



การศึกษาสมรรถนะและแก๊สไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซล  
เมื่อใช้น้ำมันยางนาผสมน้ำมันดีเซล

A Study of Performance and Exhaust Gas in Diesel Engine  
Using the Mixture of Diesel and Gurjun Oil

นัรบดี นิมอนงค์

Nutabode Nimanong

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

2565



การศึกษาสมรรถนะและแก๊สไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซล  
เมื่อใช้น้ำมันยางนาผสมน้ำมันดีเซล

A Study of Performance and Exhaust Gas in Diesel Engine  
Using the Mixture of Diesel and Gurjun Oil

นัธบดี นิมอนงค์

Nutabode Nimanong


วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

2565


ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร


ชื่อวิทยานิพนธ์	การศึกษาสมรรถนะและแก๊สไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซลเมื่อใช้น้ำมันยางนาผสมน้ำมันดีเซล
ชื่อ นามสกุล	นัธบตี นีมอนงค์
ชื่อปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล)
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
คณะ	วิศวกรรมศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปฎิภาณ ถิ่นพระบาท
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์ ดร.ณทพร จินดาประเสริฐ

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ได้ให้ความเห็นชอบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้แล้ว

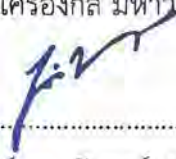
  
 ..... ประธานกรรมการ  
 (รองศาสตราจารย์ ดร.เพ็ญญารัตน์ สายสิริรัตน์)

  
 ..... กรรมการ  
 (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประเสริฐ วิโรจน์ชิววัน)

  
 ..... กรรมการ  
 (อาจารย์ ดร.ณทพร จินดาประเสริฐ)

  
 ..... กรรมการและเลขานุการ  
 (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปฎิภาณ ถิ่นพระบาท)

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร อนุมัติให้รับ  
 วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
 สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

  
 ..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
 (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพงศ์ พันธุ์)

วันที่ ..... ๗ ..... เดือน ..... ธันวาคม ..... พ.ศ. .... ๒๕๖๖ .....

ชื่อวิทยานิพนธ์	การศึกษาสมรรถนะและแก๊สไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซลเมื่อใช้น้ำมันยางนาผสมน้ำมันดีเซล
ชื่อ นามสกุล	นัธบตี นิมอนงค์
ชื่อปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล)
สาขาวิชา และคณะ	วิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
ปีการศึกษา	2565

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันยางนา (B100) และน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันยางนาผสมน้ำมันดีเซล ในอัตราส่วนร้อยละ 10, 15, 20, 50 และ 100 โดยปริมาตร เป็นเชื้อเพลิงโดยทดสอบกับเครื่องยนต์ยี่ห้อ IVECO รุ่น 8141E Series เป็นเครื่องยนต์ดีเซล 4 สูบ 4 จังหวะ ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1000 ถึง 3500 rpm จากการทดสอบพบว่า แรงบิดและกำลังของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันยางนา (B100) เป็นเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นร้อยละ 13.1 – 26.9 และร้อยละ 13.4 – 28.2 ตามลำดับ อัตราสิ้นเปลืองจำเพาะเบรกของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้นร้อยละ 7.1 – 47.9 ความดันในกระบอกสูบของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น ปริมาณควันดำลดลงร้อยละ 30 – 79.1 เมื่อเทียบกับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลปกติเป็นเชื้อเพลิง การใช้น้ำมันไบโอดีเซลจากยางนาทำให้การเผาไหม้ของเครื่องยนต์ประสิทธิภาพดีขึ้น ส่งผลให้ควันดำลดลงอย่างชัดเจน และงานวิจัยนี้ยังศึกษาการผลิตและศึกษาความหนืดและความหนาแน่นของน้ำมันดีเซล น้ำมันไบโอดีเซลจากต้นยางนา (B100) และน้ำมันดีเซลผสมน้ำมันไบโอดีเซลจากต้นยางนา ภายใต้อุณหภูมิมาตรฐานและอุณหภูมิต่ำกว่าก่อนนำไปใช้งานในรถยนต์ คุณสมบัติของน้ำมันต้องเป็นไปตามมาตรฐานการปล่อยไอเสียของรถยนต์ (ยูโร 6) ซึ่งบังคับใช้ในปี 2559 ตามมาตรฐานยูโร 6 ต้องทำการทดสอบการปล่อยมลพิษที่อุณหภูมิ  $-7^{\circ}\text{C}$  ดังนั้นการศึกษาคุณสมบัติของน้ำมันภายใต้อุณหภูมิต่ำกว่าก่อนนำไปใช้กับรถยนต์จริงจึงเป็นเรื่องที่น่าสนใจ ในงานวิจัยนี้ใช้น้ำมันดีเซล น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันยางนา (B100) น้ำมันดีเซลผสมน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันยางนาสัดส่วนร้อยละ 5, 10, 15 และ 20 ภายใต้มาตรฐานการทดสอบ ASTM D341 ในขณะเดียวกันทำนายความหนืดและความหนาแน่นของน้ำมันโดยใช้สมการของ Riazi ผลการวิจัยพบว่าความหนาแน่นของน้ำมันเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราส่วนผสมน้ำมันไบโอดีเซลในน้ำมันดีเซล ผลการใช้สมการทำนายความหนาแน่นและความหนืดของน้ำมัน มีค่าแตกต่างกันร้อยละ 2 จากผลการทดลอง

**คำสำคัญ :** น้ำมันไบโอดีเซล, น้ำมันยางนา, สมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซล, ความหนาแน่น, ความหนืด

<b>Thesis Title</b>	A Study of Performance and Exhaust Gas in Diesel Engine Using the Mixture of Diesel and Gurjun Oil
<b>Author</b>	Nutabode Nimanong
<b>Degree</b>	Master of Engineering (Mechanical Engineering)
<b>Major Program</b>	Mechanical Engineering Faculty of Engineering
<b>Academic Year</b>	2022

## ABSTRACT

This research was the study of performance of engine that used diesel, biodiesel from Gurjun oil (B100) and biodiesel from Gurjun oil mixing with diesel in the ratio of 10, 15, 20, 50 and 100 by volume as fuel by testing with engine of IVECO, model 8141E Series which was 4 cylinder 4 stroke with 1,000 to 3,500 rpm. From the test it was found that torque and the power of engine that used biodiesel from Gurjun oil (B100) as fuel increased 13.1 - 26.9% and 13.4 - 28.2% respectively. Brake specific fuel consumption increased at 7.1 - 47.9%. The pressure in the cylinders increased. The quantity of black smoke reduced at 30 - 79.1% comparing with the engine that used normal diesel oil as fuel. Using of biodiesel from Gurjun oil made the combustion of the engine to have more efficiency which clearly reduced black smoke and this research also studied production and study viscosity and density of diesel oil, biodiesel from Gurjun oil (B100) and diesel oil mixing with biodiesel from Gurjun oil under standard temperature and low temperature before using in a car. The property of the oil must follow the car exhaust gas emission standard (Euro 6) which was enforced in 2016. According to the Euro 6 standard, the pollution must be released at the temperature of  $-7^{\circ}\text{C}$ . Therefore, study of oil property under such temperature before using with a real car was an interesting thing. In this research, it used diesel oil, biodiesel oil from Gurjun oil (B100), diesel mixing with biodiesel from Gurjun oil in the ration of 5, 10, 15 and 20% under the test standard of ASTM D341 whereas the viscosity and density of the oil was predicted by the equation of Riazi. The research result found that the density of the oil increased when increasing the mixing ratio of biodiesel oil

in diesel oil. The result of using equation to predict the density and viscosity of the oil had difference of 2% from the test result.

**Keywords :** Biodiesel, Gurjun Oil, Performance of Diesel Engine, Density, Viscosity



## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้รับความช่วยเหลือเป็นอย่างดีจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปฎิภาณ ถิ่นพระบาท และ ดร.ณทพร จินดาประเสริฐ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งให้คำปรึกษาแนะนำช่วยเหลือและให้การสนับสนุนอุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆ เพื่อใช้ในการทำวิจัยจนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ ตลอดจนควบคุมการจัดการเล่มวิทยานิพนธ์จนประสบความสำเร็จไปด้วยดี และคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่ได้อำนวยความสะดวกตลอดระยะเวลาในการทำวิทยานิพนธ์ ผู้จัดทำวิทยานิพนธ์ขอกราบขอบพระคุณทุกท่าน

ขอขอบพระคุณ อาจารย์และเจ้าหน้าที่วิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ซึ่งได้อำนวยความสะดวกต่าง ๆ ตลอดระยะเวลาในการทำโครงการ

ท้ายนี้ผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณมารดา และครอบครัวที่ให้การช่วยเหลือสนับสนุนและเป็นกำลังใจอย่างดีต่อผู้จัดทำ ตลอดจนท่านอาจารย์ทุกท่าน ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันที่ได้ประสิทธิ์ประสาทความรู้ให้แก่ผู้จัดทำ จนสามารถจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ลุล่วงไปได้ด้วยดี

นัธบตี นิมอนงค์



## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ซ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	ฎ
บทที่	
1. บทนำ	
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	2
1.3 ขอบเขตของโครงการ	2
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการ	2
2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและการทบทวนวรรณกรรม	
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	4
2.2 การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	33
3. การดำเนินงาน	
3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน	41
3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ	42
3.3 การทดสอบเบื้องต้น	45
4. การทดสอบและผลการทดสอบ	
4.1 ขั้นตอนการทดสอบ	49
4.2 เงื่อนไขในการทดสอบ	67
4.3 ผลการทดสอบ	67
5. สรุปผลการทดสอบและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการทดสอบ	81
5.2 ปัญหาและอุปสรรค	82
5.3 ข้อเสนอแนะ	82



## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บรรณานุกรม	83
ภาคผนวก ก. คู่มือการใช้งาน	86
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	115



## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 การเปรียบเทียบคุณสมบัติด้านเชื้อเพลิงตามมาตรฐานน้ำมันดีเซลและน้ำมันยางนากลั่น	37
3.1 รายละเอียดทั่วไปของเครื่องยนต์	43
4.1 ความหนาแน่นและความหนืดของเชื้อเพลิงจากการทดสอบ	79
4.2 แสดงคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลผลิตจากต้นยางนา	80



## สารบัญรูป

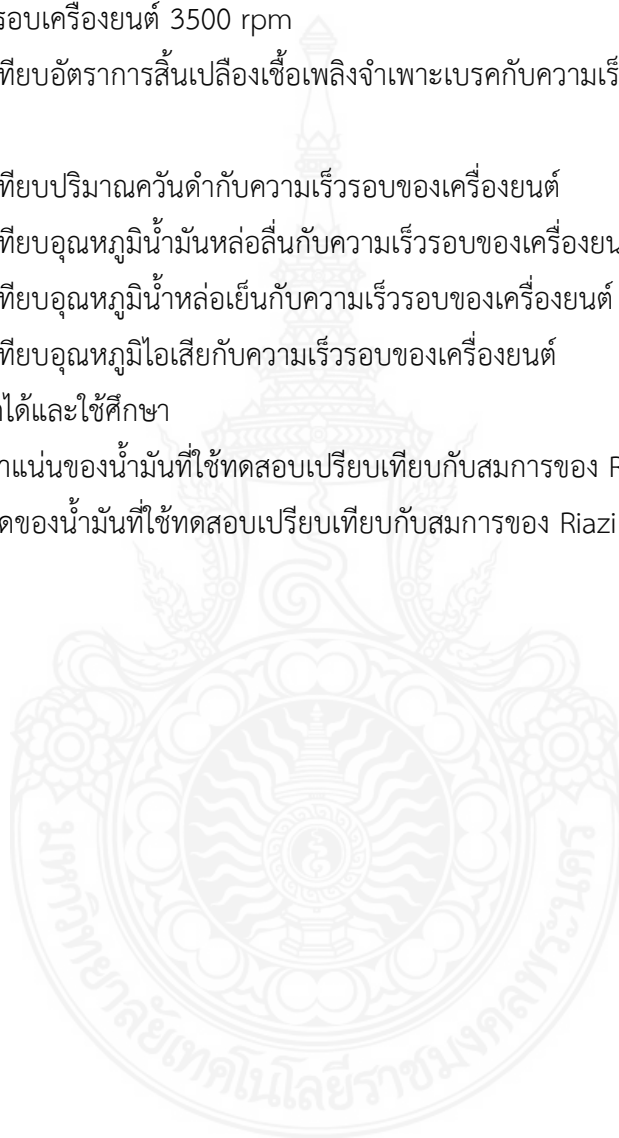
รูปที่	หน้า
2.1 การทดสอบหากล้างม่าของเจมส์	4
2.2 ความดันที่เกิดขึ้นภายในกระบอกสูบของเครื่องยนต์ขณะทำงาน	5
2.3 ล้างม่าที่สูญเสียไปกับความเสียดทาน	6
2.4 เครื่องยนต์ที่ใช้ทดสอบหากล้างม่าแบบ DIN	8
2.5 เครื่องยนต์ที่ใช้ทดสอบหากล้างม่าแบบ CUNA	9
2.6 เครื่องยนต์ที่ใช้ทดสอบหากล้างม่าแบบ SAE	10
2.7 ล้างม่าและแรงบิด บนความเร็วของเครื่องยนต์ในรอบต้วไป	13
2.8 ล้างม่าและแรงบิด บนความเร็วของเครื่องยนต์ เจเนอรัลมอเตอร์ส์ รุ่น L 35	15
2.9 ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงสัมพันธ์เพลา บนความเร็วของเครื่องยนต์	17
2.10 ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงสัมพันธ์เพลา บนอัตราส่วนความเข้มของไอดี	17
2.11 ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงสัมพันธ์เพลาบนความจุของเครื่องยนต์	18
2.12 ความสม่ำเสมอของความดันผลเฉลี่ยบ่งชี้	19
2.13 ค่าความเข้มของไอดีในกระบอกสูบ ของการทำงานติดต่อกัน 30 วัฏจักร	20
2.14 ความดันในกระบอกสูบ บนเวลา วัดจากการทำงานติดต่อกัน 10 วัฏจักร	20
2.15 ภาพวาดแสดงย่านต่าง ๆ ของไอเชื้อเพลิง	24
2.16 ความดันในกระบอกสูบ บนมุมเพลาข้อเหวี่ยง	25
2.17 การวัดล้างม่าแบบไดนาโมมิเตอร์ โพรนิเบรก	27
2.18 ภาพตัดของชุดเบรกน้ำ	27
2.19 แมกนีติกไดนาโมมิเตอร์	28
2.20 แซลชีสไดนาโมมิเตอร์	29
2.21 ปฏิกริยาการเกิดทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน	30
2.22 ปฏิกริยาการเกิดสบู่	32
2.23 ต้นยางนา	33
3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน Flow chart	40
3.2 ชุดทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์	42
3.3 เครื่องวัดควันดำ Bosch smoke meter	43
3.4 แผนภาพการทดสอบ	44

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.5 อุปกรณ์การไตเตรตและการผลิตน้ำมันไบโอดีเซล	45
3.6 แผนผังแสดงขั้นตอนการผลิตไบโอดีเซล	46
3.7 ปริมาณน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตได้ต่อครั้ง	47
4.1 หน้าต่างของ Fuel calibration	51
4.2 หน้าต่างของ Fuel consumption	53
4.3 หน้าต่างของ Weather station overview	54
4.4 หน้าต่างของ Temperature & Pressure overview	55
4.5 หน้าต่างของ Runtime engine	56
4.6 ชุดควบคุมที่ใช้ในการทดสอบ (Control unit)	57
4.7 หน้าต่างของ Automatic test settings	58
4.8 หน้าต่างของ Engine data	59
4.9 หน้าต่างของ Test report	60
4.10 หน้าต่างของ Duration test	62
4.11 หน้าต่างของ MSD for windows	65
4.12 หน้าต่างของ MSD for windows และแถบฟังก์ชันที่ใช้	66
4.13 การเปรียบเทียบแรงบิดกับความเร็รรอบของเครื่องยนต์	68
4.14 การเปรียบเทียบกำลังกับความเร็รรอบของเครื่องยนต์	69
4.15 การเปรียบเทียบระหว่างความดันในกระบอกสูบของเชื้อเพลิงแต่ละชนิด ที่ความเร็รรอบเครื่องยนต์ 1000 rpm	70
4.16 การเปรียบเทียบระหว่างความดันในกระบอกสูบของเชื้อเพลิงแต่ละชนิด ที่ความเร็รรอบเครื่องยนต์ 1500 rpm	70
4.17 การเปรียบเทียบระหว่างความดันในกระบอกสูบของเชื้อเพลิงแต่ละชนิด ที่ความเร็รรอบเครื่องยนต์ 2000 rpm	71
4.18 การเปรียบเทียบระหว่างความดันในกระบอกสูบของเชื้อเพลิงแต่ละชนิด ที่ความเร็รรอบเครื่องยนต์ 2500 rpm	71
4.19 การเปรียบเทียบระหว่างความดันในกระบอกสูบของเชื้อเพลิงแต่ละชนิด ที่ความเร็รรอบเครื่องยนต์ 3000 rpm	72

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.20 การเปรียบเทียบระหว่างความดันในกระบอกสูบของเชื้อเพลิงแต่ละชนิด ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3500 rpm	72
4.21 การเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรคกับความเร็วรอบของ เครื่องยนต์	73
4.22 การเปรียบเทียบปริมาณควันดำกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์	74
4.23 การเปรียบเทียบอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์	75
4.24 การเปรียบเทียบอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์	75
4.25 การเปรียบเทียบอุณหภูมิไอเสียกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์	76
4.26 น้ำมันที่ผลิตได้และใช้ศึกษา	78
4.27 ค่าความหนาแน่นของน้ำมันที่ใช้ทดสอบเปรียบเทียบกับสมการของ Riazi	78
4.28 ค่าความหนืดของน้ำมันที่ใช้ทดสอบเปรียบเทียบกับสมการของ Riazi	79



## คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

สัญลักษณ์และคำย่อ	ความหมาย	หน่วย
A	พื้นที่หน้าตัด	m <sup>2</sup>
D	เส้นผ่านศูนย์กลาง	m
F	แรง	kN
G	ความร้อนต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนัก	kJ/kg
L	ความยาวระยะชัก	m
N	ความเร็วรอบ	rpm
P	กำลังเบรก	kW
P <sub>m</sub>	ค่าความดันเฉลี่ยอินดิเคต	kN/m <sup>2</sup>
P <sub>m</sub> b	ค่าความดันเฉลี่ยอินดิเคตเบรก	kN/m <sup>2</sup>
Q <sub>HV</sub>	ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง	kJ/kg
Q <sub>in</sub>	ความร้อนที่ส่งเข้า	kJ/kg
R	รัศมีของล้อช่วยแรง	m
V	ปริมาตรน้ำมันเชื้อเพลิง	m <sup>3</sup>
h <sub>f</sub>	ความสูญเสีย เนื่องจากความเสียดทานในท่อตรง	m
m <sub>f</sub>	มวลของเชื้อเพลิง	kg
$\dot{m}_f$	อัตราการไหลของมวลเชื้อเพลิง	kg/sec
BHP	แรงม้าเบรก	kW
FHP	แรงม้าฟีดหรือแรงม้าเสียดทาน	kW
IHP	แรงม้าอินดิเคต	kW
IP	กำลังงานอินดิเคต	W
b <sub>mep</sub>	ความดันเฉลี่ยขณะทดสอบการเบรก	kPa
i <sub>mep</sub>	ความดันเฉลี่ยภายในกระบอกสูบ	kPa
sfc	ความสิ้นเปลืองของน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะ	g/kW•hr
$\eta_t$	ประสิทธิภาพเชิงความร้อน	%
$\pi$	ค่าคงที่ 3.1416	-

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันปัญหาด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมส่งผลกระทบต่อเศรษฐกิจของประเทศเป็นอย่างยิ่ง โดยเฉพาะอย่างยิ่งปัญหาทางด้านน้ำมันเชื้อเพลิงเนื่องมาจากการคมนาคมขนส่ง และในภาคอุตสาหกรรม ทำให้การผลิตภายในประเทศมีไม่เพียงพอต่อความต้องการ ซึ่งส่งผลให้ต้องนำเข้าน้ำมันดิบจากต่างประเทศ ในปริมาณมาก โดยจากข้อมูลสถิติพลังงานปี 2559 พบว่าอัตราการใช้น้ำมันดีเซลมีปริมาณสูงถึง 61.9 ล้านลิตรต่อวัน และประเทศไทยนำเข้าน้ำมันดิบจากต่างประเทศเฉลี่ยสูงถึง 854,000 บาร์เรลต่อวันหรือคิดเป็นเงินประมาณ 485,900 ล้านบาทต่อปี (กระทรวงพลังงาน, 2017) และในปี พ.ศ.2558 สหภาพยุโรปได้ประกาศใช้ มาตรฐานควบคุมไอเสียจากรถยนต์ หรือ Euro VI เพื่อควบคุมและลดการปล่อยก๊าซไอเสียจากรถยนต์ ทำให้ผู้ผลิตรถยนต์และผู้ใช้รถยนต์ตระหนักถึงความสำคัญของ สารมลพิษไอเสีย จากรถยนต์ที่จะส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมของโลก

โดยจากปัญหาที่กล่าวมาข้างต้นทำให้ผู้วิจัยเกิดความสนใจที่จะลดภาระค่าใช้จ่ายในการนำเข้าน้ำมันดิบ และสารมลพิษไอเสียจากรถยนต์ด้วยการใช้พลังงานทดแทน นั่นคือการใช้ น้ำมันไบโอดีเซลที่กำลังเป็นที่สนใจมากที่สุดอย่างหนึ่งในขณะนี้ เนื่องจากเป็นเชื้อเพลิงทางเลือกที่เหมือนกับน้ำมันดีเซล ซึ่งสามารถผลิตได้จาก น้ำมันพืช ไขมันสัตว์ ผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมรูปแบบอื่นมาทดแทน และการใช้ น้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากธรรมชาติยังช่วยลดสารมลพิษไอเสียจากรถยนต์ ซึ่งจากการศึกษาพบว่า ต้นยางนาเป็นทรัพยากรชีวภาพที่น่าสนใจ และสามารถ นำมาผลิตเป็นน้ำมันไบโอดีเซลได้ แต่ยังไม่เป็นที่แพร่หลายมากนักซึ่งข้อมูลด้านงานวิจัยเกี่ยวกับการใช้น้ำมันยางนาเป็นเชื้อเพลิง ยังมีไม่เพียงพอต่อการตัดสินใจต่อการเลือกใช้และแก้ปัญหา ด้านนโยบายพลังงาน อีกทั้งเทคโนโลยีเครื่องยนต์ดีเซลเองได้มีการพัฒนาเปลี่ยนแปลงไปมาก ไม่ว่าจะเป็นระบบฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง หัวฉีดแบบต่าง ๆ การอัดอากาศเป็นต้นซึ่งสิ่งต่าง ๆ เหล่านี้ล้วนส่งผลกระทบต่อสมรรถนะ การสึกหรอของเครื่องยนต์ สารพิษของไอเสีย จากเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันยางนาเป็นเชื้อเพลิงทางเลือก

ซึ่งที่ผ่านมามีการวิจัยเรื่องสมรรถนะเครื่องยนต์ รวมถึงมลพิษในไอเสียที่มีค่อนข้างน้อย โดยงานวิจัยส่วนใหญ่ที่ผ่านมามุ่งเน้นไปในเรื่องคุณสมบัติของเชื้อเพลิง เป็นส่วนใหญ่ เพราะฉะนั้นผู้วิจัยจึงมีความเห็นว่ามีคามจำเป็น ที่จะต้องศึกษา สมรรถนะเครื่องยนต์ รวมถึงสารมลพิษในไอเสีย ที่ใช้น้ำมันยางนาและน้ำมันยางนาผสมน้ำมันดีเซล ซึ่งช่วยแก้ปัญหาที่กล่าวมาข้างต้น โดยอธิบายถึง

ผลกระทบ แนวโน้มอัตราส่วนที่เหมาะสมของน้ำมันยางนา ต่อน้ำมันดีเซล และช่วยในการตอบคำถามข้างต้นได้อย่างดี

## 1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันยางนา

1.2.2 เพื่อศึกษาสมรรถนะของเครื่องยนต์ ที่ใช้น้ำมันยางนาผสมน้ำมันดีเซล

1.2.3 เพื่อศึกษาอัตราการปล่อยแก๊สไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซลเมื่อใช้น้ำมันยางนาผสมน้ำมันดีเซล

## 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ศึกษาการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันยางนา

1.3.2 ศึกษาสมรรถนะและมลพิษของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันยางนาผสมน้ำมันดีเซล โดยใช้กับเครื่องยนต์ดีเซล

1.3.3 ศึกษาสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่เปรียบเทียบกับน้ำมันยางนาผสมน้ำมันดีเซล ในอัตราส่วนร้อยละ 10, 15, 20, 50 และ 100 โดยปริมาตร

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ได้ทราบตัวแปรที่มีผลต่อสมรรถนะและแก๊สไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซล ที่ใช้น้ำมันยางนาผสมน้ำมันดีเซล

1.4.2 ได้ทราบวิธีการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันยางนา

1.4.3 ได้รับความรู้ข้อมูลการใช้พลังงานทดแทน พร้อมพัฒนาต่อยอดในภาคอุตสาหกรรมต่อไป

1.4.4 ผลที่ได้จากการศึกษาวิจัยสามารถนำไปสู่การพัฒนาในอุตสาหกรรมผลิตน้ำมันทดแทนสำหรับยานยนต์

1.4.5 สามารถนำผลงานที่ได้จากการศึกษาวิจัย ตีพิมพ์ในวารสารวิชาการและนำเสนอในที่ประชุม



## บทที่ 2

### ทฤษฎีและการทบทวนวรรณกรรม

#### 2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

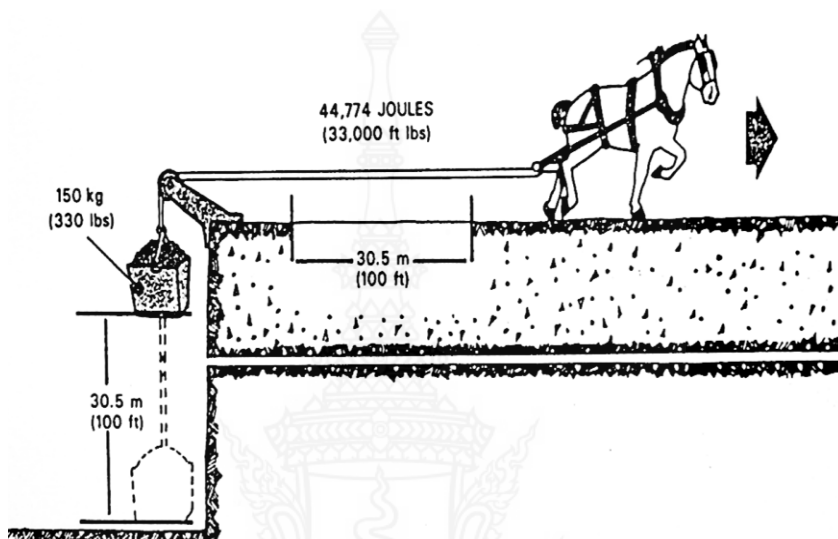
##### 2.1.1 หลักการทำงานของเครื่องทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์

เมื่อเปิดสวิตช์หลัก (Main switch) จะต้องปรับตั้ง (Calibration) เครื่องก่อนการทดสอบ จากนั้นเริ่มทดสอบ โดยเปิดระบบน้ำระบายความร้อน และพัดลมระบายความร้อน กดปุ่มเปิดเครื่องด้านหน้าเครื่องควบคุม ติดเครื่องยนต์ที่จะทดสอบ ให้อยู่ในความเร็วรอบที่ต้องการจะทดสอบ โดยการควบคุมจากตู้ควบคุมแล้วใช้ไดนาโมมิเตอร์ แบบกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำโดยอาศัยหลักการเหนี่ยวนำของกระแสไฟฟ้าไหลวน ป้อนภาระ (Load) เข้าขดลวดจะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้า เกิดแรงเบรกขึ้น ชุดวัดค่าแรง และแรงบิดที่ไดนาโมมิเตอร์จะส่งสัญญาณไปยังตู้ควบคุมแสดงผลออกมาที่จอแสดงผลที่ตู้ควบคุม จากนั้นทำการทดสอบหาค่าความสิ้นเปลืองของน้ำมัน เชื้อเพลิง โดยเลือกปริมาณของน้ำมัน และเลือกชนิดของการวัดน้ำมันเชื้อเพลิงที่จะทำการทดสอบ กดปุ่มสตาร์ท จากนั้นเครื่องทดสอบจะเริ่มทำการวัดน้ำมันเชื้อเพลิง โดยใช้อุปกรณ์การวัดที่เรียกว่า โฟโตอิเล็กทริกเซลล์ (Photo electric cell) จะเป็นตัววัด อุปกรณ์วัดจะส่งสัญญาณไปยังตู้ควบคุม แสดงผลออกมาที่จอแสดงผลที่ตู้ควบคุม และนำค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดบนตู้ควบคุมไปคำนวณได้ (นุกูล, 2553)

##### 2.1.2 ทฤษฎีกำลัง และกำลังม้าของเครื่องยนต์

เมื่อกล่าวถึงเครื่องยนต์ และการวัด การเปรียบเทียบระหว่างเครื่องยนต์เราจะพิจารณาถึงความสัมพันธ์ของขนาด และสมรรถนะของเครื่องยนต์โดยส่วนใหญ่เครื่องยนต์ในรูปของขนาดความจุภายในกระบอกสูบ และกำลังที่ให้กับเราที่เราเรียกว่า กำลังม้า ปัจจุบันกำลังม้าของเครื่องยนต์เราสามารถใช้อุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพมาวัดได้แต่เราจะไม่วัดกำลังเครื่องยนต์โดยตรงเราจะวัดแรงบิดหรือทอร์ก (Torque) จากเครื่องยนต์ และนำค่าแรงบิดที่ได้ไปคำนวณหากำลังม้าของเครื่องยนต์อีกที เครื่องมือที่ใช้วัดแรงบิดก็คือ ไดนาโมมิเตอร์ที่เรียกกันว่าเครื่องทดสอบกำลังเครื่องยนต์ วิศวกรยุคเครื่องจักรไอน้ำยุคต้น ๆ ได้ทำการเปรียบเทียบกำลังงานของเครื่องจักรไอน้ำตามกำลังงานที่ม้าทำได้ เพราะพาหนะที่ดีที่สุด ในสมัยนั้นคงจะไม่มีอะไรที่อำนวยความสะดวกได้ดีที่สุดเท่ากับม้าแล้วสมัยที่เจมส์ วัตต์ ชาวอังกฤษได้ผลิตเครื่องจักรไอน้ำออกจำหน่ายเพื่อใช้แทนม้าในการยกถ่านหินขึ้นจากบ่อถ่านหิน เจมส์ วัตต์ ต้องคำนวณเปรียบเทียบกำลังเครื่องจักรไอน้ำกับกำลังม้าที่ใช้อยู่เพื่อให้ผู้ซื้อ

มองเห็นภาพพจน์ และเปรียบเทียบกำลังระหว่างม้ากับเครื่องจักรไอน้ำที่เขาผลิตขึ้น ดังนั้นจึงมีการใช้คำว่า กำลังม้า มาจนถึงปัจจุบัน เจมส์ วัตต์ ตรวจสอบงานที่กระทำโดยม้าโดยเขาให้ม้าลากภาชนะบรรจุถ่านหินหนัก 330 ปอนด์ ขึ้นจากบ่อถ่านหินเป็นระยะ 100 ฟุต ดังรูปที่ 2.1 สามารถคำนวณหา งานที่เกิดขึ้นได้จากสมการที่ 2.1 (นุกูล, 2553)



รูปที่ 2.1 การทดสอบหากำลังม้าของเจมส์  
ที่มา: นุกูล (2553)

ในระบบอังกฤษหน่วยของกำลังคือ ฟุต-ปอนด์/นาที

กำลัง คือ งานที่กระทำต่อหนึ่งหน่วยเวลา ถ้าม้าหนึ่งตัวสามารถลากภาชนะบรรจุถ่านหินหนัก 330 ปอนด์ ได้ระยะทาง 100 ฟุต ด้วยเวลา 1 นาที สูตรคำนวณกำลัง คือ

$$\text{Horsepower} = \frac{W}{t} \quad (2.1)$$

หรือ

$$\text{Horsepower} = \frac{F \times s}{t} \quad (2.2)$$

$$= \frac{330 \times 100}{1 \text{ min}}$$

$$1 \text{ HP} = 33,000 \text{ ft. lbs/min}$$

ถ้าต้องการกำลังม้าในระบบ SI ซึ่งมีหน่วยเป็นวัตต์สามารถคำนวณได้ดังนี้

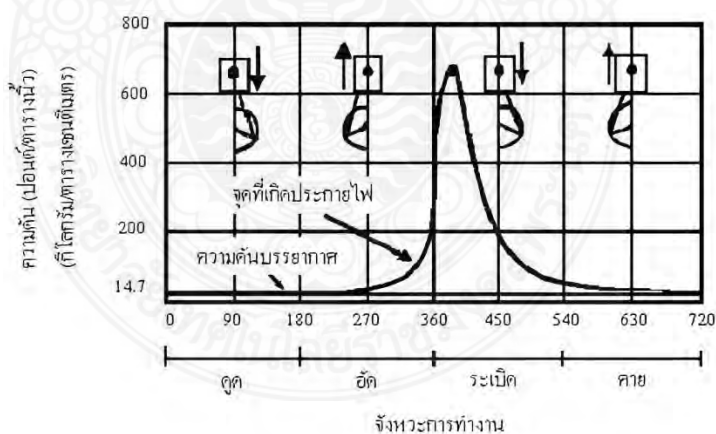
$$1 \text{ HP} = 746 \text{ N.m/sec หรือ } 0.746 \text{ kW}$$

### 2.1.3 กำลัง และกำลังม้าของเครื่องยนต์

กำลัง (Power) ของเครื่องยนต์ เป็นกำลังที่เครื่องยนต์ผลิตได้จากการเปลี่ยนรูปของพลังงานทางเคมีในรูปของน้ำมันเชื้อเพลิงมาอยู่ในรูปของพลังงานความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ของน้ำมันเชื้อเพลิงหรือน้ำมันเชื้อเพลิงกับอากาศที่เกิดขึ้นภายในห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์มาเป็นพลังงานกลที่ใช้ในการขับเคลื่อนต่าง ๆ

กำลังม้า (Horsepower) เป็นหน่วยที่ใช้วัดกำลังเป็นอัตราที่ม้า 1 ตัว สามารถที่จะทำงานได้ในเวลาอันจำกัด กำลัง และกำลังม้าที่สำคัญของเครื่องยนต์จำแนกออกได้ ดังต่อไปนี้

ก) กำลังม้าอินดิเคต (Indicated Horsepower, IHP) เป็นกำลังม้าของเครื่องยนต์ที่ผลิตขึ้นภายในห้องเผาไหม้ในระหว่างกระบวนการเผาไหม้ของไอติภายในกระบอกสูบ การวัดกำลังม้าอินดิเคตต้องใช้อุปกรณ์พิเศษ เรียกว่า ออสซิลโลสโคป (Oscilloscope) วัดความดันในกระบอกสูบระหว่างจังหวะต่าง ๆ ความดันเหล่านี้จะใช้ในการหาค่ากำลังม้าอินดิเคตซึ่งมีค่าสูงกว่า กำลังม้าเบรคเสมอเพราะว่ากำลังบางส่วนสูญเสียไปเพื่อเอาชนะความฝืดในเครื่องยนต์ ดังรูปที่ 2.2 จะแสดงถึงความดันที่ต่อเนื่องกันตามจังหวะการทำงานของเครื่องยนต์

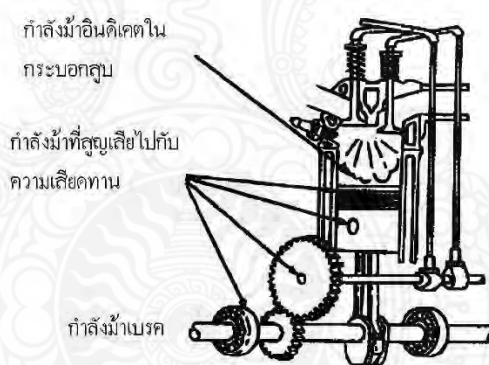


รูปที่ 2.2 ความดันที่เกิดขึ้นภายในกระบอกสูบของเครื่องยนต์ขณะทำงาน  
ที่มา: นุกูล (2553)

รูปที่ 2.2 แสดงให้เห็นตำแหน่งต่าง ๆ ตลอดจนทิศทางการเคลื่อนที่ของเพลาค้อเหวี่ยง ก้านสูบและลูกสูบในรอบการทำงานของเครื่องยนต์เห็นได้ว่าความดันในกระบอกสูบเมื่อเริ่มจังหวะดูด

จะมีค่าโดยประมาณเท่ากับความดันบรรยากาศแล้วจะตกลงเล็กน้อยหลังจากลูกสูบเริ่มเคลื่อนตัวลง ทั้งนี้ก็เนื่องจากเกิดความล่าช้าในการจัดส่งไอดีเข้าบรรจุภายในกระบอกสูบเมื่อเริ่มจังหวะอัดความดันภายในกระบอกสูบจะสูงขึ้นเรื่อย ๆ ตามการเคลื่อนตัวของลูกสูบก่อนที่ลูกสูบจะเคลื่อนที่ขึ้นถึงศูนย์ตายบนเล็กน้อย หัวเทียนจะจุดประกายไฟทำให้ไอดีซึ่งถูกอัดตัวอยู่ภายในกระบอกสูบเกิดการเผาไหม้ ณ จุดนี้จะเป็นจุดเริ่มต้นของจังหวะระเบิด ความดันอันเกิดจากการเผาไหม้ได้ดีจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว แล้วจึงจะเริ่มลดลงจังหวะนี้จะต่อเนื่องไปจนกระทั่งลูกสูบเคลื่อนตัวลงคล้อยหลังศูนย์ตายบนไปประมาณ 25 องศา ความดันก็จะตกลงอย่างรวดเร็วในตอนปลายของจังหวะระเบิดจะยังคงเหลือความดันอยู่ประมาณ 50 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว และเมื่อจังหวะคายเริ่มขึ้นความดันก็จะลดลงเรื่อย ๆ จนเหลือเท่ากับความดันบรรยากาศในตอนปลายของจังหวะกราฟที่แสดงจะเป็นเครื่องตัดสินใจในการหากำลังม้าประเภทนี้เพราะจะขึ้นอยู่กับความดันเฉลี่ยในจังหวะระเบิดลบด้วยความดันเฉลี่ยของจังหวะที่เหลือ และเนื่องจากกำลังม้าในบางส่วนจะถูกใช้ไปเพื่อชนะความเสียดทานจึงทำให้กำลังม้าอินดิเคตจึงมีค่าสูงกว่ากำลังม้าเบรก

ข) กำลังม้าฝืด หรือกำลังม้าความเสียดทาน (Friction Horsepower, FHP)



รูปที่ 2.3 กำลังม้าที่สูญเสียไปกับความเสียดทาน  
ที่มา: นุกูล (2553)

เป็นกำลังม้าที่ใช้เพื่อเอาชนะความเสียดทาน เกิดขึ้นในขณะที่เครื่องยนต์กำลังทำงาน กำลังม้าประเภทนี้หาได้จากการใช้มอเตอร์ไฟฟ้าทำการขับเคลื่อนแล้ววัดกำลังม้าที่มอเตอร์ใช้ขับ ในระหว่างทำการทดสอบเครื่องยนต์ต้องอยู่ในอุณหภูมิทำงานปกติแต่ไม่มีน้ำมันเชื้อเพลิงในคาร์บูเรเตอร์นอกจากนั้นลิ้นเร่งจะต้องอยู่ในตำแหน่งเปิดสุด จากการทดสอบจะเห็นได้ว่าที่ความเร็วต่ำ ความเสียดทานที่เกิดขึ้นค่อนข้างต่ำ และความเสียดทานจะสูงขึ้นตามความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ดังรูปที่ 2.3 แสดงถึงกำลังม้าที่สูญเสียไปกับความเสียดทานจะแตกต่างกันออกไปตามการออกแบบของเครื่องยนต์ และลักษณะของการนำเครื่องยนต์ไปใช้โดยทั่วไปจะมีค่า 10% กำลังม้าประเภทนี้จะ

ไม่คงที่แต่เพิ่มขึ้นตามความเร็วรอบของเครื่องยนต์ สาเหตุที่ทำให้เกิดความเสียหายขึ้นในเครื่องยนต์ ได้แก่ แหวนลูกสูบความเสียหายที่เกิดขึ้นระหว่างแหวนลูกสูบกับผนังกระบอกสูบอาจสูงถึงประมาณ 75% ของความเสียหายทั้งหมดที่เกิดขึ้นภายในเครื่องยนต์ดังนั้นจึงต้องมีความระมัดระวังอย่างมาก ในการปรับแหวนลูกสูบ

ค) กำลังม้ากำหนด (Rated horsepower) เป็นกำลังม้าที่โรงงานผู้ผลิตเครื่องยนต์ได้ กำหนดขึ้น เพื่อใช้สำหรับเลือกเครื่องยนต์ให้เหมาะสมกับงานที่ทำโดยมีวัตถุประสงค์ที่จะทำให้ เครื่องยนต์ นั้น ๆ สามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และมีอายุการใช้งานยาวนาน โดยทั่ว ๆ ไป กำลังม้าประเภทนี้จะมีค่าต่ำกว่ากำลังม้าเบรกสูงสุดประมาณ 20% สำหรับวิธีการกำหนดกำลังม้า เบรกสูงสุดของเครื่องยนต์เพื่อการใช้งานนั้นจะต้องกำหนดจากกำลังม้ากำหนดเป็นหลักหมายความว่า กำลังม้าเบรกสูงสุดของเครื่องยนต์ที่จะเลือกใช้ขึ้นต้องมีค่าสูงกว่ากำลังม้าที่เครื่องยนต์จะต้องใช้งาน จริง ๆ ประมาณ 20% ทั้งนี้ก็เพื่อให้เครื่องยนต์เมื่อรับภาระเต็มที่แล้วทำงานแต่เพียงประมาณ 80% ของกำลังม้าเบรกสูงสุดเท่านั้นจึงเป็นผลทำให้เครื่องยนต์สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด และมีอายุการใช้งานยาวนานอีกด้วย

ง) กำลังม้าแก้ไข (Corrected horsepower) กำลังม้าเบรกมาตรฐานจะขึ้นอยู่กับ ข้อกำหนด ต่าง ๆ ที่กำหนดขึ้นในขณะที่ทำการทดสอบเครื่องยนต์โดยทั่วไปจะทำการทดสอบที่ อุณหภูมิ 60 องศาฟาเรนไฮต์ (16 องศาเซลเซียส) ความดันบรรยากาศเท่ากับ 29.92 นิ้วปรอท หรือ 760 มิลลิเมตรปรอท (ความดันบรรยากาศที่ระดับน้ำทะเล) และสภาพอากาศแห้ง ดังนั้นถ้าความดัน บรรยากาศ อุณหภูมิ และปริมาณความชื้นในอากาศเกิดการเปลี่ยนแปลงไปจากมาตรฐานที่ทำการ ทดสอบก็จะมีผลทำให้ค่ากำลังม้าของเครื่องยนต์เปลี่ยนแปลงไปด้วย กำลังม้าแก้ไข (Corrected-horsepower) เป็นกำลังม้าที่เครื่องยนต์สามารถผลิตออกมาได้จริงภายใต้สภาพการทำงานที่แตกต่าง กันออกไปจากข้อกำหนดการทดสอบมาตรฐานของเครื่องยนต์องค์ประกอบต่าง ๆ ที่นำมา ประกอบการพิจารณาเกี่ยวกับการกำหนดกำลังม้าของเครื่องยนต์ในสภาพที่แตกต่างกัน

1) ในทุก ๆ ระดับความสูง 1,000 ฟุตเหนือระดับน้ำทะเล จะทำให้กำลังม้าของ เครื่องยนต์ลดลงประมาณ 3.5%

2) ในทุก ๆ 1 นิ้วของความกดดันบรรยากาศที่ลดลงทำให้กำลังม้าของเครื่องยนต์ ลดลงอีก 3.5%

3) ในทุก ๆ 10 องศาฟาเรนไฮน์ของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น จะทำให้กำลังม้าของ เครื่องยนต์นั้นลดลง 1%

4) ในทุก ๆ 200 - 400 องศาฟาเรนไฮน์ของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น จากอุณหภูมิการ ทำงานของฝาสูบทำให้กำลังม้าของเครื่องยนต์ลดลง 10%

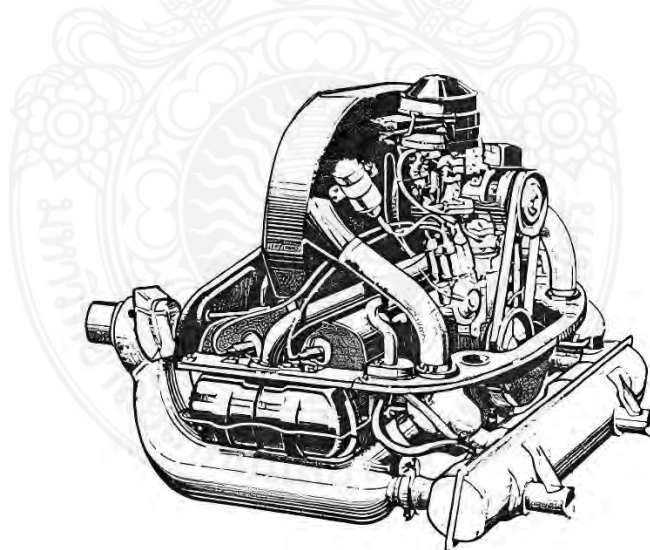
5) ในคุณภาพของน้ำมันเชื้อเพลิง ในสภาพทางกลไกของเครื่องยนต์ และสถานะของการที่ปรับแต่งเครื่องยนต์จะมีผลต่อการผลิตกำลังม้าของเครื่องยนต์ด้วย

6) ในเครื่องยนต์ใหม่นั้นจะสามารถที่ผลิตกำลังม้าได้ต่ำกว่าเครื่องยนต์ที่มีการใช้งานไปแล้วชั่วระยะเวลาหนึ่งทั้งนี้เนื่องจากความเสียดทานที่เกิดขึ้นภายในตัวของเครื่องยนต์ใหม่จะสูงกว่าที่เกิดขึ้นในเครื่องยนต์เก่า

ดังนั้น ในการทดสอบเครื่องยนต์ภายใต้สภาพที่แตกต่างไปจากมาตรฐานที่กำหนดจึงต้องมี การแก้ไขเพื่อให้ทราบกำลังม้าที่แท้จริงของเครื่องยนต์ ค่าองค์ประกอบการแก้ไข (Correction factor) ที่ใช้แก้ไขเพื่อให้ทราบกำลังม้าที่แท้จริงของเครื่องยนต์สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.3

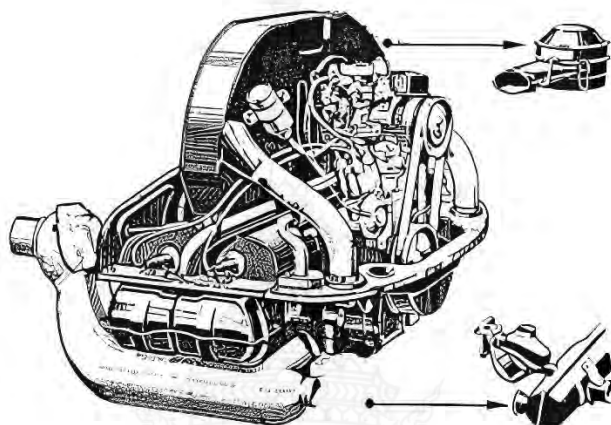
$$\text{ค่าองค์ประกอบการแก้ไข} = \text{ค่าแก้ไข (T)} \times \text{ค่าแก้ไข (P)} \times \text{ค่าแก้ไข (H)} \quad (2.3)$$

จ) กำลังม้าแบบเยอรมันหรือกำลังม้าเมตริก กำลังม้านี้คิดจากการออกแรงยกน้ำหนัก 75 กิโลกรัมแรง ใน 1 วินาที ได้งานระยะทาง 1 เมตร เป็นกำลังม้าที่ได้จากสภาพงานจริงเมื่อเปรียบเทียบกับแบบอื่น ๆ ตัวเลขน้อยกว่าวัดพร้อมด้วยส่วนประกอบทั้งหมดเหมือนสภาพใช้งานจริง ดังรูปที่ 2.4 แสดงเครื่องยนต์ที่ทดสอบหาแรงม้าแบบ DIN



รูปที่ 2.4 เครื่องยนต์ที่ใช้ทดสอบหากำลังม้าแบบ DIN  
ที่มา: นุกูล (2553)

ฉ) กำลังม้าแบบอิตาลี (Commissione Unificazione Normalizzone Autoveicoli) เป็นกำลังม้าแบบนี้จะทดสอบโดยการถอดหม้อกรองอากาศ และท่อไอเสียออก ทำให้การคายไอเสียทำได้ดีขึ้น แต่จะมีเสียงดังมากเมื่อทำการเปรียบเทียบกับกำลังม้าแบบ PS-DIN ตัวเลขจะสูงกว่าเล็กน้อย ดังรูปที่ 2.5

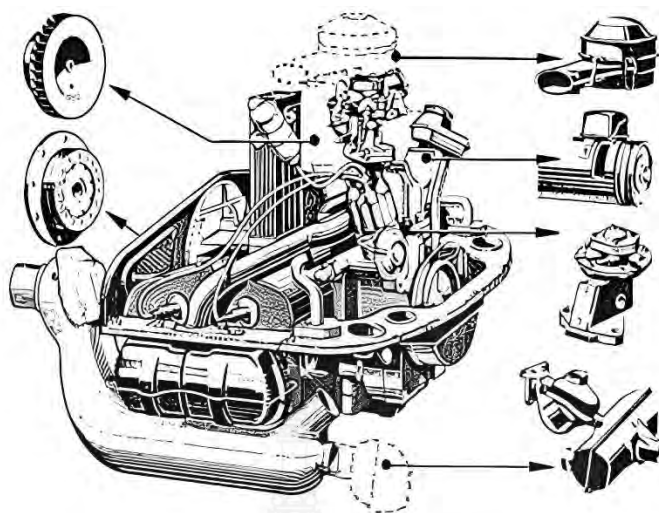


รูปที่ 2.5 เครื่องยนต์ที่ใช้ทดสอบกำลังม้าแบบ CUNA  
ที่มา: นุกูล (2553)

ช) กำลังม้าแบบอเมริกา (Horsepower - Society of Automotive Engineers, SAE-HP) ดังรูปที่ 2.6 เป็นการไว้วัดคำนวณเก็บภาษีจะมีค่าตัวเลขที่มีค่าสูงกว่ากำลังม้าแบบ PS-DIN ประมาณ 15 – 20 % โดยการทดสอบจะแยกเป็นสองแบบ คือ

1) Gross horsepower เป็นระบบที่อเมริกาใช้หากำลังม้า เพื่อต้องการกำลังสูงสุด โดยเอากำลังม้า ที่นำไปใช้งานอื่นมารวมด้วย เช่น กำลังที่เอาไปขับเจเนอเรเตอร์ หรือพัดลม เป็นต้น

2) Net horsepower (SAE-Net.HP) เป็นวิธีการวัดกำลังม้าของอเมริกาอีกแบบหนึ่งที่ติดอุปกรณ์ครบเหมือนกับใช้งานจริง ปัจจุบันอเมริกาได้เลือกใช้วิธีนี้สำหรับหากำลังม้าของเครื่องยนต์ เมื่อเปรียบเทียบกำลังม้าแบบเมตริกแล้ว  $SAE-Net.HP = 0.953 PS-DIN$



รูปที่ 2.6 เครื่องยนต์ที่ใช้ทดสอบกำลังม้าแบบ SAE  
ที่มา: นกุล (2553)

#### 2.1.4 การทำงานของวัฏจักรเครื่องยนต์สี่จังหวะจุดระเบิดด้วยการอัด

ก) จังหวะแรก จังหวะดูดเช่นเดียวกับเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟ ยกเว้นตรงที่เป็นการดูดแต่อากาศเท่านั้นไม่มีการผสมเชื้อเพลิง

ข) จังหวะที่สอง จังหวะอัดเช่นเดียวกับเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟ แต่เป็นการอัด ที่ความดันและอุณหภูมิสูงกว่า ในช่วงสุดท้ายของจังหวะนี้เชื้อเพลิงจะถูกฉีดเป็นฝอยตรงเข้าห้องเผาไหม้และผสมกับอากาศร้อนจัดเชื้อเพลิงจะระเหยอย่างรวดเร็ว และลุกไหม้ขึ้นเอง ซึ่งเป็นการเริ่มต้นการเผาไหม้

ค) การเผาไหม้ การเผาไหม้จะเกิดขึ้นเต็มที่ที่ศูนย์ตายบน เป็นการเผาไหม้ที่ความดันคงที่อย่างต่อเนื่อง จนกระทั่งสิ้นสุดการฉีดเชื้อเพลิงและลูกสูบเริ่มเคลื่อนที่ลงสู่ศูนย์ตายล่าง

ง) จังหวะที่สาม จังหวะกำลังจะเริ่มเมื่อการเผาไหม้สิ้นสุดและลูกสูบจะเคลื่อนที่ไปยังศูนย์ตายล่าง

จ) การระบายไอเสียเช่นเดียวกับเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟ

ฉ) จังหวะที่สี่ จังหวะคายไอเสียเช่นเดียวกับเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟ

#### 2.1.5 แรงบิดและกำลัง

แรงบิดคือตัวบ่งชี้ความสามารถในการทำงานของเครื่องยนต์ เป็นผลของแรงที่กระทำต่อแขนหมุนซึ่งมีค่าความยาว จึงมีหน่วยเป็น  $N \cdot m$  หรือ  $lbf \cdot ft$



แรงบิด  $T$  มีความสัมพันธ์กับงานดังนี้ :

$$2\pi T = w_b = (\text{bmep})V_d/n \quad (2.4)$$

โดย  $w_b$  คือ งานเพลลาของการทำงาน 1 รอบ

$V_d$  คือ ความจุ

$n$  คือ จำนวนรอบต่อหนึ่งวัฏจักร

สำหรับเครื่องยนต์วัฏจักรสองจังหวะ ซึ่งทำงานครบวัฏจักรในหนึ่งรอบ

$$2\pi T = w_b = (\text{bmep})V_d \quad (2.5)$$

$$T = w_b = (\text{bmep})V_d/2\pi \quad (2.6)$$

สำหรับเครื่องยนต์วัฏจักรสองจังหวะ ซึ่งทำงานครบวัฏจักรในหนึ่งรอบ

$$T = w_b = (\text{bmep})V_d/4\pi \quad (2.7)$$

เราใช้ความดันผลเฉลี่ยเพลลา ( $\text{bmep}$ ) และงานเพลลา ( $w_b$ ) ในสามการข้างบนนี้ เพราะเราวัดแรงบิดที่เพลลาข้อเหวี่ยงของเครื่องยนต์

เครื่องยนต์ของรถยนต์ของรถยนต์ในยุคปัจจุบัน มีค่าแรงบิดสูงสุดประมาณ 200 ถึง 300 N.m ที่ความเร็วรอบประมาณ 4,000 ถึง 6,000 rpm เราเรียกตำแหน่งที่เครื่องยนต์ให้แรงบิดสูงสุดว่า ความเร็วรอบแรงบิดสูงสุด (Maximum brake torque speed) เป้าหมายในการออกแบบเครื่องยนต์รถยนต์ยุคนี้ คือการทำให้กราฟแรงบิด (รูปที่ 2.7) เป็นเส้นราบ และมีค่าสูงทั้งช่วงความเร็วรอบสูงและความเร็วต่ำ เครื่องยนต์ดีเซลมักมีแรงบิดสูงกว่าเครื่องยนต์เบนซินขนาดเดียวกัน ส่วนเครื่องยนต์ขนาดใหญ่ มักมีแรงบิดสูง และความเร็วรอบแรงบิดสูงสุด (MBT) อยู่ในย่านความเร็วต่ำ

กำลัง (Power) คือ อัตรางานต่อหน่วยเวลาของเครื่องยนต์ ถ้ากำหนดให้  $n$  = จำนวนรอบต่อหนึ่งวัฏจักร และ  $N$  = ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ จะได้ว่า :

$$\dot{W} = WN/n \quad (2.8)$$

$$\dot{W} = 2\pi NT \quad (2.9)$$

$$\dot{W} = (1/2n)(MEP)A_p\bar{U}_p \quad (2.10)$$

$$\dot{W} = (mep)A_p\bar{U}_p/4 \quad \text{วัฏจักร 4 จังหวะ} \quad (2.11)$$

$$\dot{W} = (mep)A_p\bar{U}_p/4 \quad \text{วัฏจักร 2 จังหวะ} \quad (2.12)$$

โดย  $W$  คือ งานเพลลาของการทำงาน 1 รอบ

$A_p$  คือ ความจุ

$\bar{U}_p$  คือ จำนวนรอบต่อหนึ่งวัฏจักร

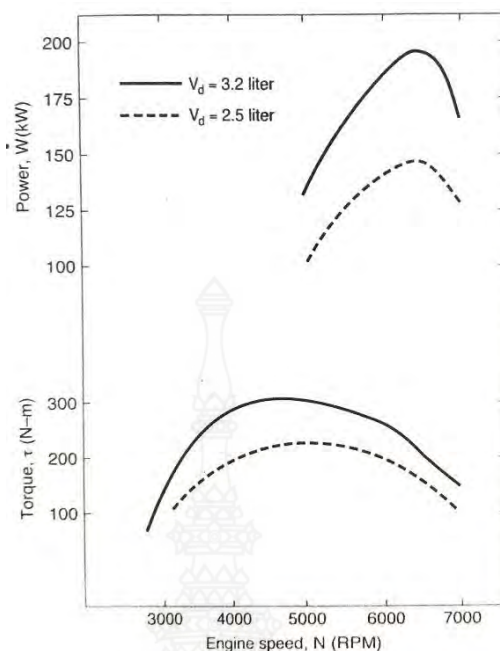
เราสามารถที่จะทำการกำหนดค่าจำกัดความของกำลังต่างๆ กำลังเพลลา (Brake power) กำลังบ่งชี้สุทธิ (Net indicated power) กำลังบ่งชี้อรวมยอด (Gross indicated power) กำลังเสียดทาน (Friction power) และแม้กระทั่งกำลังสูบ (Pumping power) ได้ ด้วยค่างานและความดันผลเฉลี่ยในสมการ (2.8 - 2.12) ดังนี้

$$\dot{W} = \eta_m \dot{W}_i \quad (2.13)$$

$$(\dot{W}_i)_{net} = (\dot{W}_i)_{gross} - (\dot{W}_i)_{pump} \quad (2.14)$$

$$\dot{W}_b = \dot{W}_i - \dot{W}_f \quad (2.15)$$

โดย  $\eta_m$  คือ ค่าประสิทธิภาพเชิงกลของเครื่องยนต์



รูปที่ 2.7 กำลังและแรงบิด บนความเร็วของเครื่องยนต์ในรถยนต์ทั่วไป  
ที่มา: นกุล (2553)

จากรูปที่ 2.7 แรงบิดสูงสุดเกิดขึ้นเมื่อมีการประจุไอดีเข้าสู่กระบอกสูบได้มากที่สุด และความดันมีค่าสูงสุด ส่วนกำลังเพลลาของเครื่องยนต์ซึ่งลดลงที่ความเร็วสูงเพราะระยะเวลาที่ลิ้นเปิดไอดีไหลเข้าสั้นลง รวมทั้งถูกหักล้างโดยแรงเสียดทานซึ่งเพิ่มขึ้นตามความเร็วของเครื่องยนต์ ซึ่งช่วงแรกจะลดลงเมื่อความเร็วเพิ่มขึ้นเพราะช่วงเวลาในการสูญเสียความร้อนสั้นลง และกลับเพิ่มขึ้นตามความเร็วของเครื่องยนต์ที่ความเร็วสูง เพราะแรงเสียดทานเพิ่มขึ้นค่านี้อาจต่ำลงทุกย่านเมื่อเพิ่มอัตราส่วนการอัด ซึ่งทำให้ประสิทธิภาพความร้อนเพิ่มขึ้น

ใช้ kW = เป็นหน่วยของกำลัง แต่กำลังม้า (hp) ก็ยังเป็นหน่วยที่นิยมใช้กันอยู่

$$1 \text{ hp} = 0.7457 \text{ kW} = 2545 \text{ BTU/hr} = \text{ft.lbf/sec}$$

$$1 \text{ kW} = 1.341 \text{ hp}$$

กำลังของเครื่องยนต์มีค่าตั้งแต่เพียงไม่กี่วัตต์จากเครื่องยนต์ของเครื่องบินเล็ก ไปจนถึงหลายพันวัตต์ต่อสูบของเครื่องยนต์สปีดและเครื่องยนต์ของเรือเดินสมุทร เครื่องยนต์ที่แพร่หลายในท้องตลาดมาก คือขนาด 1.5 ถึง 5 kW (2 ถึง 7 hp) ใช้สำหรับเครื่องตัดหญ้า เลื่อยยนต์ ฯลฯ เครื่องยนต์ติดตั้งเรือขนาดเล็กจะมีกำลังระหว่าง 2 ถึง 40 kW (3 ถึง 50 hp) หรือมากกว่านี้สำหรับเครื่องยนต์ ขนาดใหญ่ ส่วนเครื่องยนต์ของรถยนต์ยุคปัจจุบัน มีกำลังระหว่าง 40 ถึง 220 kW (50 ถึง

300 hp) ที่น่าสังเกตก็คือ รถแก่งขนาดกลางที่ตัวถังถูกออกแบบตามหลักพลศาสตร์อากาศ ใช้กำลังเพียง 5 ถึง 6 kW (7 ถึง 8 hp) เท่านั้น ในการรักษาความเร็วคงที่ 88 กิโลเมตรต่อชั่วโมง บนทางราบ แรงบิดและกำลังเป็นฟังก์ชันของความเร็วรอบ ที่รอบต่ำแรงบิดจะเพิ่มเมื่อความเร็วรอบเพิ่มขึ้น และเมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์เพิ่มขึ้นอีก แรงบิดจะเพิ่มจนถึงค่าสูงสุดแล้วจะลดลงตาม รูปที่ 2.7 และ 2.8 เพราะยิ่งความเร็วรอบเพิ่มขึ้นไอดีจะยิ่งถูกประจุเข้ากระบอกสูบได้น้อยลง เนื่องจากช่วงเวลาที่ลิ้นไอดีเปิดสั้นลง

กำลังบ่งชี้ (Indicated power) เพิ่มขึ้นตามความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ส่วนกำลังเพลา (Brake power) จะเพิ่มขึ้นตามความเร็วรอบจนถึงค่าสูงสุด แล้วลดลงเมื่อความเร็วรอบเพิ่มขึ้นอีกเพราะถูกหักล้างด้วยแรงเสียดทานภายในเครื่องยนต์ซึ่งเพิ่มขึ้นตามความเร็วรอบ และมีค่ามากโดยเฉพาะที่รอบสูง เครื่องยนต์ของรถยนต์นั่งส่วนใหญ่มีค่ากำลังเพลาสูงสุดที่ ความเร็วรอบประมาณ 6,000 ถึง 7,000 rpm หรือประมาณ 1.5 เท่าของความเร็วรอบที่ ให้แรงบิดสูงสุด

เราสามารถเพิ่มกำลังของเครื่องยนต์ โดยทำการเพิ่มความจุความดันผลเฉลี่ย และ/หรือ ความเร็วรอบ การเพิ่มความจุทำให้มวลและขนาดของเครื่องยนต์เพิ่มตามไปด้วย ซึ่งเป็นสิ่งไม่พึงประสงค์สำหรับการใช้งานในรถยนต์ด้วยเหตุผลดังกล่าว เครื่องยนต์ของรถยนต์สมัยใหม่จึงมีขนาดเล็กและทำงานที่รอบสูงและมักใช้อุปกรณ์ช่วยประจุไอดี เช่น เทอร์โบชาร์เจอร์ หรือ ซูเปอร์ชาร์เจอร์ เพื่อเพิ่มความดันผลเฉลี่ย

เราสามารถเปรียบเทียบเครื่องยนต์ ด้วยวิธีต่างๆ ตามสมการต่อไปนี้

กำลังสัมพัทธ์ (Specific power)

$$SP = \dot{W}_b / A_p \quad (2.16)$$

กำลังต่อความจุ (Output per displacement)

$$OPD = \dot{W}_b / V_d \quad (2.17)$$

ปริมาตรสัมพัทธ์ (Specific volume)

$$SV = V_d / \dot{W}_b \quad (2.18)$$

น้ำหนักสัมพัทธ์ (Specific weight)

$$SW = G/\dot{W}_b \quad (2.19)$$

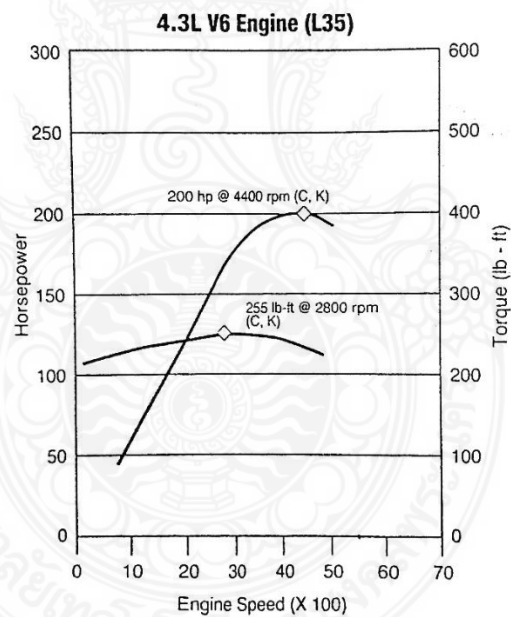
โดย  $\dot{W}_b$  คือ กำลังเพลลา

$A_p$  คือ พื้นที่ขนาดตัดลูกสูบทุกสูบรวมกัน

$V_d$  คือ ความจุ

$G$  คือ น้ำหนักเครื่องยนต์

ค่าเหล่านี้มีความสำคัญสำหรับเครื่องยนต์ที่ใช้ขับเคลื่อนยานพาหนะ เช่น เรือ รถ และ โดยเฉพาะเครื่องบิน ซึ่งต้องการให้น้ำหนักเบาที่สุด ในขณะที่น้ำหนักของเครื่องยนต์ไม่มีความสำคัญสำหรับเครื่องยนต์สถิตยขนาดใหญ่ (นุกูล, 2553)



รูปที่ 2.8 กำลังและแรงบิด บนความเร็วของเครื่องยนต์ เจเนอรัลมอเตอร์ส์ รุ่น L 35  
ที่มา: เจษฎา (2546)

### 2.1.6 ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงสัมพัทธ์

กำหนดค่า ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงสัมพัทธ์ ดังนี้

$$\text{sfc} = \dot{m}_f / \dot{W} \quad (2.20)$$

โดย  $\dot{m}_f$  คือ อัตราการไหลของเชื้อเพลิง

$\dot{W}$  คือ กำลังของเครื่องยนต์

หากใช้กำลังเพลลาในการคำนวณ เราจะได้ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงสัมพัทธ์เพลลา ต่อความเร็วรอบ ความเข้มของไอดี และความจุของเครื่องยนต์ ดังรูปที่ 2.9 - 2.11

$$\text{bsfc} = \dot{m}_f / \dot{W}_b \quad (2.21)$$

และถ้าใช้กำลังบ่งชี้ในการคำนวณ เราจะได้ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงสัมพัทธ์บ่งชี้ (Indicated specific fuel consumption)

$$\text{isfc} = \dot{m}_f / \dot{W}_i \quad (2.22)$$

นอกจากนี้สามารถให้คำจำกัดความของความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงสัมพัทธ์อื่นๆ ได้เช่น

fsfc คือ ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงสัมพัทธ์เสียดทาน

(Friction specific fuel consumption)

igsfc คือ ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงสัมพัทธ์รวบยอดบ่งชี้

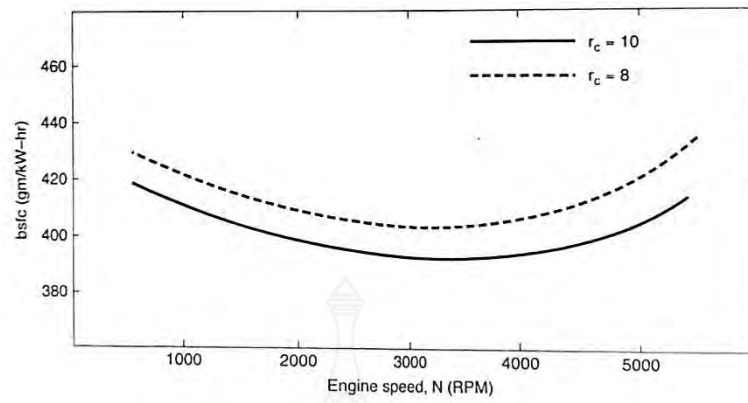
(Indicated gross specific fuel consumption)

Insfc คือ ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงสัมพัทธ์สุทธิบ่งชี้

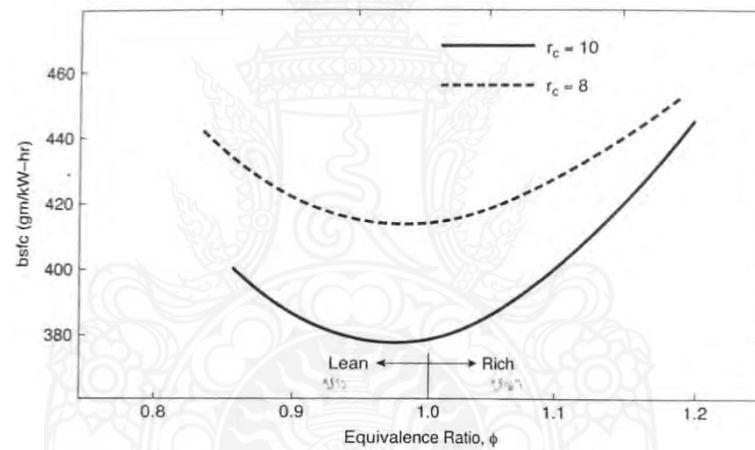
(Indicated net specific fuel consumption)

psfc คือ ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงสัมพัทธ์สูบ

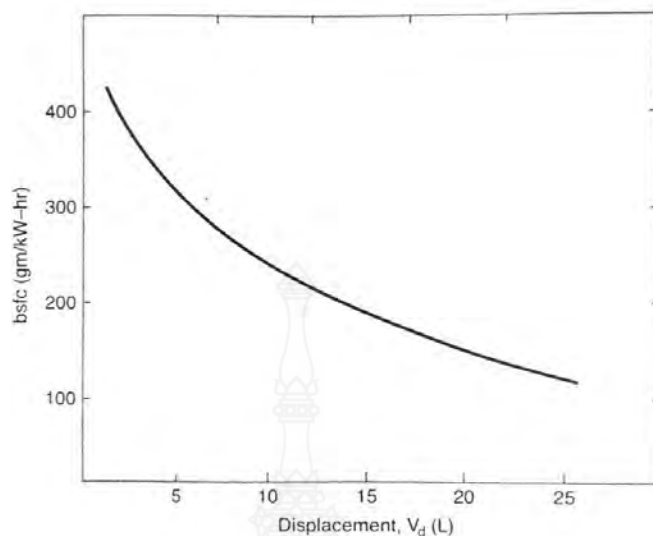
(Pumping specific fuel consumption)



รูปที่ 2.9 ความสัมพันธ์ของเชื้อเพลิงสัมพัทธ์เพลลา บนความเร็วของเครื่องยนต์  
ที่มา: เจษฎา (2546)



รูปที่ 2.10 ความสัมพันธ์ของเชื้อเพลิงสัมพัทธ์เพลลา บนอัตราส่วนความเข้มข้นของไอดี  
ที่มา: เจษฎา (2546)



**รูปที่ 2.11** ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงสัมพัทธ์เพลานบนความจุของเครื่องยนต์  
ที่มา: เจษฎา (2546)

โดยทั่วไปความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงสัมพัทธ์มีหน่วยเป็น  $\text{g/kW}\cdot\text{hr}$  หรือ  $\text{lbm}/\text{hp}\cdot\text{hr}$  แต่สำหรับยานพาหนะนิยมใช้อัตราส่วนระยะทางต่อปริมาณเชื้อเพลิง เช่น ไมล์ ต่อ แกลลอน (mpg) และตามมาตรฐาน SI นิยมใช้ค่าผกผันเป็นลิตร ต่อ 100 กิโลเมตร ( $\text{L}/100 \text{ km}$ ) ได้ มีการออกกฎหมายบังคับ ให้ลดความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของรถยนต์ลง เพื่อลดมลพิษในอากาศและสงวนแหล่งน้ำมันธรรมชาติได้ยืนไว้ การพัฒนาอย่างได้ผลต่อเนื่องตั้งแต่ช่วงต้นทศวรรษ 1970 ซึ่งรถยนต์นั่งส่วนใหญ่จะมี ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงสูงกว่า  $16 \text{ L}/100 \text{ km}$  ( $15 \text{ mpg}$ ) ช่วยให้รถยนต์สมัยนี้มีค่าความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงอยู่ระหว่าง 6 ถึง  $8 \text{ L}/100 \text{ km}$  ( $40$  ถึง  $30 \text{ mpg}$ ) โดยเฉพาะรถยนต์เล็กในบางรุ่น ซึ่งจะมีความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเพียงไม่ถึง  $4 \text{ L}/100 \text{ km}$  ( $60 \text{ mpg}$ ) เท่านั้น (เจษฎา, 2546)

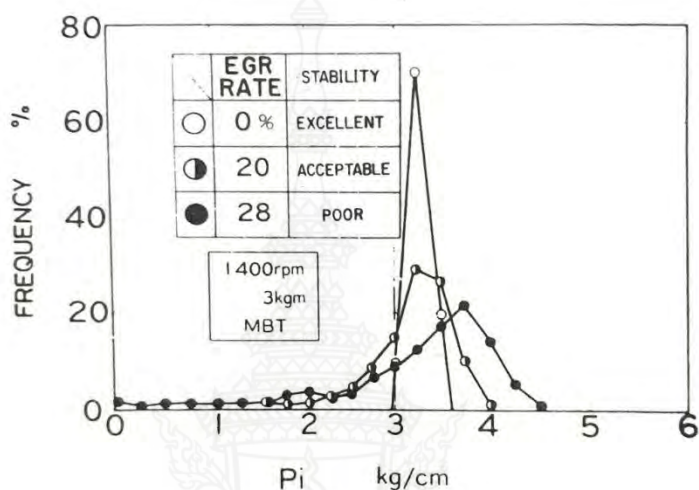
### 2.1.7 ความแตกต่างของการสันดาป

ตามทฤษฎีแล้ว การสันดาปภายในแต่ละสูบของเครื่องยนต์จะต้องเหมือนกันหมด และการสันดาปในทุกวัฏจักรของสูบใดก็ตามก็ต้องเหมือนกันด้วย แต่ในสภาวะจริงมิได้เป็นเช่นนี้ เพราะมีความแตกต่างเกิดขึ้นในระบบป้อนไอดีและในกระบอกสูบด้วย ถึงแม้จะไม่มี ความแตกต่างใด ๆ ก่อนเกิดการสันดาปแต่การเคลื่อนที่แบบปั่นป่วนของก๊าซในกระบอกสูบก็ทำให้เกิดความแตกต่าง ในทางสถิติขณะเกิดการสันดาปได้

ความยาวและรูปทรงของท่อไอดีที่แตกต่างกันของแต่ละสูบก็ทำให้ประสิทธิภาพ ปริมาตรและการป้อนไอดีต่างกัน ความแตกต่างของอุณหภูมิในท่อไอดีทำให้อัตราการระเหยของ



เชื้อเพลิง ไม่เท่ากันความเข้มข้นของไอดีจึงต่างกันไปด้วยเชื้อเพลิงที่ระเหยได้มากกว่าในท่อไอดีที่ร้อนกว่า จะแทนที่อากาศทำให้ไอดีเข้มข้นและประสิทธิภาพปริมาตรลดลง ความเย็นจากการระเหยที่แตกต่าง กัน ก็ทำให้ความหนาแน่นของไอดีต่างกันด้วย เนื่องจากแก๊สมีสัดส่วนผสมของสารที่มีจุดระเหย ต่างกันส่วนผสมไอดีในแต่ละสูบจึงต่างกัน

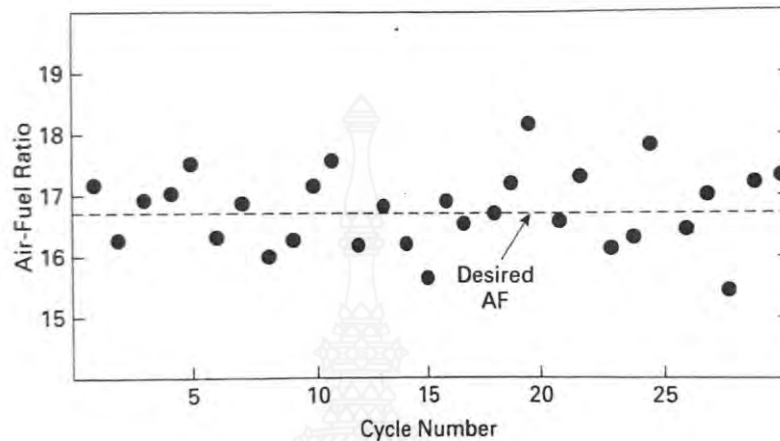


รูปที่ 2.12 ความสม่ำเสมอของความดันผลเฉื่อยบ่งชี้  
ที่มา: เจษฎา (2546)

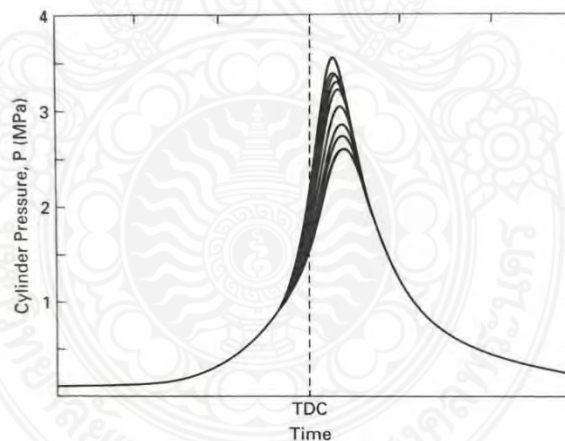
ไอของสารที่ระเหยง่ายในท่อไอดี ก็แพร่กระจายแตกต่างจากไอของส่วนที่ยังเป็นของเหลวอยู่ และระเหยที่หลังเมื่อที่อุณหภูมิสูงกว่า ปัญหาเหล่านี้เกิดขึ้นกับเครื่องยนต์ที่ใช้คาร์บิวเรเตอร์ และใช้หัวฉีดร่วม ส่วนเครื่องยนต์ที่ใช้หัวฉีดเฉพาะสูบ (Port injectors) จะมีปัญหานี้น้อยกว่ามาก สารปรับคุณภาพต่าง ๆ ในแก๊สก็ระเหยที่อุณหภูมิแตกต่างกัน ทำให้ความเข้มข้นในแต่ละสูบต่างกันและแม้แต่สูบเดียวกันแต่คนละวัฏจักรก็มีความแตกต่างเช่นเดียวกัน นอกจากนี้การป้อนกลับไอเสีย (EGR) เข้าสู่ระบบไอดีทำให้เกิดความแตกต่างได้อย่างมาก รูปที่ 2.12 อากาศซึ่งไหลผ่านลิ้นผีเสื้อสองฝั่งเป็นสองแนวก็ทำให้เกิดการไหลแบบปั่นป่วนแตกต่างกันไป หัวฉีดเชื้อเพลิงในแต่ละหัวก็มีความแตกต่างกันจากโรงงานผลิต ทำให้จ่ายเชื้อเพลิงในอัตราที่ต่างกันหรือแม้แต่สูบใดสูบหนึ่งก็ยังมี ความแตกต่างของการจ่ายเชื้อเพลิงในแต่ละวัฏจักรด้วย ดังตัวอย่างในรูปที่ 2.13 ซึ่งจะแสดงความเป็ยเบนมาตรฐานของอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง ภายในกระบอกสูบเดียวโดยมีค่านี้ประมาณ 2% ถึง 6% ของค่าเฉลี่ย

ภายในกระบอกสูบซึ่งมีอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง ปริมาณของอากาศ ส่วนประกอบเชื้อเพลิง อุณหภูมิและการปั่นป่วนของอากาศแตกต่างกัน จนทำให้การหมุนควงและการถูกรีดเข้าสู่ศูนย์กลางของก๊าซ แตกต่างกันไปด้วยทั้งของแต่ละสูบ และของแต่ละวัฏจักรการเคลื่อนที่ของมวล

ก๊าซที่แตกต่างกันมีผลต่อเปลวไฟด้วยการสันดาปที่เกิดขึ้นจึงแตกต่างกันได้อย่างมาก ดังแสดงในรูปที่ 2.14 (เจษฎา, 2546)



รูปที่ 2.13 ค่าความเข้มของไอติในระบบอกสูบ ของการทำงานติดต่อกัน 30 วัฏจักร  
ที่มา: เจษฎา (2546)



รูปที่ 2.14 ความดันในระบบอกสูบ บนเวลา วัดจากการทำงานติดต่อกัน 10 วัฏจักร  
ที่มา: เจษฎา (2546)

### 2.1.8 สภาวะทำงานต่าง ๆ ของเครื่องยนต์ ขณะให้กำลังสูง

หัวฉีดและคาร์บิวเรเตอร์ถูกปรับมาให้จ่ายเชื้อเพลิงสำหรับไอติเข้ม ขณะเครื่องยนต์ให้กำลังสูงสุดและลิ้นผีเสื้อเปิดกว้างสุด (เช่น เมื่อออกรถอย่างรวดเร็ว เร่งความเร็วขึ้นเขา เร่งเครื่องขึ้นเนินจากสนามบิน) ระบบจุดระเบิดก็จะเลือกตำแหน่งจุดระเบิดล่า (Retard) ด้วยกำลังสูงสุดที่ได้นี้แลกกับ

ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่มีเพิ่มขึ้น ไอดีเข้มข้นนี้ลุกไหม้ได้เร็วและจะทำให้เกิดความดันสูงสุด อย่างรวดเร็วในตำแหน่งใกล้ศูนย์ตายบน ซึ่งอาจทำให้เครื่องยนต์ทำงานหยابไปบ้าง ขณะเครื่องยนต์ทำงานที่ความเร็วสูง ช่วงเวลาที่ความร้อนถูกถ่ายเทให้กับกระบอกสูบสั้นมาก ไอเสียและลิ้นไอเสียจึงร้อนจัด และเพื่อให้เปลวไฟมีความเร็วสูงขณะลิ้นผีเสื้อเปิดกว้าง จะไม่มีการป้อนกลับไอเสียในช่วงนี้ ซึ่งทำให้ระดับของ NOx สูงขึ้น

มีวิธีเพิ่มกำลังของเครื่องยนต์ที่น่าสนใจอีกวิธีหนึ่งนั่นคือการใช้อีดีจาง เครื่องยนต์ของรถแข่งบางรุ่นใช้หลักการนี้ ไอดีจางจะลุกไหม้ได้ช้าการสันดาปจึงกินเวลาเลยศูนย์ตายบนไปพอสมควร และช่วงที่ความดันสูงจึงเลยไปถึงจังหวะทำงานและจะช่วยให้กำลังเพิ่มขึ้น การสันดาปที่เกิดขึ้นล่าช้านี้ทำให้ไอเสียร้อนมากและเมื่อทำปฏิกิริยากับออกซิเจนซึ่งเหลือจากอีดีจาง ก็จะทำให้ลิ้นและหน้าลิ้นไอเสียชำรุดอย่างรวดเร็วจากการออกซิเดชัน การเปลี่ยนลิ้นไอเสียบ่อยครั้งทำได้เฉพาะกับเครื่องยนต์แข่งเท่านั้นการทำงานในลักษณะนี้ของเครื่องยนต์ ต้องอาศัยจังหวะจุดระเบิดซึ่งจะถูกปรับให้เหมาะสมเป็นพิเศษด้วย

ก) ขณะใช้ความเร็วคงที่ (Cruising operation) การใช้ความเร็วคงที่ขณะเดินทางไกล หรือการบินทางไกลของเครื่องบินจะต้องใช้กำลังส่วนน้อยของเครื่องยนต์เท่านั้น จึงต้องเน้นความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเป็นหลักโดยใช้ไอดีเจือจางและ จะใช้การป้อนกลับไอเสีย จังหวะจุดระเบิดจะถูกเร่งมาล่วงหน้าเพื่อเป็นการชดเชยกับเปลวไฟที่ลามด้วยความเร็วต่ำลงระยะทางที่ได้ต่อเชื้อเพลิงที่ใช้ (กิโลเมตรต่อลิตร) จะสูงขึ้น แต่ประสิทธิภาพของความร้อนจะลดลงเพราะความเร็วของเครื่องยนต์ซึ่งต่ำทำให้มีเวลาของการสูญเสียพลังงานความร้อนในแต่วัฏจักรมากขึ้น

ข) ที่รอบเดินเบาและที่ความเร็วต่ำ (Idle and low engine speed) ที่ความเร็วต่ำมาก ลิ้นผีเสื้อจะปิดเกือบสนิทจะทำให้เกิดสูญญากาศสูงในท่อไอดี และ ไอเสียตกค้างมากในช่วงที่ลิ้นเปิดพร้อมกัน (Overlap) จึงต้องใช้ไอดีเข้มมาช่วยทำให้การสันดาปดีขึ้น แต่ก็ส่งผลให้ไฮโดรคาร์บอนและคาร์บอนมอนอกไซด์ในไอเสียมีปริมาณมาก อาจมีการจุดระเบิดไม่ติดหรือการสันดาปไม่ทั่วถึงเกิดขึ้นบางสูบที่รอบเดินเบา อัตราการจุดระเบิดไม่ติดเพียง 2% ก็จะสามารถทำให้ปริมาณสารพิษในไอเสีย มีค่าเกินมาตรฐานได้ 100 ถึง 200%

ค) เมื่อลิ้นผีเสื้อปิดขณะเครื่องยนต์ทำงานที่ความเร็วสูง (Closing throttle at high engine speed) เมื่อต้องการลดความเร็วอย่างทันทีทันใด โดยการถอนคันเร่งเพื่อปิดลิ้นผีเสื้อขณะที่เครื่องยนต์ทำงานที่ความเร็วสูง จะเกิดสูญญากาศสูงในท่อไอดีทำให้ไอเสียตกค้างในปริมาณมาก เชื้อเพลิงเข้มข้นมากและเกิดการสันดาปไม่ทั่วถึง การจุดระเบิดไม่ติดและก่อให้เกิดมลพิษในไอเสียสูง จึงหลีกเลี่ยงไม่ได้ในสภาวะการทำงานเช่นนี้ของเครื่องยนต์

เครื่องยนต์ที่ใช้คาร์บิวเรเตอร์ จะประสบกับปัญหาของการสันดาปเป็นพิเศษ เพราะสูญญากาศที่เกิดขึ้น จะดูดเชื้อเพลิงออกมาผสมกับอากาศในอัตราที่สูงมาก ทำให้ไอดีเข้ม และเกิดการ

สันดาปได้ยาก ไฮโดรคาร์บอนและคาร์บอนมอนอกไซด์ในไอเสียจึงมีปริมาณมาก ระบบควบคุมเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ที่ใช้ระบบหัวฉีด จะหยุดการจ่ายเชื้อเพลิงในสภาวะนี้ทำให้เครื่องยนต์ทำงานได้ราบเรียบกว่ามาก

ง) การติดเครื่องยนต์เย็น (Starting a cold engine) การติดเครื่องยนต์ที่เย็น ต้องจ่ายเชื้อเพลิงในปริมาณที่เกิน เพื่อให้เชื้อเพลิงระเหยกลายเป็นไอได้เพียงพอสำหรับการสันดาป ผงังของท่อไอเสียและผงังของกระบอกสูบที่ยังเย็นอยู่ทำให้เชื้อเพลิงระเหยได้ในอัตราที่น้อยกว่ามาก เมื่อเทียบกับขณะที่มีอุณหภูมิใช้งานเชื้อเพลิงที่ยังเย็นอยู่ก็มีการไหลที่ไม่ดีพอเครื่องยนต์ซึ่งถูกขับด้วยมอเตอร์สตาร์ทก็หมุนด้วยความเร็วต่ำ ความร้อนที่เกิดขึ้นจากการที่ไอเสียถูกอัดก็สูญเสียไปกับการถ่ายเทความร้อนให้แก่ผนังกระบอกสูบที่ยังเย็นอยู่ น้ำมันหล่อลื่นที่ยังเย็นและมีความหนืดสูง ก็ต้านการหมุนของเครื่องยนต์ให้ช้าลงอีก ตัวแปรเหล่านี้ล้วนทำให้เครื่องยนต์ที่ยังเย็นต้องการไอเสียที่เข้มข้นบางครั้งถึงอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง อาจต้องสูงถึง 1:1

แม้ทุกส่วนของเครื่องยนต์จะเย็นเชื้อเพลิงส่วนหนึ่งก็ยังสามารถระเหยได้และผสมกับอากาศในสัดส่วนที่ติดไฟได้ ไอเสียจึงถูกสันดาปและทำให้เครื่องยนต์เริ่มร้อนหลังทำงานเพียงไม่กี่วินาที ต่อจากนั้นเพียงไม่กี่วินาทีก็สามารถทำงานได้ในสภาวะปกติ แต่ก็ต้องรอให้เวลาผ่านไปหลายนาทีจนกว่าเครื่องยนต์จะร้อนถึงอุณหภูมิใช้งาน เชื้อเพลิงตกค้างที่ไม่ยอมระเหยในช่วงแรกจะเริ่มระเหยและทำให้ไอเสียเข้มข้นไป จึงเป็นช่วงที่ปริมาณไฮโดรคาร์บอนและคาร์บอนมอนอกไซด์ในไอเสียสูงและแคทาลิติก คอนเวอร์เตอร์ ซึ่งยังเย็นอยู่ก็ไม่สามารถกำจัดมลพิษดังกล่าวนี้ได้

เราสามารถซื้อสารช่วยให้เครื่องยนต์ติดในขณะอากาศเย็นจัดมาใช้ได้ เช่น ไดเอธิลอีเธอร์ ซึ่งมีความดันไอสูงมากและระเหยได้เร็วกว่าแก๊สโซลีน ช่วยทำให้ไอเสียเข้มข้นและจะลุกไหม้ได้ง่าย สารประเภทนี้มีจำหน่ายเป็นกระป๋องโดยพ่นเข้าทางท่อไอเสียขณะติดเครื่องยนต์ (รถยนต์ภายในประเทศไทยไม่มีความจำเป็นต้องใช้ เพราะอุณหภูมิไม่ต่ำมาก) (เกษญา, 2546)

### 2.1.9 การสันดาปในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด

การสันดาปในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด แตกต่างจากการสันดาปในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟอย่างมากในขณะที่ยังสันดาปในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟ ซึ่งเป็นการเคลื่อนที่ของเปลวไฟ ผ่านไอเสียที่มีความเข้มข้นสม่ำเสมอทั่วถึงทั้งหมด การสันดาปในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด เป็นกระบวนการไม่คงที่ที่เกิดขึ้นพร้อมกันหลาย ๆ จุดของไอเสียต่างความเข้มข้นในอัตราที่ขึ้นอยู่กับอัตราเชื้อเพลิง อากาศที่ไหลเข้าสู่เครื่องยนต์ไม่ถูกปิดกั้นด้วยลิ้นผีเสื้อ แรงบิดและกำลังของเครื่องยนต์ จึงถูกควบคุมโดยปริมาณของเชื้อเพลิงที่ถูกฉีดในแต่ละวัฏจักร เนื่องจากไม่มีการปิดกั้นด้วยลิ้นผีเสื้อ ความดันในท่อไอเสียจึงมีค่าคงที่ประมาณ 1 บรรยากาศ งานที่สูญเสียไปในช่วงดูดอากาศของวัฏจักรเครื่องยนต์แบบนี้จึงน้อยมากจึงทำให้ค่าประสิทธิภาพความร้อนสูงกว่าเมื่อเทียบกับ

เครื่องยนต์ที่จุดระเบิดด้วยประกายไฟ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อใช้งานที่ความเร็วต่ำ และโหลดต่ำซึ่งเป็นช่วงที่ลิ้นผีเสื้อของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟเปิดแคบทำให้งานจากการสูบอากาศมีค่าสูงสำหรับเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด

ในจังหวะอัดมีเพียงอากาศเท่านั้นที่อยู่ในกระบอกสูบและอัตราส่วนของการอัดของเครื่องยนต์ จุดระเบิดด้วยการอัดทั่วไปนี้ก็มีค่าสูงมาก อัตราส่วนของการอัดของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัดสมัยใหม่มีค่าประมาณ 12 ถึง 24 เมื่อทำการเปรียบเทียบกับเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟ ประสิทธิภาพความร้อน (ประสิทธิภาพการแปลงสภาพเชื้อเพลิง) จะมีค่าสูง อย่างไรก็ตาม เนื่องจาก อัตราส่วนรวมอากาศ-เชื้อเพลิงของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัดเป็นค่าที่เท็จจาง (ความเข้มของ ไอดี  $\phi = 0.8$ ) กำลังเพลาก็จะมีค่าที่น้อยกว่าของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟ เมื่อได้เปรียบเทียบกับความจุเท่ากัน

เชื้อเพลิงจะถูกฉีดเข้าสู่กระบอกสูบในช่วงปลายของจังหวะอัดจากหัวฉีดหนึ่ง หรือ หัวฉีดมากกว่า 1 หัวต่อห้องเผาไหม้ของแต่ละสูบ ในระยะเวลาของการฉีดเชื้อเพลิงประมาณ 20 องศา ของการหมุนของเพลาช้อเหวียงโดยเริ่มตั้งแต่ 15 องศา ก่อนศูนย์ตายบนและสิ้นสุด ประมาณ 5 องศา หลังศูนย์ตายบนเนื่องจากระยะเวลาจริงของการล่าของการเผาไหม้ค่อนข้างคงที่ จึงต้องฉีดเชื้อเพลิงล่วงหน้าขึ้นเล็กน้อย เมื่อเครื่องยนต์ทำงานที่ความเร็วสูง

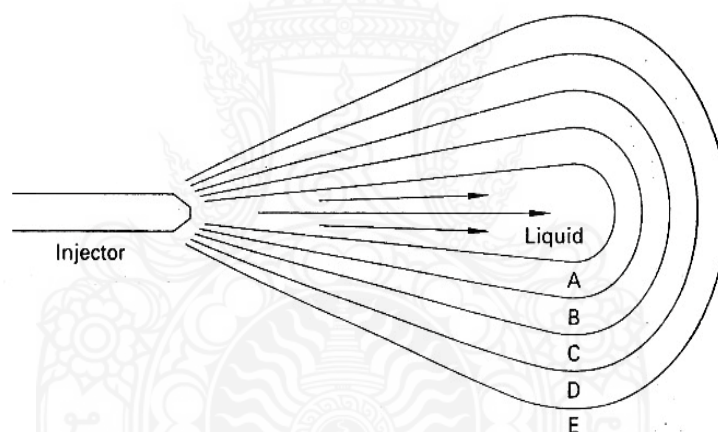
นอกจากอากาศจะต้องหมุนควงและไหลอย่างปั่นป่วนแล้ว ความเร็วของเชื้อเพลิงที่ถูกฉีดต้องสูงด้วย เพื่อให้เชื้อเพลิงแผ่กระจายผสมกับอากาศอย่างทั่วถึงหลังจากเชื้อเพลิงถูกฉีดแล้ว จะต้องผ่านชั้นตอนต่างๆ จำนวนมากเพื่อให้กระบวนการสันดาปเป็นไปอย่างราบรื่น

ก) การกระจายเป็นฝอย (Atomization) หยดของเชื้อเพลิงจะถูกทำให้กระจายเป็นฝอยเล็ก ๆ ยิ่งหัวฉีดฉีดเชื้อเพลิงออกมาเป็นหยดเล็กเพียงใด การกระจายเป็นฝอยนั้นก็ยิ่งรวดเร็วขึ้น และมีประสิทธิภาพมากขึ้นเพียงนั้น

ข) การระเหยเป็นไอ (Vaporization) ละอองเล็ก ๆ ของเชื้อเพลิงจะระเหยเป็นไอ ซึ่งเกิดขึ้นรวดเร็วมากในอากาศความร้อนสูง จากการถูกอัดด้วยความร้อนสูงของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วย การอัด กระบวนการระเหยนี้จะเกิดขึ้นได้โดยความร้อนของอากาศที่ถูกอัดด้วยอัตราส่วนการอัดไม่ต่ำกว่า 12:1 ร้อยละ 90 ของเชื้อเพลิงที่ถูกฉีดเข้าสู่กระบอกสูบจะระเหยภายในเวลา 0.001 วินาทีหลังจากถูกฉีด เมื่อเชื้อเพลิงส่วนแรกระเหยบริเวณรอบข้างจะเย็นลงจากความร้อนแฝงของการระเหยและมีผลกระทบต่อการระเหยในช่วงต่อไป บริเวณใกล้หัวฉีดซึ่งมีเชื้อเพลิงเข้มข้นอยู่และถูกลดอุณหภูมิ จากการระเหยของเชื้อเพลิงส่วนแรกทำให้ละอองเชื้อเพลิงเกิดการอิมัลชันแบบอะตอมิก การระเหยของเชื้อเพลิงในย่านนี้จะหยุดชะงักจนกระทั่งถูกคลุกเคล้าและได้รับความร้อนเพิ่มขึ้น การระเหยของเชื้อเพลิงจึงจะดำเนินต่อไป

ค) การผสม (Mixing) ภายหลังจากการระเหย ไอของเชื้อเพลิงจะต้องถูกผสมกับอากาศก่อน เพื่อให้ได้ไอที่มีความเข้มข้นอยู่ในระดับที่เกิดการสันดาปได้ การผสมนี้เกิดขึ้นได้จากความเร็วของเชื้อเพลิงที่ถูกฉีดรวมกับการหมุนควงและการไหลอย่างในป่วนของอากาศภายในกระบอกสูบ รูปที่ 2.15 แสดงการแผ่กระจายของไอที่มีความเข้มข้นต่างๆ กันรอบลำเชื้อเพลิงเหลวที่ออกจากหัวฉีด การสันดาปจะเกิดขึ้นได้ในย่านความเข้มข้นไอที่ระหว่าง  $\phi = 1.8$  (เข้ม) และ  $\phi = 0.8$  (จาง)

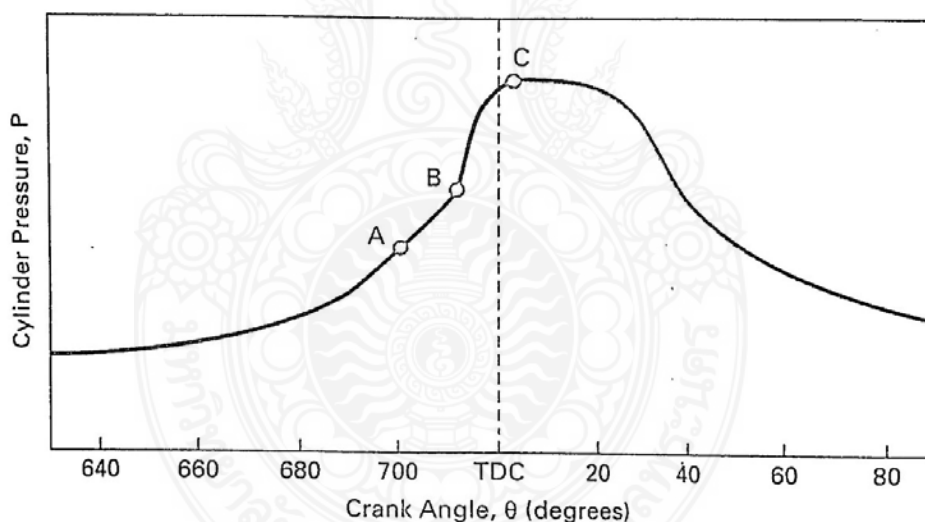
ง) การลุกไหม้ (Self-ignition) ประมาณ 8 องศาจนถึงศูนย์ตายบน หรือ 6 – 8 องศา หลังจากการเริ่มฉีดเชื้อเพลิง ส่วนผสมของอากาศต่อเชื้อเพลิงจะเริ่มลุกไหม้ขึ้นการสันดาปที่แท้จริงจะเกิดขึ้นจากปฏิกิริยาขั้นที่สอง ซึ่งรวมไปถึงการแตกตัวของโมเลกุลขนาดใหญ่ ของไฮโดรคาร์บอน กลายเป็นโมเลกุลขนาดเล็กและโดยการออกซิเดชันบางส่วนด้วย ปฏิกิริยานี้ทำให้อากาศมีอุณหภูมิสูงขึ้น และกระจายความร้อนออกโดยรอบทำให้อากาศบริเวณใกล้เคียงมีอุณหภูมิสูงขึ้นด้วย และทำให้กระบวนการสันดาปเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องในที่สุด



รูปที่ 2.15 ภาพวาดแสดงย่านต่าง ๆ ของไอเชื้อเพลิง  
ที่มา: เจษฎา (2546)

จ) การสันดาป (Combustion) การสันดาปเกิดขึ้นจากการลุกไหม้พร้อม ๆ กันหลายตำแหน่ง ในบริเวณที่ไอดีคอนข้างเข้ม คือช่วงที่มีความเข้มข้น  $\phi = 1 - 1.5$  (โซน B ในรูปที่ 2.15) ในช่วงเวลานี้ เชื้อเพลิงประมาณ 70% ถึง 95% ในห้องเผาไหม้อยู่ในสภาพที่เป็นไอ เมื่อการสันดาปเริ่มขึ้น เปลวไฟจากหลายจุดที่เกิดการลุกไหม้จะแผ่กระจายไปอย่างรวดเร็ว และเผาไหม้ไอดีที่มีความเข้มข้นเหมาะแก่การเกิดการสันดาปโดยไม่ต้องอาศัยให้เกิดการลุกไหม้ขึ้นเองอุณหภูมิและความดันในกระบอกสูบในช่วงนี้จึงสูงขึ้นมาก รูปที่ 2.16 อุณหภูมิและความดันที่สูงขึ้นนี้จะลดช่วงเวลาของการระเหยลงรวม ทั้งช่วงล่าของการลุกไหม้ของละอองเชื้อเพลิงส่วนที่เหลือทำให้เกิดตำแหน่งที่เชื้อเพลิงลุกไหม้เพิ่มขึ้นอีกและช่วยเร่งกระบวนการสันดาปขึ้น เชื้อเพลิงเหลวยังคงถูกฉีดออกจากหัวฉีดในช่วง

ที่เชื้อเพลิงส่วนแรกถูกไหม้แล้ว หลังจากช่วงแรกของการสันดาปซึ่งไอดีในส่วนผสมที่เหมาะสมแก่การสันดาปถูกไหม้หมดแล้วส่วนที่เหลือของกระบวนการสันดาปจะขึ้นอยู่กับอัตราที่เชื้อเพลิงถูกฉีดกระจายเป็นฝอยระเหยและผสมกับอากาศในสัดส่วนที่เหมาะสม อัตราการสันดาปซึ่งควบคุมโดยอัตราการฉีดเชื้อเพลิง ทำให้ความดันเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ ต่อจากช่วงเริ่มต้นที่ความดันเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ดังแสดงในรูปที่ 2.16 การสันดาปเกิดขึ้นในระยะช่วงการหมุนของเพลาคือเหวี่ยง ประมาณ 40 องศา ถึง 50 องศา ซึ่งนับว่านานกว่าช่วงฉีดเชื้อเพลิงซึ่งเป็นเวลาเพียง 20 องศาเท่านั้น เพราะเชื้อเพลิงบางส่วนต้องใช้เวลาในการผสมกับอากาศเพื่อให้ได้ไอดีที่เหมาะสมแก่การสันดาป การสันดาปจึงกินเวลามาถึง จังหวะกำลัง ดังจะเห็นได้ในรูปที่ 2.16 ซึ่งความดันจะสูงมาก จนกระทั่งลูกสูบอยู่ที่ 30 องศา ถึง 40 องศา หลังศูนย์ตายบน ประมาณ 60% ของเชื้อเพลิง จะถูกเผาไหม้ในช่วง 1 ใน 3 แรกของช่วงเวลา ที่เกิดการสันดาปทั้งหมด อัตราการเผาไหม้เพิ่มขึ้นตามความเร็วของเครื่องยนต์ ดังนั้นมุมของเพลาคือเหวี่ยงในช่วงที่เกิดการเผาไหม้จึงค่อนข้างคงที่ในช่วงหลังของกระบวนการสันดาป ประมาณ 10% ถึง 35% ของไอเชื้อเพลิง จะมีความเข้มข้นเหมาะสมแก่การสันดาป



รูปที่ 2.16 ความดันในกระบอกสูบ บนมุมเพลาคือเหวี่ยง  
ที่มา: เจษฎา (2546)

เครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัดขนาดเล็กทำงานด้วยความเร็วสูงและต้องการการหมุนควงของอากาศอย่างรวดเร็วเพื่อช่วยให้เชื้อเพลิงระเหยและผสมกับอากาศได้ดี ขั้นตอนเหล่านี้ต้องเกิดขึ้นด้วยความเร็วประมาณ 10 เท่าของเครื่องยนต์ขนาดใหญ่ เพื่อให้การสันดาปอยู่ในระยะ 40 องศา ถึง 50 องศาของเพลาคือเหวี่ยงเช่นเดียวกัน จึงต้องใช้รูปทรงพิเศษของท่อไอดีและกระบอกสูบ

เพื่อให้ได้ การหมุนควงของไอตีเพียงพอ ซึ่งรวมถึงห้องเผาไหม้พิเศษซึ่งแยกจากห้องเผาไหม้หลักด้วย เครื่องยนต์แบบฉีดเชื้อเพลิงทางอ้อม และมีห้องเผาไหม้แยกต่างหากนี้ จะฉีดเชื้อเพลิงเข้าสู่ห้องเผาไหม้ร่องขนาดเล็ก โดยใช้ความดันในการฉีดเชื้อเพลิงไม่มาก เพราะเชื้อเพลิงมีความเร็วเพียงพอที่จะพุ่งผ่านห้องเผาไหม้ขนาดเล็กนี้ การหมุนควงของอากาศในห้องเผาไหม้ร่องทำให้เกิดการผสมระหว่างเชื้อเพลิงและอากาศ และเมื่อไอตีในห้องนี้เกิดการสันดาป ก็จะขยายตัวผ่านช่องแคบเข้ามาสู่ห้องเผาไหม้หลัก โดยพาละอองเชื้อเพลิงมาด้วยและกระตุ้นให้เกิดการหมุนควงในห้องเผาไหม้หลัก จากนั้นจะเกิด การเผาไหม้หลักในลักษณะเดียวกับในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟ เนื่องจากเครื่องยนต์ที่มีการฉีดเชื้อเพลิงทางอ้อมแบบนี้ทำงานได้ที่ความเร็วสูง จึงเหมาะแก่การใช้งานในรถยนต์นั่ง และเนื่องจากอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อปริมาตรของห้องเผาไหม้แบบนี้มีค่าสูง จึงมีการสูญเสียความร้อนมากกว่า ทำให้ต้องใช้อัตราส่วนการอัดที่สูง นอกจากนี้การติดเครื่องยนต์แบบนี้ขณะเย็นก็ทำได้ อย่างยากลำบากด้วย (เจษฎา, 2546)

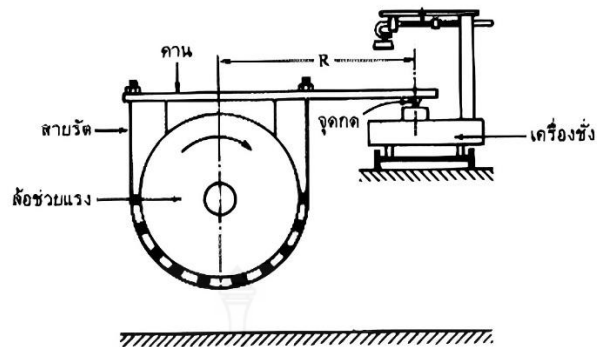
### 2.1.10 เครื่องวัดกำลังเครื่องยนต์ แบบไดนาโมมิเตอร์

กำลังเครื่องยนต์คำนวณได้จากค่าของแรงบิดที่อัตราเร็วรอบใด ๆ การวัดแรงบิดของเครื่องยนต์จะใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า ไดนาโมมิเตอร์ (Dynamometer) ซึ่งไม่ใช่เครื่องมือวัดกำลังโดยตรงแต่จะใช้วัดแรงบิด และอัตราเร็วรอบแล้วจึงนำมาคำนวณหาค่ากำลังภายหลัง ไดนาโมมิเตอร์บางแบบสามารถคำนวณค่ากำลังเครื่องยนต์เป็นตัวเลขออกมาได้อย่างอัตโนมัติ

สำหรับวิธีการวัดแบบที่ง่ายที่สุด ได้แก่ โพรนิเบรก (Prony break) ไดนาโมมิเตอร์ส่วนมากใช้เบรกน้ำ หรือ Hydraulic dynamometer แต่ในแบบที่สะดวกในการวัดค่าของแรงบิดของเครื่องยนต์ขนาดเล็ก คือ Magnetic หรือ Electric dynamometer ส่วนในปัจจุบันมีไดนาโมมิเตอร์ที่สามารถวัดสมรรถนะเครื่องยนต์โดยไม่ต้องถอดเครื่องยนต์ออกจากรถยนต์ และสามารถตรวจสอบอื่น ๆ ของรถยนต์ได้ด้วยเรียกว่า แซสซิสไดนาโมมิเตอร์

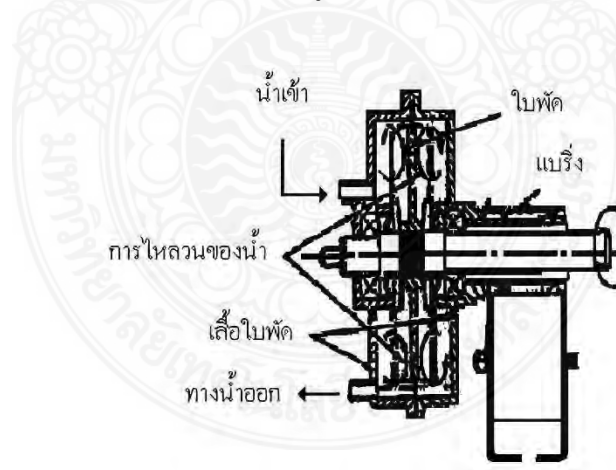
ก) โพรนิเบรก เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดแรงม้าเบรกแบบง่าย ๆ หรือเรียกว่า ไดนาโมมิเตอร์ โพรนิ-เบรก ประกอบด้วยสายรัดความฝืดคล้องรอบล้อช่วยแรงต่อรับกำลังขับมาจากเพลลาของเครื่องยนต์ ปลายของสายรัดทั้งสองยึดอยู่กับปลายข้างหนึ่งของคาน และปลายอีกข้างหนึ่งของคานกดอยู่บนเครื่องชั่งเมื่อเครื่องยนต์ทำงาน และสายรัดถูกกดแน่น ทำให้เกิดแรงบิดบนคานน้ำหนักกดบนเครื่องชั่งเป็นการบอกให้รู้ค่าของแรงในการคิดค่าแรงม้าเบรกจากเครื่องมือแบบโพรนิเบรกนี้ จะต้องคิดค่าของแรงที่กระทำต่อช่วงความยาวของคานเป็นเมตร ซึ่งแรงกดที่ปลายคานบนเครื่องชั่งเป็นกิโลกรัมและความเร็วซึ่งคิดเป็นจำนวนรอบต่อนาที ดังในรูปที่ 2.17





รูปที่ 2.17 การวัดกำลังม้าแบบไดนาโมมิเตอร์ โพรนิเบรก  
ที่มา: นุกูล (2553)

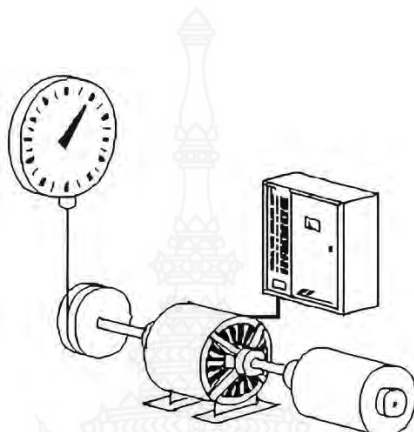
ข) ไฮดรอลิกไดนาโมมิเตอร์ (Hydraulic dynamometer) ประกอบไปด้วยใบพัด ซึ่งหมุนอยู่ในเสื้อใบพัดโดยที่เสื้อใบพัดอยู่คงที่เมื่อมีน้ำเข้ามาบางส่วนการหมุนของใบพัดจะแรงให้น้ำเคลื่อนที่ออกไปตามทิศทางการหมุนของใบพัด น้ำจะชนใบพัดซึ่งตั้งอยู่บนเสื้อใบพัด ทำให้เสื้อใบพัดพยายามที่จะหมุนจึงใช้วัดแรงบิดที่กระทำบนเสื้อใบพัดที่อัตราเร็วรอบใด ๆ ควบคุมด้วยการเปลี่ยนปริมาณน้ำภายในชุดเบรกการไหลของน้ำเข้าสู่ชุดเบรกควบคุมด้วยวาล์ว ถ้าเปิดวาล์วให้น้ำไหลมากขึ้น ปริมาณน้ำภายในชุดเบรกก็จะมากขึ้นด้วย ดังรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 ภาพตัดของชุดเบรกน้ำ  
ที่มา: นุกูล (2553)

ค) แมกเนติกไดนาโมมิเตอร์ (Magnetic dynamometer) อาศัยกระแสไฟฟ้าป้อนเข้าไปในขดลวดเพื่อสร้างสนามแม่เหล็กที่มีทิศทางต้านกับทิศทางการหมุนของเพลลา จะทำให้โครงของชุด

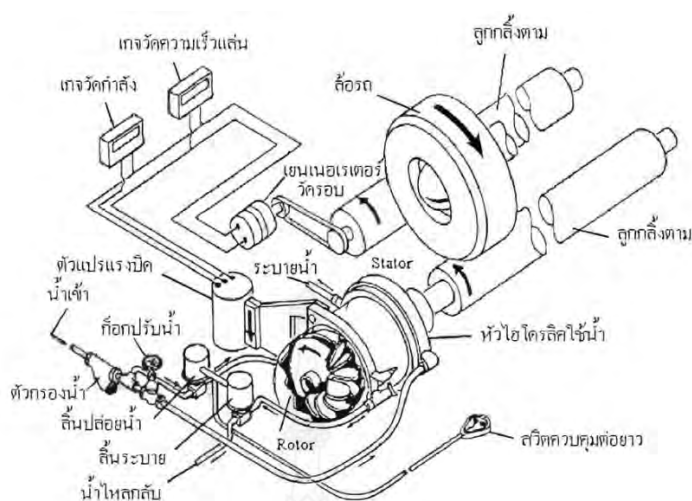
ขดลวดหมุนเพื่อพยายามต้านทานการหมุนของเพลาคือเหวี่ยง ชุดกลไกจะทำให้แกนของคานาไปตั้งเครื่องชั่ง จะสามารถอ่านค่าของแรงได้บนสเกลเครื่องชั่ง เช่นเดียวกับไดนาโมมิเตอร์แบบอื่น ๆ ข้อดีคือ ควบคุมความเร็วรอบได้ง่ายและคงที่ ไดนาโมมิเตอร์บางตัวจะถูกออกแบบให้มีขั้วสัญญาณไฟฟ้าออกมาต่อกับมิเตอร์ เพื่อแสดงผลเป็นความเร็วรอบ เหมาะกับการตัดแปลงเป็นระบบดิจิทัล แต่มีข้อเสีย คือ เกิดความร้อนสูงต้องมีระบบระบายความร้อนที่ดี ดังในรูปที่ 2.19



รูปที่ 2.19 แมกนีติกไดนาโมมิเตอร์

ที่มา: นุกูล (2553)

ง) แชสซิสไดนาโมมิเตอร์ (Chassis dynamometer) ดังรูปที่ 2.20 เป็นไดนาโมมิเตอร์ชนิดหนึ่งที่ใช้ในการทดสอบเครื่องยนต์โดยไม่ต้องถอดเครื่องยนต์ออกจากตัวรถยนต์ ใช้เพื่ออำนวยความสะดวกต่าง ๆ ในการปรับแต่ง และตรวจสอบเครื่องยนต์การทดสอบทำได้โดยวางล้อขับเคลื่อนของรถยนต์บนลูกกลิ้งของไดนาโมมิเตอร์ และเปลี่ยนแปลงภาวะบนลูกกลิ้ง ขณะเดียวกันก็จับบันทึกกำลังเครื่องยนต์ที่อัตราเร็วรอบต่าง ๆ ลักษณะนี้จะเหมือนว่ารถทดสอบวิ่งไปตามถนนจริงโดยจำลองสภาพถนนได้จากชุดส่งกำลังของลูกกลิ้ง ดังนั้นจึงสามารถใช้ทดสอบหรือตรวจสอบระบบอื่นของรถยนต์ได้ เช่น ระบบเบรก ระบบขับเคลื่อน ระบบเพล่า เป็นต้น สามารถนำไปทดสอบนอกสถานที่ได้ด้วย แต่ในปัจจุบันที่นิยมใช้ คือ ไดนาโมมิเตอร์ (Dynamometer) ใช้เพื่อทดสอบหาสมรรถนะของเครื่องยนต์จะทำให้เราทราบว่าค่าแรงบิดของเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ กัน เครื่องทดสอบกำลังม้าเบรก การหากำลังม้าเบรกจำเป็นต้องหาค่าแรงบิดด้วยวิธีการวัดค่าของแรง การหาค่าของกำลังม้า นั้นสามารถหาได้หลายแบบ (นุกูล, 2553)



รูปที่ 2.20 แซสซิสไดนาโมมิเตอร์  
ที่มา: นุกูล (2553)

### 2.1.11 ไบโอดีเซล

ด้วยในสถานการณ์ปัจจุบันประสบกับปัญหาปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิง รวมถึงปริมาณน้ำมันสำรองที่ลดลงจากการใช้งาน ส่งผลให้น้ำมันมีราคาสูงขึ้น สาเหตุที่สำคัญอย่างหนึ่งเนื่องมาจากปริมาณเครื่องดีเซลที่เพิ่มมากขึ้น จึงได้มีการส่งเสริมงานสำรวจและศึกษาค้นคว้าเพื่อหาแหล่งพลังงานทดแทน หลายประเทศทั่วโลกกำลังศึกษาเทคโนโลยีใหม่เพื่อการผลิตพลังงานจากมวลชีวภาพที่มีอยู่ในธรรมชาติซึ่งผลิตทดแทนได้โดยไม่หมดไป トラบดที่มีแสงอาทิตย์เพื่อการเจริญเติบโตของพืช อย่างไรก็ตามข้อควรคำนึงถึงในการเลือกใช้พลังงานทางเลือกที่สำคัญคือ ผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์และสภาพแวดล้อมเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้น้ำมันจากฟอสซิล และความสามารถในการควบคุมแหล่งพลังงานให้ผลิตได้ต่อเนื่องและไม่มีความขัดแย้ง ไบโอดีเซลจึงนับเป็นทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจและมีผู้ศึกษากันอย่างมากในปัจจุบัน

ไบโอดีเซล คือ แอลคิลเอสเทอร์ของกรดไขมันที่ผลิตได้โดยกระบวนการปฏิกิริยาทางเคมี โดยนำน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์มาทำปฏิกิริยาร่วมกับแอลกอฮอล์ สุดท้ายของปฏิกิริยาก็จะได้แอลคิลเอสเทอร์ของกรดไขมันหรือไบโอดีเซลนั่นเอง นอกจากนี้แล้วจะเกิดกลีเซอรินเป็นผลิตภัณฑ์ร่วมอีกชนิดหนึ่งด้วย ข้อดีของการใช้ไบโอดีเซลมีมากมาย เช่น สามารถลดปริมาณการนำเข้าน้ำมันดิบได้อย่างมหาศาล ยิ่งกว่านั้นเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล การใช้ไบโอดีเซลยังช่วยรักษาสภาพแวดล้อมให้ดีขึ้นได้

วัตถุดิบที่นำมาผลิตไบโอดีเซลคือน้ำมันพืชชนิดต่างๆ การเลือกชนิดของน้ำมันนั้นโดยหลักแล้วอยู่ที่พืชชนิดใดเจริญเติบโตและให้ผลผลิตได้ดีในพื้นที่นั้นๆ เช่น น้ำมันจากถั่วเหลืองที่นิยมใช้

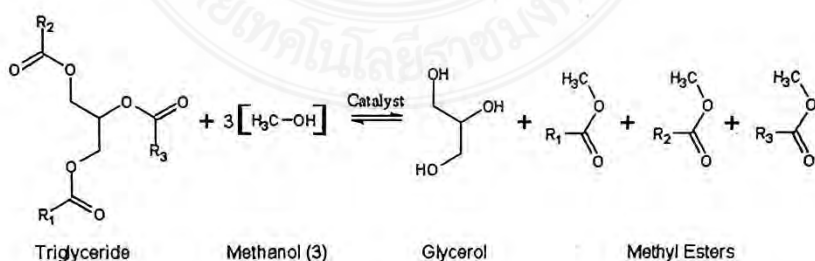
เป็นวัตถุดิบในประเทศสหรัฐอเมริกา น้ำมันจากเมล็ดเรปนิยมิใช้เป็นวัตถุดิบในยุโรป ส่วนน้ำมันที่ใช้แล้วในครัวเรือนหรืออุตสาหกรรมอาหารมักนิยมิใช้ในประเทศที่มีพื้นที่เกษตรน้อย เช่น ประเทศญี่ปุ่น และสำหรับประเทศไทยนั้นได้มีการส่งเสริมให้ใช้วัตถุดิบหลักจาก ปาล์มดิบ สบู่ดำ และน้ำมันที่ใช้แล้ว อีกทั้งยังมีการส่งเสริมการผลิตไบโอดีเซลในชุมชน เพิ่มพื้นที่การปลูกปาล์มและสบู่ดำให้มีปริมาณที่มากพอเพื่อผลิตไบโอดีเซล อย่างไรก็ตามเรื่องสำคัญที่สุดคือการควบคุมมาตรฐานของไบโอดีเซลที่ผลิตขึ้นให้อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดเพื่อให้สามารถนำมาใช้กับเครื่องยนต์ได้โดยไม่เกิดปัญหาใดๆ

ทั้งนี้การนำไบโอดีเซลมาใช้งานสามารถนำมาใช้ได้โดยตรงโดยไม่ต้องทำการผสม หรือนำมาผสมกับน้ำมันดีเซลก่อนการนำไปใช้ ซึ่งจะมีชื่อเรียกตามอัตราส่วนการผสมระหว่างไบโอดีเซลและน้ำมันดีเซล เช่น หากนำไบโอดีเซลที่ได้ไปใช้งานโดยตรงโดยไม่ทำการผสมจะเรียกว่า B100 หรือถ้านำไบโอดีเซลไปผสมกับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วน 1 ต่อ 4 โดยปริมาตร (ไบโอดีเซล 20 เปอร์เซ็นต์ น้ำมันดีเซล 80 เปอร์เซ็นต์) จะเรียกว่า B20

ไบโอดีเซลมีสมบัติในการย่อยสลายทางชีวภาพ มีปริมาณไฮโดรคาร์บอนในไอเสียน้อยกว่าน้ำมันดีเซล มีการเผาไหม้ที่สมบูรณ์กว่า มีการปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์น้อยกว่าน้ำมันดีเซลทั่วไป รวมทั้งไบโอดีเซลไม่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบจึงไม่ก่อให้เกิดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ทำให้ไบโอดีเซลเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่าน้ำมันดีเซลทั่วไป (วรวิฑู, 2558)

### 2.1.12 ปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน

ปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน คือ ปฏิกิริยาการแลกเปลี่ยนเคลื่อนย้ายหมู่แอลคิล (Alkyl) ของเอสเทอร์ (Ester) หรือไตรกลีเซอไรด์กับแอลกอฮอล์ เช่น เมทานอล เกิดเป็นสารประกอบเอสเทอร์ตัวใหม่ หรือมอนอแอลคิลเอสเทอร์ (mono-alkylester) ได้แก่สารจำพวกเมทิลเอสเทอร์ ดังแสดงในภาพ

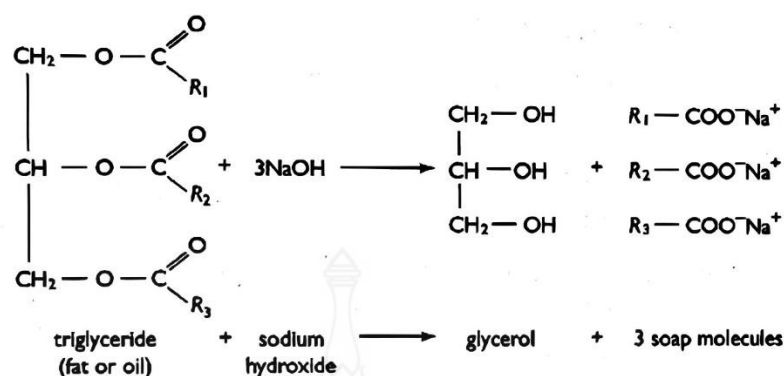


รูปที่ 2.21 ปฏิกิริยาการเกิดทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน  
ที่มา: วรวิฑู (2558)

วิธีการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน เป็นวิธีที่ได้รับความนิยมที่สุดในปัจจุบัน ซึ่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันนั้นเป็นชื่อเรียกโดยทั่วไปของปฏิกิริยาอินทรีย์ชนิดหนึ่งที่สามารถใช้ลดความหนืดของไตรกลีเซอไรด์ และเพิ่มสมบัติทางเชื้อเพลิงให้มีลักษณะคล้ายกับน้ำมันดีเซล สามารถทำได้โดยการนำไตรกลีเซอไรด์ในน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์ที่ใช้แล้วและยังไม่ได้ทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันกับแอลกอฮอล์โซ่สั้น เช่น เอทานอล หรือเมทานอล ซึ่งเป็นที่นิยมใช้ที่สุด เนื่องจากมีราคาถูกเมื่อเทียบกับแอสกอฮอล์ชนิดอื่น สำหรับตัวเร่งปฏิกิริยานั้นสามารถใช้ได้หลากหลาย ไม่ว่าจะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเคมี กรด ต่าง หรือตัวเร่งชีวภาพ เช่น ลิเพส และเมื่อทำปฏิกิริยาจนเสร็จสมบูรณ์จะได้ผลิตภัณฑ์ออกมาเป็นกลีเซอรอล และเอสเทอร์ของกรดไขมัน หรือน้ำมันไบโอดีเซล

ในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันนั้น สามารถใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาได้หลากหลายชนิดไม่ว่าจะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทางเคมีหรือทางชีวภาพ ซึ่งตัวเร่งปฏิกิริยาแต่ละประเภทจะมีข้อดีข้อเสียแตกต่างกันไป สำหรับการที่ใช้สารเคมีเป็นตัวเร่งปฏิกิริยานั้น สารเคมีที่นำมาใช้ส่วนใหญ่มักจะใช้สารเคมีประเภทกรด เช่น กรดซัลฟิวริก หรือต่าง เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ หรือโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ แต่อย่างไรก็ตามในปัจจุบันการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลในเชิงอุตสาหกรรมจะใช้สารเคมีที่มีฤทธิ์เป็นด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เนื่องจากสามารถให้ผลผลิตไบโอดีเซลที่สูง รวดเร็ว และต้นทุนต่ำ เนื่องจากไม่ต้องการอุณหภูมิและความดันในการทำปฏิกิริยาที่สูงมากนัก นอกจากนี้ยังมีข้อได้เปรียบที่ดีกว่าการใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยามาก ไม่ว่าจะเป็นการทำปฏิกิริยาสามารถให้ผลผลิตที่สูงกว่าภายใต้สภาวะที่ไม่รุนแรง และใช้เวลาการทำปฏิกิริยาที่สั้นกว่าภายใต้สภาวะเดียวกัน นอกจากนี้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นด่างยังมีความกัดกร่อนต่อเครื่องมือน้อยกว่าการใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา อีกทั้งยังใช้ปริมาณแอลกอฮอล์ที่น้อยกว่าการใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จึงสามารถลดต้นทุนของแอลกอฮอล์ลงได้ด้วย

อย่างไรก็ตามการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นด่างก็มีข้อเสียเช่นเดียวกัน ถึงแม้จะใช้อุณหภูมิและแอลกอฮอล์ในการทำปฏิกิริยาที่ต่ำกว่าการใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา แต่ก็ยังอยู่ในระดับที่สูงกว่าการใช้ตัวเร่งชีวภาพ หรือลิเพสอยู่พอสมควร นอกจากนี้การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีตัวเร่งเป็นด่างจะมีความไวต่อลักษณะของน้ำมันที่ใช้เป็นสารตั้งต้น โดยการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจะเหมาะสมกับน้ำมันพืชที่มีกรดไขมันอิสระสูง และมีส่วนประกอบของน้ำต่ำ ซึ่งจัดเป็นน้ำมันที่มีคุณภาพสูงเท่านั้น การใช้น้ำมันที่ใช้แล้วซึ่งมีปริมาณกรดไขมันอิสระสูงและมีน้ำเป็นส่วนประกอบอาจก่อให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดสบู่ (saponification) ระหว่างการผลิตไบโอดีเซลซึ่งมีผลต่อปริมาณผลผลิตไบโอดีเซลที่ได้รับให้มีจำนวนที่ลดลงและยังทำให้ยากต่อการแยกกลีเซอรอลที่เป็นผลผลิตร่วมออกจากผลิตภัณฑ์



รูปที่ 2.22 ปฏิกิริยาการเกิดสบู่

ที่มา: วรวิทย์ (2558)

### 2.1.13 ต้นยางนา

ต้นยางนาจัดอยู่ในวงศ์ Dipterocarpaceae สกุล Dipterocarpus มีถิ่นกำเนิดดั้งเดิมอยู่ในเกาะเบอร์เนียว ไม้ยางนาชอบขึ้นอยู่ในพื้นที่ ๆ มีความชุ่มชื้น โดยเฉพาะในที่ราบริมน้ำทั่วไป การขยายพันธุ์ตามธรรมชาติปกติไม่คืนนักจึงทำให้พบแต่ไม้ยางนาที่มีขนาดใหญ่เป็นส่วนมาก ถ้าไม้มีน้อย ยางนาเป็นไม้ยืนต้นขนาดใหญ่ ไม่ผลัดใบ มีความสูง 30 - 40 m ดังรูปที่ 2.23 ความสูงถึงกิ่งสดกิ่งแรกประมาณ 20 m ใบเป็นรูปไข่แกมรูปหอก ขนาด 8 - 15 x 20 - 30 cm เนื้อใบหนาปลายใบรอบเรียบ โคนใบเรียบ เส้นแขนงในใบมี 14 - 17 คู่ ก้านยาว 4 cm กาบหุ้มยอดมีขนยาว สีน้ำตาล ดอกเป็นสีชมพู ออกเป็นช่อสั้น ๆ ตามง่ามใบตอนปลายกิ่ง กลีบรองกลีบดอกตอนโคนเชื่อมติดกันเป็นรูปถ้วยและมีครีบตามยาว 5 ครีบ ปลายแยกเป็น 5 แฉก ยาว 2 แฉก สั้น 3 แฉก มีขนสั้นสีน้ำตาลปกคลุมทั่วไป กลีบดอกมี 5 กลีบ โดยกลีบประสานติด ประโยชน์จากต้นยางนา เช่น ใช้ทำบ้านเรือน ทำไม้อัด หมอนรองรถไฟ ฯ การผลิตน้ำมันยางนาสามารถทำได้โดยการเจาะเป็นรูที่โคนต้นยาง หรือบางพื้นที่ใช้การเจาะลำต้นเป็นรูขนาดใหญ่ที่โคนต้น แล้วใช้ไฟเผาก็จะได้น้ำมันยางนาออกมา (Chairut 2548; Kittit 2014)



รูปที่ 2.23 ต้นยางนา  
ที่มา: Medthai. (2015)

การที่จะนำน้ำมันจากต้นยางนามาใช้เป็นเชื้อเพลิง มีความจำเป็นที่จะต้องศึกษาลักษณะของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากต้นยางนา ในแง่ของคุณสมบัติของเชื้อเพลิงฟิสิกส์เช่น ความหนาแน่น ความหนืด ที่อุณหภูมิต่ำและสูง ซึ่งมีผลต่อการไหลและการฉีดเชื้อเพลิงในหัวฉีด รวมถึงการทำนายของลักษณะสเปรย์ ความยาวสเปรย์ มุมสเปรย์และละอองน้ำมันซึ่งเป็นตัวตัวแปรสำคัญที่มีผลต่อประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ (ปฏิภาณ, 2015) และการปล่อยมลพิษจากเครื่องยนต์ การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากต้นยางนาและศึกษาคุณสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิงที่อุณหภูมิ ต่างๆ โดยใช้น้ำมันไบโอดีเซลผลิตจากต้นยางนา ทำการทดสอบที่อุณหภูมิทดสอบ 0°C ถึง 40°C ศึกษาความหนาแน่นและความหนืด และทำนายโดยใช้สมการของ Riazi (Riazi 2005) เพื่อเปรียบเทียบผลจากการทดสอบ

## 2.2 การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

จากผลงานวิจัยที่ทำมาส่วนมากจะเป็นการทดลองเกี่ยวกับน้ำมันไบโอดีเซล ซึ่งยังมีงานวิจัยจำนวนน้อยที่วิจัยถึงน้ำมันยางนาที่จะนำเอามาใช้ผสมกับน้ำมันดีเซลเพื่อการศึกษาสมรรถนะ แก๊สไอเสียเครื่องยนต์และน้ำมันยางนา โดยงานวิจัยที่สามารถรวบรวมได้ มีรายละเอียดดังนี้

ปฏิภาณ ถิ่นพระบาท และคณะ ได้ศึกษาการปลดปล่อยความร้อนและออกไซด์ของไนโตรเจนในเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ น้ำมันปาล์มผสมกับน้ำมันดีเซล ในอัตราส่วนร้อยละ 5, 10, 15 น้ำมันปาล์มโอเลอิน 100 เปอร์เซนต์ และน้ำมันดีเซลโดยทดสอบกับเครื่องยนต์ดีเซลสูบเดี่ยว ทดสอบที่ความเร็วรอบคงที่ 2,000 rpm โดยการวิเคราะห์ข้อมูลความดันในกระบอกสูบ ผลทดสอบพบว่าเมื่อผสมน้ำมันปาล์มในน้ำมันดีเซลมากขึ้นส่งผลให้ความดันในกระบอกสูบมีค่าเพิ่มขึ้น จากการศึกษาพบว่าการผสมน้ำมันปาล์มเพิ่มขึ้น ทำให้ส่วนผสมน้ำมันมีความหนาแน่นมากขึ้น ทำให้เข็มในหัวฉีดเปิดก่อนจึงเกิด

การฉีดเชื้อเพลิงก่อนเป็นจำนวน 0.5 – 1.7 องศาเฟลาซอเทรียง เมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซล (ปฏิภาณ และคณะ, 2003)

สถาพร บุญสมบัติ และคณะ ได้ทำการทดสอบน้ำมันปาล์มดิบ (CPO) และน้ำมันปาล์มกลั่น (RPO) ผสมกับน้ำมันดีเซล ที่อัตราส่วนผสมร้อยละ 10 – 100 โดยใช้เครื่องยนต์ดีเซล 1 สูบ 4 จังหวะ ผลการทดสอบเมื่อใช้ CPO ผสมกับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วนผสมต่างเมื่อเทียบกับการใช้น้ำมันดีเซล พบว่าค่า BSFC เพิ่มขึ้นร้อยละ 2.65 – 11.64 และควันทามีค่าลดลงร้อยละ 19 – 24 ตามอัตราส่วนผสมที่เพิ่มขึ้นสำหรับ CO ลดลงมากที่สุดร้อยละ 33.7 และ HC ลดลงมากที่สุดร้อยละ 25 เมื่อใช้ RPO ผสมกับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วนผสมต่างเมื่อเทียบกับการใช้น้ำมันดีเซลค่า BSFC เพิ่มขึ้นร้อยละ 3.65 – 11.22 และควันทามีค่าลดลงร้อยละ 16 – 29 ตามอัตราส่วนผสมที่เพิ่มขึ้นสำหรับ CO ลดลงมากที่สุดร้อยละ 28.6 และ HC ลดลงมากที่สุดร้อยละ 10.7 และจากการทดสอบน้ำมันดีเซลผสมทั้งสองแบบการติดเครื่องยนต์ง่ายแม้ที่อุณหภูมิต่ำ การทำงานที่รอบเดินเบาปกติเหมือนการใช้น้ำมันดีเซล (สถาพร และคณะ, 2544)

พุลพร แสงบางปลา ทำการทดลองโดยใช้น้ำมันปาล์มที่กลั่นแล้วมาผสมกับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วนร้อยละ 20, 40 และ 80 โดยทำการทดสอบกับเครื่องยนต์คูโบต้า 1 สูบโดยทดสอบที่ความเร็วรอบคงที่ เปลี่ยนแปลงภาระงาน ผลการทดสอบพบว่าการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 6, 12, และ 24 เมื่อผสมน้ำมันปาล์มในอัตราส่วนร้อยละ 20, 40 และ 80 ตามลำดับ แสดงว่ากำลังที่ได้ต่อหน่วยความร้อนลดลง และพบว่าในอัตราส่วนร้อยละ 20 และ 40 ไม่เกิดการน็อกของเครื่องยนต์แต่ถ้าที่อัตราส่วนผสมร้อยละ 80 สามารถได้ยินเสียงน็อกจากเครื่องยนต์ที่ภาระงานต่ำ (พุลพร และคณะ, 2544)

Nwafor ได้ศึกษาการเพิ่มอุณหภูมิของเชื้อเพลิงในด้านสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้น้ำมันพืชที่ความเร็วรอบคงที่ โดยใช้เครื่องยนต์ 1 สูบ 4 จังหวะฉีดเชื้อเพลิงเข้าห้องเผาไหม้โดยตรง ทดสอบที่ความเร็วรอบ 3000 rpm ในการทดสอบมีการบันทึกข้อมูลความดันในกระบอกสูบผลการทดสอบแบ่งออกเป็น 3 กรณี คือเมื่อไม่อุ่นเชื้อเพลิงพบว่าน้ำมันพืชให้ความดันสูงสุดในกระบอกสูบมากกว่าน้ำมันดีเซล และความล่าช้าของการจุดระเบิดเกิดน้อยกว่าการใช้น้ำมันดีเซล การสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะเบรค (BSFC) ของน้ำมันดีเซลและน้ำมันพืชมีค่าใกล้เคียงกันที่ภาระงานต่ำและการใช้น้ำมันพืชเป็นเชื้อเพลิง มีค่า BSFC สูงกว่าการใช้น้ำมันดีเซลเมื่อภาระงานสูง เมื่ออุ่นเชื้อเพลิงพบว่าความดันสูงสุดในกระบอกสูบมีค่าเท่ากับน้ำมันดีเซล การสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะเบรค น้ำมันพืชมีค่าสูงกว่าการใช้น้ำมันดีเซลที่ภาระงานต่ำ และใกล้เคียงกันที่ภาระงานสูง และกรณีสุดท้ายเมื่อเปรียบเทียบน้ำมันพืชที่อุ่นเชื้อเพลิงกับไม่อุ่นเชื้อเพลิงพบว่าการปลดปล่อยความร้อนมีค่าใกล้เคียงกัน ทั้งในช่วงการเผาไหม้สารผสมที่ผสมไว้ล่วงหน้าและช่วงลูกกลามของการเผาไหม้ สำหรับค่ามลพิษไอเสีย HC ของน้ำมันดีเซลมีสูงกว่าการใช้น้ำมันพืชทั้งที่อุ่นเชื้อเพลิงกับไม่อุ่นเชื้อเพลิงก็ตาม (Nwafor, 2002)



Bari และคณะ ได้ศึกษาผลกระทบของการอุ่นน้ำมันดิบ (CPO) ในระบบการฉีดเชื้อเพลิง สมรรถนะ คุณลักษณะการเผาไหม้ และมลพิษไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซล โดยทำการทดสอบกับ เครื่องยนต์ 1 สูบ 4 จังหวะ ฉีดเชื้อเพลิงโดยตรงทดสอบที่ร้อยละ 55 ของภาระงานในการทดสอบมีการบันทึกค่าของความดันในกระบอกสูบ ผลการทดสอบด้านคุณลักษณะ การเผาไหม้พบว่ากรณีใช้น้ำมันปาล์มดิบเมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซล สามารถสร้างความดันสูงสุดได้มากขึ้นร้อยละ 6 และช่วงล่าช้าของการจุดระเบิดสั้นกว่า 2.6 องศา และช่วงการเผาไหม้ที่มากกว่า ค่าการปลดปล่อยความร้อนที่ต่ำกว่าเมื่อเทียบกับการใช้น้ำมันดีเซล ส่วนผลการทดสอบด้านมลพิษทุกภาระงาน การเผาไหม้น้ำมันปาล์มดิบทำให้เกิดคาร์บอนมอนอกไซด์ เพิ่มขึ้นร้อยละ 9.2 ออกไซด์ของไนโตรเจนเพิ่มขึ้นร้อยละ 29.3 เนื่องจากน้ำมันพีมีส่วประกอบของออกซิเจน เมื่อเชื้อเพลิงมีออกซิเจนเพิ่มขึ้นทำให้การเผาไหม้เกิดขึ้นได้ดีกว่าอุณหภูมิการเผาไหม้จึงเพิ่มขึ้นด้วยจึงทำให้เกิดออกไซด์ของไนโตรเจนในกระบวนการเผาไหม้มากขึ้น (Bari S และคณะ, 2002)

เอกชัย สุธีรศักดิ์ และคณะ ได้ศึกษาสมรรถนะและการปล่อยสารพิษของเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ ปาล์มเอทิลเอสเทอร์ ในอัตราส่วนร้อยละ 10 20 30 40 50 และ 100 โดยเชื้อเพลิงที่ใช้มีปริมาณเอสเทอร์ในช่วงระหว่างร้อยละ 97.36 – 99.97 ค่าความหนาแน่นเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 1.45 – 5.33 ค่าความหนืดเพิ่มขึ้นร้อยละ 7.14 – 71.43 และค่าความร้อนของเชื้อเพลิงลดลงจากร้อยละ 2.34 – 10.56 ตามการเพิ่มส่วนผสมของปาล์มเอทิลเอสเทอร์ในน้ำมันดีเซล โดยการปล่อยสารมลพิษ CO และปริมาณควันดำลดลงและการปล่อยสารมลพิษ NO เพิ่มขึ้น ตามการเพิ่มส่วนผสมของปาล์มเอทิลเอสเทอร์ในน้ำมันดีเซล นอกจากนี้ยังมีการปล่อยปริมาณของ CO<sub>2</sub> และมีอุณหภูมิแก๊สไอเสียเพิ่มมากขึ้นเมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซลทุกภาระงานที่ทดสอบ (เอกชัย และคณะ, 2018)

ทีปกร คุณาพรวิวัฒน์ และคณะ ได้ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำน้ำมันต้นยางนามาผลิตไบโอดีเซล โดยนำน้ำมันยางนามาผ่านกระบวนการทางความร้อนด้วยการกลั่นจนได้น้ำมันยางนาที่สามารถนำไปผลิตเป็นไบโอดีเซลได้ จากนั้นนำไปทดสอบหาค่าความร้อนของเชื้อเพลิงแล้วนำมาเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซลพบว่ามีความร้อนที่ใกล้เคียงกันมาก เมื่อนำน้ำมันยางนาที่ได้มาผสมกับน้ำมันดีเซล ในอัตราส่วน 10 15 และ 20 โดยปริมาตร ทดสอบกับเครื่องยนต์ดีเซลที่ความเร็วรอบระหว่าง 1,000 – 2,100 rpm ในช่วงเวลาการทดสอบที่เท่ากัน พบว่าการสิ้นเปลืองของน้ำมันไบโอดีเซลน้อยกว่า น้ำมันดีเซลเล็กน้อยขึ้นอยู่กับเปอร์เซ็นต์ของส่วนผสมและยังพบว่าหลังการเผาไหม้ของน้ำมันไบโอดีเซลยังมีกากยางหลงเหลืออยู่และยังพบว่าเปอร์เซ็นต์ควันดำของน้ำมันไบโอดีเซลจะสูงขึ้นตามสัดส่วนของน้ำมันยางนา (ทีปกร และคณะ, 2550)

K. Pianthong และคณะ ได้ศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากเมล็ดยางและผลกระทบต่อสมรรถนะ เครื่องยนต์ โดยใช้ไขมันเมล็ดยางที่ผ่านกระบวนการทรานเอสเทอริฟิเคชัน โดยมีค่าซีเทนที่ทดสอบโดยวิธีมอเตอร์คือ 51.2 นำมาทดสอบกับเครื่องยนต์ 1 สูบ ขนาดเล็กพบว่าแรงบิดและพลังเบรคของ

เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน B100 เฉลี่ยต่ำกว่าที่ใช้น้ำมันดีเซลประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง เฉพาะของน้ำมัน B100 สูงกว่าน้ำมันดีเซลเฉลี่ยประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ โดยขึ้นอยู่กับความเร็วรอบ ของเครื่องยนต์ ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ต่ำประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรคของเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมัน B100 สูงกว่าน้ำมันดีเซล 5 เปอร์เซ็นต์นอกจากนี้ยังพบว่ามีอัตราการปล่อยสารพิษของ เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน B100 เช่น CO และ CO<sub>2</sub> ต่ำกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล (Pianthong และ คณะ, 2011)

สหัสวรรษ ภูจิระ และคณะ ได้ทำการศึกษาการประเมินการสึกหรอของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันยางนาเป็นเชื้อเพลิง โดยการวิเคราะห์จากน้ำมันหล่อลื่นและไส้กรองน้ำมันเชื้อเพลิง จากการ ทดสอบใช้น้ำมันดีเซลและน้ำมันดีเซลผสมน้ำมันยางนากลับในอัตราส่วน 40 เปอร์เซ็นต์ (B40) กับ เครื่องยนต์ดีเซลทางการเกษตร 4 จังหวะ 1 สูบ ในสถานที่จริงต่อเนื่อง 300 ชั่วโมง ที่ความเร็วรอบ 1400 รอบต่อนาที จำนวน 2 เครื่อง แบ่งการตรวจสอบการสึกหรอเป็น 2 ส่วน คือ 1. ตรวจสอบ คุณภาพของน้ำมันหล่อลื่นและองค์ประกอบธาตุที่เกิดจากการสึกหรอของชิ้นส่วนเครื่องยนต์ 2. วัด และวิเคราะห์ความเปลี่ยนแปลงของไส้กรองเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ทั้ง 2 เครื่อง พบว่าในการทดสอบ ส่วนที่ 1. ค่าความหนืดจลน์ที่อุณหภูมิ 40 C ความชื้นและองค์ประกอบธาตุต่างๆที่วิเคราะห์ เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิง B40 สูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล ส่วนการทดสอบส่วนที่ 2. พบว่าไส้กรองน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิง B40 มีสีเข้มเข้มกว่าไส้กรองเชื้อเพลิง ของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล ซึ่งอาจสรุปได้ว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน B40 เป็นเชื้อเพลิงจะเกิดการสึก หรอของเครื่องยนต์มากกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง นอกจากนี้ไส้กรองเชื้อเพลิงของ เครื่องยนต์ที่ใช้ B40 เป็นเชื้อเพลิงก็มีโอกาสที่จะอุดตันเร็วกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง (สหัสวรรษ และคณะ, 2017)

**ตารางที่ 2.1** การเปรียบเทียบคุณสมบัติด้านเชื้อเพลิงตามมาตรฐานน้ำมันดีเซลและน้ำมันยางนากลับ

ข้อกำหนดคุณภาพ	อัตราสูงต่ำ (กรมธุรกิจพลังงาน, 2556)	มาตรฐาน	น้ำมันยางนากลับ
1. ความถ่วงจำเพาะ ณ 15.6/15.6 C	$0.81 < x > 0.87$	ASTM D 4052-15	0.92*
2. ดัชนีซีเทน	ไม่ต่ำกว่า 40	ASTM D 976-06 (2016)	27*
3. ความหนืด (เซนติสโตกส์)	$1.8 < x > 4.1$	ASTM D 445-15a	4.7*
4. จุดไหลเท (C)	ไม่สูงกว่า 10	ASTM D 97-16	< -39
5. กำมะถัน (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ไม่สูงกว่า 0.005	ASTM D 5453- 16el	0.00
6. การกัดกร่อนแผ่นทองแดง	ไม่สูงกว่าหมายเลข 1	ASTM D 130-12	1
7. เสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (กรัม/ลูกบาศก์เมตร)	ไม่สูงกว่า 25	EN 14112-2003	27*
8. คากถ่าน (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ไม่สูงกว่า 0.30	ASTM D 86-15 / ASTM D 4530-15	0.00
9. น้ำ (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)	ไม่สูงกว่า 300	EN ISO 12937- 2003	270
10. สิ่งปนเปื้อนทั้งหมด (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)	ไม่สูงกว่า 24	EN 12662-2009	473*
11. เถ้า (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ไม่สูงกว่า 0.1	ASTM D 482-13	0.0
12. จุดวาบไฟ (C)	ไม่ต่ำกว่า 52	ASTM D 86-15	104
13. การกลั่น อุดหนุมิของส่วนที่กลั่นได้โดยปริมาตรในอัตราร้อยละ 90 (C)	ไม่สูงกว่า 357	ASTM D 6379-11	257
14. โพลีไซคลิก อะโรมาติก	ไม่สูงกว่า 11	Visual	1
15. ไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน (ร้อยละโดยปริมาตร)	$3.5 < x > 7$	ASTM D 1500-12	0.00*
16. คุณสมบัติการหล่อลื่น รอยขีดข่วน (ไมโครเมตร)	ไม่สูงกว่า 460	EN 14078-2011	168
17. สี			
17.1 ชนิดของสี	เหลือง	CEC F-06-96	เหลือง
17.2 ความเข้มของสี	ไม่สูงกว่า 5		1.5

\*รายการคุณภาพทางด้านเชื้อเพลิงของน้ำมันยางนากลับที่ยังไม่อยู่ในช่วงมาตรฐานตามประกาศของกรมธุรกิจพลังงาน

ที่มา: สหสำรวจ และคณะ (2017)

เสนีย์ พันโยธา และคณะ ได้ทำการศึกษาสมรรถนะเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กจากการใช้น้ำมันปาล์มใช้แล้วจากการทอดปาห้องโก๋ผสมกับน้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง ในด้านของแรงบิดเครื่องยนต์ กำลังเครื่องยนต์และอัตราความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก ซึ่งในงานวิจัยได้ใช้น้ำมันดีเซลและน้ำมันปาล์มใช้แล้วจากการทอดปาห้องโก๋ผสมน้ำมันดีเซลในอัตราส่วน 5, 10, 30 และ 50 เปอร์เซ็นต์กับเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กที่มีกำลัง 6.6 kW พบว่าเชื้อเพลิงทั้งหมดสามารถเดินเครื่องยนต์ได้ปกติ การเพิ่มอัตราส่วนน้ำมันปาล์มใช้แล้วจากการทอดปาห้องโก๋ในน้ำมันดีเซลส่งผลให้แรงบิดเครื่องยนต์ กำลังเครื่องยนต์และอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกสูงขึ้นเนื่องมาจากค่าความถ่วงจำเพาะที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้สามารถฉีดมวลของน้ำมันเชื้อเพลิงออกจากหัวฉีดได้มากขึ้นโดยมวลต่อปริมาตร โดยเฉพาะที่อัตราส่วนผสมน้ำมันปาล์มใช้แล้วจากการทอดปาห้องโก๋กับน้ำมันดีเซล 50 เปอร์เซ็นต์ ให้แรงบิดและกำลังสูงสุดของเครื่องยนต์ 34.41 N.m และ 6.88 kW ที่ 1440 และ 2400 รอบต่อนาที ซึ่งสูงกว่าเครื่องยนต์ดีเซลอยู่ 2 และ 5 เปอร์เซ็นต์ อัตราความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกสูงกว่า 35 เปอร์เซ็นต์ (เสนีย์ และคณะ, 2011)

S. Thunjajaroen และคณะ ได้ศึกษาการสกัดน้ำมันจากสาหร่าย *Spirogyra* sp. ผลิตเป็นไบโอดีเซลเพื่อเป็นพลังงานทดแทน ด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ (Hexane) จากนั้นนำน้ำมันที่สกัดได้มาผลิตเป็นไบโอดีเซลด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน พบว่าน้ำมันที่สกัดได้จากสาหร่ายสดมีความชื้นสูงถึงร้อยละ 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 (Thunjajaroen และคณะ, 2013)

C. Sakkampang และคณะ ได้ศึกษาประสิทธิภาพ และไอเสียเครื่องยนต์ดีเซลความเร็วต่ำที่ใช้ น้ำมันไบโอดีเซลจากเมล็ดชานเดรียเป็นเชื้อเพลิง ทดสอบโดยใช้น้ำมันดีเซล และน้ำมันดีเซลผสม น้ำมันไบโอดีเซลจากเมล็ดชานเดรียในอัตราส่วน 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 และ 90 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับโดยปริมาตรจากการทดสอบ จากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าเมื่ออัตราส่วนน้ำมันไบโอดีเซลเพิ่มขึ้น ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงสัมพัทธ์เพลาจจะลดลงกว่าการใช้ น้ำมันดีเซล CO และปริมาณควันดำเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญกับความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง (Sakkampang และคณะ, 2019)

รวินิภา ศรีมูล และคณะ ได้ศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันที่สกัดจากเมล็ดกระทิง (*Calophyllum inophyllum* L.) จากการหาชนิดของตัวทำละลายที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมัน พบว่า เฮกเซน สามารถสกัดน้ำมันจากเมล็ดกระทิงได้มากที่สุด ร้อยละ  $73.53 \pm 0.64$  เมื่อทดสอบ

สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมันที่สกัดได้ พบว่า มีความชื้นร้อยละ  $3.57 \pm 0.15$  ความหนืด  $47.03 \pm 0.12$  เซนติสโตก ค่าสะพอนิฟิเคชันเท่ากับ  $211.56 \pm 0.66$  ค่าไอโอดีนเท่ากับ  $66.82 \pm 2.53$  กรัม  $I_2/100$  กรัม ความเป็นกรด  $7.07 \pm 0.07$  มิลลิกรัม KOH/กรัม และค่าเปอร์ออกไซด์  $9.86 \pm 1.34$  เมื่อนำน้ำมันที่ได้ไปผลิตเป็นไบโอดีเซล โดยการทำปฏิกิริยากับเมทานอล ร้อยละ 25 โดยปริมาตร และใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้นร้อยละ 0.5 โดยมวลต่อปริมาตร เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ได้น้ำมันไบโอดีเซลร้อยละ  $74.67 \pm 1.86$  ผลการทดสอบ สมบัติทางกายภาพของน้ำมันไบโอดีเซลที่ได้ พบว่า มีจุดวาบไฟ  $195.0 \pm 3.6$  องศาเซลเซียส จุดไหลเท  $-0.66 \pm 0.02$  องศาเซลเซียส ความหนืด  $6.8 \pm 0.2$  เซนติสโตก และความถ่วงจำเพาะ  $0.86 \pm 0.01$  กรัมต่อมิลลิลิตร เมื่อเปรียบเทียบกับค่า มาตรฐานตามข้อกำหนดของกรมธุรกิจพลังงาน ปี พ.ศ. 2552 แล้ว พบว่า น้ำมันไบโอดีเซลที่ได้มีสมบัติใกล้เคียงกับมาตรฐานที่กำหนด แต่เนื่องจากน้ำมันจากเมล็ดกระทิงที่ได้มีความเป็นกรดค่อนข้างสูง จึงควรใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นกรดเพื่อเปลี่ยนกรด ไชมันอิสระให้เป็นอัลคิลเอสเทอร์ก่อน จะทำให้ประสิทธิภาพการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลสูงขึ้น (รวินิภา และคณะ, 2014)

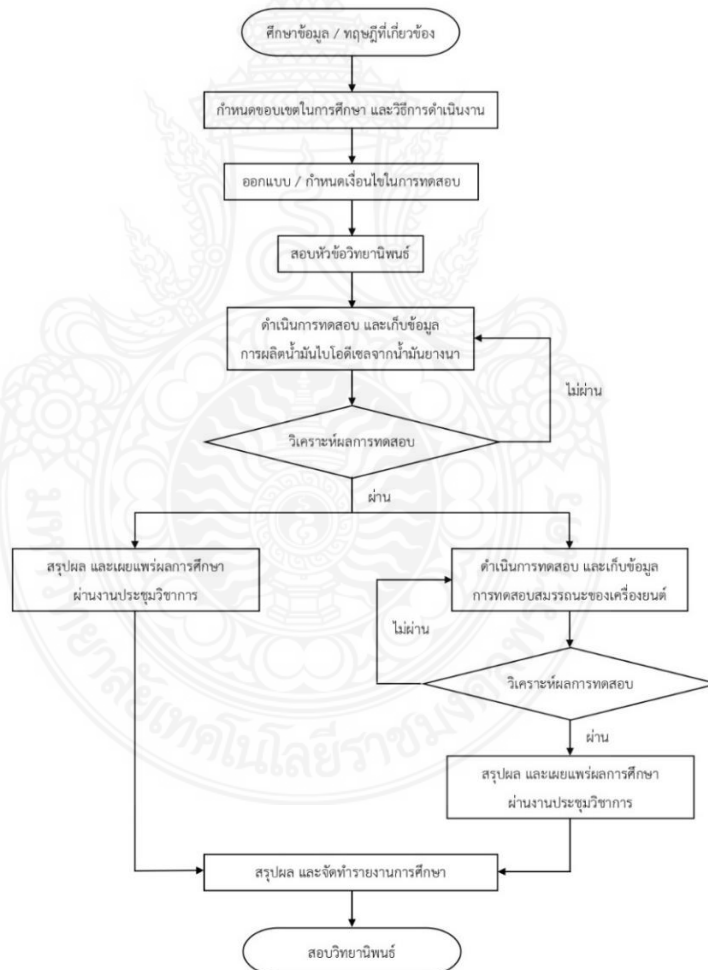
กิตติ สถาพรประสารณ์ และคณะ ได้ศึกษาสมรรถนะและวิเคราะห์มลพิษของไอเสียจากการใช้ไบโอดีเซลผสมกับน้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลกำเนิดไฟฟ้ายี่ห้อ MERCEDES BENZ แบบ OM 421 กำลัง 159 กิโลวัตต์ ใช้น้ำมันดีเซลและน้ำมันไบโอดีเซลผสมน้ำมันดีเซลในอัตราส่วน ร้อยละ 5, 10, 15, 20, 25, 50, 75 และ 100 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตรเป็นเชื้อเพลิง ผลการทดสอบ แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนของไบโอดีเซล ส่งผลให้ความหนาแน่นและความหนืดของเชื้อเพลิงมีค่าเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพการฉีดเชื้อเพลิงของหัวฉีดลดลง ส่งผลให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ ส่วนผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ แสดงให้เห็นว่าความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงและอัตราความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนผสมของไบโอดีเซลเพิ่มขึ้น ในกรณีของการวิเคราะห์ไอเสีย พบว่าเมื่ออัตราส่วนของไบโอดีเซลเพิ่มขึ้น CO, HC และควันทามีปริมาณลดลง แต่ NO<sub>x</sub> มีปริมาณเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณโลหะหนักที่ปนเปื้อนในน้ำมันหล่อลื่นมีปริมาณลดลง อัตราการเกิดปฏิกิริยาไนเตรชัน และปฏิกิริยาออกซิเดชันมีค่าลดลง (กิตติ และคณะ, 2014)

สมใจ เพียรประสิทธิ์ และคณะ ได้ศึกษาคุณสมบัติของน้ำมันไพโรไลซิสกับน้ำมันไบโอดีเซลที่อุณหภูมิต่ำ โดยใช้คุณสมบัติของเชื้อเพลิง 3 ชนิด ได้แก่ น้ำมันไพโรไลซิส น้ำมันไบโอดีเซล และน้ำมันดีเซล โดยทดสอบที่อุณหภูมิ -7 องศาเซลเซียส ผลการทดสอบพบว่า ที่อุณหภูมิต่ำความหนาแน่นของเชื้อเพลิงมีค่าเพิ่ม แต่ความหนืดของน้ำมันดีเซลมีค่าเพิ่มขึ้นแบบพาราโบล่า ซึ่งอุณหภูมิที่ลดลงไม่มีผลต่อความหนืดของน้ำมันไพโรไลซิส (สมใจ และคณะ, 2560)

### บทที่ 3

#### การดำเนินงาน

การจัดวิทยานิพนธ์ครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อดำเนินการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันไบโอดีเซลจากต้นยางนา รวมถึงหาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างน้ำมันไบโอดีเซล ต่อน้ำมัน ดีเซลดังนั้นผู้จัดทำโครงการมีขั้นตอนการดำเนินการแสดงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน Flow chart

### 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

3.1.1 ศึกษาข้อมูลทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบสมรรถนะ และกระบวนการผลิตไบโอดีเซล

3.1.2 กำหนดขอบเขตในการศึกษา และวางแผนการดำเนินงานวิจัย

3.1.3 ออกแบบ และกำหนดเงื่อนไข วิธีการทดสอบรวมถึงการปรับปรุงชุดทดสอบให้พร้อมดำเนินการ

3.1.4 ดำเนินการสอบหัวข้อวิทยานิพนธ์

3.1.5 ดำเนินการทดสอบการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันยางนา และเก็บข้อมูลบันทึกผลการทดสอบ

3.1.6 วิเคราะห์ผลการทดสอบการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันยางนา

3.1.7 สรุปผลการทดสอบการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันยางนา และเผยแพร่ผลการศึกษางานประชุมวิชาการ

3.1.8 ดำเนินการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ไบโอดีเซลที่ใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันยางนา และเก็บข้อมูลบันทึกผลการทดสอบ

3.1.9 วิเคราะห์ผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ไบโอดีเซลที่ใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันยางนา

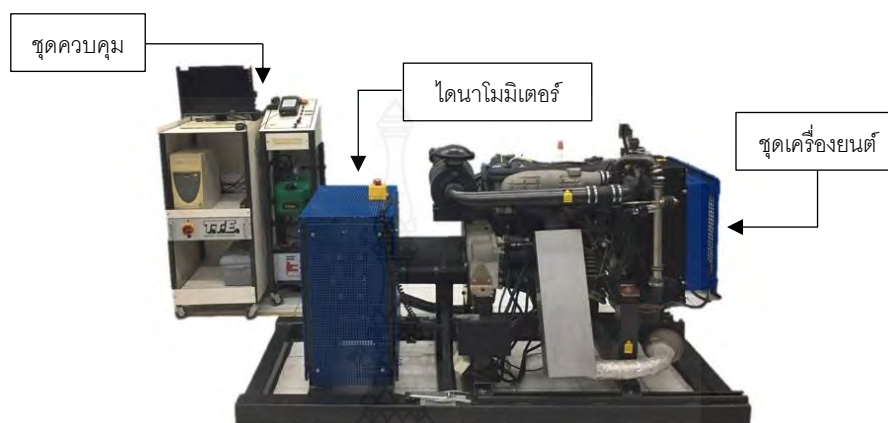
3.1.10 สรุปผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ไบโอดีเซลที่ใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันยางนา และเผยแพร่ผลการศึกษางานประชุมวิชาการ

3.1.11 สรุปผลการการศึกษา และจัดทำรายงานการศึกษา

3.1.12 สอบวิทยานิพนธ์

## 3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

### 3.2.1 ชุดทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์



รูปที่ 3.2 ชุดทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์

อุปกรณ์ชุดทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลประกอบด้วย

1. ชุดควบคุม (Control unit) เป็นชุดที่จะเป็นส่วนที่จะควบคุมและแสดงผลระหว่างผู้ใช้งานกับเครื่องยนต์และไดนาโมมิเตอร์

2. ไดนาโมมิเตอร์ (Dynamometer) เครื่องทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ ได้นำไดนาโมมิเตอร์แบบกระแสเหนี่ยวนำ (Eddy current dynamometer) ซึ่งจะประกอบไปด้วยแผ่นเหล็กซึ่งจะหมุนตัดสนามของแม่เหล็กของชุดแม่เหล็กไฟฟ้า การทำงานจะอาศัยหลักการเหนี่ยวนำของกระแสไฟฟ้าไหลวน เปลี่ยนกำลังของเครื่องยนต์เป็นสัญญาณ และส่งสัญญาณไปยังชุดควบคุมแสดงผลออกมายังชุดวัดค่าแรงบิด

3. ชุดเครื่องยนต์ (Engine) เครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดสอบเป็นเครื่องยนต์ยี่ห้อ ไอวีโก้ (IVECO) รุ่น 8141E Series เป็นเครื่องยนต์ดีเซล 4 สูบ 4 จังหวะ ข้อมูลของเครื่องยนต์ดังตารางที่ 3.1 เมื่อสตาร์ทเครื่องยนต์ เครื่องยนต์จะไปขับไดนาโมมิเตอร์ เพื่อทำการวัดค่าต่าง ๆ ส่วนค่าที่วัดได้จากเครื่องยนต์โดยตรงจะประกอบไปด้วย ค่าแรงดันน้ำมันหล่อลื่น อุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่น และความเร็วรอบของเครื่องยนต์ โดยส่งสัญญาณไปยังชุดควบคุม



## 4. เครื่องวัดควันดำ : Bosch Smoke Meter รุ่น ETD020.0 FD764 ช่วง 0 – 99%

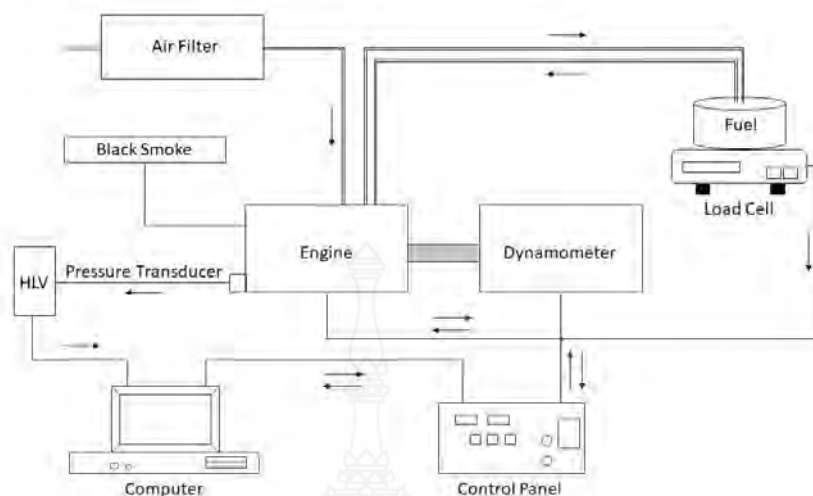


รูปที่ 3.3 เครื่องวัดควันดำ Bosch smoke meter

## ตารางที่ 3.1 รายละเอียดทั่วไปของเครื่องยนต์

คุณลักษณะของเครื่องยนต์	8141E	หน่วย
ความจุของเครื่องยนต์	2,500	cc
ขนาดกระบอกสูบช่วงชัก	93×92	mm
อัตราส่วนการอัด	22:1	-
การจัดกระบอกสูบ	4 สูบ เรียง	-
การฉีดเชื้อเพลิง	ฉีดทางอ้อม	-
กำลังสูงสุด/รอบ	44/3,600	kW/rpm

การทดสอบครั้งนี้ได้มีการออกแบบอุปกรณ์การทดสอบเพื่อเปรียบเทียบผลการทดสอบเครื่องยนต์โดยใช้น้ำมันดีเซลและน้ำมันดีเซลผสมน้ำมันไบโอดีเซลจากยางนา เป็นเชื้อเพลิงในการทดสอบเครื่องยนต์ ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ กัน ในการเก็บข้อมูลต้องอาศัยเครื่องมือและอุปกรณ์ต่าง ๆ ดังภาพที่ 3.4 ซึ่งประกอบด้วยเครื่องยนต์ดีเซล ไดนาโมมิเตอร์ ชุดควบคุม และมีเครื่องมือวัดค่าต่าง ๆ ประกอบไปด้วย โหลดเซลล์ อุปกรณ์วิเคราะห์ควันดำ เป็นต้น



รูปที่ 3.4 แผนภาพการทดสอบ

### 3.2.2 อุปกรณ์การไตเตรตและการผลิตน้ำมันไบโอดีเซล

อุปกรณ์การไตเตรตและการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากต้นยางนา แสดงดังรูปที่ 3.5 หมายเลข 1 2-Propanal Grade AR ขนาด 10 mL หมายเลข 2 Sodium hydroxide pellets Grade AR ขนาด 0.5 kg หมายเลข 3 Methyl Alcohol 1 ใน 4 ส่วน ของปริมาณน้ำมัน หมายเลข 4 กระจกบอทวง ขนาด 100 mL หมายเลข 5 น้ำมันยางนา ขนาด 500 mL หมายเลข 6 กรวยกรอง ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 9 cm หมายเลข 7 บีกเกอร์ ขนาด 1000 mL หมายเลข 8 Phenolphthalein ขนาด 100 cc หมายเลข 9 ขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 mL หมายเลข 10 Dropper ขนาด 10 cm หมายเลข 11 แท่งแก้วคนสาร ขนาด 20 cm หมายเลข 12 เครื่องชั่งดิจิตอล ค่าความละเอียด 1000 g × 0.1 g



รูปที่ 3.5 อุปกรณ์การไตเตรตและการผลิตน้ำมันไบโอดีเซล

### 3.3 การทดสอบเบื้องต้น

#### 3.3.1 การผลิตไบโอดีเซลจากต้นยางนา

1. ขั้นตอนการเตรียมน้ำมันยางนา เป็นขั้นตอนที่ค่อนข้างจะสำคัญมากโดยจะต้องเตรียมน้ำมันยางนาให้บริสุทธิ์ และจะต้องกำจัดน้ำที่ผสมมาในน้ำมัน โดยการต้มให้น้ำระเหยออกไปด้วยอุณหภูมิ 100-120°C เป็นเวลา 20-25 นาที หรือจนกว่าไอน้ำที่ระเหยหมดไป เพื่อทำการไล่น้ำที่ปะปนมากับน้ำมันออกก่อนนำไปทำปฏิกิริยาในขั้นต่อไป

2. ขั้นตอนการเตรียมสารละลายแอลกอฮอล์ โดยจะต้องให้ความสำคัญในเรื่องของปริมาณและเวลาควบคุมกันไปโดยในด้านของปริมาณนั้นจะต้องเหมาะสมกับปริมาณน้ำมันเพื่อที่จะได้ทำปฏิกิริยากันได้ในสัดส่วนที่พอดีจะได้เหลือสารตกค้างน้อยที่สุดรวมทั้งจะต้องนำไปผสมกับตัวเร่งปฏิกิริยาจนผสมเป็นเนื้อเดียวกันเสียก่อนจึงจะนำมาทำปฏิกิริยากับน้ำมันจึงจะให้ผลในการทำปฏิกิริยาได้ดีที่สุดโดยสัดส่วนของแอลกอฮอล์ที่เหมาะสมนั้นเราจะต้องใช้แอลกอฮอล์ประมาณ 25 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำมันหรือแอลกอฮอล์ 1 ส่วนต่อน้ำมัน 4 ส่วน และจะต้องผสมตัวเร่งที่คำนวณจากการไทเทรต ละลายลงในน้ำมันจนเข้ากันพอดี

3. การทำปฏิกิริยา น้ำมันที่ถูกขจัดน้ำแล้วถูกทำให้มีอุณหภูมิประมาณ 60°C จากนั้นจึงเติมสารละลายแอลกอฮอล์ลงไปอย่างช้า ๆ (เติมให้หมดภายใน 10 นาที) สัดส่วนน้ำมันต่อสารละลายแอลกอฮอล์โดยน้ำหนักเท่ากับ 5 ต่อ 1 ทำการเขย่าขวดเป็นเวลา 3 นาที เสร็จแล้วรอการแยกชั้นระหว่าง เมทิลเอสเทอร์และกลีเซอริน สักพักจะพบว่า มีฝ้าลอยขึ้นอยู่บนผิวหน้าให้ตักออก จากนั้นทำการแยกกลีเซอริน ออกจากเมทิลเอสเทอร์

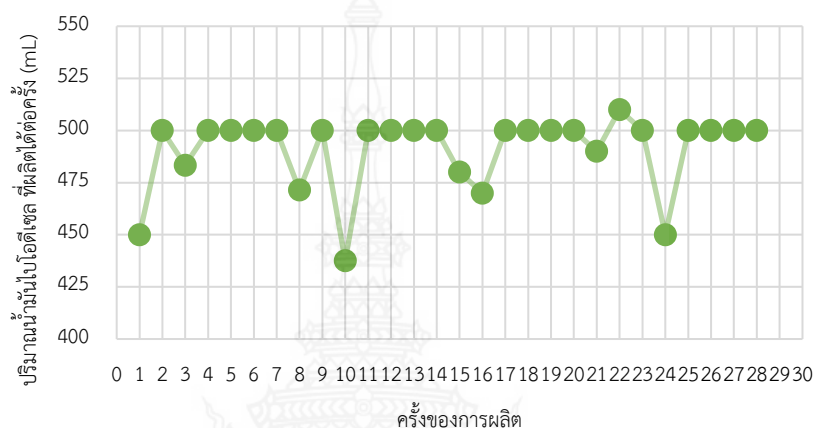
4. การล้างสิ่งปนเปื้อนออก เมทิลเอสเทอร์ที่ได้ยังปนเปื้อนด้วยสารอื่น ๆ เช่น สบูที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างโซเดียมไฮดรอกไซด์และกรดไขมันอิสระหรือน้ำมัน กลีเซอรินที่ละลายอยู่ในชั้นเมทิลเอสเทอร์ โซเดียมไฮดรอกไซด์ เมทานอลที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาและน้ำมันที่ทำปฏิกิริยาไม่หมด ดังนั้นจึงต้องทำการขจัดออกด้วยการล้างด้วยน้ำอุ่นหลายๆครั้ง ปริมาณน้ำที่ใช้แต่ละครั้งประมาณ 1 ต่อ 4 ของปริมาณเมทิลเอสเทอร์ เมื่อเติมน้ำเพียงพอแล้วรอให้น้ำแยกชั้นจากเมทิลเอสเทอร์เป็นเวลาพอสมควร (ประมาณ 5 - 10 นาที) ก็ทำการเอาน้ำออกแล้วเติมน้ำอุ่น เพื่อล้างใหม่ การล้างจะกระทำ 4 - 5 ครั้ง จะทำให้น้ำมันสะอาดมากขึ้น

5. การขจัดน้ำออกขั้นสุดท้าย เมื่อล้างสิ่งปนเปื้อนออกหมดแล้วขั้นตอนสุดท้าย คือการขจัดน้ำที่หลงเหลือในชั้นเมทิลเอสเทอร์ออก ซึ่งกระทำโดยการให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิ 110°C จนกว่าน้ำที่หลงเหลือในน้ำมันจนหมด แล้วก็จะได้น้ำมันไบโอดีเซลออกมา



รูปที่ 3.6 แผนผังแสดงขั้นตอนการผลิตไบโอดีเซล

การผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากต้นยางนาโดยผ่านกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน แสดงดังรูปที่ 3.6 ในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจะใช้น้ำมันจากต้นยางนา 1 L ทำปฏิกิริยา กระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน จะได้น้ำมันไบโอดีเซล 0.492 L จากการทำน้ำมันไบโอดีเซล 28 ครั้ง ใช้น้ำมันจากต้นยางนา 23.6 L ได้ปริมาณน้ำมันดีเซล 11.75 L



รูปที่ 3.7 ปริมาณน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตได้ต่อครั้ง

### 3.3.2 ขั้นตอนการไทเทรต

1. ทำการตวงไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ 10 ml ลงในขวดรูปชมพู่ที่เตรียมไว้
2. หยดน้ำมันที่เตรียมไว้ลงในขวดรูปชมพู่ข้างต้นจำนวน 20 หยด โดยใช้หลอดหยด จากนั้นทำการเขย่า
3. หยดฟีนอล์ฟทาเลอินลงในขวดรูปชมพู่ 5 หยด จากนั้นเขย่าให้เข้ากัน
4. หยดสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 หยด จากนั้นเขย่าทำซ้ำไปเรื่อยๆ โดยนับจำนวนหยดทุกครั้ง และหยุดเมื่อสารเปลี่ยนเป็นสีชมพูอ่อน นำจำนวนหยดที่ได้ไปคำนวณเพื่อหาปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา ดังสมการที่ 3.1

$$\text{ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ (กรัม)} = \left( \frac{\text{จำนวนหยดสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์}}{5} \right) \times \text{ปริมาณน้ำมัน (ลิตร)} \quad (3.1)$$

### 3.3.3 การทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้นของไบโอดีเซลก่อนนำไปใช้งาน

1. การทดสอบค่าความถ่วงจำเพาะ โดยการใช้ไฮโดรมิเตอร์ ใช้ตัวอย่างไบโอดีเซลเทลงในหลอดแก้วทดลองทรงสูงที่ได้มาตรฐาน 3 ใน 4 ส่วนของหลอดแก้วทดลองจากนั้นจุ่มไฮโดรมิเตอร์ในตัวอย่างไบโอดีเซลที่เตรียมไว้ รอให้ไฮโดรมิเตอร์นิ่ง จากนั้นอ่านค่าที่ได้ในระดับที่ผิวตัวอย่างตะกอนกับขีดสเกลบนก้านไฮโดรมิเตอร์ โดยค่าความถ่วงจำเพาะที่ได้จะอยู่ที่ 0.860-0.900

2. การทดสอบค่าความเป็นกรดหรือด่าง โดยการใช้กระดาษลิตมัส ซึ่งทั่วไปจะมีค่าอยู่ที่ 6-7.5 ที่เป็นค่าระหว่างกลางของความเป็นกรดหรือด่าง

3. การทดสอบค่าความหนืด สำหรับการทดสอบความหนืดและความหนาแน่นของน้ำมันไบโอดีเซลผลิตจากต้นยางนา ใช้กฎของสโตกส์ (Stoke's Law) (Laidler, Keith J. Meiser, John H., 1982) แสดงในสมการที่ (3.2)

$$\eta = \frac{2 r^2 g (\rho - \rho')}{9 v} \quad (3.2)$$

เมื่อ;  $r$  คือ รัศมีทรงกลม (mm),  $g$  คือ แรงโน้มถ่วง ( $m/s^2$ ),  $\rho$  คือ ความหนาแน่นของวัตถุ ( $kg/m^3$ ),  $\rho'$  คือ ความหนาแน่นของของเหลว ( $kg/m^3$ ),  $v$  คือ ความเร็วของวัตถุ ( $m/s$ )

### 3.3.4 ทดสอบการทำงานของชุดทดสอบสมรรถนะ

1. ทดสอบติดเครื่องยนต์
2. ทดสอบชุดควบคุมของเครื่องทดสอบสมรรถนะ
3. ทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์

## บทที่ 4

### การทดสอบและผลการทดสอบ

#### 4.1 ขั้นตอนการทดสอบ

##### 4.1.1 ตรวจสอบความพร้อมเครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดสอบและระบบหล่อเย็น

1. ระดับของน้ำมันเครื่องยนต์
2. ระดับน้ำหล่อเย็นหรือน้ำหม้อน้ำ
3. ระดับของน้ำมันเชื้อเพลิง (น้ำมันดีเซล)
4. กำลังไฟของแบตเตอรี่

##### 4.1.2 การปรับตั้งเครื่องมือและเตรียมอุปกรณ์ทดสอบ

1. เปิดสวิตช์ของ CPU และ Monitor
2. เปิดสวิตช์ Controller จะมีไฟแดงโชว์ที่หน้า Controller (ทำเมื่อ CPU และ Monitor ทำงาน หน้าจอเข้าสู่ Windows เรียบร้อยแล้ว)
3. เข้าโปรแกรม Dyno

##### 4.1.3 ขั้นตอนการปรับตั้งเครื่องทดสอบ

1. หน้าจอโปรแกรม Dynamometer คลิก Settings เลือกฟังก์ชัน Calibration
2. คลิก Next แล้วก็คลิก Next อีกครั้ง
3. คลิก Calibrate รอประมาณ 5 วินาที (ขณะนี้เป็นการทำ Zero calibrate)
4. คลิก Next เตรียมแท่งน้ำหนักใส่รู และคลิก Next อีกครั้ง
5. ใส่แท่งน้ำหนักเข้าไปในรูของชุดไดนามมิเตอร์ รอประมาณ 5 วินาที (ขณะนี้จะเป็นการทำ Span calibrate) และทำการคลิก Next
6. ทำการถอดแท่งน้ำหนักออก จากนั้นจึงคลิก OK โปรแกรมจะกลับมาสู่หน้าจอปกติของ Dynamometer

7. ทำการ Re-Check ผลการทำ Torque calibrate โดยคลิกที่ Settings แล้วเลือกคลิกที่ Simulate 1,000 rpm

8. จากนั้นให้ใส่ทำการแทงน้ำหน้กเข้าไปอีกครั้ง ผลที่ได้ที่หน้าปัดของ rpm เข้มจะชี้ไปที่ 1,000 rpm และที่หน้าปัดของ Torque จะโชว์ค่าของแรงบิดค่าที่อ่านได้ (ควรใกล้เคียงกับ 316 N.m  $\pm$  5%)

**หมายเหตุ** การทำ Calibration torque มีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการทำการปรับเทียบแรงบิดที่วัดโดย Load-cell ให้มีความถูกต้องใกล้เคียงกับความจริง โดยการปรับเทียบจะทำได้โดยตามขั้นตอนด้านบน (1 ถึง 8)

9. หน้าจอโปรแกรม Dynamometer คลิก View menu

10. เลือกคลิก Fuel consumption จะปรากฏหน้าต่างของ Fuel consumption

11. คลิกที่ Settings แล้วเลือก Calibrate จะปรากฏหน้าต่างของ Calibrate

12. คลิก Next แล้วก็คลิก Next อีกครั้ง

13. คลิก Calibrate รอประมาณ 5 วินาที (ขณะนี้เป็นการทำ Zero calibrate)

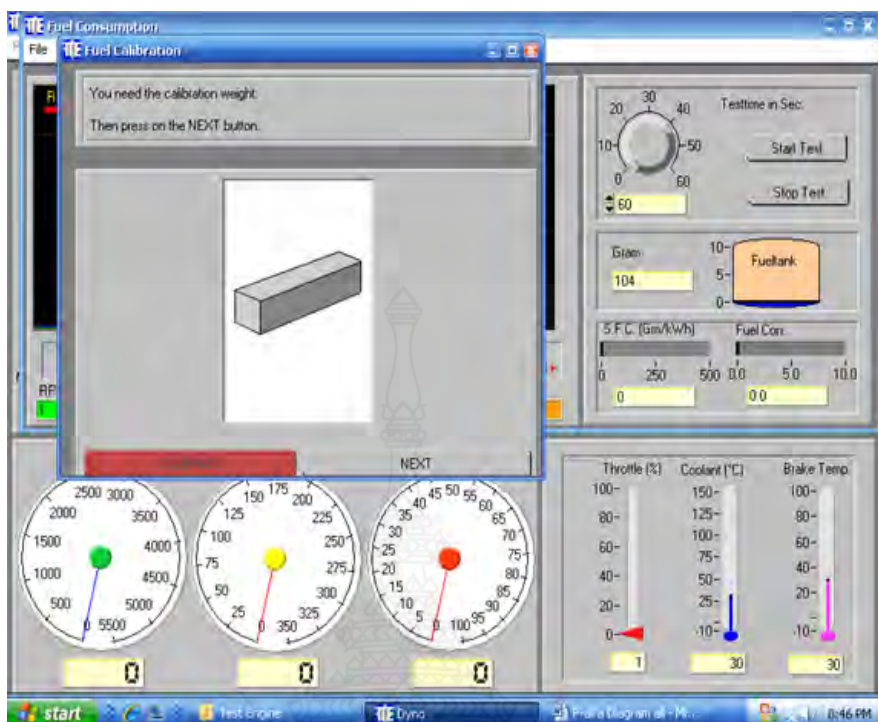
14. คลิก Next และวางแทงน้ำหน้กบนถังน้ำมัน จากนั้นคลิก Next อีกครั้ง

15. คลิก Calibrate รอประมาณ 5 วินาที (ขณะนี้เป็นการทำ Span calibrate)

16. คลิก Next แล้วนำแทงน้ำหน้กออก จากนั้นให้คลิก OK

17. ทำการ Re-Check ผลการทำ Calibration โดยวางแทงน้ำหน้กบนถังน้ำมันอีกครั้ง แล้วอ่านค่าน้ำหน้กน้ำมันบนหน้าต่างของ Fuel consumption ว่าใกล้เคียงกับน้ำหน้กจริงของแทงน้ำหน้กหรือไม่ (ค่าไม่ควรคลาดเคลื่อนเกิน  $\pm$  5%)





รูปที่ 4.1 หน้าต่างของ Fuel calibration

**หมายเหตุ** การทำ Calibration ถังน้ำมันดีเซล ดังรูปที่ 4.2 มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการปรับเทียบ ถังน้ำมันในถังให้โปรแกรมอ่านค่าได้ 0 กรัม และในสถานะมีน้ำมันที่ทราบค่าแน่นอน (จะใช้แทงน้ำหนักแทน) โดยถังน้ำมันมีความจุ 10 ลิตร และมี Load cell วัดน้ำหนัก ของถังน้ำมันอยู่โดยการปรับเทียบจะทำโดยทำได้โดยตามขั้นตอนด้านบน (9 ถึง 17)

18. หน้าจอโปรแกรม Dynamometer คลิก View menu

19. เลือกคลิก Fuel consumption จะปรากฏหน้าต่างของ Fuel consumption

20. ตั้งเวลาในการทำ Fuel consumption โดยคลิกเพื่อเพิ่มหรือลดที่ Timing in sec.

หรือสามารถใช้การพิมพ์ในช่องตัวเลขก็ได้ (เวลาสูงสุดในการทำได้คือ 60 วินาที)

21. ตั้งรอบการทำงานของเครื่องยนต์ โดยทำตามขั้นตอนดังนี้

ก. หมุนปุ่ม Break ของชุด Remote control ไปยังรอบที่ต้องการ (เช่นที่ 3,000 rpm สังเกตเข็มสีฟ้าบนหน้าปัดของ Dial rpm ซี่ที่ 3,000 rpm)

ข. กดปุ่ม % Throttle ให้ความเร็วรอบเพิ่มขึ้นจนเลยความเร็วรอบที่ตั้งไว้ไปเพียง เล็กน้อยแล้วปล่อย รอสักครู่เข็มของความเร็วยุโรปคือเข็มสีแดง จะลดลงมาที่ความเร็วที่ได้เซทไว้ ณ

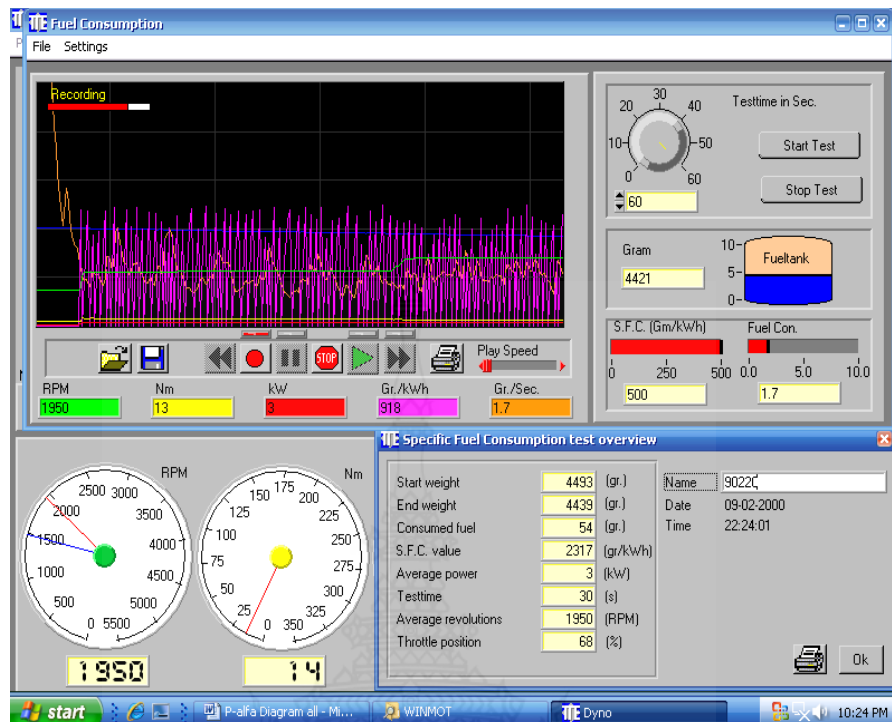
ขณะนี้ผลที่ได้คือเครื่องยนต์จะเดินที่ความเร็วรอบตามที่ได้ตั้งไว้และมีค่า % Throttle ค่าหนึ่ง ถ้าต้องการเพิ่ม % Throttle ขึ้นไปอีกก็สามารถกดปุ่ม  $\pm$  Throttle เพิ่มขึ้นไปอีกที่ค่าที่ต้องการแล้วปล่อยโดยที่ความเร็วไม่เพิ่มขึ้น (ความเร็วรอบและ % Throttle)

22. รोजनแนใจว่าความเร็วรอบคงที่หรือใกล้เคียงกับความเร็วรอบที่ตั้งไว้ จากนั้นทำการคลิกที่ Start test บนหน้าต่างของ Fuel consumption

23. ระบบจะเริ่มทำการทดสอบ Fuel consumption ตามที่ต้องการ โดยเวลาจะเริ่ม Count down ลงไปหาศูนย์ ในระหว่างนี้ถ้าต้องการ Save กราฟของ Real time mode สามารถทำได้โดยคลิกที่ปุ่ม Record ก็จะทำให้การบันทึกและเมื่อสิ้นสุดการบันทึกให้คลิกปุ่ม Save พร้อมทั้งชื่อไว้เพื่อเรียกดูภายหลังได้

24. เมื่อจบการทดสอบการทำ Fuel consumption โปรแกรมจะมีรายงานการทำ Fuel consumption โชว์ปรากฏขึ้น ให้พิมพ์ชื่อผู้ทำการทดสอบและคลิกที่รูป Printer เพื่อพิมพ์รายงานออกมา (กรณีมีเครื่อง Printer)

**หมายเหตุ** การทำ Fuel consumption ดังรูปที่ 4.2 มีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการหาอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ที่รอบคงที่และจึงเปิด % Throttle คงที่ค่าหนึ่ง และยังสามารถกำหนดหาอัตราการสิ้นเปลืองของเชื้อเพลิงหรือการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงตามความเร็วรอบที่เราต้องการที่จะหาได้อีกด้วยโดยการหาอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์สามารถทำได้โดยตามขั้นตอนด้านบน (18 ถึง 24)

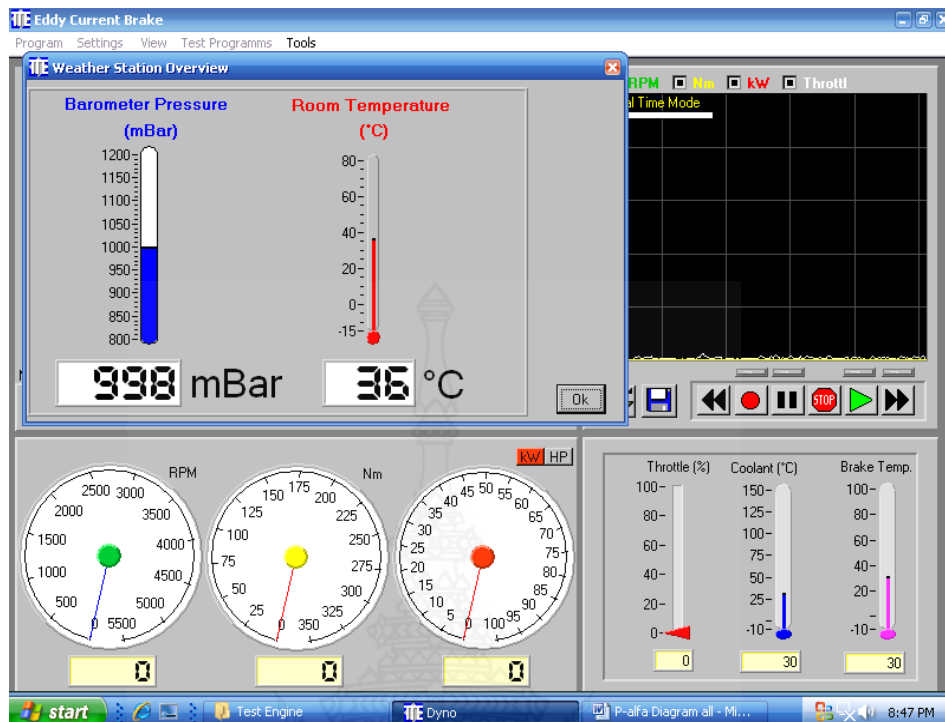


รูปที่ 4.2 หน้าต่างของ Fuel consumption

25. หน้าจอโปรแกรม Dynamometer คลิก View menu
26. เลือกคลิก Weather station overview
27. จะปรากฏหน้าต่างของ Weather station overview

**หมายเหตุ** การเลือกใช้ฟังก์ชัน Weather station overview menu ดังรูปที่ 4.3 สามารถทำให้ทราบถึงสภาพแวดล้อมของห้องทดสอบที่เครื่องยนต์ทำการทดสอบ โดยจะแสดงค่าพารามิเตอร์ของสภาพแวดล้อมของห้องที่เครื่องยนต์ทำการทดสอบ โดยพารามิเตอร์ ทั้ง 2 คือ

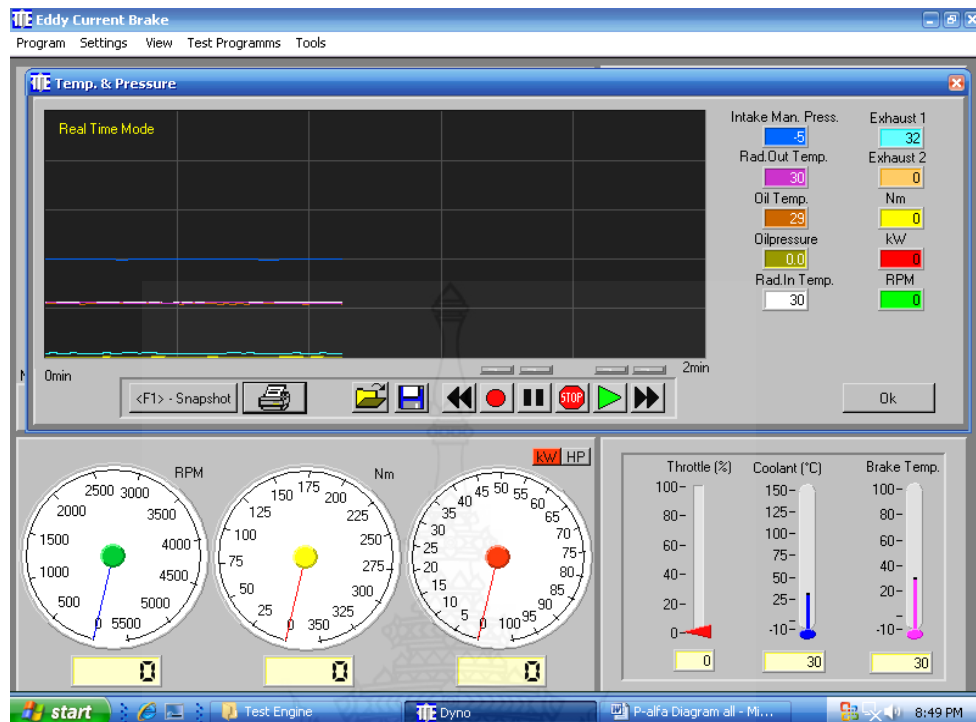
- Barometer pressure เป็นความดันบรรยากาศของห้องทดสอบ มีหน่วยเป็นมิลลิบาร์ (mBar) โดยค่าความดันนี้ในแต่ละสถานที่จะไม่เหมือนกันขึ้นอยู่กับความสูง/ต่ำเหนือระดับน้ำทะเล
- Room temperature เป็นอุณหภูมิห้องของห้องทดสอบ



รูปที่ 4.3 หน้าต่างของ Weather station overview

28. หน้าจอโปรแกรม Dynamometer คลิก View menu
29. เลือกคลิก Temperature & Pressure overview
30. จะปรากฏหน้าต่างของ Temperature & Pressure overview

**หมายเหตุ** การเลือกใช้ฟังก์ชัน Temperature & Pressure overview ดังรูปที่ 4.4 จะมีหน้าต่างที่เป็นการสรุปที่แสดงถึงค่าพารามิเตอร์ของความดัน (Pressure) และอุณหภูมิ (Temperature) ที่เกี่ยวข้องและถูกตรวจจับด้วย (Sensor) โดยติดตั้งไว้กับเครื่องยนต์ การเข้าไปในส่วนนี้สามารถทำได้โดยตามขั้นตอนด้านบน (28 ถึง 30)



รูปที่ 4.4 หน้าต่างของ Temperature & Pressure overview

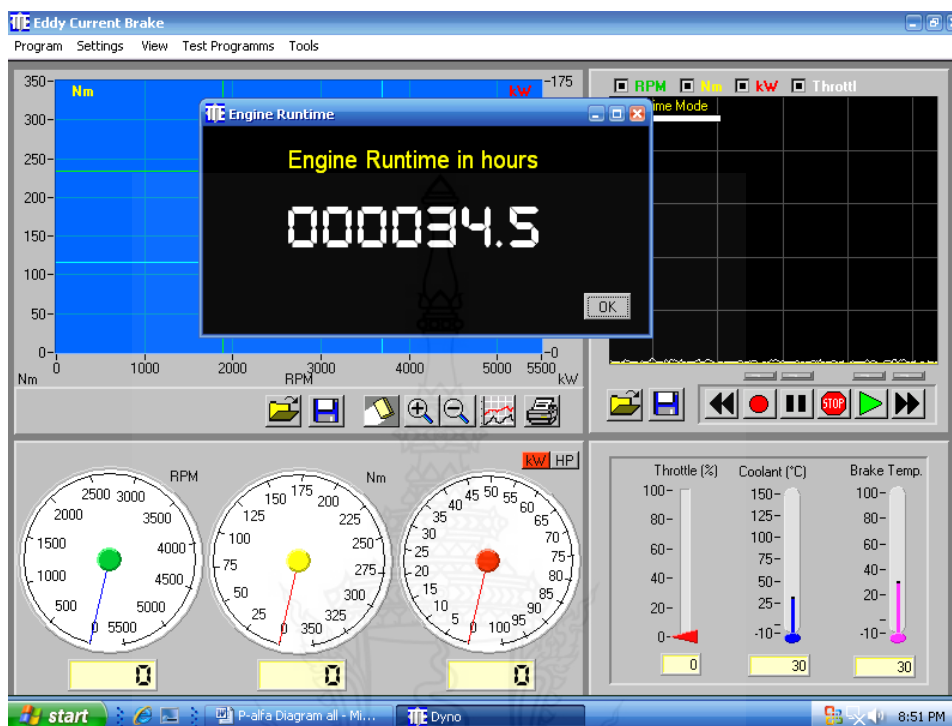
จากรูปที่ 4.4 เป็นหน้าต่างของ Temperature & Pressure overview จะมีค่าที่พารามิเตอร์ตรวจจับด้วย Sensor ทั้งหมดดังนี้

- Intake man. Press. เป็นความดันของอากาศ (ไอดี) ที่วัดหลังจากออก Air filter
- Rad. Out temp. อุณหภูมิของน้ำ Coolant หลังจากออกจากรังผึ้ง (Radiator)
- Oil temp. อุณหภูมิของน้ำมันเครื่องยนต์
- Oil press. ความดันของน้ำมันเครื่องยนต์
- Rad. In temp อุณหภูมิของน้ำ Coolant ก่อนเข้าออกจากรังผึ้ง (Radiator)
- Exhaust 1 อุณหภูมิของไอเสีย (วัดหลังจากออกจากห้องเผาไหม้)
- Exhaust 2 ไม่มี (เนื่องจากไม่ได้ติดตั้ง Sensor ไว้)
- N.m แรงบิด (Torque)
- kW กำลัง (Power)
- rpm ความเร็วรอบ (Speed)

31. หน้าจอโปรแกรม Dynamometer คลิก View menu

32. เลือกคลิก Runtime engine

### 33. จะปรากฏหน้าต่างของ Runtime engine



รูปที่ 4.5 หน้าต่างของ Runtime engine

**หมายเหตุ** การเลือกใช้ฟังก์ชัน Runtime engine ดังรูปที่ 4.5 เป็นตัวที่แสดงเวลาในการใช้งานเครื่องยนต์ (สตาร์ทเครื่องยนต์) จะแสดงในรูปแบบของจำนวนชั่วโมง เพื่อประโยชน์ในการอ้างอิงของการซ่อมบำรุง การเข้าไปในส่วนนี้สามารถทำได้โดยตามขั้นตอนด้านบน (31 ถึง 33)

#### 4.1.4 เริ่มทำการทดสอบ

ชุดทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ ชุดควบคุม ดังรูปที่ 4.7 โดยอุปกรณ์ต่าง ๆ ต้องใช้กระแสไฟฟ้าในการทำงานดังนั้น หากในขณะที่ทำการทดสอบเกิดไฟฟ้าดับอย่างกะทันหัน ระบบจะตัดการทำงานไปอย่างสิ้นเชิง ควรรีบบิดสวิทซ์การทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ ทั้งหมดรอจนกว่าไฟฟ้าจะมาปกติเพื่อป้องกันการเกิดความเสียหายของชุดอุปกรณ์ทดสอบ



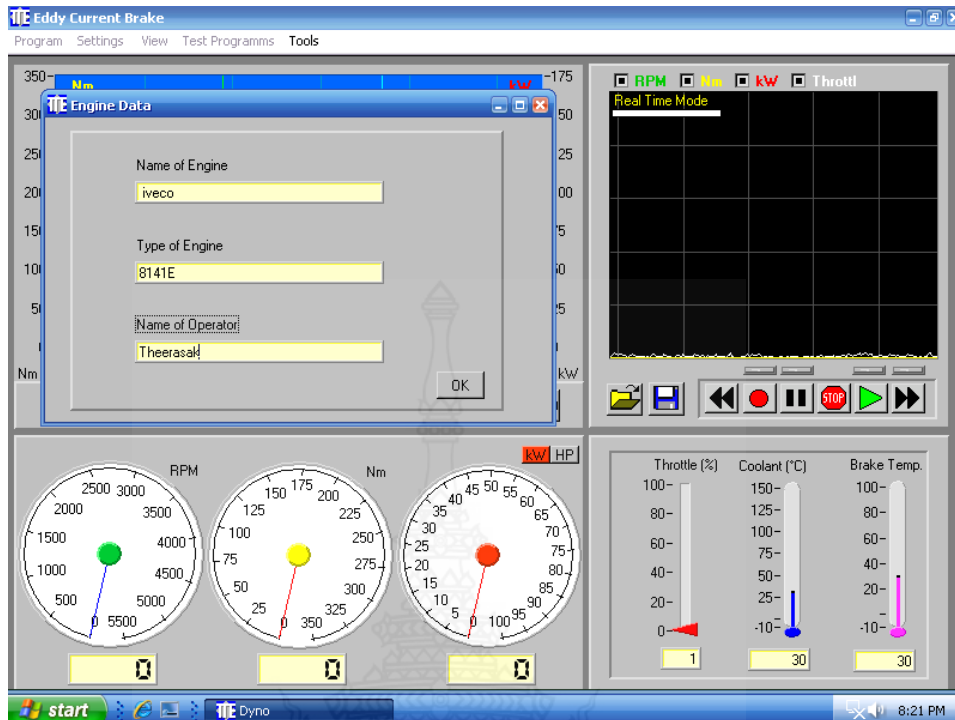


รูปที่ 4.6 ชุดควบคุมที่ใช้ในการทดสอบ (Control unit)

1. หน้าจอโปรแกรม Dynamometer คลิก Test program menu
2. คลิกเลือก Automatic test settings จะมีหน้าต่างของ Automatic test settings ขึ้นมา ซึ่งต้องเลือกพารามิเตอร์ในการทำ Automatic test ดังนี้
  - Testing from low to high เป็นการ Test จากรอบต่ำไปสูง
  - Testing from high to low เป็นการ Test จากรอบสูงไปต่ำ
  - Start rpm เลือกความเร็วเริ่มต้นในการทดสอบ
  - End rpm เลือกความเร็วสูงสุดท้ายในการทดสอบ
  - In step of เลือกระดับการเพิ่มหรือลดรอบของเครื่องยนต์ ในการทดสอบว่าขั้นละกี่ rpm
  - Deviation ตั้งค่าความคลาดเคลื่อน rpm ที่ยอมรับได้ในการทดสอบ
  - Log data when rpm is ทำการกำหนดเวลาการคงที่ของแต่ละ Step (เป็นวินาที) ในการทดสอบรอบเครื่องยนต์จะนิ่งอยู่ในสภาวะกี่วินาที







รูปที่ 4.8 หน้าต่างของ Engine data

5. ทำการเปิด % Throttle ไปยังตำแหน่งสูงสุด (100%) โดยการกดปุ่ม  $\pm$  Throttle แต่ก่อนอื่นต้องช่วยเครื่องยนต์โดยเดินเครื่องไปที่รอบต่ำๆ โดยการหมุน Break ให้เข็มสีฟ้าชี้ในตำแหน่งรอบต่ำ (เช่น 2,000 rpm) ของหน้าปัด rpm แล้วกดปุ่ม + % Throttle ของ Remote ให้เลย 2,000 rpm ไปเล็กน้อยแล้วปล่อย รอจนรอบคงที่ตามที่ตั้งไว้ จากนั้นค่อยเปิด % Throttle ไปที่ 100% (ในที่นี้เปิดไปที่ 70 - 80%)

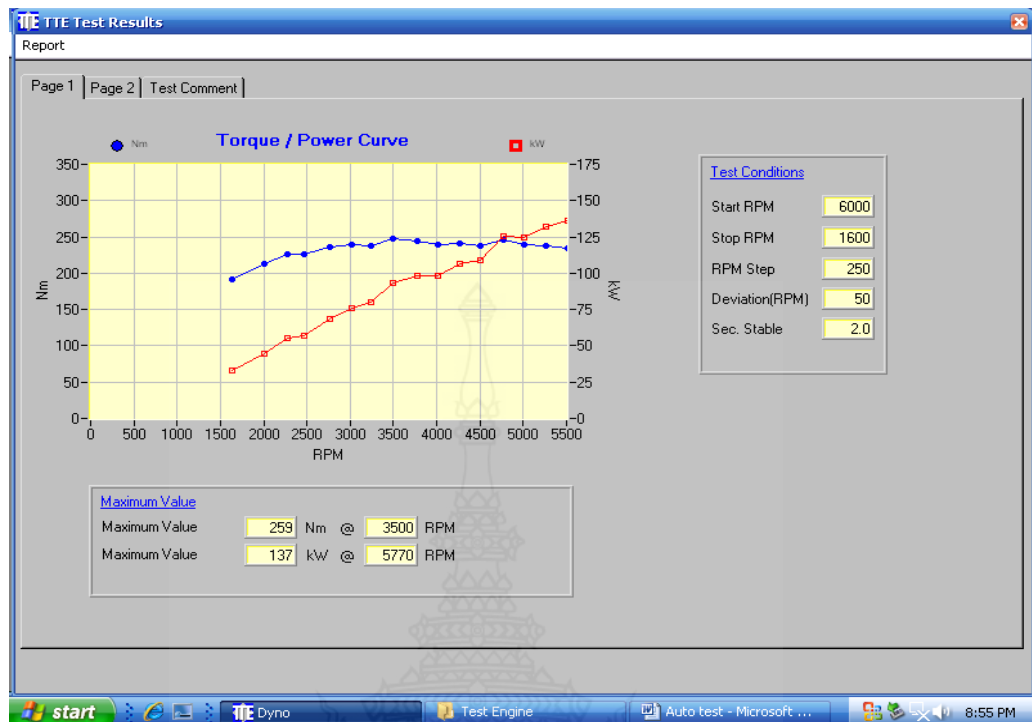
6. ที่หน้าจอ Dyno Program คลิกเลือก Start automatic test ระบบจะทำการ Test แบบอัตโนมัติทีละ Step จนครบตามโปรแกรมที่ตั้งไว้

7. เมื่อสิ้นสุดการ Test แล้วจะปรากฏกราฟของ Performance curve ที่หน้าจอ

8. ทำการขยายกราฟให้พอดีกับสัดส่วนของค่าเปรียบเทียบต่าง ๆ

9. ทำการ Save กราฟและตั้งชื่อโดยการคลิกที่รูปแผ่นดิสก์

10. จากนั้นสามารถดูรายงานได้จากการทำ Automatic test ได้โดยคลิกที่ Test programs และคลิก Test report จะปรากฏหน้าต่างผลการ Test ดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 หน้าต่างของ Test report

ที่มา: บริษัท ไคเนติกส์ คอร์ปอเรชั่น (2543)

**หมายเหตุ** การทดสอบข้างต้นจะเป็นการทดสอบแบบ Automatic test และเป็นการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Speed-Torque และ Speed-Kilowatt หรือสร้าง Performance curve การทำสามารถทำได้ตามขั้นตอนข้างต้น (1 ถึง 10)

11. หน้าจอโปรแกรม Dynamometer คลิก Test program menu

12. คลิกเลือก Duration test settings จะมีหน้าต่างของ Duration test ขึ้นมา ดังนี้

ก. Insert step สำหรับเขียนคำสั่งหรือโปรแกรม หลังจากคลิกที่ปุ่มนี้จะมีหน้าต่างเล็กๆ ให้ป้อนค่าอยู่ 3 ค่าคือ

- Set rpm ใส่ค่าความเร็วรอบที่ต้องการ

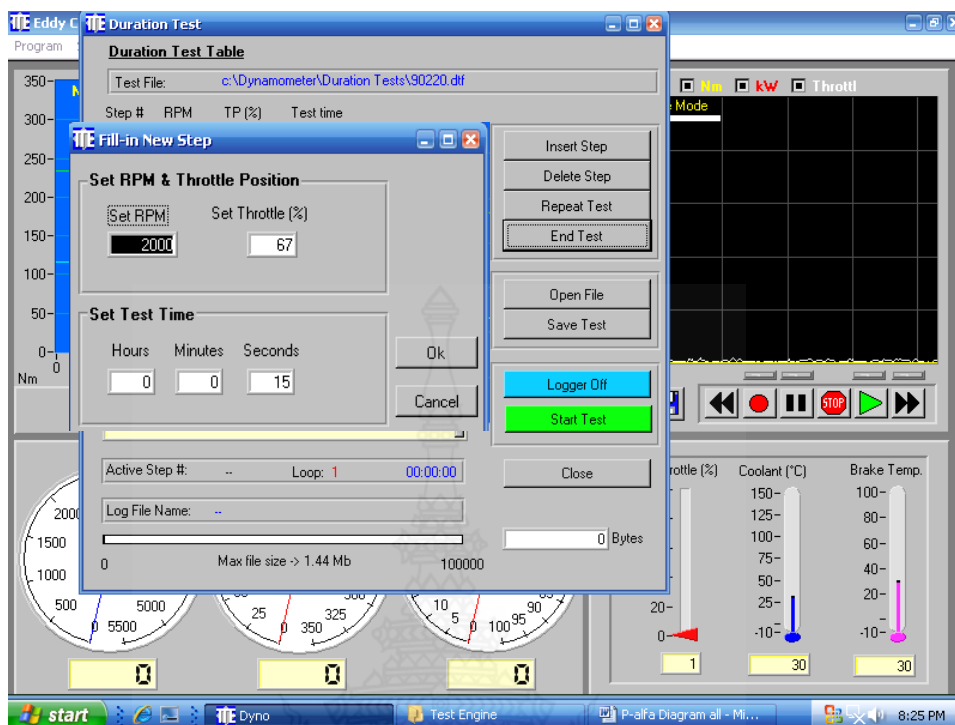
- Set throttle (%) ตั้ง % throttle ที่ต้องการ

- Set test time ตั้งเวลาในการทดสอบ

ข. Delete step คลิกเพื่อลบ Step ของโปรแกรมที่เขียนขึ้นที่ละ Step

ค. Repeat step เป็นคำสั่งที่สั่งให้โปรแกรมทำงานเป็นรอบวนลูปเป็น

- จำนวนครั้ง โดยหลังจากคลิกปุ่มนี้โปรแกรมจะให้ป้อนตัวเลขที่ต้องการให้เครื่องยนต์ทำงานวนลูป โดยปกติแล้วคำสั่งนี้จะใส่ก่อนจะถึงคำสั่ง End test
- ง. End test เป็นคำสั่งที่ใช้ปิดท้ายโปรแกรม (ต้องป้อนทุกครั้ง) เพื่อบอกให้โปรแกรมทราบว่าจบคำสั่งแล้ว
- จ. Open file เป็นคำสั่งที่ใช้เปิดโปรแกรมที่ทำการ Save ไว้
- ฉ. Save file เป็นคำสั่งเพื่อใช้บันทึกโปรแกรมที่ได้เขียนไว้เพื่อเรียกใช้งานใหม่ภายหลัง
- ช. Logger off เป็นคำสั่งสำหรับเก็บข้อมูลผลการทำ Duration test เพื่อเรียกดูภายหลัง โดยจะเก็บในรูปแบบของ Text file
- ซ. Start test เป็นคำสั่งให้เริ่มทำ Duration test
13. คลิก Insert step เพื่อป้อนโปรแกรม (ถ้ามีโปรแกรมเก่าอยู่ให้คลิก Delete step เพื่อให้หน้าจอร้าง)
  14. ใส่ค่า rpm, % Throttle และ Test time ที่ต้องการ จากนั้นคลิก OK
  15. ถ้าต้องการเพิ่ม Step ให้คลิก Insert step อีกครั้งและป้อนค่า
  16. ถ้าต้องการให้โปรแกรมทำงานเป็นลูปให้คลิกที่ Repeat step และป้อนจำนวนลูปที่ต้องการ จากนั้นคลิก OK
  17. ปิดท้ายโปรแกรมทุกครั้งด้วยคำสั่ง End test
  18. เริ่มการทำ Duration test โดยการคลิกที่ Start test



รูปที่ 4.10 หน้าต่างของ Duration test

**หมายเหตุ** การทดสอบข้างต้นเป็นการทดสอบแบบ Duration test ดังรูปที่ 4.11 จะเป็นการเขียนโปรแกรมให้เครื่องยนต์ทำงานตามลำดับขั้นตอนแบบอัตโนมัติตามโปรแกรมที่ตั้งไว้ โดยโปรแกรมที่เขียนขึ้นประกอบไปด้วย rpm, % Throttle, Test time การทำสามารถทำได้ตามขั้นตอนข้างต้น (11 ถึง 18)

#### 19. การ Setting HLV

- ก. หน้าจอ Windows ปกติ เข้าโปรแกรม MSD for windows
- ข. เปิดเครื่อง HLV กดปุ่ม On เพื่อเปิดเครื่อง
- ค. กดปุ่ม E.init จะปรากฏเมนู 3 เมนูคือ
  - Engine edit สำหรับแก้ไขข้อมูลที่ Save ไว้ในเครื่องก่อนหน้า
  - Add engine สำหรับเพิ่มหรือสร้างข้อมูลใหม่
  - Delete engine สำหรับลบข้อมูลเดิม
- ง. กดปุ่ม 1 (Add engine)
- จ. เครื่องให้ใส่ชื่อข้อมูล (Engine no = 2,000) กรณีนี้ต้องการวัดที่ 2,000 rpm

- ฉ. ใส่จำนวนกระบอกสูบ (Cylinder count = 4) กรณีนี้มี 4 กระบอกสูบ
- ช. ใส่ประเภทเครื่องยนต์ที่จังหวะ (Engine type) กรณีนี้กด 2 (4 Stroke eng)
- ซ. ใส่มุม Test series length กรณีนี้กด 2 (720 องศา) เนื่องจากเครื่องยนต์แบบ 4 จังหวะ
- ญ. เลือกวิธีการวัดตำแหน่ง TDC ว่าเป็นแบบใด ในกรณีนี้กด 2 (Ignition angle) เนื่องจากมีการติดตั้ง Sensor วัดมุมตำแหน่งของ TDC
- ฎ. ใส่ค่ามุมการวัดมุมครั้งที่ 1 (1. Cylinder : 0) ในส่วนกรณีนี้กด 0 เนื่องจาก Opto-Sensor เช็คตำแหน่ง TDC หรือศูนย์องศาทุกครั้ง แล้วกด Enter
- ณ. ใส่ค่ามุมการวัดมุมครั้งที่ 2 (2. Cylinder : 0) ในส่วนกรณีนี้กด 0 เนื่องจาก Opto-Sensor เช็คตำแหน่ง TDC หรือศูนย์องศาทุกครั้ง แล้วกด Enter
- ด. ใส่ค่ามุมการวัดมุมครั้งที่ 3 (3. Cylinder : 0) ในส่วนกรณีนี้กด 0 เนื่องจาก Opto-Sensor เช็คตำแหน่ง TDC หรือศูนย์องศาทุกครั้ง แล้วกด Enter
- ต. ใส่ค่ามุมการวัดมุมครั้งที่ 4 (4. Cylinder : 0) ในส่วนกรณีนี้กด 0 เนื่องจาก Opto-Sensor เช็คตำแหน่ง TDC หรือศูนย์องศาทุกครั้ง แล้วกด Enter
- ถ. เครื่องจะกลับมาหน้าจอของของ E.init ให้กด Enter เครื่องจะกลับมาหน้าจอปกติเป็นการจบขั้นตอน
20. เตรียมความพร้อมของเครื่องยนต์
- ก. เปิดโปรแกรม Dynamometer program
- ข. หมุนปุ่ม Break ของชุด Remote ให้เข็มสีฟ้าชี้ที่ 2,000 rpm (ในกรณีนี้ผู้ใช้ต้องการวัดที่รอบ 2,000 rpm)
- ค. กดปุ่ม + % Throttle ให้ความเร็ว (เข็มสีแดง) พ้น 2,000 rpm เล็กน้อยแล้วปล่อยรอจนกระทั่งความเร็วรอบตกลงมาที่ 2,000 rpm หรือใกล้เคียงแล้วจึงกด + % Throttle ขึ้นไปถึง 100% (กรณีนี้กดปุ่ม + % Throttle 70 - 80%) เป็นการจบขั้นตอน
21. ทำการวัดข้อมูลโดยเครื่อง HLV (เมื่อขั้นตอน 20 เรียบร้อยแล้ว)
- ก. ที่เครื่อง HLV กดปุ่ม Measure
- ข. ใส่ชื่อเครื่องยนต์ที่ต้องการวัด (Engine no = 2,000) กรณีนี้ป้อน 2,000 จากนั้นกด Enter
- ค. เครื่องบอกให้กด Enter (ถ้าพร้อม) จึงกด Enter จะทำให้เครื่องโชว์ข้อความ

“Measure in process” นั่นคือเครื่องทำการวัดครั้งที่ 1 รอจนได้ข้อมูลที่ 1 ออกมา

ง. กด Enter อีกครั้งเพื่อให้เครื่องทำการวัดข้อมูลครั้งที่ 2 รอจนได้ข้อมูลครั้งที่ 2 ออกมา

จ. กด Enter อีกครั้งเพื่อให้เครื่องทำการวัดข้อมูลครั้งที่ 3 รอจนได้ข้อมูลครั้งที่ 3 ออกมา

ฉ. กด Enter อีกครั้งเพื่อให้เครื่องทำการวัดข้อมูลครั้งที่ 4 รอจนได้ข้อมูลครั้งที่ 4 ออกมา

ช. กด Enter อีกครั้งเครื่องจะกลับออกมาสู่หน้าจอปกติของ HLV เป็นอันจบขั้นตอน

22. การโหลดข้อมูลจาก HLV มาที่คอมพิวเตอร์ มี 2 ขั้นตอนคือ

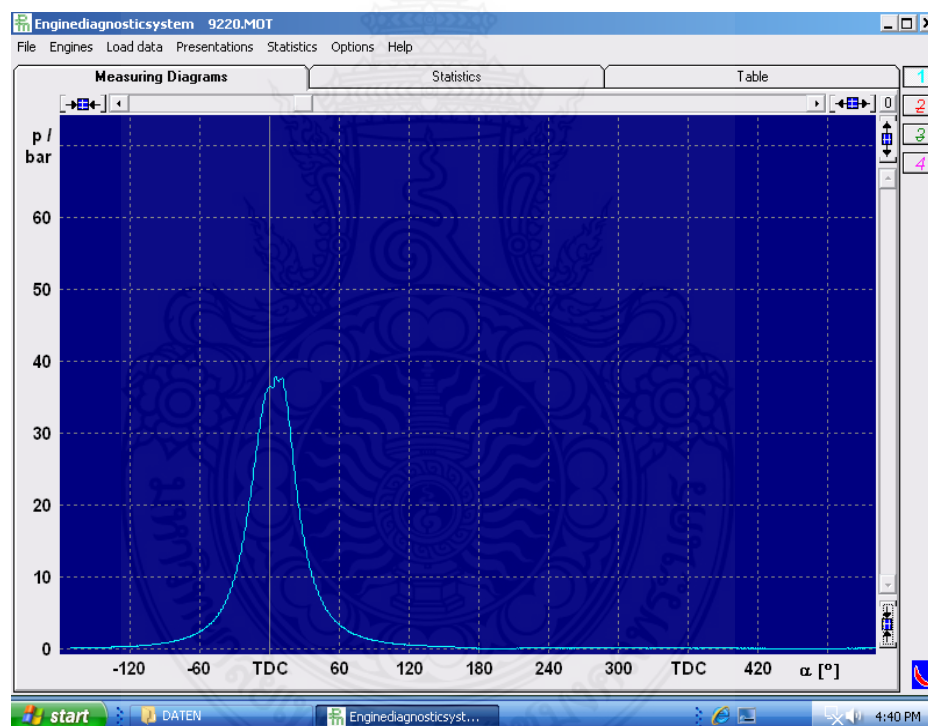
ก. การเตรียมความพร้อมที่เครื่องคอมพิวเตอร์ ทำได้ดังนี้

- ที่หน้าจอคอมพิวเตอร์ปกติให้เลือกโปรแกรม MSD for windows
- จะปรากฏหน้าต่างของ MSD for windows ดังรูปที่ 4.11 และ 4.12
- ลบข้อมูลเดิมที่อยู่ในกราฟเสียก่อนโดยคลิก File เลือก Close
- จากนั้นให้คลิก Load data
- คลิกเลือก Load data from HLV
- คลิกเลือก 8141 แล้วกด Enter
- เครื่องจะเตือนและบอกว่าให้เริ่มทำการดาวน์โหลดข้อมูล 100% (Input actual engine point in percent = 100%) ถึงขั้นตอนนี้เหลือเพียงกด Enter แต่ต้องรอเซททางเครื่อง HLV ก่อน ดังนั้นรอเซทเครื่อง HLV ก่อนแล้วจึงกด Enter

ข. การเซทเครื่องที่ HLV

- ที่เครื่อง HLV กดปุ่ม PC
- เครื่องจะให้ใส่ข้อมูลที่ต้องการจะโหลด (Engine no = 2,000) กรณีนี้ใส่ 2,000 เพราะได้ตั้งชื่อข้อมูลไว้ “2,000” แล้วกด Enter
- เครื่องจะให้ใส่ข้อมูลของกระบอกสูบที่เท่าไรที่ต้องการดาวน์โหลด (Cylinder no = “-”) กรณีนี้จะใส่เครื่องหมาย “-” หมายถึงทั้งหมด (4 กระบอกสูบ) แล้วจึงกด Enter

- กด Enter เพื่อ Start เริ่มส่งข้อมูล
- ที่เครื่องคอมพิวเตอร์ให้ทำการกด Enter ตามเพื่อรับข้อมูล
- ที่หน้าจอของคอมพิวเตอร์จะเห็นภาพการรับข้อมูลและเมื่อจบแล้วจะปรากฏภาพของ P-Alfa diagram ขึ้น
- ทำการ Save ข้อมูลโดยคลิก File และเลือก Save as พร้อมทั้งชื่อข้อมูล จากนั้นคลิก Save
- ทำการปิดข้อมูลโดยคลิก File และเลือก Close แล้วจึงเปิดข้อมูลใหม่โดยคลิก Open และเลือก File ที่ Save ไว้แล้วจึงกด Enter
- ที่หน้าจอจะปรากฏ P-Alfa diagram ถ้าต้องการจะดู P-V diagram ให้คลิก Presentation menu และเลือก P-V diagram

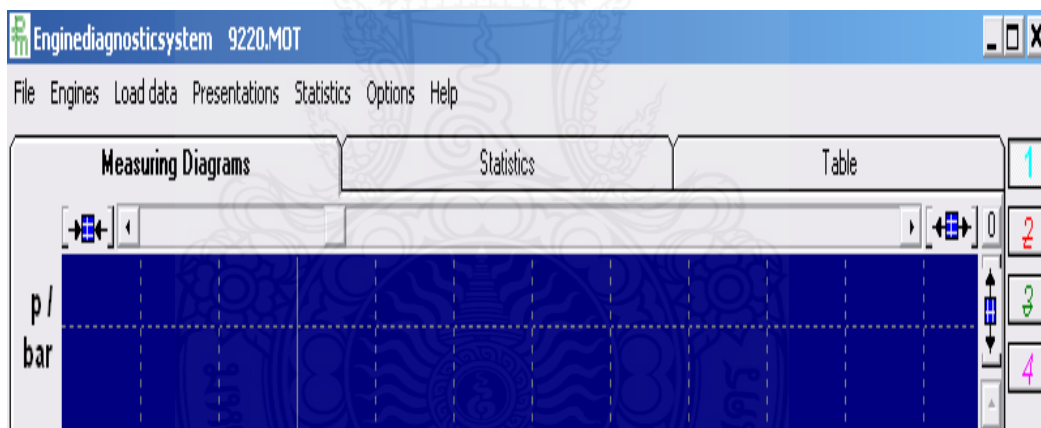


รูปที่ 4.11 หน้าต่างของ MSD for windows

### 23. การหา Timing fuel injection

- ก. เปิดไฟล์ข้อมูลของ P-Alfa diagram ที่ต้องการหา
- ข. คลิกเลือกเมนู Presentation

- ค. คลิกเลือก Cursor จะปรากฏมุมมองศาที่มุมด้านขวามือ
- ง. ทำการขยายภาพ (โดยคลิกที่เครื่องหมายลูกศร 2 อันที่ด้านหลังชนกัน) เพื่อ Zoom ส่วนที่น่าจะเป็นจุดของ Timing fuel injection จากนั้นใช้เมาส์คลิกตรงจุดนั้นก็จะได้มุมของ Timing fuel injection ออกมา
- จ. มุมขวาบนของหน้าต่าง MSD for windows จะมีตัวเลข 1,2,3,4 เรียงตามแนวตั้ง เป็นตัวเลือกสำหรับการเลือกโชว์กราฟของแต่ละเส้น (ทั้งหมด 4 เส้น) ที่จะบอกว่าเป็นกราฟเส้นที่เท่าไร การเลือกทำโดยการคลิกที่ตัวเลข
24. การหา Indicated mean pressure
- ก. เปิดไฟล์ข้อมูลของ P-Alfa diagram ที่ต้องการหา
- ข. คลิกเลือกหน้าต่างของ Table
- ค. Indicated mean pressure จะปรากฏในช่องของ pi [bar]



รูปที่ 4.12 หน้าต่างของ MSD for windows และแถบฟังก์ชันที่ใช้

หมายเหตุ การทดสอบข้างต้นเป็นการทดสอบของการวัด P-Alfa, P-V diagram และ Indicated mean pressure (PI) การทำสามารถทำได้ตามขั้นตอนข้างต้น (19 ถึง 22)



## 4.2 เงื่อนไขในการทดสอบ

### 4.2.1 เชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดสอบ

การศึกษาสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลในครั้งนี จะใช้น้ำมันเชื้อเพลิงในการทดสอบทั้งหมดจำนวน 3 ชนิด ได้แก่

- น้ำมันดีเซล
- น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันยางนา
- น้ำมันน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันยางนาในอัตราส่วน 10, 15, 20 และ 50% (B10, B15, B20 และ B50)

### 4.2.2 ความเร็วรอบของเครื่องยนต์

ในการศึกษาสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลในครั้งนี นอกจากมีการกำหนดชนิดของเชื้อเพลิงดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ยังมีการควบคุมความเร็วรอบของเครื่องยนต์ซึ่งเป็นตัวแปรสำคัญของเครื่องยนต์ โดยทำการทดสอบที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1000, 1500, 2000, 2500, 3000 และ 3500 รอบต่อนาที (rpm)

### 4.2.3 ตัวแปรที่ทำการศึกษา

จากการกำหนดเงื่อนไขตัวแปรสำหรับ การศึกษาสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลในครั้งนี มีการกำหนดชนิดของ เชื้อเพลิง และความเร็วรอบของเครื่องยนต์ดังที่กล่าวมาข้างต้น โดยขณะทำการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์จะมีการศึกษาตัวแปรต่างๆที่ได้จากการทดสอบ ได้แก่

- แรงบิดของเครื่องยนต์
- กำลังของเครื่องยนต์
- ค่าความดันภายในกระบอกสูบของเครื่องยนต์
- อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง
- ปริมาณควันดำจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์

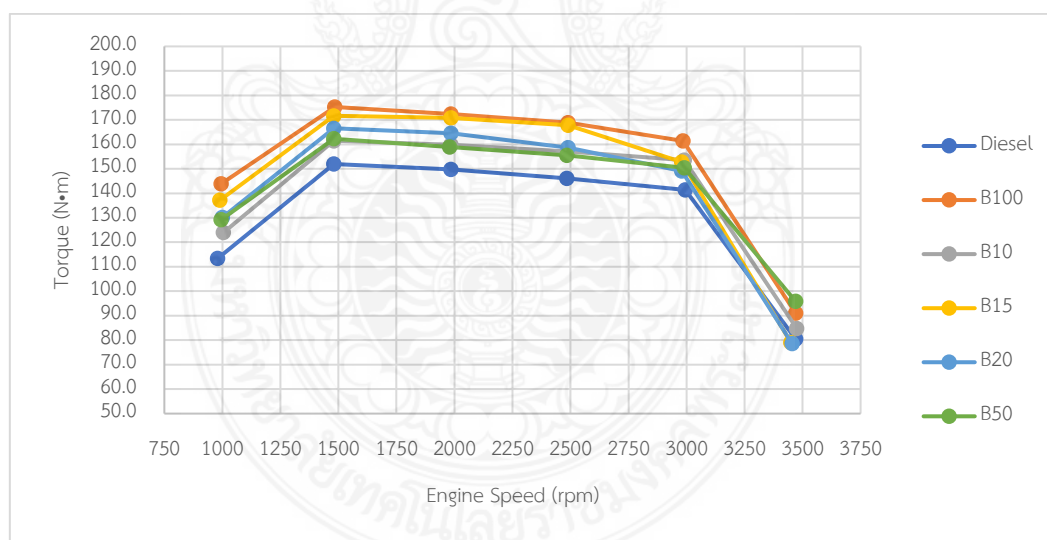
## 4.3 ผลการทดสอบ

### 4.3.1 การทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์

จากการทดสอบพบว่า ในการทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันยางนา (B100) และเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลผสมน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันยางนาใน

อัตราส่วน 10, 15, 20 และ 50% (B10, B15, B20 และ B50) สามารถใช้งานได้โดยที่เครื่องยนต์ยังสามารถเดินเครื่องได้ตามปกติ จากรูปที่ 4.13 และ 4.14 เมื่อเปรียบเทียบแรงบิดและกำลังกับความเร็รรอบของเครื่องยนต์ พบว่าค่าแรงบิดและกำลังของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันไบโอดีเซลจากยางนาเป็นเชื้อเพลิงนั้นเพิ่มขึ้น 13.1 – 26.9% และ 13.4 – 28.2% ตามลำดับเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลทั่วไป ในส่วนของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน B10, B15, B20 และ B50 มีค่าใกล้เคียงกันโดยอยู่ในช่วงระหว่างค่าแรงบิดและกำลังของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลและไบโอดีเซลจากยางนาเป็นเชื้อเพลิง

จากผลการทดสอบนี้เมื่อเพิ่มอัตราส่วนผสมน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันยางนา พบว่าทอร์กและกำลังมีค่าเพิ่มขึ้นจากการการใช้น้ำมันดีเซลอย่างชัดเจน ซึ่งอาจเกิดจากในกลุ่มน้ำมันไบโอดีเซลจะมีออกซิเจนส่วนผสมอยู่ทำให้เกิดการเผาไหม้ที่ดีกว่าการใช้น้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียว (ปฏิภาณ และคณะ, 2003) อีกทั้งน้ำมันไบโอดีเซลจะมีความหนาแน่นมากกว่าน้ำมันดีเซล เมื่อกำหนดช่วงระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิงที่เท่ากันทำให้มีน้ำมันเข้าสู่ห้องเผาไหม้มากกว่าน้ำมันดีเซล (ปฏิภาณ และคณะ, 2015) ซึ่งเป็นเหตุผลสำคัญหลักสองประการที่ทำให้เครื่องยนต์มีทอร์กและกำลังมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อใช้น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันยางนา

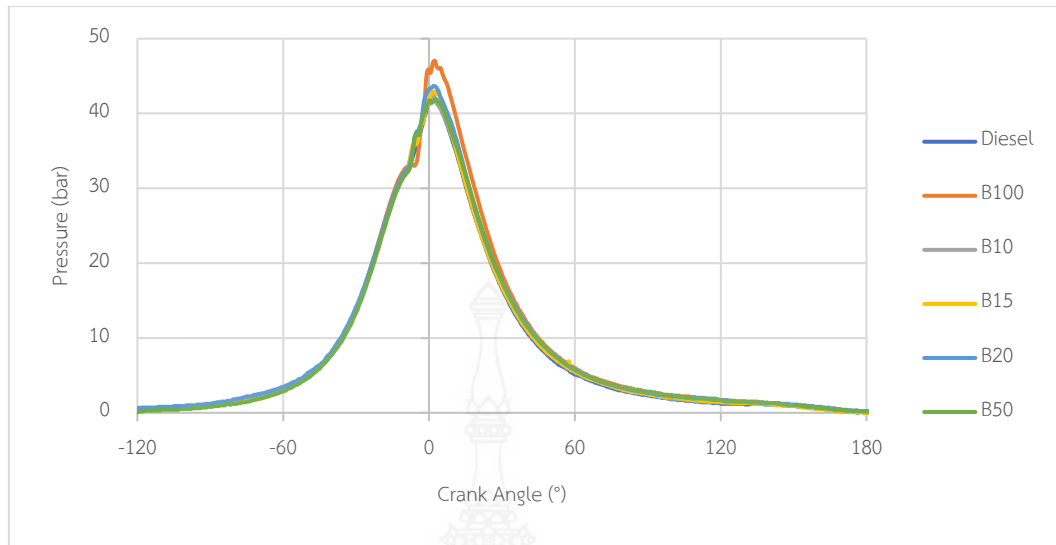


รูปที่ 4.13 การเปรียบเทียบแรงบิดกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์

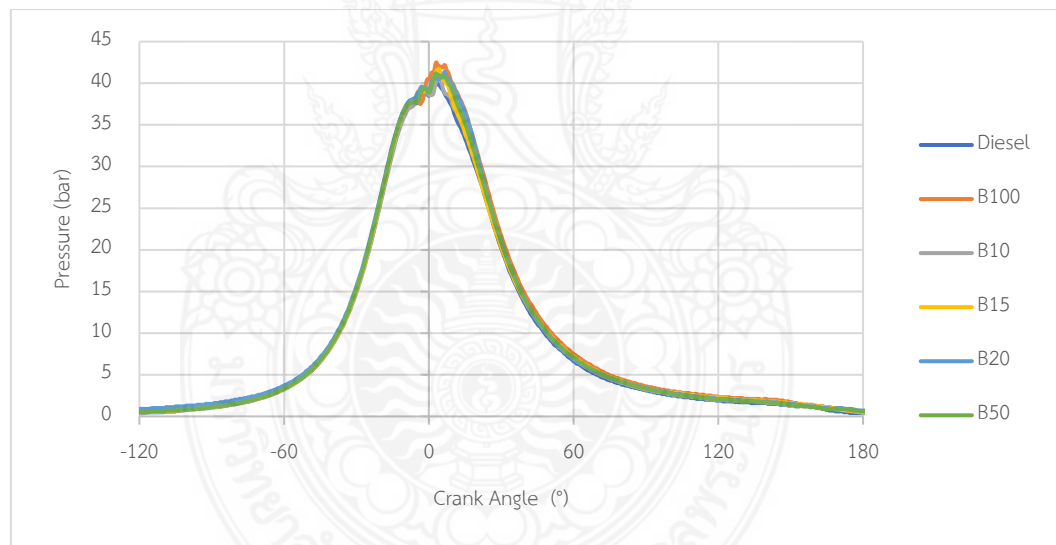


ภาพที่ 4.14 การเปรียบเทียบกำลังกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์

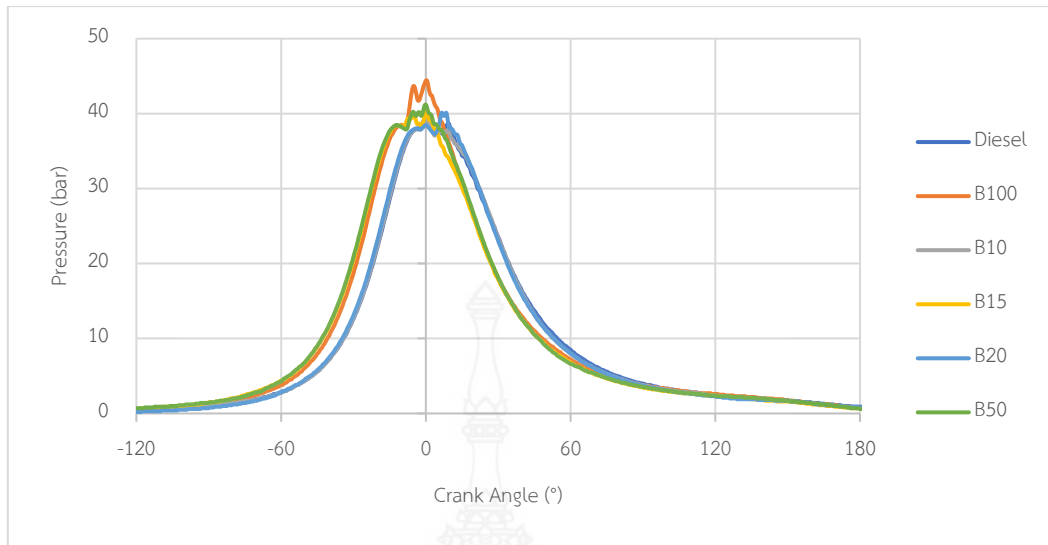
จากรูปที่ 4.15 ถึง 4.20 เมื่อเปรียบเทียบค่าความดันในกระบอกสูบของเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงแต่ละชนิดที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1000-3500 RPM พบว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันไบโอดีเซลจากยางนา นั้นพบว่ามีค่าความดันในกระบอกสูบสูงที่สุด น้ำมันดีเซลและน้ำมัน B10, B15, B20 และ B50 อยู่ในระดับที่ต่ำลงมาและใกล้เคียงกันโดยอยู่ที่ ปัจจัยหลักที่ทำให้ความดันในกระบอกสูบเพิ่มขึ้นคือความสามารถในการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงไปโอดีเซลที่ส่วนผสมของออกซิเจน ซึ่งค่าความดันในกระบอกสูบนั้นมีความสัมพันธ์กับค่าแรงบิดและกำลังของเครื่องยนต์ที่ได้กล่าวถึงในขั้นต้น โดยสังเกตได้ว่าเมื่อค่าความดันในกระบอกสูบเพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้ค่าแรงบิดและกำลังของเครื่องยนต์เพิ่มสูงขึ้นด้วยเช่นกัน ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยที่ผ่านมา (ปฎิภาณ และคณะ, 2003)



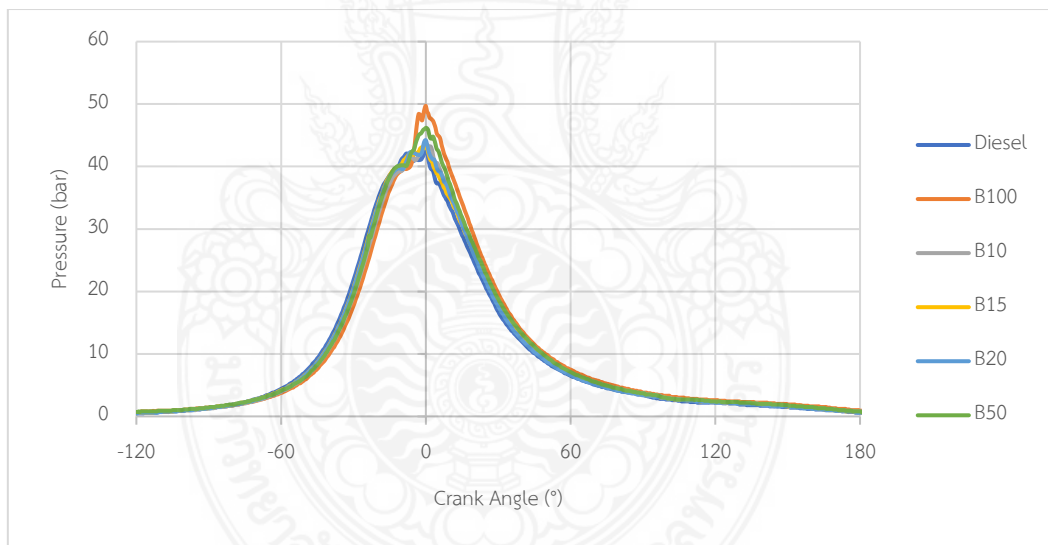
รูปที่ 4.15 การเปรียบเทียบระหว่างความดันในกระบอกสูบของเชื้อเพลิงแต่ละชนิด ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1000 RPM



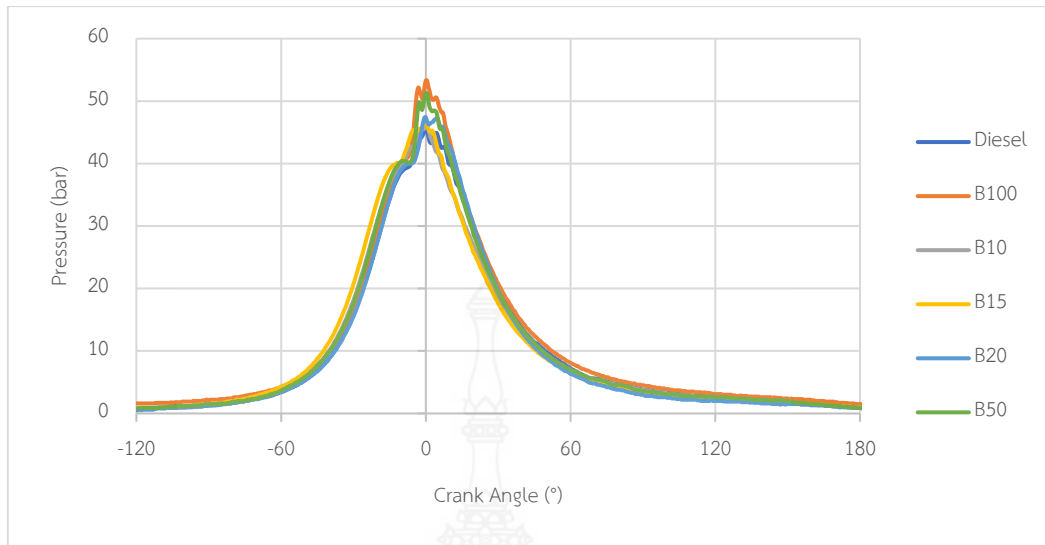
รูปที่ 4.16 การเปรียบเทียบระหว่างความดันในกระบอกสูบของเชื้อเพลิงแต่ละชนิด ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1500 RPM



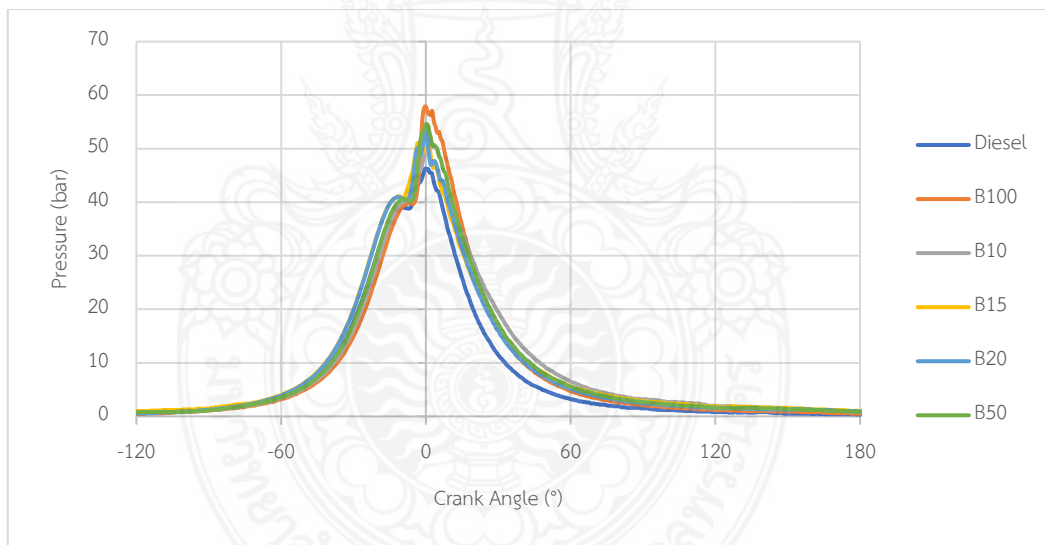
รูปที่ 4.17 การเปรียบเทียบระหว่างความดันในกระบอกสูบของเชื้อเพลิงแต่ละชนิด ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2000 RPM



รูปที่ 4.18 การเปรียบเทียบระหว่างความดันในกระบอกสูบของเชื้อเพลิงแต่ละชนิด ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2500 RPM



รูปที่ 4.19 การเปรียบเทียบระหว่างความดันในกระบอกสูบของเชื้อเพลิงแต่ละชนิด ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3000 RPM



รูปที่ 4.20 การเปรียบเทียบระหว่างความดันในกระบอกสูบของเชื้อเพลิงแต่ละชนิด ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3500 RPM

เมื่อเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรคกับความเร็วยรอบของเครื่องยนต์ ดังภาพที่ 4.21 พบว่าค่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรคของน้ำมันดีเซล น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันยางนา รวมถึงน้ำมันดีเซลผสมน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันยางนาในอัตราส่วนผสมต่าง

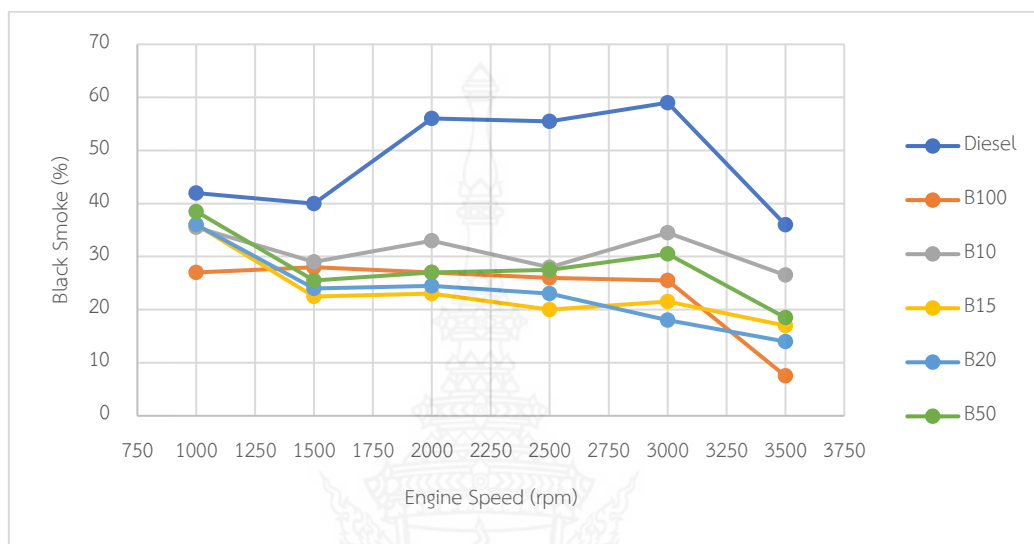
ๆ พบว่ามีพฤติกรรมลักษณะเดียวกันคือ จากความเร็วรอบของเครื่องยนต์จาก 1000 ถึง 1500 RPM มีแนวโน้มที่ลดลงและค่อย ๆ เพิ่มสูงขึ้นเมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้นจาก 1500 ถึง 3500 RPM โดยอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันยางนามีอัตราการสิ้นเปลืองที่สูงกว่าน้ำมันดีเซลปกติ 7.1 – 47.9% ซึ่งอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกจะขึ้นกับค่าความร้อนของเชื้อเพลิง ซึ่งเชื้อเพลิงกลุ่มไบโอดีเซลจะมีความร้อนของเชื้อเพลิงต่ำกว่าน้ำดีเซล 20-40% (ปฏิภาณ และคณะ, 2003) ดังนั้นการที่จะให้กำลังเครื่องยนต์ที่ใกล้เคียงกัน เครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันไบโอดีเซลย่อมต้องใช้เชื้อเพลิงมากกว่าน้ำมันดีเซล ภาพที่ 4.21 แสดงให้เห็นชัดเจนว่าการใช้น้ำมันไบโอดีเซลจากยางนาอย่างเดียวยังทำให้เกิดการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงมากที่สุด



รูปที่ 4.21 การเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์

จากรูปที่ 4.22 เมื่อเปรียบเทียบปริมาณควันท้าของเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงแต่ละชนิดพบว่า มีพฤติกรรมที่ใกล้เคียงกันคือ ที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 1000 ถึง 1500 RPM ปริมาณควันท้าจากเชื้อเพลิงแต่ละชนิดมีเปอร์เซ็นต์ลดลง และค่อย ๆ เพิ่มสูงขึ้นตามความเร็วรอบของเครื่องยนต์ในช่วงความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 1500 ถึง 3000 RPM และลดลงอีกครั้งในช่วงความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 3000 ถึง 3500 RPM โดยปริมาณควันท้าของเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันไบโอดีเซลจากยางนาดีเซลเป็นเชื้อเพลิงมีปริมาณที่น้อยกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียว 30 – 79.1% โดยสาเหตุหลักที่กล่าวไปก่อนหน้านี้ว่าเมื่อใช้น้ำมันไบโอดีเซลจะทำให้เกิดการเผาไหม้ที่ต่ำกว่าส่งผลให้ความดันในกระบอกสูบเพิ่มขึ้น กำลังเพิ่มขึ้น และทำให้เกิดเขม่าที่ทำให้เกิดควันท้าลดลงอย่างชัดเจน

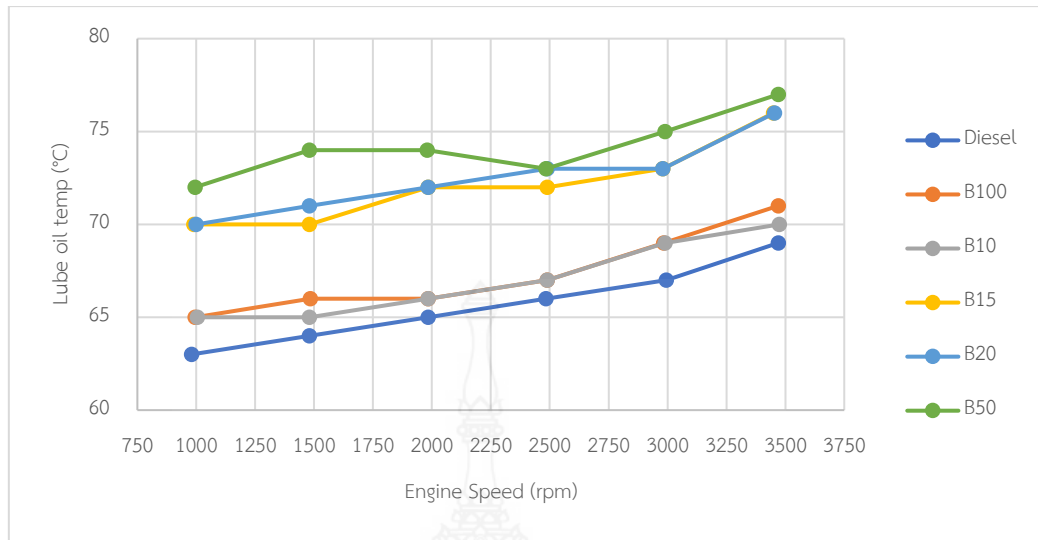
และอีกเหตุผลคือน้ำดีเซลมีองค์ประกอบของคาร์บอนอยู่มากกว่าน้ำมันไบโอดีเซลหลังจากการเผาไหม้ย่อมก่อให้เกิดคาร์ไดออกไซด์ออกมามาก ซึ่งคาร์ไดออกไซด์เป็นองค์ประกอบหลักของควันดำ (Pianthong และคณะ 2011; ปฏิภาณ และคณะ 2003)



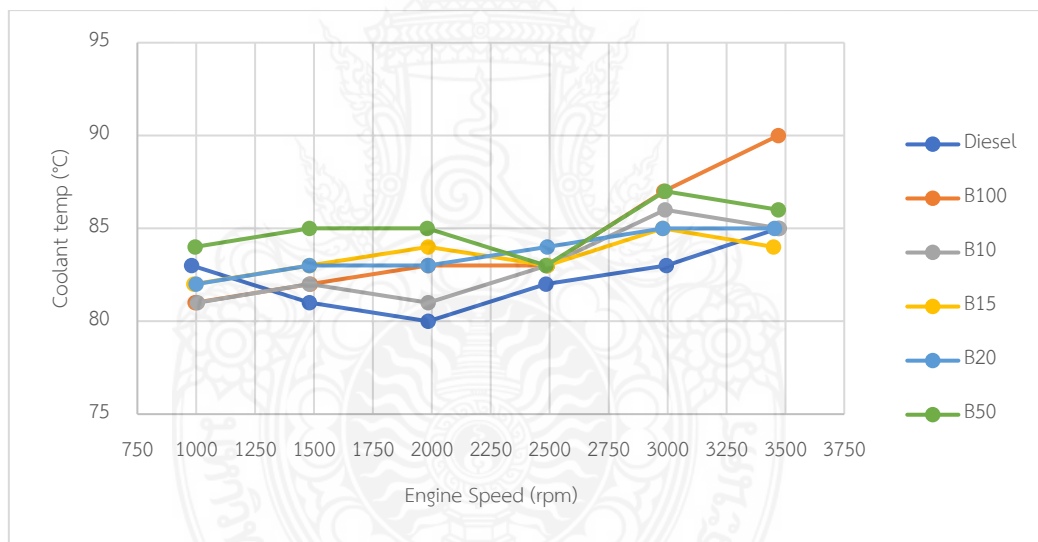
รูปที่ 4.22 การเปรียบเทียบปริมาณควันดำกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์

จากการทดสอบพบว่าอุณหภูมิน้ำหล่อเย็น และอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อมีการทำงานของเครื่องยนต์ ซึ่งเป็นผลมาจากการระบายความร้อนที่สะสมจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ ดังแสดงใน รูปที่ 4.23 และ รูปที่ 4.24 โดยจะเห็นได้ว่าเมื่อใช้เชื้อเพลิง น้ำมันดีเซลผสมน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันยางนาในอัตราส่วนร้อยละ 50 (B50) อุณหภูมิน้ำหล่อเย็น และอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์มีค่าสูงที่สุด





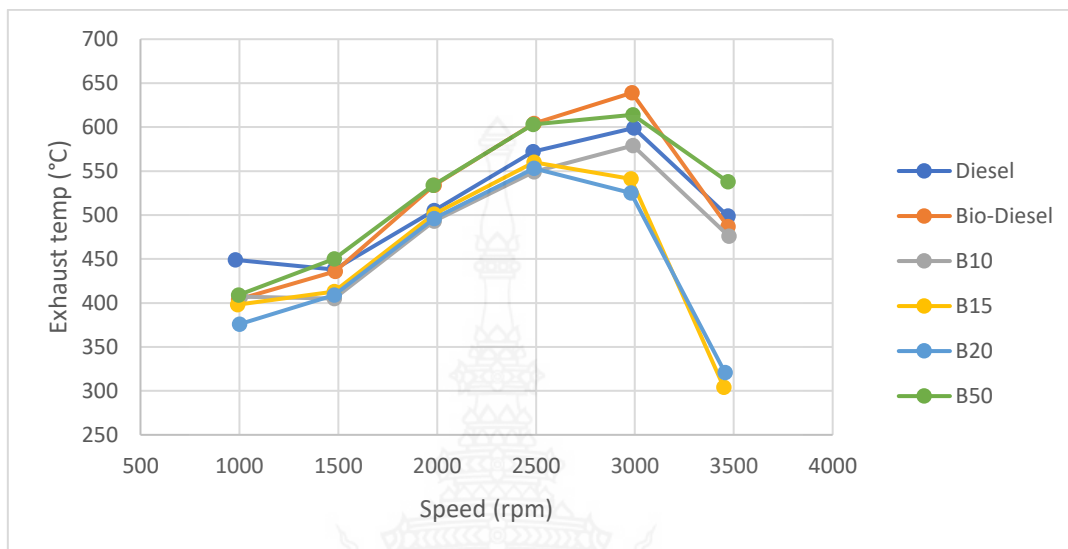
รูปที่ 4.23 การเปรียบเทียบอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นกับความเร็รรอบของเครื่องยนต์



รูปที่ 4.24 การเปรียบเทียบอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นกับความเร็รรอบของเครื่องยนต์

จากรูปที่ 4.25 แสดงถึงการเปรียบเทียบอุณหภูมิของไอเสียกับความเร็รรอบของเครื่องยนต์ ซึ่งจากการทดสอบพบว่าอุณหภูมิไอเสียของเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิง น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันยางนา (B100) ที่ความเร็รรอบ 3000 rpm มีค่าสูงที่สุด แต่โดยเฉลี่ยแล้วเมื่อนำอุณหภูมิไอเสียเมื่อใช้เชื้อเพลิงชนิดต่างมาเปรียบเทียบกันจะเห็นได้ว่า โดยเฉลี่ยอุณหภูมิไอเสียของเครื่องยนต์ที่ใช้

เชื้อเพลิง น้ำมันดีเซลผสมน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันยางนาในอัตราส่วนร้อยละ 50 (B50) มีค่าสูงที่สุดซึ่งมีความสอดคล้องกับอุณหภูมิน้ำหล่อเย็น และอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์



รูปที่ 4.25 การเปรียบเทียบอุณหภูมิไอเสียกับความเร็รรอบของเครื่องยนต์

#### 4.2.3 การทำนายคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากยางนา

ความหนาแน่นของเชื้อเพลิงที่อุณหภูมิปกติและอุณหภูมิต่ำ สามารถหาได้โดยใช้สมการ Riazi (Riazi, 2005) แสดงดังในสมการที่ (4.1)

$$\rho_T = 0.99SG - 10^{-3}(2.34 - 1.898SG)(T - 288.7) \quad (4.1)$$

เมื่อ; SG คือความถ่วงจำเพาะ และ T คือ อุณหภูมิของเชื้อเพลิง (K)

ความหนืดของเชื้อเพลิง ที่อุณหภูมิ -4 °C ถึง 100°C สามารถทำนายได้ตามสมการของ Riazi (Riazi, 2005) แสดงในสมการที่ (4.2)

$$\log_{10}(v_T) = A(311/T)^{BT} - a \quad (4.2)$$

$$A = \log_{10}(v_{(T=311)}) + a \quad (4.3)$$

$$B = b \cdot \log_{10}(v_{(T=311)}) + c \quad (4.4)$$

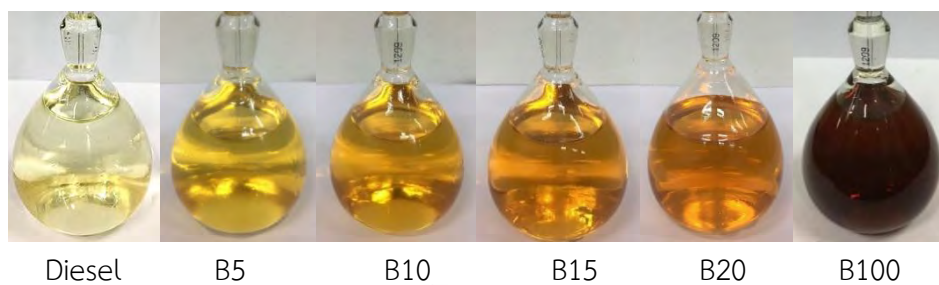
เมื่อ, T คือ อุณหภูมิของเชื้อเพลิง (K),  $v_{(T=311)}$  คือ ความหนืดจลน์ ที่ 311 K หรือ 38°C, และ  $a = 0.8696$ ,  $b = 0.2801$  และ  $c = 1.8616$

เครื่องมือที่ใช้ทดสอบความหนืดของเชื้อเพลิงใช้ของ Anton Paar@ Stabinger Viscosimeter (model SVM 3000/G2) ของห้องปฏิบัติการวิจัย PRISME, Orleans University ซึ่งสามารถวัดได้ทั้งความหนาแน่นและความหนืด ใช้มาตรฐานการทดสอบ ASTM D341 และสามารถเปลี่ยนอุณหภูมิการทดสอบได้ จาก -56 ถึง 105 °C ความเที่ยงตรงความหนาแน่น  $\pm 0.35\%$  สำหรับการทดสอบความหนืดและความหนาแน่นของน้ำมันไบโอดีเซลผลิตจากต้นยางนา ใช้กฎของสโตกส์ (Stoke's Law) (Laidler และคณะ, 1982) แสดงในสมการที่ (4.5) ในการทดสอบหาค่าความหนืดและไฮโดรมิเตอร์ (Hydrometer) ในการทดสอบหาค่าความหนาแน่นของน้ำมันไบโอดีเซลผลิตจากต้นยางนา

$$\eta = \frac{2 r^2 g (\rho - \rho')}{9 v} \quad (4.5)$$

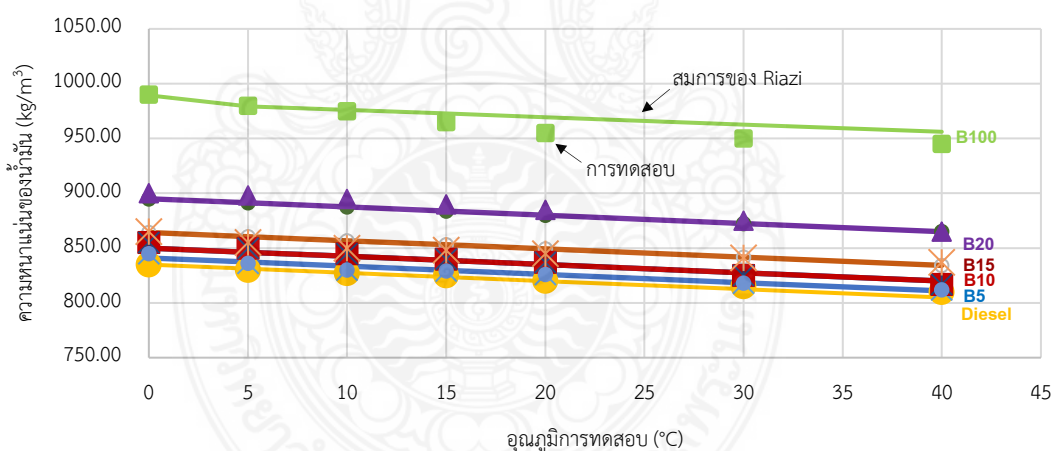
เมื่อ; r คือ รัศมีทรงกลม (mm), g คือ แรงโน้มถ่วง ( $m/s^2$ ),  $\rho$  คือ ความหนาแน่นของวัตถุ ( $kg/m^3$ ),  $\rho'$  คือ ความหนาแน่นของของเหลว ( $kg/m^3$ ),  $v$  คือ ความเร็วของวัตถุ (m/s)

น้ำมันที่ใช้ทดสอบประกอบด้วยน้ำมันดีเซล (Diesel) น้ำมันไบโอดีเซลผลิตจากต้นยางนา(B100) และน้ำมันดีเซลผสมน้ำมันไบโอดีเซลผลิตจากต้นยางนาในสัดส่วน 5% (B5), 10% (B10), 15% (B15) และ 20% (B20) (โดยปริมาตร)

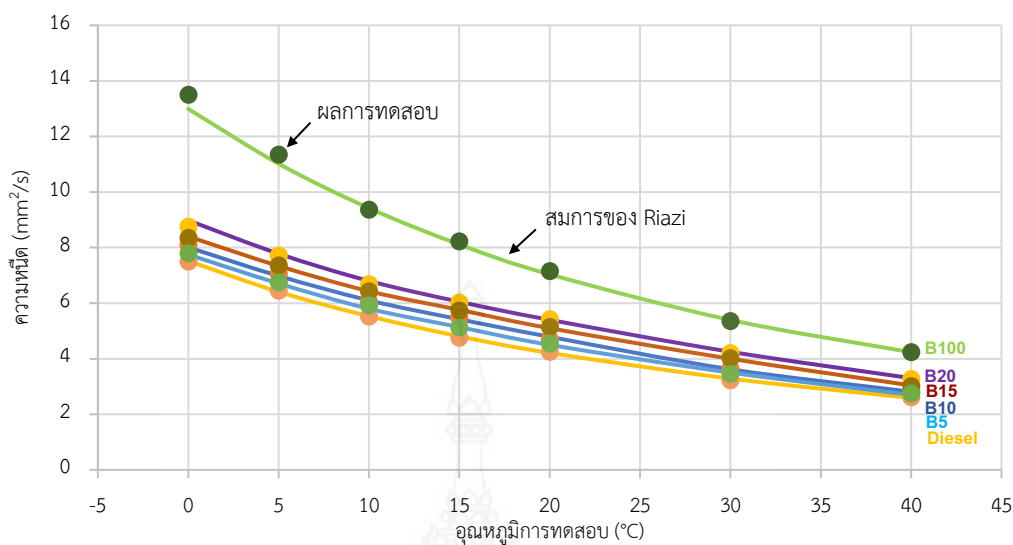


รูปที่ 4.26 น้ำมันที่ผลิตได้และใช้ศึกษา

การทดสอบความหนาแน่นของน้ำมันแสดงดังรูปที่ 4.27 แสดงค่าความหนาแน่นของน้ำมันที่ใช้ทดสอบเปรียบเทียบกับสมการของ Riazi เมื่ออุณหภูมิมีค่าเพิ่มขึ้น ค่าความหนาแน่นมีค่าลดลง ค่าความหนาแน่นของน้ำมันไบโอดีเซล B100 มีค่าสูงกว่าทุกชนิดน้ำมัน การเพิ่มสัดส่วนน้ำมันไบโอดีเซลในน้ำมันดีเซล จะทำให้ความหนาแน่นของน้ำมันผสมมีค่าเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนผลการเปรียบเทียบความหนาแน่นที่ได้จากการทดสอบกับสมการของ Riazi พบว่าค่าความคลาดเคลื่อน 1.3% ซึ่งในงานวิจัยสมการของ Riazi ใช้ทำนายความหนาแน่นของน้ำมันได้ดี



รูปที่ 4.27 ค่าความหนาแน่นของน้ำมันที่ใช้ทดสอบเปรียบเทียบกับสมการของ Riazi



รูปที่ 4.28 ค่าความหนืดของน้ำมันที่ใช้ทดสอบเปรียบเทียบกับสมการของ Riazi

การทดสอบความแสดงในรูปที่ 4.28 และตารางที่ 4.1 แสดงค่าความหนืดจลน์ของน้ำมัน พบว่าเชื้อเพลิงทุกชนิดมีพฤติกรรมที่เหมือนกันคือ เมื่ออุณหภูมิค่าสูงขึ้น ความหนืดจะมีค่าลดลง การผสมน้ำมันไบโอดีเซลเข้าไปในน้ำมันดีเซลทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนการผสม ผลจากการใช้สมการของ Riazi สมการที่ 4.2 ทำนายความหนืดของน้ำมัน พบว่ามีค่าความผิดพลาดสูงสุด 2.0 % ถือว่าสมการของ Riazi ใช้ได้ในการทำนายความหนืดจลน์ของน้ำมัน

ตารางที่ 4.1 ความหนาแน่นและความหนืดของเชื้อเพลิงจากการทดสอบ

T(°C)	Diesel		B5		B10		B15		B20		B100	
	Density	Viscosity	Density	Viscosity	Density	Viscosity	Density	Viscosity	Density	Viscosity	Density	Viscosity
	(kg/m <sup>3</sup> )	(mm <sup>2</sup> /s)	(kg/m <sup>3</sup> )	(mm <sup>2</sup> /s)	(kg/m <sup>3</sup> )	(mm <sup>2</sup> /s)	(kg/m <sup>3</sup> )	(mm <sup>2</sup> /s)	(kg/m <sup>3</sup> )	(mm <sup>2</sup> /s)	(kg/m <sup>3</sup> )	(mm <sup>2</sup> /s)
0	835	7.5	845	7.8	855	8.1	865	8.35	900	8.75	990	13.5
5	830	6.45	836	6.75	850	7.06	855	7.36	898	7.72	980	11.35
10	827	5.52	830	5.92	845	6.05	850	6.42	895	6.68	975	9.36
15	825	4.75	829	5.12	840	5.48	848	5.73	890	6.02	965	8.22
20	820	4.25	826	4.55	837	4.7	845	5.15	885	5.42	955	7.15
30	815	3.22	818	3.45	825.18	3.65	841	4.02	875	4.2	950	5.35
40	810	2.61	812	2.75	817	2.82	837	3.02	865	3.27	945	4.24

ผลการนำน้ำมันไบโอดีเซลผลิตจากต้นยางนา ไปทดสอบคุณสมบัติ ณ กรมวิทยาศาสตร์บริการ พบว่าค่าคุณสมบัติต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 4.2 ค่าความหนาแน่นและค่าความหนืดของน้ำมันไบโอดีเซลผลิตจากต้นยางนา มีค่าใกล้เคียงกับตารางที่ 4.1 และเมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐาน

น้ำมันไบโอดีเซลสำหรับเครื่องยนต์การเกษตร พบว่าความหนาแน่น มีค่าสูงกว่ามาตรฐานเล็กน้อย ส่วนค่าความหนืดอยู่ในมาตรฐาน จุดวาบไฟ มีค่าต่ำกว่ามาตรฐานเล็กน้อย ซึ่งคุณสมบัติทั้ง 3 ข้อ จะมีผลต่อประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ แต่ในการใช้งานจริงกับเครื่องยนต์น้ำมันไบโอดีเซล จะผสมกับน้ำมันดีเซลในสัดส่วนต่างๆ ตั้งแต่ 5-20% ซึ่งเชื่อว่าไม่กระทบต่อประสิทธิภาพของเครื่องยนต์อย่างเป็นนัยสำคัญ

ตารางที่ 4.2 แสดงคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลผลิตจากต้นยางนา

รายการ	ข้อกำหนด		อัตราสูงต่ำ	น้ำมันไบโอดีเซลยางนา	
1	เมทิลเอสเทอร์	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่ต่ำกว่า	96.5	98.8
2	ความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15°C	kg/m <sup>3</sup>	ไม่ต่ำกว่า และ ไม่สูงกว่า	860 900	964
3	ความหนืด ณ อุณหภูมิ 40°C	cSt	ไม่ต่ำกว่า และ ไม่สูงกว่า	3.5 5.0	4.25
4	จุดวาบไฟ	°C	ไม่ต่ำกว่า	120	110
5	ค่าความเป็นกรด	mgโปตัสเซียมไฮดรอกไซด์ / g	ไม่สูงกว่า	0.50	0.29
6	ค่าไอโอดีน	gไอโอดีน / 100 g	ไม่สูงกว่า	120	54.8

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดสอบและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการทดสอบ

เมื่อพิจารณาจากผลการทดสอบในครั้งนี้สรุปได้ว่า เครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันยางนาในอัตราส่วนต่างๆ สามารถใช้งานได้โดยที่เครื่องยนต์ยังสามารถเดินเครื่องได้ปกติ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันยางนาเป็นเชื้อเพลิง กับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลพบว่า

1. เมื่อเพิ่มอัตราส่วนของน้ำมันไบโอดีเซลในเชื้อเพลิง พบว่าสมรรถนะของเครื่องยนต์สูงขึ้น
  - ค่าแรงบิดเพิ่มขึ้น 13.1 – 26.9 %
  - ค่ากำลังเพิ่มขึ้น 13.4 – 28.2 %
2. แรงดันในกระบอกสูบเพิ่มสูงขึ้น 7.5 - 12.7 % เมื่อเพิ่มอัตราส่วนผสมน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันยางนาในเชื้อเพลิง
3. อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเพิ่มสูงขึ้น 7.1 – 47.9 %
4. ปริมาณควันดำจากเครื่องยนต์ ลดลง 30 – 79.1 %
5. น้ำมันไบโอดีเซลจากยางนามีค่าความหนาแน่น และความหนืดสูง
6. ผลการทำนายค่าความหนาแน่น และความหนืด โดยสมการของ Riazi พบว่า
  - มีความคลาดเคลื่อน 1.3 % สำหรับค่าความหนาแน่น
  - มีความคลาดเคลื่อน 2 % สำหรับค่าความหนืด

ดังนั้นคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากต้นยางนา มีคุณสมบัติที่ใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล อย่างไรก็ตามสิ่งที่ควรศึกษาควบคู่ต่อไปคือการศึกษาความทนทานของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันไบโอดีเซลจากยางนาในระยะยาว

## 5.2 ปัญหาและอุปสรรค

1. เนื่องจากพื้นที่ของห้องทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ไม่เอื้ออำนวยต่อการใช้อุปกรณ์ เนื่องจากมีพื้นที่จำกัด ประกอบกับมีการทดสอบพร้อมกันหลายกลุ่มงาน ในบางช่วงเวลาไม่สามารถทำการทดสอบหลายลักษณะพร้อมกันได้ ทำให้การทดสอบเกิดติดขัดในช่วงหนึ่ง

2. เนื่องจากเป็นงานชิ้นแรกจึงเกิดปัญหาในการทำงาน เพราะขาดความชำนาญในการใช้เครื่องจักรกลหรือชุดทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ ต้องใช้เวลาศึกษาข้อมูลและวางแผนต่าง ๆ เพิ่มเติมให้มากขึ้น ทำให้ความคืบหน้าของงานเกิดความล่าช้าตามไปด้วย

3. อุปกรณ์ชุดทดสอบบางชิ้นชำรุดเนื่องจากขาดการใช้งานและการบำรุงรักษายาวนานทำให้ผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ไม่คงที่

4. ขาดความชำนาญในการผลิตไบโอดีเซลทำให้ปริมาณผลผลิตที่ได้มีน้อยกว่าที่ควร ประกอบกับปริมาณผลผลิตต่อครั้งที่ค่อนข้างน้อยกว่าที่ควร ทำให้ต้องเพิ่มจำนวนครั้งในการผลิตจึงเกิดความล่าช้า

## 5.3 ข้อเสนอแนะ

1. ควรทำการศึกษาคู่มือการใช้งานของเครื่องทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ ให้เข้าใจก่อนทำการทดสอบ เนื่องจากอาจทำให้เกิดความเสียหายกับอุปกรณ์ของเครื่องทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ หลังจากการทดลองเสร็จสิ้นควรเช็คความเรียบร้อยในทุก ๆ ด้านของเครื่องทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ทุกครั้ง เพื่อยืดอายุการใช้งานของเครื่องทดสอบสมรรถนะ

2. สถานที่ติดตั้งเครื่องทดสอบสมรรถนะเป็นพื้นที่โล่งระบายอากาศได้ดีแต่จะมีฝุ่นเยอะ และในการทดสอบต้องใช้รอบเครื่องยนต์สูงซึ่งมีเสียงดังมาก สามารถแก้ไขได้โดยกั้นห้องกระจกปิดเพื่อป้องกันฝุ่นละอองน้ำฝนเวลาฝนตก หนูเข้ามากัดสายไฟ และยังลดความดังจากเสียงของเครื่องยนต์



## บรรณานุกรม

- Bari S, Lim T.H. and Yu C.W. 2002. **Effects of Preheating of Crude Palm Oil (CPO) on Injection System Performance and Emission of a Diesel Engines**, Renewable Energy Vol. 27: 339-351.
- Chairut N. & Tonggumroon S., **Production of Petroleum fuel from the latex of yang naa**, (Bachelor of Scienc in Chemistry Nakhon Si Thammarat Rajabhat University, 2548)
- Chompradit J., Namwongsa T., Techajaruwit S. & Boonmee S., (n.d.). **History of biodiesel**. [Online]. Available: <https://sites.google.com/site/takecarenaaaaa/khwam-pen-ma-khxng-bi-xo-disel>.
- Counaphonviwat T *et al.*, 2007. **A Study of the Possibility in Producing Biodiesel from Rubber Tree Oil**. ME-NETT 21<sup>th</sup>. Chon Buri
- Kitti S. and Tawatchai C. 2014. **A Study of Performance and Deterioration of Lubricating Oil of Diesel Generator by Biodiesel Blends**. KCU Research journal 19(2): 305-319
- Laidler, Keith J.; Meiser, John H. (1982). Physical Chemistry. Benjamin/Cumminge. p.833. ISBN 0-8053-5682-7.
- Medthai. (2015). **Yang Na, properties and benefits of the rubber tree 27points**. [Online]. Available: <https://medthai.com/ยางนา/>.
- 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: 171-181.
- Pianthong K and Thaiyasuit P. 2011. **Production of Biodiesel from Rubber Seed Oil and Its Effects to Engine Performances**. GMSARN International Journal 5: 1-10

- Poojeera S *et al.*, 2017. **Evaluation the Engine Wear Using Yang-Na Oil as Fuel by Analysis the Lubricant and Fuel Filters.** The national and international Graduate Research Conference 2017.Khon Kaen.
- Punyota S and Krasaelom N. 2011. **Performance Study of a Small Size Diesel Engine Operated with Used Palm Oil and Diesel Blends.** Princess of Naradhiwas University Journal 2: 41-55
- Riazi M.R., **Characterization and properties of petroleum fractions**, ASTM manual series: MNL50, 2005.
- Sakkampang C. Phanwong N and Sakkampang K. 2019. **A study of low speed diesel engine performance by cusing biodiesel from Alexandrian seed as fuel.** The 11<sup>th</sup> International Conference on Science.Technology and Innovation for Sustainable Well-Being. Johor Bahru. Malaysia
- Srimoon R, Darapong P and Kanavong V. 2014. **Extraction of Alexandrian Laure (Calophyllum inophyllum L.) Seed Oil for Biodiesel Production.** RMUTSB ACADEMIC JOURNAL 2014 2(2): 131-138
- Sutheerasak E and Chinwanitcharoen C. 2018. **Performance and emissions of a diesel engine using palm ethyl ester.** Engineering Journal Chiang Mai University 2018 25(2): 217-230.
- Thunyjaroen S, Pairntra R and Chunkumn S. 2013. **Biodiesel production from spirogyra sp, as renewable Energy.** Agrieulural Sci Jour. Vol. 44 no.2 suppl. 349-352
- Tinrabath P. and Chanchaona S., (2003) **Energy Releases from Combustion of Diesel/Palm Blends**, The 17<sup>th</sup> Conference on Mechanical Engineering Network of Thailand (ME-NETT), King Mongkut's University of Technology Noth Bangkok, Prachin Buri, Thailand, 19-21 October.
- Tinrabath P., Hespel C., Chanchaonac S. and Foucherb F., **Influence of biodiesel and diesel fuel blends on the injection rate under cold conditions**, Fuel 144 (2015) 80-89.

Wongchai W. 2017. Biodiesel Production from Tung Oil and Its Effects on Diesel Engine Performance and Emission Characteristics. The Journal of KMUTNB. Vol. 27 no.4: 667-6

เจษฎา ตัณฑเศรษฐี, 2546, เครื่องยนต์สันดาปภายใน, กรุงเทพฯ: เพียร์สัน เอ็ดดูเคชั่น อินโด ไชน่า ทีปกร คุณาพรวิวัฒน์, อภิรักษ์ สวัสดิ์กิจ, จักรพันธ์ กัณหา, พิสุทธิ รัตนแสนวงษ์ และวราพจน์ พันธุ์คง.

การศึกษาความเป็นไปได้ในการนำน้ำมันต้นยางนามาผลิตไบโอดีเซล. การประชุมเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 21, 17-19 ตุลาคม 2550, ชลบุรี.

นุกูล โกกิจ และคณะ, 2553, การเปรียบเทียบสมรรถนะเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลและไบโอดีเซลจากน้ำมันมะพร้าวที่ใช้แล้ว: สาขาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร. บริษัท ไคนดิสส์ คอร์ปอเรชั่น จำกัด, (2543), ชุดทดสอบประสิทธิภาพแรงแม่, เอกสารประกอบการอบรม กรุงเทพฯ.

พูลพร แสงบางปลา, 2544, “การใช้ไบโอดีเซลกับเครื่องยนต์มีผลอย่างไร”, เอกสารประกอบการประชุมระดมความคิดเห็นเรื่อง แนวทางการทำวิจัยและพัฒนาไบโอดีเซลไปสู่เชิงพาณิชย์, 18 มิถุนายน 2544, กรุงเทพฯ, 7 หน้า.

วรวิฑูลี จุฬาลักษณ์านุกูล, 2558, เชื้อเพลิงชีวภาพด้วยตัวเร่งชีวภาพ, กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สถาพร บุญสมบัติและคณะ, 2544, การวิจัยใช้น้ำมันปาล์มเป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ดีเซล, เอกสารประกอบการประชุมระดมความคิดเห็นเรื่องแนวทางการทำวิจัยและพัฒนาไบโอดีเซลไปสู่เชิงพาณิชย์, 18 มิถุนายน 2544, กรุงเทพฯ, 17 หน้า.

สมใจ เพียรประสิทธิ์ ณฑพร จินดาประเสริฐ ประเสริฐ วิโรจน์ชิวัน ชลกาญจน์ วงศ์ก่อทรัพย์ และ ปฏิภาณ ถิ่นพระบาท, การศึกษาคุณสมบัติของน้ำมันไพโรไลซิสกับน้ำมันไบโอดีเซลที่อุณหภูมิต่ำ, การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 2, 19 พฤษภาคม 2560, กรุงเทพฯ

เอกชัย สุธีรศักดิ์ และเจริญ ชินวานิชย์เจริญ. สมรรถนะและการปล่อยสารมลพิษของเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้น้ำมันเอทิลเอสเทอร์. วารสารวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 2018;25: 217-230.

ภาคผนวก ก

ภาคผนวก ก คู่มือการทดสอบ



## ชุดทดสอบประสิทธิภาพเครื่องยนต์

สำหรับชุดทดสอบประสิทธิภาพเครื่องยนต์นี้ได้ออกแบบให้มีความสามารถวัดพารามิเตอร์และทดสอบได้หลายประการคือ

1. วัดและสร้างกราฟของ Speed-Torque (Performance curve) โดยทำ Automatic test
2. วัดและสร้างกราฟของ Speed-Power (Performance curve) โดยทำ Automatic test
3. วัดอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันดีเซล โดยการทำให้ Fuel consumption test
4. สามารถวัด Mechanical และ Thermal efficiency จากการทำให้ Energy balance
5. สามารถทำ Energy balance
6. วัดหาค่าของ Indicated mean pressure
7. วัดหา Timing fuel injection
8. สามารถวัดกราฟ P-alfa Diagram
9. สามารถสร้างกราฟ P-V Diagram

ในส่วนของพารามิเตอร์ที่เครื่องสามารถวัดได้และแสดงบนหน้าจอได้มีดังนี้

1. Temperature (อุณหภูมิ)
  - 1.1 Intake Temp. (อุณหภูมิไอดี) °C
  - 1.2 Exhaust Temp. (อุณหภูมิไอเสีย) °C
  - 1.3 Rad. In Temp. (อุณหภูมิน้ำหล่อเย็น ขาเข้า) °C
  - 1.4 Rad. Out Temp. (อุณหภูมิน้ำหล่อเย็น ขาออก) °C
  - 1.6 Fuel Temp. (อุณหภูมิน้ำมันเชื้อเพลิง) °C
  - 1.7 Oil Temp. (อุณหภูมิน้ำมันเครื่อง) °C
  - 1.8 Room Temp. (อุณหภูมิห้อง) °C
2. Pressure (ความดัน)
  - 2.1 Oil pressure (ความดันน้ำมันเครื่อง) Bar
  - 2.2 Exhaust pressure (ความดันไอเสีย) mBar
  - 2.3 Room barometer pressure (ความดันบรรยากาศของห้อง) mBar
3. Engine revolution (ความเร็วรอบเครื่องยนต์) RPM (รอบ/นาที)
4. Flow (อัตราการไหล)
  - 4.1 Air intake Flow (อัตราการไหลของไอดี) kg/h (กิโลกรัม/ชั่วโมง)
  - 4.2 Coolant flow (อัตราการไหลน้ำหล่อเย็น) l/min (ลิตร/นาที)

5. Torque (แรงบิด) Nm (นิวตัน-เมตร)
6. Power (กำลัง) kW, hp (กิโลวัตต์/แรงม้า)
7. Diesel oil fuel weight (น้ำหนักน้ำมันดีเซล) gm.(กรัม)
8. % Throttle ของปีกผีเสื้อ

### 1. การเปิดโปรแกรม Dynamometer ใช้งานและสตาร์ทเครื่องยนต์

ก่อนทำการเปิดโปรแกรมและสตาร์ทเครื่องยนต์ทุกครั้งต้องทำการตรวจเช็คระดับน้ำมันเครื่องยนต์และระดับน้ำ Coolant ทุกครั้ง (โดยปกติแล้วตัว โปรแกรมจะมีระบบการป้องกันในกรณีที่ระดับน้ำมันเครื่องและ Coolant น้อยโดยการตั้งที่ Sub-menu ของ Oil Pressure & RPM และ Temperature warning ใน Setting Menu ซึ่งจะกล่าวถึงภายหลัง)

การเปิดใช้งานให้เริ่มทำตามขั้นตอนดังนี้

1. เปิดสวิตช์ ON ของเต้ารับสวิตช์ที่จ่ายไฟเข้าเครื่อง
2. เปิดสวิตช์ UPS
3. เปิดสวิตช์ของ CPU และ Monitor
4. รอให้คอมพิวเตอร์เข้าสู่ Window NT (โดยในขั้นตอนนี้จะมีอยู่ช่วงหนึ่งที่คอมพิวเตอร์ให้เลือกอยู่ 3 ตัวเลือกคือให้เครื่อง Run บน Windows NT, Windows NT video mode และ Windows (98) ซึ่งให้กด Enter ได้เลยโดยเครื่องจะเลือก Run บน Windows NT เนื่องจากบน Windows NT สามารถ Run โปรแกรม Dynamometer และ Enginediagnosticsystem แต่ถ้าไม่กด Enter ใน ระหว่างนี้เครื่องจะนับเวลาลง 30 วินาทีจนครบศูนย์ก็จะ Run Windows NT เช่นกัน ถ้าต้องการ Run Windows 98 ก็ให้ใช้ key ลูกศรเลื่อนมาที่ Sub-menu Windows แล้วกด Enter ก็เข้าสู่ Windows ได้)
5. เมื่อเครื่องเข้าสู่ Windows NT เครื่องจะให้ผู้ใช้ทำการ Log On โดยการกดปุ่ม Ctrl, Alt และ Del. พร้อมกัน
6. เมื่อทำการ Log On แล้วเครื่องจะให้ใส่ Password ให้ทำการกด Enter ผ่านได้เลยเพราะไม่ได้ทำการตั้ง Password ไว้ จะทำให้เครื่องเข้าสู่หน้าจอปกติของ Windows NT
7. ให้ทำการเปิดสวิตช์หน้าเครื่องของ Controller จะมีไฟแดงโชว์ที่หน้า Controller
8. ที่หน้าจอให้ Click เลือก Start และเลือก Program และ Dyno
9. เครื่องจะทำการเช็ค Hardware และ Controller และเข้าสู่โปรแกรมอัตโนมัติ
10. การออกจากโปรแกรม Dynamometer ให้ Click ที่ Program Menu และเลือก Exit ก็จะเป็นการออกจากโปรแกรม

## 2. ส่วนประกอบบนหน้าจอของโปรแกรม Dynamometer

บนหน้าจอของโปรแกรม Dynamometer จะมีส่วนประกอบด้วยกัน 4 ส่วนคือ

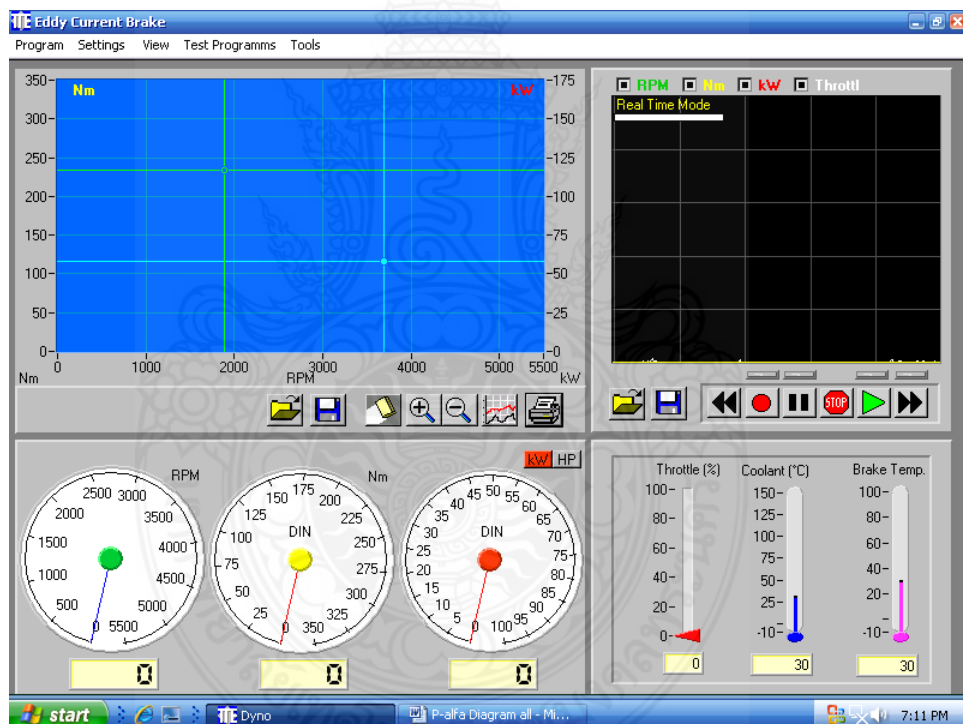
1. มุมบนซ้าย จะเป็นส่วนของ Performance Curve ซึ่งจะโชว์กราฟระหว่าง Torque (N-m)- Speed (RPM) และ Kilowatt (kW) Speed (RPM) ภายหลังจากการทำ Automatic Test ที่ด้านล่างของหน้าจอนี้จะมี icon 6 icon คือ

1.1 Open Icon สำหรับเปิด Performance curve ที่ได้ Save ไว้

1.2 Save Icon สำหรับบันทึก Performance curve

1.3 Delete Icon สำหรับลบ Performance curve ที่อยู่บนหน้าจอ

1.4 Zoom + Icon สำหรับขยาย Performance Curve ที่อยู่บนหน้าจอให้ใหญ่ขึ้นตามที่ต้องการ โดยต้องกำหนด Limit บนและ



1.5 Zoom - Icon สำหรับย่อ Performance curve ที่อยู่บนหน้าจอให้เล็กลงหรือสู่สภาวะก่อนหน้า

2. มุมบนขวา จะเป็น Real Time curve ของกราฟ ความเร็วรอบ (RPM), แรงบิด (Torque) กำลัง (Kilowatt) และ % ของเปิด ของปีกผีเสื้อ (% Throte) สำหรับด้านล่างของกราฟนี้จะมี Icon 8 icon คือ

- 2.1 Open Icon สำหรับเปิด Real Time curve ที่ได้ Save ไว้
- 2.2 Save Icon สำหรับบันทึก Real Time curve ที่ต้องการ Save
- 2.3 Reward Icon สำหรับเล่น Real Time curve ย้อนหลังแบบเร็ว
- 2.4 Record Icon กดสำหรับบันทึก Real - Time curve
- 2.5 Pause Icon ปุ่มสำหรับกดหยุด Real Time curve ชั่วคราว ถ้าต้องการยกเลิกให้ทำการกดซ้ำอีกครั้ง
- 2.6 Forward Icon สำหรับเล่น Real - Time Curve เดินหน้าแบบเร็ว

3. มุมล่างซ้าย เป็นหน้าปัด (Idle) ของพารามิเตอร์ 3 ตัว

- 3.1 RPM Idle เป็นหน้าปัดของความเร็รรอบของเครื่องยนต์ หน่วยเป็นรอบ/นาที
- 3.2 Torque Idle เป็นหน้าปัดของแรงบิด (Torque) หน่วยเป็นนิวตัน-เมตร (Nm.)
- 3.3 Power Idle เป็นหน้าปัดของกำลัง (Power) หน่วยเป็น กิโลวัตต์ (kW. หรือแรงม้า (HP)

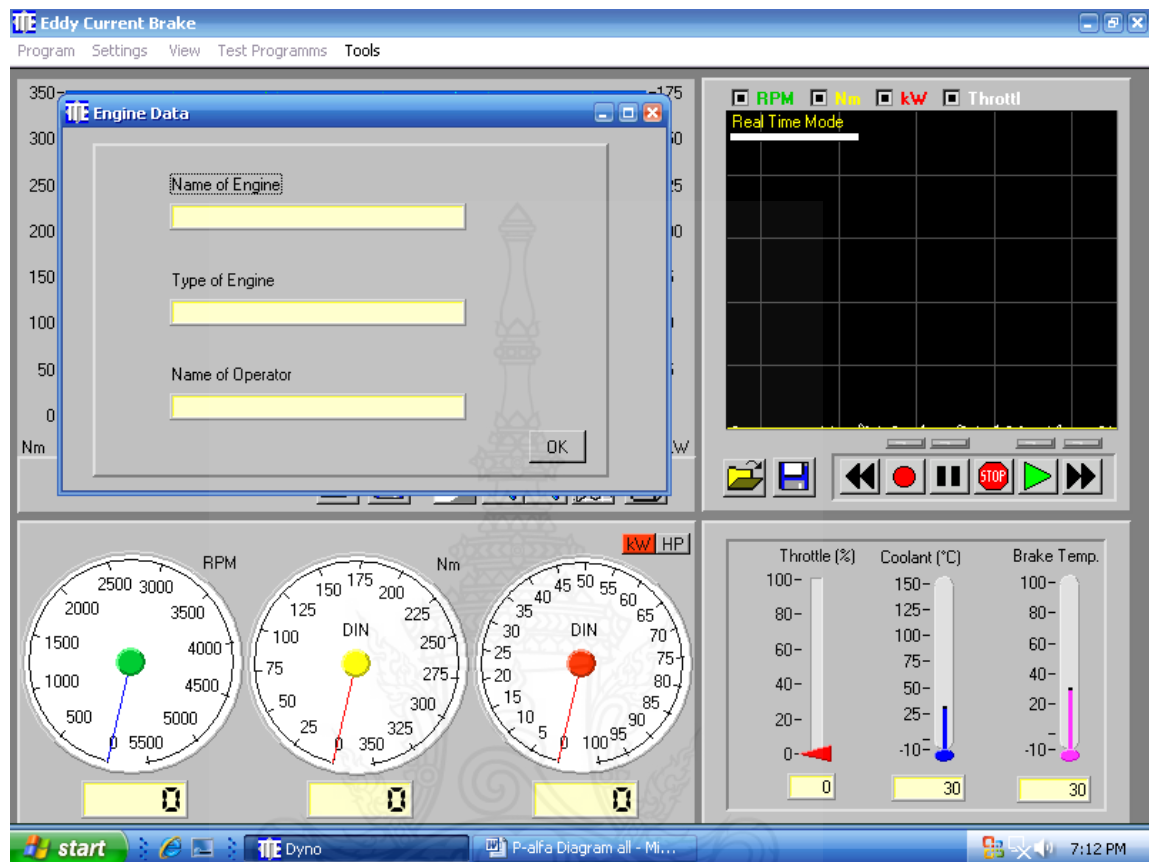
โดยการเลือกหน่วยแสดงผลเป็นกิโลวัตต์หรือแรงม้าสามารถเลือกได้โดยคลิกที่ปุ่มเลือกด้านบนเหนือ Power Idle โดยที่ค่าสูงสุดของ แต่ละหน้าปัดสามารถทำ (ดูรายละเอียดในหัวข้อ Setting)

4. มุมล่างขวา เป็นส่วนที่แสดงพารามิเตอร์ของ

- 4.1 % Throttle แสดงเปอร์เซ็นต์การเปิดของปีกผีเสื้อ
- 4.2 Coolant แสดงอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็น (Coolant)
- 4.3 Break Temp แสดงอุณหภูมิของขดลวดในชุด Dynamometer



### 3. การตั้งชื่อและชนิดของเครื่องยนต์ (Engine Name & Type Setting)

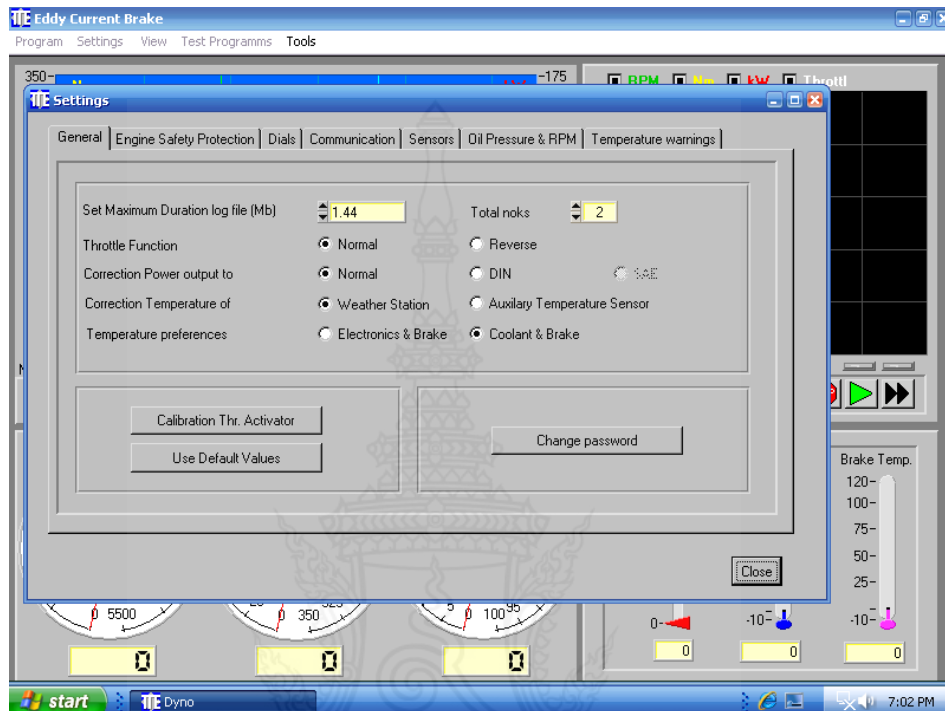


เป็นการเซทเครื่องยนต์ (รุ่น, ยี่ห้อและผู้ใช้งาน) ให้ปรากฏในส่วนของ Performance curve display โดยผลลัพธ์ที่ปรากฏนี้จะเป็นลักษณะชั่วคราว (Temporary status) เท่านั้น เมื่อปิดเครื่องและเปิดเครื่องใหม่สิ่งที่เซทไว้แล้วจะหายไป ดังนั้นการเซทเครื่องยนต์นี้ไม่จำเป็นต้องทำก็ได้ (สามารถข้ามขั้นตอนนี้ไปได้) ขั้นตอนการเซทเครื่องสามารถทำได้ดังนี้

1. ที่หน้าจอของโปรแกรม Dyno เลือกคลิก Test Programs
2. คลิก Set Engine Name and Type
3. ที่หน้าต่าง Engine data จะมีช่องให้ใส่ข้อมูล 3 ช่อง
  - 3.1 ชื่อของเครื่องยนต์ ตั้งเป็นยี่ห้อของเครื่องยนต์ ในที่นี้คือ "IVECO"
  - 3.2 ชนิดหรือรุ่นของเครื่องยนต์ ในที่นี้คือ "8141E"
  - 3.3 ชื่อผู้ใช้งาน ตั้งตามชื่อผู้ใช้งาน
4. คลิก OK
5. ที่หน้าจอของ Performance curve จะปรากฏวันที่ เวลา ชื่อของเครื่องยนต์ รุ่นหรือชนิดของเครื่องยนต์

#### 4. การตั้งค่าใช้งาน (Setpoints)

เป็นการตั้งค่าใช้งานและความปลอดภัยของเครื่องยนต์ สามารถเข้าสู่การตั้งค่าใช้งานได้ดังนี้



1. ที่ Head menu ให้คลิก Settings Menu
2. เลือกคลิก Setpoints
3. ที่หน้าจอปรากฏ Security windows เพื่อให้ป้อน Password (เป็นการป้องกันผู้ไม่มีหน้าที่เกี่ยวข้องเข้าไปแก้ไขพารามิเตอร์ที่ได้ตั้งไว้ก่อนหน้านี้) สำหรับ Password ที่ตั้งมาจาก โรงงานคือ “TTE “ (โดยที่ Password นี้สามารถแก้ไขได้ในส่วนของ Setpoints Menu) ให้ ใส่ Password คือ “TTE “ แล้วคลิก OK (กรณีที่ Password เป็นค่าที่ตั้งมาจากโรงงาน)

4. ที่หน้าจอจะปรากฏ Setpoints Windows ขึ้นมาที่ Setpoint Windows จะประกอบด้วย Menu Bar อยู่ 7 เมนูคือ

General Men เป็นเมนูสำหรับตั้งค่าใช้งานทั่วไป โดยมีรายละเอียดดังนี้

##### 1.1 Set Maximum Duration log file(Mb)

เป็นการตั้งค่าความจุในการเก็บข้อมูลลงใน Harddisk ของคอมพิวเตอร์ โดยปกติไม่ควรตั้งไว้เกิน 1.44 MB (ขนาด ความจุของแผ่นดิสก์ขนาด 3 1/2 “ ) เพื่อให้สามารถ Save ข้อมูลลงแผ่นไปใช้งานเครื่องอื่นได้

## 1.2 Throttle Function

เป็นการตั้งรูปแบบการใช้งานของปุ่มควบคุม Throtte (ปีกผีเสื้อ) โดยมีตัวเลือกอยู่ 2 ตัว

1.2.1 Normal เป็นการตั้งรูปแบบที่เมื่อกดปุ่ม + ของ Throttle จะทำให้ปีกผีเสื้อเปิดมากขึ้นและในทางตรงกันข้ามกันเมื่อกดปุ่ม - ของ Throttle จะทำให้ปีกผีเสื้อเปิดน้อยลง

1.2.2 Reverse เป็นการตั้งการทำงานของ Throttle ตรงกันข้ามกับแบบแรกคือเมื่อกดปุ่ม + ของ Throtte จะทำให้ปีกผีเสื้อเปิดน้อยลงและในทางตรงกันข้ามกันเมื่อกดปุ่ม - ของ Throttle จะทำให้ปีกผีเสื้อเปิดมากขึ้น

## 1.3 Correction Power output to

เป็นการเลือกหรือไม่เลือกให้โปรแกรมทำการชดเชยค่าความผิดพลาดของพารามิเตอร์ (เช่น Torque Power ฯลฯ) เมื่ออุณหภูมิและความดันบรรยากาศของห้องทดสอบมีการเปลี่ยนแปลงไปจาก 20 องศาเซลเซียสและความดัน 1 บรรยากาศ โดยจะมี ตัวเลือก 2 ตัว 1

1.3.1 Normal เลือกกรณีที่ไม่ต้องการให้มีการชดเชยอุณหภูมิและความดัน บรรยากาศ

1.3.2 DIN ให้เลือกกรณีที่ต้องการชดเชยอุณหภูมิและความดันบรรยากาศตาม DIN Standard

## 1.4 Correction Temperature of

เป็นการเลือกชุดเซนเซอร์ของอุณหภูมิที่จะให้โปรแกรมทำการแก้ไขชดเชยความผิดพลาดของอุณหภูมิ โดยจะมีตัวเลือก 2 ตัวแล้วแต่การออกแบบของเครื่องยนต์

1.4.1 Weather Station เลือกกรณีที่มีชุดวัดอุณหภูมิติดตั้งอยู่ในห้องและ ดึงสัญญาณเข้ามาที่ชุด Controller

1.4.2 Auxiliary Temperature Sensor เลือกกรณีที่ติดตั้งหัววัดอุณหภูมิเพิ่มเติมไว้ในกล่องชุด Control Box ของชุด Dynamometer สำหรับ Engine ชุดนี้ให้เลือกแบบที่ 2 คือ Auxiliary Temperature Sensor

## 1.5 Temperature preferences

เป็นการเลือกประเภทของ Break ของชุด Dynamometer โดยมีตัวเลือก 2 ตัวคือ

1.5.1 Electronics & Break กรณีที่ระบบการ Break เป็นแบบ Electronics

1.5.2 Coolant & Break เลือกในกรณีที่ระบบ Break เป็นแบบ Air Cool

## 1.6 Calibration Thr. Activator

เป็นการ Calibrate ชุดควบคุมปีกผีเสื้อ (%Throttle) เพื่อให้การทำงานของปีกผีเสื้อสัมพันธ์กับการ % Throttle ที่ปรากฏ บนหน้าจอ การ Calibtrate สามารถทำได้ดังนี้

1.6.1 คลิกเลือกที่ Calibration Thr. Activator

1.6.2 ที่หน้าจอจะปรากฏข้อความให้กดปุ่ม - ของ Throtte จนกระทั่งปีกผีเสื้อแตะ จุดต่ำสุดของปีกผีเสื้อพอดี

1.6.3 คลิก OK

1.6.4 ที่หน้าจอจะปรากฏข้อความให้กดปุ่ม + ของ Throttle จนกระทั่งปี ผีเสื้อแตะจุดสูงสุดของปีกผีเสื้อพอดี

1.6.5 คลิก OK หน้าจอก็จะออกมาสู่หน้าจอ Set-points Windows ปกติ

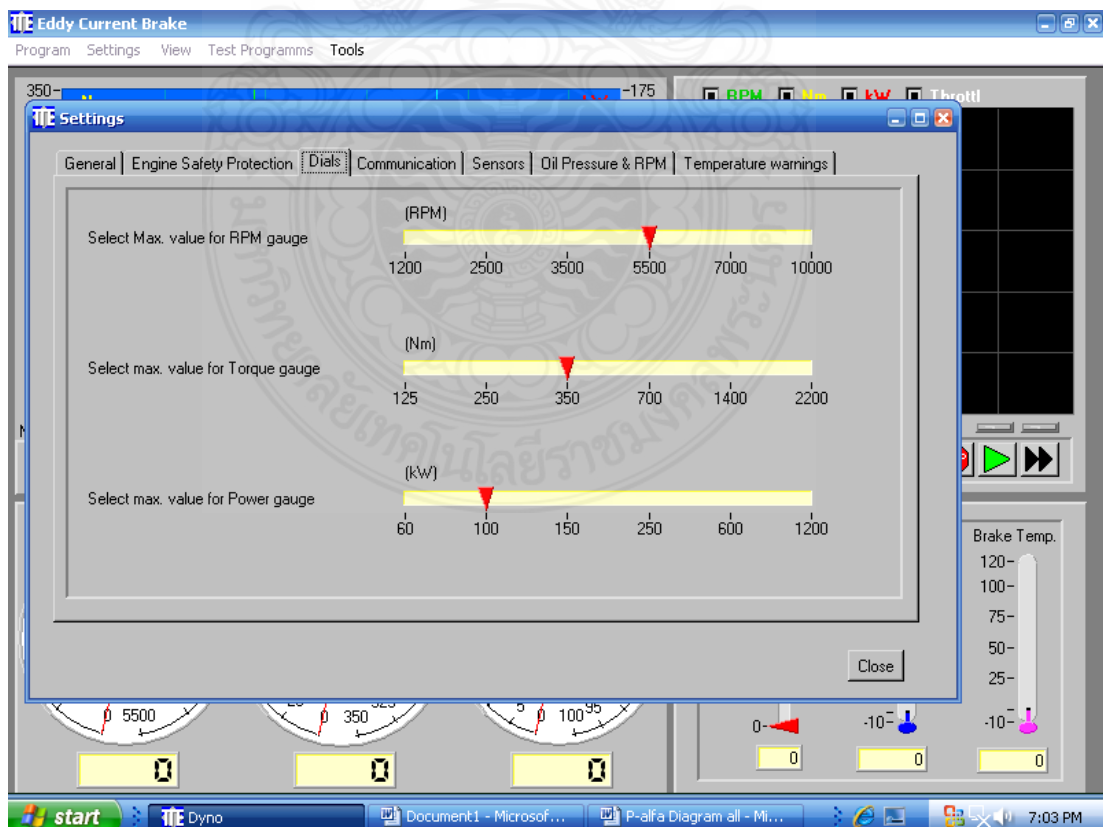
**ข้อควรระวัง** สำหรับการทำให้ Calibration % Throttle ควรใช้คน 2 คน โดยคนแรกอยู่ที่หน้าจอกอมพิวเตอร ส่วนคนที่ 2 ไปคอยดูที่ปีกผีเสื้อเพื่อดูตำแหน่งของปีกผีเสื้อแตะจุดต่ำสุดและสูงสุดพอดี อีกทั้งป้องกันสายเคเบิลของ Throttle ขาด อันเนื่องมาจากกดปุ่ม + ของ Throtte อีกเมื่อปีกผีเสื้อแตะจุดสูงสุดแล้วเพราะแรงดึงของมอเตอร์กระแสตรงมีขนาด 10 kg. อาจทำให้ สายเคเบิลขาดได้

1.7 Use Default Valves

ถ้าคลิกปุ่มนี้โปรแกรมจะกลับค่าเดิมที่ตั้งมาจากโรงงานผู้ผลิต

1.8 Change password

สำหรับเปลี่ยน Password ที่ตั้งมาจากโรงงาน (TTE) เป็นอย่างอื่นแล้วแต่ความต้องการของผู้ใช้



### Communication Menu

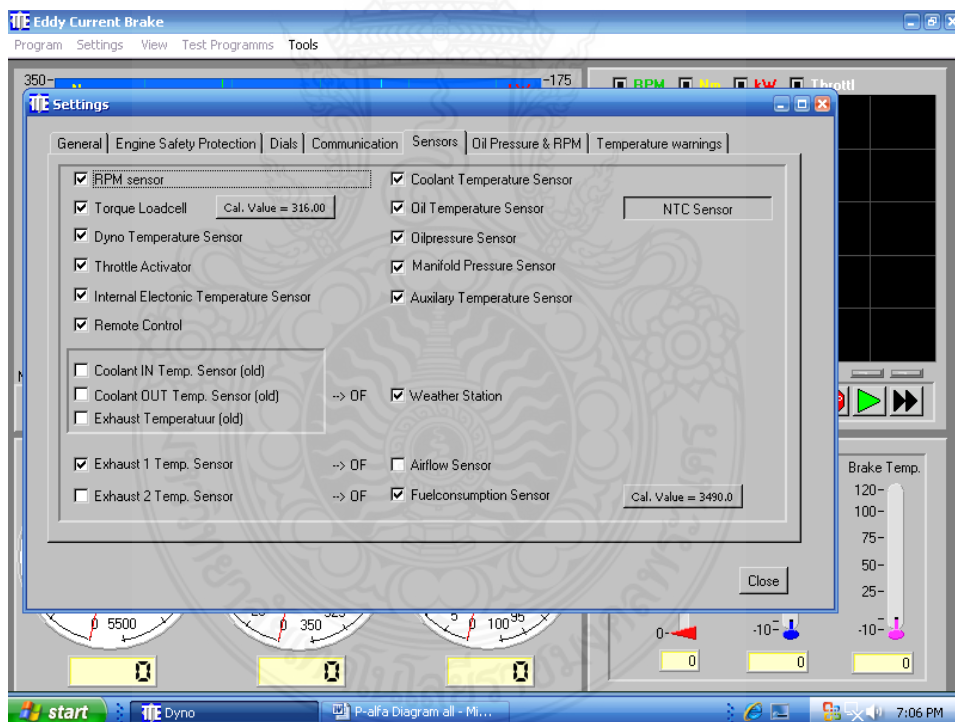
เป็นการเชื่อมต่อระบบการเชื่อมต่อ (Interface) และการสื่อสารระหว่างชุดคอมพิวเตอร์ (CPU) และชุด Controller โดยการเชื่อมต่อดังนี้

Measurement done by เลือก Microcontroller (RS232) คือชนิดของชุดควบคุมที่ออกแบบให้กับเครื่องนี้

Microcontroller used com port เลือก Com 1 (ต่อกับคอมพิวเตอร์ผ่าน Com 1) Program is set as (TCP) more เลือก Stand Alone (เครื่องคอมพิวเตอร์แบบเครื่องเดียว ไม่มีระบบ Network)

### 3. Sensor Menu

เป็นการเลือกเซ็นเซอร์ที่มีใช้งานอยู่เพื่อให้ตัวโปรแกรมรับทราบว่ามี Sensor อะไรใช้งานอยู่ การเลือกหรือไม่เลือกสามารถทำได้โดยใช้ Mouse คลิกที่ปุ่มตัวเลือกด้านหน้า

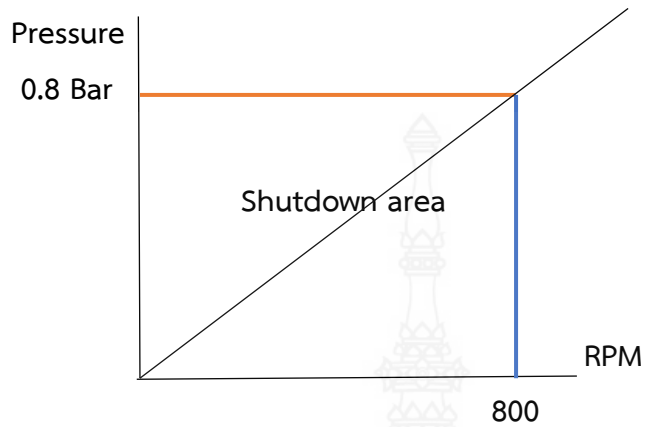


### Oil Pressure & RPM Menu

เป็นการตั้งค่าของ Oil pressure และ RPM for low oil pressure โดยถือเป็นการตั้งค่าความปลอดภัยของเครื่องยนต์ในกรณีที่มีน้ำมันเครื่องน้อย โดยมีตัวตั้ง 2 ตัวคือ

4.1 Minimum Value for oil pressure ตั้งค่าความดันน้ำมันเครื่องต่ำสุด ถ้าความดันน้ำมันเครื่องต่ำกว่าค่าระบบจะตัดการทำงานของเครื่องยนต์

4.2 Minimum Engine RPM for low oil Engine เป็นการตั้งความเร็วรอบรอบต่ำสุดที่เครื่องยนต์จะตัดการทำงานในกรณีที่ความดันน้ำมันเครื่องเท่ากับ minimum oil pressure ที่ตั้งไว้



### Temperature warning Menu

The screenshot shows the 'TTE Settings' window for the 'Eddy Current Brake' software. The 'Temperature warnings' tab is selected. The 'Warnings' section has two radio buttons, both set to 'On/Off'. The 'Maximum coolant temperature' is set to 110 °C, and the 'Maximum Oil temperature' is set to 115 °C. An 'Information' box contains the following text: 'The following procedure will be activated in case of a warning: 1. Dyno torque is released by computer 2. Throttle will go to zero position automaticly 3. A warning will be displayed'. Below this, it says 'ADVICE: Bring engine to low RPM, so engine can cool down.' The 'Close' button is visible at the bottom right of the settings window. The background shows a dashboard with various gauges and a 'Brake Temp.' gauge on the right side.

เป็นการตั้งค่าระบบการป้องกันความปลอดภัยด้านอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็น (Coolant) และ อุณหภูมิของชุด Break ของ Dynamometer

5.1 Maximum coolant temperature เป็นการตั้งอุณหภูมิสูงสุดของน้ำหล่อเย็นที่ระบบจะ รับผิดชอบได้ ถ้าอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นสูงกว่าค่าที่ตั้งไว้ระบบจะตัดการทำงาน และปรับ % Throttle มา อยู่ที่ 0 %

5.2 Maximum oil temperature เป็นการตั้งอุณหภูมิสูงสุดของขดลวดในชุดเบรคของ Dynamometer ที่ระบบจะรับผิดชอบได้ ถ้าอุณหภูมิของขดลวดสูงกว่าค่าที่ตั้งไว้ระบบจะตัดการทำงานและ ปรับ % throttle มาอยู่ที่ 0 %

**หมายเหตุ:** ถ้าต้องการให้โปรแกรมเตือนและแจ้งผู้ใช้งานให้ทราบก็ให้คลิกที่ Warming

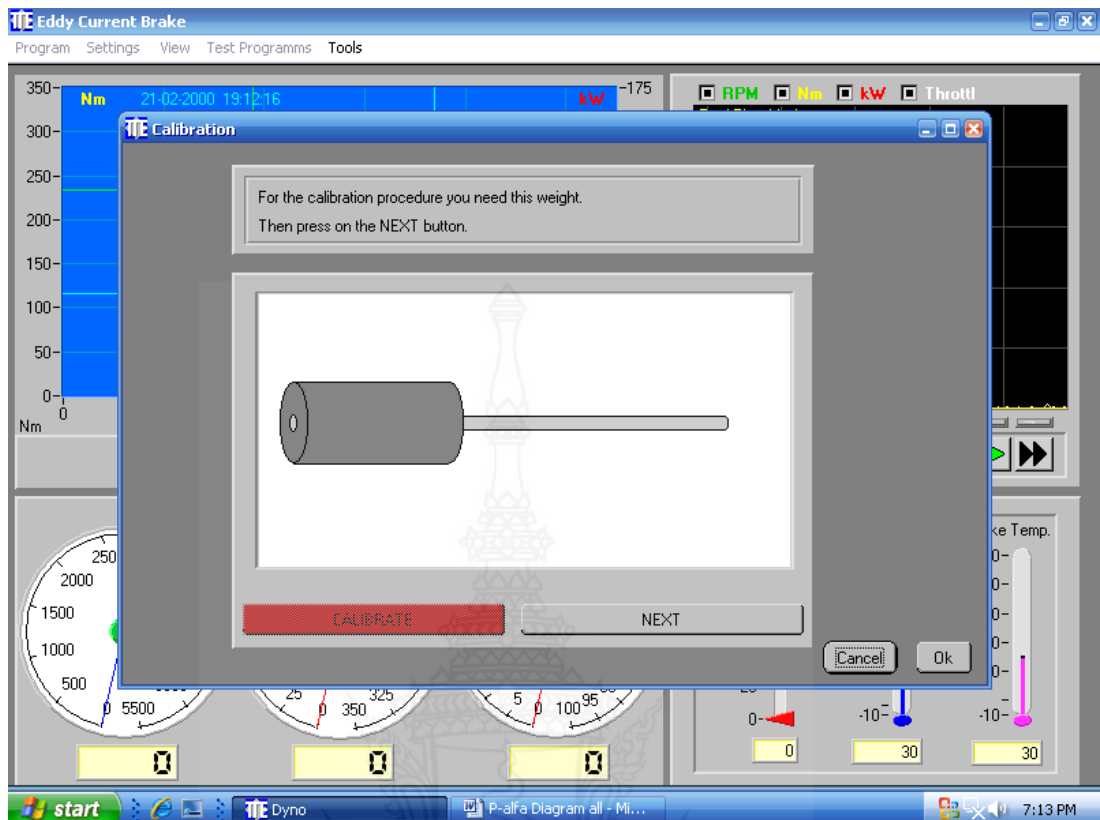
#### การ Calibration Torque

วัตถุประสงค์เพื่อทำการปรับเทียบแรงบิด (Torque) ที่วัดโดย Load-cell ให้มีความถูกต้อง ใกล้เคียงกับความจริง โดยการปรับเทียบจะทำโดย อัตโนมัติโดยโปรแกรม 2 จุดคือ

1. Zero Calibration คือสถานะที่ไม่มีแรงบิดเกิดขึ้น
2. Span Calibration สถานะจำลองว่ามีแรงบิดกระทำต่อ Load-cell โดยใช้แท่งน้ำหนัก (Weight Bar) ที่ทราบค่าแน่นอนคือ 316 Nm (ค่าที่ได้จากการคำนวณ) เสียบเข้าช่องที่เตรียมไว้ ด้านข้างของชุด Dynamometer

การทำให้ทำตามขั้นตอนดังนี้

1. ที่หน้าจอของโปรแกรม Dynamometer ให้คลิก Settings
2. คลิก Calibrate
3. ที่หน้าจอปรากฏหน้าต่างของการ Calibration



4. ให้คลิก NEXT
5. คลิก NEXT อีกครั้ง(อย่าเพิ่งใส่แท่งน้ำหนัก)
6. คลิก CALIBRATE แล้วรอประมาณ 5 วินาที (ขณะนี้กำลังทำ Zero Calibrate) จากนั้นให้คลิก NEXT
7. เตรียมแท่งน้ำหนักใส่ในรู แล้วคลิก NEXT
8. ใส่แท่งน้ำหนักเข้าไปในรู จากนั้นก็คลิก NEXT
9. คลิก CALIBRATE แล้วรอประมาณ 5 วินาที (ขณะนี้กำลังทำ Span Calibrate) จากนั้นให้คลิก NEXT
10. ถอดแท่งน้ำหนักออกจากรู จากนั้นให้คลิก OK ที่หน้าจอ โปรแกรมจะกลับสู่หน้าจอปกติของ Dynamometer
11. ทำการ Re-check ผลการทำ Torque Calibrate โดยที่หน้าจอของโปรแกรม Dynamometer ให้คลิกที่ Settings แล้วเลือกคลิกที่ Simulate 1,000 RPM
12. จากนั้นให้ใส่แท่งน้ำหนักเข้าไปในรูใหม่อีกครั้ง



13. ผลที่ได้คือที่หน้าปัดของ RPM เข็มจะชี้ไปที่ 1,000 RPM และที่หน้าปัดของ Torque จะโชว์ค่าของแรงบิดที่อ่านได้ (ควรใกล้เคียงกับ 316 Nm. + - 5 %)

## 9. การ Fuel Calibration ถังน้ำมันดีเซล

การ Calibrate ถังน้ำมันดีเซลเป็นการปรับเทียบถังน้ำมันในสถานะที่ไม่มีน้ำมันในถังให้โปรแกรมอ่านได้ 0 กรัมและในสถานะมีน้ำมันทราบแน่นอน(จะใช้แท่งน้ำหนักแทน) โดยถังน้ำมันมีความจุขนาด 10 ลิตรและมี Load-cell วัดน้ำหนักของถังน้ำมันอยู่ สำหรับการบว 2 จุด คือ

- Zero Calibration จะทำขณะที่มีเพียงถังเปล่าเพื่อให้โปรแกรมอ่านค่าน้ำหนักน้ำมันในถังเป็นศูนย์กรัมหรือใกล้เคียง

- Span Calibration จะทำขณะที่ใช้แท่งน้ำหนักที่ทราบค่าแน่นอน (Weight Bar) วางเหนือถังน้ำมันดีเซลที่จัดไว้เพื่อให้โปรแกรมปรับให้อ่านค่าน้ำหนักให้เท่ากับหรือใกล้เคียงกับแท่งน้ำหนัก (Weight Bar)

ขั้นตอนการทำ Fuel Calibration สามารถทำได้ดังนี้

9.1 ที่หน้าจอของโปรแกรม Dynamometer ให้คลิกที่ View menu

9.2 เลือกคลิก Fuel Consumption

9.3 จะปรากฏหน้าต่างต่างของ Fuel consumption

9.4 คลิกเลือกที่ Settings

9.5 แล้วคลิกเลือกที่ Calibrate

9.6 จะปรากฏหน้าต่างต่างของการ Calibration

9.7 ให้คลิก NEXT

9.8 คลิก NEXT อีกครั้ง

9.9 จากนั้นให้คลิก CALIBRATE แล้วรอประมาณ 5 วินาที (เป็นการทำ Zero Calibration) จากนั้นให้คลิก NEXT

9.10 วางแท่งน้ำหนักสำหรับทำ Calibration ด้านบนของถังน้ำมัน จากนั้นให้คลิก NEXT

9.11 คลิก CALIBRATE แล้วรอประมาณ 5 วินาที(เป็นการทำ Span Calibration) จากนั้นให้คลิก NEXT

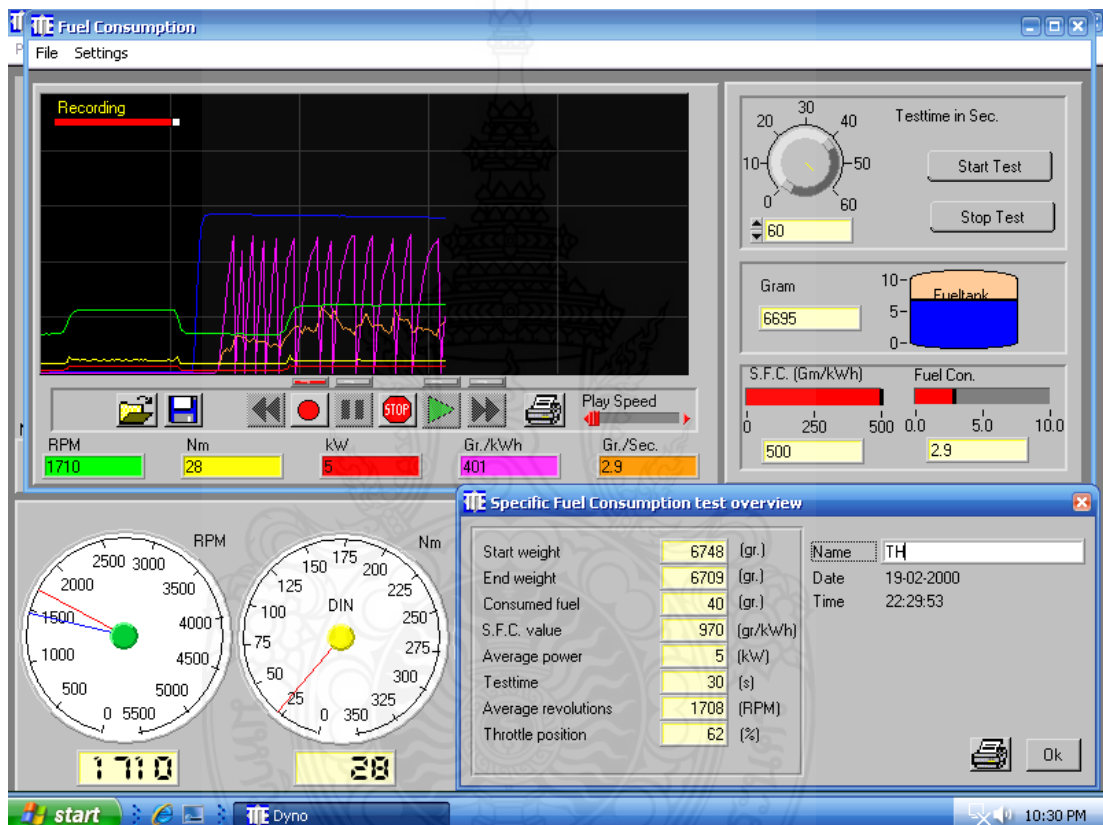
9.12 เอาแท่งน้ำหนักออกแล้วคลิก OK 9.13 ให้ทำการ Re-Check ผลการทำ Calibration โดยวางแท่งน้ำหนักบนถังน้ำมันแล้วอ่านค่าน้ำหนักน้ำมันบนหน้าต่างต่างของ Fuel Consumption ว่าใกล้เคียงกับน้ำหนักจริงของแท่งน้ำหนักหรือไม่(ค่าไม่ควรคลาดเคลื่อนเกิน 4 - 5 %)

## 10. การทำ Fuel Consumption

การทำ Fuel Consumption เป็นการหาอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ที่รอบคงที่ และเปิด % Throttle คงที่ค่าหนึ่ง ส่วนของหน้าต่างของ Fuel Consumption จะมีส่วนที่ต้องรู้จักคือ

### 10.1 Timing in Sec.

คือส่วนที่มีลักษณะเป็นปุ่มปรับและมีเวลาตั้งแต่ 0-60 วินาที โดยจะให้ผู้ใช้งานสามารถตั้งเวลาในการทำ Fuel Consumption ซึ่งจะสามารถตั้งเวลาได้สูงสุด 60 วินาที



### 10.2 Fuel weight lIax Fuel Tank

จะเป็นส่วนที่แสดงน้ำหนักของถังน้ำมันที่เหลืออยู่ในถัง (หน่วยเป็นกรัม) และมีกราฟฟิกของน้ำมันในถังเพื่อแสดงให้เห็นว่าผู้ใช้ทราบว่ามีปริมาณน้ำมันเหลืออยู่เท่าไร

### 10.3 S.F.C (Gm/kWh)

เป็นค่าพลังงาน(KWh) ที่ได้ต่อหน่วยน้ำมันที่จ่ายให้กับเครื่องยนต์ (เป็นกรัม) หน่วยเป็น กรัม/กิโลวัตต์ชั่วโมง

### 10.4 Fuel Con.

เป็นอัตราการใช้หรือสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงที่เป็นลักษณะ Real Time หน่วยเป็นกรัมต่อวินาที

## 10.5 Real Time mode

ลักษณะ Real Time ของพารามิเตอร์ความเร็วรอบ (RPM) แรงบิด (Nm.), กิโลวัตต์(kW.), S.F.C (Gm/KWh) เป็นส่วนที่โซว์กราฟที่เป็นลักษณะ Real Time ของพารามิเตอร์ความเร็วรอบ (RPM), แรงบิด และ Fuel Consumption (Gr/sec) โดยจะโซว์ค่าที่ถูกต้องเมื่อเราสั่งทำ Fuel Consumption แล้ว ด้านล่างของ Real windows ก็จะมีเครื่องมือที่ใช้งานเรียงตามลำดับจากซ้ายไปขวาคือ

10.5.1 Open สำหรับเปิด File ของกราฟที่ได้ Save ไว้

10.5.2 Save สำหรับ Save File ที่ต้องการบันทึก

10.5.3 Review สำหรับสั่งให้กราฟเดินย้อนกลับแบบเร็ว

10.5.4 Record สำหรับสั่งให้โปรแกรมเริ่มบันทึกกราฟ

10.5.5 Pause สำหรับสั่งให้กราฟหยุดเดินชั่วคราว

10.5.6 Play สำหรับสั่งให้กราฟเริ่มเดิน(ใช้ในกรณีที่เปิดไฟล์มาเล่นเท่านั้น)

10.5.7 Forward สำหรับสั่งให้กราฟเดินหน้าแบบเร็ว

10.5.8 Print สำหรับสั่งให้เครื่องพิมพ์กราฟออกมา

10.5.9 Play Speed สำหรับสั่งให้เพิ่ม/ลดความเร็วการเงินของกราฟ

สำหรับการทำ Fuel Consumption ทำได้ดังนี้

1) ตั้งเวลาในการทำ Fuel Consumption โดนคลิกเพื่อเพิ่มหรือลดที่ Timing in Sec. หรือใช้พิมพ์ก็ได้ (โดยเวลาสูงสุดในการทำ Fuel Consumption ที่สามารถทำได้คือ 60 วินาที

2) ตั้งรอบการทำงานของเครื่องยนต์ โดยทำตามขั้นตอนดังนี้

- หมุนปุ่ม Break ของชุด Remote control ไปยังรอบที่ต้องการ (เช่นที่ 3,000 RPM) สังเกตเข็มสีฟ้าบน หน้าปัดของ RPM.Dial ซี่ที่ 3,000 RPM)

- กดปุ่ม + % Throttle ให้ความเร็วรอบเพิ่มขึ้นจนพ้นจุดที่ตั้งความเร็วรอบไว้เล็กน้อย แล้วปล่อยรอสักครู่เข็ม ของความเร็วรอบ (สีแดง) จะลดลงมาที่ความเร็วที่เซทไว้ (ในกรณีนี้คือ 3,000 RPM) ณ ขณะนี้จะผลที่ได้คือ เครื่องยนต์จะเดินที่ความเร็วรอบตามที่ตั้งไว้และมีค่า % Throttle ค่าหนึ่งถ้าต้องการการเพิ่ม % Throttle ขึ้นไปอีกก็สามารถทำได้โดยการกดปุ่ม +% Throttle เพิ่มขึ้น ไปอีกที่ค่าที่ต้องการแล้วปล่อยโดยที่ความเร็วไม่เพิ่มขึ้น (ความเร็วรอบและ % Throttle คงที่)

3) รอจนแน่ใจว่าความเร็วรอบคงที่หรือใกล้เคียงกับค่าที่ตั้งไว้ก็ให้คลิกที่ Start Test บนหน้าต่างของ Fuelconsumption

4) ระบบจะทำการทดสอบ Fuel Consumption ตามที่ต้องการ โดยเวลาจะ Count Down ลงไปหาศูนย์ ในระหว่างนี้ถ้าต้องการ Save กราฟของ Real Time mode สามารถทำได้โดย

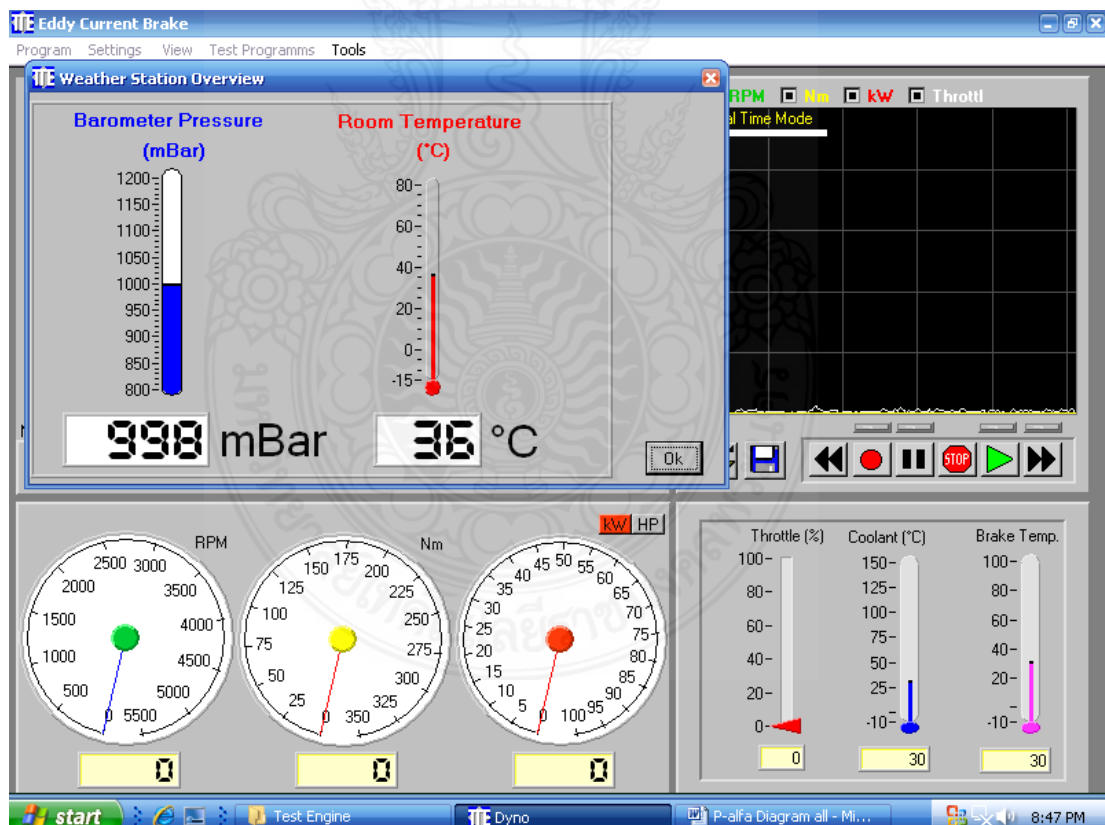
คลิกที่ปุ่ม Record ก็จะทำให้การบันทึกและเมื่อ สิ้นสุดการบันทึกให้คลิกปุ่ม Save พร้อมทั้งชื่อไว้เพื่อเรียกภายหลังได้

5) เมื่อจบการทดสอบการทำ Fuel Consumption โปรแกรมจะมีรายงานการทำ Fuel Consumption โชว์ปรากฏขึ้น ให้พิมพ์ชื่อผู้ทำการทดสอบและคลิกที่ รูป Printer เพื่อให้เครื่องพิมพ์รายงานออกมา

## 11. Weather Station Overview Menu

เป็นการโชว์ค่าพารามิเตอร์ของสภาพแวดล้อมของห้องที่เครื่องยนต์ทำการทดสอบ โดยพารามิเตอร์ทั้ง 2 คือ

1. Barometer Pressure เป็นความดันบรรยากาศของห้องทดสอบ หน่วยเป็น มิลลิบาร์ (mBar) โดยค่าความดันนี้ในแต่ละสถานที่จะไม่เหมือนกันขึ้นอยู่กับความสูง/ต่ำเหนือระดับน้ำทะเล
2. Room Temperature เป็นอุณหภูมิห้องของห้องทดสอบ หน่วยเป็นองศาเซลเซียส (C)

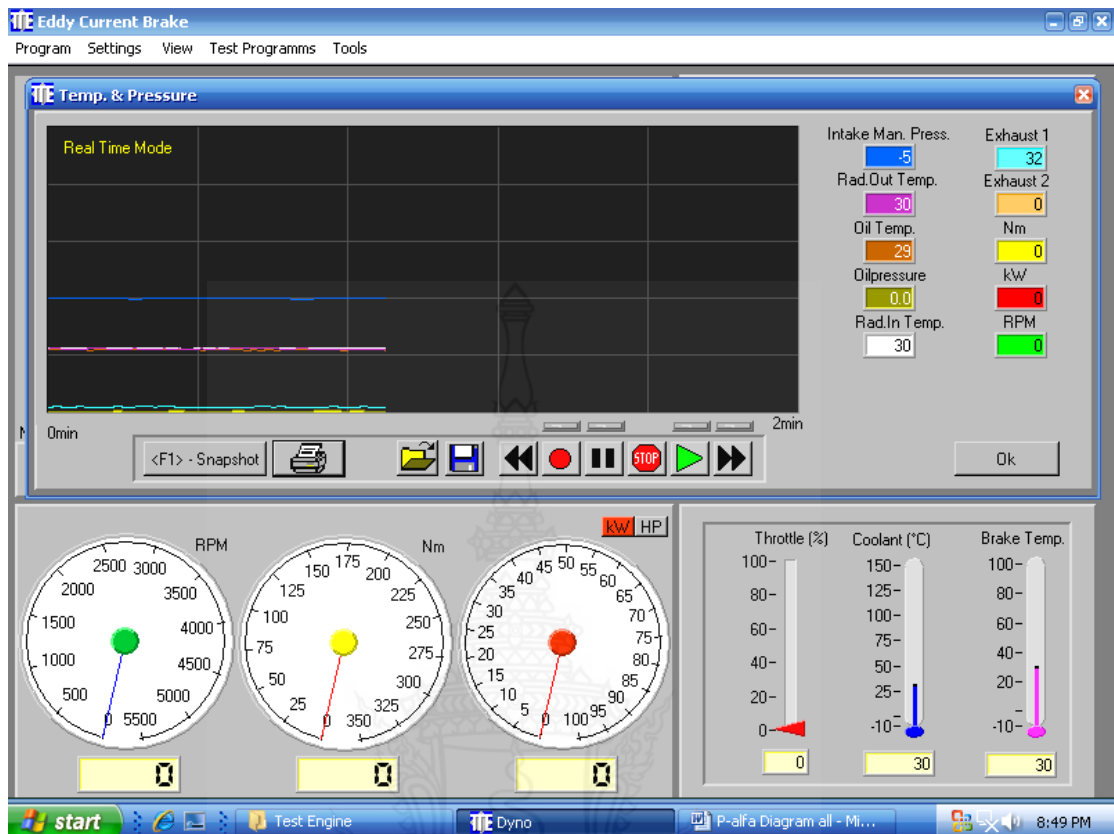


## 12. Temperature & Pressure Overview

เป็นหน้าต่างที่เป็นการสรุปแสดงค่าพารามิเตอร์ของความดัน (Pressure) และอุณหภูมิ (Temperature) ที่เกี่ยวข้องและถูกตรวจจับ (Sensor) โดยติดตั้งไว้กับเครื่องยนต์ การเข้าไปในส่วนนี้ทำได้โดยคลิก View Menu แล้วคลิกเลือก Temperature & Pressure Overview ก็จะ ปรากฏหน้าต่างของ Temperature & Pressure Overview โดย พารามิเตอร์ทั้งหมดจะดังนี้

1. Intake Man. Press. เป็นความดันของอากาศ(ไอดี)ที่วัดหลังจากออกจาก Air Filter
2. Rad. Out Temp. อุณหภูมิของน้ำ Coolant หลังจากออกจากรังผึ้ง (Radiator)
3. Oil Temp. อุณหภูมิของน้ำมันเครื่องยนต์
4. Oil Press. ความดันของน้ำมันเครื่องยนต์
5. Rad. In Temp. อุณหภูมิของน้ำ Coolant ก่อนเข้าออกจากรังผึ้ง (Radiator)
6. Exhaust1 อุณหภูมิของไอเสีย(วัดหลังจากออกจากห้องเผาไหม้)
7. Exhaust2 ไม่มี (เนื่องจากไม่ได้ติดตั้ง Sensor ไว้)
8. Nm. แรงบิด (Torque)
9. kW. กำลัง (Power)
10. RPM. ความเร็วรอบ (Speed)

นอกจากนี้ทางซ้ายมือก็จะโชว์ Real Time mode ของกราฟเช่นเดียวกัน เพียงแต่จะมีเพียง <F1> Snapshot เพิ่มเข้ามา



โดยเมื่อกดปุ่ม F1 ก็จะทำให้ปรากฏหน้าต่างของพารามิเตอร์ที่เกิดขึ้นช่วงเวลาที่เรากด F1 (ลักษณะคล้ายกับการกด Hold หรือ Pause) ที่สามารถ พิมพ์ออกมาได้

### 13. Runtime Engine

เมนูของ Runtime Engine เป็นตัวที่แสดงเวลาในการใช้งานเครื่องจริง(สตาร์ทเครื่องยนต์) เพื่อประโยชน์เพื่อใช้อ้างอิงในการซ่อมบำรุง การใช้เมนูสามารถทำได้ง่ายๆ คือคลิกที่ View Menu และเลือก Runtime Engine ก็จะปรากฏหน้าต่างของเวลาที่ใช้งานจริงของเครื่องยนต์ในรูปแบบของจำนวนชั่วโมง

### 14. การทำ Automatic Test

การทำ Automatic Test เป็นการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Speed-Torque และ Speed-Kilowatt หรือสร้าง Performance Curve การทำสามารถทำได้ตามขั้นตอนดังนี้

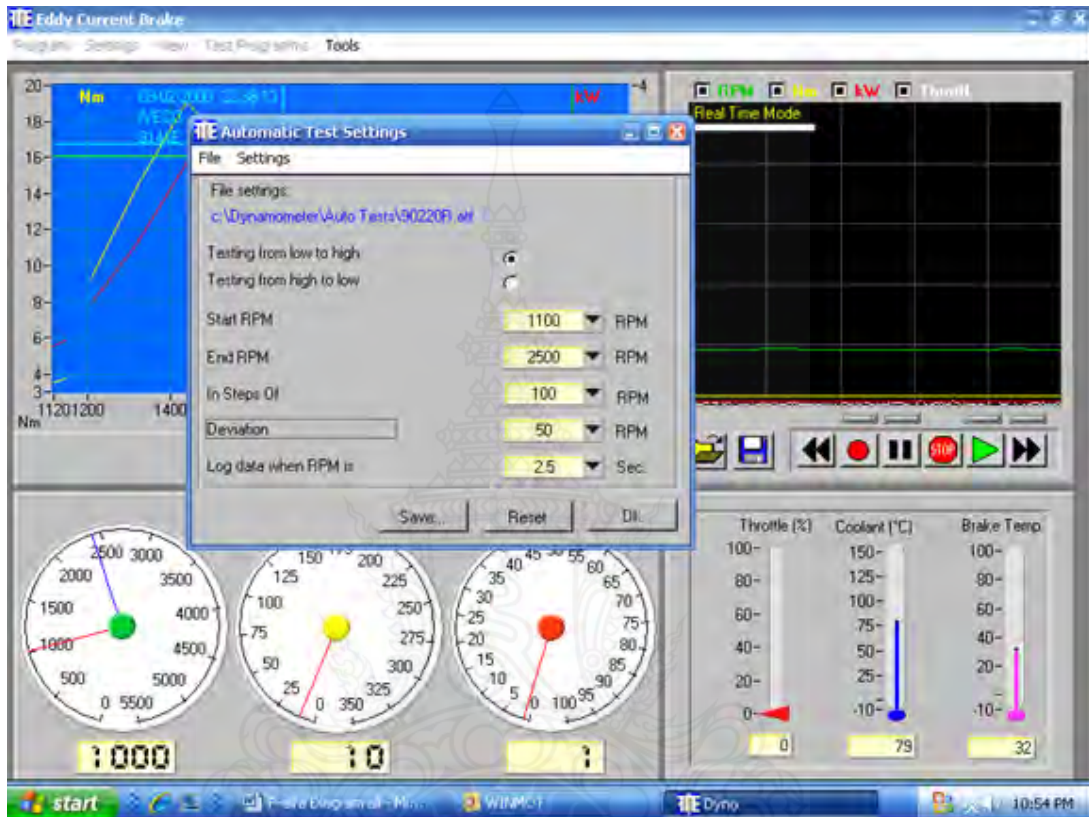
14.1 ที่ Dyno Program ให้คลิกเลือก Test Program Menu

14.2 คลิกเลือก Automatic Test Settings

14.3 จะมีหน้าต่างของ Automatic Test Settings ขึ้นมา ซึ่งต้องเลือกพารามิเตอร์ในการทำ Automatic Test ดังนี้

14.3.1 Testing From low to high เป็นการเลือกให้เครื่องยนต์ Test จากรอบต่ำไปสูง

14.3.2 Testing from high to low เป็นการเลือกให้เครื่องยนต์ Test จากรอบสูงไปต่ำ



14.3.3 Start RPM เป็นการเลือกความเร็วเริ่มต้นในการ Test โดยการคลิกเลือกค่าที่มีอยู่แล้ว

14.3.4 End RPM เป็นการเลือกความเร็วสุดท้ายในการ Test โดยการคลิกเลือกค่าที่มีอยู่แล้ว

14.3.5 In Step of เป็นการเลือกขั้นการเพิ่มขึ้นหรือลดลงในการ Test ว่าขั้นละ RPM

14.3.6 Deviation เป็นการตั้งค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ในการ Test ว่าความเร็วแต่ละจุดของการ Test สามารถคลาดเคลื่อนได้ไม่เกิน RPM ก่อนที่จะทำการ Log data เก็บเข้าไปประมวลผลในคอมพิวเตอร์

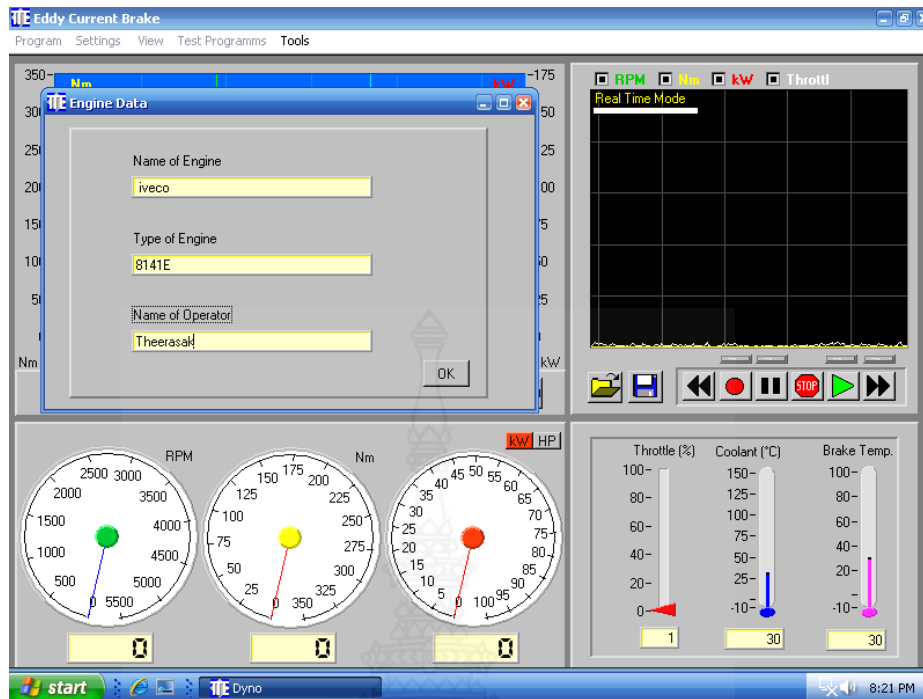
14.3.7 Log data when RPM is เป็นการกำหนดเวลาการคงอยู่ของแต่ละ Step (เป็นวินาที) ว่าในแต่ละ Step ของการ Test เครื่องยนต์จะนิ่งอยู่ในสภาวะนี้กี่วินาที

14.3.8 Save คลิกเพื่อบันทึกค่าของพารามิเตอร์ที่ตั้งไว้เพื่อเรียกใช้งานภายหลัง

14.3.9 Reset คลิกเพื่อล้างค่าของพารามิเตอร์ที่ตั้งไว้ก่อนหน้าเพื่อ Set ใหม่

14.4 คลิก OK ผลคือจะมีหน้าต่างของ Engine Data เพื่อให้กรอกดังนี้





14.4.1 Name of Engine ชื่อเครื่องยนต์ (IVECO Recommend)

14.4.2 Type of Engine ชนิดของเครื่องยนต์ (8141E Recommend)

14.4.3 Name of Operator จากนั้นให้คลิก OK จะกลับสู่หน้าจอปกติของ

Dyna Program

14.5 ทำการเปิด % Throte ไปยังตำแหน่งสูงสุด 100 %) โดยการกด ปุ่ม + %Throttle แต่ก่อนอื่นต้องช่วยเครื่องยนต์โดยเดินเครื่องไปที่รอบต่ำๆ โดยหมุนปุ่ม Break ให้เข็มสีฟ้าชี้ในตำแหน่งรอบต่ำ (เช่น 2,000 RPM) ของหน้าปัด RPM แล้วกดปุ่ม + %Throttle ของ Remote ให้เลย 2,000 RPM เล็กน้อยแล้วปล่อย รอจนรอบคงที่ตามที่ตั้งไว้ จากนั้นค่อยเปิด % Throttle ไปที่ 100 %

14.6 ที่ Dyno Program ให้คลิกที่ Test Programs และเลือกคลิกที่ Start Automatic Test ระบบจะทำการ Test แบบอัตโนมัติทีละ Step จนครบตามโปรแกรมที่ตั้งไว้

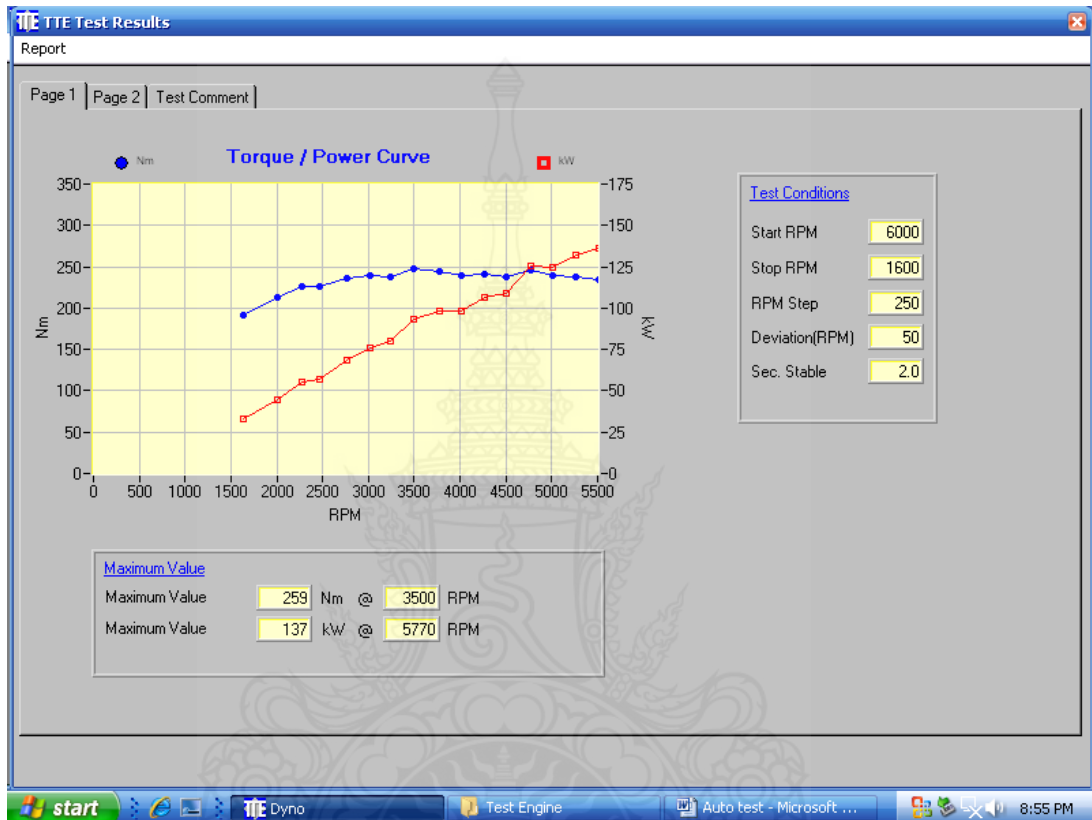
14.7 เมื่อสิ้นสุดการทำ Automatic Test แล้วจะปรากฏกราฟของ Performance Curve ที่หน้าจอ

14.8 ให้ทำการขยายกราฟให้เต็มจอโดยการกำหนดขอบบนและขอบล่างให้ครอบคลุมขอบเขตของกราฟ โดยใช้เมาส์คลิกที่มุมสี่เหลี่ยมของขอบเขตบนและล่างพร้อมลากให้ครอบคลุมกราฟทั้งหมด

14.9 ทำการขยายภาพ โดยคลิกที่แว่นขยายที่มีเครื่องหมายบวก จะทำให้กราฟเต็มหน้าจอ



14.10 ทำการ Save กราฟและตั้งชื่อโดยการคลิกรูปที่เป็นแผ่นดิสก์ 14.11 จากนั้นสามารถดูรายงานการทำ Automatic Test ได้โดยคลิกที่ Test Programs และคลิก Test Report จะปรากฏหน้าต่างผลการ Test ออกมาดังรูปข้างล่าง



14.12 จากนั้นให้คลิกที่เมนู Report จะมี Sub-menu ให้เลือกหลายตัวคือ

14.12.1 Report Print Setting เป็นการเข้าไปสู่การเปลี่ยนแปลงชื่อที่อยู่และ Parameter Setting ที่จะปรากฏในรายงาน

14.12.2 Print Preview เป็นการเรียกดู Report ก่อนทำการพิมพ์จริง

14.12.3 Print Report เป็นคำสั่งให้พิมพ์ Report

14.12.4 Close คำสั่งออกจาก Test Report

14.13 สำหรับ Report ที่มีจะมีอยู่ 3 หน้าต่างให้เลือกคือ

14.13.1 Page 1 เป็น Report ที่โชว์ Performance Curve ของการทำ Automatic Test

14.13.2 Page 2 เป็น Report ที่โชว์ส่วนของข้อมูลตัวเลขการทำ Automatic Test

14.13.3 Test Comment สำหรับใส่ความคิดเห็นในการทำ Automatic Test โดยจะไปปรากฏในรายงาน ใน Page 1

## 15. การทำ Duration Test

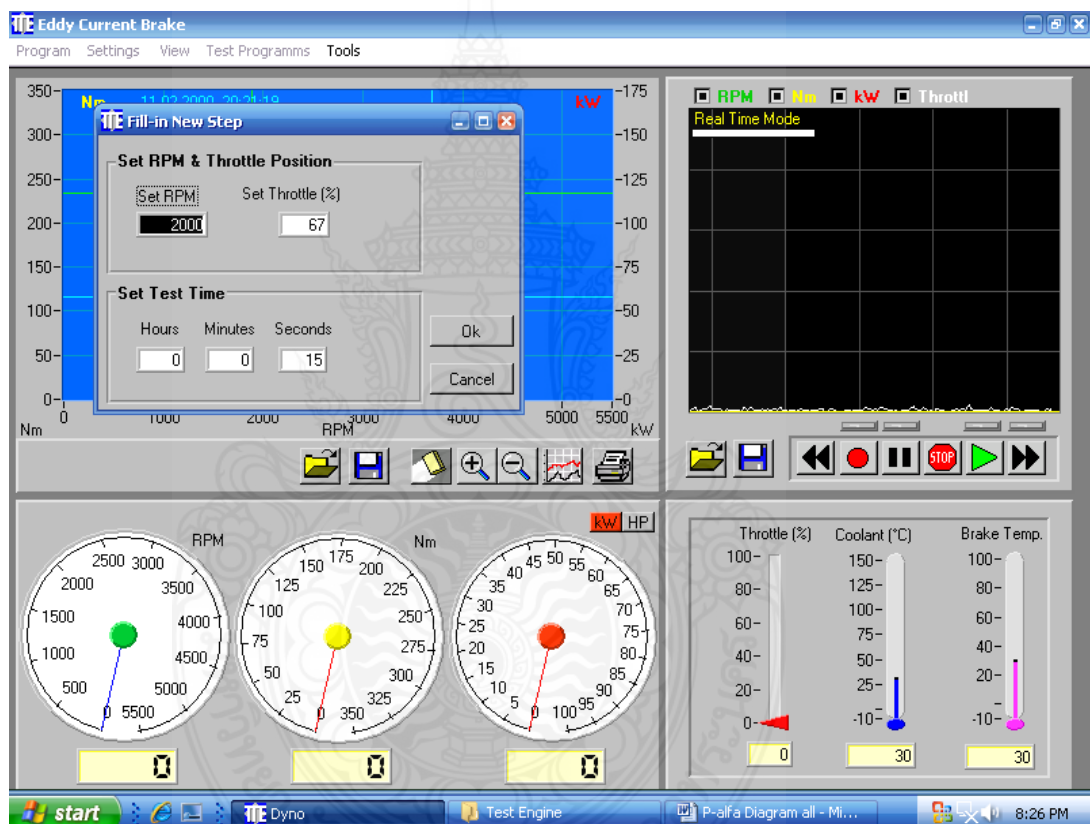
เป็นการเขียนโปรแกรมให้เครื่องยนต์ทำงานเป็นลำดับขั้นตอนแบบอัตโนมัติตามโปรแกรมที่ได้ตั้งไว้ โดยโปรแกรมที่เขียนขึ้นประกอบด้วย 3 ส่วนคือ

15.1 RPM เป็นรอบของเครื่องยนต์ที่ต้องการให้เครื่องยนต์ทำงาน

15.2 TP9% เป็นการเซท % Throttle ที่ต้องการให้เครื่องยนต์ทำ

15.3 Test Time เป็นเวลาที่ต้องการให้เครื่องยนต์ทำงาน

โดยการทำให้ Duration Test สามารถทำได้โดยคลิกที่ Test Programs ของ Dyno Programms จากนั้นให้คลิก Duration กฎหน้าต่างของการทำ Duration Test



15.4 ที่หน้าต่างของ Duration Test มีคำสั่งที่ต้องทราบคือ

15.4.1 Insert Step สำหรับเขียนคำสั่งหรือโปรแกรม หลังจากคลิกที่ปุ่มนี้จะมีหน้าต่างเล็กๆ ให้ป้อนค่า (Set RPM & Throttle Position) อยู่ 3 ตัวคือ

1) Set RPM ใส่ค่าความเร็วรอบที่ต้องการให้เครื่องยนต์ทำงาน

2) Set Throttle (%) ตั้งเปอร์เซ็นต์ของ Throttle ที่ต้องการ

3) Set Test Time ตั้งเวลาในการ Test ที่ Step นี้ โดยรูปแบบเป็น ชั่วโมง/นาที/วินาที

15.4.2 Delete Step คลิกเพื่อลบ Step ของโปรแกรมที่เขียนขึ้นที่ละ Step

15.4.3 Repeat Step เป็นคำสั่งที่สั่งให้โปรแกรมทำงานเป็นรอบวนลูบเป็นจำนวนครั้ง โดยหลังจาก คลิกที่ปุ่มนี้จะทำโปรแกรมจะให้ป้อนตัวเลขที่ต้องการให้เครื่องยนต์ทำงานวนลูบโดยปกติแล้วคำสั่งนี้จะใส่ก่อนจะถึงคำสั่ง End Test

15.4.4 End Test เป็นคำสั่งที่ใช้ปิดท้ายโปรแกรม (ต้องป้อนทุกครั้ง เพื่อบอกให้โปรแกรมทราบว่าจบคำสั่งแล้ว

15.4.5 Open File เป็นคำสั่งที่ใช้เปิดโปรแกรมที่ทำการ Save ไว้

15.4.6 Save File เป็นคำสั่งที่ใช้เพื่อบันทึกโปรแกรมที่ได้เขียนไว้พร้อมตั้งชื่อเพื่อเรียกมาใช้งานใหม่ ภายหลัง

15.4.7 Logger Off เป็นคำสั่งสำหรับเก็บข้อมูลผลการทำ Duration Test เพื่อเรียกดู ภายหลัง โดยจะเก็บในรูปแบบของ Text File

15.4.8 Start Test เป็นคำสั่งให้เริ่มทำ Duration Test การทำ Duration test ก็จะทำ ดังนี้

1) คลิก Insert Step เพื่อป้อนโปรแกรม (ถ้ามีโปรแกรมเก่าอยู่ให้คลิก Delete Step เพื่อให้หน้าจอว่าง)

2) ใส่ค่า RPM % Throttle และ Test Time ที่ต้องการ จากนั้นคลิก OK

3) ถ้าต้องการเพิ่ม Step อีกก็ให้คลิก Insert Step อีกครั้งและป้อนค่าเช่นเดียวกับ

ข้อ 15.4.8.2

4) ถ้าต้องการให้โปรแกรมทำงานเป็นลูปให้คลิกที่ Repeat Step แล้วป้อนจำนวน ลูบที่ต้องการ จากนั้นคลิก

5) ปิดท้ายโปรแกรมทุกครั้งด้วยคำสั่ง End Test

6) เริ่มการทำ Duration Test โดยการคลิกที่ Start Test

## 16. การวัด P.alfa P-VDiagram และ Indicated mean Pressure (PI)

การวัด P-alfa, P-V Diagram รวมทั้ง Indicated mean Pressure(PI) ระบบสามารถทำได้ เนื่องจากได้ฟังเพิ่มเติมดังนี้

16.1 Pressure Sensor เป็นหัววัดความดันที่ฝังไว้ในห้องเผาไหม้ห้องที่ 4 ของเครื่องยนต์ โดยจะมีน้ำหล่อเย็นคอยเลี้ยงไว้ตลอดเวลาเมื่อสตาร์ทเครื่องยนต์

16.2 TDC Sensor จะเป็น Opto - Sensor ใ้วัดด้านข้างของเพลลาเพื่อจับตำแหน่งของ TDC (Top Dead Center) ทูกรอบที่เครื่องยนต์หมุน

16.3 RPM Sensor เป็น Prox-Magnetic Sensor ที่วัดความเร็วรอบของเครื่องยนต์ โดยติดตั้ง ไว้ที่ Dynamometer

16.4 สำหรับระบบการวัด P-alfa Diagram จะมี 2 ขั้นตอนต่อเนื่องกันคือ

16.4.1 ใช้เครื่อง HLV hand-help วัดความดัน, ความเร็วรอบและตำแหน่ง TDC มาเก็บไว้

16.4.2 โหลดข้อมูล (วัดความดัน, ความเร็วรอบและตำแหน่ง TDC) จากเครื่อง HLV hand-help มาที่คอมพิวเตอร์โดยใช้โปรแกรม MSD for Windows  
ดังนั้น P-alfa และ P-V diagram จึงไม่ใช่ข้อมูลเป็นลักษณะ Real Time



ดังนั้นสำหรับการวัดจึงแบ่งขั้นตอนได้ดังนี้

16.5 การโหลดข้อมูลจากเครื่องยนต์มาเครื่อง HLY สามารถทำตามขั้นตอนได้ดังนี้

16.5.1 การ Setting HLV สมมติว่าต้องการวัดที่ 2000 RPM ก่อนทำการวัดทุกครั้งต้องมีการเซทและตั้งชื่อของข้อมูลที่จะวัดที่เครื่อง HLV ก่อน เสมอตามขั้นตอนดังนี้

- 1) กดปุ่ม On เพื่อเปิดเครื่อง
- 2) กดปุ่ม E.init จะปรากฏเมนู 3 ตัวคือ
  1. engine edit สำหรับแก้ไขข้อมูลที่ Save ไว้ในเครื่องก่อนหน้านี้
  2. add engine สำหรับเพิ่ม/สร้างข้อมูลใหม่
  3. Delete engine สำหรับลบข้อมูลเดิม
- 3) กดปุ่ม 1 (add engine)
- 4) เครื่องให้ใส่ชื่อข้อมูล (engine no. =?) ยกตัวอย่าง 2000 (เพราะต้องการวัดที่ 2000 RPM) จากนั้นให้กด Enter
- 5) ใส่จำนวนกระบอกสูบ (cylinder count =?) ในที่นี้คือกด 4 แล้วกด Enter
- 6) ใส่ประเภทเครื่องยนต์ที่จังหวะ (engine type) ในที่นี้ให้กด 2 (four stroke eng.)
- 7) ใส่มุม Test series length ในที่นี้ให้กด 2 (720 องศา) เนื่องจากเครื่องยนต์แบบ 4 จังหวะ
- 8) ให้เลือกวิธีการวัดตำแหน่ง TDC ว่าเป็นแบบใด ในกรณีกด 2 (ignition angle) เนื่องจากมีการติดตั้ง Sensor วัดมุมตำแหน่งของ TDC
- 9) ใส่ค่ามุมการวัดมุมครั้งที่ 1 (1. Cylinder: ?) ในที่นี้ให้กด 0 (เนื่องจาก Opto-Sensor เช็คตำแหน่ง TDC หรือศูนย์องศาทุกครั้ง แล้วกด Enter

- 10) ใส่ค่ามุมการวัดมุมครั้งที่ 2 (2. Cylinder: ?) ที่นี้ให้กด 0 (เนื่องจาก Opto-Sensor เช็คตำแหน่ง TDC หรือศูนย์องศาทุกครั้ง แล้วกด Enter
- 11) ใส่ค่ามุมการวัดมุมครั้งที่ 3 (3. Cylinder: ?) ที่นี้ให้กด 0 (เนื่องจาก Opto-Sensor เช็คตำแหน่ง TDC หรือศูนย์องศาทุกครั้ง แล้วกด Enter
- 12) ใส่ค่ามุมการวัดมุมครั้งที่ 4 (4. Cylinder: ?) ที่นี้ให้กด 0 (เนื่องจาก Opto-Sensor เช็คตำแหน่ง TDC หรือศูนย์องศาทุกครั้ง แล้วกด Enter
- 13) เครื่องจะกลับมาหน้าจอของของ E.init ให้กด Enter เครื่องจะกลับมาหน้าจอปกติเป็นจบขั้นตอน

#### 16.5.2 การเตรียมความพร้อมของเครื่องยนต์

ก่อนทำการวัด ทางผู้ใช้งานต้องทราบว่าการวัดที่รอบเท่าไรและ % Throttle เท่าไรด้วย ในที่นี้คือที่รอบ 2,000 RPM. (ให้ตรงกับที่เซทไว้ที่เครื่อง HLV) และเปิด % Throttle = 100% โดยทำตามขั้นตอนดังนี้

- 1) เปิดโปรแกรม Dynamometer Program
- 2) หมุนปุ่ม Break ของชุด Remote ให้เข็มสีฟ้าชี้ที่ 2,000 RPM
- 3) กดปุ่ม + % Throttle ให้ความเร็ว(เข็มสีแดง) พ้น 2,000 RPM เล็กน้อยแล้วปล่อย รอจนกระทั่งความเร็วรอบตกลงมาที่ 2,000 RPM. หรือใกล้เคียงแล้วจึงกด + % Throttle ขึ้นไปถึง 100% (ตามที่ต้องการ) เป็นการจบขั้นตอน

16.5.3 การวัดข้อมูลโดยเครื่อง HLV เมื่อขั้นตอนในข้อ 16.12.2 เรียบร้อยแล้วก็ให้ตามขั้นตอนดังนี้

- 1) ที่เครื่อง HLV กดปุ่ม Measure
- 2) ใส่ชื่อเครื่องยนต์ที่ต้องการวัด (engine no =?) ในที่นี้คือป้อน 2,000 แล้ว กด Enter
- 3) เครื่องบอกให้กด Enter (ถ้าพร้อม) จึงกด Enter จะทำให้เครื่องโชว์ข้อความ "Measure in Process" นั่นคือเครื่องทำการวัดครั้งที่ 1 รอจนได้ข้อมูลครั้งที่ 1 ออกมา
- 4) กด Enter อีกครั้งเพื่อสั่งให้เครื่องทำการวัดข้อมูลครั้งที่ 2 รอจนได้ข้อมูลครั้งที่ 2 ออกมา
- 5) กด Enter อีกครั้งเพื่อสั่งให้เครื่องทำการวัดข้อมูลครั้งที่ 3 รอจนได้ข้อมูล ครั้งที่ 3 ออกมา
- 6) กด Enter อีกครั้งเพื่อสั่งให้เครื่องทำการวัดข้อมูลครั้งที่ 4 รอจนได้ข้อมูล ครั้งที่ 4 ออกมา

- 7) กด Enter อีกครั้งเครื่องจะกลับออกมาหน้าจอปกติของ HLV เป็นอันจบขั้นตอน

#### 16.6 การโหลดข้อมูลจาก HLV มาที่คอมพิวเตอร์

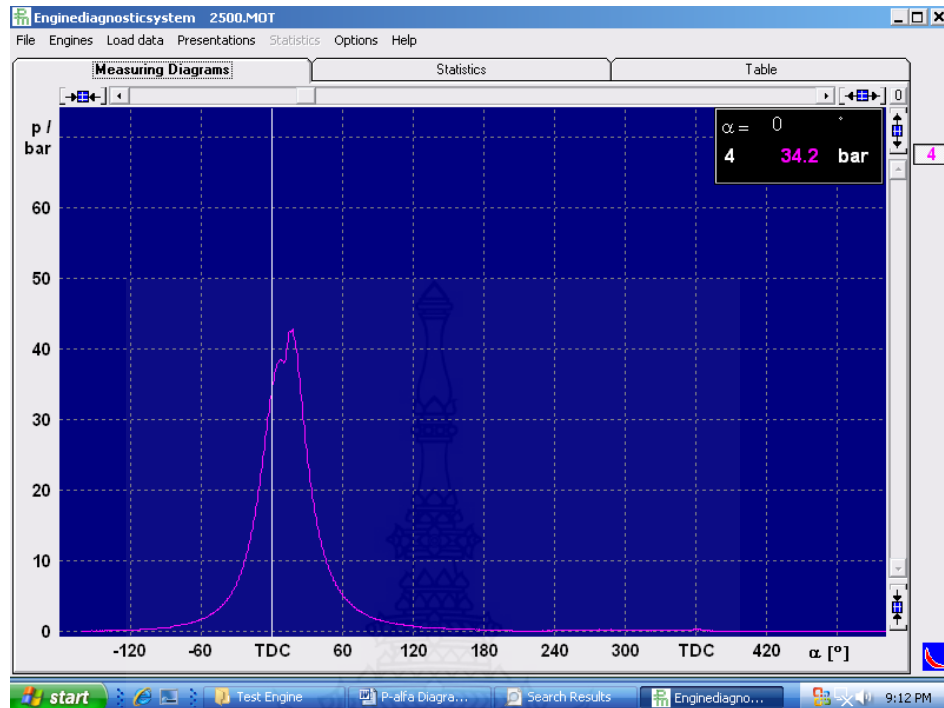
ขั้นตอนการโหลดข้อมูลจาก HLV มาคอมพิวเตอร์มี 2 ขั้นตอนเช่นกันคือ

##### 16.6.1 การเตรียมความพร้อมที่เครื่องคอมพิวเตอร์ทำได้ดังนี้

- 1) ที่หน้าจอคอมพิวเตอร์ให้คลิก Start
- 2) คลิกเลือก Engine dianoticsystem
- 3) คลิกเลือก MDS for windows
- 4) จะเข้าสู่หน้าต่างของโปรแกรม MDS for Windows
- 5) ให้ลบข้อมูลเดิมที่อยู่ในกราฟเสียก่อนโดยคลิก File และคลิก Close
- 6) จากนั้นให้คลิกที่ Load data
- 7) คลิกเลือก Load data from HLV
- 8) คลิกเลือก 8141 แล้วกด Enter
- 9) เครื่องจะบอกว่าจะให้ทำการโหลดข้อมูล 100 % (input actual engine point in percent = 100%) ถึงขั้นตอนนี้เหลือเพียงกด Enter แต่ต้องรอเซตทางเครื่อง HLV ก่อน ดังนั้นให้รอไว้ก่อน

##### 16.6.2 การเซตที่เครื่อง HLV

- 1) ที่เครื่อง HLV ให้กดปุ่ม PC
- 2) เครื่องจะให้ใส่ชื่อข้อมูลที่ต้องการโหลด (Engine no = ?) ในที่นี้คือป้อน 2,000 แล้วกด Enter
- 3) เครื่องให้ใส่ข้อมูลของกระบอกสูบที่เท่าไรที่ต้องการโหลด (cyl. no. =?) ในที่นี้ให้ป้อนเครื่องหมาย " " หมายถึงทั้งหมด (4 กระบอกสูบ) แล้วจึงกด Enter
- 4) กด Enter เพื่อ Start เริ่มส่งข้อมูล
- 5) ที่เครื่องคอมพิวเตอร์ให้ทำการกด Enter ตามเพื่อรับข้อมูล
- 6) ที่หน้าจอคอมพิวเตอร์จะเห็นภาพการรับข้อมูลและเมื่อจบแล้วจะปรากฏภาพของ P-alfa Diagram ขึ้น



7) ให้ทำการ Save ข้อมูลโดยคลิก File และเลือก Save as พร้อมตั้งชื่อข้อมูล จากนั้นก็คลิก Save

8) ทำการปิดข้อมูลโดยคลิก File และเลือก Close แล้วจึงเปิดข้อมูลใหม่ โดยการคลิก Open และเลือก File ที่ไว้ save ไว้แล้วจึงกด Enter

9) ที่หน้าจอจะปรากฏ P-alpha Diagram ถ้าต้องการดู P-V Diagram ให้ทำการคลิก Presentation Menu และเลือกคลิก P-V Diagram

### 16.7 การหา Timing fuel injection

การหา Timing fuel injection สามารถทำได้ดังนี้

16.7.1 เปิดไฟล์ข้อมูลของ P-alpha Diagram ที่ต้องการหา

16.7.2 คลิกเลือกเมนู Presentations

16.7.3 คลิกเลือก Cursor จะปรากฏมุมมองเสาที่มุมด้านขวามือ

16.7.4 ทำการขยายภาพ (โดยคลิกที่เครื่องหมายลูกศร 2 อันหันหลังชนกัน) เพื่อ Zoom ส่วนที่น่าจะเป็นจุดของ Timing fuel injection จากนั้นก็ให้ใช้เมาส์คลิกตรงจุดนั้น ก็จะได้มุมของ Timing Fuel injection ออกมา

16.7.5 ที่ด้านมุมขวาบนจะมีตัวเลข 1,2,3,4 เรียงตามแนวตั้ง เป็นตัวเลือกสำหรับการเลือก  
โศว์กราฟของแต่ละเส้น (ทั้งหมด 4 เส้น) ที่จะบอกว่าเป็นกราฟเส้นที่เท่าไรในการเลือก  
ทำได้โดยการคลิกที่ตัวเลข

#### 16.8 การหา Indicated mean Pressure

การหา indicated mean Pressure สามารถทำได้ดังนี้

16.8.1 เปิดไฟล์ข้อมูลของ P-alfa Diagram ที่ต้องการหาเช่นกัน

16.8.2 คลิกเลือกหน้าต่างของ Table

16.8.3 Indicated mean Pressure จะปรากฏในช่องของ pi[bar]





## ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ นามสกุล นายรัชต์ นิ่มอนงค์  
วัน เดือน ปีเกิด 8 มีนาคม 2534  
ภูมิลำเนา 65/21 หมู่ที่ 2 ถนนเอกชัย 23 แขวงบางขุนเทียน เขตจอมทอง กรุงเทพฯ  
ประวัติการศึกษา

วุฒิการศึกษา	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วศบ.วิศวกรรมเครื่องกล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	2556
ปวส.ช่างยนต์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	2553
ปวช.ช่างยานยนต์	โรงเรียนช่างฝีมือทหาร	2551

### ตำแหน่งและสถานที่ทำงานปัจจุบัน

วิศวกร บริษัท ไวร์เออ แอนด์ ไวร์เลส จำกัด อาคาร อโยธยาทาวเวอร์ ชั้น 26  
เลขที่ 240/64-67 ถนนรัชดาภิเษก แขวงห้วยขวาง เขตห้วยขวาง กรุงเทพฯ

