตัวอย่างจากการกระเจิงแสงตัวอย่างด้วยก๊าซไนโตรเจนที่ความดัน 2 บาร์ ในเฟสเคลื่อนที่ (Mobile phase: hexanes : diethyl ether : acetic acid, 90:10:0.05 v/v) ที่ควบคุมอัตราการไหล 1.0 มล./นาที ด้วยปั๊ม รุ่น 510 Solvent delivery system (Waters Associate, Milford, MA01757 USA.) ที่ต่อกับคอลัมน์ Silica 60 ขนาดเส้นผ่าน

ศูนย์กลางภายใน 4.6 มม. ความยาว 250 มม. (Tosho, Japan) สำหรับตรวจวิเคราะห์หาองค์ประกอบของสารตั้งต้นจากน้ำมันพืชใช้แล้ว และความบริสุทธิ์ของเอทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันจากน้ำมันพืชใช้แล้ว

## 2.5 การทดสอบสมบัติทางเชื้อเพลิงของไบโอดีเซล

ไบโอดีเซลจากการผลิตภายใต้สภาวะการให้ความร้อนด้วยรังสีไมโครเวฟ ได้นำไปทดสอบสมบัติทางเชื้อเพลิง ได้แก่ ค่าความร้อนสูงกว่า (Higher heating value) ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity) ความหนืด (Viscosity) จุดไหลเท (Pour point) จุดติดไฟ (Flash point) อุณหภูมิกลั่นตัวที่ 90% (Distillation 90%recovered) ปริมาณซัลเฟอร์ (Sulfur content) ปริมาณกากคาร์บอน (Carbon residue) การกัดกร่อนแผ่นทองแดง (Copper strip corrosion) ปริมาณน้ำและตะกอนสกปรก (Water and sediment) โดยทดสอบที่ศูนย์วิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีของการปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย ตามมาตรฐาน ASTM ส่วนค่าดัชนีซีเทน (Cetane Index, CI) ของไบโอดีเซล คำนวณจากสมการ (1) [43]

$$CI = 46.3 + \frac{5458}{x} - 0.225y \quad (1)$$

โดยที่  $x$  คือ ค่าสะพอนิฟิเคชัน (Saponification)

และ  $y$  คือ ค่าไอโอดีน (Iodine number)

## 2.6 การทดสอบสมรรถนะและมลพิษของเครื่องยนต์ดีเซล

การทดสอบสมรรถนะและมลพิษของการศึกษานี้ ใช้เครื่องยนต์ดีเซลกำเนิดไฟฟ้าแบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรง รายละเอียดของเครื่องยนต์แสดงดังตารางที่ 2 มีการควบคุมความเร็วรอบของเครื่องยนต์คงที่ 1,500 รอบต่อนาที สำหรับทุกๆ การทดสอบด้วยอุปกรณ์ควบคุมความเร็วแบบอิเล็กทรอนิกส์รุ่น ESD5111 (GOVERNORS AMERICA CORP, MA, USA.) เชื้อเพลิงสำหรับที่ใช้ในการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบกับการทำงานของเครื่องยนต์คือ ไบโอดีเซล 100% (B100) และ ไบโอดีเซลผสมกับน้ำมันดีเซล 50:50 % โดยปริมาตร (B50) โดยประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ ( $\eta_f$ ) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2) [44]

$$\eta_f = \frac{1}{sfc \cdot Q_{HV}} \quad (2)$$

เมื่อ  $Q_{HV}$  คือ ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (kJ/kg)

และ  $sfc$  คือ อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ (g/kW-h) วัดจากอัตราการสิ้นเปลือง เชื้อเพลิงต่อกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ แสดงดังสมการที่ (3)

$$sfc = \frac{\dot{m}_f}{P} \times 3600 \quad (3)$$

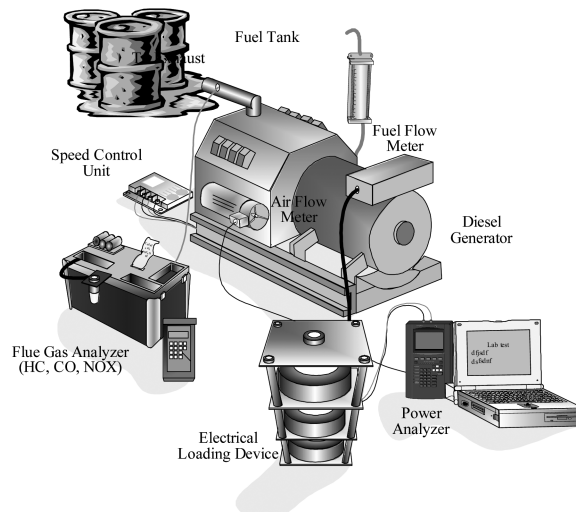
เมื่อ  $\dot{m}_f$  คือ อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง (g/s)

และ  $P$  คือ กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ (kW)

**ตารางที่ 2** สมบัติของเครื่องยนต์ดีเซลกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้ในการทดสอบ

Engine Name	John - Deere
Engine Model	6076TF030
Number of Cylinder	6
Bore	116 mm
Stroke	121 mm
Displacement	7.6 L
Compression Ratio	15.5:1
Rated Speed	1500/1800
Power Rating Continuous	127 kW (170 HP)
Electrical Rating	125 kVA (100 kW)
Voltage	380 V
Ampere	190 A
Frequency	50 Hz (1500 RPM)

ส่วนข้อมูลผลกระทบของการใช้เชื้อเพลิงไบโอดีเซลต่อมลพิษที่เกิดขึ้นจากเครื่องยนต์ดีเซลกำเนิดไฟฟ้า ใช้ Flue Gas Analyzer (KANE-MAY, UK) สำหรับวิเคราะห์หาค่า  $\text{NO}_x$  CO และ HC โดยรูปของเครื่องมือการทดสอบสมรรถนะและมลพิษแสดงดังรูปที่ 2



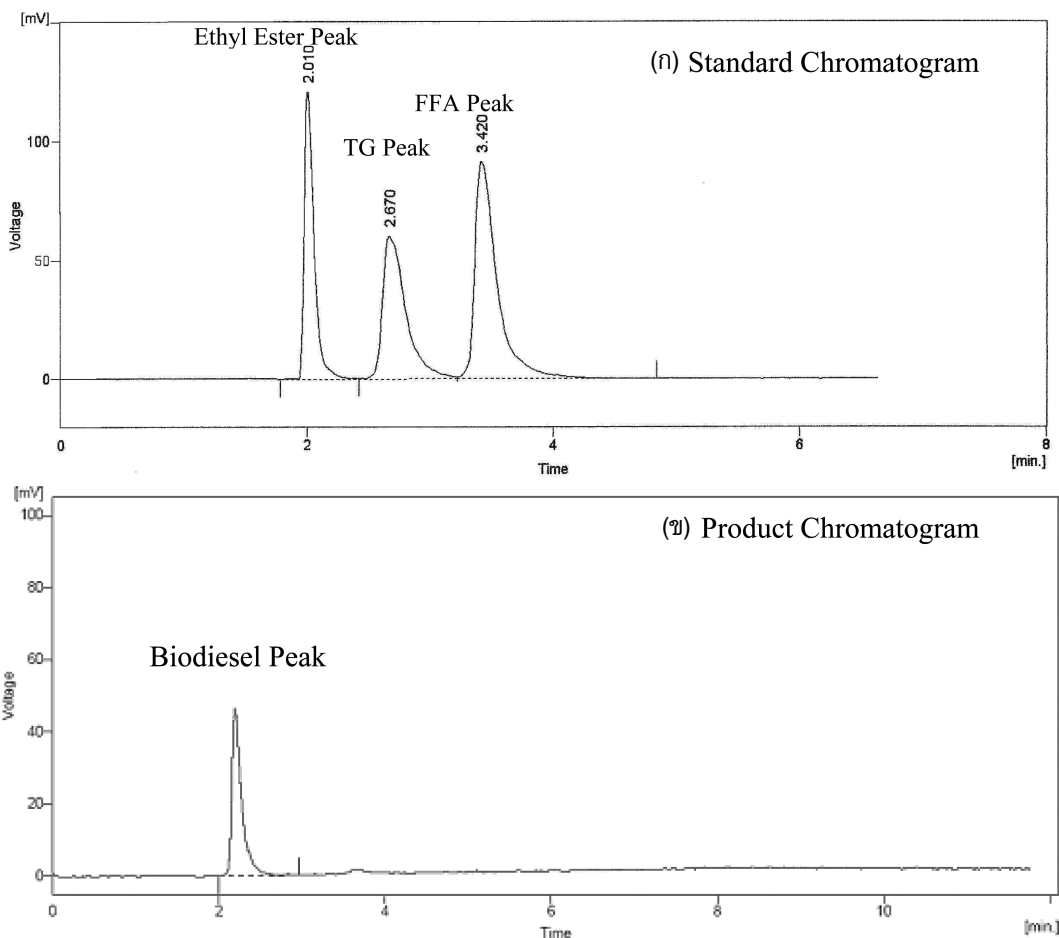
**รูปที่ 2** เครื่องมือทดสอบสมรรถนะและมลพิษของเครื่องยนต์ดีเซลกำเนิดไฟฟ้า



### 3. ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

#### 3.1 การเตรียมไบโอดีเซลด้วยรังสีไมโครเวฟแบบต่อเนื่อง

การเตรียมไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว ด้วยกระบวนการผลิตแบบต่อเนื่องภายใต้การทำปฏิกิริยาทรานส์เอทิลเลชัน (Transestylation) ด้วยรังสีไมโครเวฟตั้งหัวข้อ 2.3 และนำไปวิเคราะห์ความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซลด้วยเครื่อง HPLC ที่สภาวะการวิเคราะห์ตั้งหัวข้อ 2.4 ผลการวิเคราะห์แสดงดังรูปที่ 3



**รูปที่ 3** (ก) โครมาโตแกรมของสารมาตรฐาน (Ethyl ester, TG, FFA)  
(ข) โครมาโตแกรมของไบโอดีเซลจากกระบวนการผลิตด้วยรังสีไมโครเวฟ

จากรูปที่ 3 พบว่าการเตรียมไบโอดีเซลด้วยการทำปฏิกิริยาทรานส์เอทิลเลชันในอัตราส่วนที่เกินพอของเอทานอลต่อน้ำมันพืชที่ 12:1 ด้วยรังสีไมโครเวฟที่เวลา 30 วินาที สามารถเปลี่ยนน้ำมันพืชที่ผ่านการใช้งานให้เป็นเอทิลเอสเทอร์ได้สมบูรณ์ โดยไม่เหลือ TG หลังจากทำปฏิกิริยา ซึ่งการให้ความร้อนด้วยรังสีไมโครเวฟ เป็นการให้ความร้อนในระดับโมเลกุล โดยคลื่นไมโครเวฟจะเข้าไปสั่นโมเลกุลของออกซิเจนในน้ำมันพืชและเอทานอล ทำให้เอทานอลและน้ำมันพืชร้อนขึ้นภายในระยะเวลาสั้นกว่าการให้ความร้อนปกติที่ให้ความร้อนจากผิวด้วยการนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสีความร้อน

### 3.2 สมบัติทางเชื้อเพลิงของไบโอดีเซล

สมบัติของไบโอดีเซลที่ได้จากการทำปฏิกิริยาทรานส์เอทิลเลชันภายใต้การให้ความร้อนด้วย รังสีไมโครเวฟ แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 สมบัติของไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันพืชใช้แล้ว

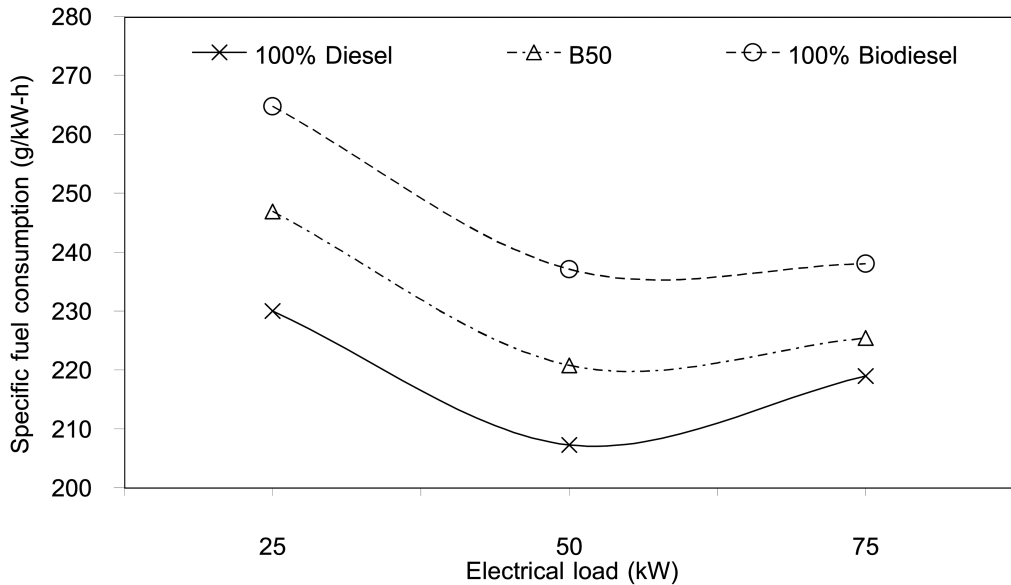
สมบัติ	ข้อกำหนด		ดีเซล	ไบโอดีเซล	มาตรฐานในการทดสอบ
	ดีเซลหมุนเร็ว	ดีเซลหมุนช้า			
Cetane Index	>47	>43	-	62 <sup>1</sup>	-
High Heating Value (MJ/kg)	-	-	46	39.87	ASTM D240
Specific Gravity at 15.6/15.6 °C	0.81-0.87	<0.92	0.83	0.8772	ASTM D1298
Viscosity at 40 °C (cSt)	1.8-4.1	<8.0	3.358	6.317	ASTM D445
Pour Point (°C)	<10	<16	-8	10.0	ASTM D97
Sulfur Content (%wt.)	<0.05	<1.5	0.04	<0.008 <sup>2</sup>	ASTM D4294
Carbon Residue (%wt.)	<0.05	-	-	0.053	ASTM D4530
Water and Sediment (%vol.)	<0.5	-	-	Trace	ASTM D2709
Copper Strip Corrosion	<1.0	-	1	1a	ASTM D130
Flash Point (°C)	>52	>66	65	130	ASTM D93
Distillation 90%recovered (°C)	<357	-	-	337.1	ASTM D86

<sup>1</sup> คำนวณจากสมการ [43]

<sup>2</sup> ค่าต่ำสุดที่เครื่องมือวัดสามารถอ่านได้

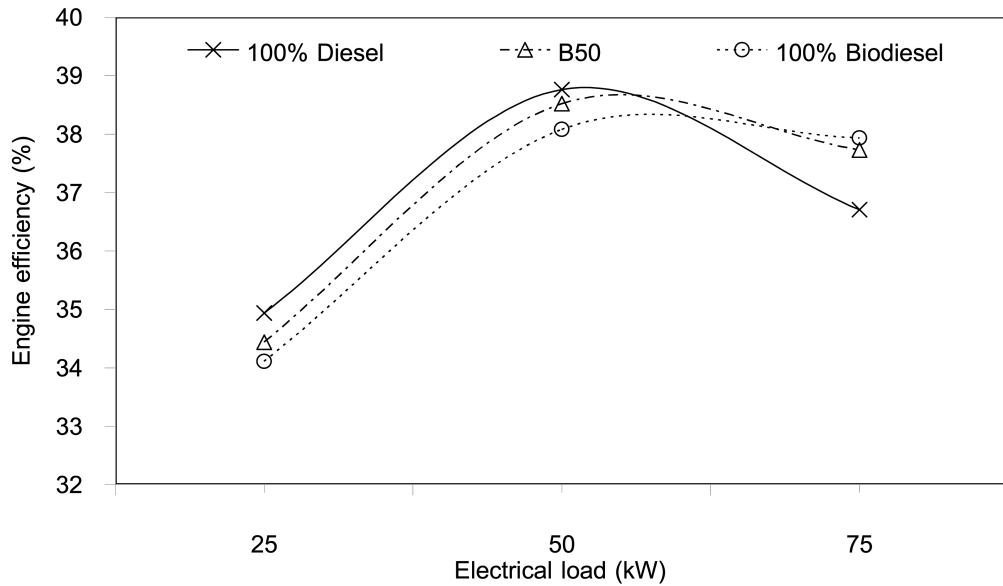
จากตารางที่ 3 ไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันพืชผ่านการใช้งานทอดแล้วมีสมบัติใกล้เคียงกับดีเซล แต่ไบโอดีเซลจะมีค่าความร้อนต่ำกว่าดีเซล (มีค่าความร้อนประมาณ 86.6% เมื่อเทียบกับดีเซล) และความหนืด สูงกว่ามาตรฐานของดีเซล ซึ่งอาจส่งผลต่อลักษณะของหยดเชื้อเพลิงในการระบบฉีดเชื้อเพลิง แต่ไบโอดีเซลมีค่าซีเทนสูงกว่าดีเซลที่มีผลต่อเวลาการจุดระเบิดที่ดีกว่า อีกทั้งไบโอดีเซลยังมีสมบัติที่ดีในการลดการปลดปล่อยมลพิษ เช่น ปริมาณกำมะถันที่มีค่าน้อยกว่า 0.008% โดยน้ำหนัก มีปริมาณกากคาร์บอน 0.053% และมีค่าการกัดกร่อนต่ำมาก (1a) ด้านการนำไปใช้งานในที่เย็นแม้ว่าจุดไหลเทของไบโอดีเซลมีค่า 10 °ซ. แต่สำหรับการใช้งานในประเทศไทยที่อุณหภูมิแวดล้อมส่วนใหญ่ของประเทศสูงกว่า 30 °ซ. จึงมีแนวโน้มที่จะไม่เป็นปัญหาสำหรับการนำไปใช้งาน อีกทั้งถ้าต้องการนำไปใช้ในพื้นที่ที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า 10 °ซ. การเพิ่มสารลดจุดไหลเท เช่น เมทาคริลेटโพลีเมอร์, แวกซ์อัลคิลเลตฟีนอล ฯลฯ [45] ก็สามารถช่วยลดปัญหาด้านนี้ได้ ในด้านความปลอดภัยในการขนส่งและเก็บรักษาพบว่าไบโอดีเซลมีจุดติดไฟประมาณ 130 °ซ. ทำให้มีอัตราการระเหยเป็นไอต่ำจึงง่ายต่อการขนส่งและเก็บรักษา [46]

### 3.3 ผลกระทบของไบโอดีเซลต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซล



รูปที่ 4 อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะของเครื่องยนต์ต่อภาระเครื่องยนต์ที่เพิ่มขึ้น

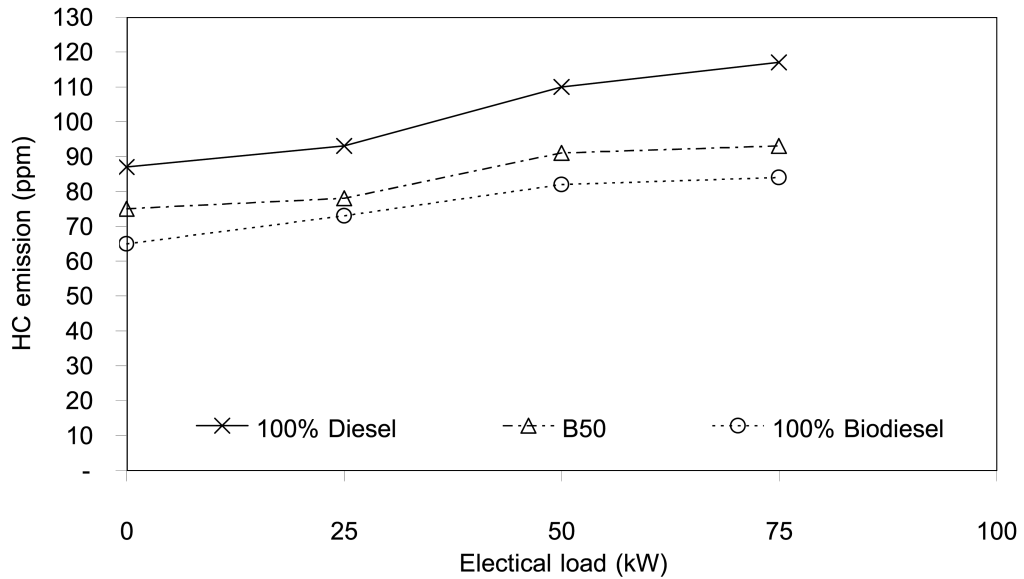
รูปที่ 4 แสดงอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะของเครื่องยนต์โดยปรับภาระของเครื่องยนต์ที่ 25, 50 และ 75 กิโลวัตต์ พบว่าเมื่อเครื่องยนต์ใช้ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิง มีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะมากกว่าน้ำมันดีเซลทุกภาระการทำงาน โดยเครื่องยนต์มีค่าความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะต่ำสุดที่ภาระการทำงานที่ 50 กิโลวัตต์ ทุกชนิดเชื้อเพลิง โดยในกรณีที่ใช้ B100 เป็นเชื้อเพลิงมีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 12.73% ส่วนการใช้ B50 เป็นเชื้อเพลิงมีค่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 5.6% เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ดีเซลเป็นเชื้อเพลิง ผลของอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะจากการใช้ไบโอดีเซลเชื้อเพลิงที่สูงขึ้นนี้ เกิดจากเครื่องยนต์ดีเซลต้องการเชื้อเพลิงเพื่อสร้างกำลังที่ภาระต่างๆ ให้คงที่ แต่ไบโอดีเซลที่ใช้ในการศึกษานี้มีค่าความร้อนต่ำกว่าดีเซล ดังนั้นเพื่อให้ได้กำลังเท่าเดิมเครื่องยนต์จึงต้องใช้ปริมาณไบโอดีเซลมากกว่าดีเซล ซึ่งอัตราความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะที่เพิ่มขึ้นสูงสุดมีค่าใกล้เคียงกับค่าความร้อนสูงของไบโอดีเซลที่ต่ำกว่าดีเซลประมาณ 15% เช่นกัน



รูปที่ 5 ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ต่อภาระเครื่องยนต์ที่เพิ่มขึ้น

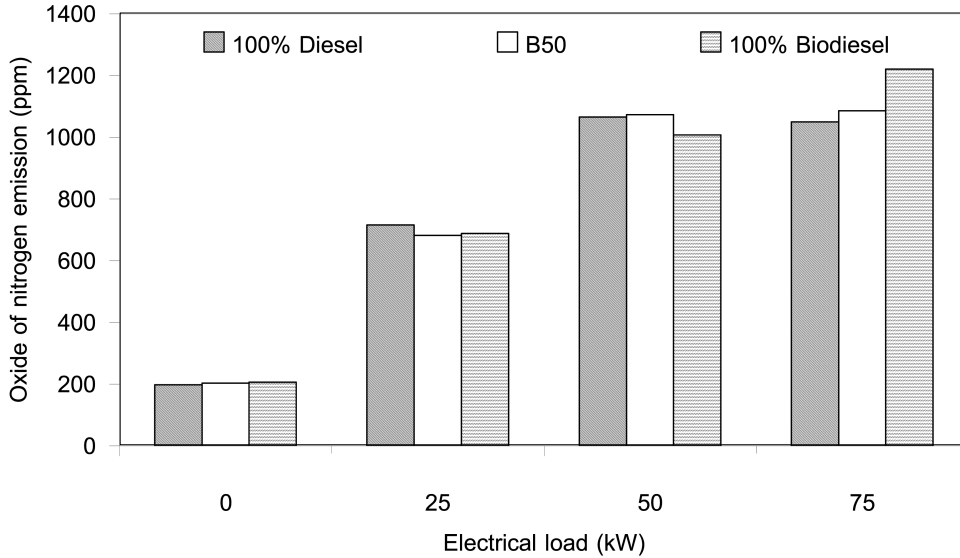
จากรูปที่ 5 ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์เมื่อใช้ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงมีค่าใกล้เคียงกับการใช้ดีเซลเป็นเชื้อเพลิงทุกภาระของเครื่องยนต์ และที่ภาระเครื่องยนต์ที่ 50 กิโลวัตต์ เครื่องยนต์ให้ประสิทธิภาพสูงสุด โดยเมื่อใช้ B100 เป็นเชื้อเพลิง เครื่องยนต์ให้ค่าประสิทธิภาพเฉลี่ยลดลง 0.26% ส่วนในกรณีที่ใช้ B50 เป็นเชื้อเพลิงให้ค่าประสิทธิภาพเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 0.24% เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ดีเซลเป็นเชื้อเพลิง โดยประสิทธิภาพเครื่องยนต์ที่ภาระของเครื่องยนต์ 75 กิโลวัตต์ ที่ใช้ B50 และ B100 เป็นเชื้อเพลิงให้ประสิทธิภาพสูงกว่าการใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง เป็นผลจากอุณหภูมิห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์ที่สูงขึ้นเมื่อเพิ่มภาระเครื่องยนต์มากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Purcell และคณะ [47] ประกอบกับค่าซีเทนของไบโอดีเซลที่สูงกว่าดีเซลซึ่งส่งผลต่อการจุดระเบิดและการเผาไหม้ที่ดีขึ้น ทำให้แนวโน้มของการทำงานที่ภาระของเครื่องยนต์สูงขึ้น (อุณหภูมิห้องเผาไหม้สูงขึ้น) ด้วยไบโอดีเซลจะให้ประสิทธิภาพสูงกว่าดีเซล

### 3.4 ผลกระทบของไบโอดีเซลต่อมลพิษของเครื่องยนต์ดีเซล



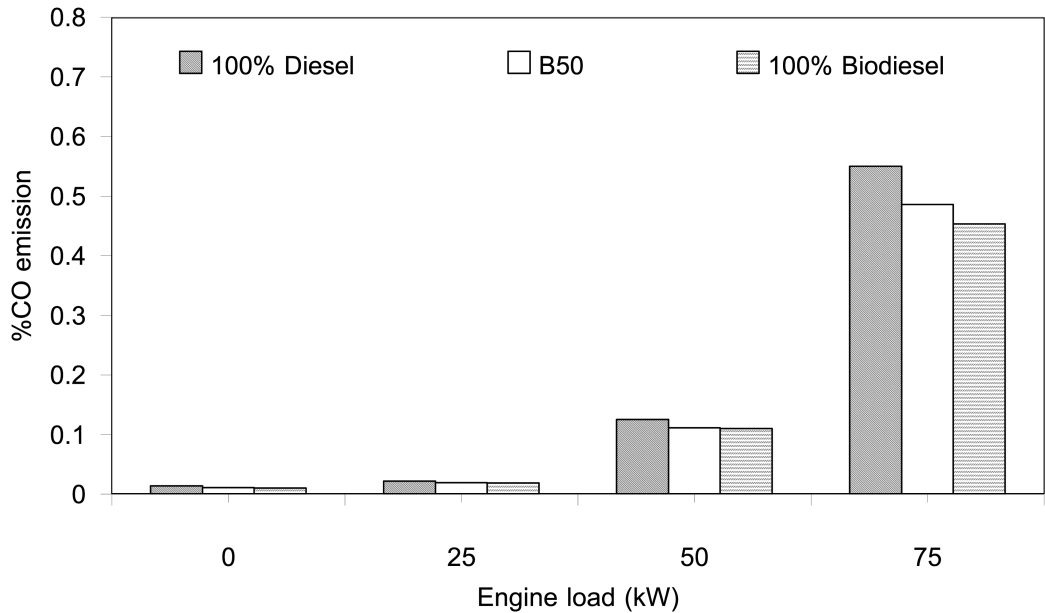
รูปที่ 6 ปริมาณการปลดปล่อยไฮโดรคาร์บอนต่อภาระเครื่องยนต์ที่เพิ่มขึ้น

จากรูปที่ 6 แสดงปริมาณการปลดปล่อยไฮโดรคาร์บอนต่อภาระเครื่องยนต์ที่เพิ่มขึ้น พบว่าปริมาณการปลดปล่อยไฮโดรคาร์บอนมีการเพิ่มขึ้นตามภาระของเครื่องยนต์ที่เพิ่มขึ้น เป็นผลจากปริมาณของเชื้อเพลิงที่ใช้เพิ่มขึ้นตามภาระของเครื่องยนต์ เมื่อเปรียบเทียบอัตราการปล่อยไฮโดรคาร์บอนระหว่างการใช้ไบโอดีเซลกับน้ำมันดีเซล พบว่าปริมาณไฮโดรคาร์บอนจากการใช้ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิง มีอัตราการปลดปล่อยน้อยกว่าดีเซล เพราะไบโอดีเซลนอกจากมีคาร์บอนและไฮโดรเจนเป็นส่วนประกอบแล้ว ยังมีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบอยู่ถึง 11% ในขณะที่ดีเซลมีเพียงคาร์บอนและไฮโดรเจนเท่านั้น ซึ่งนอกจากไบโอดีเซลจะมีสารตั้งต้นของการเกิดไฮโดรคาร์บอนน้อยกว่าดีเซลแล้ว ไบโอดีเซลยังมีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบที่ช่วยให้เกิดการเผาไหม้ได้ดีขึ้นด้วย เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบผลของการใช้ไบโอดีเซลกับดีเซลเป็นเชื้อเพลิงที่ภาระเครื่องยนต์ 25, 50, และ 75 กิโลวัตต์ พบว่าการใช้ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงมีอัตราการปล่อยไฮโดรคาร์บอนน้อยกว่าดีเซล โดยกรณีใช้ B100 มีปริมาณการปล่อยไฮโดรคาร์บอนลดลงเฉลี่ย 25.11% และในกรณีที่ใช้ B50 มีปริมาณการปล่อยไฮโดรคาร์บอนลดลงเฉลี่ย 16.93% เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ดีเซลเป็นเชื้อเพลิง ซึ่งคล้องกับรายงานวิจัยของ Schumacher และคณะ [48] ที่แสดงผลการลดอัตราการปลดปล่อยไฮโดรคาร์บอนของการใช้ไบโอดีเซลกับเครื่องยนต์ Cummins L10E



รูปที่ 7 ปริมาณการปลดปล่อยออกไซด์ของไนโตรเจนต่อภาระเครื่องยนต์ที่เพิ่มขึ้น

รูปที่ 7 แสดงปริมาณการปลดปล่อยออกไซด์ของไนโตรเจนของเครื่องยนต์ โดยออกไซด์ของไนโตรเจนเกิดจากการแตกตัวของไนโตรเจนของไอดี (อากาศ) ที่ใช้ในการเผาไหม้ ซึ่งไนโตรเจนของอากาศปกติเป็นโมเลกุลอะตอมคู่ ( $N_2$ ) มีความเสถียรที่อุณหภูมิต่ำ แต่สำหรับห้องเผาไหม้ที่มีอุณหภูมิสูงถึง 2,500K-3,000K [49] จะส่งผลให้ไนโตรเจนแตกตัวเป็นอะตอมเดี่ยว (N) ที่สามารถทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในไอดีและในองค์ประกอบของไบโอดีเซลและเกิดเป็นออกไซด์ของไนโตรเจนได้ง่าย จากผลการทดสอบ เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบปริมาณการปลดปล่อยออกไซด์ของไนโตรเจนของการใช้ไบโอดีเซลกับดีเซลเป็นเชื้อเพลิง กรณีใช้ B100 มีปริมาณการปลดปล่อยออกไซด์ของไนโตรเจน เพิ่มขึ้นเฉลี่ย 2.72% และในกรณีที่ใช้ B50 มีปริมาณการปลดปล่อยออกไซด์ของไนโตรเจนเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 0.47% เมื่อเทียบกับการใช้ดีเซลเป็นเชื้อเพลิง แม้ผลของปริมาณออกไซด์ของไนโตรเจนจะเปลี่ยนแปลงอย่างไม่มีนัยสำคัญกับ ภาระที่เพิ่มขึ้น แต่การเกิดออกไซด์ของไนโตรเจนจากการใช้ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิง ก็มีแนวโน้มที่สูงขึ้นตามภาระการทำงานของเครื่องยนต์ที่เพิ่มขึ้น ซึ่งมีผลทำให้ห้องเผาไหม้มีอุณหภูมิสูงขึ้น สอดคล้องกับรายงานของ [46] ที่แสดงอุณหภูมิไอเสียที่ออกจากห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบคงที่ แต่มีค่าสูงขึ้น (สูงกว่า 650 °ซ.) ตามภาระเครื่องยนต์ที่เพิ่มขึ้น ประกอบกับไบโอดีเซลมีปริมาณ  $O_2$  เป็นองค์ประกอบอยู่ 11% ที่ช่วยในการเผาไหม้ได้ดีขึ้น ทำให้อุณหภูมิของการเผาไหม้สูงขึ้น ส่งผลให้การเกิดออกไซด์ของไนโตรเจนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นด้วย



รูปที่ 8 ปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนมอนอกไซด์ต่อภาระเครื่องยนต์ที่เพิ่มขึ้น

คาร์บอนมอนอกไซด์เป็นสารมลพิษที่เกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ ถึงแม้ปริมาณไอดีจะเพียงพอต่อการเผาไหม้ แต่ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ก็สามารถเกิดขึ้นได้ถ้าไอดีไม่สามารถเข้าไปผสมกับเชื้อเพลิงได้อย่างทั่วถึง โดยคาร์บอนมอนอกไซด์จะเกิดมากในขณะที่ยังเครื่องยนต์เริ่มทำงานหรือเมื่อเร่งเครื่องยนต์ขณะที่มีภาระ จาก รูปที่ 8 พบว่าคาร์บอนมอนอกไซด์มีปริมาณ เพิ่มขึ้นตามภาระของเครื่องยนต์ที่เพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบ ปริมาณการปล่อยคาร์บอนมอนอกไซด์ระหว่างไบโอดีเซลกับดีเซลเป็นเชื้อเพลิงที่สภาวะภาระเครื่องยนต์ที่ 25, 50 และ 75 กิโลวัตต์ พบว่า ในกรณีที่ใช้ B100 สามารถลดปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนมอนอกไซด์ลงเฉลี่ย 17.96% และในกรณีที่ใช้ B50 สามารถลดปริมาณการปลดปล่อยลงเฉลี่ย 13.91% เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ดีเซลเป็นเชื้อเพลิง ซึ่งไบโอดีเซลมีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบอยู่ถึง 11% ที่ช่วยในการเผาไหม้ได้ดีขึ้น จึงส่งผลให้ปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนมอนอกไซด์ลดลง

#### 4. สรุปผลการทดลอง

การผลิตไบโอดีเซลแบบต่อเนื่องภายใต้การให้ความร้อนด้วยรังสีไมโครเวฟ โดยใช้น้ำมันพืชที่ผ่านการใช้งานแล้วเป็นวัตถุดิบ เป็นแนวทางที่น่าสนใจสำหรับลดต้นทุนการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชบริสุทธิ์และลดการใช้พลังงานลง โดยการให้ความร้อนในกระบวนการผลิตด้วยรังสีไมโครเวฟ สามารถลดเวลาในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันลงเหลือเพียง 30 วินาที เมื่อเปรียบเทียบกับให้ความร้อนจากขดลวดความร้อนไฟฟ้า (Heater) โดยมีอัตราการใช้พลังงานในการทำปฏิกิริยาเพียง 74.8 Wh/l ในขณะที่การให้ความร้อนปกติต้องใช้พลังงานในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันถึง 241.8 Wh/l หรือมากกว่า 3 เท่า (ประเมินค่าพลังงานที่ใช้ในการให้ความร้อนกับน้ำมันพืชโดยค่าความความร้อนจำเพาะของน้ำมันปาล์ม (2.13 kJ/kg-K) [50] ที่เวลา 30 นาที)

สำหรับน้ำมันที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระมากกว่า 1% การใช้ตัวเร่งเบสในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอทิลเลชัน โดยใส่ปริมาณตัวเร่งเบสให้มากพอสำหรับใช้ในการเร่งปฏิกิริยาและเหลือเพียงพอต่อการทำปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชัน กับกรดไขมันอิสระที่มีอยู่ในน้ำมันพืช ซึ่งจะช่วยลดเวลาในการเตรียมวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซลที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระมากกว่า 1% โดยน้ำมันพืชที่ผ่านการใช้งานแล้วสามารถนำไปใช้ผลิตไบโอดีเซลที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล

การนำไบโอดีเซลไปใช้งานในเครื่องยนต์ดีเซลกำเนิดไฟฟ้าในงานวิจัยนี้ ด้านผลกระทบต่อสมรรถนะ พบว่าการใช้ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงมีประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ไม่แตกต่างจากการใช้ดีเซล โดยมีอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 12.75% ส่วนผลกระทบต่อมลพิษ พบว่าไบโอดีเซลสามารถช่วยลดการปลดปล่อย HC เฉลี่ย 25.11% และลดการปลดปล่อย CO 17.96% แต่มีแนวโน้มการปลดปล่อย NO<sub>x</sub> เฉลี่ยเพิ่มขึ้น 2.72%

## 5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ภายใต้โครงการปริญญาเอก กาญจนภิเษก และสำนักงานนโยบายและแผนพลังงานที่ได้มอบทุนสนับสนุนการวิจัยนี้ และ Tricon KFC International Thailand Co., Ltd. ที่เอื้อเฟื้อน้ำมันพืชที่ผ่านการใช้งานแล้วสำหรับงานวิจัยนี้

## 6. เอกสารอ้างอิง

1. Bartholomew, D., 1981, "Vegetable Oil Fuel," *JAOCS*, Vol. 58, pp. 286A-288A.
2. Lipinsky, E.S., McClure, T.A., Kresovich, S., Otis, J.L., Wagner, C.K., Trayser, D.A., and Appelbaum, H.R., 1982, "Vegetable Oils and Animal Fats for Diesel," *Proceedings of the International Conference on Plant and Vegetable Oils as Fuels*, ASAE, Fargo, ND, pp. 1-10.
3. Ryan, T.W., Callahan, T.J., and Dodge, L.G., 1982, "Characterization of Vegetable Oils for Use as Fuels in Diesel Engines," *Proceedings of the International Conference on Plant and Vegetable Oils as Fuels*, ASAE, Fargo, ND, pp. 70-80.
4. Tahir, A.R., Lapp, H.M., and Buchanan, L.C., 1982, "Sunflower Oils as a Fuels for Compression Ignition Engines," *Proceedings of the International Conference on Plant and Vegetable Oils as Fuels*, ASAE, Fargo, ND, pp. 82-91.
5. Pryde, E.H., 1982, "Vegetable Oil Fuel Standards," *Proceedings of the International Conference on Plant and Vegetable Oils as Fuels*, ASAE, Fargo, ND, pp. 101-105.
6. Collins, G.S., Griffin, R.C., and Lacewell, R.D., 1982, "National Economic Implications of Substituting Plant Oils for Diesel Fuel," *Proceedings of the International Conference on Plant and Vegetable Oils as Fuels*, ASAE, Fargo, ND, pp. 138-148.
7. คณิต กฤษณังกูร, 2534, การใช้ไขมันพืชเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซล, วารสาร สจ.ธ., ปีที่ 14, ฉบับที่ 1, หน้า 34-41.



8. Machacon, H.T.C., Shiga, S., Karasawa, T., and Nakamura, H., 2001, "Performance and Emission Characteristics of a Diesel Engine Fueled with Coconut Oil-Diesel Fuel Blend," *Biomass and Bioenergy*, Vol. 20, pp. 63-69.

9. Bari, S., Lim, T.H., and Yu, C.W., 2002, "Effects of Preheating of Crude Palm Oil (CPO) on Injection System, Performance and Emission of a Diesel Engine," *Renewable Energy*, Vol. 27, pp. 339-351.

10. Giannelos, P.N., Zannikos, F., Stournas, S., Lois, E., and Anastopoulos, G., 2002, "Tobacco Seed Oil as an Alternative Diesel Fuel: Physical and Chemical Properties," *Industrial Crops and Products*, Vol. 16, No. 1, pp. 1-16.

11. Gunstone, F.D., 2002, *Vegetable Oils in Food Technology*, Blackwell Publishing Asia, Victoria, AU, 337 p.

12. Nouredini, H., Teoh, B.C., and Clements, L.D., 1992, "Viscosities of Vegetable Oils and Fatty Acids," *JAOCS*, Vol. 69, No. 12, pp. 1189-1191.

13. Pryde, E.H., 1983, "Vegetable Oils as Diesel Fuels: Overview," *JAOCS*, Vol. 60, No. 8, pp. 1557-1558.

14. Peterson, C.L., Auld, D.L., and Korus, R.A., 1983, "Winter Rape Oil Fuel for Diesel Engines: Recovery and Utilization," *JAOCS*, Vol. 60, No. 8, pp. 1579-1587.

15. Ma, F. and Hanna, M.A., 1999, "Biodiesel Production: a Review," *Bioresource Technology*, Vol. 70, pp. 1-15.

16. Kaufman, K., 1991, "Testing of Vegetable Oils in Diesel Engines," *AAAS Selected Symposium*, pp. 143-175.

17. Fukuda, H., Kondo, A., and Noda, H., 2001, "Biodiesel Fuel Production by Transesterification of Oils," *Journal of Bioscience and Bioengineering*, Vol. 92, No. 5, pp. 405-416.

18. Demiraş, A., 2003, "Biodiesel Fuels from Vegetable Oils via Catalytic and Non-Catalytic Supercritical Alcohol Transesterifications and Other Method: a Survey," *Energy Conversion and Management*, Vol. 44, pp. 2093-2109.

19. Freedman, B. and Pryde, E.H., 1982., "Transesterification of Vegetable Oils for Fuels," *Proceedings of the International Conference on Vegetable Oils as Fuel*, ASAE, Fargo, ND, pp. 117-126.

20. Freedman, B. Butterfield, R.O., and Pryde, E.H., 1986, "Transesterification Kinetics of Soybean Oil," *JAOCS*, Vol. 63, No. 10, pp. 1375-1380.

21. Kusy, P.F., 1982, "Transesterification of Vegetable Oils for Fuels," *Proceedings of the International Conference on Vegetable Oils as Fuels*. ASAE, St. Joseph, Michigan, pp. 127-137.

22. Kreutzer, U.R., 1984, "Manufacture of Fatty Alcohols Based on Natural Fats and Oils," *JAOCS*, Vol. 64, pp. 343-348.

23. Encinar, J.M, Gonzales, J.F., Rodriuez, J.J., and Tejedor, A., 2002, "Biodiesel Fuels from Vegetable Oils: Transesterification of *Cynara cardunculus* L. Oils with Ethanol," *Energy and Fuel*, Vol. 16, pp. 443-450.

24. Zhang, Y., Dube, M.A., McLean, D.D., and Kates, M., 2003, "Biodiesel Production from Waste Cooking Oil: 1. Process Design and Technological Assessment," *Bioresource Technology*, Vol. 39, pp. 1-16.

25. Vicente, G., Martínez, M., and Aracil, J., 2004, "Integrated Biodiesel Production: a Comparison of Different Homogeneous Catalysts Systems," *Bioresource Technology*, Vol. 92, pp. 297-305.

26. Krisnangkura, K. and Simamaharnop, R., 1992, "Continuous Transesterification of Palm Oil in an Organic Solvent," *JAOCS*, Vol. 69, pp. 166-169.

27. Nouredini, H., Harkey, D., and Medikonduru, V., 1998, "A Continuous Process for the Conversion of Vegetable Oil into Methyl Ester of Fatty Acid," *JAOCS*, Vol. 75, No. 12, pp. 1775-1783.

28. Darnoko, D. and Chenryan, M., 2000, "Continuous Production of Palm Methyl Ester," *JAOCS*, Vol. 77, No. 2, pp. 1269-1272.

29. Foidl, N., Foidl, G., Sanchez, M., Mittelbach, M., and Hackel, S., 1996, "*Jatropha curcas* L. as a Source for the Production of Biofuel in Nicaragua," *Bioresource Technology*, Vol. 58, No. 1, pp. 77-82.

30. Pramanik, K., 2003, "Properties and Use of *Jatropha curcas* Oil and Diesel Fuel Blends in Compression Ignition Engine," *Renewable Energy*, Vol. 28, No. 2, pp. 239-248.

31. Haas, M.J., Scott, K.M., Alleman, T.L., and McCormick, R.L., 2001, "Engine Performance of Biodiesel Fuel Prepared from Soybean Soapstock: A High Quality Renewable Fuel Production from a Waste Feedstock," *Energy and Fuels*, Vol. 15, pp. 1207-1212.

32. Tashtoush, G.M., Al-Widyan, M.I., and Al-Jarrah, M.M., 2004, "Experimental Study on Evaluation and Optimization of Conversion of Waste Animal Fat into Biodiesel," *Energy Conversion and Management*, Vol. 45, No. 17, pp. 2697-2711.

33. Tomasevic, A.V and Siler-Marinkovic, S.S., 2003, "Methanolysis of Used Frying Oil," *Fuel Processing Technology*, Vol. 81, No. 1, pp. 1-6.

34. Al-Widyan, M.I. and Al-Shyoukh, A.O, 2002, "Experimental Evaluation of the Transesterification of Waste Palm Oil into Biodiesel," *Bioresource Technology*, Vol. 85, No. 3, pp. 253-256.

35. Supple, B., Howard-Hildige, R., Gonzalez-Gomez, E., and Leahy, J.J., 2002, "The Effect of Steam Treating Waste Cooking Oil on Yield of Methyl Ester," *JAOCS*, Vol. 79, No. 2, pp. 175-178.

36. Dorado, M.P., Ballesteros, E., de Almeida, J.A., Schellert, C., LÖhrlein, H.P., and Krause, R., 2002, "An Alkali-Catalyzed Transesterification Process for High Free Fatty Acid Waste Oils," *Transaction of the ASAE*, Vol. 45, No. 3, pp. 525-529.

37. Dorado, M.P. Ballesteros, E., Arnal, J.M., Gómez, J., and López, F.J., 2003, "Exhaust Emissions from a Diesel Engine Fueled with Transesterified Waste Olive Oil," *Fuel*, Vol. 82, pp. 1311-1315.
38. Freedman, B., Pryde, E.H., and Mounts, T.L., 1984, "Variables Affecting the Yields of Fatty Esters from Transesterified Vegetable Oils," *JAACS*, Vol. 61, pp. 1638-1643.
39. Puhan, S., Vedaraman, N., Sankaranarayanan, G., and Bharat Ram, B.V., 2005, "Performance and Emission Study of Mahua Oil (*Madhuca Indica* Oil) Ethyl Ester in a 4-Stroke Natural Aspirated Direct Injection Diesel Engine," *Renewable Energy*, Vol. 30, No. 1269-1278.
40. Canakci, M. and Van Gerpen, J.H., 2003, "A Pilot Plant to Produce Biodiesel from High Free Fatty Acid Feedstocks," *Transaction of the ASAE*, Vol. 46, No. 4, pp. 945-954.
41. Jeyashoke, N., Krisnangkura, K., and Chen, S.T., 1998, "Induced Rapid Transmethylation of Fatty Acids for Analysis of Food Oil," *Journal of Chromatography A*, Vol. 818, pp. 133-137.
42. Lertsathapornsuk, V., Pairintra, R., Krisnangkura, K., and Chindaruksa, S., 2003. "Direct Conversion of Used Vegetable Oil to Biodiesel and Its Use as an Alternative Fuel for CI Engine," *Proceedings of the 1<sup>st</sup> International Conference on Sustainable Energy and Green Architecture*, Bangkok, pp. SE091-096.
43. Krisnangkura, K., 1986, "A Simple Method for Estimation of Cetane Index of Vegetable Oil Methyl Ester," *JAACS*, Vol. 63, NO. 4, pp. 552-553
44. Heywood, J.B. 1989, *Internal Combustion Engine Fundamentals*, New York, McGraw-Hill, p. 930.
45. ประเสริฐ เทียนนิมิตร, ขวัญชัย ลินทิพย์สมบูรณ์, และปานเพชร ชินินทร, 2536, *เชื้อเพลิงและสารหล่อลื่น*, ซีเอ็ดยูเคชั่น, กรุงเทพฯ, 389 หน้า
46. Krawczyk, T., 1996, "Biodiesel-Alternative Fuel Makes Inroads but Hurdles Remain," *INFORM*, Vol. 7, No. 8, pp. 800-815.
47. Purcell, D.L., McClure, B.T., McDonald, J., and Basu, H.N., 1996, "Transient Testing of Soy Methyl Ester Fuel in an Indirect Injection, *Compression Ignition Engine*," Vol. 73, No. 3, pp. 381-388.
48. Schumacher, L.G., Clark, N.N., Lyons, D.W., and Marshall, W., 2001, "Diesel Engine Exhaust Emissions Evaluation of Biodiesel Blends Using a Cummins L10E Engine", *Transactions of ASAE*, Vol. 44, No. 6, pp. 1461-1464.
49. Pulkrabek, W.W., 2003, *Engineering of the Internal Combustion Engine*, Bangkok, Pearson Education Indochina, pp. 303-304.
50. Gunstone, F.D., 2002, *Vegetable Oils in Food Technology*, CRC Press, USA, p. 182.

