



FEAT JOURNAL

FARM ENGINEERING AND AUTOMATION TECHNOLOGY JOURNAL

วารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ

การวิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซไอเสียจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันยางนาเป็นเชื้อเพลิง เปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล

Analysis of the Composition of Exhaust Gas from Engines using Yang-Na Oil as Fuel for Comparison with Diesel

สหัสวรรษ ภูจีระ¹⁾, ชัตตชัย เบญจปิยะพร¹⁾, กฤษฏางค์ เสนาวงษ์¹⁾, โชคชัย ชูย้อย²⁾ และ สมพร เกษแก้ว^{3),*}
Sahassawas Poojeeraa¹⁾, Chatchai Benjapiyaporna¹⁾, Kritsadang Senawongd¹⁾ Chokchai Suiyaye²⁾
and Somporn Katekaewc^{3),*}

¹⁾ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

²⁾ สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

³⁾ ภาควิชาชีวเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University

Department of Agricultural engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University

Department of Biochemistry, Faculty of Science, Khon Kaen University

Received: 6 March 2020

Revised: 14 April 2020

Accepted: 28 April 2020

Available online: 30 June 2020

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาไอเสียที่เกิดจากเครื่องยนต์ดีเซลทางการเกษตร 4 จังหวะ 1 สูบ ที่ใช้น้ำมันดีเซลและน้ำมันยางนา B40 เป็นเชื้อเพลิง การทดสอบทำการเปรียบเทียบและประเมินก๊าซไอเสียโดยการเดินเครื่องยนต์ 2 เครื่องที่ใส่ภาระคงที่เท่ากัน ในสถานที่จริง ต่อเนื่อง 300 ชั่วโมง ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 1,400 รอบต่อนาที พบว่าอุณหภูมิก๊าซไอเสียของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน B40 โดยเฉลี่ยสูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล 8.3 °C การปล่อยก๊าซ CO, CO₂, และ O₂ ของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันยางนา B40 มีค่าใกล้เคียงเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล การ

ปล่อยก๊าซ NO และ NO_x ของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน B40 มีค่าเฉลี่ย 189.87 ppm ซึ่งสูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล 48.13 ppm (ไม่สูงกว่าค่ามาตรฐาน) เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันยางนาปล่อยควันดำสูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลเฉลี่ย 2% จากผลการทดสอบทั้งหมดบ่งชี้ว่าน้ำมัน B40 สามารถใช้ทดแทนน้ำมันดีเซลได้

คำสำคัญ: น้ำมันยางนา ก๊าซไอเสีย เครื่องยนต์ดีเซล ต้นยางนา

Abstract

This research aimed to evaluate the durability of two diesel engines, four-stroke, single cylinder. The diesel and B40 were compared. The continuously exhaust gas for 300 hours at 1400 rpm was inspected. The results show that, the agricultural engine using B40 emitted exhaust gases at an average of 8.3 °C, higher than the diesel engine. The emission test, the engine using B40 showed averages of CO, CO₂ and O₂ close to the engine using diesel. NO and NO_x of the engine using B40 average was 189.87 ppm, which was 48.13 ppm higher than the diesel engine (Not higher than standard). Engine using B40 (Yang-na fuel) emission black smoke are average 2% higher than diesel. All test results indicate that B40 can be used to replace diesel.

Keywords: Yang-Na oil, Exhaust gas, Diesel engine, *Dipterocarpus Alatus* Tree

*ติดต่อ: somkat@kku.ac.th, 043-202371 ต่อ 44478-79

1. บทนำ

การศึกษาจากอดีตจนถึงปัจจุบัน บ่งชี้ว่าเชื้อเพลิงชีวภาพมีคุณภาพ ทำให้เครื่องยนต์มีสมรรถนะและระดับการปล่อยก๊าซไอเสียอยู่ในมาตรฐานเทียบเท่ากับน้ำมันดีเซล [1,2] องค์ประกอบที่แตกต่างกันระหว่างไบโอดีเซลกับน้ำมันดีเซลคือปริมาณออกซิเจน ไบโอดีเซลชนิดต่างๆ มีปริมาณออกซิเจนประมาณ 10-12 % ซึ่งสูงกว่าดีเซล และออกซิเจนในไบโอดีเซลจะมีส่วนช่วยลดการปล่อยไอเสียได้ [3,4] หลายงานวิจัยได้ทำการศึกษาน้ำมันจากพืชหลายชนิด โดยใช้น้ำมันจากพืชโดยตรง (B100) เปรียบเทียบกับดีเซล พบว่า

ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ยังต่ำและการปล่อยก๊าซไอเสียสูง [5,6] ตัวอย่างเช่น การทดสอบน้ำมันเมล็ดทานตะวัน กับเครื่องยนต์ด้วยระยะเวลา 50 ชั่วโมง พบว่าก๊าซไอเสียที่ปล่อยมีค่าใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล [7] การทดสอบเชื้อเพลิงที่ผสมระหว่างดีเซลและน้ำมันจากเมล็ด Karanja B20 พบว่าปล่อยก๊าซไอเสียใกล้เคียงกับดีเซล และไม่ต้องปรับเปลี่ยนชิ้นส่วนของเครื่องยนต์ [8] การทดสอบน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันถั่วเหลืองผสมน้ำมันดีเซล พบว่าอัตราส่วนผสมของน้ำมันที่เหมาะสมที่สุดคือ B20 ทำให้เครื่องยนต์มีการเผาไหม้ที่สมบูรณ์มากขึ้นและมีการปล่อยก๊าซไอเสียลดลงอย่างมีนัยสำคัญ [9] ต่อมา Barrios ได้ศึกษาการ

ปล่อยก๊าซไอเสียของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันไบโอดีเซล โดยเปรียบเทียบกัน 3 ชนิด คือน้ำมันพืชใช้แล้วผสมกับน้ำมันดีเซล น้ำมันดีเซลล้วน และน้ำมันถั่วเหลืองผสมกับน้ำมันดีเซล พบว่าน้ำมันพืชใช้แล้วผสมน้ำมันดีเซลมีการปล่อยก๊าซ NO_x สูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล โดยอัตราส่วนผสมที่มีการปล่อยก๊าซไอเสียสูงสุดคือน้ำมันไบโอดีเซล B25 [10] จากนั้น [11] ได้ศึกษาปริมาณการปล่อยควันดำของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันจากพืชและน้ำมันผสม โดยเปรียบเทียบกับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล พบว่าน้ำมันจากพืชมีการปล่อยควันดำที่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับดีเซล สอดคล้องกับ [12,13] จากหลายงานวิจัยที่กล่าวมานี้บ่งชี้ว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันจากพืชทั้งในระยะสั้นและระยะยาว จะพบการสึกหรอและการปล่อยก๊าซไอเสียใกล้เคียงกับดีเซล [12–14] ถ้าต้องการสมรรถนะของเครื่องที่ดีควรใช้น้ำมันผสมน้ำมันจากพืชแต่ละชนิดก็จะมีสัดส่วนการผสมที่เหมาะสมแตกต่างกันไป นอกจากนี้ยังมีพืชอีกหลายชนิดที่สามารถนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงได้

ต้นยางนา ต้นไม้ขนาดใหญ่ที่มีจำนวนมากในทวีปเอเชียและในประเทศไทย ซึ่งน้ำมันจากต้นยางนาสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย เช่น ชันยาเรือ ชีได้ และเชื้อเพลิง เป็นต้น [15] ได้มีการนำน้ำมันยางนาดิบเป็นเชื้อเพลิงทดสอบกับเครื่องยนต์การเกษตรพบว่าสามารถใช้งานได้ แต่ยังมีข้อด้อยหลายอย่างเนื่องจากคุณภาพน้ำมันหลายคุณสมบัติยังไม่ผ่านมาตรฐานของน้ำมันเชื้อเพลิง [16] แต่เมื่อนำมาผ่านกระบวนการกลั่นให้บริสุทธิ์แล้ว จะทำให้ได้น้ำมันที่มีคุณสมบัติทางเชื้อเพลิงใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล [17] จากรายงานก่อนหน้า

นี้ ได้มีการทดสอบใช้น้ำมันยางนากลั่น (B100) กับเครื่องยนต์โดยตรง พบว่าสมรรถนะของเครื่องยนต์ยังไม่ดีพอ และค่าไอเสียที่เกิดขึ้นยังสูงกว่าดีเซลมาก [5,6] จากนั้นได้มีการศึกษาน้ำมันยางนากลั่นมาผสมกับน้ำมันดีเซลในสัดส่วนต่างๆ ทดสอบกับเครื่องยนต์ และพบว่าน้ำมันยางนากลั่น B40 ให้สมรรถนะของเครื่องยนต์ใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล และเมื่อศึกษาการสึกหรอของเครื่องยนต์ในระยะเวลา 300 ชั่วโมง พบว่าการสึกหรอที่เกิดขึ้นในทุกชิ้นส่วนของห้องเผาไหม้และคุณภาพของน้ำมันเครื่องใกล้เคียงกับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล [18,19] ดังนั้นการใช้น้ำมันยางนาในสัดส่วนการผสมกับน้ำมันดีเซล B40 เป็นสัดส่วนที่เหมาะสมที่สุดในการใช้น้ำมันยางนาเป็นเชื้อเพลิง แต่ถ้าใช้น้ำมันยางนาไปใช้งานจริงกับเครื่องยนต์เป็นระยะเวลานาน ไอเสียที่เกิดขึ้นอาจมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้ จึงเป็นที่มาของการศึกษาค้นคว้านี้ โดยใช้น้ำมันยางนากลั่นผสมกับน้ำมันดีเซลในสัดส่วน B40 (โดยผสมในอัตราส่วนน้ำมันยางนากลั่นร้อยละ 40 และน้ำมันดีเซลร้อยละ 60 โดยปริมาตร) ทำการทดสอบกับเครื่องยนต์ทางการเกษตร 4 จังหวะ สูบเดียว เป็นระยะเวลา 300 ชั่วโมง แล้วทำการตรวจวัดองค์ประกอบของก๊าซไอเสียจากเครื่องยนต์ ได้แก่ CO , CO_2 , O_2 , NO , NO_x และควันดำ เพื่อประเมินก๊าซไอเสียแต่ละชนิดต่อไป

2. วิธีการดำเนินการวิจัย

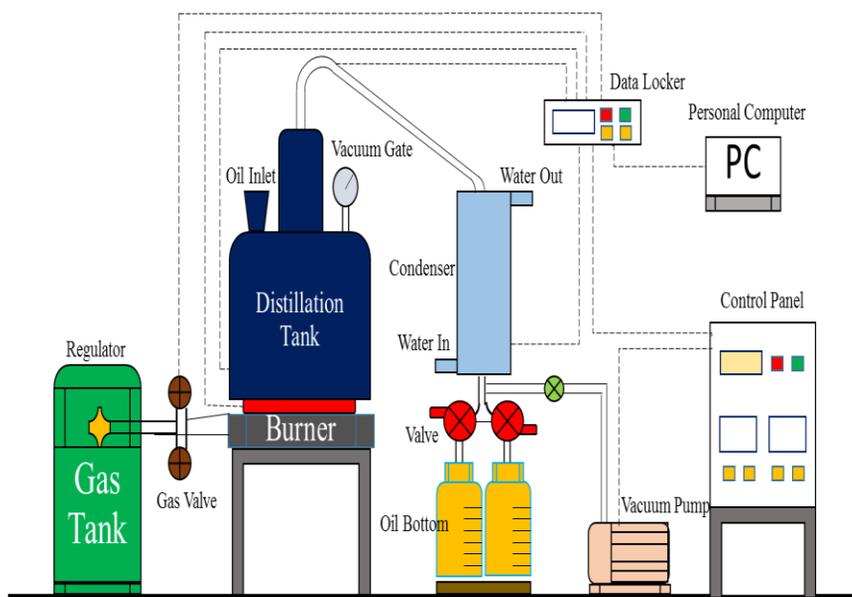
2.1 การกลั่นน้ำมันยางนา

เครื่องกลั่นน้ำมันยางนาประดิษฐ์ขึ้นตามแบบฉบับของ นุ ลี ทิ บั ต ร เล ข ที่ 9343 ของมหาวิทยาลัยขอนแก่น เพื่อทำให้น้ำมันยางนาดิบมีความบริสุทธิ์ เป็นเครื่องกลั่นน้ำมันชนิดเบ็ดเสร็จใน

ถึงเดี่ยวขนาดเล็ก โครงสร้างและองค์ประกอบของเครื่องกลั่นแสดงดังรูปที่ 1 มีรายละเอียดดังนี้ เครื่องกลั่นขนาด 20 ลิตร ระบบให้ความร้อนเป็นแบบหัวเผา คอนเดนเซอร์ 5 ลิตรทั้งสองผลิตจากสแตนเลส 304 หนา 3 มม. ระบายความร้อนโดยใช้น้ำหล่อเย็น วิธีการกลั่นเริ่มต้นโดยการเทน้ำมันดิบปริมาตร 15 ลิตร ลงในถังกลั่น จากนั้นให้ความร้อนแก่ถังกลั่นพร้อมปรับแรงดันถังกลั่นให้คงที่ที่ความดัน -700 mmHg เมื่ออุณหภูมิน้ำมันในถังกลั่นถึง 120 – 130 °C น้ำมันจะเริ่มระเหยและควบแน่นด้วยคอนเดนเซอร์ ไหลออกมาที่ขวดเก็บน้ำมัน ซึ่งจะได้น้ำมันประมาณ 75% โดยปริมาตร ส่วนที่เหลือ 25% เป็นของเหลวหนืด [20] ต้นทุนพลังงานในการผลิตเฉลี่ยประมาณ 1.61 บาทต่อลิตร

2.2 การเตรียมน้ำมันเชื้อเพลิง

น้ำมันที่ใช้ทดสอบเป็นน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันยางนา B40 กับน้ำมันดีเซล [18] ส่วนอีกชุดหนึ่งจะใช้น้ำมันดีเซล (D100) ที่ผ่านมาตรฐานจากปั๊มจ่ายน้ำมันทั่วไป (ปตท.) การเตรียมน้ำมันเพื่อทดสอบครั้งนี้ ทำเป็น 2 ชุดๆ ละ 300 ลิตร (เพื่อให้ น้ำมันที่ใช้อยู่ในมาตรฐานเดียวกัน จึงจัดเตรียมน้ำมันให้เกินจำนวนที่ใช้จริง) น้ำมันที่เตรียมไว้นำไปผ่านตัวกรองน้ำมันดีเซลอีกครั้งก่อนนำไปใช้ทดสอบน้ำมัน B40 ที่ใช้ในการทดสอบครั้งนี้ตรวจวัดคุณภาพ เพื่อใช้เป็นข้อมูลเปรียบเทียบด้านคุณภาพกับน้ำมันดีเซลมาตรฐาน และน้ำมันยางนากลั่นตามมาตรฐาน [21] ดังตารางที่ 1



รูปที่ 1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการกลั่นน้ำมันยางนาดิบ

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบคุณสมบัติด้านเชื้อเพลิงของมาตรฐานน้ำมันดีเซล น้ำมันยางนากลั่น และ B40 [18]

ข้อกำหนดคุณภาพ	อัตราสูงต่ำ	มาตรฐาน	น้ำมันยางนากลั่น	B40
1.ความถ่วงจำเพาะ ณ 15.6/15.6 °C	$0.81 < x < 0.87$	ASTM D 1298	0.92*	0.87
2.ดัชนีซีเทน	ไม่ต่ำกว่า 40	ASTM D 976-06	27*	41
3.ความหนืด (เซนติสโตกส์)	$1.8 < x < 4.1$	ASTM D 445-15a	4.7*	3.6
4.จุดไหลเท (°C)	ไม่สูงกว่า 10	ASTM D 97-16	-39	-6
5.กำมะถัน (ร้อยละโดย นน.)	ไม่สูงกว่า 0.005	ASTM D 2622	0.00	0.00
6.การกัดกร่อนแผ่นทองแดง	ไม่สูงกว่าหมายเลข 1	ASTM D 130-12	1	1a
7.เสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (กรัม/ลบ.ม.)	ไม่สูงกว่า 25	ASTM D 2274	27*	11.8
8.กากถ่าน (ร้อยละโดย นน.)	ไม่สูงกว่า 0.30	ASTM D 86-15	0.00	0.2
9.น้ำ (มก./กก)	ไม่สูงกว่า 300	EN ISO 12937	270	182
10.สิ่งปนเปื้อนทั้งหมด (มก./กก)	ไม่สูงกว่า 24	EN 12662-2009	473*	13
11.เถ้า (ร้อยละโดย นน.)	ไม่สูงกว่า 0.1	ASTM D 482-13	0.0	0.9
12.จุดวาบไฟ (°C)	ไม่ต่ำกว่า 52	ASTM D 93	104	78
13.การกลั่น อุดหนุนที่กลั่นได้ โดยปริมาตรในอัตราร้อยละ 90 (°C)	ไม่สูงกว่า 357	ASTM D 86	257	338.2
14.โพสิซีคลิก อะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (ร้อยละโดย นน.)	ไม่สูงกว่า 11	IP 391	1	4.8
15.ไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเตอ์ (% vol.)	$3.5 < x < 7$	ASTM D 14078	0.00*	6.7
16.คุณสมบัติการหล่อลื่น รอยขีดข่วน (ไมโครเมตร)	ไม่สูงกว่า 460	CEC F-06-96	168	348
17. สี				
17.1 ชนิดของสี	เหลือง	ASTM D 1500	เหลือง	เหลือง
17.2 ความเข้มของสี	ไม่สูงกว่า 5		1.5	1.5

ตารางที่ 2 ธาตุองค์ประกอบของน้ำมันยางนากลั่น

ธาตุองค์ประกอบ	ดีเซล [21]	Karanja oil [22]	soybean oil [23]	น้ำมันยางนากลั่น	น้ำมัน B40
Carbon(C)	81.82	74.20	77.40	84.74	82.99
Hydrogen(H)	17.57	12.90	11.50	18.28	17.85
Nitrogen(N)	0.003	3.900	0.001	0.004	0.003
Sulfur(S)	0.220	2.000	n.d.	0.254	0.234
Oxygen(O)	4.633	12.80	10.50	7.055	5.602
H/C ratio	2.580			2.670	2.620

จากตารางที่ 2 ธาตุองค์ประกอบของน้ำมันยางนากลับ พบว่าธาตุองค์ประกอบทุกชนิดที่ตรวจสอบของน้ำมันยางนาสูงกว่าดีเซลและน้ำมันชนิดอื่นๆ โดยเฉพาะคาร์บอน (C) ที่มีค่าสูง โดยความแตกต่างขององค์ประกอบธาตุระหว่างน้ำมันจากพืชอื่น และน้ำมันดีเซลจะมีผลอย่างมากต่อการจุดระเบิดการเผาไหม้ เช่น การเผาไหม้ที่สมบูรณ์ ปริมาณการปล่อยก๊าซไอเสีย เป็นต้น [24]

ค่าความร้อนของน้ำมันยางนากลับมีค่าเท่ากับ 45,847 kJ/Kg โดยตรวจสอบตามมาตรฐาน ASTM D240 สูงกว่าน้ำมันดีเซลที่มีค่าเท่ากับ 44,483 kJ/Kg แสดงให้เห็นว่าน้ำมันยางนา B40 มีคุณภาพเทียบเท่าน้ำมันดีเซล ซึ่งการศึกษาคุณสมบัติค่าความร้อนของ B40 พบว่ามีค่าที่สูงกว่าเชื้อเพลิงดังกล่าวเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันจากพืช [25] และไบโอดีเซลทั่วไป [26]

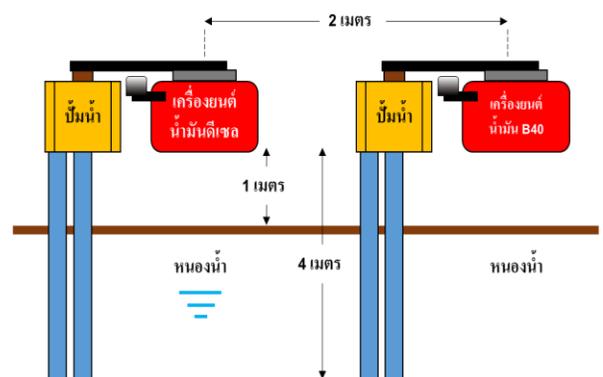
2.3 เครื่องยนต์ที่ใช้ทดสอบ

การทดสอบผลกระทบของน้ำมัน B40 ต่อเครื่องยนต์การเกษตรครั้งนี้ ใช้เครื่องยนต์ใหม่ ยี่ห้อคูโบต้า รุ่น RT-100 Plus เครื่องยนต์ขนาดเล็กรุ่น 4 จังหวะ สูบเดี่ยว ขนาด 10 แรงม้า เป็นเครื่องยนต์ดีเซลที่นิยมใช้ในภาคการเกษตร จำนวน 2 เครื่อง รายละเอียดทางเทคนิคของเครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดสอบ เป็นเครื่องยนต์ขนาด 11 ลิตร เส้นผ่านศูนย์กลางกระบอกสูบ 88 มิลลิเมตร การทดสอบจะใช้สูบน้ำเป็นระยะเวลา 300 ชั่วโมง ที่ความเร็วรอบ 1,400 รอบต่อนาที

การจัดวางเครื่องสำหรับการทดสอบเครื่องยนต์และปั๊มสูบน้ำติดตั้งห่างกัน 66 เซนติเมตรจากเส้นผ่านศูนย์กลางของเพลย์ของเครื่องยนต์และปั๊มสูบน้ำ

(รูปที่ 2) เพลย์เป็นร่องคู่ใช้สายพานร่อง B ขนาด 65 นิ้ว 2 เส้น ปั๊มสูบน้ำต่อท่อแข็งขนาด 3 นิ้ว ยาว 4 เมตรทั้งทางดูดและทางส่ง หัวกะโหลกใช้หัวกะโหลกทองเหลืองขนาด 3 นิ้วต่อกับปลายท่อทางดูดและจุ่มลงน้ำห่างจากผิวน้ำ ประมาณ 100 เซนติเมตร

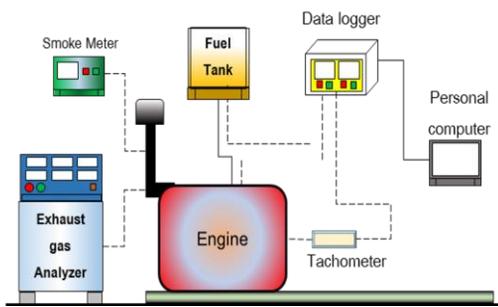
ระหว่างการทดสอบเครื่องยนต์มีการตรวจวัดและบันทึกข้อมูลก๊าซไอเสียที่ปล่อยจากเครื่องยนต์ เพื่อวิเคราะห์หาค่ามลพิษไอเสีย และปริมาณควันดำ ตำแหน่งการตรวจวัดแสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 2 การจัดวางเครื่องยนตในการทดสอบ

2.4 เครื่องมือวัดก๊าซไอเสีย

แผนผังการวัดการปล่อยก๊าซไอเสีย (รูปที่ 3) ใช้เครื่องมือวัดก๊าซไอเสีย ยี่ห้อ KANE รุ่น Auto 2-2 Emission Analyser ความสามารถในการวัด 5 ก๊าซ คือ CO วัดได้ในย่านระยะ 0 - 20% โดยปริมาตร, O₂ วัดได้ในย่าน 0 - 25% โดยปริมาตร, HC วัดได้ในย่าน 0 - 10,000 ppm, NO และ NO_x วัดได้ในย่าน 0 - 5000 ppm, CO₂ วัดได้ในย่าน 0 - 20% โดยปริมาตร และอุณหภูมิวัดได้ในย่าน 0 - 500 °C ซึ่งจะทำให้การตรวจวัดค่าต่าง ๆ เหล่านี้ทุก 5 ชั่วโมง และบันทึกผล



รูปที่ 3 แผนผังการตรวจสอบก๊าซไอเสีย และควันดำ

2.5 การตรวจวัดปริมาณควันดำ

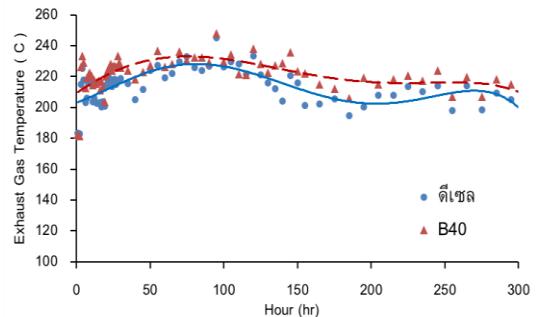
ทำการตรวจวัดควันดำ (รูปที่ 3) ด้วยเครื่องวัดควันดำตามมาตรฐานกรมขนส่ง ยี่ห้อ KOENG รุ่น DS-2000R วัดค่าการทึบแสงของกระดาดากรอง ช่วงระยะการวัด 0.0 - 100% โดยปริมาตร สเกลต่ำสุด 0.1% โดยจะทำการตรวจวัดทุก 50 ชั่วโมงจนครบ 300 ชั่วโมงและบันทึกผล

3. ผลการทดสอบ

3.1 การวัดก๊าซไอเสียของเครื่องยนต์

ทฤษฎีการเผาไหม้ภายในเครื่องยนต์ดีเซลในส่วนก๊าซไอเสีย อุณหภูมิไอเสียจากการเผาไหม้จะมีค่าประมาณ 25% ของการเผาไหม้ในห้องเผาไหม้เครื่องยนต์ [27] อุณหภูมิของก๊าซไอเสีย (รูปที่ 4) พบว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน B40 มีอุณหภูมิเฉลี่ย 221.63 °C สูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล ซึ่งมีค่าเฉลี่ย 229.63 °C ทั้งนี้อาจเกิดจากน้ำมัน B40 มีปริมาณโมเลกุล O สูงกว่าดีเซล และมีค่าความร้อนสูงกว่าน้ำมันดีเซล จึงส่งผลให้อุณหภูมิการเผาไหม้สูงกว่า สอดคล้องกับรายงานที่ว่าน้ำมันไบโอดีเซลซึ่งมีค่าความร้อนและปริมาณ O สูงกว่าน้ำมันดีเซล ส่งผลให้มีอุณหภูมิไอเสียสูงกว่าน้ำมันดีเซล [28] เมื่อพิจารณาจากผลการ

ทดสอบทั้งหมด เครื่องยนต์ ที่ใช้น้ำมัน B40 มีแนวโน้มเดียวกันกับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลมาตรฐาน

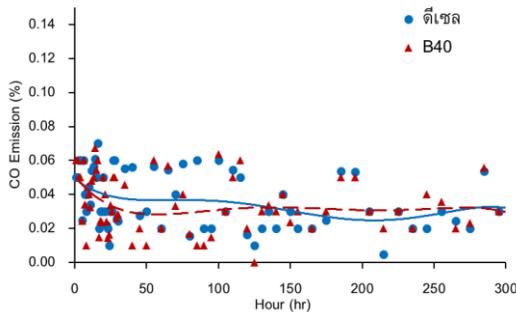


รูปที่ 4 อุณหภูมิก๊าซไอเสีย

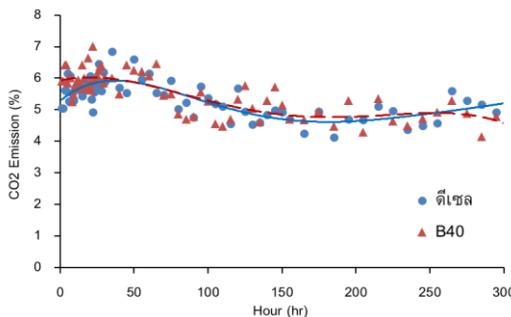
ปริมาณก๊าซ CO ตามมาตรฐาน ควรอยู่ในช่วงร้อยละ 1 ถึงร้อยละ 2 โดยปริมาตร [28] จากผลการศึกษาพบว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน B40 มีการปล่อยก๊าซ CO เฉลี่ยต่ำกว่าเครื่องยนต์ดีเซลเล็กน้อย ตั้งแต่เริ่มต้นการทดสอบจนครบ 300 ชั่วโมง โดยมีค่าเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วงร้อยละ 0.01 ถึง 0.07 โดยปริมาตร (รูปที่ 5) ซึ่งถือว่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ มีปริมาณก๊าซ O₂ ที่เกิดการสันดาปภายในเพียงพอต่อการเผาไหม้คาร์บอนในเชื้อเพลิงของ B40 และนอกจากนี้การมีปริมาณ O ในโมเลกุลน้ำมันสูงกว่าน้ำมันดีเซล และ สัดส่วน C/H ที่ต่ำของน้ำมัน B40 ก็เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้การเผาไหม้มีความสมบูรณ์กว่า และจากการศึกษาของ Nantha และ Wu [29,30] พบว่าปริมาณก๊าซ CO จากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์จะมีค่าต่ำลงเมื่อน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลมีสัดส่วนของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผสมมากขึ้น สอดคล้องกับ [31] การทดสอบเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันไบโอดีเซลพบว่าปริมาณการปล่อยก๊าซ CO เพิ่มมากขึ้น

ปริมาณก๊าซ CO₂ เกิดจากสภาวะที่มีสัดส่วนของ O₂ เพียงพอในการเผาไหม้คาร์บอนในเชื้อเพลิงและเปลี่ยนไปเป็น CO₂ ได้ทั้งหมด [28] จากข้อมูลที่แสดง

ในรูปที่ 6 แนวโน้มของข้อมูลเริ่มลดลงในช่วงโม่งที่ 50 แล้วคงที่ในช่วงโม่งที่ 100 สอดคล้องกับคุณสมบัติผสมภายในห้องเผาไหม้เครื่องยนต์ที่ประเมินจากคุณสมบัติก๊าซไอเสียที่พบว่าสูงขึ้น (ดังรูปที่ 4) ส่งผลให้การเผาไหม้ดีขึ้นและปริมาณ CO₂ จึงลดลง เมื่อพิจารณาจากผลการทดสอบทั้งหมด เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน B40 มีแนวโน้มเดียวกันกับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลมาตรฐาน ปริมาณ CO₂ ของเครื่องยนต์ B40 เฉลี่ยร้อยละ 5.50 สูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลค่าเฉลี่ยร้อยละ 5.36 โดยปริมาตร เพียงเล็กน้อย ซึ่งมีแนวโน้มว่าเครื่องยนต์มีการเผาไหม้เชื้อเพลิง B40 ได้สมบูรณ์กว่า ปริมาณก๊าซ O₂ ที่เข้าไปสันดาปมีเพียงพอกว่า จึงเกิดก๊าซ CO₂ ในปริมาณที่สูงกว่า และสอดคล้องกับผลการศึกษาก่อนหน้านี้ที่พบว่า การเผาไหม้ของ B40 ในเครื่องยนต์จะให้ก๊าซ CO ที่ต่ำกว่า



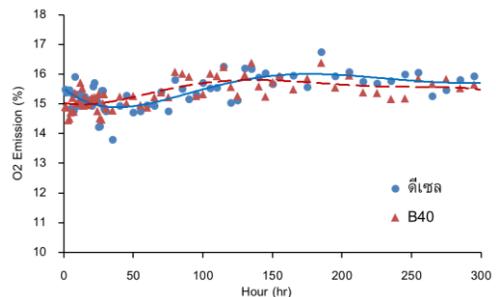
รูปที่ 5 ปริมาณก๊าซ CO



รูปที่ 6 ปริมาณก๊าซ CO₂

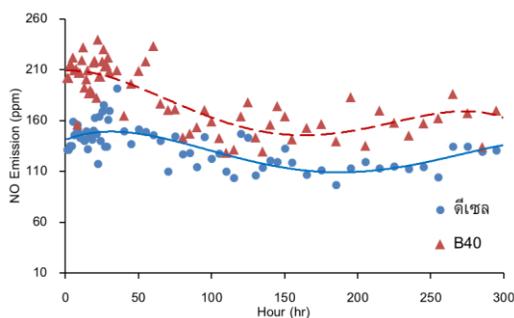
ปริมาณก๊าซ O₂ ในกระบวนการเผาไหม้นั้นมีหน้าที่เผาไหม้คาร์บอนในเชื้อเพลิงให้กลายเป็น CO₂ [28] จากผลการทดลองปริมาณก๊าซ O₂ จากไอเสีย (รูปที่ 7) เครื่องยนต์ B40 มีปริมาณก๊าซ O₂ เฉลี่ยร้อยละ 15.33 ใกล้เคียงกับปริมาณ O₂ ของเครื่องยนต์ดีเซล ซึ่งมีปริมาณเฉลี่ยร้อยละ 15.39 โดยปริมาตร แสดงว่าเครื่องยนต์ใช้ O₂ ในการสันดาปเท่ากัน แต่จะเกิดการเผาไหม้น้ำมัน B40 ได้ดีหรือสมบูรณ์กว่าน้ำมันดีเซล ทั้งนี้อาจเกี่ยวข้องกับโครงสร้างของโมเลกุลน้ำมันของ B40 ที่มีความเหมาะสมในการเผาไหม้ได้ดีกว่า

การปล่อยก๊าซ NO (รูปที่ 8) และปริมาณการปล่อยก๊าซ NO_x (รูปที่ 9) แนวโน้มของข้อมูลเริ่มลดลงในช่วงโม่งที่ 50 แล้วคงที่ในช่วงโม่งที่ 100 สอดคล้องกับคุณสมบัติผสมภายในห้องเผาไหม้เครื่องยนต์ที่ประเมินจากคุณสมบัติก๊าซไอเสียที่พบว่าสูงขึ้น (ดังรูปที่ 4) ส่งผลให้การเผาไหม้ดีขึ้นและปริมาณ CO₂ จึงลดลง เมื่อพิจารณาจากผลการทดสอบทั้งหมด เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน B40 มีแนวโน้มเดียวกันกับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลมาตรฐาน ปริมาณก๊าซ NO_x จากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน B40 เฉลี่ย เท่ากับ 189.87 ppm สูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลซึ่งมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 141.74 ppm ซึ่งเกี่ยวข้องกับการเผาไหม้ที่มีอุณหภูมิสูง สอดคล้องกับน้ำมันไบโอดีเซลมีปริมาณการปล่อยก๊าซ NO เพิ่มมากขึ้น [31]



รูปที่ 7 ปริมาณก๊าซ O₂

การศึกษาก่อนหน้านี้ของ [28] พบว่าเมื่อมีการผสมน้ำมันในสัดส่วนที่มีปริมาณไบโอดีเซลมากขึ้น จะพบว่าก๊าซ NO_x ยิ่งเกิดมากขึ้น เพราะความร้อนการเผาไหม้ของไบโอดีเซลมีค่าสูง [29] คล้ายคลึงกับน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชทอดซ้ำ พบว่าปริมาณการปล่อยก๊าซ NO_x มีการปล่อยที่สูงกว่าอย่างเห็นได้ชัด [4,32] และการศึกษาการปล่อยก๊าซไอเสียของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันไบโอดีเซล พบว่าน้ำมันไบโอดีเซลผสมน้ำมันดีเซลมีปริมาณการปล่อยก๊าซ NO_x สูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล อัตราส่วนผสมที่มีการปล่อยก๊าซไอเสียสูงสุดคือใส่น้ำมันไบโอดีเซล 25% [10]

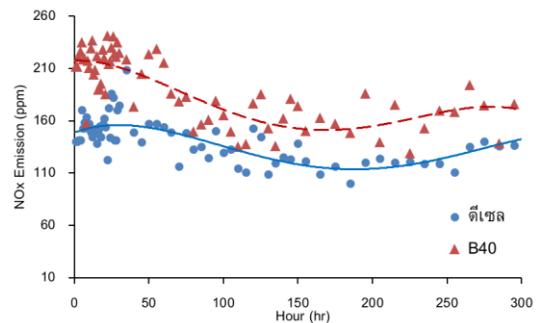


รูปที่ 8 ปริมาณก๊าซ NO

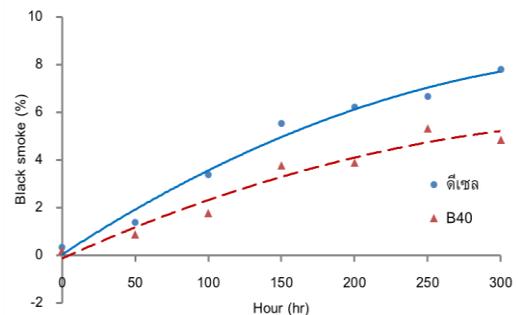
3.2 ปริมาณควันดำจากการทดสอบเครื่องยนต์

เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน B40 มีการปล่อยควันดำเฉลี่ยร้อยละ 3.41 ต่ำกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลซึ่งมีปริมาณควันดำเฉลี่ยร้อยละ 5.16 โดยปริมาตร (รูปที่ 10) บ่งชี้ว่าปฏิกิริยาการสันดาประหว่างสารไฮโดรคาร์บอนในน้ำมัน 40 กับออกซิเจนมีสัดส่วนเหมาะสม ทำให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์มากกว่าน้ำมันดีเซล [27] และส่วนหนึ่งอาจเนื่องมาจากโมเลกุล O ของน้ำมัน B40 มีมากกว่าน้ำมันดีเซล ซึ่งจะช่วยให้การเผาไหม้ดีขึ้น [29] คล้ายคลึงกับน้ำมัน B20 ที่มีการปล่อยควันดำต่ำกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลอย่าง

มีนัยสำคัญ[33] อีกหลายงานวิจัยที่รายงานว่าน้ำมันจากพืชปล่อยควันดำสูงกว่าน้ำมันดีเซล [12,13]



รูปที่ 9 ปริมาณก๊าซ NO_x



รูปที่ 10 ปริมาณควันดำจากการเผาไหม้

4. สรุป

การวิเคราะห์องค์ประกอบก๊าซไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซลทางการเกษตร 4 จังหวะ 1 สูบ จำนวน 2 เครื่อง ได้แก่ เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลและเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน B40 จากการใช้เครื่องยนต์จริง ในระยะเวลาต่อเนื่อง 300 ชั่วโมง ปริมาณก๊าซ CO จากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน B40 ต่ำกว่า เครื่องยนต์ดีเซล และ O_2 จากเครื่องยนต์ทั้งสอง พบว่ามีปริมาณเฉลี่ยตลอดระยะเวลาทดสอบที่เท่ากัน เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน B40 จะมีการปล่อยก๊าซ CO_2 มากกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล ปริมาณการปล่อยก๊าซ NO และ NO_x ของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน B40 นั้นจะมีค่าสูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล ควันดำของเครื่องยนต์ B40 สูงกว่าเครื่องยนต์ดีเซล เมื่อพิจารณา

จากผลการทดสอบทั้งหมด เครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมัน B40 มีแนวโน้มเดียวกันกับเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซลมาตรฐาน จากผลการทดสอบสามารถใช้น้ำมัน B40 เพื่อทดแทนน้ำมันดีเซลได้ระยะเวลา 300 ชั่วโมง และงานวิจัยในอนาคตควรมีการเพิ่มระยะเวลาในการทดสอบต่อไป

5. กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาในครั้งนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากฝ่ายวิจัยและการถ่ายทอดเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น ขอขอบคุณศูนย์การเรียนรู้ยานานุกรณาการ มหาวิทยาลัยขอนแก่น กองจัดการสาธารณูปโภค พลังงาน และสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยขอนแก่น

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Masum BM, et al. Effect of ethanol-gasoline blend on NOx emission in SI engine. *Renew Sustain Energy Rev* 2013; 24:209-22.
- [2] Hansen AC, et al. Ethanol - diesel fuel blends - a review 2010; 96:277-85.
- [3] Zheng M, et al. Biodiesel engine performance and emissions in low temperature combustion. *Fuel* 2008; 87:714-22.
- [4] Shahid EM, Jamal Y. A review of biodiesel as vehicular fuel. *Renew Sustain Energy Rev* 2008; 12:2484-94.
- [5] Huzayyin AS, et al. Experimental evaluation of Diesel engine performance and emission using blends of jojoba oil and Diesel fuel. *Energy Convers Manag* 2004; 45:2093-112.
- [6] Barnwal BK, Sharma MP. Prospects of biodiesel production from vegetable oils in India. *Renew Sustain Energy Rev* 2005; 9:363-78.
- [7] Basinger M, et al. Durability testing modified compression ignition engines fueled with straight plant oil. *Energy* 2010; 35:3204-20.
- [8] Agarwal AK. Karanja oil utilization in a direct-injection engine by preheating. *the Institution of Mechanical Engineers Part D Journal of Automobile Engineering* 2010; 224(1):85-97.
- [9] Schumacher LG, et al. Heavy-duty engine exhaust emission tests using methyl ester soybean oil/diesel fuel blends. *Bioresour Technol* 1996; 57:31-6.
- [10] Barrios CC, et al. Effects of animal fat-based biodiesel on a TDI diesel engine performance, combustion characteristics and particle number and size distribution emissions. *Fuel* 2014; 117:618-23.
- [11] Labeckas G, Slavinskas S. Comparative performance of direct injection diesel engine operating on ethanol, petrol and rapeseed oil blends.

- Energy Convers Manag 2009; 50:792-801.
- [12] Yilmaz N, Morton B. Effects of preheating vegetable oils on performance and emission characteristics of two diesel engines. Biomass and Bioenergy 2011; 35:2028-33.
- [13] Singh PJ, et al. Preparation, characterisation, engine performance and emission characteristics of coconut oil-based hybrid fuels. Renew Energy 2010; 35:2065 – 70.
- [14] Misra RD, Murthy MS. Straight vegetable oils usage in a compression ignition engine - A review. Renew Sustain Energy Rev 2010; 14:3005 - 13.
- [15] Yang k. *Dipterocarpus alatus*. [Internet] Agrofor Database 40; 2009. [cited 2019 Oct 10] Available from: http://old.worldagroforestry.org/treedb/AFTPDFS/Dipterocarpus_alatus.PDF.
- [16] Patanapong S. Natural diesel substitute tested in Nakhon Phanom. [Internet] Bangkokpost; 2019 [cited 2019 Aug 21]. Available from: <https://www.bangkokpost.com/thailand/general/1475729/natural-diesel-substitute-tested-in-nakhon-phanom>.
- [17] Suiyay C, et al. Production of gasoline-like-fuel and diesel-like-fuel from hard-resin of Yang (*Dipterocarpus alatus*) using a fast pyrolysis process. Energy 2019; 187:115967.
- [18] Katekaew S, et al. Study Wear of the Agricultural Engine by Using Yang-Na Oil. 2018 IEEE 5th Int Conf Eng Technol Appl Sci ICETAS 2018; 2019:1-5.
- [19] Sahassawas P, et al. Eval. Engine Wear Using Yang-Na Oil as Fuel by Anal. Lubr. The National and international Graduate Research Conference; 10 Mar 2017; Fuel Filters; Khon Kaen University. Khon Kaen. Thailand; 2017.
- [20] Names L, Description B. *Dipterocarpus alatus* *Dipterocarpus alatus* Roxb. ex G. Don; 2009.
- [21] NEN – the Netherlands Standardization Institute Ortwin Costenoble. Worldwide Fuels Standards Overview of specifications and regulations on (bio) fuels; 2006.
- [22] Agarwal AK, Rajamanoharan K. Experimental investigations of performance and emissions of Karanja oil and its blends in a single cylinder agricultural diesel engine 2009; 86:106 - 12.
- [23] Schlick ML, et al. Soybean and Sunflower Oil Performance in a Diesel Engine. Trans ASAE 2013; 31:1345 - 9.

- [24] Ryan TW, et al. The effects of vegetable oil properties on injection and combustion in two different diesel engines. *J Am Oil Chem Soc* 1984; 61: 1610-9.
- [25] Murugesan A, et al. Bio-diesel as an alternative fuel for diesel engines-A review. *Renew Sustain Energy Rev* 2009; 13:653-62.
- [26] Ali I, Mohd JF. Relationships Derived from Physical Properties of Waste Cooking Oil / Diesel Blends and Biodiesel Fuels. *J Adv Res Fluid Mech Therm Sci J Homepage* 2019; 54:191-203.
- [27] Kaufman KR, Ziejewski M. *Direct Injected Diesel Engines* 1984.
- [28] Lheywood JB. *Internal combustion engine gasket*. vol. 2010. United States of America; 2010.
- [29] Nantha GK, Thundil KR. Effect of pongamia biodiesel on emission and combustion characteristics of di compression ignition engine. *Ain Shams Engineering Journal* 2014; 10: 01.
- [30] Wu F, et al. A study on emission performance of a diesel engine fueled with five typical methyl ester biodiesels. *Atmos Environ* 2009; 43:1481-5.
- [31] Canakci M. Combustion characteristics of a turbocharged DI compression ignition engine fueled with petroleum diesel fuels and biodiesel. *Bioresour Technol* 2007; 98:1167-75.
- [32] Mazumdar B, Agarwal AK. Performance, emission and combustion characteristics of biodiesel (waste cooking oil methyl ester) fueled IDI diesel engine. *SAE Technical Paper* 2008; 1384:776-90.
- [33] Proc K, et al. 100,000-mile evaluation of transit buses operated on biodiesel blends (B20). *SAE Tech Pap* 2006:776-90.