



การศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อสมรรถนะการฉีดเชื้อเพลิงของหัวฉีดรถยนต์ที่ใช้น้ำมันไบโอดีเซล  
และ น้ำมันไพโรไลซิส

A study of Influential Variables on Fuel Injection Performance Using Biodiesel  
and Pyrolysis Fuels

ปฏิภาณ ถิ่นพระบาท  
สมใจ เพียรประสิทธิ์

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากงบประมาณเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2560

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร



A study of Influential Variables on Fuel Injection Performance Using Biodiesel  
and Pyrolysis Fuels

Padipan Tinprabath  
Somjai Peanprasit



This Research is Funded by Faculty of Engineering  
Rajamangala University of Technology Phra Nakhon  
Year 2017

ชื่อเรื่อง การศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อสมรรถนะการฉีดเชื้อเพลิงของหัวฉีดรถยนต์ที่ใช้น้ำมัน  
ไบโอดีเซล และ น้ำมันไพโรไลซิส

ผู้วิจัย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ปฎิภาณ ถิ่นพระบาท และ  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์สมใจ เพียรประสิทธิ์  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

พ.ศ. 2560

### บทคัดย่อ

การศึกษาวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อสมรรถนะการฉีดเชื้อเพลิงของหัวฉีดรถยนต์ที่ใช้น้ำมันไบโอดีเซลและน้ำมันไพโรไลซิส เพื่อทดสอบหาตัวแปรที่มีผลต่อสมรรถนะการฉีดเชื้อเพลิงของหัวฉีดรถยนต์ที่ใช้น้ำมันไบโอดีเซลและน้ำมันไพโรไลซิส โดยการทดลองและสร้างแบบจำลองโดยใช้โปรแกรมทางคอมพิวเตอร์เพื่อเปรียบเทียบผล และเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบหัวฉีดรถยนต์ให้ใช้ได้กับใช้น้ำมันไบโอดีเซลและน้ำมันไพโรไลซิส น้ำมันที่ใช้ทดสอบครั้งนี้ประกอบด้วย น้ำมันดีเซล น้ำมันไพโรไลซิส และน้ำมันไบโอดีเซล โดยใช้เครื่องวิเคราะห์คุณสมบัติเชื้อเพลิง Anton Paar@ Stabinger Viscosimeter (model SVM 3000/G2) ผลการทดสอบพบว่า ที่อุณหภูมิค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิงมีค่าเพิ่ม แต่ความหนืดของน้ำมันดีเซลและน้ำมันไบโอดีเซล มีค่าเพิ่มแบบพาราโบลา อุณหภูมิที่ลดลงไม่มีผลต่อการความหนืดของน้ำมันไพโรไลซิส ผลการทดสอบสมรรถนะการฉีดเชื้อเพลิงพบว่าความหนาแน่นและความหนืดของเชื้อเพลิงเป็นตัวแปรที่สำคัญที่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะการฉีดของเชื้อเพลิง ในกรณีการใช้น้ำมันไพโรไลซิสสมรรถนะการฉีดมีแนวโน้มที่สูงกว่าเชื้อเพลิงชนิดอื่นและยังสภาวะที่อุณหภูมิต่ำมาก

Title            A study of Influential Variables on Fuel Injection Performance Using Biodiesel  
and Pyrolysis Fuels

By                Asst.Prof.Padipan Tinprabath and Asst.Prof.Somjai Peanprasit  
Faculty of Engineering  
Rajamangala University of Technology Phra Nakhon

Year             2017

### Abstract

The purpose of this research is to study on variables affecting fuel injection performance of biodiesel fuel injection and pyrolysis fuel. To test for variables affecting the fuel injection performance of biodiesel fuel injectors and pyrolysis fuel. By experimenting and modeling using computer programs to compare results. Finally, for to use the information in the design of the car nozzle to work well with Biodiesel and pyrolysis fuel. The tested fuels, which are pyrolysis fuel, Bio-diesel fuel, and diesel fuel, are tested by tester Anton Paar@ Stabinger Viscosmeter (model SVM 3000/G2), ASTM D341 standard. The result shown that the density of the fuel is increasing normally. However, the viscosity of the diesel and biodiesel are strong increased whereas the reducing of temperature is unaffected to the pyrolysis fuel. The fuel injection performance test showed that the density and viscosity of fuel were the major variables that affected the injection performance of the fuel. In case of using pyrolysis oil Injection performance is trend to higher other fuels and cold conditions.

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่สนับสนุนงบประมาณในการทำวิจัย

ขอขอบคุณ Asst.Dr.Camille Hespel และอาจารย์ออบ นิลผาย นักศึกษาปริญญาเอก ห้องปฏิบัติการวิจัย PRISME, มหาวิทยาลัย Orleans ประเทศฝรั่งเศส ที่ช่วยทดสอบน้ำมันเชื้อเพลิง ที่อุณหภูมิต่ำ

ปฏิภาณ ถิ่นพระบาท  
สมใจ เพียรประสิทธิ์



## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	2
1.3 ขอบเขตของการศึกษา	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง</b>	3
2.1 คุณสมบัติความเป็นเชื้อเพลิงดีเซลของน้ำมันพืช	3
2.2 น้ำมันจากกระบวนการไพโรไลซิส	4
2.3 การวิเคราะห์อัตราการฉีดเชื้อเพลิง	5
2.4 ความหนาแน่นของเชื้อเพลิง	6
2.5 ความหนืดของเชื้อเพลิง	6
2.6 โครงสร้างเชื้อเพลิงที่ถูกฉีดพ่นเข้าไปในห้องเผาไหม้ (Overall spray structure)	7
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	9

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
<b>บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย</b>	11
3.1 วิธีการดำเนินการวิจัย	11
3.2 ออกแบบและสร้างชุดทดลอง / ออกแบบโปรแกรม	11
3.3 สภาวะการทดสอบ	15
<b>บทที่ 4 ผลการศึกษา</b>	16
4.1 ผลการศึกษาคุณสมบัติของเชื้อเพลิง	16
4.2 ผลการศึกษาสมรรถนะการฉีดเชื้อเพลิง	20
<b>บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ</b>	25
5.1 ผลการศึกษา	25
5.2 ข้อเสนอแนะ	25
<b>บรรณานุกรม</b>	26
<b>ภาคผนวก</b>	29
<b>ประวัติผู้วิจัย</b>	41

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 ผลการทดสอบและค่าจากจำลองด้วยโปรแกรม ของความหนาแน่นของเชื้อเพลิง ( $\text{kg/m}^3$ )	16
4.2 ผลการทดสอบและค่าจากจำลองด้วยโปรแกรม ของความหนืดของเชื้อเพลิง ( $\text{m}^2/\text{s}$ )	17
4.3 ผลการทดสอบและค่าจากจำลองด้วยโปรแกรม ของสัมประสิทธิ์การฉีด(Cd) ของหัวฉีดเชื้อเพลิง ที่อุณหภูมิห้อง (Troom, $20^\circ\text{C}$ )	20
4.4 ผลการทดสอบและค่าจากจำลองด้วยโปรแกรม ของสัมประสิทธิ์การฉีด(Cd) ของหัวฉีดเชื้อเพลิง ที่อุณหภูมิห้อง ( $T = -5^\circ\text{C}$ )	21
4.5 ผลการทดสอบและค่าจากจำลองด้วยโปรแกรม ของสัมประสิทธิ์การฉีด(Cd) ของหัวฉีดเชื้อเพลิง ที่อุณหภูมิห้อง ( $T = -8^\circ\text{C}$ )	21
4.6 ค่าคงที่ ที่ใช้คำนวณหาค่า Discharge coefficients	22



## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 พารามิเตอร์สำคัญที่ใช้กำหนดโครงสร้างของการฉีดเชื้อเพลิง	7
2.2 ภาพถ่ายของเชื้อเพลิงที่พุ่งเข้าไปในโนโตรเจนที่นิ่งหลังจากเริ่มฉีด 400 $\mu$ s	8
2.3 ภาพร่างสเปรย์ด้านนอกของสเปรย์น้ำมันดีเซล จาก 12 ภาพ	9
2.4 โครงสร้างของสเปรย์ที่มีผลมาจากการฉีดเชื้อเพลิง	9
3.1 น้ำมันที่ใช้ทดสอบ	11
3.2 เครื่องวิเคราะห์ความหนืดและความหนาแน่นของ Anton Paar® Stabinger	12
3.3 ชุดทดสอบอัตราการฉีดของหัวฉีด (จาก IAV GmbH® technical specification)	13
4.1 ความหนาแน่นของเชื้อเพลิง	18
4.2 ความหนืดของเชื้อเพลิง	18
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นและความหนืดของเชื้อเพลิง	19
4.4 การเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การฉีด (Cd) จากการทดลอง และ สมการความสัมพันธ์ของ Tinprabath [2] กับ ความดันแตกต่างของการฉีด (Pressure difference) ที่อุณหภูมิห้อง	22
4.5 การเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การฉีด (Cd) จากการทดลอง และ สมการความสัมพันธ์ของ Tinprabath [2] กับ ความดันแตกต่างของการฉีด (Pressure difference) ที่อุณหภูมิ = -5°C	23
4.6 การเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การฉีด (Cd) จากการทดลอง และ สมการความสัมพันธ์ของ Tinprabath [2] กับ ความดันแตกต่างของการฉีด (Pressure difference) ที่อุณหภูมิ = -8°C	23

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ช่วงเวลาที่ผ่านมามีประเทศไทยมีการใช้พลังงานเพิ่มสูงขึ้นอย่างมาก โดยเฉพาะภาคการขนส่ง ซึ่งพลังงานหลักได้มาจากเชื้อเพลิงปิโตรเลียม โดยเฉพาะน้ำมันดีเซล เช่น ในปี พ.ศ. 2543 ความต้องการใช้น้ำมันดีเซลประมาณ 9,900 ล้านลิตร และเพิ่มขึ้นเป็น 14,970 ล้านลิตร ในปี พ.ศ. 2553 จากความต้องการใช้เชื้อเพลิงที่สูงเช่นนี้ จึงต้องมีการนำเข้าน้ำมันดิบถึงวันละ 674,980 บาร์เรล ต่อวัน (พ.ศ. 2555) ซึ่งมีมูลค่าสูงถึง 285,860 ล้านบาท ดังนั้นจึงได้มีความพยายามส่งเสริมและสนับสนุนให้มีการใช้เชื้อเพลิงทดแทน ซึ่งเป็นผลผลิตทางการเกษตรที่สามารถผลิตได้เอง ภายในประเทศมาเป็นเชื้อเพลิง เสริมสำหรับใช้ในเครื่องยนต์ เพื่อลดการสูญเสียเงินตราและสร้างความมั่นคงด้านพลังงานให้กับประเทศรวมทั้งเป็นการเพิ่มมูลค่าผลผลิตทางการเกษตรด้วย การใช้ น้ำมันพืชเป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลนั้น ไม่ใช่เป็นเรื่องใหม่แต่มีการค้นคว้าและทดลอง ตั้งแต่ พ.ศ. 2443 โดย Rudolph Diesel ชาวเยอรมัน ซึ่งได้แสดงการนำน้ำมันถั่วลิสงมาใช้แทน น้ำมันดีเซล แต่เนื่องจากขณะนั้นการนำน้ำมันพืชมาใช้ยังไม่เป็นที่นิยม เนื่องจากน้ำมันดีเซลมีราคา และต้นทุนการผลิตที่ต่ำกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันพืช จึงไม่มีใครสนใจที่จะใช้น้ำมันพืชใน เครื่องยนต์ หลังจากวิกฤติน้ำมันของโลกในช่วงปี พ.ศ. 2514 เป็นต้นมา ได้มีการตื่นตัวและพยายาม หาเชื้อเพลิงมาแทนน้ำมันดีเซลอีกครั้ง จนกระทั่งวิกฤตผ่านพ้นไป ความสนใจในการวิจัยค้นหา และ ศึกษาความเหมาะสมในการใช้พลังงานทดแทนลดน้อยลง จนกระทั่ง ต้นปี พ.ศ.2544 เกิดวิกฤตน้ำมัน ขึ้นอีกครั้ง ราคาน้ำมันดิบตัวสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ถึงแม้ว่าสถานการณ์ปัจจุบัน ปี 2559 ราคาน้ำมันจะ ลดต่ำลง แต่ข้อมูลด้านวิจัยเกี่ยวกับการใช้น้ำมันพืชหรือน้ำมันเชื้อเพลิงชนิดอื่นๆ ที่ไม่เพียงพอที่จะใช้ ในการตัดสินใจด้านนโยบายพลังงาน รวมทั้งการพัฒนาเทคโนโลยีเครื่องยนต์ดีเซลเองก็ได้มีการ เปลี่ยนแปลงไปมากด้วยเช่น ระบบฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง ระบบบรรจุอากาศ เป็นต้นสิ่งเหล่านี้ย่อมมี ผลกระทบต่อ สมรรถนะ สารมลพิษ และการสึกหรอของเครื่องยนต์ เมื่อใช้น้ำมันพืชเป็นเชื้อเพลิง ในระยะยาว รวมไปถึงข้อมูลด้าน คุณลักษณะของการเผาไหม้ของน้ำมันพืชที่ใช้แทนน้ำมันดีเซล การปรับปรุงเครื่องยนต์ดีเซลเพื่อให้สามารถใช้ได้กับเชื้อเพลิงทดแทน รวมถึงข้อมูลความคุ้มค่าทาง เศรษฐศาสตร์ด้วย

จากงานวิจัยที่ทำมาส่วนใหญ่มักเน้น การทดสอบหาค่าสมรรถนะ, คุณลักษณะการเผาไหม้ใน เครื่องยนต์ และ มลพิษในไอเสีย แต่งานวิจัยยังขาดข้อมูล ด้านการฉีดเชื้อเพลิง ที่ที่จะส่งผลโดยตรง ต่อสมรรถนะ,คุณลักษณะการเผาไหม้ในเครื่องยนต์และมลพิษในไอเสีย ยิ่งไปกว่าปัจจุบัน ปี 2558

สหภาพยุโรปประกาศ มาตรฐานควบคุมไอเสียรถยนต์ Euro 6 ที่จะเคร่งครัดไอเสียที่ผลิตจากการยนต์เมื่อเริ่มต้นสตาร์ทเครื่องยนต์ จึงจำเป็นต้องศึกษา ระบบการฉีดเชื้อเพลิงของรถยนต์ ตัวแปรที่มีผลต่อสมรรถนะการฉีดเชื้อเพลิงของหัวฉีดรถยนต์ เพื่อ ศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อสมรรถนะการฉีดเชื้อเพลิงของหัวฉีด รถยนต์ที่ใช้ น้ำมัน ไบโอดีเซลและน้ำมันไพโรไลซิส ที่ช่วยตอบคำถามและอธิบายถึงผลกระทบของการน้ำมันดังกล่าวกับหัวฉีดรถยนต์ได้อย่างดี และแก้ปัญหาที่กล่าวมาในตอนต้นได้

## 2. วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

- 2.1 เพื่อศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อสมรรถนะการฉีดเชื้อเพลิงของหัวฉีดรถยนต์ที่ใช้น้ำมัน ไบโอดีเซลและน้ำมันไพโรไลซิส
- 2.1 เพื่อทดสอบหาตัวแปรที่มีผลต่อสมรรถนะการฉีดเชื้อเพลิงของหัวฉีดรถยนต์ที่ใช้น้ำมัน ไบโอดีเซลและน้ำมันไพโรไลซิส โดยการทดลองและสร้างแบบจำลองโดยใช้โปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ เพื่อเปรียบเทียบผล
- 2.3 เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบหัวฉีดรถยนต์ให้ใช้ได้กับใช้น้ำมัน ไบโอดีเซลและน้ำมันไพโรไลซิส

## 3. ขอบเขตของโครงการวิจัย

- 3.1 ออกแบบระบบการทดสอบหัวฉีด
- 3.2 การจำลองด้วยคอมพิวเตอร์ใช้โปรแกรม Matlab
- 3.3 การทดสอบกระทำที่สภาวะเริ่มต้นการฉีดเท่านั้น
- 3.4 น้ำมันที่ใช้น้ำมันไบโอดีเซล ที่ผลิตจากน้ำมันพืชที่ใช้แล้วและน้ำมันไพโรไลซิสผลิตจากยางรถยนต์

## 4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 4.1 ได้ทราบตัวแปรที่มีผลต่อสมรรถนะการฉีดเชื้อเพลิงของหัวฉีดรถยนต์ที่ใช้น้ำมัน ไบโอดีเซลและน้ำมันไพโรไลซิส
- 4.2 ได้ทดสอบหาตัวแปรที่มีผลต่อสมรรถนะการฉีดเชื้อเพลิงของหัวฉีดรถยนต์ที่ใช้น้ำมันไบโอดีเซล และน้ำมันไพโรไลซิส โดยการทดลองและสร้างแบบจำลองโดยใช้โปรแกรมทางคอมพิวเตอร์
- 4.3 ใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบหัวฉีดรถยนต์ให้ใช้ได้กับใช้น้ำมัน ไบโอดีเซลและน้ำมันไพโรไลซิส

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

ในบทที่ 2 ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง ทำการทบทวน ศึกษา ตำรา เอกสาร งานวิจัย ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยในครั้งนี้ เพื่อจะได้นำข้อมูลมาเป็นพื้นฐานในเบื้องต้น ประกอบด้วยเนื้อหาเกี่ยวกับคุณสมบัติความเป็นเชื้อเพลิงดีเซลของน้ำมันพืช น้ำมันจากกระบวนการไพโรไลซิส การวิเคราะห์อัตราการฉีดเชื้อเพลิง และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 คุณสมบัติความเป็นเชื้อเพลิงดีเซลของน้ำมันพืช

หากพิจารณาองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันพืชจะเห็นว่าโดยเฉลี่ยแล้วมีน้ำหนักโมเลกุลพอ ๆ กับน้ำมันดีเซล กล่าวคือ มีปริมาณคาร์บอนในโมเลกุลเฉลี่ยที่ 14-18 ตัว คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมันพืชชนิดต่าง ๆ มีปรากฏอยู่มากมายในเอกสารทั้งไทยและต่างชาติ ซึ่งบ่งบอกว่า น้ำมันพืชส่วนใหญ่มีค่าความร้อน (Heating Value) ต่ำกว่าน้ำมันดีเซลเล็กน้อย (10-15%) ทั้งนี้เป็นเพราะมีออกซิเจนอยู่ในโครงสร้างของโมเลกุลน้ำมันพืชด้วย ค่าเลขซีเทน (Cetane no.) นับว่าเป็นคุณสมบัติความเป็นเชื้อเพลิงที่สำคัญที่สุด เพราะเป็นตัวบ่งชี้ว่าความสามารถเริ่มต้นการเผาไหม้ด้วยตัวเอง (Spontaneous Combustion) ได้รวดเร็วเพียงใด สมาคม American Society for Testing Materials (ASTM) ได้กำหนดให้น้ำมันดีเซลหมุนเร็ว (DF2) มีค่าเลขซีเทนอยู่ในช่วง 40 - 60 เอกสารวิจัยทั้งหลายระบุว่าน้ำมันพืชส่วนใหญ่ (รวมทั้งปาล์มและมะพร้าว) มีค่าเลขซีเทนในช่วงนี้ด้วย จึงนับว่ามีศักยภาพการเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซล ค่าเลขซีเทน เป็นเพียงตัวชี้วัดที่สำคัญตัวหนึ่งเท่านั้นค่าความหนืดก็เป็นคุณสมบัติที่สำคัญมากตัวหนึ่ง จากเอกสารวิจัย พบว่าน้ำมันพืชโดยทั่วไปมีค่าความหนืดสูงกว่าดีเซลประมาณ 10-20 เท่า นักวิจัยส่วนใหญ่เชื่อกันว่าความหนืดที่สูงมากนั้นเป็นตัวการสำคัญในการสร้างปัญหาต่าง ๆ ให้กับเครื่องยนต์ โดย ความหนืดที่สูงมากทำให้การฉีดน้ำมันจากหัวฉีดเข้าสู่ห้องเผาไหม้ไม่เป็นฝอยละอองดีพอเมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซล ทำให้การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ การแก้ปัญหาเกี่ยวกับความหนืด มี 3 วิธี คือ 1.ผสมกับน้ำมันดีเซล 2.อุ่นน้ำมันให้ร้อน 3.การทำน้ำมันใส น้ำมันใสในที่นี้เรียกว่า เอสเตอร์ การสังเคราะห์น้ำมันใสกระทำได้โดยกระบวนการทางเคมีที่เรียกว่า Transesterification ซึ่งเป็นการนำน้ำมันพืชดิบ หรือน้ำมันพืชที่ทำการกลั่น (Refined Oil) แล้วมาทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ (เมทานอล หรือ เอทานอลก็ได้) โดยใช้ต่าง (เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ หรือ โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) ขั้นตอนทางเคมีคือ การเปลี่ยน Triglyceride ซึ่งเป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ของน้ำมันพืชให้เป็นโมโนเอสเตอร์ (น้ำมันใส) กับ Glycerol (ไข) หากใช้เมทานอลเป็นตัวทำปฏิกิริยาก็เรียกว่า Methyl Ester หากใช้เอทานอลก็เรียกว่า Ethyl Ester จากทั้ง 3 วิธีการแก้ปัญหาความหนืดของน้ำมันทำให้ความหนืดลดลง 2 - 3 เท่า อนึ่งคำว่า ไบโอดีเซล นั้นในปัจจุบันนี้

ส่วนใหญ่หมายถึงน้ำมันใสเท่านั้น ส่วนน้ำมันพืชดิบนั้นนิยมเรียกกันว่า Crude Vegetable Oil แต่ในประเทศไทยคำว่าไบโอดีเซล เป็นคำรวมที่ใช้เรียกน้ำมันที่ได้มาจากพืช ไม่ว่าจะผ่านกระบวนการหรือไม่ก็ตาม

## 2.2 น้ำมันจากกระบวนการไพโรไลซิส [1]

ยางรถยนต์มีไฮโดรคาร์บอน (ซึ่งเป็นองค์ประกอบประเภทเดียวกับสารประกอบในน้ำมัน) เป็นองค์ประกอบอยู่ถึง 50-60% ซึ่งแฝงตัวอยู่ในรูปของยางที่เป็นวัตถุดิบในการผลิตยางรถยนต์ นับได้ว่ายางรถยนต์เป็นแหล่งพลังงานแหล่งใหญ่ วิธีการที่จะเปลี่ยนยางรถยนต์ให้เป็นพลังงานแปรรูปที่มีค่าความร้อนที่สูงกว่าอย่างก๊าซเชื้อเพลิงและน้ำมัน คือ กระบวนการที่เรียกรวมกันว่า กระบวนการพีจีแอล (PGL Process) ซึ่งย่อมาจากกระบวนการย่อย 3 กระบวนการก็คือ กระบวนการไพโรไลซิส (Pyrolysis) แก๊สซิฟิเคชัน (Gasification) และลิกวิแฟรชัน โดยทั้ง 3 มีความเหมือนกันก็คือ เป็นกระบวนการที่เราให้ความร้อนแก่สารใดสารหนึ่ง เพื่อย่อยสลายโมเลกุลของสารนั้นให้มีขนาดเล็กลงในบรรยากาศที่ปราศจากออกซิเจนหรือมีออกซิเจนน้อย แต่ด้วยกระบวนการผลิตและสภาวะที่แตกต่างกันทำให้การไพโรไลซิสจะให้ก๊าซและน้ำมันเป็นผลิตภัณฑ์ กระบวนการแก๊สซิฟิเคชันจะให้ก๊าซสังเคราะห์ (ไฮโดรเจนรวมกับคาร์บอนมอนอกไซด์) และการทำลิกวิแฟรชันนั้นจะมีการเติมตัวทำละลายเข้าไปในเครื่องปฏิกรณ์ด้วย เพื่อวัตถุประสงค์ในการผลิตน้ำมันเป็นผลิตภัณฑ์หลัก ก่อนปีพ.ศ. 2539 ยังมีโครงการพีจีแอลเกิดขึ้นทั่วโลกไม่มากนักและมีเพียง 7 แห่งเท่านั้นที่สามารถเลี้ยงตัวเองอยู่ได้ และในบรรดาโครงการพีจีแอลทั้งหมด กระบวนการไพโรไลซิสเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นมากที่สุดถึงประมาณ 74% หลังจากนั้นในช่วงปี 2540 เป็นต้นมา ได้มีโครงการพีจีแอลซึ่งส่วนใหญ่เป็นโครงการไพโรไลซิสเกิดขึ้นมากมาย โดยเฉพาะได้รับความนิยมนอกประเทศที่เป็นหมู่เกาะในเอเชียตะวันออกเฉียง เช่น ญี่ปุ่น เกาหลีใต้ และไต้หวัน เนื่องจากประเทศเหล่านี้ไม่มีพื้นที่ในการจัดเก็บยางรถยนต์เป็นจำนวนมากและไม่มีทรัพยากรน้ำมัน ประกอบกับประเทศดังกล่าวเป็นประเทศที่มีความเชี่ยวชาญในการพัฒนาเทคโนโลยี จึงได้ให้ความสนใจมากในการวิจัยและพัฒนาเครื่องต้นแบบที่ทั้งกำจัดขยะเพื่อผลิตเป็นพลังงาน โดยทั่วไปน้ำมันที่ได้จากการไพโรไลซิสนั้นจะประกอบไปด้วยน้ำมันเบนซิน ดีเซล น้ำมันก๊าด และน้ำมันเตา และโดยทั่วไปน้ำมันเตาเป็นองค์ประกอบในปริมาณที่มากที่สุด แต่ด้วยเพื่อความไม่ยุ่งยากในกระบวนการและการตลาด น้ำมันที่ได้จากการไพโรไลซิสจะถูกขายเหมารวมเป็นน้ำมันเตา แต่ถ้ามองถึงศักยภาพจริงๆ ของน้ำมันดังกล่าวแล้วพบว่าน่าจะสามารถผลิตเป็นน้ำมันที่มีคุณค่าที่สูงกว่าในเชิงพาณิชย์ได้ โดยวิธีดังกล่าวมีแนวคิด 2 ขั้นตอนก็คือ ขั้นแรกเราต้องสามารถผลิตน้ำมันที่ได้จากการไพโรไลซิสให้มีสัดส่วนของน้ำมันที่มีคุณค่าเชิงพาณิชย์เป็นองค์ประกอบให้ได้มากที่สุด ความเป็นไปได้ของแนวคิดขั้นนี้ก็คือการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาร่วมในกระบวนการ แนวคิดขั้นที่สองก็คือ ต้องมีหน่วยกลั่นปรับสภาพน้ำมันเพื่อผลิตน้ำมันให้ได้ตรงตามมาตรฐานของน้ำมันแต่ละชนิด โดยมี 2 ทางเลือกก็คือ ทางเลือกที่หนึ่ง อาจจะมีการสร้างหน่วยกลั่นขนาดเล็กต่อกับหน่วยไพโรไลซิส น้ำมันที่กลั่นได้นำไปผสมกับน้ำมันที่กลั่นได้จากโรงงานมาตรฐาน ซึ่งหลักการ

คล้ายกับการนำไบโอดีเซลมาผสมกับดีเซลจากโรงกลั่น ส่วนทางเลือกที่สองก็คือ การสร้างหน่วยไพโรไลซิส ในโรงกลั่นขนาดกลางและเล็กที่มีอยู่แล้ว โดยน้ำมันที่ได้จากการไพโรไลซิสก็จะถูกนำไปผสม กับน้ำมันดิบ ที่จะทำการกลั่นและปรับสภาพต่อไปในกระบวนการ ทั้งสองขั้นตอนของแนวคิดดังกล่าวเป็นศักยภาพที่เป็นไปได้ในการผลิตเชื้อเพลิงคุณภาพสูงต่อไปในอนาคต

### 2.3 การวิเคราะห์อัตราการฉีดเชื้อเพลิง

การวิเคราะห์อัตราการฉีดเชื้อเพลิงของหัวฉีดสามารถใช้วิธีของ ปฏิภาณ และคณะ[2], Demotteและคณะ [3], and Payri และคณะ [4,5]. อัตราการไหลเฉลี่ย,  $\dot{m}_{measured}$  สามารถคำนวณได้ในช่วง 1000–2000  $\mu\text{s}$  หลังจากเริ่มต้นการปล่อยสัญญาณการฉีด (SOA) ซึ่งสามารถคำนวณสมรรถนะการฉีด (discharge coefficient, Cd) ด้วยสมการที่ (2.1). ซึ่งในช่วงนี้จะหลีกเลี่ยงการเกิดสัญญาณรบกวนของการเปิดหัวฉีดและปิดหัวฉีด [5,6] อัตราการไหลเชิงมวลทางทฤษฎี,  $\dot{m}_{th}$  (สมการที่ 2.2) คำนวณมาจากสมการความต่อเนื่อง (สมการที่ 2.3) ซึ่งจะขึ้นอยู่กับรูปทรงหน้าตัดของหัวฉีด และความเร็วตอนเข้าของหัวฉีด,  $V_{mean}$  สามารถคำนวณได้จากสมการเบอร์นูลลี (สมการที่ 2.4):

$$Cd = \frac{\dot{m}_{measured}}{\dot{m}_{th}} \quad (2.1)$$

$$\dot{m}_{th} = n_{orifice} \cdot S_c \sqrt{2\Delta P \cdot \rho_f} \quad (2.2)$$

$$\dot{m}_{th} = n_{orifice} \cdot \rho_f \cdot S_c V_{th} \quad (2.3)$$

$$V_{th} = \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho_f}} \quad (2.4)$$

$$Re = \frac{V_{mean} \cdot D_o}{\nu} \quad (2.5)$$

$$V_{mean} = \frac{\dot{m}_{measured}}{n_{orifice} \cdot S_c \cdot \rho_f} \quad (2.6)$$

เมื่อ  $n_{orifice}$  คือจำนวนของ orifices บนพื้นที่หน้าตัดของหัวฉีด ของ orifice ทางออก,  $\Delta P$  คือความดันเปลี่ยนแปลง ( $\Delta P =$  ความดันการฉีด,  $P_i -$  ความดันหลังฉีด,  $P_b$ ),  $\rho_f$  คือความหนาแน่นของเชื้อเพลิง อนุกรมห้อง, และ  $V_{th}$  ความเร็วของเชื้อเพลิงที่ทางออกของหัวฉีด.  $Re$  คือค่า เรโนลด์ส คำนวณจากสมการที่ 2.5, เมื่อ  $V_{mean}$  ความเร็วทางออกของหัวฉีด,  $D_o$  คือ เส้นผ่านศูนย์กลางทางออกของหัวฉีด and  $\nu$  คือความหนืดของเชื้อเพลิงที่อุณหภูมิห้องและความดันบรรยากาศ.  $V_{mean}$ , คำนวณได้ตามสมการที่ 2.6 สามารถคำนวณได้ด้วยการวัดอัตราการไหลและใช้สมการความต่อเนื่องสมมุติฐานเบื้องต้นคือ

พื้นที่หน้าตัดของหัวฉีด ทางเข้าเท่าพื้นที่หน้าตัดของหัวฉีดทางออก( $S_c$ ) และจะต้องไม่มีปรากฏการณ์คาร์วิตซ์ [6,7], การสูญเสียการเท่าการสูญเสียการไหลเนื่องการไหลเท่านั้น. และความเร็วต่ำๆ มีผลต่อการไหลของเชื้อเพลิง

## 2.4 ความหนาแน่นของเชื้อเพลิง

ความหนาแน่นของเชื้อเพลิงที่อุณหภูมิปกติและอุณหภูมิต่ำสามารถคำนวณได้ตามสูตรของ Riazi [8] ดังสมการที่ 7

$$\rho_T = 0.99.SG-10-3.(2.34-1.898SG).(T-288.7) \quad (7)$$

เมื่อ; SG คือความถ่วงจำเพาะ และ T คือ อุณหภูมิ (K)

## 2.5 ความหนืดของเชื้อเพลิง

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

$$\text{Log}_{10}(v_T) = A.(v_{311(100)}/T)B.T - a \quad (8)$$

$$A = \text{Log}_{10}(v_{311(100)}) + a \quad (9)$$

$$B = b. \text{Log}_{10}(v_{311(100)}) + c \quad (10)$$

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

สำหรับที่อุณหภูมิต่ำ -4°C ถึง -10°C สามารถคำนวณโดยใช้สมการ ของ Riazi [8] และพัฒนาโดย Tinprabath และคณะ [2] ดังนี้

$$\text{Log}_{10}(v_T) = A.(v_{269}/T)B.T - a \quad (11)$$

$$A = \text{Log}_{10}(v_{269(100)}) + a \quad (12)$$

$$B = b. \text{Log}_{10}(v_{269(100)}) + c \quad (13)$$

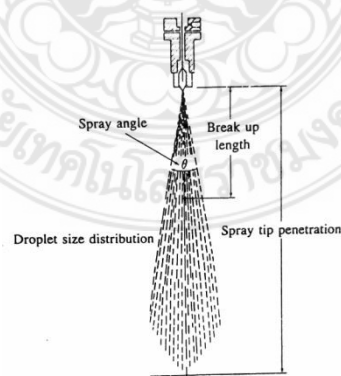
เมื่อ; T คือ อุณหภูมิ (K),  $v_{269(100)}$  คือ ความหนืดจลน์ ที่ 269 K หรือ -4°C,  $a = -0.8639$ ,  $b = -87.6560$  และ  $c = 124.30$

## 2.6 โครงสร้างเชื้อเพลิงที่ถูกฉีดพ่นเข้าไปในห้องเผาไหม้ (Overall spray structure) [9]

เชื้อเพลิงถูกส่งเข้าไปในห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์ผ่านรูหัวฉีดหรือหลายรูด้วยความดันระหว่างความดันในท่อหัวฉีดและกระบอกสูบที่ต่างกันมาก หัวฉีดของเครื่องยนต์ดีเซลตามปกติจะทำงานที่ความดันระหว่าง 200-1700 atm เมื่อเกิดการฉีดอากาศในกระบอกสูบมีความดัน 50-100 atm และอุณหภูมิ 1000 K และความหนาแน่นระหว่าง 15-25 kg/m<sup>3</sup> โดยรูหัวฉีดมีขนาด 0.2-1 mm และมีอัตราส่วนระหว่างความยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในช่วง 2-8 ส่วนสมบัติของน้ำมันดีเซลที่ใช้กันทั่วไปมีความถ่วงจำเพาะประมาณ 0.8 มีความหนืดระหว่าง 3-10 kg/m.s และความตึงผิวประมาณ 0.003 N/m (ที่ 300 K)

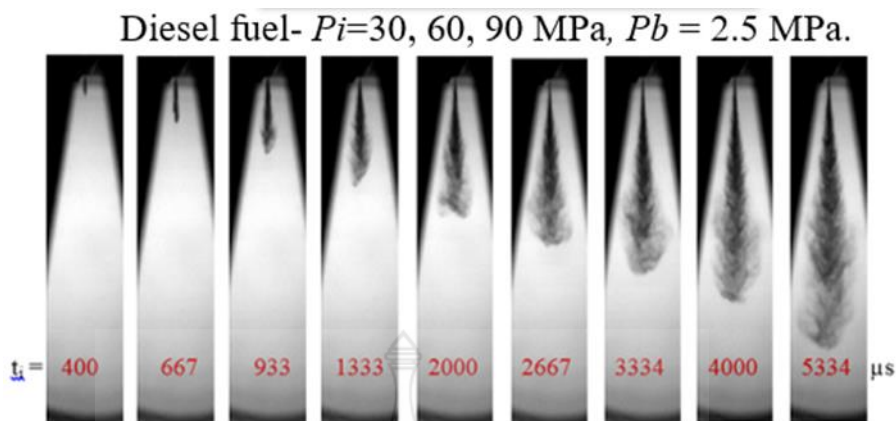
รูปที่ 2.1 แสดงโครงสร้างเชื้อเพลิง ที่ถูกฉีดพ่นเข้าไปในห้องเผาไหม้ ของเครื่องยนต์รูปเชื้อเพลิง โดยตรงทั่วไปเมื่อเชื้อเพลิงพุ่งออกจากหัวฉีดก็จะปั่นป่วนและกระจายออกเข้าไปผสมกับอากาศโดยรอบ โดยความเร็วเริ่มต้นของการพุ่งเข้าไปจะมากกว่า 100 m/s ผิวด้านนอกของเชื้อเพลิงที่พุ่งออกจากหัวฉีดจะแตกเป็นหยดหรือละอองขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10  $\mu$ s ที่ใกล้กับทางออกของหัวฉีด แกนของเหลว (แกนของสเปรย์) ที่ออกจากหัวฉีดจะเข้าไปในห้องเผาไหม้จะแตกเป็นหยดขนาดต่างๆเมื่อเข้าไปได้ระยะช่วงหนึ่งซึ่งเรียกว่าความยาวที่แตกเป็นฝอยละออง (breakup length) เมื่อมวลของเชื้อเพลิงเคลื่อนที่ออกจากหัวฉีด มวลของอากาศภายในสเปรย์จะเพิ่มขึ้น สเปรย์จะบานออกทำให้ความกว้างเพิ่มความเร็วลดลงปลายของสเปรย์จะพุ่งไปในห้องเผาไหม้ไม่ไกลขึ้นใกล้ขึ้นเมื่อมีการฉีดต่อไปด้วยอัตราส่วนของการพุ่งเข้าที่น้อยลง

รูปที่ 2.2 แสดงภาพถ่ายของเชื้อเพลิงที่ถูกฉีดพ่นเข้าไปในแก๊สไนโตรเจน ที่นิ่งโดยใช้เทคนิคการถ่ายภาพที่แตกต่างกันสองแบบทำให้ได้ภาพสองแบบคือภาพรวมทั้งบริเวณไอและของเหลวและภาพบริเวณของเหลวแกนของเหลวเท่านั้น [9]



รูปที่ 2.1 พารามิเตอร์สำคัญที่ใช้กำหนดโครงสร้างของการฉีดเชื้อเพลิง [9]

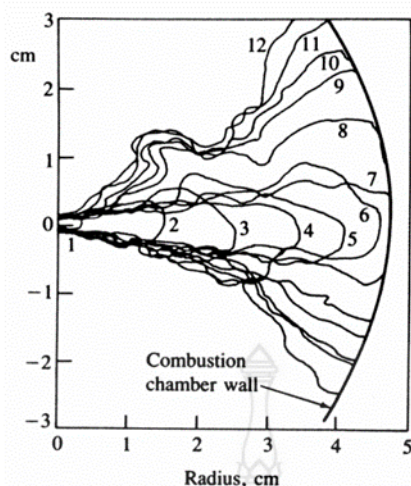




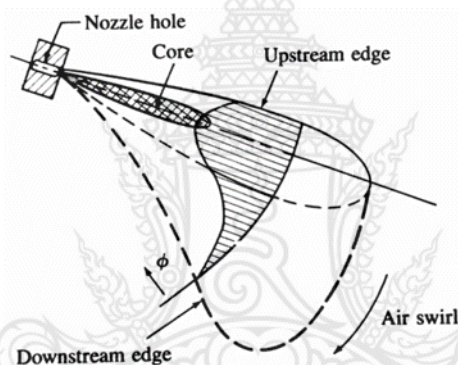
รูปที่ 2.2 ภาพถ่ายของเชื้อเพลิงที่พุ่งเข้าไปในไนโตรเจนที่นิ่งหลังจากเริ่มฉีด 400  $\mu\text{s}$

หยดของเชื้อเพลิงที่อยู่ขอบนอกของสเปรย์จะระเหยก่อน ทำให้เกิดสารผสมระหว่างไอเชื้อเพลิงกับอากาศหุ้มรอบแกนของเหลว จึงเป็นผลให้สัดส่วนสมบรูณ์มีค่าสูงสุดที่แนวกึ่งกลางและลดลงเป็นศูนย์ (อากาศที่ยังไม่ได้ผสม) ที่ขอบของสเปรย์ เมื่อสเปรย์พุ่งเข้าไปในบริเวณด้านนอกของห้องเผาไหม้ก็ไปพบกับผนังห้องเผาไหม้ สเปรย์ก็จะถูกบังคับให้ไหลเลียบไปตามผนังและสุดท้าย สเปรย์ที่สูบฉีดจากห้องเผาไหม้ทรงจาน ในเครื่องอัดความเร็วในสภาวะการฉีดเชื้อเพลิงทั่วไปของเครื่องยนต์ดีเซลซึ่งจะพบว่าผนังทรงกระบอกจะทำให้สเปรย์แยกเป็น 2 ส่วน (2 ทิศทาง)

เนื่องจากในระบบการเผาไหม้บางระบบใช้การไหลวนของอากาศเพื่อเพิ่มอัตราผสมระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศการไหลวนของอากาศจะทำให้โครงสร้างของเชื้อเพลิงที่ถูกฉีดพ่นเข้าไปในห้อง ห้องเผาไหม้ เปลี่ยนแปลงไป ดังรูป 2.4 แสดงถึงรูปแบบของสเปรย์ซึ่งเป็นผลมาจากการฉีดเชื้อเพลิงในแนวรัศมีของกระบอกสูบเข้าไปในการไหลวนของอากาศ เนื่องจากมีการเคลื่อนที่สัมพันธ์ทั้งในแนวรัศมีและแนวแกนของกระบอกสูบระหว่างเชื้อเพลิงที่พุ่งเข้ากับอากาศ เมื่อสเปรย์เข้าไปมากขึ้นและช้าลง สเปรย์ก็จากบิดเบี้ยวไปในทิศทางการไหลวนสำหรับสภาวะการฉีดเดียวกันสเปรย์อยากพุ่งไปได้้น้อยมากกว่าในกรณีที่ไม่มีการไหลวน ลักษณะสำคัญของสเปรย์ที่เกิดขึ้นนี้ก็คือจะมีบริเวณของไอขนาดใหญ่ ด้านท้ายของแกนของเหลว



รูปที่ 2.3 ภาพร่างสเปรย์ด้านนอกของสเปรย์น้ำมันดีเซล จาก 12 ภาพ [9]



รูปที่ 2.4 โครงสร้างของสเปรย์ที่มีผลมาจากการฉีดเชื้อเพลิง [9]

## 2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.7.1 ปฏิภาณ ถิ่นพระบาท [10] ได้ศึกษาการปลดปล่อยความร้อนและออกไซด์ของไนโตรเจนในเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้น้ำมันปาล์มผสมกับน้ำมันดีเซล ในอัตราส่วนร้อยละ ๕, ๑๐, ๑๕ น้ำมันปาล์มโอเลอิน ๑๐๐% และน้ำมันดีเซล โดยทดสอบกับเครื่องยนต์ดีเซลสูบเดียว และทดสอบที่ความเร็วรอบคงที่ ๒,๐๐๐ rpm โดยการวิเคราะห์ข้อมูลความดันในกระบอกสูบ และผลทดสอบพบว่า เมื่อผสมน้ำมันปาล์มในน้ำมันดีเซลมากขึ้น ส่งผลให้ความดันในกระบอกสูบมีค่าเพิ่มขึ้น จากการศึกษาพบว่าการผสมน้ำมันปาล์มเพิ่มขึ้น ทำให้ส่วนผสมน้ำมันมีความหนาแน่นมากขึ้น ทำให้เข็มในหัวฉีดเปิดก่อน จึงเกิดการฉีดเชื้อเพลิงก่อน เป็นจำนวน 0.5 – 1.7 องศาเฟลาข้อเหวี่ยง เมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซล

2.7.2 นฤตชวรรณ สัญญาโณ [11] ได้ศึกษาการเก็บเกี่ยวและผลิตไบโอดีเซลจากสาหร่ายขนาดเล็กสายพันธุ์ *Chlorella sp.* ชนิดน้ำเค็ม พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการเก็บเกี่ยวสาหร่ายด้วยยอลูมิเนียม

ซัลเฟตที่ความเข้มข้น 152 มิลลิกรัมต่อลิตร pH 6 เวลาในการตกจม 60 นาที และเพอริคคอลไรต์ที่ความเข้มข้น 143 มิลลิกรัมต่อลิตร pH 8.1 เวลาในการตกจม 40 นาที ซึ่งให้ประสิทธิภาพในการเก็บเกี่ยวเท่ากับ 100 กรดไขมันที่สกัดได้จากสาหร่ายประกอบด้วย 3 ชนิด คือกรดปาล์มมิติก ร้อยละ 27.73 กรดปาล์มมิโอเลอิก ร้อยละ 15.99 และกรดโอเลอิก 5.69 พบว่าการใช้ต่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยามีผลทำให้การแยกชั้นในขั้นตอนการล้างทำได้ยากกว่าการใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

2.7.3 ศิวคุปต์ ฉัญญาเจริญ และ คณะ [12] ได้ศึกษาการสกัดน้ำมันจากสาหร่าย *Spirogyra* sp. ผลิตเป็นไบโอดีเซลเพื่อเป็นพลังงานทดแทน ด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ (Hexane) จากนั้นนำน้ำมันที่สกัดได้มาผลิตเป็นไบโอดีเซลด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน พบว่าน้ำมันที่สกัดได้จากสาหร่ายสดมีความเข้มข้นสูงถึงร้อยละ 87 และมีปริมาณน้ำมันร้อยละ 12 โดยองค์ประกอบหลักของน้ำมันนั้นเป็นกรดไขมัน น้ำมันที่สกัดได้มีค่า Free Fatty acid สูงถึงร้อยละ 65.9 ทำให้ไม่สามารถใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นเบสได้ ต้องใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นกรดแทน และต้องทำปฏิกิริยาแบบ 2 ขั้นตอน โดยเมื่อสิ้นสุดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน พบว่ามีปริมาณเมทิลเอสเทอร์เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 50 โดยมีความหนืดอยู่ที่ 3.94 Cst. ดังนั้นสรุปได้ว่าสาหร่าย *Spirogyra* sp. สามารถนำมาผลิตเป็นไบโอดีเซลเพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทนได้ เพราะสาหร่ายเลี้ยงง่าย โตเร็ว ให้ผลผลิตในปริมาณสูง และยังช่วยลดปัญหาโลกร้อน

2.7.4 Nwafor [13] ได้ศึกษาการเพิ่มอุณหภูมิของเชื้อเพลิงในด้านสมรรถนะ ของเครื่องยนต์ ดีเซลที่ใช้ น้ำมันพืชที่ความเร็วรอบคงที่ โดยใช้เครื่องยนต์ 1 สูบ 4 จังหวะฉีดเชื้อเพลิงเข้าห้องเผาไหม้ โดยตรง ทดสอบที่ความเร็วรอบ 3000 rpm ในการทดสอบมีการบันทึกข้อมูลความดันในกระบอกสูบ ผลการทดสอบแบ่งออกเป็น 3 กรณี คือ เมื่อไม่อุ่นเชื้อเพลิงพบว่า น้ำมันพืชให้ความดันสูงสุดในกระบอกสูบมากกว่าน้ำมันดีเซล และความล่าช้าของการจุดระเบิดเกิดน้อยกว่าการใช้น้ำมันดีเซล การสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (BSFC) ของน้ำมันดีเซลและน้ำมันพืช มีค่าใกล้เคียงกันที่ภาระงานต่ำและการใช้น้ำมันพืชเป็นเชื้อเพลิง มีค่า BSFC สูงกว่าการใช้น้ำมันดีเซลเมื่อภาระงานสูง เมื่ออุ่นเชื้อเพลิงพบว่า ความดันสูงสุดในกระบอกสูบมีค่าเท่ากับน้ำมันดีเซล การสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก น้ำมันพืชมีค่าสูงกว่าการใช้น้ำมันดีเซลที่ภาระงานต่ำ และใกล้เคียงกันที่ภาระงานสูง และกรณีสุดท้ายเมื่อเปรียบเทียบน้ำมันพืชที่อุ่นเชื้อเพลิงกับไม่อุ่นเชื้อเพลิงพบว่า การปลดปล่อยความร้อนมีค่าใกล้เคียงกัน ทั้งในช่วงการเผาไหม้สารผสมที่ผสมไว้ล่วงหน้าและช่วงลูกกลามของการเผาไหม้ สำหรับค่า มลพิษไอเสีย HC ของน้ำมันดีเซลมีสูงกว่าการใช้น้ำมันพืชทั้งที่อุ่นเชื้อเพลิงกับไม่อุ่นเชื้อเพลิงก็ตาม

## บทที่ 3

### วิธีดำเนินงานวิจัย

#### 3.1 วิธีการดำเนินการวิจัย

การดำเนินการวิจัยได้ทำตามขั้นตอนดังนี้

- 1.ศึกษารวมข้อมูลและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง
- 2.ออกแบบและสร้างชุดทดลอง /ออกแบบโปรแกรม
- 3.ทำการทดสอบและเก็บข้อมูล/วิเคราะห์ค่าจากการ Run โปรแกรม
- 4.วิเคราะห์ผล
5. ปรับปรุง
6. สรุป,จัดทำรายงานการศึกษา
7. ถ่ายทอดและเผยแพร่งานวิจัย

#### 3.2 ออกแบบและสร้างชุดทดลอง /ออกแบบโปรแกรม

##### 3.2.1 น้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ทดสอบ

น้ำมันที่ใช้ทดสอบในงานวิจัยนี้ ประกอบด้วย 3 ชนิด คือ น้ำมันดีเซล น้ำมันไพโรไลซิสผลิตจากพลาสติกที่ใช้แล้ว น้ำมันไบโอดีเซลผลิตจากน้ำมันเมล็ดโคล่า โดยทำการทดสอบที่อุณหภูมิ  $-10^{\circ}\text{C}$  ถึง  $40^{\circ}\text{C}$



รูปที่ 3.1 น้ำมันที่ใช้ทดสอบ

### 3.2.2 การทดสอบคุณสมบัติของเชื้อเพลิง

ในการทดสอบคุณสมบัติของเชื้อเพลิงใช้เครื่องวิเคราะห์คุณสมบัติเชื้อเพลิง Anton Paar@ Stabinger Viscosmeter (model SVM 3000/G2) ของ ห้องปฏิบัติการวิจัย PRISME มหาวิทยาลัย Orleans ประเทศฝรั่งเศส สามารถวัดได้ทั้ง ความหนาแน่นและความหนืดพร้อมกัน โดยใช้มาตรฐานการทดสอบ ASTM D341 สามารถวัดได้ตั้งแต่อุณหภูมิ-56 ถึง 105°C, ค่าความเที่ยงตรง ของความหนาแน่น  $\pm 0.35\%$  ตามรูปที่ 3.2 ในขณะเดียวกันได้ทำการทดสอบคุณสมบัติเชื้อเพลิง วิเคราะห์ความหนาแน่นและความหนืด ของน้ำมันทั้ง 3 ชนิด ที่อุณหภูมิ 20, 15, 10, 5, 0, -5, -8 °C เพื่อเปรียบเทียบผลการทดสอบ

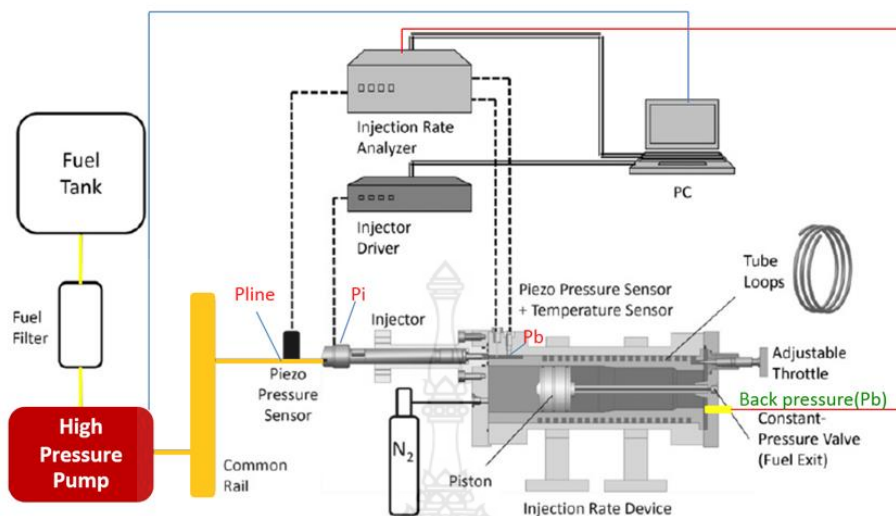


รูปที่ 3.2 เครื่องวิเคราะห์ความหนืดและความหนาแน่นของ Anton Paar@ Stabinger [14]

### 3.2.3 การทดสอบการฉีดเชื้อเพลิง

ชุดทดสอบในงานวิจัยนี้ได้รับการออกแบบตาม งานวิจัยของ Tinprabath และคณะ [2] โดยผังการทดสอบตามรูปที่ 3.3





รูปที่ 3.3 ชุดทดสอบอัตราการฉีดของหัวฉีด (จาก IAV GmbH® technical specification) [2]

รูปที่ 3.3 ชุดทดสอบอัตราการฉีดของหัวฉีด ที่ใช้ในการวัดอัตราการฉีดโดยใช้ตัววิเคราะห์ "Injection Analyser" (รุ่น K-025-50, IAV GmbH®) [71] การวัดการไหลมีความละเอียด 10  $\mu$ s โดยมีความเที่ยงตรง ในการวัด  $\pm 0.2$  mg. (ที่ 20 mg./stroke) สามารถปรับความดัน (แรงดันของหัวฉีดเชื้อเพลิง) จาก 0.5 ถึง 18 MPa ถังไนโตรเจนจะเชื่อมต่อเพื่อดำเนินเชื้อเพลิงในระบบสุญญากาศที่สร้างแรงดัน (หรือแรงดันฉีด) โดยใช้เครื่องขยายสัญญาณ Maximator® (รุ่น M 189 D) เพื่อให้ได้แรงดันการฉีดได้ถึง 200 MPa ท่อที่ฉีดเชื้อเพลิงมีการติดตั้งเครื่องวัดความดันของ Kistler® piezoelectric pressure sensor (ชนิด 4067A3000A0) เพื่อวัดความเปลี่ยนแปลงของความดันที่อยู่ใกล้กับทางเข้าของหัวฉีด

หัวฉีดที่ทดสอบครั้งนี้เป็นแบบ piezoelectric รุ่น 1KD ใช้กับรถยนต์โตโยต้า โดยทำการทดสอบการฉีดที่ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มทร.พระนคร และทดสอบการวิเคราะห์การฉีด ที่ ห้องปฏิบัติการวิจัย PRISME มหาวิทยาลัย Orleans ประเทศฝรั่งเศส

### 3.2.4 การออกแบบโปรแกรม

เพื่อเปรียบเทียบผลการทดสอบกับโมเดล แบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 3 เรื่องคือ

1. การวิเคราะห์ความหนาแน่นของเชื้อเพลิง

ความหนาแน่นของเชื้อเพลิงที่อุณหภูมิปกติและอุณหภูมิต่ำสามารถคำนวณได้ตามสูตรของ Riazi [8] ดังสมการที่ 3.1

$$\rho_T = 0.99.SG-(2.34-1.898SG).(T-288.7) \quad (3.1)$$

เมื่อ; SG คือความถ่วงจำเพาะ และ T คือ อุณหภูมิ (K)

## 2.ความหนืดของเชื้อเพลิง

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

$$\text{Log}(v_T) = A.(v_{311}/T)B.T - a \quad (3.2)$$

$$A = \text{Log}(v_{311(100)})+a \quad (3.3)$$

$$B = b.\text{Log}(v_{311(100)})+c \quad (3.4)$$

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

สำหรับที่อุณหภูมิต่ำ -4°C ถึง -10°C สามารถคำนวณโดยใช้สมการ ของ Riazi [8] และพัฒนาโดย Tinprabath และคณะ [2] ดังนี้

$$\text{Log}(v_T) = A.(v_{269}/T)B.T - a \quad (3.5)$$

$$A = \text{Log}(v_{269(100)})+a \quad (3.6)$$

$$B = b.\text{Log}(v_{269(100)})+c \quad (3.7)$$

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.การวิเคราะห์สมรรถนะการฉีด

ใช้ตามสมการที่ 2.1

$$Cd = \frac{\dot{m}_{measured}}{\dot{m}_{th}}$$

การเขียนโปรแกรมเพื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองโดยใช้ โปรแกรม Matlab

### 3.3 สถานะการทดสอบ

#### 3.2.1 การทดสอบหาค่าความหนืดและความหนาแน่น

น้ำมันน้ำมันดีเซล น้ำมันไพโรไลซิสผลิตจากพลาสติกที่ใช้แล้ว น้ำมันไบโอดีเซลผลิตจากน้ำมันเมล็ดโคล่า โดยทำการทดสอบที่อุณหภูมิ  $-10^{\circ}\text{C}$  ถึง  $40^{\circ}\text{C}$

#### 3.2.2 การทดสอบสมรรถนะการฉีด

ทำการทดสอบที่อุณหภูมิห้อง และที่อุณหภูมิ,  $8^{\circ}\text{C}$ ,  $0^{\circ}\text{C}$ ,  $-5^{\circ}\text{C}$ , และ  $-8^{\circ}\text{C}$  ( $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ). Minus  $8^{\circ}\text{C}$ , ความดันของการฉีด(Pi), ตั้งแต่  $30 - 60\text{ MPa}$ . และความดันหลังการฉีด, Pb, ตั้งแต่  $1 - 2.5\text{ MPa}$  เวลาที่ใช้ในการฉีดเชื้อเพลิง จาก  $2000\ \mu\text{s}$  ถึง  $4000\ \mu\text{s}$ . บันทึกข้อมูล 50 ครั้ง ความถี่ของการฉีด  $1\text{ Hz}$  เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดคาร์วิเตชันในการฉีดเชื้อเพลิง [2, 5, 6].



## บทที่ 4 ผลการศึกษา

### 4.1 ผลการศึกษาคณสมบัติของเชื้อเพลิง

ผลการทดสอบและค่าจากจำลองด้วยโปรแกรม ของความหนาแน่นและความหนืดของน้ำมันเชื้อเพลิงแสดงในตารางที่ 4.1 และตารางที่ 4.2

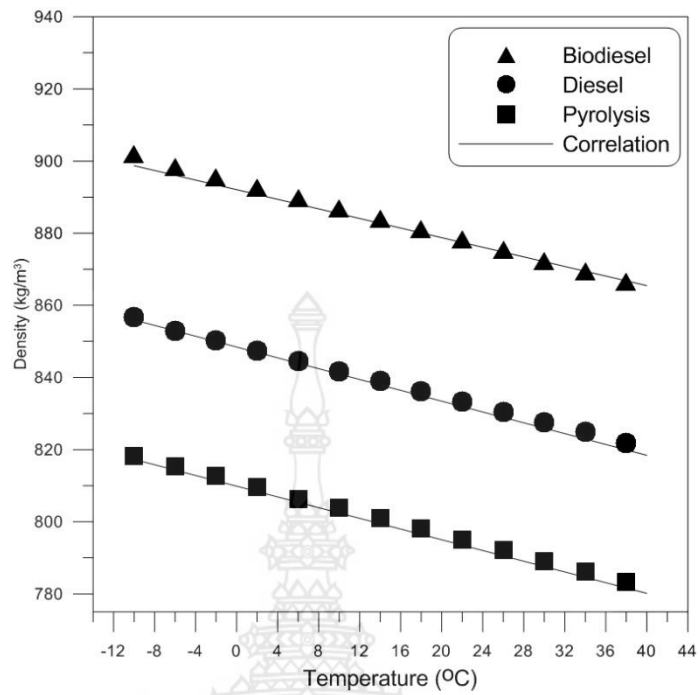
ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบและค่าจากจำลองด้วยโปรแกรม ของความหนาแน่นของเชื้อเพลิง (kg/m<sup>3</sup>)

อุณหภูมิการทดสอบ	Pyrolysis		B100		Diesel	
	แบบจำลอง	ทดสอบ,	แบบจำลอง	ทดสอบ,	แบบจำลอง	ทดสอบ,
T, C						
-10	817.29	818.20	898.71	901.90	855.95	856.80
-8	815.81	816.80	897.38	900.15	854.45	855.05
-6	814.32	815.40	896.05	898.40	852.95	853.00
-4	812.83	814.10	894.72	897.00	851.45	851.60
-2	811.35	812.70	893.39	895.50	849.95	850.20
0	809.86	811.10	892.06	894.10	848.44	848.80
2	808.38	809.60	890.73	892.60	846.94	847.40
4	806.89	808.30	889.40	891.20	845.44	845.95
6	805.41	806.30	888.07	889.75	843.94	844.50
8	803.92	805.40	886.74	888.30	842.44	843.20
10	802.44	803.80	885.41	886.85	840.94	841.70
12	800.95	802.50	884.08	885.40	839.44	840.30
14	799.46	801.00	882.75	883.95	837.94	838.90
16	797.98	799.40	881.42	882.50	836.44	837.50
18	796.49	798.10	880.09	881.05	834.94	836.10
20	795.01	796.50	878.76	879.60	833.44	834.70
22	793.52	795.00	877.43	878.15	831.93	833.30
24	792.04	793.40	876.10	876.75	830.43	831.90
26	790.55	792.20	874.77	875.30	828.93	830.45
28	789.06	791.10	873.44	873.85	827.43	829.10
30	787.58	789.00	872.11	872.35	825.93	827.65
32	786.09	787.80	870.78	870.95	824.43	826.30
34	784.61	786.20	869.45	869.45	822.93	824.90
36	783.12	784.80	868.12	868.05	821.43	823.50
38	781.64	783.30	866.79	866.50	819.93	821.85
40	780.15	781.50	865.46	865.00	818.43	820.50

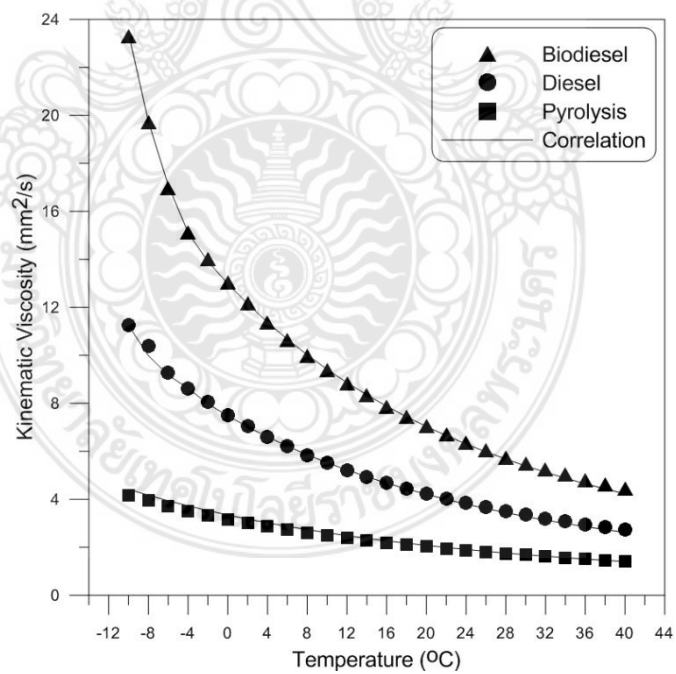
ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบและค่าจากจำลองด้วยโปรแกรม ของความหนืดของเชื้อเพลิง ( $m^2/s$ )

อุณหภูมิการทดสอบ	Pyrolysis		B100		Diesel	
	แบบจำลอง	ทดสอบ,	แบบจำลอง	ทดสอบ,	แบบจำลอง	ทดสอบ,
T, C						
-10	4.42	4.16	23.42	23.31	11.24	11.27
-8	4.17	3.95	19.75	19.72	9.99	10.38
-6	3.94	3.71	17.09	16.97	9.18	9.28
-4	3.73	3.52	15.12	15.12	8.63	8.63
-2	3.53	3.33	13.91	14.00	7.97	8.04
0	3.35	3.17	12.99	13.03	7.48	7.51
2	3.18	3.01	12.15	12.15	7.02	7.04
4	3.02	2.87	11.38	11.35	6.60	6.60
6	2.87	2.74	10.67	10.63	6.22	6.21
8	2.74	2.62	10.02	9.97	5.86	5.85
10	2.61	2.50	9.42	9.38	5.53	5.52
12	2.49	2.39	8.87	8.83	5.23	5.22
14	2.38	2.29	8.35	8.33	4.94	4.94
16	2.27	2.20	7.88	7.87	4.68	4.68
18	2.17	2.11	7.44	7.44	4.44	4.44
20	2.08	2.03	7.04	7.05	4.21	4.23
22	1.99	1.95	6.66	6.69	4.00	4.02
24	1.91	1.88	6.31	6.36	3.80	3.84
26	1.84	1.81	5.98	6.05	3.62	3.66
28	1.76	1.73	5.68	5.74	3.45	3.50
30	1.69	1.68	5.40	5.50	3.28	3.35
32	1.63	1.62	5.13	5.23	3.13	3.21
34	1.57	1.56	4.88	5.02	2.99	3.07
36	1.51	1.51	4.65	4.80	2.86	2.95
38	1.46	1.46	4.44	4.60	2.74	2.83
40	1.41	1.42	4.23	4.44	2.62	2.74

ผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 4.1 พบว่าทุกอุณหภูมิของเชื้อเพลิงค่าความหนาแน่นของ น้ำมันไบโอดีเซลมีค่าสูงสุด และ น้ำมันไพโรซีส จะมีค่าความหนาแน่นน้อยที่สุด ส่วนน้ำมันดีเซลจะอยู่ระหว่างของกราฟความหนาแน่นของทั้งสองเชื้อเพลิง จากกราฟพบว่าทั้งสามชนิดเชื้อเพลิงมีค่าความหนาแน่นเพิ่มเมื่ออุณหภูมิเชื้อเพลิงลดลง และพบว่าสมการที่ 1 สามารถใช้ทำนายความหนาแน่นได้ดีทุกชนิดเชื้อเพลิง โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุด 0.3%

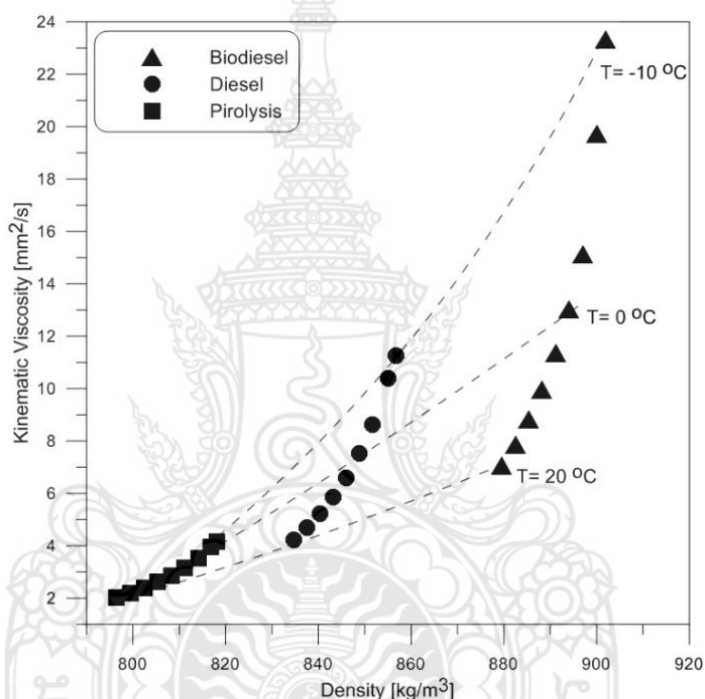


รูปที่ 4.1 ความหนาแน่นของเชื้อเพลิง



รูปที่ 4.2 ความหนืดของเชื้อเพลิง

จากรูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความหนืดของเชื้อเพลิง พบว่าทุกอุณหภูมิและทุกเชื้อเพลิง เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นค่าความหนืด จะมีค่าเพิ่มขึ้น และในทางกลับกันเมื่ออุณหภูมิลดค่าความหนืดจะมีค่าลดเช่นกัน โดยเฉพาะหลังจากอุณหภูมิ  $-4^{\circ}\text{C}$  ค่าความหนืดของน้ำมันดีเซล และน้ำมันไบโอดีเซล จะเพิ่มขึ้นอย่างรุนแรง แต่กลับพบว่าความหนืดของน้ำมันไพโรไลซิสเพิ่มในอัตราปกติ ซึ่งคุณที่ติของไพโรไลซิส ตรงจุดนี้เป็นคุณสมบัติที่ดีในการใช้เชื้อเพลิงที่อุณหภูมิต่ำซึ่งนำไปผสมกับน้ำมันดีเซลหรือไบโอดีเซล จากการใช้สมการที่ 2.2 และ 2.5 สามารถใช้ทำนายความหนืดจลน์ได้ดีทุกชนิดเชื้อเพลิง และทุกสภาวะอุณหภูมิ โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุด 3%



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นและความหนืดของเชื้อเพลิง

เมื่อนำเอาความหนาแน่นและความหนืดมาเขียนกราฟ ดังแสดงความสัมพันธ์ในรูปที่ 4.3 พบว่าความหนืดและความหนาแน่นมีแนวโน้มลดลง เมื่ออุณหภูมิมี่ค่าลดลง แต่สำหรับน้ำมันไบโอดีเซลที่อุณหภูมิต่ำมากหลัง  $-0^{\circ}\text{C}$  แนวโน้มลดลงแบบพาราโบลา ซึ่งเหตุผลหลักอาจเกิดจากอาจจะเกิดจากการเข้าใกล้จุด pour point และ จุด ของน้ำมันไบโอดีเซล

#### 4.2 ผลการศึกษาสมรรถนะการฉีดเชื้อเพลิง

ผลการทดสอบและค่าจากจำลองด้วยโปรแกรม ของสัมประสิทธิ์การฉีด(Cd) ของหัวฉีดเชื้อเพลิง แสดงในตารางที่ 4.3- 4.5

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบและค่าจากจำลองด้วยโปรแกรม ของสัมประสิทธิ์การฉีด(Cd) ของหัวฉีดเชื้อเพลิง ที่อุณหภูมิห้อง (Troom, 20°C)

	$\Delta P$	Cd exp.	Cd Corre.
<b>B100</b>	27.5	0.8726	0.8727
	37.5	0.8969	0.9009
	47.5	0.9157	0.9179
	57.5	0.9274	0.9296
<b>Diesel</b>	27.5	0.8955	0.8893
	37.5	0.9133	0.9135
	47.5	0.9277	0.9283
	57.5	0.9334	0.9388
<b>Pyrolysis</b>	27.5	0.9007	0.9066
	37.5	0.9251	0.9276
	47.5	0.9361	0.9398
	57.5	0.9465	0.9485

ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบและค่าจากจำลองด้วยโปรแกรม ของสัมประสิทธิ์การฉีด(Cd) ของหัวฉีด เชื้อเพลิง ที่อุณหภูมิห้อง (T= -5°C)

	$\Delta P$	Cd exp.	Cd Corre.
<b>B100</b>	27.5	0.8285	0.8338
	37.5	0.8702	0.8715
	47.5	0.8891	0.8940
	57.5	0.9054	0.9094
<b>Diesel</b>	27.5	0.8522	0.8645
	37.5	0.8849	0.8945
	47.5	0.9066	0.9127
	57.5	0.9198	0.9251
<b>Pyrolysis</b>	27.5	0.8864	0.8948
	37.5	0.9098	0.9276
	47.5	0.9289	0.9398
	57.5	0.9386	0.9485

ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบและค่าจากจำลองด้วยโปรแกรม ของสัมประสิทธิ์การฉีด(Cd) ของหัวฉีด เชื้อเพลิง ที่อุณหภูมิห้อง (T= -8°C)

	$\Delta P$	Cd exp.	Cd Corre.
<b>B100</b>	27.5	0.8275	0.8206
	37.5	0.8568	0.8609
	47.5	0.8789	0.8855
	57.5	0.90306	0.9016
<b>Diesel</b>	27.5	0.8523	0.8587
	37.5	0.8866	0.8902
	47.5	0.9063	0.9086
	57.5	0.9219	0.9217
<b>Pyrolysis</b>	27.5	0.8853	0.8918
	37.5	0.9169	0.9155
	47.5	0.9277	0.9297
	57.5	0.9352	0.9396

โดยในการจำลองด้วยโปรแกรมใช้สมการของ Tinprabath [2,6,15] โดยมีหลักการคือ Tinprabath et al. [6] ได้พัฒนาสมการของ Soteriou et al. [16] เพื่อคำนวณ สัมประสิทธิ์การฉีด (Discharge coefficients) โดยอาศัย สมการเบอร์นูลี จึงได้เป็นสมการที่ 3.1

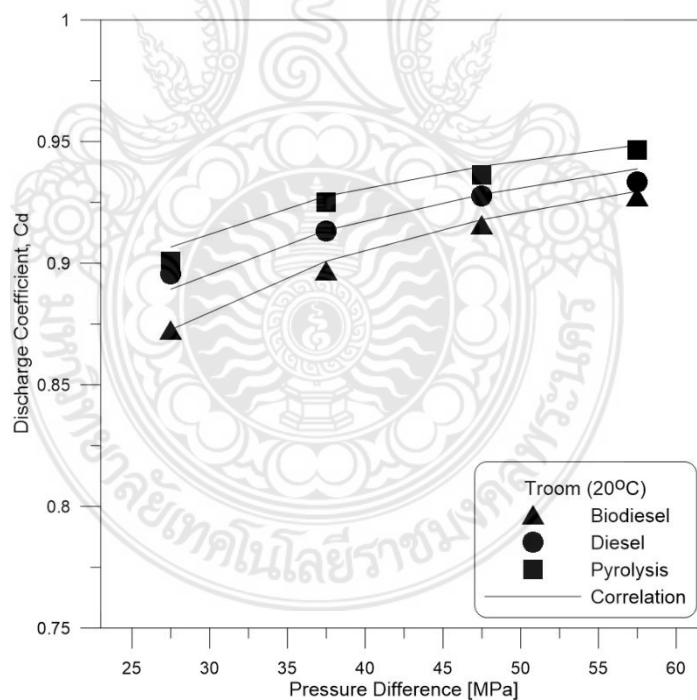
$$Cd = \sqrt{\frac{\Delta P - \Delta P_c}{\Delta P}} \quad (3.1)$$

โดยที่ 
$$\Delta P_c = A \cdot v^D \cdot \dot{m}_{th}^{(C \cdot v + B)} \quad (3.2)$$

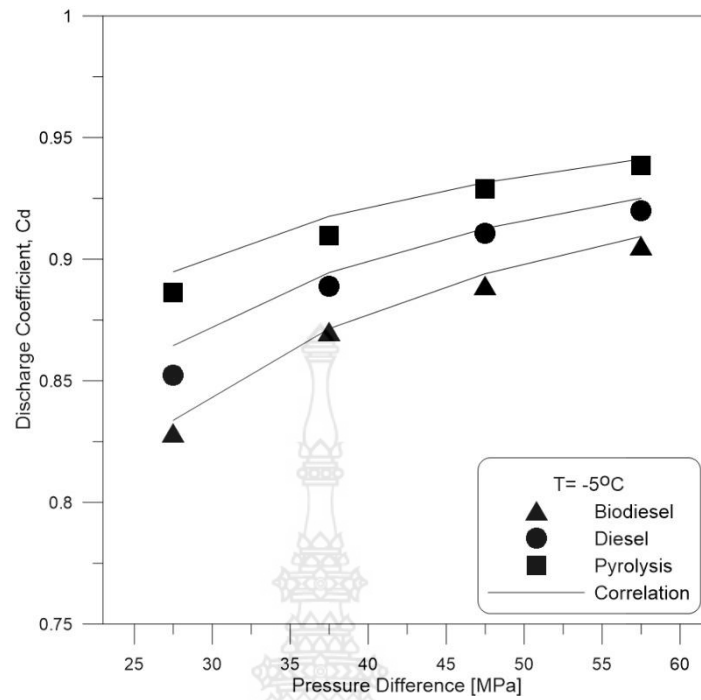
และค่า  $A, B, C, D$  ดังในตารางที่ 4.6 [6,15]

ตารางที่ 4.6 ค่าคงที่ ที่ใช้คำนวณหาค่า Discharge coefficients

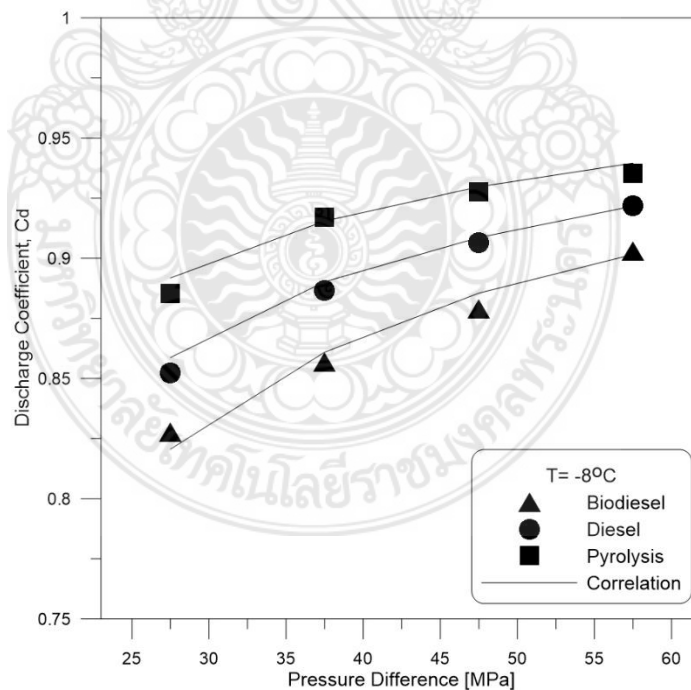
อุณหภูมิ	A	B	C	D	R <sup>2</sup>
Troom	95.32	0.33	-0.02	-0.49	0.9864
T= 0 ถึง -8°C	40.70	0.22	-0.002	0.43	0.9577



รูปที่ 4.4 การเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การฉีด (Cd) จากการทดลอง และ สมการความสัมพันธ์ของ Tinprabath [2] กับ ความดันแตกต่างของการฉีด (Pressure difference) ที่อุณหภูมิห้อง



รูปที่ 4.5 การเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การฉีด (Cd) จากการทดลอง และ สมการความสัมพันธ์ของ Tinprabath [2] กับ ความดันแตกต่างของการฉีด (Pressure difference) ที่อุณหภูมิ = -5°C



รูปที่ 4.6 การเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การฉีด (Cd) จากการทดลอง และ สมการความสัมพันธ์ของ Tinprabath [2] กับ ความดันแตกต่างของการฉีด (Pressure difference) ที่อุณหภูมิ = -8°C



จากผลการทดสอบและการใช้จำลองด้วยโปรแกรม โดยใช้สมการของ Tinprabath [2] พบว่า ที่อุณหภูมิปกติ ค่าสัมประสิทธิ์การฉีก ของของน้ำมันไฟโรไลซิส มีค่าสูงกว่าน้ำมันชนิดอื่น ทุกๆระดับความดัน และค่าสัมประสิทธิ์การฉีก ของน้ำมันไบโอดีเซล ค่าสัมประสิทธิ์การฉีกต่ำกว่าน้ำมันชนิดอื่น สูงสุด 2.56 %

ที่อุณหภูมิต่ำ ที่  $T = -5^{\circ}\text{C}$  และ  $T = -8^{\circ}\text{C}$  ค่าสัมประสิทธิ์การฉีก ของน้ำมันไฟโรไลซิส น้ำมันดีเซล และน้ำมันดีเซล มีค่าแตกต่างกันอย่างชัดเจน โดยที่น้ำมันไฟโรไลซิส มีค่าสูงกว่าน้ำมันชนิดอื่น ทุกๆระดับความดัน ตามด้วยค่าสัมประสิทธิ์การฉีกของน้ำมันดีเซล และค่าสัมประสิทธิ์การฉีกของน้ำมันไบโอดีเซล มีค่าต่ำสุด ที่  $T = -8^{\circ}\text{C}$  เมื่อเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การฉีก ของน้ำมันไฟโรไลซิส กับน้ำมันดีเซล มีค่าแตกต่างสูงสุดเท่ากับ 3.73 % และ เปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การฉีก ของน้ำมันไฟโรไลซิสกับน้ำมันไบโอดีเซล มีค่าแตกต่างสูงสุดเท่ากับ 6.55 %

ณ ที่อุณหภูมิปกติ ค่าสัมประสิทธิ์การฉีก มีความแตกต่างกันเล็กน้อย แต่ที่อุณหภูมิต่ำลงพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การฉีกมีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน อาจจะได้ด้วยคุณสมบัติความหนาแน่นและความหนืดของน้ำมันไฟโรไลซิส ไม่เปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิต่ำลงจึงให้ สมรรถนะการฉีกของหัวฉีดเมื่อใช้น้ำมันชนิดนี้ไม่ลดลง



## บทที่ 5

### สรุปผลและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 ผลการศึกษา

การศึกษาวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อสมรรถนะการฉีดเชื้อเพลิงของหัวฉีดรถยนต์ที่ใช้น้ำมัน ไบโอดีเซลและน้ำมันไพโรไลซิส เพื่อทดสอบหาตัวแปรที่มีผลต่อสมรรถนะการฉีดเชื้อเพลิงของหัวฉีดรถยนต์ที่ใช้น้ำมัน ไบโอดีเซลและน้ำมันไพโรไลซิส โดยการทดลองและสร้างแบบจำลองโดยใช้โปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ เพื่อเปรียบเทียบผล และเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบหัวฉีดรถยนต์ให้ใช้ได้กับใช้น้ำมัน ไบโอดีเซลและน้ำมันไพโรไลซิส

จากการศึกษาพบว่า คุณสมบัติของน้ำมันไพโรไลซิส น้ำมันไบโอดีเซล และน้ำมันดีเซลที่อุณหภูมิปกติและอุณหภูมิต่ำ พบว่าอุณหภูมิต่ำลง ไม่ผลต่อความหนาแน่นของเชื้อเพลิง แต่มีผล ความหนืดจลน์ของเชื้อเพลิง โดยเฉพาะน้ำมันดีเซล และ น้ำมันไบโอดีเซล อุณหภูมิต่ำลงไม่มีผลต่อการความหนืดจลน์ น้ำมันไพโรไลซิส ซึ่งนับว่าเป็นคุณสมบัติที่ดีของน้ำมันชนิดที่จะใช้ร่วมผสมกับน้ำมันดีเซลและไบโอดีเซล สำหรับรถยนต์ต่อไป จากการศึกษาสมรรถนะการฉีดของหัวฉีดพบว่า ณ ที่อุณหภูมิต่ำ ค่าสัมประสิทธิ์การฉีด มีความแตกต่างกันเล็กน้อย แต่ที่อุณหภูมิต่ำลงพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การฉีดมีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน อาจด้วยคุณสมบัติความหนาแน่นและความหนืดของน้ำมันไพโรไลซิส ไม่เปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิต่ำลงจึงให้ สมรรถนะการฉีดของหัวฉีดเมื่อใช้น้ำมันชนิดนี้ไม่ลดลง

จึงสรุปได้ว่า ความหนาแน่นและความหนืดของเชื้อเพลิงเป็นตัวแปรที่สำคัญที่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะการฉีดของเชื้อเพลิง ในกรณีการใช้น้ำมันไพโรไลซิส สมรรถนะการฉีดมีแนวโน้มที่สูงกว่าเชื้อเพลิงชนิดอื่นและยิ่งสภาวะที่อุณหภูมิต่ำมาก ก็ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะการฉีดของเชื้อเพลิงชนิดนี้น้อยมาก จากการศึกษาครั้งนี้จึงสรุปได้ว่าสมรรถนะการฉีดเมื่อใช้น้ำมันไพโรไลซิส มีสมรรถนะที่ดีกับหัวฉีดรถยนต์ แต่ในการใช้งานจริงๆต้องคำนึงถึงอีกหลายปัจจัย เช่น คุณลักษณะการเผาไหม้ สมรรถนะของรถยนต์ และการปลดปล่อยไอเสีย ซึ่งเป็นเรื่องที่จะศึกษากันต่อไปในอนาคต

#### 5.2 ข้อเสนอแนะ

ควรศึกษาให้ละเอียดกว่านี้ กรณีการใช้น้ำมันไพโรไลซิส ผสมกับน้ำมันดีเซล ในสัดส่วนต่างๆ เพื่อดูว่าสัดส่วนใดที่เหมาะสมกับการใช้กับหัวฉีดรถยนต์ และในขณะเดียวกันต้องศึกษา คุณลักษณะการเผาไหม้ สมรรถนะของรถยนต์ และการปลดปล่อยไอเสีย ไปพร้อมๆกัน เพื่อผลการศึกษาจะได้ออกมาชัดเจน และครอบคลุมทุกประเด็นก่อนนำเชื้อเพลิงชนิดนี้มาใช้จริง

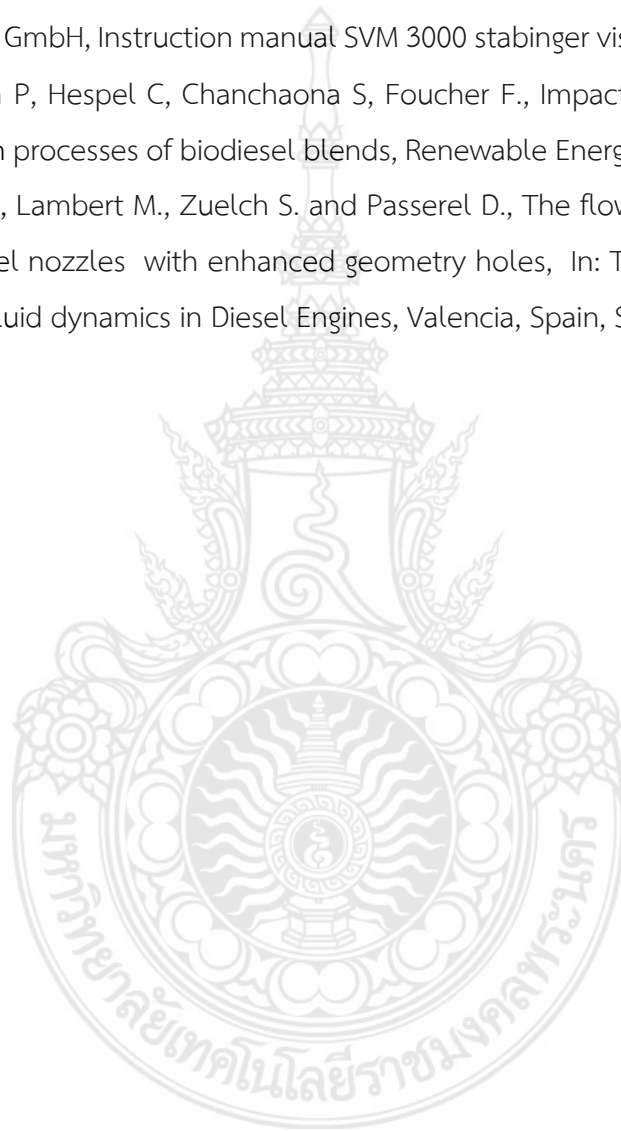


บรรณานุกรม

### บรรณานุกรม

1. แหล่งที่มา <http://www.vcharkarn.com/varticle/408> (15 พฤศจิกายน 2559)
2. 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.
3. Dernothe J, Hespel C, Foucher F, Mounaïm-Rousselle C. Influence of physical fuel properties on the injection rate in a diesel injector. *Fuel* 2012;96: 153–160.
4. Payri R, Salvador FJ, Gimeno J, Morena J. Study of cavitation phenomena based on a technique for visualizing bubbles in a liquid pressurized chamber. *Fuel* 2009;30: 768–777.
5. Payri R, Garcia JM, Salvador FJ, Gimeno J. Using spray momentum flux measurements to understand the influence of diesel nozzle geometry on spray characteristics. *Fuel* 2005;84: 551–561.5.Clarkson, H. Oglesby. Henry W. Parker and Gregory, A. Howell. *Productivity Improvement in Construction*. USA : Mc Graw - Hill, 1989.
6. Tinprabath P, Hespel C, Chanchaona S, Foucher F. Influence of biodiesel and diesel fuel blends on the injection rate and spray injection in non-vaporizing conditions. *SAE technical paper 2013-24-0032*. 2013.
7. Desantes JM, Payri R, Garcia A, Manin J. Experimental study of biodiesel blends' effects on diesel injection processes *Energy Fuels* 2009;23: 3227–3235.
8. Riazi M.R., *Characterization and properties of petroleum fractions*, ASTM manual series: MNL50, 2005.
9. Heywood, J.B., 1988, *Internal Combustion Engine Fundamental*, New York, McGraw Hill.
10. ปฏิภาณ ถิ่นพระบาท และคณะ, การปลดปล่อยพลังงานจากการเผาไหม้ของน้ำมันดีเซล/ปาล์มผสม, การประชุมเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 17 (ME-NETT 17th), มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 19-21 ตุลาคม 2546, จ.นครราชสีมา
11. N. Sanyo, *Harvest and biodiesel production from microalgae*, Ph.D dissertation, Univ. of Songkla, Songkla, Thailand, 2003.

12. Thunjajaroen, R. Pairtra and S. Chunkumn, Biodiesel production from spirogyra sp, as renewable energy, Agrieulural Sci Jour, Vol. 44 no.2 suppl, 349-352,2013.
13. Nwafor, O.M.I., 2002, "The Effect of Elevated Fuel Inlet Temperature on Performance of Diesel Engine Running on Neat Vegetable Oil at Constant Speed Conditions", Renewable Energy, Vol. 431, No. 2003-1846, pp. 171-181.
14. Anton Paar GmbH, Instruction manual SVM 3000 stabinger viscometer, Austria, 2005.
15. 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.
16. Soteriou C., Lambert M., Zuelch S. and Passerel D., The flow characteristics of high efficiency diesel nozzles with enhanced geometry holes, In: THIESEL Conference on Thermo and Fluid dynamics in Diesel Engines, Valencia, Spain, September 13-15, 2006.





ภาคผนวก

## การเผยแพร่งานวิจัยครั้งที่ 1

การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 2

Proceedings of the 2<sup>nd</sup> RMUTP Conference of Engineering and Technology

19 พฤษภาคม 2560 ณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มทร.พระนคร



## การศึกษาคุณสมบัติของน้ำมันไพโรไลซิสกับน้ำมันไบโอดีเซลที่อุณหภูมิต่ำ

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

สมใจ เพียรประสิทธิ์<sup>1</sup> ณพพร จินดาประเสริฐ<sup>1</sup> ประเสริฐ วิโรจน์ชิววัน<sup>1</sup> ชลกาญจน์ วงศ์ก่อทรัพย์<sup>1</sup> และ ปฎิภาณ ถิ่นพระบาท<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

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

<sup>2</sup>ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องกล วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

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

#### บทคัดย่อ

บทความนี้กล่าวเกี่ยวกับคุณสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิง 3 ชนิด ได้แก่ น้ำมันไพโรไลซิส น้ำมันไบโอดีเซลและน้ำมันดีเซลที่อุณหภูมิต่ำ เพื่อศึกษาคุณสมบัติต่างๆของน้ำมันเบื้องต้นก่อนที่จะนำไปใช้กับรถยนต์จริง โดยคุณสมบัติที่ศึกษาต้องครอบคลุมตามมาตรฐานการปลดปล่อยไอเสียของรถยนต์ (Euro 6) ประกาศใช้เมื่อปี พ.ศ.2559 ต้องทดสอบเชื้อเพลิงที่อุณหภูมิ -7°C น้ำมันที่ใช้ทดสอบครั้งนี้ประกอบด้วย น้ำมันดีเซล น้ำมันไพโรไลซิส และน้ำมันไบโอดีเซล โดยใช้เครื่องวิเคราะห์คุณสมบัติเชื้อเพลิง Anton Paar@ Stabinger Viscosimeter (model SVM 3000/G2) ผลการทดสอบพบว่า ที่อุณหภูมิต่ำความหนาแน่นของเชื้อเพลิงมีค่าเพิ่ม แต่ความหนืด ของน้ำมันดีเซล และ น้ำมันไบโอดีเซล มีค่าเพิ่มแบบพาราโบลา โดยที่อุณหภูมิต่ำลงไม่มีผลต่อการความหนืดของน้ำมันไพโรไลซิส

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 Viscosimeter (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

ปัจจุบันนี้ น้ำมันไบโอดีเซลและน้ำมันทางเลือกอื่นถูกนำมาผสมกับน้ำมันดีเซล 2-20% เพื่อทดแทนการใช้มันจากปิโตรเลียม [1, 2]. ด้วยเหตุผลน้ำมันชนิดนี้ ผลิตจากพืชผลการเกษตรหรือผลิตจากเศษวัสดุเหลือใช้จากครัวเรือน และยังเป็น การสร้างความมั่นคงทางพลังงาน เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม และช่วยลดก๊าซเรือนกระจก (GHG) กลุ่มน้ำมันชนิดนี้ จะมีค่าซีเทนที่สูงแต่สารซันเฟอร์และอะโรมาติกส์ที่ต่ำ [3]. ข้อเสียหลักของน้ำมันไบโอดีเซลและน้ำมันไพโรไลซิสคือ มีค่าความหนืดสูง ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงต่ำ จุดขุ่นมัว (Cloud Point) และจุดไหลเท (Pour Point) สูง เครื่องยนต์ที่ใช้จะผลิตก๊าซไนโตรเจน (NOx) สูง ให้กำลังเครื่องยนต์ต่ำและราคาแพง [1]. จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะศึกษาคุณสมบัติเชื้อเพลิงเช่น ความหนาแน่น ความหนืด ที่อุณหภูมิต่ำของเชื้อเพลิงที่จะส่งผลกระทบต่อ การสร้างมลพิษในเครื่องยนต์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงเริ่มต้นสตาร์ทเครื่องยนต์ สหภาพยุโรป จึงได้ออกกฎเพื่อควบคุมสารมลพิษจากไอเสีย ในพ.ศ.2559 หรือเรียกว่า ยูโร 6 (Euro VI) [4] ซึ่งมาตรฐานใหม่นี้จะครอบคลุม ปัญหาการสตาร์ทเครื่องยนต์ที่อุณหภูมิต่ำ, เช่น คุณสมบัติการฉีดเชื้อเพลิงล่วงหน้า และก๊าซมลพิษจากไอเสียของรถยนต์ ขณะใช้งานที่อุณหภูมิต่ำ [4] ณ สภาวะอุณหภูมิต่ำ -7°C ความหนืดของเชื้อเพลิงมีค่าเพิ่มอย่างสูง [4]. แต่หากใช้น้ำมันไบโอดีเซลหรือน้ำมันไพโรไลซิส 5% ไม่มีผลต่อสภาวะการไหลในหัวฉีดของเครื่องยนต์ [4,5]. ค่ามลพิษจากไอเสีย มีแนวโน้มเป็นไปตามมาตรฐานยูโร ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องศึกษาคุณสมบัติของน้ำมัน น้ำมันไพโรไลซิสกับน้ำมันไบโอดีเซลที่อุณหภูมิต่ำและต่ำ [4,5,6.] ในด้าน คุณสมบัติทางฟิสิกส์ของเชื้อเพลิง ที่ส่งผลกระทบต่อ การไหลและการฉีดเชื้อเพลิง ในหัวฉีดเครื่องยนต์ รวมไปถึงการทำนายคุณลักษณะการฉีดของหัวฉีดเช่น ความยาวของการฉีด มุมของการฉีด การเป็นฝอยละอองของเชื้อเพลิง ซึ่งสิ่งเหล่านี้จะส่งผลกระทบต่อสมรรถนะเครื่องยนต์และสารมลพิษที่ผลิตจากเครื่องยนต์ วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ เพื่อศึกษาคุณสมบัติเชื้อเพลิง ที่อุณหภูมิต่ำ ที่สภาวะ -7°C ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานยูโร 6 ในการศึกษาครั้งนี้จะใช้น้ำมัน น้ำมันดีเซล น้ำมันไพโรไลซิสผลิตจากพลาสติกที่ใช้แล้ว น้ำมันไบโอดีเซลผลิตจากน้ำมันเมล็ดโคล่า โดยทำการทดสอบที่อุณหภูมิต่ำ



## บทความวิจัย

การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 2

Proceedings of the 2<sup>nd</sup> RMUTP Conference of Engineering and Technology

-8°C ถึง 40 °C คุณสมบัติหลักที่ทดสอบคือ ความหนาแน่น ความหนืดของเชื้อเพลิง

## 2. ทฤษฎีและเครื่องมือที่ใช้ทดสอบ

### 2.1 ความหนาแน่นของเชื้อเพลิง

ความหนาแน่นของเชื้อเพลิงที่อุณหภูมิปกติและอุณหภูมิที่ต่ำสามารถคำนวณได้ตามสูตรของ Riazi [8] ดังสมการที่ 1

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

เมื่อ: SG คือความถ่วงจำเพาะ และ T คือ อุณหภูมิ (K)

### 2.2 ความหนืดของเชื้อเพลิง

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

$$\text{Log}_{10}(v_T) = A \cdot (311/T)^B \cdot T - a \quad (2)$$

$$A = \text{Log}_{10}(v_{T=311}) + a \quad (3)$$

$$B = b \cdot \text{Log}_{10}(v_{T=311}) + c \quad (4)$$

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

สำหรับที่อุณหภูมิต่ำ -4°C ถึง -10°C สามารถคำนวณโดยใช้สมการของ Riazi [8] และพัฒนาโดย Timprabath และคณะ [4] ดังนี้

$$\text{Log}_{10}(v_T) = A \cdot (269/T)^B \cdot T - a \quad (5)$$

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

$$B = b \cdot \text{Log}_{10}(v_{T=269}) + c \quad (7)$$

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

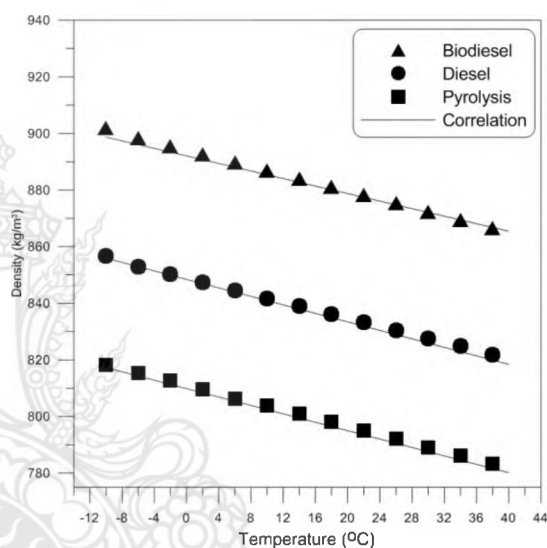
ในการทดสอบคุณสมบัติของเชื้อเพลิงใช้เครื่องวิเคราะห์คุณสมบัติเชื้อเพลิง Anton Paar@ Stabinger Viscosimeter (model SVM 3000/G2) ของ Laboratoire PRISME, มหาวิทยาลัย Orleans สามารถวัดได้ทั้ง ความหนาแน่นและความหนืดพร้อมกัน โดยใช้มาตรฐานการทดสอบ ASTM D341 สามารถวัดได้ตั้งแต่อุณหภูมิ -56 ถึง 105°C. ค่าความเที่ยงตรงของความหนาแน่น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

### 2.4 น้ำมันที่ใช้ทดสอบและสภาวะการทดสอบ

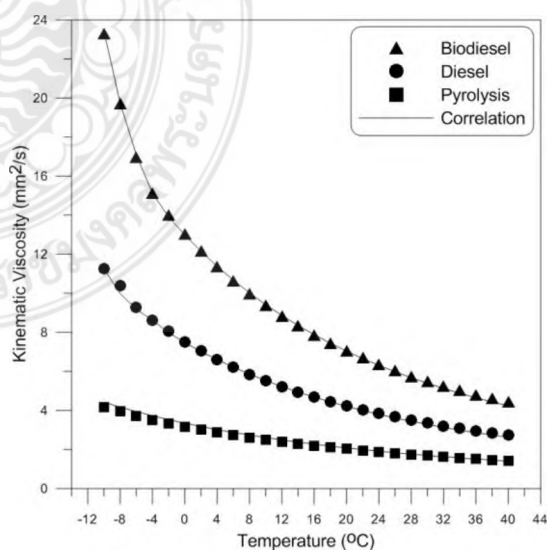
น้ำมันดีเซล น้ำมันไพโรไลซิสผลิตจากพลาสติกที่ใช้แล้ว น้ำมันไบโอดีเซลผลิตจากน้ำมันเมล็ดโคล่า โดยทำการทดสอบที่อุณหภูมิ 10°C ถึง 40 °C

### 2.5 ผลการทดสอบและวิจารณ์ผล

ผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 1 พบว่าทุกอุณหภูมิของเชื้อเพลิงค่าความหนาแน่นของ น้ำมันไบโอดีเซลมีค่าสูงสุด และ น้ำมันไพโรไลซิสจะมีค่าความหนาแน่นน้อยที่สุด ส่วนน้ำมันดีเซลจะอยู่ระหว่างกราฟความหนาแน่นของทั้งสองเชื้อเพลิง จากกราฟพบว่าทั้งสามชนิดเชื้อเพลิงมีค่าความหนาแน่นเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเชื้อเพลิงลดลง และพบว่าสมการที่ 1 สามารถใช้ทำนายความหนาแน่นได้ดีทุกชนิดเชื้อเพลิง โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุด 0.3%



รูปที่ 1 ความหนาแน่นของเชื้อเพลิง



รูปที่ 2 ความหนืดของเชื้อเพลิง

## บทความวิจัย

การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทว.พระนคร ครั้งที่ 2  
*Proceedings of the 2<sup>nd</sup> RMUTP Conference of Engineering and Technology*

จากรูปที่ 2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความหนืดของเชื้อเพลิง พบว่าทุกอุณหภูมิและทุกเชื้อเพลิง เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นค่าความหนืด จะมีค่าลดลง และในทางกลับกันเมื่ออุณหภูมิลดค่าความหนืดจะมีค่าเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะหลังจากอุณหภูมิ  $-4^{\circ}\text{C}$  ค่าความหนืดของน้ำมันดีเซล และน้ำมันไบโอดีเซล จะเพิ่มขึ้นอย่างรุนแรง แต่กลับพบว่าความหนืดของน้ำมันไพโรไลซิสเพิ่มในอัตราปกติ ซึ่งคุณสมบัติที่ดีของไพโรไลซิส ตรงจุดนี้เป็นคุณสมบัติที่ดีในการใช้เชื้อเพลิงที่อุณหภูมิต่ำซึ่งนำไปผสมกับน้ำมันดีเซลหรือไบโอดีเซล จากการใช้สมการที่ 2 และ 5 สามารถใช้ทำนายความหนืดจนได้ค่าทุกชนิดเชื้อเพลิง และทุกสภาวะอุณหภูมิ โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุด 3%

### 3 สรุป

จากการได้ศึกษาคุณสมบัติของน้ำมันไพโรไลซิส น้ำมันไบโอดีเซล และน้ำมันดีเซลที่อุณหภูมิปกติและอุณหภูมิต่ำ พบว่าอุณหภูมิที่ลดลง ไม่ผลต่อความหนาแน่นของเชื้อเพลิง แต่มีผล ความหนืดของเชื้อเพลิง โดยเฉพาะน้ำมันดีเซล และ น้ำมันไบโอดีเซล สำหรับน้ำมันไพโรไลซิส อุณหภูมิที่ลดลงไม่มีผลต่อการความหนืดจน ซึ่งนับว่าเป็นคุณสมบัติที่ดีของน้ำมันชนิดนี้ที่จะใช้ร่วมผสมกับน้ำมันดีเซลและไบโอดีเซล สำหรับรถยนต์ต่อไป

### 4. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่สนับสนุนเงินทุนเพื่อการวิจัย และขอขอบคุณ Asst.Dr.Camille Hespel และอาจารย์ออบ 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 properties", Cambridge: RSC Publishing; 2012.
- [8] Riazi M.R., "Characterization and properties of petroleum fractions", ASTM manual series: MNL50, 2005.

#### ประวัติผู้เขียนบทความ

##### ผศ.ดร.สมใจ เพียรประสิทธิ์

จบการศึกษาระดับปริญญาเอก ค.อ.ด.(วิจัยและพัฒนาหลักสูตร) จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปัจจุบันเป็นผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประจำสาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร งานวิจัยที่สนใจด้าน Automotive engineering, Alternative fuel ( Biodiesel, Ethanol, Pyrolysis etc.), Hybrid Car, Econo Car



##### ดร.ณพพร จินดาประเสริฐ

จบการศึกษาระดับปริญญาเอก Dr.-Ing (Maschinenbau) จาก University of Rostock, ประเทศเยอรมันนี้ ปัจจุบันเป็นอาจารย์ ประจำสาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร งานวิจัยที่สนใจด้าน Automotive engineering, Alternative fuel (CNG, Ethanol, Biodiesel, etc.)



## บทความวิจัย

การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 2

*Proceedings of the 2<sup>nd</sup> RMUTP Conference of Engineering and Technology*



**ผศ.ดร.ประเสริฐ วิโรจน์ชีวัน**

จบการศึกษาระดับปริญญาเอก วศ.ด.(วิศวกรรมอุตสาหกรรม) จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปัจจุบันเป็นผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประจำสาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร งานวิจัยที่สนใจด้าน Mechanical Design, Mechanics of Materials, Biodiesel



**ผศ.ดร.ชลกาญจน์ วงศ์ก่อทรัพย์**

จบการศึกษาระดับปริญญาเอก Ph.D.(Renewable Energy) จาก Nottingham University ปัจจุบันเป็นผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องกลกำลังวิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ งานวิจัยที่สนใจด้าน Biomass, Pyrolysis, Gasifier



**ผศ.ดร.ปฐิภาณ อินพระบาท**

จบการศึกษาระดับปริญญาเอก 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

## การเผยแพร่งานวิจัยครั้งที่ 2

ICON SCi – The 8th RMUTP International Conference on Science, Technology and Innovation for Sustainable Development: Challenges Towards the Digital Society  
Pullman Bangkok King Power, Bangkok, Thailand, 22-23 June 2017



# The Comparison of the Alternative Fuel Properties at Low Temperatures

Somjai Peanprasit<sup>1,a</sup>, Nataporn Chindaprasert<sup>1,b</sup>, Chonlakarn Wongkhorsub<sup>2,c</sup>  
Padet Sankasem<sup>3,d</sup> and Padipan Tinprabath<sup>1,e,\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of  
Technology Phra Nakhon, Bangkok 10800, Thailand

<sup>2</sup>College of Industrial Technology, King Mongkut's University of Technology North Bangkok,  
Bangkok 10800, Thailand

<sup>3</sup>Mahachai Institute of Automotive Technology, Samutsakhon 74000, Thailand

<sup>a</sup>somjai@rmutp.ac.th, <sup>b</sup>nchindaprasert@yahoo.com, <sup>c</sup>chonlakarn.w@cit.kmutnb.ac.th,  
<sup>d</sup>padet@miat.ac.th, <sup>e,\*</sup>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  $-7^{\circ}\text{C}$ . Therefore, the temperature  $-7^{\circ}\text{C}$  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  $105^{\circ}\text{C}$ . The result shown that the density of the oil is increasing normally. However, the viscosity of the diesel and bio-diesel are palabpally 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 NO<sub>x</sub> 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  $-7^{\circ}\text{C}$ , 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  $-7^{\circ}\text{C}$  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  $-8^{\circ}\text{C}$  to  $40^{\circ}\text{C}$ . 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).

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

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

### 2.2 Viscosity of fuels

The viscosity of the fuel at the temperature range  $-4^{\circ}\text{C}$  to  $100^{\circ}\text{C}$  can be predicted by following Riazi's equation [8]

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

$$A = \text{Log}_{10}(v_{(T=311)}) + a \quad (3)$$

$$B = b. \text{Log}_{10}(v_{(T=311)}) + c \quad (4)$$

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

For temperature  $4^{\circ}\text{C}$  to  $-10^{\circ}\text{C}$  can be calculated by following Riazi's equation [8] and developed by Tinprabath, et al [4] as shown;

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

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

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

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

## 3.Experimental apparatus

### 3.1 Viscosimeter

The testing apparatus for fuel characteristics is Anton Paar@ Stabinger Viscosimeter (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  $105^{\circ}\text{C}$ , and the accuracy of the density is  $\pm 0.35\%$



Fig.1 Anton Paar@ Stabinger Viscosimeter (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  $-8^{\circ}\text{C}$  to  $40^{\circ}\text{C}$ .



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  $-4^{\circ}\text{C}$ , 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.

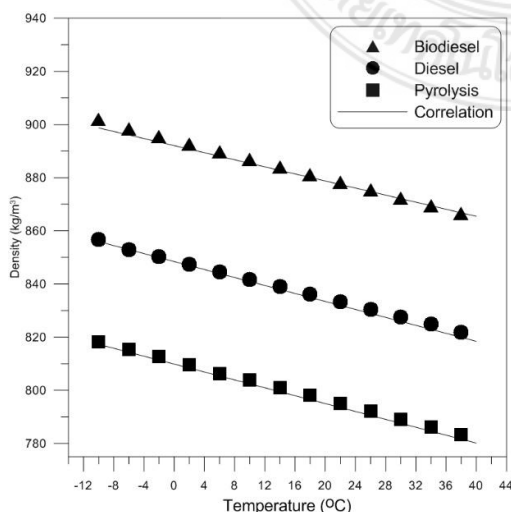


Fig.3 Experimental data correlation of density

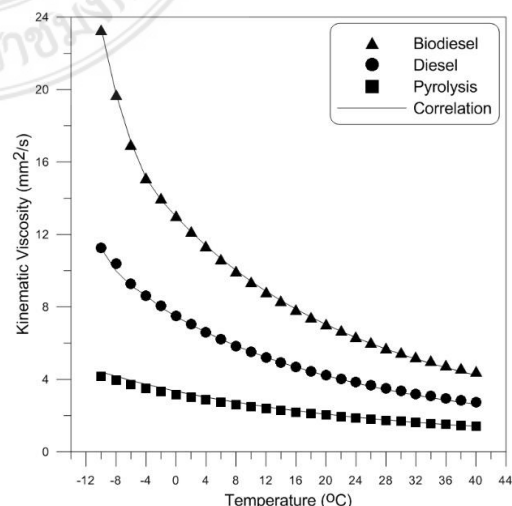


Fig.4 Experimental data correlation of viscosity

Table 1 Fuel matrix in standard conditions

T, °C	Pyrolysis		Biodiesel (B100)		Diesel	
	Density (kg/m <sup>3</sup> )	Viscosity (mm <sup>2</sup> /s)	Density (kg/m <sup>3</sup> )	Viscosity (mm <sup>2</sup> /s)	Density (kg/m <sup>3</sup> )	Viscosity (mm <sup>2</sup> /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.



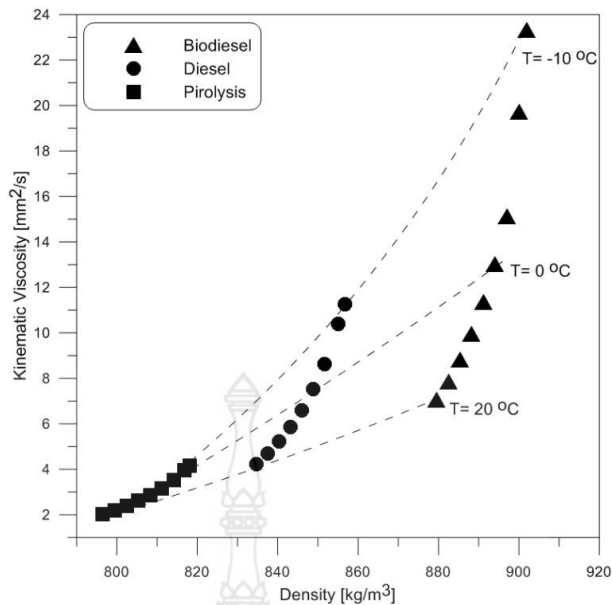


Fig.5 Experimental data correlation of viscosity

## 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 properties, 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.



## ประวัติผู้วิจัย

**ปฎิภาณ 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



**สมใจ เพียรประสิทธิ์**

### การศึกษา

ปริญญาตรี ครุศาสตรบัณฑิต สาขาช่างยนต์  
มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

ปริญญาโท ครุศาสตรอุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาบริหารอาชีพ  
และเทคนิคศึกษา

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ปริญญาเอก ครุศาสตรอุตสาหกรรมดุษฎีบัณฑิต สาขาวิจัยและพัฒนา  
หลักสูตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

### ปัจจุบัน

รับราชการ ตำแหน่ง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิศวกรรมเครื่องกล  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร