



# การศึกษาสมรรถนะ มลพิษและอัตราการปลดปล่อยความร้อนของ เครื่องยนต์ดีเซลแบบ IDI ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบ-ดีเซลเป็นเชื้อเพลิง

## Experiment Study on Performance, Emissions and Heat Release Rate of IDI Diesel Engine Fuelled by Crude Palm-Diesel

ชิบดินทร์ แสงสว่าง พิพัฒน์ พิชยentarayotin และ จิรวรรณ เตียรต์สุวรรณ\*

หน่วยงานวิจัยความร้อนเชิงนิเวศน์

คณะพลังงาน สิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กทม 10140.

\* E-mail : jirawan.tia@kmutt.ac.th

**Tibadin Sangsawang, Pipat Pichayentarayotin, Jirawan Tiansuwan\***

Eco-Thermal Research Unit (Eco-TRU)

School of Energy, Environment and Materials,

King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok 10140, Thailand

\* E-mail : jirawan.tia@kmutt.ac.th

### บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นการศึกษาสมรรถนะการศึกษาสมรรถนะ, มลพิษและอัตราการปลดปล่อยความร้อนของเครื่องยนต์ดีเซลแบบ IDI ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบดีเซลเป็นเชื้อเพลิง การทดลองมีการปรับค่าความเร็วรอบ 3 ค่า คือ 1,000, 1,600 และ 2,200 rpm และใช้ภาระงานเต็มที่ (Full Load) จากการทดสอบพบว่าค่ากำลังของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบดีเซลมีกำลังน้อยกว่าเมื่อใช้น้ำมันดีเซลอยู่ 2.86 – 11.15 % มีค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนน้อยกว่าน้ำมันดีเซลอยู่ 8.63 – 13.03 % มีค่าอัตราการใช้เชื้อเพลิงจำเพาะมากกว่าน้ำมันดีเซลอยู่ 9.44 – 10.05 % จากการวัดค่าปริมาณ CO สำหรับน้ำมันดีเซลและปาล์มดีเซล ที่ความเร็วรอบ 1000 rpm จะมีค่า 148 และ 248 ppm; ที่ความเร็วรอบ 1600 rpm จะมีค่า 324 และ 445 ppm ตามลำดับ และที่ความเร็วรอบ 2200 rpm จะมีค่า 483 และ 567 ppm ตามลำดับ ส่วนค่า NOx มีค่าใกล้เคียงกัน และจากการวัดค่าความดันภายในกระบอกสูบ พบว่าค่าความดันภายในกระบอกสูบเมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบดีเซล มีค่ามากกว่าเมื่อใช้น้ำมันดีเซลเล็กน้อย ซึ่งเป็นผลมาจากค่าความหนืดของน้ำมันปาล์มดิบดีเซลที่มีมากกว่า ทำให้มีมวลน้ำมันปาล์มดิบดีเซลในการเผาไหม้มากกว่าน้ำมันดีเซล แต่อย่างไรก็ตาม เนื่องจากค่าความร้อนของน้ำมันปาล์มดิบดีเซลมีค่าต่ำกว่าน้ำมันดีเซล ทำให้มีอัตราการปลดปล่อยความร้อนน้อยกว่า ส่งผลให้เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบดีเซล มีสมรรถนะที่น้อยกว่าน้ำมันดีเซล

### ABSTRACT

This research is to study performances, emissions and heat release rate of an IDI diesel engine which uses palm-diesel as fuel. The engine was running at 1,000, 1,600 and 2,200 rpm with full load condition. The experiments showed that the palm-diesel mode gave less 2.86 – 11.15 % of engine power, less 8.63 – 13.03% of thermal efficiency and more 9.44 – 10.05 % specific fuel consumptions compared with those of diesel. For emission studies, with diesel and palm-diesel oils, the amounts of measured CO at 1,000 rpm were 148 and 248 ppm; at 1,600 rpm were 324 and 445 ppm; and at 2,200 rpm were 483 and 567 ppm, respectively. The amount of NOx was found to be similar for both palm-diesel and diesel oils. The pressure diagrams of combustion presented the higher peak pressure of

palm-diesel mode than diesel mode due to the higher viscosity of palm-diesel. This gave more fuel mass injected into the combustion chamber. However, because of lower heating value of palm-diesel, the heat release rate of palm-diesel oil was lower than that of diesel and lower performance was obtained.

## 1. บทนำ

การใช้น้ำมันดีเซลในประเทศไทยมีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งโดยส่วนใหญ่เป็นการนำเข้าจากต่างประเทศ น้ำมันดีเซลเป็นส่วนสำคัญในโครงสร้างทางเศรษฐกิจ โดยเฉพาะในภาคการขนส่ง นับตั้งแต่วิกฤติการณ์น้ำมันของประเทศไทยที่เริ่มต้นในปี 2543 จนถึงปัจจุบัน น้ำมันดีเซลมีราคาแพงขึ้นอย่างมาก ทำให้มีการขึ้นราคาค่าขนส่งและสินค้าอื่นๆ ทำให้มีการค้นคว้าทางวิชาการเพื่อที่จะลดปริมาณการใช้น้ำมันดีเซลลง ซึ่งน้ำมันพืชเป็นทางเลือกที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย เนื่องจากสามารถหาได้ภายในประเทศ แต่ยังคงขาดในด้านเทคโนโลยีที่ยังมีความซับซ้อน และยังมีราคาแพง อีกแนวทางหนึ่งคือการใช้เชื้อเพลิงเสริมในเครื่องยนต์ โดยมีการดัดแปลงเครื่องยนต์เพียงเล็กน้อยก็ได้รับความนิยมเช่นกัน

ในเครื่องยนต์ดีเซลน้ำมันดีเซลถูกฉีดเข้าสู่ห้องเผาไหม้ในสภาวะที่มีความดันและอุณหภูมิที่สูงมาก ในตำแหน่งที่ถูกสูบเคลื่อนที่ก่อนถึงจุดศูนย์กลางบน (Top Dead Center) เล็กน้อย เชื้อเพลิงเหลวในห้องเผาไหม้จะแตกตัวออกเป็นละอองเชื้อเพลิง (Atomization) และจุดระเบิดด้วยตัวเอง (Self Ignition) และปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปความร้อน ทำให้ถูกสูบเคลื่อนที่เปลี่ยนเป็นงานหมุนของเพลาคือเหวี่ยง ทำให้ยานพาหนะสามารถเคลื่อนที่ไปได้

การนำน้ำมันพืชมาเป็นเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันดีเซลได้รับความนิยมอย่างยิ่ง โดยเฉพาะน้ำมันพืชที่ทำมาจากพืชที่ถูกมากในประเทศไทย เช่น น้ำมันมะพร้าว น้ำมันรำข้าว น้ำมันปาล์ม เป็นต้น แต่ด้วยคุณสมบัติทางฟิสิกส์และเคมีของน้ำมันพืชเอง แตกต่างจากน้ำมันดีเซลอยู่มาก ทำให้มีปัญหาในด้านการฉีดเชื้อเพลิง การเกิดตะกรันเกาะที่แหวนและผนังของห้องเผาไหม้ ความสามารถในการ

กลายเป็นละอองต่ำ และเครื่องยนต์สึกหรอในลักษณะที่ไม่ปกติ สิ่งเหล่านี้เป็นปัญหาอย่างมาก แต่การนำน้ำมันพืชมาผสมกับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วนที่พอเหมาะมาใช้ในเครื่องยนต์ ที่ไม่มีการปรับแต่งเครื่องยนต์ ทำให้ประหยัดการใช้น้ำมันดีเซลลงได้มากขึ้น โดยที่สมรรถนะของเครื่องยนต์ยังไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก

จากงานวิจัยของ Wibulswas et al [1-3] และ Sansawang et al [4] พบว่า ในกรณีของน้ำมันปาล์มดิบ อัตราส่วนที่เหมาะสมในการผสมน้ำมันปาล์มดิบในน้ำมันดีเซลคือ 10 % โดยปริมาตร ซึ่งกำลังที่ได้มีค่าไม่แตกต่างจากการใช้น้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียวมากนัก นอกจากนี้ มลพิษที่เกิดขึ้นยังมีค่าเพิ่มขึ้นไม่มากนัก เมื่อเทียบกับการใช้น้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียว นอกจากนี้ Tiansuwan et al [5] ยังได้ศึกษาผลกระทบที่มีต่อชิ้นส่วนอะไหล่ของเครื่องยนต์ พบว่าเมื่อเดินเครื่องยนต์เป็นเวลา 500 ชั่วโมง ค่าการสึกหรอที่เกิดขึ้นยังมีค่าไม่แตกต่างจากการใช้น้ำมันดีเซลอย่างมีนัยสำคัญ

ในเครื่องยนต์ที่ใช้ในด้านการเกษตร ซึ่งโดยส่วนใหญ่ใช้เครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็ก เครื่องยนต์ดีเซลแบบมีห้องเผาไหม้ช่วย หรือ Indirect Injection ได้รับความนิยมมากกว่าเครื่องยนต์ดีเซลแบบฉีดโดยตรง หรือ Direct Injection อันเนื่องมาจากระดับเสียงที่เบาว่า และเครื่องยนต์เดินเครื่องได้โดยมีการสั่นสะเทือนที่ตัวเครื่องยนต์น้อยกว่า

บทความนี้เป็นการศึกษาสมรรถนะ มลพิษ ความดันภายในกระบอกสูบและอัตราการปลดปล่อยความร้อนจากการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นภายในกระบอกสูบ โดยใช้น้ำมันปาล์มดิบ 10 % โดยปริมาตรผสมกับน้ำมันดีเซล (น้ำมันปาล์มดีเซล) ในเครื่องยนต์ดีเซลแบบ IDI โดยไม่มีการปรับแต่งเครื่องยนต์

## 2. เครื่องยนต์และการติดตั้งเครื่องมือวัด

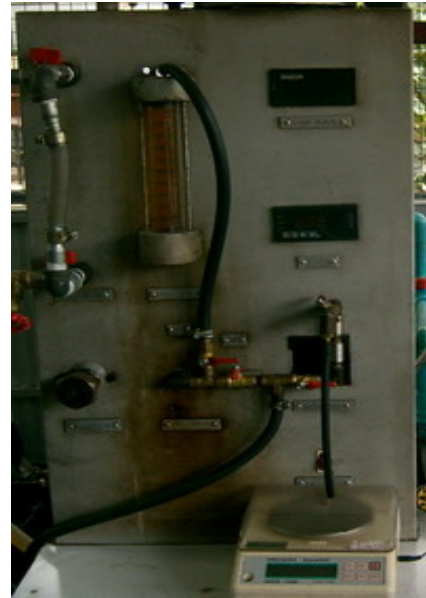
### 2.1 ไดนาโมมิเตอร์

ในงานวิจัยนี้ ใช้เครื่องยนต์ดีเซลของยี่ห้อ ยันมาร์ ติดตั้งไดนาโมมิเตอร์ดังรูป 1

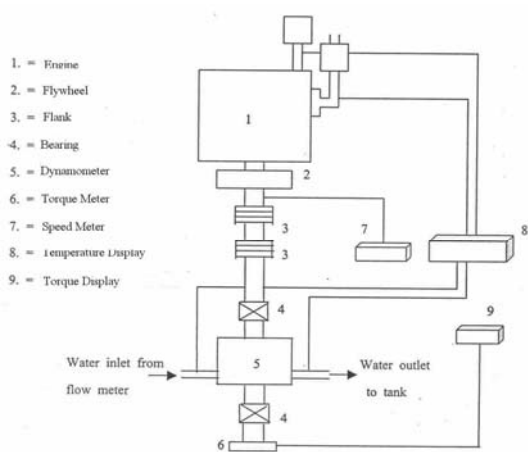


รูปที่ 1 เครื่องยนต์ดีเซลและไดนาโมมิเตอร์

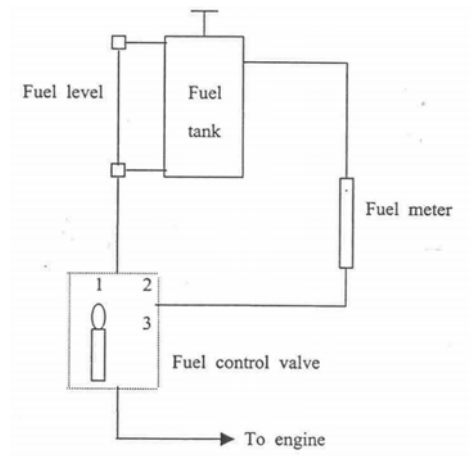
อัตราการไหลของน้ำระบายความร้อนจากตัวไดนาโมมิเตอร์ โดยที่ไดนาโมมิเตอร์จะส่งแรงบิดไปกดแกนของ Load Cell ที่ติดตั้งไว้ ตัว Load Cell จะส่งสัญญาณมาที่มิเตอร์ในชุดควบคุมในหน่วยนิวตันเมตร (Nm)



รูปที่ 3 ชุดควบคุมการทำงานของเครื่องยนต์

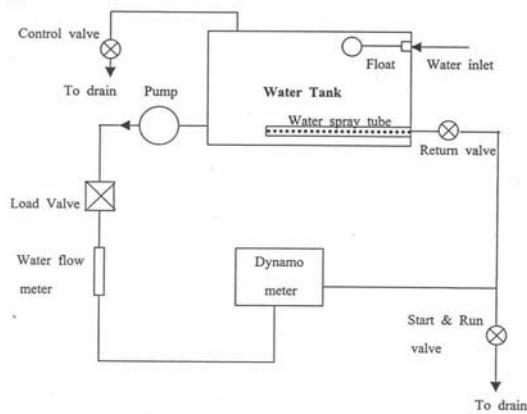


รูปที่ 2 ผังการทำงานของเครื่องยนต์พร้อมชุดไดนาโมมิเตอร์



รูปที่ 4 ผังการทำงานของระบบเชื้อเพลิง

เครื่องยนต์ยี่ห้อ ยันมาร์ TF 75 LM เป็นเครื่องยนต์แบบสูบเดี่ยวขนาด 7.5 แรงม้า ติดตั้งเครื่องไดนาโมมิเตอร์ การทำงานของชุดไดนาโมมิเตอร์ซึ่งควบคุมการทำงานด้วย Load Valve ที่ติดตั้งอยู่บนตู้ควบคุม และมีชุดวัด



รูปที่ 5 ผังการทำงานของระบบหล่อเย็น

ตารางที่ 1 Specification ของเครื่องยนต์

Engine	IDI Single Cylinder
Bore (cm)	8.0
Stroke (cm)	8.7
Compression Ratio	22 : 1
Connecting Rod Length (cm)	13.1
Displacement (cc)	437
Power	7.5 hp at 2,200rpm
Valve Timing	Intake Valve Open 16° BTDC Intake Valve Close 40° ABDC Exhaust Valve Open 50° BBDC Exhaust Valve Close 24° ATDC
Number of Injector	1

ในตู้ควบคุมจะมีชุดควบคุมน้ำมันเชื้อเพลิงติดตั้งอยู่ด้วย โดยน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้จะอยู่ในถังบรรจูด้านบน มีท่อต่อลงมายังหลอดแก้ววัดอัตราการไหลที่ควบคุมด้วยวาล์ว วาล์วควบคุมมีอยู่ 3 ตำแหน่ง ตำแหน่งที่ 1 ใช้ควบคุมน้ำมันให้ไหลเข้าเครื่องยนต์โดยตรงจากถังบรรจูด้านบน ตำแหน่งที่ 2 ใช้เติมน้ำมันในหลอดแก้ว และตำแหน่งที่ 3 ใช้ควบคุมน้ำมันจากหลอดแก้วให้ไหลเข้าเครื่องยนต์

น้ำมันเชื้อเพลิง เป็นน้ำมันดีเซล และน้ำมันปาล์มดีเซล ซึ่งเกิดจากการผสมน้ำมันปาล์มดิบอัตราส่วน 10 % โดยปริมาตร ผสมกับน้ำมันดีเซล โดยที่ค่าคุณลักษณะของน้ำมันปาล์มดีเซลสามารถดูได้จาก Tiansuwan et al [5]

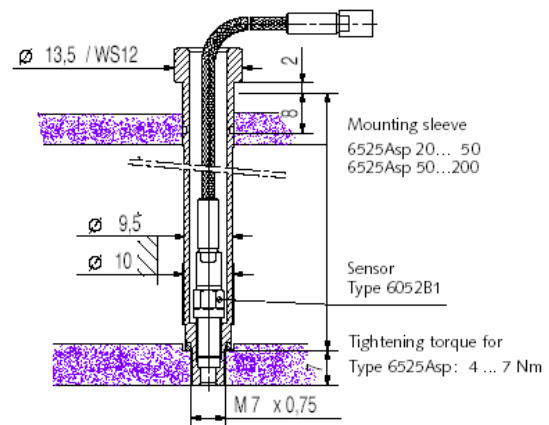
## 2.2 การวัดความดัน

เครื่องมือวัดความดันในกระบอกสูบเป็น Pressure Transducer Kistler 6052B5 ซึ่งเป็น Piezoelectric Pressure Transducer ติดตั้งพร้อมกัน Impedance Charge-signal Output ในงานวิจัยนี้ได้ใช้ Pressure Transducer จำนวน 2 ชุดเพื่อวัดความดันในห้องเผาไหม้หลัก 1 ชุด และห้องเผาไหม้ช่วยอีก 1 ชุด

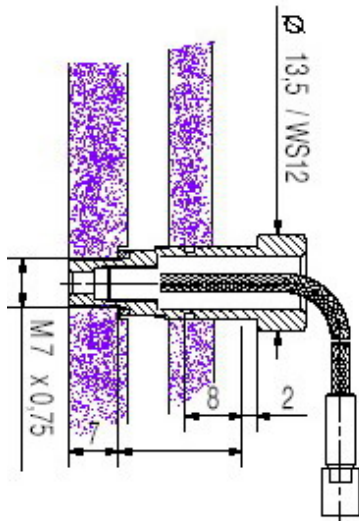
เครื่องมือวัดชุดนี้ เป็นการวัดความดันที่กระทบต่อไดอะแฟรม และเปลี่ยนเป็นแรงส่งผ่านไปยังควอทซ์ที่เปลี่ยนจากแรงเป็นความต่างศักย์ไฟฟ้าไปยังชุดอ่านข้อมูล เหมาะสำหรับการวัดแรงดันแบบ Rapid Dynamic เช่นแรงดันในกระบอกสูบ



รูปที่ 6 Pressure Transducer ที่ใช้ในงานวิจัย



รูปที่ 7 การติดตั้ง Pressure Transducer ที่ห้องเผาไหม้ช่วย



รูปที่ 8 การติดตั้ง Pressure Transducer  
ที่ห้องเผาไหม้หลัก

### 2.3 มุมการหมุนของเพลาค้อเหวี่ยง

ในงานวิจัยนี้ใช้ DEWE-CA Angle Sensor ซึ่งติดตั้งกับเพลาค้อเหวี่ยง หรือบริเวณพูล์รูปตัววี หรืออื่นๆ ที่ทำให้สามารถวัดการหมุนของเพลาค้อเหวี่ยง ออกเป็นมุมมองศาได้ เครื่องมือตัวนี้มีค่าความละเอียด  $0.2^\circ$  และสามารถวัดความเร็วรอบได้ถึง 6,000 rpm



รูปที่ 9 Crank Angle Encoder และการติดตั้ง

### 2.4 ชุดบันทึกและประมวลข้อมูล

ในงานวิจัยนี้ ได้ใช้ชุดเก็บข้อมูล DEWE-801-CA-PROF เป็นตัวเก็บข้อมูลจาก Pressure Transducer และ Crank Angle Encoder มาประมวลผลผ่านซอฟต์แวร์ DEWESoft FlexPro

### 3. วิธีการทดสอบ

การทดลองแบ่งออกเป็นสองส่วน โดยที่ส่วนแรกได้ใช้น้ำมันดีเซลในการทดสอบ ในการทดสอบแบบจำลอง หลังจากนั้นเป็นการใช้น้ำมันปาล์มดีเซล แล้วนำค่าที่วัดได้ไปใช้ในแบบจำลอง

1. ทำการปรับโหลดของเครื่องยนต์ เพื่อทำการหาจุดที่เป็น Full Load และความเร็วรอบ 1,000 rpm
2. เดินเครื่องทิ้งไว้ประมาณ 15 นาที ถึง 30 นาที เพื่อให้เครื่องยนต์เข้าสู่สภาวะ Steady
3. ทำการเปิดน้ำมันที่เตรียมไว้บนเครื่องซึ่งให้ไหลเข้าสู่ห้องเผาไหม้ บันทึกผลน้ำมันที่ใช้ไปเป็นน้ำหนัก (g), เวลา (s), ความเร็วรอบ (rpm), อุณหภูมิน้ำหล่อเย็น พร้อมกับเก็บข้อมูลความดันของกระบอกสูบที่สัมพันธ์กับ Crank Angle Encoder เป็นเวลาอย่างน้อย 5 นาที
4. ทำซ้ำตั้งแต่ข้อ 1 แต่ปรับความเร็วรอบเป็น 1,600 rpm และ 2,200 rpm ตามลำดับ

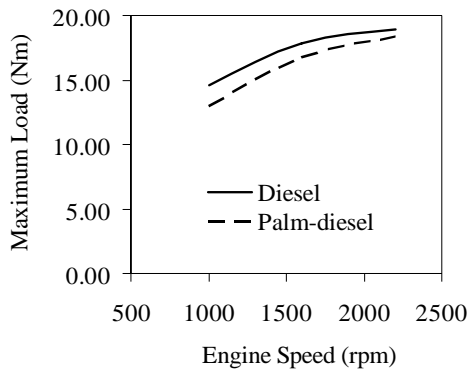
### 4. สมรรถนะและมลพิษของเครื่องยนต์

ในการทดสอบสมรรถนะและมลพิษของเครื่องยนต์ในงานวิจัยนี้ได้มีการปรับภาระให้มีภาระสูงสุดเท่าที่เครื่องยนต์จะสามารถทำได้ จากนั้นจึงวัดค่าต่างๆ ได้แก่ ค่าภาระสูงสุด (Nm), กำลังของเครื่องยนต์ (kW), ประสิทธิภาพเชิงความร้อน (%) และอัตราการใช้เชื้อเพลิงจำเพาะ (g-kW/hr) และค่ามลพิษ คือ CO และ NOx ซึ่งได้ผลดังนี้

#### 4.1 ภาระงานสูงสุด

จากรูปที่ 10 พบว่า ภาระงานสูงสุดที่วัดได้เมื่อใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง มีค่ามากกว่าภาระงานสูงสุดที่วัด

ได้จากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มดีเซล ทั้งนี้เนื่องจากคุณภาพการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง น้ำมันปาล์มดีเซลมีค่าความร้อนที่ต่ำกว่าและมีความหนืดสูงกว่า ทำให้เกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์มากกว่าน้ำมันดีเซลนั่นเอง โดยที่ความเร็วรอบ 1,000 rpm เมื่อใช้น้ำมันดีเซลมีภาระงาน 14.57 Nm เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดีเซล มีภาระงาน 12.95Nm ต่างกัน 11.11 % เมื่อเดินเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบ 1,600 rpm น้ำมันดีเซล สามารถวัดภาระงานได้ 17.81 Nm น้ำมันปาล์มดีเซล สามารถวัดภาระงานได้ 16.73 Nm ต่างกัน 6.06 % และ เมื่อมีความเร็วรอบ 2,200 rpm น้ำมันดีเซลให้ภาระสูงสุดที่ 18.88 Nm น้ำมันปาล์มดีเซลให้ภาระที่ 18.34Nm แตกต่างกัน 2.86 %

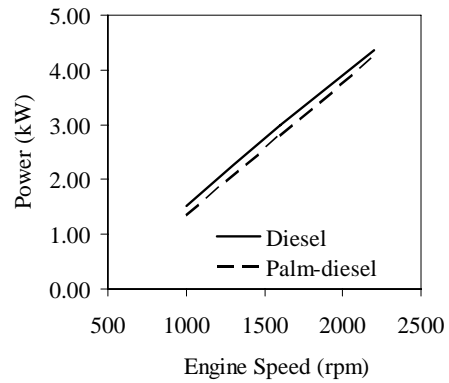


รูปที่ 10 ภาระงานสูงสุดที่วัดได้

#### 4.2 กำลังสูงสุดของเครื่องยนต์

จากรูปที่ 11 แสดงกำลังสูงสุดของเครื่องยนต์ที่วัดได้เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดีเซลกับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล มีกำลังของเครื่องยนต์มากกว่าเมื่อใช้น้ำมันปาล์มดีเซลอยู่ 2.86 – 11.15 % คือที่ความเร็วรอบ 1,000 rpm น้ำมันดีเซล มีกำลัง 1.53 kW น้ำมันปาล์มดีเซลมีกำลัง 1.36 kW ต่างกัน 11.15 % ที่ความเร็วรอบ 1,600 rpm น้ำมันดีเซล มีกำลัง 2.98 kW น้ำมันปาล์มดีเซลมีกำลัง 2.80 kW ต่างกัน 6.066 % และที่ความเร็วรอบ 2,200 rpm น้ำมันดีเซลมีกำลัง 4.35 kW น้ำมันปาล์มมีกำลัง 4.23 kW ต่างกัน 2.86 % ทั้งนี้ เนื่องจากค่าความร้อนที่น้อยกว่าของน้ำมันปาล์มดีเซลนั่นเอง และการเผาไหม้ที่ยากกว่าน้ำมัน

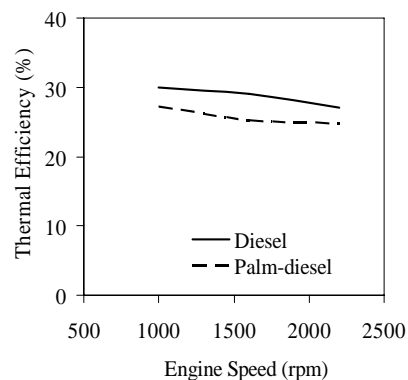
ดีเซล ทำให้กำลังของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดีเซล มีค่าน้อยกว่า



รูปที่ 11 กำลังสูงสุดของเครื่องยนต์

#### 4.3 ประสิทธิภาพเชิงความร้อน

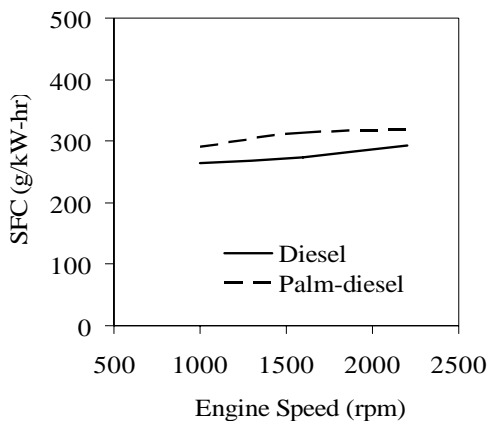
ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเชื้อเพลิง คือพลังงานที่เครื่องยนต์ได้รับจากเชื้อเพลิงเทียบกับพลังงานของเชื้อเพลิง จากรูปที่ 12 พบว่า น้ำมันดีเซลมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนมากกว่าน้ำมันปาล์มดีเซลอยู่ 8.63 – 13.03 % คือที่ความเร็วรอบ 1,000 rpm น้ำมันดีเซล มีประสิทธิภาพ 29.97 % น้ำมันปาล์มดีเซลมี 27.23 % ต่างกัน 9.03 % ที่ความเร็วรอบ 1,600 rpm น้ำมันดีเซลมี 29.02 % น้ำมันปาล์มดีเซล 25.24 % ต่างกัน 13.03 % และที่ความเร็วรอบ 2,200 rpm น้ำมันดีเซลมี 27.15 % น้ำมันปาล์มมี 24.08 % ต่างกัน 8.63 % เนื่องจากน้ำมันปาล์มดิบในน้ำมันดีเซล ทำให้มีการเผาไหม้ที่ยากขึ้น



รูปที่ 12 ประสิทธิภาพเชิงความร้อน

**4.4 อัตราการใช้เชื้อเพลิงจำเพาะ**

อัตราการใช้เชื้อเพลิงจำเพาะ คือปริมาณน้ำมันที่ใช้ต่อการผลิตงานในหน่วย kW-hr จากรูปที่ 13 พบว่า น้ำมันดีเซลมีอัตราการใช้เชื้อเพลิงจำเพาะน้อยกว่าน้ำมันปาล์มดีเซลอยู่ 9.44 – 10.05 % คือที่ความเร็วรอบ 1,000 rpm น้ำมันดีเซล อัตราการใช้เชื้อเพลิงจำเพาะ 264 g/kW-hr น้ำมันปาล์มดีเซลมี 291 g/kW-hr ต่างกัน 9.03 % ที่ความเร็วรอบ 1,600 rpm น้ำมันดีเซลมีอัตราการใช้เชื้อเพลิงจำเพาะ 263 g/kW-hr น้ำมันปาล์มดีเซล 314 g/kW-hr ต่างกัน 13.03 % และที่ความเร็วรอบ 2,200 rpm น้ำมันดีเซลมีอัตราการใช้เชื้อเพลิงจำเพาะ 292 g/kW-hr น้ำมันปาล์มดีเซลมี 320 g/kW-hr ต่างกัน 8.63 % เนื่องจากน้ำมันปาล์มดิบในน้ำมันดีเซล มีการค่าความร้อนที่ต่ำกว่า จึงต้องใช้ปริมาณน้ำมันที่มากกว่าในการผลิตพลังงานในปริมาณที่เท่ากัน

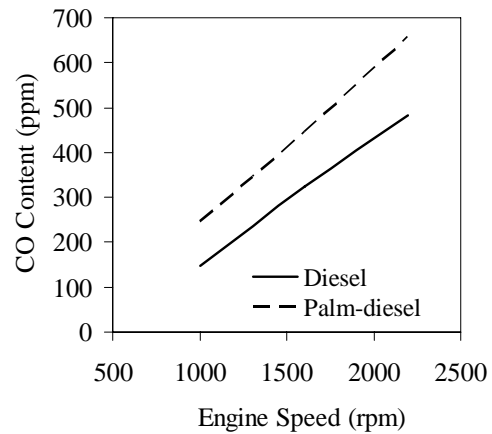


รูปที่ 13 อัตราการใช้เชื้อเพลิงจำเพาะ

**4.5 ปริมาณ CO**

จากรูปที่ 14 ซึ่งเป็นปริมาณ CO ที่วัดได้จากไอเสีย พบว่าไอเสียจากการใช้น้ำมันปาล์มดีเซลเป็นเชื้อเพลิง มีปริมาณ CO มากกว่าเมื่อเทียบกับเมื่อใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง เนื่องจากปริมาณน้ำมันปาล์มดิบในน้ำมันปาล์มดีเซล มีการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ ซึ่งเกิดจากสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมันพืช โดยปริมาณ CO ที่วัดได้สำหรับน้ำมันดีเซลและปาล์มดีเซลที่ความเร็วรอบ

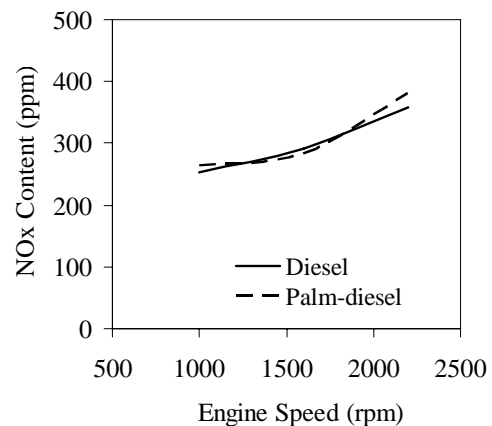
1000 rpm คือ 148 และ 248 ppm ตามลำดับ ที่ความเร็วรอบ 1600 rpm คือ 324 และ 445 ตามลำดับ และที่ความเร็วรอบ 2200 rpm คือ 483 และ 567 ppm ตามลำดับ



รูปที่ 14 ปริมาณ CO ที่เกิดขึ้น

**4.6 ปริมาณ NOx**

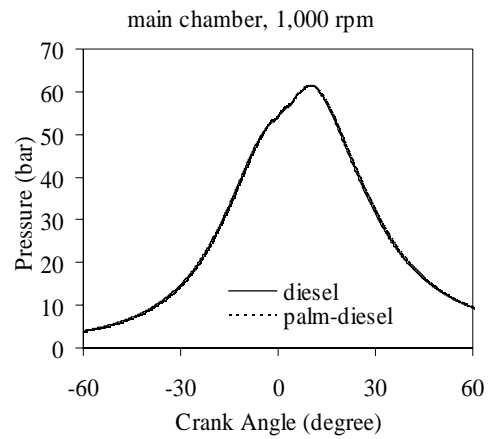
จากรูปที่ 15 เป็นปริมาณ NOx ที่วัดได้จากไอเสีย และ NOx นั้นเกิดจากการทำปฏิกิริยาของไนโตรเจนและออกซิเจนในอากาศที่มีภาวะแวดล้อมที่มีอุณหภูมิสูง จากรูปแสดงให้เห็นว่า อุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายในห้องเผาไหม้เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันสองชนิดมีค่าใกล้เคียงกันมาก ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า อุณหภูมิจากการเผาไหม้น้ำมันดีเซลและการเผาไหม้น้ำมันปาล์มดีเซลมีค่าใกล้เคียงกัน



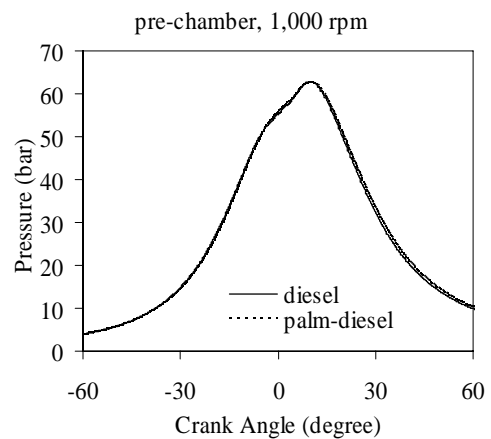
รูปที่ 15 ปริมาณ NOx ที่เกิดขึ้น

### 5. การวิเคราะห์ความดันที่เกิดขึ้นภายในกระบอกสูบ

ความดันที่เกิดขึ้นภายในกระบอกสูบเกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง ซึ่งในงานวิจัยนี้เป็นการทดสอบการเผาไหม้ของน้ำมันปาล์มดีเซล เปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซลจากรูปที่ 16 พบว่าเมื่อเดินเครื่องยนต์ด้วยความเร็วรอบต่ำคือ 1,000 rpm ความดันที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้น้ำมัน 2 ชนิดมีค่าใกล้เคียงกันมาก เมื่อตรวจสอบข้อมูลการทดลองพบว่า ความดันจากการเผาไหม้น้ำมันปาล์มดีเซล มีค่ามากกว่าความดันจากการเผาไหม้น้ำมันดีเซลเล็กน้อย ซึ่งจากรูปที่ 16 จะเห็นไม่ชัดเจนนัก แต่รูปที่ 17 ซึ่งเป็นความเร็วรอบ 1,600 rpm เห็นความแตกต่างโดยเฉพาะในช่วงที่เกิดความดันสูงสุด ในกรณีของของน้ำมันปาล์มดีเซล จะสูงกว่าความดันสูงสุดของน้ำมันดีเซลเล็กน้อย ทั้งนี้เนื่องจากน้ำมันปาล์มดีเซลมีค่าความหนืดมากกว่า น้ำมันดีเซล สามารถในการอัดตัวมากกว่า ทำให้มวลของน้ำมันปาล์มดีเซล มีค่ามากกว่าน้ำมันดีเซลในปริมาตรการฉีดเท่ากันซึ่งสอดคล้องกับรูปที่ 13 ที่เป็นอัตราการใช้เชื้อเพลิงจำเพาะ จึงทำให้มีค่าความดันสูงสุดสูงกว่าเล็กน้อย และที่เดินเครื่องด้วยความเร็วรอบ 2,200 rpm ความดันจากการทดลอง ก็มีค่าใกล้เคียงกันเช่นกัน และเนื่องจากมีมวลน้ำมันปาล์มดิบในห้องเผาไหม้มาก มลพิษที่เกิดจากการเผาไหม้ โดยเฉพาะน้ำมันปาล์มดิบ มีการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ จึงทำให้ค่า CO มีค่ามากกว่าเมื่อเทียบกับการใช้น้ำมันดีเซลบริสุทธิ์ ซึ่งแสดงให้เห็นได้ในรูปที่ 14



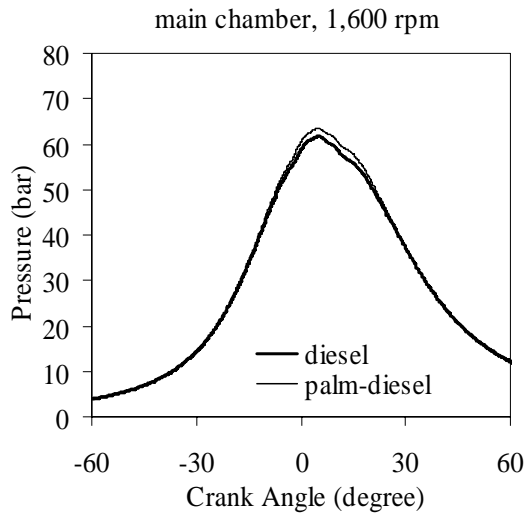
a) ห้องเผาไหม้หลัก



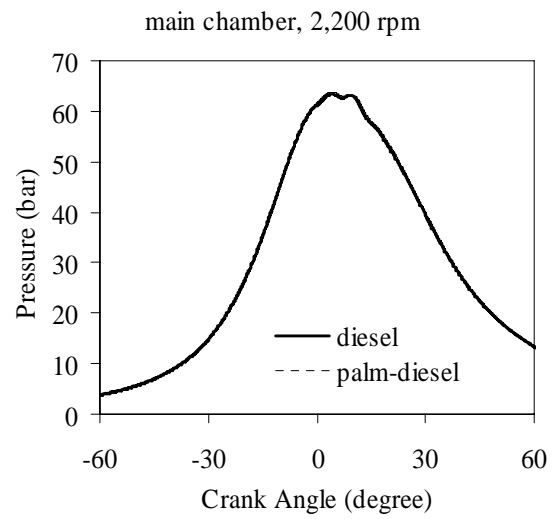
b) ห้องเผาไหม้ช่วย

รูปที่ 16 ความดันที่เกิดขึ้นภายในห้องเผาไหม้ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,000 rpm  
a) ห้องเผาไหม้หลัก b) ห้องเผาไหม้ช่วย

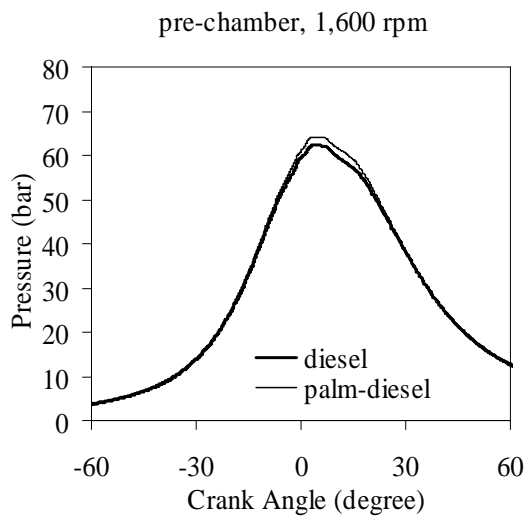




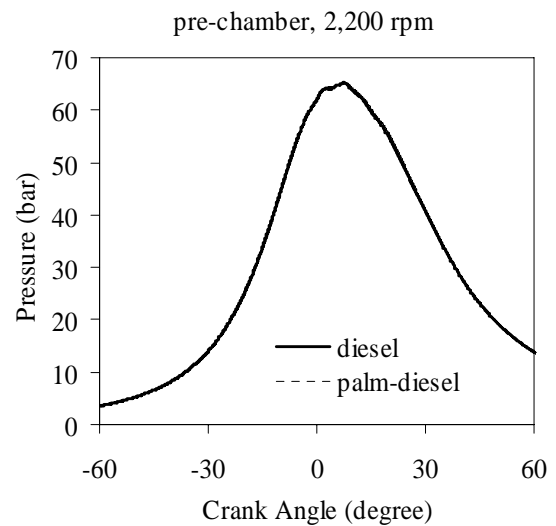
a) ห้องเผาไหม้หลัก



a) ห้องเผาไหม้หลัก



a) ห้องเผาไหม้ช่วย

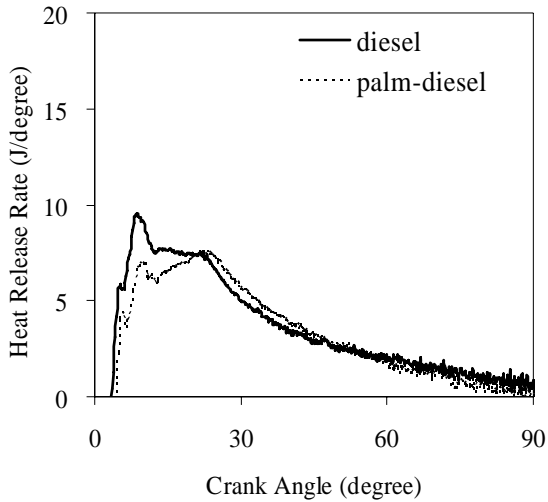


b) ห้องเผาไหม้ช่วย

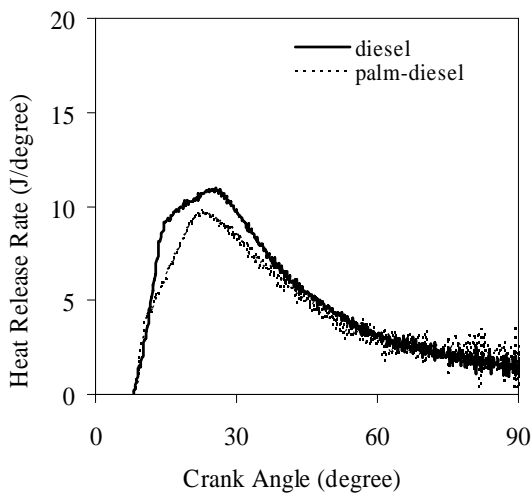
**รูปที่ 17** ความดันที่เกิดขึ้นภายในห้องเผาไหม้ ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,600 rpm  
a) ห้องเผาไหม้หลัก b) ห้องเผาไหม้ช่วย

**รูปที่ 18** ความดันที่เกิดขึ้นภายในห้องเผาไหม้ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 rpm  
a) ห้องเผาไหม้หลัก b) ห้องเผาไหม้ช่วย

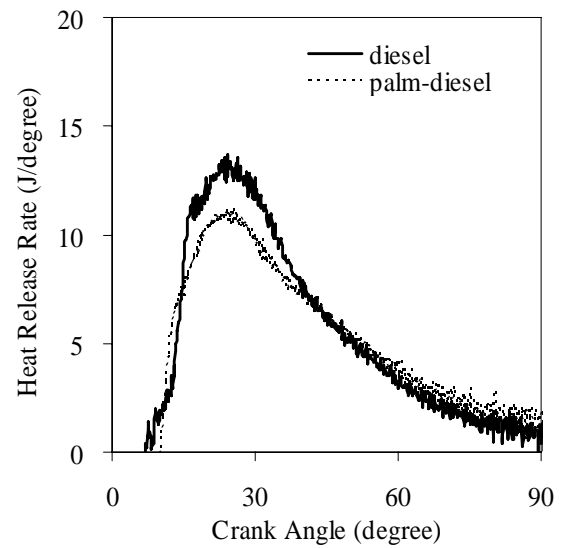
### 6. การวิเคราะห์ค่าอัตราการปลดปล่อยความร้อนภายในกระบอกสูบ



รูปที่ 19 อัตราการปลดปล่อยความร้อนที่เกิดขึ้นขณะที่เครื่องยนต์มีความเร็วรอบ 1,000 rpm



รูปที่ 20 อัตราการปลดปล่อยความร้อนที่เกิดขึ้นขณะที่เครื่องยนต์มีความเร็วรอบ 1,600 rpm



รูปที่ 21 อัตราการปลดปล่อยความร้อนที่เกิดขึ้นขณะที่เครื่องยนต์มีความเร็วรอบ 2,200 rpm

ค่าอัตราการปลดปล่อยความร้อน (Heat release rate) ของเครื่องยนต์ดีเซล สามารถหาได้จาก Heywood [6] จากรูปที่ 19, 20 และ 21 พบว่าค่าความร้อนจากการเผาไหม้ของน้ำมันปาล์มดีเซล มีค่าน้อยกว่าอัตราการปลดปล่อยความร้อนจากน้ำมันดีเซล ทุกช่วงความเร็วเครื่องยนต์ ซึ่งสอดคล้องกับรูปที่ 11 ซึ่งกำลังของเครื่องยนต์ที่เดินเครื่องด้วยน้ำมันปาล์มดีเซล มีค่าน้อยกว่าเมื่อเดินเครื่องด้วยน้ำมันดีเซล ทั้งนี้เนื่องจากค่าความร้อนของน้ำมันปาล์มดีเซลที่ต่ำกว่าที่เป็นผลมาจากค่าความร้อนของน้ำมันปาล์มดิบที่มีค่าน้อยกว่าน้ำมันดีเซล ทำให้เมื่อผสมน้ำมันปาล์มดิบลงน้ำมันดีเซล กำลังของเครื่องยนต์ จึงมีค่าน้อยลง

## 7. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษา ทดลองและเปรียบเทียบ สมรรถนะและมลพิษที่เกิดขึ้นจากการใช้น้ำมันปาล์มดีเซล เปรียบเทียบกับการใช้น้ำมันดีเซล ในเครื่องยนต์ดีเซล ขนาดเล็กแบบ IDI นอกจากนี้ ยังศึกษาข้อมูลความดัน ที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ รวมทั้งอัตราการปลดปล่อยความร้อนที่เกิดขึ้นภายในกระบอกสูบ นอกจากนี้ยังได้แสดงถึง วิธีการติดตั้ง pressure transducer ในเครื่องยนต์ดีเซล แบบ IDI อีกด้วย

จากการทดสอบสมรรถนะและมลพิษ พบว่าการใช้น้ำมันปาล์มดีเซล เครื่องยนต์จะมีสมรรถนะที่ต่ำลงและมีมลพิษสูงขึ้น จากการศึกษาค่าความดันที่เกิดขึ้นภายในห้องเผาไหม้ มีค่ามากกว่าความดันที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้น้ำมันดีเซลบริสุทธิ์เพียงเล็กน้อย เนื่องมาจากมวลของน้ำมันปาล์มดีเซลที่เข้าสู่ห้องเผาไหม้ มีค่ามากกว่าน้ำมัน

ดีเซลบริสุทธิ์ อันเนื่องมาจากค่าความหนืดของน้ำมันปาล์มดีเซลเอง และเนื่องจากน้ำมันปาล์มดีเซลมีค่าความร้อนน้อยกว่าน้ำมันดีเซล ทำให้มีอัตราการปลดปล่อยความร้อนน้อยกว่าการเผาไหม้น้ำมันดีเซล ส่งผลให้เครื่องยนต์มีกำลังที่น้อยกว่านั่นเอง

## 8. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ โครงการปริญญาเอกกาญจนาภิเษก กองทุนสนับสนุนงานวิจัย สำหรับเงินทุนสนับสนุนงานวิจัย และขอขอบพระคุณ ศ.ดร. ปรีดา วิบูลย์สวัสดิ์ และ ศ.ดร. ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์ สำหรับคำแนะนำที่มีค่าซึ่งต้องงานวิจัยในครั้งนี้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] Wibulswas P, Supapimol K, Keochung U. 1993. *Combustion of Vegetable Oils Droplets*. Research and Development Journal, Engineering Institute of Thailand, 4: 76 - 85.
- [2] Wibulswas P, Chirachakrit S, Keochung U, Tiansuwan J. 1999. *Combustion of Blends between Plants Oil and Diesel Oil*. Renewable Energy, 16: 1098 - 1101.
- [3] Wibulswas P, Winyachompunart B, Tiansuwan J. *Prediction of Combustion Rates of Blended Palm Oil Droplets by Forced Convection Theory*. WREC2000, 2410 - 2413.
- [4] Sangsawang T, Tiansuwan J, Wibulswas P. 2003. *Performance Prediction of the Palm Oil – Diesel Single Cylinder Engine by Force Convection Mass Transfer Theory*. Conference of Heat and Mass Transfer in Heat Engine. 24 – 25 March 2003, Lumpang, Thailand , 72 – 75.
- [5] Tiansuwan J, Amornkitbumrung M, Tawarangkul N, Sangsawang T, Laipradit P, Nakpukdee K. 2003. *Long Term Study of Crude Palm Oil Substituted in Diesel for Agricultural Sector Phase 2*. Seminar of Renewable Energy. National Research Council of Thailand, Bangkok, Thailand, 82 – 88.
- [6] Heywood, J.B. 1988. *Internal Combustion Engine Fundamentals*. McGraw-Hill, Singapore, 491 – 558.