



การใช้เอทานอลเป็นเชื้อเพลิงในระบบหัวฉีดเข้าท่อร่วมไอดีในเครื่องยนต์ รถจักรยานยนต์สูบเดียว

Ethanol on Port Fuel Injection Engine in Motorcycle Engine

ธนวัฒน์ ศรีรักษา^{1*}, วิทยา วงษ์กลาง², ศุภกิจ เอียดตรง³, ประธาน ศรีชัย⁴
Tanawat Srirugs^{1*}, Wittaya Wongklang², Suppakit Eiadtrong³, Prathan Srichai⁴

(Received: May 17, 2021; Revised: June 29, 2021; Accepted: July 20, 2021)

บทคัดย่อ

การศึกษาการนำเอทานอลมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์หัวฉีดสูบเดียว 4 จังหวะของ จักรยานยนต์แก๊สโซลีนขนาดปริมาตรกระบอกสูบ 125 ซีซี โดยใช้เชื้อเพลิงเอทานอลผสมกับแก๊สโซลีนที่อัตราส่วน 10% และ 85% โดยปริมาตร และเอทานอล 99.5% ทดสอบทั้งหมด 4 สภาวะ คือ E10, E85, E100 และ E100C มีการเพิ่มกำลังอัดของเครื่องยนต์ในสภาวะ E100C ผลการทดลอง พบว่า กำลังงานของเครื่องยนต์แปรผันตามสัดส่วนของเอทานอลที่เพิ่มสูงขึ้นโดย E100C มีกำลังสูงกว่า E10 ประมาณ 12.18% อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกที่เชื้อเพลิง E85, E100 และ E100C มีค่าเฉลี่ยสูงกว่า E10 ประมาณ 18.26%, 33.34 และ 27.45% ตามลำดับ อัตราสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเบรกที่ สภาวะ E85, E100 และ E100C มีค่าเฉลี่ยน้อยกว่า E10 ประมาณ 13.43%, 11.00% และ 14.93% ตามลำดับ มลพิษจากรถจักรยานยนต์ที่สภาวะของเชื้อเพลิง E85, E100 และ E100C มีค่า CO เฉลี่ยน้อยกว่า E10 ประมาณ 21.14, 29.53 และ 10.67% ตามลำดับ และ NO_x มีค่าเฉลี่ยน้อยกว่า E10 ประมาณ 29.22%, 51.28% และ 51.16% ตามลำดับ ในส่วนของ HC ที่สภาวะ E85 กับ E100C มีค่าเฉลี่ยน้อยกว่า E10 ประมาณ 22.78% และ 32.44% ตามลำดับ แต่ที่สภาวะ E100 มีค่าเฉลี่ยมากกว่า E10 ประมาณ 9.11%

¹คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ

¹Faculty of Engineering, Thaksin University

²คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

²Faculty of Industrial Technology, Nakhon Si Thammarat Rajabhat University

³สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์

³School of Engineering and Technology, Walailuk University

⁴คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์

⁴Faculty of Engineering, Princess of Naradhiwas University

*Corresponding Author: noom_amet@hotmail.com, tanawat.s@tsu.ac.th



และอุณหภูมิไอเสียที่สภาวะ E85, E100 และ E100C มีค่าเฉลี่ยต่ำกว่า E10 ประมาณ 5.97%, 3.40% และ 5.09% ตามลำดับ

คำสำคัญ: เอทานอล เชื้อเพลิงทดแทน เครื่องยนต์เผาไหม้ภายใน เครื่องยนต์แก๊สโซลีน

Abstract

A study of pure ethanol (99.5%) was used as fuel in a 4-stroke single-cylinder on port fuel injection engine of displacement volume 125 cc. Ethanol blended with gasoline at a ratio (v/v %) of 10%, 85%, and pure ethanol tested in 4 conditions was conducted in experimental conditions, E10, E85, E100, and E100C. However, the compression ratio of the combustion chamber was increased only in E100C condition. It was found that the engine power was proportional with the increased ethanol blending ratio; the E100C condition had higher power than E10 approximately 12.18%. The brake-specific fuel consumption (BSFC) of E85, E100, and E100C conditions were higher than E10 approximately 18.26%, 33.34%, and 27.45%, respectively. The brake-specific energy consumption (BSEC) at E85, E100, and E100C conditions were less than E10 approximately 13.43%, 11.00%, and 14.93%, respectively. The exhaust emissions of E85, E100, and E100C conditions had less carbon dioxide (CO) than E10 about 21.14%, 29.53%, and 10.67%, respectively, and had nitrogen oxide (NO_x) lower than E10 about 29.22%, 51.28, and 51.16%, respectively. The unburned hydrocarbon (HC) at E85 and E100C were less than E10 about 22.78% and 32.44% but the E100 condition was higher than E10 about 9.11%. Finally, the exhaust temperature at E85, E100, and E100C conditions was less than E10 approximately 5.97%, 3.40%, and 5.09%, respectively.

Keywords: Ethanol, Alternative fuel, Internal combustion engine (ICE), Gasoline engine

บทนำ

แหล่งพลังงานหลักของประเทศไทยในปัจจุบันมาจากเชื้อเพลิงฟอสซิล (Fossil fuel) ประมาณ 90.61% ส่วนที่เหลือเป็นพลังงานทดแทน ซึ่งในอนาคตมีแนวโน้มจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เนื่องจากน้ำมันดิบมีปริมาณลดลง รวมทั้งเกิดปัญหาด้านราคาและมลภาวะที่เพิ่มสูงขึ้น ปัจจุบันแต่ละประเทศได้ให้ความสำคัญกับการศึกษาเรื่องพลังงานทดแทนและเริ่มใช้พลังงานทดแทนมากขึ้น ซึ่งพลังงานทดแทนที่มีศักยภาพในการนำมาใช้เชิงพาณิชย์ส่วนมากมาจากพืช โดยเฉพาะปาล์มน้ำมันและอ้อย จึงเป็นโอกาส



ดีที่ประเทศไทยจะพัฒนาพลังงานทดแทนจากพืชเหล่านี้ เนื่องจากเป็นภูมิประเทศที่เหมาะสมกับการปลูกปาล์มน้ำมันและอ้อย สอดคล้องกับอาชีพหลักของประชากรในประเทศที่ประกอบอาชีพทางเกษตรกรรม ทำให้มีวัตถุดิบเพียงพอที่จะนำมาแปรรูปเป็นพลังงานทดแทนได้ โดยเฉพาะของเสียจากกระบวนการแปรรูปสินค้าทางการเกษตร เช่น น้ำเสียจากโรงงานผลิตน้ำมันปาล์มสามารถนำมาผลิตไบโอแก๊ส หรือกากน้ำตาลจากโรงงานผลิตน้ำตาลทรายสามารถนำมาผลิตเอทานอลได้ (Department of Alternative Energy Development and Efficiency, 2011) ในส่วนของเอทานอลนั้น รัฐบาลมีนโยบายส่งเสริมให้นำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟมากขึ้น เนื่องจากการเพิ่มมูลค่าของเสียจากกระบวนการแปรรูปสินค้าเกษตร เป็นการเพิ่มรายได้ให้กับเกษตรกรได้อีกทางหนึ่ง และยังเป็นการเพิ่มความมั่นคงทางด้านพลังงานของประเทศอีกด้วย (Department of Alternative Energy Development and Efficiency, 2020) ในปี 2562 ประเทศไทยมีกำลังการผลิตเอทานอลประมาณ 1,450 ล้านลิตร นำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงภายในประเทศโดยนำไปผสมกับน้ำมันแก๊สโซลีนเรียกว่าแก๊สโซฮอล์ มีอัตราส่วนโดยปริมาตรของเอทานอลต่อแก๊สโซลีน 10%, 20% และ 85% หรือเรียกทางการค้าว่า E10, E20 และ E85 ตามลำดับ ซึ่งแก๊สโซฮอล์แต่ละชนิดมีสัดส่วนยอดขาย 75.0%, 20.8% และ 4.2% ตามลำดับ (Department of Energy Business, 2019) จากยอดขายรวมในกลุ่มเชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์ทั้งหมดประมาณ 11,400 ล้านลิตรต่อปี (Tunpaiboon, 2019) จะเห็นได้ว่ายอดขายของ E85 ก่อนข้างต่ำและมีแนวโน้มลดลงทุกปี เนื่องจากเครื่องยนต์แก๊สโซลีนของยานยนต์ในปัจจุบันไม่ได้ออกแบบให้ใช้เชื้อเพลิงที่มีส่วนผสมของเอทานอลในสัดส่วนที่สูงได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ ทำให้ผู้บริโภคที่ลองใช้แล้วอาจไม่เห็นความแตกต่างในเชิงบวกที่ชัดเจน แต่หากมีการปรับปรุงเครื่องยนต์ให้เหมาะสมกับคุณสมบัติของเอทานอลที่มีสัดส่วนสูงได้อย่างมีประสิทธิภาพเป็นแรงจูงใจหนึ่งที่ทำให้ผู้บริโภคหันมาใช้เอทานอลเพิ่มมากขึ้น

จากคุณสมบัติของเอทานอลสามารถนำมาผสมกับเชื้อเพลิงแก๊สโซลีนในสัดส่วนต่าง ๆ เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยหัวเทียนส่งผลให้กำลังของเครื่องยนต์จะเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนของเอทานอลที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากเอทานอลมีส่วนผสมของออกซิเจนและความร้อนแฝงระเหยกลายเป็นไอที่สูงทำให้อุณหภูมิของไอลดลง เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพเชิงปริมาตรของเครื่องยนต์ได้ (Mourad & Mahmoud, 2019) แต่จะต้องมีการปรับแต่งปริมาณการจ่ายเชื้อเพลิงให้เหมาะสมเพื่อให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์และมลพิษต่ำ (Iodice, Langella, & Amoresano, 2018) คุณสมบัติอีกอย่างหนึ่งที่สำคัญของเอทานอลคือการระเหยตัวที่ง่าย ทำให้การสตาร์ทเครื่องยนต์ในขณะอุณหภูมิต่ำทำได้ยากขึ้นด้วยเช่นกัน แต่จากค่าออกเทนที่สูงของเอทานอลที่สามารถต้านทานการชิงจุดระเบิดได้ดีกว่าเชื้อเพลิงแก๊สโซลีน ดังนั้นเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงเอทานอลสามารถเพิ่มกำลังอัดได้โดยไม่ก่อให้เกิดปัญหาการ



จึงจุกระบิดและยังทำให้เครื่องยนต์สตาร์ทในขณะที่เครื่องยนต์เย็นได้ง่ายขึ้น เนื่องจากกำลังอัดที่สูงขึ้น ส่งผลให้ความร้อนเริ่มต้นของห้องเผาไหม้สูงขึ้นทำให้เกิดจุกระบิดและการเผาไหม้ที่ดีขึ้น (Cheng et al., 2020)

ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงสนใจศึกษากำลังของเครื่องยนต์ อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง มลพิษ และ อุณหภูมิของไอเสียของเครื่องยนต์รถจักรยานยนต์สูบเดียวที่ใช้เชื้อเพลิงที่มีส่วนผสมของเอทานอล (E10 และ E85) และเอทานอล 99.5% (E100) และเพิ่มกำลังของเครื่องยนต์เพื่อให้เหมาะสมกับคุณสมบัติของ E100 นำผลที่ได้ทั้งหมดวิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการใช้เชื้อเพลิงแก๊สโซลีนผสมเอทานอล E10, E85 และ E100 ใช้ในเครื่องยนต์ จักรยานยนต์แก๊สโซลีนสูบเดียว 4 จังหวะ วัดกำลังของเครื่องยนต์ อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง มลพิษ และ อุณหภูมิไอเสียเปรียบเทียบกับระหว่างดัดแปลงและไม่ดัดแปลงเครื่องยนต์
2. เพื่อปรับแต่งกำลังอัดของเครื่องยนต์แก๊สโซลีนสูบเดียว 4 จังหวะให้เหมาะสมกับคุณสมบัติของ เอทานอล (E100C)

วิธีการวิจัย

งานวิจัยนี้ ผู้วิจัยมีวิธีการวิจัยประกอบด้วย เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล และวิธีการวิเคราะห์ข้อมูล โดยมีรายละเอียด ดังนี้

1. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1.1 เครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดสอบ

งานวิจัยนี้เลือกเครื่องยนต์แก๊สโซลีนสูบเดียว 4 จังหวะ โดยอ้างอิงจากยอดขายยานพาหนะที่ นิยมใช้ในประเทศไทยปี 2562 พบว่ารถจักรยานยนต์มียอดขายสูงสุด คือ ยี่ห้อ Honda (Department of Land Transport Planning Division Transport Statistics Group, 2020) ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้ เครื่องยนต์ของยี่ห้อ Honda รุ่น Wave 125i โดยแสดงรายละเอียดของเครื่องยนต์ไว้ในตารางที่ 1 ประกอบด้วยเครื่องยนต์เดิมมีกำลังอัด 9.3:1 (ทดสอบในสภาวะ E10, E85 และ E100) และเครื่องยนต์ที่ ได้เพิ่มกำลังอัดเป็น 12:1 เพื่อให้เหมาะสมกับคุณสมบัติของเอทานอล (ทดสอบในสภาวะ E100C) ในการ ปรับแต่งเพิ่มกำลังอัดของเครื่องยนต์ทำโดยปาดฝาสูบออกไป 0.5 มิลลิเมตรเพื่อลดปริมาตรของห้องเผา ไหม้และตรวจสอบกำลังอัดโดยใช้เครื่องวัดกำลังของเครื่องยนต์ให้ค่าอยู่ประมาณ 210-245 PSI ถึงจะ ได้กำลังอัดของเครื่องยนต์เป็น 12:1 หากมีค่าที่สูงหรือต่ำไปให้ทำการปรับความหนาของประเก็นฝาสูบ



ตารางที่ 1 ข้อมูลทางเทคนิคของเครื่องยนต์สูบเดียว 4 จังหวะ

รายการ	รายละเอียด
ยี่ห้อ/รุ่น	Honda/Wave 125i
เครื่องยนต์	สูบเดียว 4 จังหวะ โอเวอร์เฮดแคมชาร์ฟ ระบายความร้อนด้วยอากาศ
ปริมาตรกระบอกสูบ	124.9 cm ³
อัตราส่วนกำลังอัด (จากโรงงาน/เพิ่มกำลังอัด)	9.3:1 / 12:1
ขนาดลูกสูบ×ช่วงชัก	52.4×57.9 mm

1.2 เชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดสอบ

เชื้อเพลิงที่ใช้ในงานวิจัยนี้มี 3 ชนิด คือ E10, E85 และ E100 คุณสมบัติของเชื้อเพลิงเหล่านี้แสดงในตารางที่ 2 (Cincu, Fara, Racoutiza, & Lobont, 2010; Meearsa, Churnwisoot, & Wongkawee, 2018; Thummadetsak, Tipdecho, Wongjareonpanit, & Monnum, 2010) จะเห็นได้ว่าค่าความร้อนทั้งหมดของเชื้อเพลิง (Gross heating value) และอัตราส่วนผสมสมมูลระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศ (Stoichiometric Air/Fuel ratio) ของ E10 มีค่าสูงที่สุดรองลงมาคือ E85 และ E100 ตามลำดับ ดังนั้นการใช้งานเชื้อเพลิง E85 ขึ้นไป ต้องมีการปรับแต่งอัตราส่วนผสมของเชื้อเพลิงให้เหมาะสมกับอากาศเพื่อให้เครื่องยนต์มีประสิทธิภาพสูงสุดและมีมลพิษต่ำ จากตารางแสดงถึงค่าออกเทนของ E100 มีค่าสูงที่สุดรองลงมาคือ E85 และ E10 ตามลำดับ เนื่องจากคุณสมบัติของ E100 ที่มีออกเทนจากการวิจัย (Research Octane Number; RON) สูงกว่าแก๊สโซลีนทำให้สามารถเพิ่มกำลังอัดของเครื่องยนต์ได้โดยไม่เกิดการชิงจุดระเบิด (Pulkrabek, 2003)

ตารางที่ 2 คุณสมบัติของเชื้อเพลิง

คุณสมบัติ	E10	E85	E100
RON	96.0	101.6	107.0
Gross heating value (J/g)	44,417	31,860	26,900
Heat of vaporization (kJ/kg)	~250.0	820.0	840.0
Density (kg/cm ³) at 20 °C	748.0	766.0	789.0
Stoichiometric A/F ratio	14.0	9.8	9.0
Boiling Point Temperature at 20 °C	25.0–215.0	N/A	78.4

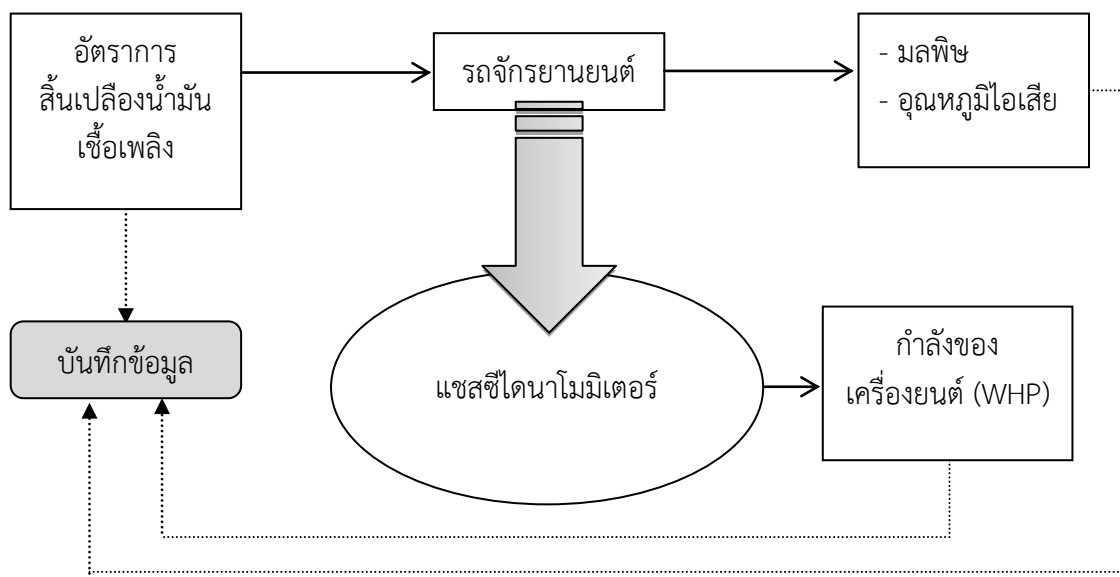


1.3 กล้องควบคุมระบบจ่ายเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดสอบ

จากคุณสมบัติของ E85 และ E100 ต้องมีการปรับแต่งอัตราการฉีดเชื้อเพลิงใหม่เพื่อให้ได้อัตราส่วนผสมระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศที่เหมาะสม งานวิจัยนี้เลือกใช้กล้องควบคุมการจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงยี่ห้อ Link รุ่น MONSOON สามารถรองรับเซ็นเซอร์ที่ใช้ในเครื่องยนต์ Honda รุ่น Wave 125i ได้และปรับแต่งการจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงในแต่ละสภาวะการทดสอบตามข้อมูลส่วนกลับของเชื้อเพลิงกับอากาศ (λ) ของเครื่องยนต์เดิมที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิง E10 ซึ่งเป็นค่าที่โรงงานผู้ผลิตได้ปรับตั้งไว้ซึ่งในแต่ละรอบของเครื่องยนต์จะมีค่า λ ไม่เท่ากัน วัดโดยใช้เครื่องมือวัดยี่ห้อ INNOVATE รุ่น LM-1 Digital Air/Fuel Ratio Meter เพื่อเก็บไว้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการปรับแต่งเครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดสอบในสภาวะ E85, E100 และ E100C ต่อไป

1.4 ฟังก์ชันทดสอบการใช้แก๊สโซลีนในเครื่องยนต์หัวฉีด

การทดสอบนี้รถจักรยานยนต์ผ่านการใช้งานมาแล้วประมาณ 10,000 กิโลเมตร ก่อนทำการทดสอบทำการตรวจสอบค่าต่าง ๆ ให้เป็นไปตามมาตรฐานผู้ผลิต เช่น กำลังอัด ระยะห่างวาล์วไอดี วาล์วไอเสีย และเปลี่ยนน้ำมันเครื่องใหม่ก่อนทำการทดสอบในทุกสภาวะ หลังจากนั้นนำรถจักรยานยนต์ติดตั้งบนแชสซีไดนาโมมิเตอร์และทำการทดสอบโดยบันทึกกำลังของเครื่องยนต์ที่ล้อ (Wheel horse power; WHP) อัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง มลพิษ และอุณหภูมิไอเสีย นำข้อมูลต่าง ๆ ที่ได้นำมาสรุปและวิเคราะห์ผลการทดลองดังไดอะแกรมที่แสดงในภาพที่ 1



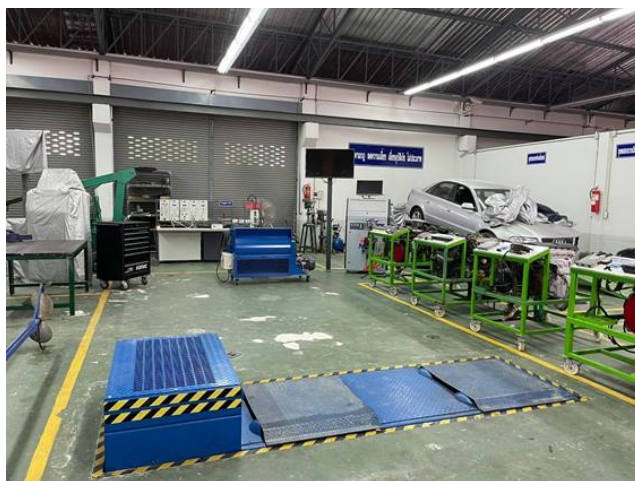
ภาพที่ 1 ฟังก์ชันทดสอบการใช้เอทานอลในรถจักรยานยนต์



2. วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล

2.1 ทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์

การทดสอบในงานวิจัยนี้มีทั้งหมด 4 สภาวะ ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงทั้งหมด 3 ชนิด คือ E10, E85, และ E100 ใช้ทดสอบในเครื่องยนต์เดิม (กำลังอัด 9.3:1) จากโรงงานผู้ผลิตรวมทั้งหมด 3 สภาวะ ส่วนเครื่องยนต์ที่มีปรับแต่งกำลังอัดให้สูงขึ้น (12:1) ใช้เฉพาะเชื้อเพลิงเอทานอลเป็นอีกหนึ่งสภาวะในที่นี้ ใช้สัญลักษณ์เป็น E100C ในการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์นำรถจักรยานยนต์ไปติดตั้งบนแชสซีไดนาโมมิเตอร์ Maha รุ่น LPS 3000 (Measurement accuracy $\pm 2\%$) ที่สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยราชภัฏวราชนครินทร์แสดงในภาพที่ 2 ซึ่งทั้ง 4 สภาวะในการทดลองใช้เกียร์ 4 ที่ตำแหน่งลิ้นปีกผีเสื้อเปิดสุด (Full throttle) เก็บข้อมูลต่าง ๆ ที่รอบเครื่องยนต์ 1,000 รอบ ตั้งแต่ 3,000–8,000 รอบ/นาที



ภาพที่ 2 แชสซีไดนาโมมิเตอร์ยี่ห้อ Maha รุ่น LPS 3000 ที่สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยราชภัฏวราชนครินทร์

2.2. บันทึกผลการทดลอง

2.2.1 กำลังของเครื่องยนต์วัดที่ล้อ (Wheel horse power; WHP)

2.2.2 อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงวัดโดยใช้ดาชังคิจิตอลย์หือ OEM รุ่น APTP457A (Measurement accuracy $\pm 0.1g$) นำผลที่ได้ไปคำนวณหาอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (BSFC) และอัตราสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเบรก (BSEC)

2.2.3 มลพิษใช้เครื่องมือวัดยี่ห้อ Maha รุ่น Met 6.1 รอนค่าต่าง ๆ ลงที่ก่อนจะบันทึกผลโดยมลพิษที่ออกจากเครื่องยนต์ที่วัด ได้แก่ คาร์บอนไดมอนอกไซด์ (CO) ไฮโดรคาร์บอน (HC) และไนโตรเจนไดออกไซด์ NO_x ซึ่งมีค่า Measurement accuracy $\pm 0.001\%$, $\pm 0.1pm$, และ $\pm 1pm$ ตามลำดับ



2.2.4 อุณหภูมิไอเสียใช้เครื่องมือวัดยี่ห้อ Digicon รุ่น DM-890 ใช้เซ็นเซอร์ชนิด Type K (Measurement accuracy $\pm 2.5^{\circ}\text{C}$) ติดตั้งบริเวณทางออกไอเสียรอจนอุณหภูมิคงที่ก่อนบันทึกผล

3. วิธีการวิเคราะห์ข้อมูล

จากข้อมูลการทดลองในงานวิจัยนี้ในแต่ละสภาวะการทดลองจะมีการทำซ้ำจำนวน 10 ครั้ง ซึ่งในแต่ละครั้งมีการเก็บข้อมูลของกำลังเครื่องยนต์ อัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง มลพิษ และอุณหภูมิไอเสีย นำข้อมูลมาวิเคราะห์ทางสถิติก่อนนำผลออกมาเป็นค่าเฉลี่ยเพื่อรายงานผลในส่วนของการอภิปรายผลการทดลอง

ผลการวิจัย

จากการทดลองในงานวิจัยนี้สามารถนำเสนอผลการวิจัยได้ ดังนี้

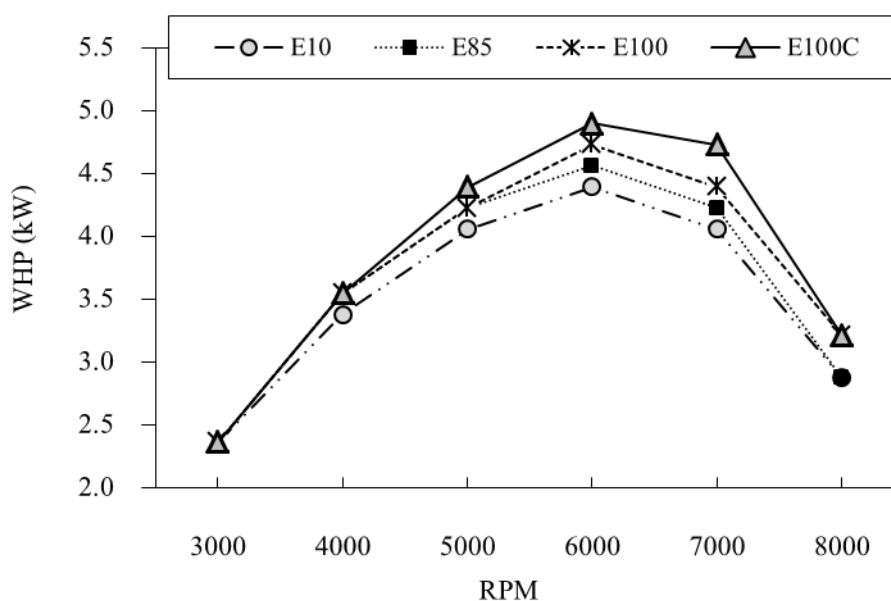
ส่วนแรกกล่าวถึงกำลังของเครื่องยนต์ที่ทดสอบด้วยแชสซีไดนาโมมิเตอร์ การคำนวณประเมินอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (BSFC) และอัตราสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเบรก (BSEC) จากข้อมูลของการการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงกับกำลังงานที่ได้จากรยานยนต์ (Pulkrabek, 2003) และอุณหภูมิไอเสีย โดยมีรายละเอียดดังนี้

กำลังของเครื่องยนต์ (WHP)

ผลการทดสอบสมรรถนะกำลังงานของรถจักรยานยนต์ (Wheel horse power, WHP) ดังแสดงในภาพที่ 3 กำลังงานของเครื่องยนต์ที่รอบ 3,000–8,000 รอบต่อนาที ทั้ง 4 สภาวะการทดสอบ คือ E10, E85, E100 และ E100C (เพิ่มกำลังอัดเป็น 12:1) ในทุกสภาวะกำลังของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนมีกำลังสูงสุดที่ 6,000 รอบต่อนาที หลังจากนั้นกำลังของเครื่องยนต์จะลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากที่รอบเครื่องยนต์สูงมีความเสียดทานของเครื่องยนต์และประสิทธิภาพของอากาศที่เข้าเครื่องยนต์ลดลง เมื่อพิจารณาที่ 3,000 รอบต่อนาที กำลังของเครื่องยนต์ในทุกสภาวะมีค่าใกล้เคียงกัน ที่รอบ 4,000–7,000 รอบต่อนาที เครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงที่มีสัดส่วนของเอทานอลสูงจะเริ่มมีกำลังที่มากกว่าโดยเฉพาะที่ 6,000–7,000 รอบต่อนาที ที่กำลังอัดเดิมจากโรงงาน (9.3:1) พบว่าที่ 3,000 และ 4,000 รอบต่อนาที กำลังของเครื่องยนต์ใกล้เคียงกันแต่ที่ 5,000 และ 7,000 รอบต่อนาที กำลังของเครื่องยนต์ในสภาวะ E85 และ E100 มีกำลังของเครื่องยนต์สูงกว่าสภาวะ E10 ประมาณ 4.06% และ 6.73% ตามลำดับ ในส่วนเครื่องยนต์ที่มีการเพิ่มกำลังอัดในสภาวะ E100C พบว่ากำลังของเครื่องยนต์สูงกว่าสภาวะ E10 ประมาณ 12.18% ในทุกสภาวะการทดลอง เห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มอัตราส่วนของเอทานอลกำลังของเครื่องยนต์จะสูงขึ้นเนื่องจากคุณสมบัติของเอทานอลที่มีส่วนผสมของออกซิเจนในตัวเชื้อเพลิง ค่าความร้อนแฝงระเหยกลายเป็นไอ (Heat of vaporization) ที่สูงทำให้ประสิทธิภาพเชิงปริมาตรสูงขึ้น และความเร็วใน



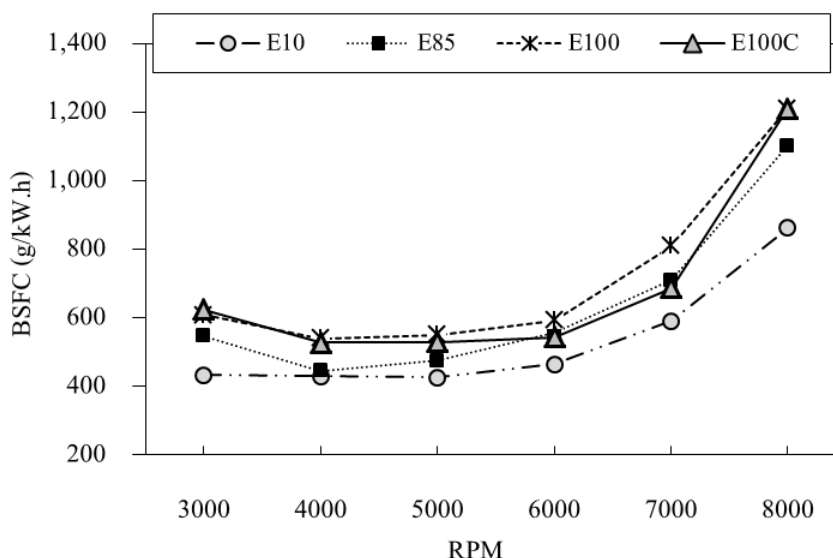
การเผาไหม้ของเอทานอลที่สูงกว่าแก๊สโซลีนทำให้เครื่องยนต์เปลี่ยนพลังงานความร้อนเป็นพลังงานกลได้สูงกว่าแก๊สโซลีน จากเหตุผลเหล่านี้ทำให้เครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงที่มีเอทานอลจึงมีกำลังของเครื่องยนต์ที่สูงกว่าแก๊สโซลีน ในส่วนของสถานะที่เพิ่มกำลังอัดเครื่องยนต์สามารถใช้งานได้อย่างต่อเนื่องไม่เกิดการชิงจุดระเบิดเนื่องจากค่าออกเทน (RON) ที่สูงของเอทานอลสามารถต้านทานการชิงจุดระเบิดได้เป็นอย่างดี (Pulkrabek, 2003)



ภาพที่ 3 กำลังของเครื่องยนต์วัดจากล้อ (WHP)

อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (BSFC)

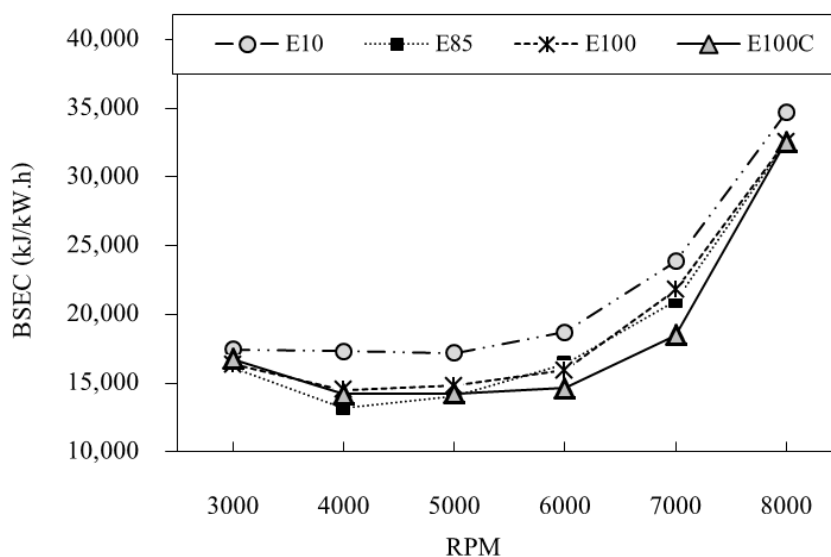
อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (Brake specific fuel consumption; BSFC) แสดงในภาพที่ 4 เป็นการวัดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงเปรียบเทียบกับแรงม้าที่ออกมาพบว่าในสถานะ E85, E100 และ E100C มีค่า BSFC สูงกว่า E10 ประมาณ 18.26%, 33.34% และ 27.45% ตามลำดับ เห็นได้ว่าการเพิ่มสัดส่วนของเอทานอลเพิ่มขึ้นทำให้ค่า BSFC มีค่าเพิ่มขึ้นเนื่องจากค่าความร้อนต่ำ (Low heating value) ของเอทานอลมีค่าน้อยกว่าแก๊สโซลีนอยู่ประมาณ 38.86% (Phuangwongtrakul, WechsatoI, Sethaput, Suktang, & Wongwises, 2016) ทำให้การใช้เอทานอลเป็นเชื้อเพลิงมีอัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงที่สูงกว่าแต่อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนพลังงานความร้อนเป็นพลังงานกลเชื้อเพลิงที่มีส่วนผสมของเอทานอลสามารถทำได้ดีแก๊สโซลีนกว่าโดยนำเสนอได้ในหัวข้อถัดไป



ภาพที่ 4 อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (BSFC)

อัตราสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเบรก (BSEC)

อัตราสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเบรก (Brake specific energy consumption; BSEC) แสดงถึงอัตราการเปลี่ยนแปลงพลังงานความร้อนเป็นพลังงานกลเปรียบเทียบกับแรงม้าที่ออกมาแสดงในภาพที่ 5 พบว่าในสภาวะ E85, E100 และ E100C มีค่า BSEC เฉลี่ยน้อยกว่า E10 ที่ 13.43%, 11.00% และ 14.93% ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าเชื้อเพลิงที่มีส่วนผสมของเอทานอลสามารถเปลี่ยนพลังงานความร้อนเป็นพลังงานกลได้ดีกว่าแก๊สโซลีน เนื่องจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงเอทานอลมีความเร็วสูงกว่าแก๊สโซลีนทำให้พลังงานความร้อนเปลี่ยนเป็นพลังงานกลได้ดีกว่า แต่เมื่อเปรียบเทียบกันระหว่างสภาวะ E85 กับ E100 สังเกตได้ว่า E100 มีค่า BSEC ที่น้อยกว่า สาเหตุเนื่องจากเอทานอลที่ไม่มีการผสมแก๊สโซลีนมีการระเหยกลายเป็นไอที่ยาก ทำให้เปลี่ยนพลังงานความร้อนเป็นพลังงานกลได้ต่ำกว่า E85 แต่เมื่อเพิ่มกำลังอัดของเครื่องยนต์ในสภาวะ E100C ทำให้เชื้อเพลิงมีการระเหิดกลายเป็นไอดีขึ้นทำให้เครื่องยนต์สามารถเปลี่ยนพลังงานความร้อนเป็นพลังงานกลได้ดีกว่าเครื่องยนต์ที่มีกำลังอัดเดิมจากโรงงาน เนื่องจากความร้อนในการเพิ่มอัตราส่วนการอัดของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้นทำให้ความร้อนส่งมาหาทำไอดีกระตุ้นให้เชื้อเพลิงมีความร้อนขึ้นและระเหยเป็นไอดีขึ้น

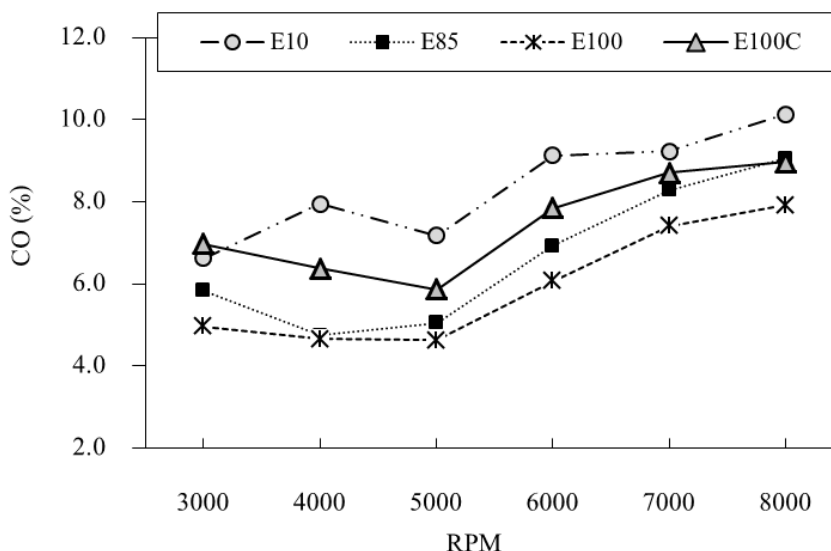


ภาพที่ 5 อัตราสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเบรก (BSEC)

ส่วนที่สอง นำเสนอมลพิษที่ปล่อยออกมาจากท่อไอเสียของเครื่องยนต์ คือ คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ไฮโดรคาร์บอน (HC) และไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) ซึ่งค่ามลพิษที่นำเสนอนี้ได้ปรับแก้ให้ไม่ขึ้นอยู่กับอากาศส่วนเกิน นอกจากนี้จะมีการนำเสนออุณหภูมิไอเสียอีกด้วย ซึ่งทั้งหมดมีรายละเอียดดังนี้

คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO)

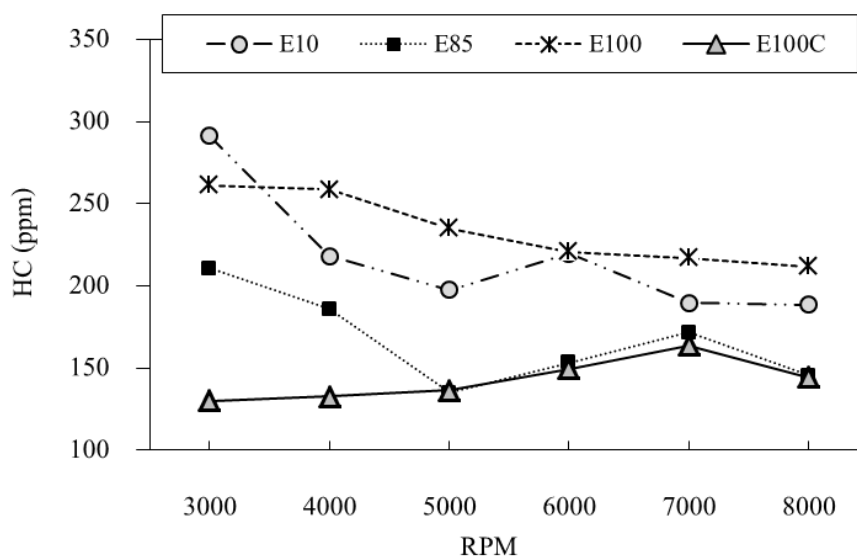
คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) เกิดจากเครื่องยนต์การผสมคลุกเคล้ากันระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศไม่ทั่วถึงกันและการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ จากภาพที่ 6 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ของ CO ในทุกสภาวะการทดสอบพบว่า CO แปรผันตามรอบของเครื่องยนต์ที่เพิ่มขึ้น โดยที่สภาวะ E85, E100 และ E100C มีค่า CO เฉลี่ยน้อยกว่า E10 ประมาณ 21.14%, 29.53% และ 10.67% ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าเชื้อเพลิงที่มีส่วนผสมของเอทานอลสามารถลดการปล่อย CO ของเครื่องยนต์ได้เนื่องจากคุณสมบัติของเอทานอลมีส่วนผสมของออกซิเจนทำให้เกิดการเผาไหม้ที่ดีกว่าแก๊สโซลีน (Mohammed et al., 2021)



ภาพที่ 6 คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO)

ไฮโดรคาร์บอน (HC)

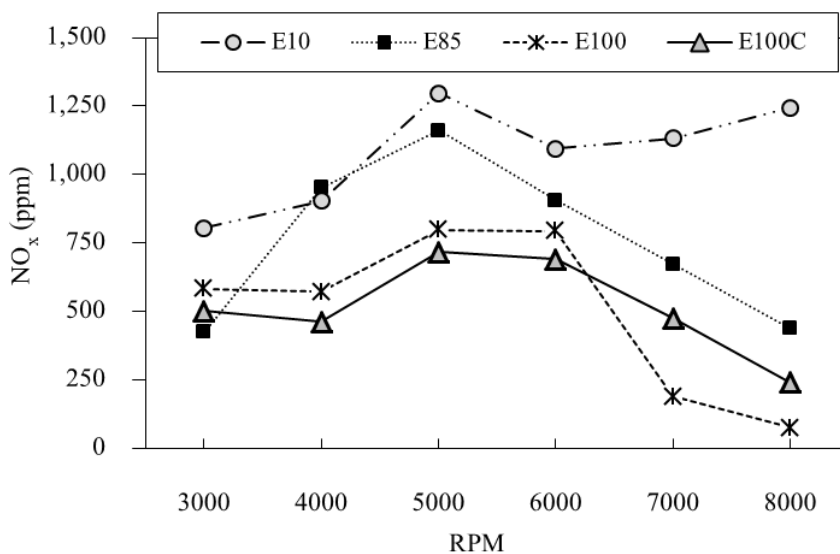
ไฮโดรคาร์บอน (HC) เกิดจากเชื้อเพลิงที่เผาไหม้ไม่หมดเป็นหน่วย ppm แสดงในภาพที่ 7 ในทุกสภาวะการทดสอบพบว่าค่า HC แปรผกผันกับรอบของเครื่องยนต์ โดยที่สภาวะ E85 กับ E100C มีค่า HC น้อยกว่า E10 ประมาณ 22.78% และ 32.44% ตามลำดับ เนื่องจาก E85 มีส่วนผสมของแก๊สโซลีนซึ่งช่วยให้การระเหยกลายเป็นไอของเชื้อเพลิงได้ง่ายและที่สภาวะ E100C มีกำลังอัดที่สูงและห้องเผาไหม้มีขนาดเล็กทำให้ลด HC ได้ แต่ในสภาวะ E100 มีค่า HC สูงกว่า E10 ประมาณ 9.11% เนื่องจากค่าความร้อนแฝงในการระเหยตัวกลายเป็นไอของเชื้อเพลิงในสภาวะ E100 ที่สูงทำให้อุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้เครื่องยนต์ก่อนจุดระเบิดต่ำส่งผลให้การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ แต่ที่สภาวะ E100C ที่มีกำลังอัดสูงกว่าทำให้อุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้สูงขึ้นส่งผลให้การเผาไหม้มีความสมบูรณ์มากกว่าสภาวะ E100 (Iodice et al., 2018)



ภาพที่ 7 ไฮโดรคาร์บอน (HC)

ไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x)

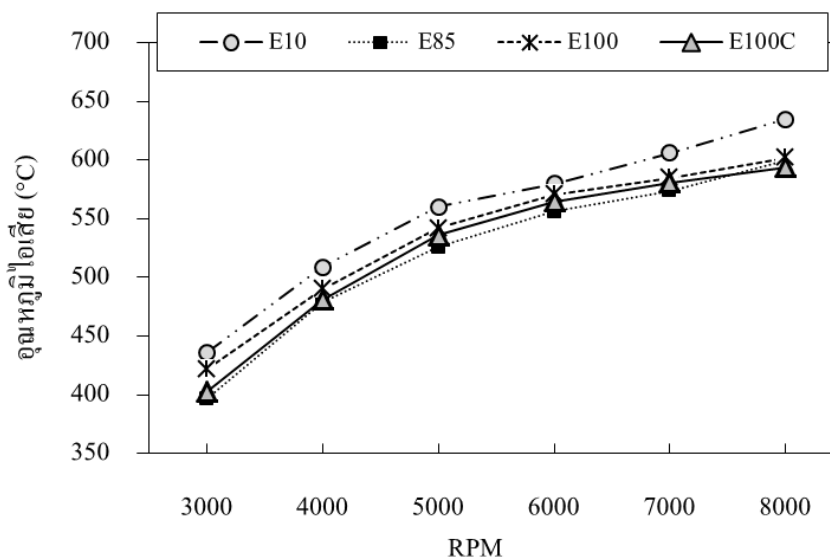
ไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) แสดงเป็นหน่วย ppm เกิดจากอุณหภูมิในห้องเผาไหม้ที่สูงและการลามของเปลวไฟที่ช้า แสดงในภาพที่ 8 ในทุกสภาวะการทดสอบที่รอบ 3,000–5,000 รอบต่อนาที ค่า NO_x จะค่อยๆ เพิ่มขึ้นเนื่องจากอุณหภูมิในการเผาไหม้ที่สูงขึ้นแต่หลังจากนั้นค่า NO_x จะลดลง เกิดจากคุณสมบัติของเอทานอลที่มีค่าความร้อนต่ำกว่าแก๊สโซลีนทำให้การจ่ายเชื้อเพลิงเข้าสู่ห้องเผาไหม้มีปริมาณมากกว่าเมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงแก๊สโซลีน สอดคล้องกับค่าความร้อนแฝงระเหยกลายเป็นไอที่สูงของเอทานอลทำให้ความร้อนสะสมในห้องเผาไหม้ต่ำกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงแก๊สโซลีนส่งผลให้ NO_x ลดลงเมื่อมีสัดส่วนของเอทานอลเพิ่มขึ้น (Hassan et al., 2018) โดยที่สภาวะ E85, E100 และ E100C มีค่า NO_x เฉลี่ยน้อยกว่า E10 ประมาณ 29.22%, 51.28% และ 51.16% ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าเชื้อเพลิงที่มีส่วนผสมของเอทานอลสามารถลดค่า NO_x ลงได้เนื่องจากคุณสมบัติของเอทานอลที่ออกซิเจนเป็นส่วนผสมทำให้การเผาไหม้เร็วขึ้นลดช่วงเวลาในการข้ามพ้นระยะเคมีจาก NO เป็น NO_x ทำให้ความร้อนในการเผาไหม้ลดลง (Cheng et al, 2020)



ภาพที่ 8 ไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x)

อุณหภูมิไอเสีย

อุณหภูมิไอเสียแสดงในภาพที่ 9 ในทุกสภาวะการทดสอบพบว่าอุณหภูมิแปรผันตามรอบของเครื่องยนต์ โดยที่สภาวะ E85, E100 และ E100C มีอุณหภูมิเฉลี่ยน้อยกว่า E10 ประมาณ 5.97%, 3.40% และ 5.09% ตามลำดับ เนื่องจากคุณสมบัติของเอทานอลที่มีความเร็วในการเผาไหม้ที่เร็วกว่าแก๊สโซลีน ทำให้อุณหภูมิไอเสียต่ำกว่าที่สนับสนุนผลของการการเกิด NO_x ลดลงเมื่ออุณหภูมิในการเผาไหม้ที่ลดลง (Topgul, Yucesu, Cinar, & Koca, 2006)



ภาพที่ 9 อุณหภูมิไอเสียของเครื่องยนต์



อภิปรายผล

สมรรถนะของเครื่องยนต์

ในทุกสภาวะการทดลองพบว่ากำลังของเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงที่มีสัดส่วนของเอทานอลเพิ่มสูงขึ้นทำให้กำลังของเครื่องยนต์เพิ่มสูงขึ้นเช่นกันเนื่องมาจากคุณสมบัติของเอทานอลที่มีออกซิเจนเป็นส่วนผสมทำให้มีความเร็วในการเผาไหม้ที่เร็วกว่าแก๊สโซลีน คุณสมบัติอีกอย่างที่สำคัญคือค่าความร้อนแฝงระเหยกลายเป็นไอของเอทานอลที่สูงทำให้ให้อากาศที่เข้าเครื่องยนต์มีอุณหภูมิต่ำส่งผลต่อประสิทธิภาพเชิงปริมาตรของเครื่องยนต์ และค่าด้านทานการชิงจุดระเบิดในการเผาไหม้ของเอทานอลที่สูงทำให้สามารถเพิ่มกำลังอัดของเครื่องยนต์ได้และสามารถใช้งานได้อย่างต่อเนื่อง

อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง

ในงานวิจัยนี้วิเคราะห์ห่อออกเป็นสองแบบ คือ อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (BSFC) กับ อัตราสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเบรก (BSEC) ผลการทดลองพบว่าในทุกสภาวะการทดสอบเอทานอลมีค่า BSFC ที่สูงกว่าแก๊สโซลีนเนื่องจากคุณสมบัติของเอทานอลที่มีค่าความร้อนที่ต่ำกว่าเครื่องยนต์ประมาณ 38.86% ทำให้สิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงมากกว่าแก๊สโซลีนแต่เมื่อพิจารณา BSEC พบว่าเชื้อเพลิงเอทานอลมีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงานความร้อนเป็นพลังงานกลได้มากกว่าเนื่องจากคุณสมบัติของเอทานอลทำให้เกิดการเผาไหม้ที่รวดเร็วกว่าแก๊สโซลีนทำให้เครื่องยนต์เปลี่ยนพลังงานความร้อนเป็นพลังงานกลได้มากกว่าแก๊สโซลีน

มลพิษ

จากผลการทดสอบมลพิษในส่วนของ CO, HC และ NO_x พบว่าในทุกสภาวะการทดสอบพบว่ามลพิษของเชื้อเพลิงที่ใช้เอทานอลมีแนวโน้มที่จะลดลงเมื่อเทียบกับเครื่องยนต์ที่ใช้แก๊สโซลีนเนื่องจากคุณสมบัติของเอทานอลที่มีออกซิเจนผสมทำให้เกิดการผสมระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศที่ทั่วถึงกันทำให้การเผาไหม้ที่สมบูรณ์ขึ้นและคุณสมบัติการเผาไหม้ของเอทานอลที่เร็วกว่าทำให้ NO_x ลดลงกว่าเชื้อเพลิงแก๊สโซลีน

สรุป

จากการทดสอบการใช้เอทานอลผสมกับแก๊สโซลีนและเอทานอลที่รอบเครื่องยนต์แตกต่างกันที่ลิ้นคันเร่งเปิดสุด (Full throttle) ทั้ง 4 สภาวะการทดลอง คือ E10, E85, E100 และ E100C ในเครื่องยนต์ระบบหัวฉีดในเครื่องยนต์สูบเดียว 4 จังหวะที่มีการปรับแต่งเครื่องยนต์ สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้



1. เชื้อเพลิงแก๊สโซลีนผสมเอทานอล E10, E85 และ E100 สามารถใช้ในเครื่องยนต์จักรยานยนต์แก๊สโซลีนสูบเดียว 4 จังหวะ
2. กำลังของเครื่องยนต์พบว่าในทุกสภาวะการทดสอบ E10 มีกำลังน้อยที่สุดและในสภาวะ E100C มีกำลังของเครื่องยนต์มากที่สุดโดยสูงกว่า E10 ประมาณ 12.18%
3. อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (BSFC) ที่สภาวะ E85, E100 และ E100C มีค่าเฉลี่ยสูงกว่า E10 ประมาณ 18.26%, 33.34% และ 27.45% ตามลำดับ
4. อัตราสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเบรก (BSEC) ในสภาวะ E85, E100 และ E100C มีค่าเฉลี่ยน้อยกว่า E10 ประมาณ 13.43%, 11.00% และ 14.93% ตามลำดับ
5. มลพิษที่สภาวะ E85, E100 และ E100C มีค่า CO เฉลี่ยน้อยกว่า E10 ประมาณ 21.14%, 29.53% และ 10.67% ตามลำดับ และ NO_x มีค่าเฉลี่ยน้อยกว่า E10 ประมาณ 29.22%, 51.28% และ 51.16% ตามลำดับ ในส่วนของ HC ที่สภาวะ E85 กับ E100C มีค่าเฉลี่ยน้อยกว่า E10 ประมาณ 22.78 % และ 32.44% ตามลำดับ แต่ที่สภาวะ E100 มีค่าเฉลี่ยมากกว่า E10 ประมาณ 9.11%
6. อุณหภูมิไอเสียที่สภาวะ E85, E100 และ E100C มีค่าเฉลี่ยต่ำกว่า E10 ประมาณ 5.97%, 3.40% และ 5.09% ตามลำดับ
7. การใช้เชื้อเพลิงเอทานอล (99.5%) ที่กำลังอัด 12:1 พบว่ากำลังของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น 5.45% เมื่อเปรียบเทียบกับกำลังอัด 9.3:1 (กำลังอัดเดิม) โดยไม่เกิดการชิงจุดระเบิดและใช้งานได้นานต่อเนื่อง

ข้อเสนอแนะ

จากผลการทดสอบพบว่าควรมีการทดสอบต่อขยายไปดังนี้

1. ปรับแต่งองศาจุดระเบิดเพื่อหาค่าเหมาะสมของแรงบิดสูงที่องศาจุดระเบิด (Maximum brake torque spark timing, MBTS)
2. ใช้เครื่องยนต์ที่มีจำนวนสูบที่เพิ่มขึ้นเพื่อการขยายการใช้งานให้กว้างขึ้นและต้องมีการทดสอบวัสดุที่ใช้กับเชื้อเพลิงที่ใช้กับเอทานอลเพื่อให้สามารถใช้งานได้จริง
3. ใช้การมองเห็นภาพจริงที่มีการเผาไหม้ในกระบอกสูบเครื่องยนต์เพื่อวิเคราะห์ช่วงที่เกิดมลพิษในการเผาไหม้
4. นำการปรับแต่งเครื่องยนต์เพื่อใช้เชื้อเพลิง E100 ใช้กับเครื่องยนต์รถจักรยานยนต์ที่ใช้อยู่ในประเทศไทยซึ่งมีอยู่เป็นจำนวนมากสามารถลดการนำเข้าเชื้อเพลิงจากต่างประเทศและสร้างความมั่นคงทางด้านพลังงานให้กับประเทศไทยได้เป็นอย่างดี



รายการอ้างอิง (References)

- Cheng, S., Kang, D., Fridlyand, A., Goldsborouhg, S. S., Saggese, C., Wagnon, S., & Vuilleumier, D. (2020). Autoignition Behavior of Gasoline/Ethanol Blends at Engine-relevant Conditions. *Combustion and Flame*, 219, 369-384.
- Cincu, C., Fara, L., Racoutza, A., & Lobont, L. (2010). An Appropriate Alternative Fuel for Spark Ignition. *Cellulose Chemistry and Technology*, 45(1), 121-125.
- Department of Alternative Energy Development and Efficiency. (2020). *Renewable Energy Development Plan and Alternative Energy*. Ministry of Energy. (in Thai).
- Department of Alternative Energy Development and Efficiency. (2011). *Handbook for The Development and Investment in Renewable Energy Series 7 Ethanol Fuel*. Ministry of Energy. (in Thai).
- Department of Energy Business. (2019). *Summary of Fuel Supply and Sales in 2019*. Ministry of Energy. (in Thai).
- Department of Land Transport Planning Division Transport Statistics Group. (2020). *Transport Statistics Report 2020*. Department of Land Transport. (in Thai).
- Hassan, A. O., Al-Rawashdeh, H., Al-Muhtaseb, A. H., Abu-jrai, A., Ahmad, R., & Zeaiter, J. (2018). Impact of Changing Combustion Chamber Geometry on Emissions, and Combustion Characteristics of a Single Cylinder SI (Spark Ignition) Engine Fueled with Ethanol/Gasoline Blends. *Fuel*, 231, 197-203.
- Iodice, P., Langella, G., & Amoresano, A. (2018). Ethanol in Gasoline Fuel Blends: Effect on Fuel Consumption and Engine out Emissions of SI Engines in Cold Operating Conditions. *Applied Thermal Engineering*, 130, 1081-1089.
- Meearsa, J., Churnwisoot, T., & Wongkaew, N. (2018). The Comparison of Fuel Consumption for Small Gasoline Engine Fueled by Commercial Gasoline Fuel in Thailand on Different Conditions. *Journal of Technology and Innovation in Tertiary Education*, 1 (1), 1-8.
- Mohammed, M. K., Balla, H. H., Al-Dulaimi, Z. M., Kareem, Z. S., & Al-Zuhairy, M. S. (2021). Effect of Ethanol-Gasoline Blends on SI Engine Performance and Emissions. *Case Studies in Thermal Engineering*, 25, 100891.



- Mourad, M., & Mahmoud., K. (2019). Investigation into SI Engine Performance Characteristics and Emissions Fuelled with Ethanol/Butanol-Gasoline Blends. *Renewable Energy*, 143, 762-771.
- Phuangwongtrakul, S., Wechsato, W., Sethaput, T., Suktang, K., & Wongwises, S. (2016). Experimental Study on Sparking Ignition Engine Performance for Optimal Mixing Ratio of Ethanol-gasoline Blended Fuels. *Applied Thermal Engineering*, 100, 869-879.
- Pulkrabek, W. (2003). *Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine*. (2nd ed.). United states: Pearson.
- Thummadetsak, T., Tipdecho, C., Wongjareonpanit., U., & Monnum, P. (2010). *Thailand Fuel Performance and Emissions in Flex Fuel Vehicles*. SAE International
- Topgul, T., Yucesu, H. S., Cinar, C., & Koca, A. (2006). The Effects of Ethanol-Unleaded Gasoline Blends and Ignition Timing on Engine Performance and Exhaust Emissions. *Renewable Energy*, 31, 2534-2542.
- Tunpaiboon, N. (2019). *Ethanol Industry*. Krungsri Research. (in Thai).