

การตอบสนองของเครื่องยนต์ดีเซลต่อเชื้อเพลิงเอทานอลที่ผสมในน้ำมันดีเซลผสมไบโอดีเซล

Responses of Diesel Engines to Ethanol Blended in Diesel-Biodiesel Blended Fuels

มานิดา ทองอรุณ ประทีป ชัยเสริมทวัญ และ ศักดิ์ดา ธงชัย*

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา

E-mail: sakda@eng.src.ku.ac.th

Manida Tongroon, Prateep Chaisermawan and Sakda Thongchai*

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

E-mail: sakda@eng.src.ku.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้เอทานอลกับเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัดหรือเครื่องยนต์ดีเซล เพื่อมุ่งเน้นความพร้อมใช้งานในอนาคตอันใกล้ โดยไม่ต้องทำการดัดแปลงหรือปรับแต่งเครื่องยนต์ใด ๆ ทั้งนี้เครื่องยนต์ที่ถูกเลือกใช้ในการทดสอบประกอบด้วยเครื่อง 2 แบบที่มีระบบการฉีดเชื้อเพลิงที่แตกต่างกันคือเครื่องยนต์ที่มีระบบการฉีดเชื้อเพลิงแบบปั๊มกลไกซึ่งเป็นตัวแทนเครื่องยนต์ที่มีการใช้ในอดีตและยังคงพบเห็นในรถยนต์เก่าที่วิ่งอยู่บนท้องถนนปัจจุบันรวมถึงใช้อย่างแพร่หลายในเครื่องยนต์ทางการเกษตร และเครื่องยนต์ระบบฉีดเชื้อเพลิงแบบคอมมอนเรลความดันสูงที่ควบคุมด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งเป็นตัวแทนเครื่องยนต์ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันและอนาคต ทั้งนี้เอทานอลจะถูกนำมาใช้ในรูปแบบของการผสมในน้ำมันดีเซลร้อยละ 5 (E5) และ 10 (E10) โดยปริมาตร และเพื่อป้องกันการแยกชั้นของน้ำมันผสมเอทานอล เชื้อเพลิงไบโอดีเซลร้อยละ 3 (B3), 7 (B7) และ 10 (B10) โดยปริมาตรจะถูกนำมาผสมในน้ำมันดีเซลก่อนการผสมเอทานอลเพื่อใช้เป็นตัวแทนในน้ำมันผสม รวมเป็นน้ำมันทดสอบที่ผสมเอทานอล-ดีเซล-ไบโอดีเซลทั้งสิ้น 3 ชนิด คือ B3E5, B7E5 และ B10E10 สำหรับศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้งานโดยศึกษาจากพฤติกรรมตอบสนองของเครื่องยนต์ต่อน้ำมันด้วยค่าแรงบิด ประสิทธิภาพเชิงความร้อน และปริมาณสารมลพิษ โดยทำการเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซลที่ผสมไบโอดีเซลร้อยละ 7 (B7) ซึ่งเป็นน้ำมันดีเซลพื้นฐานของประเทศ ผลการทดสอบพบว่าเครื่องยนต์ทั้งสองชนิดสามารถใช้เชื้อเพลิงผสมเอทานอลได้ โดยเครื่องยนต์ทั้งสองตอบสนองต่อการใช้น้ำมันที่มีเอทานอลเป็นส่วนผสมไปในทิศทางเดียวกันเป็นส่วนใหญ่ ในขณะที่ชนิดของระบบการฉีดเชื้อเพลิงส่งผลต่ออิทธิพลของเอทานอลต่อการทำงานของเครื่องยนต์ในบางส่วนคือ ค่าแรงบิดเมื่อใช้น้ำมันที่มีเอทานอลมีค่าลดลงในเครื่องยนต์ทั้งสองแบบ ในขณะที่ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนมีค่าเพิ่มขึ้นสำหรับเครื่องยนต์หัวฉีดกลไก แต่ไม่มีแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงในเครื่องยนต์หัวฉีดอิเล็กทรอนิกส์ ปริมาณออกไซด์ของไนโตรเจนและ

ไฮโดรคาร์บอนมีค่าเพิ่มขึ้น โดยที่เครื่องยนต์หัวฉีดแบบปั๊มกลไกเพิ่มขึ้นตามปริมาณของเอทานอลที่เพิ่มขึ้น ในขณะที่เครื่องยนต์หัวฉีดอิเล็กทรอนิกส์ไม่ได้แปรผันตามปริมาณเอทานอลแต่เพียงอย่างเดียว

คำสำคัญ: เอทานอล; ไบโอดีเซล; ดีโซฮอล; เครื่องยนต์ดีเซล

Abstract

This study has investigated the potential in the near future to use ethanol in a compression ignition engine or diesel engine without any engine modification. The selected engines tested are comprised of two types. The first one applies an in-line mechanical pump nozzle type which has been used in the past until now in the old vehicle and extendedly applied in the agricultural engines. The second one uses the high-pressure electronic common rail injection system, which is broadly used in modern diesel vehicles nowadays and in the future. Ethanol was used as the blend in diesel fuel with a concentration of 5 (E5) and 10 % (E10) by volume. To prevent a phase separation, biodiesel 3 (B3), 7 (B7), and 10 % (B10) by volume were added to diesel before adding the ethanol as an emulsifier for the blended fuels. Therefore, three ethanol-diesel-biodiesel blended fuels including B3E5, B7E5, and B10E10 were used in this study. The responses of the engines to the fuel were monitored in terms of torque, thermal efficiency, and exhaust gas emissions which were compared when using diesel B7, the standard diesel fuel in Thailand. The results found that ethanol-blended fuels could be used in both engines which respond to the test fuels in the same trend for almost all indicators. The types of injection systems partially contributed to the effect of ethanol on the engine operation. The use of ethanol-blended fuels, engine torque decreases for both engine types. However, a break thermal efficiency increases in the engine using mechanical pump system but there is no particular trend for the electronic injection system. Oxide of nitrogen and total hydrocarbon increase when using ethanol-diesel-biodiesel blends. The more the ethanol is blended, the higher the amount of nitrogen and total hydrocarbon are emitted from the engine with the mechanical type injection system. However, the engine using electronic injection control is not dependent on the ethanol concentration solely.

Keywords: Ethanol; Biodiesel; Diesohol; Diesel engine

1. บทนำ

แม้ว่าประเทศไทยจะมีความพยายามในการลดการนำเข้าน้ำมันดิบจากต่างประเทศโดยใช้พลังงานทดแทน เช่น เอทานอลในน้ำมันเบนซิน และไบโอดีเซลในน้ำมันดีเซล แต่การนำเข้าน้ำมันดิบจากต่างประเทศ

ยังคงเพิ่มขึ้นทุกปี เนื่องจากความต้องการการใช้น้ำมันที่เพิ่มสูงขึ้น โดยเฉพาะน้ำมันดีเซลที่มีการใช้มากกว่าน้ำมันเบนซินถึงกว่าสองเท่า [1] ดังนั้นหากต้องการลดการนำเข้าน้ำมันดิบจากต่างประเทศ จึงจำเป็นต้องหาพลังงานทางเลือกที่ผลิตภายในประเทศที่สามารถนำมาทดแทนน้ำมันดีเซลได้ เอทานอลเป็นตัวเลือกหนึ่งที่น่าสนใจในการนำมาใช้ เนื่องจากศักยภาพในการผลิตของประเทศ ที่มีส่วนต่างจากการนำไปผสมในน้ำมันเบนซิน นอกจากเอทานอลสามารถช่วยลดการนำเข้าน้ำมันจากต่างประเทศ ส่งเสริมเศรษฐกิจของประเทศและช่วยเหลือเกษตรกรผู้ผลิต เอทานอลยังมีจุดเด่นในเรื่องของการลดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ซึ่งเป็นก๊าซเรือนกระจกเนื่องจากวัตถุดิบในการผลิตเอทานอล เช่น อ้อย ข้าวโพด มันสำปะหลัง จำเป็นต้องใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในการเจริญเติบโต

เอทานอลไม่สามารถนำมาใช้ได้โดยตรงในเครื่องยนต์ดีเซล เนื่องจากคุณสมบัติของค่าซีเทนที่ต่ำมากจนไม่สามารถทำให้เครื่องยนต์เกิดการจุดระเบิดได้ ดังนั้นการใช้เอทานอลโดยที่ไม่ต้องทำการดัดแปลงเครื่องยนต์ จำเป็นต้องผสมลงไปนํ้ามันดีเซลในลักษณะเช่นเดียวกันกับน้ำมันแก๊ซโซฮอล์ [2] อย่างไรก็ตามการผสมเอทานอลลงไปในน้ำมันดีเซลจำเป็นต้องใช้ตัวประสานเพื่อป้องกันการเกิดการแยกชั้น โดยเฉพาะที่อุณหภูมิต่ำเนื่องจากเอทานอลเป็นสารที่มีขั้วในขณะที่ดีเซลเป็นสารที่ไม่มีขั้ว จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าไบโอดีเซลสามารถนำมาใช้เป็นตัวประสานได้ดี ช่วยเพิ่มความสามารถในการผสมเป็นเนื้อเดียวกันของเชื้อเพลิงและช่วยลดค่าอุณหภูมิวิกฤติที่ทำให้เชื้อเพลิงเกิดการแยกชั้น [3-7] การศึกษาวิจัยที่ผ่านมาถึงการใช้เชื้อเพลิงเอทานอลผสมในน้ำมันดีเซลโดยมีไบโอดีเซลเป็นตัวประสานในเครื่องยนต์ดีเซลพบว่า ปริมาณสารมลพิษประเภทคาร์บอนมอนอกไซด์ ออกไซด์ของไนโตรเจนและ ไฮโดรคาร์บอนขึ้นอยู่กับเทคโนโลยีของเครื่องยนต์ที่ใช้และสภาวะการทดสอบ ในขณะที่ปริมาณควันดำและอนุภาคฝุ่นขนาดเล็กมีการลดลงอย่างชัดเจนจากการใช้เชื้อเพลิงผสม [8-10] ลักษณะของสเปรย์ที่ถูกฉีดเข้าไปในกระบอกสูบมีค่าของมุมสเปรย์เพิ่มมากขึ้นในขณะที่ความยาวของสเปรย์มีค่าลดลง [11] นอกจากนี้เอทานอลยังส่งผลให้การเผาไหม้ในกระบอกสูบเกิดขึ้นล่าช้ากว่าการเผาไหม้น้ำมันดีเซล [12]

จากผลงานวิจัยที่ผ่านมาจะพบว่าการศึกษาผลกระทบของเชื้อเพลิงเอทานอลในเครื่องยนต์ดีเซลโดยใช้ไบโอดีเซลที่ได้จากปาล์มเป็นตัวประสานซึ่งมีส่วนเอทานอลและไบโอดีเซลที่มีความเป็นไปได้ในการใช้งานในอนาคตอันใกล้โดยที่ไม่ต้องมีการปรับแต่งหรือดัดแปลงเครื่องยนต์ใด ๆ มีเป็นจำนวนน้อย โดยงานวิจัยส่วนมากจะทำการศึกษาเชื้อเพลิงผสมที่มีสัดส่วนเอทานอลที่ค่อนข้างสูง นอกจากนี้งานวิจัยโดยส่วนมากจะศึกษาในเครื่องยนต์เพียงชนิดเดียวไม่มีการเปรียบเทียบระบบการฉีดเชื้อเพลิงที่ส่งผลต่ออิทธิพลของเอทานอล งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการศึกษาผลกระทบของเชื้อเพลิงดีโซฮอล์ในสัดส่วนของไบโอดีเซลที่มีขายอยู่ในท้องตลาดจริงต่อเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ระบบฉีดเชื้อเพลิงที่แตกต่างกันสองชนิดเพื่อเป็นจุดเชื่อมต่อในการนำงานวิจัยมาใช้ประโยชน์ให้เกิดขึ้นจริง

2. อุปกรณ์และวิธีการทดสอบ

2.1 เครื่องยนต์ทดสอบ

เครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดสอบประกอบด้วยเครื่องยนต์สองเครื่องที่ไม่ได้มีการปรับแต่ง คือ เครื่องยนต์ดีเซลสูบเดียว สี่จังหวะแนวนอนที่ใช้ระบบฉีดเชื้อเพลิงแบบกลไกในการฉีดเชื้อเพลิงตรงเข้าสู่ห้องเผาไหม้ (direct injection) และเครื่องยนต์ดีเซลสี่สูบ สี่จังหวะ ที่ใช้ระบบฉีดเชื้อเพลิงอิเล็กทรอนิกส์แบบคอมมอนเรล (common rail) โดยคุณสมบัติของเครื่องยนต์ทั้งสองดังแสดงในตารางที่ 1

เครื่องยนต์ทดสอบจะถูกติดตั้งบนแท่นทดสอบแบบ Prony break สำหรับเครื่องยนต์สูบเดียว และแบบ Eddy current dynamometer ยี่ห้อ DYNOmite TM รุ่น 012-200-1K สำหรับเครื่องยนต์สี่สูบเพื่อสร้างแรงต้านทานการหมุนของเครื่องยนต์สำหรับวัดค่าแรงบิดที่เครื่องยนต์ส่งออกมาที่ความเร็วรอบต่าง ๆ ที่ต้องการ สำหรับการวัดปริมาณการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงเพื่อใช้ในการวัดประสิทธิภาพการเผาไหม้ จะใช้การวัดแบบชั่งน้ำหนักของเชื้อเพลิงที่หายไปในช่วงเวลาที่กำหนดโดยใช้เครื่องชั่งน้ำหนักยี่ห้อ Ohaus รุ่น PA4102 ที่มีความละเอียด ± 0.01 กรัม ปริมาณสารมลพิษประเภท ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ สารประกอบไฮโดรคาร์บอน ออกไซด์ของไนโตรเจน จะถูกวัดด้วยเครื่อง Horiba รุ่น MEXA-584 L โดยมีคุณสมบัติของเครื่องวัดดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของเครื่องยนต์ทดสอบ

โมเดล	คูโบต้า RT 140	อีซูซุ 4JK1-TC
แบบเครื่องยนต์	4 จังหวะ 1 สูบนอน ระบายความร้อนด้วยน้ำ ไคเรคอินเจคชั่น	4 จังหวะ 4 สูบแถวเรียง คอมมอนเรล DOHC, ไคเรคอินเจคชั่น เทอร์โบ อินเตอร์คูลเลอร์ ระบายความร้อนด้วยน้ำ
กระบอกสูบ x ช่วงชัก	97 x 96 มม.	95.4 x 87.4 มม.
ปริมาตรกระบอกสูบ	709 ซีซี.	2,499 ซีซี
อัตราส่วนแรงอัด	18 : 1	18.3 : 1
จำนวนวาล์ว	ไอดี 1 ไอเสีย 1	ไอดี 2 ไอเสีย 2
ระบบฉีดเชื้อเพลิง	ปั๊มหัวฉีดกลไก	ปั๊มหัวฉีดควบคุมด้วยอิเล็กทรอนิกส์
- กำลังสูงสุด	10.30 กิโลวัตต์ (ที่ 2400 rpm)	85 กิโลวัตต์ (ที่ 3600 rpm)
- แรงบิดสูงสุด	49 นิวตัน. เมตร (ที่ 1600 rpm)	280 นิวตัน. เมตร (ที่ 1800-2200 rpm)

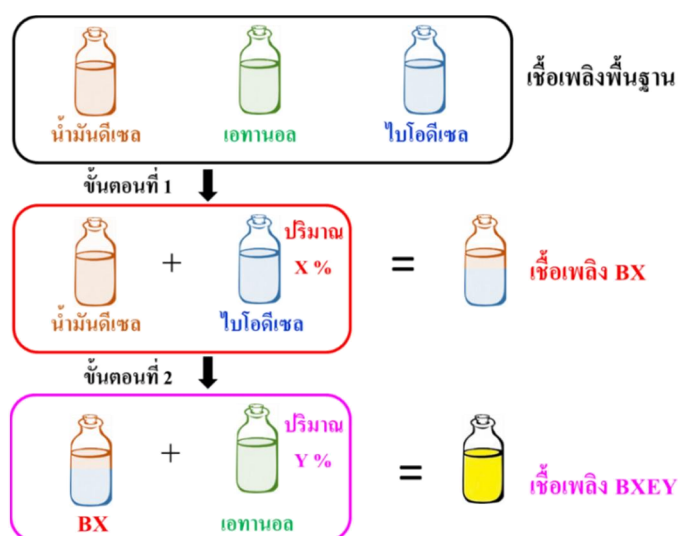
ตารางที่ 2 คุณสมบัติของเครื่องวัดไอเสีย Horiba รุ่น MEXA-584 L

ชนิดสารมลพิษ	ช่วงการวัด	Resolution
คาร์บอนมอนอกไซด์	0 – 10 %	0.01 %
ไฮโดรคาร์บอน	0 - 20,000 ppm	1 ppm
ปริมาตรกระบอกสูบ	0 - 5,000 ppm	1 ppm

2.2 น้ำมันเชื้อเพลิง

น้ำมันที่ใช้ในการทดสอบประกอบด้วยน้ำมัน 4 ชนิดคือ ชนิดที่หนึ่งน้ำมันดีเซล B7 ซึ่งเป็นน้ำมันดีเซลพื้นฐานของประเทศไทยสำหรับใช้เป็นค่าอ้างอิง สำหรับน้ำมันอีกสามชนิดจะเป็นน้ำมันที่มีเอทานอลเป็นส่วนผสมซึ่งเป็นเอทานอลไร้น้ำ (anhydrous ethanol) ที่มีความบริสุทธิ์ 99.5 % และถูกทำให้เหมาะกับการใช้เป็นเชื้อเพลิงโดยทำให้มีการปนเปื้อน (denature) ด้วยการเติมเบนซินร้อยละ 0.5 จากบริษัท มิตรผล ไปโอฟูเอล จำกัด สำหรับน้ำมันไบโอดีเซลที่ใช้ผ่านมาตรฐานของกรมธุรกิจพลังงานสำหรับการใช้เป็นเชื้อเพลิง โดยน้ำมันผสมที่ใช้ในการทดสอบประกอบด้วย น้ำมัน B3E5, B7E5, B10E10 โดย B แทนคำว่าไบโอดีเซลและตัวเลขหลัง B แสดงร้อยละไบโอดีเซลโดยปริมาตรที่ผสมในน้ำมันดีเซลก่อนที่จะผสมเอทานอล สำหรับตัวอักษร E แทนคำว่าเอทานอลและตัวเลขหลัง E แสดงร้อยละเอทานอลที่ผสมในเชื้อเพลิงทดสอบ ตัวอย่างเช่นน้ำมัน B3E5 หมายถึงน้ำมันไบโอดีเซลร้อยละ 3 ถูกผสมในน้ำมันดีเซลร้อยละ 97 เป็นน้ำมัน B3 จากนั้นเอทานอลร้อยละ 5 จะถูกผสมลงในน้ำมัน B3 ร้อยละ 95 ส่งผลให้ในน้ำมันผสม 100 เปอร์เซ็นต์จะมีปริมาณเอทานอลผสมอยู่ร้อยละ 5 ไบโอดีเซลร้อยละ 2.85 และดีเซลร้อยละ 92.15 ซึ่งขั้นตอนในการผสมน้ำมันดังแสดงในรูปที่ 1 และสัดส่วนความเข้มข้นของเชื้อเพลิงผสมแต่ละชนิด รวมถึงคุณสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ถูกทดสอบในห้องปฏิบัติการโดยผู้วิจัยเองและจากสถาบันที่เปิดรับทำการทดสอบตามมาตรฐานสากลดังแสดงในตารางที่ 3

น้ำมันที่มีส่วนผสมของเอทานอลที่เลือกใช้ในการทดสอบในเครื่องยนต์ได้ผ่านการทดสอบเสถียรภาพในการแยกชั้นและพบว่าน้ำมันทั้งสามชนิดไม่เกิดการแยกชั้นแม้ว่าจะเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 เดือน (อุณหภูมิต่ำเป็นตัวเร่งให้เกิดการแยกชั้นได้ง่าย) การเลือกน้ำมันทดสอบจะพิจารณาที่สัดส่วนของน้ำมันไบโอดีเซลที่สอดคล้องต่อการใช้งานจริงภายในประเทศไทย โดยน้ำมันชนิด B3E5 เพื่อเป็นกรณีศึกษาในภาวะที่มีการผสมไบโอดีเซลต่ำที่สุดในประเทศ น้ำมัน B7E5 ในกรณีที่เป็นสัดส่วนการผสมไบโอดีเซลสำหรับน้ำมันพื้นฐานในปัจจุบัน และน้ำมัน B10E10 ในกรณีที่เป็นสัดส่วนการผสมไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงทางเลือก



รูปที่ 1 ขั้นตอนในการผสมน้ำมันทดสอบ

ตารางที่ 3 คุณสมบัติของเชื้อเพลิงทดสอบ

คุณสมบัติ	วิธีการทดสอบ	เชื้อเพลิง			
		B7	B3E5	B7E5	B10E10
ความหนาแน่น (g/cm ³)	ASTM D4052	0.822	0.829	0.830	0.828
ค่าความร้อน (MJ/kg)	ASTM D240	44.8	43.9	42.9	41.7
ความหนืด (cSt)	ASTM D445	3.2	3.0	3.0	2.8
ซีเทนนัมเบอร์*	ASTM D613	-	56.5	56.7	53.6
คุณสมบัติการหล่อลื่น (μm)	CEC F-06-96	460	245	282	240
ร้อยละองค์ประกอบของเชื้อเพลิงแต่ละชนิด					
- ดีเซล		93	92.15	88.35	81
- ไบโอดีเซล		7	2.85	6.65	9
- เอทานอล		0	5	5	10
ร้อยละองค์ประกอบของน้ำมัน*					
- คาร์บอน		85.162	84.720	84.482	81.525
- ไฮโดรเจน		14.040	13.589	13.611	13.323
- ออกซิเจน		0.790	1.683	1.900	5.144

หมายเหตุ: * แสดงคุณสมบัติที่ตรวจวัดโดยสถาบันที่เปิดบริการรับทำการทดสอบ

2.3 วิธีการทดสอบ

การทดสอบทุกครั้งสำหรับเครื่องยนต์ทั้งสองจะต้องมีการอุ่นเครื่องยนต์เพื่อให้อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นอยู่ที่ 60 +/-2°C สำหรับเครื่องยนต์สูบลำเดียว และที่ 85 +/-2°C สำหรับเครื่องยนต์สี่สูบเพื่อให้เครื่องยนต์อยู่ในสถานะเดียวกันที่ทุกการทดสอบเช่น อุณหภูมิเครื่องยนต์ อุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่น เป็นต้น การทดสอบจะกระทำที่คันเร่งที่ตำแหน่งเดียวกันที่ทุกน้ำมันทดสอบ เพื่อวัดการตอบสนองของเครื่องยนต์ต่อน้ำมันเชื้อเพลิง สำหรับเครื่องยนต์สูบลำเดียวการทดสอบจะกระทำที่ความเร็วรอบระหว่าง 1,400 -2,400 รอบต่อนาที เนื่องจากเป็นความเร็วรอบที่เครื่องยนต์สามารถรันได้โดยไม่เกิดการสะดุด ในขณะที่เครื่องยนต์สี่สูบจะทดสอบที่ 1,400 -3,000 รอบต่อนาที ซึ่งต่ำกว่าประสิทธิภาพจริงของเครื่องยนต์ที่ทำงานได้ตั้งแต่ 1,000 -4,200 รอบต่อนาที เนื่องจากข้อจำกัดของแท่นทดสอบ เมื่อมีการเปลี่ยนน้ำมันทดสอบทุกครั้งจะต้องมีการเปลี่ยนกรองน้ำมันเชื้อเพลิงและทำการรันเครื่องยนต์เป็นเวลาอย่างน้อย 15 นาทีเพื่อให้มั่นใจว่าน้ำมันที่อยู่ในระบบเป็นน้ำมันที่ใช้สำหรับการทดสอบอย่างแท้จริง

การตอบสนองของเครื่องยนต์ต่อน้ำมันทดสอบในด้านสมรรถนะและประสิทธิภาพจะถูกแสดงด้วยค่าแรงบิดที่เครื่องยนต์ให้ออกมา และค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงการเผาไหม้เชื้อเพลิงภายในเครื่องยนต์ให้เป็นงานที่ออกมาจากเครื่องยนต์ดังแสดงในสมการที่ (1) [13]

$$\text{ประสิทธิภาพเชิงความร้อน} = \frac{P}{\dot{m}_f Q_{HV}} \quad (1)$$

โดย P หมายถึงงานที่ได้ออกมาจากเครื่องยนต์, $\dot{m}_f$ คือ การสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะ และ Q_{HV} คือ ค่าพลังงานความร้อนของเชื้อเพลิง

สำหรับปริมาณสารมลพิษเพื่อให้การเปรียบเทียบอยู่บนพื้นฐานที่เท่าเทียมกัน จะถูกคำนวณโดยการเปรียบเทียบค่าปริมาณสารมลพิษที่ปล่อยออกมาต่อค่างานที่เครื่องยนต์สามารถผลิตได้ เป็นปริมาณสารมลพิษจำเพาะดังสมการที่ (2) – (4)

$$sNO_x = \frac{\dot{m}_{NO_x}}{P} \quad (2)$$

$$sCO = \frac{\dot{m}_{CO}}{P} \quad (3)$$

$$sHC = \frac{\dot{m}_{HC}}{P} \quad (4)$$

เมื่อ $\dot{m}_{NO_x}$ คือปริมาณออกไซด์ของไนโตรเจน $\dot{m}_{CO}$ คือปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ และ $\dot{m}_{HC}$ คือปริมาณไฮโดรคาร์บอน มีหน่วยเป็นกรัมต่อวินาที

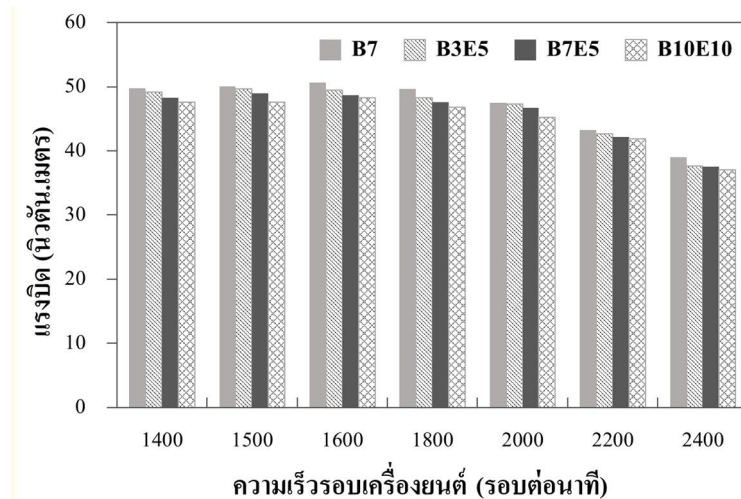
3. ผลการทดสอบ

3.1 เครื่องยนต์ที่ใช้หัวฉีดแบบกลไก

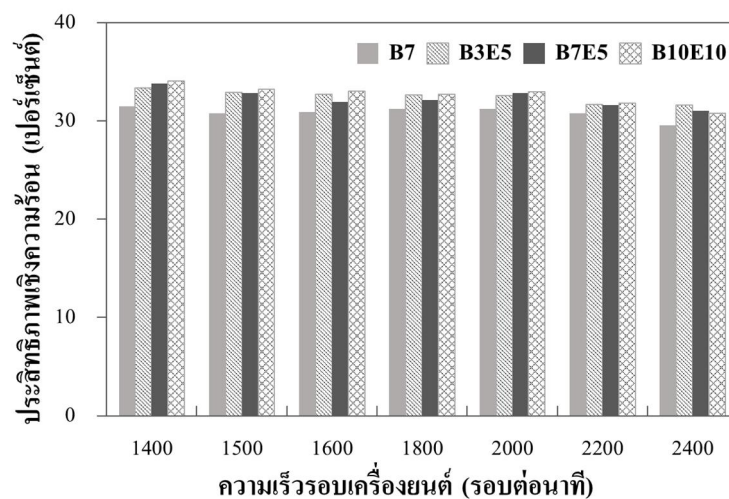
3.1.1 สมรรถนะและประสิทธิภาพ

รูปที่ 2 แสดงค่าแรงบิดของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมัน B3E5, B7E5 และ B10E10 เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล B7 ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ ที่เครื่องยนต์ทดสอบสามารถรันเครื่องได้ โดยพบว่าค่าแรงบิดของเครื่องยนต์มีค่าลดลงตามลำดับเมื่อใช้น้ำมัน B3E5, B7E5 และ B10E10 ที่ทุกความเร็วรอบของเครื่องยนต์ โดยน้ำมัน B3E5 แรงบิดมีค่าลดลงที่ร้อยละประมาณ 0.5 – 3.3 น้ำมัน B7E5 ลดลงที่ร้อยละประมาณ 1.7 – 4.1 และน้ำมัน B10E10 ที่ร้อยละประมาณ 3.2 – 5.7 ทั้งนี้เนื่องจากค่าพลังงานความร้อนที่ลดลงของเชื้อเพลิงที่มีเอทานอลเป็นส่วนผสม เมื่อพิจารณาถึงร้อยละของค่าพลังงานความร้อนที่ลดลงของเชื้อเพลิง B3E5 ที่ร้อยละ 2.0 B7E5 ที่ร้อยละ 4.2 และ B10E10 ที่ร้อยละ 6.9 จะพบว่าค่าแรงบิดที่ลดลงอยู่ในช่วงที่น้อยกว่าร้อยละของค่าพลังงานที่ลดลง โดยเฉพาะน้ำมัน B7E5 และ B10E10 เนื่องจากปริมาณออกซิเจนที่อยู่ในเชื้อเพลิงช่วยทำให้การเผาไหม้เกิดได้สมบูรณ์ขึ้น เชื้อเพลิงส่วนใหญ่สามารถปลดปล่อยพลังงานความร้อนออกมาเป็นงานที่เครื่องยนต์สร้างออกมาได้มากกว่ากรณีของการใช้น้ำมัน B7 ดังแสดงในรูปที่ 3 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่สูงกว่าการใช้น้ำมันดีเซล B7 ทุกกรณี

อย่างไรก็ตามการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ ไม่ได้ขึ้นอยู่กับปริมาณออกซิเจนแต่เพียงอย่างเดียว ซึ่งจะเห็นได้จากค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่ไม่ได้เพิ่มขึ้นตามปริมาณของออกซิเจนที่ทุกความเร็วรอบ ปริมาณออกซิเจนที่มากเกินไปอาจทำให้ส่วนผสมระหว่างอากาศและเชื้อเพลิงสำหรับเผาไหม้บางเกินไป (Lean mixture) ที่จะส่งเสริมให้การเผาไหม้เกิดได้ดี



รูปที่ 2 ค่าแรงบิดในเครื่องยนต์ที่ใช้หัวฉีดแบบกลไกเมื่อใช้เชื้อเพลิงที่ผสมเอทานอลในสัดส่วนต่าง ๆ



รูปที่ 3 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนในเครื่องยนต์ที่ใช้หัวฉีดแบบกลไกเมื่อใช้เชื้อเพลิงที่ผสมเอทานอล

3.1.2 ปริมาณสารมลพิษ

อิทธิพลของเอทานอลต่อปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ออกมาจากเครื่องยนต์ที่ใช้หัวฉีดแบบกลไกดังแสดงในรูปที่ 4 ซึ่งแสดงให้เห็นได้อย่างชัดเจนว่าเอทานอลทำให้ปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ลดลงจากการใช้เชื้อเพลิงดีเซล B7 ที่ทุกสภาวะการทดสอบ โดยน้ำมัน B10E10 ให้ค่าปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ต่ำที่สุด ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์จะขึ้นตรงอย่างเป็นสำคัญกับสัดส่วนของเชื้อเพลิงต่ออากาศ (Fuel/air ratio) โดยสัดส่วนการผสมที่บาง (ปริมาณอากาศหรือออกซิเจนที่มาก) ทำให้ส่วนผสมมีปริมาณออกซิเจนที่มากเพียงพอต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเพื่อเปลี่ยนไปเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (การเผาไหม้ที่สมบูรณ์) ส่งผลให้เกิดปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ต่ำ [13] ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณออกซิเจนที่มากในเชื้อเพลิง B3E5, B7E5 และ

B10E10 ที่ทำให้สัดส่วนผสมบางขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมา [14] เอทานอลที่ผสมในน้ำมันดีเซลโดยใช้ไบโอดีเซลเป็นตัวประสานส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณออกไซด์ของไนโตรเจนในเครื่องยนต์ที่ใช้หัวฉีดแบบกลไกอย่างชัดเจนดังแสดงในรูปที่ 5 โดยปัจจัยที่ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของออกไซด์ของไนโตรเจนประกอบด้วย 3 ปัจจัยคือ ปัจจัยที่ 1 ปริมาณออกซิเจนที่เพิ่มขึ้นจากเอทานอลและไบโอดีเซลที่เหลือจากปฏิกิริยาออกซิเดชันส่งเสริมให้เกิดปฏิกิริยาระหว่างไนโตรเจนและออกซิเจนดังแสดงในสมการที่ (5) และ (6) รวมเป็นออกไซด์ของไนโตรเจน

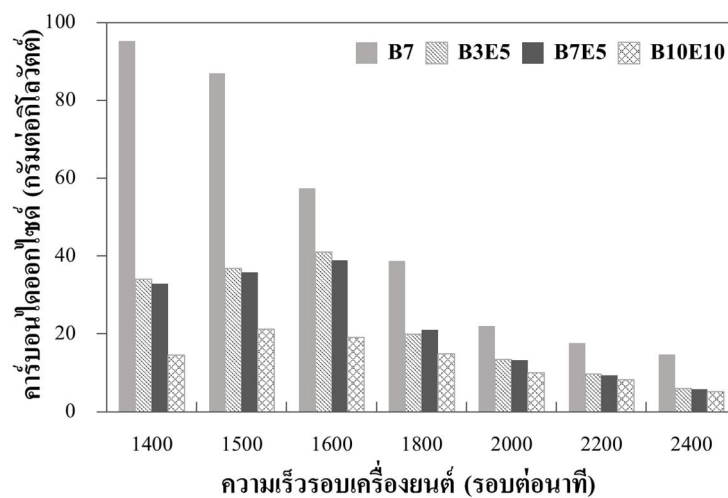


ปัจจัยที่ 2 การลดลงของค่าซีเทนนับเบอร์ของเชื้อเพลิงที่ผสมเอทานอลทำให้ช่วงการล่าช้าในการจุดระเบิด (Delay period คือช่วงเวลาระหว่างที่หัวฉีดเปิดจนถึงการเริ่มจุดระเบิด) มีค่าเพิ่มขึ้น นั่นคือส่วนผสมที่เกิดการผสมล่วงหน้าสำหรับการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง (Premixed combustion) จะถูกสะสมด้วยเวลายาวนานขึ้น ส่งผลให้มีปริมาณมากขึ้น ทำให้เชื้อเพลิง B3E5, B7E5 และโดยเฉพาะ B10E10 ปลดปล่อยพลังงานความร้อนได้สูง (นำเสนอโดยละเอียดในเครื่องยนต์ที่ใช้หัวฉีดอิเล็กทรอนิกส์) อุณหภูมิการเผาไหม้จึงเกิดขึ้นได้สูงซึ่งเป็นปัจจัยหลักต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณออกไซด์ของไนโตรเจนตามสมการที่ (5) และ (6) [13]

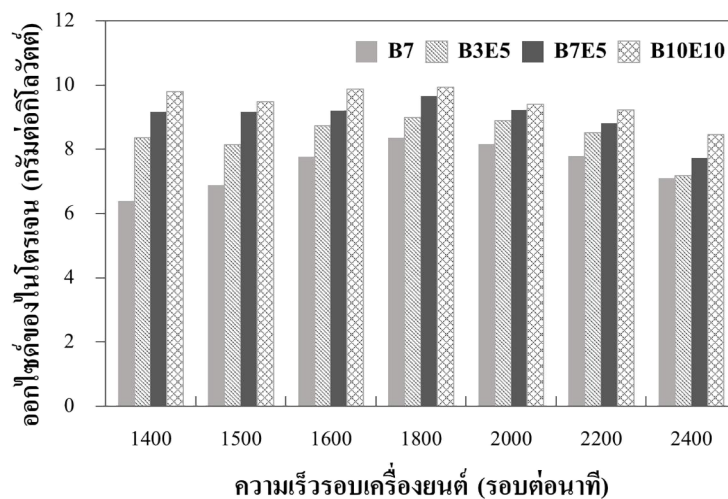
สำหรับปัจจัยที่ 3 จะเกิดขึ้นในเฉพาะเครื่องยนต์ที่ใช้หัวฉีดแบบกลไก โดยเฉพาะเชื้อเพลิงที่มีไบโอดีเซลเป็นส่วนผสมในปริมาณที่สูง B10E10 เนื่องจากค่า Bulk modulus ที่สูงของไบโอดีเซลมีอิทธิพลต่อการยกของเข็มหัวฉีดแบบกลไกที่สามารถเกิดขึ้นได้ก่อนเชื้อเพลิงที่มีค่า Bulk modulus ที่ต่ำกว่า [15-16] เชื้อเพลิงที่มีส่วนผสมของไบโอดีเซลที่สูงจึงถูกฉีดเข้าสู่ห้องเผาไหม้ก่อนและเกิดการจุดระเบิด ส่งผลให้อุณหภูมิของการเผาไหม้เกิดขึ้นสูงซึ่งเป็นปัจจัยหลักต่อปริมาณออกไซด์ของไนโตรเจนดังที่ได้กล่าวมาแล้ว การควบคุมปริมาณออกไซด์ของไนโตรเจนที่สูงขึ้นจากการใช้เชื้อเพลิงที่ผสมเอทานอลสามารถทำได้อย่างมีประสิทธิภาพด้วยการใช้ก๊าซไอเสียย้อนกลับ (Exhaust recirculation, EGR) ในปริมาณมากเข้าไปเจือจางในสารผสมระหว่างเชื้อเพลิงและอากาศเพื่อลดอุณหภูมิที่เกิดจากการเผาไหม้ เนื่องจากการเผาไหม้ในเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงผสมเอทานอลสามารถรองรับการเจือจางด้วย EGR ในปริมาณสูงโดยไม่เกิดการ Misfired หรือส่งผลให้เกิดควันดำและฝุ่นละอองขนาดเล็กเพิ่มมากขึ้น [17-18]

การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารมลพิษประเภทไฮโดรคาร์บอนดังแสดงในรูปที่ 6 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการผสมเอทานอลส่งผลให้ปริมาณสารประกอบไฮโดรคาร์บอนมีค่าเพิ่มมากขึ้นในทุกสภาวะการทดสอบเมื่อเทียบกับน้ำมัน B7 เมื่อพิจารณาการเพิ่มขึ้นของไฮโดรคาร์บอนของเชื้อเพลิง B3E5 และ B7E5 จะพบว่ามีความใกล้เคียงกัน ในขณะที่ B10E10 มีค่ามากที่สุด แสดงให้เห็นว่าเอทานอลเป็นปัจจัยสำคัญของการเพิ่มไฮโดรคาร์บอน สาเหตุสำคัญของการเกิดไฮโดรคาร์บอนเนื่องมาจากส่วนผสมที่หนาหรือบางเกินไปที่เกิดขึ้นในห้องเผาไหม้ เนื่องมาจากการผสมกันที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (Heterogeneous mixture) ซึ่งเป็นลักษณะการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซล ในการผสมเอทานอลลงไปในน้ำมันดีเซลที่ผสมไบโอดีเซล ส่วนผสมของน้ำมันทั้งสามชนิดอาจจะไม่ได้ผสมเป็นเนื้อ

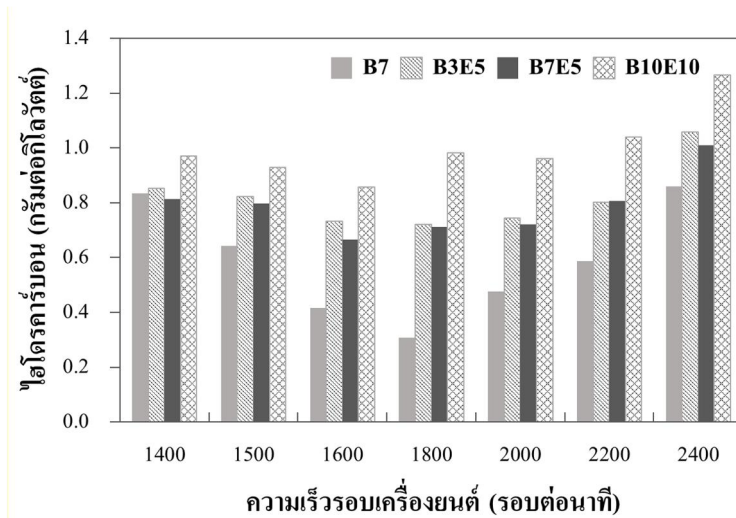
เดียวกันอย่างสมบูรณ์แม้ว่าเชื้อเพลิงจะไม่เกิดการแยกชั้น [19-20] ส่งผลให้สเปรย์ที่ฉีดออกมาผสมกับอากาศไม่เป็นเนื้อเดียวกันเพิ่มมากขึ้นซึ่งส่งเสริมต่อการเกิดไฮโดรคาร์บอน นอกจากนี้ค่าซีเทนน้ำมันเบอร์ที่ต่ำของเอทานอลและเอทานอลต้องการค่าพลังงานความร้อนที่มากในการระเหยกลายเป็นไอ (Heat of vaporization) ทำให้ช่วงเวลาก่อนเกิดการเผาไหม้ delay time มีค่ายาวนานขึ้นจนมากเพียงพอที่เชื้อเพลิงที่ถูกฉีดออกมาจะหลีกหนีเข้าไปตามช่องว่าง หรือซอกต่าง ๆ ในกระบอกสูบ ทำให้ไม่เกิดการเผาไหม้ในจังหวะการเผาไหม้ และถูกผลักดันออกมาในจังหวะคายไอเสียส่งผลให้สารประกอบไฮโดรคาร์บอนมีค่าสูง



รูปที่ 4 ปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ในเครื่องยนต์ที่ใช้หัวฉีดแบบกลไกเมื่อใช้เชื้อเพลิงเอทานอลผสม



รูปที่ 5 ปริมาณออกไซด์ของไนโตรเจนในเครื่องยนต์ที่ใช้หัวฉีดแบบกลไกเมื่อใช้เชื้อเพลิงเอทานอลผสม



รูปที่ 6 ปริมาณไฮโดรคาร์บอนในเครื่องยนต์ที่ใช้หัวฉีดแบบกลไกเมื่อใช้เชื้อเพลิงเอทานอลผสม

3.2 เครื่องยนต์ที่ใช้หัวฉีดอิเล็กทรอนิกส์

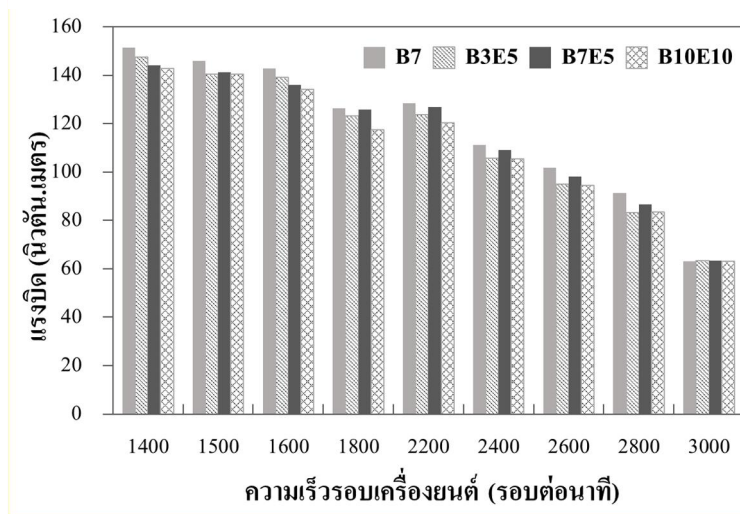
3.2.1 สมรรถนะและประสิทธิภาพ

อิทธิพลของค่าพลังงานความร้อนของเอทานอลที่ต่ำ ซึ่งถูกผสมลงในน้ำมันดีเซลและไบโอดีเซลส่งผลให้ค่าแรงบิดของเครื่องยนต์ที่ใช้หัวฉีดอิเล็กทรอนิกส์มีค่าลดลงเช่นเดียวกับเครื่องยนต์ที่ใช้หัวฉีดแบบกลไกดังแสดงในรูปที่ 7 และเป็นไปในทำนองเดียวกันกับงานวิจัยที่ผ่านมา [21-22] อย่างไรก็ตามการลดลงของค่าแรงบิดไม่ได้เป็นสัดส่วนกับค่าพลังงานความร้อนที่ลดลงแต่เพียงอย่างเดียว โดยสามารถเห็นได้อย่างชัดเจนในกรณีน้ำมัน B7E5 ซึ่งมีค่าพลังงานความร้อนน้อยกว่าน้ำมัน B3E5 แต่ให้ค่าแรงบิดที่สูงกว่า ทั้งนี้เนื่องมาจากปริมาณไบโอดีเซลที่สูงกว่า ส่งผลให้ค่าซิเทนนิมเบอร์ของน้ำมัน B7E5 สูงกว่า B3E5 โดยค่าซิเทนนิมเบอร์ที่สูงนี้ทำให้เชื้อเพลิงจุดระเบิดได้ง่ายกว่า สำหรับน้ำมัน B10E10 แม้ว่าจะมีปริมาณไบโอดีเซลสูงที่สุดในการเพิ่มค่าซิเทน แต่ปริมาณเอทานอลที่สูงที่สุดส่งผลให้ค่าซิเทนนิมเบอร์ของน้ำมัน B10E10 ลดลงเป็นอย่างมาก

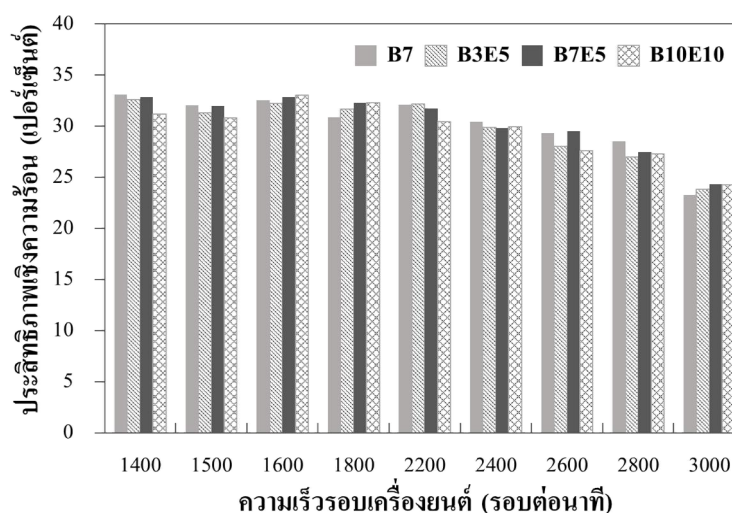
อิทธิพลของค่าซิเทนนิมเบอร์ส่งผลให้เห็นได้อย่างชัดเจนเมื่อมีการใช้หัวฉีดแบบคอมมอนเรล โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์สูงตั้งแต่ 1800 รอบขึ้นไป เนื่องจากเวลาที่ใช้ในการเผาไหม้ในหนึ่งวัฏจักรมีค่าน้อย การใช้หัวฉีดอิเล็กทรอนิกส์แบบคอมมอนเรลสามารถฉีดเชื้อเพลิงได้ที่ความดันสูง ส่งผลให้เชื้อเพลิงถูกฉีดเป็นละอองฝอยที่พร้อมจะเกิดการจุดระเบิด ค่าซิเทนนิมเบอร์จึงมีผลอย่างชัดเจนต่อการเผาไหม้ ซึ่งแตกต่างจากการฉีดแบบกลไกความดันต่ำที่หยดเชื้อเพลิงมีขนาดใหญ่กว่าจึงทำให้มีปัจจัยอื่นเข้ามามีส่วนเกี่ยวข้องต่อการเผาไหม้เพิ่มมากขึ้นเช่น การระเหยของเชื้อเพลิงเพื่อผสมกับอากาศ เป็นต้น

อิทธิพลของเอทานอลที่ผสมในน้ำมันดีเซลโดยใช้ไบโอดีเซลเป็นตัวประสานต่อค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนในเครื่องยนต์ที่ใช้หัวฉีดอิเล็กทรอนิกส์แตกต่างจากเครื่องยนต์ที่ใช้หัวฉีดแบบกลไกดังแสดงในรูปที่ 8 ซึ่งจะเห็นว่าไม่มีแนวโน้มของค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่เปลี่ยนแปลง โดยที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ใดๆ ค่า

ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเมื่อใช้เชื้อเพลิงที่มีเอทานอลอาจเพิ่มขึ้นหรือลดลง ทั้งนี้เนื่องจากเครื่องยนต์ที่ใช้หัวฉีดอิเล็กทรอนิกส์ใช้คอมพิวเตอร์ (ECU) ในการควบคุมการทำงาน ซึ่งสามารถตรวจพบได้ว่าที่สถานะการทดสอบที่คันเร่งตำแหน่งเดียวกัน เมื่อใช้น้ำมันที่ผสมเอทานอลเครื่องยนต์จะให้ค่าแรงบิดต่ำกว่าซึ่งไม่ใช่ค่าที่ต้องการจากการตั้งโปรแกรมของเครื่องยนต์ไว้ล่วงหน้า ดังนั้น ECU จะสั่งให้หัวฉีดทำการฉีดเชื้อเพลิงเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้สัดส่วนของสารผสมหนาขึ้น ไม่ส่งเสริมต่อการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ ในขณะที่บางสถานะความเร็วรอบ ปริมาณของออกซิเจนที่มีอยู่ในเชื้อเพลิงทำให้การเผาไหม้เกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์ ค่าแรงบิดลดลงเพียงเล็กน้อย ECU จึงสั่งให้เพิ่มปริมาณการฉีดเชื้อเพลิงเพียงเล็กน้อยไม่ส่งผลต่อสัดส่วนของสารผสมและการเผาไหม้



รูปที่ 7 แรงบิดในเครื่องยนต์หัวฉีดอิเล็กทรอนิกส์เมื่อใช้เชื้อเพลิงที่ผสมเอทานอลในสัดส่วนต่าง ๆ

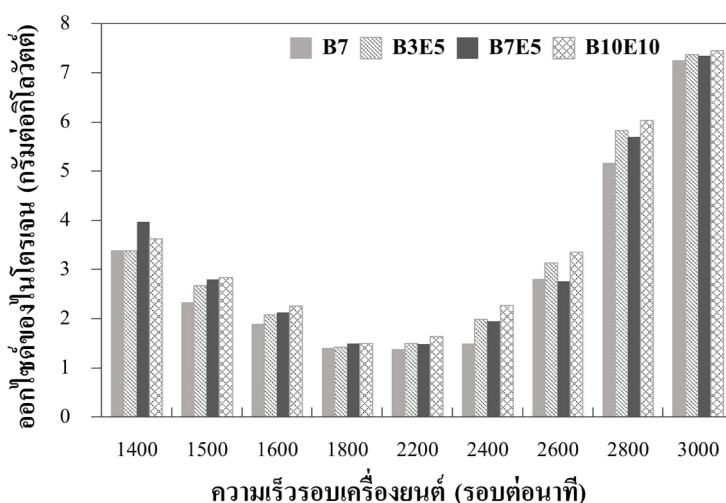


รูปที่ 8 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนในเครื่องยนต์หัวฉีดอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้เชื้อเพลิงผสมเอทานอล

3.2.2 ปริมาณสารมลพิษ

เครื่องยนต์ที่ใช้หัวฉีดอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในการทดสอบเป็นเครื่องยนต์ที่มีมาตรฐานไอเสียสูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้หัวฉีดแบบกลไก ประกอบกับเครื่องยนต์ดีเซลจะทำงานที่สภาวะส่วนผสมเชื้อเพลิงทำให้เครื่องวัดปริมาณมลพิษไม่สามารถวัดปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ที่มีค่าต่ำมากได้ในทุกน้ำมันทดสอบในงานวิจัยนี้ ผลของปริมาณสารมลพิษในส่วนนี้จึงนำเสนอเพียงแต่ปริมาณออกไซด์ของไนโตรเจนและสารประกอบไฮโดรคาร์บอน

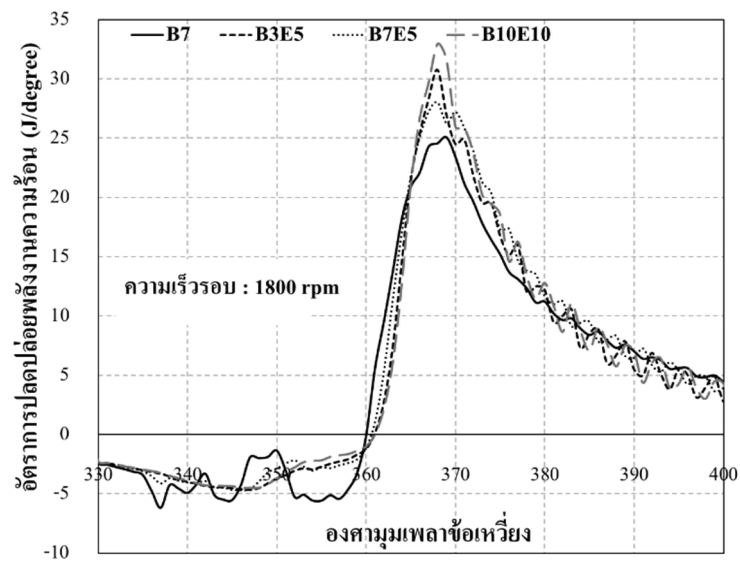
ปริมาณออกไซด์ของไนโตรเจน เมื่อมีการใช้น้ำมันดีเซลผสมเอทานอลมีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับใช้น้ำมันดีเซล B7 สำหรับเครื่องยนต์ที่ฉีดเชื้อเพลิงด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์เช่นเดียวกับเครื่องยนต์ที่ใช้กลไกในการฉีด ดังรูปที่ 9 ทั้งนี้ปริมาณการเพิ่มขึ้นไม่ได้เป็นสัดส่วนต่อปริมาณของเอทานอล ปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อปริมาณออกไซด์ของไนโตรเจนประกอบด้วยปริมาณออกซิเจนที่ส่งเสริมต่อปฏิกิริยาในสมการที่ (5) และ (6) และค่าซีเทนัมเบอร์ที่ต่ำของเชื้อเพลิงผสมเอทานอลที่ส่งผลให้การล่าช้าในการจุดระเบิดยาวนานขึ้นดังที่ได้กล่าวผ่านมาแล้ว ซึ่งส่งผลให้อุณหภูมิของการเผาไหม้สูงขึ้นเนื่องมาจากปริมาณของสารผสมที่เกิดการผสมล่วงหน้าเพิ่มมากขึ้นสามารถปลดปล่อยพลังงานความร้อนได้สูงดังแสดงในรูปที่ 10 ค่าอัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อนสำหรับการเพิ่มขึ้นของปริมาณออกไซด์ของไนโตรเจนอันเนื่องมาจากผลของการฉีดเชื้อเพลิงก่อน ซึ่งเป็นผลมาจากคุณสมบัติของเชื้อเพลิงที่มีค่า Bulk modulus สูงจะไม่ส่งผลในเครื่องยนต์ที่ใช้ระบบการฉีดเชื้อเพลิงแบบอิเล็กทรอนิกส์ เนื่องจากจังหวะการฉีดเชื้อเพลิงจะถูกควบคุมด้วย ECU ที่ตำแหน่งเวลาเดียวกันในทุกเชื้อเพลิง [23]



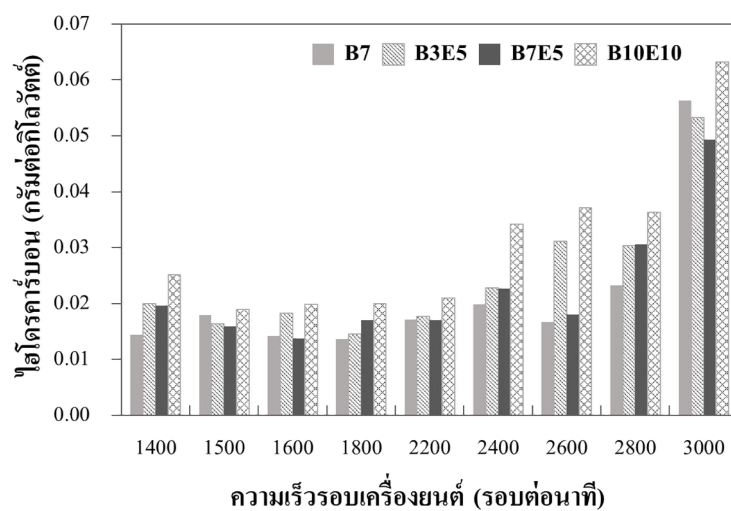
รูปที่ 9 ปริมาณออกไซด์ของไนโตรเจนในเครื่องยนต์หัวฉีดอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้เชื้อเพลิงผสมเอทานอล

รูปที่ 11 ปริมาณสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อใช้น้ำมันที่มีเอทานอลเป็นส่วนผสมเปรียบเทียบกับเมื่อใช้น้ำมัน B7 แสดงให้เห็นว่าการฉีดเชื้อเพลิงด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์ความดันสูงสามารถลดปริมาณสารประกอบไฮโดรคาร์บอนได้อย่างชัดเจน (เปรียบเทียบกับรูปที่ 6) โดยหัวฉีดแบบความดันสูงสามารถฉีดเชื้อเพลิงให้เป็นละอองฝอยได้ดี ส่งเสริมให้เชื้อเพลิงสามารถผสมกับอากาศได้เป็นอย่างดีขึ้น อย่างไรก็ตามการใช้เอทานอลผสมในน้ำมันส่งผลให้เชื้อเพลิงที่ผสมกับอากาศมีขอบเขตของส่วนผสมหนา (rich zone)

และบาง (Lean zone) แยกกันมากกว่าน้ำมันดีเซลเช่นเดียวกับการใช้หัวฉีดแบบกลไกเนื่องจากปริมาณออกซิเจนที่อยู่ในเชื้อเพลิงเอทานอลและไบโอดีเซล ส่งผลให้ไฮโดรคาร์บอนมีค่าเพิ่มมากขึ้นตามปริมาณเอทานอลและไบโอดีเซลที่เพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้ค่าซีเทนน้ำมันเบอร์ยังส่งผลอย่างชัดเจนต่อน้ำมัน B7E5 บางสถานะที่ทำให้การจุดระเบิดเกิดขึ้นได้เร็วกว่าน้ำมัน B3E5 ส่งผลให้เวลาที่ส่วนผสมของอากาศที่จะหลุดเข้าไปตามซอกต่าง ๆ สิ้นลง สารประกอบไฮโดรคาร์บอนของน้ำมัน B7E5 จึงมีค่าต่ำกว่าน้ำมัน B3E5 ในขณะที่ค่าซีเทนน้ำมัน B10E10 มีค่าต่ำสุด การเผาไหม้เกิดขึ้นหลังสุด ส่วนผสมของอากาศและเชื้อเพลิงจึงมีเวลามากเพียงพอที่จะหนีเข้าไปตามซอกต่าง ๆ ในปริมาณมาก



รูปที่ 10 อัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อนของเชื้อเพลิงผสมเอทานอลที่สัดส่วนต่าง ๆ



รูปที่ 11 ปริมาณไฮโดรคาร์บอนในเครื่องยนต์ที่ใช้หัวฉีดอิเล็กทรอนิกส์เมื่อใช้เชื้อเพลิงเอทานอลผสม

4. บทสรุป

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาการตอบสนองของเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้เทคโนโลยีการฉีดเชื้อเพลิงแบบกลไกและแบบอิเล็กทรอนิกส์ความดันสูง ต่อการใช้น้ำมันดีเซลที่มีเอทานอลผสมโดยใช้ไบโอดีเซลเป็นตัวประสาน เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ และเตรียมความพร้อมในการนำมาใช้งานจริงในอนาคตอันใกล้ โดยจากผลการทดสอบที่ได้สรุปได้ว่า เครื่องยนต์ดีเซลทั้งสองสามารถใช้น้ำมันที่มีเอทานอลผสมได้ถึงร้อยละ 10 โดยไม่ต้องมีการปรับแต่งเครื่องยนต์ใด ๆ โดยค่าสมรรถนะของเครื่องยนต์จะมีค่าลดลงตามค่าความร้อนที่ลดลงของเชื้อเพลิง ซึ่งจะส่งผลให้การสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงเพิ่มมากขึ้นเมื่อมีการนำมาใช้งานจริง อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์เมื่อใช้เชื้อเพลิงผสมมีค่าเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเครื่องยนต์ที่ทำการฉีดด้วยระบบกลไก ซึ่งเป็นจุดเด่นของเชื้อเพลิงเอทานอลและไบโอดีเซลซึ่งมีออกซิเจนเป็นส่วนประกอบ ในขณะที่เครื่องยนต์ที่ใช้ระบบอิเล็กทรอนิกส์มีการปรับจูนตัวเองตามค่าที่บันทึกไว้ ส่งผลให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนไม่มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจน ปริมาณออกซิเจนที่เพิ่มมากขึ้นจากเอทานอลและไบโอดีเซลส่งผลต่อการลดลงของปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์อย่างเด่นชัด ในขณะที่ปริมาณออกไซด์ของไนโตรเจนเพิ่มขึ้นอย่างมีแนวโน้มสำหรับเครื่องยนต์ที่ใช้ระบบฉีดเชื้อเพลิงแบบกลไก เนื่องจากการฉีดเชื้อเพลิงก่อนจากคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลประกอบกับการจุดระเบิดที่ล่าช้า สำหรับเครื่องยนต์แบบอิเล็กทรอนิกส์การเพิ่มขึ้นของค่าไบโอดีเซลส่งผลต่อค่าซีเทนัมเบอร์ทำให้เกิดการเผาไหม้ก่อนส่งผลให้ปริมาณออกไซด์ของไนโตรเจนไม่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณเอทานอลและไบโอดีเซลที่เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับเครื่องยนต์การฉีดแบบกลไก สำหรับปริมาณสารประกอบไฮโดรคาร์บอนมีค่าเพิ่มขึ้นสำหรับเครื่องยนต์ทั้งสองเมื่อมีการใช้เชื้อเพลิงผสมสามชนิด

เอกสารอ้างอิง

- [1] สำนักนโยบายและแผนพลังงาน, สถานการณ์พลังงานไทย [Online], Available: [http://www.eppo.go.th/index.php/th/energy-information/energy-status/year?orders\[publishUp\]=publishUp&issearch=1](http://www.eppo.go.th/index.php/th/energy-information/energy-status/year?orders[publishUp]=publishUp&issearch=1) [6 มิถุนายน 2563].
- [2] E. Ecklund, R. Bechtod, T. Timbario and P. Mccallum, "State-of-the-Art Report on the Use of Alcohols in Diesel Engines," SAE Transactions, Vol. 93, 1984, pp. 684-702.
- [3] 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, Vol. 224, 2018, pp. 409-416.
- [4] M.H. Low, N.A.M. 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, Vol. 257, 2017, 012082.

- [5] N. Al-Esawi, M.A. Qubeissi and R. Kolodnytska, "The impact of biodiesel fuel on ethanol/diesel blends," *Energies*, Vol. 12, 2019, 1804.
- [6] S. Madiwale, A. Karthikeyan and V. Bhjwani, "Properties investigation and performance analysis of a diesel engine fuelled with Jatropha, Soybean, Palm and Cottonseed biodiesel using ethanol as an additive," *Materials Today: Proceedings*, Vol. 5, 2018, pp. 657-664.
- [7] H.V. Srikanth, G. Sharanappa, B. Manne and S.B. Kumard, "Niger seed oil biodiesel as an emulsifier in diesel-ethanol blends for compression ignition engine," *Renewable Energy*, Vol. 163, 2021, pp. 1467-1478.
- [8] H. Tse, CW. Leung, CS. Cheung, "Performances, emissions and soot properties from a diesel-biodiesel ethanol blend fuelled engine," *Advances in Automobile Engineering*, S1:005, 2016.
- [9] 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) in blended and fumigation modes," *Fuel*, Vol. 263, 2020, 116665J.
- [10] T. Prakash, V. Edwin Geo, L. Jesu Martin and B. Nagalingam, "Effect of ternary blends of bio-ethanol, diesel and castor oil on performance, emission and combustion in a CI engine," *Renewable Energy*, Vol. 122, 2018, pp. 301-309.
- [11] S.H. Park, I.M. Youn and C.S. Lee, "Influence of ethanol blends on the combustion performance and exhaust emission characteristics of a four-cylinder diesel engine at various engine loads and injection timings," *Fuel*, Vol. 90, 2011, pp.748-755.
- [12] S. Shamun, G. Belgiorno, G. Di Blasio, C. Beatrice and M. Tuner, "Performance and emission of diesel-biodiesel-ethanol blends in a light duty compression ignition engine," *Applied Thermal Engineering*, Vol. 145, 2018, pp. 444-452.
- [13] J.B. Heywood, *Internal combustion engine fundamentals*, McGraw-Hill Inc, New York, 1988.
- [14] A. Osman Emiroglua and M. Sen, "Combustion, performance and exhaust emission characterizations of a diesel engine operating with a ternary blend (alcohol-biodiesel-diesel fuel)," *Applied Thermal Engineering*, Vol. 133, 2018, pp. 371-380.
- [15] M.S. Graboski and R.L. McCormick, "Combustion of fat and vegetable oil diesel fuels in diesel engines," *Progress in Energy and Combustion Science*, Vol. 24, No. 2, 1998, pp. 125-164.
- [16] A. Monyem, J.H. Van Gerpen and M. Canakci, "The effect of timing and oxidation on emissions from biodiesel-fueled engine," *Transactions of the ASAE*, Vol. 44, No. 1, 2001, pp. 35-42.

- [17] Q. Fang, J. Fang, J. Zhuang and Z. Huang, "Effects of ethanol-diesel-biodiesel on combustion and emissions in premixed low temperature combustion," *Applied Thermal Engineering*, Vol. 54, 2013, pp. 541-548.
- [18] L. Pidol, B. Lecointe, L. Starck and N. Jeuland, "Ethanol-biodiesel-diesel fuel blends: Performances and emissions in conventional diesel and advanced low temperature combustion," *Fuel*, Vol. 93, 2012, pp. 329-338.
- [19] K.H. Lee, M. Mukhtar N.A., F.Y. Hagos and M.M. Noor, "A study of the stabilities, microstructures and fuel characteristics of tri-fuel (diesel-biodiesel-ethanol) using various fuel preparation methods," *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Vol. 257, 2017, 012077.
- [20] M. Mukhtar N.A., Abd R. Abd Aziz, F.Y. Hagos, M.M. Noor, K. Kumaran, M. Rizalman and A.A. Abdullah, "The Influence of Formulation Ratio and Emulsifying Settings on Tri-Fuel (Diesel–Ethanol–Biodiesel) Emulsion Properties," *Energies*, Vol. 12, 2019, 1708.
- [21] H.K. Imdadul, H.H. Masjuki, M.A. Kalam, N.W.M. Zulkifli, A. Alabdulkarem, MaM. 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*, Vol. 111, 2016, pp.174-185.
- [22] A. Gupta, D. Gupta and N. Kumar, "Performance Evaluation and Emission Characteristics of Biodiesel-Alcohol-Diesel Fuelled in VCR Engine," *SAE Technical Paper 2016-01-2265*, 2016.
- [23] D. Han, Y. Duan, C. Wang, H. Lin and Z. Huang, "Experimental study on injection characteristics of fatty acid esters on a diesel engine common rail system," *Fuel*, Vol. 123, 2014, pp. 19-25.