

ผลกระทบของอัตราส่วนผสมน้ำมันไพโรไลซิสและน้ำมันดีเซล ต่อสมรรถนะและก๊าซไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็ก

วราคม วงศ์ชัย *

บทคัดย่อ

ความต้องการเพิ่มขึ้นในการใช้พลังงานของภาคขนส่ง ปริมาณสำรองของน้ำมันที่ลดลง และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ทำให้ต้องมีการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับพลังงานทางเลือกสำหรับเครื่องยนต์สันดาปภายใน การนำขยะพลาสติกมาใช้ให้เกิดประโยชน์เพื่อใช้เป็นพลังงานทางเลือกก็มีความน่าสนใจ งานวิจัยนี้ทำการศึกษาสมรรถนะและการปล่อยก๊าซไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็ก โดยใช้เชื้อเพลิงน้ำมันไพโรไลซิสจากกระบวนการไพโรไลซิสขยะพลาสติกประเภทโพลีเอทิลีน ที่อุณหภูมิเฉลี่ย 600-700°C ผสมกับน้ำมันดีเซล อัตราส่วนผสมน้ำมันไพโรไลซิสที่ทำการศึกษา คือ 0, 5, 10, 15 และ 20% โดยปริมาตร ทำการทดสอบกับเครื่องยนต์ดีเซลขนาด 7.5 แรงม้า ที่สภาวะโหลด 75% โดยเพิ่มความเร็วครั้งละ 200 รอบต่อนาที ตั้งแต่ความเร็ว 1,200-2,000 รอบต่อนาที เพื่อศึกษาค่าแรงบิด กำลัง อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ ประสิทธิภาพเชิงความร้อน และการปล่อยก๊าซไอเสีย ผลการศึกษาพบว่าน้ำมันไพโรไลซิสมีสมบัติทางกายภาพใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล แต่มีค่าจุดวาบไฟค่อนข้างต่ำ น้ำมันผสมสามารถทำให้เครื่องยนต์ทำงานได้ปกติ ในการทดสอบนี้ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเส้นมาตรฐาน การเพิ่มปริมาณน้ำมันไพโรไลซิสในเชื้อเพลิงผสม ส่งผลทำให้เครื่องยนต์มีแรงบิด กำลัง และประสิทธิภาพเชิงความร้อนลดลง แต่อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะมีค่าเพิ่มขึ้น ก๊าซไอเสียมีการปล่อย CO₂ ออกมาในปริมาณที่ใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล แต่ปริมาณ CO มีค่าลดลง ในขณะที่ปริมาณ NO_x มีค่าเพิ่มขึ้น ในส่วนของ SO₂ ไม่มีการปล่อยออกมา

คำสำคัญ : น้ำมันไพโรไลซิส, สมรรถนะเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็ก, การปล่อยก๊าซไอเสีย

Effects of Pyrolysis Oil-Diesel Blends on the Performances and Emissions of a Small Diesel Engine

Warakhom Wongchai*

Abstract

Increasing of energy demand in transportation, reduction of oil reserve and environmental impact have led to find alternative energy for internal combustion engines. In this context, waste plastic solid is currently receiving renewed interest for alternative energy. The aim of this study is to investigate the small diesel engine performances and emissions by using pyrolysis oil from PE plastics were pyrolysed at average temperature 600-700°C with diesel blends. Five difference pyrolysis oil-diesel blends containing 0, 5, 10, 15 and 20% pyrolysis oil were prepared in volume basis and tested in 7.5 HP small diesel engine at 75% load conditions at the speeds between 1,200-2,000 rpm with intervals of 200 rpm. The present investigation was to study torque, power, specific fuel consumption, thermal efficiency and exhaust emission. The experimental results have showed physical properties of pyrolysis oil similar to that of diesel but just a lower flash point was found. In additionally, all of oil blends can operated small diesel engine. In this experimental using diesel as baseline. Increase of pyrolysis oil blend ratio will decrease in torque, power and thermal efficiency but increase in specific fuel consumption. The CO₂ emission is not difference to baseline but CO emission decrease while NO_x emission increase with increase of pyrolysis oil blend ratio, SO₂ have no emissions in all of fuel blends.

Keywords : Pyrolysis oil, Small diesel engine performance, Exhaust gas emission

1. บทนำ

ในปัจจุบันประเทศไทยมีประชากรเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว มีการพัฒนาในด้านเศรษฐกิจ อุตสาหกรรมและการขยายตัวของชุมชนทำให้มีการบริโภคเพิ่มขึ้น มีการใช้ทรัพยากรธรรมชาติอย่างฟุ่มเฟือย อันนำมาสู่ปัญหาเรื่องการจัดเก็บและการจัดการขยะ ปัญหาขยะที่นับวันจะยิ่งมากขึ้นเรื่อยๆ และยากที่จะหาวิธีมาจัดการให้หมด ประกอบกับมีพื้นที่ไม่เพียงพอในการจัดเก็บขยะ ในปี พ.ศ. 2555 ประเทศไทยมีปริมาณขยะมูลฝอยประมาณ 43,433 ตันต่อวัน พบมากที่สุดในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 10,800 ตันต่อวัน รองลงมาคือภาคกลาง มีปริมาณ 10,579 ตันต่อวัน กรุงเทพมหานคร มีปริมาณ 9,750 ตันต่อวัน ภาคเหนือ มีปริมาณ 6,901 ตันต่อวัน และภาคใต้ มีปริมาณ 5,403 ตันต่อวัน การจัดการขยะมูลฝอยในประเทศไทยส่วนใหญ่พบว่า ขยะร้อยละ 90 ในเขตพื้นที่กรุงเทพมหานคร จะถูกนำไปฝังกลบ และอีกร้อยละ 10 จะนำไปทำปุ๋ยหมัก ส่วนในเขตพื้นที่เทศบาล ขยะส่วนใหญ่ร้อยละ 64 จะถูกทิ้งในที่โล่ง ร้อยละ 35 จะถูกนำไปฝังกลบ และอีกร้อยละ 1 จะถูกนำไปเผาที่โรงเผาขยะ ส่วนขยะในพื้นที่นอกเขตเทศบาล ส่วนใหญ่จะถูกทิ้งบนพื้นที่โล่งทั้งหมด [1]

ในปี พ.ศ. 2556 ประเทศไทยมีการใช้พลังงาน 75,214 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ (ktoe) เพิ่มขึ้นจากช่วงเดียวกันของปีก่อนร้อยละ 2.6 คิดเป็นมูลค่าการใช้พลังงานกว่า 1,793 พันล้านบาท โดยน้ำมันสำเร็จรูปยังคงมีการใช้ในสัดส่วนที่สูงกว่าพลังงานชนิดอื่น มีการใช้ร้อยละ 47.8 ของการใช้พลังงานทั้งหมด [2] การใช้พลังงานมีแนวโน้มสูงขึ้นเรื่อยๆ ตามการขยายตัวของเศรษฐกิจและราคาน้ำมันในตลาดโลก ทำให้ต้องสูญเสียเงินตราออกนอกประเทศจำนวนมาก และการใช้

พลังงานมหาศาลนี้เอง ได้ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างมากตามมา ซึ่งภาคพลังงานมีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด [3] วิธีการที่จะช่วยในการแก้ปัญหาด้านขยะและการนำเข้าพลังงานงานที่เพิ่มขึ้นอีกทางหนึ่งที่น่าสนใจคือ การแปลงขยะมาเป็นพลังงาน โดยการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงจากขยะพลาสติก ด้วยกระบวนการไพโรไลซิส (Pyrolysis) เป็นกระบวนการแตกตัวหรือสลายตัวของสารประกอบต่างๆ ที่อุณหภูมิประมาณ 400-800°C ในบรรยากาศปราศจากออกซิเจนหรือมีออกซิเจนในปริมาณน้อยมาก ส่งผลให้เกิดผลิตภัณฑ์ 3 ชนิดคือ ก๊าซ ของเหลว และของแข็ง โดยทั่วไปแล้วของเหลวที่ได้จะมีคุณสมบัติคล้ายน้ำมัน สอดคล้องกับงานวิจัยของ N. Miskolczi และคณะ ทำการศึกษาการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงจากขยะพลาสติก ด้วยกระบวนการไพโรไลซิส ที่อุณหภูมิ 520°C พบว่าของเหลวที่ได้จะอยู่ในกลุ่มของน้ำมันเบาและน้ำมันหนัก ซึ่งมีคุณสมบัติคล้ายน้ำมันเชื้อเพลิงปิโตรเลียม [4] อังนงค์ ชำรงมาศ และคณะ ทำการผลิตน้ำมันสังเคราะห์จากขยะพลาสติกที่อุณหภูมิ 500°C พบว่ามีสัดส่วนการเกิดเป็นน้ำมันร้อยละ 84 โดยน้ำหนัก แบ่งออกเป็นอัตราส่วนของน้ำมันเบนซิน : น้ำมันดีเซล เท่ากับ 1 : 8 และมีค่าความร้อนใกล้เคียงกับน้ำมันเบนซินและดีเซลตามท้องตลาด แต่สำหรับน้ำมันดีเซลมีความถ่วงจำเพาะและจุดวาบไฟต่ำ [5] รายงานการวิจัยของ M. Mani และคณะยังพบว่า เมื่อน้ำมันขยะพลาสติก (WPO) ทดสอบในเครื่องยนต์ดีเซล มีค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนใกล้เคียงกับน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลที่ขายในท้องตลาด และก๊าซไอเสียที่ปล่อยออกมาพบว่า น้ำมันขยะพลาสติก ปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ออกมาน้อยกว่าน้ำมันดีเซล แต่จะมีการปล่อยก๊าซ

คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) ออกมามากกว่าน้ำมันดีเซล [6]

บทความวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ ศึกษาผลกระทบของอัตราส่วนผสมน้ำมันไฟโรไลซิสและน้ำมันดีเซล ต่อ แรงบิด (Torque) กำลัง (Power) อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ (Specific Fuel Consumption) ประสิทธิภาพเชิงความร้อน (Thermal Efficiency) และการปล่อยก๊าซไอเสีย (Emission) ในเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็ก

2. วิธีการดำเนินงาน

ในการทดลองนี้ ใช้ น้ำมันที่ได้จากกระบวนการไฟโรไลซิสพลาสติกประเภทโพลีเอทิลีน ที่อุณหภูมิเฉลี่ย 600-700°C เป็นระยะเวลา 5 ชั่วโมง ผสมกับน้ำมันดีเซล โดยการกวนผสมทางกายภาพ เพื่อศึกษาผลของน้ำมันผสม ต่อสมรรถนะและการปล่อยก๊าซไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็ก

2.1 การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของน้ำมันผสมไฟโรไลซิส-ดีเซล

คุณสมบัติทางกายภาพของน้ำมันมีประโยชน์ในการใช้จำแนกถึงลักษณะเฉพาะของชนิดน้ำมัน เป็นการกำหนดค่าคุณภาพน้ำมันและผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม การทดสอบมีอยู่สองชนิดคือ การทดสอบคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพ [7] โดยการศึกษาสมบัติของน้ำมันผสมไฟโรไลซิส-ดีเซล ใช้หลักการทดสอบตามมาตรฐานของ American Society for Testing and Materials (ASTM) ซึ่งค่าสมบัติที่ทำการศึกษาคูณภาพน้ำมันได้แก่

2.1.1 ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity)

คืออัตราส่วนระหว่างความหนาแน่นของสารหนึ่งๆ ต่อความหนาแน่นของน้ำ เมื่อทั้งสองอย่างมีอุณหภูมิเท่ากัน ความถ่วงจำเพาะจึงเป็นปริมาณที่ไร้มิติ โดยทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 1298

2.1.2 ความหนืด (Viscosity)

คือค่าที่บอกถึงสมบัติด้านการต้านการไหลของน้ำมัน ยังมีค่ามากก็ยิ่งหมายถึงน้ำมันนั้นเหนียวข้นมากหรือหนืดมาก ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 445

2.1.3 จุดวาบไฟ (Flash Point)

คืออุณหภูมิต่ำสุดของน้ำมันที่ทำให้เกิดไอน้ำมันเป็นปริมาณมากพอและเมื่อสัมผัสเปลวไฟก็จะทำให้ลุกไหม้ทันที ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 93

2.1.4 ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (Gross Heat of Combustion)

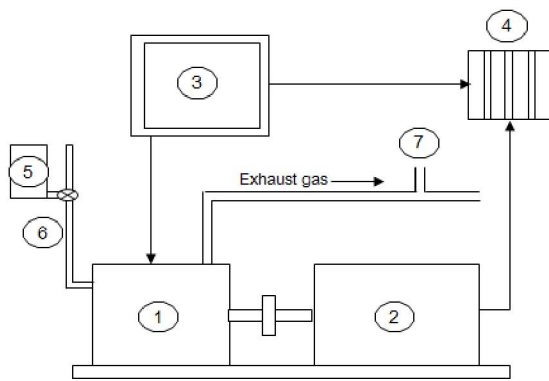
คือปริมาณความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงนั้นๆ ในหนึ่งหน่วยมวลหรือหนึ่งหน่วยปริมาตร เมื่อเผาไหม้หมดอย่างสมบูรณ์ ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 240

ตารางที่ 1 มาตรฐานของน้ำมันดีเซลในประเทศไทย [8]

รายการ	อัตรา สูงต่ำ	น้ำมันดีเซล		วิธี ทดสอบ
		หมุนเร็ว	หมุนช้า	
Specific Gravity	ไม่ต่ำกว่า	0.810	-	ASTM D
	ไม่สูงกว่า	0.870	0.920	1298
Viscosity @40°C (cSt)	ไม่ต่ำกว่า	1.8	-	ASTM D
	ไม่สูงกว่า	4.1	8.0	445
Flash Point (°C)	ไม่ต่ำกว่า	52	52	ASTM D
				93

2.2 การศึกษาสมรรถนะและก๊าซไอเสียของเครื่องยนต์

ในการทดลองนี้ ค่าสมรรถนะที่ทำการศึกษาค้นคว้าได้แก่ กำลังของเครื่องยนต์ แรงบิด อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะ และประสิทธิภาพเชิงความร้อน ส่วนก๊าซไอเสียที่ทำการศึกษาค้นคว้าได้แก่ CO₂, CO, NO_x และ SO₂



- 1. Diesel engine
- 2. Generator
- 3. Controller box
- 4. Heater
- 5. Fuel tank
- 6. Burette
- 7. Gas analyzer

รูปที่ 1 ชุดทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ดีเซล

ตารางที่ 2 ข้อมูลจำเพาะของเครื่องยนต์

Engine parameter	Specification
Make of model	YANMAR TF75LM
Engine type	Four-stroke, IDI, single cylinder, water-cooled
Bore	80 mm
Stroke	87 mm
Compression ratio	21.0 : 1
Rated power @2,200 rpm	7.5 HP
Nozzle opening pressure	117.7 bar

ชุดทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ ที่ใช้ในการทดลอง แสดงดังรูปที่ 1 และข้อมูลจำเพาะของเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ทดสอบ แสดงดังตารางที่ 2 การทดลองนี้ใช้เครื่องยนต์ดีเซลต่อเข้ากับเครื่องปั่นไฟเพื่อสร้างภาระโหลด และเครื่องปั่นไฟจะจ่ายไฟให้กับขดลวดความร้อน ในการทดลองนี้กำหนดให้ภาระโหลดมีค่าคงที่เป็น 75% ซึ่งถูกควบคุมโดยตู้ควบคุม ปริมาณน้ำมันที่ใช้ ทำการวัดค่าโดยใช้บิวเรตต่อเข้ากับถังน้ำมันเชื้อเพลิง และบันทึกเวลาด้วยนาฬิกาจับเวลา วัดปริมาณก๊าซไอเสียด้วยเครื่องวิเคราะห์ก๊าซไอเสียจากการเผาไหม้ (Exhaust gas analyzer) ยี่ห้อ Testo รุ่น 340

ตารางที่ 3 สัญลักษณ์และอัตราส่วนของน้ำมันผสม

สัญลักษณ์	อัตราส่วนผสม (% vol.)	
	น้ำมันไฟโรไลซิส	ดีเซล
P0	0	100
P5	5	95
P10	10	90
P15	15	85
P20	20	80

การทดลองนี้ใช้น้ำมันผสมไฟโรไลซิส-ดีเซล ในอัตราส่วน 0 : 100, 5 : 95, 10 : 90, 15 : 85 และ 20 : 80 โดยปริมาตร ผสมให้เข้ากันโดยการกวน สัญลักษณ์และอัตราส่วนของน้ำมันผสม แสดงดังตารางที่ 3 ในส่วนของความเร็วเครื่องยนต์ที่ทำการศึกษาค้นคว้าคือ 1,200, 1,400, 1,600, 1,800 และ 2,000 rpm ในการทดลองทั้งหมดนี้เริ่มต้นสตาร์ทเครื่องยนต์ด้วยน้ำมันดีเซลเป็นเวลาประมาณ 5 นาที เพื่ออุ่นเครื่องยนต์ จากนั้นจึงเริ่มทดสอบน้ำมันผสม โดยเริ่มต้นจากน้ำมันผสม P0

ที่ความเร็ว 1,200 rpm และเพิ่มขึ้นทีละ 200 rpm ไปจนถึง 2,000 rpm ในระหว่างการทดสอบทำการบันทึกปริมาณน้ำมันที่ใช้ โดยใช้บิวเรตและนาฬิกาจับเวลา พร้อมทั้งตรวจวัดก๊าซไอเสียที่ปล่อยออกมาตรงบริเวณส่วนปลายของท่อไอเสียพร้อมบันทึกค่า จากนั้นเปลี่ยนเป็นน้ำมันผสม P5 ไปจนถึง P20 แล้ววนกลับมาเริ่มต้นใหม่ทดลอง 3 ซ้ำเพื่อหาค่าเฉลี่ย แล้วนำมาคำนวณหาค่าแรงบิด โดยใช้สมการที่ (1)

$$T = F \times R \tag{1}$$

เมื่อ F คือ แรงที่กระทำโดย Generator (N)
 R คือ ระยะจากจุดศูนย์กลาง Generator ถึงจุดวัดแรงกระทำ (m)

หาค่ากำลังของเครื่องยนต์ โดยใช้สมการที่ (2)

$$P = \frac{2\pi nT}{(60)(1000)} \tag{2}$$

เมื่อ P คือ กำลังเพลานอกของเครื่องยนต์ (kW)
 n คือ ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ (rpm)
 T คือ แรงบิด (N.m)

หาค่าอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะ โดยใช้สมการที่ (3)

$$SFC = \frac{\dot{m}_f}{P} \tag{3}$$

เมื่อ \dot{m}_f คือ ปริมาณการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง (kg/h)

และคำนวณหาค่า ประสิทธิภาพเชิงความร้อน โดยใช้สมการที่ (4)

$$\eta_{th} = \frac{3600}{SFC \times HHV} \times 100 \tag{4}$$

เมื่อ HHV คือ ค่าความร้อนสูง (Higher Heating Value) ของเชื้อเพลิง (kJ/kg)

3. ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล

ผลการศึกษาสมรรถนะและก๊าซไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กประกอบด้วย สมบัติทางกายภาพของน้ำมันผสมไพโรไลซิส-ดีเซล แรงบิดของเครื่องยนต์ กำลังของเครื่องยนต์ อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะ ประสิทธิภาพเชิงความร้อน และก๊าซไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ ประกอบด้วยก๊าซ CO₂, CO, NO_x และ SO₂ โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.1 สมบัติทางกายภาพของน้ำมันผสมไพโรไลซิส-ดีเซล

ตารางที่ 4 แสดงสมบัติทางกายภาพของน้ำมันผสมไพโรไลซิส-ดีเซล จำนวน 4 รายการด้วยกัน พบว่าสมบัติค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำมันผสม อยู่ในช่วง 0.818-0.823 ซึ่งมีค่าอยู่ในมาตรฐานของน้ำมันดีเซลในประเทศไทยสำหรับเครื่องยนต์รอบต่ำ ต้องไม่สูงกว่า 0.920 สมบัติค่าความหนืดของน้ำมันผสมอยู่ในช่วง 5.4-5.6 cSt ซึ่งมีค่าอยู่ในมาตรฐานของน้ำมันดีเซลในประเทศไทยสำหรับเครื่องยนต์รอบต่ำต้องไม่สูงกว่า 8.0 cSt และสมบัติค่าจุดวาบไฟของน้ำมันผสมอยู่ในช่วง 59-69°C ซึ่งมีค่าอยู่ในมาตรฐานของน้ำมันดีเซลใน

ประเทศไทยต้องไม่ต่ำกว่า 52 °C แต่สำหรับน้ำมัน
 ไฟโรไลซิสนั้นมีค่าจุดวาบไฟต่ำกว่า 27°C [9] และใน
 ส่วนของค่าความร้อนนั้นพบว่าน้ำมันผสมมีค่าสูงกว่า

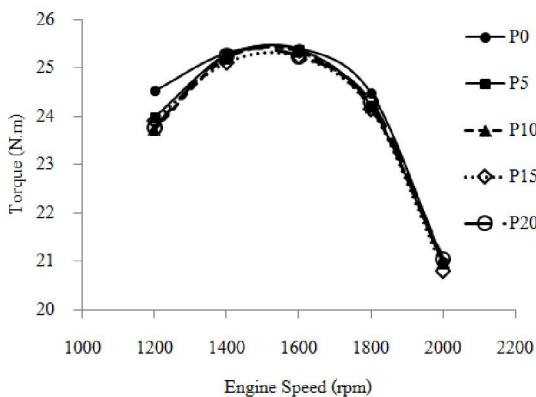
น้ำมันดีเซลเล็กน้อย โดยมีค่าอยู่ในช่วง 45.41 - 45.58
 MJ/kg และน้ำมันดีเซลมีค่าเท่ากับ 45.36 MJ/kg

ตารางที่ 4 สมบัติทางกายภาพของน้ำมันผสมไฟโรไลซิส-ดีเซล

รายการ	วิธีทดสอบ	P0	P5	P10	P15	P20	P100
Specific Gravity @15.6°C	ASTM D 1298	0.845	0.823	0.821	0.820	0.818	0.789
Viscosity @40°C (cSt)	ASTM D 445	3.10	5.44	5.51	5.56	5.61	5.92
Flash Point (°C)	ASTM D 93	72	69	65	62	59	<27
Gross Heat of Combustion (MJ/kg)	ASTM D 240	45.36	45.41	45.45	45.51	45.58	45.88

3.2 ผลการศึกษาแรงบิดและกำลังของเครื่องยนต์

ผลการทดสอบแรงบิดและกำลังของเครื่องยนต์
 ดีเซลที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงผสมไฟโรไลซิส-ดีเซล แสดง
 ดังรูปที่ 2 และ 3



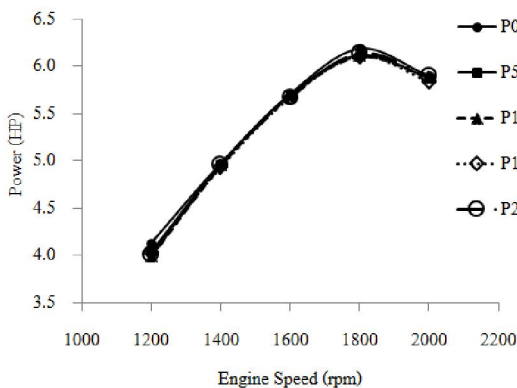
รูปที่ 2 แรงบิดของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันผสมอัตราส่วน
 ต่างๆ

จากรูปที่ 2 และ 3 พบว่าการเปลี่ยนแปลงแรงบิด
 และกำลังของเครื่องยนต์ตามความเร็วรอบต่างๆ
 มีลักษณะเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางเดียวกัน โดยแรงบิด
 และกำลังจะมีค่าค่อยๆ เพิ่มสูงขึ้นแล้วลดลงตาม
 ความเร็วรอบ ในส่วนของแรงบิดพบว่ามีค่าสูงสุดที่
 ความเร็วรอบ 1,600 rpm และกำลังของเครื่องยนต์มี
 ค่าสูงสุดที่ความเร็ว 1,800 rpm เมื่อความเร็วรอบเพิ่ม
 สูงขึ้นอีก แรงบิดและกำลังจะมีค่าลดลง เนื่องจาก
 แรงบิดและกำลังจะเพิ่มขึ้นจนถึงค่าสูงสุด ณ ที่ความเร็ว
 รอบๆ หนึ่งและจะลดลงตามความเร็วรอบที่เพิ่มขึ้น
 เพราะยิ่งความเร็วรอบเพิ่มสูงขึ้นจะทำให้อากาศถูก
 ประจุเข้ากระบอกสูบได้น้อยลง เนื่องจากเวลาที่ลิ้น
 ไอดีเปิดสั้นลง [10-12] รวมทั้งถูกหักล้างด้วยแรงเสียด
 ทานที่เพิ่มขึ้นตามความเร็วรอบของเครื่องยนต์ เพราะ
 ช่วงเวลาในการสูญเสียความร้อนจะสั้นลง [13] แรงบิด
 และกำลังของน้ำมัน P0 มีค่าสูงสุดและค่อยๆ ลดลงเมื่อ
 มีน้ำมันไฟโรไลซิสผสมมากขึ้น ที่จุดแรงบิดสูงสุด

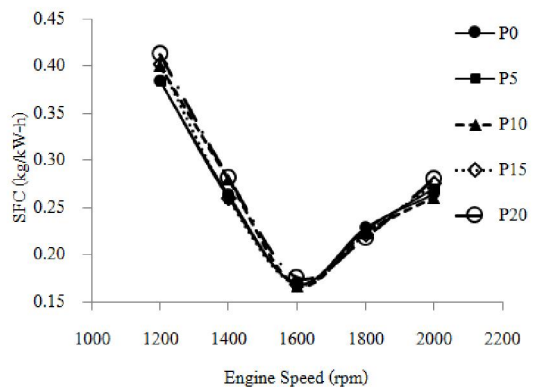
น้ำมัน P0 มีแรงบิดเท่ากับ 25.41 N.m น้ำมันผสม P5, P10, P15 และ P20 มีแรงบิดเท่ากับ 25.38, 25.34, 25.24 และ 25.25 N.m ตามลำดับ คิดเป็นแรงบิดลดลง 0.12, 0.28, 0.67 และ 0.63% ตามลำดับเมื่อเทียบกับ P0 และที่จุดกำลังสูงสุด น้ำมัน P0 มีกำลังเท่ากับ 6.19 HP น้ำมันผสม P5, P10, P15 และ P20 มีกำลังเท่ากับ 6.12, 6.11, 6.10 และ 6.11 HP ตามลำดับ คิดเป็นกำลังลดลง 1.13, 1.29, 1.45 และ 1.29% ตามลำดับเมื่อเทียบกับ P0 สาเหตุเนื่องจากน้ำมันดีเซลมีความต้งจำเพาะสูงกว่า กล่าวคือค่าความต้งจำเพาะที่เพิ่มขึ้นจึงทำให้สามารถฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงออกจากหัวฉีดโดยมวลต่อวัฏจักรมากขึ้น และอิทธิพลของความแตกต่างของค่าความร้อนไม่แสดงผลต่อแรงบิดและกำลังเนื่องจาก ค่าความร้อนของดีเซลน้อยกว่าน้ำมันไฟโรไลซิสเพียงเล็กน้อย แต่การฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงในหนึ่งครั้งดีเซลมีมวลมากกว่าซึ่งอาจจะชดเชยกันได้ ดังนั้นความแตกต่างของค่าความร้อนจึงไม่ได้แสดงผลต่อแรงบิดและกำลังออกมา

3.3 ผลการศึกษาอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะ

ผลการทดสอบอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะของเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ น้ำมันผสมไฟโรไลซิส-ดีเซล แสดงดังรูปที่ 4 พบว่าที่ความเร็วต่ำ 1,200 rpm น้ำมัน P0 มีอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะเท่ากับ 0.38 kg/kW-h น้ำมันผสม P5, P10, P15 และ P20 มีค่าเท่ากับ 0.38, 0.40, 0.40 และ 0.41 kg/kW-h ตามลำดับ เพิ่มขึ้นเป็น 0.00, 5.26, 5.26 และ 10.00% ตามลำดับเมื่อเทียบกับ P0 ที่ความเร็วสูง 2,000 rpm น้ำมัน P0 มีอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะเท่ากับ 0.26 kg/kW-h น้ำมันผสม P5, P10, P15 และ P20 มีค่าเท่ากับ 0.27, 0.26, 0.2 และ 0.28 kg/kW-h ตามลำดับ เพิ่มขึ้นเป็น 3.85, 0.00, 7.69 และ 7.69% ตามลำดับเมื่อเทียบกับ P0 อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณน้ำมันไฟโรไลซิสเพิ่มขึ้น เนื่องจากผลในหัวข้อ 3.2 พบว่าน้ำมันไฟโรไลซิสมีกำลังต่ำกว่าน้ำมันดีเซล ส่งผลให้อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะเพิ่มขึ้น



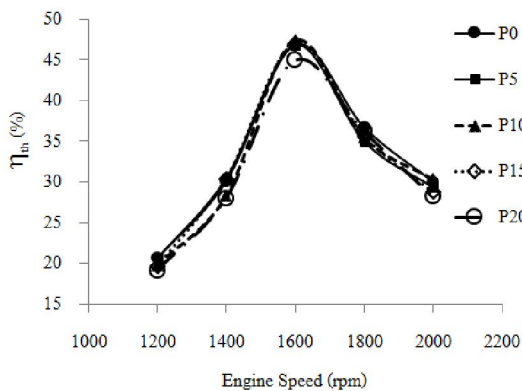
รูปที่ 3 กำลังของเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันผสมอัตราส่วนต่างๆ



รูปที่ 4 อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะของเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันผสมอัตราส่วนต่างๆ

3.4 ผลการศึกษาประสิทธิภาพเชิงความร้อน

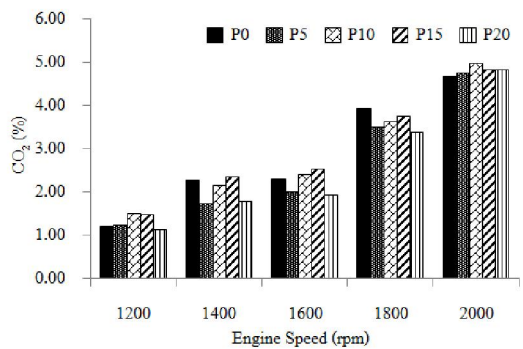
ผลการทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้น้ำมันผสมไพโรไลซิส-ดีเซล ในอัตราส่วนต่างๆ แสดงดังรูปที่ 5 พบว่าที่ความเร็วต่ำ 1,200 rpm น้ำมันผสม P0, P5, P10, P15 และ P20 มีค่าเท่ากับ 20.65, 20.63, 19.76, 19.63 และ 19.15% ตามลำดับ ที่ความเร็วสูง 2,000 rpm น้ำมันผสม P0, P5, P10, P15 และ P20 มีค่าเท่ากับ 30.00, 29.32, 29.36, 28.74 และ 28.21% ตามลำดับ ที่ความเร็ว 1,600 rpm มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดแบบก้าวกระโดด เนื่องจาก ณ ความเร็วนี้ อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะมีค่าต่ำสุด ดังรูปที่ 4 และแนวโน้มของประสิทธิภาพเชิงความร้อนมีค่าลดลงเมื่อปริมาณน้ำมันไพโรไลซิสเพิ่มขึ้น [14] เนื่องจากน้ำมันไพโรไลซิสมีอุณหภูมิไอเสียและอัตราการปล่อยความร้อน (Heat release rate) สูงกว่าน้ำมันดีเซล ซึ่งอาจจะส่งผลทำให้เกิดการสูญเสียความร้อน (Heat loss) ที่สูงกว่า ส่งผลทำให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนลดลง [9, 15]



รูปที่ 5 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันผสมอัตราส่วนต่างๆ

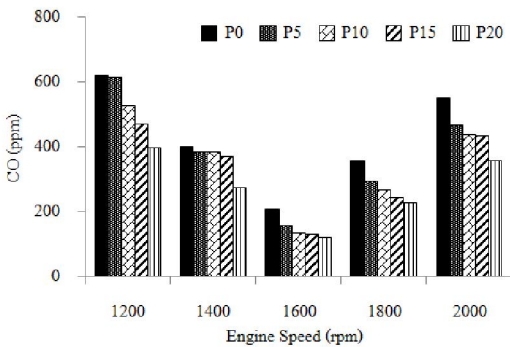
3.5 ผลการศึกษาก๊าซไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์

จากผลการทดสอบเครื่องยนต์พบว่า เมื่อความเร็วของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น ปริมาณการปล่อย CO₂ เพิ่มขึ้นด้วย ดังรูปที่ 6 สาเหตุเนื่องจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงและปริมาณอากาศที่เข้าสู่เครื่องยนต์มากขึ้นตามความเร็วที่เพิ่มขึ้น ส่งผลทำให้มีการปล่อย CO₂ เพิ่มขึ้นตามไปด้วย [16] ที่ความเร็วต่ำ 1,200 rpm น้ำมันผสม P0, P5, P10, P15 และ P20 มีการปล่อย CO₂ เท่ากับ 1.19, 1.22, 1.49, 1.47 และ 1.12% ตามลำดับ ที่ความเร็วสูง 2,000 rpm น้ำมันผสม P0, P5, P10, P15 และ P20 มีการปล่อย CO₂ เท่ากับ 4.67, 4.74, 4.97, 4.82 และ 4.81% ตามลำดับ ผลของการเพิ่มน้ำมันไพโรไลซิสสังเกตได้ว่าทุกอัตราส่วนของน้ำมันผสมมีการปล่อย CO₂ ออกมาในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งสอดคล้องกับรายงานการวิจัยของ M. Mani พบว่า ที่ภาระโหลด 75-80% น้ำมันขยะพลาสติก (WPO) และน้ำมันดีเซลมีการปล่อย CO₂ ใกล้เคียงกัน [14, 17]



รูปที่ 6 ปริมาณ CO₂ ที่ถูกปล่อยออกมาจากไอเสียของเครื่องยนต์

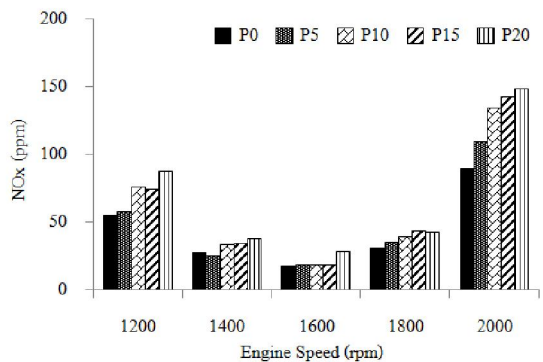
จากรูปที่ 7 ปริมาณ CO ที่ถูกปล่อยออกมาในไอเสียของเครื่องของเครื่องยนต์ พบว่าช่วงความเร็วต่ำ 1,200 rpm และช่วงความเร็วสูง 2,000 rpm มีปริมาณ CO ที่ถูกปล่อยออกมาสูงกว่าช่วงความเร็วรอบปานกลาง 1,400-1,800 rpm เนื่องจากช่วงความเร็วรอบต่ำและความเร็วรอบสูง มีอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะของเครื่องยนต์ที่สูง ประกอบกับที่ความเร็วรอบสูง อากาศที่ถูกประจุเข้ากระบอกสูบได้น้อยลง ทำให้ปริมาณอากาศไม่เพียงพอ ส่งผลทำให้ CO ที่ถูกปล่อยออกมามีปริมาณสูงขึ้นด้วย และเมื่อน้ำมันไพโรไลซิสในเชื้อเพลิงมีอัตราส่วนผสมสูงขึ้นปริมาณ CO ที่ถูกปล่อยออกมามีค่าลดลงเนื่องจากจำนวนโมเลกุลของคาร์บอนในน้ำมันไพโรไลซิส มีน้อยกว่าในน้ำมันดีเซล [18-19]



รูปที่ 7 ปริมาณ CO ที่ถูกปล่อยออกมาจากไอเสียของเครื่องยนต์

ปริมาณ NO_x ที่ถูกปล่อยออกมาในไอเสียของเครื่องของเครื่องยนต์ แสดงในรูปที่ 8 พบว่าปริมาณ NO_x ที่ถูกปล่อยออกมาจะมีค่าสูงในช่วงความเร็วสูง 2,000 rpm

เนื่องจากที่ความเร็วรอบสูงจะทำให้อุณหภูมิในห้องเผาไหม้สูงขึ้นตาม ส่งผลทำให้ N₂ ในอากาศที่ถูกป้อนเข้าไปเกิดการแตกตัวและเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกลายเป็น NO_x ได้ง่ายขึ้น ที่ความเร็วต่ำ 1,200 rpm น้ำมันผสม P0, P5, P10, P15 และ P20 มีการปล่อย NO_x เท่ากับ 55, 57, 76, 74 และ 87 ppm ตามลำดับ ที่ความเร็วสูง 2,000 rpm น้ำมันผสม P0, P5, P10, P15 และ P20 มีการปล่อย NO_x เท่ากับ 89, 109, 134, 142 และ 148 ppm ตามลำดับ ผลของการเพิ่มน้ำมันไพโรไลซิส พบว่ามีปริมาณการปล่อย NO_x สูงขึ้นเนื่องจากน้ำมันไพโรไลซิสมีอัตราการปล่อยความร้อน (Heat release rate) และอุณหภูมิการเผาไหม้ (Combustion temperature) ที่สูงกว่า [6, 14]



รูปที่ 8 ปริมาณ NO_x ที่ถูกปล่อยออกมาจากไอเสียของเครื่องยนต์

ในการทดลองครั้งนี้พบว่าน้ำมันเชื้อเพลิงผสมทุกอัตราส่วนไม่มีการปล่อย SO₂

4. สรุปผล

งานวิจัยนี้ ทำการศึกษาน้ำมันที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสพลาสติกประเภทโพลีเอทิลีน ที่อุณหภูมิเฉลี่ย 600-700°C ผสมกับน้ำมันดีเซล เพื่อศึกษาผลกระทบของอัตราส่วนผสมน้ำมันไพโรไลซิสและน้ำมันดีเซลต่อ แรงบิด กำลัง อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ ประสิทธิภาพเชิงความร้อน และการปล่อยก๊าซไอเสีย

น้ำมันไพโรไลซิสมีสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล แต่มีค่าจุควาไบไฟต่ำ แต่เมื่อนำมาผสมกับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วนไม่เกิน 20% แล้วพบว่าจุควาไบไฟอยู่ในมาตรฐานของน้ำมันดีเซลสำหรับประเทศไทย และสามารถทำให้เครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กทำงานได้ปกติ

แรงบิด กำลัง และประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์ลดลง เมื่อปริมาณน้ำมันไพโรไลซิสเพิ่มขึ้นที่อัตราส่วนผสม P20 ณ ที่จุดแรงบิดสูงสุด ความเร็ว 1,600 rpm แรงบิดลดลง 0.63% ที่จุดกำลังสูงสุด 1,800 rpm กำลังลดลง 1.29% และที่จุดความเร็วสูง 2,000 rpm ประสิทธิภาพเชิงความร้อนลดลง 1.79% เมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซล แต่ในส่วนของอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณน้ำมันไพโรไลซิสเพิ่มขึ้น ที่ความเร็วสูง 2,000 rpm พบว่ามีค่าเพิ่มขึ้น 7.69% เมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซล

เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำมันไพโรไลซิส พบว่ามีการปล่อย CO₂ ออกมาในปริมาณที่ใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล ปริมาณ CO ที่ปล่อยออกมามีค่าลดลง แต่ปริมาณ NO_x มีค่าเพิ่มขึ้น ที่อัตราส่วนผสม P20 ณ จุดความเร็วสูง 2,000 rpm มีการปล่อย CO₂, CO และ NO_x เท่ากับ 4.81%, 357 ppm และ 148 ppm ตามลำดับ ในส่วนของ SO₂ ไม่มีการปล่อยออกมาทุกอัตราส่วนผสม

จากข้อมูลดังกล่าวข้างต้นแสดงให้เห็นว่าการผสมน้ำมันไพโรไลซิสกับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วน 20 : 80 โดยปริมาตร สามารถทำให้เครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กทำงานได้ปกติและมีผลทำให้สมรรถนะเครื่องยนต์ไม่แตกต่างจากการใช้น้ำมันดีเซลมากนัก

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏรำปาง สำหรับการสนับสนุนทุนวิจัยในครั้งนี้ ตลอดจนการให้ความร่วมมือทางวิชาการ งานวิจัยสำเร็จลุล่วงด้วยดี

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Estimate quantitative solid of waste by region: 2012, Available: <http://www.pcd.go.th/download/waste.cfm>, Pollution Control Department, Ministry of Natural Resources and Environment. 2013. (in Thai)
- [2] Energy situation of Thailand 2013, Available: http://www.dede.go.th/dede/index.php?option=com_content&view=article&id=1841&Itemid=318&lang=th, Department of Alternative Energy Development and Efficiency, Ministry of Energy. 2014. (in Thai)
- [3] Climate Change and Energy Policy 2008-2012, Available: http://www.onep.go.th/index.php?Option=com_content&view=article&id=2804:--2551-2555&catid=125:-climate-change&Itemid=249, Office of Natural Resources and Environmental Policy and Planning, Ministry of Natural Resource and Environmental. 2007. (in Thai)

- [4] N. Miskolczi, A. Angyal, L. Bartha and I. Valkai, “Fuels by pyrolysis of waste plastics from agricultural and packaging sectors in a pilot scale reactor”, *Fuel Processing Technology* 90, 2009, pp. 1032-1040.
- [5] J. Thamrongmat and M. Saedann, “The Production of Synthetic Oil and Fuel Gas from Waste Plastic” Available: http://prv.nrct.go.th/shopping/home/show_product.php?research_id=232, National Research Council of Thailand Data Base, 2007. (in Thai)
- [6] M. Mani, C. Subash and G. Nagarajan, “Performance, emission and combustion characteristics of a DI diesel engine using waste plastic oil”, *Applied Thermal Engineering*, 2009, pp. 2738–2744.
- [7] P. Teannimit, K. Sinsubsomboon and P. Shininthon, “Fuel and Lubricant”, SE-Education Publisher, Bangkok, 2003. (in Thai)
- [8] Announcement of Department of Energy Business “Determine the nature and quality of the diesel” Available: http://www.dede.go.th/dede/fileadm_in/usr/bers/biodiesel_picture/quality_diesel_2_50.pdf, Department of Energy Business, Ministry of Energy 2, 2007. (in Thai)
- [9] Sachin Kumar, R. Prakash, S. Murugan and R.K. Singh, “Performance and emission analysis of blends of waste plastic oil obtained by catalytic pyrolysis of waste HDPE with diesel in a CI engine”, *Energy Conversion and Management*, 2013, pp. 323-331.
- [10] Willard W. Pulkrabek, “Internal Combustion Engine”, Translated by J. Tankasatethee, Pearson Education Indochina Publisher, Bangkok, 2003. (in Thai)
- [11] W. Kraiwichean, “Internal Combustion Engine”, Witthayaphat Publishers, Bangkok, 2009. (in Thai)
- [12] J. B. Heywood, “Internal Combustion Engine Fundamental”, McGraw-Hill Book Company, 1988.
- [13] S. Punyota and N. Krasaelom, “Performance Study of a Small Size Diesel Engine Operated with Used Palm Oil and Diesel Blends”, *Princess of Naradhiwas University Journal* 2, 2011, pp. 41-52. (in Thai)
- [14] M. Mani, G. Nagarajan and S. Sampath “Characterisation and effect of using waste plastic oil and diesel fuel blends in compression ignition engine”, *Energy*, 2011, pp. 212-219.
- [15] H. Raheman and A.G. Phadatare, “Diesel engine emissions and performance from blends of karanja methyl ester and diesel”, *Biomass and Bioenergy*, 2004, pp. 393-397.
- [16] T. Krobsanit, “A study of Diesel Engine Performance Using Liquefied Petroleum Gas Fuel”, Master Thesis, Faculty of Engineering, Srinakharinwirot University, Thailand. 2009.
- [17] M. Mani, G. Nagarajan and S. Sampath, “An experimental investigation on a DI diesel engine using waste plastic oil with exhaust gas recirculation”, *Fuel*, 2010, pp. 1826–1832.

- [18] R. Wiwatpreechanon, A. Janyalert-adun and C. Santaweesuk, “Study of the performance of a small gasoline engine with waste plastic oil” Proceedings of the 25th Conference of the Mechanical Engineering Network of Thailand, Krabi, Thailand, 2011, pp. AEC 51.
- [19] N. Ponsri and R. Suntivarakorn, “A Comparative Study of Engine Performance on Modified Diesel Engine with Gasoline, LPG and Biogas Fuel”, KKU Res J (GS) 11 (1), 2011, pp. 27-38. (in Thai)