# การพัฒนารถประหยัดเชื้อเพลิงโดยการปรับความดันการฉีดเชื้อเพลิงด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

# The development of econo car by adjusting fuel injection pressure with computer program

ปฏิภาณ ถิ่นพระบาท

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากงบประมาณเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2562
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

# The development of econo car by adjusting fuel injection pressure with computer program

Padipan Tinprabath

This Research in Funded by Faculty of Engineering
Rajamangala University of Technology Phra Nakhon
Year 2019

ชื่อเรื่อง การพัฒนารถประหยัดเชื้อเพลิงโดยการปรับความดันการฉีดเชื้อเพลิงด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

ผู้วิจัย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ปฏิภาณ ถิ่นพระบาท
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

พ.ศ. 2562

## บทคัดย่อ

การศึกษาการใช้เชื้อเพลิงอย่างมีประสิทธิภาพด้วยวิธีการควบคุมความดันของการฉีดเชื้อเพลิง เป็นกระบวนการเพื่อค้นหาสภาวะที่เหมาะที่ทำให้เกิดการประหยัดเชื้อเพลิงอย่างสูงสุดในกระบวนการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ ในการศึกษานี้เครื่องยนต์ที่นำมาใช้ร่วมกับรถประหยัดเชื้อเพลิงคือเครื่องยนต์ Honda wave ขนาด 110 cc. ในการศึกษานี้ได้เน้นการทดสอบการฉีดเชื้อเพลิงของหัวฉีด โดยวิธีการปรับความดันลมของระบบนิวแมติกส์ ในระบบการฉีดเชื้อเพลิงให้เหมาะสมในการทำงานของหัวฉีดเชื้อเพลิง ซึ่งควบคุมจังหวะการฉีดด้วยระบบคอมพิวเตอร์ โดยการปรับที่วาล์วควบคุมความดันแตกต่างกัน 3 ระดับ ได้แก่ 2, 2.5 และ 3 bar ตามลำดับ และทดสอบการวิ่งในระยะทางที่เท่ากัน คือ 5 กิโลเมตร จากผลทดสอบพบว่า ที่ความดัน 2 bar ให้ค่าการประหยัดเชื้อเพลิงมากที่สุดโดยมีอัตราการสิ้นเปลืองที่ 1,020.68 km/L และความเร็วที่ 25.23 km/h ซึ่งสอดคล้องกับค่ามลพิษที่เกิดจากกระบวนการ

Title The development of econo car by adjusting fuel injection pressure

By Asst.Prof.Padipan Tinprabath

Faculty of Engineering

Rajamangala University of Technology Phra Nakhon

Year 2019

## Abstract

The study of the efficiency of fuel consumption by adjusting the fuel injection pressure is basically one optimization method to maximize the engine combustion. In this current study, the Honda wave 110 cc. engine has been used to test in particular the fuel injection by adjusting the pressure of injector. To control the pressure of injection was made by automatic valve injectors with three different pneumatic pressure which were 2, 2.5 and 3 bars respectively and the similar running distance of 5km. The results showed that at 2 bars, the obtained fuel saving was 1,020.68 km/L and the speed at 25.23 km/h which corresponded to the highest CO2 emissions during the engine combustion.

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่สนับสนุนงบประมาณในการทำวิจัย

ขอขอบคุณ ผศ.ดร.สมใจ เพียรประสิทธิ์ อาจารย์ ดร.ณทพร จินดาประเสริฐ ที่ช่วยแนะนำในเรื่องการทดสอบ การวิเคราะห์ การสรุปผลการทดสอบ และช่วยควบคุมทีมเข้าร่วมการแข่งขันฮอนด้าประหยัดเชื้อเพลิง ครั้งที่ 21 และขอขอบคุณ นายประพฤทธิ์ ยิ่งประเสริฐผล นายบุรัสกร รัตนรุจิรา นายปุรเชษฐ์ ขุนพิทักษ์ นักศึกษาสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ที่ช่วยดำเนินการแข่งขันและทดสอบ

ขอขอบคุณ สมาคมนักเรียนเก่าช่างกลพระนครเหนือ บริษัทวรภัณฑ์มาร์เก็ตติ้งจำกัด บริษัทสยามนครเดินรถจำกัด ยาง IRC_TIRE กล่อง API_TECH สนามแข่งขัน SOLAR_TRACK ร้าน Tee_Racing_Shop ร้าน TINY_wheels ล้อ TOZZ_CYCLES และบริษัท AP_Honda ที่สนับสนุนการเข้าร่วมการแข่งขันและการทำวิจัยครั้งนี้

ปฏิภาณ ถิ่นพระบาท

**สารบัญ**


หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ก

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ข

กิตติกรรมประกาศ ค

**บทที่ 1 บทนำ** 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย 2

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย 2

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3

**บทที่ 2 ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง** 3

2.1 เครื่องยนต์ 4

2.2 ระบบจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงแบบ PGM-FI 8

2.3 การวิเคราะห์อัตรการฉีดเชื้อเพลิง 11

2.4 ระบบนิวแมติกส์ 12

2.5 ระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ 15

2.6 การคำนวณค่าการประหยัดเชื้อเพลิง 17

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 18

**บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย** 20

**สารบัญ(ต่อ)**

หน้า


3.1 วิธีการดำเนินการวิจัย 20

3.2 การปรับปรุงรถประหยัดเชื้อเพลิงและการทดสอบ 20

3.3 กฎการแข่งขัน/ทดสอบ 21

3.4 สนามทดสอบ/แข่งขัน 24

3.5 สภาวะการทดสอบ/การแข่งขัน 25

3.6 วิเคราะห์สารมลพิษจากไอเสีย 25

3.7 การทดสอบ ณ สนามแข่งรถ ไทยแลนด์เซอร์กิต นครชัยศรี จ.นครปฐม 27

3.8 การทดสอบในการแข่งขันจริง ณ สนามช้าง อินเตอร์เนชั่นแนล เซอร์กิต จ.บุรีรัมย์ 30

**บทที่ 4 ผลการศึกษา** 34

4.1 ผลการทดสอบ ณ สนามแข่งรถ ไทยแลนด์เซอร์กิต นครชัยศรี จ.นครปฐม 34

4.2 ผลการทดสอบ การแข่งขันจริง ณ สนามช้าง อินเตอร์เนชั่นแนล เซอร์กิต จ.บุรีรัมย์ 37

**บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ** 38

5.1 ผลการศึกษา 38

5.2 ข้อเสนอแนะ 38

**บรรณานุกรม** 41

**ภาคผนวก ก.** การเผยแพร่งานวิจัย 42

**ภาคผนวก ข.** รายงานผลเข้าร่วมการแข่งขัน 48

**สารบัญตาราง**


| ตารางที่ | หน้า |
|---|---|
| 3.1 Specification เครื่องวิเคราะห์ไอเสีย ของ KOENG รุ่น KEG-500 | 26 |
| 4.1 ผลการทดสอบครั้งที่ 1 ระยะทาง 5 km | 34 |
| 4.2 ผลการทดสอบครั้งที่ 2 ระยะทาง 5 km | 34 |
| 4.3 ผลการทดสอบครั้งที่ 3 ระยะทาง 5 km | 35 |
| 4.4 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการทดสอบทั้ง 3 ครั้ง | 35 |
| 4.5 ผลการทดสอบด้านมลพิษจากไอเสียของเครื่องยนต์ | 36 |
| 4.6 แรงดันลมที่มีค่าต่ำกว่า 2 bar | 37 |
| 4.7 ผลการทดสอบ ระยะทาง 18 km | 37 |

**สารบัญรูป**


| รูปที่ | หน้า |
|---|---|
| 2.1 จังหวะดูด | 4 |
| 2.2 จังหวะอัด | 5 |
| 2.3 จังหวะระเบิดหรือจังหวะงาน | 5 |
| 2.4 จังหวะคาย | 6 |
| 2.5 จังหวะโอเวอร์แลป | 6 |
| 2.6 ความแตกต่างของระบบคาร์บูเรเตอร์และ PGM-FI | 8 |
| 2.7 เรือนลิ้นเร่ง | 9 |
| 2.8 หัวฉีด | 10 |
| 2.9 กล่อง ECU | 11 |
| 2.10 ปั๊มน้ำมันเชื้อเพลิง | 11 |
| 2.11 กฎของปาสคาล | 14 |
| 2.12 แผนผังการทำงานของระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ | 16 |
| 2.13 แสดงลักษณะโปรแกรมที่ใช้คู่กับกล่อง API | 17 |
| 3.1 รถประหยัดเชื้อเพลิง คันที่ 1 | 19 |
| 3.2 รถประหยัดเชื้อเพลิง คันที่ 2 | 20 |
| 3.3 ระบบฉีดเชื้อเพลิงตามกฎการแข่งขันของ บริษัท เอ พี ฮอนด้า จำกัด สามารถปรับความดันการฉีดเชื้อเพลิง | 22 |

3.4 เครื่องวิเคราะห์ไอเสีย ของ KOENG รุ่น KEG-500 27

3.5 การตรวจสอบสภาพรถก่อนทำการทดสอบ 28

3.6 การตรวจสอบความพร้อมก่อนออกจากจุดสตาร์ท 29

3.7 จุดสตาร์ท 29

3.8 จุดสิ้นสุด และจดบันทึก 30

3.9 การติดตั้งระบบจ่ายน้ำมัน 31

3.10 การปรับแต่งเครื่องยนต์อีกครั้งก่อนทำการแข่งขัน และ การตรวจสอบระบบเบรกพื้นที่ลาดเอียง 31

3.11 พิธีเปิดการแข่งขันและปล่อยรถคันแรก 31

3.12 เริ่มแข่งขัน 32

3.13 ทำการวิ่งไป 4 รอบสนาม 32

3.14 การชั่งน้ำมันเชื้อเพลิงหลังการแข่งขัน 33

4.1 ค่าเฉลี่ยการสิ้นเปลืองน้ำมัน 35

4.2 การปล่อยสารมลพิษในไอเสียของเครื่องยนต์ 31

4.3 ค่า $\lambda$ ของไอเสีย 36

4.4 ผลการประหยัดเชื้อเพลิงจากการทดสอบและการแข่งขัน 38

# บทที่ 1
# บทนำ

**1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา**

ในปัจจุบันประชากรบนโลกมีสถิติการใช้ทรัพยากรและพลังงานเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่องและเพิ่มมากขึ้นเรื่อยในทุกๆ ปี ที่เป็นเช่นนี้ก็เนื่องจากการพัฒนาของโลก ซึ่งนับวันทรัพยากรจะลดน้อยลงเรื่อยๆ ยกตัวอย่างเช่น พลังงานเชื้อเพลิง โดยที่ประเทศไทยสามารถผลิตขึ้นเองได้เล็กน้อยไม่เพียงพอต่อการบริโภคคงจำเป็นที่จะต้องนำเข้าน้ำมันเชื้อเพลิง จากต่างประเทศทำให้สิ้นเปลืองและสูญเสียเงินตราปีหนึ่งมีมูลค่ามหาศาล ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องพัฒนาและปรับปรุง วิธีการประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิงในรถยนต์ จะเป็นแนวทางในการลดการสูญเสียพลังงานเชื้อเพลิง และใช้เชื้อเพลิงให้คุ้มค่ามากที่สุด

เพื่อเป็นการกระตุ้นให้เยาวชนและประชาชนทั่วไปช่วยการประหยัดและอนุรักษ์พลังงานเชื้อเพลิง บริษัท เอ.พี.ฮอนด้า จำกัด ร่วมกับสำนักงานคณะกรรมการอาชีวะศึกษาจึงได้จัดการแข่งขัน ฮอนด้าประหยัดเชื้อเพลิง ขึ้นตั้งแต่ ปี พ.ศ.2540 ถึงปัจจุบัน โดยในแต่ละปีจะมีทีมที่เข้าร่วมการการแข่งขัน มากกว่า 450 ทีมทั่วประเทศจากโรงเรียน วิทยาลัย มหาวิทยาลัยและประชาชนทั่วไป โดยแบ่งการแข่งขันออกเป็น สามระดับ คือ อาชีวะศึกษา อุดมศึกษา และประชาชนทั่วไป สำหรับที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ได้มีการจัดทำมาแล้วตั้งแต่ปี พ.ศ. 2548 ซึ่งได้ค่าการประหยัดเชื้อเพลิง 365.40 km/L คันที่สองปี พ.ศ.2549 ได้ค่าการประหยัดเชื้อเพลิง 453.38 km/L คันที่สามปี พ.ศ.2550 ได้ค่าการประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิง 866.63 km/L ได้รับรางวัลอันดับที่ 3 ของประเทศในรุ่นอุดมศึกษา พ.ศ.2551 ได้พัฒนาคันที่สามได้ค่าการประหยัดเชื้อเพลิง 856.18 km/L ได้รับรางวัลอันดับที่ 4 ของประเทศในรุ่นอุดมศึกษา พ.ศ.2553 ได้พัฒนาคันที่สามได้ค่าการประหยัดเชื้อเพลิง 416.39 km/L ได้รับรางวัลอันดับที่ 2 ของประเทศในรุ่นอุดมศึกษา และ ได้เป็นตัวแทนของประเทศไทยไปเข้าร่วมการแข่งขัน HONDA ECON POWER CONTEST 12th ณ สนามเชียงไฮ้เซอร์กิต เมืองเชียงไฮ้ ประเทศสาธารรัฐประชาชนจีน ผลจากการแข่งขันรถของทีม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ได้รับรางวัลอันดับที่ 4 ค่าการประหยัดเชื้อเพลิง 977.12 km/L พ.ศ.2554 ได้รับรางวัลอันดับที่ 2 ของประเทศในรุ่นอุดมศึกษา และ ได้รับรางวัลชนะเลิศ อันดับที่ 1 ของประเทศในรุ่นประชาชนทั่วไป พ.ศ.2555 ได้รับรางวัลอันดับที่หนึ่ง ของประเทศในรุ่นอุดมศึกษา และ ได้รับรางวัลชนะเลิศ อันดับที่หนึ่ง ของประเทศในรุ่นอุดมศึกษา ได้เป็นตัวแทนของประเทศไทยอีกครั้งไปเข้าร่วมการแข่งขัน HONDA ECON POWER CONTEST ประเทศสาธารรัฐประชาชนจีน หลังจากนั้นทางทีมที่จัดทำรถประหยัดเชื้อเพลิง

ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร เห็นควรหยุดการแข่งขันชั่วคราวเนื่องจากเห็นว่า ได้มาสู่การได้รับรางวัลสูงสุดของการแข่งขันชนิดนี้แล้ว แต่ปัจจุบันนี้เทคโนโลยี การประหยัดเชื้อเพลิงได้พัฒนาขึ้นอย่างรวดเร็วมาก โดยเฉพาะการใช้คอมพิวเตอร์ควบคุมการฉีดเชื้อเพลิงเพื่อให้เกิดการประหยัดเชื้อเพลิงสูงสุด พ.ศ.2559 ค่าการประหยัดเชื้อเพลิง 1002.38 km/L ได้รับรางวัลอันดับที่ 2 ของประเทศในรุ่นประชาชน ดังนั้นในปีที่ผ่านมา พ.ศ.2560 ได้เข้าร่วมการแข่งขันอีกครั้ง ได้ค่าการประหยัดเชื้อเพลิง 470 km/L ได้รับรางวัลรองชนะเลิศอันดับที่ 5 ของประเทศในรุ่นอุดมศึกษา (โดยทีมชนะเลิศ ค่าการประหยัดเชื้อเพลิง 2,900 km/L) และได้รับรางวัล Popular Vote อันดับที่ 2 จากผู้เข้าแข่ง 470 ทีม [1]

จากเหตุผลดังกล่าว ผู้วิจัยจึงได้เล็งเห็นความสำคัญดังกล่าวจึงได้ประดิษฐ์และพัฒนารถประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิง โดยนำเทคนิคและความรู้ในทางวิศวกรรมมาประยุกต์ใช้ เพื่อการคิดค้นและพัฒนารถประหยัดน้ำเชื้อเพลิงด้วย โดยการปรับความดันการฉีดเชื้อเพลิงด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ และจะเข้าร่วมการแข่งขันรถประหยัดเชื้อเพลิงเพื่อใช้ในการแข่งขัน Honda Eco Car ซึ่งเป็นรถประหยัดเชื้อเพลิงที่พัฒนาจากที่เคยใช้ในอดีต จำนวน 2 คัน จะเข้าแข่งขัน การแข่งขันฮอนด้าประหยัดเชื้อเพลิง ปีที่ 21 ช่วงปลายเดือนพฤศจิกายน 2561 (ปีงบประมาณ 2562) ณ สนามช้างอินเตอร์เนชั่นแนลเซอร์กิต จ.บุรีรัมย์ ซึ่งคาดว่าจะทำให้ช่วยลดปริมาณการฉีดน้ำมัน ซึ่งจะทำให้ช่วยประหยัดเชื้อเพลิง โดยหวังเป็นอย่างยิ่งว่าเทคนิคและองค์ความรู้จากงานวิจัยนี้ จะสามารถนำไปพัฒนาและใช้ได้จริงกับเครื่องยนต์ที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน และเป็นการช่วยส่งเสริมให้นักศึกษาได้พัฒนา การสร้างองค์ความรู้ ทักษะ ความรับผิดชอบ มีประสบการณ์ตรงในสร้างและเข้าร่วมการแข่งขันในระดับชาติและนานาชาติ สร้างชื่อเสียงเกียรติภูมิให้แก่ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร และยังช่วยตอบสนองตัวชี้วัดความสำเร็จ คณะวิศวกรรมศาสตร์ เรื่องจำนวนผลงานของนักศึกษาที่ได้รับรางวัล ในระดับชาติและนานาชาติ

**2. วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย**

2.1 เพื่อศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อการประหยัดเชื้อเพลิงของรถยนต์

2.2 เพื่อพัฒนารถประหยัดเชื้อเพลิงให้มีสมรรถนะสูงด้วยการปรับความดันการฉีดเชื้อเพลิง

2.3 เพื่อเข้าร่วมการแข่งขันฮอนด้าประหยัดเชื้อเพลิง ครั้งที่ 21 ทั้งในระดับประเทศ และะดับนานาชาติ (หากได้รับคัดเลือกให้เป็นตัวแทนประเทศไทย)

2.4 เพื่อเป็นการประชาสัมพันธ์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

**3. ขอบเขตของโครงการวิจัย**

3.1 มีอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงไม่น้อยกว่า 1,000 km/L ที่ความเร็วไม่ต่ำกว่า 25 km/hr

3.2 ใช้เครื่องยนต์ HONDA WAVE 110 cc ปริมาตรความจุระหว่าง 109–115 cc

3.3 ใช้ระบบหัวฉีดในการจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงด้วยความดันทดลอง 3 ระดับ

3.4 ทดสอบกับรถประหยัดเชื้อเพลิง 2 คัน

**4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ**

4.1 เชิงสาธารณะ

4.1.1 เป็นองค์ความรู้ในด้านวิศวกรรมในการพัฒนารถรถประหยัดเชื้อเพลิงเพื่อใช้ในการแข่งขัน Honda Eco Car ในด้านต่างๆ เช่น ความดันการฉีดเชื้อเพลิง, ระบบควบคุมการฉีดเชื้อเพลิง, ระบบเคลื่อน, ระบบขับขี่, ระบบล้อและเบรค เป็นต้น แก่ นักศึกษา นักวิจัย ประชาชนทั่วไป

4.1.2 ประชาสัมพันธ์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ให้เป็นที่รู้จักกับผู้ที่เข้าแข่งขันและผู้ที่มาชมการแข่งขัน

4.2 เชิงวิชาการ

4.2.1 ได้ทราบปัจจัยการพัฒนารถรถประหยัดเชื้อเพลิงเพื่อใช้ในการแข่งขัน Honda Eco Car ในด้านต่างๆ เช่น ระบบเครื่องยนต์, ระบบควบคุมการฉีดเชื้อเพลิง, ระขับเคลื่อน, ระบบขับขี่, ระบบล้อและเบรค เป็นต้น

4.2.2 ได้ทราบตัวแปรที่มีผลต่อการพัฒนารถประหยัดเชื้อเพลิง

4.3 เชิงพาณิชย์

4.3.1 ผู้ผลิตรถยนต์นำเทคนิคการพัฒนารถรถประหยัดเชื้อเพลิงที่พบไปใช้หรือพัฒนาในการผลิตรถยนต์ให้เกิดประโยชน์สูงสุด

4.4 เชิงนโยบาย

4.4.1 สร้างจิตสำนึกในการอนุรักษ์และประหยัดพลังงานเชื้อเพลิง และใช้พลังงานให้เกิดประโยชน์สูงสุด ให้กับผู้เข้าร่วมโครงการและคนทั่วไป

4.5 เชิงปริมาณ

4.5.1 ได้รถรถประหยัดเชื้อเพลิงที่มีสมรรถนะดีเยี่ยม 2 คัน

# บทที่ 2
# ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

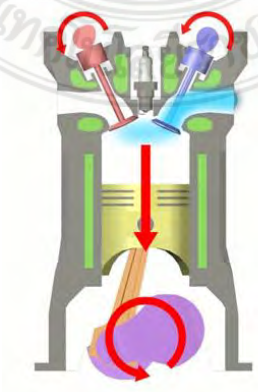
ในบทที่ 2 ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง ทำการทบทวน ศึกษา ตำรา เอกสาร งานวิจัย ต่างๆที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยในครั้งนี้ เพื่อจะได้นำข้อมูลมาเป็นพื้นฐานในเบื้องต้น ประกอบด้วยเนื้อหาเกี่ยวกับเครื่องยนต์ ระบบจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงแบบ PGM-FI การวิเคราะห์อัตรการฉีดเชื้อเพลิง ระบบนิวแมติกส์ ระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ และการคำนวณค่าการประหยัดเชื้อเพลิง

## 2.1 เครื่องยนต์ [1]

วัฏจักรการทำงานของเครื่องยนต์เล็กเบนซิน 4 จังหวะจังหวะการทำงานของเครื่องยนต์เล็กเบนซินแบบ 4 จังหวะ คือ จังหวะดูด จังหวะอัด จังหวะระเบิด และจังหวะคาย ทั้ง 4 จังหวะการทำงานของเครื่องยนต์จะเกิดขึ้นจากการหมุนของเครื่องยนต์ 2 รอบและจะได้งานของเครื่องยนต์ 1 ครั้งไอดี คือส่วนผสมของไอระเหยหรือละอองน้ำมันเบนซินผสมกับอากาศ ไอดีจะถูกดูดเข้ากระบอกสูบหรือฉีดเข้ากระบอกสูบโดยหัวฉีดในช่วงชักดูด และไอดีจะถูกอัดให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นประมาณ 700-900 °C แล้วไอดีถูกจุดระเบิดโดยประกายไฟประมาณ 25,000 V จากเขี้ยวหัวเทียน เรียกช่วงชักนี้ว่าช่วงชักระเบิด หรือ "ช่วงชักงาน" แรงระเบิดทำให้ลูกสูบเลื่อนลง เครื่องยนต์ได้งานในช่วงชักนี้ ทำให้เพลาข้อเหวี่ยงเกิดการหมุน เป็นการเปลี่ยนพลังงานความร้อนเป็นพลังงานกล ช่วงชักคายลูกสูบเลื่อนขึ้น ลิ้นไอดี "ปิด" ลิ้นไอเสีย "เปิด" ไอเสียออกจากกระบอกสูบทางลิ้นไอเสีย ผ่านท่อไอเสีย ออกสู่บรรยากาศ เครื่องยนต์ทำงาน ครบ 4 ช่วงชัก

### 2.1.1 จังหวะดูด (Intake)

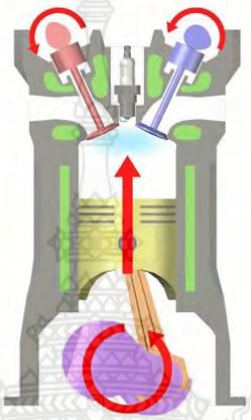
จังหวะดูดเริ่มต้นจากลูกสูบอยู่ด้านบนของกระบอกสูบ เคลื่อนที่ลงสู่ด้านล่าง ลิ้นไอดีเปิดเพื่อดูดส่วนผสมไอดี (น้ำมันเบนซินผสมกับอากาศ) เข้ากระบอกสูบจนลูกสูบเคลื่อนที่ลงสู่ศูนย์ตายล่าง ลิ้นไอดีจึงอยู่ในตำแหน่งปิด โดยในจังหวะนี้ลิ้นไอเสียอยู่ในตำแหน่งปิด



**รูปที่ 2.1** จังหวะดูด [1]

2.1.2 จังหวะอัด (Compression)

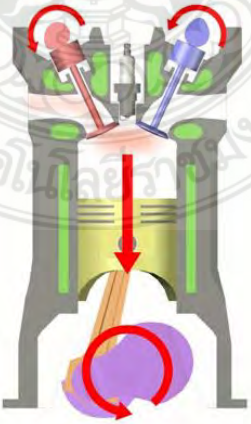
จังหวะอัดลูกสูบเคลื่อนที่จากศูนย์ตายล่างขึ้นสู่ศูนย์ตายบนของกระบอกสูบ เพื่ออัดส่วนผสมไอดีที่ถูกดูดเข้ามาภายในกระบอกสูบจากจังหวะดูด ส่งผลทำให้ภายในกระบอกสูบมีอัตราส่วนการอัดสูงขึ้นประมาณ 1 : 6 ถึง 1 : 10 ความดันประมาณ 6.0 - 10.0 kg/cm$^2$ ในจังหวะนี้ลิ้นไอดีและลิ้นไอเสียอยู่ในตำแหน่งปิด



**รูปที่ 2.2** จังหวะอัด [1]

2.1.3 จังหวะระเบิดหรือจังหวะงาน (Expansion)

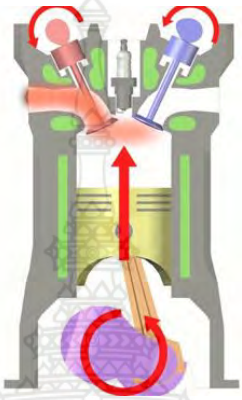
ก่อนลูกสูบเคลื่อนที่ถึงศูนย์ตายบนเล็กน้อย จะเกิดประกายขึ้นที่เขี้ยวหัวเทียนทำให้เกิดการจุดระเบิดของเชื้อเพลิงขึ้นภายในกระบอกสูบ ในจังหวะนี้เป็นจังหวะที่ให้งานออกมา หลังจากนั้นลูกสูบก็จะเคลื่อนที่จากศูนย์ตายบนลงสู่ศูนย์ตายล่าง โดยในจังหวะนี้วาล์วไอดีอยู่ในตำแหน่งปิดและวาล์วไอเสีย เริ่มเปิดเพื่อระบายไอเสียที่เกิดขึ้นภายในกระบอกสูบ



**รูปที่ 2.3** จังหวะระเบิดหรือจังหวะงาน [1]

2.1.4 จังหวะคาย (Exhaust)

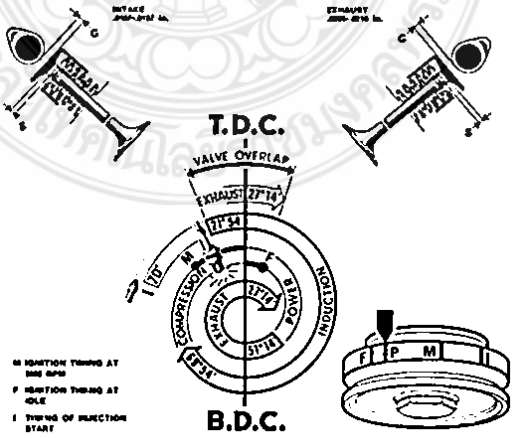
จังหวะคายเป็นการทำงานต่อจากจังหวะระเบิด เมื่อลูกสูบเคลื่อนที่จากศูนย์ตายบนลงสู่ศูนย์ตายล่างเนื่องจากการได้รับแรงกระแทกจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง จากนั้นลูกสูบจะเคลื่อนที่ขึ้นสู่ด้านบนของกระบอกสูบเพื่อไล่ไอออกผ่านทางลิ้นไอเสีย เมื่อลูกสูบเคลื่อนที่ถึงศูนย์ตายบนวาล์วไอเสียก็จะปิดวาล์วไอดีก็จะอยู่ในตำแหน่งเริ่มเปิดอีกครั้ง เพื่อเข้าสู่จังหวะดูดใหม่อีกครั้ง



**รูปที่ 2.4** จังหวะคาย [1]

2.1.5 จังหวะโอเวอร์แลป (Overlap Valve)

ช่วงคาบเกี่ยวที่วาล์วไอดีกำลังจะเปิด วาล์วไอเสียกำลังจะปิด ซึ่งตามทฤษฎีมันไม่ควรมี แต่มันมีมาตั้งแต่สมัยโบราณแล้ว จากการที่เครื่องกลที่ดีไซน์ไว้นั้นจะมีการตอบสนองที่ Delay เสมอ แต่ Valve Overlap มันมีข้อดีอยู่ในตัว คือ เมื่อวาล์วไอดีเปิด แต่วาล์วไอเสียยังไม่ปิดทำให้ไอดีเข้ามาไล่ไอเสียออกไปจนหมด และยังทำให้ไอเสียที่มีความเร็วสูงวิ่งออกวาล์วไอดี ทำให้ความดันห้องเผาไหม้ลดลง ไอดีจึงพุ่งเข้ามาได้เร็วขึ้น มากขึ้น ประสิทธิภาพการประจุอากาศมากขึ้น




**รูปที่ 2.5** จังหวะโอเวอร์แลป [1]

2.1.6 ปริมาตรกระบอกสูบ

ปริมาตรกระบอกสูบกระบอกสูบรวมของเครื่องยนต์ คำนวณหาได้จากสูตรดังต่อไปนี้

$$V = \frac{\pi}{4} \times d^2 \times h \times N_c \quad (2.1)$$

โดยที่

V คือ ปริมาตรกระบอกสูบ ($mm^3$)

D คือ เส้นผ่านศูนย์กลาง (mm)

H คือ ระยะชักจากศูนย์ล่าง (BDC) ถึงศูนย์ตายบน (TDC)

$N_c$ คือ จำนวนกระบอกสูบ

2.1.7 อัตราส่วนการอัด (Compression Ratio, $C_r$)

คือ อัตราส่วนการอัดที่แสดงจำนวนของส่วนผสมไอดีที่ดูดในระหว่างจังหะดูดไอดี และถูกอัดตัวในกระบอกสูบในจังหวะอัด สูตรอัตราการอัดมีดังต่อไปนี้

$$C_r = \frac{V_d + V_c}{V_c} \quad (2.2)$$

โดยที่

$C_r$ คือ อัตราส่วนการอัด

$V_c$ คือ ปริมาตรห้องเผาไหม้ (cc)

$V_d$ คือ ปริมาตรกระบอกสูบ (cc)

2.1.8 แรงบิด (Torque)

คือ แรงหมุนของเครื่องยนต์ (Motion force) ซึ่งค่าที่แสดงมีหน่วยเป็นนิวตันเมตร (Nm) และคำนวณได้ดังต่อไปนี้

$$T = F \times r \quad (2.3)$$

โดยที่

T คือ แรงบิด (Nm)

F คือ แรงกระทำ (N)

r คือ รัศมี (m)

**2.2 ระบบจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงแบบ PGM-FI** [2]

ระบบจ่ายน้ำมันแบบหัวฉีด PGM-FI ย่อมาจากคำว่า Programmed Fuel Injection นั้น ทำงานโดยการควบคุมและสั่งการผ่านระบบอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งเปรียบเสมือนกับสมองกลอัจฉริยะ ECU (Engine Control Unit) พร้อมด้วยกลไกต่างๆ ที่เป็นเทคโนโลยีล้ำสมัย ส่งผลให้การคำนวณอัตราของการจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงมีความเที่ยงตรงแม่นยำมาก ส่งผลให้มีอัตราการประหยัดน้ำมันที่สูง ในขณะที่เครื่องยนต์ทำงานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ ตอบสนองทุกความต้องการของผู้ขับขี่ด้วยแรงบิดที่ดีเยี่ยม และให้สมรรถนะสูง รวมทั้งยังเผาไหม้สมบูรณ์หมดจด จึงทำให้มีไอเสียสะอาดอีกด้วย

กลไกสำคัญต่างๆ ในระบบ PGM-FI นั้น ประกอบด้วย ECU (Engine Control Unit) หรือ กล่องควบคุมการทำงานของระบบจ่ายน้ำมันแบบหัวฉีด PGM-FI อันเปรียบเสมือนเป็นสมองกลของเครื่องยนต์ ซึ่งทำงานโดยประมวลข้อมูลที่ส่งมาจากอุปกรณ์ตรวจวัด หรือเซ็นเซอร์ต่างๆ ที่มีทั้งหมด 6 ตัวด้วยกัน ประกอบด้วย เซ็นเซอร์ตรวจเช็คอัตราการบิดคันเร่ง, อุณหภูมิอากาศ, แรงดันในท่อไอดี, อุณหภูมิน้ำหล่อเย็น, ความเร็วรอบเครื่องยนต์ และปริมาณออกซิเจนบริเวณท่อไอเสีย เพื่อคำนวณและควบคุมการจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงอย่างเหมาะสม พร้อมกำหนดจังหวะจุดระเบิดให้สอดคล้องกับสภาวะการทำงานของเครื่องยนต์ เพื่อให้ประสิทธิภาพสูงสุดในการจุดระเบิด ซึ่งทำให้เครื่องยนต์มีอัตราเร่งดี มีการเผาไหม้อย่างหมดจด และไม่สิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง

เครื่องยนต์หัวฉีดนั้นไม่ได้อาศัยหลักการของสุญญากาศแต่จะใช่อิเล็กทรอนิคส์เป็นตัวควบคุมการจ่ายของนำมันเชื้อเพลิง จึงสามารถทำงานได้แม่นยำกว่าคาร์บูเรเตอร์ เพราะว่าในรอบเดินเบาแรงดูดของเครื่องยนต์นั้นจะมีน้อยซึ่งอาจทำให้การเป็นฝอยละอองของน้ำมันนั้นผสมกับอากาศได้ไม่ดีจึงทำให้การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ครับ แต่เครื่องยนต์หัวฉีดจะทำงานได้ดีในทุกรอบเครื่องยนต์ การเป็นฝอยละอองของน้ำมันทำได้ดีกว่าคาร์บูเรเตอร์ เพราะอาศัยแรงดันจากปั๊มน้ำมันเชื้อแทนครับ

**รูปที่ 2.6** ความแตกต่างของระบบคาร์บูเรเตอร์และ PGM-FI [2]

ข้อดี

1. เป็นฝอยละอองเพื่อผสมกับอากาศทำได้ดีกว่าคาร์บูเรเตอร์
2. ไม่มีปัญหาในขณะวิ่งในที่ชัน คาร์บูเรเตอร์จะมีปัญหาเพราะว่ามีลูกลอย
3. การตอนสนองของเครื่องยนต์ทำได้รวดเร็วกว่า
4. มลพิษของไอเสียต่ำกว่าเครื่องยนต์คาร์บูเรเตอร์
5. ดูแลรักษาง่าย

ข้อเสีย

1. ราคาแพง
2. ปรับจูนได้ยากหากไม่มีเครื่องมือพิเศษ แต่การที่ช่างรุ่นเก่าบอกว่าเครื่องยนต์หัวฉีดนั้น ไม่สามารถทำได้แรงกว่าเครื่องยนต์คาร์บูเรเตอร์

ส่วนประกอบหลักของระบบจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงแบบ PGM-FI ได้แก่

2.2.1 เรือนลิ้นเร่ง Throttle Body ประกอบไปด้วยหัวฉีดและเซ็นเซอร์ 3 ตัว ได้แก่

1. เซ็นเซอร์ตรวจจับอุณหภูมิอากาศ
2. เซ็นเซอร์ตรวจจับตำแหน่งลิ้นเร่ง
3. เซ็นเซอร์ตรวจจับแรงดันในท่อไอดี

**รูปที่ 2.7** เรือนลิ้นเร่ง [2]

2.2.2 หัวฉีด

เส้นผ่านศูนย์กลางของรูฉีดน้ำมัน มีขนาดเล็กที่สุดชิ้นหนึ่งของโลกใช้ปริมาณไอดีที่จ่ายเข้าไปเพียง 1/2 และใช้ปริมาณน้ำมันที่ฉีด 1/3 ของระบบหัวฉีดในรถจักรยานยนต์บิ๊กไบค์ หัวฉีด มีขนาดกะทัดรัด พร้อมรับการออกแบบให้ติดตั้งในตำแหน่งที่สามารถฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด โดยวางในแนวดิ่ง ตั้งฉากกับพื้น

**รูปที่ 2.8** หัวฉีด [2]

2.2.3 กล่อง ECU

กล่อง ECU หรือที่มีชื่อเรียกเต็มๆ ว่า Electronic Control Unit นี้มันเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกที่มีพื้นฐานมาจากระบบคอมพิวเตอร์ โดยหน้าที่หลักในการทำงานของมันนั้นคือทำหน้าที่รับข้อมูลจากตัวเซ็นเซอร์ตามจุดต่างๆ แล้วนำมาประมวลผล ควบคุมการสั่งจ่ายเชื้อเพลิง และการจุดระเบิด เพื่อให้เครื่องยนต์ทำงานได้ตามมาตรฐานและเต็มประสิทธิภาพรวม

ในปัจจุบัน ECU มันไม่ได้ควบคุมแค่ การจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิง และ การจุดระเบิดเพียงเท่านั้น แต่ยังสามารถควบคุมระบบต่างๆ ได้อีก ไม่ว่าจะเป็นระบบท่อร่วมไอดีแปรผัน, ระบบวาล์วแปรผัน, การทำงานของพัดลมระบายความร้อน เป็นต้น

กล่อง ECU ของเครื่องยนต์สามารถแบ่งตามการโปรแกรมข้อมูลได้ 3 แบบ คือ

1. กล่อง Standard เจ้ากล่องประเภทนี้มันจะติดมากับเครื่องยนต์ทั่วไป โดยจะป้อนข้อมูลมาให้แล้วจากโรงงาน หรือจะพูดง่ายๆ ว่ามันเป็นกล่องเดิมมาจากโรงงานก็ได้

2. กล่อง Modify สำหรับกล่องประเภทนี้ จะมีการโปรแกรมข้อมูลเข้าไปใหม่เพื่อที่จะให้เหมาะกับอุปกรณ์ต่างๆ ที่เราได้ทำการติดตั้งเข้าไปในเครื่องยนต์เครื่องตัวนั้นๆ ซึ่งเจ้ากล่องพวกนี้บางคนจะเรียกว่ากล่องแต่ง เช่น Mine's, Mugen

3. กล่องที่เขียนโปรแกรมได้ที่ตัวของมันเอง ส่วนเจ้ากล่องประเภทนี้ตอนซื้อมาจะไม่มีการเขียนโปรแกรมมา โดยจะมีแค่ Software มาให้ซึ่งก็สามารถแยกตามประเภทการใช้งานออกเป็น 2 แบบคือ แบบต่อพ่วงกล่องเดิม (Piggyback) เช่น E-Manage, Unichip, AEM, Haltech, Vipec หรือจะเป็นกล่องภายในประเทศอย่าง Data-tec, KKT และกล่อง ECU สำหรับเครื่องยนต์ดีเซลอย่าง Monster Max จาก ECU SHOP เป็นต้น

**รูปที่ 2.9** กล่อง ECU [2]

2.2.4 ปั๊มน้ำมันเชื้อเพลิง ทำหน้าที่ส่งน้ำมันเชื้อเพลิงด้วยแรงดันเข้าสู่ห้องเผาไหม้

**รูปที่ 2.10** ปั๊มน้ำมันเชื้อเพลิง [2]

**2.3 การวิเคราะห์อัตรการฉีดเชื้อเพลิง** [3]

อัตราการฉีดเชื้อเพลิงถูกนำมาวิเคราะห์ตามวิธีการของ Payri et al, Dernotte et al. และ Tinprabath et al. ใช้คำนวณค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อย Cd โดยใช้อัตราการไหลของมวลเฉลี่ย วัดจากระยะเวลากึ่งหนึ่งของค่าคงตัว 1,000-2,000 μs หลังจากเริ่มต้นการกระตุ้น (SOA) ช่วงนี้หลีกเลี่ยงปรากฏการณ์ชั่วคราวที่เกี่ยวข้องกับขั้นตอนการเปิดและปิดของหัวฉีด (สมการของ Bernoulli) สมมติว่าไม่คิดความเร็วในการป้อนเข้า หาค่าสัมประสิทธิ์การฉีดเชื้อเพลิง (□□)

$$□□ = \frac{□̇□□□□□□□□}{□̇□□} \qquad (2.4)$$

หาอัตราการไหลเชิงมวลของเชื้อเพลิง

$$\dot{□}_{□□} = □_{□□□□□□□□} . □_{□} \sqrt{2\Delta□ . \rho_{□}} \quad (2.5)$$

$$\dot{□}_{□□} = □_{□□□□□□□□} . □_{□} . □_{□} □_{□□} \quad (2.6)$$

หาความเร็วน้ำมันเชื้อเพลิงทางออกหัวฉีด

$$□_{□□} = \sqrt{\frac{2\Delta□}{\rho_{□}}} \quad (2.7)$$

โดยที่

Cd คือ สัมประสิทธิ์การปลดปล่อย

$\dot{□}_{□□□□□□□□}$ คือ อัตราการไหลของเชื้อเพลิงเฉลี่ย (kg/s)

$\dot{□}_{□□}$ คือ อัตราการไหลของเชื้อเพลิงเชิงทฤษฎี (kg/s)

$n_{orifice}$ คือ จำนวนรูบนหัวฉีด

$S_c$ คือ พื้นที่ทางออก ($m^2$)

Pi คือ แรงดันหัวฉีด (bar)

Pb คือ แรงดันไหลกลับ (bar)

$\rho_f$ คือ ความหนาแน่นของเชื้อเพลิง ($kg/m^3$)

$v_{th}$ คือ ความเร็วเชิงทฤษฎี (m/s)

**2.4 ระบบนิวแมติกส์** [4]

ระบบนิวแมติกส์ หมายถึง ระบบที่ใช้อากาศเป็นตัวทำงานในการส่งกำลังในการขับเคลื่อนอุปกรณ์ต่างๆ ของเครื่องจักรต่างๆ ให้ทำงานหรือเกิดการเคลื่อนที่ เช่น กระบอกสูบหรือมอเตอร์ลม

นิวแมติกส์ (Pneumatic) มาจากคำว่า นิวมา (Pneuma) เป็นภาษากรีกโบราณ หมายถึง ลม หรือ ลมหายใจ วิชานิวแมติกส์เป็นการศึกษาเกี่ยวกับลมและลมที่เคลื่อนที่และยังเป็นหนึ่งในจำนวนวิทยาการที่เก่าแก่ซึ่งได้ถูกพัฒนาขึ้นมาอย่างต่อเนื่องเพื่อใช้จนถึงปัจจุบัน มนุษย์ได้รู้จักวิธีการใช้นิวแมติกส์มาตั้งแต่สมัยโบราณ เช่น การใช้ไม้ซาง (Ktesibios) เป่าลูกดอกเพื่อการล่าสัตว์ การใช้สูบเป่าไฟช่วย

ในการถลุงแร่เมื่อประมาณ 3,000 ปีก่อน และเมื่อ 2,000 ปีก่อนชาวกรีกโบราณได้สร้างปืนใหญ่โดยใช้ลมอัดเป็นตัวส่งกำลังเป็นต้น

ในช่วงปี ค.ศ. 1653 ปาสคาล ได้ค้นพบหลักที่ว่า ความดันที่กระทำไปยังส่วนใดๆ ก็ตามของก๊าซหรือของไหลที่อยู่ในภาชนะปิดก็จะถ่ายทอดไปยังส่วนที่เหลือในภาชนะปิดนั้นๆ ในขนาดที่เท่ากัน ทฤษฎีที่เกิดขึ้นนี้จึงเป็นการเริ่มต้นของการศึกษาวิชานิวแมติกส์

ช่วงคริสต์ศตวรรษที่ 17 ได้มีผู้ค้นคว้าเกี่ยวกับระบบลมอัดหรือระบบนิวแมติกส์เพื่อนำมาใช้ในงานอุตสาหกรรม ต่อมาในช่วงกลางคริสต์ศตวรรษที่ 18 เจมส์ วัตต์ ได้ประดิษฐ์เครื่องจักรไอน้ำที่มีลูกสูบเคลื่อนที่ไปและกลับโดยใช้ไอน้ำซึ่งมีความดันสูงกว่าความดันบรรยากาศ และสิ่งนี้เองได้กลายมาเป็นต้นกำเนิดของการสร้างกระบอกสูบของระบบนิวแมติกส์

ปัจจุบันได้มีการใช้ลมอัดและระบบนิวแมติกส์มาใช้กันอย่างกว้างขวางสำหรับงานต่างๆ ในโรงงานอุตสาหกรรม ได้แก่ งานการบรรจุหีบห่อ งานด้านกระบวนการผลิตอาหาร งานการประกอบสิ่งต่างๆ งานขนย้ายวัสดุ งานพิมพ์ และงานด้านอื่นๆ อีกมากมาย

วัตถุประสงค์ของการนำลมอัดมาใช้ในงานอุตสาหกรรมเพื่อการทำงานอย่างอัตโนมัติและการประหยัดแรงงาน ทั้งนี้การใช้ลมอัดนั้นถ้ามีการประกอบรวมกับกำลังไฟฟ้าสามารถดัดแปลงเป็นการควบคุมอัตโนมัติแบบไร้สายได้ อีกทั้งลมอัดและระบบนิวแมติกส์ยังมีข้อดีอีกหลายประการ

ข้อดีของลมอัด

1.ลมอัดมีปริมาณไม่จำกัดในทุกๆ แห่ง เพราะมีอยู่ทั่วไป

2.ลมอัดสามารถส่งผ่านไปตามท่อที่มีระยะทางไกลๆ ได้ง่าย และไม่ต้องส่งกลับมาสามารถปล่อยทิ้งในบรรยากาศได้หลังจากใช้งานแล้ว

3.สามารถกักเก็บลมอัดไว้ในถังเก็บได้ ทำให้สามารถนำไปใช้งานได้ตามต้องการ

4.ลมอัดไม่เกิดการระเบิดหรือติดไฟง่ายเมื่อมีการรั่วซึม ดังนั้นจึงไม่มีความจำเป็นที่ต้องมีอุปกรณ์พิเศษราคาแพงเพื่อใช้ในการป้องกันการระเบิด

5.ลมอัดไม่มีความไวต่อการเบี่ยงเบนของอุณหภูมิ มีความแน่นอนในการทำงานสูง แม้จะอยู่ในสภาวะอุณหภูมิสูงมากๆ ก็ตาม

6.เครื่องมือและอุปกรณ์ในระบบนิวแมติกส์มีโครงสร้างแบบง่ายๆ ทำให้มีราคาถูก ทนทาน และซ่อมบำรุงรักษาได้ง่าย

7.ลมอัดมีความเร็วสูง ดังนั้นอัตราความเร็วในการทำงานก็จะสูงด้วย

8.สามารถควบคุมความเร็ว ความดัน และแรงของลมอัดในระบบนิวแมติกส์ได้ตามต้องการ

9.เครื่องมือและอุปกรณ์ของระบบนิวแมติกส์สามารถใช้งานเกินกำลังได้โดยไม่เกิดการเสียหาย

10.การเคลื่อนที่ในทางตรงสามารถทำงานได้โดยตรง

ข้อเสียของลมอัด

1.ลมอัดมีความชื้นและฝุ่นละอองต้องมีอุปกรณ์กรองความชื้นและฝุ่นละอองก่อนนำไปใช้งาน

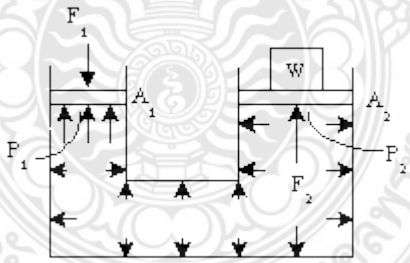
2.ลมอัดมีเสียงดังเมื่อระบายทิ้งออกสู่บรรยากาศเพราะฉะนั้นจึงต้องมีอุปกรณ์เก็บเสียง (Silencer)

3.ลมอัดจะประหยัดเฉพาะที่ใช้แรงขยายถึงจุดหนึ่งเท่านั้น โดยปกติแล้วใช้ความดันที่ 600 kPa (6 bar) ข้อจำกัดของแรงอยู่ที่ 20,000 - 30,000 N ขึ้นอยู่กับความเร็วและระยะทางที่ใช้งาน

4.ระบบ นิวแมติกส์ จะมีความดันที่ใช้งานเพียง 4-7 bar

5.ลมอัดเป็นตัวกลางที่ค่อนข้างแพงเมื่อเปรียบเทียบกับระบบการเปลี่ยนแปลงพลังงานอื่นๆ (อย่างไรก็ตามจะถูกชดเชยจากอุปกรณ์บางชิ้นส่วนที่มีราคาถูก เป็นแบบง่ายๆ และมีสมรถนะที่สูงกว่า)

การทำงานของระบบนิวแมติกส์จะต้องประกอบด้วยอุปกรณ์ต่างๆ ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็นส่วนใหญ่ๆ ได้ 2 ส่วน คือ ส่วนที่อยู่นอกวงจรและส่วนที่อยู่ในวงจร อุปกรณ์ในส่วนที่อยู่นอกวงจรได้แก่ เครื่องอัดลม ถังเก็บลม เครื่องระบายความร้อน เครื่องกรองในท่อหลัก เครื่องทำลมแห้ง เป็นต้น และอุปกรณ์ที่อยู่ในวงจรได้แก่ เครื่องกรองลมอัด วาล์วควบคุมความดัน อุปกรณ์เติมน้ำมันหล่อลื่น (อุปกรณ์ทั้ง 3 ตัวนี้รวมกันเรียกว่า ชุดบริการลมอัด (Service unit) ) ตัวเก็บเสียง วาล์วควบคุมทิศทางการไหลของลม วาล์วควบคุมความเร็วหรือวาล์วควบคุมอัตราการไหล และกระบอกสูบลม เป็นต้น




**รูปที่ 2.11** กฎของปาสคาล [4]

จากกฎของปาสคาลจะได้ความสัมพันธ์ระหว่างแรง ความดัน และพื้นที่ ดังนี้

$$F = P \times A \qquad (2.8)$$

โดยที่

F คือ แรงที่กระทำจากภายนอก (N)

P คือ ความดัน ($N/m^2$ , Pa)

A คือ พื้นที่หน้าตัด ($m^2$)

ความดันบรรยากาศ $P_{atm}$ (Atmospheric pressure) คือ ความดันสภาวะบรรยากาศปกติ ที่มีค่าเท่ากับ 1.013 bar ในระบบ SI หรือ 1.003 kgf/cm2 ในระบบเมตริก หรือ 14.7 $lb/in^2$ ในระบบอังกฤษ ความดันที่เกิด ณ จุดต่างๆ บนผิวโลกจะแตกต่างกันตามระดับความสูงและอุณหภูมิอากาศ

ความดันสัมบูรณ์ $P_{abs}$ (Absolute pressure) คือ ความดันบรรยากาศตั้งแต่ความดันสุญญากาศถึงความดันเกจ

ความดันเกจ $P_{gauge}$ (Gauge pressure) คือ ค่าที่อ่านได้จากมาตรวัดความดันของของไหลที่ต่อกับมาตรวัดและความดันบรรยากาศ เป็นความดันที่แสดงค่าสูงกว่าความดันบรรยากาศ จะมีค่าเป็นศูนย์ในสภาวะปกติ หรือความดันบรรยากาศ

ความดันสูญญากาศ $P_{vac}$ (Vacuum pressure) คือ ความดันจากความดันศูนย์สัมบูรณ์ (absolute zero pressure) ไปจนถึงความดันบรรยากาศ เป็นค่าซึ่งต่ำกว่าความดันบรรยากาศ มาตรวัดความดันมีค่าเป็นลบ

ความดันศูนย์สัมบูรณ์ $P_{absz}$ (Absolute zero pressure) คือ ความดันที่มีค่าเป็นศูนย์ ซึ่งถือว่าความดันสัมบูรณ์ต่ำสุด

สูตรความดันสัมบูรณ์

$$Pabs = P_{gauge} + P_{atm} \quad (2.9)$$

โดยที่

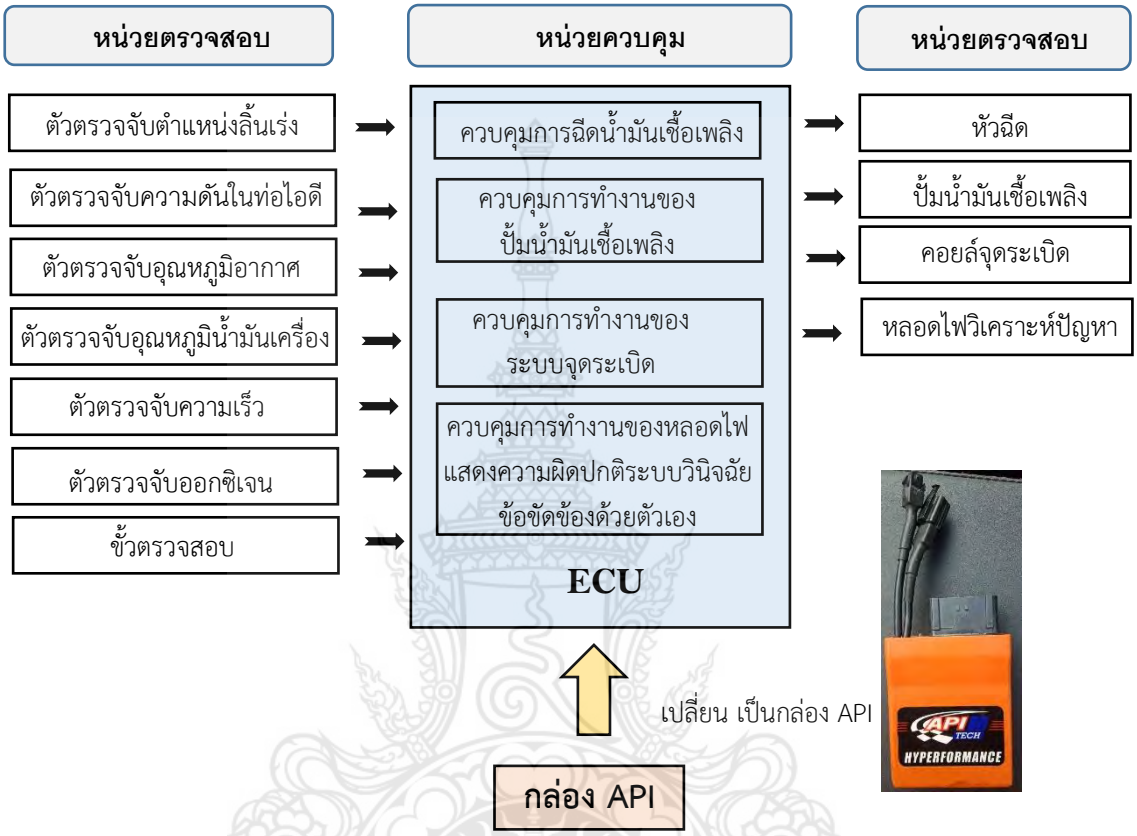
$P_{abs}$ คือ ความดันสัมบูรณ์ (bar)

$P_{gauge}$ คือ ความดันเกจ (bar)

$P_{atm}$ คือ ความดันบรรยากาศ เท่ากับ 1.013 bar

**2.5 ระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ [5]**

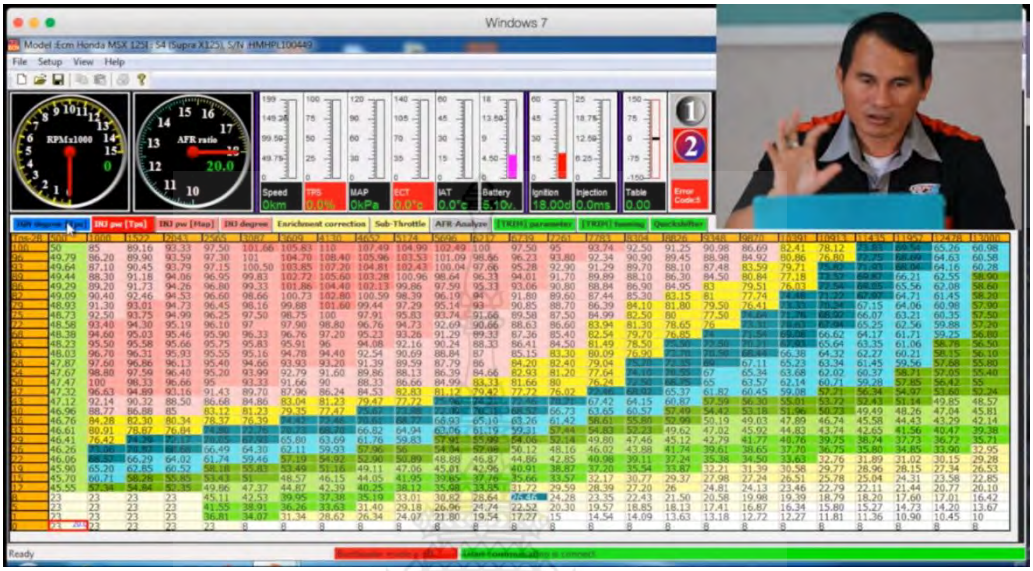
ระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ ประกอบด้วยชุดกล่องควบคุม (ECU) ตัวตรวจจับสัญญาณต่างๆ และอุปกรณ์ทำงาน โดยชุดกล่อง ECU จะรับสัญญาณจากตัวตรวจจับสัญญาณต่าง ๆ ในระบบและควบคุมการทำ งาน ดังรูปที่ 2.12




**รูปที่ 2.12** แผนผังการทำงานของระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ [6]

จากรูปที่ 2.12 แสดงแผนผังทำงานของระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ โดยจะสลับเปลี่ยนกล่องควบคุมการฉีดเชื้อเพลิง จากกล่องเดิมเป็นกล่องควบคุมการฉีดเชื้อเพลิง เปลี่ยนเป็นกล่อง API ซึ่งจะทำหน้าที่แทนกล่อง ECU โดยควบคุมการทำงานทั้งหมด และสามารถปรับค่าต่าง ๆ ของอุปกรณ์โดยซอฟต์แวร์สำเร็จรูปของ API Tech

รูปที่ 2.13 แสดงลักษณะโปรแกรมที่ใช้คู่กับกล่อง API จะเป็นซอฟต์แวร์สำเร็จรูป ซึ่งมีการตั้งค่าผ่านสาย USB Port ระหว่างเครื่องยนต์ กล่อง API และคอมพิวเตอร์ ซึ่งตัวพารามิเตอร์ในโปรแกรมที่ใช้งานเฉพาะรถประหยัดจะใช้งานในส่วนของระบบการหัวฉีดซึ่งประกอบด้วย ปรับชดเชยอุณหภูมิหม้อน้ำ ปรับชดเชยอุณหภูมิอากาศและตารางควบคุมการฉีด




**รูปที่ 2.13 แสดงลักษณะโปรแกรมที่ใช้คู่กับกล่อง API [7]**

## 2.6 การคำนวณค่าการประหยัดเชื้อเพลิง [8]

ค่าการประหยัดเชื้อเพลิงหาได้ โดยสูตรคำนวนค่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของการแข่งขันฮอนด้าประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิง คือใช้ระยะทางที่รถวิ่งได้ หารด้วยปริมาณน้ำมันที่ใช้ไป ดังนี้

$$\text{อัตราการสิ้นเปลือง (km/L)} = \frac{\text{ระยะทางในการวิ่ง (□□)} \times \text{ค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิง(□/□)}}{\text{น้ำหนักเชื้อเพลิงที่ใช้(□)}} \quad (2.10)$$

หรือ

$$\text{ค่าการประหยัดเชื้อเพลิง (km/L)} = \frac{□}{\left(\frac{□_{□}-□_{□}}{□_{□}\times 1000}\right)} \quad (2.11)$$

โดยที่

□ คือ ระยะที่ทำการทดสอบ (km)

$□_{□}$ คือ น้ำหนักเชื้อเพลิงก่อนทำการทดสอบ (kg)

$□_{□}$ คือ น้ำหนักเชื้อเพลิงหลังทำการทดสอบ (kg)

□ □คือ ความหนาแน่นของเชื้อเพลิง (kg/$m^3$)

**2.7 การทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง**

สำหรับที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ได้มีการจัดทำมาแล้วตั้งแต่ปี พ.ศ.2548 ซึ่งได้ค่าการประหยัดเชื้อเพลิง 365.40 กิโลเมตรต่อลิตร คันที่สองปี พ.ศ.2549 ได้ทำการพัฒนาด้านแอโรไดนามิกส์ ได้ค่าการประหยัดเชื้อเพลิง 453.38 กิโลเมตรต่อลิตร คันที่สามปี พ.ศ.2550 พัฒนาระบบจุดระเบิดใหม่ ได้ค่าการประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิง 866.63 กิโลเมตรต่อลิตร ได้รับรางวัลอันดับที่สามของประเทศในรุ่นอุดมศึกษา พ.ศ.2551 ได้พัฒนาคันที่สาม ได้พัฒนาระบบส่งกำลังและลดแรงเสียดทานได้ค่าการประหยัดเชื้อเพลิง 856.18 กิโลเมตรต่อลิตร ได้รับรางวัลอันดับที่สี่ของประเทศในรุ่นอุดมศึกษาพ.ศ.2553 ได้พัฒนาคันที่สามได้พัฒนาระบบส่งกำลังใหม่ได้ค่าการประหยัดเชื้อเพลิง 416.39 กิโลเมตรต่อลิตร ได้รับรางวัลอันดับที่สองของประเทศในรุ่นอุดมศึกษา และ ได้เป็นตัวแทนของประเทศไทยไปเข้าร่วมการแข่งขัน HONDA ECON POWER CONTEST 12th ณ สนามเซียงไฮ้เซอร์กิต เมืองเซียงไฮ้ ประเทศสาธารรัฐประชาชนจีน ผลจากการแข่งขันรถของทีม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ได้รับรางวัลอันดับที่สี่ ค่าการประหยัดเชื้อเพลิง 977.12 กิโลเมตรต่อลิตร พ.ศ.2554 ได้พัฒนาระบบฉีดเชื้อเพลิงใหม่โดย ECU ในการควบคุมการฉีด ได้รับรางวัลอันดับที่สองของประเทศในรุ่นอุดมศึกษา และ ได้รับรางวัลชนะเลิศ อันดับที่หนึ่งของประเทศในรุ่นประชาชนทั่วไป พ.ศ.2555 ได้พัฒนาระบบประจุไอดีใหม่และปรับความดันการฉีดเชื้อเพลิงใหม่ ได้รับรางวัลอันดับที่หนึ่ง ของประเทศในรุ่นอุดมศึกษา และ ได้รับรางวัลชนะเลิศ อันดับที่หนึ่ง ของประเทศในรุ่นอุดมศึกษา ได้เป็นตัวแทนของประเทศไทยอีกครั้งไปเข้าร่วมการแข่งขัน HONDA ECON POWER CONTEST ประเทศสาธารรัฐประชาชนจีน หลังจากนั้นทางทีมที่จัดทำรถประหยัดเชื้อเพลิง ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร เห็นควรหยุดการแข่งขันชั่วคราวเนื่องจากเห็นว่า ได้มาสู่การได้รับรางวัลสูงสุดของการแข่งขันชนิดนี้แล้ว แต่ปัจจุบันนี้ เทคโนโลยีการประหยัดเชื้อเพลิงได้พัฒนาขึ้นอย่างรวดเร็วมาก โดยเฉพาะการใช้คอมพิวเตอร์ควบคุมการฉีดเชื้อเพลิงเพื่อให้เกิดการประหยัดเชื้อเพลิงสูงสุด ดังนั้นในปีที่ผ่านมา พ.ศ.2559 ได้เข้าร่วมการแข่งขันอีกครั้ง ได้ค่าการประหยัดเชื้อเพลิง 1005.28 km/L ได้รับรางวัลอันดับที่สองของประเทศในรุ่นประชาชน โดยทีมชนะเลิศ ค่าการประหยัดเชื้อเพลิง 2,800 km/L ได้รับรางวัลอันดับที่ 2 ของประเทศในรุ่นประชาชน ดังนั้นในปีที่ผ่านมา พ.ศ.2560 ได้เข้าร่วมการแข่งขันอีกครั้ง ได้ค่าการประหยัดเชื้อเพลิง 470 km/L ได้รับรางวัลรองชนะเลิศอันดับที่ 5 ของประเทศในรุ่นอุดมศึกษา โดยทีมชนะเลิศ ค่าการประหยัดเชื้อเพลิง 2,900 km/L และได้รับรางวัล Popular Vote อันดับที่ 2 จากผู้เข้าแข่ง 470 ทีม

# บทที่ 3
# วิธีดำเนินงานวิจัย

## 3.1 วิธีการดำเนินการวิจัย

การดำเนินการวิจัยได้ทำตามขั้นตอนดังนี้

1.ศึกษารวมข้อมูลและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.ออกแบบและปรับปรุงรถประหยัดเชื้อเพลิง /ออกแบบโปรแกรมควบคุมการฉีดเชื้อเพลิง

3.ทำการทดสอบและเข้าร่วมการแข่งขัน

4.วิเคราะห์ผล

5. ปรับปรุง

6. สรุป,จัดทำรายงานการศึกษา รถประหยัดเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดสอบ

7. ถ่ายทอดและเผยแพร่งานวิจัย

## 3.2 การปรับปรุงรถประหยัดเชื้อเพลิงและการทดสอบ

3.2.1 รถประหยัดเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดสอบ

รถประหยัดเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดสอบคือ รถประดิษฐ์เพื่อใช้ในการแข่งขันขันฮอนด้าประหยัดเชื้อเพลิง ซึ่งเป็นรถประดิษฐ์ 3 ล้อ ดังรูปที่ 2 ใช้เครื่องยนต์ของรถมอเตอร์ไซด์ รุ่น Honda wave 4 จังหวะ ขนาดความจุกระบอกสูบ 110 cc. ระบบฉีดแบบ PGM-FI ใช้กล่องควบคุมการฉีดของ API ระบบการฉีดเชื้อเพลิงสามารถปรับแรงดันน้ำมันได้ จำนวน 2 คันดังรูป 3.1 และ 3.2

**รูปที่ 3.1** รถประหยัดเชื้อเพลิง คันที่ 1

**รูปที่ 3.2** รถประหยัดเชื้อเพลิง คันที่ 2

3.2.1 แนวทางการปรับปรุงรถประหยัดเชื้อเพลิง

**รถคันที่ 1**

นำรถของรุ่นพี่ ปีที่แล้วทีม By Parts รุ่นประชาชน มาลงแข่งใน รุ่น อุดมศึกษา

1.พัฒนาระบบล้อ

- เปลี่ยนล้อหน้าเป็นอลูมิเนียม ขึ้นล้อซี่แบบตัดอากาศ
- เปลี่ยน ล้อหลังแบบคาร์บอน ดุมล้อ ลูกปืนล้อแบบ ceramic, ยาง IRC

2.พัฒนาระบบส่งกำลัง

- เปลี่ยนจากระบบเปลี่ยนด้วยมือ มาเป็นแบบโซลีนอยด์

3.พัฒนาระบบเครื่องยนต์

- Overhaul เครื่องใหม่ (ลูกสูบ ก้านสูบ แคม) ใช้หัวเทียนของ Iridium

4.ระบบบังคับเลี้ยว

- เปลี่ยนจากเหล็กเป็นอลูมิเนียม

5.พัฒนาระบบเบรค

- เปลี่ยนดิสเบรก + จากเบรก Join tech r1

6.พัฒนาระบบลมอัดเชื้อเพลิง

- เปลี่ยนระบบลมอัดใหม่ (ข้อต่อ เกจวัด วาล์วปรับแรงดัน)

7.พัฒนาระบบกล่องควบคุม EFI

- ใช้กล่องของ API 9.1 Stan Alone

8.ปรับเปลี่ยนความดันในการฉีดเชื้อเพลิงโดยใช้ กล่อง API ร่วมกับโปรแกรมควบคุมกล่อง API

**รถคันที่ 1**

นำรถของรุ่นพี่ 3 ปีที่แล้วทีม By Parts 1 รุ่นอุดมศึกษา มาลงแข่งใน รุ่น อุดมศึกษา

1.พัฒนาระบบส่งกำลัง

- เปลี่ยนล้อและยางใหม่ และลูกปืนล้อ
- เปลี่ยนระบบสับจาก และ โซ่

2.พัฒนาระบบเครื่องยนต์และจุดระเบิด

- Overhaul เครื่องใหม่ (ลูกสูบ ก้านสูบ แคม) ใช้หัวเทียนของ Iridium
- ใช้กล่องของ API 9.1 Stan Alone และ เปลี่ยนระบบไฟฟ้าใหม่

3.พัฒนาระบบเบรค

- เปลี่ยน ดิสเบรก + จากเบรก + ปั๊มเบรค

4.ระบบบังคับเลี้ยว

- เปลี่ยน แฮนด์ วงบังคับยึด และ ก่นต่อต่างๆ

5.พัฒนาระบบเชื้อเพลิง

- เปลี่ยนระบบลมอัดใหม่ (ข้อต่อ เกจวัด วาล์วปรับแรงดัน)
- เปลี่ยรระบบสายน้ำมัน และหลอดแก้วใส่น้ำมัน

6.พัฒนาโครงรถและตัวถัง

- ดัด, ปะผุ, ทำสีใหม่

7. ปรับเปลี่ยนความดันในการฉีดเชื้อเพลิงโดยใช้ กล่อง API ร่วมกับโปรแกรมควบคุม กล่อง API

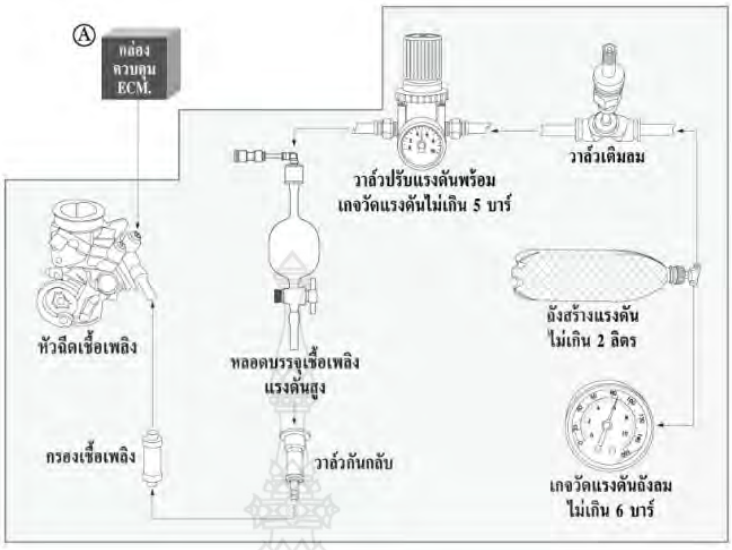
## 3.3 กฎการแข่งขัน/ทดสอบ

3.3.1 น้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ทดสอบ

น้ำมันที่ใช้ทดสอบในงานวิจัยนี้ คือ แก๊สโซฮอล์ E20 ซึ่งเป็นไปตามกติกาของการแข่งขัน

3.3.2 ระบบฉีดเชื้อเพลิงตามกฎการแข่งขันของ บริษัท เอ พี ฮอนด้า จำกัด

ระบบฉีดเชื้อเพลิงตามกฎการแข่งขันของ บริษัท เอ พี ฮอนด้า จำกัด แสดงดังรูปที่ 3.3 ซึ่งมีรายละเอียดของอุปกรณ์ต่างๆ ดังนี้




**รูปที่ 3.3** ระบบฉีดเชื้อเพลิงตามกฎการแข่งขันของ บริษัท เอ พี ฮอนด้า จำกัด สามารถปรับความดันการฉีดเชื้อเพลิง [8]

1) เชื้อเพลิง (Fuel) ในระหว่างการแข่งขัน (รอบชิงชนะเลิศ) ทีมที่เข้ารวมการแข่งขันจะต้องใช้เชื้อเพลิงอย่างเป็นทางการจากผู้จัดงานเท่านั้น กำหนดให้ใช้เชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล E20

2) หลอดแก้วบรรจุเชื้อเพลิง (Fuel Tank) ในระหว่างการแข่งขัน ผู้เข้าแข่งขันจะต้องใช้หลอดแก้วบรรจุเชื้อเพลิงที่จัดให้โดยผู้จัด การกำหนดค่าของหลอดแก้วบรรจุเชื้อเพลิงไว้ 2 แบบคือ 1. หลอดแก้วแบบทนแรงดัน 2. หลอดแก้วแบบไม่ทนแรงดัน

3) การติดตั้งหลอดแก้วบรรจุเชื้อเพลิง

ก. การติดตั้งหลอดแก้วบรรจุเชื้อเพลิงเป็นการประดิษฐ์ของแต่ละบุคคล ในขณะที่วิธีการติดตั้งทำได้ไม่จำกัด การใช้เทปกาวหรือเทปกาวประเภท อื่นนั้นเป็นสิ่งต้องห้าม และอุปกรณ์ต้องออกแบบเพื่อให้การถอดเป็นเรื่อง ง่ายด้วยแถบยางหรือสายรัด หลอดแก้วบรรจุเชื้อเพลิงจะต้องติดตั้งในแนว ตั้งฉากกับพื้นโลกเพื่อให้เสน้อางอิงอยู่ในแนวนอน

ข. หลอดแก้วบรรจุเชื้อเพลิงจะมองเห็นได้จากด้านข้างทันทีก่อนเริ่มแข่ง และต้องเป็นเช่นนี้เพื่อให้การปรับระดับเชื้อเพลิงขั้นสุดท้ายสามารถทำได้ โดยไม่ต้องถอดฝาครอบออก

ค. ระบบเชื้อเพลิงทั้งหมดต้องออกแบบโดยมีโครงสร้างที่ผู้ขับขี่ไม่สามารถ เข้าถึงหรือสัมผัสระบบเชื้อเพลิงในขณะขับขี่ได้

ง. ทอจากหลอดแก้วบรรจุเชื้อเพลิงไปยังปมเชื้อเพลิงตองเปนทอโปรงใสที่ ทนตอการกัดกรอนของเชื้อเพลิง และความยาวของทอตองสั้นที่สุด โครงสรางจะตองปองกันการสะสมของฟองอากาศ ไอระเหย กาซและ สิ่งอื่นๆ ที่คลายคลึงกันในทอ และตองทำใหงายตอตอการไลฟองอากาศ ทอเชื้อเพลิงที่ตอจากหลอดแก้วบรรจุเชื้อเพลิงแบบไมทนแรงดันจะตองมี คลิปหนีบทอสายเคเบิลหรือสิ่งอื่น ๆ ที่คลายคลึงกันเพื่อไมใหทอน้ำมัน เชื้อเพลิงหลุดออก ทอเชื้อเพลิงที่ใชกับหลอดแก้วบรรจุเชื้อเพลิงแบบทนแรงดันใหใชชนิด PU ขนาด 5 x 8 มม. รวมกับขอตอแบบถอดใสงาย (One touch tube )

จ. ชิ้นสวนในระบบเชื้อเพลิงจะตองมองเห็นไดทุกชิ้น เมื่อถอดหลอดแก้ว บรรจุเชื้อเพลิงออกหลังจากถึงเสนชัยแลว

4) หัวฉีดเชื้อเพลิง (Injector)

กำหนดใหรถแขงทุกคันใชระบบปอนเชื้อเพลิงดวยหัวฉีดสามารถเลือกใชหลอดแก้วบรรจุเชื้อเพลิงตามโครงสรางระบบเชื้อเพลิงที่ออกแบบตามแนวคิดของแตละทีม

4.1 โครงสรางที่ใชหลอดแกวแบบทนแรงดัน ดังรูปที่ 3.3

ก. กำหนดใหใชขอตอที่สามารถถอดออกจากอุปกรณไดโดยงายและ ทอชนิดใสทนแรงดันไดสูง

ข. กำหนดแรงดันในระบบไมเกิน 3 บาร (0.3 MPa.)

ค. ถังสรางแรงดันมีขนาดไมเกิน 2ลิตร มีตาขายหุมถังสรางแรงดัน ติดตั้งเกจวัดแรงดันในถังไมเกิน 5 บาร (5 kg/cm = 0.5 MPa.)

ง. ห้ามหอหุมวาลวกันกลับ (one way valve) ซึ่งเปนตัวควบคุมระดับ เชื้อเพลิงในหลอดแกว หากระดับเชื้อเพลิงไมคงที่ จะไมอนุญาตใหรถแขงลงทำการวิ่ง

4.2 โครงสรางที่ใชหลอดแก้วแบบไมทนแรงดัน ใชทอยางทนแรงดันสูงเฉพาะจุดที่มีแรงดันสูงเทานั้น สวนในยานแรงดันปกติ ใหใชทอยางใสธรรมดาและทอทั้ง 2 แบบตองสั้นที่สุดเทาที่จะทำได

5) ท่อเชื้อเพลิง (Fuel Pipe)

5.1 ปริมาณการไหลของระบบเชื้อเพลิงจะตองไมเปลี่ยนแปลงในระหวางการแขงขัน

5.2 ทอแรงดันสูงของระบบหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงจะตองเปนสายทนแรงดันหรือสิ่งอื่น ๆ ที่มีความตาน ทานความดันเพียงพอเพื่อใหทอไมขยายตัว

5.3 โครงสรางในระบบจายเชื้อเพลิงตองมั่นใจวา อากาศหรือไอน้ำมันเชื้อ เพลิงไมสะสมอยูในทอเชื้อเพลิง

5.4 ปมเชื้อเพลิงในระบบหัวฉีดเชื้อเพลิงจะตองไมไดเชื่อมตอกับอุปกรณอื่นๆ และทำงานไดอยางอิสระ และโครงสรางตองเปนเชนนี้เพื่อใหเชื้อเพลิง ภายในทอเชื้อเพลิงดานแรงดันสูงสามารถดันไปไดอยางไรก็ตาม, จะไมสามารถใชกับปมไดอะแฟรมแรงดันอากาศได[สำหรับกรณีของปมอัดฉีดแรงดันอากาศ

5.5 ทอน้ำมันเชื้อเพลิงตองสั้นที่สุดเทาที่จำเปน และการตอทอตองยึดดวยคลิปทอสายรัด เข็มขัดหรือสิ่งอื่นๆ

**6) รายการต้องห้าม** (Prohibited Items)

6.1 หามทำเชื้อเพลิงใหเย็นลงกวาอุณหภูมิปกติ

6.2 ใชเชื้อเพลิงอยางเปนทางการที่ผูจัดเตรียมไวใหเทานั้น เชื้อเพลิงอื่นๆ เปนสิ่งตองหาม หามใชสารเติมแตงใดๆ

6.3 หามเพิ่มและลดความดันในหลอดแกวบรรจุเชื้อเพลิง

6.4 หามใชแรงดันโดยตรงและโดยออมของหลอดแกวบรรจุเชื้อเพลิง

6.5 หามติดตั้งกอกลดความดันเพื่อลดการไหลของเชื้อเพลิงในระบบ

6.6 หลอดแกวบรรจุเชื้อเพลิงตองติดตั้งอยูในแนวตั้งฉากกับพื้นโลก

6.7 ตองไมติดตั้งมอเตอรไฟฟาที่ใหแรงขับเคลื่อน

6.8 โครงสรางและการกระทำอื่นๆ ที่สรางความเบี่ยงเบนในการวัดเปนสิ่งตองหาม

**3.4 สนามทดสอบ/แข่งขัน**

3.4.1 ทำการทดสอบ ณ สนามแข่งรถ ไทยแลนด์เซอร์กิต นครชัยศรี จ.นครปฐม

3.4.2 ทำการทดสอบในการแข่งขันจริง ณ สนามช้าง อินเตอร์เนชั่นแนล เซอร์กิต จ.บุรีรัมย์

**3.5 สภาวะการทดสอบ/การแข่งขัน**

3.5.1 การทดสอบ ณ สนามแข่งรถ ไทยแลนด์เซอร์กิต นครชัยศรี จ.นครปฐม

- ใช้ความเร็วไม่น้อยกว่า 25 km/h
- ความดันในระบบการฉีดเชื้อเพลิงทดสอบที่ความดัน 2 bar, 2.5 bar และ 3 bar
- ระยะทางในการทดสอบ 5 km ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์ 95

3.5.2 การทดสอบในการแข่งขันจริง ณ สนามช้าง อินเตอร์เนชั่นแนล เซอร์กิต จ.บุรีรัมย์

- ใช้ความเร็วไม่น้อยกว่า 30 km/h
- ความดันในระบบการฉีดเชื้อเพลิงทดสอบที่ความดัน 2 bar
- ระยะทางในการทดสอบ 18 km ( 4 รอบสนามแข่ง) ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์ E20

**3.6 วิเคราะห์สารมลพิษจากไอเสีย**

สำหรับการวิเคราะห์สารมลพิษจากไอเสีย ใช้เครื่องวิเคราะห์ไอเสีย ของ KOENG รุ่น KEG-500 Mobility ซึ่งมีคุณสมบัติของเครื่องดังนี้

- หมุนเวียนในตลาดความแม่นยำเสถียรภาพและความทนทาน
- NOx การวัด (อุปกรณ์เสริม)-ชั่วคราวหยุดชั่วคราว to การวัด (Hold)
- แบบพกพา (ขนาดกะทัดรัดน้ำหนักเบา)
- Extra ตัวกรองและเครื่องพิมพ์กระดาษ
- ใช้งานร่วมกับแชสซี dynamo ได้ และปรับแต่งเครื่องยนต์
- ทนทานประสิทธิภาพผ่านการทดสอบรุนแรงเย็นทดสอบ at-10 ℃
- อัตโนมัติปรับอุณหภูมิ (2-8 min)
- จอแสดงผล LED 6 windows
- และจอแสดงผลวันที่ตัวเลือกเมื่อใช้เครื่องพิมพ์

**สารมลพิษที่วัดได้ ได้แก่**

- คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO), ไฮโดรคาร์บอน (HC), คาร์บอนไดออกไซด์ ($CO_2$), ,Lambda (Air surplus rate), AFR, NOX (อุปกรณ์เสริม)

**ตารางที่ 3.1** Specification เครื่องวิเคราะห์ไอเสีย ของ KOENG รุ่น KEG-500 [9]

| | KEG – 500 | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Measuring item** | CO(carbon monoxide),HC(Hexane), CO2(carbon dioxide), O2(Oxygen), Lambda(air surplus rate), AFR, NOX (optional) | | | |
| **Measuring method** | CO, HC, CO2 : NDIR Method<br>O2, NOx : Electrochemical Cell | | | |
| **Measuring range** | CO | 0.00 ~ 9.99% | HC | 0 ~ 9999 ppm |
| **Resolution** | | 0.01% | | 1 ppm |
| **Display** | | 4 digit 7segment LED | | 4 or 5 digit 7segment LED |
| **Measuring range** | $CO_2$ | 0.0 ~ 20.0% | $O_2$ | 0.00 ~ 25.00 % |
| **Resolution** | | 0.1% | | 0.01 % |
| **Display** | | 4 digit 7segment LED | | 4 digit 7segment LED |
| **Measuring range** | Lambda | 0 ~ 2.000 | AFR | 0.0 ~ 99.0 |
| **Resolution** | | 0.001 | | 0.1 |
| **Display** | | 4 digit 7segment LED | | 4 digit 7segment LED |
| **Measuring range** | NOx (Option) | 0-5000 ppm | | |
| **Resolution** | | 1 ppm | | |
| **Display** | | 4 digit 7segment LED | | |
| **Repeatability** | Less than ±2% FS | | | |
| **Response time** | Within 10 seconds (more than 90%) | | | |
| **Warming up time** | About 2 ~ 8 minutes | | | |
| **Sample collecting quantity** | 4 ~ 6 L/min | | | |
| **Power** | 220V AC or 110V AC ±10% 50 / 60Hz | | | |
| **Power consumption** | About 50 W | | | |
| **Operation temperature** | 0℃ ~ 40℃ | | | |
| **Dimensions** | 420 (W) × 298 (D) × 180 (H) mm | | | |
| **Weight** | About 6.9 kg | | | |
| **Basic accessories** | Probe, Probe hose, Spare fuse, Leak test cap, Spare filter, Operation manual, Power cord, RS232, Communication cable, Printer, Printer paper | | | |

**รูปที่ 3.4** เครื่องวิเคราะห์ไอเสีย ของ KOENG รุ่น KEG-500 [9]

### 3.7 การทดสอบ ณ สนามแข่งรถ ไทยแลนด์เซอร์กิต นครชัยศรี จ.นครปฐม

ในการทดสอบ ณ สนามแข่งรถ ไทยแลนด์เซอร์กิต นครชัยศรี จ.นครปฐม ซึ่งเป็นไปตามรูปที่ 3.5 -3.8

3.7.1 ขั้นตอนการทดสอบ

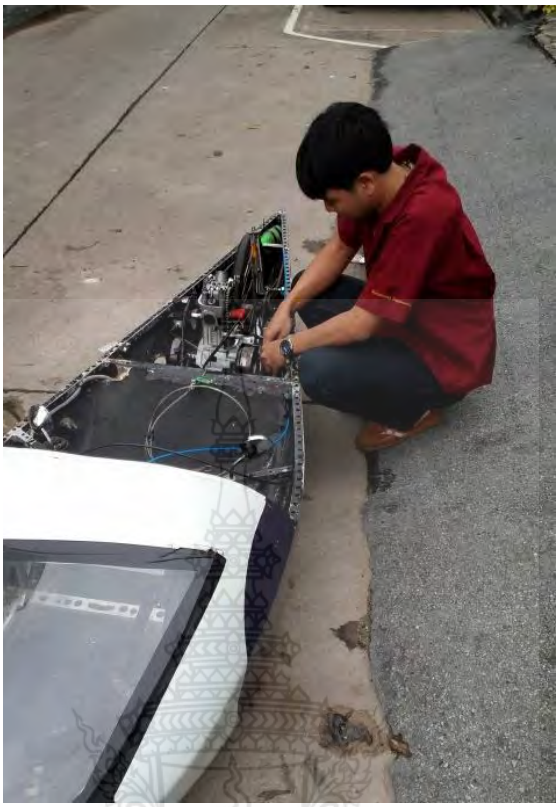
1) ตรวจสอบสภาพรถประหยัดเชื้อเพลิงก่อนทำการทดสอบ เช่น เช็คระบบนิวแมติกส์ เช็คลมยาง เช็คระบบไฟภายในรถประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิง

2) เริ่มทดสอบที่จุดสตาร์ทและจับเวลาในการออกสตาร์ท

3) ทดสอบในสภาพใช้งานจริงบนถนนสนามแข่ง โดยใช้ความเร็ว ไม่ต่ำกว่า 25 km/hr

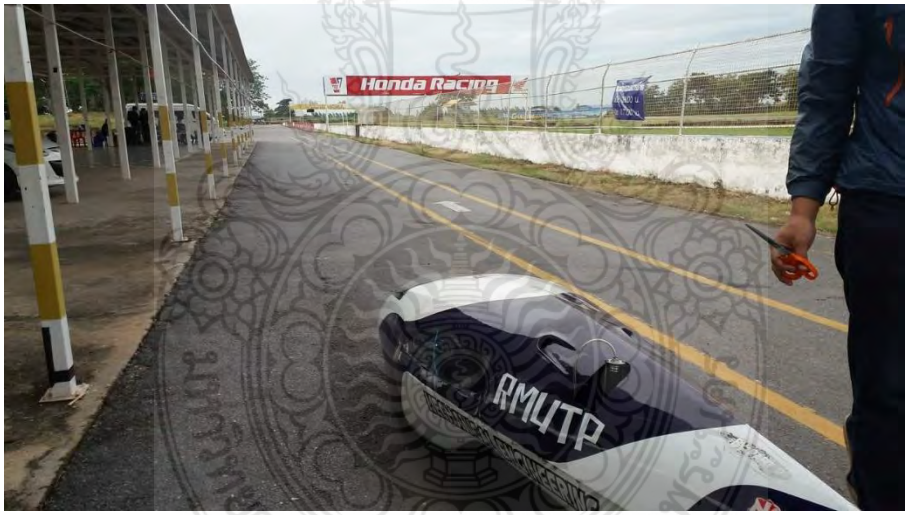
4) บันทึกผลการทดสอบอัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง โดยที่วิ่งทดสอบ 3 รอบ ต่อค่าแรงดันลม 1 ค่า และหาค่าเฉลี่ย

5) หาอัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง



**รูปที่ 3.5** การตรวจสอบสภาพรถก่อนทำการทดสอบ

**รูปที่ 3.6** การตรวจสอบความพร้อมก่อนออกจากจุดสตาร์ท




**รูปที่ 3.7** จุดสตาร์ท

**รูปที่ 3.8** จุดสิ้นสุด และจดบันทึก

**3.8 การทดสอบในการแข่งขันจริง ณ สนามช้าง อินเตอร์เนชั่นแนล เซอร์กิต จ.บุรีรัมย์**

ในการทดสอบ ณ ณ สนามช้าง อินเตอร์เนชั่นแนล เซอร์กิต จ.บุรีรัมย์ซึ่งเป็นไปตามรูปที่ 3.9 - 3.14

3.7.1 ขั้นตอนการทดสอบ

1) ตรวจสภาพรถยนต์ เช่น การทดสอบระบบเบรก การตรวจสภาพเครื่องยนต์ การตรวจระบบความปลอดภัยอื่นๆ

2) เมื่อผ่านการตรวจ จะเข้าการติดตั้งเชื้อเพลิง แล้วเข้าสู่ระบบตรวจสอบ ระบบเชื้อเพลิงและการทำงานของเครื่องยนต์ว่าได้ดัดแปลงเครื่องยนต์ไปตามกติกาการแข่งขันหรือไม่

3) ติดตั้งระบบวัดเชื้อเพลิง

4) เริ่มสตาร์ทเครื่องยนต์ และวิ่งไป 18 km ความเร็วห้ามต่ำกว่า 30 km/h

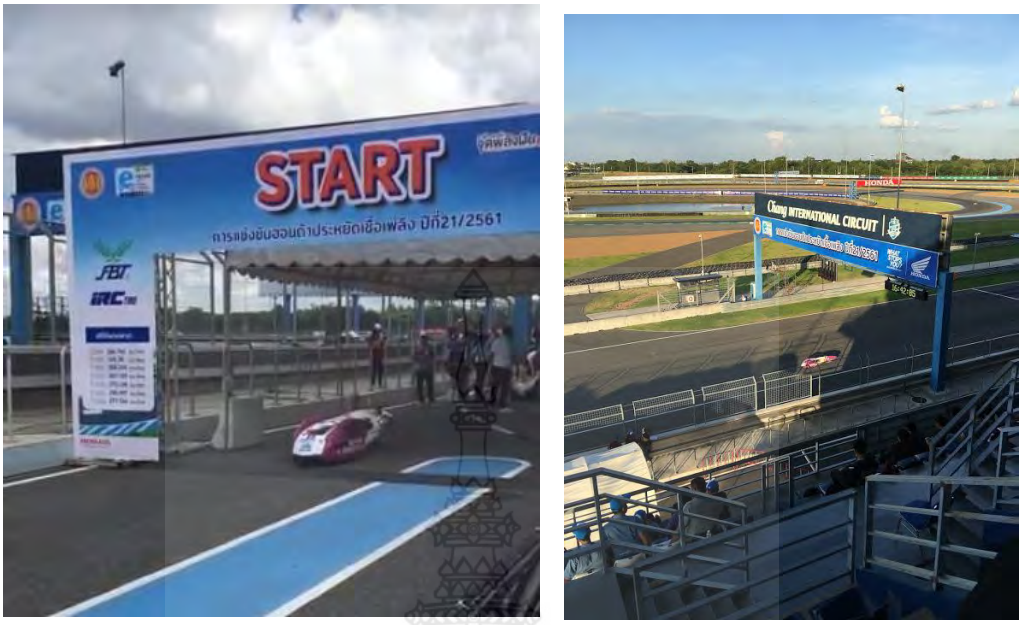
5) เมื่อถึงจุดสิ้นสุดแล้ว นำขวดวัดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงไปชั่งน้ำหนัก เพื่อคำนวณค่าการประหยัดเชื้อเพลิง

6) ทีมที่ติด 1 ใน 3 ที่คาดว่าจะประหยัดเชื้อเพลิงสูงสุดจะถูกกักรถไว้ เพื่อตรวจสอบโดยละเอียดว่าการสร้างรถปฏิบัติตามกติกาอย่างเคร่งครัดหรือไม่

**รูปที่ 3.9** การติดตั้งระบบจ่ายน้ำมัน

**รูปที่ 3.10** การปรับแต่งเครื่องยนต์อีกครั้งก่อนทำการแข่งขัน และ การตรวจสอบระบบเบรคพื้นที่ลาดเอียง

**รูปที่ 3.11** พิธีเปิดการแข่งขันและปล่อยรถคันแรก




**รูปที่ 3.12** เริ่มการแข่งขัน

**รูปที่ 3.13** ทำการวิ่งไป 4 รอบสนาม

**รูปที่ 3.14** การชั่งน้ำหนักเชื้อเพลิงหลังการแข่งขัน

# บทที่ 4
# ผลการศึกษา

## 4.1 ผลการทดสอบ ณ สนามแข่งรถ ไทยแลนด์เซอร์กิต นครชัยศรี จ.นครปฐม

ผลการทดสอบ 3 ครั้ง ที่ความดัน 3 bar, 2.5 bar และ 2 bar มีผลการทดสอบดังนี้

4.1.1 การทดสอบครั้งที่ 1 ความดันน้ำมันเชื้อเพลิงที่ 3 bar

**ตารางที่ 4.1** ผลการทดสอบครั้งที่ 1 ระยะทาง 5 km

| จำนวนครั้งที่ทดสอบ | เวลา (min) | ความเร็วเฉลี่ย (km/hr) | ปริมาตรน้ำมัน (cc) | อัตราการสิ้นเปลือง (km/L) |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 12.52 | 21.25 | 2.6 | 45.806 |
| 2 | 12.25 | 05.25 | 9.5 | 45.847 |
| 3 | 12.12 | 36.25 | 8.5 | 06.862 |
| ค่าเฉลี่ย | 12.29 | 20.25 | 9.5 | 65.838 |

4.1.2 การทดสอบครั้งที่ 2 ความดันน้ำมันเชื้อเพลิงที่ 2.5 bar

**ตารางที่ 4.2** ผลการทดสอบครั้งที่ 2 ระยะทาง 5 km

| จำนวนครั้งที่ทดสอบ | เวลา (min) | ความเร็วเฉลี่ย (km/hr) | ปริมาตรน้ำมัน (cc) | อัตราการสิ้นเปลือง (km/L) |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 12.42 | 26.25 | 6.5 | 85.892 |
| 2 | 12.16 | 02.25 | 3.5 | 39.943 |
| 3 | 12.22 | 12.25 | 5.5 | 09.909 |
| ค่าเฉลี่ย | 12.26 | 11.25 | 4.5 | 11.915 |

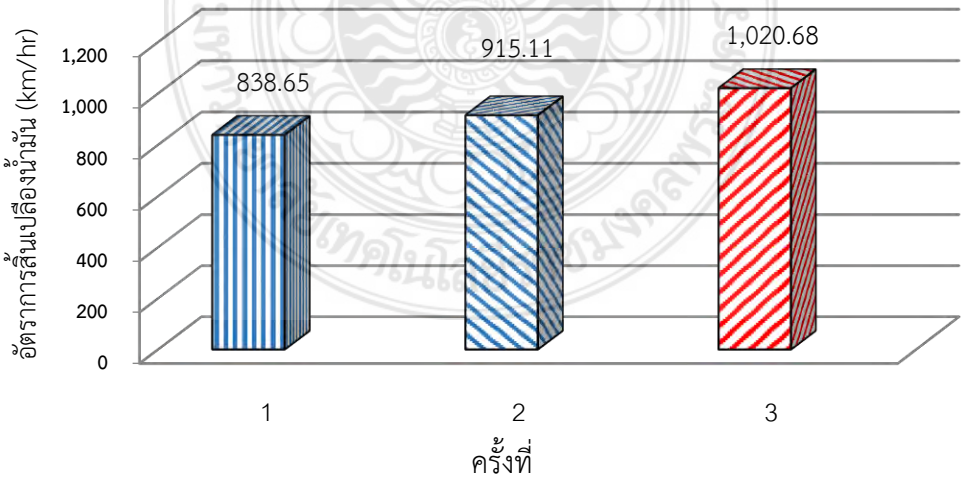
4.1.3 การทดสอบครั้งที่ 3 ความดันน้ำมันเชื้อเพลิงที่ 3 bar

**ตารางที่.4.3** ผลการทดสอบครั้งที่ 3 ระยะทาง 5 km

| จำนวนครั้งที่ทดสอบ | เวลา (min) | ความเร็วเฉลี่ย (km/hr) | ปริมาตรน้ำมัน (cc) | อัตราการสิ้นเปลือง (km/L) |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 12.20 | 21.25 | 9.4 | 1,40.020 |
| 2 | 12.31 | 33.25 | 0.5 | 1,00.000 |
| 3 | 12.11 | 17.25 | 7.4 | 1,66.041 |
| ค่าเฉลี่ย | 12.20 | 23.25 | 8.4 | 1,68.020 |

**ตารางที่ 4.4** เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการทดสอบทั้ง ครั้ง 3

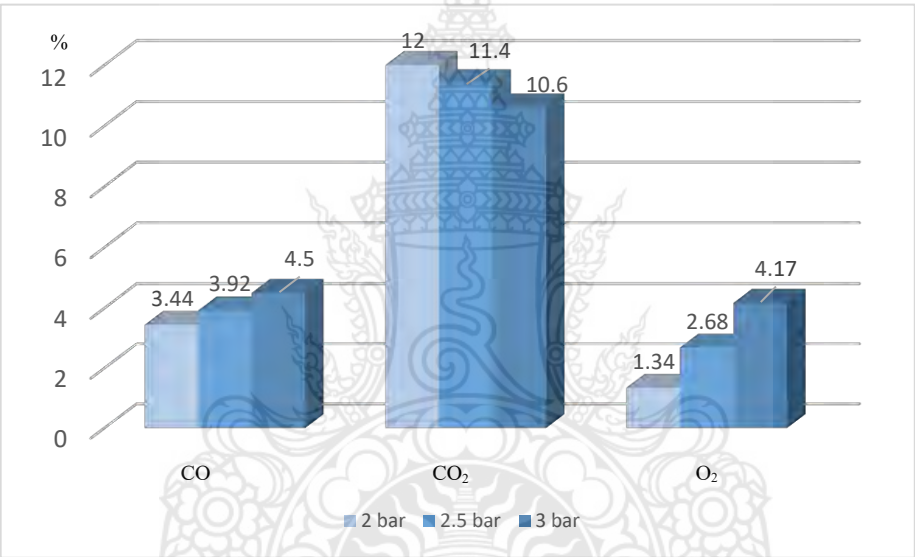
| จำนวนครั้งที่ทดสอบ | แรงดันลม (bar) | เวลา (min) | ความเร็วเฉลี่ย (km/hr) | ปริมาตรน้ำมัน (cc) | อัตราการสิ้นเปลือง (km/L) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 3.0 | 12.29 | 20.25 | 8.5 | 65.838 |
| 2 | 2.5 | 12.26 | 11.25 | 4.5 | 11.915 |
| 3 | 2.0 | 12.20 | 23.25 | 8.4 | 1,68.020 |



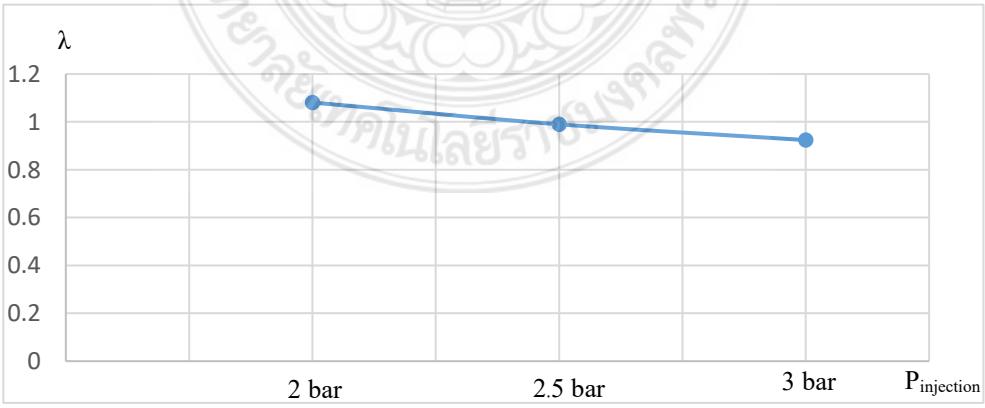

**รูปที่ 4.1** ค่าเฉลี่ยการสิ้นเปลืองน้ำมัน

**ตารางที่ 4.5** ผลการทดสอบด้านมลพิษจากไอเสียของเครื่องยนต์

| จำนวนครั้งที่ทดสอบ | แรงดันลม (bar) | CO (%) | $CO_2$ (%) | $O_2$ (%) | HC (ppm) | λ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 3.0 | 4.5 | 12 | 1.34 | 163 | 1.081 |
| 2 | 2.5 | 3.97 | 11.4 | 2.68 | 125 | 0.990 |
| 3 | 2.0 | 3.44 | 10.6 | 4.17 | 101 | 0.924 |




**รูปที่ 4.2** การปล่อยสารมลพิษในไอเสียของเครื่องยนต์




**รูปที่ 4.3** ค่า λ ของไอเสีย

**ตารางที่ 4.6** แรงดันลมที่มีค่าต่ำกว่า 2 bar

| แรงดันลม (bar) | ผลการทดสอบ | ผลที่ตามมา |
|---|---|---|
| 1.9 | เครื่องยนต์สตาร์ทติดยาก ไม่สามารถเร่งความเร็วได้ต่อเนื่อง | เสียน้ำมันเชื้อเพลิงโดยเปล่าประโยชน์ เพราะการสตาร์ทจะใช้น้ำมันเชื้อเพลิงค่อนข้างมาก |
| 1.8 | เครื่องยนต์ไม่สามารถสตาร์ทได้ | ไม่สามารถทำการทดสอบ หรือนำไปใช้ในการแข่งขันได้ |

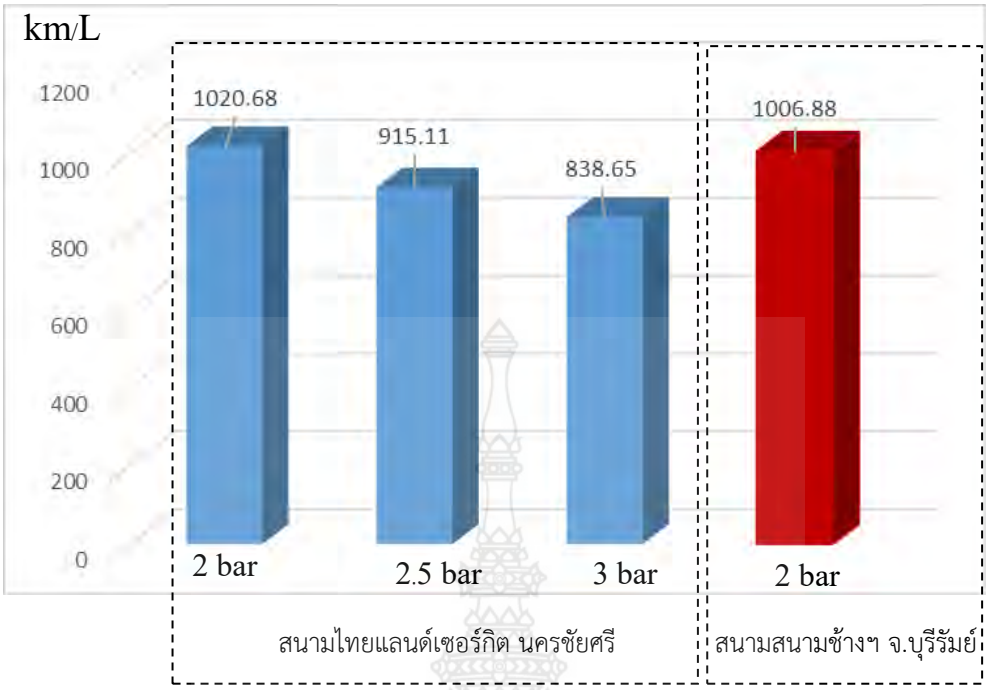
**4.2 ผลการทดสอบ การแข่งขันจริง ณ สนามช้าง อินเตอร์เนชั่นแนล เซอร์กิต จ.บุรีรัมย์**

จากการผลการทดสอบที่สนามสนามแข่งรถ ไทยแลนด์เซอร์กิต นครชัยศรี จ.นครปฐม พบว่าที่ความดัน 2 bar มีผลการประหยัดเชื้อเพลิงสูงที่สุด ดังนั้นในการแข่งขันจริง ณ สนามช้าง อินเตอร์เนชั่นแนล เซอร์กิต จึงใช้ความดันที่ 2 bar เข้าร่วมการแข่งขัน ผลการแข่งดังตาราง ที่ 4.5

**ตารางที่ 4.7** ผลการทดสอบ ระยะทาง 18 km

| จำนวนครั้งที่ทดสอบ | แรงดันลม (bar) | เวลา (min) | ความเร็วเฉลี่ย (km/hr) | น้ำหนักน้ำมันที่ใช้ไป (g) | อัตราการสิ้นเปลือง (km/L) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2.0 | 34.5 | 30.45 | 12.50 | 1,006.88 |
| | | | | | |

ผลการทดสอบ ณ สนามแข่งรถ ไทยแลนด์เซอร์กิต นครชัยศรี จ.นครปฐม แสดงดังตารางที่ 4.1 – 4.4 และ รูปที่ 4.3 พบว่าที่ความดันของระบบหัวฉีด 2 bar จะให้ค่าการประหยัดเชื้อเพลิงสูงสุดคือ 1020.68 km/L และที่ความดันการฉีด 3 bar จะประหยัดเชื้อเพลิงน้อยที่สุด มีค่าเท่ากับ 838.65 km/L ซึ่งสอดคล้องกับรูปที่ 4.2 พบว่าที่ความดัน 2 bar จะมีค่า คาร์บอนไดออกไซด์ ($CO_2$ ) มากที่สุด ซึ่งค่า $CO_2$ จะเป็นตัวบ่งบอกถึงประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ และจากรูปที่ 4.3 ก็จะสอดคล้องกับผลของรูปที่ 4.2 และ รูปที่ 4.3 คือมีค่าอัตราส่วนสมมูลของไอเสีย ($\lambda$) มีค่าบางเล็กน้อย ($\lambda$ =1.08) เกิดการเผาไหม้มีประสิทธิภาพสูงสุด จึงทำให้พบการประหยัดเชื้อเพลิงมากที่สุด ณ ความดันการฉีดเท่ากับ 2 bar




**รูปที่ 4.4** ผลการประหยัดเชื้อเพลิงจากการทดสอบและการแข่งขัน

ผลจากนำรถไปเข้าร่วมการแข่งขัน ณ สนามช้าง อินเตอร์เนชั่นแนล เซอร์กิต ได้ค่าการประหยัดเชื้อเพลิงสุงสุด 1006.88 km/L สถิติการประหยัดต่ำกว่าการทดสอบสนามแข่งรถ ไทยแลนด์เซอร์กิต นครชัยศรี เล็กน้อย ซึ่งเกิดสภาพสนามแข่งขันที่แตกต่างกัน เมื่อเปรียบเทียบกับปี พ.ศ.2560 การแข่งขันฮอนด้าประหยัดเชื้อเพลิง รถคันนี้มีค่าการประหยัดเชื้อเพลิง 470 km/L นับได้ว่าการพัฒนารถประหยัดเชื้อเพลิงโดยการปรับความดันการฉีดเชื้อเพลิงด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ในโครงการวิจัยนี้ช่วยเพิ่มค่าการประหยัดเชื้อเพลิงได้อย่างดี

# บทที่ 5
# สรุปผลและข้อเสนอแนะ

## 5.1 ผลการศึกษา

การศึกษาวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อการประหยัดเชื้อเพลิงของรถยนต์ เพื่อพัฒนารถประหยัดเชื้อเพลิงให้มีสมรรถนะสูงด้วยการปรับความดันการฉีดเชื้อเพลิง เพื่อเข้าร่วมการแข่งขันฮอนด้าประหยัดเชื้อเพลิง ครั้งที่ 21 ทั้งในระดับประเทศ และะดับนานาชาติ (หากได้รับคัดเลือกให้เป็นตัวแทนประเทศไทย) และเพื่อเป็นการประชาสัมพันธ์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

จากการศึกษาพบว่าการปรับเปลี่ยนความดันในการฉีดเชื้อเพลิงของหัวฉีด รถประหยัดเชื้อเพลิง พบว่าที่ความดัน 2 bar ให้ค่าการประหยัดเชื้อเพลิงสุงสุด 1020.68 km/L ซึ่งมีผลสอดคล้องกับค่ามลพิษจากไอเสีย ที่ความดันการฉีดเชื้อเพลิงนี้ มีค่า $CO_2$ สูงสุด แสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพการเผาไหม้สูงสุด ส่งผลให้ค่า CO ลดลงและมีค่า $\lambda$ ใกล้เคียงกับ 1 ผลจากนำรถไปเข้าร่วมการแข่งขัน ณ สนามช้าง อินเตอร์เนชั่นแนล เซอร์กิต ได้ค่าการประหยัดเชื้อเพลิงสุงสุด 1006.88 km/L สถิติการประหยัดต่ำกว่าการทดสอบเล็กน้อย ซึ่งเกิดสภาพสนามแข่งขันที่แตกต่างกัน เมื่อเปรียบเทียบกับปี พ.ศ.2560 การแข่งขันฮอนด้าประหยัดเชื้อเพลิง รถคันนี้มีค่าการประหยัดเชื้อเพลิง 470 km/L นับได้ว่าองค์ความรู้จากการพัฒนารถประหยัดเชื้อเพลิงด้วยการปรับความดันหัวฉีด เป็นตัวแปรหนึ่ง ที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้เชื้อเพลิงให้สูงขึ้น ส่วนการปรับความดันการฉีดเชื้อเพลิงที่ต่ำกว่า 2 bar ทำให้เครื่องยนต์สตาร์ทติดยาก ไม่สามารถเร่งความเร็วได้ต่อเนื่อง

จึงสรุปได้ว่า ความดันในการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงเป็นตัวแปรที่สำคัญที่ส่งผลกระทบต่อการประหยัดเชื้อเพลิง สมรรถนะและค่ามลพิษในไอเสียของเครื่องยนต์

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

ควรศึกษาปัจจัยอื่นๆ ร่วมด้วย เช่น ระบบส่งกำลัง ระบบล้อและยาง การออกแบบตัวถัง ระบบเครื่องยนต์ ระบบลมอัดเชื้อเพลิง ระบบลมอัดใหม่ ซึ่งล้วนแล้วมีผลต่อการประหยัดเชื้อเพลิงของรถประหยัดเชื้อเพลิง

# บรรณานุกรม

# บรรณานุกรม

1. ประพฤทธิ์ ยิ่งประเสริฐผล บุรัสกร รัตนรุจิรา ปุรเชษฐ์ ขุนพิทักษ์. 2560, “การพัฒนารถประหยัดเชื้อเพลิงด้วยการลดความดันเชื้อเพลิง,”ปริญญานิพนธ์, สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

2. “ระบบจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิง,” แหล่งที่มา http://www.aphonda.co.th เมื่อ วันที่ 20 พฤษภาคม 2561.

3. Tinprabath P, Hespel C, Chanchaona S, Foucher F. Influence of biodiesel and diesel fuel blends on the injection rate under cold conditions. Fuel 2015;144: 80-89.

4. เด่น คอกพิมาย. 2552, “การควบคุมนิวแมติก สำหรับอุตสาหกรรมอัตโนมัติ,” พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพฯ : ท้อป.

5. ประสานพงษ์ หาเรือนชีพ. 2540, “งานเครื่องล่างรถยนต์,” กรุงเทพฯ : ซี เอ็ด ยู เค ชั่น.

6. ชัชวาล นิมโรธรรม และ นรินทร์ กุลนภาดล, “อัตราการฉีดเชื้อเพลิงที่เหมาะสมในรถประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับการแข่งขัน,” วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม : เทพสตรี I-TECH ปีที่ 12 ฉบับที่ 1 มกราคม – มิถุนายน 2560.

7. “การใช้งานโปรแกรมv 9 0 Back Fire,” แหล่งที่มา https://www.youtube.com/watch?v=-1cWvaoUg5I เมื่อ วันที่ 21 สิงหาคม 2562.

8. เอ.พี.ฮอนด้า, บริษัทจำกัด “คู่มือการแข่งขันแข่งขันฮอนด้าประหยัดเชื้อเพลิง (Honda Econo Mileage Challenge),” บริษัทเอพี ฮอนด้า: กรุงเทพมหานคร., 2561.

9. “AUTOMOTIVE GAS ANALYZER KEG-500 OPERATION MANUAL,” แหล่งที่มา http://koeng.com/media/download/pagefile/17/07/10/KEG_500_Manual_EN.pdf เมื่อ วันที่ 21 สิงหาคม 2562.

10. Pulkrabek, W. W. 2004, “Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine,” 2nd ed, Bangkok. : PEARSON EDUCATION INDOCHINA LTD.

# ภาคผนวก ก.

**การเผยแพร่งานวิจัย**

การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 4
Proceedings of the 4th RMUTP Conference of Engineering and Technology
19 พฤษภาคม 2560 ณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มทร.พระนคร

**บทความวิจัย**

การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 2

*Proceedings of the 2nd RMUTP Conference of Engineering and Technology*

# การศึกษาคุณสมบัติของน้ำมันไพโรไลซิสกับน้ำมันไบโอดีเซลที่อุณภูมิต่ำ

# A study on the properties of pyrolysis fuel with biodiesel at low temperatures

**สมใจ เพียรประสิทธิ์[1] ณทพร จินดาประเสริฐ[1] ประเสริฐ วิโรจน์ชีวัน[1] ชลกาญจน์ วงศ์ก่อทรัพย์[2] และ ปฏิภาณ ถิ่นพระบาท[1]***

[1]สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

1381 ถนนประชาราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร E-mail: padipan.t@rmutp.ac.th

[2]ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องต้นกำลัง วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

1518 ถนนประชาราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร E-mail: chonlakarn.w@cit.kmutnb.ac.th

## บทคัดย่อ

บทความนี้กล่าวเกี่ยวกับคุณสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิง 3 ชนิด ได้แก่น้ำมันไพโรไลซิส น้ำมันไบโอดีเซลและน้ำมันดีเซลที่อุณภูมิต่ำ เพื่อศึกษาคุณบัติต่างๆของน้ำมันเบื้องต้นก่อนที่จะนำไปใช้กับรถยนต์จริง โดยคุณสมบัติที่ศึกษาต้องครอบคุมตามมาตรฐานการปลดปล่อยไอเสียของรถยนต์ (Euro 6) ประกาศใช้เมื่อปี พ.ศ.2559 ต้องทดสอบเชื้อเพลิงที่อุณภูมิ -7°C น้ำมันที่ใช้ทดสอบครั้งนี้ประกอบด้วย น้ำมันดีเซล น้ำมันไพโรไลซิส และน้ำมันไบโอดีเซล โดยใช้เครื่องวิเคราะห์คุณสมบัติเชื้อเพลิง Anton Paar@ Stabinger Viscosmeter (model SVM 3000/G2) ผลการทดสอบพบว่า ที่อุณภูมิต่ำความหนาแน่นของชื้อเพลิงมีค่าเพิ่ม แต่ความหนืด ของน้ำมันดีเซล และ น้ำมันไบโอดีเซล มีค่าเพิ่มแบบพาราโบล่า อุณภูมิที่ลดลงไม่มีผลต่อการความหนืดของน้ำมันไพโรไลซิส

คำสำคัญ: คุณสมบัติเชื้อเพลิง, น้ำมันดีเซล, น้ำมันไพโรไลซิส, น้ำมันไบโอดีเซล

## Abstract

The properties of 3 types of fuel which are pyrolysis fuel, biodiesel fuel and diesel fuel at low temperature are discussed in this paper.The objective of the research is to study the primary properties of the fuel before applying in vehicle in order to comply with EURO6 emission standard (version 2106). Regarding to the standard, the properties of the fuel has to be tested at -7 °C. From Anton Paar@ Stabinger Viscosmeter (model SVM 3000/G2), the analysis data found that the density properties tend to increase at the lower temperature. The viscosity properties parabolically increase at the lower temperature. It is found that the temperature of the pyrolysis oil affect to the viscosity properties the least.

Keywords: Properties of fuel, diesel fuel, pyrolysis fuel, biodiesel fuel

## 1. บทนำ

ปัจจุบันนี้น้ำมันไบโอดีเซลและน้ำมันทางเลือกอื่นถูกนำมาผสมกับน้ำมันดีเซล 2-20% เพื่อทดแทนการใช้มันจากปิโตรเลียม [1, 2]. ด้วยเหตุผลน้ำมันชนิดนี้ ผลิตจากพืชผลทางการเกษตรหรือผลิตจากเศษวัสดุเหลือใช้จากครัวเรือน และยังเป็นการสร้างความมั่นคงทางด้านพลังงาน เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม และช่วยลดก๊าซเรือนกระจก (GHG) กลุ่มน้ำมันชนิดนี้ จะมีค่าซีเทนที่สูงแต่สารซันเฟอร์และอะโรมาติกส์ ที่ต่ำ [3]. ข้อเสียหลักของน้ำมันไบโอดีเซลและน้ำมันไพโรไลซิสคือ มีค่าความหนืดสูง ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงต่ำ จุดขุ่นมัว (Cloud Point) และจุดไหลเท (Pour Point) สูง เครื่องยนต์ที่ใช้จะผลิตก๊าซไนโตรเจน(NOx) สูง ให้กำลังเครื่องยนต์ต่ำและราคาแพง [1]. จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง ที่จะศึกษาคุณสมบัติเชื้อเพลิงเช่น ความหนาแน่น ความหนืด ที่อุณภูมิต่ำของเชื้อเพลิงที่จะส่งผลต่อการสร้างมลพิษในเครื่องยนต์ โดยเฉพาะอย่างในช่วงเริ่มต้นสตาร์ทเครื่องยนต์ สหภาพยุโรป จึงได้ออกกฎเพื่อควบคุมสารมลพิษจากไอเสีย ในพ.ศ.2559 หรือเรียกว่า ยูโร 6 ( Euro VI) [4] ซึ่งมาตรฐานใหม่นี้จะครอบคลุม ปัญหาการสตาร์ทเครื่องยนต์ที่อุณภูมิต่ำ, เช่น คุณสมบัติการฉีดเชื้อเพลิงล่วงหน้า และก๊าซมลพิษจากไอเสียของรถยนต์ ขณะใช้งานที่อุณหภูมิต่ำ[4] ณ สภาวะอุณภูมิต่ำ -7°C ความหนืดของเชื้อเพลิงมีค่าเพิ่มอย่างสูง [4]. แต่หากใช้น้ำมันไบโอดีเซลหรือน้ำมันไพโรไลซิส 5% ไม่มีผลต่อสภาวะการไหลในหัวฉีดของเครื่องยนต์ [4,5 ], ค่ามลพิษจากไอเสีย มีแนวโน้มเป็นไปตามมาตรฐานยูโร ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องศึกษาคุณสมบัติของน้ำมันน้ำมันไพโรไลซิสกับน้ำมันไบโอดีเซลที่อุณภูมิสูงและต่ำ [4,5,6,] ในด้าน คุณสมบัติทางฟิสิกส์ของเชื้อเพลิง ที่ส่งผลกระทบไปสู่การไหลและการฉีดเชื้อเพลิง ในหัวฉีดรถยนต์ รวมไปถึงการทำนายคุณลักษณะการฉีดของหัวฉีดเช่น ความยาวของการฉีด มุมของการฉีด การเป็นฝอยละอองของเชื้อเพลิง ซึ่งสิ่งเหล่านี้จะส่งผลต่อสมรรถนะเครื่องยนต์และสารมลพิษที่ผลิตจากเครื่องยนต์ วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ เพื่อศึกษาคุณสมบัติเชื้อเพลิง ที่อุณภูมิต่ำ ที่สภาวะ -7°C ซึ่ง เป็นไปตามมาตรฐานยูโร 6 ในการศึกษาครั้งนี้จะใช้น้ำมัน น้ำมันดีเซล น้ำมันไพโรไลซิสผลิตจากพลาสติกที่ใช้แล้ว น้ำมันไบโอดีเซลผลิตจากน้ำมันเมล็ดโคล่า โดยทำการทดสอบที่อุณภูมิ

-8°C ถึง 40 °C คุณสมบัติหลักที่ทดสอบคือ ความหนาแน่น ความหนืดของเชื้อเพลิง

## 2. ทฤษฎีและเครื่องมือที่ใช้ทดสอบ

### 2.1 ความหนาแน่นของเชื้อเพลิง

ความหนาแน่นของเชื้อเพลิงที่อุณภูมิปกติและอุณหภูมิต่ำ สามารถคำนวณได้ตามสูตรของ Riazi [8] ดังสมการที่ 1

$$\rho_T = 0.99.SG\text{-}10^{-3}.(2.34\text{-}1.898SG).(T\text{-}288.7) \quad (1)$$

เมื่อ: $SG$ คือความถ่วงจำเพาะ และ $T$ คือ อุณหภูมิ (K)

### 2.2 ความหนืดของเชื้อเพลิง

ความหนืดของเชื้อเพลิง ที่อุณหภูมิปกติ (-4°C ถึง 100°C) สามารถคำนวณโดยใช้สมการของ Riazi [8]

$$Log_{10}(v_T) = A.(311/T)^B.T - a \quad (2)$$

$$A = Log10(v_{(T=311)}) + a \quad (3)$$

$$B = b.\ Log10(v_{(T=311)}) + c \quad (4)$$

เมื่อ: $T$ คือ อุณหภูมิ (K), $v_{(311(100))}$ คือ ความหนืดจลน์ ที่ 311 K หรือ 38°C, และ $a$ = 0.8696, $b$ = 0.2801 and $c$ = 1.8616

สำหรับที่อุณภูมิต่ำ -4°C ถึง -10°C สามารถคำนวณโดยใช้สมการ ของ Riazi [8] และพัฒนาโดย Tinprabath และคณะ [4] ดังนี้

$$Log_{10}(v_T) = A.(269/T)^B.T - a \quad (5)$$

$$A = Log_{10}(v_{(T=269)}) + a \quad (6)$$

$$B = b.\ Log_{10}(v_{(T=269)}) + c \quad (7)$$

เมื่อ: $T$ คือ อุณหภูมิ (K), $v_{(269(100))}$ คือ ความหนืดจลน์ ที่ 269 K หรือ -4°C, $a$ = -0.8639, $b$ = -87.6560 และ $c$ = 124.30

### 2.3 อุปกรณ์การทดสอบ

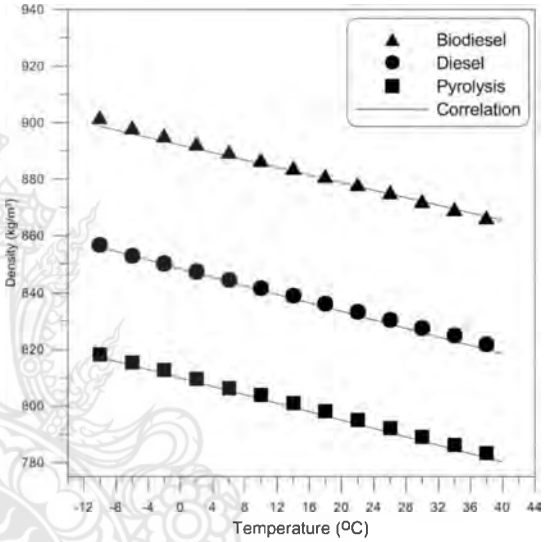
ในการทดสอบคุณสมบัติของเชื้อเพลิงใช้เครื่องวิเคราะห์คุณสมบัติเชื้อเพลิง Anton Paar@ Stabinger Viscosmeter (model SVM 3000/G2) ของ Laboratoire PRISME, มหาวิทยาลัย Orleans สามารถวัดได้ทั้ง ความหนาแน่นและความหนืดพร้อมกัน โดยใช้มาตรการทดสอบ ASTM D341 สามารถวัดได้ตั้งแต่อุณหภูมิ -56 ถึง 105°C, ค่าความเที่ยงตรง ของความหนาแน่น +/-0.35%

### 2.4 น้ำมันที่ใช้ทดสอบและสภาวะการทดสอบ

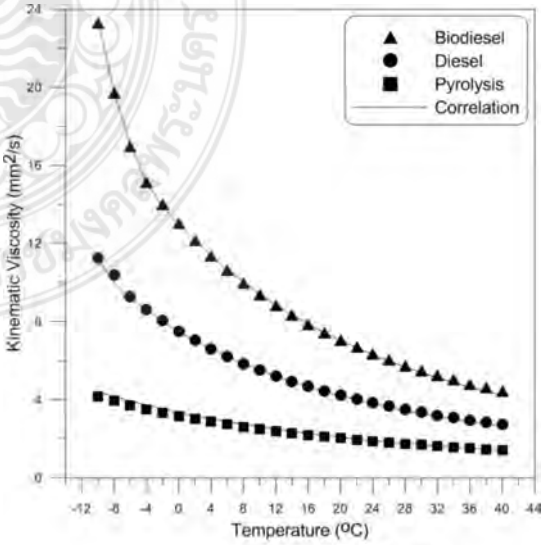
น้ำมันดีเซล น้ำมันไพโรไลซิสผลิตจากพลาสติกที่ใช้แล้ว น้ำมันไบโอดีเซลผลิตจากน้ำมันเมล็ดโคล่า โดยทำการทดสอบที่อุณภูมิ -10°C ถึง 40 °C

### 2.5 ผลการทดสอบและวิจารณ์ผล

ผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 1 พบว่าทุกอุณภูมิของเชื้อเพลิง ค่าความหนาแน่นของ น้ำมันไบโอดีเซลมีค่าสูงสุด และ น้ำมันไพโรซีสจะมีค่าความหนาแน่นน้อยที่สุด ส่วนน้ำมันดีเซลจะอยู่ระหว่างของกราฟความหนาแน่นของทั้งสองเชื้อเพลิง จากกราฟพบว่าทั้งสามชนิดเชื้อเพลิงมีค่าความหนาแน่นเพิ่มขึ้นเมื่ออุณภูมิเชื้อเพลิงลดลง และพบว่าสมการที่ 1 สามารถใช้ทำนายความหนาแน่นได้ดีทุกชนิดเชื้อเพลิง โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุด 0.3%




รูปที่ 1 ความหนาแน่นของเชื้อเพลิง




รูปที่ 2 ความหนืดของเชื้อเพลิง

จากรูปที่ 2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความหนืดจลน์ของเชื้อเพลิง พบว่าทุกอุณภูมิและทุกเชื้อเพลิง เมื่ออุณภูมิเพิ่มขึ้นค่าความหนืด จะมีค่าลดลง และในทางกลับกันเมื่ออุณภูมิลดค่าความหนืดจะมีค่าเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะหลังจากอุณหภูมิ –4°C ค่าความหนืดของน้ำมันดีเซล และน้ำมันไบโอดีเซล จะเพิ่มขึ้นอย่างรุนแรง แต่กลับพบว่าความหนืดของน้ำมันไพโรไลซีสเพิ่มในอัตราปกติ ซึ่งคุณสมบัติที่ดีของไพโรไลซีส ตรงจุดนี้เป็นคุณสมบัติที่ดีในการใช้เชื้อเพลิงที่อุณหภูมิต่ำซึ่งนำไปผสมกับน้ำมันดีเซลหรือไบโอดีเซล จากการใช้สมการที่ 2 และ 5 สามารถใช้ทำนายความหนืดจลน์ได้ดีทุกชนิดเชื้อเพลิง และทุกสภาวะอุณภูมิ โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุด 3%

## 3 สรุป

จากการได้ศึกษาคุณสมบัติของน้ำมันไพโรไลซิส น้ำมันไบโอดีเซล และน้ำมันดีเซลที่อุณภูมิปกติและอุณภูมิต่ำ พบว่าอุณภูมิที่ลดลง ไม่ผลต่อความหนาแน่นของเชื้อเพลิง แต่มีผล ความหนืดจลน์ของเชื้อเพลิง โดยเฉพาะน้ำมันดีเซล และ น้ำมันไบโอดีเซล สำหรับน้ำมันไพโรไลซิส อุณภูมิที่ลดลงไม่มีผลต่อการความหนืดจลน์ ซึ่งนับว่าเป็นคุณสมบัติที่ดีของน้ำมันชนิดนี้ที่จะใช้ร่วมผสมกับนำมันดีเซลและไบโอดีเซล สำหรับรถยนต์ต่อไป

## 4. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่สนับสนุนเงินทุนเพื่อการวิจัย และขอขอบคุณ Asst.Dr.Camille Hespel และอาจารย์อบ นิลผาย นักศึกษาปริญญาเอก Laboratoire PRISME, มหาวิทยาลัย Orleans ประเทศฝรั่งเศส ที่ช่วยทดสอบน้ำมันเชื้อเพลิง

## เอกสารอ้างอิง

[1] J. K. Author, No S.Y., “How vegetable oils and their derivatives affect spray characteristics in CI engines - A review”, Atomization and Sprays 2011;21(1),pp. 87-105.

[2] Perdiguero J., Jiménez JL., “Sell or not sell biodiesel: Local competition and government measures”, Renewable and Sustainable Energy Reviews 2011;15, pp. 1525-1532.

[3] Demirbas A., “Progress and recent trends in biodiesel fuels”, Energy Conversion and Management 2009;50, pp.14-34.

[4] Tinprabath P, Hespel C, Chanchaona S, Foucher F., “Influence of biodiesel and diesel fuel blends on the injection rate under cold conditions”, Fuel 2015;144, pp.80-89.

[5] Tinprabath P, Hespel C, Chanchaona S, Foucher F., “ Impact of cold conditions on diesel injection processes of biodiesel blends”, Renewable Energy 2016 ;96 pp. 270-280.

[6] National Biodiesel Board. “ Low blends of biodiesel and cold weather operability”,[cit.2014-03-20] <http://www.biodiesel.org>.

[7] Sarin A., “Biodiesel production and propretes”, Cambridge: RSC Publishing; 2012.

[8] Riazi M.R., “ *Characterization and properties of petroleum fractions*”, ASTM manual series: MNL50, 2005.

**ประวัติผู้เขียนบทความ**

**ผศ.ดร.สมใจ เพียรประสิทธิ์**
จบการศึกษาระดับ ปริญญาเอก ค.อ.ด.(วิจัยและพัฒนาหลักสูตร) จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปัจจุบันเป็นผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร งานวิจัยที่สนใจด้าน Automotive engineering, Alternative fuel ( Biodiesel, Ethanol, Pyrolysis etc.), Hybrid Car, Econo Car

**ดร.ณทพร จินดาประเสริฐ**
จบการศึกษาระดับ ปริญญาเอก Dr.-Ing (Maschinenbau) จาก University of Rostock, ประเทศเยอรมันนี ปัจจุบันเป็นอาจารย์ ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร งานวิจัยที่สนใจด้าน Automotive engineering, Alternative fuel (CNG, Ethanol, Biodiesel, etc.)

**ผศ.ดร.ประเสริฐ วิโรจน์ชีวัน**
จบการศึกษาระดับ ปริญญาเอก วศ.ด.(วิศวกรรมอุตสาหการ) จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปัจจุบันเป็นผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร งานวิจัยที่สนใจด้าน Mechanical Design, Mechanics of Materials, Biodiesel

**ผศ.ดร.ชลกาญจน์ วงศ์ก่อทรัพย์**
จบการศึกษาระดับ ปริญญาเอก Ph.D.(Renewable Energy) จาก Nottingham University ปัจจุบันเป็นผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประจำสาขาวิชาภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องต้นกำลัง วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ งานวิจัยที่สนใจด้าน Biomass, Pyrolysis, Gasifier

**ผศ.ดร.ปฏิภาณ ถิ่นพระบาท**
จบการศึกษาระดับ ปริญญาเอก Docteur Énergétique (Mechanical Engineering) จาก University of Orleans, ประเทศฝรั่งเศส ปัจจุบัน เป็นผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร งานวิจัยที่สนใจด้าน Biodiesel (production & applications), Econo Car, Spray behavior in diesel injector, Air Car, Alternative fuel

# The Comparison of the Alternative Fuel Properties at Low Temperatures

Somjai Peanprasit[1,a], Nataporn Chindaprasert[1,b], Chonlakarn Wongkhorsub[2,c] Padet Sankasem[3,d] and Padipan Tinprabath[1,e,*]

[1]Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Phra Nakhon, Bangkok 10800, Thailand

[2]College of Industrial Technology, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangkok 10800, Thailand

[3]Mahachai Institute of Automotive Technology, Samutsakhon 74000, Thailand

[a]somjai@rmutp.ac.th, [b]nchindaprasert@yahoo.com , [c]chonlakarn.w@cit.kmutnb.ac.th, [d]padet@miat.ac.th, [e,*]padipan.t@rmutp.ac.th

**Keywords:** Properties of fuel, diesel fuel, pyrolysis fuel, biodiesel fuel, low temperature

**Abstract**

This paper is studied about the characteristic of 3 kinds of fuel which are pyrolysis oil, Bio-diesel oil, and diesel oil in standard temperature and low temperature in order to study the basic characters of the oils before using in the vehicle. The characteristics of the oil have to follow the emission standard of the car ( EURO 6) which released on 2016. In the EURO 6 standard, the emission test has to be done at the temperature -7ºC. Therefore, the temperature -7ºC is an interesting point to study the characteristic of oils as it is an essential function to predict the emission of the vehicle. The pyrolysis oil and the biodiesel oil are concerned as the alternative energy which is potentially subsidiary oil for diesel engine and they made for recycle material. The tested oils, which are pyrolysis oil, Bio-diesel oil, and diesel oil, are tested by tester ASTM D341 standard. The machine can be tested under the temperature condition -56 till 105 ºC . the result shown that the density of the oil is increasing normally. However, the viscosity of the diesel and bio-dielsel are palabplically increased whereas the reducing of temperature is unaffected to the pyrolysis oil which is relevant to Riazi and Tinprabah's equation to predict characteristic of oil.

## 1.Introduction

Nowaday, the biodiesel and other alternative oil are mix with diesel 2-20% to reduce using petroleum [1,2]. As this reason, the bio material and waste material are used to produce the oil as they can increase energy reliability, environmental friendly and greenhouse gas reduction. This bio-oil is normally has high cetane number but low sulfur and aromatics[3]. The disadvantage of the biodiesel is high viscosity, high cloud point, high pour point but low heating value. the used in engine are produce high NOx which leads low engine power and high cost [1]. Therefore, it is necessary to study fuel characteristics which are; density, viscosity at the point that low temperature effects the emission occurs in engine especially at the starting period of the engine. The European Union has established the emission standards in 2016 which called Euro VI [4]. This standard will be the latest standard applied to cover the starting engine at low temperature problem which are advance spraying characteristics and emission at the low temperature [4]. At temperature-7ºC, the viscosity of the oil is increased rapidly[4]. Applying bio-diesel or pyrolysis oil 5% blended is unaffected to the spray nozzle of the engine [4,5]. The emission is tended to behave follow the Euro standard. However, it is essential to study the characteristics of bio-diesel and pyrolysis oil in terms of physics fuel properties at low and high temperature [4,5,6,7] which influence the flow and spraying of fuel in nozzle head include the prediction of spray characteristics. The spray length, spray angle and fuel atomization are the spray character that influence the engine performance and emission from engine. The objective

of the research is to study the characteristic of the fuel at the temperature -7ºC regarding the EURO 6 standard. The research are applied with pyrolysis oil, diesel oil, and bio-diesel oil from canola oil at the testing temperature condition -8°C to 40°C. The concerned characteristics are density and viscosity.

## 2.Theory

### 2.1 Density of fuels

The density of the fuel at ambient temperature and low temperature can be analyzed by the equation of Riazi [8] as shown in equation (1).

$$\rho_T = 0.99.SG\text{-}10^{-3}.(2.34\text{-}1.898SG).(T\text{-}288.7) \quad (1)$$

Whereas; SG is specific gravity and T is temperature (K)

### 2.2 Viscosity of fuels

The viscosity of the fuel at the temperature range -4 ºC to 100ºC can be predicted by following Riazi's equation [8]

$$Log_{10}(v_T) = A.(/311T)^B.T - a \quad (2)$$
$$A = Log_{10}(v_{(T=311)}) + a \quad (3)$$
$$B = b.\ Log_{10}(v_{(T=311)}) + c \quad (4)$$

Whereas, $T$ is temperature (K) $v_{(T=311)}$ is kinetic viscosity at 311 K or 38ºC, and $a$ = 0.8696, $b$ = 0.2801and $c$ = 1.8616

For temperature 4-ºC to -10ºC can be calculated by following Riazi's equation [8] and developed by Tinprabath , et al [4] as shown;

$$Log_{10}(v_T) = A.(269/T)^B.T - a \quad (5)$$
$$A = Log_{10}(v_{(T=269)}) + a \quad (6)$$
$$B = b.\ Log_{10}(v_{(T=269)}) + c \quad (7)$$

Whereas, $T$ is temperature (K), $v_{(T=269)}$ is kinetic viscosity at 269 K or -4ºC, $a$ = 0.8639-, $b$ = 87.656-and $c$ = 124.30

## 3.Experimental apparatus

### 3.1 Viscosmeter

The testing apparatus for fuel characteristics is Anton Paar@ Stabinger Viscosmeter (model SVM 3000/G2) of Laboratoire PRISME, from Orleans University, France. The apparatus is able to measure both density and viscosity by using ASTM D341 testing standard, the temperature can be measured from -56 to 105ºC, and the accuracy of the density is +/- 0.35%

Fig.1 Anton Paar@ Stabinger Viscosmeter (model SVM 3000/G2) [9]

### 3.2 Fuels

The research are applied with pyrolysis oil, diesel oil, and bio-diesel oil from canola oil at the testing temperature condition -8°C to 40 °C.

Fig.2 Experimental test fuels

## 3. Results and discussion

### 3.1 Density

The testing result of the density is shown in figure 3. It is found that the density of the fuel is decreased when the temperature of the fuel increased; on the other hand, the density is increased when the temperature is decreased. The bio-diesel fuel is the highest density while the pyrolysis is the lowest density. The diesel oil behave in between the two fuels. The figure shown that the densities of three fuel are increased while the temperature is decreased related to the equation (1) in every types of fuel at the 0.3% accuracy.

### 3.2 Viscosity

The testing result shown in figure 4 is the relation of the temperature and the kinetic viscosity of the fuel. It is found that all the experimented fuel at this range of temperature behave similarly which the viscosities of the fuel are decreased when the temperature is increased whereas, the viscosities are increased while the temperature is decreased. Especially at the temperature -4ºC, the viscosity of diesel and bio-diesel are dramatically increased whereas the increasing rate of the viscosity for pyrolysis oil is in normal rate. It could be count as the advantage character of the pyrolysis oil at the low temperature. At this point the behavior of all the fuel can be predicted by the equation (2) and (5) with 3% accuracy.

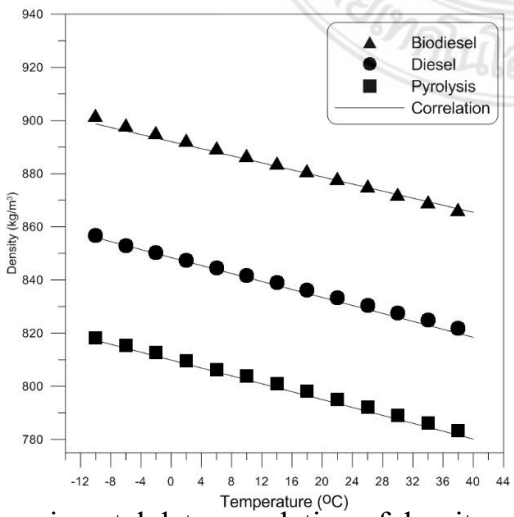



Fig.3 Experimental data correlation of density

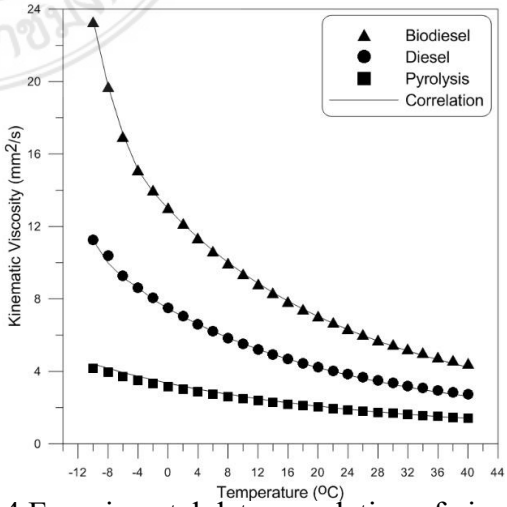



Fig.4 Experimental data correlation of viscosity

Table 1 Fuel matrix in standard conditions

| | Pirolysis | | Biodiesel (B100) | | Diesel | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| T, $^{O}C$ | Density ($kg/m^3$) | Viscosity ($mm^2/s$) | Density ($kg/m^3$) | Viscosity ($mm^2/s$) | Density ($kg/m^3$) | Viscosity ($mm^2/s$) |
| -10 | 818.2 | 4.16 | 901.90 | 23.31 | 856.80 | 11.27 |
| -8 | 816.8 | 3.95 | 900.15 | 19.72 | 855.05 | 10.38 |
| -6 | 815.4 | 3.71 | 898.40 | 16.97 | 853.00 | 9.28 |
| -4 | 814.1 | 3.52 | 897.00 | 15.12 | 851.60 | 8.63 |
| -2 | 812.7 | 3.33 | 895.50 | 14.00 | 850.20 | 8.04 |
| 0 | 811.1 | 3.17 | 894.10 | 13.03 | 848.80 | 7.51 |
| 2 | 809.6 | 3.01 | 892.60 | 12.15 | 847.40 | 7.04 |
| 4 | 808.3 | 2.87 | 891.20 | 11.35 | 845.95 | 6.60 |
| 6 | 806.3 | 2.74 | 889.75 | 10.63 | 844.50 | 6.21 |
| 8 | 805.4 | 2.62 | 888.30 | 9.97 | 843.20 | 5.85 |
| 10 | 803.8 | 2.50 | 886.85 | 9.38 | 841.70 | 5.52 |
| 12 | 802.5 | 2.39 | 885.40 | 8.83 | 840.30 | 5.22 |
| 14 | 801 | 2.29 | 883.95 | 8.33 | 838.90 | 4.94 |
| 16 | 799.4 | 2.20 | 882.50 | 7.87 | 837.50 | 4.68 |
| 18 | 798.1 | 2.11 | 881.05 | 7.44 | 836.10 | 4.44 |
| 20 | 796.5 | 2.03 | 879.60 | 7.05 | 834.70 | 4.23 |
| 22 | 795 | 1.95 | 878.15 | 6.69 | 833.30 | 4.02 |
| 24 | 793.4 | 1.88 | 876.75 | 6.36 | 831.90 | 3.84 |
| 26 | 792.2 | 1.81 | 875.30 | 6.05 | 830.45 | 3.66 |
| 28 | 791.1 | 1.73 | 873.85 | 5.74 | 829.10 | 3.50 |
| 30 | 789 | 1.68 | 872.35 | 5.50 | 827.65 | 3.35 |
| 32 | 787.8 | 1.62 | 870.95 | 5.23 | 826.30 | 3.21 |
| 34 | 786.2 | 1.56 | 869.45 | 5.02 | 824.90 | 3.07 |
| 36 | 784.8 | 1.51 | 868.05 | 4.80 | 823.50 | 2.95 |
| 38 | 783.3 | 1.46 | 866.50 | 4.60 | 821.85 | 2.83 |
| 40 | 781.5 | 1.42 | 865.00 | 4.44 | 820.50 | 2.74 |

### 3.3 Relative density and viscosity

The testing results are shown in figure 5 and table 1. The correlation of density and viscosity plotted as parabolic shape which shown that the density and viscosity tend to increase while the temperature decrease, the trend is dramatically shown in diesel and bio-diesel which the pyrolysis oil behave generally. The reason of this issue could related with the pour point and the CFPP of the diesel and bio-diesel which are lower than pyrolysis oil.

## 4. Conclusions

The study of characteristic of pyrolysis oil, diesel and bio-diesel oil at the room temperature and low temperature is shown that the decrease of the temperature is unaffected with the density of the fuel but affected with the kinetic viscosity of the diesel and bio-diesel. The kinetic viscosity property of the pyrolysis oil behaves ordinarily with the low temperature. Therefore, it can concerned that the pyrolysis oil can be blended with diesel or bio-diesel oil in order to apply in vehicle in the future.

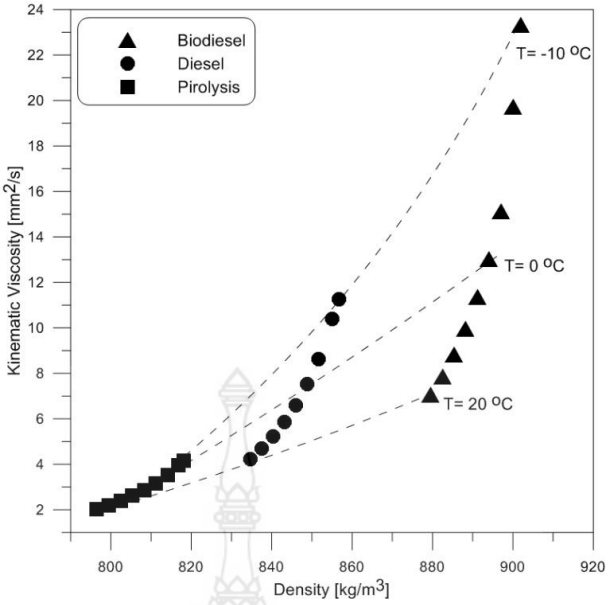



Fig.5 Experimental data correlation of viscosity

**Acknowledgements**

This work was cofinanced by Rajamangala University of Technology Phra Nakhon (RMUTP), Thailand for financial support. The authors would like to thank you very much. The authors would like to thank you to Combustion Technology and Alternative Energy Research, King Mongkut's University of Technology North Bangkok for the source of Pyrolysis oil and Camille Hespel and Ob Nilaphai, Laboratoire PRISME, Orleans University, France for testing the fuel characteristic.

**References**

[1] J. K. Author, No S.Y., How vegetable oils and their derivatives affect spray characteristics in CI engines - A review, Atomization and Sprays 2011;21(1),pp. 87-105.

[2] Perdiguero J., Jiménez JL., Sell or not sell biodiesel: Local competition and government measures, Renewable and Sustainable Energy Reviews 2011;15, pp. 1525-1532.

[3] Demirbas A., Progress and recent trends in biodiesel fuels, Energy Conversion and Management 2009;50, pp.14-34.

[4] Tinprabath P, Hespel C, Chanchaona S, Foucher F., Influence of biodiesel and diesel fuel blends on the injection rate under cold conditions, Fuel 2015;144, pp.80-89.

[5] Tinprabath P, Hespel C, Chanchaona S, Foucher F., Impact of cold conditions on diesel injection processes of biodiesel blends, Renewable Energy 2016 ;96 pp. 270-280.

[6] National Biodiesel Board. Low blends of biodiesel and cold weather operability,[cit.2014-03-20] <http://www.biodiesel.org>.

[7] Sarin A., Biodiesel production and propretes, Cambridge: RSC Publishing; 2012.

[8] Riazi M.R., Characterization and properties of petroleum fractions, ASTM manual series: MNL50, 2005.

[9] Anton Paar GmbH, Instruction manual SVM 3000 stabinger viscometer, Austria, 2005.

# ภาคผนวก ข.

**รายงานผลเข้าร่วมการแข่งขัน**

การแข่งขันฮอนด้าประหยัดเชื้อเพลิง Honda Econo Mileage Challenge 2018 ครั้งที่ 21

ประจำปี 2561, 15-16 พฤศจิกายน 2561

ณ สนามช้างอินเตอร์เนชั่นแนล เซอร์กิจ จ.บุรีรัมย์

# รายงานผลเข้าร่วมการแข่งขัน

การแข่งขันฮอนด้าประหยัดเชื้อเพลิง Honda Econo Mileage Challenge 2018 ครั้งที่ 21

ประจำปี 2561, 15-16 พฤศจิกายน 2561

ณ สนามช้างอินเตอร์เนชั่นแนล เซอร์กิจ จ.บุรีรัมย์

---

## ทีม By parts

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ศูนย์พระนครเหนือ

สมาคมนักเรียนเก่าช่างกลพระนครเหนือ

SINGHA
บริษัทวรภัณฑ์มาร์เก็ตติ้งจำกัด

บริษัท สยามนครเดินรถ จำกัด
SIAM CITY TRANSPORT CO.,LTD.

RMUTP

RMUTP
คณะวิศวกรรมศาสตร์

Honda eco Mileage Challenge

# รายชื่อทีมและสมาชิกในทีม

**By parts Team 1 ลงแข่งรุ่น อุดมศึกษา**

นายประพันธ์ ยอดบุญเรือง นายมณฑล สิทธิปรีชาชาญ นายชนพัฒน์ นาคทองแก้ว นายสพล อินสว่าง และ นายอนุศิษฎ์ จันทร์สกุล

ผู้จัดการทีม ผศ.ดร.ปฏิภาณ ถิ่นพระบาท

**By parts Team 2 ลงแข่งรุ่น อุดมศึกษา**

นายสดายุ บุตรครุฑ นายวัชรากร พหรมคีรี นายณัฐพงศ์ เชื้อพงษ์ นายปณิธาณ ภู่ขันเงิน และนายวรเทพ เปรมสกุล

ผู้จัดการทีม ดร.ณทพร จินดาประเสริฐ

**14 พฤศจิกายน 2561**

12.15 เริ่มเดินทางไปเข้าร่วมการแข่งขัน

-เริ่มต้นด้วยการทำพิธีไหว้ พระพุทธมงคลพระนครเหนือ ศาลพระภูมิ ศาลเจ้าที และ องค์พ่อพระวิษณุกรรม เพื่อให้การเดินทางปลอดภัยและประสบความสำเร็จในการแข่งขัน

19.00 น. ถึง จ.บุรีรัมย์

**15 พฤศจิกายน 2561**

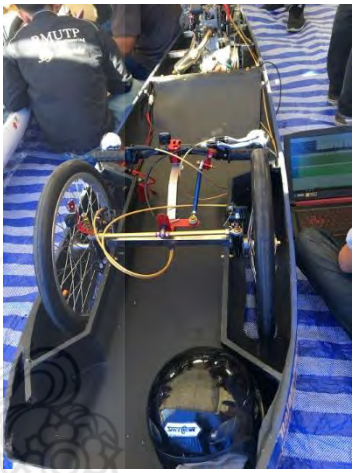
7.00 น. ถึงสนามแข่งขัน เริ่มซ้อมวันแรก โดยการแข่งขันฮอนด้าประหยัดเชื้อเพลิง จะแบ่งออกเป็นวันแรกวันซ้อม เสมือนจริง และวันที่สองแข่งขันจริง หากวันที่สองไม่สามารถแข่งขันได้ จะใช้สถิติการแข่งขันวันซ้อมแทน

**ขั้นตอนการแข่งขันวันซ้อม**

1.ตรวจสภาพรถยนต์ เช่น การทดสอบระบบเบรก การตรวจสภาพเครื่องยนต์ การตรวจระบบความปลอดภัยอื่นๆ

2.เมื่อผ่านการตรวจ จะเข้าการติดตั้งเชื้อเพลิง แล้วเข้าสู่ระบบตรวจสอบ ระบบเชื้อเพลิงและการทำงานของเครื่องยนต์ว่าได้ดัดแปลงเครื่องยนต์ไปตามกติกาการแข่งขันหรือไม่

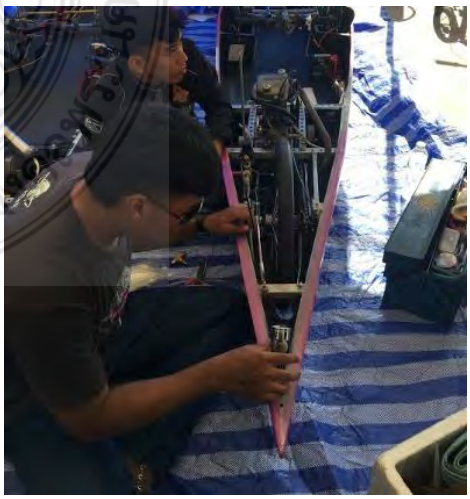
3.ผลการสอบ ทีม By parts Team 1 มีสถิติค่าประหยัดเชื้อเพลิง 518 กม./ลิตร ทีม By parts Team 2 วิ่งไม่ครบรอบเนื่องเครื่องมีปัญหาของระบบจุดระเบิด



ถึงสนามตั้งแต่เช้า เวลา 7.00 น. ทุกทีมเตรียมปรับปรุง รถให้สมบุรณ์ที่สุดก่อนทำการซ้อม

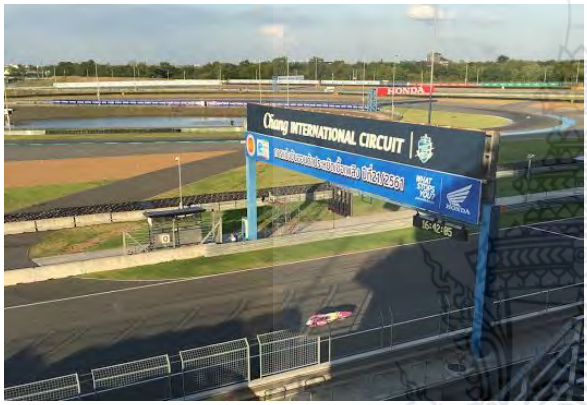
อาจารย์ที่ปรึกษาของแต่ละทีม ตรวจสอบพร้อมของรถอีกครั้ง

ถ่ายรูปคู่กับ สมาคมนักเรียนเก่าช่างกลพระนครเหนือ โดยตัวแทน พี่ไพศาล กสิกรรม และ พี่ประภา อยู่สืบเชื้อ ที่มาช่วยให้กำลังใจ ให้คำแนะนำที่ดีในการปรับปรุงรถ ช่วยบันทึกภาพ ซื้ออาหารมาแจกน้องๆนักศึกษา และร่วมเชียร์ขณะทำการการแข่งขัน ทีม By parts ขอขอบพระคุณพี่ทั้งสองและสมาคมนักเรียนเก่าช่างกลพระนครเหนือมา ณ โอกาสนี้



ระบบฉีดเชื้อเพลิง และระบบจุดระเบิดของเครื่องยนต์ ต้องได้รับปรับแต่งด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

**14.00 เริ่มการซ้อม**



ภาพการซ้อมวันแรก

-

ผู้สนับสนุนการเข้าร่วมการแข่งขัน

**16 พฤศจิกายน 2561**

**6.30 น.** ถึงสนามแข่งขัน จากเมื่อวานนี้ทางทีม By parts Team 2 มาสามารถนำรถลงวิ่งซ้อมได้ ดังนั้นในวันนี้จึงเตรียมความพร้อมของรถยนต์ตั้งแต่เช้าตรู่ และทดสอบวิ่งเบื้องต้น

**8.30** เริ่มพิธีเปิด โดย ผู้ว่าราชการจังหวัดบุรีรัมย์ คณะกรรมการการอาชีวศึกษา และประธานบริษัท เอ.พี.ฮอนด้า จำกัด

ภาพบรรยายพิธีเปิด

**ขั้นตอนการแข่งขัน**

1.ตรวจสภาพรถยนต์ เช่น การทดสอบระบบเบรก การตรวจสภาพเครื่องยนต์ การตรวจระบบความปลอดภัยอื่นๆ

2.เมื่อผ่านการตรวจ จะเข้าการติดตั้งเชื้อเพลิง แล้วเข้าสู่ระบบตรวจสอบ ระบบเชื้อเพลิงและการทำงานของเครื่องยนต์ว่าได้ดัดแปลงเครื่องยนต์ไปตามกติกาการแข่งขันหรือไม่

3.ติดตั้งระบบวัดเชื้อเพลิง

4.เริ่มสตาร์ทเครื่องยนต์ และวิ่งไป 18 km ความเร็วห้ามต่ำกว่า 30 km/h

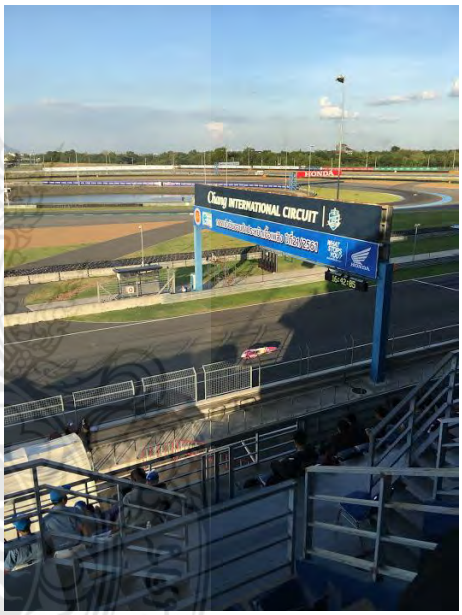
5.เมื่อถึงจุดสิ้นสุดแล้ว นำขวดวัดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงไปชั่งน้ำหนัก เพื่อคำนวณค่าการประหยัดเชื้อเพลิง

6.ทีมที่ติด 1 ใน 3 ที่คาดว่าจะประหยัดเชื้อเพลิงสูงสุดจะถูกกักรถไว้ เพื่อตรวจสอบโดยละเอียดว่าการสร้างรถปฏิบัติตามกติกาอย่างเคร่งครัดหรือไม่

การติดตั้งระบบจ่ายน้ำมัน

การปรับแต่งเครื่องยนต์อีกครั้งก่อนทำการแข่งขัน และ การตรวจสอบระบบเบรคพื้นที่ลาดเอียง

**พิธีเปิดการแข่งขันและปล่อยรถคันแรก**



ภาพขณะทำการแข่งขัน

จากการปล่อยวิ่งจาดจุดสตาร์ท พบว่ารถคัน By parts Team 2 มีปัญหาระบบจุดระเบิด ไม่สามารถติดเครื่องยนต์ได้ ต้องออกจากการแข่งขัน ส่วนทีม By parts Team 1 ได้วิ่งจบการแข่งแข่งขัน แต่ผลปรากฏว่าหลอดแก้วบรรจุน้ำมันเกิดการแกร๊กตัว ที่วาล์วเปิดปิด ทำให้มันรั่วออกทั้งหมด ทำให้ไม่มีสถิติการแข่งขัน

ภาพหลอดแก้วบรรจุน้ำมันเกิดการแกร๊กตัว ที่วาล์วเปิดปิด

ภาพแสดงการชั่งน้ำหนักเชื้อเพลิงหลังการแข่งขัน

## สรุปรางวัลที่ได้รับ

**ทีม By part Team 1** ได้รับ **รางวัล Popular vote อันดับที่ 3** จากผู้เข้าแข่งขัน 473 ทีม

**ค่าการประหยัดเชื้อเพลิง 518 กม/ลิตร อันดับที่ 8 รุ่นอุดมศึกษา**

## การเผยแพร่ข้อมูลประชาสัมพันธ์

-ใน facebook ข่าวคณะวิศวกรรมศาสตร์ ม.ราชมงคลพระนคร
มีกดกดไลท์มากกว่า 1,900 ไลท์ และแชร์ข้อมูลกว่า 261 ครั้ง

และ มีภาพรถใน วารสาร Fast Bikes Thailand

# ขอขอบคุณผู้สนับสนุน

สมาคมนักเรียนเก่าช่างกลพระนครเหนือ

บริษัทวรภัณฑ์มาร์เก็ตติ้งจำกัด

บริษัทวรภัณฑ์มาร์เก็ตติ้งจำกัด

บริษัทสยามนครเดินรถจำกัด

คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

และ

ยาง IRC_TIRE

กล่อง API_TECH

สนามแข่งขัน SOLAR_TRACK

ร้าน Tee_Racing_Shop

ร้าน TINY_wheels

ล้อ TOZZ_CYCLES

บริษัท AP_Honda

**********

# ประวัติผู้วิจัย

**ประวัติผู้วิจัย**

**ผศ.ดร.ปฏิภาณ ถิ่นพระบาท**

**การศึกษา**

ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปริญญาโท วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ปริญญาเอก Docteur Énergétique (Mechanical Engineering)
University of Orleans, France

**ปัจจุบัน**

รับราชการ ตำแหน่ง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร