



รายงานผลการวิจัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้

เรื่อง การศึกษาสมรรถนะเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กในการทำงานจริงโดยใช้ไบโอดีเซลจาก
น้ำมันพืชใช้แล้วเป็นเชื้อเพลิง

THE STUDY EFFICIENCY OF SMALL DIESEL ENGINE IN USING JOB BY
BIODIESEL FROM USED COOKING OILS AS FUEL

ได้รับการจัดสรรงบประมาณวิจัย ประจำปี 2552

จำนวน 290,000 บาท

หัวหน้าโครงการ ว่าที่ร้อยตรีธรรมศักดิ์ พันธุ์แสนศรี
ผู้ร่วมโครงการ นายอนุกุล จันทร์แก้ว

งานวิจัยเสร็จสิ้นสมบูรณ์

31/ต.ค./53

การศึกษาสมรรถนะเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กในการทำงานจริง
โดยใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วเป็นเชื้อเพลิง
THE STUDY EFFICIENCY OF SMALL DIESEL ENGINE IN USING JOB
BY BIODIESEL FROM USED COOKING OILS AS FUEL

ธรรมศักดิ์ พันธุ์แสนศรี และ อนุกุล จันทรแก้ว
TAMMASAK PUNSAENSRI AND THANYARAT CHUESAARD

มหาวิทยาลัยแม่โจ้ –แพร่ เฉลิมพระเกียรติ

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมรรถนะเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กในการทำงานจริง โดยใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วเป็นเชื้อเพลิง และการสึกหรอของเครื่องยนต์ดีเซลและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเมื่อใช้น้ำมันไบโอดีเซล เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้น้ำมันดีเซล จากการศึกษาวิจัย พบว่า ค่าความร้อนทั้งค่าความร้อนสูงและค่าความร้อนต่ำของน้ำมันส่วนผสมต่าง ๆ จะลดลงเมื่ออัตราส่วนผสมของน้ำมันไบโอดีเซลเพิ่มขึ้น น้ำมันไบโอดีเซลในอัตราส่วนผสมต่าง ๆ ให้ค่าแรงบิด และค่ากำลังของเครื่องยนต์ใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล โดยมีค่าต่ำกว่าเพียงเล็กน้อย ค่าแรงบิดจากน้ำมันไบโอดีเซลในอัตราส่วนผสมต่าง ๆ จะมีค่าใกล้เคียงกับเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซลในช่วงความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 1,200 ถึง 1,800 รอบต่อนาที โดยให้ค่าแรงบิดสูงสุดที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 1,600 รอบต่อนาที

ส่วนกำลังของเครื่องยนต์ที่ได้จากการใช้น้ำมันไบโอดีเซลในอัตราส่วนผสมต่าง ๆ ก็พบว่า มีค่าใกล้เคียงกับค่ากำลังที่ได้จากน้ำมันดีเซลในช่วง 1,200 ถึง 2,200 รอบต่อนาที และจะให้กำลังงานสูงสุดที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ประมาณ 2,200 รอบต่อนาที โดยมีอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะของเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันไบโอดีเซลในอัตราส่วนผสมต่าง ๆ สูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซลอยู่ประมาณ 10-15% และการใช้น้ำมันไบโอดีเซลในอัตราส่วนผสมต่าง ๆ จะให้ค่าควันดำน้อยกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซล ประมาณ 40% และมีปริมาณของคาร์บอนมอนนอกไซด์ที่น้อยกว่าการใช้ น้ำมันดีเซล ทั้งนี้เนื่องจากสัดส่วนของน้ำมันไบโอดีเซล สามารถผสมกับอากาศได้เหมาะสม จึงเกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ และมีปริมาณคาร์บอนมอนนอกไซด์ออกมาน้อย

Abstract

The objective of this research study is the efficiency of small diesel engine in using job by biodiesel from used cooking oils as fuel. And wear of diesel engines and their impact on the environment when using biodiesel, when compared to diesel. The results of the study showed that the heating value and higher heating value and lower heating value of various ingredients of the oil decreases as the mixing ratio of biodiesel increases. Diesel in different ratios and the torque of the engine is similar to diesel by the slightly lower. Torque from the diesel in different ratios is close to diesel engines in the engine speed of 1,200 to 1,800 rpm the maximum torque at engine speeds of 1,600 rpm.

The engine is derived from the use of biodiesel in various ratios, it was found that the values are similar to that of diesel fuel during 1,200 to 2,200 rpm and will provide the maximum power of the engine speed around 2,200 rpm. The rate of specific fuel consumption of engines that use biodiesel fuel in different ratios than the diesel engine is 10-15%. And use of biodiesel in various ratios to the black smoke of diesel engines that use less than 40%. And the amount of carbon monoxide is less than diesel. This is because the proportion of biodiesel. Can be properly mixed with air. Therefore the complete combustion and carbon monoxide out low.

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้ดำเนินการวิจัย ขอแสดงความขอบคุณต่อสำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการ การเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ซึ่งได้ให้เงินทุนอุดหนุนการวิจัยในปีงบประมาณ 2552 ในหัวข้อ การศึกษาสมรรถนะเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กในการทำงานจริงโดยใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วเป็นเชื้อเพลิง พร้อมกันนี้คณะผู้วิจัยขอขอบคุณชาวบ้านแม่ทราย ชาวบ้านร่องกวางและ มหาวิทยาลัยแม่โจ้-แพร่ เฉลิมพระเกียรติ ที่ได้อนุเคราะห์ด้านอาคารและสถานที่ตลอดจนอุปกรณ์ การทดลองต่าง ๆ ในการทำวิจัยในครั้งนี้จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

คณะผู้ดำเนินการวิจัย

ธรรมศักดิ์ พันธุ์แสนศรี

อนุกุล จันทร์แก้ว

วันที่ 31 ตุลาคม 2553

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญตาราง	จ
สารบัญภาพ	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ปัญหาและความสำคัญของการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	4
1.3 ขอบเขตของการศึกษา	4
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากการศึกษา	5
1.5 สรุปสาระสำคัญจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง	5
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี	
2.1 ความหมายและนิยามของน้ำมันไบโอดีเซล	11
2.2 ความเป็นมาของไบโอดีเซล	11
2.3 ประเภทของไบโอดีเซล	17
2.4 การผลิตไบโอดีเซล	19
2.5 คุณสมบัติของไบโอดีเซล	21
2.6 วัตถุดิบที่ใช้ผลิตไบโอดีเซล	24
2.7 ไขมันและน้ำมัน (Fats and Oils)	25
2.8 ปฏิกิริยาทรานเอสเทอริฟิเคชัน (Transesterification)	27
2.9 ชนิดของสารเร่งที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซล	28
2.10 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องในการทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอริฟิเคชัน	28
2.11 กระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว	30
2.12 ประโยชน์ของการใช้ไบโอดีเซล	37
2.13 เครื่องยนต์ดีเซล	38

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี (ต่อ)	
2.14 ระบบการทำงานของเครื่องยนต์ดีเซล 4 จังหวะ	39
2.15 เครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กที่ใช้ในการทดสอบ	41
2.16 อัตราการเผาไหม้หยุดเชื้อเพลิง	59
2.17 การประเมินสมรรถนะเครื่องยนต์ดีเซล	59
2.18 การคำนวณหาสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซล	60
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย	
3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือ	61
3.2 วิธีดำเนินการศึกษาวิจัย	69
3.3 สถานที่ทำการวิจัย	72
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง	
4.1 การค้นคว้าเอกสารที่เกี่ยวข้องกับการศึกษา	73
4.2 การเตรียมวัสดุอุปกรณ์และชุดทดสอบ	81
4.3 ผลการศึกษาคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลในอัตราส่วนผสมต่าง ๆ	84
4.4 ผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กที่ใช้ไบโอดีเซล ในอัตราส่วนผสมต่าง ๆ	86
4.5 ผลการศึกษากการสึกหรอของเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กที่ใช้ไบโอดีเซล ในอัตราส่วนผสมต่าง ๆ	87
4.6 ผลการศึกษามลพิษของเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กที่ใช้ไบโอดีเซลในอัตราส่วน ผสมต่าง ๆ	87
4.7 ศึกษาการสึกหรอของเครื่องยนต์ที่ใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วผสม น้ำมันดีเซล	88
4.8 ศึกษาประสิทธิภาพการทำงานในพื้นที่จริงเมื่อใช้เชื้อเพลิงไบโอดีเซลจากน้ำมันพืช ใช้แล้วเทียบกับน้ำมันดีเซล	91
4.9 วิจารณ์ผลการทดลอง	95

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการทดลอง	96
5.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษาต่อไป	97
บรรณานุกรม	98
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก ตัวอย่างการคำนวณค่าคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลที่สังเคราะห์ได้จากน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว	101
ภาคผนวก ข ตารางข้อมูลการทดลอง	104
ภาคผนวก ค. วิธีการใช้เครื่อง Bomb calorimeter และขั้นตอนการใช้ Flash point analyzer	106
ภาคผนวก ง. ภาพการตรวจวัดต่าง ๆ	108

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ข้อกำหนดคุณสมบัติของไบโอดีเซลและวิธีการตรวจสอบ	22
2.2 เปรียบเทียบคุณสมบัติของไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชชนิดต่างๆ	23
2.3 คุณสมบัติของไบโอดีเซลเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล	23
2.4 คุณสมบัติและค่าความร้อนของน้ำมันชนิดต่าง ๆ	26
3.1 รายละเอียดทางเทคนิคของเครื่องยนต์ที่ใช้ทดสอบ	62
4.1 รายละเอียดทางเทคนิคของเครื่องยนต์ที่ใช้ทดสอบ	82
4.2 ความแตกต่างของค่าความร้อนต่ำของเชื้อเพลิงที่ผสมไบโอดีเซลที่สัดส่วนต่าง ๆ กับน้ำมันดีเซล	85
4.3 ผลการวัดการสึกหรอของระยะห่างปากแฉวน	89
4.4 ค่าการวัดระยะห่างระหว่างร่องแฉวนกับแฉวนลูกสูบ	89
4.5 การวัดการสึกหรอของปลอกสูบ	90
4.6 ผลการวัดแรงดันหัวฉีด	90
๗.1 ภาระงานและอุณหภูมิการทำงานของเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ	104
๗.2 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ	104
๗.3 เปรียบเทียบพลังงานความร้อนของเชื้อเพลิงที่ต้องใช้กับเครื่องยนต์ที่ภาระงานต่าง ๆ	105
๗.4 อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะโดยการทดสอบเครื่องยนต์ที่ภาระงานเท่ากัน	105
๗.5 อุณหภูมิไอเสียเมื่อเปรียบเทียบที่กำลังเท่ากัน	105

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1.1 ปริมาณการบริโภคน้ำมันดีเซลหมุนเร็วภายในประเทศ ตั้งแต่ปี 2538 ถึงปี 2543	2
1.2 ปริมาณการบริโภคน้ำมันดีเซลหมุนช้าภายในประเทศ ตั้งแต่ปี 2538 ถึงปี 2543	3
2.1 โครงสร้างของกลีไตรเซอไรด์	12
2.2 แสดงองค์ประกอบกรดไขมันประเภทต่างๆของวัตถุดิบที่ใช้ผลิตไบโอดีเซล	12
2.3 ปฏิกริยาระหว่างกลีเซอรอลกับกรดไขมัน	25
2.4 โมเลกุลของกรดไขมันอิ่มตัว	26
2.5 โมเลกุลของกรดไขมันไม่อิ่มตัว	26
2.6 ปฏิกริยาระหว่างไขมันหรือน้ำมันกับแอลกอฮอล์ (อัญญา,2545)	27
2.7 ปฏิกริยา Transesterification (ที่มา Dr.Chris Hamilton - Lurgi Pacific)	28
2.8 ผังกระบวนการผลิตไบโอดีเซล	30
2.9 การเตรียมสารเคมีเพื่อเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการผลิตไบโอดีเซล	30
2.10 การเตรียมน้ำมันใช้แล้วเพื่อผลิตไบโอดีเซล	31
2.11 การไทเทรต	32
2.12 การทำปฏิกิริยาด้วยแรงคน (ก) และการทำปฏิกิริยาด้วยด้วยเครื่องผลิตไบโอดีเซล (ข)	34
2.13 การแยกชั้นของกลีเซอรอลและการแยกกลีเซอรอลออกจากน้ำมันไบโอดีเซล	35
2.14 การล้างน้ำมันไบโอดีเซล	36
2.15 การกำจัดน้ำหรือการไล่ความชื้นออกจากน้ำมันไบโอดีเซล	36
2.16 ถังเก็บน้ำมันไบโอดีเซลที่ได้จากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล	37
2.17 ชิ้นส่วนฝาสูบ	41
2.18 ช่องไอดี และช่องไอเสีย	41
2.19 กลไกวาล์วหรือลิ้น	42
2.20 เสือสูบ และกระบอกสูบ	43
2.21 เฟลาข้อเหวี่ยง และส่วนที่รองรับต่างๆ	43
2.22 ลูกสูบ และแหวนลูกสูบ	44
2.23 ก้านสูบและแบริ่งก้านสูบ	46

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
2.24 ล้อช่วยแรง	46
2.25 เพลาสมดุล (Balancer)	47
2.26 เพลาลูกเบี้ยว	47
2.27 ระบบห้องเผาไหม้ (Combustion Chamber)	48
2.28 ทิศทางการไหลของน้ำมันเครื่อง	49
2.29 ป้อนน้ำมันหล่อลื่น	49
2.30 ไล่กรองน้ำมันหล่อลื่น	50
2.31 เกจดูแรงดันน้ำมันหล่อลื่น	50
2.32 ลิ้นควบคุมแรงดันน้ำมันเครื่อง	51
2.33 การทำงานของหม้อน้ำแบบ รั้งฝั่ง และแบบหม้อน้ำธรรมดา	51
2.34 ฝาหม้อน้ำ	52
2.35 หม้อกรองอากาศ	53
2.36 ท่อเก็บเสียง	54
2.37 ระบบน้ำมันเชื้อเพลิง	54
2.38 ระบบน้ำมันเชื้อเพลิง	55
2.39 ชุดลูกปั๊ม	55
2.40 ลิ้นส่ง	56
2.41 การเปิดและปิดลิ้นส่ง	56
2.42 หัวฉีด	57
2.43 ส่วนประกอบของกาวานา	58
2.44 กรองน้ำมันเชื้อเพลิง	58
3.1 เครื่องยนต์ดีเซลสูบเดี่ยว ยี่ห้อคูโบตา รุ่น RT80	61
3.2 โครงรถไถเดินตาม	63
3.3 ชุดไถจาน	64
3.4 ชุดไถหัวหมู	64
3.5 เครื่องวัดความเร็วรอบแบบใช้แสงและสัมผัส	65

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3.6 นาฬิกาจับเวลา	65
3.7 กระบอกตวงขนาด 250 ml	66
3.8 กรวย	66
3.9 ปีกเกอร์ขนาด ขนาด 100 ml 300 ml และ 1,000 ml	66
3.10 เทอร์โมมิเตอร์	67
3.11 ถังน้ำมันขนาด 200 ลิตร	67
3.12 ถังพลาสติกขนาด 200 ลิตร	67
3.13 ชุดกรองน้ำมันพืชใช้แล้ว	68
3.14 น้ำมันดีเซล	68
3.14 น้ำมันพืชใช้แล้ว	69
4.1 ผังกระบวนการผลิตไบโอดีเซล	73
4.2 การเตรียมสารเคมีเพื่อเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการผลิตไบโอดีเซล	74
4.3 การเตรียมน้ำมันใช้แล้วเพื่อผลิตไบโอดีเซล	74
4.4 การไทเทรต	75
4.5 การทำปฏิกิริยาด้วยแรงคน (ก) และการทำปฏิกิริยาด้วยด้วยเครื่องผลิตไบโอดีเซล (ข)	77
4.6 การแยกชั้นของกลีเซอรินและการแยกกลีเซอรินออกจากรันน้ำมันไบโอดีเซล	78
4.7 การล้างน้ำมันไบโอดีเซล	79
4.8 การกำจัดน้ำหรือการไล่ความชื้นออกจากน้ำมันไบโอดีเซล	79
4.9 ถังเก็บน้ำมันไบโอดีเซลที่ได้จากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล	80
4.10 เครื่องยนต์ดีเซลสูบเดี่ยว ยี่ห้อคูโบตา รุ่น RT80	81
4.11 โครงรถไถเดินตาม	81
4.12 การผสมน้ำมันไบโอดีเซลกับน้ำมันดีเซล	83
4.13 การผสมน้ำมันไบโอดีเซลกับน้ำมันดีเซล ในอัตราส่วนต่าง ๆ	83
4.14 ค่าความร้อนที่อัตราส่วนผสมไบโอดีเซลต่าง ๆ	84
4.15 ค่าการสึกหรอ HFRR ที่อัตราส่วนผสมไบโอดีเซลต่าง ๆ	86

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.16 ภาระงานและอุณหภูมิการทำงานของเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ	91
4.17 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเมื่อเปรียบเทียบที่กำลังเท่ากัน	92
4.18 อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะโดยการทดสอบเครื่องยนต์ที่ภาระงานเท่ากัน	93
4.19 อุณหภูมิไอเสียเมื่อเปรียบเทียบที่กำลังเท่ากัน	94
4.20 เปรียบเทียบค่าควันดำจากการทดสอบเครื่องยนต์ที่ภาระงานเท่ากัน	95
ง.1 วิธีการวัดระยะห่างปากแหวน	108
ง.2 วิธีการวัดช่องว่างระหว่างแหวนกับร่องแหวนลูกสูบ	108
ง.3 การวัดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในกระบอกสูบ	109
ง.4 การวัดระยะจมของวาล์วไอดี ไอดีเสีย	109
ง.5 ตำแหน่งการวัดการสึกหรอของปลอกสูบ	110
ง.6 วิธีการทดสอบแรงดันชุดหัวฉีด	110

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ปัญหาและความสำคัญของการวิจัย

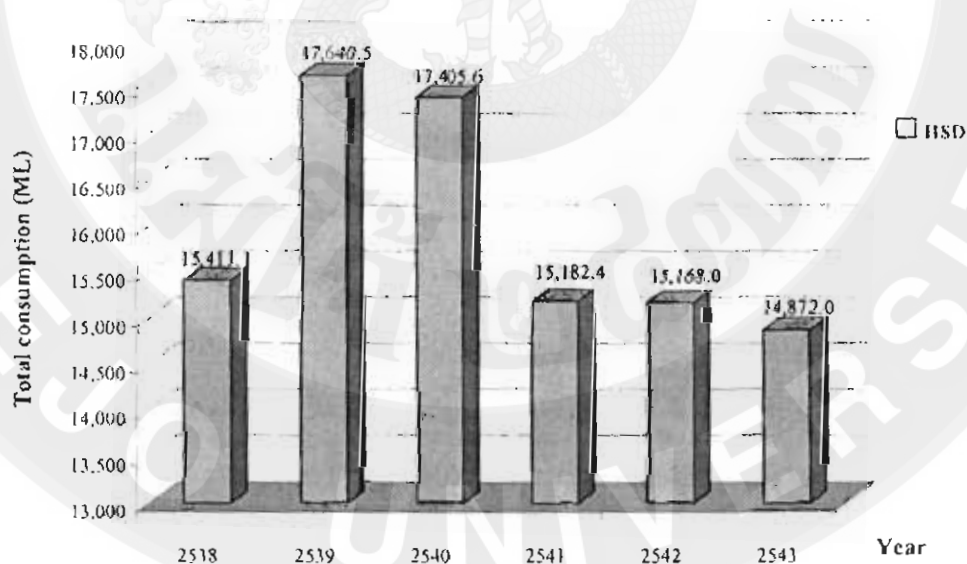
พลังงานถือเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับมนุษย์ อีกทั้งยังเป็นปัจจัยพื้นฐานที่สำคัญในการพัฒนาประเทศ ประเทศไทยมีแหล่งพลังงานหลายประเภทด้วยกัน แต่มีปริมาณค่อนข้างน้อยเมื่อเทียบกับประเทศอื่น ๆ พลังงานหลักที่ใช้คือน้ำมัน ทั้งเพื่อใช้ในการผลิตไฟฟ้า การคมนาคมขนส่ง ตลอดจนเป็นวัตถุดิบในการผลิตของอุตสาหกรรมหลากหลายประเภท ทุกครั้งที่เกิดวิกฤตการณ์ของโลก อาทิ สงครามในตะวันออกกลาง การลดกำลังการผลิตของประเทศผู้ส่งออกน้ำมัน ความต้องการน้ำมันที่เพิ่มขึ้นในฤดูหนาวของประเทศแถบตะวันตก หรือแม้แต่ความผันผวนของราคาน้ำมันในตลาดโลกอย่างในปัจจุบัน ประเทศไทยก็จะได้รับผลกระทบอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ทั้งทางด้านเศรษฐกิจและสังคม ทั้งนี้เพราะประเทศไทยยังต้องพึ่งพาการนำเข้าน้ำมันจากต่างประเทศในแต่ละปีเป็นจำนวนมาก

น้ำมันจึงเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ในปัจจุบันเป็นอย่างยิ่ง เนื่องจากมาจากพลังงานที่ได้จากน้ำมันเชื้อเพลิงนั้นถูกนำมาใช้ในการพัฒนาประเทศแทบทุกในประเภท ทั้งในภาคการคมนาคมขนส่ง ภาคอุตสาหกรรม และภาคเกษตรกรรม นอกจากนี้พลังงานจากแหล่งต่าง ๆ ภายในประเทศยังสามารถบอกถึงความมั่นคงของประเทศ และเสถียรภาพทางเศรษฐกิจได้อีกทางหนึ่งด้วย จากปัจจุบันที่ราคาน้ำมันมีแนวโน้มสูงขึ้นสืบเนื่องจากภาวะการณ์ตึงตัวในวิกฤตการณ์น้ำมัน ปัญหาการก่อการร้าย ภาวะสงคราม และปริมาณน้ำมันสำรองของโลกที่เหลือน้อยลง ประกอบกับประเทศผู้ผลิตน้ำมันลดเพดานการผลิตลง ทำให้หลายประเทศพยายามหาแหล่งพลังงานทดแทนการใช้พลังงานจากฟอสซิล หรือพลังงานเชื้อเพลิงปิโตรเลียม

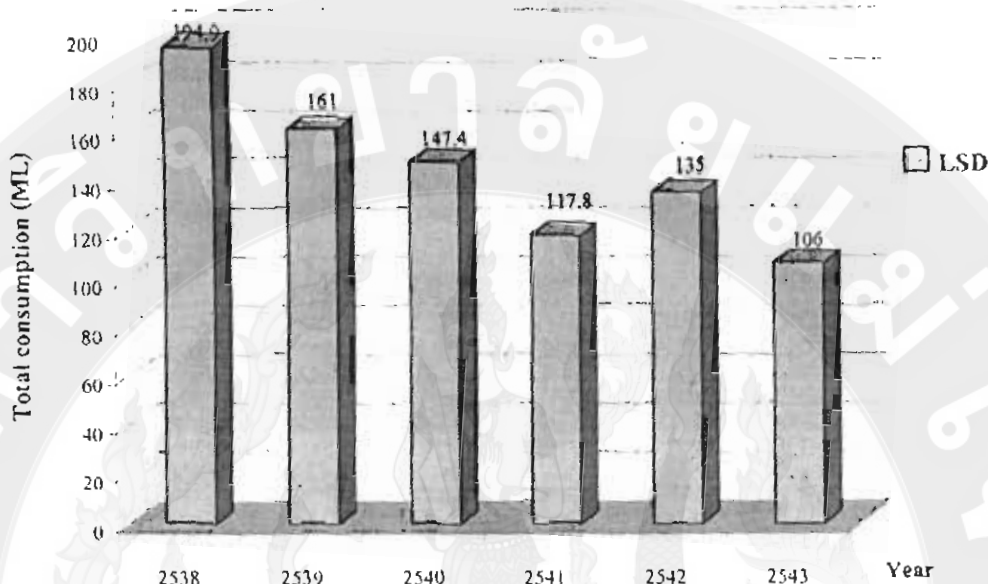
น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล นับได้ว่าเป็นเชื้อเพลิงที่มีความสำคัญต่อการดำเนินการทั้งในภาคอุตสาหกรรม ระบบธุรกิจการค้า การขนส่ง และเป็นวัตถุดิบในระบบสาธารณสุขของประเทศไทย ในปี พ.ศ. 2543 มีการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลหมุนเร็วในสาขาการคมนาคมขนส่งมากที่สุดเป็นสัดส่วนร้อยละ 77 ส่วนที่เหลือใช้ในสาขาการเกษตร สาขาอุตสาหกรรมการผลิต สาขาก่อสร้าง สาขาไฟฟ้า และสาขาอื่น ๆ เป็นสัดส่วนร้อยละ 16.3, 5.3, 1.0, 0.3 และ 0.1 ตามลำดับ เป็นปริมาณทั้งสิ้น 14,872 ล้านลิตร หรือ โดยเฉลี่ย 256,275 บาร์เรล

ต่อวัน สำหรับน้ำมันดีเซลหมุนช้าปริมาณการบริโภคปี 2543 รวมทั้งสิ้น 106 ล้านลิตร หรือ เฉลี่ย 1,827 บาร์เรลต่อวัน เป็นการใช้ในสาขาขนส่งมากที่สุดเป็นสัดส่วนร้อยละ 83.2 ถึงแม้ว่าจะมีปริมาณการบริโภคลดลงจากปี 2542 ดังภาพที่ 1.1 และ 1.2 แต่ประเทศไทยต้องสูญเสียเงินตราต่างประเทศสูงถึง 180,340.4 ล้านบาท

นอกจากปัญหาราคาน้ำมันแพง ประเทศไทยยังประสบกับปัญหาการใช้พลังงานในการพัฒนาเศรษฐกิจที่ค่อนข้างสูง กล่าวคือในรอบ 15 ปีที่ผ่านมา ประเทศไทยใช้พลังงานคิดเป็น 1.4 เท่าของอัตราการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจ (1.4:1) หรือกล่าวอีกนัยหนึ่ง ถ้าเศรษฐกิจของประเทศเติบโตร้อยละ 5 ต่อปี การใช้จ่ายด้านพลังงานจะเติบโตถึงร้อยละ 7 ซึ่งถือเป็นสัดส่วนการใช้พลังงานต่อความเติบโตทางด้านเศรษฐกิจที่ค่อนข้างสูง เมื่อเทียบกับประเทศที่พัฒนาแล้ว อาทิ สหรัฐอเมริกา ที่มีอัตราส่วนเพียงร้อยละ 0.8 ประเทศญี่ปุ่นร้อยละ 0.95 หรือแม้แต่ประเทศในยุโรป ก็จะมีอัตราส่วนใกล้เคียงกับทั้ง 2 ประเทศนี้ซึ่งหมายความว่าประเทศไทย ใช้พลังงานในการขับเคลื่อนเศรษฐกิจ สิ้นเปลืองกว่า ส่งผลให้ต้นทุนในการผลิตสูง ศักยภาพในการแข่งขันก็ลดน้อยลง อีกทั้งยังสูญเสียเงินตราในการนำเข้าพลังงานจำนวนมาก



ภาพที่ 1.1 ปริมาณการบริโภคน้ำมันดีเซลหมุนเร็วภายในประเทศ ตั้งแต่ปี 2538 ถึงปี 2543



ภาพที่ 1.2 ปริมาณการบริโภคน้ำมันดีเซลหมุนช้าภายในประเทศ ตั้งแต่ปี 2538 ถึงปี 2543

จากปัญหาการใช้พลังงานที่ไม่มีประสิทธิภาพประกอบกับราคาน้ำมันสูงที่ถูกควบคุมโดยประเทศผู้ผลิต และส่งออกน้ำมัน จึงถือเป็นบทเรียนสำคัญที่ประเทศไทยต้องตระหนักถึงการพึ่งพาตนเองให้มากขึ้น การพยายามพึ่งพาตนเองที่ดีที่สุดก็คือ การใช้พลังงานจากวัตถุดิบภายในประเทศ มาใช้ทดแทนให้ได้มากที่สุด ซึ่งทำให้มีหลายหน่วยงานได้ทำการวิจัยและพัฒนาวัตถุดิบภายในประเทศ เช่น น้ำมันพืชชนิดต่างๆ น้ำมันพืชใช้แล้ว ฯลฯ มาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ใช้แทนน้ำมันดีเซล เรียกว่า “ไบโอดีเซล”

ไบโอดีเซล (Biodiesel) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำน้ำมันพืชชนิดต่างๆ หรือน้ำมันสัตว์มาสกัดเอาอย่างเหนียวและสิ่งสกปรกออก (Degumming) จากนั้นนำไปผ่านกระบวนการทางเคมี (Transesterification) โดยการเติมแอลกอฮอล์ เช่น เอทานอล หรือเมทานอล และตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ ภายใต้สภาวะที่มีอุณหภูมิสูง เพื่อเปลี่ยนโครงสร้างของน้ำมันจาก Triglycerides เป็น Organic Acid Esters เรียกว่าไบโอดีเซล และได้กลีเซอรอลเป็นผลพลอยได้ใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับอุตสาหกรรมยา เครื่องสำอาง ฯลฯ วัตถุประสงค์ของกระบวนการดังกล่าวคือ ช่วยปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำมันในเรื่องความหนืดให้เหมาะสมกับการใช้งานกับเครื่องยนต์ดีเซล และเพิ่มค่า cetane number

การใช้ไบโอดีเซลสามารถลดมลพิษทางอากาศ ซึ่งเป็นผลจากการเผาไหม้ในเครื่องยนต์ได้ส่วนหนึ่ง เนื่องจากองค์ประกอบของไบโอดีเซลไม่มีธาตุกำมะถัน แต่มีออกซิเจนเป็น

องค์ประกอบประมาณ 10 % โดยน้ำหนัก จึงช่วยการเผาไหม้ได้ดีขึ้นและลดมลพิษซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ไฮโดรคาร์บอนคาร์บอนมอนอกไซด์ ฝุ่นละออง ฯลฯ นอกจากนี้ไบโอดีเซลมีคุณสมบัติในการหล่อลื่นดีกว่าน้ำมันดีเซล จึงมีการนำไบโอดีเซลมาใช้ผสมน้ำมันดีเซลในสัดส่วนต่างๆ กัน หรือใช้โดยไม่ต้องผสมกับน้ำมันดีเซลเลยก็ได้ แต่ไบโอดีเซลเป็นตัวทำละลายที่ดี จึงอาจทำให้ท่อทางเดินน้ำมัน ซึ่งทำจากยางและพลาสติกบวม และรั่วได้ อีกทั้งประชาชนโดยส่วนใหญ่ยังไม่กล้าที่จะใช้เพราะกลัวกำลังของเครื่องยนต์ตก พังง่าย สมรรถนะลดลง ฉะนั้นจำเป็นที่จะต้องมีการศึกษาหาข้อมูลทางวิชาการที่ชัดเจนให้ประชาชนได้ทราบ ไม่ว่าจะเป็นเรื่องสมรรถนะของเครื่องยนต์ การสึกหรอของเครื่องยนต์ อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง อัตราการทำงานต่อพื้นที่ เป็นต้น

ดังนั้นในการศึกษาเรื่อง “การศึกษาสมรรถนะเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กในการทำงานจริงโดยใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วเป็นเชื้อเพลิง” จึงเป็นแนวทางหนึ่งที่จะแก้ปัญหาและเสริมสร้างศักยภาพการผลิตเชื้อเพลิงไบโอดีเซลและใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งสามารถช่วยให้ประชาชนทราบข้อเท็จจริงในการนำไบโอดีเซลไปใช้กับเครื่องยนต์ได้ และสามารถเผยแพร่ความรู้ที่ได้จากงานวิจัยนี้แก่ภาคอุตสาหกรรมขนาดย่อย ชุมชนและระดับครัวเรือน

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. ศึกษาสมรรถนะเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กที่ใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วเทียบกับน้ำมันดีเซล
2. ศึกษาหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมระหว่างไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วกับน้ำมันดีเซล
3. ศึกษาประสิทธิภาพการทำงานในพื้นที่จริงของเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กที่ใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว
4. ศึกษาประสิทธิภาพการทำงานในพื้นที่จริงเมื่อใช้เชื้อเพลิงไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วเทียบกับน้ำมันดีเซล
5. ศึกษาการปล่อยมลพิษของเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กเมื่อใช้เชื้อเพลิงไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วในสภาวะการใช้งานจริง

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

ในการศึกษาสมรรถนะเครื่องยนต์ขนาดเล็กในการใช้งานโดยใช้น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วเป็นเชื้อเพลิง จะจำกัดการศึกษาให้อยู่ในขอบเขตดังนี้

1. ใช้เครื่องยนต์ดีเซล 4 จังหวะ ขนาดเล็กจำนวน 1 ลูก ยี่ห้อคูโบต้า RT80(8 แรงม้า) ในการทดสอบ
2. ใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วในอัตราส่วน 0, 20, 40, 60, 80 และ 100 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร
3. การสึกหรอของเครื่องยนต์ศึกษาจากปริมาณเศษโลหะในน้ำมันเครื่องใช้ปริมาณโลหะที่อยู่ในน้ำมันเครื่องหลังการทดสอบที่ระยะเวลาต่าง ๆ เป็นตัวบ่งชี้การสึกหรอร่วมกับการวิเคราะห์สภาพของชิ้นส่วนของเครื่องยนต์ ได้แก่ ลูกสูบ แหวนลูกสูบ กระบอกลูกสูบ วาล์ว ชิ้นส่วนในห้องเพลาช้อเหวี่ยง
4. สมรรถนะของเครื่องยนต์ที่จะทดสอบหาได้แก่ แรงบิด กำลังเครื่องยนต์ อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันจำเพาะ และประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ในชุดทดสอบและพื้นที่ใช้งานจริง
5. มลพิษที่เกิดจากเครื่องยนต์ที่ทำการวัด ได้แก่ คาร์บอนมอนนอกไซด์ และไฮโดรคาร์บอน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการศึกษา

1. สามารถเป็นแนวทางสำหรับเกษตรกร ชุมชน ภาคเอกชน และรัฐบาลในการเพิ่มศักยภาพทางด้านพลังงานและมั่นใจในการใช้ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องจักรกลเกษตร
2. สามารถเป็นแนวทางการพัฒนาเครื่องยนต์หรืออุปกรณ์เสริมเพื่อให้เหมาะสมกับเชื้อเพลิงไบโอดีเซล
3. สามารถนำความรู้ที่ได้จากงานวิจัยไปเผยแพร่ให้กับประชาชนในชุมชนหรือท้องถิ่นได้
4. สามารถนำความรู้ที่ได้จากงานวิจัยไปเผยแพร่ให้กับภาคธุรกิจ ได้
5. ส่งเสริมให้ประชาชนใช้เชื้อเพลิงไบโอดีเซลในเครื่องจักรกลเกษตร และสามารถนำไปสู่เชิงอุตสาหกรรม เชิงพาณิชย์ได้
6. เป็นแนวทางในการประหยัดพลังงานที่จะนำพลังงานทดแทนเชื้อเพลิงดีเซลมาใช้ในภาคเกษตรกรรมและให้ชุมชนสามารถพึ่งพาตนเองได้

1.5 สรุปสาระสำคัญจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง

Kusy et.al. (1982) ได้ทำการสังเคราะห์เชื้อเพลิงดีเซลชีวภาพจากน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันเมล็ดดอกทานตะวันโดยกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน ในการศึกษานี้ได้นำกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงดีเซลของบริษัทดูปอง และบริษัทคอลเกต-ปาล์มโอลีฟ ซึ่งได้จดสิทธิบัตรในปี 1940 มาใช้ในการสังเคราะห์ เพื่อที่ต้องการหาตัวแปรที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยา ได้แก่

ชนิดและปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา อัตราส่วนโดยปริมาตรของน้ำมันต่อเอธานอล เวลาและอุณหภูมิที่ใช้ในการทำให้บริสุทธิ์ ผลการศึกษาพบว่า น้ำมันดิบจะให้ปริมาณเชื้อเพลิงดีเซลชีวภาพที่มากกว่าน้ำมันพืชที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ และตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสมในการผลิตเชื้อเพลิงดีเซลชีวภาพของน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันเมล็ดดอกทานตะวัน คือ โซเดียมเมธิออกไซด์ (NaOCH_3) โดยสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเชื้อเพลิงดีเซลชีวภาพจากน้ำมันถั่วเหลืองคือ อัตราส่วนโดยปริมาตรของน้ำมันถั่วเหลืองต่อเอธานอลเป็น 250:77.6 อุณหภูมิที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาเท่ากับ 83 องศาเซลเซียสที่เวลาของการเกิดปฏิกิริยา 60 นาที และใช้โซเดียมเมธิออกไซด์ 5 มิลลิลิตร จะให้ปริมาณเชื้อเพลิงดีเซลชีวภาพ 99% ของน้ำหนักวัตถุดิบที่ใช้ นอกจากนี้ยังได้นำเชื้อเพลิงดีเซลชีวภาพที่ได้มาทดสอบกับเครื่องยนต์สันดาปภายในแบบอัดระเบิด พบว่าเครื่องยนต์ทำงานได้เป็นปกติ

Hassett et.al. (1982) ได้ทำการศึกษากัดเชื้อเพลิงดีเซลจากน้ำมันเมล็ดดอกทานตะวันโดยใช้กระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน ในการศึกษาได้ใช้เอธานอลจำนวน 1456 กรัม ต่อ ปริมาณน้ำมันเมล็ดดอกทานตะวัน 900 ลิตร และใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจำนวน 8.4 กรัม โดยเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา 2 ชั่วโมง และอุณหภูมิที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาอยู่ในช่วง 62-65 องศาเซลเซียส โดยจะได้ปริมาณเชื้อเพลิงดีเซลชีวภาพ 87-90% พบว่าเมธิลเอสเทอร์ที่ได้มีความหนืด 10 cps. โดยวัดที่อุณหภูมิ 40 องศาฟาเรนไฮต์ เมธิลเอสเทอร์ที่จะได้จะถูกนำไปทดสอบกับเครื่องยนต์ดีเซลพบว่า ให้ปริมาณคवन้อย เครื่องยนต์สตาร์ทติดง่าย ประสิทธิภาพการใช้ความร้อนดี ผู้ทำการทดลองได้เสนอว่ามีความจำเป็นอย่างยิ่งในการที่จะทำให้เมธิลเอสเทอร์มีความบริสุทธิ์ 100% โดยการกลั่นภายใต้ความดันสุญญากาศ ซึ่งในการนำเมธิลเอสเทอร์ที่สกัดได้มาทำการกลั่นอีกครั้งอาจจะทำให้การผลิตเชื้อเพลิงดีเซลชีวภาพมีราคาสูงขึ้นตามไปด้วย

ระพีพันธุ์ ภาสบุตร และ สุขสันต์ สุทธิผลไพบุลย์ (กองเกษตรเคมี, 2533) นำพืชที่พบน้ำมัน 18 ชนิด อาทิ ถั่วเหลือง น้ำมันปาล์ม น้ำมันละหุ่ง มาทดสอบเครื่องยนต์ดีเซลควบคู่กับก๊าซชีวภาพ ปรากฏว่าสามารถเดินเครื่องได้ แต่ทิ้งไว้ 2-3 วัน จะทำให้เครื่องยนต์ติดยาก จึงได้ทดลองสกัดน้ำมันจากสบู่ดำใช้เป็นพลังงานในเครื่องยนต์ดีเซล ผลปรากฏว่าได้ผลดีนำมาใช้ทดแทนน้ำมันดีเซลได้ ใช้วิธีสกัดน้ำมันจากเมล็ดตากแห้งโดยไม่ต้องปรุงแต่ง น้ำมันจากสบู่ดำหรือปรับเครื่องยนต์แต่อย่างใด ทดลองใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลคูโบต้า 1 สูบ แบบลูกสูบนอนระบบ 4 จังหวะ ระบายความร้อนด้วยน้ำ ปริมาตรกระบอกสูบ 400 ซีซี 7 แรงม้า/2200 รอบต่อนาที เปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซลด้วยการทำงานรอบต่อนาทีของเครื่องยนต์ เพื่อดูความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่ใช้

ได้ผลออกมาว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันสบู่ดำ ไม่ว่าจะเดินเครื่องปกติหรือเร่งเครื่องก็ตาม เดินสม่ำเสมอตลอดเวลาไม่มีการน็อกแต่อย่างใด อัตราการเร่งเท่ากับความสิ้นเปลืองน้ำมันสบู่ดำที่ใช้น้อยกว่าน้ำมันดีเซลเล็กน้อย การทำงานของเครื่องยนต์ 1500-2300 รอบต่อนาที ใช้น้ำมันสบู่ดำเฉลี่ยชั่วโมงละ 634.1 ซีซี ส่วนน้ำมันดีเซลใช้เฉลี่ย 653.3 ซีซี นอกจากนี้ ยังได้รับการทดสอบจากกองมาตรฐานคุณภาพสิ่งแวดล้อม สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ในเครื่องยนต์คูโบต้า 7 แรงม้า และเครื่องยนต์มาร์ 18 แรงม้า ควันท่อจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันสบู่ดำมีค่าเฉลี่ยร้อยละ 13.42 ในขณะที่น้ำมันดีเซลมีค่าเฉลี่ย 13.67 ส่วนประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ได้ทดลองถอดชิ้นส่วนของเครื่องยนต์ ออกมาตรวจสภาพเสื้อสูบ ลูกสูบ แหวน ลิ้นชัก และอื่น ๆ ปรากฏว่าการสึกหรอชิ้นส่วนดังกล่าว อยู่ในเกณฑ์ปกติมาตรฐาน รวมทั้งไม่มียางเหนียวจับอีกด้วย

Saka et.al.(2001) ได้ทำการสังเคราะห์เชื้อเพลิงดีเซลชีวภาพจากน้ำมันเรพซิดโดยกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันโดยทำที่สภาวะของอุณหภูมิ และความดันเหนือจุดวิกฤตของเมธานอล อุณหภูมิที่ใช้คือ 350°C และ 400°C ความดันที่ใช้อยู่ในช่วง 45-65 MPa. นอกจากนั้นวิธีนี้ยังไม่ต้องใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาด้วย ในการศึกษาจะทำการสังเคราะห์เชื้อเพลิงดีเซลชีวภาพในหลอดขนาด 5 มิลลิเมตร ซึ่งทำจากอินโคเนล โดยจะใช้อัตราส่วนน้ำมันเรพซิดต่อเมธานอลเป็น 1:42 โดยโมล ผลพบว่าเมื่อใช้อุณหภูมิ 350°C จะใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 240 วินาที ปริมาณเมิลเอสเทอร์ที่ได้ประมาณ 98% และเมื่อใช้อุณหภูมิ 400°C จะใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 120 วินาที และได้เมิลเอสเทอร์ 98% เช่นกัน เมื่อเทียบผลที่ได้กับ Marinkovic(1998) พบว่าต้องใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาถึง 3 ชั่วโมง และต้องใช้กรดซัลฟริก 3% ถึงได้ปริมาณเมิลเอสเทอร์ 98% ดังนั้นข้อดีของการทำที่สภาวะเหนือความดัน และอุณหภูมิวิกฤต คือ เป็นวิธีการง่าย ๆ ไม่ต้องใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา นอกจากนี้เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยายังสั้นกว่าการใช้วิธีทรานส์เอสเทอริฟิเคชันทั่วไป เนื่องจากการทำที่อุณหภูมิและความดันเหนือวิกฤตนี้ทำให้การละลายของน้ำมันในเมธานอลง่ายขึ้น

สุชาติ ไพศาลภูมิ และ สุนินทร์ กิติ (2537) ได้ทำการศึกษาพร้อมทั้งออกแบบและสร้างเครื่องบีบน้ำมันแบบปิดอัดสกรู พบว่า ผลการทดสอบบีบมันสดาร์ต สามารถผลิตน้ำมันได้ 2.54 กิโลกรัมต่อชั่วโมง โดยป้อนวัตถุดิบ 2.75 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ประสิทธิภาพเครื่อง 69% ผลการทดสอบบีบงาดำ สามารถบีบน้ำมันได้ 0.93 กิโลกรัมต่อชั่วโมง โดยป้อนวัตถุดิบ 7.27 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ประสิทธิภาพเครื่อง 25% ผลการทดสอบบีบงาขาว สามารถผลิตได้ 1.08 กิโลกรัมต่อชั่วโมง โดยป้อนวัตถุดิบ 7.39 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ประสิทธิภาพเครื่อง 53% ซึ่งเป็นการทำงานที่มีประสิทธิภาพสูงกว่าเครื่องบีบน้ำมันของโรงงานลานนาโปรดักส์ ประมาณ 19%

ชาญชัย อมรสกุล (2541) ได้ทำการศึกษาเชื้อเพลิงทดแทนในเครื่องยนต์เบนซิน 2 จังหวะ โดยใช้เมทานอลผสมกับน้ำมันเบนซินธรรมดา ในอัตราส่วน 0 ถึง 30% โดยปริมาตร โดยทำการศึกษาในด้านสมรรถนะของเครื่องยนต์ ความสะอาดของเครื่องยนต์ การครูดกรณ์ของลูกสูบและแหวนลูกสูบ มลพิษจากไอเสียและปริมาณควันขาว จากการวิจัยพบว่าเมื่อใช้เมทานอลผสม 25% จะให้แรงบิดสูงสุดมีค่าเท่ากับ 59.10 N-m. และให้กำลังของเครื่องยนต์สูงสุดเท่ากับ 11.20 กิโลวัตต์ และยังทำให้อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงต่ำที่สุด ในด้านความสะอาดของเครื่องยนต์พบว่า ไม่มีลูกสูบเกิดการติดตายเมื่อใช้เมทานอลเป็นเชื้อเพลิงผสมและไม่มี การสะสมของเขม่าหรือคราบตกค้างจากการเผาไหม้ที่เขียวและแกนของหัวเทียนโดยจากข้อมูลที่ได้จากการทดสอบพบว่า เมื่อใช้เมทานอลผสมในอัตราส่วน 15% จะทำให้การเผาไหม้สมบูรณ์ที่สุด ในด้านการครูดกรณ์ของลูกสูบและแหวนลูกสูบพบว่าการนำเมทานอลมาผสมกับน้ำมันเชื้อเพลิงที่อัตราส่วนต่าง ๆ จะไม่มีผลต่อการสึกหรอของเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงปกติและยังไม่มี ผลต่อการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงอีกด้วย จากการวิเคราะห์มลพิษจากไอเสียพบว่า CO และ HC ลดลงเรื่อย ๆ ตามอัตราส่วนผสมของเมทานอลที่เพิ่มขึ้นในขณะที่ CO₂ มีค่าเพิ่มขึ้นเนื่องจากการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ขึ้น ซึ่งได้มาจากออกซิเจนที่อยู่ในเมทานอล โดยอัตราส่วนที่เมทานอลผสมใน 15% จะให้ค่า CO และ HC ต่ำที่สุด และในด้านการวิเคราะห์ควันขาวพบว่าเปอร์เซ็นต์ควันขาว เปรียบเทียบระหว่างน้ำมันเชื้อเพลิงธรรมดาและเชื้อเพลิงผสมมีค่าใกล้เคียงกันเนื่องจากควันขาว เกิดจากการเผาไหม้ของน้ำมันหล่อลื่น

เพ็ญญารัตน์ จินดา (2543) ได้ใช้แบบจำลองเพื่อคำนวณหาค่าอัตราส่วนของอากาศและเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์เบนซิน 2 จังหวะขนาดเล็ก โดยใช้ข้อมูลจากก๊าซไอเสียของเครื่องยนต์ ซึ่งแบบจำลองที่ได้มี 2 แบบ คือ แบบแรกใช้ในการทำนายค่าอัตราส่วนอากาศและเชื้อเพลิงเมื่อใช้เชื้อเพลิงไฮโดรคาร์บอน และแบบที่สองใช้ทำนายเมื่อเชื้อเพลิงที่ใช้เป็นแบบเชื้อเพลิงออกซิเจน (Oxygenated fuel) โดยใช้ข้อมูลไอเสีย 5 อย่างในแบบจำลองได้แก่ CO, CO₂, O₂, NO, HC และเพิ่มข้อมูลความดันบรรยากาศและค่าความชื้นสัมพัทธ์ โดยได้ทำการทดสอบเครื่องยนต์เมื่อใช้เชื้อเพลิงไฮโดรคาร์บอนจำนวน 155 ตัวอย่าง โดยนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับแบบจำลองแรก พบว่ามีค่าใกล้เคียงกันโดยมีค่าความผิดพลาดอยู่ในช่วง 6.5% และแบบจำลองที่สองเมื่อใช้ทำนายเชื้อเพลิงไฮโดรคาร์บอนจะมีค่าความผิดพลาดอยู่ในช่วง 6% และ 5.2% สำหรับเชื้อเพลิง Oxygenated

มาริดา ทองรุณ (2544) ได้ทำการศึกษาศึกษาการใช้เชื้อเพลิงเอทานอลผสมกับน้ำมันเบนซิน ค่าอ็อกเทน 91 กับเครื่องยนต์เบนซินขนาด 1,600 cc. 4 สูบ โดยอัตราส่วนผสม 10-50 % โดยปริมาตร ในด้านของสมรรถนะ มลพิษและคุณลักษณะในการเผาไหม้เชื้อเพลิงโดยได้ทำการทดสอบที่ภาระงานและความเร็วรอบคงที่ และไม่มีการปรับแต่งเครื่องยนต์ จากการศึกษาพบว่า ประสิทธิภาพเชิงความร้อนมีค่าเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนของเอทานอลที่เพิ่มขึ้น ในขณะเดียวกัน ปริมาณมลพิษ ได้แก่ ไฮโดรคาร์บอนลดลงมากที่สุด 95% ส่วนก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์มีค่าลดลงมากที่สุด 93% ที่ส่วนผสมเอทานอล 50% และความเร็วในการเผาไหม้เชื้อเพลิงเบนซินมีค่ามากที่สุดและลดลงตามปริมาณของเอทานอลที่นำมาผสม

ลิขิต ไสหนู (2544) ได้ทำการศึกษาศึกษาการใช้เชื้อเพลิงเอทานอลล้วนความบริสุทธิ์ 95% กับ น้ำมันเบนซินค่า อ็อกเทน 91 เครื่องยนต์แก๊สโซลีนขนาดเล็กแบบ 4 จังหวะสูบเดี่ยวจำนวน 2 เครื่องโดยทำการดัดแปลงระบบจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ที่ใช้เอทานอลเป็นเชื้อเพลิง และทำการหาสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ ที่ภาระงานเต็มที่ และทำการทดสอบการสึกหรอของเครื่องยนต์โดยเดินเครื่องที่ความรอบ 3,000 รอบต่อนาที ต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 100 ชั่วโมง โดยวิเคราะห์ขนาดของชิ้นส่วนและปริมาณโลหะที่อยู่ในน้ำมันหล่อลื่น พบว่าในด้านสมรรถนะของเครื่องยนต์ เอทานอลจะให้ค่าแรงบิดต่ำกว่าเชื้อเพลิงแก๊สโซลีนเล็กน้อยประมาณ 3-4% และมีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะสูงกว่า 30-50% แต่ให้ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่สูงกว่า 10-20% และพบว่าการสึกหรอที่เกิดขึ้นในเครื่องยนต์ไม่แตกต่างกัน

Guerrieri (1995) ได้ทำการศึกษาศึกษาการปล่อยมลพิษของรถยนต์ที่ใช้เครื่องยนต์เบนซินที่ใช้แล้วจำนวน 6 คัน ได้แก่ HC, CO, CO₂, NO_x, Acetaldehyde และ Formaldehyde โดยใช้เชื้อเพลิงเป็นน้ำมันเบนซินธรรมดาผสมกับเอทานอล 9 อัตราส่วน ได้แก่ 10, 12, 14, 17, 20, 25, 30, 35 และ 40% โดยปริมาตร โดยทำการทดสอบเป็นเวลา 12 ถึง 36 ชั่วโมง จากผลการศึกษาพบว่าค่า มลพิษที่ได้มีความสัมพันธ์กับปริมาณเอทานอลที่ใช้ผสมเป็นแบบเส้นตรง โดยที่ค่า HC และ CO มีค่าลดลงเมื่อปริมาณของเอทานอลที่ผสมมีค่าเพิ่มขึ้น โดยที่อัตราส่วนผสมสูงสุดคือ 42% ค่า THC มีค่าลดลง 30% ค่า CO มีค่าลดลง 50% การสิ้นเปลืองน้ำมันเพิ่มขึ้น 15% NO_x มีค่าเพิ่มขึ้น 60% Acetaldehyde มีค่าเพิ่มขึ้น 200% ส่วน CO และ Formaldehyde มีค่าค่อนข้างคงที่ทุกอัตราส่วนผสม ซึ่งผลการทดลองที่ได้มีความน่าเชื่อถือทางสถิติประมาณ 90%

Koehler (1999) ได้ทำการศึกษาค้นคว้าของการใช้เชื้อเพลิงแอลกอฮอล์ที่มีต่อน้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์เบนซิน และการสึกหรอของลูกสูบและกระบอกสูบโดยใช้เมทานอล ที่อัตราส่วน

ผสม 85% โดยปริมาตร โดยทำการทดลองกับรถแท็กซี่ห้องฟอर्ट ขนาด 2,300 cc. 4 สูบ แบบโอเวอร์เฮดแคมชาร์ป ทำการทดสอบ 6 ครั้งใช้เวลา 24 ชั่วโมง โดยทำการทดสอบที่รอบเครื่องยนต์ 2,500 และ 750 รอบต่อนาที ใช้การวิเคราะห์โลหะที่อยู่ในน้ำมันเครื่องเป็นตัวบ่งชี้การสึกหรอโดยพิจารณาปริมาณของโลหะ 8 ชนิด

Naga (1993) ได้ใช้วิธี Atomic Absorption Spectroscopy (AAS) ศึกษาปริมาณของแคลเซียม และสังกะสี ที่มีอยู่ในน้ำมันเครื่อง ขึ้นอยู่กับสารเพิ่มคุณภาพที่มีอยู่ในน้ำมันเครื่องโดยขึ้นอยู่กับปริมาณ และโครงสร้างของสารเพิ่มคุณภาพหรือชนิดของโครงสร้างจะถูกสร้างขึ้นมาโดยวิธีวิเคราะห์ทางสถิติ ซึ่งพบว่าผลที่ได้มีความแม่นยำอยู่ที่ระดับสูงกว่า 99.5%

Poola (1994) ได้ทำการศึกษาสมรรถนะ การสันดาป และมลพิษของเครื่องยนต์เบนซิน 2 จังหวะขนาดเล็กที่ใช้เชื้อเพลิงผสมกับน้ำมันยูคาลิปตัส น้ำมันส้ม เมทานอล และเอทานอล เป็นเชื้อเพลิงโดยผสมในอัตราส่วน 20% โดยปริมาตร ที่อัตราส่วนการอัด 7.4 ต่อ 1 และ 9 ต่อ 1 จากการศึกษาพบว่าเชื้อเพลิงที่นำมาผสมซึ่งมีค่าออกเทนสูง เมื่อผสมกับน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีค่าออกเทนต่ำ สามารถเพิ่มค่าออกเทนของเชื้อเพลิงผสมให้เพิ่มขึ้นและเพิ่มขีดจำกัดการน็อคที่อัตราส่วนการอัดสูง โดยเชื้อเพลิงผสมจะมีค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนเพิ่มขึ้นสูงสุดที่อัตราส่วนการอัด 9 ต่อ 1 มีค่าเพิ่มขึ้น 20.5, 20.0, 6.0 และ 5.0% เมื่อใช้น้ำมันยูคาลิปตัส เมทานอล น้ำมันผลส้ม และเอทานอลเป็นเชื้อเพลิงผสมตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าการใช้ น้ำมันยูคาลิปตัสและน้ำมันผลส้มผสมกับน้ำมันเชื้อเพลิงจะช่วยลด CO และ HC ในระดับที่น่าพอใจที่อัตราส่วนการอัด 9 ต่อ 1 โดยมีค่าลดลง 1.4 และ 0.8% ที่ 1,500 รอบ ตามลำดับ และยังพบว่าเมื่อใช้เอทานอลและเมทานอลผสมกับน้ำมันเชื้อเพลิงก็จะช่วยลด CO และ HC และยังพบอีกว่าการใช้เมทานอลและน้ำมันยูคาลิปตัสมีศักยภาพในการเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อน การปล่อยมลพิษจากไอเสียต่ำ และเพิ่มขีดจำกัดการน็อคที่อัตราส่วนการอัดสูงสำหรับเครื่องยนต์เบนซิน 2 จังหวะ

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎี

2.1 ความหมายและนิยามของน้ำมันไบโอดีเซล

น้ำมันไบโอดีเซล (Biodiesel) หมายถึง น้ำมันเชื้อเพลิงชนิดหนึ่งที่ได้จากน้ำมันพืช ไขมันสัตว์ หรือน้ำมันปรุงอาหารที่ใช้แล้วไปผ่านขบวนการทรานเอสเทอริฟิเคชัน (tranesterification) โดยการเติมแอลกอฮอล์เช่น เมทานอล หรือเอทานอล และตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ หรือโพตัสเซียมไฮดรอกไซด์เพื่อเปลี่ยนโครงสร้างของน้ำมันจาก Triglyceride ให้เป็นโมโนอัลคิลเอสเตอ์ (mono alkyl ester) ของกรดไขมันได้แก่ เมทิลเอสเตอ์ของกรดไขมัน (fatty acid methyl ester :FAMES) หรือเอทิลเอสเตอ์ของกรดไขมัน (fatty acid ethyl ester) และได้กลีเซอริน (glycerine) เป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้ (by product) เนื่องจากเมทิลเอสเตอ์ของกรดไขมันที่ได้นี้มีลักษณะคล้ายน้ำมันดีเซลดังนั้นจึงเรียกเมทิลเอสเตอ์ของกรดไขมันนี้ว่า ไบโอดีเซล

2.2 ความเป็นมาของไบโอดีเซล

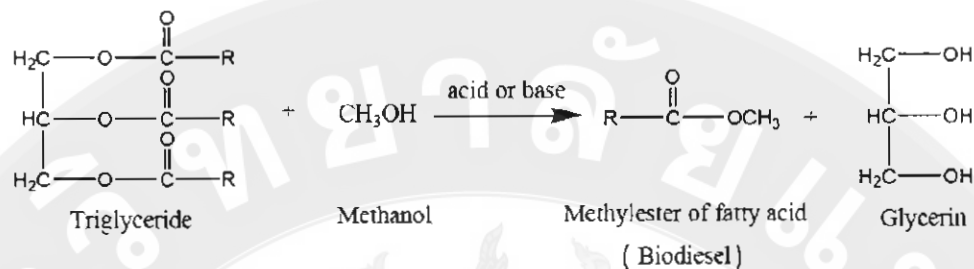
ไบโอดีเซลเป็นที่รู้จักมานานแล้วในสมัยสงครามโลกครั้งที่ 2 อาฟริกาได้ใช้น้ำมันพืช ขับเคลื่อนเครื่องยนต์แต่ในช่วงนั้นน้ำมันปิโตรเลียมยังหาง่ายและราคาถูก จึงไม่ได้รับความสนใจ จนในปี 2513 เกิดวิกฤติการณ์น้ำมัน หน่วยงานในภาครัฐรวมทั้งสถาบันต่างๆของกลุ่มประเทศผู้ใช้น้ำมันจึงได้ทำการวิจัยและพัฒนาเชื้อเพลิงชนิดนี้ จนกระทั่งผลิตในเชิงพาณิชย์ได้

ไบโอดีเซลเป็นพลังงานทดแทนจากน้ำมันพืชเพื่อใช้ทดแทนน้ำมันดีเซล มีชื่อทางเคมีคือ เอสเทอร์ (ESTER) โดยการเรียกชื่อจะขึ้นอยู่กับชนิดของแอลกอฮอล์ ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา เช่น เมทิลเอสเทอร์ (เมื่อใช้เมทิลแอลกอฮอล์ในการทำปฏิกิริยา) เป็นต้น ปฏิกิริยาเพื่อให้ได้สารเอสเทอร์ มี 2 กระบวนการด้วยกัน ได้แก่

1. Esterification ซึ่งเป็นกระบวนการที่ใช้กรด เป็นสารเร่งปฏิกิริยา
2. Transesterification ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่ใช้ด่างเป็นสารเร่งปฏิกิริยา

กระบวนการทางเคมีเพื่อเปลี่ยนให้มีสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล คือ ปฏิกิริยาทรานเอสเทอริฟิเคชัน (Transesterification) ของกลีเซอไรด์ (Triglyceride) ที่มีอยู่ในน้ำมันพืชและน้ำมันสัตว์กับเอทานอลหรือเมทานอล โดยกรดหรือเบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาภายใต้อุณหภูมิสูง เพื่อ

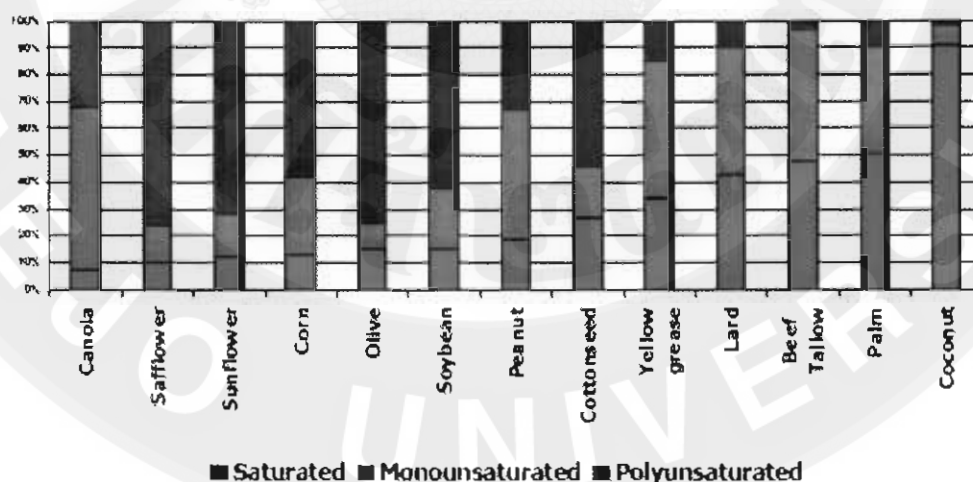
เปลี่ยนโครงสร้างของกลีเซอไรด์ให้อยู่ในรูปของเอทิลเอสเทอร์ (Ethyl ester) หรือเมทิลเอสเทอร์ (Methyl ester) ดังแสดงในภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 โครงสร้างของกลีเซอไรด์

การเรียกชื่อ ขึ้นอยู่กับชนิดของแอลกอฮอล์ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา เช่น เมทิลเอสเทอร์ เป็นเอสเทอร์ที่ได้จากการใช้เมทานอลเป็นสารในการทำปฏิกิริยา หรือ เอทิลเอสเทอร์ เป็นเอสเทอร์ที่ได้จากการใช้เอทานอล เป็นสารในการทำปฏิกิริยา เป็นต้น

ไบโอดีเซลโดยทั่วไปหมายถึงไบโอดีเซลบริสุทธิ์ จะใช้สัญลักษณ์ B100 หมายถึงน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีไบโอดีเซลอย่างเดียว แต่ถ้าเป็นไบโอดีเซลผสมจะใช้สัญลักษณ์ BXX หมายถึงเชื้อเพลิงที่ประกอบด้วยไบโอดีเซลร้อยละ XX และดีเซลร้อยละ 100-XX เช่น B20 หมายถึงน้ำมันเชื้อเพลิงที่ประกอบด้วยไบโอดีเซลร้อยละ 20 ผสมกับน้ำมันดีเซลร้อยละ 80



ภาพที่ 2.2 แสดงองค์ประกอบกรดไขมันประเภทต่างๆของวัตถุดิบที่ใช้ผลิตไบโอดีเซล

คุณภาพของไบโอดีเซลนอกจากจะขึ้นกับกระบวนการผลิตแล้วยังขึ้นกับชนิดของน้ำมันพืช ไขมันสัตว์ที่ใช้ เนื่องจากน้ำมันพืช ไขมันสัตว์แต่ละชนิดจะประกอบด้วยกรดไขมันประเภทต่างๆในปริมาณสัดส่วนที่แตกต่างกัน โดยทั่วไปกรดไขมันที่พบในไบโอดีเซลจะมีสายโซ่มากกว่า 10 ชนิด (คือมีคาร์บอน C 12-C 22) และร้อยละ 90 จะมี สายโซ่คาร์บอนระหว่าง 16-18 ซึ่งอาจจะอยู่ในรูป

ของกรดไขมันอิ่มตัว (saturated) หรือกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยว (monounsaturated) หรือ กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงพหุ (polyunsaturated) (ภาพที่2.2) โดยชนิดและปริมาณที่แตกต่างกันนี้จะมีอิทธิพลต่อสมบัติของไบโอดีเซลที่ได้ ไบโอดีเซลที่ดีจะผลิตจากวัตถุดิบที่มีกรดไขมันอิ่มตัวเท่านั้น

2.2.1 ไบโอดีเซลในประเทศไทย

หลังจากเกิดวิกฤตน้ำมันของโลกในปี 2514 เป็นต้นมา ประเทศไทย มีความตื่นตัวและพยายามหาพลังงานทดแทนมาใช้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งพลังงานหมุนเวียน (Renewable Energy) ที่สามารถหาได้ในท้องถิ่น เช่นน้ำมันพืช/สัตว์ หรือน้ำมันพืช/สัตว์ ที่ใช้แล้ว ซึ่งเป็นพลังงานหมุนเวียนชนิดหนึ่งที่ได้รับการสนใจนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันดีเซล

ประเทศไทย มีการนำน้ำมันพืชมาใช้เป็นเชื้อเพลิง เพื่อทดแทนน้ำมันเชื้อเพลิงที่ขาดแคลน ตั้งแต่สมัยสงครามโลกครั้งที่ 2 แต่เมื่อสงครามสงบลงและน้ำมันจากปิโตรเลียมมีราคาถูกและหาได้ง่าย จึงเลิกใช้ จนกระทั่งเกิดวิกฤตการณ์น้ำมันดังกล่าวมาแล้วข้างต้น จึงได้มีการวิจัยศึกษาหาพลังงานทดแทนมาใช้อีก โดยในปี 2524 สถาบันวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทยและกรมวิชาการเกษตร ได้ทดลองใช้น้ำมันถั่วลิสง น้ำมันเมล็ดสบู่ดำ น้ำมันมะพร้าว น้ำมันปาล์มและเอสเตอร์ของน้ำมันปาล์ม มาใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันดีเซล อย่างไรก็ตามการพัฒนาไม่ได้ดำเนินการอย่างต่อเนื่อง เพราะน้ำมันพืชที่ผลิตได้มีราคาสูงกว่าราคาน้ำมันดีเซลมาก รวมทั้งในปี 2525 ได้มีการวิจัย (พ.ศ. 2525 และ โสภณ 2525) โดยการผสมน้ำมันพืชในน้ำมันดีเซล และ/หรือน้ำมันก๊าด แต่ยังไม่มีการนำมาใช้งานจริง และจำหน่ายในปั้มน้ำมัน จนกระทั่งปัจจุบันตั้งแต่ปี 2544 เมื่อวิกฤตการณ์น้ำมันเชื้อเพลิงเกิดขึ้นอีกและมีแนวโน้มว่าราคาปรับจะสูงขึ้นเรื่อย ๆ เกษตรกรอาจประสบปัญหาด้านราคา ที่สูงขึ้น ในขณะที่ผลผลิตทางการเกษตรมีราคาต่ำ ดังนั้นหน่วยงานต่าง ๆ เช่น โครงการส่วนพระองค์ในพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวร่วมกับสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ จึงได้คิดค้นวิธีการใช้น้ำมันพืชในเครื่องจักรกลโดยไม่ต้องดัดแปลงเครื่องยนต์ ขณะเดียวกันสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย การปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย และหน่วยงานต่าง ๆ กำลังศึกษาสูตรที่เหมาะสมของน้ำมันพืชผสมทั้งในรูปแบบของน้ำมันพืชดิบผสม หรือ ไบโอดีเซลผสม อย่างไรก็ตามได้มีการรวบรวมข้อมูลที่สามารถใช้ภูมิปัญญาท้องถิ่นคิดค้นสูตรน้ำมันพืชผสมในรูปแบบของน้ำมันผสมโดยมีการนำน้ำมันดิบหรือกลั่นแล้วมาผสมกับน้ำมันปิโตรเลียมในอัตราส่วนต่าง ๆ เพื่อใช้และจำหน่ายกันอย่างแพร่หลาย ดังตัวอย่างที่จะกล่าวต่อไป

1) สูตรทึบสะแก ของนายยุทธชัย วิวิฏกุลธร เกษตรกรจังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ได้คิดค้นสูตรขึ้นโดยใช้น้ำมันมะพร้าว: น้ำมันก๊าด อัตราส่วน 20:1 และสูตรน้ำมันปาล์ม: น้ำมันก๊าด อัตราส่วน 60:40 โดยปริมาตร

2) สูตรดีเซลปาล์ม ของนายสามารถ มีอินทร์ เกษตรกรจังหวัดชุมพร คิดค้นสูตรโดยใช้น้ำมันปาล์ม: น้ำมันดีเซล: น้ำมันก๊าด: น้ำมันหล่อลื่น อัตราส่วน 40:30:10:10

3) สูตรน้ำมันมะพร้าว ของนายศิริ เจริญช่าง เจ้าของโรงงานหีบน้ำมันมะพร้าว อำเภอบางคนที จังหวัดสมุทรสงคราม สำหรับส่วนผสมของสูตรนั้นผู้ประกอบการยังไม่ต้องการเปิดเผย

สูตรน้ำมันโดยภูมิปัญญาชาวบ้านดังกล่าว เป็นการใช้น้ำมันพืชมาผสมโดยไม่มีการแปรรูปทางเคมีให้เหมือนไบโอดีเซลที่ทำกันในประเทศสหรัฐอเมริกา และยุโรป เพราะน้ำมันพืช มีไขและสารเหนียว (Gum) อาจสร้างความเสียหายแก่เครื่องยนต์ อย่างไรก็ตาม จากการศึกษาของสุพรรณิ พบว่า ผู้บริโภคมีทั้งผู้ที่ใช้ได้ผลดีในรถยนต์และเครื่องจักรกลทางการเกษตร และผู้ใช้ที่ประสบปัญหาเครื่องยนต์ ได้รับความเสียหาย และใส่กรองอุดตัน (สุพรรณิ 2544)

ปัจจุบัน ไบโอดีเซลที่ใช้ได้จากกระบวนการผลิตแบบอุตสาหกรรม เช่นเดียวกับที่ดำเนินการในต่างประเทศ เช่น การผลิต Methyl หรือ Ethyl Ester ได้ผ่านขั้นตอนที่เรียกว่า Esterification หรือ Transeseterification ซึ่งเป็นกระบวนการแยก Ester ออกจากน้ำมันพืช และมีคุณสมบัติที่สามารถใช้ทดแทนพลังงานจากน้ำมันปิโตรเลียมได้

ในปี 2545 ศูนย์ศึกษาการพัฒนาพิกุลทอง อันเนื่องมาจากพระราชดำริ ได้ทดลองนำน้ำมันปาล์มดิบแปรรูปเป็นเมทิลเอสเตอร์ (ไบโอดีเซล) เพื่อใช้ทดแทนน้ำมันดีเซลในเครื่องจักรกลทางการเกษตร และรถยนต์ภายในศูนย์ฯ และตั้งแต่ปี 2548 เป็นต้นมา ได้สร้างสถานีจ่ายไบโอดีเซล ภายในศูนย์ฯ และจำหน่ายให้แก่บุคคลทั่วไปในพื้นที่ โดยติดตั้งปั๊มและหัวจ่ายไบโอดีเซล ภายในศูนย์ฯ เชื้อเพลิงที่จำหน่ายเป็นไบโอดีเซลชนิด B100 มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ เป็นสถาบันแห่งหนึ่งที่ได้วิจัยไบโอดีเซล ชนิด B 100 ตั้งแต่ปี 2544 ปัจจุบันได้เปิดจำหน่ายให้แก่ประชาชนทั่วไป เป็นชนิด B100 โดยใช้วัตถุดิบคือน้ำมันปาล์มดิบ และน้ำมัน(พืช/สัตว์) ที่ใช้แล้ว นอกจากนี้ยังมีหน่วยงานต่างๆ เช่นโครงการสวนพระองค์ ในสวนจิตรลดา ปตท. กรมอุทยานหรือสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย และ บริษัท ราชาไบโอดีเซลจำกัด ที่ทำการผลิตไบโอดีเซลด้วย

อนึ่ง เมื่อวันที่ 2 กรกฎาคม 2544 คณะกรรมการนโยบายแห่งชาติ ได้กำหนดสัดส่วนผสมของน้ำมันพืชในน้ำมันปิโตรเลียมว่า น้ำมันดีเซลมะพร้าว หรือน้ำมันดีเซลปาล์ม สำหรับไบโอดีเซล

ให้ใช้เรียกเฉพาะน้ำมันพืช/สัตว์ ที่ได้ผ่านกระบวนการไปเป็น Methyl หรือ Ethyl หรือ Ethyl Ester แล้วเท่านั้น

ศักยภาพของไบโอดีเซลในประเทศไทย วัตถุดิบที่มีศักยภาพในการผลิตไบโอดีเซลในประเทศไทยได้แก่ น้ำมันพืชใช้แล้ว และน้ำมันพืชสกัดใหม่อีก 8 ชนิด คือ

- 1) น้ำมันปาล์ม
- 2) น้ำมันมะพร้าว
- 3) น้ำมันถั่วเหลือง
- 4) น้ำมันถั่วลิสง
- 5) น้ำมันละหุ่ง
- 6) น้ำมันงา
- 7) น้ำมันเมล็ดทานตะวัน
- 8) น้ำมันสบู่ดำ

วัตถุดิบหลักของไบโอดีเซล ได้แก่ ปาล์มน้ำมัน เนื่องจากปาล์มน้ำมันเป็นพืชที่มีศักยภาพในการแข่งขันสูงกว่าพืชน้ำมันชนิดอื่น ทั้งด้านการผลิตและการตลาด คือ มีต้นทุนการผลิตและราคาต่ำกว่าน้ำมันพืชชนิดอื่น นอกจากนี้ปาล์มยังสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างหลากหลาย ทั้งในสินค้าอุปโภคและบริโภค

2.2.2 ศักยภาพของไบโอดีเซลจากปาล์มน้ำมันในประเทศไทย

ในปัจจุบันสามารถผลิตไบโอดีเซล 500,000 ลิตร/วัน จากน้ำมันปาล์มที่เหลือจากการบริโภคในประเทศ และโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบสามารถรองรับการเพิ่มขึ้นของผลปาล์มดิบได้เกือบสองเท่า เนื่องจาก กำลังการผลิตรวมของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบทั้งสิ้น 10.81 ล้านตัน ผลปาล์มสดต่อปี เมื่อเทียบกับวัตถุดิบ โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบจะมีกำลังผลิตส่วนเกินร้อยละ 50 ในปี 2555 จะสามารถผลิตไบโอดีเซลได้ถึง 8.5 เนื่องจาก ในปี 2551 พื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันสามารถขยายอีก 10 ล้านไร่ นอกจากนี้ ยังมีปาล์มสดเตียรินซึ่งเป็นผลพลอยได้จากการกลั่นน้ำมันปาล์ม ซึ่งสามารถนำมาผลิตไบโอดีเซลได้อีก แต่ปาล์มน้ำมันเป็นพืชที่ต้องการน้ำและสารอาหารมาก จึงเหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศทางภาคใต้เท่านั้น

2.2.3 ไบโอดีเซลในต่างประเทศ

การวิจัยและพัฒนาทางด้านไบโอดีเซลในประเทศต่าง ๆ ทั่วโลกได้เริ่มมานานแล้ว เช่น ประเทศสหรัฐอเมริกา ประเทศในทวีปยุโรป และออสเตรเลีย เป็นต้น เนื่องจากวิกฤตการณ์ขาดแคลนด้านพลังงานจากน้ำมันปิโตรเลียม ในปี 2513 และเกิดสงครามอ่าวเปอร์เซียเกิดขึ้น ทำให้การขนส่งน้ำมันไม่สะดวกส่งผลให้น้ำมันมีราคาแพงและมีปริมาณไม่เพียงพอต่อความต้องการขณะเดียวกัน

ผลผลิตทางการเกษตร มีปริมาณมากเกินความต้องการทำให้ราคาตกต่ำ จึงได้มีการคิดค้นวิจัยการใช้ผลผลิตทางการเกษตรเพื่อทดแทนพลังงานน้ำมันปิโตรเลียม น้ำมันพืชนับได้ว่าเป็นแหล่งพลังงานใหม่แหล่งหนึ่งที่มีศักยภาพสูงที่ใช้ทดแทนพลังงานจากน้ำมันเชื้อเพลิง และเป็นผลิตภัณฑ์ที่ไม่ทำลายสิ่งแวดล้อมและก่อให้เกิดมลพิษ การวิจัยด้านไบโอดีเซลจึงได้เริ่มอย่างจริงจังในช่วง 15 ปี ที่ผ่านมา โดยในปี 2525 มีรายงานการค้นพบ Ester ที่มาจากไขสัตว์ในประเทศนิวซีแลนด์ ในปี 2531 ออสเตรเลียได้ตั้งโรงงานต้นแบบผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดเรพ (Rapeseed Oil) การผลิตเป็นการค้าครั้งแรก ได้เริ่มในปี 2533 โดยในระยะแรกใช้กับเครื่องจักรกลทางการเกษตร และได้รับการรับรองจากผู้ผลิตรถแทรกเตอร์เกือบทุกยี่ห้อ ต่อมาได้นำมาใช้กับยานพาหนะที่ใช้เครื่องยนต์ดีเซล ซึ่งได้รับการสนับสนุนจากกลุ่มอุตสาหกรรมยานยนต์ต่าง ๆ เช่น Ford , John Deer เป็นต้น และเพื่อให้เกิดความเชื่อมั่นต่อผู้บริโภค ออสเตรเลียได้ออกมาตรฐานไบโอดีเซลฉบับแรกสำหรับ Rapeseed-methyl-ester (ONC 1990) และ Fatty acid-methyl-ester (CONC 1991) ในปี 2534 นอกจากนี้รัฐบาลได้สนับสนุนให้ใช้ไบโอดีเซลโดยการลดภาษีน้ำมันให้ร้อยละ 10 และออกกฎหมายให้รถยนต์ใช้ ไบโอดีเซลในเขตพื้นที่ที่มีการจราจรหนาแน่น และมีการพัฒนาสิ่งอำนวยความสะดวกต่าง ๆ เพื่อรองรับการเจริญเติบโตของตลาดไบโอดีเซล

สหรัฐอเมริกา ใช้ น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันเมล็ดเรพ เมล็ดทานตะวัน และน้ำมันใช้แล้ว ทำการผลิตไบโอดีเซล กำลังผลิตเฉลี่ย 230,000 ตัน/ปี รวมทั้งได้ออกกฎหมายพัฒนาและส่งเสริมการผลิตและการใช้ไบโอดีเซล สมาคมทดสอบมาตรฐานวัสดุได้กำหนดมาตรฐาน ASTM D6751 เพื่อเป็นการรับประกันคุณภาพของน้ำมันไบโอดีเซล สำหรับสหภาพยุโรปซึ่งเป็นประเทศผู้นำในการผลิต ไบโอดีเซลในช่วงปี 2539-2546 มี กำลังการผลิตไบโอดีเซล 2 ล้านตัน/ปี หรือเพิ่มขึ้นมากกว่า 4 เท่า ประเทศเยอรมันผลิตมากที่สุดเป็นอันดับ 1 โดยมีกำลังการผลิตมากกว่า 1 ล้านตัน/ปี ปัจจุบันประเทศที่จะเข้าเป็นสมาชิกสหภาพยุโรปจะต้องปฏิบัติตามกฎที่กำหนดไว้ กล่าวคือ

ประเทศสมาชิกจะต้องเพิ่มสัดส่วนในการใช้พลังงานชีวมวลจากร้อยละ 2 ในปี 2548 เป็นร้อยละ 5.75 ในปี 2553

สำหรับประเทศมาเลเซีย ซึ่งเป็นประเทศเพื่อนบ้านของไทย กำลังร่างกฎหมายเพื่อบังคับใช้โดยกำหนดให้น้ำมันดีเซลที่ใช้ภายในประเทศทั้งหมดต้องมีส่วนผสมของน้ำมันปาล์ม ร้อยละ 5 ทั้งนี้เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการจัดซื้อน้ำมันดีเซลลง โดยกำหนดให้มีผลบังคับใช้ภายในปี 2551 ปัจจุบันมาเลเซีย ต้องนำเข้าน้ำมันดีเซลที่ใช้กันอยู่เกือบทั้งหมดจากต่างประเทศ ในขณะที่เป็นประเทศที่ผลิตและส่งออกน้ำมันปาล์มสูงที่สุดของโลก ซึ่งถ้าหากใช้ส่วนผสมดังกล่าวจะช่วยลดการบริโภคน้ำมันดีเซลลง 418,000 ลิตรต่อปี ทั้งนี้ชาวโรมาเลเซียที่เคยใช้น้ำมันปาล์มผสมกับน้ำมันดีเซลสำหรับรถแทรกเตอร์และรถบรรทุกมานานแล้ว ยืนยันว่าไม่มีผลกระทบต่อเครื่องยนต์แต่อย่างใด

2.3 ประเภทของไบโอดีเซล

โดยปกติแล้วไบโอดีเซลแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ

2.3.1 น้ำมันพืชหรือน้ำมันสัตว์

ไบโอดีเซลประเภทนี้ใช้น้ำมันของพืช หรือไขมันจากสัตว์โดยตรง เช่น ใช้น้ำมันมะพร้าว น้ำมันปาล์ม หรือ น้ำมันจากไขสัตว์ เช่น น้ำมันหมู เป็นต้น ป้อนลงไปเครื่องยนต์ดีเซล โดยไม่ต้องผสมหรือเติมสารเคมีอื่นใด อย่างไรก็ตามสิ่งสำคัญของการใช้น้ำมันพืชโดยตรง คือ ต้องมีการอุ่นน้ำมันในทุกจุดที่มีน้ำมันผ่านได้แก่ ถังน้ำมัน ท่อทางเดินน้ำมัน ชุดกรองน้ำมัน อุดหนุมิของน้ำมันที่อุ่นอย่างน้อย 70°C แนวทางในการนำน้ำมันพืชมาใช้โดยตรง เป็นวิธีการที่ได้น้ำมันในราคาที่ถูกลงโดยเฉพาะอย่างยิ่งการนำน้ำมันพืชซึ่งยังไม่ผ่านกระบวนการกลั่นมาใช้ แต่การที่จะนำมาใช้ได้อย่างเหมาะสมจำเป็นต้องอาศัยความร้อนในการหลอมเหลว ไขแข็ง และลดความหนืดของน้ำมัน เนื่องจากน้ำมันพืชมีความหนืดสูงกว่าน้ำมันดีเซลประมาณ 11-17 เท่า ที่อุณหภูมิตัวน้ำมันพืชยังมีความหนืดสูงขึ้นเป็นลำดับจนเกิดเป็นไข การที่น้ำมันพืชมีความหนืดสูงกว่าน้ำมันดีเซล ทำให้หัวฉีดน้ำมันฉีดน้ำมันให้เป็นฝอยได้ยาก เกิดเป็นอุปสรรคต่อการป้อนน้ำมันเชื้อเพลิงเข้าสู่ห้องเผาไหม้ และเกิดการสันดาปไม่สมบูรณ์ นอกจากนี้แล้ว น้ำมันพืชมีคุณสมบัติที่ระเหยตัวกลายเป็นไอได้ช้าและน้อยมาก (slow/low volatility) ยิ่งทำให้เกิดการจุดระเบิดได้ยาก เครื่องยนต์ติดยาก และหลงเหลือคราบเขม่าเกาะที่หัวฉีด ผนังลูกสูบ แหวนและวาล์ว จากคุณสมบัติที่น้ำมัน

พืชมีความหนืดสูงและระเหยตัวได้ต่ำกว่าน้ำมันดีเซลนี้ ทำให้เกิดความยุ่งยาก เมื่อใช้น้ำมันพืชโดยตรงในเครื่องยนต์

2.3.2 ไบโอดีเซลแบบลูกผสม

ไบโอดีเซลประเภทนี้คือการผสมน้ำมันพืช หรือน้ำมันจากสัตว์กับ “น้ำมันก๊าด” หรือ “น้ำมันดีเซล” เพื่อลดความหนืดของน้ำมันพืชลง เพื่อให้ได้ไบโอดีเซลที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับ “น้ำมันดีเซล” ให้มากที่สุด เช่น ไบโอดีเซลที่ผสมกับน้ำมันมะพร้าว เรียกว่า โคโคดีเซล (Cocodiesel) ซึ่งอำเภอทับสะแก จังหวัดประจวบคีรีขันธ์เป็นจุดกำเนิด “ไบโอดีเซล ในประเทศไทย” ดังจะเห็นว่าในปี พ.ศ.2542 เกิดวิกฤติราคาน้ำมันเชื้อเพลิงเพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้ภาวะเศรษฐกิจโดยรวมของประเทศชะลอตัวลง ประกอบกับในช่วงเวลานี้ผลผลิตทางการเกษตรหลายๆ ชนิดล้นตลาด ทำให้ราคาสินค้าตกต่ำ จึงเป็นผลให้กลุ่มเกษตรกรต่างๆ ทำการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลไว้จำหน่ายเพื่อใช้กับเครื่องจักรกลทางเกษตรต่างๆ ภายในชุมชน น้ำมันที่ได้จากวิธีการดังกล่าวเหมาะกับกรณีจำเป็นต้องใช้น้ำมันอย่างเร่งด่วน และใช้กับเครื่องยนต์ที่ใช้งานหนักตลอดจนใช้งานในภูมิอากาศเขตร้อน อัตราส่วนผสมระหว่างน้ำมันก๊าดและน้ำมันพืชขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของพื้นที่ใช้งาน อัตราส่วนผสมมีตั้งแต่ 10 % น้ำมันก๊าด 90 % น้ำมันพืช จนถึง 40 % น้ำมันก๊าด 60 % น้ำมันพืช อัตราส่วนผสมที่เหมาะสมอยู่ที่ 20 % น้ำมันก๊าด 80 % น้ำมันพืช อย่างไรก็ตามหากต้องการเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้น้ำมันพืชผสมน้ำมันก๊าด สามารถติดตั้งถังน้ำมันดีเซลหรือน้ำมันไบโอดีเซลเพื่อใช้ในการสตาร์ทเครื่องยนต์และตอนก่อนเลิกใช้งานเครื่องยนต์ ปัจจุบันมีการนำวิธีดังกล่าวไปใช้งาน แต่เนื่องจากราคาของน้ำมันก๊าดค่อนข้างสูงทำให้ใช้ปริมาณของน้ำมันก๊าดน้อยเกินไป ทำให้น้ำมันผสมที่ได้เมื่อนำไปใช้จึงเกิดผลกระทบต่อเครื่องยนต์จากปัญหาการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ของน้ำมันผสม นอกจากนี้เพื่อใช้ในเครื่องยนต์ดีเซลที่ไม่มีการดัดแปลงเครื่องยนต์ จึงต้องเลือกชนิดน้ำมันพืช ชนิดของตัวทำละลาย และสัดส่วนผสมที่เหมาะสมกับพื้นที่ และฤดูกาลที่ใช้ เพื่อให้เกิดความสะดวกในการใช้ และไม่เกิดความยุ่งยากต่างๆ ตามมา เช่น การเกิดไขในท่อส่งน้ำมัน ทำให้เกิดการอุดตัน เป็นต้น

2.3.3 ไบโอดีเซลแบบเอสเทอร์

สำหรับไบโอดีเซลประเภทนี้จะมีคุณสมบัติที่ดีที่สุด ซึ่งเมื่อกล่าวถึงน้ำมันไบโอดีเซล ในทางสากลจะหมายถึง น้ำมันประเภทนี้ โดยไบโอดีเซลแบบเอสเทอร์ ผลิตได้โดยนำน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์ซึ่งเป็นสารประเภทไตรกลีเซอไรด์ มาทำปฏิกิริยากับเมทานอลหรือเอทานอล โดยใช้กรดหรือด่างเป็นสารเร่งปฏิกิริยา ซึ่งได้ผลิตภัณฑ์เป็นไบโอดีเซลและกลีเซอรอล โดยจะเรียกกระบวนการ

การผลิตไบโอดีเซลแบบเอสเทอร์ตามชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา และเรียกผลิตภัณฑ์ตามชนิดตัวทำปฏิกิริยา คือ หากใช้น้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์มาทำปฏิกิริยากับเอทานอล โดยใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จะเรียกกระบวนการนี้ว่า Esterification reaction โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้จะเรียกว่า เอทิลเอสเทอร์(Ethyl Ester) และหากใช้น้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์มาทำปฏิกิริยากับเมทานอล โดยใช้ด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จะเรียกกระบวนการนี้ว่า Transesterification reaction โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้จะเรียกว่า เมทิลเอสเทอร์ (Methyl Ester)

2.4 การผลิตไบโอดีเซล

ในการผลิตไบโอดีเซลมีวิธีการและทางเลือกจำนวนมาก เทคนิคต่างๆมีข้อดีข้อเสีย ที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับคุณภาพของวัตถุดิบที่ใช้และของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการผลิต ดังนั้น การออกแบบกระบวนการผลิตที่สามารถรองรับการทำงานได้หลากหลายจึงเป็น วิธีการที่นักออกแบบนิยมทำกัน แต่การออกแบบที่ซับซ้อนย่อมส่งผลให้เครื่องจักรมีราคาแพง และการทำงานที่ยุ่งยากขึ้น กระบวนการผลิตสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ ตามลักษณะการผลิต ดังนี้

แบบที่ 1 กระบวนการผลิตแบบกะ เป็นที่นิยมและง่ายที่สุดเนื่องจากต้นทุนเครื่องจักรต่ำ และการดำเนินงานไม่ซับซ้อน ในการผลิตใช้ถังกวนผสมทำปฏิกิริยาระหว่างแอลกอฮอล์ และไตรกลีเซอไรด์ สัดส่วนประมาณ 6:1 โดยปฏิกิริยาจะดำเนินในถังปิดหรือในถังเปิดที่มีอุณหภูมิระหว่าง 25-85 °C ตัวเร่งปฏิกิริยา คือ NaOH หรือ KOH การกวนผสมที่ดีต้องเกิดในช่วงแรกเพื่อให้แอลกอฮอล์ น้ำมัน และตัวเร่งปฏิกิริยาสัมผัสกันอย่างสมบูรณ์ ส่วนช่วงท้ายของปฏิกิริยา การลดแรงกวนจะช่วยกลีเซอรอล ที่เกิดจากปฏิกิริยาแยกตัวออกได้ดี ผลผลิตอยู่ในช่วงร้อยละ 85-94 หากทำปฏิกิริยาสองขั้นตอนจะได้ ผลผลิตสูงกว่าร้อยละ 95 แต่ค่าใช้จ่ายจะเพิ่มขึ้นในการกลั่นแอลกอฮอล์ที่เหลือจากปฏิกิริยากลับมาใช้งานใหม่

แบบที่ 2 กระบวนการผลิตแบบต่อเนื่อง ที่มักใช้ในโรงงานขนาดใหญ่เป็นกระบวนการผลิตแบบถังกวนผสมต่อเนื่อง (Continuous stirred tank reactor, CSTR) ซึ่งประกอบด้วยถังกวนผสมตั้งแต่หนึ่งใบ (หรืออาจมากกว่า) ที่มีการไหลเข้าของสารป้อนทั้งหมด และมีการไหลออกของผลิตภัณฑ์อย่างต่อเนื่อง ในกระบวนการผลิตที่ใช้ถังปฏิกรณ์แบบนี้ต้องมีการกวนที่รุนแรงเพียงพอที่ให้ของผสมเป็นเนื้อเดียวภายในถังก่อนไหลออกจากถัง ทำให้การแยกกลีเซอรอลในถังแยกทำได้ลำบากขึ้น

2.4.1 กรรมวิธีการผลิตไบโอดีเซลระดับชุมชน

ส่วนใหญ่เป็นกระบวนการผลิตแบบกะ โดยเริ่มต้นจากการผสมน้ำมันพืชกับแอลกอฮอล์ที่มีตัวเร่งปฏิกิริยา ที่อุณหภูมิประมาณ 60 °C เวลา 2-3 ชั่วโมง ทิ้งน้ำมันให้แยกชั้น ชั้นบนสุด คือ เมธิลเอสเตอ์ หรือไบโอดีเซล ชั้นล่างคือกลีเซอรอล หรือกลีเซอริน เมื่อถ่ายชั้นกลีเซอริน ออกแล้ว จะเหลือชั้นไบโอดีเซล ทำการใส่น้ำออกจากไบโอดีเซล กรอง ตรวจวัดคุณภาพ และจัดเก็บ รายละเอียด ตามแนวทางที่มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ได้อบรมให้แก่ชุมชน โดยการสนับสนุนของ กระทรวงพลังงาน ดังนี้

- (1) เตรียมน้ำมันจากห้องเก็บมากรอง (2 ชั่วโมง)
- (2) ไตรเตรทน้ำมันเพื่อหากรดไขมันอิสระ (15 นาที)
- (3) ถ่ายน้ำมันเข้าถัง (15 นาที)
- (4) ให้ความร้อน (30 นาที)
- (5) เตรียมเมทอกไซด์ (30 นาที)
- (6) ผสมเมทอกไซด์ในน้ำมัน (30 นาที)
- (7) กวนผสมให้เกิดปฏิกิริยา (3 ชั่วโมง)
- (8) ถ่ายน้ำมันออกจากถังปฏิกิริยาเข้าสู่ถังแยกชั้น (15 นาที)
- (9) ทิ้งให้แยกชั้น (3 ชั่วโมงหรือมากกว่า)
- (10) ถ่ายกลีเซอรินออก (15 นาที)
- (11) ล้างไบโอดีเซลครั้งที่ 1 โดยในขณะที่ล้างให้เปิดเครื่องให้ความร้อนรักษาอุณหภูมิที่ 40 °C และเปิดวาล์วอากาศ (60 นาที)
- (12) ทิ้งให้แยกชั้น (2 ชั่วโมง หรือมากกว่า)
- (13) ล้างไบโอดีเซลครั้งที่ 2 (ขั้นตอนเหมือนการล้างไบโอดีเซลครั้งที่ 1)
- (14) ล้างไบโอดีเซลครั้งที่ 3 (ขั้นตอนเหมือนการล้างไบโอดีเซลครั้งที่ 2)
- (15) ตรวจวัด pH ของน้ำล้างและไบโอดีเซลให้เป็นกลาง (ประมาณ 15 นาที)
- (16) เปิดเครื่องให้ความร้อนรักษาอุณหภูมิ 120 °C (ประมาณ 2 ชั่วโมง)
- (17) ทิ้งให้เย็นตัวลง (2 ชั่วโมง หรือมากกว่า)
- (18) กรองผ่านตัวกรอง (2 ชั่วโมง)
- (19) ตรวจวัดคุณภาพ
- (20) จัดเก็บ

2.4.2 คุณภาพและมาตรฐานไบโอดีเซล

มาตรฐานและคุณภาพของไบโอดีเซลตามมาตรฐานสากลที่นิยมใช้ในการพัฒนา ไบโอดีเซล จะนิยมใช้มาตรฐาน DIN ของประเทศเยอรมนี และ ASTM (American Society of Testing and Materials) ของสหรัฐอเมริกา การทดสอบตามมาตรฐานเหล่านี้เป็นกระบวนการสำคัญที่ใช้ในการควบคุมคุณสมบัติของไบโอดีเซล และธุรกิจน้ำมันก่อนการซื้อขายในตลาด ถ้าไบโอดีเซลที่จำหน่ายไม่ได้คุณภาพอาจส่งผลกระทบต่อประชาชน

สำหรับประเทศไทยกระทรวงพลังงานได้กำหนดมาตรฐาน B100 ซึ่ง B100 คือน้ำมันเชื้อเพลิงที่ผลิตจากพืชหรือสัตว์โดยไม่ต้องใช้น้ำมันดีเซลปิโตรเลียมหรือน้ำมันอื่นๆมาผสมสามารถใช้ทดแทนน้ำมันดีเซลปิโตรเลียมได้ (ภาคผนวกที่ 9) ซึ่งประกอบด้วยพารามิเตอร์รวม 23 ตัว และจะเพิ่มอีกหนึ่งพารามิเตอร์ในกรณีที่มีการใช้สารเติมแต่งในไบโอดีเซล วัตถุประสงค์หลักตามมาตรฐานที่ประกาศใช้ B100 นั้นต้องการกำหนดขึ้นเพื่อเป็นวัตถุดิบสำหรับ นำไปผสมกับน้ำมันดีเซลปิโตรเลียม เช่น ไบโอดีเซล จำนวน 5 ส่วน ผสมกับน้ำมันดีเซลปิโตรเลียม จำนวน 95 ส่วน ที่กำลังใช้อยู่ในปัจจุบัน จะเรียกว่าเป็นไบโอดีเซล B5 กระทรวงพลังงานได้ประกาศกำหนดคุณภาพมาตรฐาน ไบโอดีเซลชนิด B5 ไว้เรียบร้อยแล้ว แต่ถ้านำ B100 ไปใช้เป็นเชื้อเพลิงโดยตรงกับเครื่องจักรกลต่างๆโดยไม่ได้ผสมกับน้ำมันดีเซลปิโตรเลียมยังไม่ได้กำหนดมาตรฐานและยังไม่ได้ประกาศใช้ มาตรฐาน B100 ที่ประกาศใช้นั้น เป็นมาตรฐานวัตถุดิบสำหรับผสมกับน้ำมันดีเซลปิโตรเลียม ดังนั้นการที่ผู้ผลิตหรือชุมชนบางแห่งทำการผลิตไบโอดีเซลชนิด B100 ออกมาจำหน่าย จึงไม่ได้ยอมรับจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้องและอาจผิดกฎหมายอีกด้วย

อย่างไรก็ตามในระดับชุมชน กระทรวงพลังงานได้กำหนดมาตรฐานของวัตถุดิบประเภท B100 ที่จะนำไปผสมกับน้ำมันดีเซลปิโตรเลียม ต้องผ่านเกณฑ์เบื้องต้นซึ่งประกอบด้วยพารามิเตอร์ 10 ตัว คือ ความหนืด ความหนาแน่น จุดวาบไฟ ปริมาณกากถ่าน ตัวเลขซีเทน (Cetane Number) ค่าความเป็นกรด (Acid Value) จุดกลั่นที่รีโคเวอรี่ร้อยละ 90 การกัดกร่อน จุดไหลเท (Pour Point) และค่าความร้อน (Heating Value)

2.5 คุณสมบัติของไบโอดีเซล

การกำหนดมาตรฐานและวิธีการตรวจสอบคุณสมบัติต่างๆของไบโอดีเซลเพื่อเป็นการควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันล้วนหรือไบโอดีเซลชนิด B100 ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ข้อกำหนดคุณสมบัติของไบโอดีเซลและวิธีการตรวจสอบ

รายการ	คุณสมบัติ	ข้อกำหนด	วิธีทดสอบ
1	เมทิลเอสเทอร์ (Methyl ester) ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่ต่ำกว่า 96.5	EN 14103
2	ความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15 °C (kg/m ³)	ไม่ต่ำกว่า 860 และไม่สูงกว่า 900	ASTM D 1298
3	ความหนืด ณ อุณหภูมิ 40 °C (เซนติสโตกส์)	ไม่ต่ำกว่า 3.5 และไม่สูงกว่า 5.0	ASTM D 455
4	จุดวาบไฟ (Flash point) °C	ไม่ต่ำกว่า 120	ASTM D 93
5	กำมะถัน (Sulphur) ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า 0.0010	ASTM D 2622
6	กากถ่าน (ร้อยละ 10 ของกากที่เหลือจากการกลั่น) ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า 0.30	ASTM D 4530
7	จำนวนซีเทน (Cetane Number)	ไม่ต่ำกว่า 51	ASTM D 613
8	เถ้าซัลเฟต (Sulfated ash) ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า 0.020	ASTM D 874
9	น้ำ (Water) ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า 0.050	ASTM D 2709
10	สิ่งปนเปื้อนทั้งหมด (Total contaminant) ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า 0.0024	ASTM D 5452
11	การกัดกร่อนแผ่นทองแดง (Copper strip corrosion)	ไม่สูงกว่า หมายเลข 1	ASTM D 130
12	เสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ณ อุณหภูมิ 110 °C ชั่วโมง	ไม่ต่ำกว่า 6	EN 14112
13	ความความเป็นกรด (Acid number) มิลลิกรัม โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อกรัม	ไม่สูงกว่า 0.50	ASTM D 664
14	ค่าไอโอดีน (Iodine value) กรัมไอโอดีนต่อ 100 กรัม	ไม่สูงกว่า 120	EN 14111
15	กรดลิโนเลนิกเมทิลเอสเทอร์ ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า 12.0	EN 14103
16	เมทานอล (Methanol) ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า 0.20	EN 14110
17	โมโนกลีเซอไรด์ (Monoglyceride) ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า 0.80	EN 14105
18	ไดกลีเซอไรด์ (Diglyceride) ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า 0.20	EN 14105
19	ไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride) ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า 0.20	EN 14105
20	กลีเซอรินอิสระ (Free glycerine) ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า 0.02	EN 14105
21	กลีเซอรินทั้งหมด (Total glycerine) ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า 0.25	EN 14105
22	โลหะกลุ่มที่ 1 (โซเดียมและโพแทสเซียม) mg/kg โลหะกลุ่มที่ 2 (แคลเซียมและแมกนีเซียม) mg/kg	ไม่สูงกว่า 5.0 ไม่สูงกว่า 5.0	EN 14108-9 prEN 14538
23	ฟอสฟอรัส (Phosphorus) ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า 0.0010	ASTM D 4951
24	สารเติมแต่ง (additive) (ถ้ามี)	ให้เป็นไปตามที่ได้รับความเห็นชอบจากอธิบดีกรมธุรกิจพลังงาน	

ตารางที่ 2.2 เปรียบเทียบคุณสมบัติของไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชชนิดต่างๆ

ไบโอดีเซลจาก น้ำมัน	ความถ่วงจำเพาะ (ก/มล.)	จุดวาบไฟ (°ซ)	ค่าซีเทน	ค่าความร้อน (กิโลจูล/กก.)
ปาล์ม	0.887	167	62-65 ^{4/}	39,300
เมล็ดเรพ	0.883	> 170	58	37,100
ถั่วเหลือง	na	na	51-53	na
ทานตะวัน	na	na	52	na
น้ำมันดีเซล	0.81-0.87	>52	>47	46,800

ไบโอดีเซล มีความหนืดใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล และมีความคงตัว ความหนืดเปลี่ยนแปลงได้น้อยมากเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยน จุดวาบไฟของไบโอดีเซล มีค่าสูงกว่าน้ำมันดีเซล ทำให้มีความปลอดภัยในการใช้และการขนส่ง นอกจากนั้นแล้ว ค่าซีเทน ที่เป็นดัชนีบอกระดับคุณภาพการติดไฟของไบโอดีเซล ยังมีค่าสูงกว่าน้ำมันดีเซล ดังแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 คุณสมบัติของไบโอดีเซลเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล

Fuel Property	Diesel	Biodiesel
Fuel Standard	ASTM D975	ASTM D6751
Lower Heating Value, Btu/gal	~129,050	~118,170
Kinematic Viscosity, @ 40°C	1.3-4.1	4.0-6.0
Specific Gravity kg/l @ 60°F	0.85	0.88
Density, lb/gal @ 15°C	7.079	7.328
Water and Sediment, vol%	0.05 max	0.05 max
Carbon, wt %	87	77
Hydrogen, wt %	13	12
Oxygen, by dif. Wt %	0	11
Sulfur, wt %	0.05 max	0.0 to 0.0024
Boiling Point, °C	180 to 340	315 to 350
Flash Point, °C	60 to 80	100 to 170
Cloud Point, °C	-15 to 5	-3 to 12
Pour Point, °C	-35 to -15	-15 to 10
Cetane Number	40-55	48-65
Lubricity SLBOCLE, grams	2000-5000	>7,000
Lubricity HFRR, microns	300-600	<300

^{4/}Sulfur content for on-road fuel shall be lowered to 15 ppm maximum by 2006.

2.6 วัตถุดิบที่ใช้ผลิตไบโอดีเซล

ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงเหลวที่ผลิตได้จาก น้ำมันพืชและไขมันสัตว์ เช่น ปาล์ม มะพร้าว ถั่วเหลือง ทานตะวัน เมล็ดเรพ (rape seed) สบู่ดำ หรือ น้ำมันพืช น้ำมันสัตว์ ที่ใช้แล้ว ซึ่งพืช น้ำมันเหล่านี้เป็นแหล่งทรัพยากร ที่สามารถผลิตทดแทนได้ในธรรมชาติ

2.6.1 เมล็ดเรพ มีลักษณะเป็นเม็ดเล็กๆ เหมือนเมล็ดงา เป็นพืชล้มลุกประเภทวัชพืชที่พบอยู่ทั่วไปในทวีปยุโรป มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Brassica napus* ในปี พ.ศ.2525 ได้มีการริเริ่มคิดค้นกระบวนการ Trans-Esterification โดยใช้เมล็ดเรพ ที่สถาบัน Institute of Organic Chemistry, Graz, Austria และได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคเป็นอย่างดี ปัจจุบันเมล็ดเรพเป็นวัตถุดิบที่ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตไบโอดีเซลมากที่สุดในยุโรป คือ มีส่วนแบ่งในการผลิตถึงร้อยละ 80 ของวัตถุดิบอื่นๆ ทั้งหมด ซึ่งประเทศเยอรมันถือได้ว่าเป็นทั้งผู้นำในการนำไบโอดีเซลมาใช้แทนน้ำมันดีเซลและเป็นผู้นำทางด้านเทคโนโลยีการผลิตไบโอดีเซลโดยใช้วัตถุดิบจากเมล็ดเรพ นอกจากนี้ยังมีประเทศฝรั่งเศส และสเปน ที่ใช้เมล็ดเรพและทานตะวันเป็นวัตถุดิบเช่นกัน

2.6.2 ถั่วเหลือง เป็นพืชน้ำมันที่นิยมใช้เป็นวัตถุดิบเพื่อผลิตไบโอดีเซลมากที่สุดในสหรัฐอเมริกา ซึ่งมีปริมาณการผลิตถั่วเหลืองสูงถึงกว่า 30 ล้านตันต่อปี นอกจากนี้ยังมีประเทศอิตาลีซึ่งนิยมใช้ถั่วเหลืองในการผลิตไบโอดีเซล

2.6.3 ปาล์มน้ำมัน เป็นพืชน้ำมันที่นิยมใช้เป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตไบโอดีเซลในประเทศไทยขณะนี้ เนื่องจากเป็นพืชที่มีศักยภาพในการนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงสูงกว่าพืชน้ำมันชนิดอื่น คือมีต้นทุนการผลิตต่ำ ให้ผลผลิตต่อพื้นที่สูง โดยปาล์มน้ำมันให้ผลผลิตน้ำมันต่อไร่สูงกว่าเมล็ดเรพ ซึ่งใช้เป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตไบโอดีเซลในประเทศแถบยุโรปถึง 5 เท่า และสูงกว่าถั่วเหลืองที่ใช้กันมากในสหรัฐอเมริกาถึง 10 เท่า เนื่องจากปาล์มน้ำมันเป็นพืชยืนต้น ทนต่อผลกระทบจากภัยธรรมชาติ อีกทั้งสามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้นานถึง 20 ปี

2.6.4 สบู่ดำ เป็นพืชน้ำมันอย่างหนึ่งที่ภาครัฐมีนโยบายส่งเสริมให้ปลูกเป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซลชุมชน เนื่องจากเป็นพืชที่เพาะปลูกง่ายไม่ต้องดูแลมาก ทนต่อสภาพแล้งและน้ำท่วมทำให้ปลูกได้ในพื้นที่ทั่วทุกภาคแม้แต่ในพื้นที่ที่ไร้ประโยชน์ทางการเกษตรได้น้อย สามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้ภายในหนึ่งปีหลังปลูก และมีอายุยืนกว่า 30 ปี อีกทั้งปลูกได้ในพื้นที่แห้งแล้ง น้ำมันที่บีบจากผลสบู่ดำสามารถนำมาใช้ในเครื่องยนต์ดีเซลรอบต่ำสำหรับการเกษตรแทนน้ำมันดีเซลได้ทันที

2.6.5 น้ำมันพืชใช้แล้ว ในระหว่างที่ต้องรอการขยายพื้นที่เพาะปลูกปาล์มให้เพียงพอ วัตถุประสงค์อีกประการหนึ่ง ที่ควรส่งเสริมให้นำไปผลิตไบโอดีเซล คือ น้ำมันพืชใช้แล้ว ซึ่งนอกจากจะเป็นประโยชน์ด้านพลังงานแล้ว ยังช่วยลดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมและสาธารณสุข โดยในช่วง 20 ปีที่ผ่านมา ทั่วโลกมีอัตราเฉลี่ยในการบริโภคน้ำมันพืชเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 4 ต่อปี ส่งผลให้ปัจจุบันมีการบริโภคน้ำมันพืชสูงกว่า 100 ล้านตันต่อปี เพราะวิถีการบริโภคที่หันมานิยมอาหารประเภทจานด่วน (Fast Food) ที่ปรุงด้วยการทอดมากขึ้น ผลที่ตามมา คือ มีน้ำมันพืชใช้แล้วจำนวนมากที่เหลือจากการปรุงอาหารซึ่งจำเป็นต้องหาวิธีจัดการ ไม่ว่าจะเป็นการกำจัด บำบัด หรือนำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ โดยไม่ก่อให้เกิดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมและสาธารณสุข

2.7 ไขมันและน้ำมัน (Fats and Oils)

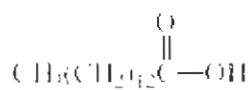
ไขมันและน้ำมันเป็นสารประกอบประเภทเอสเทอร์ โดยไขมันเป็นเอสเทอร์ที่มีสถานะของแข็ง ส่วนน้ำมันเป็นเอสเทอร์ที่มีสถานะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิ 25 °C เป็นสารที่ไม่ละลายน้ำ แต่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น เฮกเซน คลอโรฟอร์ม พบได้ทั้งในสัตว์และพืช ไขมันมีชื่อทางเคมีว่า ไตรกลีเซอไรด์ เป็นสารประกอบที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างกลีเซอรอล 1 โมเลกุล กับกรดไขมัน 3 โมเลกุล ดังภาพที่ 2.3



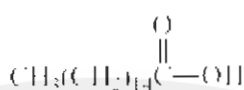
ภาพที่ 2.3 ปฏิกิริยาระหว่างกลีเซอรอลกับกรดไขมัน

กรดไขมันเป็นกรดอินทรีย์ชนิดหนึ่ง ประกอบด้วยไฮโดรคาร์บอนที่มีจำนวนแตกต่างกันและมีหมู่คาร์บอกซิล (-COOH) เป็นหมู่ฟังก์ชัน แบ่งเป็น 2 ชนิด คือ กรดไขมันอิ่มตัว และกรดไขมันไม่อิ่มตัว

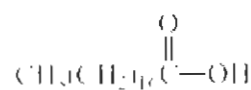
ไขมันหรือน้ำมันอยู่ที่ปริมาณและชนิดของไขมันในเอสเทอร์ ถ้าเป็นกรดไขมันอิ่มตัวมาก จะเป็นไขมัน เช่น กรดลอริก (C12) กรดไมริสติก (C14) กรดปาล์มิติก (C16) กรดสเตียริก (C18) ดังภาพที่ 2.4



กรดปาล์มอิ่มตัว



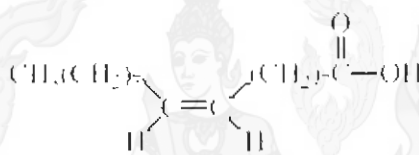
กรดปาล์มไม่อิ่มตัว



กรดสเตียริก

ภาพที่ 2.4 โมเลกุลของกรดไขมันอิ่มตัว

ถ้ากรดไขมันไม่อิ่มตัว จะเป็นน้ำมัน เช่น กรดปาล์มมิโตเลอิก (C16) กรดโอเลอิก (C18) กรดไลโนเลอิก (C18) ยิ่งกรดไขมันไม่อิ่มตัวมากเท่าใด สถานะยิ่งเหลวมากเท่านั้น ดังภาพที่ 2.5



กรดโอเลอิก

ภาพที่ 2.5 โมเลกุลของกรดไขมันไม่อิ่มตัว

น้ำมันพืชและสัตว์มีกรดไขมันชนิดต่างกัน เป็นองค์ประกอบโดยที่มีปริมาณของกรดไขมันอยู่ในโครงสร้างถึง 94-96% ของน้ำหนักไตรกลีเซอไรด์ ทำให้คุณสมบัติทั้งทางเคมีและกายภาพของน้ำมันแต่ละชนิดแตกต่างกันซึ่งคุณสมบัติและค่าความร้อนของน้ำมันพืชชนิดต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 คุณสมบัติและค่าความร้อนของน้ำมันชนิดต่าง ๆ

น้ำมัน	ความถ่วงจำเพาะ (ที่ 21 °C) g/ml	ความหนืด (ที่ 21 °C) cps	ค่าความร้อน (kJ/kg)
ถั่วเหลือง	0.918	57.2	39,350
ทานตะวัน	0.918	60.0	39,490
มะพร้าว	0.915	51.9	37,540
ถั่วลิสง	0.914	67.1	39,470
ปาล์ม	0.898	88.6	39,550
เมล็ดในปาล์ม	0.904	66.3	37,720
เมล็ดสบู่ดำ	0.915	36.9 (วัดที่ 38 °C)	39,000
น้ำมันดีเซล	0.845	3.8	46,800

ที่มา : พิสมัย, 2544

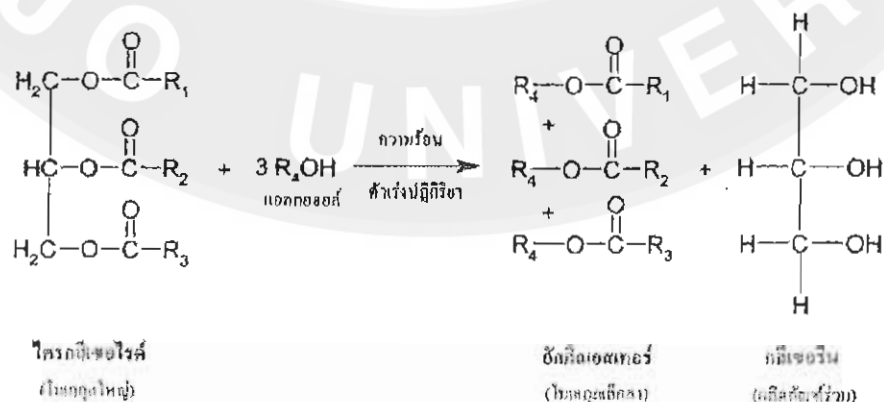
โมเลกุลส่วนใหญ่ของน้ำมันพืชมีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัว (Unsaturated fatty acid) มากกว่ากรดไขมันอิ่มตัว (saturated fatty acid) ดังนั้นจึงปรากฏเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง สำหรับโมเลกุลของไขมันสัตว์มีปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวมากกว่ากรดไขมันไม่อิ่มตัว จึงปรากฏเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้องและทำให้ไขมันสัตว์มีลักษณะเฉพาะคือ มีจุดหลอมเหลวสูง และมีความหนืดสูง นอกจากนี้ยังมีจุดขุ่นตัวและจุดเทตัวสูงกว่าน้ำมันพืชอีกด้วย

2.8 ปฏิกริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน (Transesterification)

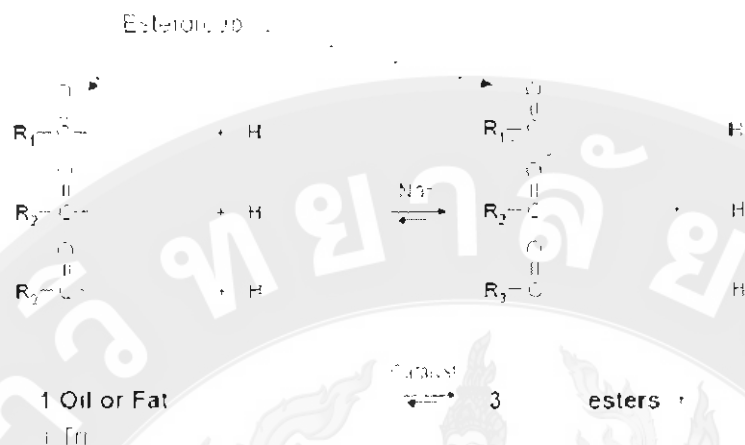
เนื่องจากน้ำมันพืชทั่วไปเป็นสารประกอบประเภทไตรกลีเซอไรด์ ซึ่งตามธรรมชาติจะมีความหนืดสูง โดยมีผลมาจากการที่มีมวลโมเลกุลใหญ่สามารถนำมาทำให้มวลโมเลกุลเล็กลง เพื่อให้ความหนืดลดลงได้โดยใช้กระบวนการที่เรียกว่า ทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ซึ่งจะได้น้ำมันที่มีความหนืดลดลง

ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน คือ ปฏิกิริยาแตกพันธะของเอสเทอร์ () ด้วย แอลกอฮอล์โดยมีกรด (acid) หรือ เบส (alkali) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (catalyst) ผลิตภัณฑ์ที่ได้ คือ เอสเทอร์และกลีเซอริน ในทางทฤษฎีการเกิดปฏิกิริยาโดยสมบูรณ์จะต้องใช้อัตราส่วนโดยโมลของ แอลกอฮอล์กับน้ำมันเป็น 3:1 สามารถแสดงไว้ดังภาพที่ 2.6 และ 2.7

แอลกอฮอล์ที่ใช้ ได้แก่ เมทานอล หรือ เอทานอล โดยเมทานอลมักนิยมใช้มากกว่า เนื่องจากมีราคาถูก และเป็นแอลกอฮอล์ที่มีโมเลกุลเล็ก ทำให้สามารถทำปฏิกิริยากับไขมันหรือน้ำมันได้ง่าย นอกจากนี้ถ้าใช้โปตัสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาก็สามารถละลายโปตัสเซียมไฮดรอกไซด์ในเมทานอลในระหว่างการเตรียมสารได้ง่ายด้วย



ภาพที่ 2.6 ปฏิกิริยาระหว่างไขมันหรือน้ำมันกับแอลกอฮอล์ (อัญชนา, 2545)



ภาพที่ 2.7 ปฏิกิริยา Transesterification (ที่มา Dr.Chris Hamilton - Lurgi Pacific)

2.9 ชนิดของสารเร่งที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซล

การใช้กรด เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน อาทิเช่น Sulfuric, phosphoric, hydrochloric organic, sulfonic acid แต่กระบวนการเกิดปฏิกิริยาช้ากว่าการใช้เบสเป็นตัวเร่ง เหมาะสำหรับกลีเซอรอลที่มีปริมาณค่ากรดไขมันอิสระ (Free fatty acid) สูงมาก

การใช้เบส เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น Sodium hydroxide (NaOH), potassium hydroxide (KOH), carbonates เป็นต้น โดยจะมีการเร่งปฏิกิริยาที่เร็วกว่าการใช้กรดหลายเท่าตัว จึงมักนิยมใช้วิธีการนี้มากในการผลิตไบโอดีเซล โดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้ Sodium hydroxide และ potassium hydroxide ซึ่งมีราคาถูกกว่าสารชนิดอื่น ๆ

2.10 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

2.10.1 น้ำหรือความชื้น

การที่มีความชื้นในไขมันจะทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของไขมันหรือน้ำมัน โดยน้ำจะเป็นสาเหตุให้เกิดสบู่และสบู่ที่เกิดขึ้นจะปนกับเอสเทอร์ และกลีเซอรอลที่ได้ทำให้สารละลายผสมทั้ง 2 มีความหนืดสูงขึ้น ส่งผลให้การแยกกลีเซอรอลออกจากเอสเทอร์ได้ยากขึ้น วิธีป้องกันคือ แอลกอฮอล์ไขมันหรือน้ำมันควรมีน้ำหรือความชื้นปนน้อยที่สุดหรือไม่มีเลย เพื่อให้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเกิดได้สมบูรณ์

2.10.2 ตัวเร่งปฏิกิริยา

ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ทั้งกรด และเบส ตัวเร่งปฏิกิริยาที่นิยมใช้คือ ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นเบส เนื่องจากเบสมีอัตราการเกิดปฏิกิริยาสูงและให้ผลดีที่อุณหภูมิต่ำกว่าการใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ในกรณีที่ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้เป็นเบส ควรใช้เร่งปฏิกิริยาที่สอดคล้องกับแอลกอฮอล์ เช่น ถ้าใช้เอทานอลตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ควรเป็น โซเดียมเอธีออกไซด์หรือโซเดียมเมธีออกไซด์ ซึ่งจะมีประสิทธิภาพมากกว่าโซเดียมไฮดรอกไซด์ เนื่องจากปริมาณน้ำที่เกิดขึ้นจากการใช้โซเดียมเอธีออกไซด์จะมีปริมาณน้อยกว่าการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ สำหรับตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นกรดพบว่ามีข้อเสียหลายประการ ได้แก่ ภาชนะที่ใช้ก็ต้องมีความทนทานต่อการกัดกร่อนของกรด อัตราส่วนของแอลกอฮอล์ต่อไขมันที่ใช้ต้องสูงและอุณหภูมิสูง และใช้เวลานานในการทำปฏิกิริยา

2.10.3 เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา

อัตราการเกิดปฏิกิริยาจะมีค่าสูงในระยะแรกของปฏิกิริยาและลดลงเมื่อเวลาเพิ่ม ดังนั้นระยะเวลาที่เหมาะสมจึงจำเป็นในการผลิตเชื้อเพลิงดีเซลชีวภาพในเชิงพาณิชย์

2.10.4 อุณหภูมิ

ในปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันอุณหภูมิมีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น อัตราการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจากอุณหภูมิสูงทำให้แอลกอฮอล์ทำปฏิกิริยาได้ง่ายขึ้น แต่ถ้าอุณหภูมิที่ใช้สูงเกินจุดเดือดของแอลกอฮอล์ จะทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาลดลง จะทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาลดลง อย่างไรก็ตามการศึกษาดังอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาทรานส์ เอสเทอริฟิเคชันมีความสำคัญอย่างยิ่ง

2.10.5 ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา

ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยามีผลต่อปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่ได้ กล่าวคือปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่ต่ำและที่สูงเกินไปจะทำให้ปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่ต่ำ ดังนั้นปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสมจะมีค่าคงที่ค่าหนึ่งเท่านั้น นอกจากนั้นถ้าปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยามีค่ามากจะทำให้ตัวเร่งที่เกินไปทำปฏิกิริยากับน้ำมัน ทำให้เกิดปฏิกิริยาซาปอนิฟิเคชัน หรือการเกิดสบู่ขึ้นเอง

2.10.6 สัดส่วนของแอลกอฮอล์ต่อน้ำมัน

สัดส่วนของแอลกอฮอล์ต่อน้ำมันมีผลต่อปริมาณของเอสเทอร์ที่เกิดขึ้น โดยตามทฤษฎีสัดส่วนโดยโมลของแอลกอฮอล์ต่อน้ำมันจะเท่ากับ 3:1 ในทางปฏิบัติจะต้องใช้ปริมาณของ

แอลกอฮอล์มากกว่าตามทฤษฎี เพื่อให้ปฏิกิริยาเกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์ ซึ่งปกติจะให้อัตราส่วนของแอลกอฮอล์ต่อน้ำมันระหว่าง 6:1 ถึง 15:1 ดังนั้นจะมีแอลกอฮอล์เหลือจากการทำปฏิกิริยา ซึ่งจะต้องมีระบบการกลั่นเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่

2.11 กระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว

กระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว (ภาพที่ 2.8) สามารถแบ่งออกเป็นขั้นตอนใหญ่ ๆ ได้ 6 ขั้นตอน คือ



ภาพที่ 2.8 ผังกระบวนการผลิตไบโอดีเซล

2.11.1 ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ

เตรียมอุปกรณ์ที่ต้องใช้ให้ครบถ้วน อุปกรณ์ที่ใช้ขึ้นกับเครื่องมือที่มี บางคนมีชุดผลิตที่ทำขึ้นจากสแตนเลส บางคนมีชุดทดลองขนาดเล็ก บางคนมีชุดเขย่าด้วยขวด ทั้งนี้ขึ้นกับความพร้อมของแต่ละคน แต่ที่สำคัญควรมีอุปกรณ์ป้องกันภัย ได้แก่ แวนตากันสารเคมี หมวกที่ปิดจมูก รองเท้าบูท หรือหุ้มเท้า น้ำยาล้างตา เป็นต้น (ภาพที่ 2.9)



ภาพที่ 2.9 การเตรียมสารเคมีเพื่อเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการผลิตไบโอดีเซล

เตรียมน้ำมันพืชหรือน้ำมันสัตว์ที่ใช้แล้ว ขั้นตอนนี้มีความสำคัญ เพราะน้ำมันพืช/สัตว์ตั้งต้นจะเป็นปัจจัยหลักตัวหนึ่งที่จะบ่งบอกคุณภาพของไบโอดีเซลที่ผลิตได้ หากเป็นน้ำมันเก่าใช้แล้วต้องทำการเตรียมน้ำมัน เพื่อให้น้ำมันที่นำมาใช้มีความใส ไม่ขุ่นข้น (ภาพที่ 2.10) วิธีการเตรียมมีหลายวิธีดังนี้

กรองน้ำมันที่ผ่านการปรุงอาหารแล้วใส่หม้อ จากนั้นนำน้ำมันมาตั้งทิ้งไว้ รอให้แยกชั้น ดึงเอาแต่ชั้นใสไปเข้าถังพักน้ำมันดีเพื่อ ส่วนล่างที่เป็นตะกอนให้นำไปผสมน้ำเล็กน้อย (ประมาณ 10-15%) แล้วต้มที่อุณหภูมิ 100-120 องศาเซลเซียส ให้เดือดอยู่ที่ 100 องศาเซลเซียสขึ้นไปประมาณ 15 นาที อาจใช้เตาแก๊ส หรือเตาถ่าน จากนั้นทิ้งไว้ให้แยกชั้นอีก 1-2 วันแล้วนำส่วนที่ใสมารวมในถังน้ำมันดี และใช้น้ำมันส่วนที่ใสมาทำปฏิกิริยา และเมื่อได้ น้ำมันมาทั้งหมดให้นำไปผสมน้ำเล็กน้อยแล้วต้มที่อุณหภูมิ 100-120 องศาเซลเซียส ให้เดือดอยู่ที่ 100 องศาเซลเซียสขึ้นไปประมาณ 15 นาที โดยต้องคนตลอดเวลาเนื่องจากน้ำที่ใส่ลงไปจะปะทุดันน้ำมันให้พุ่งขึ้นเมื่อถึงจุดเดือด อาจก่อให้เกิดอันตรายแก่ผู้ปฏิบัติงานได้ จากนั้นยกลง ทิ้งไว้ให้แยกชั้นใสอีก 1-2 วัน เอาแต่ชั้นใสไปทำไบโอดีเซล ส่วนน้ำที่เหลือชั้นล่าง หมักทำปุ๋ยหมักเพื่อรดน้ำต้นไม้

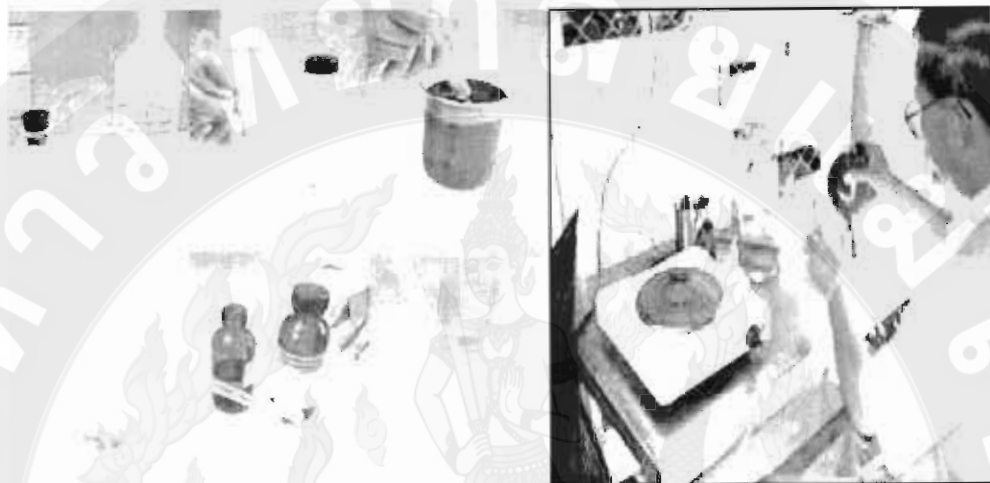


ภาพที่ 2.10 การเตรียมน้ำมันใช้แล้วเพื่อผลิตไบโอดีเซล

หาปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่ต้องใช้ โดยการไทเทรต น้ำมันพืชใช้แล้วมีค่าความเป็นกรดสูงกว่าน้ำมันใหม่ เพราะเมื่อน้ำมันพืชได้รับความร้อน ตำแหน่งของไฮโดรเจนในโมเลกุลจะทำให้เกิดเป็นสภาพกรดได้ง่าย และเกิดเป็นกรดไขมันอิสระขึ้น กรดไขมันอิสระเป็นผลมาจากการทอดน้ำมันให้ร้อน มันจะลอยเป็นอิสระปะปนอยู่กับไตรกลีเซอไรด์ในน้ำมัน ความเป็นอิสระของกรดไขมันเหล่านี้ คือ การที่มันพร้อมที่จะเข้าทำปฏิกิริยาตลอดเวลาเมื่อเจอกับด่าง และนี่เองที่เป็นตัวการสำคัญที่จะทำให้เกิด “ เยล ” (Jelly) ในการทำไบโอดีเซล ดังนั้นเราต้องกำจัดกรดไขมันอิสระเหล่านี้ออกจากน้ำมันก่อนทำปฏิกิริยา

การกำจัดกรดไขมันอิสระในน้ำมันพืชใช้แล้ว ต้องใช้ต่างซึ่งคือตัวเร่งปฏิกิริยาในปริมาณที่มากขึ้น กระบวนการตรงนี้ คือ การทำให้กรดไขมันอิสระเป็นกลาง (Neutralizing) จะใช้ตัวเร่ง

ปฏิกิริยาในปริมาณเท่าใดนั้นขึ้นอยู่กับว่าน้ำมันเป็นกรดมากน้อยแค่ไหน การหาค่ากรดไขมันอิสระ เพื่อหาปริมาณที่ต้องใช้ในปริมาณที่พอดีนั่น ทำโดยการไทเทรต (ภาพที่ 2.11) โดยมีวิธีการไทเทรตดังนี้



ภาพที่ 2.11 การไทเทรต

1) เตรียม น้ำโซดาไฟ 0.1% โดยใช้ โซดาไฟ 5 กรัม กับน้ำกลั่น 500 ซีซี. ละลายเก็บไว้ก่อนทำการไตเตรท ให้เอาน้ำโซดาไฟที่ละลายไว้ 5 ซีซี. ผสมกับน้ำกลั่น 45 ซีซี. ก็จะได้น้ำโซดาไฟ 0.1% (สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 0.1 นอร์มอล)

2) เตรียมฟีนอล์ฟทาลีน 1% โดยใช้ฟีนอล์ฟทาลีน 5.00 กรัม ละลายในไอโซโพรพานอล หรือ เมทิลแอลกอฮอล์ ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร กรณีผสมเอง หรือ แบบผสมเสร็จเป็นขวดก็ยี้งสะดวก

3) นำน้ำมันพืชเก่าใส่น้ำ แล้วจำนวน 1 ซีซี. ผสมกับ ไอโซโพรพานอล 10 ซีซี. และ ฟีนอล์ฟทาลีน 1% (Phenolphthalein) 2-3 หยด คนให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกัน เพื่อความสะดวกและความแม่นยำมากขึ้น เราสามารถเพิ่มจำนวนน้ำมันในการทดสอบได้ เช่น ใช้น้ำมัน 3 ซีซี. ไอโซโพรพานอล 30 ซีซี. และ ฟีนอล์ฟทาลีน เป็น 7-9 หยด เป็นต้น และผลลัพธ์ ที่ได้ต้องหาร 3 ตามเท่าของปริมาณที่เพิ่มขึ้น เช่น ได้ผลลัพธ์ 19.5 กรัม ปริมาณที่ใช้จริงเท่ากับ $19.5/3 = 6.5$ กรัม

4) นำ น้ำโซดาไฟ 0.1% มาหยดใส่ น้ำมันที่ผสม ไอโซโพรพานอล และ ฟีนอล์ฟทาลีน ไว้แล้ว โดยใช้หลอดหยด (dropper) และนับจำนวนหยดที่ใส่ ลงไปจนน้ำมันเป็นมีสีม่วงชมพู โดยเว้นระยะห่าง แต่ละหยดซัก 1 วินาที

5) ทันที ที่สีเปลี่ยนเป็นสีม่วงชมพู ให้หยุดหยด และนับเวลา 30 วินาที หากยังเปลี่ยนสีก็ให้หยุดต่อไป จนสีคงที่ ให้ใช้จำนวนหยดนี้ในการคำนวณหาสัดส่วน ของแอลกอฮอล์กับตัวเร่งปฏิกิริยา (โซดาไฟ)

6) โดย ปกติทั่วไป 1 หยด dropper เท่ากับ 0.06 มล. เพราะฉะนั้น จำนวนหยด $\times 0.06$ จะได้จำนวนปริมาณ มิลลิลิตร ของโซดาไฟที่ต้องใช้ในการปรับสภาพกรดในน้ำมัน ให้เป็นกลาง (หากใช้หลอดเติมฉีดยา ให้ดูว่าใช้ไปจำนวนเท่าไร) แล้วจึงบวกด้วย 3.5 (ปริมาตรมาตรฐานที่ใช้กับน้ำมันพืชใหม่) จึงจะเป็นปริมาณการใช้โซดาไฟที่แท้จริง สมมติว่า ใช้ น้ำโซดาไฟ 0.1% ไปทั้งหมด 50 หยด ปริมาณการใช้โซดาไฟ = 0.06×50 เท่ากับ 3 กรัม + 3.5 = 6.5 กรัม/ลิตร หรือหากใช้หลอดเติมฉีดยา และใช้ไป 3 ซีซี. เท่ากับต้องใช้โซดาไฟ $3 + 3.5 = 6.5$ กรัม (หากใช้โปตัสเซียมโครไรด์ 95% เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ให้ + 5 กรัม ถ้าความเข้มข้นต่ำที่ประมาณ 85% ให้ + 6 กรัม)

การเทียบปริมาตร 1 cc. = 1g. = 1ml. , 16 drops = 1 cc. = 1ml. , 1 drop = 0.06 ml

การคำนวณหาค่ากรดไขมันอิสระ กรดไขมันอิสระ = ปริมาตรต่างที่ใช้ (มิลลิลิตร) $\times$ ความเข้มข้นต่าง (นอร์มัล) $\times 28.2$ / น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม) เช่น $6.5 \times 0.1 \times 28.2 / 10 = 1.8 \%$

หมายเหตุ: กรณีค่าไทเทรตหาค่าสารตัวเร่งปฏิกิริยา (ต่าง) ที่ต้องใช้ รวมแล้วมากกว่า 10 กรัม ต่อน้ำมัน 1 ลิตร แสดงว่าค่าความเป็นกรดไขมันอิสระ (FFA) ของน้ำมันสูงกว่า 3 % มาก ซึ่งอาจจะทำให้เกิดความเสียหาย ในการทำไบโอดีเซลได้ จึงต้องหาทางลดค่ากรดไขมันอิสระเสียก่อน เข้าสู่ขบวนการผลิตต่อไป โดยการทำปฏิกิริยาแบบ 2 ขั้นตอน คือ กรด และ ต่าง

2.11.2 ขั้นตอนการทำปฏิกิริยา Transesterification

ขั้นแรกทำการอุ่นน้ำมันให้อุณหภูมิอยู่ระหว่าง 50-60 °C หากมีน้ำปนต้องต้มให้เดือด เพื่อไล่ไอน้ำจนหมด แล้วรอให้อุณหภูมิลดลงอยู่ที่ 50-60 °C หากสูงเกินกว่านี้ จะทำให้เมทานอลระเหยได้ จากนั้นเติมเมทานอลที่ละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ไว้แล้ว โดยการใช้ปั๊มดูดเมทานอลและน้ำมันพืชผสมผ่านปั๊มวนในถังให้เข้ากันจนเป็นเนื้อเดียวกัน (ภาพที่ 2.12)

ข้อควรระวัง วิธี การปล่อยโซเดียมเมทอกไซด์ (เมทานอล+โซดาไฟ) แบบผสมเข้าทางท่อดูดน้ำมันแบบนี้ต้องค่อยๆ ปล่อยไหลเข้าไปทีละน้อย อย่างช้าๆ ก่อนจะเกิดปฏิกิริยาทางเคมี สังเกตเห็นน้ำมันยังใส ขณะผสม น้ำมันก็เริ่ม ขุ่นขึ้น ต่อมาจะเกิดการแยกตัวของกลีเซอริน และน้ำมันกลับมาเริ่มใสอีกครั้ง ปล่อยให้กลีเซอริน แยกตัวออกไปโอดีเซล จนหมด อาจใช้เวลาหลายชั่วโมง ขึ้นอยู่กับปริมาณที่ผลิต



ก. ขั้นตอนการทำปฏิกิริยาด้วยแรงคน



ข. ขั้นตอนการทำปฏิกิริยาด้วยเครื่องผลิตไบโอดีเซล

ภาพที่ 2.12 การทำปฏิกิริยาด้วยแรงคน (ก) และการทำปฏิกิริยาด้วยด้วยเครื่องผลิตไบโอดีเซล (ข)

2.11.3 ขั้นตอนการแยกกลีเซอรินออกจากน้ำมัน

ภายหลังจากเขย่าหรือกวน ตั้งทิ้งไว้ให้กลีเซอรินแยกตัว จะเห็นการแยกชั้นชัดเจนระหว่าง เมทิลเอสเตอ์ (ของเหลวสีเหลืองใส) กับ กลีเซอริน (สีน้ำตาลเหนียวถึงเป็นก้อน) หากเป็นการ ทดลองขนาดปริมาณน้อยๆ ประมาณไม่เกิน 1 ลิตร ใช้เวลาแยกตัวประมาณ 2-4 ชั่วโมง หาก ปริมาณมาก ต้องทิ้งไว้ไม่ต่ำกว่า 8 ชั่วโมง อาจทิ้งตากแดดจะช่วยให้เกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องที่ สมบูรณ์ยิ่งขึ้นและแยกตัวเร็วขึ้น ภายในหนึ่งชั่วโมงจะสังเกตเห็นปริมาณกลีเซอรินตกออกมาเป็น ส่วนของเหลวหนืดๆ สีเข้มอยู่ด้านล่าง จากนั้นไขกลีเซอรินออก กลีเซอรินที่ได้อาจมีปริมาณตั้งแต่ 5-20% ดังภาพที่ 2.13



ก. การแยกชั้นของกลีเซอรินและการแยกกลีเซอรินออกจากน้ำมันไบโอดีเซลด้วยแรงคน



ข. การแยกชั้นของกลีเซอรินและการแยกกลีเซอรินออกจากน้ำมันไบโอดีเซลด้วยเครื่องผลิต

ภาพที่ 2.13 การแยกชั้นของกลีเซอรินและการแยกกลีเซอรินออกจากน้ำมันไบโอดีเซล

2.11.4 ขั้นตอนการล้างน้ำมันไบโอดีเซล

ทำการแยกน้ำมันไบโอดีเซลที่อยู่ด้านบนจะมีสีใส (กลีเซอรินอยู่ด้านล่างมีสีดำคล้ำ) มาทำการล้างด้วยน้ำ เพื่อขจัด กลีเซอริน, เมทานอล, สารเร่งที่ตกค้างหลงเหลืออยู่และสิ่งสกปรกอื่นๆ ที่ปนอยู่ในน้ำมัน ออกไป แล้วนำไบโอดีเซลใสในถังล้าง เติมน้ำเปล่าเท่ากับหนึ่งในสามของน้ำมันไบโอดีเซล ใช้ท่อพีวีซี ปิดหัว แล้วใช้หัวมินิสปริงเกอร์แบบฉีดฝอย หาซื้อได้จาก ร้านขายเครื่องมือเกษตร น้ำหยด วางท่อฉีดฝอยด้านบนดังรูป ข้อสำคัญ ปั่นน้ำควรมีตัวควบคุมไฟที่เรียกว่าติเมอร์ คุณไม่ให้ปั้มน้ำหมุนเร็วเกินไป จะทำให้แรงดันน้ำมัน ฉีดแรงเกินไป เพราะรูสปริงเกอร์ ออกมีขนาดเล็กมาก อาจทำให้ท่อพลาสติกและ สปริงเกอร์ หลุดหรือแตกเสียหายได้ วางท่อฉีดฝอยบนถังล้าง ฉีดน้ำฝอยแรงพอประมาณ ลงบนน้ำมันไบโอดีเซล จนน้ำล้างเริ่ม มีสีขาวขุ่นมาก ก็เปลี่ยนน้ำใหม่ ทำอีก 1-2 ครั้ง หรือทดสอบที่ค่าน้ำล้าง ให้มีค่าเป็นกลาง (PH7) ให้มากที่สุด (ดังภาพที่ 2.14)



ก. การล้างน้ำมันไบโอดีเซลจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลด้วยแรงคน

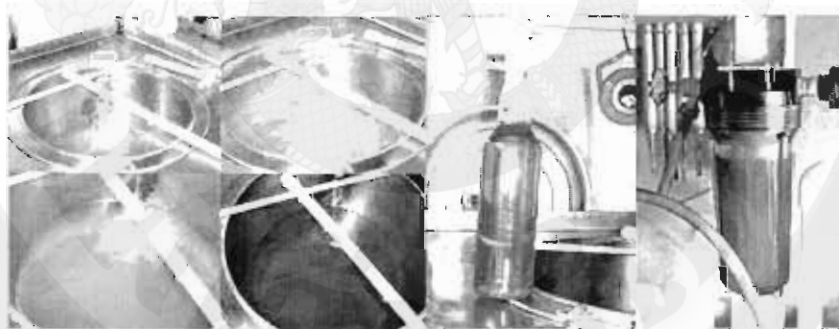


ข. การล้างน้ำมันไบโอดีเซลจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลด้วยเครื่องผลิต

ภาพที่ 2.14 การล้างน้ำมันไบโอดีเซล

2.11.5 ขั้นตอนการกำจัดน้ำออกจากน้ำมันไบโอดีเซล

นำน้ำมันไบโอดีเซลที่ผ่านขบวนการล้างน้ำแล้ว มาอุ่นให้ร้อน 70-80 องศา ใช้อุปกรณ์จีดฝอยหรือหัวผักบั่ว วางบนถังต้มไล่ไอน้ำ จีดฝอยไปเรื่อยๆ ให้ความชื้นออกจากน้ำมัน จนน้ำมันใสและทำต่อไปอีกสัก 15-20 นาที หรือนำน้ำมันใส่ขวดส่องดูตัวหนังสือด้านหลังเห็นชัดเจน ก็เป็นอันใช้ได้ครับ นำน้ำมันไปกรองอีกครั้ง ด้วยผ้ากรอง หรือ อุปกรณ์กรองน้ำ ที่มีความละเอียด 1 ไมครอน ก่อนนำไปใช้งาน ดังภาพที่ 2.15



ภาพที่ 2.15 การกำจัดน้ำหรือการไล่ความชื้นออกจากน้ำมันไบโอดีเซล

2.11.6 ขั้นตอนการจัดเก็บน้ำมันไบโอดีเซล

หลังจากการกำจัดน้ำหรือไล่ความชื้นออกจากน้ำมันไบโอดีเซลแล้ว ให้นำน้ำมันไปกรองอีกครั้ง ด้วยผ้ากรอง หรือ อุปกรณ์กรองน้ำ ที่มีความละเอียด 1 ไมครอน ก่อนนำไปใช้งานหรือนำเข้าสู่ถังเก็บต่อไป แสดงในภาพที่ 2.16



ภาพที่ 2.16 ถังเก็บน้ำมันไบโอดีเซลที่ได้จากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล

2.12 ประโยชน์ของการใช้ไบโอดีเซล

2.12.1 ด้านสิ่งแวดล้อม การใช้ไบโอดีเซลสามารถลดมลพิษทางอากาศ ซึ่งเป็นผลจากการเผาไหม้ในเครื่องยนต์ คณะกรรมการไบโอดีเซลแห่งชาติ (National Biodiesel) และสำนักงานป้องกันสิ่งแวดล้อม (US Environment Protection Agency) ของประเทศสหรัฐอเมริกา ได้ทำวิจัยและทดลองใช้น้ำมันไบโอดีเซลสูตรต่างๆ กับเครื่องยนต์ดีเซล และได้รายงานว่ไบโอดีเซลสูตร B100 และ B20 สามารถลดมลพิษลดปล่อยจากการเผาไหม้ได้อย่างมีนัยสำคัญ ในวณกรมอุตุนิยมวิทยา กองทัพอากาศ ก็ได้รายงานผลการทดลองใช้น้ำมันไบโอดีเซลกับเครื่องยนต์ดีเซลขนาด 145 แรงม้า ว่าสามารถลดควันดำได้มากกว่าร้อยละ 40 การใช้ไบโอดีเซลสามารถลดการปล่อยแก๊สเรือนกระจก เพราะผลิตจากพืช การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว ช่วยลดการนำน้ำมันที่ใช้แล้วไปประกอบอาหารซ้ำ และยังช่วยป้องกันมิให้น้ำมันพืชที่ใช้แล้ว

2.12.2 ด้านสมรรถนะเครื่องยนต์ การผสมไบโอดีเซลในระดับร้อยละ 1-2 สามารถช่วยเพิ่มดัชนีการหล่อลื่นให้กับน้ำมันดีเซล จากผลการทดลองของสถาบันวิจัยและเทคโนโลยีของบริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน) พบว่าการเติมไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันพืชที่ใช้แล้วและน้ำมันมะพร้าวในอัตราร้อยละ 0.5 สามารถเพิ่มดัชนีการหล่อลื่นได้ถึง 2 เท่า ประสิทธิภาพการเผาไหม้ดีขึ้น เนื่องจากไบโอดีเซลมีออกซิเจนผสมอยู่ประมาณร้อยละ 10 ทำให้การผสมระหว่างอากาศกับน้ำมันมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ และเป็นการเพิ่มอัตราส่วนปริมาณตรของอากาศต่อน้ำมันได้เป็นอย่างดีจึงทำให้การเผาไหม้ดีขึ้น ถึงแม้ว่าค่าความร้อนของไบโอดีเซลจะต่ำกว่าน้ำมันดีเซลประมาณร้อยละ 10 แต่ข้อด้อยนี้ไม่มีผลกระทบต่อการใช้งาน เพราะการใช้ไบโอดีเซลทำให้การเผาไหม้ดีขึ้น

2.12.3 ด้านเศรษฐศาสตร์ การใช้ไบโอดีเซลช่วยสร้างงานในชนบทด้วยการสร้างตลาดพลังงานไว้รองรับผลผลิตทางการเกษตรที่เหลือจากการบริโภค การใช้ไบโอดีเซลสามารถช่วยลดการนำเข้าน้ำมันดิบจากต่างประเทศได้บางส่วน ซึ่งในแต่ละปีประเทศไทยสูญเสียเงินตราต่างประเทศเพื่อการนำเข้าน้ำมันดิบกว่า 300,000 ล้านบาท

2.12.4 ด้านการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงในประเทศ

ประเทศไทยมีสัดส่วนการใช้น้ำมันดีเซลสูงกว่าน้ำมันเบนซินมาก ตลาดน้ำมันดีเซลในประเทศไทยมีมูลค่ามากกว่าน้ำมันเบนซินกว่า 2 เท่า และในอนาคตมีแนวโน้มที่โรงกลั่นอาจจะผลิตน้ำมันดีเซลไม่เพียงพอต่อการใช้อยู่ในประเทศ ดังนั้นการใช้ไบโอดีเซลจึงช่วยลดความไม่สมดุลของการผลิตของโรงกลั่นได้ การผสมน้ำมันไบโอดีเซลในอัตราส่วนร้อยละ 1-2 สามารถเพิ่มความหล่อลื่นในน้ำมันดีเซลได้ โดยเฉพาะกรณีที่จะมีการลดปริมาณกำมะถันในน้ำมันดีเซล

2.13 เครื่องยนต์ดีเซล

เครื่องยนต์ดีเซลถูกใช้งานกันอย่างกว้างขวาง เป็นต้นกำลังในการขับเคลื่อนยานพาหนะขับเคลื่อนเครื่องจักรกลหนัก เครื่องจักรกลการเกษตร รวมทั้งเครื่องทุ่นแรงต่าง ๆ ในการปลูกสร้างบ้านเรือน และถนนหนทาง ทั้งนี้เนื่องจากเครื่องยนต์ดีเซลให้ความมั่นใจแก่ผู้ใช้ได้สูงกว่า ด้วยเหตุนี้เครื่องยนต์ดีเซลจึงมีบทบาทสำคัญยิ่งสำหรับยานพาหนะทั่วโลก รถยนต์โดยสาร รถไฟ และเรือเดินทะเลเพื่อขนถ่ายคน ขนถ่ายสินค้า วัตถุประสงค์ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมระหว่างเมือง ระหว่างประเทศทั่วทุกมุมโลก จึงอาจกล่าวได้ว่า เครื่องยนต์ดีเซลเป็นเครื่องยนต์ต้นกำลังที่มีความสำคัญต่อชีวิตของประชากรโลกมากกว่าเครื่องยนต์ประเภทอื่น

เครื่องยนต์ดีเซล มีหน้าที่เปลี่ยนพลังงานความร้อนจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงเป็นพลังงานกลเหมือนกันกับเครื่องยนต์ประเภทอื่น แต่มีข้อดีที่เหนือกว่าคือ ความประหยัด ความเชื่อถือได้ และให้ประสิทธิภาพทางความร้อนสูงกว่ามาก ซึ่งประสิทธิภาพทางความร้อนสูงถึง 34% ในขณะที่เครื่องยนต์เบนซินมีประสิทธิภาพทางความร้อนเพียง 23% เครื่องกังหันไอน้ำ 28% เครื่องกังหันก๊าซ 16% และเครื่องจักรไอน้ำมีประสิทธิภาพทางความร้อนต่ำสุดเพียง 8% เท่านั้น

เครื่องยนต์ดีเซลในปัจจุบันสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภทใหญ่ๆ ตามรอบการทำงานของเครื่องยนต์ คือ เครื่องยนต์ดีเซลรอบสูง รอบปานกลาง และรอบช้า โดยทั่วไปขนาดของเครื่องยนต์ จะเป็นสัดส่วนผกผันกับรอบของเครื่อง กล่าวคือ เครื่องยนต์ดีเซลหมุนช้าจะมีขนาดใหญ่ และเครื่องยนต์ดีเซลหมุนเร็วจะมีขนาดเล็ก เป็นต้น

เครื่องยนต์ดีเซลหมุนช้า รอบเครื่องต่ำกว่า 350 รอบ/นาที

เครื่องยนต์ดีเซลหมุนปานกลาง รอบเครื่องประมาณ 350-1,000 รอบ/นาที

เครื่องยนต์ดีเซลหมุนเร็ว รอบเครื่องสูงกว่า 1,000 รอบ/นาที

เครื่องยนต์ดีเซลหมุนช้า เครื่องยนต์ดีเซลชนิดนี้นิยมใช้ในการขนส่งทางทะเล เช่น เรือเดินสมุทรขนาดใหญ่ ส่วนใหญ่จะเป็นเครื่องยนต์ 2 จังหวะแบบแบ่งการหล่อลื่นลูกสูบ และแบร์ริงข้อเหวี่ยงออกจากกัน เนื่องจากเครื่องยนต์ประเภทนี้ใช้น้ำมันเตาซึ่งมีปริมาณกำมะถันสูงเป็นเชื้อเพลิงในระหว่างเครื่องยนต์ทำงานจะเกิดการตกกำมะถันซึ่งเกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงขึ้นสูงมากมายในห้องเผาไหม้บริเวณผนังลูกสูบและแหวนลูกสูบจะมีค่าความเป็นด่างสูงกว่าน้ำมันหล่อลื่นแบร์ริงข้อเหวี่ยงมาก ซึ่งน้ำมันในส่วนของลูกสูบจะถูกเผาไหม้ไปพร้อมกับเชื้อเพลิงส่วนน้ำมันหล่อลื่นแบร์ริงข้อเหวี่ยงจะเป็นระบบหมุนเวียน

เครื่องยนต์ดีเซลรอบปานกลาง เครื่องยนต์รอบปานกลางจะพบได้ในการขนส่งทางรถไฟ เช่น เป็นตัวจักรดันกำลังของรถไฟ เป็นต้น เครื่องยนต์ประเภทนี้ใช้เชื้อเพลิงที่มีกำมะถันไม่สูงมาก จึงมีระบบหล่อลื่นเป็นแบบหมุนเวียนระบบน้ำมันหล่อลื่นลูกสูบและแบร์ริงข้อเหวี่ยงใช้ร่วมกัน สำหรับเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงมีกำมะถันค่อนข้างสูงควรใช้น้ำมันเครื่องที่มีค่าความเป็นด่าง (TBN) ค่อนข้างสูงหรือตามที่คุณผลิตแนะนำไว้

เครื่องยนต์ดีเซลหมุนเร็ว เครื่องยนต์ชนิดนี้นิยมใช้ในการขนส่งทางรถยนต์ทั่วไป เช่น รถกระบะ หรือรถบรรทุก ระบบหล่อลื่นจะเป็นระบบหมุนเวียน น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้จะมีค่าความเป็นด่างไม่สูงมากนัก เนื่องจากเครื่องยนต์ชนิดนี้ใช้น้ำมันโซล่า (Diesoline) ที่มีกำมะถันต่ำกว่าเชื้อเพลิงดีเซลประเภทอื่น แต่อย่างไรก็ตาม ควรเลือกใช้น้ำมันเครื่องที่มีมาตรฐานตามที่ผู้ผลิตเครื่องยนต์ได้แนะนำไว้

2.14 ระบบการทำงานของเครื่องยนต์ดีเซล 4 จังหวะ

เครื่องยนต์ดีเซล 4 จังหวะ หมายถึงการทำงานของเพลาช้อเหลี่ยมหมุนไปครบ 2 รอบ หรือ 720 องศา มีการทำงานแบ่งออกเป็น 4 จังหวะ คือ จังหวะดูด จังหวะอัด จังหวะระเบิด และ จังหวะคาย โดยที่ลูกสูบเลื่อนขึ้น 2 ครั้ง เลื่อนลง 2 ครั้ง ในห้องสูบทำงานครบ 1 กลวัฏ ซึ่งมีลำดับการทำงานทั้ง 4 จังหวะ ดังต่อไปนี้

2.14.1. จังหวะดูด (Suction Stroke) เริ่มต้นที่ลูกสูบอยู่จุดศูนย์ตายบน ลิ้นไอดีเปิด ลิ้นไอเสียปิด เมื่อเพลาช้อเหลี่ยมหมุนตามเข็มนาฬิกา จะทำให้ลูกสูบเลื่อนลงเกิดความดันต่ำขึ้น

ภายในกระบอกสูบ อากาศจะถูกดูดผ่านลิ้นไอดีเข้ามาประจุในกระบอกสูบ จนกระทั่งลูกสูบเลื่อนลงถึงศูนย์ตายล่าง จังหวะนี้ลูกสูบเลื่อนจากศูนย์ตายบนถึงศูนย์ตายล่าง เพลาข้อเหวี่ยงหมุนไป 180 องศา

2.14.2. **จังหวะอัด (Compression Stroke)** เมื่อลูกสูบเลื่อนผ่านศูนย์ตายล่างก็เริ่มต้นจังหวะอัด ลิ้นไอดีถูกปิด ลิ้นไอเสียยังปิดสนิทอยู่ ลูกสูบถูกผลักดันให้เลื่อนขึ้น โดยเพลาข้อเหวี่ยง อากาศที่อยู่ภายในกระบอกสูบจึงถูกอัดตัวให้มีความดันและความร้อนสูงขึ้น เมื่อลูกสูบเลื่อนขึ้นถึงศูนย์ตายบน อากาศจะถูกอัดตัวให้มีปริมาตรเล็กลง ประมาณ $1/16$ ของปริมาตรเดิมมีความดันจากการอัดตัวเมื่อสิ้นสุดจังหวะอัด 450 – 650 ปอนด์/ตารางนิ้ว อัตราส่วนการอัดประมาณ 14:1 ถึง 23:1 และอุณหภูมิสูงขึ้นประมาณ 450-650 องศาเซลเซียส จังหวะนี้ลูกสูบเลื่อนจากศูนย์ตายล่างถึงศูนย์ตายบนเพลาข้อเหวี่ยงหมุนไป 180 องศา

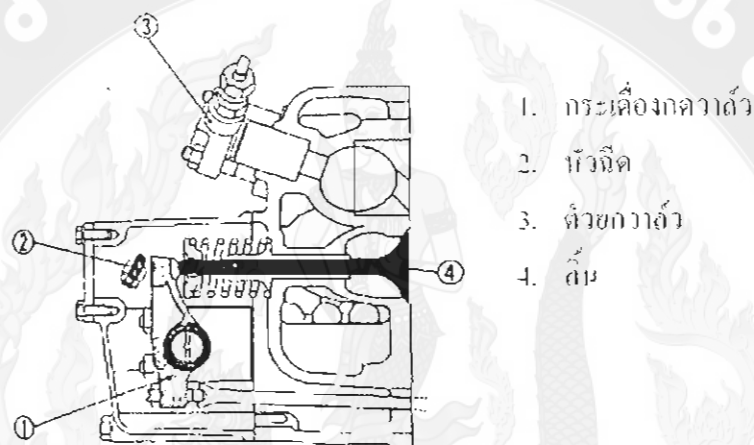
2.14.3. **จังหวะระเบิด (Expansion Stroke)** ณ ตำแหน่งลูกสูบเลื่อนขึ้นก่อนถึงศูนย์ตายบนนั้น หัวฉีดจะฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงเข้ามาในกระบอกสูบ เมื่อลูกสูบทำการอัดเชื้อเพลิงเข้าไปจนเกือบถึงจุดสูงสุดของกระบอกสูบ หรือจุดศูนย์ตายบน ขณะนี้หัวเทียนจะเกิดประกายไฟฟ้าขึ้น และทำการจุดให้ส่วนผสมในห้องเผาไหม้เกิดการลุกไหม้ขึ้นอย่างรวดเร็ว และจากพลังงานของการเผาไหม้ หรือการระเบิดนี้จะทำให้เกิดการผลักดันลูกสูบให้ลอยตัวต่ำลง และในจังหวะนี้เองที่ทำให้การทำงานต่าง ๆ ของเครื่องยนต์ในส่วนอื่นเริ่มขึ้น เนื่องจากสลักลูกสูบจะเลื่อนลงไปส่งกำลังให้ก้านสูบ เพลาข้อเหวี่ยง และส่วนอื่น ๆ ให้ทำงานต่อไป

2.14.4. **จังหวะคาย (Exhaust Stroke)** หลังจากที่เกิดการเผาไหม้ในกระบอกสูบแล้ว ลูกสูบจะเคลื่อนตัวต่ำลงไปสู่จุดศูนย์กลางตายล่าง และเมื่อลูกสูบเริ่มที่จะเคลื่อนขึ้นสู่จุดศูนย์กลางตายบนอีกครั้ง ลิ้นไอเสียจะเริ่มเปิดออกเพื่อระบายไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้ ให้ไหลออกไปทางท่อไอเสีย โดยอาศัยที่เคลื่อนขึ้นของลูกสูบในการผลักดันไอเสียภายในกระบอกสูบ ให้ไหลผ่านท่อดักเสียง เพื่อลดเสียงและความดันของไอเสียให้น้อยลง จากนั้นลิ้นไอเสียจะปิดเมื่อลูกสูบได้เลื่อนขึ้นไปจนเกือบถึงจุดศูนย์ตายบน

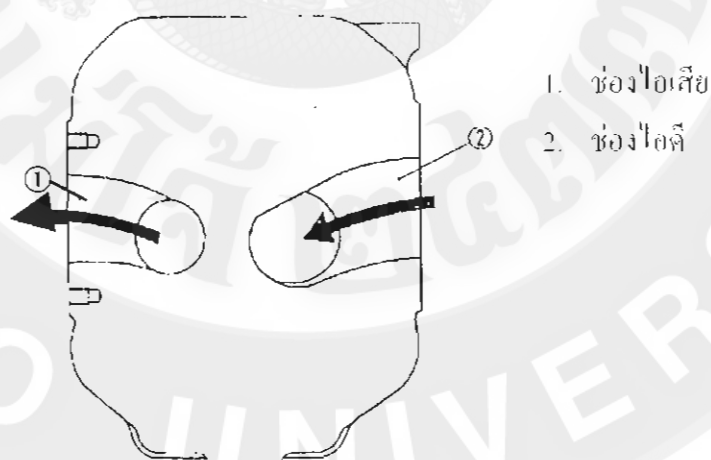
2.15 เครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กที่ใช้ในการทดสอบ

เครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กที่ใช้ในการทดสอบประกอบด้วยชิ้นส่วนที่สำคัญ ดังต่อไปนี้

2.15.1 ฝาสูบ ฝาสูบทำมาจากเหล็กผสมพิเศษ ซึ่งสามารถทนต่อความร้อนและแรงดันสูง ๆ ได้ ฝาสูบนี้เป็นชิ้นส่วนของเครื่องยนต์ที่ติดตั้งอยู่กับเสื้อสูบเป็นที่อยู่ของลิ้นไอดี ลิ้นไอเสีย กระเดื่องกดลิ้น หัวฉีด เป็นต้น (ภาพที่ 2.17)



ภาพที่ 2.17 ชิ้นส่วนฝาสูบ

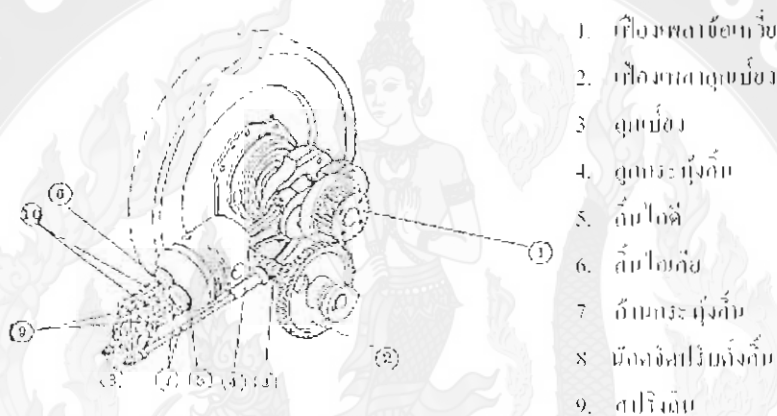


ภาพที่ 2.18 ช่องไอดี และช่องไอเสีย

ช่องไอดี และช่องไอเสีย (ภาพที่ 2.18) เป็นช่องที่ให้ไอดี และไอเสียผ่าน ช่องทั้งสองนี้อยู่ทางด้านข้างของฝาสูบช่องไอดีเป็นช่องที่ให้ไอดีผ่านเข้าไปในกระบอกสูบในจังหวะดูด ส่วนช่องไอเสียเป็นช่องที่ให้ไอเสียผ่านออกนอกกระบอกสูบในจังหวะคาย

2.15.2 กลไกวาล์วหรือลิ้น กลไกวาล์วหรือลิ้น (ภาพที่ 2.19) มีหน้าที่ปิดเปิดลิ้นไอดี และลิ้นไอเสียให้ถูกต้องกับจังหวะการทำงานของเครื่องยนต์ เช่น จังหวะดูดลิ้นไอดีเปิด จังหวะอัด และจังหวะระเบิด ลิ้นไอเสียและไอดีปิดสนิท จังหวะคาย ลิ้นไอเสียเปิด

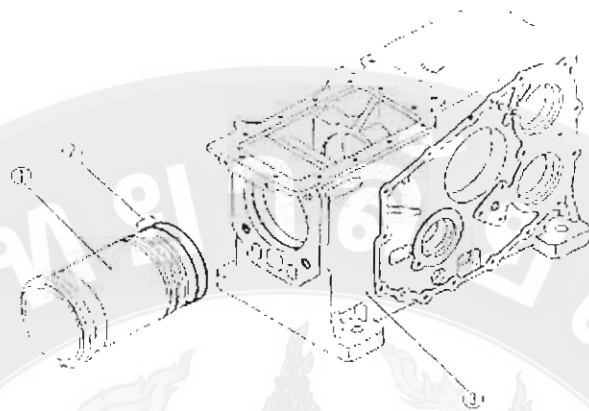
การทำงาน เฟืองเพลาลูกเบี้ยว (2) จะถูกขับโดยเฟืองเพลาช้อเหวี่ยง (1) เมื่อเฟืองเพลาลูกเบี้ยวหมุน ลูกเบี้ยว (3) ที่อยู่บนเพลาลูกเบี้ยว ก็จะไปตามันให้ลูกกระทุ้งลิ้น (4) ก้านกระทุ้งลิ้น (7) และกระเดื่องกดลิ้น (10) ซึ่งการปิดเปิดลิ้นนี้ จะต้องเป็นไปตามจังหวะการทำงานของเครื่องยนต์



ภาพที่ 2.19 กลไกวาล์วหรือลิ้น

ขณะที่เครื่องยนต์ทำงานลิ้นจะได้รับความร้อนอยู่ตลอดเวลา ดังนั้นจึงต้องมีช่องว่างเล็กน้อยอยู่ระหว่างกระเดื่องกดลิ้น และลิ้น เพื่อที่จะให้ลิ้นปิดสนิท ถ้าช่องว่างมีมากเกินไปจะทำให้ลิ้น เปิดน้อยและมีเสียงดังช่องว่างนี้สามารถปรับแต่งได้ด้วยน็อตจัดปรับ (8) ที่กระเดื่องกดลิ้น ลิ้นไอดี และลิ้นไอเสียทำมาจากเหล็กที่ทนต่อความร้อนแข็งและทนต่อการสึกหรอ สปริงลิ้น (10) ทำมาจากขดลวดสปริง

2.15.3 เสือสูบ และกระบอกสูบ เสือสูบ (ภาพที่ 2.20) หมายเลข3 ทำมาจากเหล็กหล่อสามารถทนต่อความร้อนและแรงดันสูง ๆ เสือสูบนอกจากจะมีหน้าที่เก็บน้ำมันหล่อลื่นแล้ว ภายในเสือสูบก็ยังมียังท่อทางเดินน้ำมันหล่อลื่นไปยังส่วนต่างๆ ของเครื่องยนต์ เช่น ไปยังตัวเรือนลูกปืน เฟืองเพลาช้อเหวี่ยง และที่เพลาช้อเหวี่ยง



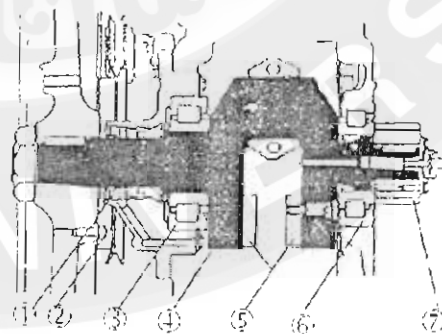
1. กระบอกสูบ 2. เพลาสูบ 3. เกลือสูบ

ภาพที่ 2.20 เกลือสูบ และกระบอกสูบ

กระบอกสูบ (รูปที่ 5) หมายเลข 1 ทำมาจากเหล็กหล่อชนิดพิเศษ แข็งและทนต่อการสึกหรอ อัดแน่นอยู่ในเกลือสูบ เนื่องจากกระบอกสูบแบบนี้เป็นกระบอกสูบแบบเปียก จะมีน้ำหล่อเย็นรอบ ๆ กระบอกสูบ ดังนั้น ด้านล่างของกระบอกสูบจะแหวนยาง (รูปที่ 5) หมายเลข 2 อยู่ ป้องกันไม่ให้น้ำไหลลงไปยังอ่างน้ำมันเครื่อง และป้องกันก๊าซรั่ว ทางด้านบนของกระบอกสูบจะมีส่วนต่างๆ ที่ยื่นออกมาจากเกลือสูบน้ำทำไว้เพื่อที่จะให้ปะเก็นฝาสูบอัดแน่นกับกระบอกสูบพอดี

2.15.4 เฟลาข้อเหวี่ยง และส่วนที่รองรับต่างๆ เฟลาข้อเหวี่ยง (ภาพที่ 2.21) เป็นตัวเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนขึ้น - ลง ของลูกสูบมาเป็นการหมุนรอบตัวเอง เพื่อส่งกำลังไปใช้งาน โดยส่งกำลังผ่านก้านสูบซึ่งต่ออยู่ระหว่างลูกสูบกับเฟลาข้อเหวี่ยง

1. ชุดกลไกข้อเหวี่ยง
2. ก้านสูบ
3. ลูกสูบ
4. เฟลาข้อเหวี่ยง
5. แกนข้อเหวี่ยง
6. ลูกสูบ
7. เฟลาข้อเหวี่ยง

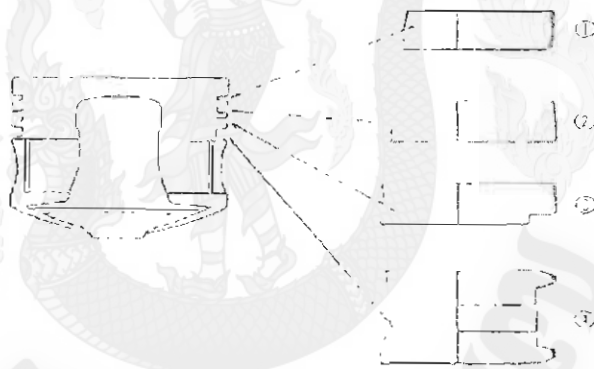


ภาพที่ 2.21 เฟลาข้อเหวี่ยง และส่วนที่รองรับต่างๆ

เฟลาข้อเหวี่ยงทำมาจากเหล็กที่มีคุณภาพสูง ส่วนของเฟลาข้อเหวี่ยงที่ติดอยู่กับก้านสูบที่รองรับลูกสูบทั้งสองข้างและที่วงแหวนน้ำมัน (2) สวมอยู่ ส่วนต่างๆ ที่กล่าวมานี้ จะทำให้แข็งเป็นพิเศษ เพื่อลดการสึกหรอของเฟลาข้อเหวี่ยง และเพื่อให้เกิดการสมดุลในขณะที่เฟลาข้อเหวี่ยง

หมุนดียิ่งขึ้น เครื่องยนต์คูโบต้ารุ่น ET 70 และ ET 80 จึงมีแผ่นถ่วงน้ำหนัก (5) ที่เพลาข้อเหวี่ยง ส่วนเครื่องยนต์คูโบต้ารุ่น ET 95 ET 110 และ 115 ได้ออกแบบให้เป็นเพลาสอดแทนเพลาข้อเหวี่ยงส่วนที่ติดอยู่กับลูกปืนตัวที่ 2 ส่วนที่ติดอยู่กับวงแหวนรูน้ำมันเครื่อง และส่วนที่ติดอยู่กับก้านสูบจะมีรูทางเดินน้ำมันเครื่องไปหล่อลิ้น น้ำมันเครื่องจากปั๊มจะถูกส่งมาตามช่องทางเดินน้ำมันเครื่องภายในเสื้อสูบแล้วมาหล่อลิ้นที่วงแหวนรูน้ำมัน และไหลผ่านเข้าไปในรูของเพลาข้อเหวี่ยงเพื่อไปหล่อลิ้นแบริงก้านสูบ แหวนรูน้ำมันเครื่องทำมาจากอลูมิเนียมผสมเหล็กหล่อ ส่วนซีลเพลาข้อเหวี่ยงมีไว้เพื่อป้องกันไม่ให้น้ำมันเครื่องรั่ว

2.15.5 ลูกสูบ และแหวนลูกสูบ ในขณะที่เครื่องยนต์ทำงานลูกสูบ (ภาพที่ 2.22) จะได้รับความร้อนและแรงดันสูงอยู่ตลอดเวลา ดังนั้น ลูกสูบจึงทำมาจากอลูมิเนียมผสมเหล็กหล่อ เมื่อได้รับความร้อนแล้วขยายตัวน้อยน้ำหนักเบาทนต่อความร้อนและทนต่อการสึกหรอ



1. แหวนลูกที่ 1 เป็นแหวนอัดคือป้องกันกำลังอัดรั่ว ผิวหน้าแหวนเป็นมัน
2. แหวนลูกที่ 2 (แหวนคล้อลึงคานบน) แหวนลูกที่ 3 เป็นสลัก
3. แหวนลูกที่ 3 แหวนเป็นสลักอะไหล่รอง
4. แหวนลูกที่ 4-5 (เป็นแหวนน้ำมัน) ไร้รอย

ภาพที่ 2.22 ลูกสูบ และแหวนลูกสูบ

เครื่องยนต์คูโบต้าบางรุ่น จะมีแหวนลูกสูบอยู่ 4 ตัว และบางรุ่นจะมีแหวนอยู่ที่ 5 ตัว

ก. แหวนตัวที่ 1 เป็นแหวนอัดคือป้องกันกำลังอัดรั่ว ผิวหน้าแหวนเป็นมัน นอกจากนี้แล้วยังออกแบบขอบแหวนไว้ให้พอดีกับกระบอกสูบและเพื่อป้องกันการสึกหรออย่างรวดเร็ว หรือไหม้ละลายติดกับกระบอกสูบที่ขอบแหวนจึงชุบโครเมียมไว้เพื่อให้ผิวของแหวนแข็งเป็นพิเศษ

ข. แหวนตัวที่ 2 เป็นแหวนอัดคือป้องกันกำลังอัดรั่ว ลักษณะคล้ายคลึงกับแหวนตัวที่ 1 แต่เป็นสีดำ และที่ขอบแหวนจะทำมุมเฉียง (ภาพที่ 2.22) หมายเลข 2 เพื่อที่จะให้สัมผัสกับกระบอกสูบพอดี และในขณะที่ลูกสูบเลื่อนลงมุมของแหวน ก็จะช่วยกวาดน้ำมันเครื่องด้วย

ค. แหวนตัวที่ 3 แหวนเป็นสีดำและมีร่องบาก ขอบแหวนจะทำเป็นมุมเฉียงไว้ (ภาพที่ 2.22) และด้านล่างจะทำเป็นร่องบากไว้กวาดน้ำมันเครื่อง ซึ่งแหวนวงที่ 3 นี้จะทำหน้าที่กวาดน้ำมันเครื่องได้ดีกว่าแหวนตัวที่ 2

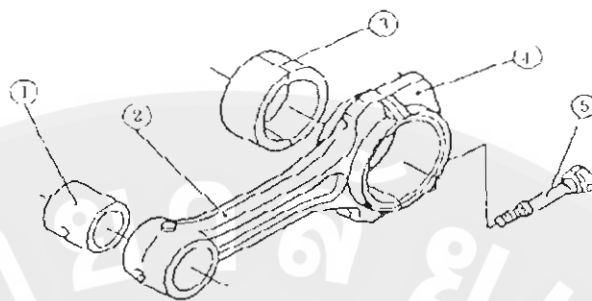
ง. แหวนตัวที่ 4 และ 5 เป็นแหวนน้ำมันจะเป็นรูไว้รอบ ๆ ขอบแหวนตัวที่ 4-5 นี้จะเป็นตัวพาน้ำมันเครื่องขึ้นไปหล่อลื่นผนังกระบอกสูบ และกวาดน้ำมันเครื่องกลับอ่างน้ำมันเครื่องใน ขณะที่ขอบแหวนทั้งด้านบนและด้านล่างของแหวนทั้งสองตัว จะชุบโครเมียมทำให้ผิวแข็งไว้

หมายเหตุ ในกรณีที่มีแหวน 5 ตัว แหวนตัวที่ 2, 3 จะเหมือนกัน ตัวที่ 4, 5 ก็เหมือนกัน

2.15.6 ก้านสูบและแบริ่งก้านสูบ ก้านสูบ (ภาพที่ 2.23) หมายเลข 2 ทำมาจากการหลอมเหล็กคาร์บอนขึ้นรูป สามารถทนต่อแรงกระแทกที่เกิดจากการระเบิดได้ดี ก้านสูบทางด้านที่ติดอยู่กับเพลาคือหัวจะยึดกับเพลาข้อเหวี่ยง จะถอดแยกออกได้โดยมีนอตยึดก้านสูบซึ่งออกแบบเป็นพิเศษไว้ ก้านสูบและฝาประกับก้านสูบก่อนที่จะมาผ่าแยกส่วนกันนั้นต้องเจียรไนให้ได้ขนาดเสียก่อน แล้วจึงผ่าแยกส่วนทีหลัง ดังนั้นฝาประกับก้านสูบ จะใส่กลับกันไม่ได้ โดยที่ฝาประกับก้านสูบ และที่ก้านสูบจะมีหมายเลขกำกับไว้

แบริ่งก้านสูบ หมายเลข 3 ทำมาจากทองแดงผสมตะกั่วและที่ผิวหน้าของแบริ่งก้านสูบจะชุบดีบุกไว้ จะช่วยให้สัมผัสกับเพลาคือหัวได้ดี แบริ่งก้านสูบนี้สามารถแยกออกเป็นสองส่วนได้ คือ ส่วนที่ติดอยู่กับก้านสูบ และส่วนที่ติดอยู่กับฝาประกับก้านสูบ

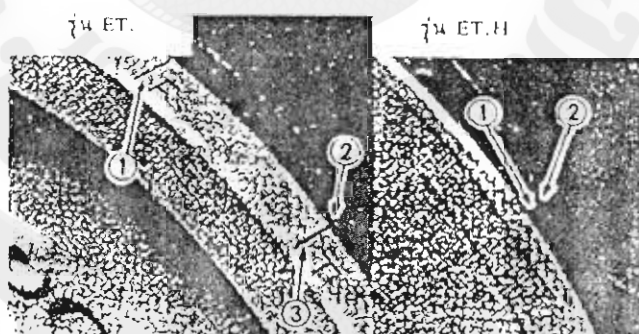
บูชก้านสูบ หมายเลข 1 ทำมาจาก ตะกั่วและทองแดง ที่ผิวของบูชจะมีดีบุกเคลือบไว้เพื่อช่วยให้ทนต่อแรงสั่นสะเทือน แรงกระแทก และความร้อนที่เกิดขึ้น



1. ขนกับสูบ
2. กับสูบ
3. แบริงกับสูบ
4. ฝาประกบกับสูบ
5. บัลลล์ประกับกับสูบ

ภาพที่ 2.23 ก้านสูบและแบริงก้านสูบ

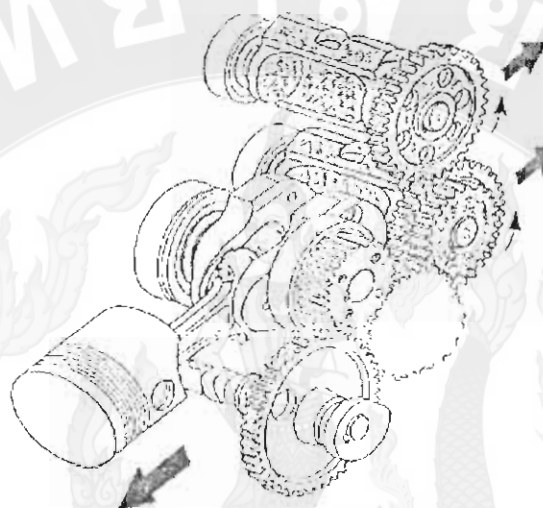
2.15.7 ล้อช่วยแรง ล้อช่วยแรง (ภาพที่ 2.24) ของเครื่องยนต์จะเป็นตัวสะสมแรงเฉื่อยของเครื่องยนต์ไว้ในจังหวะระเบิด เพื่อที่จะเอากำลังที่สะสมไว้ไปหมุนเพลาค้อเหวี่ยงในจังหวะต่อไปซึ่งจะทำให้เครื่องยนต์เดินเรียบ และที่ขอบของล้อช่วยแรงจะมีมาร์ค "T" เป็นมาร์คที่ลูกสูบอยู่ศูนย์ตายบนและมาร์ค "F" (รูปที่ 8) เป็นมาร์คที่หัวฉีดเริ่มฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง



1. มาร์ค (T) ป้อนจุดที่หัวฉีดเริ่มฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง
2. มาร์ค (F) จุดศูนย์ตายบน

ภาพที่ 2.24 ล้อช่วยแรง

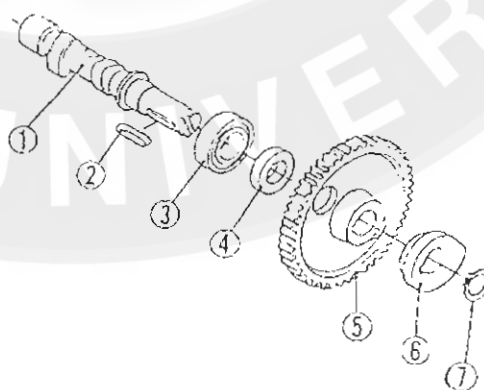
2.15.8 เพลาสมดุล (Balancer) เพลาสมดุล (ภาพที่ 2.25) ของเครื่องยนต์จะเป็นตัวสะสมแรงเฉื่อยที่เกิดจากการเคลื่อนขึ้นลงของลูกสูบอย่างรวดเร็วไว้ซึ่งจะมีผลทำให้ลดการสั่นสะเทือนของเครื่องยนต์และเสียงที่เกิดจากการสั่นสะเทือน มีอยู่ในเครื่องยนต์ตั้งแต่ 9.5 แรงม้าขึ้นไปสำหรับเครื่องยนต์คูโบต้ารุ่น ET



ภาพที่ 2.25 เพลาสมดุล (Balancer)

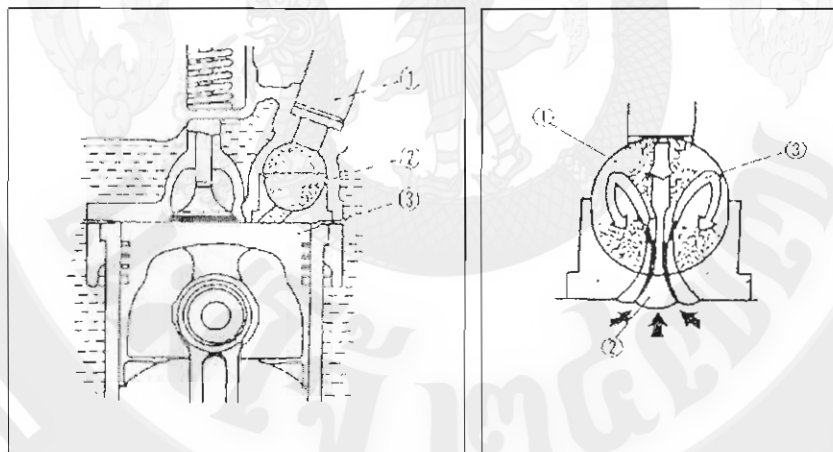
2.15.9 เพลาลูกเบี้ยว เพลาลูกเบี้ยว (ภาพที่ 2.26) ทำมาจากเหล็กหล่อขึ้นรูป ส่วนที่เป็นลูกเบี้ยวไอดี ไอเสีย และปลายเพลาลูกเบี้ยวจะทำให้แข็งไว้ ส่วนบนโค้งของยอดลูกเบี้ยวทั้งสอง จะช่วยให้การทำงานของลิ้นมีประสิทธิภาพขึ้น และในขณะเดียวกันก็จะช่วยลดเสียงดังได้ เพลาลูกเบี้ยวประกอบไปด้วยลูกเบี้ยวไอดี และลูกเบี้ยวไอเสียซึ่งจะเป็นตัวทำให้ลิ้นไอดีและลิ้นไอเสีย ปิด – เปิด และยังมีลูกเบี้ยวที่ใช้ควบคุมการทำงานของปั้มน้ำมันเชื้อเพลิง ที่ปลายเพลาลูกเบี้ยวจะเจาะร่องไว้เพื่อที่จะขับปั้มน้ำมันหล่อลื่น

1. เพลาลูกเบี้ยว
2. ค้อน
3. ลูกเบี้ยว
4. แกนเพลาลูกเบี้ยว
5. แกนเพลาลูกเบี้ยว
6. ลูกเบี้ยวไอดี
7. แกนเพลาลูกเบี้ยว



ภาพที่ 2.26 เพลาลูกเบี้ยว

2.15.10 ระบบห้องเผาไหม้ (Combustion Chamber) ห้องเผาไหม้มีความสำคัญ ที่จะทำให้ส่วนผสมระหว่างอากาศกับน้ำมันคลุกเคล้ากันให้ดีพอก่อนที่จะทำการเผาไหม้ ถ้าน้ำมันเชื้อเพลิงกับอากาศผสมกันไม่ดีพอแล้วก็จะทำให้การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ซึ่งจะทำให้กำลังของเครื่องยนต์ไม่ดี โดยเครื่องยนต์ที่นำมาทดสอบมีห้องเผาไหม้แบบ (swirl chamber) ห้องเผาไหม้แบบนี้มีห้องเผาไหม้ช่วยเป็นรูปทรงกลม (ภาพที่ 2.27) ซึ่งเรียกว่าห้องเผาไหม้แบบ (vertex) การเผาไหม้ส่วนใหญ่จะอยู่ที่ห้องเผาไหม้ ซึ่งแสดงในจังหวะอัดอากาศในห้องเผาไหม้ก็จะเกิดการหมุนวน เมื่อหัวฉีดน้ำมันมาปะทะกับอากาศที่ร้อนและมีแรงดันสูง แรงหมุนวนของอากาศก็จะทำให้อากาศกับน้ำมันผสมกันได้ดีพอก่อนที่จะเผาไหม้ ห้องเผาไหม้แบบนี้จัดให้มีใช้ในเครื่องยนต์คูโบต้ารุ่น KND, ET. และ ER จะมีช่องอากาศหมุนวน 3 ช่อง ซึ่งเรียกว่าแบบ TVCS (three vertex combustion system) ในระบบ ห้องการเผาไหม้ที่มีช่องอากาศหมุนวน 3 ช่องนี้ จะทำให้อากาศที่ถูกอัดขึ้นไปในจังหวะอัดเกิดการหมุนวนในห้องเผาไหม้ซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้สูง ระบบห้องเผาไหม้แบบนี้ทำให้สตาร์ทเครื่องยนต์ได้ง่าย และเสียงของเครื่องยนต์ดังน้อย



1. แก๊ส 2. ห้องเผาไหม้ 3. ลูกสูบ

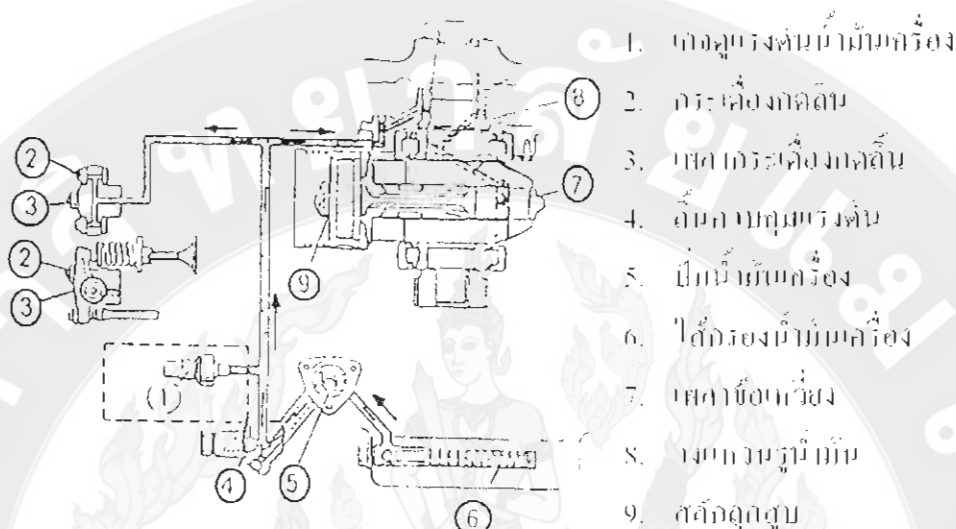
1. ห้องเผาไหม้ 2. ห้องอากาศหมุนวน 3. แก๊ส

ภาพที่ 2.27 ระบบห้องเผาไหม้ (Combustion Chamber)

2.15.11 ระบบหล่อลื่น

ก.ทิศทางการไหลของน้ำมันเครื่อง เครื่องยนต์ดีเซลคูโบต้ามีระบบหล่อลื่น (ภาพที่ 2.28) เป็นปั๊มแบบโรตารี น้ำมันเครื่องที่จะส่งไปหล่อลื่นจะต้องผ่านไส้กรอง (6) โดยอาศัยแรงดูดจากปั๊ม (5) ทั้งปั๊มและไส้กรองน้ำมันเครื่องนี้ จะอยู่ด้านข้างของฝาครอบเกียร์ น้ำมันเครื่องจะถูกควบคุมแรงดันด้วยลิ้นควบคุมแรงดัน (4) ให้แรงดันอยู่ระหว่าง 2.0 – 2.5 กก/ตร.ซม. (ไม่ว่าเครื่องยนต์จะมีความเร็วรอบเท่าไร) น้ำมันเครื่องที่มีแรงดันบางส่วนก็จะผ่านลิ้นควบคุมแรงดัน

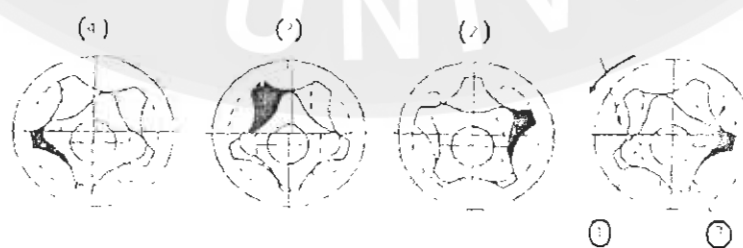
(4) ผ่านเกจดูแรงดัน (1) เข้าไปหล่อลื่นกระเดื่องกดลิ้น (2) และเพลากะเดื่องกดลิ้น (3) ที่ฝาสูบ และน้ำมันเครื่องบางส่วนก็จะไปหล่อลื่นแบร้งก้านสูบที่เพลาช้อเหวียง



ภาพที่ 2.28 ทิศทางการไหลของน้ำมันเครื่อง

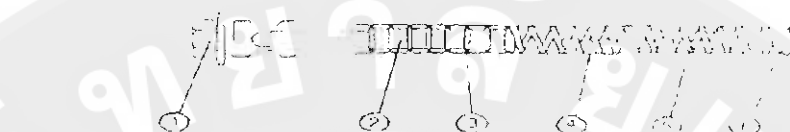
ส่วนอื่นๆ ของเครื่องยนต์ดังต่อไปนี้ เช่น ลูกสูบ ก้านสูบ บูช ส่วนที่รองรับเพลาลูกกระทุ้งลิ้น เฟืองต่างๆ และลูกปืน จะถูกหล่อลื่นด้วยการวิดสาดมาจากเพลาช้อเหวียงและจากเฟืองบางตัวที่แช่อยู่ในน้ำมันเครื่อง

ข. ปั้มน้ำมันหล่อลื่น ปั้มน้ำมันเครื่อง (ภาพที่ 2.29) ประกอบด้วยโรเตอร์ตัวใน (1) และโรเตอร์ตัวนอก (2) ทำหน้าที่ดูดและส่งน้ำมันเครื่องขึ้นไปหล่อเลี้ยงส่วนต่างๆ ของเครื่องยนต์ โรเตอร์ตัวในมี 4 ฟัน จะถูกขับโดยเพลาลูกเบี้ยว โรเตอร์ตัวในจะติดตั้งไว้เยื้องศูนย์กลางกับจุดศูนย์กลางของเรือนปั้มโรเตอร์ 4 ฟัน สวมอยู่กับตัวเรือนปั้ม เมื่อโรเตอร์ตัวในหมุนก็จะขับให้โรเตอร์ตัวนอกหมุนตามไปด้วย เมื่อโรเตอร์หมุนก็จะเกิดสูญญากาศทางช่องน้ำมันเข้า (รูปที่ 13) น้ำมันเครื่องก็จะถูกดูดเข้ามาทางช่องน้ำมันระหว่าง โรเตอร์ทั้งสอง แล้วถูกส่งออกไปหล่อลื่นส่วนต่างๆ ของเครื่องยนต์



ภาพที่ 2.29 ปั้มน้ำมันหล่อลื่น

ค. ไข์กรองน้ำมันหล่อลื่น เมื่อปั๊มดูดน้ำมันเครื่อง จากอ่างน้ำมันเครื่อง ไข์กรองน้ำมันเครื่องก็จะทำหน้าที่กรองน้ำมันเครื่องก่อน เพื่อป้องกันสิ่งสกปรกที่อยู่ในอ่างน้ำมันเครื่องเข้าไปตามท่อทางเดินน้ำมันเครื่อง เช่น เศษเหล็ก ผงหรือฝุ่นละออง เป็นต้น

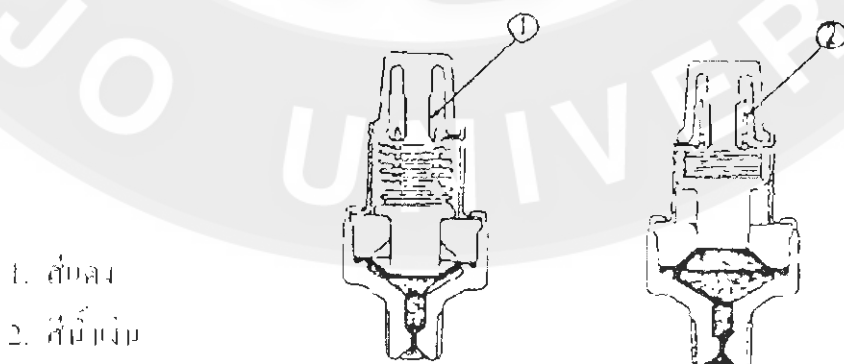


1. ปลั๊ก
2. ปลั๊กกัปก
3. ปลั๊กน๊อต
4. ตัวบรรจุกรองน้ำมันเครื่อง
5. สปริง
6. ปลั๊กปลั๊กกัปก

ภาพที่ 2.30 ไข์กรองน้ำมันหล่อลื่น

ไข์กรองน้ำมันเครื่อง (ภาพที่ 2.30) จะมีตะแกรงลวดพันอยู่รอบๆ ถึง 2 ชั้น และภายในตะแกรงลวดนี้จะมีแม่เหล็กและสปริง (5) อยู่ ตะแกรงกรองน้ำมันเครื่องจะกรองเศษเหล็ก และสิ่งสกปรกที่มากับน้ำมันเครื่องไว้ ส่วนแม่เหล็กดูดเศษเหล็กเล็กๆ ที่ผ่านตะแกรงลวดเข้าไปได้ไว้

ง. เกจดูแรงดันน้ำมันหล่อลื่น เกจดูแรงดันน้ำมันหล่อลื่น (ภาพที่ 2.31) นี้จะติดตั้งอยู่ที่เสื้อสูบจะเป็นสัญญาณเตือนให้เราทราบว่าน้ำมันเครื่องมีแรงดันพอหรือไม่ แรงดันต่ำหรือผิดปกติ (แรงดันต่ำกว่า 0.5 กก./ ตร.ซม.) สีแดงที่เกจดูแรงดันน้ำมันเครื่องจะโชว์อยู่ แต่ถ้าแรงดันน้ำมันเครื่องมากกว่า 0.5 กก./ ตร.ซม. สีน้ำเงินที่อยู่ตรงกลางของเกจดูแรงดันน้ำมันเครื่องจะถูกดันออกมา ถ้าแรงดันต่ำหรือผิดปกติให้รีบดับเครื่องยนต์ทันที

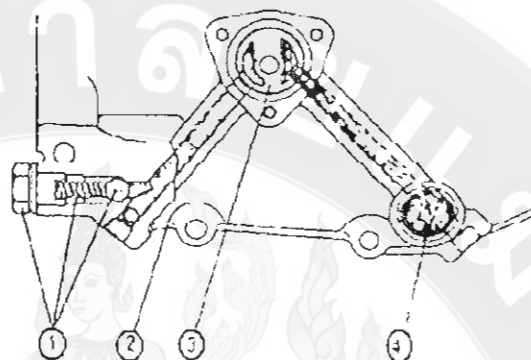


1. เข็ม
2. ตัวเข็ม

ภาพที่ 2.31 เกจดูแรงดันน้ำมันหล่อลื่น

จ. ลิ้นควบคุมแรงดันน้ำมันเครื่อง ลิ้นควบคุมแรงดันน้ำมันเครื่อง (ภาพที่ 2.32) จะเป็นตัวควบคุมแรงดันน้ำมันเครื่องที่ไปหล่อเลี้ยงส่วนต่าง ๆ ของเครื่องยนต์ให้คงที่อยู่เสมอ อยู่ระหว่าง 2.0 – 2.5 กก./ ตร.ซม.

1. ลิ้นควบคุมแรงดัน
2. ฝาครอบเกียร์
3. ป้อนน้ำมันเครื่อง
4. ใต้ร่องที่ปั๊มเครื่อง



ภาพที่ 2.32 ลิ้นควบคุมแรงดันน้ำมันเครื่อง

ลิ้นควบคุมแรงดันน้ำมันเครื่อง ประกอบด้วย ลูกปิ่น สปริง และนอต ลิ้นควบคุมแรงดันนี้จะอยู่ทางด้านล่างของฝาครอบเกียร์ (2) ถ้าน้ำมันเครื่องมีแรงดันเกินกว่าที่กำหนดไว้ น้ำมันเครื่องก็จะดันลูกปิ่นให้ถอยกลับโดยใช้แรงดันของสปริงแล้วน้ำมันเครื่องก็ไหลเข้าไปยังอ่างน้ำมันเครื่อง ถ้าแรงดันน้ำมันเครื่องต่ำลูกปิ่นก็จะปิด

2.15.12 ระบบระบายความร้อน

ก. การทำงานของหม้อน้ำแบบ รังผึ้ง และแบบหม้อน้ำธรรมดา ระบบหล่อเย็นของเครื่องยนต์คูโบต้ามีอยู่ด้วยกัน 2 แบบ คือ แบบหม้อน้ำรังผึ้งและแบบหม้อน้ำธรรมดาหรืออ่างน้ำ (ภาพที่ 2.33)



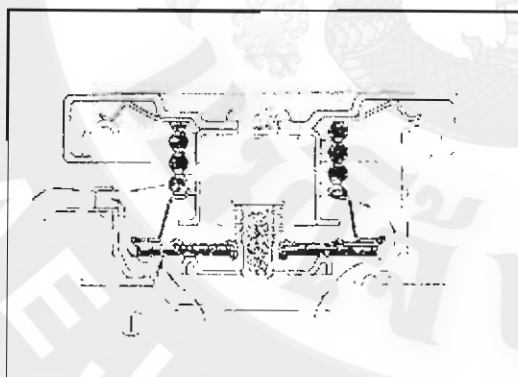
- | | | | |
|--------------------|----------------|-------------|----------------|
| 1. ลิ้นเปิดรังผึ้ง | 3. ลิ้นดูด | 1. อ่างน้ำ | 4. ลิ้นดูด |
| 2. ฟันดูด | 4. ลิ้นเปิดดูด | 2. ลิ้นเปิด | 5. ลิ้นเปิดดูด |
| | | 3. ฟันดูด | |

ภาพที่ 2.33 การทำงานของหม้อน้ำแบบ รังผึ้ง และแบบหม้อน้ำธรรมดา

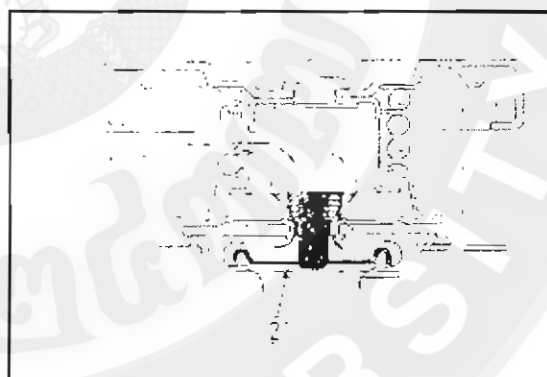
- แบบหม้อน้ำรังผึ้ง เป็นระบบหล่อเย็น สำหรับเครื่องยนต์รุ่น ET : ER โดยจะมีชุดพัดลมเป็นตัวดูดอากาศผ่านหม้อน้ำรังผึ้งแล้วก็พาเอาความร้อนออกไป น้ำที่ถูกพัดลมดูดเอาความร้อนออกไปแล้ว น้ำก็จะเย็นลง แล้วไหลลงมาทางด้านล่างเอง โดยธรรมชาติ ส่วนความร้อนที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ภายในกระบอกสูบ ฝาสูบ และความร้อนที่เกิดจากการเสียดสีของชิ้นส่วนก็จะทำให้น้ำร้อนขึ้นอีก น้ำร้อนก็จะลอยขึ้นไปด้านบน แล้วถูกทำให้เย็นลงอีก การระบายความร้อนของเครื่องยนต์แบบนี้ อาศัยการหมุนวนของน้ำโดยธรรมชาติ

- แบบหม้อน้ำธรรมดา เป็นระบบหล่อเย็น สำหรับเครื่องยนต์รุ่น KND และ ET ที่ลงท้ายด้วย H เช่น ET70H แบบนี้ อาศัยการหมุนวนของน้ำโดยธรรมชาติ เหมือนกับแบบหม้อน้ำรังผึ้ง ซึ่งกล่าวมาแล้ว แต่แบบอย่างน้ำนี้ต่างกับแบบรังผึ้งตรงที่ น้ำที่อยู่ภายในอ่างน้ำ จะมีอุณหภูมิสูงมากจนกลายเป็นไอ และมีลูกลอย (2) จะเป็นตัวแจ้งให้ทราบว่า น้ำภายในอ่างน้ำมีปริมาณมากน้อยเท่าไร ถ้าน้ำภายในอ่างน้ำกลายเป็นไอน้ำ ก็จะลดลงลูกลอยก็จะต่ำลง

ข. ฝาหม้อน้ำ ฝาหม้อน้ำ (ภาพที่ 2.34) ประกอบด้วย ลิ้นควบคุมแรงดัน (1) ลิ้นควบคุมสุญญากาศ (2) สปริงและประเก็นเป็นต้น ลิ้นควบคุมแรงดัน และลิ้นควบคุมสุญญากาศของฝาหม้อน้ำจะอยู่ติดกันเพื่อที่จะควบคุมแรงดันในหม้อน้ำ



1. ลิ้นควบคุมแรงดัน



2. ลิ้นควบคุมสุญญากาศ

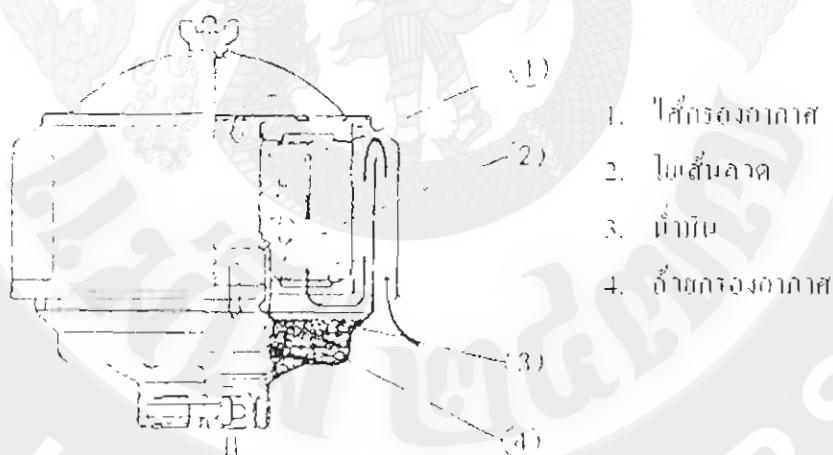
ภาพที่ 2.34 ฝาหม้อน้ำ

2.15.13 ระบบไอดี และไอเสีย ระบบไอดีและไอเสียประกอบด้วยชุดไอดี และชุดไอเสีย ชุดไอดีจะเป็นตัวทำให้อากาศที่เข้าในกระบอกสูบนั่นสะอาดส่วนชุดไอเสียจะเป็นตัวช่วยลดเสียงดังของไอเสีย เพื่อที่จะไม่ให้เกิดความรำคาญในการทำงาน

ชุดไอดีประกอบด้วย หม้อกรองอากาศ (ภาพที่ 2.35) และท่อไอดี หม้อกรองอากาศมีไว้เพื่อป้องกันละอองน้ำ สิ่งสกปรกและฝุ่นละอองที่ปนอยู่กับอากาศเข้าไปในระบบอกสูบส่วนท่อไอดีจะเป็นช่องทางสำหรับให้อากาศที่ผ่านกรองแล้วเข้าไปในระบบอกสูบ

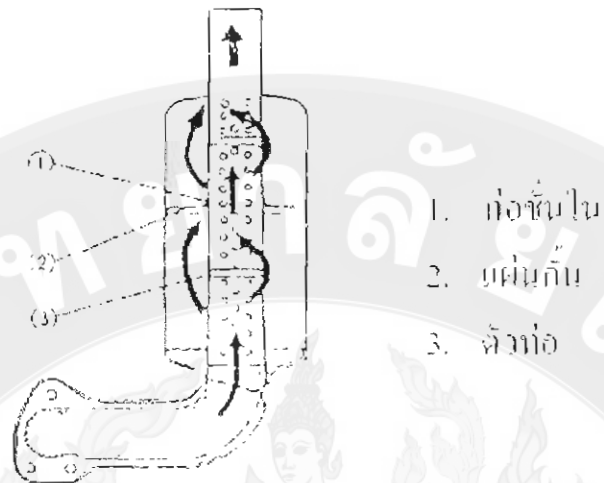
ชุดไอเสียประกอบด้วย ท่อไอเสีย (ภาพที่ 2.36) และชุดเก็บเสียง ท่อไอเสียเป็นท่อให้ไอเสียออกจากกระบอกสูบ และไอเสียก็ไหลเข้าไปในชุดเก็บเสียง ซึ่งต่ออยู่กับท่อไอเสียเป็นชุดเดียวกัน ซึ่งชุดเก็บเสียงนี้จะช่วยลดเสียงดัง

ก. หม้อกรองอากาศ เครื่องยนต์คูโบต้ารุ่น KND, ET และ ER ใช้หม้อกรองอากาศแบบเปียก (รูปที่ 20) คือภายในหม้อกรองอากาศจะมีน้ำมันเครื่องอยู่ที่ถ้วยกรองอากาศ และที่ถ้วยกรองอากาศนี้จะมีไส้กรองอากาศ ซึ่งทำด้วยใยเส้นลวด เพื่อป้องกันผงหรือฝุ่นละออง ผงหรือฝุ่นละอองเกือบทั้งหมดที่ผ่านเข้ามาในหม้อกรองอากาศจะมาติดอยู่ที่น้ำมันเครื่อง (3) ในถ้วยกรองอากาศ (4) ผงหรือฝุ่นละอองที่เหลือ ก็จะไปติดอยู่ที่ไส้กรองอากาศ (2) เป็นชั้นสุดท้ายแล้วอากาศที่สะอาดก็เข้าไปในระบบอกสูบ



ภาพที่ 2.35 หม้อกรองอากาศ

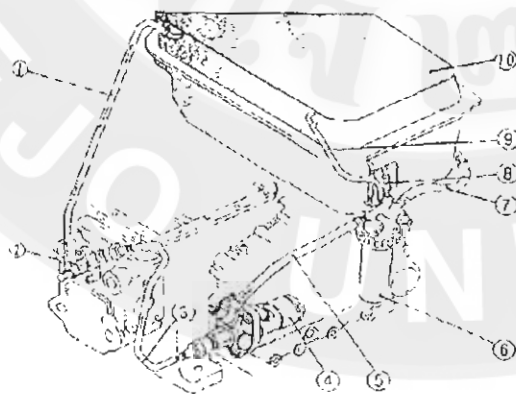
ข. ท่อเก็บเสียง ท่อเก็บเสียง ประกอบด้วย ท่อชั้นในเจาะรู (1) แผ่นกัน (2) และตัวท่อ (3) ท่อชั้นในและแผ่นกันนี้จะเป็นตัวช่วยลดเสียงดังของไอเสีย



ภาพที่ 2.36 ท่อเก็บเสียง

2.15.14 ระบบน้ำมันเชื้อเพลิง

ก. ทิศทางการไหลของน้ำมันเชื้อเพลิง ระบบน้ำมันเชื้อเพลิง (ภาพที่ 2.37) ของเครื่องยนต์ดีเซลคูโบต้าเริ่มต้นจากถังน้ำมันเชื้อเพลิง (10) ไหลผ่านกรองน้ำมันเชื้อเพลิง (6) เข้าไปยังปั๊มน้ำมันเชื้อเพลิง (4) ปั๊มน้ำมันเชื้อเพลิงก็จะอัดน้ำแรงดันสูงแบ่งปริมาณน้ำมันให้มากหรือน้อยไปยังหัวฉีด (2) และน้ำมันส่วนที่เหลือจากการฉีดก็จะไหลไปตามท่อ (1) ไหลกลับถึงก่อนที่น้ำมันเชื้อเพลิงจะเข้าไปยังปั๊มต้องผ่านกรองก่อนเพื่อที่จะเอาสิ่งสกปรกที่ปนมากับน้ำมันออกเช่น น้ำ ผง หรือฝุ่นละออง เป็นต้น

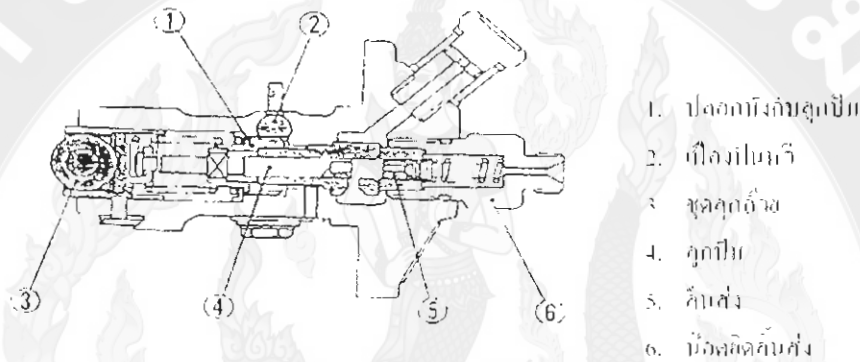


1. ท่อน้ำมันไหลกลับถึง
2. หัวฉีด
3. ท่อน้ำมันตรงกลับสูง
4. ปั๊มน้ำมันเชื้อเพลิง
5. ท่อน้ำมันจากกรองเชื้อเพลิง
6. กรองน้ำมันเชื้อเพลิง
7. ท่อน้ำมันจากถังน้ำมัน
8. ท่อไคล์ลมลาที่ 1
9. ท่อไคล์ลมลาที่ 2
10. ถังน้ำมันเชื้อเพลิง

ภาพที่ 2.37 ระบบน้ำมันเชื้อเพลิง

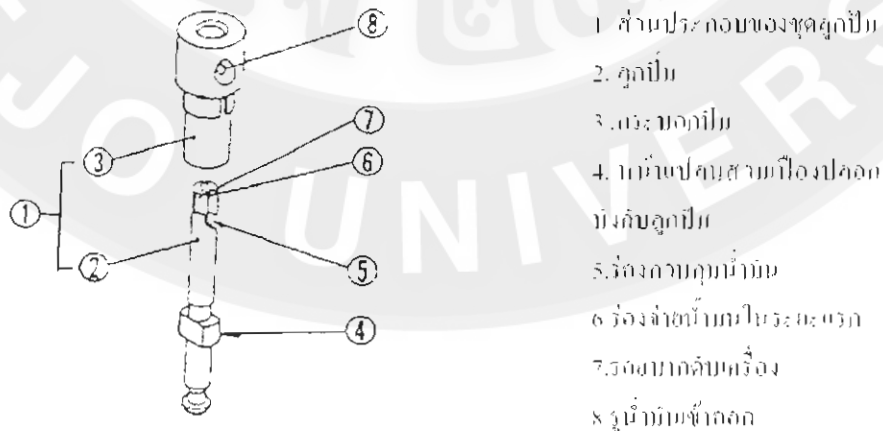
แรงดันน้ำมันจากปั๊มที่จะไปยกเข็มหัวฉีดและฉีดเข้าไปยังห้องเผาไหม้มีแรงดัน 120 กก./ตร.ซม. และน้ำมันส่วนที่เหลือจากการฉีดก็จะมาหล่อลื่นเข็มหัวฉีดแล้วไหลกลับถังโดยผ่านท่อ น้ำมันไหลกลับถัง (1)

ข. ปั๊มน้ำมันเชื้อเพลิง เครื่องยนต์ดีเซลคูโบต้าใช้ปั๊มเป็บบนแบบปั๊มบีอช (ภาพที่ 2.38) ขนาดเล็ก น้ำหนักเบา และแข็งแรงเมื่อเพลาลูกเบี้ยวหมุนลูกเบี้ยวก็จะไปเตะชุดลูกถ้วย (3) ชุดลูกถ้วยก็จะไปดันให้ลูกปั๊มเลื่อนขึ้น ลูกปั๊มก็จะไปดันน้ำมันให้ไหลผ่านลิ้นส่ง (5) ไปยังหัวฉีด



ภาพที่ 2.38 ระบบน้ำมันเชื้อเพลิง

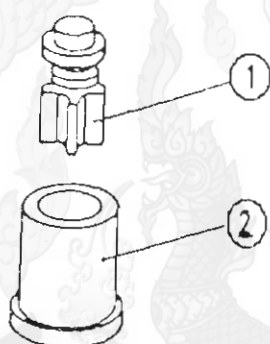
ค. ชุดลูกปั๊ม ชุดลูกปั๊ม (ภาพที่ 2.39) ประกอบด้วยลูกปั๊ม (2) และกระบอกปั๊ม (3) ลูกปั๊มจะเลื่อนไปมาอยู่ในกระบอกปั๊ม ดังนั้นลูกปั๊มและกระบอกปั๊มจะต้องทำให้พอดีกันเป็นพิเศษ ถ้าความเร็วต่ำสุดของลูกปั๊มแรงดันของปั๊มต้องไม่ต่ำกว่า 140 กก./ตร.ซม. แกนสวมเฟืองปลอกบังคับลูกปั๊ม (4) ต้องพอดีกับกับปลอกบังคับลูกปั๊ม เมื่อเลื่อนเฟืองฟันหัว ลูกปั๊มก็จะหมุนไปยังตำแหน่ง จ่ายน้ำมันมากหรือน้อยไป



ภาพที่ 2.39 ชุดลูกปั๊ม

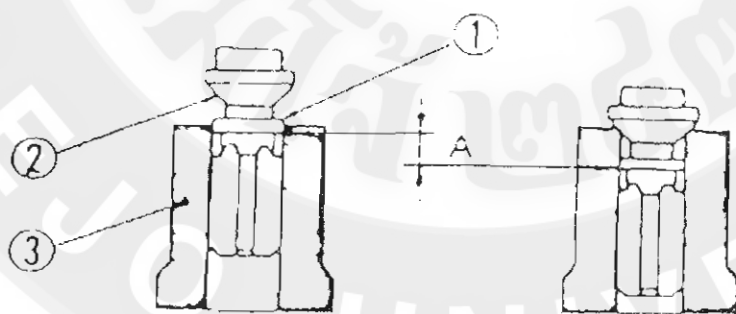
นอกเหนือจากที่กล่าวมาแล้ว ที่ลูกปั๊มยังทำรอบปากดัดเครื่อง (7) ร่องจ่ายน้ำมันในระยะแรก (6) และร่องควบคุมน้ำมัน (5) เป็นร่องเวียนซ้ายมือ

ง. ลิ้นส่ง ลิ้นส่ง (ภาพที่ 2.40) ประกอบด้วย ลิ้นส่ง (1) และเรือนลิ้นส่ง (2) เมื่อลูกปั๊ม (ภาพที่ 2.41) อัดน้ำมันเกิดแรงดันสูง ขณะแรงดันสปริงลิ้นส่ง ลิ้นส่งก็จะเลื่อนขึ้นจนกระทั่งขอบลิ้นส่ง (1) พ้นจากเรือนลิ้นส่ง (3) น้ำมันก็จะส่งไปยังหัวฉีด เมื่อลูกปั๊มเลื่อนลง ลิ้นส่งก็จะปิดขอบของลิ้นส่ง (1) ด้วยแรงดันของสปริงก็จะสัมผัสกับตัวเรือนลิ้นส่ง (3) ก่อน เป็นการดันน้ำมันอย่างรวดเร็ว และลิ้นส่งก็จะเลื่อนลงมาจนกระทั่งหน้าลิ้นส่ง (2) นั่งอยู่กับตัวเรือนลิ้นส่ง (3) น้ำมันก็ไม่สามารถไหลกลับเข้าไปได้ และเป็นการป้องกันการรั่วซึมของลิ้นส่งได้เป็นอย่างดี ระยะเวลาการปิดและเปิดของลิ้นส่ง คือ ระยะ A



ภาพที่ 2.40 ลิ้นส่ง

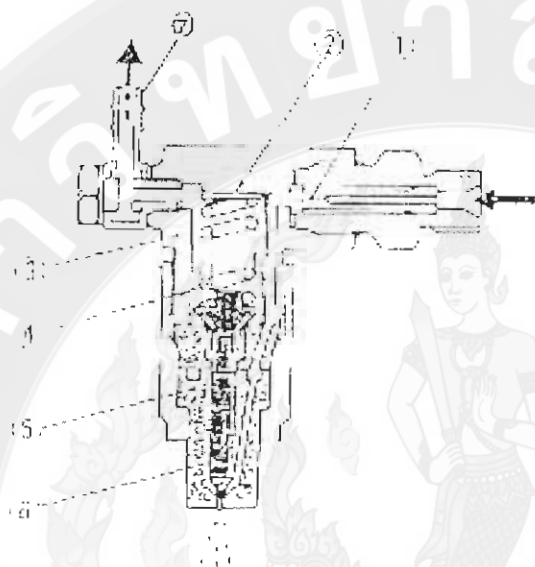
1. ลิ้นส่ง
2. เรือนลิ้นส่ง



ภาพที่ 2.41 การเปิดและปิดลิ้นส่ง

1. ขอบลิ้นส่ง
2. หน้าลิ้นส่ง
3. เรือนลิ้นส่ง

จ. หัวฉีด หัวฉีด (ภาพที่ 2.42) น้ำมันเชื้อเพลิงเป็นลิ้นหรืออุปกรณ์ที่ใช้สำหรับกระจาย (atomizing or cracking) น้ำมันเชื้อเพลิงให้แตกออกเป็นฝอยละอองเล็กๆ และฉีดผ่านเข้าไปเผาไหม้ในกระบอกสูบของเครื่องยนต์

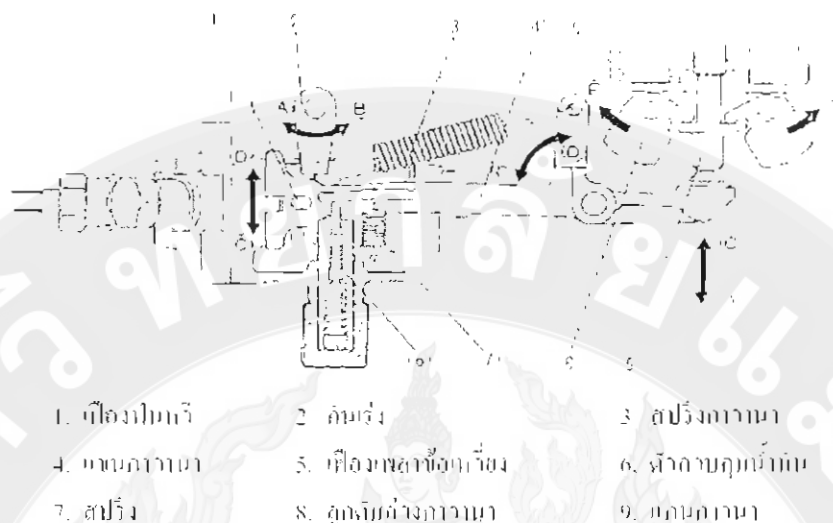


1. ตัวกรองน้ำมันให้เข้า
สม่ำเสมอ
2. แกนเข็ม
3. เข็มหัวฉีด
4. สปริง
5. กระบอกเข็มหัวฉีด
6. เข็มหัวฉีด
7. ท่อน้ำมันไหลกลับถึง

ภาพที่ 2.42 หัวฉีด

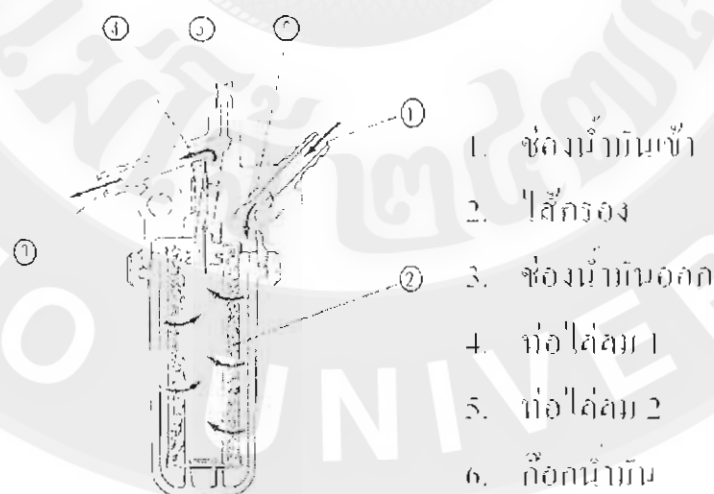
เมื่อน้ำมันเชื้อเพลิงจากปั๊มเข้ามายังกระบอกเข็มหัวฉีด (5) โดยผ่านตัวกรองน้ำมัน (1) ซึ่งเป็นตัวที่จะทำให้ น้ำมันไหลเข้าไปได้อย่างสม่ำเสมอ เมื่อน้ำมันที่อยู่ในกระบอกเข็มหัวฉีดมีแรงดันเกินกว่า 120 กก./ ตร.ซม. แรงดันของน้ำมันเชื้อเพลิง ก็จะทำให้เข็มหัวฉีด (6) ถูกยกขึ้นโดยชนะแรงดันของสปริง (4) น้ำมันก็จะฉีดออกจากปลายหัวฉีด และน้ำมันเชื้อเพลิงบางส่วนก็จะไปหล่อลื่นระหว่าง เข็มหัวฉีดและกระบอกเข็มหัวฉีด แล้วไหลกลับถึงโดยผ่านท่อน้ำมันไหลกลับ

จ. กาวานา กาวานา (ภาพที่ 2.43) เป็นอุปกรณ์ควบคุมความเร็วของเครื่องยนต์ กาวานาแบบนี้เป็นกาวานาแบบใช้แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางเป็นตัวควบคุมความเร็วของเครื่องยนต์ ตั้งแต่รอบเดินเบาจนถึงรอบสูงสุด



ภาพที่ 2.43 ส่วนประกอบของคาวนา

ข. กรองน้ำมันเชื้อเพลิง ปั๊มและหัวฉีดเป็นชิ้นส่วนที่สำคัญของเครื่องยนต์ เมื่อทำงานแล้วชิ้นส่วนของปั๊มและหัวฉีดต้องเคลื่อนที่ ดังนั้นชิ้นส่วนของปั๊มและหัวฉีดต้องทำให้พอดีกัน และมีช่องว่างระหว่างชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่นี้น้อย ระหว่างทั้งสองนี้จะมีน้ำมันดีเซลเป็นตัวหล่อลื่น ในขณะที่ทำงาน ต้องไม่มีน้ำและสิ่งสกปรกปนมากับน้ำมัน ดังนั้น น้ำมันดีเซลจะเข้าไปยังปั๊มและหัวฉีด ต้องผ่านกรองน้ำมันดีเซล (ภาพที่ 2.44) ก่อน ได้กรองน้ำมันดีเซลนี้ใช้กระดาดชนิดพิเศษเป็นตัวกรองสิ่งสกปรกที่มากับน้ำมัน



ภาพที่ 2.44 กรองน้ำมันเชื้อเพลิง

เมื่อน้ำมันดีเซลจากถังเข้าไปยังชุดกรอง ทางช่องน้ำมันเข้า (1) และไหลออกจากชุดกรองทางช่องทางออก (3) อากาศที่อยู่ตามท่อทางเดินน้ำมันและชุดกรองก็จะถูกดันออกไปทางช่องไล่ลม (4) และ (5) เองโดยอัตโนมัติ

2.16 อัตราการเผาไหม้หยาบเชื้อเพลิง

อัตราการเผาไหม้ของน้ำมันจากแบบจำลองทรงกลม รวมทั้งอัตราการใช้เชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ดีเซลสามารถหาค่าได้จากการนำอัตราการไหลของมวลต่อพื้นที่ มาคูณกับพื้นที่ผิวของหยดน้ำมันเชื้อเพลิงสมการ

$$m = \pi d^2 \times m'' \quad 2.1$$

$$m = g(\ln(1+B))(\pi d^2) \quad 2.2$$

m = อัตราการเผาไหม้ (g/s)

ส่วนการคำนวณค่าอัตราการใช้เชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ดีเซลจะหาได้จากสมการ 4 ที่เป็นสัดส่วนของอัตราการใช้เชื้อเพลิงของน้ำมันพืชต่อน้ำมันดีเซล

$$\frac{m_v}{m_d} = \frac{g_v (\ln(1+B))_v \left(\frac{d_v^2}{d_d^2} \right)}{g_d (\ln(1+B))_d \left(\frac{d_d^2}{d_d^2} \right)} \quad 2.3$$

โดยที่สัญลักษณ์ v และ d แทนน้ำมันปาล์มกับน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันดีเซล

2.17 การประเมินสมรรถนะเครื่องยนต์ดีเซล

การประเมินสมรรถนะเครื่องยนต์นั้นสภาวะการทำงานของเครื่องยนต์ จะแตกต่างจากการหาอัตราการเผาไหม้จากแบบจำลองเผาไหม้เชื้อเพลิงหยาบเดียว จึงจำเป็นต้องกำหนดขอบเขตในการคำนวณภายใต้สมมุติฐานดังนี้ การเผาไหม้ในเครื่องยนต์สมมุติให้เป็นสภาวะอะเดียบาติกและอากาศให้เป็นสภาวะก๊าซในอุดมคติ จะคำนวณหาความร้อนที่เทียบเป็นกำลังเทียบเท่าของเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ได้จากสมการ

$$Q = m \times H_{hv} \quad 2.4$$

นำสมการ 3 แทนในสมการ 5 จะได้เป็นค่าความร้อนเทียบเท่า (Fuel equivalent power, FEP)

P = ค่ากำลังเทียบเท่ากับค่าความร้อน (kW)

Q = ค่าพลังงานความร้อน (kW)

จะพบว่าพลังงานความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้จะเปลี่ยนเป็นกำลังงานที่เพลลาของเครื่องยนต์ ประมาณ 30-35% เท่านั้น ความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ เสียสูญ สูบสูญ แหวน

สูญเสียไปกับความร้อนในไอเสียและถ่ายเทความร้อนสู่บรรยากาศ จึงทำให้กำลังงานที่ได้จึงมีค่าน้อยกว่าค่าความร้อนที่ได้จากเชื้อเพลิง (หลาบ, 2528)

ดังนั้น ในการคำนวณหาสมรรถนะของเครื่องยนต์ จะอยู่ภายใต้สมมุติฐานที่ว่าน้ำมันปาล์ม น้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันดีเซล ที่ใช้ทดสอบกับเครื่องยนต์ดีเซลเมื่อหวัฉัดฉีดน้ำมันแล้วค่าของน้ำมันจะมีจำนวนของละอองหรือหยดน้ำมันของน้ำมันทั้ง 3 ชนิด มีจำนวนหยดเท่ากัน สัดส่วนของกำลังจากน้ำมันพืชต่อน้ำมันดีเซลหรือสมรรถนะของเครื่องยนต์หาได้จากอัตราส่วนของพลังงานจากน้ำมันพืชต่อน้ำมันดีเซลดังสมการ 7

$$\frac{P_v}{P_d} = \frac{Q_v}{Q_d} = \frac{g_v}{g_d} \frac{(\ln(1+B))_v}{(\ln(1+B))_d} \left(\frac{d_v^2}{d_d^2} \right) \frac{(HHV)_v}{(HHV)_d} \quad 2.5$$

โดยที่สัญลักษณ์ v และ d แทนน้ำมันปาล์มกับน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันดีเซล

2.18 การคำนวณหาสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซล

2.18.1 อัตราการใช้เชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ดีเซล

หาได้จากการนำปริมาณการใช้เชื้อเพลิงต่อเวลามาคูณด้วยความหนาแน่นของน้ำมันพืชที่อุณหภูมิใด ๆ ในหลอดแก้ววัดปริมาตร ขณะที่ทำการทดสอบ

$$FC = \rho \frac{V}{t} \quad 2.6$$

FC = อัตราการใช้เชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ดีเซล (g/s)

V = ปริมาณน้ำมันที่ใช้ทดสอบ (cc)

t = เวลาที่ใช้ในการทดสอบ (sec)

2.18.2 อัตราการใช้เชื้อเพลิงจำเพาะต่อกำลังเบรค

หาได้จากการนำอัตราการใช้เชื้อเพลิงจำเพาะมาหารด้วยกำลังของเครื่องยนต์หรือภาระที่ใส่ให้กับเครื่องยนต์

$$BSFC = \frac{FC}{Power} \times 3.6 \quad 2.7$$

BSFC = อัตราการใช้เชื้อเพลิงจำเพาะต่อกำลังเบรค (kg/kWh)

Power = กำลังเบรคเพลานหรือภาระที่ให้กับเครื่องยนต์ (kW)

บทที่ 3

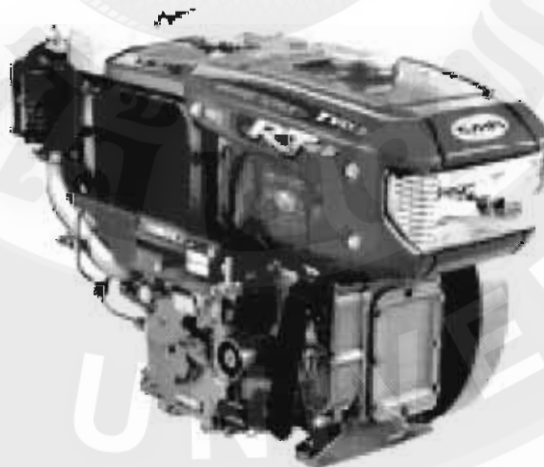
อุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย

โครงการวิจัยนี้เป็นการศึกษาสมรรถนะเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กในการทำงานจริงโดยใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วเป็นเชื้อเพลิง ซึ่งในการดำเนินการทดลองการศึกษสมรรถนะเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กในการทำงานจริงโดยใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วเป็นเชื้อเพลิง เพื่อให้การดำเนินงานบรรลุตามวัตถุประสงค์จึงมีขั้นตอนในการดำเนินงานดังนี้

3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือ

การศึกษสมรรถนะเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กในการทำงานจริงโดยใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วเป็นเชื้อเพลิง โดยมีการใช้อุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับการทดสอบทั้งด้านสมรรถนะของเครื่องยนต์ การสึกหรอ มลพิษที่เกิดจากการเผาไหม้ของน้ำมันเชื้อเพลิง ตลอดจนคุณสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ ซึ่งในการทดสอบดังกล่าวมีการใช้อุปกรณ์และเครื่องมือ ดังนี้

3.1.1 เครื่องยนต์ดีเซล ชนิดสูบเดียว 4 จังหวะ ยี่ห้อคูโบตา รุ่น RT80 ระบายความร้อนด้วยน้ำ (ภาพที่ 3.1) ซึ่งมีรายละเอียดทางเทคนิคของเครื่องยนต์ ดังตารางที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 เครื่องยนต์ดีเซลสูบเดียว ยี่ห้อคูโบตา รุ่น RT80

ตารางที่ 3.1 รายละเอียดทางเทคนิคของเครื่องยนต์ที่ใช้ทดสอบ

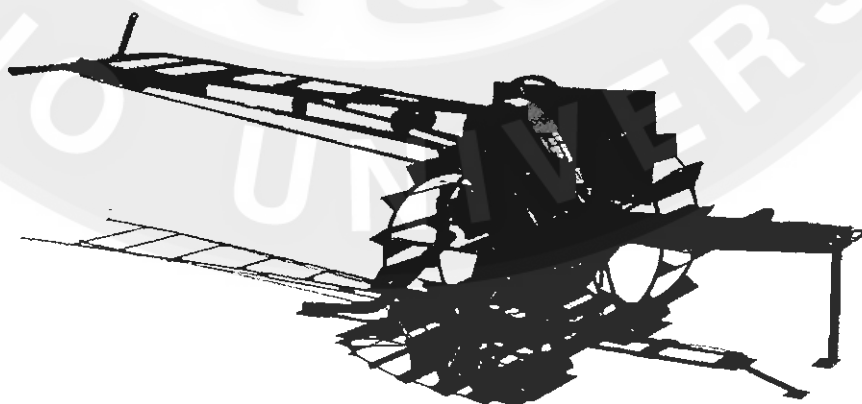
รายการ	รายละเอียด
รุ่น	RT 80
แบบ	เครื่องยนต์ดีเซลสูบรอบระบบ 4 จังหวะ ระบายความร้อนด้วยน้ำ
จำนวนลูกสูบ	1
ขนาดกระบอกสูบ X ช่วงชัก ,มม. X มม.	82 X 84
ปริมาตรช่วงชัก, ลบ.ม.	465
กำลังเครื่องยนต์สูงสุด, แรงม้าที่รอบต่อนาที	8/2400 (5.9 kW/2400)
กำลังเครื่องยนต์ต่อเนื่อง, แรงม้าที่รอบต่อนาที	7/2400(5.1 kW/2400)
อัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะ, กรัมต่อ กิโลวัตต์ชั่วโมง	258 g/PS-hr (190 กรัมต่อแรงม้าต่อชั่วโมง)
อัตราส่วนการอัด	13:1
ระยะตั้งลิ้น, มม.	0.16-0.20
แรงบิดสูงสุด , กิโลกรัมแรงเมตรที่รอบต่อนาที	2.8/1600
ความจุน้ำระบายความร้อน, ลบ.ม.	1.6
ความจุน้ำมันเชื้อเพลิง, ลบ.ม.	10
ความจุน้ำมันหล่อลื่น, ลบ.ม.	2.4
ชนิดของน้ำมันเชื้อเพลิง	น้ำมันดีเซล
ชนิดของน้ำมันหล่อลื่น	SAE 40 API CC. หรือ SAE 40 API CF
ชนิดของระบบการเผาไหม้	แบบห้องเผาไหม้ล่วงหน้า Spherical Combustion System
แบบของระบบระบายความร้อน	หม้อน้ำแบบรังผึ้ง
ชนิดของระบบหล่อลื่น	ขับเคลื่อนน้ำมันหล่อลื่นโดยปั๊มไทรคอยด์
ชนิดของหม้อกรองอากาศ	แบบเปียก
ชนิดของระบบการเริ่มต้นเครื่องยนต์	แบบมือหมุนชนิดความเร็ว 2 เท่า
ขนาดแบตเตอรี่	แบตเตอรี่ 12 โวลต์ ขนาด 30 แอมป์ขึ้นไป
ทิศทางการหมุน	หมุนตามเข็มนาฬิกา เมื่อมองทางมือหมุน
น้ำหนักเครื่องยนต์, กิโลกรัม	88

3.1.2 โครงรถไถเดินตาม มีส่วนประกอบสำคัญ 3 แบบ คือ โครงยึดเครื่องยนต์ โครงแขวนบังคับการขับเคลื่อน และล้อขับเคลื่อน

โครงยึดเครื่องยนต์ เป็นส่วนที่จะวางตำแหน่งเครื่องยนต์ ซึ่งจะทำให้เกิดความสมดุล และช่วยในการทรงตัวของรถ โครงยึดเครื่องยนต์นี้将有ความยาวอยู่ระหว่าง 70-100 ซม. เครื่องยนต์ต้นกำลังนี้จะใส่เครื่องยนต์ดีเซลขนาด 8-10 แรงม้า เพราะเครื่องยนต์ดีเซลมีความแข็งแรงทนทานต่อการใช้งานหนัก คำน้ำมันเชื้อเพลิงถูกกว่า นอกจากนั้นยังให้กำลังม้าสูงที่รอบต่ำ ทำให้อัตราทดของเกียร์และขนาดของห้องเกียร์ลดลง เครื่องยนต์นี้จะวางอยู่บนโครงแขวนยึดเครื่อง และสามารถเลื่อนได้ เพื่อความสะดวกในการปรับความตึงของสายพานที่ส่งกำลังจากเครื่องยนต์ไปยังห้องเฟือง

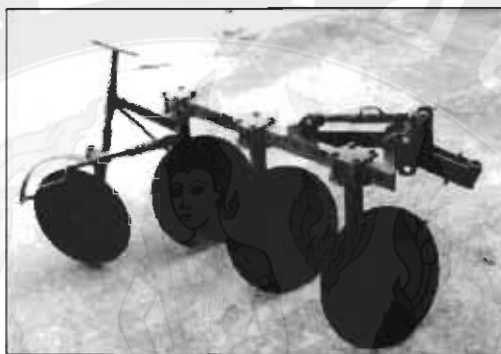
โครงแขวนบังคับเลี้ยว จะอยู่ติดกับห้องเกียร์ โครงแขวนบังคับจะมีความยาวประมาณ ๑๓๐-๒๐๐ ซม. ส่วนรถใช้บีบเลี้ยวความยาวของโครงจะสั้นกว่า เพราะไม่ต้องใช้ความยาวของโครงเหี่ยวไหนขณะเลี้ยว ส่วนปลายโครงจะมีก้านบีบเลี้ยวอยู่ที่มือจับ หากเป็นรถมีเกียร์จะมีเกียร์ขึ้นมา ปัจจุบันมีเกียร์เดินหน้าถึง 2 เกียร์ และมีเกียร์ถอยหลัง 1 เกียร์ นอกจากนั้นจะมีลูกเตะสายพาน และคันเร่งน้ำมัน

ล้อขับเคลื่อน ล้อของรถไถเดินตามเป็นล้อทำด้วยเหล็กมีแผ่นครีบทัดอยู่ใต้ล้อมีชื่อว่า ดินเปิด แผ่นครีบนี้นำหน้าที่กดดินไม่ให้ลื่นขณะทำงาน นอกจากนั้นยังช่วยพยุงไม่ให้รถจมในขณะทำงานในดินเหลว ล้อเหล็กนี้เหมาะสำหรับทำนาทำสวน เวลาเคลื่อนย้ายในการวิ่งบนถนนนั้น ควรใช้ล้อยางหรือใช้เหล็กวงกลมรัดแผ่นครีบทัดของวงล้อ ดังภาพที่ 3.2



ภาพที่ 3.2 โครงรถไถเดินตาม

3.1.3 ชุดไถจาน ไถบุกเบิกเป็นอุปกรณ์ทางการเกษตรที่สำคัญอีกชนิดหนึ่ง ซึ่งใช้ในการเตรียมดิน ไถบุกเบิกเป็นไถที่มีโครงสร้างแข็งแรงและมีจานไถที่หมุนได้รอบตัว ดังนั้นจึงทำให้การไถในดินมีหิน รากไม้ ตอไม้ หรือแม้แต่ในดินที่แข็งและแข็งได้ดี ไถบุกเบิก ทำหน้าที่ตัดดินในแนวตั้ง แนวนอน และพลิกดิน เช่นเดียวกับไถหัวหมู แสดงในภาพ 3.3



ภาพที่ 3.3 ชุดไถจาน

3.1.4 ชุดไถหัวหมู ไถหัวหมูเป็นอุปกรณ์ทางการเกษตรที่สำคัญ ซึ่งใช้ในการเตรียมดิน โดยทำหน้าที่ตัดดินในแนวตั้ง แนวนอน และพลิกดินให้ดินชั้นล่างขึ้นมาอยู่ข้างบน หน้าดินลงไปอยู่ข้างล่าง แสดงในภาพที่ 3.4



ภาพที่ 3.4 ชุดไถหัวหมู

3.1.5 เครื่องวัดความเร็วรอบแบบใช้แสงและสัมผัส (ภาพที่ 3.5) เป็นอุปกรณ์ในการวัดความเร็วรอบของชุดกังหันและเจนเนอเรเตอร์ โดยจะมีย่านการวัดอยู่ที่ 5–99,999 RPM ความละเอียด 0.1 RPM ที่ย่านวัดน้อยกว่า 1,000 RPM และ 1 RPM ที่ย่านวัดมากกว่า 1,000 RPM สำหรับวัดรอบแบบใช้แสงและย่านการ 0.5–19,999 RPM ความละเอียด 0.1 RPM ที่ย่านวัดน้อยกว่า 1,000 RPM และ 1 RPM ที่ย่านวัดมากกว่า 1,000 RPM สำหรับวัดรอบแบบใช้สัมผัส จอ LCD 5 หลัก ตัวเลขสูง 10 มม. (0.4 นิ้ว) อุณหภูมิใช้งาน 0–50 °C ขนาด 61x195x38.5 มม



ภาพที่ 3.5 เครื่องวัดความเร็วรอบแบบใช้แสงและสัมผัส

3.1.6 นาฬิกาจับเวลา หน้าจอแสดงเวลาระบบดิจิตอล แสดงรอบ ช่วงเวลา และแสดงผลลำดับก่อนหลัง สามารถจับเวลาได้สูงสุด 9 ชั่วโมง 59 นาที 59.99 วินาที และมีบันทึกเวลาแสดงผลเร็วที่สุด ช้าที่สุด และผลเฉลี่ยของรอบการจับเวลาที่ผ่านมาทั้งหมด สามารถเรียกดูผลย้อนหลังได้แม้จะมีการตั้งเครื่องใหม่หรือในขณะกำลังทำงานในโหมดอื่นอยู่ สามารถตั้งเวลานับถอยหลังสูงสุด 99 นาที 59.00 วินาที สามารถตั้งความถี่ของเสียงสัญญาณเตือนได้ 10 ครั้ง/นาที และสูงสุด 320 ครั้ง/นาที แสดงเวลาเป็น 12 หรือ 24 ชั่วโมง และแสดงผลเป็นปีปฏิทินยุโรปได้ตามแต่ผู้ใช้จะกำหนด ใช้ถ่านกระดุมลิเทียม CR2032 ความยาวสาย 60 ซม แสดงในภาพ 3.6



ภาพที่ 3.6 นาฬิกาจับเวลา

3.1.7 กระบอกตวง 250 ml ยี่ห้อ SIMAX ใช้สำหรับเมทานอลหรือเอทานอลลงในขวดหรือบีกเกอร์ ดังภาพที่ 3.7



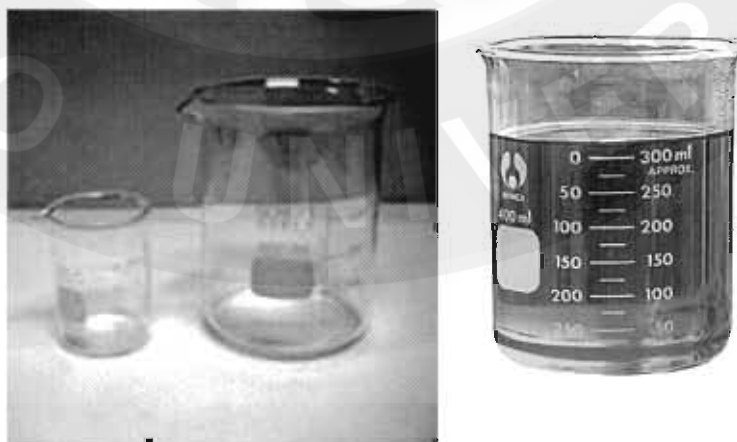
ภาพที่ 3.7 กระบอกตวงขนาด 250 ml

3.1.8 กรวย ใช้สำหรับเติมน้ำหรือเมทานอล เส้นผ่าศูนย์กลางของกรวย 8 เซนติเมตร สูง 8 เซนติเมตร ดังภาพที่ 3.8



ภาพที่ 3.8 กรวย

3.1.9 ปีกเกอร์ ขนาด 100 ml 300 ml และ 1,000 ml ยี่ห้อ PYREX ใช้สำหรับทำการไทเทรต และผสมสารเคมี ดังภาพที่ 3.9



ภาพที่ 3.9 ปีกเกอร์ขนาด ขนาด 100 ml 300 ml และ 1,000 ml

3.1.10 เทอร์โมมิเตอร์ ขนาดสเกล 0-100 องศาเซลเซียส ใช้สำหรับวัดอุณหภูมิน้ำมันพืชใช้แล้วที่ทำการไล่น้ำ ดังภาพที่ 3.10



ภาพที่ 3.10 เทอร์โมมิเตอร์

3.1.11 ถังน้ำมันขนาด 200 ลิตร ใช้สำหรับใส่น้ำมันพืชใช้แล้ว และประกอบเป็นเครื่องผลิตไบโอดีเซล ดังภาพที่ 3.11



ภาพที่ 3.11 ถังน้ำมันขนาด 200 ลิตร

3.1.12 ถังพลาสติกขนาด 200 ลิตร ใช้สำหรับใส่น้ำมันพืชใช้แล้ว และประกอบเป็นเครื่องผลิตไบโอดีเซล ดังภาพที่ 3.12



ภาพที่ 3.12 ถังพลาสติกขนาด 200 ลิตร

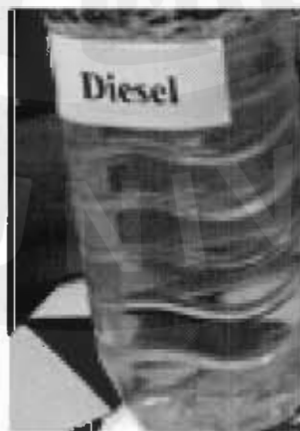
3.1.13 ชุดกรองน้ำมันพืชใช้แล้ว รุ่น COLOMBO 24-OIL และ COLOMBO 36-OIL ขนาด 24 และ 36 แผ่นกรอง; 20 X 20 เซนติเมตร น้ำหนักเพียง 30/40 กิโลกรัม ความถี่กระดาษ

กรอง: 33, 17, 10, 1.2, 0.3 และ 0.25 ไมครอน อัตราการกรอง 800/1150 ลิตร/ชม. แยกใช้ปั๊มได้
ต่างหาก อัตราไหล 1500 ลิตร/ชั่วโมง ดังภาพที่ 3.13



ภาพที่ 3.13 ชุดกรองน้ำมันพืชใช้แล้ว

3.1.14 น้ำมันดีเซล คือ น้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ดีเซล เป็นส่วนหนึ่งของน้ำมันดิบที่ได้จากโรงกลั่นน้ำมัน ซึ่งเป็นน้ำมันที่เรียกว่า น้ำมันใส มีจุดเดือดอยู่ที่ประมาณ 180-370 องศาเซลเซียส เครื่องยนต์ดีเซลเป็นเครื่องยนต์ที่มีแรงอัดสูง (High Compression) และสามารถจุดระเบิดได้เอง การจุดระเบิดของเชื้อเพลิงชนิดนี้เกิดขึ้นมาจากความร้อนของแรงอัดสูงของอากาศในกระบอกสูบ โดยใช้น้ำมันดีเซลจาก บริษัท ปตท.จำกัด (มหาชน) ดังภาพที่ 3.14



ภาพที่ 3.14 น้ำมันดีเซล

3.1.15 น้ำพืชใช้แล้ว ซึ่งได้จากการใช้น้ำมันพืชทอดอาหาร เช่น เนื้อ ปลา ไก่ ปลาทองไก่ ฯลฯ ใช้สำหรับเป็นสารตั้งต้นในการผลิตไบโอดีเซล ดังภาพที่ 3.15



ภาพที่ 3.15 น้ำพืชใช้แล้ว

3.2 วิธีดำเนินการศึกษาวิจัย

โครงการวิจัยนี้เป็นการศึกษาสมรรถนะเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กในการทำงานจริงโดยใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วเป็นเชื้อเพลิง เมื่อศึกษาและสำรวจข้อมูล พร้อมทั้งเตรียมอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบแล้ว จะทำการในการศึกษาวิจัยเพื่อเก็บข้อมูล โดยขั้นตอนการศึกษาออกเป็น 7 ขั้นตอน ดังรายละเอียดต่อไปนี้

ขั้นที่ 1 ศึกษาและสำรวจข้อมูล พร้อมทั้งเตรียมอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ ทำการศึกษาและหาข้อมูลการทดสอบเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็ก การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำพืชใช้แล้ว การใช้ผลิตไบโอดีเซลจากน้ำพืชใช้แล้วในเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็ก พร้อมทั้งเตรียมอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ โดยงานวิจัยนี้ใช้เครื่องยนต์เล็ก คูโบต้า RT80 (8 แรงม้า)

ขั้นที่ 2 ศึกษาสมรรถนะและมลพิษของเครื่องยนต์ที่ใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วเทียบกับน้ำมันดีเซล ทำการศึกษาสมรรถนะและมลพิษของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลที่ชั่วโมงเริ่มต้น ติดเครื่องยนต์ทิ้งไว้ประมาณ 20 นาที โดยให้เครื่องยนต์ทำงานที่รอบเดินเบา จากนั้นจึงเร่งเครื่องยนต์ให้มีรอบเพิ่มขึ้น สลับกับรอบเดินเบา เพื่อให้ลูกสูบและแหวนลูกสูบเรียงตัวพร้อมที่จะทำการทดสอบ โดยเร่งรอบของเครื่องยนต์ไปที่ 2,000 รอบต่อนาที ซึ่งเป็นค่าเริ่มต้น จากนั้นทำการป้อนภาระให้กับเครื่องยนต์ แล้วค่อย ๆ ปรับตำแหน่งคันเร่งเพื่อให้รอบของเครื่องยนต์สูงขึ้นเรื่อย ๆ ทำการบันทึกค่าแรงบิด อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมัน และมลพิษที่เกิดขึ้น ทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบของเครื่องยนต์

ขั้นที่ 3 ศึกษาการสึกหรอของเครื่องยนต์ที่ใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วเทียบกับน้ำมันดีเซล ในการศึกษาการสึกหรอของเครื่องยนต์ที่ใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วเทียบกับน้ำมันดีเซล โดยนำน้ำมันหล่อลื่นที่ยังไม่ผ่านการใช้งานไปทำการตรวจสอบหาปริมาณของโลหะที่มีอยู่ในน้ำมันหล่อลื่นเพื่อใช้สำหรับเปรียบเทียบ ทำการเก็บตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่นประมาณ 20 ลบ.ซม. เพื่อนำไปวิเคราะห์หาปริมาณธาตุโลหะ โดยการเก็บตัวอย่างจะทำขณะที่เครื่องยนต์กำลังทำงานอยู่และทำการเติมน้ำมันเครื่องใหม่เข้าไปเท่าปริมาณที่เก็บตัวอย่าง เพื่อให้ระดับน้ำมันหล่อลื่นในเครื่องยนต์มีปริมาณเท่าเดิม ที่ระยะเวลาเดินเครื่อง 75 ชั่วโมง ทำการดับเครื่องยนต์ แล้วถอดชิ้นส่วนของเครื่องยนต์ออกมาเพื่อตรวจสอบสภาพของลูกสูบ แหวนลูกสูบ กระบอกสูบ วาล์ว ชิ้นส่วนภายในห้องเพลาช้อเหวี่ยง ทำการชั่งน้ำหนักแหวนลูกสูบ พร้อมทั้งบันทึก จากนั้นทำการประกอบชิ้นส่วนต่าง ๆ ของเครื่องยนต์กลับคืนสภาพเดิม ทำการวิเคราะห์ทุก ๆ 75 ชั่วโมง

ขั้นที่ 4 ศึกษาสมรรถนะและมลพิษของเครื่องยนต์ที่ใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วผสมน้ำมันดีเซล ในอัตราส่วน 0, 25, 50, 75 และ 100 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ศึกษาสมรรถนะและมลพิษของเครื่องยนต์ที่ใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วผสมน้ำมันดีเซล ในอัตราส่วน 0, 25, 50, 75 และ 100 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร โดยเตรียมเชื้อเพลิงผสมโดยการตวงวัดให้ได้ตามอัตราส่วนผสม โดยจะทำการผสมให้ได้ปริมาณเพียงพอสำหรับการทดสอบแต่ละครั้ง เปลี่ยนเครื่องยนต์ชุดใหม่ทุกครั้งที่เปลี่ยนอัตราส่วนผสมของเชื้อเพลิงและควบคุมสภาวะในการทดสอบให้เหมือนกันทุกครั้ง เพื่อให้ได้มาตรฐานในการทดสอบเดียวกัน ติดเครื่องยนต์ทิ้งไว้ประมาณ 20 นาที โดยให้เครื่องยนต์ทำงานที่รอบเดินเบา จากนั้นจึงเร่งเครื่องยนต์ให้มีรอบเพิ่มขึ้นสลับกับรอบเดินเบา เพื่อให้ลูกสูบและแหวนลูกสูบเรียงตัวพร้อมที่จะทำการทดสอบ โดยเร่งรอบของเครื่องยนต์ไปที่ 2,000 รอบต่อนาที ซึ่งเป็นค่าเริ่มต้น จากนั้นทำการป้อนภาระให้กับเครื่องยนต์แล้วค่อย ๆ ปรับตำแหน่งคันเร่งเพื่อให้รอบของเครื่องยนต์สูงขึ้นเรื่อย ๆ ทำการบันทึกค่าแรงบิด อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมัน และมลพิษที่เกิดขึ้น ทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบของเครื่องยนต์

ขั้นที่ 5 ศึกษาการสึกหรอของเครื่องยนต์ที่ใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วผสมน้ำมันดีเซลในอัตราส่วน 0, 25, 50, 75 และ 100 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ในการศึกษาการสึกหรอของเครื่องยนต์ที่ใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วผสมน้ำมันดีเซลในอัตราส่วน 0, 25, 50, 75 และ 100 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร โดยนำน้ำมันหล่อลื่นที่ยังไม่ผ่านการใช้งานไปทำการตรวจสอบหาปริมาณของโลหะที่มีอยู่ในน้ำมันหล่อลื่นเพื่อใช้สำหรับเปรียบเทียบ ทำการเก็บ

ตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่นประมาณ 20 ลบ.ซม. เพื่อนำไปวิเคราะห์หาปริมาณธาตุโลหะ โดยการเก็บตัวอย่างจะทำขณะที่เครื่องยนต์กำลังทำงานอยู่และทำการเติมน้ำมันเครื่องใหม่เข้าไปเท่าปริมาณที่เก็บตัวอย่าง เพื่อให้ระดับน้ำมันหล่อลื่นในเครื่องยนต์มีปริมาณเท่าเดิม ที่ระยะเวลาเดินเครื่อง 75 ชั่วโมง ทำการดับเครื่องยนต์ แล้วถอดชิ้นส่วนของเครื่องยนต์ออกมาเพื่อตรวจสอบสภาพของ ลูกสูบ แหวนลูกสูบ กระบอกสูบ วาล์ว ชิ้นส่วนภายในห้องเพลาช้อเหวี่ยง ทำการชั่งน้ำหนักแหวน ลูกสูบ พร้อมทั้งบันทึก จากนั้นทำการประกอบชิ้นส่วนต่าง ๆ ของเครื่องยนต์กลับคืนสภาพเดิม ทำการวิเคราะห์ทุก ๆ 75 ชั่วโมง

ขั้นที่ 6 ศึกษาประสิทธิภาพการทำงานในพื้นที่จริงเมื่อใช้เชื้อเพลิงไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วเทียบกับน้ำมันดีเซล ในศึกษาประสิทธิภาพการทำงานในพื้นที่จริงเมื่อใช้เชื้อเพลิงไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วเทียบกับน้ำมันดีเซล โดยการนำเครื่องยนต์ติดตั้งกับรถไถเดินตาม แล้วทำการไถพลิกหน้าดิน เครื่องยนต์ที่ใช้จะมีจำนวน 5 เครื่อง คือ เครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงดีเซล เครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงไบโอดีเซล เครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงดีเซลผสมไบโอดีเซล 25% เครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงดีเซลผสมไบโอดีเซล 50% และเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงดีเซลผสมไบโอดีเซล 75% ควบคุมสภาวะในการทดสอบให้เหมือนกันทุกครั้ง เพื่อให้ได้มาตรฐานในการทดสอบเดียวกัน ติดเครื่องยนต์ทิ้งไว้ประมาณ 20 นาที โดยให้เครื่องยนต์ทำงานที่รอบเดินเบา จากนั้นจึงเร่งเครื่องยนต์ให้มีรอบเพิ่มขึ้น สลับกับรอบเดินเบา เพื่อให้ลูกสูบและแหวนลูกสูบเรียงตัวพร้อมที่จะทำการทดสอบ โดยเร่งรอบของเครื่องยนต์ไปที่ 2,000 รอบต่อนาที ซึ่งเป็นค่าเริ่มต้น จากนั้นทำการป้อนภาระให้กับเครื่องยนต์ แล้วค่อย ๆ ปรับตำแหน่งคันเร่งเพื่อให้รอบของเครื่องยนต์สูงขึ้นเรื่อย ๆ ทำการบันทึกค่า อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมัน พื้นที่ในดราททดสอบ และเวลาการทำงาน ทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบของเครื่องยนต์

ขั้นที่ 7 ถ่ายทอดเทคโนโลยีการใช้เชื้อเพลิงไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วกับเครื่องจักรกลเกษตร เพื่อการเพิ่มศักยภาพด้านพลังงานในระดับชุมชน หลังจากที่ได้มีการศึกษาสมรรถนะเครื่องยนต์ขนาดเล็กในการใช้งานโดยใช้ น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วเป็นเชื้อเพลิงแล้ว จะเชิญส่วนราชการและเอกชนที่เกี่ยวข้องร่วมประชุม/สาธิตการทำงานของเครื่องจักรกลเกษตรเมื่อใช้เชื้อเพลิงไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว เพื่อการเพิ่มศักยภาพด้านพลังงานในระดับชุมชน

3.3 สถานที่ทำการวิจัย

3.3.1 สถานที่ทำโครงการ

1. อาคารปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้-แพร่ เฉลิมพระเกียรติ อ.ร้องกวาง จ.แพร่ 54140
2. อาคารนาร่องและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้-แพร่ เฉลิมพระเกียรติ อ.ร้องกวาง จ.แพร่ 54140
3. พื้นที่ทำการเกษตรของเกษตรกรบ้านแม่ทราย และบ้านร้องกวาง

3.3.2 ระยะเวลาทำโครงการ

ระยะเวลาทำโครงการเริ่มตั้งแต่เดือนตุลาคม 2551 ถึงเดือนกันยายน 2552

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

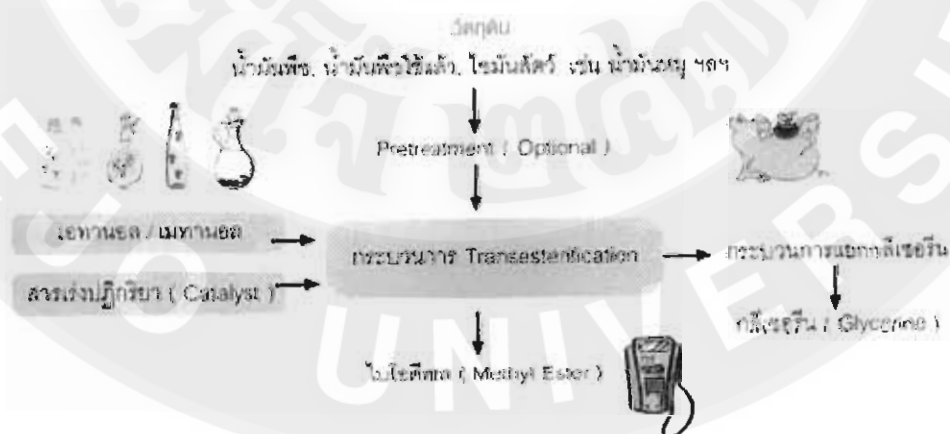
โครงการวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาสมรรถนะเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กในการทำงานจริงโดยใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วเป็นเชื้อเพลิง โดยทำการศึกษาและทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กตั้งแต่วันที่ 1 พฤศจิกายน 2551 ถึงวันที่ 30 ตุลาคม 2553 ผลทำการศึกษาสมรรถนะเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กในการทำงานจริงโดยใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วเป็นเชื้อเพลิง มีรายละเอียดดังนี้

4.1 การค้นคว้าเอกสารที่เกี่ยวข้องกับการศึกษา

จากการศึกษาค้นคว้าเอกสารต่าง ๆ ผู้วิจัยได้ทราบวิธีการผลิตไบโอดีเซลและองค์ประกอบที่เกี่ยวข้องในการทดสอบที่สำคัญ สำหรับเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วเป็นเชื้อเพลิง ดังนี้

4.1.1 กระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว

กระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว (ภาพที่ 4.1) สามารถแบ่งออกเป็นขั้นตอนใหญ่ ๆ ได้ 6 ขั้นตอน คือ



ภาพที่ 4.1 ผังกระบวนการผลิตไบโอดีเซล

4.1.1.1 ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ

เตรียมอุปกรณ์ที่ต้องใช้ให้ครบถ้วน อุปกรณ์ที่ใช้ขึ้นกับเครื่องมือที่มี บางคนมีชุดผลิตที่ทำขึ้นจากสแตนเลส บางคนมีชุดทดลองขนาดเล็ก บางคนมีชุดเขย่าด้วยขวด ทั้งนี้ขึ้นกับ

ความพร้อมของแต่ละคน แต่ที่สำคัญควรมีอุปกรณ์ป้องกันภัย ได้แก่ แวนตากันสารเคมี หมวก ที่ปิดจมูก รองเท้าบูท หรือหุ้มเท้า น้ำยาล้างตา เป็นต้น (ภาพที่ 4.2)



ภาพที่ 4.2 การเตรียมสารเคมีเพื่อเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการผลิตไบโอดีเซล

เตรียมน้ำมันพืชหรือน้ำมันสัตว์ที่ใช้แล้ว ขั้นตอนนี้มีความสำคัญ เพราะน้ำมันพืช/สัตว์ตั้งต้นจะเป็นปัจจัยหลักตัวหนึ่งที่จะบ่งบอกคุณภาพของไบโอดีเซลที่ผลิตได้ หากเป็นน้ำมันเก่าใช้แล้วต้องทำการเตรียมน้ำมัน เพื่อให้น้ำมันที่นำมาใช้มีความใส ไม่ขุ่นข้น (ภาพที่ 4.3) วิธีการเตรียมมีหลายวิธีดังนี้

กรองน้ำมันที่ผ่านการปรุงอาหารแล้วใส่หม้อ จากนั้นนำน้ำมันมาตั้งทิ้งไว้ รอให้แยกชั้น ดึงเอาแต่ชั้นใสไปเข้าถังพักน้ำมันดีเพื่อ ส่วนล่างที่เป็นตะกอนให้นำไปผสมน้ำเล็กน้อย (ประมาณ 10-15%) แล้วต้มที่อุณหภูมิ 100-120 องศาเซลเซียส ให้เดือดอยู่ที่ 100 องศาเซลเซียสขึ้นไปประมาณ 15 นาที อาจใช้เตาแก๊ส หรือเตาถ่าน จากนั้นทิ้งไว้ให้แยกชั้นอีก 1-2 วันแล้วนำส่วนที่ใสมารวมในถังน้ำมันดี และใช้น้ำมันส่วนที่ใสมาทำปฏิกิริยา และเมื่อได้ น้ำมันมาทั้งหมดให้นำไปผสมน้ำเล็กน้อยแล้วต้มที่อุณหภูมิ 100-120 องศาเซลเซียส ให้เดือดอยู่ที่ 100 องศาเซลเซียสขึ้นไปประมาณ 15 นาที โดยต้องคนตลอดเวลาเนื่องจากน้ำที่ใส่ลงไปจะปะทุขึ้นน้ำมันให้พุ่งขึ้นเมื่อถึงจุดเดือด อาจก่อให้เกิดอันตรายแก่ผู้ปฏิบัติงานได้ จากนั้นยกลง ทิ้งไว้ให้แยกชั้นใสอีก 1-2 วัน เอาแต่ชั้นใสไปทำไบโอดีเซล ส่วนน้ำที่เหลือชั้นล่าง หมักทำปุ๋ยหมักเพื่อรดน้ำต้นไม้



ภาพที่ 4.3 การเตรียมน้ำมันใช้แล้วเพื่อผลิตไบโอดีเซล

หาปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่ต้องใช้ โดยการไทเทรต น้ำมันพืชใช้แล้วมีค่าความเป็นกรดสูงกว่าน้ำมันใหม่ เพราะเมื่อน้ำมันพืชได้รับความร้อน ตำแหน่งของไฮโดรเจนในโมเลกุลจะทำให้เกิดเป็นสภาพกรดได้ง่าย และเกิดเป็นกรดไขมันอิสระขึ้น กรดไขมันอิสระเป็นผลมาจากการทอด น้ำมันให้ร้อน มันจะลอยเป็นอิสระปะปนอยู่กับไตรกลีเซอไรด์ในน้ำมัน ความเป็นอิสระของกรดไขมันเหล่านี้ คือ การที่มันพร้อมที่จะเข้าทำปฏิกิริยาตลอดเวลาเมื่อเจอกับต่าง และนี่เองที่เป็นตัวการสำคัญที่จะทำให้เกิด “ เยล ” (Jelly) ในการทำไบโอดีเซล ดังนั้นเราต้องกำจัดกรดไขมันอิสระเหล่านี้ออกจากน้ำมันก่อนทำปฏิกิริยา

การกำจัดกรดไขมันอิสระในน้ำมันพืชใช้แล้ว ต้องใช้ต่างซึ่งคือตัวเร่งปฏิกิริยาในปริมาณที่มากขึ้น กระบวนการตรงนี้ คือ การทำให้กรดไขมันอิสระเป็นกลาง (Neutralizing) จะใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาในปริมาณเท่าใดนั้นขึ้นอยู่กับว่าน้ำมันเป็นกรดมากน้อยแค่ไหน การหาค่ากรดไขมันอิสระ เพื่อหาปริมาณต่างที่ต้องใช้ในปริมาณที่พอดีนั้น ทำโดยการไทเทรต (ภาพที่ 4.4) โดยมีวิธีการไทเทรตดังนี้



ภาพที่ 4.4 การไทเทรต

1) เตรียม น้ำโซดาไฟ 0.1% โดยใช้ โซดาไฟ 5 กรัม กับน้ำกลั่น 500 ซีซี. ละลายเก็บไว้ก่อนทำการไตเตรท ให้เอาน้ำโซดาไฟที่ละลายไว้ 5 ซีซี. ผสมกับน้ำกลั่น 45 ซีซี. ก็จะได้ น้ำโซดาไฟ 0.1% (สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 0.1 นอร์มอล)

2) เตรียมฟีนอล์ฟทาลีน 1% โดยใช้ฟีนอล์ฟทาลีน 5.00 กรัม ละลายในไอโซโพรพานอล หรือ เมธิลแอลกอฮอล์ ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร กรณีผสมเอง หรือ แบบผสมเสร็จเป็นขวดก็ยิ่งสะดวก

3) นำน้ำมันพืชเก่าใส่น้ำ แล้วจำนวน 1 ซีซี. ผสมกับ ไอโซโพรพานอล 10 ซีซี. และ ฟีนอล์ฟทาลีน 1% (Phenolphthalein) 2-3 หยด คนให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกัน เพื่อความสะดวกและความแม่นยำมากขึ้น เราสามารถเพิ่มจำนวนน้ำมันในการทดสอบได้ เช่น ใช้ น้ำมัน 3 ซีซี. ไอโซโพรพานอล 30 ซีซี. และ ฟีนอล์ฟทาลีน เป็น 7-9 หยด เป็นต้น และผลลัพธ์ ที่ได้ต้องหาร 3 ตามเท่าของปริมาณที่เพิ่มขึ้น เช่น ได้ผลลัพธ์ 19.5 กรัม ปริมาณที่ใช้จริงเท่ากับ $19.5/3 = 6.5$ กรัม

4) นำ น้ำโซดาไฟ 0.1% มาหยดใส่ น้ำมันที่ผสม ไอโซโพรพานอล และ ฟีนอล์ฟทาลีน ไว้แล้ว โดยใช้หลอดหยด (dropper) และนับจำนวนหยดที่ใส่ ลงไปจนน้ำมันเป็นมีสีม่วงชมพู โดยเว้นระยะห่าง แต่ละหยดซัก 1 วินาที

5) ทันที ที่สีเปลี่ยนเป็นสีม่วงชมพู ให้หยุดหยด และนับเวลา 30 วินาที หากยังเปลี่ยนสีก็ให้หยดต่อไป จนสีคงที่ ให้ใช้จำนวนหยดนี้ในการคำนวณหาสัดส่วน ของแอลกอฮอล์กับตัวเร่งปฏิกิริยา (โซดาไฟ)

6) โดย ปกติทั่วไป 1 หยด dropper เท่ากับ 0.06 มล. เพราะฉะนั้น จำนวนหยด $\times 0.06$ จะได้จำนวนปริมาณ มิลลิลิตร ของโซดาไฟที่ต้องใช้ในการปรับสภาพกรดในน้ำมัน ให้เป็นกลาง (หากใช้หลอดเข็มฉีดยา ให้ดูว่าใช้ไปจำนวนเท่าไร) แล้วจึงบวกด้วย 3.5 (ปริมาตรมาตรฐานที่ใช้กับน้ำมันพืชใหม่) จึงจะเป็นปริมาณการใช้โซดาไฟที่แท้จริง สมมุติว่า ใช้ น้ำโซดาไฟ 0.1% ไปทั้งหมด 50 หยด ปริมาณการใช้โซดาไฟ = 0.06×50 เท่ากับ 3 กรัม + 3.5 = 6.5 กรัม/ลิตร หรือหากใช้หลอดเข็มฉีดยา และใช้ไป 3 ซีซี. เท่ากับต้องใช้โซดาไฟ $3 + 3.5 = 6.5$ กรัม (หากใช้โปดัสเซียมโครไรด์ 95% เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ให้ + 5 กรัม ถ้าความเข้มข้นต่ำที่ประมาณ 85% ให้ + 6 กรัม)

การเทียบปริมาตร 1 cc. = 1g. = 1ml. , 16 drops = 1 cc. = 1ml. , 1 drop = 0.06 ml

การคำนวณหาค่ากรดไขมันอิสระ กรดไขมันอิสระ = ปริมาตรต่างที่ใช้ (มิลลิลิตร) $\times$ ความเข้มข้นต่าง (นอร์มัล) $\times 28.2$ / น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม) เช่น $6.5 \times 0.1 \times 28.2 / 10 = 1.8 \%$

หมายเหตุ: กรณีค่าไทเทรตหาค่าสารตัวเร่งปฏิกิริยา (ต่าง) ที่ต้องใช้ รวมแล้วมากกว่า 10 กรัม ต่อน้ำมัน 1 ลิตร แสดงว่าค่าความเป็นกรดไขมันอิสระ (FFA) ของน้ำมันสูงกว่า 3 % มาก ซึ่งอาจจะทำให้เกิดความเสียหาย ในการทำไบโอดีเซลได้ จึงต้องหาทางลดค่ากรดไขมันอิสระเสียก่อน เข้าสู่ขบวนการผลิตต่อไป โดยการทำปฏิกิริยาแบบ 2 ขั้นตอน คือ กรด และ ต่าง

4.1.1.2 ขั้นตอนการทำปฏิกิริยา Transesterification

ขั้นแรกทำการอุ่นน้ำมันให้อุณหภูมิอยู่ระหว่าง $50-60^{\circ}\text{C}$ หากมีน้ำปนต้องต้มให้เดือด เพื่อไล่น้ำจนหมด แล้วรอให้อุณหภูมิลดลงอยู่ที่ $50-60^{\circ}\text{C}$ หากสูงเกินกว่านี้ จะทำให้เมทานอลระเหยได้ จากนั้นเติมเมทานอลที่ละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ไว้แล้ว โดยการใช้ปั๊มดูดเมทานอลและน้ำมันพืชผสมผ่านปั๊มวนในถังให้เข้ากันจนเป็นเนื้อเดียวกัน (ภาพที่ 4.5)

ข้อควรระวัง วิธี การปล่อยโซเดียมเมทอกไซด์ (เมทานอล+โซดาไฟ) แบบผสมเข้าทางท่อดูดน้ำมันแบบนี้ต้องค่อยๆ ปล่อยไหลเข้าไปที่ละน้อย อย่างช้าๆ ก่อนจะเกิดปฏิกิริยาทางเคมี สังเกตเห็นน้ำมันยังใส ขณะผสม น้ำมันก็เริ่ม ขุ่นขึ้น ต่อมาจะเกิดการแยกตัวของกลีเซอริน และน้ำมันกลับมาเริ่มใสอีกครั้ง ปล่อยให้กลีเซอริน แยกตัวออกไปโอดีเซล จนหมด อาจใช้เวลาหลายชั่วโมง ขึ้นอยู่กับปริมาณที่ผลิต



ก. ขั้นตอนการทำปฏิกิริยาด้วยแรงคน



ข. ขั้นตอนการทำปฏิกิริยาด้วยเครื่องผลิตไบโอดีเซล

ภาพที่ 4.5 การทำปฏิกิริยาด้วยแรงคน (ก) และการทำปฏิกิริยาด้วยด้วยเครื่องผลิตไบโอดีเซล (ข)

4.1.1.3 ขั้นตอนการแยกกลีเซอรินออกจากน้ำมัน

ภายหลังจากเขย่าหรือกววน ตั้งทิ้งไว้ให้กลีเซอรินแยกตัว จะเห็นการแยกชั้นชัดเจนระหว่าง เมทิลเอสเตอ์ (ของเหลวสีเหลืองใส) กับ กลีเซอริน (สีน้ำตาลเหนียวถึงเป็นก้อน) หากเป็นการทดลองขนาดปริมาณน้อย ๆ ประมาณไม่เกิน 1 ลิตร ใช้เวลาแยกตัวประมาณ 2-4 ชั่วโมง หาก

ปริมาณมาก ต้องทิ้งไว้ไม่ต่ำกว่า 8 ชั่วโมง อาจทิ้งตากแดดจะช่วยให้เกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องที่สมบูรณ์ยิ่งขึ้นและแยกตัวเร็วขึ้น ภายในหนึ่งชั่วโมงจะสังเกตเห็นปริมาณกลีเซอรินตกออกมาเป็นส่วนของเหลวหนืดๆ สีเข้มอยู่ด้านล่าง จากนั้นไขกลีเซอรินออก กลีเซอรินที่ได้จะมีปริมาณตั้งแต่ 5-20% ดังภาพที่ 4.6



ก. การแยกชั้นของกลีเซอรินและการแยกกลีเซอรินออกจากร้ำมันไบโอดีเซลด้วยแรงคน



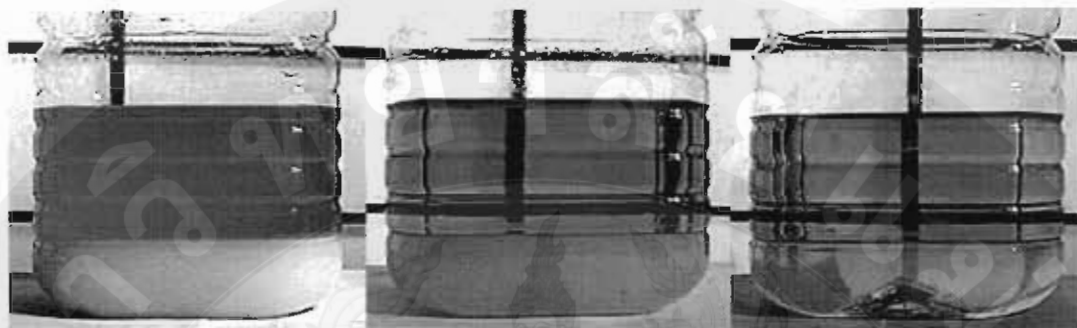
ข. การแยกชั้นของกลีเซอรินและการแยกกลีเซอรินออกจากร้ำมันไบโอดีเซลด้วยเครื่องผลิต

ภาพที่ 4.6 การแยกชั้นของกลีเซอรินและการแยกกลีเซอรินออกจากร้ำมันไบโอดีเซล

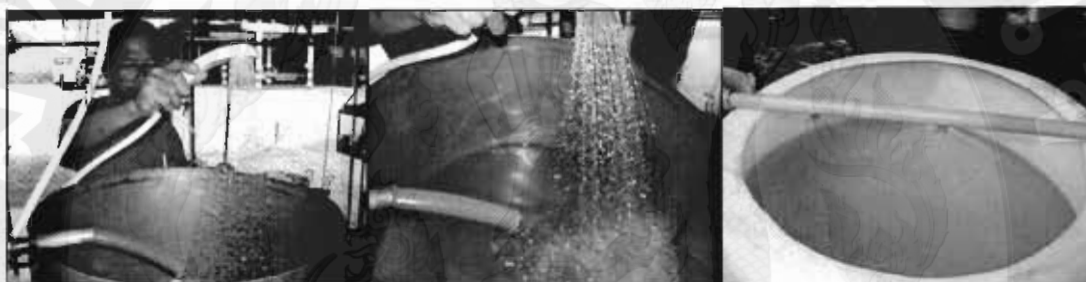
4.1.1.4 ขั้นตอนการล้างน้ำมันไบโอดีเซล

ทำการแยกน้ำมันไบโอดีเซลที่อยู่ด้านบนจะมีสีใส (กลีเซอรินอยู่ด้านล่างมีสีดำคล้ำ) มาทำการล้างด้วยน้ำ เพื่อขจัด กลีเซอริน, เมทานอล, สารเร่งที่ตกค้างหลงเหลืออยู่และสิ่งสกปรกอื่นๆ ที่ปนอยู่ในน้ำมัน ออกไป แล้วนำไบโอดีเซลใสในถังล้าง เติมน้ำเปล่าเท่ากับหนึ่งในสามของน้ำมันไบโอดีเซล ใช้ท่อพีวีซี ปิดหัว แล้วใช้หัวมินิสปริงเกอร์แบบฉีดฝอย หาซื้อได้จาก ร้านขายเครื่องมือเกษตร น้ำหยด วางท่อฉีดฝอยด้านบนดังรูป ข้อสำคัญ บันน้ำควร มีตัวควบคุมไฟ ที่เรียกว่าติเมเมอร์ คุณไม่ให้ปั้มน้ำหมุนเร็วเกินไป จะทำให้แรงดันน้ำมัน ฉีดแรงเกินไป เพราะรูสปริงเกอร์ ออกมีขนาดเล็กมาก อาจทำให้ท่อพลาสติกและ สปริงเกอร์ หลุดหรือแตกเสียหายได้ วางท่อฉีดฝอยบนถังล้าง ฉีดน้ำฝอยแรงพอประมาณ ลงบนน้ำมันไบโอดีเซล จนน้ำล้างเริ่ม มีสีขาวขุ่น

มาก ก็เปลี่ยนน้ำใหม่ ทำอีก 1-2 ครั้ง หรือทดสอบที่ค่าน้ำล้าง ให้มีค่าเป็นกลาง (PH7) ให้มากที่สุด (ภาพที่ 4.7)



ก. การล้างน้ำมันไบโอดีเซลจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลด้วยแรงคน

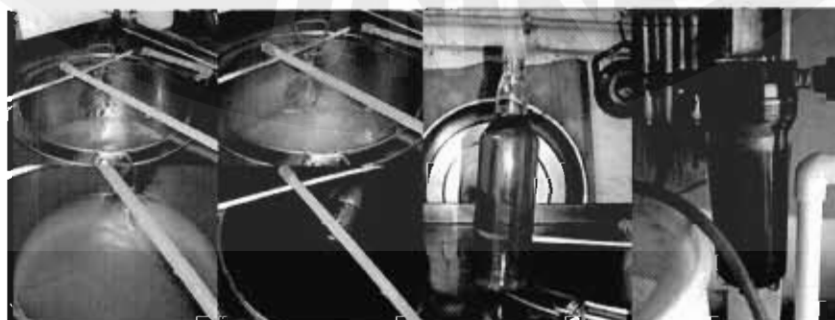


ข. การล้างน้ำมันไบโอดีเซลจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลด้วยเครื่องผลิต

ภาพที่ 4.7 การล้างน้ำมันไบโอดีเซล

4.1.1.5 ขั้นตอนการกำจัดน้ำออกจากน้ำมันไบโอดีเซล

นำน้ำมันไบโอดีเซลที่ผ่านกระบวนการล้างน้ำแล้ว มาอุ่นให้ร้อน 70-80 องศา ใช้อุปกรณ์ จี๊ดฝอยหรือหัวฝักบัว วางบนถังต้มไอน้ำ จี๊ดฝอยไปเรื่อยๆ ให้ความชื้นออกจากน้ำมัน จนน้ำมันใส และทำต่อไปอีกสัก 15-20 นาที หรือนำน้ำมันใส่ขวดสองดูตัวหนังสือด้านหลังเห็นชัดเจน ก็เป็นอันใช้ได้ครับ นำน้ำมันไปกรองอีกครั้ง ด้วยผ้ากรอง หรือ อุปกรณ์กรองน้ำ ที่มีความละเอียด 1 ไมครอน ก่อนนำไปใช้งาน ดังภาพที่ 4.8



ภาพที่ 4.8 การกำจัดน้ำหรือการไล่ความชื้นออกจากน้ำมันไบโอดีเซล

4.1.1.6 ขั้นตอนการจัดเก็บน้ำมันไบโอดีเซล

หลังจากการกำจัดน้ำหรือไล่ความชื้นออกจากน้ำมันไบโอดีเซลแล้ว ให้นำน้ำมันไปกรองอีกครั้ง ด้วยผ้ากรอง หรือ อุปกรณ์กรองน้ำ ที่มีความละเอียด 1 ไมครอน ก่อนนำไปใช้งานหรือนำเข้าสู่ถังเก็บต่อไป ดังภาพที่ 4.9



ภาพที่ 4.9 ถังเก็บน้ำมันไบโอดีเซลที่ได้จากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล

4.1.2 การทดสอบเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็ก

การวัดและทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์จากการใช้เชื้อเพลิงผสม ถือเป็นหลักสำคัญของงานวิจัยนี้ จำเป็นต้องศึกษาเพื่อให้เข้าใจถึงวิธีการเพื่อให้ได้มาซึ่งค่าต่าง ๆ หรือผลลัพธ์ที่ต้องการทราบจริงแล้วสมรรถนะของเครื่องยนต์อาจมีความหมายหลายประการ เช่น ความสามารถในการประสิทธิภาพ แรงบิด กำลังงาน ความเร็วหรือความเร็วยรอบ และความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง เป็นต้น การวัดและทดสอบที่สำคัญๆ นั้น โดยจะมีองค์ประกอบที่เกี่ยวข้องในการทดสอบที่สำคัญ สำหรับเครื่องยนต์ดีเซลจะมีดังต่อไปนี้

- | | | |
|--------------------------------|---|---------------------------|
| - แรงม้าอินดิเคต | - แรงม้าเบรก | - อัตราการสิ้นเปลืองอากาศ |
| - อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง | - อัตราเร็วยรอบ | - การวิเคราะห์ไอเสีย |
| - อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็น | - ความดันและอุณหภูมิเข้าหรือออกของไอดีและไอเสีย | |
| - การฉีดลวงน้ำ | - ความหนาแน่นของคว้นไอเสีย | |

ในการทดสอบในกรณีพิเศษเฉพาะหรือในงานวิจัย อาจจะต้องมีการวัดหาค่า นอกเหนือจากหัวข้อต่าง ๆ ที่กล่าวมา เช่น การหาประสิทธิภาพการทำงานในพื้นที่จริง การวัดอุณหภูมิของผนังกระบอกสูบ การวัดอุณหภูมิของหัวลูกสูบ หรืออื่น ๆ

4.2 การเตรียมวัสดุอุปกรณ์และชุดทดสอบ

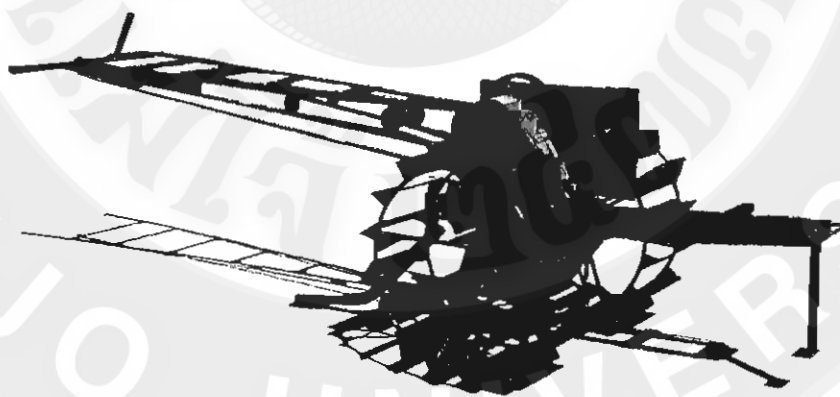
ในเบื้องต้นทีมงานผู้วิจัยได้จัดเตรียมวัสดุอุปกรณ์และชุดทดสอบ เพื่อใช้ในการทดสอบเรียบร้อยแล้ว ซึ่งรายการหลัก ๆ มีดังนี้

4.2.1 เครื่องยนต์และรายละเอียดทางเทคนิคของเครื่องยนต์ที่ใช้ทดสอบ

เครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดสอบ อยู่ที่มหาวิทยาลัยแม่โจ้-แพร่ เฉลิมพระเกียรติ เป็นเครื่องยนต์ดีเซลสูบเดียว 4 จังหวะ ระบายความร้อนด้วยน้ำ ยี่ห้อคูโบตา รุ่น RT80 ดังภาพที่ 4.10 และ 4.11



ภาพที่ 4.10 เครื่องยนต์ดีเซลสูบเดียว ยี่ห้อคูโบตา รุ่น RT80



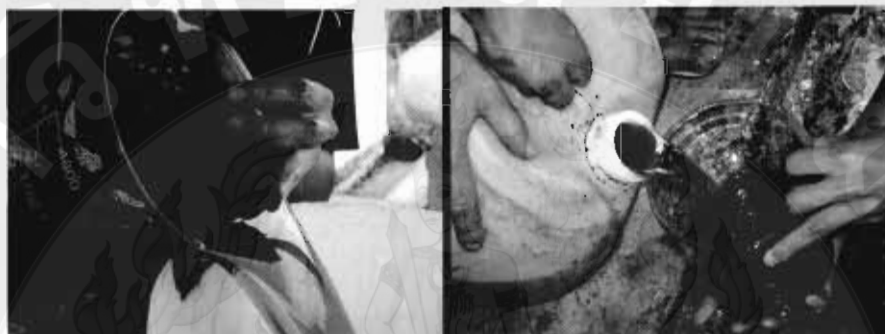
ภาพที่ 4.11 โครงรถไถเดินตาม

ตารางที่ 4.1 รายละเอียดทางเทคนิคของเครื่องยนต์ที่ใช้ทดสอบ

รุ่น	RT 80
แบบ	เครื่องยนต์ดีเซลสูบบนระบบ 4 จังหวะ ระบายความร้อนด้วยน้ำ
จำนวนลูกสูบ	1
ขนาดกระบอกสูบ X ช่วงชัก, มม. X มม.	82 X 84
ปริมาตรช่วงชัก, ลบ.ม.	465
กำลังเครื่องยนต์สูงสุด, แรงม้าที่รอบต่อนาที	8/2400 (5.9 kW/2400)
กำลังเครื่องยนต์ต่อเนื่อง, แรงม้าที่รอบต่อนาที	7/2400(5.1 kW/2400)
อัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะ, กรัมต่อ กิโลวัตต์ชั่วโมง	258 g/PS-hr (190 กรัมต่อแรงม้าต่อชั่วโมง)
อัตราส่วนการอัด	13:1
ระยะตั้งลิ้น, มม.	0.16-0.20
แรงบิดสูงสุด, กิโลกรัมแรงเมตรที่รอบต่อนาที	2.8/1600
ความจุน้ำระบายความร้อน, ลบ.ม.	1.6
ความจุน้ำมันเชื้อเพลิง, ลบ.ม.	10
ความจุน้ำมันหล่อลื่น, ลบ.ม.	2.4
ชนิดของน้ำมันเชื้อเพลิง	น้ำมันดีเซล
ชนิดของน้ำมันหล่อลื่น	SAE 40 API CC. หรือ SAE 40 API CF
ชนิดของระบบการเผาไหม้	แบบห้องเผาไหม้ล่วงหน้า Spherical Combustion System
แบบของระบบระบายความร้อน	หม้อน้ำแบบรังผึ้ง
ชนิดของระบบหล่อลื่น	ขับเคลื่อนน้ำมันหล่อลื่นโดยปั๊มไทรคอยด์
ชนิดของหม้อกรองอากาศ	แบบเปียก
ชนิดของระบบการเริ่มต้นเครื่องยนต์	แบบมือหมุนชนิดความเร็ว 2 เท่า
ขนาดแบตเตอรี่	แบตเตอรี่ 12 โวลต์ ขนาด 30 แอมป์ขึ้นไป
ทิศทางการหมุน	หมุนตามเข็มนาฬิกา เมื่อมองทางมือหมุน
น้ำหนักเครื่องยนต์, กิโลกรัม	88

4.2.2 การผสมน้ำมันระหว่างน้ำมันดีเซลและไบโอดีเซลตามอัตราส่วน

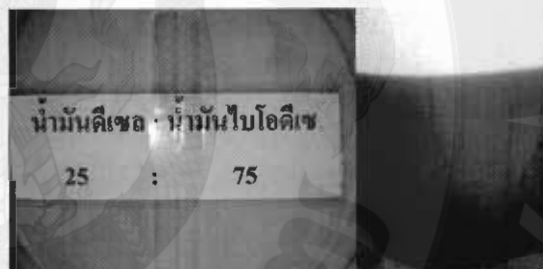
ทางทีมผู้วิจัยได้ทำการผสมน้ำมันไบโอดีเซลกับน้ำมันดีเซล ในอัตราส่วน น้ำมันดีเซลต่อน้ำมันไบโอดีเซล คือ 0:100, 25:75, 50:50, 75:25 และ 100:0 ตามลำดับ โดยผสมให้ได้น้ำมันผสมจำนวน 100 ลิตรก่อนในเบื้องต้น ดังภาพที่ 4.12 และ 4.13



ภาพที่ 4.12 การผสมน้ำมันไบโอดีเซลกับน้ำมันดีเซล



ก. อัตราส่วนน้ำมันดีเซลต่อบิโอดีเซล 0 : 100



ข. อัตราส่วนน้ำมันดีเซลต่อบิโอดีเซล 25 : 75



ค. อัตราส่วนน้ำมันดีเซลต่อบิโอดีเซล 50 : 50



ง. อัตราส่วนน้ำมันดีเซลต่อบิโอดีเซล 75 : 25



จ. อัตราส่วนน้ำมันดีเซลต่อบิโอดีเซล 100 : 0

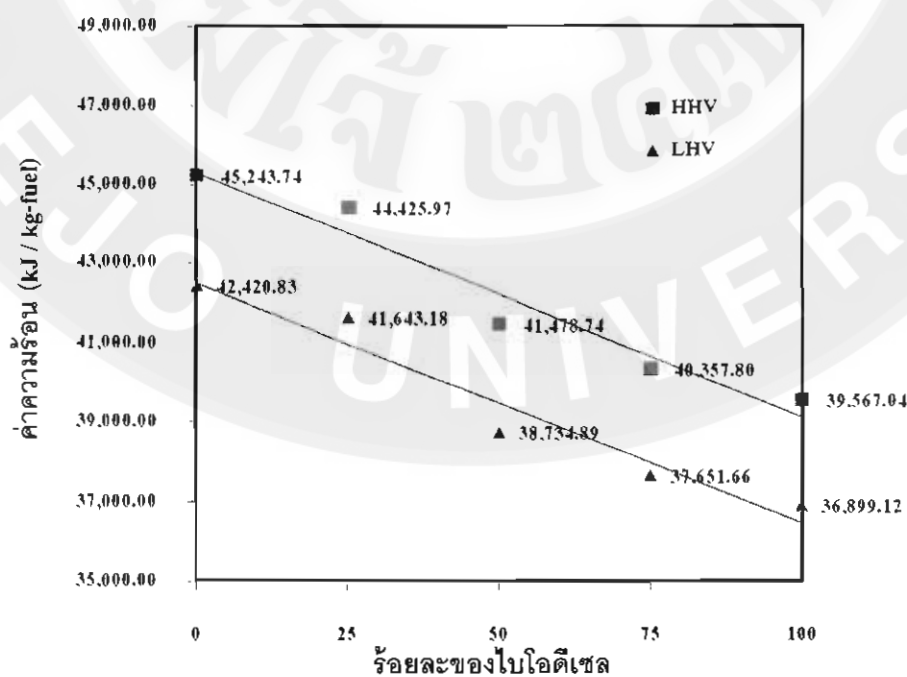
ภาพที่ 4.13 การผสมน้ำมันไบโอดีเซลกับน้ำมันดีเซล ในอัตราส่วนต่าง ๆ

4.3 ผลการศึกษาคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลในอัตราส่วนผสมต่าง ๆ

4.3.1 การศึกษาทั้งค่าความร้อนของน้ำมันส่วนผสมต่าง ๆ

จากการผสมน้ำมันไบโอดีเซลกับน้ำมันดีเซล ในอัตราส่วนน้ำมันดีเซลต่อน้ำมันไบโอดีเซล คือ 100:0, 75:25, 50:50, 25:75 และ 0:100 ตามลำดับ ทีมผู้วิจัยได้ทำการตรวจวัดค่าความร้อน ทั้งค่าความร้อนสูงและค่าความร้อนต่ำโดยใช้เครื่องบอมแคลอรีมิเตอร์ พบว่า ค่าความร้อนทั้งค่า ความร้อนสูงและค่าความร้อนต่ำของน้ำมันส่วนผสมต่าง ๆ จะลดลงเมื่ออัตราส่วนการผสมของ น้ำมันไบโอดีเซลเพิ่มขึ้น เนื่องจากน้ำมันไบโอดีเซลมีค่าความร้อนต่ำกว่าน้ำมันดีเซล (ภาพที่ 4.14)

และเมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าความร้อนต่ำระหว่างน้ำมันดีเซลและน้ำมันไบโอดีเซลในอัตราส่วนต่าง ๆ จะเห็นว่า ค่าความร้อนจะมีค่าลดลงเมื่ออัตราส่วนของน้ำมันไบโอดีเซล เพิ่มขึ้น ซึ่งไม่ต่างกับการลดลงของค่าความร้อนสูง เนื่องจากทั้งน้ำมันดีเซลและน้ำมันไบโอดีเซลมี ปริมาณของน้ำที่เกิดจากการเผาไหม้ใกล้เคียงกัน เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าความร้อนต่ำ ซึ่งเป็น ค่าที่นำไปคำนวณประสิทธิภาพ โดยคิดเทียบต่อปริมาตร จะพบว่าความแตกต่างของพลังงานที่ได้ จะน้อยลง เนื่องจากความหนาแน่นของน้ำมันไบโอดีเซลสูงกว่า ในตารางที่ 4.2 ได้แสดงค่าความ แตกต่างของค่าความร้อนต่ำระหว่างน้ำมันดีเซลกับน้ำมันไบโอดีเซล โดยคิดความหนาแน่นของ น้ำมันดีเซลเท่ากับ 0.85 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และคิดความหนาแน่นของน้ำมันไบโอดีเซล เท่ากับ 0.89 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ดังนี้



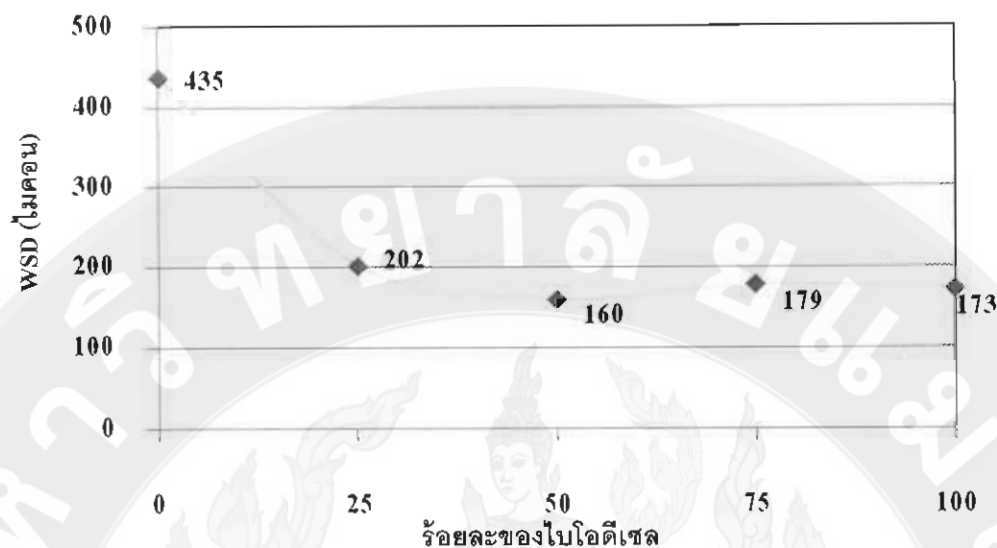
ภาพที่ 4.14 ค่าความร้อนที่อัตราส่วนผสมไบโอดีเซลต่าง ๆ

ตารางที่ 4.2 ความแตกต่างของค่าความร้อนต่ำของเชื้อเพลิงที่ผสมไบโอดีเซลที่สัดส่วนต่าง ๆ กับ น้ำมันดีเซล

ตัวอย่างเชื้อเพลิง	LHV (kJ/kg)	LHV (kJ/kg)	ร้อยละของ ผลต่างโดยมวล	ร้อยละของ ผลต่างโดย ปริมาตร
B0	42,420.83	36,057.71	0.00%	0.00%
B25	41,643.18	35,813.14	1.83%	0.68%
B50	38,734.89	33,699.36	8.69%	6.54%
B75	37,651.66	33,133.47	11.24%	8.11%
B100	36,899.12	32,840.22	13.02%	8.92%

4.3.2 ผลการทดสอบการสึกหรอโดยวิธี HFRR ของตัวอย่างน้ำมันไบโอดีเซลในอัตราส่วนผสมต่าง ๆ

จากการทดสอบการสึกหรอ เพื่อดูความสามารถในการหล่อลื่นเป็นค่าที่วัดจากความกว้างเฉลี่ยของรอยสึกหรอที่เกิดจากการขัดถูระหว่างลูกเหล็กทรงกลมกับจานเหล็ก เรียกว่า wear scar diameter ,WSD เพื่อพิจารณาผลของความสึกหรอที่อาจเกิดขึ้นกับปั๊มฉีดเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็ก ซึ่งอาศัยตัวน้ำมันเชื้อเพลิงเป็นตัวหล่อลื่นลูกปั๊ม น้ำมันที่มีความสามารถในการหล่อลื่นดีจะให้ค่า WSD ต่ำ ตามมาตรฐานสำหรับน้ำมันดีเซลกำหนดค่า WSD ไว้ที่ไม่เกิน 460 ไมโครเมตร จากผลการทดสอบที่ได้ ได้แสดงไว้ในภาพที่ 4.15 พบว่า เมื่อทำการผสมน้ำมันไบโอดีเซลร้อยละ 25 (B25) ค่า WSD จะลดลงมากกว่าร้อยละ 50 แต่เมื่อผสมน้ำมันไบโอดีเซลมากกว่าร้อยละ 25 ขึ้นไป พบว่า ค่า WSD จะมีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างน้อยและไม่แน่นอน จากผลที่เกิดขึ้นแสดงว่าการผสมน้ำมันไบโอดีเซลเข้าไปจะช่วยลดความสูญเสียพลังงานเนื่องจากความเสียดทานในปั๊มฉีดเชื้อเพลิงและความสึกหรอของปั๊มฉีดเชื้อเพลิงได้ดี



ภาพที่ 4.15 ค่าการสึกหรอ HFRR ที่อัตราส่วนผสมไบโอดีเซลต่าง ๆ

4.4 ผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กที่ใช้ไบโอดีเซลในอัตราส่วนผสมต่าง ๆ

ในเบื้องต้นทีมผู้วิจัยได้ทำการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กที่ใช้น้ำมันดีเซล น้ำมันไบโอดีเซล และน้ำมันไบโอดีเซลผสมดีเซลที่อัตราส่วนต่าง ๆ สำหรับการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กในงานวิจัยนี้ใช้เครื่องทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์เป็นแบบ Eddy Current Dynamometer ของบริษัท สยามคูโบต้า จำกัด โดยมีเงื่อนไขในการทดสอบคือทดสอบเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบตั้งแต่ 1,200 ถึง 2,500 รอบต่อนาที โดยในการทดสอบได้ทำการวัดค่าที่สำคัญดังนี้

ผลการทดลองหาค่าแรงบิดและค่ากำลังของเครื่องยนต์ทั้ง 5 ชนิด พบว่า น้ำมันไบโอดีเซลในอัตราส่วนผสมต่าง ๆ ให้ค่าแรงบิด และค่ากำลังของเครื่องยนต์ใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล โดยมีค่าต่ำกว่าเพียงเล็กน้อย ค่าแรงบิดจากน้ำมันไบโอดีเซลในอัตราส่วนผสมต่าง ๆ จะมีค่าใกล้เคียงกับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลในช่วงความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 1,200 ถึง 1,800 รอบต่อนาที โดยให้ค่าแรงบิดสูงสุดที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 1,600 รอบต่อนาที จากนั้นก็จะลดต่ำลงเรื่อย ๆ สำหรับกำลังของเครื่องยนต์ที่ได้จากการใช้น้ำมันไบโอดีเซลในอัตราส่วนผสมต่าง ๆ ก็พบว่า มีค่าใกล้เคียงกับค่ากำลังที่ได้จากน้ำมันดีเซลในช่วง 1,200 ถึง 2,200 รอบต่อนาที และจะให้กำลังงานสูงสุดที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ประมาณ 2,200 รอบต่อนาทีและจะค่อยลดต่ำลงเรื่อย ๆ

ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับ Brake Power ของเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กที่ใช้ไบโอดีเซลในอัตราส่วนผสมต่าง ๆ พบว่า การใช้น้ำมันไบโอดีเซลในอัตราส่วนผสมต่าง ๆ จะมีค่า Brake Power ที่สูงกว่าการใช้น้ำมันดีเซล ค่า Brake Power ที่มีค่าสูงนี้น่าจะเป็นเพราะเชื้อเพลิงที่มีส่วนผสมของน้ำมันไบโอดีเซลมีอัตราการไหลของมวลเชื้อเพลิงมากขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากความหนาแน่น และความหนืดที่มีมากกว่าน้ำมันดีเซล ทั้งนี้เป็นเพราะน้ำมันไบโอดีเซลมีความหนาแน่นมากกว่าจะทำให้มีอัตราการไหลของมวลมากกว่าในปริมาตรที่เท่ากัน และการที่น้ำมันไบโอดีเซลมีความหนืดที่มากกว่า จะทำให้มีการรั่วในปั๊มน้อยกว่าการใช้น้ำมันดีเซล

อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะของเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันไบโอดีเซลในอัตราส่วนผสมต่าง ๆ เปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล พบว่า อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะของเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันไบโอดีเซลในอัตราส่วนผสมต่าง ๆ สูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซลอยู่ประมาณ 10-15% เนื่องจากน้ำมันไบโอดีเซลมีค่าความร้อนที่ต่ำกว่านั่นเอง

4.5 ผลการศึกษาการสึกหรอของเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กที่ใช้ไบโอดีเซลในอัตราส่วนผสมต่าง ๆ

ในเบื้องต้นทีมผู้วิจัยได้ทำการศึกษการสึกหรอของเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กที่ใช้ น้ำมันดีเซล น้ำมันไบโอดีเซล และน้ำมันไบโอดีเซลผสมดีเซลที่อัตราส่วนต่าง ๆ ในการทดสอบได้ทำการวัดค่าที่สำคัญดังนี้

การใช้ไบโอดีเซลในอัตราส่วนผสมต่าง ๆ พบว่า จะมีคราบคาร์บอนเป็นปกติที่บริเวณกระบอกสูบ แต่การใช้ไบโอดีเซลจะสังเกตการณ์เผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ เนื่องจากความหนืดและทำให้เกิดคาร์บอนที่บริเวณหัวฉีดมากกว่าปกติ การใช้ไบโอดีเซลจะมีคราบของคาร์บอนหลงเหลือที่บริเวณกระบอกสูบมากกว่าการใช้น้ำมันดีเซลทั่วไป และหลังจากการใช้งาน ลูกสูบปั๊มเชื้อเพลิงแรงดันสูงจะมีการสึกหรอจากการเสียดสีทำให้เป็นรอยเส้นและหลุมจากการกระทบกันของลูกสูบและเสื้อสูบเพียงเล็กน้อย ซึ่งไม่มีผลกระทบที่มีนัยสำคัญต่อการทำงานของเครื่องยนต์

4.6 ผลการศึกษามลพิษของเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กที่ใช้ไบโอดีเซลในอัตราส่วนผสมต่าง ๆ

ในเบื้องต้นทีมผู้วิจัยได้ทำการศึกษามลพิษของเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กที่ใช้ น้ำมันดีเซล น้ำมันไบโอดีเซล และน้ำมันไบโอดีเซลผสมดีเซลที่อัตราส่วนต่าง ๆ ในการทดสอบได้ทำการวัดค่าที่สำคัญดังนี้

ค่าความหนาแน่นของควันของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันไบโอดีเซล เทียบกับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล พบว่า เครื่องยนต์ที่ไบโอดีเซลจะมีค่าควันดำน้อยกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล ประมาณ 40% เนื่องจากส่วนประกอบของน้ำมันไบโอดีเซลมีออกซิเจนเป็นส่วนประกอบ จึงทำให้การเผาไหม้ของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันไบโอดีเซลสมบูรณ์กว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล

การหาปริมาณแก๊สไอเสียที่ปล่อยจากเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็ก โดยใช้ใช้น้ำมันไบโอดีเซล ในอัตราส่วนผสมต่าง ๆ พบว่า การใช้น้ำมันไบโอดีเซลในอัตราส่วนผสมต่าง ๆ จะมีปริมาณของคาร์บอนมอนนอกไซด์ที่น้อยกว่าการใช้น้ำมันดีเซล ทั้งนี้เนื่องจากสัดส่วนของน้ำมันไบโอดีเซลสามารถผสมกับอากาศได้เหมาะสม จึงเกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ และมีปริมาณคาร์บอนมอนนอกไซด์ออกมาน้อย โดยปริมาณของคาร์บอนมอนนอกไซด์จะแสดงถึงการเกิดกระบวนการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ขึ้นในกระบอกสูบ

4.7 ศึกษาการสึกหรอของเครื่องยนต์ที่ใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วผสมน้ำมันดีเซล

ผลการศึกษาการวัดการสึกหรอที่ได้จากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันไบโอดีเซลกับน้ำมันดีเซล ในอัตราส่วนน้ำมันดีเซลต่อน้ำมันไบโอดีเซล คือ 100:0, 75:25, 50:50, 25:75 และ 0:100 ตามลำดับ สามารถนำมาเปรียบเทียบกันและตรวจสอบได้ว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ตามมาตรฐานของเครื่องยนต์ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

4.7.1 ผลการวัดระยะห่างปากแหวน

จากคู่มือเครื่องยนต์คูโบต้า รุ่น RT บริษัท สยามคูโบต้า อุตสาหกรรม จำกัด ได้กำหนดค่ามาตรฐานของระยะห่างปากแหวนอยู่ที่ 0.20 – 0.40 มม. และค่าที่ยอมให้ได้ คือ 1.20 มม. โดยผลการวัดการสึกหรอของระยะห่างปากแหวนที่วัดได้จากเครื่องยนต์ทั้ง 5 ชนิด พบว่า ค่าระยะห่างปากแหวนที่ได้อยู่ในเกณฑ์ค่ามาตรฐานและไม่มี ความแตกต่างที่ชัดเจน แสดงว่าผลกระทบเนื่องจากใช้น้ำมันทั้ง 5 ชนิด ยังไม่ชัดเจน มากนัก ในระยะเวลาทำงาน 300 ชั่วโมง รายละเอียดดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลการวัดการสึกหรอของระยะห่างปากแหวน

แหวนตัวที่	เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันไบโอดีเซลกับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วนต่าง ๆ				
	D100	B25	B50	B75	B100
แหวนตัวที่ 1 (มม.)	0.35	0.35	0.40	0.40	0.45
แหวนตัวที่ 2 (มม.)	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
แหวนตัวที่ 3 (มม.)	0.45	0.45	0.43	0.40	0.40
แหวนตัวที่ 4 (มม.)	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50

4.7.2 ผลการวัดระยะห่างระหว่างแหวนกับร่องแหวนลูกสูบ

จากคู่มือเครื่องยนต์คูโบต้า รุ่น RT บริษัท สยามคูโบต้า อุตสาหกรรม จำกัด ได้กำหนดค่ามาตรฐานของระยะห่างระหว่างแหวนกับร่องแหวนลูกสูบอยู่ที่ 0.02 - 0.052 มม. และค่าที่ยอมให้ได้ คือ 0.15 มม. โดยผลการวัดการสึกหรอของระยะห่างระหว่างแหวนกับร่องแหวนลูกสูบที่วัดได้จากเครื่องยนต์ทั้ง 5 ชนิด พบว่า ค่าระยะห่างระหว่างแหวนกับร่องแหวนลูกสูบที่ได้อยู่ในเกณฑ์ค่ามาตรฐานและมีค่าใกล้เคียง (เท่ากัน) รายละเอียดดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ค่าการวัดระยะห่างระหว่างร่องแหวนกับแหวนลูกสูบ

แหวนตัวที่	เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันไบโอดีเซลกับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วนต่าง ๆ				
	D100	B25	B50	B75	B100
แหวนตัวที่ 1 (มม.)	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
แหวนตัวที่ 2 (มม.)	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
แหวนตัวที่ 3 (มม.)	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
แหวนตัวที่ 4 (มม.)	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05

4.7.3 ผลการวัดปลอกสูบ

จากคู่มือเครื่องยนต์คูโบต้า รุ่น RT บริษัท สยามคูโบต้า อุตสาหกรรม จำกัด ได้กำหนดค่ามาตรฐานของการสึกหรอของปลอกสูบอยู่ที่ค่ามาตรฐาน 92.010 – 92.032 มม. และค่าที่ยอมให้ได้ คือ 0.20 มม. โดยผลการวัดการสึกหรอของของปลอกสูบที่วัดได้จากเครื่องยนต์ทั้ง 5 ชนิด พบว่า พบว่าการวัดในแนวตั้ง จุดต่ำสุดของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันไบโอดีเซลจะสึกมากกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล 0.02 มม. ส่วนการวัดในแนวราบจุดบนสุดและจุดกึ่งกลางเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันไบโอดีเซล จะสึกมากกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล 0.01 มม.

ตารางที่ 4.5 การวัดการสึกหรอของปลอกสูบ

การวัดในแนวตั้ง	เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันไบโอดีเซลกับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วนต่าง ๆ				
	D100	B25	B50	B75	B100
จุดบนสุด (มม.)	92.05	92.05	92.05	92.05	92.05
จุดกึ่งกลาง (มม.)	92.04	92.04	92.04	92.05	92.05
จุดต่ำสุด (มม.)	92.02	92.02	92.03	92.03	92.04
การวัดในแนวราบ	เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันไบโอดีเซลกับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วนต่าง ๆ				
	D100	B25	B50	B75	B100
จุดบนสุด (มม.)	92.04	92.04	92.04	92.05	92.05
จุดกึ่งกลาง (มม.)	92.04	92.04	92.04	92.05	92.05
จุดต่ำสุด (มม.)	92.06	92.06	92.06	92.06	92.06

4.7.4 ผลวัดค่าแรงดันหัวฉีด

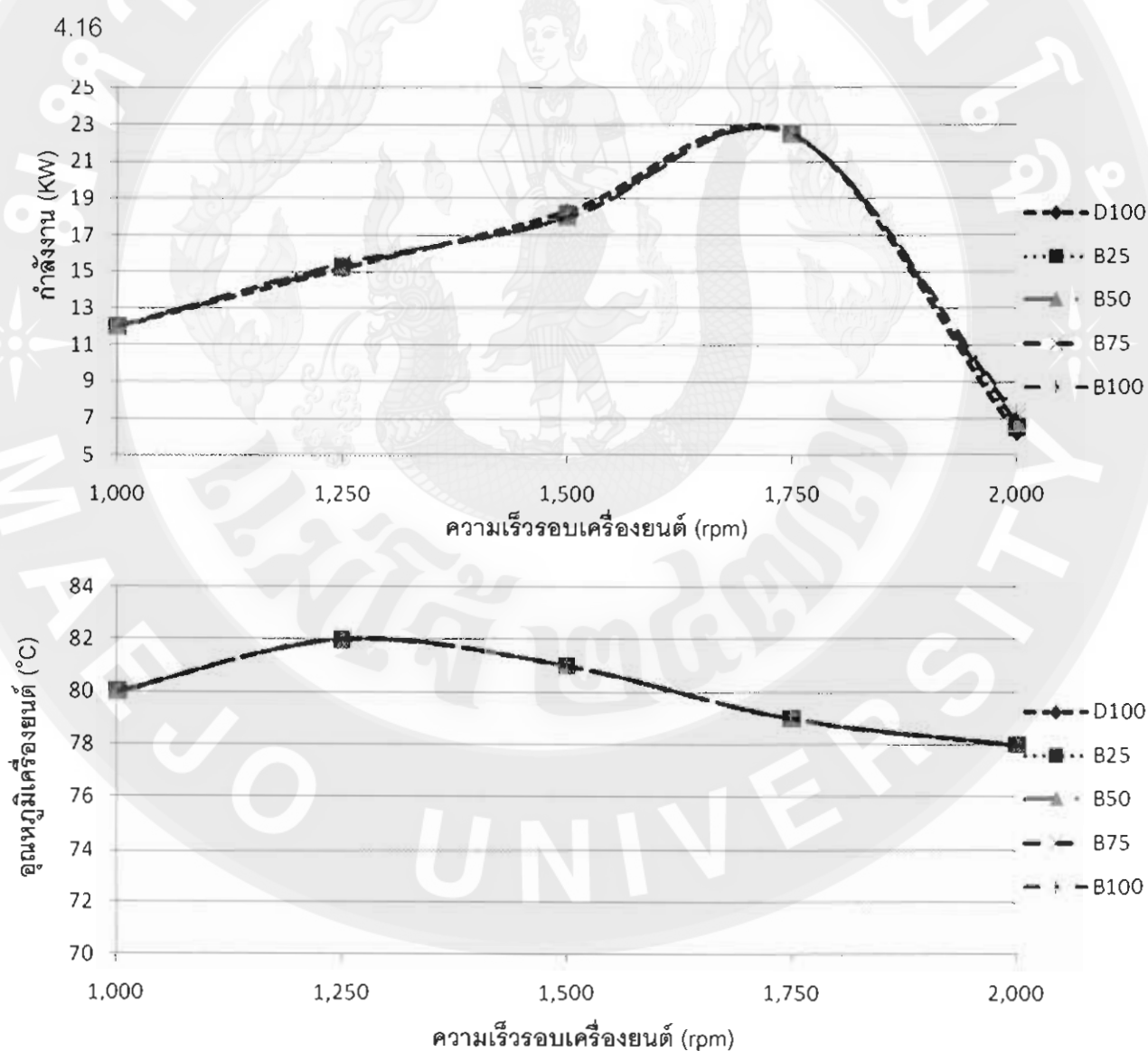
จากคู่มือเครื่องยนต์คูโบต้า รุ่น RT บริษัท สยามคูโบต้า อุตสาหกรรม จำกัด ได้กำหนดค่ามาตรฐานของการวัดค่าแรงดันหัวฉีดอยู่ที่ค่ามาตรฐาน 140 – 145 กก./ ตร.ซม. โดยผลการวัดค่าแรงดันหัวฉีดที่วัดได้จากเครื่องยนต์ทั้ง 5 ชนิด พบว่า ค่าแรงดันหัวฉีดที่วัดได้ของเครื่องยนต์ทั้งสองชนิด ต่ำกว่าเกณฑ์แรงดันหัวฉีดมาตรฐาน ที่ทางบริษัทกำหนด ดังรายละเอียดในตารางที่ 5

ตารางที่ 4.6 ผลการวัดแรงดันหัวฉีด

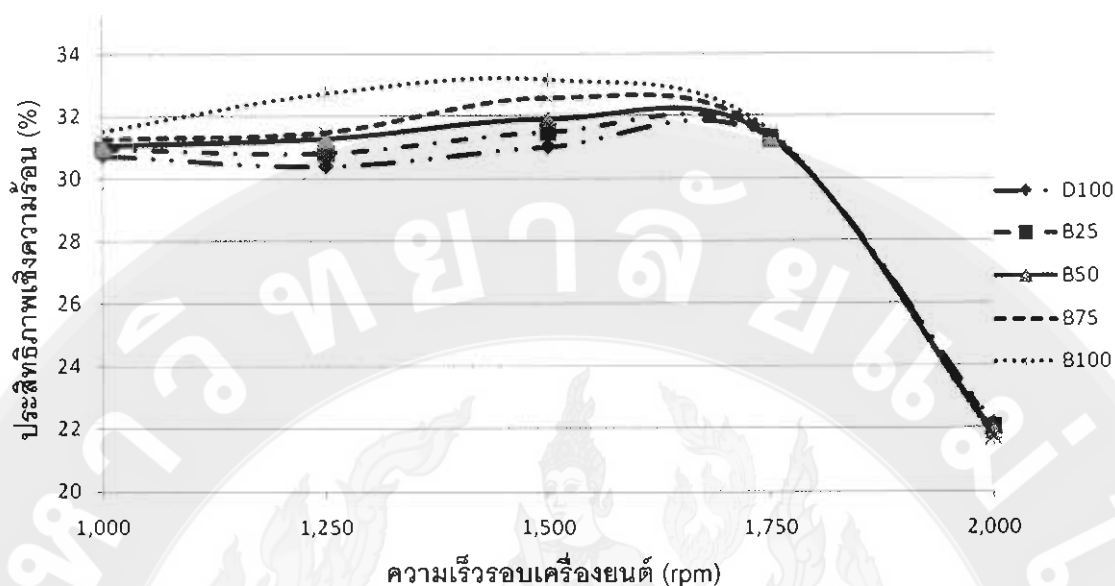
การวัดแรงดันหัวฉีด	เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันไบโอดีเซลกับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วนต่าง ๆ				
	D100	B25	B50	B75	B100
แรงดันหัวฉีด กก./ ตร. ซม.	120	124	128	132	135

4.8 ศึกษาประสิทธิภาพการทำงานของปั๊มที่จริงเมื่อใช้เชื้อเพลิงไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วเทียบกับน้ำมันดีเซล

การทดสอบการทำงานของเครื่องยนต์ในส่วนนี้จะทำการเปรียบเทียบระหว่างผลของการใช้น้ำมันไบโอดีเซลกับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วนต่าง ๆ โดยควบคุมให้ภาระงานและอุณหภูมิการทำงานเท่ากัน เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงความร้อน พลังงานสูญเสีย อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ อุณหภูมิไอเสีย และควันดำ เพื่อไม่ให้เกิดภาระงานและอุณหภูมิการทำงานมีผลต่อค่าต่างๆเหล่านี้ โดยอุณหภูมิการทำงานและภาระงานตลอดช่วงการทดสอบได้แสดงไว้ในภาพที่



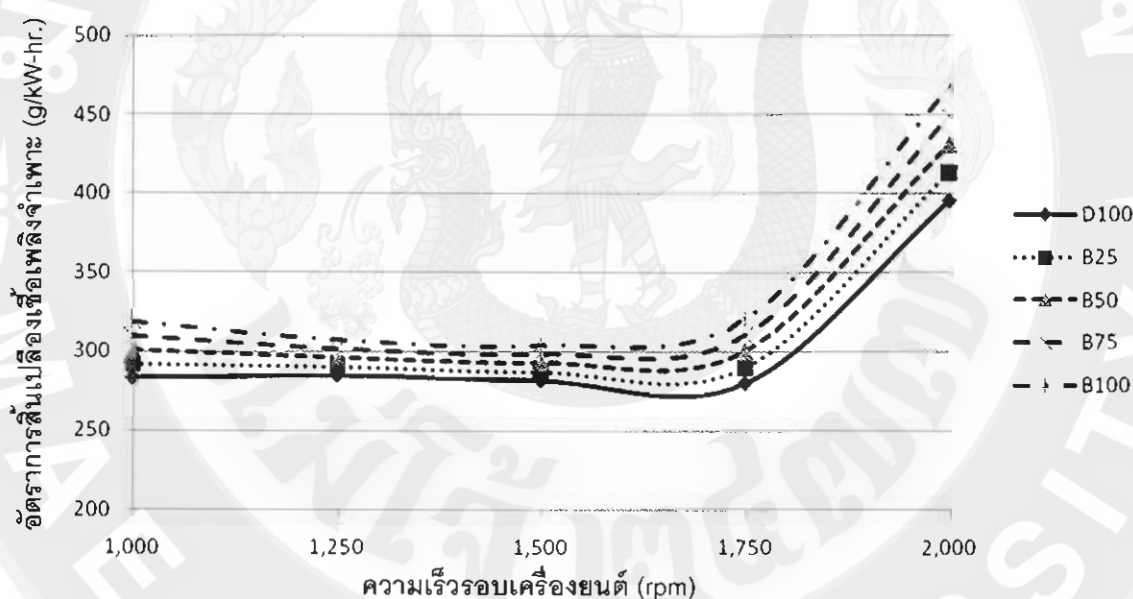
ภาพที่ 4.16 ภาระงานและอุณหภูมิการทำงานของเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ



ภาพที่ 4.17 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเมื่อเปรียบเทียบที่กำลังเท่ากัน

จากภาพที่ 4.17 จะเห็นว่าในช่วงความเร็วรอบเครื่องยนต์ตั้งแต่ 1000 ถึง 1500 รอบต่อนาที ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของน้ำมัน B100 ดีกว่า รองลงมาคือ B75 B50 B25 และ D100 ตามลำดับ เนื่องจากมีช่วงล่าช้าในการเผาไหม้สั้นกว่าน้ำมันดีเซล ทำให้เชื้อเพลิงส่วนใหญ่ถูกเผาไหม้หมดในช่วงการเผาไหม้ที่ถูกควบคุมโดยการผสม ส่งผลให้มีการเผาไหม้ในช่วงการเผาไหม้ช้าเหลือเพียงเล็กน้อยและสิ้นสุดเร็ว อีกทั้งน้ำมัน B100 ยังมีอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงทางทฤษฎีน้อยกว่าน้ำมันดีเซลเนื่องจากมีออกซิเจนเป็นส่วนประกอบจึงสามารถเผาไหม้ได้ดีกว่าน้ำมันดีเซลในช่วงเผาไหม้ช้าซึ่งมีความเข้มข้นของออกซิเจนน้อย น้ำมันB100จึงเผาไหม้ได้สมบูรณ์กว่าน้ำมันดีเซล ทำให้มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงกว่าน้ำมันดีเซล ในขณะที่น้ำมันดีเซลที่มีช่วงล่าช้ายาวกว่าน้ำมันB100เชื้อเพลิงจะเผาไหม้ได้น้อยกว่า น้ำมันB100 ในขณะที่ถูกสูบลอยในตำแหน่งใกล้สูญตายบน ทำให้มีเชื้อเพลิงถูกเผาไหม้ในช่วงเผาไหม้ช้ามากกว่า น้ำมันB100 ซึ่งการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นในช่วงนี้จะมีค่าความเข้มข้นของออกซิเจนน้อย และอุณหภูมิจะเริ่มลดลง ทำให้การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ ส่งผลให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนต่ำ แต่เมื่อความเร็วรอบสูงขึ้นเกินกว่า 1750 รอบต่อนาที การฉีดเชื้อเพลิงจะหนาขึ้น น้ำมันB100ซึ่งมีความหนืดมากกว่าจึงแตกตัวเป็นละอองฝอยยากและมีละอองน้ำมันขนาดใหญ่ การระเหย และผสมกับอากาศจึงเกิดขึ้นช้า ช่วงล่าช้าในการเผาไหม้จึงเพิ่มขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนลดลง และเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันB100 จะใช้พลังงานที่ได้จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงเพื่อให้ได้กำลังของเครื่องยนต์ที่เท่ากันน้อยกว่าน้ำมันดีเซลเนื่องจาก น้ำมันB100 มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงกว่าจึงสามารถเปลี่ยนพลังงานเคมีจากเชื้อเพลิงมาเป็นงานได้มากกว่า แต่เนื่องจาก น้ำมันB100 มีค่าความร้อนของเชื้อเพลิงต่ำกว่าทำให้

อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะสูงกว่า (ภาพที่ 4.18) ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพเชิงความร้อนในภาพที่ 4.17 จะเห็นได้ว่า ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1000 ถึง 1500 รอบต่อนาที เมื่อประสิทธิภาพเชิงความร้อนของน้ำมัน B100 เพิ่มขึ้นอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะของน้ำมัน B100 ก็จะลดลงใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล แต่เมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้นประสิทธิภาพเชิงความร้อนของน้ำมัน B100 เริ่มลดลงอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะก็จะมากขึ้นอย่างใดก็ได้ ที่ 2000 รอบต่อนาที จะพบว่าน้ำมัน B100 จะมีการใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงมากกว่าน้ำมันดีเซล เนื่องจากที่ความเร็วในการะงานของเครื่องยนต์ขณะที่ใช้น้ำมัน B100 มีมากกว่าเมื่อใช้น้ำมันดีเซล รวมถึงผลจากประสิทธิภาพเชิงความร้อนของน้ำมัน B100 ที่ลดลงเพราะความหนืด ซึ่งทำให้ความแตกต่างของอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะมีมากถึงร้อยละ 18 ซึ่งมากกว่าความแตกต่างของค่าความร้อนอยู่ร้อยละ 5

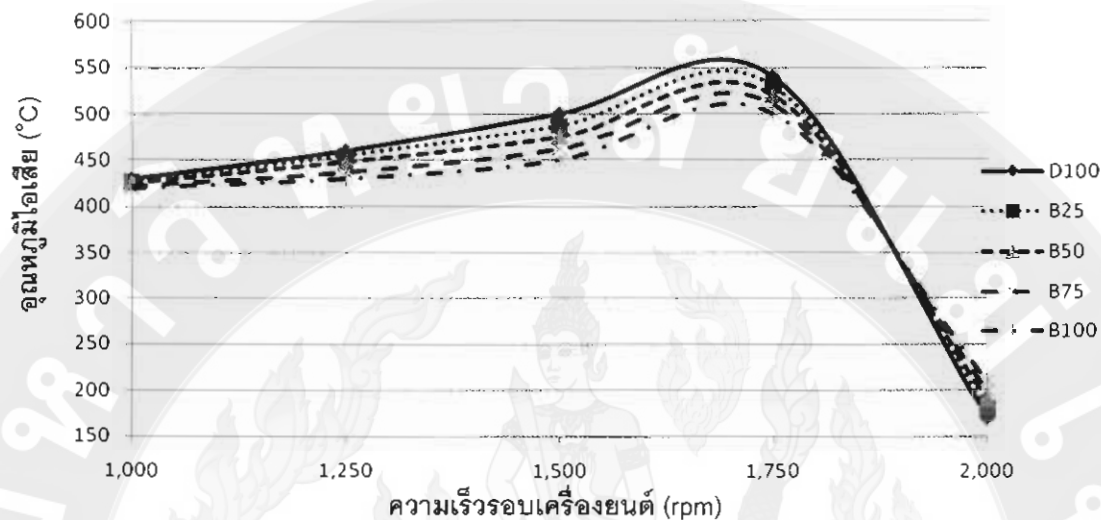


ภาพที่ 4.18 อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะโดยการทดสอบเครื่องยนต์ที่ภาระงานเท่ากัน

ดังนั้นจะเห็นได้ว่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะของน้ำมันไบโอดีเซลที่สัดส่วนต่าง ๆ เมื่อนำมาใช้งานกับเครื่องยนต์ดีเซลสูบเดียวในรถไถเดินตาม พบว่า อัตราการสิ้นเปลืองของน้ำมันไบโอดีเซลที่สัดส่วนต่าง ๆ มีความมากกว่าน้ำมันดีเซล และในกลุ่มน้ำมันไบโอดีเซลด้วยกัน ค่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อใช้สัดส่วนของน้ำมันไบโอดีเซลที่เพิ่มสูงขึ้น

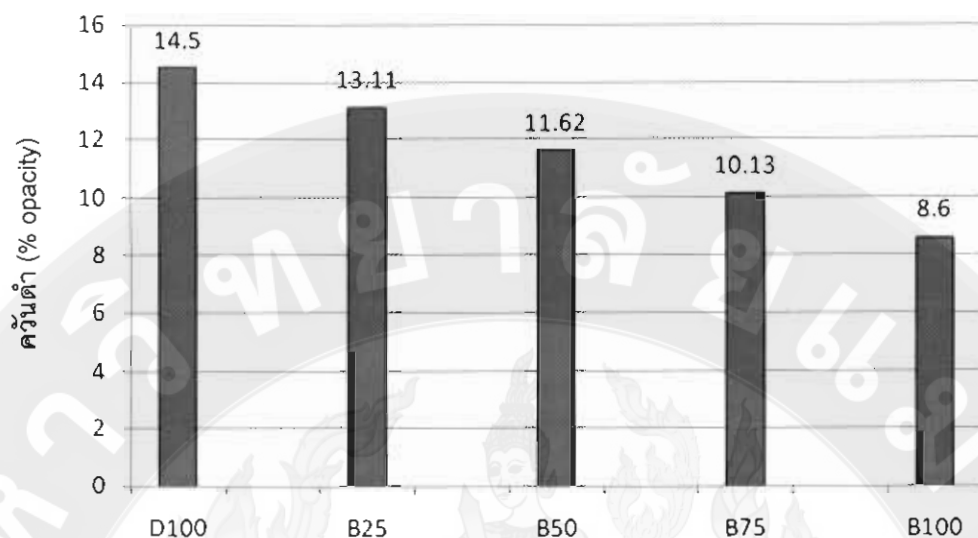
จากการที่ น้ำมัน B100 มีช่วงล่าช้าสั้นทำให้การเผาไหม้สิ้นสุดลงอย่างรวดเร็ว ทำให้ช่วงขาดของลูกสูบไอเสียสามารถขยายตัวโดยที่ได้รับความร้อนจากการเผาไหม้ส่วนที่เหลือน้อย

อุณหภูมิไอเสียขณะลูกสูบเคลื่อนที่ลงจะมีอุณหภูมิลดลงอย่างรวดเร็ว ทำให้ที่จังหวะคายไอเสียมีอุณหภูมิต่ำดังจะเห็นได้จากภาพที่ 4.19



ภาพที่ 4.19 อุณหภูมิไอเสียเมื่อเปรียบเทียบที่กำลังเท่ากัน

ค่าควันดำ (ภาพที่ 4.20) เมื่อวัดที่ความเร็วรอบประมาณ 1750 รอบต่อนาทีซึ่งเป็นค่าที่ให้กำลังสูงสุดและเป็นจุดที่ให้ควันดำมากที่สุด เนื่องจากปริมาณควันดำจะขึ้นอยู่กับภาระงานที่ภาระงานมากจะมีการฉีดเชื้อเพลิงที่ในปริมาณมากทำให้เกิดบริเวณที่มีส่วนผสมหนาแน่นมาก จึงเกิดควันดำมาก โดยในการทดลอง พบว่า น้ำมัน D100 ,B25 ,B50 ,B75 และน้ำมัน B100 วัดได้เฉลี่ย 14.5% 13.11% 11.26% 10.13% และ 8.6% ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบผลของค่าควันดำดังกล่าว พบว่า ควันดำจากน้ำมัน B100 มีค่าน้อยกว่าถึงแม้จะมีการเผาไหม้เชื้อเพลิงในปริมาณที่มากกว่า เป็นผลเนื่องมาจากการมีช่วงล่าช้าสั้นทำให้เผาไหม้ได้เร็ว และในโครงสร้างมีออกซิเจนอยู่จึงมีอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงทางทฤษฎีต่ำกว่าดีเซล ทำให้ยังเผาไหม้ได้ในส่วนผสมที่มีออกซิเจนน้อย



ภาพที่ 4.20 เปรียบเทียบค่าควันดำจากการทดสอบเครื่องยนต์ที่ภาระงานเท่ากัน

4.9 วิจัยนผลการศึกษาทดลอง

จากการศึกษาสมรรถนะเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กในการทำงานจริงโดยใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วเป็นเชื้อเพลิงในงานวิจัยนี้ จะเห็นว่า อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิง D100, B25, B50, B75 และ B100 มีอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะของเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันไบโอดีเซลในอัตราส่วนผสมต่าง ๆ สูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซลอยู่ประมาณ 10-15% เนื่องจากน้ำมันไบโอดีเซลมีค่าความร้อนที่ต่ำกว่านั่นเอง

ซึ่งจะแตกต่างกับการศึกษาของกรมอุทราหเรือ ที่ว่า รถยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซลและน้ำมันดีเซลที่มีส่วนผสมของไบโอดีเซลมีอัตราการสิ้นเปลืองไม่แตกต่างกัน และผลการทดสอบของกรมควบคุมมลพิษ พบว่า น้ำมันดีเซลที่มีส่วนผสมของไบโอดีเซลมีอัตราการสิ้นเปลืองน้อยกว่าน้ำมันดีเซล ทำให้รถยนต์สามารถวิ่งได้ในระยะทางที่เพิ่มขึ้น

ดังนั้นการใช้ น้ำมันเชื้อเพลิง D100, B25, B50 B75 และ B100 ในการทำงานในพื้นที่จริงสามารถใช้ได้ทุกอัตราส่วน ซึ่งมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกัน แต่ถ้าพิจารณาในแง่ของสิ่งแวดล้อม น้ำมัน B100 จะเป็นน้ำมันที่เหมาะสมที่สุดต่อการใช้งาน

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

จากทำการศึกษาศมรรถนะเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กในการทำงานจริงโดยใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วเป็นเชื้อเพลิง ซึ่งในการดำเนินการทดลองการศึกษาศมรรถนะเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กในการทำงานจริงโดยใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วเป็นเชื้อเพลิง สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

5.1 สรุปผลการทดลอง

1. ค่าความร้อนทั้งค่าความร้อนสูงและค่าความร้อนต่ำของน้ำมันส่วนผสมต่าง ๆ จะลดลงเมื่ออัตราส่วนผสมของน้ำมันไบโอดีเซลเพิ่มขึ้น
2. การผสมน้ำมันไบโอดีเซลเข้าไปจะช่วยลดความสูญเสียพลังงานเนื่องจากความเสียดทานในปั๊มฉีดเชื้อเพลิงและความสึกหรอของปั๊มฉีดเชื้อเพลิงได้ดี
3. น้ำมันไบโอดีเซลในอัตราส่วนผสมต่าง ๆ ให้ค่าแรงบิด และค่ากำลังของเครื่องยนต์ใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล โดยมีค่าต่ำกว่าเพียงเล็กน้อย ค่าแรงบิดจากน้ำมันไบโอดีเซลในอัตราส่วนผสมต่าง ๆ จะมีค่าใกล้เคียงกับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลในช่วงความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 1,200 ถึง 1,800 รอบต่อนาที โดยให้ค่าแรงบิดสูงสุดที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 1,600 รอบต่อนาที
4. กำลังของเครื่องยนต์ที่ได้จากการใช้น้ำมันไบโอดีเซลในอัตราส่วนผสมต่าง ๆ ก็พบว่ามีความใกล้เคียงกับค่ากำลังที่ได้จากน้ำมันดีเซลในช่วง 1,200 ถึง 2,200 รอบต่อนาที และจะให้กำลังงานสูงสุดที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ประมาณ 2,200 รอบต่อนาที
5. อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันไบโอดีเซลในอัตราส่วนผสมต่าง ๆ สูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลอยู่ประมาณ 10-15%
6. การใช้ไบโอดีเซลจะมีคราบของคาร์บอนหลงเหลือที่บริเวณกระบอกสูบมากกว่าการใช้น้ำมันดีเซลทั่วไป และหลังจากการใช้งาน ลูกสูบปั๊มเชื้อเพลิงแรงดันสูงจะมีการสึกหรอจากการเสียดสีทำให้เป็นรอยเส้นและหลุมจากการกระทบกันของลูกสูบและเสื้อสูบเพียงเล็กน้อย ซึ่งไม่มีผลกระทบที่มีนัยสำคัญต่อการทำงานของเครื่องยนต์
7. เครื่องยนต์ที่ใช้ไบโอดีเซลจะมีค่าควันดำน้อยกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล ประมาณ 40% เนื่องจากส่วนผสมของน้ำมันไบโอดีเซลมีออกซิเจนเป็นส่วนประกอบ จึงทำให้การเผาไหม้ของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันไบโอดีเซลสมบูรณ์กว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล

8. การใช้น้ำมันไบโอดีเซลในอัตราส่วนผสมต่าง ๆ จะมีปริมาณของคาร์บอนมอนนอกไซด์ที่น้อยกว่าการใช้น้ำมันดีเซล ทั้งนี้เนื่องจากสัดส่วนของน้ำมันไบโอดีเซล สามารถผสมกับอากาศได้เหมาะสม จึงเกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ และมีปริมาณคาร์บอนมอนนอกไซด์ออกมาน้อย

5.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษาต่อไป

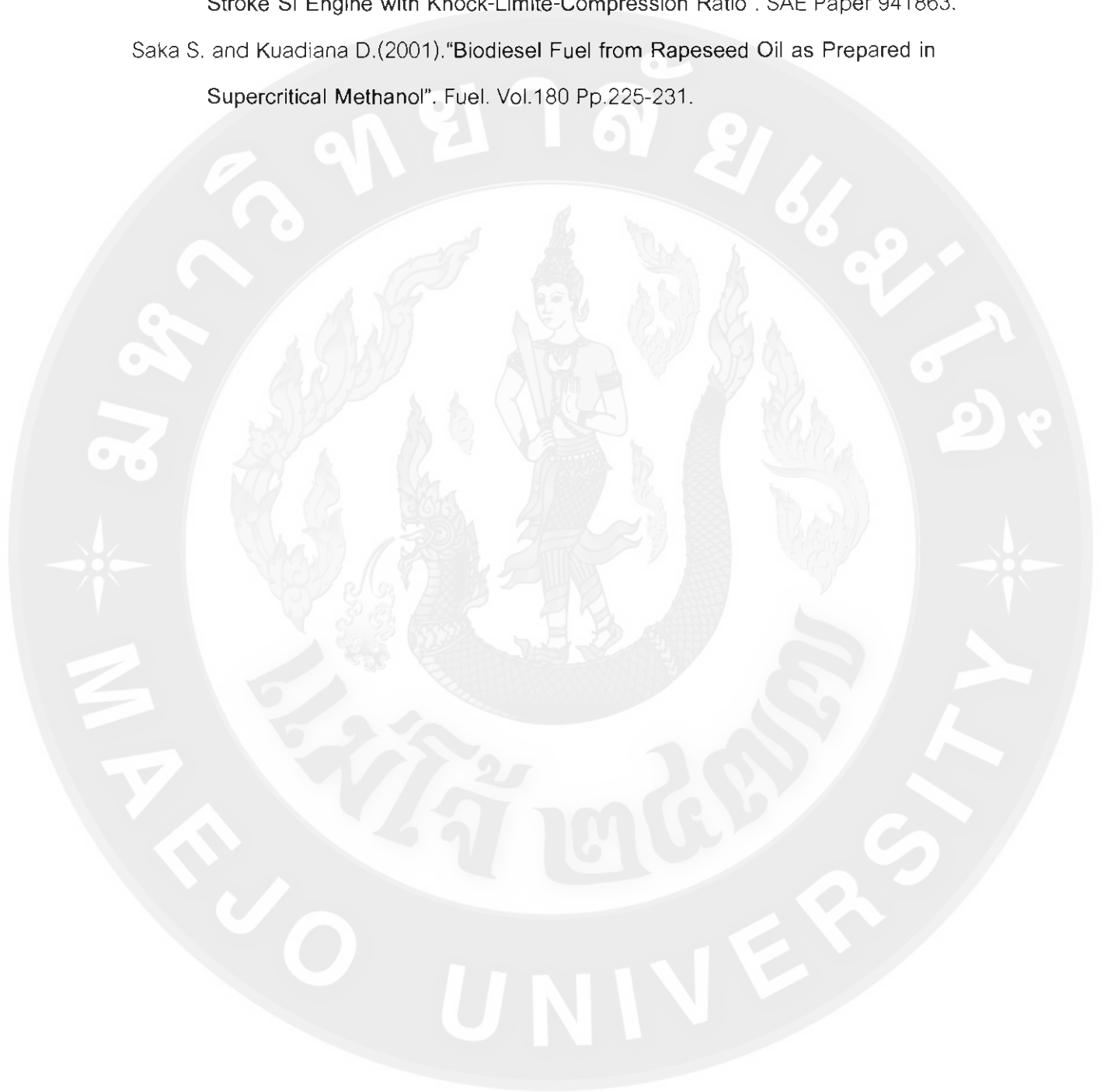
1. สำหรับเครื่องยนต์รุ่นใหม่ ๆ ซึ่งมีการควบคุมการฉีดน้ำมันด้วยอิเล็กทรอนิกส์ การปรับจังหวะการฉีดน้ำมันในแต่ละช่วงความเร็วรอบอาจช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของเชื้อเพลิงไบโอดีเซล หรือเชื้อเพลิงที่ผสมไบโอดีเซลได้เนื่องจากไบโอดีเซลมีช่วงล่าช้าในการเผาไหม้สั้นกว่าดีเซล ซึ่งอาจช่วยให้อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะของไบโอดีเซลลดลงได้อีก
2. หาวิธีการทดสอบคุณสมบัติที่ง่าย ประหยัด และรวดเร็ว ที่เหมาะสมกับผู้ผลิตรายย่อย เพื่อให้สามารถส่งเสริมการผลิตให้มากขึ้นได้
3. ทดลองหาวิธีการที่ง่ายและประหยัดในการเปรียบเทียบค่าซีเทนสำหรับไบโอดีเซล เพื่อให้มีความสะดวกรวดเร็วในการตรวจสอบคุณภาพ เนื่องจากไบโอดีเซลมีการระเหยต่ำ จึงไม่สามารถใช้วิธีคำนวณหาดัชนีซีเทนจากค่าการกลั่นเพื่อเปรียบเทียบแทนค่าซีเทนซึ่งมีค่าใช้จ่ายสูงกว่ามากได้

บรรณานุกรม

- ชาญชัย อมรสกุล (2541). การลดมลพิษไอเสียของเครื่องยนต์แก๊สโซลีนสองจังหวะโดยเทคโนโลยีเชื้อเพลิงทดแทน.วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.กรุงเทพ,
- เพ็ญญารัตน์ จินดา (2543). ไอเสียและเทคนิคในการคำนวณอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์สองจังหวะ. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 14 .โรงแรมโนโวเทล จังหวัดเชียงใหม่.
- มาริดา ทองรูน (2544). การศึกษากระบวนการเผาไหม้ในเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงเอทานอล. วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. กรุงเทพ.
- ระพีพันธุ์ ภาสบุตรและสุชนันต์ สุทธิผลไพบุลย์.2533.ได้เข้าถึง:
<http://www.doa.go.th/th/ShowArticles.aspx?>
- ลิขิต ไสหนู. (2544).ผลกระทบของเครื่องยนต์ที่ใช้เอทานอลเป็นเชื้อเพลิง. วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. กรุงเทพ.
- สุชาติ ไพศาลภูมิ และ สุนินทร์ กิติ .2537. “การศึกษาน้ำมันพืชแบบอัดสกรู” . ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.155 หน้า.
- Guerrieri, A.D.; Caffrey, J.P. and Rao, V. (1995). “Investigation into the Vehicle Exhaust Emissions of High Percentage Ethanol Blends.” Gasoline Additives, Emissions and Performance. SAE Paper 950777.
- Hessett D.J. and Hasan R.A.(1982).“Sunflower Oil Methyl Ester as Diesel Fuel”.
Vegatable Oils Fules. Pp. 123-126.
- Kusy F.Paul Manager, Orfganic Materisis Research, Deere and Company Moline, Illinois.
 (1982). “Transesterification of Vegatable Oils for Fules” . *Vegatable Oils Fules*.
 Pp. 127-133.
- Koehler, P.B. (1999). “Screening Test to Study the Effect of Alcohol Fuel on Crakcase SE Oil.” <http://www.swri.org/htm>. [2001,Sep,28].
- Naga, el.A.H.H.; Mohamed, M.M. and Menier, elM.F. (1993). “Determination of Zinc and Calcium in Multigrade Crankcase oils”. Marce Dekker, Inc. New York.

Poola, B.R. (1994). "The Influent of High- Octane Fuel Blends on the Performance of Two-Stroke SI Engine with Knock-Limite-Compression Ratio". SAE Paper 941863.

Saka S. and Kuadiana D.(2001). "Biodiesel Fuel from Rapeseed Oil as Prepared in Supercritical Methanol". Fuel. Vol.180 Pp.225-231.





ภาคผนวก ก.

ตัวอย่างการคำนวณ

ค่าคุณสมบัติของน้ำมัน ไบโอดีเซลที่สังเคราะห์ได้จากน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว

ก.1 การคำนวณความหนาแน่น (density)

สามารถคำนวณได้จากสูตร

$$\text{ความหนาแน่น} = \text{มวล} / \text{ปริมาตร}$$

ตัวอย่างแสดงการคำนวณความหนาแน่นของไบโอดีเซลจากน้ำมันทอดกล้วยที่ใช้แล้ว : มวลของไบโอดีเซล = 8.9954 กรัมในปริมาตร 10 cm³

$$\text{ดังนั้นความหนาแน่น} = 8.9954 / 10$$

$$= 0.8995 \text{ g / cm}^3$$

(* หมายเหตุในการทดลองใช้ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ครั้ง)

ก.2 การคำนวณค่าความร้อน (heating value)

เครื่องมือที่ใช้ในการหาค่าความร้อนคือ Bomb Calorimeter หาโดยการนำเอาเชื้อเพลิงที่จะทำการทดลองไปชั่งน้ำหนักโดยละเอียด มาเผาไหม้กับออกซิเจนบริสุทธิ์ ภายใต้ความดันสูงภายใน Bomb Calorimeter ความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ จะถ่ายเทให้กับน้ำหล่อเย็นรอบตัว Bomb Calorimeter ซึ่งจะสามารถวัดอุณหภูมิน้ำโดยใช้เทอร์โมมิเตอร์ชนิดละเอียด นอกจากนี้จะมีเปลือกหุ้มป้องกันไม่ให้ความร้อนรั่วออกจากบอมบ์ รวมทั้งเครื่องกวนน้ำที่ใช้มอเตอร์เพื่อกวนน้ำให้ความร้อนกระจายไปอย่างสม่ำเสมอด้วย การจุดเชื้อเพลิงให้สันดาปจะใช้ลวดหลอมละลาย(fuse wire)ปริมาณความร้อนสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$Q = mc \Delta T - C_1 - C_2 - C_3$$

เมื่อ	Q	คือ ปริมาณความร้อน	c_1	คือ ความร้อนที่เกิดจากกรดไนตริก
	M	คือ มวลของน้ำในแคลอรีมิเตอร์	c_2	คือ ความร้อนที่เกิดจากกรดซัลฟูริก
	C	คือ ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ	c_3	คือ ความร้อนที่เกิดจากลวดไฟฟ้า
	ΔT	คือ อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง		

แต่สำหรับการทดสอบที่ไม่ต้องการความแม่นยำมากนัก ค่าของ C_1 และ C_2 จะกำหนดให้มีค่าเป็น 0 ซึ่งสามารถกล่าวได้ว่า

$$(X+A)(T_1-T_2) = BH + hL$$

เมื่อ

X = กรัมสมมูลของ Calorimeter (Water Equivalent of Calorimeter in gram)

A = น้ำหนักของน้ำที่อยู่รอบๆ Bomb (g)

T₁ = Corrected Ignition Temperature (C)

T₂ = Corrected Final Temperature (°C)

B = น้ำหนักของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการลั่นดาป

H = Calorific Value ของเชื้อเพลิงตัวอย่าง (cal/g)

h = ความร้อนของลวดหลอมละลาย (2.3cal/g)

L = ความยาวของลวดที่หลอมละลาย (cm)

ตัวอย่างแสดงการคำนวณ หาค่าความร้อนของน้ำมันดีเซล

1. เริ่มจากการทำการทดลองโดยเครื่อง Bomb Calorimeter เมื่อได้ค่าต่างๆจากตารางที่ 4
ผนวก ข. นำค่าของอุณหภูมิต่างๆมาหาค่า T₁ และ T₂ โดยอาศัยรูปที่ 1 แสดงผลการทดลองซึ่งอุณหภูมิจะ
แปรผันไปกับเวลาที่ทดลอง กำหนดให้จุด b อยู่บน curve ของการทดลองมีอุณหภูมิ 60 % ของช่วง
อุณหภูมิเริ่มจุดเชื้อเพลิง (จุด a) กับ จุดที่อุณหภูมิที่ได้สูงที่สุด (จุด c) กำหนดให้

$$T_o = T_a + 0.6 (T_c - T_a)$$

ดังนั้นสมการหาเวลาที่จุด b ได้ (T_b)

$$\text{จะได้ } T_2 = \frac{T_c + (T_c - T_o)(T_c - T_b)}{(T_a - T_i)}$$

$$T_1 = \frac{T_a + (T_a - T_i)(T_b - T_a)}{(T_a - T_i)}$$

T = อุณหภูมิ

t = เวลา

i = จุดเริ่มการทดลอง

a = จุดเริ่มเผาไหม้

b = จุดอยู่บน curve

c = จุดอุณหภูมิสูงสุด

d = จุดสุดท้าย

2. จากนั้นทำการคำนวณค่ากรัมสมมูลซึ่งเป็นค่าที่เทียบเท่าในหน่วย กรัมของ Bomb Calorimeter ซึ่งโดยการแทนค่าลงในสมการเพื่อการคำนวณหาค่าเพื่อให้ทราบค่านี้ โดยเลือกสารมาตรฐานมาสันดาปใน Bomb Calorimeter ซึ่งสารที่ใช้คือ Benzoic acid (C_6H_5COOH) ซึ่งมีค่า calorific Value = 6318 cal/g และค่าที่ได้จากการทดลองโดยเครื่อง Bomb Calorimeter มีดังนี้

$$\begin{array}{lll} A = 2000g & B = 1.036 g & L = 10-1.7 = 8.3 \text{ cm} \\ T_1 = 24.1c & H = 6,318 \text{ cal/g} & \\ T_2 = 26.9c & h = 2.3 \text{ cal/g} & \end{array}$$

แทนค่าลงในสมการเพื่อการคำนวณหาค่า กรัมสมมูล X

$$X + 2000 = ((1.036 \times 6,318) + (2.3 \times 8.3)) / (26.9 - 24.1)$$

$$X = 344.478 \text{ g}$$

3. เมื่อได้ค่ากรัมสมมูลของ Calorimeter แล้วจึงสามารถทำการคำนวณหาความร้อนของ น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันทอดกล้วยที่ใช้แล้ว (H) ได้ซึ่งค่าต่างๆจากการทดลองโดยเครื่อง Bomb Calorimeter

$$\begin{array}{lll} A = 2000 g & B = 1.1354 g & L = 10-1.65 = 8.35 \text{ cm} \\ T_1 = 27.5 c & X = 344.478 g & \\ T_2 = 30.4 c & h = 2.3 \text{ cal / g} & \end{array}$$

แทนค่าลงในสมการเพื่อการคำนวณหาค่า H

$$\begin{aligned} \text{ได้} \quad H &= ((X+A)(T_2-T_1)-hL)/B \\ &= ((344.478 + 2000)(30.4-27.5)- (2.3 \times 8.35))/1.1354 \\ &= (5971.27 \text{ cal/g}) \times (1054.4J) / 251.98 \text{ cal} \\ H &= 24986.535 \text{ J/g} \end{aligned}$$

ภาคผนวก ข.
ตารางข้อมูลการทดลอง

ตารางที่ ข.1 ภาระงานและอุณหภูมิการทำงานของเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ

ความเร็ว รอบ (rpm)	เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันไบโอดีเซลกับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วนต่าง ๆ									
	D100		B25		B50		B75		B100	
	Power (Kw)	Temp. (°C)	Power (Kw)	Temp. (°C)	Power (Kw)	Temp. (°C)	Power (Kw)	Temp. (°C)	Power (Kw)	Temp. (°C)
1,000	11.98	80	11.98	80	11.99	80	12	80	12.02	80
1,250	15.17	82	15.25	82	15.3	82	15.39	82	15.46	82
1,500	18.29	81	18.15	81	18.02	81	17.96	81	17.89	81
1,750	22.5	79	22.5	79	22.48	79	22.46	79	22.45	79
2,000	6.2	78	6.55	78	6.82	78	7.08	78	7.33	78

ตารางที่ ข.2 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ

ความเร็ว รอบ (rpm)	ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันไบโอดีเซลกับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วนต่าง ๆ (%)				
	D100	B25	B50	B75	B100
1,000	30.73	30.95	31.05	31.25	31.5
1,250	30.39	30.81	31.27	31.46	32.72
1,500	31	31.48	31.89	32.56	33.16
1,750	31.22	31.27	31.31	31.38	31.49
2,000	22.15	22.03	21.87	21.73	21.68

ตารางที่ ข.3 เปรียบเทียบพลังงานความร้อนของเชื้อเพลิงที่ต้องใช้กับเครื่องยนต์ที่ภาระงานต่าง ๆ

ความเร็ว รอบ (rpm)	ความร้อนจากเชื้อเพลิง (น้ำมันไบโอดีเซลกับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วนต่าง ๆ)				
	D100	B25	B50	B75	B100
1,000	38.63	38.44	38.26	38.08	37.89
1,250	49.74	49.04	48.33	47.62	46.92
1,500	58.87	57.57	56.27	54.97	53.62
1,750	72.12	71.84	71.56	71.28	71.01
2,000	27.74	29.12	30.5	31.88	33.26

ตารางที่ ข.4 อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะโดยการทดสอบเครื่องยนต์ที่ภาระงานเท่ากัน

ความเร็ว รอบ (rpm)	อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ(น้ำมันไบโอดีเซลกับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วนต่าง ๆ)				
	D100	B25	B50	B75	B100
1,000	283.17	292.00	300.83	309.66	318.49
1,250	284.64	290.36	296.07	301.79	307.50
1,500	281.41	287.09	292.77	298.44	304.12
1,750	279.86	290.04	300.21	310.39	320.56
2,000	395.53	413.55	431.56	449.58	467.59

ตารางที่ ข.5 อุณหภูมิไอเสียเมื่อเปรียบเทียบที่กำลังเท่ากัน

ความเร็ว รอบ (rpm)	อุณหภูมิไอเสีย (น้ำมันไบโอดีเซลกับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วนต่าง ๆ)				
	D100	B25	B50	B75	B100
1,000	430	427	425	422	420
1,250	460	455	448	437	430
1,500	500	487	475	462	450
1,750	540	530	520	510	500
2,000	170	180	190	200	210

ภาคผนวก ค.

วิธีการใช้เครื่อง Bomb calorimeter และ ขั้นตอนการใช้ Flash point analyzer

ค.1 ขั้นตอนการใช้ Bomb calorimeter.

1. ใส่ น้ำ 2 ลิตร ใน Vessel
2. ตรวจสอบน้ำใน Thermal jacket ให้มีน้ำประมาณ 1 ขอนิ้วมือ (มี Over flow ด้านหลังเครื่อง)
3. เปิดเครื่อง Auto therm II puls เพื่อดูอุณหภูมิของ Vessel
4. ทำการเตรียมตัวอย่างโดยให้ชั่งน้ำหนักของเชื้อเพลิงและสารตัวอย่างและบันทึกค่า
5. ใส่เชื้อเพลิงในอุปกรณ์สำหรับอัดตัวอย่างก่อน และปล่อยปลายเชื้อเพลิงออกมา จากนั้นเติมสารตัวอย่างและประกอบชุดอัดสารตัวอย่างเพื่อทำการอัด
6. ใช้ชุดอัดตัวอย่างเดิมแต่สลับด้าน เพื่อให้เอาสารตัวอย่างที่อัดแล้วออกมาได้
7. นำสารตัวอย่างที่อัดแล้วมาวางบน Pan แล้วสอดลวดที่แกนเหนือ Pan เอาปลายเชื้อที่เหลือไว้มาพันกับลวด
8. นำชุด Pan พร้อมตัวอย่างวางบน Body bomb ปิดฝาและอัดอากาศที่ความดัน 30 bar แล้วเปิดจุกที่เติมลมด้วย
9. นำ Body bomb วางลงใน Vessel ปิดฝาลงให้ตรงโดยจะมีปลายท่อที่อยู่ตรงกลาง ถ้ากดลงได้สนิทก็แสดงว่าตรง
10. เปิดเครื่อง Bomb และ ดูอุณหภูมิที่ Jacket และ Vessel ที่มีค่าเท่ากัน (อย่างมากไม่เกิน 0.5 °C)
11. กด Test ดูว่าระบบสมบูรณ์หรือไม่ ถ้ามีไฟก็ใช้ได้ จากนั้นกดปุ่ม Fire ทิ้งไว้สักครู่แล้วกดปุ่ม Test ดูไฟถ้าไม่ติดแสดงว่าใช้ได้
12. รอจนอุณหภูมิมีค่าคงที่เครื่อง Auto therm II plus มีค่าคงที่แล้วก็ปิด

ค.2 การปิดเครื่อง

1. กดปิดเครื่อง Bomb ก่อนเปิดเอา Bomb body ออกมาแล้วเปิดจุกที่เติมลมก่อน จากนั้นกดปล่อยลมออกมาให้หมด (ระวังแก๊สที่พุ่งออกมาด้วย)
2. เปิดฝา Body bomb และนำเศษลวดที่เหลือมาชั่งน้ำหนักเพื่อทำการคำนวณต่อไป

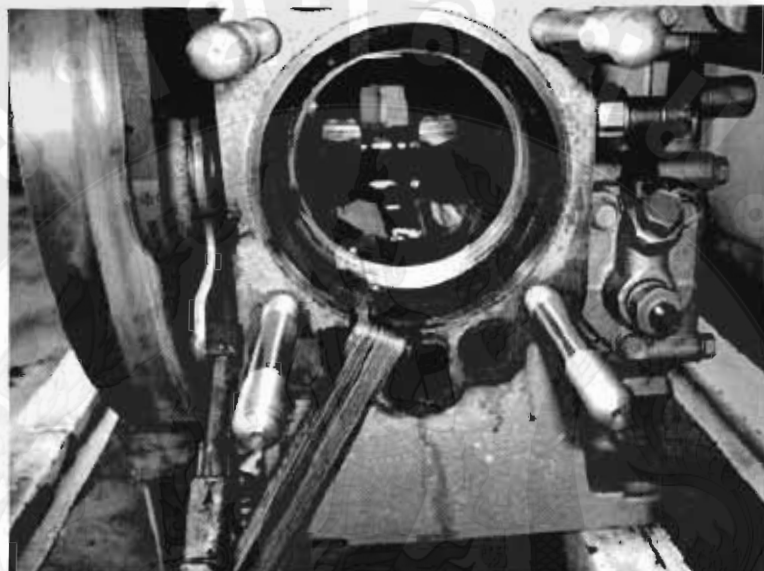
ค.3 ขั้นตอนการใช้ Flash point analyzer

1. ทำความสะอาด Cup และอุปกรณ์ทุกส่วนโดยต้องแห้งสนิท
2. เติมสารตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์ลงใน Cup โดยให้อยู่ในระดับ Filling mark
3. ปิดฝาและกดล็อกให้สนิท
4. Power on
5. ติดตั้ง Thermometer, Stirrer และ Thermocouple
6. เลือกวิธีการวัดจากหน้าจอระบบสัมผัสโดยเลือกปุ่ม Running a test
7. ใส่ชื่อ Sample
8. เลือกปุ่ม Measurement prog เพื่อเลือกวิธีมาตรฐานในการวัดหรือกำหนดเอง
9. ตั้งค่า Expecting flash point
10. กดปุ่ม Start รอจนกว่าจะพบค่า Flash point ถ้าหาค่าไม่พบแสดงว่าตั้ง Expecting flash point ต่ำเกินไปควรตั้งให้สูงขึ้นในการทดลองครั้งต่อไป

ค.4 ขั้นตอนการปิดเครื่อง

1. หลังการทดลองเสร็จต้องรอให้เย็นแล้วค่อยทำความสะอาด
2. Power off

ภาคผนวก ง.
ภาพการตรวจวัดต่าง ๆ



ภาพที่ ง.1 วิธีการวัดระยะห่างปากแหวน



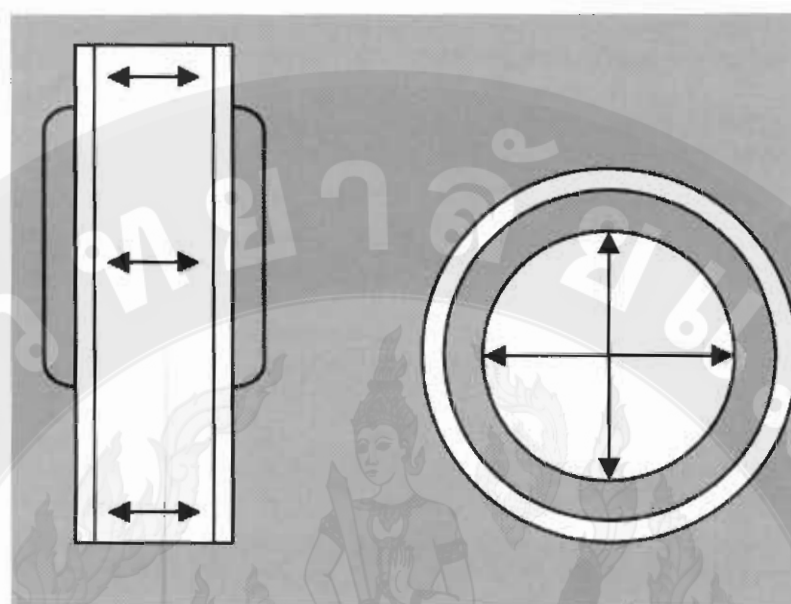
ภาพที่ ง.2 วิธีการวัดช่องว่างระหว่างแหวนกับร่องแหวนลูกสูบ



ภาพที่ ง.3 การวัดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในกระบอกสูบ



ภาพที่ ง.4 การวัดระยะจมนของวาล์วไอดี ไอดีเสีย



(ก) จุดที่ทำการวัด

(ข) แนวที่ทำการวัด

ภาพที่ ง.5 ตำแหน่งการวัดการสึกหรอของปลอกสูบ



ภาพที่ ง.6 วิธีการทดสอบแรงดันชุดหัวฉีด