

การใช้น้ำมันชีวภาพที่สกัดจากกากของเสียในเครื่องยนต์ดีเซล

USING WASTE EXTRACTED BIO FUEL IN A DIESEL ENGINE



ภฤษณ์ เรืองพยุงศักดิ์
KRIT RUENGPAYUNGSAK

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2547

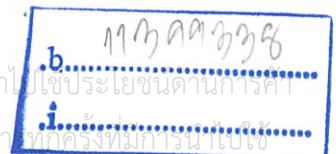
ISBN 974-15-1029-2

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน.....51635

วัน,เดือน,ปี.....26 ก.ค. 2547

ไม่ว่ากรรมใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



USING WASTE EXTRACTED BIO FUEL IN A DIESEL ENGINE

KRIT RUENGPAYUNGSAK



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2004

ISBN 974-15-1029-2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2004

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	USING WASTE EXTRACTED BIO FUEL IN A DIESEL ENGINE
Student	Mr. Krit Ruengpayungsak
Student ID.	42062016
Degree	Master of Engineering
Programme	Mechanical Engineering
Year	2004
Thesis Advisor	Asst.Prof.Dr. Jarruwat Charoensuk

ABSTRACT

In this paper the bio-fuel developed by joined corporation between the Pollution Control Department and Mahanakorn University of Technology was used as an alternative energy resource for a genuine 7.7 kilowatts single cylinder small diesel engine. Various compositions between conventional and alternative fuels were employed ranging from 0 to 100 % of bio-fuel. Engine performances such as torque, power, specific fuel consumption, exhaust gas temperature, smoke, carbon dioxide, carbon monoxide and oxides of nitrogen were investigated at various engine speed. The results suggested a stable engine performance with bio-fuel as well as higher torque and power output were observed when increasing the composition of bio-fuel due to higher specific fuel consumption. More over smoke, carbon dioxide, carbon monoxide and oxides of nitrogen also increase as the composition of bio-fuel increases.

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณท่านผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จารุวัตร เจริญสุข ที่ช่วยให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยดี จากการให้คำปรึกษาและชี้แนะแนวทางสำหรับการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างการทำวิจัย

กราบขอบพระคุณบิดา มารดา พี่สาว และพี่ชาย ที่เป็นแรงใจในทุกย่างก้าวในการทำงาน สร้างพลังใจในการฝ่าอุปสรรค ความท้อแท้ที่เกิดขึ้นในบางช่วงของเวลา ด้วยแรงใจนี้ทำให้วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงได้

ขอขอบคุณ ท่านรองศาสตราจารย์ ดร. พงษ์เจต พรหมวงศ์ ท่านผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จินดา เจริญพรพาณิชย์ ท่านผู้ช่วยศาสตราจารย์ ธวัชชัย นาคพิพัฒน์ และท่านผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชินรัช ธีรพงษ์ เป็นอย่างสูงที่ได้ให้เกียรติเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และได้กรุณาชี้แนะประเด็นที่ควรปรับปรุงในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบคุณบริษัท ยันมาร์ เอส.พี. จำกัด คุณ ธงชัย เอื้อสิริพัฒน์โรจน์ คุณ ภักดี บุญยะผลานันท์ และพี่ๆ ในบริษัท เป็นอย่างสูงในการเอื้อเฟื้อสถานที่ อุปกรณ์ ถ่ายทอดองค์ความรู้จากประสบการณ์ที่ไม่สามารถเรียนรู้จากตำราทั่วไป และความเอื้ออาทรในทุกสิ่งทุกอย่างที่มีให้ตลอดการทำงานในครั้งนี้ ทางผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งในบุญคุณอันยิ่งใหญ่เป็นอย่างมาก

ขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร ท่านผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิษณุ มีอยู่ เป็นอย่างสูงที่ให้การเอื้อเฟื้อสถานที่ ข้อมูล และเครื่องปฏิกรณ์ไพโรไลซิสสำหรับผลิตน้ำมันชีวภาพ

สุดท้ายขอขอบคุณเพื่อน พี่ และน้องที่ร่วมงาน ที่เป็นทั้งแรงใจ และร่วมใช้กำลังกายในการทำงานครั้งนี้

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ทางผู้จัดทำขอมอบให้กับผู้มีพระคุณทุกท่านที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VIII
สารบัญรูป	IX
รายการสัญลักษณ์	XI
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์	2
1.3 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในวิทยานิพนธ์	2
1.4 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์	2
1.5 ขั้นตอนของการศึกษา	2
1.6 ประโยชน์ที่ได้ว่าจะได้จากวิทยานิพนธ์	3
บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 บทนำ	4
2.2 งานวิจัยเชิงการทดลองที่เกี่ยวกับสมรรถนะและการปล่อยมลพิษ	4
2.2.1 งานวิจัยของ มนตรี [3] (พ.ศ. 2539)	4
2.2.2 งานวิจัยของ บุญฤทธิ์ [4] (พ.ศ. 2541)	4
2.2.3 งานวิจัยของ สมชัย และ ปิ่น [5] (2000)	5
2.2.4 งานวิจัยของ Yakup และ Duran [6] (2003)	5
2.2.5 งานวิจัยของ O.M.I. Nwafor และคณะ [7] (2000)	6
2.2.6 งานวิจัยของ Recep และคณะ [8] (2001)	6
2.2.7 งานวิจัยของ E.A. Ajav และคณะ [9] (1999)	6
2.2.8 งานวิจัยของ Herchel และคณะ [10] (2001)	6
2.2.9 งานวิจัยของ Shigeru Ueki และ Akinori Miura [11] (1999)	7
2.3 งานวิจัยการแปรูปกาทะกอนให้เป็นเชื้อเพลิง	7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 ทฤษฎี	10
3.1 บทนำ	10
3.2 กำลังเครื่องยนต์	10
3.2.1 กำลังปั้งซี่	10
3.2.2 กำลังเบรก	11
3.2.3 กำลังเสียดทาน	11
3.3 การสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ	12
3.4 ประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิง	13
3.5 ตัวแก้สำหรับกำลัง	13
3.6 น้ำมันเชื้อเพลิง	15
3.6.1 น้ำมันดีเซล	15
3.7 สมบัติน้ำมันดีเซล	16
3.7.1 ซีเทนนัมเบอร์	16
3.7.2 ดัชนีซีเทน	17
3.7.3 ความหนืด	18
3.7.4 ความถ่วงจำเพาะ	19
3.7.5 จุดไหลเท	20
3.7.6 กำมะถัน	20
3.7.7 กากถ่านหรือกากคาร์บอน	21
3.7.8 ปริมาณเถ้า	22
3.7.9 น้ำและตะกอน	22
3.7.10 จุดวาบไฟ	23
3.7.11 การกลั่น	25
3.7.12 ค่าความร้อน	26
3.8 การเผาไหม้ในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด	27
3.9 ปริมาณและการเกิดมลพิษในเครื่องยนต์ดีเซล	28
3.10 แก๊สไอเสียจากเครื่องยนต์ดีเซล	30
3.10.1 เชม่า	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.10.2 ไฮโดรคาร์บอน	30
3.10.3 ไนโตรเจนออกไซด์	31
3.10.4 คาร์บอนมอนนอกไซด์	31
3.11 สรุปสมบัติเชื้อเพลิงที่มีผลต่อสมรรถนะและการปล่อยมลพิษจากงานวิจัย ในอดีต	32
บทที่ 4 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	33
4.1 บทนำ	33
4.2 อุปกรณ์การทดลอง	33
4.2.1 เครื่องยนต์ดีเซล	33
4.2.2 ไดนาโมมิเตอร์	34
4.2.3 อุปกรณ์วัดการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง	35
4.2.4 อุปกรณ์วัดค่าความถ่วงจำเพาะ	36
4.2.5 อุปกรณ์วัดค่าควันดำไอเสีย	37
4.2.6 อุปกรณ์วัดอุณหภูมิ	37
4.2.7 อุปกรณ์วิเคราะห์แก๊สไอเสีย	38
4.3 วิธีการทดลอง	39
4.3.1 ขั้นตอนเตรียมการทดลอง	40
4.3.2 ขั้นตอนการทดลอง	41
4.4 ปัญหาจากการทดลอง	42
บทที่ 5 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	43
5.1 บทนำ	43
5.2 ผลการทดลองสมรรถนะเครื่องยนต์	43
5.2.1 กำลังและแรงบิดเครื่องยนต์	43
5.2.2 อัตราการให้ความร้อนของเชื้อเพลิงและประสิทธิภาพทางความร้อน	45
5.2.3 ปริมาณการจ่ายเชื้อเพลิงต่อวัฏจักร	46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.2.4 การสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกและการใช้พลังงานจำเพาะเบรก	48
5.2.5 อุณหภูมิไอเสีย	49
5.3 ผลการวิเคราะห์แก๊สไอเสีย	50
5.3.1 คิวน์ดำของไอเสีย	50
5.3.2 ปริมาณออกซิเจน	51
5.3.3 ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์	52
5.3.4 ปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์	53
5.3.5 ปริมาณไนโตรเจนออกไซด์	54
5.4 เปรียบเทียบสมรรถนะเครื่องยนต์ใหม่กับเครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดลอง	55
บทที่ 6 สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ	57
6.1 สรุปผลวิจัย	57
6.1.1 สรุปผลสมรรถนะเครื่องยนต์	59
6.1.2 สรุปผลแก๊สไอเสียจากการเผาไหม้	60
6.2 ข้อเสนอแนะในการศึกษาวิจัยต่อไป	61
เอกสารอ้างอิง	62
ภาคผนวก ก	64
ภาคผนวก ข	65
ภาคผนวก ค	76
ประวัติผู้เขียน	82

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 เปรียบเทียบคุณสมบัติของน้ำมันชีวภาพ และน้ำมันดีเซล	9
4.1 ข้อมูลจำเพาะของเครื่องยนต์	34
4.2 ค่าความถ่วงจำเพาะและค่าความร้อนน้ำมันเชื้อเพลิงที่อัตราส่วนผสมต่างๆ	41
ก1 ค่าการกลั่นของน้ำมันชีวภาพและน้ำมันดีเซล	64
ข1 ตัวแก้มสำหรับกำลังเครื่องยนต์ที่ความดันบรรยากาศ 751 mmHg	66
ข2 ตัวแก้มสำหรับกำลังเครื่องยนต์ที่ความดันบรรยากาศ 752 mmHg	67
ข3 ตัวแก้มสำหรับกำลังเครื่องยนต์ที่ความดันบรรยากาศ 753 mmHg	68
ข4 ตัวแก้มสำหรับกำลังเครื่องยนต์ที่ความดันบรรยากาศ 754 mmHg	69
ข5 ตัวแก้มสำหรับกำลังเครื่องยนต์ที่ความดันบรรยากาศ 755 mmHg	70
ข6 ตัวแก้มสำหรับกำลังเครื่องยนต์ที่ความดันบรรยากาศ 756 mmHg	71
ข7 ตัวแก้มสำหรับกำลังเครื่องยนต์ที่ความดันบรรยากาศ 757 mmHg	72
ข8 ตัวแก้มสำหรับกำลังเครื่องยนต์ที่ความดันบรรยากาศ 758 mmHg	73
ข9 ตัวแก้มสำหรับกำลังเครื่องยนต์ที่ความดันบรรยากาศ 759 mmHg	74
ข10 ตัวแก้มสำหรับกำลังเครื่องยนต์ที่ความดันบรรยากาศ 760 mmHg	75

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
3.1	แสดงหลักการทำงานของไดนาโมมิเตอร์ 11
3.2	โนโมกราฟสำหรับการประมาณค่าดัชนีซีเทน 18
3.3	การหาค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำมันโดยใช้ไฮโดรมิเตอร์ 20
3.4	เครื่องมือหาปริมาณกากถ่านแบบคอนวอร์ดสัน 22
3.5	เครื่องมือทดสอบจุดวาบไฟแบบ PMCC หรือ PM 24
3.6	เครื่องมือหาจุดวาบไฟแบบ COC 24
3.7	เครื่องกลั่นตามมาตรฐาน ASTM และเส้นโค้งการกลั่นของน้ำมันปิโตรเลียมบางชนิด 26
3.8	สรุปกลไกการเกิดมลพิษในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด 29
4.1	ไดนาโมมิเตอร์และอุปกรณ์แสดงผล 35
4.2	หลอดแก้วสำหรับวัดปริมาตรน้ำมันเชื้อเพลิง 36
4.3	ไฮโดรมิเตอร์ 36
4.4	อุปกรณ์วัดค่าควินด์้า 44
4.5	ตำแหน่งติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลและชุดแสดงผลอุณหภูมิ 38
4.6	อุปกรณ์วิเคราะห์แก๊สไอเสีย 39
4.7	ผังการทดสอบเครื่องยนต์ 40
4.8	ชิ้นส่วนเครื่องยนต์ที่เปลี่ยนก่อนการทดลอง 42
5.1	กำลังกับความเร็วยรอบเครื่องยนต์ 43
5.2	แรงบิดกับความเร็วยรอบเครื่องยนต์ 44
5.3	อัตราการให้ความร้อนของเชื้อเพลิงแต่ละส่วนผสมที่ 2400 รอบต่อนาที 45
5.4	ประสิทธิภาพทางความร้อนกับความเร็วยรอบเครื่องยนต์ 45
5.5	ประสิทธิภาพทางความร้อนของการใช้เชื้อเพลิงแต่ละส่วนผสมที่ 2400 รอบต่อนาที 46
5.6	ปริมาณการจ่ายเชื้อเพลิงโดยปริมาตรต่อวัฏจักรกับความเร็วยรอบเครื่องยนต์ 46
5.7	ปริมาณการจ่ายเชื้อเพลิงโดยมวลต่อวัฏจักรกับความเร็วยรอบเครื่องยนต์ 47
5.8	การสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรคกับความเร็วยรอบเครื่องยนต์ 48
5.9	การใช้พลังงานจำเพาะเบรคกับความเร็วยรอบเครื่องยนต์ 48
5.10	อุณหภูมิไอเสียกับความเร็วยรอบเครื่องยนต์ 49
5.11	ควินด์้าของไอเสียกับความเร็วยรอบเครื่องยนต์ 50
5.12	ออกซิเจนกับความเร็วยรอบเครื่องยนต์ 51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยนาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.13 คาร์บอนไดออกไซด์กับความเร็วยรอบเครื่องยนต์	52
5.14 คาร์บอนมอนอกไซด์กับความเร็วยรอบเครื่องยนต์	53
5.15 ไนโตรเจนออกไซด์กับความเร็วยรอบเครื่องยนต์	54
5.16 สมรรถนะเครื่องยนต์กับความเร็วยรอบเครื่องยนต์	55
6.1 สมรรถนะเครื่องยนต์กับความเร็วยรอบเครื่องยนต์.....	57
6.2 แก๊สไอเสียจากการเผาไหม้กับความเร็วยรอบเครื่องยนต์.....	58



รายการสัญลักษณ์ (ต่อ)

สัญลักษณ์	ชื่อ/ความหมาย
BS	ค่าวันดำ
\dot{m}_a	อัตราการไหลมวลอากาศ
\dot{m}_f	อัตราการไหลมวลเชื้อเพลิง
N	รอบการหมุนของเพลาช้อเหวี่ยง
P	กำลังเครื่องยนต์
Q_{HV}	ค่าความร้อนเชื้อเพลิง
sfc	อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ
T	แรงบิดเครื่องยนต์
T_{ex}	อุณหภูมิไอเสีย
η_f	ประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิง
η_{th}	ประสิทธิภาพทางความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในยุคปัจจุบันมีการงานวิจัยที่มุ่งเน้นหาพลังงานทดแทนน้ำมันเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ น้ำมันดีเซลก็เป็นเชื้อเพลิงหนึ่งที่ต้องการเชื้อเพลิงมาทดแทน อันเนื่องมาจากแหล่งน้ำมันปิโตรเลียมเหลือน้อยลงทุกวันประมาณการว่าหากอัตราการบริโภคเพิ่มขึ้นปีละ 5%ทุกปี จะทำให้น้ำมันปิโตรเลียมหมดภายใน 67-116 ปี หรือประมาณปลายศตวรรษที่ 21 [1] สำหรับอัตราการใช้เชื้อเพลิงของประเทศไทยก็มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นมาก ในปี พ.ศ.2542 มีการใช้พลังงานเฉพาะน้ำมันสำเร็จรูปมีปริมาณโดยเฉลี่ยสูงถึงประมาณ 6.16 แสนบาร์เรลต่อวัน มีมูลค่า 168,000 ล้านบาท [2] ปัจจุบันอัตราการใช้พลังงานเฉพาะน้ำมันดีเซลประมาณ 16,000 ล้านบาท/ปี (44 ล้านบาท/วัน) และอัตราการใช้ดังกล่าวทำให้ประเทศไทยต้องสูญเสียเงินตราต่างประเทศในการนำเข้าน้ำมันเชื้อเพลิงทั้งน้ำมันดิบและสำเร็จรูปจากต่างประเทศเป็นหลักคิดเป็นร้อยละ 85 ของปริมาณการจัดหาทั้งหมด มีมูลค่าถึง 300,000 ล้านบาท/ปี ทำให้ประเทศไทยต้องเสียเปรียบดุลการค้า นอกจากนี้ปัญหาที่สำคัญอีกประการหนึ่งในการนำเข้าน้ำมันเชื้อเพลิงก็คือ บัจจยราคาซึ่งมีแนวโน้มสูงขึ้นตลอดมาเนื่องจากวิกฤติการณ์น้ำมัน ส่งผลให้น้ำมันสำเร็จรูปอย่างน้ำมันดีเซลมีราคาสูงขึ้น ในราคาที่สูงขึ้นนี้มีผลกระทบต่อองค์กร และหน่วยงานต่างๆ ทั้งทางตรงและทางอ้อม งานวิจัยน้ำมันชีวภาพเพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทนจึงได้ริเริ่มขึ้นโดยการสนับสนุนจากกรมควบคุมมลพิษ และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร โดยร่วมกันพัฒนาเครื่องแปรรูปของเสียจากกากตะกอนที่ได้จากระบบบำบัดน้ำเสียซึ่งเป็นสารอินทรีย์จากโรงงานอุตสาหกรรมซึ่งมีคุณสมบัติในการแปรรูปเป็นพลังงานได้ดีให้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิง โดยในส่วนของกรุงเทพมหานครพบว่ามีกากตะกอนมากกว่าวันละ 100 ตันแต่เดิมกรุงเทพมหานครจะต้องนำกากตะกอนเหล่านี้ไปฝังกลบ ซึ่งต้องใช้งบประมาณในการกำจัดมาก และมักจะได้รับต่อต้าน จากประชาชนในพื้นที่ งานวิจัยนี้จึงเป็นการลดของเสียจากอุตสาหกรรม และได้น้ำมันเชื้อเพลิงด้วย คุณสมบัติของน้ำมันที่ให้พลังงานใกล้เคียงน้ำมันเตา รวมทั้งความหนืด น้ำมันที่ได้สามารถนำไปปรับปรุงคุณภาพด้วยการนำน้ำมันที่ได้ไปผ่านการกลั่นให้บริสุทธิ์มีคุณภาพใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลหากแต่การปรับปรุงคุณภาพนี้จะเป็นการเพิ่มราคาต้นทุนให้กับน้ำมัน ในงานวิจัยนี้ได้ใช้น้ำมันชีวภาพที่ได้มาทำการทดลองใช้แบบ 100% และแบบผสมระหว่างน้ำมันชีวภาพกับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วนต่างๆ มาใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็ก เพื่อทดสอบถึงผลกระทบของการใช้น้ำมันชีวภาพและสมรรถนะของเครื่องยนต์

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 ศึกษาสมรรถนะเครื่องยนต์จากการใช้น้ำมันชีวภาพผสมน้ำมันดีเซลเปรียบเทียบกับการใช้น้ำมันดีเซล

1.2.2 ศึกษามลพิษของไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง

1.3 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

1.3.1 เครื่องยนต์ดีเซลเผาไหม้โดยการอัดอากาศให้อุณหภูมิสูงแล้วจึงฉีดเชื้อเพลิงเข้าสู่กระบอกสูบ ดังนั้นการนำเชื้อเพลิงที่มีจุดติดไฟต่ำกว่าอุณหภูมิของอากาศร้อน เครื่องยนต์ก็จะสามารถทำงานได้

1.3.2 น้ำมันชีวภาพที่ใช้มีความหนืดสูง หากผสมกับน้ำมันดีเซลจะช่วยลดความหนืดของน้ำมันเชื้อเพลิง ช่วยให้การฉีดน้ำมันเป็นละอองดีขึ้นหรือเส้นผ่านศูนย์กลางของละอองน้ำมันมีขนาดเล็กลง มีผลให้การเผาไหม้ดีขึ้น

1.4 ขอบเขตงานวิจัย

1.4.1 ใช้น้ำมันชีวภาพผสมในอัตราส่วน 10–100 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรกับน้ำมันดีเซล

1.4.2 สมรรถนะเครื่องยนต์ที่ทดสอบ ได้แก่ กำลัง, แรงบิด และอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ

1.4.3 แก๊สไอเสียที่ทำการวัด ได้แก่ O_2 , CO_2 , CO , NO_x และค่าควันดำของไอเสีย

1.4.4 เครื่องยนต์ที่ใช้ทดสอบเป็นเครื่องยนต์มาตรฐานโรงงาน

1.5 ขั้นตอนของการศึกษา

1.5.1 ศึกษาสมบัติของน้ำมันชีวภาพที่ได้จากการแปรรูปกากตะกอนของเสียด้านสมบัติการเผาไหม้

1.5.2 ศึกษางานวิจัยที่มีความเกี่ยวข้องด้านการใช้เชื้อเพลิงทดแทนในเครื่องยนต์ดีเซล รวมทั้งวิธีการทดลองสมรรถนะเครื่องยนต์และมลพิษที่เกิดขึ้น

1.5.3 ทดสอบและวิเคราะห์ผลการใช้น้ำมันชีวภาพผสมน้ำมันดีเซล และไม่ผสม เปรียบเทียบกับการใช้น้ำมันดีเซล

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากวิทยานิพนธ์

- 1.6.1 เพื่อช่วยลดปริมาณการฝังกลบของกากตะกอน
- 1.6.2 เพื่อใช้พลังเชื้อเพลิงทดแทนอีกตัวเลือกหนึ่ง ลดการใช้ น้ำมันดีเซล
- 1.6.3 เพื่อใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงในการปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันชีวภาพ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

งานวิจัยเพื่อศึกษาผลของการนำน้ำมันเชื้อเพลิงชนิดอื่น ๆ มาใช้ทดสอบกับเครื่องยนต์ ทั้งเครื่องยนต์แก๊สโซลีนและดีเซล พบว่าแนวทางงานวิจัยมีหลายแนวทางทั้งด้านการทดลองเพื่อศึกษาสมรรถนะการใช้งาน การวิเคราะห์เชิงตัวเลข การปรับแต่งเครื่องยนต์เพิ่มสมรรถนะเครื่องยนต์ ในบทนี้ได้อ้างอิงงานวิจัยเพื่อศึกษาสมรรถนะการใช้งานของเครื่องยนต์ดีเซล

2.2 งานวิจัยเชิงการทดลองที่เกี่ยวกับสมรรถนะและการปล่อยมลพิษ

2.2.1 งานวิจัยของ มนตรี [3] (พ.ศ. 2539)

มนตรี ได้ศึกษาการใช้แอลกอฮอล์ผสมน้ำมันดีเซลและน้ำมันมะพร้าวผสมน้ำมันก๊าด เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องดีเซล โดยใช้แอลกอฮอล์ผสมน้ำมันดีเซลในอัตราส่วน 10:90, 15:85, 20:80, 25:75, 30:70, 35:65 และ 40:60 น้ำมันมะพร้าวผสมน้ำมันก๊าดในอัตราส่วน 10:1, 12:1, 15:1, 17:1, 18:1 และ 20:1 โดยปริมาตร เทียบกับการใช้น้ำมันดีเซล จากการทดลองพบว่า ความเป็นไปได้ในการใช้น้ำมันมะพร้าวผสมน้ำมันก๊าดเป็นเชื้อเพลิงมีมากกว่าแอลกอฮอล์ผสมน้ำมันดีเซล โดยที่น้ำมันมะพร้าวผสมน้ำมันก๊าดในอัตราส่วน 10-12 ต่อ 1 โดยปริมาตรสามารถให้เดินเครื่องยนต์ดีเซลได้ดี โดยที่สมรรถนะของเครื่องยนต์ใกล้เคียงกันกับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง เพียงแต่ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรกดต่ำกว่า 10% แรงบิดลดลง 2.44% ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกดสูงกว่า 6.29% และความดันประสิทธิผลเฉลี่ยเบรกดต่ำลง 2.38% ส่วนแก๊สไอเสียมีส่วนประกอบของ CO₂, CO, O₂, NO_x และ HC ใกล้เคียงกัน

2.2.2 งานวิจัยของ บุญฤทธิ์ [4] (พ.ศ. 2541)

บุญฤทธิ์ ได้ศึกษาสมรรถนะและมลพิษจากเครื่องยนต์ ซี. ไอ. เมื่อใช้น้ำมันพืชผสมเป็นเชื้อเพลิง โดยการใช้ น้ำมันปาล์มดิบผสมน้ำมันดีเซลในอัตราส่วน 5, 10, 15 และ 20 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร จากการทดสอบพบว่าอัตราส่วนของปริมาณมลพิษของน้ำมันผสมน้ำมันดีเซล มีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อเพิ่มความเร็วรอบเครื่องยนต์และเพิ่มปริมาณน้ำมันปาล์มที่ผสมน้ำมันดีเซล เนื่องจากการเพิ่มความเร็วรอบเครื่องยนต์ จะทำให้แรงบิดสูงสุดของความเร็วรอบนั้นๆ เพิ่มขึ้น ทำให้เครื่องยนต์มีภาระมากขึ้น หัวฉีดจึงฉีดน้ำมันมากขึ้น

2.2.3 งานวิจัยของ สมชัย และ ปิ่น [5] (2000)

สมชัย และ ปิ่น ได้ศึกษาผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนผสมระหว่างเชื้อเพลิงดีเซลกับน้ำมันพืชในเชื้อเพลิงผสมต่อการสันดาปและสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซล โดยใช้น้ำมันดีเซลผสมน้ำมันปาล์มผลิตจากเนื้อปาล์มในอัตราส่วน 100:0, 90:10, 80:20, 70:30, 60:40, และ 50:50 ทดสอบกับเครื่องยนต์ดีเซลคูโบต้าขนาดเล็ก จากการทดลองพบว่า แรงบิดของเครื่องยนต์จะลดลงเล็กน้อยตามปริมาณน้ำมันพืชที่เพิ่มสูงขึ้น คือ จะลดลงประมาณ 0.97% โดยเฉลี่ยเมื่ออัตราส่วนผสมของน้ำมันพืชเพิ่มขึ้น 10% แรงบิดจะมีเปอร์เซ็นต์การลดลงไม่มากเมื่อมีส่วนผสมของน้ำมันพืชน้อย แต่เปอร์เซ็นต์การลดลงจะลดลงจะมากขึ้นเมื่อมีส่วนผสมของน้ำมันพืชอยู่มาก ความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจะใกล้เคียงกัน แต่อย่างไรก็ตามน้ำมันผสมที่มีปริมาณน้ำมันพืชสูงกว่าจะมีความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงมากกว่า

กำลังของเครื่องยนต์มีแนวโน้มที่จะลดลงมากขึ้นเมื่ออัตราส่วนผสมระหว่างน้ำมันดีเซลต่อน้ำมันพืชลดลง(มีน้ำมันพืชมากขึ้น)

ผลการวิเคราะห์ไอเสียเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบ 1200 รอบต่อนาที ซึ่งประกอบด้วยผลวิเคราะห์แก๊ส CO_2 , CO , O_2 , และ HC ปรากฏว่าปริมาณแก๊ส CO และ O_2 ไม่แปรเปลี่ยนไปตามอัตราส่วนผสมระหว่างน้ำมันดีเซลต่อน้ำมันพืช มีเฉพาะปริมาณของแก๊ส CO_2 และ HC เท่านั้นที่ค่อนข้างจะแปรผันขึ้นๆลงๆตามการเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนผสมระหว่างน้ำมันดีเซลต่อน้ำมันพืช ผลการวิเคราะห์ไอเสียที่ความเร็วรอบสูงขึ้น คือ ที่ 2400 รอบต่อนาที ก็ยังคงพฤติกรรมใกล้เคียงกับที่ความเร็วรอบต่ำ

2.2.4 งานวิจัยของ Yakup และ Duran [6] (2003)

Yakup และ Duran ได้ศึกษาแรงดันในการฉีดเชื้อเพลิงและค่าซีเทนนมเบอร์ของเชื้อเพลิงที่มีผลต่อการปล่อยมลพิษของเครื่องยนต์ดีเซล โดยใช้ค่าซีเทนนมเบอร์ 46, 51, 54.5 และ 61.5 แรงดันที่ใช้ในการฉีดเชื้อเพลิง 100, 150, 200 และ 250 บาร์ ทดสอบกับเครื่องยนต์ 4 สูบ 4 จังหวะ วัดค่า NO_x , SO_2 , CO และควันไอเสีย พบว่าที่แรงดันมาตรฐานเครื่องยนต์ 150 บาร์ NO_x และ SO_2 ลดลง เมื่อค่าซีเทนนมเบอร์ของเชื้อเพลิงสูงขึ้น NO_x ลดลงตามความเร็วรอบเครื่องยนต์ลดลง CO ลดลง เมื่อค่าซีเทนนมเบอร์ของเชื้อเพลิงสูงขึ้นเฉพาะช่วงความเร็วรอบเครื่องยนต์ต่ำๆ ขณะที่รอบสูงมากกว่า 2500 รอบต่อนาที ปริมาณ CO จะเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ควันไอเสียเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อค่าซีเทนนมเบอร์สูงขึ้น ส่วนการแรงดันในการฉีดเชื้อเพลิงมีผลให้ควันไอเสียลดลง

2.2.5 งานวิจัยของ O.M.I. Nwafor และคณะ [7] (2000)

O.M.I. Nwafor และคณะ ได้ศึกษาสมรรถนะเครื่องยนต์ดีเซลจากการฉีดเชื้อเพลิงล่วงหน้าของน้ำมันพืช โดยทดสอบกับน้ำมันดีเซล และน้ำมันพืช ที่สภาวะการฉีดเชื้อเพลิงตามมาตรฐานของเครื่องที่ 30 องศา ก่อนศูนย์ตายบน เปรียบการฉีดเชื้อเพลิงล่วงหน้าของน้ำมันพืช ในครั้งแรกใช้ที่ 35.5 องศา ก่อนศูนย์ตายบน พบว่าสมรรถนะเครื่องยนต์ผิดปกติมาก ได้ปรับมาใช้ที่ 33.5 องศา ก่อนศูนย์ตายบน พบว่า ความล่าช้าในการจุดระเบิดลดลงเมื่อเพิ่มองศาการฉีดเชื้อเพลิงล่วงหน้ามากขึ้น แต่มีผลให้แนวโน้มการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นเล็กน้อย

2.2.6 งานวิจัยของ Recep และคณะ [8] (2001)

Recep และคณะ ได้ศึกษาการใช้ น้ำมันพืชเป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ดีเซล 1 กระบอกสูบ 4 จังหวะ แบบฉีดตรง พบว่า การใช้ น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงให้กำลังสูงกว่าการใช้ น้ำมันพืช CO และ CO₂ ที่เกิดจากการเผาไหม้ของน้ำมันพืชมีค่าสูงกว่าการใช้ น้ำมันดีเซล แต่ NO₂ ต่ำกว่าการใช้ น้ำมันดีเซล

2.2.7 งานวิจัยของ E.A. Ajav และคณะ [9] (1999)

E.A. Ajav และคณะ ได้ศึกษาสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ใช้เอทานอลผสมน้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ดีเซล โดยทดสอบกับเครื่องยนต์ดีเซล 4 จังหวะ 1 กระบอกสูบ 7.4 กิโลวัตต์ ใช้เชื้อเพลิงเอทานอลผสมในอัตราส่วน 5%, 10%, 15% และ 20% กับน้ำมันดีเซล เพื่อเปรียบเทียบกับ การใช้ น้ำมันดีเซล เพื่อศึกษาผลกระทบที่มีต่อกำลังม้า, อัตราการสิ้นเปลืองจำเพาะเบรก, ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรก, อุณหภูมิแก๊สไอเสีย และอุณหภูมิ น้ำมันหล่อลื่น พบว่ากำลังเครื่องยนต์ลดลง 5% เมื่อใช้เอทานอลผสมน้ำมันดีเซล 20% อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกเพิ่มขึ้น 9% เมื่อใช้เอทานอลผสม 20% เมื่อเปรียบเทียบกับ การใช้ น้ำมันดีเซล เพียงอย่างเดียว อุณหภูมิแก๊สไอเสีย, อุณหภูมิ น้ำมันหล่อลื่น และการปล่อยมลพิษ (CO และ NO_x) ต่ำกว่าการใช้ น้ำมันดีเซล

2.2.8 งานวิจัยของ Herchel และคณะ [10] (2001)

Herchel และคณะ ได้ศึกษาผลกระทบของการใช้น้ำมันมะพร้าวและน้ำมันดีเซลที่มีผลต่อสมรรถนะ และการปล่อยมลพิษของเครื่องยนต์ดีเซล โดยศึกษากับเครื่องยนต์ดีเซลแบบฉีดตรง 1 กระบอกสูบ 412 ซีซี ทดสอบที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ที่ 2800 รอบต่อนาที องศาการฉีดเชื้อเพลิง 17° ก่อนศูนย์ตายบน (BTDC) เชื้อเพลิงที่ใช้ทดสอบ น้ำมันมะพร้าว, น้ำมันดีเซล และน้ำมันมะพร้าวผสมน้ำมันดีเซลในอัตราส่วน 20%, 40%, 60% และ 80% โดยปริมาตรของน้ำมันมะพร้าว พบว่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงสูงขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณส่วนผสมของน้ำมันมะพร้าวมากขึ้น ประมาณ 34% - 36% ของการใช้น้ำมันมะพร้าวเปรียบเทียบกับ การใช้ น้ำมันดีเซล การใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำมันมะพร้าวไม่มีผลต่อประสิทธิภาพทางกล น้ำมันมะพร้าวมีผลให้ควันไอเสีย และ NO_x ลดลง เมื่อผสมกับน้ำมันดีเซลเพิ่มขึ้น แต่มีผลให้ CO และ THC เพิ่มมากขึ้น

2.2.9 งานวิจัยของ Shigeru Ueki และ Akinori Miura [11] (1999)

Shigeru Ueki และ Akinori Miura ได้ศึกษาระบบจ่ายเชื้อเพลิงแรงดันสูงของระบบบี้มประจำสูบ ระบบท่อร่วม และระบบยูนิตอินเจคเตอร์ เพื่อพิสูจน์และเปรียบเทียบลักษณะการฉีดเชื้อเพลิง และมลพิษจากแก๊สไอเสีย ของเครื่องยนต์ดีเซล 1 กระบอกสูบ 4 จังหวะ ปริมาตรกระบอกสูบ 2.64 ลิตร พบว่าระบบท่อร่วมสามารถสร้างแรงดันการฉีดเชื้อเพลิงสูงกว่าระบบอื่นในขณะรับภาระโหลดและความเร็วรอบเครื่องยนต์ต่ำ ในระบบบี้มประจำสูบสามารถลดควันไอเสีย และ NO_x โดยการหน่วงเวลาการฉีดเชื้อเพลิงขณะรับภาระโหลดเต็มกำลัง สำหรับผลการทดสอบการปล่อยมลพิษไอเสีย ที่ความเร็วรอบ 60% รอบต่อนาที ที่ระดับการปล่อย NO_x เดียวกันควันไอเสียจะน้อยกว่า และอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงต่ำกว่าตลอดช่วงการทำงาน

2.3 งานวิจัยการแปรรูปกากตะกอนให้เป็นเชื้อเพลิง [12,13]

บริษัท วิจัยและพัฒนาเทคโนโลยี จำกัด ได้ทำการศึกษาการแปรรูปกากตะกอนให้เป็นเชื้อเพลิงจากโรงบำบัดน้ำเสียแหล่งต่างๆ โดยการนำกากตะกอนที่ผ่านกระบวนการบำบัดของโรงบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมที่ผ่านการตากแห้งมาบรรจุลงในเตาปฏิกรณ์ซึ่งสามารถบรรจุกากตะกอนได้มากที่สุดประมาณ 300 กิโลกรัม เมื่อปิดฝาเตาปฏิกรณ์แล้วก็จะดำเนินการจุดไฟจากหัวเผา โดยกำหนดให้อุณหภูมิของเตาอยู่ประมาณ $800\text{ }^{\circ}\text{C}$ ซึ่งจะทำให้อุณหภูมิภายในถังขึ้นเป็นประมาณ $300\text{-}400\text{ }^{\circ}\text{C}$ ส่วนที่เป็นวัฏภาคแก๊ส และไอน้ำมันจะลอยออกมาจากเตาเข้าสู่ระบบการควบแน่นทางด้านข้างของเตาปฏิกรณ์ และจะได้น้ำมันชีวภาพออกมา ในขณะที่แก๊สที่ควบแน่นไม่ได้จะถูกป้อนกลับมายังเตาปฏิกรณ์อีกครั้งโดยอาศัยพัดลมดูดอากาศ ซึ่งการผลิตน้ำมันชีวภาพนี้เรียกว่า กระบวนการไพโรไลซิส

กระบวนการไพโรไลซิสเป็นกระบวนการแปรรูปสารประกอบอินทรีย์ (สารประกอบที่มีคาร์บอน และไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบหลัก) ชนิดต่างๆ ภายใต้สภาวะที่อุณหภูมิสูง และปราศจากอากาศ (ออกซิเจน) ด้วยสภาวะเช่นนี้จะทำให้สารประกอบอินทรีย์ที่เป็นโมเลกุลขนาดใหญ่ แตกออกเป็นโมเลกุลที่มีขนาดเล็กลง ซึ่งจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณค่า ได้แก่ น้ำมันชีวภาพ แก๊สเชื้อเพลิง และถ่านชาร์ กลไกการเกิดไพโรไลซิสค่อนข้างสลับซับซ้อนยุ่งยาก แต่ก็อาจจะสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ช่วงหลักๆ คือ

ช่วงพรีไพโรไลซิส (Pre-Pyrolysis) ในช่วงนี้ปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นเมื่อระบบมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง $120\text{-}200\text{ }^{\circ}\text{C}$ ช่วงนี้องค์ประกอบภายในวัตถุดิบจะมีการจัดเรียงตัวกันใหม่กล่าวคือ องค์ประกอบส่วนที่เป็นน้ำในวัตถุดิบจะระเหยออกมาในขณะที่เดียวกันก็มีการทำลายพันธะในโมเลกุลเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของวัตถุดิบบางส่วน และเริ่มมีอนุมูลอิสระ (Free Radical) เกิดขึ้น รวมทั้งยังเริ่มมีการเกิดของหมู่ฟังก์ชันคาร์บอนิล (Carbonyl gr.) หมู่คาร์บอกซิล (Carboxy gr.) และหมู่ไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (Hydroperoxide gr.) อย่างไรก็ตามช่วงนี้วัตถุดิบจะมีการสูญเสียน้ำหนักเล็กน้อยอันเนื่องมาจากการสูญเสีย น้ำ คาร์บอนไดออกไซด์ และคาร์บอนมอนอกไซด์

ช่วงการสลายส่วนที่เป็นของแข็ง เป็นขั้นตอนหลักของกระบวนการไพโรไลซิส โดยขั้นตอนนี้มีอัตราการเกิดที่รวดเร็วมาก และเป็นขั้นตอนสำหรับทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ออกมา ช่วงการสลายส่วนที่เป็นของแข็งนี้ในช่วงอุณหภูมิประมาณ 300-600 °C

ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสโดยการใช้พลังงานความร้อนในการสลายพันธะเคมีนั้นแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วนคือ

1. ผลิตภัณฑ์จำพวกแก๊ส

ผลิตภัณฑ์จำพวกแก๊สที่ได้โดยทั่วไปแล้วประมาณ 5% โดยน้ำหนักของน้ำหนักแห้งของวัตถุดิบที่เป็นสารตั้งต้น โดยที่จะเป็นแก๊สปฐมภูมิซึ่งประกอบไปด้วย CO₂ 53% โดยน้ำหนัก CO 39% โดยน้ำหนัก สารประกอบไฮโดรเจน 6.7% โดยน้ำหนัก และ H₂ 4% โดยน้ำหนัก

2. ถ่านชาร์

เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสในสัดส่วนที่มากพอสมควร โดยที่ขนาดและคุณสมบัติของถ่านชาร์นี้จะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายชนิดที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการไพโรไลซิส นอกจากนี้ปรากฏการณ์บางอย่างที่เกิดขึ้นในเครื่องปฏิกรณ์ หรือปฏิกิริยาระหว่างผลิตภัณฑ์ที่เป็นแก๊สอาจจะส่งผลให้ถ่านชาร์มีขนาดเล็กกระด้างไม่ครบถ้วน ซึ่งสามารถสะสมได้มากถึง 16% โดยน้ำหนัก ในผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลว ผลิตภัณฑ์ถ่านชาร์สามารถติดไฟได้เองที่อุณหภูมิประมาณ 200-250 °C

3. น้ำมันชีวภาพ

น้ำมันชีวภาพมีชื่อเรียกหลายชื่อด้วยกัน เช่น น้ำมันไพโรไลซิส (Pyrolysis Oil) หรือ ของเหลวไพโรไลซิส (Pyrolysis Liquid) เป็นต้น น้ำมันชีวภาพประกอบไปด้วยน้ำ และสารอินทรีย์ที่ควบแน่นจากกระบวนการไพโรไลซิส น้ำมันชีวภาพที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสจากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียแหล่งต่างๆ พบว่ามีคุณสมบัติใกล้เคียงกัน และมีสมบัติอยู่ระหว่างน้ำมันดีเซลและน้ำมันเตา แสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบคุณสมบัติของน้ำมันชีวภาพ และน้ำมันดีเซล

คุณสมบัติ	น้ำมันชีวภาพ	น้ำมันดีเซล
ความถ่วงจำเพาะ ASTM D1298	0.90-1.20	0.820-0.880
จุดวาบไฟ (°C) ASTM D93	32-38	66
ค่าความหนืด (cSt) ASTM D445	5-15 (ที่ 40 °C)	1.8-5.0 (ที่ 40 °C)
อุณหภูมิกลั่นแยกส่วน :		
- 10% ASTM D86 at	110-120 °C	-
- 50% ASTM D86 at	265-275 °C	270 °C
- 90% ASTM D86 at	-	ไม่เกิน 370 °C
ค่าความร้อน (MJ/kg)	38-42	45.6
ซัลเฟอร์ (%โดยน้ำหนัก)	ไม่เกิน 0.1	0.25



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ทฤษฎี

3.1 บทนำ

เครื่องยนต์สันดาปภายใน คือ อุปกรณ์เปลี่ยนพลังงานความร้อนที่มีอยู่ในเชื้อเพลิงให้เป็นกำลังงานทางกลโดยการเผาไหม้ระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิงภายในเครื่องยนต์ โดยปกติความสามารถในการทำงานของเครื่องยนต์ และเป็นปัจจัยสำคัญต่อผู้ใช้ถูกกำหนดด้วยพารามิเตอร์ต่างๆ เช่น กำลัง แรงบิด การสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง มลพิษที่เกิดจากการเผาไหม้ เป็นต้น

3.2 กำลังเครื่องยนต์ [14]

กำลัง (Power) คือ อัตราหรือความเร็วในการทำงาน หรืออาจกล่าวได้ว่า กำลัง คือ สมรรถนะในการทำงานต่อหนึ่งหน่วยเวลา เครื่องยนต์ดีเซลเป็นเครื่องยนต์ประเภทสันดาปภายในชนิดหนึ่งของเครื่องจักรความร้อน ซึ่งตามความหมายก็คือเครื่องจักรที่เปลี่ยนพลังงานความร้อนให้เป็นพลังงานกล พลังงานความร้อนที่ใช้ได้มาจากการสันดาปของเชื้อเพลิง ดังนั้นต้นกำเนิดของเครื่องยนต์ก็ได้มาจากพลังงานความร้อนที่มีอยู่ในเชื้อเพลิงที่ใช้นั่นเอง

กำลังเครื่องยนต์เป็นค่าที่ใช้ในการกำหนดสมรรถนะของเครื่องยนต์เผาไหม้ภายใน และเป็นค่าที่กำหนดความต้องการของเครื่องจักรและอุปกรณ์ที่จะใช้เครื่องยนต์ขับเคลื่อน พารามิเตอร์ที่เกี่ยวกับกำลังมีอยู่หลายตัวคือ กำลังบ่งชี้ กำลังเบรก กำลังความเสียหาย

3.2.1 กำลังบ่งชี้

กำลังบ่งชี้ (Indicated power, P_i) เป็นกำลังงานที่เกิดขึ้นบนหัวลูกสูบเนื่องจากแก๊สที่ได้จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงในกระบอกสูบ กำลังบ่งชี้หาได้จากงานที่แก๊สถ่ายเทไปยังลูกสูบ (เป็นงานบ่งชี้) ต่อวัฏจักรการทำงาน (Indicated work per cycle) ที่ได้จากการอินทิเกรตโดยรอบกราฟระหว่างความดันและปริมาตรกระบอกสูบ (PV diagram) ตลอดวัฏจักรการทำงานของเครื่องยนต์ ทำให้ได้พื้นที่ที่ล้อมรอบด้วยเส้นกราฟ

กราฟระหว่างความดันและปริมาตรกระบอกสูบหาได้โดยตรงจากเครื่องมือที่เรียกว่า อินดิเคเตอร์อิเล็กทรอนิกส์ มีหลักการทำงานโดยการติดตั้งอุปกรณ์ที่เปลี่ยนความดันเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า เรียกว่า เพรสเชอร์ทรานส์ดิวเซอร์ (Pressure Transducer) มาที่ออกซิลโลสโคป เมื่อออกซิลโลสโคปรับสัญญาณไฟฟ้าแล้ว สัญญาณไฟฟ้าจะไปสั่งให้ระบบทางกลไก (Mechanics) เขียนพีวีไดอะแกรม (PV diagram) ออกมา

3.2.2 กำลังเบรก

กำลังเบรก (Brake power, P_b) เป็นกำลังที่วัดได้ที่เพลาข้อเหวี่ยงหรือที่ล้อตุนกำลังของเครื่องยนต์ ซึ่งเป็นกำลังที่นำไปใช้นั่นเอง การวัดกำลังเบรกจะใช้เครื่องมือที่เรียกว่าไดนาโมมิเตอร์ ซึ่งมีอยู่หลายชนิดโดยจะวัดออกมาในรูปของทอร์กและรอบการหมุนของเครื่องยนต์

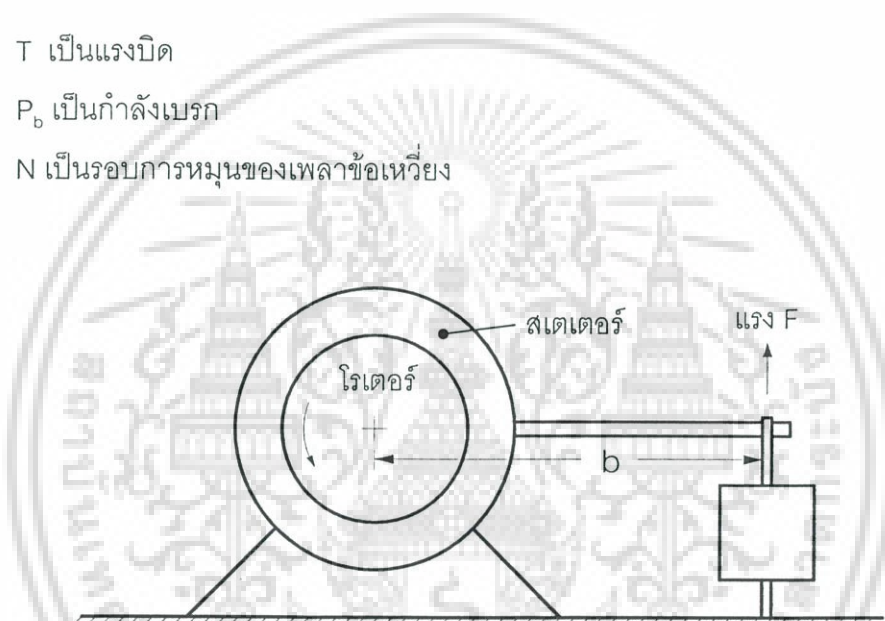
$$T = Fb \quad (3.1)$$

$$P_b = 2\pi NT \quad (3.2)$$

โดยที่ T เป็นแรงบิด

P_b เป็นกำลังเบรก

N เป็นรอบการหมุนของเพลาข้อเหวี่ยง



รูปที่ 3.1 แสดงหลักการทำงานของไดนาโมมิเตอร์

3.2.3 กำลังเสียดทาน

กำลังเสียดทาน (Friction power, P_f) เป็นกำลังที่รวมเอากำลังที่ใช้ในการนำไอดีเข้าและนำไอเสียออก กำลังเอาชนะความเสียดทานของชิ้นส่วนต่างๆ ของเครื่องยนต์ และกำลังที่ใช้ในการขับเคลื่อนต่างๆ ที่จำเป็นต่อการทำงานของเครื่องยนต์

3.3 การสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ [14]

การสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงถือเป็นปัจจัยสำคัญที่ใช้ในการชี้ถึงสมรรถนะการทำงานของเครื่องยนต์จะถูกวัดเป็นอัตราการไหลของมวล (\dot{m}_f) โดยปกติประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ได้จากความสามารถในการทำงานหรือกำลังส่งออกที่เพลาคือปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้หมดไปต่อเวลา ซึ่งเครื่องยนต์ขนาดใหญ่จะมีการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงมาก ดังนั้นเพื่อให้สามารถนำไปใช้ในการเปรียบเทียบได้จึงกำหนดในรูปของการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ (Specific fuel consumption, sfc) ซึ่งเป็นอัตราการไหลของมวลเชื้อเพลิงต่อหน่วยกำลังที่เครื่องยนต์ผลิตออกมา และเป็นการวัดประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ในการใช้เชื้อเพลิง

$$sfc = \frac{\dot{m}_f}{P} \quad (3.3)$$

ในระบบหน่วย SI

$$sfc(\text{mg/J}) = \frac{\dot{m}_f(\text{g/s})}{P_b(\text{kW})} \quad (3.4)$$

$$sfc(\text{g/kW.hr}) = \frac{\dot{m}_f(\text{g/hr})}{P_b(\text{kW})} \quad (3.5)$$

ค่าการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะยิ่งต่ำก็ยิ่งดี และโดยทั่วไปแล้วจะคำนวณในรูปของการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (Brake specific fuel consumption, bsfc) คือเป็นอัตราการไหลของมวลเชื้อเพลิงต่อหน่วยกำลังเบรกที่ให้ออกมา

$$bsfc = \frac{\dot{m}_f}{P_b} \quad (3.6)$$

3.4 ประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิง [14]

ประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิง (Fuel conversion efficiency, η_f) เนื่องจากค่าการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเป็นค่าที่มีหน่วย ทำให้ไม่สะดวกในการนำไปใช้ จึงได้มีการกำหนดค่าที่ใช้วัดประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ในรูปของค่าที่ไม่มีหน่วยขึ้นซึ่งก็คืออัตราส่วนระหว่างงานที่ได้ต่อวัฏจักรกับพลังงานเชื้อเพลิงที่ใส่เข้าไปต่อวัฏจักร โดยพลังงานเชื้อเพลิงที่สามารถปล่อยออกมาจากการเผาไหม้จะหาได้จากมวลของเชื้อเพลิงที่ส่งเข้าไปในเครื่องยนต์ต่อวัฏจักรคูณด้วยค่าความร้อนของเชื้อเพลิง หรืออีกนัยหนึ่งเรียกว่า ประสิทธิภาพทางความร้อนของเครื่องยนต์ (Thermal efficiency, η_{th})

$$\eta_f = \frac{1}{\text{sfc} \cdot Q_{HV}} \quad (3.7)$$

ในระบบหน่วย SI

$$\eta_f = \frac{1}{\text{sfc}(\text{mg/J}) Q_{HV}(\text{MJ/kg})} \quad (3.8)$$

$$\eta_f = \frac{3600}{\text{sfc}(\text{g/kw.hr}) Q_{HV}(\text{MJ/kg})} \quad (3.9)$$

3.5 ตัวแก้สำหรับกำลัง [14]

ความดัน ความชื้น และอุณหภูมิของอากาศโดยรอบที่ถูกนำเข้าไปในเครื่องยนต์จะมีผลต่ออัตราการไหลของมวลและกำลังเครื่องยนต์ให้ออกมาในที่สุด ดังนั้นจึงมีการกำหนดสภาวะบรรยากาศมาตรฐานขึ้นเพื่อให้เปรียบเทียบระหว่างเครื่องยนต์ต่างๆที่มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น สภาวะบรรยากาศมาตรฐานนี้จะถูกกำหนดโดยสถาบันและองค์กรต่างๆที่เกี่ยวข้องกับเครื่องยนต์ เช่น มาตรฐานของสมาคมวิศวกรรถยนต์ของสหรัฐอเมริกา (Society of Automotive Engineers, SAE) เป็นต้น ซึ่งสภาวะมาตรฐานที่ใช้กันทั่วไป คือ

ความดันอากาศแห้ง	=	736.6 mmHg
ความดันไอน้ำ	=	9.65 mmHg
อุณหภูมิ	=	29.4 °C

ถ้าสภาวะอากาศโดยรอบในขณะวัดกำลังและประสิทธิภาพเชิงปริมาตรผิดไปจากมาตรฐานก็จะต้องใช้ตัวแก้เพื่อให้ค่าที่วัดได้เป็นค่าตามสภาวะมาตรฐาน ซึ่งตัวแก้จะมีพื้นฐานมาจากสมการของการไหลแบบอัดตัวได้คงตัวในหนึ่งมิติผ่านรูออริฟิส (Orifice) ซึ่งมีพื้นที่ A_e ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\dot{m} = \frac{A_E p_0}{\sqrt{RT_0}} \left\{ \frac{2\gamma}{\gamma-1} \left[\left(\frac{p}{p_0} \right)^{2/\gamma} - \left(\frac{p}{p_0} \right)^{(\gamma+1)/\gamma} \right] \right\}^{1/2} \tag{3.10}$$

ข้อสมมุติในการหาสมการข้างต้น คือ ให้ของไหลเป็นแก๊สอุดมคติ มีค่าคงตัวแก๊ส R คงตัว และอัตราส่วนของความร้อนจำเพาะ ($c_p/c_v = \gamma$) คงตัว p_0 และ T_0 เป็นความดันและอุณหภูมิก่อนเข้ารูออริฟิสและ p เป็นความดันที่คอคออด

ในเครื่องยนต์ ถ้า p/p_0 ถูกสมมุติให้คงตัวเมื่อลิ้นเร่งเปิดเต็มที่ สำหรับระบบไอดีและเครื่องยนต์หนึ่งๆ อัตราการไหลของมวลอากาศแห้ง (\dot{m}_a) ก็จะแปรผันดังนี้

$$\dot{m}_a \propto \frac{p_0}{\sqrt{T_0}}$$

สำหรับสารผสมที่มีปริมาณเชื้อเพลิงที่จะใช้อากาศที่มีอยู่ทั้งหมดในการเผาไหม้ได้พอดี (และให้กำลังสูงสุด) กำลังบ่งชี้ที่เปดลิ้นเร่งเต็มที่ (P_i) ก็จะเป็นสัดส่วนกับอัตราการไหลของมวลอากาศแห้ง (\dot{m}_a) ดังนั้นถ้าให้

$$P_{i,s} = C_F P_{i,m} \tag{3.11}$$

โดย $P_{i,s}$ เป็นกำลังบ่งชี้ที่สภาวะมาตรฐาน
 $P_{i,m}$ เป็นกำลังบ่งชี้ที่วัดได้
 C_F เป็นตัวแก้

และตัวแก้จะหาได้จาก

$$C_F = \frac{P_{s,d}}{P_m - P_{v,m}} \left(\frac{T_m}{T_s} \right)^{1/2} \tag{3.12}$$

โดย $P_{s,d}$ เป็นความดันสัมบูรณ์ของอากาศแห้งที่สภาวะมาตรฐาน
 P_m เป็นความดันสัมบูรณ์ของอากาศโดยรอบที่วัดได้
 $P_{v,m}$ เป็นความดันย่อยของไอน้ำโดยรอบที่วัดได้
 T_m เป็นอุณหภูมิโดยรอบที่วัดได้
 T_s เป็นอุณหภูมิโดยรอบที่สภาวะมาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้ากำหนดให้กำลังเสียดทานไม่เปลี่ยนแปลง กำลังเบรกที่สภาวะมาตรฐาน $P_{b,s}$ จะหาได้จาก

$$P_{b,s} = C_F P_{f,m} - P_{f,m} \quad (3.13)$$

โดย $P_{f,m}$ เป็นกำลังเสียดทานที่วัดได้

การวัดกำลังเครื่องยนต์ตามมาตรฐานญี่ปุ่น JIS สำหรับเครื่องยนต์ดีเซลจะมี 2 มาตรฐาน คือ

มาตรฐาน JIS D 1004 จะใช้กับเครื่องยนต์สำหรับรถยนต์

มาตรฐาน JIS D 1005 จะใช้กับเครื่องยนต์สำหรับเครื่องจักรกล

ตัวแก้สำหรับกำลังเครื่องยนต์เปิดจากตาราง คูภาคผนวก ข

3.6 น้ำมันเชื้อเพลิง

3.6.1 น้ำมันดีเซล [15, 17]

น้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ดีเซล ที่มีจำหน่ายในปัจจุบันแบ่งออกได้ 2 ประเภท คือ น้ำมันดีเซลหมุนเร็ว และน้ำมันดีเซลหมุนช้า

1. น้ำมันดีเซลหมุนเร็ว หรือเรียกว่า ไชล่า หรือเรียกว่า มารีนแก๊สออยล์ (Marine gas oil) ใช้กับเครื่องดีเซลทั้งรถยนต์ และเรือที่หมุนเกิน 1000 รอบต่อนาที

2. น้ำมันดีเซลหมุนช้า ใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลรอบปานกลางหรือรอบต่ำ ถ้าใช้กับเรือเดินทะเลมักเรียกว่า มารีนดีเซลออยล์ (Marine diesel oil)

คุณสมบัติพื้นฐานของน้ำมันดีเซลหมุนเร็วก็คือจะต้องลุกติดไฟได้รวดเร็ว และเผาไหม้ได้อย่างดีเมื่อถูกฉีดเข้ามาในกระบอกสูบซึ่งมีความดันและอุณหภูมิสูงจะต้องใช้งานกับปั๊มเชื้อเพลิงแรงดันสูงได้ดี รวมไปถึงการขนถ่ายอย่างสะดวกจากโรงกลั่นมาถึงถังเชื้อเพลิงของลูกค้าโดยไม่เสื่อมคุณภาพ

คุณสมบัติหลายประการของน้ำมันดีเซลหมุนเร็วมีความสัมพันธ์กับชนิดของสารไฮโดรคาร์บอนที่เป็นองค์ประกอบ เช่น ไฮโดรคาร์บอนพวก “อะโรมาติก” จะมีค่าซีเทนต่ำ ในขณะที่พวก “พาราฟิน” จะมีค่าซีเทนสูง แต่ในทางปฏิบัตินั้นไม่สามารถที่จะวิเคราะห์องค์ประกอบของน้ำมันดีเซลหมุนเร็วโดยสมบูรณ์ได้เนื่องจากจะมีองค์ประกอบเป็นไฮโดรคาร์บอนชนิดต่างๆ กว่า 200 ชนิดผสมกันอยู่

เครื่องยนต์ดีเซลได้ออกแบบตามลักษณะของงานที่ใช้ ถ้าเป็นเครื่องที่ติดตั้งอยู่กับที่เช่น เครื่องยนต์ที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม มักเป็นเครื่องใหญ่ๆ รอบช้าๆ ถ้าเป็นเครื่องยนต์ที่ใช้ในการขนส่งก็ต้องทำให้มีน้ำหนักน้อย เครื่องจะเล็กแต่รอบเครื่องยนต์สูง เป็นต้น น้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้กับเครื่องยนต์เหล่านี้จึงต้องแตกต่างกันไป ด้วย เครื่องยนต์ดีเซลรอบจัดต้องใช้น้ำมันที่บางกว่า เพราะเวลาการเผาไหม้มีน้อย เครื่องยนต์ดีเซลใหญ่ๆ รอบช้า นอกจากจะมีเวลาในการเผาไหม้แล้ว ยังมีอากาศเหลือในกระบอกสูบมากกว่าอีกด้วย ดังนั้น น้ำมันเชื้อเพลิงหนัก ราคาถูกกว่าก็ใช้ได้ อย่างไรก็ตาม น้ำมันดีเซลโดยทั่วๆ ไปควรจะมีความสมบัติดังนี้

1. ด้านทานการน็อก ปัจจุบันตัวควบคุมการน็อกเครื่องยนต์ดีเซลได้แก่ ซีเทนนัมเบอร์ (CN) น้ำมันซีเทนจะต้องมี ซีเทนนัมเบอร์สูงพอที่จะไม่ทำให้เกิดน็อก
2. การติดเครื่อง เครื่องยนต์จะติดง่ายถ้าใช้น้ำมันกับออกซิเจนผสมกันดี นั่นคือ การระเหยกลายเป็นไอของน้ำมันถ้าดี ก็จะช่วยให้ติดเครื่องง่ายขึ้น
3. ควันไอเสียดและกลิ่น ไอเสียดควรจะไม่มีควันหรือกลิ่น น้ำมันจึงควรมีการระเหยดี เพื่อการเผาไหม้ที่สมบูรณ์
4. การกัดกร่อนและสีกรหอร ก่อนหรือหลังการเผาไหม้น้ำมันไม่ควรมีส่วนทำให้เกิดการกัดกร่อนและสีกรหอร เช่น กำมะถัน
5. การขนย้ายและเก็บรักษา ต้องสะดวกและปลอดภัย การไหลของน้ำมันเกี่ยวกับ Pour point และความหนืด ซึ่งได้กล่าวต่อไป

3.7 สมบัติของน้ำมันดีเซล [1, 17, 18]

3.7.1 ซีเทนนัมเบอร์

ซีเทนนัมเบอร์ (Cetane number) คือ การวัดคุณภาพของการจุดระเบิดโดยการชื่บออกเป็นตัวเลข ซีเทนนัมเบอร์มีอิทธิพลต่อความสะดวกในการสตาร์ทและการสันดาปในเครื่องยนต์ เครื่องยนต์ดีเซลหมุนเร็วในปัจจุบันต้องการค่าซีเทนประมาณ 50 ค่าซีเทนของน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลมีคุณค่าเช่นเดียวกับค่าอ็อกเทน (Octane number) ของน้ำมันแก๊สโซลีน ค่าซีเทนคือจำนวนเปอร์เซ็นต์ของซีเทน โดยปริมาตรในสารผสมของซีเทน ($C_{16}H_{34}$) กับอัลฟาเมธิลแนพธาซีน ($C_{11}H_{20}$) ซึ่งมีคุณสมบัติในการจุดระเบิดเหมือนกับน้ำมันที่นำมาตรวจสอบทั้งซีเทนและอัลฟาเมธิลแนพธาซีน ต่างก็เป็นไฮโดรคาร์บอนที่ผลิตมาจากน้ำมันดำโดยทางเคมี ซีเทนมีคุณสมบัติจุดระเบิดดีมาก แต่อัลฟาเมธิลแนพธาซีนมีคุณสมบัติจุดระเบิดเลวมาก สเกลจะแบ่งได้จาก 0 – 100 อัลฟาเมธิลแนพธาซีนบริสุทธิ์จะมีค่าซีเทนเป็น 100 ค่าซีเทน 48 หมายความว่าน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีคุณสมบัติจุดระเบิดเท่ากับสารผสมที่ประกอบด้วยซีเทน 48 % กับอัลฟาเมธิลแนพธาซีน 52 %

ค่าซีเทนของน้ำมันตัวอย่างหาได้โดยทดลองใช้กับเครื่องยนต์พิเศษสูบเดี่ยวที่สร้างสำหรับทดลองในการนี้โดยเฉพาะ ซึ่งเปลี่ยนอัตราส่วนความอัดได้ตามต้องการ วิธีการทดลองขึ้นอยู่กับหลักที่ว่า ระยะเวลาล่าช้าในการจุดระเบิดของเครื่องยนต์เครื่องหนึ่งที่มีความเร็วจำนวนหนึ่งจะลดน้อยลงเมื่อเพิ่มอัตราส่วนความอัดมากขึ้น ระยะเวลาล่าช้านี้วัดได้จากขณะที่ลิ้นเร่งน้ำมันเชื้อเพลิงยกขึ้นจากเบาะลิ้น จนกระทั่งการลุกไหม้ของน้ำมันเชื้อเพลิงได้แสดงค่ากำลังดันภายในกระบอกสูบที่วัดได้สูงขึ้น ระยะเวลาล่าช้าในการจุดระเบิดที่ถือเป็นมาตรฐานในการทดลองระยะเท่ากับ 13 องศา ของมุมที่เหวี่ยงหมุนไป น้ำมันเชื้อเพลิงที่ทดลองถูกเผาไหม้ในเครื่องยนต์ และอัตราส่วนความอัดของกระบอกสูบถูกเพิ่มให้สูงขึ้น จนได้ระยะเวลาล่าช้าเท่ากับองศา ซึ่งจะวัดได้จากเครื่องมือพิเศษชนิดหนึ่ง แล้วจุดอัตราส่วนความอัดไว้ ต่อไปเดินเครื่องยนต์อีกสองครั้ง โดยใช้เชื้อเพลิงซึ่งเป็นสารผสมของซีเทนกับอัลฟาเมธิลเนพธาไลน์ที่มีส่วนต่างกัน 2 อย่าง อย่างหนึ่งมีค่าซีเทนสูงกว่าค่าซีเทนที่คาดคะเนของน้ำมันเชื้อเพลิงที่เอามาทดลองประมาณ 5% และอีกอย่างหนึ่งมีค่าซีเทนต่ำกว่าค่าซีเทนที่คาดคะเนของน้ำมันเชื้อเพลิงนั้นประมาณ 5% ขึ้นต่อไปให้หาอัตราส่วนความอัดสำหรับเชื้อเพลิงสารผสมทั้ง 2 อย่างที่กล่าวมาแล้วโดยให้ความล่าช้าในการจุดระเบิดเป็น 13 องศา และในที่สุดก็จะคำนวณหาค่าซีเทนของน้ำมันเชื้อเพลิงที่เอามาทดลองได้ โดยเปรียบเทียบเกณฑ์ตามส่วนหาผลเฉลี่ยเอาจากอัตราส่วนความอัดที่หาไว้ได้

น้ำมันเชื้อเพลิงที่มีคุณสมบัติจุดระเบิดดี ย่อมต้องการอัตราส่วนความอัดต่ำสำหรับความล่าช้าในการจุดระเบิด 13 องศา และมีค่าซีเทนสูง ส่วนน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีคุณสมบัติจุดระเบิดแล้ว ก็ย่อมต้องการอัตราส่วนความอัดสูงสำหรับความล่าช้าในการติดไฟ 13 องศา และมีค่าซีเทนต่ำ

3.7.2 ดัชนีซีเทน

เนื่องจากการหาค่าซีเทนโดยการทดสอบด้วยเครื่องยนต์ต้องการเครื่องมือพิเศษ ลื่นเปลี่ยนเวลาและค่าใช้จ่าย จึงมีการพัฒนาวิธีการที่ใช้ประมาณค่าซีเทนจากคุณสมบัติของน้ำมันดีเซลหมุนเร็ว ซึ่งโรงกลั่นใช้ในการควบคุมคุณภาพของน้ำมัน

วิธีการหนึ่งซึ่งใช้กันอย่างแพร่หลายคือสูตรของ ค่าคำนวณดัชนีซีเทน (Calculated Cetane Index) ซึ่งสูตรนี้ใช้วิธีการประมาณค่าซีเทนของน้ำมันใส (Distillate Fuels) จากความหนาแน่น และ จุดกลางของการเดือด (Mid Boiling Point) แต่เนื่องจากสูตรซับซ้อน เพื่อให้ง่ายขึ้น จึงมีการพัฒนาโนโมกราฟ (Nomograph) ขึ้นสำหรับหาค่า

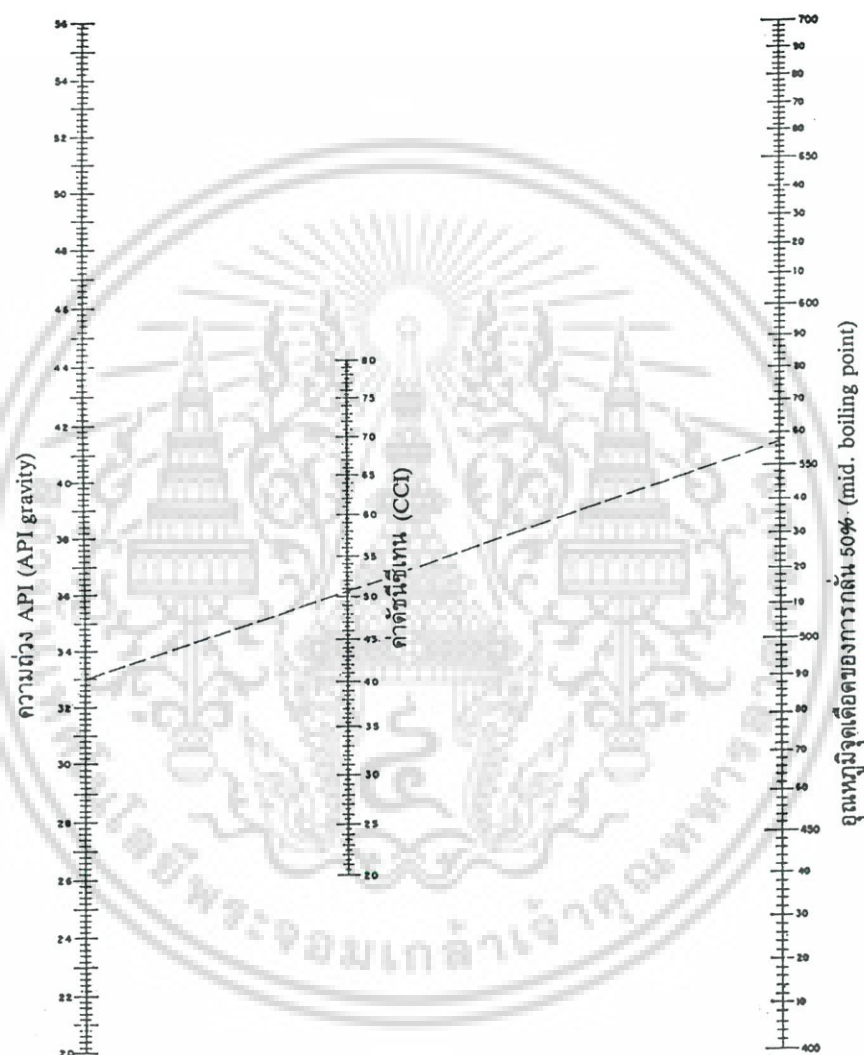
ดัชนีซีเทนนั้นสามารถที่จะใช้ประมาณค่าซีเทนได้ด้วยความแม่นยำ ยกเว้นกรณีดังต่อไปนี้

1. เชื้อเพลิงที่เติมสารเพิ่มค่าซีเทน
2. สารไฮโดรคาร์บอนบริสุทธิ์, เชื้อเพลิงสังเคราะห์จากพวกอัลคิลเลท, Tar Sands, Shale Oils หรือ Coal Tar

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. น้ำมันดิบ, น้ำมันเตา หรือน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีจุดเดือดสุดท้ายต่ำกว่า 260 °C

เนื่องจากการวัดค่าซีเทน ต้องใช้เครื่องยนต์ดีเซลพิเศษโดยเฉพาะเปรียบเทียบคุณภาพในการจุดระเบิดกับเชื้อเพลิงมาตรฐาน แต่วิธีนี้ต้องลงทุนมาก ค่าใช้จ่ายสูง ทั้งสิ้นเปลืองเวลา ปัจจุบันจึงใช้วิธีประมาณเป็นดัชนีซีเทน ซึ่งคำนวณได้จากการวัดค่าความถ่วงจำเพาะเอพีไอ และอุณหภูมิการกลั่นที่ 50% (Mid Boiling Point) หรือใช้ดูจากแผ่นโนโมกราฟ



รูปที่ 3.2 โนโมกราฟสำหรับการประมาณค่าดัชนีซีเทน

3.7.3 ความหนืด

ความหนืด (Viscosity) หรือความข้นใส เป็นค่าที่แสดงถึงแรงต้านทานการไหลของของเหลว มีความสำคัญมากโดยเฉพาะผลิตภัณฑ์น้ำมันปิโตรเลียมที่ฉีดให้เป็นฝอยละออง ขณะเดียวกันก็ต้องใช้หล่อลื่นปั๊มเชื้อเพลิงแรงดันสูงด้วย ในกรณีที่น้ำมันเชื้อเพลิงมีความหนืดต่ำเกินไปก็จะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นอันตรายต่อบั้มฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงทำงานจะเกิดการเสียดสีระหว่างลูกสูบบั้มกับกระบอกบั้ม จึงจำเป็นต้องเอาความหนืดของน้ำมันเข้าไปใช้เป็นฟิล์มกันเอาไว้เพื่อลดการเสียดสี ดังนั้นน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีความหนืดต่ำเกินไป จะทำให้ลูกสูบบั้มและกระบอกบั้มสึกเร็ว น้ำมันเชื้อเพลิงจะรั่วผ่านข้างๆลูกสูบบั้ม

ความหนืดของน้ำมันเชื้อเพลิงก็มีอิทธิพลต่อรูปร่างของละอองน้ำมันที่ฉีดออกจากหัวฉีดเช่นกัน หากความหนืดสูงจะทำให้การฉีดเป็นฝอยละอองไม่ดี ละอองน้ำมันมีขนาดใหญ่ น้ำมันจะพุ่งไปไกล นอกจากนี้ น้ำมันจะพุ่งเป็นสายแทนที่จะเป็นละอองเล็กๆ ผลก็คือน้ำมันรวมตัวกับอากาศไม่ดีทำให้การสันดาปไม่สมบูรณ์กำลังเครื่องยนต์และประสิทธิภาพตกในที่สุด และยังเป็นเครื่องยนต์ขนาดเล็กแล้ว น้ำมันอาจพุ่งไปกระทบกระบอกสูบชะล้างฟิล์มน้ำมันหล่อลื่นลงสู่กันอ่าง ทำให้เครื่องยนต์สึกหรอมาก และน้ำมันเครื่องสกปรกเร็ว

น้ำมันเชื้อเพลิงที่มีความหนืดต่ำไปจะทำให้ น้ำมันที่พ่นออกมากเป็นฝอยละเอียดมากจึงไม่พุ่งไปไกลเท่าที่ควร การสันดาปจะไม่ดีนัก กำลังและประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ตกเช่นกัน

3.7.4 ความถ่วงจำเพาะ

ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity) ของน้ำมัน คือ มวลของน้ำมันในหนึ่งหน่วยปริมาตรต่อมวลของน้ำบริสุทธิ์ในปริมาตรที่เท่ากัน การกำหนดวิธีวัดความถ่วงจำเพาะของของเหลวตามความมุ่งหมายของสถาบันการปิโตรเลียมของสหรัฐอเมริกา (American Petroleum Institute, API) ได้กำหนดการวัดความถ่วงจำเพาะเอพีไอของน้ำมันเชื้อเพลิง เพื่อเป็นการชี้ให้เห็นความหนืดของน้ำมัน คุณลักษณะในการกลั่น และค่าความร้อนที่มีในเชื้อเพลิงนั้น และยังเป็นการบอกให้ทราบถึงเกรดน้ำมันเชื้อเพลิงโดยประมาณ อย่างไรก็ตาม น้ำมันเชื้อเพลิงหนักหรือหนาจะให้ค่าความร้อนปีที่ยุติต่อแกลลอนสูง แต่ก็อาจจะทำให้มีควันมาก และมีกลิ่นเหม็นของไอเสีย เนื่องการสันดาปไม่หมด

ความถ่วงจำเพาะ (sp.gr.) กับองศาเอพีไอ ($^{\circ}$ API) มีความสัมพันธ์ดังนี้

$$API = \frac{141.5}{\text{sp. gr.} \left(\frac{60^{\circ} F}{60^{\circ} F} \right)} - 131.5 \quad (3.14)$$

sp.gr. เป็นค่าความถ่วงจำเพาะเปรียบเทียบความหนาแน่นของน้ำมันกับน้ำ วัดที่

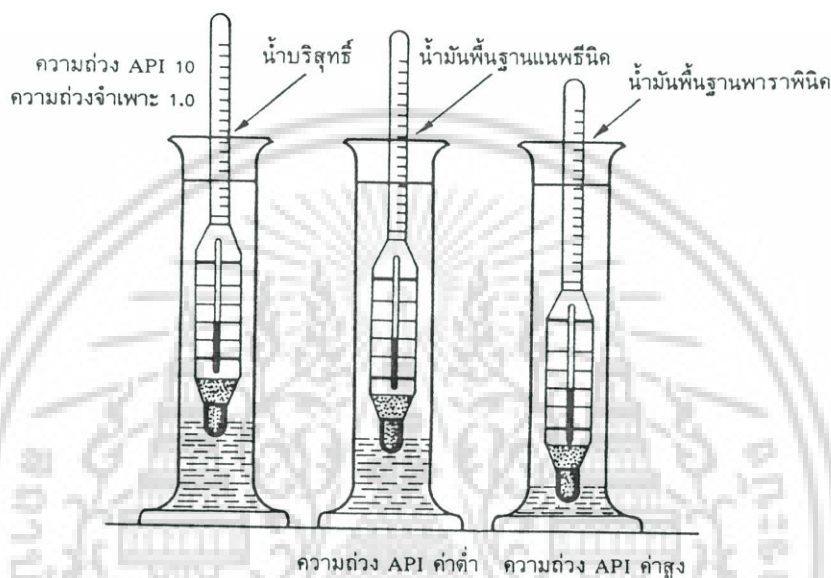
อุณหภูมิ 60 องศาฟาเรนไฮต์ (15.8 องศาเซลเซียส)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น น้ำมันที่มีความหนาแน่นสูงจะมีค่าความถ่วงจำเพาะเอพีไอต่ำ และอาจมีค่าติดลบได้ ขณะที่น้ำมันส่วนใหญ่มีความหนาแน่นต่ำกว่าน้ำ จะมีค่าความถ่วงจำเพาะเอพีไอสูง

ความถ่วงจำเพาะเอพีไอ เป็นค่าที่วิเคราะห์ได้สะดวก โดยใช้เครื่องมือไฮโดรมิเตอร์ชนิดพิเศษที่มีลักษณะคล้ายเทอร์โมมิเตอร์จุ่มลงในของเหลว และอ่านสเกลที่ก้านที่ระดับของเหลวเป็นค่าความถ่วงจำเพาะเอพีไอโดยตรงจึงนิยมสร้างความสัมพันธ์ระหว่างความถ่วงจำเพาะเอพีไอ และค่าอื่นที่วิเคราะห์ยุ่งยากกว่า เช่น ค่าความร้อน เป็นต้น



รูปที่ 3.3 การหาค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำมันโดยใช้ไฮโดรมิเตอร์

3.7.5 จุดไหลเท

จุดไหลเท (Pour point) ณ อุณหภูมิต่ำ องค์ประกอบที่เป็นพวก พาราฟิน ของน้ำมันดีเซล หมุนเร็วอาจจะแยกตัวออกเป็นไข ซึ่งจะอุดตันทางเดินของน้ำมันเชื้อเพลิงและหม้อกรองเชื้อเพลิง ทำให้เครื่องยนต์ทำงานผิดปกติหรือดับในที่สุด ซึ่งอุณหภูมินี้จะเป็นเท่าไรขึ้นกับแหล่งน้ำมันดิบ และช่วงการกลั่นของน้ำมันนั้น

จุดไหลเท คืออุณหภูมิต่ำสุดที่น้ำมันยังสามารถไหลได้ โดยอาศัยแรงโน้มถ่วง ซึ่งการวัดนั้นใช้วิธี ASTM D-97

3.7.6 กำมะถัน

กำมะถัน (Sulfur content) ในเชื้อเพลิงเมื่อเผาไหม้แล้วจะกลายเป็นซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) และไตรออกไซด์ (SO_3) แล้วจะทำปฏิกิริยากับน้ำหรือความชื้นกลายเป็นกรดกำมะถัน กัดกร่อนชิ้นส่วนต่างๆ ในเครื่องยนต์ นอกจากนี้ยังทำให้น้ำมันเครื่องเกิดขี้ตะกอน (Sludge) ทำให้น้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มันเครื่องเสื่อมคุณภาพทำหน้าที่หล่อลื่นได้ไม่ดี และเป็นยางเหนียวๆ จับตามกระบอกสูบ และ ส่วนต่างๆ ในห้องเผาไหม้

ปริมาณกำมะถันที่สูงเป็นสิ่งที่ไม่พึงปรารถนาไม่ว่าเชื้อเพลิงนั้นจะใช้กับเครื่องยนต์อะไร การกัดกร่อนของกำมะถันนั้นมี 2 ลักษณะ ลักษณะแรกนั้นเกิดจากการกัดกร่อนของสารประกอบที่เกิดจากการสันดาปของกำมะถัน เมื่อรวมกับน้ำเกิดเป็นสารละลายที่มีฤทธิ์เป็นกรด ซึ่งจะกัดกร่อนชิ้นส่วนเครื่องยนต์ที่เป็นโลหะอย่างรุนแรง อย่างไรก็ตามสำหรับเครื่องยนต์ที่ใช้กำลังสูง อันตรายจากการกัดกร่อนจะน้อยกว่า เนื่องจากอุณหภูมิของเครื่องยนต์สูง ซึ่งจะตรงข้ามกับการใช้งานที่อุณหภูมิต่ำ หรืออาจจะเกิดจากการหยุดและติดเครื่องบ่อยๆ หรือการใช้กำลังเครื่องยนต์ หรือรอบเครื่องยนต์ต่ำ ซึ่งไอน้ำมีโอกาสจะกลั่นตัวเป็นหยดน้ำในเครื่องยนต์มาก ลักษณะที่สองเกิดจาก Active Sulphur ในเชื้อเพลิงกัดกร่อนชิ้นส่วนของระบบเชื้อเพลิงโดยตรง

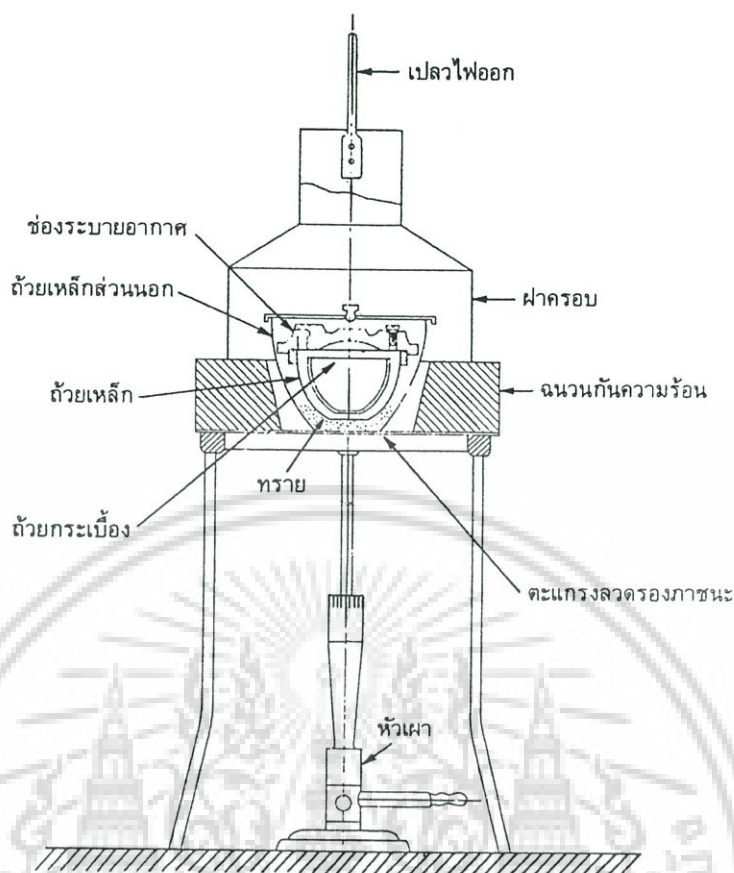
ดังนั้นการวัดกำมะถันในน้ำมันจึงมีวิธีการวัดได้ 2 วิธี คือ วิธีแรกวัดตามวิธี ASTM D129 หรือ IP242 เพื่อหาปริมาณกำมะถันที่มีอยู่ในน้ำมันเชื้อเพลิง เป็นการวัดว่าเชื้อเพลิงนั้นหลังจากการเผาไหม้แล้วจะมีการกัดกร่อนเพียงใด วิธีที่สองเป็นการวัดการกัดกร่อนของชิ้นทองแดงตามวิธีของ ASTM D130 หรือ IP154 เพื่อดูการกัดกร่อนของน้ำมันเชื้อเพลิงก่อนการเผาไหม้

ปริมาณกำมะถันในน้ำมันดีเซลจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับแหล่งน้ำมันดิบที่นำมากลั่นและกระบวนการกลั่นที่ใช้ ซึ่งการแยกกำมะถันออกให้หมดเป็นกระบวนการที่แพงมาก ถ้าทำได้ให้เหลือ 0.5% ก็นับว่าดีแล้วอย่างไรก็ตามไม่ควรเกิน 1%

3.7.7 กากถ่านหรือกากคาร์บอน

กากถ่านหรือกากคาร์บอน (Carbon residue) ตกค้างเป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึง เพราะถ้ามีมากกว่าที่กำหนดก็มีแนวโน้มว่าจะเกิดเขม่าสะสมในห้องเผาไหม้มาก การเผาไหม้จะไม่สะอาดหมดจด และควันไอเสียจะมีมากด้วย โดยปกติมักจะมองว่ากากคาร์บอนสูงเป็นสิ่งที่ไม่ดี แต่เท่าที่พบยังไม่พบหลักฐานที่จะแสดงความเกี่ยวพันระหว่างกากคาร์บอนของน้ำมันดีเซลหมุนเร็วและสิ่งสกปรกที่หัวฉีดแต่อย่างใด แท้จริงแล้วชนิดของคาร์บอนที่เกิดขึ้นจะมีความสำคัญเท่าๆ กับปริมาณของคาร์บอนที่เกิดขึ้น เช่น กากคาร์บอนที่แข็งและแหลมคมเพียงเล็กน้อย อาจทำอันตรายได้มากกว่ากากคาร์บอนจำนวนมากที่นิ่ม เนื่องจากกากคาร์บอนที่นิ่มมักจะหลุดไปกับไอเสียเมื่อมีการเผาไหม้เกิดขึ้น

มาตรฐานของน้ำมันดีเซลหมุนเร็วมักจะมีข้อกำหนดทางด้านกากคาร์บอน ซึ่งอาจใช้วิธีการทดสอบแบบของคอนราดสัน (Conradson Carbon Residue Test, ASTM D-189) หรือแบบของแรมส์บอตตอม (Ramsbottom Carbon Residue Test, ASTM D-524)



รูปที่ 3.4 เครื่องมือหาปริมาณกากถ่านแบบคอนริตสัน

3.7.8 ปริมาณเถ้า

ปริมาณเถ้า (Ash content) หรือเถ้าเขม่า ทดสอบด้วยวิธี ASTM D-482 หรือ IP 4 ก็คือ สารที่ไม่ไหม้ไฟจำนวนเล็กน้อยที่พบในน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล ซึ่งอาจจะอยู่ในรูปของแข็ง หรือ Metallic Soap ที่ละลายได้ในน้ำมัน

ในระบบหัวฉีดเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ดีเซลนั้นมีความละเอียดมาก สารที่สามารถขูดขีดโลหะได้จึงเป็นอันตรายมาก ยิ่งไปกว่านั้นสารเหล่านี้ยังทำให้เกิดการสึกหรอในเครื่องยนต์

3.7.9 น้ำและตะกอน

น้ำและตะกอน (Water and Sediment) ทดสอบด้วยวิธี ASTM D-2709 เป็นผลมาจากการขนถ่ายและเก็บรักษาน้ำมันเชื้อเพลิงตั้งแต่โรงกลั่นจนกระทั่งถึงหัวฉีดเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์

น้ำมีโอกาสที่จะลงไปปะปนในน้ำมันเชื้อเพลิงได้ง่ายมาก เช่น เกิดจากมีอากาศที่มีความชื้นอยู่ในถังเก็บ และความชื้นนั้นกลั่นตัวเป็นหยดน้ำเมื่ออุณหภูมิต่ำลง อาจเกิดจากน้ำฝนรั่วเข้าไปในอุปกรณ์ที่ใช้ในการขนถ่ายหรือเก็บรักษา

สิ่งสกปรกหรือตะกอนมักจะประกอบด้วย สารคาร์บอน เศษโลหะ หรือสารอินทรีย์อื่นๆ ซึ่งอาจจะมีสาเหตุที่มาจากสาเหตุต่างๆ เช่น การไม่รวมตัวของน้ำมันเชื้อเพลิง หรือการเสื่อมสภาพของน้ำมันเชื้อเพลิงจากการทำปฏิกิริยากับอากาศ ซึ่งเกิดขึ้นมากที่อุณหภูมิสูง

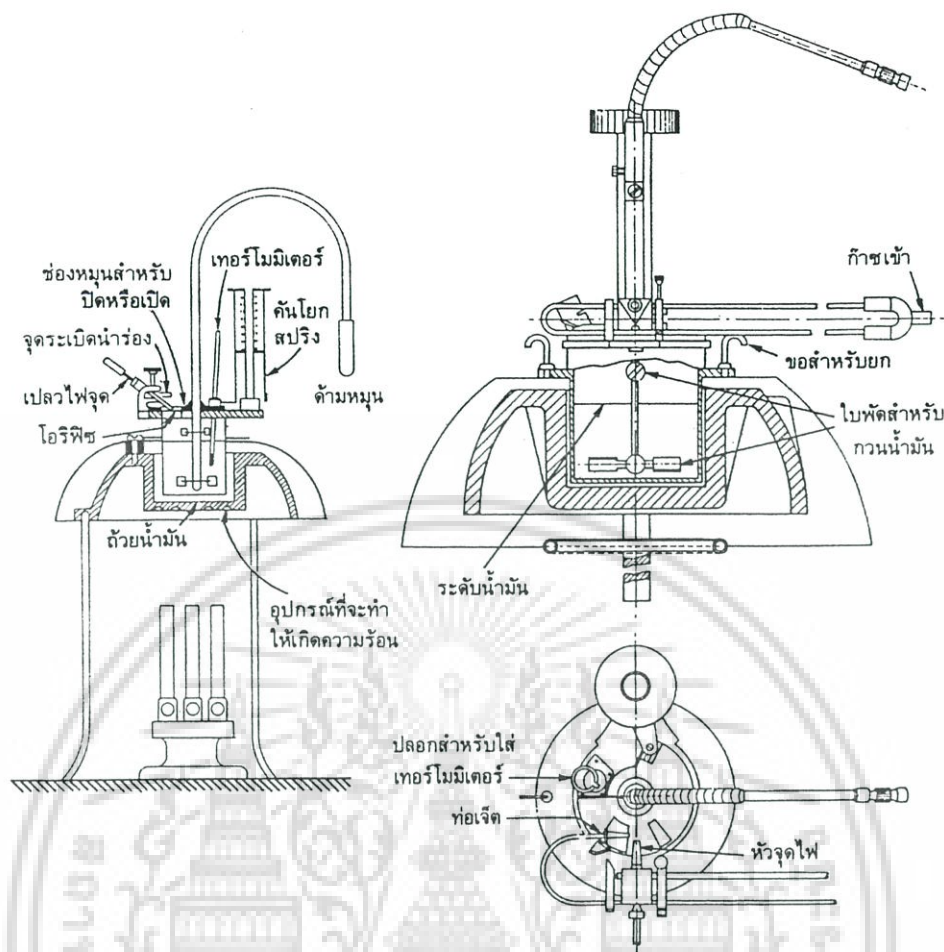
ปัญหาของน้ำ คือ ทำให้หม้อกรองเชื้อเพลิงตันและทำให้ระบบเชื้อเพลิงเกิดการกัดกร่อน สำหรับสิ่งสกปรกนั้นนอกจากจะทำให้หม้อกรองเชื้อเพลิงตันแล้วยังทำให้เกิดการสึกหรอและตะกอนในระบบหัวฉีดและในเครื่องยนต์

3.7.10 จุดวาบไฟ

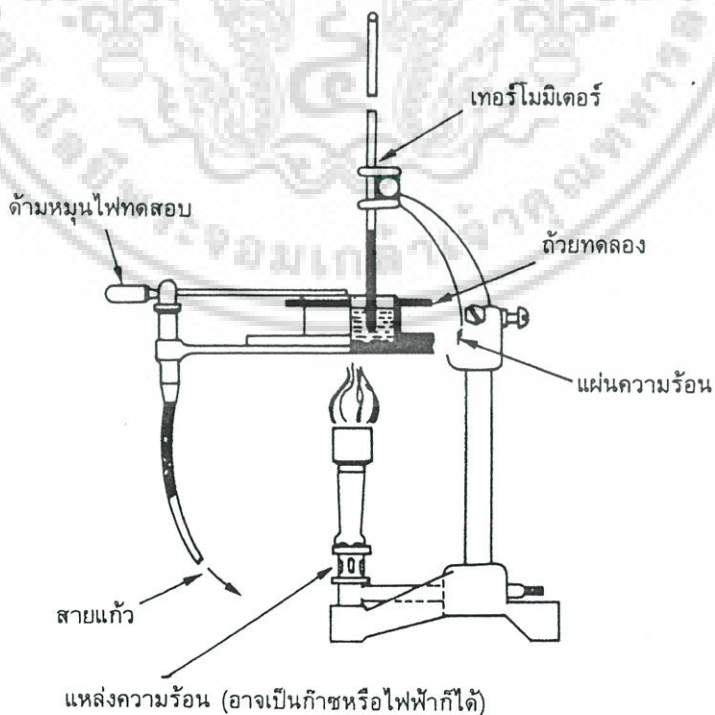
จุดวาบไฟ (Flash point) เป็นอีกค่าหนึ่งซึ่งบ่งชี้ถึงความสามารถในการระเหยเป็นไอของผลิตภัณฑ์น้ำมันปิโตรเลียม ทดสอบได้สองวิธี โดยใช้ภาชนะปิดหรือเปิด เช่น PMCC, PM (Pensky – Marsten closed cup, ASTM D-93) หรือ COC (Cleveland open cup) แสดงในรูปที่ 3.5 และรูปที่ 3.6 โดยให้ความร้อนแก่ภาชนะที่บรรจุตัวอย่าง ตามปริมาตรและสภาวะมาตรฐาน ทดสอบการเกิดเปลวไฟของส่วนผสมระหว่างไอน้ำมันเหนือผิวของเหลวและอากาศเป็นระยะๆ เมื่อมีเปลวไฟทดสอบเคลื่อนที่ผ่าน อุณหภูมิแรกที่ส่วนผสมเกิดเปลวไฟวาบขึ้นแล้วดับ คือ จุดวาบไฟ จุดวาบไฟแสดงถึงอันตรายที่จะเกิดการระเบิดหรือการจุดติดไฟขึ้นในระบบเก็บผลิตภัณฑ์น้ำมันปิโตรเลียมด้วย

จุดวาบไฟ (Fire point) ของน้ำมันดีเซล คืออุณหภูมิที่น้ำมันดีเซลจะต้องถูกทำให้ร้อน เพื่อให้เกิดส่วนผสมของไอน้ำมันกับอากาศที่จุดติดไฟได้เหนือผิวหน้าของน้ำมันเมื่อมีเปลวไฟเป็นตัวล่อ สำหรับการหาจุดวาบไฟของน้ำมันดีเซลที่ใช้วิธีการทดสอบของ Pensky-Martens แสดงในรูปที่ 3.5

ส่วนจุดติดไฟก็คือ อุณหภูมิต่ำสุดที่ไอน้ำมันเกิดติดไฟและติดอยู่ได้ไม่ต่ำกว่า 5 วินาที จุดทั้งสองนี้เป็นอันตรายต่อการเก็บรักษา น้ำมันแก๊สโซลีนที่ระเหยง่าย จุดติดไฟอาจจะอยู่ต่ำกว่า 0°C แต่น้ำมันดีเซลส่วนมาจะอยู่ระหว่าง $70 - 140^{\circ}\text{C}$



รูปที่ 3.5 เครื่องมือทดสอบจุดวาบไฟแบบ PMCC หรือ PM



รูปที่ 3.6 เครื่องมือหาจุดวาบไฟแบบ COC

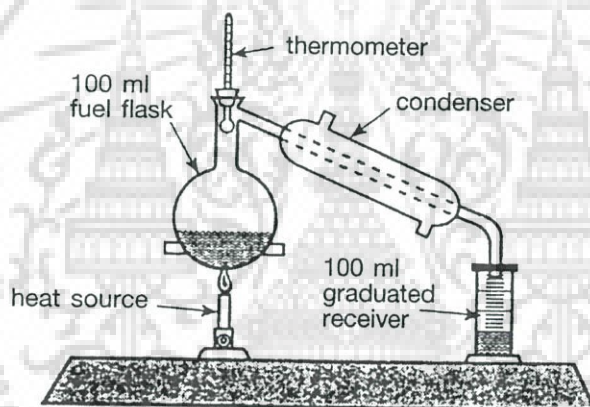
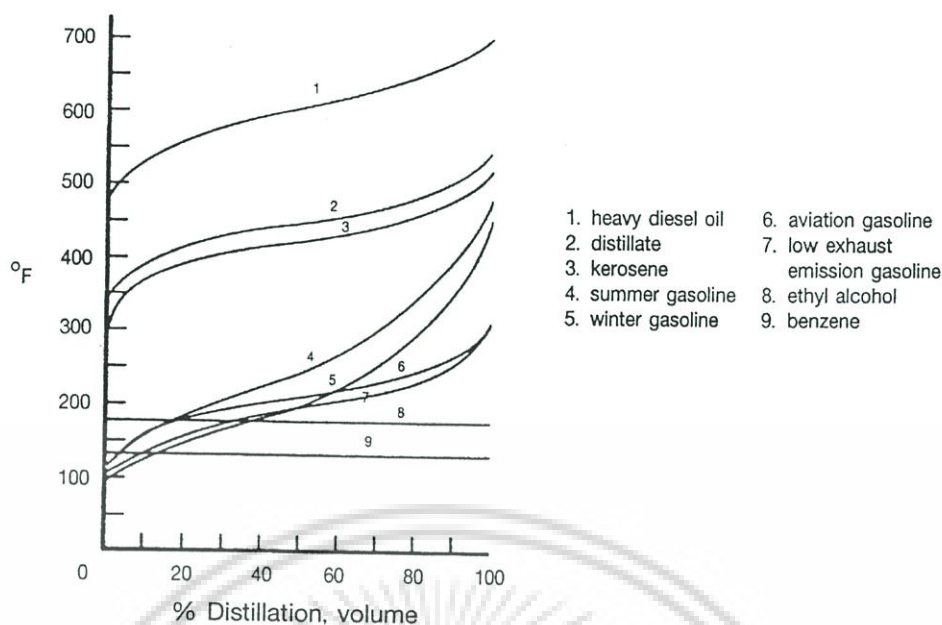
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7.11 การกลั่น

การกลั่น (Distillation) หรือหมายถึงค่าการระเหยเป็นไอได้ง่ายของเชื้อเพลิง ปกติก่อนที่เชื้อเพลิงจะสันดาปได้ต้องมีการระเหยเป็นไอก่อน แต่ถ้าน้ำมันนั้นต้องใช้อุณหภูมิสูงจึงระเหยได้จะยากแก่การสันดาป น้ำมันเชื้อเพลิงชนิดใดมีค่าการระเหยเป็นไอล่าจะก่อให้เกิดความล่าช้าในการเผาไหม้

ความสามารถในการระเหยของน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลนั้นวัดโดยการกลั่นด้วยวิธี ASTM D86 ซึ่งวิธีทดสอบก็คือการทำให้เชื้อเพลิงกลายเป็นไอ และจดอุณหภูมิของไอเชื้อเพลิงสำหรับแต่ละเปอร์เซ็นต์ของน้ำมันที่กลายเป็นไอไปตลอดช่วงการกลั่น

คุณสมบัติข้อนี้มีความสำคัญต่อการทำงานของเครื่องยนต์ดีเซล โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเครื่องยนต์รอบปานกลางและรอบสูง สำหรับความสามารถในการระเหยที่เหมาะสมนั้นขึ้นอยู่กับรอบ ขนาด และการออกแบบของเครื่องยนต์ การใช้เชื้อเพลิงที่ระเหยยากนั้นจะทำให้ น้ำมันฉีดเป็นฝอยไม่ดี ผลก็คือกำลังและประสิทธิภาพของเครื่องตก หากใช้เชื้อเพลิงที่ระเหยง่ายเกินไปจะทำให้กำลังและประสิทธิภาพตกเช่นกันเนื่องจากอาจจะเกิด Vapour Lock ในระบบเชื้อเพลิง หรือหยดน้ำมันเชื้อเพลิงที่ถูกฉีดออกจากหัวฉีดไม่สามารถที่จะไปได้ไกลเท่าที่ควร กล่าวโดยทั่วไปแล้วช่วงการกลั่นของน้ำมันควรต่ำที่สุดโดยไม่ทำให้คุณสมบัติทางด้านจุดวาบไฟ การลุกติดไฟ ค่าความร้อน ตลอดจนความชื้นเสียไป ถ้าหากอุณหภูมิที่น้ำมันกลั่นออกมา 10 เปอร์เซ็นต์สูงไปจะทำให้เครื่องยนต์ติดยาก หากอุณหภูมิที่น้ำมันกลั่นออกมา 10 เปอร์เซ็นต์และ 80 เปอร์เซ็นต์ห่างกันเกินไปจะทำให้ช่วงเวลาการอุ่นเครื่องยนต์นานขึ้น ส่วนอุณหภูมิที่น้ำมันกลั่น 90 เปอร์เซ็นต์ และจุดสุดท้ายของการกลั่นที่ต่ำจะช่วยลดการเกิดเขม่าคาร์บอนและความสกปรกของน้ำมันเครื่องยนต์



รูปที่ 3.7 เครื่องกลั่นตามมาตรฐาน ASTM และเส้นโค้งการกลั่นของน้ำมันปิโตรเลียมบางชนิด

3.7.12 ค่าความร้อน

การเกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างน้ำมันเชื้อเพลิงกับออกซิเจนของอากาศจะทำให้ได้ปริมาณความร้อนที่ถูกปล่อยออกมาเมื่อเชื้อเพลิงถูกเผาไหม้ ซึ่งความร้อนที่เกิดขึ้นต่อหน่วยมวลของเชื้อเพลิง มีหน่วยเป็นจูลต่อกิโลกรัมของเชื้อเพลิง เนื่องจากเครื่องยนต์เผาไหม้ภายในขึ้นอยู่กับความร้อนที่เปลี่ยนไปเป็นกำลัง ดังนั้นค่าความร้อนของน้ำมันเชื้อเพลิงจึงมีผลโดยตรงต่อกำลังที่ออกจากเครื่องยนต์ ในการคำนวณประสิทธิภาพทางความร้อนของเครื่องยนต์เผาไหม้ภายใน ใช้ค่าความร้อนทางต่ำเป็นหลัก เพราะว่าในอุณหภูมิสูงๆ ขณะที่ไอเสียออกจากเครื่องยนต์จะไม่มี การกลั่นตัวของไอน้ำ แต่ค่าความร้อนสูงก็เป็นที่ยอมรับใช้กันเพราะตัวเลขที่ได้จากค่าความร้อนสูงคำนวณหาได้ง่ายกว่าค่าความร้อนต่ำ ตามหลักการทดลองของสมาคม ASME กำหนดให้ใช้ค่าความร้อนทางสูง ส่วนหลักการทดลองของสมาคม SAE ให้ใช้ค่าความร้อนต่ำ [19]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.8 การเผาไหม้ในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด [14]

ลักษณะที่สำคัญของกระบวนการเผาไหม้ในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัดหรือเครื่องยนต์ดีเซล คือ เชื้อเพลิงจะถูกฉีดเข้าไปในกระบอกสูบโดยระบบฉีดเชื้อเพลิงที่ปลายของจังหวะอัด ก่อนการเริ่มต้นการเผาไหม้ที่ต้องการเล็กน้อย ตามปกติแล้วเชื้อเพลิงจะถูกฉีดเข้าไปด้วยความเร็วสูงโดยผ่านรูหัวฉีดรูเดียวหรือหลายรู เมื่อเชื้อเพลิงผ่านพื้นปลายของหัวฉีดก็จะแตกเป็นฝอยละอองและพุ่งไปในห้องเผาไหม้และจะระเหย และผสมกับอากาศที่มีอุณหภูมิและความดันสูงที่อยู่ในกระบอกสูบ เนื่องจากอุณหภูมิและความดันของอากาศสูงกว่าจุดการจุดระเบิดของเชื้อเพลิง ทำให้การจุดระเบิดเองของส่วนที่เป็นสารผสมเชื้อเพลิงกับอากาศก็จะเกิดขึ้นหลังช่วงล่าช้าไม่กี่องศาของมุมเพลลาข้อเหวี่ยง เมื่อการเผาไหม้ของสารผสมเชื้อเพลิงกับอากาศเกิดขึ้น ความดันกระบอกสูบก็จะเพิ่มขึ้นเป็นผลให้เกิดการอัดส่วนที่ยังไม่เผาไหม้ ซึ่งทำให้ช่วงล่าช้าก่อนการจุดระเบิดของสารผสมเชื้อเพลิงกับอากาศที่ได้ผสมกันโดยมีสัดส่วนอยู่ในขีดจำกัดที่สามารถเผาไหม้ได้นั้นสั้นลง การเผาไหม้ก็จะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว นอกจากนี้ เมื่อเกิดการเผาไหม้แล้วเวลาในการระเหยของเชื้อเพลิงที่เหลือก็จะลดลงด้วย สำหรับการฉีดเชื้อเพลิงก็จะมีต่อเนื่องไปจนกระทั่งปริมาณเชื้อเพลิงที่ต้องการได้เข้าไปในกระบอกสูบแล้ว ส่วนกระบวนการแตกเป็นฝอยละออง การระเหย การผสมระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศ และการเผาไหม้ ก็จะมีต่อเนื่องไปจนกระทั่งเชื้อเพลิงทั้งหมดได้ผ่านแต่กระบวนการดังกล่าว นอกจากนี้ การผสมของอากาศที่เหลือในกระบอกสูบกับแก๊สที่กำลังเผาไหม้แล้วก็จะเกิดขึ้นต่อไปตลอดกระบวนการเผาไหม้และกระบวนการขยายตัว

รายละเอียดของกระบวนการเผาไหม้ในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัดจะขึ้นอยู่กับสมบัติของเชื้อเพลิง การออกแบบห้องเผาไหม้และระบบฉีดเชื้อเพลิงและสภาวะการทำงานของเครื่องยนต์ ผลที่สำคัญของกระบวนการเผาไหม้ที่มีต่อการทำงานของเครื่องยนต์มีดังนี้

1. เนื่องจากการฉีดเชื้อเพลิงเกิดก่อนการเริ่มต้นการเผาไหม้เล็กน้อย ดังนั้นจึงไม่มีข้อจำกัดของการน็อกเหมือนในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟซึ่งเป็นผลมาจากการจุดระเบิดเองของเชื้อเพลิงและอากาศที่ผสมกันก่อนแล้วในแก๊สส่วนผสมท้าย ดังนั้นเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัดจึงสามารถใช้อัตราส่วนการอัดสูงกว่าได้ เป็นผลให้ประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงสูงกว่าเมื่อเทียบกับเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟ

2. เนื่องจากจังหวะการฉีดเชื้อเพลิงถูกใช้ในการควบคุมจังหวะการเผาไหม้ ช่วงล่าช้าระหว่างการเริ่มฉีดเชื้อเพลิงและการเริ่มต้นการเผาไหม้จะต้องสั้น ซึ่งช่วงล่าช้าที่สั้นนี้ยังจำเป็นต่อการรักษาความดันกระบอกสูบสูงสุดที่เครื่องยนต์จะทนได้ ดังนั้นสมบัติในการจุดระเบิดเองสารผสมเชื้อเพลิงกับอากาศจึงต้องอยู่ในช่วงที่กำหนด ซึ่งกระทำได้โดยใช้น้ำมันที่มีค่าซีเทนสูงกว่าค่าที่กำหนด

3. เนื่องจากแรงบิดของเครื่องยนต์เปลี่ยนแปลงโดยการเปลี่ยนแปลงปริมาณเชื้อเพลิงที่ถูกฉีดเข้าไปต่อวัฏจักรโดยที่การไหลของอากาศเข้าเครื่องยนต์เกือบจะไม่เปลี่ยนแปลง ทำให้เครื่องยนต์ดีเซลสามารถทำงานได้โดยไม่ต้องมีลิ้นเร่ง ดังนั้นงานในการบีบจึงต่ำ เป็นผลให้ประสิทธิภาพเชิงกลที่ภาระบางส่วนสูงกว่าเมื่อเทียบกับเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟ

4. เมื่อปริมาณของเชื้อเพลิงที่ถูกฉีดเข้าไปต่อวัฏจักรเพิ่มขึ้น ปัญหาการใช้อากาศในระหว่างการเผาไหม้จะเกิดขึ้น ซึ่งนำไปสู่การเกิดปริมาณของเขม่าจำนวนมากที่ไม่สามารถเผาไหม้ได้หมดก่อนการคายไอเสียออก ดังนั้นเขม่าจำนวนมากหรือควันดำของไอเสียจึงเป็นตัวจำกัดอัตราส่วนระหว่างเชื้อเพลิงต่ออากาศที่กำลังสูงสุด

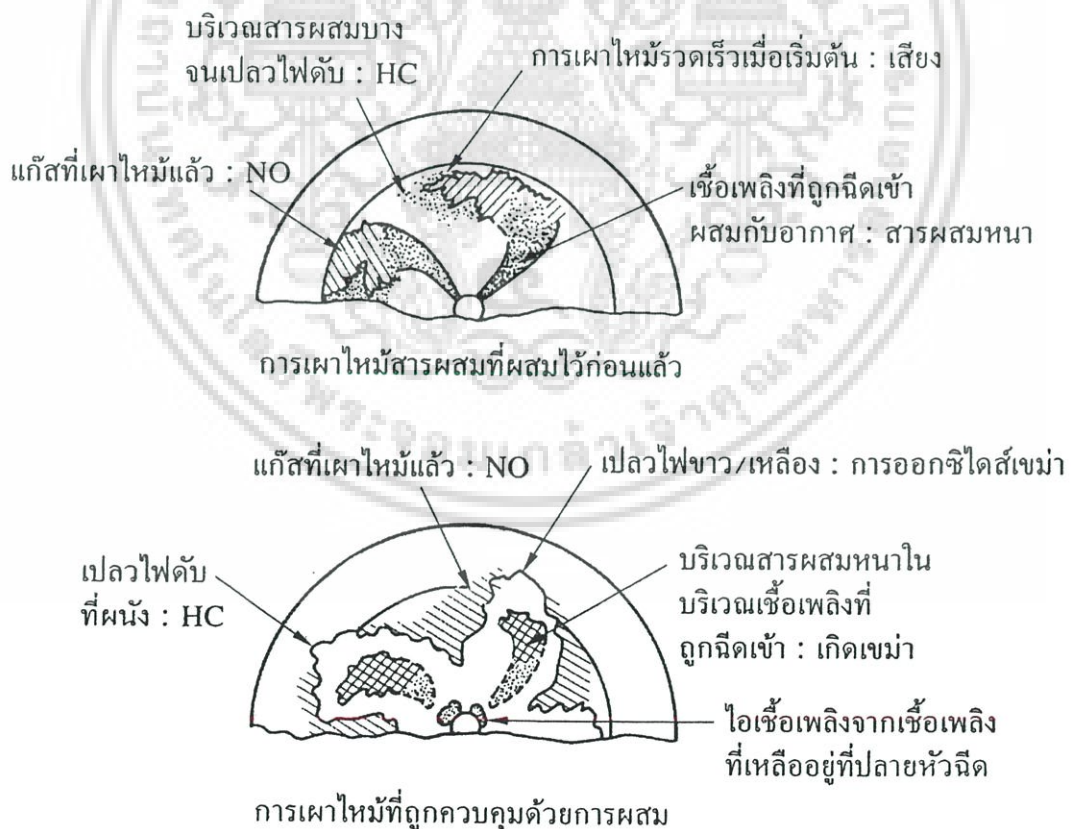
5. เนื่องจากเครื่องยนต์ดีเซลทำงานด้วยอัตราส่วนระหว่างเชื้อเพลิงต่ออากาศที่บางเสมอ (และที่ภาระบางส่วนจะทำงานที่อัตราส่วนระหว่างเชื้อเพลิงต่ออากาศที่บางมาก) ทำให้ค่ายังผลของ $\gamma (= c_p/c_v)$ ในช่วงกระบวนการขยายตัวสูงกว่าในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟ เป็นผลให้ประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงสูงกว่าของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟ สำหรับอัตราส่วนการขยายตัวหนึ่งๆ

3.9 ปริมาณและการเกิดมลพิษในเครื่องยนต์ดีเซล [14]

ไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซลโดยทั่วไปประกอบด้วยสารที่ถือว่าเป็นมลพิษคล้ายๆกับของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟ แต่ปริมาณของมลพิษบางตัวจะแตกต่างจากเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟโดยในไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซลนั้นความเข้มข้นของ NO_x จะใกล้เคียงกับในไอเสียของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟ ส่วนไฮโดรคาร์บอนที่ออกมากับไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซลจะต่ำกว่าในไอเสียของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟประมาณ 5 เท่า ซึ่งไฮโดรคาร์บอนในไอเสียนี้อาจควบแน่นเกิดเป็นควันขาวในช่วงการติดและอุ่นเครื่องยนต์ได้ นอกจากนี้ สารประกอบไฮโดรคาร์บอนบางชนิดในไอเสียยังเป็นแหล่งของกลิ่นไอเสียอีกด้วย สำหรับ CO ที่ออกมากับไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซลนั้นน้อยมาก ทั้งนี้ เนื่องจากเครื่องยนต์ดีเซลตามปกติแล้วจะทำงานด้วยสารผสมบาง แต่ในไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซลจะมีสารละอองที่เป็นอนุภาคขนาดเล็ก (เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ $0.1 \mu\text{m}$) ราวร้อยละ 0.2 ถึงร้อยละ 0.5 ของมวลเชื้อเพลิง สารละอองนี้ประกอบด้วยเขม่าเป็นส่วนใหญ่และมีสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ถูกดูดซับไว้อยู่บ้าง

การเกิดมลพิษในเครื่องยนต์ดีเซลจะขึ้นอยู่กับการกระจายเชื้อเพลิงและลักษณะของการกระจายที่แปรผันกับเวลาอันเนื่องจากการผสม ทั้งนี้ เนื่องจากในเครื่องยนต์ดีเซลนั้นเชื้อเพลิงจะถูกฉีดเข้าไปในกระบอกสูบก่อนการเผาไหม้เริ่มต้นเล็กน้อย การกระจายของเชื้อเพลิงจึงไม่สม่ำเสมอ รูปที่ 3.8 แสดงส่วนต่างๆของเชื้อเพลิงที่ถูกฉีดเข้าไปและเปลวไฟที่มีผลต่อการเกิด NO เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยามให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไฮโดรคาร์บอนที่ยังไม่เผาไหม้และเขม่า (หรือสารละออง) ในช่วงการเผาไหม้สารผสมที่ผสมไว้ก่อนแล้วและในช่วงการเผาไหม้ที่ถูกควบคุมด้วยการผสมในเครื่องยนต์ดีเซลระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรงที่มีการไหลวน ซึ่งจะพบว่า NO เกิดขึ้นในบริเวณแก๊สที่เผาไหม้แล้วที่มีอุณหภูมิสูงเหมือนกับการเกิด NO ในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟ แต่ในเครื่องยนต์ดีเซลการกระจายของอุณหภูมิและอัตราส่วนระหว่างเชื้อเพลิงต่ออากาศภายในบริเวณแก๊สที่เผาไหม้แล้วไม่สม่ำเสมอ ดังนั้นอัตราการเกิดจะสูงสุดในบริเวณสารผสมที่ใกล้สารผสมพอดี เขม่าจะเกิดขึ้นในบริเวณแกนของสเปรย์ที่มีเชื้อเพลิงซึ่งยังไม่เผาไหม้ แล้วเขม่าก็จะถูกออกซิไดส์ในบริเวณเปลวไฟเมื่อไปสัมผัสกับออกซิเจน ทำให้เปลวไฟมีลักษณะเป็นสีเหลืองสว่าง ส่วนไฮโดรคาร์บอนและอัลดีไฮด์ (aldehyde) จะเกิดในบริเวณที่เปลวไฟดับทั้งที่ผนังและในบริเวณที่ซึ่งถูกเจือจางด้วยอากาศมากเกินไปจนการเผาไหม้ไม่สามารถเริ่มหรือเกิดต่อไปจนสมบูรณ์ได้ นอกจากนี้ ไอเชื้อเพลิงจากเชื้อเพลิงที่เหลืออยู่ที่ปลายหัวฉีดในช่วงหลังของการเผาไหม้ก็จะเป็นแหล่งของไฮโดรคาร์บอนอีกแหล่งหนึ่ง สำหรับเสียงที่เกิดจากการเผาไหม้นั้นจะถูกควบคุมโดยส่วนแรกของกระบวนการเผาไหม้ซึ่งมีการปล่อยความร้อนที่รวดเร็วทันทีหลังช่วงล่าช้าในการจุดระเบิด โดยพยายามไม่ให้มีการเผาไหม้ของสารผสมที่เกิดขึ้นพร้อมกันทันทีในปริมาณที่มากเกินไป



รูปที่ 3.8 สรุปกลไกการเกิดมลพิษในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.10 แก๊สไอเสียจากเครื่องยนต์ดีเซล

เมื่อพิจารณาถึงแก๊สไอเสียจากเครื่องยนต์ดีเซลจะต้องแยกแยะระหว่างส่วนประกอบที่เป็นอนุภาคและส่วนประกอบที่เป็นแก๊ส

ส่วนประกอบที่เป็นอนุภาค ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นเขม่าที่อนุภาคของคาร์บอน แก๊สที่เป็นพิษที่สำคัญในไอเสียได้แก่ ไฮโดรคาร์บอน (HC) คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) ด้วย สัดส่วนที่มากที่สุดของไอเสียจะประกอบด้วยคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ

3.10.1 เขม่า (ควีนดำ)

เขม่าประกอบด้วยอนุภาคของคาร์บอนที่เกิดจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ (Incomplete combustion) การฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงเข้าไปในห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์จะเข้าไปผสมกับอากาศ แม้ว่าอากาศในห้องเผาไหม้จะมีปริมาณอากาศเกินพอมาก แต่การผสมจะไม่สมบูรณ์ในทุกบริเวณ ซึ่งหมายความว่าในบริเวณนั้นมีน้ำมันเชื้อเพลิงเกิน ดังนั้นที่อุณหภูมิสูงและมีการขาดออกซิเจน (ส่วนผสมหนา) การกลั่นแห้งของไฮโดรคาร์บอนในน้ำมันเชื้อเพลิงก็จะเกิดขึ้น เนื่องจากการแยกตัวของไฮโดรเจน ผลที่ได้ก็คือคาร์บอน เมื่อการเผาไหม้เกิดขึ้นต่อไป คาร์บอนก็จะทำปฏิกิริยากับออกซิเจน ซึ่งจะได้คาร์บอนมอนอกไซด์ถ้ามีออกซิเจนเพียงพอและอุณหภูมิไม่ต่ำกว่า 1000°C

ถ้าออกซิเจนไม่เพียงพอ หรืออุณหภูมิต่ำเกินไปอนุภาคของคาร์บอนจะยังคงเป็นอนุภาคและออกไปกับไอเสียซึ่งเห็นเป็นควีนดำนั่นเอง อนุภาคจะรวมกันเป็นเม็ดเล็กๆ แต่ก็มีรายงานการวิจัยบางแห่งได้ระบุว่า ควีนดำไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพแต่อาจสามารถทำหน้าที่เป็นตัวจับสารที่เป็นอันตราย แต่อย่างไรก็ตาม ควีนดำจะเป็นสาเหตุของการเคืองตา เพราะเป็นสาเหตุทำให้การมองเห็นลดลงและทำให้พื้นที่บริเวณที่มีเขม่าโดยรอบมีสีดำ

3.10.2 ไฮโดรคาร์บอน

ตัวย่อ HC จะถูกใช้เพื่อแทนกลุ่มไฮโดรคาร์บอนต่างๆ ที่มีมากกว่า 100 ชนิด ไฮโดรคาร์บอนที่มีอยู่ในไอเสียที่ออกมาจากเครื่องยนต์ดีเซลจะเป็นผลในเบื้องต้นมาจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของน้ำมันเชื้อเพลิง รวมถึงน้ำมันเชื้อเพลิงที่ระเหยจากระบบน้ำมันเชื้อเพลิงด้วย ส่วนใหญ่ของ ไฮโดรคาร์บอน ที่ออกมาจะไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ แต่บางส่วนมีกลิ่นฉุน และบางส่วนจะระคายเคืองต่อดวงตาและหลอดลม

ปริมาณไฮโดรคาร์บอน ในไอเสียจะขึ้นอยู่กับปัจจัยที่เกี่ยวกับกระบวนการเผาไหม้หลายประการ ตัวอย่าง เช่น อุณหภูมิสูงจะให้ปริมาณ ไฮโดรคาร์บอนต่ำ วิธีการหนึ่งที่จะลดไฮโดรคาร์บอนก็คือการออกแบบเครื่องยนต์ที่ให้อุณหภูมิสูงในระหว่างกระบวนการเผาไหม้ภายใต้

สภาวะไหลดน้อยๆ ปริมาณของไฮโดรคาร์บอนของเครื่องยนต์ดีเซลแบบฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงเข้าโดยตรงจะขึ้นอยู่กับปริมาณของน้ำมันเชื้อเพลิงเหลืออยู่ที่ปลายของหัวฉีดด้วย

ไฮโดรคาร์บอนที่ปล่อยออกมานี้ได้มีการศึกษาเป็นพิเศษในสหรัฐอเมริกา เนื่องจากจะทำให้เกิดผลของปฏิกิริยาทางแสงและทางเคมีที่เรียกว่า หมอก (Smog) หมอกเป็นผลของปฏิกิริยาหลากหลายในบรรยากาศที่เริ่มจากการแผ่รังสีอัลตราไวโอเล็ตปฏิกิริยาเหล่านี้จะทำให้เกิดสารบางอย่างซึ่งทำให้การมองเห็นลดลง ระบายเคืองตา และทำความเสียหายให้กับพืช หมอกสามารถเกิดในที่ซึ่งมีการรวมกันของไอเสียที่ออกมาเป็นจำนวนมาก การหมุนเวียนของอากาศไม่ดีและแสงแดดจ้า สภาวะของหมอกเกิดขึ้นครั้งแรกในลอสแอนเจลิส แต่ในปัจจุบันส่วนมากจะเห็นได้จากเมืองใหญ่ๆของสหรัฐอเมริกา

ในข้อเท็จจริงแล้วหมอกเกิดขึ้นในลอสแอนเจลิสมาก่อนที่จะมีรถยนต์เสียอีก ซึ่งเนื่องมาจากมลภาวะทางอากาศจากแหล่งธรรมชาติ

3.10.3 ไนโตรเจนออกไซด์

NO_x เป็นสูตรที่ใช้แทนไนโตรเจนออกไซด์ทั้งหมด ออกไซด์ของไนโตรเจนที่มีอยู่ในไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซลคือ ไนตริกออกไซด์ (NO) และไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2)

ไนตริกออกไซด์ไม่มีสีและไม่มีกลิ่น ในอากาศไนตริกออกไซด์จะรวมกับออกซิเจนเป็นไนโตรเจนออกไซด์ซึ่งจะมีสีน้ำตาลแดง มีกลิ่นฉุน และทำให้ระคายเคือง ความเข้มข้นของไนโตรเจนออกไซด์ที่มากเกินไปจะเป็นอันตรายต่อปอด นอกจากนี้ไนโตรเจนออกไซด์จะรวมได้ง่ายกับเฮโมโกลบินของเลือดป้องกันเลือดจากการดูดซับ และขนส่งออกซิเจนจากปอดไปยังส่วนต่างๆของร่างกาย ซึ่งจะเหมือนพิษของคาร์บอนมอนอกไซด์ และผลสุดท้ายก็คือทำให้หายใจไม่ออก

ไนโตรเจนออกไซด์ในไอเสียเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างไนโตรเจนและออกซิเจน ซึ่งปฏิกิริยานี้ขึ้นอยู่กับสภาวะที่เกิดขึ้นในห้องเผาไหม้คือ อุณหภูมิสูง ความดันสูง และมีออกซิเจนอยู่จะทำให้เกิด NO_x สูง

3.10.4 คาร์บอนมอนอกไซด์

คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ไม่มีกลิ่นไม่มีสี คาร์บอนมอนอกไซด์เป็นพิษเนื่องจากสามารถรวมตัวเข้ากันได้กับเฮโมโกลบินของเลือดแล้วไปป้องกันเลือดจากการดูดซับ และขนส่งออกซิเจนผ่านไปยังส่วนต่างๆของร่างกาย และผลสุดท้ายก็คือหายใจไม่ออก

คาร์บอนมอนอกไซด์จะเกิดขึ้นระหว่างช่วงกลางการเผาไหม้ หลังจากนั้นก็จะรวมตัวกับออกซิเจนกลายเป็น คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ที่ไม่เป็นพิษ คาร์บอนมอนอกไซด์จะเกิดในไอเสีย

ถ้าการเผาไหม้มีออกซิเจนไม่เพียงพอเท่านั้น เนื่องจากเครื่องยนต์ดีเซลทำงาน (มีการเผาไหม้) โดยมีอากาศ (ออกซิเจน) เกินพอ ปริมาณไอเสียใน คาร์บอนมอนอกไซด์ ในไอเสียจึงต่ำ

3.11 สรุปสมบัติเชื้อเพลิงที่มีผลต่อสมรรถนะและการปล่อยมลพิษจากงานวิจัยในอดีต

ซีเทนัมเบอร์ของน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีองค์ประกอบไฮโดรคาร์บอนจากปิโตรเลียม จะมีผลให้ไนโตรเจนออกไซด์ NO_x และซัลเฟอร์ไดออกไซด์ SO_2 ลดลง เมื่อมีค่าซีเทนัมเบอร์เพิ่มมากขึ้น โดยเหตุผลสำคัญที่มีผลต่อไนโตรเจนออกไซด์ NO_x คือการเพิ่มซีเทนัมเบอร์และรูปแบบของกระบวนการเผาไหม้ การเพิ่มค่าซีเทนัมเบอร์ช่วยลดความล่าช้าในการจุดระเบิดและการเผาไหม้ดีขึ้น แต่การลดลงของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ยังขึ้นอยู่กับปริมาณกำมะถันในเชื้อเพลิงด้วย [6]

การใช้น้ำมันพืชบริสุทธิ์ชนิดต่างๆ (น้ำมันดอกทานตะวัน, น้ำมันจากเมล็ดฝ้าย, น้ำมันถั่วเหลือง, น้ำมันข้าวโพด, น้ำมันจากฝิ่น, น้ำมันเรพซิด) และการใช้น้ำมันในรูปของเมทิลเอสเทอร์ (เมทิลเอสเทอร์ของน้ำมันดอกทานตะวัน, เมทิลเอสเทอร์ของน้ำมันจากเมล็ดฝ้าย, เมทิลเอสเทอร์ของน้ำมันถั่วเหลือง) [8] จากการทดลองพบว่ากำลังของเครื่องยนต์จากการใช้น้ำมันพืชไม่ได้ขึ้นอยู่กับค่าความร้อนของเชื้อเพลิงโดยตรง คือจากการใช้น้ำมันเรพซิดที่มีค่าความร้อนน้อยที่สุด แต่ให้กำลังเครื่องยนต์มากที่สุด

จากงานวิจัยในอดีตที่นำน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีค่าความร้อนเชื้อเพลิงต่ำ และความหนาแน่นสูงกว่าน้ำมันดีเซล จะทำให้อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง (m_f) สูงขึ้น และการใช้น้ำมันจากพืชที่มีความหนาแน่น และความหนืดสูงกว่าน้ำมันดีเซล มีผลให้แนวโน้มของคาร์บอนมอนอกไซด์และควันไอเสียเพิ่มขึ้น ส่วนแนวโน้มของคาร์บอนไดออกไซด์และไนโตรเจนไดออกไซด์ลดลง

บทที่ 4

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

4.1 บทนำ

การศึกษาการใช้ น้ำมันเชื้อเพลิงอื่นๆ มาทดแทน หรือลดการใช้ น้ำมันเชื้อเพลิงที่มีอยู่เดิม โดยการผสม หรือใช้แทนเลยนั้น จำเป็นต้องมีการทดสอบเครื่องยนต์เพื่อศึกษาพารามิเตอร์ที่สำคัญเพื่อป้องกันผลกระทบต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์ เช่น แรงบิด ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง กำลังเบรก มลพิษที่เกิดจากการเผาไหม้ เพื่อวิเคราะห์ความเหมาะสมของการใช้เชื้อเพลิงใหม่ เพื่อนำกลับไปปรับปรุงเชื้อเพลิงให้มีความเหมาะสมมากขึ้น เครื่องที่ใช้ควรศึกษาและเลือกใช้ให้เหมาะสม มีความแม่นยำและเที่ยงตรงสูง

4.2 อุปกรณ์การทดลอง

4.2.1 เครื่องยนต์ดีเซล

เครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดลองยี่ห้อ ยันมาร์ รุ่น TF105-LM เนื่องจากเป็นเครื่องยนต์ที่ผ่านการใช้งานมาแล้ว จึงได้ทำการตรวจเช็คสภาพ และทำการปรับตั้งให้ได้ตามค่ามาตรฐานตามคู่มือบริการที่ทางบริษัทกำหนดก่อนการทดลอง เช่น ระยะเวลาวาล์ว องศาการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง แรงดันการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง เป็นต้น

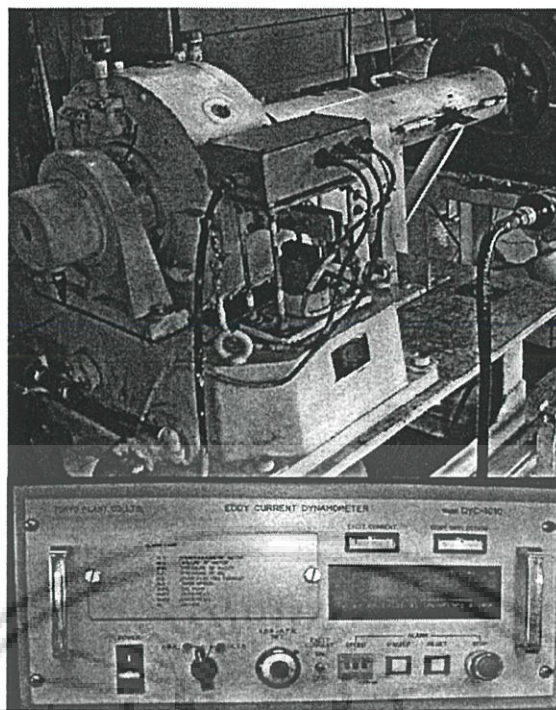
ตารางที่ 4.1 ข้อมูลจำเพาะของเครื่องยนต์

แบบ	TF105-LM
ชนิด	เครื่องยนต์ดีเซล 4 จังหวะ
ระบบเผาไหม้	มีห้องเผาไหม้ช่วย
จำนวนลูกสูบ	1
ความโตกระบอกสูบ x ช่วงชัก	88 x 96 มม.
ความจุ	583 ซีซี
กำลังม้าสูงสุด	7.7/2400 kW/rpm
ความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง	272 g/kW.hr
อัตราส่วนการอัด	20.3
ปั๊มเชื้อเพลิง	แบบปั๊มมือ
ระยะเวลาการฉีดน้ำมัน	16.0 องศา ก่อนศูนย์ตายบน
แรงดันการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง	160 kg/cm ²
ระบบระบายความร้อน	หมอน้ำรังผึ้ง

4.2.2 ไดนาโมมิเตอร์

เครื่องทดสอบกำลังเครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดลองเป็นแบบ เอดดี้เคอร์เรนต์ไดนาโมมิเตอร์ (Eddy current dynamometer) ลักษณะการทำงานแบบที่ใช้กระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำทำให้เสดตว และรวดเร็วต่อการทำงาน เป็นที่นิยมใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม และงานตรวจสอบคุณภาพที่ต้องการความเที่ยงตรงสูง จึงเหมาะที่จะนำมาใช้ในงานวิจัย โดยโครงสร้างประกอบด้วยจานหมุน ซึ่งขับเคลื่อนโดยเครื่องยนต์ที่ใช้ทดสอบ ขณะที่จานหมุนจะไปตัดสนามแม่เหล็กซึ่งควบคุมความเข้ม โดยการปรับกระแสไฟฟ้าที่ไหลเข้าขดลวด เมื่อโรเตอร์หมุนตัดสนามแม่เหล็ก ก็จะเกิดกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นที่สเตเตอร์ กระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นนี้ทำให้สเตเตอร์มีความร้อนสูงจึงต้องใช้น้ำหล่อเย็น ขณะที่โรเตอร์หมุนไปอำนาจแม่เหล็กระหว่างโรเตอร์กับสเตเตอร์จะมีผลให้สเตเตอร์พยายามหมุนไปในทางเดียวกับโรเตอร์ ซึ่งเราสามารถวัดแรงบิดเนื่องมาจากการหมุนนี้ได้จาก อุปกรณ์แสดงผลซึ่งแสดงเป็นตัวเลข แล้วนำมาคำนวณหาแรงม้าของเครื่องยนต์

ไดนาโมมิเตอร์ที่นำมาใช้เป็นรุ่น ED-60-LC อุปกรณ์ควบคุมและแสดงผลเป็นรุ่น DY-1010 ของ TOKYO PLANT CO.,LTD.



รูปที่ 4.1 ไดนาโมมิเตอร์และอุปกรณ์แสดงผล

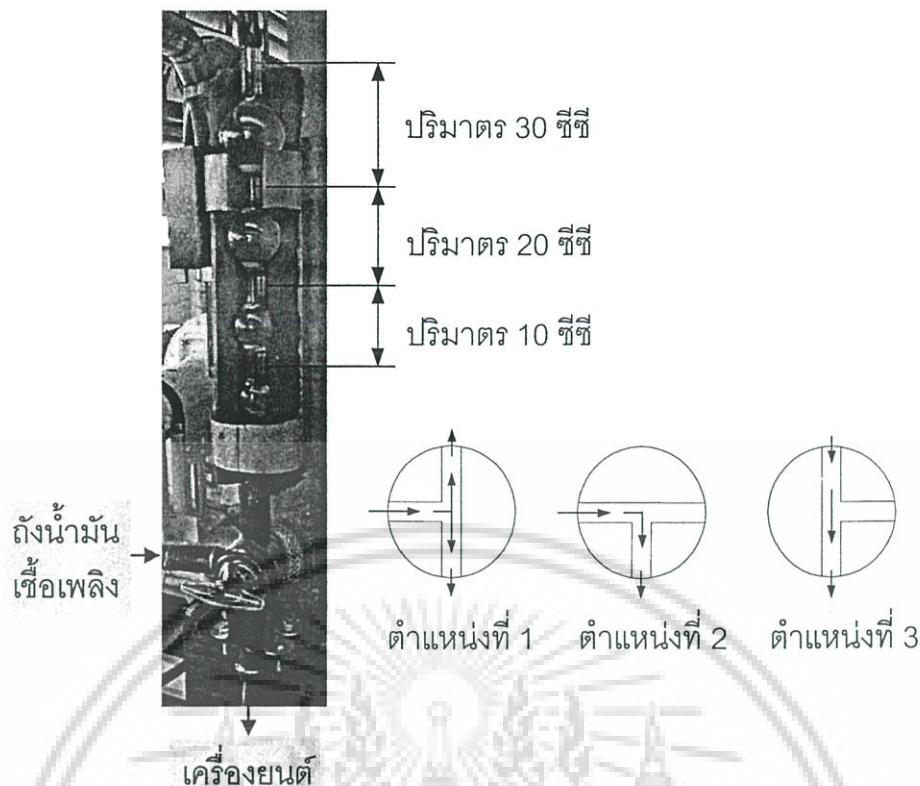
4.2.3 อุปกรณ์วัดการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง

การสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงทางที่ถูกควรจะวัดเป็นน้ำหนัก กล่าวคือ เอาภาชนะที่ใส่น้ำมันตั้งบนตาชั่ง อ่านน้ำหนักของน้ำมันและภาชนะก่อนใช้ เมื่อจบการทดลองแล้วอ่านค่าของน้ำมันที่เหลือบนตาชั่งอีกครั้งหนึ่ง ผลต่างของการอ่านทั้งสองครั้งนี้ คือ การสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงในช่วงเวลาการที่ทำการทดสอบ แต่ในทางปฏิบัติวัดเป็นปริมาตร แล้วเอาความถ่วงจำเพาะของน้ำมันคูณกับปริมาตร จะได้การสิ้นเปลืองของน้ำมันเชื้อเพลิงโดยมีหน่วยเป็นน้ำหนักต่อหนึ่งหน่วยเวลา โดยอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นหลอดแก้ว จะมีปริมาตรในแต่ละช่วงของกระเปาะคือ 30, 20, 10, 5 และ 3 ซีซี ในการใช้งานปรับวาล์วในตำแหน่งที่ต้อง

ตำแหน่งที่ 1 น้ำมันจากถังเชื้อเพลิงไหลไปยังเครื่องยนต์ และไหลเข้าหลอดแก้ว

ตำแหน่งที่ 2 น้ำมันจากถังเชื้อเพลิงไหลไปยังเครื่องยนต์

ตำแหน่งที่ 3 น้ำมันจากหลอดแก้วไหลไปยังเครื่องยนต์



รูปที่ 4.2 หลอดแก้วสำหรับวัดปริมาตรน้ำมันเชื้อเพลิง

4.2.4 อุปกรณ์วัดค่าความถ่วงจำเพาะ

การทดลองวัดค่าอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงใช้การวัดปริมาตรต่อหน่วยเวลาคูณด้วยค่าความถ่วงจำเพาะ ฉะนั้นการวัดค่าความถ่วงจำเพาะเชื้อเพลิงก่อนการทดลอง ณ อุณหภูมิที่กำลังทำการทดลองของเชื้อเพลิงทั้งน้ำมันดีเซล และน้ำมันชีวภาพก่อนการผสม และหลังการผสมในแต่ละอัตราส่วนผสมของน้ำมันเชื้อเพลิงก่อนการทดลองเพื่อให้ได้ค่าความถ่วงจำเพาะ และ (คำนวณสัดส่วนโดยมวลของเชื้อเพลิง) ใช้ในการคำนวณหาค่าความร้อนของเชื้อเพลิง



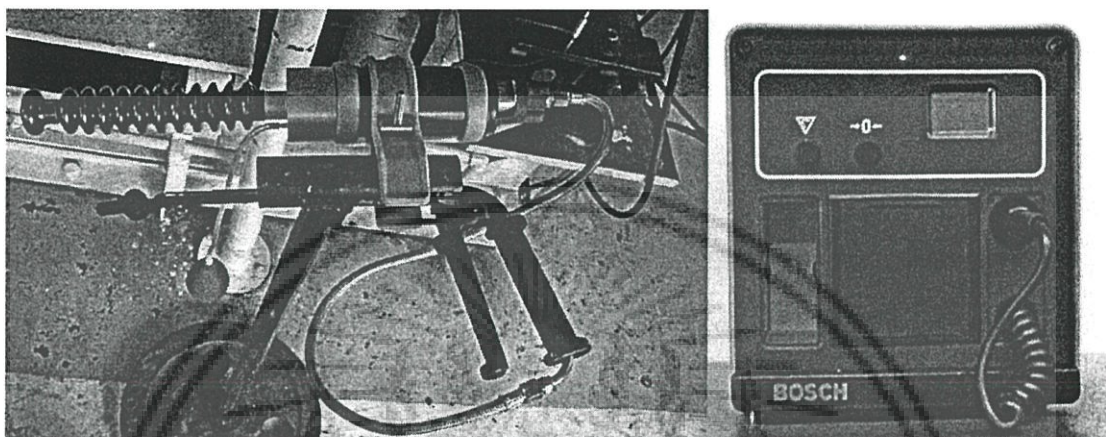
รูปที่ 4.3 ไฮโดรมิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.5 อุปกรณ์วัดค่าควันดำไอเสีย

เครื่องมือวัดควันดำที่นำมาใช้ในการทดลองเป็นแบบ ระบบกระดาษกรอง โดยเครื่องมือตรวจวัดควันดำโดยใช้การดูดควันผ่านกระดาษกรอง และวัดค่าของแสงที่สะท้อนจากกระดาษกรอง โดยใช้ชุดแสดงผลซึ่งวัดค่าเป็นตัวเลขดิจิทัล หน่วยเป็นร้อยละ

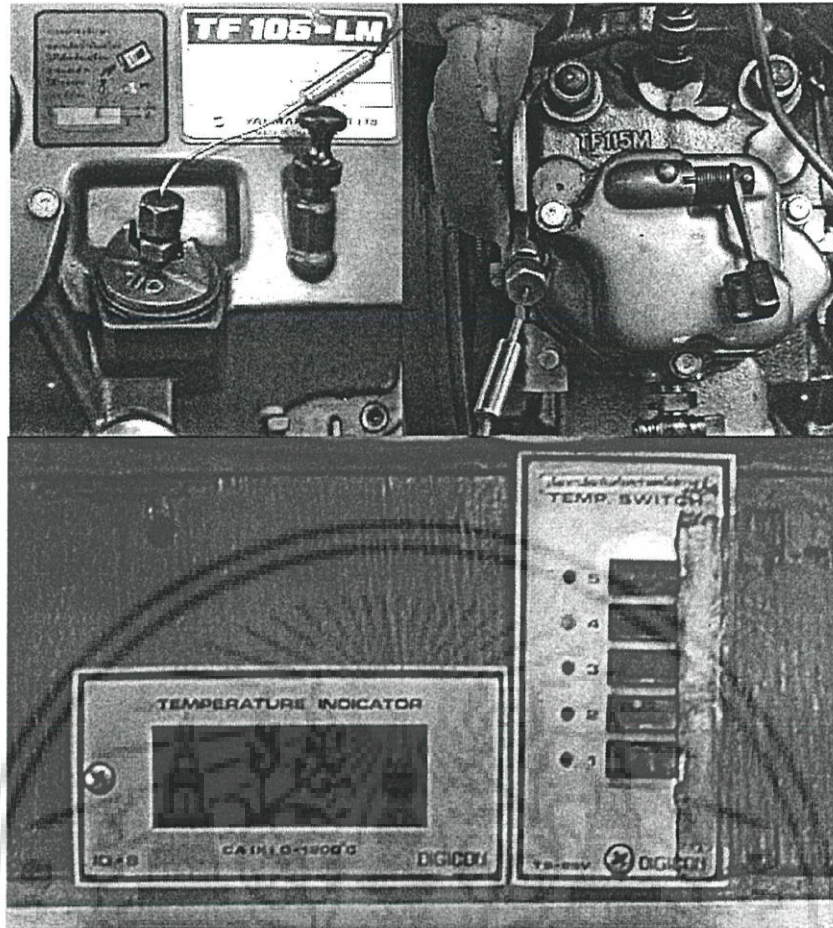
เครื่องมือวัดที่ใช้ในการทดลอง ยี่ห้อ BOSCH รุ่น ETD-02050



รูปที่ 4.4 อุปกรณ์วัดค่าควันดำ

4.2.6 อุปกรณ์วัดอุณหภูมิ

เครื่องยนต์ดีเซลจำเป็นต้องวัดอุณหภูมิของไอเสียที่คายออกมา เพราะอุณหภูมิจะเป็นเครื่องชี้บอกให้ทราบถึงความบกพร่องของเครื่องยนต์ได้เป็นอย่างดี เช่น อัตราการจ่ายเชื้อเพลิง โดยเครื่องมือที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วย เทอร์โมคัปเปิลเป็นตัวอุณหภูมิ และชุดแสดงผลอุณหภูมิเป็นตัวเลขดิจิทัล หน่วยเป็น องศาเซลเซียส

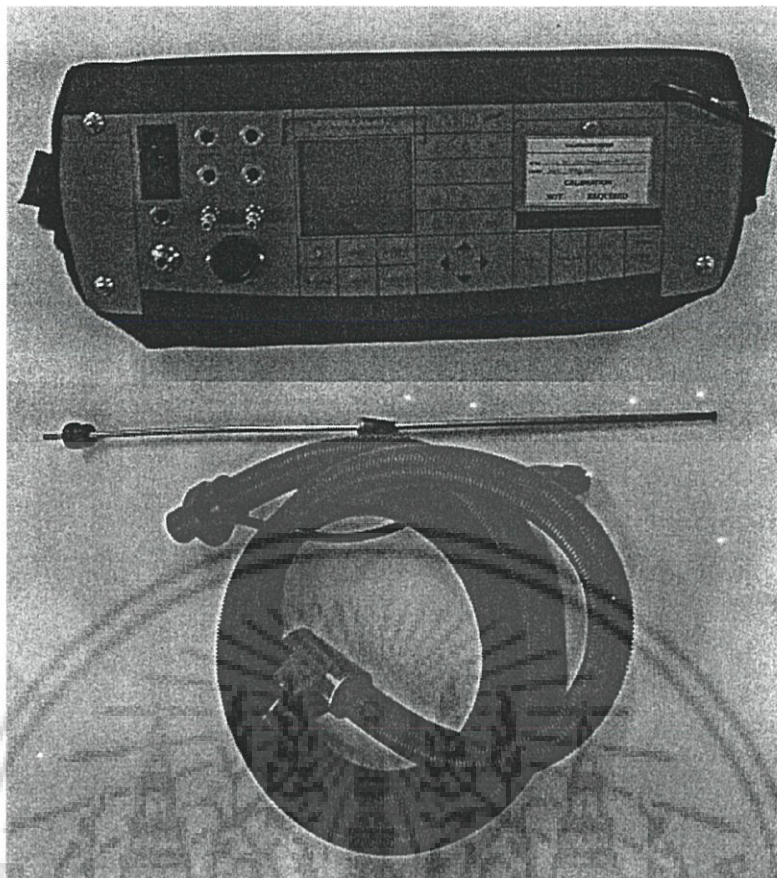


รูปที่ 4.5 ตำแหน่งติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลและชุดแสดงผลอุณหภูมิ

4.2.7 อุปกรณ์วิเคราะห์แก๊สไอเสีย

อุปกรณ์วิเคราะห์ฟลูแก๊สเป็นแบบมัลติฟังก์ชัน ยี่ห้อ Madur รุ่น GA-40T plus ใช้อิเล็กทรอนิกส์ (Electrochemical sensors) ในการวัดค่าความเข้มข้นของแก๊ส โดยการเสียบอุปกรณ์เข้าท่อไอเสียของเครื่องยนต์

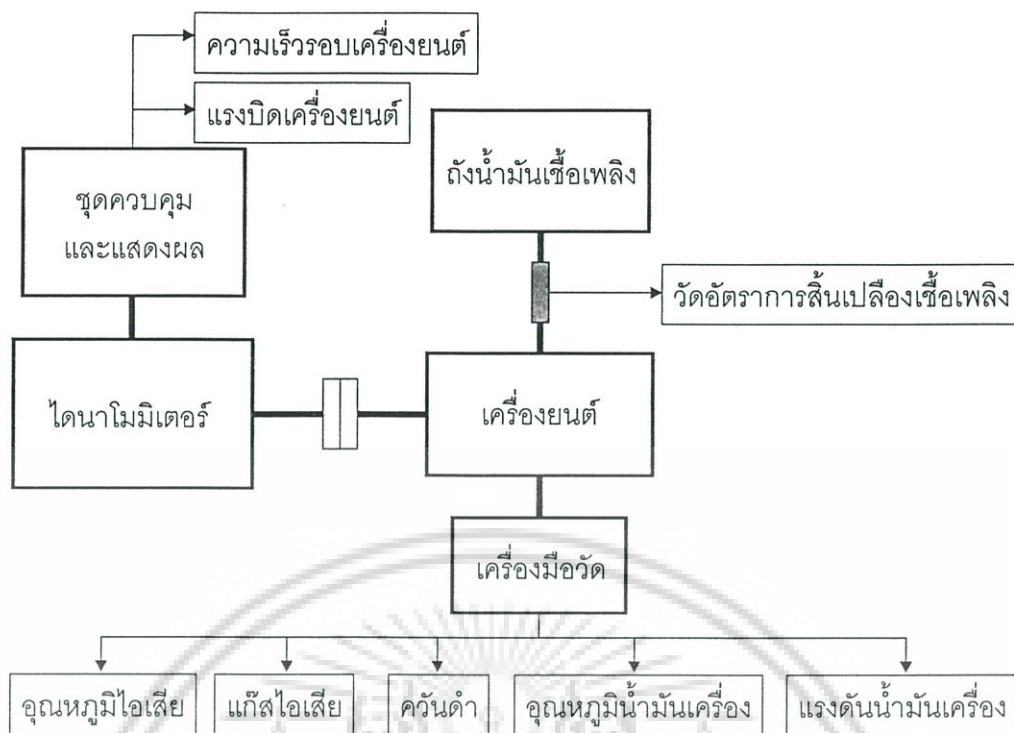
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 อุปกรณ์วิเคราะห์แก๊สไอเสีย

4.3 วิธีการทดลอง

การทดลองนี้ใช้น้ำมันเชื้อเพลิง 2 ชนิด คือน้ำมันดีเซล และน้ำมันชีวภาพ โดยการใช้ น้ำมันดีเซลผสมน้ำมันชีวภาพในอัตราส่วนต่างๆ เพื่อนำมาใช้ทดลองกับเครื่องยนต์ดีเซล เพื่อหาค่าพารามิเตอร์สมรรถนะเครื่องยนต์ และการปล่อยมลพิษของแก๊สไอเสีย โดยมีการทดลองดังนี้



รูปที่ 4.7 ผังการทดสอบเครื่องยนต์

4.3.1 ขั้นตอนเตรียมการทดลอง

1. วัดค่าความถ่วงจำเพาะเชื้อเพลิงของน้ำมันดีเซลและน้ำมันชีวภาพ เพื่อใช้เป็นข้อมูลหาอัตราส่วนผสมของน้ำมันดีเซลกับน้ำมันชีวภาพโดยมวล และค่าความร้อนของเชื้อเพลิง
2. ผสมน้ำมันเชื้อเพลิงระหว่างน้ำมันดีเซลกับน้ำมันชีวภาพ ในอัตราส่วน 90:10, 80:20, 70:30, 60:40, 50:50, 40:60, 30:70, 20:10 และ 10:90 โดยปริมาตร แล้ววัดค่าความถ่วงจำเพาะในแต่ละอัตราส่วนผสมของน้ำมันเชื้อเพลิงเพื่อให้ได้ค่าความถ่วงจำเพาะ ณ อุณหภูมิที่กำลังทำการทดลอง แสดงค่าความถ่วงจำเพาะในตารางที่ 3.1
3. วัดค่าความดันบรรยากาศ ความชื้น และอุณหภูมิ ณ ขณะทำการทดลองเพื่อใช้หาตัวแก้สำหรับกำลังเครื่องยนต์

ตารางที่ 4.2 ค่าความถ่วงจำเพาะและค่าความร้อนน้ำมันเชื้อเพลิงที่อัตราส่วนผสมต่างๆ

Fuel	Specific Gravity	Heating Value (MJ/kg)
Diesel 100% + Bio Fuel 0%	0.830	45.6
Diesel 90% + Bio Fuel 10%	0.837	44.965
Diesel 80% + Bio Fuel 20%	0.845	44.348
Diesel 70% + Bio Fuel 30%	0.855	43.757
Diesel 60% + Bio Fuel 40%	0.865	43.176
Diesel 50% + Bio Fuel 50%	0.875	42.627
Diesel 40% + Bio Fuel 60%	0.897	42.061
Diesel 30% + Bio Fuel 70%	0.907	41.519
Diesel 20% + Bio Fuel 80%	0.922	41.011
Diesel 10% + Bio Fuel 90%	0.927	40.493
Diesel 0% + Bio Fuel 100%	0.947	40.0

4.3.2 ขั้นตอนการทดลอง

1. เติมน้ำมันเชื้อเพลิงที่ต้องการทดลอง
2. สตาร์ทเครื่องยนต์
3. ปรับความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2550 รอบต่อนาที
4. อุ่นเครื่องยนต์ให้อุณหภูมิน้ำมันเครื่องเท่ากับ 90 องศาเซลเซียสจึงเริ่มเก็บผลการ

ทดลอง

5. จับเวลาการใช้เชื้อเพลิงครั้งละ 20 ซีซี 2 ครั้ง
6. บันทึกค่าอุณหภูมิไอเสีย
7. วัดค่าแก๊สไอเสีย O_2 , CO_2 , CO และ NO_x
8. วัดค่าควันดำ
9. บันทึกค่าอุณหภูมิน้ำมันเครื่อง
10. ปรับค่าแรงเหวี่ยงนำของไดนาโมมิเตอร์เพื่อเบรคเครื่องยนต์ให้รอบลดลงครั้งละ

ประมาณ 100 รอบต่อนาที (ปรับให้รอบเครื่องยนต์ลดลงมาที่ 1000 รอบต่อนาที) บันทึกผลการทดลองตามข้อ 5-10

4.4 ปัญหาจากการทดลอง

จากการทดลองเบื้องต้นที่ได้นำเสนอในการประชุมเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 17 พบปัญหาที่เกิดขึ้นเป็นปัญหาหลัก คือ ระบบน้ำมันเชื้อเพลิง ได้แก่ ชุดปั๊มจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงแรงดันสูง และหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง จึงได้ทำการเปลี่ยนอุปกรณ์ ดังนี้

1. ลูกสูบปั๊ม
2. ครอบสูบปั๊ม
3. เข็มหัวฉีด
4. ปลอกเข็มหัวฉีด

แล้วทำการทดลองตามขั้นตอนที่กำหนดไว้ ในการทดลองนี้ทำการซ้ำ 2 ครั้งในแต่ละอัตราส่วนผสมเชื้อเพลิง แล้วใช้ค่าเฉลี่ยในการนำเสนอ



รูปที่ 4.8 ชิ้นส่วนเครื่องยนต์ที่เปลี่ยนก่อนการทดลอง

บทที่ 5

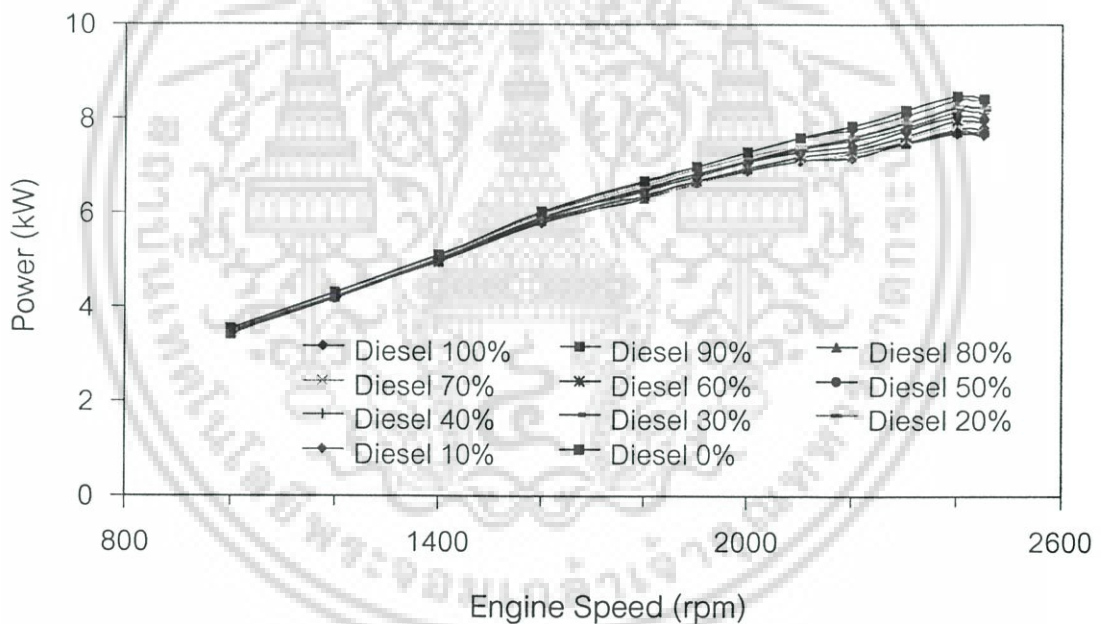
ผลการทดลอง

5.1 บทนำ

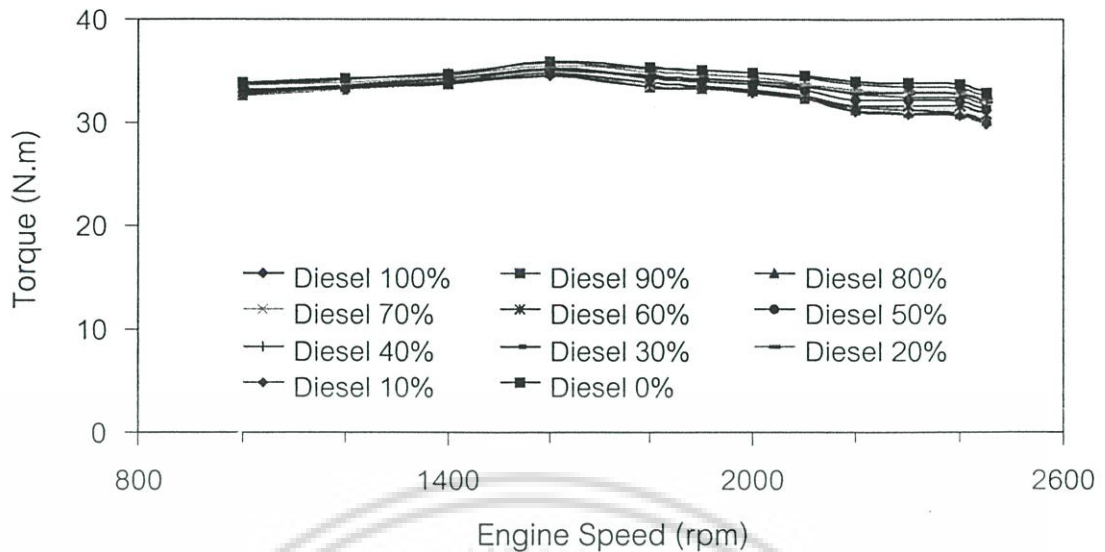
ผลการทดลองที่ได้นำเสนอในบทนี้ เป็นการนำเสนอในรูปแบบสมรรถนะเครื่องยนต์ และแก๊สไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้เปรียบเทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ โดยการใช้ น้ำมันดีเซล น้ำมันชีวภาพ และน้ำมันดีเซลผสมกับน้ำมันชีวภาพในอัตราส่วนต่างๆ โดยปริมาตร เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์

5.2 ผลการทดลองสมรรถนะเครื่องยนต์

5.2.1 กำลังและแรงบิดเครื่องยนต์



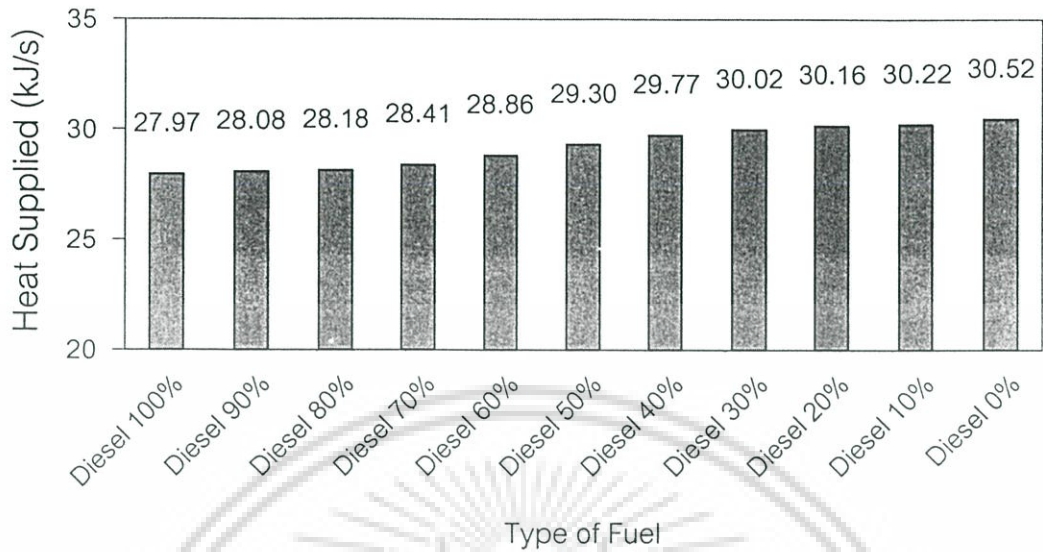
รูปที่ 5.1 กำลังกับความเร็วรอบเครื่องยนต์



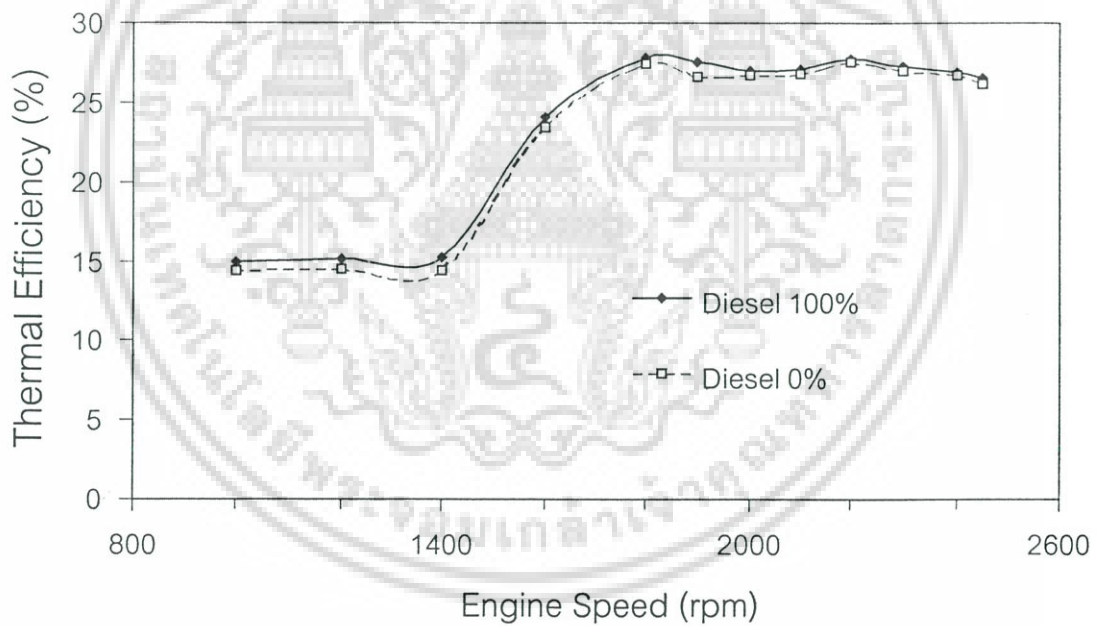
รูปที่ 5.2 แรงบิดกับความเร็วรอบเครื่องยนต์

พิจารณาจากรูปที่ 5.1 และรูปที่ 5.2 แสดงค่ากำลัง และแรงบิดเปรียบเทียบกับความเร็วรอบเครื่องยนต์ที่อัตราส่วนผสมน้ำมันต่างๆ จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าการใช้น้ำมันชีวภาพโดยตรง 100% จะให้กำลังเครื่องยนต์สูงสุด และการใช้น้ำมันชีวภาพผสมกับน้ำมันดีเซลนั้นทำให้กำลัง และแรงบิดของเครื่องยนต์ที่ได้เพิ่มมากขึ้นทุกความเร็วรอบตามอัตราส่วนผสมของน้ำมันชีวภาพที่มากขึ้น เนื่องจากอัตราการให้ความร้อนของเชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้น พิจารณาร่วมกับรูปที่ 5.3 แม้ค่าความร้อนของน้ำมันชีวภาพจะต่ำกว่าน้ำมันดีเซล แต่ปริมาณการจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงต่อวัฏจักรโดยปริมาตรที่เพิ่มมากขึ้น และน้ำมันชีวภาพมีความหนาแน่นมากกว่า เมื่อนำมาผสมกับน้ำมันดีเซล ก็จะทำให้ น้ำมันเชื้อเพลิงมีความหนาแน่นเพิ่มมากขึ้นตามสัดส่วนของน้ำมันชีวภาพที่เพิ่มขึ้น มีผลให้อัตราการไหลของมวลเชื้อเพลิงที่เข้าห้องเผาไหม้เพิ่มขึ้น เมื่อนำมาพิจารณาในรูปของอัตราการให้ความร้อนจะพบว่า อัตราการให้ความร้อนเชื้อเพลิงจะเพิ่มขึ้น ตามสัดส่วนของน้ำมันชีวภาพที่เพิ่มขึ้น หากแต่พบว่าประสิทธิภาพทางความร้อนของการใช้น้ำมันชีวภาพต่ำกว่าน้ำมันดีเซล ทำให้ประสิทธิภาพทางความร้อนลดลงตามสัดส่วนการผสมน้ำมันชีวภาพที่เพิ่มมากขึ้น พิจารณาร่วมกับรูปที่ 5.4 และรูปที่ 5.5 เนื่องจากน้ำมันชีวภาพมีค่าความหนืดสูงกว่า โดยความหนืดของน้ำมันเชื้อเพลิงจะมีอิทธิพลต่อรูปร่างการเป็นสปร์ของเชื้อเพลิง การฉีดเป็นฝอยละเอียดไม่ดี ละเอียดน้ำมันมีขนาดใหญ่ ผลก็คือน้ำมันรวมตัวกับอากาศไม่ดีทำให้การสันดาปไม่สมบูรณ์

5.2.2 อัตราการให้ความร้อนของเชื้อเพลิง และประสิทธิภาพทางความร้อน

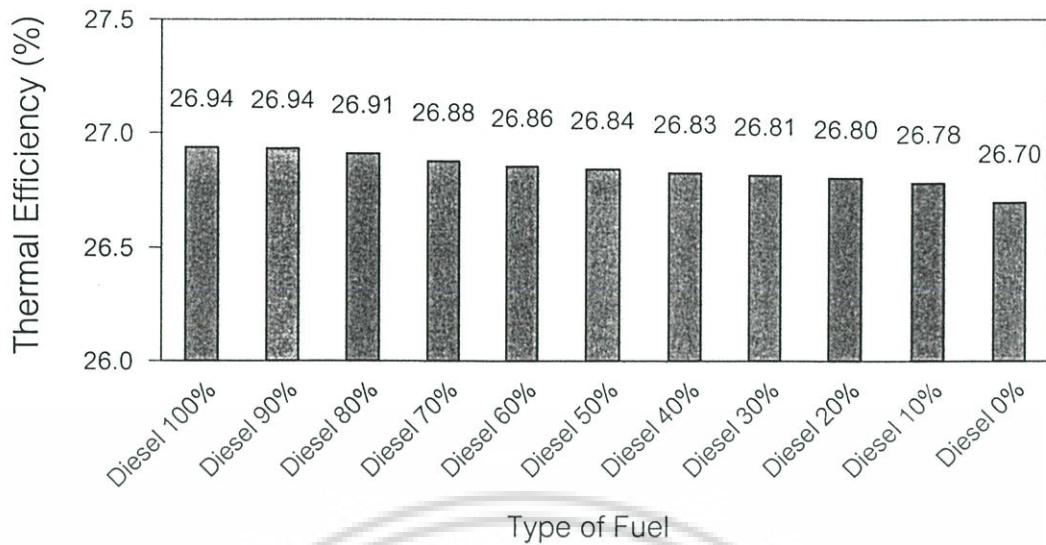


รูปที่ 5.3 อัตราการให้ความร้อนของเชื้อเพลิงแต่ละส่วนผสมที่ 2400 รอบต่อนาที



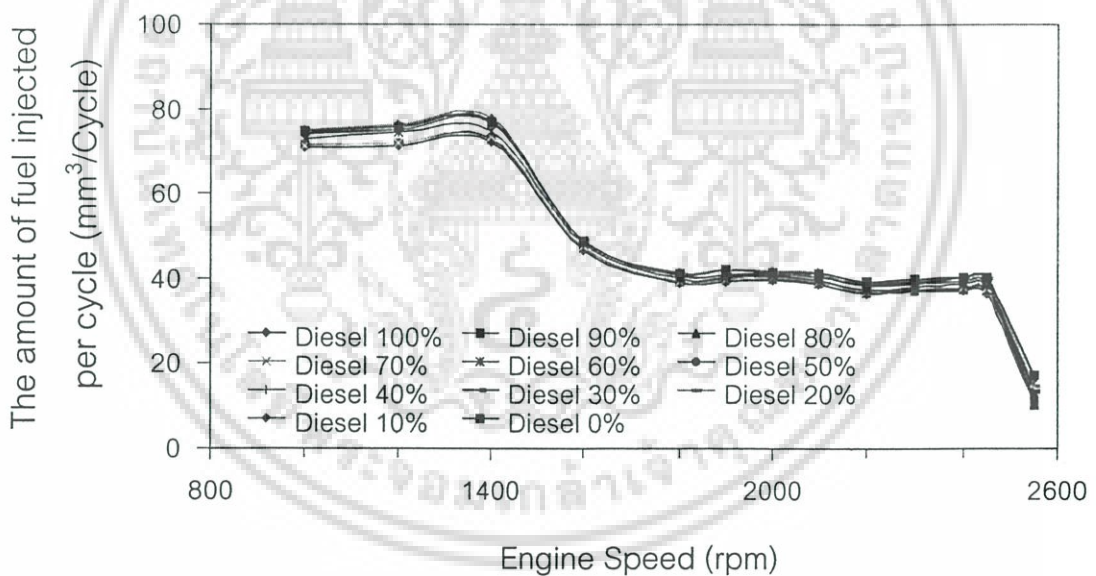
รูปที่ 5.4 ประสิทธิภาพทางความร้อนกับความเร็รรอบเครื่องยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



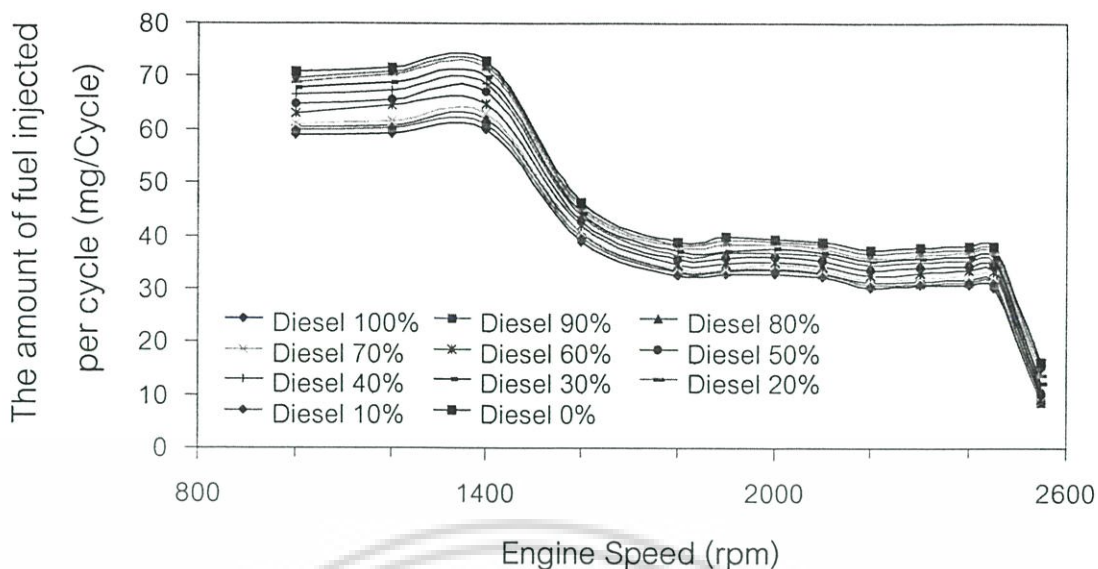
รูปที่ 5.5 ประสิทธิภาพทางความร้อนของการใช้เชื้อเพลิงแต่ละส่วนผสมที่ 2400 รอบต่อนาที

5.2.3 ปริมาณการจ่ายเชื้อเพลิงต่อวัฏจักร



รูปที่ 5.6 ปริมาณการจ่ายเชื้อเพลิงโดยปริมาตรต่อวัฏจักรกับความเร็วยรอบเครื่องยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

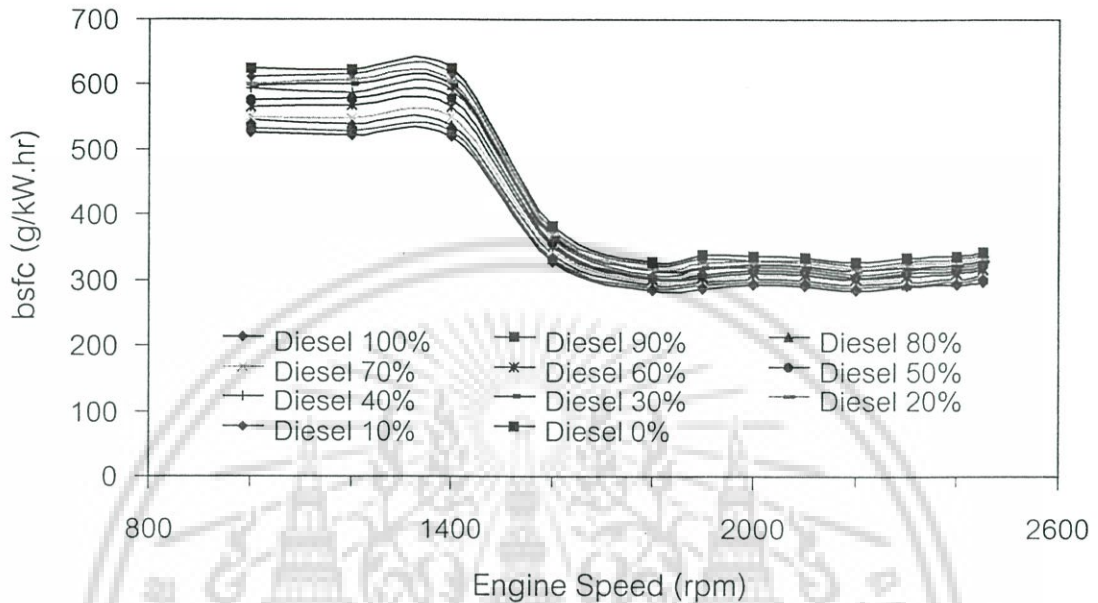


รูปที่ 5.7 ปริมาณการจ่ายเชื้อเพลิงโดยมวลต่อวัฏจักรกับความเร็วยรอบเครื่องยนต์

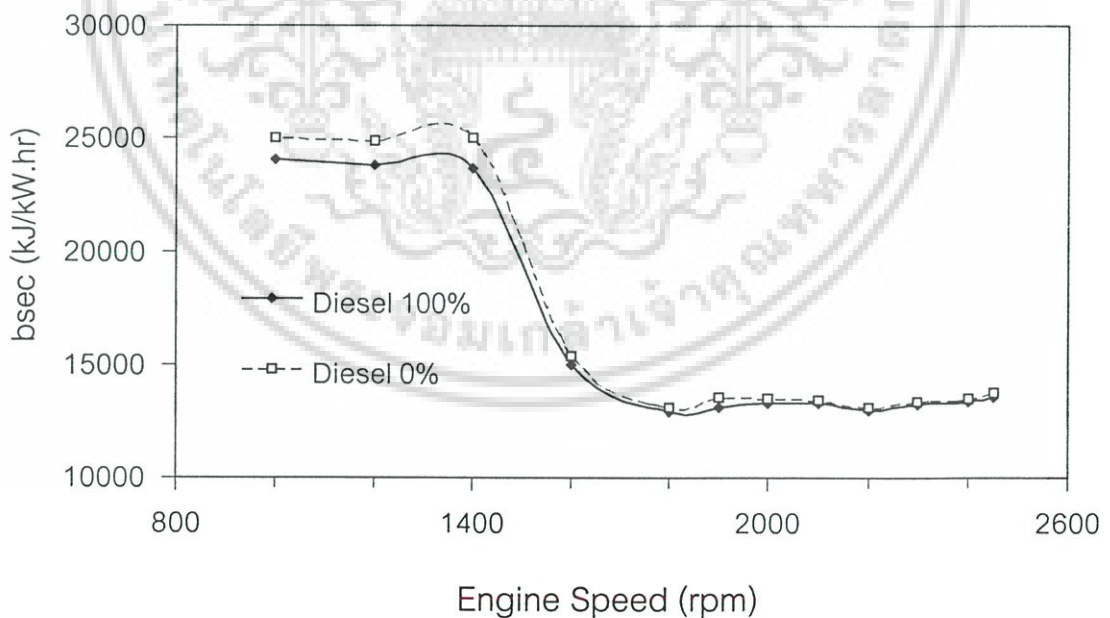
พิจารณาจากรูปที่ 5.6 และรูปที่ 5.7 ปริมาณการจ่ายเชื้อเพลิงต่อวัฏจักรโดยปริมาตรและโดยมวลเปรียบเทียบกับความเร็วยรอบเครื่องยนต์ จากการทดลองพบว่าการใช้เชื้อเพลิงต่อวัฏจักรทั้งโดยปริมาตรและโดยมวลจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วยรอบเครื่องยนต์ลดลงจากการเพิ่มโหลดให้กับเครื่องยนต์ จากช่วงความเร็วยรอบลดลงจาก 2550 (ไม่มีโหลด) -2450 รอบต่อนาที ปริมาณการจ่ายเชื้อเพลิงต่อวัฏจักรเพิ่มขึ้นมาก ช่วงความเร็วยรอบลดลงจาก 2450-1800 รอบต่อนาที ปริมาณการจ่ายเชื้อเพลิงจะเพิ่มขึ้นไม่มาก ช่วงความเร็วยรอบลดลงจาก 1800-1400 รอบต่อนาที เป็นช่วงปริมาณการจ่ายเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นมาก และที่ความเร็วยรอบ 1800 รอบต่อนาที เป็นตำแหน่งที่มีการจ่ายเชื้อเพลิงมากที่สุด และช่วงความเร็วยรอบลดลงจาก 1400-1000 รอบต่อนาที ปริมาณการจ่ายเชื้อเพลิงจะลดลง เนื่องจากการจ่ายเชื้อเพลิงจะถูกควบคุมโดยการสมดุลย์ของแรงสปริงกับลูกตุ้มน้ำหนัก และสาเหตุที่ทำให้ปริมาณการจ่ายเชื้อเพลิงลดลงในช่วงความเร็วยรอบที่ลดลงจาก 1400-1000 รอบต่อนาที เนื่องจากถูกกำหนดการจ่ายเชื้อเพลิงโดยลูกสูบปั๊มในชุดปั๊มฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง ส่วนการใช้ น้ำมันชีวภาพมีผลปริมาณการจ่ายเชื้อเพลิงต่อวัฏจักรโดยปริมาตรเพิ่มขึ้นทุกความเร็วยรอบเครื่องยนต์ และเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนของการผสมของน้ำมันชีวภาพ เนื่องจากน้ำมันชีวภาพมีค่าความร้อนของเชื้อเพลิงต่ำกว่าน้ำมันดีเซล มีผลให้ต้องเพิ่มระยะคันเร่งตามสัดส่วนของการผสมของน้ำมันชีวภาพที่เพิ่มขึ้น เพื่อให้เครื่องยนต์มีความเร็วยรอบขณะไม่มีโหลด 2550 รอบต่อนาที จากการจ่ายเชื้อเพลิงต่อวัฏจักรโดยปริมาตรที่เพิ่มขึ้นแล้วประกอบกับน้ำมันชีวภาพมีความหนาแน่นมากกว่าน้ำมันดีเซล รวมทั้งหลักการการทำงานของปั๊มเชื้อเพลิงที่ปรับไว้แล้วหากมีการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของน้ำมันเชื้อเพลิงแล้ว จำนวนเนื้อของเชื้อเพลิงที่อัดผ่านหัวฉีดจะแตกต่าง

กันไป โดยที่หากความหนาแน่นสูงเนื่อน้ำมันเชื้อเพลิงจะถูกฉีดออกไปมากขึ้น มีผลให้การใช้น้ำมัน
ชีวภาพมีปริมาณการจ่ายเชื้อเพลิงต่อวัฏจักรโดยมวลเพิ่มขึ้น

5.2.4 การเปลี่ยนแปลงเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก และการใช้พลังงานจำเพาะเบรก



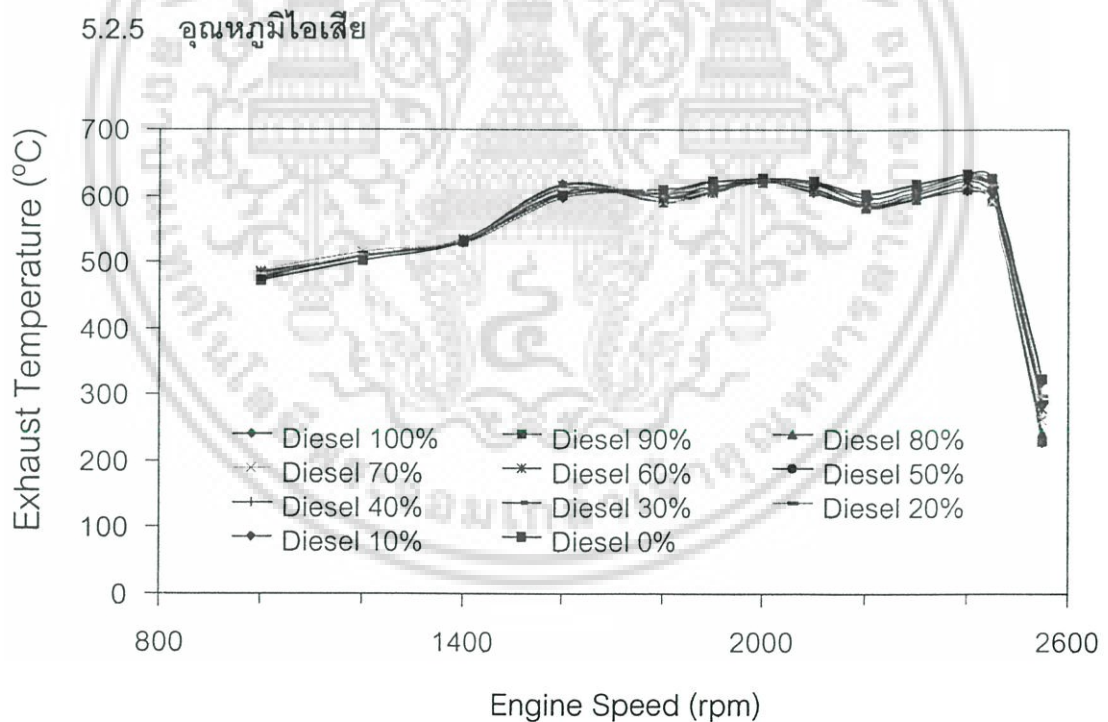
รูปที่ 5.8 การเปลี่ยนแปลงเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกกับความเร็รรอบเครื่องยนต์



รูปที่ 5.9 การใช้พลังงานจำเพาะเบรกกับความเร็รรอบเครื่องยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณาจากรูปที่ 5.8 และรูปที่ 5.9 แสดงค่าการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก และการใช้พลังงานจำเพาะเบรก จากการทดลองพบว่าการใช้น้ำมันชีวภาพมีผลให้การสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกเพิ่มขึ้นทุกความเร็วรอบเครื่องยนต์ และเพิ่มตามสัดส่วนในการผสมน้ำมันชีวภาพที่มากขึ้น สาเหตุมาจากน้ำมันชีวภาพมีค่าความร้อนต่ำกว่าน้ำมันดีเซล และมีค่าความหนืดที่สูงกว่า ด้วยความหนืดที่สูงกว่านี้ทำให้การเป็นฝอยละอองไม่ดี ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของละอองน้ำมันเชื้อเพลิงมีขนาดใหญ่ขึ้น ทำให้การเผาไหม้เชื้อเพลิงทำได้ยากและต้องใช้เวลานานเป็นเหตุให้ช่วงความเร็วรอบเครื่องยนต์ต่ำช่วง 1000-1400 รอบต่อนาที เป็นช่วงที่มีปริมาณการจ่ายเชื้อเพลิงสูงจึงทำให้ค่าความแตกต่างของการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกมาก ระหว่างการใช้ น้ำมันดีเซลกับการใช้น้ำมันชีวภาพอย่างเห็นได้ชัด ประกอบกับเมื่อเครื่องยนต์มีความเร็วรอบต่ำจะทำให้การหมุนวนของอากาศในห้องเผาไหม้ลดลงก็จะทำให้การผสมกันระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิงได้ไม่ดี เมื่อพิจารณาในรูปของการใช้พลังงานจำเพาะเบรกก็จะพบว่ามีการใช้พลังงานจำเพาะเบรกสูงขึ้นเช่นเดียวกัน เนื่องจากการสูญเสียพลังงานส่วนหนึ่งที่เกิดจากการเผาไหม้ไม่หมดของเชื้อเพลิงออกไปกับแก๊สไอเสียมากขึ้น



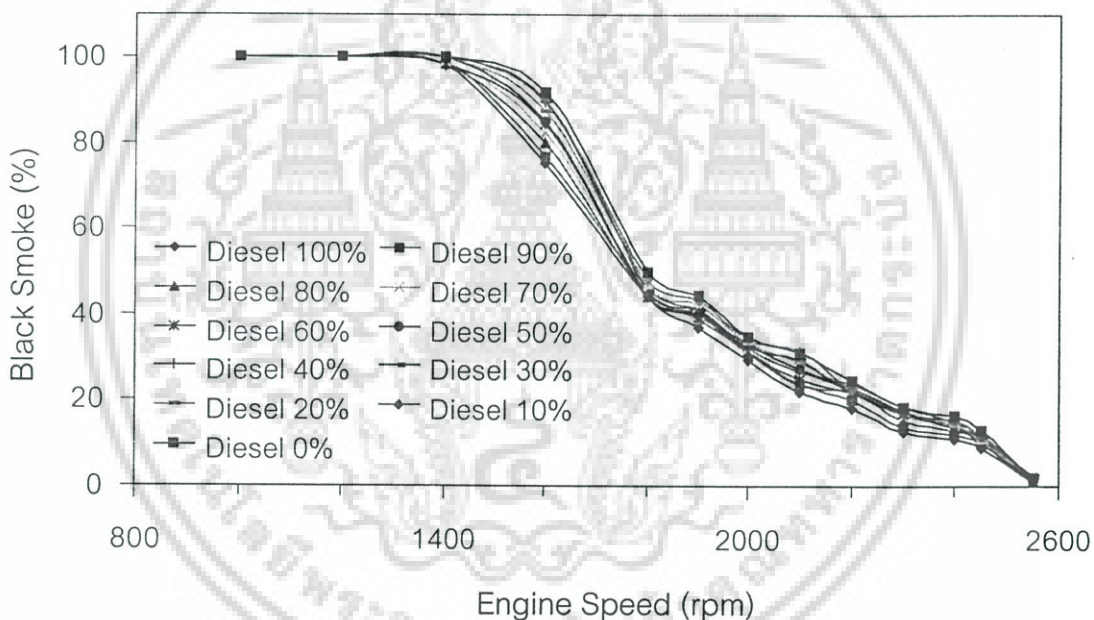
รูปที่ 5.10 อุณหภูมิไอเสียกับความเร็วยรอบเครื่องยนต์

พิจารณาจากรูปที่ 5.10 แสดงอุณหภูมิไอเสียเปรียบเทียบกับความเร็วรอบเครื่องยนต์ จากการทดลองพบว่า อุณหภูมิไอเสียเพิ่มขึ้นมากจากช่วงความเร็วรอบที่ลดลงจาก 2550 (ไม่มีโหลด) -2450 รอบต่อนาที เป็นผลมาจากการจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้นมาก ช่วงความเร็วรอบที่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลดลงจากช่วง 2450-1600 แนวน้ำมันของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมินั้นมีการเปลี่ยนแปลงไม่มาก แต่ที่ความเร็วรอบลดลงจาก 1600-1000 อุณหภูมิจะลดลงตามความเร็วรอบเครื่องยนต์ เนื่องจากปริมาณการจ่ายเชื้อเพลิงสูงมาก โดยที่ลักษณะของเครื่องยนต์ดีเซลจะมีการดูดอากาศเข้าห้องเผาไหม้ด้วยปริมาณค่อนข้างคงที่ ทำให้น้ำมันเชื้อเพลิงเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ ส่งผลคาร์บอนของเชื้อเพลิงส่วนหนึ่งเข้าผสมกับออกซิเจนจะกลายเป็นคาร์บอนมอนอกไซด์ เมื่อใดเกิดคาร์บอนมอนอกไซด์ขึ้น จำนวนความร้อนที่เกิดจากคาร์บอนแต่ละหน่วยจะเหลือเพียง 30% [19] ส่วนการใช้ใช้น้ำมันชีวภาพมีผลให้แวน้ำมันของอุณหภูมิไอเสียสูงขึ้นตามสัดส่วนของน้ำมันชีวภาพที่เพิ่มมากขึ้น สาเหตุจากอัตราการให้ความร้อนของเชื้อเพลิงนั้นมากขึ้น

5.3 ผลการวิเคราะห์แก๊สไอเสีย

5.3.1 ควันดำของไอเสีย

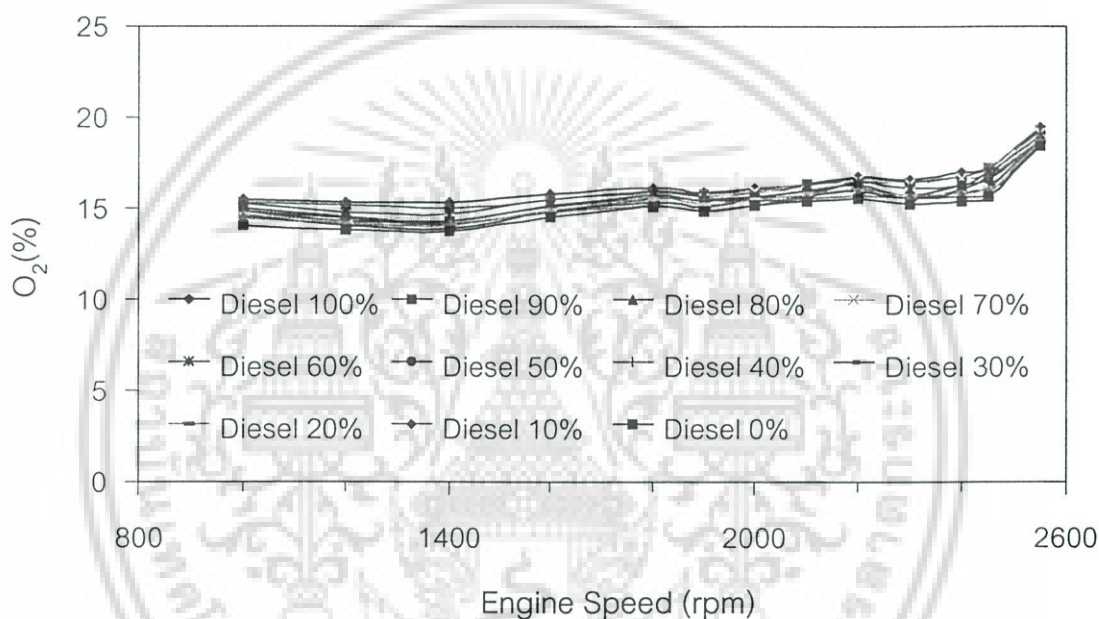


รูปที่ 5.11 ควันดำของไอเสียกับความเร็วยรอบเครื่องยนต์

พิจารณาจากรูปที่ 5.11 แสดงค่าควันดำของไอเสียเปรียบเทียบกับความเร็วรอบเครื่องยนต์ จากการทดลองพบว่ามีควันดำเพิ่มขึ้นที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ต่ำลง เนื่องจากปริมาณของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ถูกฉีดเข้าห้องเผาไหม้ต่อวัฏจักรเพิ่มขึ้น ทำให้อัตราส่วนระหว่างน้ำมันเชื้อเพลิงต่ออากาศนั้นมากขึ้น ส่งผลการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ แม้ว่าอากาศในห้องเผาไหม้จะมีปริมาณอากาศเกินพอ แต่ละอองเล็กๆของน้ำมันเชื้อเพลิงบางส่วนก็ไม่มีโอกาสสัมผัสกับออกซิเจน อย่งไรก็ตามละอองเล็กๆของน้ำมันเชื้อเพลิงจะแตกแยกออกเป็นโมเลกุลไฮโดรเจน และโมเลกุล

คาร์บอนเนื่องจากความร้อนสูงในระหว่างการเผาไหม้ โมเลกุลไฮโดรเจนจะรวมตัวกับออกซิเจนได้ง่ายกว่า ที่โมเลกุลคาร์บอนจะรวมตัวกับออกซิเจน ดังนั้นโมเลกุลคาร์บอนจะไม่ถูกเผาไหม้ [19] ส่วนการใช้น้ำมันชีวภาพจะส่งผลให้ควันดำเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนผสมน้ำมันชีวภาพมากขึ้น เนื่องจากปริมาณการฉีดเชื้อเพลิงต่อวัฏจักรที่เพิ่มขึ้น และน้ำมันชีวภาพมีความหนืดสูง มีผลให้ลักษณะของฟอยละอองของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ฉีดเข้าห้องเผาไหม้มีขนาดใหญ่ขึ้น ทำให้เชื้อเพลิงไม่สามารถเผาไหม้ได้หมดเกิดเป็นเขม่าหรือควันดำออกมาทางท่อไอเสีย

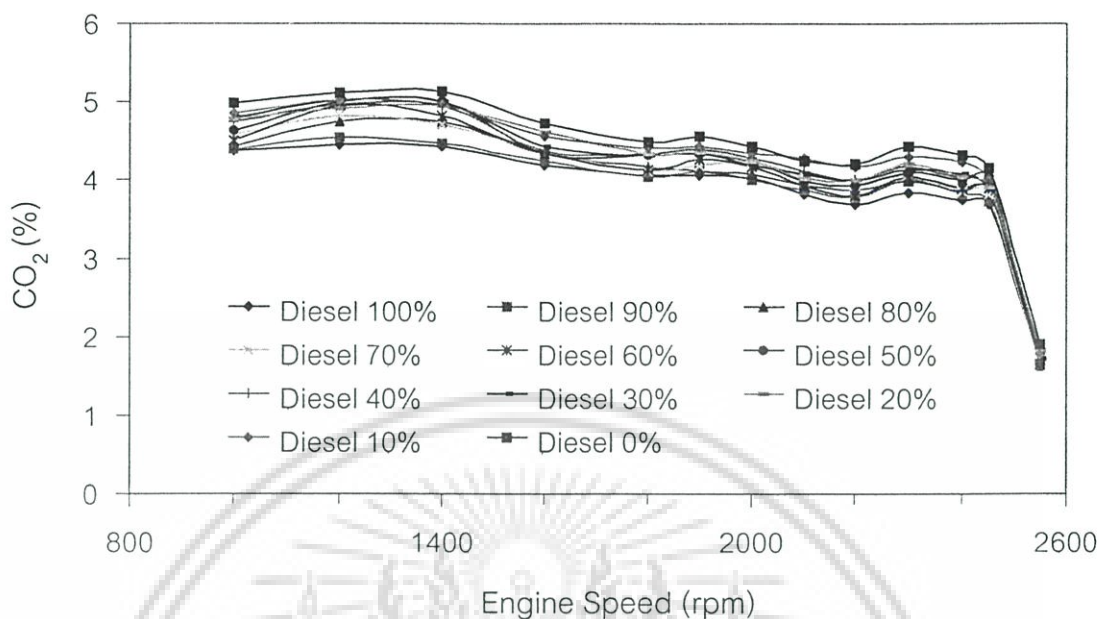
5.3.2 ปริมาณออกซิเจน



รูปที่ 5.12 ออกซิเจนกับความเร็วรอบเครื่องยนต์

พิจารณาจากรูป 5.12 แสดงค่าออกซิเจนกับความเร็วรอบเครื่องยนต์ ปริมาณออกซิเจนมีค่ามากที่สุดที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2550 รอบต่อนาที ซึ่งเป็นช่วงไม่มีโหลด ในความเร็วรอบนี้เป็นช่วงที่มีปริมาณการจ่ายเชื้อเพลิงน้อยที่สุด หรืออีกนัยหนึ่งคือ เป็นช่วงที่ปริมาณอากาศ (ออกซิเจน) มากที่สุด ซึ่งเป็นสาเหตุให้มีออกซิเจนบางส่วนไม่ได้ทำปฏิกิริยากับเชื้อเพลิง ทำให้ปรากฏออกซิเจนอิสระในไอเสียมาก และจะลดลงเมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์ลดลง เนื่องจากปริมาณการจ่ายเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้น ทำให้น้ำมันเชื้อเพลิงทำปฏิกิริยากับออกซิเจนมากขึ้น ส่วนการใช้น้ำมันชีวภาพจะส่งผลให้ปริมาณออกซิเจนลดลง เนื่องจากปริมาณการจ่ายเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนผสมของน้ำมันชีวภาพที่เพิ่มมากขึ้น ทำให้ออกซิเจนทำปฏิกิริยากับเชื้อเพลิงมากขึ้น จึงทำให้ปริมาณออกซิเจนลดลง

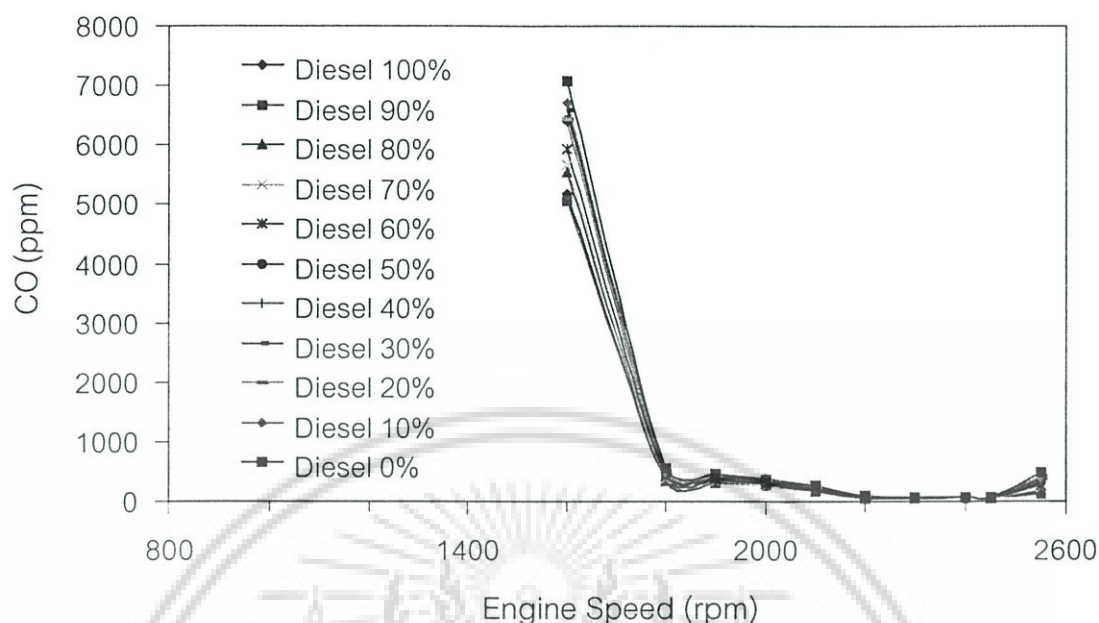
5.3.3 ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์



รูปที่ 5.13 คาร์บอนไดออกไซด์กับความเร็วยรอบเครื่องยนต์

พิจารณาจากรูป 5.13 แสดงค่าคาร์บอนไดออกไซด์กับความเร็วยรอบเครื่องยนต์ ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าน้อยที่สุดที่ความเร็วยรอบเครื่องยนต์ 2550 รอบต่อนาที (ไม่มีโหลด) และจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วยรอบเครื่องยนต์ลดลง เนื่องมาจากปริมาณการจ่ายเชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้น ทำให้เชื้อเพลิงที่มีส่วนประกอบไฮโดรคาร์บอนเป็นพื้นฐานทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในกระบวนการเผาไหม้มากขึ้นส่งผลให้ เชื้อเพลิงไฮโดรคาร์บอนเปลี่ยนไปเป็นคาร์บอนไดออกไซด์มากขึ้น ส่วนการใช้ น้ำมันชีวภาพจะส่งผลให้ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้น เนื่องมาจากปริมาณการจ่ายเชื้อเพลิงเพิ่มสูงขึ้น

5.3.4 ปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์

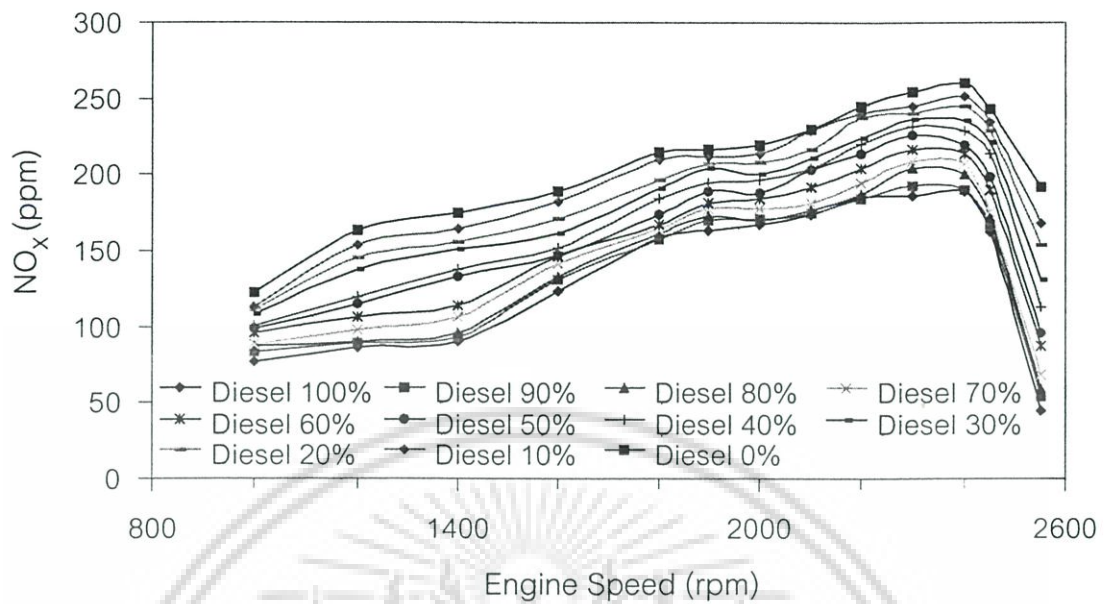


รูปที่ 5.14 คาร์บอนมอนอกไซด์กับความเร็รรอบเครื่องยนต์

พิจารณาจากรูปที่ 5.14 แสดงคาร์บอนมอนอกไซด์เปรียบเทียบกับความเร็รรอบเครื่องยนต์ คาร์บอนมอนอกไซด์มีปริมาณเพิ่มขึ้น เมื่อความเร็รรอบเครื่องยนต์ลดลงหรือเครื่องยนต์มีภาระโหลดเพิ่มขึ้น ทำให้ปริมาณการจ่ายเชื้อเพลิงเพิ่มสูงขึ้นส่งผลให้ส่วนผสมระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศ มีส่วนผสมหนาขึ้นส่งผลให้การเผาไหม้มีอากาศ (ออกซิเจน) ไม่เพียงพอ ในการทดลอง ปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์จะเพิ่มมากขึ้นในช่วงความเร็รรอบเครื่องยนต์ 1600 รอบต่อนาที เพราะเป็นช่วงที่มีปริมาณการจ่ายเชื้อเพลิงเพิ่มสูงขึ้นมาก ทำให้น้ำมันและอากาศคลุกเคล้าได้ไม่ดี เป็นเหตุให้การเผาไหม้ได้ช้า และการแตกตัวของออกซิเจนน้อยทำให้เกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ ส่วนช่วงความเร็รรอบที่ต่ำกว่า 1600 รอบต่อนาที ไม่สามารถวัดค่าได้เพราะมีค่าคาร์บอนมอนอกไซด์สูงมาก (เกินกว่า 20000 ppm ตามข้อจำกัดของเครื่องมือวัดแก๊สไอเสีย) ส่วนของการใช้น้ำมันชีวภาพมีผลให้ปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์เพิ่มขึ้นด้วย โดยคาร์บอนมอนอกไซด์จะเพิ่มขึ้นเมื่อผสมน้ำมันชีวภาพเพิ่มขึ้น

คาร์บอนมอนอกไซด์จะเกิดขึ้นมากในช่วงความเร็รรอบเครื่องยนต์ 2550 รอบต่อนาที ซึ่งเป็นช่วงไม่มีโหลด ในช่วงความเร็รรอบนี้เป็นช่วงที่มีปริมาณการจ่ายเชื้อเพลิงน้อยที่สุด หรืออีกนัยหนึ่งคือ เป็นช่วงที่ส่วนผสมระหว่างน้ำมันเชื้อเพลิงกับอากาศบางที่สุด ซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดคาร์บอนมอนอกไซด์ได้มาก เนื่องจากส่วนผสมเชื้อเพลิงที่อยู่บริเวณติดกับผนังห้องเผาไหม้ (กระบอกสูบ) มีอุณหภูมิต่ำ ทำให้การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์

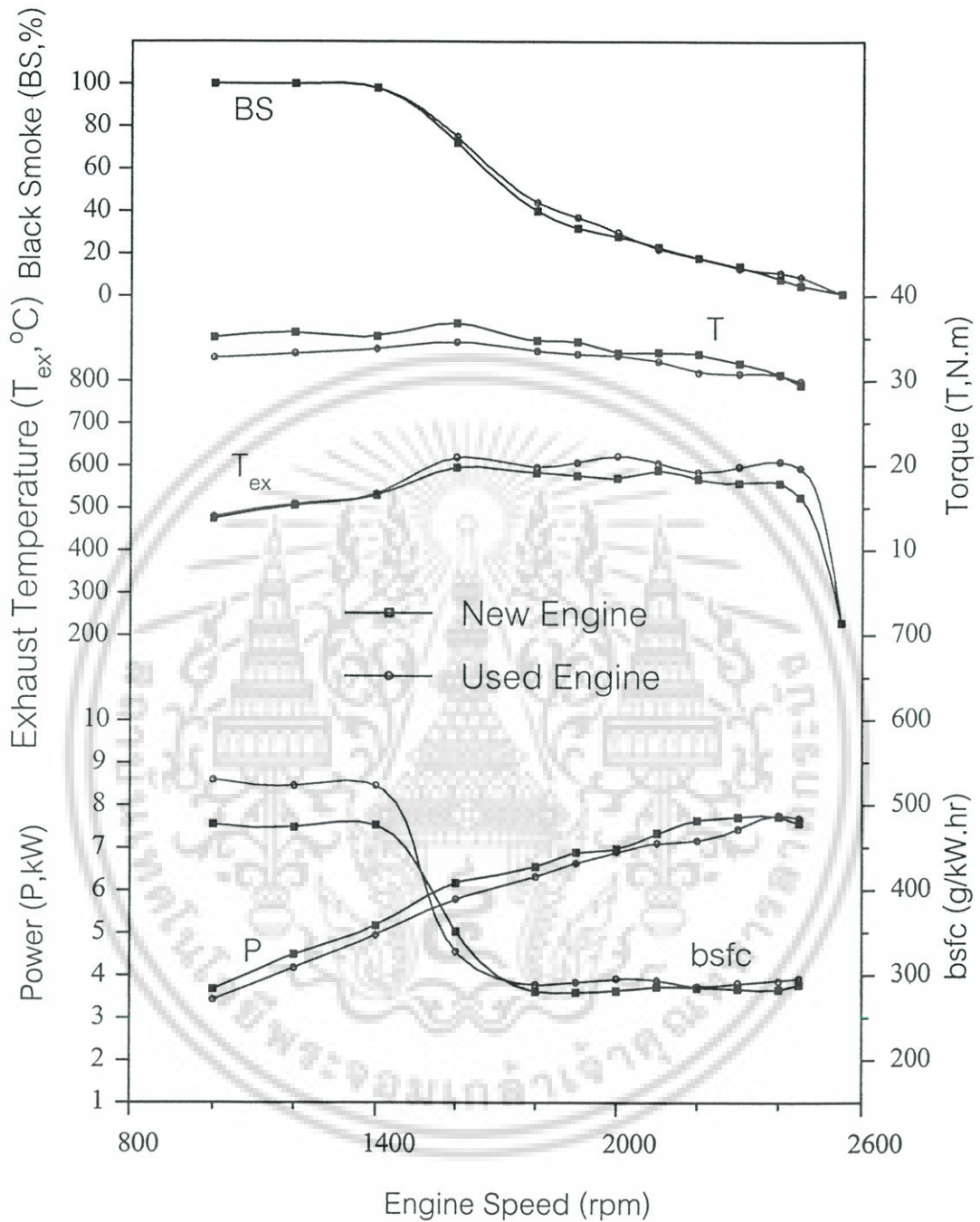
5.3.5 ปริมาณไนโตรเจนออกไซด์



รูปที่ 5.15 ไนโตรเจนออกไซด์กับความเร็วยานยนต์

พิจารณาจากรูป 5.15 แสดงไนโตรเจนออกไซด์เปรียบเทียบกับความเร็วยานยนต์ จากความเร็วยานยนต์ 2550 รอบต่อนาที (ไม่มีโหลด) ไนโตรเจนออกไซด์มีปริมาณเพิ่มขึ้น เมื่อความเร็วยานยนต์ลดลง และจะเกิดมากที่สุดเมื่อความเร็วยานยนต์ลดลงที่ 2400 รอบต่อนาที เนื่องจากปริมาณการจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงต่อวัฏจักรเพิ่มขึ้น มีผลให้การเผาไหม้น้ำมันเชื้อเพลิงมีอุณหภูมิการเผาไหม้สูง และยังมีปริมาณออกซิเจนมาก โดยพิจารณาร่วมกับรูปที่ 5.6, 5.7 และ 5.9 แล้วปริมาณไนโตรเจนออกไซด์จะลดลงเมื่อความเร็วยานยนต์ลดต่ำลง เนื่องจากปริมาณการจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงต่อวัฏจักรเพิ่มขึ้นเกินพอดีหรือส่วนผสม ปริมาณออกซิเจนถูกใช้ในกระบวนการเผาไหม้เพิ่มขึ้น ทำให้ไนโตรเจนทำปฏิกิริยากับออกซิเจนกลายเป็นไนโตรเจนออกไซด์ลดลง

5.4 เปรียบเทียบสมรรถนะเครื่องยนต์ใหม่กับเครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 5.16 สมรรถนะเครื่องยนต์กับความเร็วยรอบเครื่องยนต์

พิจารณาจากรูปที่ 5.16 กำลังเครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดลองสูงสุดมีค่าน้อยกว่า 0.31% ที่ 2400 รอบต่อนาที แรงบิดเครื่องยนต์สูงสุดของเครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดลองมีค่าน้อยกว่า 6.04% ที่ 1600 รอบต่อนาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสิ้นเปลืองจำเพาะเบรคช่วงความเร็วรอบ 1800-2450 รอบต่อนาที เครื่องยนต์ใช้แล้วมีค่ามากกว่าเครื่องยนต์ใหม่เพียงเล็กน้อย ช่วงความเร็วรอบ 1000-1400 รอบต่อนาที เครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดลองมีค่าสูงกว่ามาก

ค่าควันทามีค่าใกล้เคียงกัน แนวโน้มเครื่องยนต์ใหม่มีค่าควันทำน้อยกว่าเล็กน้อยในช่วงความเร็วรอบสูง 2000-2550 รอบต่อนาที (น้ำมันจ่ายน้อย) ในช่วงรอบกลาง 1400-2000 รอบต่อนาที จะมีค่าควันท่างกันมาก

สรุป เครื่องยนต์ใหม่มีการเผาไหม้ที่ดีกว่าทุกความเร็วรอบเครื่องยนต์ และจะดีกว่ามากในช่วงที่มีการจ่ายเชื้อเพลิงสูง (ส่วนผสมหนา) ที่ช่วงความเร็วรอบ 1000-1400 รอบต่อนาที นั้นหมายถึงคุณลักษณะของเครื่องที่มีความสมบูรณ์กว่า เช่น กำลังอัดสูงกว่า ความเป็นละอองของเชื้อเพลิงดีกว่า เป็นต้น และมีผลให้ช่วงความเร็วรอบดังกล่าว มีกำลังและแรงบิดของเครื่องยนต์สูงกว่า อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรคต่ำกว่ามาก

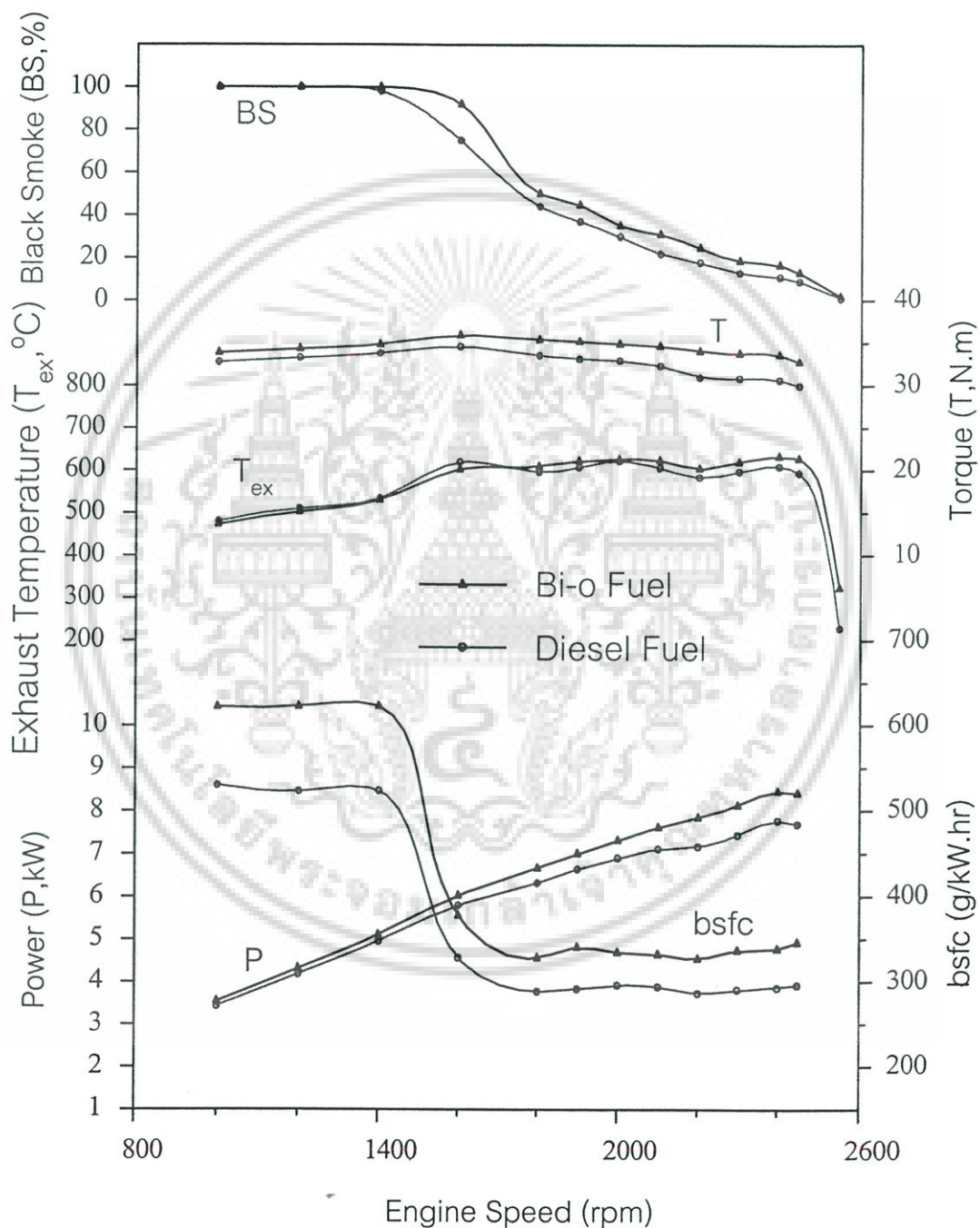
ดังนั้นสภาพโดยรวมของเครื่องยนต์ที่นำมาใช้ในการทดลองนี้ คือ ประมาณ 90%

หมายเหตุ: ข้อมูลการทดลองของเครื่องยนต์ใหม่อ้างอิง บริษัท ยันมาร์ เอส.พี. จำกัด

บทที่ 6

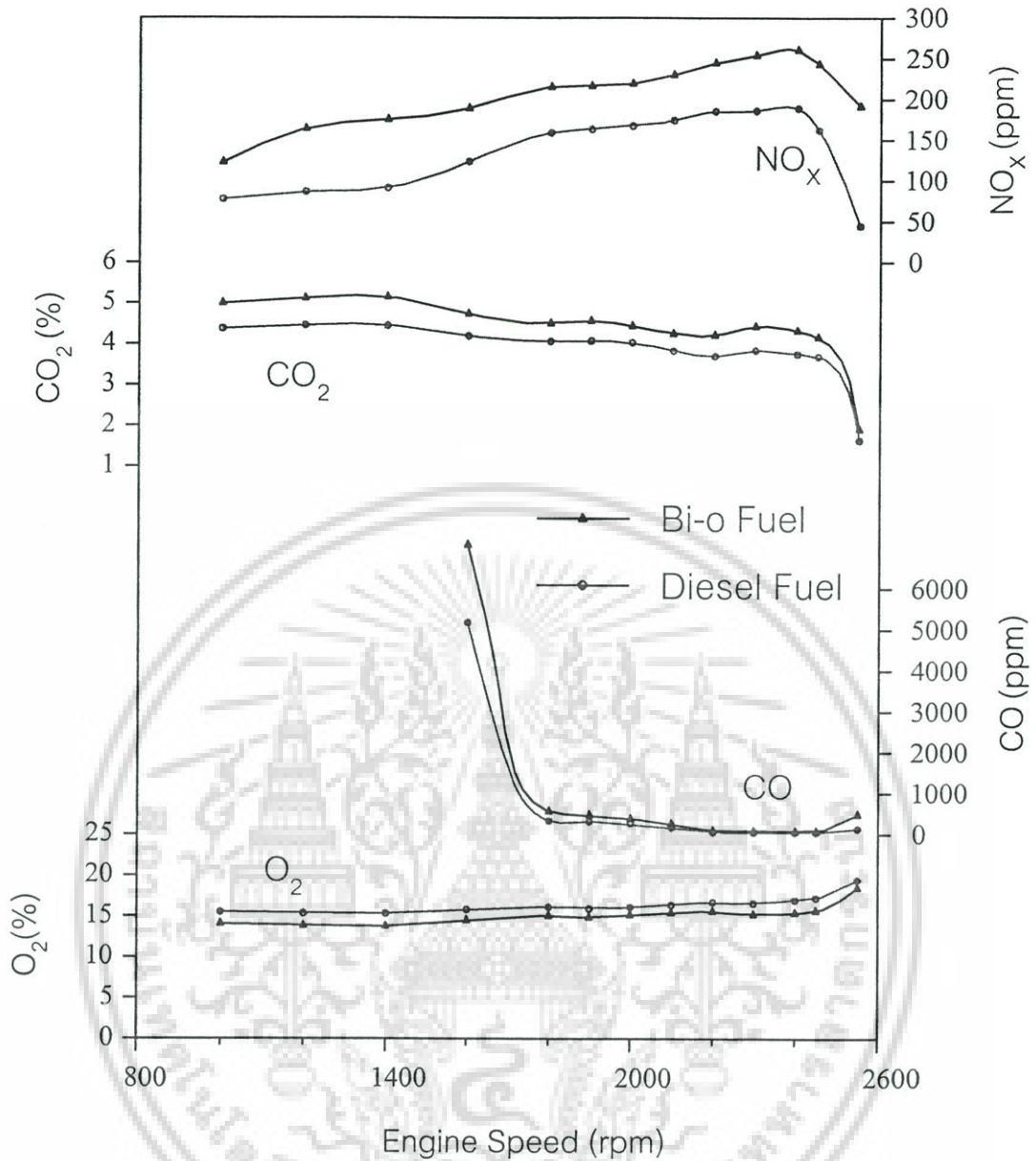
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการวิจัย



รูปที่ 6.1 สมรรถนะเครื่องยนต์กับความเร็วยรอบเครื่องยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.2 แก๊สไอเสียจากการเผาไหม้กับความเร็วยรอบเครื่องยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.1.1 สรุปผลสมรรถนะเครื่องยนต์

น้ำมันชีวภาพที่สกัดจากกากของเสียสามารถนำมาใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กได้ โดยที่ไม่ต้องทำการปรับแต่งเครื่องยนต์ สามารถใช้น้ำมันชีวภาพแบบ 100% หรือใช้แบบผสมกับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วนผสมต่างๆได้ การใช้น้ำมันชีวภาพนี้จะไม่ส่งผลกระทบต่อการสตาร์ทเครื่องยนต์ในทุกสภาวะแวดล้อมหรือในขณะเครื่องเย็น ดังนั้นสามารถใช้น้ำมันชีวภาพได้ทันที โดยไม่ต้องใช้น้ำมันดีเซลอุ่นเครื่องยนต์ให้ร้อนก่อน โดยผลการทดลองใช้น้ำมันชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงเปรียบเทียบกับการใช้น้ำมันดีเซล สรุปได้ดังนี้

1. ปริมาณการจ่ายเชื้อเพลิงต่อวัฏจักรของการใช้น้ำมันชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงจะเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์เดียวกัน เนื่องจากการเพิ่มระยะคันเร่งเพื่อให้ได้ความเร็วรอบเครื่องยนต์ขณะไม่มีโหลด 2550 รอบต่อนาที โดยที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2400 รอบต่อนาที ปริมาณการจ่ายเชื้อเพลิงต่อวัฏจักรเพิ่มขึ้น 8.39% โดยปริมาตร และ 24.39% โดยมวล มีผลให้อัตราการให้ความร้อนเชื้อเพลิงซึ่งน่าจะลดลงกลับสูงขึ้น ทำให้กำลังสูงสุดของเครื่องยนต์ซึ่งควรจะลดลงเนื่องจากความร้อนของน้ำมันชีวภาพต่ำกว่าน้ำมันดีเซล จากการทดลองวัดได้สูงกว่า 9.62% ในขณะที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1600 รอบต่อนาที ปริมาณการจ่ายเชื้อเพลิงต่อวัฏจักรเพิ่มขึ้น 4.53% โดยปริมาตร และ 19.25% โดยมวล ทำให้แรงบิดสูงสุดของเครื่องยนต์ซึ่งควรต่ำกว่า จากการทดลองวัดค่าได้สูงกว่า 3.85%

2. การสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกเพิ่มขึ้น เมื่อใช้น้ำมันชีวภาพหรือใช้น้ำมันชีวภาพผสมกับน้ำมันดีเซลโดยการเพิ่มขึ้นของอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกจะเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนผสมของน้ำมันชีวภาพเพิ่มขึ้น เนื่องจากสมบัติของน้ำมันชีวภาพ คือ ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงต่ำกว่า และค่าความหนืดของน้ำมันชีวภาพสูงกว่าทำให้ประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงลดลง โดยอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกเพิ่มขึ้นขณะให้กำลังเครื่องยนต์สูงสุด 15.54% ที่ความเร็วรอบ 2400 รอบต่อนาที เมื่อใช้น้ำมันชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ดีเซล

3. อุณหภูมิไอเสียเพิ่มขึ้น เมื่อใช้น้ำมันชีวภาพหรือใช้น้ำมันชีวภาพผสมกับน้ำมันดีเซล เนื่องจากอุณหภูมิไอเสีย คือ พลังงานความร้อนที่สูญเสียออกไปกับไอเสีย เมื่ออัตราการให้ความร้อนของเชื้อเพลิงสูงขึ้น กระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิงจะมีอุณหภูมิสูงจึงทำให้อุณหภูมิไอเสียเพิ่มขึ้นด้วย

6.1.2 สรุปผลแก๊สไอเสียจากการเผาไหม้

ผลผลิตจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของน้ำมันเชื้อเพลิง ทั้งน้ำมันดีเซล และน้ำมันชีวภาพ ที่วัดได้จากการทดลองที่เป็นทั้งอนุภาคมลพิษอย่าง เขม่า (ควันดำ) และแก๊สมลพิษอย่าง คาร์บอนมอนอกไซด์ ไนโตรเจนออกไซด์ และแก๊สซึ่งไม่ใช่แก๊สมลพิษอย่างคาร์บอนไดออกไซด์ เกิดจากมีปริมาณอากาศเกินพอเล็กน้อย เนื่องจากเครื่องยนต์ดีเซลดูดอากาศเข้าห้องเผาไหม้ด้วย ปริมาณค่อนข้างคงที่ และส่วนหนึ่งมาจากระดับอุณหภูมิสูงในห้องเผาไหม้ มีผลให้เกิดอะตอม อนุมูลอิสระ และไอออน ที่ว่องไวต่อการทำปฏิกิริยาแม้เมื่อออกจากห้องเผาไหม้แล้วก็ตาม การ ปลดปล่อยสารพิษจึงเป็นผลสืบเนื่องตามมา

1. การใช้ น้ำมันชีวภาพส่งผลให้ค่าควันดำของไอเสียเพิ่มมากขึ้นตามอัตราส่วนผสมของ น้ำมันชีวภาพที่มากขึ้น เนื่องจากปริมาณการจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้น ทำให้ไม่สามารถเผา ไหม้คาร์บอนของเชื้อเพลิงได้หมด ค่าควันดำของการใช้น้ำมันชีวภาพขณะให้กำลังสูงสุดที่ ความเร็วรอบ 2400 รอบต่อนาที คือ 17% มากกว่าค่าควันดำของการใช้น้ำมันดีเซล 50% แต่ค่า ควันดำจากการใช้น้ำมันชีวภาพยังไม่เกินค่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเครื่องยนต์ดีเซล ขนาดเล็กระบายความร้อนด้วยน้ำที่กำหนดไว้ที่ ร้อยละ 40 ขณะให้กำลังสูงสุด

2. การใช้ น้ำมันชีวภาพมีผลให้ปริมาณไนโตรเจนออกไซด์เพิ่มขึ้น เนื่องจากปริมาณการ จ่ายน้ำมันเชื้อเพลิง และอุณหภูมิการเผาไหม้ของน้ำมันชีวภาพสูงกว่าการใช้น้ำมันดีเซล ปริมาณ ไนโตรเจนออกไซด์สูงสุดคือ 261 ppm มากกว่าการใช้น้ำมันดีเซล 37.83% ที่ความเร็วรอบ 2400 รอบต่อนาที

3. การใช้ น้ำมันชีวภาพมีผลให้คาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้น เนื่องจากปริมาณการจ่ายน้ำ มันเชื้อเพลิง และอุณหภูมิการเผาไหม้ของน้ำมันชีวภาพสูงกว่าการใช้น้ำมันดีเซล ค่า คาร์บอนไดออกไซด์ของการใช้น้ำมันชีวภาพขณะให้กำลังสูงสุดที่ความเร็วรอบ 2400 รอบต่อนาที อยู่ที่ 4.32% โดยปริมาตร มากกว่าคาร์บอนไดออกไซด์ของการใช้น้ำมันดีเซล 15.22%

4. การใช้ น้ำมันชีวภาพส่งผลให้คาร์บอนมอนอกไซด์เพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนผสมของน้ำ มันชีวภาพที่เพิ่มมากขึ้น โดยการเพิ่มนี้จะขึ้นอยู่กับปริมาณการจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงและปริมาณ อากาศที่มีอยู่ในห้องเผาไหม้ ค่าคาร์บอนมอนอกไซด์ของการใช้น้ำมันชีวภาพขณะให้กำลังสูงสุดที่ ความเร็วรอบ 2400 รอบต่อนาที คือ 83 ppm มากกว่าคาร์บอนมอนอกไซด์ของการใช้น้ำมันดีเซล 57.84%

6.2 ข้อเสนอแนะในการศึกษาวิจัยต่อไป

เครื่องยนต์ เป็นเครื่องจักรกลที่มีระบบต่างๆ ที่มีความสำคัญต่อการทำงาน เช่น ระบบเชื้อเพลิง ระบบหล่อลื่น ระบบอากาศ ระบบระบายความร้อน รวมทั้งโครงสร้างของเครื่องยนต์ เป็นต้น ในแต่ละระบบมีความซับซ้อนและมีรายละเอียดมากจึงจำเป็นที่จะต้องมีการทดสอบในด้านอื่นเพื่อเป็นข้อมูลอ้างอิงในการใช้งานว่าปลอดภัยกับเครื่องยนต์กับทุกระบบการทำงานของเครื่องยนต์

จากข้อมูลของน้ำมันชีวภาพที่นำมาทดลองกับเครื่องยนต์พบว่า มีข้อบกพร่องในสมบัติของเชื้อเพลิงนั้นคือ มีค่าความหนืดสูง ฉะนั้นการศึกษากการให้ความร้อนกับน้ำมันชีวภาพเพื่อหาอุณหภูมิที่เหมาะสมที่จะทำให้ค่าความหนืดของน้ำมันชีวภาพลดลง เพื่อให้ความเป็นฝอยละอองของเชื้อเพลิงดีขึ้น การเผาไหม้จะสมบูรณ์ขึ้น โดยไม่ส่งผลกระทบต่อการทำงานและความเสียหายของระบบเชื้อเพลิง

การศึกษาวិเคราะห์การสึกหรอชิ้นส่วนเครื่องยนต์ และการเสื่อมสภาพของน้ำมันหล่อลื่น เป็นการทดลองที่สำคัญ เพื่อใช้เป็นข้อบ่งชี้ถึงอายุการใช้งานของเครื่องยนต์



เอกสารอ้างอิง

- [1] กัญจนา บุญเกียรติ. เชื้อเพลิงและการเผาไหม้. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2544.
- [2] สมัย ใจอินทร์, อภิรมย์ เงินบำรุง และองอาจ ผ่องลักขณ์. “แนวทางการพัฒนาการใช้เชื้อเพลิงชีวมวลสำหรับประเทศไทย.” วารสารโลกพลังงาน. ปีที่ 4, ฉบับที่ 11, เมษายน-มิถุนายน 2544. หน้า 58-64.
- [3] มนตรี ทวาโรจน์. “การศึกษาเปรียบเทียบการใช้แอลกอฮอล์ผสมน้ำมันดีเซลและน้ำมันมะพร้าวผสมน้ำมันก๊าดเป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ดีเซล.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. 2539.
- [4] บุญฤทธิ์ วิญญูชฌานาท. “สมรรถนะและมลพิษจากเครื่องยนต์ ซี. ไอ. เมื่อน้ำมันพืชผสมเป็นเชื้อเพลิง.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สายวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะพลังงานและวัสดุ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. 2541.
- [5] สมชัย นรเศรษฐ์โสภณ และปิ่น ประมาพันธ์. “ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนผสมระหว่างเชื้อเพลิงดีเซลกับน้ำมันพืช.” วิศวกรรมลาดกระบัง. ปีที่ 17, ฉบับที่ 3, กันยายน 2543. หน้า 132-137.
- [6] Yakup İÇİNGÜR and Duran ALTIPARMAK. “Experimental Analysis of the Effects of Fuel Injection Pressure and Fuel Cetane Number on Direct Injection Diesel Engine Emissions.” Turkish J. Eng. Env. Sci., vol. 27, 2003. pp. 291-297.
- [7] O.M.I Nwafor, G. Rice and A.I. Ogbonna. “Effect of advanced timing on the performance of rapeseed oil in diesel engines.” Renewable Energy, vol. 21, 2000. pp. 433-444.
- [8] Recep Altın, Selim Çetinkaya and Hüseyin Serdar Yücesu. “The potential of using vegetable oil fuels for diesel engines.” Energy Conversion and Management, vol. 42, 2001. pp. 529-538.
- [9] E.A. Ajav, S. Bachchan and T.K. Bhattacharya. “Experimental study of some performance parameters of a constant speed stationary diesel engine using ethanol-diesel blends as fuel.” Biomass and Bioenergy, vol. 17, 1999. pp. 357-365

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [10] Herchel Thaddeus C., Machacon, Yutaka Matsumoto, Chihiro Oh,arara, Seiichi Shiga, Takao Karasawa and Hisao Makamura. "The effect of coconut oil and diesel fuel blends on diesel engine performance and exhaust emissions." JSAE Review vol. 22, 2001. pp. 349-355
- [11] Shigeru Ueki and Akinori Miura. "Effect of difference of high pressure fuel injection systems on exhaust emissions from HDDI diesel engine." JSAE Review, vol. 20, 1999. pp. 555-561
- [12] กรมควบคุมมลพิษ. รายงานหลัก โครงการวิจัย พัฒนาการนำของเสียกลับมาใช้ใหม่. 2544
- [13] กรมควบคุมมลพิษ. รายงานหลัก โครงการ การศึกษาวิจัยการสร้างแบบจำลองเครื่องปฏิกรณ์ไพโรไลซิสสำหรับผลิตเชื้อเพลิงจากกากตะกอนระบบบำบัดน้ำเสีย. 2545
- [14] John B. Heywood. Internal Combustion Engine Fundamentals. By McGraw-Hill, Inc. 1988.
- [15] หลาบ รับลิริ. เครื่องยนต์เผาไหม้ภายใน. กรุงเทพฯ : ฟิสิกส์เซ็นเตอร์. 2528.
- [16] ปราโมทย์ อ่อนประไพ. เทคโนโลยีเครื่องยนต์ดีเซล. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น. ม.ป.ป.
- [17] อังกร โชตะมังสะ และสุจิตต์ สนองคุณ. เชื้อเพลิงและวัสดุหล่อลื่น. กรุงเทพฯ : เม็ดทรายพริ้นติ้ง. [ม.ป.ป].
- [18] ประเสริฐ เทียนนิมิตร ขวัญชัย สนิทพิศสมบุรณ์ และปานเพชร ชินินทร. เชื้อเพลิงและสารหล่อลื่น. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น. 2540.
- [19] อัมพร ภัคดีชาติ, เกษม ประพฤติธรรม, คำนึ่ง สาขากร, บุญทัน สมนึก, ประจวบ ทรัพย์สงวน และวิจิตร ทองมิตร. เครื่องยนต์ดีเซล. กรุงเทพฯ : อมรินทร์. 2529.

ภาคผนวก ก

ตารางที่ ก1 ค่าการกลั่นของน้ำมันชีวภาพและน้ำมันดีเซล

% การกลั่น	อุณหภูมิการกลั่นน้ำมันชีวภาพ (°C)	อุณหภูมิการกลั่นน้ำมันดีเซล(°C)
IBP	117.7	180.9
5	176.6	202.7
10	197.1	212.7
15	214.2	224.5
20	230.5	236.0
25	243.6	245.2
30	254.5	254.5
35	263.1	263.2
40	270.1	271.3
45	277.2	279.0
50	283.8	286.5
55	(ไม่ได้กลั่นจนจบ)	294.1
60		302.2
65		310.1
70		318.1
75		326.7
80		336.0
85		345.7
90		358.0
94.1		-
95		376.2
FBP		377.8

หมายเหตุ: *ไม่สามารถหาได้ เนื่องจากน้ำมันชนิดนี้จะไม่ระเหยออกมาในช่วง 60-90%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข1 ตัวแก้สำหรับกำลังเครื่องยนต์ที่ความดันบรรยากาศ 751 mmHg

		J I S - D - 1 0 0 5									
		751 mmHg									
	0°	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°
15	1.0235	1.0256	1.0277	1.0296	1.0315	1.0334	1.0351	1.0369	1.0385	1.0402	1.0417
	0.9966	0.9963	0.9960	0.9957	0.9955	0.9952	0.9950	0.9947	0.9945	0.9942	0.9941
16	1.0190	1.0212	1.0233	1.0253	1.0273	1.0292	1.0310	1.0328	1.0345	1.0362	1.0378
	0.9973	0.9969	0.9966	0.9964	0.9960	0.9958	0.9955	0.9953	0.9951	0.9948	0.9946
17	1.0145	1.0167	1.0189	1.0210	1.0230	1.0250	1.0269	1.0287	1.0305	1.0322	1.0339
	0.9979	0.9976	0.9973	0.9969	0.9967	0.9964	0.9961	0.9959	0.9956	0.9953	0.9951
18	1.0099	1.0122	1.0145	1.0166	1.0187	1.0207	1.0227	1.0246	1.0264	1.0282	1.0299
	0.9985	0.9982	0.9979	0.9976	0.9973	0.9970	0.9967	0.9964	0.9962	0.9959	0.9957
19	1.0053	1.0077	1.0100	1.0122	1.0144	1.0165	1.0185	1.0204	1.0223	1.0241	1.0259
	0.9992	0.9988	0.9985	0.9982	0.9979	0.9976	0.9973	0.9970	0.9968	0.9965	0.9962
20	1.0005	1.0030	1.0054	1.0077	1.0100	1.0121	1.0142	1.0162	1.0182	1.0200	1.0218
	1.0000	0.9996	0.9992	0.9989	0.9985	0.9982	0.9979	0.9976	0.9973	0.9971	0.9969
21	0.9958	0.9983	1.0008	1.0032	1.0055	1.0077	1.0099	1.0120	1.0140	1.0159	1.0178
	1.0006	1.0003	0.9999	0.9995	0.9992	0.9989	0.9985	0.9982	0.9979	0.9977	0.9974
22	0.9909	0.9936	0.9961	0.9986	1.0010	1.0033	1.0055	1.0077	1.0097	1.0117	1.0137
	1.0014	1.0009	1.0006	1.0002	0.9999	0.9995	0.9992	0.9988	0.9986	0.9983	0.9980
23	0.9860	0.9887	0.9914	0.9940	0.9964	0.9988	1.0011	1.0033	1.0055	1.0075	1.0095
	1.0021	1.0017	1.0013	1.0009	1.0006	1.0002	0.9998	0.9995	0.9992	0.9989	0.9986
24	0.9810	0.9838	0.9866	0.9892	0.9918	0.9943	0.9966	0.9989	1.0011	1.0033	1.0053
	1.0029	1.0025	1.0020	1.0017	1.0012	1.0008	1.0005	1.0002	0.9999	0.9995	0.9992
25	0.9759	0.9788	0.9817	0.9844	0.9871	0.9897	0.9921	0.9945	0.9968	0.9990	1.0011
	1.0037	1.0033	1.0028	1.0024	1.0019	1.0015	1.0012	1.0008	1.0004	1.0001	0.9998
26	0.9707	0.9738	0.9767	0.9796	0.9823	0.9850	0.9875	0.9900	0.9923	0.9946	0.9968
	1.0045	1.0040	1.0036	1.0031	1.0027	1.0022	1.0019	1.0015	1.0012	1.0008	1.0005
27	0.9654	0.9686	0.9717	0.9746	0.9775	0.9802	0.9828	0.9854	0.9878	0.9902	0.9925
	1.0054	1.0048	1.0043	1.0039	1.0034	1.0030	1.0026	1.0022	1.0019	1.0015	1.0011
28	0.9600	0.9634	0.9665	0.9696	0.9725	0.9754	0.9781	0.9807	0.9833	0.9857	0.9881
	1.0062	1.0056	1.0052	1.0047	1.0043	1.0037	1.0033	1.0030	1.0025	1.0022	1.0018
29	0.9546	0.9580	0.9613	0.9645	0.9675	0.9705	0.9733	0.9760	0.9787	0.9812	0.9836
	1.0071	1.0065	1.0060	1.0055	1.0050	1.0045	1.0041	1.0037	1.0032	1.0028	1.0025
30	0.9490	0.9526	0.9560	0.9593	0.9624	0.9655	0.9684	0.9712	0.9740	0.9766	0.9791
	1.0080	1.0074	1.0068	1.0063	1.0059	1.0053	1.0049	1.0044	1.0039	1.0035	1.0032
31	0.9433	0.9470	0.9505	0.9540	0.9572	0.9604	0.9634	0.9664	0.9692	0.9719	0.9745
	1.0090	1.0083	1.0078	1.0071	1.0067	1.0061	1.0057	1.0052	1.0047	1.0043	1.0039
32	0.9375	0.9413	0.9450	0.9485	0.9520	0.9552	0.9584	0.9614	0.9643	0.9671	0.9698
	1.0099	1.0093	1.0087	1.0081	1.0075	1.0070	1.0065	1.0060	1.0055	1.0051	1.0047
33	0.9316	0.9355	0.9394	0.9430	0.9466	0.9500	0.9532	0.9564	0.9594	0.9623	0.9651
	1.0109	1.0103	1.0096	1.0090	1.0084	1.0078	1.0073	1.0068	1.0063	1.0058	1.0054
34	0.9255	0.9296	0.9336	0.9374	0.9411	0.9446	0.9480	0.9512	0.9544	0.9574	0.9603
	1.0120	1.0113	1.0106	1.0099	1.0093	1.0087	1.0082	1.0077	1.0071	1.0066	1.0062
35	0.9193	0.9236	0.9277	0.9317	0.9355	0.9391	0.9426	0.9460	0.9493	0.9524	0.9554
	1.0131	1.0123	1.0116	1.0109	1.0102	1.0097	1.0091	1.0085	1.0079	1.0074	1.0070
36	0.9130	0.9174	0.9217	0.9258	0.9297	0.9335	0.9372	0.9407	0.9441	0.9473	0.9504
	1.0142	1.0134	1.0126	1.0119	1.0113	1.0106	1.0100	1.0094	1.0088	1.0083	1.0078
37	0.9065	0.9111	0.9155	0.9190	0.9230	0.9277	0.9316	0.9352	0.9387	0.9421	0.9454
	1.0153	1.0145	1.0138	1.0130	1.0123	1.0116	1.0109	1.0104	1.0098	1.0092	1.0086
38	0.8998	0.9046	0.9092	0.9137	0.9179	0.9220	0.9259	0.9297	0.9333	0.9368	0.9402
	1.0166	1.0157	1.0149	1.0140	1.0133	1.0126	1.0119	1.0113	1.0107	1.0101	1.0095
39	0.8931	0.8980	0.9028	0.9074	0.9118	0.9160	0.9201	0.9240	0.9277	0.9314	0.9349
	1.0178	1.0169	1.0160	1.0152	1.0144	1.0137	1.0129	1.0123	1.0116	1.0110	1.0104
40	0.8861	0.8913	0.8962	0.9010	0.9056	0.9100	0.9142	0.9182	0.9222	0.9259	0.9295
	1.0191	1.0181	1.0173	1.0163	1.0155	1.0147	1.0140	1.0133	1.0125	1.0119	1.0113
41	0.8790	0.8843	0.8895	0.8944	0.8992	0.9037	0.9081	0.9123	0.9164	0.9203	0.9240
	1.0205	1.0195	1.0185	1.0176	1.0167	1.0159	1.0151	1.0144	1.0136	1.0129	1.0123
42	0.8717	0.8772	0.8826	0.8877	0.8926	0.8974	0.9019	0.9063	0.9105	0.9145	0.9184
	1.0219	1.0209	1.0198	1.0188	1.0179	1.0170	1.0162	1.0154	1.0146	1.0140	1.0133
43	0.8642	0.8699	0.8755	0.8808	0.8859	0.8908	0.8956	0.9001	0.9045	0.9087	0.9127
	1.0234	1.0223	1.0212	1.0202	1.0192	1.0183	1.0173	1.0165	1.0157	1.0149	1.0143
44	0.8565	0.8625	0.8682	0.8737	0.8790	0.8842	0.8891	0.8938	0.8983	0.9027	0.9069
	1.0249	1.0237	1.0226	1.0216	1.0205	1.0195	1.0185	1.0177	1.0169	1.0160	1.0153
45	0.8486	0.8548	0.8608	0.8665	0.8720	0.8773	0.8824	0.8873	0.8920	0.8965	0.9009
	1.0266	1.0253	1.0241	1.0229	1.0219	1.0208	1.0199	1.0189	1.0180	1.0172	1.0164

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข2 ตัวแก้สำหรับกำลังเครื่องยนต์ที่ความดันบรรยากาศ 752 mmHg

	J I S - D - 1 0 0 5					752 mmHg					
	0°	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°
15	1.0251	1.0272	1.0293	1.0312	1.0331	1.0350	1.0368	1.0385	1.0402	1.0418	1.0434
	0.9964	0.9961	0.9957	0.9955	0.9953	0.9950	0.9947	0.9945	0.9942	0.9940	0.9938
16	1.0207	1.0228	1.0249	1.0270	1.0289	1.0308	1.0327	1.0344	1.0361	1.0378	1.0394
	0.9969	0.9967	0.9964	0.9961	0.9958	0.9956	0.9952	0.9951	0.9949	0.9946	0.9944
17	1.0161	1.0184	1.0205	1.0226	1.0247	1.0266	1.0285	1.0303	1.0321	1.0338	1.0355
	0.9977	0.9973	0.9970	0.9967	0.9964	0.9962	0.9959	0.9956	0.9954	0.9951	0.9949
18	1.0115	1.0138	1.0161	1.0183	1.0203	1.0224	1.0243	1.0262	1.0280	1.0298	1.0315
	0.9983	0.9980	0.9976	0.9973	0.9971	0.9967	0.9965	0.9962	0.9960	0.9957	0.9955
19	1.0069	1.0093	1.0116	1.0138	1.0160	1.0181	1.0201	1.0220	1.0239	1.0257	1.0275
	0.9989	0.9986	0.9983	0.9980	0.9976	0.9973	0.9971	0.9968	0.9965	0.9963	0.9960
20	1.0021	1.0046	1.0070	1.0093	1.0116	1.0137	1.0158	1.0178	1.0198	1.0216	1.0235
	0.9997	0.9993	0.9990	0.9987	0.9983	0.9980	0.9977	0.9974	0.9971	0.9969	0.9965
21	0.9974	0.9999	1.0024	1.0048	1.0071	1.0093	1.0115	1.0136	1.0156	1.0175	1.0194
	1.0004	1.0000	0.9997	0.9993	0.9990	0.9987	0.9983	0.9980	0.9977	0.9974	0.9972
22	0.9925	0.9952	0.9977	1.0002	1.0026	1.0049	1.0071	1.0093	1.0113	1.0133	1.0153
	1.0011	1.0007	1.0004	1.0000	0.9996	0.9993	0.9990	0.9986	0.9984	0.9981	0.9977
23	0.9876	0.9902	0.9930	0.9956	0.9980	1.0004	1.0027	1.0049	1.0071	1.0091	1.0111
	1.0018	1.0015	1.0010	1.0006	1.0003	1.0000	0.9996	0.9993	0.9989	0.9987	0.9984
24	0.9826	0.9854	0.9882	0.9908	0.9934	0.9959	0.9982	1.0005	1.0027	1.0049	1.0070
	1.0026	1.0022	1.0018	1.0014	1.0010	1.0006	1.0003	0.9999	0.9996	0.9992	0.9990
25	0.9775	0.9804	0.9833	0.9860	0.9887	0.9912	0.9937	0.9961	0.9984	1.0006	1.0027
	1.0034	1.0030	1.0025	1.0021	1.0017	1.0014	1.0009	1.0006	1.0002	0.9999	0.9996
26	0.9723	0.9753	0.9783	0.9812	0.9839	0.9866	0.9891	0.9916	0.9939	0.9962	0.9984
	1.0042	1.0038	1.0033	1.0028	1.0024	1.0020	1.0016	1.0012	1.0009	1.0006	1.0002
27	0.9670	0.9702	0.9733	0.9762	0.9791	0.9818	0.9844	0.9870	0.9894	0.9918	0.9940
	1.0051	1.0046	1.0040	1.0036	1.0031	1.0028	1.0024	1.0019	1.0016	1.0012	1.0009
28	0.9616	0.9649	0.9681	0.9712	0.9741	0.9770	0.9797	0.9823	0.9849	0.9873	0.9896
	1.0060	1.0054	1.0049	1.0044	1.0040	1.0035	1.0031	1.0027	1.0022	1.0019	1.0016
29	0.9561	0.9596	0.9629	0.9661	0.9691	0.9720	0.9749	0.9776	0.9802	0.9828	0.9852
	1.0069	1.0062	1.0057	1.0052	1.0048	1.0043	1.0038	1.0034	1.0030	1.0026	1.0022
30	0.9506	0.9541	0.9575	0.9608	0.9640	0.9671	0.9700	0.9728	0.9755	0.9781	0.9807
	1.0077	1.0072	1.0066	1.0061	1.0056	1.0050	1.0046	1.0042	1.0038	1.0034	1.0029
31	0.9449	0.9486	0.9521	0.9555	0.9588	0.9620	0.9650	0.9679	0.9708	0.9735	0.9761
	1.0086	1.0080	1.0075	1.0070	1.0064	1.0059	1.0054	1.0050	1.0044	1.0040	1.0036
32	0.9390	0.9429	0.9466	0.9501	0.9535	0.9568	0.9599	0.9630	0.9659	0.9687	0.9714
	1.0097	1.0090	1.0084	1.0078	1.0073	1.0067	1.0063	1.0057	1.0053	1.0048	1.0044
33	0.9331	0.9371	0.9409	0.9446	0.9481	0.9515	0.9548	0.9579	0.9610	0.9639	0.9667
	1.0107	1.0100	1.0094	1.0087	1.0082	1.0076	1.0070	1.0066	1.0060	1.0056	1.0051
34	0.9270	0.9312	0.9351	0.9390	0.9426	0.9461	0.9495	0.9527	0.9559	0.9590	0.9619
	1.0118	1.0110	1.0104	1.0096	1.0091	1.0085	1.0080	1.0074	1.0069	1.0063	1.0059
35	0.9208	0.9251	0.9292	0.9332	0.9370	0.9407	0.9442	0.9476	0.9508	0.9540	0.9570
	1.0128	1.0121	1.0114	1.0107	1.0100	1.0094	1.0088	1.0082	1.0077	1.0071	1.0067
36	0.9145	0.9189	0.9232	0.9273	0.9313	0.9351	0.9387	0.9422	0.9456	0.9489	0.9520
	1.0139	1.0132	1.0124	1.0117	1.0110	1.0103	1.0097	1.0092	1.0086	1.0080	1.0075
37	0.9080	0.9126	0.9171	0.9213	0.9254	0.9294	0.9332	0.9368	0.9402	0.9437	0.9469
	1.0151	1.0143	1.0134	1.0127	1.0120	1.0113	1.0106	1.0100	1.0094	1.0088	1.0084
38	0.9014	0.9062	0.9108	0.9152	0.9194	0.9235	0.9275	0.9312	0.9349	0.9384	0.9417
	1.0163	1.0154	1.0146	1.0138	1.0131	1.0124	1.0116	1.0110	1.0103	1.0097	1.0092
39	0.8946	0.8996	0.9043	0.9089	0.9133	0.9176	0.9217	0.9256	0.9293	0.9330	0.9364
	1.0175	1.0166	1.0158	1.0149	1.0142	1.0134	1.0126	1.0119	1.0114	1.0107	1.0102
40	0.8876	0.8928	0.8977	0.9025	0.9071	0.9115	0.9157	0.9198	0.9237	0.9275	0.9311
	1.0189	1.0179	1.0170	1.0161	1.0152	1.0144	1.0137	1.0130	1.0123	1.0116	1.0110
41	0.8805	0.8858	0.8910	0.8959	0.9007	0.9053	0.9096	0.9139	0.9179	0.9218	0.9256
	1.0202	1.0192	1.0182	1.0173	1.0164	1.0155	1.0148	1.0140	1.0133	1.0127	1.0120
42	0.8732	0.8787	0.8841	0.8892	0.8941	0.8989	0.9034	0.9078	0.9120	0.9161	0.9200
	1.0216	1.0206	1.0195	1.0186	1.0177	1.0167	1.0160	1.0153	1.0144	1.0136	1.0129
43	0.8657	0.8715	0.8770	0.8823	0.8874	0.8924	0.8971	0.9016	0.9060	0.9102	0.9142
	1.0231	1.0219	1.0209	1.0199	1.0189	1.0179	1.0171	1.0163	1.0155	1.0147	1.0140
44	0.8586	0.8640	0.8697	0.8753	0.8806	0.8857	0.8905	0.8953	0.8998	0.9042	0.9084
	1.0247	1.0234	1.0223	1.0212	1.0202	1.0192	1.0183	1.0174	1.0166	1.0158	1.0150
45	0.8501	0.8563	0.8623	0.8680	0.8735	0.8788	0.8839	0.8888	0.8935	0.8980	0.9024
	1.0263	1.0250	1.0238	1.0227	1.0216	1.0206	1.0196	1.0186	1.0178	1.0170	1.0162

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข3 ตัวแก้สำหรับกำลังเครื่องยนต์ที่ความดันบรรยากาศ 753 mmHg

	J I S - D - 1 0 0 5										753 mmHg		
	0°	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°		
15	1.0268	1.0289	1.0309	1.0329	1.0348	1.0366	1.0384	1.0401	1.0418	1.0434	1.0450		
	0.9961	0.9958	0.9955	0.9952	0.9950	0.9948	0.9945	0.9943	0.9940	0.9938	0.9936		
16	1.0223	1.0245	1.0266	1.0286	1.0305	1.0324	1.0343	1.0361	1.0378	1.0394	1.0411		
	0.9967	0.9964	0.9961	0.9958	0.9956	0.9954	0.9950	0.9948	0.9946	0.9944	0.9941		
17	1.0177	1.0200	1.0222	1.0243	1.0263	1.0282	1.0301	1.0320	1.0337	1.0354	1.0371		
	0.9974	0.9971	0.9967	0.9964	0.9962	0.9959	0.9957	0.9953	0.9952	0.9949	0.9947		
18	1.0131	1.0155	1.0177	1.0199	1.0220	1.0240	1.0259	1.0278	1.0296	1.0314	1.0331		
	0.9981	0.9977	0.9974	0.9971	0.9968	0.9965	0.9963	0.9960	0.9958	0.9955	0.9953		
19	1.0085	1.0109	1.0132	1.0154	1.0176	1.0197	1.0217	1.0236	1.0255	1.0274	1.0291		
	0.9987	0.9984	0.9981	0.9978	0.9974	0.9971	0.9968	0.9966	0.9963	0.9960	0.9958		
20	1.0037	1.0062	1.0086	1.0110	1.0132	1.0153	1.0174	1.0194	1.0214	1.0233	1.0251		
	0.9995	0.9991	0.9988	0.9983	0.9981	0.9978	0.9975	0.9972	0.9969	0.9966	0.9963		
21	0.9990	1.0015	1.0040	1.0064	1.0087	1.0110	1.0131	1.0152	1.0172	1.0191	1.0210		
	1.0001	0.9998	0.9994	0.9991	0.9987	0.9983	0.9981	0.9978	0.9975	0.9972	0.9969		
22	0.9941	0.9968	0.9993	1.0018	1.0042	1.0065	1.0087	1.0109	1.0129	1.0149	1.0169		
	1.0009	1.0004	1.0001	0.9997	0.9994	0.9990	0.9987	0.9984	0.9981	0.9979	0.9975		
23	0.9892	0.9919	0.9946	0.9972	0.9996	1.0020	1.0043	1.0065	1.0087	1.0107	1.0127		
	1.0016	1.0012	1.0008	1.0004	1.0001	0.9997	0.9994	0.9991	0.9987	0.9984	0.9982		
24	0.9841	0.9870	0.9898	0.9924	0.9950	0.9974	0.9998	1.0021	1.0043	1.0065	1.0085		
	1.0024	1.0020	1.0015	1.0012	1.0007	1.0004	1.0001	0.9997	0.9994	0.9990	0.9988		
25	0.9790	0.9820	0.9849	0.9876	0.9902	0.9928	0.9953	0.9977	0.9999	1.0022	1.0043		
	1.0032	1.0027	1.0023	1.0019	1.0014	1.0011	1.0007	1.0003	1.0001	0.9996	0.9993		
26	0.9738	0.9769	0.9799	0.9827	0.9855	0.9881	0.9907	0.9931	0.9955	0.9978	1.0000		
	1.0041	1.0035	1.0030	1.0027	1.0022	1.0018	1.0014	1.0011	1.0007	1.0003	1.0000		
27	0.9686	0.9718	0.9748	0.9777	0.9806	0.9834	0.9860	0.9886	0.9910	0.9934	0.9956		
	1.0048	1.0043	1.0039	1.0034	1.0030	1.0025	1.0021	1.0017	1.0014	1.0010	1.0007		
28	0.9632	0.9665	0.9697	0.9727	0.9757	0.9785	0.9813	0.9839	0.9864	0.9889	0.9912		
	1.0057	1.0052	1.0046	1.0042	1.0037	1.0033	1.0028	1.0024	1.0021	1.0017	1.0013		
29	0.9577	0.9611	0.9644	0.9676	0.9707	0.9736	0.9765	0.9792	0.9818	0.9843	0.9868		
	1.0066	1.0061	1.0055	1.0050	1.0045	1.0041	1.0035	1.0031	1.0028	1.0024	1.0020		
30	0.9521	0.9557	0.9591	0.9624	0.9656	0.9686	0.9716	0.9744	0.9771	0.9797	0.9822		
	1.0075	1.0069	1.0064	1.0058	1.0053	1.0048	1.0043	1.0039	1.0035	1.0031	1.0027		
31	0.9464	0.9501	0.9537	0.9571	0.9604	0.9635	0.9666	0.9695	0.9723	0.9750	0.9776		
	1.0085	1.0078	1.0072	1.0067	1.0061	1.0057	1.0051	1.0047	1.0043	1.0038	1.0035		
32	0.9406	0.9444	0.9481	0.9517	0.9551	0.9584	0.9615	0.9645	0.9675	0.9703	0.9730		
	1.0094	1.0088	1.0082	1.0075	1.0070	1.0064	1.0060	1.0055	1.0050	1.0045	1.0041		
33	0.9347	0.9386	0.9425	0.9461	0.9497	0.9531	0.9563	0.9595	0.9625	0.9654	0.9682		
	1.0104	1.0098	1.0091	1.0085	1.0079	1.0073	1.0068	1.0063	1.0058	1.0054	1.0049		
34	0.9286	0.9327	0.9367	0.9405	0.9442	0.9477	0.9511	0.9544	0.9575	0.9605	0.9634		
	1.0114	1.0108	1.0101	1.0094	1.0088	1.0082	1.0076	1.0071	1.0066	1.0061	1.0057		
35	0.9224	0.9267	0.9308	0.9347	0.9386	0.9422	0.9457	0.9491	0.9524	0.9555	0.9585		
	1.0125	1.0118	1.0111	1.0104	1.0097	1.0091	1.0086	1.0080	1.0074	1.0069	1.0065		
36	0.9160	0.9205	0.9248	0.9289	0.9328	0.9366	0.9402	0.9438	0.9472	0.9504	0.9535		
	1.0137	1.0129	1.0121	1.0114	1.0107	1.0101	1.0094	1.0088	1.0083	1.0078	1.0073		
37	0.9096	0.9142	0.9186	0.9229	0.9270	0.9309	0.9347	0.9383	0.9418	0.9452	0.9484		
	1.0148	1.0139	1.0132	1.0124	1.0117	1.0111	1.0104	1.0098	1.0092	1.0086	1.0081		
38	0.9029	0.9077	0.9123	0.9167	0.9210	0.9251	0.9290	0.9328	0.9364	0.9399	0.9433		
	1.0160	1.0151	1.0143	1.0136	1.0128	1.0120	1.0114	1.0107	1.0101	1.0095	1.0089		
39	0.8961	0.9011	0.9059	0.9105	0.9149	0.9191	0.9232	0.9271	0.9309	0.9345	0.9380		
	1.0173	1.0163	1.0154	1.0146	1.0138	1.0131	1.0124	1.0117	1.0110	1.0104	1.0098		
40	0.8892	0.8943	0.8993	0.9040	0.9086	0.9130	0.9172	0.9213	0.9252	0.9290	0.9326		
	1.0185	1.0176	1.0166	1.0158	1.0150	1.0142	1.0135	1.0127	1.0121	1.0114	1.0108		
41	0.8820	0.8874	0.8925	0.8975	0.9022	0.9068	0.9112	0.9154	0.9195	0.9234	0.9271		
	1.0199	1.0189	1.0180	1.0170	1.0162	1.0153	1.0145	1.0138	1.0130	1.0123	1.0117		
42	0.8747	0.8803	0.8856	0.8907	0.8957	0.9004	0.9050	0.9093	0.9136	0.9176	0.9215		
	1.0213	1.0202	1.0192	1.0183	1.0173	1.0165	1.0156	1.0149	1.0140	1.0134	1.0127		
43	0.8672	0.8730	0.8785	0.8838	0.8890	0.8939	0.8986	0.9031	0.9075	0.9117	0.9158		
	1.0228	1.0216	1.0206	1.0196	1.0185	1.0177	1.0168	1.0160	1.0152	1.0144	1.0137		
44	0.8595	0.8655	0.8712	0.8768	0.8821	0.8872	0.8921	0.8968	0.9014	0.9057	0.9099		
	1.0244	1.0231	1.0221	1.0209	1.0199	1.0189	1.0180	1.0172	1.0162	1.0155	1.0148		
45	0.8516	0.8578	0.8638	0.8695	0.8750	0.8803	0.8854	0.8902	0.8950	0.8996	0.9039		
	1.0260	1.0247	1.0235	1.0224	1.0213	1.0203	1.0194	1.0184	1.0175	1.0166	1.0158		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข4 ตัวแก๊สสำหรับกำลังเครื่องยนต์ที่ความดันบรรยากาศ 754 mmHg

		J I S - D - 1 0 0 5										
		754 mmHg										
		0°	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°
15	1.0284	1.0305	1.0325	1.0345	1.0364	1.0382	1.0400	1.0418	1.0434	1.0450	1.0466	
	0.9959	0.9956	0.9953	0.9950	0.9948	0.9946	0.9943	0.9940	0.9938	0.9936	0.9934	
16	1.0239	1.0261	1.0282	1.0302	1.0322	1.0341	1.0359	1.0377	1.0394	1.0411	1.0427	
	0.9965	0.9962	0.9959	0.9956	0.9953	0.9951	0.9948	0.9946	0.9944	0.9941	0.9939	
17	1.0193	1.0216	1.0238	1.0259	1.0279	1.0299	1.0317	1.0336	1.0354	1.0371	1.0387	
	0.9972	0.9969	0.9965	0.9962	0.9960	0.9956	0.9955	0.9951	0.9949	0.9946	0.9945	
18	1.0147	1.0171	1.0193	1.0215	1.0236	1.0256	1.0276	1.0294	1.0313	1.0330	1.0347	
	0.9979	0.9975	0.9972	0.9969	0.9965	0.9963	0.9960	0.9958	0.9955	0.9953	0.9950	
19	1.0101	1.0125	1.0148	1.0170	1.0192	1.0213	1.0233	1.0253	1.0271	1.0290	1.0307	
	0.9985	0.9981	0.9978	0.9976	0.9972	0.9969	0.9966	0.9963	0.9961	0.9958	0.9956	
20	1.0053	1.0078	1.0102	1.0126	1.0148	1.0170	1.0190	1.0210	1.0230	1.0249	1.0267	
	0.9993	0.9989	0.9985	0.9981	0.9978	0.9975	0.9973	0.9970	0.9966	0.9964	0.9961	
21	1.0006	1.0031	1.0056	1.0080	1.0103	1.0126	1.0147	1.0168	1.0188	1.0207	1.0226	
	0.9999	0.9996	0.9992	0.9988	0.9985	0.9981	0.9979	0.9975	0.9972	0.9970	0.9967	
22	0.9957	0.9984	1.0009	1.0034	1.0058	1.0081	1.0103	1.0125	1.0146	1.0166	1.0185	
	1.0006	1.0002	0.9999	0.9995	0.9991	0.9988	0.9985	0.9981	0.9978	0.9975	0.9973	
23	0.9907	0.9935	0.9962	0.9987	1.0012	1.0036	1.0059	1.0081	1.0103	1.0123	1.0143	
	1.0014	1.0010	1.0005	1.0002	0.9998	0.9995	0.9991	0.9988	0.9984	0.9982	0.9979	
24	0.9857	0.9886	0.9914	0.9940	0.9966	0.9990	1.0014	1.0037	1.0059	1.0081	1.0101	
	1.0022	1.0017	1.0013	1.0009	1.0005	1.0002	0.9998	0.9995	0.9991	0.9988	0.9985	
25	0.9806	0.9836	0.9865	0.9892	0.9919	0.9944	0.9969	0.9992	1.0015	1.0037	1.0059	
	1.0030	1.0025	1.0020	1.0016	1.0012	1.0009	1.0004	1.0002	0.9998	0.9995	0.9991	
26	0.9754	0.9785	0.9815	0.9843	0.9871	0.9897	0.9923	0.9947	0.9971	0.9994	1.0016	
	1.0038	1.0033	1.0028	1.0024	1.0019	1.0016	1.0011	1.0008	1.0004	1.0001	0.9997	
27	0.9701	0.9733	0.9764	0.9794	0.9822	0.9850	0.9876	0.9901	0.9926	0.9949	0.9972	
	1.0046	1.0041	1.0036	1.0031	1.0027	1.0022	1.0019	1.0015	1.0011	1.0008	1.0004	
28	0.9648	0.9681	0.9713	0.9743	0.9773	0.9801	0.9828	0.9855	0.9880	0.9905	0.9928	
	1.0054	1.0049	1.0044	1.0039	1.0034	1.0030	1.0026	1.0022	1.0018	1.0014	1.0011	
29	0.9593	0.9627	0.9660	0.9692	0.9722	0.9752	0.9780	0.9808	0.9834	0.9859	0.9883	
	1.0063	1.0058	1.0053	1.0047	1.0043	1.0038	1.0034	1.0029	1.0025	1.0021	1.0018	
30	0.9537	0.9572	0.9607	0.9640	0.9671	0.9702	0.9731	0.9759	0.9787	0.9813	0.9838	
	1.0072	1.0067	1.0061	1.0055	1.0051	1.0046	1.0041	1.0037	1.0032	1.0028	1.0025	
31	0.9480	0.9517	0.9552	0.9586	0.9619	0.9651	0.9681	0.9711	0.9739	0.9766	0.9792	
	1.0081	1.0075	1.0070	1.0065	1.0059	1.0054	1.0049	1.0044	1.0040	1.0036	1.0032	
32	0.9422	0.9460	0.9497	0.9532	0.9566	0.9599	0.9631	0.9661	0.9690	0.9718	0.9745	
	1.0091	1.0085	1.0079	1.0073	1.0068	1.0062	1.0057	1.0052	1.0048	1.0044	1.0039	
33	0.9362	0.9402	0.9440	0.9477	0.9512	0.9546	0.9579	0.9611	0.9641	0.9670	0.9698	
	1.0102	1.0095	1.0088	1.0082	1.0077	1.0071	1.0066	1.0060	1.0055	1.0051	1.0046	
34	0.9301	0.9343	0.9382	0.9421	0.9457	0.9493	0.9526	0.9559	0.9590	0.9621	0.9650	
	1.0112	1.0104	1.0098	1.0091	1.0086	1.0079	1.0075	1.0069	1.0064	1.0058	1.0054	
35	0.9239	0.9282	0.9323	0.9363	0.9401	0.9438	0.9473	0.9507	0.9539	0.9571	0.9601	
	1.0123	1.0115	1.0108	1.0101	1.0095	1.0088	1.0083	1.0077	1.0072	1.0066	1.0062	
36	0.9176	0.9220	0.9263	0.9304	0.9344	0.9382	0.9418	0.9453	0.9487	0.9520	0.9551	
	1.0134	1.0126	1.0119	1.0112	1.0104	1.0098	1.0092	1.0086	1.0081	1.0075	1.0070	
37	0.9111	0.9157	0.9201	0.9244	0.9285	0.9324	0.9362	0.9399	0.9434	0.9468	0.9500	
	1.0145	1.0137	1.0130	1.0122	1.0115	1.0108	1.0102	1.0095	1.0089	1.0083	1.0078	
38	0.9044	0.9092	0.9138	0.9183	0.9225	0.9266	0.9305	0.9343	0.9380	0.9414	0.9448	
	1.0158	1.0149	1.0141	1.0132	1.0125	1.0118	1.0112	1.0105	1.0098	1.0093	1.0087	
39	0.8976	0.9026	0.9074	0.9120	0.9164	0.9206	0.9247	0.9286	0.9324	0.9360	0.9395	
	1.0170	1.0161	1.0152	1.0144	1.0136	1.0129	1.0121	1.0115	1.0108	1.0102	1.0096	
40	0.8907	0.8958	0.9008	0.9056	0.9101	0.9145	0.9188	0.9228	0.9268	0.9305	0.9341	
	1.0183	1.0174	1.0164	1.0155	1.0147	1.0140	1.0131	1.0125	1.0117	1.0111	1.0105	
41	0.8835	0.8889	0.8940	0.8990	0.9037	0.9083	0.9127	0.9169	0.9210	0.9249	0.9286	
	1.0197	1.0186	1.0177	1.0167	1.0159	1.0150	1.0142	1.0135	1.0128	1.0121	1.0115	
42	0.8762	0.8818	0.8871	0.8922	0.8972	0.9019	0.9065	0.9109	0.9151	0.9191	0.9230	
	1.0211	1.0199	1.0190	1.0180	1.0170	1.0162	1.0153	1.0145	1.0138	1.0131	1.0124	
43	0.8687	0.8745	0.8800	0.8853	0.8905	0.8954	0.9001	0.9047	0.9090	0.9132	0.9173	
	1.0225	1.0214	1.0203	1.0193	1.0183	1.0174	1.0166	1.0157	1.0150	1.0142	1.0134	
44	0.8610	0.8670	0.8728	0.8783	0.8836	0.8887	0.8936	0.8983	0.9029	0.9072	0.9114	
	1.0241	1.0229	1.0217	1.0206	1.0196	1.0187	1.0177	1.0169	1.0160	1.0153	1.0145	
45	0.8531	0.8593	0.8652	0.8710	0.8765	0.8818	0.8869	0.8918	0.8966	0.9011	0.9054	
	1.0257	1.0244	1.0232	1.0221	1.0210	1.0200	1.0190	1.0181	1.0171	1.0163	1.0156	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข5 ตัวแก้สำหรับกำลังเครื่องยนต์ที่ความดันบรรยากาศ 755 mmHg

		J I S - D - 1 0 0 5					755 mmHg					
		0°	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°
15	1.0300	1.0321	1.0342	1.0361	1.0380	1.0399	1.0417	1.0434	1.0451	1.0467	1.0483	
	0.9957	0.9954	0.9950	0.9948	0.9946	0.9943	0.9940	0.9938	0.9935	0.9933	0.9931	
16	1.0255	1.0277	1.0298	1.0318	1.0338	1.0357	1.0375	1.0393	1.0410	1.0427	1.0443	
	0.9963	0.9960	0.9957	0.9954	0.9951	0.9949	0.9946	0.9944	0.9942	0.9939	0.9937	
17	1.0210	1.0232	1.0254	1.0275	1.0295	1.0315	1.0334	1.0352	1.0370	1.0387	1.0404	
	0.9969	0.9966	0.9963	0.9960	0.9957	0.9954	0.9952	0.9949	0.9947	0.9944	0.9942	
18	1.0164	1.0187	1.0209	1.0231	1.0252	1.0272	1.0292	1.0311	1.0329	1.0347	1.0364	
	0.9976	0.9973	0.9970	0.9966	0.9963	0.9961	0.9957	0.9955	0.9952	0.9950	0.9947	
19	1.0117	1.0141	1.0164	1.0187	1.0208	1.0229	1.0249	1.0269	1.0288	1.0306	1.0324	
	0.9983	0.9979	0.9976	0.9972	0.9970	0.9967	0.9964	0.9961	0.9958	0.9956	0.9953	
20	1.0070	1.0094	1.0118	1.0142	1.0164	1.0186	1.0206	1.0227	1.0246	1.0265	1.0283	
	0.9989	0.9987	0.9983	0.9979	0.9976	0.9972	0.9970	0.9967	0.9964	0.9961	0.9959	
21	1.0022	1.0047	1.0072	1.0096	1.0119	1.0142	1.0163	1.0184	1.0204	1.0223	1.0242	
	0.9996	0.9993	0.9990	0.9986	0.9983	0.9979	0.9976	0.9973	0.9970	0.9968	0.9965	
22	0.9973	1.0000	1.0025	1.0050	1.0074	1.0097	1.0119	1.0141	1.0162	1.0182	1.0201	
	1.0004	1.0000	0.9997	0.9993	0.9989	0.9986	0.9983	0.9979	0.9976	0.9973	0.9971	
23	0.9923	0.9951	0.9978	1.0003	1.0028	1.0052	1.0075	1.0097	1.0119	1.0139	1.0159	
	1.0012	1.0007	1.0003	1.0000	0.9996	0.9992	0.9989	0.9986	0.9982	0.9980	0.9977	
24	0.9873	0.9902	0.9929	0.9956	0.9982	1.0006	1.0030	1.0053	1.0075	1.0097	1.0117	
	1.0019	1.0015	1.0011	1.0007	1.0002	0.9999	0.9996	0.9992	0.9989	0.9985	0.9983	
25	0.9822	0.9852	0.9880	0.9908	0.9934	0.9960	0.9985	1.0008	1.0031	1.0053	1.0075	
	1.0027	1.0022	1.0018	1.0014	1.0010	1.0006	1.0002	0.9999	0.9996	0.9992	0.9989	
26	0.9770	0.9801	0.9831	0.9859	0.9887	0.9913	0.9939	0.9963	0.9987	1.0010	1.0032	
	1.0035	1.0030	1.0025	1.0021	1.0017	1.0013	1.0009	1.0006	1.0002	0.9998	0.9995	
27	0.9717	0.9749	0.9780	0.9809	0.9838	0.9865	0.9892	0.9917	0.9942	0.9965	0.9988	
	1.0044	1.0038	1.0033	1.0029	1.0024	1.0021	1.0016	1.0013	1.0008	1.0005	1.0002	
28	0.9663	0.9696	0.9728	0.9759	0.9788	0.9817	0.9844	0.9871	0.9896	0.9920	0.9944	
	1.0052	1.0047	1.0042	1.0037	1.0033	1.0028	1.0024	1.0019	1.0016	1.0012	1.0008	
29	0.9608	0.9643	0.9676	0.9708	0.9738	0.9768	0.9796	0.9823	0.9850	0.9875	0.9899	
	1.0061	1.0055	1.0050	1.0044	1.0040	1.0035	1.0031	1.0027	1.0022	1.0019	1.0015	
30	0.9552	0.9588	0.9622	0.9655	0.9687	0.9718	0.9747	0.9775	0.9802	0.9829	0.9854	
	1.0070	1.0064	1.0059	1.0054	1.0048	1.0043	1.0039	1.0034	1.0030	1.0026	1.0022	
31	0.9495	0.9532	0.9568	0.9602	0.9635	0.9667	0.9697	0.9726	0.9755	0.9782	0.9808	
	1.0080	1.0073	1.0067	1.0062	1.0056	1.0051	1.0047	1.0042	1.0037	1.0033	1.0029	
32	0.9437	0.9475	0.9512	0.9548	0.9582	0.9615	0.9646	0.9677	0.9706	0.9734	0.9761	
	1.0089	1.0083	1.0077	1.0070	1.0065	1.0059	1.0055	1.0049	1.0045	1.0041	1.0037	
33	0.9378	0.9417	0.9456	0.9492	0.9527	0.9562	0.9595	0.9626	0.9656	0.9686	0.9714	
	1.0098	1.0093	1.0085	1.0080	1.0074	1.0068	1.0063	1.0058	1.0053	1.0048	1.0044	
34	0.9317	0.9358	0.9398	0.9436	0.9473	0.9508	0.9542	0.9575	0.9606	0.9636	0.9665	
	1.0109	1.0102	1.0095	1.0089	1.0083	1.0077	1.0071	1.0066	1.0061	1.0056	1.0052	
35	0.9255	0.9298	0.9339	0.9378	0.9417	0.9453	0.9488	0.9522	0.9555	0.9586	0.9616	
	1.0120	1.0112	1.0105	1.0099	1.0092	1.0086	1.0081	1.0075	1.0069	1.0064	1.0060	
36	0.9191	0.9236	0.9277	0.9320	0.9359	0.9397	0.9434	0.9469	0.9503	0.9535	0.9566	
	1.0131	1.0123	1.0116	1.0108	1.0102	1.0096	1.0089	1.0083	1.0077	1.0073	1.0068	
37	0.9126	0.9172	0.9217	0.9259	0.9300	0.9340	0.9378	0.9414	0.9449	0.9483	0.9515	
	1.0143	1.0135	1.0126	1.0120	1.0113	1.0105	1.0099	1.0093	1.0087	1.0081	1.0076	
38	0.9060	0.9108	0.9154	0.9198	0.9241	0.9281	0.9321	0.9359	0.9395	0.9430	0.9464	
	1.0154	1.0146	1.0137	1.0130	1.0122	1.0116	1.0108	1.0102	1.0096	1.0090	1.0084	
39	0.8992	0.9041	0.9089	0.9135	0.9179	0.9222	0.9263	0.9302	0.9340	0.9376	0.9411	
	1.0167	1.0158	1.0149	1.0141	1.0134	1.0125	1.0118	1.0112	1.0105	1.0099	1.0093	
40	0.8922	0.8974	0.9023	0.9071	0.9117	0.9161	0.9203	0.9244	0.9283	0.9321	0.9357	
	1.0180	1.0170	1.0161	1.0152	1.0144	1.0136	1.0129	1.0122	1.0115	1.0108	1.0102	
41	0.8851	0.8904	0.8956	0.9005	0.9053	0.9098	0.9142	0.9185	0.9225	0.9264	0.9302	
	1.0193	1.0183	1.0173	1.0165	1.0155	1.0148	1.0140	1.0132	1.0125	1.0118	1.0112	
42	0.8777	0.8833	0.8886	0.8938	0.8987	0.9034	0.9080	0.9124	0.9166	0.9207	0.9246	
	1.0208	1.0197	1.0187	1.0177	1.0168	1.0160	1.0151	1.0143	1.0136	1.0128	1.0121	
43	0.8702	0.8760	0.8815	0.8869	0.8920	0.8969	0.9016	0.9062	0.9106	0.9148	0.9188	
	1.0223	1.0211	1.0201	1.0190	1.0180	1.0171	1.0163	1.0154	1.0146	1.0138	1.0132	
44	0.8625	0.8685	0.8743	0.8798	0.8851	0.8902	0.8951	0.8998	0.9044	0.9088	0.9129	
	1.0238	1.0226	1.0214	1.0203	1.0193	1.0184	1.0175	1.0166	1.0157	1.0149	1.0143	
45	0.8546	0.8608	0.8668	0.8725	0.8781	0.8834	0.8885	0.8934	0.8981	0.9026	0.9069	
	1.0254	1.0241	1.0229	1.0218	1.0206	1.0196	1.0186	1.0177	1.0169	1.0161	1.0153	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข6 ตัวแก้สำหรับกำลังเครื่องยนต์ที่ความดันบรรยากาศ 756 mmHg

	J I S - D - 1 0 0 5										
	0°	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°
15	1.0316	1.0337	1.0358	1.0378	1.0397	1.0415	1.0433	1.0450	1.0467	1.0483	1.0499
	0.9955	0.9952	0.9948	0.9945	0.9943	0.9941	0.9938	0.9936	0.9933	0.9932	0.9929
16	1.0271	1.0293	1.0314	1.0335	1.0354	1.0373	1.0392	1.0409	1.0427	1.0443	1.0460
	0.9961	0.9958	0.9955	0.9951	0.9949	0.9947	0.9943	0.9942	0.9939	0.9937	0.9934
17	1.0226	1.0248	1.0270	1.0291	1.0311	1.0331	1.0350	1.0368	1.0386	1.0403	1.0420
	0.9967	0.9964	0.9961	0.9958	0.9955	0.9952	0.9950	0.9947	0.9945	0.9942	0.9940
18	1.0180	1.0203	1.0225	1.0247	1.0268	1.0288	1.0308	1.0327	1.0345	1.0363	1.0380
	0.9973	0.9970	0.9968	0.9964	0.9961	0.9959	0.9955	0.9953	0.9950	0.9948	0.9945
19	1.0133	1.0157	1.0180	1.0203	1.0224	1.0245	1.0265	1.0285	1.0304	1.0322	1.0340
	0.9980	0.9977	0.9974	0.9970	0.9968	0.9965	0.9962	0.9959	0.9956	0.9954	0.9951
20	1.0086	1.0110	1.0135	1.0158	1.0180	1.0202	1.0223	1.0243	1.0262	1.0281	1.0299
	0.9987	0.9984	0.9980	0.9977	0.9974	0.9970	0.9967	0.9964	0.9962	0.9959	0.9957
21	1.0037	1.0063	1.0088	1.0112	1.0135	1.0158	1.0179	1.0200	1.0220	1.0239	1.0258
	0.9995	0.9991	0.9987	0.9984	0.9980	0.9977	0.9974	0.9971	0.9968	0.9966	0.9963
22	0.9989	1.0016	1.0041	1.0066	1.0090	1.0113	1.0135	1.0157	1.0178	1.0198	1.0217
	1.0001	0.9997	0.9994	0.9990	0.9987	0.9983	0.9980	0.9977	0.9974	0.9971	0.9968
23	0.9939	0.9967	0.9994	1.0019	1.0044	1.0068	1.0091	1.0113	1.0135	1.0155	1.0175
	1.0009	1.0005	1.0001	0.9997	0.9994	0.9990	0.9987	0.9984	0.9980	0.9978	0.9975
24	0.9889	0.9918	0.9945	0.9972	0.9998	1.0022	1.0046	1.0069	1.0091	1.0113	1.0133
	1.0017	1.0012	1.0008	1.0004	1.0000	0.9997	0.9993	0.9990	0.9987	0.9983	0.9981
25	0.9838	0.9868	0.9896	0.9924	0.9950	0.9976	1.0001	1.0024	1.0047	1.0069	1.0091
	1.0024	1.0020	1.0016	1.0011	1.0008	1.0003	0.9999	0.9997	0.9993	0.9990	0.9986
26	0.9786	0.9817	0.9846	0.9875	0.9902	0.9929	0.9954	0.9979	1.0003	1.0025	1.0048
	1.0032	1.0027	1.0024	1.0019	1.0015	1.0011	1.0007	1.0003	0.9999	0.9997	0.9992
27	0.9733	0.9765	0.9796	0.9825	0.9854	0.9881	0.9908	0.9933	0.9957	0.9981	1.0004
	1.0041	1.0036	1.0031	1.0027	1.0022	1.0018	1.0013	1.0010	1.0007	1.0003	0.9999
28	0.9679	0.9712	0.9744	0.9775	0.9804	0.9833	0.9860	0.9886	0.9912	0.9936	0.9960
	1.0049	1.0044	1.0039	1.0034	1.0030	1.0025	1.0021	1.0017	1.0013	1.0010	1.0006
29	0.9624	0.9658	0.9692	0.9723	0.9754	0.9783	0.9812	0.9839	0.9865	0.9891	0.9915
	1.0058	1.0053	1.0047	1.0043	1.0037	1.0033	1.0028	1.0024	1.0021	1.0016	1.0013
30	0.9568	0.9604	0.9638	0.9671	0.9703	0.9733	0.9763	0.9791	0.9818	0.9844	0.9870
	1.0067	1.0061	1.0056	1.0051	1.0045	1.0041	1.0036	1.0032	1.0028	1.0024	1.0019
31	0.9511	0.9548	0.9583	0.9618	0.9651	0.9682	0.9713	0.9742	0.9770	0.9797	0.9824
	1.0077	1.0070	1.0065	1.0059	1.0054	1.0049	1.0044	1.0039	1.0035	1.0031	1.0026
32	0.9453	0.9491	0.9527	0.9563	0.9598	0.9630	0.9662	0.9692	0.9722	0.9750	0.9777
	1.0086	1.0080	1.0074	1.0068	1.0062	1.0058	1.0052	1.0048	1.0042	1.0038	1.0034
33	0.9393	0.9433	0.9471	0.9508	0.9543	0.9577	0.9610	0.9642	0.9672	0.9701	0.9729
	1.0096	1.0089	1.0083	1.0077	1.0072	1.0066	1.0061	1.0055	1.0051	1.0046	1.0042
34	0.9332	0.9374	0.9413	0.9452	0.9488	0.9524	0.9558	0.9590	0.9622	0.9652	0.9681
	1.0107	1.0099	1.0093	1.0086	1.0081	1.0074	1.0068	1.0063	1.0058	1.0053	1.0049
35	0.9270	0.9313	0.9354	0.9394	0.9432	0.9469	0.9504	0.9538	0.9570	0.9602	0.9632
	1.0117	1.0110	1.0103	1.0096	1.0090	1.0083	1.0078	1.0072	1.0067	1.0061	1.0057
36	0.9207	0.9251	0.9294	0.9335	0.9375	0.9413	0.9449	0.9484	0.9518	0.9551	0.9582
	1.0128	1.0121	1.0113	1.0106	1.0099	1.0092	1.0087	1.0081	1.0075	1.0070	1.0065
37	0.9142	0.9188	0.9232	0.9275	0.9316	0.9355	0.9393	0.9430	0.9465	0.9498	0.9531
	1.0139	1.0131	1.0124	1.0116	1.0109	1.0103	1.0096	1.0090	1.0084	1.0079	1.0073
38	0.9075	0.9123	0.9169	0.9213	0.9256	0.9297	0.9336	0.9374	0.9410	0.9445	0.9479
	1.0152	1.0143	1.0135	1.0128	1.0120	1.0112	1.0106	1.0099	1.0094	1.0088	1.0082
39	0.9007	0.9057	0.9105	0.9150	0.9195	0.9237	0.9277	0.9317	0.9355	0.9391	0.9426
	1.0164	1.0155	1.0146	1.0139	1.0130	1.0123	1.0116	1.0109	1.0103	1.0097	1.0091
40	0.8937	0.8989	0.9038	0.9086	0.9132	0.9176	0.9218	0.9259	0.9298	0.9336	0.9372
	1.0177	1.0167	1.0159	1.0150	1.0142	1.0134	1.0127	1.0119	1.0113	1.0106	1.0100
41	0.8866	0.8919	0.8971	0.9020	0.9068	0.9114	0.9158	0.9200	0.9240	0.9279	0.9317
	1.0190	1.0181	1.0171	1.0162	1.0153	1.0144	1.0137	1.0129	1.0122	1.0116	1.0109
42	0.8793	0.8848	0.8902	0.8953	0.9002	0.9050	0.9095	0.9139	0.9181	0.9222	0.9261
	1.0204	1.0194	1.0183	1.0174	1.0165	1.0156	1.0148	1.0140	1.0133	1.0126	1.0119
43	0.8717	0.8775	0.8831	0.8884	0.8935	0.8984	0.9032	0.9077	0.9121	0.9163	0.9203
	1.0220	1.0208	1.0197	1.0187	1.0178	1.0169	1.0159	1.0152	1.0143	1.0136	1.0129
44	0.8640	0.8700	0.8758	0.8813	0.8866	0.8917	0.8966	0.9014	0.9059	0.9103	0.9145
	1.0235	1.0223	1.0211	1.0201	1.0191	1.0181	1.0172	1.0163	1.0155	1.0147	1.0139
45	0.8561	0.8624	0.8683	0.8741	0.8796	0.8849	0.8900	0.8949	0.8996	0.9041	0.9085
	1.0251	1.0237	1.0226	1.0214	1.0204	1.0193	1.0184	1.0175	1.0166	1.0158	1.0150

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


ตารางที่ ข7 ตัวแก้สำหรับกำลังเครื่องยนต์ที่ความดันบรรยากาศ 757 mmHg

	J I S - D - 1 0 0 5										
	757 mmHg										
	0°	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°
15	1.0333	1.0354	1.0374	1.0394	1.0413	1.0431	1.0449	1.0466	1.0483	1.0499	1.0515
	0.9952	0.9949	0.9946	0.9943	0.9941	0.9939	0.9936	0.9934	0.9932	0.9930	0.9927
16	1.0287	1.0309	1.0330	1.0351	1.0370	1.0389	1.0408	1.0426	1.0443	1.0460	1.0476
	0.9959	0.9956	0.9953	0.9949	0.9947	0.9945	0.9941	0.9939	0.9937	0.9934	0.9932
17	1.0242	1.0264	1.0286	1.0307	1.0328	1.0347	1.0366	1.0384	1.0402	1.0419	1.0436
	0.9965	0.9962	0.9959	0.9956	0.9952	0.9950	0.9948	0.9945	0.9943	0.9940	0.9938
18	1.0196	1.0219	1.0242	1.0263	1.0284	1.0304	1.0324	1.0343	1.0361	1.0379	1.0396
	0.9971	0.9968	0.9964	0.9962	0.9959	0.9956	0.9953	0.9951	0.9948	0.9946	0.9943
19	1.0149	1.0173	1.0196	1.0219	1.0240	1.0261	1.0282	1.0301	1.0320	1.0338	1.0356
	0.9978	0.9975	0.9972	0.9968	0.9965	0.9962	0.9959	0.9957	0.9954	0.9951	0.9949
20	1.0102	1.0127	1.0151	1.0174	1.0196	1.0218	1.0239	1.0259	1.0278	1.0297	1.0315
	0.9985	0.9981	0.9977	0.9974	0.9972	0.9968	0.9965	0.9962	0.9960	0.9957	0.9955
21	1.0053	1.0079	1.0104	1.0128	1.0151	1.0174	1.0195	1.0216	1.0236	1.0256	1.0274
	0.9993	0.9989	0.9985	0.9981	0.9978	0.9974	0.9972	0.9969	0.9966	0.9962	0.9961
22	1.0005	1.0031	1.0057	1.0082	1.0106	1.0129	1.0151	1.0173	1.0194	1.0214	1.0233
	0.9999	0.9996	0.9992	0.9988	0.9984	0.9981	0.9978	0.9975	0.9971	0.9968	0.9966
23	0.9955	0.9983	1.0010	1.0035	1.0060	1.0084	1.0107	1.0129	1.0151	1.0171	1.0191
	1.0007	1.0002	0.9998	0.9995	0.9991	0.9988	0.9984	0.9981	0.9977	0.9975	0.9972
24	0.9905	0.9934	0.9961	0.9988	1.0013	1.0038	1.0062	1.0085	1.0107	1.0128	1.0149
	1.0014	1.0010	1.0006	1.0002	0.9998	0.9994	0.9991	0.9987	0.9984	0.9982	0.9978
25	0.9854	0.9883	0.9912	0.9940	0.9966	0.9992	1.0016	1.0040	1.0063	1.0085	1.0107
	1.0022	1.0018	1.0013	1.0009	1.0005	1.0001	0.9998	0.9994	0.9991	0.9988	0.9984
26	0.9802	0.9832	0.9862	0.9891	0.9918	0.9945	0.9970	0.9995	1.0018	1.0041	1.0063
	1.0030	1.0026	1.0021	1.0016	1.0013	1.0008	1.0005	1.0001	0.9998	0.9994	0.9991
27	0.9749	0.9781	0.9811	0.9841	0.9869	0.9897	0.9923	0.9949	0.9973	0.9997	1.0020
	1.0038	1.0033	1.0029	1.0024	1.0020	1.0015	1.0012	1.0007	1.0004	1.0000	0.9997
28	0.9695	0.9728	0.9760	0.9790	0.9820	0.9848	0.9876	0.9902	0.9928	0.9952	0.9976
	1.0047	1.0042	1.0036	1.0032	1.0027	1.0023	1.0018	1.0015	1.0010	1.0007	1.0003
29	0.9640	0.9674	0.9707	0.9739	0.9770	0.9799	0.9827	0.9855	0.9881	0.9906	0.9931
	1.0055	1.0050	1.0045	1.0040	1.0035	1.0031	1.0027	1.0022	1.0018	1.0014	1.0010
30	0.9584	0.9619	0.9654	0.9687	0.9718	0.9749	0.9777	0.9807	0.9834	0.9860	0.9885
	1.0064	1.0059	1.0053	1.0048	1.0044	1.0038	1.0034	1.0029	1.0025	1.0021	1.0018
31	0.9527	0.9564	0.9599	0.9633	0.9666	0.9698	0.9728	0.9758	0.9786	0.9813	0.9839
	1.0074	1.0067	1.0062	1.0057	1.0052	1.0046	1.0042	1.0037	1.0032	1.0028	1.0025
32	0.9468	0.9507	0.9543	0.9579	0.9613	0.9646	0.9678	0.9708	0.9737	0.9765	0.9792
	1.0084	1.0077	1.0072	1.0065	1.0060	1.0055	1.0049	1.0045	1.0040	1.0036	1.0032
33	0.9409	0.9448	0.9487	0.9524	0.9559	0.9593	0.9626	0.9657	0.9688	0.9717	0.9745
	1.0093	1.0087	1.0080	1.0074	1.0069	1.0063	1.0058	1.0053	1.0048	1.0043	1.0039
34	0.9348	0.9389	0.9429	0.9467	0.9504	0.9539	0.9573	0.9606	0.9637	0.9667	0.9696
	1.0104	1.0097	1.0090	1.0084	1.0078	1.0072	1.0066	1.0061	1.0056	1.0052	1.0047
35	0.9286	0.9328	0.9370	0.9409	0.9447	0.9484	0.9519	0.9553	0.9586	0.9617	0.9647
	1.0114	1.0108	1.0100	1.0094	1.0088	1.0081	1.0076	1.0070	1.0064	1.0059	1.0055
36	0.9222	0.9267	0.9309	0.9350	0.9390	0.9428	0.9465	0.9500	0.9533	0.9566	0.9597
	1.0126	1.0117	1.0111	1.0104	1.0097	1.0090	1.0084	1.0078	1.0073	1.0068	1.0063
37	0.9157	0.9203	0.9248	0.9290	0.9331	0.9371	0.9409	0.9445	0.9480	0.9514	0.9546
	1.0137	1.0129	1.0121	1.0114	1.0107	1.0100	1.0093	1.0088	1.0082	1.0076	1.0071
38	0.9090	0.9138	0.9184	0.9229	0.9271	0.9312	0.9352	0.9389	0.9426	0.9461	0.9494
	1.0150	1.0141	1.0133	1.0124	1.0117	1.0110	1.0103	1.0097	1.0090	1.0085	1.0080
39	0.9022	0.9072	0.9120	0.9166	0.9210	0.9252	0.9293	0.9333	0.9370	0.9407	0.9441
	1.0162	1.0152	1.0144	1.0135	1.0128	1.0121	1.0114	1.0106	1.0100	1.0093	1.0089
40	0.8953	0.9004	0.9054	0.9101	0.9147	0.9191	0.9234	0.9274	0.9314	0.9351	0.9387
	1.0174	1.0165	1.0155	1.0148	1.0139	1.0131	1.0123	1.0117	1.0109	1.0104	1.0098
41	0.8881	0.8935	0.8986	0.9036	0.9083	0.9129	0.9173	0.9215	0.9256	0.9295	0.9332
	1.0188	1.0177	1.0168	1.0158	1.0150	1.0142	1.0134	1.0127	1.0119	1.0113	1.0107
42	0.8808	0.8863	0.8917	0.8968	0.9017	0.9065	0.9111	0.9154	0.9197	0.9237	0.9276
	1.0201	1.0191	1.0181	1.0171	1.0163	1.0154	1.0145	1.0138	1.0130	1.0123	1.0116
43	0.8733	0.8790	0.8846	0.8899	0.8950	0.8999	0.9047	0.9092	0.9136	0.9178	0.9219
	1.0216	1.0205	1.0194	1.0184	1.0175	1.0166	1.0157	1.0149	1.0141	1.0134	1.0126
44	0.8656	0.8715	0.8773	0.8828	0.8881	0.8932	0.8982	0.9029	0.9074	0.9118	0.9160
	1.0231	1.0220	1.0208	1.0198	1.0188	1.0179	1.0168	1.0160	1.0152	1.0144	1.0136
45	0.8577	0.8639	0.8698	0.8756	0.8811	0.8864	0.8915	0.8964	0.9011	0.9056	0.9100
	1.0247	1.0234	1.0223	1.0211	1.0201	1.0191	1.0181	1.0172	1.0163	1.0156	1.0147

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



การประชุมวิชาการ
เครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกล
แห่งประเทศไทย ครั้งที่ ๑๗
The 17th Conference on Mechanical Engineering Network of Thailand

๑๗ ตุลาคม ๒๕๔๖
October 15-17, 2003

ณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
กรุงเทพฯ - ปรจันบุรี
KMITNB Bangkok - Prachinburi

บทความฉบับสมบูรณ์
Proceedings

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้น้ำมันชีวภาพที่สกัดจากกากของเสียในเครื่องยนต์ดีเซล

USING OF WASTE EXTRACTED BIO FUEL IN A DIESEL ENGINE

กฤษณ์ เรืองพุงศักดิ์ จารุวัตร เจริญสุข
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เลขที่ 3 ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520
โทร 0-2326-4197 ต่อ 104 โทรสาร 0-2326-9053 E-mail : kcjaruw@kmitl.ac.th

Krit Ruengpayungsak Jaruwat Charoensuk

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology Lardkrabang

3 Chalongkrung Rd. Lardkrabang Bangkok 10520

Tel: 0-2326-4197 Ext. 104 Fax: 0-2326-9053 E-mail : kcjaruw@kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

ปัจจุบันน้ำมันเชื้อเพลิงซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดพลังงานมีอัตราการใช้เพิ่มขึ้นทุกปีและเป็นพลังงานประเภทที่ใช้แล้วหมดไปจึงจำเป็นต้องหาแหล่งพลังงานทดแทน น้ำมันชีวภาพสามารถนำมาใช้ทดแทนน้ำมันเชื้อเพลิงทั่วไปได้กำลังได้รับการสนับสนุนจากกรมควบคุมมลพิษและมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร โดยร่วมกันพัฒนาเครื่องแปรรูปกากตะกอนของเสียที่ได้จากโรงบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมให้เป็นน้ำมันชีวภาพ ในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอการทดลองใช้น้ำมันชีวภาพกับเครื่องยนต์ดีเซล ขนาด 7.7 กิโลวัตต์ 1 กระบอกสูบ เป็นเครื่องยนต์ที่ผลิตจากโรงงานโดยไม่ได้ปรับแต่งแก้ไข โดยทำการศึกษาการใช้ น้ำมันชีวภาพโดยตรง และศึกษาส่วนผสมระหว่างน้ำมันดีเซลกับน้ำมันชีวภาพที่มีผลต่อสมรรถนะ ได้แก่ แรงบิดเครื่องยนต์ กำลังเครื่องยนต์ อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก และค่าควันดำของไอเสียจากการทดลอง ผลปรากฏว่า เครื่องยนต์สามารถทำงานได้อย่างปกติ แรงบิดเครื่องยนต์ และกำลังเครื่องยนต์เพิ่มขึ้นในทุกอัตราส่วนผสม และทุกความเร็วรอบเครื่องยนต์โดยมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเมื่อเพิ่มสัดส่วนของน้ำมันชีวภาพ หากแต่พบว่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก และค่าควันดำของไอเสียสูงขึ้น เมื่อเพิ่มสัดส่วนของน้ำมันชีวภาพ

Abstract

In this paper the bio fuel developed by joined corporation between the Pollution Control Department and Mahanakorn University of Technology was used as an alternative energy resource for a genuine 7.7 kilowatts- single cylinder small diesel engine. Various compositions between conventional and alternative fuels were employed ranging from 0 to 100 % of bio fuel. Engine performances such as torque, power, specific fuel

consumption smoke and exhaust gas temperature were investigated at various engine speed. The results suggested a stable engine performance with bio fuel as well as higher torque and power output due to higher specific fuel consumption as the composition of bio fuel increases.

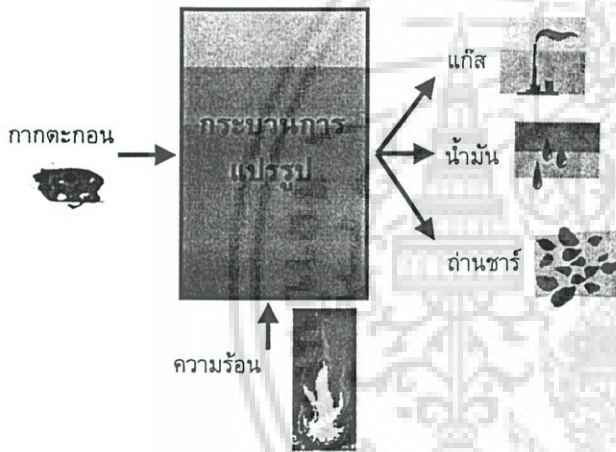
1. บทนำ

ในยุคปัจจุบันมีการงานวิจัยที่มุ่งเน้นหาพลังงานทดแทนน้ำมันเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ น้ำมันดีเซลก็เป็นเชื้อเพลิงหนึ่งที่ต้องการเชื้อเพลิงมาทดแทน อันเนื่องมาจากแหล่งน้ำมันปิโตรเลียมเหลืออยู่ลงทุกวัน ประมาณการว่าหากอัตราการบริโภคเพิ่มขึ้นปีละ 5%ทุกปี จะทำให้น้ำมันปิโตรเลียมหมดภายใน 67-116 ปี[1] และประเทศไทยยังต้องนำเข้าน้ำมันปิโตรเลียมจากต่างประเทศในปริมาณมากส่งผลให้น้ำมันสำเร็จรูปอย่างน้ำมันดีเซลมีราคาสูงขึ้น ในราคาที่สูงขึ้นนี้มีผลกระทบต่อองค์กร และหน่วยงานต่างๆ ทั้งทางตรงและทางอ้อม งานวิจัยน้ำมันชีวภาพเพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทนจึงได้ริเริ่มขึ้นโดยการสนับสนุนจากกรมควบคุมมลพิษ และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร โดยร่วมกันพัฒนาเครื่องแปรรูปของเสียจากกากตะกอนที่ได้จากระบบบำบัดน้ำเสียซึ่งเป็นการอินทรีย์จากโรงงานอุตสาหกรรมซึ่งมีคุณสมบัติในการแปรรูปเป็นพลังงานได้ดีให้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิง โดยในส่วนของกรุงเทพมหานครพบว่ามีการกากตะกอนมากกว่าวันละ 100 ตันแต่เดิมกรุงเทพมหานครจะต้องนำกากตะกอนเหล่านี้ไปฝังกลบ ซึ่งต้องใช้งบประมาณในการกำจัดมาก และมักจะได้รับต่อต้านจากประชาชนในพื้นที่ งานวิจัยนี้จึงเป็นการลดของเสียจากอุตสาหกรรม และได้น้ำมันเชื้อเพลิงด้วย ในงานวิจัยนี้ได้นำน้ำมันชีวภาพที่ได้มาทำการทดลองใช้แบบ 100% และแบบผสมระหว่างน้ำมันชีวภาพกับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วนต่างๆ มาใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็ก เพื่อทดสอบถึงผลกระทบของการใช้น้ำมันชีวภาพและสมรรถนะของเครื่องยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. กรรมวิธีการผลิตและคุณลักษณะน้ำมันชีวภาพ

นากากตะกอนที่ผ่านกระบวนการบำบัดของโรงบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมที่ผ่านการตากแห้งมาผ่านกระบวนการให้ความร้อนโดยเครื่องปฏิกรณ์ไฟโรไลซิส โดยอาศัยหลักการของการเผาไหม้ที่ไม่ใช้แก๊สออกซิเจน[2] ทั้งนี้เนื่องจากออกซิเจนจะทำปฏิกิริยากับองค์ประกอบในวัตถุดิบบางชนิดซึ่งจะเกิดเป็นแก๊สที่เป็นมลพิษทางอากาศขึ้นได้ เมื่อกากตะกอนได้รับความร้อนอย่างต่อเนื่องจนมีอุณหภูมิประมาณ 400 องศาเซลเซียสขึ้นไป จะมีการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีจนได้ผลิตภัณฑ์เป็นน้ำมัน เรียกว่าน้ำมันที่ได้จากกระบวนการนี้ว่าน้ำมันชีวภาพ ซึ่งมีคุณภาพและให้พลังงานใกล้เคียงน้ำมันเตา ทั้งคุณสมบัติทางด้านความหนืด จุดวาบไฟ และเมื่อนำน้ำมันชีวภาพที่ได้ไปผ่านกระบวนการกลั่นให้บริสุทธิ์จะทำให้ได้น้ำมันที่มีคุณภาพใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล ในการแปรรูปหากใช้กากตะกอน 100% เมื่อเทียบค่า 1 กิโลกรัมจะได้ไขมัน 60% ส่วน 38% เป็นกากตะกอนเมื่อนำไปผ่านปฏิกิริยาเร่งจะผลิตเป็นถ่านกัมมันต์หรือถ่านชาร์ซึ่งใช้ในอุตสาหกรรมกำจัดสีและกลิ่น



รูปที่ 1 แสดงกระบวนการแปรรูปของเสียเป็นน้ำมันชีวภาพ

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบคุณสมบัติของน้ำมันชีวภาพ และน้ำมันดีเซล

คุณสมบัติ	น้ำมันชีวภาพ	น้ำมันดีเซล
ความถ่วงจำเพาะ		
ASTM D1298	0.90-1.20	0.820-0.880
จุดวาบไฟ (°C)		
ASTM D93	36-38	66
ค่าความหนืด (cSt)		
ASTM D445	13-15 ที่ 40 °C	1.8-5.0 ที่ 40 °C
การกลั่น: (Distillation)		
- 50% ASTM D86 at	270-275	270
- 90% ASTM D86 at	-	ไม่เกิน 370
ค่าความร้อน (MJ/kg)	38-40	44.8

3. การทดลอง

เครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดลองยี่ห้อ ยันมาร์ รุ่น TF105-LM เนื่องจากเป็นเครื่องยนต์ที่ผ่านการใช้งานมาแล้ว จึงได้ทำการตรวจเช็คสภาพ และทำการปรับตั้งให้ได้ตามค่ามาตรฐานตามคู่มือบริการที่ทางบริษัทกำหนดก่อนการทดลอง เช่น ระยะเวลาวาล์ว องศาการฉีดน้ำมัน เชื้อเพลิง แรงดันการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง เป็นต้น

การทดลองใช้น้ำมันเชื้อเพลิง 2 ชนิด คือ น้ำมันดีเซล และน้ำมันชีวภาพมาผสมกันโดยใช้น้ำมันดีเซล 80%, 60%, 40%, 20% และ 0% ส่วนผสมที่เหลือเป็นน้ำมันชีวภาพ เพื่อทำการทดลองเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล 100% ค่าที่ทำการศึกษาได้แก่ แรงบิดเครื่องยนต์, กำลังเครื่องยนต์, อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง, ค่าควันท่อของไอเสีย และอุณหภูมิของไอเสีย เพื่อเป็นศึกษาข้อมูลเบื้องต้นของการใช้น้ำมันชีวภาพที่ได้จากเครื่องปฏิกรณ์ไฟโรไลซิสก่อนทำการกลั่นและปรับปรุงคุณภาพน้ำมัน ซึ่งขั้นตอนการกลั่นและปรับปรุงคุณภาพน้ำมันชีวภาพจะทำให้ต้นทุนการผลิตน้ำมันชีวภาพนั้นสูงขึ้น อีกนัยหนึ่งถือเป็นการเก็บผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลองใช้เป็นข้อมูลในการปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันชีวภาพ

3.1 ขั้นตอนการทดลอง

วัดค่าความถ่วงจำเพาะเชื้อเพลิงในแต่ละอัตราส่วนผสมของน้ำมันเชื้อเพลิงก่อนการทดลองเพื่อให้ได้ค่าความถ่วงจำเพาะ ณ อุณหภูมิที่กำลังทำการทดลอง แสดงค่าความถ่วงจำเพาะในตารางที่ 3

วัดค่าความดันบรรยากาศ ความชื้น และอุณหภูมิ ณ ขณะทำการทดลองเพื่อใช้หาตัวแก้สำหรับกำลังเครื่องยนต์

ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงในอัตราส่วนผสมที่ต้องการทดลองอุ่นเครื่องยนต์ให้อุณหภูมิน้ำมันเครื่องเท่ากับ 90 องศาเซลเซียสจึงเริ่มเก็บผลการทดลอง

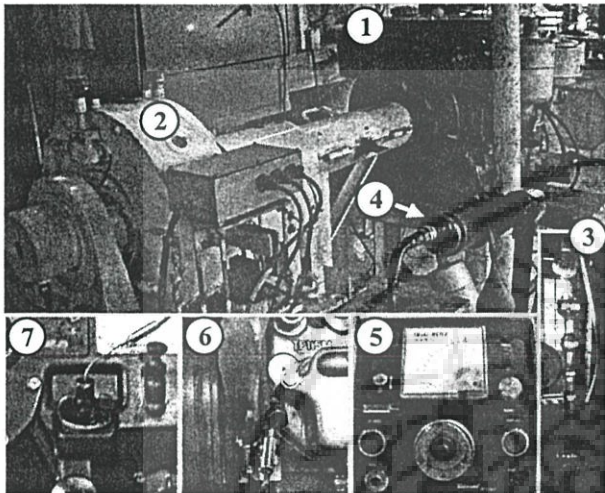
ตารางที่ 2 ข้อมูลจำเพาะของเครื่องยนต์

แบบ	TF105-LM
ชนิด	เครื่องยนต์ดีเซล 4 จังหวะ
ระบบเผาไหม้	มีห้องเผาไหม้ช่วย
จำนวนลูกสูบ	1
ความโตกระบอกสูบ x ช่วงชัก	88 x 96 mm
ความจุ	583 cc
กำลังม้าสูงสุด	7.7/2400 kW/rpm
ความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง	272 g/kW.hr
อัตราส่วนการอัด	20.3
ปั๊มเชื้อเพลิง	แบบปั๊มมือ
ระยะเวลาการฉีดน้ำมัน	16.0° ก่อนศูนย์ตายบน
แรงดันการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง	160 kg/cm ²
ระบบระบายความร้อน	หม้อน้ำรังผึ้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3 ค่าความถ่วงจำเพาะน้ำมันเชื้อเพลิงที่อัตราส่วนผสมต่างๆ

Fuel	Specific Gravity
Diesel 100% + Bio Fuel 0%	0.825
Diesel 80% + Bio Fuel 20%	0.835
Diesel 60% + Bio Fuel 40%	0.850
Diesel 40% + Bio Fuel 60%	0.895
Diesel 20% + Bio Fuel 80%	0.920
Diesel 0% + Bio Fuel 100%	0.950

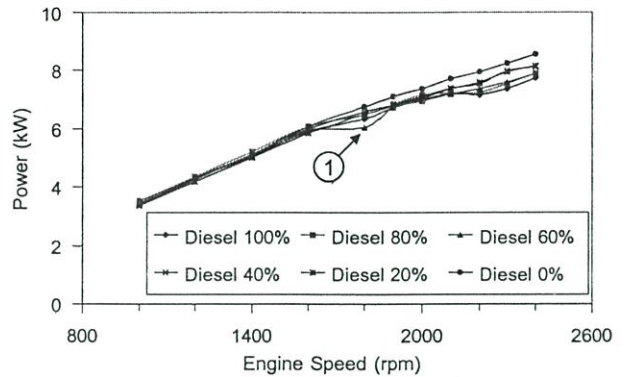


รูปที่ 2 แสดงอุปกรณ์การทดลองและตำแหน่งการติดตั้ง

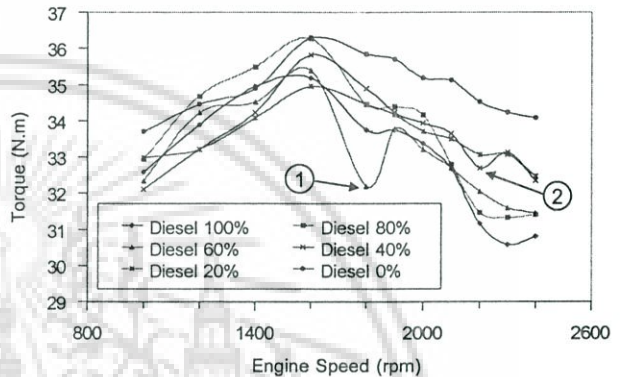
- หมายเลข 1 เครื่องยนต์
- หมายเลข 2 ไดนาโมมิเตอร์
- หมายเลข 3 บิวเรตต์สำหรับวัดอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง
- หมายเลข 4 อุปกรณ์วัดควันท้ายของไอเสีย
- หมายเลข 5 อุปกรณ์แสดงค่าควันท้ายของไอเสีย
- หมายเลข 6 เทอร์โมคัปเปิลสำหรับวัดอุณหภูมิไอเสีย
- หมายเลข 7 เทอร์โมคัปเปิลสำหรับวัดอุณหภูมิน้ำมันเครื่อง

4. ผลการทดลอง

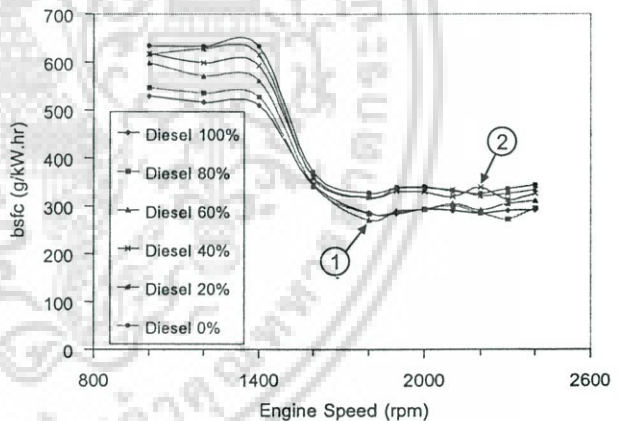
พิจารณาจากรูปที่ 3 และรูปที่ 4 แสดงค่ากำลัง และแรงบิดเปรียบเทียบกับความเร็วรอบเครื่องยนต์ที่อัตราส่วนผสมน้ำมันต่างๆ จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าการใช้น้ำมันชีวภาพโดยตรง 100% จะให้กำลังเครื่องยนต์สูงสุด และการใช้น้ำมันชีวภาพผสมกับน้ำมันดีเซลนั้นทำให้กำลัง และแรงบิดของเครื่องยนต์ที่ได้เพิ่มมากขึ้นทุกความเร็วรอบตามอัตราส่วนผสมของน้ำมันชีวภาพที่มากขึ้น หากแต่พบว่ามีบางอัตราส่วนผสมเชื้อเพลิง และความเร็วรอบเครื่องยนต์ที่ให้กำลังน้อยกว่าการใช้น้ำมันดีเซล 100% ที่เห็นชัดเจน การใช้น้ำมันดีเซล 60% ที่ 1800 rpm พิจารณาร่วมกับรูปที่ 5 ในตำแหน่งหมายเลข 1 นั้นมีสาเหตุมาจากการจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงน้อยจึงทำให้กำลังและแรงบิดเครื่องยนต์ลดลงแสดงในตำแหน่งหมายเลข 1 ของรูปที่ 3 และรูปที่ 4



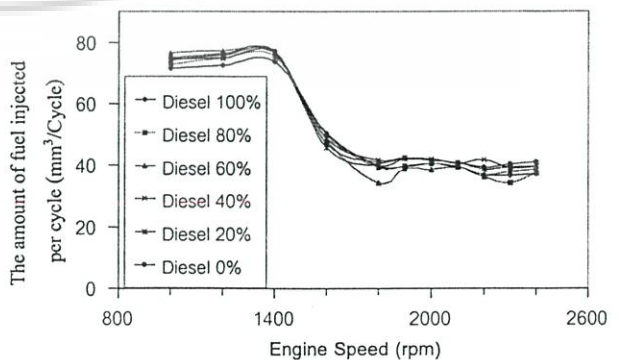
รูปที่ 3 แสดงค่ากำลังกับความเร็วรอบเครื่องยนต์



รูปที่ 4 แสดงค่าแรงบิดกับความเร็วรอบเครื่องยนต์



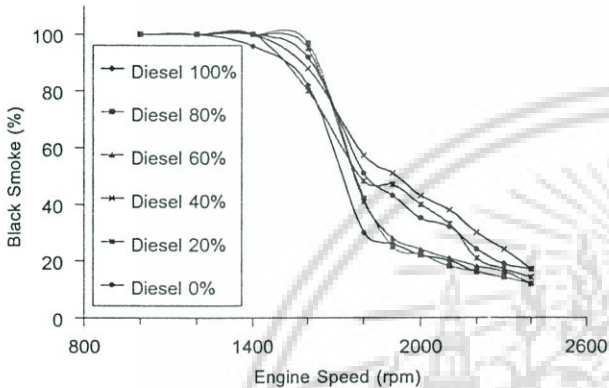
รูปที่ 5 แสดงค่าการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกกับความเร็วรอบเครื่องยนต์



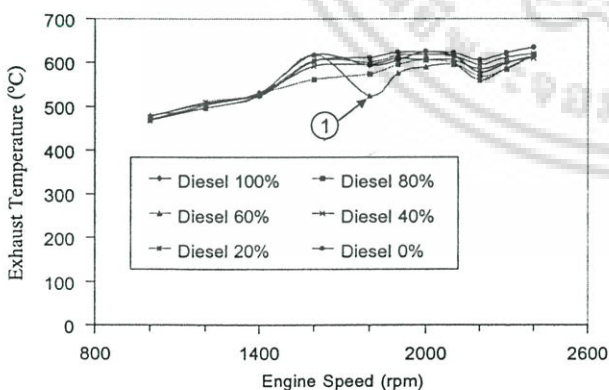
รูปที่ 6 แสดงปริมาณการจ่ายเชื้อเพลิงต่อวัฏจักรกับความเร็วรอบเครื่องยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณาจากรูปที่ 5 และรูปที่ 6 แสดงค่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก และปริมาณการจ่ายเชื้อเพลิงต่อวัฏจักรเปรียบเทียบกับความเร็วรอบเครื่องยนต์ขณะมีโหลดจากการทดลองแสดงให้เห็นว่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นทุกความเร็วรอบเครื่องยนต์เมื่อสัดส่วนในการผสมน้ำมันชีวภาพมากขึ้น สาเหตุมาจากน้ำมันชีวภาพนั้นมีความร้อนต่ำกว่าน้ำมันดีเซล รวมทั้งหลักการการทำงานของปั๊มเชื้อเพลิงที่ปรับไว้แล้วหากมีการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของน้ำมันเชื้อเพลิงแล้ว จำนวนเนื้อของเชื้อเพลิงที่อัดผ่านหัวฉีดจะแตกต่างกันไป โดยที่หากความหนาแน่นสูงเนื้อน้ำมันเชื้อเพลิงจะถูกฉีดออกไปมากขึ้น [3]



รูปที่ 7 แสดงค่าควันดำของไอเสียกับความเร็วยรอบเครื่องยนต์
พิจารณาจากรูปที่ 7 แสดงค่าควันดำของไอเสียเปรียบเทียบกับความเร็วรอบเครื่องยนต์ขณะมีโหลด พบว่ามีควันดำเพิ่มขึ้นที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ต่ำลง และที่อัตราส่วนผสมน้ำมันชีวภาพมากขึ้น เนื่องจากปริมาณของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ถูกฉีดเข้าห้องเผาไหม้มากขึ้น ทำให้อัตราส่วนระหว่างน้ำมันเชื้อเพลิงต่ออากาศนั้นหนาขึ้น ทำให้ไม่สามารถเผาไหม้ได้หมด เป็นผลให้การใช้น้ำมันดีเซล 40% มีค่าควันดำสูงที่สุดในช่วงความเร็วรอบ 1800-2300 rpm เนื่องจากมีปริมาณการจ่ายเชื้อเพลิงต่อวัฏจักรสูง พิจารณาร่วมกับรูปที่ 6



รูปที่ 8 แสดงอุณหภูมิไอเสียกับความเร็วยรอบเครื่องยนต์
พิจารณาจากรูปที่ 8 แสดงอุณหภูมิไอเสียเปรียบเทียบกับความเร็วรอบเครื่องยนต์ขณะมีโหลด จากการทดลองพบว่าแนวโน้มของอุณหภูมิไอเสียสูงขึ้นเมื่อมีสัดส่วนของน้ำมันชีวภาพเพิ่มมากขึ้น หากแต่พบว่าบางอัตราส่วนผสมเชื้อเพลิง และความเร็วรอบเครื่องยนต์มีอุณหภูมิไอ

เสียลดลง เนื่องจาก 2 สาเหตุ คือ สาเหตุแรกในตำแหน่งหมายเลข 1 เกิดจากปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงที่จ่ายเข้าสู่ห้องเผาไหม้น้อย จากการใช้น้ำมันดีเซล 60% ที่ 1800 rpm พิจารณาร่วมกับรูปที่ 5 ในตำแหน่งหมายเลข 1 สาเหตุที่สองในตำแหน่งการใช้น้ำมันดีเซล 40% ที่ 2200 rpm เกิดจากปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงที่จ่ายเข้าสู่ห้องเผาไหม้มาก พิจารณาร่วมกับรูปที่ 5 ในตำแหน่งหมายเลข 2 ทำให้การสันดาปในห้องเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ สังเกตได้ว่าช่วงที่อุณหภูมิไอเสียลดลง กำลังและแรงบิดของเครื่องยนต์จะลดลงด้วย

5. สรุป

น้ำมันชีวภาพสามารถนำมาใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กได้ โดยที่ไม่ต้องทำการปรับแต่งเครื่องยนต์ สามารถใช้น้ำมันชีวภาพแบบ 100% หรือใช้แบบผสมกับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วนผสมต่างๆได้ โดยผลการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้

1. กำลังเครื่องยนต์และแรงบิดเครื่องยนต์เพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนผสมของน้ำมันชีวภาพเพิ่มขึ้น และอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่ออัตราส่วนผสมของน้ำมันชีวภาพเพิ่มขึ้นด้วย
2. การใช้น้ำมันชีวภาพส่งผลให้ค่าควันดำของไอเสียเพิ่มมากขึ้นตามอัตราส่วนผสมของน้ำมันชีวภาพที่มากขึ้น และปริมาณการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง แต่ไม่เกินค่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กระบายความร้อนด้วยน้ำที่กำหนดไว้ที่ ร้อยละ 40 ขณะให้กำลังสูงสุด
3. จากข้อมูลการทดลองเบื้องต้นอัตราส่วนผสมน้ำมันดีเซล 80% กับน้ำมันชีวภาพ 20% เป็นส่วนผสมที่ดีที่สุดเพราะมีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกต่ำใกล้เคียงกับการใช้น้ำมันดีเซล 100% แต่ให้กำลังและแรงบิดเครื่องยนต์มากกว่า ค่าควันดำใกล้เคียงกับการใช้น้ำมันดีเซล 100%

6. กิตติกรรมประกาศ

ทางผู้วิจัยขอขอบคุณ บริษัท ยันมาร์ เอส. พี. จำกัด ที่ให้การเอื้อเฟื้อเครื่องยนต์รวมทั้งอุปกรณ์การทดลอง และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานครที่ให้การเอื้อเฟื้อสถานที่ ข้อมูล และเครื่องปฏิกรณ์ไพโรไลซิสสำหรับผลิตน้ำมันชีวภาพ

เอกสารอ้างอิง

- [1] กัญญา บุญเกียรติ, "เชื้อเพลิงและการเผาไหม้", สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2544
- [2] มหา(นคร)สาร, ตุลาคม 2545
- [3] ช่าง โชตะมังสะ และ สุจิตต์ สนองคุณ, "เชื้อเพลิงและวัสดุหล่อลื่น", เม็ดทรายพรีนติ้ง, [ม.ป.ป].

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายกฤษณ์ เรืองพุงศักดิ์
วัน เดือน ปีเกิด	23 มิถุนายน 2518 จังหวัดกาญจนบุรี
ประวัติการศึกษา	2540 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้