



การศึกษาค้นคว้าของชนิดวัตถุดิบและการเสื่อมสภาพของน้ำมันไบโอดีเซล
ต่อสมรรถนะการทำงานของเครื่องยนต์ดีเซล

โดย

นางสาวสุรรัตน์ งามเจริญ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

พ.ศ. 2551

การศึกษาผลของชนิดวัตถุดิบและการเสื่อมสภาพของน้ำมันไบโอดีเซล
ต่อสมรรถนะการทำงานของเครื่องยนต์ดีเซล

โดย

นางสาวสุรรัตน์ งามเจริญ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
พ.ศ. 2551

The Investigation of the Effects of Raw Material Types and Biodiesel
Degradation on the Performance of Diesel Engine

By

Miss. Sureerat Ngamjaroen

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering
Department of Chemical Engineering
Faculty of Engineering
Thammasat University

2008

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์

วิทยานิพนธ์

ของ

นางสาวสุวิรัตน์ งามเจริญ

เรื่อง

การศึกษาผลของชนิดวัตถุติดและการเสื่อมสภาพของน้ำมันไบโอดีเซล
ต่อสมรรถนะการทำงานของเครื่องยนต์ดีเซล

ได้รับการตรวจสอบและอนุมัติ ให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

เมื่อ วันที่ 29 พฤษภาคม พ.ศ.2552

ประธานกรรมการวิทยานิพนธ์

(อาจารย์ ดร.วรรัตน์ ปัตตประกร)

ประธานกรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. แคทลียา ปัทมพรหม)

กรรมการวิทยานิพนธ์

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วาทีต ภัคดี)

กรรมการวิทยานิพนธ์

(ดร. กันย์ กังวานสายชล)

คณบดี

(รองศาสตราจารย์ ดร. อรุยา วิสกุล)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาพฤติกรรมการเสื่อมสภาพของน้ำมันไบโอดีเซลต่อสมบัติรวมถึงสมรรถนะการทำงาน และการปลดปล่อยมลพิษไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซล โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 ศึกษาผลการเสื่อมสภาพของน้ำมันไบโอดีเซลจากการเก็บรักษาในสภาวะปิด ที่อุณหภูมิห้อง ในช่วงระยะเวลาต่างๆ เป็นเวลา 6 เดือน โดยใช้น้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากปาล์มสดเตยรืนและน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ สำหรับ ส่วนที่ 2 เป็นการศึกษาการเสื่อมสภาพของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากปาล์มสดเตยรืนในสภาวะเร่งการเสื่อมสภาพที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียสและอัตราการไหลของอากาศเป็น 100 ลิตรต่อชั่วโมง จากผลการทดลองทั้งสองส่วน พบว่า เมื่อมีการเสื่อมสภาพมากยิ่งขึ้น ค่าความเป็นกรด, ค่าเปอร์ออกไซด์ และค่าความหนาแน่นของน้ำมันไบโอดีเซลจะมีค่าเพิ่มขึ้น ขณะที่ค่าความร้อนลดลง ส่วนของค่าความหนืดนั้น พบว่า ค่าความหนืดไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนักในระยะเวลาการเก็บรักษา 6 เดือน ส่วนน้ำมันไบโอดีเซลในสภาวะเร่งการออกซิเดชัน มีค่าความหนืดสูงขึ้น เพราะเกิดการเสื่อมสภาพมากกว่า สำหรับการทดสอบสมรรถนะและการปลดปล่อยมลพิษไอเสีย พบว่า กำลังเบรคของน้ำมันไบโอดีเซลใหม่, น้ำมันไบโอดีเซลที่ถูกเก็บรักษา และน้ำมันไบโอดีเซลที่ถูกเร่งการออกซิไดซ์ มีค่าใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล ขณะที่อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันของน้ำมันไบโอดีเซลสูงกว่าน้ำมันดีเซล และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อน้ำมันไบโอดีเซลเสื่อมสภาพมากขึ้น ในส่วนของการปลดปล่อยมลพิษไอเสีย พบว่า น้ำมันไบโอดีเซลใหม่ สามารถลด CO ลงได้มากกว่าครึ่งหนึ่งของน้ำมันดีเซล และน้ำมันไบโอดีเซลที่เกิดการเสื่อมสภาพจากทั้งสองกรณี พบว่า ค่าควันดำและ CO ลดลง ขณะที่ก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนเพิ่มขึ้น เมื่อน้ำมันไบโอดีเซลถูกออกซิไดซ์เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากน้ำมันไบโอดีเซลที่เกิดการเสื่อมสภาพต้องการออกซิเจนในการเผาไหม้น้อยลง ทำให้ออกซิเจนที่เหลือทำปฏิกิริยากับไนโตรเจนในอากาศเกิดเป็น NOx ได้มากยิ่งขึ้น

Abstract

The main objective of this biodiesel degradation study is to determine the effects of biodiesel degradation on fuel properties, engine performances and exhaust emissions of a diesel engine. The experiment was carried out in two parts. The first part was on storage degradation of biodiesel kept in closed containers at room temperature for a period of 6 months. In this part, the biodiesels derived from palm stearin and palm oil was investigated. The second part was on accelerated oxidation of biodiesel at 60 °C under continuous air flow of 100 l/hr. In this part, biodiesel derived from palm stearin was chosen for this study. All types of fresh and degraded biodiesel were analyzed for changes in acid values, iodine values, peroxide values, viscosities, densities and high heating values. Results showed that AV, PV and density increased, while high heating value decreased with higher degree of oxidation. Nevertheless, the viscosities of the fuels were not changed significantly within the storage period of 6 months, whereas the increase in viscosity was detected for the accelerated oxidation, which was supposedly due to higher degree of oxidation. The engine performance and exhaust emission results indicated that the brake powers of petroleum diesel were comparable to those of fresh, stored and acceleratedly oxidized biodiesels, while the fuel consumption of biodiesel was higher than petroleum diesel and the trend increased slightly as the biodiesels degraded further. In terms of emission, fresh biodiesel produced half of the CO pollution compared to petroleum diesel and, as the biodiesel degraded further by either means, the black smokes and emissions of CO were even lower. On the other hand, the NO_x emission increased with higher degree of biodiesel degradation. This is because the oxidized biodiesels required less oxygen for combustion. The reaction of excess oxygen with nitrogen in the air led to higher NO_x emission.

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. แคทลียา บัณฑพรหม อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ และอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้ให้คำแนะนำในด้านต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ ทั้งที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์ พร้อมทั้งได้ช่วยเหลือ อบรมสั่งสอนมาโดยตลอด จนทำให้งานวิจัยนี้สามารถสำเร็จลงได้ด้วยดี ขอขอบคุณ คุณจิตตรา ดอกบัว คุณกิตติ เมธาวงศ์ คุณสากร ม่วงเขียว คุณสมศักดิ์ หริรักษ์ดำรง และคุณไพรัตน์ รักพืช แห่งภาควิชาวิศวกรรมเคมี ที่ช่วยอำนวยความสะดวกในด้านอุปกรณ์การทดลองและการใช้ห้องปฏิบัติการ ขอขอบคุณ คุณวินัย เล่าหะคุณากร ผู้จัดการฝ่ายผลิตประจำบริษัท เอเซีย โซลเว้นท์ จำกัด ที่ให้คำแนะนำที่มีประโยชน์เกี่ยวกับงานวิจัยในด้านนี้ตลอดมา ขอขอบคุณ คุณกัมปนาท ด่านศิริ แห่งบริษัท ปิยะศิริวานิช จำกัด ที่เอื้อเฟื้อเครื่องมือ Gas chromatography ขอขอบคุณบริษัท น้ำมันพืชปทุม จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์น้ำมันไบโอดีเซลที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ขอขอบคุณ เพื่อน ๆ พี่ ๆ และน้อง ๆ ในภาควิชาวิศวกรรมเคมีทุกคนที่เป็นกำลังใจและให้การช่วยเหลือเป็นอย่างดี และสุดท้ายนี้ ขอขอบพระคุณคุณพ่อ และคุณแม่ ที่ได้อบรมสั่งสอน รวมถึงพี่น้องที่ได้ให้กำลังใจที่ดีและช่วยเหลือตลอดมา

จึงขอกล่าวนามและแสดงความขอบคุณไว้ ณ ที่นี้

นางสาวสุรวิรัตน์ งามเจริญ

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

พ.ศ. 2552

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(1)
กิตติกรรมประกาศ.....	(3)
สารบัญตาราง.....	(8)
สารบัญภาพประกอบ.....	(9)
 บทที่	
1 บทนำ.....	1-3
1.1 ความสำคัญและที่มาขอปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	3
1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย.....	3
 2 การทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้อง.....	4-32
2.1 ความหมายของน้ำมันไบโอดีเซล.....	4
2.2 วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซล.....	5
2.3 โครงสร้างของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลแบบเอสเทอร์.....	10
2.3.1 กรดไขมัน.....	10
2.3.2 ไตรกลีเซอไรด์.....	11
2.4 การผลิตน้ำมันไบโอดีเซลแบบเอสเทอร์.....	13
2.5 การเสื่อมสภาพของน้ำมันไบโอดีเซล.....	16
2.5.1 Hydrolysis of Ester.....	16
2.5.2 Oxidation.....	17
2.6 ทฤษฎีเบื้องต้นที่เกี่ยวข้องกับสมรรถนะการทำงานของเครื่องยนต์ และไอเสียจากการเผาไหม้.....	20

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.6.1 เครื่องยนต์ดีเซล.....	20
2.6.2 ทฤษฎีการเผาไหม้.....	23
2.6.3 ทฤษฎีเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด.....	24
2.6.4 ค่าความร้อนเชื้อเพลิง.....	26
2.6.5 ตัวแปรที่ใช้กำหนดสมรรถนะของเครื่องยนต์.....	28
2.6.6 ไอเสียของเครื่องยนต์และมลพิษในอากาศ.....	30
2.7 งานวิจัยเกี่ยวกับการเสื่อมสภาพของน้ำมันไบโอดีเซลและ ผลกระทบต่อเครื่องยนต์.....	32-33
2.7.1 งานวิจัยเกี่ยวกับการเสื่อมสภาพของน้ำมันไบโอดีเซล.....	32
2.7.2 งานวิจัยเกี่ยวกับการใช้งานในด้านต่าง ๆ ของเครื่องยนต์ เมื่อน้ำมันไบโอดีเซลที่เสื่อมสภาพ.....	33
3 วิธีการวิจัย.....	35-44
3.1 วัตถุประสงค์และสารเคมี.....	35
3.2 เครื่องมือในการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมี.....	36
3.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบสมรรถนะ.....	36
3.4 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดปริมาณมลพิษไอเสีย.....	36
3.5 วิธีการวิจัย.....	37
3.6 การวิเคราะห์คุณสมบัติต่าง ๆ.....	41
3.7 การทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซล.....	43
3.8 การวิเคราะห์การปลดปล่อยมลพิษไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซล.....	44
4 ผลการทดลอง และการวิเคราะห์ผล.....	45-97
4.1 ผลการศึกษาการเสื่อมสภาพของน้ำมันไบโอดีเซล ที่เก็บในช่วงระยะเวลาต่างๆ.....	45

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.1.1 การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีและกายภาพ ของน้ำมันไบโอดีเซลที่เก็บในช่วงเวลาต่างๆ.....	46
4.1.2 ผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ เมื่อใช้น้ำมันไบโอดีเซลที่เก็บในช่วงเวลาต่างๆ เป็นเชื้อเพลิง.....	52
4.1.3 ผลการทดสอบมลพิษจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์.....	67
4.2 ผลการศึกษาผลการเสื่อมสภาพของน้ำมันไบโอดีเซล ในสภาวะเร่งการเสื่อมสภาพ.....	74
4.2.1 การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีและกายภาพ ของน้ำมันไบโอดีเซลที่เก็บในช่วงเวลาต่างๆ.....	75
4.2.2 ผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ เมื่อใช้น้ำมันไบโอดีเซลที่เก็บในช่วงเวลาต่างๆ เป็นเชื้อเพลิง.....	81
4.2.3 ผลการทดสอบมลพิษจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์.....	88
 5 สรุปผลการทดลอง.....	 98-99
 รายการอ้างอิง.....	 100-107
 ภาคผนวก.....	 108-134
ภาคผนวก ก การวิเคราะห์คุณสมบัติต่าง ๆ.....	109-122
ก-1 การวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระ.....	109
ก-2 การวิเคราะห์ค่าความหนืดเชิงจลน์ ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส.....	110
ก-3 การวิเคราะห์ค่าไอโอดีน.....	112
ก-4 การวิเคราะห์ค่าเปอร์ออกไซด์.....	114
ก-5 การวิเคราะห์อายุการใช้งานของน้ำมัน.....	116
ก-6 การหาค่าความร้อนของเชื้อเพลิง.....	120
ก-7 การหาค่าความหนาแน่น ที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส.....	122

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก ข ชุดทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์.....	123-127
ข-1 เครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดสอบสมรรถนะ.....	123
ข-2 ชุดทดสอบไดนาโมมิเตอร์.....	124
ข-3 อุปกรณ์ตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงเชื้อเพลิง.....	125
ข-4 เครื่องมือวิเคราะห์แก๊สไอเสีย.....	126
ข-5 เครื่องมือวัดปริมาณควันดำ.....	127
 ภาคผนวก ค ตัวอย่างข้อมูลดิบ และตัวอย่างวิธีการคำนวณ.....	 128-132
ค-1 การหาค่าไอโอดีน	128
ค-2 การหาค่าเปอร์ออกไซด์	129
ค-3 การหาปริมาณกรดไขมันอิสระ.....	130
ค-4 การหาค่าความหนืดเชิงจลน์	131
ค-5 การวิเคราะห์ Oxidation Stability.....	132
 ภาคผนวก ง ใบรายงานผลการวิเคราะห์คุณภาพของน้ำมันไบโอดีเซล.....	 133-134
 ประวัติการศึกษา.....	 135

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	แสดงองค์ประกอบของกรดไขมันหลักในน้ำมันชนิดต่าง ๆ.....	11
2.2	แสดงองค์ประกอบของกรดไขมันหลักในน้ำมันชนิดต่าง ๆ (ต่อ).....	12
3.1	การทดลองการเสื่อมสภาพของน้ำมันไบโอดีเซลจากการเก็บรักษา ในช่วงระยะเวลาต่างๆ.....	38
4.1	สรุปผลการศึกษาการเสื่อมสภาพของน้ำมันไบโอดีเซล จากการเก็บรักษาในช่วงระยะเวลาต่างๆ.....	72
ก-1.1	ปริมาณของตัวอย่างที่ใช้ทดสอบแบ่งตามค่า Acid Number.....	110
ก-3.1	ปริมาณ Solvent ที่ใช้เมื่อค่าคาดคะเนของ Iodine value เป็นค่าต่าง ๆ ตั้งแต่ น้อยกว่า 1.5 ถึง 200.....	114
ก-4.1	น้ำหนักของตัวอย่างที่ใช้เมื่อค่าคาดคะเนของ Peroxide value เป็นค่าต่าง ๆ ตั้งแต่ 0 ถึง 90.....	116
ค-1.1	ปริมาณสารละลาย $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ที่ใช้ไตเตรตตัวอย่างน้ำมันไบโอดีเซล ที่ผลิตจากปาล์มสเตียร์นที่เก็บรักษาเป็นเวลา 3 เดือน ทำการวัดค่าไอโอดีน ในเดือนกันยายน 2551	128
ค-2.1	ปริมาณสารละลาย $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ที่ใช้ไตเตรตตัวอย่างน้ำมันไบโอดีเซล ที่ผลิตจากปาล์มสเตียร์นที่เก็บรักษาเป็นเวลา 3 เดือน ทำการวัดค่าเปอร์ออกไซด์ ในเดือนกันยายน 2551	129
ค-3.1	ปริมาณสารละลาย KOH ที่ใช้ไตเตรตตัวอย่างน้ำมันไบโอดีเซล ที่ผลิตจากปาล์มสเตียร์นที่เก็บรักษาเป็นเวลา 3 เดือน ทำการวัดค่า ในเดือนกันยายน 2551.....	130
ง-1.1	แสดงผลการวิเคราะห์คุณภาพของน้ำมันไบโอดีเซล รับมาครั้งที่ 1 เมื่อ วันที่ 12 กรกฎาคม พ. ศ. 2551.....	133
ง-1.2	แสดงผลการวิเคราะห์คุณภาพของน้ำมันไบโอดีเซล รับมาครั้งที่ เมื่อ วันที่ 17 กันยายน พ. ศ. 2551.....	134

สารบัญภาพประกอบ

ภาพที่	หน้า
2.1 แสดงผลและเมล็ดปาล์ม.....	5
2.2 กระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มดิบ.....	7
2.3 การแปรรูปน้ำมันปาล์ม.....	9
2.4 ตัวอย่างโครงสร้างโมเลกุลของกรดไขมันชนิดต่าง ๆ ทั้งประเภทอิ่มตัว และไม่อิ่มตัวที่มีจำนวนคาร์บอนอะตอมในโมเลกุล 18 ตัว.....	10
2.5 โครงสร้างทั่วไปของไตรกลีเซอไรด์.....	11
2.6 แสดงปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน.....	14
2.7 แสดงกลไกการเกิดปฏิกิริยา Base – catalyzed Transesterification.....	15
2.8 กระบวนการผลิตดีเซลชีวภาพ.....	16
2.9 ปฏิกิริยา Hydrolysis.....	17
2.10 แสดงปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมัน.....	18
2.11 ขั้นตอนการเสื่อมสภาพของน้ำมันผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชัน.....	19
2.12 เครื่องยนต์ดีเซล.....	18
2.13 แสดงจังหวะดูด.....	21
2.14 แสดงจังหวะอัด.....	22
2.15 แสดงจังหวะระเบิด.....	22
2.16 แสดงจังหวะคาย.....	23
2.17 หลักการทำงานของไดนาโมมิเตอร์.....	29
3.1 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์ทำการทดลองปฏิกิริยาออกซิเดชันน้ำมันไบโอดีเซล...	39
3.2 ผลการทดสอบค่าความเสถียรต่อการเกิดออกซิเดชัน (Oxidation Stability) ของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากปาล์มสดที่ยังไม่เกิด การเสื่อมสภาพภายใต้สภาวะเร่งในช่วงต่าง ๆ.....	40
3.3 แผนผังการติดตั้งเครื่องยนต์เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดสอบสมรรถนะ...	43
4.1 การเปลี่ยนแปลงของค่าไอโอดีน (Iodine value: IV) ของน้ำมันไบโอดีเซล ที่ผลิตจากปาล์มสดที่ยังไม่เกิด (BS) และน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจาก น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ (BP) ที่เก็บรักษาในช่วงระยะต่างๆ.....	47

สารบัญภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.2 ค่าเปอร์ออกไซด์ (Peroxide value: PV) ของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากปาล์มสดเดี่ยวรีน (BS) และน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ (BP) ที่เก็บรักษาในช่วงระยะต่างๆ.....	48
4.3 ค่าความเป็นกรด (Acid value: AV) ของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากปาล์มสดเดี่ยวรีน (BS) และน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ (BP) ที่เก็บรักษาในช่วงระยะต่างๆ.....	49
4.4 ค่าความหนาแน่น (Density) ที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส ของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากปาล์มสดเดี่ยวรีน (BS) และน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ (BP) ที่เก็บรักษาในช่วงระยะต่างๆ.....	50
4.5 ค่าความหนืดเชิงจลน์ (Kinematic viscosity) ของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากปาล์มสดเดี่ยวรีน (BS) และน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ (BP) ที่เก็บรักษาในช่วงระยะต่างๆ.....	51
4.6 ค่าความร้อน (High heating value: HHV) ของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากปาล์มสดเดี่ยวรีน (BS) และน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ (BP) ที่เก็บรักษาในช่วงระยะต่างๆ.....	52
4.7 กำลังเบรกของเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ เมื่อใช้น้ำมันดีเซลและน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากปาล์มสดเดี่ยวรีน (BS) ที่เก็บรักษาในช่วงระยะต่าง ๆ เป็นเชื้อเพลิง.....	54
4.8 กำลังเบรกของเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ เมื่อใช้น้ำมันดีเซลและน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ (BP) ที่เก็บรักษาในช่วงระยะต่าง ๆ เป็นเชื้อเพลิง.....	55
4.9 กำลังเบรกเฉลี่ยของเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ เมื่อใช้น้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากปาล์มสดเดี่ยวรีน (BS) ที่เก็บรักษาในช่วงระยะต่าง ๆ เป็นเชื้อเพลิงเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล.....	55

สารบัญภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.10	กำลังเบรกเฉลี่ยของเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ เมื่อใช้น้ำมันไบโอดีเซล ที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ (BP) ที่เก็บรักษาในช่วงระยะต่างๆ เป็นเชื้อเพลิง เปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล..... 56
4.11	กำลังเบรกเฉลี่ยของเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ เมื่อใช้น้ำมันไบโอดีเซล ที่ผลิตจากปาล์มสเตียรีน (BS) เปรียบเทียบกับน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจาก น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ (BP) ที่เก็บรักษาในช่วงระยะต่างๆ เป็นเชื้อเพลิง..... 57
4.12	อัตราการไหลของเชื้อเพลิงที่ความเร็วรอบต่าง ๆ เมื่อใช้น้ำมันดีเซลและ น้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากปาล์มสเตียรีน (BS) ที่เก็บรักษา ในช่วงระยะต่าง ๆ เป็นเชื้อเพลิง..... 58
4.13	อัตราการไหลเชิงปริมาตรของเชื้อเพลิงที่ความเร็วรอบต่าง ๆ เมื่อใช้น้ำมันดีเซลและน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ (BP) ที่เก็บรักษาในช่วงระยะต่าง ๆ เป็นเชื้อเพลิง..... 59
4.14	อัตราการไหลเชิงปริมาตรของเชื้อเพลิงเฉลี่ยที่ความเร็วรอบต่าง ๆ เมื่อใช้น้ำมัน ดีเซลชีวภาพที่ผลิตจากปาล์มสเตียรีน (BS) เปรียบเทียบกับน้ำมัน ดีเซลชีวภาพที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ (BP) ที่เก็บรักษา ในช่วงระยะต่างๆ เป็นเชื้อเพลิง..... 59
4.15	อัตราสิ้นเปลืองมวลของเชื้อเพลิงเฉลี่ยที่ความเร็วรอบต่าง ๆ เมื่อใช้ น้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากปาล์มสเตียรีน (BS) เปรียบเทียบกับ น้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ (BP) ที่เก็บรักษา ในช่วงระยะต่างๆ เป็นเชื้อเพลิง..... 60
4.16	อัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกของเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ เมื่อใช้น้ำมันดีเซลและน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากปาล์มสเตียรีน (BS) ที่เก็บรักษาในช่วงระยะต่าง ๆ เป็นเชื้อเพลิง..... 61
4.17	อัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกของเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ เมื่อใช้น้ำมันดีเซลและน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ (BP) ที่เก็บรักษาในช่วงระยะต่าง ๆ เป็นเชื้อเพลิง..... 62

สารบัญภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.18 อัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกเฉลี่ยของเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ เมื่อใช้น้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากปาล์มสดเตียริน (BS) ที่เก็บรักษาในช่วงระยะต่างๆ เป็นเชื้อเพลิงเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล.....	62
4.19 อัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกเฉลี่ยของเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ เมื่อใช้น้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ (BP) ที่เก็บรักษาในช่วงระยะต่างๆ เป็นเชื้อเพลิงเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล.....	63
4.20 อัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกเฉลี่ยของเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ เมื่อใช้น้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากปาล์มสดเตียริน (BS) เปรียบเทียบกับน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ (BP) ที่เก็บรักษาในช่วงระยะต่างๆ เป็นเชื้อเพลิง.....	63
4.21 ค่าประสิทธิภาพการแปลงพลังงานจากเชื้อเพลิงเบรกของเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ เมื่อใช้น้ำมันดีเซลและน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากปาล์มสดเตียริน (BS) ที่เก็บรักษาในช่วงระยะต่างๆ เป็นเชื้อเพลิง.....	65
4.22 ค่าประสิทธิภาพการแปลงพลังงานจากเชื้อเพลิงเบรกของเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ เมื่อใช้น้ำมันดีเซลและน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ (BP) ที่เก็บรักษาในช่วงระยะต่างๆ เป็นเชื้อเพลิง.....	65
4.23 ค่าประสิทธิภาพการแปลงพลังงานจากเชื้อเพลิงเบรกเฉลี่ยของเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ เมื่อใช้น้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากปาล์มสดเตียริน (BS) ที่เก็บรักษาในช่วงระยะต่างๆ เป็นเชื้อเพลิงเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล.....	66
4.24 ค่าประสิทธิภาพการแปลงพลังงานจากเชื้อเพลิงเบรกของเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ เมื่อใช้น้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ ที่เก็บรักษาในช่วงระยะต่างๆ เป็นเชื้อเพลิงเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล.....	66
4.25 ค่าประสิทธิภาพการแปลงพลังงานจากเชื้อเพลิงเบรกของเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ เมื่อใช้น้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากปาล์มสดเตียริน (BS) เปรียบเทียบกับน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ (BP) ที่เก็บรักษาในช่วงระยะต่างๆ เป็นเชื้อเพลิง.....	67

สารบัญภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.26 ปริมาณควันดำจากไอเสียเฉลี่ยของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซล น้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากปาล์มสเตียร์น (BS) และน้ำมันไบโอดีเซล ที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ (BP) ในช่วงระยะต่างๆ เป็นเชื้อเพลิง ที่สภาวะกำลังสูงสุด.....	69
4.27 ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) เฉลี่ยจากการเผาไหม้ที่สภาวะ กำลังสูงสุดของน้ำมันดีเซล น้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากปาล์มสเตียร์น (BS) และน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ (BP) ในช่วงระยะเวลาต่างๆ.....	69
4.28 ปริมาณก๊าซไนตริกออกไซด์ (NO _x) เฉลี่ยจากการเผาไหม้ที่สภาวะกำลังสูงสุด ของน้ำมันดีเซล น้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากปาล์มสเตียร์น (BS) และน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ (BP) ในช่วงระยะเวลาต่างๆ.....	70
4.29 ค่าความเสถียรต่อการเกิดออกซิเดชัน (Oxidation Stability) ของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากปาล์มสเตียร์นในสภาวะเร่งการเสื่อมสภาพ ที่ช่วงต่าง ๆ.....	74
4.30 ค่าไอโอดีน (Iodine value: IV) ของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากปาล์มสเตียร์น ในสภาวะเร่งการเสื่อมสภาพที่ช่วงต่าง ๆ.....	76
4.31 การวิเคราะห์ค่าเปอร์ออกไซด์ (Peroxide value: PV) ของน้ำมันไบโอดีเซล ที่ผลิตจากปาล์มสเตียร์นในสภาวะเร่งการเสื่อมสภาพที่ช่วงต่าง ๆ.....	77
4.32 ค่าความเป็นกรด (Acid value: AV) ของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิต จากปาล์มสเตียร์นในสภาวะเร่งการเสื่อมสภาพที่ช่วงต่าง ๆ.....	78
4.33 ค่าความหนาแน่น (Density) ของน้ำมันไบโอดีเซล ที่ผลิตจากปาล์มสเตียร์นในสภาวะเร่งการเสื่อมสภาพที่ช่วงต่าง ๆ.....	78
4.34 ค่าความหนืดเชิงจลน์ (Kinematic viscosity) ของน้ำมันไบโอดีเซล ที่ผลิตจากปาล์มสเตียร์นในสภาวะเร่งการเสื่อมสภาพที่ช่วงต่าง ๆ.....	79

สารบัญภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.35 ค่าความร้อน (High heating value: HHV) ของน้ำมันไบโอดีเซล ที่ผลิตจากปาล์มสดที่ยรีนในสภาวะเร่งการเสื่อมสภาพที่ช่วงต่าง ๆ.....	80
4.36 กำลังเบรกของเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ เมื่อใช้น้ำมันไบโอดีเซล ที่ผลิตจากปาล์มสดที่ยรีนในสภาวะเร่งการเสื่อมสภาพ ที่ช่วงต่าง ๆ เป็นเชื้อเพลิง.....	81
4.37 กำลังเบรกเฉลี่ยของเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ เมื่อใช้น้ำมันไบโอดีเซล ที่ผลิตจากปาล์มสดที่ยรีนในสภาวะเร่งการเสื่อมสภาพ ที่ช่วงต่าง ๆ เป็นเชื้อเพลิง.....	82
4.38 อัตราการไหลของเชื้อเพลิงที่ความเร็วรอบต่าง ๆ เมื่อใช้น้ำมันไบโอดีเซล ที่ผลิตจากปาล์มสดที่ยรีนในสภาวะเร่งการเสื่อมสภาพ ที่ช่วงต่าง ๆ เป็นเชื้อเพลิง.....	83
4.39 อัตราการไหลของเชื้อเพลิงเฉลี่ยที่ความเร็วรอบต่าง ๆ เมื่อใช้น้ำมันไบโอดีเซล ที่ผลิตจากปาล์มสดที่ยรีนในสภาวะเร่งการเสื่อมสภาพที่ช่วงต่าง ๆ เป็นเชื้อเพลิงเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล.....	84
4.40 อัตราการสิ้นเปลืองมวลของเชื้อเพลิงเฉลี่ยที่ความเร็วรอบต่าง ๆ เมื่อใช้น้ำมันดีเซลและน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากปาล์มสดที่ยรีน ในสภาวะเร่งการเสื่อมสภาพที่ช่วงต่าง ๆ เป็นเชื้อเพลิง.....	84
4.41 อัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกของเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ เมื่อใช้น้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากปาล์มสดที่ยรีนในสภาวะเร่งการเสื่อมสภาพ ที่ช่วงต่าง ๆ เป็นเชื้อเพลิง.....	86
4.42 อัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกเฉลี่ยของเครื่องยนต์ ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ เมื่อใช้น้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากปาล์มสดที่ยรีน ในสภาวะเร่งการเสื่อมสภาพที่ช่วงต่าง ๆ เป็นเชื้อเพลิง.....	86
4.43 ค่าประสิทธิภาพการแปลงพลังงานจากเชื้อเพลิงเบรกของเครื่องยนต์ เมื่อใช้น้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากปาล์มสดที่ยรีนในสภาวะเร่งการเสื่อมสภาพ ที่ช่วงต่าง ๆ เป็นเชื้อเพลิง.....	87

สารบัญภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.44 ค่าประสิทธิภาพการแปลงพลังงานจากเชื้อเพลิงเบรกเฉลี่ยของเครื่องยนต์ เมื่อน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากปาล์มสเตียรีนในสภาวะเร่งการเสื่อมสภาพ ที่ช่วงต่าง ๆ เป็นเชื้อเพลิง.....	88
4.45 ปริมาณควันดำจากไอเสียเฉลี่ยของเครื่องยนต์ เมื่อน้ำมันดีเซลและ น้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากปาล์มสเตียรีนในสภาวะเร่งการเสื่อมสภาพที่ช่วงต่าง ๆ เป็นเชื้อเพลิงที่สภาวะกำลังสูงสุด.....	89
4.46 ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) เฉลี่ย จากการเผาไหม้ที่สภาวะกำลังสูงสุด เมื่อน้ำมันดีเซลและน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากปาล์มสเตียรีนในสภาวะเร่ง การเสื่อมสภาพที่ช่วงต่าง ๆ เป็นเชื้อเพลิงที่สภาวะกำลังสูงสุด.....	90
4.47 ปริมาณก๊าซไนตริกออกไซด์ (NO _x) เฉลี่ย จากการเผาไหม้ที่สภาวะกำลังสูงสุด เมื่อน้ำมันดีเซลและน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากปาล์มสเตียรีนในสภาวะเร่ง การเสื่อมสภาพที่ช่วงต่าง ๆ เป็นเชื้อเพลิงที่สภาวะกำลังสูงสุด.....	91
4.48 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์ออกไซด์กับค่าความหนืดของน้ำมันไบโอดีเซล ที่เกิดการเสื่อมสภาพจากการเก็บรักษาและในสภาวะเร่งการเสื่อมสภาพ.....	93
4.49 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์ออกไซด์กับค่าความเป็นกรดของ น้ำมันไบโอดีเซลที่เกิดการเสื่อมสภาพจากการเก็บรักษาและในสภาวะ เร่งการเสื่อมสภาพ.....	94
4.50 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์ออกไซด์กับค่าความร้อนของน้ำมันไบโอดีเซล ที่เกิดการเสื่อมสภาพจากการเก็บรักษาและในสภาวะเร่งการเสื่อมสภาพ.....	94
4.51 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์ออกไซด์กับค่าความหนืดของน้ำมัน ไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันถั่วเหลือง โดยเติมอากาศที่อัตราต่าง ๆ ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส.....	95
4.52 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์ออกไซด์กับค่ากำลังเบรคของน้ำมันไบโอดีเซล ที่เกิดการเสื่อมสภาพจากการเก็บรักษาและในสภาวะเร่งการเสื่อมสภาพ.....	95

สารบัญภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.53 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์ออกไซด์กับอัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง จำเพาะเบรกของน้ำมันไบโอดีเซลที่เกิดการเสื่อมสภาพจากการเก็บรักษา และในสภาวะเร่งการเสื่อมสภาพ.....	96
4.54 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์ออกไซด์กับค่าประสิทธิภาพการแปลงพลังงานจาก เชื้อเพลิงเบรกของน้ำมันไบโอดีเซลที่เกิดการเสื่อมสภาพจากการเก็บรักษา และในสภาวะเร่งการเสื่อมสภาพ.....	96
ก-2.1 Calibrated Viscometer.....	112
ก-5.1 เครื่องมือ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ Oxidation Stability.....	117
ก-5.2 อุปกรณ์ที่ในส่วนให้ความร้อน (Heating block), reaction vessel และ measurement cell.....	119
ก-5.3 ตัวอย่างการหาค่า Induction period จาก conductivity curve ด้วย Manual calculation.....	119
ก-5.4 ตัวอย่างการหาค่า Induction period จาก conductivity curve ด้วย Automatic calculation.....	120
ก-6.1 เครื่อง Calorimeter model 1261.....	122
ข-1.1 เครื่องยนต์ดีเซล.....	123
ข-2.1 ชุดทดสอบไดนาโมมิเตอร์.....	124
ข-3.1 อุปกรณ์ตรวจวัดการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง.....	125
ข-5.1 เครื่องมือวัดปริมาณควันดำ.....	127
ค-5.1 การหาค่าความเสถียรต่อการออกซิเดชันของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจาก ปาล์มสดที่ยื่นที่เกิดการเสื่อมสภาพจากการจำลอง สภาวะในช่วงเริ่มต้น (SDB).....	132

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ประเทศไทยเป็นประเทศที่ต้องพึ่งพาการนำเข้าพลังงานเชื้อเพลิงสูงถึงปีละกว่า 5 แสนล้านบาท ส่งผลให้ประเทศไทยต้องสูญเสียเงินตราออกนอกประเทศเป็นจำนวนมาก ถ้าพิจารณาในส่วนของน้ำมันดีเซล พบว่าประเทศไทยมีความต้องการใช้น้ำมันดีเซลในปริมาณมาก ถึง 43 ล้านลิตรต่อวัน หรือคิดเป็น 46.6% ของปริมาณน้ำมันที่ใช้ภายในประเทศ ซึ่งนับว่าเป็นสัดส่วนที่สูงกว่าน้ำมันเชื้อเพลิงชนิดอื่น ๆ และในอนาคตแนวโน้มของราคาน้ำมันยิ่งทวีสูงขึ้น อันเนื่องมาจากปริมาณของน้ำมันดิบที่นับวันยิ่งลดน้อยลง ดังนั้น ราคาน้ำมันที่เพิ่มสูงขึ้นจึงส่งผลกระทบต่อการอุปโภคบริโภค เนื่องจากค่าการขนส่งมีต้นทุนที่สูงขึ้น ดังนั้น หากเราสามารถผลิตน้ำมันไบโอดีเซลใช้เองได้จะสามารถลดปริมาณการนำเข้าน้ำมันได้อย่างมาก และทำให้ประเทศมีความมั่นคงและยั่งยืนทางด้านพลังงานยิ่งขึ้นอีกด้วย นอกจากนี้ ยังส่งผลดีโดยรวมต่อเศรษฐกิจของประเทศ เนื่องจากสามารถลดผลกระทบเรื่องราคาน้ำมันต่อการอุปโภคบริโภค และยังส่งผลดีต่อภาคเกษตรกรรมภายในประเทศไทย เนื่องจากวัตถุดิบทางการเกษตรที่มีอยู่ภายในประเทศ เช่น น้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าว น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันถั่วลิสง น้ำมันละหุ่ง น้ำมันงา น้ำมันเมล็ดทานตะวัน และน้ำมันสนุ่นดำ สามารถนำมาผลิตน้ำมันไบโอดีเซลได้ ซึ่งจะเป็นการช่วยขยายตลาด และเพิ่มรายได้ให้กับเหล่าเกษตรกร นอกจากนี้ เมื่อมองถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม การใช้ น้ำมันไบโอดีเซลยังส่งผลดีต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากช่วยลดปริมาณมลพิษทางอากาศ อาทิ สารประกอบไฮโดรคาร์บอน ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ สารประกอบอะโรมาติก ปริมาณควันดำ และอนุภาคแขวนลอยต่าง ๆ สาเหตุที่ทำให้ น้ำมันไบโอดีเซลให้ก๊าซที่ก่อมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมลดลง เนื่องมาจาก น้ำมันไบโอดีเซลมีปริมาณธาตุออกซิเจนมากกว่าในน้ำมันปิโตรเลียมถึงร้อยละ 11 โดยน้ำหนัก จึงทำให้กระบวนการเผาไหม้เกิดขึ้นได้สมบูรณ์กว่า และเกิดมลพิษน้อยกว่า

ปัญหาหลักของน้ำมันไบโอดีเซล คือ การเสื่อมสภาพได้ง่าย เนื่องจากโครงสร้างของน้ำมันไบโอดีเซลประกอบสายโซ่ของกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัว (Unsaturated methyl ester) เมื่อสัมผัสกับอากาศ จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่พันธะคู่ของน้ำมันไบโอดีเซล ทำให้พันธะคู่แตกออก กลายเป็นสารประกอบที่มีหัวออกซิเจนสายโซ่สั้น อาทิ ไฮโดรเปอร์ออกไซด์, อัลดีไฮด์

และกรดไขมันอิสระ เป็นต้น ซึ่งส่งผลต่อการกัดกร่อนและบวมตัวของอุปกรณ์ในระบบจ่ายน้ำมัน นอกจากนี้ อนุมูลอิสระที่หลุดออกมาจากปฏิกิริยาออกซิเดชันจะทำปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรซ์ กลายเป็นสารประกอบสายโซ่ยาว อาทิ พอลิเมอร์ เป็นผลทำให้น้ำมันจะมีสภาพเป็นสารเหนียวซึ่งไม่เหมาะต่อการนำมาใช้งานต่อเครื่องยนต์ โดยการเสื่อมสภาพเพื่อให้เกิดสารประกอบดังกล่าวนั้น จำเป็นต้องอาศัยระยะเวลาอันยาวนาน และตัวเร่งปฏิกิริยาออกซิไดซ์ อาทิ ความร้อน, แสงแดด และโลหะบางชนิด เป็นต้น (Bouaid et al., 2007, Knothe et al., 2003, Leung et al., 2006)

การผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพ ทั้งในภาคอุตสาหกรรมหรือในภาคการเกษตร มักประสบปัญหาเดียวกันคือ การเสื่อมสภาพของน้ำมันอย่างรวดเร็วเนื่องจากปัจจัยแวดล้อม ทว่าในการผลิตภาคอุตสาหกรรม โรงงานผลิตน้ำมันไบโอดีเซลขนาดใหญ่ มีกำลังผลิตสูง แต่ไม่สามารถผลิตได้เต็มประสิทธิภาพ เนื่องจากเกรงปัญหาในการเก็บรักษาคุณภาพ ทำให้ต้องรีบจำหน่ายไปไม่สามารถกักเก็บสินค้าไว้จำหน่ายได้นานๆ ในขณะที่อัตราความต้องการของตลาดเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ ดังนั้น จึงมีความจำเป็นต้องเติมสารต้านออกซิเดชันในน้ำมันไบโอดีเซลในขั้นตอนการผลิต เพื่อป้องกันการเสื่อมสภาพจากการสัมผัสกับอากาศ แม้จะทำให้เก็บน้ำมันได้นานขึ้น แต่ก็ทำให้ต้นทุนการผลิตที่สูงขึ้นเช่นกัน

ทั้งนี้เมื่อพิจารณาถึงโรงงานผลิตน้ำมันไบโอดีเซลชุมชนทั่วไป มีต้นทุนการผลิตต่ำ ใช้เพียงวัตถุดิบในชุมชน ไม่ได้มีการเติมสารต้านการออกซิเดชัน น้ำมันไบโอดีเซลจึงมีโอกาสสัมผัสกับอากาศสูง นอกจากนี้ ปัญหาในเรื่องของความร้อนและแสงจากระบบการเก็บรักษา ยังส่งผลเร่งการเสื่อมสภาพของน้ำมันให้เร็วมากขึ้นอีกด้วย

ซึ่งน้ำมันที่เสื่อมสภาพนี้ เมื่อนำมาใช้งานกับเครื่องยนต์ ก็จะมีผลกระทบต่อสมรรถนะการทำงานและการสึกหลอของเครื่องยนต์ ทำให้ผู้ใช้เกิดความไม่มั่นใจ ไม่กล้านำมาใช้งาน และอีกสาเหตุที่ต้องคำนึงถึง คือ ตัวเครื่องยนต์ในสภาวะที่มีอุณหภูมิสูงและมีระยะเวลาการใช้งานนาน รวมถึงอุปกรณ์บางชิ้นที่เป็นโลหะ จะยิ่งเสริมการเสื่อมสภาพของน้ำมันไบโอดีเซล ให้เสื่อมเร็วขึ้น

จากสาเหตุดังกล่าว จึงเป็นจุดเริ่มต้นทำให้เกิดความสนใจถึงปัญหาการเสื่อมสภาพของน้ำมันไบโอดีเซล ซึ่งส่งผลต่อสมรรถนะและค่ามลพิษไอเสียของเครื่องยนต์ อีกทั้งปัญหาการนำน้ำมันไบโอดีเซลมาใช้ให้คุ้มค่าและก่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด ทั้งนี้ เพื่อใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นสำหรับการใช้น้ำมันไบโอดีเซล ที่เกิดการเสื่อมสภาพกับเครื่องยนต์ และเพื่อประโยชน์ต่องานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับน้ำมันไบโอดีเซลในอนาคตต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

เพื่อศึกษาพฤติกรรมการเสื่อมสภาพของน้ำมันไบโอดีเซลจากการเก็บรักษา และภายใต้สภาวะเร่ง และผลของการเสื่อมสภาพต่อคุณภาพและสมบัติทางเคมีของน้ำมัน รวมถึงสมรรถนะการทำงานของเครื่องยนต์ดีเซล และการปลดปล่อยมลพิษไอเสีย เมื่อใช้น้ำมันไบโอดีเซลที่มีการเสื่อมสภาพเป็นเชื้อเพลิง

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. ศึกษาการเสื่อมสภาพของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากปาล์มสดเพียงวัน และน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ โดยศึกษาผลการเสื่อมสภาพจากการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน
2. ศึกษาการเสื่อมสภาพในสภาวะเร่งของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากปาล์มสดเพียงวัน โดยจำลองผลการเสื่อมสภาพในสภาวะเร่ง โดยเติมอากาศเข้าไปทำปฏิกิริยากับน้ำมันไบโอดีเซลโดยตรงภายในถังเปิดที่อัตรา 100 ลิตรต่อชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส
3. การทดสอบและวิเคราะห์คุณภาพน้ำมันไบโอดีเซล ได้แก่ ค่าไอโอดีน (Iodine value: IV), ค่าเปอร์ออกไซด์ (Peroxide value: PV), ค่าความเป็นกรด (Acid Value: AV), ค่าความหนาแน่น (Density), ค่าความหนืดเชิงจลน์ (Kinematic viscosity) และค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (High heating value: HHV)
4. การทดสอบและวิเคราะห์ผลของคุณภาพน้ำมันไบโอดีเซลที่มีผลต่อสมรรถนะการทำงานของเครื่องยนต์ ทำโดยวิเคราะห์สมรรถนะการทำงานของเครื่องยนต์ ได้แก่ กำลังเบรก (Brake power: P) ผลของอัตราการไหลเชิงปริมาตรของเชื้อเพลิง (Volumetric flow rate of fuel: v_f) อัตราการไหลเชิงมวลของเชื้อเพลิง (Rate of fuel flow: $\dot{m}_f$) ค่าอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (Brake specific fuel consumption: BSFC) และประสิทธิภาพการแปลงพลังงานจากเชื้อเพลิงเบรก (Brake Fuel Conversion efficiency: η_{bf})
5. วิเคราะห์ค่ามลพิษไอเสียจากเครื่องยนต์ ได้แก่ ค่าก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO), ค่าก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) และควันดำ (Black smoke)

บทที่ 2

การทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความหมายของน้ำมันไบโอดีเซล

น้ำมันไบโอดีเซล (Biodiesel) คือ น้ำมันดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันพืช หรือไขมันสัตว์ โดยน้ำมันไบโอดีเซลแบ่งออกเป็น 3 ประเภท [กลุ่มสื่อส่งเสริมการเกษตร, 2547; ศิวะพงศ์ เพ็ชรสงค์, 2550] ได้แก่

1. น้ำมันไบโอดีเซลแบบน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์

เป็นการนำน้ำมันจากพืช หรือน้ำมันจากไขมันสัตว์มาใช้เติมเครื่องยนต์เลย โดยไม่ต้องผสม หรือเติมสารเคมี หรือเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของน้ำมัน แต่ คุณสมบัติที่ได้มีความแตกต่างกับดีเซลมาก จึงเป็นปัญหากับเครื่องยนต์

2. น้ำมันไบโอดีเซลแบบลูกผสม

เป็นการนำน้ำมันจากพืช หรือน้ำมันจากไขมันสัตว์ มาผสมกับน้ำมันดีเซล เพื่อให้ได้น้ำมันไบโอดีเซลที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลให้มากที่สุด แต่ยังพบปัญหาเรื่องการอุดตันของเครื่องยนต์ (ไส้กรองจะอุดตันเร็วกว่าปกติ) เนื่องจากสภาพอากาศที่เย็น เหมาะสำหรับการใช้กับเครื่องยนต์รอบต่ำ

3. น้ำมันไบโอดีเซลแบบเอสเทอร์

เป็นน้ำมันไบโอดีเซลที่ได้มาจากการบวนการแปรสภาพทางเคมี ที่เรียกว่า ปฏิกิริยาทรานส์-เอสเตอริฟิเคชัน (Transesterification) ได้เป็นเอสเทอร์ (Ester) ซึ่งคุณสมบัติที่ใกล้เคียงน้ำมันดีเซลมากที่สุด และมีค่าซีเทน (cetane ค่าดัชนีการจุดติดไฟ) สูงกว่าน้ำมันดีเซล ทำให้จุดระเบิดได้ดี การสันดาปสมบูรณ์ สามารถใช้กับเครื่องยนต์รอบสูงได้

โดยในงานวิจัยนี้ เราจึงเน้นศึกษาในส่วนน้ำมันไบโอดีเซลแบบเอสเทอร์

2.2 วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซล

ปาล์มน้ำมัน มีชื่อทางพฤกษศาสตร์ว่า *Elaeis Guineensis* Jacq. ผลปาล์มประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนที่ให้น้ำมัน (Pericarp) และส่วนที่เป็นเมล็ด (kernel) ซึ่งจะให้น้ำมันที่เรียกว่า kernel oil ดังแสดงในภาพที่ 2.1 น้ำมันปาล์มเป็นน้ำมันที่มีคุณสมบัติเหมาะสมในการนำไปใช้ประโยชน์ได้หลายอย่าง เนื่องจากความแตกต่างระหว่างองค์ประกอบของกรดไขมัน ลักษณะทางเคมีและกายภาพ และคุณสมบัติอื่น ๆ อาทิ มีความคงตัวต่อการเกิดออกซิเดชัน ราคาถูก หาได้ง่าย และมีการผลิตเพิ่มมากขึ้นในแต่ละปี เป็นต้น จากสมบัติเหล่านี้ของน้ำมันปาล์ม จึงได้รับการยอมรับจากภาคอุตสาหกรรมในการนำไปใช้ผลิตผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ มากมาย เช่น มาการีน เนยเหลว ครีม สบู่ และใช้ในการปรุงอาหาร ใช้ในอุตสาหกรรมน้ำมัน เช่น ใช้เป็นส่วนผสมของน้ำมันหล่อลื่น น้ำมันเครื่อง ยาขัดรองเท้า ใช้ในอุตสาหกรรมผลิตกรดไขมันอิสระ และใช้ในอุตสาหกรรมผลิตดินสอสีและเทียน นอกจากนี้ น้ำมันปาล์มยังใช้ในการทำเครื่องสำอาง เพราะสามารถแทรกซึมเข้าไปในผิวหนังได้ดีกว่าน้ำมันชนิดอื่น

ภาพที่ 2.1

ผลและเมล็ดปาล์ม



นอกจากนี้ ปาล์มน้ำมันยังเป็นพืชน้ำมันที่นิยมใช้เป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลในประเทศไทยขณะนี้ เนื่องจากเป็นพืชที่มีศักยภาพในการนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงสูงกว่าพืชน้ำมันชนิดอื่น ต้นทุนการผลิตต่ำ ให้ผลผลิตต่อพื้นที่สูง นอกจากนี้ ปาล์มน้ำมันเป็นพืชยืนต้น ทนต่อผลกระทบจากภัยธรรมชาติ อีกทั้งสามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้นานถึง 20 ปี นอกจากนี้ รัฐบาลจึงได้กำหนดยุทธศาสตร์การพัฒนาน้ำมันไบโอดีเซลจากปาล์มน้ำมัน เพื่อนำ

ทรัพยากรการเกษตรในประเทศมาผลิตเป็นพลังงาน ลดการสูญเสียเงินตราต่างประเทศ สร้างความมั่นคงด้านพลังงานเชื้อเพลิงของชาติอีกด้วย

สำหรับในงานวิจัยนี้ สนใจน้ำมันปาล์มดิบที่ผ่านกระบวนการแปรรูปแล้ว 2 ชนิด คือ น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ และปาล์มสเตียรีน โดยกระบวนการแปรรูปน้ำมันปาล์มดิบ ประกอบด้วย 2 กระบวนการ (<http://www.it.doa.go.th>) คือ

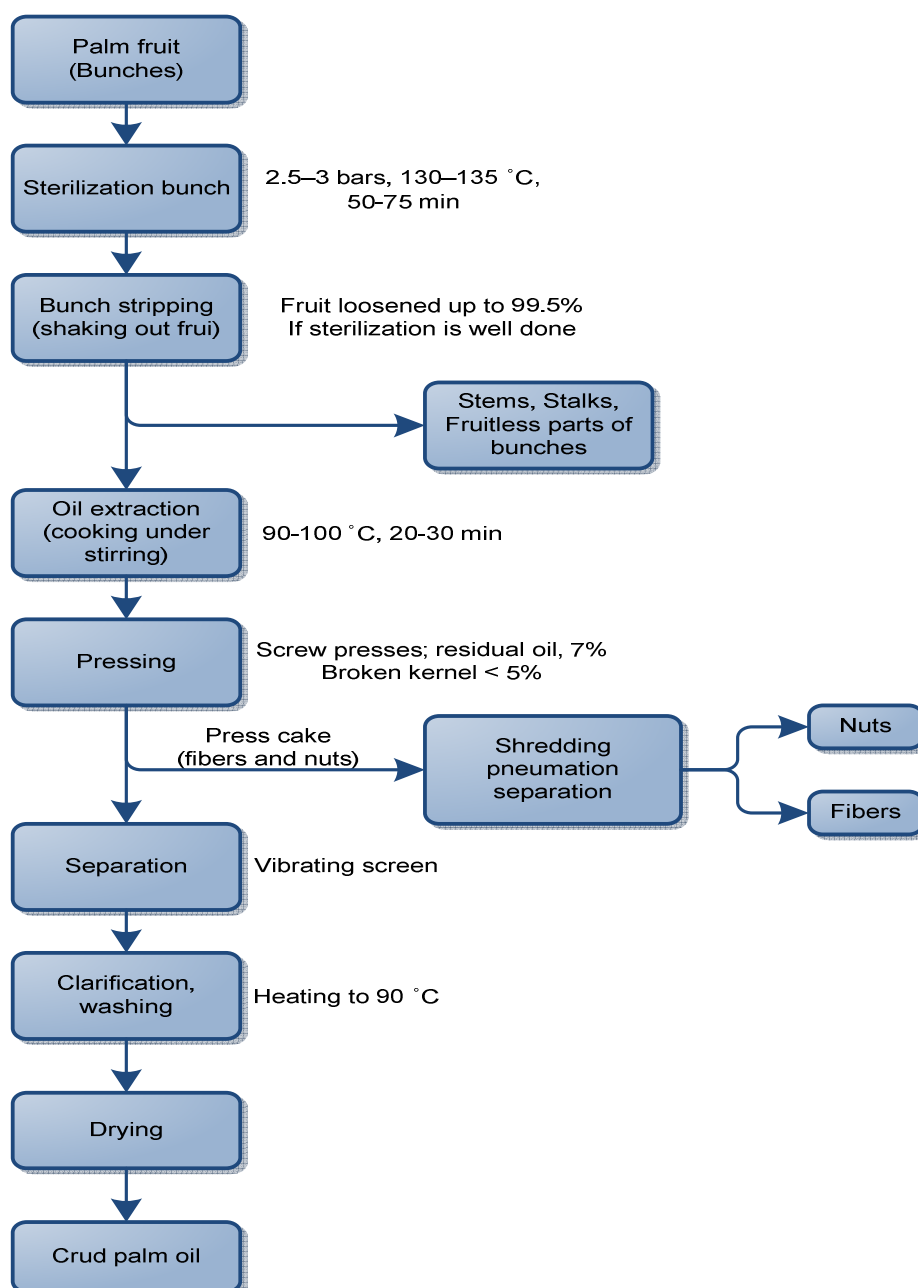
กระบวนการสกัดน้ำมันปาล์ม (Mill processing)

น้ำมันปาล์มสามารถเก็บเกี่ยวได้ตลอดทั้งปี หลังการเก็บเกี่ยวทะลายปาล์มน้ำมัน จะขนส่งผลผลิตเข้าสู่โรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม ซึ่งทำการสกัดน้ำมันแบบมาตรฐาน (หีบน้ำมันแยก) โดยมีกำลังการผลิตสูง ประมาณ 30 - 80 ตัน/ชั่วโมง และน้ำมันที่ได้จัดเป็นน้ำมันเกรดเอ เนื่องจากมีการแยกชนิดของน้ำมันปาล์ม สำหรับวิธีการสกัดน้ำมันมีดังต่อไปนี้

1. การอบทะลายด้วยไอน้ำ (sterilization) อบที่อุณหภูมิ 130 – 135 องศาเซลเซียส ความดัน 2.5 – 3.0 บาร์ นาน 50 - 75 นาที การอบทะลายจะช่วยหยุดปฏิกิริยาไลโปไลซิส ที่ทำให้เกิดกรดไขมันอิสระในผลปาล์ม และช่วยให้ผลปาล์มอ่อนนุ่ม หลุดจากข้อผลได้ง่าย
2. การแยกผล (Stripping) เป็นการส่งทะลายปาล์มเข้าเครื่องแยกผลปาล์มไปย่อย ผลปาล์มออกจากทะลาย สำหรับทะลายเปล่าจะถูกแยกออกไป จากนั้น นำผลปาล์มไปย่อยที่เครื่องย่อยผลปาล์ม เพื่อให้ส่วนเปลือกออกจากเมล็ด
3. การสกัดน้ำมัน (Oil extraction) นำส่วนเปลือกอบที่อุณหภูมิ 90 - 100 องศาเซลเซียส นาน 20 - 30 นาที จากนั้นผ่านเข้าเครื่องหีบแบบเกลียวอัดคู่ จะได้ น้ำมันปาล์มดิบ ที่มีองค์ประกอบ คือ น้ำมันประมาณ 66% น้ำ 24% และของแข็ง 10%
4. การทำความสะอาดน้ำมันปาล์มดิบ (Clarification) นำน้ำมันปาล์มดิบที่ได้จากการสกัดส่งเข้าถังกรอง เพื่อแยกน้ำและของแข็งออก จากนั้นนำเข้าเครื่องเหวี่ยง เพื่อทำความสะอาดอีกครั้ง และได้น้ำออกเพื่อทำให้แห้ง ส่งเข้าถังเก็บน้ำมัน สำหรับรอการกลั่นหรือจำหน่ายต่อไป น้ำมันปาล์มดิบที่ได้แยกเป็นสองส่วน คือ ส่วนบนมีลักษณะเป็นของเหลวสีส้มแดง (Crude palm oil olein) ประมาณ 30 -

50 % ส่วนล่างมีลักษณะเป็นไขสีเหลืองส้ม (Crude palm oil stearin) ประมาณ 50 - 70 %

ภาพที่ 2.2
กระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มดิบ



กระบวนการกลั่นบริสุทธิ์น้ำมันปาล์ม (Refine processing)

การกลั่นบริสุทธิ์น้ำมันปาล์ม เป็นกระบวนการแปรสภาพน้ำมันปาล์มดิบให้เป็นน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ พร้อมสำหรับบริโภค ซึ่งกระบวนการกลั่น สามารถแบ่งได้เป็น 2 วิธีการ คือ

วิธีทางกายภาพ (Physical or Steam refining)

เป็นกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระ โดยผ่านไอน้ำเข้าไปในน้ำมันร้อน แล้วกลั่นแยกกรดไขมันอิสระและสารที่ให้กลิ่นให้ระเหยออกไป จึงเป็นการกำจัดกลิ่นและทำให้น้ำมันเป็นกลางไปพร้อมกัน การกลั่นน้ำมันปาล์มโดยวิธีทางกายภาพ ทำได้โดยเตรียมน้ำมันปาล์มดิบหรือน้ำมันเมล็ดในปาล์มที่ไม่มีฟอสโฟลิปิด โดยกำจัดออกด้วยน้ำ แล้วทำปฏิกิริยาด้วยกรดฟอสฟอริก ความเข้มข้น 80 – 85 % ประมาณ 0.05 – 0.2 % ของน้ำมันปาล์มดิบผสมกับน้ำมันที่อุณหภูมิ 90 – 100 องศาเซลเซียส นาน 15 – 30 นาที จากนั้นเติมผงฟอกสี (Bleaching earth) ประมาณ 0.8 – 2.0 % ของ น้ำมันปาล์มดิบ และฟอกสีภายใต้สภาพสุญญากาศที่อุณหภูมิ 95 – 100 องศาเซลเซียส นาน 30 – 45 นาที จากนั้นนำ น้ำมันปาล์มผ่านเข้าเครื่องกรองจะได้น้ำมันที่ไม่มีฟอสโฟลิปิด และทำการกลั่นโดยใช้ไอน้ำที่อุณหภูมิน้ำมัน 240 – 270 องศาเซลเซียส นาน 1 - 2 ชั่วโมง ภายใต้สภาพสุญญากาศ จะได้น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ (Refined Bleached and Deodorized Palm Oil) น้ำมันปาล์มที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์แล้ว แยกเป็นสองส่วนคือ ส่วนล่างมีลักษณะเป็นไข (RBD stearin) และส่วนบนเป็นน้ำมันมีสีเหลืองอ่อนถึงเข้ม (RBD olein) และผลิตผลพลอยได้ที่สำคัญจากการกลั่นบริสุทธิ์น้ำมันปาล์ม คือ Palm fatty acid distilled ซึ่งนิยมใช้เป็นวัตถุดิบในการทำสบู่ อาหารสัตว์

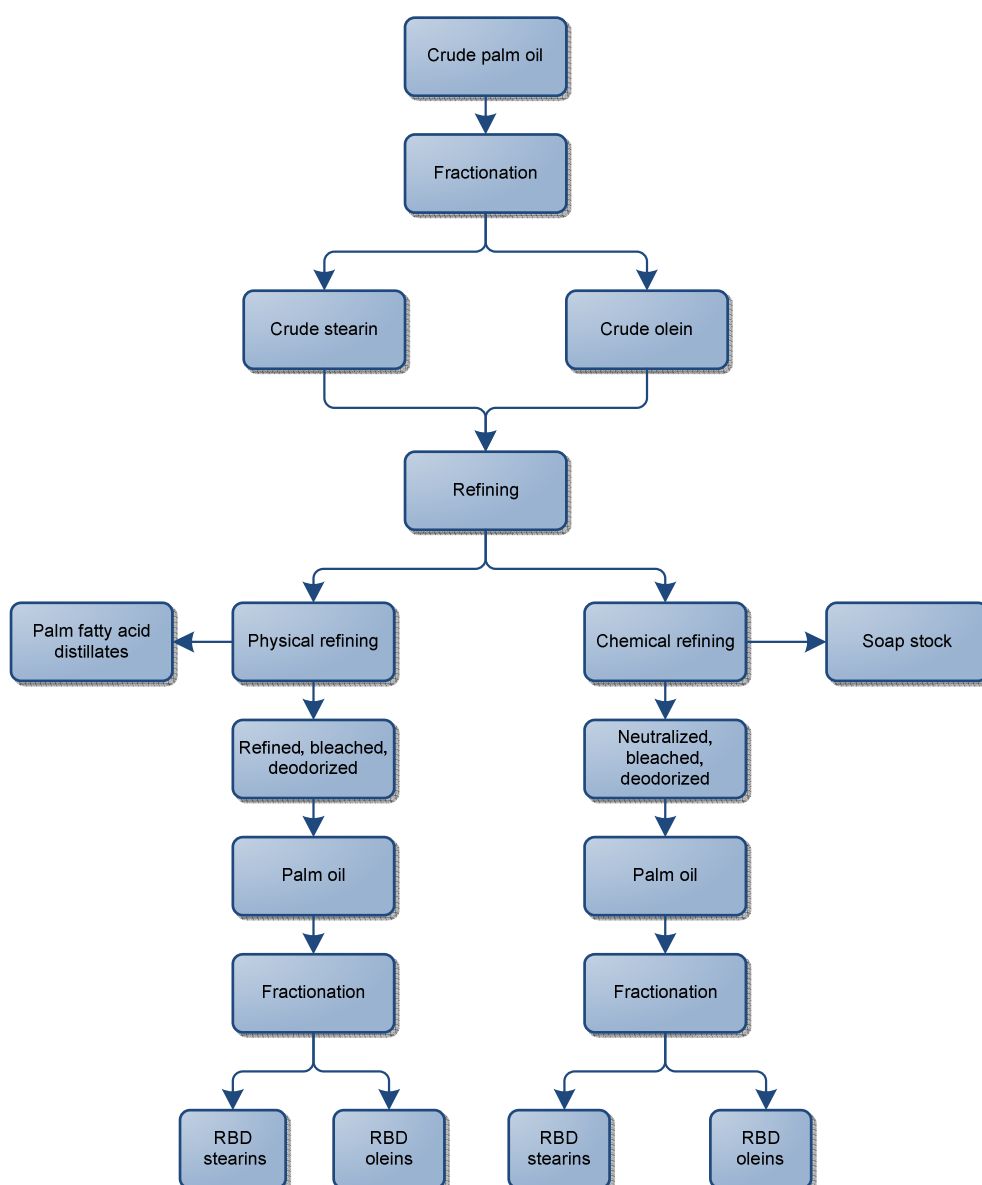
วิธีทางเคมี (Chemical refining)

เป็นกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ หรือ โซเดียมคาร์บอเนต ทำปฏิกิริยากับกรดไขมันอิสระในน้ำมันให้เกิดเป็นสบู่ จากนั้นแยกสบู่ออกโดยวิธีการหมุนเหวี่ยง สำหรับความเข้มข้นของด่างที่ใช้มาน้อยแปรผันตามปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์ม การกลั่นน้ำมันปาล์มด้วยสารละลายด่าง เริ่มด้วยการให้ความร้อนแก่น้ำมันปาล์มดิบที่อุณหภูมิ 80 – 90 องศาเซลเซียส แล้วเติมกรดฟอสฟอริกความเข้มข้น 80 – 85 % ในปริมาณ 0.05 – 0.2 % จากนั้นเติมสารละลายด่างซึ่งจะทำให้เกิดสบู่ แยกสบู่ได้ด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยง และล้างไขสบู่ด้วยน้ำ จากนั้นให้ความร้อนแก่น้ำมันเพื่อไล่น้ำให้ระเหยออก จากนั้นนำน้ำมันมาฟอกสี และกำจัดกลิ่นด้วยไอน้ำ จะได้น้ำมันปาล์มที่เรียกว่า Neutralized Bleached and

Deodorized Palm Oil น้ำมันปาล์มที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์แล้ว แยกเป็นสองส่วนคือ ส่วนล่างมีลักษณะเป็นไข (RBD stearin) และส่วนบนเป็นน้ำมันมีสีเหลืองอ่อนถึงเข้ม (RBD olein)

โดยน้ำมันวัตถุดิบที่ใช้ในงานวิจัยนี้ คือ stearin และ RBD olein ซึ่งในที่นี้ จะเรียกว่า น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ และปาล์มสเตียรีน ตามลำดับ

ภาพที่ 2.3
การแปรรูปน้ำมันปาล์ม



2.3 โครงสร้างของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซล

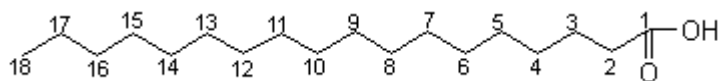
วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซล โดยมากเป็นน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์ซึ่งมีไตรกลีเซอไรด์ของกรดไขมันชนิดต่าง ๆ เป็นองค์ประกอบ โดยคุณสมบัติของน้ำมันแต่ละชนิดทั้งทางเคมีและกายภาพแตกต่างกันไป ตามคุณสมบัติของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบอยู่ในน้ำมัน

2.3.1 กรดไขมัน (Fatty Acid)

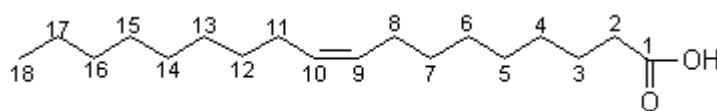
คือ โครงสร้างของกรดคาร์บอกซิลิก (Carboxylic acid) ซึ่งมีสายโซ่เป็นแบบโซ่ตรงหรือแตกกิ่ง (aliphatic hydrocarbon) โดยกรดไขมันที่เสถียรจะมีคาร์บอนเป็นเลขคู่ และมักจะประกอบด้วยคาร์บอนตั้งแต่ 12 ถึง 26 อะตอม แต่ที่พบมากทั้งในชนิดอิ่มตัว และไม่อิ่มตัว คือ คาร์บอน 16 และ 18 อะตอม โดยตัวอย่างโครงสร้างโมเลกุลของกรดไขมันเป็นดังภาพที่ 2.4

ภาพที่ 2.4

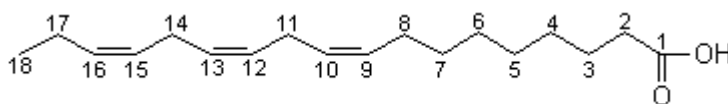
ตัวอย่างโครงสร้างโมเลกุลของกรดไขมันชนิดต่าง ๆ ทั้งประเภทอิ่มตัวและไม่อิ่มตัวที่มีจำนวนคาร์บอนอะตอมในโมเลกุล 18 ตัว



Stearic acid C 18:0



Oleic acid C 18:1



Linolenic acid C 18:3

ที่มา: <http://www.public.iastate.edu>

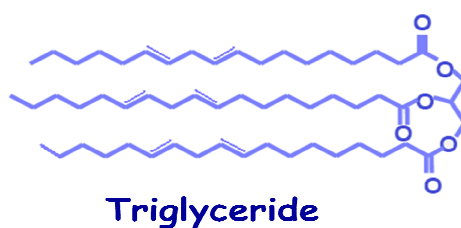
โดยทั่วไปแล้ว กรดไขมันสามารถสร้างพันธะกับโมเลกุลอื่น ๆ ได้ ตัวอย่างเช่น โมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ แต่เมื่อใดก็ตามที่โมเลกุลของกรดไขมันนั้น ๆ ไม่ได้ไปทำปฏิกิริยา หรือเชื่อมต่อกับโมเลกุลอื่น เมื่อนั้นมันจะถูกเรียกว่า กรดไขมันอิสระ (Free Fatty Acid)

2.3.2 ไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride)

ไตรกลีเซอไรด์ คือ หมู่กลีเซอไรด์ที่ทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันกับกรดไขมันจำนวน 3 สายด้วยกัน ไตรกลีเซอไรด์จัดเป็นองค์ประกอบหลักในน้ำมันพืช และไขมันสัตว์ มีโครงสร้างดังภาพที่ 2.5

ภาพที่ 2.5

โครงสร้างทั่วไปของไตรกลีเซอไรด์ $[CH_2COOR-CHCOOR'-CH_2-COOR"]$



โดยส่วนประกอบของ Triglyceride ในน้ำมันชนิดต่างๆ หลายชนิดได้สรุปไว้ในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1

แสดงองค์ประกอบของกรดไขมันหลักในน้ำมันชนิดต่าง ๆ

น้ำมันชนิดดิบ	ค่าไอโอดีน	องค์ประกอบของกรดไขมันหลัก						
		C 12 : 0	C 14 : 0	C 16 : 0	C 18 : 0	C 18 : 1	C 18 : 2	C 18 : 3
		Lauric	Myristic	Palmitic	Stearic	Oleic	Linoleic	Linolenic
ปาล์ม	14.1 – 21.0	ND – 0.5	0.5 – 2.0	39.3 – 47.5	3.5 – 6.0	36.0 – 44.0	9.0 – 12.0	ND – 0.5
ปาล์มโอดีน	≥ 56	0.1 – 0.5	0.5 – 1.5	38.0 – 43.5	3.5 – 5.0	39.8 – 46.0	10.0 – 13.5	ND – 0.6
ปาล์มสเตียรีน	≤ 48	0.1 – 0.5	1.0 – 2.0	48.0 – 74.0	3.9 – 6.0	15.5 – 36.0	3.0 – 10.0	0.5

ที่มา : <http://www.dede.go.th>

ตารางที่ 2.2

แสดงองค์ประกอบของกรดไขมันหลักในน้ำมันชนิดต่าง ๆ (ต่อ)

น้ำมันชนิดดิบ	ค่าไอโอดีน	องค์ประกอบของกรดไขมันหลัก						
		C 12 : 0	C 14 : 0	C 16 : 0	C 18 : 0	C 18 : 1	C 18 : 2	C 18 : 3
		Lauric	Myristic	Palmitic	Stearic	Oleic	Linoleic	Linolenic
เมล็ดในปาล์ม	50.0 – 55.0	45.0 – 55.0	14.0 – 18.0	6.5 – 10.0	1.0 – 3.0	12.0 – 19.0	1.0 – 3.5	ND – 0.2
ถั่วลิสง	56 – 107	ND – 0.1	ND – 0.1	8.0 – 14.0	1.0 – 4.5	35.0 – 67.0	13.0 – 43.0	ND – 0.3
เมล็ดสบู่ดำ	101	ND	ND	14.9	6.0	41.2	37.4	ND
เมล็ดเรพ	94 – 120	ND	ND – 0.2	1.5 – 6.0	0.5 – 3.1	8.0 – 60.0	11.0 – 23.0	5.0 – 13.0
ถั่วเหลือง	124 – 139	ND – 0.1	ND – 0.2	8.0 – 13.5	2.0 – 5.4	17.7 – 28.0	49.8 – 59.0	5.0 – 11.0
มะพร้าว	6.3 – 10.6	45.1 – 53.2	16.8 – 21.0	7.5 – 10.2	2.0 – 4.0	5.0 – 10.0	1.0 – 2.5	ND

ที่มา : <http://www.dede.go.th>

กรดไขมันที่เป็นส่วนประกอบของไตรกลีเซอไรด์ โดยทั่วไปมีทั้งประเภทที่อิ่มตัว และไม่
อิ่มตัวมีรายละเอียดดังนี้

a.) ไตรกลีเซอไรด์ของกรดไขมันอิ่มตัว (Saturated Fatty acid) ประกอบไปด้วยโมเลกุล
ของกรดไขมันที่ภายในสายโซ่มีแต่พันธะเดี่ยวระหว่างคาร์บอนกับไฮโดรเจน มักจะมีลักษณะเป็น
ของแข็งที่อุณหภูมิห้อง ได้แก่

<u>Caprylic</u> (octanoic acid):	$\text{CH}_3 (\text{CH}_2)_6 \text{COOH}$	or <u>C8:0</u>
<u>Capric</u> (decanoic acid):	$\text{CH}_3 (\text{CH}_2)_8 \text{COOH}$	or <u>C10:0</u>
<u>Lauric</u> (dodecanoic acid):	$\text{CH}_3 (\text{CH}_2)_{10} \text{COOH}$	or <u>C12:0</u>
<u>Myristic</u> (tetradecanoic acid):	$\text{CH}_3 (\text{CH}_2)_{12} \text{COOH}$	or <u>C14:0</u>
<u>Palmitic</u> (hexadecanoic acid):	$\text{CH}_3 (\text{CH}_2)_{14} \text{COOH}$	or <u>C16:0</u>
<u>Stearic</u> (octadecanoic acid):	$\text{CH}_3 (\text{CH}_2)_{16} \text{COOH}$	or <u>C18:0</u>

b.) ไตรกลีเซอไรด์ของกรดไขมันไม่อิ่มตัว (Unsaturated Fatty acid) ประกอบไปด้วย โมเลกุลของกรดไขมันภายในสายโซ่มีพันธะคู่ระหว่างคาร์บอนกับไฮโดรเจน มักมีลักษณะเป็น ของเหลวที่อุณหภูมิห้อง

- กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยว (Monounsaturated Fatty acid) โมเลกุลของกรด ไขมันที่ภายในสายโซ่ มีพันธะคู่ระหว่างคาร์บอนกับไฮโดรเจนอยู่ 1 ตำแหน่ง ตัวอย่างเช่น Oleic acid (Cis-9-octadecanoic acid): $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$
or cis- Δ^9 C18:1

- กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน (Polyunsaturated Fatty acid) โมเลกุลของกรด ไขมันที่ภายในสายโซ่ มีพันธะคู่ระหว่างคาร์บอนกับไฮโดรเจนอยู่มากกว่า 1 ตำแหน่ง ตัวอย่างเช่น

Linoleic acid: $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$ or C18:2

Alpha-linolenic acid: $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$
or C18:3

2.4 การผลิตน้ำมันไบโอดีเซลแบบเอสเทอร์

การผลิตน้ำมันไบโอดีเซลแบบเอสเทอร์ โดยวิธี Conventional process ประกอบด้วย 3 ขั้นตอน คือ

- การปรับปรุงคุณภาพก่อนทำปฏิกิริยา
- ขั้นตอนการทำปฏิกิริยา
- การปรับสภาพหลังจากปฏิกิริยา

1. การปรับปรุงคุณภาพก่อนทำปฏิกิริยา (Pre-treatment process)

กระบวนการปรับปรุงคุณภาพก่อนทำปฏิกิริยา คือ การนำน้ำมันวัตถุดิบไปกำจัดผง ตะกอน และน้ำที่ปนเปื้อน ให้หมดไปก่อน โดยนำไปกรอง และให้ความร้อนแก่น้ำมัน

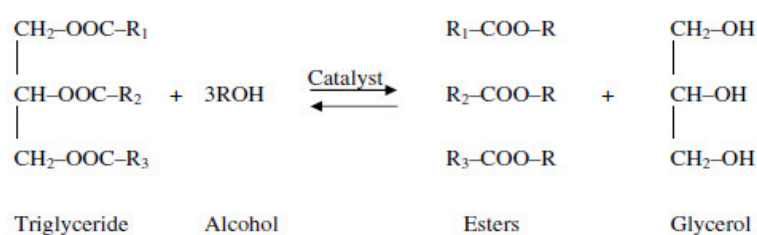
2. ขั้นตอนการทำปฏิกิริยา (Transesterification process)

การทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน (Transesterification) เป็นการนำน้ำมัน วัตถุดิบมาทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ ได้แก่ เมทานอล หรือ เอทานอล โดยมีด่างเป็นตัวเร่ง

ปฏิกิริยา เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์เป็นเอสเทอร์ และกลีเซอรอล โดยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน แสดงได้ดังภาพที่ 2.6

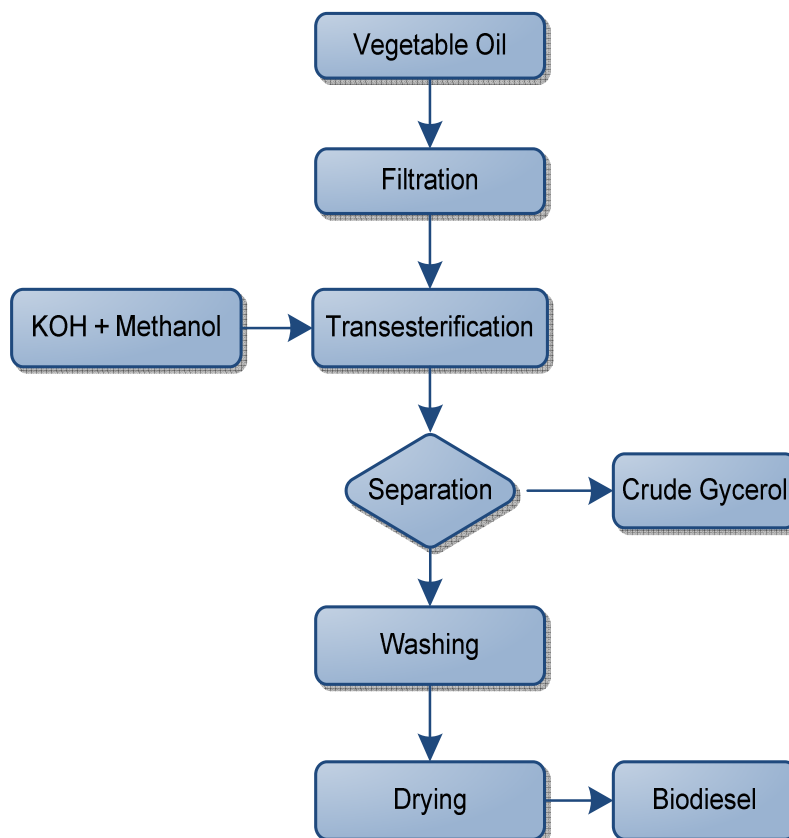
ภาพที่ 2.6

ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน (Transesterification)



คะตะลิสต์เบส (Base – catalyzed) ที่นิยมใช้ ได้แก่ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) โดยกลไกการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน โดยใช้คะตะลิสต์ที่เป็นเบสของน้ำมันพืชเป็นไปดังภาพที่ 2.7 (Schuchardt et al., 1998) ขั้นตอนแรก (สมการที่ 1) เป็นปฏิกิริยาระหว่างเบสกับแอลกอฮอล์ ทำให้แอลกอฮอล์แตกตัวเป็นสารประกอบ Alkoxide และ Protonated catalyst ขั้นตอนที่สองเป็นการชนกันระหว่างโมเลกุลของ Alkoxide กับไตรกลีเซอไรด์ที่มีหมู่คาร์บอนิลได้ Alkyl ester และ Diglyceride anion ดังขั้นตอนที่สาม ในขั้นตอนสุดท้าย Diglyceride anion จะรับโปรตอนมาจากคะตะลิสต์ ได้เป็นสารประกอบไตรกลีเซอไรด์ และคะตะลิสต์ที่พร้อมจะทำปฏิกิริยากับโมเลกุลอื่นของแอลกอฮอล์ เพื่อเริ่มวัฏจักรการเร่งปฏิกิริยาต่อไป ในส่วนกลไกการเกิดปฏิกิริยาของ Diglyceride และ Monoglyceride เป็น Alkyl ester และกลีเซอรอลก็มีลักษณะเช่นเดียวกันนี้

ภาพที่ 2.8
กระบวนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซล



2.5 การเสื่อมสภาพของน้ำมันไบโอดีเซล

พฤติกรรมการเสื่อมสภาพ (Degradation) ของน้ำมันไบโอดีเซลอาจมีสาเหตุมาจากหลายประการด้วยกัน ไม่ว่าจะเป็นอากาศ ความชื้น แสงแดด และโลหะ ซึ่งสามารถอธิบายได้จากปฏิกิริยาต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

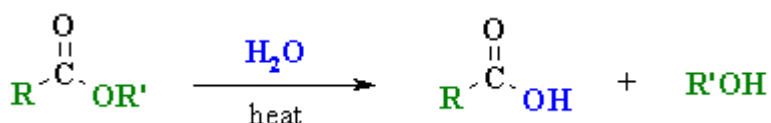
2.5.1 Hydrolysis of Ester (Bouaid et al., 2007; Leung et al., 2006)

ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) คือ ปฏิกิริยาการแยกสายโซ่ของกรดไขมันออกจาก Backbone ในโมเลกุลของเอสเทอร์ ได้เป็นกรดไขมันอิสระและแอลกอฮอล์ โดยทั่วไปจะมีปริมาณของ Free Fatty Acid (FFA) หรือ กรด carboxylic ($R-COOH$) เกิดขึ้นจากการที่น้ำมัน

สัมผัสกับน้ำ (เกิดการให้ไฮโดรเจนแก่น้ำมันขึ้น) โดยมีความร้อนเป็นตัวช่วยเร่งปฏิกิริยา ตัวอย่างการเกิดปฏิกิริยา Hydrolysis เป็นดังภาพที่ 2.9

ภาพที่ 2.9

ปฏิกิริยา Hydrolysis



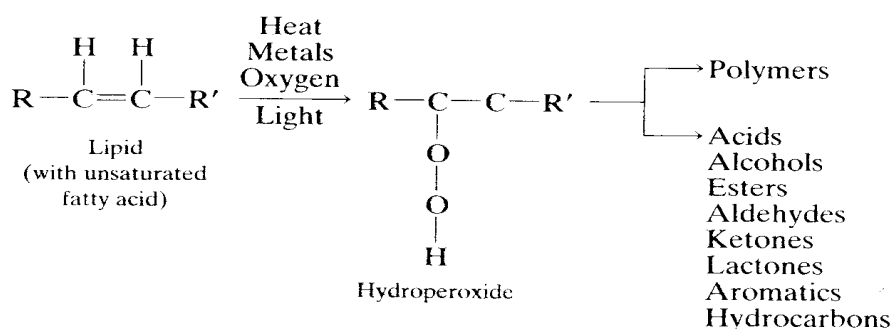
ที่มา: <http://www.chem.ucalgary.ca>

2.5.2 Oxidation (Bailey, 1951, Knothe, 2007)

การเสื่อมสภาพของเมทิลเอสเทอร์ในสภาวะที่มีออกซิเจน คือ การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยการเติมออกซิเจนเข้าไปทำปฏิกิริยาที่ตำแหน่งพันธะคู่ของสายโซ่เมทิลเอสเทอร์ได้เป็นสารประกอบที่ไม่อยู่ตัว เช่น สารประกอบเปอร์ออกไซด์ (ดังภาพที่ 2.10) และจะสามารถวัดปริมาณสารประกอบเปอร์ออกไซด์ที่เกิดขึ้นได้ โดยการวัดค่า Peroxide value เมื่อพิจารณาควบคู่ไปกับภาพที่ 2.11 ในช่วงแรกที่เริ่มเกิดสารเปอร์ออกไซด์ขึ้นนี้ เราเรียกว่าเป็นขั้นเหนี่ยวนำ (Induction phase) ซึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชันเกิดด้วยอัตราที่ค่อนข้างช้า และไม่มีควมสม่ำเสมอ ช่วงต่อมา คือ ช่วง Peroxide formation ในช่วงนี้ เป็นช่วงที่ปฏิกิริยาออกซิเดชันเกิดเป็นสารประกอบจำพวกเปอร์ออกไซด์ด้วยอัตราที่สูงขึ้นอย่างรวดเร็วจนถึงจุดสูงสุด หลังจากจุดนี้ปฏิกิริยาจะเข้าสู่เฟสต่อไป ซึ่งเป็นช่วงที่เกิดการสลายตัวของสารประกอบจำพวกเปอร์ออกไซด์ กลายเป็นสารประกอบจำพวกโพลิเมอร์ (Polymerization) หรือสารประกอบที่มีสายโซ่โมเลกุลสั้นลง เช่น แอลดีไฮด์, คีโตน, แอลกอฮอล์, และอีเทอร์ เป็นต้น ซึ่งหลังจากนี้ปฏิกิริยาจะเข้าสู่ขั้นตอนสุดท้ายของการเกิดออกซิเดชัน คือ เกิดการเสื่อมสภาพ (Degradation) หากการเสื่อมสภาพอยู่ในสภาวะที่เหมาะสมเป็นสารประกอบพอลิเมอร์ จะสังเกตได้จากค่าความหนืดของน้ำมันที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยปัจจัยที่ส่งผลต่อการเสื่อมสภาพ โดยเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน คือ องค์ประกอบของน้ำมัน, ปริมาณออกซิเจนที่ถูกดูดซับ และสภาวะเร่งในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน เช่น อุณหภูมิ, แสง และกลุ่มโลหะ (Bouaid et al., 2007; Knothe et al., 2003; Leung et al., 2006)

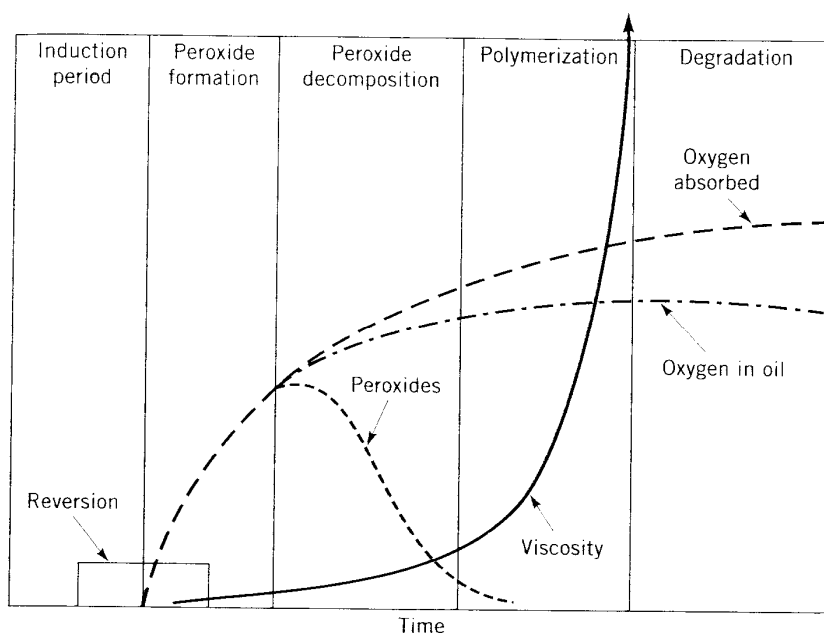
อย่างไรก็ดี ค่าความหนืดสูงจะนำไปสู่การเกิด Gum และตะกอนที่จะไปอุดตันได้กรองเครื่องยนต์ ดังนั้น ปัจจัยสำคัญที่ก่อให้เกิดการเสื่อมสภาพที่ทำให้ค่าความหนืดสูงขึ้น คือ อุณหภูมิ และแสง (Canakci et al., 1999, Mittelbach et al., 2001) เมื่อน้ำมันถูกเก็บไว้ในสภาวะที่มีตัวเร่งดังกล่าว จะเสริมการเสื่อมสภาพจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน และปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ ทำให้ค่าความหนืดของน้ำมันไบโอดีเซลเพิ่มสูงขึ้น อย่างไรก็ตาม การเก็บรักษาน้ำมันไบโอดีเซลในสภาวะปิด ที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลามากกว่า 6 เดือน พบว่า ค่าความหนืดจะเริ่มมีค่าสูงขึ้นอย่างเด่นชัด (Leung et al., 2006; Thompson et al., 1998) ซึ่งคาดว่าน้ำมันเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงสภาพเป็นสารพอลิเมอร์

ภาพที่ 2.10
ปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมัน



ที่มา: Bailey, 1951

ภาพที่ 2.11
 ขั้นตอนการเสื่อมสภาพของน้ำมันผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชัน
 และปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน



ที่มา: Perkins, 1967

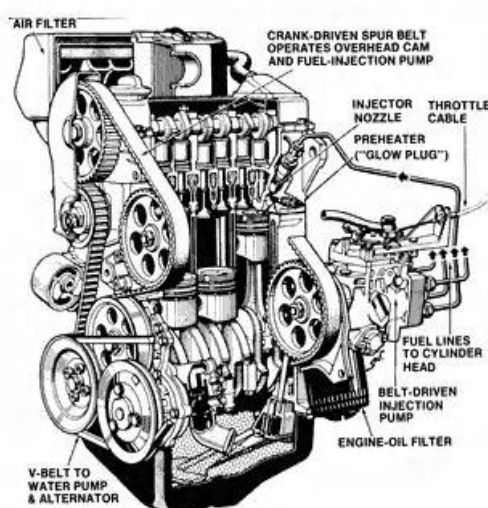
2.6 ทฤษฎีเบื้องต้นที่เกี่ยวข้องกับสมรรถนะการทำงานของเครื่องยนต์และไอเสียจากการเผาไหม้

2.6.1 เครื่องยนต์ดีเซล (Diesel Engine)

เครื่องยนต์ดีเซล (Diesel Engine) แสดงในภาพที่ 2.12 เป็นเครื่องยนต์ประเภทเผาไหม้ภายใน (Internal Combustion Engine) ที่ได้พลังงานมาจากความร้อน ซึ่งเกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงภายในกระบอกสูบ เครื่องยนต์ดีเซลมีคุณลักษณะที่สำคัญแตกต่างจากเครื่องยนต์ประเภทอื่น คือวิธีการจุดระเบิดเชื้อเพลิง เครื่องยนต์ดีเซลใช้วิธีฉีดเชื้อเพลิงเข้าไปในกระบอกสูบ ที่มีอากาศอัดด้วยความดันสูง อากาศที่อัดในกระบอกสูบของเครื่องยนต์ด้วยความดันสูงนี้ จะทำให้อุณหภูมิของอากาศเพิ่มสูง (ประมาณ $450-700^{\circ}\text{C}$) ขึ้นด้วย ดังนั้นเมื่อเชื้อเพลิงฉีดเป็นฝอยละอองเข้าไปกระทำกับอากาศร้อนก็จะเกิดการจุดระเบิดขึ้น ด้วยเหตุนี้เครื่องยนต์ดีเซลอาจเรียกได้ว่า เครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัดตัว (Compression Ignition Engines หรือ C.I Engine)

ภาพที่ 2.12

เครื่องยนต์ดีเซล



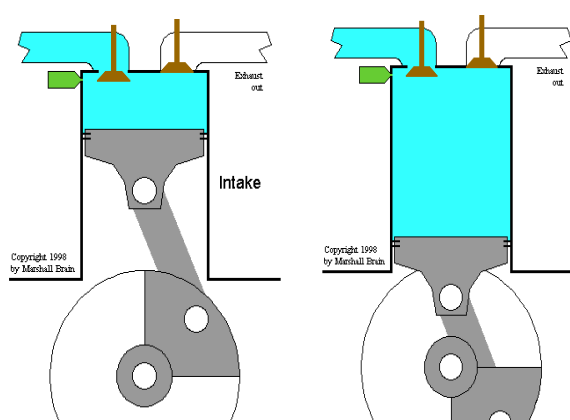
ที่มา: <http://www.gmcworkshop.com>

การทำงานของเครื่องยนต์ดีเซล 4 จังหวะ (John, 1988; Willard, 1997)

1. จังหวะดูด (Suction stroke) แสดงในภาพที่ 2.13 เป็นช่วงที่ลูกสูบจะเคลื่อนจากศูนย์ตายบน ลงไปยังศูนย์ตายล่าง ระหว่างนี้ลิ้นไอดีจะเปิด อากาศจะถูกดูดเข้าไปบรรจุอยู่ในกระบอกสูบ

ภาพที่ 2.13

แสดงจังหวะดูด (Intake Stroke)

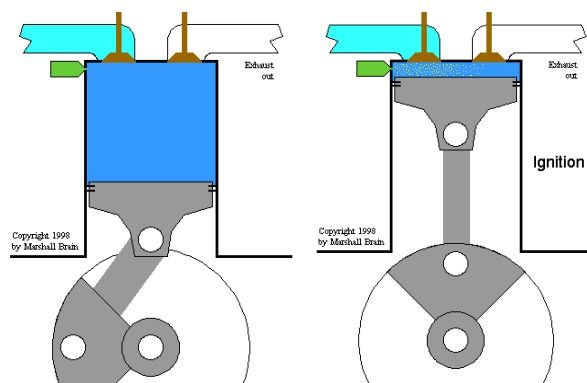


ที่มา: <http://www.rmutphysics.com>

2. จังหวะอัด (Compression stroke) แสดงในภาพที่ 2.14 จังหวะนี้จะทำงานต่อเนื่องกับจังหวะดูด ลิ้นไอดีจะปิด และลูกสูบเลื่อนขึ้นอัดอากาศ ให้มีกำลังดันและอุณหภูมิสูงขึ้น เมื่อใกล้จะสุดจังหวะอัดนี้ ถ้ากำหนดให้เชื้อเพลิงฉีดเข้าไปในอากาศที่อัดตัวร้อนนั้น จะเกิดการสันดาปขึ้น เป็นผลทำให้ก๊าซมีกำลังดันเพิ่มขึ้น เกิดแรงผลักดันให้ลูกสูบเลื่อนลง

ภาพที่ 2.14

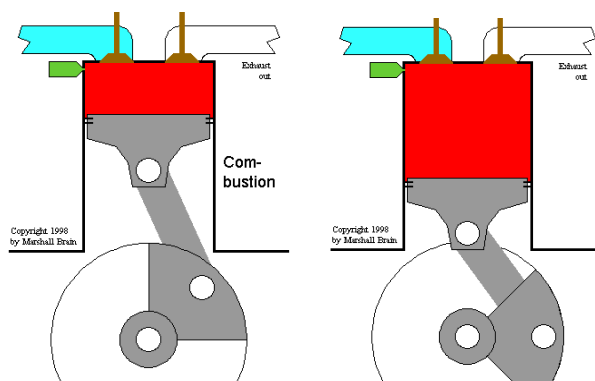
แสดงจังหวะอัด (Compression Stroke)

ที่มา: <http://www.rmutphysics.com>

3. จังหวะงาน (Power stroke) แสดงในภาพที่ 2.15 จะเป็นช่วงที่ก๊าซเกิดการขยายตัว และลูกสูบเลื่อนลง เนื่องจากการจุดระเบิดที่ปลายจังหวะอัด ก๊าซที่สันดาปจะขับให้ลูกสูบเลื่อนลง และถ่ายกำลังให้กับเพลาข้อเหวี่ยง จังหวะนี้ทั้งลิ้นไอดีและลิ้นไอเสียจะปิดสนิท

ภาพที่ 2.15

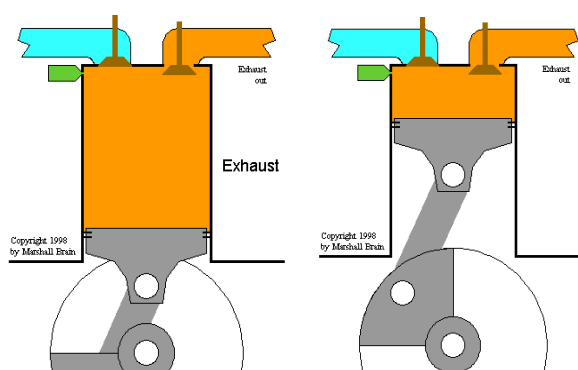
แสดงจังหวะระเบิด (power Stroke)

ที่มา: <http://www.rmutphysics.com>

4. จังหวะคาย (Exhaust stroke) แสดงในภาพที่ 2.16 เมื่อใกล้จะสุดจังหวะงาน ก่อนที่ลูกสูบจะลง ถึงศูนย์ตายล่าง ลิ้นไอดีจะเปิด เมื่อลูกสูบผ่านศูนย์ตายล่างและเลื่อนขึ้น ก็ จะ ขยับไอดีเสียออก หลังจากนั้นลิ้นไอดีจะปิด และลิ้นไอดีจะเปิดเป็นการเริ่มต้นการทำงานรอบใหม่ต่อไป

ภาพที่ 2.16

แสดงจังหวะคาย (Exhaust Stroke)



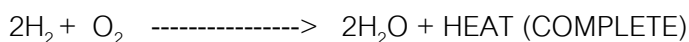
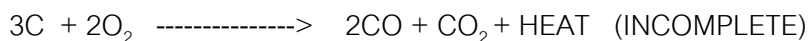
ที่มา: <http://www.rmutphysics.com>

2.6.2 ทฤษฎีการเผาไหม้ (Combustion Theory)

กระบวนการเผาไหม้ของส่วนผสมของน้ำมันและอากาศในกระบอกสูบของเครื่องยนต์เป็นกระบวนการหนึ่งที่มีผลควบคุม กำลัง ประสิทธิภาพและแก๊สไอเสียของเครื่องยนต์ ความรู้พื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นระหว่างการเผาไหม้เป็นสิ่งจำเป็นในการที่จะเข้าใจการทำงานของเครื่องยนต์

การเผาไหม้ คือ การทำปฏิกิริยาระหว่างเชื้อเพลิงกับออกซิเจนและเกิดเป็นปฏิกิริยา คายความร้อน เชื้อเพลิงโดยทั่วไปประกอบด้วยคาร์บอนและไฮโดรเจน การเผาไหม้ที่สมบูรณ์ ผลิตภัณฑ์ (Product) ที่ได้จากปฏิกิริยาจะประกอบด้วยน้ำ (H_2O) และคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) แต่ถ้าการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์จะมีคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ออกมาด้วย ตัวอย่างสมการสำหรับการเผาไหม้





2.6.3 ทฤษฎีเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด (Compression Ignition Engine Theory)

หลักการเผาไหม้ของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด คือ ที่ปลายจังหวะอัด เชื้อเพลิงจะถูกฉีดเข้าห้องเผาไหม้ในจังหวะที่ถูกสูบอยู่ที่ตำแหน่งก่อนศูนย์ตายบนเล็กน้อย โดยเชื้อเพลิงที่ถูกฉีดเข้าไบนั้นจะมีความดันสูงมากโดยผ่านอริฟิซก่อนที่จะผ่านปลายหัวฉีดแล้วแตกเป็นฝอยละอองเชื้อเพลิงเข้าสู่ห้องเผาไหม้ และจะระเหยอย่างรวดเร็วผสมกับอากาศที่มีอุณหภูมิและความดันสูงภายในกระบอกสูบ หลังจากนั้นจะเกิดการจุดระเบิดเองของเชื้อเพลิงที่ผสมกับอากาศ ซึ่งอยู่ในอัตราส่วนที่สามารถติดไฟได้ เมื่อการเผาไหม้เริ่มขึ้น ความดันและอุณหภูมิในห้องเผาไหม้ก็จะสูงขึ้นซึ่งจะช่วยให้เชื้อเพลิงในส่วนที่เหลือระเหยและผสมกับอากาศได้เร็วมากขึ้น ทำให้เกิดการเผาไหม้ที่เร็วและรุนแรงต่อเนื่องจนกระทั่งถึงจังหวะคายที่ลิ้นไอเสียเปิดระบายไอเสียออกไป

จะเห็นได้ว่าหลักการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ที่จุดระเบิดด้วยการอัดนั้นค่อนข้างจะซับซ้อน การเผาไหม้ที่ดีจะเกิดจากการผสมระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศที่ดี ซึ่งขึ้นอยู่กับกระบวนการ การแตกเป็นฝอยละออง (Atomization) และการระเหย (Vaporization) การผสมระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศ (Fuel-Air Mixing) และการเผาไหม้ (Combustion) ของเชื้อเพลิงที่ถูกฉีดเข้าห้องเผาไหม้

การเผาไหม้ในเครื่องยนต์ดีเซล (อุตสาหกรรม จีรากร และ เชื้อ ชูขำ, 2542)

กระบวนการเผาไหม้ในเครื่องยนต์ดีเซล และเครื่องยนต์เบนซินแตกต่างกันมาก ในเครื่องยนต์เบนซิน สารผสมของอากาศกับเชื้อเพลิง จะถูกดูดเข้าในจังหวะดูด และสารผสมนี้จะถูกอัดจนถูกสูบเคลื่อนที่จนเกือบถึงจุดศูนย์ตายบน หัวเทียนจะช่วยจุดไฟเพื่อให้เกิดการเผาไหม้ สารผสมนี้ต้องไม่ติดไฟเองไม่ว่าก่อนหรือหลังหัวเทียนจุด มิฉะนั้นจะเกิดการน็อกขึ้น ซึ่งทำให้เครื่องเสียกำลังประสิทธิภาพตก ส่วนในเครื่องยนต์ดีเซลนั้นในจังหวะดูด จะดูดเอาแต่อากาศเพียงอย่างเดียว แล้วอากาศนี้จะถูกอัดจนถูกสูบเกือบถึงศูนย์ตายบนอากาศนี้จะมี ความดันสูง และอุณหภูมิสูง เมื่อน้ำมันถูกฉีดเข้ามา หยดของน้ำมันที่มีขนาดไม่เท่ากัน ก็จะได้รับความร้อนและผิวของหยดน้ำมันจะระเหยออกไป ไอของน้ำมันจะผสมกับอากาศที่อัดนั้น และเกิดเป็นสารผสมขึ้นสารผสมที่เกิดขึ้นในลูกสูบนี้จะมีอัตราส่วนอากาศและเชื้อเพลิงต่างกันไปในแต่ละแห่ง และแต่ละเวลาการ

เผาไหม้เกิดขึ้นเองเมื่ออุณหภูมิและอัตราส่วนของอากาศและเชื้อเพลิงพอดีกัน ธรรมชาติของน้ำมันขนาดต่างๆ ที่ถูกฉีดเข้ามากจะกระจายไปทั่วกระบอกสูบ และในกระบอกสูบอากาศก็จะหมุนเวียนวนไปทำให้เกิดการเผาไหม้ขึ้นได้หลาย ๆ แห่งไม่แน่นอนแต่ทั่วไปจะติดหลายจุด รอบๆ บริเวณที่ฉีดน้ำมันก่อนการเผาไหม้ในเครื่องยนต์ดีเซลนั้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ช่วงคือ

1. ช่วงจุดไฟล่า (Delay Period หรือ Ignition Delay) คือ ช่วงเวลาระหว่างที่เริ่มฉีดน้ำมันจนถึงจุดเริ่มติดไฟ ช่วงนี้มีความสำคัญมากต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์ และรวมทั้งผลกระทบอย่างมากต่อเสียงการสั่นสะเทือนและไอเสีย เมื่อช่วงจุดไฟล่าขึ้นอยู่กับ Cetane Number ของเชื้อเพลิงอุณหภูมิและความดันของการอัดการตั้งเวลาการฉีดและการหมุนเวียนของก๊าซในกระบอกสูบ ช่วงนี้จะสั้นเมื่อ Cetane Number สูง ความดันและอุณหภูมิตั้งการฉีดน้ำมันเข้า (ก่อน IDC ไม่นาน) Delay Period นี้เป็นผลรวมของ Physical Delay และ Chemical Delay คือช่วงของ Physical Delay น้ำมันที่ถูกฉีดเข้ามาจะแตกตัวออกเป็นหยด และเมื่อได้รับความร้อนจะระเหยแล้วรวมตัวกับอากาศเป็นสารผสมหลังจากนี้เป็นช่วงของ Chemical Delay ในช่วงนี้ไฮโดรคาร์บอนหนักในสารผสม จะแตกตัวเป็นไฮโดรคาร์บอนเบาแล้วเกิดการทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศขึ้น ธรรมชาติ Physical Delay จะสั้นมากโดยเฉพาะถ้าเทียบกับน้ำมันเบนซินแล้วจะเห็นว่าเวลาที่น้ำมันดีเซลระเหยนี้ใช้เวลาเพียง $\frac{1}{3}$ หรือ $\frac{1}{2}$ เท่าของน้ำมันเบนซินเท่านั้น แล้วแต่อุณหภูมิไอติดนั้น จะเห็นว่า Physical Delay มีผลน้อยมากต่อ Delay Period ดังนั้นผลของการเผาไหม้จึงเป็นผลส่วนใหญ่เนื่องมาจาก Chemical Delay

2. ช่วงความดันขึ้นเร็ว (Rapid Pressure Rise Period) คือช่วงเวลาเริ่มติดไฟจนถึงความดันสูงสุด หรือช่วงที่ความดันเพิ่มอย่างรวดเร็ว ถ้าอัตราเพิ่มความดัน (dp/dt) ขึ้น แรงเกินไปจะทำให้เครื่องน็อก และเกิดการสั่น กำลังของเครื่องจะตกจะมีสารมลพิษในไอเสียมาก อัตราการเพิ่มความดันจะดีก็ต่อเมื่อช่วงจุดไฟล่าสั้นพอเหมาะ ถ้าช่วงยังยาวอัตราความดันจะยิ่งสูงขึ้น ทั้งนี้เพราะถ้าช่วงจุดไฟล่ายาว ปริมาณเชื้อเพลิงที่ฉีดเข้ามากจะกระบอกสูบจะสะสมมากขึ้น เมื่อเกิดการติดไฟก็จะติดหลาย ๆ จุดขึ้นพร้อม ๆ กันทำให้ความดันเพิ่มสูงอย่างรวดเร็วเกินไป

3. ช่วงการเผาไหม้ลาม (Combustion Propagation) ความจริงแล้วการเผาไหม้ก็จะลามทันที แต่ในช่วง 2 นั้น การเผาไหม้ลามอย่างรวดเร็วมาก สำหรับในช่วง 3 การลามจะค่อยสม่ำเสมอขึ้นแล้วก็ช้าลง ทั้งนี้เพราะเชื้อเพลิงที่ถูกฉีดเข้ามาอยู่เรื่อยจะระเหย และดึงความร้อนจากกระบอกสูบ เชื้อเพลิงที่ระเหยจะกระจายไปทั่วกระบอกสูบ และผสมกับอากาศและติดไฟต่อไป แต่การติดไฟที่สมบูรณ์จะใช้เวลาเพิ่มขึ้น เพราะสารผสมกระจายไปสม่ำเสมอ และปริมาณ O_2 ในกระบอกสูบก็ลดลงแก๊สไอเสียที่เกิดขึ้นและวนเวียนไปรบกวนการเผาไหม้

4. ช่วง Blow – down หรือหลังจากการเผาไหม้ ช่วงนี้น้ำมันหยุดฉีดแล้ว แต่การเผาไหม้ยังลามต่อไป เชื้อเพลิงที่กระจายไปรอบ ๆ กระบอกสูบที่ขาด O_2 และสารอนุภาคของแข็ง ที่เกิดก็จะลามติดไฟอย่างช้า ๆ แม้ว่าลิ้นที่หัวฉีดจะปิดแล้วแต่ก็จะเกิดน้ำมันรั่วออกมาอีก เนื่องจากความดันที่ค้างในท่อน้ำมันของน้ำมันที่รั่ว บางที่เรียกว่า Secondary Injection (การฉีดตกค้าง) จะไม่สามารถเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ได้ จะทำให้เกิดควันดำและ HC ไอเสียที่ออกมา

2.6.4 ค่าความร้อนเชื้อเพลิง (Heating value of fuel)

ค่าความร้อนเชื้อเพลิง ได้จากการทำปฏิกิริยาเคมีระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศ (ออกซิเจน) ในกระบวนการสันดาป ซึ่งกระบวนการสันดาปจะได้ความร้อนออกมาจำนวนหนึ่ง โดยการเผาไหม้ที่สมบูรณ์คาร์บอนทั้งหมดในสารประกอบเชื้อเพลิงจะรวมตัวกับออกซิเจนกลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ สำหรับเชื้อเพลิงที่มีไฮโดรเจนจะมีน้ำเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเผาไหม้ ทั้งภาพของเหลว และแก๊ส ซึ่งมีผลต่อความร้อนของปฏิกิริยา จึงมีการกำหนดค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอยู่ 2 ชนิดด้วยกัน คือ

ค่าความร้อนเชื้อเพลิงค่าสูง (High heating value; HHV) (Stephen, 2000)

ค่าความร้อนเชื้อเพลิงค่าสูง เป็นค่าความร้อน เมื่อน้ำที่เกิดขึ้นถูกควบแน่นเป็นของเหลวทั้งหมด สำหรับการคำนวณหาค่าความร้อนเชื้อเพลิงค่าสูง ดังสมการที่ 2.1

$$HHV = (N_{fuel})\bar{h}_{f,fuel}^\circ - [(N_{CO_2})\bar{h}_{f,CO_2}^\circ + (N_{H_2O})\bar{h}_{f,H_2O(l)}^\circ] \quad (2.1)$$

เมื่อ	N_{fuel}	= จำนวนโมลของเชื้อเพลิง
	N_{CO_2}	= จำนวนโมลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์
	N_{H_2O}	= จำนวนโมลของน้ำในสถานะของเหลว
	$\bar{h}_{f,fuel}^\circ$	= เอนทัลปีของเชื้อเพลิงที่ 298.15 องศาเซลวิน, 1 บาร์
	$\bar{h}_{f,CO_2}^\circ$	= เอนทัลปีของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ 298.15 องศาเซลวิน, 1 บาร์
	$\bar{h}_{f,H_2O(l)}^\circ$	= เอนทัลปีของน้ำในสถานะของเหลวที่ 298.15 องศาเซลวิน, 1 บาร์

ค่าความร้อนเชื้อเพลิงค่าต่ำ (Low heating value; LHV) (Stephen, 2000)

ค่าความร้อนเชื้อเพลิงค่าต่ำ คือ ค่าความร้อน เมื่อน้ำที่เกิดขึ้นอยู่ในสถานะเป็นไอ
ทั้งหมดสำหรับการคำนวณหาความร้อนเชื้อเพลิงค่าต่ำ ดังสมการที่ 2.2

$$\text{LHV} = (N_{\text{fuel}})\bar{h}_{f,\text{fuel}}^\circ - [(N_{\text{CO}_2})\bar{h}_{f,\text{CO}_2}^\circ + (N_{\text{H}_2\text{O}})\bar{h}_{f,\text{H}_2\text{O}(\text{g})}^\circ] \quad (2.2)$$

เมื่อ	N_{fuel}	= จำนวนโมลของเชื้อเพลิง
	N_{CO_2}	= จำนวนโมลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์
	$N_{\text{H}_2\text{O}}$	= จำนวนโมลของน้ำในสถานะของเหลว
	$\bar{h}_{f,\text{fuel}}^\circ$	= เอนทัลปีของเชื้อเพลิงที่ 298.15 องศาเซลวิน, 1 บาร์
	$\bar{h}_{f,\text{CO}_2}^\circ$	= เอนทัลปีของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ 298.15 องศาเซลวิน, 1 บาร์
	$\bar{h}_{f,\text{H}_2\text{O}(\text{g})}^\circ$	= เอนทัลปีของน้ำในสถานะของก๊าซที่ 298.15 องศาเซลวิน, 1 บาร์

การหาความร้อนเชื้อเพลิง โดยทั่วไปอาจใช้เครื่องมือหาความร้อนของเชื้อเพลิง เช่น Bomb Calorimeter หรือ Gas Calorimeter เป็นต้น ค่าความร้อนที่ได้จากเครื่องมือดังกล่าว จะเป็นค่าความร้อนเชื้อเพลิงค่าสูง แต่การนำค่าความร้อนเชื้อเพลิงมาใช้ในการคำนวณเพื่อหาค่าต่าง ๆ จะใช้ค่าความร้อนเชื้อเพลิงค่าต่ำเป็นหลักเพราะว่าในอุณหภูมิสูง ๆ ขณะที่ไอเสียออกจากเครื่องยนต์จะไม่มีกรกลั่นตัวของไอน้ำ แต่ค่าความร้อนเชื้อเพลิงค่าสูงก็เป็นที่ยอมรับใช้กันเพราะตัวเลขที่ได้จากความร้อนเชื้อเพลิงค่าสูงคำนวณหาได้ง่ายกว่าความร้อนเชื้อเพลิงค่าต่ำ ตามหลักการทดลองของสมาคม ASME กำหนดใช้ค่าความร้อนเชื้อเพลิงค่าสูง ส่วนหลักการทดลองของสมาคม SEA ให้ใช้ค่าความร้อนเชื้อเพลิงค่าต่ำ

2.6.5 ตัวแปรที่ใช้กำหนดสมรรถนะของเครื่องยนต์ (Colin, 2001; John, 1988; Willard, 1997)

สมรรถนะการทำงานของเครื่องยนต์เผาไหม้ภายใน การทำงานที่ต้องการทราบ คือ แรงบิดเบรกเครื่องยนต์ กำลังของเครื่องยนต์ อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก และ ประสิทธิภาพการแปลงพลังงานจากเชื้อเพลิง

แรงบิด (*Torque, T*)

แรงบิด คือ กำลังที่วัดได้ที่เพลาข้อเหวี่ยงหรือที่ล้อตุนกำลังของเครื่องยนต์ ซึ่งเป็นแรงบิดที่นำไปใช้งานได้นั่นเอง การวัดจะใช้เครื่องมือที่เรียกว่าไดนาโมมิเตอร์ (Dynamometer) ซึ่ง มีอยู่หลายชนิด โดยจะวัดออกมาในภาพของทอร์ก (T) และรอบการหมุนของเครื่องยนต์ ซึ่งจะได้ ทอร์ก

$$\text{โดย} \quad T = Fb \quad (2.3)$$

เมื่อ $T =$ แรงบิดเครื่องยนต์ (Nm)

$b =$ ความยาวของแขน Dynamometer (m)

$F =$ แรง (N)

$$\text{โดย} \quad F = ma = W = mg \text{ (kg.m/s}^2\text{, N)} \quad (2.4)$$

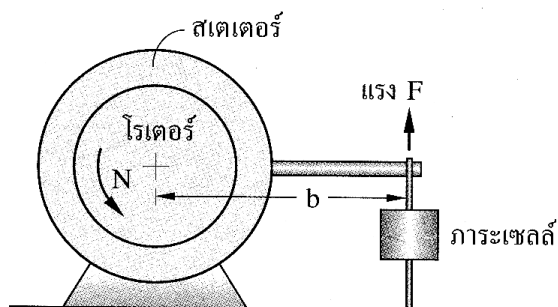
เมื่อ $m =$ มวล (kg)

$a =$ ความเร่งในแนวระดับ (m/s^2)

$g =$ ความเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก (m/s^2)

หน่วยของแรงในหน่วยอังกฤษคือ ปอนด์ หน่วย SI คือ นิวตัน ซึ่งเกิดจากการคูณกันของมวลกับอัตราเร่งหรืออัตราเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก หน่วยของทอร์กในหน่วยอังกฤษของทอร์ก คือ ปอนด์ - นิ้ว หรือ ปอนด์ - ฟุต หน่วย SI คือ นิวตัน - เมตร หน่วยของทอร์กเกิดจากแรงคูณด้วยระยะทาง หาทอร์กจะต้องคูณแรงที่กระทำกับระยะทางที่วัดห่างจากจุดหมุนในแนวตั้งฉาก

ภาพที่ 2.17
หลักการทำงานของไดนาโมมิเตอร์



กำลังเบรกของเครื่องยนต์ (Brake power, P)

กำลังเบรก เป็นกำลังที่วัดได้ที่เพลาช้อเหวี่ยง หรือที่ล้อตุนกำลังของเครื่องยนต์ ซึ่งเป็นกำลังที่ออกมาจริงจากเครื่องยนต์ หรือเป็นกำลังที่นำไปใช้งานได้ การวัดจะใช้เครื่องมือที่เรียกว่าไดนาโมมิเตอร์ (Dynamometer) โดยจะวัดออกมาในภาพของทอร์ก (T) และรอบการหมุนของเครื่องยนต์กำลังงานเบรกของเครื่องยนต์

โดย $P = 2\pi NT$ (2.5)

เมื่อ	P	=	กำลังงานเบรกของเครื่องยนต์ (kW)
	N	=	ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ (rpm)
	T	=	แรงบิดเครื่องยนต์ (Nm)

การสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (Brake specific fuel consumption, BSFC)

การสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก เป็นอัตราการไหลของมวลเชื้อเพลิงต่อหน่วยกำลังที่ให้ออกมา และเป็นการวัดประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ในการใช้เชื้อเพลิง เพื่อผลิตงานออกมา

โดย $BSFC = \frac{\dot{m}_f}{P}$ (2.6)

เมื่อ	$\dot{m}_f$	=	อัตราการไหลของมวลเชื้อเพลิง (g/hr)
-------	-------------	---	------------------------------------

$$P = \text{กำลังงานเบรกของเครื่องยนต์ (kW)}$$

ประสิทธิภาพการแปลงพลังงานจากเชื้อเพลิงเบรก (Brake fuel conversion efficiency, η_{bf})

ประสิทธิภาพการแปลงพลังงานจากเชื้อเพลิงเบรก คือ ประสิทธิภาพในการแปลงพลังงานภายในของเชื้อเพลิงไปสู่กำลังขับเคลื่อนของเครื่องยนต์ โดยพลังงานเชื้อเพลิงที่สามารถปล่อยออกมาจากการเผาไหม้จะหาได้จากมวลของเชื้อเพลิงที่ส่งเข้าไปในเครื่องยนต์ต่อวัฏจักรคูณด้วยค่าความร้อนของเชื้อเพลิง

$$\text{Brake fuel conversion efficiency} \quad \eta_{bf} = \frac{P}{\dot{m}_{HHV}} \quad (2.7)$$

$$\text{เมื่อ} \quad BSFC = \frac{\dot{m}_f}{P} \quad \text{ดังนั้น} \quad \eta_{bf} = \frac{1}{BSFC \times HHV} \quad (2.8)$$

2.6.6 ไอเสียของเครื่องยนต์และมลพิษในอากาศ

มลพิษในไอเสียของเครื่องยนต์สันดาปภายในที่มีการควบคุม โดยกรมควบคุมมลพิษที่สำคัญ มี 4 ชนิด คือ ไฮโดรคาร์บอน (HC), คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO), ออกไซด์ต่าง ๆ ของไนโตรเจน (NOx) และควันดำ (Black smoke)

ไฮโดรคาร์บอน (HC)

ไฮโดรคาร์บอน เกิดจากการเผาไหม้ไม่หมดของเชื้อเพลิงไฮโดรคาร์บอนในห้องสันดาป มักเกิดจากการที่เชื้อเพลิงเข้าไปอยู่ในซอกระหว่างลูกสูบ, แหวนลูกสูบ และผนังกระบอกสูบ ทำให้เปลวไฟจากกระบวนการเผาไหม้ไม่สามารถเข้าไปได้ รวมถึงความเข้มข้นของออกซิเจนที่ใช้ในการออกซิไดซ์ และเวลาในการผสมของไฮโดรคาร์บอนก็มีผลทำให้เกิดการเผาไหม้ที่ไม่หมด

คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO)

คาร์บอนมอนอกไซด์ เป็นก๊าซมลพิษที่เกิดขึ้นในระหว่างการเผาไหม้ โดยเกิดจากการมีออกซิเจนไม่เพียงพอที่เผาไหม้คาร์บอนทั้งหมดในเชื้อเพลิงให้กลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) หรือเกิดจากการที่เชื้อเพลิงและอากาศมีเวลาที่ไม่เพียงพอในการผสมกันในการสันดาป โดย

ปฏิกิริยาการเกิดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ภายในห้องสันดาป ดังแสดงในสมการที่ 2.11 (John, 1988; Stephen, 2000)



ออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x)

ออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) ประกอบด้วยไนตริกออกไซด์ (NO) และไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) ซึ่งเกิดจากการเผาไหม้ที่อุณหภูมิสูงภายในเครื่องยนต์ทำให้โมเลกุลของไนโตรเจน (N_2) แตกตัวเป็นไนโตรเจนอะตอมเดี่ยว และทำปฏิกิริยากับออกซิเจนภายในห้องสันดาป โดยปฏิกิริยาการเกิดออกไซด์ของไนโตรเจนภายในห้องสันดาป ดังแสดงในสมการที่ 2.10 - 2.13 (John, 1988)



ควันดำ (Black smoke)

ควันดำ (Black smoke) เกิดจากการเผาไหม้ของน้ำมันในห้องสันดาป ที่มีความร้อนไม่ทั่วถึง ทำให้ไม่สามารถเผาน้ำมันเชื้อเพลิงได้หมด สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่เหลือจากการเผาไหม้ จะเกิดการคายไฮโดรเจน เนื่องจากในห้องสันดาปมีแรงดัน และอุณหภูมิสูง ทำให้สารประกอบไฮโดรคาร์บอนกลายเป็นคาร์บอนอิสระ และรวมตัวกัน กลายเป็นคาร์บอนอนุภาคขนาดใหญ่ หรือออกมาในภาพของควันดำ

2.7 งานวิจัยเกี่ยวกับการเสื่อมสภาพของน้ำมันไบโอดีเซลและผลกระทบต่อเครื่องยนต์

งานวิจัยจำนวนมากที่ได้ทำการศึกษาลักษณะการเปลี่ยนแปลงทางด่างเคมี, การเผาไหม้, การปลดปล่อยมลพิษไอเสีย และผลที่มีต่อเครื่องยนต์ดีเซลของน้ำมันไบโอดีเซล เมื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ โดยในแต่ละงานวิจัยที่กล่าวดังต่อไปนี้ ได้ทำการศึกษาผลของน้ำมันที่เกิดการเสื่อมสภาพในสภาวะต่าง ๆ โดยงานวิจัยเกี่ยวข้อง มีดังต่อไปนี้

2.7.1 งานวิจัยเกี่ยวกับการเสื่อมสภาพของน้ำมันไบโอดีเซล

Prankl และคณะ (1998) ทำการศึกษาการเสื่อมสภาพของเมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตจากน้ำมันเมล็ดเรป ทดลองในสภาวะที่แตกต่าง ๆ กัน คือ สัมผัสแสงแดด, สัมผัสอากาศ, เก็บที่อุณหภูมิ 4 °C เก็บในที่มืด เป็นเวลา 14 สัปดาห์ และ 3.5 ปี พบว่า Induction period (IP) หาโดยวิธีการ Rancimat ซึ่งเป็นการวัดค่าความเสถียรต่อการเกิดออกซิเดชัน (Oxidation stability) มีแนวโน้มลดลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งน้ำมันที่ถูกสัมผัสกับแสงแดด อย่างไรก็ตาม จากการทดลองพบว่า ค่า Acid number และ Viscosity มีเปลี่ยนแปลงสอดคล้องกับค่า IP

Cannkci และคณะ (1999) ทำการศึกษาการเสื่อมสภาพของเมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตจากน้ำมันถั่วเหลือง ในสภาพการเก็บรักษาที่สภาวะแตกต่างกัน คือ อุณหภูมิ, อัตราการไหลของอากาศ และโลหะ ทำการตรวจวัดคุณสมบัติต่าง ๆ ได้แก่ Peroxide Value, Acid Value และ Viscosity พบว่า มีค่าเพิ่มสูงขึ้น นอกจากนี้ เมื่อเมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตจากน้ำมันถั่วเหลืองถูกเร่งด้วยความร้อน เป็นผลทำให้ Peroxide Value, Acid Value และ Viscosity สูงกว่ากรณีอื่นๆ อย่างเด่นชัด

Mittelbach และคณะ (2001) ทำการศึกษาการเสื่อมสภาพของเมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตจากน้ำมันเมล็ดเรป และน้ำมันพีชใช้แล้ว ในสภาพการเก็บรักษาที่สภาวะแตกต่างกัน คือ สัมผัสกับน้ำและอากาศ โดยเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 200 วัน จากนั้นจึงทำการตรวจวัดคุณสมบัติต่าง ๆ ได้แก่ Neutralization number, Peroxide number, Viscosity และ Thermal oxidative stability พบว่า ค่า Neutralization number, Peroxide number, Viscosity และ Thermal oxidative stability เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษา โดยเฉพาะอย่างยิ่ง น้ำมันที่ถูกเก็บในสภาวะเปิดให้สัมผัสกับอากาศและน้ำ

Leung และคณะ (2006) ทำการศึกษาเกี่ยวกับคุณภาพของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันเมล็ดเรป และทำการเก็บรักษาภายใต้อุณหภูมิและสภาวะที่แตกต่างกัน ตัวอย่างเช่น ที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ในภาชนะที่ปิดมิดชิดหรือสภาพที่สัมผัสกับอากาศ หรือในสภาพที่มีและไม่มีควมชื้น โดยระบุคุณภาพของน้ำมันไบโอดีเซลด้วยปริมาณกรดไขมันอิสระ (Free Fatty Acid) และจากการหาความบริสุทธิ์ของน้ำมัน (Test of purity) ตามมาตรฐานของ ASTM 6751 และ DIN EN 14214 พบว่า ถ้าอุณหภูมิของการเก็บรักษาสูงประกอบกับสภาวะที่สัมผัสกับอากาศจะยิ่งทำให้อัตราการเสื่อมสภาพของน้ำมันเพิ่มสูงขึ้น อย่างไรก็ตาม อุณหภูมิหรือการสัมผัสกับอากาศอย่างใดอย่างหนึ่งเพียงอย่างเดียวส่งผลน้อยมากต่อการเสื่อมสภาพของน้ำมัน ซึ่งปัจจัยอื่นๆ รวมไปถึงปริมาณน้ำภายในน้ำมันไบโอดีเซล เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ช่วยเร่งอัตราการเสื่อมสภาพของน้ำมันอันเนื่องมาจากการเกิดปฏิกิริยา Hydrolysis แต่ว่าผลที่เกิดขึ้นจากกรณีนี้ก็น้อยมากเมื่อเทียบกับผลที่มาจากปัจจัยข้างต้นทั้งสองประการ

Bouaid และคณะ (2007) ทำการศึกษาถึงเสถียรภาพของเมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตจากน้ำมันพืชชนิดต่าง ๆ และน้ำมันพืชใช้แล้ว ซึ่งผ่านการเก็บรักษาเป็นระยะเวลานานกว่า 30 เดือน ที่สภาวะในการเก็บแตกต่างกันออกไป เช่น ในที่มืด และที่มีแสงส่องสว่าง ในภาชนะที่อากาศสามารถผ่านได้ และผ่านไม่ได้ โดยอาศัยตัวแปรต่าง ๆ ได้แก่ ค่าความเป็นกรด (Acid value: AV) ค่าเปอร์ออกไซด์ (Peroxide value: PV) ค่าความหนืด (Viscosity: V) ค่าไอโอดีน (Iodine value: IV) และสารปนเปื้อนที่ไม่ละลายในไบโอดีเซล (Insoluble impurities: II) สำหรับการบ่งชี้ถึงคุณภาพของไบโอดีเซล ผลการทดลองพบว่า ค่าความเป็นกรด ค่าเปอร์ออกไซด์ ค่าความหนืด และปริมาณสารปนเปื้อนที่ไม่ละลายในเมทิลเอสเทอร์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อเวลาการเก็บรักษาผ่านไป ในทางตรงกันข้าม ค่าไอโอดีนกลับมีแนวโน้มลดลง อย่างไรก็ตาม ในช่วงระยะเวลา 0 ถึง 12 เดือน ก็ไม่พบการเปลี่ยนแปลงมากนัก ระหว่างตัวอย่างที่ทำการเก็บที่มีแสงส่องผ่านกับไม่มีแสงส่องผ่าน แต่หลังจากนั้น การเปลี่ยนแปลงก็สังเกตได้ชัดเจนขึ้น

2.7.2 งานวิจัยเกี่ยวกับการใช้งานในด้านต่าง ๆ ของเครื่องยนต์ เมื่อใช้น้ำมันไบโอดีเซลที่เสื่อมสภาพ

Thompson และคณะ (1998) ทำการศึกษากการเสื่อมสภาพของทั้งเมทิลเอสเทอร์ และเอทิลเอสเทอร์ที่ผลิตจากน้ำมันเมล็ดเรป แล้วทำการแยกการเก็บรักษาในภาชนะชนิดต่างกัน และสภาวะอุณหภูมิต่าง ๆ (ภายในห้องปกติ เปรียบเทียบกับบรรยากาศภายนอก) เป็นเวลา 2 ปี แล้วจึง

ทำการตรวจวัดคุณสมบัติต่าง ๆ (Peroxide Value, Acid Value, Density, Viscosity, และ Heat of Combustion) พบว่า โดยเฉลี่ยแล้ว คุณสมบัติต่าง ๆ มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเก็บนานขึ้น ยกเว้นแต่เพียงค่า Heat of Combustion การทดสอบการใช้งานกับเครื่องยนต์ ซึ่งช่วงการทดสอบค่อนข้างน้อยเพียง 2 สภาวะ คือ ที่สภาวะเริ่มต้น และที่สภาวะหลังจากเก็บไว้ 2 ปี โดยวัดเพียงกำลังและควันดำ ซึ่งจากการทดสอบพบว่า กำลังของเครื่องยนต์มีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงน้อยกว่า 2% สำหรับเอสเทอร์ทั้งสองชนิด ในขณะที่เมื่อตรวจวัด ปริมาณเขม่าควัน ก็พบว่า มีแนวโน้มลดลง 3.2% และเพิ่มขึ้น 17.5% สำหรับ Rapeseed Methyl Ester และ Rapeseed Ethyl Ester ตามลำดับ

Monyem และคณะ (2001) ทำการศึกษาถึงผลของปฏิกิริยา Oxidation ของ เมทิลเอสเทอร์ที่มีต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์ และการปลดปล่อยก๊าซมลพิษ โดยศึกษาเปรียบเทียบกับระหว่างเมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตจากน้ำมันถั่วเหลืองที่ถูกออกซิไดซ์ จนค่าเปอร์ออกไซด์ขึ้นสูงถึง 340 meq/kg และแบ่งเป็นความเข้มข้น 100 % และ ความเข้มข้น 20 % ผสมกับดีเซล 80 % และ Base fuel (No. 2 diesel) ซึ่งคือ น้ำมันดีเซล 100 % ผลการศึกษาพบว่า เมทิลเอสเทอร์ความเข้มข้น 100 % และ 20 % ให้ประสิทธิภาพในทางความร้อน (Thermal efficiency) ที่เทียบเท่ากับน้ำมันดีเซล แต่มีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่สูงกว่า ผลกระทบด้านมลพิษของเมทิลเอสเทอร์ความเข้มข้น 100 % พบว่า สามารถลด CO emission ได้มากกว่า 28% เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล และสามารถลด CO emission ได้มากกว่า 15% เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันไบโอดีเซล สำหรับการเกิด NO_x ของเมทิลเอสเทอร์ความเข้มข้น 100 % มีค่าสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซลและมีค่าใกล้เคียงกันเมื่อเทียบกับน้ำมันไบโอดีเซล และค่า Smoke number ของน้ำมันไบโอดีเซลที่เกิดปฏิกิริยา Oxidation ต่ำที่สุด

บทที่ 3

วิธีการวิจัย

3.1 วัตถุดิบและสารเคมี

- 3.1.1 น้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากไขปาล์มสเตอร์น และน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัทน้ำมันพีชปทุม
- 3.1.2 น้ำมันดีเซล (ตามประกาศกระทรวงพลังงาน เรื่อง กำหนดลักษณะ และคุณภาพ น้ำมันดีเซล (ฉบับที่2) พ.ศ. 2550 ที่จะมีผลบังคับใช้วันที่ 1 ก.พ. 51 ที่ประกาศสูตร น้ำมันดีเซลใหม่ โดยให้น้ำมันดีเซลธรรมดา เป็น B2 ทั้งหมด ซึ่งมีน้ำมันไบโอดีเซล 2% ผสมน้ำมันดีเซล 98%) ซื้อจากสถานีบริการน้ำมัน ปตท.
- 3.1.3 ไอโซโพรพิล แอลกอฮอล์ (Isopropyl alcohol) เกรด A.R. ซื้อจากบริษัท Scharlau มีความบริสุทธิ์ $> 99.8 \%$ น้ำหนักโมเลกุล 60.10 g/mol
- 3.1.4 Cyclohexane เกรด A.R. ซื้อจากบริษัท Univar มีความบริสุทธิ์ $> 99.0 \%$ น้ำหนักโมเลกุล 84.16 g/mol
- 3.1.5 Potassium hydroxide (KOH) เกรด Commercial น้ำหนักโมเลกุล 56.11 g/mol ซื้อจากบริษัท ไต้เหว่ย เคมีภัณฑ์
- 3.1.6 Potassium Iodide (KI) เกรด A.R. ซื้อจากบริษัท Merck มีความบริสุทธิ์ $> 99.5 \%$ น้ำหนักโมเลกุล 166.01 g/mol
- 3.1.7 Sodium Thiosulfate เกรด A.R. ซื้อจากบริษัท Merck มี Identity 99.5 – 101.0 % น้ำหนักโมเลกุล 248.21 g/mol
- 3.1.8 Toluene เกรด A.R. ซื้อจากบริษัท Panreac มีความบริสุทธิ์ 99.5 % น้ำหนักโมเลกุล 92.14 g/mol
- 3.1.9 Iso-Octane เกรด A.R. ซื้อจากบริษัท Univar มีความบริสุทธิ์ $> 99.0 \%$ น้ำหนักโมเลกุล 114.23 g/mol
- 3.1.10 Heptane เกรด A.R. ซื้อจากบริษัท Lab-Scan มีความบริสุทธิ์ 99.0 % น้ำหนักโมเลกุล 100.2 g/mol

- 3.1.11 กรดอะซิติกชนิดเข้มข้น (Glacial Acetic acid) เกรด A.R. ซื้อจากบริษัท Merck มีความบริสุทธิ์ $> 99.8\%$ น้ำหนักโมเลกุล 60.05 g/mol
- 3.1.12 Wijs Reagent เกรด A.R. ซื้อจากบริษัท Panreac มีความเข้มข้น 0.1 mol/l ประกอบด้วย Iodine mono-Chloride 1.8 กรัม กับ Glacial Acetic acid s.q.m. 100 ml

3.2 เครื่องมือในการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมี

- 3.2.1 Viscometer แบบ Calibrated Viscometer ยี่ห้อ Cannon-Fensky Routine size 75 ซึ่งมีค่า Viscometer constant ที่ 40°C คือ 0.007613 cSt/s
- 3.2.2 Bomb calorimeter ยี่ห้อ 1261 ISOPERIBOL BOMB CALORIMETER
- 3.2.3 ตัวควบคุมอุณหภูมิของภาควิชาวิศวกรรมเคมี เพื่อใช้ในการหาค่าความหนาแน่น
- 3.2.4 เครื่องชั่งน้ำหนัก ความละเอียด 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Mettler Toledo
- 3.2.5 เครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้า ยี่ห้อ Model Inolab รุ่น Cond 730 เพื่อใช้ในการวัดค่าความเสถียรต่อการออกซิเดชัน

3.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบสมรรถนะ

- 3.3.1 เครื่องยนต์ดีเซล ระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรง (Direct injection) ยี่ห้อ NISSAN รุ่น BD-30 แบบเครื่องยนต์ 4 สูบ 4 จังหวะ
- 3.3.2 ชุดทดสอบไดนาโมมิเตอร์
- 3.3.3 อุปกรณ์ตรวจวัดการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง

สำหรับรายละเอียดชุดทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ในการทดลองนี้ ได้แสดงไว้ในภาคผนวก ข

3.4 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดปริมาณมลพิษไอเสีย

- 3.4.1 อุปกรณ์วัดปริมาณควันดำ (Smoke meter) ยี่ห้อ KOEN รุ่น DS-2000
- 3.4.2 อุปกรณ์วัดปริมาณแก๊สไอเสีย ยี่ห้อ Madur รุ่น GA-40 T plus

สำหรับรายละเอียดอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดปริมาณมลพิษไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ในการทดลองนี้ ได้แสดงไว้ในภาคผนวก ข

3.5 วิธีการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ เป็นงานวิจัยแบบบูรณาการระหว่างภาควิชาวิศวกรรมเคมี และภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล โดยขั้นตอนการดำเนินงานแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ การเตรียมน้ำมันไบโอดีเซล การทดสอบสมบัติเชิงเคมีของน้ำมันไบโอดีเซล และการทดสอบสมรรถนะการทำงานของเครื่องยนต์ดีเซล รวมถึงการปลดปล่อยก๊าซมลพิษไอเสีย

การเตรียมน้ำมันไบโอดีเซล

สำหรับการศึกษาผลการเสื่อมสภาพของน้ำมันไบโอดีเซลที่มีต่อการทำงานและการปลดปล่อยมลพิษไอเสียของเครื่องยนต์ แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

การเสื่อมสภาพของน้ำมันไบโอดีเซลจากการเก็บรักษาในช่วงระยะเวลาต่างๆ

ในส่วนนี้ เราสนใจศึกษาการเสื่อมสภาพของน้ำมันไบโอดีเซลที่เกิดขึ้นในช่วงการเก็บรักษา โดยในการทดลองนี้ เราได้ทำการเก็บรักษาน้ำมันไบโอดีเซล 2 ชนิด คือ น้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากปาล์มสดเตียรินและน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ เก็บรักษาในสภาวะปิดที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 6 เดือน (ตั้งแต่เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2551 - มกราคม พ.ศ. 2552) โดยขั้นตอนการทดลองเป็นดังต่อไปนี้

1. ทำการเก็บรักษาน้ำมันไบโอดีเซล 2 ชนิด คือ น้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากปาล์มสดเตียรินและน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ไว้ในถังน้ำมันพลาสติกทึบ เก็บรักษาในสภาวะปิด ที่อุณหภูมิห้อง (25 - 30 องศาเซลเซียส) เป็นระยะเวลา 6 เดือน (ตั้งแต่เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2551 - มกราคม พ.ศ. 2552)
2. ในช่วงระยะเวลาการเก็บรักษาในทุก ๆ เดือน เราได้ทำการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของ ค่าไอโอดีน (Iodine value: IV), ค่าเปอร์ออกไซด์ (Peroxide value: PV), ค่าความเป็นกรด (Acid value: AV), ค่าความหนาแน่น (Density), ค่าความหนืดเชิงจลน์ (Kinematic viscosity) และค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (High heating value: HHV)

3. การทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซล เราได้เลือกช่วงการทดสอบตั้งแต่ในเดือนที่ 3 จนกระทั่งสิ้นสุดการเก็บรักษาในเดือนที่ 6 โดยเราทำการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ ดังนี้ กำลังเบรก (Brake power, P) ค่าอัตราการไหลเชิงปริมาตรของเชื้อเพลิง (Volumetric flow rate of fuel: $\dot{v}_f$) ค่าอัตราการไหลเชิงมวลเชื้อเพลิง (Rate of fuel flow: $\dot{m}_f$) ค่าอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (Brake specific fuel consumption, bsfc) และประสิทธิภาพการแปลงพลังงานจากเชื้อเพลิงเบรก (Brake fuel conversion efficiency, η_{bf})
4. วิเคราะห์การปลดปล่อยมลพิษไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซล เราได้เลือกช่วงการทดสอบตั้งแต่ในเดือนที่ 3 จนกระทั่งสิ้นสุดการเก็บรักษาในเดือนที่ 6 โดยเราทำการการปลดปล่อยมลพิษไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซล ดังนี้ ปริมาณควันดำ (Black smoke), คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x)

ตารางที่ 3.1

การทดลองการเสื่อมสภาพของน้ำมันไบโอดีเซลจากการเก็บรักษาในช่วงระยะเวลาต่างๆ

ชนิดของน้ำมันไบโอดีเซล	การทดสอบ	ระยะเวลาที่เก็บรักษา, เดือน						
		0	1	2	3	4	5	6
น้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจาก ปาล์มสดเดียวรีน	ทดสอบเชิงเคมี							
	ทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ และการปลดปล่อยมลพิษไอเสีย							
น้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจาก น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์	ทดสอบเชิงเคมี							
	ทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ และการปลดปล่อยมลพิษไอเสีย							

การเสื่อมสภาพของน้ำมันไบโอดีเซลจากการจำลองสภาวะเร่ง

ในส่วนนี้ เราสนใจศึกษาการเสื่อมสภาพของน้ำมันไบโอดีเซลที่เกิดขึ้นจากการจำลองสภาวะเร่งของปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากปาล์มสดที่ยังมีผลตกเป็นดังต่อไปนี้

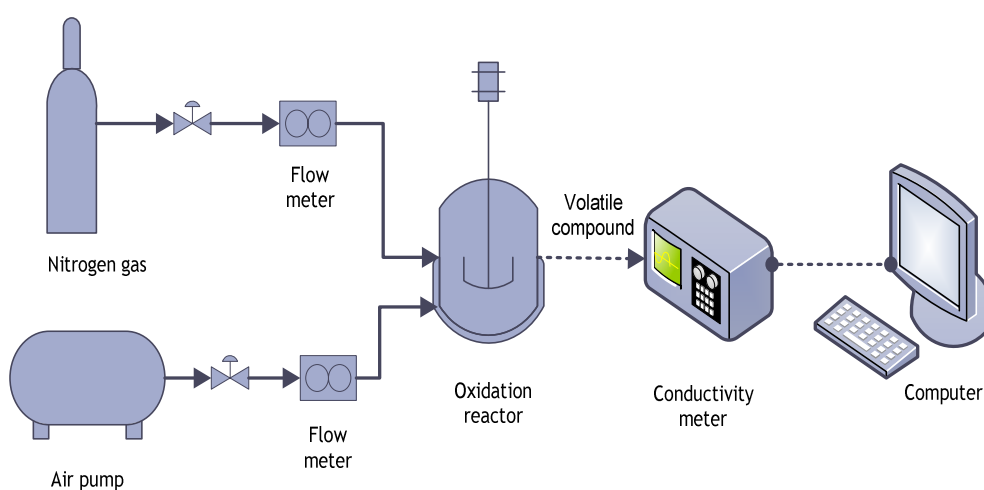
1. ทำการติดตั้งอุปกรณ์ทดลองเพื่อใช้ทำปฏิกิริยาออกซิเดชันน้ำมันไบโอดีเซล โดยมีอุปกรณ์ดังต่อไปนี้

- ถังทำปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation reactor)
- ก๊าซไนโตรเจน ความบริสุทธิ์ 99.9% (Nitrogen gas)
- ปั๊มลม (Air pump)
- เครื่องมือวัดค่าความนำไฟฟ้า (Conductivity meter)
- คอมพิวเตอร์ (Computer)
- อุปกรณ์ต่อเชื่อมและควบคุมการไหลของก๊าซ

โดยการติดตั้งอุปกรณ์ทำการทดลองปฏิกิริยาออกซิเดชันน้ำมันไบโอดีเซล ดังแสดงในภาพที่ 3.1

ภาพที่ 3.1

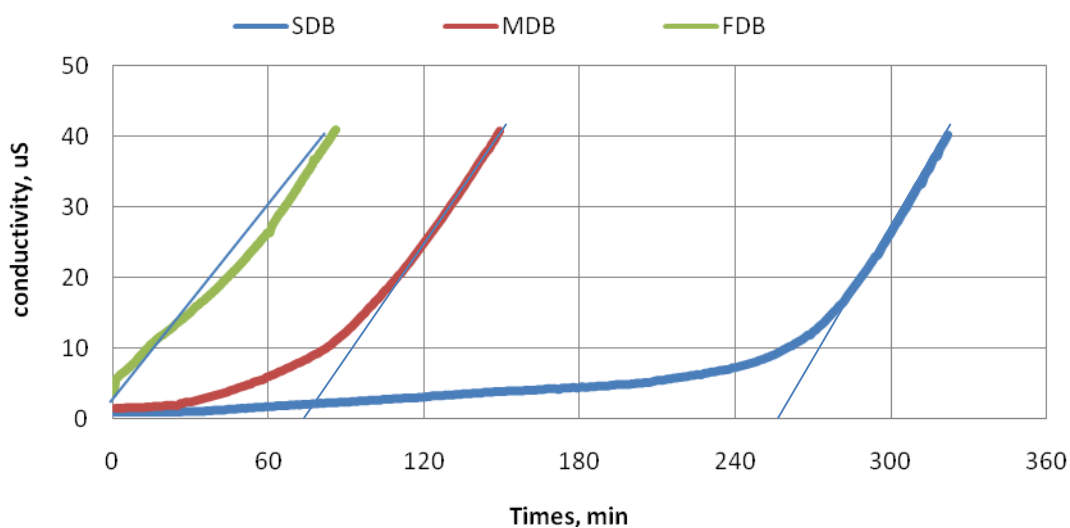
แสดงการติดตั้งอุปกรณ์ทำการทดลองปฏิกิริยาออกซิเดชันน้ำมันไบโอดีเซล



2. นำน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากปาล์มสดเย็นใส่ถังปฏิกิริยา
3. ปล่อยก๊าซไนโตรเจนที่อัตราการไหล 1,000 ลิตรต่อชั่วโมง เข้าคลุม เพื่อแทนที่อากาศที่อยู่ภายในถังปฏิกิริยา (ในการทดลองนี้ ใช้ก๊าซไนโตรเจนไล่อากาศจากภายนอกออกตลอดจนสิ้นสุดการทดลอง)
4. ทำปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยการเติมอากาศเข้าไปทำปฏิกิริยากับน้ำมันไบโอดีเซล โดยตรงภายในถังเปิดที่อัตรา 100 ลิตรต่อชั่วโมง เมื่อน้ำมันมีอุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส
5. ในการทดลองนี้ เราสนใจช่วงผลการเสื่อมสภาพจากการจำลองสภาวะการเร่ง 3 ช่วง คือ ช่วงเริ่มต้นที่ค่าความนำไฟฟ้า 0 μS (SDB), ช่วงค่าความนำไฟฟ้า 500 μS (MDB) และช่วงค่าความนำไฟฟ้า 1,000 μS (FDB) โดยพิจารณาจากการนำตัวอย่างในช่วงที่กำหนดดังกล่าวนั้น ไปวัดค่าความเสถียรต่อการเกิดออกซิเดชัน (Oxidation Stability) เพื่อตรวจสอบอายุขัย (shelf life) ของน้ำมันไบโอดีเซลในแต่ละช่วงที่กำหนด ซึ่งค่าความเสถียรต่อการเกิดออกซิเดชันของน้ำมันไบโอดีเซลได้แสดงดังในภาพที่ 3.2

ภาพที่ 3.2

ผลการทดสอบค่าความเสถียรต่อการเกิดออกซิเดชัน (Oxidation Stability) ของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากปาล์มสดเย็นที่เกิดการเสื่อมสภาพ ภายใต้สภาวะเร่งในช่วงต่าง ๆ



6. วิเคราะห์ผลการเสื่อมสภาพภายใต้สภาวะเร่งของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากปาล์มสดที่ยังอยู่ในช่วงต่าง ๆ โดยเราได้ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของ ค่าไอโอดีน (Iodine value: IV), ค่าเปอร์ออกไซด์ (Peroxide value: PV), ค่าความเป็นกรด (Acid value: AV), ค่าความหนาแน่น (Density), ค่าความหนืดเชิงจลน์ (Kinematic viscosity) และค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (High heating value: HHV)
7. การทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซล โดยเราทำการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ ดังนี้ กำลังเบรก (Brake power, P) ค่าอัตราการไหลเชิงปริมาตรของเชื้อเพลิง (Volumetric flow rate of fuel: $\dot{v}_f$) ค่าอัตราการไหลเชิงมวลเชื้อเพลิง (Rate of fuel flow: $\dot{m}_f$) ค่าอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (Brake specific fuel consumption, bsfc) และประสิทธิภาพการแปลงพลังงานจากเชื้อเพลิงเบรก (Brake fuel conversion efficiency, η_{bf})
8. วิเคราะห์การปลดปล่อยมลพิษไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซล โดยเราทำการการปลดปล่อยมลพิษไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซล ดังนี้ ปริมาณควันดำ (Black smoke), คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x)

3.6 การวิเคราะห์คุณสมบัติต่าง ๆ

วิเคราะห์ผลการเสื่อมสภาพของน้ำมันไบโอดีเซลเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D6751-03a และ EN 14214 โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- การวัดปริมาณกรดไขมันอิสระทำได้ด้วยการไทเทรตด้วยสารละลาย KOH ที่ความเข้มข้น 0.025 โมลต่อลิตร ตามมาตรฐาน ASTM D664-04
- การวัดค่าความหนืดเชิงจลน์ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ด้วยเครื่อง Calibrated Cannon-Fensky Viscometer ตามมาตรฐาน ASTM D445-03
- การวัดค่าไอโอดีนด้วยการไทเทรตโดยใช้สารละลาย Wijs ตามมาตรฐาน BS EN 14111
- การวัดค่าเปอร์ออกไซด์ด้วยการไทเทรตโดยใช้สารละลายผสมระหว่างกรดอะซิติกและไอโซออกเทน ตามมาตรฐาน ISO 3960

- การวัดค่าความร้อนด้วยการในเครื่อง Bomb calorimeter ยี่ห้อ 1261 ISOPERIBOL BOMB CALORIMETER ตามมาตรฐาน ASTM D 2015
- การวัดค่าความหนาแน่นที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส ด้วยเครื่องชั่งน้ำหนัก ที่มีความละเอียด 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Mettler Toledo และกระบอกตวงของขนาด 10 มิลลิลิตร

สำหรับขั้นตอนการวิเคราะห์คุณสมบัติต่าง ๆ โดยละเอียดตามมาตรฐานนั้นได้แสดงไว้ในภาคผนวก ก

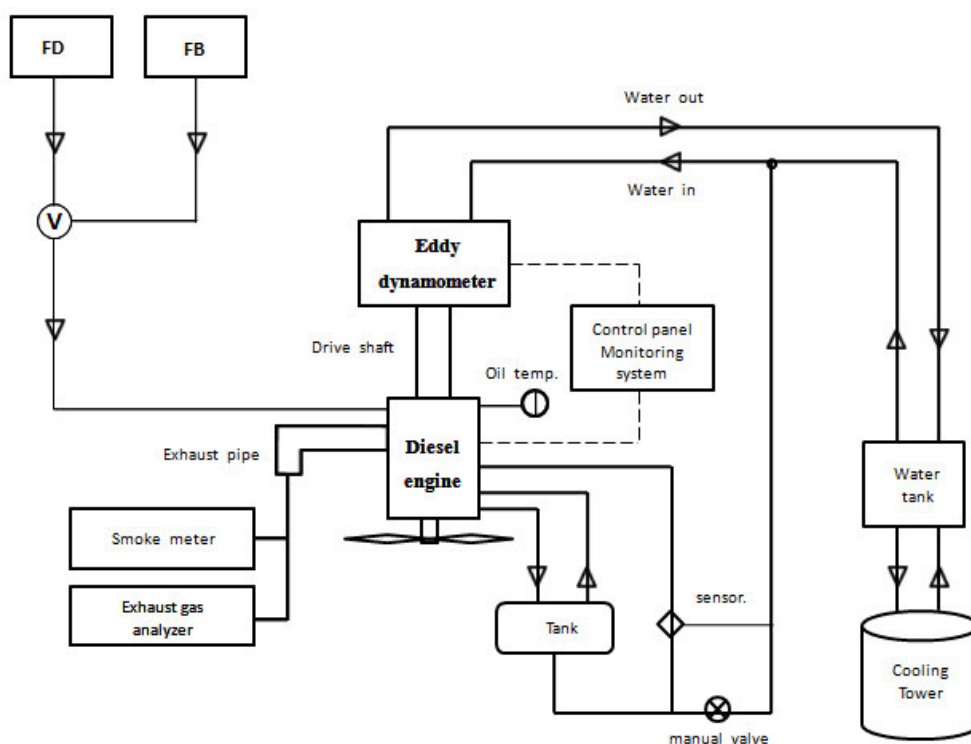
3.7 การทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซล

การติดตั้งเครื่องยนต์และอุปกรณ์สำหรับการทดสอบสมรรถนะ

การทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ เป็นการศึกษสมรรถนะการทำงานที่ได้จากเครื่องยนต์รุ่นเดียวกัน โดยใช้น้ำมันดีเซลมาตรฐานในการอ้างอิงและน้ำมันไบโอดีเซลจากการทดลอง โดยการทดสอบนั้นได้ดำเนินการที่ภาระงานสูงสุด (Full Load) ซึ่งผลที่ได้จากการทดสอบจะแสดงในภาพกราฟและแผนภูมิสมรรถนะ โดยแผนผังการแสดงการติดตั้งเครื่องยนต์ เครื่องมือ และอุปกรณ์ในการทดสอบในงานวิจัยนี้แสดงไว้ในภาพที่ 3.3

ภาพที่ 3.3

แผนผังการติดตั้งเครื่องยนต์เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดสอบสมรรถนะ
(FD หมายถึง น้ำมันดีเซลมาตรฐาน FB หมายถึง น้ำมันไบโอดีเซล)



วิธีการทดสอบสมรรถนะ

การทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลในงานวิจัยนี้ เป็นการทดสอบการทำงานของเครื่องยนต์ในช่วงเวลาสั้น (Short term engine test) เท่านั้น ซึ่งวิธีการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ แบ่งได้เป็น 2 ช่วงด้วยกัน คือ

การทดสอบเพื่อหาค่าสมรรถนะสูงสุดโดยทดสอบแบบภาระงานเต็มที่ จากการทดสอบพบว่าค่าสูงสุดจากการทดสอบมีค่าสมรรถนะสูงสุด (กำลังสูงสุด) อยู่ที่ 3,600 รอบต่อนาที จากการเร่งความเร็วรอบสูงสุด 4,000 รอบต่อนาที ซึ่งตรงตามคุณลักษณะของเครื่องยนต์ Nissan รุ่น BD - 30

การทดสอบโดยกำหนดการทดสอบที่ต้องการตั้งแต่ความเร็วรอบที่ 4,000 3,900 3,600 3,300 3,000 2,700 2,400 2,100 และ 1,800 รอบต่อนาที และทำการทดสอบแบบภาระงานเต็มที่ (Full load) และเก็บข้อมูลการทดสอบเพื่อนำไปคำนวณหาค่าสมรรถนะต่อไป ภายหลังจากการอุ่นเครื่องยนต์นั้นจะทำการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันเครื่องใหม่ก่อนเริ่มทำการทดสอบ โดยเริ่มทดสอบจากน้ำมันดีเซลมาตรฐานเพื่อใช้ในการอ้างอิง จากนั้นจะทำการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันเครื่องใหม่ และทำการทดสอบเครื่องยนต์ด้วยน้ำมันไบโอดีเซลที่ใช้ในการทดลอง

3.8 การวิเคราะห์การปลดปล่อยมลพิษไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซล

การทดสอบมลพิษจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ โดยใช้น้ำมันไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงนั้น เราเปรียบเทียบกับค่ามลพิษไอเสียจากการเผาไหม้ของน้ำมันดีเซล ซึ่งใช้เป็นมาตรฐานอ้างอิง โดยทำการทดสอบที่กำลังเบรกเครื่องยนต์สูงสุดที่ความเร็วรอบ 3,600 รอบต่อนาที โดยใช้ภาระในการทดสอบในช่วงตั้งแต่ 0 kg ถึง 30 kg มลพิษที่ทำการวิเคราะห์ คือ ปริมาณควันดำ(Black smoke), คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x)

สำหรับอุปกรณ์วัดปริมาณควันดำ (Black smoke) เป็นแบบกระดาศกรอง โดยเครื่องอ่านปริมาณควันดำเป็นเครื่องอ่านความเข้มของปริมาณเขม่าที่อยู่บนกระดาศกรอง ซึ่งแสดงผลออกมาในภาพแบบตัวเลขดิจิทัล โดยเครื่องวัดปริมาณควันดำ จะวัดปริมาณควันดำด้วยวิธีตรวจสอบความทึบแสงของปริมาณคาร์บอน แบบปล่อยให้อากาศไหลผ่านได้บางส่วน

สำหรับอุปกรณ์วัดมลพิษไอเสีย คือ คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) เราใช้เครื่องวัดปริมาณแก๊สไอเสีย เสีย ยี่ห้อ Madur รุ่น GA-40 T plus ซึ่งวัดจากปลายท่อไอ

บทที่ 4

ผลการทดลอง และการวิเคราะห์ผล

ในงานวิจัยนี้ ได้ทำการศึกษาผลการเสื่อมสภาพของน้ำมันไบโอดีเซลต่อการเปลี่ยนแปลงในด้านคุณสมบัติทางเคมีของน้ำมัน, สมรรถนะการทำงานของเครื่องยนต์ดีเซล และการปลดปล่อยก๊าซมลพิษไอเสีย สำหรับผลการทดลองแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

- ส่วนที่ 1 ศึกษาผลการเสื่อมสภาพของน้ำมันไบโอดีเซลจากการเก็บรักษาในช่วงระยะเวลาต่างๆ เป็นเวลา 6 เดือน
- ส่วนที่ 2 ศึกษาการเสื่อมสภาพของน้ำมันไบโอดีเซลในสภาวะเร่งการเสื่อมสภาพ

4.1 ผลการศึกษาการเสื่อมสภาพของน้ำมันไบโอดีเซลที่เก็บในช่วงระยะเวลาต่างๆ

งานวิจัยนี้ ศึกษาผลการเปลี่ยนแปลงในเชิงสมบัติและคุณภาพของน้ำมันไบโอดีเซล รวมถึงสมรรถนะการทำงานของเครื่องยนต์ และการปลดปล่อยก๊าซมลพิษไอเสียของน้ำมันไบโอดีเซลที่เก็บรักษาในช่วงระยะเวลาต่างๆ โดยทำการศึกษาการเก็บรักษาน้ำมันไบโอดีเซล 2 ชนิด คือ น้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากปาล์มสเตียร์นและน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ โดยเก็บรักษาในสภาวะปิด ที่อุณหภูมิห้อง (25 - 30 องศาเซลเซียส) เป็นระยะเวลา 6 เดือน (ตั้งแต่เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2551 - มกราคม พ.ศ. 2552) ที่ระยะเวลาต่าง ๆ เราได้ทำการศึกษาการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ 3 ส่วน อันได้แก่ ผลในเชิงคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำมันไบโอดีเซล, ผลในเชิงสมรรถนะการทำงานของเครื่องยนต์ และผลการทดสอบมลพิษจากการเผาไหม้ โดยผลการทดลองแต่ละส่วนเป็นดังนี้

4.1.1 การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำมันไบโอดีเซลที่เก็บในช่วงเวลาต่างๆ

เราได้ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสมบัติทางเคมีต่าง ๆ ของน้ำมันไบโอดีเซล ได้แก่ ค่าไอโอดีน (Iodine value: IV), ค่าเปอร์ออกไซด์ (Peroxide value: PV), ค่าความเป็นกรด (Acid value: AV), ค่าความหนาแน่น (Density), ค่าความหนืดเชิงจลน์ (Kinematic viscosity) และค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (High heating value) ของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากปาล์มสเตียร์น (BS) และน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มบริสุทธ์ (BP) โดยผลการทดลองเป็นดังนี้

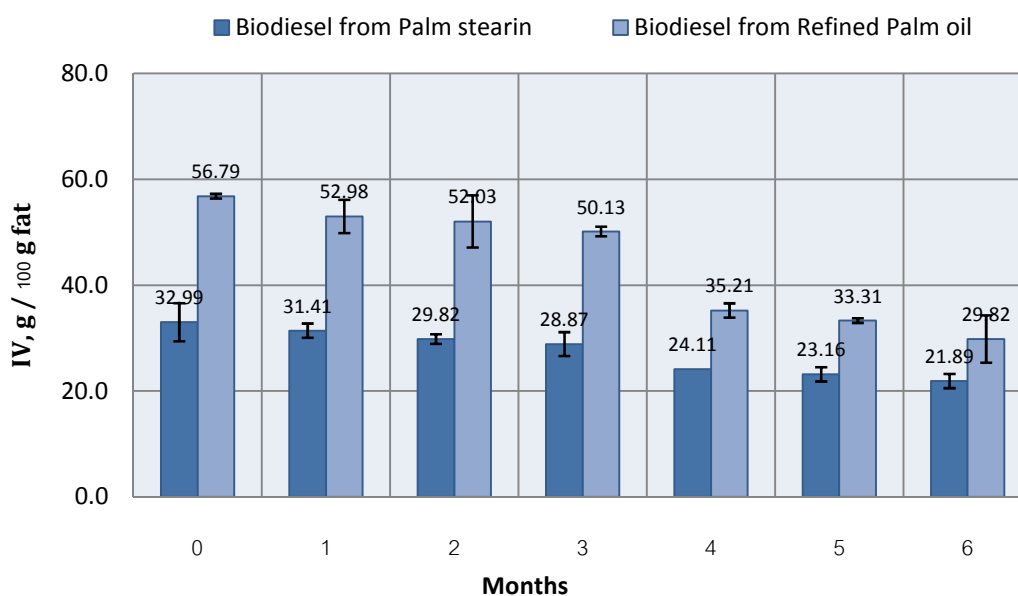
การวิเคราะห์ค่าไอโอดีน (Iodine value: IV)

ค่าไอโอดีน (Iodine value: IV) เป็นค่าที่บ่งชี้จำนวนพันธะคู่ในโมเลกุลของเมทิลเอสเทอร์ จากภาพที่ 4.1 ค่าไอโอดีนของ BS และ BP มีการลดลงอย่างต่อเนื่องจากเดือนที่ 1 ถึงเดือนที่ 6 แสดงถึงจำนวนพันธะคู่ของน้ำมันไบโอดีเซลทั้งสอง ทั้งนี้ เป็นผลมาจากการเสื่อมสภาพโดยปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation reaction) กล่าวคือ ออกซิเจนในอากาศจะเข้าทำปฏิกิริยากับเมทิลเอสเทอร์ชนิดไม่อิ่มตัว (Unsaturated methyl ester) ที่บริเวณพันธะคู่ ส่งผลให้พันธะคู่แตกออก ทำให้เกิดสารประกอบไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (Hydro peroxide, ROOH)

เมื่อพิจารณาตามวัตถุดิบที่นำมาผลิตเป็นน้ำมันไบโอดีเซล ซึ่งในการศึกษานี้ เลือกใช้น้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากปาล์มสเตียร์น และน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มบริสุทธ์ ซึ่งมีความแตกต่างกันในชนิดและปริมาณของกรดไขมัน โดยน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากปาล์มสเตียร์น จะประกอบด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัวประมาณ 32.9 % และกรดไขมันอิ่มตัว 67.1 % ขณะที่น้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มบริสุทธ์ จะประกอบด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัวประมาณ 56.7 % และกรดไขมันอิ่มตัว 43.3 % อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาจากภาพที่ 4.1 พบว่าจำนวนพันธะคู่ของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากปาล์มสเตียร์น มีค่าลดลง 33.6% ซึ่งน้อยกว่าการลดลงของจำนวนพันธะคู่ของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มบริสุทธ์ (47.5%) แสดงถึงว่าจำนวนพันธะคู่ในโมเลกุลของน้ำมันของวัตถุดิบ มีผลต่ออัตราการเกิดเสื่อมสภาพจากการเก็บรักษา

ภาพที่ 4.1

การเปลี่ยนแปลงของค่าไอโอดีน (Iodine value: IV) ของน้ำมันไบโอดีเซล
ที่ผลิตจากปาล์มสเตียรีน (BS) และน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ (BP)
ที่เก็บรักษาในช่วงระยะต่างๆ



ค่าเปอร์ออกไซด์ (Peroxide value: PV)

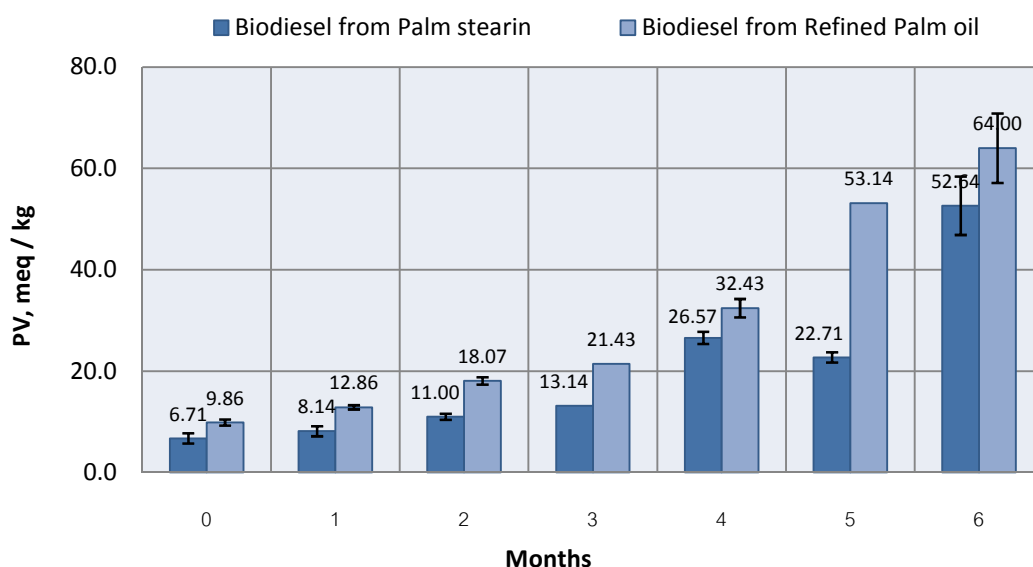
ค่าเปอร์ออกไซด์ (Peroxide value: PV) แสดงปริมาณของสารเปอร์ออกไซด์ (Hydro peroxide, ROOH) ที่มีอยู่ในน้ำมัน สารเปอร์ออกไซด์ในน้ำมันไบโอดีเซลนี้ เกิดจากการเสื่อมสภาพด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชันของพันธะคู่ในน้ำมันไบโอดีเซลกับออกซิเจนในอากาศ โดยสารประกอบเปอร์ออกไซด์นี้ เป็นสารผลิตภัณฑ์ขั้นต้นของปฏิกิริยาออกซิเดชัน จากภาพที่ 4.2 พบว่า ค่าเปอร์ออกไซด์ ของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากปาล์มสเตียรีนและจากน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องตามระยะเวลาการเก็บรักษา แสดงถึงการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่มากขึ้นเรื่อยๆ ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณพันธะคู่ในน้ำมันไบโอดีเซลที่ลดลงในภาพที่ 4.1

เมื่อพิจารณาตามวัตถุดิบที่นำมาผลิตเป็นน้ำมันไบโอดีเซล พบว่า น้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันพืชบริสุทธิ์ ซึ่งมีปริมาณพันธะคู่สูงกว่าน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากปาล์มสเตียรีน

เกิดการเปลี่ยนแปลงจากพันธะคู่ในน้ำมันไปเป็นสารประกอบเปอร์ออกไซด์ในอัตราที่สูงกว่า โดย การเปลี่ยนแปลงจะเกิดขึ้นรวดเร็วหลังจากเดือนที่ 3 ของการเก็บรักษา

ภาพที่ 4.2

ค่าเปอร์ออกไซด์ (Peroxide value: PV) ของน้ำมันไบโอดีเซล
ที่ผลิตจากปาล์มสเตียรีน (BS) และน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ (BP)
ที่เก็บรักษาในช่วงระยะต่างๆ



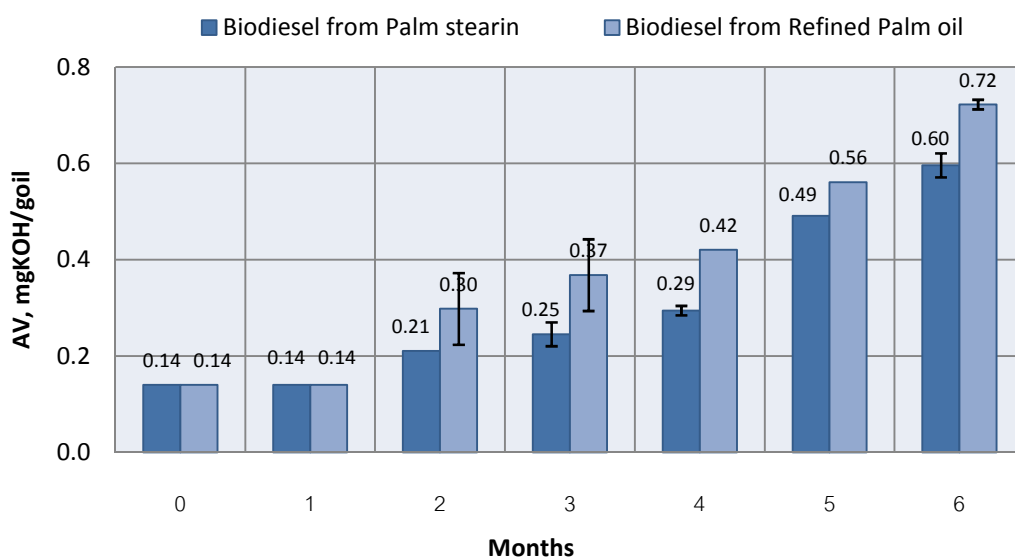
การวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด (Acid value: AV)

ค่าความเป็นกรดของ BS และ BP ที่เก็บรักษาในช่วงระยะเวลาเริ่มต้นไปจนถึงช่วง ระยะเวลา 6 เดือน ดังแสดงในภาพที่ 4.3 พบว่า ค่าความเป็นกรดของน้ำมันไบโอดีเซลทั้งสอง ชนิดมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตามระยะเวลาที่เก็บรักษา สอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของค่าเปอร์ออกไซด์ สามารถสันนิษฐานได้ว่า น้ำมันไบโอดีเซลที่ทำการเก็บรักษานั้น เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันต่อเนื่อง จากเปอร์ออกไซด์ ซึ่งก่อให้เกิดการสลายตัวเป็นสารประกอบอัลดีไฮด์ (Aldyhydes) และถูก ออกซิไดซ์ต่อจนกลายเป็นกรดไขมันอิสระ (Free fatty acid) จึงส่งผลให้ค่าความเป็นกรดมีค่า เพิ่มขึ้น (Bouaid et al., 2007) นอกจากนี้ การเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolysis reaction) จากความชื้นในอากาศ ในระหว่างการเก็บรักษาก็อาจส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่าความเป็นกรด

(Leung et al., 2006; Mittelbach et al., 2001) เมื่อพิจารณาตามวัตถุดิบที่นำมาผลิตเป็นน้ำมันไบโอดีเซล พบว่า การเพิ่มขึ้นของค่าความเป็นกรดของ BP มีค่าสูงกว่า BS เนื่องจากปริมาณของกรดไขมันไม่อิ่มตัวของน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์มีจำนวนที่สูงกว่าทำให้เกิดการปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ง่ายและรวดเร็ว ดังนั้น จากภาพที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าค่าเปอร์ออกไซด์มีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อเก็บรักษาไว้เป็นระยะเวลานาน อย่างไรก็ตาม อย่างไรก็ดี และเมื่อถูกออกซิไดซ์ต่อจนกลายเป็นกรดไขมันอิสระ จึงทำให้ค่าความเป็นกรดเพิ่มขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 4.3

ภาพที่ 4.3

ค่าความเป็นกรด (Acid value: AV) ของน้ำมันไบโอดีเซล
ที่ผลิตจากปาล์มสเตียรีน (BS) และน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ (BP)
ที่เก็บรักษาในช่วงระยะต่างๆ



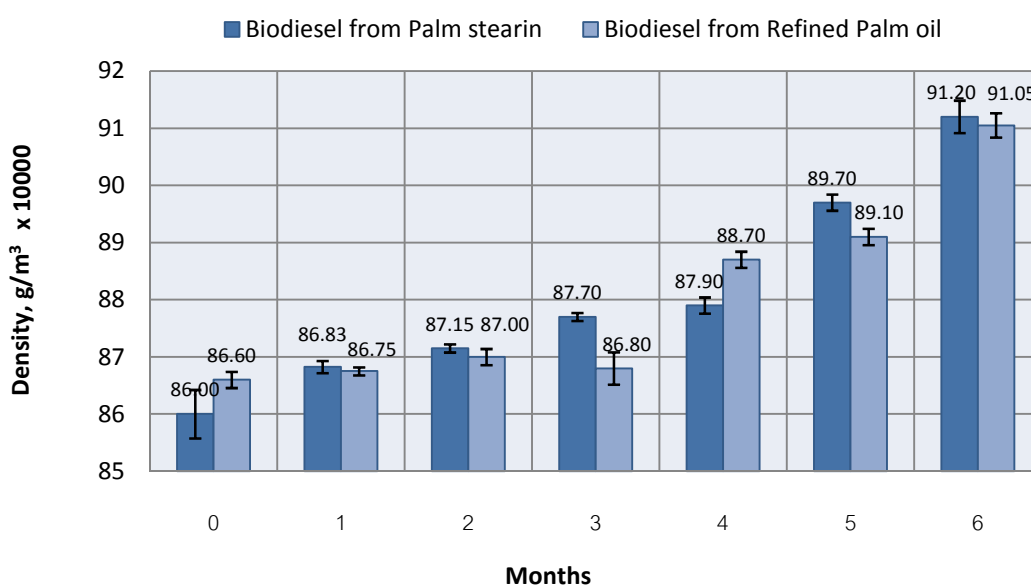
การวิเคราะห์ค่าความหนาแน่น (Density)

จากภาพที่ 4.4 พบว่า ค่าความหนาแน่นที่ 15 องศาเซลเซียส ของ BS และ BP ที่เก็บรักษาในช่วงระยะต่างๆ มีค่าความหนาแน่นเพิ่มสูงขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษา ซึ่งผลในส่วนนี้มีความสอดคล้องกับค่าการเกิดเปอร์ออกไซด์ที่เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บเช่นกัน ทั้งนี้ อาจเกิดจากความมีขี้ผึ้งที่สูงขึ้นของน้ำมันไบโอดีเซลหลังจากที่เกิดเป็นสารประกอบเปอร์ออกไซด์

ทำให้มีแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลมากขึ้น ส่งผลให้ความหนาแน่นของน้ำมันไบโอดีเซลสูงขึ้น อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบค่าความหนาแน่นของน้ำมันไบโอดีเซลกับน้ำมันวัตถุดิบ พบว่าหลังจากเก็บน้ำมันไบโอดีเซลเป็นระยะเวลามากกว่า 4 เดือน ค่าความหนาแน่นจะมีค่าใกล้เคียงกับน้ำมันวัตถุดิบ โดยค่าความหนาแน่นของน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ ที่ 20 องศาเซลเซียส คือ 0.90 – 0.920, ค่าความหนาแน่นของปาล์มสเตียรีน ที่ 60 องศาเซลเซียส คือ 0.88 – 0.89 (<http://www.foodquality.wfp.org>) ซึ่งความหนาแน่นที่เพิ่มสูงขึ้นนี้ จะส่งผลต่ออัตราการฉีดเชื้อเพลิงเข้าสู่เครื่องยนต์ในแต่ละรอบของการจุดระเบิด

ภาพที่ 4.4

ค่าความหนาแน่น (Density) ที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส ของน้ำมันไบโอดีเซล ที่ผลิตจากปาล์มสเตียรีน (BS) และน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ (BP) ที่เก็บรักษาในช่วงระยะต่างๆ



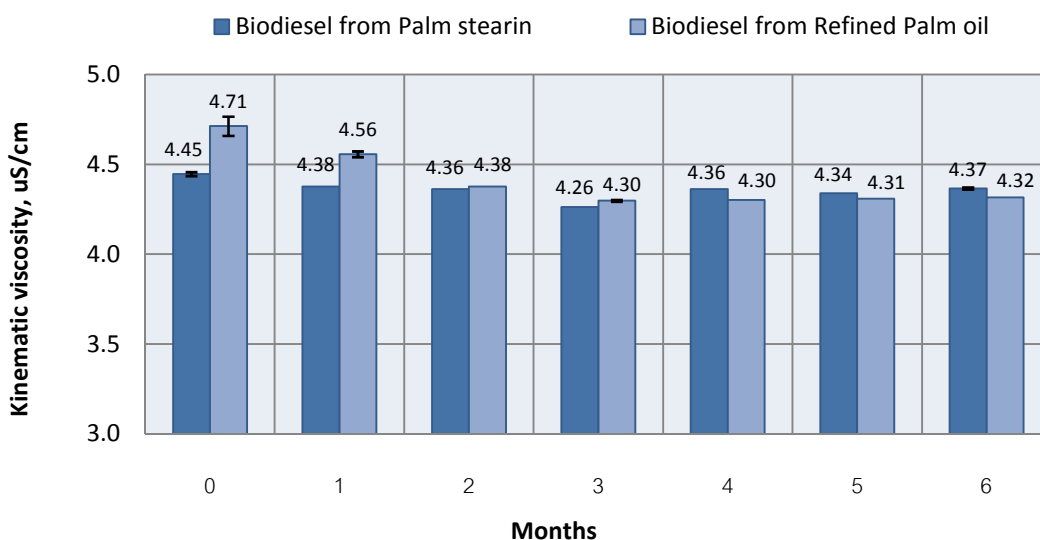
การวิเคราะห์ค่าความหนืดเชิงจลน์ (Kinematics Viscosity)

ค่าความหนืดเชิงจลน์ของ BS และ BP จากช่วงเริ่มต้นไปจนถึงเดือนที่ 6 แสดงในภาพที่ 4.5 จากผลที่ได้แสดงให้เห็นว่า เมื่อเวลาผ่านไป ทั้ง BS และ BP มีแนวโน้มค่าความหนืดเชิงจลน์ลดลงเพียงเล็กน้อย โดย BP มีการลดลงของความหนืดมากกว่า BS เล็กน้อยเท่านั้น ซึ่ง

จากผลการวิเคราะห์ค่าความหนืดนี้ สามารถบ่งชี้ได้ว่า การเสื่อมสภาพจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมันไบโอดีเซลทั้งสองในระยะเวลา 6 เดือนนี้ ยังไม่เกิดเป็นสารพอลิเมอร์ที่มีมวลโมเลกุลสูงหรือสารพอลิเมอร์สายโซ่ยาวมากพอที่จะผลทำให้ค่าความหนืดของน้ำมันสูงขึ้น และมีผลต่อระบบการไหลของน้ำมันในท่อ รวมถึงการสเปรย์ของหัวฉีดในเครื่องยนต์ (Bailey, 1951)

ภาพที่ 4.5

ค่าความหนืดเชิงจลน์ (Kinematic viscosity) ของน้ำมันไบโอดีเซล
ที่ผลิตจากปาล์มสเตียรีน (BS) และน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ (BP)
ที่เก็บรักษาในช่วงระยะต่างๆ



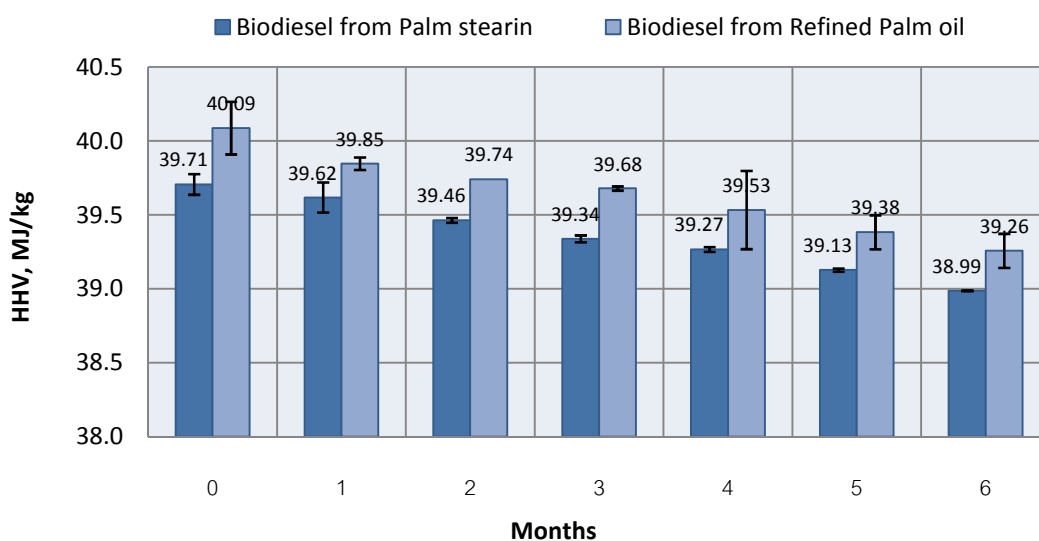
การวิเคราะห์ค่าความร้อน (High heating value: HHV)

ค่าความร้อน (High heating value: HHV) เป็นค่าพลังงานที่ปล่อยออกมาในระหว่างการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง 1 g โดยให้ผลิตภัณฑ์จากการเผาไหม้คือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และไอน้ำ (H_2O) ที่อุณหภูมิและความดันมาตรฐาน โดยเชื้อเพลิงที่มีปริมาณคาร์บอน (C) และไฮโดรเจน (H) อะตอมต่อหน่วยน้ำหนักโมเลกุลมาก จะให้ค่าความร้อนที่สูง ภาพที่ 4.6 แสดงค่าความร้อนของ BS และ BP ที่เก็บรักษาในช่วงระยะต่าง ๆ พบว่า ค่าความร้อนของน้ำมันไบโอดีเซลทั้งสองชนิด มีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาน้ำมันไบโอดีเซล

ทั้งสองชนิดเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับผลของการเสื่อมสภาพไปเป็นสารประกอบเปอร์ออกไซด์ ซึ่งทำให้จำนวนออกซิเจนในโครงสร้างโมเลกุลของน้ำมันไบโอดีเซลที่เกิดการเสื่อมสภาพมีเพิ่มขึ้น มีผลต่อสัดส่วนของธาตุคาร์บอน (C) และไฮโดรเจน (H) ต่อน้ำมันโมเลกุลของน้ำมันมีค่าลดลง เมื่อเปรียบเทียบตามชนิดของน้ำมันไบโอดีเซลแล้ว พบว่า BS มีค่าความร้อนของเชื้อเพลิงสูงกว่า BP โดยมีอัตราการลดลงที่ใกล้เคียงกัน คือ ประมาณ 0.13 MJ/month

ภาพที่ 4.6

ค่าความร้อน (High heating value: HHV) ของน้ำมันไบโอดีเซล
ที่ผลิตจากปาล์มสเตียรีน (BS) และน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ (BP)
ที่เก็บรักษาในช่วงระยะต่างๆ



4.1.2 ผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ เมื่อใช้น้ำมันไบโอดีเซลที่เก็บในช่วงเวลาต่างๆ เป็นเชื้อเพลิง

การทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ในงานวิจัยนี้ ใช้ชุดทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์แบบลำดับขั้นโดยแสดงผลในภาพแบบของ ความเร็วรอบ และภาระที่ใส่เข้าไป ชุดทดสอบใช้ไดนาโมมิเตอร์ชนิด Eddy current electric ที่สามารถปรับค่าของภาระงาน (Load) ที่ให้แก่เครื่องยนต์ได้ และทดสอบแบบภาระงานเต็มตามที่กำหนด ในช่วงของความเร็รรอบ 1,800 - 4,000 รอบต่อนาที โดยศึกษาผลของสมรรถนะเครื่องยนต์ อันได้แก่ กำลังเบรก (Brake power: P) ผล

ของอัตราการไหลของเชื้อเพลิง (Volumetric flow rate of fuel: $\dot{V}_f$) อัตราการไหลของเชื้อเพลิง (Rate of fuel flow: $\dot{m}_f$) ค่าอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (Brake specific fuel consumption: BSFC) และประสิทธิภาพการแปลงพลังงานจากเชื้อเพลิงเบรก (Brake Fuel Conversion efficiency: η_{bf}) ใช้ น้ำมันปิโตรเลียมดีเซลเป็นสารอ้างอิง โดยแสดงผลเปรียบเทียบสมรรถนะของเครื่องยนต์ ที่รอบความเร็ว 1,800 - 4,000 รอบต่อนาที และพิจารณาในภาพค่าเฉลี่ยของค่าสมรรถนะของเครื่องยนต์ ที่ความเร็วรอบ 1,800 - 3,900 รอบต่อนาที โดยผลการทดลองเป็นดังนี้

ผลของกำลังเบรกของเครื่องยนต์ (Brake power: P)

ผลการทดสอบกำลังเบรกของเครื่องยนต์ เมื่อใช้ BS และ BP จากช่วงเริ่มต้นไปจนถึงเดือนที่ 6 เปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล แสดงได้ดังภาพที่ 4.7 และ 4.8 ตามลำดับ พบว่า กำลังเบรกสูงสุดของเชื้อเพลิงทั้งสองอยู่ที่ความเร็วรอบ 3,600 รอบต่อนาที ตรงตามคุณลักษณะของเครื่องยนต์ Nissan รุ่น BD - 30 ซึ่งผลการทดสอบนี้ ทำให้สามารถกำหนดช่วงความเร็วรอบที่เหมาะสมที่ใช้เป็นเงื่อนไขในการทดสอบทั้งหมดในงานวิจัยนี้

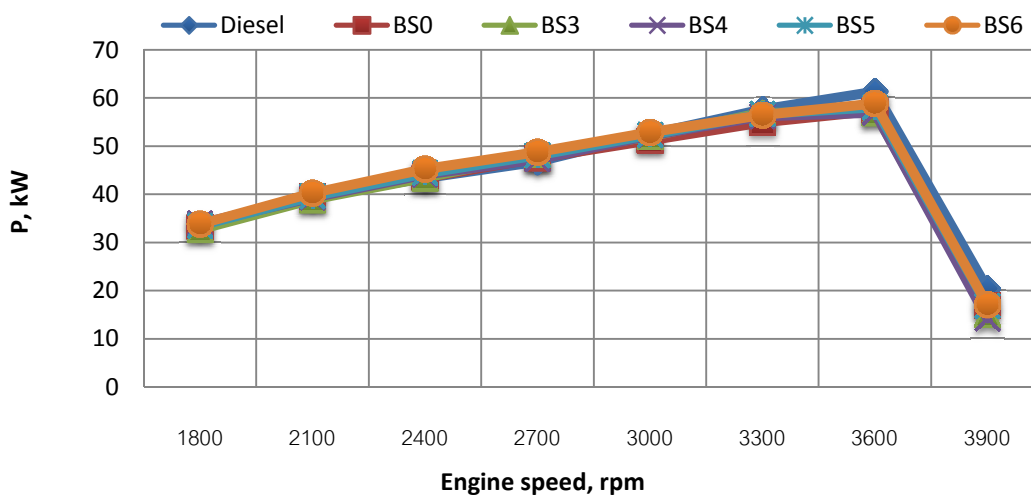
อย่างไรก็ดี เนื่องจากเส้นกราฟกำลังเบรกของเชื้อเพลิงต่าง ๆ มีการทับซ้อนกันมาก การวิเคราะห์กำลังเบรกของเครื่องยนต์ เราจึงได้แสดงผลในภาพค่าเฉลี่ยกำลังเบรกในช่วงความเร็วรอบตั้งแต่ 1,800 - 3,900 รอบต่อนาที เพื่อความสะดวกในการพิจารณาเปรียบเทียบความเปลี่ยนแปลงของค่ากำลังเบรกของเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงชนิดต่าง ๆ ดังภาพที่ 4.9 และ 4.10 พบว่า น้ำมันไบโอดีเซลใหม่ที่เกิดจากปาล์มสดเตยริน (BSO) ให้ค่ากำลังเบรกต่ำกว่าน้ำมันดีเซลอยู่ที่ประมาณ 3% ขณะที่ ค่ากำลังเบรกของน้ำมันไบโอดีเซลใหม่ที่เกิดจากน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ (BPO) มีค่ากำลังเบรกไม่แตกต่างกับน้ำมันดีเซลมากนัก ซึ่งสามารถสังเกตได้จากภาพที่ 4.9 แม้ว่าค่าร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์ของ BS จะสูงกว่าค่าร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์ของ BP ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากความหนาแน่นของ BP ที่สูงกว่า BS ทำให้สูบน้ำมันเข้ากระบอกสูบในปริมาณมากกว่า เกิดการเผาไหม้มากขึ้นจึงให้กำลังที่สูงขึ้น และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับ BS และ BP ที่เก็บรักษาไว้เป็นระยะเวลา 3, 4, 5 และ 6 เดือนตามลำดับ พบว่า ค่ากำลังเบรกของเครื่องยนต์ เมื่อใช้น้ำมันไบโอดีเซลของทั้งสองชนิดเป็นเชื้อเพลิง มีแนวโน้มของกำลังเบรกของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้นต่อเนื่อง ทั้งนี้ เป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงปฏิกิริยาทางเคมีจากการเสื่อมสภาพในระหว่างการเก็บรักษา ซึ่งทำให้พันธะคู่ของน้ำมันไบโอดีเซลทั้งสองชนิดลดลง ส่งผลทำให้ค่าซีเทน (Cetane, CN) เพิ่มขึ้น ทำให้เกิดช่วงการ

จุดระเบิด (Ignition delay) เกิดขึ้นได้รวดเร็ว (Karabektas et al., 2009; Klopfenstein, 1982; Krisnangkura, 1986) และเกิดการเผาไหม้ของอนุภาคน้ำมันไบโอดีเซลในห้องเครื่องของเครื่องยนต์ได้ทั่วถึงและสมบูรณ์มากขึ้นประกอบกับค่าความหนาแน่นที่เพิ่มขึ้น จึงมีส่วนส่งผลให้ค่ากำลังเบรคของเชื้อเพลิงทั้งสองเพิ่มขึ้น

นอกจากนี้ อัตราส่วนระหว่างออกซิเจนกับเชื้อเพลิงยังส่งผลต่อกำลังเบรค เนื่องจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงจำเป็นต้องอาศัยปริมาณออกซิเจนที่มากเกิดพอเพื่อทำให้การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงเกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์ เมื่อน้ำมันไบโอดีเซลเกิดการเสื่อมสภาพ ก่อให้เกิดสารประกอบไฮโดรเปอร์ออกไซด์ที่เพิ่มสูงขึ้น ทำให้มีออกซิเจนในโครงสร้างโมเลกุลของน้ำมันเพิ่มขึ้น และมากเพียงพอที่จะทำในการสันดาปภายในเครื่องยนต์สมบูรณ์มากขึ้น จึงส่งผลต่อกำลังของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 4.9 และ 4.10

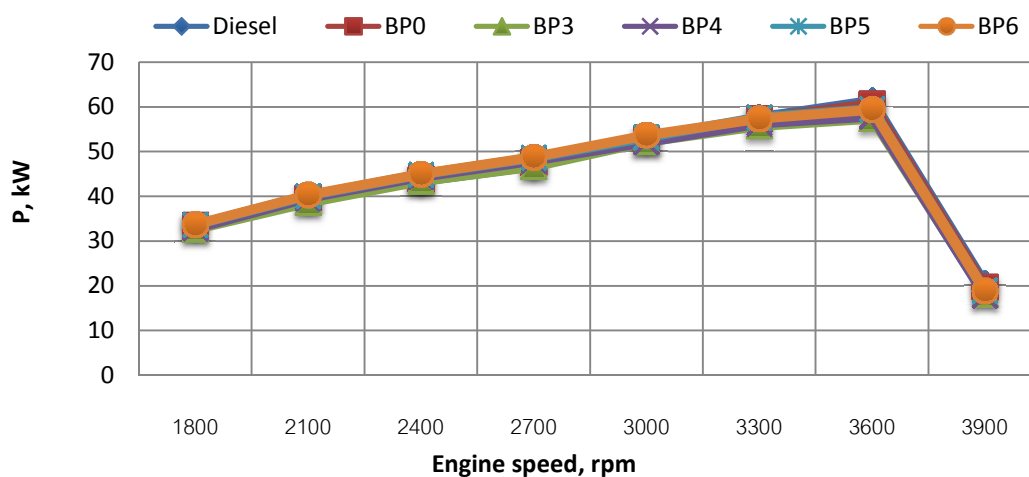
ภาพที่ 4.7

กำลังเบรคของเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ เมื่อน้ำมันดีเซลและน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากปาล์มสเดียน (BS) ที่เก็บรักษาในช่วงระยะต่าง ๆ เป็นเชื้อเพลิง



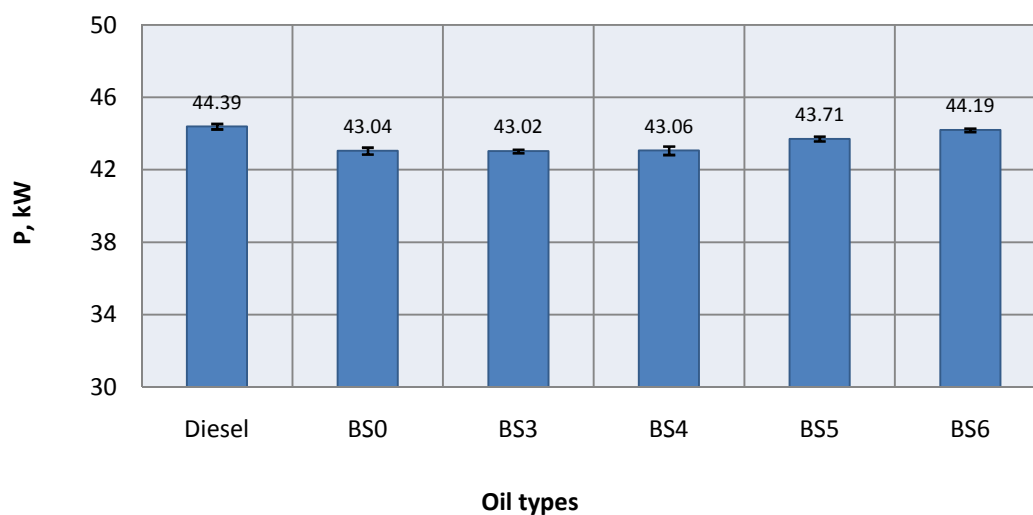
ภาพที่ 4.8

กำลังเบรคของเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ เมื่อใช้น้ำมันดีเซลและน้ำมันไบโอดีเซล
ที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ (BP) ที่เก็บรักษาในช่วงระยะต่าง ๆ เป็นเชื้อเพลิง



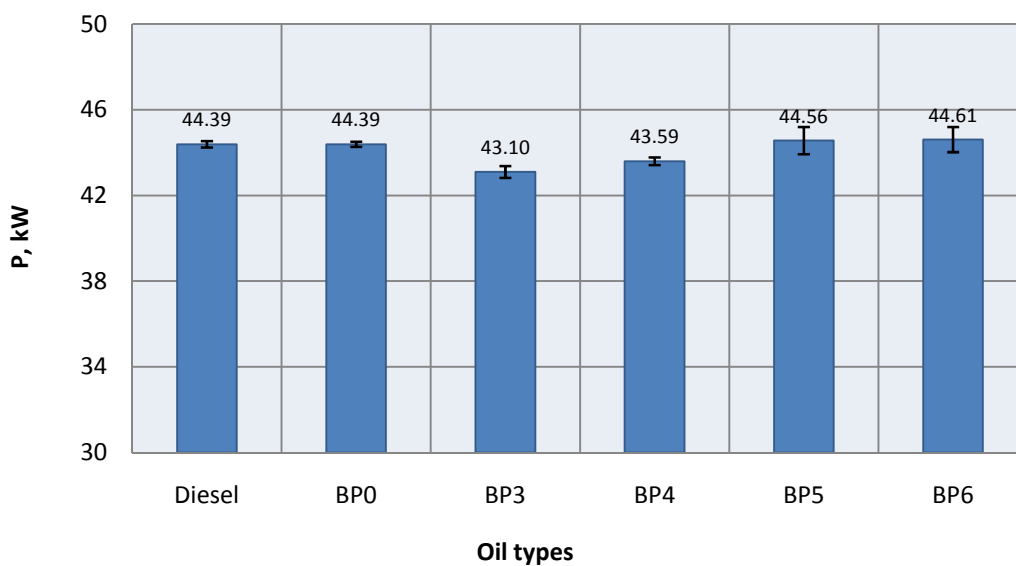
ภาพที่ 4.9

กำลังเบรคเฉลี่ยของเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ เมื่อใช้น้ำมันไบโอดีเซล
ที่ผลิตจากปาล์มสดเคียน (BS) ที่เก็บรักษาในช่วงระยะต่าง ๆ เป็นเชื้อเพลิง
เปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล



ภาพที่ 4.10

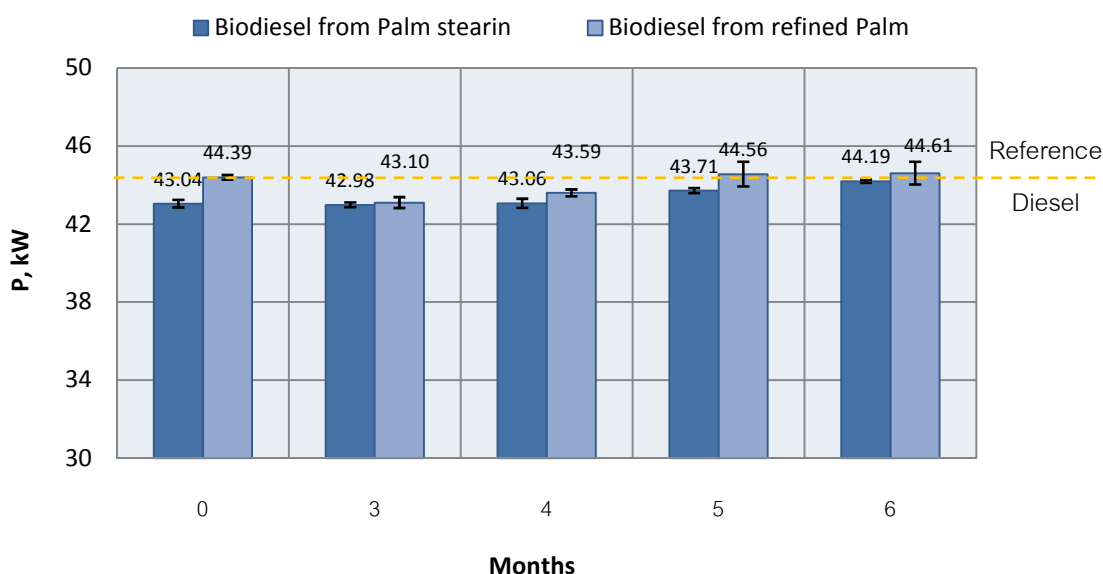
กำลังเบรกเฉลี่ยของเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ เมื่อใช้น้ำมันไบโอดีเซล
ที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ (BP) ที่เก็บรักษาในช่วงระยะต่างๆ เป็นเชื้อเพลิง
เปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล



เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกำลังเบรกของเครื่องยนต์ เมื่อใช้ BS และ BP เป็นเชื้อเพลิง ดังภาพที่ 4.11 พบว่า BP ให้ค่ากำลังเบรรมากกว่า BS ในทุกช่วงเวลา (แม้ว่าความหนาแน่นในบางช่วงเวลามีค่าต่ำกว่า) เนื่องจากค่าความร้อนและค่าเปอร์ออกไซด์ของ BP มีค่าสูงกว่า BS ที่ทุกช่วงเวลา ซึ่งทำให้การเผาไหม้เกิดขึ้นได้สมบูรณ์ เป็นผลทำให้ค่ากำลังเบรกของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น

ภาพที่ 4.11

กำลังเบรกเฉลี่ยของเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ เมื่อใช้น้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากปาล์มสเตียรีน (BS) เปรียบเทียบกับน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ (BP) ที่เก็บรักษาในช่วงระยะต่างๆ เป็นเชื้อเพลิง



ผลของอัตราการไหลของเชื้อเพลิง (Volumetric flow rate of fuel: $\dot{V}_f$)

อัตราการไหลของเชื้อเพลิง เมื่อใช้ BS และ BP จากช่วงเริ่มต้นไปจนถึงเดือนที่ 6 เปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล แสดงได้ดังภาพที่ 4.12 และ 4.13 พบว่า อัตราการไหลของเชื้อเพลิงทุกชนิดมีค่าสูงสุดที่ช่วงความเร็วรอบ 3,600 รอบต่อนาที ซึ่งสอดคล้องกับค่ากำลังเบรกสูงสุดที่ได้รับจากการสันดาปของเชื้อเพลิง ดังแสดงในภาพที่ 4.8 และ 4.9 ตามลำดับ

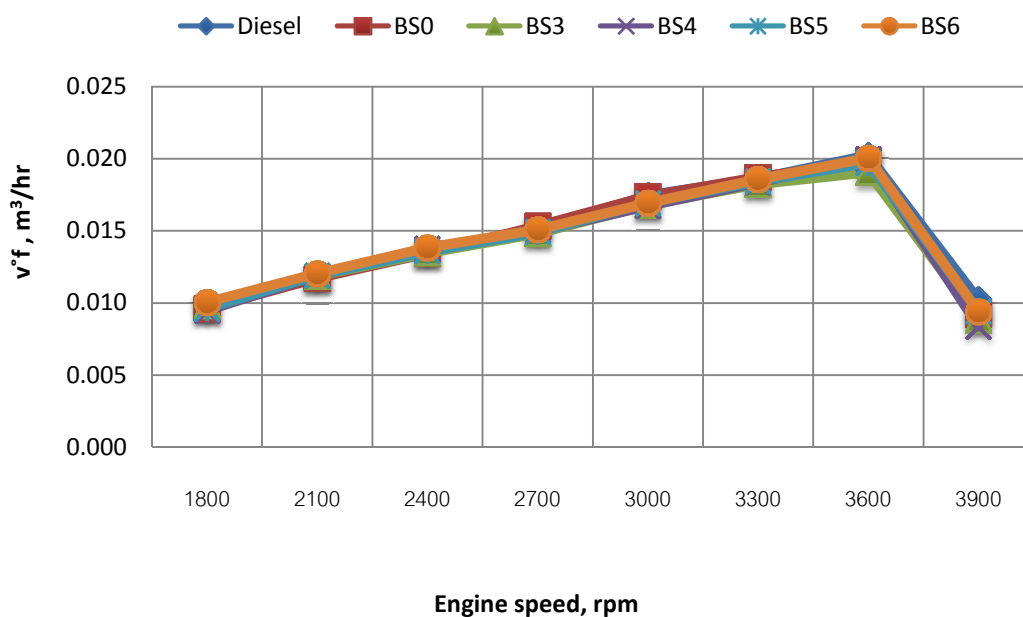
สำหรับค่าเฉลี่ยอัตราการไหลของเชื้อเพลิงที่ความเร็วรอบตั้งแต่ 1,800 – 3,900 รอบต่อนาที ดังภาพที่ 4.14 พบว่า อัตราการไหลของเชื้อเพลิงของน้ำมันไบโอดีเซลมีค่าต่ำกว่าน้ำมันดีเซลเล็กน้อย เป็นผลมาจากค่าความหนืดของน้ำมันไบโอดีเซลมีค่าสูงกว่าน้ำมันดีเซลมาตรฐาน โดยค่าความหนืด เป็นค่าที่แสดงความต้านทานต่อการไหลของเชื้อเพลิง เมื่อพิจารณาอัตราการไหลของเชื้อเพลิงเฉลี่ยของน้ำมันไบโอดีเซลทั้งสองชนิดที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 3, 4, 5 และ 6 เดือน ตามลำดับ พบว่า มีค่าแนวโน้มเพิ่มขึ้นคล้ายกับค่ากำลังเบรกเฉลี่ย ดังนั้น จากผลการ

ทดลองในส่วนนี้ ซึ่งให้เห็นว่าค่ากำลังเบรกมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากอัตราการไหลของเชื้อเพลิงมีค่าเพิ่มขึ้น

อัตราการไหลของน้ำมันเชื้อเพลิงดังภาพที่ 4.15 สามารถแสดงได้ในภาพอัตราการไหลเชิงมวล ดังภาพที่ 4.16 เมื่ออัตราการใช้เชื้อเพลิงมากขึ้นก็ย่อมให้กำลังแก่เครื่องยนต์มากขึ้น โดยสิ่งที่เราต้องการ คือ เราต้องการเชื้อเพลิงที่ให้กำลังมาก ในขณะที่อัตราการไหลของเชื้อเพลิงน้อย ๆ ดังนั้น การวิเคราะห์การใช้เชื้อเพลิงจึงควรเปรียบเทียบในภาพของอัตราการใช้เชื้อเพลิงต่อหน่วยกำลังที่ได้ หรือที่เรียกว่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (BSFC)

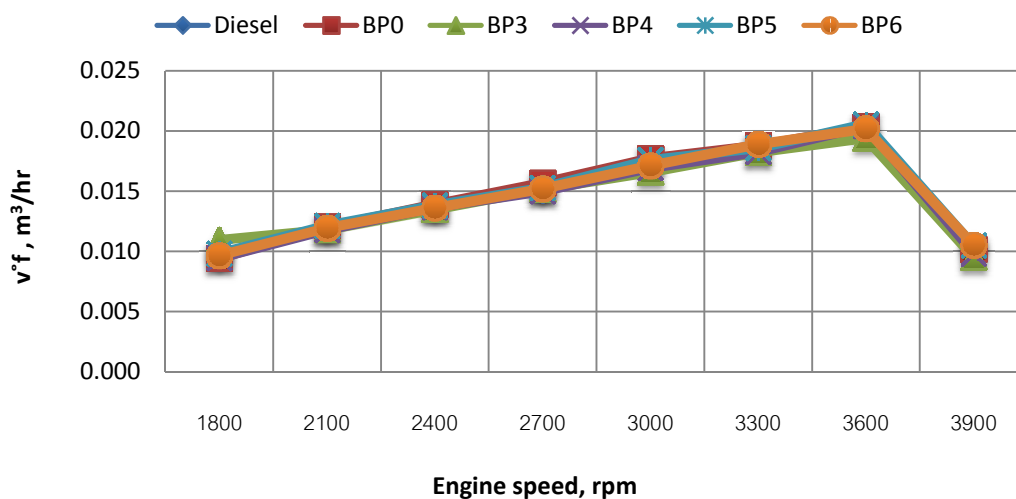
ภาพที่ 4.12

อัตราการไหลเชิงปริมาตรของเชื้อเพลิงที่ความเร็วรอบต่าง ๆ เมื่อใช้น้ำมันดีเซลและน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากปาล์มสดเคียวรีน (BS) ที่เก็บรักษาในช่วงระยะต่าง ๆ เป็นเชื้อเพลิง



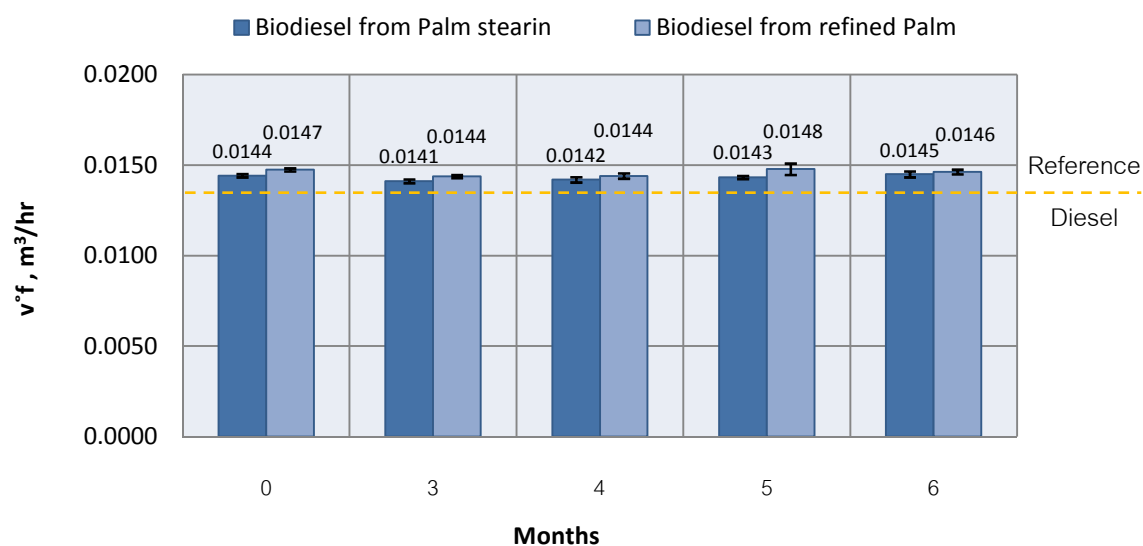
ภาพที่ 4.13

อัตราการไหลเชิงปริมาตรของเชื้อเพลิงที่ความเร็วรอบต่าง ๆ เมื่อใช้น้ำมันดีเซลและน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ (BP) ที่เก็บรักษาในช่วงระยะต่าง ๆ เป็นเชื้อเพลิง



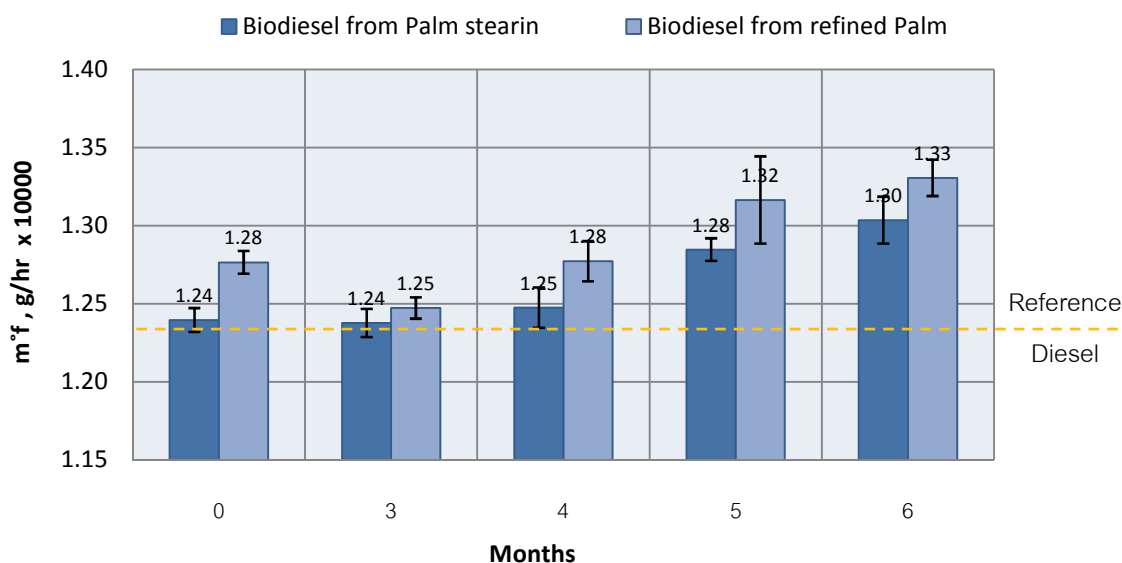
ภาพที่ 4.14

อัตราการไหลเชิงปริมาตรของเชื้อเพลิงเฉลี่ยที่ความเร็วรอบต่าง ๆ เมื่อใช้น้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากปาล์มสดเคี้ยวรีน (BS) เปรียบเทียบกับน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ (BP) ที่เก็บรักษาในช่วงระยะต่างๆ เป็นเชื้อเพลิง



ภาพที่ 4.15

อัตราการสิ้นเปลืองมวลของเชื้อเพลิงเฉลี่ยที่ความเร็วรอบต่าง ๆ เมื่อใช้น้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากปาล์มสเตียรีน (BS) เปรียบเทียบกับน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ (BP) ที่เก็บรักษาในช่วงระยะต่างๆ เป็นเชื้อเพลิง



ผลของอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (Brake specific fuel consumption: BSFC)

อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (Brake specific fuel consumption, BSFC) เป็นค่าที่แสดงถึงปริมาณน้ำมันที่ใช้ต่อหน่วยกำลังเครื่องยนต์ที่ได้ ซึ่งผลการทดสอบอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกของทุกช่วงความเร็วรอบของเครื่องยนต์ เมื่อใช้ BS และ BP ที่ทำการเก็บรักษาจากช่วงเริ่มต้นไปจนถึงเดือนที่ 6 เปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล ดังแสดงในภาพที่ 4.16 และ 4.17 ตามลำดับ พบว่า ที่ความเร็วรอบต่ำ (1,800 - 3,000 รอบต่อนาที) อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะของน้ำมันไบโอดีเซลทั้งสองมีค่าใกล้เคียงกับอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกของน้ำมันดีเซลที่ใช้เป็นมาตรฐานอ้างอิง ขณะที่ช่วงความเร็วรอบสูงกว่า 3,600 รอบต่อนาที เริ่มมีอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกของน้ำมันชนิดต่าง ๆ เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน ดังแสดงในภาพที่ 4.16 และ 4.17 ซึ่งเป็นผลมาจากในช่วงความเร็วรอบสูงกว่า 3,600 รอบต่อนาที กำลังของเครื่องยนต์ที่ใช้

ทดสอบจะตกอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะเบรคสูงขึ้นตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 4.8 และ 4.9

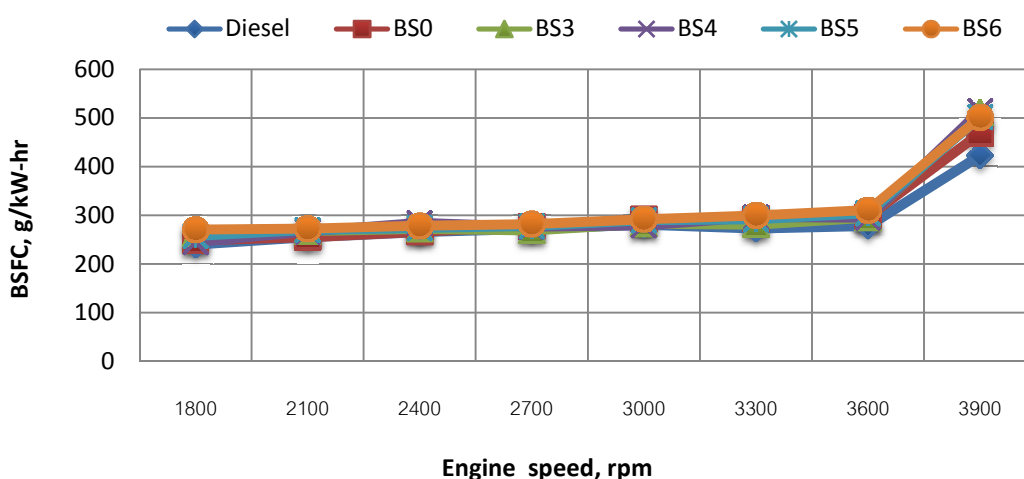
สำหรับค่าเฉลี่ยการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะเบรคที่ความเร็วรอบตั้งแต่ 1,800 – 3,900 รอบต่อนาที ดังภาพที่ 4.18 และ 4.19 พบว่า สำหรับน้ำมันใหม่อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะเบรคของน้ำมันไบโอดีเซลทั้งสองชนิดมีค่าสูงกว่าน้ำมันปิโตรเลียมดีเซลอยู่ประมาณ 5% เป็นผลมาจากค่าความร้อนของน้ำมันไบโอดีเซลต่ำกว่าน้ำมันดีเซลมาตรฐาน ส่งผลทำให้ต้องใช้ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงสูง เพื่อผลิตกำลังเบรคจากการกระบวนการสันดาปภายในเครื่องยนต์ และเมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มขึ้น พบว่า อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงของน้ำมันไบโอดีเซลเพิ่มขึ้น เนื่องจากค่าความร้อนของน้ำมันไบโอดีเซลที่เสื่อมสภาพมีค่าลดลงตามระยะเวลา โดยมีการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นในอัตราเฉลี่ย 1.17 % ต่อเดือน

ภาพที่ 4.16

อัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะเบรคของเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ

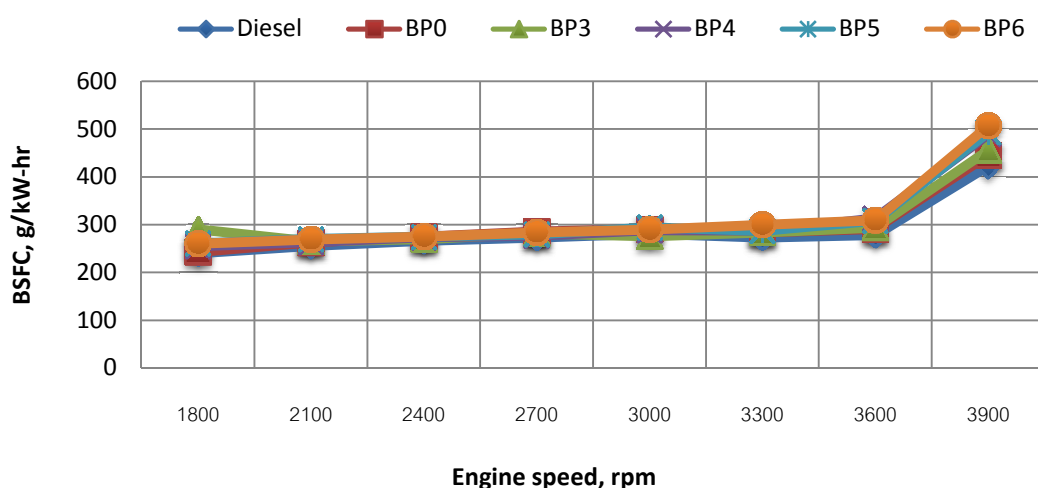
เมื่อใช้น้ำมันดีเซลและน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากปาล์มสดเดียว (BS)

ที่เก็บรักษาในช่วงระยะต่าง ๆ เป็นเชื้อเพลิง



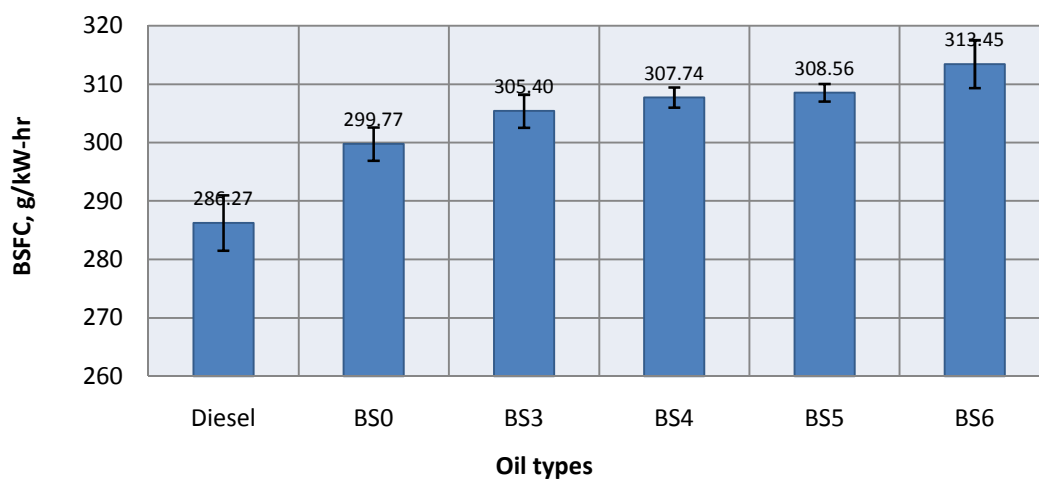
ภาพที่ 4.17

อัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกของเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ
เมื่อใช้น้ำมันดีเซลและน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ (BP)
ที่เก็บรักษาในช่วงระยะต่าง ๆ เป็นเชื้อเพลิง



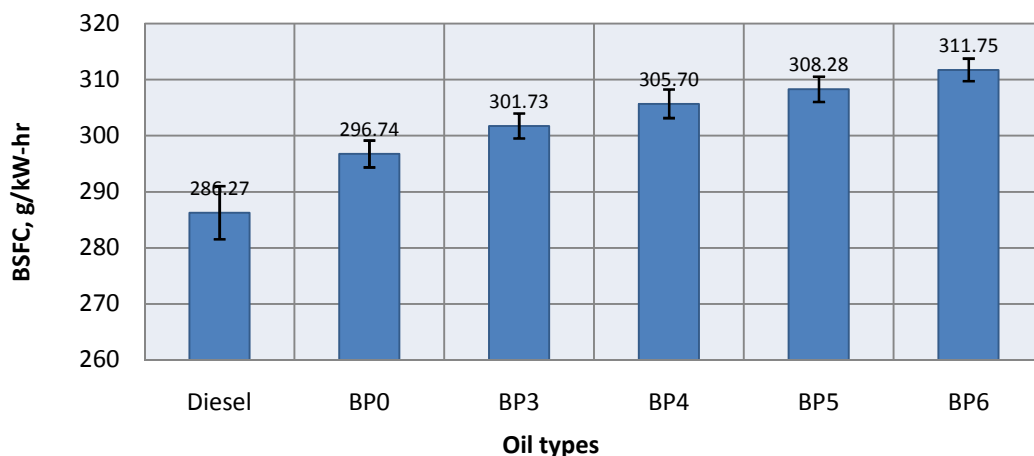
ภาพที่ 4.18

อัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกเฉลี่ยของเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ
เมื่อใช้น้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากปาล์มสดเคียน (BS) ที่เก็บรักษาในช่วงระยะต่าง ๆ
เป็นเชื้อเพลิงเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล



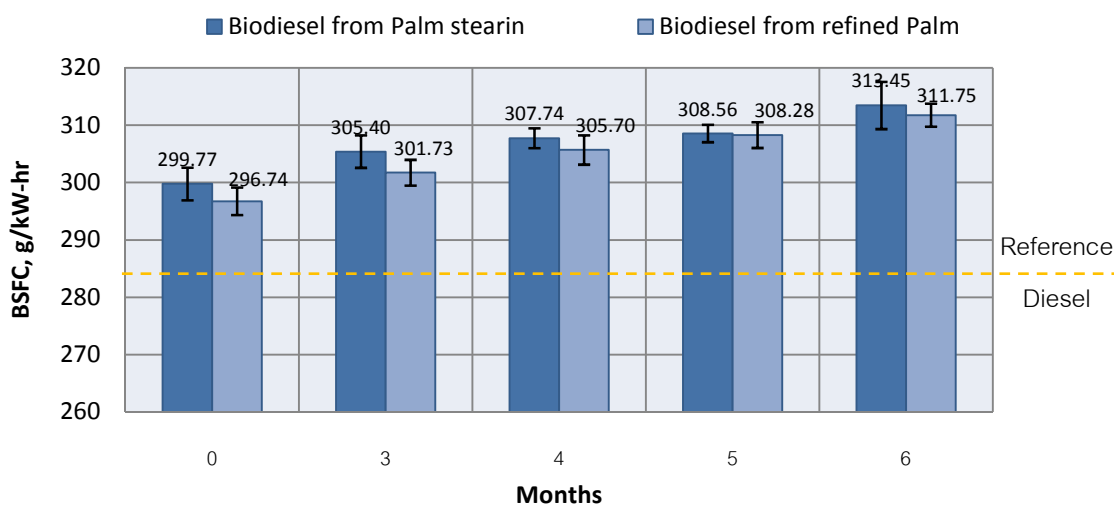
ภาพที่ 4.19

อัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะเบรคเฉลี่ยของเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ เมื่อใช้น้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ (BP) ที่เก็บรักษาในช่วงระยะต่างๆ เป็นเชื้อเพลิงเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล



ภาพที่ 4.20

อัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะเบรคเฉลี่ยของเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ เมื่อใช้น้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากปาล์มสดเคียว (BS) เปรียบเทียบกับน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ (BP) ที่เก็บรักษาในช่วงระยะต่างๆ เป็นเชื้อเพลิง



เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบอัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกของเครื่องยนต์เมื่อใช้ BS และ BP ซึ่งแสดงดังภาพที่ 4.20 พบว่า อัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกของเครื่องยนต์เมื่อใช้ BP มีค่าต่ำกว่า BS เล็กน้อย ซึ่งสอดคล้องกับค่าความร้อนของ BP ที่สูงกว่า BS

ผลของประสิทธิภาพการแปลงพลังงานจากเชื้อเพลิงเบรก (Brake fuel conversion efficiency: η_{bf})

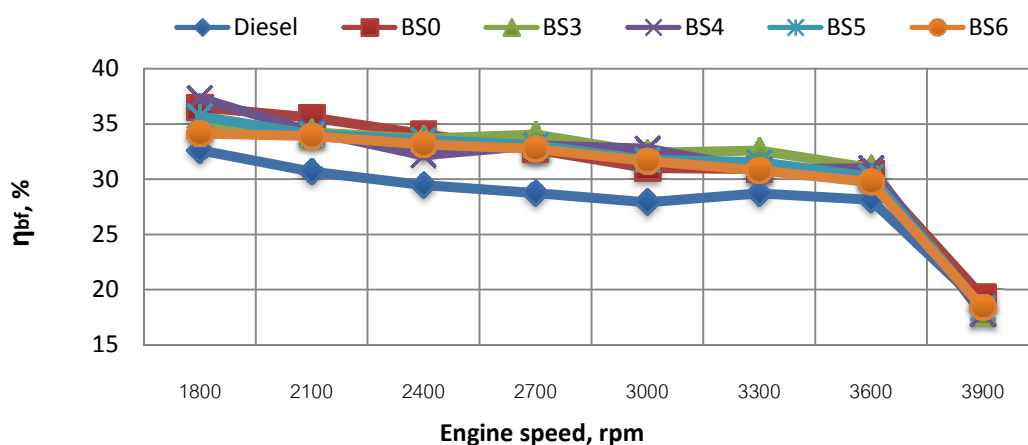
ค่าประสิทธิภาพการแปลงพลังงานจากเชื้อเพลิงเบรก (Brake fuel conversion efficiency, η_{bf}) แสดงถึง ประสิทธิภาพในการแปลงพลังงานภายในของเชื้อเพลิงไปสู่กำลังขับเคลื่อนของเครื่องยนต์ โดยพลังงานเชื้อเพลิงที่สามารถปล่อยออกมาจากการเผาไหม้จะหาได้จากมวลของเชื้อเพลิงที่ส่งเข้าไปในเครื่องยนต์ต่อวัฏจักรคูณด้วยค่าความร้อนของเชื้อเพลิง จากผลการทดสอบ ในภาพที่ 4.21 และ 4.22 แสดงค่าประสิทธิภาพการแปลงพลังงานจากเชื้อเพลิงเบรกที่ใช้น้ำมัน ไบโอดีเซลที่ผลิตจากปาล์มสเตียรีนและน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ที่เก็บรักษาในช่วงระยะต่างๆ เป็นเชื้อเพลิงเปรียบเทียบกับค่าประสิทธิภาพการแปลงพลังงานจากเชื้อเพลิงเบรกที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง พบว่า ในทุกชนิดเชื้อเพลิงมีประสิทธิภาพการแปลงพลังงานจากเชื้อเพลิงเบรกจะค่อย ๆ ลดลงจนถึงที่ความเร็วรอบ 3,600 รอบต่อนาที จากนั้นจะลดค่าลงอย่างรวดเร็วเมื่อรอบเครื่องยนต์สูงขึ้น ทั้งนี้ เป็นเพราะที่ความเร็วรอบที่สูงขึ้นเชื้อเพลิงมีเวลาในการสันดาปในห้องเผาไหม้น้อยลง เกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ จึงทำให้ประสิทธิภาพในการแปลงพลังงานลดลงด้วย

สำหรับค่าเฉลี่ยอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกที่ความเร็วรอบตั้งแต่ 1,800 – 3,900 รอบต่อนาที ดังภาพที่ 4.23 และ 4.24 พบว่า ค่าประสิทธิภาพการแปลงพลังงานจากเชื้อเพลิงเบรกของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากปาล์มสเตียรีนในช่วงเริ่มต้น (BS0) สูงกว่าน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ในช่วงเริ่มต้น (BP0) เล็กน้อย โดยน้ำมันไบโอดีเซลทั้งสองชนิดมีค่าประสิทธิภาพการแปลงพลังงานจากเชื้อเพลิงเบรกสูงกว่าน้ำมันปิโตรเลียมดีเซลประมาณ 11% แต่เมื่อเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพการแปลงพลังงานจากเชื้อเพลิงเบรกของน้ำมันไบโอดีเซลทั้งสองชนิดที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 3, 4, 5 และ 6 เดือน ตามลำดับ พบว่า ค่าประสิทธิภาพการแปลงพลังงานจากเชื้อเพลิงเบรกมีค่าไม่ค่อยเปลี่ยนแปลง

เมื่อใช้ BS เปรียบเทียบกับ BP ดังภาพที่ 4.25 พบว่า ค่าประสิทธิภาพการแปลงพลังงานจากเชื้อเพลิงเบรกของเครื่องยนต์ของ BS และ BP มีค่าใกล้เคียงกัน

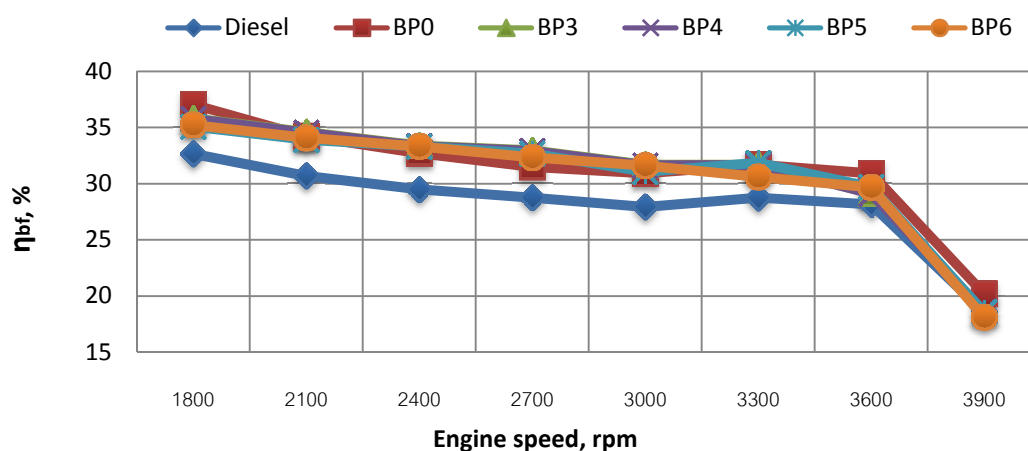
ภาพที่ 4.21

ค่าประสิทธิภาพการแปลงพลังงานจากเชื้อเพลิงเบรกของเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ
เมื่อใช้น้ำมันดีเซลและน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากปาล์มสเตียรีน (BS)
ที่เก็บรักษาในช่วงระยะต่างๆ เป็นเชื้อเพลิง



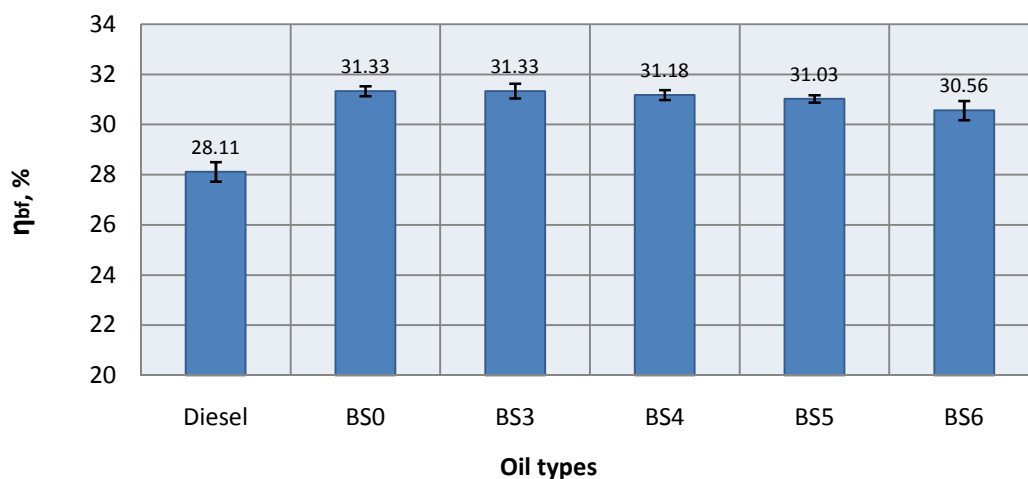
ภาพที่ 4.22

ค่าประสิทธิภาพการแปลงพลังงานจากเชื้อเพลิงเบรกของเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ
เมื่อใช้น้ำมันดีเซลและน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ (BP)
ที่เก็บรักษาในช่วงระยะต่างๆ เป็นเชื้อเพลิง



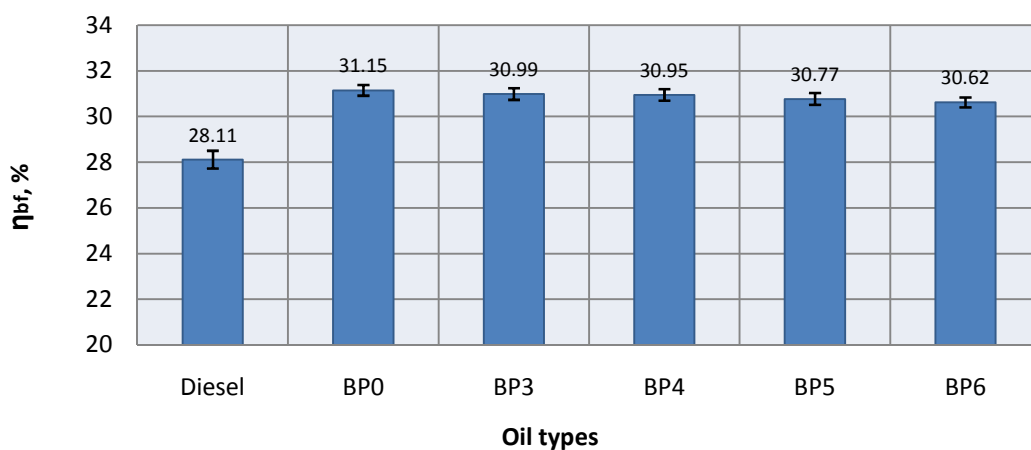
ภาพที่ 4.23

ค่าประสิทธิภาพการแปลงพลังงานจากเชื้อเพลิงเบรคเฉลี่ยของเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ
เมื่อใช้น้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากปาล์มสดที่ยัง (BS) ที่เก็บรักษาในช่วงระยะต่างๆ
เป็นเชื้อเพลิงเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล



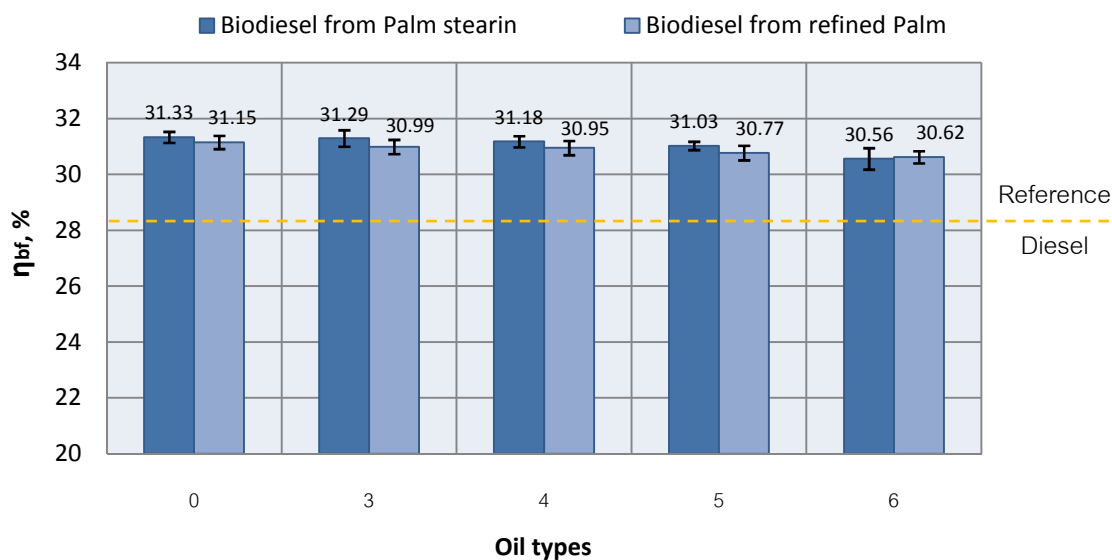
ภาพที่ 4.24

ค่าประสิทธิภาพการแปลงพลังงานจากเชื้อเพลิงเบรคของเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ
เมื่อใช้น้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ที่เก็บรักษาในช่วงระยะต่างๆ
เป็นเชื้อเพลิงเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล



ภาพที่ 4.25

ค่าประสิทธิภาพการแปลงพลังงานจากเชื้อเพลิงเบรคของเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ เมื่อใช้น้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากปาล์มสเตียรีน (BS) เปรียบเทียบกับน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ (BP) ที่เก็บรักษาในช่วงระยะต่าง ๆ เป็นเชื้อเพลิง



4.1.3 ผลการทดสอบมลพิษจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์

การทดสอบมลพิษจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ โดยใช้น้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากปาล์มสเตียรีนและน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ที่เก็บรักษาในช่วงระยะเวลาต่างๆ เป็นเชื้อเพลิง เปรียบเทียบกับค่ามลพิษจากการเผาไหม้ของน้ำมันดีเซลที่ใช้เป็นมาตรฐานอ้างอิง ในงานวิจัยนี้ ทำการทดสอบที่กำลังเบรคเครื่องยนต์สูงสุดที่ความเร็วรอบ 3,600 รอบต่อนาที โดยใช้ภาระในการทดสอบในช่วงตั้งแต่ 0 kg ถึง 30 kg มลพิษที่ทำการวิเคราะห์ คือ ปริมาณควันดำ, คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) สำหรับการวิเคราะห์ค่ามลพิษจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ ในที่นี้ เราได้ทำการเฉลี่ยค่ามลพิษต่าง ๆ จากช่วงภาระตั้งแต่ 0 kg ถึง 30 kg เพื่อความสะดวกในการพิจารณาและเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงมลพิษจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ เมื่อใช้เชื้อเพลิงชนิดต่าง ๆ ซึ่งผลการวิเคราะห์เป็นดังนี้

ผลของปริมาณควันดำ (Black smoke)

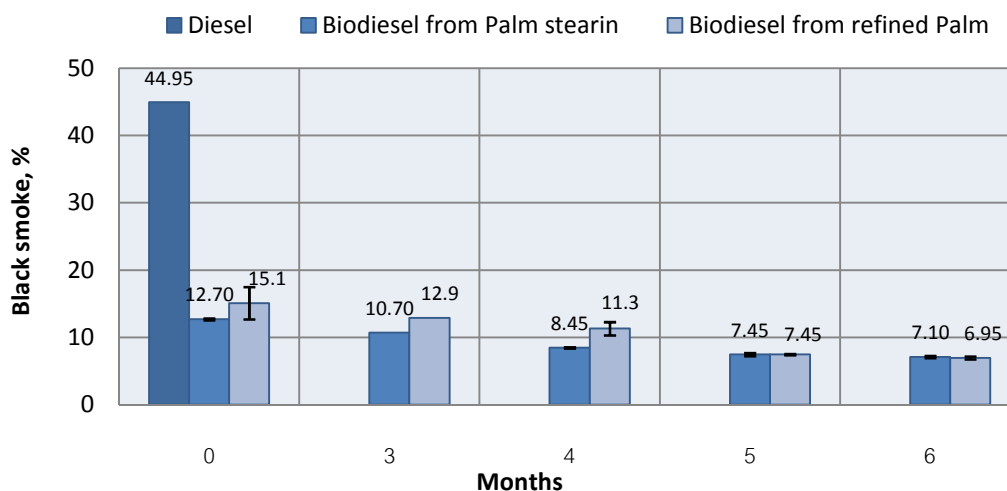
ในการทดสอบหาค่าร้อยละของปริมาณควันดำจะทดสอบระหว่างการเร่งความเร็วของเครื่องยนต์จากระอบเดินเบาไปสู่รอบการทำงานสูงสุด โดยในการทดสอบนั้นจะใช้เครื่องวัดปริมาณควันดำ (Smoke meter) ที่วัดปริมาณควันดำด้วยวิธีตรวจสอบความทึบแสงของปริมาณคาร์บอน แบบปล่อยให้อากาศไหลผ่านได้บางส่วน ตามมาตรฐานในการวัดควันดำ (Enabling Environment Conference; EEC) อ้างอิงจากประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ซึ่งค่าร้อยละของปริมาณควันดำที่กรมการขนส่งกำหนดต้องไม่เกิน 50% จากภาพที่ 4.26 พบว่า เมื่อใช้น้ำมันไบโอดีเซลทั้งสองชนิดเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ ค่าร้อยละของปริมาณควันดำมีค่าต่ำกว่าน้ำมันปิโตรเลียมดีเซลอยู่หลายเท่าตัว เนื่องจากในน้ำมันไบโอดีเซลมีออกซิเจนในโครงสร้างสูง จึงมีส่วนช่วยให้การเผาไหม้ภายในเครื่องยนต์เกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์ และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับ BS และ BP ที่เก็บรักษาไว้เป็นระยะเวลา 3, 4, 5 และ 6 เดือนตามลำดับ พบว่า ค่าร้อยละของปริมาณควันดำ มีแนวโน้มลดลงตามลำดับ เนื่องจากในระหว่างการเก็บรักษาน้ำมันไบโอดีเซลทั้งสองชนิดได้เกิดการเสื่อมสภาพจากปฏิกิริยาออกซิเดชันขึ้น ส่งผลให้จำนวนออกซิเจนในโครงสร้างโมเลกุลของน้ำมันไบโอดีเซลทั้งสองชนิดเพิ่มขึ้น ตามระยะเวลาที่เก็บรักษา ทำให้อัตราส่วนระหว่างออกซิเจนกับเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้น การเผาไหม้สมบูรณ์ขึ้น ควันดำจึงน้อยลง

ค่าปริมาณของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO)

จากภาพที่ 4.27 แสดงผลค่าปริมาณของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์เฉลี่ย จากการเผาไหม้ที่สภาวะกำลังสูงสุด เมื่อใช้เชื้อเพลิงชนิดต่าง ๆ พบว่า เมื่อใช้น้ำมันไบโอดีเซลทั้งสองชนิด ปริมาณของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ มีค่าต่ำกว่าน้ำมันดีเซลมาตรฐานค่อนข้างมาก โดยมีแนวโน้มเดียวกันกับปริมาณควันดำ ด้วยเหตุผลเดียวกัน คือ และเมื่อพิจารณาน้ำมันไบโอดีเซลที่เก็บรักษาไว้เป็นระยะเวลา 3, 4, 5 และ 6 เดือนตามลำดับ พบว่า มีค่าใกล้เคียงกันโดยมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยที่เวลาการเก็บรักษานานขึ้น

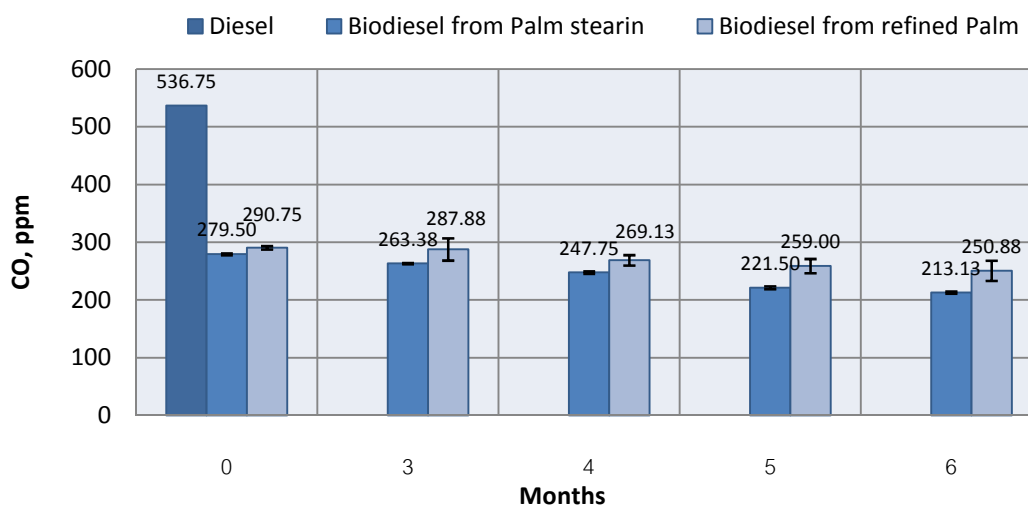
ภาพที่ 4.26

ปริมาณควันดำจากไอเสียเฉลี่ยของเครื่องยนต์เมื่อน้ำมันดีเซล น้ำมันไบโอดีเซล
ที่ผลิตจากปาล์มสเตียรีน (BS) และน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ (BP)
ในช่วงระยะต่างๆ เป็นเชื้อเพลิงที่สภาวะกำลังสูงสุด



ภาพที่ 4.27

ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) เฉลี่ยจากการเผาไหม้ที่สภาวะกำลังสูงสุด
ของน้ำมันดีเซล น้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากปาล์มสเตียรีน (BS) และน้ำมันไบโอดีเซล
ที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ (BP) ในช่วงระยะเวลาต่างๆ

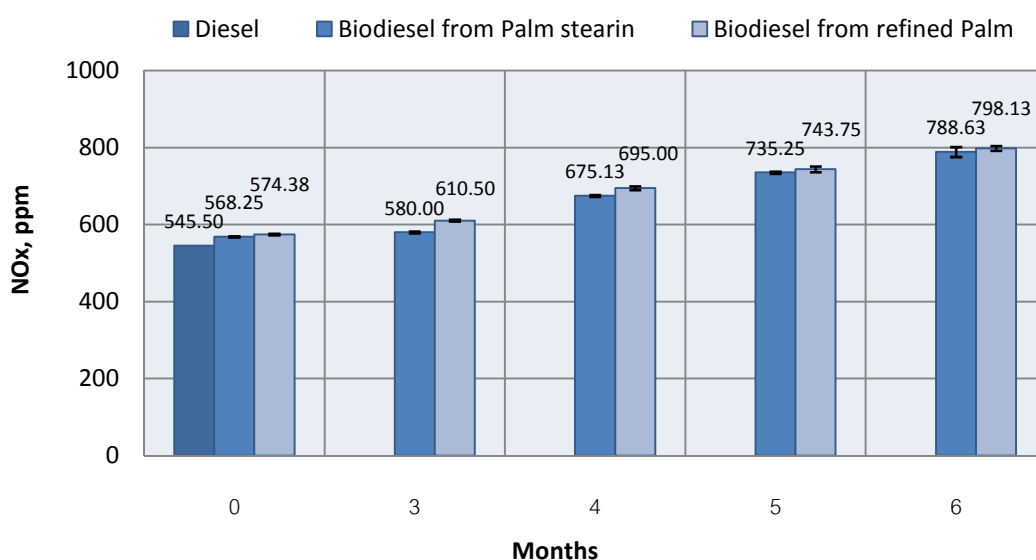


ค่าปริมาณของก๊าซไนตริกออกไซด์ (NO_x)

ก๊าซไนตริกออกไซด์ที่เกิดจากการเผาไหม้ มักเกิดจากการทำปฏิกิริยาของไนโตรเจนในอากาศกับออกซิเจนที่ปล่อยจากการเผาไหม้ที่อุณหภูมิสูง โดยยังมีปริมาณออกซิเจนมาก ก็จะทำให้เกิดก๊าซไนตริกออกไซด์มากตามไปด้วย จากภาพที่ 4.28 พบว่า ปริมาณก๊าซไนตริกออกไซด์จากการเผาไหม้ที่สภาวะกำลังสูงสุด ของน้ำมันไบโอดีเซลทั้งสองชนิด มีค่าสูงกว่าน้ำมันปิโตรเลียมดีเซล เนื่องจากน้ำมันไบโอดีเซลทั้งสองชนิดมีออกซิเจนในโครงสร้างโมเลกุลของน้ำมันสูง รวมถึงภายในห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์มีอุณหภูมิสูง ทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างอะตอมของไนโตรเจนและอะตอมของออกซิเจนที่หลงเหลือ ส่งผลทำให้ปริมาณก๊าซไนตริกออกไซด์ของน้ำมันไบโอดีเซลทั้งสองมีค่าสูงขึ้น เมื่อพิจารณาน้ำมันไบโอดีเซลที่เก็บรักษาไว้เป็นระยะเวลานาน พบว่า ปริมาณก๊าซไนตริกออกไซด์ มีค่าสูงขึ้น เนื่องจากมีออกซิเจนที่เพิ่มขึ้นในโครงสร้างโมเลกุลของน้ำมันไบโอดีเซลที่เกิดเสื่อมสภาพตามระยะเวลานั้น ส่งผลให้อัตราส่วนระหว่างออกซิเจนกับเชื้อเพลิงสูงขึ้น

ภาพที่ 4.28

ปริมาณก๊าซไนตริกออกไซด์ (NO_x) เปรียบจากการเผาไหม้ที่สภาวะกำลังสูงสุด
ของน้ำมันดีเซล น้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากปาล์มสเตียรีน (BS) และน้ำมันไบโอดีเซล
ที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ (BP) ในช่วงระยะเวลาต่างๆ



สรุปความสัมพันธ์ของสมบัติทางเคมีของน้ำมันกับประสิทธิภาพของเครื่องยนต์และ การปลดปล่อยมลพิษไอเสีย

ตารางที่ 4.1 สรุปผลการศึกษาการเสื่อมสภาพของน้ำมันไบโอดีเซลจากการเก็บรักษาในช่วงระยะเวลาต่างๆ ต่อการเปลี่ยนแปลงในด้านคุณสมบัติทางเคมีของน้ำมัน สมรรถนะการทำงานของเครื่องยนต์ดีเซล และการปลดปล่อยก๊าซมลพิษไอเสีย พบว่า น้ำมันไบโอดีเซลมีการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีและกายภาพอย่างเด่นชัด ซึ่งบ่งชี้ถึงการเสื่อมสภาพของน้ำมันจากระยะเวลาการเก็บรักษา เมื่อพิจารณาผลกระทบของระยะเวลาการเก็บรักษาต่อการทำงานของเครื่องยนต์ น้ำมันไบโอดีเซลที่เก็บรักษานานขึ้น แม้ว่าจะมีความร้อนลดลงเล็กน้อย แต่จะให้ กำลังเบรคของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น เนื่องจากประสิทธิภาพการจุดระเบิดที่ดีขึ้น (ค่าซีเทนสูงขึ้น) โดยประเมินจากค่าไอโอดีที่ลดลง อย่างไรก็ตาม เมื่ออายุน้ำมันไบโอดีเซลที่มากขึ้น การสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะเบรคจะเพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่าประสิทธิภาพการแปลงพลังงานจากเชื้อเพลิงเบรคก็มีค่าเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก ทั้งนี้ เป็นผลมาจากค่าความร้อนที่ต่ำลงของน้ำมันไบโอดีเซล สำหรับผลของก๊าซไอเสียจากเครื่องยนต์นั้นพบว่า ระยะเวลาการเก็บรักษาน้ำมันไบโอดีเซลที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้เกิด คว้นดำ (Black smoke) และก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) ลดลง แต่ปริมาณก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) จะเพิ่มสูงขึ้น ทั้งนี้ เนื่องจากน้ำมันไบโอดีเซลที่เก็บรักษาเป็นเวลานานจะทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับอากาศ ทำให้น้ำมันมีสัดส่วนปริมาณออกซิเจนในเชื้อเพลิงมากขึ้น ส่งผลให้การเผาไหม้สมบูรณ์ขึ้น และมีออกซิเจนเหลือไปทำปฏิกิริยากับไนโตรเจนในอากาศ ก่อให้เกิดออกไซด์ของไนโตรเจนมากขึ้น

เมื่อเปรียบเทียบน้ำมันไบโอดีเซลกับน้ำมันดีเซล พบว่า ให้กำลังเบรคที่ใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตาม อัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะเบรคของน้ำมันไบโอดีเซลมีค่าสูงกว่า เนื่องจากค่าความร้อนของน้ำมันไบโอดีเซลต่ำกว่าน้ำมันดีเซล ส่งผลทำให้ต้องใช้ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงสูง และค่าประสิทธิภาพการแปลงพลังงานจากเชื้อเพลิงเบรคของน้ำมันไบโอดีเซล มีค่าสูงกว่าเนื่องจากมีออกซิเจนในโครงสร้างส่งผลให้เผาไหม้ดีกว่า ก๊าซไอเสียของเครื่องยนต์ มีคุณภาพที่ดีกว่า คือ คว้นดำ (Black smoke) และก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) ของน้ำมันไบโอดีเซลมีค่าต่ำกว่า แต่ปริมาณก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) สูงกว่าน้ำมันปิโตรดีเซล เนื่องจากออกซิเจนในเชื้อเพลิงดีเซลชีวภาพที่มีมากขึ้นทำปฏิกิริยากับไนโตรเจนในอากาศ ก่อให้เกิดออกไซด์ของไนโตรเจนมากขึ้น

ตารางที่ 4.1

สรุปผลการศึกษาการเสื่อมสภาพของน้ำมันไบโอดีเซลจากการเก็บรักษาในช่วงระยะเวลาต่างๆ

สมบัติ	ตัวแปรที่วิเคราะห์	การเปลี่ยนแปลง		
		น้ำมันไบโอดีเซล (BS, BP) เปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล	BS เปรียบเทียบกับ BP	อายุน้ำมันไบโอดีเซลที่เก็บรักษาจาก 0 - 6 เดือน
เคมีและกายภาพ	Iodine value: IV	-	ต่ำกว่า	ลดลง
	Peroxide value: PV	-	ต่ำกว่า	เพิ่มขึ้น
	Acid value: AV	-	ต่ำกว่า	เพิ่มขึ้น
	Density	สูงกว่า	สูงกว่า	เพิ่มขึ้น
	Kinematic viscosity	สูงกว่า	ใกล้เคียงกัน	คงที่
	High heating value: HHV	ต่ำกว่า	ต่ำกว่า	ลดลง
สมรรถนะเครื่องยนต์	Brake power: P	ใกล้เคียงกัน	ต่ำกว่า	เพิ่มขึ้น
	Volumetric flow rate of fuel: $\dot{V}_f$	ต่ำกว่า	ใกล้เคียงกัน	เพิ่มขึ้น
	Mass flow rate of fuel: $\dot{m}_f$	สูงกว่า	ต่ำกว่า	เพิ่มขึ้น
	Brake specific fuel consumption: BSFC	สูงกว่า	สูงกว่า	เพิ่มขึ้น
	Brake fuel conversion efficiency: η_{bf}	สูงกว่า	ใกล้เคียงกัน	ลดลง
มลพิษไอเสีย	Black smoke	ต่ำกว่ามาก	ต่ำกว่า	ลดลง
	Carbon monoxide : CO	ต่ำกว่ามาก	ต่ำกว่า	ลดลง
	Nitric oxide : NO _x	สูงกว่า	ต่ำกว่า	เพิ่มขึ้น

หมายเหตุ: BS คือ น้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากปาล์มสดเพียงอย่างเดียว

BP คือ น้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์

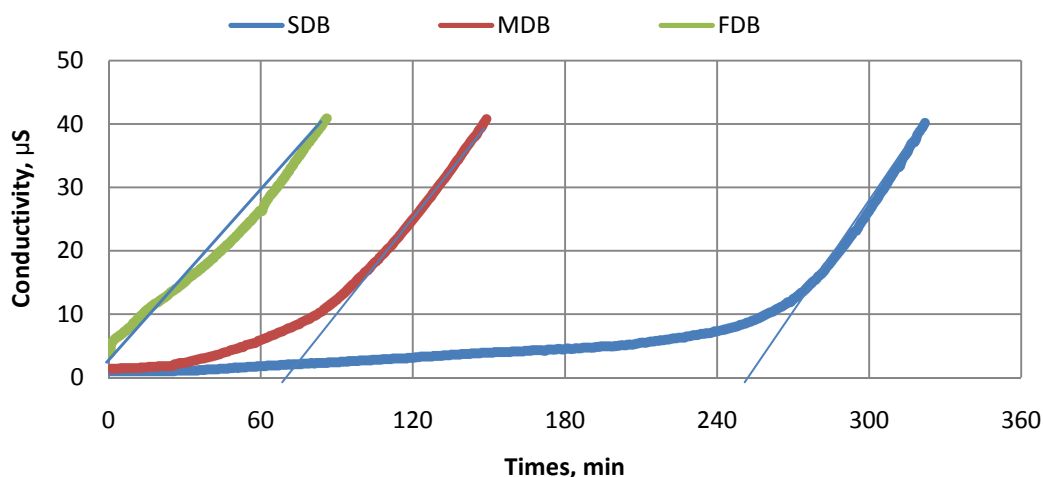
สำหรับการเสื่อมสภาพของน้ำมันไบโอดีเซลในช่วง 6 เดือนนั้น สามารถตรวจวัดได้จากการเปลี่ยนแปลงของพันธะคู่ในโมเลกุล (จาก Iodine value) ไปเป็นสารประกอบเปอร์ออกไซด์ ซึ่งมีออกซิเจนในโมเลกุลมากขึ้น (จาก Peroxide value) ทำให้ค่าความร้อนลดลง สมบัติเหล่านี้ มีผลกระทบต่อการใช้งานในเครื่องยนต์ คือ ทำให้กำลังของเครื่องยนต์ดีขึ้นเล็กน้อย แต่จะสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงมากขึ้น อย่างไรก็ตาม ข้อดีของการเสื่อมสภาพนี้ คือ เรือง มลพิษไอเสีย โดยการเสื่อมสภาพนี้ ทำให้มีก๊าซไอเสียจำพวกเขม่าควัน และคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) จากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ลดน้อยลง แม้ว่าออกซิเจนส่วนเกินจากการเสื่อมสภาพจะทำให้มีออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x)

4.2 ผลการศึกษาผลการเสื่อมสภาพของน้ำมันไบโอดีเซลในสภาวะเร่งการเสื่อมสภาพ

สำหรับงานวิจัยในส่วนที่สองนี้ เป็นศึกษาการเปลี่ยนแปลงในเชิงสมบัติและคุณภาพของน้ำมันไบโอดีเซล รวมถึงผลต่อสมรรถนะการทำงานของเครื่องยนต์และการปลดปล่อยก๊าซมลพิษไอเสียของน้ำมันไบโอดีเซลที่เกิดการเสื่อมสภาพในสภาวะเร่ง โดยทำการศึกษการเสื่อมสภาพในสภาวะเร่งของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากปาล์มสดเดี่ยวรีน ซึ่งวิธีการทดลองจำลองสภาวะเร่งการเสื่อมสภาพนั้น เราได้นำน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากปาล์มสดเดี่ยวรีนมาทำปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยเติมอากาศเข้าไปทำปฏิกิริยากับน้ำมันไบโอดีเซลโดยตรงภายในถังเปิดที่อัตรา 100 ลิตรต่อชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส และติดตั้งเครื่องมือวัดค่าความนำไฟฟ้า (conductivity meter) เพื่อใช้ในการพิจารณาอัตราการสลายตัวเป็นไอระเหยของสารประกอบมีซัลฟิว ซึ่งในงานวิจัยนี้ เลือกน้ำมันในช่วงการเสื่อมสภาพจากสภาวะเร่งใน 3 ช่วง คือ น้ำมันใหม่ที่มีค่าความนำไฟฟ้า 0 μS (SDB), ช่วงที่น้ำมันมีค่าความนำไฟฟ้า 500 μS (MDB) และช่วงที่น้ำมันมีค่าความนำไฟฟ้าเป็น 1,000 μS (FDB) โดยพิจารณาจากการนำตัวอย่างในช่วงที่กำหนดไปวัดค่าความเสถียรต่อการเกิดออกซิเดชัน (Oxidation Stability) ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงอายุขัย (shelf life) ของน้ำมันไบโอดีเซล ซึ่งค่าความเสถียรต่อการเกิดออกซิเดชันของน้ำมันไบโอดีเซลได้แสดงดังในภาพที่ 4.29

ภาพที่ 4.29

ค่าความเสถียรต่อการเกิดออกซิเดชัน (Oxidation Stability) ของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากปาล์มสดเดี่ยวรีนในสภาวะเร่งการเสื่อมสภาพในช่วงต่าง ๆ



สำหรับการทดลองส่วนนี้ เราได้ทำการวิเคราะห์ผลการทดลอง 3 ส่วน ได้แก่

1. ผลในเชิงคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำมันไบโอดีเซล
2. ผลในเชิงสมรรถนะการทำงานของเครื่องยนต์
3. การปลดปล่อยก๊าซมลพิษไอเสีย

โดยผลการทดลองในแต่ละส่วนเป็นดังนี้

4.2.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำมันไบโอดีเซลในสภาวะเร่งการเสื่อมสภาพ

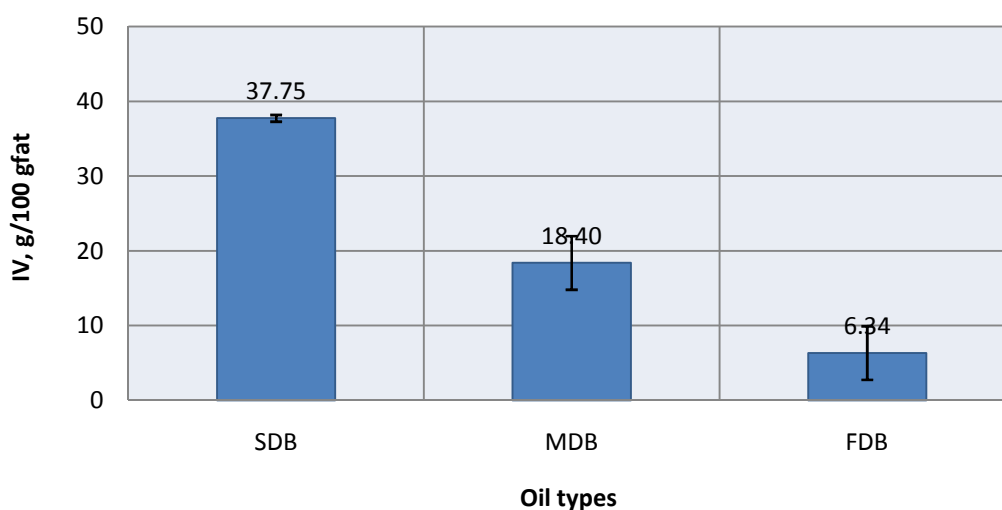
เราได้ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของ ค่าไอโอดีน (Iodine value: IV), ค่าเปอร์ออกไซด์ (Peroxide value: PV), ค่าความเป็นกรด (Acid value: AV), ค่าความหนาแน่น (Density), ค่าความหนืดเชิงจลน์ (Kinematic viscosity) และค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (High heating value) ของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากปาล์มสเตียร์นที่ถูกเร่งการเสื่อมสภาพ โดยผลการทดลองเป็นดังนี้

การวิเคราะห์ค่าไอโอดีน (Iodine value: IV)

ภาพที่ 4.31 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าไอโอดีนของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากปาล์มสเตียร์นที่ในสภาวะเร่งการเสื่อมสภาพที่ช่วงต่าง ๆ พบว่า ค่าไอโอดีนของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากปาล์มสเตียร์นที่เกิดการเสื่อมสภาพจากสภาวะเร่ง มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของจำนวนพันธะคู่ของน้ำมันไบโอดีเซลลดลงอย่างมาก สำหรับการลดลงของพันธะคู่ของน้ำมันไบโอดีเซลนี้ เนื่องจาก อัตราการถูกออกซิไดซ์ของน้ำมันไบโอดีเซลเพิ่มขึ้นจากปฏิกิริยาออกซิเดชันจากอากาศที่ถูกเติมในน้ำมันและความร้อน โดยในการทดลองนี้ เราใช้ความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมันไบโอดีเซล และจากผลของปฏิกิริยาออกซิเดชัน ส่งผลทำให้พันธะคู่ในโมเลกุลของน้ำมันไบโอดีเซลเกิดการแตกออก กลายสภาพเป็นสารประกอบไฮโดรเปอร์ออกไซด์ โดยสารประกอบเหล่านี้ เป็นสารประกอบที่ไม่คงสภาพ ซึ่งอาจเกิดปฏิกิริยาฟิชชัน (Fission) กลายสภาพเป็นสารที่มีโมเลกุลเล็กลง หรืออาจมาจับตัวรวมกัน (Combination) กลายเป็นพอลิเมอร์ต่อไป

ภาพที่ 4.30

ค่าไอโอดีน (Iodine value: IV) ของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากปาล์มสดเดียวรีน
ในสภาวะเร่งการเสื่อมสภาพที่ช่วงต่าง ๆ

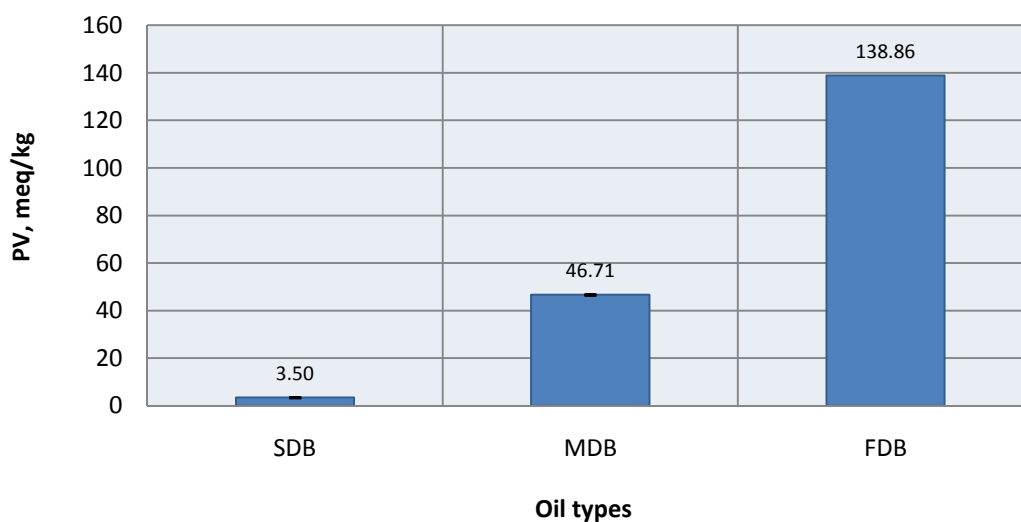


ค่าเปอร์ออกไซด์ (Peroxide value: PV)

การวิเคราะห์ค่าเปอร์ออกไซด์ (Peroxide value: PV) เป็นการวัดการเสื่อมสภาพจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยการหาปริมาณออกไซด์ที่มีอยู่ในเมทิลเอสเตอร์ ซึ่งค่าเปอร์ออกไซด์นี้ เป็นสารผลิตภัณฑ์ในช่วงเริ่มต้นของปฏิกิริยาออกซิเดชัน จากภาพที่ 4.31 แสดงค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากปาล์มสดเดียวรีนในสภาวะเร่งการเสื่อมสภาพที่ช่วงต่าง ๆ พบว่า ค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากปาล์มสดเดียวรีนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น จาก 3.50 meq/kg ในช่วงเริ่มต้น (SDB) ไปเป็น 46.71 meq/kg ในช่วงกลาง (MDB) และ 138.86 meq/kg ในช่วงสุดท้าย (FDB) เนื่องจากการออกซิไดซ์ของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากปาล์มสดเดียวรีนโดยการเติมอากาศในน้ำมันไบโอดีเซล เป็นการเพิ่มโอกาสในการสัมผัสกันเพื่อทำปฏิกิริยาระหว่างออกซิเจนกับพันธะคู่ของน้ำมันไบโอดีเซล ทั้งยังมีความร้อน ซึ่งช่วยให้ปฏิกิริยาออกซิเดชันสามารถดำเนินได้อย่างรวดเร็ว ส่งผลทำให้สารประกอบไฮโดรเปอร์ออกไซด์ ซึ่งเป็นสารผลิตภัณฑ์เริ่มต้นของปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น

ภาพที่ 4.31

การวิเคราะห์ค่าเปอร์ออกไซด์ (Peroxide value: PV) ของน้ำมันไบโอดีเซล
ที่ผลิตจากปาล์มสเตียรีนในสภาวะเร่งการเสื่อมสภาพที่ช่วงต่าง ๆ

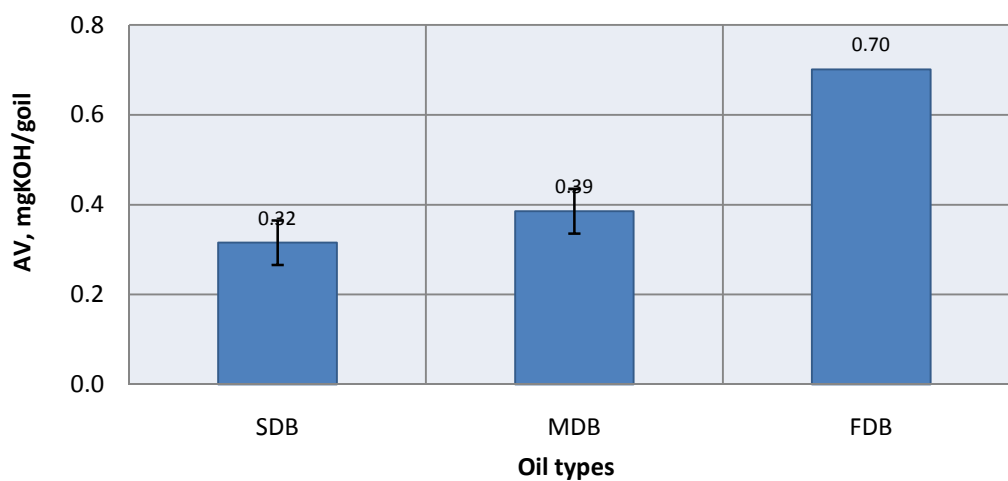


การวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด (Acid value: AV)

จากภาพที่ 4.32 พบว่า ค่าความเป็นกรดของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากปาล์มสเตียรีนในสภาวะเร่งการเสื่อมสภาพที่ช่วงต่าง ๆ มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น เมื่ออัตราการถูกออกซิไดซ์ของน้ำมันไบโอดีเซลเพิ่มขึ้น โดยค่าความเป็นกรดของน้ำมันไบโอดีเซลเพิ่มขึ้นจาก 0.32 mg KOH/g oil ในช่วงเริ่มต้น (SDB) ไปจนถึง 0.70 mg KOH/g oil ในช่วงสุดท้าย (FDB) ทั้งนี้เนื่องมาจากน้ำมันไบโอดีเซลที่เกิดการเสื่อมสภาพจากการจำลองสภาวะเร่งมีอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันอย่างต่อเนื่อง รวมถึงความร้อนที่ใส่เพื่อช่วยในการเกิดปฏิกิริยาให้เร็วขึ้นเป็นผลทำให้กลไกการการออกซิไดซ์กลายเป็นเปอร์ออกไซด์สูงขึ้น และในขณะเดียวกันสารประกอบไฮโดรเปอร์ออกไซด์จะถูกออกซิไดซ์ต่อจนกลายเป็นกรดไขมันอิสระ (Free fatty acid) จึงส่งผลให้ค่าความเป็นกรดมีค่าเพิ่มขึ้น (Dunn , 2002)

ภาพที่ 4.32

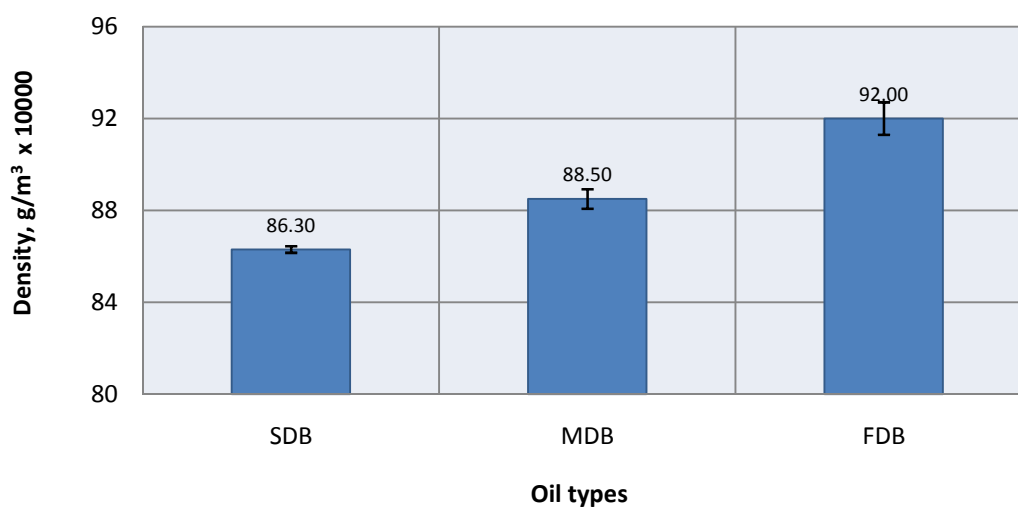
ค่าความเป็นกรด (Acid value: AV) ของน้ำมันไบโอดีเซล
ที่ผลิตจากปาล์มสดที่ยรีนในสภาวะเร่งการเสื่อมสภาพที่ช่วงต่าง ๆ



การวิเคราะห์ค่าความหนาแน่น (Density)

ภาพที่ 4.33

ค่าความหนาแน่น (Density) ของน้ำมันไบโอดีเซล
ที่ผลิตจากปาล์มสดที่ยรีนในสภาวะเร่งการเสื่อมสภาพที่ช่วงต่าง ๆ

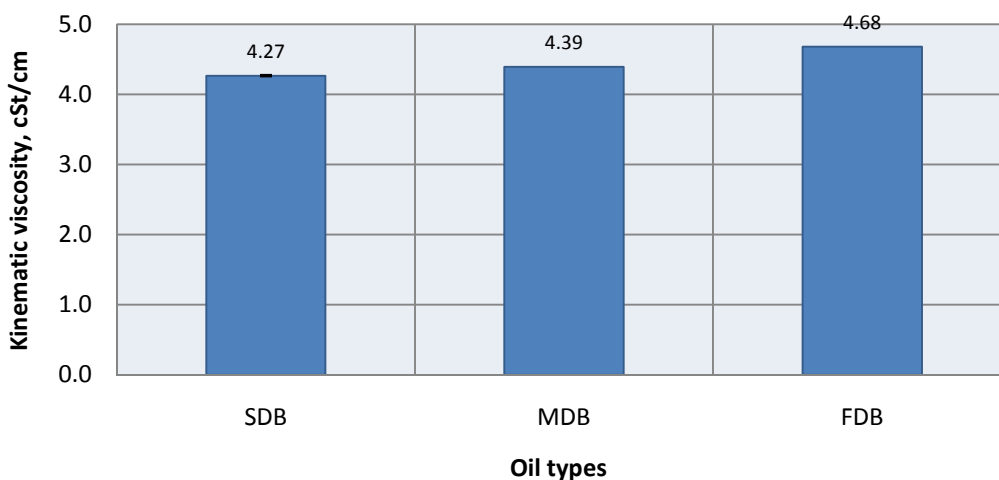


จากภาพที่ 4.33 พบว่า ค่าความหนาแน่นของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากปาล์มสดที่ยืนในสภาวะเร่งการเสื่อมสภาพ มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น เมื่อน้ำมันมีการออกซิไดซ์เพิ่มสูงขึ้น เนื่องปฏิกิริยาออกซิเดชัน ทำให้เกิดอนุมูลอิสระ ($R\cdot$) จำนวนมาก ทำให้มีโอกาสในการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันมากขึ้น นอกจากนี้ ความร้อนที่ใส่เพื่อใช้เร่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน ยังมีผลต่อปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอไรเซชันอีกด้วย

การวิเคราะห์ค่าความหนืดเชิงจลน์ (Kinematics Viscosity)

ภาพที่ 4.34

ค่าความหนืดเชิงจลน์ (Kinematic viscosity) ของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากปาล์มสดที่ยืนในสภาวะเร่งการเสื่อมสภาพที่ช่วงต่าง ๆ



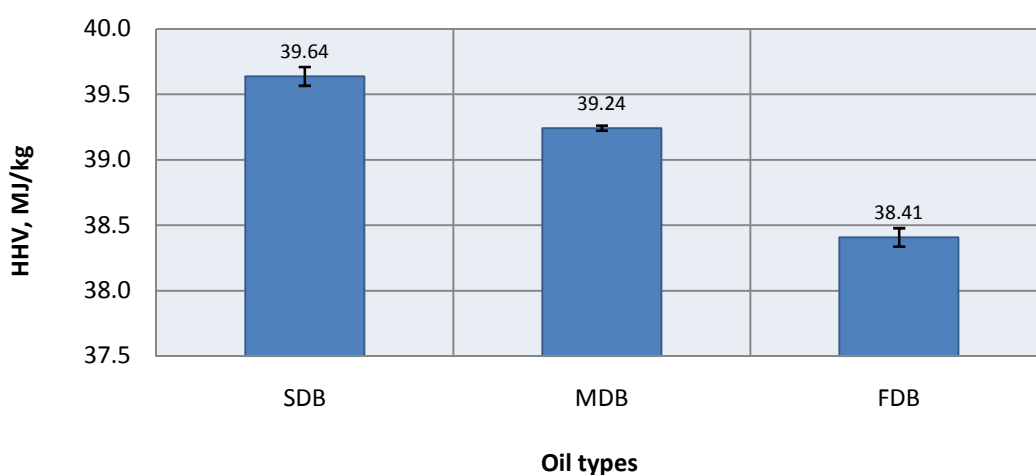
ค่าความหนืดเชิงจลน์ของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากปาล์มสดที่ยืนในสภาวะเร่งการเสื่อมสภาพที่ช่วงต่าง ๆ ดังแสดงในภาพที่ 4.34 พบว่า ค่าความหนืดจลน์ของน้ำมันไบโอดีเซลแต่ละชนิด มีแนวโน้มที่เพิ่มสูงขึ้น พร้อมกับค่าความนำไฟฟ้าของน้ำมันไบโอดีเซลที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้ เป็นผลมาจากน้ำมันไบโอดีเซลเกิดการเสื่อมสภาพในสภาวะเร่งที่มีอุณหภูมิสูงและปริมาณออกซิเจนมาก กลายเป็นสารประกอบที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงจากปฏิกิริยาออกซิเดชันและความร้อน ซึ่งทำให้เกิดอนุมูลอิสระ ($R\cdot$) ที่ขึ้นในโครงสร้างโมเลกุลของน้ำมันไบโอดีเซลที่เร่งให้เสื่อมสภาพ และปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันต่อเนื่องระหว่างอนุมูลอิสระ ได้เป็นสารประกอบพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนัก

โมเลกุลสูง ต่างจากกรณีของการเสื่อมสภาพจากการเก็บรักษา ซึ่งเกิดในอุณหภูมิต่ำและปริมาณออกซิเจนต่ำกว่า ซึ่งต้องใช้เวลานานกว่านี้ กว่าที่ความหนืดจะเพิ่มขึ้น โดยจากงานวิจัยของ Bouaid (2007) และ Thompson (1998) พบว่า ค่าความหนืดจะเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจน เมื่อเก็บน้ำมันไว้นานกว่า 6 เดือน ในสภาวะปิด ที่อุณหภูมิห้อง

การวิเคราะห์ค่าความร้อน (High heating value: HHV)

ภาพที่ 4.35

ค่าความร้อน (High heating value: HHV) ของน้ำมันไบโอดีเซล
ที่ผลิตจากปาล์มสดที่ยรีนในสภาวะเร่งการเสื่อมสภาพที่ช่วงต่าง ๆ



ค่าความร้อน (High heating value: HHV) เป็นค่าพลังงานที่ปล่อยออกมาในระหว่างการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง 1 g โดยให้ผลิตภัณฑ์จากการเผาไหม้คือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และไอน้ำ (H_2O) ที่อุณหภูมิและความดันมาตรฐาน จากภาพที่ 4.35 แสดงค่าความร้อนของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากปาล์มสดที่ยรีนในสภาวะเร่งการเสื่อมสภาพที่ช่วงต่าง ๆ พบว่า ค่าความร้อนของน้ำมันไบโอดีเซลมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง เมื่อค่าความนำไฟฟ้าของน้ำมันไบโอดีเซลเพิ่มขึ้น แสดงถึงการเพิ่มการออกซิไดซ์ในน้ำมัน ดังนั้น เมื่อน้ำมันเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน กลายเป็นสารประกอบที่มีขั้ว อาทิ ไฮโดรเปอร์ออกไซด์, อัลดีไฮด์, คีโตน และกรดไขมันอิสระ ซึ่ง

ทำให้จำนวนออกซิเจนในโครงสร้างโมเลกุลของน้ำมันไบโอดีเซลที่เกิดการเสื่อมสภาพมีเพิ่มขึ้น มีผลต่อสัดส่วนของธาตุคาร์บอน (C) และไฮโดรเจน (H) ต่อน้ำหนักโมเลกุลมีค่าลดลง

4.2.2 ผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์

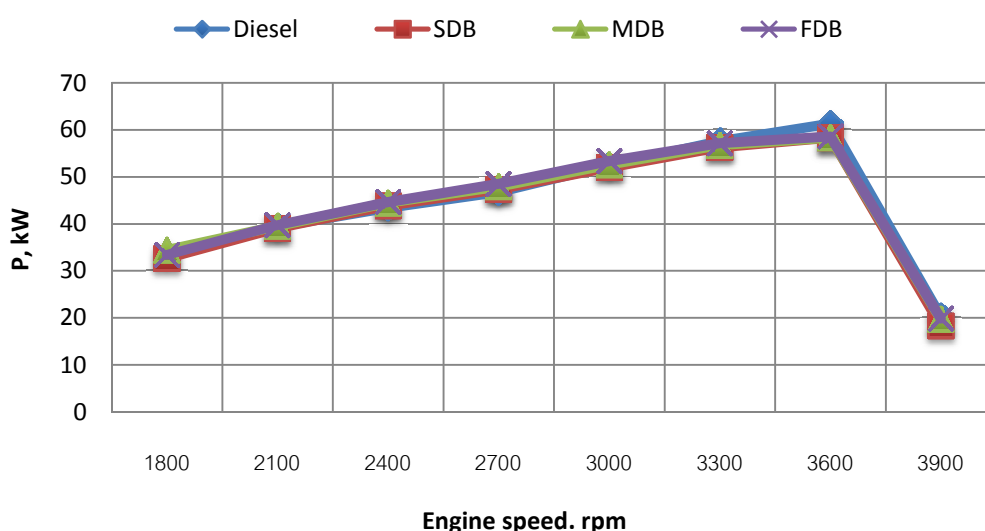
การทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ในงานวิจัยนี้ ใช้การทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์เช่นเดียวกับการทดลองส่วนแรก โดยผลการทดลองเป็นดังนี้

ผลของกำลังเบรคของเครื่องยนต์ (Brake power: P)

ผลการทดสอบกำลังเบรคของเครื่องยนต์ เมื่อใช้น้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากปาล์มสดเดียวในสภาวะเร่งการเสื่อมสภาพที่ช่วงต่าง ๆ จากภาพที่ 4.36 แสดงผลการความเร็วรอบเครื่องยนต์กับกำลังเบรคของเครื่องยนต์ เมื่อใช้น้ำมันดีเซลและน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากปาล์มสดเดียวที่เกิดการเสื่อมสภาพจากการจำลองสภาวะเร่งในช่วงต่าง ๆ เป็นเชื้อเพลิงในการทดสอบ พบว่า กำลังเบรคสูงสุดของทุกเชื้อเพลิงอยู่ที่ความเร็วรอบ 3,600 รอบต่อนาที ซึ่งตรงกับลักษณะของเครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดสอบ

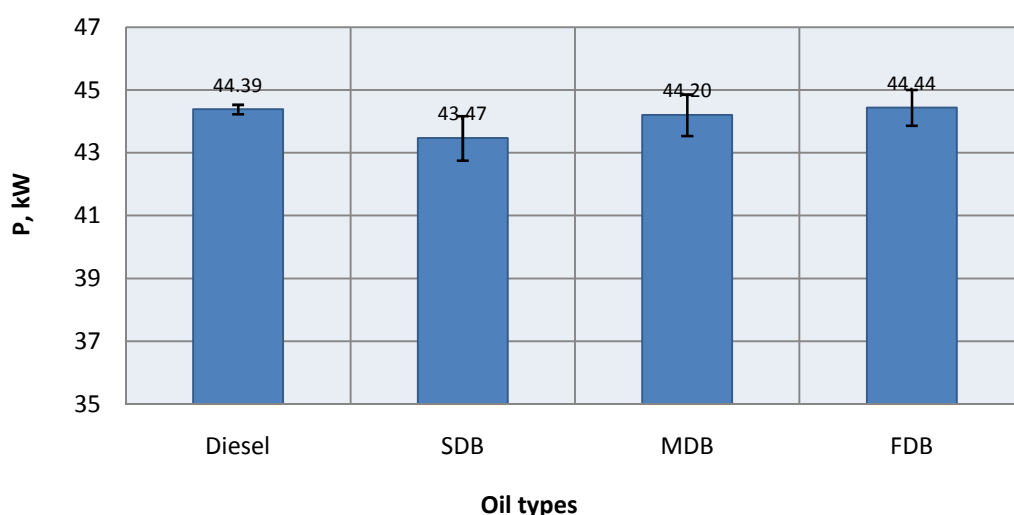
ภาพที่ 4.36

กำลังเบรคของเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ เมื่อใช้น้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากปาล์มสดเดียวในสภาวะเร่งการเสื่อมสภาพที่ช่วงต่าง ๆ เป็นเชื้อเพลิง



ภาพที่ 4.37

กำลังเบรกลีของเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ เมื่อน้ำมันไบโอดีเซล
ที่ผลิตจากปาล์มสดเย็นในสภาวะเร่งการเสื่อมสภาพที่ช่วงต่าง ๆ เป็นเชื้อเพลิง



การวิเคราะห์กำลังเบรคของเครื่องยนต์ เราได้ทำการเฉลี่ยค่ากำลังเบรคที่ความเร็วรอบตั้งแต่ 1,800 – 3,900 รอบต่อนาที จากภาพที่ 4.37 พบว่า ค่ากำลังเบรคของเครื่องยนต์ เมื่อน้ำมันไบโอดีเซลที่ถูกออกซิไดซ์มากขึ้น มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง สอดคล้องกับผลของการเสื่อมสภาพจากการเก็บรักษาในส่วนที่ 1 ทั้งนี้ เป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงปฏิกิริยาทางเคมีจากการเสื่อมสภาพในระหว่างทำปฏิกิริยาออกซิเดชัน ซึ่งทำให้พันธะคู่ของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากปาล์มสดเย็นที่เกิดการเสื่อมสภาพจากสภาวะเร่งมีจำนวนลดลง ส่งผลทำให้ค่าซีเทน (Cetane, CN) เพิ่มขึ้น เป็นผลทำให้เกิดช่วงการจุดระเบิด (Ignition delay) เกิดขึ้นได้รวดเร็วขึ้น (Karabektas et al., 2009; Klopfenstein, 1982; Krisnangkura, 1986,) นอกจากนี้ อัตราส่วนระหว่างออกซิเจนกับเชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้นยังส่งผลต่อกำลังเบรค เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงพลังเคมีจากการเผาไหม้ของอนุภาคน้ำมันไบโอดีเซลในห้องเครื่องของเครื่องยนต์ไปเป็นพลังงานกลเกิดขึ้นได้ทั่วถึงและสมบูรณ์มากขึ้น

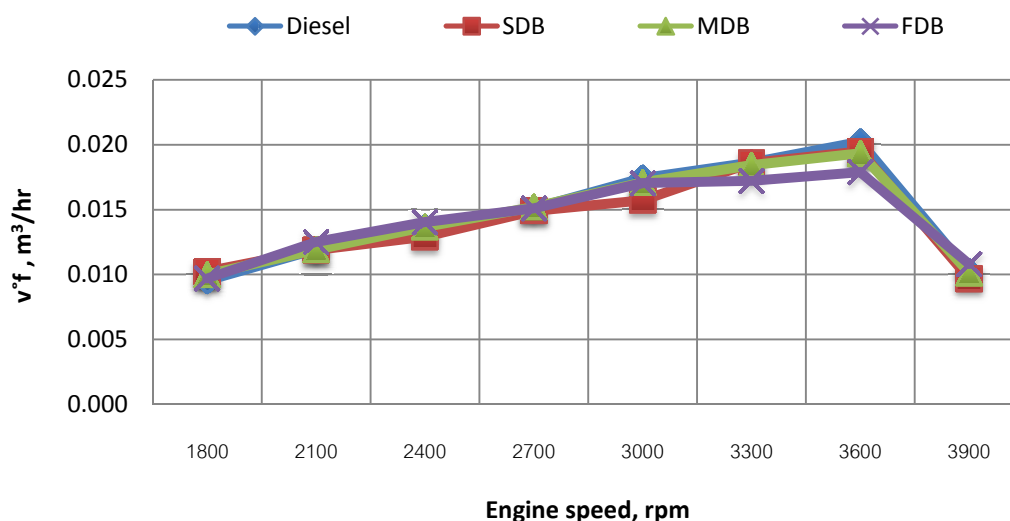
ผลของอัตราการไหลของเชื้อเพลิง (Volumetric flow rate of fuel: $\dot{v}_f$)

ผลการทดสอบอัตราการไหลเชิงปริมาตร ($\dot{v}_f$) ของเชื้อเพลิงที่ความเร็วรอบต่าง ๆ เมื่อน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากปาล์มสเตียรีนในสภาวะเร่งการเสื่อมสภาพที่ช่วงต่าง ๆ แสดงได้ดังภาพที่ 4.38 พบว่า อัตราการไหลของเชื้อเพลิงทุกชนิดมีค่าสูงสุดที่ช่วงความเร็วรอบ 3,600 รอบต่อนาที ซึ่งสอดคล้องกับค่ากำลังเบรคสูงสุดที่ได้รับจากการสันดาปของเชื้อเพลิง ดังแสดงในภาพที่ 4.38

สำหรับค่าเฉลี่ยอัตราการไหลเชิงปริมาตรของเชื้อเพลิงที่ความเร็วรอบตั้งแต่ 1,800 – 3,900 รอบต่อนาที ดังภาพที่ 4.39 พบว่า อัตราการไหลของเชื้อเพลิงของน้ำมันดีเซลมีค่าสูงกว่าน้ำมันไบโอดีเซลเล็กน้อย เมื่อพิจารณาน้ำมันไบโอดีเซลที่ถูกออกซิไดซ์ พบว่า น้ำมัน FDB ซึ่งมีความหนืดสูงขึ้นมา มีค่าการไหลของเชื้อเพลิงลดลงเล็กน้อย

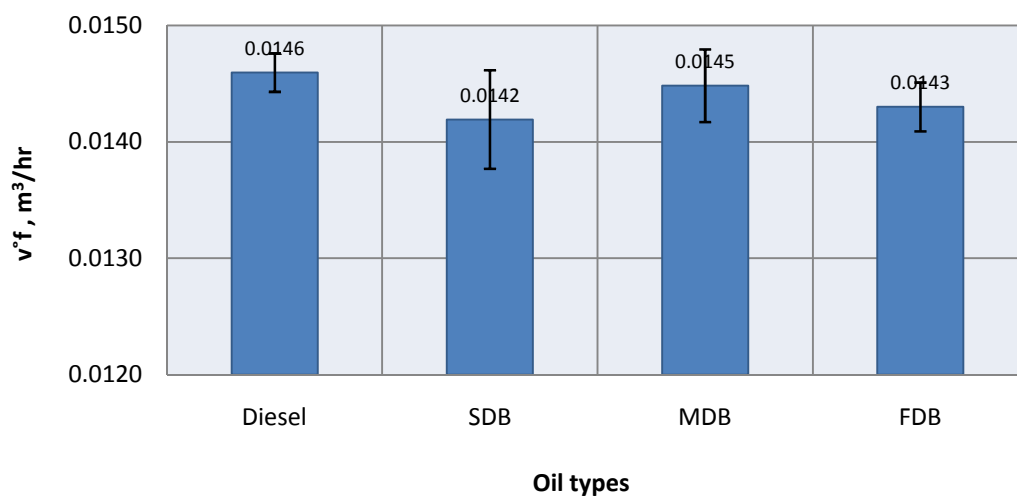
ภาพที่ 4.38

อัตราการไหลของเชื้อเพลิงที่ความเร็วรอบต่าง ๆ เมื่อน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากปาล์มสเตียรีนในสภาวะเร่งการเสื่อมสภาพที่ช่วงต่าง ๆ เป็นเชื้อเพลิง



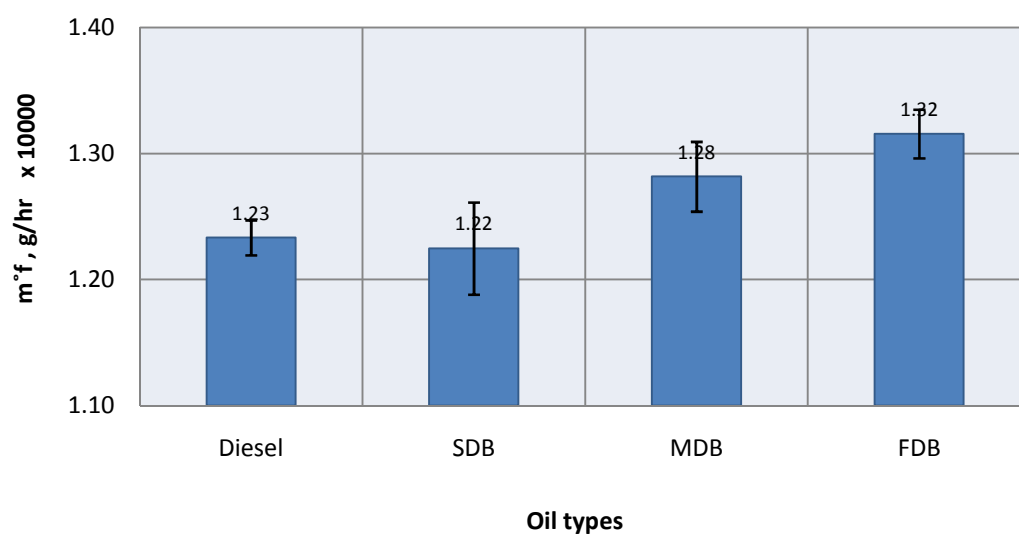
ภาพที่ 4.39

อัตราการไหลของเชื้อเพลิงเฉลี่ยที่ความเร็วรอบต่าง ๆ เมื่อใช้น้ำมันไบโอดีเซล
ที่ผลิตจากปาล์มสดที่ยรีนในสภาวะเร่งการเสื่อมสภาพที่ช่วงต่าง ๆ
เป็นเชื้อเพลิงเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล



ภาพที่ 4.40

อัตราการสิ้นเปลืองมวลของเชื้อเพลิงเฉลี่ยที่ความเร็วรอบต่าง ๆ เมื่อใช้น้ำมันดีเซลและน้ำมัน
ไบโอดีเซลที่ผลิตจากปาล์มสดที่ยรีนในสภาวะเร่งการเสื่อมสภาพที่ช่วงต่าง ๆ เป็นเชื้อเพลิง



เมื่อแสดงค่าในภาพของอัตราการไหลเชิงมวลเฉลี่ย ดังภาพที่ 4.40 พบว่า อัตราการไหลเชิงมวลของน้ำมันไบโอดีเซลมีใกล้เคียงกับของน้ำมันปิโตรเลียมดีเซล แต่จะมีค่าสูงขึ้น เมื่อ น้ำมันไบโอดีเซลถูกออกซิไดซ์เพิ่มขึ้น เนื่องจากความหนาแน่นที่เพิ่มสูงขึ้น อย่างไรก็ตาม ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในผลการทดลองส่วนที่ 1 เมื่อสูบฉีดน้ำมันเข้าไปมากขึ้น มักมีความเกี่ยวข้องกับกำลังที่เพิ่มขึ้นด้วย ดังนั้น จึงนิยมเปรียบเทียบการสิ้นเปลืองน้ำมันในภาพอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงต่อกำลังที่ได้ หรือค่าอัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (Brake specific fuel consumption, BSFC) มากกว่า

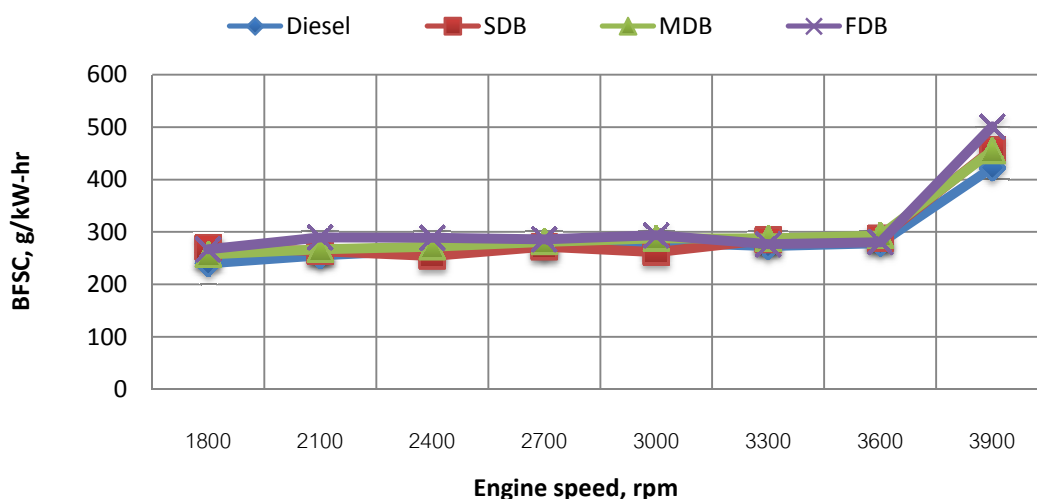
ผลของอัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (Brake specific fuel

consumption: BSFC)

ผลการทดสอบอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกของทุกช่วงความเร็วรอบของเครื่องยนต์ เมื่อใช้น้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากปาล์มสดที่ยังอยู่ในสภาวะเร่งการเสื่อมสภาพที่ช่วงต่าง ๆ เปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล ดังแสดงในภาพที่ 4.41 และค่าเฉลี่ยอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกในช่วงความเร็วรอบตั้งแต่ 1,800 – 3,900 รอบต่อนาที ดังภาพที่ 4.42 พบว่า อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันไบโอดีเซลที่เกิดการเสื่อมสภาพ มีแนวโน้มสูงขึ้น แสดงถึงว่าน้ำมันที่เสื่อมสภาพอาจมีการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ ซึ่งอาจเกิดจากความหนืดที่เพิ่มขึ้นทำให้เกิดการสเปรย์เป็นละอองน้ำมันได้ไม่ดี ทำให้อัตราการกินน้ำมันต่อหน่วยกำลังเบรกที่ได้มีค่าสูงขึ้น นอกจากนี้ยังเป็นผลมาจากค่าความร้อนของน้ำมันไบโอดีเซลชนิดต่าง ๆ มีค่าต่ำกว่าน้ำมันดีเซลมาตรฐาน ส่งผลให้ต้องใช้ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงสูง เพื่อผลิตกำลังเบรกจากการกระบวนการสันดาปภายในเครื่องยนต์

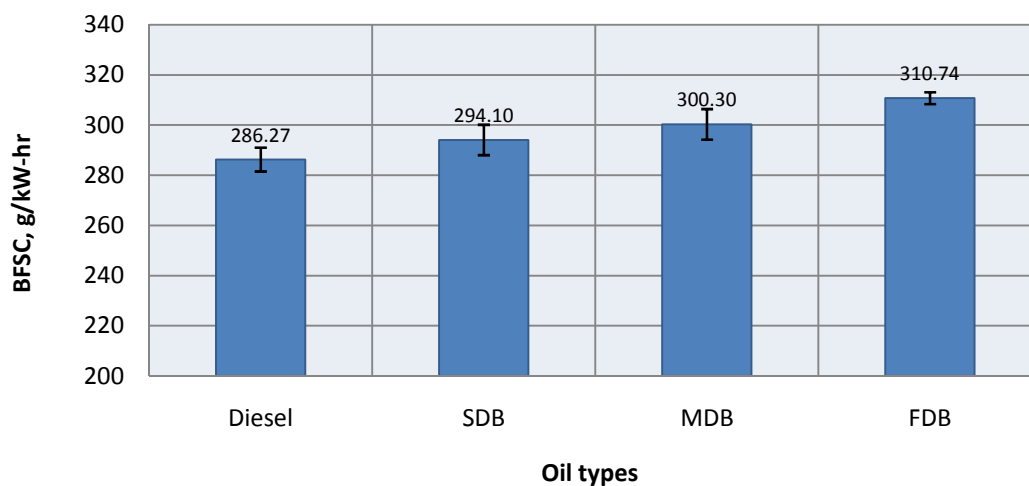
ภาพที่ 4.41

อัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกของเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ
เมื่อใช้น้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากปาล์มสดที่ยังอยู่ในสภาวะเร่งการเสื่อมสภาพ
ที่ช่วงต่าง ๆ เป็นเชื้อเพลิง



ภาพที่ 4.42

อัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะเฉลี่ยของเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ
เมื่อใช้น้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากปาล์มสดที่ยังอยู่ในสภาวะเร่งการเสื่อมสภาพ
ที่ช่วงต่าง ๆ เป็นเชื้อเพลิง



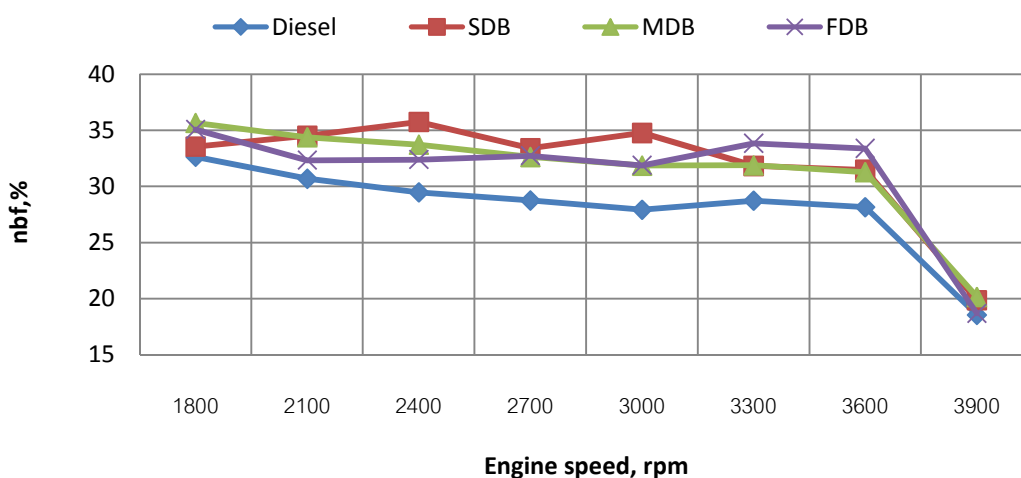
ผลประสิทธิภาพการแปลงพลังงานจากเชื้อเพลิงเบรก (Brake Fuel Conversion efficiency: η_{bf})

จากภาพที่ 4.43 แสดงค่าอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากปาล์มสดที่ยืนยันในสภาวะเร่งการเสื่อมสภาพที่ช่วงต่าง ๆ เป็นเชื้อเพลิงเปรียบเทียบกับของน้ำมันดีเซล พบว่า ในทุกชนิดเชื้อเพลิงประสิทธิภาพการแปลงพลังงานจากเชื้อเพลิงจะค่อย ๆ ลดลงจนที่ความเร็วรอบสูงขึ้นถึงที่ความเร็วรอบ 3,600 รอบต่อนาที จากนั้นจะลดค่าลงอย่างรวดเร็วเมื่อรอบเครื่องยนต์สูงขึ้น เมื่อความเร็วรอบเพิ่มขึ้นสอดคล้องกับผลการทดลองตอนที่ 1

อย่างไรก็ดี แม้ว่าในช่วงความเร็วรอบต่ำน้ำมันไบโอดีเซลในช่วงแรก (SDB) จะมีประสิทธิภาพสูงกว่าน้ำมันไบโอดีเซลที่เกิดการเสื่อมสภาพ แต่สังเกตได้ว่าที่ความเร็วรอบสูง ๆ ค่าประสิทธิภาพการแปลงพลังงานจากเชื้อเพลิงเบรกของน้ำมันไบโอดีเซลในช่วงสุดท้าย (FDB) จะมีค่าสูงสุด เนื่องจากน้ำมันไบโอดีเซลมีเวลาการเผาไหม้ในแต่ละรอบน้อย ดังนั้น น้ำมันไบโอดีเซลที่เกิดการเสื่อมสภาพ ซึ่งมีค่าเปอร์ออกไซด์สูงกว่าก็จะเกิดการเผาไหม้ได้รวดเร็วกว่า

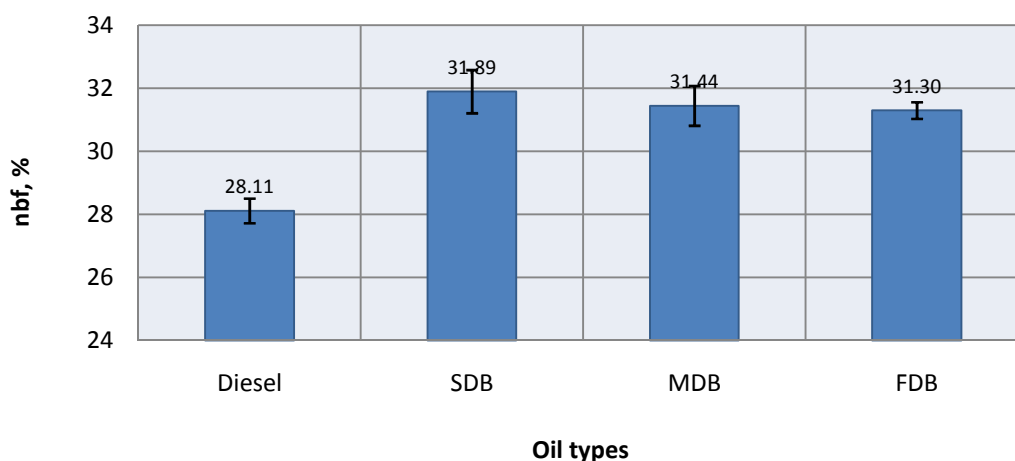
ภาพที่ 4.43

ค่าประสิทธิภาพการแปลงพลังงานจากเชื้อเพลิงเบรกของเครื่องยนต์
เมื่อใช้น้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากปาล์มสดที่ยืนยันในสภาวะเร่งการเสื่อมสภาพ
ที่ช่วงต่าง ๆ เป็นเชื้อเพลิง



ภาพที่ 4.44

ค่าประสิทธิภาพการแปลงพลังงานจากเชื้อเพลิงเบรกเฉลี่ยของเครื่องยนต์
เมื่อน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากปาล์มสดเย็นในสภาวะเร่งการเสื่อมสภาพ
ที่ช่วงต่าง ๆ เป็นเชื้อเพลิง



สำหรับค่าเฉลี่ยอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกที่ความเร็วรอบตั้งแต่ 1,800 – 3,900 รอบต่อนาที ดังภาพที่ 4.46 พบว่า ค่า η_{bf} ของน้ำมันไบโอดีเซลที่เกิดการเสื่อมสภาพจากการจำลองสภาวะเร่งในช่วงต่าง ๆ มีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยอย่างต่อเนื่อง ซึ่งอาจเป็นผลมาจากค่าความหนืดที่สูงขึ้น ทำให้การฉีดพ่นน้ำมันที่หัวฉีดไม่สามารถพ่นออกเป็นละอองเพื่อผสมกับอากาศในห้องเผาไหม้ได้ดี ส่งผลให้น้ำมันบางส่วนไม่เกิดการเผาไหม้

4.2.3 การทดสอบมลพิษจากการเผาไหม้

การทดสอบมลพิษจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ โดยใช้น้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากปาล์มสดเย็นในสภาวะเร่งการเสื่อมสภาพที่ช่วงต่าง ๆ เป็นเชื้อเพลิง เปรียบเทียบกับค่ามลพิษจากการเผาไหม้ของน้ำมันดีเซลที่ใช้เป็นมาตรฐานอ้างอิง ในงานวิจัยนี้ ทำการทดสอบที่กำลังเบรกเครื่องยนต์สูงสุดที่ความเร็วรอบ 3,600 รอบต่อนาที โดยใช้ภาระในการทดสอบในช่วงตั้งแต่ 0 kg ถึง 30 kg มลพิษที่ทำการวิเคราะห์ คือ ปริมาณควันดำ, คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) สำหรับการวิเคราะห์ค่ามลพิษจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ ในที่นี้ เราได้ทำการเฉลี่ยค่ามลพิษต่าง ๆ จากช่วงภาระตั้งแต่ 0 kg ถึง 30 kg เพื่อความสะดวกในการพิจารณา

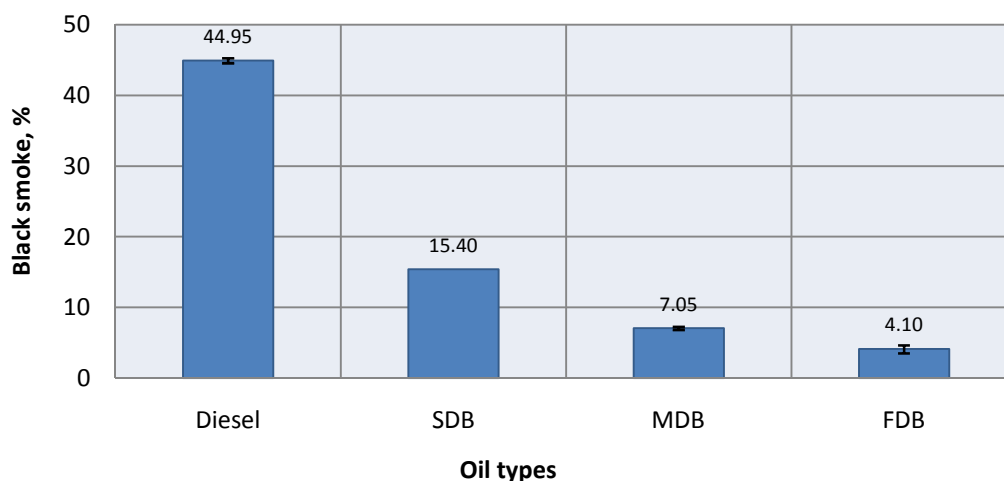
และเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงมลพิษจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ เมื่อใช้เชื้อเพลิงชนิดต่าง ๆ ซึ่งผลการวิเคราะห์เป็นดังนี้

ผลของปริมาณควันดำ (Black smoke)

ในการทดสอบหาค่าร้อยละของปริมาณควันดำจะทดสอบระหว่างการเร่งความเร็วของเครื่องยนต์จากรอบเดินเบาไปสู่รอบการทำงานสูงสุด โดยในการทดสอบนั้นจะใช้เครื่องวัดปริมาณควันดำ (Smoke meter) ที่วัดปริมาณควันดำด้วยวิธีตรวจสอบความทึบแสงของปริมาณคาร์บอน แบบปล่อยให้อากาศไหลผ่านได้บางส่วน ตามมาตรฐานในการวัดควันดำ (Enabling Environment Conference; EEC) อ้างอิงจากประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ซึ่งค่าร้อยละของปริมาณควันดำที่กรมการขนส่งกำหนดต้องไม่เกิน 50% จากภาพที่ 4.45 พบว่า ปริมาณควันดำของน้ำมันไบโอดีเซลมีค่าต่ำกว่าน้ำมันปิโตรเลียมดีเซล และเมื่อพิจารณาน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากปาล์มสดเตียรันในสภาวะเร่งการเสื่อมสภาพที่ช่วงต่าง ๆ เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ ค่าร้อยละของปริมาณควันดำมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากในน้ำมันไบโอดีเซลที่ถูกเร่งให้เสื่อมสภาพ มีออกซิเจนในโครงสร้างสูง จึงมีส่วนช่วยให้การเผาไหม้ภายในเครื่องยนต์เกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์

ภาพที่ 4.45

ปริมาณควันดำจากไอเสียเฉลี่ยของเครื่องยนต์ เมื่อใช้น้ำมันดีเซลและน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากปาล์มสดเตียรันในสภาวะเร่งการเสื่อมสภาพที่ช่วงต่าง ๆ เป็นเชื้อเพลิงที่สภาวะกำลังสูงสุด

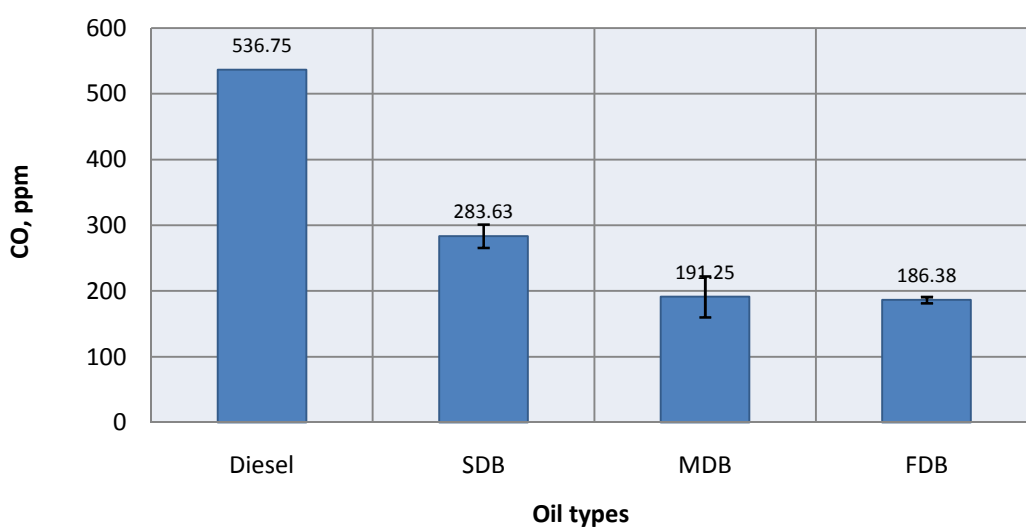


ค่าปริมาณของก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO)

จากภาพที่ 4.46 แสดงผลค่าปริมาณของก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์เฉลี่ยจากการเผาไหม้ที่สภาวะกำลังสูงสุดเมื่อใช้เชื้อเพลิงชนิดต่าง ๆ พบว่า เมื่อใช้น้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากปาล์มสเตียร์นในสภาวะเร่งการเสื่อมสภาพที่ช่วงต่าง ๆ มีค่าปริมาณของก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ต่ำกว่าน้ำมันดีเซลมาตรฐาน เนื่องจากในน้ำมันไบโอดีเซลมีออกซิเจนสูงกว่าในน้ำมันดีเซล ส่งผลให้ไปเพิ่มอัตราส่วนระหว่างออกซิเจนและเชื้อเพลิงในห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์ให้สูงขึ้น ทำให้การสันดาปเกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์ และค่าปริมาณของก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ยังมีค่าลดลงตามอัตราการเสื่อมสภาพที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ขึ้นของน้ำมันไบโอดีเซลที่เสื่อมสภาพ

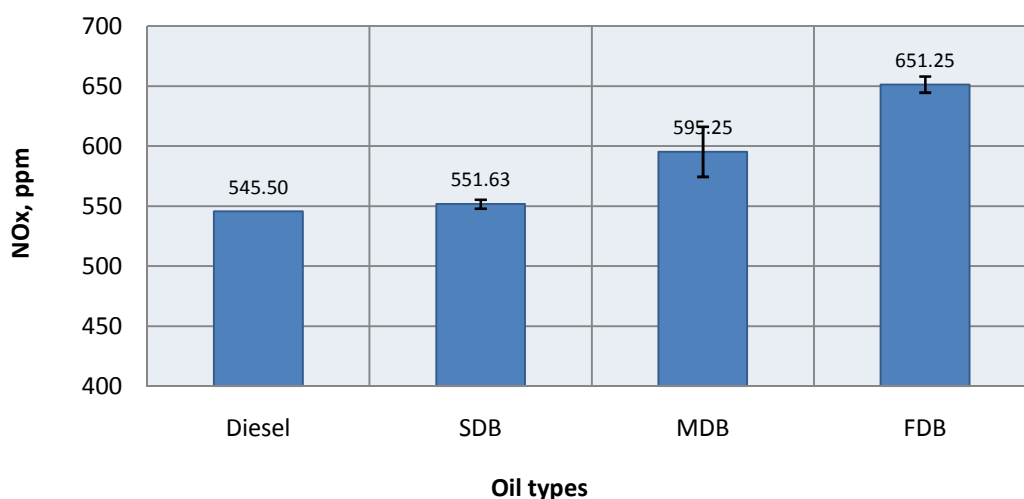
ภาพที่ 4.46

ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) เฉลี่ย จากการเผาไหม้ที่สภาวะกำลังสูงสุด
เมื่อใช้น้ำมันดีเซลและน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากปาล์มสเตียร์นในสภาวะเร่ง
การเสื่อมสภาพที่ช่วงต่าง ๆ เป็นเชื้อเพลิงที่สภาวะกำลังสูงสุด



ภาพที่ 4.47

ปริมาณก๊าซไนตริกออกไซด์ (NO_x) เฉลี่ย จากการเผาไหม้ที่สภาวะกำลังสูงสุด
เมื่อใช้น้ำมันดีเซลและน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากปาล์มสดที่ยรีนในสภาวะเร่ง
การเสื่อมสภาพที่ช่วงต่าง ๆ เป็นเชื้อเพลิงที่สภาวะกำลังสูงสุด



ค่าปริมาณของก๊าซไนตริกออกไซด์ (NO_x)

จากภาพที่ 4.47 พบว่า ปริมาณก๊าซไนตริกออกไซด์ จากการเผาไหม้ที่สภาวะกำลังสูงสุด ของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากปาล์มสดที่ยรีนในสภาวะเร่งการเสื่อมสภาพที่ช่วงต่าง ๆ มีค่าสูงกว่าน้ำมันดีเซลมาตรฐาน เนื่องจากน้ำมันไบโอดีเซลมีออกซิเจนในโครงสร้างโมเลกุลของน้ำมันสูง รวมถึงภายในห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์มีอุณหภูมิสูง ทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างอะตอมของไนโตรเจนและอะตอมของออกซิเจนที่หลงเหลือ ส่งผลทำให้ปริมาณก๊าซไนตริกออกไซด์ของน้ำมันไบโอดีเซลมีค่าสูง และเมื่อพิจารณาน้ำมันไบโอดีเซลที่เกิดการเสื่อมสภาพ พบว่าปริมาณก๊าซไนตริกออกไซด์มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากออกซิเจนในโครงสร้างโมเลกุลที่เพิ่มขึ้นของน้ำมันไบโอดีเซลที่ถูกออกซิไดซ์ ทำให้อะตอมของไนโตรเจนในอากาศจะเข้าทำปฏิกิริยากับอะตอมของออกซิเจน เป็นผลทำให้ค่าปริมาณก๊าซไนตริกออกไซด์ของน้ำมันไบโอดีเซลที่เสื่อมสภาพมีค่าเพิ่มสูงขึ้น

สรุปความสัมพันธ์การเสื่อมสภาพของน้ำมันไบโอดีเซลที่เกิดจากอายุและในสภาวะ เร่งการเสื่อมสภาพ

การเสื่อมสภาพของน้ำมันไบโอดีเซลที่เกิดจากการเก็บรักษาและภายใต้สภาวะเร่งการเสื่อมสภาพนั้น เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันเช่นเดียวกัน ซึ่งมีผลทำให้คุณสมบัติทางด้านเคมีและกายภาพของน้ำมันไบโอดีเซลเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมในลักษณะที่คล้ายคลึงกัน แต่จะแตกต่างกันในส่วนของคุณค่าความหนืด ซึ่งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อน้ำมันไบโอดีเซลถูกเร่งการเสื่อมสภาพที่อุณหภูมิที่ค่อนข้างสูง ในบรรยากาศออกซิเจน ซึ่งจากงานวิจัยก่อนหน้านี้ การเพิ่มขึ้นของความหนืด จะเกิดขึ้นจากการเก็บรักษา เมื่อเวลาในการเก็บรักษานานกว่า 6 เดือน (ศิริวรรณ ตันอายุวรรณ, 2551) และเมื่อพิจารณาอายุของน้ำมันกับน้ำมันที่ถูกเร่งการออกซิไดซ์ โดยดูจากค่าเปอร์ออกไซด์ พบว่า ที่อายุน้ำมัน 6 เดือน มีค่าที่ใกล้เคียงกับน้ำมันที่ถูกเร่งการออกซิไดซ์ช่วงกลาง (MDB) เมื่อนำน้ำมันไบโอดีเซลมาทดสอบสมรรถนะการทำงานของเครื่องยนต์ พบว่า น้ำมันไบโอดีเซลที่เกิดจากการเก็บรักษาและการจำลองสภาวะเร่งการเสื่อมสภาพนั้น ให้ค่ากำลังและอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันและการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพไอเสีย เมื่อเกิดการเสื่อมสภาพในทำนองเดียวกัน

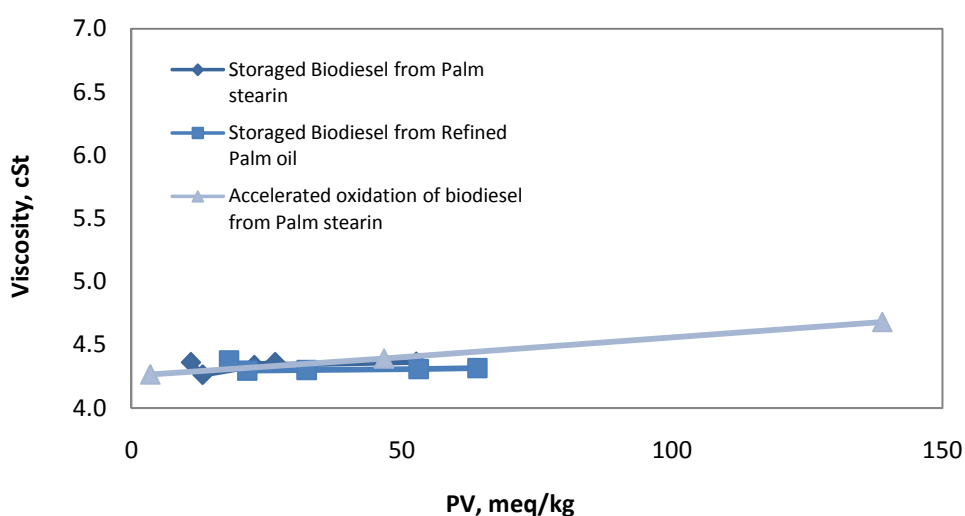
จากงานวิจัยของ Canakci และคณะ(1999) พบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์ออกไซด์กับค่าความหนืดของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากถั่วเหลือง แล้วถูกเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน ด้วยการเติมออกซิเจนในอัตราการไหลต่าง ๆ ดังภาพที่ 4.51 มีแนวโน้มการซ้อนทับกันในช่วงเริ่มต้น แต่เมื่อพิจารณาในช่วงท้ายปฏิกิริยา พบว่า ค่าเปอร์ออกไซด์ไม่สามารถใช้วัดค่าการเสื่อมสภาพได้ เนื่องจากจำนวนพันธะคู่เริ่มหมด ดังจะเห็นได้จากภาพว่าค่าเปอร์ออกไซด์ค่อนข้างคงที่ในช่วงปลาย ดังนั้น ค่าเปอร์ออกไซด์สามารถเป็นตัวบ่งชี้การเสื่อมสภาพไปเป็นสารอื่น ๆ ได้ ในช่วงระยะเวลาที่ค่าเปอร์ออกไซด์ยังคงมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอเท่านั้น

เมื่อพล็อตความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์ออกไซด์กับค่าความหนืดของน้ำมันไบโอดีเซลในงานวิจัยนี้ดังภาพที่ 4.48 พบว่าน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากปาล์มสดเตยรินเหมือนกัน จะมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของค่าเปอร์ออกไซด์และค่าความหนืดในทำนองเดียวกันกับในงานวิจัยของ Canakci และคณะ(1999) แต่เมื่อเปรียบเทียบน้ำมันไบโอดีเซลจากวัตถุดิบต่างกัน พบว่า น้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์กลับพบการเปลี่ยนแปลงของความหนืดในช่วงค่าเปอร์ออกไซด์เดียวกันในอัตราที่ช้ากว่าน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากปาล์มสดเตยริน ในทางตรงกันข้าม เมื่อพล็อตความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์ออกไซด์กับค่าความเป็นกรดของน้ำมันไบโอดีเซลดังภาพที่ 4.49 กลับพบว่าน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์มีการ

เปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรดในช่วงค่าเปอร์ออกไซด์เดียวกันในอัตราที่เร็วกว่าน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากปาล์มสดเตียรีน แสดงถึงว่าน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์และน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มสดเตียรีน ซึ่งเป็นน้ำมันปาล์มซึ่งมีปริมาณพันธะคู่ต่างกันมีการเสื่อมสภาพไปเป็นสารพอลิเมอร์และกรดไขมันในสัดส่วนที่แตกต่างกัน นอกจากนี้ เราพบว่าส่วนที่น่าสนใจอีกประเด็นหนึ่งคือ ค่าความร้อน ดังแสดงในภาพที่ 4.50 พบว่า ค่าความร้อนของน้ำมันทุกชนิดมีค่าการเปลี่ยนแปลงสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของค่าเปอร์ออกไซด์เป็นอย่างมากโดยไม่ขึ้นกับชนิดของน้ำมัน เวลาการเก็บรักษา หรือลักษณะการเสื่อมสภาพ สนับสนุนสมมุติฐานที่ว่าค่าความร้อนมีค่าเปลี่ยนแปลงตามปริมาณการเสื่อมสภาพไปเป็นเปอร์ออกไซด์

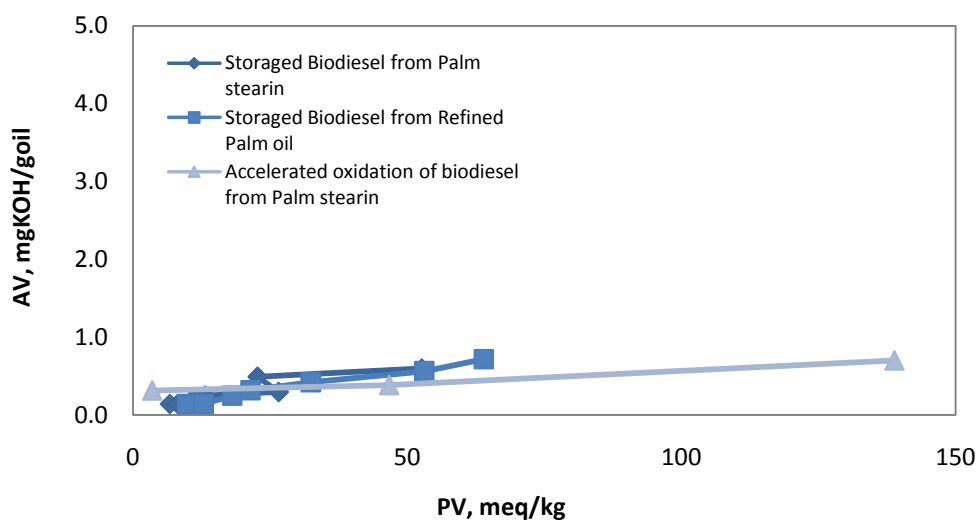
ภาพที่ 4.48

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์ออกไซด์กับค่าความหนืดของน้ำมันไบโอดีเซลที่เกิดการเสื่อมสภาพจากการเก็บรักษาและในสภาวะเร่งการเสื่อมสภาพ



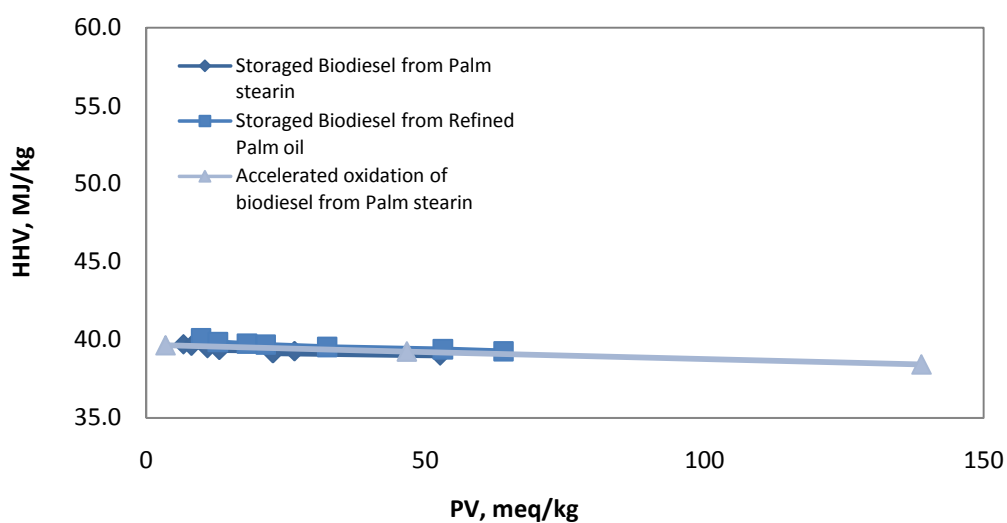
ภาพที่ 4.49

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์ออกไซด์กับค่าความเป็นกรดของน้ำมันไบโอดีเซล
ที่เกิดการเสื่อมสภาพจากการเก็บรักษาและในสภาวะเร่งการเสื่อมสภาพ



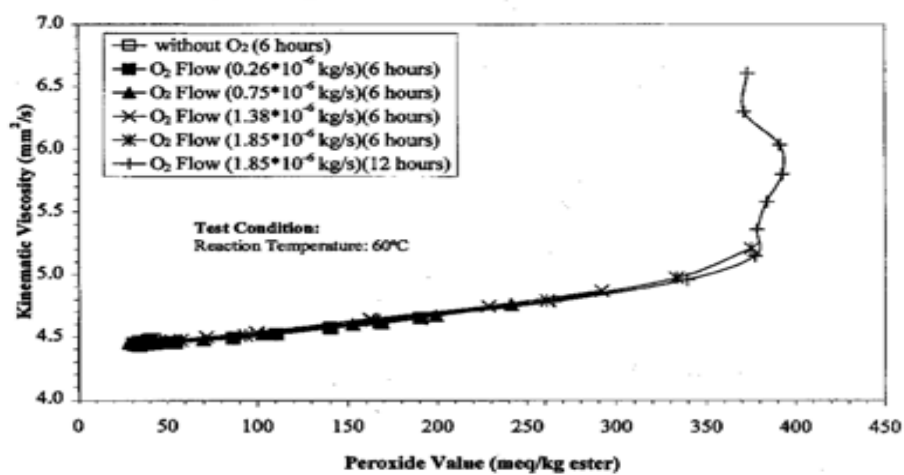
ภาพที่ 4.50

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์ออกไซด์กับค่าความร้อนของน้ำมันไบโอดีเซล
ที่เกิดการเสื่อมสภาพจากการเก็บรักษาและในสภาวะเร่งการเสื่อมสภาพ



ภาพที่ 4.51

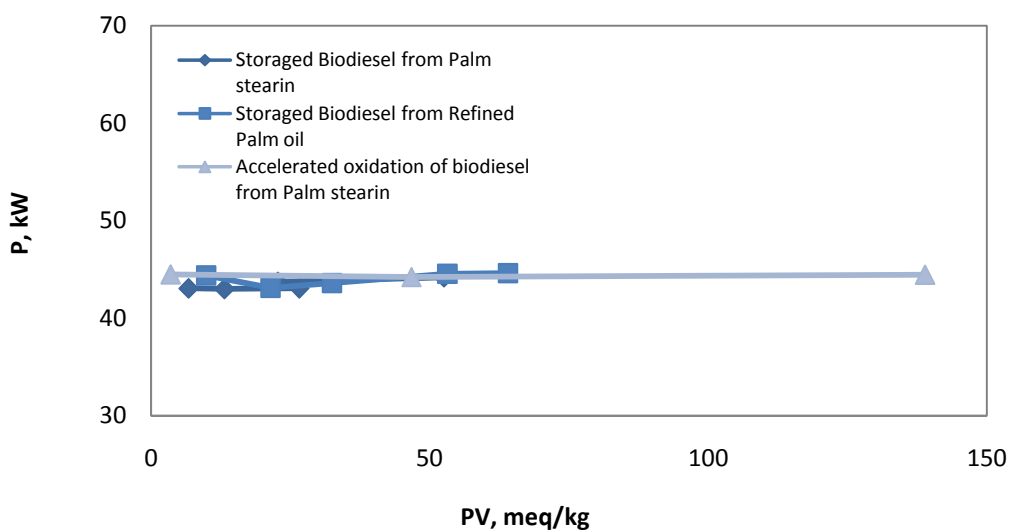
ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์ออกไซด์กับค่าความหนืดของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันถั่วเหลือง โดยเติมอากาศที่อัตราต่าง ๆ ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส



ที่มา: Canakci et al., 1999

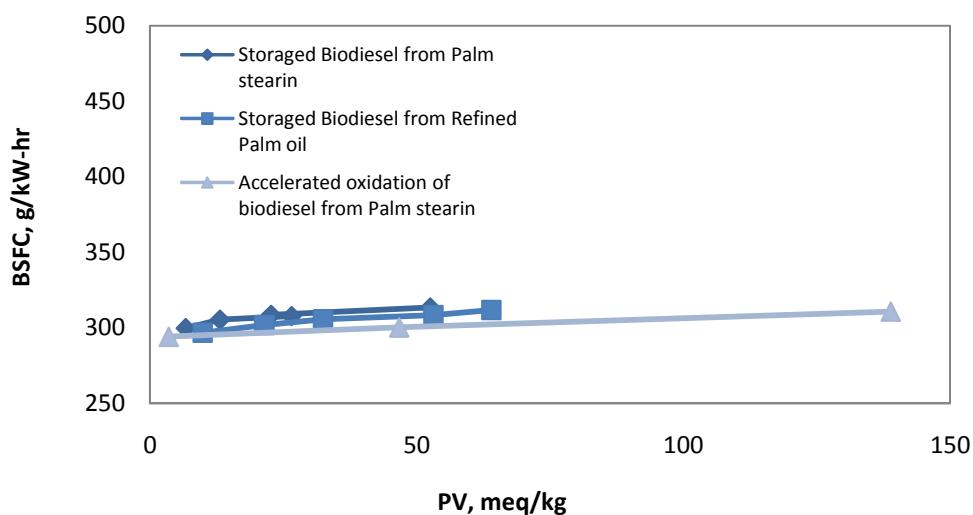
ภาพที่ 4.52

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์ออกไซด์กับค่ากำลังเบรคของน้ำมันไบโอดีเซลที่เกิดการเสื่อมสภาพจากการเก็บรักษาและในสภาวะเร่งการเสื่อมสภาพ



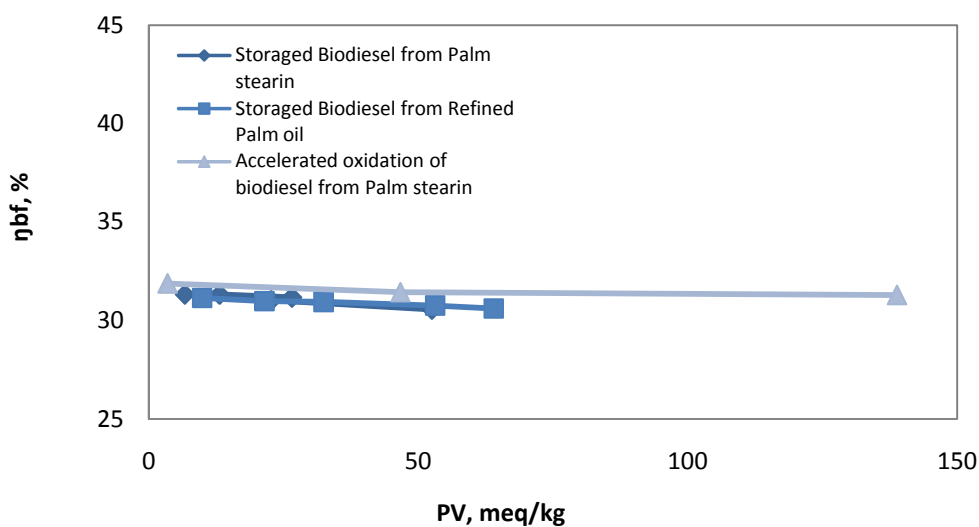
ภาพที่ 4.53

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์ออกไซด์กับอัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก
ของน้ำมันไบโอดีเซลที่เกิดการเสื่อมสภาพจากการเก็บรักษาและในสภาวะเร่งการเสื่อมสภาพ



ภาพที่ 4.54

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์ออกไซด์กับค่าประสิทธิภาพการแปลงพลังงานจากเชื้อเพลิงเบรก
ของน้ำมันไบโอดีเซลที่เกิดการเสื่อมสภาพจากการเก็บรักษาและในสภาวะเร่งการเสื่อมสภาพ



จากความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์ออกไซด์กับการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีของน้ำมันไบโอดีเซลที่เกิดการเสื่อมสภาพ ดังแสดงในภาพที่ 4.52 – 4.54 พบว่า มีความสอดคล้องกันไปในทางเดียวกัน ซึ่งคุณสมบัติเหล่านี้ มีผลกระทบเชื่อมโยงกับประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องยนต์อีกด้วย ดังนั้น เมื่อพล็อตความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์ออกไซด์กับกำลังเบรก, อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก และค่าประสิทธิภาพการแปลงพลังงานจากเชื้อเพลิงเบรก พบว่า เส้นกราฟมีความสัมพันธ์กันแสดงถึงความสอดคล้องระหว่างการเปลี่ยนแปลงของสมบัติทางเคมีและประสิทธิภาพของเครื่องยนต์

จากภาพที่ 4.52 พบว่า ค่าเปอร์ออกไซด์เปลี่ยนแปลงตามกำลังเบรกของเครื่องยนต์น้อยมาก ดังนั้น จึงน่าจะเป็นไปได้ว่าค่าเปอร์ออกไซด์ที่เพิ่มขึ้นของน้ำมันไม่ส่งผลโดยตรงกับกำลังเบรกของเครื่องยนต์ แต่เมื่อพล็อตความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์ออกไซด์กับอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก ดังแสดงในภาพที่ 4.53 พบว่า อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกของน้ำมันที่เกิดการเสื่อมสภาพในทุกสภาวะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นสอดคล้องกับค่าเปอร์ออกไซด์ที่เพิ่มขึ้น โดยกราฟความสัมพันธ์นี้ สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์และทำนายถึงแนวโน้มค่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก ซึ่งจากงานวิจัยนี้ พบว่า ค่าอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก มีค่าเพิ่มขึ้น ในอัตรา 296.95 g/kW-hr ต่อ 1 meq/kg ของค่าเปอร์ออกไซด์ที่เพิ่มขึ้นสำหรับความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์ออกไซด์กับค่าประสิทธิภาพการแปลงพลังงานจากเชื้อเพลิงเบรก ดังแสดงในภาพที่ 4.54 พบว่า น้ำมันทุกชนิดเกิดการเปลี่ยนแปลงค่าประสิทธิภาพการแปลงพลังงานจากเชื้อเพลิงเบรกลดลงตามลำดับสอดคล้องกับค่าเปอร์ออกไซด์ที่เพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาน้ำมันที่ถูกเก็บรักษาทั้งสองชนิด พบว่า แนวโน้มเส้นกราฟค่อนข้างซ้อนทับกัน แม้ว่าค่าประสิทธิภาพการแปลงพลังงานจากเชื้อเพลิงเบรกของน้ำมันทั้งสองชนิดเทียบกับระยะเวลาเก็บ ดังแสดงในภาพที่ 4.25 นั้น มีค่าที่แตกต่างกันบ้าง แต่เมื่อนำมาพล็อตกับค่าเปอร์ออกไซด์แล้วกับมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่คล้ายกัน และในส่วนของน้ำมันที่ถูกเร่ง พบว่า แม้เส้นกราฟจะไม่ซ้อนทับกันแต่ก็มีความใกล้เคียงกับเส้นกราฟของน้ำมันที่ถูกเก็บรักษาทั้งสองชนิด ดังนั้น จึงเป็นไปได้ว่าการเปลี่ยนแปลงค่าเปอร์ออกไซด์น่าจะมีผลเชื่อมโยงกับค่าประสิทธิภาพการแปลงพลังงานจากเชื้อเพลิงเบรกในทิศทางเดียวกัน ไม่ขึ้นกับชนิดของน้ำมัน ระยะเวลาการเก็บรักษา หรือลักษณะการเสื่อมสภาพ ซึ่งจากความสัมพันธ์นี้ ทำให้สามารถใช้ประมาณแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่าประสิทธิภาพการแปลงพลังงานจากเชื้อเพลิงเบรกเบื้องต้นของน้ำมันชนิดต่าง ๆ ได้ โดยวิเคราะห์จากค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมัน

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ ศึกษาผลการเสื่อมสภาพในแง่ของอายุของน้ำมันไบโอดีเซล รวมถึงการเสื่อมสภาพจากการเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมันไบโอดีเซลที่มีต่อสมบัติทางเคมีของน้ำมันไบโอดีเซล รวมถึงสมรรถนะการทำงานและการปลดปล่อยมลพิษไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซล โดยผลการทดลองที่ได้สามารถสรุปได้ดังนี้

1. เมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มมากขึ้น มีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าเปอร์ออกไซด์, ค่าความหนาแน่น และค่าความเป็นกรดเพิ่มขึ้น ส่วนค่าไอโอดีน และค่าความร้อนลดลง เนื่องจากเกิดการเสื่อมสภาพจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน และปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ส่วนค่าความหนืดของน้ำมันไบโอดีเซลมีค่าเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย ทั้งนี้ เนื่องจากการเสื่อมสภาพจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมันไบโอดีเซลในช่วง 6 เดือน ยังไม่เกิดเป็นสารพอลิเมอร์ที่มีมวลโมเลกุลสูงที่จะผลทำให้ค่าความหนืดของน้ำมันสูงขึ้น
2. จำนวนพันธะคู่ในโมเลกุลของน้ำมันวัตถุดิบที่นำมาผลิตน้ำมันไบโอดีเซล มีผลต่อการเกิดเสื่อมสภาพจากปฏิกิริยาออกซิเดชันจากระยะเวลาการเก็บรักษา โดยน้ำมันวัตถุดิบที่มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวในปริมาณมากยิ่งก่อให้เกิดการดูดซึมออกซิเจน เพื่อเข้าทำปฏิกิริยาออกซิเดชันที่พันธะคู่เพิ่มมากขึ้น
3. เมื่อเพิ่มการเสื่อมสภาพของน้ำมันไบโอดีเซลจากสภาวะเร่ง โดยการเติมอากาศที่อัตรา 100 ลิตรต่อชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส มีผลทำให้ค่าเปอร์ออกไซด์, ค่าความหนาแน่น, ค่าความเป็นกรด และค่าความหนืดเพิ่มขึ้น ส่วนค่าไอโอดีน และค่าความร้อนลดลง ทั้งนี้ เนื่องจากน้ำมันดีเซลที่เสื่อมสภาพภายใต้สภาวะเร่ง ที่อุณหภูมิสูง (110 องศาเซลเซียส) และมีปริมาณออกซิเจนสูง ทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้รวดเร็วขึ้น รวมถึงเกิดการแตกตัว

ของพันธะคู่เกิดเป็นอนุมูลอิสระและเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน จึงทำให้ค่าความหนืดเพิ่มสูงขึ้น

4. การทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ของน้ำมันไบโอดีเซลที่เก็บรักษาไว้เป็นเวลานาน รวมถึงน้ำมันที่ถูกเร่งให้เกิดการเสื่อมสภาพจากการออกซิไดซ์ พบว่า ค่ากำลังเบรคของเครื่องยนต์ใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล สำหรับผลการทดสอบอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะเบรคมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากค่าความร้อนของน้ำมันไบโอดีเซลมีค่าต่ำลง เมื่อน้ำมันไบโอดีเซลถูกออกซิไดซ์มากขึ้น
5. การทดสอบมลพิษจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ของน้ำมันไบโอดีเซลที่เก็บรักษาไว้เป็นเวลานาน รวมถึงน้ำมันไบโอดีเซลที่ถูกเร่งให้เกิดการเสื่อมสภาพจากการออกซิไดซ์ พบว่าก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และควันดำ (Black smoke) ลดลง แต่ปริมาณออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) จะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อน้ำมันไบโอดีเซลเกิดการออกซิไดซ์เพิ่มขึ้น ทั้งนี้ เนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน มีผลทำให้น้ำมันไบโอดีเซลมีสัดส่วนปริมาณออกซิเจนในเชื้อเพลิงมากขึ้น ส่งผลให้การเผาไหม้สมบูรณ์ขึ้น อย่างไรก็ตาม ออกซิเจนในเชื้อเพลิงที่มีมากขึ้นทำปฏิกิริยากับไนโตรเจนในอากาศ ก่อให้เกิดออกไซด์ของไนโตรเจนมากขึ้น

รายการอ้างอิง

หนังสือและบทความในหนังสือ

นิธิยา รัตนปนนท์ (2548). วิทยาศาสตร์การอาหารของไขมันและน้ำมัน (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์

วีรศักดิ์ ภัยวิเชียร (2546). เครื่องยนต์สันดาปภายในทฤษฎีและการคำนวณ. กรุงเทพฯ: วิทยาพัฒนา

ศิวะพงศ์ เพ็ชรสงค์ (2550). Biodiesel พลังงานทางเลือก (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดดูเคชั่น

อุตุส่าห์ จิรากร และ เชื้อ ชูขำ (2542). เครื่องยนต์สันดาปภายใน. กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดดูเคชั่น

บทความวารสาร

กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม.(2540).การกำหนดมาตรฐานค่าควันดำจากท่อไอเสียของรถยนต์ที่ใช้เครื่องยนต์ดีเซล. ราชกิจจานุเบกษา , เล่มที่ 114, ตอนที่ 76ง.

กลุ่มสื่อส่งเสริมการเกษตร, สำนักพัฒนาการถ่ายทอดเทคโนโลยี, กรมส่งเสริมการเกษตร, กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (มกราคม – มีนาคม 2547).
วารสาร Energy plus, ฉบับที่ 1

วิชัย ปานสมุทร (2546). การเก็บรวบรวมข้อมูลจากฟิชปาล์มน้ำมัน. ส่วนพัฒนาพลังงานทดแทน 2, สำนักพัฒนาพลังงาน กรมพัฒนาพลังงานทดแทน และอนุรักษ์พลังงาน

วิเชียร เหลืองชมพู (2548).ศูนย์ส่งเสริมและพัฒนาอาชีพการเกษตร (จักรกลเกษตร)

รายการอ้างอิง (ต่อ)

สถาบันวิจัยและเทคโนโลยี ปตท (2546).หนังสือชุด ปีโตรเลียมน่ารู้ เรื่อง *Biodiesel*

วิทยานิพนธ์

ศิริชัย พันธุ์อำนวย (2551). การศึกษาผลกระทบของคุณภาพและสมบัติของไบโอดีเซลที่มีผลต่อสมรรถนะการทำงานของเครื่องยนต์. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, คณะวิศวกรรมศาสตร์, ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

ศิริวรรณ ตันอายุวรรณะ (2550). การศึกษาการเสื่อมสภาพของน้ำมันพืชใช้แล้ว น้ำมันสบู่ดำและผลที่มีต่อประสิทธิภาพในการผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพ. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, คณะวิศวกรรมศาสตร์, ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

Books

Colin, R., & Allan, T. (2001). *Internal Combustion Engines Applied Thermosciences (Second Edition)*. New York: John Wiley & Sons.

John, B. (1988). *Internal Combustion Engine Fundamentals*. New York: McGraw-Hill.

Bailey, A.E. (1951). *Industrial Oil and Fat Products*. New York: Interscience Publishers.

Ganesan, V. (2003). *Internal Combustion Engine (Second Edition)*. New York: McGraw-Hill.

รายการอ้างอิง (ต่อ)

Hui, Y.H. (1996). *Bailey 's Industrial Oil & Fat Products (Fifth Edition, Vol. 4)*. U.S.A: John Wiley & Sons.

Perkins, E. (1967). *Food Tech (Vol.21)*.

Stephen, R. (2000). *An Introduction to Combustion: Concepts and Applications (Second Edition)*. New York: McGraw-Hill.

Willard, W. (1999). *Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine*. New Jersey: Prentice-Hall.

Articles

ASTM Standards, D6751-03a (2003). *Standard Specification for Biodiesel Fuel (B100) Blend Stock for Distillate Fuels*. American Society for Testing and Materials, U.S.A.

_____, D664-04 (2003). *Standard Test Method for Acid Number of Petroleum Products by Potentiometric Titration*. American Society for Testing and Materials, U.S.A.

_____, D445-03 (2003). *Standard Test Method for Kinematic Viscosity of Transparent and Opaque Liquids (the Calculation of Dynamic Viscosity)*. American Society for Testing and Materials, U.S.A.

รายการอ้างอิง (ต่อ)

_____, D2500-05 (2003). *Standard Test Method for Cloud Point of Petroleum Products*. American Society for Testing and Materials, U.S.A.

BS EN Standards, 14214 (2003). *Automotive fuels – Fatty acid methyl esters (FAME) for diesel engines – Requirements and test methods*. British Standards Institute (BSI), London, England.

_____, 14103. *Fat and Oil Derivatives – Fatty Acid Methyl Esters (FAME) – Determination of ester and linolenic acid methyl ester contents*. British Standards Institute (BSI), London, England, 2003

_____, 14111. *Fat and Oil Derivatives – Fatty Acid Methyl Esters (FAME) – Determination of iodine value*. British Standards Institute (BSI), London, England, 2003

_____, 14112. *Fat and Oil Derivatives – Fatty Acid Methyl Esters (FAME) – Determination of Oxidation Stability (accelerated oxidation test)*. British Standards Institute (BSI), London, England, 2003

ISO Standard, 3960. *Animal and vegetable fats and oils - Determination of peroxide value*. International Organization for Standardization (ISO), 2001.

Canakci, M., Monyem, A., & Gerpen, J.V. (1999). *Accelerated oxidation processes in biodiesel*. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers, 42, 1565-1572.

รายการอ้างอิง (ต่อ)

- Du Plessis, L. M., de Villiers, J. B. M., & van der Walt, W. H. (1985). *STABILITY STUDIES ON METHYL AND ETHYL FATTY ACID ESTERS OF SUNFLOWERSEED OIL*. JAOCS, 62, 748-752.
- Dunn, R. O. (2005). *Effect of antioxidants on the oxidative stability of methyl soyate (biodiesel)*. Fuel Processing Technology, 86, 1071-1085.
- Dunn, R. O. (2005). *Oxidative stability of soybean oil fatty acid methyl esters by oil stability index (OSI)*. JAOCS, 82, 381-387.
- Gerpen, J.V., Shanks, B., Pruszko, R., Clements, D., & Knothe, G. (2004). *Biodiesel Production Technology*. National Renewable Energy Laboratory, NREL/SR-510-36244.
- Gvidonas, L., & Stasys, S. (2006). *The effect of rapeseed oil methyl ester on direct injection Diesel engine performance and exhaust emission*. Energy conversion and Management, 47, 1954-1967
- Marchetti, J.M., & Miguel, A.F. (2007). *Possible methods for biodiesel production*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 11, 1300-1311.
- Knothe, G.H. (2007). *Some aspects of biodiesel oxidative stability*. Fuel Processing Technology, 88, 677-699.
- Leung, D.Y.C., Koo, B.C.P., & Guo, Y. (2006). *Degradation of biodiesel under different storage conditions*. Bioresource Technology, 97, 250—256.

รายการอ้างอิง (ต่อ)

- Mittelbach, M., & Gangl, S. (2001). *Long storage stability of biodiesel made from rapeseed and used frying oil*. Journal of the American Oil Chemists' Society, 78, 573-577.
- Mittelbach, M., & Schober, S. (2003). *The influence of antioxidants on the oxidation stability of biodiesel*. Journal of the American Oil Chemists' Society, 80, 817-823.
- Mohamad, I., Ghassan T., & Moh'd A. (2003). *Utilization of ethyl ester of waste vegetable oils as fuel in diesel engine*. Fuel Processing Technology, 76, 91-103
- Monyem, A., & Van Gerpen, J. H. (2001). *The effect of biodiesel oxidation on engine performance and emissions*. Biomass and Bioenergy, 20, 317-325.
- Muammer, Ö., Alp, T., & Orhan, D. (2005). *Experimental Performance Analysis of Biodiesel, Traditional Diesel and Biodiesel with Glycerine*. Turkish J. Eng. Env. Sci., 29, 89-94.
- Nwafor, O.M.I (2004). *Emission characteristics of diesel engine operating on rapeseed methyl ester*. Renewable Energy, 29, 119-129.
- Pramanik, K. (2003). *Properties and use of jatropha curcas oil and diesel fuel blends in compression ignition engine*. Renewable Energy, 28, 239-248.

รายการอ้างอิง (ต่อ)

Schuchardt, U., Sercheli, R., & Vargas, R.M. (1998). *Transesterification of Vegetable Oils: a Review*. Journal of the Brazilian Chemical Society, 9, 199-210.

Thompson, J. C., Peterson, C. L., Reece, D. L., & Beck, S. M. (1998). *Two-year storage study with methyl and ethyl esters of rapeseed*. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers, 41, 931-939.

Yo-ping, G. W., Ya-fen, L., Chang-Tang, C. (2007). *Combustion characteristics of fatty acid methyl esters derived from recycled cooking oil*. Fuel.

Electronic Media

<http://www.bangchak.co.th>, access date: 8 December 2006

<http://www.barascientific.com/bscnews/forum/Biodiesel/biodiesel.php>, access date: 10 December 2006

<http://www.chemguide.co.uk/organicprops/alcohols/esterification.html>, access date: 10 December 2006

<http://www.dede.go.th>, access date: 15 December 2006

<http://www.doae.go.th>, access date: 22 December 2006

<http://www.ebb-eu.org/stats.php>, access date: 25 December 2006

รายการอ้างอิง (ต่อ)

<http://www.ku-alumni.org/news/JATROPHA>, access date: 30 December 2006

http://www.oliveoilsource.com/olive_oil_storage.htm, access date: 12 January 2007

<http://www.public.iastate.edu>, access date: 12 January 2007

<http://www.rmutphysics.com/charud/invention/invention2/diesel/diesel3.htm>, access date:
15 January 2007

<http://www.scielo.br/scielo.php>, access date: 15 January 2007

http://www.usm.maine.edu/~newton/Chy251_253/Lectures/Free%20Radicals/FreeRadicals.html, access date: 15 January 2007

<http://www.it.doa.go.th>, access date: 20 February 2009

<http://www.gmcworkshop.com>, access date: 20 February 2009

<http://www.rmutphysics.com>, access date: 20 February 2009

<http://www.foodquality.wfp.org>, access date: 20 February 2009

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

การวิเคราะห์คุณสมบัติต่าง ๆ

การวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซล (Fatty Acid Methyl Ester: B100),
ASTM D6751-03a & EN 14214

ก- 1 การวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระ (Acid Value), ASTM D664-04 (มาตรฐาน
สำหรับเมทิลเอสเทอร์ < 0.4 %)

เครื่องมือ ปีกเกอร์ ปิเปต บิวเรต pH-Meter

สารเคมี โทลูอีน โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ Isopropyl alcohol Phenolphthalein

วิธีการทดลอง

- 1.1 เตรียมปิกเกอร์ขนาด 600 ml จำนวน 2 ใบ แล้วเติมสารละลายปิกเกอร์ละ 125 ml โดยที่สารละลายเป็นส่วนผสมของ Isopropyl Alcohol 50 % และ Toluene 50 %
- 1.2 เติมหตัวอย่าง 5 กรัม ลงในปิกเกอร์ใบแรก (ปริมาณตัวอย่างที่ใช้เป็นดังตารางที่ ก-1.1)
- 1.3 เติม Indicator Phenolphthalein 2ml ลงในปิกเกอร์ทั้งสองใบ
- 1.4 ไตเตรตสารละลายผสมในปิกเกอร์ทั้งสองด้วย สารละลาย KOH ความเข้มข้น 0.1 N สังเกตสีของสารละลายที่ได้ จนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนสีเป็นสีชมพู
- 1.5 บันทึกปริมาณสารละลาย KOH ที่ใช้ไป

$$AV = \frac{(A-B) \times N \times M.W.}{W}$$

$$\text{คำนวณปริมาณ FFA จากสมการต่อไปนี้}$$

$$FFA(\%) = \frac{AV(\%)}{2} \quad (1)$$

เมื่อ A = ปริมาณของสารละลาย KOH ที่ใช้ในการไตเตรตตัวอย่างน้ำมัน (ml)
 B = ปริมาณของสารละลาย KOH ที่ใช้ในการไตเตรต blank (ml)
 N = ความเข้มข้นของ KOH ที่ใช้ (ในกรณีนี้เป็น 0.025 N)
 M.W. = มวลโมเลกุลของเบสที่ใช้ (ในกรณีนี้ KOH = 56)
 W = ปริมาณตัวอย่างน้ำมันที่ใช้ (g)

ตารางที่ ก-1.1

ปริมาณของตัวอย่างที่ใช้ทดสอบแบ่งตามค่า Acid Number
 [ASTM D664-04]

Acid Number	Mass of Test Portion, g	Accuracy of Weighing, g
0.05 - < 1.00	20.0 ± 2.0	0.10
1.00 - < 5.00	5.0 ± 0.5	0.02
5.00 - < 20.0	1.0 ± 0.1	0.005
20.0 - < 100	0.25 ± 0.02	0.001
100 - < 260	0.1 ± 0.01	0.0005

ก-2 การวิเคราะห์ค่าความหนืดเชิงจลน์ ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส (Kinematics Viscosity @ 40 °C), ASTM D445-03, EN ISO 3105 (มาตรฐานสำหรับเมทิลเอสเทอร์ อยู่ระหว่าง 3.5 กับ 5.0)

เครื่องมือ

- Calibrated Cannon-Fenske viscometer size 75
- Viscometer Holder
- Temperature-Controlled Bath
- นาฬิกาจับเวลา

สารเคมี เฮกเซน

วิธีการทดลอง

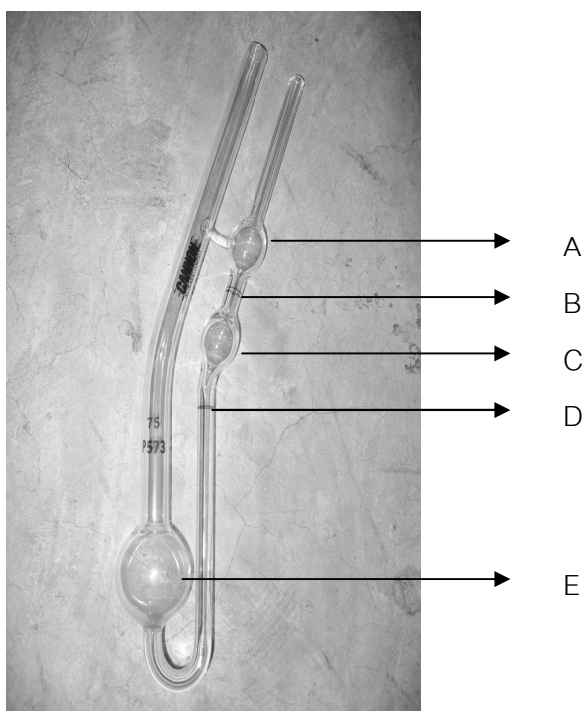
- 2.1 กดสวิทช์เปิดเครื่องควบคุมอุณหภูมิ
- 2.2 กดปุ่ม Set Point ตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 40 องศาเซลเซียส แล้วรอให้อุณหภูมิถึงค่าที่ตั้งไว้
- 2.3 ทำความสะอาด Viscometer ดังภาพที่ ก-2.1 โดยใช้สารละลาย Hexane ล้างให้สะอาด และรอให้แห้ง
- 2.4 ค่อย ๆ เทน้ำมันลงในหลอด ของ Viscometer ที่สะอาดและแห้ง โดยให้ระดับน้ำมันอยู่กึ่งกลางของกระเปาะกลม จุด E
- 2.5 ใส่ Viscometer ลงใน Holder แล้วตั้งทิ้งไว้ 20 นาทีเพื่อให้อุณหภูมิของน้ำมันเท่ากับอุณหภูมิของน้ำใน Bath
- 2.6 ใช้จุกยางดูดน้ำมันในหลอด ขึ้นมาจนระดับน้ำมันอยู่ที่กึ่งกลางของจุด A จากนั้นนำจุกยางออกจากหลอด รอจนน้ำมันไหลลงไปจนถึงส่วนล่างของจุด B จึงเอานิ้วมือออกได้ และทำการวัดค่า Efflux Time
- 2.7 การวัดค่า Efflux Time เริ่มจับเวลาเมื่อน้ำไหลผ่านจุด B และหยุดจับเวลาเมื่อถึงจุด D
- 2.8 การหาค่า Kinematic Viscosity นั้นหาได้โดยนำค่า Efflux Time มาคูณกับค่า Viscometer Constant
- 2.9 เพื่อความถูกต้องมากขึ้นทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 5-7 อีก 2 ครั้ง

การคำนวณค่า Kinematics Viscosity

จากการทดลองเพื่อหาค่า Kinematic Viscosity นั้นใช้ Calibrated Viscometer Size 75 ซึ่งมีค่า Viscometer Constant = 0.007617 cSt/s โดยค่า Kinematic Viscosity คำนวณได้จาก

$$\text{Kinematic Viscosity (cSt)} = \text{Viscometer Constant (cSt/s)} \times \text{Efflux Time (s)}$$

ภาพที่ ก-2.1
Calibrated Viscometer
[ASTM D445-03]



ก-3 การวิเคราะห์ค่าไอโอดีน (Iodine Value), BS EN 14111 (มาตรฐานสำหรับเมทิลเอสเทอร์อยู่ระหว่าง 120 กับ 130)

- เครื่องมือ บีกเกอร์ Flask ขนาด 500 ml ปิเปต บิวเรต pH-Meter
- สารเคมี -สารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ ความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก
(KI Solution 100กรัมต่อน้ำ 1 ลิตร)
- สารละลายน้ำแป้ง (Starch solution)
- สารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต ความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร (Sodium Thiosulfate Solution 0.1 N)

- สารละลายผสมระหว่างไซโคลเฮกเซน และกรดอะซิติก (equal volume of cyclohexane & glacial acetic acid)
- Wijs Reagent

วิธีการทดลอง

- 3.1 เติมตัวอย่าง และ Solvent ปริมาณดังตารางที่ ก-3.1 พร้อมกับเติม Wijs Reagent ปริมาณ 25 ml ลงใน flask ขนาด 500 ml แล้วเขย่าให้เข้ากัน จากนั้นนำไปตั้งในที่มืด
- 3.2 เตรียมสารละลาย Blank test (ไม่ต้องเติมตัวอย่าง) ตามวิธีการในข้อ 3.1
 - สำหรับตัวอย่างที่คาดว่าจะมีค่าค่าคดเคเนของ Iodine Value น้อยกว่า 150 ให้เก็บไว้ประมาณ 1 ชั่วโมง
 - สำหรับตัวอย่างที่คาดว่าจะมีค่าค่าคดเคเนของ Iodine Value สูงกว่า 150 ให้เก็บไว้ประมาณ 2 ชั่วโมง
- 3.3 ในช่วงท้ายของปฏิกิริยา ให้เติม KI solution ปริมาณ 20 ml และน้ำ 150 ml
- 3.4 ไตรเตรตสารละลายผสมใน Flask ด้วย standard solution ของ $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ จนกระทั่งได้สารละลายผสมสีเหลือง (คาดว่าไอโอดีนเกือบจะหมดแล้ว) เติม Starch solution ปริมาณ 2 ถึง 3 หยด จะเกิดสีน้ำเงินขึ้นในสารละลายให้ไตรเตรตต่อจนกระทั่งเมื่อเขย่าแรง ๆ แล้วสีน้ำเงินได้หายไป
- 3.5 ไตรเตรต Blank Test ด้วยวิธีการเดียวกันกับในข้อ 3.4
- 3.6 คำนวณค่าไอโอดีนจากสมการที่ 2

$$W_I = \frac{12.69C(V_2 - V_1)}{M} \quad (2)$$

เมื่อ W_I = Iodine Value, g / 100 g fat

C = ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต, โมลต่อลิตร

V_1 = ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตใน Blank Test, มิลลิลิตร

V_2 = ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตในตัวอย่าง, มิลลิลิตร

M = ปริมาณของตัวอย่างที่ใช้ทดสอบ, กรัม

ตารางที่ ก-3.1

ปริมาณ Solvent ที่ใช้เมื่อค่าคาดคะเนของ Iodine value เป็นค่าต่าง ๆ ตั้งแต่ น้อยกว่า 1.5 ถึง 200

[BS EN 14111]

Expected Iodine Value [g / 100 g]	Mass of test portion [g]	Volume of Solvent [ml]
Less than 1.5	15.00	25
1.5 to 2.5	10.00	25
2.5 to 5.0	3.00	20
5.0 to 20	1.00	20
20 to 50	0.40	20
50 to 100	0.20	20
100 to 150	0.13	20
150 to 200	0.10	20

ก-4 การวิเคราะห์ค่าเปอร์ออกไซด์ (Peroxide Value), ISO 3960

เครื่องมือ Conical Flask ขนาด 250 ml ปิเปต บิวเรต

สารเคมี - น้ำกลั่น

- สารละลายผสมระหว่างกรดอะซิติก และไอโซออกเทนด้วยสัดส่วน 60 ต่อ 40 โดยปริมาตร [glacial acetic acid / iso-octane = 60 / 40 (by vol.)]
- สารละลายอิ่มตัวของโพแทสเซียมไอโอไดด์ (Saturated solution of KI)
- สารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต ความเข้มข้น 0.01 โมลต่อลิตร (Sodium Thiosulfate Solution 0.01 N)
- สารละลายน้ำแป้งความเข้มข้น 5 กรัมต่อลิตร (Starch solution 5 g/L)

วิธีการทดลอง

4.1 ชั่งน้ำหนักตัวอย่างตามตารางที่ ก-4.1 แล้วเติมลงใน Flask ที่เตรียมไว้

- 4.2 เติมสารละลายผสมระหว่างกรดอะซิติกกับไฮโซออกเทน ปริมาณ 50 มิลลิลิตร ลงใน Flask เขย่า เพื่อให้สารตัวอย่างผสม และละลายกันจนทั่ว จากนั้น ทำการปิเปต สารละลายอิ่มตัวของโพแทสเซียมไอโอไดด์ปริมาณ 0.50 มิลลิลิตร ตามลงไป ใน Flask ปลดปล่อยทิ้งไว้ให้สารละลายทำปฏิกิริยาประมาณ 1 นาที (ในระหว่างนี้ ต้องเขย่าไปด้วยอย่างน้อย 3 ครั้ง) จากนั้น เติมน้ำกลั่นลงไปอีก 30 มิลลิลิตร
- 4.3 ไตรเตตรตสารละลายผสมใน Flask ด้วย standard solution ของ $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ จนกระทั่งสีเหลืองของสารละลายหายไปจนเกือบหมด
- เติม Starch solution ปริมาณ 0.5 ml แล้วไตรเตตรตต่อไป จนใกล้ endpoint เพื่อให้ไอโอดีนจากชั้นของตัวทำละลายออกมาให้หมด
 - เติม Standard solution ของ $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ทีละหยด จนพบว่า สีน้ำเงินของสารละลาย ได้หายไป
- 4.4 ไตรเตตรต Blank Test ด้วยวิธีการเดียวกันกับในข้อ 4.2 ถึง 4.3
- 4.5 คำนวณค่าเปอร์ออกไซด์จากสมการที่ 3

$$P = \frac{1000(V - V_0)C}{M} \quad (3)$$

- เมื่อ P = Peroxide Value, meq / kg
 V = ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟตในตัวอย่าง, มิลลิลิตร
 V_0 = ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟตใน Blank Test, มิลลิลิตร
 C = ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟต, โมลต่อลิตร
 M = ปริมาณของตัวอย่างที่ใช้ทดสอบ, กรัม

ตารางที่ ก-4.1

น้ำหนักของตัวอย่างที่ใช้เมื่อค่าคาดคะเนของ Peroxide value เป็นค่าต่าง ๆ ตั้งแต่ 0 ถึง 90
[ISO 3960]

Expected Peroxide Value [meq / kg]	Mass of test portion [g]	Weighing Accuracy [g]
0 to 12	5.0 to 2.0	± 0.01
12 to 20	2.0 to 1.2	± 0.01
20 to 30	1.2 to 0.8	± 0.01
30 to 50	0.8 to 0.5	± 0.01
50 to 90	0.5 to 0.3	± 0.01

ก-5 การวิเคราะห์อายุการใช้งานของน้ำมัน (Oxidation Stability), BS EN 14112
(มาตรฐานสำหรับเมทิลเอสเทอร์ต้องน้อยกว่า 6 ชั่วโมง)

เครื่องมือ บีกเกอร์ ปิเปต บิวเรต pH-Meter Rancimat Tester, molecular
seive

สารเคมี อะซิโตน ,กลีเซอรอล

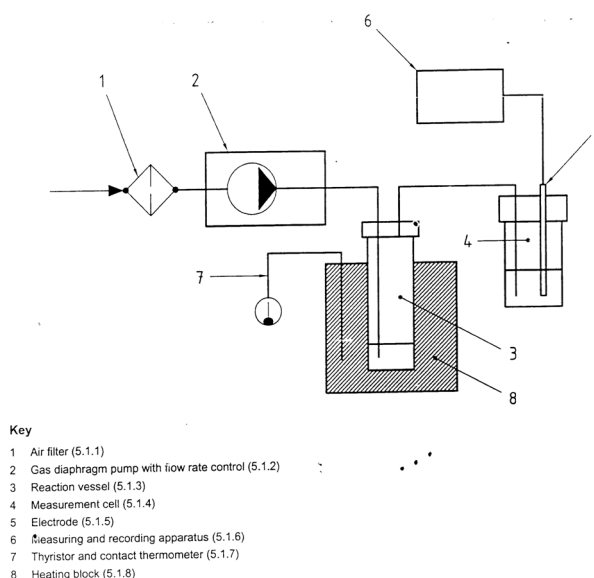
วิธีการทดลอง

- 5.1 เตรียมเครื่องมือ และอุปกรณ์ต่าง ๆ ดังภาพที่ ก-5.1 และ ภาพที่ ก-5.2
- 5.2 ติดอุปกรณ์ Gas diaphragm pump (2) แล้วปรับอัตราการไหลให้อยู่ที่ 10 ลิตรต่อชั่วโมง จากนั้นให้ปิดปั๊ม
- 5.3 ตั้งอุณหภูมิของ Heating block (8) ให้อยู่ที่ 110 องศาเซลเซียส และติดเทอร์โมมิเตอร์ (7) ตามภาพข้างต้น จากนั้นเติมกลีเซอรอลลงในช่อง Heating block (8) เพื่อช่วยถ่ายเทความร้อน
- 5.4 เติมน้ำกลั่นปริมาตร 50 ml ลงไปใน Measurement cell (4)

ภาพที่ ก-5.1

เครื่องมือ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ Oxidation Stability

[BS EN 14112]



5.5 ตั้งค่าอุปกรณ์ electrode ดังต่อไปนี้

- ตรวจสอบความพร้อมของ Electrode ทำการปรับสัญญาณโดยใช้ calibration potentiometer สัญญาณที่ได้จะอยู่ที่เลขศูนย์
- ตั้งอัตราการกระดาศไว้อยู่ที่ 10 mm / h และความถี่ในการวัดอยู่ที่ 1 จุดต่อ 20 วินาที
- ตั้งค่าการวัดไว้ที่ 200 μ s / cm

5.6 ชั่งตัวอย่างน้ำหนัก 3.0 กรัมใส่ไปใน Reaction vessel (3)

5.7 เปิดสวิตช์ Gas diaphragm pump (2) และตั้งค่าอัตราการไหลให้อยู่ที่ 10 ลิตรต่อชั่วโมง อีกครั้งหนึ่ง เชื่อมท่อต่ออากาศเข้าและออกระหว่าง reaction vessel (3) กับ Measurement cell (4) โดยใช้ connection hoses

5.8 นำ Reaction vessel ที่ติดตั้งอุปกรณ์ต่าง ๆ เสร็จแล้วไปใส่ไว้ใน heating block โดยที่อุณหภูมิของทั้ง reaction vessel และ heating block ต้องถึงที่ที่ต้องการไว้แล้วทั้งขั้นที่ 5.7 และ 5.8 ต้องเตรียมให้เร็วที่สุด จากนั้น เริ่มเดินเครื่องอุปกรณ์บันทึกค่าโดยอัตโนมัติ หรือเริ่มจดค่าเวลาที่เริ่มต้นการวัดบนกระดาศวัดค่า

5.9 สิ้นสุดการวัด เมื่อสัญญาณไปถึง 100 % ของ Recorder scale โดยทั่วไปคือ $200\mu s$

5.10 ในระหว่างการทดลอง ให้ฟังระวัງดังต่อไปนี้

- ตรวจสอบการตั้งค่า Flow meter ให้อยู่ในอัตราคงที่
- ตรวจสอบสีของ Molecular sieve ของตัวกรองอากาศ และให้ทดลองวัดค่าอีกครั้งหนึ่งเมื่อ Molecular sieve เปลี่ยนสีในระหว่างการทดลอง (คำแนะนำ ให้เปลี่ยน molecular sieve ก่อนที่จะเริ่มการทดลอง)

การหาค่า Induction period

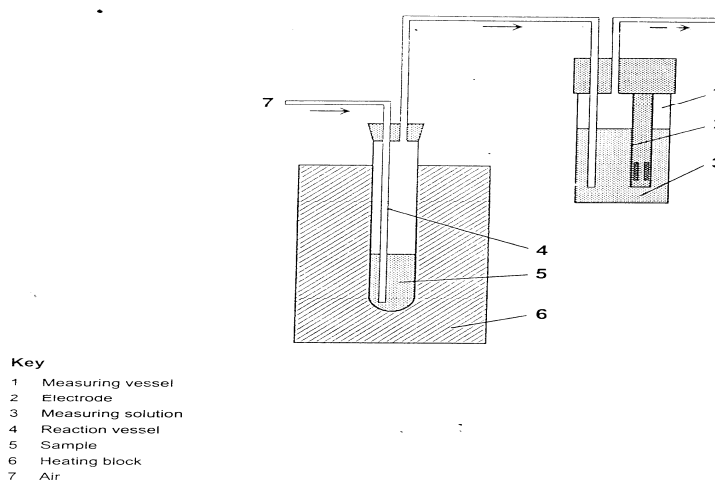
A. Manual Calculation ให้พิจารณา conductivity curve โดยทำการลากเส้นขนานกับจุดแรกที่ conductivity curve เริ่มเปลี่ยนแปลงในลักษณะเพิ่มขึ้น และลากเส้นขนานกราฟอีกเส้นหนึ่งบริเวณด้านบนของกราฟที่เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วให้ไปตัดกับแกน x (แกนของเวลา) จะได้จุดตัดของเส้นตัดทั้งสองซึ่งก็คือค่า induction period นั้นเอง ตัวอย่างของการลากกราฟเป็นดังภาพที่ ก-5.3

B. Automatic Calculation เครื่องมือจะทำการหาค่าโดยใช้ค่าที่สูงที่สุดของอนุพันธ์อันดับที่สอง เป็นดังภาพที่ ก-5.4

ภาพที่ ก-5.2

อุปกรณ์ที่ในส่วนให้ความร้อน (Heating block), reaction vessel, และ measurement cell

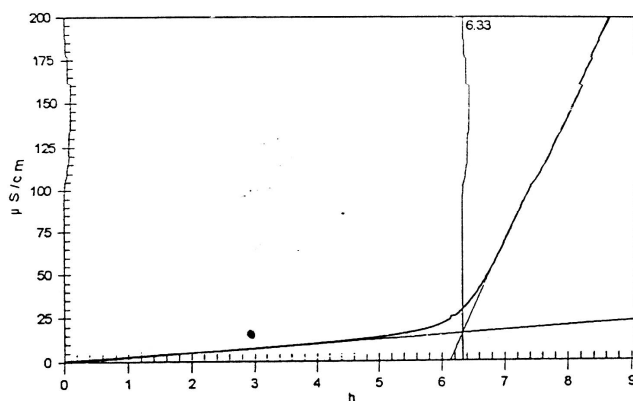
[BS EN 14112]



ภาพที่ ก-5.3

ตัวอย่างการหาค่า Induction period จาก conductivity curve ด้วย Manual calculation

[BS EN 14112]

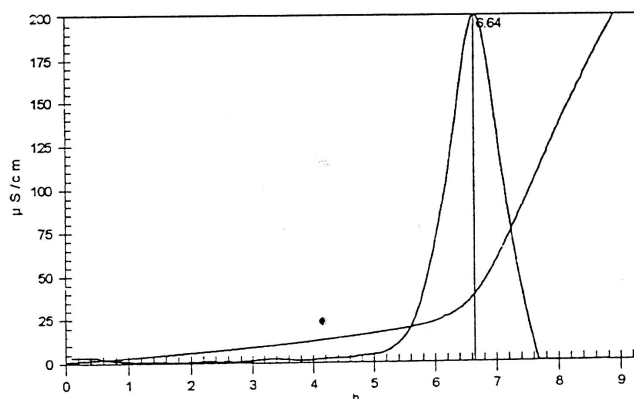


ภาพที่ ก-5.4

ตัวอย่างการหาค่า Induction period จาก conductivity curve

ด้วย Automatic calculation

[BS EN 14112]



ก-6 การหาค่าความร้อนของเชื้อเพลิง, ASTM D 2015

ในการหาค่าความร้อนของเชื้อเพลิงในงานวิจัยนี้ใช้เครื่อง Calorimeter model 1261 โดยในการทดสอบค่าความร้อนจะทำการทดสอบสองครั้งเพื่อหาค่าเฉลี่ยที่เป็นจริง ซึ่งมีวิธีการทดสอบดังต่อไปนี้

การใช้เครื่อง Calorimeter model 1261

- 6.1 เปิดสวิตช์หลังเครื่องไฟจะติดตาม DATA ENTRY ต่าง ๆ และจะดับไปคงเหลือแต่ส่วนที่ใช้งาน ซึ่งถ้าไฟไม่ขึ้นแสดงว่า CIRCUIT BOARD อาจจะหลวม
- 6.2 กด F1 เพื่อให้ PUMP, HEATER และน้ำเย็นเข้าเครื่อง โดย WARM UP. ประมาณ 20 นาที เพื่อให้อุณหภูมิคงที่ เมื่ออุณหภูมิคงที่แล้วไฟจะขึ้นที่ Mode. STANDBY ทุกครั้งไม่เช่นนั้นเครื่องจะไม่พร้อมที่จะทำงาน
- 6.3 ตรวจสอบ MAIN MENU โดย กด *50 เครื่องจะ PRINTS MAIN MENU ออกมาแสดงผลให้ทราบ ซึ่งจะแก้ไขให้ให้กดข้อนั้นและกด ENTER เพื่อให้ข้อมูลเข้าเครื่อง และจะแสดงผลออกมาให้ทราบเพื่อให้ผู้ใช้นั้น ENTER ค่าที่ต้องการเข้าเครื่องอีกครั้ง ซึ่งเมื่อตรวจสอบเสร็จแล้วให้กด CLEAR

- 6.4 ตรวจสอบหมายเลขของ SAMPLE ID. ซึ่งจะตรวจสอบข้อมูลความจำอยู่ในเครื่องว่ามีอยู่หรือไม่ ซึ่งหมายเลขอาจจะซ้ำกันในการหาค่าความร้อนในครั้งต่อไป โดยเครื่องจะขึ้น ERROR ดังนี้โดยการกด *4 และกด STEP KEY เพื่อดูว่ามีอยู่ที่หมายเลข เมื่อต้องการจะลบทิ้งไปให้ทำการกด *20 และ ENTER หมายเลข SAMPLE ID. นั้น ครั้งละเบอร์จนครบทุกตัวก็เป็นอันว่าทำการลบข้อมูลเก่าเสร็จสิ้นแล้ว
- 6.5 เตรียมตัวอย่าง และเติมออกซิเจนสำหรับการ BOMB โดยจะตั้ง PRESSURE GAUGE ไว้ที่ 450 PSI. ข้อควรระวังห้ามให้เกินหรือต่ำกว่านี้ กด O₂ FILL KEY เครื่องจะเติมเองโดยอัตโนมัติใช้เวลาประมาณ 60 วินาทีจะหยุดเอง
- 6.6 เติมน้ำลงใน BUCKET โดยใช้ น้ำกลั่น 2000 กรัม และนำเข้าเครื่องพร้อมกับออกซิเจนบอมบ์
- 6.7 กด START ไฟที่ CAL ID. จะติด ให้ใส่หมายเลขของ CAL ID. ต่อไปไฟจะติดที่ SAMPLE ID. ซึ่งจะต้องใส่ NO. SAMPLE ID. และกด ENTER ไฟจะติดที่ WEIGHT ซึ่งต้องใช้น้ำหนักของ STANDARD หรือ SAMPLE จนครบ หมายเหตุ สำหรับน้ำหนักของ SAMPLE ที่เป็นของเหลวนั้นต้องมีน้ำหนักไม่เกิน 0.2 กรัม เพราะถ้าเกินไปกว่านี้อาจเป็นอันตรายของเครื่องมือและผู้ทดสอบได้
- 6.8 เครื่องจะเริ่มทำการทดสอบ โดยเครื่องจะหยุดที่อุณหภูมิคงที่ และจะ ALARM เริ่มการจุด และหลังจาก FIRING 3-4 นาที เครื่องจะ ALARM อีกครั้งซึ่งค่า EE. จะปรากฏขึ้น
- 6.9 กด SKIP KEY เครื่องจะให้ใส่ค่า FUSE, ACID และ SULFUR ตามลำดับ เมื่อใส่ค่าครบแล้วให้กด DONE KEY เครื่องจะ MEMORY ค่าต่างๆไว้ และจะพิมพ์ค่า EE. หรือค่า GROSS HEAT ซึ่งขึ้นอยู่กับ MODEL ที่เลือกไว้ว่าเป็นแบบ STANDARDIZATION หรือ DETERMINATION
- 6.10 กด START OR SHIFT START ในการทำครั้งต่อไปได้เลย ถ้าเครื่องอยู่ใน mode. STANDBY

ภาพที่ ก-6.1
เครื่อง Calorimeter model 1261



ก-7 การหาค่าความหนาแน่น ที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส

การทดลองหาค่าความหนาแน่นของน้ำมันดีเซลมาตรฐานและน้ำมันไบโอดีเซลในที่นี้
ทำการทดลองในอุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส โดยอาศัยหลักการที่ทราบกันอยู่แล้วว่าค่าความ
หนาแน่นเป็นอัตราส่วนระหว่างมวลกับปริมาตรเป็นตามสมการที่ 4 โดยหน่วยของความหนาแน่น
ที่ใช้กันทั่วไปคือ กรัมต่อมิลลิเมตร หรือ กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร สำหรับน้ำมันไบโอดีเซลตา
มาตรฐานควรมีค่าความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส ระหว่าง 860-900 กิโลกรัมต่อ
ลูกบาศก์เมตร

การหาค่าความหนาแน่นเชื้อเพลิง

$$\rho = \frac{m}{v} \quad \text{g/(mm}^3\text{) , kg/(m}^3\text{)} \quad (4)$$

ภาคผนวก ข

ชุดทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์

ข-1 เครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดสอบสมรรถนะ

เครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดสอบ เป็นเครื่องยนต์ยี่ห้อนิสสัน ที่มีสภาพพร้อมที่จะใช้งาน โดยมีข้อมูลทางเทคนิคต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

เครื่องยนต์ / รุ่น	:	นิสสัน BD-30 ระบายความร้อนด้วยน้ำ
แบบเครื่องยนต์	:	4 สูบ 4 จังหวะ (เรียงแนวตั้ง)
ขนาดกระบอกสูบ x ระยะชัก	:	96 mm. x 102 mm.
ระยะชัก	:	92 mm.
ความจุกระบอกสูบ	:	2,953 cc.
อัตราส่วนการอัด	:	18.5 ต่อ 1
อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง	:	195 g ต่อ hp.h
กำลังงานสูงสุด	:	95 hp ที่ 3,800 r.p.m.
ลักษณะห้องเผาไหม้ / หัวฉีด	:	Direct injection
อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง	:	195g/ hp-hr

ภาพที่ ข-1.1

เครื่องยนต์ดีเซล



ข-2 ชุดทดสอบไดนาโมมิเตอร์

เครื่องมือ – ชุดทดสอบไดนาโมมิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ มีข้อมูลทางเทคนิคต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

Dynamometer	รุ่น	Tokyo plant ED-100-LC model, Eddy current electric dynamometer
Maximum speed	:	8,500 r.p.m.
Max. absorption power	:	100 hp at 3,000 r.p.m.
Cooling water quantity	:	Min.40 l/min. Supply pressure 0.5 to 1.5 kg/cm ²
Torque Measurement	:	Load Cell type, Digital indicator Capacity 100 kg.
Arm length	:	0.3581 m.

ภาพที่ ข-2.1

ชุดทดสอบไดนาโมมิเตอร์



ข-3 อุปกรณ์ตรวจวัดการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง

เครื่องมือ – อุปกรณ์ตรวจวัดการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง ประกอบไปด้วย

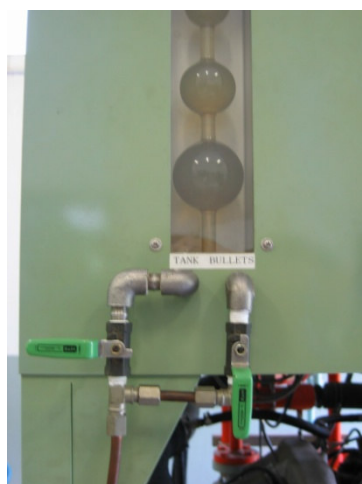
Three Buld Pipette : Glass made, Measring Buld, 30 cc +
50 cc + 100cc

Fuel Tank : SUS made, Capacity 20 Litres.

ในการทดสอบครั้งนี้ได้ใช้ ความจุที่ 30 cc. ในการทดสอบค่าเวลาการสิ้นเปลือง
น้ำมันเชื้อเพลิง

ภาพที่ ข-3.1

อุปกรณ์ตรวจวัดการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง



ข-4 เครื่องมือวิเคราะห์แก๊สไอเสีย

เครื่องมือ – Fuel Gas Analyzer (GA-40 T plus)

ความสามารถที่ Fuel Gas Analyzer (GA-40 T plus) สามารถวิเคราะห์แก๊สไอเสียได้มีดังนี้

-	Oxygen	O ₂
-	Carbon Monoxide	CO
-	Carbon Dioxide	CO ₂
-	Hydrocarbon	HC
-	Nitric Oxide	NO
-	Nitrogen Dioxide	NO
-	Nitrogen Oxides	NO _x
-	Sulfur	SO ₂

ข-5 เครื่องมือวัดปริมาณควันดำ (Black Smoke Tester)

เครื่องมือวัดปริมาณควันดำเป็นแบบกระดาษกรอง ดังแสดงในภาพที่ 4.5 ประกอบด้วย

1. บั๊มดูดไอเสียเป็นเครื่องมือเก็บตัวอย่างค่าควันดำจากท่อไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซล ซึ่งภายในตัวบั๊มจะประกอบด้วย
 - กระบอกบั๊ม ภายในมีลูกสูบที่มีปลายช่องไว้สำหรับใส่แผ่นกระดาษกรอง
 - หัวดูดไอเสีย ประกอบด้วยอุปกรณ์ยึดติดกับท่อไอเสีย และท่อสำหรับแก๊สไอเสียที่ไหลผ่านเข้ากระบอกสูบ
2. เครื่องอ่านปริมาณควันดำเป็นเครื่องอ่านความเข้มของปริมาณเขม่าที่อยู่บนกระดาษกรอง ซึ่งแสดงผลออกมาในภาพแบบตัวเลขดิจิทัล ซึ่งในการทดสอบหาค่าร้อยละของปริมาณควันดำจะทดสอบระหว่างการเร่งความเร็วของเครื่องยนต์จากรอบเดินเบาไปสู่รอบการทำงานสูงสุด โดยเครื่องมือวัดปริมาณควันดำ จะวัดปริมาณควันดำด้วยวิธีตรวจสอบความทึบแสงของปริมาณคาร์บอนแบบปล่อยให้อากาศไหลผ่านได้บางส่วน ตามมาตรฐานในการวัดควันดำ

(Enabling Environment Conference ; EEC) อ้างอิงจากประกาศ
กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม

ภาพที่ ข -5.1
เครื่องมือวัดปริมาณควันดำ



ภาคผนวก ค

ตัวอย่างข้อมูลดิบ และตัวอย่างวิธีการคำนวณ

ข้อมูลดิบที่ปรากฏในภาคผนวก ค นี้ เป็นข้อมูลดิบที่ใช้สำหรับการคำนวณหาค่าคุณสมบัติต่าง ๆ ของน้ำมันไบโอดีเซลจากปาล์มบริสุทธิ์ และเมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตได้จากน้ำมันชนิดนี้ ได้แก่ ค่าไอโอดีน (Iodine value: IV), ค่าเปอร์ออกไซด์ (Peroxide value: PV), ปริมาณกรดไขมันอิสระ (Free fatty acid: FFA) [ซึ่งมีความสัมพันธ์โดยตรงกับค่าความเป็นกรด (Acid value: AV)], ค่าความหนาแน่น (Density), ค่าความหนืดเชิงจลน์ (Kinematic viscosity) และค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (Heating value)

ค-1 การหาค่าไอโอดีน (Iodine Value)

ตารางที่ ค-1.1

ปริมาณสารละลาย $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ที่ใช้ไตเตรตตัวอย่างน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากปาล์มสดที่ยืนยันที่เก็บรักษาเป็นเวลา 3 เดือน ทำการวัดค่าไอโอดีนในเดือนกันยายน 2551

ครั้งที่	ปริมาณ $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ที่ใช้ ไตเตรตตัวอย่าง (ml) [V ₁]	ปริมาณ KOH ที่ใช้ ไตเตรต blank (ml) [V ₂]	Iodine Value
1	24.50	28.80	27.284
2	24.00	28.80	30.456
ค่าเฉลี่ย	24.25	28.80	28.870

จากตารางที่ ค-1 และจากสมการต่อไปนี้

$$W_I = \frac{12.69C(V_2 - V_1)}{M}$$

สามารถคำนวณค่า Iodine Value ของตัวอย่างได้ดังนี้

$$W_I = \frac{12.69 \times 0.10(28.8 - 24.25)}{0.2}$$

$$W_I = 28.870 \text{ g/100 g fat}$$

เมื่อ W_I = Iodine Value, g / 100 g fat

C = ความเข้มข้นของสารละลาย $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 = 0.10$ โมลต่อลิตร

M = ปริมาณของตัวอย่างที่ใช้ทดสอบ = 0.20 กรัม

ค-2 การหาค่าเปอร์ออกไซด์ (Peroxide Value)

ตารางที่ ค-2.1

ปริมาณสารละลาย $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ที่ใช้ไตเตรตตัวอย่างน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจาก
ปาล์มสดที่ยืนที่เก็บรักษาเป็นเวลา 3 เดือน ทำการวัดค่าเปอร์ออกไซด์
ในเดือนกันยายน 2551

ครั้งที่	ปริมาณ $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ที่ใช้ ไตเตรตตัวอย่าง (ml) [V]	ปริมาณ KOH ที่ใช้ ไตเตรต blank (ml) [V ₀]	Peroxide Value
1	5	0.40	13.14
2	5	0.40	13.14
เฉลี่ย	5	0.40	13.14

จากตารางที่ ค-2 และจากสมการต่อไปนี้

$$P = \frac{1000(V - V_0)C}{M}$$

สามารถคำนวณค่า Peroxide Value ของตัวอย่างได้ดังนี้

$$P = \frac{1000(5 - 0.4) \times 0.01}{3.5}$$

$$P = 13.14 \text{ meq/kg}$$

เมื่อ P = Peroxide Value, meq / kg

C = ความเข้มข้นของสารละลาย $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 = 0.01$ โมลต่อลิตร

M = ปริมาณของตัวอย่างที่ใช้ทดสอบ = 3.50 กรัม

ค-3 การหาปริมาณกรดไขมันอิสระ (%FFA)

ตารางที่ ค-3.1

ปริมาณสารละลาย KOH ที่ใช้ไตเตรตตัวอย่างน้ำมันไบโอดีเซล

ที่ผลิตจากปาล์มสดที่ยืนที่เก็บรักษาเป็นเวลา 3 เดือน

ทำการวัดค่าในเดือนกันยายน 2551

ตัวอย่างที่	ปริมาณ KOH ที่ใช้ ไตเตรตตัวอย่าง (ml) [A]	ปริมาณ KOH ที่ใช้ ไตเตรต blank (ml) [B]	Acid Value	%FFA
1	0.35	0.20	0.210	0.10
2	0.40	0.20	0.281	0.14
เฉลี่ย	0.37	0.20	0.245	0.12

จากตารางที่ ค-3 และจากสมการต่อไปนี้

$$AV = \frac{(A - B) \times N \times M.W.}{W}$$

$$FFA(\%) = \frac{AV(\%)}{2}$$

สามารถคำนวณค่า Acid Value และ %FFA ของตัวอย่างได้ดังนี้

$$AV = \frac{(0.37 - 0.2) \times 0.025 \times 56}{1}$$

$$AV = 0.245 ; FFA = 0.12$$

เมื่อ N = ความเข้มข้นของสารละลาย KOH = 0.025 N (mol/l)

$M.W.$ = มวลโมเลกุลของเบส (ในกรณีนี้ KOH = 56)

W = ปริมาณตัวอย่างน้ำมัน = 1.00 g

ค-4 การหาค่าความหนืดเชิงจลน์ (Kinematic Viscosity)

การหาค่าความหนืดเชิงจลน์ของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากปาล์มสดที่ยังเก็บรักษาเป็นเวลา 3 เดือน ทำการวัดค่าในเดือนกันยายน 2551 ทำได้โดยใช้ Cannon-Pensky Calibrated Viscometer No.75 P573 ซึ่งมีค่า Viscometer Constant = 0.007617 cSt/s ตามลำดับ จากนั้นจึงสามารถคำนวณค่าความหนืดเชิงจลน์ได้ตามสมการต่อไปนี้

$$\text{Kinematic Viscosity (cSt)} = \text{Viscometer Constant (cSt/s)} \times \text{Efflux Time (s)}$$

ตัวอย่างการคำนวณ

น้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากปาล์มสดที่ยังเก็บรักษาเป็นเวลา 3 เดือน ทำการวัดค่าในเดือนกันยายน 2551

$$\text{ได้ค่าเฉลี่ยของ Efflux Time ทั้ง 2 ครั้ง} = (560 + 560)/2 = 560$$

$$\begin{aligned}\therefore \text{Kinematic Viscosity (cSt)} &= 0.007617 \text{ (cSt/s)} * 560 \text{ (s)} \\ &= 4.26 \text{ cSt}\end{aligned}$$

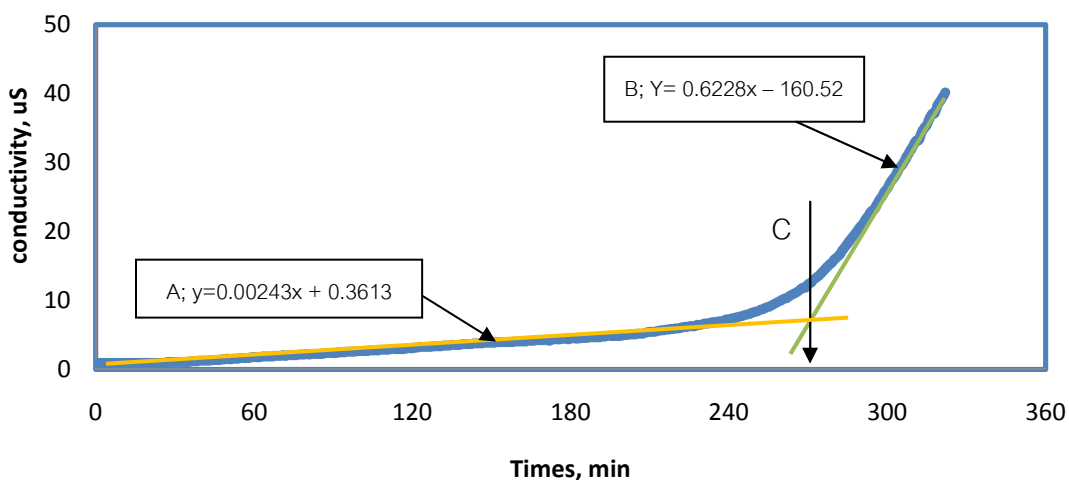
ค-5 การวิเคราะห์ Oxidation Stability

จากภาพที่ ค-5.1 ซึ่งแสดงข้อมูล Conductivity curve ของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากปาล์มสเตียร์นที่เกิดการเสื่อมสภาพจากการจำลองสภาวะในช่วงเริ่มต้น (SDB) จะสามารถหาค่าอายุขัยของน้ำมัน (induction period) ได้ตามขั้นตอนต่อไปนี้

- 1.) ลากเส้นขนานกับจุดแรกที่ Conductivity curve เริ่มเปลี่ยนแปลงในลักษณะเพิ่มขึ้น ดังเส้น A
- 2.) ลากเส้นขนานกราฟอีกเส้นหนึ่งบริเวณที่เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วให้ไปตัดกับแกน X ดังเส้น B จะได้จุดตัดของเส้นทั้งสองตามเส้น C ซึ่งก็คือค่าอายุขัยของน้ำมันนั่นเอง

ภาพที่ ค-5.1

การหาค่าความเสถียรต่อการออกซิเดชันของน้ำมันไบโอดีเซล
ที่ผลิตจากปาล์มสเตียร์นที่เกิดการเสื่อมสภาพจากการจำลอง
สภาวะในช่วงเริ่มต้น (SDB)



ภาคผนวก ง

ใบรายงานผลการวิเคราะห์คุณภาพของน้ำมันไบโอดีเซล

ใบรายงานผลการวิเคราะห์คุณภาพของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากปาล์มสดเตียริน และน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ ซึ่งได้รับความอนุเคราะห์จาก บริษัท น้ำมันพืช ปทุม จำกัด โดยมีผลการวิเคราะห์คุณภาพของน้ำมันไบโอดีเซล ดังนี้

ตารางที่ ง-1.1

แสดงผลการวิเคราะห์คุณภาพของน้ำมันไบโอดีเซล รับมาครั้งที่ 1

เมื่อ วันที่ 12 กรกฎาคม พ. ศ. 2551

Description	Limit	Test Method	Biodiesel from refined Palm oil	Biodiesel from Palm stearin
Methyl Ester, %wt	96.5 min	EN 14103	97.71	97.50
Density, kg/m ³	860 - 900	ASTM D1298	876 (15 °C)	863 (30 °C)
Viscosity at 40 °C, cSt	3.5 – 5.0	ASTM D445	4.493	4.622
Flash Point, °C	120 min	ASTM D93	168	177
Water, %wt	0.05 max	EN ISO 12937	0.038	0.036
Oxidation stability at 110 °C, hr	10 hr min	EN 14112	24	19
Acid value, mgKOH/g	0.50 max	ASTM D664	0.32	0.30
Iodine Value, gI ₂ /100g	120 max	EN 14111	51.6	31.3

ตารางที่ ง-1.2
แสดงผลการวิเคราะห์คุณภาพของน้ำมันไบโอดีเซล รับมาครั้งที่ 2
เมื่อ วันที่ 17 กันยายน พ. ศ. 2551

Description	Limit	Test Method	Biodiesel from refined Palm oil	Biodiesel from Palm stearin
Methyl Ester, %wt	96.5 min	EN 14103	97.0	97.5
Density, kg/m ³	860 - 900	ASTM D1298	876 (15 °C)	863 (30 °C)
Viscosity at 40 °C, cSt	3.5 – 5.0	ASTM D445	4.427	4.507
Flash Point, °C	120 min	ASTM D93	168	172
Water, %wt	0.05 max	EN ISO 12937	0.038	0.037
Oxidation stability at 110 °C, hr	10 hr min	EN 14112	>16	>16
Acid value, mgKOH/g	0.50 max	ASTM D664	0.30	0.31
Iodine Value, gI ₂ /100g	120 max	EN 14111	51.3	31.7

ประวัติการศึกษา

ชื่อ	นางสาวสุรรัตน์ งามเจริญ
วันเดือนปีเกิด	28 มีนาคม พ.ศ.2526
วุฒิการศึกษา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมเคมี) มหาวิทยาลัยมหิดล
ผลงานทางวิชาการ	นำเสนอผลงานวิชาการในการประชุมระดับนานาชาติของ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ร่วมกับ Tokyo Institute of Technology, Japan ครั้งที่ 2 ในหัวข้อเรื่อง “The Effect of Storage Degradation of Palm- Stearin Biodiesel on the Engine Performance and Exhaust Emission.” พ.ศ.2552