

# อิทธิพลของความเร็วรอบต่อการเผาไหม้ของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัดที่ใช้ น้ำมันเอทานอลผสมดีเซล

ศักดิ์ดา ธงชาย\* และ ประทีป ชัยเสริมเทวัญ

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล, คณะวิศวกรรมศาสตร์ศรีราชา, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา

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

วันที่รับบทความ: 21 มกราคม 2564; วันที่ทบทวนบทความ: 3 มีนาคม 2564; วันที่ตอบรับบทความ: 4 มีนาคม 2564

วันที่เผยแพร่ออนไลน์: 24 มีนาคม 2564

**บทคัดย่อ:** งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาคุณลักษณะการเผาไหม้ของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัดหรือเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้เชื้อเพลิงเอทานอลผสมน้ำมันดีเซลโดยใช้ไบโอดีเซลเป็นตัวประสาน เมื่อเครื่องยนต์ทำงานที่ความเร็วรอบค่าต่าง ๆ โดยสัดส่วนการผสมระหว่างเอทานอล-ดีเซล-ไบโอดีเซลที่ใช้ในการทดสอบ จะถูกกำหนดด้วยปริมาณไบโอดีเซลที่ผสมในดีเซลที่มีขายอยู่ในท้องตลาดจริง (ร้อยละ 3, 7 และ 10) เพื่อให้ใกล้เคียงกับความเป็นไปได้ในการใช้งานจริงในอนาคตอันใกล้มากที่สุด เป็นการลดช่องว่างระหว่างการศึกษาวิจัยและการนำไปใช้งาน สำหรับร้อยละเอทานอลที่ผสมจะถูกจำกัดด้วยการผสมเข้าเป็นเนื้อเดียวกันได้ของเชื้อเพลิงทั้งสามชนิด โดยไม่เกิดการแยกชั้นเมื่ออุณหภูมิลดต่ำลงถึง 10 องศาเซลเซียส และสามารถเก็บรักษาได้ยาวนานถึง 3 เดือน การทดสอบจะถูกทำขึ้นในเครื่องยนต์ดีเซลสี่สูบที่มีขายจริงในท้องตลาดที่ไม่มีการปรับแต่ง หรือปรับจูนระบบควบคุมการทำงานของเครื่องยนต์แต่อย่างใด ทั้งนี้ น้ำมันที่ใช้ทดสอบประกอบด้วยน้ำมันดีเซลที่มีขายในท้องตลาดซึ่งผสมไบโอดีเซลร้อยละ 7 (DB7) และน้ำมันผสมเอทานอลอีก 3 อัตราส่วนได้แก่ DB3E7, DB7E5 และ DB10E10 ทั้งนี้จะมีการปรับเปลี่ยนความเร็วรอบของเครื่องยนต์ตั้งแต่ 1400-2800 รอบต่อนาทีเพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงและอิทธิพลของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ปรับเปลี่ยนเมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์เปลี่ยนไป โดยผลการทดสอบพบว่า การเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบไม่ส่งผลต่ออิทธิพลของน้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบต่อคุณลักษณะการเผาไหม้ แต่ความเร็วรอบจะทำให้คุณลักษณะการเผาไหม้ของทุกเชื้อเพลิงเปลี่ยนไปในทำนองเดียวกันคือ ที่ความเร็วรอบต่ำการเผาไหม้เกิดขึ้นในสองช่วงเวลา และจังหวะการเริ่มต้นการเผาไหม้จะขึ้นอยู่กับความเร็วรอบที่เปลี่ยนแปลง สำหรับที่ค่าความเร็วรอบคงที่ค่าใดๆ เชื้อเพลิงเอทานอลจะส่งผลต่อการเริ่มการเผาไหม้ที่ล่าช้า แต่การผสมไบโอดีเซลเพื่อใช้เป็นตัวประสานจะช่วยเร่งการเผาไหม้ให้เกิดเร็วขึ้น ทั้งนี้เชื้อเพลิงที่เกิดการเผาไหม้ล่าช้าจะมีอัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อนที่สูง และใช้ระยะเวลาในการเผาไหม้น้อย

**คำสำคัญ:** เอทานอล; ไบโอดีเซล; น้ำมันดีเซล; คุณลักษณะการเผาไหม้

# Influence of Speed on Combustion Behavior of a Compression Ignition Engine using Ethanol Blended Diesel Fuel

Sakda Thongchai\* and Prateep Chaisermtawan

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

\* Corresponding author, E-mail: sakda@eng.src.ku.ac.th

Received: 21 January 2021; Revised 3 March 2021; Accepted: 4 March 2021

Online Published: 24 March 2021

**Abstract:** This research has studied the combustion characteristics of a compression ignition (CI) engine or diesel engine when using ethanol-blended diesel and biodiesel as the co-solvent when the engine is running at varying speeds. The objective of this study is to bridge the gap between the research and application. Therefore, the ratios of ethanol-diesel-biodiesel are limited by the biodiesel concentration, currently blended in diesel and sold in the market (3, 7 and 10%) because they are the prospective fuels in the near future. The amounts of ethanol are constrained by the phase separation problem. Tri-blend fuels should be homogeneous liquid phase even though the ambient temperature is low as 10 °C. In addition, they should be stored as long as 3 months with phase stability. The four-cylinder commercial diesel engine without any modification and recalibration was used throughout the experiment. Four fuels including 3 ratios of ethanol-diesel-biodiesel (DB3E5, DB7E5 and B10E10) blend and one commercial diesel with 7% of biodiesel (DB7) were used to test. To understand its effect on the influence of each fuel on combustion behaviors, the engine speed has been varied from 1400-2800 rpm. The results found that the combustion characteristics have been changed the same for all test fuels when engine speed was varied. The form of combustion feature is dependent on engine speed and does not rely on test fuels. However, at each engine speed ethanol tends to delay the ignition while adding biodiesel as the additive could advance combustion. The retarded combustion results in a higher rate of heat release and shorter combustion duration.

**Keywords:** Holy basil leaves; Hot air drying; Microwave-hot air drying; Specific energy consumption



## 1. บทนำ

แม้ว่าประเทศไทยจะมีความพยายามในการใช้เชื้อเพลิงทดแทนเพื่อลดการนำเข้าน้ำมันดิบจากต่างประเทศ แต่จากข้อมูลที่ผ่านมาพบว่ามี การนำเข้าเชื้อเพลิงฟอสซิลเพิ่มขึ้นทุกปี [1] ทั้งนี้เนื่องมาจากจำนวนรถยนต์ดีเซล [2] ที่มากส่งผลให้ความต้องการใช้น้ำมันดีเซลที่สูงซึ่งมากกว่าเบนซินถึงเกือบสองเท่า ในขณะที่เชื้อเพลิงทดแทนโดยส่วนใหญ่สามารถใช้ทดแทนได้เฉพาะน้ำมันเบนซิน เช่น ก๊าซ LPG, CNG และเอทานอล นอกจากนี้ในกระบวนการผลิตน้ำมันสำเร็จรูปจากน้ำมันดิบไม่สามารถเลือกการผลิตน้ำมันดีเซลได้เพียงชนิดเดียว จำเป็นต้องทำการผลิตน้ำมันดีเซลและเบนซินควบคู่กันไป ดังนั้นหากต้องการลดการนำเข้าน้ำมันดิบจากต่างประเทศ จึงจำเป็นต้องหาพลังงานทางเลือกที่ผลิตภายในประเทศ และสามารถนำมาทดแทนน้ำมันดีเซลได้

นอกจากนี้ ความเข้มงวดของการควบคุมมลพิษที่ปล่อยออกมาจากยานยนต์ที่เพิ่มขึ้น ทำให้เกิดงานวิจัยที่พยายามลดปริมาณสารมลพิษที่ออกมาจากเครื่องยนต์ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง คิว้นดำหรืออนุภาคขนาดเล็ก (Particulate Matter, PM) และออกไซด์ของไนโตรเจน (NO<sub>x</sub>) ที่เป็นปัญหาหลักของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัดหรือเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในประเทศไทย เอทานอลเป็นเชื้อเพลิงที่ผลิตได้จากพืช เช่น อ้อย กากน้ำตาล มันสำปะหลัง โดยงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าเอทานอลสามารถช่วยลดก๊าซเรือนกระจก (GHG) ได้เป็นอย่างดีเมื่อใช้ในเครื่องยนต์เบนซิน [3, 4] และสามารถช่วยลดปริมาณเขม่า/คิว้นดำและ NO<sub>x</sub> ได้อย่างชัดเจนเมื่อใช้ในเครื่องยนต์ดีเซล [5, 6]

ด้วยข้อจำกัดของเชื้อเพลิงทางเลือกที่สามารถผลิตได้ภายในประเทศและนำมาทดแทนน้ำมันดีเซลได้เพียงไม่กี่ชนิด ประกอบกับศักยภาพในการผลิตเอทานอลที่เกิดการบริโภคเป็นเชื้อเพลิงภายในประเทศ [7] รวมถึงประโยชน์ในการลดปริมาณสารมลพิษที่เป็นปัญหารุนแรงโดยเฉพาะฝุ่นคิว้นในปัจจุบัน การนำเอทานอลมาใช้ในเครื่องยนต์ดีเซลจึงเป็นประเด็นที่น่าสนใจในการศึกษา

อย่างไรก็ตามคุณสมบัติของเอทานอลที่มีค่าจำนวนซีเทน ความหล่อลื่นและความหนืดที่ต่ำ ทำให้เอทานอลไม่เหมาะสมกับการใช้ในเครื่องยนต์ดีเซล โดยเฉพาะค่าจำนวนซีเทนที่ต่ำทำให้เอทานอลไม่สามารถจุดระเบิดได้ด้วยตนเอง (Autoignition) ในเครื่องยนต์ดีเซล [8] การใช้เอทานอลจึงจำเป็นต้องทำการผสมในน้ำมันดีเซล ใช้เทคนิค Fumigation การใช้เป็นเชื้อเพลิงร่วมกับดีเซล (Dual fuel) หรือการเติมสารเติมแต่งลงไป ในเอทานอล [9, 10] ซึ่งแต่ละวิธีจะมีข้อดีข้อเสียที่แตกต่างกันไป สำหรับวิธีการผสมเอทานอลในน้ำมันดีเซลจะเป็นวิธีที่มีความเป็นไปได้สูงที่สุดในการใช้กับเครื่องยนต์โดยไม่ต้องทำการดัดแปลง อย่างไรก็ตามข้อด้อยของวิธีการผสมนี้คือการเกิดการแยกชั้นระหว่างเอทานอลและดีเซล โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อมีการผสมเอทานอลในปริมาณที่มาก อุณหภูมิต่ำ หรือมีน้ำเจือปนสูง [11] ดังนั้นสารเติมแต่งจำพวกตัวประสาน (Co-solvent / Emulsifier) หรือสารลดแรงตึงผิว (Surfactant) จึงเป็นสิ่งจำเป็น [12,13]

ด้วยคุณสมบัติที่ปลายด้านหนึ่งมีโครงสร้างแบบไม่มีขั้วเช่นเดียวกับดีเซล ทำให้ไปโอดีเซลสามารถผสมเป็นเนื้อเดียวกันได้ดีกับดีเซล ในขณะที่ปลายอีกด้าน



หนึ่งมีออกซิเจนเป็นส่วนประกอบทำให้เกิดโครงสร้างแบบมีขั้วเช่นเดียวกับเอทานอล ไบโอดีเซลจึงสามารถผสมกับเอทานอลได้ดีเช่นเดียวกัน จากกฎ Like-Dissolve-Like ไบโอดีเซลจึงถูกใช้เป็นตัวประสานในเชื้อเพลิงผสมระหว่างเอทานอลและดีเซลได้เป็นอย่างดี [14, 15] ยิ่งไปกว่านั้นไบโอดีเซลยังมีคุณสมบัติบางอย่างที่เป็นที่ต้องการในเครื่องยนต์ดีเซล คือค่าซีเทน ความหนืดและความหล่อลื่นที่สูง การใช้ไบโอดีเซล เป็นตัวประสานในน้ำมันเอทานอลผสมจึงสามารถลดเขยื้อนคุณสมบัติของเอทานอลที่ขาดหายไปได้ในบางส่วน [16, 17]

การศึกษาการใช้ไขมันผสม เอทานอล-ดีเซล-ไบโอดีเซลที่ผ่านมาพบว่า เครื่องยนต์มีสมรรถนะลดต่ำลง ในขณะที่กินน้ำมันเชื้อเพลิงเพิ่มมากขึ้น [18, 19] สำหรับผลกระทบทางด้านปริมาณสารมลพิษพบว่า การเพิ่มขึ้นหรือลดลงของสารมลพิษประเภทคาร์บอนไดออกไซด์ สารประกอบไฮโดรคาร์บอน และออกไซด์ของไนโตรเจนจะขึ้นอยู่กับสภาวะการทดสอบ [20, 21] ในขณะที่เอทานอลและไบโอดีเซลส่งผลให้ควันดำ เขม่าและฝุ่นละอองขนาดเล็กมีปริมาณลดลงอย่างชัดเจนเป็นไปในทางเดียวกัน [22, 23]

แม้ว่าจะมีงานวิจัยที่ผ่านมาทำการศึกษาผลกระทบของน้ำมันผสมทั้งสามในเครื่องยนต์ดีเซล แต่งานวิจัยส่วนมากจะศึกษาผลของเอทานอลและไบโอดีเซลแบบแยกส่วน นั่นคืองานวิจัยส่วนหนึ่งจะทำการปรับเปลี่ยนปริมาณน้ำมันเอทานอลในขณะที่สัดส่วนของน้ำมันไบโอดีเซลคงที่ และในทางตรงข้ามงานวิจัยอีกส่วนหนึ่งจะทำการเปลี่ยนสัดส่วนไบโอดีเซลแต่กำหนดปริมาณเอทานอลให้คงที่ ไม่มีงานวิจัยใดที่ทำการรวมผลกระทบของน้ำมันไบโอดีเซลและเอทานอล

ไว้ในงานเดียวกัน นอกจากนี้การศึกษาที่ผ่านมาโดยส่วนมาก สัดส่วนที่เลือกใช้ทดสอบ จะมีเพื่อวัตถุประสงค์ของการวิจัยเป็นหลักไม่ได้มุ่งเน้นถึงการนำไปใช้งานในอนาคตอันใกล้ สำหรับวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ต้องการเชื่อมต่อระหว่างงานวิจัยและการนำไปใช้ได้จริง ดังนั้นสัดส่วนที่เลือกใช้ในการทดสอบจะถูกกำหนดด้วยปริมาณไบโอดีเซลที่มีการผสมใช้จริงในท้องตลาดร้อยละ 3, 7 และ 10 เพื่อเทียบเคียงกับการใช้จริง ทั้งในด้านการผสมและการเตรียมเชื้อเพลิง ทั้งนี้ปริมาณเอทานอลที่ถูกผสมเข้าไปจะต้องมั่นใจว่าไม่เกิดการแยกชั้นด้วยการทดสอบ Phase Stability ก่อนนำไปทดสอบในเครื่องยนต์

## 2. วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการทดสอบ

### 2.1 เครื่องยนต์ทดสอบ

เครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดสอบเป็นเครื่องยนต์ดีเซลสี่สูบ สี่จังหวะ แกวเรียง ระบายความร้อนด้วยน้ำที่ไม่มีการดัดแปลงใดๆ ทั้งสิ้น โดยคุณลักษณะต่างๆ ของเครื่องยนต์ดังแสดงในตารางที่ 1 ทั้งนี้เพื่อให้เห็นถึงผลกระทบของน้ำมันผสมทั้งสามชนิดต่อคุณลักษณะการเผาไหม้ของเครื่องยนต์เมื่อใช้งานจริง สมรรถนะการทำงานของเครื่องยนต์ (ECU) จะทำการฉีดเชื้อเพลิงด้วยค่าต่างๆ (จังหวะและความดันการฉีดเชื้อเพลิง รวมถึงปริมาณเชื้อเพลิงที่ถูกฉีด) ที่ถูกโปรแกรมมาจากโรงงานผลิตโดยไม่ทำการเปลี่ยนแปลงใดๆ ทั้งสิ้นในทุกสภาวะการทดสอบ

แท่นทดสอบไดนาโมมิเตอร์แบบ Eddy Current ยี่ห้อ DYNomite™ รุ่น 012-200-1K ถูกติดตั้งกับเครื่องยนต์ เพื่อทำการควบคุมความเร็วรอบตั้งแต่ 1400-2800 รอบต่อนาที (ความเร็วรอบที่ครอบคลุม



การทำงานจริงในรถยนต์) และวัดค่าแรงบิด ซึ่งเครื่องยนต์จะถูกกำหนดตำแหน่งคันเร่งไว้คงที่ที่ทุกสภาวะการทดสอบ ก่อนการทดสอบเครื่องยนต์จะต้องทำการอุ่นเครื่องเพื่อให้อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นและน้ำมันหล่อลื่นถึงค่า 85 °C การเก็บค่าจะเริ่มดำเนินการเมื่อเครื่องยนต์เข้าสู่สภาวะการทำงานคงที่ (Steady State Conditions)

### 2.2 เชื้อเพลิงทดสอบ

น้ำมันที่ใช้ในการทดสอบประกอบด้วยน้ำมัน 4 ชนิดคือ น้ำมันดีเซล และน้ำมันผสมเอทานอลที่มีการใช้ไบโอดีเซลเป็นตัวประสาน 3 อัตราส่วน เนื่องจากงานวิจัยนี้มุ่งเน้นการทดสอบเชื้อเพลิงผสมที่มีความเป็นไปได้ในการใช้งานจริง ดังนั้นสัดส่วนการผสมจะถูกกำหนดด้วยการผสมไบโอดีเซลที่มีขายอยู่ในท้องตลาดจริงประกอบด้วยน้ำมันดีเซลผสมไบโอดีเซลร้อยละ 3, 7 และ 10 โดยปริมาตร ซึ่งจะเรียกว่าน้ำมัน DB3, DB7, และ DB10 ตามลำดับ โดย D แทนคำว่า ดีเซล และ B แทนคำว่า ไบโอดีเซล ส่วนตัวเลขแทนร้อยละของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผสมในดีเซล จากนั้นน้ำมันผสมไบโอดีเซลทั้งสามอัตราส่วนจะถูกนำมาผสมเอทานอลในสัดส่วนต่างๆ เพื่อทดสอบ Phase Stability เพื่อให้เกิดความมั่นใจว่าน้ำมันผสมเอทานอล-ไบโอดีเซล-ดีเซล จะไม่เกิดการแยกชั้นที่อุณหภูมิตั้งแต่ 25-10 °C และสามารถเก็บรักษาได้นานจนถึงสามเดือน ทั้งนี้ผลการทดสอบพบว่าเชื้อเพลิงที่ผ่านการทดสอบและถูกนำมาใช้ในการทดสอบในเครื่องยนต์ประกอบด้วยน้ำมัน DB3 จำนวนร้อยละ 95 ผสมเอทานอลร้อยละ 5 เรียกว่าน้ำมัน DB3E5 น้ำมัน DB7 จำนวนร้อยละ 95 ผสม

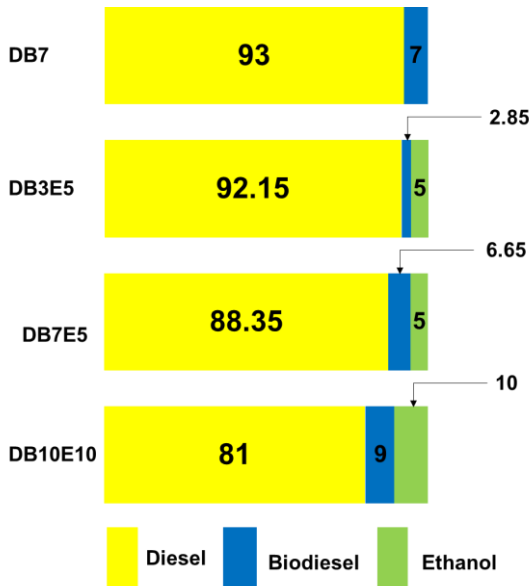
### ตารางที่ 1 คุณสมบัติของเครื่องยนต์

ยี่ห้อ	ISUZU
รุ่น	4JK1-TC
แบบเครื่องยนต์	ดีเซล 4 สูบแถวเรียง 4 จังหวะ จังหวะระบายความร้อนด้วยน้ำ
กระบอกสูบ x ช่วงชัก	95.4 x 87.4 มม.
ปริมาตรกระบอกสูบ	2,499 ซีซี.
อัตราส่วนแรงอัด	18.1:1
ระบบวาล์ว	16 วาล์ว DOHC
ระบบฉีดเชื้อเพลิง	ความดันสูงแบบรางร่วม Common rail

เอทานอลร้อยละ 5 เรียกว่า DB7E5 และน้ำมัน DB10 ร้อยละ 90 ผสมเอทานอลร้อยละ 10 นอกจากนี้ น้ำมันดีเซลที่ใช้อ้างอิงจะเป็นน้ำมันดีเซลที่ผสมไบโอดีเซลร้อยละ 7 (DB7) เพื่อให้สอดคล้องกับสถานการณ์จริงที่ขายในท้องตลาด ทั้งนี้เมื่อคิดสัดส่วนการผสมจริงของเชื้อเพลิงทดสอบทั้งหมดสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 1 และคุณสมบัติของเชื้อเพลิงทดสอบดังแสดงในตารางที่ 2

### 2.3 การทดสอบการเผาไหม้ในกระบอกสูบ

การทดสอบถูกทำขึ้นที่ห้องปฏิบัติการเทคโนโลยียานยนต์และพลังงานทางเลือก (Automotive Technology and Alternative Energy Research Group, ATAE) โดยเซนเซอร์แบบ Piezoelectric ยี่ห้อ Kistler รุ่น 6052C ถูกนำมาใช้วัดความดันในกระบอกสูบที่ทุกๆ 1 องศาหมุนเพลอาซ์หรือเหวี่ยงที่ถูกให้สัญญาณการเก็บค่าด้วยเอ็นโค้ดเดอร์แบบหมุน



รูปที่ 1 ร้อยละของน้ำมันดีเซล ไบโอดีเซลและเอทานอลที่ผสมอยู่ในน้ำมันทดสอบแต่ละชนิด

(Incremental Rotary Encoder) ยี่ห้อ Baumer ทั้งนี้ สัญญาณความดันในกระบอกสูบจะถูกส่งผ่านไปยังตัวขยายสัญญาณยี่ห้อ Dewetron รุ่น DEWE-30-4

ตารางที่ 2 คุณสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิง

Properties	Diesel	Biodiesel	Ethanol	DB7	DB3E5	DB7E5	DB10E10
Density (g/cm <sup>3</sup> )	0.814	0.864	0.782	0.829	0.829	0.830	0.828
Viscosity (cSt)	3.07	4.5	1.2	3.2	3.0	3.0	2.8
Heating Value (kJ/kg)	45.86	40.1	27.6	44.8	43.9	42.9	41.7
Cetane Number	-	67.9	-	-	56.5	56.7	53.6
Lubricity (µm)	532	172	-	201	245	282	240
Heat of Vaporization (kJ/kg)	254 [24]	254 [24]	904 [24]				
Enthalpy of Vaporization (kJ/g)	0.250 [25]	0.245 [25]	0.846 [26]				
Specific Heat Capacity (J g <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ) @298 K	1.87-1.92 [26]	2.12 [27]	2.44 [28]				

ก่อนนำไปเก็บที่หน่วยความจำของคอมพิวเตอร์ที่ควบคุมด้วยโปรแกรม Dewesoft เป็นจำนวน 100 วัฏจักรต่อเนื่องกันสำหรับทุกสภาวะการทดสอบค่าความดันทั้ง 100 วัฏจักรจะถูกนำมาหาค่าเฉลี่ยเพื่อเป็นตัวแทนของแต่ละสภาวะการทดสอบและถูกนำไปใช้ในการคำนวณหาอัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อน (Rate of Heat Release) ซึ่งคำนวณได้จากจากกฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์ เมื่อสมมติให้ไม่มีการถ่ายเทความร้อน และสารผสมระหว่างเชื้อเพลิงและอากาศเป็นเนื้อเดียวกันระหว่างการเผาไหม้ดังแสดงในสมการที่ (1) [29]

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

เมื่อ p คือความดันในกระบอกสูบ V คือปริมาตรในกระบอกสูบ, และ  $\gamma$  คือค่าอัตราส่วนความร้อนจำเพาะ (Specific Heat Ratio) โดยกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 0.3 แม้ว่าค่าอัตราส่วนความร้อนจำเพาะจะเปลี่ยนแปลงตามความดันและอุณหภูมิ



สำหรับเวลาที่เริ่มเกิดการเผาไหม้ในการศึกษานี้จะนิยามที่ตำแหน่งมุมเพลาช้อเหวียงที่เกิดการเผาไหม้ของสารผสมเป็นสัดส่วนร้อยละ 5 โดยคำนวณจากความร้อนที่ปล่อยออกมาสะสมที่ตำแหน่งใดๆ ทหารด้วยค่าความร้อนที่ปล่อยออกมาสะสมทั้งหมด

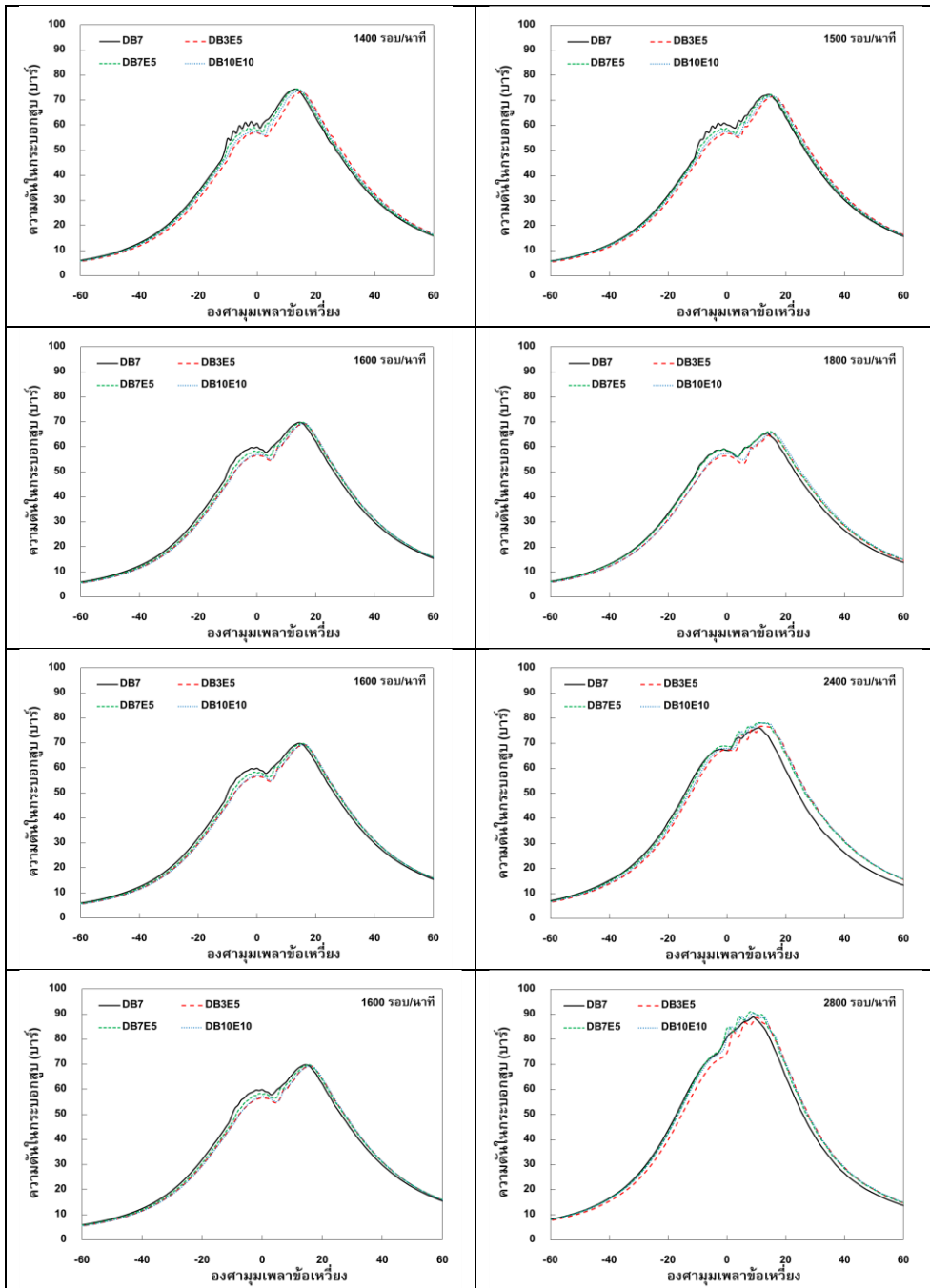
### 3. ผลการทดสอบและการอภิปรายผล

#### 3.1 ผลกระทบต่อความดันในกระบอกสูบ

รูปที่ 2 แสดงค่าความดันในกระบอกสูบของเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบค่าต่างๆ เมื่อใช้เชื้อเพลิงทดสอบทั้ง 4 ชนิด ผลการทดสอบเป็นไปในทางเดียวกันที่ทุกความเร็วรอบว่าน้ำมันดีเซล DB7 มีแนวโน้มที่ให้ค่าความดันในกระบอกสูบในช่วงแรก (ก่อนศูนย์ตายบนจนถึงประมาณ 10 องศาหลังศูนย์ตายบน) สูงกว่าน้ำมันที่ใช้เอทานอลผสมโดยมีไบโอดีเซลเป็นตัวประสาน ตามมาด้วยน้ำมัน DB7E5, DB10E10 ในขณะที่น้ำมัน DB3E5 ให้ค่าความดันต่ำสุด ทั้งนี้เนื่องมาจากน้ำมัน DB7 เกิดการเผาไหม้ก่อนตามมาด้วยน้ำมัน DB7E5, DB10E10 และน้ำมัน DB3E5 ตามลำดับซึ่งจะแสดงให้เห็นได้อย่างชัดเจนในค่าอัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อนที่จะได้กล่าวในลำดับถัดไป อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาค่าความดันที่เกิดขึ้นสูงสุด ( $P_{max}$ ) ในกระบอกสูบดังรูปที่ 3 จะพบว่าน้ำมัน DB7E5 ให้ค่าสูงสุดในขณะที่ DB3E5 ให้ค่าต่ำสุด การให้ค่า  $P_{max}$  ที่สูงสุดของน้ำมัน DB7E5 เนื่องมาจากการปลดปล่อยพลังงานความร้อนของเชื้อเพลิงที่เกิดขึ้นพร้อมๆ กันจากการเผาไหม้มวลเชื้อเพลิงที่มีจำนวนมากกว่าน้ำมัน DB7 อันเป็นผลมาจากการเริ่มการเผาไหม้ที่ช้ากว่าในขณะที่การเผาไหม้ที่เกิดขึ้นล่าช้าเกินไปของน้ำมัน DB3E5 ส่งผลในทางตรงข้ามเนื่องจากการเผาไหม้เกิดขึ้น

ในช่วงที่ลูกสูบขยายตัวลงไปสู่ศูนย์ตายล่างซึ่งปริมาตรในกระบอกสูบที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ความดันลดลง ทั้งนี้การเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบไม่ส่งผลต่ออิทธิพลของเชื้อเพลิงทดสอบต่อค่าความดันสูงสุด แต่การเพิ่มความเร็วรอบส่งผลให้ค่าความดันสูงสุดมีค่าลดลงสำหรับทุกน้ำมันทดสอบในช่วง 1400-1800 รอบต่อนาที แต่เมื่อมีการเพิ่มความเร็วรอบต่อไปจาก 1800-2800 รอบต่อนาที ค่าความดันในกระบอกสูบมีค่าเพิ่มขึ้นดังแสดงในรูปที่ 4 ทั้งนี้เนื่องจากการทดสอบนี้เครื่องยนต์จะถูกให้ทำงานด้วยการควบคุมของ ECU อย่างอิสระ การลดลงของค่าความดันในกระบอกสูบสูงสุดเมื่อความเร็วรอบเพิ่มขึ้นในช่วงแรก (1400-1800 rpm) เป็นผลมาจากจังหวะในการฉีดเชื้อเพลิงที่เกิดความล่าช้าเพิ่มมากขึ้น (เห็นได้อย่างชัดเจนในการวิเคราะห์ค่าอัตราการปลดปล่อยความร้อน) ในทางตรงกันข้ามเมื่อความเร็วรอบเพิ่มขึ้นต่อไปอีก จังหวะในการฉีดเชื้อเพลิงจะถูกปรับให้เกิดล่วงหน้าเพิ่มมากขึ้นเพื่อให้เชื้อเพลิงถูกฉีดได้ทัน โดยจะเห็นได้ว่าค่าความดันสูงสุดในกระบอกสูบที่สูงจะเกิดขึ้นที่ตำแหน่งเพลาช้อเหวียงที่ใกล้ศูนย์ตายบนซึ่งเป็นตำแหน่งที่เครื่องยนต์จะให้ประสิทธิภาพสูงสุด (ปริมาตรกระบอกสูบน้อย) ในขณะที่ความดันสูงสุดที่มีค่าต่ำกว่าจะเกิดที่ตำแหน่งเพลาช้อเหวียงที่อยู่ห่างจากศูนย์ตายบนมากกว่า [29]

อิทธิพลของความเร็วรอบต่อตำแหน่งที่เกิดความดันสูงสุดที่ล่าช้าในช่วงแรกเนื่องมาจากเวลาที่ใช้สำหรับการเกิดการเผาไหม้มีค่าลดลง (Time Base) เมื่อความเร็วรอบเพิ่มขึ้น ส่งผลให้เมื่อพิจารณาเป็นค่ามุมเพลาช้อเหวียง (Angle Base) จะใช้เวลาเพิ่มมากขึ้น ในขณะที่จังหวะการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงที่เร็วขึ้น



รูปที่ 2 การเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบเครื่องยนต์ต่อความดันในกระบอกสูบเมื่อใช้เชื้อเพลิงชนิดต่างๆ



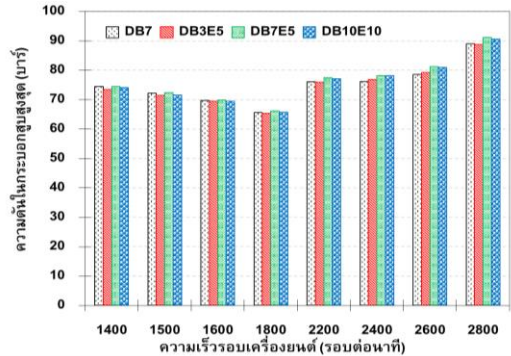


น่าจะเป็นผลต่อตำแหน่งค่าความดันสูงสุดที่เกิดเร็วขึ้น เมื่อมีการเพิ่มความเร็วยกต่อไป เนื่องจากหากเครื่องยนต์ยังคงทำการฉีดเชื้อเพลิงที่ตำแหน่งเดิม กระบวนการเผาไหม้ทั้งหมดอาจจะไม่สามารถเกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์ทันเวลาที่วาล์วไอเสียจะทำการเปิด ทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ลดลง

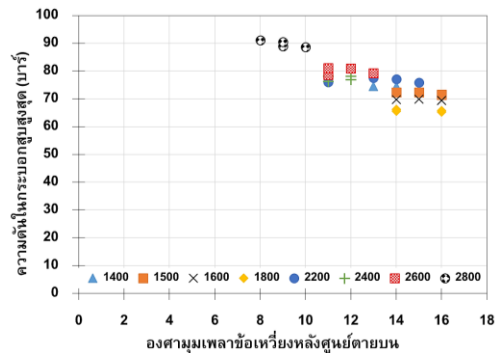
สำหรับอิทธิพลของเชื้อเพลิงทดสอบต่อตำแหน่งที่เกิดค่าความดันสูงสุดในกระบอกสูบดังแสดงในรูปที่ 5 จะพบว่าตำแหน่งที่เกิดความดันสูงสุดของน้ำมันดีเซลเกิดขึ้นเร็วที่สุดในขณะที่น้ำมัน DB3E5 เกิดในตำแหน่งที่ล่าช้าที่สุด น้ำมัน DB10E10 มีแนวโน้มเกิดล่าช้ากว่า DB7E5 ซึ่งล่าช้ากว่าน้ำมันดีเซล DB7 จะเห็นได้ว่าตำแหน่งที่เกิดความดันสูงสุดไม่ได้มีความสัมพันธ์กับค่าความดันสูงสุดที่เกิดขึ้น อย่างไรก็ตามผลของตำแหน่งที่เกิดค่าความดันสูงสุดในกระบอกสูบนี้พอจะคาดการณ์ได้ว่า น้ำมันที่มีเอทานอลเป็นส่วนผสมน่าจะเริ่มเกิดการเผาไหม้ล่าช้ากว่าน้ำมันดีเซลซึ่งจะแสดงรายละเอียดในอัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อนในหัวข้อถัดไป

### 3.2 ผลกระทบต่ออัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อน

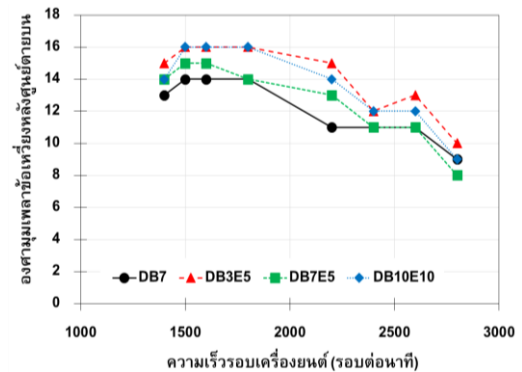
จากค่าอัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อนในรูปที่ 6 จะพบว่าความเร็วยกที่เปลี่ยนแปลงไปส่งผลต่อลักษณะการเผาไหม้ในเครื่องยนต์ โดยที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ต่ำถึงปานกลางตั้งแต่ 1400 - 2200 รอบต่อนาทีการเผาไหม้จะเกิดขึ้นในสองช่วงเวลา คือ ช่วงก่อนศูนย์ตายบนระหว่าง -15 ถึง 0 องศาเฟลา ข้อเหวี่ยงช่วงก่อนศูนย์ตายบนระหว่าง -15 ถึง 0 องศาเฟลาข้อเหวี่ยงการปลดปล่อยความร้อนจะเกิดขึ้นเพียงช่วงเดียวที่



รูปที่ 3 ค่าความดันในกระบอกสูบสูงสุดที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ค่าต่างๆ เมื่อใช้เชื้อเพลิงทดสอบทั้ง 4 ชนิด



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ของความดันในกระบอกสูบสูงสุดและตำแหน่งที่เกิดที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ค่าต่างๆ



รูปที่ 5 ตำแหน่งที่เกิดค่าความดันในกระบอกสูบสูงสุดของเชื้อเพลิงทดสอบทั้ง 4 ชนิดที่ความเร็วรอบต่างๆ

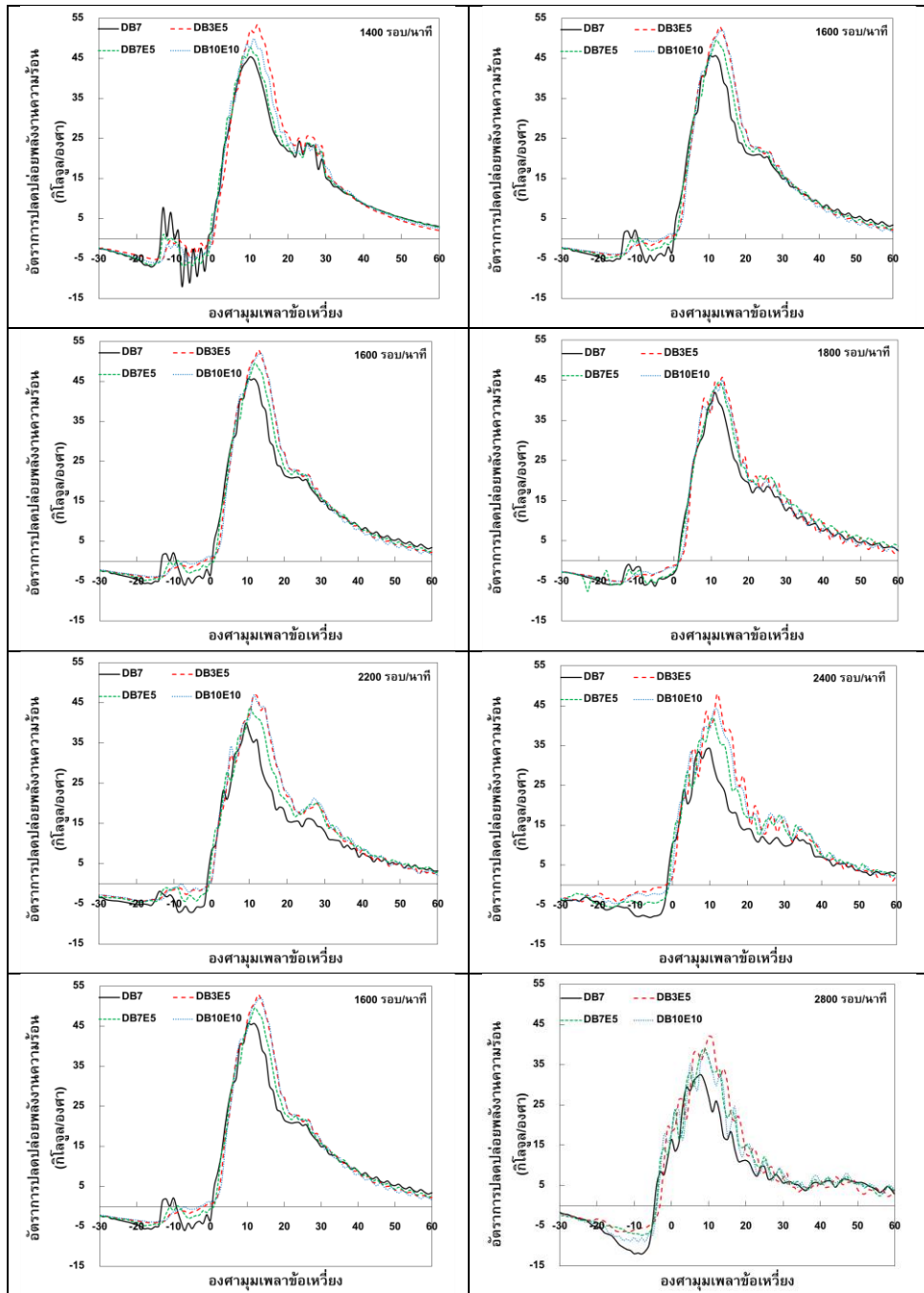


ตำแหน่งหลังศูนย์ตายบน ทั้งนี้เนื่องมาจากโดยทั่วไปที่สภาวะความเร็วรอบต่ำ ECU จะสั่งการให้เครื่องยนต์ฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงสองครั้งเพื่อประโยชน์ทางด้าน การเดินเครื่องที่ราบเรียบและการควบคุมมลพิษของเครื่องยนต์ คือครั้งที่หนึ่งฉีดน้ำมันเพียงปริมาณเล็กน้อยในช่วงการฉีดก่อน (Pilot หรือ Pre Injection) โดยที่ความเร็วรอบต่ำมากเชื้อเพลิงจะถูกฉีดในปริมาณมากกว่าที่ความเร็วรอบสูง การปลดปล่อยพลังงานในช่วง Pre/pilot จึงมีค่าลดลงเมื่อความเร็วรอบเพิ่มขึ้น และครั้งที่สองฉีดน้ำมันปริมาณมากในช่วงการฉีดหลัก (Main Injection) สำหรับที่ความเร็วรอบสูงเครื่องยนต์จะถูกฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงในช่วงการฉีดหลักเพียงช่วงเดียว นอกจากนี้เมื่อพิจารณาตำแหน่งที่เริ่มการเผาไหม้ของเครื่องยนต์เมื่อความเร็วรอบเปลี่ยนไป จะพบว่า การเพิ่มขึ้นของความเร็วรอบในช่วงแรกที่ 1400-1800 รอบต่อนาที ตำแหน่งเริ่มการเผาไหม้มีค่าล่าช้ามากขึ้น แต่เมื่อมีการเพิ่มความเร็วยังต่อไปจาก 2200-2800 รอบต่อนาที ตำแหน่งการเริ่มการเผาไหม้เกิดขึ้นล่วงหน้าเพิ่มขึ้นสอดคล้องกับตำแหน่งความดันสูงสุดที่เกิดขึ้นในหัวข้อนี้เนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงจังหวะการฉีดเชื้อเพลิง ทั้งนี้การเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบของเครื่องยนต์ไม่ส่งผลต่อรูปแบบการเผาไหม้ของเครื่องยนต์เมื่อใช้เชื้อเพลิงที่แตกต่างกัน

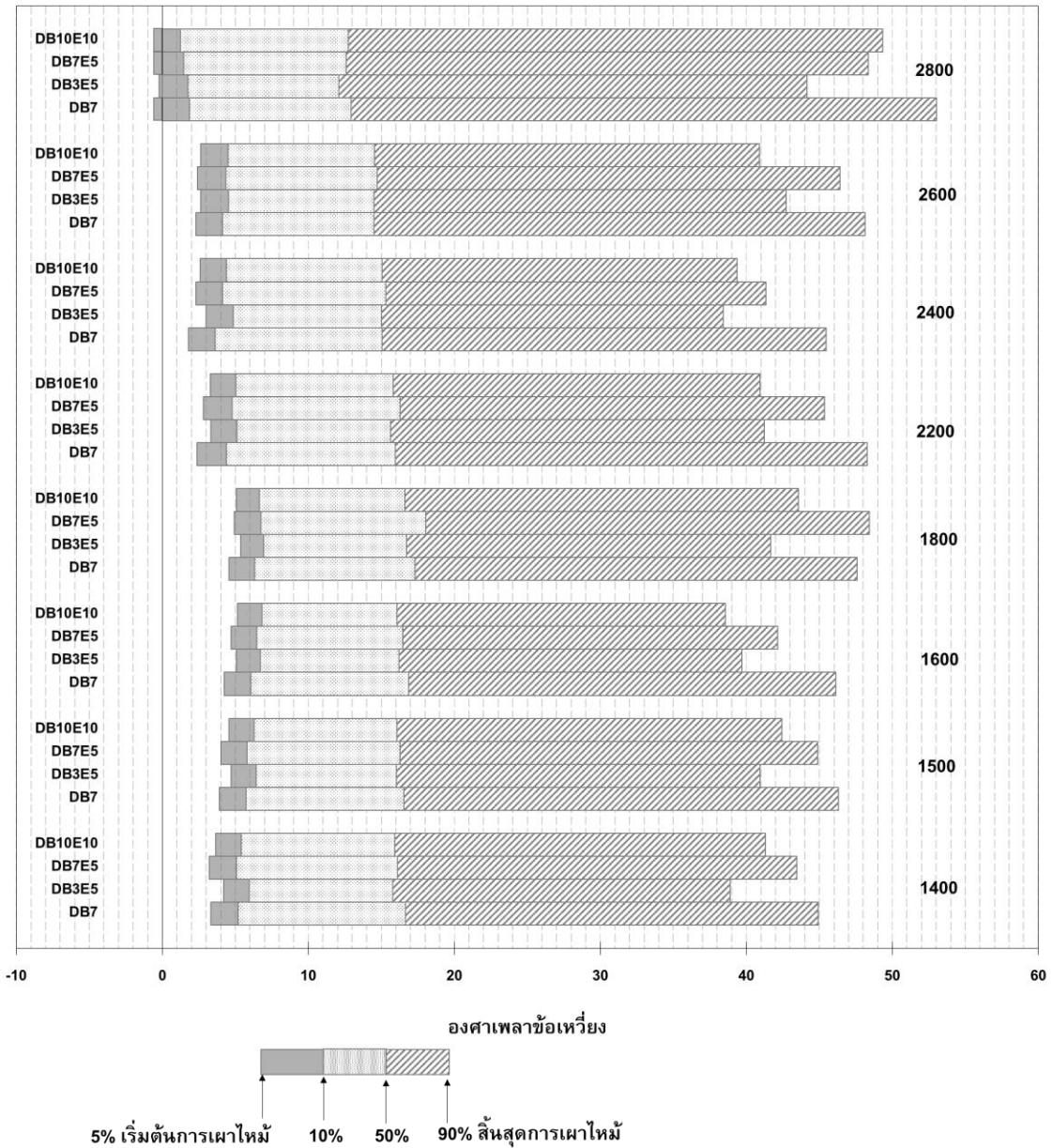
แม้ว่ารูปแบบของการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ซึ่งแสดงด้วยค่าอัตราการปลดปล่อยความร้อนที่ใช้เชื้อเพลิงทั้ง 4 ชนิดจะไม่แตกต่างกัน แต่เชื้อเพลิงที่ผสมเอทานอลและไบโอดีเซลจะส่งผลต่ออัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อนที่ได้ออกมาแตกต่างจากน้ำมันดีเซล โดยในช่วงการเผาไหม้ก่อน

(Pre/Pilot Combustion) เชื้อเพลิงที่ผสมเอทานอลจะให้ค่าอัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อนต่ำกว่า และเวลาที่เชื้อเพลิงเริ่มปลดปล่อยความร้อนล่าช้ากว่า น้ำมันดีเซลที่ผสมเพียงไบโอดีเซลร้อยละ 7 ทั้งนี้เนื่องมาจากเอทานอลต้องการพลังงานความร้อนที่สูงในการระเหยเป็นไอ (Heat of Vaporization) ดังแสดงในตารางที่ 2 ดังนั้นเมื่อเชื้อเพลิงถูกฉีดในช่วงการฉีดก่อน น้ำมันดีเซลซึ่งดูดความร้อนน้อยกว่าจึงสามารถระเหยและปลดปล่อยความร้อน (Exothermic) ได้ใน ส่วนหนึ่ง ในขณะที่เอทานอลต้องดูดความร้อน (Endothermic) ส่วนมากไปในการระเหย และส่งผลให้ต้องให้เวลายาวนานก่อนที่สารผสมจะมีอุณหภูมิที่สูงขึ้นพร้อมในการปลดปล่อยความร้อน

การผสมเอทานอลลงในเชื้อเพลิงไม่เพียงแต่ส่งผลต่อการเผาไหม้ในช่วง Pre/Pilot เชื้อเพลิงเอทานอลยังส่งผลให้การเผาไหม้หลัก (Main Combustion) เกิดความล่าช้ากว่าเชื้อเพลิงที่ไม่มีเอทานอลเป็นส่วนผสม เช่นเดียวกันดังแสดงในรูปที่ 7 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมา [30] ดีเซล DB7 เริ่มต้นการเผาไหม้เร็วที่สุด สอดคล้องกับค่าความดันที่สูงในช่วงแรกและค่าตำแหน่งความดันสูงสุดที่เกิดขึ้นเร็วสุดดังที่ได้นำเสนอในหัวข้อก่อนหน้า เป็นไปในทำนองเดียวกันเชื้อเพลิง DB3E5 เริ่มเกิดการเผาไหม้ช้าที่สุดโดยที่ค่าความดันในกระบอกสูบต่ำสุดและตำแหน่งความดันสูงสุดในกระบอกสูบเกิดขึ้นห่างจากศูนย์ตายบนมากที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากเอทานอลต้องการความร้อนในการระเหยกลายเป็นไอมากที่สุด จึงต้องใช้เวลานานในการเพิ่มอุณหภูมิในห้องเผาไหม้จนถึงอุณหภูมิที่สามารถจุดระเบิดได้เองยาวนานกว่าเชื้อเพลิง DB7



รูปที่ 6 การเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบเครื่องยนต์ต่ออัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อนเมื่อใช้เชื้อเพลิงทั้ง 4 ชนิด



รูปที่ 7 ตำแหน่งเพลาคือการเผาไหม้ที่ร้อยละ 5, 10, 50 และ 90 ของมวลที่ถูกเผาไหม้ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ต่างๆ เมื่อใช้เชื้อเพลิงทดสอบทั้ง 4 ชนิด



นอกจากนี้ในช่วงจังหวะการอัดของเครื่องยนต์ ดีเซลการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิและความดันในกระบอกสูบจะเสมือนว่าเป็นไปตามกระบวนการ Isentropic ดังแสดงในสมการที่ 2 [29]

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma-1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \quad (2)$$

เมื่อ  $\gamma$  คือ Ratio of Specific Heat, T และ P คือ อุณหภูมิและความดันในกระบอกสูบตามลำดับ ซึ่งค่าอุณหภูมิหรือความดันที่เพิ่มขึ้นจะขึ้นอยู่กับค่า  $\gamma$  ซึ่งขึ้นอยู่กับค่าความร้อนจำเพาะ (Specific Heat,  $c_p$ ) ของเชื้อเพลิง จะเห็นได้ว่าเอทานอลมีค่าความร้อนจำเพาะที่สูง การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิในกระบอกสูบจะต่ำกว่าน้ำมันดีเซลและไบโอดีเซลส่งผลให้เชื้อเพลิงที่ผสมเอทานอลเกิดการเริ่มต้นเผาไหม้ช้ากว่า

อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมัน DB3E5 และ DB7E5 ซึ่งมีปริมาณเอทานอลเท่ากันแต่ปริมาณไบโอดีเซลต่างกันจะพบว่าน้ำมัน DB7E5 เกิดการเผาไหม้ก่อน DB3E5 และในบางสภาวะจะเกิดการเผาไหม้เร็วใกล้เคียงกับน้ำมัน DB7 ทั้งนี้เนื่องมาจากปริมาณออกซิเจนที่อยู่ในไบโอดีเซลรวมกับที่อยู่ในน้ำมัน เอทานอลที่มากในน้ำมัน DB7E5 สามารถช่วยส่งเสริมการเกิดการเผาไหม้ได้เป็นอย่างดี โดยหลังจากที่เชื้อเพลิงถูกฉีดเป็นสเปรย์ในกระบอกสูบ การผสมกันระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศในบางส่วนของห้องเผาไหม้อาจเกิดการผสมเป็นแบบหนา (Local Rich Zone) ซึ่งเป็นส่วนผสมที่ไม่สามารถเกิดการเผาไหม้ได้ ออกซิเจนซึ่งทำหน้าที่เป็น Oxidizer ที่อยู่ในเชื้อเพลิงไบโอดีเซลและเอทานอลในปริมาณที่มากขึ้นสามารถเจือจางส่วนผสมใน Local Rich Zone

เหล่านั้นและทำให้อยู่ในอัตราส่วนการผสมที่พอเหมาะ จะเกิดการเผาไหม้ กระบวนการ Oxidation ด้วย Oxidizer ที่มากเพียงพอจึงสามารถเกิดขึ้นได้ [31]

ในทำนองเดียวกันน้ำมัน DB10E10 ซึ่งมีเอทานอลเป็นส่วนผสมมากที่สุดน่าจะเริ่มเกิดการเผาไหม้หลังสุด แต่สัดส่วนในการผสมไบโอดีเซลที่สูงสามารถชดเชยการลดลงของจำนวนซีเทนได้ส่วนหนึ่ง ประกอบกับปริมาณออกซิเจนในน้ำมันที่สูงสามารถเร่งให้เชื้อเพลิง DB10E10 เกิดการเผาไหม้ก่อน DB3E5 ด้วยการลด Ignition Delay ให้สั้นลง [29] แต่ไม่สามารถเกิดขึ้นได้เร็วกว่าน้ำมัน DB7E5 เนื่องจากค่าจำนวนซีเทนที่ต่ำกว่ามากจากปริมาณเอทานอลที่สูงกว่า

การเริ่มต้นการเผาไหม้จะส่งผลต่ออัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อนและช่วงระยะเวลาในการเผาไหม้ (Combustion Duration) โดยน้ำมัน DB3E5 ที่เริ่มเกิดการเผาไหม้ช้าที่สุดจะมีอัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อนมากที่สุดในทางตรงข้ามน้ำมัน DB7 ที่เริ่มเกิดการเผาไหม้ก่อนจะมีอัตราการปลดปล่อยความร้อนน้อยกว่า ทั้งนี้เนื่องมาจากน้ำมันที่เริ่มจุดระเบิดช้าจะมีเวลาในการผสมสารผสมของเชื้อเพลิงและอากาศ (Premixed Mixture) ที่พร้อมในการเผาไหม้มาก ส่งผลให้ในช่วงเวลา Premixed Combustion Mode สารผสมจำนวนมากจะเกิดการจุดระเบิดและเผาไหม้พร้อม ๆ กัน (Simultaneously Homogeneous Combustion) จึงมีอัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อนที่สูง เกิดการเผาไหม้ที่รวดเร็วส่งผลให้เวลาในการเผาไหม้ในช่วงนี้จะสั้นสุดก่อน (การเผาไหม้ในช่วง 10-50 ของมวลที่ถูกเผาไหม้ทั้งหมด) ทั้งที่เวลาในการเผาไหม้มวลที่



ร้อยละ 10 สิ้นสุดช้ากว่า (ช่วงเริ่มต้นการเผาไหม้) สำหรับน้ำมัน DB7 การเริ่มจุดระเบิดที่รวดเร็วทำให้มีปริมาณเชื้อเพลิงผสม (Premixed Charge) ในการเผาไหม้น้อยจึงส่งผลในทางตรงข้ามกับน้ำมัน DB3E5

ในขณะที่เดียวกันเมื่อน้ำมันส่วนใหญ่ถูกเผาไหม้ในช่วงของ Premixed Combustion Mode น้ำมันที่เหลือสำหรับการเผาไหม้ในช่วง Diffusion mode ที่ถูกควบคุมด้วยอัตราการระเหยของเชื้อเพลิง การผสมกันระหว่างเชื้อเพลิงและอากาศ ณ ในขณะเวลานั้นๆ จะเหลือเป็นปริมาณน้อยลง น้ำมัน DB3E5 จึงเกิดการเผาไหม้สิ้นสุดลงเร็วที่สุด (การเผาไหม้ในช่วง 50-90 ของมวลที่ถูกเผาไหม้น้อยสุด) อีกทั้งค่าความเร็วของเปลวไฟ (Flame Speed) ของเอทานอลที่สูงยังส่งผลให้การเผาไหม้ในช่วงนี้เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วอีกทางหนึ่งด้วย น้ำมันที่ผสมเอทานอลในทุกสัดส่วนจึงสิ้นสุดการเผาไหม้ได้รวดเร็วกว่าน้ำมัน DB7 ที่ทุกความเร็วรอบการทดสอบ

#### 4. บทสรุป

จากผลการตอบสนองของเครื่องยนต์ดีเซลต่อลักษณะการเผาไหม้ เมื่อมีการใช้เอทานอลผสมในน้ำมันดีเซลโดยใช้ไบโอดีเซลเป็นตัวประสานเป็นเชื้อเพลิง ที่ความเร็วรอบต่างๆ ของเครื่องยนต์ โดยไม่มีการปรับแต่งระบบการควบคุมใดๆ พบว่าคุณสมบัติของความต้องการพลังงานความร้อนที่สูงในการระเหยของเอทานอลส่งผลต่อตำแหน่งการเริ่มต้นในการจุดระเบิดที่ล่าช้าในทุกความเร็วรอบที่ทดสอบ ทั้งนี้เมื่อมีการเติมน้ำมันไบโอดีเซลเป็นตัวประสานจะส่งผลในทางตรงข้ามคือ การเผาไหม้จะเริ่มต้นได้ล่วงหน้ามากขึ้นเนื่องมาจากปริมาณออกซิเจนที่เพิ่ม

มากขึ้นช่วยส่งเสริมให้เกิดสารผสมที่พอดีสำหรับการจุดระเบิดด้วยตนเอง โดยเชื้อเพลิงที่เกิดการจุดระเบิดล่าช้าจากเอทานอลจะมีอัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อนในช่วง Premixed Mode สูงตรงกันข้ามกับเชื้อเพลิงที่ส่งผลในการจุดระเบิดได้ก่อนที่ซึ่งมีอัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อนต่ำกว่า นอกจากนี้ เอทานอล ยังส่งผลต่อช่วงเวลาที่ใช้ในการเผาไหม้ให้มีระยะเวลาสั้นลง

สำหรับอิทธิพลของความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่เปลี่ยนไปส่งผลต่อลักษณะการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงทุกชนิดไปในทำนองเดียวกัน นั่นคือ ที่ความเร็วรอบต่ำการเผาไหม้จะเกิดขึ้นในสองช่วงเวลาคือ Pre/Pilot Combustion และ Main Combustion เนื่องจากการฉีดเชื้อเพลิงสองจังหวะ โดยเมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์เพิ่มมากขึ้น จังหวะเริ่มการเผาไหม้จะช้าลงอย่างไรก็ตามเมื่อความเร็วของเครื่องยนต์ยังเพิ่มขึ้นต่อไปอีก การฉีดเชื้อเพลิงจะเหลือเพียงครั้งเดียวในช่วงการฉีดหลักและการเผาไหม้จะเริ่มการจุดระเบิดเร็วขึ้น ทั้งนี้การเปลี่ยนแปลงความเร็วของเครื่องยนต์ไม่ส่งผลต่ออิทธิพลของเชื้อเพลิงทดสอบที่เปลี่ยนไป

จากการทดสอบจะเห็นได้ว่าการใช้ไบโอดีเซลเป็นตัวประสานในเชื้อเพลิงดีเซลที่ผสมเอทานอลสามารถลดความแตกต่างระหว่างเชื้อเพลิงเอทานอลให้สามารถใช้ในเครื่องยนต์ดีเซลได้เป็นอย่างดี และสามารถนำไปใช้ในเครื่องยนต์ที่มีขายอยู่ในท้องตลาดปัจจุบันได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเชื้อเพลิง DB7E5 ที่ให้ลักษณะการเผาไหม้ที่ใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลที่ขายอยู่ในท้องตลาด อย่างไรก็ตามหากต้องการให้ได้ประสิทธิภาพที่เหมาะสมที่สุดควรจะมีการปรับปรุง



เครื่องยนต์โดยอาจจะปรับตั้งให้มีการฉีดเชื้อเพลิงล่วงหน้าขึ้น อีกทั้งควรทำการทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์เมื่อมีการใช้เชื้อเพลิงเอทานอลเป็นเวลานานที่ต่อเนื่องกัน ซึ่งเป็นงานวิจัยที่ได้วางแผนในการศึกษาในอนาคตอันใกล้ รวมถึงการเพิ่มสัดส่วนการผสมเอทานอลในน้ำมันด้วยการเพิ่มสัดส่วนการผสมไบโอดีเซลที่ร้อยละ 20 ซึ่งเป็นสัดส่วนที่มีการใช้งานจริงในหลายประเทศ

## 5. เอกสารอ้างอิง

- [1] <https://drive.google.com/file/d/1176wJc0jQlCfOX-wtU8Gvh38VdOaeacd/view> (Accessed on 15 January 2021) (in Thai)
- [2] <https://web.dlt.go.th /statistics/>. (Accessed on 15 January 2021) (in Thai)
- [3] A. Milovanoff, I.D. Posen, B.A. Saville and H.L. MacLean, Well-to-wheel greenhouse gas implications of mid-level ethanol blend deployment in Canada's light-duty fleet, 2020, 131, 110012.
- [4] J. Han, A. Elgowainy and M. Wang, Well-to-wheels greenhouse gas emissions analysis of high-octane fuels with various market shares and ethanol blending levels, Argonne, US Department of Energy, 2015, Technical Report, ANL/ESD-15/10: 119162.
- [5] V. Kumar, A.P. Singh and A.K. Agarwal, Gaseous emissions (regulated and unregulated) and particulate characteristics of a medium-duty CRDI transportation diesel engine fueled with diesel-alcohol blends, Fuel, 2020, 278, 118269.
- [6] H.Y. Kim, J.C. Ge and N.J. Choi, Effects of ethanol-diesel on the combustion and emissions from a diesel Engine at a low idle speed, Applied Sciences, 2020, 10, 4153.
- [7] <http://www.ocsb.go.th/upload/bioindustry/fileupload/10208-8459.pdf> (Accessed on 25 February 2021) (in Thai)
- [8] P. Satgé De Caro, Z. Mouloungui, G. Vaitilingom and J.Ch. Berge, Interest of combining an additive with diesel-ethanol blends for use in diesel engines, Fuel, 2001, 80, 565-574.
- [9] M.A. Ghadikolaei, Effect of alcohol blend and fumigation on regulated and unregulated emissions of IC engines—A review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2016, 57, 1440-1495.
- [10] F.C. Barbosa, Heavy duty ethanol engines – A sustainable approach for transit bus Fleets, SAE Technical Papers, 2015, No. 2015-36-0223.



- [11] H. Liu, B. Hu and C. Jin, Effects of different alcohols additives on solubility of hydrous ethanol/diesel fuel blends, *Fuel*, 2016, 184, 440-448.
- [12] K. Theinnoi, B. Sawatmongkhon, T. Wongchang, E. Sukjit, S. Chuepeng, The combustion characteristic of fuel additives with diesel-ethanol fuel blends on engine performance, *SAE Technical Papers*, 2019, No. 2019-32-0611.
- [13] R. Shanmugam, P. Murugesan, G.G. Guye and B. Duraisamy, Effect of additives on the stability of ethanol-diesel blends for IC engine application, *Environmental Science and Pollution Research International*, 2021, 28, 12153–12167.
- [14] S. Pinzi, I. Lopez, D.E. Leiva-Candia, M.D. Redel-Macizs, J.M. Herreros, A. Cubero-Atienza and M.P. Dorado, Castor oil enhanced effect on fuel ethanol-diesel fuel blend properties, *Applied Energy*, 2018, 224, 409-416.
- [15] M.H. Low, M.N.A. Mukhtar, F.Y. Hagos and M.M. Noor, Tri-fuel (diesel-biodiesel-ethanol) emulsion characterization, stability and the corrosion effect, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2017, 257, 012082.
- [16] N. Al-Esawi, M.A. Qubeissi and R. Kolodnytska, The impact of biodiesel fuel on ethanol/diesel blends, *Energies*, 2019, 12, 1804.
- [17] S. Madiwale, A. Karthikeyan and V. Bhjwani, Properties investigation and performance analysis of a diesel engine fuelled with Jatropa, Soybean, Palm and Cottonseed biodiesel using ethanol as an additive, *Materials Today: Proceedings*, 2018, 5(1), 657-664.
- [18] A. Gupta, D. Gupta and N. Kumar, Performance evaluation and emission characteristics of biodiesel-alcohol-diesel fuelled in VCR engine, *SAE Technical Papers*, 2016, No. 2016-01-2265.
- [19] H.K. Imdadul, H.H. Masjuki, M.A. Kalam, N.W.M. Zulkifli, A. Alabdulkarem, M.M. Rashed, Y.H. Teoh and H.G. How, Higher alcohol-biodiesel-diesel blends: An approach for improving the performance, emission, and combustion of a light-duty diesel engine, *Energy Conversion and Management*, 2016, 111, 174-185.
- [20] F. Aydin and H. Ögüt, Effects of using ethanol-biodiesel-diesel fuel in single cylinder diesel engine to engine performance and emissions, *Renewable Energy*, 2017, 103, 688-694.





- [21] Y. Noorollahi, M. Azadbakht and B. Ghobadian, The effect of different diesterol (diesel-biodiesel-ethanol) blends on small air-cooled diesel engine performance and its exhaust gases, *Energy*, 2018, 142, 196-200.
- [22] H. Tse, C.W. Leung, C.S. Cheung, Performances, emissions and soot properties from a diesel-biodiesel ethanol blend fuelled engine. *Advances in Automobile Engineering*, 2016, S1: 005.
- [23] M.A. Ghadikolaei, L. Wei, C.S. Cheung, K. Yung and Z. Ning, Particulate emission and physical properties of particulate matter emitted from a diesel engine fueled with ternary fuel (diesel-biodiesel-ethanol blended and fumigation modes), *Fuel*, 2020, 263, 116665.
- [24] J. Barata, Modelling of biofuel droplets dispersion and evaporation, *Renewable Energy*, 2008, 33(4), 769-779.
- [25] S. Sundarapandian, G. Devaradjane, Performance and emission analysis of biodiesel operated CI engine, *Journal of Engineering, Computing and Architecture*, 2007, 1(2), 1–22.
- [26] A. Zanier, HW. Jäckle, Heat capacity measurements of petroleum fuels by modulated DSC, *Thermochimica Acta*, 1996, 287(2), 203–212.
- [27] W.M. Haynes, *CRC Handbook of Chemistry and Physics*, 96<sup>th</sup> Eds, CRC Press, Taylor & Francis Group, FL, USA, 2015-2016, 7-9.
- [28] <https://webbook.nist.gov/chemistry/> (Accessed on 18 March 2021)
- [29] J.B. Heywood, *Internal combustion engine fundamentals*, McGraw-Hill Inc., NY, USA, 1988.
- [30] G. Labeckas, S. Slavinskas and M. Mazeika The effect of ethanol–diesel–biodiesel blends on combustion, performance and emissions of a direct injection diesel engine, *Energy Conversion and Management*, 2014, 79, 698-720.
- [31] O.T. Kaario, V. Vuorinen, H. Kahila, H.G. Im and M. Larmi, The effect of fuel on high velocity evaporating fuel sprays: Large-Eddy simulation on spray A with various fuels, *International Journal of Engine research*, 2020, 21(1), 26-42.