



## KKU Engineering Journal

<http://www.en.kku.ac.th/enjournal/th/>

### คุณลักษณะการฉีด การเผาไหม้ และการปล่อยสารมลพิษของเครื่องยนต์จากการอุ่นน้ำมันพืช Injection, combustion, and engine emissions characteristics form preheated vegetable oils

เอกชัย สุธีรศักดิ์\*

Ekkachai Sutheerasak\*

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา จังหวัดชลบุรี 20131

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Burapha University, Chonburi, Thailand, 20131

Received May 2013

Accepted October 2013

#### บทคัดย่อ

การใช้ น้ำมันพืชสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลนั้น กำลังได้รับความสนใจ เนื่องจากปัญหาสารมลพิษที่เพิ่มขึ้น และแหล่งผลิตปิโตรเลียมที่ลดลง ข้อเสียสำคัญของน้ำมันพืชคือค่าความหนืดสูงกว่าน้ำมันดีเซล นำไปสู่การฉีดและการสเปรย์เชื้อเพลิงไม่ดี และการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ เพื่อลดความหนืดของน้ำมัน วิธีการอุ่นน้ำมัน จึงถูกประยุกต์ใช้ บทความปริทรรศน์ฉบับนี้ นำเสนอเกี่ยวกับผลกระทบจากการอุ่นน้ำมันพืชต่อการเปลี่ยนแปลงของการฉีด การสเปรย์ การเผาไหม้ สมรรถนะ และการปล่อยสารมลพิษของเครื่องยนต์ โดยทบทวนจากงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่า จังหวะการฉีดล่าช้า ความล่าช้าการจุดระเบิดลดลง ระยะเวลาของการเผาไหม้เพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพทางความร้อนเพิ่มขึ้น ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงลดลง และการปล่อยสารมลพิษของเครื่องยนต์ลดลงเมื่อเทียบกับน้ำมันพืชไม่อุ่น

**คำสำคัญ :** ความหนืดของน้ำมันพืช การอุ่นน้ำมัน คุณลักษณะต่างๆ ของเครื่องยนต์

#### Abstract

Use of vegetable oils in diesel engines has gained increasing interests due to increased pollution problem and reduced petroleum resources. Major disadvantage of vegetable oil is that its viscosity is higher than diesel, leading to poor fuel spray and injection, and incomplete combustion. To reduce the viscosity of the oils, preheating method is applied. This review paper presents about effect of preheated plant oils on change in injection, spray, combustion, performance, and emissions of diesel engines, obtained from critical review of previously published literature. The major findings are injection timing retards, ignition delay reduces, combustion duration increases, thermal efficiency increases, fuel consumption decreases, and engine emissions decreases to compare with non-preheating oils.

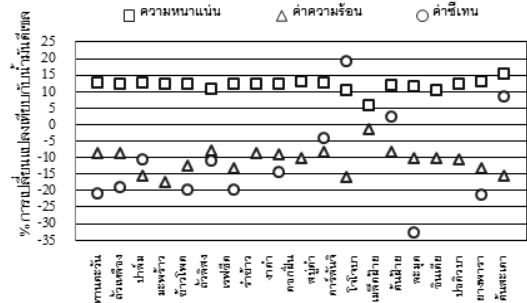
**Keywords :** Viscosity of vegetable oils, Preheated oil, Engine characteristics

\* Corresponding author. Tel.: +66-3810-2222 Ext. 3385; fax: +66-3874-5806

Email address: ekkachai@eng.buu.ac.th.

1. บทนำ

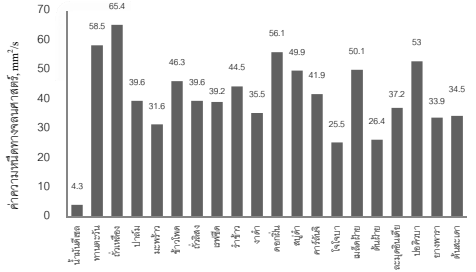
การวิจัยเกี่ยวกับการใช้น้ำมันพืชหมุนเวียนทั้งที่ทานได้และไม่ได้สำหรับเครื่องยนต์ดีเซลนั้น กำลังได้รับความสนใจในระดับนานาชาติ เนื่องจากน้ำมันพืชเหล่านี้สามารถลดการปล่อยสารมลพิษจากแก๊สไอเสียของเครื่องยนต์ และการขาดแคลนแหล่งผลิตปิโตรเลียม อย่างไรก็ตาม น้ำมันพืชเหล่านี้ ไม่สามารถใช้ในเครื่องยนต์โดยตรง เนื่องจากมีคุณสมบัติความเป็นเชื้อเพลิงแตกต่างจากน้ำมันดีเซลดังแสดงรูปที่ 1 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า น้ำมันพืชเหล่านี้ โดยเฉลี่ยมีค่าความร้อนต่ำกว่าร้อยละ 10 ค่าเลขซีเทนต่ำกว่าร้อยละ 11 และค่าความหนาแน่นสูงกว่าร้อยละ 12 เมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซล [1-5]



รูปที่ 1 การเปรียบเทียบคุณสมบัติความเป็นเชื้อเพลิงของน้ำมันพืชกับน้ำมันดีเซล [2-5]

ยิ่งไปกว่านั้น น้ำมันพืชเหล่านี้ มีค่าความหนืดสูงกว่าน้ำมันดีเซลหลายเท่าดังแสดงในรูปที่ 2 เนื่องจากมีปริมาณของไตรกลีเซอไรด์ (Triglycerides) ที่มีส่วนประกอบของกลีเซอรอล (Glycerol) และกรดไขมันแบบไม่อิ่มตัว (Unsaturated fatty acid) ทำให้มีปริมาณไขมันอยู่ในโครงสร้างถึงร้อยละ 94-98 ของน้ำหนักโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ เมื่อนำมาใช้กับเครื่องยนต์ ทำให้การฉีดและการสเปรย์เชื้อเพลิงไม่ดี ส่งผลให้เกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ สำหรับการใช้งานระยะยาว พบว่า จะเกิดคราบเขม่าเกาะบริเวณชิ้นส่วนต่างๆ เช่น วาล์ว ฝาสูบ ลูกสูบ และอื่นๆ ซึ่งสร้างความเสียหายกับเครื่องยนต์ เพื่อ

ลดความหนืดของน้ำมันพืช จึงมีการใช้วิธีการต่างๆ เช่น การผสม (Blending) การอุ่น (Preheating) การทำทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน (Transesterification) และการทำไมโครอิมัลชัน (Micro-emulsions) [1-9]



รูปที่ 2 การเปรียบเทียบค่าความหนืดของน้ำมันพืชกับน้ำมันดีเซล [2-5]

ขณะที่หลายบทความวิจัย [1-11] รายงานว่าวิธีการอุ่นน้ำมันสามารถลดค่าความหนืดของน้ำมันพืชได้ง่ายกว่าวิธีการผสมน้ำมัน การทำทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน และการทำไมโครอิมัลชัน เนื่องจากวิธีการนี้ นำน้ำมันพืชมาใช้โดยตรง ใช้ความร้อนในการอุ่นน้ำมัน และไม่ต้องผ่านกระบวนการต่างๆ ที่ซับซ้อน ซึ่งแตกต่างจากวิธีการผสม ถ้าผสมน้ำมันพืชในปริมาณที่สูงขึ้น ทำให้ปริมาณไขมันและค่าความหนืดของน้ำมันเพิ่มขึ้น ขณะที่กรรมวิธีทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันนั้น เป็นการเปลี่ยนแปลงโมเลกุลของน้ำมันพืชจากไตรกลีเซอไรด์ให้เป็นสารเอสเตอร์ (Esters) โดยการทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ชนิดต่างๆ ซึ่งวิธีการนี้ สามารถนำน้ำมันดังกล่าวมาใช้โดยตรง และไม่ต้องการดัดแปลงชิ้นส่วนต่างๆ ของเครื่องยนต์ แต่วิธีการนี้ ใช้ต้นทุนการผลิตสูง มีการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีไม่แน่นอน และก่อให้เกิดความเสียหายกับชิ้นส่วนที่เป็นยางภายในระบบเชื้อเพลิง เมื่อเทียบกับกรรมวิธีไมโครอิมัลชัน ซึ่งเป็นการกระจายของอนุภาคของเหลวที่แขวนลอยในตัวกลางของเหลวอีกชนิดหนึ่งอย่างสมดุลด้วยการผสมน้ำมันพืชกับน้ำ โดยอาจจะไม่มีหรือมีแอลกอฮอล์เข้ามาช่วยในการผสม แต่วิธีการนี้ จะมีความ

สลัปซีบชั่นมากกว่าการทำทรานเอสเทอริฟิเคชัน เนื่องจากวิธีการนี้ ต้องการเฟสสมดุลของการผสม เพื่อให้ น้ำมันพืชรวมตัวกับน้ำ และต้องผสมสัดส่วนของสาร ผสานลดแรงตึงผิว (Cosurfactant) และสารลดแรงตึงผิว (Surfactant) ให้เหมาะสม

ดังนั้น บทความฉบับนี้ นำเสนอเกี่ยวกับผล กระทบต่อระบบเชื้อเพลิง และคุณลักษณะต่างๆ ของ เครื่องยนต์จากการใช้วิธีการอุ่นน้ำมัน โดยการทบทวน จากบทความวิจัยที่ผ่านมา

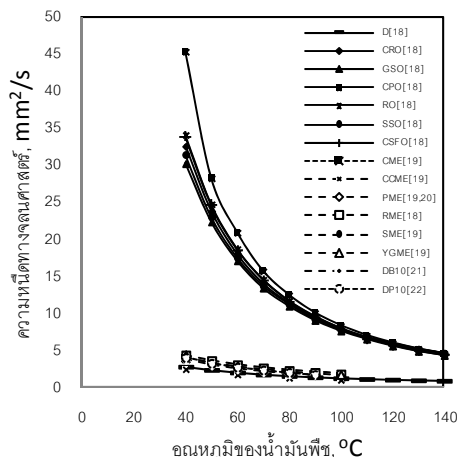
**2. ผลกระทบต่อระบบเชื้อเพลิง**

ระบบเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ดีเซล ถูกออกแบบ ให้ใช้น้ำมันดีเซล ซึ่งมีค่าความหนืดประมาณ 3-8 mm<sup>2</sup>/s เมื่อเปลี่ยนไปใช้น้ำมันที่สกัดจากพืชต่างๆ อาจทำให้ ระบบเชื้อเพลิงเกิดความเสียหาย เนื่องจากมีค่าความ หนืดสูงกว่าน้ำมันดีเซลหลายเท่า [1-7] จากการศึกษา งานวิจัยในอดีต Murayama et al. [6] เสนอว่าควรอุ่น น้ำมันพืชที่อุณหภูมิสูงถึง 200 °C จะทำให้ประสิทธิภาพ การเผาไหม้น้ำมันพืชดีขึ้น ขณะที่ Bari et al. [7] ตรวจสอบการอุ่นน้ำมันปาล์มดิบ (CPO) พบว่าที่อุณหภูมิ สูงกว่า 100 °C ทำให้กลไกการส่งน้ำมันภายในปั้มน้ำมัน เชื้อเพลิงชำรุด เนื่องจากชิ้นส่วนที่เป็นยางเกิดการสึกหรอ

ในปัจจุบัน Franco และ Nguyen [8] ศึกษาการ ไหลของน้ำมันพืชภายในระบบเชื้อเพลิง Esteban et al. [9,10] ศึกษาอุณหภูมิของน้ำมันที่ผลิตจากต้นข้าวโพด (CRO) องุ่น (GSO) เรพซีด (RO) ถั่วเหลือง (SSO) และ ทานตะวัน (CSFO) เทียบกับน้ำมันดีเซล (D) ผลลัพธ์ที่ได้ ดังแสดงในรูปที่ 3

นอกจากนี้ งานวิจัยที่ [11] ถึง [50] ได้ตรวจสอบ อุณหภูมิของน้ำมันที่ผลิตจากพืชชนิดต่างๆ เช่น มะพร้าว (CCO) ต้นฝ้าย (CSO) ต้นคอนคานิ (KSO) ต้นมาฮัว (MO) ต้นสะเดา (NO) ต้นสบู่ดำ (JO) ต้นคาร์ลันจิ (KRO) และต้นคาร์โนล่า (CO), น้ำมันดีเซลผสมน้ำมันพืชต่างๆ

อาทิ น้ำมันดีเซลผสมมะพร้าว (DCC) และผสมน้ำมัน เรพซีด (DRO), น้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันพืช บริสุทธิ์ชนิดต่างๆ ได้แก่ ไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันคาโน ล่า (CME) น้ำมันมะพร้าว (CCME) น้ำมันปาล์ม (PME) น้ำมันเรพซีด (RME) น้ำมันดอกทานตะวัน (SME) น้ำมัน ถั่วลิสง (YGME) และน้ำมันจากต้นโจโจบา (JME) และ น้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันพืชใช้แล้ว (WFO) เช่น ไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันเรพซีดใช้แล้ว (LME) น้ำมัน ข้าวโพดใช้แล้ว (OME) น้ำมันเรพซีดและถั่วเหลืองใช้แล้ว (WME) น้ำมันปรุงอาหาร (YME) น้ำมันที่สกัดจากไขมัน สัตว์ (FME) และอื่นๆ



**รูปที่ 3** การอุ่นน้ำมันพืชต่างๆ [10-14]

ผลลัพธ์ที่ได้พบว่า การอุ่นน้ำมันเหล่านี้ ในช่วง อุณหภูมิ 100-120 °C ทำให้ค่าความหนืดของน้ำมันลดลง ใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล แต่ไม่ควรอุ่นน้ำมันสูงกว่า 100 °C เพราะปั้มน้ำมันเชื้อเพลิงชำรุด เนื่องจากชิ้นส่วนที่เป็น ยางเกิดการสึกหรอ ทำให้เกิดการรั่วของน้ำมันภายใน ระบบเชื้อเพลิง ขณะที่ช่วงอุณหภูมิของน้ำมันพืชที่ เหมาะสมอยู่ในช่วง 80-90 °C เนื่องจากช่วงอุณหภูมินี้ ทำ ให้การไหลของน้ำมันดีขึ้น และกลไกต่างๆ ภายใน ปั้มน้ำมันเชื้อเพลิงไม่เสียหาย

### 3. เทคนิคการอุ่นน้ำมัน

จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า มีนักวิจัยหลายสถาบัน ได้ใช้วิธีการอุ่นน้ำมันที่แตกต่างกัน ได้แก่ Bari et al. [7] Esteban และคณะ [9, 10] Senthil-Kumar et al. [32] และ Pugazhvidivu และ Jeyachandran [37] ใช้วิธีการอุ่นน้ำมันภายในถังน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีเครื่องปั่นน้ำมันติดตั้งอยู่ด้านในถัง และใช้แผ่นขดลวดไฟฟ้าอุ่นน้ำมัน เอกชัย สุวีระศักดิ์ และคณะ [12-14, 26] Yilmaz และ Morton [17] และ Yamane และคณะ [24] ออกแบบอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนโดยใช้แผ่นขดลวดความร้อนต่อกับกระบอกน้ำมันที่มีเครื่องปั่นน้ำมันติดตั้งอยู่ด้านใน และอุ่นน้ำมันก่อนเข้าปั๊มน้ำมันเชื้อเพลิง Hossain และ Davies [15] Labecki et al. [35] และ Acharya et al. [45] ออกแบบอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนโดยใช้ความร้อนจากหม้อน้ำรถยนต์ เพื่ออุ่นน้ำมันก่อนเข้าปั๊มน้ำมันเชื้อเพลิง Morin et al. [21] Ogura et al. [25] Park et al. [27] และ Lin และ Lin [29] ออกแบบอุปกรณ์อุ่นน้ำมันโดยใช้แผ่นขดลวดความร้อน และอุ่นน้ำมันภายในท่อส่งน้ำมันด้านบนของหัวฉีด ก่อนฉีดน้ำมันเข้าไปในห้องเผาไหม้ Canakci et al. [28] และ Vojtišek-Lom et al. [30] ออกแบบอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน โดยใช้ความร้อนทิ้งของเครื่องยนต์ เพื่ออุ่นน้ำมัน และ Agarwal และ Agarwal [38] Chauhan et al. [41] และ Singh [48] ออกแบบอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนโดยใช้ความร้อนจากท่อไอเสียของรถยนต์ เพื่ออุ่นน้ำมันก่อนเข้าปั๊มน้ำมันเชื้อเพลิง

จากที่ได้กล่าวว่ามีหลายวิธีในการอุ่นน้ำมัน อย่างไรก็ตาม ในแต่ละวิธีมีความสลับซับซ้อนแตกต่างกัน โดยวิธีที่ง่ายที่สุดคือ การใช้อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน โดยใช้แผ่นขดลวดความร้อนต่อกับกระบอกน้ำมัน หรือถังน้ำมันที่มีเครื่องปั่นน้ำมันติดตั้งอยู่ด้านใน ซึ่งวิธีการนี้สามารถกำหนดปริมาณความร้อนที่จะใช้ได้อย่างถูกต้อง แต่มีต้นทุนในการผลิตสูง ซึ่งแตกต่างจากการใช้อุปกรณ์

แลกเปลี่ยนความร้อนโดยใช้ความร้อนจากหม้อน้ำ และท่อไอเสียของรถยนต์ ซึ่งวิธีการนี้ อาศัยความร้อนทิ้งจากเครื่องยนต์มาช่วยอุ่นน้ำมัน แต่วิธีการนี้ จะต้องติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ หรือถังพักน้ำมัน เพื่อควบคุมความร้อนของน้ำมันให้เหมาะสม ทำให้เกิดความยุ่งยากในการนำไปใช้งาน

### 4. ผลกระทบต่อคุณลักษณะต่างๆ ของเครื่องยนต์

เครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด หรือเครื่องยนต์ดีเซล ถูกออกแบบให้ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง เมื่อเปลี่ยนไปใช้น้ำมันพืชและมีการอุ่นน้ำมัน ทำให้คุณลักษณะต่างๆ ของเครื่องยนต์เปลี่ยนไปดังนี้

(1) คุณลักษณะการฉีดเชื้อเพลิง ซึ่งถูกนิยามขึ้นเพื่อศึกษาจังหวะการฉีด หรือจุดเริ่มต้นของการฉีด ( $t_{inj}$ ) และช่วงระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิง โดยวิเคราะห์จากข้อมูลของความดันในกระบอกสูบ (Cylinder pressure,  $P_{cylinder}$ ) ระยะยกของเข็มน้ำมันในหัวฉีด (Injector needle lift,  $I_N$ ) และความดันในท่อส่งน้ำมัน (Injection-system fuel-line pressure,  $P_{line}$ ) หรือความดันของการฉีดน้ำมัน ( $p_{inj}$ ) ที่มุมเพลลาข้อเหวี่ยงต่างๆ ตลอดช่วงจังหวะอัดและขยายตัวของเครื่อง ยนต์ดีเซลแบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรงดังแสดงในรูปที่ 4 ซึ่งถือได้ว่าเป็นข้อมูลเบื้องต้นที่นำไปใช้ในการศึกษากระบวนการเผาไหม้ และอัตราการปลดปล่อยความร้อนที่เกิดขึ้น

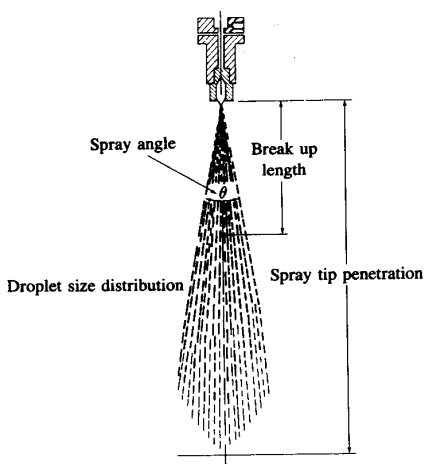
ขณะที่จังหวะการฉีดเชื้อเพลิง จะตรวจสอบจากข้อมูลระยะยกของเข็มน้ำมันในหัวฉีด และความดันในท่อส่งน้ำมันที่มุมเพลลาข้อเหวี่ยงต่างๆ โดยพิจารณาจากตำแหน่งเริ่มยกของเข็มน้ำมันในหัวฉีดที่จุด (a) ถ้าเข็มน้ำมันในหัวฉีดมีการยกเร็วขึ้น ณ จุด a' แสดงว่าความดันในท่อส่งน้ำมันสูงขึ้น และมีจังหวะการฉีดเร็วขึ้น ในทางตรงกันข้าม ถ้าเข็มน้ำมันในหัวฉีดมีการยกช้า ณ จุด a'' แสดงว่าความดันในท่อส่งน้ำมันลดลง และมีจังหวะการฉีดล่าช้า (รูปที่ 4) ขณะที่ช่วงระยะเวลาการฉีดสามารถ



ตารางที่ 1 ผลกระทบต่อคุณลักษณะการฉีดและการสเปรย์จากการอุ่นน้ำมัน

ผู้วิจัย/ปี	M <sub>inj</sub>	E (n/c/s)	F	T <sub>f</sub> (°C)	ผลลัพธ์เมื่อเทียบกับน้ำมันที่ไม้อุ่น						อ้างอิง
					P <sub>inj</sub>	t <sub>inj</sub>	SMD	t <sub>sep</sub>	θ	x <sub>i</sub>	
Morin และคณะ/ 2000	HI	-	RME, SME	200-747	-	-	v	Λ	-	a	[22]
Machacon และคณะ/ 2001	HI	-	CCO, DCC50	40-100	-	-	v	-	-	-	[23]
Yamane และคณะ/ 2001	HI	1 /4/ DI	OME, LME	40-80	v	>	-	-	Λ	a	[24]
Ogura และคณะ/ 2002	HI	-	D	100	-	-	-	Λ	Λ	-	[25]
Sutheerasak และคณะ/ 2004	LI	1 /4/ DI	D	40-90	v	>	-	-	Λ	v	[26]
Sutheerasak และคณะ/ 2005	LI	1 /4/ DI	DP10	40-90	v	>	-	-	Λ	v	[12]
Park และคณะ/ 2009	CR-HI	-	SME	27-87	-	-	-	-	Λ	a	[27]
Sutheerasak และคณะ/ 2009	LI	1 /4/ DI	DB10	40-90	v	>	-	-	Λ	v	[13]
Sutheerasak และคณะ/ 2010	LI	1 /4/ DI	PME	40-90	v	>	-	-	Λ	v	[14]
Canakci และคณะ/ 2009	-	4/4/ IDI	CSFO*	75	Λ	<	-	-	-	-	[28]
Lin และ Lin และคณะ/ 2010	HI	-	WME,EME20	40-100	-	-	-	-	Λ	a	[29]
Vojtišek-Lom และคณะ/ 2012	-	1 /4/ TDI	RO	60-90	v	>	-	-	-	-	[30]

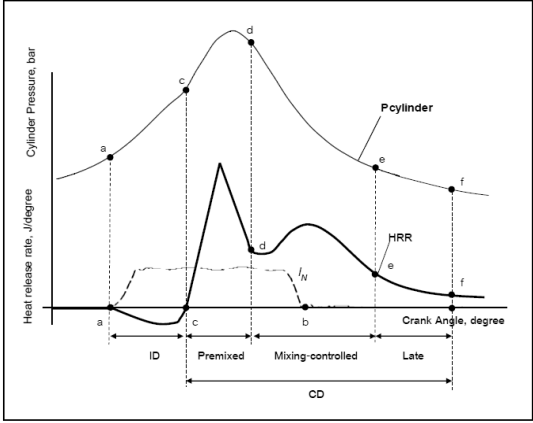
หมายเหตุ: n จำนวนกระบอกสูบ, c จังหวะการทำงาน, s ระบบเชื้อเพลิง, \* เทียบกับน้ำมันดีเซล, Λ เพิ่มขึ้น, V ลดลง, < เร็วขึ้น, > ช้าลง, a เปลี่ยนแปลงเล็กน้อย และ - ไม่มี การทดสอบ



รูปที่ 5 ตัวแปรต่างๆ ที่กำหนดโครงสร้างของเชื้อเพลิงที่ถูกฉีดพ่นเข้าไปในห้องเผาไหม้ [51]

(3) คุณลักษณะการเผาไหม้ ซึ่งถูกนิยามขึ้นเพื่อศึกษาช่วงความล่าช้าในการจุดระเบิด (Ignition delay phase, ID) และอัตราการปลดปล่อยความร้อน (Heat release rate, HRR) ที่เกิดขึ้นในช่วงต่างๆ ของการเผาไหม้ (CD) ได้แก่ ช่วงการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว หรือช่วงที่ไม่สามารถควบคุมการเผาไหม้ได้ (Premixed combustion phase, PC) ช่วงการเผาไหม้ที่ถูกควบคุมโดยการผสม (Mixing-controlled combustion phase, MC) และช่วง

ความล่าช้าของการเผาไหม้ (Late combustion phase, LC) โดยวิเคราะห์และคำนวณจากข้อมูลของความดันในกระบอกสูบ และระยะยกของเข็มน้ำมันในหัวฉีดที่มุมเพลลาข้อเหวี่ยงต่างๆ ผลลัพธ์ที่ได้ดังแสดงในรูปที่ 6 ซึ่งแสดงช่วงต่างๆ ภายในกราฟอัตราการปลดปล่อยความร้อนที่สัมพันธ์กับอัตราการฉีดเชื้อเพลิง และข้อมูลความดันภายในกระบอกสูบที่มุมเพลลาข้อเหวี่ยงต่างๆ โดยแต่ละช่วงมีรายละเอียดดังนี้



รูปที่ 6 อัตราการปลดปล่อยความร้อนที่สัมพันธ์กับอัตราการฉีดเชื้อเพลิง และข้อมูลความดันภายในกระบอกสูบที่มุมเพลลาข้อเหวี่ยงต่างๆ

**ตารางที่ 2** ผลกระทบต่อคุณลักษณะการเผาไหม้ของเครื่องยนต์จากการอุ่นน้ำมัน

ผู้วิจัย/ปี	E (n/c/s)	N / L (rpm / %)	F	T <sub>f</sub> (°C)	ผลลัพธ์					อ้างอิง
					ID	p <sub>cyt</sub>	CD	HRR <sub>PC</sub>	HRR <sub>MC</sub>	
Bari และคณะ/ 2002	1 /4/ DI	- / 55	CPO*	60	v	^	^	-	-	[15]
Nwafor/2003	1 /4/ IDI	3000/ 100	RO*	70	v	^	-	v	^	[43]
Sutheerasak และคณะ/ 2004	1 /4/ DI	2000/ 85	D**	60-90	v	^	^	v	^	[34]
Sutheerasak และคณะ/ 2005	1 /4/ DI	2000/ 85	DP10**	60-90	v	^	^	v	^	[20]
Senthil-Kumariและคณะ/ 2005	1 /4/ DI	1500/ 100	FME**	40-70	v	^	^	v	^	[44]
Canakci และคณะ/ 2009	4 /4/ IDI	2000/ 100	CSFO*	75	^	^	^	^	v	[36]
Selim/ 2009	1 /4/ IDI	1500/ 100	JME**	50-70	v	^	-	^	v	[45]
Sutheerasak และคณะ/ 2009	1 /4/ DI	2000/ 85	DB**	60-90	v	v	^	v	^	[21]
Sutheerasak และคณะ/ 2010	1 /4/ DI	2000/ 85	PME**	60-90	v	^	^	v	^	[22]
Pugazhavadivu และ Sankaranarayanan/ 2010	1 /4/ DI	1500/ 100	MO* MO**	130	v v	v ^	- -	v ^	^ v	[46]
Vojtišek-Lom และคณะ/ 2012	4 /4/ TDI	1480/ 50	RO**	60-90	v	^	-	-	-	[38]
Labecki และคณะ/ 2012	4/4/CR-DI	2000/ 50	DRO30*	70	v	^	^	v	^	[47]
Hossain และ Davies/ 2012	3 /4/ IDI	1500/ 60	JO*,KRO*	75	^	^	v	-	-	[23]

หมายเหตุ: \* เทียบกับน้ำมันดีเซล, \*\* เทียบกับน้ำมันที่ไม่อุ่น, ^ เพิ่มขึ้น, v ลดลง และ - ไม่มีการทดสอบ

ช่วงที่ 1 ช่วงความล่าช้าในการจุดระเบิด (ID) เป็นช่วงเริ่มต้นจากการเริ่มต้นของการฉีดน้ำมันที่จุด (a) ไปถึงการเริ่มต้นของการเผาไหม้ที่จุด (c) (รูปที่ 4 และ 6)

ช่วงที่ 2 ช่วงการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว (PC) เป็นช่วงการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและรุนแรง โดยช่วงนี้ ละอองเชื้อเพลิงที่แตกเป็นละอองฝอย และต่อมาระเหยกลายเป็นไอเตรียมพร้อมที่จะเผาไหม้ เมื่อความล่าช้าในการจุดระเบิดในช่วงที่หนึ่งหมดไป การจุดระเบิดก็จะเกิดขึ้น เนื่องจากมีการจุดระเบิดด้วยตัวเองของสารผสม ทำให้ความดันภายในกระบอกสูบ และอัตราการปลดปล่อยพลังงาน (HRR<sub>PC</sub>) มีการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว (รูปที่ 6) โดยเริ่มต้นจากจุดเริ่มต้นของการเผาไหม้ที่จุด (c) ไปถึงจุดสิ้นสุดของการเผาไหม้ระหว่างไอระเหยของเชื้อเพลิงกับอากาศที่จุด (d) ช่วงที่ 3 ช่วงการเผาไหม้ที่ถูกควบคุมโดยการผสม (MC) เป็นช่วงที่การเผาไหม้เกิดขึ้นแบบปกติ โดยช่วงนี้ ความดันของสารผสมที่กำลังเผาไหม้เริ่มลดลง เนื่องจากลูกสูบเคลื่อนที่ออกจากศูนย์ตายบนหรือถอยหลังออก และเป็นช่วงที่ปริมาตรภายในกระบอก

สูบเพิ่มขึ้น ขณะที่ไอระเหยเชื้อเพลิงกับอากาศส่วนมากจะถูกเผาไหม้ในช่วงที่สองเกือบหมดแล้ว แต่การเผาไหม้อาจจะยังไม่สมบูรณ์ และมีการเผาไหม้ต่อมาในช่วงนี้ โดยภายในช่วงนี้ เป็นการเผาไหม้ในบริเวณแกนของสเปร์รี่ ทำให้มีอัตราการปลดปล่อยพลังงาน (HRR<sub>MC</sub>) เพิ่มขึ้นอีกครั้ง ซึ่งช่วงที่สามนี้จะสิ้นสุดที่จุด (e) ช่วงที่ 4 ช่วงความล่าช้าของการเผาไหม้ (LC) เป็นช่วงสุดท้ายของกระบวนการเผาไหม้ โดยจะสิ้นสุดที่วาล์วไอเสียเปิดที่จุด (f)

ในตารางที่ 2 แสดงผลการทบทวนคุณลักษณะการเผาไหม้จากงานวิจัยที่ผ่านมา โดยทดสอบในเครื่องยนต์ระบบต่างๆ ที่มีการเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบ (N) และภาระงาน (L) ของเครื่องยนต์ ผลลัพธ์ที่ได้พบว่าการอุ่นน้ำมันพีซ ทำให้ช่วง ID ลดลง ความดันสูงสุดภายในกระบอกสูบ (p<sub>cyt</sub>) เพิ่มขึ้น และช่วง CD เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับน้ำมันพีซไม่อุ่น ทั้งนี้เนื่องจากการอุ่นน้ำมันพีซ ทำให้กระบวนการสเปร์รี่เชื้อเพลิง (ได้แก่ การแตกกระจาย การแตกเป็นละอองฝอย การเกิดหยดหรือละออง

ขนาดเล็ก การแพร่กระจายออกมา และการระเหยกลายเป็นไอปะทะและผสมกับอากาศ) ดีขึ้น [22-30] และการจุดระเบิดเร็วขึ้น ส่งผลให้ช่วง  $ID$  ลดลง นอกจากนี้ภายในโมเลกุลของน้ำมันพืชมี  $O_2$  เป็นองค์ประกอบ ทำให้อัตราการเผาไหม้และการปลดปล่อยพลังงานจากการเผาไหม้ระหว่างไอระเหยของเชื้อเพลิงกับอากาศเพิ่มขึ้น ส่งผลให้  $p_{cyl}$  และช่วง  $CD$  เพิ่มขึ้น [15, 36, 38, 46]

อย่างไรก็ตาม จากตารางที่ 2 ถ้าพิจารณา  $HRR$  ที่เกิดขึ้นในช่วง  $HRR_{PC}$  และ  $HRR_{MC}$  พบว่า การอุ่นน้ำมันพืช น้ำมันผสม น้ำมันดีเซล และไบโอดีเซล จะให้  $HRR$  ในแต่ละช่วงแตกต่างกัน ทั้งนี้เนื่องจากน้ำมันแต่ละประเภทมีองค์ประกอบทางเคมีของเชื้อเพลิงแตกต่างกัน ส่งผลให้อัตราการเผาไหม้และการปลดปล่อยพลังงานจากการเผาไหม้ระหว่างไอระเหยของเชื้อเพลิงกับอากาศ และการเผาไหม้บริเวณแกนกลางของสเปรย์เปลี่ยนแปลงไป โดยการอุ่นน้ำมันพืช จะให้  $HRR_{PC}$  เพิ่มขึ้น เนื่องจากการอุ่นน้ำมันพืช ทำให้การแตกตัวของไขมันภายในน้ำมันพืชง่ายขึ้น และอัตราการเผาไหม้ระหว่างไอระเหยของน้ำมันพืชกับอากาศเร็วขึ้น เพราะน้ำมันพืชมีองค์ประกอบ  $O_2$  จำนวนมาก ทำให้อุณหภูมิการเผาไหม้สูงขึ้น และเผาไหม้บริเวณแกนสเปรย์เร็วขึ้น ในทางตรงกันข้าม การอุ่นน้ำมันดีเซล น้ำมันดีเซลผสมน้ำมันพืช และไบโอดีเซล ทำให้  $HRR_{MC}$  เพิ่มขึ้น เพราะน้ำมันเหล่านี้ใช้ปริมาณ  $O_2$  ในการเผาไหม้ไอระเหยของเชื้อเพลิงที่มีส่วนประกอบของไฮโดรคาร์บอนจำนวนมาก ทำให้ปริมาณ  $O_2$  ไม่เพียงพอต่อการเผาไหม้บริเวณแกนกลางของสเปรย์ ส่งผลให้  $HRR_{MC}$  เพิ่มขึ้น [21-47]

นอกจากนี้ ถ้าเปรียบเทียบระหว่างการอุ่นน้ำมันพืชกับน้ำมันดีเซลพบว่า น้ำมันพืชแต่ละชนิด มีค่าความหนืดแตกต่างกัน (รูปที่ 2) ถ้าอุ่นน้ำมันพืชที่อุณหภูมิสูง จะทำให้ค่าความหนืดของน้ำมันพืชลดลงใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล แต่ถ้าอุ่นน้ำมันพืชในช่วงอุณหภูมิ 60-80 °C เมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซลพบว่า โดยส่วนใหญ่ จะมีค่าความ

หนืดสูงกว่าน้ำมันดีเซลเล็กน้อย (รูปที่ 3) เมื่อนำช่วงอุณหภูมิดังกล่าวมาใช้กับเครื่องยนต์พบว่า  $p_{inj}$  เพิ่มขึ้น และ  $t_{inj}$  เร็วขึ้น เนื่องจากความสามารถในการอัดตัวได้ลดลง ส่งผลให้ความดันของน้ำมันเพิ่มขึ้น และความดันของน้ำมันเอาชนะแรงกดของสปริงบนเข็มหัวฉีดเร็วขึ้น ทำให้การเริ่มต้นของการฉีดน้ำมันเร็วขึ้น [12-30]

ยิ่งไปกว่านั้น การอุ่นน้ำมันพืชในช่วงอุณหภูมิดังกล่าว ทำให้กระบวนการสเปรย์ช้ากว่ากระบวนการสเปรย์ของน้ำมันดีเซล แต่น้ำมันพืชมี  $O_2$  เป็นองค์ประกอบ ทำให้การจุดระเบิด และการเผาไหม้ระหว่างไอระเหยของเชื้อเพลิงกับอากาศเร็วขึ้น ส่งผลให้ช่วง  $ID$  ลดลง และ  $p_{cyl}$  และช่วง  $CD$  เพิ่มขึ้น [15-47]

(4) สมรรถนะของเครื่องยนต์ ซึ่งถูกนิยามขึ้นเพื่อศึกษากำลังงานที่เครื่องยนต์ผลิตได้ ( $P_b$ ) ประสิทธิภาพทางความร้อน ( $\eta_{th}$ ) ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ ( $BSFC$ ) ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างอัตราการไหลของมวลน้ำมันเชื้อเพลิงกับ  $P_b$  และความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ ( $BSEC$ ) ซึ่งเป็นผลคูณระหว่าง  $BSFC$  กับค่าความร้อนของเชื้อเพลิงจากการเพิ่มอุณหภูมิของน้ำมันเชื้อเพลิง ขณะที่ตารางที่ 3 แสดงการทบทวนสมรรถนะและการปล่อยสารมลพิษของเครื่องยนต์จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า การอุ่นน้ำมันพืช ทำให้  $P_b$  ไม่เปลี่ยนแปลง  $\eta_{th}$  เพิ่มขึ้น  $BSFC$  ลดลง และ  $BSEC$  เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับน้ำมันพืชไม่อุ่น ทั้งนี้เนื่องจากการอุ่นน้ำมัน ทำให้การสเปรย์เชื้อเพลิง และการเผาไหม้สมบูรณ์ขึ้น ทำให้  $\eta_{th}$  เพิ่มขึ้น ขณะที่  $BSFC$  ลดลง เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิ น้ำมันให้สูงขึ้น และป้อนมวลของเชื้อเพลิงคงที่ ทำให้การเปลี่ยนแปลงพลังงานเชื้อเพลิงที่ได้รับออกมาในรูปของพลังงานเคมีของเชื้อเพลิงที่ถูกปล่อยออกมาโดยกระบวนการเผาไหม้เพิ่มมากขึ้น ทำให้การปลดปล่อยความร้อนเพิ่มขึ้น และค่าความร้อนของเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้น ดังนั้น การที่จะให้ได้มาซึ่งกำลังงานที่เท่ากันจึงต้องใช้ปริมาณเชื้อเพลิงที่น้อยลง ทำให้  $P_b$  ไม่เปลี่ยนแปลง ค่า  $BSFC$  ลดลง และ



ประหยัดเชื้อเพลิงมากขึ้น ขณะที่ *BSEC* เพิ่มขึ้น เนื่องจากการอุ่นน้ำมัน ทำให้ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับ *BSFC* ทำให้ *BSEC* เพิ่มขึ้น

นอกจากนี้ เมื่อเปรียบเทียบการอุ่นน้ำมันพีซกับ น้ำมันดีเซลพบว่า น้ำมันพีซแต่ละชนิดให้  $P_b$  และ  $\eta_{th}$  แตกต่างกัน แต่โดยส่วนใหญ่ *BSFC* เพิ่มขึ้น ทั้งนี้ เนื่องจากคุณสมบัติในการอุ่นน้ำมันพีซไม่เหมาะสม ถ้าใช้ คุณสมบัติในการอุ่นน้ำมันต่ำไป ทำให้ค่าความหนืดของ

น้ำมันพีซสูงกว่าน้ำมันดีเซล ส่งผลให้คุณลักษณะการฉีด การสเปรย์ และการเผาไหม้ล่าช้า ทำให้  $P_b$  และ  $\eta_{th}$  ลดลง และ *BSFC* เพิ่มขึ้น ขณะที่การใช้คุณสมบัติในการอุ่นน้ำมันที่เหมาะสม เพื่อทำให้ความหนืดของน้ำมันพีซ ลดลงใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล ทำให้คุณลักษณะการฉีด การสเปรย์ และการเผาไหม้ดีขึ้น ทำให้  $P_b$  และ  $\eta_{th}$  เพิ่มขึ้น

**ตารางที่ 3** ผลกระทบต่อสมรรถนะและการปล่อยสารมลพิษของเครื่องยนต์จากการอุ่นน้ำมัน

ผู้วิจัย/ปี	E (n/c/s)	N / L (rpm/%)	F	T <sub>i</sub> (°C)	ผลลัพธ์สมรรถนะ			ผลลัพธ์การปลดปล่อยสารมลพิษ						อ้างอิง	
					P <sub>b</sub>	BSFC BSEC	η <sub>th</sub>	CO	HC	CO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	T <sub>exh</sub>	SD		
Senthil-Kumarและคณะ/2005	1 /4/ DI	1500/100	FME**	40-70	-	V/-	-	V	V	-	Λ	Λ	V	[32]	
Pugazhvadivu และ Jeyachandran/2005	1 /4/ DI	1500/100	WFO**	75-135	-	VΛ	Λ	V	-	-	Λ	Λ	V	[37]	
Agarwal และ Agarwal/2007	1 /4/ DI	1500/100	JO**	80-90	n/a	V/-	Λ	V	V	V	-	Λ	-	[38]	
Karabektas และคณะ/2008	1 /4/ DI	a/ 100	COME*	60-120	V	-	Λ	V	-	-	Λ	-	-	[39]	
Canakci และคณะ/2009	4 /4/ IDI	2000/100	CSFO*	75	V	Λ/-	Λ	Λ	V	V	-	-	V	[28]	
Acharya และคณะ/2009	1 /4/ DI	1500/100	KSO*	120	Λ	Λ/-	Λ	Λ	Λ	Λ	V	V	-	[40]	
Chauhan และคณะ/2010	1 /4/ DI	a/a	JO**	40-100	-	VΛ	Λ	V	V	Λ	Λ	Λ	V	[41]	
Pugazhvadivu และ Sankaranarayanan/2010	1 /4/ DI	1500/100	MO*	130	-	-	Λ	V	Λ	V	-	Λ	-	V	[34]
Kadu และ Sarada/2010	1 /4/ DI	a/ 100	KRO**	70-100	n/a	V/-	Λ	-	-	-	-	V	-	[42]	
Mallikarjun และคณะ/2011	1 /4/ DI	1500/75	MO*	135	-	Λ/-	V	Λ	V	V	V	-	Λ	[43]	
Ingle และคณะ/2011	1 /4/ DI	1500/100	COME**	55-90	-	VΛ	V	-	-	-	-	Λ	-	[44]	
Acharya และคณะ/2011	1 /4/ DI	1500/100	KSO*	130	-	-/Λ	V	Λ	Λ	Λ	V	-	Λ	[45]	
Martin และ Prithviraj/2011	1 /4/ DI	1500/100	CSO**	70-100	-	Λ	Λ	V	V	-	-	V	V	[46]	
Wander และคณะ/2011	1 /4/ DI	a/a	SSVO*	60	V	-	Λ	-	-	-	-	-	V	[47]	
Singh/2012	1 /4/ IDI	1000/100	JO*	90	-	Λ/-	V	-	-	-	-	-	Λ	[48]	
Labecki และคณะ/2012	4/4/CR-DI	2000/ 50	DRO30*	70	-	Λ/-	-	Λ	Λ	-	V	-	Λ	[35]	
Hossain และ Davies/2012	3 /4/ IDI	1500/ 60	JO*	75	-	Λ/-	V	Λ	-	Λ	Λ	Λ	ΛΛ	[15]	
Augustine และคณะ/2012	1 /4/ DI	1500/100	COME**	60-80	-	V/-	Λ	Λ	Λ	-	V	-	V	[49]	
Sucharitha และ Kumaraswamy/2013	1 /4/ DI	1500/100	NO*	50-160	-	-	V	Λ	Λ	-	-	-	Λ	[50]	
			NO**				Λ	V	V				V		

หมายเหตุ: \* เทียบกับน้ำมันดีเซล, \*\* เทียบกับน้ำมันที่ไม่อุ่น, Λ เพิ่มขึ้น, V ลดลง, a เปลี่ยนแปลง, n/a ไม่เปลี่ยนแปลง และ - ไม่มีการทดสอบ

(5) การปล่อยสารมลพิษของเครื่องยนต์ จากการ ทบทวนสมรรถนะและการปล่อยสารมลพิษของ เครื่องยนต์จากงานวิจัยที่ผ่านมาดังแสดงในตารางที่ 3 พบว่า การเผาไหม้จากการอุ่นน้ำมันพืชภายในกระบอก สูบของเครื่องยนต์ดีเซลนั้น จะให้ปริมาณของคาร์บอนมอน ออกไซด์ (CO) ไฮโดรคาร์บอน (HC) และความหนาแน่น ของปริมาณควันดำ (SD) ลดลง ในทางตรงกันข้าม ปริมาณของคาร์บอนไดออกไซด์ ( $CO_2$ ) ออกไซด์ของ ไนโตรเจน ( $NO_x$ ) และอุณหภูมิแก๊สไอเสีย ( $T_{exh}$ ) เพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับน้ำมันพืชไม่อุ่น ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่ม อุณหภูมิน้ำมันพืช ทำให้กระบวนการสเปรย์ดีขึ้น ช่วง ID ลดลง และน้ำมันพืชมีองค์ประกอบ  $O_2$  จำนวนมาก ทำให้ อัตราการเผาไหม้ระหว่างไอระเหยของเชื้อเพลิงกับ อากาศเร็วขึ้น อุณหภูมิการเผาไหม้สูงขึ้น ทำให้  $T_{exh}$  เพิ่มขึ้น และปริมาณของ  $CO_2$  และ  $NO_x$  เพิ่มขึ้น เนื่องจากองค์ประกอบของไฮดรคาร์บอนภายในน้ำมัน พืชมีการทำปฏิกิริยาทางเคมีกับ  $O_2$  มากขึ้น ส่งผลให้ ปริมาณของ CO, HC และ SD ลดลง [21-47, 51]

ในทางตรงกันข้าม เมื่อเปรียบเทียบการอุ่นน้ำมันพืช กับน้ำมันดีเซลพบว่า ปริมาณของ CO, HC และ SD เพิ่มขึ้น และปริมาณของ  $CO_2$  และ  $NO_x$  ลดลง ทั้งนี้ เนื่องจาก น้ำมันพืชที่ถูกอุ่นโดยส่วนใหญ่มีค่าความหนืด สูงกว่าน้ำมันดีเซลเล็กน้อย ทำให้ กระบวนการสเปรย์ช้า กว่ากระบวนการสเปรย์ของน้ำมันดีเซล แต่น้ำมันพืชมี  $O_2$  เป็นองค์ประกอบและมีปริมาณของไขมันอยู่มาก ทำให้ การเผาไหม้ระหว่างไอระเหยของเชื้อเพลิงกับอากาศ ลดลง และการเผาไหม้บริเวณแกนของสเปรย์นานขึ้น ส่งผลให้ปริมาณของ CO, HC และ SD เพิ่มขึ้น [21-47, 51]

## 5. งานวิจัยและพัฒนาที่ผ่านมาในประเทศไทย

จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาในประเทศไทย พบว่า มีงานวิจัยจำนวนไม่มากที่ศึกษาถึงผลกระทบของ

การอุ่นน้ำมันต่อคุณลักษณะต่างๆ ในเครื่องยนต์ ซึ่งมี รายละเอียดดังนี้

Chanchaona [52] ได้ศึกษาสมรรถนะและการ ปล่อยสารมลพิษจากก๊าซไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซลจาก การปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำมันดีเซล โดยการใช้ส่วนผสม ของเครื่องยนต์อุ่นน้ำมันที่อุณหภูมิ 80-90 °C เพื่อลด ค่าความหนืดของน้ำมันดีเซล โดยทำการทดสอบกับ เครื่องยนต์ 1 สูบ แบบฉีดตรง ทดสอบที่ความเร็วรอบคงที่ 1800 rpm และภาระงานหลายๆ ค่า ผลการทดสอบ พบว่า การอุ่นน้ำมันไม่มีผลกระทบต่อค่าการเปลี่ยนแปลงค่า BSFC ขณะที่ผลการทดสอบด้านสารมลพิษไอเสีย พบว่า ปริมาณ  $NO_x$  ลดลง และควันดำเพิ่มขึ้น

Nakpipat [53] ได้ศึกษาสมรรถนะและสารมลพิษ ไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซลจากการอุ่นน้ำมันดีเซล โดยทำ การทดสอบกับเครื่องยนต์ 1 สูบ แบบฉีดตรง ทดสอบที่ ความเร็วรอบ 1500-4200 rpm และภาระงานหลายๆ ค่า ผลการทดสอบพบว่า การอุ่นน้ำมันดีเซล ทำให้กำลังของ เครื่องยนต์ลดลง และ BSFC ลดลง ทำให้ปริมาณสาร มลพิษ NO, HC และควันดำลดลง

Boonchin et al. [54] ได้ศึกษาผล กระทบจาก การอุ่นน้ำมันดีเซลต่อคุณลักษณะการเผาไหม้ และการ ปล่อยสารมลพิษของเครื่องยนต์ดีเซล โดยทดสอบกับ เครื่องยนต์ 1 สูบ แบบฉีดตรง ทดสอบที่ความเร็วรอบคงที่ 2000 rpm ภาระงานคงที่ และอุ่นน้ำมันที่อุณหภูมิ 70 และ 90 °C ผลการทดสอบพบว่า การอุ่นน้ำมันดีเซล ทำ ให้  $P_{cylinder}$  ลดลง  $P_{inj}$  ลดลง และ  $t_{inj}$  ช้าลง ขณะที่ช่วงการ เผาไหม้แบบ PC ลดลง ทำให้ปริมาณ  $NO_x$  ลดลง และ ช่วงการเผาไหม้แบบ MC เพิ่มขึ้น ทำให้ปริมาณควันดำ เพิ่มขึ้น

Tenissara [55] ได้ศึกษาสมรรถนะของเครื่องยนต์ ดีเซลแบบฉีดตรง โดยใช้ น้ำมันปาล์มดิบ และอุ่นน้ำมันที่ อุณหภูมิ 50 °C เทียบกับน้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง ผลการ ทดสอบพบว่า กำลังและแรงบิดจะมีค่าต่ำกว่าน้ำมันดีเซล

ในช่วงความเร็วรอบประมาณ 800-2200 rpm แต่จะมีค่าสูงกว่าในช่วงความเร็วรอบ 2200-3600 rpm ขณะที่ *BSFC* ของน้ำมันปาล์มจะสูงกว่าน้ำมันดีเซล

Sutheerasak et al. [12, 13, 26] ได้ศึกษาผลกระทบจากการอุ่นน้ำมันดีเซล น้ำมันดีเซลผสมน้ำมันปาล์มดิบร้อยละ 10 และน้ำมันดีเซลผสมไบโอดีเซลร้อยละ 10 ต่อคุณลักษณะต่างๆ ได้แก่การฉีดเชื้อเพลิง การเผาไหม้ สมรรถนะ และการปล่อยสารมลพิษของเครื่องยนต์ดีเซล โดยทดสอบกับเครื่องยนต์ 1 สูบ แบบฉีดตรง ทดสอบที่ความเร็วรอบคงที่ 2000 rpm ภาระงานคงที่ และอุ่นน้ำมันที่อุณหภูมิ 60-90 °C ผลการทดสอบพบว่า การอุ่นน้ำมันทั้งสาม ทำให้มุม  $\theta$  เพิ่มขึ้น  $p_{inj}$  ลดลง  $t_{inj}$  ช้าลง  $p_{cylinder}$  ลดลง ช่วง *ID* ลดลง ช่วงการเผาไหม้แบบ *PC* ลดลง ทำให้ปริมาณ  $NO_x$  ลดลง และช่วงการเผาไหม้แบบ *MC* เพิ่มขึ้น ทำให้ปริมาณควันดำเพิ่มขึ้น

Sutheerasak [14] ได้ศึกษาผลกระทบจากการอุ่นน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มดิบต่อคุณลักษณะต่างๆ ของเครื่องยนต์ดีเซล โดยทดสอบกับเครื่องยนต์ 1 สูบ แบบฉีดตรง ทดสอบที่ความเร็วรอบคงที่ 2000 rpm ภาระงานคงที่ และอุ่นน้ำมันที่อุณหภูมิ 60-90 °C ผลการทดสอบพบว่า การอุ่นน้ำมันไบโอดีเซล ทำให้มุม  $\theta$  เพิ่มขึ้น  $p_{inj}$  ลดลง  $t_{inj}$  ช้าลง  $p_{cylinder}$  เพิ่มขึ้น ช่วง *ID* ลดลง ช่วงการเผาไหม้แบบ *PC* เพิ่มขึ้น ทำให้ปริมาณ  $NO_x$  เพิ่มขึ้น และช่วงการเผาไหม้แบบ *MC* ลดลง ทำให้ปริมาณควันดำลดลง

**6. แนวทางการวิจัยในอนาคต**

จากการศึกษาผลกระทบต่อคุณลักษณะต่างๆ ของเครื่องยนต์จากการอุ่นน้ำมันพืชหลากหลายชนิดที่ได้แสดงในบทความนี้ พบว่า โดยส่วนใหญ่ การอุ่นน้ำมันพืชทำให้  $t_{inj}$  ล่าช้า ช่วง *ID* ลดลง และ *CD* เพิ่มขึ้น ขณะที่สมรรถนะของเครื่องยนต์ดีขึ้น และปริมาณสารมลพิษ

ต่างๆ ของเครื่องยนต์ ได้แก่ ปริมาณ *CO*, *HC* และ *SD* ลดลง แต่ปริมาณของ  $NO_x$  เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับน้ำมันพืชไม่อุ่น อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบการอุ่นน้ำมันพืชกับน้ำมันดีเซลพบว่า การอุ่นน้ำมันพืช มี  $t_{inj}$  เร็วขึ้น ช่วง *ID* ลดลง และ *CD* เพิ่มขึ้น ขณะที่ *BSFC* เพิ่มขึ้น และการปล่อยสารมลพิษประเภท *CO*, *HC* และ *SD* เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจาก ค่าความหนืดของน้ำมันพืชจากการอุ่นน้ำมันสูงกว่าน้ำมันดีเซล ทำให้คุณลักษณะการฉีด การสเปร์ย์ และการเผาไหม้ล่าช้า และมีการปล่อยสารมลพิษต่างๆ เพิ่มขึ้น

นอกจากนี้ จากการศึกษางานวิจัยทั้งภายในประเทศและต่างประเทศ พบว่า ในอดีต นักวิจัยได้ศึกษาผลกระทบจากการอุ่นน้ำมันที่ผลิตจากพืชทานได้ (เช่น ทานตะวัน มะพร้าว ปาล์ม และอื่นๆ) ต่อคุณลักษณะต่างๆ ของเครื่องยนต์ดีเซล และได้ข้อสรุปของช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสม และสามารถลดการปลดปล่อยสารมลพิษภายในเครื่องยนต์ดีเซลได้ในระดับหนึ่ง [2, 7] แต่การใช้น้ำมันที่ผลิตจากพืชทานได้นั้น ได้สร้างปัญหาความขาดแคลนน้ำมันพืชในการประกอบอาหารและบริโภคภายในครัวเรือน อีกทั้งน้ำมันพืชทานได้บางชนิดมีค่าความหนืดสูงมาก (รูปที่2)

ดังนั้น แนวทางการวิจัยในอนาคต ควรศึกษาความเป็นไปได้ของการใช้วิธีการอุ่นน้ำมันกับน้ำมันชนิดอื่นๆ เช่น น้ำมันที่ผลิตจากไขมันสัตว์ และพืชทานไม่ได้ และน้ำมันพืชใช้แล้ว นอกจากนี้ ควรศึกษาการลดความหนืดของน้ำมันเหล่านี้ก่อนการอุ่นน้ำมัน โดยใช้วิธีการต่างๆ เช่น การผสมกับน้ำมันดีเซล หรือแอลกอฮอล์ชนิดต่างๆ (เช่น เมธานอล เอทานอล โพรพานอล และบูทานอล) ในอัตราส่วนต่างๆ การทำทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันกับแอลกอฮอล์ และการทำไมโครอิมัลชันกับน้ำและแอลกอฮอล์ และใช้ร่วมกับการอุ่นน้ำมัน โดยทำการศึกษา ดังนี้

(1) ศึกษาคุณสมบัติของน้ำมันดังกล่าวที่ใช้ ร่วมกับการอุ่นน้ำมัน ก่อนทำการทดสอบกับเครื่องยนต์

(2) เขียนแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อทำนาย ความเป็นไปได้ของการใช้สัดส่วนที่เหมาะสมของการนำ น้ำมันดังกล่าวมาใช้ร่วมกับการอุ่นน้ำมัน

(3) ศึกษาผลกระทบต่อคุณลักษณะต่างๆ ได้แก่ การฉีด การสเปรย์ การเผาไหม้ สมรรถนะ และการปล่อย สารมลพิษของเครื่องยนต์จากการใช้วิธีการดังกล่าว ร่วมกับการอุ่นน้ำมัน ในชุดจำลองการฉีดเชื้อเพลิงและ การเผาไหม้ ในสถานะที่มีการเปลี่ยนแปลงความดันและ จังหวะการฉีด และทดสอบในเครื่องยนต์ดีเซลสมัยใหม่ที่ ใช้ระบบอัดอากาศ ระบบการนำแก๊สไอเสียกลับมาใช้ อีกครั้ง และระบบฉีดเชื้อเพลิงแบบ Common rail ที่มีการ เปลี่ยนแปลงความเร็วรอบ และภาระงานต่างๆ

(4) ศึกษาการสึกหรอของชิ้นส่วนต่างๆ ภายใน ระบบเชื้อเพลิง และเครื่องยนต์เมื่อใช้วิธีการดังกล่าว ร่วมกับการอุ่นน้ำมัน

## 7. สรุป

การอุ่นน้ำมันพืช ทำให้จังหวะการฉีดล่าช้า การ สเปรย์เชื้อเพลิงดีขึ้น การจุดระเบิดเร็วขึ้น ความล่าช้าการ จุดระเบิดลดลง อัตราการปลดปล่อยความร้อนของ เชื้อเพลิงเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพทางความร้อนเพิ่มขึ้น ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงลดลง และการปล่อยสารมลพิษ ลดลงเมื่อเทียบกับน้ำมันพืชไม่อุ่น ในทางตรงกันข้าม การ อุ่นน้ำมันพืชเทียบกับน้ำมันดีเซล ถ้าใช้อุณหภูมิในการอุ่น น้ำมันพืชต่ำไป ทำให้ค่าความหนืดของน้ำมันพืชสูงกว่า น้ำมันดีเซล ส่งผลจังหวะการฉีดเร็วขึ้น กระบวนการ สเปรย์ช้ากว่ากระบวนการสเปรย์ของน้ำมันดีเซล แต่การ จุดระเบิดเร็วขึ้น ความล่าช้าการจุดระเบิดลดลง ประสิทธิภาพทางความร้อนลดลง ความสิ้นเปลือง

เชื้อเพลิงเพิ่มขึ้น และการปล่อยสารมลพิษเพิ่มขึ้น ขณะที่ ทิศทางของการวิจัยการอุ่นน้ำมันในอนาคต ได้มุ่งความ สนใจที่การอุ่นน้ำมันผสม และน้ำมันที่ผ่านการทำทรานส์ เอสเทอริฟิเคชัน และไมโครอิมัลชัน เพื่อประยุกต์ใช้ใน เครื่องยนต์ดีเซลสมัยใหม่ที่ใช้ระบบอัดอากาศ ระบบการ นำแก๊สไอเสียกลับมาใช้อีกครั้ง และระบบฉีดเชื้อเพลิง แบบ Common rail

## 8. เอกสารอ้างอิง

- [1] Sonune PP, Farkade HS. Performance and emissions of CI engine fuelled with preheated vegetable oil and its blends-a review. International Journal of Engineering and Innovative Technology. 2012; 2(3): 123-28.
- [2] Hossain AK, Davies PA. Plant oils as fuels for compression ignition engines: a technical review and life-cycle analysis. Renewable Energy. 2010; 35: 1-13.
- [3] Misra RD, Murthy MS. Straight vegetable oils usage in a compression ignition engine-a review. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2010;14: 3005-13.
- [4] No SY. Inedible vegetable oils and their derivatives for alternative diesel fuels in CI engines: a review. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2011;15: 131-49.
- [5] Pandey RK, Rehman A, Sarviya RM. Impact of alternative fuel properties on fuel spray behavior and atomization. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2012; 16: 1762-78.

- [6] Murayama T, Young-taig O, Miyamoto N, Chikahisa T, Takagi N, Itow K. Low carbon flower buildup, low smoke, and efficient diesel operation with vegetable oils by conversion to mono-esters and blending with diesel oils or alcohols. SAE technical paper, no 841161. 1984.
- [7] Bari S, Lim TH, Yu CW. Effects of preheating of crude palm oil (CPO) on injection system performance and emission of a diesel engine. *Renewable Energy* (2002); 27: 339-51.
- [8] Franco Z, Nguyen QD. Flow properties of vegetable oil-diesel fuel blends. *Fuel*. 2011;90: 838-43.
- [9] Esteban B, Riba JR, Baquero G, Puig R, Rius A. Characterization of the surface tension of vegetable oils to be used as fuel in diesel engines. *Fuel*. 2012;102: 231-38.
- [10] Esteban B, Riba JR, Baquero G, Rius A, Puig R. Temperature dependence of density and viscosity of vegetable oils. *Biomass and Bioenergy*. 2012;42: 164-71.
- [11] Yuan W, Hansen AC, Zhang Q. Predicting the temperature dependent viscosity of biodiesel fuels. *Fuel*. 2009;88: 1120-26.
- [12] Sutheerasak E, Sanitjai S, Chanchaona S. Analysis of preheating diesel/palm oil blends on combustion and emission characteristics in a diesel engine. the 19th Conference of Mechanical Engineering Network; 2005 Oct 18-20; Thailand; 2005. p. 140-7. (In Thai)
- [13] Sutheerasak E, Sanitjai S, Chanchaona S. Influence of diesel-biodiesel oil blend temperatures on combustion characteristics in an engine. the 23th Conference of Mechanical Engineering Network; 2009 Nov 4-7; Thailand; 2009. p. 123-30. (In Thai)
- [14] Sutheerasak E, Sanitjai S, Chanchaona S. Investigation on the combustion characteristics and emissions of a diesel engine using preheated biodiesel oil. The 2nd AUN/SEED-Net Regional Workshop on New/Renewable Energy. 2010 Jan 21-22; Thailand; 2010. p. 1-10.
- [15] Hossain AK, Davies PA. Performance, emission and combustion characteristics of an indirect injection (IDI) multi-cylinder compression ignition (CI) engine operating on neat jatropha and karanj oils preheated by jacket water. *Biomass and Bioenergy*. 2012;46: 332-42.
- [16] Hazar H, Aydin H. Performance and emission evaluation of a CI engine fueled with preheated raw rapeseed oil (RRO)-diesel blends. *Applied Energy*. 2010; 87: 786-90.
- [17] Yilmaz N, Morton B. Effects of preheating vegetable oils on performance and emission characteristics of two diesel engines. *Biomass and Bioenergy*. 2001; 35: 2022-33.
- [18] Rao ND, Sudheer Premkumar B, Yohan M. Study of different methods of using vegetable oil as a fuel for compression ignition engine. *Global Journal of Researches in Engineering*. 2012;12 (4): 9-16.

- [19] Abolle´ A, Kouakou L, Planche H. The viscosity of diesel oil and mixtures with straight vegetable oils: Palm, cabbage palm, cotton, groundnut, copra and sunflower. *Biomass and Bioenergy*. 2009;33: 1116-21.
- [20] Tesfa B, Mishra R, Gua F, Powles N. Prediction models for density and viscosity of biodiesel and their effects on fuel supply system in CI engines. *Renewable Energy*. 2010;35: 2752-60.
- [21] Dobovišek Z, Vajda B, Pehan S, Kegl B. Influence of fuel properties on engine characteristics and tribology parameters. *GOMABN*. 2009;47(2): 131-58.
- [22] Morin C, Chauveau C, Gökalp I. Droplet vaporisation characteristics of vegetable oil derived biofuels at high temperatures. *Experimental Thermal and Fluid Science*. 2000;21: 41-50.
- [23] Machacon HTC, Shiga S, Karasawa T, Nakamura H. Performance and emission characteristics of a diesel engine fueled with coconut oil-diesel fuel blend. *Biomass and Bioenergy*. 2001;20: 63-69.
- [24] Yamane K, Ueta A, Shimamoto Y. Influence of physical and chemical properties of biodiesel fuel on injection combustion and exhaust emission characteristics in a DI-CI engine. 5th International Symposium on Diagnostics and Modeling of Combustion Engines. 2001 Jul 1-4; Nagoya, Japan: 2001 p. 402-9.
- [25] Ogura M, Yamada S, Takuo Y, Xiao FB, Sin M. Effect of diesel spray impinging on a ringed wall. *JSAE Review*. 2002;23: 189-94.
- [26] Sutheerasak E, Sanitjai S, Chanchaona S. Analysis of preheating diesel fuel: combustion and emission characteristics, the 18th Conference of Mechanical Engineering Network; 2004 Oct 18-20; Thailand; 2004. p. 30-7.
- [27] Park SH, Kim HJ, Suh HK, Lee CS. Experimental and numerical analysis of spray-atomization characteristics of biodiesel fuel in various fuel and ambient temperatures conditions. *International Journal of Heat and Fluid Flow*. 2009;30: 960-70.
- [28] Canakci M, Ozsezena AN, Turkcana A. Combustion analysis of preheated crude sunflower oil in an idi diesel engine. *Biomass and Bioenergy*. 2009;33: 760-7.
- [29] Lin YS, Lin HP. Study on the spray characteristics of methyl esters from waste cooking oil at elevated temperature. *Renewable Energy*. 2010;35: 1900-7.
- [30] Vojtišek-Lom M, Pechout M, Barbolla A. Experimental investigation of the behavior of non-esterified rapeseed oil in a diesel engine mechanical fuel injection system. *Fuel*. 2012;97: 157-65.
- [31] Nwafor OMI. The effect of elevated fuel inlet temperature on performance of diesel engine running on neat vegetable oil at constant speed conditions. *Renewable Energy*. 2003;28: 171-81.

- [32] Senthil-Kumar M, Kerihuel A, Bellettre J, Tazerout M. Experimental investigations on the use of preheated animal fat as fuel in a compression ignition engine. *Renewable Energy*. 2005;30: 1443-56.
- [33] Selim MYE. Reducing the viscosity of jojoba methyl ester diesel fuel and effects on diesel engine performance and roughness. *Energy Conversion and Management*. 2009; 50: 1781-8.
- [34] Pugazhivadivu M, Sankaranarayanan G. Experimental studies on a diesel engine using mahua oil as fuel. *Indian Journal of Science and Technology*. 2010; 3(7): 787-91.
- [35] Labecki L, Cairns A, Xia J, Megaritis A, Zhao H, Ganippa LC. Combustion and emission of rapeseed oil blends in diesel engine. *Applied Energy*. 2012;95: 139-46.
- [36] Kalam MA, Masjuki HH. Emissions and deposit characteristics of a small diesel engine when operated on preheated crude palm oil. *Biomass and Bioenergy*. 2004;27: 289-97.
- [37] Pugazhivadivu M, Jeyachandran K. Investigations on the performance and exhaust emissions of a diesel engine using preheated waste frying oil as fuel. *Renewable Energy*. 2005;30: 2189-202.
- [38] Agarwal D, Agarwal AK. Performance and emissions characteristics of jatropha oil (preheated and blends) in a direct injection compression ignition engine. *Applied Thermal Engineering*. 2007; 27: 2314-23.
- [39] Karabektas M, Ergen G, Hosoz M. The effects of preheated cottonseed oil methyl ester on the performance and exhaust emissions of a diesel engine. *Applied Thermal Engineering*. 2008; 28: 2136-43.
- [40] Acharya SK, Mohanty MK, Swain RK. Kusum oil as a fuel for small horse power diesel engine. *International Journal of Engineering and Technology*. 2009; 1(3): 219-23.
- [41] Chauhan BS, Kumar N, Jun YD, Lee KB. Performance and emission study of preheated jatropha oil on medium capacity diesel engine. *Energy*. 2010; 35: 2484-92.
- [42] Kadu SP, Sarda RH. Experimental investigations on the use of preheated neat karanja oil as fuel in a compression ignition engine. *World Academy of Science Engineering and Technology*. 2010; 48: 540-4.
- [43] Mallikarjun MV, Mamilla VR, Narayana Rao GL. Investigations on the performance and exhaust emissions of a diesel engine using preheated madhuca indica oil as fuel. *International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development*. 2011; 1(1): 1-15.
- [44] Ingle PB, Ambade RS, Paropate RV, Bhansali SS. Comparisons of diesel performance neat and preheated transesterified cotton seed oil. *International Journal of Advanced Engineering Sciences and Technologies*. 2011;5(1): 67-71.

- [45] Acharya SK, Mishr AK, Rath M, Nayak C. Performance analysis of karanja and kusum oils as alternative bio-diesel fuel in diesel engine. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*. 2011;4(2): 23-28.
- [46] Martin M, Prithviraj D. Performance of pre-heated cottonseed oil and diesel fuel blends in a compression ignition engine. *Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering*. 2011; 5(3): 235-40.
- [47] Wander PR, Altafini CR, Moresco AL, Colombo AL, Lusa D. Performance analysis of a mono-cylinder diesel engine using soy straight vegetable oil as fuel with varying temperature and injection angle. *Biomass and Bioenergy*. 2011; 35: 3995-4000.
- [48] Singh BP. Performance and emission characteristics of conventional engine running on vegetable oil with elevated fuel inlet temperature. *Moradabad Institute of Technology International Journal of Mechanical Engineering*. 2012; 2: 70-75.
- [49] Augustine A, Marimuthu L, Muthusamy S. Performance and evaluation of di diesel engine by using preheated cottonseed oil methyl ester. *Procedia Engineering*. 2012; 38: 779-90.
- [50] Sucharitha G, Kumaraswamy A. Experimental analysis of using neem oil as an alternative fuel. *International Journal of Engineering Research and Applications*. 2013; 3(1): 320-5.
- [51] Heywood J.B. *Internal Combustion Engine Fundamental*. McGraw-Hill: New York; 1988.
- [52] Chanchaona S. Investigation of aftermarket product for improving fuel economy and emission. 4<sup>th</sup> Asian-Pacific International Symposium on Combustion and Energy Utilization; 1997 Dec 8-11; Bangkok, Thailand; 1997. p. 858-64.
- [53] Nakpipat T. The effect of temperature and moisture on diesel engine [MSc thesis]. Bangkok: King Mongkut's University of Technology Ladkrabang; 1997. (In Thai).
- [54] Boonchin N, Sirivikrom S, Kansadab K. A study of effect of preheating diesel fuel on NO<sub>x</sub> and black smoke emissions [N thesis]. Bangkok: King Mongkut's University of Technology Thonburi; 2003. (In Thai).
- [55] Tenissara N. Performance study of a direct injection diesel engine using crude palm oil as fuel [MSc thesis]. Nakhon Ratchasima: Suranaree University of Technology; 2003. (In Thai).