



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ การศึกษาสมรรถนะ การปล่อยสารมลพิษ และการสึกหรอของเครื่องยนต์ดีเซลขนาด
เล็กที่ใช้น้ำมันดีเซลผสมแอนไฮดรัสเอทานอล และสารอิมัลซิไฟเออร์ต่างๆ

STUDY OF PERFORMANCE, EMISSION AND WEAR IN A SMALL DIESEL ENGINE
USING DIESEL FUEL MIXED ANHYDROUS ETHANOL AND EMULSIFIERS

นายเอกชัย สุธีรศักดิ์

โครงการวิจัยประเภทงบประมาณเงินรายได้
จากเงินอุดหนุนรัฐบาล (งบประมาณแผ่นดิน)
ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. ๒๕๕๙ มหาวิทยาลัยบูรพา

รหัสโครงการ

สัญญาเลขที่ 41/2559 (เพิ่มเติม)

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ การศึกษาสมรรถนะ การปล่อยสารมลพิษ และการสึกหรอของเครื่องยนต์ดีเซลขนาด
เล็กที่ใช้น้ำมันดีเซลผสมแอนไฮดรัสเอทานอล และสารอีมัลซิไฟเออร์ต่างๆ

STUDY OF PERFORMANCE, EMISSION AND WEAR IN A SMALL DIESEL ENGINE
USING DIESEL FUEL MIXED ANHYDROUS ETHANOL AND EMULSIFIERS

นายเอกชัย สุธีรศักดิ์

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้จากเงินอุดหนุนรัฐบาล (งบประมาณแผ่นดิน) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2559 มหาวิทยาลัยบูรพา ผ่านสำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ เลขที่สัญญา 41/2559 (เพิ่มเติม) และสำเร็จได้ด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณมหาวิทยาลัยบูรพา และสำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ

นอกจากนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล และภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ที่สนับสนุนและเอื้อเฟื้อสถานที่ เครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ สำหรับใช้ในการสร้างและปฏิบัติการทดสอบ ขอกราบขอบพระคุณ ผู้อำนวยการกองอาคารสถานที่ มหาวิทยาลัยบูรพา ที่สนับสนุนและเอื้อเฟื้อสถานที่ และอนุญาตให้ใช้กังหันน้ำ ณ สวนนันทนาการรัชมิ่งคลาสิก และขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. วรเชษฐ์ ภิรมย์ภักดี และ ดร. เจริญ ชินวานิชย์เจริญ ที่ให้คำแนะนำในการแก้ไขปัญหาต่างๆ

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ คุณธานี ธรรมสุนทร และคุณศิริวิมล ไทยประยูร ที่ให้ความช่วยเหลือพร้อมทั้งสละเวลามาควบคุมดูแลตลอดระยะเวลาการปฏิบัติการวิจัย และขอกราบขอบพระคุณ คุณคณศรร์ เรืองเดช คุณฐิติกร ฐานวุฒิเมษิต และคุณสุรเชษฐ์ ทองสมบัติ ที่ให้ความช่วยเหลือในการเก็บข้อมูลต่างๆ ของการวิจัยนี้ ตลอดระยะเวลาการปฏิบัติการวิจัย ประโยชน์อันใดที่เกิดจากงานวิจัยนี้ ย่อมเป็นผลจากความกรุณาของทุกท่านที่กล่าวมาข้างต้น ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่ง จึงใคร่ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ผู้วิจัย

บทสรุปสำหรับผู้บริหาร (Executive Summary)

ข้าพเจ้า ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เอกชัย สุธีรศักดิ์ ได้รับทุนสนับสนุนโครงการวิจัยจากมหาวิทยาลัยบูรพา ประเภทงบประมาณเงินรายได้ จากเงินอุดหนุนรัฐบาล (งบประมาณแผ่นดิน) มหาวิทยาลัยบูรพา โครงการวิจัย เรื่อง (ภาษาไทย) การศึกษาสมรรถนะ การปล่อยสารมลพิษ และการสึกหรอของเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กที่ใช้ น้ำมันดีเซลผสมแอนไฮดรัสเอทานอล และสารอิมัลซิไฟเออร์ต่างๆ

(ภาษาอังกฤษ) Study of performance, emission and wear in a small diesel engine using diesel fuel mixed anhydrous ethanol and emulsifiers

รหัสโครงการ...../สัญญาเลขที่ 41/2559 (เพิ่มเติม) ได้รับงบประมาณรวมทั้งสิ้น 303,050 บาท (สามแสนสามพันห้าสิบบาทถ้วน)

ระยะเวลาการดำเนิน 1 ปี (ระหว่างวันที่ 1 ตุลาคม 2558 ถึง 30 กันยายน 2559)

บทคัดย่อ (Abstract)

การศึกษาสมรรถนะ การปล่อยสารมลพิษ และการสึกกร่อนของเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กที่ใช้น้ำมันดีเซลผสมแวนไฮดรอสเอทานอล และสารอีมีลซิไฟเออร์ต่างๆ

บทคัดย่อ:

สารมลพิษต่างๆ จากแก๊สไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซล โดยเฉพาะอย่างยิ่ง คาร์บอนมอนอกไซด์ ไฮโดรคาร์บอน และควันดำ ทำให้เกิดสภาวะแวดล้อมที่เป็นพิษ และนำไปสู่อันตรายของระบบทางเดินหายใจของมนุษย์ เพื่อลดการปลดปล่อยสารมลพิษเหล่านี้ การพัฒนาคุณภาพของน้ำมันดีเซล โดยการเพิ่มสารเติมออกซิเจนกลายเป็นทางเลือกหนึ่ง ซึ่งกำลังได้รับความสนใจในปัจจุบัน ขณะที่แวนไฮดรอสเอทานอล มีองค์ประกอบของออกซิเจนและถูกผลิตจากพืชเกษตรต่างๆ ในประเทศไทย แต่มีช่วงเวลาน้ำมันสำหรับการผสมเป็นเนื้อเดียวกันกับน้ำมันดีเซล เพื่อเพิ่มความเป็นเนื้อเดียวกันระหว่างน้ำมันดีเซลและเอทานอล การใช้สารอีมีลซิไฟเออร์ต่างๆ เพื่อลดแรงตึงผิวของน้ำมันดีเซลและเอทานอลโดยวิธีอีมีลชัน กลายเป็นกุญแจสำคัญซึ่งนำไปสู่การปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันดีเซล ดังนั้น วัตถุประสงค์หลักของการวิจัยนี้ เป็นการนำเสนอเกี่ยวกับการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพต่างๆ ของน้ำมันดีเซลผสมกับแวนไฮดรอสเอทานอลและสารอีมีลซิไฟเออร์ต่างๆ ได้แก่ เอทิลอะซิเตท เอ็น-บิวทานอล และไบโอดีเซล เทียบกับน้ำมันดีเซล การตรวจสอบการฉีดและการสเปรย์น้ำมันเชื้อเพลิง และการวิเคราะห์สมรรถนะ การปล่อยสารมลพิษต่างๆ และการสึกกร่อนของเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กแบบฉีดตรง หนึ่งสูบ สี่จังหวะ ซึ่งถูกเชื่อมต่อกับเจนเนอเรเตอร์ขนาด 5 กิโลวัตต์ เพื่อการทดสอบที่ความเร็วรอบและภาระงานทางไฟฟ้าต่างๆ ในระยะเวลาทั้งหมด 500 ชั่วโมง

ผลการตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำมันดีเซลผสมกับแวนไฮดรอสเอทานอลและสารอีมีลซิไฟเออร์ต่างๆ ได้แก่ เอทิลอะซิเตท เอ็น-บิวทานอล และไบโอดีเซล แสดงให้เห็นว่า น้ำมันดีเซลผสมกับแวนไฮดรอสเอทานอลและเอทิลอะซิเตท (DEE) และน้ำมันดีเซลผสมกับแวนไฮดรอสเอทานอลและเอ็น-บิวทานอล (DEB) ไม่มีการแยกชั้นของน้ำมันดีเซลผสมกับแวนไฮดรอสเอทานอลนานถึง 6 เดือน ในทางตรงกันข้าม น้ำมันดีเซลผสมกับแวนไฮดรอสเอทานอลและไบโอดีเซล (DEBi) มีความไม่เป็นเนื้อเดียวกันหลัง 2 เดือน นอกจากนี้ น้ำมัน DEE, DEB และ DEBi มีค่าความหนาแน่น ค่าความหนืด ค่าจุดวาบไฟ และค่าความร้อนต่ำกว่าน้ำมันดีเซล โดยเฉพาะอย่างยิ่ง น้ำมัน DEE มีคุณสมบัติทางกายภาพต่ำกว่าน้ำมัน DEB และ DEBi อย่างไรก็ตาม คุณสมบัติทางกายภาพของน้ำมันเหล่านี้ อยู่ในขอบเขตของมาตรฐานน้ำมันดีเซลตามประกาศกรมธุรกิจพลังงาน และสามารถถูกประยุกต์ใช้สำหรับเครื่องยนต์ดีเซลต่างๆ

สำหรับการวิเคราะห์คุณลักษณะต่างๆ ของการฉีดและการสเปรย์น้ำมัน DEE, DEB และ DEBi ภายในชุดทดสอบระบบการฉีดเชื้อเพลิงแบบรวม ซึ่งติดตั้งกับห้องจำลองการฉีดและการสเปรย์น้ำมันเชื้อเพลิงนั้น การใช้น้ำมัน DEE, DEB และ DEBi ส่งผลให้ความดันต่างๆ ของระบบการฉีดเชื้อเพลิง (ได้แก่ ความดันของน้ำมันเชื้อเพลิงก่อนเข้าท่อรวม ความดันท่อรวม ความดันที่น้ำมันแรงดันสูง และความดันของการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง) ต่ำกว่าการใช้น้ำมันดีเซล เนื่องจากน้ำมันเหล่านี้ มีค่าความหนาแน่น และความหนืดต่ำกว่า

น้ำมันดีเซล โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การใช้ น้ำมัน DEE นำไปสู่การลดลงอย่างมากของความดันต่างๆ ของระบบการฉีดเชื้อเพลิง และอาจก่อให้เกิดความเสียหายกับระบบการฉีดเชื้อเพลิงนี้ ขณะที่ผลลัพธ์ต่างๆ ของการทดสอบการสเปรย์น้ำมัน DEE, DEB และ DEBi แสดงให้เห็นว่า มีการแตกกระจายของละอองน้ำมันเชื้อเพลิงมากกว่า และการระเหยกลายเป็นไอรวดเร็วกว่าการสเปรย์น้ำมันดีเซล ผลลัพธ์ที่ตามมา การสเปรย์น้ำมัน DEE, DEB และ DEBi มีมุมสเปรย์มากกว่า และความยาวจริงของการสเปรย์สั้นกว่าการสเปรย์น้ำมันดีเซล

ในกรณีของการตรวจสอบการทำงานของเครื่องยนต์ และสมรรถนะและการปล่อยสารมลพิษต่างๆ ของเครื่องยนต์ ที่ความเร็วรอบและภาระงานทางไฟฟ้าต่างๆ ในระยะเวลา 200 ชั่วโมง พบว่า อุณหภูมิการทำงานของเครื่องยนต์ดีเซล เมื่อใช้น้ำมัน DEE, DEB และ DEBi มีค่าใกล้เคียงกับการใช้น้ำมันดีเซล แต่อุณหภูมิแก๊สไอเสียจากการใช้น้ำมันเหล่านี้ถูกเปลี่ยนแปลงไป ขณะที่งานวิจัยนี้ ค้นพบว่า การใช้น้ำมัน DEB มีประสิทธิภาพทางความร้อนสูงกว่าการใช้น้ำมัน DEE, DEBi และดีเซล นอกจากนี้ การใช้น้ำมัน DEBi และ DEE มีสมรรถนะของเครื่องยนต์ต่ำกว่า และมีความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงสูงกว่าการใช้น้ำมันดีเซล ในทุกความเร็วรอบและทุกภาระงาน ยิ่งไปกว่านั้น การใช้น้ำมัน DEE มีความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงสูงสุด เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้น้ำมัน DEB และ DEBi สำหรับการวัดการปล่อยสารมลพิษต่างๆ จากแก๊สไอเสียของเครื่องยนต์นี้ การใช้น้ำมัน DEE, DEB และ DEBi ลดการปล่อยปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์และควันดำอย่างมาก แต่มีปริมาณของไฮโดรคาร์บอนสูงกว่าการใช้น้ำมันดีเซล เนื่องจากแอนไฮดริสเอทานอลมีความร้อนของการกลายเป็นไอรวดเร็วกว่า ซึ่งนำไปสู่การเพิ่มขึ้นของไฮโดรคาร์บอนจากการใช้น้ำมันเหล่านี้

สำหรับการวัดการสึกหรอของชิ้นส่วนต่างๆ ภายในเครื่องยนต์นี้ ในระยะเวลาทั้งหมด 500 hr การใช้น้ำมัน DEE, DEB และ DEBi มีคราบเขม่ามากกว่า แต่การสึกหรอของชิ้นส่วนต่างๆ ภายในเครื่องยนต์นี้ ใกล้เคียงกับการใช้น้ำมันดีเซล อย่างไรก็ตาม การใช้น้ำมันเหล่านี้ มีค่าการสึกหรอของชิ้นส่วนต่างๆ อยู่ในขอบเขตที่ยอมรับได้ซึ่งถูกกำหนดไว้ในคู่มือของเครื่องยนต์นี้ ดังนั้น การใช้น้ำมันเหล่านี้ ไม่ส่งผลต่อการสึกหรอของชิ้นส่วนต่างๆ ภายในเครื่องยนต์ดีเซลในการทดสอบทั้งหมด 500 hr สุดท้าย การวิจัยนี้สรุปได้ว่า น้ำมัน DEB เหมาะสมสำหรับการประยุกต์ใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนมากกว่าน้ำมัน DEBi และ DEE เพราะน้ำมันนี้ ให้สมรรถนะของเครื่องยนต์สูงกว่า และการปล่อยไฮโดรคาร์บอน และควันดำต่ำกว่าการใช้น้ำมัน DEE และน้ำมัน DEBi อย่างไรก็ตาม การใช้น้ำมัน DEE ควรระมัดระวังความเสียหายภายในระบบฉีดเชื้อเพลิง เนื่องจากมีความดันของการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงต่ำสุด ซึ่งนำไปสู่การสึกหรอของระบบฉีดเชื้อเพลิงอย่างรวดเร็ว

คำสำคัญ: น้ำมันดีเซลผสมแอนไฮดริสเอทานอลและสารอิมัลซิไฟเออร์, คุณสมบัติทางกายภาพ, การฉีดและการสเปรย์น้ำมันเชื้อเพลิง, สมรรถนะและสารมลพิษ, การสึกหรอของเครื่องยนต์ดีเซล

Study of performance, emission and wear in a small diesel engine using diesel fuel mixed anhydrous ethanol and emulsifiers

Abstract:

Various emissions from an exhaust gas of diesel engine, especially carbon monoxide, hydrocarbon, and black smoke, cause to the toxic environment, and they lead to the damage of human respiratory system. To decrease the release of these pollutants, development of diesel quality by increasing the oxygenated additive becomes an alternative interesting in nowadays. Anhydrous ethanol has the oxygen content and produced from the agricultural plants in Thailand, but there was a short period for a homogeneous mixture with diesel. To increase the homogeneity between diesel and ethanol, using emulsifiers to reduce the surface tension of diesel and ethanol by the emulsion method become the important key which leads to improving diesel quality. Therefore, the main objective of this research is to present about the study of physical properties of diesel blended to anhydrous ethanol and various emulsifiers, such as ethyl acetate, n-butanol, and biodiesel, compared with diesel, the investigation of fuel injection and spray, and the analysis of performance, emissions, and wear of a small diesel engine, which was the direct-injection, single-cylinder, four-stroke system, connected with a 5 kW_e of generator for testing at various speeds and electrical loads in the total period of 500 hr.

Results of investigating physical properties of diesel mixed with anhydrous ethanol and various emulsifiers, such as ethyl acetate, n-butanol, and biodiesel show that diesel blended to anhydrous ethanol and ethyl acetate (DEE) and diesel blended to anhydrous ethanol and n-butanol (DEB) did not have the separation of diesel mixed with anhydrous ethanol up to 6 months. On the other hand, diesel blended to anhydrous ethanol and biodiesel (DEBi) had the non-homogeneity after 2 months. In addition, the DEE, DEB, and DEBi oils had lower density, viscosity, flash point and heating value than diesel. Particularly, the DEE had lower physical properties than the DEB and DEBi oils. However, physical properties of these oils were in the scope of standard diesel as announced by the department of energy business and they could be applied for diesel engines.

For analyzing the injection and spray characteristics of DEE, DEB, and DEBi oils within the common-rail injection system connected with the fuel injection and spray chamber, the use of DEE, DEB, and DEBi oils resulted in the various pressures of fuel injection system (such as

input common-rail pressure, common-rail pressure, fuel line pressure of high pressure tube, and fuel injection pressure) lower than the use of diesel because these oils had lower fuel density and viscosity than diesel. Especially, the use of DEE led to the dramatic decrease in various pressures of fuel injection system and it might cause the damage to this fuel injection system. Results of testing DEE, DEB, and DEBi oils spray indicate that there were more fuel atomization and faster vaporization than diesel spray. As a result, the spray of DEE, DEB, and DEBi oils had more spray angle and shorter real spray tip penetration than the diesel spray. In case of investigating engine operation and engine performance and emissions at various speeds and electrical loads in the period of 200 hr shows that the operating temperature of diesel engine using DEE, DEB and DEBi oils had similar to using diesel but the exhaust gas temperature from using these oils was changed. This research found that the use of DEB had higher thermal efficiency than the use of DEE, DEBi and diesel oils. In addition, the use of DEBi and DEE had lower engine performance and higher fuel consumption than using diesel in all speed and load. Moreover, the use of DEE had the most fuel consumption as compared with using DEB and DEBi oils. For measuring the various pollutants from the exhaust gas of this engine, the use of DEE, DEB and DEBi oils decreased the release of carbon monoxide and black smoke extremely but the amount of hydrocarbon was higher than using diesel. Because the anhydrous ethanol had the heat of vaporization faster, it led to the increase of hydrocarbon from the use of these oils.

For measuring the wear of various parts within this engine in the total period of 500 hr, the use of DEE, DEB and DEBi oils had more soot but the wear of parts within this engine was similar to using diesel. However, the use of these oils had the wear and tear values of various parts in the acceptable range which was defined in this engine manual. Therefore, the use of these oils did not affect on the wear and tear of parts within the diesel engine in the total test 500 hr. Finally, this research concludes that the DEB is suitable for applying a renewable fuel rather than the DEBi and DEE oils due to this oil gives higher engine performance and lower hydrocarbon and black smoke releases than using DEE and DEBi oils. However, using DEE should be careful of damage within the fuel injection system since there is the lowest fuel injection pressure which leads to the wear of fuel injection system quickly.

Keywords: diesel mixed with anhydrous ethanol and emulsifiers, physical properties, fuel injection and spray, performance and emissions, wear of diesel engine

สารบัญ

บทที่		หน้า
1. บทนำ		
1.1	เนื้อหาของเรื่องที่เคยมีผู้ทำการวิจัยมาก่อน	1
1.2	ความสำคัญและที่มาของปัญหา	2
1.3	การทบทวนวรรณกรรม	5
1.4	วัตถุประสงค์การวิจัย	10
1.5	ขอบเขตการวิจัย	10
1.6	แนวทางความคิดที่นำมาใช้ในการวิจัย	11
1.7	ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	13
2. วิธีดำเนินการวิจัย		
2.1	น้ำมันเชื้อเพลิง	14
2.2	การผสมน้ำมัน	15
2.3	การตรวจสอบคุณสมบัติความเป็นเชื้อเพลิง	20
2.4	วิธีการทดสอบการฉีดและการสเปรย์	23
2.5	วิธีการทดสอบสมรรถนะและการปล่อยสารมลพิษต่างๆ ของเครื่องยนต์ดีเซล	30
2.6	วิธีการทดสอบการสึกหรอของเครื่องยนต์ดีเซล	42
2.7	วิธีการวัดการสึกหรอของเครื่องยนต์	43
3. ผลการวิจัย		
3.1	ผลการฉีดและการสเปรย์น้ำมันเชื้อเพลิง	47
3.2	ผลการตรวจสอบชิ้นส่วนต่างๆ ของเครื่องยนต์ก่อนเริ่มต้นการทดสอบ	66
3.3	ผลการทดสอบการทำงานของเครื่องยนต์ระยะเวลา 50 hr	66
3.4	ผลการทดสอบสมรรถนะ และการปล่อยสารมลพิษของเครื่องยนต์ ระยะเวลา 150 hr	72
3.5	ผลการทดสอบการสึกหรอของเครื่องยนต์ระยะเวลา 300 hr และ 500 hr	103
4. อภิปรายและวิจารณ์ผลการวิจัย		
4.1	การอภิปรายและวิจารณ์ผลการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง	111
4.2	การอภิปรายและวิจารณ์ผลการสเปรย์น้ำมันเชื้อเพลิง	116

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
	4.3 การอภิปรายและวิจารณ์ผลการทำงานของเครื่องยนต์ระยะเวลา 50 hr	119
	4.4 การอภิปรายและวิจารณ์ผลสมรรถนะและการปล่อยสารมลพิษต่างๆ ของเครื่องยนต์ดีเซลระยะเวลา 150 hr	122
	4.5 การอภิปรายและวิจารณ์ผลการตรวจสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ดีเซล ระยะเวลา 300 hr	138
	4.6 การอภิปรายและวิจารณ์ผลการตรวจสอบการสึกหรอของชิ้นส่วนต่างๆ ภายในเครื่องยนต์ดีเซลระยะเวลา 500 hr	140
	5. สรุปผลการวิจัย	
	5.1 สรุปผลการวิจัย	148
	5.2 ข้อเสนอแนะ	151
	รายงานสรุปการเงิน	152
	บรรณานุกรม	153
	ประวัตินักวิจัย	158

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 คุณสมบัติความเป็นเชื้อเพลิงของสารต่างๆ ที่ใช้ในการผสม	14
2.2 สภาพะของการสังเคราะห์น้ำมันดีเซลแต่ละชนิด	15
2.3 การตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ในการวิจัย	22
2.4 สภาพะของการทดสอบการฉีดและการสเปรย์น้ำมันเชื้อเพลิง	28
2.5 ข้อมูลของเครื่องยนต์ที่ใช้ในการวิจัย	32
2.6 ข้อมูลของเงินเนอเรเตอร์ที่ใช้ในการวิจัย	33
2.7 วิธีการวัดและช่วงของการวัดการปล่อยสารมลพิษต่างๆ	38
2.8 สภาพะของการทดสอบการทำงานและสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซล	39
2.9 สภาพะของการทดสอบการสึกหรอของเครื่องยนต์ดีเซล	43
3.1 ค่าเฉลี่ยของความดันก่อนเข้าท่อร่วมและค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ความถี่ต่างๆ	48
3.2 ค่าเฉลี่ยของความดันท่อร่วมและค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ความถี่ต่างๆ	50
3.3 ค่าเฉลี่ยของความดันที่น้ำมันแรงดันสูงและค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ความถี่ต่างๆ	51
3.4 ค่าเฉลี่ยของความดันของการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงและค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ความถี่ต่างๆ	52
3.5 ค่าเฉลี่ยของค่าโวลต์ พีค-พีค และค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ความถี่ต่างๆ	55
3.6 ค่าเฉลี่ยของอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงและค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ความถี่ต่างๆ	57
3.7 ค่าเฉลี่ยของมุมสเปรย์ของแต่ละหัวฉีดและค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน	63
3.8 ค่าเฉลี่ยของความยาวจริงของสเปรย์ของแต่ละหัวฉีดและค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน	63
3.9 ผลการตรวจสอบชิ้นส่วนต่างๆ ของเครื่องยนต์ก่อนเริ่มต้นการทดสอบ	67
3.10 ค่าเฉลี่ยและค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน ที่ระยะเวลาการทำงานของเครื่องยนต์ 50 hr	70
3.11 กำลังไฟฟ้าเพื่อใช้ในการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์	72
3.12 ค่ากำลังไฟฟ้าจริงและค่าความคลาดเคลื่อนขณะทำการทดสอบ	74
3.13 ผลการตรวจสอบชิ้นส่วนต่างๆ ของเครื่องยนต์หลังการทดสอบทั้งหมด 500 hr	110

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 การเตรียมสารตั้งต้นต่างๆ	16
2.2 การชั่งน้ำหนักของสารตั้งต้นต่างๆ	16
2.3 กระบวนการผลิตน้ำมัน DEE และ DEB	17
2.4 การอุ่นน้ำมันก่อนผสมน้ำมัน DEBi	18
2.5 กระบวนการผลิตน้ำมัน DEBi	19
2.6 น้ำมันดีโซฮอล์ต่างๆ ภายหลังจากการสังเคราะห์	20
2.7 การแยกชั้นของน้ำมันดีโซฮอล์ต่างๆ ภายหลังระยะเวลา 3 เดือน	21
2.8 การแยกชั้นของน้ำมันดีโซฮอล์ต่างๆ ภายหลังระยะเวลา 6 เดือน	21
2.9 แผนภาพของชุดทดสอบการฉีดและการสเปรย์น้ำมันเชื้อเพลิง	23
2.10 ชุดจำลองการฉีดและการสเปรย์น้ำมันเชื้อเพลิง	24
2.11 ชุดวัดอัตราการไหลของน้ำมันเชื้อเพลิง	25
2.12 การวัดจังหวะการฉีดของน้ำมันเชื้อเพลิง	26
2.13 การติดตั้งเกจความดันต่างๆ	26
2.14 การติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ เพื่อถ่ายภาพการสเปรย์น้ำมันเชื้อเพลิง	27
2.15 ภาพถ่ายภาพการสเปรย์น้ำมันเชื้อเพลิง	28
2.16 แผนภาพโดยรวมของชุดทดสอบในการวิจัย	30
2.17 ชุดทดสอบสมรรถนะและการปล่อยสารมลพิษต่างๆ ของเครื่องยนต์ดีเซล	31
2.18 เครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ในการวิจัย	32
2.19 ชุดทดสอบการสึกหรอของเครื่องยนต์ดีเซล	33
2.20 เครื่องวิเคราะห์กำลังไฟฟ้าในแต่ละเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันต่างๆ	34
2.21 ดิจิตอลแคลมป์มีเตอร์ที่ใช้ในการสอบเทียบ	34
2.22 การติดตั้งเครื่องควบคุมอุณหภูมิในแต่ละเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันต่างๆ	35
2.23 การติดตั้งเครื่องวัดความเร็วรอบในแต่ละเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันต่างๆ	35
2.24 การติดตั้งชุดวัดอัตราการไหลกับเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงต่างๆ	36
2.25 เครื่องวิเคราะห์ห้องค์ประกอบของแก๊สไอเสียที่ใช้ในการวิจัย	37
2.26 การทดสอบการทำงานของเครื่องยนต์	40
2.27 การใช้ฟิลเลอร์เกจสอดเข้าไปเพื่อวัดระยะห่างปากแหวน	44
2.28 การวัดช่องว่างระหว่างแหวนกับร่องแหวนลูกสูบโดยใช้ฟิลเลอร์เกจ	45
2.29 การวัดเส้นผ่านศูนย์กลางปลอกสูบจากเครื่องยนต์ที่ใช้ทดสอบโดยใช้บอร์เกจ	45

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
2.30 การกำหนดจุดวัดเส้นผ่านศูนย์กลางปลอกสูบจากเครื่องยนต์ที่ใช้ทดสอบ	46
2.31 การวัดเส้นผ่านศูนย์กลางปลอกสูบโดยใช้เครื่อง Coordinate measuring machine	46
3.1 ความดันก่อนเข้าท่อร่วมที่ความถี่ต่างๆ	48
3.2 ความดันท่อร่วมที่ความถี่ต่างๆ	49
3.3 ความดันที่น้ำมันแรงดันสูงที่ความถี่ต่างๆ	50
3.4 ความดันของการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงที่ความถี่ต่างๆ	52
3.5 การเปรียบเทียบจังหวะของการฉีดที่ความถี่ 4 Hz	53
3.6 การเปรียบเทียบจังหวะของการฉีดที่ความถี่ 6 Hz	54
3.7 การเปรียบเทียบจังหวะของการฉีดที่ความถี่ 8 Hz	54
3.8 การเปรียบเทียบจังหวะของการฉีดที่ความถี่ 10 Hz	55
3.9 ค่าโวลต์ พีค-พีค จากการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงที่ความถี่ต่างๆ	56
3.10 อัตราการใช้ น้ำมันเชื้อเพลิงที่ความถี่ต่างๆ	56
3.11 อัตราการใช้ น้ำมันเชื้อเพลิงที่ความถี่ต่างๆ ที่ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิง 1 l	57
3.12 ระยะเวลาในการใช้ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิง 1 l ที่ความถี่ต่างๆ	58
3.13 ภาพการสเปรย์น้ำมันเชื้อเพลิงที่ความถี่ของการฉีดคงที่ 6 ครั้งต่อวินาที	60
3.14 มุมสเปรย์ของแต่ละรูหัวฉีดจากการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงต่างๆ	62
3.15 ความยาวจริงของสเปรย์ของแต่ละรูหัวฉีดจากการใช้น้ำมันต่างๆ	65
3.16 อุณหภูมิไอดีของเครื่องยนต์	68
3.17 อุณหภูมิครีปของฝาสูบ	69
3.18 อุณหภูมิครีปของเสื้อสูบ	69
3.19 อุณหภูมิแก๊สไอเสีย	71
3.20 อัตราการไหลของน้ำมันเชื้อเพลิง	71
3.21 กำลังไฟฟ้าที่ความเร็วรอบและภาระงานต่างๆ เมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงแต่ละชนิด	73
3.22 อัตราการใช้เชื้อเพลิงที่ความเร็วรอบและภาระงานต่างๆ เมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงแต่ละชนิด	75
3.23 อัตราการใช้เชื้อเพลิงเฉลี่ย ณ ความเร็วรอบและภาระงานต่างๆ	76
3.24 ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่ความเร็วรอบและภาระงานต่างๆ เมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงแต่ละชนิด	77
3.25 ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเฉลี่ย ณ ความเร็วรอบและภาระงานต่างๆ	78
3.26 ประสิทธิภาพทางความร้อนที่ความเร็วรอบและภาระงานต่างๆ เมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงแต่ละชนิด	80
3.27 ประสิทธิภาพทางความร้อนเฉลี่ย ณ ความเร็วรอบและภาระงานต่างๆ	81

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3.28 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ความเร็วรอบและภาระงานต่างๆ เมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงแต่ละชนิด	82
3.29 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเฉลี่ย ณ ความเร็วรอบและภาระงานต่างๆ	83
3.30 ประสิทธิภาพเชิงปริมาตรที่ความเร็วรอบและภาระงานต่างๆ เมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงแต่ละชนิด	84
3.31 ประสิทธิภาพเชิงปริมาตรเฉลี่ย ณ ความเร็วรอบและภาระงานต่างๆ	85
3.32 อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงที่ความเร็วรอบและภาระงานต่างๆ เมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงแต่ละชนิด	87
3.33 อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงเฉลี่ย ณ ความเร็วรอบและภาระงานต่างๆ	88
3.34 อุณหภูมิแก๊สไอเสีย ที่ความเร็วรอบและภาระงานต่างๆ เมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงแต่ละชนิด	89
3.35 อุณหภูมิแก๊สไอเสียเฉลี่ย ณ ความเร็วรอบและภาระงานต่างๆ	90
3.36 การปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเร็วรอบและภาระงานต่างๆ เมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงแต่ละชนิด	91
3.37 ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เฉลี่ย ณ ความเร็วรอบและภาระงานต่างๆ	92
3.38 ปริมาณออกไซด์ของไนโตรเจนที่ความเร็วรอบและภาระงานต่างๆ เมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงแต่ละชนิด	95
3.39 ปริมาณออกไซด์ของไนโตรเจนเฉลี่ย ณ ความเร็วรอบและภาระงานต่างๆ	96
3.40 ปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ความเร็วรอบและภาระงานต่างๆ เมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงแต่ละชนิด	97
3.41 ปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์เฉลี่ย ณ ความเร็วรอบและภาระงานต่างๆ	98
3.42 ปริมาณไฮโดรคาร์บอนที่ความเร็วรอบและภาระงานต่างๆ เมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงแต่ละชนิด	99
3.43 ปริมาณไฮโดรคาร์บอนเฉลี่ย ณ ความเร็วรอบและภาระงานต่างๆ	100
3.44 ปริมาณควันดำที่ความเร็วรอบและภาระงานต่างๆ เมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงแต่ละชนิด	101
3.45 ปริมาณควันดำเฉลี่ย ณ ความเร็วรอบและภาระงานต่างๆ	102
3.46 กำลังไฟฟ้าที่ใช้ขับเคลื่อนกังหันเดิมอากาศบนผิวน้ำแบบ 4 ใบพัด ณ ระยะเวลา 300 hr	104
3.47 อัตราการใช้เชื้อเพลิง ณ ระยะเวลาการทดสอบ 300 hr	105
3.48 ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ ณ ระยะเวลาการทดสอบ 300 hr	105
3.49 ประสิทธิภาพทางความร้อน ณ ระยะเวลาการทดสอบ 300 hr	106
3.50 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ ณ ระยะเวลาการทดสอบ 300 hr	107
3.51 ผลการตรวจสอบคราบเขม่าที่เกาะบนหัวฉีด เมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงแต่ละชนิด	107

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3.52 ผลการตรวจสอบคราบเขม่าที่เกาะบนฝาสูบ เมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงแต่ละชนิด	108
3.53 ผลการตรวจสอบคราบเขม่าที่เกาะบนหัวลูกสูบ เมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงแต่ละชนิด	109

รายการสัญลักษณ์และคำย่อ

สัญลักษณ์	หน่วย	คำอธิบาย
AF	-	อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง
B	-	เอ็น-บิวทานอล
Bi	-	ไบโอดีเซล
CO	%vol	คาร์บอนมอนอกไซด์
CO ₂	%vol	คาร์บอนไดออกไซด์
D	-	น้ำมันดีเซล
DEB	-	น้ำมันดีเซลผสมแวนไฮดรัสเอทานอลและเอ็น-บิวทานอล
DEBi	-	น้ำมันดีเซลผสมแวนไฮดรัสเอทานอลและไบโอดีเซล
DEE	-	น้ำมันดีเซลผสมแวนไฮดรัสเอทานอลและเอทิลอะซิเตท
E	-	แวนไฮดรัสเอทานอล
EA	-	เอทิลอะซิเตท
HC	ppm	ไฮโดรคาร์บอน
LHV	MJ/kg	ค่าความร้อนต่ำสุดของน้ำมันเชื้อเพลิง
N	rpm	ความเร็วรอบของเครื่องยนต์
NO _x	ppm	ออกไซด์ของไนโตรเจน
O ₂	%vol	ออกซิเจน
P	kW	กำลังงาน
P _{cr,l}	bar	ความดันน้ำมันเชื้อเพลิงก่อนเข้าท่อรางร่วม
P _{ele}	kW _e	กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้
P _{hp,l}	bar	ความดันน้ำมันเชื้อเพลิงก่อนเข้าปั๊มแรงดันสูง
P _{inj}	bar	ความดันของการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง
P _t	bar	ความดันน้ำมันเชื้อเพลิงที่ท่อน้ำมันแรงดันสูง
SEC	MJ/kW _e .hr	ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ
SFC	kg/kW _e .hr	ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ
w	mm	ความกว้างของสเปรย์ที่ขยายออกไป
X _t	mm	ความยาวของสเปรย์ที่ฉีดพุ่งออกจากหัวฉีด
X _{t,r}	mm	ความยาวจริงของสเปรย์ที่ฉีดพุ่งออกจากหัวฉีด
$\eta_{t,e}$	%	ประสิทธิภาพทางความร้อน
η_v	%	ประสิทธิภาพเชิงปริมาตร

รายการสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

สัญลักษณ์	หน่วย	คำอธิบาย
θ	deg	มุมของการสเปรย์
ρ_a	kg/m ³	ความหนาแน่นของอากาศที่สภาวะบรรยากาศ

บทที่ 1

บทนำ

1.1 เนื้อหาของเรื่องที่เคยมีผู้ทำการวิจัยมาก่อน

เอทานอลเป็นพลังงานทางเลือกหนึ่ง ซึ่งกำลังได้รับความสนใจและใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนในปัจจุบัน โดยมีการใช้เอทานอลผสมกับน้ำมันเบนซินในระดับของเลขออกเทนต่างๆ เพื่อผลิตน้ำมันแก๊สโซฮอล์ชนิดต่างๆ ได้แก่ น้ำมันแก๊สโซฮอล์ 91 น้ำมันแก๊สโซฮอล์ 95 น้ำมัน E20 และน้ำมัน E85 และประยุกต์ใช้สำหรับเครื่องยนต์แก๊สโซลีน หรือเครื่องยนต์จุดระเบิด ต่อมา มีการวิจัยและการพัฒนาเอทานอลเพื่อใช้ร่วมหรือผสมกับน้ำมันดีเซลสำหรับเครื่องยนต์ดีเซล หรือเครื่องยนต์อัดระเบิด โดยงานวิจัยของ Labeckas และคณะ (2013)²⁸ และ Kumar และคณะ (2013)²⁷ ได้สรุปวิธีใช้เอทานอลร่วมหรือผสมกับน้ำมันดีเซลดังนี้

1.1.1 การผสมเอทานอลกับน้ำมันดีเซลโดยตรง ซึ่งน้ำมันที่ผลิตได้ ถูกเรียกว่าน้ำมัน E-Diesel โดยการนำน้ำมันดีเซลผสมโดยตรงกับแอนไฮดรัสเอทานอล (Anhydrous ethanol) หรือเอทานอลปราศจากน้ำ ซึ่งเป็นแอลกอฮอล์ที่ผ่านเข้าระบบการทำให้แห้ง โดยมีการเอาน้ำออกไปจากแอลกอฮอล์ให้หมด ซึ่งวิธีการนี้เป็นวิธีที่ง่ายที่สุด และไม่มีความซับซ้อน แต่มีปัญหาในเรื่องของการผสมเป็นเนื้อเดียวกันระหว่างน้ำมันดีเซลกับเอทานอล ซึ่งจะเกิดการแยกชั้นอย่างรวดเร็ว โดยงานวิจัยของ Labeckas และคณะ (2013)²⁸ และ เอกชัย สุธีรศักดิ์และคณะ (2558)⁷ นำเสนอว่า การใช้วิธีนี้ ก่อให้เกิดการแยกชั้นของน้ำมันดังกล่าวก่อน 24 hr เมื่อผสมเอทานอลมากกว่าร้อยละ 5 โดยปริมาตร และก่อให้เกิดความเสียหายต่อหัวฉีดและระบบปั้มน้ำมันเชื้อเพลิง ทำให้เกิดน้ำอวกภายในเครื่องยนต์ และสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลลดลง

1.1.2 การฉีดเชื้อเพลิงร่วม (Dual fuel injection) เป็นการใช้อีทานอลร่วมกับน้ำมันดีเซลในโหมดเชื้อเพลิงร่วม โดยมีการดัดแปลงเครื่องยนต์ เพื่อติดตั้งหัวฉีด และฉีดเอทานอลเข้าไปในห้องเผาไหม้โดยตรง โดยวิธีนี้ สามารถแก้ปัญหาการแยกชั้นของน้ำมันดีเซลผสมกับเอทานอลได้ แต่วิธีการนี้ มีต้นทุนสูงในการดัดแปลงเครื่องยนต์ และงานวิจัยของ Kumar และคณะ (2013)²⁷ อธิบายว่า วิธีนี้ มีความยุ่งยากอย่างมาก เนื่องจากต้องมีการออกแบบระบบส่งและฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงใหม่ เพื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงร่วมกัน และต้องดัดแปลงชิ้นส่วนต่างๆ ของเครื่องยนต์ ได้แก่ หัวฉีด ฝาสูบ ลูกสูบ อื่นๆ เพื่อให้ฉีดเอทานอลแรงดันสูง และต้องมีการเพิ่มพื้นที่ของห้องเผาไหม้ภายในฝาสูบของเครื่องยนต์ให้มากขึ้น

1.1.3 การระเหยเอทานอลเพื่อใช้ร่วมกับน้ำมันดีเซล ในโหมดเชื้อเพลิงร่วม ด้วยวิธีฟุมิเกชัน (Fumigation) ซึ่งเป็นการระเหยเอทานอล โดยการใช้คาร์บูเรเตอร์ หรือระบบแลกเปลี่ยนความร้อน เพื่อให้เอทานอลผสมกับอากาศ และถูกส่งเข้าเครื่องยนต์ในจังหวะดูด ขณะที่น้ำมันดีเซลยังคงถูกส่งจากระบบน้ำมันเชื้อเพลิงและฉีดจากหัวฉีดเข้าไปในห้องเผาไหม้ปกติ ซึ่งวิธีการนี้งานวิจัยของ Kumar และคณะ (2013)²⁷ อธิบายว่า มีความยุ่งยากในการติดตั้งอุปกรณ์ โดยมีการดัดแปลงท่อไอดี เพื่อระเหยเอทานอล ทำให้มีอันตรายจากการจุดระเบิดล่วงหน้า และมีต้นทุนสูง

1.1.4 การผสมเอทานอลกับน้ำมันดีเซลโดยใช้สารลดแรงตึงผิวด้วยวิธีอิมัลชัน (Emulsion) ซึ่งเป็นการใช้ตัวกระทำเพื่อลดแรงตึงผิวของน้ำมัน หรือที่เรียกว่า สารอิมัลซิไฟเออร์ (Emulsifier) ทำให้เกิดการแตกตัวของสารละลายเข้ากันเป็นเนื้อเดียวไม่ได้สองชนิดขึ้นไป เกิดการผสมจนเป็นเนื้อเดียวกัน โดยวิธีการนี้ จะนำแอนไฮดริสเอทานอล ผสมกับสารอิมัลซิไฟเออร์ เพื่อลดแรงตึงผิวและเกิดการแตกตัว ก่อนนำมาผสมกับน้ำมันดีเซล ซึ่งน้ำมันที่ผลิตได้เรียกว่า น้ำมันดีโซฮอล (Diesohol) โดยวิธีการนี้งานวิจัยของ Kumar และคณะ (2013)²⁷ Dhileepan และคณะ (2017)¹⁵ Shadidi และคณะ (2014)⁴⁰ และ Joshi และ Watt (2015)²⁵ นำเสนอว่า สารอิมัลซิไฟเออร์เป็นตัวแปรสำคัญที่สามารถยืดเวลาในการผสมของน้ำมันดีเซลกับเอทานอล และทำให้มีคุณสมบัติความเป็นเชื้อเพลิง โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ค่าความหนาแน่น ค่าความหนืด และค่าความร้อนของน้ำมันเชื้อเพลิงใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล และมีการเปลี่ยนแปลงเลขซีเทน (Cetane number) หรือดัชนีซีเทน (Cetane index) ซึ่งเป็นค่าบ่งบอกความต้านทานการน็อกของเครื่องยนต์ และแสดงคุณภาพการจุดติดไฟ ทำให้มีสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีกว่าและลดการปล่อยสารมลพิษต่างๆ จากแก๊สไอเสีย เช่น ไฮโดรคาร์บอน (HC) คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และปริมาณควันดำเมื่อเทียบกับการใช้น้ำมันดีเซลบริสุทธิ์เป็นเชื้อเพลิง นอกจากนี้ วิธีการนี้ ไม่ต้องดัดแปลงเครื่องยนต์ และมีความเป็นเนื้อเดียวกันระหว่างน้ำมันดีเซลและเอทานอล ไม่มีการแยกชั้น และเพิ่มคุณสมบัติความเป็นเชื้อเพลิง (ขึ้นกับสารอิมัลซิไฟเออร์ และปริมาณของเอทานอลในการผสม)

ดังนั้น การวิจัยการใช้น้ำมันดีโซฮอลเป็นเชื้อเพลิงทดแทนสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลนั้น มีการวิจัยอย่างต่อเนื่องจนถึงปัจจุบัน และมีแนวโน้มในการนำมาประยุกต์ใช้งานสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลในอนาคต ขณะที่ปัญหาสำคัญของน้ำมันชนิดนี้ คือ สารอิมัลซิไฟเออร์ โดยงานวิจัยของ Dhileepan และคณะ (2017)¹⁵ และ Joshi และ Watt (2015)²⁵ สรุปว่า สารอิมัลซิไฟเออร์บางชนิดเป็นสารเคมีที่เป็นอันตราย มีความเป็นพิษสูง หายาก และมีราคาสูง ทำให้หลากหลายสถาบันทั้งภายในประเทศและต่างประเทศ ทำการสังเคราะห์น้ำมันดีโซฮอลที่มาจากการใช้น้ำมันดีเซลผสมแอนไฮดริสเอทานอลและสารอิมัลซิไฟเออร์ต่างๆ ที่มีความเป็นพิษต่ำ และหาได้ง่าย เพื่อผสม พัฒนา และปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำมันดีโซฮอลให้ใช้สำหรับเครื่องยนต์ดีเซลต่อไปในอนาคต

1.2 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ในปัจจุบัน เครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็ก ถูกใช้เป็นต้นกำลังสำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เครื่องจักรกลหนัก กังหันน้ำ ปิมน้ำ และการขับเคลื่อนยานยนต์ต่างๆ เพื่อการประกอบอาชีพทางทะเล การคมนาคมขนส่ง และการเลี้ยงสัตว์บนบก ในน้ำ และในทะเล เพื่อผลิตอาหารและการดำรงชีวิตประจำวัน และเครื่องยนต์ดีเซลขนาดใหญ่ถูกใช้ในรถยนต์ เนื่องจากเครื่องยนต์ประเภทนี้ให้กำลังงานสูง ประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิง ทนทาน และค่าบำรุงรักษาต่ำ แต่ทว่าเครื่องยนต์ประเภทนี้ มีการปล่อยสารมลพิษต่างๆ จากแก๊สไอเสียของเครื่องยนต์ (เช่น ไฮโดรคาร์บอน (HC) คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) และสารละอองขนาดเล็ก ได้แก่ ควันดำ และวัตถุขนาดเล็กที่ไม่สามารถมองเห็นได้) จำนวนมาก ทำให้สภาวะแวดล้อมเป็นพิษ เกิดฝนกรด เกิดหมอกปนควัน และมีกลิ่นเหม็นต่างๆ รวมทั้งปัญหาและโรคภัยต่างๆ ที่ทำลายระบบทางเดินหายใจ

และสุขภาพของมนุษย์ จากปัญหาที่กล่าวมา จึงมีความจำเป็นในการปรับปรุงและพัฒนาคุณภาพของน้ำมันดีเซล โดย Kumar และคณะ (2013)²⁷ นำเสนอว่าการผสมสารเพิ่มคุณภาพต่างๆ (Additives) กับน้ำมันดีเซลสามารถลดปัญหาสถานะแวดล้อมเป็นพิษ และปรับปรุงคุณสมบัติตามต้องการเพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งาน แต่สารเพิ่มคุณภาพบางชนิด มีความเป็นพิษสูง ต้นทุนสูง และนำเข้าจากต่างประเทศ ดังนั้น จึงควรค้นหาสารเพิ่มคุณภาพต่างๆ ที่มีความเป็นพิษต่ำ ต้นทุนต่ำ และสามารถผลิตได้จากพืชภายในประเทศ

เอทานอล เป็นแอลกอฮอล์จากกระบวนการหมัก (Fermentation) จากส่วนต่างๆ ของพืช และสามารถผลิตได้จากพืชภายในประเทศ โดยพืชที่ใช้ส่วนใหญ่ ได้แก่ อ้อย มันสำปะหลัง ข้าวโพด และมันฝรั่ง นอกจากนี้ เอทานอลมีออกซิเจน (O_2) เป็นองค์ประกอบ มีความเป็นพิษต่ำ และลดปัญหาสถานะแวดล้อมเป็นพิษ จึงได้รับความสนใจในการนำมาใช้เป็นสารเพิ่มคุณภาพโดยการผสมกับน้ำมันเชื้อเพลิง และมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องเพื่อใช้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงทดแทนสำหรับเครื่องยนต์สันดาปภายใน เนื่องจากมีการเผาไหม้สมบูรณ์ และลดการปล่อยสารมลพิษต่างๆ จากแก๊สไอเสียของเครื่องยนต์สันดาปภายใน [Kumar และคณะ (2013)²⁷] สำหรับการพัฒนาเอทานอลเพื่อใช้เป็นสารเพิ่มคุณภาพโดยการเข้าร่วมหรือผสมกับน้ำมันดีเซลสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลนั้น มีการศึกษาและวิจัยอย่างต่อเนื่องทั้งภายในประเทศและต่างประเทศตั้งแต่ปี พ.ศ. 2513 (ค.ศ. 1970) จนถึงปัจจุบัน โดยงานวิจัยของ Kumar และคณะ (2013)²⁷ Gomasta และ Mahla (2012)²⁰ Corkwell และคณะ (2003)¹³ และ Hansen และคณะ (2005)²² สรุปว่า การใช้น้ำมันดีเซลและเอทานอลโดยไม่ต้องดัดแปลงเครื่องยนต์และไม่มีความซับซ้อน ควรใช้วิธีอิมัลชัน ซึ่งเป็นการใช้สารอิมัลซิไฟเออร์ในการผสม และเรียกน้ำมันที่ผลิตได้ว่า น้ำมันดีโซฮอล โดยวิธีการนี้ สามารถยืดเวลาในการผสมของน้ำมันดีเซลกับเอทานอล มีคุณสมบัติความเข้ากันได้กับเชื้อเพลิงใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล เพิ่มเลขซีเทน ทำให้มีการเผาไหม้สมบูรณ์ ลดการปล่อยสารมลพิษต่างๆ จากแก๊สไอเสีย และไม่ต้องดัดแปลงเครื่องยนต์

ในประเทศไทย ัญญธร อิศราชีวะ (2548)¹ ศึกษาการสังเคราะห์น้ำมันดีโซฮอลโดยการใช้วิธีอิมัลชัน และนำเสนอว่าการใช้แอนไฮดรัสเอทานอล (Anhydrous ethanol) ซึ่งเป็นแอลกอฮอล์ที่ผ่านเข้าระบบการทำให้แห้ง โดยเอาน้ำออกไปจากแอลกอฮอล์ทั้งหมด จนมีความบริสุทธิ์มากกว่าร้อยละ 99.5 นั้น มีความเหมาะสมในการนำมาใช้เป็นสารเพิ่มคุณภาพและผสมกับน้ำมันดีเซลมากที่สุด อีกทั้งสามารถผลิตภายในประเทศ เพิ่มรายได้ให้กับเกษตรกร มีราคาไม่สูง และไม่ก่อให้เกิดการแยกชั้นของน้ำมันดีโซฮอล แต่ถ้าใช้เอทานอลที่มีปริมาณของน้ำปะปนอยู่มากซึ่งเรียกว่า ไฮดรัสเอทานอล (มีความบริสุทธิ์ของเอทานอลร้อยละ 95 ซึ่งมีน้ำปะปนอยู่ถึงร้อยละ 5) จะเกิดปัญหาบางช่วงของอัตราส่วนผสม โดยจะเกิดการแยกชั้นของน้ำมันชนิดนี้อย่างรวดเร็ว เมื่อนำมาใช้งานกับเครื่องยนต์ดีเซล จะเกิดการน็อก และชิ้นส่วนของเครื่องยนต์เกิดสนิม และงานวิจัยของ Kumar และคณะ (2013)²⁷ และ Joshi และ Watt (2015)²⁵ ทบทวนงานวิจัยต่างๆ และนำเสนอผลการวิจัยทางด้านการศึกษาและการสเปรย์ การเผาไหม้ สมรรถนะ และการปล่อยสารมลพิษต่างๆ ของเครื่องยนต์ดีเซลจากบทความวิจัยต่างๆ เมื่อใช้น้ำมันดีเซลผสมแอนไฮดรัสเอทานอลและสารอิมัลซิไฟเออร์หลากหลายชนิด เช่น เอทิลอะซิเตท เอ็น-บิวทานอล ไบโอดีเซล โพรพานอล และสารลดแรงตึงผิวอื่นๆ และสรุปว่าการใช้น้ำมันดีเซลผสมแอนไฮดรัสเอทานอลและสารอิมัลซิไฟเออร์ต่างๆ ให้สมรรถนะของเครื่องยนต์ (ได้แก่ ประสิทธิภาพทางความร้อน และความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง) ใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล และลดการปล่อย

สารมลพิษต่างๆ จากแก๊สไอเสียของเครื่องยนต์ โดยตัวแปรสำคัญที่เปลี่ยนแปลงสมรรถนะและการปล่อยสารมลพิษต่างๆ ของเครื่องยนต์ นั้นคือ สารอิมัลซิไฟเออร์

อย่างไรก็ตาม Kumar และคณะ (2013)²⁷ และ Joshi และ Watt (2015)²⁵ อธิบายว่าคุณสมบัติความเป็นเชื้อเพลิงทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมันดีเซลผสมแอนไฮดริสเอทานอล ตัวอย่างเช่น ความมีเสถียรภาพหรือการผสมเป็นเนื้อเดียวกันของน้ำมันดีเซล ค่าเลขซีเทน จุดวาบไฟ ค่าความร้อนของน้ำมันเชื้อเพลิง ค่าความหนืดของน้ำมันเชื้อเพลิง และค่าความหนาแน่นของน้ำมันเชื้อเพลิง มีความสำคัญอย่างมากต่อการประยุกต์ใช้สำหรับเครื่องยนต์ดีเซล นอกจากนี้ ราคาต้นทุน การสังเคราะห์และการผลิต และแหล่งจัดซื้อสารอิมัลซิไฟเออร์ภายในประเทศเป็นอีกเหตุผลในการเลือกใช้สารดังกล่าว สำหรับการตรวจสอบสมรรถนะและการปล่อยสารมลพิษต่างๆ ของเครื่องยนต์ดีเซลซึ่งหวั่นหวาดแบบฉีดยาง ที่ความเร็วรอบและภาระงานต่างๆ จากการใช้น้ำมันดีเซลผสมแอนไฮดริสเอทานอลและสารอิมัลซิไฟเออร์ต่างๆ ในอัตราส่วนต่างๆ เทียบกับการใช้น้ำมันดีเซลอย่างเดียวนั้น งานวิจัยของ Joshi และ Watt (2015)²⁵ Gnanamoorthi และ Devaradjane (2013)¹⁹ Huang และคณะ (2009)²⁴ Kumar และคณะ (2007)²⁶ Hansen และคณะ (2005)²² Corkwell และคณะ (2003)¹³ นำเสนอว่าสารอิมัลซิไฟเออร์ที่มีความเป็นพิษต่ำ หาซื้อได้ง่าย และมีคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีในการผสมระหว่างน้ำมันดีเซลกับแอนไฮดริสเอทานอลที่ดี นั้นคือ เอทิลอะซิเตท และ เอ็น-บิวทานอล ในขณะที่ Banapurmath และคณะ (2015)¹⁰ นำเสนอการใช้สารอิมัลซิไฟเออร์อีกชนิดหนึ่ง ซึ่งกำลังได้รับความสนใจในปัจจุบัน เพื่อพัฒนาและสังเคราะห์เป็นน้ำมันดีเซล นั้นคือ ไบโอดีเซลในรูปแบบของเอทิลเอสเทอร์ เนื่องจากเอทิลเอสเทอร์ ถูกสังเคราะห์จากน้ำมันพืช ลดปัญหาเรื่องค่าความหนืดของน้ำมันพืช มีความเป็นพิษต่ำ และเอสเทอร์นี้ สามารถสังเคราะห์ได้จากเอทานอล ซึ่งเป็นการเพิ่มมูลค่าการใช้ประโยชน์จากเอทานอล และลดสารเติมแต่งเพิ่มคุณภาพต่างๆ ที่มาจากกระบวนการผลิตน้ำมันดิบ

อย่างไรก็ตาม เอกชัย สุธีร์ศักดิ์ และ เจริญ ชินวานิชย์เจริญ (2559)⁶ สรุปเบื้องต้นว่า ไม่ควรใช้ปริมาณสารอิมัลซิไฟเออร์และแอนไฮดริสเอทานอลผสมกันมากกว่าร้อยละ 10 ในการผสมกับน้ำมันดีเซล เนื่องจากการใช้สารทั้งสองนี้ผสมกับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วนมากกว่าร้อยละ 10 (ขึ้นกับสัดส่วนของการผสมระหว่างสารอิมัลซิไฟเออร์และแอนไฮดริสเอทานอล) ก่อให้เกิดการแยกชั้นของน้ำมันดีเซลและแอนไฮดริสเอทานอลอย่างรวดเร็ว และคุณสมบัติความเป็นเชื้อเพลิงต่ำกว่าน้ำมันดีเซล ผลลัพธ์ที่ตามมา มีการน็อกและการสันตะเหือนของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น และคุณลักษณะต่างๆ ของเครื่องยนต์ ได้แก่ สมรรถนะของเครื่องยนต์ลดลง และการปล่อยสารมลพิษต่างๆ จากแก๊สไอเสียเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับการใช้น้ำมันดีเซล แต่การเพิ่มปริมาณของสารอิมัลซิไฟเออร์ สามารถลดข้อด้อยของเอทานอล และทำให้คุณสมบัติความเป็นเชื้อเพลิงดีขึ้น ขณะที่การศึกษาคุณลักษณะต่างๆ ของเครื่องยนต์ และการใช้งานในระยะยาวจากการใช้น้ำมันดีเซลผสมกับเอทานอลและสารอิมัลซิไฟเออร์ร้อยละ 10 นั้น มีงานวิจัยเพียงบางส่วน ดังนั้น วัตถุประสงค์หลักของการวิจัยนี้ เป็นการศึกษาการฉีดและการสเปรย์น้ำมันเชื้อเพลิง และการตรวจสอบสมรรถนะ การปล่อยสารมลพิษต่างๆ และการสึกหรอของเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็ก เมื่อใช้น้ำมันดีเซลผสมแอนไฮดริสเอทานอลร้อยละ 5 และสารอิมัลซิไฟเออร์ต่างๆ (ได้แก่ เอทิลอะซิเตท เอ็น-บิวทานอล และไบโอดีเซล) ร้อยละ 5 เทียบกับการใช้น้ำมันดีเซลอย่างเดียว เพื่อใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการตอบคำถาม และเพื่อนำไปประยุกต์ใช้สำหรับเครื่องยนต์ดีเซลต่อไปในอนาคต

1.3 การทบทวนวรรณกรรม

การผสมเอทานอลในน้ำมันดีเซล ทำให้คุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ค่าความหนาแน่น ค่าความหนืด ค่าความร้อน และจุดติดไฟของน้ำมันดีเซลเปลี่ยนแปลงไป เมื่อนำมาใช้กับเครื่องยนต์ดีเซล ทำให้จังหวะการฉีดล่าช้า ความดันของการฉีดลดลง ความล่าช้าการจุดระเบิดเพิ่มขึ้น ระยะเวลาการเผาไหม้นานขึ้น ค่าความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้น และประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ลดลง ยิ่งไปกว่านั้น การผสมเอทานอลในน้ำมันดีเซลมากกว่าร้อยละ 10 ก่อให้เกิดการแยกชั้นของน้ำมันดีเซลและเอทานอลอย่างรวดเร็ว เมื่อนำมาใช้กับเครื่องยนต์ดีเซล จะเกิดการน็อกและการสั่นสะเทือนของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้นตามปริมาณของเอทานอลที่เพิ่มขึ้น ดังนั้น Kumar และคณะ (2013)²⁷ Joshi และ Watt (2015)²⁵ และ Hansen และคณะ (2005)²² นำเสนอว่าการเพิ่มสารอิมัลซิไฟเออร์ และการใช้วิธีอิมัลชัน เพื่อสังเคราะห์เป็นน้ำมันดีโซฮอล์นั้น สามารถลดปัญหาคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำมันดีเซลผสมเอทานอล เพิ่มความเสถียรภาพของน้ำมันดีโซฮอล์ ปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันดีเซล และลดการปล่อยสารมลพิษต่างๆ จากแก๊สไอเสียของเครื่องยนต์

ในประเทศไทย ัญญธร อิสราชีวะ (2548)¹ ศึกษาการผสมเอทานอลและสารอิมัลซิไฟเออร์ในน้ำมันดีเซลจากการใช้วิธีอิมัลชัน สำหรับสารอิมัลซิไฟเออร์ที่ใช้้นคือ เอทิลอะซิเตท โดยตรวจสอบความเสถียรภาพของน้ำมันดีโซฮอล์จากการผสมระหว่างน้ำมันดีเซล เอทิลอะซิเตท และเอทานอลที่ความบริสุทธิ์ร้อยละ 95.0 ถึง 99.9 โดยปริมาตร ที่อุณหภูมิ 30 และ 40 °C ผลลัพธ์ที่ได้ พบว่า การใช้แอนไฮดรัสเอทานอลที่มีความบริสุทธิ์มากกว่าร้อยละ 99.5 โดยปริมาตร เหมาะสมในการนำมาผสมกับน้ำมันดีเซลมากที่สุด ทั้งในด้านราคา และไม่ก่อให้เกิดการแยกชั้นของน้ำมันดีโซฮอล์ แต่การใช้ไฮดรัสเอทานอลร้อยละ 95 ซึ่งมีน้ำปะปนอยู่ถึงร้อยละ 5 โดยปริมาตรนั้น จะเกิดปัญหาบางช่วงของอัตราส่วนผสมที่ก่อให้เกิดการแยกชั้นของน้ำมันดีโซฮอล์ ทำให้เครื่องยนต์เกิดน็อก และขึ้นส่วนต่างๆ ภายในเครื่องยนต์เกิดสนิม นอกจากนี้ การเติมแอนไฮดรัสเอทานอลและเอทิลอะซิเตทลงไปมากกว่าร้อยละ 10 โดยปริมาตร ทำให้คุณสมบัติทางกายภาพของของน้ำมันดีโซฮอล์ลดลง และสรุปว่า สัดส่วนผสมที่เหมาะสมในการสังเคราะห์เป็นน้ำมันดีโซฮอล์ นั้นคือ น้ำมันดีเซลร้อยละ 90 ผสมกับแอนไฮดรัสเอทานอลร้อยละ 5 และเอทิลอะซิเตทร้อยละ 5 โดยปริมาตร ซึ่งมีคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำมันดีโซฮอล์ใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลมากที่สุด

พรหมเมศร์ ขวัญเจริญ (2548)⁴ ศึกษาการผสมแอนไฮดรัสเอทานอล (ที่มีความบริสุทธิ์มากกว่าร้อยละ 99.5 โดยปริมาตร) และสารอิมัลซิไฟเออร์ในน้ำมันดีเซลจากการใช้วิธีอิมัลชัน สำหรับสารอิมัลซิไฟเออร์ที่ใช้้นคือ เมทิลเอสเทอร์ ซึ่งเป็นไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มกลั่น โดยตรวจสอบความเสถียรภาพของน้ำมันดีโซฮอล์จากการผสมระหว่างน้ำมันดีเซล เมทิลเอสเทอร์ และเอทานอลที่ความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.5 ถึง 99.9 โดยปริมาตร ณ อุณหภูมิ 10 และ 20 °C พบว่า การผลิตน้ำมันดีโซฮอล์ โดยใช้เมทิลเอสเทอร์เป็นสารอิมัลซิไฟเออร์นั้น ควรใช้เอทานอลที่มีความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.5 ขึ้นไป ซึ่งสามารถละลายเป็นเนื้อเดียวกันกับน้ำมันดีเซล และมีค่าความหนาแน่น และจุดไหลเทของน้ำมันดีโซฮอล์ อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของน้ำมันดีเซล ขณะที่ส่วนผสมที่เหมาะสมในการสังเคราะห์เป็นน้ำมันดีโซฮอล์ นั้นคือ น้ำมันดีเซลร้อยละ 90 ผสมกับแอนไฮดรัสเอทานอลร้อยละ 5 และเมทิลเอสเทอร์ร้อยละ 5 โดยปริมาตร ซึ่งมีคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำมันเชื้อเพลิงใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลมากที่สุด และไม่มีเกิดการแยกชั้นของน้ำมันดีโซฮอล์

บุญชู มุ่งกลางและคณะ (2557)³ ศึกษาสมรรถนะของรถยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซลชนิดต่างๆ ซึ่งถูกสังเคราะห์จากน้ำมันดีเซลผสมแอนไฮดริสเอทานอล (เอทานอลที่มีความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.9) ร้อยละ 5 ถึง 25 และใช้สารอีมีลซิไฟเออร์นั้นคือ เอทิลอะซิเตทคงที่ร้อยละ 5 โดยมวล เทียบกับน้ำมันดีเซล โดยทดสอบกับรถยนต์แบบกระบะที่ใช้เครื่องยนต์ดีเซลแบบฉีดตรง 4 สูบ 4 จังหวะต่อกับกระปุกเกียร์แบบอัตโนมัติและขับเคลื่อนบนแท่นทดสอบ ซึ่งก่อนการทดสอบได้ทำการตรวจสอบคุณสมบัติความเป็นเชื้อเพลิงของน้ำมันดีเซลชนิดต่างๆ พบว่า น้ำมันดีเซลที่สังเคราะห์จากน้ำมันดีเซลผสมเอทานอลร้อยละ 5 และเอทิลอะซิเตทร้อยละ 5 โดยมวล (น้ำมัน DE5E5) ไม่มีการแยกชั้นของน้ำมันดีเซล และให้คุณสมบัติความเป็นเชื้อเพลิง (ได้แก่ ค่าความหนาแน่น ค่าความหนืด และค่าความร้อนของน้ำมันเชื้อเพลิง) ใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลมากที่สุด และต่อมาทำการทดสอบสมรรถนะของรถยนต์ โดยทดสอบที่ความเร็วรอบ 1,500 ถึง 3,000 rpm ณ ภาระงานสูงสุด พบว่า กำลังขับเคลื่อนจากการใช้น้ำมัน DE5E5 สูงกว่าการใช้น้ำมันดีเซล และตรวจสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลพบว่า ค่าประสิทธิภาพทางความร้อน (BTH) และความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (BSFC) จากการใช้น้ำมัน DE5E5 สูงกว่า และมีการปล่อยปริมาณควันดำต่ำกว่าเมื่อเทียบกับการใช้น้ำมันดีเซล อย่างไรก็ตาม การเพิ่มอัตราส่วนของแอนไฮดริสเอทานอลในการผสมมากกว่าร้อยละ 10 และใช้เอทิลอะซิเตทคงที่ร้อยละ 5 โดยมวลนั้น ส่งผลให้เกิดการแยกชั้นของน้ำมันดีเซลอย่างรวดเร็ว คุณสมบัติความเป็นเชื้อเพลิงต่ำกว่าน้ำมันดีเซล ส่งผลให้กำลังขับเคลื่อนลดลง มีการน็อกของเครื่องยนต์เกิดขึ้น สมรรถนะของเครื่องยนต์ลดลง และมีการปล่อยปริมาณควันดำเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับการใช้น้ำมันดีเซลอย่างเดียว

ธีระพนธ์ สนิทยานนท์และคณะ (2557)² ตรวจสอบสมรรถนะของรถยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซลชนิดต่างๆ ซึ่งถูกสังเคราะห์จากการใช้น้ำมันดีเซลผสมแอนไฮดริสเอทานอล (เอทานอลที่มีความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.9) ร้อยละ 5 ถึง 25 และใช้สารอีมีลซิไฟเออร์นั้นคือ เอ็น-บิวทานอลคงที่ร้อยละ 5 โดยมวล เทียบกับน้ำมันดีเซล โดยทดสอบกับรถยนต์แบบกระบะและขับเคลื่อนบนแท่นทดสอบ ซึ่งก่อนการทดสอบได้ทำการตรวจสอบคุณสมบัติความเป็นเชื้อเพลิงของน้ำมันดีเซลชนิดต่างๆ พบว่า น้ำมันดีเซลผสมเอทานอลร้อยละ 5 และเอ็น-บิวทานอลร้อยละ 5 โดยมวล (น้ำมัน DE5B5) ไม่เกิดการแยกชั้นของน้ำมันดีเซล ในระยะเวลาสามเดือน และให้คุณสมบัติความเป็นเชื้อเพลิง (ได้แก่ ค่าความหนาแน่น ค่าความหนืด และค่าความร้อนของน้ำมันเชื้อเพลิง) ใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล ต่อมาทดสอบสมรรถนะของรถยนต์ โดยทดสอบที่ความเร็วรอบ 1,500 ถึง 3,000 rpm ณ ภาระงานสูงสุด พบว่า กำลังขับเคลื่อนจากการใช้น้ำมัน DE5B5 สูงกว่าการใช้น้ำมันดีเซล เมื่อตรวจสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลพบว่า การใช้น้ำมัน DE5B5 ให้ค่า BTH และค่า BSFC สูงกว่า และมีการปล่อยปริมาณควันดำลดลงเมื่อเทียบกับการใช้น้ำมันดีเซล ขณะที่การผสมแอนไฮดริสเอทานอลมากกว่าร้อยละ 15 และใช้เอ็น-บิวทานอลคงที่ร้อยละ 5 โดยมวลนั้น ส่งผลให้เกิดการแยกชั้นของน้ำมันดีเซลอย่างรวดเร็วในระยะเวลา 48 hr และมีคุณสมบัติความเป็นเชื้อเพลิงต่ำกว่าน้ำมันดีเซล ส่งผลให้กำลังขับเคลื่อนลดลง สมรรถนะของเครื่องยนต์ลดลง และมีการปล่อยปริมาณควันดำเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับการใช้น้ำมันดีเซล

เอกพันธ์ อินทร์ปิ่น และคณะ (2557)⁸ การศึกษาสมรรถนะและการสึกหรอของเครื่องยนต์ดีเซลเมื่อใช้น้ำมันดีเซล ซึ่งถูกสังเคราะห์จากน้ำมันดีเซลผสมแอนไฮดริสเอทานอล (เอทานอลที่มีความบริสุทธิ์ร้อยละ

99.9) ร้อยละ 10 และใช้สารอิมัลซิไฟเออร์นั่นคือ เอทิลอะซิเตทคองที่ร้อยละ 5 โดยมวล (น้ำมัน DE10E5) เทียบกับการใช้น้ำมันดีเซล โดยทดสอบกับเครื่องยนต์ดีเซลแบบฉีดตรง หนึ่งสูบ สี่จังหวะที่ต่อกับเจนเนอเรเตอร์ขนาด 2.5 kW ณ ความเร็วรอบและภาระงานคองที่ พบว่า กำลังงานและประสิทธิภาพทางความร้อน ลดลงร้อยละ 8.43 และ 18.50 ตามลำดับ และมีค่าความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นร้อยละ 29.25 ขณะที่ผลการตรวจสอบการสึกหรอของชิ้นส่วนต่างๆ ภายในเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมัน DE10E5 เทียบกับน้ำมันดีเซลที่ระยะเวลา 500 ชั่วโมง พบว่า เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน DE10E5 มีคราบเขม่าเกาะบริเวณหัวฉีด ฝาสูบ และหัวลูกสูบมากกว่า และมีการสึกหรอของชิ้นส่วนต่างๆ มากกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล

ในต่างประเทศ Dhileepan และคณะ (2017)¹⁵ และ Gnanamoorthi และ Devaradjane (2013)¹⁹ ศึกษาสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลแบบฉีดตรง หนึ่งสูบ สี่จังหวะที่ใช้น้ำมันดีโซฮอล์ชนิดต่างๆ ที่มาจากน้ำมันดีเซลผสมแอมไฮดรัสเอทานอล (เอทานอลที่มีความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.8) ร้อยละ 10 ถึง 50 และใช้สารอิมัลซิไฟเออร์นั่นคือ เอทิลอะซิเตทร้อยละ 3 ถึง 5 โดยปริมาตร เมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซล พบว่า การใช้น้ำมันดีเซลผสมแอมไฮดรัสเอทานอลร้อยละ 5 และเอทิลอะซิเตทคองที่ร้อยละ 5 ให้ค่า BTE เพิ่มขึ้น และค่า BSFC เพิ่มขึ้นเล็กน้อย ขณะที่การปล่อยปริมาณสารมลพิษ HC, CO, NO_x และควันดำลดลง แต่การใช้น้ำมันดีเซลผสมแอมไฮดรัสเอทานอลมากกว่าร้อยละ 30 ทำให้สมรรถนะของเครื่องยนต์ลดลงและมีการปล่อยสารมลพิษเพิ่มขึ้น ขณะที่ Kumar และคณะ (2007) ตรวจสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบต่างๆ และภาระงานสูงสุด เมื่อใช้น้ำมันดีโซฮอล์ที่ผลิตจากน้ำมันดีเซลผสมแอมไฮดรัสเอทานอล (เอทานอลที่มีความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.7) และใช้สารอิมัลซิไฟเออร์นั่นคือเอทิลอะซิเตทในอัตราส่วน 80:13:7 พบว่า การใช้น้ำมันดีโซฮอล์ในสัดส่วนผสมนี้ ให้สมรรถนะของเครื่องยนต์ลดลงเมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซล และต่อมา Gomasta และ Mahla (2012)²⁰ ตรวจสอบสมรรถนะและการปล่อยสารมลพิษของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีโซฮอล์ที่ผลิตจากน้ำมันดีเซลผสมแอมไฮดรัสเอทานอลร้อยละ 20 และใช้สารอิมัลซิไฟเออร์นั่นคือ เอทิลอะซิเตทคองที่ร้อยละ 7 เทียบกับน้ำมันดีเซล พบว่า การใช้น้ำมันดีโซฮอล์ในสัดส่วนผสมนี้ มีค่า BTE ลดลงร้อยละ 6 และค่า BSFC เพิ่มขึ้นร้อยละ 4 ขณะที่การปล่อยปริมาณ HC ลดลงร้อยละ 35 ปริมาณ CO ลดลงร้อยละ 41 และมีปริมาณควันดำลดลง แต่มีการปล่อยปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) เพิ่มขึ้นร้อยละ 66

Huang และคณะ (2009)²⁴ สังเคราะห์น้ำมันดีโซฮอล์ชนิดต่างๆ ที่มาจากการใช้น้ำมันดีเซลผสมแอมไฮดรัสเอทานอล (เอทานอลที่มีความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.7) ร้อยละ 10 ถึง 30 และใช้สารอิมัลซิไฟเออร์นั่นคือ เอ็น-บิวทานอลคองที่ร้อยละ 5 และตรวจสอบความเสถียรของน้ำมันดีโซฮอล์ พบว่า น้ำมันดีเซลผสมเอทานอลร้อยละ 10 และเอ็น-บิวทานอลคองที่ร้อยละ 5 (น้ำมัน DE10B5) ไม่เกิดการแยกชั้นของน้ำมันดีโซฮอล์ แต่การผสมเอทานอลมากกว่าร้อยละ 20 มีการแยกชั้นหลังจาก 14 วัน ต่อมาตรวจสอบสมรรถนะและการปล่อยสารมลพิษของเครื่องยนต์ดีเซลแบบฉีดตรงหนึ่งสูบ สี่จังหวะ ที่ความเร็วรอบ 1500 และ 2000 rpm ณ ภาระงานสูงสุด พบว่า การใช้น้ำมัน DE10B5 นั้น ให้ค่า BTH ลดลง และค่า BSFC เพิ่มขึ้น ขณะที่การปล่อยปริมาณของ CO, NO_x และควันดำลดลง แต่มีการปล่อยปริมาณของ HC เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซล

Durga Prasad และคณะ (2013)¹⁷ ตรวจสอบคุณสมบัติของน้ำมันดีโซฮอล์ชนิดต่างๆ ที่มาจากการใช้น้ำมันดีเซลผสมแอมไฮดรัสเอทานอลร้อยละ 10 ถึง 25 และใช้สารอิมัลซิไฟเออร์นั่นคือ เอ็น-บิวทานอลคองที่

ร้อยละ 5 โดยปริมาตร เทียบกับน้ำมันดีเซล พบว่า น้ำมันดีโซฮอล์ที่ผสมเอทานอลมากกว่าร้อยละ 10 มีค่าความหนาแน่น ค่าความหนืด และค่าความร้อนของน้ำมันเชื้อเพลิงต่ำกว่าน้ำมันดีเซล หลังจากนั้น ตรวจสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลแบบฉีดตรง สองสูบ สี่จังหวะ ที่ความเร็วรอบ 1500 rpm และเปลี่ยนแปลงภาระงาน ผลลัพธ์ที่ได้พบว่า การใช้น้ำมันดีโซฮอล์ที่ผสมเอทานอลมากกว่าร้อยละ 10 และเอ็น-บิวทานอลคงที่ร้อยละ 5 มีสมรรถนะของเครื่องยนต์ต่ำกว่า และมีการปล่อยควันดำน้อยกว่าการใช้น้ำมันดีเซลทุกภาระงานที่ทดสอบ

Suntikunaporn และคณะ (2016)⁴¹ สังเคราะห์น้ำมันดีโซฮอล์ชนิดต่างๆ ที่มาจากการใช้น้ำมันดีเซลผสมแอมไฮดรส์เอทานอลร้อยละ 2 ถึง 15 และใช้สารอีมีลซิไฟเออร์นั้นคือ เอ็น-บิวทานอลคงที่ร้อยละ 1 โดยปริมาตรและตรวจสอบการแยกชั้นของน้ำมันดีโซฮอล์ชนิดต่างๆ พบว่า น้ำมันดีโซฮอล์ที่ผลิตจากการผสมเอทานอลมากกว่าร้อยละ 10 มีการแยกชั้นภายหลังจากระยะเวลา 3 ถึง 10 วัน และการผสมเอทานอลน้อยกว่าร้อยละ 7 มีค่าความหนาแน่น ค่าความหนืด และค่าความร้อนของน้ำมันเชื้อเพลิงใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล หลังจากนั้น ตรวจสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลแบบฉีดตรง หนึ่งสูบ สี่จังหวะ ที่ความเร็วรอบ 1000 ถึง 1600 rpm ภาระงานสูงสุด โดยใช้น้ำมันดีเซลผสมแอมไฮดรส์เอทานอลร้อยละ 7 และเอ็น-บิวทานอลร้อยละ 1 (DE7B1) เทียบกับน้ำมันดีเซล ผลลัพธ์ที่ได้พบว่า การใช้น้ำมัน DE7B1 ให้กำลังงาน และความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงสูงกว่า และมีการปล่อยควันดำน้อยกว่าการใช้น้ำมันดีเซล ทุกความเร็วรอบของเครื่องยนต์

Al-Hassan และคณะ (2012)⁹ ศึกษาคุณสมบัติของน้ำมันดีโซฮอล์ชนิดต่างๆ ที่มาจากการใช้น้ำมันดีเซลผสมไฮดรส์เอทานอล (เอทานอลที่มีความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.0) ร้อยละ 5 ถึง 20 และสารอีมีลซิไฟเออร์ซึ่งเป็น เมทิลเอสเทอร์ที่มาจากน้ำมันพืชใช้แล้วในอัตราส่วนคงที่ร้อยละ 10 โดยปริมาตร และตรวจสอบการแยกชั้นของน้ำมันดีโซฮอล์ชนิดต่างๆ ผลลัพธ์ที่ได้พบว่า น้ำมันดีโซฮอล์ที่ผลิตจากการผสมไฮดรส์เอทานอลร้อยละ 5 และเมทิลเอสเทอร์ที่มาจากน้ำมันพืชใช้แล้วในอัตราส่วนคงที่ร้อยละ 10 (DE5Bi10) มีการแยกชั้นของน้ำมันดีโซฮอล์เกิดขึ้นภายหลังจากระยะเวลา 80 hr ขณะที่น้ำมัน DE5Bi10 มีค่าความหนืดสูงกว่า และค่าความร้อนของน้ำมันเชื้อเพลิงต่ำกว่าน้ำมันดีเซล อย่างไรก็ตาม การเพิ่มปริมาณของไฮดรส์เอทานอลมากกว่าร้อยละ 5 และเมทิลเอสเทอร์คงที่ร้อยละ 10 เกิดการแยกชั้นของน้ำมันดีโซฮอล์อย่างรวดเร็วภายในระยะเวลา 24 hr และมีค่าความหนืดและค่าความร้อนของน้ำมันเชื้อเพลิงต่ำกว่าน้ำมันดีเซล หลังจากนั้น ตรวจสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลแบบฉีดตรง หนึ่งสูบ สี่จังหวะ ที่ความเร็วรอบ 800 ถึง 1600 rpm ภาระงานสูงสุด ผลลัพธ์ที่ได้พบว่า การใช้น้ำมัน DE5Bi10 ให้สมรรถนะของเครื่องยนต์ใกล้เคียงกับการใช้น้ำมันดีเซลมากที่สุด ขณะที่การใช้น้ำมันดีเซลผสมไฮดรส์เอทานอลร้อยละ 10 ถึง 20 และเมทิลเอสเทอร์คงที่ร้อยละ 10 ให้กำลังงานลดลง ค่า BSFC เพิ่มขึ้น และค่า BTH ลดลงทุกความเร็วรอบของเครื่องยนต์

Putrasari และคณะ (2012)³⁶ ตรวจสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลแบบฉีดตรง สองสูบ สี่จังหวะ ที่ความเร็วรอบคงที่ 1500 rpm และเปลี่ยนแปลงภาระงาน เมื่อใช้น้ำมันดีโซฮอล์ชนิดต่างๆ ที่มาจากการใช้น้ำมันดีเซลผสมแอมไฮดรส์เอทานอล (เอทานอลที่มีความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.6) ร้อยละ 2.5 ถึง 10 และใช้เมทิลเอสเทอร์ร้อยละ 1 โดยปริมาตร เทียบกับการใช้น้ำมันดีเซล ผลลัพธ์ที่ได้พบว่า การใช้น้ำมันดีโซฮอล์ที่

ผลิตจากการผสมแอมไฮดรัสเอทานอลมากกว่าร้อยละ 5 และเมทิลเอสเทอร์ร้อยละ 1 ให้สมรรถนะของเครื่องยนต์ต่ำกว่า และมีการปล่อยสารมลพิษ CO, HC และควันท่ำต่ำกว่าการใช้น้ำมันดีเซล

Labeckas และคณะ (2014)²⁹ ตรวจสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลแบบฉีดตรง สี่สูบ สี่จังหวะ ที่ความเร็วรอบ 1400 ถึง 2200 rpm ณ ภาระงานสูงสุด เมื่อใช้น้ำมันดีเซลผสมแอมไฮดรัสเอทานอล (เอทานอลที่มีความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.8) ร้อยละ 15 และใช้เมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตจากน้ำมันเรพซีร้อยละ 5 โดยปริมาตร (DE15Bi5) เทียบกับการใช้น้ำมันดีเซล ผลลัพธ์ที่ได้พบว่า การใช้น้ำมัน DE15Bi5 ให้สมรรถนะของเครื่องยนต์ใกล้เคียงกับการใช้น้ำมันดีเซล และมีการปล่อยสารมลพิษ CO, HC, NO และควันท่ำต่ำกว่าการใช้ น้ำมันดีเซล Rajesh และคณะ (2014)³⁷ ตรวจสอบคุณสมบัติของน้ำมันดีเซลไฮดรอกซินิตต่างๆ ที่มาจากการใช้น้ำมันดีเซลผสมแอมไฮดรัสเอทานอล (เอทานอลที่มีความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.9) ร้อยละ 2 ถึง 20 และใช้เมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตจากน้ำมันพีซีแล้วร้อยละ 60 โดยปริมาตรเทียบกับการใช้น้ำมันดีเซล และนำเสนอว่าน้ำมันดีเซลผสมแอมไฮดรัสเอทานอลร้อยละ 20 และเมทิลเอสเทอร์ร้อยละ 60 (DE20Bi60) มีค่าความหนาแน่นใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล ขณะที่น้ำมันชนิดนี้ มีค่าความหนืดสูงกว่า ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงต่ำกว่า และจุดวาบไฟสูงกว่าน้ำมันดีเซล ขณะที่น้ำมันดีเซลผสมแอมไฮดรัสเอทานอลต่ำกว่าร้อยละ 20 และเมทิลเอสเทอร์ร้อยละ 60 มีค่าความหนืด ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง และจุดวาบไฟเพิ่มขึ้นตามปริมาณเอทานอลที่ลดลง

Banapurmath และคณะ (2015)¹⁰ ตรวจสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลแบบฉีดตรง สี่สูบ สี่จังหวะ ที่ความเร็วรอบคงที่ 1500 rpm และเปลี่ยนแปลงภาระงาน เมื่อใช้น้ำมันดีเซลผสมแอมไฮดรัสเอทานอลร้อยละ 5 ถึง 15 และใช้เอทิลเอสเทอร์ที่ผลิตจากน้ำมันพีซีร้อยละ 5 โดยปริมาตรเทียบกับการใช้น้ำมันดีเซล และนำเสนอว่าน้ำมันดีเซลผสมแอมไฮดรัสเอทานอลร้อยละ 5 และเอทิลเอสเทอร์ร้อยละ 5 (DE5Bi5) ให้ค่า BTH และค่า BSFC สูงกว่า ขณะที่มีการปล่อย CO, HC และควันท่ำน้อยกว่า และการปล่อยปริมาณ NO สูงกว่า การใช้น้ำมันดีเซลทุกภาระงานที่ทดสอบ

นอกจากนี้ Ganesh และคณะ (2010)¹⁸ สังเคราะห์น้ำมันดีเซลไฮดรอกซินิตต่างๆ จากการใช้น้ำมันดีเซลผสมแอมไฮดรัสเอทานอล และซอร์บิแทน โมโนโอเลต (Sorbitan mono oleate) เป็นสารลดแรงตึงผิว ซึ่งมีลักษณะเป็นของเหลวหนืดสีคล้ายสีเหลืองน้ำมัน ไม่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ และละลายที่จุดหลอมเหลวสูงในเอทานอลทดสอบกับเครื่องยนต์ดีเซลพบว่า ค่า BTE และปริมาณ NO_x เพิ่มขึ้น แต่การปล่อยสารระลอกขนาดเล็กลดลง Liu และคณะ (2010)³⁰ สังเคราะห์น้ำมันดีเซลไฮดรอกซินิตต่างๆ จากการใช้น้ำมันดีเซลผสมแอมไฮดรัสเอทานอล และทูเอทิลเฮกซิลไนเตรต (2-Ethylhexyl nitrate) ซึ่งเป็นสารเพิ่มค่าเลขซีเทนโดยทดสอบกับเครื่องยนต์ดีเซลพบว่า ช่วงความล่าช้าการจุดระเบิดลดลง ค่า BTE และ BSFC เพิ่มขึ้น แต่มีการปล่อยสารระลอกขนาดเล็กลดลง และ Parthasarathi และคณะ (2014)³⁴ สังเคราะห์น้ำมันดีเซลไฮดรอกซินิตต่างๆ จากการใช้น้ำมันดีเซลผสมแอมไฮดรัสเอทานอล และเบนซาลโคนียมคลอไรด์ (Benzalkonium chloride, BKC) หรือที่เรียกว่าแอลคิลไดเมทิลเบนซอลแอมโมเนียมคลอไรด์ (ADBAC) ซึ่งเป็นสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวกมาและเป็นสารอิมัลซิไฟเออร์โดยทดสอบกับเครื่องยนต์ดีเซล พบว่า ค่า BTE และ BSFC เพิ่มขึ้น ปริมาณของ CO₂ และควันท่ำลดลง แต่ปริมาณของ HC และ NO_x เพิ่มขึ้น

จากการทบทวนงานวิจัยที่ผ่านมา แสดงให้เห็นว่า มีการตรวจสอบคุณสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิง การแยกชั้นของน้ำมันดีเซล และมีการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของสมรรถนะ และการปล่อยสารมลพิษต่างๆ ของเครื่องยนต์ดีเซล เมื่อใช้น้ำมันดีเซลชนิดต่างๆ ที่ผลิตจากน้ำมันดีเซลผสมแอนไฮดริสเอทานอลและสารอิมัลซิไฟเออร์หลากหลายชนิด ขณะที่งานวิจัยที่กล่าวมานั้น โดยส่วนใหญ่ใช้เอทิลอะซิเตท เอ็น-บิวทานอล และไบโอดีเซล เป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ และน้ำมันดีเซลที่ใช้สารทั้งสามนี้เป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ กำลังได้รับความสนใจจากหลากหลายหน่วยงานในการพัฒนาเป็นเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันดีเซล ในขณะที่ เอกชัย สุธีรศักดิ์ และ เจริญ ชินวานิชย์เจริญ (2559)⁶ นำเสนอว่า สัดส่วนของน้ำมันดีเซลที่เหมาะสมที่สุดคือ น้ำมันดีเซลผสมกับแอนไฮดริสเอทานอล (เอทานอลปราศจากน้ำความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.9) ร้อยละ 5 และสารอิมัลซิไฟเออร์ต่างๆ (ได้แก่ เอทิลอะซิเตท เอ็น-บิวทานอล และไบโอดีเซล) ร้อยละ 5 เนื่องจากมีความเป็นเนื้อเดียวกันของน้ำมันดีเซลในระยะยาว ขณะที่ค่าความหนืด และค่าความร้อนของน้ำมันเชื้อเพลิงใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล และสามารถเพิ่มเลขซีเทน ซึ่งเป็นตัววัดคุณภาพของการจุดระเบิดด้วย ยิ่งไปกว่านั้น น้ำมันเหล่านี้สามารถลดการปล่อยสารมลพิษต่างๆ จากแก๊สไอเสียได้ ที่สำคัญที่สุด นั่นคือ สารอิมัลซิไฟเออร์ทั้งสามชนิดนี้ มีราคาประหยัด มีความเป็นพิษน้อยกว่า สามารถผลิตได้ และหาได้ง่ายกว่า อย่างไรก็ตาม งานวิจัยที่ผ่านมา มีการนำเสนอผลกระทบต่อคุณสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิง และการตรวจสอบสมรรถนะและการปล่อยสารมลพิษต่างๆ ของเครื่องยนต์ดีเซลเพียงบางส่วน แต่ไม่นำเสนอผลกระทบต่อ การฉีดและการสเปรย์น้ำมันเชื้อเพลิง และการสึกหรอของชิ้นส่วนต่างๆ ของเครื่องยนต์ หากนำน้ำมันดีเซลผสมแอนไฮดริสเอทานอลร้อยละ 5 และสารอิมัลซิไฟเออร์เหล่านี้ร้อยละ 5 มาประยุกต์ใช้กับเครื่องยนต์ดีเซล

ดังนั้น การวิจัยนี้ เป็นการศึกษาการฉีดและการสเปรย์น้ำมันเชื้อเพลิง และการวิเคราะห์สมรรถนะ การปล่อยสารมลพิษต่างๆ และการสึกหรอของชิ้นส่วนต่างๆ ของเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กเมื่อใช้น้ำมันดีเซลผสมแอนไฮดริสเอทานอลและสารอิมัลซิไฟเออร์ต่างๆ ได้แก่ เอทิลอะซิเตท เอ็น-บิวทานอล และไบโอดีเซล ในอัตราส่วนร้อยละ 90:5:5 เพื่อใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการตอบคำถามบุคคลทั่วไป และเพื่อนำน้ำมันเหล่านี้ไปประยุกต์ใช้สำหรับเครื่องยนต์ดีเซลต่อไปในอนาคต

1.4 วัตถุประสงค์การวิจัย

1.4.1 เพื่อศึกษาสมรรถนะและการปล่อยสารมลพิษของเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กเมื่อใช้น้ำมันดีเซลผสมสารอิมัลซิไฟเออร์และแอนไฮดริสเอทานอลเทียบกับน้ำมันดีเซล

1.4.2 เพื่อตรวจสอบการสึกหรอของชิ้นส่วนต่างๆ ของเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กเมื่อใช้น้ำมันดีเซลผสมสารอิมัลซิไฟเออร์และแอนไฮดริสเอทานอลเทียบกับน้ำมันดีเซล

1.5 ขอบเขตการวิจัย

1.5.1 ใช้น้ำมันดีเซลร้อยละ 90 ผสมกับแอนไฮดริสเอทานอลที่มีความบริสุทธิ์ของเอทานอลร้อยละ 99.9 ในปริมาณร้อยละ 5 โดยกระบวนการอิมัลชัน

1.5.2 สารอีมีลซิฟิเออร์ที่ใช้ในการผสม ได้แก่ เอทิลอะซิเตท เอ็น-บิวทานอล และไบโอดีเซล โดยผสมในปริมาณร้อยละ 5

1.5.3 ใช้น้ำมันดีเซลผสมแอนไฮดรัสเอทานอลและเอทิลอะซิเตท (DEE) น้ำมันดีเซลผสมแอนไฮดรัสเอทานอลและเอ็น-บิวทานอล (DEB) และน้ำมันดีเซลผสมแอนไฮดรัสเอทานอลและไบโอดีเซล (DEBi) เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงโดยทดสอบเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล (D)

1.5.4 ใช้เครื่องปั่นไฟ ซึ่งประกอบด้วย เครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กแบบฉีดตรงหนึ่งสูบสี่จังหวะต่อกับเจนเนอเรเตอร์ จำนวน 4 เครื่อง เพื่อทดสอบน้ำมันเชื้อเพลิงแต่ละชนิด

1.5.5 ตรวจสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซล ได้แก่ กำลังไฟฟ้าที่ได้ ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง และประสิทธิภาพทางความร้อนจากชุดปรับเปลี่ยนภาระงาน โดยใช้ชุดหลอดไฟที่มีการต่อวงจรแบบผสม

1.5.6 ตรวจสอบปริมาณสารมลพิษต่างๆ ของเครื่องยนต์ ได้แก่ คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ไฮโดรคาร์บอน (HC) ออกไซด์ของไนโตรเจน (NO) และปริมาณควันดำจากเครื่องวัดปริมาณสารมลพิษ

1.5.7 ตรวจสอบการสึกหรอของเครื่องยนต์ดีเซลจากชุดภาระงานแบบคงที่ โดยใช้เครื่องเติมอากาศบนผิวน้ำแบบสี่ใบพัด (Paddlewheel Aerator 4PW) ของห้างหุ้นส่วนจำกัดนพลีศ โดยตรวจสอบระยะห่างของปากแหวน ช่องว่างระหว่างแหวน กับร่องแหวนของลูกสูบ และการสึกหรอของกระบอกสูบของเครื่องยนต์

1.6 แนวทางความคิดที่นำมาใช้ในการวิจัย

1.6.1 ค้นคว้าและศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาทั้งภายในประเทศและต่างประเทศ และศึกษาทฤษฎีต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับกาวิจัย

1.6.2 ผสมและสังเคราะห์น้ำมันดีโซฮอลแต่ละชนิดในอัตราส่วนน้ำมันดีเซลร้อยละ 90 ผสมกับแอนไฮดรัสเอทานอลร้อยละ 5 และสารอีมีลซิฟิเออร์ต่างๆ (ได้แก่ เอทิลอะซิเตท เอ็น-บิวทานอล และไบโอดีเซล) ร้อยละ 5 โดยมวล โดยมีการตรวจสอบความเป็นเนื้อเดียวกันของน้ำมันดีโซฮอลต่างๆ จากการแยกชั้นของน้ำมันดีโซฮอลแต่ละชนิด ได้แก่ น้ำมันดีเซลผสมแอนไฮดรัสเอทานอลและเอทิลอะซิเตท (DEE) น้ำมันดีเซลผสมแอนไฮดรัสเอทานอลและเอ็น-บิวทานอล (DEB) และน้ำมันดีเซลผสมแอนไฮดรัสเอทานอลและไบโอดีเซล (DEBi) หลังจากนั้น ทำการตรวจสอบคุณสมบัติความเป็นเชื้อเพลิงของน้ำมันดีโซฮอลทั้งสามแบบ ได้แก่ ความเสถียรภาพของน้ำมันดีโซฮอล (ได้แก่ ระยะเวลาในการผสมเป็นเนื้อเดียวกันและการแยกชั้นของน้ำมัน) ค่าความร้อน ค่าความหนืด และความหนาแน่นของน้ำมันเชื้อเพลิงเทียบกับน้ำมันดีเซล (D)

1.6.3 ทดสอบการสเปรย์เชื้อเพลิงของน้ำมันดีโซฮอลทั้งสามชนิดเทียบกับน้ำมันดีเซลโดยใช้ชุดทดสอบการสเปรย์เชื้อเพลิงระบบการฉีดเชื้อเพลิงแบบรวม เพื่อตรวจสอบคุณสมบัติการฉีดเชื้อเพลิง ได้แก่ รูปร่างของสเปรย์เชื้อเพลิง มุมสเปรย์ (Spray angle) ความยาวจริงของสเปรย์ (Real spray tip penetration) และความดันของการฉีดเชื้อเพลิง (Fuel injection pressure)

1.6.4 ทดสอบการทำงานของเครื่องยนต์ดีเซล และสมรรถนะและการปล่อยสารมลพิษต่างๆ ของเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้น้ำมันดีโซฮอลทั้งสามชนิดเทียบกับน้ำมันดีเซล โดยใช้เครื่องยนต์ดีเซลกำเนิดไฟฟ้า (เครื่องปั่นไฟ) ซึ่งประกอบด้วยเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กแบบฉีดตรงหนึ่งสูบสี่จังหวะที่ไม่มีการดัดแปลงต่อกับ

เจนเนอเรเตอร์ โดยแบ่งการทดสอบเครื่องยนต์ออกเป็น 4 เครื่องยนต์ ได้แก่ เครื่องยนต์หมายเลขที่ 1 ใช้น้ำมันดีเซลอย่างเดียว เครื่องยนต์หมายเลขที่ 2 ใช้น้ำมัน DEE เครื่องยนต์หมายเลขที่ 3 ใช้น้ำมัน DEB และเครื่องยนต์หมายเลขที่ 4 ใช้น้ำมัน DEBi เพื่อทำการเปรียบเทียบการใช้น้ำมันดีโซฮอล์ทั้งสามกับน้ำมันดีเซลอย่างเดียว โดยทดสอบระยะเวลา 200 hr จากการนำเครื่องยนต์ทั้ง 4 เครื่องยนต์ต่อกับชุดควบคุมการทำงานของเครื่องยนต์ และชุดปรับเปลี่ยนภาระงานที่ใช้ชุดโหลดไฟที่มีการต่อวงจรแบบผสม เพื่อเพิ่มและลดภาระงานทางไฟฟ้า และค้นหาค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่สามารถทำการทดสอบได้ โดยตัวแปรต่างๆ ที่กระทำการตรวจสอบและวิเคราะห์ผลของสมรรถนะและการปล่อยสารมลพิษต่างๆ ของเครื่องยนต์มีดังนี้

1) กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ ถูกบันทึกจากเครื่องวัดกำลังไฟฟ้าแบบดิจิตอล หรือมิเตอร์วัดกำลังไฟฟ้า โดยมีการสอบเทียบเครื่องวัดกำลังไฟฟ้ากับแคลมมิเตอร์ และบันทึกค่ากำลังไฟฟ้าที่ให้ออกมา ณ ภาระงานสูงสุดของเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้น้ำมัน DEE น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงและเปรียบเทียบกับกำลังไฟฟ้าที่ให้ออกมาจากการใช้น้ำมัน D เพียงอย่างเดียวเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงที่ความเร็วรอบต่างๆ ของเครื่องยนต์

2) อัตราการใช้เชื้อเพลิงจริง ทำการบันทึกการใช้น้ำมันดีโซฮอล์ทั้งสามชนิดและน้ำมันดีเซลจากปริมาณของน้ำมันต่อเวลาที่ใช้จริงจากกระบอกน้ำมันและทำการสอบเทียบกับเครื่องวัดอัตราการไหล

3) ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง เป็นอัตราส่วนระหว่างอัตราการใช้เชื้อเพลิงจริงต่อกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ ในการวิจัยนี้ มีการเปรียบเทียบความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงระหว่างการใช้น้ำมัน DEE น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi กับการใช้น้ำมัน D เพียงอย่างเดียว

4) ประสิทธิภาพต่างๆ ของเครื่องยนต์ดีเซล ได้แก่ ประสิทธิภาพเชิงปริมาตร และประสิทธิภาพทางความร้อน สามารถหาได้ดังนี้

(ก) ประสิทธิภาพเชิงปริมาตร คำนวณจากอัตราส่วนระหว่างอัตราการไหลของปริมาตรอากาศที่เข้าไปในระบบไอดีต่อผลคูณของความหนาแน่นของอากาศที่เข้าไป ความจุของกระบอกสูบและความเร็วรอบของเครื่องยนต์

(ข) ประสิทธิภาพทางความร้อน คำนวณจากอัตราส่วนระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อผลคูณของอัตราการใช้เชื้อเพลิงจริงและค่าความร้อนของเชื้อเพลิง

5) การตรวจสอบปริมาณการปล่อยสารมลพิษต่างๆ ได้แก่ คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ไฮโดรคาร์บอน (HC) ออกไซด์ของไนโตรเจน (NO) และปริมาณควันทาจากเครื่องวัดปริมาณสารมลพิษที่ความเร็วรอบและภาระงานต่างๆ ของเครื่องยนต์

1.6.5 ทดสอบความสิ้นเปลืองพลังงานและเชื้อเพลิง และการสึกหรอของเครื่องยนต์ โดยการขับเคลื่อนกับชุดภาระงานแบบคงที่ ซึ่งเป็นเครื่องเติมอากาศบนผิวน้ำแบบสี่ใบพัด (Paddlewheel Aerator 4PW) ของห้างหุ้นส่วนนพลีศจำกัด แบบ 1 เฟส 220 โวลต์ ที่ใช้ชุดเกียร์อัตราทด 1:15 โดยติดตั้งที่สระน้ำบริเวณสวนนันทนาการ มหาวิทยาลัยบูรพา โดยทำการทดสอบระยะเวลา 300 hr หลังจากนั้น ถอดชิ้นส่วนต่างๆ เครื่องยนต์ออกมาศึกษาการสึกหรอของเครื่องยนต์ ได้แก่ การตรวจสอบระยะห่างของปากแหวน

ช่องว่างระหว่างแหวน กับร่องแหวนของลูกสูบ และการสึกหรอของกระบอกสูบของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล ซึ่งรวมระยะเวลาของการทดสอบทั้งหมด 500 hr

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.7.1 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับทางด้านวิชาการ

- 1) ได้เชื้อเพลิงทางเลือกใหม่ ที่ลดปัญหาสภาวะแวดล้อมเป็นพิษ และพัฒนาวัตถุดิบภายในประเทศให้สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนได้
- 2) ทราบสมรรถนะและการปล่อยสารมลพิษของเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กที่ใช้น้ำมันดีเซลผสมสารอีมีลซีฟเออร์และแอนไฮดริสเอทานอลเมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซล
- 3) ทราบการสึกหรอของชิ้นส่วนต่างๆ ภายในเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กเมื่อใช้น้ำมันดีเซลผสมสารอีมีลซีฟเออร์และแอนไฮดริสเอทานอลเทียบกับน้ำมันดีเซล

1.7.2 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับทางด้านนโยบาย ด้านเศรษฐกิจ ด้านสังคมและชุมชน

- 1) ใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการอธิบายและอบรมให้กับบุคคลทั่วไปที่ประกอบอาชีพทางบกและทางทะเล เกษตรกร และผู้ประกอบการหรืออุตสาหกรรมผลิตน้ำมัน นำไปประยุกต์ใช้ในการผลิตและการดำรงชีวิตทางบกและทางทะเล
- 2) สามารถนำน้ำมันเหล่านี้มาเป็นเชื้อเพลิงทดแทน และเพิ่มรายได้ให้เกษตรกร และผู้ประกอบการด้านการเกษตร หรืออุตสาหกรรมในการผลิตเอทานอลและแอลกอฮอล์ต่างๆ
- 3) สามารถพัฒนาวัตถุดิบภายในประเทศและเพิ่มมูลค่าพืชเกษตร เพื่อพัฒนาและเพิ่มศักยภาพการผลิตและการตลาดของเชื้อเพลิงทางเลือก
- 4) สามารถปรับปรุงโครงสร้างการผลิตน้ำมันในภาคอุตสาหกรรม โดยเน้นความเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

1.7.3 ประโยชน์ที่ได้รับในการการเผยแพร่ในวารสาร

- 1) ข้อมูลการทดลองที่ได้จากโครงการวิจัยคาดว่าจะตีพิมพ์เผยแพร่ในงานประชุมทางวิชาการระดับชาติ หรือนานาชาติ หรือวารสารวิชาการระดับชาติ
- 2) ผลงานวิจัยดังกล่าวสามารถนำมาใช้เป็นแนวทางในการผลิตพลังงานทางเลือกให้กับชุมชนบุคคลทั่วไปที่ประกอบอาชีพทางบกและทางทะเล หรือแม้โรงงานอุตสาหกรรมในการที่จะนำเอาน้ำมันเหล่านี้มาใช้ให้เกิดประโยชน์ เพื่อการพัฒนาอย่างยั่งยืนต่อไปในอนาคต

1.7.4 หน่วยงานที่นำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

งานวิจัยนี้จะเกิดประโยชน์อย่างยิ่งทั้งต่อบุคคลทั่วไปที่ประกอบอาชีพทางบกและทางทะเล เกษตรกร และผู้ประกอบการหรืออุตสาหกรรมที่ผลิตน้ำมันเชื้อเพลิง รวมถึงสถาบันการศึกษา อีกทั้งยังเป็นฐานข้อมูลสำคัญสำหรับการพัฒนากระบวนการอิมัลชันและกระบวนการทรานเอสเทอร์ฟิเคชันเพื่อใช้ผลิตเชื้อเพลิงทางเลือกกับเครื่องยนต์ดีเซลและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องต่อไป

บทที่ 2

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยเกี่ยวกับการศึกษาการฉีดและการสเปรย์น้ำมันเชื้อเพลิง และการตรวจสอบสมรรถนะ การปล่อยสารมลพิษต่างๆ และการสึกหรอของชิ้นส่วนต่างๆ ของเครื่องยนต์ดีเซล เมื่อใช้น้ำมันดีเซลผสมแอมไฮดรส์เอทานอลและสารอิมัลซิไฟเออร์ต่างๆ และน้ำมันดีเซล เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงนั้น มีขั้นตอนการดำเนินการวิจัยดังต่อไปนี้

2.1 น้ำมันเชื้อเพลิง

น้ำมันเชื้อเพลิงในการวิจัยนี้ได้แก่ น้ำมันดีเซล และน้ำมันดีเซลผสมแอมไฮดรส์เอทานอลและสารอิมัลซิไฟเออร์ต่างๆ หรือที่เรียกว่า น้ำมันดีโซฮอล์ โดยวิธีการสังเคราะห์น้ำมันดีเซลผสมแอมไฮดรส์เอทานอลและสารอิมัลซิไฟเออร์นั้น การวิจัยนี้ ใช้วิธีอิมัลชัน (Emulsion) ขณะที่สารตั้งต้นที่ใช้ในการผลิต ได้แก่ น้ำมันดีเซล แอมไฮดรส์เอทานอลหรือเอทานอลปราศจากน้ำ และสารอิมัลซิไฟเออร์ต่างๆ ได้แก่ เอทิลอะซิเตท เอ็น-บิวทานอล และไบโอดีเซลที่เป็นเอทิลเอสเตอร์ โดยเริ่มต้นจาก นักวิจัยทำการตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำมันเหล่านี้ ได้แก่ ค่าความหนาแน่น (Density) ค่าความหนืด (Viscosity) จุดวาบไฟ (Flash point) ค่าเลขซีเทน (Cetane number) และค่าความร้อนต่ำสุดของน้ำมันเชื้อเพลิง (Lower heating value, LHV) ตามมาตรฐาน American society for testing and materials (ASTM) ผลลัพธ์ที่ได้ถูกแสดงในตารางที่ 2.1 ซึ่งแสดงคุณสมบัติความเป็นเชื้อเพลิงของสารต่างๆ ที่ใช้ในการผสม

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติความเป็นเชื้อเพลิงของสารต่างๆ ที่ใช้ในการผสม

รายละเอียด	วิธีการทดสอบ	น้ำมันดีเซล	เอทานอล	เอทิลอะซิเตท	เอ็น-บิวทานอล	ไบโอดีเซล
สูตรทางเคมี	-	-	C_2H_6O	$C_4H_8O_2$	$C_4H_{10}O$	-
ความบริสุทธิ์ (%)	-	-	99.9 ^[1]	99.6 ^[1]	99.5 ^[1]	98.9 ^[2]
ความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15 °C (kg/m ³)	ASTM D 1298	840	794	885	810	852
ค่าความหนืด ณ อุณหภูมิ 40 °C (cSt ^[a] หรือ mPa.s ^[b])	ASTM D 445	3.35 ^[a]	1.40 ^[a]	0.40 ^[b]	2.33 ^[a]	4.31 ^[a]
ปริมาณออกซิเจน (wt%)	-	-	34.60	11.20	21.58	-
จุดวาบไฟ (°C)	ASTM D 93	73	14	-5	34	166
เลขซีเทน	ASTM D 976	55	9	12	17	59
ค่า LHV (MJ/kg)	ASTM D 240	44.46	26.70	23.15	33.08	39.87

หมายเหตุ: [1] ความเป็นแอลกอฮอล์ที่ปราศจากน้ำ และ [2] ปริมาณเอทิลเอสเตอร์

2.2 การผสมน้ำมัน

การผสมน้ำมันดีเซล (D) กับแอนไฮดรัสเอทานอล (E) และสารอิมัลซิไฟเออร์ต่างๆ (ได้แก่ เอทิลอะซิเตท (EA) เอ็น-บิวทานอล (B) และไบโอดีเซล (Bi)) โดยวิธีอิมัลชัน เพื่อสังเคราะห์เป็นน้ำมันดีเซลไฮดรอกซ์ต่างๆ นั้น การวิจัยนี้ มีการเตรียมสารตั้งต้น กระบวนการผสม การสังเคราะห์น้ำมันดีเซลไฮดรอกซ์ และการตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำมันเชื้อเพลิง ณ ห้องปฏิบัติการวิจัยเชื้อเพลิงและพลังงานชีวมวล ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา โดยกำหนดอัตราส่วนโดยมวล (%wt) ของน้ำมันดีเซล:แอนไฮดรัสเอทานอล:สารอิมัลซิไฟเออร์ เท่ากับ 90:5:5 และใช้เครื่องกวนสารผสมสองประเภทคือ เครื่องอิเล็กทรอนิกส์แม่เหล็ก (Electromagnetic machine) และเครื่องกวนสารแบบใบกวน (Mechanical stirrer) โดยกำหนดความเร็วรอบของการกวนผสมคงที่ 800 ถึง 1,000 rpm ระยะเวลากวน 15 ถึง 30 min และกระบวนการกวนผสมนี้ ถูกกระทำที่อุณหภูมิการกวนผสมคงที่ 20 ถึง 40 °C ขึ้นกับชนิดของสารอิมัลซิไฟเออร์ ดังแสดงในตารางที่ 2.2 ซึ่งแสดงการกำหนดสภาวะของการสังเคราะห์น้ำมันดีเซลไฮดรอกซ์แต่ละชนิดที่ใช้เอทิลอะซิเตท เอ็น-บิวทานอล และไบโอดีเซลเป็นสารอิมัลซิไฟเออร์

ตารางที่ 2.2 สภาวะของการสังเคราะห์น้ำมันดีเซลไฮดรอกซ์แต่ละชนิด

ชนิดของน้ำมันดีเซลไฮดรอกซ์	DEE	DEB	DEBi
รายละเอียด	D:E:EA	D:E:B	D:E:Bi
อัตราส่วนผสม (%wt)	90:5:5	90:5:5	90:5:5
เครื่องกวนผสม	Electromagnetic machine / Mechanical stirrer		
ภาชนะที่ใช้บรรจุสารระหว่างกวนผสม	บีกเกอร์/ ขวดรูปชมพู่ /ขวดก้นกลม/ กระบอกตวง		
อุณหภูมิการกวนผสม (°C)	20 ถึง 40		
ความเร็วรอบการกวนผสม (rpm)	800	800	1,000
เวลาการกวนผสม (min)	30	20	15

ขณะที่การสังเคราะห์น้ำมันดีเซลไฮดรอกซ์แต่ละชนิด ศึกษาและประยุกต์จากเฟสไดอะแกรมของงานวิจัย Joshi และ Watt (2015)²⁵ Hansen และคณะ (2005)²² ธัญญธร อิศราชีวะ (2548)¹ พรหมเมศร์ ขวัญเจริญ (2548)⁴ และ Parthasarathy และคณะ (2016)³⁵ โดยมีขั้นตอนการผสมดังนี้

1) เตรียมสารตั้งต้นต่างๆ ได้แก่ น้ำมันดีเซล แอนไฮดรัสเอทานอล และสารอิมัลซิไฟเออร์ต่างๆ ได้แก่ เอทิลอะซิเตท เอ็น-บิวทานอล และไบโอดีเซล ดังแสดงในภาพที่ 2.1 เพื่อใช้ในกระบวนการผสม

2) หลังจากจัดเตรียมสารตั้งต้นต่างๆ เริ่มต้นจากการสังเคราะห์น้ำมัน DEE โดยใช้อัตราส่วนโดยมวลของน้ำมันดีเซล:แอนไฮดรัสเอทานอล:เอทิลอะซิเตทเท่ากับ 90:5:5 กำหนดให้ อัตราส่วนโดยมวลรวมทั้งหมด 300 g เพื่อสังเคราะห์น้ำมัน DEE ต่อมา ทำการชั่งน้ำหนักของสารตั้งต้นต่างๆ ได้แก่ น้ำมันดีเซล 270 g แสดงในภาพที่ 2.2 (ก) เอทิลอะซิเตท 15 g แสดงในภาพที่ 2.2 (ข) และแอนไฮดรัสเอทานอล 15 g แสดงในภาพที่ 2.2 (ค) โดยใช้เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิทัล



ภาพที่ 2.1 การเตรียมสารตั้งต้นต่างๆ



(ก) น้ำมันดีเซล 270 g



(ข) เอทิลอะซิเตท 15 g



(ค) แอนไฮดรัสเอทานอล 15 g

ภาพที่ 2.2 การชั่งน้ำหนักของสารตั้งต้นต่างๆ

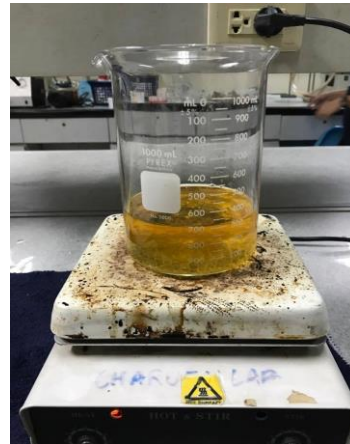
3) นำเอทิลอะซิเตทและแอนไฮดรัสเอทานอลเทลงในบีกเกอร์ที่อยู่ด้านบนของเครื่องอิเล็กทรอนิกส์ โตรแมคเนติก และใส่แท่งแม่เหล็ก เพื่อใช้ในการกวนผสมเอทิลอะซิเตทกับแอนไฮดรัสเอทานอลในบีกเกอร์ และทำการกวนผสมสารตั้งต้นทั้งสองที่ความเร็วรอบคงที่ 800 rpm ณ โดยควบคุมอุณหภูมิการกวนผสม 25 °C และระยะเวลา 5 min ดังแสดงในภาพที่ 2.3 (ก) ซึ่งแสดงภาพการกวนผสมสารอิมัลซิไฟเออร์ (เอทิลอะซิเตท) กับแอนไฮดรัสเอทานอลบนของเครื่องอิเล็กทรอนิกส์ โตรแมคเนติก

4) ทำการอุ่นน้ำมันดีเซลด้วยเครื่องควบคุมความร้อนที่อุณหภูมิ 40 °C เพื่อให้โมเลกุลของน้ำมันดีเซลแตกตัว และให้ง่ายต่อการผสมเข้ากับแอนไฮดรัสเอทานอลและเอทิลอะซิเตทดังแสดงในภาพที่ 2.3 (ข) ซึ่งแสดงการอุ่นน้ำมันดีเซล และต่อมา นำน้ำมันดีเซลที่ถูกอุ่นใส่ในขวดก้นกลม (Round bottom flask) ที่ประกอบด้วยเครื่องควบคุมความร้อน และเครื่องกวนสารแบบใบกวน ดังแสดงในภาพที่ 2.3 (ค) และทำการ

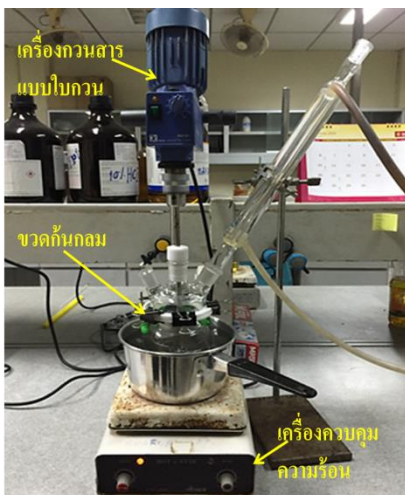
กวนน้ำมันดีเซล ที่ความเร็วรอบคงที่ 800 rpm เป็นเวลา 5 min โดยควบคุมอุณหภูมิภายในขวดก้นกลมคงที่ 40 °C เพื่อให้ไขมันดีเซลที่อยู่ในขวดก้นกลมรับความร้อนและแตกตัวทุกจุด



(ก) การกวนผสมสารอิมัลซิไฟเออร์กับแอนไฮดริสเอทานอล



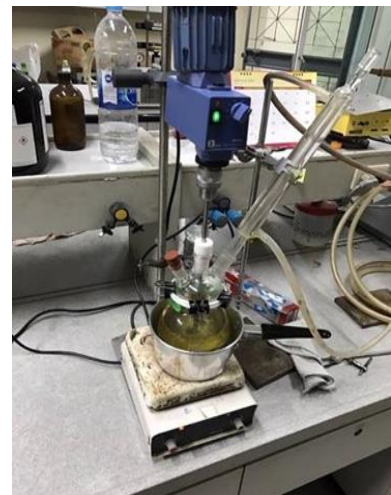
(ข) การอุ่นน้ำมันดีเซล



(ค) การกวนและอุ่นน้ำมันดีเซล



(ง) การทดสอบผสมระหว่างกวน



(จ) การกวนผสมน้ำมัน

ภาพที่ 2.3 กระบวนการผลิตน้ำมัน DEE และ DEB

5) ทำการเทเอทิลอะซิเตทกับแอนไฮดริสเอทานอลที่ได้กวนผสมไว้แล้วลงในขวดก้นกลมที่มีน้ำมันดีเซลถูกกวนอยู่ ดังแสดงในภาพที่ 2.3 (ง) หลังจากนั้น ทำการกวนผสมน้ำมันดีเซลกับเอทิลอะซิเตทและแอนไฮดริสเอทานอลด้วยความเร็วรอบคงที่ 800 rpm ระยะเวลา 30 min ที่อุณหภูมิภายในขวดก้นกลมคงที่ 30 °C ดังแสดงในภาพที่ 2.3 (จ) ซึ่งแสดงการกวนผสมน้ำมันดีเซลกับเอทิลอะซิเตทและแอนไฮดริสเอทานอล หลังจากนั้น นำน้ำมัน DEE ที่ผ่านการกวนผสมแล้วใส่ในขวดตัวอย่างหรือกระบอกตวง (Cylinder) เพื่อทำการตรวจสอบการแยกชั้นของน้ำมันดีไฮดรอล์ชนิดนี้ต่อไป

6) ทำการสังเคราะห์น้ำมัน DEB โดยใช้ขั้นตอนการผลิตแบบเดียวกับการสังเคราะห์น้ำมัน DEE โดยการใช้อัตราส่วนโดยมวลของน้ำมันดีเซล:แอนไฮดรัสเอทานอล:เอ็น-บิวทานอล เท่ากับ 90:5:5 ดังนั้นทำการชั่งน้ำหนักของสารตั้งต้นต่างๆ ได้แก่ น้ำมันดีเซล 270 g แสดงในภาพที่ 2.2 (ก) เอ็น-บิวทานอล 15 g แสดงในภาพที่ 2.2 (ข) และแอนไฮดรัสเอทานอล 15 g แสดงในภาพที่ 2.2 (ค) โดยใช้เครื่องชั่งแบบดิจิตอล และต่อมาทำการกวนผสมเอ็น-บิวทานอลกับแอนไฮดรัสเอทานอลในบีกเกอร์ที่อยู่ด้านบนของเครื่องอิเล็กทรอนิกส์แมคเนติก และใส่แท่งแม่เหล็กเพื่อใช้ในการกวนผสม โดยใช้ความเร็วรอบในการกวนผสมคงที่ 800 rpm ระยะเวลา 5 min ณ อุณหภูมิของการกวนผสมคงที่ 30 °C และต่อมา ทำการอุ่นน้ำมันดีเซลที่อุณหภูมิ 40 °C หลังจากนั้น นำน้ำมันดีเซลที่ถูกอุ่นไว้ในขวดก้นกลมที่ประกอบกับเครื่องควบคุมความร้อน และเครื่องกวนสารแบบใบกวน เพื่อทำการกวนและควบคุมอุณหภูมิน้ำมันดีเซลคงที่ 40 °C และ ทำการเทเอ็น-บิวทานอลกับแอนไฮดรัสเอทานอลที่ได้กวนผสมไว้แล้วลงในน้ำมันดีเซลที่มีอุณหภูมิ 40 °C และลดอุณหภูมิในขวดก้นกลมให้เหลือเพียง 30 °C สุดท้าย ทำการกวนผสมน้ำมันดีเซลกับเอ็น-บิวทานอล และแอนไฮดรัสเอทานอลด้วยเครื่องกวนสารแบบใบกวน ณ ความเร็วรอบคงที่ 800 rpm ระยะเวลา 20 min ที่อุณหภูมิภายในขวดก้นกลมคงที่ 30 °C ดังแสดงในภาพที่ 2.3 (ก) ถึง (จ) และนำน้ำมัน DEB ที่ผ่านการกวนผสมแล้วใส่ในกระบอกตวง เพื่อทำการตรวจสอบการแยกชั้นของน้ำมันดีโซลล์ชนิดนี้ต่อไป

7) ทำการสังเคราะห์น้ำมัน DEBi โดยการใช้อัตราส่วนโดยมวลของน้ำมันดีเซล:แอนไฮดรัสเอทานอล:ไบโอดีเซล เท่ากับ 90:5:5 โดยเริ่มต้นจากการอุ่นน้ำมันไบโอดีเซลที่อุณหภูมิ 60 °C ดังแสดงในรูปที่ 2.4 (ก) และการอุ่นน้ำมันดีเซลที่อุณหภูมิ 40 °C ดังแสดงในภาพที่ 2.4 (ข) ด้วยเครื่องควบคุมความร้อนเพื่อให้โมเลกุลของไบโอดีเซลและน้ำมันดีเซลแตกตัวง่ายต่อการผสมเข้ากัน



(ก) การอุ่นไบโอดีเซลดีเซล

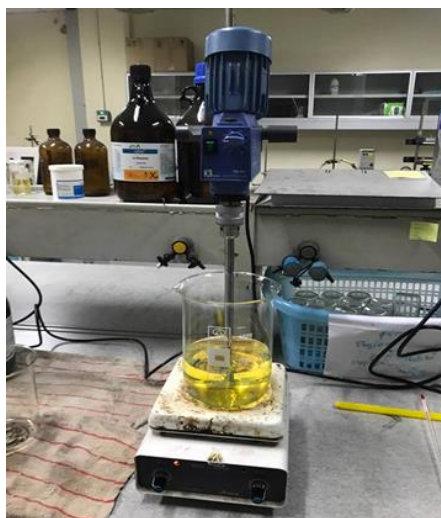


(ข) การอุ่นน้ำมันดีเซล

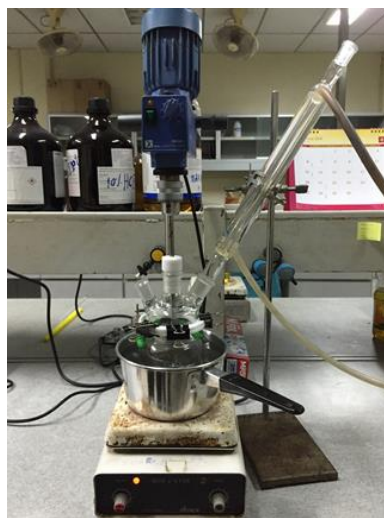
ภาพที่ 2.4 การอุ่นน้ำมันก่อนผสมน้ำมัน DEBi

8) นำน้ำมันดีเซลและไบโอดีเซลที่ถูกอุ่นไว้ ไปชั่งน้ำหนัก โดยใช้ น้ำมันดีเซล 270 g และไบโอดีเซล 15 g และนำน้ำมันทั้งสองผสมลงในบีกเกอร์ และติดตั้งเครื่องกวนสารแบบใบกวนและเครื่องควบคุม

ความร้อนดังแสดงในภาพที่ 2.5 (ก) และทำการกวนผสมน้ำมันดีเซลและไบโอดีเซล ณ ความเร็วรอบคงที่ 1,000 rpm เป็นเวลา 5 min ที่อุณหภูมิภายในบีกเกอร์คงที่ 40 °C



(ก) การกวนผสมน้ำมันดีเซลและไบโอดีเซล



(ข) การกวนและอุ่นน้ำมันดีเซลและไบโอดีเซล



(ค) การเทเอทานอลระหว่างกวน



(ง) การกวนผสมน้ำมัน

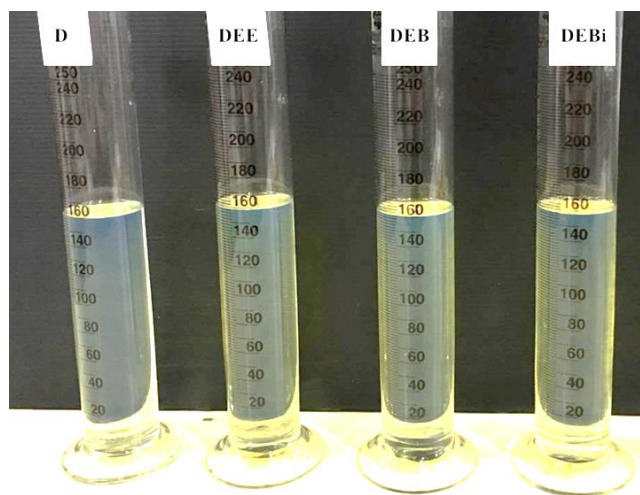
ภาพที่ 2.5 กระบวนการผลิตน้ำมัน DEBi

9) นำน้ำมันดีเซลและไบโอดีเซลที่ถูกอุ่นใส่ในขวดก้นกลมที่ประกอบด้วยเครื่องควบคุมความร้อน และเครื่องกวนสารแบบใบกวน หลังจากนั้น ควบคุมอุณหภูมิน้ำมันคงที่ 40 °C และทำการกวนผสม ความเร็วรอบคงที่ 1,000 rpm เป็นเวลา 5 min ดังแสดงในภาพที่ 2.5 (ข) ต่อมา ทำการเทแอนไฮดริสเอทานอลลงไปและลดอุณหภูมิในขวดก้นกลมให้เหลือเพียง 20 °C ดังแสดงในภาพที่ 2.5 (ค)

10) ทำการกวนผสมน้ำมันดีเซลกับไบโอดีเซล และแอนไฮดริสเอทานอลด้วยเครื่องกวนสารแบบใบกวน ณ ความเร็วรอบคงที่ 1,000 rpm ระยะเวลา 15 min ที่อุณหภูมิภายในขวดก้นกลมคงที่ 20 °C ดังแสดงในภาพที่ 2.5 (ง) และนำน้ำมัน DEBi ที่ผ่านการกวนผสมแล้วใส่ในกระบอกตวง เพื่อทำการตรวจสอบการแยกชั้นของน้ำมันดีโซฮอล์ชนิดนี้ต่อไป

2.3 การตรวจสอบคุณสมบัติความเป็นเชื้อเพลิง

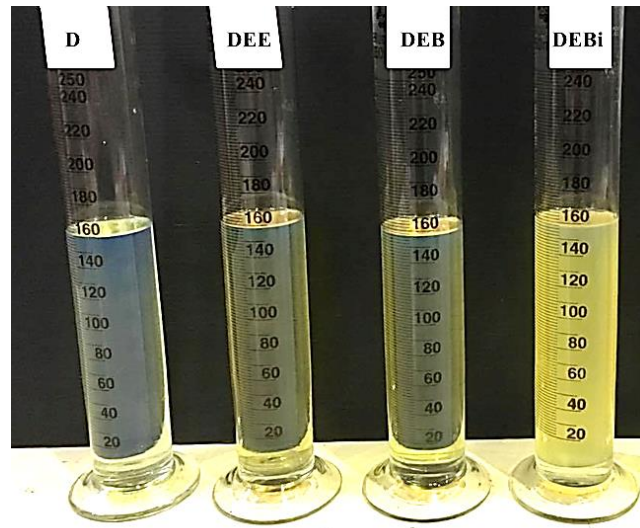
ภายหลังจากผสมและการสังเคราะห์น้ำมันดีเซลผสมแอนไฮดริสเอทานอลและสารอิมัลซิไฟเออร์ต่างๆ หรือน้ำมันดีโซฮอล์ต่างๆ ได้แก่ น้ำมัน DEE น้ำมัน DEB และ น้ำมัน DEBi ตามขั้นตอนที่ได้กล่าวมาในหัวข้อที่ 2.2 ผู้วิจัยทำการตรวจสอบการแยกชั้นของน้ำมันเหล่านี้ ในระยะเวลา 3 ถึง 6 เดือน ณ ห้องปฏิบัติการวิจัย Automotive biofuels and combustion engineering research laboratory ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา โดยภาพที่ 2.6 แสดงการเปรียบเทียบน้ำมัน DEE น้ำมัน DEB และ น้ำมัน DEBi กับน้ำมันดีเซล (D) ภายหลังจากสังเคราะห์ โดยการปิดฝาของกระบอกตวง และกำหนดปริมาตรของน้ำมันต่างๆ คงที่ 160 ml พบว่า น้ำมัน DEE น้ำมัน DEB น้ำมัน DEBi และ น้ำมันดีเซล (D) มีความเข้มข้นของสีเหลืองใกล้เคียงกันซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Huang และคณะ (2009)²⁴ Suntikunaporn และคณะ (2016)⁴¹ และ Parthasarathy และคณะ (2016)³⁵ ทั้งนี้เนื่องจากน้ำมัน DEE น้ำมัน DEB และ น้ำมัน DEBi มีการผสมของแอนไฮดริสเอทานอลเป็นเนื้อเดียวกันกับน้ำมันดีเซล



ภาพที่ 2.6 น้ำมันดีโซฮอล์ต่างๆ ภายหลังจากสังเคราะห์

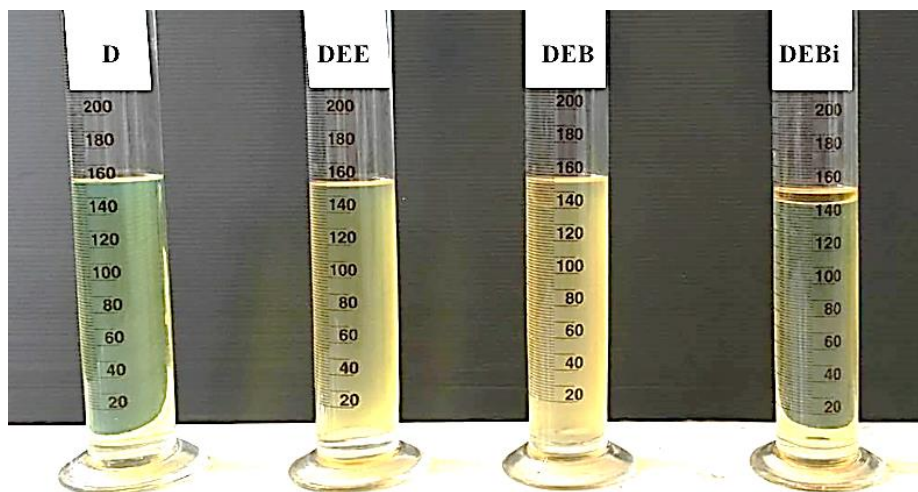
ต่อมา ทำการตรวจสอบการแยกชั้นของน้ำมันดีโซฮอล์ต่างๆ เทียบกับน้ำมันดีเซล ในระยะเวลา 3 เดือน ดังแสดงในภาพที่ 2.7 ซึ่งแสดงการเปรียบเทียบน้ำมัน DEE น้ำมัน DEB และ น้ำมัน DEBi กับน้ำมันดีเซล (D) ในระยะเวลา 3 เดือน โดยการปิดฝาของกระบอกตวง และกำหนดปริมาตรของน้ำมันคงที่ 160 ml พบว่า น้ำมัน DEE และน้ำมัน DEB มีความเข้มข้นของสีเหลืองมากกว่าน้ำมันดีเซล แต่ไม่มีการแยกชั้นและไม่มีการระเหย

ออกมา ในทางตรงกันข้าม น้ำมัน DEBi มีสีเหลืองขุ่น ภายหลังจากระยะเวลา 2 เดือน แสดงให้เห็นว่า เริ่มต้นเกิดการแยกชั้นระหว่างน้ำมันดีเซลกับไบโอดีเซล และแอนไฮดริสเอทานอล



ภาพที่ 2.7 การแยกชั้นของน้ำมันดีโซฮอล์ต่างๆ ภายหลังจากระยะเวลา 3 เดือน

สุดท้าย ทำการตรวจสอบการแยกชั้นของน้ำมันดีโซฮอล์ต่างๆ เทียบกับน้ำมันดีเซล ในระยะเวลา 6 เดือน ดังแสดงในภาพที่ 2.8 ซึ่งแสดงการเปรียบเทียบน้ำมัน DEE น้ำมัน DEB และ น้ำมัน DEBi กับน้ำมันดีเซล (D) ในระยะเวลา 6 เดือน



ภาพที่ 2.8 การแยกชั้นของน้ำมันดีโซฮอล์ต่างๆ ภายหลังจากระยะเวลา 6 เดือน

โดยการปิดฝาของกระบอกตวง และกำหนดปริมาตรของน้ำมันคงที่ 160 ml พบว่า น้ำมัน DEBi มีน้ำมันดีเซลผสมไบโอดีเซลแยกชั้นออกจากแอนไฮดริสเอทานอลอย่างถาวรในระยะเวลา 2 เดือน 17 วัน ส่งผลให้เห็นปริมาณของแอนไฮดริสเอทานอลลอยอยู่ด้านบนของน้ำมันดีเซลผสมไบโอดีเซลอย่างชัดเจน ขณะที่น้ำมัน DEE และน้ำมัน DEB เริ่มมีสีเหลืองขุ่นกว่าน้ำมันดีเซล ภายหลังจากระยะเวลา 3 เดือน 8 วัน แต่ไม่เกิดการแยกชั้นในระยะเวลา 6 เดือน ดังนั้น จากการตรวจสอบการแยกชั้นของน้ำมัน DEE น้ำมัน DEB และ น้ำมัน DEBi กับน้ำมันดีเซล (D) ในระยะเวลา 6 เดือน พบว่า น้ำมัน DEE และน้ำมัน DEB ไม่มีการแยกชั้นของน้ำมันดีโซฮอล์ในระยะเวลา 6 เดือน แต่น้ำมัน DEBi เกิดการแยกชั้นของน้ำมันดีโซฮอล์ภายหลังจากระยะเวลา 2 เดือน

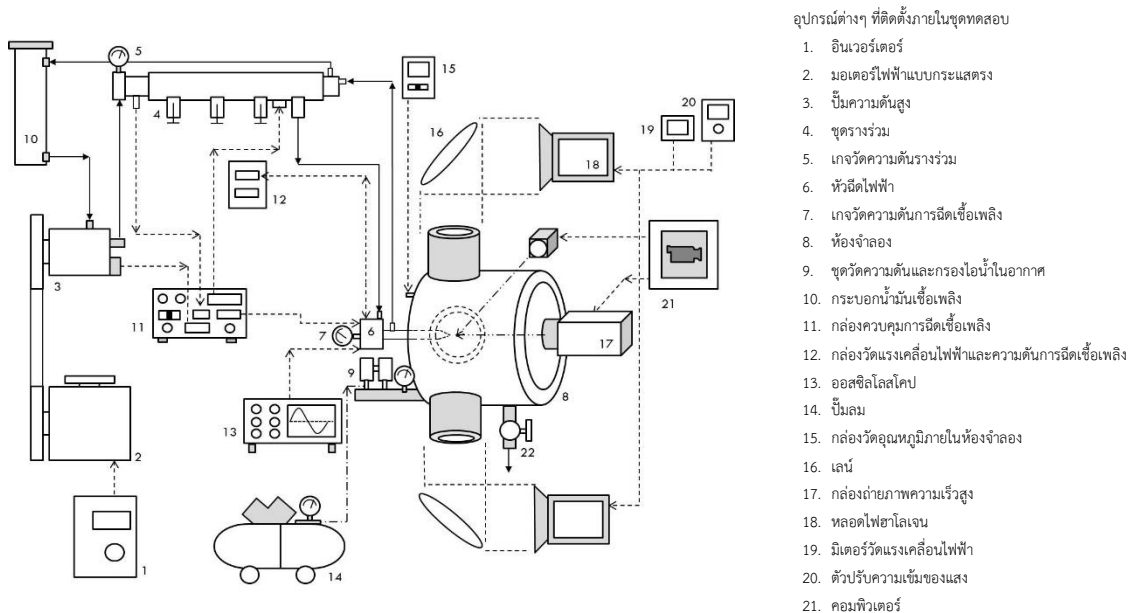
สำหรับการตรวจสอบคุณสมบัติความเป็นเชื้อเพลิงของน้ำมันดีเซลผสมแอนไฮดริสเอทานอลและสารอิมัลซิไฟเออร์ต่างๆ ซึ่งถูกสังเคราะห์ขึ้นนั้น ถูกเปรียบเทียบกับคุณสมบัติความเป็นเชื้อเพลิงของน้ำมันดีเซลและมาตรฐานของน้ำมันดีเซลตามประกาศกรมธุรกิจพลังงาน เรื่อง การกำหนดลักษณะ อัตราสูงต่ำ และคุณภาพของน้ำมันดีเซล พ.ศ. 2556 โดยศึกษาจากงานวิจัยของ Sutheerasak (2017)⁴³ ขณะที่วัตถุประสงค์หลักของการวิจัยนี้ เพื่อตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพเบื้องต้นของน้ำมันเหล่านี้ ได้แก่ ค่าความหนาแน่น ค่าความหนืด จุดวาบไฟ จุดไหลเท และค่าความร้อนต่ำสุดของน้ำมันเชื้อเพลิง (LHV) โดยใช้มาตรฐาน American society for testing and materials (ASTM) เพื่อนำไปอธิบายการเปลี่ยนแปลงของคุณลักษณะการฉีดและการสเปรย์น้ำมันเชื้อเพลิง และนำไปคำนวณและอธิบายผลของการเปลี่ยนแปลงสมรรถนะของเครื่องยนต์ในหัวข้อต่อไป โดยผลลัพธ์ที่ได้ถูกแสดงในตารางที่ 2.3 ซึ่งแสดงผลการตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ในการวิจัย พบว่า น้ำมัน DEE น้ำมัน DEB และ น้ำมัน DEBi มีค่าความหนาแน่น ค่าความหนืด จุดไหลเท และค่าความร้อนของน้ำมันเชื้อเพลิงใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล (D) และอยู่ในช่วงที่กำหนดไว้ของมาตรฐานของน้ำมันดีเซลตามประกาศกรมธุรกิจพลังงาน เรื่อง การกำหนดลักษณะ อัตราสูงต่ำ และคุณภาพของน้ำมันดีเซล พ.ศ. 2556 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า น้ำมันดีโซฮอล์เหล่านี้ สามารถนำมาประยุกต์ใช้สำหรับเครื่องยนต์ดีเซลได้

ตารางที่ 2.3 การตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ในการวิจัย

คุณสมบัติทางกายภาพ	ค่าความหนาแน่น ณ 15 °C (kg/m ³)	ค่าความหนืด ณ 40 °C (mm ² /s)	อุณหภูมิจุด วาบไฟ (°C)	อุณหภูมิ จุดไหลเท (°C)	ค่า LHV (MJ/kg)	ระยะเวลาใน การแยกชั้น
มาตรฐาน ASTM	D 1298	D 445	D 93	D 97	D 240	งานวิจัย ต่างๆ
มาตรฐานน้ำมันดีเซล ⁴³	810-870	1.8-4.1	> 52	< 10	-	-
น้ำมัน D	840	3.35	73	1.5	44.46	-
น้ำมัน DEE	800	2.98	13	3.5	42.14	ไม่แยกชั้น
น้ำมัน DEB	814	3.07	13	3.5	43.03	ไม่แยกชั้น
น้ำมัน DEBi	822	3.19	20	3.3	41.04	แยกชั้นหลัง 2 เดือน

2.4 วิธีการทดสอบการฉีดและการสเปรย์

การตรวจสอบการใช้ น้ำมันดีเซลผสมแอมไฮดรส์เอทานอลและสารอีมีลซิไฟเออร์ต่างๆ เทียบกับน้ำมันดีเซลต่อการฉีดและการสเปรย์น้ำมันเชื้อเพลิงนั้น ทำการทดสอบ ณ ห้องปฏิบัติการ Automotive biofuels and combustion engineering research laboratory ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา โดยก่อนทำการวิจัย ผู้วิจัยทำการออกแบบชุดจำลองการฉีดและการสเปรย์น้ำมันเชื้อเพลิง ดังแสดงในภาพที่ 2.9 ซึ่งแสดงแผนภาพของชุดทดสอบที่ทำการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ ภายในชุดทดสอบ และนำผลลัพธ์จากการทดสอบนี้ มาวิเคราะห์คุณลักษณะต่างๆ ของการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง (ได้แก่ ความดันก่อนเข้าท่อารร่วม ความดันท่อารร่วม ความดันที่น้ำมันแรงดันสูง ความดันของหัวฉีด และจังหวะของการฉีด) และคุณลักษณะต่างๆ ของการสเปรย์น้ำมันเชื้อเพลิง (ได้แก่ รูปร่างของสเปรย์เชื้อเพลิง (Fuel spray pattern) มุมสเปรย์ (Spray angle) และความยาวจริงของสเปรย์ (Real spray tip penetration)) เพื่อนำไปใช้ในการอธิบายผลของการเปลี่ยนแปลงสมรรถนะของเครื่องยนต์ต่อไป



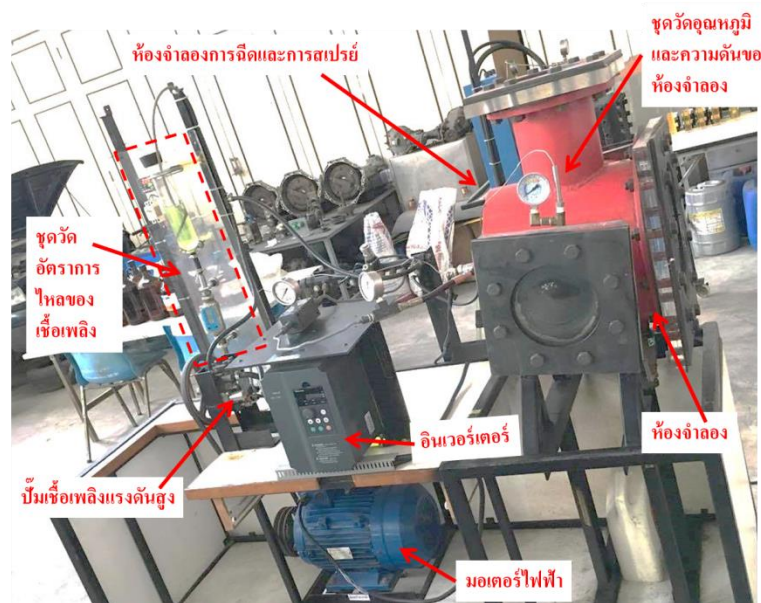
ภาพที่ 2.9 แผนภาพของชุดทดสอบการฉีดและการสเปรย์น้ำมันเชื้อเพลิง

ในภาพที่ 2.10 แสดงชุดทดสอบการฉีดและการสเปรย์น้ำมันเชื้อเพลิงที่จัดทำขึ้นในการวิจัยนี้ โดยการดัดแปลงระบบการฉีดเชื้อเพลิงแบบวางร่วม (Common rail fuel injection system) ของเครื่องยนต์ดีเซลบริษัท ไทโยต้า รุ่น 1KD-FTV ต่อเข้ากับห้องจำลองการฉีดเชื้อเพลิงที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 300 mm ความยาว 300 mm และความหนา 25 mm และสามารถเพิ่มความดันของอากาศภายในห้องจำลองได้สูงสุด 2.0 MPa ส่วนหัวฉีดที่ใช้ในการทดสอบเป็นหัวฉีดอิเล็กทรอนิกส์แบบ 6 รู ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูหัวฉีดเท่ากับ 0.13 mm และติดตั้งอุปกรณ์และเครื่องมือวัดต่างๆ ดังนี้

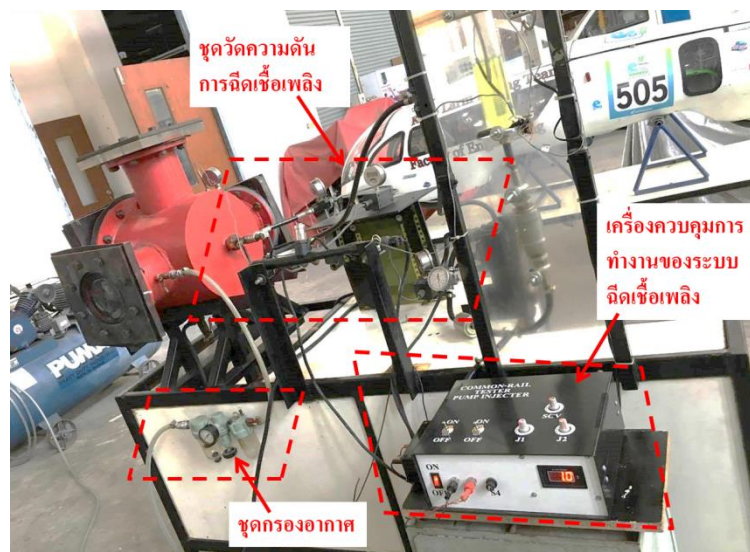
1) ชุดวัดอัตราการไหลของน้ำมันเชื้อเพลิง โดยใช้กระบอกวัดอัตราการไหลเชิงปริมาตร 500 ml สอบเทียบกับเครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำมันเชื้อเพลิงแบบกักหน (Diesel fuel turbine flow meter)

ที่มีความละเอียด 0.01 lpm ดังแสดงในภาพที่ 2.11 เพื่อนำไปใช้สอบเทียบกับการวัดอัตราการไหลของน้ำมันเชื้อเพลิงจากการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์

2) ชุดวัดความดันและอุณหภูมิของอากาศภายในห้องจำลองดังแสดงในภาพที่ 2.10 (ก) โดยใช้เกจวัดความดันของอากาศ และเทอร์โมคัปเปิลแบบ K ซึ่งต่อกับเครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้น (Digital temperature and humidity controller) ที่มีความละเอียด 0.1 °C ดังแสดงในภาพที่ 2.11 (ก) และชุดกรองอากาศดังแสดงในภาพที่ 2.10 (ข) เพื่อควบคุมความดันและอุณหภูมิของอากาศภายในห้องจำลองให้คงที่ตลอดการทดสอบ



(ก) ด้านหน้าของชุดทดสอบ



(ข) ด้านหลังของชุดทดสอบ

ภาพที่ 2.10 ชุดจำลองการฉีดและการสเปรย์น้ำมันเชื้อเพลิง

3) ต้นกำลังควบคุมการทำงานของชุดทดสอบการฉีดและการสเปรย์น้ำมันเชื้อเพลิง ใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งมีความเร็วรอบสูงสุด 1,400 rpm ขนาด 10 h.p. ต่อกับอินเวอร์เตอร์ ที่ปรับความถี่สูงสุด 50 Hz เป็นอุปกรณ์ต้นกำลังในการขับเคลื่อนปั๊มเชื้อเพลิงแรงดันสูง เพื่อส่งเชื้อเพลิงเข้าไปในท่อรางร่วม และส่งเชื้อเพลิงไปที่หัวฉีดดังแสดงในภาพที่ 2.10 (ก)



(ก) กระบอกวัดอัตราการไหล



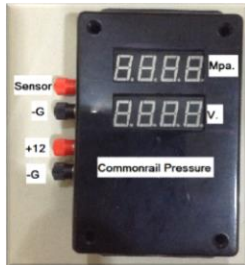
(ข) เครื่องวัดอัตราการไหล

ภาพที่ 2.11 ชุดวัดอัตราการไหลของน้ำมันเชื้อเพลิง

4) เครื่องควบคุมการทำงานของระบบฉีดเชื้อเพลิงแบบรางร่วม (Common-rail tester) ถูกดัดแปลงจากกล่องควบคุมการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ดีเซลบริษัทโตโยต้า รุ่น 1KD-FTV ให้เป็นเครื่องควบคุมการทำงานของระบบฉีดเชื้อเพลิงนี้ และวัดค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าของจังหวะการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง ดังแสดงในภาพที่ 2.10 (ข) นอกจากนี้ มีการติดตั้งกล่องบันทึกสัญญาณค่าความดันภายในท่อรางร่วมดังแสดงในภาพที่ 2.12 (ก) เพื่อตรวจวัดแรงเคลื่อนไฟฟ้า และค่าความดันภายในท่อรางร่วมที่มาจากสัญญาณของเซนเซอร์ตรวจวัดความดันภายในท่อรางร่วมดังแสดงในภาพที่ 2.13 ขณะที่การยกตัวของเข็มหัวฉีด ถูกตรวจสอบจากเครื่องออสซิลโลสโคป รุ่น Hantek DSO5062BMT Digital Storage Oscilloscope ขนาด Bandwidth 60MHz แบบ Real Time sample 1Gs/s และ Record length up to 2M ดังแสดงในภาพที่ 2.12 (ข) เพื่อตรวจสอบรูปร่างของสัญญาณไฟฟ้าที่แสดงการยกตัวของเข็มหัวฉีด โดยผลลัพธ์ถูกแสดงออกมาเป็นกราฟของแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาดังแสดงในภาพที่ 2.12 (ค)

5) เกจความดันต่างๆ ได้แก่ เกจความดันน้ำมันเชื้อเพลิงก่อนเข้าปั๊มแรงดันสูง (Fuel pressure before high pressure pump, $p_{hp,i}$) เกจความดันน้ำมันเชื้อเพลิงก่อนเข้าท่อรางร่วม (Input common-rail pressure, $p_{cr,i}$) เกจความดันน้ำมันเชื้อเพลิงที่ท่อน้ำมันแรงดันสูง (Fuel line pressure of high pressure tube, p_l) และ เกจความดันของการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง (Fuel injection pressure, p_{inj}) ดัง

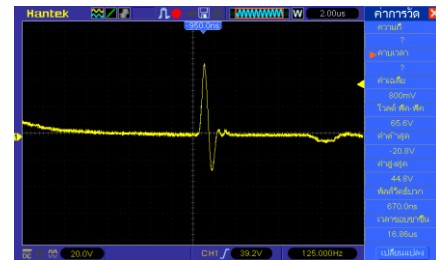
แสดงในภาพที่ 2.13 เพื่อสอบเทียบกับสัญญาณจากกล่องบันทึกสัญญาณการวัดค่าความดันภายในท่อารงร่วม จากเซนเซอร์ของความดันท่อารงร่วม ซึ่งเป็นค่าความดันท่อารงร่วม (Common-rail pressure, p_{cr}) และนำค่าความดันต่างๆ มาวิเคราะห์ผลของการใช้น้ำมันดีเซลผสมแอมไฮดรอสเอทานอลและสารอิมัลซิไฟเออร์ต่างๆ เมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะต่างๆ ของการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง



(ก) กล่องบันทึกสัญญาณ

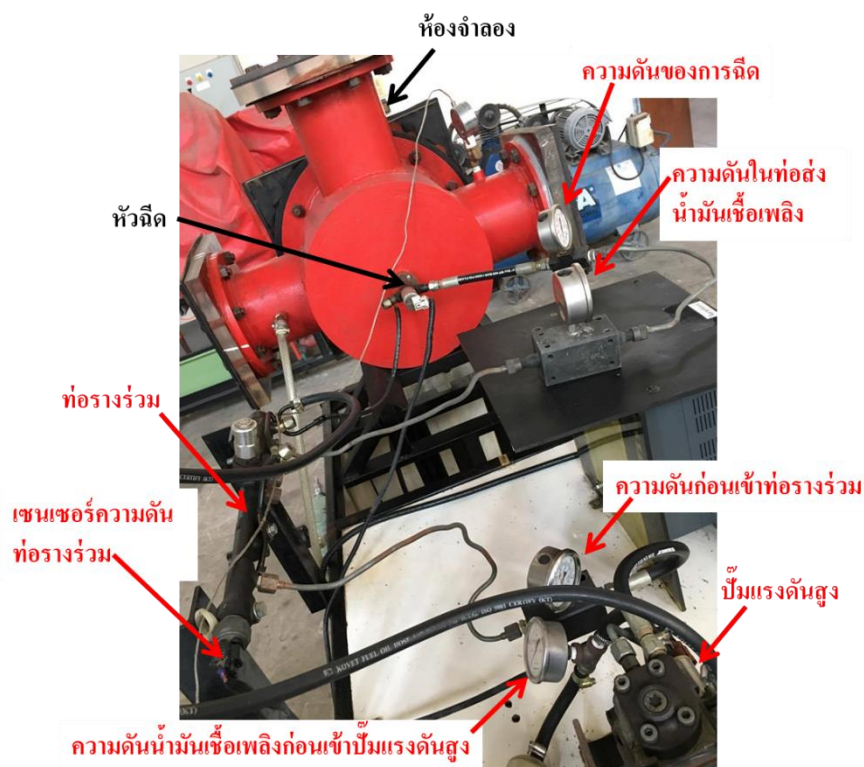


(ข) ออสซิลโลสโคป



(ค) กราฟของแรงเคลื่อนไฟฟ้า

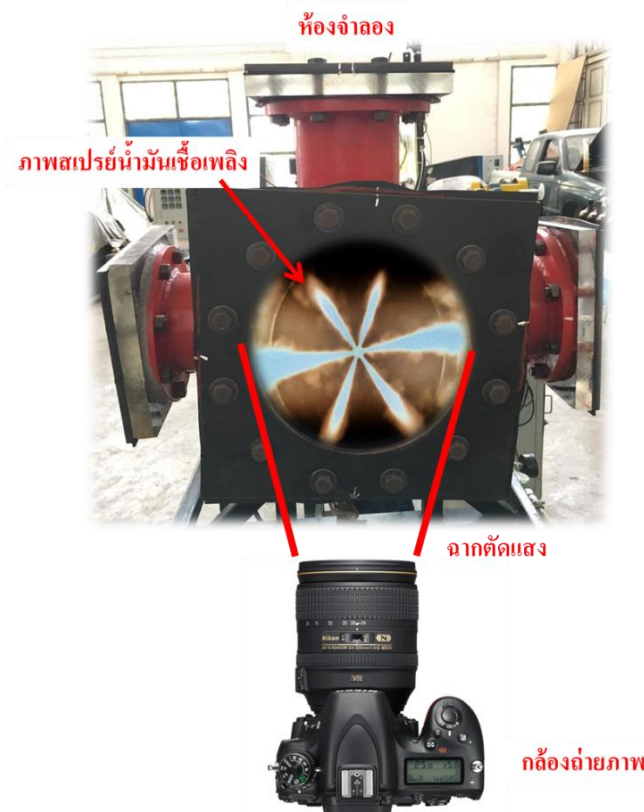
ภาพที่ 2.12 การวัดจังหวะการฉีดของน้ำมันเชื้อเพลิง



ภาพที่ 2.13 การติดตั้งเกจความดันต่างๆ

6) การถ่ายภาพการสเปรย์น้ำมันเชื้อเพลิงนั้น เริ่มต้นหลังจากน้ำมันเชื้อเพลิงถูกส่งมาที่ท่อ น้ำมันแรงดันสูง และถูกส่งต่อไปยังหัวฉีดซึ่งอยู่ด้านหลังของห้องจ่ายลงดังแสดงในภาพที่ 2.13 หลังจากนั้น

เมื่อเปิดเครื่องวัดจังหวะการฉีดของน้ำมันเชื้อเพลิง น้ำมันเชื้อเพลิงจะถูกฉีดออกจากหัวฉีดและพุ่งเข้าไปในห้องจำลองที่มีการควบคุมความดันภายในห้องจำลองคงที่ดังแสดงในภาพที่ 2.14 ซึ่งแสดงการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ เพื่อบันทึกภาพการสเปรย์น้ำมันเชื้อเพลิง หลังจากสเปรย์น้ำมันเชื้อเพลิงพุ่งออกมานั้น ทำการบันทึกภาพการเคลื่อนที่ของสเปรย์น้ำมันเชื้อเพลิงโดยใช้กล้องถ่ายภาพดิจิทัลแบบ FX-format รุ่น Nikon D750 ที่ใช้เซนเซอร์รับภาพแบบ CMOS และมีความละเอียดของภาพ 24.3 ล้านพิกเซลต่อกับเลนส์ Nikon AF-S 24-120 mm f/4G ED VR และการจัดแสงใช้หลอดไฟแบบหลอดทังสเตนฮาโลเจนขนาด 500 W แบบปรับแสงได้ โดยแสงถูกตัดผ่านเลนส์แก้วเพื่อลดการกระจายของแสงก่อนเข้าห้องจำลอง



ภาพที่ 2.14 การติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ เพื่อถ่ายภาพการสเปรย์น้ำมันเชื้อเพลิง

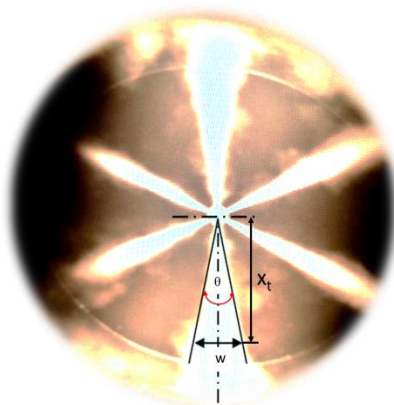
ขณะที่การบันทึกภาพการเคลื่อนที่ของสเปรย์น้ำมันเชื้อเพลิงจากการทดสอบนี้ได้มาจากการบันทึกวิดีโอจากกล้องถ่ายภาพดิจิทัลดังกล่าว และนำไฟล์วิดีโอไปเข้าโปรแกรม Photoshop เพื่อตัดภาพ และปรับแต่งรูปภาพ และนำภาพถ่ายการสเปรย์น้ำมันเชื้อเพลิงทุกภาพมาย่อขนาดให้เท่ากันที่อัตราส่วน 1:2 จากนั้นลากเส้นแกนสเปรย์ที่ความยาว 50 mm เส้นความยาวด้านบนและล่างของสเปรย์ และเส้นตัดกับเส้นทั้งสาม และบันทึกค่าระยะความกว้างของสเปรย์จากโปรแกรมดังแสดงในภาพที่ 2.15 (ก) เพื่อนำไปคำนวณมุมสเปรย์ หรือมุมของการสเปรย์ (Spray angle, θ) ดังแสดงในสมการที่ (2.1) โดยอ้างอิงการคำนวณและวิธีการวัดมุมของการสเปรย์จากงานวิจัยของ Desantes และคณะ (2014)¹⁴ และ Heywood (1988)²³

$$\theta = 2 \tan^{-1} \left(\frac{w}{2x_t} \right) \quad (2.1)$$

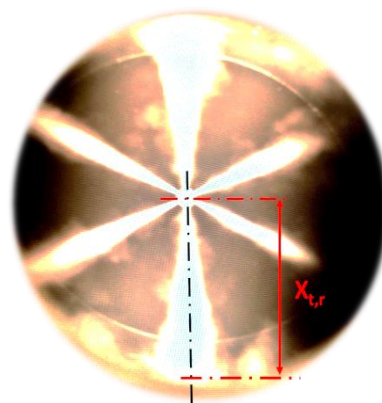
โดยที่ w คือ ความกว้างของสเปรย์ที่ขยายออกไป ที่ระยะ $x_t = 50$ mm (mm)

x_t คือ ความยาวของสเปรย์ที่ฉีดพุ่งออกจากหัวฉีด โดยกำหนดให้ความยาวของสเปรย์คงที่ 50 mm และเริ่มนับจากสเปรย์ถูกฉีดพุ่งออกจากรูของหัวฉีด (mm)

ต่อมา ทำการตรวจสอบความยาวจริงของสเปรย์ที่ฉีดพุ่งออกจากหัวฉีด (Spray tip penetration, $x_{t,r}$) ดังแสดงในภาพที่ 2.15 (ข) โดยศึกษาการวัดความยาวจริงของสเปรย์ที่ฉีดพุ่งออกจากหัวฉีดจากงานวิจัยของ เอกชัย สุธีรศักดิ์ และ เจริญชินวานิชย์เจริญ (2559)⁶ และเอกชัย สุธีรศักดิ์ และคณะ (2558)⁷ ในขณะที่ตารางที่ 2.4 แสดงการกำหนดสภาวะของการทดสอบการฉีดและการสเปรย์น้ำมันดีเซลผสมแอนไฮดริสเอทานอลและสารอิมัลซิไฟเออร์ต่างๆ เทียบกับน้ำมันดีเซล โดยมีขั้นตอนของการทดลองดังนี้



(ก) มุมของการสเปรย์



(ข) การสเปรย์น้ำมันเชื้อเพลิงที่ฉีดพุ่งออกจากหัวฉีด

ภาพที่ 2.15 ภาพถ่ายการสเปรย์น้ำมันเชื้อเพลิง

ตารางที่ 2.4 สภาวะของการทดสอบการฉีดและการสเปรย์น้ำมันเชื้อเพลิง

รายละเอียด	สภาวะของการทดสอบการฉีด	สภาวะของการทดสอบการสเปรย์
ความถี่ของอินเวอร์เตอร์ (Hz)	4/ 6/ 8/ 10	10
ความถี่ของการฉีด, ครั้งต่อวินาที	15±3	6±3
ภาระงานจาก SCV (%)	50	50
ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิง (ml)	10	-
ความดันภายในห้องจำลอง (MPa)	0.1	1±0.1
อุณหภูมิภายในห้องจำลอง (°C)	30±2	30±2
เชื้อเพลิงที่ทดสอบ	DEE/ DEB/ DEBi/ D	DEE/ DEB/ DEBi/ D

2.4.1 การทดสอบการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง

(1) เริ่มต้นการทดสอบจากการใช้น้ำมันดีเซล (D) เป็นน้ำมันเชื้อเพลิง โดยการเติมน้ำมันดังกล่าวลงในกระบอกวัดอัตราการไหลเชิงปริมาตร และต่อมา เปิดสวิตช์ต้นกำลังควบคุมการทำงานของระบบฉีดเชื้อเพลิง เครื่องควบคุมการทำงานของระบบฉีดเชื้อเพลิงแบบรางร่วม กล่องบันทึกสัญญาณ และออสซิลโลสโคป หลังจากนั้น ปรับความถี่ของอินเวอร์เตอร์คงที่ 4 Hz และตรวจสอบความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้า และค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้า

(2) เปิดการทำงานของหัวฉีดจากเครื่องควบคุมการทำงานของระบบฉีดเชื้อเพลิงแบบรางร่วม โดยการปรับความถี่ของการฉีดคงที่ 15 ± 3 ครั้งต่อวินาที และปรับภาระงานจากเซนเซอร์ภาระงานของปั๊มแรงดันสูง (SCV sensor) คงที่ร้อยละ 50

(3) บันทึกค่าความดันต่างๆ ได้แก่ ความดันน้ำมันเชื้อเพลิงก่อนเข้าปั๊มแรงดันสูง ความดันน้ำมันเชื้อเพลิงก่อนเข้าท่อรางร่วม ความดันท่อน้ำมันแรงดันสูง และความดันของการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงจากเกจความดันต่างๆ และจับเวลาที่เปลี่ยนแปลงไปจากการใช้ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงในการทดสอบคงที่ 10 ml

(4) บันทึกค่าสัญญาณแรงเคลื่อนไฟฟ้าของจังหวะการฉีดจากออสซิลโลสโคป และสัญญาณของเซนเซอร์ตรวจวัดค่าความดันภายในท่อรางร่วมจากกล่องบันทึกสัญญาณ และบันทึกกราฟของแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาที่แสดงการยกตัวของเข็มหัวฉีดจากออสซิลโลสโคป หลังจากนั้น ปรับค่าความถี่ของอินเวอร์เตอร์เพิ่มขึ้นเป็น 6 Hz, 8 Hz และ 10 Hz และทำการทดสอบตามขั้นตอนที่ (1) ถึง (2) และบันทึกข้อมูลต่างๆ ตามที่ได้กล่าวมาในหัวข้อที่ (3) และ (4) หลังจากนั้น นำไปวิเคราะห์ผลต่อไป

(5) เปลี่ยนน้ำมันเชื้อเพลิงเป็นน้ำมัน DEE และทำการทดสอบตามขั้นตอนที่ (1) ถึง (4) หลังจากนั้น เปลี่ยนน้ำมันเชื้อเพลิงเป็นน้ำมัน DEB และ DEBi หลังจากนั้น นำค่าต่างๆ ไปวิเคราะห์ผลเทียบกับน้ำมัน D ต่อไป

2.4.2 การทดสอบการสเปรย์น้ำมันเชื้อเพลิง

(1) การทดสอบการสเปรย์น้ำมันเชื้อเพลิงนั้น เริ่มต้นจากการทดสอบจากการใช้น้ำมัน D โดยการอัดอากาศเข้าไปภายในห้องจำลอง 1 ± 0.1 MPa โดยใช้ปั๊มอัดอากาศเข้าไปที่ชุดกรองอากาศและตรวจสอบความดันของอากาศจากเกจวัดความดันและอุณหภูมิของอากาศภายในห้องจำลอง

(2) เปิดสวิตช์ตัวต้านทานการปรับแสง (ดิเมเมอร์) เพื่อให้แสงสว่างจากหลอดทั้งสเตนฮาโลเจนกระทบกับเลนส์แก้วและเกิดการหักเหของแสง เพื่อให้มีจุกตรวมแสงส่องเข้าในห้องจำลองดังแสดงในภาพที่ 2.14

(3) เปิดสวิตช์ของกล้องถ่ายภาพดิจิทัล และปรับเป็นโหมดบันทึกวิดีโอและจัดระยะโฟกัสของเลนส์ หลังจากนั้น ปรับความถี่ของอินเวอร์เตอร์คงที่ 10 Hz เพื่อให้มอเตอร์ขับปั๊มเชื้อเพลิง เพื่อผลักดันน้ำมันเข้าไปอยู่ในท่อรางร่วม

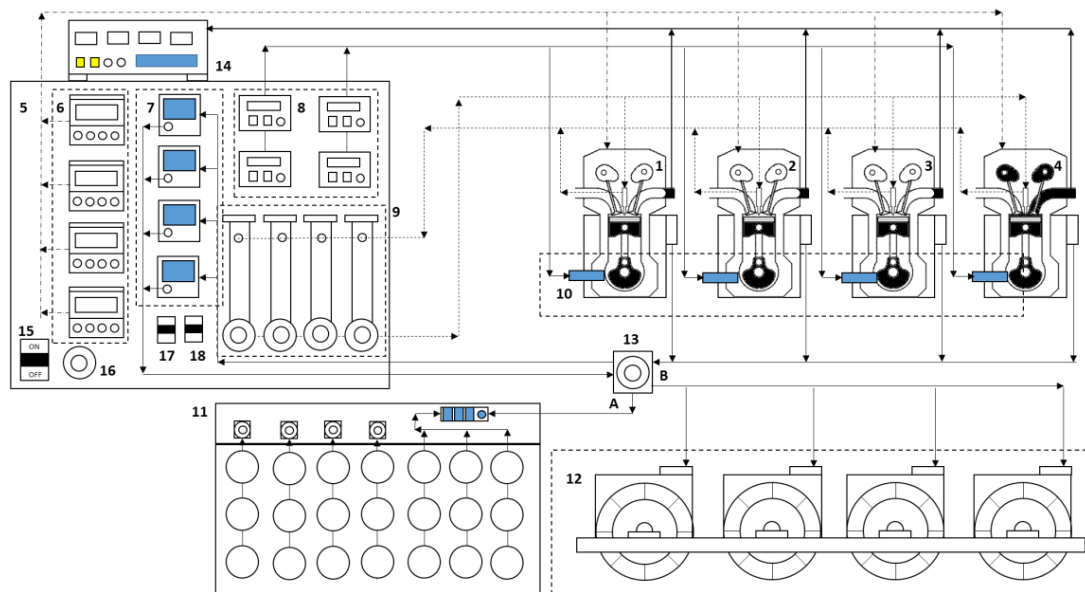
(4) เปิดการทำงานของหัวฉีดจากเครื่องควบคุมการทำงานของระบบฉีดเชื้อเพลิง โดยการปรับความถี่ของการฉีดคงที่ 6 ± 3 ครั้งต่อวินาที ซึ่งความถี่นี้ เป็นความถี่ที่สามารถบันทึกวิดีโอของการสเปรย์

น้ำมันเชื้อเพลิง และปรับภาระงานจากเซนเซอร์ภาระงานของปั๊มแรงดันสูง (SCV sensor) คงที่ร้อยละ 50 หลังจากนั้น บันทึกวีดิโอการการสเปรย์น้ำมัน D หลังจากนั้น นำไฟล์วีดิโอไปเข้าโปรแกรม Photoshop เพื่อตัดภาพ และปรับแต่งรูปภาพ และนำไปวิเคราะห์ผล

(5) เปลี่ยนน้ำมันเชื้อเพลิงเป็นน้ำมัน DEE และทำการทดสอบตามขั้นตอนที่ (1) ถึง (4) หลังจากนั้น เปลี่ยนน้ำมันเชื้อเพลิงเป็นน้ำมัน DEB และ DEBi หลังจากนั้น นำไฟล์วีดิโอไปเข้าโปรแกรม Photoshop เพื่อตัดภาพ และปรับแต่งรูปภาพ และนำไปวิเคราะห์ผลเทียบกับน้ำมัน D

2.5 วิธีการทดสอบสมรรถนะและการปล่อยสารมลพิษต่างๆ ของเครื่องยนต์ดีเซล

สำหรับการทดสอบสมรรถนะและการปล่อยสารมลพิษต่างๆ ของเครื่องยนต์ดีเซลนั้น การวิจัยนี้ มีการออกแบบและจัดทำชุดทดสอบสมรรถนะและการปล่อยสารมลพิษต่างๆ ของเครื่องยนต์ดีเซลซึ่งรวมไปถึงการทดสอบการสึกหรอของเครื่องยนต์ดีเซลดังแสดงในภาพที่ 2.16 ซึ่งแสดงแผนภาพโดยรวมของชุดทดสอบที่ได้ ออกแบบไว้ และต่อมา นักวิจัยจัดทำชุดทดสอบดังกล่าวและทำการติดตั้งเครื่องมือวัดและอุปกรณ์ต่างๆ ผลลัพธ์ที่ได้ดังแสดงในภาพที่ 2.17 ซึ่งแสดงชุดทดสอบสมรรถนะและการปล่อยสารมลพิษต่างๆ ของเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ในการวิจัยนี้ โดยมีการติดตั้งเครื่องมือวัดและอุปกรณ์ที่สำคัญและวิธีการทดสอบดังนี้



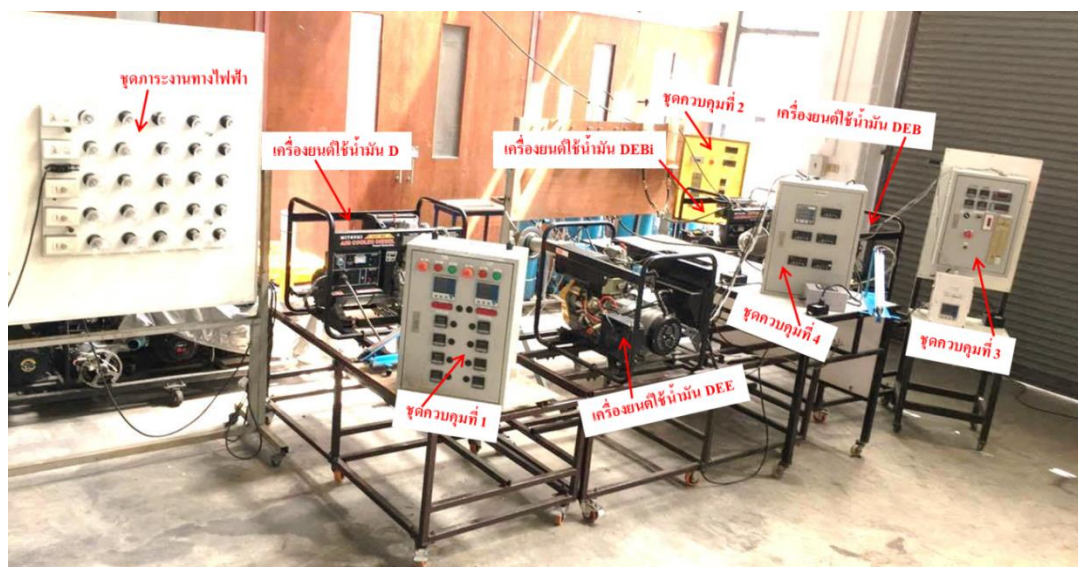
อุปกรณ์ต่างๆ ที่ติดตั้งภายในชุดทดสอบ

- | | | | |
|------------------------------------|---|-------------------------------|--------------------------------|
| 1. เครื่องปั๊มไฟใช้น้ำมัน D | 2. เครื่องปั๊มไฟใช้น้ำมัน DEE | 3. เครื่องปั๊มไฟใช้น้ำมัน DEB | 4. เครื่องปั๊มไฟใช้น้ำมัน DEBi |
| 5. ชุดควบคุม | 6. ชุดวัดอุณหภูมิเครื่องยนต์ | 7. ชุดมิเตอร์วัดกำลังไฟฟ้า | 8. ชุดวัดรอบเครื่องยนต์ |
| 9. ชุดวัดอัตราการไหลเชื้อเพลิง | 10. ชุดเซ็นเซอร์วัดรอบ | 11. ชุดภาระงาน | 12. ชุดกังหันน้ำ |
| 13. เครื่องปรับภาระงาน | 14. เครื่องวัดสารมลพิษ | 15. สวิตช์เปิด-ปิดชุดควบคุม | 16. ปุ่มฉุกเฉิน |
| 17. สวิตช์ควบคุมเครื่องวัดอุณหภูมิ | 18. สวิตช์ควบคุมชุดมิเตอร์วัดกำลังไฟฟ้า | | |

ภาพที่ 2.16 แผนภาพโดยรวมของชุดทดสอบในการวิจัย

2.5.1 เครื่องยนต์ดีเซลกำเนิดไฟฟ้า

เครื่องยนต์ดีเซลกำเนิดไฟฟ้า หรือเครื่องปั่นไฟ ที่ใช้ในการวิจัยนี้ เป็นเครื่องยนต์ดีเซลแบบฉีดตรง หนึ่งสูบ สี่จังหวะ และระบายความร้อนด้วยอากาศขนาด 8.5 kW ของบริษัท MITSUKI โดยข้อมูลพื้นฐานต่างๆ ของเครื่องยนต์ ถูกแสดงในตารางที่ 2.5 และแต่ละเครื่องยนต์ถูกต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหรือเจนเนอเรเตอร์ขนาด 5 kW_e เพื่อทดสอบสมรรถนะและการปล่อยสารมลพิษต่างๆ ของเครื่องยนต์จากการใช้น้ำมัน D, DEE, DEB และ DEBi เป็นน้ำมันเชื้อเพลิง ขณะที่การวิจัยนี้ ใช้เครื่องยนต์ดังกล่าวจำนวน 4 เครื่อง แต่ละเครื่องยนต์มีข้อมูลพื้นฐานต่างๆ เหมือนกัน เพื่อใช้ทดสอบน้ำมันเชื้อเพลิงแตกต่างกัน โดยติดตั้งบนแท่นทดสอบจำนวน 2 ชุด ซึ่งแต่ละชุดมีเครื่องยนต์ดีเซลปั่นไฟ 2 เครื่องอยู่บนแท่นทดสอบเดียวกัน เพื่อให้สะดวกต่อการเคลื่อนย้ายและการเก็บรักษาระหว่างการทดสอบดังแสดงในภาพที่ 2.18 สำหรับเจนเนอเรเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบเป็นของบริษัท MITSUKI รุ่น 5GF-ME แบบไฟฟ้ากระแสตรง Brushless self-excited 2-pole single phase โดยมีรายละเอียดต่างๆ ของเจนเนอเรเตอร์ถูกแสดงในตารางที่ 2.6 ซึ่งแสดงข้อมูลของเจนเนอเรเตอร์ที่ใช้ในการวิจัยนี้



ภาพที่ 2.17 ชุดทดสอบสมรรถนะและการปล่อยสารมลพิษต่างๆ ของเครื่องยนต์ดีเซล

2.5.2 ชุดภาระงาน

ชุดภาระงานที่ใช้ในการวิจัยนี้ แบ่งเป็น 2 ประเภท ดังนี้

(1) ชุดภาระงานทางไฟฟ้าแบบเปลี่ยนแปลงภาระงาน เพื่อใช้ในการทดสอบสมรรถนะและการปล่อยสารมลพิษต่างๆ ของเครื่องยนต์ดีเซล โดยการวิจัยนี้ ออกแบบแผงวงจรไฟฟ้าแบบวงจรผสมจำนวน 4 ชุดติดตั้งบนแผงทดสอบด้านละ 2 ชุด โดยแต่ละชุด ใช้หลอดไฟขนาด 200 W_e จำนวน 25 หลอด เพื่อผลิตกำลังไฟฟ้าออกมามากที่สุด 5 kW_e ขณะที่การเพิ่มและการลดภาระงานทางไฟฟ้าถูกปรับจากตัวปรับกระแสไฟฟ้าหรือดิมเมอร์ (Dimmer) ที่ติดตั้งด้านข้างของแผงทดสอบดังแสดงในภาพที่ 2.18

(2) ชุดภาระงานแบบคงที่ เพื่อใช้ในการทดสอบการสึกหรอของเครื่องยนต์ โดยการวิจัยนี้ เลือกใช้กังหันเติมอากาศบนผิวน้ำแบบ 4 ใบพัด ของห้างหุ้นส่วนนพลีศจำกัด รุ่น SV-4PW จำนวน 4 ชุด โดยแต่ละชุด ต่อกับเครื่องปั่นไฟจำนวน 4 เครื่อง และใช้น้ำมันเชื้อเพลิงแตกต่างกัน ซึ่งติดตั้งอยู่ที่สวนนันทนาการรัชมิ่งคลาสิค มหาวิทยาลัยบูรพา ดังแสดงในภาพที่ 2.19

ตารางที่ 2.5 ข้อมูลของเครื่องยนต์ที่ใช้ในการวิจัย

รายละเอียดของเครื่องยนต์ MITSUBISHI	น้ำมันเชื้อเพลิง	D	DEE	DEB	DEBi
	รุ่น	MIT-186FG	MIT-186FG	MIT-186FG	MIT-186FG
	ลักษณะของเครื่องยนต์	4 จังหวะ แบบฉีดตรง	4 จังหวะ แบบฉีดตรง	4 จังหวะ แบบฉีดตรง	4 จังหวะ แบบฉีดตรง
	ความดันการฉีดเชื้อเพลิง, MPa	19.6±0.49	19.6±0.49	19.6±0.49	19.6±0.49
	กระบอกสูบ (cyl)	1	1	1	1
	เส้นผ่านศูนย์กลางกระบอกสูบ x ระยะชัก (mm)	86x70	86x70	86x70	86x70
	ความจุของกระบอกสูบ (l)	0.406	0.406	0.406	0.406
	กำลังงานสูงสุด (kW)	8.5	8.5	8.5	8.5
	ความเร็วรอบ (rpm)	3,000	3,000	3,000	3,000
	MEP (kPa)	561	561	561	561
	ระบบระบายความร้อน	แบบครีป	แบบครีป	แบบครีป	แบบครีป
	สารระบายความร้อน	อากาศ	อากาศ	อากาศ	อากาศ
	น้ำมันหล่อลื่น	SAE40	SAE40	SAE40	SAE40
	ความจุถังเชื้อเพลิง (l)	5.5	5.5	5.5	5.5
	น้ำหนัก (kg)	33	33	33	33



ภาพที่ 2.18 เครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ในการวิจัย

ตารางที่ 2.6 ข้อมูลของเจนเนอเรเตอร์ที่ใช้ในการวิจัย

รายละเอียดของเจนเนอเรเตอร์ของบริษัท MITSUBISHI	น้ำมันเชื้อเพลิง	D	DEE	DEB	DEBi
	รุ่น	5GF-ME	5GF-ME	5GF-ME	5GF-ME
	ลักษณะของเจนเนอเรเตอร์	Brushless	Brushless	Brushless	Brushless
	ลักษณะของเฟส	Single phase	Single phase	Single phase	Single phase
	ความถี่ (Hz)	50	50	50	50
	กำลังไฟฟ้าสูงสุด (kW _e)	5	5	5	5
	แรงเคลื่อนไฟฟ้า (V)	230	230	230	230
	กระแสไฟฟ้า (A)	18.3	18.3	18.3	18.3
	ความเร็วรอบ (rpm)	3,000	3,000	3,000	3,000
	เฟกเตอร์ของกำลังไฟฟ้า (cos ϕ)	1	1	1	1
	สภาวะการทำงานสูงสุด (hr)	12	12	12	12
	ความยาว (mm)	720	720	720	720
	ความกว้าง (mm)	480	480	480	480
	ความสูง (mm)	650	650	650	650
	น้ำหนัก (kg)	92	92	92	92



ภาพที่ 2.19 จุดทดสอบการสีกหรือของเครื่องยนต์ดีเซล

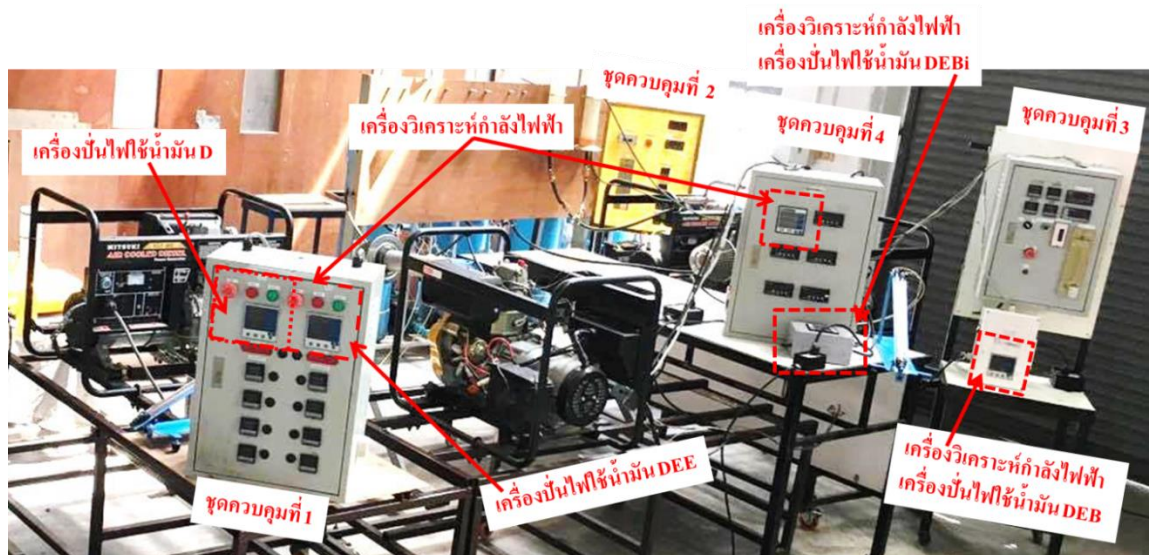
2.5.3 จุดควบคุมการทำงานของเครื่องยนต์

ในการวิจัยนี้ มีการใช้จุดควบคุมการทำงานของเครื่องยนต์จำนวน 4 จุด เพื่อควบคุมการทำงานในแต่ละเครื่องยนต์ดังแสดงในภาพที่ 2.17 โดยแต่ละจุดถูกใช้เพื่อควบคุมการทำงานของเครื่องยนต์ดังนี้

- (1) จุดควบคุมที่ 1 ถูกใช้ควบคุมการทำงานของเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้น้ำมัน D
- (2) จุดควบคุมที่ 1 ถูกใช้ควบคุมการทำงานของเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้น้ำมัน DEE
- (3) จุดควบคุมที่ 2 ถูกใช้ควบคุมการทำงานของเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้น้ำมัน DEBi

(4) ชุดควบคุมที่ 3 ถูกใช้ควบคุมการทำงานของเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้น้ำมัน DEB ขณะที่ชุดควบคุมที่ 1 ถูกออกแบบมาเพื่อเคลื่อนย้ายไปมาและนำไปใช้ตรวจสอบการทำงานของเครื่องยนต์ขณะที่ทำการทดสอบการสึกหรอของเครื่องยนต์ และชุดควบคุมที่ 4 ถูกออกแบบมาเพื่อใช้ในการสอบเทียบเครื่องมือวัดต่างๆ จากชุดควบคุมที่ 1 ถึง 3 โดยแต่ละชุดควบคุมมีการติดตั้งเครื่องมือวัดต่างๆ เหมือนกันดังนี้

(1) เครื่องวิเคราะห์กำลังไฟฟ้าของบริษัท RICHTMASS รุ่น RP-963 ซึ่งต่อกับอุปกรณ์แปลงกระแสไฟฟ้า RICHTMASS RMCT-50/14 โดยมีค่า CT ratio 30/5A และมีการสอบเทียบกับดิจิตอลแคลมป์มิเตอร์ของ Yokogawa รุ่น IM CL345 ดังแสดงในภาพที่ 2.20 ซึ่งแสดงเครื่องวิเคราะห์กำลังไฟฟ้าที่ต่อกับอุปกรณ์แปลงกระแสไฟฟ้า RICHTMASS RMCT-50/14 ในแต่ละเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันต่างๆ และในภาพที่ 2.21 แสดงดิจิตอลแคลมป์มิเตอร์ที่ใช้ในการสอบเทียบ

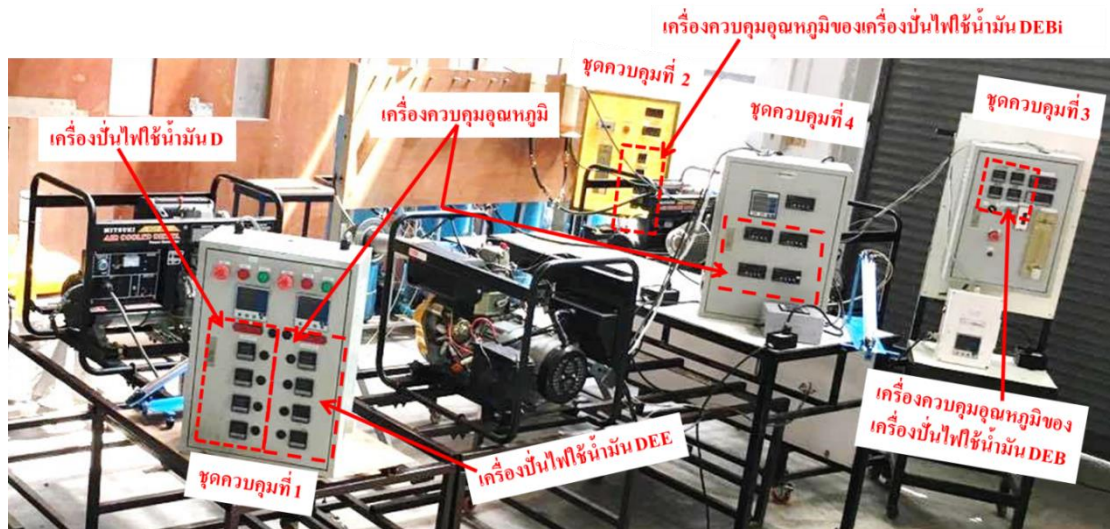


ภาพที่ 2.20 เครื่องวิเคราะห์กำลังไฟฟ้าในแต่ละเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันต่างๆ



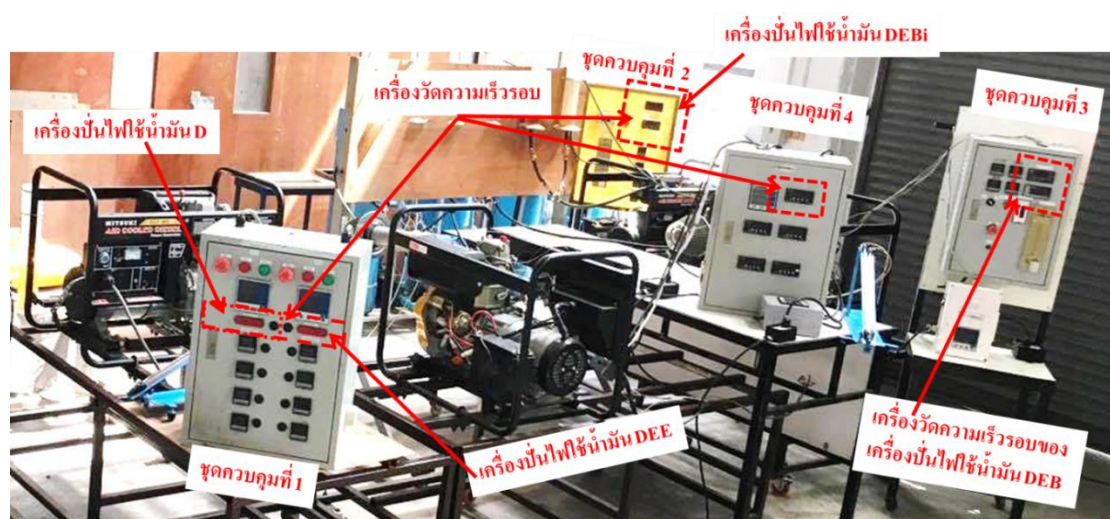
ภาพที่ 2.21 ดิจิตอลแคลมป์มิเตอร์ที่ใช้ในการสอบเทียบ

(2) เครื่องวัดอุณหภูมิต่างๆ ของเครื่องยนต์ โดยการวิจัยนี้ ใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิ (Temperature controller) รุ่น REX-C100FK02-MAN ต่อกับเทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) แบบ K ช่วงการวัดอุณหภูมิจาก 0.1 ถึง 1,300.0 °C โดยเปรียบเทียบกับ Keysight agilent 34970A data acquisition เพื่อตรวจสอบอุณหภูมิไอดี อุณหภูมิครีบบของฝาสูบและเสื่อสูบ และอุณหภูมิแก๊สไอเสียดังแสดงในภาพที่ 2.22 ซึ่งแสดงการติดตั้งเครื่องควบคุมอุณหภูมิในแต่ละเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันต่างๆ



ภาพที่ 2.22 การติดตั้งเครื่องควบคุมอุณหภูมิในแต่ละเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันต่างๆ

(3) เครื่องวัดความเร็วรอบของเครื่องยนต์แบบ Digital tachometer RPM ช่วงการวัดค่า 5 ถึง 9,999 rpm และช่วงความคลาดเคลื่อนจาก ± 0.5 ถึง 1.5 rpm โดยอ่านค่าจาก Hall proximity model: NJK-5002C ดังแสดงในภาพที่ 2.23



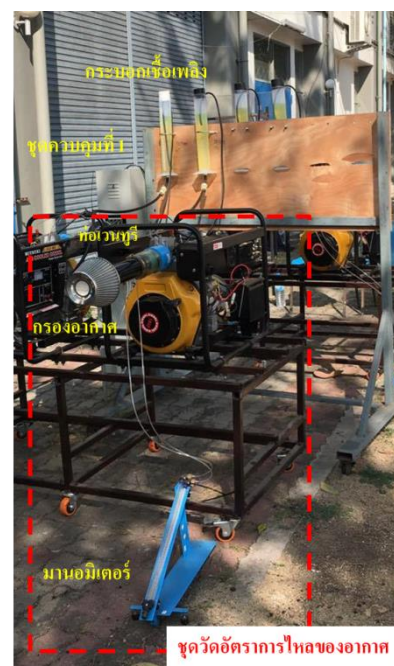
ภาพที่ 2.23 การติดตั้งเครื่องวัดความเร็วรอบในแต่ละเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันต่างๆ

2.5.4 ชุดวัดอัตราการไหลของน้ำมันเชื้อเพลิง

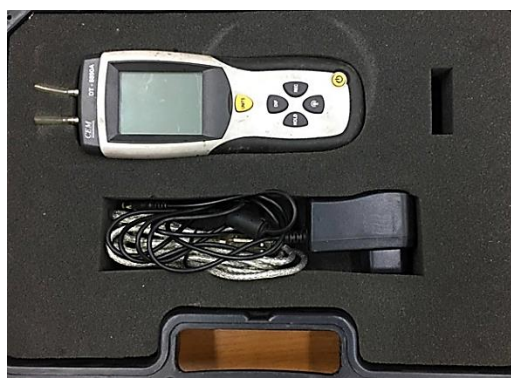
ในการวิจัยนี้ มีการติดตั้งกระบอกน้ำมันเชื้อเพลิง (Fuel cylinder) ต่อกับเครื่องยนต์แต่ละเครื่อง เพื่อใช้ในการวัดอัตราการไหลของน้ำมันเชื้อเพลิงต่างๆ และตรวจสอบความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงที่ภาระงานต่างๆ ของเครื่องยนต์ดังแสดงในภาพที่ 2.24 (ก) ซึ่งแสดงการติดตั้งกระบอกเชื้อเพลิงกับเครื่องยนต์ดีเซลทั้ง 4 เครื่องที่ใช้ น้ำมันเชื้อเพลิงต่างๆ ขณะที่การสอบเทียบอัตราการไหลของน้ำมันเชื้อเพลิงต่างๆ ใช้เครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำมันเชื้อเพลิงแบบกังหัน (Diesel fuel turbine flow meter) ที่มีความละเอียด 0.01 lpm ดังแสดงในภาพที่ 2.11 และในภาพที่ 2.24 (ข) แสดงการวัดอัตราการไหลของน้ำมันเชื้อเพลิงขณะที่ทำการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์



(ก) ชุดวัดอัตราการไหลของน้ำมันเชื้อเพลิง



(ข) ชุดวัดอัตราการไหลของอากาศ



(ค) ดิจิตอลมานอมิเตอร์ในการสอบเทียบเครื่องมือวัด

ภาพที่ 2.24 การติดตั้งชุดวัดอัตราการไหลกับเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ น้ำมันเชื้อเพลิงต่างๆ

2.5.5 ชุดวัดอัตราการไหลของอากาศ

ในการวิจัยนี้ มีการใช้ชุดวัดอัตราการไหลของอากาศต่อกับเครื่องยนต์แต่ละเครื่อง เพื่อนำไปใช้ในการคำนวณประสิทธิภาพเชิงปริมาตรที่ภาระงานต่างๆ ของเครื่องยนต์ โดยชุดวัดอัตราการไหลของอากาศ ประกอบด้วย ท่อเวนทูรี (Venturi tube) ต่อกับมานอเมเตอร์รูปตัวยู (U-type manometer) ดังแสดงในภาพที่ 2.24 (ข) ซึ่งแสดงการติดตั้งชุดวัดอัตราการไหลของอากาศกับเครื่องยนต์ดีเซล โดยมีการสอบเทียบการวัดค่าความดันแตกต่างจากมานอเมเตอร์รูปตัวยูกับเครื่องวัดความดันของอากาศ หรือดิจิตอลมานอเมเตอร์ (Digital manometer) รุ่น CEM DT-8890A ดังแสดงในภาพที่ 2.24 (ค) ซึ่งแสดงดิจิตอลมานอเมเตอร์ในการสอบเทียบเครื่องมือวัด

2.5.6 เครื่องวิเคราะห์ห้องค์ประกอบของแก๊สไอเสีย

สำหรับการวัดปริมาณของการปล่อยสารมลพิษต่างๆ ของเครื่องยนต์ดีเซลนั้น การวิจัยนี้ใช้เครื่องวิเคราะห์ห้องค์ประกอบของแก๊สไอเสีย จำนวน 2 ชุด ดังนี้

(1) เครื่องวิเคราะห์ห้องค์ประกอบของสารมลพิษต่างๆ ของบริษัท Cosber รุ่น KWQ-5 Automotive emission analyzers เพื่อใช้ในการวัดปริมาณสารมลพิษต่างๆ ได้แก่ ปริมาณของ CO₂, CO, HC และ NO ดังแสดงในภาพที่ 2.25 ซึ่งแสดงเครื่องวิเคราะห์ห้องค์ประกอบของแก๊สไอเสียที่ใช้ในการวิจัยนี้ โดยการวิเคราะห์ปริมาณของ CO₂, CO และ HC โดยใช้วิธี Non-disperse infrared (NDIR) method และการวิเคราะห์ปริมาณของ NO ใช้วิธี Electrochemical cell method โดยมีช่วงของการวัดดังแสดงในตารางที่ 2.7 ซึ่งแสดงวิธีการวัดและช่วงของการวัดการปล่อยสารมลพิษต่างๆ



ภาพที่ 2.25 เครื่องวิเคราะห์ห้องค์ประกอบของแก๊สไอเสียที่ใช้ในการวิจัย

ตารางที่ 2.7 วิธีการวัดและช่วงของการวัดการปล่อยสารมลพิษต่างๆ

ลำดับที่	สารมลพิษ	รูปแบบการวัด	ช่วงของการวัด	ความละเอียดและความถูกต้อง
(1)	CO ₂ (%vol)	NDIR method	0 - 18	±0.02
	CO (%vol)	NDIR method	0 - 15	±0.02
	HC (ppm vol)	NDIR method	0 - 10,000	±0.02
	NO (ppm vol)	Electrochemical cell	0 - 5,000	±0.03
(2)	N (%)	Opacity	0 - 100	±0.02
	K (m ⁻¹)	Light-absorption	0 - 16.00	±0.05

(2) เครื่องมือวัดปริมาณควันดำของบริษัท Cosber รุ่น KYD-6 Opacimeter ดังแสดงในภาพที่ 2.25 ซึ่งแสดงเครื่องวัดปริมาณควันดำที่ใช้ในการวิจัยนี้ เพื่อใช้ในการวัดความเข้มข้นของควันดำ (N) และค่าความทึบแสง (K) โดยมีช่วงของการวัดดังแสดงในตารางที่ 2.7 ซึ่งแสดงวิธีการวัดและช่วงของการวัดปริมาณควันดำ

2.5.7 วิธีการทดสอบการทำงาน สมรรถนะ และการปล่อยสารมลพิษต่างๆ ของเครื่องยนต์

ภายหลังจัดทำชุดทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ ผู้วิจัยกำหนดสถานะของการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 2.8 ซึ่งแสดงสถานะของการทดสอบเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ น้ำมันต่างๆ โดยทำการทดสอบในบริเวณห้องปฏิบัติการวิจัย Automotive Biofuels and Combustion Engineering Research Laboratory ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา สำหรับการศึกษาและการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์นั้น ศึกษาและอ้างอิงจากทฤษฎีการทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ของ Martyr และ Plint (2007)³¹ และมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 787-2551 (2551)⁵ โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

(1) การทดสอบการทำงานของเครื่องยนต์ที่ระยะเวลา 50 hr

การทดสอบนี้ เป็นการทดสอบการเริ่มต้นการทำงานของเครื่องยนต์ โดยอ้างอิงจากมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 787-2551 (2551)⁵ และคู่มือของเครื่องยนต์ MITSUKI รุ่น MIT-186FG โดยมีขั้นตอนของการทดสอบดังนี้

(ก) ติดตั้งชุดควบคุม และชุดวัดอัตราการไหลกับเครื่องยนต์ทั้ง 4 เครื่อง และเติมน้ำมัน D, DEE, DEBi และ DEB ในกระบอกน้ำมันทั้ง 4 กระบอก ดังแสดงในภาพที่ 2.26 ซึ่งแสดงการทดสอบการทำงานของเครื่องยนต์ หลังจากนั้น สตาร์ทเครื่องยนต์ และเริ่มจับเวลาการทำงานของเครื่องยนต์

(ข) อุ่นเครื่องยนต์ประมาณ 5 ถึง 10 min โดยสังเกตจากอุณหภูมิต่างๆ ที่ชุดควบคุม และควบคุมความเร็วรอบของเครื่องยนต์คงที่ $3,000 \pm 50$ rpm ตามที่กำหนดในสถานะของการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 2.8 (ก)

(ค) เมื่อเครื่องยนต์อยู่ในสถานะการทำงานที่เหมาะสม กำหนดปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงในการทดสอบคงที่ 200 ml และเริ่มต้นบันทึกเวลาในการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง อุณหภูมิต่างๆ ได้แก่ อุณหภูมิไอดี อุณหภูมิครีปของฝาสูบและเสื้อสูบ และอุณหภูมิแก๊สไอเสีย และคำนวณอัตราการไหลของ

น้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ทั้ง 4 เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงแต่ละชนิด หลังจากนั้น นำข้อมูลที่กล่าวมา ไปวิเคราะห์ผล และทำการทดสอบตามหัวข้อ (ก) ถึง (ค) จนครบระยะเวลา 50 hr

ตารางที่ 2.8 สภาวะของการทดสอบการทำงานและสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซล

การทดสอบ	ระยะเวลา	รายละเอียด	สภาวะที่กำหนด			
(ก) การทำงานของเครื่องยนต์	50 hr	ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ (rpm)	3,000 ± 50			
		ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิง (ml)	200			
		ลำดับของเครื่องยนต์ที่	1	2	3	4
		น้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ทดสอบ	D	DEE	DEBi	DEB
		ภาระงาน (%)	-			
		อุณหภูมิห้องทดสอบ (°C)	32 ± 3			
(ข) สมรรถนะและการปล่อยสารมลพิษต่างๆ ของเครื่องยนต์	150 hr	ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ (rpm)	1,800-3,400±50			
		ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิง (ml)	20			
		ลำดับของเครื่องยนต์	1	2	3	4
		น้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ทดสอบ	D	DEE	DEBi	DEB
		ชุดภาระงานทางไฟฟ้า	แบบเปลี่ยนแปลงภาระงาน			
		ภาระงาน (%)	20-100			
		อุณหภูมิห้องทดสอบ (°C)	32 ± 3			

(2) การทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ระยะเวลา 150 hr

ภายหลังการทดสอบระยะเวลา 50 hr มีการเปลี่ยนน้ำมันเครื่องใหม่ทั้ง 4 เครื่องยนต์ และต่อมาทำการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ระยะเวลา 150 hr โดยอ้างอิงจากทฤษฎีการทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ของ Martyr และ Plint (2007)³¹ และมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 787-2551 (2551)⁵ ซึ่งมีขั้นตอนการทดสอบดังนี้

(ก) ติดตั้งเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ เข้ากับเครื่องยนต์ตามที่แสดงในภาพที่ 2.17 ซึ่งแสดงภาพโดยรวมของชุดทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ทั้ง 4 เครื่อง

(ข) เติมน้ำมัน D, DEE, DEBi และ DEB ในกระบอกน้ำมันทั้ง 4 กระบอก หลังจากนั้น สตาร์ทเครื่องยนต์ และเริ่มจับเวลาการทำงานของเครื่องยนต์

(ค) อุณหภูมิเครื่องยนต์ประมาณ 5 ถึง 10 min โดยตรวจสอบจากอุณหภูมิต่างๆ ที่ชุดควบคุม และความเร็วรอบของเครื่องยนต์คงที่ 3,000 ± 50 rpm ตามที่กำหนดในสภาวะของการทดสอบ ดังแสดงในตารางที่ 2.8 (ข) ต่อมา เริ่มต้นการทดสอบสมรรถนะและการปล่อยสารมลพิษต่างๆ ของเครื่องยนต์ โดยการปรับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ให้คงที่ 1,800 ± 50 rpm และเปิดชุดภาระงานทางไฟฟ้า โดยปรับภาระงานทางไฟฟ้าเริ่มต้นที่ร้อยละ 20



ภาพที่ 2.26 การทดสอบการทำงานของเครื่องยนต์

(ง) เมื่อเครื่องยนต์อยู่ในสภาวะการทำงานที่เหมาะสม ที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์คงที่ $1,800 \pm 50$ rpm และภาระงานร้อยละ 20 เริ่มต้นการบันทึกข้อมูลต่างๆ โดยกำหนดปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงในการทดสอบคงที่ 20 ml และบันทึกเวลาในการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง กำลังไฟฟ้าที่ให้ออกมา อุณหภูมิต่างๆ ได้แก่ อุณหภูมิไอดี อุณหภูมิครีบของฝาสูบและเสื้อสูบ และอุณหภูมิแก๊สไอเสีย อัตราการไหลของอากาศ และปริมาณของสารมลพิษต่างๆ ได้แก่ ปริมาณของ CO_2 , CO , HC , NO และความเข้มข้นของควันทาจากเครื่องวิเคราะห์ห้องค์ประกอบของแก๊สไอเสียของเครื่องยนต์ทั้ง 4 เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงแต่ละชนิด

(จ) เพิ่มภาระงานทางไฟฟ้าร้อยละ 40 และควบคุมความเร็วรอบของเครื่องยนต์ให้คงที่ $1,800 \pm 50$ rpm เมื่อเครื่องยนต์อยู่ในสภาวะการทำงานที่เหมาะสม ทำการบันทึกข้อมูลต่างๆ โดยกำหนดปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงคงที่ 20 ml และบันทึกเวลาในการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง กำลังไฟฟ้าที่ให้ออกมา อุณหภูมิต่างๆ ได้แก่ อุณหภูมิไอดี อุณหภูมิครีบของฝาสูบและเสื้อสูบ และอุณหภูมิแก๊สไอเสีย อัตราการไหลของอากาศ และปริมาณของสารมลพิษต่างๆ ของเครื่องยนต์ทั้ง 4 เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงแต่ละชนิด

(ฉ) เพิ่มภาระงานทางไฟฟ้าร้อยละ 60, 80 และ 100 และควบคุมความเร็วรอบของเครื่องยนต์ให้คงที่ $1,800 \pm 50$ rpm เมื่อเครื่องยนต์อยู่ในสภาวะการทำงานที่เหมาะสม ทำการบันทึกข้อมูลต่างๆ ตามที่ได้กล่าวมาในหัวข้อ (ง) และ (จ) หลังจากนั้น นำข้อมูลที่กล่าวมาไปวิเคราะห์ผล

(ช) หลังจากเสร็จสิ้นการทดสอบสมรรถนะและการปล่อยสารมลพิษต่างๆ ของเครื่องยนต์ทั้ง 4 เครื่องยนต์ ณ ความเร็วรอบคงที่ $1,800 \pm 50$ rpm ต่อมา มีการเพิ่มความเร็วรอบของเครื่องยนต์เป็น $2,200 \pm 50$ rpm และเพิ่มภาระงานทางไฟฟ้าจากร้อยละ 20 ถึง 100 เมื่อเครื่องยนต์อยู่ในสภาวะการทำงานที่เหมาะสม ทำการทดสอบตามสภาวะของการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 2.8 (ข) และ

บันทึกข้อมูลต่างๆ โดยกำหนดปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงคงที่ 20 ml ได้แก่ เวลาในการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง กำลังไฟฟ้าที่ให้ออกมา อุณหภูมิต่างๆ อัตราการไหลของอากาศ และปริมาณของสารมลพิษต่างๆ ของเครื่องยนต์ทั้ง 4 เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงแต่ละชนิด ตามขั้นตอนที่ได้กล่าวมาในหัวข้อ (ง) และ (ฉ) หลังจากนั้น นำข้อมูลที่ได้กล่าวมาไปวิเคราะห์ผล

(ข) หลังจากเสร็จสิ้นการทดสอบสมรรถนะและการปล่อยสารมลพิษต่างๆ ของเครื่องยนต์ทั้ง 4 เครื่องยนต์ ณ ความเร็วรอบคงที่ $2,200 \pm 50$ rpm ต่อมา มีการเพิ่มความเร็วยรอบของเครื่องยนต์เป็น $2,600 \pm 50$ rpm เมื่อเครื่องยนต์อยู่ในสภาวะการทำงานที่เหมาะสม ทำการทดสอบตามสภาวะของการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 2.8 (ข) และทำตามขั้นตอนที่ได้กล่าวมาในหัวข้อ (ง) และ (ฉ) และบันทึกข้อมูลต่างๆ หลังจากนั้น เพิ่มความเร็วยรอบของเครื่องยนต์เป็น $3,000 \pm 50$ rpm และ $3,400 \pm 50$ rpm และทำการทดสอบตามขั้นตอนที่ได้กล่าวมาในหัวข้อ (ง) และ (ฉ) โดยทำการทดสอบจนครบระยะเวลา 150 hr สุดท้ายนำข้อมูลต่างๆ ของการทดสอบสมรรถนะและการปล่อยสารมลพิษต่างๆ ของเครื่องยนต์จากความเร็วรอบ 1,800 ถึง 3,400 rpm เมื่อใช้ภาระงานทางไฟฟ้าจากร้อยละ 20 ถึง 100 มาวิเคราะห์ผล

2.5.8 การวิเคราะห์ข้อมูล

สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลนั้น ในการวิจัยนี้ใช้เครื่องยนต์ดีเซลหนึ่งสูบสี่จังหวะ โดยที่ค่า n_R เท่ากับ 2 rev และกำหนดปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงในการทดสอบคงที่ 20 ml และบันทึกเวลาในการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง และบันทึกข้อมูลต่างๆ ได้แก่ ความเร็วยรอบของเครื่องยนต์ กำลังไฟฟ้าที่ให้ออกมา อุณหภูมิไอดี หรือ อุณหภูมิอากาศ และอัตราการไหลของอากาศ เพื่อนำไปคำนวณหาประสิทธิภาพทางความร้อน ประสิทธิภาพเชิงปริมาตร ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ และความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ ซึ่งสามารถคำนวณจากสมการดังต่อไปนี้

$$\eta_{t,e} = \frac{P_{ele}}{\dot{m}_f LHV} \quad (2.2)$$

$$\eta_v = \frac{n_R \dot{m}_a}{\rho_a V_d N} \quad (2.3)$$

$$SFC = \frac{\dot{m}_f}{P_{ele}} \quad (2.4)$$

$$SEC = \frac{\dot{m}_f \cdot LHV}{P_{ele}} \quad (2.5)$$

โดยที่

- $\eta_{t,e}$ คือ ประสิทธิภาพทางความร้อน (%)
- η_v คือ ประสิทธิภาพเชิงปริมาตร (%)
- SFC คือ ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ ($\text{kg/kW}_e \cdot \text{hr}$)

SEC	คือ ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (MJ/kW _e .hr)
P_{ele}	คือ กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ (kW _e)
\dot{m}_f	คือ อัตราการไหลของน้ำมันเชื้อเพลิง (kg/sec)
LHV	คือ ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (MJ/kg)
m_a	คือ มวลของอากาศเข้าไปในเครื่องยนต์ (kg)
\dot{m}_a	คือ อัตราการไหลคงที่ของอากาศเข้าไปในเครื่องยนต์ (kg/sec)
ρ_a	คือ ความหนาแน่นของอากาศที่สภาวะบรรยากาศ (kg/m ³)
V_d	คือ ปริมาตรกระจัด (m ³)
N	คือ ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ (rpm)

2.6 วิธีการทดสอบการสึกหรอของเครื่องยนต์ดีเซล

การทดสอบการสึกหรอของเครื่องยนต์ดีเซลเมื่อใช้น้ำมันดีเซลผสมแวนไฮโดรส์เอทานอลและสารอิมัลซิไฟเออร์ต่างๆ เทียบกับน้ำมันดีเซลนั้น ศึกษาวิธีการทดสอบจากงานวิจัยของ Sutherasak (2017)⁴³ Martyr และ Plint (2007)³¹ และมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 787-2551 (2551)⁵ ก่อนทำการทดสอบ ผู้วิจัยนำเครื่องยนต์ดีเซลปั่นไฟดังแสดงในภาพที่ 2.18 มาถอดชิ้นส่วนหลักภายในเครื่องยนต์ เพื่อวัดค่าเริ่มต้นก่อนการทดสอบ ได้แก่ ระยะห่างปากแหวน ช่องว่างระหว่างแหวนกับร่องแหวนลูกสูบ และเส้นผ่านศูนย์กลางลูกสูบและปลอกสูบ โดยเครื่องมือที่ใช้ในการวัด ได้แก่ บรรทัดเหล็ก หรือฟุตเหล็ก (Stainless steel ruler) เวอร์เนียคาลิเปอร์ (Vernier caliper) ไมโครมิเตอร์คาลิเปอร์ (Micrometer caliper) ฟीलเลอร์เกจ (Feeler gauge) บอร์เกจ (Bore gauge) และเครื่อง Coordinate measuring machine (CMM) หลังจากนั้น ประกอบชิ้นส่วนหลักของเครื่องยนต์กลับเหมือนเดิม และทำการทดสอบต่างๆ ดังที่ได้กล่าวมา ณ ห้องปฏิบัติการวิจัย Automotive biofuels and combustion engineering research laboratory ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ และบริเวณสวนนันทนาการรัชมิ่งคลาสิก มหาวิทยาลัยบูรพา โดยนำชุดเครื่องยนต์ดีเซลปั่นไฟดังแสดงในภาพที่ 2.18 จำนวนสองชุด ซึ่งแต่ละชุดมีเครื่องยนต์ดีเซลปั่นไฟจำนวน 2 เครื่องอยู่บนแท่นทดสอบเดียวกันต่อกับเครื่องเติมอากาศบนผิวน้ำแบบสไลโบพัดของห้างหุ้นส่วนนพลีศจำกัด แบบ 1 เฟส 220 V ที่ใช้ชุดเกียร์อัตราทด 1:15 ดังแสดงในภาพที่ 2.19 และกำหนดสภาวะของการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 2.9 โดยมีขั้นตอนของการทดสอบการสึกหรอของเครื่องยนต์ดังต่อไปนี้

(ก) ภายหลังจากการทดสอบระยะเวลา 150 hr มีการเปลี่ยนน้ำมันเครื่องใหม่ทั้ง 4 เครื่องยนต์ และต่อมา ติดตั้งเครื่องมือวัดต่างๆ ได้แก่ เครื่องวัดกำลังไฟฟ้า และเครื่องวัดอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงกับชุดทดสอบ หลังจากนั้น เติมน้ำมันเชื้อเพลิงแต่ละชนิดกับเครื่องยนต์ทั้ง 4 เครื่อง ครั้งละ 1,000 ml และสตาร์ทเครื่องยนต์

(ข) เริ่มจับเวลาการทำงานของเครื่องยนต์ โดยเริ่มต้นจากการอุ่นเครื่องยนต์ประมาณ 5 ถึง 10 min โดยใช้น้ำมันเชื้อเพลิง 100 ml และตรวจสอบความเร็วรอบของเครื่องยนต์คงที่ 3,000 ± 50 rpm หลังจากนั้น เปิดสวิตช์เครื่องเติมอากาศบนผิวน้ำ และทำการทดสอบตามที่กำหนดในสภาวะของการทดสอบ

ดังแสดงในตารางที่ 2.9 ซึ่งแสดงการกำหนดสภาวะของการทดสอบการสึกหรอของเครื่องยนต์ดีเซลทั้ง 4 เครื่องยนต์ เมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงแต่ละชนิด

ตารางที่ 2.9 สภาวะของการทดสอบการสึกหรอของเครื่องยนต์ดีเซล

การทดสอบ	ระยะเวลา	รายละเอียด	สภาวะที่กำหนด			
การสึกหรอของเครื่องยนต์ดีเซล	300 hr	ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ (rpm)	3,000 ± 50			
		ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิง (ml)	100			
		ลำดับของเครื่องยนต์ที่	1	2	3	4
		น้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ทดสอบ	D	DEE	DEBi	DEB
		ภาระงาน (%)	60			
		อุณหภูมิห้องทดสอบ (°C)	32 ± 3			

(ค) บันทึกอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง และวัตกำลังไฟฟ้าที่ให้ออกมาทุกๆ ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงคงที่ 900 ml โดยทำการทดสอบจนครบระยะเวลา 300 ชั่วโมง และมีการเปลี่ยนน้ำมันเครื่องยนต์ตามที่อ้างอิงจากคู่มือของเครื่องยนต์ MITSUKI รุ่น MIT-186FG

(ง) หลังจากเสร็จสิ้นระยะเวลาของการทดสอบทั้งหมด 500 hr ผู้วิจัยถอดชิ้นส่วนต่างๆ ของเครื่องยนต์อีกครั้ง เพื่อตรวจสอบการสึกหรอของชิ้นส่วนต่างๆ ได้แก่ การตรวจสอบระยะห่างของปากแหวน ช่องว่างระหว่างแหวนกับร่องแหวนของลูกสูบ และการสึกหรอของกระบอกสูบของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันทั้งสามชนิดเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล โดยอ้างอิงจากทฤษฎีการทดสอบการสึกหรอเครื่องยนต์ของ Martyr และ Plint (2007)³¹ และงานวิจัยของ Sutheerasak (2017)⁴³

2.7 วิธีการวัดการสึกหรอของเครื่องยนต์

การวัดการสึกหรอของเครื่องยนต์นั้น การวิจัยนี้ได้ศึกษาจากงานวิจัยของ Sutheerasak (2017)⁴³ และ เอกพันธ์ อินทร์ปิ่น และคณะ (2557)⁸ โดยมีการวัดระยะหรือขนาดของส่วนประกอบหลักของเครื่องยนต์ ได้แก่ ระยะห่างปากแหวน ช่องว่างระหว่างแหวนกับร่องแหวนลูกสูบ และเส้นผ่านศูนย์กลางลูกสูบและปลอกสูบ โดยใช้เครื่องมือวัดต่างๆ ตามที่กล่าวมาในหัวข้อ 2.6 ซึ่งเครื่องมือวัดเหล่านี้ เป็นเครื่องมือเพื่อบ่งชี้การบอกระยะหรือขนาดในการกำหนดตำแหน่ง และการตรวจสอบระยะหรือขนาดของความกว้าง ความยาว และความสูงหรือความหนาของวัสดุชิ้นงาน ซึ่งทุกจุดที่ทำการวัดนั้น จะนำมาเปรียบเทียบกับค่าที่วัดเริ่มต้น ก่อนที่จะเริ่มการทดสอบต่างๆ ว่ามีการสึกหรอมากน้อยเพียงใด ขณะที่การวิจัยนี้ ทำการวัดค่าเริ่มต้นก่อนการทดสอบและค่าสิ้นสุดภายหลังระยะเวลาของการทดสอบทั้งหมดครบ 500 hr ของส่วนประกอบหลักของเครื่องยนต์ โดยมีการวัดค่าต่างๆ และใช้เครื่องมือวัดต่างๆ ดังนี้

2.7.1 การวัดระยะห่างปากแหวน โดยใช้ฟิลเลอร์เกจ มีขั้นตอนดังนี้

(ก) หลังจากถอดฝาสูบ ทำการถอดเพลลาข้อเหวี่ยง ชุดลูกสูบ และแหวนลูกสูบออกจากเสื้อสูบของเครื่องยนต์

(ข) ทำความสะอาดเสื้อสูบ แหวนลูกสูบ และลูกสูบ และนำแหวนสูบใส่เข้าไปในปลอกสูบ ใช้หัวลูกสูบดันแหวนลูกสูบเข้าปลอกสูบ ให้ห่างจากกระบอกสูบด้านบน 10 มิลลิเมตรและการใช้ฟิลเลอร์เกจสอดเข้าไปเพื่อวัดระยะห่างปากแหวนจากเครื่องยนต์ก่อนทำการทดสอบต่างๆ ดังแสดงในภาพที่ 2.27

2.7.2 การวัดช่องว่างระหว่างแหวนกับร่องแหวนลูกสูบ โดยใช้ฟิลเลอร์เกจ มีขั้นตอนดังนี้

(ก) ถอดแหวนลูกสูบโดยใช้คีมถ่างแหวนออกจากลูกสูบทุกตัวและทำความสะอาด

(ข) ใส่แหวนลูกสูบเข้าไปในร่องของลูกสูบดังแสดงในภาพที่ 2.28 และใช้ฟิลเลอร์เกจวัดระยะห่างร่องแหวนจากเครื่องยนต์ก่อนทำการทดสอบต่างๆ



ภาพที่ 2.27 การใช้ฟิลเลอร์เกจสอดเข้าไปเพื่อวัดระยะห่างปากแหวน

2.7.3 การวัดเส้นผ่านศูนย์กลางปลอกสูบ โดยใช้เวอร์เนียคาลิเปอร์ ไมโครมิเตอร์คาลิเปอร์ บอร์เกจ และเครื่อง Coordinate measuring machine

(ก) ทำความสะอาดกระบอกสูบด้วยแอลกอฮอล์

(ข) ใช้เวอร์เนียคาลิเปอร์วัดเส้นผ่านศูนย์กลางปลอกสูบ เพื่อนำไปตั้งระยะการวัดกับไมโครมิเตอร์คาลิเปอร์ และกำหนดค่าอุปกรณ์ตั้งระยะของบอร์เกจ

(ค) นำบอร์เกจใส่เข้าไปในกระบอกสูบดังแสดงในภาพที่ 2.29 ซึ่งแสดงการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางปลอกสูบจากเครื่องยนต์ที่ใช้ทดสอบโดยใช้บอร์เกจ โดยกำหนดแนววัดระยะ 3 จุด และจุดของการวัด 3 ระดับรวมทั้งหมด 6 จุด ดังแสดงในภาพที่ 2.30 ซึ่งแสดงวิธีการวัดค่าทั้งหมด 6 จุด

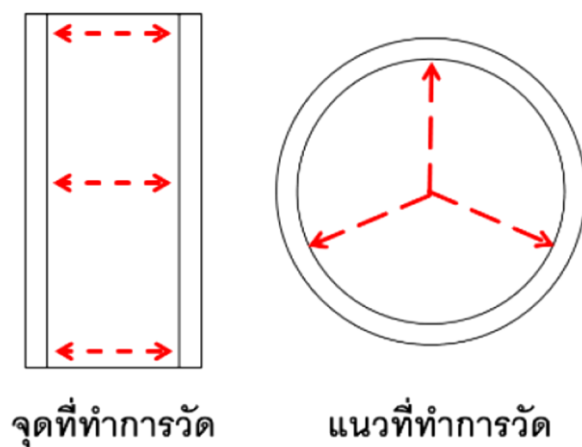
(ง) ทำการสอบเทียบการวัดค่าจากการใช้บอร์เกจ โดยเทียบกับการวัดระยะจากเครื่อง Coordinate measuring machine ซึ่งวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของปลอกสูบตามจุดต่างๆ ทั้งหมด 6 จุด ดังแสดงในภาพที่ 2.31 ซึ่งแสดงใช้เครื่อง Coordinate measuring machine วัดเส้นผ่านศูนย์กลางของปลอกสูบตามจุดต่างๆ จากเครื่องยนต์ที่ใช้ทดสอบ



ภาพที่ 2.28 การวัดช่องว่างระหว่างแหวนกับร่องแหวนลูกสูบโดยใช้ฟีลเลอร์เกจ



ภาพที่ 2.29 การวัดเส้นผ่านศูนย์กลางปลอกสูบจากเครื่องยนต์ที่ใช้ทดสอบโดยใช้เบอร์เกจ



ภาพที่ 2.30 การกำหนดจุดวัดเส้นผ่านศูนย์กลางปลอกสูบจากเครื่องยนต์ที่ใช้ทดสอบ



ภาพที่ 2.31 การวัดเส้นผ่านศูนย์กลางปลอกสูบโดยใช้เครื่อง Coordinate measuring machine

บทที่ 3

ผลการวิจัย

ผลลัพธ์ต่างๆ จากการตรวจสอบการฉีดและการสเปรย์น้ำมันเชื้อเพลิง การทดสอบสมรรถนะและการปล่อยสารมลพิษต่างๆ ของเครื่องยนต์ และการตรวจสอบการสึกหรอของเครื่องยนต์ดีเซลเมื่อน้ำมันดีเซลผสมกับแวนไฮดรอสเอทานอลหรือเอทานอลปราศจากน้ำและสารอีมีลซิไฟเออร์ต่างๆ (ได้แก่ เอทิลอะซิเตท เอ็น-บิวทานอล และไบโอดีเซล) โดยเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล จากการใช้งานในระยะเวลาต่างๆ นั้น มีผลการวิจัยดังต่อไปนี้

3.1 ผลการฉีดและการสเปรย์น้ำมันเชื้อเพลิง

การทดสอบการฉีดและการสเปรย์น้ำมันเชื้อเพลิง เมื่อน้ำมันดีเซล (D) น้ำมันดีเซลผสมกับแวนไฮดรอสเอทานอลและเอทิลอะซิเตท (DEE) น้ำมันดีเซลผสมกับแวนไฮดรอสเอทานอลและเอ็น-บิวทานอล (DEB) และน้ำมันดีเซลผสมกับแวนไฮดรอสเอทานอลและไบโอดีเซล (DEBi) เป็นน้ำมันเชื้อเพลิง โดยทดสอบกับชุดจำลองการฉีดและการสเปรย์น้ำมันเชื้อเพลิงของระบบการฉีดเชื้อเพลิงแบบรางร่วมดังแสดงในภาพที่ 2.9 และบันทึกข้อมูลระยะเวลา 2 เดือน มีผลลัพธ์ต่างๆ ของการทดสอบดังนี้

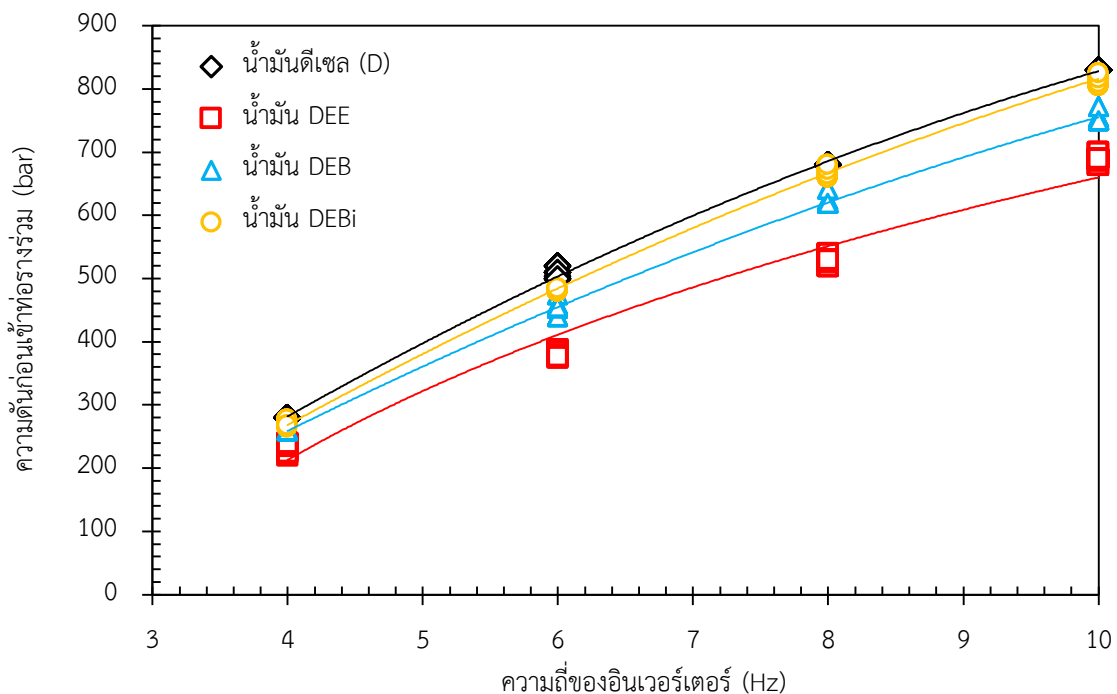
3.1.1 ผลของคุณลักษณะต่างๆ ของการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง

คุณลักษณะต่างๆ ของการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง (Fuel injection characteristics) นั้น เป็นคุณลักษณะเบื้องต้นที่ใช้ในการอธิบายการเปลี่ยนแปลงของรูปร่างสเปรย์ของน้ำมันเชื้อเพลิง โดยวิเคราะห์จากความดันของน้ำมันเชื้อเพลิงต่างๆ ภายในท่อส่งน้ำมันเชื้อเพลิงของระบบการฉีดเชื้อเพลิงแบบรางร่วม (ได้แก่ ความดันน้ำมันเชื้อเพลิงก่อนเข้าท่อรางร่วม ความดันน้ำมันเชื้อเพลิงภายในท่อรางร่วม และความดันน้ำมันเชื้อเพลิงภายในท่อน้ำมันแรงดันสูง) ความดันของการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง จังหวะของการฉีด และอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง สำหรับการทดสอบนี้ ทำการปรับความถี่ของอินเวอร์เตอร์คงที่จาก 4 ถึง 10 Hz และควบคุมความถี่ของการฉีดคงที่ 15 ± 3 ครั้งต่อวินาที ณ ภาระงานของปั๊มแรงดันสูงร้อยละ 50 โดยใช้ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงในการทดสอบคงที่ 10 ml หลังจากนั้น ทำการบันทึกค่าความดันที่จุดต่างๆ จากเกจความดันเซนเซอร์วัดค่าความดันของน้ำมันเชื้อเพลิงจากกล่องบันทึกสัญญาณ และแรงเคลื่อนไฟฟ้าของจังหวะการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงจากออสซิลโลสโคป ต่อมา ทำการจับเวลาในการใช้ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงที่ 10 ml และ 1 l จากกระบอกเชื้อเพลิง เพื่อนำไปคำนวณหาอัตราการใช้เชื้อเพลิง ผลลัพธ์ต่างๆ ที่ให้ออกมามีดังนี้

1) ความดันก่อนเข้าท่อรางร่วม

ความดันก่อนเข้าท่อรางร่วม (Input common-rail pressure, $p_{cr,i}$) หรือความดันน้ำมันเชื้อเพลิงก่อนเข้าท่อรางร่วม เป็นความดันของน้ำมันเชื้อเพลิงจากปั๊มแรงดันสูง ที่ส่งเข้าไปในท่อรางร่วมตามภาระงานของปั๊มแรงดันสูง โดยความดันนี้ ถูกบันทึกจากเกจความดันที่ติดตั้งระหว่างท่อน้ำมันเชื้อเพลิง

ตรงทางออกของปั๊มแรงดันสูงและท่อน้ำมันเชื้อเพลิงก่อนเข้าท่อรางรวมดังแสดงในภาพที่ 2.13 ขณะที่ผลลัพธ์ของความดันก่อนเข้าท่อรางร่วมจากการใช้น้ำมัน D น้ำมัน DEE น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi ถูกแสดงในภาพที่ 3.1 ซึ่งแสดงความดันก่อนเข้าท่อรางร่วมที่ความถี่ของอินเวอร์เตอร์คงที่จาก 4 ถึง 10 Hz โดยใช้สภาวะของการทดสอบการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงดังแสดงในตารางที่ 2.4 ผลลัพธ์ที่ได้พบว่า ความดันก่อนเข้าท่อรางร่วมเมื่อใช้น้ำมันดีเซลผสมกับแอนไฮดริสเอทานอลและสารอีมีลซิไฟเออร์ต่างๆ ต่ำกว่าน้ำมันดีเซล ขณะที่ค่าเฉลี่ยและค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของความดันก่อนเข้าท่อรางร่วมที่ความถี่ต่างๆ โดยอยู่ในช่วงความคลาดเคลื่อนระหว่าง ± 1.03 ถึง ± 11.04 bar ดังแสดงในตารางที่ 3.1 ซึ่งแสดงข้อมูลของความดันก่อนเข้าท่อรางร่วมโดยเฉลี่ยและค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเฉลี่ยจากการใช้น้ำมัน D น้ำมัน DEE น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi ที่ความถี่ของอินเวอร์เตอร์คงที่จาก 4 ถึง 10 Hz



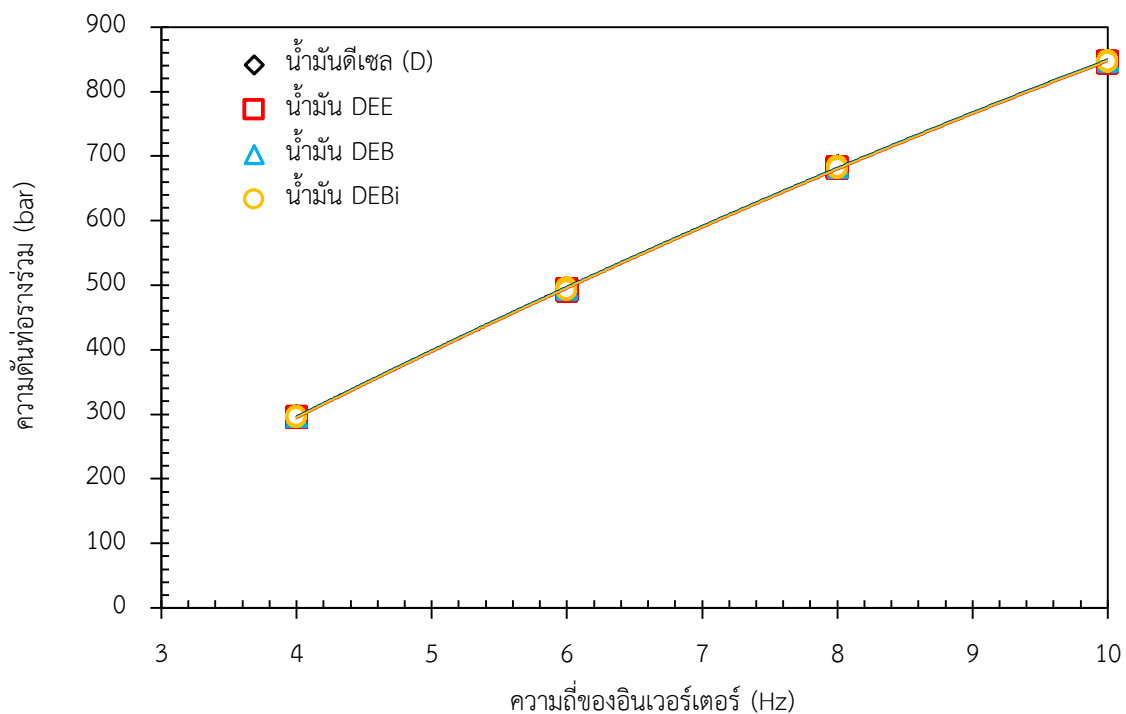
ภาพที่ 3.1 ความดันก่อนเข้าท่อรางร่วมที่ความถี่ต่างๆ

ตารางที่ 3.1 ค่าเฉลี่ยของความดันก่อนเข้าท่อรางร่วมและค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ความถี่ต่างๆ

ความถี่ (Hz)	ความดันก่อนเข้าท่อรางร่วมของน้ำมัน (bar)			
	D	DEE	DEB	DEBi
4	280.35±1.117	235.23±4.848	260.20±0.777	269.47±3.422
6	509.07±7.772	380.93±3.251	451.43±11.043	481.57±1.701
8	680.22±0.805	529.70±5.893	624.13±7.247	670.03±7.362
10	830.42±1.030	689.70±6.323	754.82±7.858	815.62±6.790

2) ความดันท่อรางร่วม

ความดันท่อรางร่วม (Common-rail pressure, p_{cr}) หรือความดันน้ำมันเชื้อเพลิงภายในท่อรางร่วม เป็นความดันของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ได้รับมาจากปั๊มแรงดันสูงตามภาระงานของปั๊มดังกล่าว โดยน้ำมันเชื้อเพลิงถูกส่งเข้าไปในท่อรางร่วม (Common-rail tube) เมื่อท่อรางร่วมได้รับความดันของน้ำมันเชื้อเพลิงที่เหมาะสม และ/หรือ มีความดันของการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงที่เหมาะสม วาล์วส่งน้ำมันเชื้อเพลิงภายในท่อรางร่วม จะถูกเปิดเพื่อส่งน้ำมันเชื้อเพลิงต่อไปยังท่อน้ำมันแรงดันสูงและหัวฉีด เพื่อฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงเข้าไปในห้องจำลองการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง โดยความดันท่อรางร่วมนี้ ถูกบันทึกจากเซนเซอร์ตรวจสัญญาณของแรงเคลื่อนไฟฟ้าจากเซนเซอร์ความดันน้ำมันเชื้อเพลิงบนท่อรางร่วม และต่อมา มีการแปลงสัญญาณของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเป็นความดันท่อรางร่วม ซึ่งถูกบันทึกในกล่องบันทึกสัญญาณความดันท่อรางร่วม ดังแสดงในภาพที่ 2.12 (ก) ขณะที่ผลลัพธ์ของความดันท่อรางร่วมจากการใช้น้ำมัน D น้ำมัน DEE น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi ถูกแสดงในรูปที่ 3.2 ซึ่งแสดงความดันท่อรางร่วมที่ความถี่ของอินเวอร์เตอร์คงที่จาก 4 ถึง 10 Hz โดยใช้สภาวะของการทดสอบการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงดังแสดงในตารางที่ 2.4 พบว่า ความดันท่อรางร่วมจากการใช้น้ำมันดีเซลผสมกับแอนไฮดริสเอทานอลและสารอิมัลซิไฟเออร์ต่างๆ ใกล้เคียงกับความดันท่อรางร่วมจากการใช้น้ำมันดีเซล ขณะที่ค่าเฉลี่ยและค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของความดันท่อรางร่วมที่ความถี่ต่างๆ อยู่ในช่วงความคลาดเคลื่อนระหว่าง ± 0.59 ถึง ± 1.22 bar ดังแสดงในตารางที่ 3.2 ซึ่งแสดงข้อมูลของความดันท่อรางร่วมโดยเฉลี่ยและค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเฉลี่ยจากการใช้น้ำมัน D น้ำมัน DEE น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi ที่ความถี่ของอินเวอร์เตอร์คงที่จาก 4 ถึง 10 Hz



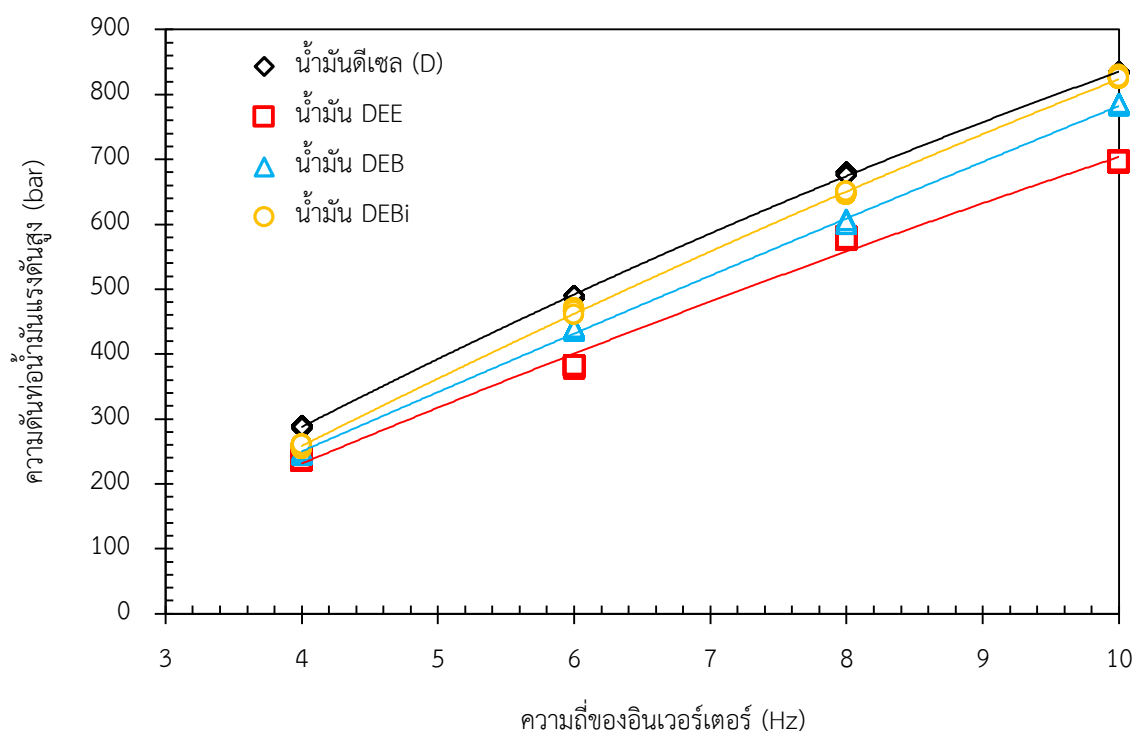
ภาพที่ 3.2 ความดันท่อรางร่วมที่ความถี่ต่างๆ

ตารางที่ 3.2 ค่าเฉลี่ยของความดันท่อรวมและค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ความถี่ต่างๆ

ความถี่ (Hz)	ความดันท่อรวม (bar)			
	D	DEE	DEB	DEBi
4	297.78±0.585	297.76±0.583	297.77±0.583	297.77±0.584
6	495.07±1.784	495.05±1.782	495.06±1.783	495.07±1.783
8	684.83±1.244	684.81±1.241	684.82±1.242	684.82±1.243
10	848.83±1.224	848.82±1.223	848.82±1.223	848.82±1.222

3) ความดันท่อน้ำมันแรงดันสูง

ความดันท่อน้ำมันแรงดันสูง (Fuel line pressure of high pressure tube, p) หรือความดันน้ำมันเชื้อเพลิงภายในท่อแรงดันสูง เป็นความดันที่เกิดขึ้นหลังจากเซนเซอร์ความดันน้ำมันเชื้อเพลิงบนท่อรวมส่งสัญญาณให้วาล์วส่งน้ำมันเชื้อเพลิงภายในท่อรวมเปิด เพื่อส่งน้ำมันเชื้อเพลิงต่อไปยังหัวฉีดผ่านท่อน้ำมันแรงดันสูง ซึ่งเป็นจุดเชื่อมต่อระหว่างท่อรวมกับหัวฉีด โดยความดันนี้ ถูกวัดจากเกจความดันของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ติดตั้งบนท่อส่งน้ำมันแรงดันสูงดังแสดงในภาพที่ 2.13 ขณะที่ผลของความดันท่อน้ำมันแรงดันสูงจากการใช้น้ำมัน D น้ำมัน DEE น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi ถูกแสดงในภาพที่ 3.3 ซึ่งแสดงความดันท่อน้ำมันแรงดันสูงที่ความถี่ของอินเวอร์เตอร์คงที่จาก 4 ถึง 10 Hz



ภาพที่ 3.3 ความดันท่อน้ำมันแรงดันสูงที่ความถี่ต่างๆ

ผลลัพธ์ที่ได้พบว่า ความดันท่อน้ำมันแรงดันสูง เมื่อใช้น้ำมันดีเซลผสมกับแอนไฮไดรส์เอทานอลและสารอีมีลซิไฟเออร์ต่างๆ ต่ำกว่าน้ำมันดีเซล ขณะที่ค่าเฉลี่ยและค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของความดันท่อน้ำมันแรงดันสูงที่ความถี่ต่างๆ อยู่ในช่วงความคลาดเคลื่อนระหว่าง ± 1.22 ถึง ± 3.35 bar ดังแสดงในตารางที่ 3.3 ซึ่งแสดงข้อมูลความดันท่อน้ำมันแรงดันสูงโดยเฉลี่ยและค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเฉลี่ยจากการใช้น้ำมัน D, DEE, DEB และ DEBi ที่ความถี่ของอินเวอร์เตอร์คงที่จาก 4 ถึง 10 Hz

ตารางที่ 3.3 ค่าเฉลี่ยของความดันท่อน้ำมันแรงดันสูงและค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ความถี่ต่างๆ

ความถี่ (Hz)	ความดันท่อน้ำมันแรงดันสูง (bar)			
	D	DEE	DEB	DEBi
4	288.80 \pm 1.735	237.97 \pm 2.170	247.73 \pm 2.667	257.40 \pm 2.871
6	488.33 \pm 2.377	380.37 \pm 1.461	438.90 \pm 1.829	465.20 \pm 3.349
8	677.87 \pm 2.143	578.27 \pm 1.982	601.63 \pm 2.490	647.13 \pm 2.143
10	833.83 \pm 1.224	696.93 \pm 1.247	784.80 \pm 1.260	824.67 \pm 1.434

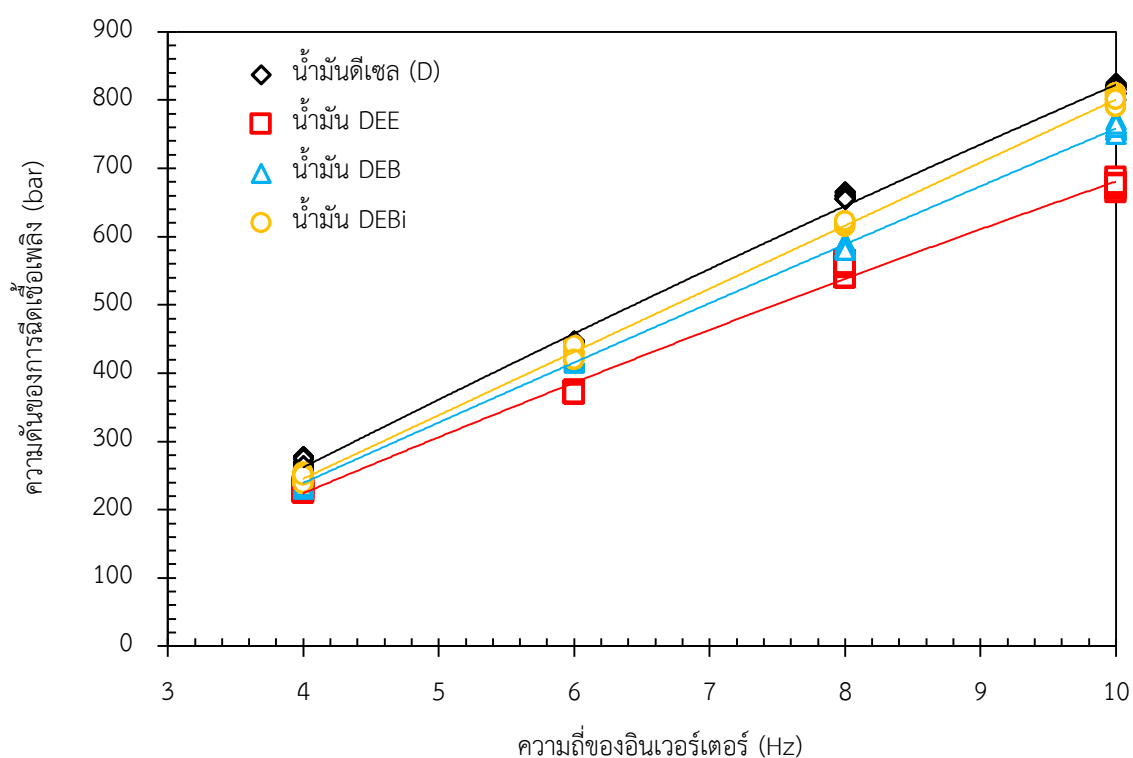
4) ความดันของการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง

ความดันของการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง (Fuel injection pressure, p_{inj}) ในการวิจัยนี้ ถูกตรวจสอบจากความดันของน้ำมันเชื้อเพลิงที่อยู่ตรงทางเข้าของหัวฉีด โดยความดันของการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง ถูกบันทึกจากกล่องบันทึกสัญญาณดังแสดงในภาพที่ 2.12 (ก) และ เกจความดันที่ติดตั้งระหว่างท่อน้ำมันเชื้อเพลิงแรงดันสูงและท่อน้ำมันเชื้อเพลิงทางเข้าของหัวฉีดดังแสดงในภาพที่ 2.13 ขณะที่ผลของความดันของการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงจากการใช้น้ำมัน D น้ำมัน DEE น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi ถูกแสดงในภาพที่ 3.4 ซึ่งแสดงความดันของการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงที่ความถี่ของอินเวอร์เตอร์คงที่จาก 4 ถึง 10 Hz ผลลัพธ์ที่ได้พบว่า ความดันของการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง เมื่อใช้น้ำมันดีเซลผสมกับแอนไฮไดรส์เอทานอลและสารอีมีลซิไฟเออร์ต่างๆ ต่ำกว่าน้ำมันดีเซล ขณะที่ค่าเฉลี่ยและค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของความดันของการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงที่ความถี่ต่างๆ อยู่ในช่วงความคลาดเคลื่อนระหว่าง ± 1.63 ถึง ± 8.81 bar ดังแสดงในตารางที่ 3.4 ซึ่งแสดงข้อมูลของความดันของการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงโดยเฉลี่ยและค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเฉลี่ยจากการใช้น้ำมัน D น้ำมัน DEE น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi ที่ความถี่ของอินเวอร์เตอร์คงที่จาก 4 ถึง 10 Hz

5) จังหวะการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง

จังหวะการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงในการวิจัยนี้ ถูกตรวจสอบจากจังหวะการเปิด-ปิดของเข็มหัวฉีด ซึ่งถูกควบคุมโดยการทำงานของโซลินอยด์ (Solenoid) ที่อยู่ด้านบนของหัวฉีด โดยรับสัญญาณจากเครื่องควบคุมการทำงานของระบบฉีดเชื้อเพลิงแบบรางร่วมดังแสดงในภาพที่ 2.10 (ข) และกล่องบันทึกสัญญาณดังแสดงในภาพที่ 2.12 (ก) โดยทั้งสองเครื่อง ทำหน้าที่รับ-ส่งแรงเคลื่อนไฟฟ้าให้โซลินอยด์ ที่อยู่ด้านบนของหัวฉีด เพื่อทำการเปิด-ปิดของเข็มหัวฉีด ตามความดันของน้ำมันเชื้อเพลิงที่มาจากท่อแรงดันสูง ดังแสดงในภาพที่ 2.13 โดยเริ่มต้นจากน้ำมันเชื้อเพลิงที่มาจากท่อน้ำมันแรงดันสูง ถูกส่งเข้าไปในเรือนหัวฉีด เมื่อ

น้ำมันเชื้อเพลิงมีความดันสูงมากพอที่จะเอาชนะแรงกดของสปริงที่อยู่บนเข็มหัวฉีด โซลินอยด์ที่อยู่ด้านบนของหัวฉีด จะทำงานโดยส่งสัญญาณมาที่เครื่องควบคุมดังกล่าว ต่อมา กล่องประมวลผลซึ่งอยู่ภายในเครื่องควบคุมดังกล่าว จะประมวลผลสัญญาณจากโซลินอยด์ และส่งแรงเคลื่อนไฟฟ้าไปกระตุ้นคอยล์ไฟฟ้า (Electrical coil) ให้เกิดการเหนี่ยวนำสปริงบนเข็มหัวฉีดและมีการยกตัวขึ้น ซึ่งแสดงว่า มีการเปิดของเข็มหัวฉีด ทำให้มีการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงเข้าไปในห้องจ่ายลง เมื่อน้ำมันเชื้อเพลิงถูกฉีดออกไป ความดันของน้ำมันภายในเรือนหัวฉีดและท่อแรงดันสูงลดลง และเซนเซอร์ความดันของน้ำมันเชื้อเพลิงได้รับสัญญาณการลดลงของความดันน้ำมันเชื้อเพลิง กล่องประมวลผล จะหยุดการส่งแรงเคลื่อนไฟฟ้า ทำให้คอยล์ไฟฟ้าหยุดการเหนี่ยวนำ ส่งผลให้สปริงกดเข็มหัวฉีดลง เพื่อหยุดการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง ซึ่งแสดงว่า มีการปิดของเข็มหัวฉีด

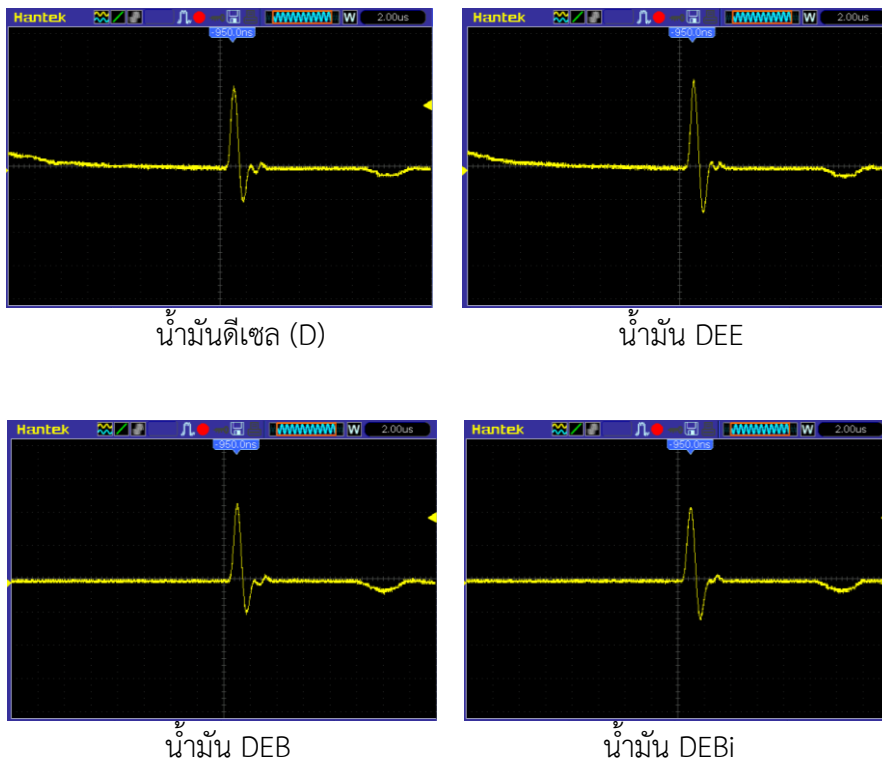


ภาพที่ 3.4 ความดันของการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงที่ความเร็วต่างๆ

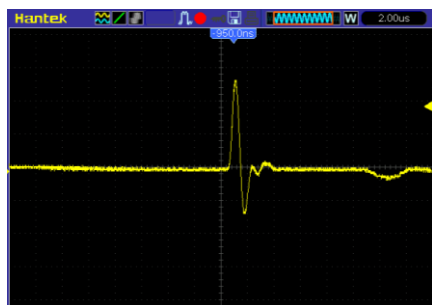
ตารางที่ 3.4 ค่าเฉลี่ยของความดันของการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงและค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ความเร็วต่างๆ

ความเร็ว (Hz)	ความดันของการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง (bar)			
	D	DEE	DEB	DEBi
4	266.67±6.305	228.93±2.945	237.50±3.842	246.33±4.667
6	444.27±2.162	371.27±1.625	420.33±3.648	428.87±7.771
8	658.63±3.565	553.03±8.805	583.70±3.233	618.37±2.350
10	817.93±5.374	675.77±4.180	759.83±5.305	799.83±6.825

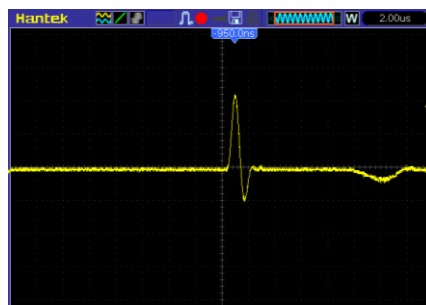
ขณะที่จังหวะการเปิด-ปิดของเข็มหัวฉีดในการวิจัยนี้ ถูกวิเคราะห์จากเครื่อง ออสซิลโลสโคป โดยแสดงผลลัพธ์ออกมาเป็นรูปคลื่นแรงเคลื่อนไฟฟ้าบนแกนเวลา โดยการทดสอบนี้ ทำการ ปรับความถี่ของอินเวอร์เตอร์คงที่จาก 4 ถึง 10 Hz และควบคุมความถี่ของการฉีดคงที่ 15 ± 3 ครั้งต่อวินาที ณ ภาระงานของปั๊มแรงดันสูงร้อยละ 50 ผลลัพธ์ต่างๆ ถูกแสดงในภาพที่ 3.5 ถึง 3.8 ซึ่งแสดงรูปคลื่น แรงเคลื่อนไฟฟ้าบนแกนเวลาที่ช่วงการตอบสนอง ณ ความถี่ของออสซิลโลสโคป (Bandwidth) 100 ± 40 Hz พบว่า จังหวะการเปิด-ปิดของเข็มหัวฉีดเมื่อใช้น้ำมัน D น้ำมัน DEE น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi ที่ความถี่ของ อินเวอร์เตอร์คงที่จาก 4 ถึง 10 Hz ไม่มีการเปลี่ยนแปลง เนื่องจากจังหวะการเปิด-ปิดของเข็มหัวฉีด ถูก ควบคุมโดยการทำงานของโซลินอยด์ที่อยู่ด้านบนของหัวฉีด ผลลัพธ์ที่ตามมา รูปคลื่นแรงเคลื่อนไฟฟ้าบนแกน เวลาจากการใช้การใช้น้ำมัน D น้ำมัน DEE น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi ที่ความถี่ของอินเวอร์เตอร์คงที่จาก 4 ถึง 10 Hz มีรูปร่างเหมือนกัน แต่การวิจัยนี้ ค้นพบว่า ช่วงของแรงเคลื่อนไฟฟ้าจากจุดสูงสุดถึงจุดต่ำสุด (โวลต์ พิค-พิค) ของรูปคลื่นแรงเคลื่อนไฟฟ้าบนแกนเวลาแตกต่างกันดังแสดงในภาพที่ 3.9 ซึ่งแสดงค่าโวลต์ พิค-พิค จากจังหวะการเปิด-ปิดของเข็มหัวฉีด เมื่อทำการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงต่างๆ ที่ความถี่ต่างๆ ผลลัพธ์ที่ได้พบว่า ค่า โวลต์ พิค-พิค เมื่อใช้น้ำมันดีเซลผสมกับแอนไฮดรัสเอทานอลและสารอิมัลซิไฟเออร์ต่างๆ ต่ำกว่าน้ำมันดีเซล ซึ่งแสดงให้เห็นว่า การใช้น้ำมันดีเซลผสมกับแอนไฮดรัสเอทานอลและสารอิมัลซิไฟเออร์ต่างๆ มีจังหวะการ เปิด-ปิดของหัวฉีดเร็วกว่าน้ำมันดีเซล ส่งผลให้จังหวะการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงจากการใช้น้ำมันดีเซลผสมกับแอน ไฮดรัสเอทานอลและสารอิมัลซิไฟเออร์ต่างๆ เร็วกว่าการใช้น้ำมันดีเซล



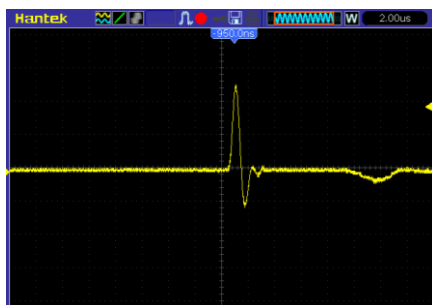
ภาพที่ 3.5 การเปรียบเทียบจังหวะของการฉีดที่ความถี่ 4 Hz



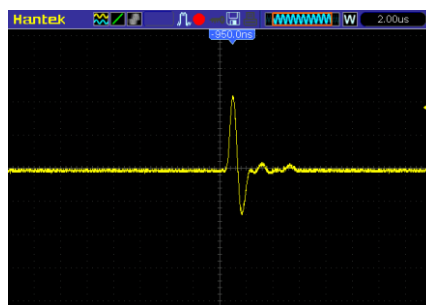
น้ำมันดีเซล (D)



น้ำมัน DEE

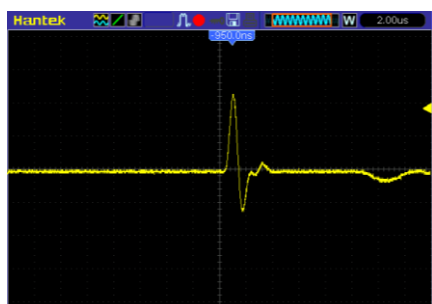


น้ำมัน DEB

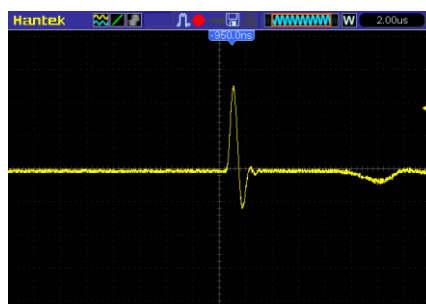


น้ำมัน DEBi

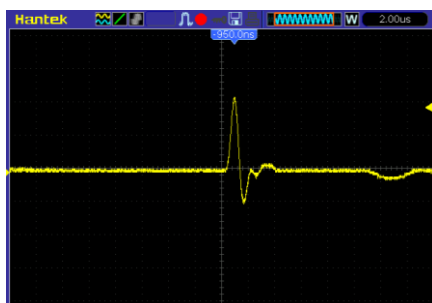
ภาพที่ 3.6 การเปรียบเทียบจังหวะของการฉีดที่ความถี่ 6 Hz



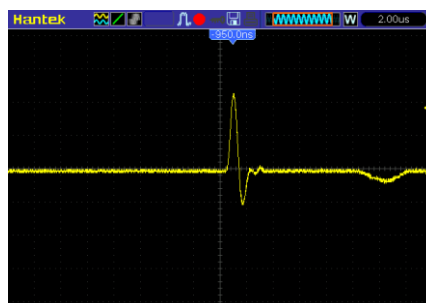
น้ำมันดีเซล (D)



น้ำมัน DEE

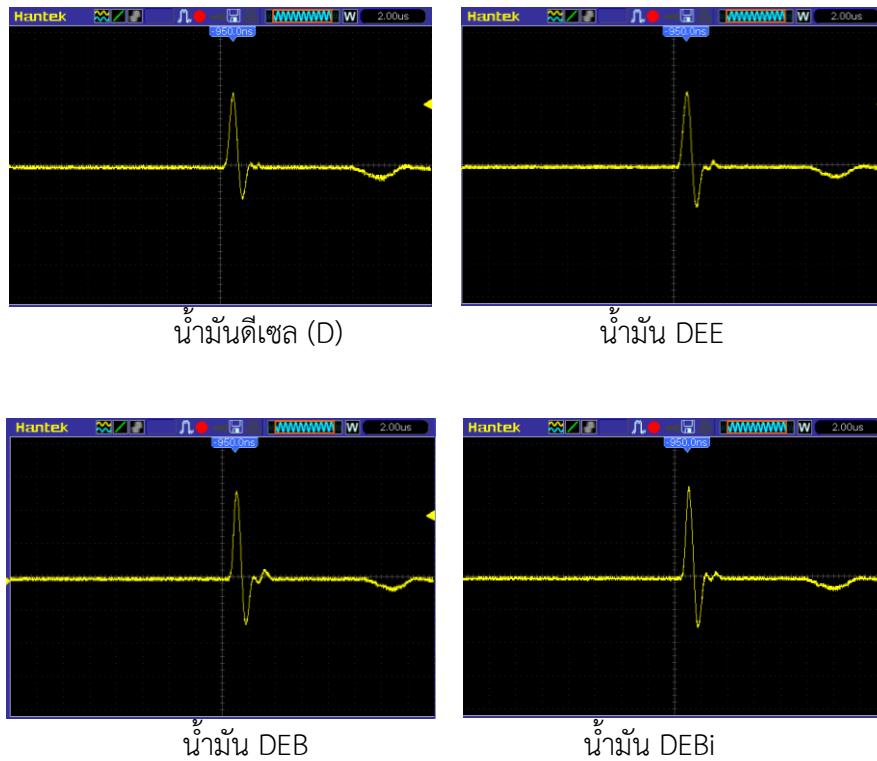


น้ำมัน DEB



น้ำมัน DEBi

ภาพที่ 3.7 การเปรียบเทียบจังหวะของการฉีดที่ความถี่ 8 Hz



ภาพที่ 3.8 การเปรียบเทียบจิงหระของการฉีดที่ความถี่ 10 Hz

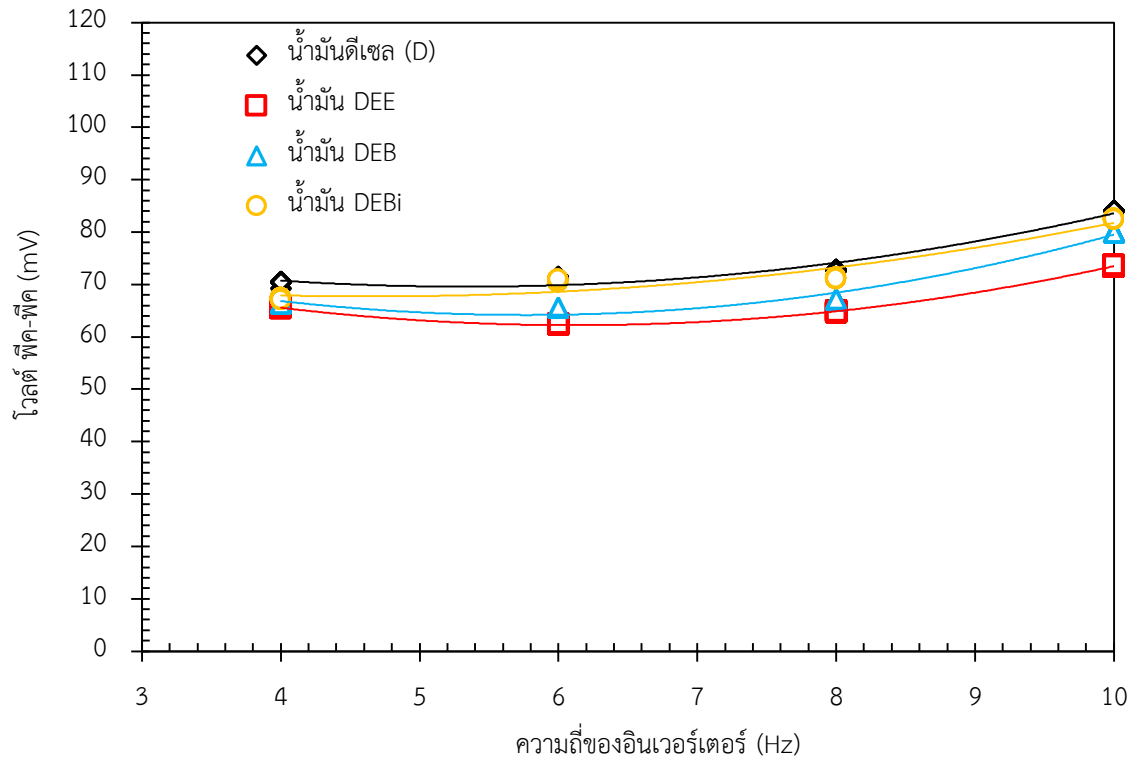
ขณะที่ตารางที่ 3.5 แสดงค่าเฉลี่ยและค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าโวลต์ พีค-พีค ของน้ำมันดีเซลผสมกับแอนไฮดรัสเอทานอลและสารอีมีลซิไฟเออร์ต่างๆ และน้ำมันดีเซล ที่ความถี่ของอินเวอร์เตอร์ต่างๆ โดยอยู่ในช่วงความคลาดเคลื่อนระหว่าง ± 0.45 ถึง ± 1.49 mV

ตารางที่ 3.5 ค่าเฉลี่ยของค่าโวลต์ พีค-พีค และค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ความถี่ต่างๆ

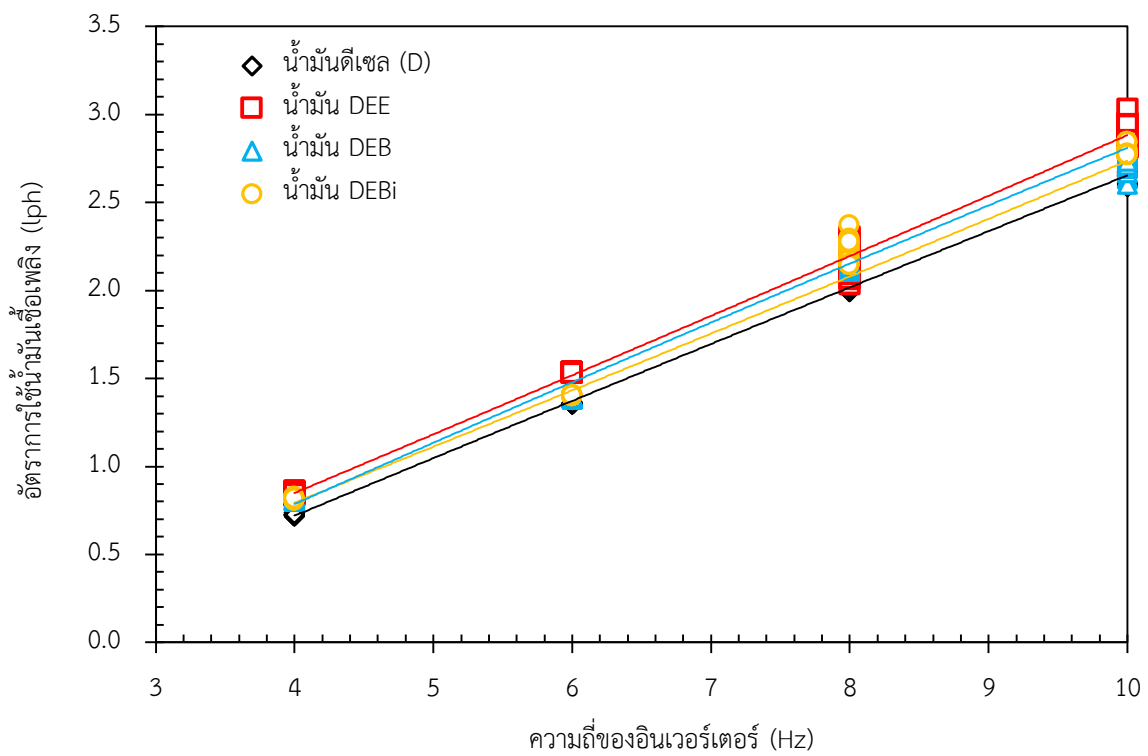
ความถี่ (Hz)	ค่าโวลต์ พีค-พีค (mV)			
	D	DEE	DEB	DEBi
4	70.27±0.448	65.52±0.055	66.40±0.096	67.23±0.148
6	71.26±0.182	62.35±0.050	65.54±0.066	70.69±0.142
8	72.74±1.494	64.77±0.139	67.12±0.136	71.16±0.081
10	84.02±0.081	73.53±0.146	79.95±0.089	82.45±0.085

6) อัตราการใช้ น้ำมันเชื้อเพลิง

อัตราการใช้ น้ำมันเชื้อเพลิง (Fuel consumption rate, FCR) ถูกตรวจสอบจากเครื่องวัดอัตราการไหลดังแสดงในภาพที่ 2.11 (ข) โดยสอบเทียบกับอัตราส่วนของปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิง 10 ml จากกระบอกวัดอัตราการไหลต่อเวลาของการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงดังแสดงในภาพที่ 2.11 (ก)



ภาพที่ 3.9 ค่าโวลต์ พัด-พัด จากการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงที่ความถี่ต่างๆ

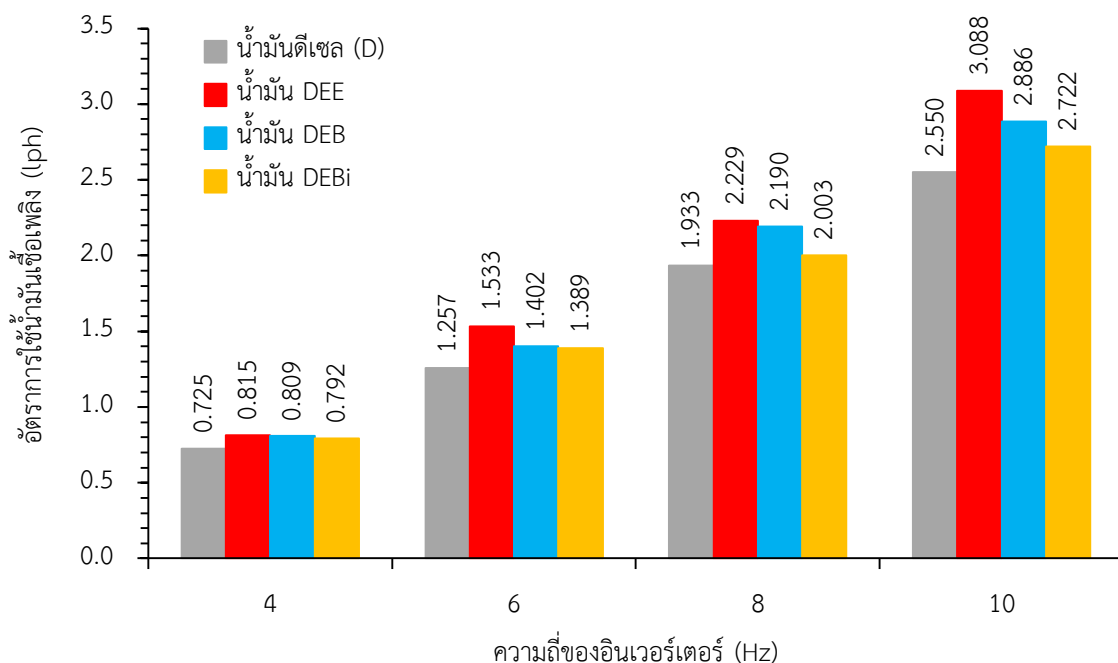


ภาพที่ 3.10 อัตราการใช้ น้ำมันเชื้อเพลิงที่ความถี่ต่างๆ

โดยอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง นำมาตรวจสอบความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเบื้องต้น ก่อนนำน้ำมันเหล่านี้ไปใช้กับเครื่องยนต์ดีเซล ผลลัพธ์ที่ได้ถูกแสดงในภาพที่ 3.10 ซึ่งแสดงอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงที่ความถี่ต่างๆ พบว่า อัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงของน้ำมันดีเซลผสมกับแอนไฮดริสเอทานอลและ สารอีมีลซีไฟเออร์ต่างๆ สูงกว่าน้ำมันดีเซล ซึ่งแสดงให้เห็นว่า การใช้น้ำมันดีเซลผสมกับแอนไฮดริสเอทานอล และสารอีมีลซีไฟเออร์ต่างๆ มีความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงมากกว่าน้ำมันดีเซล ขณะที่ค่าเฉลี่ยและค่าความ เบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงที่ความถี่ต่างๆ อยู่ในช่วงความคลาดเคลื่อนระหว่าง ± 0.0019 ถึง ± 0.0867 lph ดังแสดงในตารางที่ 3.6 ซึ่งแสดงอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงโดยเฉลี่ยและค่าความ เบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเฉลี่ยจากการใช้น้ำมัน D น้ำมัน DEE น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi ที่ความถี่ของ อินเวอร์เตอร์คงที่จาก 4 ถึง 10 Hz

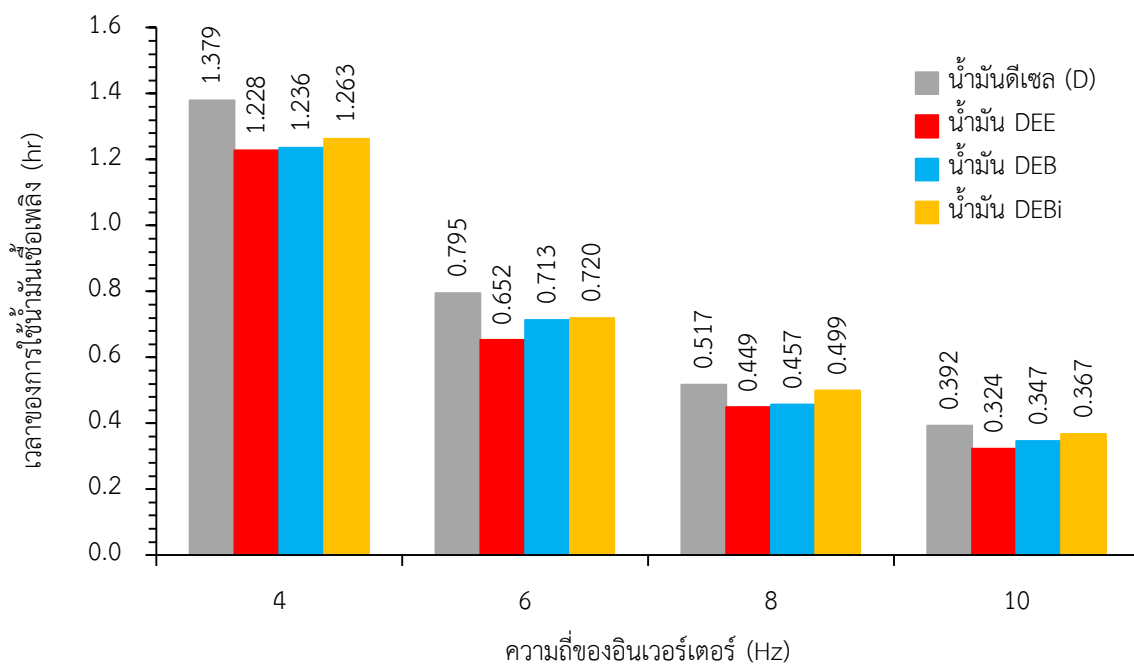
ตารางที่ 3.6 ค่าเฉลี่ยของอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงและค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ความถี่ต่างๆ

ความถี่ (Hz)	อัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง (lph)			
	D	DEE	DEB	DEBi
4	0.725 \pm 0.0058	0.845 \pm 0.0063	0.812 \pm 0.0056	0.809 \pm 0.0062
6	1.357 \pm 0.0015	1.533 \pm 0.0019	1.402 \pm 0.0016	1.389 \pm 0.0323
8	2.033 \pm 0.0323	2.281 \pm 0.0867	2.230 \pm 0.0533	2.123 \pm 0.0109
10	2.650 \pm 0.0290	2.988 \pm 0.0549	2.785 \pm 0.0240	2.723 \pm 0.0499



ภาพที่ 3.11 อัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงที่ความถี่ต่างๆ ที่ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิง 1 l

ในภาพที่ 3.11 แสดงผลการทดสอบอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงที่ความถี่ต่างๆ เมื่อใช้ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิง 1 l พบว่า มีค่าใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยของอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงและค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ความถี่ต่างๆ จากการใช้ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิง 10 ml ซึ่งแสดงให้เห็นว่า การใช้น้ำมันดีเซลผสมกับแอนไฮดริสเอทานอลและสารอีมีลซิไฟเออร์ต่างๆ มีความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงมากกว่าน้ำมันดีเซล ขณะที่เวลาในการใช้ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิง 1 l จากการใช้น้ำมัน D น้ำมัน DEE น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi ที่ความถี่ของอินเวอร์เตอร์คงที่จาก 4 ถึง 10 Hz ถูกแสดงในภาพที่ 3.12 ผลลัพธ์ที่ได้พบว่า การใช้น้ำมันดีเซลผสมกับแอนไฮดริสเอทานอลและสารอีมีลซิไฟเออร์ต่างๆ มีระยะเวลาในการใช้ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงต่ำกว่าน้ำมันดีเซล



ภาพที่ 3.12 ระยะเวลาในการใช้ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิง 1 l ที่ความถี่ต่างๆ

3.1.2 ผลของคุณลักษณะต่างๆ ของการสเปรย์น้ำมันเชื้อเพลิง

คุณลักษณะการสเปรย์น้ำมันเชื้อเพลิงนั้น สามารถนำไปใช้อธิบายปรากฏการณ์ของการเผาไหม้ภายในเครื่องยนต์ดีเซลได้ โดยเริ่มต้นจากน้ำมันเชื้อเพลิงถูกส่งเข้าไปในห้องเผาไหม้ผ่านทางรูหัวฉีด ด้วยความแตกต่างของความดันระหว่างความดันภายในหัวฉีด และความดันภายในกระบอกสูบ เมื่อน้ำมันเชื้อเพลิงผ่านพื้นปลายของหัวฉีดปะทะกับอากาศบริเวณส่วนหน้าของหัวฉีดที่อยู่ภายในกระบอกสูบ จะเกิดปรากฏการณ์ของการแตกเป็นละอองฝอย (Atomization) และมีการแตกกระจายขนาดของหยดของน้ำมันเชื้อเพลิง (Fuel droplet size distribution) ในขนาดหยด (Droplet size) ที่แตกต่างกัน และต่อมา หยดของน้ำมันเชื้อเพลิงต่างๆ (Fuel droplets) เหล่านี้ จะพุ่งเข้าไปในห้องเผาไหม้แบบปั่นป่วน (Turbulent) และมี

การแตกกระจายของหยดน้ำมันเชื้อเพลิงเพิ่มมากขึ้น เมื่อหยดน้ำมันเชื้อเพลิงต่างๆ เหล่านี้ เคลื่อนที่ออกห่างจากหัวฉีด ปะทะกับความหนาแน่นของอากาศที่เพิ่มมากขึ้น จะเกิดปรากฏการณ์ของการระเหยกลายเป็นไอ (Vaporization) จนกระทั่งเกิดรูปกรวยของสเปรย์น้ำมันเชื้อเพลิง ขณะที่การศึกษาคุณลักษณะการสเปรย์น้ำมันเชื้อเพลิงนั้น สามารถวิเคราะห์จากรูปปร่างของสเปรย์เชื้อเพลิง (Fuel spray pattern) มุมสเปรย์ (Spray angle) และความยาวจริงของสเปรย์ (Real spray tip penetration) โดยการวิจัยนี้ ทำการตรวจสอบคุณลักษณะการสเปรย์น้ำมันเชื้อเพลิง จากการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงที่ความถี่ของการฉีดครั้งที่ 6 ± 3 ครั้งต่อวินาที ควบคุมความถี่ของอินเวอร์เตอร์ครั้งที่ 10 Hz และใช้ภาระงานของปั๊มแรงดันสูงร้อยละ 50 โดยมีการอัดอากาศเข้าไปภายในห้องจำลอง 1 ± 0.1 MPa จากการใช้ปั๊มอัดอากาศขนาด 5 hp ขณะที่อากาศถูกอัดผ่านชุดกรองอากาศแบบสองชั้น เพื่อดึงปริมาณไอน้ำและลดความชื้นของอากาศ และสภาวะของการทดสอบการสเปรย์น้ำมันเชื้อเพลิงถูกแสดงในตารางที่ 2.4 ผลลัพธ์ต่างๆ ที่ให้ออกมามีดังนี้

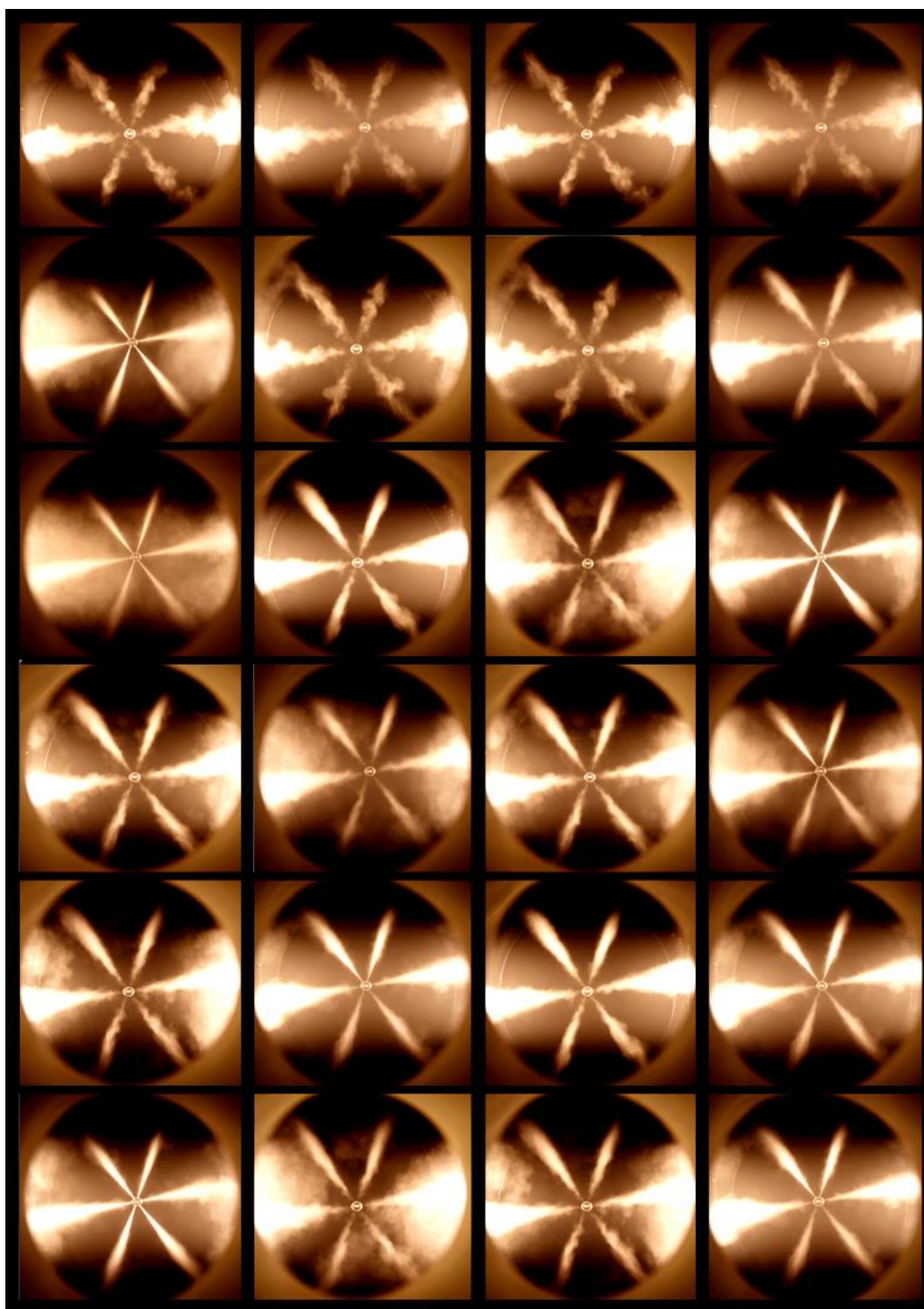
1) รูปปร่างของสเปรย์เชื้อเพลิง

รูปปร่างของสเปรย์เชื้อเพลิง หรือน้ำมันเชื้อเพลิง ถูกแสดงให้เห็นเป็นรูปกรวยสเปรย์ ดังแสดงในภาพที่ 3.13 ซึ่งแสดงภาพรูปปร่างของการสเปรย์น้ำมันดีเซลผสมกับแอนไฮดริสเอทานอลและสารอีมีลซิไฟเออร์ต่างๆ (น้ำมัน DEE น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi) เทียบกับน้ำมันดีเซล (D) จากหัวฉีดแบบ 6 รู ที่ชัดเจนที่สุดจากการทดสอบการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง 60 ครั้ง เมื่อใช้ความถี่ของการฉีดครั้งที่ 6 ครั้งต่อวินาที ความถี่ของอินเวอร์เตอร์ครั้งที่ 10 Hz ภาระงานของปั๊มแรงดันสูงร้อยละ 50 และอัดอากาศเข้าไปภายในห้องจำลองที่ 1 ± 0.1 MPa ผลลัพธ์ที่ได้พบว่า รูปปร่างของการสเปรย์น้ำมันเหล่านี้ เป็นรูปกรวยสเปรย์ที่มีความกว้างกว่ารูปปร่างของการสเปรย์น้ำมันดีเซล (D) ทั้งนี้ เพราะว่าการใช้น้ำมันเหล่านี้ มีการแตกกระจายของหยดน้ำมันเชื้อเพลิงมากกว่า และเกิดการระเหยกลายเป็นไอรวดเร็วกว่าน้ำมันดีเซล ขณะที่ความยาวของสเปรย์น้ำมัน DEE น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi มีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับความยาวของสเปรย์น้ำมัน D เนื่องจาก ความดันของการฉีดน้ำมันดีเซลผสมกับแอนไฮดริสเอทานอลและสารอีมีลซิไฟเออร์ต่างๆ ต่ำกว่าความดันของการฉีดน้ำมันดีเซลตามที่ได้ตรวจสอบในหัวข้อ 3.1.1

2) มุมสเปรย์

มุมสเปรย์ เป็นตัวแปรหนึ่งที่ใช้ในการอธิบายความสามารถของการแตกเป็นละอองฝอย และการระเหยกลายเป็นไอ ซึ่งถูกคำนวณจากสมการที่ 2.1 โดยการใช้อัตราส่วนของภาพสเปรย์เชื้อเพลิงที่ 1:2 และระยะความยาวของสเปรย์ครั้งที่ 50 mm โดยอ้างอิงการคำนวณและการวัดมุมสเปรย์จากงานวิจัยของ Desantes และคณะ (2014)¹⁴ และ Park และคณะ (2012)³³ ผลลัพธ์ที่ได้ถูกแสดงในภาพที่ 3.14 ซึ่งแสดงการวัดมุมสเปรย์ของแต่ละหัวฉีดจากการใช้น้ำมัน D น้ำมัน DEE น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi ที่ความถี่ของการฉีดครั้งที่ 6 ครั้งต่อวินาที โดยทำการทดสอบทั้งหมด 60 ครั้ง พบว่า มุมสเปรย์ของแต่ละหัวฉีดจากการใช้น้ำมันดีเซลผสมกับแอนไฮดริสเอทานอลและสารอีมีลซิไฟเออร์ต่างๆ (น้ำมัน DEE น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi) มีขนาดใหญ่กว่ามุมสเปรย์ของแต่ละหัวฉีดจากการใช้น้ำมันดีเซล (D) ขณะที่ค่าเฉลี่ยและค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของมุมสเปรย์ของแต่ละหัวฉีดอยู่ในช่วงความคลาดเคลื่อนระหว่าง ± 1.68 ถึง ± 4.06 degree ดังแสดงในตารางที่ 3.7 ซึ่งแสดงการวัดมุมสเปรย์ของแต่ละหัวฉีดโดยเฉลี่ยและค่าความเบี่ยงเบน

มาตรฐานของค่าเฉลี่ยจากการใช้น้ำมัน D น้ำมัน DEE น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi ที่ความถี่ของอินเวอร์เตอร์คงที่ 10 Hz ภาระงานของปั๊มแรงดันสูงร้อยละ 50 และอัดอากาศเข้าไปภายในห้องจำลองที่ 1 ± 0.1 MPa



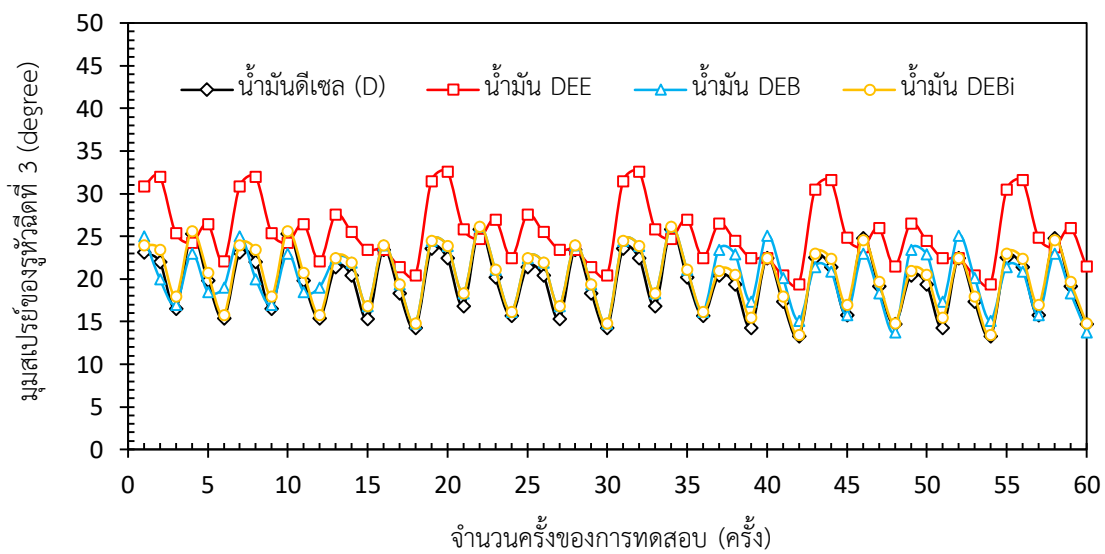
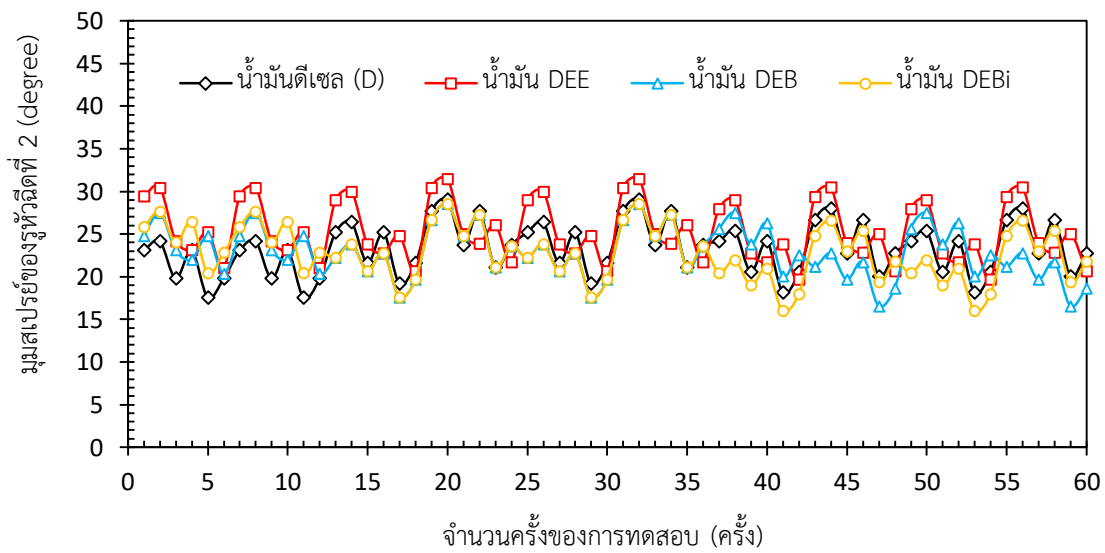
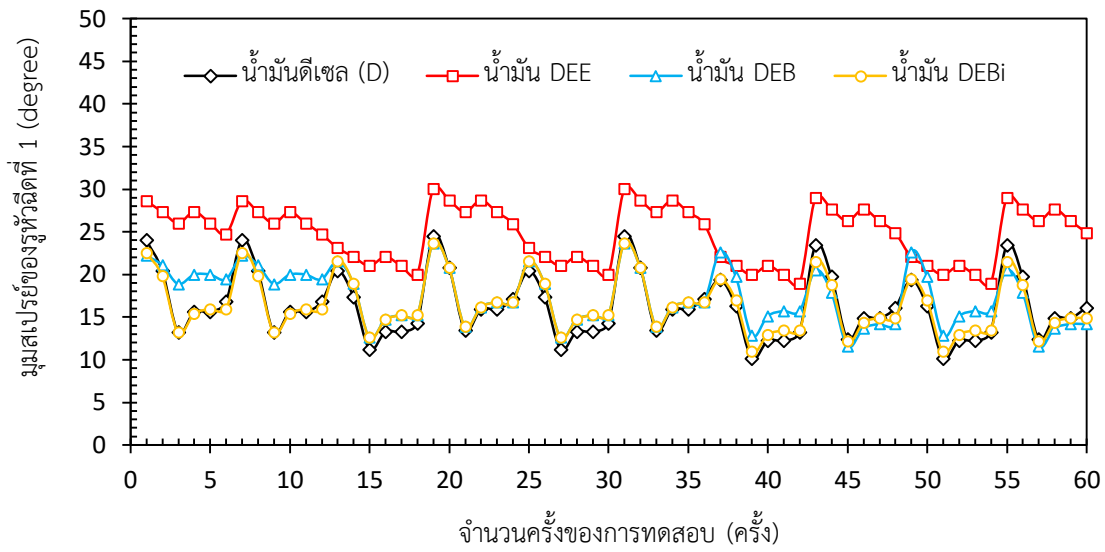
D

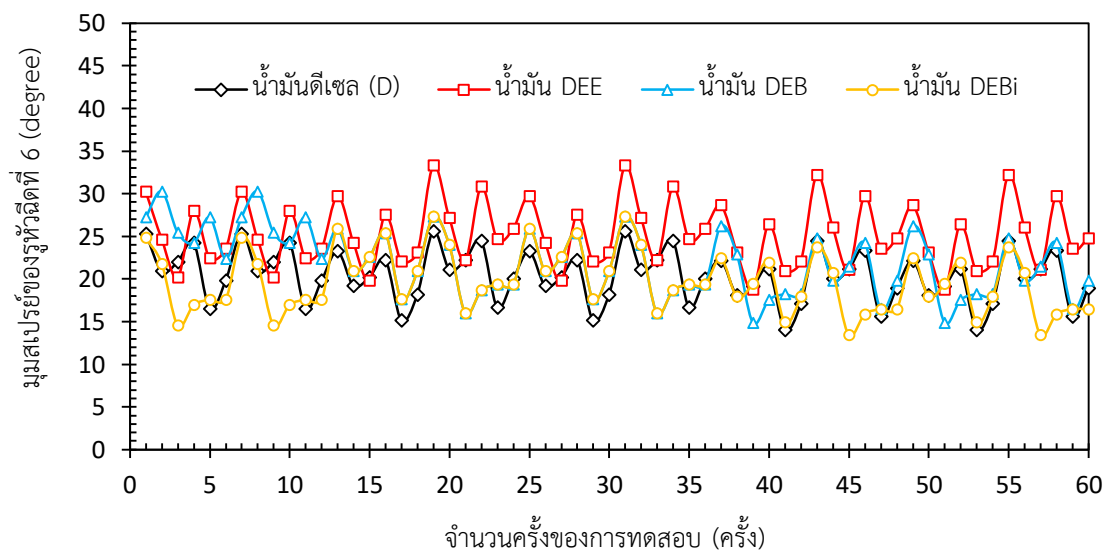
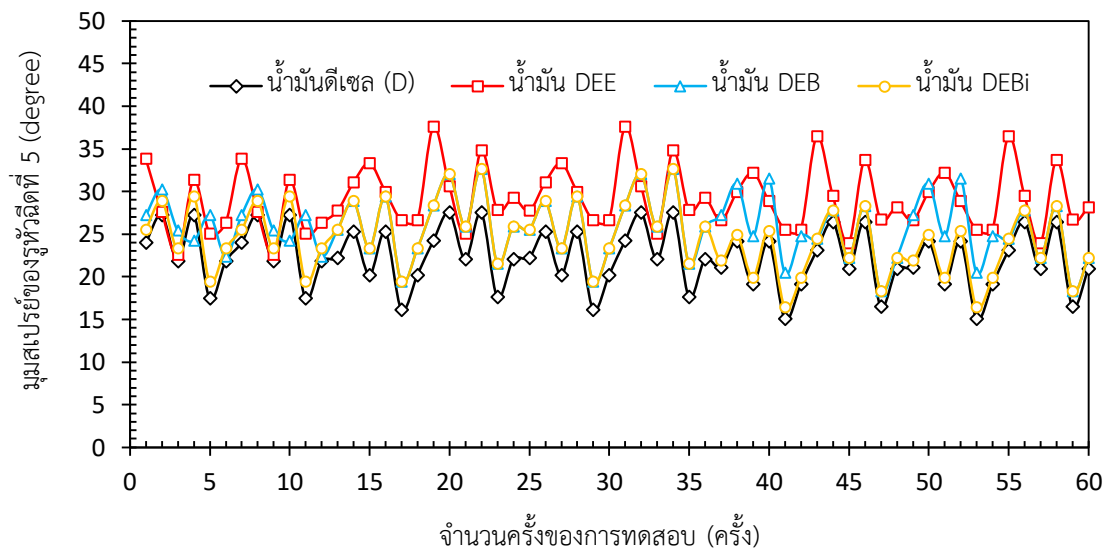
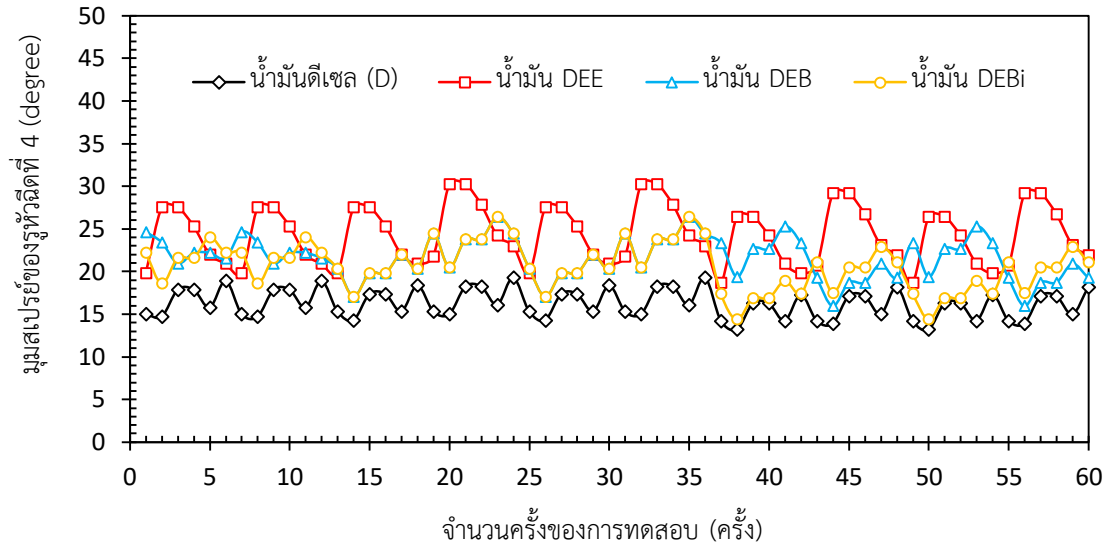
DEE

DEB

DEBi

ภาพที่ 3.13 ภาพการสเปรย์น้ำมันเชื้อเพลิงที่ความถี่ของการฉีดคงที่ 6 ครั้งต่อวินาที





ภาพที่ 3.14 มุมสปรย์ของแต่ละรูหัวฉีดจากการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงต่างๆ

ตารางที่ 3.7 ค่าเฉลี่ยของมุมสเปรย์ของแต่ละรูหัวฉีดและค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน

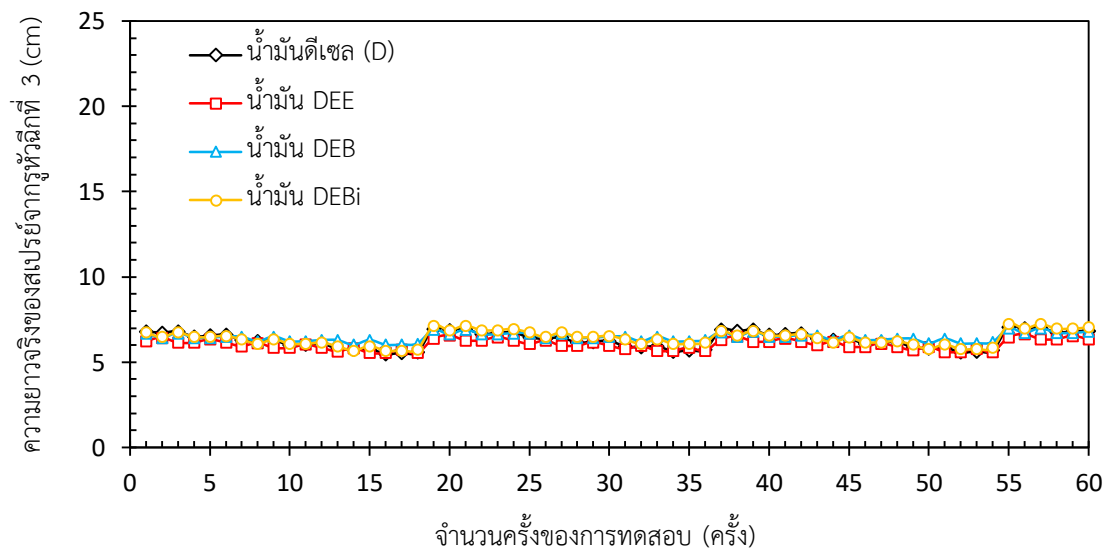
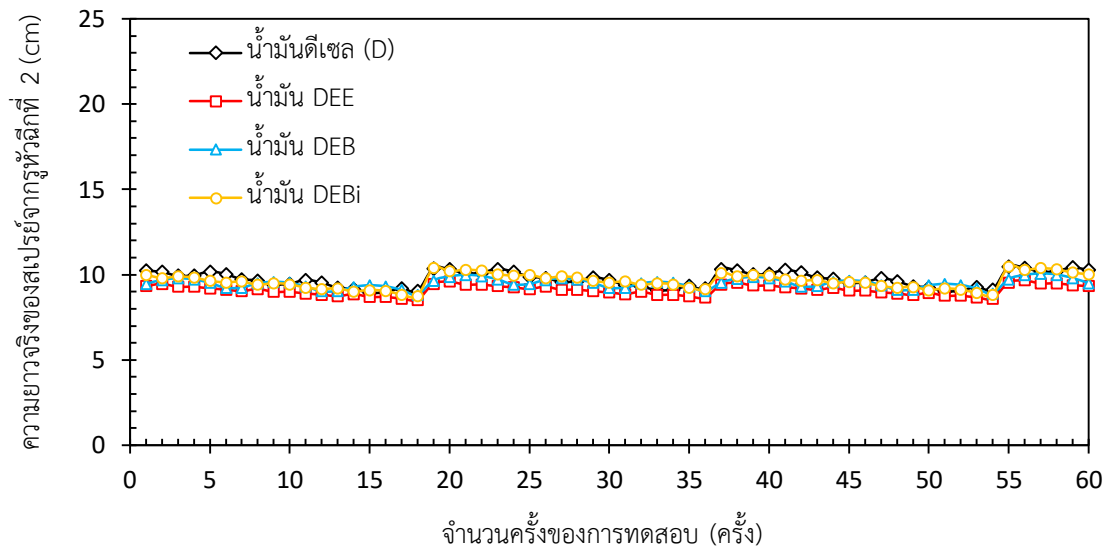
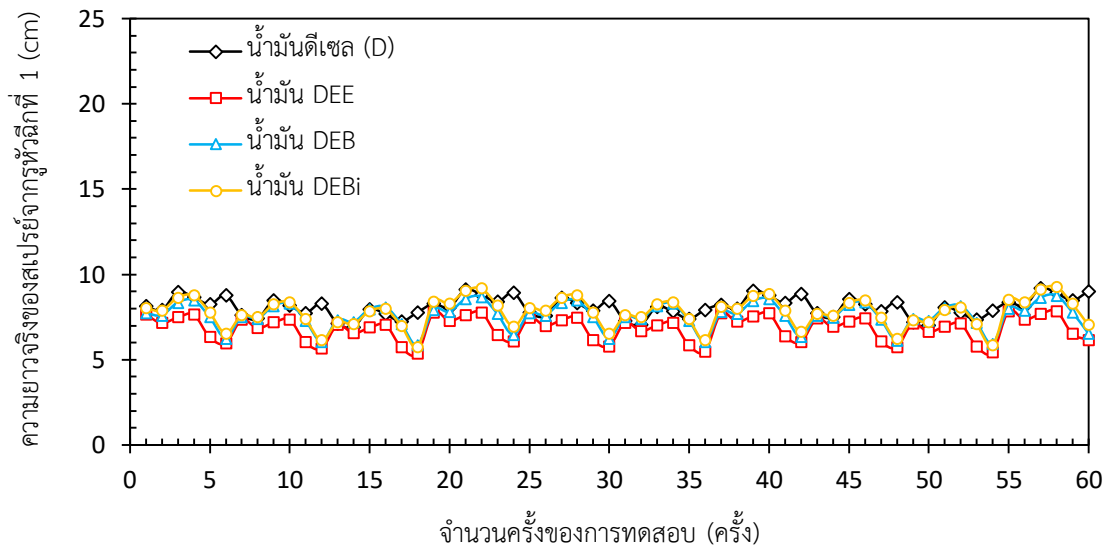
รูหัวฉีดที่	มุมสเปรย์ (degree)			
	D	DEE	DEB	DEBi
1	16.26±3.779	24.71±3.329	17.38±3.318	16.43±3.291
2	23.33±3.068	25.33±3.492	22.91±3.058	22.76±3.203
3	19.51±3.636	25.36±3.701	20.30±3.426	20.31±3.588
4	16.23±1.684	24.35±3.463	21.56±2.475	20.61±2.768
5	22.22±3.557	29.15±3.720	25.86±3.727	24.59±4.058
6	20.39±3.060	25.22±3.811	21.97±3.911	19.73±3.613

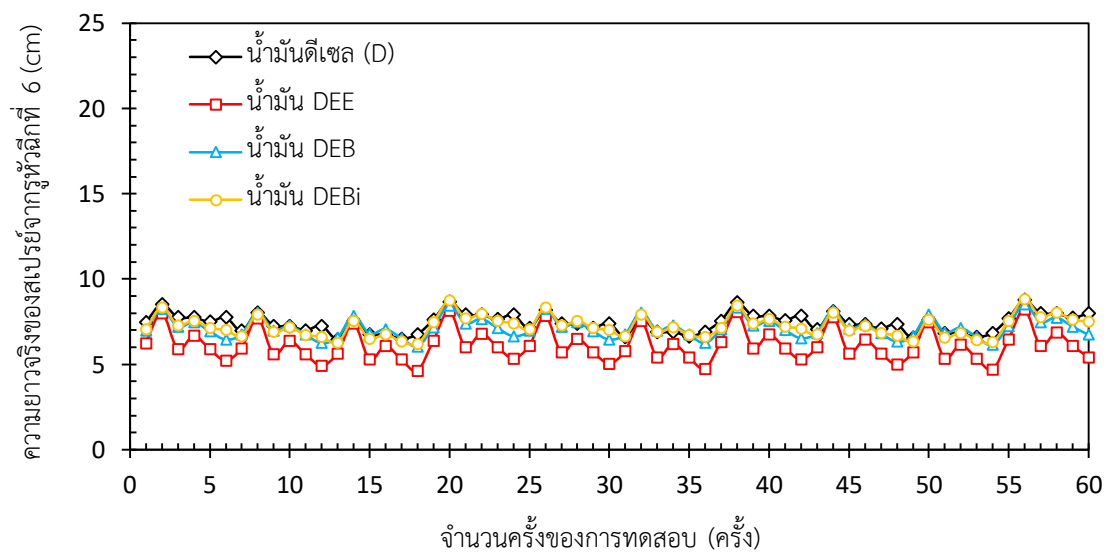
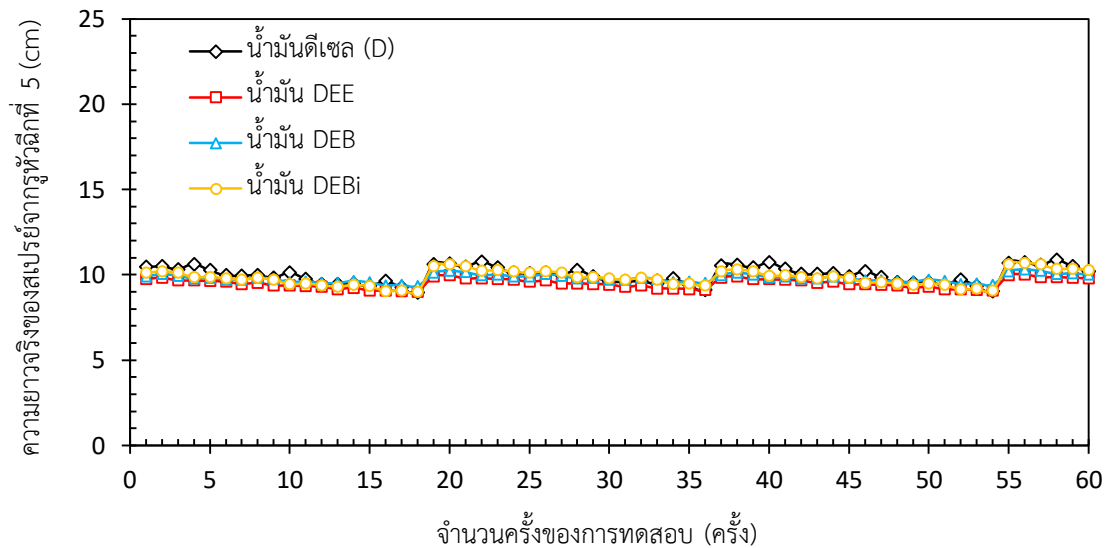
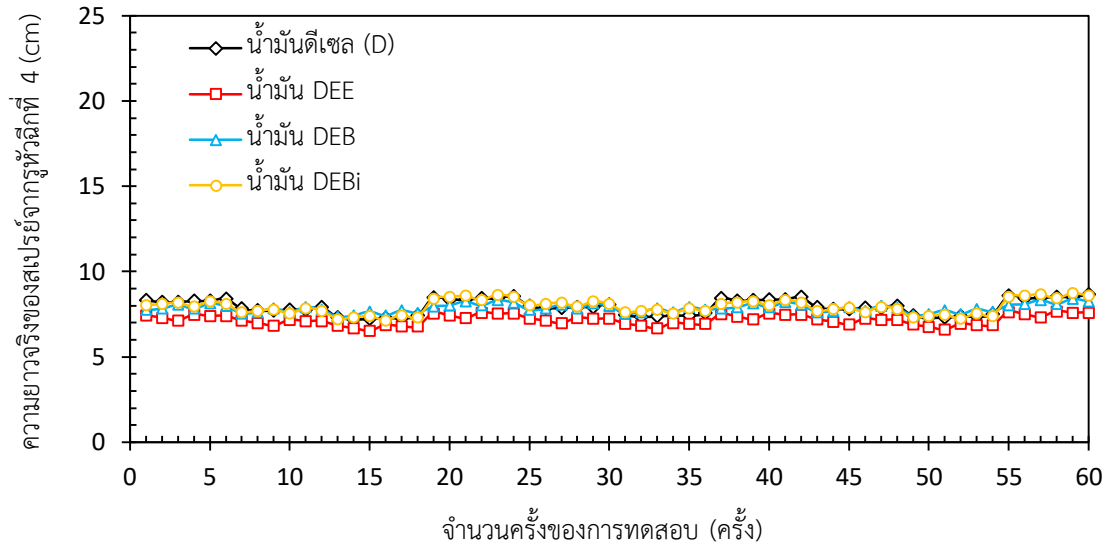
3) ความยาวจริงของสเปรย์

ความยาวจริงของสเปรย์ หรือ ความยาวจริงของสเปรย์ที่ฉีดพุ่งออกจากหัวฉีด เป็นอีกหนึ่งตัวแปรที่ถูกตรวจสอบในการวิจัยนี้ สำหรับการวัดความยาวจริงของสเปรย์จากภาพที่ 3.13 ได้กระทำการย่อขนาดให้เท่ากันที่อัตราส่วน 1:2 และต่อมาใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อคำนวณความยาวจริงของสเปรย์ที่ฉีดพุ่งออกจากหัวฉีด โดยอ้างอิงการคำนวณและการวัดจากงานวิจัยของเอกชัย สุธีรศักดิ์ และคณะ (2558)⁷ Desantes และคณะ (2014)¹⁴ และ Park และคณะ (2012)³³ ผลลัพธ์ที่ได้ถูกแสดงในภาพที่ 3.15 ซึ่งแสดงการวัดความยาวจริงของสเปรย์ที่ฉีดพุ่งออกจากหัวฉีดของแต่ละรูหัวฉีดจากการใช้น้ำมัน D น้ำมัน DEE น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi ที่ความถี่ของการฉีดคงที่ 6 ครั้งต่อวินาที พบว่า ความยาวจริงของสเปรย์ของแต่ละรูหัวฉีดจากการใช้น้ำมันดีเซลผสมกับแอนไฮดริสเอทานอลและสารอิมัลซิไฟเออร์ต่างๆ สั้นกว่าความยาวจริงของสเปรย์ของแต่ละรูหัวฉีดจากการใช้น้ำมันดีเซล ขณะที่ค่าเฉลี่ยและค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของความยาวจริงของสเปรย์ของแต่ละรูหัวฉีดอยู่ในช่วงความคลาดเคลื่อนระหว่าง ± 0.237 ถึง ± 0.923 cm ดังแสดงในตารางที่ 3.8 ซึ่งแสดงการวัดความยาวจริงของสเปรย์ของแต่ละรูหัวฉีดโดยเฉลี่ยและค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเฉลี่ยจากการใช้น้ำมัน D น้ำมัน DEE น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi ที่ความถี่ของอินเวอร์เตอร์คงที่ 10 Hz ภาระงานของปั๊มแรงดันสูงร้อยละ 50 และอัดอากาศเข้าไปภายในห้องจำลองที่ 1 ± 0.1 MPa

ตารางที่ 3.8 ค่าเฉลี่ยของความยาวจริงของสเปรย์ของแต่ละรูหัวฉีดและค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน

รูหัวฉีดที่	ความยาวจริงของสเปรย์ (cm)			
	D	DEE	DEB	DEBi
1	8.10±0.584	6.85±0.719	7.58±0.763	7.78±0.843
2	9.73±0.458	9.10±0.293	9.50±0.284	9.63±0.443
3	6.51±0.458	6.05±0.295	6.46±0.242	6.42±0.433
4	7.93±0.448	7.16±0.295	7.86±0.251	7.93±0.427
5	10.00±0.491	9.50±0.285	9.80±0.237	9.83±0.446
6	7.43±0.566	6.12±0.923	7.14±0.597	7.22±0.622





ภาพที่ 3.15 ความยาวจริงของสเปรย์ของแต่ละภูทิวลึงก์จากการใช้น้ำมันต่างๆ

3.2 ผลการตรวจสอบชิ้นส่วนต่างๆ ของเครื่องยนต์ก่อนเริ่มต้นการทดสอบ

ก่อนจัดทำชุดทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซล ตามข้อมูลต่างๆ ของเครื่องยนต์ซึ่งถูกแสดงในตารางที่ 2.5 และ 2.6 จำนวน 4 เครื่องยนต์ ได้แก่ เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน D (เครื่องยนต์ที่ 1) เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน DEE (เครื่องยนต์ที่ 2) เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน DEB (เครื่องยนต์ที่ 3) และเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน DEBi (เครื่องยนต์ที่ 4) ในขั้นตอนแรกของการวิจัย ผู้วิจัยเปิดฝาสูบของเครื่องยนต์ และต่อมา ถอดชิ้นส่วนต่างๆ (ได้แก่ หัวฉีด ฝาสูบ เสื้อสูบ ลูกสูบ ก้านสูบ และเพลาค้อเหวี่ยง) เพื่อตรวจสอบและเปรียบเทียบค่าเริ่มต้นก่อนการทดสอบ ซึ่งชิ้นส่วนหลักเหล่านี้ เมื่อใช้งานในระยะยาว จะเกิดความเสียหายกับเครื่องยนต์ โดยตารางที่ 3.9 แสดงผลการตรวจสอบและการวัดระยะเริ่มต้นของชิ้นส่วนต่างๆ ของเครื่องยนต์ทั้งสี่เครื่องยนต์ ก่อนเริ่มต้นการทดสอบ โดยใช้เครื่องมือวัดมาตรฐาน ได้แก่ (a) เครื่องทดสอบแรงดันของหัวฉีด (b) บรรทัดเหล็ก หรือฟุตเหล็ก (c) ฟीलเลอร์เกจ (d) บอร์เกจ (e) เครื่อง Coordinate measuring machine (f) เวอร์เนียคาลิเปอร์ และ (g) ไมโครมิเตอร์คาลิเปอร์ ผลลัพธ์ที่ได้พบว่า ค่าเริ่มต้นของชิ้นส่วนต่างๆ ของเครื่องยนต์ มีค่าเท่ากัน เนื่องจากเครื่องยนต์ทั้งสี่เครื่อง เป็นเครื่องยนต์ใหม่ซึ่งไม่ได้มีการใช้งานมาก่อน โดยความดันของหัวฉีดที่ใช้กับเครื่องยนต์ทั้งสี่เครื่องเท่ากัน ฝาสูบของเครื่องยนต์ทั้งสี่เครื่อง ไม่มีความโก่ง เนื่องจากระยะโก่งตามแนวแกน X และ Y เท่ากับศูนย์ และไม่มีแสงรอดผ่าน เส้นผ่านศูนย์กลางของกระบอกสูบ และลูกสูบ มีระยะเพิ่มขึ้น 0.01 mm เส้นผ่านศูนย์กลางก้านลูกสูบบน มีระยะเพิ่มขึ้น 0.1 mm เส้นผ่านศูนย์กลางก้านลูกสูบล่างที่มีแม่เรียงเพลาค้อเหวี่ยง มีระยะเพิ่มขึ้น 0.02 mm และ เส้นผ่านศูนย์กลางเพลาค้อเหวี่ยง มีระยะเพิ่มขึ้น 0.01 mm สุดท้าย เมื่อทำการตรวจสอบชิ้นส่วนต่างๆ ภายในเครื่องยนต์ทั้งสี่เครื่องเสร็จสิ้น ผู้วิจัยทำการประกอบชิ้นส่วนต่างๆ กับเข้าไปในเครื่องยนต์ทั้งสี่เครื่อง และจัดทำชุดทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ทั้งสี่เครื่องดังแสดงในภาพที่ 2.22 และ 2.23 และเริ่มต้นการทดสอบการทำงานของเครื่องยนต์ สมรรถนะและการปล่อยสารมลพิษต่างๆ ของเครื่องยนต์ และการสึกหรอของเครื่องยนต์ในระยะเวลา 500 hr โดยอ้างอิงจาก Martyr และ Plint (2007)³¹ และงานวิจัยของ Sutherasak (2017)⁴³

3.3 ผลการทดสอบการทำงานของเครื่องยนต์ระยะเวลา 50 hr

ภายหลังจัดทำชุดทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซล ผู้วิจัยเริ่มต้นจากการทดสอบการทำงานของเครื่องยนต์ดีเซล ซึ่งเป็นการทดสอบเบื้องต้นของเครื่องยนต์ใหม่ ตามมาตรฐานการทดสอบเครื่องยนต์ โดยตรวจสอบอุณหภูมิไอดี อุณหภูมิครีบของฝาสูบและเสื้อสูบ และอุณหภูมิแก๊สไอเสีย และต่อมา ตรวจสอบอัตราการไหลของน้ำมันเชื้อเพลิง หรืออัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ทั้งสี่เครื่องยนต์ เมื่อใช้น้ำมัน D น้ำมัน DEE น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงในแต่ละเครื่องยนต์ โดยการทดสอบนี้ ศึกษาจากมาตรฐาน SAE J1349 และ SAE J2265 ในงานวิจัยของ Sutherasak (2017)⁴³ และการทดสอบเครื่องยนต์ของ Martyr และ Plint (2007)³¹ และมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 787-2551 (2551)⁵ โดยใช้ระยะเวลาเริ่มต้น 50 hr สำหรับความเร็วรอบของการทดสอบคือ $3,000 \pm 50$ rpm ซึ่งเป็นความเร็วรอบเหมาะสมสำหรับการทำงานของเครื่องยนต์นี้ โดยอ้างอิงจากคู่มือของเครื่องยนต์ MITSUKI รุ่น MIT-186FG และทดสอบแบบไม่มีภาระงานตามสภาวะของการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 2.8 (ก) ผลลัพธ์ต่างๆ มีดังนี้

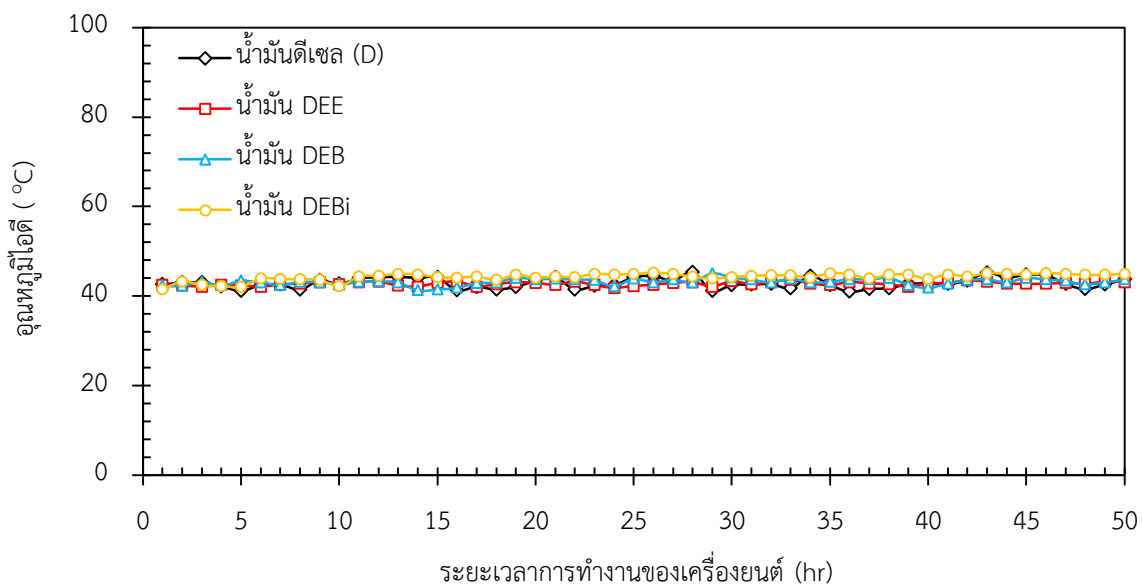
ตารางที่ 3.9 ผลการตรวจสอบชิ้นส่วนต่างๆ ของเครื่องยนต์ก่อนเริ่มต้นการทดสอบ

ลำดับ	ชิ้นส่วนต่างๆ	จุดที่ทำการวัด	เครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้น้ำมัน			
			D	DEE	DEB	DEBi
1	หัวฉีด ^(a)	ความดันของหัวฉีด (MPa)	20	20	20	20
2	ผิวสัมผัสของฝาสูบ ^(b, c)	1) ระยะโก่งแนวแกน X (mm)	0	0	0	0
		2) ระยะโก่งแนวแกน Y (mm)	0	0	0	0
3	เส้นผ่านศูนย์กลางกระบอกสูบ ^(d, e)	1) จุดบน 1 (mm)	86.01	86.01	86.01	86.01
		2) จุดบน 2 (mm)	86.01	86.01	86.01	86.01
		3) จุดกึ่งกลาง (mm)	86.01	86.01	86.01	86.01
		4) จุดล่าง 1 (mm)	86.01	86.01	86.01	86.01
		5) จุดล่าง 2 (mm)	86.01	86.01	86.01	86.01
4	ลูกสูบ ^(f, g)	1) เส้นผ่านศูนย์กลางบน (mm)	85.01	85.01	85.01	85.01
		2) เส้นผ่านศูนย์กลางล่าง (mm)	85.01	85.01	85.01	85.01
5	ระยะห่างปากแหวน ^(c)	1) แหวนแรงอัด (บน) (mm)	0.25	0.25	0.25	0.25
		2) แหวนแรงอัด (กลาง) (mm)	0.28	0.28	0.28	0.28
		3) แหวนน้ำมัน (ล่าง) (mm)	0.28	0.28	0.28	0.28
6	ช่องว่างระหว่างแหวนกับร่องแหวนลูกสูบ ^(c)	1) แหวนแรงอัด (บน) (mm)	0.06	0.06	0.06	0.06
		2) แหวนแรงอัด (กลาง) (mm)	0.04	0.04	0.04	0.04
		3) แหวนน้ำมัน (ล่าง) (mm)	0.04	0.04	0.04	0.04
7	เส้นผ่านศูนย์กลางสำหรับใส่สลักลูกสูบ ^(f, g)	1) ด้านซ้าย (mm)	23.00	23.00	23.00	23.00
		2) ด้านขวา (mm)	23.00	23.00	23.00	23.00
8	เส้นผ่านศูนย์กลางสลักลูกสูบ ^(f, g)	1) แนวแกน X (mm)	22.50	22.50	22.50	22.50
		2) แนวแกน Y (mm)	22.50	22.50	22.50	22.50
9	เส้นผ่านศูนย์กลางก้านลูกสูบบน ^(f, g)	1) แนวแกน X (mm)	22.10	22.10	22.10	22.10
		2) แนวแกน Y (mm)	22.10	22.10	22.10	22.10
10	เส้นผ่านศูนย์กลางก้านลูกสูบล่างที่มีแบริงเพลลาข้อเหวี่ยง ^(d)	1) แนวแกน X (mm)	40.02	40.02	40.02	40.02
		2) แนวแกน Y (mm)	40.02	40.02	40.02	40.02
11	เส้นผ่านศูนย์กลางเพลลาข้อเหวี่ยง ^(f, g)	1) แนวแกน X (mm)	40.00	40.00	40.00	40.00
		2) แนวแกน Y (mm)	40.00	40.00	40.00	40.00

3.3.1 อุณหภูมิไอตี

อุณหภูมิไอตีของเครื่องยนต์ดีเซล คือ อุณหภูมิของอากาศซึ่งถูกส่งเข้าไปในหม้อกรองอากาศเข้าเครื่องวัดอัตราการไหลของอากาศ (ซึ่งในการวิจัยนี้ ใช้ท่อเวนทูรีต่อกับมานอมิเตอร์) และท่อร่วมไอตีของเครื่องยนต์ ขณะที่อุณหภูมิไอตีของเครื่องยนต์ดีเซลแต่ละเครื่อง เมื่อใช้น้ำมัน D น้ำมัน DEE น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงถูกแสดงในภาพที่ 3.16 ซึ่งแสดงอุณหภูมิไอตีของเครื่องยนต์ ที่ความเร็วรอบ

3,000±50 rpm และไม่มีภาระงาน ที่ระยะเวลาการทำงานของเครื่องยนต์ 50 hr พบว่า อุณหภูมิไอตีของเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซลผสมกับแวนไฮตรัสเอทานอลและสารอีมีลซิไฟเออร์ต่างๆ มีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิไอตีของเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซล เนื่องจาก การทดสอบนี้ ทำการทดสอบในห้องทดสอบเดียวกัน อุณหภูมิห้องทดสอบและค่าความชื้นสัมพัทธ์เท่ากัน ขณะที่ค่าเฉลี่ยและค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของอุณหภูมิไอตีของเครื่องยนต์ อยู่ในช่วงความคลาดเคลื่อนระหว่าง ± 0.405 ถึง ± 0.823 °C ดังแสดงในตารางที่ 3.10 ซึ่งแสดงอุณหภูมิไอตีของเครื่องยนต์โดยเฉลี่ยและค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าอุณหภูมิไอตีเฉลี่ยจากการใช้น้ำมัน D น้ำมัน DEE น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi เป็นน้ำมันเชื้อเพลิง

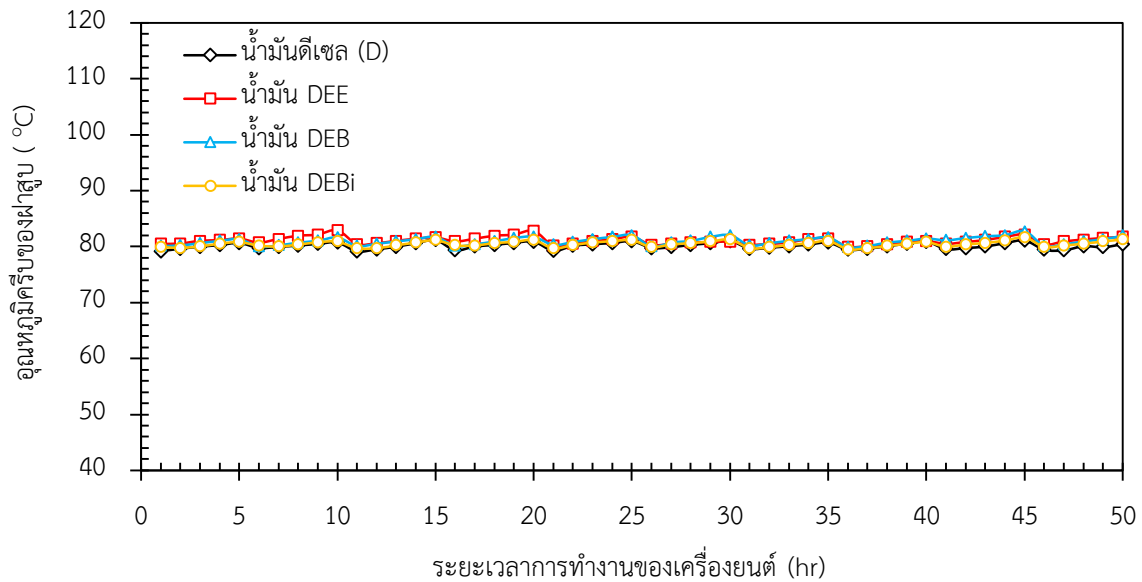


ภาพที่ 3.16 อุณหภูมิไอตีของเครื่องยนต์

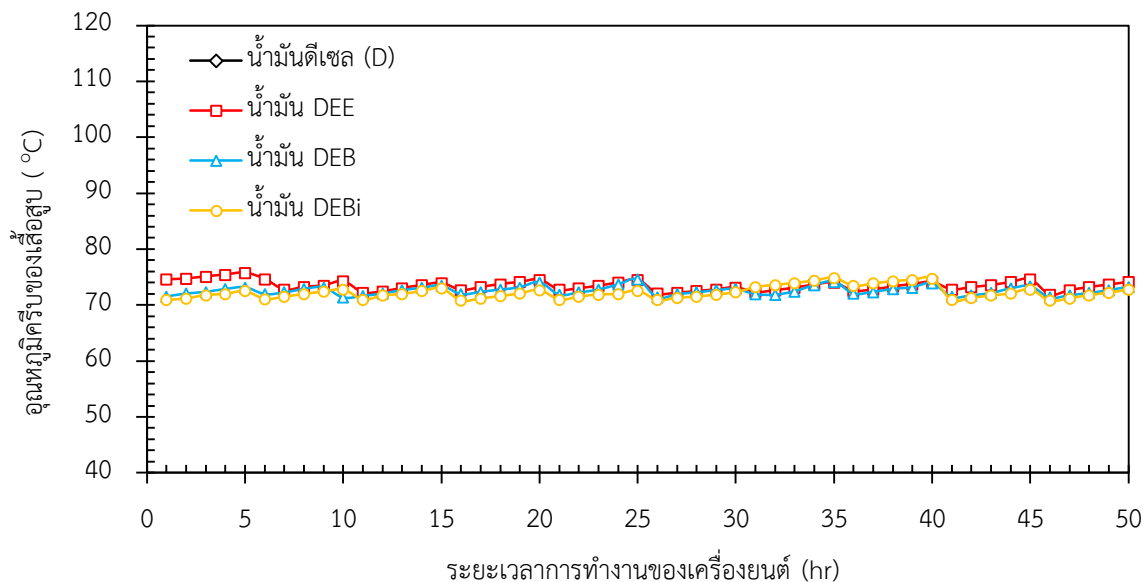
3.3.2 อุณหภูมิครีบของฝาสูบและเสื้อสูบ

เครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ในการวิจัยนี้ เป็นเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ระบบหล่อเย็นด้วยอากาศ ซึ่งจะมีอากาศไหลผ่านครีบระบายความร้อนของเครื่องยนต์ โดยความร้อนจากการเผาไหม้ส่วนหนึ่งถูกถ่ายเทความร้อนมาที่ครีบของฝาสูบ และครีบของเสื้อสูบของเครื่องยนต์ เพื่อป้องกันไม่ให้เครื่องยนต์มีความร้อนสูงเกินไป และเพื่อควบคุมอุณหภูมิภายในกระบอกสูบของเครื่องยนต์ให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม โดยทั่วไป ชิ้นส่วนต่างๆ ของเครื่องยนต์ดีเซล จะถูกออกแบบให้ทำงานภายใต้อุณหภูมิสูงสุดค่าหนึ่ง หากอุณหภูมิของเครื่องยนต์สูงเกินไป จะทำให้ชิ้นส่วนของเครื่องยนต์บางชิ้นหลอมละลาย และชำรุดได้ และหากเครื่องยนต์มีอุณหภูมิต่ำเกินไป จะเกิดการสึกหรอมากเหมือนกัน เนื่องจากระบบหล่อลื่นทำงานได้ไม่เต็มที่ นอกจากนี้ มีการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงสูงขึ้นด้วย ดังนั้น การทดสอบเครื่องยนต์ จึงต้องตรวจสอบอุณหภูมิครีบระบายความร้อนของฝาสูบและเสื้อสูบของเครื่องยนต์ ขณะที่อุณหภูมิครีบของฝาสูบและเสื้อสูบของเครื่องยนต์ดีเซลแต่ละเครื่อง เมื่อใช้น้ำมัน D น้ำมัน DEE น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงถูกแสดงในภาพที่ 3.17 และ 3.18 ซึ่ง

แสดงอุณหภูมิครีบน้ำมันของฝาสูบและเสื้อสูบที่ความเร็วรอบ $3,000 \pm 50$ rpm และไม่มีภาระงาน ที่ระยะเวลาการทำงาน ของเครื่องยนต์ 50 hr พบว่า อุณหภูมิครีบน้ำมันของฝาสูบและเสื้อสูบของเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซลผสมกับ แอนไฮดรัสเอทานอลและสารอิมัลซิไฟเออร์ต่างๆ สูงกว่าอุณหภูมิครีบน้ำมันของฝาสูบและเสื้อสูบของเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซล



ภาพที่ 3.17 อุณหภูมิครีบน้ำมันของฝาสูบ



ภาพที่ 3.18 อุณหภูมิครีบน้ำมันของเสื้อสูบ

ขณะที่ค่าเฉลี่ยและค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของอุณหภูมิครีบบของฝาสูบของเครื่องยนต์ อยู่ใน ช่วงความคลาดเคลื่อนระหว่าง ± 0.531 ถึง ± 0.704 °C และ ค่าเฉลี่ยและค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของ อุณหภูมิครีบบของเสื้อสูบของเครื่องยนต์ อยู่ใน ช่วงความคลาดเคลื่อนระหว่าง ± 0.733 ถึง ± 0.878 °C ดังแสดง ในตารางที่ 3.10 ซึ่งแสดงอุณหภูมิครีบบของฝาสูบและเสื้อสูบของเครื่องยนต์โดยเฉลี่ยและค่าความเบี่ยงเบน มาตรฐานของค่าอุณหภูมิครีบบของฝาสูบและเสื้อสูบเฉลี่ยจากการใช้น้ำมัน D น้ำมัน DEE น้ำมัน DEB และ น้ำมัน DEBi เป็นน้ำมันเชื้อเพลิง

ตารางที่ 3.10 ค่าเฉลี่ยและค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน ที่ระยะเวลาการทำงานของเครื่องยนต์ 50 hr

ข้อมูล	เครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้น้ำมัน			
	D	DEE	DEB	DEBi
อุณหภูมิไอดี (°C)	43.04±0.587	43.03±0.405	43.04±0.717	43.04±0.823
อุณหภูมิครีบบของฝาสูบ (°C)	80.10±0.535	81.09±0.645	81.07±0.704	80.49±0.531
อุณหภูมิครีบบของเสื้อสูบ (°C)	71.29±0.733	73.46±0.878	72.53±0.769	72.16±0.756
อุณหภูมิแก๊สไอเสีย (°C)	176.91±0.419	155.96±0.476	182.83±0.506	190.78±0.309
อัตราการไหลเชื้อเพลิง (lph)	0.577±0.015	0.830±0.016	0.630±0.016	0.671±0.017

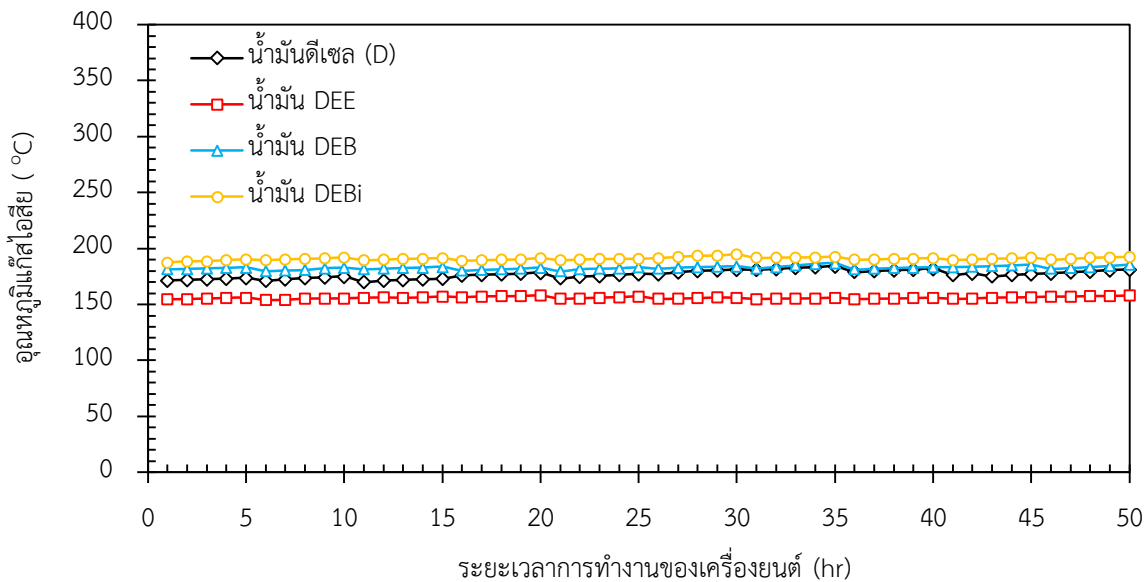
3.3.3 อุณหภูมิแก๊สไอเสีย

อุณหภูมิแก๊สไอเสียของเครื่องยนต์นั้น เป็นอุณหภูมิของการเผาไหม้ระหว่างน้ำมันเชื้อเพลิง กับอากาศภายหลังจังหวะขยายตัวในช่วงที่วาล์วไอเสียถูกเปิดออกมา ถ้าอุณหภูมิแก๊สไอเสียเพิ่มขึ้น แสดงว่า อาจมีการเผาไหม้ล่าช้าภายในช่วงจังหวะขยาย ในทางตรงกันข้าม ถ้าอุณหภูมินี้ลดลง แสดงว่าไม่เกิดการเผา ไหม้ล่าช้า ซึ่งบ่งบอกถึงมีการเผาไหม้สมบูรณ์ในช่วงจังหวะขยาย ดังนั้น การทดสอบเครื่องยนต์ จึงต้อง ตรวจสอบอุณหภูมิแก๊สไอเสีย เพื่อวิเคราะห์อุณหภูมิของการเผาไหม้ในช่วงจังหวะขยายตัวจนถึงช่วงที่วาล์วไอ เสียถูกเปิดออกมาว่า การเปลี่ยนแปลงน้ำมันเชื้อเพลิงมีผลกระทบต่อช่วงการเผาไหม้ล่าช้าหรือไม่ ขณะที่ อุณหภูมิแก๊สไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซลแต่ละเครื่องถูกแสดงในภาพที่ 3.19 ซึ่งแสดงอุณหภูมิแก๊สไอเสียของ เครื่องยนต์แต่ละเครื่อง เมื่อใช้น้ำมัน D น้ำมัน DEE น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi เป็นน้ำมันเชื้อเพลิง โดย ทดสอบที่ความเร็วรอบ $3,000 \pm 50$ rpm และไม่มีภาระงาน ที่ระยะเวลา 50 hr พบว่า อุณหภูมิแก๊สไอเสียของ เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลผสมกับแอสไฮดรัสเอทานอลและสารอิมัลซิไฟเออร์ต่างๆ สูงกว่าอุณหภูมิแก๊สไอเสีย ของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล ขณะที่ค่าเฉลี่ยและค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของอุณหภูมิแก๊สไอเสียของ เครื่องยนต์ อยู่ใน ช่วงความคลาดเคลื่อนระหว่าง ± 0.309 ถึง ± 0.506 °C ดังแสดงในตารางที่ 3.10

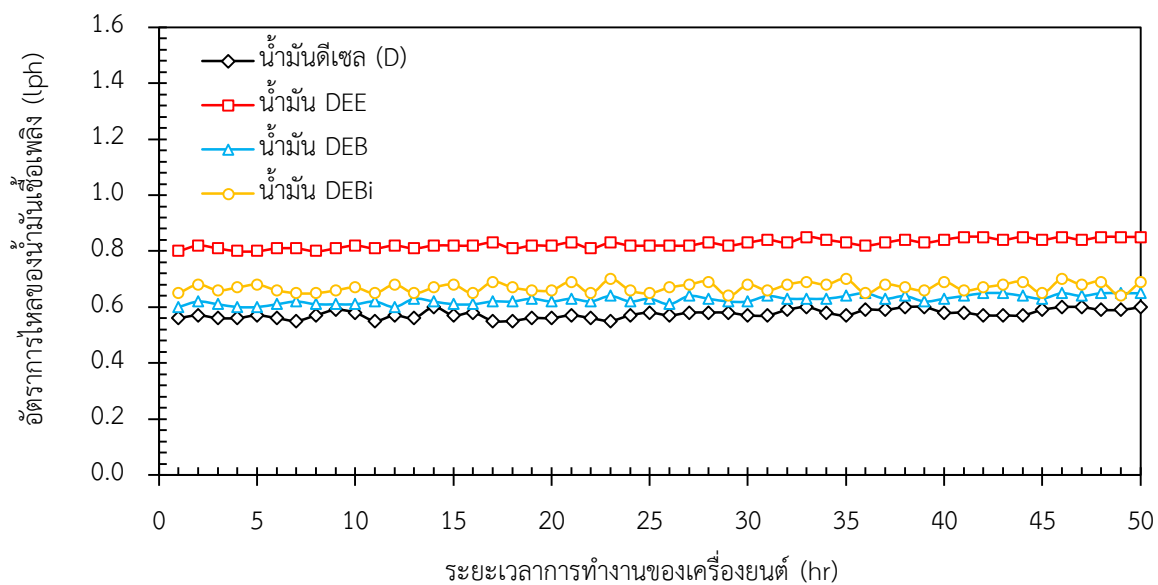
3.3.4 อัตราการไหลของน้ำมันเชื้อเพลิง

ในรูปที่ 3.20 แสดงอัตราการไหลของน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์แต่ละเครื่อง เมื่อใช้น้ำมัน D น้ำมัน DEE น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi เป็นน้ำมันเชื้อเพลิง โดยทดสอบที่ความเร็วรอบ $3,000 \pm 50$ rpm และไม่มีภาระงาน ที่ระยะเวลา 50 hr พบว่า อัตราการไหลของน้ำมันดีเซลผสมกับแอสไฮดรัสเอทานอลและ

สารอิมัลซิไฟเออร์ต่างๆ สูงกว่าอัตราการไหลของน้ำมันดีเซล ขณะที่ค่าเฉลี่ยและค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราการไหลของน้ำมันเชื้อเพลิงอยู่ในช่วงความคลาดเคลื่อนระหว่าง ± 0.015 ถึง ± 0.016 lph ดังแสดงในตารางที่ 3.10 ซึ่งแสดงอัตราการไหลของน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์โดยเฉลี่ยและค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าอัตราการไหลของน้ำมันเชื้อเพลิงเฉลี่ยจากการใช้น้ำมัน D น้ำมัน DEE น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi เป็นน้ำมันเชื้อเพลิง



ภาพที่ 3.19 อุณหภูมิก๊าซไอเสีย



ภาพที่ 3.20 อัตราการไหลของน้ำมันเชื้อเพลิง

3.4 ผลการทดสอบสมรรถนะ และการปล่อยสารมลพิษของเครื่องยนต์ระยะเวลา 150 hr

หลังจากการทดสอบการทำงานของเครื่องยนต์ดีเซลในระยะเวลา 50 hr เมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงแต่ละชนิดได้เสร็จสิ้น การทดสอบสมรรถนะและการปล่อยสารมลพิษต่างๆ ของเครื่องยนต์นี้ ที่ระยะเวลา 150 hr ได้เริ่มต้นขึ้นโดยใช้สภาวะการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 2.8 (ข) ขณะที่ผลการทดสอบสมรรถนะและการปล่อยสารมลพิษต่างๆ ของเครื่องยนต์นั้น ถูกแสดงดังต่อไปนี้

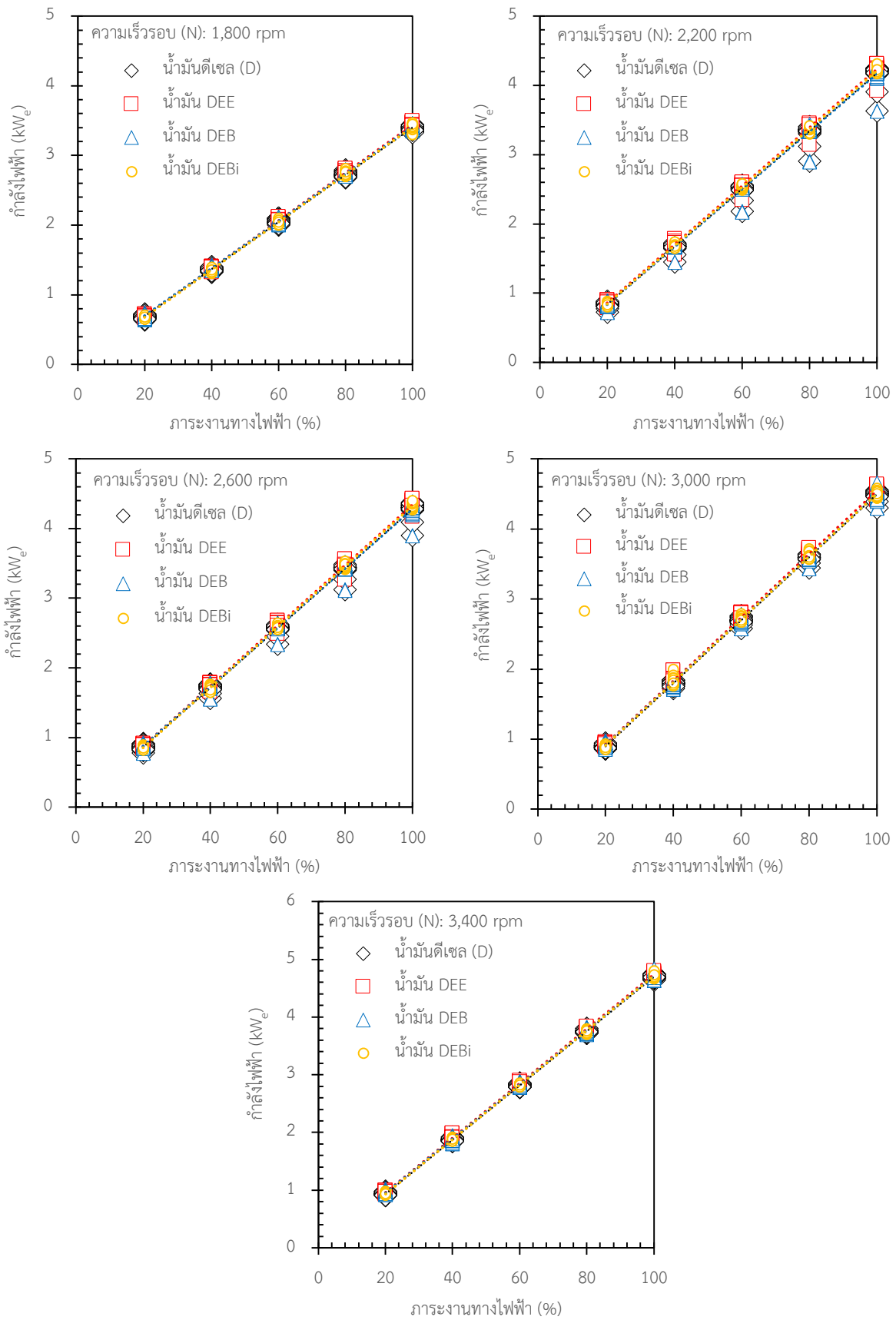
3.4.1 กำลังไฟฟ้า

การวิจัยนี้ เริ่มต้นจากการตรวจสอบกำลังงานของเครื่องยนต์ที่ให้ออกซึ่งถูกแสดงในรูปแบบของกำลังไฟฟ้า หรือกำลังงานทางไฟฟ้า เนื่องจากภาระงานที่ให้กับเครื่องยนต์เป็นภาระงานทางไฟฟ้า โดยการทดสอบในแต่ละเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงต่างๆ ได้แก่ น้ำมัน D น้ำมัน DEE น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi ที่มี การเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบและภาระงานทางไฟฟ้า ดังแสดงในตารางที่ 2.8 (ข) นั้น ตัวแปรสำคัญ นั่นคือ การหากำลังไฟฟ้าสูงสุด ที่สามารถทำการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงเหล่านี้ ในแต่ละความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ผลลัพธ์ที่ได้ถูกแสดงในตารางที่ 3.11 ซึ่งแสดงกำลังไฟฟ้าสูงสุด และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ เมื่อเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบจาก 1,800 ถึง 3,400 rpm ณ ภาระงานทางไฟฟ้าต่างๆ โดยควบคุมค่าความคลาดเคลื่อนของความเร็วรอบในช่วง ± 50 rpm

ตารางที่ 3.11 กำลังไฟฟ้าเพื่อใช้ในการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์

ภาระงานทางไฟฟ้า (%)		สูงสุด	20	40	60	80	100
ความเร็วรอบ (rpm)	1,800	3.40	0.68	1.36	2.04	2.72	3.40
	2,200	4.20	0.84	1.68	2.52	3.36	4.20
	2,600	4.30	0.86	1.72	2.58	3.44	4.30
	3,000	4.50	0.90	1.80	2.70	3.60	4.50
	3,400	4.70	0.94	1.88	2.82	3.76	4.70

หลังจากนั้น ทำการทดสอบเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงเหล่านี้ ในแต่ละความเร็วรอบ และแต่ละภาระงานทางไฟฟ้า ขณะที่ความเร็วรอบและความคลาดเคลื่อนของการบันทึกผลของความเร็วรอบ ถูกจำกัดในช่วง $1,800 \pm 50 / 2,200 \pm 50 / 2,600 \pm 50 / 3,000 \pm 50$ และ $3,400 \pm 50$ rpm โดยผลลัพธ์ของกำลังไฟฟ้าจริงขณะทำการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ถูกแสดงในภาพที่ 3.21 ซึ่งแสดงกำลังไฟฟ้าที่ความเร็วรอบและภาระงานต่างๆ เมื่อใช้น้ำมัน D น้ำมัน DEE น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi เป็นน้ำมันเชื้อเพลิง ในเครื่องยนต์ดีเซลทั้งสี่เครื่อง โดยค่ากำลังไฟฟ้าและค่าความคลาดเคลื่อนขณะทำการทดสอบดังกล่าว นั้น ถูกแสดงในตารางที่ 3.12 ซึ่งแสดงค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนขณะทำการทดสอบเครื่องยนต์ ในระยะเวลา 150 hr โดยค่าความคลาดเคลื่อนของกำลังไฟฟ้าอยู่ในช่วงระหว่าง ± 0.04 ถึง ± 0.08 kW_e ขึ้นอยู่กับความเร็วรอบและภาระงานทางไฟฟ้าที่ใช้ในการทดสอบ



ภาพที่ 3.21 กำลังไฟฟ้าที่ความเร็วรอบและภาระงานต่างๆ เมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงแต่ละชนิด

ตารางที่ 3.12 ค่ากำลังไฟฟ้าจริงและค่าความคลาดเคลื่อนขณะทำการทดสอบ

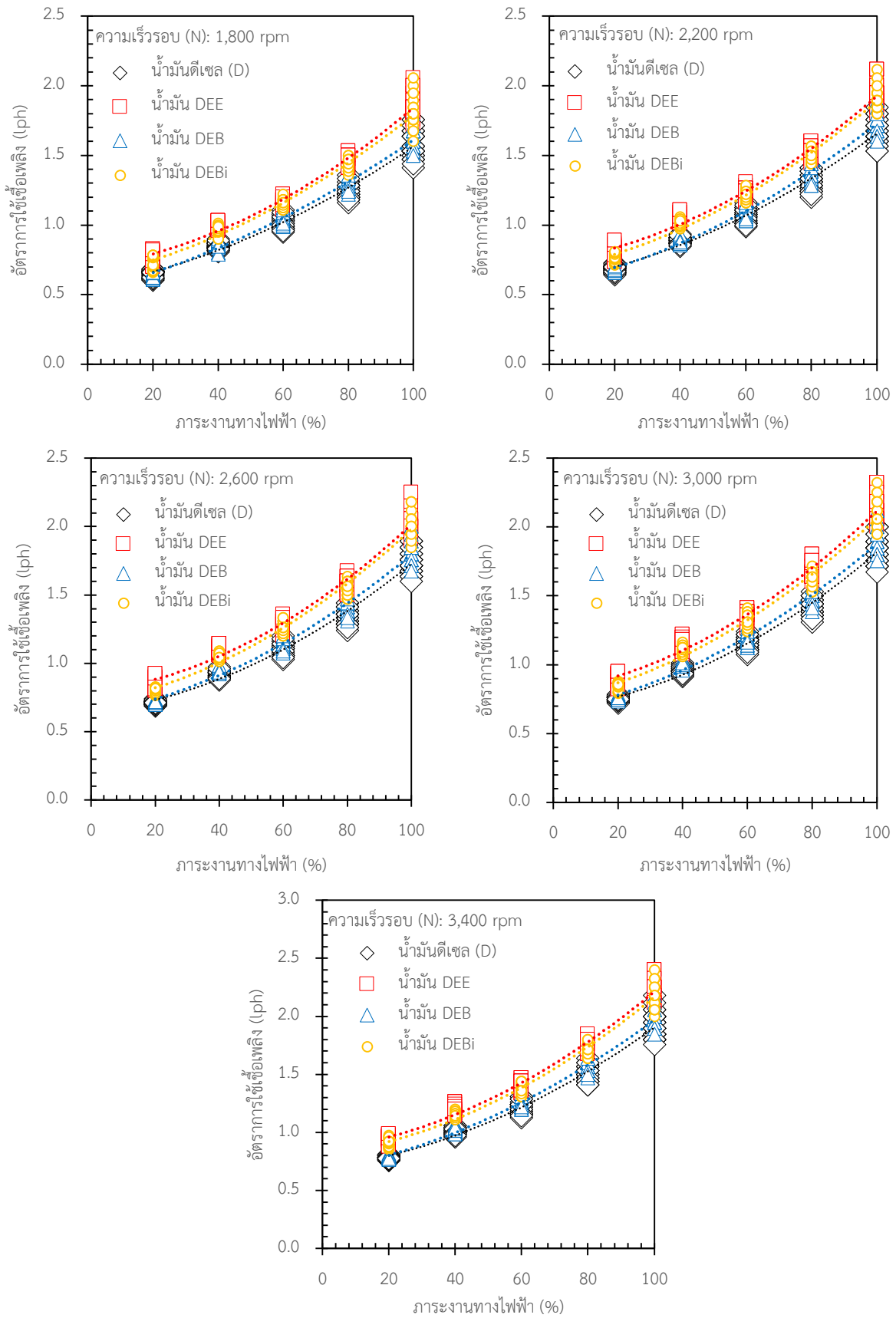
ภาระงานทางไฟฟ้า (%)		สูงสุด	20	40	60	80	100
ความเร็วรอบ (rpm)	1800±50	3.39±0.05	0.68±0.04	1.36±0.04	2.05±0.05	2.73±0.06	3.39±0.05
	2200±50	4.18±0.07	0.84±0.05	1.67±0.05	2.51±0.06	3.33±0.04	4.18±0.07
	2600±50	4.29±0.08	0.86±0.05	1.72±0.05	2.57±0.04	3.42±0.06	4.29±0.08
	3000±50	4.49±0.06	0.89±0.05	1.79±0.05	2.69±0.06	3.59±0.05	4.49±0.06
	3400±50	4.69±0.05	0.94±0.05	1.87±0.05	2.82±0.05	3.75±0.05	4.69±0.05

3.4.2 อัตราการใช้เชื้อเพลิง

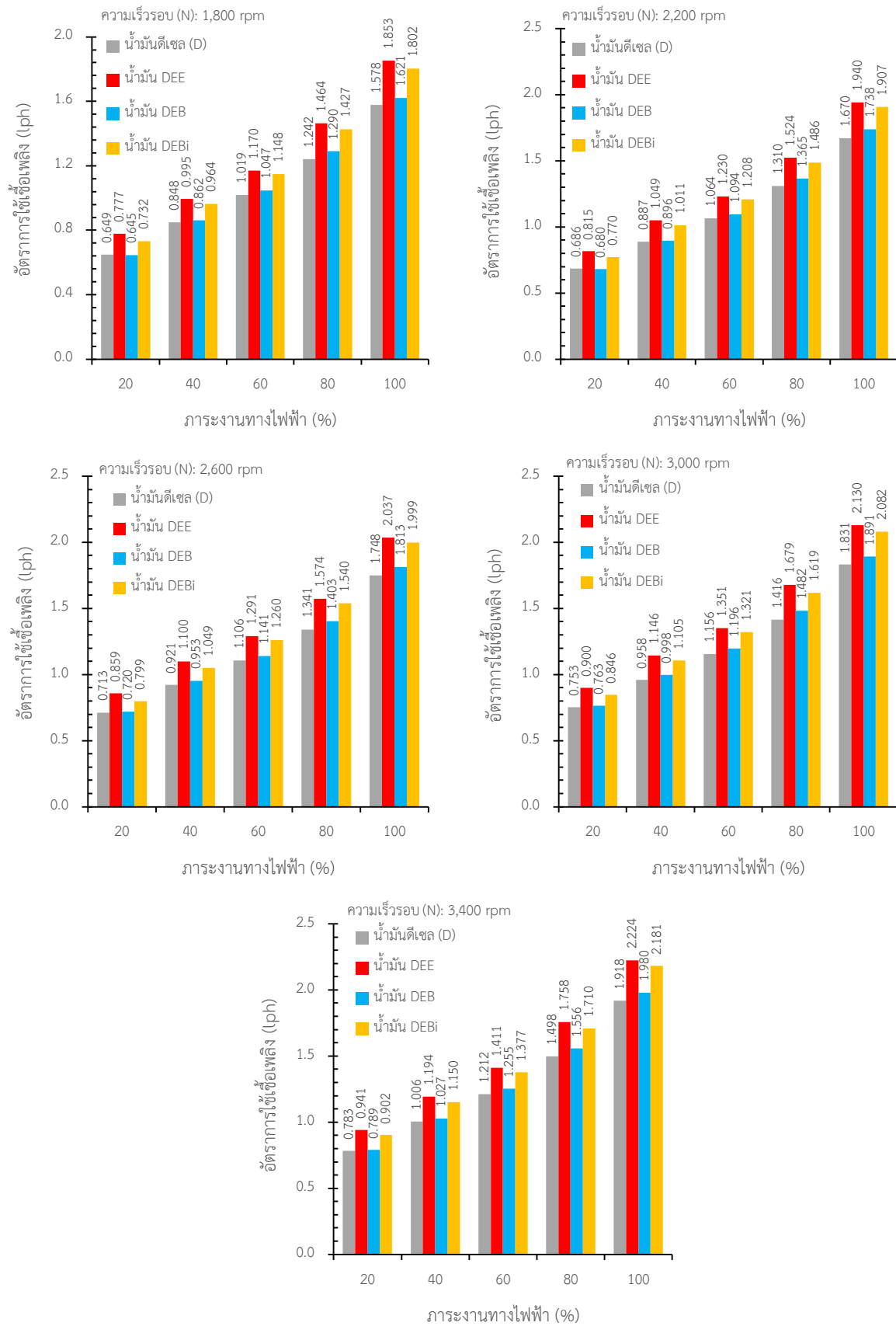
อัตราการใช้เชื้อเพลิง หรืออัตราใช้น้ำมันเชื้อเพลิง ถูกคำนวณจากอัตราการไหลเชิงปริมาตรของน้ำมันเชื้อเพลิง ซึ่งกำหนดปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงต่างๆ (ได้แก่ น้ำมัน D น้ำมัน DEE น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi) เท่ากัน และตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของระยะเวลาในการเผาผลาญน้ำมันเชื้อเพลิง ในแต่ละเครื่องยนต์ เมื่อใช้น้ำมัน D น้ำมัน DEE น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi เป็นน้ำมันเชื้อเพลิง ที่ความเร็วรอบ 1,800 ถึง 3,400 rpm ณ ภาระงานทางไฟฟ้าต่างๆ โดยควบคุมค่าความคลาดเคลื่อนของความเร็วรอบในช่วง ± 50 rpm ตามสภาวะการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 2.8 (ข) ผลลัพธ์ที่ได้ถูกแสดงในภาพที่ 3.22 ซึ่งแสดงผลการตรวจสอบอัตราการใช้เชื้อเพลิงของแต่ละเครื่องยนต์ เมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงเหล่านี้ ที่ความเร็วรอบ และภาระงานต่างๆ ในระยะเวลา 150 hr และภาพที่ 3.23 แสดงผลการวิเคราะห์อัตราการใช้เชื้อเพลิงเฉลี่ยจากการทดสอบในแต่ละเครื่องยนต์ เมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงเหล่านี้ ที่ความเร็วรอบและภาระงานต่างๆ ในระยะเวลา 150 hr โดยค่าความคลาดเคลื่อนของอัตราการใช้เชื้อเพลิงอยู่ในช่วงระหว่าง ± 0.001 ถึง ± 0.085 lph ขึ้นอยู่กับความเร็วรอบและภาระงานทางไฟฟ้าที่ใช้ในการทดสอบ

3.4.3 ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ

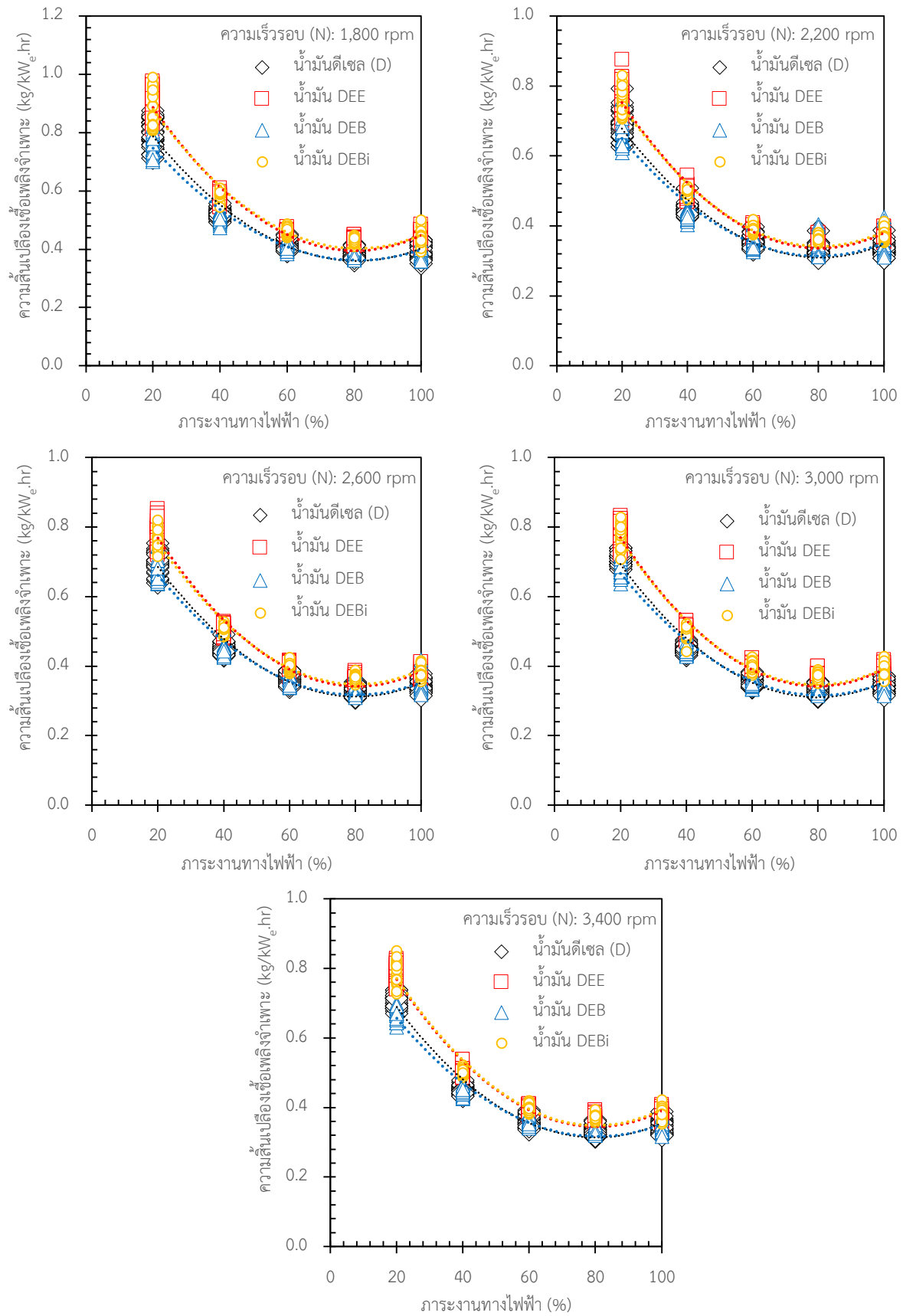
ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ หรือประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานของเชื้อเพลิง (SFC) เป็นอัตราส่วนระหว่างอัตราการไหลของน้ำมันเชื้อเพลิง หรืออัตราการใช้เชื้อเพลิง (อัตราส่วนระหว่างการใช้ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงคงที่ต่อเวลาในการเผาผลาญน้ำมันเชื้อเพลิง) ต่อกำลังงานของเครื่องยนต์ที่ให้ออกมา ซึ่งการวิจัยนี้ แสดงในรูปแบบของกำลังไฟฟ้า เนื่องจากภาระงานที่ให้กับเครื่องยนต์เป็นภาระงานทางไฟฟ้า (ดังแสดงในสมการที่ 2.4) โดยทำการทดสอบที่ความเร็วรอบ 1,800 ถึง 3,400 rpm ณ ภาระงานทางไฟฟ้าต่างๆ และควบคุมค่าความคลาดเคลื่อนของความเร็วรอบในช่วง ± 50 rpm ในขณะที่ผลการตรวจสอบความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ ถูกแสดงในภาพที่ 3.24 ซึ่งแสดงผลลัพธ์ต่างๆ ของความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะของแต่ละเครื่องยนต์ เมื่อใช้น้ำมัน D น้ำมัน DEE น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi เป็นน้ำมันเชื้อเพลิง ที่ความเร็วรอบและภาระงานทางไฟฟ้าต่างๆ ในระยะเวลา 150 hr และภาพที่ 3.25 แสดงผลการวิเคราะห์ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเฉลี่ยขณะทำการทดสอบในแต่ละเครื่องยนต์ เมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงเหล่านี้ ที่ความเร็วรอบและภาระงานต่างๆ ในระยะเวลา 150 hr โดยค่าความคลาดเคลื่อนของ SFC อยู่ในช่วงระหว่าง ± 0.0009 ถึง ± 0.096 kg/kW_e.hr ขึ้นอยู่กับความเร็วรอบและภาระงานทางไฟฟ้าที่ใช้ในการทดสอบ



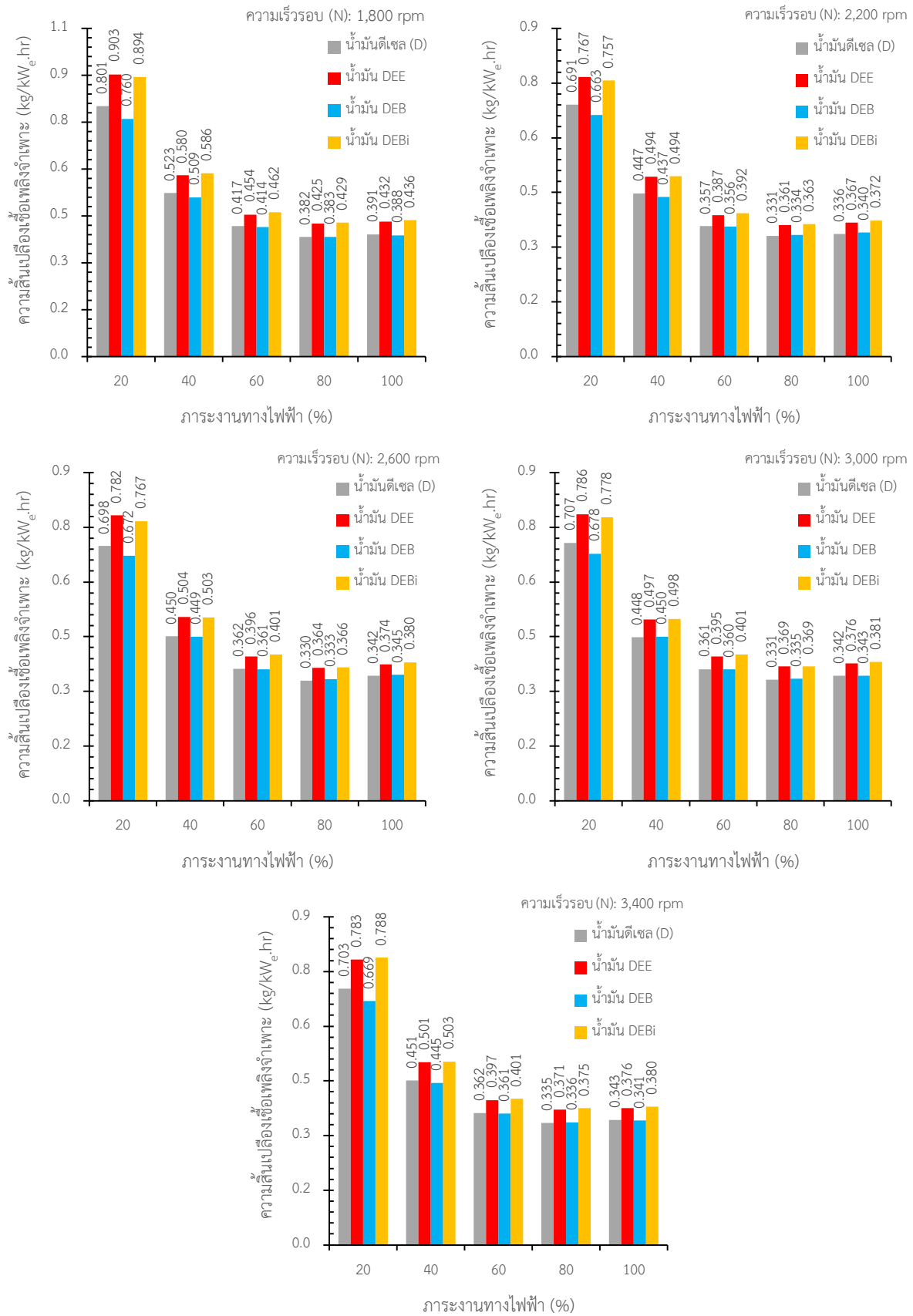
ภาพที่ 3.22 อัตราการใช้เชื้อเพลิงที่ความเร็วรอบและภาระงานต่างๆ เมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงแต่ละชนิด



ภาพที่ 3.23 อัตราการใช้เชื้อเพลิงเฉลี่ย ณ ความเร็วรอบและภาระงานต่างๆ



ภาพที่ 3.24 ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่ความเร็วรอบและภาระงานต่างๆ เมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงแต่ละชนิด



ภาพที่ 3.25 ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเฉลี่ย ณ ความเร็วรอบและภาระงานต่างๆ

3.4.4 ประสิทธิภาพทางความร้อน

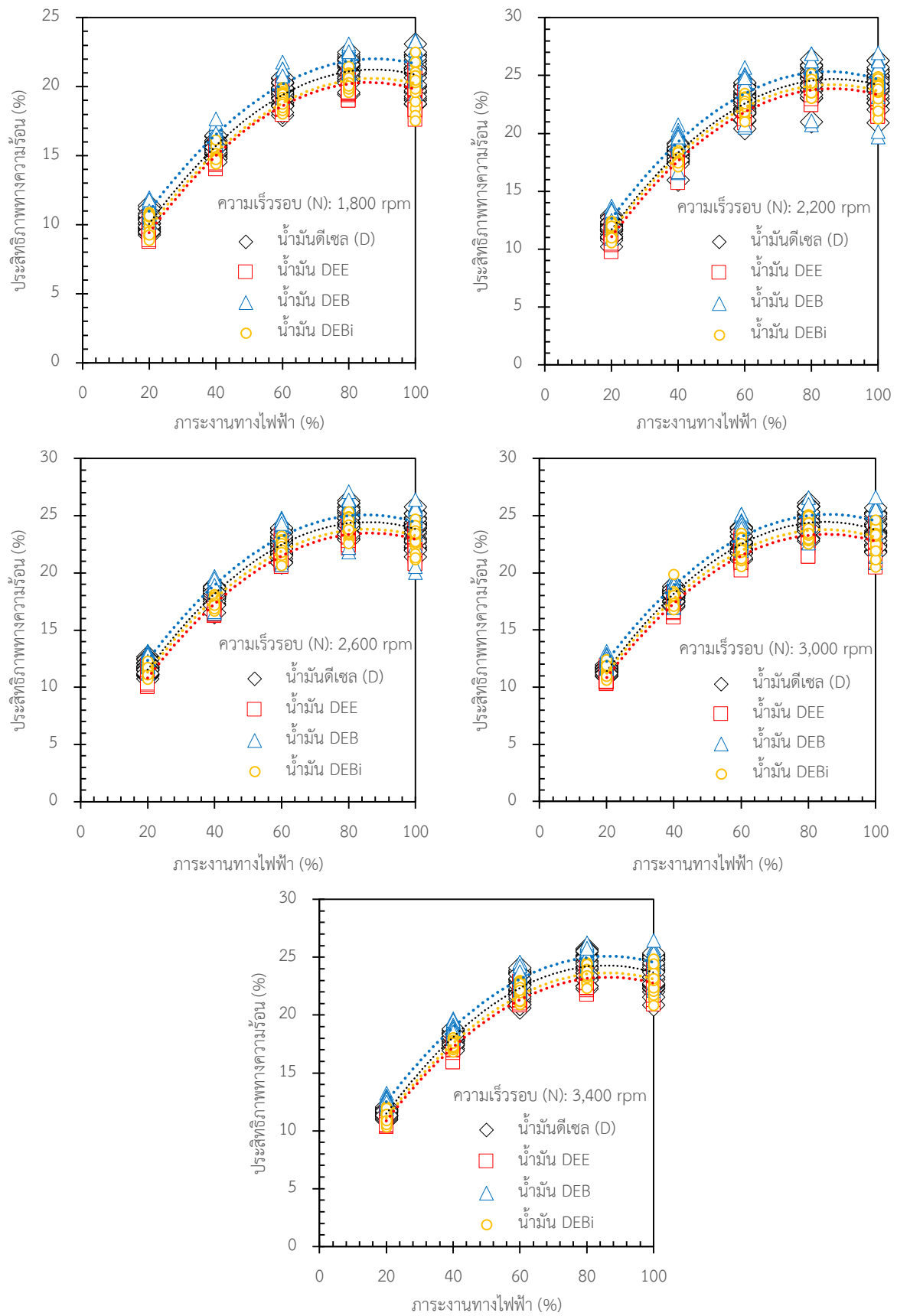
ประสิทธิภาพทางความร้อน เป็นตัวแปรหนึ่งที่ใช้ในการตรวจสอบประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างกำลังงานของเครื่องยนต์ที่ให้ออกมาต่อพลังงานจากน้ำมันเชื้อเพลิงที่ป้อนให้กับเครื่องยนต์ ที่ความเร็วรอบและภาระงานต่างๆ โดยผลลัพธ์ต่างๆ จากการทดสอบเครื่องยนต์บนแท่นทดสอบ ถูกแสดงในภาพที่ 3.26 ซึ่งแสดงผลการตรวจสอบประสิทธิภาพทางความร้อนในแต่ละเครื่องยนต์ เมื่อใช้น้ำมัน D น้ำมัน DEE น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi เป็นน้ำมันเชื้อเพลิง ที่ความเร็วรอบและภาระงานทางไฟฟ้าต่างๆ ในระยะเวลา 150 hr และภาพที่ 3.27 แสดงผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพทางความร้อนเฉลี่ยจากการทดสอบในระยะเวลา 150 hr เมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงเหล่านี้ ในแต่ละเครื่องยนต์ ที่ความเร็วรอบและภาระงานต่างๆ โดยค่าความคลาดเคลื่อนประสิทธิภาพทางความร้อนอยู่ในช่วงระหว่าง ± 0.024 ถึง ± 1.234 % ขึ้นอยู่กับความเร็วรอบและภาระงานทางไฟฟ้าที่ใช้ในการทดสอบ

3.4.5 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ

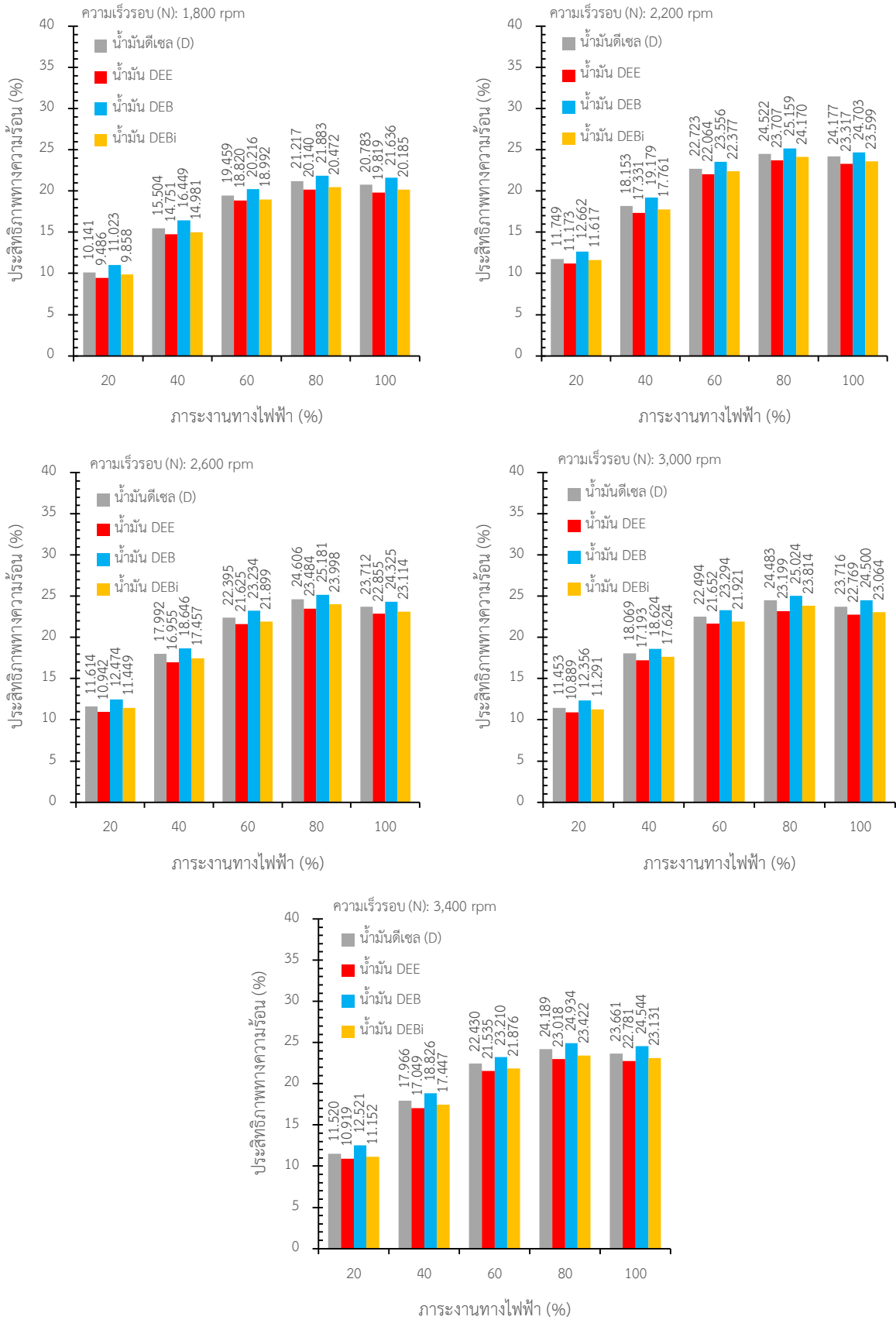
ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ มีผลลัพธ์ตรงกันข้ามกับประสิทธิภาพทางความร้อน ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างพลังงานจากน้ำมันเชื้อเพลิงที่ป้อนให้กับเครื่องยนต์ต่อกำลังงานของเครื่องยนต์ที่ให้ออกมาที่ความเร็วรอบและภาระงานต่างๆ โดยผลการตรวจสอบความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ ถูกแสดงในภาพที่ 3.28 ซึ่งแสดงผลลัพธ์ต่างๆ ของความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ เมื่อใช้น้ำมัน D น้ำมัน DEE น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi เป็นน้ำมันเชื้อเพลิง ในแต่ละเครื่องยนต์ ที่ความเร็วรอบและภาระงานทางไฟฟ้าต่างๆ ในระยะเวลา 150 hr และภาพที่ 3.29 แสดงผลการวิเคราะห์ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเฉลี่ยจากการทดสอบเครื่องยนต์บนแท่นทดสอบเมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงเหล่านี้ ในแต่ละเครื่องยนต์ ที่ความเร็วรอบและภาระงานต่างๆ ในระยะเวลา 150 hr โดยค่าความคลาดเคลื่อนของความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะอยู่ในช่วงระหว่าง ± 0.0163 ถึง ± 3.9588 MJ/kW_e.hr ขึ้นอยู่กับความเร็วรอบและภาระงานทางไฟฟ้าที่ใช้ในการทดสอบ

3.4.6 ประสิทธิภาพเชิงปริมาตร

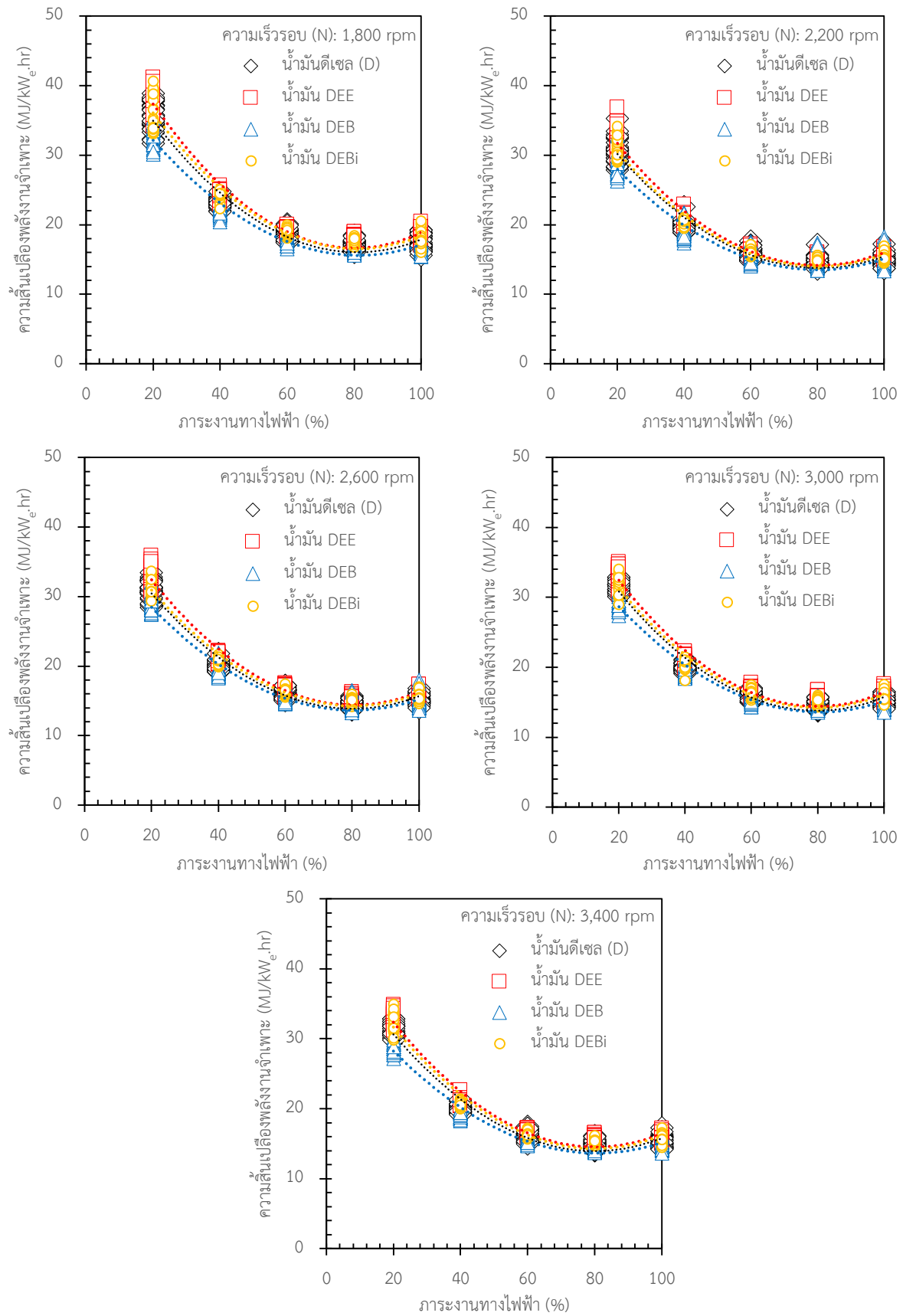
ประสิทธิภาพเชิงปริมาตร เป็นอัตราส่วนระหว่างอัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศที่เครื่องยนต์นำไปใช้ในการเผาไหม้จริงต่ออัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศทางทฤษฎีที่เครื่องยนต์ดูดเข้าไปในกระบอกสูบตามขนาดของกระบอกสูบ โดยตัวแปรนี้ ถูกออกแบบมาเพื่อใช้ในการตรวจสอบประสิทธิภาพของกระบวนการนำอากาศเข้าสู่กระบอกสูบของเครื่องยนต์ดีเซล โดยประสิทธิภาพเชิงปริมาตรนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของเชื้อเพลิง และความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดสอบ ขณะที่ผลการตรวจสอบประสิทธิภาพเชิงปริมาตร จากการใช้น้ำมัน D น้ำมัน DEE น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi เป็นน้ำมันเชื้อเพลิง ในแต่ละเครื่องยนต์ ที่ความเร็วรอบและภาระงานทางไฟฟ้าต่างๆ ในระยะเวลา 150 hr นั้น ถูกแสดงในภาพที่ 3.30 และต่อมา มีการวิเคราะห์ประสิทธิภาพเชิงปริมาตรเฉลี่ย จากผลลัพธ์ต่างๆ จากการทดสอบเครื่องยนต์ เมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงเหล่านี้ ในแต่ละเครื่องยนต์ ที่ระยะเวลาของการทดสอบ 150 hr ซึ่งถูกแสดงในภาพที่ 3.31 โดยค่าความคลาดเคลื่อนของประสิทธิภาพเชิงปริมาตรอยู่ในช่วงระหว่าง ± 0.0174 ถึง ± 1.3460 % ขึ้นอยู่กับความเร็วรอบและภาระงานทางไฟฟ้าที่ใช้ในการทดสอบ



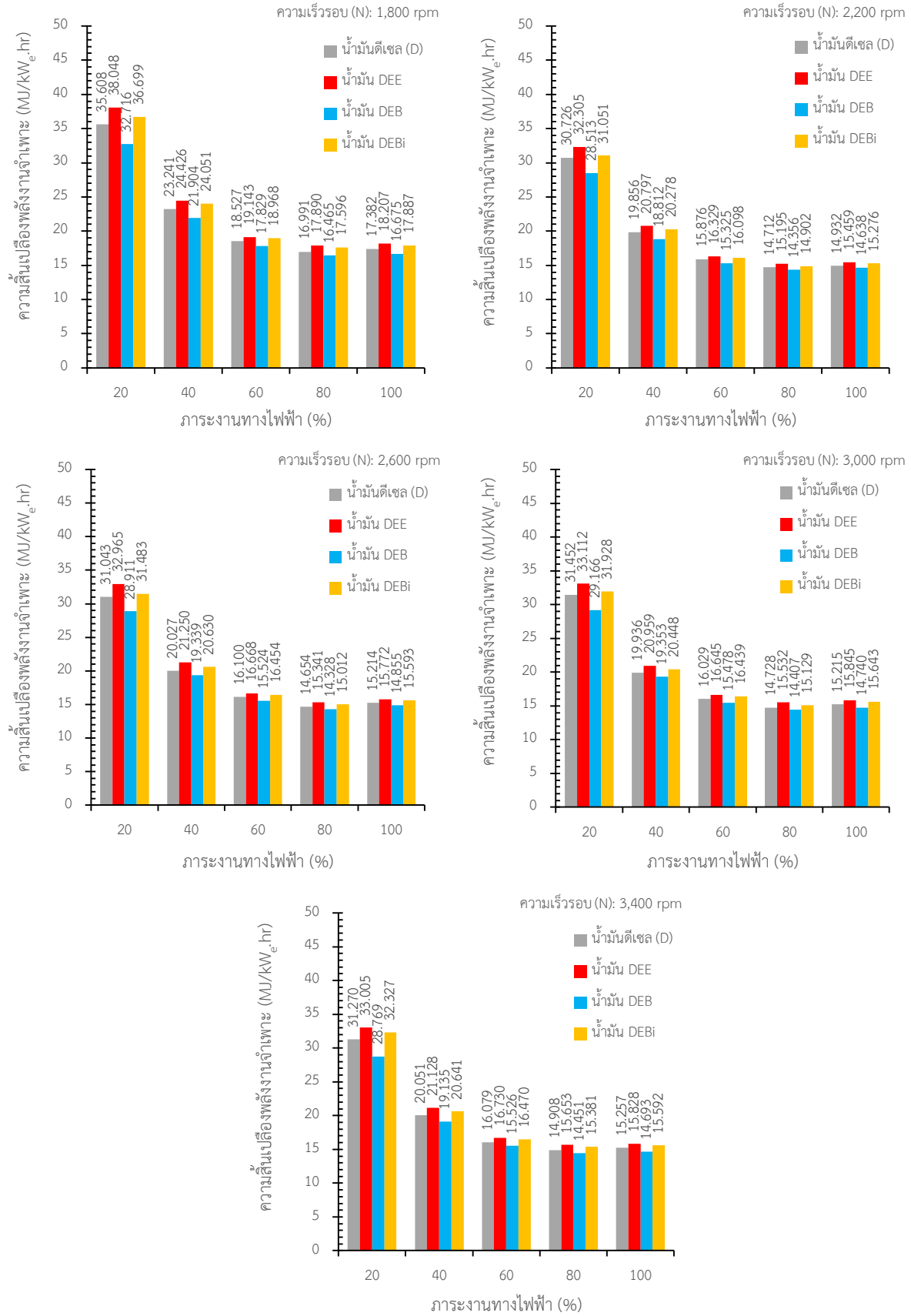
ภาพที่ 3.26 ประสิทธิภาพทางความร้อนที่ความเร็วรอบและภาระงานต่างๆ เมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงแต่ละชนิด



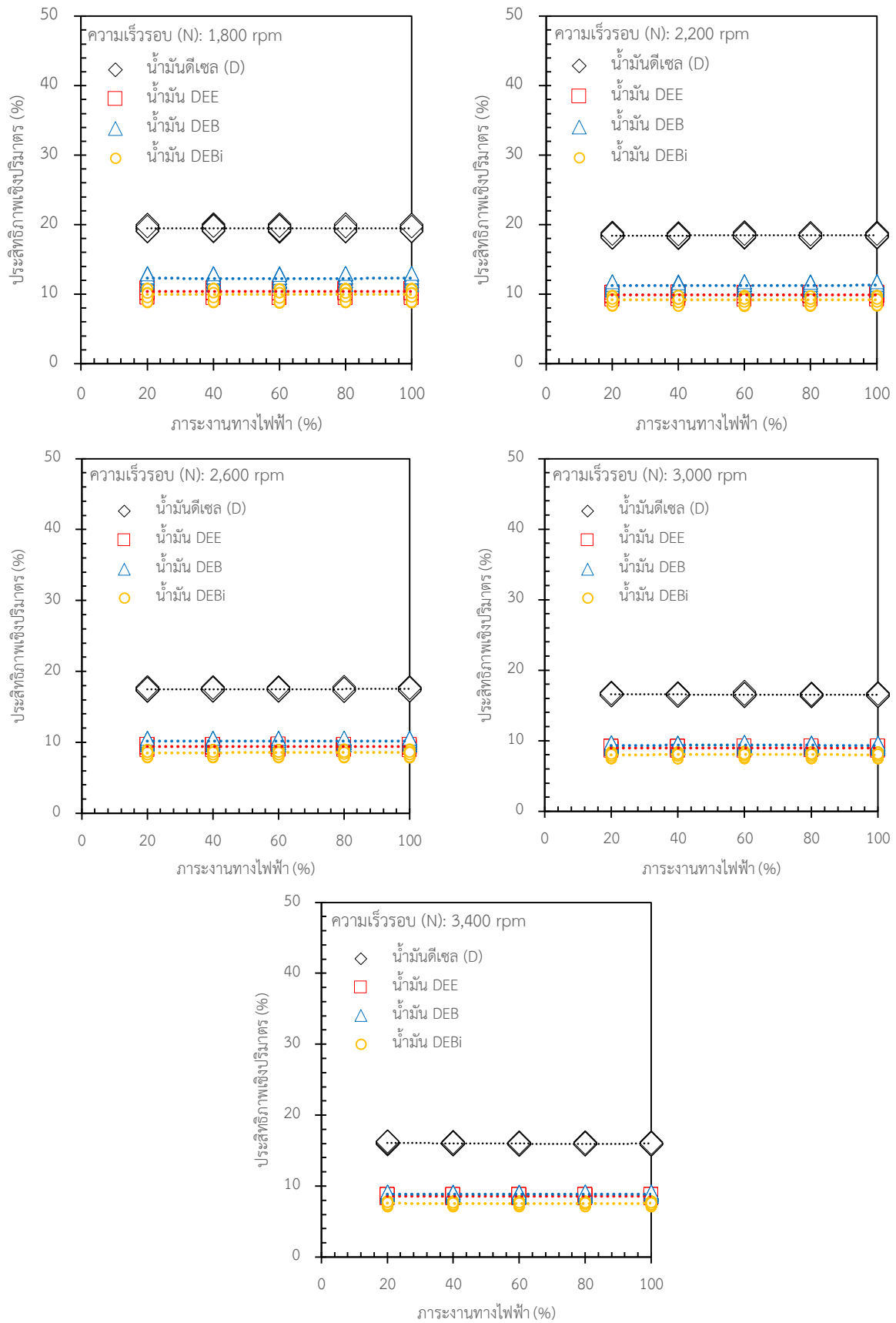
ภาพที่ 3.27 ประสิทธิภาพทางความร้อนเฉลี่ย ณ ความเร็วรอบและภาระงานต่างๆ



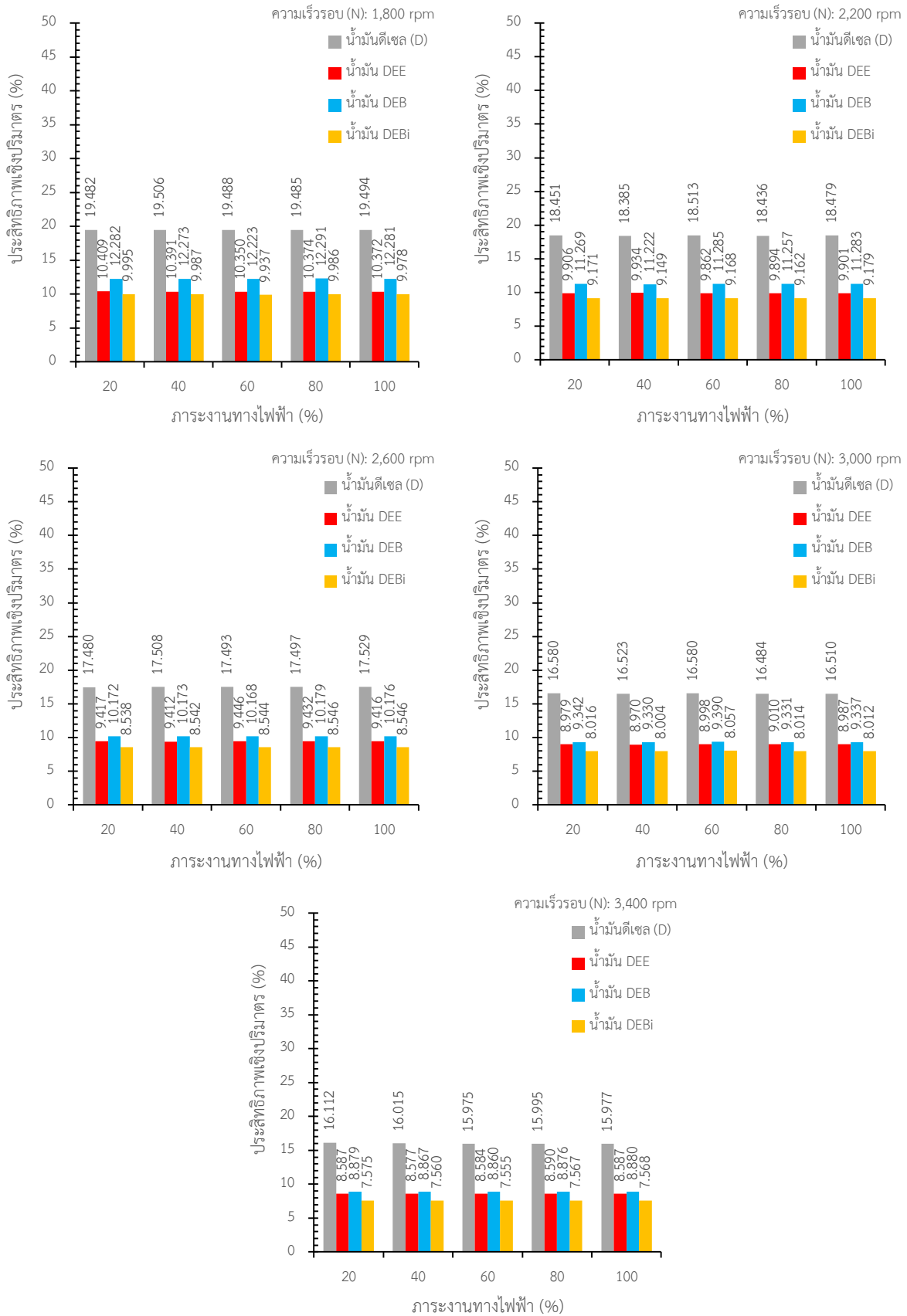
ภาพที่ 3.28 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ความเร็วรอบและภาระงานต่างๆ เมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงแต่ละชนิด



ภาพที่ 3.29 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเฉลี่ย ณ ความเร็วรอบและภาระงานต่างๆ



ภาพที่ 3.30 ประสิทธิภาพเชิงปริมาตรที่ความเร็วรอบและภาระงานต่างๆ เมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงแต่ละชนิด



ภาพที่ 3.31 ประสิทธิภาพเชิงปริมาตรเฉลี่ย ณ ความเร็วรอบและภาระงานต่างๆ

3.4.7 อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง

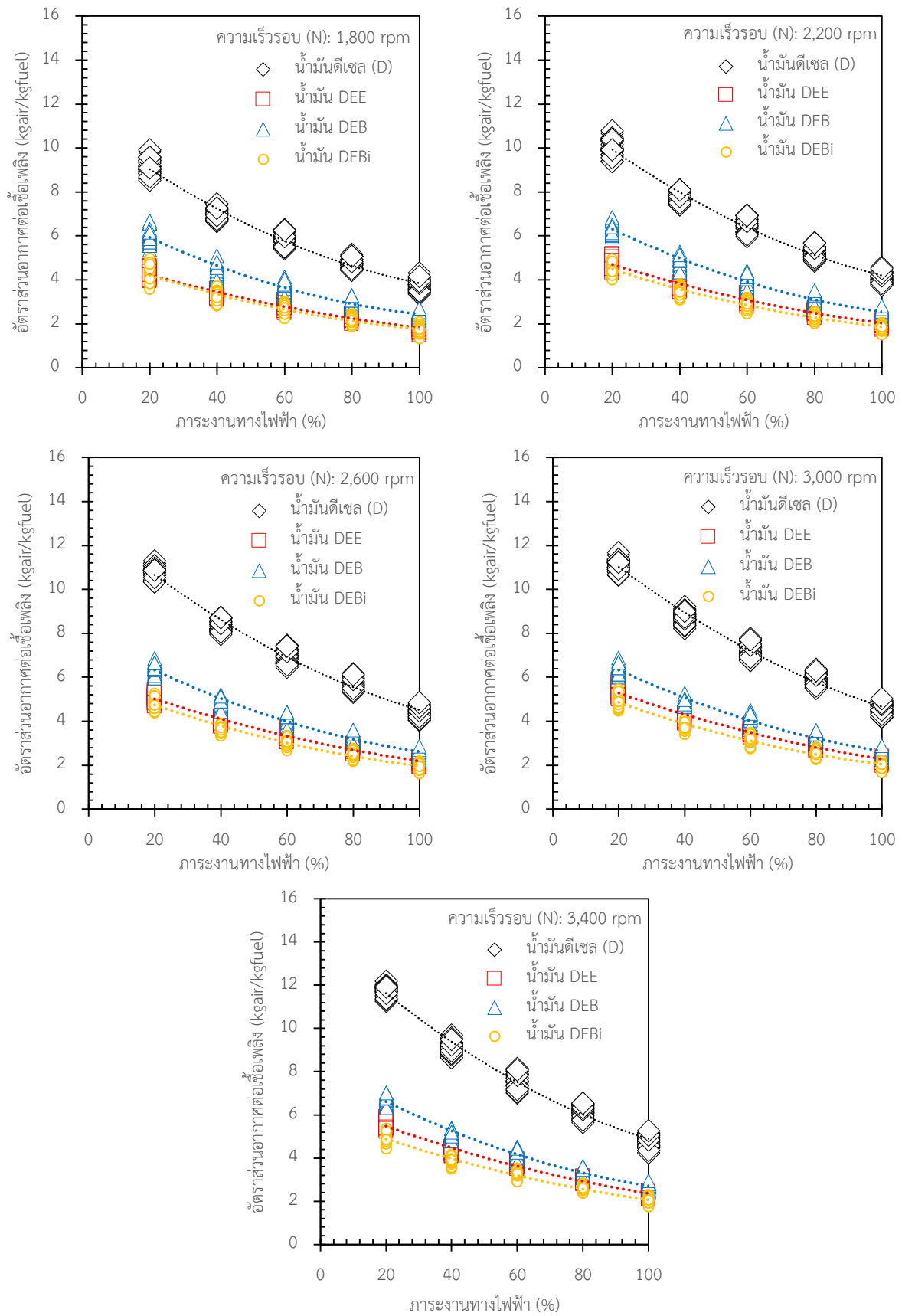
อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง เป็นตัวแปรสำคัญสำหรับตรวจสอบการปล่อยสารมลพิษต่างๆ ของเครื่องยนต์ ถ้ามีอากาศเพียงพอที่จะเผาไหม้กับน้ำมันเชื้อเพลิงจะเรียกว่า การเผาไหม้สมบูรณ์ และถ้ามีอากาศไม่เพียงพอที่จะเผาไหม้กับน้ำมันเชื้อเพลิงจะเรียกว่า การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ โดยอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง ถูกคำนวณจากมวลของอากาศที่ส่งเข้าไปต่อมวลของน้ำมันเชื้อเพลิงที่เผาไหม้ภายในกระบอกสูบของเครื่องยนต์ โดยผลลัพธ์ต่างๆ จากการทดสอบเครื่องยนต์บนแท่นทดสอบถูกแสดงในภาพที่ 3.32 ซึ่งแสดงผลการตรวจสอบอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงในแต่ละเครื่องยนต์ เมื่อใช้น้ำมัน D น้ำมัน DEE น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi เป็นน้ำมันเชื้อเพลิง ที่ความเร็วรอบและภาระงานทางไฟฟ้าต่างๆ ในระยะเวลา 150 hr และภาพที่ 3.33 แสดงผลการวิเคราะห์อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงเฉลี่ยจากการทดสอบในระยะเวลา 150 hr เมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงเหล่านี้ ในแต่ละเครื่องยนต์ ที่ความเร็วรอบและภาระงานต่างๆ โดยค่าความคลาดเคลื่อนของอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงอยู่ในช่วงระหว่าง ± 0.012 ถึง ± 0.877 kgair/kgfuel ขึ้นอยู่กับความเร็วรอบและภาระงานทางไฟฟ้าที่ใช้ในการทดสอบ

3.4.8 อุณหภูมิแก๊สไอเสีย

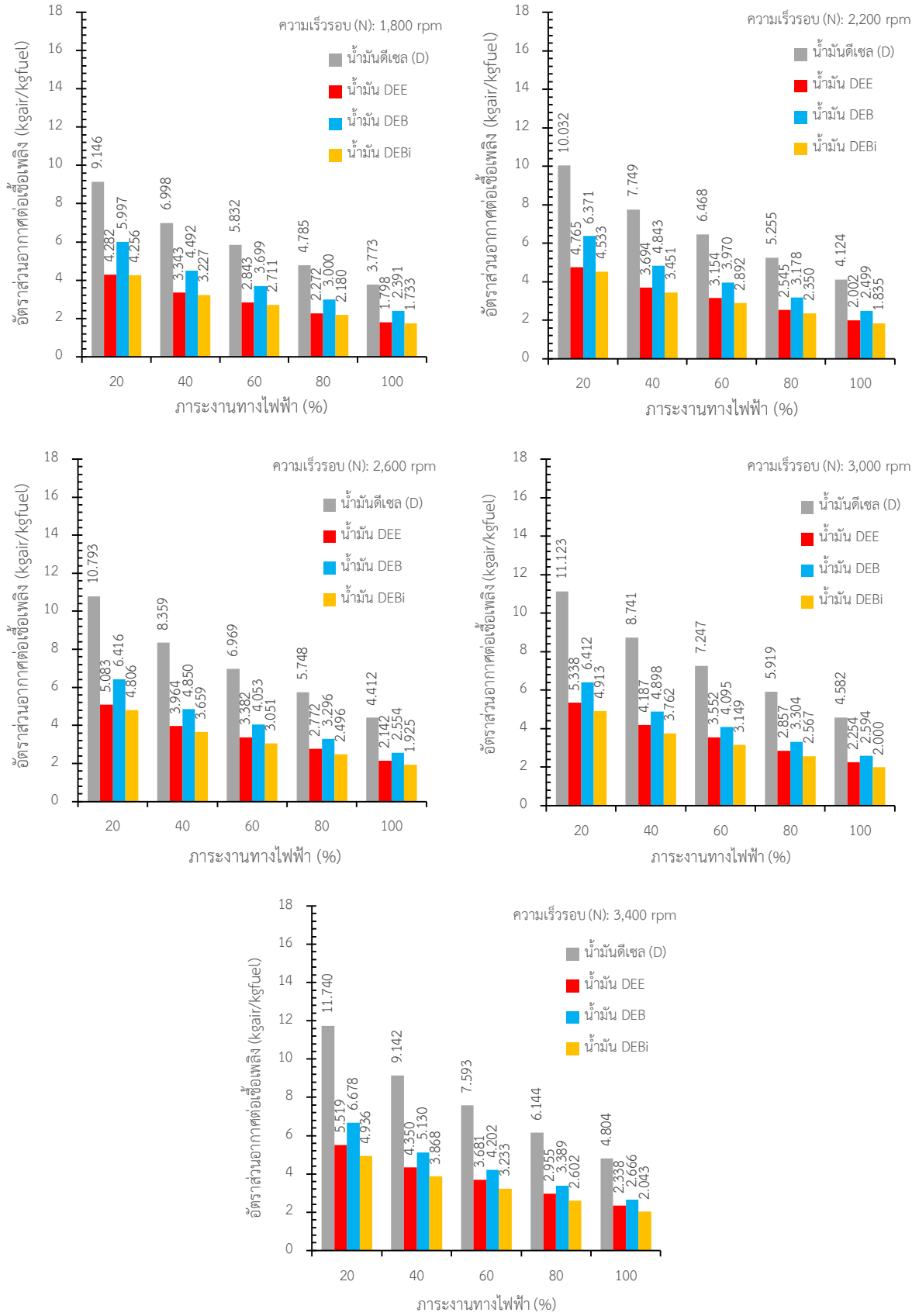
อุณหภูมิแก๊สไอเสีย ถูกตรวจสอบจากเทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) ที่ติดตั้งบริเวณท่อร่วมไอเสีย และต่อกับเครื่องแสดงผลอุณหภูมิ ซึ่งเป็นการตรวจสอบอุณหภูมิของการเผาไหม้ภายหลังจังหวะการขยายตัวในช่วงวาล์วไอเสียเปิด และอุณหภูมินี้ บ่งบอกถึงอุณหภูมิการเผาไหม้ในช่วงล่าช้าของการเผาไหม้ (Late of combustion) ถ้าอุณหภูมิแก๊สไอเสียเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าเกิดความล่าช้าของการเผาไหม้เพิ่มขึ้น และอาจมีการปล่อยสารมลพิษต่างๆ ของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น โดยผลการตรวจสอบอุณหภูมิแก๊สไอเสียถูกแสดงในภาพที่ 3.34 ซึ่งแสดงผลลัพธ์ต่างๆ ของอุณหภูมิแก๊สไอเสีย เมื่อใช้น้ำมัน D น้ำมัน DEE น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi เป็นน้ำมันเชื้อเพลิง ในแต่ละเครื่องยนต์ ที่ความเร็วรอบและภาระงานทางไฟฟ้าต่างๆ ในระยะเวลา 150 hr และภาพที่ 3.35 แสดงผลการวิเคราะห์อุณหภูมิแก๊สไอเสียเฉลี่ยจากการทดสอบเครื่องยนต์บนแท่นทดสอบเมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงเหล่านี้ ในแต่ละเครื่องยนต์ ที่ความเร็วรอบและภาระงานต่างๆ ในระยะเวลา 150 hr โดยค่าความคลาดเคลื่อนของอุณหภูมิแก๊สไอเสียอยู่ช่วงระหว่าง ± 0.089 ถึง ± 7.872 °C ขึ้นอยู่กับความเร็วรอบและภาระงานทางไฟฟ้าที่ใช้ในการทดสอบ

3.4.9 ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์

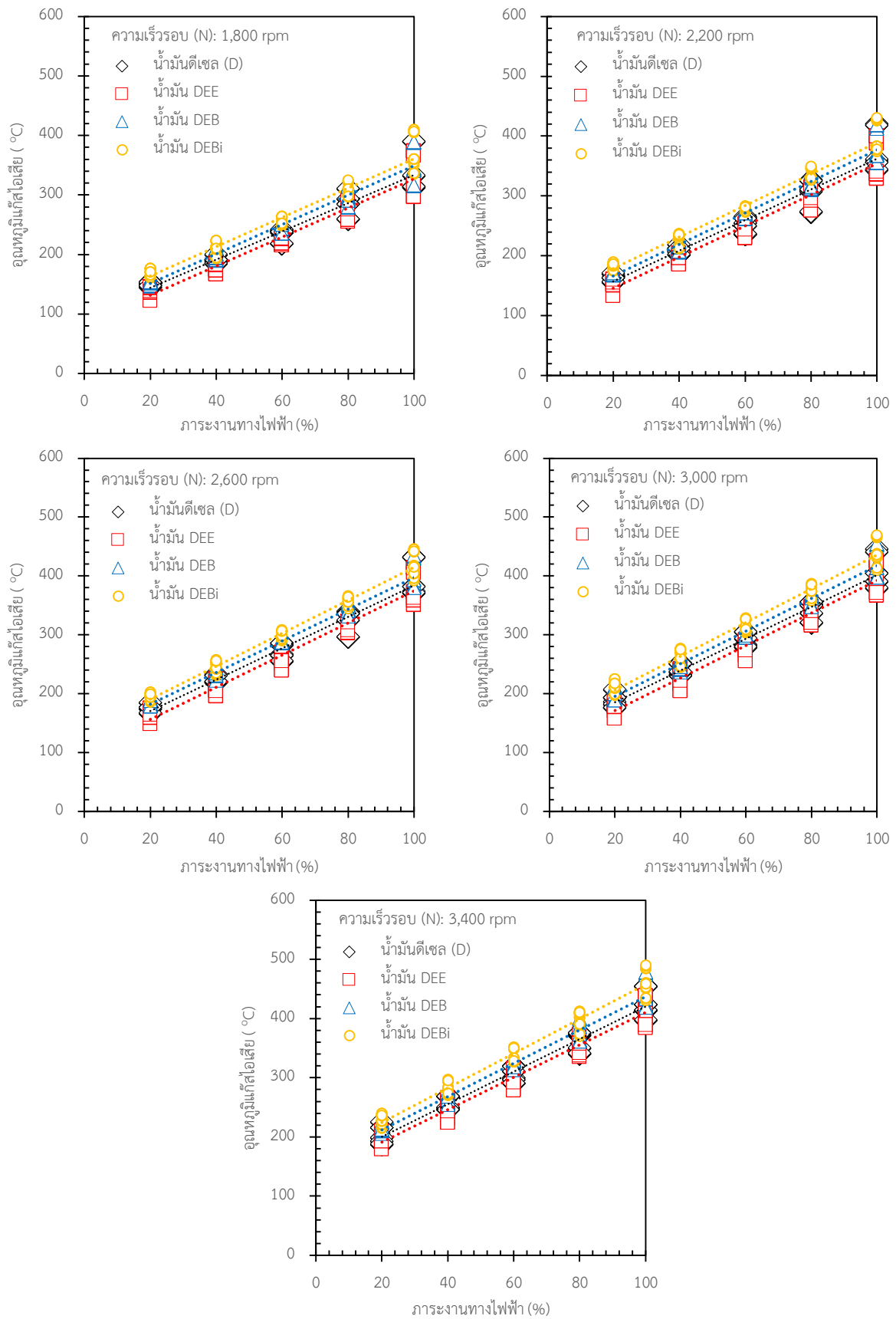
การปลดปล่อยปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) จากแก๊สไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซลนั้น เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาของการเผาไหม้ระหว่างน้ำมันเชื้อเพลิงและออกซิเจนในองค์ประกอบของอากาศ เนื่องจากอะตอมเดี่ยวของคาร์บอน (C) แต่ละตัวภายในน้ำมันเชื้อเพลิงจะรวมกับอะตอมของออกซิเจนสองตัว (O₂) ในอากาศ เพื่อสร้างคาร์บอนไดออกไซด์ ดังนั้น ถ้ามีอะตอมของ O₂ จำนวนมาก ถูกทำปฏิกิริยาการเผาไหม้ที่สมบูรณ์กับอะตอมของ C จะนำไปสู่การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของการเผาไหม้ และมีการปลดปล่อยปริมาณของ CO₂ เพิ่มมากขึ้น โดยการตรวจสอบระดับของ CO₂ จากแก๊สไอเสียของเครื่องยนต์นั้น การวิจัยนี้ ใช้เครื่องวิเคราะห์ห้องค์ประกอบของสารมลพิษต่างๆ ของบริษัท Cosber รุ่น KWQ-5 Automotive emission analyzes โดยใช้วิธี Non-disperse infrared (NDIR) method



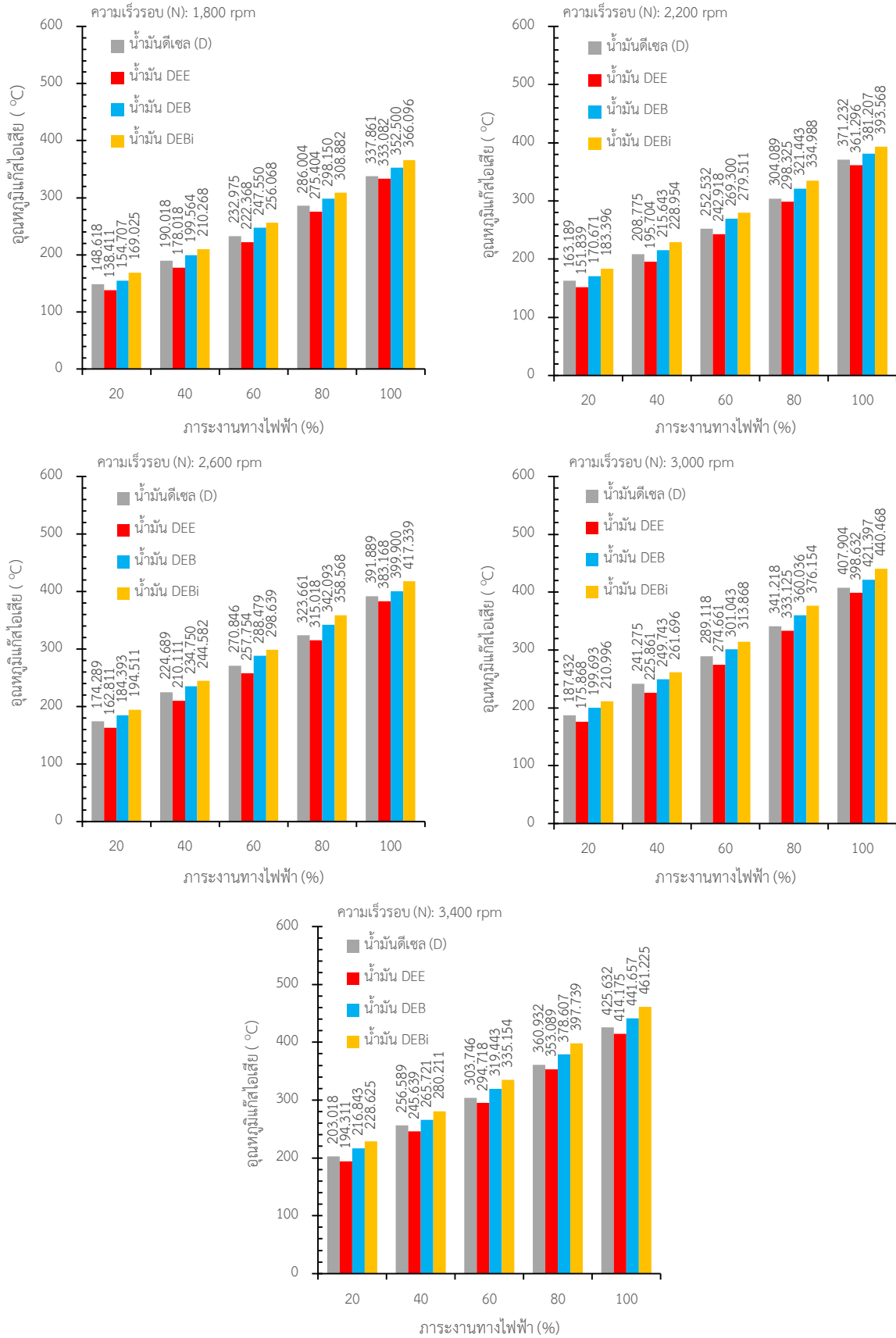
ภาพที่ 3.32 อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงที่ความเร็วรอบและภาระงานต่างๆ เมื่อน้ำมันเชื้อเพลิงแต่ละชนิด



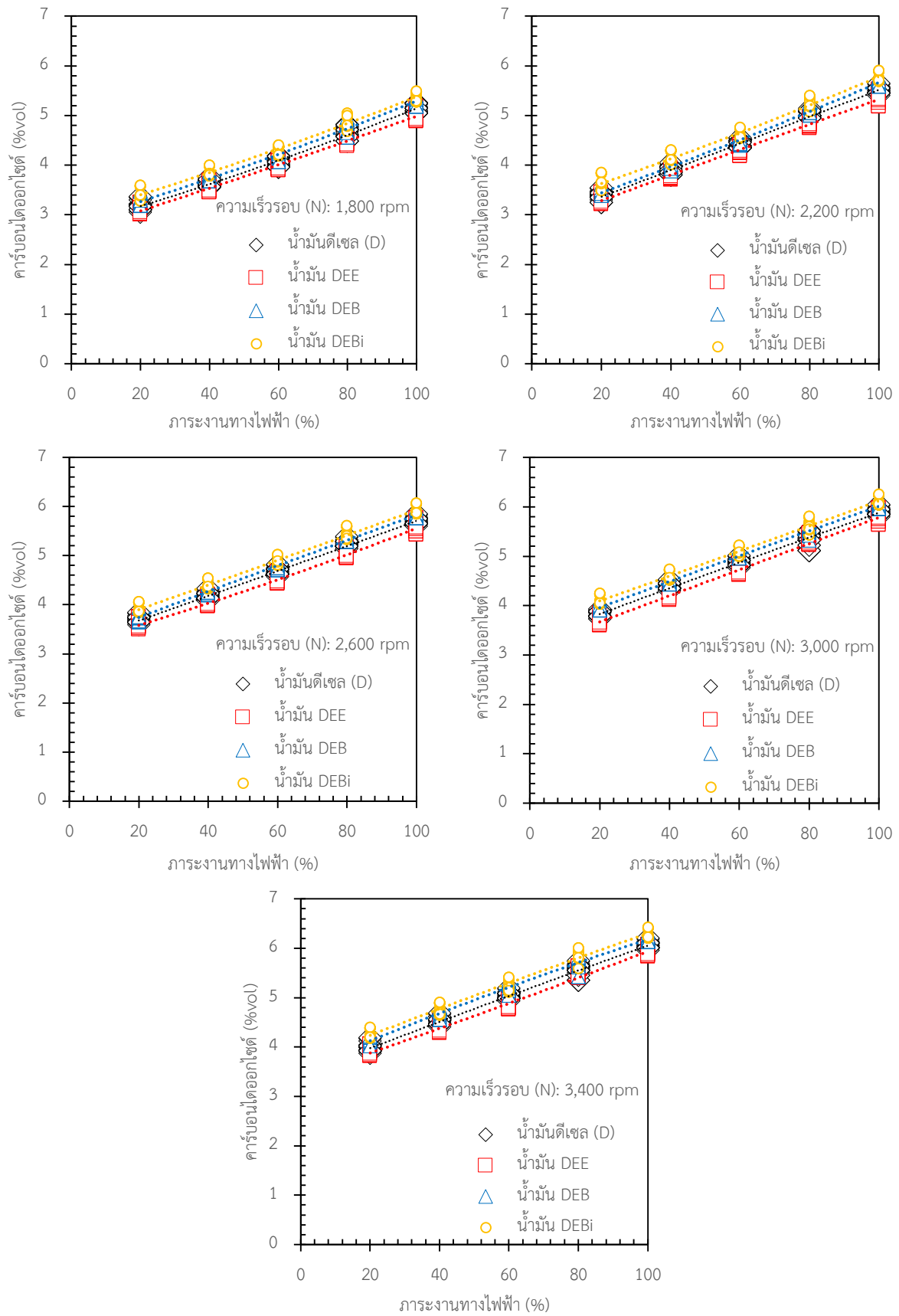
ภาพที่ 3.33 อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงเฉลี่ย ณ ความเร็วรอบและภาระงานต่างๆ



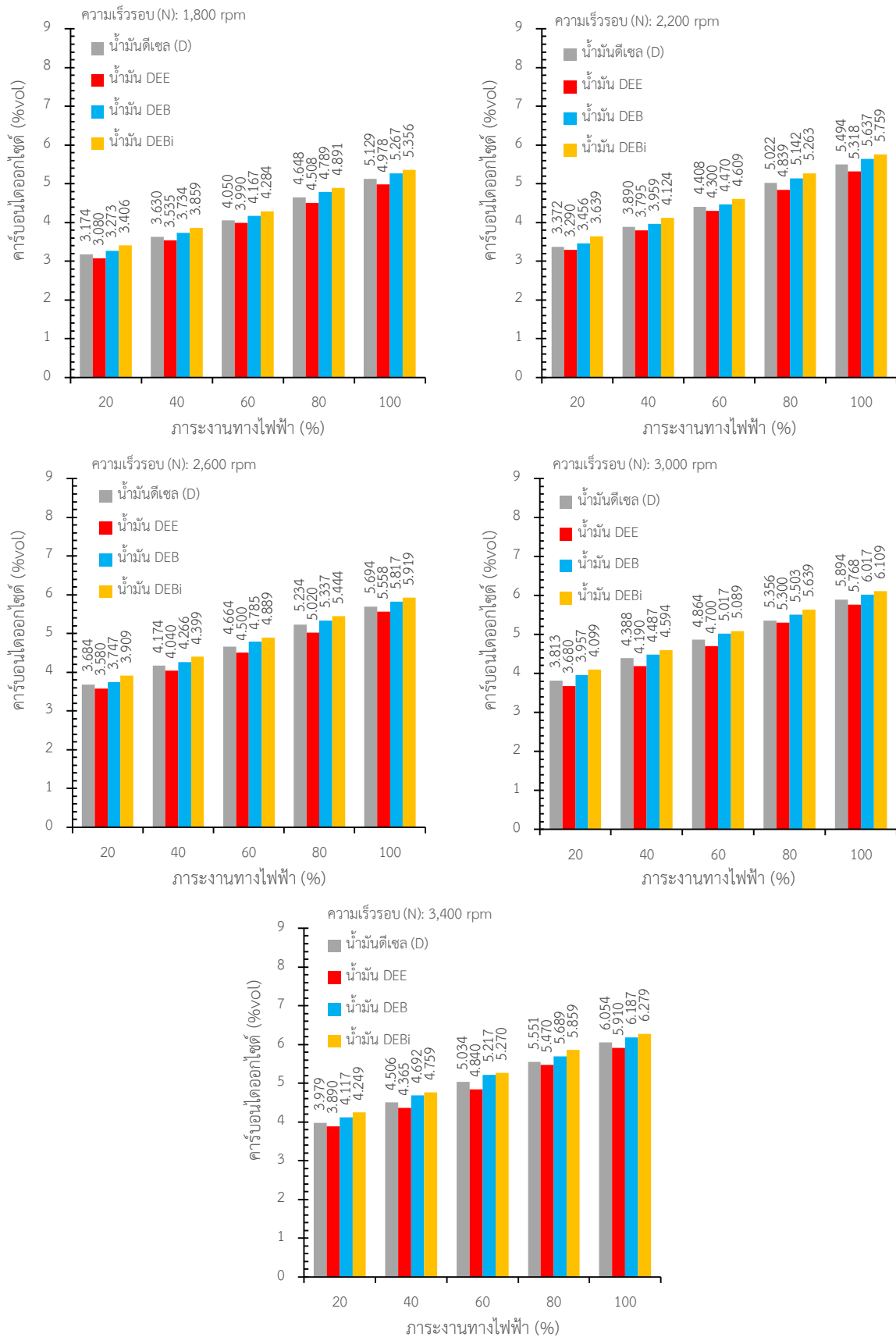
ภาพที่ 3.34 อุณหภูมิแก๊สไอเสีย ที่ความเร็วรอบและภาระงานต่างๆ เมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงแต่ละชนิด



ภาพที่ 3.35 อุณหภูมิแก๊สไอเสียเฉลี่ย ณ ความเร็วรอบและภาระงานต่างๆ



ภาพที่ 3.36 การปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเร็วรอบและภาระงานต่างๆ เมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงแต่ละชนิด



ภาพที่ 3.37 ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เฉลี่ย ณ ความเร็วรอบและภาระงานต่างๆ

ขณะที่ผลการตรวจสอบปริมาณของ CO₂ จากการใช้น้ำมัน D น้ำมัน DEE น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi เป็นน้ำมันเชื้อเพลิง ในแต่ละเครื่องยนต์ ที่ความเร็วรอบและภาระงานทางไฟฟ้าต่างๆ ในระยะเวลา 150 hr นั้น ถูกแสดงในภาพที่ 3.36 หลังจากนั้น มีการวิเคราะห์ปริมาณของ CO₂ เฉลี่ย จากผลลัพธ์ต่างๆ จากการทดสอบเครื่องยนต์ เมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงเหล่านี้ ในแต่ละเครื่องยนต์ ที่ระยะเวลาของการทดสอบ 150 hr ซึ่งถูกแสดงในภาพที่ 3.37 โดยค่าความคลาดเคลื่อนของการวัดปริมาณ CO₂ อยู่ระหว่าง ±0.0002 ถึง ±0.2965 %vol ขึ้นอยู่กับความเร็วรอบและภาระงานทางไฟฟ้าที่ใช้ในการทดสอบ

3.4.10 ปริมาณออกไซด์ของไนโตรเจน

การปลดปล่อยปริมาณออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) จากแก๊สไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซลนั้น การวิจัยนี้ ตรวจสอบการปล่อยปริมาณของ NO_x จากการปลดปล่อยปริมาณของไนตริกออกไซด์ (NO) โดยการใช้เครื่องวิเคราะห์ห้องค์ประกอบของสารมลพิษต่างๆ ของบริษัท Cosber รุ่น KWQ-5 Automotive emission analyzes เพราะการเกิด NO เป็นผลมาจากปฏิกิริยาการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วระหว่างอะตอมเดี่ยวของไนโตรเจน (N) และออกซิเจน (O) และอนุมูลอิสระของไฮโดรคาร์บอน (C_xH_y) โดยมีสองตัวแปรหลัก คือ อุณหภูมิของการเผาไหม้ และปริมาณของ O ซึ่งก่อให้เกิดการปลดปล่อยสารมลพิษ NO ถ้าน้ำมันเชื้อเพลิงถูกทำปฏิกิริยากับปริมาณของ O จำนวนมาก จะนำไปสู่ปฏิกิริยาการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้อุณหภูมิการเผาไหม้สูงขึ้น ผลลัพธ์ที่ตามมา จะมีการปลดปล่อยสารพิษ NO ออกมาจำนวนมาก ขณะที่เครื่องวิเคราะห์ห้องค์ประกอบของสารมลพิษต่างๆ นี้ ได้ตรวจสอบการปล่อยสารมลพิษ NO โดยใช้วิธี Electrochemical cell method และผลการตรวจสอบการปล่อยปริมาณของ NO จากการใช้น้ำมัน D น้ำมัน DEE น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi เป็นน้ำมันเชื้อเพลิง ในแต่ละเครื่องยนต์ ที่ความเร็วรอบและภาระงานทางไฟฟ้าต่างๆ ในระยะเวลา 150 hr นั้น ถูกแสดงในภาพที่ 3.38 และต่อมา มีการวิเคราะห์ปริมาณของ NO เฉลี่ย จากผลลัพธ์ต่างๆ จากการทดสอบเครื่องยนต์ เมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงเหล่านี้ ในแต่ละเครื่องยนต์ ที่ระยะเวลาของการทดสอบ 150 hr ซึ่งถูกแสดงในภาพที่ 3.39 โดยค่าความคลาดเคลื่อนของการวัดปริมาณ NO อยู่ระหว่าง ±0.031 ถึง ±38.007 ppm ขึ้นอยู่กับความเร็วรอบและภาระงานทางไฟฟ้าที่ใช้ในการทดสอบ

3.4.11 ปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์

ปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ที่ปลดปล่อยออกมาจากแก๊สไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซลนั้น เป็นผลมาจากปฏิกิริยาการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ระหว่างอะตอมของ C ภายในน้ำมันเชื้อเพลิงกับอะตอมของ O ที่แตกตัวอิสระในองค์ประกอบของอากาศ ซึ่งเกิดการรวมตัวกลายเป็นสารมลพิษ CO และมันสามารถเกิดขึ้นในช่วงที่มีปริมาณของออกซิเจนไม่เพียงพอต่อการเกิดปฏิกิริยาของการเผาไหม้ และความเข้มข้นของสารตั้งต้นคาร์บอนทั้งหมดไม่สามารถถูกเปลี่ยนเป็น CO₂ ได้ จึงก่อให้เกิดความเข้มข้นของ CO ขึ้น ดังนั้น การวิจัยนี้ ได้ตรวจสอบการปล่อยสารมลพิษ CO จากแก๊สไอเสียของเครื่องยนต์ โดยใช้วิธี Non-disperse infrared (NDIR) method ขณะที่ผลการตรวจสอบการปล่อยปริมาณของ CO จากการใช้น้ำมัน D น้ำมัน DEE น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi เป็นน้ำมันเชื้อเพลิง ในแต่ละเครื่องยนต์ ที่ความเร็วรอบและภาระงานทางไฟฟ้าต่างๆ ในระยะเวลา 150 hr นั้น ถูกแสดงในภาพที่ 3.40 และต่อมา มีการวิเคราะห์ปริมาณของ CO เฉลี่ย จากผลลัพธ์ต่างๆ จากการทดสอบเครื่องยนต์ เมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงเหล่านี้ ในแต่ละเครื่องยนต์ ที่ระยะเวลา

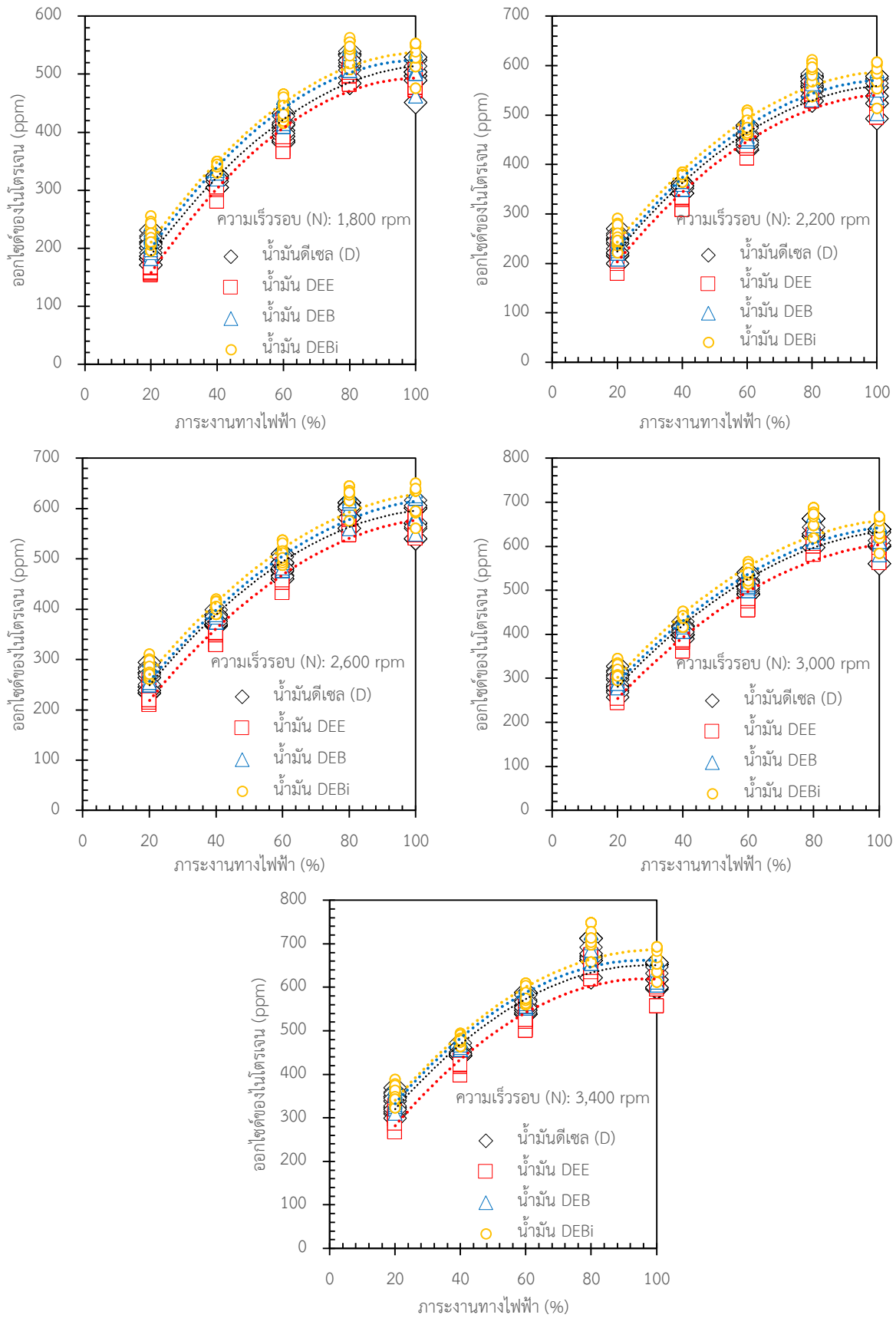
ของการทดสอบ 150 hr ซึ่งถูกแสดงในภาพที่ 3.41 โดยค่าความคลาดเคลื่อนของการวัดปริมาณ CO อยู่ระหว่าง ± 0.0001 ถึง ± 0.0169 %vol ขึ้นอยู่กับความเร็วรอบและภาระงานทางไฟฟ้า

3.4.12 ปริมาณไฮโดรคาร์บอน

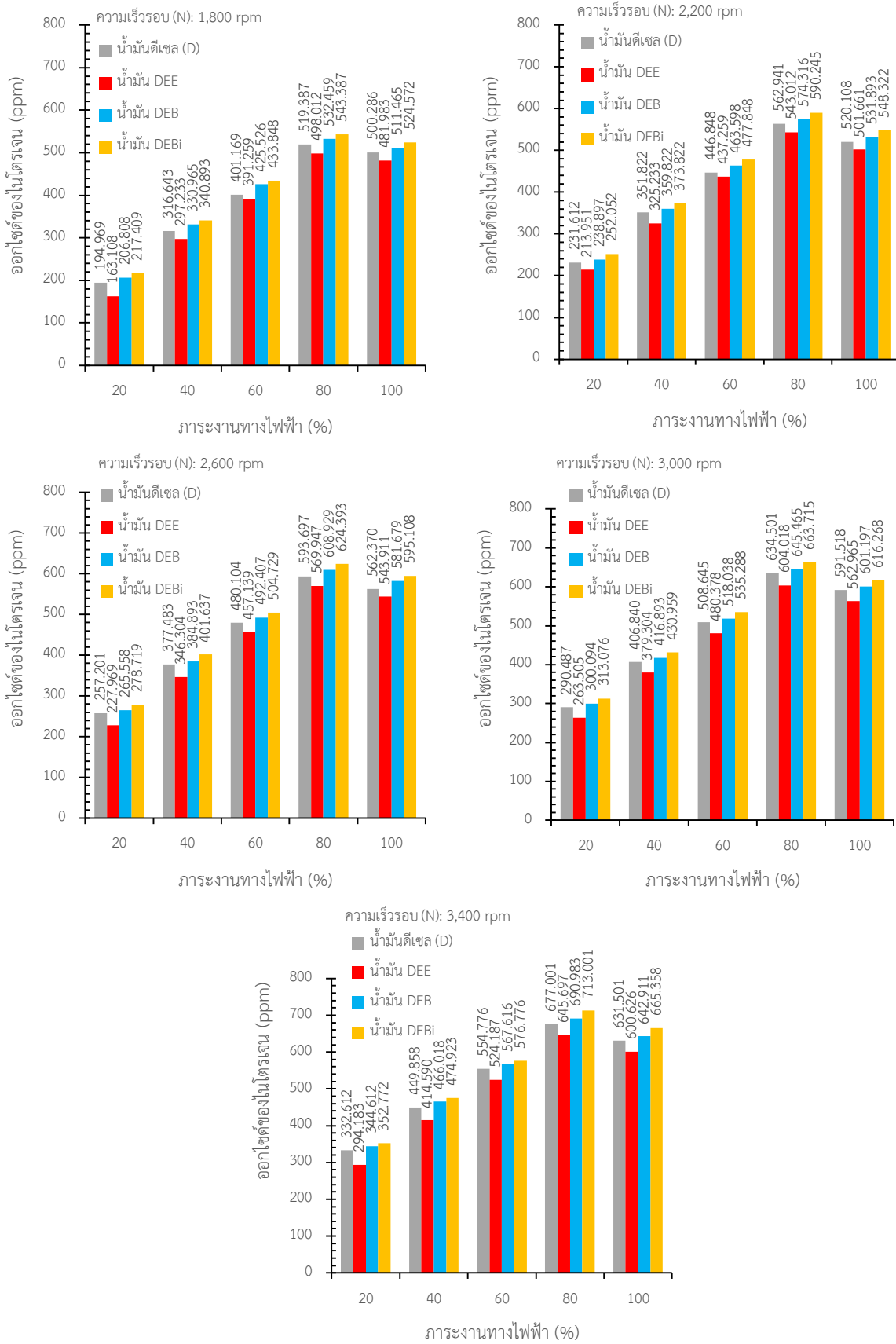
สารมลพิษประเภทไฮโดรคาร์บอน (HC) หรือที่เรียกว่า ไฮโดรคาร์บอนไม่เผาไหม้ที่มาจากแก๊สไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซลนั้น เกิดจากปริมาณของ O ไม่เพียงพอต่อการเกิดปฏิกิริยาของการเผาไหม้อย่างรวดเร็ว ซึ่งส่วนใหญ่เกิดขึ้นใกล้กับผนังกระบอกสูบ และตามช่องแคบต่างๆ บริเวณลูกสูบ นอกจากนี้ สารมลพิษประเภท HC อาจเกิดมาจากกระบวนการแตกเป็นละอองและระเหยกลายเป็นไอของน้ำมันเชื้อเพลิงล่าช้า ทำให้เกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ของน้ำมันเชื้อเพลิงจำนวนมาก และก่อให้เกิดช่วงความล่าช้าของการเผาไหม้ในช่วงจังหวะขยายตัวไปจนถึงวาล์วไอเสียถูกเปิด ซึ่งนำไปสู่การปลดปล่อยสารมลพิษ HC จำนวนมาก ดังนั้น การวิจัยนี้ ได้ตรวจสอบการปลดปล่อยปริมาณของ HC จากแก๊สไอเสียของเครื่องยนต์ โดยใช้วิธี Non-disperse infrared (NDIR) method ขณะที่ผลการตรวจสอบการปล่อยปริมาณของ HC จากการใช้น้ำมัน D น้ำมัน DEE น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi เป็นน้ำมันเชื้อเพลิง ในแต่ละเครื่องยนต์ ที่ความเร็วรอบและภาระงานทางไฟฟ้าต่างๆ ในระยะเวลา 150 hr นั้น ถูกแสดงในภาพที่ 3.42 และต่อมา มีการวิเคราะห์ระดับของปริมาณ HC เฉลี่ย จากผลลัพธ์ต่างๆ จากการทดสอบเครื่องยนต์ เมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงเหล่านี้ ในแต่ละเครื่องยนต์ ที่ระยะเวลาของการทดสอบ 150 hr ซึ่งถูกแสดงในภาพที่ 3.43 โดยค่าความคลาดเคลื่อนของการวัดปริมาณ HC อยู่ระหว่าง ± 0.0242 ถึง ± 3.1852 ppm ขึ้นอยู่กับความเร็วรอบและภาระงานทางไฟฟ้าที่ใช้ในการทดสอบ

3.4.13 ปริมาณควันดำ

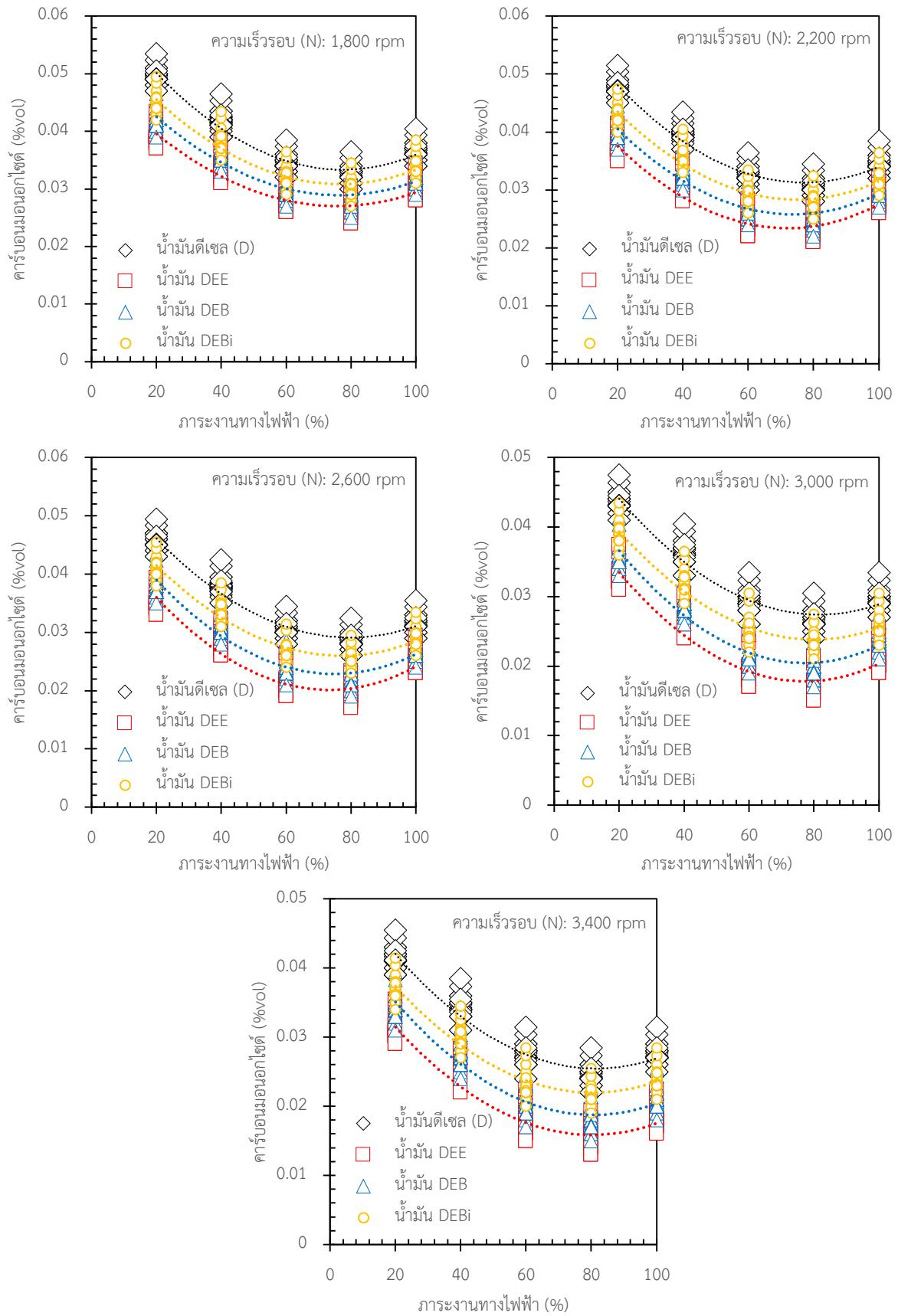
ปริมาณควันดำที่ปลดปล่อยออกมาจากแก๊สไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซลนั้น เป็นสารละออง (Particulate matter) ที่มีอนุภาคขนาดเล็ก และมีขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) โดยเกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์อันเนื่องมาจากการเผาไหม้สารผสมหนา ซึ่งมีปริมาณของ O ที่ไม่เพียงพอต่อการเกิดปฏิกิริยาของการเผาไหม้อย่างรวดเร็วในช่วงของการเผาไหม้ที่ถูกควบคุมโดยการผสม นอกจากนี้ ปริมาณควันดำ อาจก่อตัวมาจากความล่าช้าของกระบวนการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง (ได้แก่ กระบวนการแตกเป็นละอองและระเหยกลายเป็นไอ) ทำให้เกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ของน้ำมันเชื้อเพลิงจำนวนมากในช่วงความล่าช้าของการเผาไหม้ ณ ช่วงปลายของจังหวะขยายตัวจนถึงตำแหน่งวาล์วไอเสียถูกเปิด ซึ่งนำไปสู่การเกิดอนุภาคขนาดเล็กที่มีขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน โดยแสดงออกมาในรูปแบบของควันดำจำนวนมาก และมีการปลดปล่อยสารมลพิษ CO และ HC ออกมาจำนวนมากด้วย สำหรับการวิจัยนี้ ทำการวัดปริมาณควันดำ โดยใช้เครื่องมือวัดปริมาณควันดำของบริษัท Cosber รุ่น KYD-6 Opacimeter ซึ่งทำการวัดโดยวิธี Light-absorption เพื่อวัดความเข้มข้นของควันดำผ่านค่าความทึบแสง (K) และนำมาอธิบายระดับความเข้มข้นของปริมาณควันดำ ที่ปลดปล่อยออกมาจากแก๊สไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซล ขณะที่ผลการตรวจสอบการปลดปล่อยปริมาณควันดำจากการใช้น้ำมัน D น้ำมัน DEE น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi เป็นน้ำมันเชื้อเพลิง ในแต่ละเครื่องยนต์ ที่ความเร็วรอบและภาระงานทางไฟฟ้าต่างๆ ในระยะเวลา 150 hr นั้น ถูกแสดงในภาพที่ 3.44 ซึ่งแสดงปริมาณควันดำที่ความเร็วรอบและภาระงานต่างๆ เมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงแต่ละชนิด



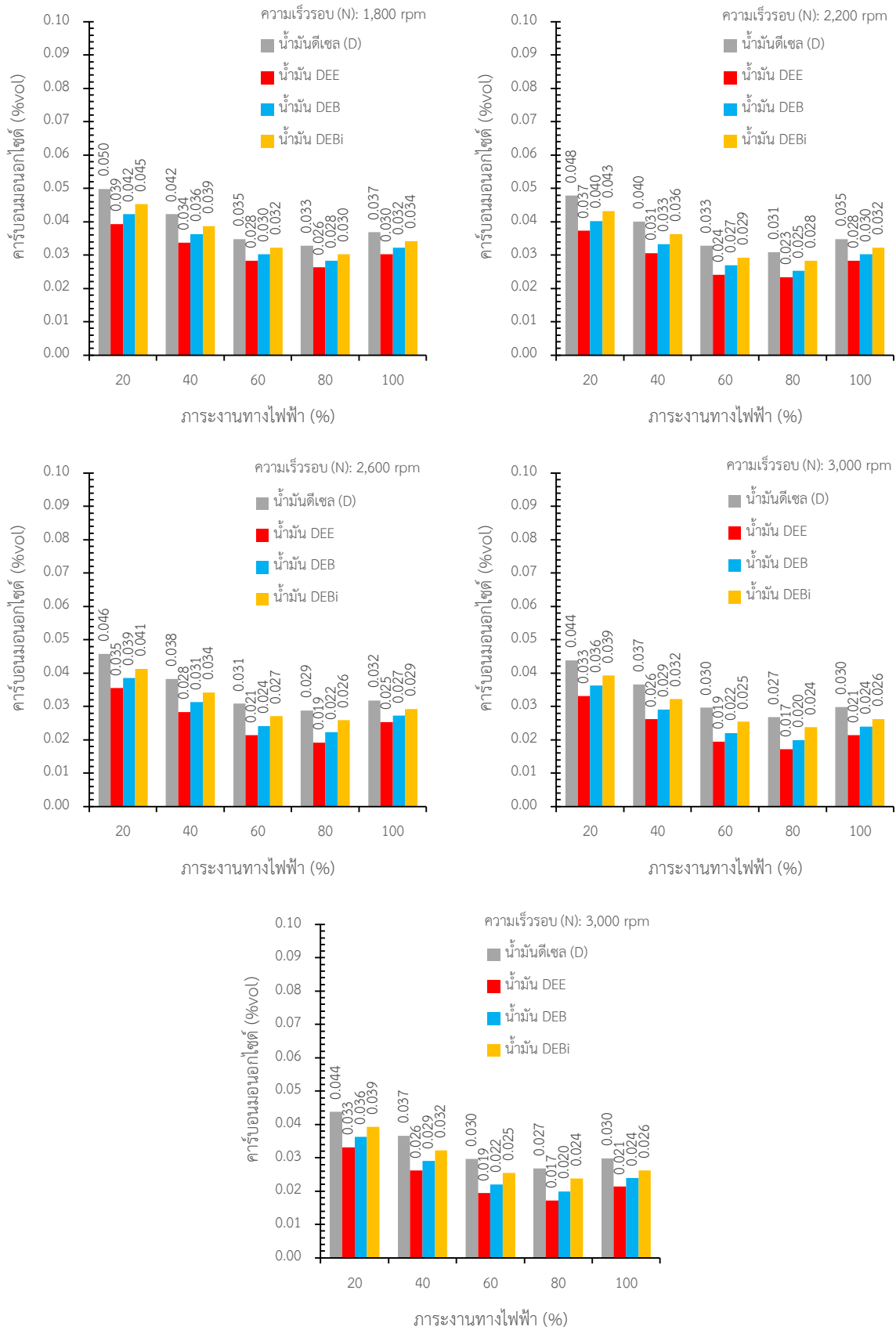
ภาพที่ 3.38 ปริมาณออกไซด์ของไนโตรเจนที่ความเร็วรอบและภาระงานต่างๆ เมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงแต่ละชนิด



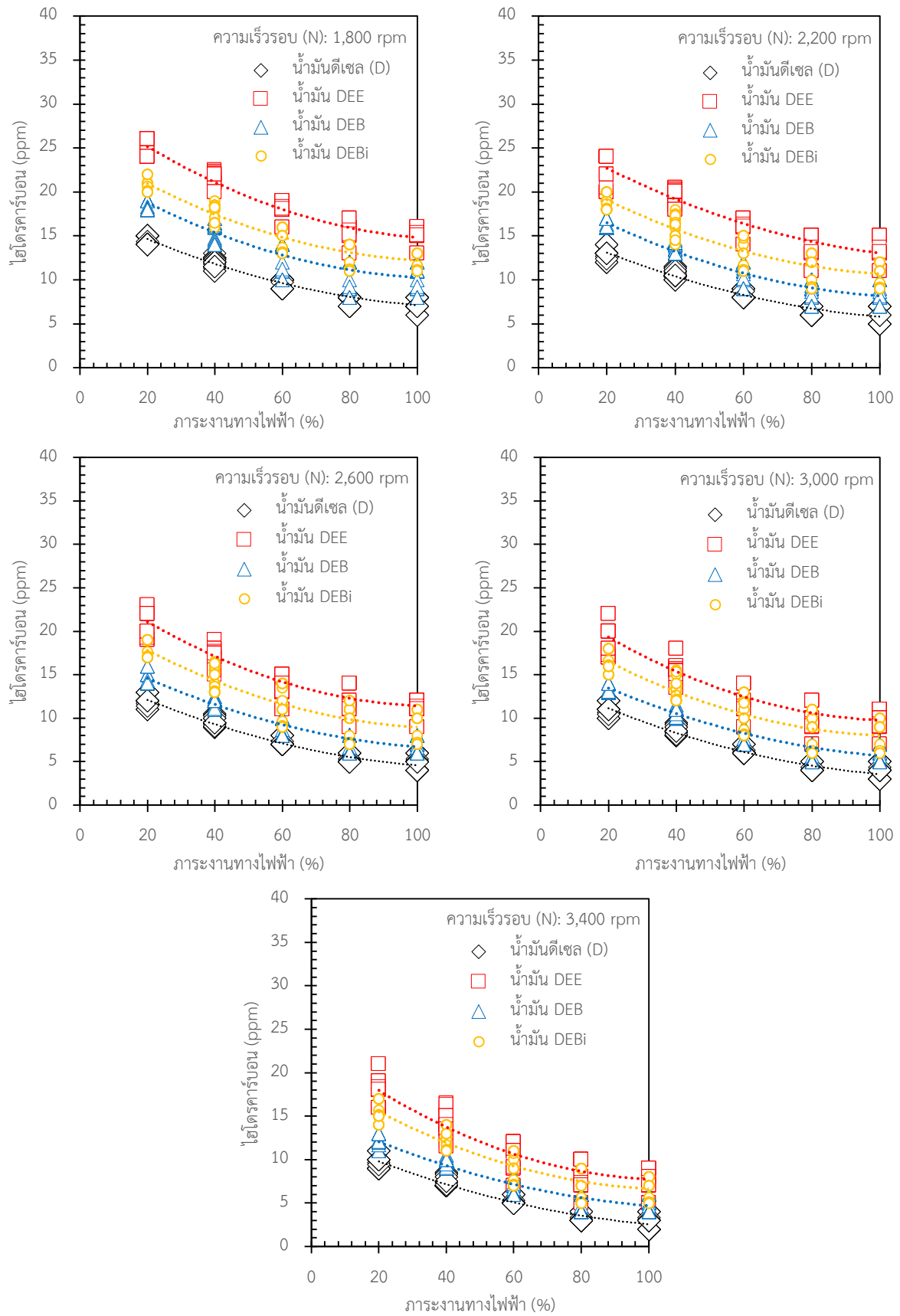
ภาพที่ 3.39 ปริมาณออกไซด์ของไนโตรเจนเฉลี่ย ณ ความเร็วรอบและภาระงานต่างๆ



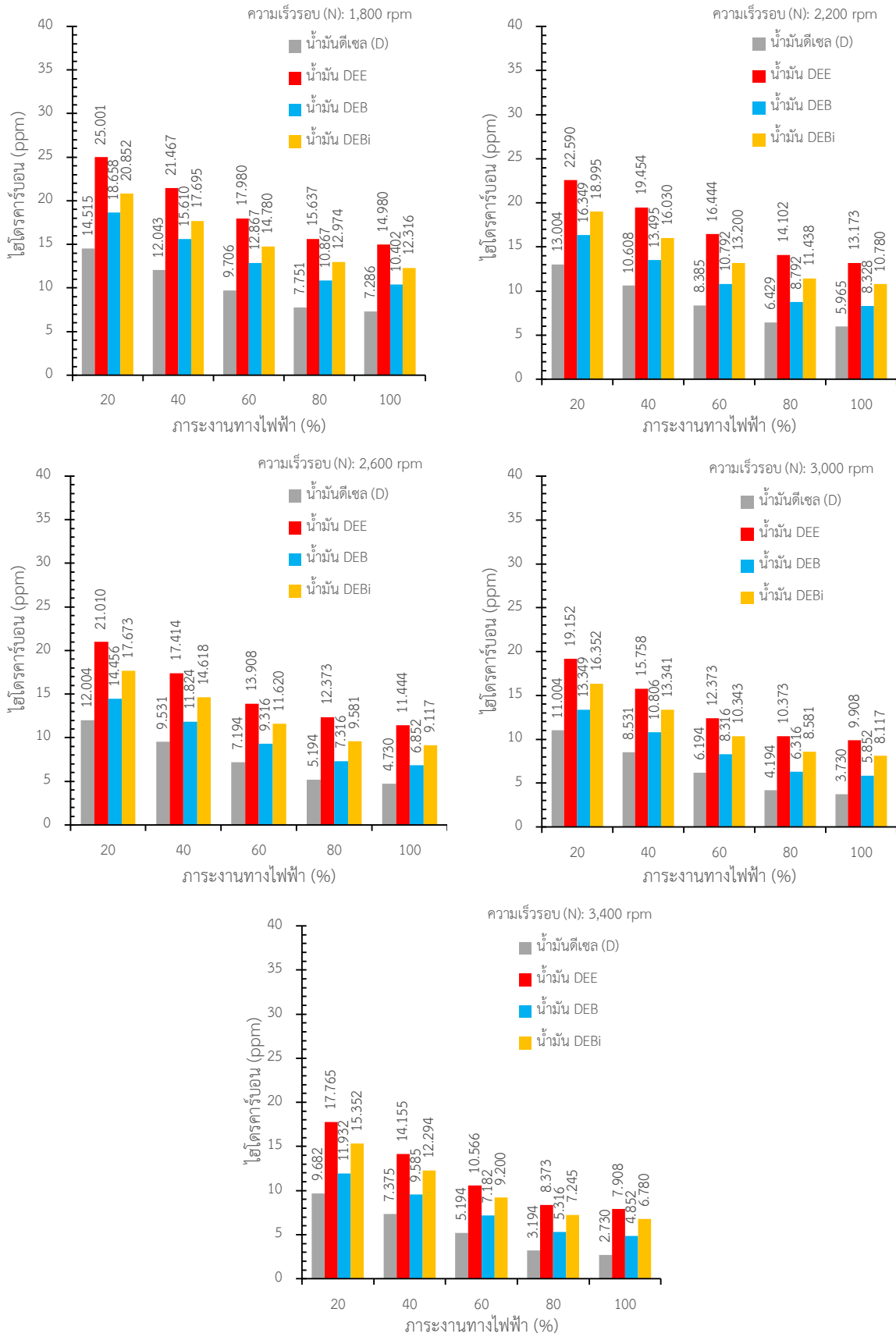
ภาพที่ 3.40 ปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ความเร็วรอบและภาระงานต่างๆ เมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงแต่ละชนิด



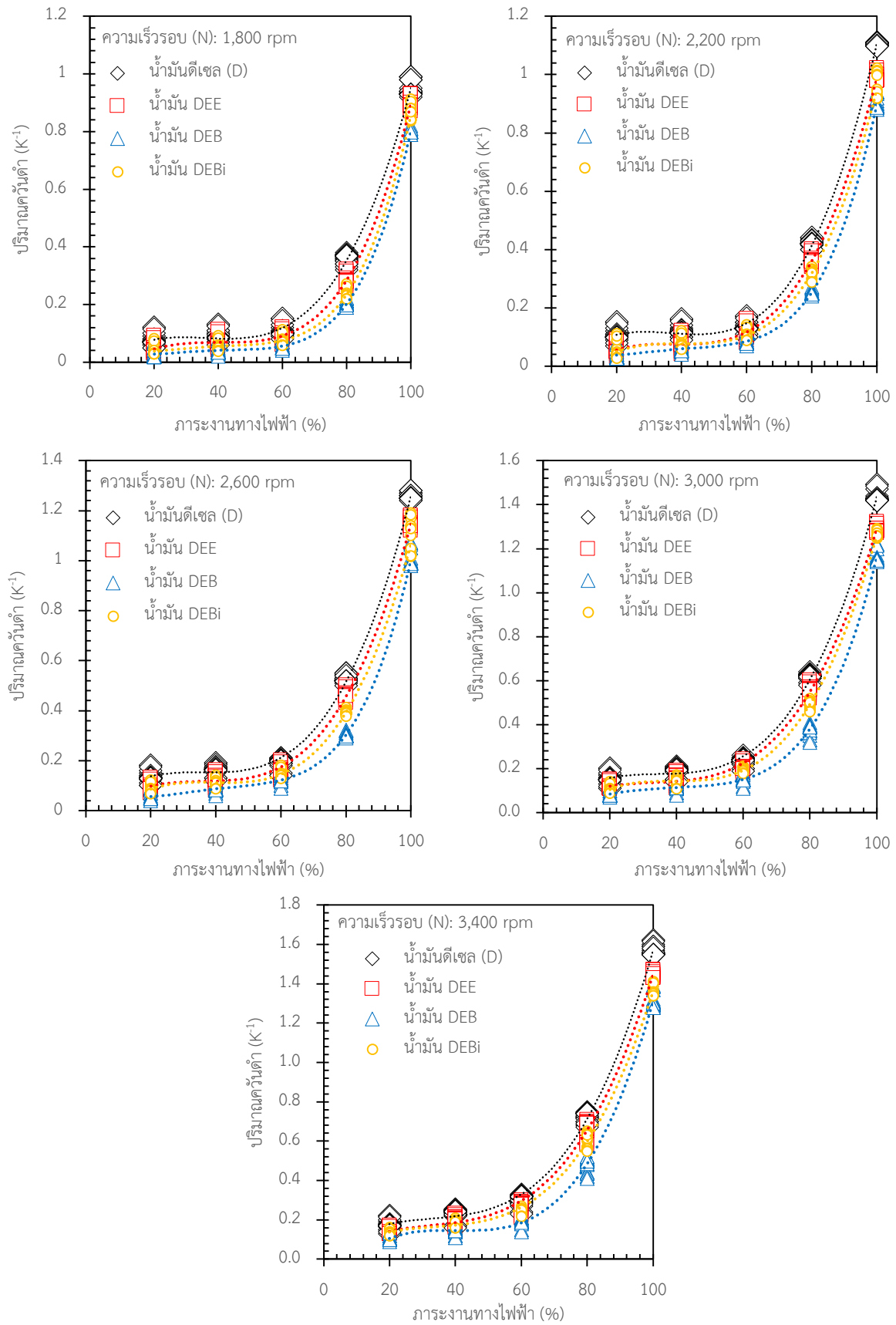
ภาพที่ 3.41 ปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์เฉลี่ย ณ ความเร็วรอบและการะงานต่างๆ



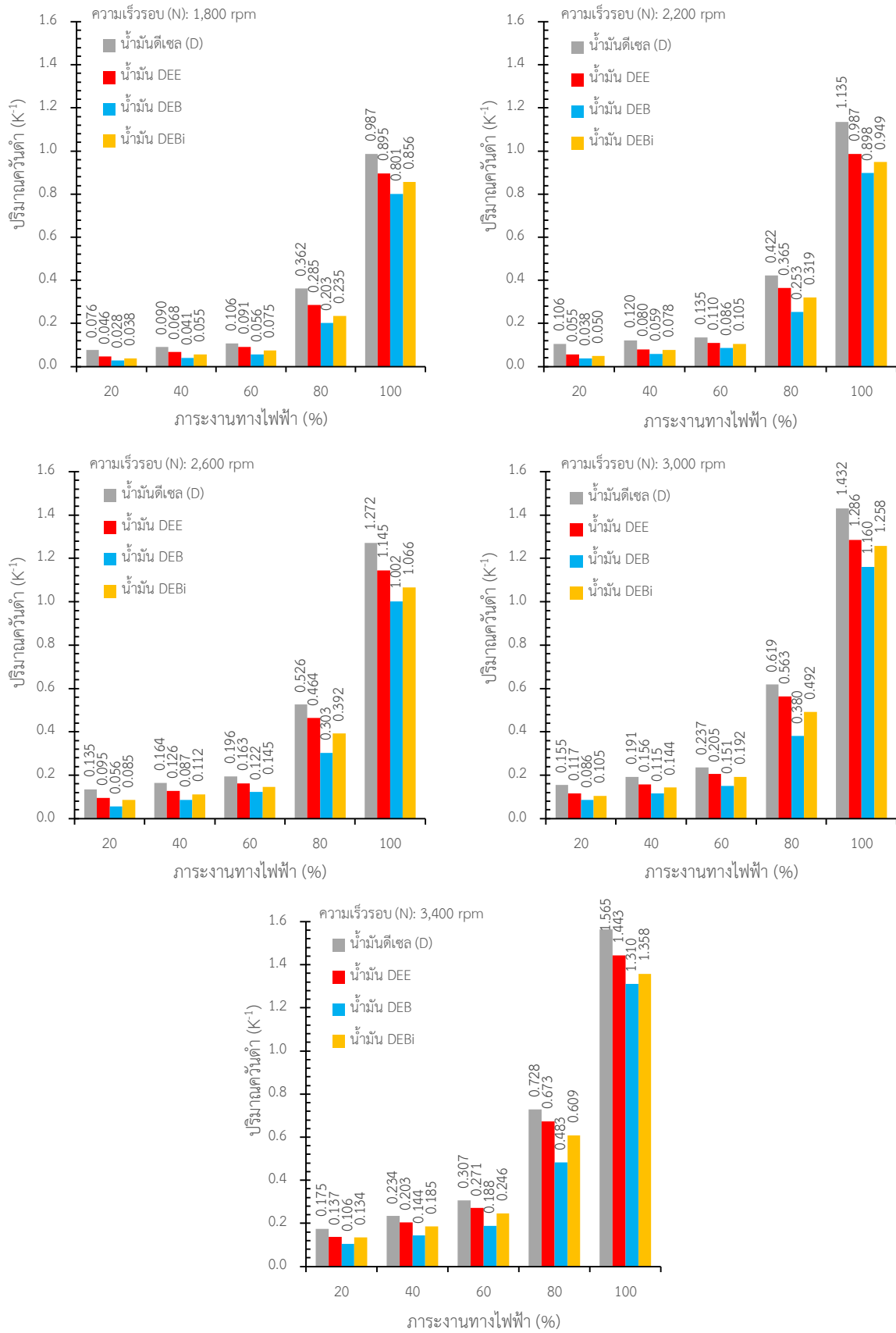
ภาพที่ 3.42 ปริมาณไฮโดรคาร์บอนที่ความเร็วรอบและภาระงานต่างๆ เมื่อน้ำมันเชื้อเพลิงแต่ละชนิด



ภาพที่ 3.43 ปริมาณไฮโดรคาร์บอนเฉลี่ย ณ ความเร็วรอบและภาระงานต่างๆ



ภาพที่ 3.44 ปริมาณความร้อนต่ำที่ความเร็วรอบและภาระงานต่างๆ เมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงแต่ละชนิด



ภาพที่ 3.45 ปริมาณควันท้ายเฉลี่ย ณ ความเร็วรอบและภาระงานต่างๆ

ต่อมา มีการวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นของควันดำเฉลี่ย จากผลลัพธ์ต่างๆ จากการทดสอบเครื่องยนต์ทั้งสี่เครื่อง เมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงเหล่านี้ ในแต่ละเครื่องยนต์ ที่ระยะเวลาของการทดสอบ 150 hr ซึ่งถูกแสดงในภาพที่ 3.45 โดยค่าความคลาดเคลื่อนของการวัดปริมาณควันดำอยู่ระหว่าง ± 0.0011 ถึง $\pm 0.9451 \text{ K}^{-1}$ ขึ้นอยู่กับความเร็วรอบและภาระงานทางไฟฟ้าที่ใช้ในการทดสอบ

3.5 ผลการทดสอบการสึกหรอของเครื่องยนต์ระยะเวลา 300 hr และ 500 hr

ภายหลังจากทดสอบสมรรถนะและการปล่อยสารมลพิษต่างๆ ของเครื่องยนต์ดีเซล เมื่อใช้น้ำมัน D น้ำมัน DEE น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi เป็นน้ำมันเชื้อเพลิง ณ ระยะเวลา 150 hr มีการเปลี่ยนน้ำมันเครื่องใหม่ทั้ง 4 เครื่องยนต์โดยอ้างอิงจากคู่มือของเครื่องยนต์ MITSUKI รุ่น MIT-186FG และต่อมา ผู้วิจัย ติดตั้งเครื่องวัดกำลังไฟฟ้า และเครื่องวัดอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงกับชุดทดสอบ หลังจากนั้น เติมน้ำมันเชื้อเพลิงแต่ละชนิดกับเครื่องยนต์ทั้ง 4 เครื่อง และเริ่มต้นการทดสอบการสึกหรอของเครื่องยนต์ในระยะเวลา 300 hr ณ ความเร็วรอบของเครื่องยนต์คงที่ $3,000 \pm 50 \text{ rpm}$ และใช้ภาระงานคงที่จากการขับเคลื่อนกังหันเติมอากาศบนผิวน้ำแบบ 4 ใบพัด ซึ่งติดตั้งอยู่ที่สวนนันทนาการรัชมิ่งคลาสิก มหาวิทยาลัยบูรพา ขณะทำการทดสอบ มีการบันทึกกำลังไฟฟ้าที่ผลิออกมา เวลาการเผาผลาญปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิง 100 ml ทุก 1 hr และความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ผลลัพธ์ของการทดสอบอธิบายได้ดังนี้

3.5.1 กำลังไฟฟ้า

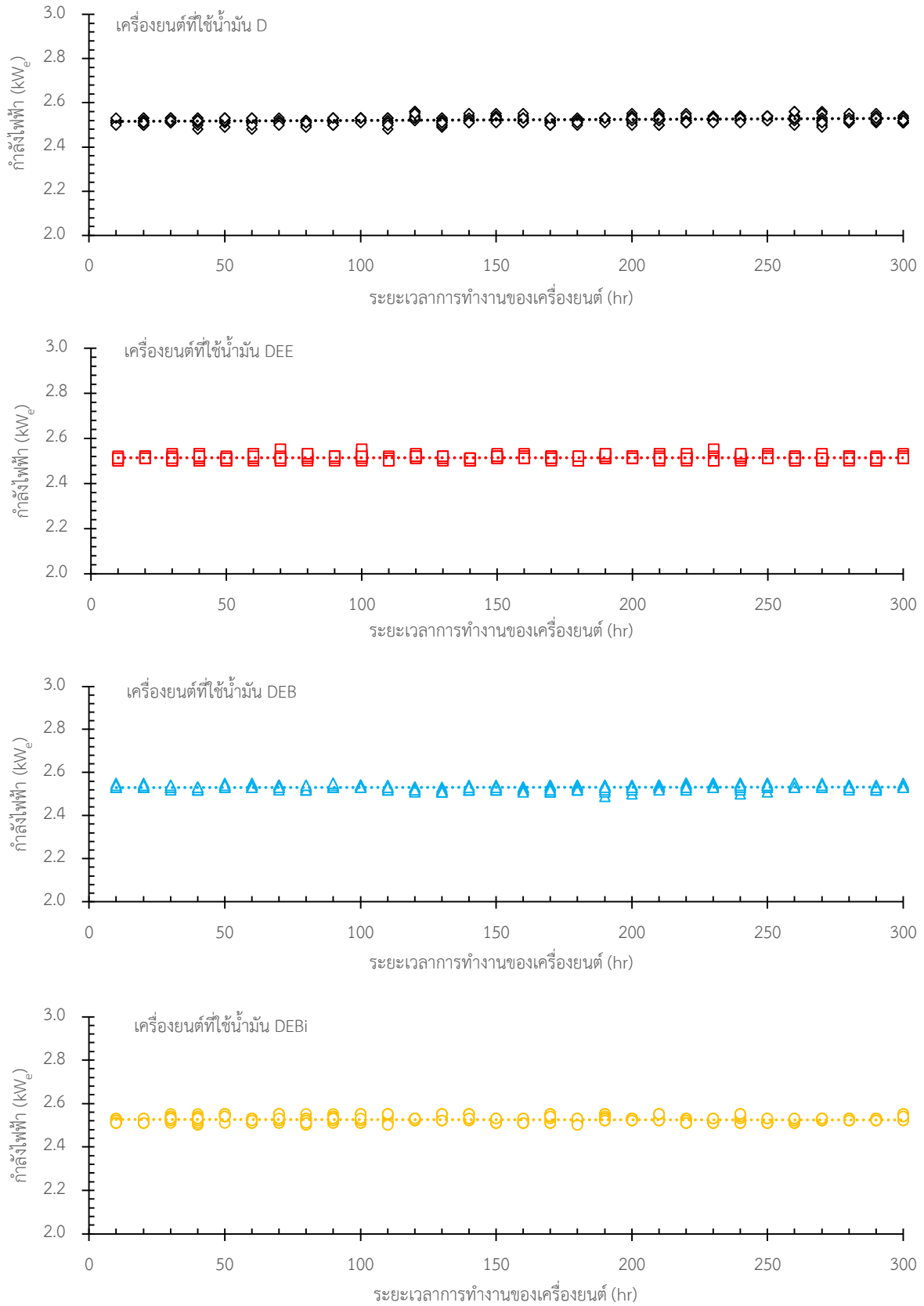
ภาพที่ 3.46 แสดงกำลังไฟฟ้าที่ให้ออกมาในแต่ละเครื่องยนต์ เมื่อใช้น้ำมัน D น้ำมัน DEE น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi เป็นน้ำมันเชื้อเพลิง เพื่อใช้ขับเคลื่อนกังหันเติมอากาศบนผิวน้ำแบบ 4 ใบพัด ซึ่งติดตั้งอยู่ที่สวนนันทนาการรัชมิ่งคลาสิก มหาวิทยาลัยบูรพา โดยทำการทดสอบในระยะเวลา 300 hr ณ ความเร็วรอบของเครื่องยนต์คงที่ $3,000 \pm 50 \text{ rpm}$ ผลลัพธ์ที่ได้พบว่า กำลังไฟฟ้าโดยเฉลี่ยของเครื่องยนต์แต่ละเครื่องที่ใช้น้ำมัน D/ น้ำมัน DEE/ น้ำมัน DEB/ น้ำมัน DEBi เท่ากับ $2.522 \pm 0.018 \text{ kW}_e$ / $2.513 \pm 0.026 \text{ kW}_e$ / $2.531 \pm 0.019 \text{ kW}_e$ / $2.526 \pm 0.024 \text{ kW}_e$

3.5.2 อัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง

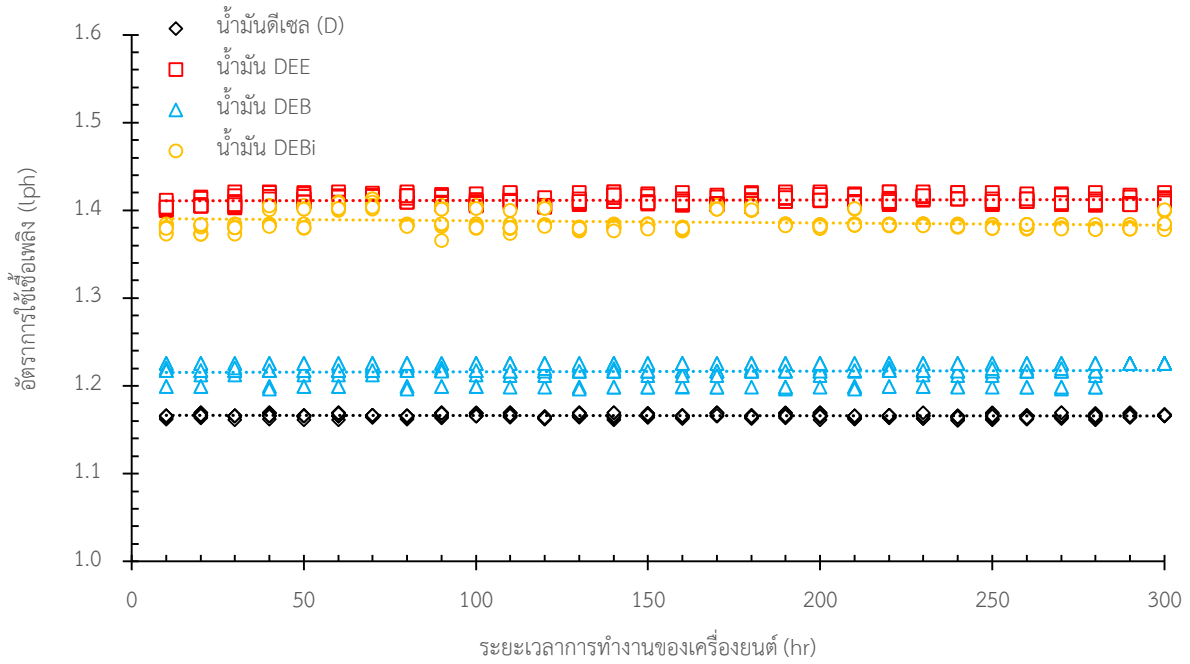
ภาพที่ 3.47 แสดงอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงจากการใช้น้ำมัน D น้ำมัน DEE น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงในแต่ละเครื่องยนต์ เพื่อขับเคลื่อนกังหันเติมอากาศบนผิวน้ำแบบ 4 ใบพัด ซึ่งติดตั้งอยู่ที่สวนนันทนาการรัชมิ่งคลาสิก มหาวิทยาลัยบูรพา โดยทำการทดสอบในระยะเวลา 300 hr ณ ความเร็วรอบของเครื่องยนต์คงที่ $3,000 \pm 50 \text{ rpm}$ ผลลัพธ์ที่ได้พบว่า อัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงโดยเฉลี่ยของเครื่องยนต์แต่ละเครื่องที่ใช้น้ำมัน D/ น้ำมัน DEE/ น้ำมัน DEB/ น้ำมัน DEBi เท่ากับ $1.165 \pm 0.0049 \text{ lph}$ / $1.411 \pm 0.0063 \text{ lph}$ / $1.216 \pm 0.0174 \text{ lph}$ / $1.387 \pm 0.0153 \text{ lph}$

3.5.3 ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ

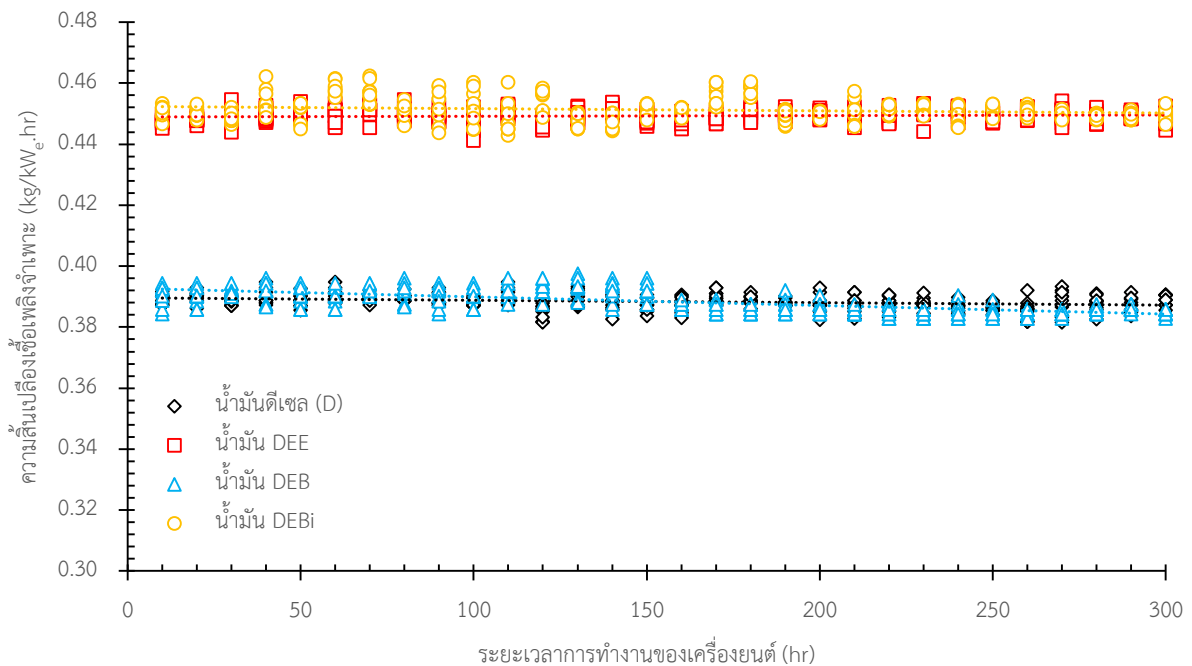
ภาพที่ 3.48 แสดงความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะจากการใช้น้ำมัน D น้ำมัน DEE น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงในแต่ละเครื่องยนต์ เพื่อขับเคลื่อนกังหันเติมอากาศบนผิวน้ำแบบ 4 ใบพัด ซึ่งติดตั้งอยู่ที่สวนนันทนาการรัชมิ่งคลาสิก มหาวิทยาลัยบูรพา



ภาพที่ 3.46 กำลังไฟฟ้าที่ใช้ขับเคลื่อนกังหันเติมอากาศบนผิวน้ำแบบ 4 ใบพัด ณ ระยะเวลา 300 hr



ภาพที่ 3.47 อัตราการใช้เชื้อเพลิง ณ ระยะเวลาการทดสอบ 300 hr



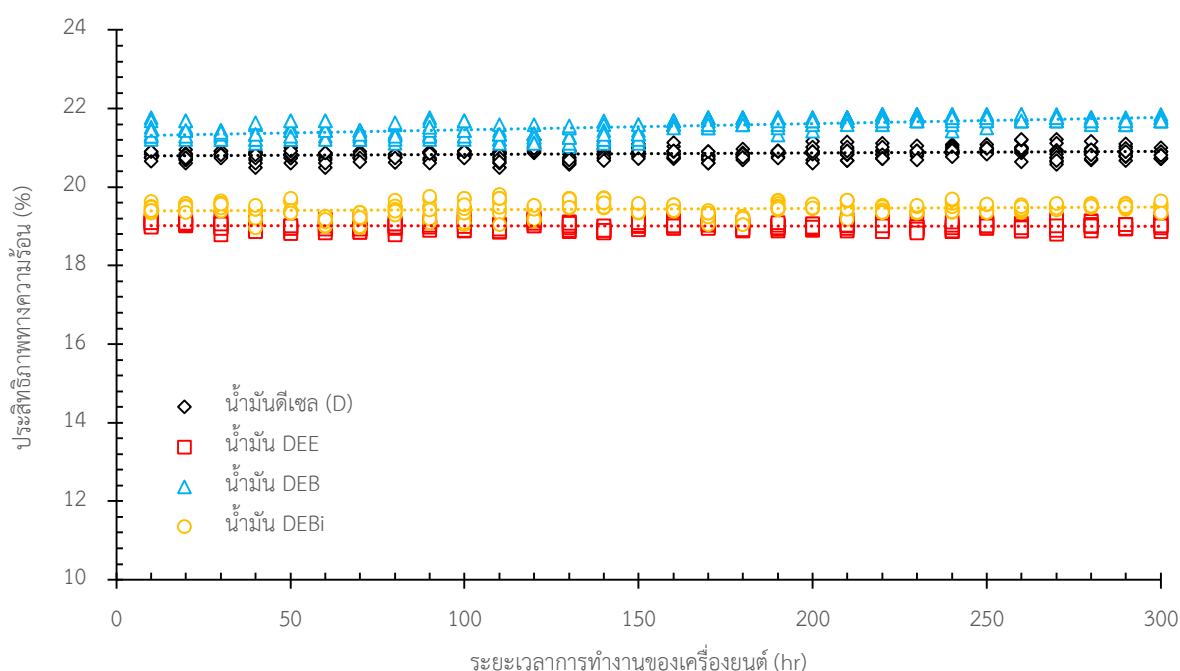
ภาพที่ 3.48 ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ ณ ระยะเวลาการทดสอบ 300 hr

โดยทำการทดสอบในระยะเวลา 300 hr ณ ความเร็วรอบของเครื่องยนต์คงที่ $3,000 \pm 50$ rpm ผลลัพธ์ที่ได้พบว่า ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะโดยเฉลี่ยของเครื่องยนต์แต่ละเครื่องที่ใช้ น้ำมัน D/

น้ำมัน DEE/ น้ำมัน DEB/ น้ำมัน DEBi เท่ากับ 0.388 ± 0.0034 kg/kW_e.hr / 0.449 ± 0.0054 kg/kW_e.hr / 0.388 ± 0.0076 kg/kW_e.hr / 0.451 ± 0.0079 kg/kW_e.hr

3.5.4 ประสิทธิภาพทางความร้อน

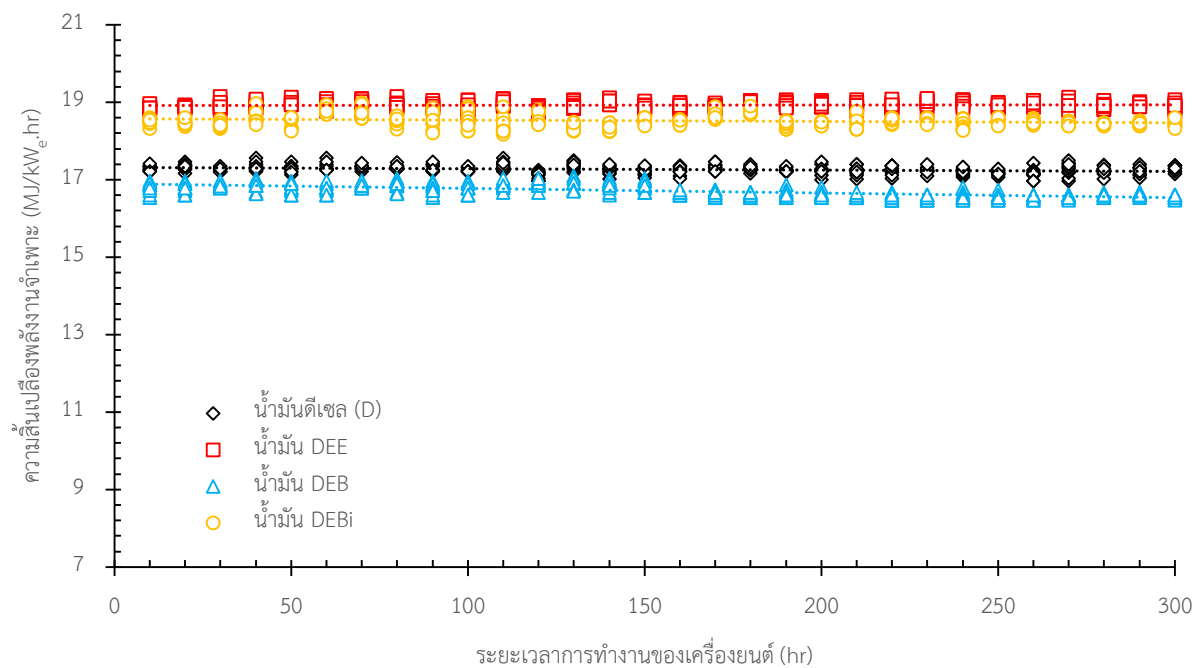
ภาพที่ 3.49 แสดงประสิทธิภาพทางความร้อนจากการใช้น้ำมัน D น้ำมัน DEE น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงในแต่ละเครื่องยนต์ เพื่อขับเคลื่อนกังหันเดิมอากาศบนผิวน้ำแบบ 4 ใบพัด ซึ่งติดตั้งอยู่ที่สวนนันทนาการรัชมิ่งคลาสิก มหาวิทยาลัยบูรพา โดยทำการทดสอบในระยะเวลา 300 hr ณ ความเร็วรอบของเครื่องยนต์คงที่ $3,000 \pm 50$ rpm ผลลัพธ์ที่ได้พบว่า ประสิทธิภาพทางความร้อนโดยเฉลี่ยของเครื่องยนต์แต่ละเครื่องที่ใช้น้ำมัน D/ น้ำมัน DEE/ น้ำมัน DEB/ น้ำมัน DEBi เท่ากับ 20.851 ± 0.345 % / 19.015 ± 0.349 % / 21.543 ± 0.332 % / 19.439 ± 0.323 %



ภาพที่ 3.49 ประสิทธิภาพทางความร้อน ณ ระยะเวลาการทดสอบ 300 hr

3.5.5 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ

ภาพที่ 3.50 แสดงความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะจากการใช้น้ำมัน D น้ำมัน DEE น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงในแต่ละเครื่องยนต์ เพื่อขับเคลื่อนกังหันเดิมอากาศบนผิวน้ำแบบ 4 ใบพัด ซึ่งติดตั้งอยู่ที่สวนนันทนาการรัชมิ่งคลาสิก มหาวิทยาลัยบูรพา โดยทำการทดสอบในระยะเวลา 300 hr ณ ความเร็วรอบของเครื่องยนต์คงที่ $3,000 \pm 50$ rpm ผลลัพธ์ที่ได้พบว่า ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะโดยเฉลี่ยของเครื่องยนต์แต่ละเครื่องที่ใช้น้ำมัน D/ น้ำมัน DEE/ น้ำมัน DEB/ น้ำมัน DEBi เท่ากับ 17.266 ± 0.290 MJ/kW_e.hr / 18.933 ± 0.225 MJ/kW_e.hr / 16.712 ± 0.327 MJ/kW_e.hr / 18.520 ± 0.326 MJ/kW_e.hr



ภาพที่ 3.50 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ ณ ระยะเวลาการทดสอบ 300 hr

3.5.6 ผลการตรวจสอบชิ้นส่วนต่างๆ ของเครื่องยนต์หลังการทดสอบทั้งหมด 500 hr

หลังเสร็จสิ้นการทดสอบเครื่องยนต์ระยะเวลาทั้งหมด 500 hr ผู้วิจัยถอดชิ้นส่วนต่างๆ ของเครื่องยนต์ เพื่อถ่ายภาพคราบเขม่าที่เกาะหัวฉีด ฝาสูบ และหัวลูกสูบดังแสดงในภาพที่ 3.51 ถึง 3.53 โดยภาพที่ 3.51 แสดงภาพผลการตรวจสอบคราบเขม่าที่เกาะบนหัวฉีด เมื่อใช้น้ำมัน D น้ำมัน DEE น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi พบว่า หัวฉีดของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน DEE และน้ำมัน DEBi มีคราบเขม่าเกาะบนหัวฉีดหนาแน่นกว่าหัวฉีดของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน D และน้ำมัน DEB



(ก) หัวฉีดที่ใช้น้ำมัน D (ข) หัวฉีดที่ใช้น้ำมัน DEE (ค) หัวฉีดที่ใช้น้ำมัน DEB (ง) หัวฉีดที่ใช้น้ำมัน DEBi

ภาพที่ 3.51 ผลการตรวจสอบคราบเขม่าที่เกาะบนหัวฉีด เมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงแต่ละชนิด

ขณะที่ภาพที่ 3.52 แสดงภาพผลการตรวจสอบคราบเขม่าที่เกาะบนฝาสูบของเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมัน D น้ำมัน DEE น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi พบว่า ปริมาณคราบเขม่าที่เกาะบนฝาสูบของเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมัน DEE และน้ำมัน DEBi มีปริมาณมากกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมัน D และน้ำมัน DEB



(ก) คราบเขม่าบนฝาสูบ ที่ใช้น้ำมัน D



(ข) คราบเขม่าบนฝาสูบ ที่ใช้น้ำมัน DEE



(ค) คราบเขม่าบนฝาสูบ ที่ใช้น้ำมัน DEB



(ง) คราบเขม่าบนฝาสูบ ที่ใช้น้ำมัน DEBi

ภาพที่ 3.52 ผลการตรวจสอบคราบเขม่าที่เกาะบนฝาสูบ เมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงแต่ละชนิด

ในทำนองเดียวกัน ภาพที่ 3.53 แสดงภาพผลการตรวจสอบคราบเขม่าที่เกาะบนหัวลูกสูบของเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมัน D น้ำมัน DEE น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi พบว่า ปริมาณคราบเขม่าที่เกาะบนฝา

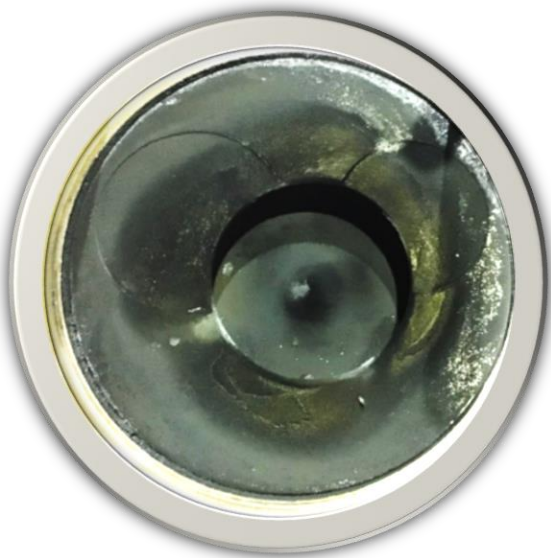
สูบหัวลูกสูบของเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมัน DEE และน้ำมัน DEBi มีปริมาณมากกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมัน D และ น้ำมัน DEB โดยสอดคล้องกับภาพที่ 3.52



(ก) คราบเขม่าบนหัวลูกสูบ ที่ใช้น้ำมัน D



(ข) คราบเขม่าบนหัวลูกสูบ ที่ใช้น้ำมัน DEE



(ค) คราบเขม่าบนหัวลูกสูบ ที่ใช้น้ำมัน DEB



(ง) คราบเขม่าบนหัวลูกสูบ ที่ใช้น้ำมัน DEBi

ภาพที่ 3.53 ผลการตรวจสอบคราบเขม่าที่เกาะบนหัวลูกสูบ เมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงแต่ละชนิด

ต่อมา ผู้วิจัยตรวจสอบการสึกหรอของชิ้นส่วนต่างๆ ของเครื่องยนต์ดีเซล ได้แก่ ระยะเวลาของปากแหวน ช่องว่างระหว่างแหวนกับร่องแหวนของลูกสูบ และอื่นๆ ตามที่ได้กล่าวมาในบทที่ 2 เมื่อใช้

น้ำมันทั้งสามชนิดเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล โดยการตรวจสอบค่าการสึกหรอของชิ้นส่วนต่างๆ ของเครื่องยนต์ ใช้เครื่องมือวัดต่างๆ ได้แก่ บรรทัดเหล็ก หรือฟุตเหล็ก เวอร์เนียคาลิเปอร์ ไมโครมิเตอร์คาลิเปอร์ ฟीलเลอร์เกจ บอร์เกจ และเครื่อง Coordinate measuring machine ผลลัพธ์ที่ได้แสดงในตารางที่ 3.13 ซึ่งแสดงผลการตรวจสอบค่าการสึกหรอของชิ้นส่วนต่างๆ ของเครื่องยนต์หลังการทดสอบทั้งหมด 500 hr

ตารางที่ 3.13 ผลการตรวจสอบชิ้นส่วนต่างๆ ของเครื่องยนต์หลังการทดสอบทั้งหมด 500 hr

ลำดับ	ชิ้นส่วนต่างๆ	จุดที่ทำการวัด	เครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ น้ำมัน			
			D	DEE	DEB	DEBi
1	หัวฉีด ^(a)	ความดันของหัวฉีด (MPa)	18	15	16	17
2	ผิวสัมผัสของฝาสูบ ^(b, c)	1) ระยะโก่งแนวแกน X (mm)	0	0	0	0
		2) ระยะโก่งแนวแกน Y (mm)	0	0	0	0
3	เส้นผ่านศูนย์กลางกระบอกสูบ ^(d, e)	1) จุดบน 1 (mm)	86.042	86.088	86.043	86.083
		2) จุดบน 2 (mm)	86.042	86.088	86.043	86.083
		3) จุดกึ่งกลาง (mm)	86.019	86.083	86.020	86.082
		4) จุดล่าง 1 (mm)	86.033	86.083	86.033	86.082
		5.) จุดล่าง 2 (mm)	86.033	86.083	86.033	86.082
4	ลูกสูบ ^(f, g)	1) เส้นผ่านศูนย์กลางบน (mm)	84.99	84.93	84.99	84.95
		2) เส้นผ่านศูนย์กลางล่าง (mm)	85.00	85.00	85.00	85.00
5	ระยะห่างปากแหวน ^(c)	1) แหวนแรงอัด (บน) (mm)	0.31	0.34	0.32	0.32
		2) แหวนแรงอัด (กลาง) (mm)	0.30	0.32	0.31	0.31
		3) แหวนน้ำมัน (ล่าง) (mm)	0.30	0.30	0.30	0.30
6	ช่องว่างระหว่างแหวนกับร่องแหวนของลูกสูบ ^(c)	1) แหวนแรงอัด (บน) (mm)	0.09	0.12	0.10	0.10
		2) แหวนแรงอัด (กลาง) (mm)	0.06	0.09	0.07	0.07
		3) แหวนน้ำมัน (ล่าง) (mm)	0.05	0.07	0.06	0.06
7	เส้นผ่านศูนย์กลางสำหรับใส่สลักลูกสูบ ^(f, g)	1) ด้านซ้าย (mm)	23.03	23.08	23.05	23.05
		2) ด้านขวา (mm)	23.03	23.08	23.05	23.05
8	เส้นผ่านศูนย์กลางสลักลูกสูบ ^(f, g)	1) แนวแกน X (mm)	22.50	22.50	22.50	22.50
		2) แนวแกน Y (mm)	22.50	22.50	22.50	22.50
9	เส้นผ่านศูนย์กลางก้านลูกสูบบน ^(f, g)	1) แนวแกน X (mm)	22.12	22.18	22.15	22.15
		2) แนวแกน Y (mm)	22.12	22.18	22.15	22.15
10	เส้นผ่านศูนย์กลางก้านลูกสูบล่างที่มีแปรงเฟลาข้อเหวี่ยง ^(d)	1) แนวแกน X (mm)	40.05	40.09	40.07	40.07
		2) แนวแกน Y (mm)	40.05	40.09	40.07	40.07
11	เส้นผ่านศูนย์กลางเฟลาข้อเหวี่ยง ^(f, g)	1) แนวแกน X (mm)	39.99	39.97	39.99	39.99
		2) แนวแกน Y (mm)	39.99	39.97	39.99	39.99

บทที่ 4

อภิปรายและวิจารณ์ผลการวิจัย

จากผลการวิจัยการฉีดและการสเปรย์น้ำมันเชื้อเพลิง การวิเคราะห์สมรรถนะและการปล่อยสารมลพิษต่างๆ ของเครื่องยนต์ดีเซล และการตรวจสอบการสึกหรอของชิ้นส่วนต่างๆ ภายในเครื่องยนต์ดีเซล ในระยะเวลา 500 hr เมื่อใช้น้ำมันดีเซลผสมแอนไฮดริสเอทานอลและเอทิลอะซิเตท (DEE) น้ำมันดีเซลผสมแอนไฮดริสเอทานอลและเอีน-บิวทานอล (DEB) และน้ำมันดีเซลผสมแอนไฮดริสเอทานอลและไบโอดีเซล (DEBi) และน้ำมันดีเซล (D) ในแต่ละเครื่องยนต์ สามารถอภิปรายและวิจารณ์ของผลการวิจัยต่างๆ ดังนี้

4.1 การอภิปรายและวิจารณ์ผลการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง

การฉีดน้ำมัน DEE น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi เทียบกับน้ำมัน D โดยใช้ชุดจำลองการฉีดและการสเปรย์น้ำมันเชื้อเพลิงของระบบการฉีดเชื้อเพลิงแบบรางร่วม ขณะที่ปรับความถี่ของอินเวอร์เตอร์จาก 4 ถึง 10 Hz และควบคุมความถี่ของการฉีดคงที่ 15 ± 3 ครั้งต่อวินาที ณ ภาระงานของปั๊มแรงดันสูงร้อยละ 50 มีการอภิปรายและวิจารณ์ผลลัพธ์ต่างๆ ดังนี้

4.1.1 ความดันของน้ำมันเชื้อเพลิงก่อนเข้าท่อรางร่วม

ผลการตรวจสอบความดันของน้ำมันเชื้อเพลิงก่อนเข้าท่อรางร่วม ณ จุดเชื่อมต่อระหว่างทางออกของปั๊มแรงดันสูง และทางเข้าของท่อรางร่วม ที่ความถี่ของอินเวอร์เตอร์ต่างๆ เมื่อใช้น้ำมันดีเซลผสมกับแอนไฮดริสเอทานอลและสารอิมัลซิไฟเออร์ต่างๆ ได้แก่ เอทิลอะซิเตท เอีน-บิวทานอล และไบโอดีเซล และน้ำมันดีเซล พบว่า ความดันของน้ำมันเชื้อเพลิงก่อนเข้าท่อรางร่วมเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มความถี่ของอินเวอร์เตอร์ ดังแสดงในภาพที่ 3.1 และผลลัพธ์ของความดันน้ำมันเชื้อเพลิงก่อนเข้าท่อรางร่วมถูกแสดงในตารางที่ 3.1 โดยการใช้ น้ำมันดีเซลผสมกับแอนไฮดริสเอทานอลและสารอิมัลซิไฟเออร์เหล่านี้ มีค่าความดันของน้ำมันเชื้อเพลิงก่อนเข้าท่อรางร่วมต่ำกว่าการใช้ น้ำมันดีเซล ทุกความถี่ของอินเวอร์เตอร์ที่ทดสอบ โดยผลการวิจัยนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ เอกชัย สุธีรศักดิ์ และ เจริญ ชินวานิชย์เจริญ (2559)⁶ และ เอกชัย สุธีรศักดิ์ และคณะ (2558)⁷ เนื่องจากน้ำมันดีเซลผสมกับแอนไฮดริสเอทานอลและสารอิมัลซิไฟเออร์เหล่านี้ มีคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำมันเชื้อเพลิง โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ค่าความหนาแน่นและค่าความหนืด ต่ำกว่าน้ำมันดีเซล (ตารางที่ 2.3) ซึ่งนำไปสู่การลดลงของแรงตึงผิว (Surface tension) ของน้ำมันเหล่านี้ โดยสอดคล้องกับงานวิจัยของ ัญญธร อิศราชีวะ (2548)¹ และ Kumar และคณะ (2013)²⁷ ผลลัพธ์ที่ตามมา ปั๊มแรงดันสูงซึ่งอยู่ในระบบการฉีดเชื้อเพลิงแบบรางร่วม (Common rail fuel injection system) สร้างความดันของน้ำมันเหล่านี้ เพื่อส่งเข้าท่อรางร่วมได้น้อยกว่าความดันของน้ำมันดีเซล

นอกจากนี้ ผลการตรวจสอบในตารางที่ 3.1 ณ ความถี่ของอินเวอร์เตอร์สูงสุด 10 Hz ซึ่งเป็นความถี่ที่สามารถควบคุมความถี่ของการฉีดคงที่ 15 ± 3 ครั้งต่อวินาที เมื่อใช้ภาระงานของปั๊มแรงดันสูงร้อยละ

50 แสดงให้เห็นว่า การใช้น้ำมัน DEE ให้ค่าความดันของน้ำมันเชื้อเพลิงก่อนเข้าท่อรางร่วมต่ำกว่าการใช้น้ำมัน DEB น้ำมัน DEBi และน้ำมัน D โดยความดันของน้ำมันเชื้อเพลิงก่อนเข้าท่อรางร่วมจากการใช้น้ำมัน DEE, น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi ลดลงร้อยละ 16.95, 9.10 และ 1.78 เมื่อเทียบกับน้ำมัน D จากผลลัพธ์ดังกล่าว แสดงให้เห็นว่า การใช้น้ำมัน DEE ให้ค่าความดันของน้ำมันเชื้อเพลิงก่อนเข้าท่อรางร่วมต่ำสุด รองลงมาคือน้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi เนื่องจากน้ำมัน DEE มีค่าความหนาแน่นและค่าความหนืดของน้ำมันเชื้อเพลิงต่ำกว่าน้ำมัน DEB น้ำมัน DEBi และน้ำมัน D (ตารางที่ 2.3) ทำให้ปั๊มแรงดันสูงภายในระบบการฉีดเชื้อเพลิงแบบรางร่วม สร้างความดันของน้ำมันเชื้อเพลิงก่อนเข้าท่อรางร่วมได้ต่ำกว่าน้ำมัน DEB น้ำมัน DEBi และน้ำมัน D

อย่างไรก็ตาม จากผลการวิจัยความดันของน้ำมันเชื้อเพลิงก่อนเข้าท่อรางร่วมที่เปลี่ยนแปลงตามความถี่ของอินเวอร์เตอร์ (ภาพที่ 3.1 และตารางที่ 3.1) แสดงให้เห็นว่า การใช้น้ำมัน DEBi สามารถสร้างความดันของน้ำมันเชื้อเพลิงก่อนเข้าท่อรางร่วมได้ใกล้เคียงกับการใช้น้ำมัน D เพราะว่าคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำมัน DEBi โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ค่าความหนาแน่นและค่าความหนืดใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล ซึ่งนำไปสู่แรงตึงผิวของน้ำมัน DEBi ใกล้เคียงกับแรงตึงผิวของน้ำมัน D ผลลัพธ์ที่ตามมา ความดันของน้ำมัน DEBi ก่อนเข้าท่อรางร่วมใกล้เคียงกับความดันของน้ำมัน D

4.1.2 ความดันท่อรางร่วม

ผลการตรวจสอบความดันท่อรางร่วม หรือความดันของน้ำมันเชื้อเพลิงภายในท่อรางร่วมที่ความถี่ของอินเวอร์เตอร์ต่างๆ เมื่อใช้น้ำมันดีเซลผสมกับแอนไฮดริสเอทานอลและสารอิมัลซิไฟเออร์ต่างๆ ได้แก่ เอทิลอะซิเตท เอ็น-บิวทานอล และไบโอดีเซล และน้ำมันดีเซล พบว่า ความดันของน้ำมันเชื้อเพลิงที่อยู่ภายในท่อรางร่วมเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มความถี่ของอินเวอร์เตอร์ดังแสดงในภาพที่ 3.2 และผลลัพธ์ของความดันท่อรางร่วมถูกแสดงในตารางที่ 3.2 พบว่า การใช้น้ำมันดีเซลผสมกับแอนไฮดริสเอทานอลและสารอิมัลซิไฟเออร์เหล่านี้ มีความดันของน้ำมันเชื้อเพลิงที่อยู่ภายในท่อรางร่วมใกล้เคียงกับการใช้น้ำมันดีเซล ทุกความถี่ของอินเวอร์เตอร์ที่ทดสอบ โดยผลการวิจัยนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ เอกชัย สุธีรศักดิ์ และ เจริญ ชินวานิชย์ เจริญ (2559)⁶ และ เอกชัย สุธีรศักดิ์ และคณะ (2558)⁷ เนื่องจากปั๊มแรงดันสูง ทำหน้าที่สร้างความดันของน้ำมันเหล่านี้ เพื่อส่งไปตามท่อแรงดันสูงและอัดน้ำมันเหล่านี้เข้าไปในท่อรางร่วม โดยมีเซนเซอร์ความดันน้ำมันเชื้อเพลิงบนท่อรางร่วมทำหน้าที่ตรวจสอบค่าความดันของน้ำมันเหล่านี้ ขณะที่เซนเซอร์นี้ ถูกเชื่อมต่อกับกล่องประมวลผลการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง เมื่อกล่องประมวลผล ได้รับค่าความดันของน้ำมันเหล่านี้ และมีค่าความดันที่เหมาะสมตามโปรแกรม ที่ได้ตั้งค่าไว้ กล่องประมวลผลจะส่งสัญญาณไปที่วาล์วควบคุมความดันเพื่อทำการปิดการส่งน้ำมันเข้าท่อรางร่วม ดังนั้น ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำมันเหล่านี้ จึงไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความดันของน้ำมันเชื้อเพลิงภายในท่อรางร่วม

4.1.3 ความดันท่อน้ำมันแรงดันสูง

ผลการตรวจสอบความดันท่อน้ำมันแรงดันสูง หรือความดันของน้ำมันเชื้อเพลิงภายในท่อแรงดันสูง ณ จุดเชื่อมต่อระหว่างท่อรางร่วมและหัวฉีด ที่ความถี่ของอินเวอร์เตอร์ต่างๆ เมื่อใช้น้ำมันดีเซลผสมกับแอนไฮดริสเอทานอลและสารอิมัลซิไฟเออร์ต่างๆ ได้แก่ เอทิลอะซิเตท เอ็น-บิวทานอล และไบโอดีเซล และน้ำมันดีเซล แสดงให้เห็นว่า ความดันท่อน้ำมันแรงดันสูงเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มความถี่ของอินเวอร์เตอร์ดังแสดง

ในภาพที่ 3.3 ขณะที่ผลลัพธ์ของความดันท่อน้ำมันแรงดันสูงจากการใช้น้ำมันดีเซลผสมกับแอนไฮดริสเอทานอลและสารอิมัลซิไฟเออร์เหล่านี้ มีค่าต่ำกว่าการใช้น้ำมันดีเซล ทุกความถี่ของอินเวอร์เตอร์ที่ทดสอบดังแสดงในตารางที่ 3.3 โดยผลการวิจัยนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ เอกชัย สุธีรศักดิ์ และ เจริญ ชินวานิชย์เจริญ (2559)⁶ และ เอกชัย สุธีรศักดิ์ และคณะ (2558)⁷ เนื่องจากน้ำมันเหล่านี้ มีคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำมันเชื้อเพลิง โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ค่าความหนาแน่นและค่าความหนืดต่ำกว่าน้ำมันดีเซลดังแสดงในตารางที่ 2.1 และ 2.3 ซึ่งนำไปสู่การลดลงของแรงตึงผิวของน้ำมันเหล่านี้ ส่งผลให้ความดันของน้ำมันเหล่านี้ที่อยู่ภายในท่อแรงดันสูงลดลงต่ำกว่าความดันของน้ำมันดีเซล

ขณะที่การใช้น้ำมัน DEE ให้ค่าความดันท่อน้ำมันแรงดันสูงต่ำกว่าการใช้น้ำมัน DEB น้ำมัน DEBi และน้ำมัน D เมื่อตรวจสอบที่ความถี่ของอินเวอร์เตอร์ 10 Hz และควบคุมความถี่ของการฉีดคงที่ 15 ± 3 ครั้งต่อวินาที ณ ภาระงานของปั๊มแรงดันสูงร้อยละ 50 ดังแสดงในตารางที่ 3.3 พบว่า ความดันท่อน้ำมันแรงดันสูงจากการใช้น้ำมัน DEE, น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi ลดลงร้อยละ 16.42, 5.88 และ 1.10 เมื่อเทียบกับน้ำมัน D โดยการใช้ น้ำมัน DEE ให้ค่าความดันท่อน้ำมันแรงดันสูงต่ำสุด รองลงมาคือ น้ำมัน DEB และ น้ำมัน DEBi เนื่องจากน้ำมัน DEE มีค่าความหนาแน่นและค่าความหนืดของน้ำมันเชื้อเพลิงต่ำกว่าน้ำมัน DEB น้ำมัน DEBi และน้ำมัน D (ตารางที่ 2.3) ทำให้แรงตึงผิวของน้ำมัน DEE น้อยกว่าแรงตึงผิวของน้ำมัน DEB น้ำมัน DEBi และน้ำมัน D ผลลัพธ์ที่ตามมา ความดันของน้ำมัน DEE ซึ่งอยู่ภายในท่อแรงดันสูง ณ จุดเชื่อมต่อระหว่างท่อาร่วมกับหัวฉีดต่ำกว่าความดันของน้ำมัน DEB น้ำมัน DEBi และน้ำมัน D ณ จุดเชื่อมต่อเดียวกัน

อย่างไรก็ตาม จากผลการวิจัยความดันท่อน้ำมันแรงดันสูงที่เปลี่ยนแปลงตามความถี่ของอินเวอร์เตอร์ (ภาพที่ 3.3 และตารางที่ 3.3) แสดงให้เห็นว่า การใช้ น้ำมัน DEBi สามารถสร้างความดันท่อน้ำมันแรงดันสูงได้ใกล้เคียงกับการใช้น้ำมัน D เพราะว่าคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำมัน DEBi โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ค่าความหนาแน่นและค่าความหนืดใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล ซึ่งนำไปสู่แรงตึงผิวของน้ำมัน DEBi ใกล้เคียงกับแรงตึงผิวของน้ำมัน D ผลลัพธ์ที่ตามมา ความดันของน้ำมัน DEBi ภายในท่อแรงดันสูง ณ จุดเชื่อมต่อระหว่างท่อาร่วมและหัวฉีด จึงใกล้เคียงกับความดันของน้ำมัน D

4.1.4 ความดันของการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง

ผลการตรวจสอบความดันของการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง ที่ความถี่ของอินเวอร์เตอร์ต่างๆ เมื่อใช้น้ำมันดีเซลผสมกับแอนไฮดริสเอทานอลและสารอิมัลซิไฟเออร์ต่างๆ ได้แก่ เอทิลอะซิเตท เอ็น-บิวทานอล และไบโอดีเซล และน้ำมันดีเซล แสดงให้เห็นว่า ความดันของการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มความถี่ของอินเวอร์เตอร์ดังแสดงในภาพที่ 3.4 และตารางที่ 3.4 ขณะที่การใช้น้ำมันดีเซลผสมกับแอนไฮดริสเอทานอลและสารอิมัลซิไฟเออร์เหล่านี้ มีค่าความดันของการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงต่ำกว่าการใช้น้ำมันดีเซล ทุกความถี่ของอินเวอร์เตอร์ที่ทดสอบ โดยผลการวิจัยนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ เอกชัย สุธีรศักดิ์ และ เจริญ ชินวานิชย์เจริญ (2559)⁶ และ เอกชัย สุธีรศักดิ์ และคณะ (2558)⁷ เนื่องจากน้ำมันดีเซลผสมกับแอนไฮดริสเอทานอลและสารอิมัลซิไฟเออร์เหล่านี้ มีคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำมันเชื้อเพลิง โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ค่าความหนาแน่นและค่าความหนืดต่ำกว่าน้ำมันดีเซล (ตารางที่ 2.3) ซึ่งนำไปสู่การลดลงของแรงตึงผิวของน้ำมันเหล่านี้ ส่งผลให้ความสามารถในการอัดตัวได้ของน้ำมันเหล่านี้เพิ่มขึ้น ทำให้ความดันการฉีดน้ำมันเหล่านี้ลดลง

ขณะที่การใช้น้ำมัน DEE ให้ค่าความดันของการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงต่ำกว่าการใช้น้ำมัน DEB น้ำมัน DEBi และน้ำมัน D เมื่อตรวจสอบที่ความถี่ของอินเวอร์เตอร์ 10 Hz และควบคุมความถี่ของการฉีดคงที่ 15 ± 3 ครั้งต่อวินาที ณ ภาระงานของปั๊มแรงดันสูงร้อยละ 50 ดังแสดงในตารางที่ 3.4 พบว่า ความดันของการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงจากการใช้น้ำมัน DEE, น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi ลดลงร้อยละ 17.38, 7.10 และ 2.22 เมื่อเทียบกับน้ำมัน D โดยการใช้น้ำมัน DEE ให้ค่าความดันของการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงต่ำสุด รองลงมาคือน้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi เนื่องจากน้ำมัน DEE มีค่าความหนาแน่นและค่าความหนืดของน้ำมันเชื้อเพลิงต่ำกว่าน้ำมัน DEB น้ำมัน DEBi และน้ำมัน D (ตารางที่ 2.3) ทำให้แรงตึงผิวของน้ำมัน DEE น้อยกว่าน้ำมัน DEB น้ำมัน DEBi และน้ำมัน D ผลลัพธ์ที่ตามมา ความสามารถในการอัดตัวได้ของน้ำมัน DEE สูงกว่าน้ำมัน DEB น้ำมัน DEBi และน้ำมัน D ทำให้ความดันของการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงจากการใช้น้ำมัน DEE ต่ำกว่าน้ำมัน DEB น้ำมัน DEBi และน้ำมัน D

อย่างไรก็ตาม จากผลการวิจัยความดันของการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงที่เปลี่ยนแปลงตามความถี่ของอินเวอร์เตอร์ (ภาพที่ 3.4 และตารางที่ 3.4) แสดงให้เห็นว่า การใช้น้ำมัน DEBi สามารถสร้างความดันของการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงได้ใกล้เคียงกับการใช้น้ำมัน D เพราะว่าคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำมัน DEBi โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ค่าความหนาแน่นและค่าความหนืดใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล ซึ่งนำไปสู่แรงตึงผิวของน้ำมัน DEBi ใกล้เคียงกับแรงตึงผิวของน้ำมัน D ผลลัพธ์ที่ตามมา ความดันของการฉีดน้ำมัน DEBi จึงใกล้เคียงกับความดันของการฉีดน้ำมัน D

4.1.5 จังหวะการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง

การตรวจสอบจังหวะการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงในการวิจัยนี้ วิเคราะห์จากจังหวะการเปิด-ปิดของเข็มหัวฉีดที่ถูกควบคุมโดยการทำงานของโซลินอยด์ (Solenoid) ที่อยู่ด้านบนของหัวฉีด ซึ่งแสดงผลลัพธ์ในรูปคลื่นแรงเคลื่อนไฟฟ้าบนแกนเวลาจากการใช้เครื่องออสซิลโลสโคป ณ ช่วงการตอบสนองความถี่ของออสซิลโลสโคป (Bandwidth) 100 ± 40 Hz เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความถี่ของอินเวอร์เตอร์จาก 4 ถึง 10 Hz และใช้น้ำมันดีเซลผสมกับแอนไฮดริสเอทานอลและสารอิมัลซิไฟเออร์ต่างๆ ได้แก่ เอทิลอะซิเตท เอ็น-บิวทานอล และไบโอดีเซล และน้ำมันดีเซล เป็นน้ำมันเชื้อเพลิง ผลลัพธ์ที่ได้แสดงในภาพที่ 3.5 ถึง 3.8 พบว่า รูปคลื่นแรงเคลื่อนไฟฟ้าบนแกนเวลาจากการใช้น้ำมันดีเซลผสมกับแอนไฮดริสเอทานอลและสารอิมัลซิไฟเออร์เหล่านี้ มีลักษณะเหมือนกันกับการใช้น้ำมันดีเซล เนื่องจากจังหวะการเปิด-ปิดของเข็มหัวฉีด ถูกควบคุมโดยการทำงานของโซลินอยด์ที่อยู่ด้านบนของหัวฉีด

อย่างไรก็ตาม การวิจัยนี้ ค้นพบว่า ช่วงของแรงเคลื่อนไฟฟ้าจากจุดสูงสุดถึงจุดต่ำสุด (โวลต์ พีค-พีค) ของรูปคลื่นแรงเคลื่อนไฟฟ้าบนแกนเวลาแตกต่างกันดังแสดงในภาพที่ 3.9 ซึ่งแสดงค่าโวลต์ พีค-พีค จากจังหวะการเปิด-ปิดของเข็มหัวฉีดจากการฉีดน้ำมันดีเซลผสมกับแอนไฮดริสเอทานอลและสารอิมัลซิไฟเออร์เหล่านี้ เทียบกับน้ำมันดีเซลที่ความถี่ต่างๆ ผลลัพธ์ที่ได้พบว่า ค่าโวลต์ พีค-พีค เมื่อใช้น้ำมันเหล่านี้ ต่ำกว่าค่าโวลต์ พีค-พีค เมื่อใช้น้ำมันดีเซล ซึ่งแสดงให้เห็นว่า การใช้น้ำมันดีเซลผสมกับแอนไฮดริสเอทานอลและสารอิมัลซิไฟเออร์เหล่านี้ มีจังหวะการเปิด-ปิดของหัวฉีดรวดเร็วกว่าการใช้น้ำมันดีเซล ทั้งนี้ มีการตั้งสมมติฐานมาจากคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำมันเหล่านี้ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ค่าความหนาแน่นและค่าความหนืดต่ำกว่า

น้ำมันดีเซล ส่งผลให้แรงตึงผิวของน้ำมันเหล่านี้ลดลง ซึ่งนำไปสู่ความดันของน้ำมันเหล่านี้ลดลง เมื่อน้ำมันเหล่านี้ เข้าไปในเรือนหัวฉีด ความดันของน้ำมันเหล่านี้ในช่วงเริ่มต้นจะน้อยกว่าแรงกดของสปริงบนเข็มหัวฉีด ส่งผลให้ต้องเพิ่มความสามารถในการอัดตัวได้ของน้ำมันเหล่านี้มากขึ้น เพื่อเอาชนะแรงกดของสปริง อย่างไรก็ตาม ณ ช่วงเวลาหนึ่ง ขณะที่น้ำมันเหล่านี้ถูกฉีดออกไปปะทะกับอากาศภายในห้องจำลอง เกิดการลดลงของความดันน้ำมันเชื้อเพลิงอย่างรวดเร็ว ผลลัพธ์ที่ตามมา เกิดการปิดตัวของเข็มหัวฉีดอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้จังหวะการเปิด-ปิดของเข็มหัวฉีดจากการฉีดน้ำมันดีเซลผสมกับแอมไฮดรัสเอทานอลและสารอิมัลซิไฟเออร์เหล่านี้เร็วกว่าการใช้น้ำมันดีเซล ทำให้จังหวะการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงจากการใช้น้ำมันดีเซลผสมกับแอมไฮดรัสเอทานอลและสารอิมัลซิไฟเออร์เหล่านี้เร็วกว่าการใช้น้ำมันดีเซล

เมื่อทำการตรวจสอบค่าโวลต์ พีค-พีค จากการใช้น้ำมันเหล่านี้ พบว่า การใช้น้ำมัน DEE ให้ค่าโวลต์ พีค-พีค ต่ำกว่าการใช้น้ำมัน DEB น้ำมัน DEBi และน้ำมัน D ทุกความถี่ของอินเวอร์เตอร์ดังแสดงในภาพที่ 3.9 และตารางที่ 3.5 ขณะที่ตรวจสอบ ณ ความถี่ของอินเวอร์เตอร์ 10 Hz และควบคุมความถี่ของการฉีดคองที่ 15 ± 3 ครั้งต่อวินาที ณ ภาระงานของปั๊มแรงดันสูงร้อยละ 50 พบว่า ค่าโวลต์ พีค-พีค จากการใช้น้ำมัน DEE, น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi ลดลง 10.49, 4.07 และ 1.57 mV เมื่อเทียบกับน้ำมัน D โดยการใช้ น้ำมัน DEE ให้ค่าโวลต์ พีค-พีค ต่ำสุด รองลงมาคือ น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi อย่างไรก็ตาม จากผลการตรวจสอบค่าโวลต์ พีค-พีค ที่เปลี่ยนแปลงตามความถี่ของอินเวอร์เตอร์ (ภาพที่ 3.9 และตารางที่ 3.5) แสดงให้เห็นว่า การใช้น้ำมัน DEBi มีค่าโวลต์ พีค-พีค ใกล้เคียงกับการใช้น้ำมัน D ซึ่งมีแนวโน้มจะมีสาเหตุมาจากคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำมัน DEBi โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ค่าความหนาแน่นและค่าความหนืดใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล ซึ่งนำไปสู่จังหวะการเปิด-ปิดของหัวฉีดจากการใช้น้ำมัน DEBi ใกล้เคียงกับการใช้น้ำมัน D ผลลัพธ์ที่ตามมา จังหวะการฉีดน้ำมัน DEBi จึงใกล้เคียงกับจังหวะการฉีดน้ำมัน D

4.1.6 อัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง

การตรวจสอบอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง เป็นการตรวจสอบความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเบื้องต้นก่อนนำน้ำมันเหล่านี้ไปใช้กับเครื่องยนต์ดีเซล โดยผลการตรวจสอบอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง ที่ความถี่ของอินเวอร์เตอร์ต่างๆ เมื่อใช้น้ำมันดีเซลผสมกับแอมไฮดรัสเอทานอลและสารอิมัลซิไฟเออร์ต่างๆ ได้แก่ เอทิลอะซิเตท เอ็น-บิวทานอล และไบโอดีเซล และน้ำมันดีเซล แสดงให้เห็นว่า อัตราการใช้น้ำมันดีเซลผสมกับแอมไฮดรัสเอทานอลและสารอิมัลซิไฟเออร์เหล่านี้ และน้ำมันดีเซล เพิ่มขึ้นตามการเพิ่มความถี่ของอินเวอร์เตอร์ ขณะที่อัตราการใช้น้ำมันเหล่านี้ สูงกว่าอัตราการใช้น้ำมันดีเซลดังแสดงในภาพที่ 3.10 ยิ่งไปกว่านั้น ตารางที่ 3.6 และภาพที่ 3.11 แสดงให้เห็นค่าเฉลี่ยของอัตราการใช้น้ำมันเหล่านี้ เทียบกับอัตราการใช้น้ำมันดีเซล พบว่า การใช้น้ำมันเหล่านี้ ให้อัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงสูงกว่า ซึ่งนำไปสู่ความสิ้นเปลืองของน้ำมันสูงกว่าการใช้น้ำมันดีเซล ทุกความถี่ของอินเวอร์เตอร์ที่ทดสอบ โดยผลการวิจัยนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ เอกชัย สุธีรศักดิ์ และ เจริญ ชินวานิชย์เจริญ (2559)⁶ และ เอกชัย สุธีรศักดิ์ และคณะ (2558)⁷ ทั้งนี้ มีสาเหตุมาจากคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำมันดีเซลผสมกับแอมไฮดรัสเอทานอลและสารอิมัลซิไฟเออร์เหล่านี้ มีค่าความหนาแน่นและค่าความหนืดต่ำกว่าน้ำมันดีเซล (ตารางที่ 2.3) ซึ่งนำไปสู่แรงตึงผิวของน้ำมันลดลง ทำให้ความดันของการฉีดน้ำมันเหล่านี้ลดลง และความสามารถในการอัดตัวได้ของน้ำมันเหล่านี้เพิ่มขึ้น ทำให้

จังหวะการเปิด-ปิดของเข็มหัวฉีดจากการฉีดน้ำมันเหล่านี้รวดเร็วกว่าจังหวะการฉีดน้ำมันดีเซล เมื่อทำการตรวจสอบที่ภาระงานของปั๊มแรงดันสูงเท่ากัน และทดสอบการใช้ น้ำมันเชื้อเพลิงเท่ากัน ผลลัพธ์ที่ได้ พบว่า เวลาของการใช้น้ำมันเหล่านี้ลดลงรวดเร็วกว่าเวลาของการใช้น้ำมันดีเซล ดังแสดงในภาพที่ 3.12 เพราะว่าการใช้น้ำมันเหล่านี้ ทำให้ความถี่ของการฉีดเพิ่มขึ้นอันเป็นผลมาจากความรวดเร็วของจังหวะการเปิด-ปิดของเข็มหัวฉีดจากการฉีดน้ำมันเหล่านี้ และการชดเชยค่าความดันของน้ำมันเหล่านี้ภายในเรือนหัวฉีด เพื่อเอาชนะแรงกดของสปริงบนเข็มหัวฉีด ดังนั้น อัตราการใช้ น้ำมันเหล่านี้ สูงกว่าอัตราการใช้ น้ำมันดีเซล

ขณะที่การใช้ น้ำมัน DEE มีอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงสูงกว่าการใช้ น้ำมัน DEB น้ำมัน DEBi และน้ำมัน D เมื่อตรวจสอบที่ความถี่ของอินเวอร์เตอร์ 10 Hz และควบคุมความถี่ของการฉีดคงที่ 15 ± 3 ครั้งต่อวินาที ณ ภาระงานของปั๊มแรงดันสูงร้อยละ 50 ดังแสดงในตารางที่ 3.6 พบว่า อัตราการใช้ น้ำมันเชื้อเพลิงจากการใช้น้ำมัน DEE, น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi เพิ่มขึ้น 0.338, 0.135 และ 0.073 lph เมื่อเทียบกับน้ำมัน D โดยการใช้ น้ำมัน DEE มีอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงสูงสุด รองลงมาคือ น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi เนื่องจากน้ำมัน DEE มีค่าความหนาแน่นและค่าความหนืดของน้ำมันเชื้อเพลิงต่ำกว่าน้ำมัน DEB น้ำมัน DEBi และน้ำมัน D (ตารางที่ 2.3) ทำให้แรงตึงผิวของน้ำมัน DEE น้อยกว่าน้ำมัน DEB น้ำมัน DEBi และน้ำมัน D ผลลัพธ์ที่ตามมา ความสามารถในการอัดตัวของน้ำมัน DEE สูงกว่า ความดันของการฉีดน้ำมันต่ำกว่า และจังหวะการเปิด-ปิดของเข็มหัวฉีดและความถี่ของการฉีดน้ำมันมากกว่า ทำให้เวลาของการใช้น้ำมัน DEE ลดลงรวดเร็วกว่าการใช้น้ำมัน DEB น้ำมัน DEBi และน้ำมัน D อย่างไรก็ตาม จากผลการวิจัยอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงที่เปลี่ยนแปลงตามความถี่ของอินเวอร์เตอร์ (ภาพที่ 3.10 ถึง 3.11) แสดงให้เห็นว่า การใช้ น้ำมัน DEBi มีอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงใกล้เคียงกับการใช้น้ำมัน D เพราะว่าคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำมัน DEBi โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ค่าความหนาแน่นและค่าความหนืดใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล ซึ่งนำไปสู่แรงตึงผิวของน้ำมัน DEBi ใกล้เคียงกับแรงตึงผิวของน้ำมัน D ผลลัพธ์ที่ตามมา จังหวะการเปิด-ปิดของเข็มหัวฉีดและความถี่ของการฉีดน้ำมัน DEBi จึงใกล้เคียงกับการฉีดน้ำมัน D

4.2 การอภิปรายและวิจารณ์ผลการสเปรย์น้ำมันเชื้อเพลิง

ผลการทดสอบการสเปรย์น้ำมันดีเซลผสมกับแอนไฮดริสเอทานอลและสารอีมีลซิไฟเออร์ต่างๆ ได้แก่ เอทิลอะซิเตท เอ็น-บิวทานอล และไบโอดีเซล (น้ำมัน DEE น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi) เทียบกับน้ำมันดีเซล (D) โดยใช้ชุดจำลองการฉีดและการสเปรย์น้ำมันเชื้อเพลิงของระบบการฉีดเชื้อเพลิงแบบรางร่วม เมื่อกำหนดการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงที่ความถี่ของการฉีดคงที่ 6 ± 3 ครั้งต่อวินาที และปรับความถี่ของอินเวอร์เตอร์คงที่ 10 Hz โดยควบคุมภาระงานของปั๊มแรงดันสูงคงที่ร้อยละ 50 และมีการอัดอากาศเข้าไปภายในห้องจำลอง 1 ± 0.1 MPa ถูกแสดงในหัวข้อที่ 3.1.2 สามารถอภิปรายและวิจารณ์ผลลัพธ์ต่างๆ ได้ดังนี้

4.2.1 รูปร่างของสเปรย์เชื้อเพลิง

ผลการวิเคราะห์รูปร่างของการสเปรย์น้ำมันดีเซลผสมกับแอนไฮดริสเอทานอลและสารอีมีลซิไฟเออร์ต่างๆ (ได้แก่ น้ำมัน DEE น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi) จากการทดสอบโดยใช้ชุดจำลองการฉีดและการสเปรย์น้ำมันเชื้อเพลิงของระบบการฉีดเชื้อเพลิงแบบรางร่วม พบว่า รูปร่างของสเปรย์น้ำมันทั้งสามชนิด มี

ลักษณะเป็นรูปกรวยสเปรย์ที่มีความกว้างกว่ารูปร่างของการสเปรย์น้ำมันดีเซล (D) ดังแสดงในภาพที่ 3.13 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า รูปกรวยสเปรย์น้ำมัน DEE น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi มีความแตกต่างจากรูปกรวยสเปรย์น้ำมัน D เนื่องจากการฉีดน้ำมันดีเซลที่ผสมกับแอนไฮดริสเอทานอลและสารอีมีลซิไฟเออร์ออกไปปะทะกับอากาศภายในห้องจำลองนั้น แอนไฮดริสเอทานอลและสารอีมีลซิไฟเออร์จะเกิดการแตกเป็นละอองและการระเหยกลายเป็นไอที่รวดเร็วกว่าน้ำมันดีเซล เพราะคุณสมบัติทางกายภาพของทั้งสอง โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอของแอนไฮดริสเอทานอลและสารอีมีลซิไฟเออร์สูงกว่าน้ำมัน D โดยถูกอธิบายในผลลัพธ์ของธัญญธร อิศราชีวะ (2548)¹ และ พรหมเมศร์ ขวัญเจริญ (2548)⁴ ส่งผลให้เกิดการแตกเป็นละอองและการระเหยกลายเป็นไอที่รวดเร็วกว่า ทำให้รูปกรวยสเปรย์น้ำมันเหล่านี้ กว้างกว่ารูปกรวยสเปรย์ของน้ำมันดีเซล

ยิ่งไปกว่านั้น การสเปรย์น้ำมัน DEE น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi แสดงให้เห็นถึงการแตกกระจายของละอองหรือหยดน้ำมันเชื้อเพลิงมากกว่า และเกิดปรากฏการณ์ของการระเหยกลายเป็นไออย่างรวดเร็วกว่าการสเปรย์น้ำมัน D ด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การสเปรย์น้ำมัน DEE และน้ำมัน DEB เกิดปรากฏการณ์ของการแตกเป็นละอองและการระเหยกลายเป็นไออย่างรวดเร็วกว่าการสเปรย์น้ำมัน D และน้ำมัน DEBi เนื่องจากการสเปรย์น้ำมัน DEE และน้ำมัน DEB ในการทดสอบนี้ แสดงให้เห็นความหนาแน่นของละอองและไอระเหยของน้ำมันที่มีความหนาแน่นกว่าการสเปรย์น้ำมัน D และ น้ำมัน DEBi โดยมีสาเหตุมาจากน้ำมัน DEE และน้ำมัน DEB มีการผสมของแอนไฮดริสเอทานอล หรือที่เรียกว่า เอทานอลปราศจากน้ำ และสารอีมีลซิไฟเออร์ที่ใช้ในการผสม ได้แก่ เอทิลอะซิเตท และเอ็น-บิวทานอล ซึ่งทั้งสองเป็นผลิตภัณฑ์ในกลุ่มของแอลกอฮอล์ โดยมีคุณสมบัติทางกายภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอสูงกว่าไบโอดีเซล ส่งผลให้การแตกเป็นละอองและการระเหยกลายเป็นไอรวดเร็วกว่าการสเปรย์น้ำมัน DEBi และการสเปรย์น้ำมัน D โดยสอดคล้องกับงานวิจัยของ เอกชัย สุธีร์ศักดิ์ และ เจริญ ชินวานิชย์เจริญ (2559)⁶ Park และคณะ (2011)³² Park และคณะ (2012)³³ และ Supasitmongkol และคณะ (2013)⁴¹

ขณะที่ความยาวของสเปรย์น้ำมันดีเซลผสมกับแอนไฮดริสเอทานอลและสารอีมีลซิไฟเออร์ต่างๆ (น้ำมัน DEE น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi) มีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับความยาวของสเปรย์น้ำมันดีเซล เนื่องจาก ความดันของการฉีดน้ำมันเหล่านี้ ต่ำกว่าความดันของการฉีดน้ำมันดีเซลเพียงเล็กน้อย นอกจากนี้ ส่วนผสมหลักของน้ำมันดีเซล ซึ่งผสมกับแอนไฮดริสเอทานอลและสารอีมีลซิไฟเออร์ต่างๆ นั่นคือ น้ำมันดีเซล ซึ่งมีปริมาณร้อยละ 90 ของน้ำมันผสมทั้งหมด และส่วนที่แตกเป็นละอองและระเหยกลายเป็นไออย่างรวดเร็ว คือ ส่วนผสมของแอนไฮดริสเอทานอลและสารอีมีลซิไฟเออร์ต่างๆ ดังนั้น บริเวณขอบนอกของรูปกรวยสเปรย์ จะเกิดการแตกเป็นละอองและระเหยกลายเป็นไออย่างรวดเร็ว อันเป็นผลมาจากส่วนผสมของแอนไฮดริสเอทานอลและสารอีมีลซิไฟเออร์ต่างๆ ขณะที่บริเวณแกนกลางของกรวยสเปรย์ หรือส่วนที่อยู่ภายในรูปกรวยสเปรย์ เป็นผลมาจากส่วนผสมของน้ำมันดีเซล ทำให้ความยาวของสเปรย์น้ำมันดีเซลผสมกับแอนไฮดริสเอทานอลและสารอีมีลซิไฟเออร์ต่างๆ แตกต่างจากความยาวของสเปรย์น้ำมันดีเซลเพียงเล็กน้อย โดยสอดคล้องกับงานวิจัยของ เอกชัย สุธีร์ศักดิ์ และ เจริญ ชินวานิชย์เจริญ (2559)⁶ Park และคณะ (2011)³² Park และคณะ (2012)³³ และ Supasitmongkol และคณะ (2013)⁴¹

4.2.2 มุมสเปรย์

หลังจากถ่ายภาพรูปร่างของสเปรย์เชื้อเพลิง มีการคำนวณมุมสเปรย์ หรือมุมกรวยสเปรย์ของแต่ละหัวฉีด เพื่อเปรียบเทียบผลการทดสอบการสเปรย์น้ำมันดีเซลผสมกับแอนไฮดริสเอทานอลและสารอีมีลซิไฟเออร์ต่างๆ (น้ำมัน DEE น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi) กับผลการทดสอบการสเปรย์น้ำมันดีเซล (D) ดังแสดงในภาพที่ 3.14 และผลลัพธ์ต่างๆ ของค่าเฉลี่ยของมุมสเปรย์ของแต่ละหัวฉีดถูกแสดงในตารางที่ 3.7 พบว่า มุมสเปรย์ของแต่ละหัวฉีดจากการใช้น้ำมัน DEE น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi มีขนาดกว้างกว่ามุมสเปรย์ของแต่ละหัวฉีดจากการใช้น้ำมัน D โดยสอดคล้องกับผลงานวิจัยของ Park และคณะ (2011)³² และ Park และคณะ (2012)³³ เนื่องจากการสเปรย์น้ำมันเหล่านี้ ทำให้เกิดการแตกเป็นละอองและการระเหยกลายเป็นไออย่างรวดเร็ว ส่งผลให้ความกว้างของรูปกรวยสเปรย์เพิ่มขึ้น ส่วนสาเหตุที่การแตกเป็นละอองและการระเหยกลายเป็นไอของน้ำมันเหล่านี้ เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว เพราะว่า แอนไฮดริสเอทานอลและสารอีมีลซิไฟเออร์ มีค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอสูงกว่าน้ำมันดีเซลจากงานวิจัยของ ธีญญธร อิศราชีวะ (2548)¹ ขณะที่น้ำมันดีเซลผสมกับแอนไฮดริสเอทานอลและสารอีมีลซิไฟเออร์ ถูกฉีดออกจากหัวฉีด และน้ำมันเหล่านี้ปะทะกับอากาศภายในห้องจำลอง ทำให้การแตกตัวและการระเหยกลายเป็นไอของสารทั้งสองอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้บริเวณขอบนอกของรูปกรวยสเปรย์เพิ่มขึ้น ทำให้มุมสเปรย์กว้างขึ้น โดยสอดคล้องกับงานวิจัยของ เอกชัย สุธีรศักดิ์ และคณะ (2558)⁷ ในขณะที่การสเปรย์น้ำมัน DEE และน้ำมัน DEB มีมุมสเปรย์กว้างกว่าการสเปรย์น้ำมัน D และ DEBi เพราะว่า น้ำมัน DEE และน้ำมัน DEB มีการผสมของแอนไฮดริสเอทานอล และสารอีมีลซิไฟเออร์ ได้แก่ เอทิลอะซิเตท และเอ็น-บิวทานอล ซึ่งทั้งสองเป็นผลิตภัณฑ์ในกลุ่มของแอลกอฮอล์ โดยทั้งสองมีค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอสูงกว่า ทำให้การแตกเป็นละอองและการระเหยกลายเป็นไอเกิดขึ้นรวดเร็วกว่าน้ำมัน DEBi โดยสาเหตุที่น้ำมัน DEBi มีการแตกเป็นละอองและการระเหยกลายเป็นไอช้ากว่า น้ำมัน DEE และน้ำมัน DEB เพราะว่าน้ำมัน DEBi มีการผสมของไบโอดีเซลและแอนไฮดริสเอทานอล ดังนั้น น้ำมันนี้ ปะทะกับอากาศภายในห้องจำลอง ส่วนผสมของแอนไฮดริสเอทานอลจะเกิดการแตกเป็นละอองและการระเหยกลายเป็นไอได้ง่ายกว่า ไบโอดีเซล และน้ำมันดีเซล ผลลัพธ์ที่ได้ออกมา มุมสเปรย์จากการใช้น้ำมัน DEE และน้ำมัน DEB จึงกว้างกว่ามุมสเปรย์จากการใช้น้ำมัน DEBi และน้ำมัน D

4.2.3 ความยาวจริงของสเปรย์

ผลการวัดความยาวจริงของสเปรย์ หรือความยาวจริงของสเปรย์ที่ฉีดพุ่งออกจากหัวฉีดของแต่ละหัวฉีด จากการกำหนดขนาดอัตราส่วน 1:2 เมื่อใช้น้ำมันดีเซล (D) และน้ำมันดีเซลผสมกับแอนไฮดริสเอทานอลและสารอีมีลซิไฟเออร์ต่างๆ (น้ำมัน DEE น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi) ดังแสดงในภาพที่ 3.15 ซึ่งแสดงความยาวจริงของสเปรย์ของแต่ละหัวฉีดจากการใช้น้ำมันต่างๆ ขณะที่ค่าเฉลี่ยของความยาวจริงของสเปรย์ของแต่ละหัวฉีดถูกแสดงในตารางที่ 3.8 ผลลัพธ์ที่ได้พบว่า ความยาวจริงของสเปรย์ของแต่ละหัวฉีดจากการใช้น้ำมันเหล่านี้ สั้นกว่าความยาวจริงของสเปรย์ของแต่ละหัวฉีดจากการใช้น้ำมันดีเซล ทั้งนี้ มีสาเหตุมาจากการใช้น้ำมัน DEE น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi ส่งผลให้ความดันของการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงลดลง เพราะคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำมันเหล่านี้ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ค่าความหนาแน่นและค่าความหนืดของน้ำมันเหล่านี้ น้อยกว่าน้ำมันดีเซล ทำให้ความดันของการฉีดน้ำมันเหล่านี้ลดลง ส่งผลให้ความยาวจริงของการ

สเปรย์น้ำมันเหล่านี้สั้นกว่าความยาวจริงของการสเปรย์น้ำมันดีเซล โดยสอดคล้องกับงานวิจัยของ เอกชัย สุธีร์ ศักดิ์ และ เจริญ ชินวานิชย์เจริญ (2559)⁶ Park และคณะ (2011)³² Park และคณะ (2012)³³ และ Supasitmongkol และคณะ (2013)⁴¹ ขณะที่การใช้น้ำมัน DEE และน้ำมัน DEB มีความยาวจริงของสเปรย์สั้นกว่าการใช้น้ำมัน DEBi และน้ำมัน D เพราะว่า ค่าความหนาแน่นและค่าความหนืดของน้ำมัน DEE และน้ำมัน DEB น้อยกว่าค่าความหนาแน่นและค่าความหนืดของน้ำมัน DEBi และน้ำมัน D ผลลัพธ์ที่ตามมา ความดันของการฉีดน้ำมัน DEE และน้ำมัน DEB ลดลง ส่งผลให้ความยาวจริงของการสเปรย์น้ำมันเหล่านี้สั้นกว่าความยาวจริงของการสเปรย์น้ำมัน DEBi และน้ำมัน D

4.3 การอภิปรายและวิจารณ์ผลการดำเนินงานของเครื่องยนต์ระยะเวลา 50 hr

การทดสอบการทำงานของเครื่องยนต์ระยะเวลา 50 hr เป็นการทดสอบเริ่มต้นการทำงานของเครื่องยนต์ เพื่อบ่งบอกความสามารถในการทำงานเครื่องยนต์ ตามมาตรฐานการทดสอบเครื่องยนต์ ก่อนเริ่มต้นการทดสอบสมรรถนะและการปล่อยสารมลพิษต่างๆ และการสึกหรอของเครื่องยนต์ โดยการวิจัยนี้ ใช้เครื่องยนต์จำนวน 4 เครื่อง และแต่ละเครื่องยนต์ใช้น้ำมันดีเซล (D) และน้ำมันดีเซลผสมกับแวนไฮดรอสเททานอลและสารอิมัลซิไฟเออร์ต่างๆ (น้ำมัน DEE น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi) เป็นน้ำมันเชื้อเพลิง ทำการทดสอบที่ความเร็วรอบคงที่ 3,000 rpm ซึ่งเป็นความเร็วรอบที่ถูกรอกแบบโดยบริษัทผู้ผลิต ตามคู่มือของเครื่องยนต์นี้ โดยควบคุมค่าความคลาดเคลื่อนของความเร็วรอบในช่วง ± 50 rpm และทดสอบแบบไม่มีภาระงาน เพื่อตรวจสอบแนวโน้มของอุณหภูมิต่างๆ จากการทำงานของเครื่องยนต์ (ได้แก่ อุณหภูมิไอดี อุณหภูมิครีบของฝาสูบและเสื้อสูบ และอุณหภูมิแก๊สไอเสีย) และอัตราการใช้เชื้อเพลิงจากเครื่องยนต์ทั้งสี่เครื่อง เมื่อใช้น้ำมันเหล่านี้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิง ผลการทดสอบและวิจารณ์ผลสามารถอธิบายดังต่อไปนี้

4.3.1 อุณหภูมิไอดี

ผลการตรวจสอบอุณหภูมิไอดีหรืออุณหภูมิของอากาศจากเครื่องยนต์ทั้งสี่เครื่อง เมื่อใช้น้ำมัน D และน้ำมันดีเซลผสมกับแวนไฮดรอสเททานอลและสารอิมัลซิไฟเออร์ต่างๆ (น้ำมัน DEE น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi) เป็นน้ำมันเชื้อเพลิง โดยทำการทดสอบที่ความเร็วรอบคงที่ $3,000 \pm 50$ rpm และไม่มีภาระงาน การทำงานของเครื่องยนต์ระยะเวลา 50 hr พบว่า อุณหภูมิไอดีของเครื่องยนต์ทั้งสี่เครื่อง มีค่าใกล้เคียงกัน ดังแสดงในภาพที่ 3.16 และผลการตรวจสอบอุณหภูมิไอดีของเครื่องยนต์ทั้งสี่เครื่อง เมื่อใช้น้ำมัน D น้ำมัน DEE น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi ถูกแสดงในตารางที่ 3.10 พบว่า การใช้น้ำมันเหล่านี้ ไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิไอดีของเครื่องยนต์ดีเซล ขณะที่อุณหภูมิไอดีของเครื่องยนต์ทั้งสี่เครื่องยนต์ไม่เกิน 43°C และผลการวิจัยนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ เอกพันธ์ อินทร์ปิ่น และคณะ (2557)⁸ และ Sutheerasak (2017)⁴³ โดยสาเหตุที่อุณหภูมิไอดีของเครื่องยนต์ทั้งสี่เครื่อง มีค่าใกล้เคียงกัน เพราะว่า อุณหภูมิไอดี คือ อุณหภูมิของอากาศ ณ ห้องทดสอบ ซึ่งถูกส่งเข้าไปในเครื่องยนต์ โดยการทดสอบนี้ ทำการทดสอบในห้องทดสอบเดียวกัน ระยะเวลาเดียวกัน และอุณหภูมิห้องทดสอบและค่าความชื้นสัมพัทธ์มีค่าใกล้เคียงกัน

4.3.2 อุณหภูมิครีบบของฝาสูบและเสื้อสูบ

ผลการตรวจสอบอุณหภูมิครีบบของฝาสูบและเสื้อสูบของเครื่องยนต์ทั้งสี่เครื่อง เมื่อใช้น้ำมัน D และน้ำมันดีเซลผสมกับแอนไฮดริสเอทานอลและสารอิมัลซิไฟเออร์ต่างๆ (น้ำมัน DEE น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi) เป็นน้ำมันเชื้อเพลิง โดยทำการทดสอบที่ความเร็วรอบคงที่ $3,000 \pm 50$ rpm และไม่มีภาระงาน การทำงานของเครื่องยนต์ระยะเวลา 50 hr พบว่า อุณหภูมิครีบบของฝาสูบและเสื้อสูบของเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซลผสมกับแอนไฮดริสเอทานอลและสารอิมัลซิไฟเออร์ต่างๆ สูงกว่าอุณหภูมิครีบบของฝาสูบและเสื้อสูบของเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซลดังแสดงในภาพที่ 3.17 และ 3.18 และผลการตรวจสอบอุณหภูมิครีบบของฝาสูบและเสื้อสูบของเครื่องยนต์ทั้งสี่เครื่อง เมื่อใช้น้ำมันเหล่านี้ ถูกแสดงในตารางที่ 3.10 พบว่า อุณหภูมิครีบบของฝาสูบของเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมัน DEE และน้ำมัน DEB เพิ่มขึ้น 1°C เมื่อเทียบกับอุณหภูมิครีบบของฝาสูบของเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมัน D และน้ำมัน DEBi ขณะที่อุณหภูมิครีบบของเสื้อสูบของเครื่องยนต์ใช้น้ำมัน DEE น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi เพิ่มขึ้น 1 ถึง 2°C เมื่อเทียบกับอุณหภูมิครีบบของเสื้อสูบของเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมัน D โดยผลการวิจัยนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ เอกพันธ์ อินทร์ปิ่น และคณะ (2557)⁸ และ Sutheerasak (2017)⁴³ ทั้งนี้มีสาเหตุมาจาก โครงสร้างของน้ำมันดีเซลผสมกับแอนไฮดริสเอทานอลและสารอิมัลซิไฟเออร์ นั้น มีออกซิเจน (O_2) เป็นองค์ประกอบ ขณะที่น้ำมันชนิดนี้ ถูกฉีดออกมาจากหัวฉีด และเกิดการระเหยกลายเป็นไอ เพื่อทำปฏิกิริยากับอากาศที่มีอุณหภูมิและความดันสูงภายในห้องเผาไหม้ จนกระทั่งมีการเริ่มต้นของการเผาไหม้เกิดขึ้น ปริมาณของ O_2 ภายในโครงสร้างของเชื้อเพลิงนี้ จะช่วยส่งเสริมให้มีการเผาไหม้สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น ส่งผลให้มีการปลดปล่อยพลังงานความร้อนจากการเผาไหม้เพิ่มขึ้น และต่อมา ส่งผลให้อุณหภูมิของการถ่ายเทความร้อนมายังผนังกระบอกสูบเพิ่มขึ้น ทำให้อุณหภูมิของครีบบระบายความร้อนบริเวณของฝาสูบและเสื้อสูบของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันชนิดนี้สูงกว่าการใช้น้ำมันดีเซล

4.3.3 อุณหภูมิแก๊สไอเสีย

ผลการตรวจสอบอุณหภูมิแก๊สไอเสียของเครื่องยนต์ทั้งสี่เครื่อง เมื่อใช้น้ำมัน D และน้ำมันดีเซลผสมกับแอนไฮดริสเอทานอลและสารอิมัลซิไฟเออร์ต่างๆ (น้ำมัน DEE น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi) เป็นน้ำมันเชื้อเพลิง โดยทำการทดสอบที่ความเร็วรอบคงที่ $3,000 \pm 50$ rpm และไม่มีภาระงาน การทำงานของเครื่องยนต์ระยะเวลา 50 hr พบว่า อุณหภูมิแก๊สไอเสียของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน DEE น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi สูงกว่าอุณหภูมิแก๊สไอเสียของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน D ดังแสดงในภาพที่ 3.19 และผลการตรวจสอบอุณหภูมิแก๊สไอเสียของเครื่องยนต์ทั้งสี่เครื่อง เมื่อใช้น้ำมันเหล่านี้ ถูกแสดงในตารางที่ 3.10 พบว่า การใช้ น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi มีอุณหภูมิแก๊สไอเสียเพิ่มขึ้น 6 และ 14°C แต่การใช้น้ำมัน DEE มีอุณหภูมิแก๊สไอเสียลดลง 21°C เมื่อเทียบกับการใช้น้ำมัน D ตามลำดับ เนื่องจากการใช้น้ำมันดีเซลผสมกับแอนไฮดริสเอทานอลและสารอิมัลซิไฟเออร์ต่างๆ ได้แก่ เอทิลอะซิเตท เอ็น-บิวทานอล และไบโอดีเซลที่เป็นเอทิลเอสเทอร์ ส่งผลให้คุณลักษณะของการเผาไหม้ภายในเครื่องยนต์ดีเซลมีการเปลี่ยนแปลงไป อันเป็นผลมาจากการผสมแอนไฮดริสเอทานอลและสารอิมัลซิไฟเออร์เหล่านี้ ซึ่งเกิดการระเหยกลายเป็นไออย่างรวดเร็ว (ขึ้นอยู่กับชนิดของสารอิมัลซิไฟเออร์) ส่งผลให้ช่วงความล่าช้าในการจุดระเบิด (Ignition delay period) ลดลง ในขณะที่ปริมาณของ O_2 ที่มาจากองค์ประกอบของอากาศ และการผสมแอนไฮดริสเอทานอลและสารอิมัลซิไฟเออร์มี

ปริมาณมากเพียงพอที่จะทำให้เกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้สมบูรณ์มากในช่วงการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว (Premixed combustion phase) ผลลัพธ์ที่ตามมา ปริมาณของ O_2 ลดลง สำหรับใช้ในการทำปฏิกิริยาการเผาไหม้กับแกนของสเปรย์น้ำมันเชื้อเพลิงในช่วงการเผาไหม้หลักของเครื่องยนต์นี้ ซึ่งเป็นช่วงการเผาไหม้ที่ถูกควบคุมโดยการผสม (Mixing controlled combustion phase) ส่งผลให้ระยะเวลาในการเผาไหม้ของช่วงนี้เพิ่มขึ้น จนกระทั่ง ก่อให้เกิดช่วงความล่าช้าของการเผาไหม้ (Late combustion phase) ภายในช่วงปลายของจังหวะขยายตัว และมีการเผาไหม้ต่อเนื่องจนสิ้นสุดที่วาล์วไอเสียถูกเปิด ส่งผลให้อุณหภูมิของแก๊สไอเสียเพิ่มขึ้นโดยผลการวิจัยนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ เอกชัย สุธีรศักดิ์ และ เจริญ ชินวานิชย์เจริญ (2559)⁶ เอกพันธ์ อินทร์ปิ่น และคณะ (2557)⁸ Corkwell และคณะ (2003)¹³ Hansen และคณะ (2005)²² Kumar และคณะ (2013)²⁷ และ Sutheerasak (2017)⁴³

4.3.4 อัตราการไหลของน้ำมันเชื้อเพลิง

ผลการตรวจสอบอัตราการไหลของน้ำมันเชื้อเพลิง หรืออัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ทั้งสี่เครื่อง เมื่อน้ำมัน D และน้ำมันดีเซลผสมกับแอนไฮดริสเอทานอลและสารอิมัลซิไฟเออร์ต่างๆ (น้ำมัน DEE น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi) เป็นน้ำมันเชื้อเพลิง โดยทำการทดสอบที่ความเร็วรอบคงที่ $3,000 \pm 50$ rpm และไม่มีภาระงาน ณ การทำงานของเครื่องยนต์ระยะเวลา 50 hr พบว่า การใช้น้ำมัน DEE น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi สำหรับเครื่องยนต์ดีเซลนั้น มีอัตราการไหลของน้ำมันเชื้อเพลิงสูงกว่าการใช้น้ำมัน D ดังแสดงในภาพที่ 3.20 ขณะที่ผลการตรวจสอบอัตราการไหลของน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ทั้งสี่เครื่อง เมื่อน้ำมันเหล่านี้ ถูกแสดงในตารางที่ 3.10 พบว่า การใช้น้ำมัน DEE น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi มีอัตราการไหลของน้ำมันเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้น 0.253, 0.053 และ 0.094 lph เมื่อเทียบกับการใช้น้ำมัน D ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า การใช้น้ำมัน DEE น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi มีอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงสูงกว่า และนำไปสู่ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่มากกว่าการใช้น้ำมัน D โดยผลการวิจัยนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ ัญญธร อิศราชีวะ (2548)¹ พรหมเมศร์ ขวัญเจริญ (2548)⁴ เอกชัย สุธีรศักดิ์ และ เจริญ ชินวานิชย์เจริญ (2559)⁶ เอกพันธ์ อินทร์ปิ่น และคณะ (2557)⁸ และ Sutheerasak (2017)⁴³ ทั้งนี้มีสาเหตุมาจากการใช้น้ำมัน DEE น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi เป็นน้ำมันดีเซลผสมกับแอนไฮดริสเอทานอลและสารอิมัลซิไฟเออร์ ซึ่งสารทั้งสองนี้ ปกติมีคุณสมบัติทางกายภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ค่าความหนาแน่น ค่าความหนืด และค่าความร้อนของเชื้อเพลิง ต่ำกว่าน้ำมันดีเซล เมื่อนำสารทั้งสองมาผสมกับน้ำมันดีเซล ส่งผลให้คุณสมบัติทางกายภาพทั้งสามตัวแปรของน้ำมันเชื้อเพลิง (ตารางที่ 2.1 และ 2.3) ลดลง ซึ่งนำไปสู่อัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงสูงกว่าและความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่มากกว่าการใช้น้ำมันดีเซล ในขณะที่ผลลัพธ์ของการทดสอบเครื่องยนต์ ณ การทำงานของเครื่องยนต์ระยะเวลา 50 hr นี้ สอดคล้องกับผลการทดสอบอัตราการไหลของน้ำมันเชื้อเพลิง จากการฉีดและการสเปรย์น้ำมันเชื้อเพลิงภายในชุดจำลองการฉีดและการสเปรย์น้ำมันเชื้อเพลิงของระบบการฉีดเชื้อเพลิงแบบรวมร่วมตามที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 4.1.6 ดังนั้น สามารถสรุปผลในเบื้องต้นได้ว่า การใช้น้ำมัน DEE น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi มีความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่มากกว่าการใช้น้ำมันดีเซล

4.4 การอภิปรายและวิจารณ์ผลสมรรถนะและการปล่อยสารมลพิษต่างๆ ของเครื่องยนต์ดีเซลระยะเวลา 150 hr

การทดสอบสมรรถนะและการปล่อยสารมลพิษต่างๆ ของเครื่องยนต์ดีเซล ณ ระยะเวลา 150 hr เป็นการทดสอบความสามารถในการทำงานเครื่องยนต์ เมื่อมีการรับภาระงานที่แตกต่างกันจากต่ำสุดจนถึงสูงสุดที่เท่าเทียมกัน โดยมีการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงแตกต่างกัน เพื่อวิเคราะห์และตรวจสอบอัตราการใช้เชื้อเพลิง ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงและพลังงานจำเพาะ ประสิทธิภาพ อุณหภูมิแก๊สไอเสีย และการปล่อยสารมลพิษต่างๆ ของเครื่องยนต์ โดยอ้างอิงจากมาตรฐานการทดสอบเครื่องยนต์ ก่อนเริ่มต้นการทดสอบการสึกหรอของเครื่องยนต์ ขณะที่การวิจัยนี้ ใช้เครื่องยนต์จำนวน 4 เครื่องที่มีรายละเอียดของเครื่องยนต์เหมือนกัน มีขนาดเท่ากัน และทดสอบในห้องทดสอบเดียวกัน โดยกำหนดสภาวะของการทดสอบใกล้เคียงกัน และแต่ละเครื่องยนต์ใช้น้ำมันดีเซล (D) และน้ำมันดีเซลผสมกับแอนไฮดริสเอทานอลและสารอิมัลซิไฟเออร์ต่างๆ (น้ำมัน DEE น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi) เป็นน้ำมันเชื้อเพลิง ทำการทดสอบที่ความเร็วรอบคงที่ 3,000 rpm ซึ่งเป็นความเร็วรอบที่ถูกออกแบบโดยบริษัทผู้ผลิต ตามคู่มือของเครื่องยนต์นี้ โดยควบคุมค่าความคลาดเคลื่อนของความเร็วรอบในช่วง ± 50 rpm และเปลี่ยนแปลงภาระงานตามสภาวะของการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 2.8 (ข) โดยเริ่มต้นจากการตรวจสอบกำลังงานของเครื่องยนต์ที่ให้ออก ซึ่งถูกแสดงในรูปแบบของกำลังไฟฟ้า หรือกำลังงานทางไฟฟ้า ในแต่ละความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ผลลัพธ์ที่ได้ถูกแสดงในตารางที่ 3.11 หลังจากนั้น ทำการทดสอบเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงเหล่านี้ ในแต่ละความเร็วรอบและแต่ละภาระงาน โดยผลลัพธ์ของกำลังไฟฟ้าจริงขณะทำการทดสอบสมรรถนะและการปล่อยสารมลพิษต่างๆ ของเครื่องยนต์ดีเซล ณ ระยะเวลา 150 ชั่วโมง ถูกแสดงในภาพที่ 3.21 ซึ่งแสดงกำลังไฟฟ้าที่ความเร็วรอบและภาระงานต่างๆ เมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงแต่ละชนิด ขณะที่ค่ากำลังไฟฟ้าและค่าความคลาดเคลื่อนขณะทำการทดสอบดังกล่าวนี้ ถูกแสดงในตารางที่ 3.12 ส่วนผลการทดสอบและการวิจารณ์ผลอัตราการใช้เชื้อเพลิง ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง และพลังงานจำเพาะ ประสิทธิภาพ อุณหภูมิแก๊สไอเสีย และการปล่อยสารมลพิษต่างๆ ของเครื่องยนต์ เมื่อเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบและภาระงานนั้น สามารถอธิบายดังต่อไปนี้

4.4.1 อัตราการใช้เชื้อเพลิง

ผลการตรวจสอบอัตราการใช้เชื้อเพลิง หรือน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ดีเซลทั้งสี่เครื่องเมื่อใช้น้ำมันดีเซลผสมกับแอนไฮดริสเอทานอลและสารอิมัลซิไฟเออร์ต่างๆ (น้ำมัน DEE น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi) เทียบกับน้ำมันดีเซล (D) ที่ความเร็วรอบ 1,800 ถึง 3,400 rpm ณ ภาระทางไฟฟ้าต่างๆ ในระยะเวลา 150 hr ซึ่งถูกแสดงในภาพที่ 3.22 นั้น พบว่า การใช้น้ำมันดีเซลผสมกับแอนไฮดริสเอทานอลและสารอิมัลซิไฟเออร์ต่างๆ มีอัตราการใช้เชื้อเพลิงสูงกว่าการใช้น้ำมัน D โดยผลการวิจัยนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Dhilepan และคณะ (2017)¹⁵ Joshi และ Watt (2015)²⁵ Kumar และคณะ (2013)²⁷ และ Shadidi และคณะ (2014)⁴⁰ ขณะที่สาเหตุของอัตราการใช้เชื้อเพลิงจากการใช้น้ำมันดีเซลผสมกับแอนไฮดริสเอทานอลและสารอิมัลซิไฟเออร์ต่างๆ สูงกว่าน้ำมัน D เพราะว่า น้ำมันเหล่านี้ มีคุณสมบัติทางกายภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ค่าความหนาแน่น ค่าความหนืด และค่าความร้อนของน้ำมันเชื้อเพลิงต่ำกว่าน้ำมันดีเซล (ตารางที่ 2.3) เมื่อทำการทดสอบที่ภาระงานเท่ากัน และใช้ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงเท่ากัน เพื่อผลิตกำลังไฟฟ้าออกมาใกล้เคียงกัน

ทำให้เวลาในการเผาผลาญน้ำมันเหล่านี้เกิดขึ้นรวดเร็วกว่าเวลาในการเผาผลาญน้ำมันดีเซล จึงส่งผลให้การใช้ น้ำมันเหล่านี้ มีอัตราการใช้เชื้อเพลิงสูงกว่าการใช้ น้ำมันดีเซล

โดยผลการวิจัยจากภาพที่ 3.23 ซึ่งแสดงผลการวิเคราะห์อัตราการใช้เชื้อเพลิงเฉลี่ยจากการ ทดสอบในแต่ละเครื่องยนต์ ณ ความเร็วรอบและภาระงานต่างๆ ในระยะเวลา 150 hr เมื่อใช้น้ำมัน DEE น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi เทียบกับน้ำมัน D ในแต่ละเครื่องยนต์ พบว่า ทุกความเร็วรอบและทุกภาระงาน ของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน DEE เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงนั้น มีอัตราการใช้เชื้อเพลิงสูงสุด โดยผลการวิจัยนี้ สอดคล้องกับงานวิจัยของเอกชัย สุธีรศักดิ์ และ เจริญ ชินวานิชย์เจริญ (2559)⁶ เอกพันธ์ อินทร์ปิ่น และคณะ (2557)⁸ และ Sutheerasak (2017)⁴³ และรองลงมา คือ การใช้น้ำมัน DEBi ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Banapurmath และคณะ (2015)¹⁰ Labeckas และคณะ (2013)²⁸ Labeckas และคณะ (2014)²⁹ และ Rajesh และคณะ (2014)³⁷ เนื่องจากคุณสมบัติความเป็นเชื้อเพลิงของสารตั้งต้นที่ใช้เป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ดัง แสดงในตารางที่ 2.1 นั้น เอทิลอะซิเตท มีเลขซีเทน ค่า LHV และปริมาณของ O₂ ต่ำกว่าไบโอดีเซล โดยที่ไบ โอดีเซลมีปริมาณของ O₂ ร้อยละ 12.39 โดยน้ำหนัก [Barabás และ Todoru^t (2011)¹¹] เมื่อนำมาผสมกับ น้ำมันดีเซลและแอนไฮดริสเอทานอล ส่งผลให้ค่า LHV ของน้ำมัน DEE ต่ำกว่าน้ำมัน DEBi (ตารางที่ 2.3) ดังนั้น เมื่อทำการทดสอบที่กำลังไฟฟ้าใกล้เคียงกัน การใช้น้ำมัน DEE จึงมีอัตราการใช้เชื้อเพลิงสูงกว่าการใช้ น้ำมัน DEBi ยิ่งไปกว่านั้น น้ำมันทั้งสองมีค่า LHV ต่ำกว่าน้ำมัน DEB และน้ำมัน D ส่งผลให้อัตราการใช้ เชื้อเพลิงสูงสุดคือการใช้ น้ำมัน DEE และรองลงมาคือ การใช้น้ำมัน DEBi ส่วนการใช้น้ำมัน DEB มีอัตราการใช้ เชื้อเพลิงสูงกว่าการใช้ น้ำมัน D เพียงเล็กน้อย ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Huang และคณะ (2009)²⁴ เนื่องจากคุณสมบัติความเป็นเชื้อเพลิงของเอ็น-บิวทานอล มีเลขซีเทน และค่า LHV ต่ำกว่าน้ำมันดีเซล แต่มี ปริมาณของ O₂ ในโครงสร้างของตัวมันเองมากกว่า และจุดวาบไฟเหมาะสมกว่า เอทิลอะซิเตท และไบโอดีเซล ทำให้การใช้ DEB มีช่วงความล่าช้าในการจุดระเบิดลดลง และมีปฏิกิริยาการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ในช่วงการเผา ไหม้ที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วมากกว่าการใช้เอทิลอะซิเตท และไบโอดีเซลเป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ ส่งผลให้การใช้ DEB มีการเพิ่มขึ้นของอัตราการใช้เชื้อเพลิงเพียงเล็กน้อย

4.4.2 ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ

ผลการวิเคราะห์ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ (SFC) ของเครื่องยนต์แต่ละเครื่อง เมื่อใช้ น้ำมันดีเซลผสมกับแอนไฮดริสเอทานอลและสารอิมัลซิไฟเออร์ต่างๆ (น้ำมัน DEE น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi) เทียบกับน้ำมัน D โดยทดสอบที่ความเร็วรอบและภาระงานต่างๆ ในระยะเวลา 150 hr ดังแสดงในภาพ ที่ 3.24 นั้น พบว่า การใช้น้ำมันดีเซลผสมกับแอนไฮดริสเอทานอลและสารอิมัลซิไฟเออร์ต่างๆ มีค่า SFC สูง กว่าการใช้ น้ำมัน D ขณะที่การวิจัยนี้ ทดสอบ ณ ความเร็วรอบและภาระงานทางไฟฟ้าเท่ากัน เพื่อผลิต กำลังไฟฟ้าที่ให้ออกมาใกล้เคียงกันนั้น อัตราการใช้ น้ำมันเหล่านี้สูงกว่าอัตราการใช้ น้ำมัน D ตามที่ได้กล่าวใน หัวข้อ 4.4.1 และผลลัพธ์จากการคำนวณอัตราส่วนระหว่างอัตราการใช้เชื้อเพลิงต่อกำลังไฟฟ้าที่ให้ออกมา พบว่า ค่า SFC จากการใช้ น้ำมันดีเซลผสมกับแอนไฮดริสเอทานอลและสารอิมัลซิไฟเออร์ต่างๆ สูงกว่าค่า SFC จากการใช้ น้ำมัน D ทุกความเร็วรอบและภาระงานทางไฟฟ้าที่ทดสอบ โดยผลการวิจัยนี้สอดคล้องกับงานวิจัย ของ Corkwell และคณะ (2003)¹³ Gomasta และ Mahla (2012)²⁰ Hansen และคณะ (2005)²² และ

Kumar และคณะ (2013)²⁷ เนื่องจากค่าความหนาแน่น และ LHV ของน้ำมัน DEE น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi ต่ำกว่าน้ำมัน D (ตารางที่ 2.3) ส่งผลให้อัตราการใช้ใช้น้ำมันเหล่านี้เพิ่มขึ้น เพื่อผลิตกำลังงานออกมาให้ใกล้เคียงกับกำลังงานที่ได้จากการใช้น้ำมัน D

ในภาพที่ 3.25 แสดงผลการวิเคราะห์ค่า SFC เฉลี่ยจากการทดสอบในแต่ละเครื่องยนต์ ณ ความเร็วรอบและภาระงานต่างๆ ในระยะเวลา 150 hr เมื่อใช้น้ำมัน DEE น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi เทียบกับน้ำมัน D ในแต่ละเครื่องยนต์ โดยผลการวิจัยนี้ แสดงให้เห็นว่า การใช้น้ำมัน DEE และน้ำมัน DEBi มีค่า SFC สูงกว่าการใช้น้ำมัน DEB และน้ำมัน D ทั้งนี้ มีสาเหตุมาจาก สารอิมัลซิไฟเออร์ที่นำมาใช้ในการผสมระหว่างน้ำมันดีเซลและแอนไฮดริสเอทานอล มีคุณสมบัติความเป็นเชื้อเพลิงแตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 2.1 โดยที่เอทิลอะซิเตท ซึ่งนำมาผลิตน้ำมัน DEE มีค่า LHV ต่ำสุด และถัดมา คือ ไบโอดีเซล ซึ่งนำมาผลิตน้ำมัน DEBi ผลลัพธ์ที่ได้ถูกแสดงในตารางที่ 2.3 เมื่อทำการทดสอบที่ความเร็วรอบและภาระงานทางไฟฟ้าเท่ากัน อัตราการใช้ใช้น้ำมันทั้งสองจึงสูงกว่าอัตราการใช้ใช้น้ำมัน DEB และน้ำมัน D ส่งผลให้ค่า SFC เฉลี่ยจากการใช้น้ำมันทั้งสองสูงกว่า

ขณะที่ผลการวิจัยนี้ แสดงให้เห็นว่า การใช้น้ำมัน DEB เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงนั้น มีค่า SFC ใกล้เคียงกับการใช้น้ำมัน D ยิ่งไปกว่านั้น ผลการตรวจสอบที่ภาระงานต่ำสุด (20%) แสดงให้เห็นว่า การใช้ใช้น้ำมัน DEB มีค่า SFC ต่ำกว่าการใช้น้ำมัน D ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Huang และคณะ (2009)²⁴ Rakopoulos และคณะ (2010)³⁸ และ Rakopoulos และคณะ (2011)³⁹ ทั้งนี้ มีสาเหตุมาจาก คุณสมบัติความเป็นเชื้อเพลิงของเอ็น-บิวทานอล มีเลขซีเทน และค่า LHV ต่ำกว่าน้ำมันดีเซล แต่มีปริมาณของ O₂ มากกว่า และจุดวาบไฟเหมาะสมกว่า เอทิลอะซิเตท และไบโอดีเซล ถึงแม้ว่าการใช้ DEB มีอัตราการใช้เชื้อเพลิงสูงกว่าการใช้น้ำมัน D แต่ช่วงความล่าช้าในการจุดระเบิดจากการใช้น้ำมัน DEB ลดลง เพราะปริมาณของ O₂ ในน้ำมัน DEB มีจำนวนมาก ทำให้ปฏิกิริยาการเผาไหม้มีความสมบูรณ์มากในช่วงการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว และมีอัตราการใช้เชื้อเพลิงในช่วงดังกล่าวดีกว่าการใช้น้ำมัน DEE และน้ำมัน DEBi ส่งผลให้การใช้ DEB มีค่า SFC ใกล้เคียงกับการใช้น้ำมัน D

4.4.3 ประสิทธิภาพทางความร้อน

ผลการศึกษาประสิทธิภาพทางความร้อนในแต่ละเครื่องยนต์ เมื่อใช้น้ำมันดีเซลผสมกับแอนไฮดริสเอทานอลและสารอิมัลซิไฟเออร์ต่างๆ (น้ำมัน DEE น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi) เทียบกับน้ำมัน D โดยทดสอบที่ความเร็วรอบและภาระงานต่างๆ ในระยะเวลา 150 hr ดังแสดงในภาพที่ 3.26 และ 3.27 นั้น พบว่า ประสิทธิภาพทางความร้อนจากการใช้น้ำมันดีเซลผสมกับแอนไฮดริสเอทานอลและสารอิมัลซิไฟเออร์แต่ละชนิดมีความแตกต่างกัน โดยประสิทธิภาพทางความร้อนจากการใช้น้ำมัน DEE และน้ำมัน DEBi ต่ำกว่า ประสิทธิภาพทางความร้อนจากการใช้น้ำมัน D ทุกความเร็วรอบและทุกภาระงานที่ทดสอบ เนื่องจาก ค่าความร้อนของน้ำมันดีเซลผสมกับแอนไฮดริสเอทานอลและสารอิมัลซิไฟเออร์ต่ำกว่าน้ำมัน D เพราะค่าความร้อนของแอนไฮดริสเอทานอลและสารอิมัลซิไฟเออร์ (เอทิลอะซิเตท และไบโอดีเซล) ต่ำกว่าน้ำมัน D (ตารางที่ 2.1) ส่งผลให้มีการใช้ปริมาณน้ำมันดังกล่าวเพิ่มขึ้น เพื่อผลิตกำลังงานออกมาให้ใกล้เคียงกับการใช้น้ำมัน D ทำให้อัตราการใช้เชื้อเพลิงเพิ่มขึ้น ผลลัพธ์ที่ตามมา ประสิทธิภาพทางความร้อนจากการใช้น้ำมันดังกล่าวนี้ ต่ำกว่า

ประสิทธิภาพทางความร้อนจากการใช้น้ำมัน D ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Hansen และคณะ (2005)²² Joshi และคณะ (2015)²⁵ และ Labeckas และคณะ (2013)²⁸ ยิ่งไปกว่านั้น ผลการวิจัยนี้ แสดงให้เห็นว่า การใช้น้ำมัน DEE เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงนั้น ให้ประสิทธิภาพทางความร้อนต่ำสุด ทุกความเร็วรอบและทุกภาระงานที่ทดสอบ โดยผลการวิจัยนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Hansen และคณะ (2005)²² Joshi และ Watt (2015)²⁵ Kumar และคณะ (2013)²⁷ และ Sutheerasak (2017)⁴³ เนื่องจากค่าความร้อนของน้ำมัน DEE ต่ำกว่าน้ำมัน DEBi (ตารางที่ 2.3) ทำให้อัตราการใช้น้ำมัน DEE สูงกว่าน้ำมัน DEBi เมื่อทดสอบที่กำลังงานใกล้เคียงกัน ส่งผลให้ประสิทธิภาพทางความร้อนจากการใช้น้ำมัน DEE ต่ำกว่าน้ำมัน DEBi

ในทางตรงกันข้าม ผลการวิจัยนี้ ค้นพบว่า การใช้น้ำมัน DEB ให้ประสิทธิภาพทางความร้อนสูงกว่าการใช้น้ำมัน D น้ำมัน DEE และน้ำมัน DEBi ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Huang และคณะ (2009)²⁴ Rakopoulos และคณะ (2010)³⁸ และ Rakopoulos และคณะ (2011)³⁹ เนื่องจากคุณสมบัติความเป็นเชื้อเพลิงของเอ็น-บิวทานอล มีเลขซีเทน และค่า LHV ต่ำกว่าน้ำมัน D แต่มีปริมาณของ O₂ ในโครงสร้างของตัวมันเองมากกว่า และจุดวาบไฟเหมาะสมกว่า เอทิลอะซิเตท และไบโอดีเซล ทำให้การใช้ DEB มีเลขซีเทนสูงกว่าน้ำมัน D น้ำมัน DEE และน้ำมัน DEBi ผลลัพธ์ที่ตามมา มีการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะการเผาไหม้ภายในเครื่องยนต์ดีเซล โดยมีการจุดระเบิดเร็วขึ้น ทำให้ช่วงความล่าช้าในการจุดระเบิดลดลง และมีการเผาไหม้สมบูรณ์ในช่วงการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วมากกว่าการใช้เอทิลอะซิเตท และไบโอดีเซลเป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ ส่งผลให้อัตราการปลดปล่อยพลังงานในช่วงดังกล่าวเพิ่มขึ้น และลดการสูญเสียปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงที่ต้องใช้ใน ช่วงความล่าช้าในการจุดระเบิด และช่วงการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วลง ถึงแม้ว่ามีอัตราการใช้เชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย และค่าความร้อนของเชื้อเพลิงต่ำกว่าน้ำมันดีเซล แต่การเพิ่มขึ้นของการปลดปล่อยพลังงานในช่วงการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ได้ลดข้อเสียของทั้งสองตัวแปร จากเหตุผลต่างๆ ที่กล่าวมา การใช้ DEB จึงให้ประสิทธิภาพทางความร้อนสูงกว่าการใช้น้ำมัน D น้ำมัน DEE และน้ำมัน DEBi

4.4.4 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ

ผลการตรวจสอบความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (SEC) ในแต่ละเครื่องยนต์ เมื่อใช้น้ำมันดีเซลผสมกับแอนไฮดริสเอทานอลและสารอิมัลซิไฟเออร์ต่างๆ (น้ำมัน DEE น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi) เทียบกับน้ำมัน D โดยทดสอบที่ความเร็วรอบและภาระงานต่างๆ ในระยะเวลา 150 hr ดังแสดงในภาพที่ 3.28 และ 3.29 นั้น พบว่า ค่า SEC จากการใช้น้ำมันดีเซลผสมกับแอนไฮดริสเอทานอลและสารอิมัลซิไฟเออร์แต่ละชนิดมีความแตกต่างกัน โดยค่า SEC จากการใช้น้ำมัน DEE และน้ำมัน DEBi สูงกว่าการใช้น้ำมัน D ทุกความเร็วรอบและทุกภาระงานที่ทดสอบ เนื่องจาก ค่า SEC มีผลลัพธ์ตรงกันข้ามกับประสิทธิภาพทางความร้อน ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างพลังงานจากน้ำมันเชื้อเพลิงที่ป้อนให้กับเครื่องยนต์ต่อกำลังไฟฟ้าที่ให้ออกมาดังแสดงในสมการที่ 2.5 ดังนั้น จากหัวข้อที่ 4.4.3 แสดงให้เห็นว่า การใช้น้ำมัน DEE และน้ำมัน DEBi มีประสิทธิภาพทางความร้อนต่ำกว่าการใช้น้ำมัน D ในทางตรงกันข้ามของประสิทธิภาพทางความร้อน จึงแสดงให้เห็นว่า ค่า SEC จากการใช้น้ำมัน DEE และน้ำมัน DEBi สูงกว่าการใช้น้ำมัน D

นอกจากนี้ ผลการทดสอบค่าความร้อนของน้ำมันทั้งสอง (ตารางที่ 2.1 และ 2.3) แสดงให้เห็นว่า ค่าความร้อนของแอนไฮดริสเอทานอลและสารอิมัลซิไฟเออร์ (เอทิลอะซิเตท และไบโอดีเซล) ต่ำกว่า

น้ำมัน D ทำให้ค่าความร้อนของน้ำมัน DEE และน้ำมัน DEBi ต่ำกว่าน้ำมันดีเซล เพื่อผลิตกำลังงานออกมาให้ใกล้เคียงกับการใช้น้ำมันดีเซล ทำให้อัตราการใช้น้ำมันดังกล่าวเพิ่มขึ้น ส่งผลให้พลังงานจากการใช้น้ำมันดังกล่าวเพื่อป้อนให้กับเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น ผลลัพธ์ที่ตามมา ค่า SEC จากการใช้น้ำมันดังกล่าวนี้ สูงกว่าการใช้น้ำมัน D โดยผลการวิจัยนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Hansen และคณะ (2005)²² Joshi และคณะ (2015)²⁵ และ Kumar และคณะ (2013)²⁷ ยิ่งไปกว่านั้น ผลการวิจัยนี้ แสดงให้เห็นว่า การใช้น้ำมัน DEE เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงนั้น ให้ค่า SEC สูงสุด ทุกความเร็วรอบและทุกภาระงานที่ทดสอบ โดยผลการวิจัยนี้ สอดคล้องกับ Sutheerasak (2017)⁴³ เนื่องจาก ค่าความร้อนของน้ำมัน DEE ต่ำกว่าน้ำมัน DEBi และน้ำมัน D (ตารางที่ 2.3) ทำให้อัตราการใช้น้ำมัน DEE สูงกว่าน้ำมันทั้งสอง เมื่อทดสอบที่กำลังงานใกล้เคียงกัน ส่งผลให้พลังงานจากน้ำมัน DEE ซึ่งถูกป้อนให้กับเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น เพื่อผลิตกำลังงานออกมาใกล้เคียงกับการใช้น้ำมัน DEBi และน้ำมันดีเซล จึงทำให้การใช้น้ำมัน DEE มีค่า SEC สูงกว่าการใช้น้ำมัน DEBi และน้ำมัน D

ในทางตรงกันข้าม ผลการวิจัยนี้ ค้นพบว่า การใช้น้ำมัน DEB ให้ค่า SEC ต่ำกว่าการใช้น้ำมัน D น้ำมัน DEE และน้ำมัน DEBi สำหรับเหตุผลที่ SEC ลดลง ถูกตั้งสมมติฐานจากการอธิบายในงานวิจัยของ Huang และคณะ (2009)²⁴ Rakopoulos และคณะ (2010)³⁸ และ Rakopoulos และคณะ (2011)³⁹ และได้กล่าวในหัวข้อ 4.4.3 ว่า การใช้ DEB มีเลขซีเทนสูงกว่าน้ำมัน D น้ำมัน DEE และน้ำมัน DEBi ผลลัพธ์ที่ตามมา มีการจุดระเบิดเร็วขึ้น ทำให้ช่วงความล่าช้าในการจุดระเบิดลดลง และมีการเผาไหม้สมบูรณ์ในช่วงการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้อัตราการปลดปล่อยพลังงานในช่วงดังกล่าวเพิ่มขึ้น และลดการสูญเสียพลังงานที่ป้อนเข้าไปในช่วงความล่าช้าในการจุดระเบิด และช่วงการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วลง ถึงแม้ว่า มีการใช้พลังงานจากน้ำมันชนิดนี้ เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย แต่การเพิ่มขึ้นของการปลดปล่อยพลังงานในช่วงการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ได้ลดการใช้น้ำมัน DEB ที่ป้อนให้กับเครื่องยนต์ไปบางส่วน ทำให้ประสิทธิภาพทางความร้อนจากการใช้น้ำมัน DEB สูงกว่าการใช้น้ำมัน D น้ำมัน DEE และน้ำมัน DEBi ในทางตรงกันข้ามของประสิทธิภาพทางความร้อน จึงแสดงให้เห็นว่า ค่า SEC จากการใช้น้ำมัน DEB สูงกว่าน้ำมัน D น้ำมัน DEE และน้ำมัน DEBi

4.4.5 ประสิทธิภาพเชิงปริมาตร

ผลการศึกษาประสิทธิภาพเชิงปริมาตรของเครื่องยนต์แต่ละเครื่อง เมื่อใช้น้ำมันดีเซลผสมกับ แอนไฮดริสเอทานอลและสารอิมัลซิไฟเออร์ต่างๆ (น้ำมัน DEE น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi) เทียบกับน้ำมันดีเซล โดยทดสอบที่ความเร็วรอบและภาระงานต่างๆ ในระยะเวลา 150 hr ดังแสดงในภาพที่ 3.30 นั้น พบว่า การใช้น้ำมันดีเซลผสมกับแอนไฮดริสเอทานอลและสารอิมัลซิไฟเออร์ต่างๆ มีประสิทธิภาพเชิงปริมาตรต่ำกว่าการใช้น้ำมัน D ทุกความเร็วรอบและภาระงานทางไฟฟ้าที่ทดสอบ ทั้งนี้ มีการตั้งสมมติฐานมาจากผลกระทบของการระเหยกลายเป็นไอของส่วนผสมระหว่างแอนไฮดริสเอทานอลและสารอิมัลซิไฟเออร์ต่างๆ เพราะว่าทั้งสองสารนี้ มีค่าความร้อนของการกลายเป็นไอสูง โดยผลการวิจัยนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ เอกชัย สุธีร์ศักดิ์ และ เจริญ ชินวานิชย์เจริญ (2559)⁶ เอกพันธ์ อินทร์ปิ่น และคณะ (2557)⁸ และ Sutheerasak (2017)⁴³ ส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้สมบูรณ์จากส่วนผสมระหว่างไอระเหยของแอนไฮดริสเอทานอลและสารอิมัลซิไฟเออร์ และน้ำมันดีเซล ซึ่งถูกทำปฏิกิริยากับปริมาณของ O₂ จำนวนมาก ทำให้เกิดการจุดระเบิดอย่าง

รวดเร็ว และเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้สมบูรณ์ มีความเร็วของเปลวไฟมีการเคลื่อนที่อย่างรวดเร็วภายในช่วงการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ผลลัพธ์ที่ตามมา ความเร็วของเปลวไฟภายในช่วงการเผาไหม้หลักของเครื่องยนต์นี้ มีการเคลื่อนที่ช้าลง เพราะมีปริมาณของ O_2 ไม่เพียงพอต่อการเผาไหม้ภายในช่วงการเผาไหม้ที่ถูกควบคุมโดยการผสม (ขึ้นอยู่กับชนิดของสารอีมีลซิไฟเออร์) และมีความล่าช้าของการเผาไหม้เกิดขึ้น ทำให้แรงในการผลักดันลูกสูบเคลื่อนที่ตามจังหวะการทำงานต่างๆ ของเครื่องยนต์ (ได้แก่ จังหวะขยาย และจังหวะคายในวัฏจักรนี้ จนถึงจังหวะดูดในวัฏจักรใหม่) ลดลง ส่งผลให้ปริมาณของอากาศซึ่งถูกดูดเข้าท่อไอเสียของเครื่องยนต์ลดลง ทำให้อัตราการไหลของอากาศลดลง

ในภาพที่ 3.31 แสดงผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพเชิงปริมาตรเฉลี่ยจากการทดสอบในแต่ละเครื่องยนต์ ณ ความเร็วรอบและภาระงานต่างๆ ในระยะเวลา 150 hr เมื่อใช้น้ำมัน DEE น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi เทียบกับน้ำมัน D ในแต่ละเครื่องยนต์ โดยผลการวิจัยนี้ แสดงให้เห็นชัดเจนว่า การใช้น้ำมัน DEE และน้ำมัน DEBi มีประสิทธิภาพเชิงปริมาตรต่ำกว่าการใช้น้ำมัน DEB และน้ำมัน D โดยสาเหตุที่การใช้น้ำมัน DEB มีประสิทธิภาพเชิงปริมาตรสูงกว่าการใช้น้ำมัน DEE และน้ำมัน DEBi นั้น มีการตั้งสมมติฐานจากสารอีมีลซิไฟเออร์ที่นำมาใช้ในการผสมระหว่างน้ำมันดีเซลและแอนไฮดริสเอทานอล มีปริมาณของ O_2 แตกต่างกันซึ่งถูกอธิบายในงานวิจัยของ Kumar และคณะ (2013)²⁷ โดยที่เอทิลอะซิเตท ซึ่งนำมาผลิตน้ำมัน DEE มีปริมาณของ O_2 ต่ำสุด และถัดมา คือ ไบโอดีเซล ซึ่งนำมาผลิตน้ำมัน DEBi จากงานวิจัยของ Barabás และ Todoruț (2011)¹¹ มีปริมาณของ O_2 สูงกว่าเอทิลอะซิเตท แต่มีต่ำกว่า เอ็น-บิวทานอล ซึ่งมีปริมาณของ O_2 ร้อยละ 21.58 โดยน้ำหนัก (ตารางที่ 2.1) และถูกนำมาผลิตเป็นน้ำมัน DEB เมื่อทำการทดสอบที่ความเร็วรอบและภาระงานทางไฟฟ้าเท่ากัน การใช้น้ำมัน DEB จึงมีปริมาณของ O_2 มากเพียงพอสำหรับการเผาไหม้ภายในช่วงการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว และช่วงการเผาไหม้ที่ถูกควบคุมโดยการผสม ซึ่งเป็นช่วงการเผาไหม้หลักของเครื่องยนต์นี้ ส่งผลให้ช่วงความล่าช้าของการเผาไหม้ (โดยเกิดขึ้นในจังหวะขยายตัวจนถึงวาล์วไอเสียถูกเปิด) ลดลง และต่อมามีแรงในการผลักดันลูกสูบเคลื่อนที่ตามจังหวะการทำงานต่างๆ ของเครื่องยนต์ (ได้แก่ จังหวะขยาย และจังหวะคายในวัฏจักรนี้ จนถึงจังหวะดูดในวัฏจักรใหม่) สูงกว่าการใช้น้ำมัน DEE และน้ำมัน DEBi ผลลัพธ์ที่ตามมา ปริมาณของอากาศที่ส่งเข้าท่อไอเสียของเครื่องยนต์จากการใช้น้ำมัน DEB สูงกว่า ส่งผลให้อัตราการไหลของอากาศจากการใช้น้ำมัน DEB สูงกว่า ทำให้ประสิทธิภาพเชิงปริมาตรเฉลี่ยจากการใช้น้ำมัน DEB สูงกว่าการใช้น้ำมัน DEE และน้ำมัน DEBi

4.4.6 อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง

ผลการวิเคราะห์อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงในแต่ละเครื่องยนต์ เมื่อใช้น้ำมันดีเซลผสมกับแอนไฮดริสเอทานอลและสารอีมีลซิไฟเออร์ต่างๆ (น้ำมัน DEE น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi) เทียบกับน้ำมัน D ถูกแสดงในภาพที่ 3.32 ซึ่งแสดงผลการตรวจสอบอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงของแต่ละเครื่อง โดยทดสอบที่ความเร็วรอบและภาระงานต่างๆ ในระยะเวลา 150 hr และภาพที่ 3.33 แสดงผลการวิเคราะห์อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงเฉลี่ยจากการทดสอบดังกล่าว เมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงเหล่านี้ ในแต่ละเครื่องยนต์ พบว่า การใช้น้ำมันดีเซลผสมกับแอนไฮดริสเอทานอลและสารอีมีลซิไฟเออร์ต่างๆ มีอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงต่ำกว่าการใช้น้ำมัน D ทุกความเร็วรอบและภาระงานที่ทดสอบ เนื่องจาก อัตราการไหลของอากาศและอัตราการไหล

ของน้ำมันต่างๆ ได้แก่ น้ำมัน DEE น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi มีการเปลี่ยนแปลงไป โดยอัตราการไหลของน้ำมันเหล่านี้ หรืออัตราการใช้น้ำมันเหล่านี้ สูงกว่าอัตราการใช้น้ำมัน D เพราะค่าความร้อนของน้ำมันเหล่านี้ต่ำกว่าค่าความร้อนของน้ำมัน D ขณะที่ทดสอบ ณ ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงเท่ากัน และกำลังไฟฟ้าใกล้เคียงกัน พบว่า เวลาในการเผาผลาญน้ำมันเหล่านี้เพิ่มขึ้น ส่งผลให้อัตราการใช้น้ำมันเหล่านี้ สูงกว่าอัตราการใช้น้ำมัน D (ดังอธิบายในหัวข้อที่ 4.4.1)

นอกจากนี้ อัตราการไหลของอากาศ จากการใช้น้ำมันเหล่านี้ เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงนั้น ปริมาณอากาศซึ่งถูกส่งเข้าท่อไอเสียของเครื่องยนต์ลดลง โดยมีสมมติฐานมาจากผลกระทบของการระเหยกลายเป็นไออย่างรวดเร็วของส่วนผสมระหว่างแอนไฮดริสเอทานอลและสารอีมีลซิไฟเออร์ต่างๆ ทำให้เกิดการจุดระเบิดอย่างรวดเร็ว และน้ำมันเหล่านี้ มีปริมาณของ O_2 จำนวนมาก ส่งผลให้มีการเปลี่ยนแปลงความเร็วของเปลวไฟในช่วงการเผาไหม้ที่ถูกควบคุมโดยการผสมและช่วงความล่าช้าของการเผาไหม้ และต่อมา แรงในการผลักดันลูกสูบให้เคลื่อนที่ในจังหวะการทำงานต่างๆ ของเครื่องยนต์เปลี่ยนแปลงไป ส่งผลให้อัตราการไหลของอากาศที่ส่งเข้าท่อไอเสียของเครื่องยนต์ลดลง (ดังอธิบายในหัวข้อที่ 4.4.5) ดังนั้น จากเหตุผลที่กล่าวมาในหัวข้อที่ 4.4.1 และ 4.4.5 จึงนำมาสู่อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงจากการใช้น้ำมันเหล่านี้ ต่ำกว่าการใช้น้ำมัน D

อย่างไรก็ตาม การใช้น้ำมัน DEB มีอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงสูงกว่าการใช้น้ำมัน DEE และน้ำมัน DEBi ดังแสดงในภาพที่ 3.33 เพราะว่า การใช้น้ำมัน DEB มีเลขซีเทนสูงกว่า และมีปริมาณของ O_2 ภายในองค์ประกอบของน้ำมันนี้สูงกว่าน้ำมัน DEE และน้ำมัน DEBi (ตามที่ได้กล่าวในหัวข้อที่ 4.4.4 และ 4.4.5) ผลลัพธ์ที่ตามมา การใช้น้ำมัน DEB ส่งผลให้การจุดระเบิดเร็วขึ้น ช่วงความล่าช้าในการจุดระเบิดลดลง การสูญเสียพลังงานที่ป้อนเข้าไปในช่วงความล่าช้าในการจุดระเบิดและช่วงการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วลดลง ขณะที่อัตราการใช้น้ำมัน DEB เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย (เนื่องจากค่าความร้อนของน้ำมันนี้ต่ำกว่าน้ำมัน D แต่มีค่าสูงกว่าน้ำมัน DEE และน้ำมัน DEBi) แต่ภายในองค์ประกอบของน้ำมัน DEB มีปริมาณของ O_2 จำนวนมากและเพียงพอสำหรับการเผาไหม้ในช่วงการเผาไหม้ที่ถูกควบคุมโดยการผสม ส่งผลให้มีแรงในการผลักดันลูกสูบเคลื่อนที่ตามจังหวะการทำงานต่างๆ ของเครื่องยนต์สูงกว่า ทำให้อัตราการไหลของอากาศจากการใช้น้ำมัน DEB สูงกว่าการใช้น้ำมัน DEE และน้ำมัน DEBi ดังนั้น การเพิ่มขึ้นของอัตราการใช้น้ำมัน DEB เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย และการเพิ่มขึ้นของอัตราการไหลของอากาศ จึงนำมาสู่อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงจากการใช้น้ำมัน DEB สูงกว่าการใช้น้ำมัน DEE และน้ำมัน DEBi

4.4.7 อุณหภูมิแก๊สไอเสีย

ผลการตรวจสอบอุณหภูมิแก๊สไอเสียในแต่ละเครื่องยนต์ เมื่อใช้น้ำมันดีเซลผสมกับแอนไฮดริสเอทานอลและสารอีมีลซิไฟเออร์ต่างๆ (น้ำมัน DEE น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi) เทียบกับน้ำมัน D ถูกแสดงในภาพที่ 3.34 ซึ่งแสดงผลการวัดอุณหภูมิแก๊สไอเสียของแต่ละเครื่อง เมื่อใช้น้ำมันเหล่านี้ เป็นน้ำมันเชื้อเพลิง โดยทดสอบที่ความเร็วรอบและภาระงานต่างๆ ในระยะเวลา 150 hr พบว่า การใช้น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi มีอุณหภูมิแก๊สไอเสียสูงกว่าการใช้น้ำมัน D แต่การใช้น้ำมัน DEE มีอุณหภูมิแก๊สไอเสียต่ำกว่าการใช้น้ำมัน D ขณะที่ ผู้วิจัยทำการวิเคราะห์ข้อมูลต่างๆ จากการทดสอบที่ความเร็วรอบและภาระงานต่างๆ ใน

ระยะเวลา 150 hr ผลลัพธ์ที่ได้ ถูกแสดงในภาพที่ 3.35 ซึ่งแสดงอุณหภูมิแก๊สไอเสียเฉลี่ย ณ ความเร็วรอบและภาระงานต่างๆ เมื่อใช้น้ำมัน DEE น้ำมัน DEB น้ำมัน DEBi และน้ำมัน D ในแต่ละเครื่องยนต์

โดยภาพที่ 3.35 แสดงให้เห็นชัดเจนว่า การใช้น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi มีอุณหภูมิแก๊สไอเสียสูงกว่าการใช้น้ำมัน D ในทุกความเร็วรอบและภาระงานทางไฟฟ้าที่ทดสอบ ขณะที่การใช้น้ำมัน DEBi เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงนั้น มีอุณหภูมิแก๊สไอเสียสูงกว่าการใช้น้ำมัน DEB และน้ำมัน D โดยสาเหตุที่อุณหภูมิแก๊สไอเสียจากการใช้น้ำมัน DEBi สูงกว่าน้ำมัน DEB และน้ำมัน D มันถูกตั้งสมมติฐานจากสารอีมีลซิไฟเออร์ที่นำมาใช้ในการผลิตน้ำมัน DEBi เป็นไบโอดีเซล ซึ่งเป็นปาล์มเอทิลเอสเทอร์ ซึ่งถูกสังเคราะห์จากน้ำมันปาล์มโอเลอินบริสุทธิ์ แอนไฮดริสเอทานอล และโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ซึ่งนำมาใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยสารอีมีลซิไฟเออร์นี้ ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะการเผาไหม้ภายในเครื่องยนต์ดีเซล ขณะที่สารอีมีลซิไฟเออร์นี้ ถูกผสมกับน้ำมันดีเซลและแอนไฮดริสเอทานอลจนกลายเป็นน้ำมัน DEBi และถูกประยุกต์ใช้กับเครื่องยนต์นั้น พบว่า จังหวะการฉีดน้ำมัน DEBi ใกล้เคียงกับจังหวะการฉีดน้ำมัน D (เพราะค่าความหนืดของน้ำมัน DEBi ใกล้เคียงกับน้ำมัน D) แต่จังหวะการจุดระเบิดของน้ำมัน DEBi รวดเร็วกว่า (เนื่องจากการระเหยกลายเป็นไออย่างรวดเร็วของแอนไฮดริสเอทานอล) ส่งผลให้ช่วงความล่าช้าในการจุดระเบิดลดลง และต่อมา อัตราการเผาไหม้ภายในช่วงการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วเพิ่มขึ้น เนื่องจากไอระเหยของน้ำมัน DEBi ถูกทำปฏิกิริยากับปริมาณของ O_2 จำนวนมากที่มาจากอากาศและองค์ประกอบของน้ำมันนี้ ผลกระทบที่ตามมา มีปริมาณของ O_2 ไม่เพียงพอสำหรับการเผาไหม้ภายในช่วงการเผาไหม้ที่ถูกควบคุมโดยการผสม ซึ่งเป็นช่วงการเผาไหม้หลักของเครื่องยนต์นี้ และนำไปสู่การเผาไหม้ล่าช้าในช่วงจังหวะขยายและสิ้นสุดการเผาไหม้เมื่อวาล์วไอเสียถูกเปิด โดยผลการวิจัยนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ เอกชัย สุธีรศักดิ์ และ เจริญ ชินวานิชย์ เจริญ (2559)⁶ เอกพันธ์ อินทร์ปิ่น และคณะ (2557)⁸ และ Sutheerasak (2017)⁴³ เมื่อกระทำการวัดอุณหภูมิแก๊สไอเสีย ณ ตำแหน่งท่อทางออกของวาล์วไอเสีย พบว่า อุณหภูมิแก๊สไอเสียจากการใช้น้ำมัน DEBi สูงกว่าน้ำมัน DEB และน้ำมัน D

เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้น้ำมัน DEB พบว่า การใช้น้ำมันชนิดนี้ ทำให้การจุดระเบิดรวดเร็วขึ้น และช่วงความล่าช้าในการจุดระเบิดลดลง เนื่องจากแอนไฮดริสเอทานอลและเอ็น-บิวทานอลเกิดการระเหยกลายเป็นไออย่างรวดเร็ว ส่งผลให้การเริ่มต้นของการเผาไหม้เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว และต่อมา ไอระเหยของน้ำมัน DEB ถูกทำปฏิกิริยากับปริมาณของ O_2 จำนวนมากที่มาจากอากาศและองค์ประกอบของน้ำมันชนิดนี้ ส่งผลให้อัตราการเผาไหม้ภายในช่วงการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วเพิ่มขึ้น ยิ่งไปกว่านั้น เอ็น-บิวทานอลมีปริมาณของ O_2 มากกว่าไบโอดีเซล ผลลัพธ์ที่ตามมา น้ำมันชนิดนี้ มีปริมาณของ O_2 มากเพียงพอสำหรับการเผาไหม้ภายในช่วงการเผาไหม้ที่ถูกควบคุมโดยการผสม และลดช่วงความล่าช้าของการเผาไหม้ลง ส่งผลให้อุณหภูมิของการเผาไหม้ภายในช่วงดังกล่าวลดลงต่อเนื่องจนกระทั่งวาล์วไอเสียถูกเปิด เมื่อกระทำการวัดอุณหภูมิแก๊สไอเสีย ณ ตำแหน่งท่อทางออกของวาล์วไอเสีย พบว่า อุณหภูมิแก๊สไอเสียจากการใช้น้ำมัน DEB ต่ำกว่าการใช้น้ำมัน DEBi โดยผลการวิจัยนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Huang และคณะ (2009)²⁴ Rakopoulos และคณะ (2010)³⁸ และ Rakopoulos และคณะ (2011)³⁹ แต่สาเหตุที่การใช้น้ำมัน DEB มีอุณหภูมิแก๊สไอเสียสูงกว่าน้ำมัน D มีการตั้งสมมติฐานมาจากน้ำมัน DEB มีส่วนผสมของแอนไฮดริสเอทานอล

และเอ็น-บิวทานอล ทำให้มีปริมาณของ O_2 จำนวนมากเพียงพอสำหรับการเผาไหม้สมบูรณ์ในช่วงการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว และช่วงการเผาไหม้ที่ถูกควบคุมโดยการผสม ส่งผลให้อุณหภูมิของการเผาไหม้เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องถึงแม้ว่าปฏิกิริยาของการเผาไหม้น้ำมันชนิดนี้จะสิ้นสุดลง ก่อนวาล์วไอเสียถูกเปิด จึงนำไปสู่การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิแก๊สไอเสียที่สูงกว่าการใช้น้ำมัน D

ในทางตรงกันข้าม การใช้น้ำมัน DEE มีอุณหภูมิแก๊สไอเสียต่ำกว่าการใช้น้ำมัน D น้ำมัน DEB และ น้ำมัน DEBi โดยผลการวิจัยนี้ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Sutherasak (2017)⁴³ เนื่องจากน้ำมัน DEE มีปริมาณของแอลกอฮอล์มากกว่าน้ำมัน DEB และ น้ำมัน DEBi โดยน้ำมัน DEE ผลิตจากน้ำมันดีเซลผสมกับ แอนไฮดริสเอทานอล และเอทิลอะซิเตท ซึ่งเป็นเอสเทอร์ของเอทานอลและกรดอะซิติก ขณะที่การใช้น้ำมัน DEE เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงนั้น ส่งผลให้ช่วงความล่าช้าในการจุดระเบิดสั้นลงอย่างมาก เพราะมีการจุดระเบิดอย่างรวดเร็วจากไอระเหยของแอนไฮดริสเอทานอล และเอทิลอะซิเตทซึ่งเป็นผลมาจากค่าความร้อนของการกลายเป็นไอของสารทั้งสอง ยิ่งไปกว่านั้น สารทั้งสอง มีปริมาณของออกซิเจนและไฮโดรเจนจำนวนมาก ส่งผลให้ปฏิกิริยาของการเผาไหม้เกิดขึ้นสมบูรณ์มากภายในช่วงการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว และส่งผลต่อเนื่องไปยังช่วงการเผาไหม้ที่ถูกควบคุมโดยการผสม โดยเกิดการออกซิไดซ์เพียงบางส่วนในองค์ประกอบทางเคมีของไฮดรอกไซด์ (OH) จากแอนไฮดริสเอทานอล และเอทิลอะซิเตทเมื่อเกิดปฏิกิริยาของการเผาไหม้ในช่วงดังกล่าว ทำให้อุณหภูมิจากการเผาไหม้ในช่วงการเผาไหม้ที่ถูกควบคุมโดยการผสมลดลง ส่งผลให้อุณหภูมิแก๊สไอเสียลดลง เมื่อกระทำการวัดอุณหภูมิแก๊สไอเสีย ณ ตำแหน่งท่อทางออกของวาล์วไอเสีย จึงแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิแก๊สไอเสียจากการใช้น้ำมัน DEE ต่ำกว่าการใช้ น้ำมัน D น้ำมัน DEB และ น้ำมัน DEBi

4.4.8 การปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์

ผลการตรวจสอบการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ในแต่ละเครื่องยนต์ เมื่อใช้น้ำมันดีเซลผสมกับแอนไฮดริสเอทานอลและสารอีมีลซิไฟเออร์ต่างๆ (น้ำมัน DEE น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi) เทียบกับน้ำมัน D ถูกแสดงในภาพที่ 3.36 ซึ่งแสดงผลการวัดระดับของ CO_2 จากแต่ละเครื่องยนต์ โดยใช้เครื่องวิเคราะห์ห้องค์ประกอบของสารมลพิษต่างๆ ของบริษัท Cosber รุ่น KWQ-5 Automotive emission analyzes และทดสอบที่ความเร็วรอบและภาระงานต่างๆ ในระยะเวลา 150 hr พบว่า การใช้ น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi มีการปล่อย CO_2 สูงกว่าการใช้ น้ำมัน D แต่การใช้ น้ำมัน DEE มีการปล่อย CO_2 ต่ำกว่าการใช้ น้ำมัน D โดยผลการวิเคราะห์ข้อมูลต่างๆ จากการทดสอบที่ความเร็วรอบและภาระงานต่างๆ ในระยะเวลา 150 hr ถูกแสดงในภาพที่ 3.37 ซึ่งแสดงระดับของการปล่อย CO_2 เฉลี่ย ณ ความเร็วรอบและภาระงานต่างๆ เมื่อใช้น้ำมัน DEE น้ำมัน DEB น้ำมัน DEBi และน้ำมัน D ในแต่ละเครื่องยนต์ พบว่า การใช้ น้ำมัน DEBi และ น้ำมัน DEB มีระดับของการปล่อย CO_2 สูงกว่าการใช้ น้ำมัน D ในทุกความเร็วรอบและภาระงานทางไฟฟ้าที่ทดสอบ

สำหรับสาเหตุที่การปล่อย CO_2 จากการใช้ น้ำมัน DEBi สูงกว่า น้ำมัน DEB และ น้ำมัน D มันถูกตั้งสมมติฐานจากปริมาณจำนวนมากของคาร์บอนอะตอมเดี่ยว (C) และออกซิเจนอะตอมเดี่ยว (O) และออกซิเจนอะตอมคู่ (O_2) ในองค์ประกอบของแอนไฮดริสเอทานอล และสารอีมีลซิไฟเออร์ไบโอดีเซล (ซึ่งเป็นปาล์มเอทิลเอสเทอร์ ถูกสังเคราะห์จากน้ำมันปาล์มโอเลอินบริสุทธ์ แอนไฮดริสเอทานอล และโซเดียมไฮดรอก

ไซต์) โดยสารทั้งสองนี้ เมื่อนำมาผสมกับน้ำมันดีเซลจนกลายเป็นน้ำมัน DEBi และมันถูกทำปฏิกิริยาการเผาไหม้กับ O_2 ที่มาจากองค์ประกอบของอากาศ และต่อมา มีการเผาไหม้สมบูรณ์เพิ่มขึ้นในช่วงการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว เนื่องจากไอระเหยของน้ำมัน DEBi ถูกทำปฏิกิริยากับปริมาณของ O_2 จำนวนมากที่มาจากอากาศและองค์ประกอบของน้ำมันชนิดนี้ ส่งผลให้มีอะตอมเดี่ยวของ C จำนวนมากจากองค์ประกอบของน้ำมันชนิดนี้ ถูกรวมตัวกับ O_2 ที่มาจากอากาศและองค์ประกอบของน้ำมันชนิดนี้ และนำไปสู่การปลดปล่อยปริมาณของ CO_2 ที่เพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้ ยังมีการเกิด CO_2 บางส่วนที่ปลดปล่อยออกมาจากปฏิกิริยาการเผาไหม้ของอะตอมเดี่ยว C ซึ่งถูกรวมกับอะตอมเดี่ยวของออกซิเจนถึงสองตัวจนกลายเป็น O_2 จากองค์ประกอบของน้ำมันชนิดนี้ในช่วงการเผาไหม้ที่ถูกควบคุมโดยการผสมและช่วงความล่าช้าของการเผาไหม้ เพราะทั้งสองช่วงของการเผาไหม้อยู่ในช่วงการเผาไหม้หลักของเครื่องยนต์นี้ และเป็นช่วงของการเผาไหม้แกนกลางของสเปรย์น้ำมันเชื้อเพลิงที่มีปริมาณของ O_2 ถูกทำปฏิกิริยาของการเผาไหม้เพียงบางส่วน โดยอุณหภูมิของการเผาไหม้เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนสิ้นสุดจังหวะขยาย และสอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิแก๊สไอเสียตามที่กล่าวในหัวข้อที่ 4.4.7 สำหรับน้ำมัน D มีเพียงปริมาณของคาร์บอนและไฮโดรเจนอยู่ในองค์ประกอบของน้ำมันเชื้อเพลิง ซึ่งอยู่ในรูป C_xH_y เท่านั้น ขณะที่การเผาไหม้ถูกเริ่มต้นขึ้น มีการเผาไหม้สมบูรณ์ในช่วงการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว และต่อมามีปริมาณของ CO_2 และ NO ถูกปลดปล่อยในช่วงดังกล่าวโดยส่วนใหญ่ สำหรับปริมาณของ CO , HC และควันทา จะถูกปลดปล่อยในช่วงการเผาไหม้ที่ถูกควบคุมโดยการผสมและช่วงความล่าช้าของการเผาไหม้ ซึ่งถูกอธิบายโดย Corkwell และคณะ (2003)¹³ Gomasta และ Mahla (2012)²⁰ Hansen และคณะ (2005)²² และ Kumar และคณะ (2013)²⁷ ดังนั้น การใช้น้ำมัน DEBi จึงมีระดับของการปลดปล่อย CO_2 สูงกว่าการใช้ น้ำมัน D และน้ำมัน DEB

เมื่อเปรียบเทียบกับ การใช้ น้ำมัน DEB พบว่า น้ำมันชนิดนี้ ถูกผลิตจากน้ำมันดีเซลผสมกับ แอนไฮดรัสเอทานอลและเอ็น-บิวทานอล ซึ่งเอ็น-บิวทานอล มีปริมาณของ C ต่ำกว่าไบโอดีเซลซึ่งถูกผลิตเป็นน้ำมัน DEBi [ตารางที่ 2.1 และงานวิจัยของ Barabás และ Todoruț (2011)¹¹] ดังนั้น การอธิบายผลของการปลดปล่อย CO_2 จากการใช้ น้ำมัน DEB ต่ำกว่าการใช้ น้ำมัน DEBi แต่สูงกว่าการใช้ น้ำมัน D ถูกตั้งสมมติฐานจากปริมาณของ C ในเอ็น-บิวทานอลต่ำกว่าปริมาณของ C ในไบโอดีเซล และอีกเหตุผลหนึ่ง นั่นคือ เอ็น-บิวทานอลมีปริมาณของ O_2 มากกว่าปาล์มเอทิลเอสเทอร์ [ตารางที่ 2.1 และงานวิจัยของ Barabás และ Todoruț (2011)¹¹] จากทั้งสองเหตุผลนี้ สามารถอธิบายได้ว่า ขณะที่การเริ่มต้นของการเผาไหม้เกิดขึ้นหลังจากช่วงความล่าช้าของการจุดระเบิดเมื่อใช้น้ำมัน DEB นั้น มีปฏิกิริยาของการเผาไหม้ที่สมบูรณ์เกิดขึ้นในช่วงการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว และเกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ต่อเนื่องไปสู่ช่วงการเผาไหม้ที่ถูกควบคุมโดยการผสม และลดช่วงความล่าช้าของการเผาไหม้ลง เพราะมีปริมาณของ O_2 มากเพียงพอสำหรับทั้งสองช่วงของการเผาไหม้ ทำให้อะตอมเดี่ยวของ C จากน้ำมันชนิดนี้รวมกับ O_2 ที่มาจากอากาศและองค์ประกอบของน้ำมันชนิดนี้ โดยถูกใช้ในทั้งสองช่วงของการเผาไหม้เท่านั้น ส่งผลให้การปลดปล่อยปริมาณของ CO_2 จากใช้น้ำมัน DEB ต่ำกว่าการใช้ น้ำมัน DEBi ส่วนสาเหตุที่การปลดปล่อย CO_2 จากการใช้ น้ำมัน DEB สูงกว่าการใช้ น้ำมัน D เพราะมีปริมาณของ O_2 มากเพียงพอสำหรับการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ในช่วงการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว และการเผาไหม้ที่ถูกควบคุมโดยการผสม ส่งผลให้อุณหภูมิของการเผาไหม้จากการ

ใช้น้ำมัน DEB สูงกว่าอุณหภูมิของการเผาไหม้การใช้น้ำมัน D โดยสอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิแก๊สไอเสียจากการใช้น้ำมัน DEB ที่สูงกว่าการใช้น้ำมัน D ตามที่ได้กล่าวในหัวข้อที่ 4.4.7

ในทางตรงกันข้าม การใช้น้ำมัน DEE มีการปล่อยระดับของ CO₂ ต่ำกว่าการใช้น้ำมัน D น้ำมัน DEB และ น้ำมัน DEBi โดยผลการวิจัยนี้ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Sutheerasak (2017)⁴³ เนื่องจากน้ำมัน DEE ผลิตจากน้ำมันดีเซลผสมกับแอนไฮดริสเอทานอล และเอทิลอะซิเตท โดยสารทั้งสอง (แอนไฮดริสเอทานอล และเอทิลอะซิเตท) อยู่ในกลุ่มของแอลกอฮอล์ที่มีปริมาณของออกซิเจนและไฮโดรเจนจำนวนมาก เป็นองค์ประกอบ นอกจากนี้ เอทิลอะซิเตท มีค่าความร้อนของการกลายเป็นไอน้ำต่ำกว่าเอ็น-บิวทานอลจากงานวิจัยของ Chickos และคณะ (1995)¹² จากทั้งสองเหตุผลนี้ สามารถตั้งสมมติฐานได้ว่า ขณะที่การเผาไหม้ถูกเริ่มต้นขึ้นหลังจากช่วงความล่าช้าในการจุดระเบิด เมื่อใช้น้ำมัน DEE เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงนั้น ปฏิกริยาของการเผาไหม้เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์มากภายในช่วงการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยอะตอมเดี่ยวของ C ภายในน้ำมันชนิดนี้ ถูกรวมตัวกับ O₂ ที่มาจากอากาศและองค์ประกอบของน้ำมันชนิดนี้ ทำให้การปลดปล่อยปริมาณของ CO₂ ออกมามากในช่วงดังกล่าว ขณะที่ปฏิกริยาของการเผาไหม้เกิดขึ้นต่อเนื่องไปถึงช่วงการเผาไหม้ที่ถูกควบคุมโดยการผสม เพราะยังมีปริมาณของ O₂ จากองค์ประกอบของอากาศและน้ำมันชนิดนี้เพียงพอต่อการเผาไหม้ แต่น้ำมันชนิดนี้ มีปริมาณของออกซิเจนและไฮโดรเจนจำนวนมาก และความร้อนของการกลายเป็นไอน้ำน้อยกว่าเอ็น-บิวทานอล จากงานวิจัยของ Chickos และคณะ (1995)¹² ผลลัพธ์ที่ตามมา การเกิดปฏิกริยาทางเคมีระหว่างการเผาไหม้มีเปลี่ยนแปลงไป โดยมีการเพิ่มขึ้นของการเกิดออกซิไดซ์เพียงบางส่วนในองค์ประกอบทางเคมีของ OH จากแอนไฮดริสเอทานอล และเอทิลอะซิเตท ซึ่งนำไปสู่การปล่อยปริมาณไอน้ำ (H₂O) ที่เพิ่มขึ้น ขณะที่การระเหยกลายเป็นไอที่ล่าช้าของเอทิลอะซิเตท ทำให้การเกิด CO₂ ลดลง และอุณหภูมิของการเผาไหม้ในช่วงนี้ลดลง ส่งผลให้อุณหภูมิแก๊สไอเสียลดลง โดยสอดคล้องกับงานวิจัยของ Desantes และคณะ (2014)¹⁴ และ Hansen และคณะ (2005)²² โดยสอดคล้องกับผลการวัดอุณหภูมิแก๊สไอเสีย ณ ตำแหน่งท่อทางออกของวาล์วไอเสีย ซึ่งแสดงให้เห็นว่า อุณหภูมิแก๊สไอเสียจากการใช้น้ำมัน DEE ต่ำกว่าการใช้น้ำมัน D น้ำมัน DEB และ น้ำมัน DEBi ดังนั้น การใช้น้ำมัน DEE จึงมีการปล่อยระดับของ CO₂ ต่ำกว่าการใช้น้ำมัน D น้ำมัน DEB และ น้ำมัน DEBi

4.4.9 การปลดปล่อยออกไซด์ของไนโตรเจน

การศึกษาระดับของออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) ในแต่ละเครื่องยนต์ เมื่อใช้น้ำมันดีเซลผสมกับแอนไฮดริสเอทานอลและสารอีมีลซิไฟเออร์ต่างๆ (น้ำมัน DEE น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi) เทียบกับน้ำมัน D ในการวิจัยนี้ วิเคราะห์ผลการปล่อย NO_x จากการปลดปล่อยปริมาณของไนตริกออกไซด์ (NO) โดยการใช้เครื่องวิเคราะห์ห้องค์ประกอบของสารมลพิษต่างๆ ของบริษัท Cosber รุ่น KWQ-5 Automotive emission analyzers เพราะการเกิด NO เป็นผลมาจากปฏิกริยาการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วระหว่างไนโตรเจนอะตอมเดี่ยว (N) ออกซิเจนอะตอมเดี่ยว (O) และอนุมูลอิสระของไฮโดรคาร์บอนจากน้ำมันเชื้อเพลิงตามที่ได้กล่าวในหัวข้อที่ 3.4.10 โดยผลการตรวจสอบการปล่อย NO จากการใช้น้ำมัน DEE น้ำมัน DEB น้ำมัน DEBi และน้ำมัน D เป็นน้ำมันเชื้อเพลิง ในแต่ละเครื่องยนต์ และทดสอบ ณ ความเร็วรอบและภาระงานต่างๆ ในระยะเวลา 150 hr ถูกแสดงในภาพที่ 3.38 และ 3.39 ผลลัพธ์ที่ได้พบว่า การใช้น้ำมัน DEB และน้ำมัน

DEBi มีการปล่อย NO สูงกว่าการใช้น้ำมัน D แต่การใช้น้ำมัน DEE มีการปล่อย NO ต่ำกว่าการใช้น้ำมัน D ในทุกความเร็วรอบและภาระงานที่ทดสอบ

โดยสาเหตุที่การปล่อย NO จากการใช้น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi สูงกว่าการใช้น้ำมัน D เนื่องจากการผสมแอนไฮดริสเอทานอลและสารอีมีลซิไฟเออร์ (ได้แก่ เอ็น-บิวทานอล และไบโอดีเซล ซึ่งเป็นพาล์มเอทิลเอสเทอร์) ซึ่งถูกนำมาผสมกับน้ำมันดีเซลนั้น ทำให้โครงสร้างทางเคมีของน้ำมันเหล่านี้ มีการเปลี่ยนแปลงไปเป็น $C_xH_yO_z$ เมื่อน้ำมันเหล่านี้ ถูกทำปฏิกิริยากับ O_2 จากองค์ประกอบของอากาศ ส่งผลให้ปฏิกิริยาของการเผาไหม้มีความสมบูรณ์มากภายในช่วงการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ยิ่งไปกว่านั้น ปฏิกิริยาการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ยังคงดำเนินต่อไปในช่วงการเผาไหม้ที่ถูกควบคุมโดยการผสม เนื่องจากยังมีปริมาณของ O_2 จากองค์ประกอบของอากาศและน้ำมันเหล่านี้เพียงพอต่อการเผาไหม้ ทำให้อุณหภูมิของการเผาไหม้เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง และมีการปล่อย NO เพิ่มขึ้น โดยถูกอธิบายในงานวิจัยของ Hansen และคณะ (2005)²² Joshi และ Watt (2015)²⁵ และ Kumar และคณะ (2013)²⁷ ขณะที่การใช้น้ำมัน DEBi มีการปล่อย NO สูงกว่าการใช้น้ำมัน DEB และน้ำมัน D ซึ่งมันถูกตั้งสมมติฐานจากออกซิเจนอะตอมเดี่ยว (O) จำนวนมากในองค์ประกอบของแอนไฮดริสเอทานอล และไบโอดีเซล โดยสารทั้งสองนี้ เมื่อนำมาผสมกับน้ำมันดีเซลจนกลายเป็นน้ำมัน DEBi และมันถูกทำปฏิกิริยากับ O_2 ที่มาจากองค์ประกอบของอากาศ และต่อมา มีการเผาไหม้สมบูรณ์มากภายในช่วงการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้อุณหภูมิของการเผาไหม้เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ณ สภาวะนั้น อะตอมเดี่ยวของ C จากไอระเหยของน้ำมัน DEBi ถูกทำปฏิกิริยากับ O_2 จากองค์ประกอบของอากาศ และก่อให้เกิด CO_2 ในเวลาเดียวกัน ไนโตรเจนอะตอมคู่ (N_2) จากองค์ประกอบของอากาศ เกิดการแตกตัวเป็นไนโตรเจนอะตอมเดี่ยว (N) และมันทำปฏิกิริยากับออกซิเจนอะตอมเดี่ยว (O) จากโครงสร้างของน้ำมัน DEBi ซึ่งอยู่ในรูป $C_xH_yO_z$ ณ อุณหภูมิการเผาไหม้ที่สูง จนก่อให้เกิดการรวมตัวของอะตอม N และ O จนกลายเป็น NO จำนวนมากในช่วงของการเผาไหม้ดังกล่าว อย่างไรก็ตาม ปฏิกิริยาของการเผาไหม้ยังคงดำเนินต่อไปในช่วงการเผาไหม้ที่ถูกควบคุมโดยการผสมและช่วงความล่าช้าของการเผาไหม้ (ตามที่ได้อธิบายในหัวข้อ 4.4.7 และ 4.4.8) ทำให้อุณหภูมิของการเผาไหม้ยังคงเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง และอะตอมเดี่ยวของ O จากโครงสร้างของน้ำมันดังกล่าว ยังคงรวมตัวกับอะตอมเดี่ยวของ N ที่แตกตัวอิสระในทั้งสองช่วงของการเผาไหม้ ผลลัพธ์ที่ตามมา การปลดปล่อย NO จึงเพิ่มสูงขึ้น ดังนั้น การใช้น้ำมัน DEBi จึงมีระดับของการปลดปล่อย NO สูงกว่าการใช้น้ำมัน D และน้ำมัน DEB ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของ Kumar และคณะ (2013)²⁷

เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้น้ำมัน DEB พบว่า น้ำมันชนิดนี้ ถูกผลิตจากน้ำมันดีเซลผสมกับแอนไฮดริสเอทานอลและเอ็น-บิวทานอล ซึ่งเอ็น-บิวทานอล มีปริมาณของ C ต่ำกว่าพาล์มเอทิลเอสเทอร์ซึ่งถูกผลิตเป็นน้ำมัน DEBi และอีกเหตุผลหนึ่ง คือ เอ็น-บิวทานอลมีปริมาณของ O_2 มากกว่าพาล์มเอทิลเอสเทอร์ จากทั้งสองเหตุผลนี้ สามารถอธิบายได้ว่า ขณะที่การเริ่มต้นของการเผาไหม้เกิดขึ้นหลังจากช่วงความล่าช้าของการจุดระเบิดเมื่อใช้น้ำมัน DEB นั้น มีปฏิกิริยาของการเผาไหม้ที่สมบูรณ์เกิดขึ้นในช่วงการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว และเกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ต่อเนื่องไปสู่ช่วงการเผาไหม้ที่ถูกควบคุมโดยการผสม และลดช่วงความล่าช้าของการเผาไหม้ลง (ตามที่ได้อธิบายในหัวข้อ 4.4.7 และ 4.4.8) ทำให้อุณหภูมิของการเผาไหม้

เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจากช่วงการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วไปจนถึงช่วงการเผาไหม้ที่ถูกควบคุมโดยการผสม ดังนั้น อะตอมเดี่ยวของ C จากองค์ประกอบของน้ำมัน DEB ถูกทำปฏิกิริยากับ O_2 จากองค์ประกอบของอากาศ และก่อให้เกิด CO_2 ในช่วงการเผาไหม้ทั้งสองช่วงเท่านั้น และในเวลาเดียวกัน ไนโตรเจนอะตอมคู่ (N_2) จากอากาศ เกิดการแตกตัวเป็นไนโตรเจนอะตอมเดี่ยว (N) และปฏิกิริยากับออกซิเจนอะตอมเดี่ยว (O) จากโครงสร้างของน้ำมัน DEB ซึ่งอยู่ในรูป $C_xH_yO_z$ ณ อุณหภูมิการเผาไหม้ที่สูง จนก่อให้เกิดการรวมตัวของอะตอม N และ O จนกลายเป็น NO จำนวนมากในช่วงการเผาไหม้ทั้งสองช่วงเท่านั้น โดยถูกอธิบายในงานวิจัยของ Hansen และคณะ (2005)²² Joshi และ Watt (2015)²⁵ และ Kumar และคณะ (2013)²⁷ ผลลัพธ์ที่ตามมา การปล่อย NO จากการใช้น้ำมัน DEB ต่ำกว่าการใช้น้ำมัน DEBi ส่วนสาเหตุที่การปลดปล่อย NO จากการใช้น้ำมัน DEB สูงกว่าการใช้น้ำมัน D เพราะว่ามีปริมาณของ O_2 มากเพียงพอสำหรับการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ในช่วงการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว และช่วงการเผาไหม้ที่ถูกควบคุมโดยการผสม ส่งผลให้อุณหภูมิของการเผาไหม้จากการใช้น้ำมัน DEB สูงกว่า และอะตอมเดี่ยวของ O จากโครงสร้างของน้ำมันดังกล่าว ยังคงรวมตัวกับอะตอมเดี่ยวของ N ที่แตกตัวอิสระในทั้งสองช่วงของการเผาไหม้ ส่งผลให้การปล่อย NO จากการใช้น้ำมัน DEB สูงกว่าการใช้น้ำมัน D

ในทางตรงกันข้าม การใช้น้ำมัน DEE มีการปล่อยระดับของ NO ต่ำกว่าการใช้น้ำมัน D น้ำมัน DEB และ น้ำมัน DEBi โดยผลการวิจัยนี้ สอดคล้องกับงานวิจัยของเอกชัย สุธีรศักดิ์ และ เจริญ ชินวานิชย์เจริญ (2559)⁶ และ Sutherasak (2017)⁴³ เนื่องจากน้ำมัน DEE ผลิตจากน้ำมันดีเซลผสมกับแอนไฮดริสเอทานอล และเอทิลอะซิเตท โดยสารทั้งสอง (แอนไฮดริสเอทานอล และเอทิลอะซิเตท) อยู่ในกลุ่มของแอลกอฮอล์ ทำให้มีปริมาณของออกซิเจนและไฮโดรเจนจำนวนมากเป็นองค์ประกอบโดยส่วนใหญ่ นอกจากนี้เอทิลอะซิเตท มีปริมาณของ C ต่ำกว่าปาล์มเอทิลเอสเทอร์ และ เอ็น-บิวทานอล จากทั้งสองเหตุผลนี้ นำไปสู่การลดลงของอุณหภูมิของการเผาไหม้ในช่วงการเผาไหม้ที่ถูกควบคุมโดยการผสม เพราะช่วงการเผาไหม้ดังกล่าว มีการออกซิไดซ์เพียงบางส่วนในองค์ประกอบทางเคมีของ OH จากแอนไฮดริสเอทานอล และเอทิลอะซิเตท ซึ่งนำไปสู่การปล่อยปริมาณของ H_2O ที่เพิ่มขึ้น ทำให้การปลดปล่อยปริมาณของ CO_2 และอุณหภูมิของการเผาไหม้ลดลงในช่วงการเผาไหม้ที่ถูกควบคุมโดยการผสม ตามที่ได้อธิบายในหัวข้อที่ 4.4.8 ดังนั้น การเกิด NO จึงเกิดขึ้นในช่วงการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วเท่านั้น เพราะปฏิกิริยาของการเผาไหม้เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์มากภายในช่วงการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว และมีอุณหภูมิของการเผาไหม้เพิ่มขึ้นในช่วงการเผาไหม้ดังกล่าวเท่านั้น ดังนั้น การปล่อย NO จากการใช้น้ำมัน DEE จึงต่ำกว่าการใช้น้ำมัน D น้ำมัน DEB และ น้ำมัน DEBi

4.4.10 การปลดปล่อยคาร์บอนมอนอกไซด์

ผลการตรวจสอบการปล่อยคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ในแต่ละเครื่องยนต์ เมื่อใช้น้ำมันดีเซลผสมกับแอนไฮดริสเอทานอลและสารอีมีลซิไฟเออร์ต่างๆ (น้ำมัน DEE น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi) เทียบกับน้ำมัน D ถูกแสดงในภาพที่ 3.40 ซึ่งแสดงผลการวัดระดับของ CO จากแต่ละเครื่องยนต์ โดยใช้เครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบของสารมลพิษต่างๆ ของบริษัท Cosber รุ่น KWQ-5 Automotive emission analyzes และทดสอบที่ความเร็วรอบและภาระงานต่างๆ ในระยะเวลา 150 hr และในภาพที่ 3.41 ซึ่งแสดงระดับของ

ปริมาณ CO เฉลี่ย ณ ความเร็วรอบและภาระงานต่างๆ เมื่อใช้น้ำมันเหล่านี้ ในแต่ละเครื่องยนต์ พบว่า การใช้ น้ำมัน DEE น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi มีการปล่อย CO ต่ำกว่าการใช้น้ำมัน D ทั้งนี้ มีสาเหตุมาจากการนำ แอนไฮดริสเอทานอลและสารอิมัลซิไฟเออร์ต่างๆ ผสมกับน้ำมันดีเซลนั้น ทำให้ปฏิกิริยาการเผาไหม้สมบูรณ์ ภายในช่วงการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว และช่วงการเผาไหม้ที่ถูกควบคุมโดยการผสม เพราะมีปริมาณ ของ O_2 จากองค์ประกอบของอากาศและน้ำมันเหล่านี้เพียงพอต่อการเผาไหม้ และลดช่วงการเผาไหม้ล่าช้า จากความล่าช้าของกระบวนการแตกเป็นละอองและการระเหยกลายเป็นไอของน้ำมันเชื้อเพลิงในช่วงการ เผาไหม้หลักของเครื่องยนต์นี้ นอกจากนี้ อะตอมเดี่ยวของ C จากน้ำมันเหล่านี้ โดยส่วนใหญ่ ถูกทำปฏิกิริยา กับ O_2 จากองค์ประกอบของอากาศ และก่อให้เกิด CO_2 ในช่วงการเผาไหม้ทั้งสองช่วง ตามที่ได้อธิบายใน หัวข้อที่ 4.4.9 ดังนั้น ระดับของสารมลพิษ CO จากการใช้น้ำมันดีเซลผสมกับแอนไฮดริสเอทานอลและสาร อิมัลซิไฟเออร์ต่างๆ ต่ำกว่าการใช้น้ำมัน D

ขณะที่การใช้น้ำมัน DEBi มีการปล่อย CO สูงกว่าการใช้น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEE เพราะ มีสาเหตุมาจากสารอิมัลซิไฟเออร์ที่นำมาใช้ผสมกับน้ำมันดีเซลและแอนไฮดริสเอทานอล คือ ไบโอดีเซล ซึ่ง นำมาผลิตน้ำมัน DEBi นั้น มีปริมาณของ C สูงกว่า เอ็น-บิวทานอล ซึ่งนำมาผลิตน้ำมัน DEB และ เอทิลอะซิ เตท ซึ่งนำมาผลิตน้ำมัน DEE [ตารางที่ 2.1 และงานวิจัยของ Barabás และ Todoru^t (2011)¹¹] ผลลัพธ์ที่ ตามมา การใช้น้ำมัน DEBi เกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้สมบูรณ์ในช่วงการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว เพราะไ อระเหยของน้ำมัน DEBi ถูกทำปฏิกิริยากับปริมาณของ O_2 จากองค์ประกอบของอากาศจำนวนมาก แต่มันอาจ เกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ภายในช่วงการเผาไหม้ที่ถูกควบคุมโดยการผสม ซึ่งเป็นช่วงการเผาไหม้หลัก ของเครื่องยนต์นี้ เพราะมีปริมาณของ O_2 จากองค์ประกอบของอากาศไม่เพียงพอต่อการเผาไหม้ และมีการ แตกเป็นละอองและการระเหยกลายเป็นไอของน้ำมัน DEBi ล่าช้าภายในช่วงดังกล่าวตามที่ได้อธิบายในหัวข้อ ที่ 4.4.7-4.4.9 ดังนั้น อะตอมของ C จากองค์ประกอบของน้ำมัน DEBi ถูกรวมตัวกับอะตอมเดี่ยวของ O ที่ แตกตัวอิสระภายในองค์ประกอบของน้ำมันนี้ ในช่วงการเผาไหม้ที่ถูกควบคุมโดยการผสม และช่วงความล่าช้า ของการเผาไหม้ จึงนำมาสู่ระดับสารมลพิษ CO เมื่อใช้น้ำมัน DEBi สูงกว่าการใช้น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEE เป็นน้ำมันเชื้อเพลิง โดยถูกอธิบายในงานวิจัยของ Hansen และคณะ (2005)²² Joshi และ Watt (2015)²⁵ และ Kumar และคณะ (2013)²⁷

ขณะที่การผลิตน้ำมัน DEB ใช้สารอิมัลซิไฟเออร์ นั่นคือ เอ็น-บิวทานอล ซึ่งมีจุดวาบไฟต่ำ กว่า ค่าความร้อนของการกลายเป็นไอสูงกว่า และปริมาณของ O_2 มากกว่าไบโอดีเซล ส่งผลให้มีการเพิ่มขึ้น ของการเผาไหม้สมบูรณ์ภายในช่วงการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว และต่อเนื่องไปสู่ช่วงการเผาไหม้ที่ถูก ควบคุมโดยการผสม เพราะปริมาณของ O_2 จากองค์ประกอบของอากาศและองค์ประกอบของน้ำมัน DEB มี มากเพียงพอต่อการเผาไหม้ในทั้งสองช่วง และคุณสมบัติทางกายภาพของเอ็น-บิวทานอลดีกว่าไบโอดีเซล ตามที่ได้อธิบายในหัวข้อที่ 4.4.7-4.4.9 ส่งผลให้การเผาไหม้ภายในช่วงความล่าช้าของการเผาไหม้ถูกลดลง ผลลัพธ์ที่ตามมา อะตอมเดี่ยวของ C จากองค์ประกอบของน้ำมัน DEB ถูกรวมตัวกับอะตอมของ O_2 และเกิด เป็น CO_2 โดยส่วนใหญ่ ส่งผลให้ระดับสารมลพิษ CO เมื่อใช้น้ำมัน DEB ต่ำกว่าการใช้น้ำมัน DEBi เป็นน้ำมัน เชื้อเพลิง ขณะที่เกิดปฏิกิริยาของการเผาไหม้ในทั้งสองช่วง อย่างไรก็ตาม การใช้น้ำมัน DEB มีการปล่อย CO

สูงกว่าการใช้น้ำมัน DEE เพียงเล็กน้อย ซึ่งมันอาจมีสาเหตุมาจากค่าความร้อนของการกลายเป็นไอของเอ็น-บิวทานอลสูงกว่าเอทิลอะซิเตท และการแตกตัวอิสระของอะตอมเดี่ยวของ O จากองค์ประกอบของน้ำมัน DEB ส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีของการเผาไหม้ภายในช่วงการเผาไหม้ที่ถูกควบคุมโดยการผสมถูกเปลี่ยนแปลงไป โดยอะตอมเดี่ยวของ C จากองค์ประกอบของน้ำมันนี้เพียงบางส่วน อาจเกิดการรวมตัวกับอะตอมเดี่ยวของ O ที่แตกตัวอิสระในองค์ประกอบของน้ำมันนี้

สุดท้าย การวิจัยนี้ แสดงให้เห็นถึงการใช้ น้ำมัน DEE มีการปล่อยปริมาณของ CO ต่ำกว่าการใช้ น้ำมัน DEBi น้ำมัน DEB และน้ำมัน D ซึ่งมันถูกตั้งสมมติฐานจากน้ำมัน DEE ผลิตจากน้ำมันดีเซลผสมกับ แอนไฮดริสเอทานอล และเอทิลอะซิเตท โดยสารทั้งสอง (แอนไฮดริสเอทานอล และเอทิลอะซิเตท) อยู่ในกลุ่มของแอลกอฮอล์ ซึ่งมีปริมาณของออกซิเจนและไฮโดรเจนจำนวนมากเป็นองค์ประกอบโดยส่วนใหญ่ นอกจากนี้ เอทิลอะซิเตท มีปริมาณของ C ต่ำกว่าปาล์มเอทิลเอสเทอร์ และ เอ็น-บิวทานอล จากทั้งสองเหตุผลนี้ นำไปสู่การเกิดออกซิไดซ์เพียงบางส่วนในองค์ประกอบทางเคมีของ OH จากแอนไฮดริสเอทานอล และเอทิลอะซิเตท ซึ่งนำไปสู่การปล่อยปริมาณ H_2O ที่เพิ่มขึ้น (ตามที่ได้อธิบายในหัวข้อที่ 4.4.8-4.4.9) ส่งผลให้อะตอมเดี่ยวของ C จากองค์ประกอบของน้ำมันนี้ อาจเกิดการรวมตัวกับอะตอมเดี่ยวของ O ที่แตกตัวอิสระในองค์ประกอบของน้ำมันนี้น้อยลง ดังนั้น การปล่อย CO จากการใช้ น้ำมัน DEE จึงต่ำกว่าการใช้ น้ำมัน DEBi น้ำมัน DEB และน้ำมัน D

4.4.11 การปลดปล่อยไฮโดรคาร์บอน

ผลการวัดระดับของการปล่อยไฮโดรคาร์บอน (HC) จากการใช้ น้ำมัน DEE น้ำมัน DEB น้ำมัน DEBi และน้ำมัน D ในแต่ละเครื่องยนต์ เมื่อทำการทดสอบที่ความเร็วรอบและภาระงานต่างๆ ในระยะเวลา 150 hr ถูกแสดงในภาพที่ 3.42 ซึ่งแสดงระดับของการปล่อย HC จากการใช้ น้ำมันเหล่านี้ ในแต่ละเครื่องยนต์ ในระยะเวลาดังกล่าว หลังจากนั้น มีการวิเคราะห์ผลการวิจัย เพื่อศึกษาระดับของปริมาณ HC เฉลี่ย ณ ความเร็วรอบและภาระงานต่างๆ เมื่อใช้น้ำมันเหล่านี้ ในแต่ละเครื่องยนต์ ผลลัพธ์ที่ได้ ถูกแสดงในภาพที่ 3.43 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า การใช้ น้ำมันดีเซลผสมกับแอนไฮดริสเอทานอลและสารอิมัลซิไฟเออร์ต่างๆ (น้ำมัน DEE น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi) มีการปล่อย HC สูงกว่าการใช้ น้ำมัน D โดยสาเหตุของการปล่อย HC สูงกว่าการใช้ น้ำมัน D นั้น มีอยู่สองสมมติฐาน เริ่มต้นจากการผสมแอนไฮดริสเอทานอลและสารอิมัลซิไฟเออร์ในน้ำมันดีเซลนั้น ทำให้ความร้อนของการกลายเป็นไอของน้ำมันดีเซลผสมกับแอนไฮดริสเอทานอลและสารอิมัลซิไฟเออร์สูงกว่าน้ำมันดีเซล ขณะที่น้ำมันชนิดนี้ ถูกฉีดออกมาจากหัวฉีด และเกิดการระเหยกลายเป็นไออย่างรวดเร็วในช่วงของความล่าช้าของการจุดระเบิดนั้น มันมีไอระเหยของแอนไฮดริสเอทานอลและสารอิมัลซิไฟเออร์บางส่วน เกิดการรวมตัวระหว่างคาร์บอนอะตอมเดี่ยว (C) และไฮโดรเจนอะตอมเดี่ยว (H) จนกลายเป็นสารประกอบของไฮโดรคาร์บอนที่ไม่เผาไหม้อยู่บริเวณซอกต่างๆ บริเวณห้องเผาไหม้ ได้แก่ ซอกของรูหัวฉีด ร่องแหวนลูกสูบ และซอกแคบต่างๆ บริเวณวาล์วไอดีและไอเสีย โดยถูกอธิบายในงานวิจัยของ Hansen และคณะ (2005)²² Joshi และ Watt (2015)²⁵ และ Kumar และคณะ (2013)²⁷

อีกสมมติฐาน มาจากการเปลี่ยนแปลงของปฏิกิริยาการเผาไหม้ภายในช่วงการเผาไหม้หลักของเครื่องยนต์นี้ (ช่วงการเผาไหม้ที่ถูกควบคุมโดยการผสม และช่วงความล่าช้าของการเผาไหม้) โดยเริ่มต้น

จากอุณหภูมิของอากาศภายในกระบอกสูบสูงถึงจุดที่สามารถจุดระเบิดด้วยตัวเองและการเริ่มต้นของการเผาไหม้เกิดขึ้น เปลวไฟจะลุกลามไปหาส่วนผสมของไอระเหยของน้ำมันชนิดนี้ ซึ่งถูกทำปฏิกิริยากับ O_2 จากองค์ประกอบของอากาศ ภายในช่วงการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยมีการปล่อย CO_2 , NO , H_2O และ N_2 ออกมา หลังจากนั้น ปฏิกิริยาของการเผาไหม้เกิดขึ้นต่อเนื่องไปสู่ช่วงการเผาไหม้ที่ถูกควบคุมโดยการผสม โดยเปลวไฟจะลุกลามไปหาส่วนผสมของน้ำมันชนิดนี้ ซึ่งถูกทำปฏิกิริยากับ O_2 จากองค์ประกอบของอากาศที่ลดลง และก่อให้เกิดการปล่อย CO_2 และ H_2O ออกมาบางส่วน ในเวลาเดียวกัน อะตอมเดี่ยวของ O จากองค์ประกอบของน้ำมันชนิดนี้ ที่แตกตัวอิสระ จะรวมตัวกับอะตอมเดี่ยวของ C และก่อให้เกิดปริมาณของ CO แต่เปลวไฟยังคงเคลื่อนที่ต่อไป ณ บริเวณแกนกลางของสเปรย์ จนกว่าจะเกิดการเผาไหม้หมด ในช่วงความล่าช้าของการเผาไหม้ ซึ่งนำมาสู่การเผาไหม้สารประกอบของไฮโดรคาร์บอนที่ยังหลงเหลือในช่วงจังหวะขยาย ซึ่งในช่วงนี้ จะมีการปล่อย CO และ HC โดยสารมลพิษทั้งสอง ถูกแสดงออกมาเป็นปริมาณของควันท่ำจำนวน มากที่ปล่อยออกมาจากแก๊สไอเสียของเครื่องยนต์นี้ โดยถูกอธิบายในงานวิจัยของ Corkwell และคณะ (2003)¹³ Gomasta และ Mahla (2012)²⁰ Hansen และคณะ (2005)²² และ Kumar และคณะ (2013)²⁷

ขณะที่การวิจัยนี้ ค้นพบว่า การใช้น้ำมัน DEE มีการปล่อยปริมาณของ HC สูงสุด ซึ่งมันถูกตั้งสมมติฐานมาจากการใช้น้ำมัน DEE มีการระเหยกลายเป็นไอรวดเร็วกว่าการใช้ น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi เพราะเอทิลอะซิเตท มีอุณหภูมิจุดวาบไฟต่ำกว่าไบโอดีเซลและเอ็น-บิวทานอล (ตารางที่ 2.1) ซึ่งนำไปสู่การระเหยกลายเป็นไอของน้ำมัน DEE เกิดขึ้นรวดเร็ว และเกิดการจุดระเบิดด้วยตัวเองอย่างรวดเร็วกว่าน้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi ขณะที่เอทิลอะซิเตท มีปริมาณของออกซิเจนในองค์ประกอบของเอทิลอะซิเตทน้อยกว่าไบโอดีเซลและเอ็น-บิวทานอล และอะตอมเดี่ยวของ O และ H บางส่วน การเกิดออกซิไดซ์ในองค์ประกอบทางเคมีของ OH จากแอนไฮดรัสเอทานอล และเอทิลอะซิเตท ซึ่งนำไปสู่การปล่อยปริมาณ H_2O ที่เพิ่มขึ้น (ตามที่ได้อธิบายในหัวข้อที่ 4.4.8-4.4.9) ดังนั้น คาร์บอนอะตอมเดี่ยว (C) และไฮโดรเจนอะตอมเดี่ยว (H) ที่หลงเหลืออยู่จำนวนมาก เกิดการรวมตัวเป็นสารประกอบของไฮโดรคาร์บอนที่ไม่เผาไหม้อยู่บริเวณซอกต่างๆ บริเวณห้องเผาไหม้ ได้แก่ ซอกของรูหัวฉีด ร่องแหวนลูกสูบ และซอกแคบต่างๆ บริเวณวาล์วไอดีและไอเสีย และบริเวณช่วงการเผาไหม้ที่ถูกควบคุมโดยการผสม

รองลงมาคือ การใช้ น้ำมัน DEBi มีการปล่อยปริมาณของ HC ต่ำกว่าการใช้ น้ำมัน DEE แต่สูงกว่าการใช้ น้ำมัน DEB ซึ่งมันถูกตั้งสมมติฐานมาจากการใช้ไบโอดีเซลซึ่งเป็นพาล์มเอทิลเอสเทอร์มาเป็นสารอิมัลซิไฟเออร์นั้น มีปริมาณของคาร์บอนในองค์ประกอบของน้ำมันมากกว่าเอทิลอะซิเตทและเอ็น-บิวทานอล จึงก่อให้เกิดการเผาไหม้ล่าช้าภายในช่วงการเผาไหม้หลักของเครื่องยนต์นี้ (ตามที่ได้อธิบายในหัวข้อที่ 4.4.7-4.4.10) ทำให้มีการปล่อยปริมาณของ HC สูงกว่าการใช้ น้ำมัน DEB แต่การใช้ น้ำมัน DEBi มีการปล่อยปริมาณของ HC ต่ำกว่าการใช้ น้ำมัน DEE เพราะไบโอดีเซลมีการระเหยกลายเป็นไอช้ากว่า และมีปริมาณของออกซิเจนมากกว่าเอทิลอะซิเตท [ตารางที่ 2.1 และงานวิจัยของ Barabás และ Todoruț (2011)¹¹] สุดท้ายการวิจัยนี้ ค้นพบว่า การใช้ น้ำมัน DEB มีการปล่อยปริมาณของ HC ต่ำกว่าน้ำมัน DEE และน้ำมัน DEBi เพราะเอ็น-บิวทานอลมีปริมาณของออกซิเจนในองค์ประกอบของน้ำมันมากกว่าเอทิลอะซิเตทและไบโอดีเซล และปฏิกิริยาการเผาไหม้ภายในช่วงการเผาไหม้หลักของเครื่องยนต์นี้ มีการปล่อยสารมลพิษ CO โดยส่วนใหญ่

เนื่องจากมีอะตอมเดี่ยวของ O จากองค์ประกอบของน้ำมันชนิดนี้แตกตัวอิสระ และรวมตัวกับอะตอมเดี่ยวของ C (ตามที่ได้อธิบายในหัวข้อที่ 4.4.7-4.4.10) อย่างไรก็ตาม สาเหตุหลักของการปล่อยปริมาณ HC จากการใช้น้ำมันทั้งสามชนิด ซึ่งสูงกว่าการใช้น้ำมัน D นั้น เพราะว่า มีปริมาณของแอนไฮดริสเอทานอลผสมในอัตราส่วนคงที่ ซึ่งเป็นส่วนผสมหลักของน้ำมันทั้งสามชนิด (ตามที่ได้กล่าวไว้ตอนเริ่มต้น) แต่การเปลี่ยนแปลงสารอีมีลซิไฟเออร์ สามารถนำไปสู่การลดลงของปริมาณของ HC ได้

4.4.12 การปลดปล่อยควันดำ

ผลการวัดความเข้มข้นของควันดำ เพื่อแสดงให้เห็นถึงการปลดปล่อยควันดำจากการใช้น้ำมัน DEE น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi เทียบกับน้ำมัน D ในแต่ละเครื่องยนต์ เมื่อทำการทดสอบที่ความเร็วรอบและภาระงานต่างๆ ในระยะเวลา 150 hr ถูกแสดงในภาพที่ 3.44 ซึ่งแสดงระดับของความเข้มข้นของควันดำจากการใช้น้ำมันเหล่านี้ในสภาวะการทดสอบเดียวกัน ณ ระยะเวลาดังกล่าว หลังจากนั้น ศีรษะระดับของปริมาณควันดำเฉลี่ย ณ ความเร็วรอบและภาระงานต่างๆ เมื่อใช้น้ำมันเหล่านี้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิง ในแต่ละเครื่องยนต์ ผลลัพธ์ที่ได้ ถูกแสดงในภาพที่ 3.45 โดยการใช้ส่วนผสมกับแอนไฮดริสเอทานอลและสารอีมีลซิไฟเออร์ต่างๆ (น้ำมัน DEE น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi) มีการปล่อยควันดำต่ำกว่าการใช้น้ำมัน D ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Hansen และคณะ (2005)²² Joshi และ Watt (2015)²⁵ และ Kumar และคณะ (2013)²⁷ เนื่องจากการผสมแอนไฮดริสเอทานอลและสารอีมีลซิไฟเออร์กับน้ำมันดีเซล ทำให้มีการเผาไหม้สมบูรณ์เพิ่มมากขึ้นภายในช่วงการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว และต่อเนื่องไปสู่ช่วงการเผาไหม้ที่ถูกควบคุมโดยการผสม เพราะแอนไฮดริสเอทานอลและสารอีมีลซิไฟเออร์มีปริมาณของออกซิเจนอยู่ในองค์ประกอบของทั้งสอง ทำให้การปล่อยปริมาณควันดำลดลง (ตามที่ได้อธิบายในหัวข้อที่ 4.4.7-4.4.10) ขณะที่การวิจัยนี้ค้นพบว่า การใช้น้ำมัน DEE มีการปล่อยปริมาณควันดำสูงกว่าการใช้น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi และการใช้น้ำมัน DEB มีการปล่อยปริมาณควันดำต่ำกว่าการใช้น้ำมัน DEBi ขณะที่การอธิบายสาเหตุของการปล่อยปริมาณควันดำที่แตกต่างกันจากการใช้น้ำมัน DEE น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi ถูกอธิบายในหัวข้อที่ 4.4.11 โดยเหตุผลหลักถูกตั้งสมมติฐานจากการใช้น้ำมัน DEE มีการปล่อย HC สูงกว่าการใช้น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi และการใช้น้ำมัน DEBi มีการปล่อย HC สูงกว่าการใช้น้ำมัน DEB ซึ่งนำมาสู่การปล่อยปริมาณของควันดำที่แตกต่างกันจากการใช้น้ำมันทั้งสามชนิด

4.5 การอภิปรายและวิจารณ์ผลการตรวจสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ดีเซลระยะเวลา 300 hr

หลังจากเสร็จสิ้นการทดสอบการทำงานของเครื่องยนต์ และสมรรถนะและการปล่อยสารมลพิษต่างๆ ของเครื่องยนต์ดีเซล เมื่อใช้น้ำมัน D น้ำมัน DEE น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi เป็นน้ำมันเชื้อเพลิง ณ ระยะเวลาทั้งหมด 200 hr ภายในห้องปฏิบัติการ Automotive biofuels and combustion engineering research laboratory ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ต่อมา ผู้วิจัยทำการทดสอบสมรรถนะและการสึกหรอของเครื่องยนต์ดีเซลแต่ละเครื่อง เมื่อใช้น้ำมันเหล่านี้ ในระยะเวลา 300 hr ณ ความเร็วรอบของเครื่องยนต์คงที่ $3,000 \pm 50$ rpm และใช้ภาระงานคงที่จากการขับเคลื่อนกังหันเติมอากาศบนผิวน้ำแบบ 4 ใบพัด ซึ่งติดตั้งอยู่ที่สวนนันทนาการรัชมังคลาภิเษก มหาวิทยาลัยบูรพา ขณะทำการ

ทดสอบ มีการบันทึกกำลังไฟฟ้าที่ผลิตออกมา เวลาการเผาผลาญปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิง 100 ml ทุก 1 hr และความเร็วยรอบของเครื่องยนต์ ผลการตรวจสอบสามารถอธิบายได้ดังนี้

1) กำลังไฟฟ้าที่ให้ออกมาจากการขับเคลื่อนกังหันเดิมอากาศบนผิวน้ำแบบ 4 ใบพัด เมื่อใช้น้ำมัน D น้ำมัน DEE น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi เป็นน้ำมันเชื้อเพลิง มีค่ากำลังไฟฟ้าใกล้เคียงกัน เนื่องจากการทดสอบนี้ เป็นการทดสอบที่ภาระงานไฟฟ้าใกล้เคียงกันตามที่อธิบายในหัวข้อ 3.4.1 โดยมีความแตกต่างของค่าความคลาดเคลื่อนของกำลังไฟฟ้า ซึ่งอยู่ในช่วงระหว่าง ± 0.018 ถึง ± 0.026 kW_e

2) อัตราการใช้เชื้อเพลิงจากการใช้น้ำมัน D น้ำมัน DEE น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงในแต่ละเครื่องยนต์ จากการทดสอบที่ระยะเวลา 300 hr สอดคล้องกับผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ระยะเวลา 150 hr โดยการใช้ น้ำมัน DEE และน้ำมัน DEBi มีอัตราการใช้เชื้อเพลิงสูงกว่าการใช้ น้ำมัน DEB และน้ำมัน D โดยเหตุผลถูกอธิบายในหัวข้อที่ 4.4.1

3) ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะจากการใช้น้ำมัน D น้ำมัน DEE น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงในแต่ละเครื่องยนต์ จากการทดสอบที่ระยะเวลา 300 hr สอดคล้องกับผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ระยะเวลา 150 hr โดยการใช้ น้ำมัน DEE และน้ำมัน DEBi มีความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะสูงกว่าการใช้ น้ำมัน DEB และน้ำมัน D ตามที่ได้อธิบายในหัวข้อที่ 4.4.2

4) ประสิทธิภาพทางความร้อนจากการใช้น้ำมัน D น้ำมัน DEE น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงในแต่ละเครื่องยนต์ จากการทดสอบที่ระยะเวลา 300 hr สอดคล้องกับผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ระยะเวลา 150 hr โดยการใช้ น้ำมัน DEB มีประสิทธิภาพทางความร้อนสูงกว่าการใช้ น้ำมัน D น้ำมัน DEE และน้ำมัน DEBi โดยเหตุผลถูกอธิบายในหัวข้อที่ 4.4.3

5) ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะจากการใช้น้ำมัน D น้ำมัน DEE น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงในแต่ละเครื่องยนต์ จากการทดสอบที่ระยะเวลา 300 hr สอดคล้องกับผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ระยะเวลา 150 hr โดยการใช้ น้ำมัน DEB มีความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะต่ำกว่าการใช้ น้ำมัน D น้ำมัน DEE และน้ำมัน DEBi ตามที่ได้อธิบายในหัวข้อที่ 4.4.4

ขณะที่ผลการตรวจสอบการทำงานของเครื่องยนต์ และสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซล เมื่อใช้น้ำมัน DEE น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi เปรียบเทียบกับน้ำมัน D เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงในแต่ละเครื่องยนต์ โดยทำการทดสอบระยะเวลาทั้งหมด 500 hr ยืนยันได้ว่า การใช้ น้ำมัน DEB ให้สมรรถนะของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้นสูงกว่าการใช้ น้ำมัน D เพราะว่า การใช้ น้ำมัน DEB มีการเผาไหม้สมบูรณ์กว่าน้ำมันดีเซล และปรับปรุงสมรรถนะของเครื่องยนต์ให้ดีขึ้นตามที่ได้อธิบายในหัวข้อที่ 4.4 รองลงมาคือ การใช้ น้ำมัน DEBi มีสมรรถนะของเครื่องยนต์ลดลงเพียงเล็กน้อย แต่มีความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงสูงกว่าการใช้ น้ำมัน D อย่างไรก็ตาม ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจากการใช้น้ำมัน DEBi ต่ำกว่าการใช้ น้ำมัน DEE สำหรับการใช้น้ำมัน DEE เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงนั้น ให้สมรรถนะของเครื่องยนต์ลดลงอย่างมาก เนื่องจากมีอัตราการใช้ น้ำมันเชื้อเพลิงสูงกว่า ส่งผลให้ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงและพลังงานจำเพาะเพิ่มขึ้น ซึ่งนำมาสู่การลดลงของประสิทธิภาพทางความร้อน ดังนั้น น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi เหมาะสำหรับการใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนกับเครื่องยนต์ดีเซลในอนาคต

4.6 การอภิปรายและวิจารณ์ผลการตรวจสอบการสึกหรอของชิ้นส่วนต่างๆ ภายในเครื่องยนต์ดีเซล ระยะเวลา 500 hr

หลังจากเสร็จสิ้นการทดสอบเครื่องยนต์ระยะเวลาทั้งหมด 500 hr ผู้วิจัยถอดชิ้นส่วนต่างๆ ของเครื่องยนต์ เพื่อถ่ายภาพคราบเขม่าที่เกาะหัวฉีด ฝาสูบ และหัวลูกสูบดังแสดงในภาพที่ 3.51-3.53 และทำการตรวจสอบการสึกหรอของชิ้นส่วนต่างๆ ของเครื่องยนต์ดีเซล ได้แก่ ระยะเวลาของปากแหวน ช่องว่างระหว่างแหวนกับร่องแหวนของลูกสูบ และอื่นๆ ตามที่ได้กล่าวมาในบทที่ 2 เมื่อใช้น้ำมันทั้งสามชนิดเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล โดยการตรวจสอบค่าการสึกหรอของชิ้นส่วนต่างๆ ของเครื่องยนต์ ใช้เครื่องมือวัดมาตรฐานต่างๆ ได้แก่ บรรทัดเหล็ก หรือฟุตเหล็ก เวอร์เนียคาลิเปอร์ ไมโครมิเตอร์คาลิเปอร์ ฟीलเลอร์เกจ บอร์เกจ และเครื่อง Coordinate measuring machine ผลลัพธ์ที่ได้ถูกแสดงในตารางที่ 3.13 ซึ่งแสดงผลการตรวจสอบค่าการสึกหรอของชิ้นส่วนต่างๆ ของเครื่องยนต์ภายหลังการทดสอบทั้งหมด 500 hr ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้

4.6.1 การตรวจสอบลักษณะโดยทั่วไปของชิ้นส่วนต่างๆ ของเครื่องยนต์

จากการตรวจสอบสภาพโดยทั่วไปของชิ้นส่วนต่างๆ ของเครื่องยนต์ดีเซล ภายหลังการทดสอบ 500 hr นั้น โดยการถอดฝาหัวฉีด หัวฉีด และฝาสูบของเครื่องยนต์ ต่อมา ผู้วิจัยถ่ายภาพและเปรียบเทียบภาพถ่ายบริเวณหัวฉีด ฝาสูบ และเสี้ยวสูบของเครื่องยนต์ทั้งสี่เครื่อง เมื่อใช้น้ำมัน D น้ำมัน DEE น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงในแต่ละเครื่องยนต์ พบว่า เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน DEE น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi มีคราบเขม่าเกาะอยู่บริเวณ หัวฉีด ฝาสูบ และหัวลูกสูบ ลักษณะสีดำในปริมาณที่ค่อนข้างมากกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน D โดยสาเหตุของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน DEE น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi มีคราบเขม่าเกาะบนชิ้นส่วนต่างๆ ของเครื่องยนต์มากกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน D ถูกตั้งสมมติฐานจากปริมาณของไฮโดรคาร์บอนที่ไม่เผาไหม้จำนวนมาก อันมีสาเหตุมาจากการระเหยอย่างรวดเร็วของแอนไฮดริสเอทานอลและสารอิมัลซิไฟเออร์ต่างๆ ที่เร็วเกินไป (ขึ้นอยู่กับชนิดของสารอิมัลซิไฟเออร์ที่นำมาผสม) และการเกิดความล่าช้าของการเผาไหม้ภายในช่วงการเผาไหม้หลักของเครื่องยนต์นี้ ตามที่กล่าวในหัวข้อที่ 4.4.7-4.4.12 นอกจากนี้ แอนไฮดริสเอทานอลที่นำมาใช้ในการวิจัยนี้ เป็นเอทานอลปราศจากน้ำร้อยละ 99.9 ซึ่งผลิตขึ้นมาจากพืชประเภทแป้งและน้ำตาล เมื่อมันถูกเผาไหม้อาจจะมีสารบางตัวที่เผาไหม้ไม่หมด เช่น ประเภทสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในพืช จึงเหลือตกค้างในห้องเผาไหม้และจับตัวกับเป็นเขม่าหนา โดยถูกอธิบายในงานวิจัยของ Hansen และคณะ (2005)²² Joshi และ Watt (2015)²⁵ และ Kumar และคณะ (2013)²⁷ ซึ่งนำมาสู่การใช้น้ำมัน DEE น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi มีคราบเขม่ามากกว่าการใช้น้ำมัน D ขณะที่การใช้น้ำมัน DEE มีคราบเขม่าเกาะบริเวณหัวฉีด ฝาสูบ และหัวลูกสูบมากกว่าการใช้น้ำมัน DEBi และน้ำมัน DEB รองลงมาคือการใช้ น้ำมัน DEBi และการวิจัยนี้ แสดงให้เห็นว่า การใช้ น้ำมัน DEB มีคราบเขม่าเกาะบริเวณ หัวฉีด ฝาสูบ และหัวลูกสูบน้อยกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน DEE และน้ำมัน DEBi โดยผลของคราบเขม่า สอดคล้องกับการปล่อยปริมาณ HC และควันดำที่ออกมาจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน DEE และน้ำมัน DEBi ตามที่กล่าวในหัวข้อที่ 4.4.11-4.4.12

4.6.2 ผลการตรวจสอบความดันการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง

ก่อนการตรวจสอบการสึกหรอของเครื่องยนต์ดีเซลทั้งสี่เครื่อง เมื่อใช้น้ำมัน D น้ำมัน DEE น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงในแต่ละเครื่องยนต์นั้น ผู้วิจัย ถอดหัวฉีดของเครื่องยนต์แต่ละเครื่อง และส่งหัวฉีดไปทดสอบความดันการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง หรือความดันของหัวฉีด พบว่า ความดันการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงจากหัวฉีดของเครื่องยนต์ทั้งสี่เครื่องเท่ากัน นั่นคือ 20 MPa (เมื่อทดสอบโดยใช้น้ำมันดีเซล) ดังแสดงในตารางที่ 3.9 หลังจากนั้น ผู้วิจัย ทำการทดสอบการสึกหรอของเครื่องยนต์ดีเซลทั้งสี่เครื่อง เมื่อใช้น้ำมันเหล่านี้ในแต่ละเครื่องยนต์ จนเสร็จสิ้นการทดสอบดังกล่าวในระยะเวลา 500 hr และต่อมา ผู้วิจัย ถอดหัวฉีดออกจากเครื่องยนต์ทั้งสี่เครื่องอีกครั้ง เพื่อตรวจสอบความดันการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง ผลลัพธ์ที่ได้พบว่า ความดันการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงจากหัวฉีดของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน D เท่ากับ 18 MPa โดยความดันการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงจากหัวฉีดลดลง 2 MPa เมื่อเทียบกับค่าเริ่มต้นก่อนการทดสอบการสึกหรอของเครื่องยนต์ ทั้งนี้ มีสาเหตุมาจากการใช้งานเครื่องยนต์ในระยะยาวนั้น ก่อให้เกิดการสึกหรอทางกลภายในระบบฉีดเชื้อเพลิง ซึ่งนำมาสู่การสึกหรอของสปริงที่กดบนเข็มหัวฉีด โดยแรงสปริงที่กดบนเข็มหัวฉีดลดลง ทำให้ความดันของน้ำมันเชื้อเพลิงสามารถเอาชนะแรงสปริงที่กดอยู่บนเข็มหัวฉีดก่อนค่าความดันเริ่มต้นของการใช้งาน ขณะที่ความดันการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงจากหัวฉีดของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน DEE/ น้ำมัน DEB/ น้ำมัน DEBi ลดลงเท่ากับ 15/ 16/ 17 MPa ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 3.13 เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเริ่มต้นก่อนการใช้งาน พบว่า ความดันการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงจากหัวฉีดของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน DEE ลดลงต่ำสุด รองลงมาคือ ความดันการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงจากหัวฉีดของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน DEB และสุดท้ายคือ ความดันการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงจากหัวฉีดของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน DEBi โดยสาเหตุที่ความดันของการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงจากหัวฉีดของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน DEE ลดลงมากที่สุด เพราะน้ำมัน DEE มีค่าความหนืดและความหนาแน่นของน้ำมันเชื้อเพลิงต่ำสุด รองลงมาคือ น้ำมัน DEB และสุดท้ายคือ น้ำมัน DEBi สรุปได้ว่า เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลผสมกับแวนไฮดรอสเอทานอลและสารอิมัลซิไฟเออร์ต่างๆ (น้ำมัน DEE น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi) มีค่าความหนืดและความหนาแน่นของน้ำมันเชื้อเพลิงต่ำกว่าน้ำมัน D ส่งผลให้ความสามารถในการอัดตัวได้มากขึ้น และการสร้างแรงดันเพื่อเอาชนะแรงกดของสปริงบนเข็มหัวฉีดลดลงตามที่ได้กล่าวในหัวข้อ 4.1.4 ดังนั้น ความดันของการฉีดน้ำมันดีเซลผสมกับแวนไฮดรอสเอทานอลและสารอิมัลซิไฟเออร์ต่างๆ ช่วงเริ่มต้นก่อนการทดสอบต่ำกว่าความดันเริ่มต้นของการฉีดน้ำมันดีเซล ขณะที่การใช้งานในระยะยาว ส่งผลให้แรงกดสปริงลดลง ผลลัพธ์ที่ตามมา ความดันการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงจากหัวฉีดของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน DEE มีการลดลงมากกว่าการใช้น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi

4.6.3 ผลการตรวจสอบการสึกหรอของชิ้นส่วนต่างๆ ภายในเครื่องยนต์

ผลการตรวจสอบการสึกหรอของชิ้นส่วนต่างๆ ภายในเครื่องยนต์ ได้แก่ พื้นผิวสัมผัสของฝาสูบ เส้นผ่านศูนย์กลางของกระบอกสูบและลูกสูบ ระยะห่างของปากแหวน ช่องว่างระหว่างแหวนกับร่องแหวนของลูกสูบ และอื่นๆ โดยใช้เครื่องมือวัดมาตรฐานต่างๆ ตามที่กล่าวมานั้น สามารถอธิบายได้ดังนี้

1) ผลการตรวจสอบบริเวณผิวสัมผัสของฝาสูบ เมื่อใช้น้ำมัน D น้ำมัน DEE น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงในแต่ละเครื่องยนต์ โดยใช้เครื่องมือวัดมาตรฐาน ได้แก่ บรรทัดเหล็ก หรือฟุต

เหล็ก และฟิลเลอร์เกจ โดยผลลัพธ์ของการวัดระยะโค้งของฝาสูบถูกแสดงในตารางที่ 3.13 พบว่า ระยะโค้งตามแนวแกน X และแกน Y เท่ากับ 0 mm เนื่องจากแผ่นฟิลเลอร์เกจขนาดเล็กสุดไม่สามารถลอดผ่านบรรทัดเหล็ก หรือฟุตเหล็ก ยิ่งไปกว่านั้น เมื่อใช้บรรทัดเหล็ก หรือฟุตเหล็กสัมผัสกับฝาสูบ พบว่า ไม่มีแสงลอดผ่านออกมา ซึ่งแสดงให้เห็นว่า การใช้น้ำมัน DEE น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลนั้น ไม่ส่งผลต่อการโค้งตัวของฝาสูบ

2) ผลการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางของกระบอกสูบ เพื่อตรวจสอบการสึกหรอของปลอกสูบ เมื่อใช้น้ำมัน D น้ำมัน DEE น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงในแต่ละเครื่องยนต์ โดยใช้เครื่องมือวัดมาตรฐาน ได้แก่ บอร์เกจ ซึ่งสอบเทียบกับเครื่อง Coordinate measuring machine โดยการวัดขนาดของปลอกสูบ 3 จุดตามที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 โดยทำการวัดจุดบน จุดกึ่งกลาง และจุดล่าง และสอบเทียบผลของการตรวจสอบกับคู่มือเครื่องยนต์มิซูกิ รุ่น MIT-186FG ซึ่งระบุว่าค่ามาตรฐานที่ยอมรับได้ต้องไม่เกิน 0.20 mm โดยผลลัพธ์ของการวัดจุดบนสุดของปลอกสูบ ซึ่งมันเป็นจุดที่รับแรงกระแทกจากการจุดระเบิดมากที่สุด พบว่า เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน DEE มีการสึกหรอของจุดบนของปลอกสูบมากที่สุด โดยมีเส้นผ่านศูนย์กลางของกระบอกสูบเพิ่มขึ้นถึง 0.078 mm รองลงมาเป็น เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน DEBi มีการสึกหรอของจุดบนของปลอกสูบ โดยมีเส้นผ่านศูนย์กลางของกระบอกสูบเพิ่มขึ้นถึง 0.073 mm และเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน DEB มีการสึกหรอของจุดบนของปลอกสูบใกล้เคียงกับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน D โดยมีเส้นผ่านศูนย์กลางของกระบอกสูบของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน DEB และ น้ำมัน D เพิ่มขึ้นถึง 0.033 และ 0.032 mm เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเริ่มต้นของเส้นผ่านศูนย์กลางของกระบอกสูบก่อนทำการทดสอบการสึกหรอของเครื่องยนต์ทั้งสี่เครื่องดังแสดงในตารางที่ 3.9

ในทำนองเดียวกัน ผลการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางของกระบอก ณ จุดกึ่งกลาง และจุดล่างสุดของปลอกสูบ แสดงให้เห็นว่า เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน DEE มีการสึกหรอของปลอกสูบมากที่สุด รองลงมาเป็นเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน DEBi และเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน DEB มีการสึกหรอของปลอกสูบใกล้เคียงกับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน D ดังนั้น ผลการวิจัยนี้ ยืนยันว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน DEE มีการสึกหรอปลอกสูบมากที่สุด เนื่องจากมีแอลกอฮอล์ (แอนไฮดริสเอทานอล และ เอทิลอะซิเตท) ผสมในน้ำมันดีเซลจำนวนมาก เมื่อแอลกอฮอล์ถูกทำปฏิกิริยากับอากาศ จะก่อให้เกิดการกัดกร่อนอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้จุดบนของปลอกสูบมีการสึกหรอเร็วกว่า โดยสอดคล้องกับงานวิจัยของ เอกพันธ์ อินทร์ปิ่น และคณะ (2557)⁸ และ Sutheerasak (2017)⁴³ นอกจากนี้ ภาพการกัดกร่อนอย่างรวดเร็วบนหัวลูกสูบของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน DEE แสดงให้เห็นชัดเจนว่า การใช้น้ำมัน DEE มีการกัดกร่อนผิวสัมผัสบริเวณหัวลูกสูบมากที่สุด ขณะที่คู่มือของเครื่องยนต์นี้ระบุว่าค่าที่ยอมรับได้ของการสึกหรอของปลอกสูบต้องไม่เกิน 0.20 mm ดังนั้น เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน DEE ยังมีการสึกหรอของปลอกสูบเพียงเล็กน้อย และสามารถประยุกต์ใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนได้

3) การวัดเส้นผ่านศูนย์กลางของลูกสูบ เพื่อตรวจสอบผิวสัมผัสของโลหะที่หายไปจากลูกสูบ เมื่อใช้น้ำมัน D น้ำมัน DEE น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงในแต่ละเครื่องยนต์ โดยใช้เครื่องมือวัดมาตรฐาน ได้แก่ เวอร์เนียคาลิเปอร์ และไมโครมิเตอร์คาลิเปอร์ เพื่อตรวจสอบผิวสัมผัสของโลหะที่หายไป โดยทำการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางด้านบน และเส้นผ่านศูนย์กลางด้านล่างของลูกสูบ และสอบเทียบผล

ของการตรวจสอบกับคู่มือเครื่องยนต์มิสซูชิ รุ่น MIT-186FG ซึ่งระบุว่าค่ามาตรฐานที่ยอมรับได้ต้องไม่เกิน 0.20 mm โดยผลลัพธ์ของการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางด้านบนของลูกสูบ ซึ่งมันเป็นจุดที่รับแรงกระแทกจากการจุดระเบิด และการกักความร้อนจากการใช้น้ำมันทั้งสามชนิดมากที่สุด พบว่า เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน DEE มีการสึกหรอ ณ จุดบนของลูกสูบมากที่สุด โดยมีเส้นผ่านศูนย์กลางด้านบนของลูกสูบลดลงถึง 0.08 mm รองลงมาเป็นเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน DEBi มีการสึกหรอ ณ จุดบนของลูกสูบ ลดลงถึง 0.06 mm และเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน DEB มีการสึกหรอ ณ จุดบนของลูกสูบใกล้เคียงกับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน D โดยมีเส้นผ่านศูนย์กลางด้านบนของลูกสูบของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน DEB และ น้ำมัน D ลดลงถึง 0.02 และ 0.02 mm เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเริ่มต้นของเส้นผ่านศูนย์กลางของกระบอกสูบก่อนทำการทดสอบการสึกหรอของเครื่องยนต์ทั้งสี่เครื่องดังแสดงในตารางที่ 3.9 ขณะที่ผลการวิจัยนี้ ยืนยันว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน DEE มีการสึกหรอของลูกสูบมากที่สุดเนื่องจากมีแอลกอฮอล์ (แอนไฮดริสเอทานอล และ เอทิลอะซิเตท) ผสมในน้ำมันดีเซลจำนวนมาก ก่อให้เกิดการกักความร้อนอย่างรวดเร็วตามที่ได้อธิบายในหัวข้อที่ (2) แต่มีการสึกหรอของปลอกสูบเพียงเล็กน้อย เพราะระยะของการสึกหรออยู่ในขอบเขตของคู่มือของเครื่องยนต์นี้ ซึ่งระบุว่าค่าที่ยอมรับได้ของการสึกหรอของปลอกสูบต้องไม่เกิน 0.20 mm

4) การตรวจสอบระยะห่างปากแหวนต่างๆ ในการวิจัยนี้ ใช้ฟิลเลอร์เกจในการตรวจสอบ โดยระยะต่างๆ ของปากแหวน ได้แก่ ระยะของปากแหวนแรงอัด (บน) แหวนแรงอัด (กลาง) และแหวนน้ำมัน (ล่าง) โดยทำการตรวจสอบครั้งแรก ก่อนการทดสอบการทำงานของเครื่องยนต์ ผลลัพธ์ต่างๆ ถูกแสดงในตารางที่ 3.9 พบว่า ระยะต่างๆ ของปากแหวนแต่ละวง มีค่าเท่ากันทั้งสี่เครื่องยนต์ ต่อมา ทำการทดสอบเครื่องยนต์ในระยะเวลา 500 hr หลังจากนั้น เปิดฝาสูบ และถูกลูกสูบและแหวนลูกสูบออกมา เพื่อวัดระยะต่างๆ ของปากแหวนแต่ละวง โดยสอบเทียบกับระยะการสึกหรอของระยะห่างปากแหวนจากคู่มือเครื่องยนต์มิสซูชิ รุ่น MIT-186FG ซึ่งระบุว่าค่ามาตรฐานที่ยอมรับได้ของการสึกหรอของระยะห่างปากแหวนต้องไม่เกิน 0.15 mm

ภายหลังการทดสอบเครื่องยนต์ในระยะเวลา 500 hr พบว่า การสึกหรอของระยะห่างปากแหวนแรงอัด (บน) เป็นจุดที่มีการสึกหรอมากที่สุด เพราะรับแรงกระแทกจากการจุดระเบิดมากที่สุดโดยสอดคล้องกับงานวิจัยของ เอกพันธ์ อินทร์ปิ่น และคณะ (2557)⁸ และ Sutherasak (2017)⁴³ ผลลัพธ์ต่างๆ ถูกแสดงในตารางที่ 3.13 พบว่า เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน DEE มีการสึกหรอของระยะห่างปากแหวนแรงอัด (บน) เพิ่มขึ้นถึง 0.09 mm รองลงมา เป็นเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน DEB และ DEBi มีการสึกหรอของระยะห่างปากแหวนแรงอัด (บน) ซึ่งมีการสึกหรอเท่ากัน โดยมีค่าการสึกหรอของระยะห่างปากแหวนเพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.07 mm ส่วนเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน D มีการสึกหรอของระยะห่างแหวนแรงอัด (บน) เพิ่มขึ้น 0.06 mm ขณะที่การสึกหรอของระยะห่างปากแหวนอัด (กลาง) และแหวนน้ำมัน (ล่าง) มีค่าการสึกหรอเพิ่มขึ้นไม่เกิน 0.04 mm ซึ่งมีการสึกหรอเพียงเล็กน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเริ่มต้นก่อนการใช้งาน

ดังนั้น เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน DEE มีการสึกหรอของระยะห่างปากแหวนบนมากกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน DEB น้ำมัน DEBi และน้ำมัน D โดยสาเหตุที่การใช้น้ำมัน DEE มีการสึกหรอของระยะห่างปากแหวนบนมากกว่าน้ำมันชนิดอื่นๆ เพราะการกักความร้อนจากแอลกอฮอล์ (แอนไฮดริสเอทานอล

และ เอทิลอะซิเตท) อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบค่าการสึกหรอของระยะต่างๆ ของปากแหวนจากการใช้งานจริงในแต่ละเครื่องยนต์ เมื่อใช้น้ำมันเหล่านี้ พบว่า คู่มือของเครื่องยนต์นี้ ระบุไว้ว่า ค่าที่ยอมรับได้ของระยะห่างปากแหวนทั้งสามวงต้องไม่เกิน 0.15 mm แต่เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน DEE มีการสึกหรอของระยะห่างแหวนแรงอัด (บน) มากที่สุดโดยมีค่าเท่ากับ 0.09 mm แสดงว่า ยังมีค่าการสึกหรอไม่เกินขอบเขตค่าที่ยอมรับได้ และสามารถนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทนสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลในอนาคตได้

5) การตรวจสอบช่องว่างระหว่างแหวนกับร่องแหวนของลูกสูบในการวิจัยนี้ใช้ ฟीलเลอร์เกจ โดยทำการตรวจสอบครั้งแรก ก่อนการทดสอบการทำงานของเครื่องยนต์ ผลลัพธ์ต่างๆ ถูกแสดงในตารางที่ 3.9 พบว่า ช่องว่างระหว่างแหวนกับร่องแหวนของลูกสูบ ณ แหวนแรงอัด (บน) แหวนแรงอัด (กลาง) และแหวนน้ำมัน (ล่าง) มีค่าเท่ากันทั้งสี่เครื่องยนต์ และคู่มือเครื่องยนต์มิซูกิ รุ่น MIT-186FG ระบุว่าค่ามาตรฐานที่ยอมรับได้ของการสึกหรอของการสึกหรอของช่องว่างระหว่างแหวนกับร่องแหวนของลูกสูบต้องไม่เกิน 0.15 mm

ภายหลังการทดสอบเครื่องยนต์ในระยะเวลา 500 hr พบว่า เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน DEE มีการสึกหรอของช่องว่างระหว่างแหวนกับร่องแหวนของลูกสูบ ณ แหวนแรงอัด (บน) เพิ่มขึ้นถึง 0.06 mm รองลงมา เป็นเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน DEB และ DEBi มีการสึกหรอของช่องว่างระหว่างแหวนกับร่องแหวนของลูกสูบ ณ แหวนแรงอัด (บน) เท่ากัน โดยมีค่าการสึกหรอเพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.04 mm ส่วนเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน D มีการสึกหรอของช่องว่างระหว่างแหวนกับร่องแหวนของลูกสูบ ณ แหวนแรงอัด (บน) เพิ่มขึ้นเพียง 0.03 mm ขณะที่การสึกหรอของช่องว่างระหว่างแหวนกับร่องแหวนของลูกสูบ ณ แหวนอัด (กลาง) และแหวนน้ำมัน (ล่าง) มีค่าการสึกหรอเพิ่มขึ้นไม่เกิน 0.05 mm ซึ่งมีการสึกหรอเพียงเล็กน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเริ่มต้นก่อนการใช้งาน

ดังนั้น เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน DEE มีการสึกหรอของช่องว่างระหว่างแหวนกับร่องแหวนของลูกสูบมากกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน DEB น้ำมัน DEBi และน้ำมัน D โดยสาเหตุที่การใช้น้ำมัน DEE มีการสึกหรอของช่องว่างระหว่างแหวนกับร่องแหวนของลูกสูบมากกว่าน้ำมันชนิดอื่นๆ เพราะการกัดกร่อนจากแอลกอฮอล์ (แอนไฮไดรส์เอทานอล และ เอทิลอะซิเตท) อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบค่าการสึกหรอของช่องว่างระหว่างแหวนกับร่องแหวนของลูกสูบจากการใช้งานจริงในแต่ละเครื่องยนต์ จากการใช้น้ำมันเหล่านี้ พบว่า คู่มือของเครื่องยนต์นี้ ระบุไว้ว่า ค่าที่ยอมรับได้ของช่องว่างระหว่างแหวนกับร่องแหวนของลูกสูบทั้งสามวงต้องไม่เกิน 0.15 mm แต่เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน DEE มีช่องว่างระหว่างแหวนกับร่องแหวนของลูกสูบ ณ แหวนแรงอัด (บน) มากที่สุดโดยมีค่าเท่ากับ 0.06 mm แสดงว่า ยังมีค่าการสึกหรอไม่เกินขอบเขตค่าที่ยอมรับได้ และสามารถนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทนสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลในอนาคตได้

6) การตรวจสอบเส้นผ่านศูนย์กลางสำหรับใส่สลักลูกสูบ ณ ด้านซ้ายและด้านขวาของลูกสูบนั้น เพื่อยืนยันการหายไปของผิวสัมผัสของโลหะจากลูกสูบอันมีสาเหตุมาจากความเสียดทานและแรงกระแทกจากการจุดระเบิด เมื่อใช้น้ำมัน D น้ำมัน DEE น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงในแต่ละเครื่องยนต์ โดยใช้เครื่องมือวัดมาตรฐาน ได้แก่ เวอร์เนียคาลิเปอร์ และไมโครมิเตอร์คาลิเปอร์ เพื่อตรวจสอบผิวสัมผัสของโลหะที่หายไป โดยทำการวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทั้งสองด้านที่ใส่สลักลูกสูบภายในลูกสูบ และ

สอบเทียบผลของการตรวจสอบกับคู่มือเครื่องยนต์มิสซูกิ รุ่น MIT-186FG ซึ่งระบุว่าค่ามาตรฐานที่ยอมรับได้ต้องไม่เกิน 0.15 mm ผลลัพธ์ของการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางสำหรับใส่สลักลูกสูบทั้งสองด้าน พบว่า เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน DEE มีการสึกหรอมากที่สุด โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางสำหรับใส่สลักลูกสูบเพิ่มขึ้นถึง 0.08 mm รองลงมาเป็น เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน DEB และ DEBi มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางสำหรับใส่สลักลูกสูบเพิ่มขึ้นเท่ากัน ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.05 mm และเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน D มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางสำหรับใส่สลักลูกสูบเพิ่มขึ้นเพียง 0.03 mm เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเริ่มต้นของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางสำหรับใส่สลักลูกสูบ ทั้งสองด้านก่อนทำการทดสอบการสึกหรอของเครื่องยนต์ทั้งสี่เครื่องดังแสดงในตารางที่ 3.9 ขณะที่ผลการวิจัยนี้ยืนยันว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน DEE มีการสึกหรอของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางสำหรับใส่สลักลูกสูบทั้งสองด้านมากที่สุด เนื่องจากมีแอลกอฮอล์ (แอนไฮดริสเอทานอล และ เอทิลอะซิเตท) ผสมในน้ำมันดีเซลจำนวนมาก ก่อให้เกิดการจุดระเบิดที่รุนแรง และเกิดแรงกระแทกที่สลักลูกสูบ ตามที่ได้อธิบายในหัวข้อที่ 4.4 อย่างไรก็ตาม การสึกหรอของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางสำหรับใส่สลักลูกสูบทั้งสองด้านมีเพียงเล็กน้อย เพราะการสึกหรอที่อยู่ในขอบเขตของคู่มือเครื่องยนต์นี้ ระบุว่าค่าที่ยอมรับได้ของการสึกหรอของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางสำหรับใส่สลักลูกสูบทั้งสองด้านต้องไม่เกิน 0.15 mm แสดงว่า การใช้น้ำมัน DEE ยังมีค่าการสึกหรอไม่เกินขอบเขตค่าที่ยอมรับได้ และสามารถนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทนสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลในอนาคตได้

7) ผลการตรวจสอบเส้นผ่านศูนย์กลางของสลักลูกสูบ เมื่อใช้น้ำมัน D น้ำมัน DEE น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงในแต่ละเครื่องยนต์ โดยใช้เครื่องมือวัดมาตรฐาน ได้แก่ เวอร์เนียคาลิเปอร์ และไมโครมิเตอร์คาลิเปอร์ เพื่อตรวจสอบผิวสัมผัสของโลหะที่หายไป โดยทำการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางของสลักลูกสูบ ในแนวแกน X และแกน Y และสอบเทียบผลของการตรวจสอบกับคู่มือเครื่องยนต์มิสซูกิ รุ่น MIT-186FG ซึ่งระบุว่าค่ามาตรฐานที่ยอมรับได้ต้องไม่เกิน 0.15 mm ผลลัพธ์ของการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางสลักลูกสูบทั้งสองแกน พบว่า การใช้น้ำมัน D น้ำมัน DEE น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงในแต่ละเครื่องยนต์ ไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางสลักลูกสูบ เนื่องจากสลักลูกสูบ ทำมาจากวัสดุที่มีความแข็งแรงสูง

8) ผลการตรวจสอบเส้นผ่านศูนย์กลางก้านลูกสูบบน เมื่อใช้น้ำมัน D น้ำมัน DEE น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงในแต่ละเครื่องยนต์ โดยใช้เครื่องมือวัดมาตรฐาน ได้แก่ เวอร์เนียคาลิเปอร์ และไมโครมิเตอร์คาลิเปอร์ เพื่อตรวจสอบผิวสัมผัสของโลหะที่หายไป โดยทำการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางของสลักลูกสูบ ในแนวแกน X และแกน Y และสอบเทียบผลของการตรวจสอบกับคู่มือเครื่องยนต์มิสซูกิ รุ่น MIT-186FG ซึ่งระบุว่าค่ามาตรฐานที่ยอมรับได้ต้องไม่เกิน 0.15 mm ผลลัพธ์ของการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางก้านลูกสูบบน พบว่า เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน DEE มีการสึกหรอมากที่สุด โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางก้านลูกสูบบนเพิ่มขึ้นถึง 0.08 mm รองลงมาเป็น เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน DEB และ DEBi มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางก้านลูกสูบบนเพิ่มขึ้นเท่ากัน ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.05 mm และเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน D มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางก้านลูกสูบบนเพิ่มขึ้นเพียง 0.02 mm เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเริ่มต้นดังแสดงในตารางที่ 3.9 ขณะที่ผลการวิจัยนี้ยืนยันว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน DEE มีการสึกหรอของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางก้านลูกสูบบนทั้งสองแกนมากที่สุด เนื่องจากมีแอลกอฮอล์ (แอนไฮดริสเอทานอล และ เอทิลอะซิเตท) ผสมในน้ำมันดีเซลจำนวนมาก

ก่อให้เกิดการจุดระเบิดที่รุนแรง และเกิดแรงกระแทกที่สลักลูกสูบ ตามที่ได้อธิบายในหัวข้อที่ 4.4 อย่างไรก็ตาม การสึกหรอของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางก้านลูกสูบบนทั้งสองแกนมีเพียงเล็กน้อย เพราะมีการสึกหรอที่อยู่ในขอบเขตของคู่มือเครื่องยนต์นี้ ซึ่งแสดงว่า การใช้น้ำมัน DEE ยังมีค่าการสึกหรอไม่เกินขอบเขตค่าที่ยอมรับได้ และสามารถนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทนสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลในอนาคตได้

9) ผลการตรวจสอบเส้นผ่านศูนย์กลางก้านลูกสูบล่างที่มีแบริงเพลลาข้อเหวี่ยง เมื่อใช้น้ำมัน D น้ำมัน DEE น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงในแต่ละเครื่องยนต์ โดยใช้บอร์เกจ เป็นเครื่องมือวัดมาตรฐาน เพื่อตรวจสอบผิวสัมผัสของโลหะที่หายไป โดยทำการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางก้านลูกสูบล่างที่มีแบริงเพลลาข้อเหวี่ยงในแนวแกน X และแกน Y และสอบเทียบผลของการตรวจสอบกับคู่มือเครื่องยนต์มิซูกิ รุ่น MIT-186FG ซึ่งระบุว่าค่ามาตรฐานที่ยอมรับได้ต้องไม่เกิน 0.15 mm ผลลัพธ์ของการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางก้านลูกสูบล่างที่มีแบริงเพลลาข้อเหวี่ยง พบว่า เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน DEE มีการสึกหรอมากที่สุด โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางก้านลูกสูบล่างที่มีแบริงเพลลาข้อเหวี่ยงเพิ่มขึ้นถึง 0.07 mm รองลงมาเป็น เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน DEB และ DEBi มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางก้านลูกสูบล่างที่มีแบริงเพลลาข้อเหวี่ยงเพิ่มขึ้นเท่ากัน ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.05 mm และเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน D มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางก้านลูกสูบล่างที่มีแบริงเพลลาข้อเหวี่ยงเพิ่มขึ้นเพียง 0.03 mm เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเริ่มต้นดังแสดงในตารางที่ 3.9 ขณะที่ผลการวิจัยนี้ยืนยันว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน DEE มีการสึกหรอของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางก้านลูกสูบล่างที่มีแบริงเพลลาข้อเหวี่ยงทั้งสองแกนมากที่สุด เนื่องจากมีแอลกอฮอล์ (แอนไฮดริสเอทานอล และ เอทิลอะซิเตท) ผสมในน้ำมันดีเซลจำนวนมาก ก่อให้เกิดการจุดระเบิดที่รุนแรง และเกิดแรงกระแทกที่สลักลูกสูบ ซึ่งส่งผลลงมายังแบริงเพลลาข้อเหวี่ยง อย่างไรก็ตาม การสึกหรอของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางก้านลูกสูบล่างที่มีแบริงเพลลาข้อเหวี่ยงทั้งสองแกนมีเพียงเล็กน้อย เพราะมีการสึกหรอที่อยู่ในขอบเขตของคู่มือเครื่องยนต์นี้ ซึ่งแสดงว่า การใช้น้ำมัน DEE ยังมีค่าการสึกหรอไม่เกินขอบเขตค่าที่ยอมรับได้ และสามารถนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทนสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลในอนาคตได้

10) ผลการตรวจสอบเส้นผ่านศูนย์กลางเพลลาข้อเหวี่ยง เมื่อใช้น้ำมัน D น้ำมัน DEE น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงในแต่ละเครื่องยนต์ โดยใช้เวอร์เนียคาลิเปอร์ และ ไมโครมิเตอร์คาลิเปอร์เป็นเครื่องมือวัดมาตรฐาน เพื่อตรวจสอบผิวสัมผัสของโลหะที่หายไป โดยทำการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางเพลลาข้อเหวี่ยงในแนวแกน X และแกน Y และสอบเทียบผลของการตรวจสอบกับคู่มือเครื่องยนต์มิซูกิ รุ่น MIT-186FG ซึ่งระบุว่าค่ามาตรฐานที่ยอมรับได้ต้องไม่เกิน 0.15 mm ผลลัพธ์ของการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางเพลลาข้อเหวี่ยง พบว่า เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน DEE มีการสึกหรอมากที่สุด โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพลลาข้อเหวี่ยงลดลงถึง 0.03 mm รองลงมาเป็น เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน DEB และ DEBi มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพลลาข้อเหวี่ยงลดลงเท่ากัน ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.01 mm และเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน D มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพลลาข้อเหวี่ยงลดลงเพียง 0.01 mm เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเริ่มต้นดังแสดงในตารางที่ 3.9 ขณะที่ผลการวิจัยนี้ยืนยันว่า เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน DEE มีการสึกหรอของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพลลาข้อเหวี่ยงทั้งสองแกนมากที่สุด เนื่องจากมีแอลกอฮอล์ (แอนไฮดริสเอทานอล และ เอทิลอะซิเตท) ผสมในน้ำมันดีเซลจำนวนมาก ก่อให้เกิดการจุดระเบิดที่รุนแรง และเกิดแรงกระแทกที่สลักลูกสูบ ซึ่งส่งผลลงมายังแบริงเพลลาข้อเหวี่ยง

อย่างไรก็ตาม การสึกหรอของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพลาคอเหวี่ยงทั้งสองแกนมีเพียงเล็กน้อย เพราะมีการสึกหรอที่อยู่ในขอบเขตของคู่มือเครื่องยนต์นี้ ซึ่งแสดงว่า การใช้น้ำมัน DEE ยังมีค่าการสึกหรอไม่เกินขอบเขตค่าที่ยอมรับได้ และสามารถนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทนสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลในอนาคตได้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากผลการศึกษาการใช้ น้ำมันดีเซลผสมแอนไฮดริสเอทานอลและสารอีมีลซิไฟเออร์ต่างๆ ได้แก่ น้ำมันดีเซลผสมแอนไฮดริสเอทานอลและเอทิลอะซิเตท (DEE) น้ำมันดีเซลผสมแอนไฮดริสเอทานอลและเอีน-บิวทานอล (DEB) และน้ำมันดีเซลผสมแอนไฮดริสเอทานอลและไบโอดีเซล (DEBi) เทียบกับน้ำมันดีเซล ในระยะเวลา 500 hr โดยตรวจสอบคุณสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิง การฉีดและการสเปรย์น้ำมันเชื้อเพลิง สมรรถนะและการปล่อยสารมลพิษต่างๆ ของเครื่องยนต์ และการสึกหรอของชิ้นส่วนต่างๆ ภายในเครื่องยนต์ สามารถสรุปผลการวิจัยดังต่อไปนี้

1) คุณสมบัติทางกายภาพของน้ำมันดีเซลผสมแอนไฮดริสเอทานอลและสารอีมีลซิไฟเออร์ต่างๆ (ได้แก่ น้ำมัน DEE น้ำมัน DEB และ น้ำมัน DEBi) โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ค่าความหนืด ค่าความหนาแน่น และค่าความร้อนของเชื้อเพลิง มีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำมันดีเซล ยกเว้น อุณหภูมิจุดวาบไฟ และจุดไหลเท โดยการใช้ น้ำมัน DEE น้ำมัน DEB และ น้ำมัน DEBi มีอุณหภูมิจุดวาบไฟต่ำกว่า และอุณหภูมิจุดไหลเทสูงกว่าน้ำมันดีเซล อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานของน้ำมันดีเซลตามประกาศกรมธุรกิจพลังงาน เรื่อง การกำหนดลักษณะ อัตราสูงต่ำ และคุณภาพของน้ำมันดีเซล พ.ศ. 2556 น้ำมันทั้งสามชนิดนี้ มีคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำมันเชื้อเพลิงอยู่ในขอบเขตที่กำหนดไว้ตามมาตรฐานของน้ำมันดีเซลตามประกาศกรมธุรกิจพลังงาน พ.ศ. 2556 แต่การนำน้ำมัน DEBi ประยุกต์ใช้สำหรับเครื่องยนต์ดีเซลนั้น ควรระวังในเรื่องของความเป็นเนื้อเดียวกัน เพราะน้ำมัน DEBi มีการแยกชั้นอย่างชัดเจนของน้ำมันดีเซลและแอนไฮดริสเอทานอลภายหลังระยะเวลา 2 เดือน แต่ น้ำมัน DEE และ น้ำมัน DEB ไม่เกิดการแยกชั้นในระยะเวลา 6 เดือน และค่าความร้อนของน้ำมัน DEBi ต่ำกว่าน้ำมัน DEE และ น้ำมัน DEB

2) ความดันต่างๆ (ได้แก่ ความดันของน้ำมันเชื้อเพลิงก่อนเข้าท่อรางร่วม ความดันท่อรางร่วม ความดันที่น้ำมันแรงดันสูง และความดันของการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง) ของการฉีดน้ำมัน DEB และ น้ำมัน DEBi ต่ำกว่าความดันต่างๆ ของการฉีดน้ำมันดีเซลเพียงเล็กน้อย แต่ความดันต่างๆ ของการฉีดน้ำมัน DEE ต่ำกว่าความดันต่างๆ ของการฉีดน้ำมัน DEB น้ำมัน DEBi และน้ำมันดีเซลอย่างมาก ส่งผลให้จังหวะการเปิด-ปิดของหัวฉีดจากการใช้น้ำมัน DEE มีการเปิด-ปิดอย่างรวดเร็ว ซึ่งนำไปสู่อัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงสูงกว่าการใช้น้ำมัน DEB น้ำมัน DEBi และน้ำมันดีเซล นอกจากนี้ การวิจัยนี้ ทดสอบการฉีดน้ำมันเหล่านี้ โดยใช้ชุดจำลองการฉีด และการสเปรย์น้ำมันเชื้อเพลิงของระบบการฉีดเชื้อเพลิงแบบรางร่วม ซึ่งระบบการฉีดเชื้อเพลิงนี้ ถูกติดตั้งภายในเครื่องยนต์ดีเซลสมัยใหม่ ดังนั้น การใช้น้ำมัน DEE สำหรับเครื่องยนต์ดีเซลสมัยใหม่ อาจก่อให้เกิดความเสียหายกับระบบการฉีดเชื้อเพลิงนี้ เพราะความดันต่างๆ ของการฉีดน้ำมัน DEE ต่ำกว่าค่ามาตรฐานซึ่งถูกกำหนดโดยกล่องควบคุมประมวลผลของระบบการฉีดเชื้อเพลิงนี้

3) การสเปรย์น้ำมัน DEE น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi มีการแตกกระจายของละอองหรือหยดน้ำมัน เชื้อเพลิงมากกว่า เกิดปรากฏการณ์ของการระเหยกลายเป็นไออย่างรวดเร็วกว่า และมีมุมสเปรย์กว้างกว่า การสเปรย์น้ำมันดีเซล โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การสเปรย์น้ำมัน DEE และน้ำมัน DEB เกิดปรากฏการณ์ของการแตกเป็นละอองและการระเหยกลายเป็นไออย่างรวดเร็วกว่า และมีมุมสเปรย์กว้างกว่า การสเปรย์น้ำมัน DEBi และน้ำมันดีเซล ดังนั้น การใช้ น้ำมัน DEE และน้ำมัน DEB อาจนำไปสู่ความล่าช้าของการจุดระเบิดสั้นกว่าการใช้ น้ำมัน DEBi และน้ำมันดีเซล ขณะที่ความยาวจริงของการสเปรย์น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi มีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับความยาวจริงของการสเปรย์น้ำมันดีเซล เนื่องจากมีคุณสมบัติทางกายภาพ (โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ค่าความหนืดและความหนาแน่น) และความดันต่างๆ ของการฉีดน้ำมัน ใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตาม ความดันต่างๆ ของการฉีดน้ำมัน DEE ต่ำกว่าความดันต่างๆ ของการฉีดน้ำมัน DEB น้ำมัน DEBi และน้ำมันดีเซลอย่างมาก ส่งผลให้ความยาวจริงของการสเปรย์น้ำมัน DEE สั้นกว่าความยาวจริงของการสเปรย์น้ำมัน DEB น้ำมัน DEBi และน้ำมันดีเซล ดังนั้น ผลการทดสอบความดันต่างๆ ของการฉีดน้ำมัน DEE และผลการตรวจสอบความยาวจริงของการสเปรย์น้ำมัน DEE ในการวิจัยนี้ สามารถสรุปเบื้องต้นว่า การใช้ น้ำมัน DEE อาจก่อให้เกิดความเสียหายกับระบบการฉีดเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ดีเซลสมัยใหม่

4) การทำงานของเครื่องยนต์จากการทดสอบระยะเวลา 50 hr เมื่อใช้น้ำมัน DEE น้ำมัน DEB น้ำมัน DEBi และน้ำมันดีเซล ในแต่ละเครื่องยนต์ พบว่า อุณหภูมิไอหรืออุณหภูมิอากาศ และอุณหภูมิครีบของฝาสูบ และเสื่อสูบของเครื่องยนต์ทั้งสี่เครื่องยนต์ เมื่อใช้น้ำมันเหล่านี้ มีอุณหภูมิใกล้เคียงกัน แต่อุณหภูมิแก๊สไอเสียจากการใช้น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi สูงกว่า และการใช้น้ำมัน DEE มีอุณหภูมิแก๊สไอเสียต่ำกว่าการใช้ น้ำมันดีเซล ขณะที่การใช้น้ำมัน DEE น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi สำหรับเครื่องยนต์ดีเซลนั้น มีอัตราการไหลของน้ำมันเชื้อเพลิงสูงกว่าการใช้น้ำมันดีเซล ยิ่งไปกว่านั้น การใช้น้ำมัน DEE มีอัตราการไหลของน้ำมันเชื้อเพลิงสูงมาก ซึ่งนำไปสู่ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่มากกว่าการใช้น้ำมัน DEB น้ำมัน DEBi และน้ำมันดีเซล

5) ผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ ที่ความเร็วรอบ และภาระงานต่างๆ ระยะเวลา 150 hr เมื่อใช้น้ำมัน DEE น้ำมัน DEB น้ำมัน DEBi และน้ำมันดีเซล ในแต่ละเครื่องยนต์ สามารถสรุปได้ว่า การใช้ น้ำมัน DEB มีสมรรถนะของเครื่องยนต์สูงกว่าการใช้น้ำมันดีเซล โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ประสิทธิภาพทางความร้อนจากการใช้น้ำมัน DEB สูงกว่าการใช้น้ำมันดีเซล ขณะที่การใช้น้ำมัน DEBi และน้ำมัน DEE มีสมรรถนะของเครื่องยนต์ต่ำกว่า และมีความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงสูงกว่าการใช้น้ำมันดีเซล ในทุกความเร็วรอบและทุกภาระงานที่ทดสอบ ยิ่งไปกว่านั้น การใช้น้ำมัน DEE เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงนั้น การวิจัยนี้ แสดงให้เห็นว่า มีสมรรถนะของเครื่องยนต์ต่ำสุด และมีความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงสูงสุด เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ น้ำมัน DEB น้ำมัน DEBi และน้ำมันดีเซล

6) ผลการตรวจสอบอุณหภูมิแก๊สไอเสียและการปล่อยสารมลพิษต่างๆ ของเครื่องยนต์ดีเซล ที่ความเร็วรอบ และภาระงานต่างๆ ระยะเวลา 150 hr เมื่อใช้น้ำมัน DEE น้ำมัน DEB น้ำมัน DEBi และน้ำมันดีเซล ในแต่ละเครื่องยนต์ สามารถสรุปได้ว่า การใช้น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi มีอุณหภูมิแก๊สไอเสียและการปลดปล่อยปริมาณ CO₂ และ NO_x สูงกว่า แต่การใช้น้ำมัน DEE มีอุณหภูมิแก๊สไอเสียและการปลดปล่อยปริมาณทั้งสองต่ำกว่าการใช้น้ำมันดีเซล ขณะที่การใช้น้ำมัน DEE น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi สามารถลดการ

ปล่อยปริมาณ CO และควันดำ อย่างไรก็ตาม การคำนวณอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง และประสิทธิภาพเชิงปริมาตร แสดงให้เห็นว่า การใช้น้ำมัน DEE น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi มีอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง และประสิทธิภาพเชิงปริมาตรต่ำกว่า เพราะอัตราการไหลของอากาศที่เข้าไปในกระบอกสูบจากการใช้น้ำมันทั้งสามชนิดนี้ ถูกลดลง ขณะที่มีการตรวจสอบการปล่อยปริมาณ HC จากการใช้น้ำมันทั้งสามชนิด พบว่า การใช้ น้ำมัน DEE น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi มีการปล่อยปริมาณ HC สูงกว่าการใช้น้ำมันดีเซล ในทุกความเร็วรอบและทุกภาระงานที่ทดสอบ ซึ่งสอดคล้องกับการลดลงของอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง และประสิทธิภาพเชิงปริมาตร และการเพิ่มขึ้นของความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง ยิ่งไปกว่านั้น การวิจัยนี้ ค้นพบว่า การใช้ น้ำมัน DEE เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงนั้น มีการปล่อยปริมาณ HC สูงกว่า แต่มีการปล่อยปริมาณ CO ต่ำกว่าการใช้น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi

7) ผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซล ที่ความเร็วรอบและภาระงานคงที่ ระยะเวลา 300 hr สามารถสรุปได้ว่า กำลังไฟฟ้าที่ให้ออกมาจากการใช้น้ำมัน DEE น้ำมัน DEB น้ำมัน DEBi และน้ำมันดีเซล มีค่าใกล้เคียงกัน แต่ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจากการใช้น้ำมัน DEE น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi สูงกว่าการใช้น้ำมันดีเซล อย่างไรก็ตาม ประสิทธิภาพทางความร้อนจากการใช้น้ำมัน DEB สูงกว่าการใช้น้ำมัน DEE น้ำมัน DEBi และน้ำมันดีเซล ตลอดระยะเวลาการทดสอบ 300 hr

8) ผลการตรวจสอบการสึกหรอของชิ้นส่วนต่างๆ ภายในเครื่องยนต์ดีเซล ในระยะเวลาของการทดสอบ 500 hr แสดงให้เห็นว่า การใช้ น้ำมัน DEE เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงนั้น ส่งผลให้การสึกหรอของหัวฉีดเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว เพราะมีความดันของการฉีดน้ำมันต่ำสุด ซึ่งมาจากความล้าของสปริงกดเข็มหัวฉีดเพิ่มขึ้น ต่อมา การใช้ น้ำมัน DEE มีการกัดกร่อนบนผิวสัมผัสของฝาสูบ และหัวลูกสูบมากกว่าการใช้น้ำมัน DEB น้ำมัน DEBi และน้ำมันดีเซล เนื่องจาก DEE ใช้เอทิลอะซิเตทเป็นสารอีมีลซิไฟเออร์ ที่สำคัญ การใช้ น้ำมัน DEB มีคราบเขม่าเกาะบริเวณหัวฉีด ฝาสูบ และหัวลูกสูบน้อยกว่าการใช้น้ำมัน DEE และ DEBi โดยผลของคราบเขม่าสอดคล้องกับการปล่อยปริมาณ HC และควันดำที่ออกมาจากการใช้น้ำมัน DEE และ DEBi อย่างไรก็ตาม ผลการตรวจสอบการสึกหรอของชิ้นส่วนต่างๆ ได้แก่ ระยะเวลาของปากแหวน ช่องว่างระหว่างแหวนกับร่องแหวนของลูกสูบ และอื่นๆ แสดงให้เห็นว่า การใช้ น้ำมัน DEE น้ำมัน DEB น้ำมัน DEBi และน้ำมันดีเซล มีการสึกหรอของชิ้นส่วนต่างๆ ภายในเครื่องยนต์ดีเซลใกล้เคียงกัน และไม่เกินขอบเขตค่าที่ยอมรับโดยถูกกำหนดไว้ในคู่มือของเครื่องยนต์ดังกล่าว ดังนั้น การใช้ น้ำมัน DEE น้ำมัน DEB และน้ำมัน DEBi ไม่ส่งผลต่อการสึกหรอของชิ้นส่วนต่างๆ ภายในเครื่องยนต์ดีเซลในระยะเวลาของการทดสอบ 500 hr

สุดท้าย ผลการทดสอบทั้งหมดในวิจัยนี้ สรุปได้ว่า น้ำมัน DEB เหมาะสมกับการประยุกต์ใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนมากกว่าน้ำมัน DEBi และน้ำมัน DEE เนื่องจากการใช้น้ำมัน DEB ให้สมรรถนะของเครื่องยนต์สูงกว่า และมีการปล่อยปริมาณ HC และควันดำน้อยกว่าการใช้น้ำมัน DEE และน้ำมัน DEBi และการใช้น้ำมัน DEB มีการสึกหรอใกล้เคียงกับการใช้น้ำมันดีเซล ขณะที่การใช้น้ำมัน DEBi มีสมรรถนะของเครื่องยนต์ต่ำกว่าการใช้น้ำมันดีเซลเพียงเล็กน้อย แต่การใช้น้ำมันดังกล่าวมีการปล่อยปริมาณของ CO และควันดำน้อยกว่าการใช้น้ำมันดีเซล เมื่อเปรียบเทียบกับ การใช้ น้ำมัน DEE เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงนั้น น้ำมันชนิดนี้ ให้สมรรถนะของเครื่องยนต์ต่ำสุด มีการปล่อยปริมาณ HC สูงสุด มีการสึกหรอของหัวฉีดเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว และแสดงให้เห็น

ถึงการกัดกร่อนบนผิวสัมผัสของฝาสูบ และหัวลูกสูบมากกว่าการใช้น้ำมัน DEB น้ำมัน DEBi และน้ำมันดีเซล ซึ่งไม่เหมาะกับเครื่องยนต์ดีเซลสมัยใหม่ อย่างไรก็ตาม ข้อดีของการใช้น้ำมัน DEE นั้นคือ มีอุณหภูมิแก๊สไอเสีย และการปลดปล่อยปริมาณ CO₂, NO_x, CO และควันดำต่ำกว่าการใช้ น้ำมัน DEB น้ำมัน DEBi และน้ำมันดีเซล ดังนั้น น้ำมัน DEE เหมาะสำหรับการประยุกต์ใช้สำหรับเครื่องยนต์ดีเซลทางการเกษตร เนื่องจากเครื่องยนต์ดังกล่าวใช้ระบบฉีดเชื้อเพลิงแบบกลไก และมีความทนทานสูง

5.2 ข้อเสนอแนะ

- 1) ควรศึกษาสมรรถนะของยานยนต์จากการใช้น้ำมัน DEB น้ำมัน DEE และน้ำมัน DEBi สำหรับยานยนต์ต่างๆ ได้แก่ ยานยนต์เกษตร รถยนต์ และเรือ และศึกษาการนำไปใช้งานในระยะเวลามากกว่า 500 hr
- 2) ควรศึกษาคุณลักษณะต่างๆ ได้แก่ สมรรถนะ การเผาไหม้ การปลดปล่อยพลังงาน และการปล่อยสารมลพิษต่างๆ ของเครื่องยนต์ดีเซลสมัยใหม่ ที่ใช้กล่องควบคุมประมวลผล และระบบฉีดเชื้อเพลิงแบบรวม เมื่อใช้น้ำมัน DEB และ DEBi โดยเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล
- 3) ควรศึกษาทางด้านเศรษฐศาสตร์ ได้แก่ ราคาต้นทุน และความเหมาะสมทางด้านราคาขาย เมื่อใช้น้ำมัน DEB น้ำมัน DEE และน้ำมัน DEBi สำหรับยานยนต์ต่างๆ

รายงานสรุปการเงิน

เลขที่โครงการระบบบริหารงานวิจัย.....สัญญาเลขที่ 41/2559.(เพิ่มเติม)

โครงการวิจัยประเภทงบประมาณเงินรายได้ จากเงินอุดหนุนรัฐบาล (งบประมาณแผ่นดิน)

ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. ๒๕๕๙

มหาวิทยาลัยบูรพา

ชื่อโครงการ การศึกษาสมรรถนะ, ความปลอดภัย, และความสะดวกของเครื่องดนตรีสีเหลืองขนาดเล็กที่ใช้
น้ำมันดีเซลผสมแอมโมเนียมไนเตรตเอทานอล, และสารเติมเต็มโฟลเลอร์ต่างๆ

ชื่อหัวหน้าโครงการวิจัยผู้รับทุน ผศ. เอกชัย สุธีรศักดิ์

รายงานในช่วงตั้งแต่วันที่ ๒๗ พฤษภาคม พ.ศ. ๒๕๕๙ ถึงวันที่ สิงหาคม พ.ศ. ๒๕๖๒

ระยะเวลาดำเนินการ...๑...ปี...เดือน ตั้งแต่วันที่ ๑ ตุลาคม ๒๕๕๘ ถึงวันที่ ๓๐ กันยายน ๒๕๕๙

รายละเอียด

จำนวนเงินที่ได้รับ

งวดที่ 1 (50%) 151,525 บาท เมื่อวันที่ 27 พฤษภาคม พ.ศ. 2559

งวดที่ 2 (40%) 121,220 บาท เมื่อวันที่ 22 สิงหาคม พ.ศ. 2559

งวดที่ 3 (10%) 30,305 บาท เมื่อวันที่ สิงหาคม พ.ศ. 2562

รวม 303,050 บาท

รายละเอียด

รายการ	งบประมาณที่ตั้งไว้ (บาท)	งบประมาณที่ใช้จริง (บาท)	จำนวนเงินคงเหลือ/เกิน (บาท)
1. ค่าตอบแทน	-	-	-
2. ค่าจ้าง	72,000	72,000	-
3. ค่าวัสดุ	112,000	112,000	-
4. ค่าใช้สอย	88,745	88,745	-
5. ค่าครุภัณฑ์	-	-	-
6. ค่าใช้จ่ายอื่นๆ ได้แก่ เงิน อุดหนุนการวิจัยของมหาวิทยาลัย	30,305	30,305	-
รวม	303,050	303,050	-

(.....*เอกชัย สุธีรศักดิ์*.....)

ผศ. เอกชัย สุธีรศักดิ์

หัวหน้าโครงการวิจัยผู้รับทุน

บรรณานุกรม

1. อัญญธร อิศราชีวะ. (2548). *ผลกระทบของสาร Oxygenated Additive ในลักษณะทางอิมัลชันของการผสมน้ำมันดีเซลกับเอทานอล*. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สายวิชาเทคโนโลยีปิโตรเคมี วิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
2. อีระพนธ์ สนิทยานนท์, วิสุทธิ์ บำรุงศิลป์, และอุทิศย์ วิริยะประกอบ. (2557). *สมรรถนะของรถยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซลผสมเอทานอลและเอ็น-บิวทานอล*. ปริญญาโทหลักสูตรเทคโนโลยีบัณฑิต, กลุ่มวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมยานยนต์และชิ้นส่วน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา.
3. บุญชู มุ่งกลาง, สิทธิพงษ์ คำชูสิน, และอุทิศ พันธ์วัน. (2557). *สมรรถนะของรถยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลผสมเอทานอลและเอทิลอะซิเตท*. ปริญญาโทหลักสูตรเทคโนโลยีบัณฑิต, กลุ่มวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมยานยนต์และชิ้นส่วน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา.
4. พรหมเมศร์ ขวัญเจริญ. (2548). *การศึกษาการใช้ไบโอดีเซลเป็นสารเติมแต่งในดีเซลในในประเทศไทย*. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สายวิชาเทคโนโลยีปิโตรเคมี วิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
5. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 787-2551. (2551). *เครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กระบายความร้อนด้วยน้ำ*. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, กระทรวงอุตสาหกรรม. ISBN 978-974-292-588-8. แหล่งที่มา: <http://www.taia.or.th/home/media/file/51371501393067383.pdf> ณ วันที่ 22 มกราคม พ.ศ. 2559.
6. เอกชัย สุธีรศักดิ์ และ เจริญ ชินวานิชย์เจริญ. (2559). อัตราส่วนของเอทานอลและเอทิลอะซิเตสต่อการสเปรย์และสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซล. *วารสารวิชาการ วิศวกรรมศาสตร์ ม.อบ*, 9(1), 91-104.
7. เอกชัย สุธีรศักดิ์, เพ็ชรพงษ์ สุกใส, สราวุธ ฤทธิอร่าม, ศรัณย์ โปสาวัง, อติวิชญ์ สิริวิชัยกุล. (2558). การตรวจสอบสเปรย์เชื้อเพลิงและสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลผสมเอทานอล. *วารสารวิชาการ วิศวกรรมศาสตร์ ม.อบ*, 8(1), 1-14.
8. เอกพันธ์ อินทร์ปิ่น, กฤษณา ศรีบุตตะ, และวิทวัส ยะพะเยาว์. (2557). *การศึกษาสมรรถนะและการสึกหรอของเครื่องยนต์ดีเซลเมื่อใช้น้ำมันดีเซลผสมเอทานอล*. ปริญญาโทวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา.
9. Al-Hassan, M., Mujafet, H., & Al-Shannag, M. (2012). An experimental study on the solubility of a diesel-ethanol blend and on the performance of a diesel engine fueled with diesel-

- biodiesel-ethanol blends. *Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering*, 6(2), 147-153.
10. Banapurmath, N.R., Khandal, S.V., Ranganatha Swamy, L., & Chandrashekar, T.K. (2015). Alcohol (ethanol and diethyl ethyl ether)-diesel blended fuels for diesel engine applications-a feasible solution. *Advances in Automobile Engineering*, 4(1), 1-8.
 11. Barabás, I., & Todoruț, I.A. (2011). *Biodiesel quality, standards and properties*. InTech, Technical University of Cluj-Napoca, Romania.
 12. Chickos, J.S., Hosseini, S., & Hesse, D.G. (1995). Determination of vaporization enthalpies of simple organic molecules by correlations of changes in gas chromatographic net retention times. *Thermochimica Acta*, 249, 41-62.
 13. Corkwell, K.C., Jackson, M.M., & Daly, D.T. (2003). Review of exhaust emissions of compression ignition engines operating on E-diesel fuel blends. *SAE technical*, series no. 2003-01-3283.
 14. Desantes, J.M., Pastor, J.V., Oliver, J.M.G., & Briceño, F.J. (2014). An experimental analysis on the evolution of the transient tip penetration in reacting diesel sprays. *Combustion and Flame*, 161, 2137-2150.
 15. Dhileepan, S., Mohanraj, R., & Navin Marudhan, M. (2017). Improvement of fuel properties and emission reduction by use of oxygenated fuel with diesel on a heavy duty diesel engine. *International Journal of Recent Engineering Research and Development*, 2(4), 121-126.
 16. Dionisio, M.S., Moura Ramos J.J., & Goncalves R.M. (1990). The enthalpy and entropy of cavity formation in liquids and corresponding states principle. *Canadian Journal of Chemistry*, 68, 1937-1949.
 17. Durga Prasad, S., Venkateswara Rao, G., & Sri Rama Murthy, K. (2013). Effect of diesel-ethanol blends on performance of a diesel engine at different injection pressures. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 4(6), 1223-1231.
 18. Ganesh, R.S., Kumar, S.S., & Dinesh, S. (2010). Effect of ethanol addition on performance, emission and combustion characteristics of a diesel engine at various injection angles. *Frontiers in Automobile and Mechanical Engineering*, 27, 108-112.

19. Gnanamoorthi, V., & Devaradjane, G. (2013). Effect of diesel-ethanol blends on performance, combustion and exhaust emission of a diesel engine. *Internal Journal of Current Engineering and Technology*, 3(1), 36-42.
20. Gomasta, S., & Mahla, S.K. (2012). An experimental investigation of ethanol blended diesel fuel on engine performance and emission of a diesel engine. *International Journal on Emerging Technologies*, 3(1), 74-79.
21. Gonçalves de Azevedo, C., Carlos de Andrade, J., & Fernando de Souza. C. (2013). Experimental valuation diagnostics of hydrous ethanol sprays formed by a blurry injector. *Journal of Aerospace Technology and Management*, 5(2), 197-204.
22. Hansen, A.C., Zhang, Q., & Lyne, P.W.L. (2005). Ethanol-diesel fuel blends-a review. *Bioresource Technology*, 96, 277-285.
23. Heywood, J.B. (1988). *Internal Combustion Engine Fundamental*. McGraw -Hill, New York.
24. Huang, J., Wang, Y., Li, S., Roskilly, A. P., Yu, H., & Li, H. (2009). Experimental investigation on the performance and emissions of a diesel engine fuelled with ethanol-diesel blends. *Applied Thermal Engineering*, 29, 2484-2490.
25. Joshi, S.R., & Watt, K.M. (2015). A review on performance of a diesel engine fuelled with ethanol-diesel emulsions. *International Journal of Modern Engineering Research*, 5(4), 17-21.
26. Kumar, C., Athawe, M., Aghav, Y.V., Babu, M.K.G., & Das, L.M. (2007). Effects of ethanol addition on performance, emission and combustion of DI diesel engine running at different injection pressures. *SAE Technical Paper*, 1, 626-638.
27. Kumar, S., Cho, J.H., Park, J., & Moon, I. (2013). Advances in diesel-alcohol blends and their effects on the performance and emissions of diesel engines. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 22, 46-72.
28. Labeckas, G., Slavinskas, S., Lus, T., Klyus, O., & Mažeika, M. (2013). Combustion and performance parameters of a diesel engine operating on ethanol-diesel fuel blends. *Scientific Journals*, 36(108), 102-109.

29. Labeckas, G., Slavinskas, S., & Mazeika, M. (2014). The effect of ethanol–diesel–biodiesel blends on combustion, performance and emissions of a direct injection diesel engine, *Energy Conversion and Management*, 79, 698-720.
30. Liu, S., Zhu, Z., Zhang, Z., Gao, G., & Wei, Y. (2010). Effect of a cetane number (CN) improver on combustion and emission characteristics of a compression-ignition (CI) engine fueled with an ethanol–diesel blend. *Energy and Fuel*, 24, 2449-2454.
31. Martyr, A.J., & Plint, M.A. (2007). *Engine testing theory and practice*. Butterworth-Heinemann, Jordan Hill, Oxford.
32. Park, S.H., Youn, I.M., & Lee, C.S. (2011). 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*, 90, 748-755.
33. Park, S.H., Cha, J., Kim, H.J., & Lee, C.S. (2012). Effect of early injection strategy on spray atomization and emission reduction characteristics in bioethanol blended diesel fueled engine. *Energy*, 39, 375-387.
34. Parthasarathi, R., Gowri, S., & Saravanan, C.G. (2014). Effects of ethanol-diesel emulsions on the performance, combustion and emission characteristics of di diesel engine. *American Journal of Applied Sciences*, 11(4), 592-600.
35. Parthasarathy, M., Muhilan, P., Isaac Joshua Ramesh Lalvani, J., Dhinesh, B., & Annamalai, K. (2016). Influence of ethanol blending on ci engine performance and exhaust emissions operated with mangoseed oil methyl ester. *Journal of chemical and pharmaceutical sciences*, 7, 326-330.
36. Putrasari, Y., Nur, A., & Muharam, A. (2012). Performance and emission characteristic on a two cylinder DI diesel engine fuelled with ethanol-diesel blends. *Energy Procedia*, 32, 21-30.
37. Rajesh, S., Kulkarni, B.M., Kumarappa, S., & Shanmukhappa, S. (2014). Investigations on fuel properties of ternary mixture of ethanol, bio diesel from acid oil and petroleum diesel to evaluate alternate fuel for diesel engine. *IMPACT: International Journal of Research in Engineering & Technology*, 2(6), 181-188.

38. Rakopoulos, D.C., Rakopoulos, C.D., Giakoumis, E.G., Dimaratos, A.M., & Kyritsis, D.C. (2010). Effects of butanol–diesel fuel blends on the performance and emissions of a high-speed DI diesel engine. *Energy Conversion and Management*, 51, 1989–1997.
39. Rakopoulos, D.C., Rakopoulos, C.D., Giakoumis, E.G., & Kyritsis, D.C. (2011). The combustion of n-butanol/diesel fuel blends and its cyclic variability in a direct injection diesel engine. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power and Energy*, 225(3), 289-308.
40. Shadidi, B., Yusaf, T., Agha Alizadeh, H.H., & Ghobadian, B. (2014). Experimental investigation of the tractor engine performance using diesohol fuel. *Applied Energy*, 114, 874–879.
41. Suntikunaporn, M., Echaroj, S., & Asavatesanupap, C. (2016). Investigation of the DI diesel engine performance using ethanol-diesel fuel blends. *3rd International Conference on Chemical and Biological Sciences*, 23rd to 25th March 2016 Amsterdam, Netherlands.
42. Supasitmongkol, S., Suwannakij, K., Baitiang, T., & Tongroon, M. (2013). The effects of ethanol-diesel-biodiesel blends on fuel properties, *Key Engineering Materials*, 2013.
43. Sutheerasak, E. (2017). Investigation on the performance, emissions and wear of a small diesel engine using 10% anhydrous ethanol-diesel blends. *UBU Engineering Journal*, 10(1), 70-84.

ประวัตินักวิจัย

ชื่อ-นามสกุล: นายเอกชัย สุธีรศักดิ์
 ตำแหน่งทางวิชาการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์
 หน่วยงานสังกัด ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
 ประวัติการทำงาน อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล และ
 นักวิจัยทางด้านเชื้อเพลิงทดแทน การเผาไหม้ และเครื่องยนต์สันดาปภายใน
 คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

ความเชี่ยวชาญ

1. สมรรถนะและการปล่อยสารมลพิษต่างๆ ของเครื่องยนต์สันดาปภายใน
2. วิศวกรรมยานยนต์
3. การถ่ายเทความร้อน
4. การเผาไหม้ภายในระบบแก๊สซิฟิเคชัน
5. เชื้อเพลิงทดแทนต่างๆ ได้แก่ ไบโอดีเซล, แก๊สชีวภาพจากเชื้อเพลิงแข็ง และ
เอทานอล