

อัตราการฉีดเชื้อเพลิงที่เหมาะสมในรถประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิง สำหรับการแข่งขัน

ชัชวาล นิมิตรธรรม และนรินทร์ กุลนาคล

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลยานยนต์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏราชรินทร์ 422 ถนนมรุพงษ์ ตำบลหน้าเมือง
อำเภอเมือง จังหวัดฉะเชิงเทรา 24000

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการทดลองหาค่าประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิงโดยศึกษาระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิงที่เหมาะสมเทียบกับอัตราการชดเชยอุณหภูมิหม้อน้ำด้วยกล่องควบคุมการฉีดเชื้อเพลิงตัดแปลง (API) สำหรับเข้าร่วมการแข่งขันฮอนด้าประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิงประเภทรถประติษฐ์ ซึ่งมีล้อจำนวน 3 ล้อ การปรับปรุงอุปกรณ์โดยยึดหลักทางวิศวกรรมยานยนต์มีการออกแบบให้โครงของตัวรถ มีน้ำหนักเบา หน้าตัดลู่ลมเพื่อลดแรงต้านทานของอากาศ ลดความผิดในอุปกรณ์ส่งกำลังและเครื่องยนต์มีปรับเปลี่ยนระบบจุดระเบิดเป็นสองหัวเทียนซึ่งสามารถเผาไหม้ส่วนผสมได้สมบูรณ์และรวดเร็ว ผลการทดลองการฉีดเชื้อเพลิงระหว่างการชดเชยอุณหภูมิหม้อน้ำกับระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิงในกล่อง APIพบว่าตัวการชดเชยอุณหภูมิหม้อน้ำสูงมีผลต่อตารางการฉีดเชื้อเพลิง เมื่อมีระยะเวลาการฉีดเท่ากัน การทดสอบวิ่งบนสนามทดสอบโดยใช้กล่องควบคุมการฉีดเชื้อเพลิงแบบ (API) ได้นำผลการทดลองการฉีดเชื้อเพลิงในหลอดแก้วมาออกแบบตารางการฉีดเชื้อเพลิง 3 ลักษณะ ที่มีระยะเวลาการฉีดที่ต่างกัน ผลการทดลองพบว่าแบบที่ 3 มีค่าประหยัดเชื้อเพลิงสูงที่สุด 574.16 km/L ในสนามทดลองและเมื่อนำรถเข้าร่วมการแข่งขันฮอนด้าประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิง มีค่าสถิติเป็นทางการที่ 560.84 km/L เมื่อเทียบกับก่อนการปรับปรุงเครื่องยนต์ (368.78 km/L) มีผลการประเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้น 34.28%

คำสำคัญ : รถประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิง, ระบบ PGM-FI, กล่องควบคุมการฉีด API, อัตราการฉีดเชื้อเพลิง

Appropriate Fuel Injection Rate of Econo Car for Competition

Chatchawal Nimrotham and Narin koolnapadol

Department of Automotive Mechanical Engineering, Faculty of Industrial Technology, Rajabhat Rajanagarindra University,
422 Mrupong Road, Amphoe Mueang, Chachoengsao 24000, Thailand.

Abstract

The aim of this work is to conduct the experiments the fuel consumption in economic car, study the optimize time to inject the fuel compare with the radiator temperature compensation, with the engine control unit box of the econocar for the competition of Honda Econo Power Contest National Race. The econocar have three-wheel to moving forward. Improve equipment by using principle of automotive engineering, in design to be lightweight chassis car with an aerofoil section which helps reduce the air resistance, reducing friction in the engine and transmission, the last improve is use two spark plugs for the complete combustion in the cylinder engine. The results of the fuel injection during with period have compensated temperature of radiator compared to fuel injection time in table fuel injection of API unit. Found that the high compensated temperature of radiator the affect more fuel injection at the same injection time. The result in the field test using the fuel injection control (API) by the 3 type of the injection grid design, which will have a duration of injecting different. The results showed that, the type No.3 had the highest fuel economy of 574.16 km/L in field trials and bring the car to compete with Honda's fuel economy. The official statistics at 560.84 km/L, compared with before modified engine (368.78 km/L) which the fuel savings up to 34.28%.

Keywords : Economic Car, PGM-Fi System, Engine Control Module (API), Fuel Injection Rate

1. บทนำ

ในสภาวะปัจจุบันการใช้พลังงานมีอัตราเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง เพื่อสนองความต้องการด้านความสะดวกสบายของมนุษย์ พลังงานจากทรัพยากรธรรมชาติที่สำคัญที่มีการใช้กันแพร่หลายได้แก่ พลังงานจากฟอสซิลหรือเชื้อเพลิงจากปิโตรเลียม ซึ่งนับวันยิ่งจะน้อยลงจึงมีผลให้ราคาของพลังงานดังกล่าวสูงขึ้นหน่วยงานทั้งภาครัฐและเอกชนต่างหามาตรการต่างๆ เพื่อลดการใช้พลังงานและลดมลพิษที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงในรถยนต์ รถจักรยานยนต์และโรงงานอุตสาหกรรมมลพิษที่ได้จากการเผาไหม้ได้แก่ แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) และคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ปริมาณ CO₂ ในสัดส่วน 30% จากทั้งหมดถูกปล่อยมาจากการเผาไหม้น้ำมันเชื้อเพลิงซึ่ง 2 ใน 3 ส่วนนี้มาจากน้ำมันแก๊สโซลีนของรถยนต์[1] การแก้ไขปัญหาเหล่านี้ คือการลดการใช้ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงให้น้อยลงและคุ้มค่ามากที่สุด แนวทางการวิจัยนี้คือการเข้าร่วมโครงการแข่งขันฮอนด้าประหยัดเชื้อเพลิงที่จัดขึ้นโดยบริษัท เอพีสอนด้า ประเทศไทยจำกัด เพื่อหาเทคโนโลยีและวิธีการประหยัดเชื้อเพลิงในรถจักรยานยนต์ประเภทหัวฉีด EGM-FI โดยงานวิจัยฉบับนี้ กล่าวถึงการพัฒนาการประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิง เพื่อใช้ในการเข้าร่วมแข่งขันฮอนด้าประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิง เป็นรถประดิสซ์ 3 ล้อเครื่องยนต์ 4 จังหวะ ขนาดความจุกระบอกสูบ 125 ซีซีความเร็วในการแข่งขันไม่ต่ำกว่า 25 km/hr และวัดค่าประหยัดเชื้อเพลิงเป็น km/L วัดดูประสงค์ในการวิจัยครั้งนี้เพื่อปรับปรุงพัฒนาการประหยัดเชื้อเพลิงและศึกษาอัตราการฉีดของเชื้อเพลิงที่เหมาะสมในรถประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิง ประเภทรถประดิสซ์ เมื่อมีการใช้กล่องควบคุมการฉีดดัดแปลง (API) แทนกล่องเดิมที่ติดมากับรถจักรยานยนต์ ในการประหยัดเชื้อเพลิงสำหรับเข้าร่วมแข่งขันฮอนด้าประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิง

2. ทฤษฎี

รถประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิงของทีมาชนครินทร์ถูกปรับปรุงพัฒนาโดยวิธีการลดแรงต้านทานการเคลื่อนที่และใช้ระบบจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงที่สามารถควบคุมระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิงให้น้อยที่สุดในการเข้าห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์โดยการทำงานเบื้องต้นของระบบฉีดน้ำมัน

เชื้อเพลิงในรถจักรยานยนต์น้ำมันเชื้อเพลิงในถังจะถูกส่งผ่านกรองน้ำมันไปยังหัวฉีด (Injector) ซึ่งติดตั้งอยู่บริเวณท่อไอดีโดยใช้ปั้มน้ำมันเชื้อเพลิงแบบไฟฟ้าภายในถังน้ำมันพร้อมกับตัวควบคุมแรงดันน้ำมันเชื้อเพลิง ซึ่งยึดติดเป็นชุดเดียวกันกับปั้มน้ำมันเชื้อเพลิงซึ่งจะทำหน้าที่ควบคุมแรงดันน้ำมันเชื้อเพลิงในระบบให้คงที่อยู่ตลอดเวลาในทุกสภาพการทำงานของเครื่องยนต์ ที่ความดัน 294 kPa ส่งไปยังหัวฉีด เมื่อกล่อง Engine Control Module (ECM) ต่อบังคับของชุดหัวฉีดลงกราวนด์ เชื่อมหัวฉีดจะยกตัวขึ้น ทำให้น้ำมันเชื้อเพลิงที่มีแรงดันสูง ถูกฉีดเข้าไปผสมกับอากาศภายในท่อไอดีเพื่อบรรจุเข้ากระบอกสูบ ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงที่ถูกฉีดออกมาจะมีปริมาณมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับระยะเวลาที่กล่อง ECM ต่อบังคับของชุดหัวฉีดลงกราวนด์ กล่าวคือ ถ้าต่อบังคับของชุดหัวฉีดลงกราวนด์นาน จะทำให้เข็มของหัวฉีดเปิดนานส่งผลให้ปริมาณของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ฉีดออกมามีปริมาณมากตามไปด้วยปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงที่ฉีดขึ้นอยู่กับแรงสัญญาณจากที่เรือนลิ้นเร่งที่ส่งเข้ากับ ECM

2.1 ระบบฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง PGM-FI แบบ D-Jetronic

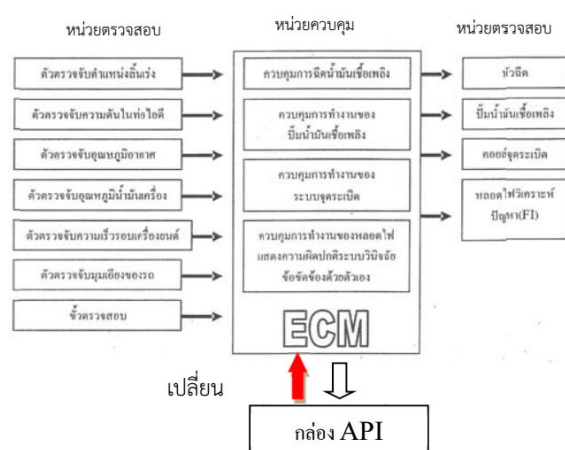
ระบบฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง PGM-FI แบบ D-Jetronic เป็นระบบที่มีการควบคุมระยะเวลาการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงของหัวฉีดโดยวิธีการวัดแรงดันของอากาศในท่อไอดีด้วยตัวจับความดันในท่อไอดี แล้วเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้าส่งเข้ากล่อง ECM เพื่อกำหนดระยะเวลาในการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงของหัวฉีดให้เหมาะสมกับปริมาณอากาศที่เข้ากระบอกสูบ โดยขณะที่เครื่องยนต์มีความเร็วรอบต่ำ ลิ้นเร่งจะเปิดให้อากาศไหลเข้ากระบอกสูบน้อยเป็นผลให้ความดันในท่อไอดีต่ำ ตัวตรวจจับความดันในท่อไอดี จะส่งสัญญาณไฟฟ้าที่สัมพันธ์กับความดันอากาศในท่อไอดีในขณะนั้น เข้าไปที่กล่อง ECM ในสภาวะแบบนี้กล่อง ECM จะส่งจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิง และในทางกลับกันหากบิดคันเร่งมากขึ้นจะทำให้มีอากาศไหลเข้ากระบอกสูบมากขึ้น เป็นผลให้ความดันในท่อไอดีสูงขึ้นในสภาวะแบบนี้กล่อง ECM จะส่งจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงมากขึ้น

2.2 การควบคุมระยะเวลาในการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง

ระบบจะมีการควบคุมระยะเวลาในการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงออกเป็น 2 ส่วนด้วยกัน คือ การควบคุมระยะเวลาฉีดพื้นฐาน และการเพิ่มระยะเวลาในการฉีดตามสภาวะการทำงานของเครื่องยนต์ ซึ่งผู้วิจัยใช้กล่องดัดแปลง API ในการควบคุมระยะเวลาฉีดทั้งสองส่วนด้วยซอฟต์แวร์สำเร็จรูป API ที่ใช้สำหรับในการแข่งรถจักรยานยนต์ความเร็วสูง

2.3 ระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์

ระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ประกอบด้วยชุดกล่องควบคุม ECM ตัวตรวจจับสัญญาณและอุปกรณ์ทำงาน โดยชุดกล่อง ECM จะรับสัญญาณไฟฟ้าจากตัวตรวจจับสัญญาณต่างๆในระบบและควบคุมการทำงาน[2] เช่น หัวฉีดและปั้มน้ำมันเชื้อเพลิง เป็นต้น ตามรูปที่ 1



รูปที่ 1 แผนผังการทำงานของระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์

จากรูปที่ 1 แสดงแผนผังทำงานของระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์โดยลูกศรสีแดงแสดงการสลับเปลี่ยนกล่องควบคุมการฉีดเชื้อเพลิง จากกล่องเดิมเป็นกล่องควบคุมการฉีดเชื้อเพลิงดัดแปลง API ซึ่งจะทำหน้าที่แทนกล่อง ECM โดยควบคุมการทำงานทั้งหมด และสามารถปรับค่าต่างๆของอุปกรณ์โดยซอฟต์แวร์สำเร็จรูป API Tech

2.4 กล่องควบคุมการฉีดเชื้อเพลิงดัดแปลง (API)

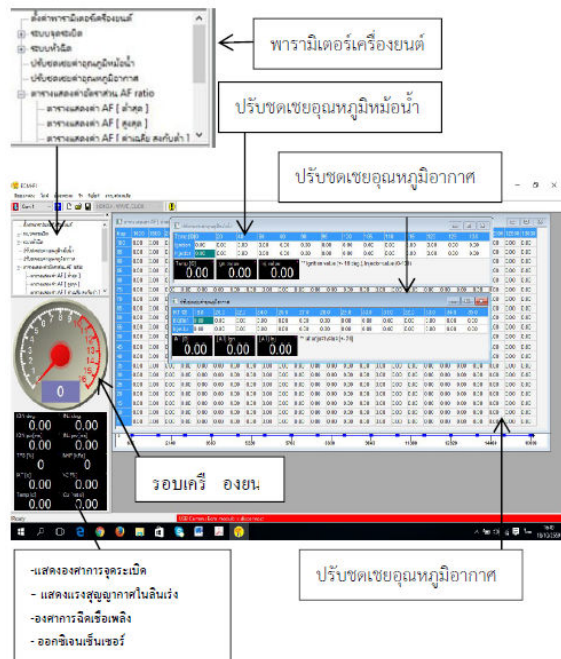
กล่องควบคุมจะทำหน้าที่ควบคุมระบบการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ โดยจะมีตัวของโปรแกรมหรือซอฟต์แวร์ที่สามารถจัดการกับอัตราการจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงได้โดยผู้ปรับแต่งต้องการ ซึ่งแตกต่างกับกล่อง ECM หรือเป็นกล่องมาตรฐานที่ใช้โดยทั่วไป ที่ไม่สามารถดัดแปลงอัตราการฉีดเชื้อเพลิงได้กล่อง API จะสามารถควบคุมระยะเวลาการฉีดของหัวฉีด ส่งสัญญาณและรับสัญญาณต่างๆของเครื่องยนต์ให้เหมาะสมกับระยะเวลาการฉีดที่มีการปรับตั้งใหม่



รูปที่ 2 แสดงลักษณะของกล่องควบคุมการฉีด

จากรูปที่ 2 แสดงการใช้กล่อง API เพื่อทดแทนการใช้กล่อง ECM ในเครื่องยนต์ของรถประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิง ซึ่งจะมีการทำงานคล้ายกับกล่องเดิม [3]

รูปที่ 3 และ 4 แสดงลักษณะโปรแกรมที่ใช้คู่กับกล่อง API จะเป็นซอฟต์แวร์สำเร็จรูป ซึ่งมีการตั้งค่าผ่านสาย USB Port ระหว่างเครื่องยนต์ กล่อง (API) และคอมพิวเตอร์ ซึ่งตัวพารามิเตอร์ในโปรแกรมที่ใช้งานเฉพาะรถประหยัดจะใช้งานในส่วนของการหัวฉีดซึ่งประกอบด้วย ปรับขนาดเขย อุณหภูมิหม้อน้ำ ปรับขนาดเขยอุณหภูมิอากาศและตารางควบคุมการฉีด



รูปที่ 3 แสดงตัวโปรแกรม APITech



รูปที่ 4 แสดงการเชื่อมต่อ

2.5 การปรับปรุงพัฒนารถประติษฐ์ประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิง

2.5.1 โครงสร้างตัวถัง

ออกแบบสร้างใหม่ซึ่งของเดิมไม่สามารถปิดชุดฝาครอบด้านบนได้ ซึ่งมีผลต่อแรงต้านทานอากาศและผิวดกติกการแข่งชัน โดยออกแบบให้โครงมีขนาดความยาวของตัวรถแกนล้อหน้าถึงแกนล้อหลังเท่ากับ 1,430 มิลลิเมตรและความกว้างของล้อหน้าทั้งสองข้าง มีความยาวเท่ากับ 600 มิลลิเมตรความทั้งสามข้าง ตัวรถจะลอยสูงจากพื้น 300 มิลลิเมตรถึงแกนล้อและมีชุดเฟรมปิดด้านบนกันแรงต้านทานของอากาศ โครงสร้างเป็นเหล็กกล่องขนาด 13 มิลลิเมตร และ 19 มิลลิเมตร ตัวถังหล่อขึ้นรูปด้วยเรซินไฟเบอร์กลาสซึ่งเบาและแข็งแรง [4] แผ่นด้านข้างเป็นแผ่นอติลิกแบบใสสามารถมองเห็นกระบอกข้างเป็นอย่างดี [5] (ตามกฎกติกาการแข่งขัน) การออกแบบจะยึดรูปทรงคล้ายรูปหยดน้ำซึ่งให้ค่าแรงต้านทานอากาศต่ำ [6] และลดน้ำหนักของรถโดยใช้วัสดุที่เบาเช่นเรซินไฟเบอร์กลาส ตามรูปที่ 5



โครงสร้างแบบเดิม



โครงสร้างแบบใหม่

รูปที่ 5 รถประหยัดน้ำมันที่มราชนครินทร์

2.5.2 แรงต้านการเคลื่อนที่ของรถ

ขณะที่รถวิ่งบนถนนระดับด้วยความเร็วคงที่แรงขับเคลื่อนที่ล้อจะ เท่ากับแรงต้านการเคลื่อนที่ทั้งหมดซึ่งเป็นผลรวมของแรงต้านการหมุนของล้อและแรงต้านอากาศแสดงเป็นสมการได้ว่า [1,6]

$$F_t = F_r + F_a = K_r W + \frac{1}{2} \rho v^2 A C_d \quad (1)$$

F_t คือแรงต้านการหมุนของล้อ F_a คือแรงต้านอากาศ K_r คือสัมประสิทธิ์แรงต้านการหมุนของล้อ W คือน้ำหนักถรรวมคนขับ ρ คือความหนาแน่นของอากาศ v คือความเร็วของอากาศ A คือพื้นที่หน้าตัดของรถ C คือสัมประสิทธิ์แรงดูดของอากาศ

2.5.3 แรงต้านทานอากาศ

พิจารณาหาแรงต้านทานอากาศที่ใช้ในการขับเคลื่อน โดยที่ความกว้างของตัวรถมี 0.4 เมตรความสูงของตัวรถมีขนาด 0.55 เมตรและค่าสัมประสิทธิ์ของแรงต้านทานของอากาศ [7] เท่ากับ 0.14 kg/m^3 โดยที่ใช้ความเร็วของรถในการขับเคลื่อนเท่ากับ 25 km/hr

$$F_a = K_a A v^2 \quad (2)$$

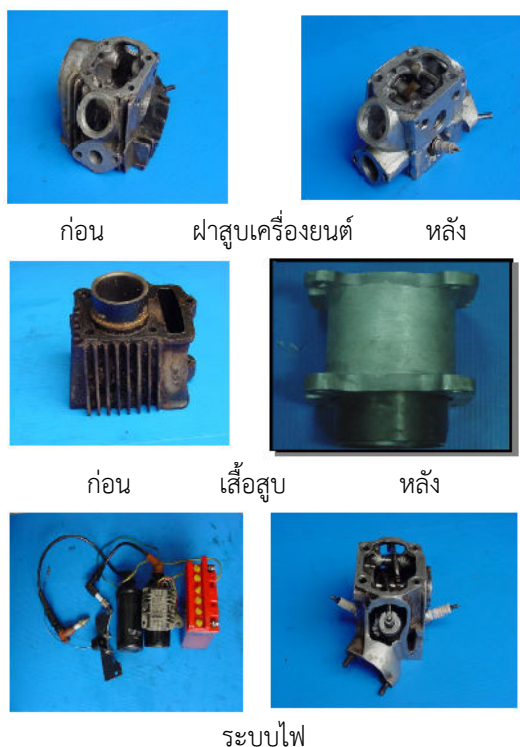
2.5.4 แรงต้านทานการหมุนของล้อ

พิจารณาแรงต้านทานการหมุนของล้อที่ใช้ในการขับเคลื่อน โดยที่ค่าสัมประสิทธิ์เสียดทานการหมุนของล้อเท่ากับ 0.01 และน้ำหนักของคันขับและตัวรถประหยัดที่ตกลงที่ล้อมีน้ำหนัก 100 kg [8]

$$R_r = K_r W \quad (3)$$

2.5.5 ปรับปรุงพัฒนาเครื่องยนต์

ในส่วนของเครื่องยนต์ได้มีการเจาะครีบบระบายความร้อนบนฝาสูบและเสื้อสูบออกเพื่อลดน้ำหนักของเครื่องให้เบาลงและเป็นการสะสมความร้อนในเครื่องยนต์เพื่อใช้ในการระเหยไอน้ำมันเชื้อเพลิง ระบบจุดระเบิดจากเดิมเป็นแบบ CDI ซึ่งใช้แม่กนีโตเป็นแหล่งกำเนิดกระแสไฟฟ้า เปลี่ยนมาเป็นระบบจุดระเบิดแบบทรานซิสเตอร์ของรถยนต์ ใช้แบตเตอรี่เป็นแหล่งกำเนิดกระแสไฟฟ้า ซึ่งให้กำลังไฟฟ้าที่หัวเทียนจุดระเบิดสูง 25000-45000 โวลต์และเจาะฝาสูบเพื่อติดตั้งหัวเทียนเพิ่มเติมจำนวนหนึ่งหัวฝั่งตรงข้ามหัวเทียนเพื่อให้จุดส่วนผสมได้รวดเร็วขึ้น [9-10] และทำกลไกเลื่อนกระเดื่องกลัดลิ้นไอดีเพื่อใช้สำหรับดับเครื่องยนต์ เครื่องยนต์ที่ใช้มีขนาด 125 ซีซี ตามรูปที่ 6



รูปที่ 6 การปรับแต่งเครื่องยนต์และชุดไฟจุดระเบิด

2.5.6 คุณสมบัติเชื้อเพลิงแก๊สโซลีน

สูตรเชื้อเพลิงแก๊สโซลีนคือ $C_nH_{1.87n}$ น้ำหนักโมเลกุลประมาณ 110 ความถ่วงจำเพาะ (ความหนาแน่น) 0.72-0.78 kg/m^3 ค่าความร้อนของการกลายเป็นไอ 305 kJ/kg ค่าความร้อนจำเพาะของของเหลว 2.4 kJ/kg.K ค่าความร้อนจำเพาะของไอ (cp) ประมาณ 1.7 kJ/kg.K ค่าความร้อนด้านสูง (HHV) 47.3 MJ/kg ค่าความร้อนด้านต่ำ (LHV) 44.5 MJ/kg อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง (A/F) 14.6 [1,8]

3. วิธีการดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้ศึกษาการประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิงในระบบฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงแบบหัวฉีดอิเล็กทรอนิกส์ โดยปรับเปลี่ยนจากกล่องมาตรฐาน มาเป็นกล่องควบคุมการฉีด (API) ใช้กับเครื่องยนต์รถประหยัดประเภทรถประหยัดซึ่งมี 3 ล้อ อุปกรณ์อื่นอยู่ภายใต้กฎการแข่งขันฮอนด้าประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิง เทคนิคและการพัฒนานั้นสำหรับเพื่อใช้ในการแข่งขันรถประหยัดเชื้อเพลิง

3.1 อุปกรณ์การทดลอง

การทดลองการประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิงจะประกอบด้วยอุปกรณ์คือ 1) รถประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิงที่สร้างและปรับปรุงพัฒนาใหม่ซึ่งมีค่าแรงต้านทานการเคลื่อนที่รวม 118 N แรงต้านทานรวมขณะวิ่ง 10.99 N จากการสมการที่ (1) อัตราทดรวม 8 : 1 พร้อมติดตั้งกล่องควบคุมการฉีดเชื้อเพลิงดัดแปลง (API) 2) ตัวโปรแกรมปรับแต่งการฉีดเชื้อเพลิงและสายเชื่อมสัญญาณระหว่างเครื่องยนต์และคอมพิวเตอร์ 3) ตาชั่งน้ำหนักใช้สำหรับชั่งน้ำหนักเชื้อเพลิงในการทดลอง 4) คอมพิวเตอร์ใช้สำหรับการปรับแต่งเครื่องยนต์ การปรับแต่งการฉีดเชื้อเพลิงด้วยกล่อง API จะทำการปรับค่าชุดเซนเซอร์อุณหภูมิหม้อน้ำในตัวโปรแกรมของตารางการฉีดเชื้อเพลิง ที่มีผลต่ออัตราการฉีดเชื้อเพลิงในรถประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิงก่อน และทำการออกแบบตารางการฉีดเชื้อเพลิงโดยค่าตัวอื่นให้ตั้งเป็นศูนย์หรือตามค่ามาตรฐานของตัวโปรแกรมที่ตั้งไว้ก่อนการใช้งานแสดงในรูปที่ 7

3.2 วิธีการทดลองการฉีดเชื้อเพลิง

การทดสอบการฉีดจะทดสอบการฉีดเชื้อเพลิงใส่ในหลอดแก้วที่รอบเดินเบาของเครื่องยนต์(ไม่บิดคันเร่ง) โดยทำการฉีดเป็นช่วงเวลา ช่วงละ 5 วินาที เป็นจำนวน 3 ครั้ง โดยใช้กล่อง ECM และกล่องควบคุมการฉีดแบบ API โดยกล่อง API จะควบคุมเวลาในการฉีดเชื้อเพลิงที่ (10, 20, 30 ms) เปรียบเทียบกับการชดเชยเซนเซอร์อุณหภูมิหม้อน้ำในตัวโปรแกรมของ API ส่วนค่าอื่นใช้ค่ามาตรฐานโปรแกรมในการทดสอบเมื่อมีการปรับแต่งตารางการฉีดที่เหมาะสมตามสมมติฐานที่ได้จากการทดลองการฉีดเชื้อเพลิงในหลอดแก้ว และทดสอบในห้องทดลองโดยการสร้างความผิดพลาดที่ล้อหลังโดยชุดเบรก เพื่อจำลองเป็นภาระแรงต้านทานการเคลื่อนที่ของรถยนต์ จนได้ค่าที่เหมาะสมจึงนำทดสอบกับสนามทดสอบ

3.3 การทดสอบค่าประหยัดเชื้อเพลิงในสนามทดสอบ

การทดสอบในสนามทดสอบซึ่งมีความยาว 6,000 m ใช้บริเวณถนนในมหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์ บางคล้า ความเร็วในการทดสอบ 25-30 km/h แต่ต้องไม่ต่ำกว่า 25km/h เมื่อวิ่งครบตามระยะทางกำหนดนำเชื้อเพลิงทดสอบมาชั่งน้ำหนักเพื่อหาอัตราการสิ้นเปลืองของเชื้อเพลิง โดยสูตรคำนวณค่าสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจะใช้สูตรเดียวกับการแข่งขันฮอนด้าประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิง

$$\text{ค่าประหยัดเชื้อเพลิง} = \frac{\text{ระยะทางที่ทำการทดสอบ (กิโลเมตร)}}{\text{เชื้อเพลิงก่อนทดสอบ - เชื้อเพลิงหลังทดสอบ (ลิตร)}} \quad (4)$$

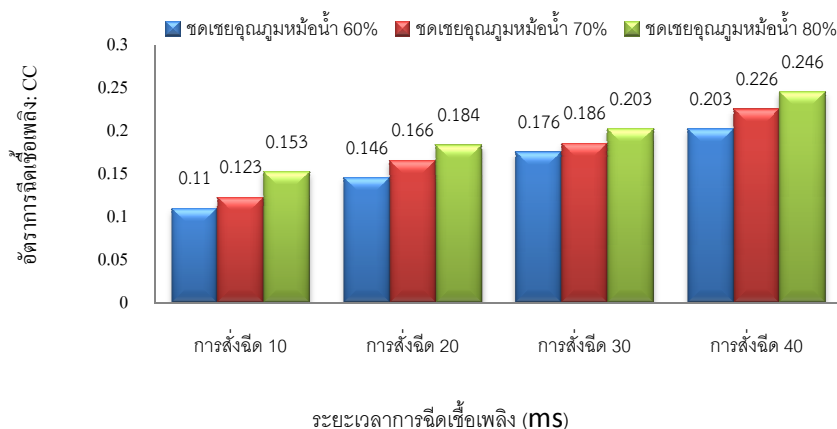
4. ผลการทดลอง

การทดสอบใช้เครื่องยนต์ฮอนด้าขนาด 125 ซีซี ระบบจุดระเบิดแบบ 2 หัวเทียนปรับเปลี่ยนกล่องควบคุมการฉีดมาตรฐานเป็นกล่องควบคุมการฉีดเชื้อเพลิงดัดแปลง(API) ซึ่งมีผลการทดสอบการฉีดเชื้อเพลิงดังนี้



รูปที่ 7 การปรับแต่งเครื่องยนต์ด้วยกล่อง API

4.1 ผลการฉีดเชื้อเพลิงในหลอดแก้วทดสอบ เป็นช่วงเวลา ช่วงละ 5 วินาที โดยการปรับตั้งตารางการฉีดเชื้อเพลิงในตัวของโปรแกรมของกล่อง API เพื่อใช้หาอัตราการฉีดของเชื้อเพลิงที่ออกจากหัวฉีดเครื่องยนต์ โดยปรับตั้งระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิงที่ 10, 20, 30 และ 40 ms และปรับค่าพารามิเตอร์ ชดเชยอุณหภูมิหม้อน้ำที่ 60, 70 และ 80% ตามลำดับ ซึ่งมีผลปริมาณการฉีดเชื้อเพลิงตามรูปที่ 8



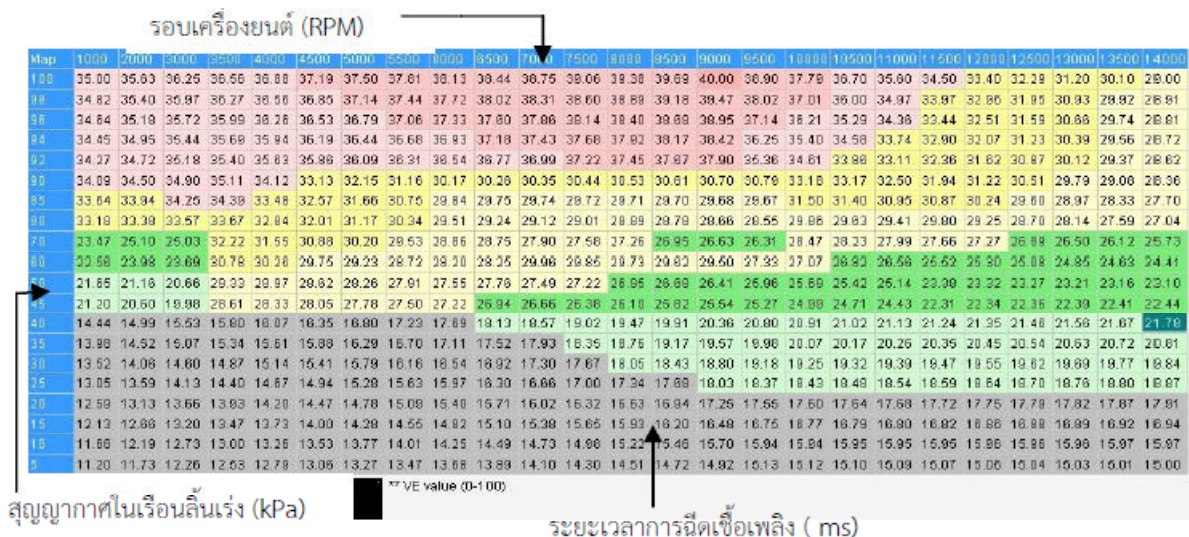
รูปที่ 8 ผลการฉีดเชื้อเพลิงในตั้งค่าการชดเชยอุณหภูมิหม้อน้ำเทียบกับระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิง

จากผลการทดลองตามรูปที่ 8 พบว่าอัตราการขาดเซย์ อุณหภูมิหม้อน้ำมีผลต่อการฉีดเชื้อเพลิงซึ่งค่าการฉีดเชื้อเพลิงสูงสุดที่ 40 ms จะมีอัตราการฉีดเชื้อเพลิงที่ 0.203, 0.226 และ 0.246 ตามลำดับและต่ำสุดเฉลี่ยที่ 10 ms มีอัตราการฉีดเชื้อเพลิง 0.11, 0.12 และ 0.15 ซีซี ตามลำดับกล่องมาตรฐานจะมีอัตราการฉีดเชื้อเพลิงที่ 0.42 ซีซีเมื่อเทียบกับกล่อง API ที่ต้องการฉีดเชื้อเพลิงที่ 0.42 ซีซี จะต้องปรับตารางการฉีดเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นถึง 0.50 ms ถึงจะได้ปริมาณเท่ากัน ข้อมูลเหล่านี้ใช้ในการออกแบบตารางการฉีดเชื้อเพลิง

4.2 ผลการทดสอบการประหยัดเชื้อเพลิงหลังจากมีการปรับแต่งตารางอัตราการฉีดเชื้อเพลิงในตัวโปรแกรมโดยแบ่งตารางออกเป็น 3 แบบ โดยใช้ข้อมูลจากรูปที่ 8 และค่าความดันสูญญากาศจากเรือนลิ้นเร่งถูกใช้ ในการออกแบบซึ่งเมื่อนำทดสอบวิ่งในสนามทดสอบเป็นจำนวนระยะทาง 6,000 เมตร จะได้ผลการทดสอบการประหยัดเชื้อเพลิงในแต่ละแบบ ดังตารางที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ และรูปที่ 9, 10 และ 11 ตามลำดับ

ตารางที่ 1 แสดงผลของการประหยัดเชื้อเพลิงเมื่อทดสอบการวิ่งในสนามทดสอบโดยใช้ตารางการฉีดเชื้อเพลิงแบบที่ 1

จำนวนครั้งที่ทดสอบ	เวลา (นาท)	ความเร็ว (กิโลเมตร/ชั่วโมง)	ใช้ปริมาณน้ำมัน (ซีซี)	อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง(กิโลเมตร/ลิตร)
1	14.20	25.35	19.32	310.55
2	13.55	26.56	20.13	328.06
3	14.33	25.12	18.00	333.33
ค่าเฉลี่ย	14.14	25.46	18.80	318.34



รูปที่ 9 ตารางอัตราการฉีดเชื้อเพลิงแบบที่ 1

ตารางที่ 2 แสดงผลของการประหยัดเชื้อเพลิงเมื่อทดสอบการวิ่งในสนามทดสอบโดยใช้ตารางการฉีดเชื้อเพลิงแบบที่ 2

จำนวนครั้งที่ทดสอบ	เวลา (นาท)	ความเร็ว (กิโลเมตร/ชั่วโมง)	ใช้ปริมาณน้ำมัน (ซีซี)	อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง(กิโลเมตร/ลิตร)
1	14.30	25.17	11.00	545.45
2	14.37	25.05	10.90	550.45
3	14.50	24.82	10.60	566.03
ค่าเฉลี่ย	14.39	25.01	10.83	553.97

Map	1000	2000	3000	3500	4000	4500	5000	5500	6000	6500	7000	7500	8000	8500	9000	9500	10000	10500	11000	11500	12000	12500	13000	13500
100	30.40	31.02	31.65	32.86	33.17	33.49	33.79	33.11	33.25	33.39	33.52	33.65	33.79	33.93	34.07	34.20	34.34	34.47	34.60	34.73	34.86	34.99	35.12	35.25
90	30.39	30.99	31.59	32.74	33.04	33.34	33.65	33.95	33.25	33.32	33.71	33.70	33.99	33.28	33.57	33.32	34.71	34.70	33.86	33.86	33.36	34.65	35.93	33
80	30.37	30.95	31.53	32.32	33.61	33.90	33.20	33.49	33.78	33.00	33.80	33.14	33.40	33.88	33.95	33.14	33.21	33.29	33.56	33.64	33.21	34.29	35.85	33
70	30.36	30.91	31.47	32.20	33.47	33.76	33.04	33.32	33.60	33.19	33.43	33.69	33.92	33.17	33.42	33.14	33.86	33.58	33.74	33.90	33.57	32.72	34.19	32
60	30.34	30.88	31.41	32.09	33.36	33.63	33.89	33.15	33.43	33.77	33.99	33.22	33.45	33.87	33.58	33.28	33.03	33.77	34.51	33.76	33.02	33.87	32.42	31
50	30.33	30.84	31.35	31.57	31.93	32.09	32.34	33.59	33.65	32.94	33.14	33.75	33.96	33.15	33.71	33.46	33.21	33.95	32.50	31.94	31.22	30.51	32.09	31
40	30.29	30.74	31.20	31.27	31.50	31.73	31.95	33.19	33.40	31.30	31.30	33.10	32.80	32.81	34.58	34.35	34.15	33.94	31.43	31.19	30.95	30.72	30.48	30
30	30.25	30.65	31.05	30.97	31.17	31.37	31.57	32.77	32.97	31.30	31.17	31.05	30.92	30.79	30.65	30.54	30.41	30.28	30.16	30.03	29.84	29.65	29.47	29
20	30.18	30.47	30.75	30.38	30.52	30.67	30.81	33.26	33.40	31.60	31.38	31.11	30.87	30.82	30.38	30.14	29.89	29.65	29.40	29.16	28.97	28.78	28.59	28
10	30.11	30.28	30.74	30.98	31.21	31.44	31.67	31.90	32.14	31.89	31.53	31.17	30.81	30.45	30.09	29.74	29.38	29.02	28.66	28.30	28.10	27.91	27.71	27
5	30.04	30.09	30.59	30.84	31.08	31.34	31.60	31.85	32.10	32.19	31.71	31.24	30.76	30.29	29.81	29.33	28.86	28.38	27.91	27.43	27.23	27.03	26.84	26
45	30.00	30.00	30.52	30.78	31.04	31.30	31.56	31.82	32.08	32.34	31.91	31.27	30.74	30.20	29.67	29.14	28.60	28.07	27.53	27.00	26.80	26.60	26.40	26
40	14.44	14.99	15.53	15.80	16.07	16.35	16.80	17.23	17.60	18.13	18.57	18.80	19.05	19.29	19.53	19.76	20.00	20.23	20.48	20.72	20.93	21.14	21.36	21
35	13.98	14.52	15.07	15.34	15.61	15.89	16.29	16.70	17.11	17.52	17.93	18.35	18.76	19.17	19.57	19.98	20.37	20.17	20.26	20.35	20.45	20.54	20.63	20
30	13.52	14.06	14.60	14.87	15.14	15.41	15.79	16.16	16.54	16.92	17.30	17.67	18.05	18.43	18.80	19.18	19.25	19.32	19.39	19.47	19.55	19.62	19.69	19
25	13.05	13.59	14.13	14.40	14.67	14.94	15.28	15.63	15.97	16.30	16.68	17.00	17.34	17.68	18.03	18.37	18.43	18.48	18.54	18.59	18.64	18.70	18.76	18
20	12.59	13.13	13.66	13.93	14.20	14.47	14.78	15.09	15.40	15.71	16.02	16.32	16.63	16.94	17.25	17.55	17.60	17.64	17.68	17.72	17.75	17.79	17.82	17
15	12.13	12.68	13.20	13.47	13.73	14.00	14.28	14.55	14.82	15.10	15.38	15.65	15.93	16.20	16.48	16.75	16.77	16.79	16.80	16.82	16.86	16.88	16.89	16
10	11.66	12.19	12.73	13.00	13.26	13.53	13.77	14.01	14.25	14.48	14.73	14.98	15.22	15.46	15.70	15.94	15.94	15.95	15.95	15.96	15.96	15.96	15.96	15
5	11.20	11.73	12.28	12.53	12.79	13.03	13.27	13.47	13.68	13.89	14.10	14.30	14.51	14.72	14.92	15.13	15.12	15.10	15.09	15.07	15.06	15.04	15.03	15
Table value		Rpm		Map (kPa)		** VE value (0-100)																		
0.00		0		0																				

รูปที่ 10 แสดงตารางอัตราการฉีดเชื้อเพลิงแบบที่ 2

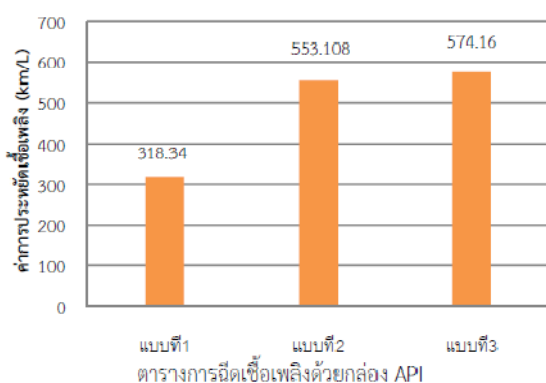
ตารางที่ 3 แสดงผลของการประหยัดเชื้อเพลิงเมื่อทดสอบการวิ่งในสนามทดสอบโดยใช้ตารางการฉีดเชื้อเพลิงแบบที่ 3

จำนวนครั้งที่ทดสอบ	เวลา (นาท)	ความเร็ว (กิโลเมตร/ชั่วโมง)	ใช้ปริมาณน้ำมัน (ซีซี)	อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง(กิโลเมตร/ลิตร)
1	14.54	24.75	10.37	578.64
2	14.36	25.06	10.95	547.98
3	14.13	25.26	10.07	595.86
ค่าเฉลี่ย	14.35	25.03	10.47	574.16

Map	1000	2000	3000	3500	4000	4500	5000	5500	6000	6500	7000	7500	8000	8500	9000	9500	10000	10500	11000	11500	12000	12500	30
100	30.40	31.02	31.65	37.66	38.17	38.49	38.79	39.11	39.25	39.39	39.52	39.65	39.79	39.93	40.07	40.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
200	30.39	30.99	31.59	37.74	38.04	38.24	38.55	38.95	39.25	39.32	39.71	39.70	39.99	39.29	39.57	39.32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
300	30.37	30.95	31.53	36.32	36.61	36.90	37.20	37.49	37.78	37.60	37.85	38.14	38.40	38.68	38.95	37.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
400	30.36	30.91	31.47	36.20	36.47	36.76	37.04	37.32	37.60	37.18	37.43	37.69	37.92	38.17	38.42	38.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
500	30.34	30.88	31.41	36.09	36.36	36.63	36.89	37.15	37.43	36.77	36.99	37.22	37.45	37.67	37.59	37.29	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
600	30.33	30.84	31.35	31.57	31.83	32.08	32.34	32.59	32.85	32.84	33.14	33.75	33.99	37.15	38.71	38.48	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
700	30.29	30.74	31.20	31.27	31.50	31.73	31.95	32.18	32.40	31.30	31.30	33.10	32.88	32.61	34.56	34.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
800	30.25	30.65	31.05	30.97	31.17	31.37	31.57	32.77	32.97	31.30	31.17	31.05	30.92	30.79	30.66	30.54	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
900	30.18	30.47	30.75	30.58	30.52	30.67	30.81	33.26	33.40	31.60	31.35	31.11	30.87	30.62	30.38	30.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1000	30.11	30.28	30.74	30.58	31.21	31.44	31.67	31.90	32.14	31.89	31.63	31.17	30.81	30.45	30.09	29.74	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1100	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1200	30.00	30.00	30.52	30.78	31.04	31.30	31.56	31.82	32.08	32.34	31.81	31.27	30.74	30.20	29.67	29.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1300	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1400	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1500	13.98	14.52	15.07	15.34	15.61	15.88	16.29	16.70	17.11	17.52	17.93	18.35	18.76	19.17	19.57	19.98	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1600	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1700	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1800	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1900	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Table value	0.00																						
Repn	0																						
Map (kPa)	0																						
VE value (0-100)																							

รูปที่ 11 ตารางอัตราการฉีดเชื้อเพลิงแบบที่ 3

เมื่อนำค่าการฉีดเชื้อเพลิงในตารางการฉีดเชื้อเพลิงทั้ง 3 แบบ ดังแสดงในรูปที่ 9-10 ที่ผ่านการทดสอบวิ่งในสนามทดสอบเพื่อนำมาเปรียบเทียบการประหยัดเชื้อเพลิงในแต่ละแบบซึ่งสรุปผลการประหยัดเชื้อเพลิงได้ตามรูปที่ 12



รูปที่ 12 แสดงการเปรียบเทียบค่าการประหยัดเชื้อเพลิงทั้ง 3 แบบโดยกล่องดัดแปลง API

จากรูปที่ 12 จะเห็นว่าการทดสอบการประหยัดเชื้อเพลิงทั้ง 3 แบบซึ่งตารางการฉีดเชื้อเพลิงแบบที่ 3 สามารถทำสถิติได้ 574.16 km/L เป็นค่าการประหยัดมากที่สุด และแบบที่ 1 แบบที่ 2 ได้สถิติ 318.34 และ 535.10km/L ตามลำดับ

4.3 ผลการทดสอบวันแข่งขันฮอนด้าประหยัดเชื้อเพลิง คณะผู้วิจัยได้นำตารางการฉีดเชื้อเพลิงในแบบที่ 2 และ 3 มาใช้ในการแข่งขันรถประหยัดเชื้อเพลิง พบว่าสถิติการประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิงดีขึ้นอย่างชัดเจน โดยสถิติก่อนการปรับปรุงพัฒนารถประหยัด จะมีค่าสถิติ 368.78 km/L ในการแข่งขันฮอนด้าประหยัดเชื้อเพลิงปีที่ 13 โดยใช้ความเร็วเฉลี่ย 25.10 km/h วิ่งในระยะทาง 10.2 km หลังการใช้ตารางการฉีดเชื้อเพลิงแบบที่ 3 ร่วมกับเทคนิคการพัฒนาเครื่องยนต์ ที่ได้จากงานวิจัย ในการแข่งขันปีที่ 13 วิ่งทดสอบในระยะทาง 10.2 km ทำสถิติได้ 560.84 km/L โดยใช้ความเร็วเฉลี่ย 26.53km/h มีผลการประหยัดเพิ่มขึ้นเป็น 34.28%

5. สรุปผล

จากการทดลองพบว่าอัตราการฉีดที่เหมาะสมและประหยัดที่สุดคือตารางการฉีดแบบที่ 3 จากการสังเกตพฤติกรรมของเครื่องยนต์แบบที่ 1 และ 2 พบว่าเมื่อมีระยะเวลาการฉีดนาน กำลังของเครื่องยนต์ก็จะมีอัตราเร่งที่สูงซึ่งมีผลให้สิ้นเปลืองเชื้อเพลิงแต่รถมีความต้องการใช้ความเร็วที่ 25-30 km/h และการใช้กำลังสูงสุดของเครื่องยนต์จะใช้ในช่วงการออกตัวเท่านั้นเมื่อรถมีการเคลื่อนที่เร่งด้านทานการหมุนจะเริ่มลดลง [6] จึงต้องมีการลดระยะเวลาการฉีดให้น้อยลง ซึ่งตารางการฉีดแบบที่ 3 จะ

มีการกำหนดรูปแบบการฉีดโดยจะมีการฉีดเชื้อเพลิงเฉพาะในรอบของเครื่องยนต์ที่ใช้งาน และจะกำหนดอัตราการฉีดเฉลี่ยในรอบที่ใช้งานตามจำนวนความต้องการโดยสังเกตจากแรงสุญญากาศจากเรือนลิ้นแรงของเครื่องยนต์ ส่วนรอบไม่ใช้งานจะตัดการฉีดเชื้อเพลิง การตั้งค่าการชดเชยอุณหภูมิหม้อน้ำที่สูงมีผลต่อการฉีดเชื้อเพลิงดังในรูปที่ 8 ซึ่งอาจเปรียบเทียบตัวชดเชยอุณหภูมิหม้อน้ำเหมือนกับตัวนมหนูในคาร์บูเรเตอร์ เมื่อขนาดนมหนูใหญ่จะจ่ายน้ำมันมากกว่าขนาดนมหนูเบอร์เล็กตามลำดับ การพัฒนารถเพื่อความปลอดภัยที่ดีขึ้นหรือการนำไปใช้ในรถจริงนั้นถ้ามีองค์ความรู้ด้านสมรรถนะและแบบจำลองเครื่องยนต์และควบคุมส่วนผสมอากาศ-เชื้อเพลิงให้เกิดการหมุนวนก่อนเข้าเครื่องยนต์ [11] จะส่งผลให้เกิดประสิทธิภาพสูงขึ้น โดยที่ใช้เชื้อเพลิงเท่าเดิม

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์ และบริษัทเอ.พี. ฮอนด้า จำกัด ที่ให้การช่วยเหลือ อุปกรณ์ เครื่องมือ ทุนวิจัย และความช่วยเหลือจากบุคลากรในคณะ จนกระทั่งงานประสบความสำเร็จ

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] สมเจตน์ ถนอมพุทรา, “การพัฒนาเครื่องยนต์ประหยัดเชื้อเพลิงเพื่อการแข่งขัน : นนทรีอีสาน”, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 21, ชลบุรี , 17-19 ตุลาคม 2550, หน้า 1300-1306
- [2] เอ.พี.ฮอนด้า, บริษัทจำกัด “คู่มือประกอบการอบรมรถจักรยานยนต์ รุ่น WAVE125-I” บริษัทเอพี ฮอนด้า: กรุงเทพมหานคร., ม.ป.ป.
- [3] บริษัทเอ.พี.ไอ.เทค จำกัด, “คู่มือการใช้งานระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ API EFI ADVANCE 2014” สืบค้น 25 สิงหาคม 2559, สืบค้นจาก <http://apitechonline.com/download/>

- [4] กฤษดา วิสวธีรานนท์, “โครงสร้างและวิธีสร้างรถไฟฟ้าประหยัดพลังงาน”, สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น, 2554.
- [5] บริษัท เอพี ฮอนด้า จำกัด, “กติกาส่งขันตอนการแข่งขันฮอนด้าประหยัดเชื้อเพลิง” สมุทรปราการ : รางรถไฟเก่า, 2545.
- [6] อธิษฐาน สุวรรณประทีป, “วิศวกรรมยานยนต์”, วิทยพัฒน์ พิมพ์ครั้งที่ 3 กรุงเทพมหานคร, 2534
- [7] ชัยสวัสดิ์ เทียนวิบูลย์, “กลศาสตร์ยานยนต์”, วิทยาลัยเทคโนโลยีและอาชีวศึกษา วิทยาเขตนนทบุรี, 2528
- [8] Heywood, J.B., “Internal Combustion Engine Fundamentals”, McGraw-Hill, Singapore, 1988.
- [9] เสมอขวัญ ตันติกุล. “เครื่องยนต์สันดาปภายใน”, เจริญรุ่งเรืองการพิมพ์ : กทม., 2538.
- [10] สุเทพ ญาณวัฒน์. “เครื่องยนต์สันดาปภายใน”, โรงพิมพ์เจริญธรรม : กทม., 2528.
- [11] หลาบ รับสิริ, “เครื่องยนต์เผาไหม้ภายใน”. พิสิกส์เซ็นเตอร์การพิมพ์ : กทม., 2528.