



อิทธิพลของน้ำมันเบนซินที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงร่วมในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด

มานิดา ทองรุณ* และ ศักดิ์ดา ธงชาย

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล, คณะวิศวกรรมศาสตร์ศรีราชา, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา

* ผู้ประสานงานเผยแพร่ (Corresponding Author), E-mail: manida@eng.src.ku.ac.th

วันที่รับบทความ: 20 พฤษภาคม 2563; วันที่ทบทวนบทความ: 8 มิถุนายน 2563; วันที่ตอบรับบทความ: 10 มิถุนายน 2563

วันที่เผยแพร่ออนไลน์: 26 สิงหาคม 2563

บทคัดย่อ: ปัญหาทางด้านมลพิษที่ออกมาจากยานยนต์และความไม่สมดุลในด้านปริมาณการใช้เชื้อเพลิงดีเซลและเบนซิน ทำให้เกิดแนวคิดและงานวิจัยในการนำเชื้อเพลิงเบนซินมาประยุกต์ใช้ในเครื่องยนต์ดีเซล งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลกระทบของการใช้น้ำมันเบนซินเป็นเชื้อเพลิงร่วมที่สัดส่วนต่าง ๆ ต่อสมรรถนะ ประสิทธิภาพ ปริมาณสารมลพิษ ตลอดจนคุณลักษณะการเผาไหม้ในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด การทดสอบกระทำในเครื่องยนต์ดีเซลสูบเดี่ยว สี่จังหวะ โดยน้ำมันดีเซลจะถูกฉีดตรงเข้าไปในกระบอกสูบด้วยระบบฉีดเชื้อเพลิงความดันสูงแบบรางร่วมที่ควบคุมด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์ ในขณะที่น้ำมันเบนซินที่สัดส่วนร้อยละ 10, 20, 30, 40, 50 และ 60 ของค่าพลังงาน จะถูกฉีดเข้าไปในท่อไอดีด้วยหัวฉีดความดันต่ำที่ 3 บาร์เพื่อให้เกิดการระเหยและผสมกับอากาศเป็นเนื้อเดียวกันก่อนเข้าสู่ห้องเผาไหม้ ทั้งนี้ผลการทดสอบทั้งหมดจะถูกเปรียบเทียบกับค่าที่ได้ในกรณีที่เครื่องยนต์ทำงานด้วยน้ำมันดีเซลแบบปกติ ผลการทดสอบพบว่าการใช้ น้ำมันเบนซินเป็นเชื้อเพลิงร่วมส่งผลให้แรงบิด กำลัง ค่าความดันยังผลเฉลี่ยและประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์มีค่าเพิ่มสูงขึ้นมากกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลปกติ โดยร้อยละการเพิ่มขึ้นจะขึ้นอยู่กับสัดส่วนของน้ำมันเบนซินที่ใช้ อย่างไรก็ตามเมื่อมีการใช้น้ำมันเบนซินเพิ่มสูงขึ้น ค่าสมรรถนะและประสิทธิภาพจะมีแนวโน้มคงที่และลดลง และเครื่องยนต์เกิดการน็อกในที่สุด สำหรับปริมาณสารมลพิษ การใช้น้ำมันเบนซินเป็นเชื้อเพลิงร่วมที่สัดส่วนต่ำสามารถลดปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ ออกไซด์ของไนโตรเจน สารประกอบไฮโดรคาร์บอนและควันดำได้เป็นอย่างดี ในขณะที่คุณลักษณะการเผาไหม้ของการใช้น้ำมันเบนซินเป็นเชื้อเพลิงร่วมบ่งชี้ถึงการลดลงของช่วงล่าช้าในการจุดระเบิดและการเพิ่มขึ้นของอัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อนในช่วงการเผาไหม้สารผสมไว้ก่อนแล้วอย่างชัดเจน

คำสำคัญ: การใช้เชื้อเพลิงร่วม; น้ำมันเบนซิน; น้ำมันดีเซล; คุณลักษณะการเผาไหม้



Influence of Gasoline Dual Fuel on a Compression Ignition Engine

Manida Tongroon^{*} and Sakda Thongchai

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering at Sriracha, Kasetsart University
Sriracha Campus

^{*} Corresponding author, E-mail: manida@eng.src.ku.ac.th

Received: 20 May 2020; Revised 8 June 2020; Accepted: 10 June 2020

Online Published: 26 August 2020

Abstract: An air pollution problem from automobiles and an unbalanced problem of petroleum fuel consumption between gasoline and diesel have led the researches to apply gasoline in the compression ignition engine. This study investigated the effects of gasoline as the dual fuel on the performance, efficiency, exhaust gas emission and combustion characteristic of a compression ignition engine. A single-cylinder diesel engine had been used throughout the experiment. Diesel fuel was injected directly into the combustion chamber by means of the electronic high-pressure common rail injection system while gasoline (10, 20, 30, 40, 50 and 60 % by energy) was injected into the intake port by a port fuel injection at 3 bars. Gasoline was allowed to evaporate and mix with the air homogeneously before entering into the chamber. Conventional diesel combustion was also tested for the reference. The results found that when using gasoline dual-fuel torque, power, brake mean effective pressure and thermal efficiency increase with the percentage of gasoline. However, with the higher amount of gasoline ratio the performance and efficiency decrease. Finally, the knock has occurred. For exhaust emissions, a small amount of gasoline could reduce CO, THC, NO_x and soot simultaneously. Combustion characteristic indicated the short ignition delay and the higher heat release rate during the premixed combustion period when gasoline dual fuel was applied in the diesel engine.

Keywords: Dual fuel; Gasoline; Diesel; Combustion characteristic



1. บทนำ

ประเทศไทยมีจำนวนรถยนต์ที่ใช้เครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัดมากกว่าเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยหัวเทียนมากกว่า 2 เท่า [1] ส่งผลให้มีความต้องการการใช้เชื้อเพลิงดีเซลมากกว่าเบนซินอย่างต่อเนื่อง [2] และมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้น เนื่องจากเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัดหรือเครื่องยนต์ดีเซลให้ประสิทธิภาพทางความร้อนสูงกว่าเครื่องยนต์เบนซิน [3] ความต้องการใช้น้ำมันที่ไม่สมดุลนี้เป็นผลให้การผลิตน้ำมันสำเร็จรูปในประเทศจะต้องกลั่นน้ำมันดิบเป็นน้ำมันดีเซลให้มากเพียงพอ ในขณะที่น้ำมันเบนซินที่เหลือจากการใช้งาน จำเป็นต้องส่งออกไปขายยังต่างประเทศ

ในช่วงหลายปีที่ผ่านมาสำนักงานวิจัยที่มีการนำน้ำมันเบนซินไปใช้ในเครื่องยนต์ดีเซลเพิ่มมากขึ้นสืบเนื่องมาจากความเข้มงวดในการควบคุมการปลดปล่อยมลพิษจากยานยนต์ โดยการใช้้ำมันเบนซินในเครื่องยนต์ดีเซลจำเป็นต้องมีการตัดแปลงเครื่องยนต์หรือวิธีการใช้ ไม่สามารถนำไปใช้งานได้โดยตรง เนื่องจากน้ำมันเบนซินมีค่าซีเทนัมเบอร์ที่ต่ำส่งผลให้เกิดความล่าช้าในการจุดระเบิดที่มากกว่าน้ำมันดีเซลถึงสามเท่า [4] ทำให้เครื่องยนต์ไม่สามารถเกิดการจุดระเบิดและเผาไหม้ได้

รูปแบบในการใช้น้ำมันเบนซินด้วยการจุดระเบิดด้วยการอัดในเครื่องยนต์ดีเซลสามารถทำได้ด้วยเทคนิคการเผาไหม้แบบ Homogeneous Charge Compression Ignition (HCCI) [5, 6] Premixed Charge Compression Ignition (PCCI) [7-9] และ Gasoline Compression Ignition (GCI) [4, 10] ซึ่งเทคนิคเหล่านี้จะใช้น้ำมันเบนซินเป็นเชื้อเพลิงหลัก

เพียงอย่างเดียวในการเผาไหม้ และจะต้องทำให้อุณหภูมิของสารผสมระหว่างอากาศและน้ำมันเบนซิน (Charge Mixture) มีค่าสูงเพียงพอเมื่อสิ้นสุดกระบวนการอัดเพื่อลดความล่าช้าในการจุดระเบิด โดยการตัดแปลงเครื่องยนต์ เช่นการติดตั้งระบบอุ่นอากาศ การนำไอเสียกลับมาใช้ใหม่ หรือกักเก็บไอเสียที่มีอุณหภูมิสูงในห้องเผาไหม้

นอกจากเทคนิคดังกล่าวข้างต้น การใช้เชื้อเพลิงเบนซินร่วมกับน้ำมันดีเซล (Dual Fuel) เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่ช่วยลดความยุ่งยากในการตัดแปลงเครื่องยนต์ โดยเชื้อเพลิงเบนซินจะถูกฉีดเข้าทางท่อไอดี ในขณะที่เชื้อเพลิงดีเซลจะถูกฉีดตรงเข้าห้องเผาไหม้ด้วยจังหวะเวลาการฉีดที่ล่วงหน้ามากกว่าเครื่องยนต์ดีเซลปกติ ทั้งนี้ น้ำมันดีเซลจะถูกจุดระเบิดก่อน และจะกระตุ้นให้น้ำมันเบนซินเกิดการเผาไหม้ [11-17]

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการใช้น้ำมันเบนซินในเครื่องยนต์ดีเซลด้วยเทคนิคการใช้เชื้อเพลิงร่วม โดยการหาค่าสัดส่วนของน้ำมันเบนซินที่สามารถใช้ได้สูงสุดและผลกระทบของสัดส่วนน้ำมันเบนซินต่อสมรรถนะและประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ รวมถึงปริมาณสารมลพิษต่าง ๆ และคุณลักษณะการเผาไหม้ภายในกระบอกสูบ

2. วัตถุประสงค์และวิธีการทดสอบ

2.1 เครื่องยนต์ทดสอบ

เครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัดหรือเครื่องยนต์ดีเซล สูบเดี่ยวแวนอน สี่จังหวะ ระบายความร้อนด้วยน้ำ ระบบฉีดเชื้อเพลิงตรงในกระบอกสูบ (Direct Injection) ที่ทำการตัดแปลงการฉีดเชื้อเพลิงแบบกลไก



เป็นการฉีดเชื้อเพลิงด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์ความดันสูงแบบรางร่วม (Common Rail) เพื่อควบคุมจังหวะการฉีดเชื้อเพลิงดีเซลที่แม่นยำ ไม่มีระบบอัดอากาศและการนำไอเสียกลับมาใช้ใหม่ ฝาสูบประกอบด้วยวาล์วไอดี 1 วาล์ว และวาล์วไอเสีย 1 วาล์ว โดยลักษณะต่าง ๆ ของเครื่องยนต์ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ลักษณะของเครื่องยนต์

ยี่ห้อ	คูโบต้า
รุ่น	RT 140
แบบเครื่องยนต์	ดีเซล 4 จังหวะระบายความร้อนด้วยน้ำ
กระบอกสูบ x ช่วงชัก	97 x 96 มม.
ปริมาตรกระบอกสูบ	709 ซีซี.
อัตราส่วนแรงอัด	18: 1

เครื่องยนต์ทดสอบถูกติดตั้งอยู่บนแท่นทดสอบไดนาโมมิเตอร์แบบ Prony Brake เพื่อทำการควบคุมความเร็วรอบและวัดค่าแรงบิดของเครื่องยนต์โดยไหลดเซลล์ยี่ห้อ Minebe U3B1-220k-B

2.2 ระบบฉีดน้ำมันเบนซิน

เชื้อเพลิงเบนซินถูกใช้ร่วมกับน้ำมันดีเซลโดยการฉีดเข้าที่ท่อไอดีด้วยหัวฉีดแบบ PFI (Port Fuel Injection) ที่มีการใช้ในรถยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟ โดยใช้ความดันในการฉีด 3 บาร์ และควบคุมเวลาในการฉีด (Injection Timing) ด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์ในช่วงจังหวะดูด (Intake Stroke) ของเครื่องยนต์เพื่อให้เชื้อเพลิงเกิดการระเหยและผสมกับอากาศก่อนเข้าห้องเผาไหม้ ปริมาณหรือช่วงเวลาในการฉีด (Injection Duration) จะถูกควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์

เพื่อกำหนดค่าพลังงานความร้อนของเชื้อเพลิงที่ป้อนเข้าสู่เครื่องยนต์ให้คงที่ตลอดทุกสภาวะการทดสอบ

2.3 สภาวะและวิธีการทดสอบ

สมรรถนะ ปริมาณสารมลพิษของเครื่องยนต์ดีเซลเมื่อมีการใช้น้ำมันเบนซินเป็นเชื้อเพลิงร่วมถูกทดสอบที่สภาวะการทดสอบดังตารางที่ 2 โดยทำการควบคุมค่าพลังงานความร้อนของเชื้อเพลิง (ดีเซล + เบนซิน) ที่ป้อนเข้าสู่เครื่องยนต์ให้คงที่ที่ทุกสภาวะการทดสอบโดยอ้างอิงค่าจากเครื่องยนต์เดิมที่ใช้ระบบฉีดเชื้อเพลิงดีเซลแบบกลไก โดยสัดส่วนการใช้น้ำมันเบนซินเป็นเชื้อเพลิงร่วม (G0 - G60) คัดจากร้อยละของค่าพลังงานความร้อนของน้ำมันเบนซินต่อค่าพลังงานความร้อนของเชื้อเพลิงทั้งหมดที่ป้อนเข้าสู่เครื่องยนต์ โดยการทดสอบกระทำที่สัดส่วนสูงสุดที่ไม่เกินร้อยละ 60 (G60) ซึ่งได้จากการทดสอบเบื้องต้นโดยที่เครื่องยนต์ไม่เกิดการน็อก

ตารางที่ 2 สภาวะการทดสอบสมรรถนะและสารมลพิษ

พารามิเตอร์	ค่าที่กำหนด
ความเร็วรอบของเครื่องยนต์	1600 rpm
ความดันการฉีดเชื้อเพลิงดีเซล	500 บาร์
จังหวะการฉีดเชื้อเพลิงดีเซล	14° BTDC
จังหวะการฉีดเชื้อเพลิงเบนซิน	160° CA
พลังงานความร้อนที่ป้อนเข้าสู่เครื่องยนต์	1.66 (kJ/cycle)
เชื้อเพลิงทดสอบ	G0 – G60

ปริมาณสารมลพิษประเภทไฮโดรคาร์บอน (HC) ถูกวัดด้วยเทคนิค Flame Ionization Detector (FID)



ด้วยเครื่องยี่ห้อ Horiba รุ่น FCA-266 ในขณะที่เครื่องวัดแบบ Chemiluminescent ถูกใช้วัดปริมาณออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) ปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ถูกวัดด้วยเครื่องยี่ห้อ Horiba รุ่นAIA-260 Non-Dispersive Infrared (NDIR) และควันท้าถูกวัดด้วยเครื่องยี่ห้อ AVL รุ่น 145SE

2.4 การทดสอบการเผาไหม้ในกระบอกสูบ

คุณลักษณะการเผาไหม้ถูกแสดงด้วยค่าความดันในกระบอกสูบที่ถูกวัดด้วยเซนเซอร์วัดความดันแบบ Piezoelectric ยี่ห้อ Kistler รุ่น 6052C ที่ถูกติดตั้งอยู่บนฝาสูบ และถูกขยายสัญญาณด้วยตัวขยายสัญญาณยี่ห้อ Kistler รุ่น 5108 จากนั้นค่าความดันจะถูกบันทึกลงบนคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรม LabVIEW ที่เขียนขึ้นเพื่อใช้งานในห้องปฏิบัติการเทคโนโลยียานยนต์และพลังงานทางเลือก (Automotive Technology and Alternative Energy Research Group, ATAE) ทั้งนี้ค่าความดันในกระบอกสูบจะถูกบันทึกที่ทุก ๆ 0.1 องศาหมุนเพลลาข้อเหวี่ยง เป็นจำนวน 100 วัฏจักรต่อเนื่องกันแล้วนำมาเฉลี่ยเพื่อใช้วิเคราะห์คุณลักษณะการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นในรูปแบบของอัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อน (Heat Release Rate) ซึ่งคำนวณได้จากกฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์เมื่อไม่คิดการถ่ายเทความร้อนออกจากระบบดังแสดงในสมการที่ (1)

$$\frac{dQ}{d\theta} = \frac{\gamma}{\gamma - 1} p \frac{dV}{d\theta} + \frac{1}{\gamma - 1} V \frac{dp}{d\theta} \quad (1)$$

เมื่อ V คือปริมาตรในกระบอกสูบ, p คือความดันในกระบอกสูบ และ γ คือค่าอัตราส่วนความร้อนจำเพาะ (Specific Heat Ratio) โดยกำหนดให้มีค่า

เท่ากับ 0.3 แม้ว่าค่าอัตราส่วนความร้อนจำเพาะจะเปลี่ยนแปลงตามความดันและอุณหภูมิ

การทดสอบการเผาไหม้ในกระบอกสูบจะกำหนดให้เครื่องยนต์ทำงานที่ค่าความดันยังผลเฉลี่ยเบรก (Brake Mean Effective Pressure, BMEP) คงที่ที่ 2 บาร์โดยไม่คำนึงถึงปริมาณพลังงานความร้อนของเชื้อเพลิงที่ป้อนให้แก่เครื่องยนต์ดังแสดงในตารางที่ 3

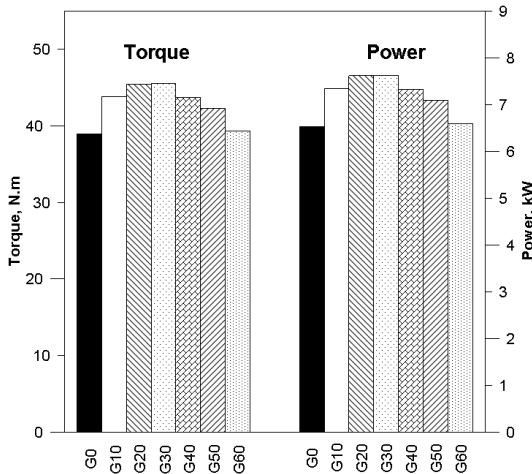
ตารางที่ 3 สภาวะการทดสอบคุณลักษณะการเผาไหม้

พารามิเตอร์	ค่าที่กำหนด
ความเร็วรอบของเครื่องยนต์	1600 rpm
ความดันการฉีดเชื้อเพลิงดีเซล	500 บาร์
จังหวะการฉีดเชื้อเพลิงดีเซล	14° BTDC
จังหวะการฉีดเชื้อเพลิงเบนซิน	160° CA
เชื้อเพลิงทดสอบ	G0 – G60
ค่าความดันยังผลเฉลี่ยเบรก	2 บาร์

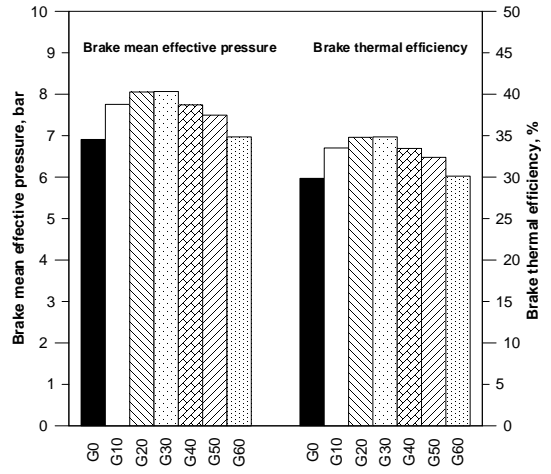
3. ผลการทดสอบและการอภิปรายผล

3.1 อิทธิพลของน้ำมันเบนซินต่อสมรรถนะและประสิทธิภาพของเครื่องยนต์

ประสิทธิภาพและสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ น้ำมันเบนซินร่วมถูกแสดงในรูปแบบของค่าแรงบิด (Torque) และกำลัง (Power) ดังรูปที่ 1 และค่าความดันยังผลเฉลี่ยและประสิทธิภาพเชิงความร้อน (Brake Thermal Efficiency) ดังรูปที่ 2 ผลการทดสอบพบว่าการใช้น้ำมันเบนซินเป็นเชื้อเพลิงร่วมในทุกสัดส่วน (G10-G60) ส่งผลให้ แรงบิด กำลัง ค่าความดันยังผลเฉลี่ยและประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงกว่าเมื่อใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงเพียงอย่างเดียว โดยเมื่อ



รูปที่ 1 ผลของการใช้น้ำมันเบนซินเป็นเชื้อเพลิงร่วมกับสัดส่วนต่าง ๆ ในเครื่องยนต์ดีเซล ต่อแรงบิดและกำลัง



รูปที่ 2 ผลของการใช้น้ำมันเบนซินเป็นเชื้อเพลิงร่วมกับสัดส่วนต่าง ๆ ในเครื่องยนต์ดีเซลต่อค่าความดันยังผลเฉลี่ยเบรกและประสิทธิภาพเชิงความร้อน

สัดส่วนน้ำมันเบนซินเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 10, 20, 30, 40, 50 และ 60 ค่าสมรรถนะและประสิทธิภาพทั้งสี่ตัวแปร (รูปที่ 1 และ 2) เพิ่มขึ้น ประมาณร้อยละ 12.3, 16.6, 16.8, 12.1, 8.5 และ 0.9 ตามลำดับ การเพิ่มขึ้นของค่าสมรรถนะและประสิทธิภาพเนื่องมาจากการเผาไหม้ที่สมบูรณ์กว่าของน้ำมันเบนซิน พลังงานความร้อนของเชื้อเพลิงทั้งหมดที่ป้อนให้กับเครื่องยนต์สามารถเผาไหม้และเปลี่ยนเป็นงานในการขับเคลื่อนลูกสูบได้มากกว่า เนื่องจากน้ำมันเบนซินถูกผสมกับอากาศเป็นเนื้อเดียวกันสำหรับการเผาไหม้เป็นเวลาล่วงหน้า (Premixed) การเผาไหม้ของสารผสมหลังจากที่น้ำมันดีเซลจุดระเบิดเกิดเป็นลักษณะของการเผาไหม้พร้อม ๆ กัน (Simultaneously Homogeneous Combustion)

อย่างไรก็ตาม เมื่อสัดส่วนของการใช้น้ำมันเบนซินเป็นเชื้อเพลิงร่วมเพิ่มสูงขึ้น (มากกว่าร้อยละ 30) การ

เพิ่มขึ้นของน้ำมันเบนซินส่งผลให้ค่าสมรรถนะและประสิทธิภาพของเครื่องยนต์มีค่าลดลง เนื่องจากปริมาณเชื้อเพลิงเบนซินที่ฉีดเพิ่มมากขึ้น ทำให้การระเหยการเป็นไอและผสมกับอากาศทำได้ยากเพิ่มมากขึ้น รวมถึงเชื้อเพลิงเบนซินที่ระเหยเข้าไปเกิดการแทนที่อากาศที่จะถูกดูดเข้าสู่ห้องเผาไหม้ ปริมาณอากาศจึงลดลง [3] โอกาสการเกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์เพิ่มมากขึ้น

3.2 อิทธิพลของน้ำมันเบนซินต่อปริมาณสารมลพิษ

ผลของน้ำมันเบนซินต่อปริมาณสารมลพิษของเครื่องยนต์ดีเซลถูกแสดงดังรูปที่ 3 และ 4 ซึ่งพบว่าปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) มีค่าลดลงเมื่อสัดส่วนของการใช้น้ำมันเบนซินเพิ่มมากขึ้นในช่วงร้อยละ 10 - 40 ทั้งนี้เนื่องมาจากการเพิ่มขึ้นของ

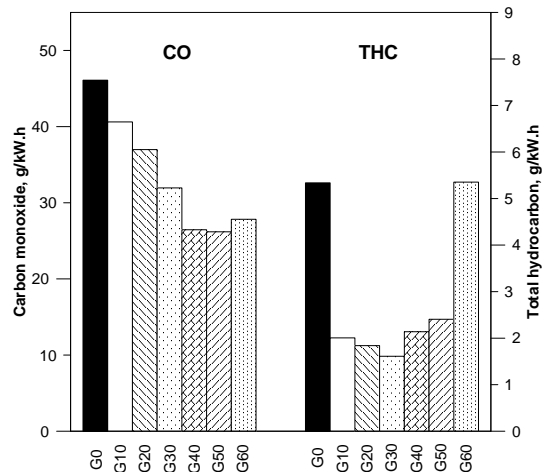


ปริมาณอากาศที่เข้าในกระบอกสูบจากปรากฏการณ์ Cooling Effect ส่งผลให้อุณหภูมิของอากาศลดลง และมวลของอากาศที่ถูกดูดเข้ากระบอกสูบเพิ่มขึ้น ปริมาณอากาศจึงมีมากเพียงพอต่อการเผาไหม้ซึ่งเป็น ปัจจัยหลักต่อปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ อย่างไรก็ตามเมื่อสัดส่วนของน้ำมันเบนซินร่วมเพิ่ม มากกว่าร้อยละ 40 ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ มีแนวโน้มไม่เปลี่ยนแปลงหรือเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เนื่องจากผลของการแทนที่อากาศที่ไหลเข้าสู่กระบอก สูบด้วยมวลของเชื้อเพลิงเบนซินที่ถูกฉีดเข้าไป ทำให้ มวลอากาศที่ไหลเข้าสู่กระบอกสูบมีค่าน้อยลง ส่งผล กระทบมากกว่าการเพิ่มขึ้นของปริมาณออกซิเจนจาก Cooling Effect

ปริมาณสารประกอบไฮโดรคาร์บอน (THC) ที่ ลดลงเมื่อน้ำมันเบนซินเป็นเชื้อเพลิงร่วมที่ร้อยละ 10 -30 สอดคล้องกับค่าสมรรถนะและประสิทธิภาพ ของเครื่องยนต์ที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากสารประกอบ ไฮโดรคาร์บอนเป็นตัวบ่งชี้ถึงการเผาไหม้ที่ไม่มี ประสิทธิภาพ (ไฮโดรคาร์บอนส่วนที่ไม่เผาไหม้มาจาก ส่วนประกอบของเชื้อเพลิง) การลดลงของ สารประกอบไฮโดรคาร์บอนเมื่อน้ำมันเบนซิน แทนที่น้ำมันดีเซลเนื่องมาจากน้ำมันเบนซินมีค่า น้ำหนักโมเลกุล (Molecular Weight) และจุดเดือดต่ำกว่า น้ำมันดีเซล รวมถึงขนาดโมเลกุลที่เล็กกว่าจึง สามารถเกิดกระบวนการแตกตัว หรือ H-Atom Subtraction ซึ่งเป็นกระบวนการหนึ่งในการเผาไหม้ ได้ง่ายกว่า ทำให้หลงเหลือไฮโดรคาร์บอนที่ไม่เผา ไหม้น้อยกว่า นอกจากนี้สาเหตุหลักของการเกิด สารประกอบไฮโดรคาร์บอนในเครื่องยนต์ดีเซล โดยทั่วไปเนื่องมาจากบริเวณส่วนผสมที่บางเกินไป

(Overlean Mixture) จนไม่สามารถเกิดการเผาไหม้ การใช้น้ำมันเบนซินเป็นเชื้อเพลิงร่วมไม่ก่อให้เกิด บริเวณที่ส่วนผสมบางนี้ เนื่องจากน้ำมันเบนซินมีเวลา มากเพียงพอที่จะผสมกับอากาศแบบทั่วถึงเป็นเนื้อ เดียวกัน (Homogeneous)

อย่างไรก็ตาม เมื่อสัดส่วนของน้ำมันเบนซินเพิ่ม มากขึ้น การระเหยและผสมกับอากาศจะลดลง และ ส่วนผสมเหล่านี้สามารถแทรกเข้าไปหลบในซอก (Crevice) ต่าง ๆ ในห้องเผาไหม้ในช่วงจังหวะอัดทำให้ไม่เกิดการเผาไหม้ และไหลออกมาจากซอกในช่วง จังหวะคาย ปริมาณไฮโดรคาร์บอนจึงเพิ่มมากขึ้น ดังเช่นที่เห็นได้ชัดเจนในกรณีเมื่อน้ำมันเบนซินที่ ร้อยละ 60

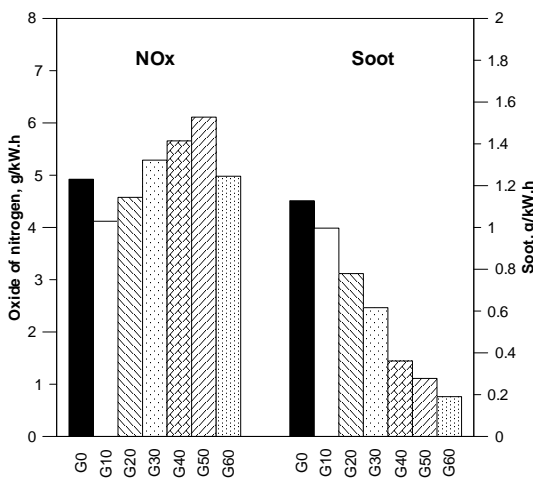


รูปที่ 3 ผลของการใช้น้ำมันเบนซินเป็นเชื้อเพลิงร่วมที่ สัดส่วนต่าง ๆ ในเครื่องยนต์ดีเซลต่อปริมาณ คาร์บอนมอนอกไซด์ และสารประกอบไฮโดรคาร์บอน

รูปที่ 4 แสดงปริมาณออกไซด์ของไนโตรเจน (NOx) เมื่อน้ำมันเบนซินเป็นเชื้อเพลิงร่วม ผลการ



ทดสอบพบว่าที่สัดส่วนการใช้น้ำมันเบนซินน้อยร้อยละ 10-20 ปริมาณออกไซด์ของไนโตรเจนมีค่าลดลงมากกว่าเครื่องยนต์ดีเซลปกติ แต่เมื่อมีการเพิ่มสัดส่วนการใช้น้ำมันเบนซินเพิ่มมากขึ้น ปริมาณออกไซด์ของไนโตรเจนจะมีค่าเพิ่มมากขึ้นและสูงกว่าในกรณีที่ใช้ น้ำมันดีเซลล้วน และลดลงที่อัตราส่วนการใช้น้ำมันเบนซินสูงสุดที่ร้อยละ 60



รูปที่ 4 ผลของการใช้น้ำมันเบนซินเป็นเชื้อเพลิงร่วมกับสัดส่วนต่าง ๆ ในเครื่องยนต์ดีเซลต่อปริมาณออกไซด์ของไนโตรเจนและเขม่าควันดำ

การลดลงของปริมาณออกไซด์ของไนโตรเจนเมื่อมีการใช้น้ำมันเบนซินเป็นเชื้อเพลิงร่วมเนื่องจากค่า Specific Heat (c_p) ที่สูงของสารผสมระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิงเบนซิน ส่งผลให้การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิในจังหวะการอัดน้อยกว่ากรณีการอัดอากาศเพียง (c_p ของอากาศมีค่าต่ำกว่า) แต่เพียงอย่างเดียว ทำให้อุณหภูมิของการเผาไหม้ต่ำกว่าอุณหภูมิการเผาไหม้ในกรณีของการใช้เชื้อเพลิงดีเซลล้วน ซึ่งอุณหภูมิการ

เผาไหม้เป็นปัจจัยหลักที่ส่งเสริมให้เกิดออกไซด์ของไนโตรเจน เมื่อสัดส่วนของการใช้น้ำมันเบนซินเพิ่มมากขึ้น การเผาไหม้แบบดีเซลถูกเปลี่ยนเป็นการเผาไหม้แบบ Simultaneously Homogeneous Combustion เพิ่มมากขึ้น อุณหภูมิการเผาไหม้สูงขึ้น ส่งเสริมการเกิดออกไซด์ของไนโตรเจน (Thermal NOx) อย่างไรก็ตาม เมื่อเพิ่มสัดส่วนการใช้เบนซินสูงถึงร้อยละ 60 ผลกระทบของปริมาณอากาศที่น้อยลง (เนื่องจากการแทนที่เชื้อเพลิงเบนซินในอากาศ) สัดส่วนการผสมระหว่างอากาศและเชื้อเพลิงไม่เหมาะสมต่อการเผาไหม้ อุณหภูมิการเผาไหม้ลดลงอย่างเห็นได้ชัดจนสอดคล้องกับปริมาณไฮโดรคาร์บอนที่เพิ่มสูงขึ้นและสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ลดลง

อิทธิพลของการใช้น้ำมันเบนซินต่อปริมาณเขม่า (Soot) แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนในรูปที่ 4 ปริมาณเขม่ามีค่าลดลงตามสัดส่วนการใช้น้ำมันเบนซินที่เพิ่มมากขึ้น การเกิดเขม่ามีสาเหตุมาจากการเผาไหม้ในบริเวณที่ส่วนผสมระหว่างน้ำมันดีเซลกับอากาศแบบหนา (Rich Zone คือ สัดส่วนของอากาศไม่เพียงพอต่อการเกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์) น้ำมันดีเซลถูกฉีดโดยตรงเข้าสู่ห้องเผาไหม้ในช่วงจังหวะการอัดซึ่งใกล้ตำแหน่งที่ลูกสูบเข้าใกล้ศูนย์ตายบนก่อนเกิดการเผาไหม้ในช่วงเวลาไม่นาน ส่งผลให้เชื้อเพลิงมีเวลาในการระเหยและผสมกับอากาศน้อย เชื้อเพลิงดีเซลจึงไม่สามารถผสมกับอากาศได้อย่างทั่วถึง (Inhomogeneous Mixture) เกิดส่วนที่มีการผสมแบบหนาซึ่งส่งเสริมให้เกิดเขม่า ในขณะที่การเผาไหม้เชื้อเพลิงเบนซินร่วมกับดีเซลเป็นลักษณะการเผาไหม้แบบพร้อมๆ กัน (Simultaneously Combustion) เนื่องจากเชื้อเพลิงที่ถูกฉีดในท่อไอดีมีเวลาในการ



ระเหยและผสมกับอากาศมากพอที่จะเกิดการผสมแบบเป็นเนื้อเดียวกัน ในขณะที่เดียวกันเมื่อเพิ่มสัดส่วนการใช้น้ำมันเบนซินเป็นการลดสัดส่วนของปริมาณน้ำมันดีเซลที่เป็นสาเหตุของการเกิดเขม่า จึงส่งผลให้ปริมาณเขม่าลดลงอย่างชัดเจน

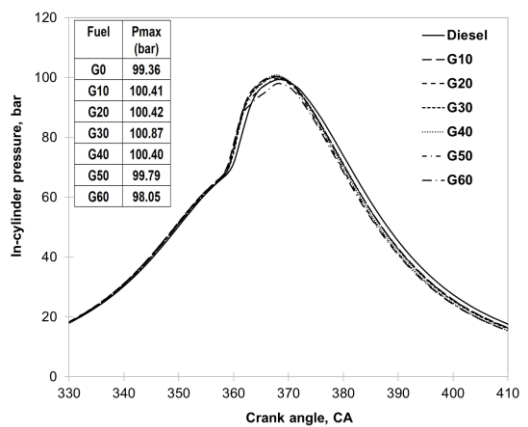
3.2 อิทธิพลของน้ำมันเบนซินต่อคุณลักษณะการเผาไหม้

ลักษณะการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซลเมื่อมีการใช้น้ำมันเบนซินเป็นเชื้อเพลิงร่วมถูกแสดงในรูปของความดันในกระบอกสูบรูปที่ 5 และอัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อนรูปที่ 6 ผลของค่าความดันในกระบอกสูบไม่เห็นความแตกต่างอย่างชัดเจนเมื่อมีการใช้เชื้อเพลิงเบนซินเป็นเชื้อเพลิงร่วม ค่าความดันสูงสุด (Pmax) มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อมีการใช้น้ำมันเบนซินไม่เกินร้อยละ 40 จากนั้นค่าความดันสูงสุดจะมีค่าต่ำลงและต่ำกว่าเมื่อมีการใช้ของเครื่องยนต์ดีเซลปกติที่สัดส่วนของน้ำมันดีเซลร้อยละ 60

อิทธิพลของน้ำมันเบนซินที่ถูกใช้เป็นเชื้อเพลิงร่วมต่อคุณลักษณะการเผาไหม้สามารถเห็นได้อย่างชัดเจนจากค่าอัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อนดังรูปที่ 6 น้ำมันเบนซินที่ถูกฉีดเข้าไปในท่อไอดีที่จังหวะการดูดสามารถระเหยและผสมกับอากาศได้ล่วงหน้าส่งผลให้ส่วนผสมสามารถเกิดการจุดระเบิดก่อนเครื่องยนต์ดีเซลปกติ ช่วงล่าช้าในการจุดระเบิด (Ignition Delay) มีค่าลดลง แม้วาน้ำมันเบนซินจะมีค่าซีเทนนิ่มเบอร์ดต่ำกว่าดีเซล

โดยทั่วไปเครื่องยนต์ดีเซลที่เกิดการจุดระเบิดก่อนอัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อนในช่วงการเผาไหม้สารผสมที่ผสมไว้ก่อน (Premixed Combustion)

จะมีค่าต่ำกว่าการจุดระเบิดล่าช้า แต่ในกรณีที่ใช้ น้ำมันเบนซินเป็นเชื้อเพลิงร่วม น้ำมันเบนซินถูกฉีดล่วงหน้าตั้งแต่ช่วงจังหวะการดูด ส่งผลให้ส่วนผสมที่เตรียมไว้ล่วงหน้า (Premixed Mixture) มีปริมาณมาก จึงเกิดการเผาไหม้พร้อมกันอัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อนจึงสูงกว่าและส่งผลให้ค่าสมรรถนะและประสิทธิภาพของเครื่องยนต์มีค่าสูงขึ้น

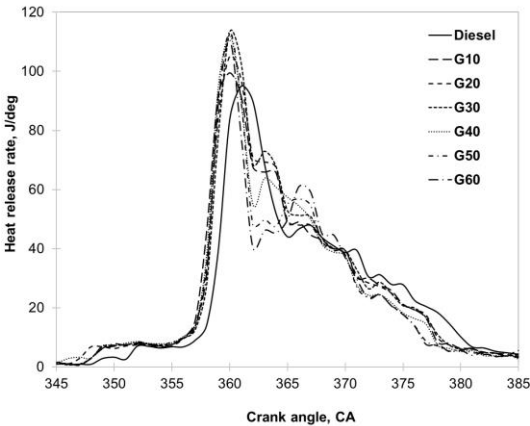


รูปที่ 5 ความดันในกระบอกสูบเมื่อมีการใช้น้ำมันเบนซินเป็นเชื้อเพลิงร่วมที่สัดส่วนต่าง ๆ ในเครื่องยนต์ดีเซล

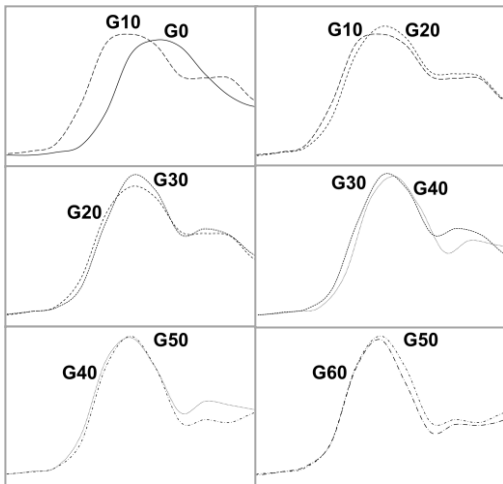
อย่างไรก็ตามเมื่อสัดส่วนของน้ำมันเบนซินเพิ่มมากขึ้น อิทธิพลของ Cooling Effect และ Specific Heat ที่เพิ่มมากขึ้นทำให้อุณหภูมิในกระบอกสูบมีค่าลดลง ส่งผลให้การจุดระเบิดมีความล่าช้าเพิ่มมากขึ้นซึ่งความล่าช้านี้ส่งผลให้อัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อนของเชื้อเพลิงในช่วงการเผาไหม้สารผสมที่ผสมไว้ก่อนของน้ำมัน G10 -G30 มีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่อสัดส่วนน้ำมันเบนซินเพิ่มสูงขึ้น จนกระทั่งที่สัดส่วนน้ำมันเบนซินร้อยละ 40 ค่าอัตราการปลดปล่อย



พลังงานความร้อนเริ่มมีค่าลดลง เนื่องจากอิทธิพล การลดลงของปริมาณอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ และการระเหยเป็นไอที่ยากมากขึ้นของน้ำมันเบนซิน



(ก) ที่ทุกส่วนสัดส่วนใช้น้ำมันเบนซิน



(ข) เปรียบเทียบที่ละสองสัดส่วนของน้ำมันเบนซินที่ใกล้เคียงกัน

รูปที่ 6 อัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อน (ก) เมื่อใช้น้ำมันเบนซินเป็นเชื้อเพลิงร่วมที่สัดส่วนต่าง ๆ

(ข) เมื่อเปรียบเทียบที่สองชนิดน้ำมันทดสอบที่มี สัดส่วนของน้ำมันเบนซินใกล้เคียงกัน

4. บทสรุป

น้ำมันเบนซินสามารถนำมาใช้ในเครื่องยนต์จุด ระเบิดด้วยการอัดหรือเครื่องยนต์ดีเซลได้ด้วยเทคนิค การใช้เชื้อเพลิงร่วม โดยการฉีดเชื้อเพลิงเบนซินเข้าไปในท่อไอดีควบคู่กับการใช้น้ำมันดีเซลด้วยการฉีด ตรงในกระบอกสูบ เพื่อใช้เป็นจุดเริ่มต้นของการจุด ระเบิดและการเผาไหม้ ทั้งนี้ น้ำมันเบนซินที่ถูกฉีดเข้าไป ส่งผลให้เกิดปรากฏการณ์ขึ้นหลายประการ ประกอบด้วย

- การเกิด Cooling Effect ที่ซึ่งน้ำมันเบนซินดึง ความร้อนจากระบบเพื่อการระเหย ส่งผลให้อุณหภูมิของอากาศมีค่าลดลง มวลของอากาศที่ ไหลเข้าสู่กระบอกสูบมีค่าเพิ่มมากขึ้น
- การแทนที่ของอากาศเมื่อเชื้อเพลิงเบนซินระเหย ส่งผลให้ปริมาณของอากาศที่ไหลเข้าสู่กระบอกสูบ มีค่าลดลง
- ค่า Specific Heat ที่สูงของสารผสมเมื่อ เปรียบเทียบกับอากาศ ส่งผลให้อุณหภูมิที่สิ้นสุด กระบวนการอัดก่อนการเผาไหม้มีค่าลดลง
- การผสมของเชื้อเพลิงเบนซินและอากาศล่วงหน้า ทำให้เกิดการเผาไหม้พร้อม ๆ กันเป็นจำนวนมาก ในช่วงการเผาไหม้ของสารผสมที่ผสมไว้ก่อนแล้ว โดยปรากฏการณ์เหล่านี้ สามารถมีอิทธิพลมาก น้อยตามแต่สภาวะการทดสอบ ซึ่งเป็นปัจจัยหลักต่อ ค่าสมรรถนะ ประสิทธิภาพ ปริมาณสารมลพิษ และ คุณลักษณะการเผาไหม้ของเครื่องยนต์

เมื่อพิจารณา ผลของสมรรถนะ ประสิทธิภาพของ เครื่องยนต์รวมถึงปริมาณสารมลพิษ ประกอบกับ ลักษณะการเผาไหม้พบว่า การใช้น้ำมันเบนซินเป็น เชื้อเพลิงร่วมในเครื่องยนต์ดีเซลมีความเหมาะสมต่อ



การใช้งานที่สัดส่วนร้อยละ 30 ของค่าพลังงานที่ป้อนให้แก่เครื่องยนต์ที่สภาวะการทดสอบในงานวิจัยนี้ อย่างไรก็ตามควรมีการศึกษาวิจัยเพิ่มเติมในสภาวะการทำงานของเครื่องยนต์แบบอื่น ๆ เพื่อหาข้อสรุปหรือสัดส่วนที่เหมาะสมที่ครอบคลุมสภาวะการทำงานจริงทั้งหมดของเครื่องยนต์

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] web.dlt.go.th/statistics/ (Accessed on 11 May 2020)
- [2] www.eppo.go.th/index.php/th/component/k2/item/download/17714_56c56033b191d72df776d9395d32188a. (Accessed on 11 May 2020) (in Thai)
- [3] J.B. Heywood, Internal combustion engine fundamentals, McGraw-Hill Inc, NY, USA, 1988.
- [4] K.D. Rose, J. Ariztegui, R.F. Cracknell, T. Dubois, H.D.C. Hamje, L. Pellegrini and D.J. Rickeard, Exploring a Gasoline Compression Ignition (GCI) Engine Concept, SAE Technical Paper, 2013, No. 2013-01-091.
- [5] S. Onishi, S.H. Jo, K. Shoda, P.D. Jo, and S. Kato, Active Thermo-Atmosphere Combustion (ATAC) - A New Combustion Process for Internal Combustion Engines, SAE Transactions, 1979, 88, 1851-1860.
- [6] M. Noguchi, Y. Tanaka, T. Tanaka, and Y. Takeuchi, A Study on Gasoline Engine Combustion by Observation of Intermediate Reactive Products during Combustion, SAE Transactions, 1979, 88, 2816-2828.
- [7] C. D. Marriott and R. D. Reitz, Experimental Investigation of Direct Injection Gasoline for Premixed Compression Ignited Combustion Phasing Control, SAE Technical Paper, 2002, No. 2002-01-0418.
- [8] P. Loeper, Y. Ra, C. Adams, D. Foster, J. Ghandihi, M. Andrie, R. Krieger, R. Durrett, Experimental Investigation of Light –Medium Load Operating Sensitivity in a Gasoline Compression Ignition (GCI) Light-Duty Diesel Engine, SAE Technical Paper, 2013, No. 2013-01-0896.
- [9] V. Manente, B. Johansson and P. Tunestal, Partially Premixed Combustion at High Load using Gasoline and Ethanol, a Comparison with Diesel, SAE Technical Paper, 2009, No. 2009-01-0944.
- [10] R. F. Cracknell, J. Ariztegui, T. Dubois, H. Hamje, L. Pellegrini, D. Rickeard, and K. D. Rose, Modelling a Gasoline Compression Ignition (GCI) Engine Concept, SAE Technical Paper, 2014, No. 2014-01-1305.



- [11] K. Inagaki, T. Fuyuto, K. Nishikawa, K. Nakakita and I. Sakata, Dual-Fuel PCI Combustion Controlled by In-Cylinder Stratification of Ignitability, SAE Technical Paper, 2006, No. 2006-01-0028.
- [12] C.A.J. Leemakers, B. Van den Berge, C.C.M. Luijten, L.M.T. Somers, L.P.H. de Goey and B.A. Albrecht, Gasoline-Diesel Dual Fuel: Effect of Injection Timing and Fuel Balance, SAE Technical Paper, 2011, No. 2011-01-2437.
- [13] S. Kokjohn, R. Hanson, D. Splitter, and R. Reitz, Experiments and Modeling of Dual-Fuel HCCI and PCCI Combustion Using In-Cylinder Fuel Blending, SAE International Journal of Engines, 2010, 2(2), 24-39.
- [14] Z. Sahin and O. Durgun, High speed direct injection (DI) light-fuel (gasoline) fumigated vehicle diesel engine, Fuel, 2007, 86(3), 388-399.
- [15] Z. Sahin, O. Durgun and C. Bayram, Experimental investigation of gasoline fumigation in a single cylinder direct injection (DI) diesel engine, Energy, 2008, 33(8), 1298-1310.
- [16] J. Sun, J. A. Bittle and T. J. Jacobs, Influencing Parameters of Brake Fuel Conversion Efficiency with Diesel / Gasoline Operation in a Medium-Duty Diesel Engine, SAE Technical Paper, 2013, No. 2013-01-0273.
- [17] C. Hepp, M. Krenn, J. Wasserbauer and H. Eichlseder, Dual Fuel Compression Ignition Combustion Concept for Gasoline and Diesel, SAE Technical Paper, 2014, No. 2014-01-1319.