



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การผลิตส่วนผสมดีเซลต้นทุนต่ำจากน้ำมันปาล์มดิบหีบรวมด้วยการทำปฏิกิริยาเอสเตอร์ฟิเคชัน
และการเลือกทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอร์ฟิเคชันจากส่วนไขเพื่อใช้กับเครื่องยนต์การเกษตร
**Low-Cost Diesel Extender Production from Mixed Crude Palm Oil by Esterification
and Selective Transesterification of Wax use for Agricultural Engine**

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธีระยุทธ หลีวีจิตร

Asst. Prof. Dr. Teerayut Leevijit

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากเงินรายได้มหาวิทยาลัย

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ประจำปีงบประมาณ 2554 รหัสโครงการ ENG540666S

บทคัดย่อ

ปัจจุบันมีการตระหนักถึงปัญหาสิ่งแวดล้อมและการลดปริมาณลงอย่างรวดเร็วอันเนื่องมาจากการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลในรูปแบบของน้ำมันดีเซล น้ำมันพืชจึงเป็นแหล่งวัตถุดิบที่มีศักยภาพเหมาะสมสำหรับการผลิตเชื้อเพลิง ซึ่งวัตถุดิบที่มีศักยภาพสูงสุดในประเทศไทย คือ น้ำมันจากผลปาล์ม โดยมีกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงที่แตกต่างกันไป เช่น น้ำมันปาล์มลดขางเหนียว น้ำมันปาล์มลดขางเหนียวและลดกรด น้ำมันปาล์มเอสเทอร์ไฟน์ และเมทิลเอสเทอร์ เป็นต้น ในงานวิจัยนี้ได้พัฒนากระบวนการผลิตส่วนผสมดีเซลต้นทุนต่ำขึ้น 2 ชนิดจากน้ำมันปาล์มดิบหีบรวม คือ น้ำมันปาล์มดิบหีบรวมเอสเทอร์ไฟน์และน้ำมันปาล์มดิบหีบรวมเอสเทอร์ไฟน์ผสมเมทิลเอสเทอร์จากส่วนไข โดยศึกษาเปรียบเทียบกระบวนการผลิต ต้นทุน องค์ประกอบ คุณสมบัติต่างๆ ของส่วนผสมดีเซลและเลือกส่วนผสมดีเซลที่มีคุณสมบัติเหมาะสมทดสอบเครื่องยนต์การเกษตรระยะสั้นเทียบกับดีเซล

การศึกษาและพัฒนากระบวนการผลิตส่วนผสมดีเซลทั้ง 2 ชนิด โดยกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มดิบหีบรวมเอสเทอร์ไฟน์ ใช้ปริมาณเมทานอลในกระบวนการ 5 10 15 และ 20 vol.% และกรดซัลฟิวริก 2 vol.% เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันตลอดทั้งกระบวนการ 90 นาที จากนั้นแยกกลีเซอรอลและขางเหนียวออก ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้ คือ น้ำมันปาล์มดิบหีบรวมเอสเทอร์ไฟน์ (EMCPO) มีต้นทุนการผลิต 27.23 28.35 29.35 และ 30.55 บาท/ลิตร ตามลำดับ ส่วนน้ำมันปาล์มดิบหีบรวมเอสเทอร์ไฟน์ผสมเมทิลเอสเทอร์จากส่วนไข มีกระบวนการผลิตเหมือนการผลิตน้ำมันปาล์มดิบหีบรวมเอสเทอร์ไฟน์ โดยนำส่วนที่เป็นของเหลวตั้งทิ้งไว้ 2 วัน เพื่อแยกส่วนที่เป็นของเหลวและส่วนที่เป็นไข นำส่วนที่เป็นไขทำปฏิกิริยา ทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาและปริมาณเมทานอล 23 vol.% ผลิตภัณฑ์ที่ได้ คือ เมทิลเอสเทอร์ (ME) จากนั้นนำมาผสมกับน้ำมันปาล์มดิบหีบรวมเอสเทอร์ไฟน์ส่วนที่เป็นของเหลว ผลิตภัณฑ์ที่ได้เป็นน้ำมันปาล์มดิบหีบรวมเอสเทอร์ไฟน์ผสมเมทิลเอสเทอร์จากส่วนไข (EMCPO+ME) มีต้นทุนการผลิต 40.06 32.29 และ 33.47 บาท/ลิตร ตามลำดับ (ราคาต้นทุนที่ใช้ปริมาณเมทานอล 5 vol.% จากกระบวนการเอสเทอร์ฟิเคชัน ไม่สามารถคิดต้นทุนราคาได้ เนื่องจากเมื่อนำน้ำมันปาล์มดิบหีบรวมเอสเทอร์ไฟน์ส่วนที่เป็นไขมาทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ผลิตภัณฑ์ที่ได้เป็นสบู่)

การศึกษาคูณลักษณะของการเป็นไข ความหนืด และความหนาแน่น ของส่วนผสมดีเซล สรุปได้ว่า ส่วนผสมดีเซลต้นทุนต่ำที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มดิบหีบรวม มีสัดส่วนการผสมในดีเซลสูงสุด โดยที่ส่วนผสมไม่เป็นไข มีความหนืด และความหนาแน่นผ่านมาตรฐานดีเซล

เครื่องยนต์การเกษตร คือ น้ำมันปาล์มดิบหีบรวมเอสเตอรีไฟน์ผสมในดีเซล 30 vol.% (เอสเตอรีไฟน์ 30) และน้ำมันปาล์มดิบหีบรวมเอสเตอรีไฟน์ผสมเมทิลเอสเตอรืจากส่วนไขในดีเซล 50 vol.% (เอสเตอรีไฟน์ผสมเมทิลเอสเตอรืจากส่วนไข 50)

จากการเปรียบเทียบกระบวนการผลิตและต้นทุน พบว่า ส่วนผสมดีเซลทั้ง 2 ชนิดผลิตง่าย กระบวนการผลิตไม่ยุ่งยาก วัสดุคิบและสารเคมีสามารถหาซื้อได้ง่าย โดยตัวแปรหลักที่มีผลต่อต้นทุนในการผลิตส่วนผสมดีเซลคือปริมาณเมทานอล ซึ่งกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มดิบหีบรวมเอสเตอรีไฟน์ 30 มีกระบวนการผลิตและปริมาณเมทานอลที่ใช้ในกระบวนการน้อยกว่าน้ำมันปาล์มดิบหีบรวมเอสเตอรีไฟน์ผสมเมทิลเอสเตอรืจากส่วนไข 50 สำหรับต้นทุนการผลิตส่วนผสมดีเซลมีราคา 28.12 และ 30.41 บาท/ลิตร ตามลำดับ

การทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ดีเซลการเกษตรระยะสั้นเปรียบเทียบดีเซล ด้วยเครื่องยนต์การเกษตรยี่ห้อคูโบต้า รุ่น RT80 ผลการทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ พบว่า เครื่องยนต์ที่เดินด้วย เอสเตอรีไฟน์ 30 และเอสเตอรีไฟน์ผสมเมทิลเอสเตอรืจากส่วนไข 50 เครื่องยนต์สามารถสตาร์ทติดง่าย เดินเรียบและไม่มีการน็อคเกิดขึ้น มีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงมากกว่าเครื่องยนต์ที่เดินด้วยดีเซลเฉลี่ย 9.09 และ 7.70% มีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเบรคจำเพาะมากกว่าเครื่องยนต์ที่เดินด้วยดีเซลเฉลี่ย 6.16 และ 6.35% มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรคต่ำกว่าเครื่องยนต์ที่เดินด้วยดีเซลเฉลี่ย 1.94 และ 2.66% มีอุณหภูมิก๊าซไอเสียต่ำกว่าเครื่องยนต์ที่เดินด้วยดีเซลเฉลี่ย 9.36 และ 8.40% มีปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในไอเสียน้อยกว่าเครื่องยนต์ที่เดินด้วยดีเซลเฉลี่ย ประมาณ 17.77 และ 3.85% และมีปริมาณการปล่อยก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนในไอเสียมากกว่าเครื่องยนต์ที่เดินด้วยดีเซลเฉลี่ย ประมาณ 3.69 และ 0.30% ตามลำดับ

ABSTRACT

Nowadays, with the awareness on environmental issues and rapid decrease of fossil fuels due to the consumption in form of diesel, vegetable oil is seen as a potential source for fuel production. In Thailand, the highest potential source is palm oil. There are several methods to produce biofuel from palm oil such as degumming, degumming-deacidifying, esterify, methyl-ester, etc.

This research has developed a process for producing two types of low-cost Crude Palm Oil based diesel mixtures, is Esterified Mixed Crude Palm Oil (EMCPO) and EMCPO with Methyl Ester (EMCPO+ME). The research scope is to study production process, production cost, component, and characteristics of the diesel mixtures, then selects the appropriate sample to test with short-term agricultural engine against diesel.

To study both types of diesel mixtures, the EMCPO is produced by using 5, 10, 15, 20 vol.% of methanol and applying 2 vol.% of sulfuric acid as a catalyst to maintain the esterification reaction for 90 minutes, and then separated glycerol and sticky gum out. The cost of result EMCPOs are 27.23, 28.35, 29.35, and 30.55 baht/L, respectively. For EMCPO+ME, the production process is similar to EMCPO with the extension part. After complete the process of EMCPO, the fats separation process is perform by leaving the EMCPO for 2 days. The fats part is taken to apply with transesterification process. The process is catalyzed by sodium hydroxide and methanol 23 vol.% as mixture which result in Methyl Ester (ME). Afterward, mixing the ME with EMCPO will result in EMCPO+ME. The production cost is 40.06, 32.29, 33.47 baht/L for 10, 15, 20 vol.% of methanol, respectively (the sample of mixture of methanol 5 vol.% cannot be calculated since after put the fats through transesterification, the soap is produced instead of ME).

After study characterization of the marrow, viscosity, and density of diesel mixture, the result could be concluded that the low-cost diesel mixture from MCPO consists of high portion of diesel while the diesel mixture does no turn in to marrow. In addition, the

mixtures which could achieve viscosity and density engine standard level are EMCPO 30 vol.% (EMCPO 30) and EMCPO+ME 50 vol.% (EMCPO+ME 50)

From the study of both product, the result shows that both product could easily produce, no complicate process while raw materials and chemicals can be procured easily. The key parameters that affect the cost of producing is methanol. The production of EMCPO 30 consumes less methanol than EMCPO+ME 50 while the production cost is 28.12 and 30.41 baht/L, respectively.

Performance testing is performed by apply the diesel mixtures with engine of Kubota RT80. The test results showed that after applied with both samples the machine could easily start, smooth running and no knock occurs. The fuel consumption rate is higher than diesel by 9.09 and 7.70% Besides, the extravagant average of fuel break is more than the engine which impels by diesel 6.16 and 6.35%, the thermal efficiency of break is lower than the diesel engine 1.94 and 2.66%, the amount of the gas emission is lower than the diesel engine 9.36 and 8.40%, the amount of carbon monoxide is lower than the diesel engine 17.77 and 3.85% and the amount of oxide nitrogen is lower than the diesel engine 3.69 and 0.30%, respectively.

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ที่ให้เงินอุดหนุนทุนการวิจัยจากเงิน
รายได้มหาวิทยาลัยและเงินสนับสนุนการวิจัยจากภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่อำนวยความสะดวกด้านเครื่องมือ และสถานที่ในการทำวิจัย

ขอขอบคุณ คุณกฤตพจน์ เทพธร ซึ่งทำหน้าที่เป็นผู้ช่วยวิจัย และครูปฏิบัติการ
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลทุกท่านที่ได้ให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธีระยุทธ หลีวีจิตร

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(7)
รายการตาราง	(11)
รายการภาพประกอบ	(12)
สัญลักษณ์คำย่อและตัวย่อ	(14)
1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มา	1
1.2 วัตถุประสงค์	5
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	5
1.4 ขอบเขตของงานวิจัย	5
2 การตรวจเอกสาร	6
2.1 ความเป็นมาของน้ำมันไบโอดีเซล	6
2.2 การผลิตส่วนผสมดีเซล	13
2.3 ตัวแปรที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยา	19
2.4 องค์ประกอบเชื้อเพลิง	21
2.5 คุณสมบัติค่าซีเทน	22
2.6 คุณสมบัติการเป็นของเหลวที่อุณหภูมิต่ำ	23
2.7 การทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์	24
3 วิธีการวิจัย	31
3.1 อุปกรณ์การทดลอง	31
3.2 วัตถุประสงค์และสารเคมี	31
3.3 วิธีดำเนินการวิจัย	31
3.3.1 การศึกษาและพัฒนากระบวนการผลิตเชื้อเพลิงทดแทนดีเซลจาก MCPO	31
3.3.2 การศึกษาศักยภาพและขีดจำกัดการใช้งานของเชื้อเพลิงที่ผลิตได้	36
3.3.3 การทดสอบใช้งานขั้นต้นในเครื่องยนต์การเกษตร ของเชื้อเพลิงที่ผลิตได้ผสมในดีเซล	37
3.4 การบ่งบอกองค์ประกอบเชื้อเพลิงของส่วนผสมดีเซล	37

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.5 คุณสมบัติการเป็นของเหลวของส่วนผสมดีเซล	38
3.5.1 ความหนืดจลศาสตร์	38
3.5.2 ความหนาแน่น	38
3.5.3 คุณสมบัติการไม่เป็นไอของส่วนผสมดีเซล	38
3.6 การเลือกส่วนผสมดีเซลในการทดสอบเครื่องยนต์	39
3.7 การทดสอบคุณสมบัติเชื้อเพลิง สมรรถนะเครื่องยนต์ และการปลดปล่อยไอเสีย	39
3.7.1 การทดสอบคุณสมบัติเชื้อเพลิง	39
3.7.2 การทดสอบสมรรถนะและการปลดปล่อยไอเสีย	39
3.7.2.1 อุปกรณ์ทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์	39
3.7.2.2 วิธีการทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์	40
4 ผลและวิจารณ์	42
4.1 การผลิตส่วนผสมดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบหีบรวมและต้นทุน	42
4.2 องค์ประกอบโมเลกุลของส่วนผสมดีเซล	50
4.3 การไม่เป็นไอของส่วนผสมดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มดิบหีบรวมผสมในดีเซล	51
4.4 ความหนืดจลศาสตร์	54
4.5 ความหนาแน่น	55
4.6 การเลือกส่วนผสมดีเซลต้นทุนต่ำ	56
4.6.1 การทดสอบคุณสมบัติเชื้อเพลิง	57
4.6.2 คุณสมบัติเชื้อเพลิงของส่วนผสมดีเซล	58
4.7 การทดสอบสมรรถนะและการปลดปล่อยไอเสียของเครื่องยนต์การเกษตร	61
4.7.1 การเดินเครื่องยนต์ทั่วไป	61
4.7.2 อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง	61
4.7.3 แรงบิดและกำลังเบรค	63
4.7.4 อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเบรคจำเพาะ	65
4.7.5 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรค	67
4.7.6 สัดส่วนก๊าซออกซิเจนในไอเสีย	69
4.7.7 สัดส่วนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในไอเสีย	71
4.7.8 อุณหภูมิก๊าซไอเสีย	73

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.7.9 ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในไอเสีย	75
4.7.10 ปริมาณก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนในไอเสีย	77
5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	79
5.1 สรุปผล	79
5.1.1 การผลิตส่วนผสมดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่บรวมน้ำมันและต้นทุน	79
5.1.2 องค์ประกอบเชื้อเพลิง	79
5.1.3 การไม่เป็นใจของส่วนผสมดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มดิบที่บรวมน้ำมันดีเซล	80
5.1.4 ความหนักจลศาสตร์	80
5.1.5 ความหนาแน่น	80
5.1.6 การทดสอบสมรรถนะและการปลดปล่อยไอเสียของเครื่องยนต์ การเกษตรจากการเลือกส่วนผสมดีเซล	81
5.2 ข้อเสนอแนะ	81
บรรณานุกรม	83
ภาคผนวก	91
ภาคผนวก ก การคำนวณปริมาณกรดไขมันอิสระ	92
ภาคผนวก ข การคำนวณปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ผลิตส่วนผสมดีเซล	93
ภาคผนวก ค ต้นทุนสารเคมี	95
ภาคผนวก ง ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชื้อเพลิงของน้ำมันเอสเตอรีไฟน์	96
ภาคผนวก จ ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชื้อเพลิงของน้ำมันเอสเตอรีไฟน์ ผสมเมทิลเอสเตอรืจากส่วนไข	97
ภาคผนวก ฉ ผลการวิเคราะห์ค่าซีเทน	98
ภาคผนวก ช ผลการวิเคราะห์จุดวาบไฟและการกัดกร่อนแผ่นทองแดง	99
ภาคผนวก ฌ ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำ	100
ภาคผนวก ฎ ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำและตะกอน	101
ภาคผนวก ฏ ผลการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด	102
ภาคผนวก ฐ ผลการวิเคราะห์ค่าซีลเฟต	103
ภาคผนวก ซ ผลการทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์	104

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก ผ การคำนวณอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงต่อราคา	113
ภาคผนวก ฅ ผลงานตีพิมพ์และเผยแพร่วิทยานิพนธ์	114

รายการตาราง

ตาราง	หน้า
1.1 มาตรฐานดีเซลประเภทต่างๆ ของประเทศไทย	3
2.1 ราคาดีเซล และผลผลิตจากปาล์มน้ำมันเฉลี่ย ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2549 ถึง พ.ศ. 2555	13
2.2 สัดส่วนการผสมสูงสุดของเชื้อเพลิงผสม D ₂ MCPO D ₂₊₂ MCPO EMCPO และ ME ในดีเซล (vol.%) ที่อุณหภูมิต่างๆ โดยยังมีความหนืดผ่านมาตรฐานดีเซลของประเทศไทย	17
2.3 องค์ประกอบกรดไขมันของน้ำมันปาล์ม น้ำมันเมล็ดในปาล์ม น้ำมันปาล์ม โอเลอิน และไขปาล์มสเตียรีน (wt.%)	21
2.4 ระบบหน่วยความหนืด	24
4.1 ปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบที่รวบรวมที่ผ่านกระบวนการเอสเตอริฟิเคชัน ใช้กรดซัลฟิวริก 5 vol.%	42
4.2 ปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบที่รวบรวมที่ผ่านกระบวนการเอสเตอริฟิเคชัน ใช้กรดซัลฟิวริก 2 vol.%	43
4.3 กระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มดิบที่รวบรวมด้วยปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชัน	45
4.4 กระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มดิบที่รวบรวมด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน	45
4.5 ต้นทุนการผลิตส่วนผสมดีเซลจากกระบวนการเอสเตอริฟิเคชัน	48
4.6 ต้นทุนการผลิตส่วนผสมดีเซลจากกระบวนการทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน	49
4.7 องค์ประกอบโมเลกุลของน้ำมันปาล์มดิบที่รวบรวม และส่วนผสมดีเซลทั้ง 2 ชนิด ที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มดิบที่รวบรวม (wt.%)	50
4.8 ปริมาณ ไขสูงสุดของส่วนผสมดีเซลเมื่อวางไว้ในบรรยากาศ 1-14 วัน (vol.%)	52
4.9 รายการทดสอบคุณสมบัติของเชื้อเพลิงแต่ละชนิดและห้องปฏิบัติการที่ทดสอบ	58
4.10 คุณสมบัติของเชื้อเพลิงทดสอบเมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานดีเซลประเภทต่างๆ ของประเทศไทย	60

รายการภาพประกอบ

รูปที่	หน้า
2.1 ปริมาณการใช้น้ำมันดีเซลหมุนเร็ว	7
2.2 ปริมาณการใช้น้ำมันดีเซลหมุนเร็ว B5	7
2.3 ราคาดีเซล	9
2.4 ราคาผลผลิตจากปาล์มน้ำมัน	11
2.5 ผลต่างราคาขายปลีกดีเซลหน้าปั้มน้ำมันกับราคาขายน้ำมันปาล์มดิบที่บรวม	12
2.6 ปฏิกริยาเอสเตอริฟิเคชัน	18
2.7 ปฏิกริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน	18
2.8 ปฏิกริยาสะปอนนิฟิเคชัน	18
2.9 ปฏิกริยาไฮโดรไลซิส	19
3.1 ขั้นตอนการวิจัย	33
3.2 ชุดการผลิต	36
3.3 เครื่องยนต์ดีเซลการเกษตร	41
3.4 เครื่องวิเคราะห์ก๊าซไอเสีย	41
4.1 กราฟแสดงการลดลงของกรดไขมันอิสระที่อัตราส่วนผสมเมทานอล 5, 10, 15 และ 20 vol.% ใช้กรดซัลฟิวริกที่ 5 vol.%	43
4.2 กราฟแสดงการลดลงของกรดไขมันอิสระที่อัตราส่วนผสมเมทานอล 5, 10, 15 และ 20 vol.% ใช้กรดซัลฟิวริกที่ 2 vol.%	44
4.3 ปริมาณ ไขสูงสุดของน้ำมันปาล์มดิบที่บรวมเอสเตอริไฟน์ผสมในดีเซล (1-14 วัน)	53
4.4 ปริมาณ ไขสูงสุดของน้ำมันปาล์มดิบที่บรวมเอสเตอริไฟน์ผสมเมทิลเอสเตอร์ในดีเซล (1-14 วัน)	53
4.5 ปริมาณ ไขสูงสุดของส่วนผสมดีเซล ณ วันที่ 14	54
4.6 อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ (ความเร็วรอบ 2,200 rpm)	62
4.7 อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ (เดินเครื่องเต็มกำลัง)	62
4.8 แรงบิดของเครื่องยนต์ (เดินเครื่องเต็มกำลัง)	64
4.9 กำลังเบรคของเครื่องยนต์ (เดินเครื่องเต็มกำลัง)	64
4.10 อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเบรคจำเพาะของเครื่องยนต์ (ความเร็วรอบ 2,200 rpm)	66

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.11 อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเบรคจำเพาะของเครื่องยนต์ (เดินเครื่องเต็มกำลัง)	66
4.12 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรคของเครื่องยนต์ (ความเร็วรอบ 2,200 rpm)	68
4.13 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรคของเครื่องยนต์ (เดินเครื่องเต็มกำลัง)	68
4.14 สัดส่วนก๊าซออกซิเจนในไอเสีย (ความเร็วรอบ 2,200 rpm)	70
4.15 สัดส่วนก๊าซออกซิเจนในไอเสีย (เดินเครื่องเต็มกำลัง)	70
4.16 สัดส่วนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในไอเสียในไอเสีย (ความเร็วรอบ 2,200 rpm)	72
4.17 สัดส่วนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในไอเสียในไอเสีย (เดินเครื่องเต็มกำลัง)	72
4.18 อุณหภูมิก๊าซไอเสีย (ความเร็วรอบ 2,200 rpm)	74
4.19 อุณหภูมิก๊าซไอเสีย (เดินเครื่องเต็มกำลัง)	74
4.20 ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในไอเสียของเครื่องยนต์ (ความเร็วรอบ 2,200 rpm)	76
4.21 ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในไอเสียของเครื่องยนต์ (เดินเครื่องเต็มกำลัง)	76
4.22 ปริมาณก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนในไอเสียของเครื่องยนต์ (ความเร็วรอบ 2,200 rpm)	78
4.23 ปริมาณก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนในไอเสียของเครื่องยนต์ (เดินเครื่องเต็มกำลัง)	78

สัญลักษณ์คำย่อและตัวย่อ

MCPO =	น้ำมันปาล์มดิบหีบรวม
EMCPO=	น้ำมันปาล์มดิบหีบรวมเอสเทอร์ไฟน์
ME =	เมทิลเอสเทอร์
MG =	โมโนกลีเซอไรด์
DG =	ไดกลีเซอไรด์
TG =	ไตรกลีเซอไรด์
FFA =	กรดไขมันอิสระ
NaOH =	โซเดียมไฮดรอกไซด์
H ₂ SO ₄ =	กรดซัลฟิวริก
TLC/FID=	Thin Layer Chromatography / Flame Ionization Detector
GC/FID=	Gas Chromatography / Flame Ionize Detector
ME =	สัดส่วนของเมทิลเอสเทอร์ในเชื้อเพลิงผสม (wt.%)
DG =	สัดส่วนของไดกลีเซอไรด์ในเชื้อเพลิงผสม (wt.%)
TG =	สัดส่วนของไตรกลีเซอไรด์ในเชื้อเพลิงผสม (wt.%)
FFA =	สัดส่วนของกรดไขมันอิสระในเชื้อเพลิงผสม (wt.%)
ml =	ปริมาณ โซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ไต่เตรท (ml)
N =	ความเข้มข้นโซเดียมไฮดรอกไซด์ (molar)
g =	น้ำหนักน้ำมัน (g)
BHP =	กำลัง (HP)
BSFC =	อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเบรคจำเพาะ (kg/kW-hr)
N =	ความเร็วรอบ (rpm)
W =	แรงบิด (lbf.ft)
P =	กำลังเบรคของเครื่องยนต์ (kW)
ρ =	ความหนาแน่น (kg/m ³)
m =	มวล (kg)
\dot{m} =	อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง (kg/hr)
\dot{v} =	อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงโดยปริมาตร (m ³ /hr)
η_{bth} =	ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรค (%)
LHV =	ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (kJ/kg)

สัญลักษณ์คำย่อและตัวย่อ (ต่อ)

T	=	อุณหภูมิ (K)
ΔT	=	ผลต่างอุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$)
\dot{m}	=	มวล (kg/hr)
C_p	=	ค่าความจุความร้อนจำเพาะ (kJ/kg. $^{\circ}\text{C}$)
v	=	ความหนืดจลศาสตร์ (m^2/s)
μ	=	ความหนืดพลวัต (N.s/m^2)
cf	=	ต้นทุนเชื้อเพลิงทดแทนดีเซล 1 ลิตร (บาท/ลิตร)
cm_i	=	ต้นทุนวัตถุดิบแต่ละชนิด i ที่ใช้ผลิตเชื้อเพลิงทดแทนดีเซล 1 ลิตร (บาท/หน่วย)
n	=	จำนวนวัตถุดิบที่ใช้ผลิต
n_i	=	จำนวนวัตถุดิบแต่ละชนิด i ที่ใช้ผลิตเชื้อเพลิงทดแทนดีเซล 1 ลิตร (หน่วย)
y	=	ปริมาณการได้คีน (%vol. basis)
ρ_D	=	ความหนาแน่นของดีเซล (kg/m^3)
ρ_{MCPDF}	=	ความหนาแน่นของเชื้อเพลิงที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มดิบหีบรวม (kg/m^3)
v	=	สัดส่วนการผสม โดยปริมาตรของเชื้อเพลิงที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มดิบหีบรวมผสมในดีเซล (decimal)
$\eta_{B,40}$	=	ความหนืดจลศาสตร์เชื้อเพลิงผสมที่อุณหภูมิ 40°C (cSt)
$\eta_{D,40}$	=	ความหนืดจลศาสตร์ดีเซลที่อุณหภูมิ 40°C (cSt)
$\eta_{F,40}$	=	ความหนืดจลศาสตร์เชื้อเพลิงที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มดิบหีบรวมที่อุณหภูมิ 40°C (cSt)
v_F	=	สัดส่วนปริมาตรของเชื้อเพลิงในดีเซล (decimol)

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา

ปัจจุบันมีการตระหนักถึงปัญหาสิ่งแวดล้อมและการลดปริมาณลงอย่างรวดเร็ว อันเนื่องมาจากการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลในรูปแบบของน้ำมันดีเซล น้ำมันพืชจึงได้เป็นแหล่งวัตถุดิบที่มีศักยภาพเหมาะสมสำหรับการผลิตเชื้อเพลิงทดแทนชนิดต่างๆ (Murugesan et al., 2007; Shadrid and Jamal, 2007; Ramadhas et al., 2004; Srivastava and Prasad, 2000) วัตถุดิบที่มีศักยภาพสูงสุดของประเทศไทยในการผลิตเป็นเชื้อเพลิง คือ น้ำมันจากผลปาล์ม ดังนั้น งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาเชื้อเพลิงทดแทนดีเซลเกรดต่างๆ จากปาล์มน้ำมัน มีการวิจัยกันอย่างต่อเนื่องจนถึงปัจจุบัน ในประเภทต่างๆ ของน้ำมันที่ผลิตได้จากผลปาล์ม โดยผลปาล์มน้ำมันประกอบด้วยน้ำมัน 2 ชนิด คือ น้ำมันที่สกัดจากเปลือกนอกของผลปาล์ม เรียกว่า น้ำมันปาล์มดิบ (Crude Palm Oil : CPO) และ น้ำมันที่สกัดได้จากเนื้อของเมล็ดในปาล์ม เรียกว่า น้ำมันเมล็ดในปาล์ม (Crude Palm Kernel Oil : CPKO) สำหรับ โรงงานผลิตน้ำมันปาล์มขนาดใหญ่ สามารถแยกน้ำมันดิบและน้ำมันเมล็ดในออกจากกันด้วยกระบวนการหีบน้ำมันมาตรฐาน ทำการสกัดน้ำมันด้วยเครื่องสกัดแบบเกลียวอัดชนิดคู่ แต่สำหรับเกษตรกรและโรงงานขนาดเล็กในประเทศไทย ทำการผลิตโดยการสกัดน้ำมันปาล์มด้วยเครื่องสกัดแบบเกลียวอัด จะได้น้ำมันปาล์มและน้ำมันเมล็ดในปาล์มในกัน เรียกว่า น้ำมันปาล์มดิบหีบรวม (Mixed Crude Palm Oil: MCPO) ซึ่งสามารถผลิตได้ง่าย จากนั้นจะขายต่อให้กับโรงงานขนาดใหญ่ ซึ่งมีกระบวนการผลิตที่ซับซ้อนมากกว่า เพื่อทำการกลั่นสกัดต่อไป ด้วยเหตุนี้เอง MCPO จึงได้กลายมาเป็นแหล่งวัตถุดิบที่น่าสนใจมากอีกอย่างหนึ่ง สำหรับการผลิตเชื้อเพลิงทดแทนดีเซลในประเทศไทย โดยเฉพาะ สำหรับเกษตรกรในชุมชนเศรษฐกิจพอเพียง

น้ำมันปาล์มดิบหีบรวมเป็นของเหลวข้น ที่มียางเหนียวและกรดไขมันอิสระปริมาณสูงอยู่ เพื่อผลิตเป็นเชื้อเพลิงทดแทนดีเซลคุณภาพสูง น้ำมันปาล์มดิบหีบรวมสามารถถูกทำปฏิกิริยา 2 ขั้นตอน โดยปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชันและทรานส์เอสเตอริฟิเคชันกับเมทานอล จะได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ต้องการ คือ เมทิลเอสเตอร์ เรียกกันโดยทั่วไปว่า “ไบโอดีเซล” (Prateepchaikul et al., 2007) และมีของเหลือคือกลีเซอรอล เป็นที่ทราบกันค่อนข้างดีแล้วว่า คุณสมบัติเชื้อเพลิงของเมทิลเอสเตอร์จากน้ำมันพืชใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล นอกจากนี้ การศึกษาที่ทดสอบใช้งานระยะสั้นและระยะยาวของเมทิลเอสเตอร์ในเครื่องยนต์ดีเซล ก็พบผลที่ดีเทียบเคียงกับดีเซลในเทอมของสมรรถนะ การปลดปล่อยไอเสีย และการสึกหรอของเครื่องยนต์ (Leevijit et al., 2008; Murillo et al., 2007; Raheman and Ghadge, 2007; Zheng et al., 2008; Lapuerta et al., 2008; Lakopoulos et

al., 2008; Yankaew, 2005) อย่างไรก็ตามเนื่องจากต้นทุนการผลิตของเมทิลเอสเทอร์ยังคงค่อนข้างสูง โดยเฉพาะต้นทุนส่วนเพิ่มของเมทานอลที่ใช้ทำปฏิกิริยา และการสูญเสียเชื้อเพลิงไปในรูปของกลีเซอรอล (≈ 20 vol.% ของน้ำมันตั้งต้น) ซึ่งมีผลต่อปริมาณการได้คืนของกระบวนการผลิต ดังนั้นจนถึงขณะนี้ การมองหาและพัฒนาเชื้อเพลิงทดแทนดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบหีบรวมที่มีต้นทุนต่ำลง จึงมีความสำคัญเป็นอย่างมากต่อการพัฒนาอย่างยั่งยืนของประเทศไทย

ถึงแม้ราคาของเชื้อเพลิงทดแทนดีเซลในรูปของน้ำมันพืชจะมีราคาต่ำ แต่งานวิจัยหลายชิ้นในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมาซึ่งสรุปรวมอยู่ในบทความของ Murugesan et al., (2008); Shahid and Jamal, (2007) และ Srivastava and Prasad, (2000) รายงานว่า การใช้น้ำมันพืชโดยตรงในเครื่องยนต์ดีเซลให้ผลที่ไม่น่าพอใจ โดยเฉพาะสำหรับการใช้งานระยะยาว เมื่อพิจารณาเกี่ยวกับน้ำมันปาล์มดิบหีบรวม ข้อด้อยสำคัญ คือเกิดจากยางเหนียว กรดไขมันอิสระ ความหนืดที่สูง และการเป็นไข ซึ่งยางเหนียวทำให้เกิดการอุดตันในไส้กรองน้ำมันและหัวฉีด และยังเพิ่มความหนืดของน้ำมัน และมีแนวโน้มที่จะก่อให้เกิดการตกค้าง (deposit) หลังการเผาไหม้ (Kratzeisen and Muller, 2009) ส่วนการเป็นไขจะทำให้ระบบจ่ายเชื้อเพลิงอุดตัน ดังนั้น เพื่อให้สามารถใช้น้ำมันปาล์มดิบหีบรวมเป็นเชื้อเพลิงทดแทนดีเซลได้อย่างเหมาะสม จึงจำเป็นต้องมีการปรับปรุงข้อด้อยดังกล่าว

การลดยางเหนียวและกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบหีบรวม โดยทั่วไปสามารถทำได้ 2 วิธี คือ 1) หากนำน้ำมันปาล์มดิบหีบรวมไปทำปฏิกิริยากับสารละลายกรดฟอสฟอริกและโซเดียมไฮดรอกไซด์ตามลำดับ ยางเหนียวและกรดไขมันอิสระจะถูกกำจัด ได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่เรียกว่าน้ำมันปาล์มดิบหีบรวมชนิดลดยางเหนียวและลดกรด ซึ่งมีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นไตรกลีเซอไรด์ 2) หากนำน้ำมันปาล์มดิบหีบรวมไปทำปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชันกับเมทานอล กรดไขมันอิสระและบางส่วนของไตรกลีเซอไรด์จะถูกเปลี่ยนเป็นเมทิลเอสเทอร์ ขณะที่ยางเหนียวจะถูกกำจัด ได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่เรียกว่าน้ำมันปาล์มดิบหีบรวมชนิดเอสเตอริไฟน์ มีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นไตรกลีเซอไรด์และเมทิลเอสเทอร์

สำหรับต้นทุนการผลิต ปริณญา และคณะ, (2553) พบว่า เมทิลเอสเทอร์ และน้ำมันปาล์มดิบหีบรวมชนิดลดยางเหนียวและลดกรด จะมีต้นทุนการผลิตสูงกว่าน้ำมันปาล์มดิบหีบรวมชนิดเอสเตอริไฟน์ประมาณ 25% และ 100% ตามลำดับ สาเหตุที่เมทิลเอสเทอร์มีต้นทุนการผลิตสูงกว่า เนื่องจากต้นทุนของเมทานอลและการสูญเสียในรูปของกลีเซอรอลคงได้กล่าวแล้ว (หมายเหตุ ต้นทุนการผลิตเมทิลเอสเทอร์สามารถลดลงได้อีก หากมีการนำเมทานอลส่วนเกินกลับมาเป็นสารตั้งต้นในการทำปฏิกิริยา แต่ไม่สามารถลดการสูญเสียในรูปของกลีเซอรอลได้)

ส่วนสาเหตุหลักที่ต้นทุนการผลิตของน้ำมันปาล์มดิบที่รวบรวมชนิดคล้ายเหนียวและลดกรดสูงกว่า มาจากการสูญเสียกรดไขมันอิสระ ดังนั้นในทางเศรษฐศาสตร์ น้ำมันปาล์มดิบที่รวบรวมชนิดเอสเตอรีไฟน์จึงเป็นอีกทางเลือกที่น่าสนใจมาก สำหรับการผลิตเชื้อเพลิงทดแทนดีเซลต้นทุนต่ำจากน้ำมันปาล์มดิบที่รวบรวม

๙.

สำหรับประเทศไทย กรมธุรกิจพลังงานได้กำหนดคุณสมบัติความหนืดจลศาสตร์ และความหนาแน่น ตามมาตรฐานดีเซลประเภทต่างๆ ได้แก่ ดีเซลหมุนเร็ว ดีเซลหมุนช้า ไบโอดีเซลประเภทเมทิล เอสเตอร์ของกรดไขมัน และไบโอดีเซลสำหรับเครื่องยนต์การเกษตร หรือ ดีเซลเครื่องยนต์การเกษตร ดังตารางที่ 1.1 ซึ่งมาตรฐานดีเซลทั้งหมด เป็นมาตรฐานสำหรับการใช้งาน ยกเว้น ไบโอดีเซลประเภทเมทิล เอสเตอร์ของกรดไขมัน เป็นมาตรฐานที่ใช้ควบคุมคุณภาพ การผลิตไบโอดีเซล ก่อนการผสมในดีเซล

ตารางที่ 1.1 มาตรฐานดีเซลประเภทต่างๆ ของประเทศไทย (ประกาศกรมธุรกิจพลังงาน 2549, 2550, 2554)

ประเภทดีเซล	ความหนืดจลศาสตร์ที่ 40°C (cSt)		ความหนาแน่นที่ 15.6°C (kg/m ³)	
	ต่ำสุด	สูงสุด	ต่ำสุด	สูงสุด
ดีเซลหมุนเร็ว	1.8	4.1	810	870
ดีเซลหมุนช้า	-	8.0	-	920
ไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเตอร์ของกรดไขมัน	3.5	5.0	860	900
ดีเซลเครื่องยนต์การเกษตร	1.9	8.0	860	900

เมื่อเทียบค่าความหนืดของน้ำมันปาล์มดิบที่รวบรวมชนิดเอสเตอรีไฟน์กับมาตรฐานดีเซลหมุนเร็วและดีเซลสำหรับเครื่องยนต์การเกษตรตามประกาศของกรมธุรกิจพลังงาน 2550 ปริญา และคณะ, (2553) พบว่าน้ำมันปาล์มดิบที่รวบรวมชนิดเอสเตอรีไฟน์มีความหนืดสูงกว่าดีเซลมาก อย่างไรก็ตาม เมื่อผสมน้ำมันปาล์มดิบที่รวบรวมชนิดเอสเตอรีไฟน์ในดีเซลที่สัดส่วน 10 และ 45 vol.% จะได้เชื้อเพลิงที่มีความหนืดผ่านมาตรฐานทั้งสองตามลำดับ เมทิลเอสเตอร์มีความหนืดน้อยกว่าน้ำมันปาล์มดิบที่รวบรวมชนิดเอสเตอรีไฟน์ ≈ 5 เท่า ซึ่งผ่านมาตรฐานดีเซลสำหรับเครื่องยนต์การเกษตร แต่ยังสูงกว่าค่าที่ยอมรับได้สำหรับดีเซลหมุนเร็ว อย่างไรก็ตามการผสมเมทิลเอสเตอร์ในดีเซลหมุนเร็วที่สัดส่วนการผสม ≤ 65 vol.% เชื้อเพลิงจะมีความหนืดผ่านมาตรฐานดีเซลหมุนเร็ว

สำหรับการศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับเสถียรภาพการเป็นของเหลว (การเป็นไข) ของเชื้อเพลิงผสมของน้ำมันปาล์มดิบที่รวบรวมชนิดเอสเตอรีไฟน์-ดีเซล และ เมทิลเอสเตอร์-ดีเซล (0-100 vol.%) พบว่าน้ำมันปาล์มดิบที่รวบรวมชนิดเอสเตอรีไฟน์ตอนผลิตเสร็จใหม่ๆ จะมีลักษณะเป็นของเหลวทั้งหมด แต่เมื่อวางไว้ ≈ 1 สัปดาห์ เชื้อเพลิงผสมที่มีน้ำมันปาล์มดิบที่รวบรวมชนิดเอสเตอรี

ไฟน์ >30 vol.% จะมีไขเกิดขึ้น แต่เชื้อเพลิงผสมเมทิลเอสเทอร์-ดีเซลไม่เป็นไขที่ทุกสัดส่วนการผสม

โดยสรุป จากข้อด้อยหลัก 4 ประการของการใช้น้ำมันปาล์มดิบหีบรวมเป็นเชื้อเพลิงทดแทนดีเซลในเครื่องยนต์คือ ไขเหนียว กรดไขมันอิสระ ความหนืด และการเป็นไข การผลิตเป็นเมทิลเอสเทอร์ด้วยปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชันและทรานส์เอสเทอริฟิเคชันสามารถปรับปรุงข้อด้อยข้างต้นได้เกือบสมบูรณ์ เมทิลเอสเทอร์สามารถใช้งานได้โดยตรงในเครื่องยนต์การเกษตรและคววมผสมในดีเซล ≤ 65 vol.% สำหรับการใช้งานในเครื่องยนต์ยานพาหนะ อย่างไรก็ตามเมทิลเอสเทอร์มีต้นทุนการผลิตค่อนข้างสูง โดยเฉพาะต้นทุนส่วนเพิ่มของเมทานอลและการสูญเสียของกลีเซอรอล การนำน้ำมันปาล์มดิบหีบรวมไปทำปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชันเพียงขั้นตอนเดียวเพื่อผลิตเป็นน้ำมันปาล์มดิบหีบรวมชนิดเอสเทอร์ไฟน์มีต้นทุนการผลิตต่ำกว่าการผลิตเมทิลเอสเทอร์เนื่องจากสามารถลดปริมาณการใช้เมทานอลและลดการสูญเสียกลีเซอรอลได้ แม้ข้อด้อยเรื่องไขเหนียวและกรดไขมันอิสระจะถูกปรับปรุงหมด แต่ข้อด้อยเรื่องความหนืดและการเกิดไขจะถูกปรับปรุงไปแค่บางส่วน ดังนั้นน้ำมันปาล์มดิบหีบรวมชนิดเอสเทอร์ไฟน์จึงมีศักยภาพการใช้งานในเครื่องยนต์ต่ำกว่าเมทิลเอสเทอร์ โดยเฉพาะจากขีดจำกัดของการเกิดไข สำหรับการใช้ในเครื่องยนต์การเกษตร คววมผสมน้ำมันปาล์มดิบหีบรวมชนิดเอสเทอร์ไฟน์ในดีเซล ≤ 30 vol.%

ในงานวิจัยนี้ จึงเกิดแนวคิดที่จะผลิตส่วนผสมดีเซลต้นทุนต่ำจากน้ำมันปาล์มดิบหีบรวมขึ้น 2 ชนิด คือ น้ำมันปาล์มดิบหีบรวมเอสเทอร์ไฟน์และน้ำมันปาล์มดิบหีบรวมเอสเทอร์ไฟน์ผสมเมทิลเอสเทอร์จากส่วนไข โดยน้ำมันปาล์มดิบหีบรวมเอสเทอร์ไฟน์จะลดการใช้ปริมาณเมทานอลในการผลิต ซึ่งจะได้ส่วนผสมดีเซลที่มีราคาต่ำกว่าน้ำมันปาล์มดิบหีบรวมเอสเทอร์ไฟน์ในงานวิจัยของ (ปริญญา, 2012) ส่วนการผลิตน้ำมันปาล์มดิบหีบรวมเอสเทอร์ไฟน์ผสมเมทิลเอสเทอร์ให้สามารถผสมกับดีเซลได้ในสัดส่วนที่สูงขึ้นเพื่อนำไปใช้งานในเครื่องยนต์การเกษตร (>30 vol.%) ซึ่งวิธีการผลิตโดยย่อที่จะพัฒนาเป็นดังนี้ เริ่มต้นนำน้ำมันปาล์มดิบหีบรวมไปทำปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชันกับเมทานอล เพื่อกำจัดไขเหนียว กรดไขมันอิสระ และสิ่งสกปรกเจือปนอื่นๆ หลังผ่านการล้างและอุ่นไอน้ำ ผลิตภัณฑ์จากขั้นตอนแรกจะถูกแยกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นของเหลวและส่วนที่เป็นไข เก็บส่วนที่เป็นเชื้อเพลิงเหลวไว้ ซึ่งเรียกน้ำมันในส่วนนี้ว่า น้ำมันปาล์มดิบหีบรวมเอสเทอร์ไฟน์ นำเฉพาะส่วนที่เป็นไขไปทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันให้เป็นเมทิลเอสเทอร์ (เพื่อแก้ปัญหาการเกิดไขของเชื้อเพลิง) หลังจากล้างทำความสะอาดและอุ่นไอน้ำ นำเอาเชื้อเพลิงเหลวส่วนแรกและเมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตจากไขมารวมกันจะได้เป็นผลิตภัณฑ์รวมสุดท้ายคือ น้ำมันปาล์มดิบหีบรวมเอสเทอร์ไฟน์ผสมเมทิลเอสเทอร์จากส่วนไข จากนั้นต้องหาสัดส่วนการผสมกับดีเซลที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานในเครื่องยนต์การเกษตร โดยวิเคราะห์จากคุณสมบัติ

เชื้อเพลิง และต้องนำเชื้อเพลิงผสมที่เหมาะสมดังกล่าวไปทดสอบใช้งานในเครื่องยนต์ เพื่อดูผลกระทบต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์ต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อพัฒนากระบวนการผลิตส่วนผสมเซลลูล์ซันจากน้ำมันปาล์มดิบหีบรวม 2 ชนิด คือน้ำมันปาล์มดิบหีบรวมเอสเทอร์ไฟน์ โดยใช้ปริมาณเมทานอล 20 15 10 และ 5 vol.% และน้ำมันปาล์มดิบหีบรวมเอสเทอร์ไฟน์ผสมเมทิลเอสเทอร์จากส่วนใบ

1.2.2 เพื่อวิเคราะห์คุณสมบัติของเชื้อเพลิงผสมที่ผลิตได้

1.2.3 เพื่อทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์การเกษตรระยะสั้นเมื่อเดินด้วยเชื้อเพลิงผสมที่ผลิตได้เทียบกับการเดินด้วยดีเซล

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 องค์ความรู้การผลิตส่วนผสมเซลลูล์ซันจาก MCPO และผลทดสอบใช้ในเครื่องยนต์เพื่อถ่ายทอดสู่การใช้งานต่อไป

1.4.2 ผลงานวิจัยเผยแพร่ในการประชุมวิชาการระดับชาติ

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 น้ำมันปาล์มดิบหีบรวมที่ศึกษามีกรดไขมันอิสระในช่วงปรกติที่ผลิตได้จากโรงหีบทั่วไป คือ 8-14 wt.%

1.3.2 ศึกษาโดยใช้อุปกรณ์ขนาดห้องปฏิบัติการ ควบคุมให้ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยาเอกพันธ์ โดยใช้อุปกรณ์การผสมอย่างง่าย คือ ใบพัดกวนขับด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า

1.3.3 วิเคราะห์คุณสมบัติเชื้อเพลิงตามรายการคุณภาพของไบโอดีเซลสำหรับเครื่องยนต์การเกษตร (ไบโอดีเซลชุมชน) พ.ศ. 2549 ตามประกาศของกรมธุรกิจพลังงาน พ.ศ. 2549

1.3.4 เครื่องยนต์การเกษตรที่ใช้ทดสอบเป็นยี่ห้อ KUBOTA รุ่น RT80 ทำการทดสอบระยะสั้นบนแท่นไดนาโมมิเตอร์ เพื่อสังเกตปัญหาการใช้งานทั่วไป (การสตาร์ท การเดินเครื่องและการอุดตันระบบจ่ายเชื้อเพลิง) และสมรรถนะเครื่องยนต์ (อัตราการใช้เชื้อเพลิงจำเพาะเบรคและประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรค)

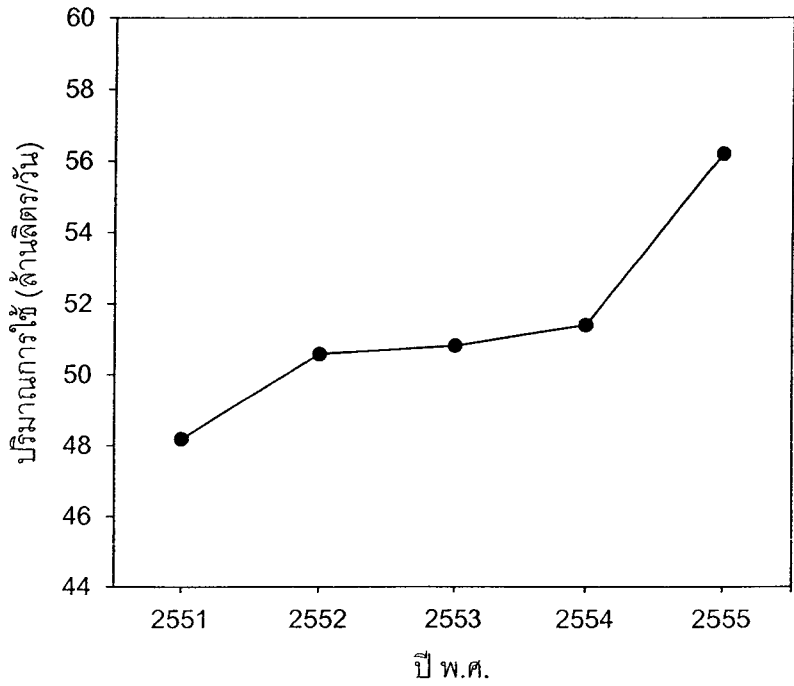
บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

2.1 ความเป็นมาของน้ำมันไบโอดีเซล

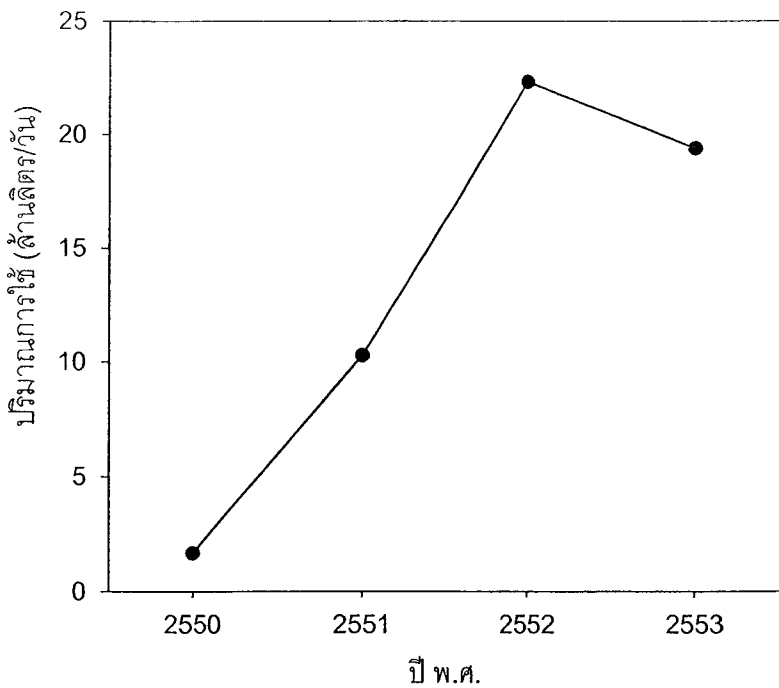
น้ำมันดีเซลชีวภาพถูกนำมาทดสอบในเครื่องยนต์เป็นผลสำเร็จครั้งแรกของโลก โดย Rudolf C. Diesel ซึ่งเป็นวิศวกรชาวเยอรมันและเป็นผู้ประดิษฐ์เครื่องยนต์ดีเซลเป็นผลสำเร็จในปี 1893 และจดสิทธิบัตรในปีถัดมา โดยการทดลองได้นำเครื่องยนต์ลูกสูบเดี่ยวที่ทำมาจากเหล็ก ยาว 3 เมตร มีล้อเฟืองติดอยู่ที่ฐาน มาทดลองใช้กับน้ำมันดีเซลชีวภาพเป็นผลสำเร็จและเป็นครั้งแรกของโลกในประเทศเยอรมันเมื่อปี ค.ศ 1893 โดยน้ำมันดีเซลชีวภาพที่ทำมาจากน้ำมันถั่วเหลือง มาทดลองใช้กับเครื่องยนต์อีกครั้งในงาน เวลด์เพร์ ที่กรุงปารีส ประเทศฝรั่งเศสในปี ค.ศ 1898 ทั้งนี้ Rudolf C. Diesel เชื่อว่าน้ำมันดีเซลชีวภาพจะเป็นน้ำมันที่เหมาะสมกับเครื่องยนต์มากที่สุดในอนาคต (อาภาณี, 2007)

เมื่อวิกฤตน้ำมัน โลกมีมากขึ้นและน้ำมันดิบมีราคาสูงขึ้นมาก เนื่องจากมีการคาดการณ์ว่าน้ำมันกำลังจะหมดลงในอนาคตอันใกล้นี้ และเป็นปัญหาทางการเมืองของประเทศผู้ค้าที่สำคัญคือปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมที่มีเพิ่มมากขึ้นส่งผลกระทบต่อให้เกิดภาวะโลกร้อน ปัญหาต่างๆ เหล่านี้ทำให้มีการมองหาพลังงานทางเลือกใหม่ ซึ่งน้ำมันไบโอดีเซลเป็นน้ำมันทางเลือกหนึ่งที่ผลิตจากพืชหรือไขมันสัตว์ โดยน้ำมันชนิดนี้เมื่อนำมาใช้กับเครื่องยนต์แล้วพบว่ามีความสมบัติในการเผาไหม้ดี และมีการเผาไหม้ที่สะอาดกว่า ซึ่งรัฐบาลก็มียุทธศาสตร์ส่งเสริมอย่างจริงจังและเพื่อทดแทนการนำเข้า โดยได้กำหนดให้ใช้ผสมในน้ำมันดีเซลจำนวน 2% ตั้งแต่วันที่ 1 กุมภาพันธ์ 2551 เป็นต้นไป จากรายงานน้ำมันเชื้อเพลิงในปี 2554 มีการใช้น้ำมันดีเซลหมุนเร็ว (รวมน้ำมันปาล์มดีเซลและน้ำมันดีเซลหมุนเร็วบี 2 บี 3 และบี 5) รวมทั้งสิ้น 19,206 ล้านลิตรหรือเฉลี่ย 330,959 บาร์เรลต่อวัน เพิ่มขึ้นจากปีก่อนอัตราร้อยละ 3.8 สำหรับสัดส่วนการใช้น้ำมันดีเซลหมุนเร็ว (รวมน้ำมันปาล์มดีเซลและน้ำมันดีเซลหมุนเร็วบี 2 และบี 5) มีดังนี้คือ เป็นการใช้ในสาขาการขนส่งมากที่สุดคิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 71.1 รองลงมาใช้ในสาขาการเกษตร สาขาอุตสาหกรรมการผลิต และสาขาอื่น ๆ เป็นสัดส่วนร้อยละ 21.8 6.2 และ 0.9 ตามลำดับ เป็นการใช้ในเขตกรุงเทพมหานคร สัดส่วนร้อยละ 30.2 และส่วนภูมิภาคสัดส่วนร้อยละ 69.8 ดังแสดงในรูปที่ 2.1 และ 2.2 (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2554)



รูปที่ 2.1 ปริมาณการใช้น้ำมันดีเซลหมุนเร็ว

ที่มา : สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน (2555)

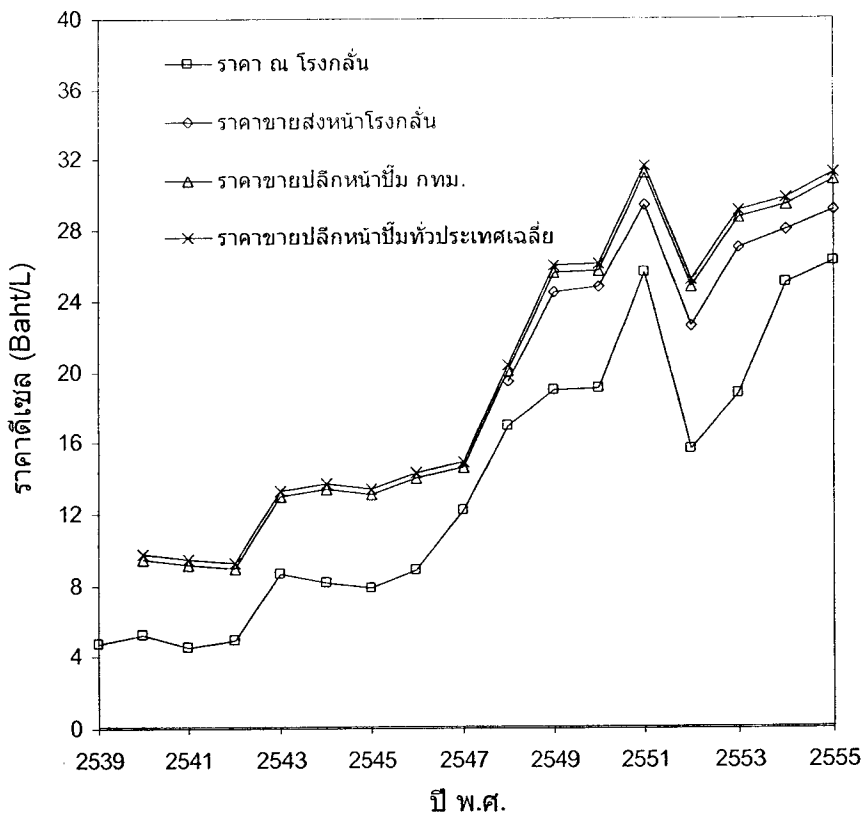


รูปที่ 2.2 ปริมาณการใช้น้ำมันดีเซลหมุนเร็ว B5

ที่มา : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน (2554)

ปัญหาน้ำมันปิโตรเลียมที่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศและภาวะราคาน้ำมันสูงขึ้น ทำให้ประชาชนมีภาระค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน โดยเฉพาะค่าน้ำมันเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นทุกปี รัฐบาลจึงหาทางออกโดยการส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทนเช่น น้ำมันปาล์ม ซึ่งเป็นน้ำมันจากพืชที่รัฐบาลได้กำหนดยุทธศาสตร์พลังงานทดแทนเป็นวาระแห่งชาติ โดยกระทรวงพลังงานมีเป้าหมายให้ใช้ไบโอดีเซล 3% ของการใช้น้ำมันดีเซลทั้งหมดในปี 2554 หรือการใช้วันละ 2.4 ล้านลิตร นอกจากนี้ กระทรวงพลังงานโดยกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน ได้ดำเนินโครงการส่งเสริมการผลิตการใช้ไบโอดีเซลในระดับชุมชน เพื่อให้ชุมชนสามารถผลิตไบโอดีเซลจากวัตถุดิบในท้องถิ่นได้แก่ น้ำมันพืชใช้แล้ว พืชน้ำมันเช่น น้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าว น้ำมันสบู่ดำ น้ำมันถั่วเหลือง และอื่นๆ ที่มีอยู่ในชุมชน เพื่อนำมาใช้สำหรับกิจการภายในชุมชนเอง หรือหากมีเหลือสามารถขายเพื่อนำรายได้เข้าสู่ชุมชนต่อไป ตั้งแต่ต้นปี 2554 ได้มีการปรับสัดส่วนไบโอดีเซลในน้ำมันดีเซลหมุนเร็วหลายครั้ง โดยในช่วงต้นปี เกิดปัญหาน้ำมันปาล์มดิบขาดแคลน ส่งผลให้ตั้งแต่วันที่ 1 กุมภาพันธ์ 2554 มีการปรับลดสัดส่วนไบโอดีเซล บี 100 ในน้ำมันดีเซลหมุนเร็ว จากเดิมที่มีการผสมร้อยละ 3 และร้อยละ 5 ให้เหลือเพียงร้อยละ 2 หลังจากปัญหาเริ่มคลี่คลายเนื่องจากมีผลผลิตปาล์มน้ำมันออกสู่ตลาดมากขึ้น ทำให้ตั้งแต่วันที่ 1 พฤษภาคม 2554 กำหนดให้ผู้ผลิตสามารถปรับสัดส่วนไบโอดีเซลได้ตั้งแต้อ้อยละ 3-5 และหลังจากนั้นปริมาณผลผลิตปาล์มน้ำมันได้ออกสู่ตลาดมากขึ้นอย่างต่อเนื่องทำให้ตั้งแต่วันที่ 1 กรกฎาคม 2554 มีการปรับเพิ่มสัดส่วนไบโอดีเซลตั้งแต้อ้อยละ 4-5 จนถึงสิ้นเดือนตุลาคม 2554 ทั้งนี้ รัฐบาลได้มีนโยบายกำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำมันดีเซลหมุนเร็วในระยะต่อไปตามช่วงฤดูกาล โดยกำหนดให้สัดส่วนไบโอดีเซลในช่วงเดือนมีนาคม - ตุลาคม ซึ่งมีผลผลิตปาล์มน้ำมันมากให้มีสัดส่วนไบโอดีเซลร้อยละ 4-5 และในช่วงเดือนพฤศจิกายน - กุมภาพันธ์ซึ่งมีผลผลิตปาล์มน้ำมันน้อยให้มีสัดส่วนไบโอดีเซลร้อยละ 3-5 (สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2556)

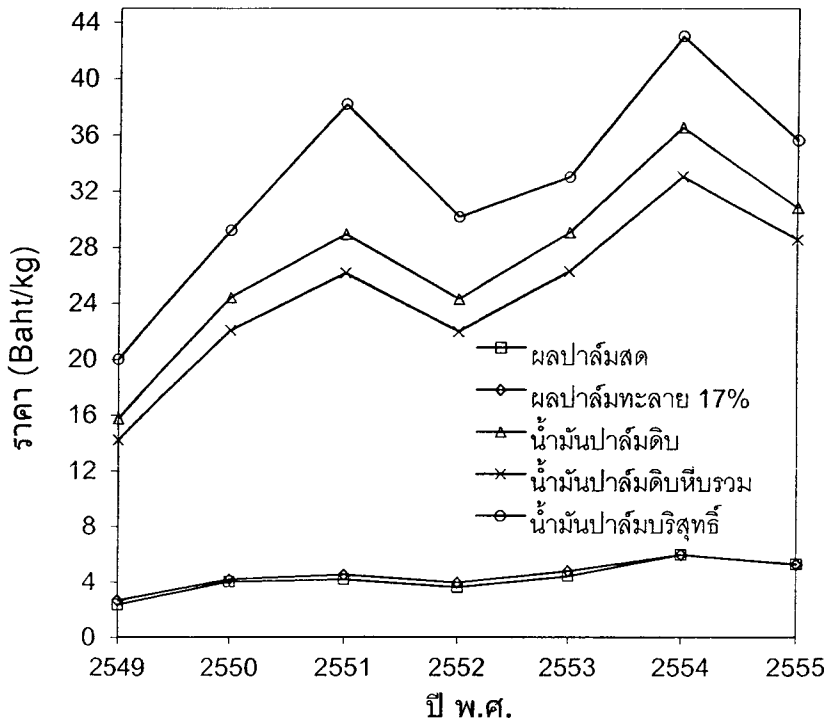
สำหรับในส่วนของประเทศไทยนั้น ทางสำนักงานนโยบายพลังงานได้กำหนดโครงสร้างราคาน้ำมันภายในประเทศ ดังรูปที่ 2.3 (การปีโตรเลียมแห่งประเทศไทย; สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2555) ว่างนี้ 1. ราคานำเข้าน้ำมันสำเร็จรูป ประกอบด้วย ราคาน้ำมันในตลาดกรที่สิงคโปร์ (FOB) ค่าประกันภัยการขนส่งน้ำมันทางเรือ ค่าระวางหรือค่าขนส่ง ค่าจัดเก็บน้ำมัน ค่าความสูญหาย และภาษีศุลกากรนำเข้าน้ำมัน 2. ราคาขายส่งหน้าโรงกลั่น ประกอบด้วย ราคานำเข้าน้ำมันสำเร็จรูป ภาษีสรรพสามิต ภาษีเทศบาล และภาษีมูลค่าเพิ่มของราคาขายส่งหน้าโรงกลั่น นอกจากนี้รัฐยังเก็บเงินเข้ากองทุนน้ำมันเชื้อเพลิง และกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน 3. ราคาขายปลีก ณ สถานีบริการ ประกอบด้วย ราคาขายส่งหน้าโรงกลั่น ภาษีมูลค่าเพิ่มของราคาขายปลีกน้ำมัน ณ สถานีบริการ และค่าการตลาด นอกจากนี้ค่าการตลาดยังแบ่งย่อยได้อีก ประกอบไปด้วย ค่าใช้จ่ายในการดำเนินธุรกิจ ค่าขนส่งน้ำมัน ค่าใช้จ่ายสำหรับสารปรับปรุงคุณภาพน้ำมัน ค่าใช้จ่ายส่งเสริมการขาย และค่าตอบแทนจากการลงทุน



รูปที่ 2.3 ราคาดีเซล

จากข้อมูลดังกล่าวข้างต้นสามารถสรุปได้ว่าโครงสร้างราคาน้ำมันภายในประเทศไทย ประกอบด้วย 1. ต้นทุนซื้อน้ำมันจากโรงกลั่นหรือนำเข้าจากต่างประเทศ ($\approx 50-60\%$ ของราคาขายปลีกน้ำมัน ณ สถานีบริการ) 2. เงินภาษีและกองทุนที่รัฐเรียกเก็บจากผู้ค้า ($\approx 30-35\%$ ของราคาขายปลีกน้ำมัน ณ สถานีบริการ) และ 3. ค่าการตลาด ($\approx 10\%$ ของราคาขายปลีกน้ำมัน ณ สถานีบริการ) อย่างไรก็ตาม จากโครงสร้างราคาน้ำมันที่กล่าวมา หากราคาน้ำมันในส่วนต่างๆ ทอยปรับตัวสูงขึ้นพร้อมกัน จะส่งผลให้ราคาน้ำมันเพิ่มสูงขึ้นทวีคูณ แต่ทั้งนี้การปรับราคาน้ำมันยังขึ้นอยู่กับอัตราแลกเปลี่ยนเงินบาท และนโยบายทางภาครัฐ จากเหตุผลดังกล่าวนี้ ผู้วิจัยจึงเห็นว่าการมีการพัฒนาเชื้อเพลิงทางเลือกที่สามารถผลิตได้ในประเทศ เพื่อลดการขาดดุลทางการค้าจากการนำเข้าน้ำมันจากต่างประเทศ และยังช่วยเสริมสร้างความมั่นคงด้านพลังงาน เศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม

ปาล์มน้ำมันเป็นพืชทางเลือกชนิดหนึ่งที่น่าสนใจ นิยมปลูกมากทางภาคใต้ของประเทศไทย ให้น้ำมันเฉลี่ย 2.46 ตัน/ไร่/ปี (Chavananand, 2011) มากที่สุดในจำพวกพืชน้ำมันทุกชนิด และมีความต้องการทั่วโลกประมาณ 33% ของพืชน้ำมันทั้งหมด (Sumathi et al., 2008) สำหรับในประเทศไทยนั้น มีความต้องการบริโภคน้ำมันปาล์มเป็นอาหารและเชื้อเพลิงประมาณ 2% ของการบริโภคทั่วโลก (Sumathi et al., 2008) ในปี พ.ศ. 2549 ถึง พ.ศ. 2555 ผลปาล์มและน้ำมันปาล์มภายในประเทศ มีราคาขายเฉลี่ย ดังรูปที่ 2.4 (สำนักงานส่งเสริมการค้าสินค้าเกษตร, 2555)

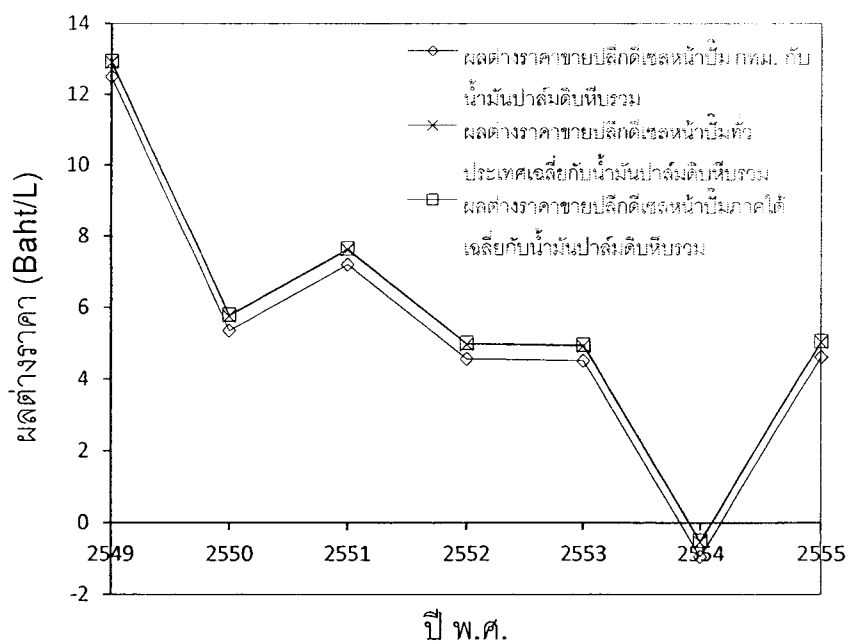


รูปที่ 2.4 ราคาผลผลิตจากปาล์มน้ำมัน

จากรูปที่ 2.3 และ 2.4 จะเห็นได้ว่า ราคาผลปาล์ม และน้ำมันปาล์ม จะปรับตัวตามราคาดีเซลเป็นหลัก โดยในปี พ.ศ. 2549 ถึง พ.ศ. 2551 ราคาผลปาล์ม น้ำมันปาล์ม และดีเซล จะปรับตัวเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง จนกระทั่งดีเซลมีราคาสูงสุดที่ 42.64 บาท/ลิตร ในเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2551 (สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2551) แต่ในปี พ.ศ. 2552 ราคาน้ำมันทั้งหมดกลับลดลง ปัจจัยหลักเกิดจากวิกฤตการณ์การเงินโลก (วิกฤตการณ์แฮมเบอร์เกอร์) จึงส่งผลให้ความต้องการน้ำมันทั่วโลกลดลง ซึ่งในปี พ.ศ. 2553 เกิดวิกฤตการณ์ขาดแคลนน้ำมันปาล์ม เนื่องจากสถานการณ์ภัยแล้งในช่วงต้นปี ทำให้ผลผลิตปาล์มตกต่ำ ประกอบกับปลายปีเกิดสถานการณ์น้ำท่วมในภาคใต้หลายจังหวัด ทำให้เกษตรกรไม่สามารถเก็บผลผลิตได้ จึงส่งผลให้ผลปาล์มสดที่เก็บได้ในปี พ.ศ. 2553 ต่ำกว่าการคาดการณ์ของสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (สศก.) 19% ทำให้ส่งผลต่อเนื่องมาถึงช่วงต้นปี พ.ศ. 2554 เกิดภาวะขาดแคลนน้ำมันปาล์มคงคลัง ราคาน้ำมันปาล์มจึงเพิ่มสูงที่สุดเป็นประวัติการณ์ (สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2554)

เมื่อพิจารณาราคาดีเซล และผลผลิตจากปาล์มน้ำมันเฉลี่ย ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2549 ถึง พ.ศ. 2555 โดยบวกราคาขนส่งน้ำมันเพิ่มเติม (ราคาขนส่งน้ำมันแปรผันตามระยะทางและความสูงของพื้นที่) ดังตารางที่ 2.2 จะเห็นได้ว่า ผลต่างของราคาขายปลีกดีเซลหน้าปั๊ม (ทั่วประเทศและภาคใต้) กับราคาน้ำมันปาล์มดิบหีบรวมเฉลี่ยอยู่ที่ 5.81-5.84 บาท/ลิตร คิดเป็น 20.42-20.50% ของราคาขายปลีกดีเซลหน้าปั๊ม ผลต่างราคาดังกล่าวเมื่อคำนวณและเปรียบเทียบกับปริมาณการใช้ น้ำมันดีเซลและน้ำมันดีเซล B5 ในแต่ละปี (รูปที่ 2.1-2.2) จะพบส่วนต่างทางการตลาดที่เป็น โอกาสทางธุรกิจสำหรับการผลิตส่วนผสมดีเซลต้นทุนต่ำจากน้ำมันปาล์มดิบหีบรวม ซึ่งจะช่วยลดการนำเข้าดีเซลจากต่างประเทศ ทั้งยังช่วยเหลือกลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกปาล์ม แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบแนวโน้มผลต่างราคาขายปลีกดีเซลหน้าปั๊มกับราคาน้ำมันปาล์มดิบหีบรวมในทุกๆ ปี ดังรูปที่ 2.5 จะเห็นได้ว่า ผลต่างราคามีแนวโน้มลดลง ซึ่งในปี พ.ศ. 2554 จะเห็นว่าราคาน้ำมันปาล์มดิบหีบรวมมีราคาสูงกว่าดีเซล ทำให้ผลต่างราคาดังกล่าวไม่มีความคุ้มค่าสำหรับการลงทุนผลิตส่วนผสมดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบหีบรวม เนื่องจากการผลิตส่วนผสมดีเซลยังมีส่วนเพิ่มราคาของต้นทุนวัตถุดิบ สารเคมี และพลังงาน อีกด้วย

ไม่ว่าด้วยเหตุผลใดก็ตาม ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาต้นทุนการผลิตส่วนผสมดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบหีบรวม โดยใช้ราคาน้ำมันปาล์มดิบหีบรวม 6 ปีย้อนหลังเฉลี่ย (ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2549 ถึง พ.ศ. 2555) ดังตารางที่ 2.1 คำนวณต้นทุนการผลิตเชื้อเพลิงทดแทนดีเซล ซึ่งจะกล่าวในบทถัดไป



รูปที่ 2.5 ผลต่างราคาขายปลีกดีเซลหน้าปั๊มกับราคาขายน้ำมันปาล์มดิบหีบรวม

ตารางที่ 2.1 ราคาดีเซล และผลผลิตจากปาล์มน้ำมันเฉลี่ย ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2549 ถึง พ.ศ. 2555 (กรมทางหลวง; การปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย; สำนักงานนโยบายและแผนพลังงานกระทรวงพลังงาน, 2555; สำนักงานส่งเสริมการค้าสินค้าเกษตร; ราคากลางโยธาไทย)

รายการ	หน่วย
ราคาขายปลีกดีเซลหน้าปั๊ม กทม. เฉลี่ย (บาท/ลิตร)	28.04
ราคาขนส่งน้ำมันทั่วประเทศเฉลี่ย (บาท/ลิตร)	0.41
ราคาขายปลีกดีเซลหน้าปั๊มทั่วประเทศเฉลี่ย (บาท/ลิตร)	28.45
ราคาขนส่งน้ำมันภาคใต้เฉลี่ย (บาท/ลิตร)	0.44
ราคาขายปลีกดีเซลหน้าปั๊มภาคใต้เฉลี่ย (บาท/ลิตร)	28.48
ราคาน้ำมันปาล์มดิบหีบรวมเฉลี่ย (บาท/กิโลกรัม)	24.64
ราคาน้ำมันปาล์มดิบหีบรวมเฉลี่ย (บาท/ลิตร)	22.64
ผลต่างราคาขายปลีกดีเซลหน้าปั๊ม กทม. กับราคาน้ำมันปาล์มดิบหีบรวมเฉลี่ย (บาท/ลิตร)	5.40
ผลต่างราคาขายปลีกดีเซลหน้าปั๊มทั่วประเทศกับราคาน้ำมันปาล์มดิบหีบรวมเฉลี่ย (บาท/ลิตร)	5.81
	5.84
ผลต่างราคาขายปลีกดีเซลหน้าปั๊มภาคใต้กับราคาน้ำมันปาล์มดิบหีบรวมเฉลี่ย (บาท/ลิตร)	

2.2 การผลิตส่วนผสมดีเซล

ในการผลิตส่วนผสมดีเซลนั้น ยังมีการผลิตอีกหลายวิธี ซึ่งแต่ละวิธีมีต้นทุนในการผลิตที่ไม่เท่ากัน อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณารูปแบบการใช้ น้ำมันพืชทดแทนดีเซลในเครื่องยนต์สามารถจำแนกลักษณะการใช้งานได้ดังนี้

1. การนำน้ำมันพืชไปใช้ในเครื่องยนต์โดยตรง วิธีนี้ใช้ได้เฉพาะเครื่องยนต์ดีเซลรอบต่ำหรือเครื่องยนต์การเกษตร แต่เครื่องยนต์ที่ใช้วิธีนี้ พบความเสียหายค่อนข้างสูง เนื่องจากคุณสมบัติของน้ำมันพืชมีความแตกต่างจากดีเซลมาก

2. การผสมตามสัดส่วน หรือการเจือจาง วิธีนี้ใช้ได้เฉพาะตัวทำละลายที่เป็นน้ำมันเชื้อเพลิง หรือสารประกอบไฮโดรคาร์บอนเท่านั้น เช่น น้ำมันพืชผสมในดีเซล เป็นต้น

3. การปรับปรุงคุณภาพน้ำมันพืช ประกอบด้วย การปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อน หรือการอุ่นน้ำมัน และการปรับปรุงคุณภาพด้วยกระบวนการเคมี เช่น การลดยางเหนียว การทำปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชัน การทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน การทำปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชัน (การลดกรด) การแยกไข การใช้สารเติมแต่ง (กิตติศักดิ์, 2549; มณีชนก, 2552; Ramadhas et al.,

2004) ซึ่งมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันพืช หรือการผลิตเชื้อเพลิงทดแทน ดีเซลด้วยกระบวนการเคมี ดังนี้

1) Nouredдини and Zhu, (2540) ได้ศึกษากระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมัน ถั่วเหลือง โดยศึกษาผลของความรุนแรงในการผสม (Mixing intensity : N_{rc}) ในช่วง 3,100 ถึง 12,400 ที่อุณหภูมิ 30-70°C โดยใช้อัตราส่วนโดยโมลของแอลกอฮอล์ต่อน้ำมัน 6:1 และโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.2% โดยน้ำหนัก พบว่าระดับของความรุนแรงในการผสมระหว่างแอลกอฮอล์กับ ไตรกลีเซอไรด์เป็นองค์ประกอบสำคัญในกระบวนการทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน โดยที่ไตรกลีเซอไรด์และแอลกอฮอล์จะไม่ผสมกันในช่วงแรกๆ การกวนจะช่วยให้เกิดการผสมรวมตัวกันทำให้เพิ่ม อัตราการส่งผ่านเชิงมวล ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงค่า N_{rc} จะทำให้จลนศาสตร์ของปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันเปลี่ยนแปลงด้วย ปฏิกิริยาในช่วงแรกจะเกิดขึ้นช้า แต่เมื่อน้ำมันและแอลกอฮอล์เกิดการรวมตัวกันแล้ว ปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว การเพิ่มค่าของ N_{rc} จะไม่ค่อยมีผลต่อ ปฏิกิริยามากนักและอัตราการเกิดปฏิกิริยาในช่วงหลังจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ

2) กิตติศักดิ์ และคณะ, (2548) ได้ศึกษาเพื่อพัฒนากระบวนการผลิตเมทิลเอสเทอร์ จากน้ำมันปาล์มดิบหีบรวมโดยกระบวนการ 2 ขั้นตอน คือ 1. กระบวนการเอสเตอริฟิเคชัน โดยเลือกใช้กรดซัลฟิวริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ความเข้มข้น 1, 3 และ 5% โดยน้ำหนัก 2. กระบวนการ ทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ความเข้มข้น 2, 3 และ 4% โดยน้ำหนัก ผลการทดลองพบว่าความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริก 3% โดยน้ำหนักและโซเดียมไฮดรอกไซด์ 2% โดยน้ำหนัก เพียงพอต่อการผลิตเมทิลเอสเทอร์ให้มีความบริสุทธิ์มากกว่า 97%

3) การผลิตเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันปาล์มดิบหีบรวมลดยางเหนียว เป็นการทำให้ปฏิกิริยาแบบ 2 ขั้นตอน คือ การทำปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชัน และการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน การทำปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชัน ในขั้นตอนแรก โดยการนำน้ำมันปาล์มดิบหีบรวมลดยางเหนียวทำปฏิกิริยากับเมทานอล 8 vol.% ของน้ำมันปาล์มดิบหีบรวมลดยางเหนียว ใช้กรดซัลฟิวริก 3 wt.% ของน้ำมันปาล์มดิบหีบรวมลดยางเหนียว เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งการทำปฏิกิริยาในขั้นตอนนี้สามารถลดกรดไขมันอิสระให้ต่ำกว่า 2 wt.% ได้ภายในระยะเวลา 90 นาที ส่วนการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน ในขั้นตอนต่อไป ด้วยการนำน้ำมันปาล์มดิบหีบรวมลดยางเหนียวที่ได้จากขั้นตอนแรก ทำปฏิกิริยากับเมทานอล 16 vol.% ของน้ำมันปาล์มดิบหีบรวมลดยางเหนียว โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 2 wt.% ของน้ำมันปาล์มดิบหีบรวมลดยางเหนียว เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ขั้นตอน

การผลิตดังกล่าวนี้ สามารถผลิตเมทิลเอสเทอร์ที่มีความบริสุทธิ์ได้สูงกว่า 97.5 wt.% โดยการทำให้ปฏิกิริยาทั้งสองขั้นตอนนี้ควบคุมอุณหภูมิที่ 60°C และความเร็วรอบในการกวนผสมที่ 140 rpm ซึ่งการทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันในขั้นตอนแรก ถ้าใช้กรดซัลฟิวริกที่สัดส่วน 3 wt.% ของน้ำมันปาล์มดิบที่บรวมลดขางเหนียว สามารถลดกรดไขมันอิสระต่ำกว่า 2 wt.% ได้ภายในระยะเวลา 60 นาที และการทำให้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันในขั้นตอนที่สอง ถ้าใช้เมทานอลที่สัดส่วน 20 vol.% ของน้ำมันปาล์มดิบที่บรวมลดขางเหนียว สามารถผลิตเมทิลเอสเทอร์ที่มีความบริสุทธิ์ได้สูงกว่า 99 wt.% (กิตติศักดิ์, 2549; Prateepchaikul et al., 2007)

4) Veljkovic et al., (2006) ได้ทำการศึกษาการผลิตเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันเมล็ดยาสูบที่มีกรดไขมันอิสระสูงด้วยวิธีการผลิตแบบสองขั้นตอน โดยขั้นตอนแรกใช้กระบวนการเอสเทอร์ฟิเคชัน ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรด ตามด้วยปฏิกิริยาเมทานอลไลซิสด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส พบว่าสามารถลดค่ากรดไขมันอิสระลงเหลือน้อยกว่า 2% ภายในระยะเวลา 25 นาที ที่อัตราส่วนโดยโมลของแอลกอฮอล์ต่อน้ำมัน 18:1 ในขั้นตอนแรก ส่วนขั้นตอนที่สอง นำผลิตภัณฑ์จากขั้นตอนที่ 1 ไปผลิตเป็นไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน พบว่าสามารถผลิตเมทิลเอสเทอร์ได้สูงถึง 91% ภายในระยะเวลา 30 นาที

5) Jansri et al., (2007) ได้ทำการศึกษาการผลิตเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันปาล์มดิบที่บรวมลดขางเหนียวที่มีกรดไขมันอิสระเริ่มต้น 8-14 wt.% ด้วยการทำให้ปฏิกิริยาแบบ 2 ขั้นตอน คือการทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน และการทำให้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ในขั้นตอนแรกการทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน โดยใช้เมทานอลเป็นตัวทำปฏิกิริยา ที่อัตราส่วนจำนวน โมลของเมทานอลต่อกรดไขมันอิสระ 10:1 และใช้กรดซัลฟิวริก 0.8 wt.% ของน้ำมันปาล์มดิบที่บรวมล เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งการทำปฏิกิริยาในขั้นตอนนี้สามารถลดกรดไขมันอิสระให้ต่ำกว่า 1 wt.% ภายในระยะเวลา 30 วินาที สำหรับขั้นตอนที่สองการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยใช้เมทานอลเป็นตัวทำปฏิกิริยา ที่อัตราส่วนจำนวน โมลของเมทานอลต่อไตรกลีเซอไรด์ 6:1 และใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.5 wt.% ของน้ำมันปาล์มดิบที่บรวมล เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา การทำให้ปฏิกิริยาในขั้นตอนนี้สามารถผลิตเมทิลเอสเทอร์ที่มีความบริสุทธิ์ได้สูงกว่า 97 wt.% ภายในระยะเวลา 5 นาที ซึ่งการทำปฏิกิริยาทั้งสองขั้นตอนดังกล่าว ถูกควบคุมอุณหภูมิที่ 60°C และความเร็วรอบในการกวนผสมที่ 300 rpm

6) การผลิตเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันปาล์มดิบ ด้วยการทำให้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยการให้เมทานอลที่สัดส่วน 20 wt.% เป็นตัวทำปฏิกิริยา และใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 2 ชนิด คือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ และ โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ ที่สัดส่วน 1 wt.% ของน้ำมันปาล์มดิบ อุณหภูมิที่ใช้ในการทำให้ปฏิกิริยาที่ 65°C ใช้เวลาในการทำให้ปฏิกิริยา 30 นาที และความเร็วในการกวน

ผสม 350 rpm ซึ่งได้ผลการผลิตเมทิลเอสเตอร์ ดังนี้ สำหรับการผลิตเมทิลเอสเตอร์ โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา คือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 wt.% พบว่า ปริมาณการได้คืนสูงสุดอยู่ที่ 89.47% เมทิลเอสเตอร์ที่ผลิตได้มีความบริสุทธิ์ 98.97 wt.% ส่วนการผลิตเมทิลเอสเตอร์ โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา คือ โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ 1 wt.% มีปริมาณการได้คืนสูงสุด 90.67% เมทิลเอสเตอร์ที่ผลิตได้มีความบริสุทธิ์ 96.16 wt.% (ศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันสุราษฎร์ธานี)

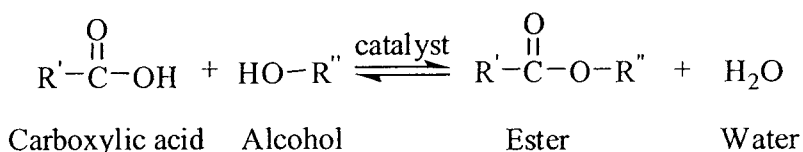
7) การผลิตเมทิลเอสเตอร์จากน้ำมันเมล็ดในปาล์ม โดยใช้เมทานอลที่สัดส่วน 20 wt.% เป็นตัวทำปฏิกิริยา และใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.7 wt.% เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ควบคุมอุณหภูมิที่ 65°C และระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที ได้ผลการผลิตเมทิลเอสเตอร์คือ มีปริมาณการได้คืนสูงสุด 94.67% เมทิลเอสเตอร์ที่ผลิตได้มีความบริสุทธิ์ 90.11 wt.% (ศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันสุราษฎร์ธานี)

8) Chongkhong et al., (2007) ได้ศึกษาการผลิตเมทิลเอสเตอร์จากกรดไขมันปาล์ม (PFAD) ที่มีกรดไขมันอิสระสูง (93 wt.%) โดยมีขั้นตอนการผลิตดังนี้ ในขั้นตอนที่หนึ่งเป็นการทำปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชันที่อุณหภูมิ 70°C ด้วยอัตราส่วนจำนวนโมลของเมทานอลต่อ PFAD 8:1 และใช้กรดซัลฟิวริก 1.834 wt% ของ PFAD เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งการทำปฏิกิริยาในขั้นตอนนี้สามารถลดปริมาณกรดไขมันอิสระต่ำกว่า 2 wt.% ส่วนขั้นตอนที่สอง นำโซเดียมไฮดรอกไซด์ละลายในน้ำความเข้มข้น 3 โมลาร์ ทำปฏิกิริยากับ PFAD ที่อุณหภูมิ 80°C เป็นระยะเวลา 15 นาที เพื่อให้ PFAD เป็นกลาง และขั้นตอนที่สาม นำโซเดียมไฮดรอกไซด์ละลายในเมทานอลที่ความเข้มข้น 0.396 โมลาร์ ทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันกับ PFAD ที่อุณหภูมิ 65°C เป็นระยะเวลา 15 นาที จะได้ผลิตภัณฑ์เป็นเมทิลเอสเตอร์ที่ผ่านมาตรฐานไบโอดีเซลประเทศไทย

9) ซาคริต และคณะ, (2554) ศึกษาการผลิตเมทิลเอสเตอร์จากน้ำมันปาล์มหลายชนิด ได้แก่ น้ำมันทอดที่ใช้แล้ว น้ำมันปาล์มรีไฟน์ น้ำมันปาล์มดิบหีบรวมลดขางเหนียวและลดกรด ไชปาล์มสเตียร์น และไชปาล์มสเตียร์นชนิด superhard โดยในการผลิตนี้เป็นการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันแบบกะ ใช้เมทานอลเป็นตัวทำปฏิกิริยา และใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา มีขั้นตอนผลิตดังนี้ ขั้นตอนหนึ่ง การเตรียมน้ำมันก่อนทำปฏิกิริยา น้ำมันทั้งหมดที่ใช้ทำปฏิกิริยาต้องผ่านการแยกขางเหนียวและลดกรดไขมันอิสระ ให้ต่ำกว่า 1 wt.% สำหรับน้ำมันทอดที่ใช้แล้วต้องผ่านการกำจัดโปรตีน ด้วยการทำปฏิกิริยากับกรดไนตริกและล้างด้วยน้ำ จากนั้นนำน้ำมันทั้งหมดอุ่นไถ่น้ำที่อุณหภูมิ 120°C ประมาณ 20 นาที ยกเว้นไชปาล์มสเตียร์นชนิด superhard ถูกกำจัดน้ำออกที่อุณหภูมิ 80°C ภายใต้สภาวะสุญญากาศ 600-700 mmHg ส่วนขั้นตอนที่สอง การเตรียมนสารละลายแอลกอฮอล์ โดยนำโซเดียมไฮดรอกไซด์ 2.5-5 wt.% ของเมทานอล ละลายในเมทานอลความบริสุทธิ์ 99 wt.% ขั้นตอนสาม ในการทำปฏิกิริยานั้นถูก

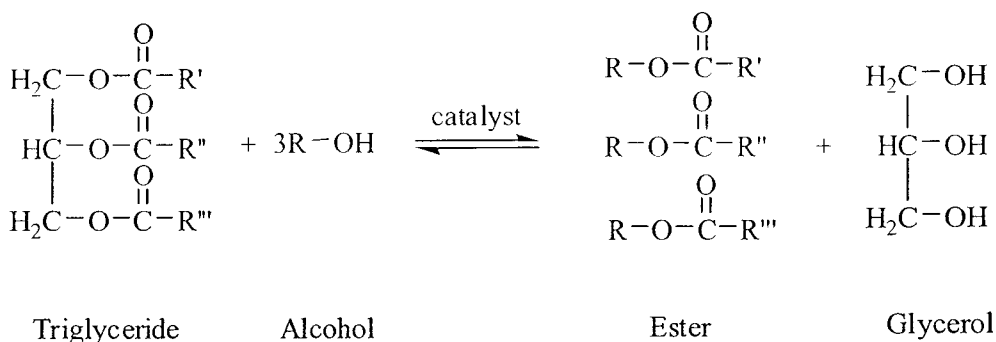
จากการทบทวนเอกสารการผลิตเชื้อเพลิงทดแทนดีเซล ด้วยกระบวนการเคมีข้างต้น ปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องในการผลิต มีดังนี้

ปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชัน เป็นการทำปฏิกิริยาระหว่างกรดไขมันอิสระ 1 โมล กับ เมทานอล 1 โมล เปลี่ยนเป็นเมทิลเอสเตอ์ 1 โมล กับน้ำ 1 โมล โดยมีกรดซัลฟิวริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และแยกขางเหนียวออกจากร้ำมัน ดังรูปที่ 2.6 (Leung et al., 2010)



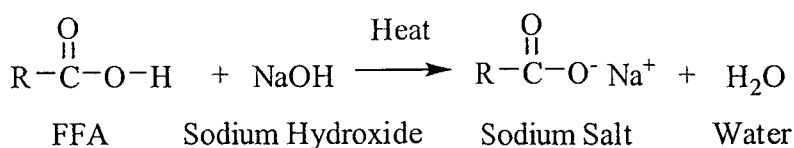
รูปที่ 2.6 ปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชัน

ปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน เป็นการทำปฏิกิริยาระหว่างไตรกลีเซอไรด์ 1 โมล กับ เมทานอล 3 โมล เปลี่ยนเป็นเมทิลเอสเตอ์ 3 โมล กับกลีเซอรอล 1 โมล กระบวนการนี้ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ดังรูปที่ 2.7 (Noureddini et al., 1997)



รูปที่ 2.7 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน

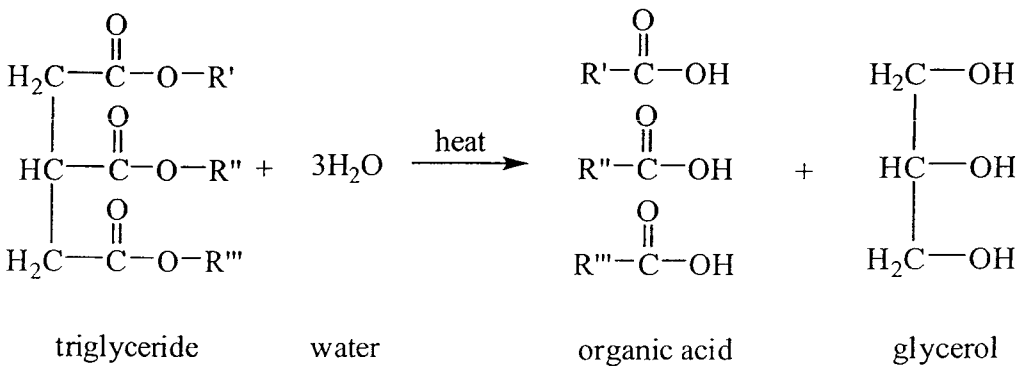
ปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชัน คือ ปฏิกิริยาลดความเป็นกรดในน้ำมัน เป็นการทำปฏิกิริยาระหว่างกรดไขมันอิสระ 1 โมล กับโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 โมล เปลี่ยนกรดไขมันอิสระเป็นสบู่ ดังรูปที่ 2.8 (Leung et al., 2010)



รูปที่ 2.8 ปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชัน

โดยทั่วไประหว่าง การทำปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชัน การทำปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชัน และการอุ่นไอน้ำ ของเชื้อเพลิง หรือการตั้งเชื้อเพลิงไว้ จะเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส จากน้ำที่เจือปนอยู่ในสารตั้งต้นและสารเคมีที่ใช้ทำปฏิกิริยา จากน้ำที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชัน และการทำปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชัน หรือจากไอน้ำในอากาศ

ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส เกิดจากไตรกลีเซอไรด์ 1 โมล ถูกทำปฏิกิริยาด้วยน้ำ 3 โมล ทำให้ไตรกลีเซอไรด์ 1 โมล แยกตัวเป็นกรดไขมันอิสระ 3 โมล และกลีเซอรอล 1 โมล ปฏิกิริยานี้เกิดได้รวดเร็วที่อุณหภูมิสูง แสดงดังรูปที่ 2.9 (ไกรวุฒิ, 2534)



รูปที่ 2.9 ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส

จากการจำแนกการทำปฏิกิริยา ของการผลิตเชื้อเพลิงทดแทนดีเซลด้วยกระบวนการเคมี พบว่า การทำปฏิกิริยาลดขนาดเหนียว การทำปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชัน การทำปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชัน และการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน มีความแตกต่างที่ชนิดสารเคมี และปริมาณสารเคมีที่ใช้ทำปฏิกิริยาเป็นหลัก ปัจจัยดังกล่าวส่งผลต่อปริมาณการได้กิน และการสูญเสียระหว่างการทำปฏิกิริยา เช่น การสูญเสียกรดไขมันอิสระในรูปสบู่ ยิ่งไปกว่านั้น ปัจจัยทั้งหมดส่งผลกระทบต่อต้นทุนเชื้อเพลิงทดแทนดีเซล

อย่างไรก็ตาม งานวิจัยนี้จะศึกษาเปรียบเทียบการผลิต และต้นทุน ของเชื้อเพลิงทดแทนดีเซล 2 ชนิด ได้แก่ น้ำมันปาล์มดิบหีบรวมเอสเตอริไฟน์ และเมทิลเอสเตอริฟิเคชัน ซึ่งจะกล่าวในบทถัดไป

2.3 ตัวแปรที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยา

ในงานวิจัยนี้ปฏิกิริยาเคมีหลักที่สำคัญ คือ เอสเตอริฟิเคชันและทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน ตัวแปรสำคัญที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาทั้ง 2 มีดังต่อไปนี้

1. อัตราส่วนของน้ำมันปาล์มต่อแอลกอฮอล์

อัตราส่วนของน้ำมันปาล์มต่อแอลกอฮอล์ ปกติคำนวณเป็นหน่วย อัตราส่วนเชิงโมลหรือ อัตราส่วนเชิงปริมาตร ก็ได้ สัดส่วนแอลกอฮอล์ที่สูงขึ้น ทำให้ปฏิกิริยาทั้ง 2 เกิดเร็วขึ้น แต่เป็นการเพิ่มต้นทุนในการผลิต และ โดยเฉพาะปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันจะส่งผลให้การแยกเมทิลเอสเทอร์และกลีเซอรอลทำได้ยากขึ้น

งานวิจัยนี้ เน้นต้องการลดปริมาณการใช้เมทานอลให้น้อยที่สุด ในการผลิตเชื้อเพลิงคุณภาพพอใช้ เพื่อนำไปผสมกับกับน้ำมันดีเซลรอบสูง ให้ได้เชื้อเพลิงผสมที่มีคุณภาพดีเพียงพอสำหรับการใช้งานในเครื่องยนต์การเกษตร ดังนั้น ตัวแปรนี้จึงเป็นตัวแปรหลักสำคัญที่ต้องทำการศึกษาในงานวิจัยนี้

2. อุณหภูมิการทำปฏิกิริยา

อุณหภูมิการทำปฏิกิริยาที่สูงขึ้น ส่งผลให้ปฏิกิริยาทั้ง 2 สองเกิดเร็วขึ้น แต่เพื่อป้องกันปัญหาการระเหยของเมทานอลสำหรับการทำปฏิกิริยาที่ความดันบรรยากาศ โดยปกติจะใช้อุณหภูมิการทำปฏิกิริยาที่ 60°C ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จะกำหนดอุณหภูมิการทำปฏิกิริยาไว้ที่อุณหภูมิดังกล่าว

3. ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา

ความเข้มข้นตัวเร่งปฏิกิริยาที่มากขึ้น ทำให้ปฏิกิริยาทั้ง 2 เกิดได้เร็วขึ้น ในงานวิจัยนี้ความเข้มข้นที่เหมาะสมจะ ได้จากการทบทวนเอกสารงานวิจัยเป็นหลัก แต่หากมีความจำเป็น อาจต้องมีการศึกษาผลของตัวแปรนี้ด้วย โดยเฉพาะสำหรับปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชัน

4. ความรุนแรงในการกวนผสม

ความรุนแรงในการกวนผสมเป็นพฤติกรรมทางกายภาพที่สำคัญมากต่อระบบการเกิดปฏิกิริยาที่มีอัตราการเกิดปฏิกิริยารวดเร็ว หากความรุนแรงในการกวนผสมไม่เพียงพอ อัตราการเกิดปฏิกิริยาจะถูกควบคุมโดยอัตราการกวนผสม อย่างไรก็ตาม ในงานวิจัยนี้ จะควบคุมให้เป็นการเกิดปฏิกิริยาแบบเอกพันธ์ (homogeneous reaction) ซึ่งสามารถทำได้ไม่ยาก (Leevijit et al., 2004) และสามารถตรวจสอบได้จากผลการทดลองจลนศาสตร์ของปฏิกิริยา

5. คุณภาพของน้ำมันเริ่มต้นในการทำปฏิกิริยา

น้ำมันปาล์มดิบที่บวมมีกรดไขมันอิสระอยู่ในปริมาณที่สูง ประมาณ 8-14 wt.% ดังนั้นการผลิตเมทิลเอสเทอร์จึงจำเป็นต้องใช้การทำปฏิกิริยา 2 ขั้นตอนของ เอสเตอริฟิเคชัน เพื่อลดกรดไขมันอิสระให้ควรมีค่า ≈ 1 wt.% (แต่คาดว่ากรดไขมันอิสระในช่วง 2-4 wt.% ก็ น่าจะรับได้ สำหรับการผลิตส่วนผสมดีเซลต้นทุนต่ำ) สำหรับการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน เพื่อผลิตเมทิลเอสเทอร์ความบริสุทธิ์สูง ≥ 96.5 wt.% ต่อไป นอกจากนี้ น้ำที่อยู่ในน้ำมัน

จะขัดขวางการเกิดปฏิกิริยาด้วย ดังนั้น ก่อนนำน้ำมันปาล์มดิบที่บวมและน้ำมันปาล์มดิบที่บวมชนิดเอสเทอร์ไปทำปฏิกิริยา ควรต้องมีการอุ่น ไล่น้ำก่อนเสมอ

2.4 องค์ประกอบเชื้อเพลิง

การผลิตเชื้อเพลิงทดแทนดีเซล ในหัวข้อ 2.2 ที่ผ่านมา จะเห็นได้ว่า การผลิตเชื้อเพลิงทดแทนดีเซลแต่ละชนิดมีการทำปฏิกิริยาที่ไม่เหมือนกัน ซึ่งการทำปฏิกิริยาแต่ละวิธี ยังขึ้นกับความบริสุทธิ์และสัดส่วนสารเคมี (ตัวทำปฏิกิริยาและตัวเร่งปฏิกิริยา) อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยา และความรุนแรงการกวนผสม จากปัจจัยดังกล่าว ส่งผลให้เชื้อเพลิงแต่ละชนิดที่ผลิตได้มีองค์ประกอบเชื้อเพลิงไม่เหมือนกัน สำหรับน้ำมันปาล์มดิบที่บวมเริ่มต้น ประกอบด้วย ไตรกลีเซอไรด์สัดส่วนสูงที่สุด กรดไขมันอิสระสัดส่วนรองลงมา และมีสัดส่วนโคกลีเซอไรด์ และโมโนกลีเซอไรด์อีกเล็กน้อย (Jansri, 2007) ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ชนิดกรดไขมันของน้ำมันปาล์ม น้ำมันเมล็ดในปาล์ม น้ำมันปาล์มโอเลอิน ไซปาล์มสเตียรีนและส่วนกลั่นกรดไขมันปาล์ม (wt.%) (ฉกรรจ์, 2550; ชาคริต และคณะ;สินินาฏ, 2549; Chotwichien et al., 2009)

ชนิดกรดไขมัน	น้ำมันปาล์ม	น้ำมันปาล์ม เมล็ดใน	น้ำมันปาล์ม โอเลอิน	ไซปาล์ม สเตียรีน	ส่วนกลั่น กรดไขมันปาล์ม
Caprylic (C8:0)	0.02	3.35	-	-	-
Capric (C10:0)	0.03	4.65	-	-	-
Lauric (C12:0)	0.30	48.25	-	-	-
Myristic (C14:0)	0.81	16.35	1.19	0.05	1.00
Palmitic (C16:0)	38.12	8.45	27.10	69.12	45.60
Palmitoleic (C16:1)	0.14	5.30	1.78	0.21	0.20
Stearic (C18:0)	3.44	2.40	7.25	7.63	3.80
Oleic (C18:1)	45.96	14.5	42.93	21.72	33.30
Linoleic (C18:2)	10.69	1.60	18.68	1.27	7.70
Linolenic (C18:3)	0.29	-	1.07	-	0.30
Arachidic (C20:0)	0.15	0.95	-	-	-
Ecosenoic (C20:1)	-	-	-	-	0.20
Behenic (C22:0)	0.05	-	-	-	-
Tetracosanoic (C24:0)	-	-	-	-	0.60

2.5 คุณสมบัติค่าซีเทน

จากหัวข้อที่ 2.1, 2.3 และ 2.4 ถึงแม้จะมีการเปรียบเทียบ การผลิต ต้นทุน และองค์ประกอบเชื้อเพลิง ของเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ แต่การผลิตเชื้อเพลิงแต่ละชนิดจะให้คุณสมบัติเชื้อเพลิงที่ไม่เหมือนกัน ด้วยเหตุนี้จึงควรศึกษาคุณสมบัติเชื้อเพลิงของเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ

คุณสมบัติเชื้อเพลิงของเชื้อเพลิงที่ใช้ในเครื่องยนต์ดีเซลแบ่งได้ 3 ประเภท ประกอบด้วย คุณสมบัติการเผาไหม้ คุณสมบัติการเป็นของเหลวที่อุณหภูมิต่ำ และความสะอาดของเชื้อเพลิง (Lepera, 1982)

คุณสมบัติการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงที่ใช้ในเครื่องยนต์ดีเซล ได้แก่ ค่าซีเทน จุดวาบไฟ จุดติดไฟ และการกลั่น โดยคุณสมบัติการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงที่สำคัญมากที่สุดสำหรับเชื้อเพลิงที่ใช้ในเครื่องยนต์ดีเซล คือ ค่าซีเทน

การใช้เชื้อเพลิงที่มีค่าซีเทนเหมาะสม เครื่องยนต์สามารถทำงานได้ดี และมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรคสูง การเดินเครื่องยนต์ด้วยเชื้อเพลิงที่มีค่าซีเทนสูงกว่าหรือต่ำกว่าช่วงที่เหมาะสมเล็กน้อย เครื่องยนต์อาจทำงานได้ปกติ แต่ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรคของเครื่องยนต์อาจลดลง ถ้าเดินเครื่องยนต์ด้วยเชื้อเพลิงที่มีค่าซีเทนต่ำมากเกินไป กรณีร้ายแรงที่สุดคือ อัตราการเผาไหม้ไม่สอดคล้องกับจังหวะการทำงานของเครื่องยนต์ เครื่องยนต์จะเกิดการน็อก จนก่อให้เกิดความเสียหายแก่ชิ้นส่วนเครื่องยนต์ในทันที

จากการทบทวนเอกสารค่าซีเทนของดีเซลอยู่ในช่วง 45-52 (Chen et al., 2008; Haldar et al., 2009; Kalam and Masjuki, 2004; Rakopoulos et al., 2008; Ren et al., 2008) โดยที่ค่าซีเทนของน้ำมันปาล์มประมาณ 53-59 (Shahid and Jamal, 2007) ค่าซีเทนของน้ำมันปาล์มรีไฟน์ประมาณ 42 (Almeida et al., 2002; Murugesan et al., 2009; Srivastava and Prasad, 2000) ค่าซีเทนของน้ำมันปาล์มเอสเตอริไฟน์ประมาณ 49 (Kalam and Masjuki, 2004) ค่าซีเทนของเมทิลเอสเตอริจากปาล์มประมาณ 61-62 (Leevijit et al., 2008; Srivastava and Prasad, 2000) ซึ่งมาตรฐาน American Society of Testing Material (ASTM) ได้กำหนดค่าซีเทนของเชื้อเพลิงที่ใช้ในเครื่องยนต์ดีเซล ควรอยู่ในช่วง 40-65 (Bekal and Babu, 2008; Ramadhas et al., 2004) สำหรับประเทศไทย กรมธุรกิจพลังงาน กระทรวงพลังงาน กำหนดคุณสมบัติค่าซีเทนในมาตรฐานดีเซลประเภทต่างๆ คือ มาตรฐานดีเซลหมุนเร็วและดีเซลเครื่องยนต์การเกษตรกำหนดค่าซีเทนของเชื้อเพลิงไม่ต่ำกว่า 50 ส่วนมาตรฐานดีเซลหมุนช้ากำหนดค่าซีเทนของเชื้อเพลิงไม่ต่ำกว่า 45 (ประกาศกรมธุรกิจพลังงาน, 2549, 2550, 2554) ดังนั้นโดยรวมค่าซีเทนของเชื้อเพลิงที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มประมาณ 42-62 และอยู่ในช่วงที่เหมาะสมตามมาตรฐาน ASTM

2.6 คุณสมบัติการเป็นของเหลวที่อุณหภูมิต่ำ

คุณสมบัติการเป็นของเหลวที่อุณหภูมิต่ำ เป็นคุณสมบัติที่สำคัญสำหรับเชื้อเพลิงที่ใช้ในเครื่องยนต์ดีเซล คุณสมบัติการเป็นของเหลวที่อุณหภูมิต่ำบ่งบอกความสามารถในการไหลของเชื้อเพลิง สำหรับกรณีที่เชื้อเพลิงเป็นไข หรืออยู่ในสภาวะของแข็ง ไม่สามารถไหลได้ ถือเป็นกรณีร้ายแรงที่สุดที่เชื้อเพลิงถูกจำกัดโอกาสใช้งานตั้งแต่เริ่มต้น

คุณสมบัติการเป็นของเหลวที่อุณหภูมิต่ำของเชื้อเพลิง มีหลายประเภท ได้แก่ ความหนืด ความหนาแน่น การไม่เป็นไข จุดขุ่น และจุดไหลเท โดยคุณสมบัติการเป็นของเหลวของเชื้อเพลิงที่สำคัญมากที่สุดสำหรับเชื้อเพลิงที่ใช้ในเครื่องยนต์ดีเซล คือ ความหนืด และการเป็นไข

ความหนืด คือ ความสามารถต้านทานการไหลของของไหลเมื่อมีแรงมากระทำของไหล ความหนืดแบ่งได้ 2 ประเภท คือ ความหนืดจลศาสตร์ และความหนืดพลวัต ดังตารางที่ 2.3 ความหนืดพลวัตเป็นคุณสมบัติที่จำเป็นสำหรับการฉีดเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซล ผลการใช้เชื้อเพลิงที่มีความหนืดพลวัตสูงในเครื่องยนต์ เชื้อเพลิงที่ถูกฉีดในห้องเผาไหม้จะกระจายตัวในอากาศได้ไม่ดี ทำให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ต่ำลง เกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรคของเครื่องยนต์ นอกจากนี้ ปิมน้ำมันสูบน้ำมัน ได้ยาก เกิดคราบเหนียวเกาะตามผิวท่อซัดขวางการไหล เมื่อเชื้อเพลิงมีอัตราการระเหยต่ำและมีความหนืดสูง เครื่องยนต์จะสตาร์ทเย็นได้ยาก (Balat and Balat, 2007; Ramadhass et al., 2004; Srivastava and Prasad, 2000) อย่างไรก็ตาม กรมธุรกิจพลังงาน ประเทศไทย ได้กำหนดมาตรฐานดีเซลเฉพาะความหนืดจลศาสตร์ และความหนาแน่น แต่ไม่กำหนดความหนืดพลวัต (ตารางที่ 1.1) ซึ่งการหาค่าความหนืดพลวัต ต้องใช้ความหนืดจลศาสตร์ ร่วมกับความหนาแน่น ดังสมการที่ 2.1

$$v = \frac{\mu}{\rho} \quad (2.1)$$

กำหนดให้

- v คือ ความหนืดจลศาสตร์ (m^2/s)
- μ คือ ความหนืดพลวัต ($kg/m.s$)
- ρ คือ ความหนาแน่น (kg/m^3)

ตารางที่ 2.4 ระบบหน่วยความหนืด

ระบบหน่วย	หน่วยความหนืด	
	ความหนืดจลศาสตร์	ความหนืดพลวัต
หน่วย SI	m^2/s	$N.s/m^2, Pa.s$
หน่วย U.S.	ft^2/s	$lb-s/ft^2, slug/ft-s$
หน่วย CGS	cSt	cP

2.7 การทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์

การทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ เป็นการยืนยันผลการใช้เชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ โดยช่วยสร้างความเชื่อมั่นแก่ผู้ใช้งาน ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ยกตัวอย่างงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ด้วยน้ำมันหลายชนิด ดังนี้

1) Sapaun et al., (1996) ศึกษาการทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ดีเซลระยะสั้น ในประเทศมาเลเซีย โดยใช้น้ำมันปาล์ม น้ำมันปาล์มผสมดีเซล และดีเซล เป็นเชื้อเพลิง ผลการทดสอบพบว่า เครื่องยนต์ที่เดินด้วยเชื้อเพลิงทั้งหมดมีสมรรถนะใกล้เคียงกัน และไม่พบลักษณะการเผาไหม้ที่ไม่พึงประสงค์ แต่การใช้น้ำมันปาล์ม และน้ำมันปาล์มผสมดีเซลในเครื่องยนต์มีกากถ่านหรือกากคาร์บอนที่หลงเหลือจากการเผาไหม้ในห้องเผาไหม้มากกว่าการใช้ดีเซลในเครื่องยนต์ นอกจากนี้ น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้ในเครื่องยนต์มีการปนเปื้อนสูงกว่าการใช้ดีเซลในเครื่องยนต์

2) ปฏิภาณ, (2545) ศึกษาการปลดปล่อยความร้อนและออกไซด์ของไนโตรเจนในเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้น้ำมันปาล์มผสม เมื่อผสมน้ำมันปาล์มในน้ำมันดีเซลมากขึ้นทำให้ช่วง Ignition delay ลดลง ช่วง Premixed combustion ลดลง และช่วง Mixing controlled combustion มีค่าเพิ่มขึ้น แต่การปลดปล่อยความร้อนใน ช่วง Premixed combustion กลับมีค่าเพิ่มขึ้น จึงทำ ปริมาณ NO_x มีค่าเพิ่มขึ้น และการปลดปล่อยความร้อนใน ช่วง Mixing controlled combustion มีค่าลดลงจึงทำปริมาณ ควันดามีค่าลดลงด้วย

3) Prateepchaikul and Apichato, (2003) ศึกษาการทดสอบสมรรถนะและการวิเคราะห์การสึกหรอของเครื่องยนต์ดีเซลการเกษตร ยี่ห้อคูโบต้า รุ่น ET80 เครื่องยนต์สูบเดียว ระบบหัวฉีดอินไดเรคอินเจคชั่น จำนวน 2 เครื่อง เครื่องแรกเดินด้วยน้ำมันปาล์มกลั่น เครื่องที่สองเดินด้วยดีเซล โดยเครื่องยนต์ทั้งหมดถูกเดินที่ภาระ 75% ของภาระสูงสุด ที่ความเร็วรอบ 2,200 rpm เป็นเวลา 2,000 ชม. สำหรับการเดินเครื่องยนต์ 1,000 ชม. แรก ผลการทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ สรุปได้ว่า อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเบรคจำเพาะของเครื่องยนต์ที่เดินด้วยน้ำมันปาล์มกลั่นสูงกว่าเครื่องยนต์ที่เดินด้วยดีเซล 15-20% ความแตกต่างปริมาณควันด้าในไอเสียของ

เครื่องยนต์ทั้งสองไม่มีนัยสำคัญ เมื่อวิเคราะห์การสึกหรอของเครื่องยนต์ พบว่าแหวนอัดของลูกสูบของเครื่องยนต์ที่เดินด้วยน้ำมันปาล์มกลั่นมีการสึกหรอสูงกว่าเครื่องยนต์ที่เดินด้วยดีเซล ส่วนปั๊มน้ำมัน วาล์วน้ำมัน และวาล์วไอคีมมีความแตกต่างที่ไม่ชัดเจน

4) นพพร, (2546) ศึกษาการทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ดีเซลรถบรรทุกขนาดกลาง ยี่ห้ออิซูซุ รุ่น JB-1 โดยใช้ น้ำมันปาล์มดิบอุ่นร้อนที่อุณหภูมิ 50°C และดีเซลเป็นเชื้อเพลิง ผลการทดสอบ พบว่า ที่ความเร็วรอบ 800-2,200 rpm เครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มดิบมีกำลังและแรงบิดต่ำกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้ดีเซล แต่ที่ความเร็วรอบ 2,200-3,600 rpm เครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มดิบมีกำลังและแรงบิดสูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้ดีเซล โดยอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเบรคจำเพาะของเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มดิบ มีค่าสูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้ดีเซล 12.24-13.93% เมื่อทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ระยะยาวเป็นเวลา 270 ชั่วโมง ปรากฏว่า การสะสมของกากคาร์บอนตามชิ้นส่วนต่างๆ ของเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มดิบมีปริมาณสูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้ดีเซล

5) El-Awad et al., (2004) ศึกษาการทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ดีเซล เครื่องยนต์สี่สูบ ระบบหัวฉีดอินไดเรคอินเจคชั่น ด้วย น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซล และดีเซล ผลการทดสอบ พบว่า น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลมีประสิทธิภาพน้อยกว่าดีเซล ในสภาวะการทำงานต่างๆ แต่ที่ความเร็วรอบสูง น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลมีสมรรถนะเทียบเท่าดีเซล

6) Kalam and Masjuki, (2004) ศึกษาการทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ดีเซล ยี่ห้อ ยันมาร์ เครื่องยนต์สูบเดี่ยว ชนิดห้องเผาไหม้หมุนวน ระบบหัวฉีดไครคอินเจคชั่น เพื่อเปรียบเทียบการปลดปล่อยไอเสียของเครื่องยนต์ เมื่อเดินเครื่องยนต์ด้วยดีเซล น้ำมันปาล์มดิบ น้ำมันปาล์มดิบอุ่นที่อุณหภูมิ 70°C อิมัลชันที่ได้จากน้ำมันปาล์มดิบผสมในน้ำที่สัดส่วน 97 98 และ 99% และอิมัลชันทั้งหมดอุ่นที่อุณหภูมิ 65°C ผลการทดสอบ พบว่า การเดินเครื่องยนต์ด้วย น้ำมันปาล์มดิบอุ่นที่อุณหภูมิ 70°C มีการปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์และก๊าซไฮโดรคาร์บอนต่ำกว่าการเดินเครื่องยนต์ด้วยเชื้อเพลิงชนิดอื่นทั้งหมด แต่มีการปล่อยก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนสูงกว่าการเดินเครื่องยนต์ด้วยเชื้อเพลิงชนิดอื่นทั้งหมด สาเหตุดังกล่าวคาดว่าการอุ่นน้ำมันปาล์มดิบก่อนใช้งาน ช่วยลดความหนืดเชื้อเพลิง และเพิ่มปริมาณการระเหยเชื้อเพลิง ทำให้หัวฉีดฉีดเชื้อเพลิงกระจายตัวได้ดีขึ้น

7) สวิทชาติ, (2547) ศึกษาการทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ดีเซล เครื่องยนต์สูบเดี่ยว ระบบหัวฉีดอินไดเรคอินเจคชั่น จำนวน 3 เครื่อง แต่ละเครื่องใช้น้ำมันปาล์มลดยางเหนียวและลดกรด เมทิลเอสเตอร์จากน้ำมันปาล์ม และดีเซล ตามลำดับ โดยเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มลดยางเหนียวและลดกรด ถูกดัดแปลงเครื่องยนต์เล็กน้อย ด้วยการติดตั้งระบบอุ่นเชื้อเพลิงที่อุณหภูมิ 120°C สำหรับการเดินเครื่องยนต์ทั้งหมด เครื่องยนต์ทั้งหมดถูกจำลองการทำงานที่ภาระโหลด 75%

ของภาระ โหลดสูงสุด ที่ความเร็วรอบ 2,200 rpm เมื่ออายุการใช้งานเครื่องยนต์ทั้งหมดครบ 50 ชม. (ช่วงรันอิน) และอายุการใช้งานเครื่องยนต์ทั้งหมดครบทุกๆ 500 ชม. เครื่องยนต์ทั้งหมดถูกทดสอบ สมรรถนะ และวิเคราะห์การสึกหรอ ผลการทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน ปาล์มลดยางเหนียวและลดกรด และเมทิลเอสเตอร์ มีอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงสูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้ ดีเซล 67.2-95.2 และ 16.7-20.1% ตามลำดับ มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนน้อยกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้ ดีเซล 9.9-12.4 และ 0.6-1.3% ตามลำดับ และมีปริมาณควันดำในไอเสียน้อยกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้ ดีเซล 0-9.3 และ 0-7.7% ตามลำดับ สำหรับการวิเคราะห์การสึกหรอ เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์ม ลดยางเหนียวและลดกรด และเมทิลเอสเตอร์ มีค่าการสึกหรอสูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้ดีเซล โดย เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดยางเหนียวและลดกรด และเมทิลเอสเตอร์ มีอายุการใช้งานประมาณ 1,200 และ 3,000 ชม. ตามลำดับ ส่วนเครื่องยนต์ที่ใช้ดีเซลมีอายุการใช้งานมากกว่า 6,000 ชม.

8) คณิต และเทิดศักดิ์, (2547) ศึกษาการทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ดีเซล เครื่องยนต์สี่สูบ ระบบหัวฉีดอินไดเรคอินเจคชั่น พบว่า ส่วนผสมที่เหมาะสมคือ น้ำมันปาล์มดิบอุ่น ที่อุณหภูมิ 60°C ผสมด้วยดีเซล 90 vol.% ผลการทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ เมื่อเดินเครื่องเต็ม กำลัง ที่ความเร็วรอบเปลี่ยนแปลง พบว่า การเดินเครื่องยนต์ด้วยน้ำมันผสมให้แรงบิดสูงกว่าการ เดินเครื่องยนต์ด้วยดีเซลเล็กน้อย และมีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเบรคสูงกว่าการเดินเครื่องยนต์ ด้วยดีเซลตลอดการทำงาน เมื่อเดินเครื่องยนต์ที่ภาระเปลี่ยนแปลง การเดินเครื่องยนต์ด้วยน้ำมัน ผสมมีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเบรคสูงกว่าการเดินเครื่องยนต์ด้วยดีเซลสูงสุดที่ 5% ขณะที่ อุณหภูมิไอเสียใกล้เคียงกัน

9) สวิทชาติ, (2548) ศึกษาการทดสอบใช้น้ำมันปาล์มลดกัมลดกรด และเมทิล เอสเตอร์ (ME) จากน้ำมันปาล์ม ทดแทนน้ำมันดีเซลในเครื่องจักรกลทางการเกษตร จากการ ทดสอบเชื้อเพลิง 2 ชนิด คือน้ำมันปาล์มลดกัมลดกรด และ ME จากน้ำมันปาล์ม ในเครื่องยนต์ การเกษตร สรุปได้ดังนี้ ME สามารถใช้งานได้สะดวกเหมือนดีเซล แต่เครื่องยนต์ที่ใช้ ME จะสึก หรอมมากกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้ดีเซลประมาณ 2 เท่า ส่วนน้ำมันปาล์มลดกัมลดกรด ไม่เหมาะสมที่จะ นำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนดีเซล เนื่องจากมีการสึกหรอสูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้ดีเซลประมาณ 5 เท่า

10) วีระยุทธ และคณะ, (2551) ศึกษาการทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ดีเซล ยานพาหนะ ยี่ห้อโตโยต้า รุ่น 2L-Turbo มีสองปรับสภาพใหม่ เครื่องยนต์สี่สูบ ระบบหัวฉีด อินไดเรคอินเจคชั่น โดยใช้ดีเซล และน้ำมันปาล์มลดยางเหนียวและลดกรดผสมในดีเซลที่สัดส่วน 20 30 และ 40 vol.% เป็นเชื้อเพลิงทดสอบ ผลการทดสอบ พบว่า การเดินเครื่องยนต์ด้วยน้ำมัน ปาล์มลดยางเหนียวและลดกรดผสมในดีเซลที่ 20 30 และ 40 vol.% มีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง

เบรคจำเพาะสูงกว่าการเดินเครื่องยนต์ด้วยดีเซล 3.9 6.8 และ 14.2% ตามลำดับ และมีค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนต่ำกว่าการเดินเครื่องยนต์ด้วยดีเซล 4.6 4.7 และ 10.6% ตามลำดับ

11) กำพล และธีระยุทธ, (2551) ศึกษาการทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ดีเซล การเกษตรระยะยาว (1,500 ชม.) ยี่ห้อคูโบต้า รุ่น RT80 เครื่องยนต์สูบเดี่ยวแวนอน ชนิดห้องเผาไหม้ล่างหน้าหมุนวน ระบบหัวฉีดอินไดเรคอินเจคชั่น จำนวน 4 เครื่อง เครื่องยนต์ทั้งหมดถูกทดสอบสมรรถนะเมื่อเครื่องยนต์ผ่านการเดินเครื่องเป็นเวลา 500 1,000 และ 1,500 ชม. ตามลำดับ นอกจากนี้เครื่องยนต์ทั้งหมดถูกวิเคราะห์การสึกหรอเมื่อเครื่องยนต์ผ่านการเดินเครื่อง 1,500 ชม. โดยชิ้นส่วนเครื่องยนต์ที่ถูกตรวจสอบ ประกอบด้วย ปัมเชื้อเพลิง วาล์วเชื้อเพลิง ลิ้นไอดี ลิ้นไอเสีย แหวนลูกสูบทั้งหมด และแปรงก้านสูบ สำหรับเครื่องยนต์ 3 เครื่องแรก ใช้เชื้อเพลิงผสมที่ได้จากน้ำมันปาล์มลดยางเหนียวและลดกรดผสมในดีเซลที่สัดส่วน 20 30 และ 40 vol.% ตามลำดับ ส่วนเครื่องยนต์ที่ใช้ดีเซลเป็นเชื้อเพลิง ผลการทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ พบว่า เครื่องยนต์ 3 เครื่องแรก มีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงสูงกว่าเครื่องยนต์ที่เดินด้วยดีเซลเฉลี่ย 3.9 6.6 และ 10.2% ตามลำดับ และมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนต่ำกว่าเครื่องยนต์ที่เดินด้วยดีเซลเฉลี่ย 0.8 1.4 และ 3.3% ตามลำดับ ซึ่งความแตกต่างของอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงและประสิทธิภาพเชิงความร้อนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเดินเครื่องเพิ่มขึ้น สำหรับการสึกหรอของเครื่องยนต์ การเดินเครื่องยนต์ทั้งหมดที่ 1,500 ชม. ยังไม่พบความแตกต่างที่ชัดเจนเมื่อเปรียบเทียบกับ การเดินเครื่องยนต์ด้วยดีเซล เพราะฉะนั้นการเดินเครื่องยนต์ด้วยเชื้อเพลิงผสมดังกล่าว ดีกว่าการเดินเครื่องยนต์ด้วยน้ำมันปาล์มลดยางเหนียวและลดกรดเพียงอย่างเดียว (น้ำมันปาล์มลดยางเหนียวและลดกรด 100%) ที่มีรายงานวิจัยว่าการเดินเครื่องยนต์ด้วยน้ำมันปาล์มลดยางเหนียวและลดกรดเครื่องยนต์มีอายุการใช้งานเพียง 1,200 ชม. ในขณะที่เครื่องยนต์ที่เดินด้วยดีเซลมีอายุการใช้งานมากกว่า 6,000 ชม.

12) ธีรพงษ์ และคณะ, (2551) ศึกษาการทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงและควันท้องของเครื่องยนต์ดีเซลการเกษตร ยี่ห้อคูโบต้า รุ่น RT 140 เครื่องยนต์สูบเดี่ยว ระบบหัวฉีดอินไดเรคอินเจคชั่น โดยใช้ไบโอดีเซลจากปาล์มเสตียริน และดีเซลเป็นเชื้อเพลิงทดสอบ เมื่อเดินเครื่องเต็มกำลัง ที่ความเร็วรอบ 1,400-2,400 rpm ผลการทดสอบ พบว่าสมรรถนะทางด้านกำลังและแรงบิดของเครื่องยนต์นั้นมีค่าใกล้เคียงกัน โดยกำลังและแรงบิดของเครื่องยนต์เมื่อใช้ไบโอดีเซลมีค่าสูงกว่าเล็กน้อย สำหรับอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่เกิดขึ้นจะเห็นได้ว่ามีอัตราการกินน้ำมันเพิ่มขึ้น เนื่องจากค่าความร้อน (Heating value) ของไบโอดีเซลต่ำกว่าดีเซล เครื่องยนต์จึงจำเป็นต้องฉีดไบโอดีเซลในปริมาณที่มากเพื่อรักษากำลังของเครื่องยนต์ให้คงที่ ส่วนความหนาแน่นควันท้องลดลงอย่างเห็นได้ชัด แสดงให้เห็นว่าไบโอดีเซลมีการเผาไหม้ที่สมบูรณ์

กว่า สาเหตุนี้เกิดจากการที่ไบโอดีเซลมีปริมาณออกซิเจนมากกว่าดีเซลนั่นเอง (Yamane et al., 2001) และการเดินเครื่องย่นระยะยาวที่ 300 ชั่วโมง จะเห็นว่า ไม่มีอาการผิดปกติของเครื่องย่นแต่อย่างใด แต่พบว่าตัวกรองน้ำมันเชื้อเพลิงเกิดความสกปรก แต่ก็สามารถล้างทำความสะอาดได้ ส่วนหัวฉีดพบว่าเริ่มมีเขม่าจับแต่ยังสามารถใช้งานต่อไปได้

13) Haldara et al., (2009) ศึกษาการทดสอบสมรรถนะเครื่องย่นการเกษตร ด้วยน้ำมันพืชลดยางเหนียว 3 ชนิด ได้แก่ Karanja Putranjiva และสบู่ดำ ผสมในดีเซลที่สัดส่วน 10 20 30 และ 40 vol.% พบว่า การผสมน้ำมันพืชลดยางเหนียวทุกชนิดในดีเซล 20 vol.% ให้ผลการทดสอบที่น่าพอใจมาก สมรรถนะเครื่องย่นดี ปริมาณไอเสียลดลง ซึ่งการลดยางเหนียวในน้ำมันพืช เป็นการปรับปรุงคุณภาพเชื้อเพลิงด้วยกระบวนการเคมีที่คุ้มค่าในทางเศรษฐศาสตร์ และช่วยปรับปรุงคุณสมบัติความหนืด และค่าซีเทนให้ดีขึ้น

14) Leevijit and Prateepchaikul, (2011) ศึกษาการทดสอบสมรรถนะเครื่องย่นดีเซลยานพาหนะ ยี่ห้อโตโยต้า รุ่น 2L-Turbo เครื่องย่นสี่สูบ ระบบหัวฉีดอินไดเรคอินเจคชั่น ระบบอัดอากาศเทอร์โบชาร์จเจอร์ ด้วยวิธีการเปลี่ยนแปลงภาระ และความเร็วรอบ พบว่า การผสมน้ำมันปาล์มดิบที่บวมลดยางเหนียวและลดกรดในดีเซลสูงถึง 40 vol.% ได้รับผลเป็นที่น่าพอใจ โดยมีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะสูงกว่าดีเซล 4.3 ถึง 7.6% ประสิทธิภาพเชิงความร้อนต่ำกว่าดีเซล 3.0 ถึง 5.2% และอุณหภูมิไอเสียต่ำกว่าดีเซล 2.7 ถึง 3.4%

15) เมษิณ และรักษิต, (2551) ศึกษาการศึกษาหมุมจ่ายเชื้อเพลิงในเครื่องย่นดีเซลคอมมอนเรล โดยใช้ดีเซลชีวภาพที่ผลิตจากน้ำมันเรพ (Rapeseed Methly Ester, RME) เป็นเชื้อเพลิงทดแทน เปรียบเทียบกับดีเซล ในเครื่องย่นขนาดเล็ก (light-duty C.I. Engine) ผลการทดสอบพบว่า การปรับแต่งมุมการเริ่มจ่ายน้ำมันเข้าสู่ห้องเผาไหม้ มีผลต่อแรงกำลัง, แรงบิด และอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง โดยที่มุมจ่ายเชื้อเพลิงปกติ (24° BTDC) มีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงสูงกว่าดีเซลร้อยละ 16 เนื่องจากค่าความร้อนที่ต่ำและความหนาแน่นที่สูงกว่า อย่างไรก็ตาม การปรับลดมุมเริ่มจ่ายเชื้อเพลิงเข้าสู่ห้องเผาไหม้เพื่อให้การเผาไหม้สมบูรณ์ สามารถปรับปรุงสมรรถนะ โดยเฉพาะที่รอบการทำงานในช่วงต่ำถึงปานกลาง และเมื่อปรับลดมุมเริ่มจ่ายเชื้อเพลิงมุมจ่ายเชื้อเพลิง (21° BTDC) สามารถเพิ่มกำลังและแรงบิดของเครื่องย่นที่ใช้ดีเซลชีวภาพให้ใกล้เคียงกับการใช้ดีเซล ทั้งยังลดอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงลงอีกด้วย แต่การใช้ RME ก็ยังมีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงสูงกว่าดีเซล แต่เมื่อพิจารณาในรูปของอัตราสิ้นเปลืองพลังงาน กลับพบว่า RME สิ้นเปลืองพลังงานต่ำกว่าดีเซลเล็กน้อยเป็นผลมาจากค่าความร้อนของ RME ที่ต่ำกว่าดีเซล ในส่วนของการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และเขม่าควันดำ (Particulate Matter, PM) มีค่าลดลง ในขณะที่ออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) กลับมีค่าเพิ่มขึ้น โดยได้วัดความดันในห้องเผาไหม้

ซึ่งแสดงให้เห็นว่าอัตราการเผาไหม้ของ RME นั้นเพิ่มขึ้นเร็วกว่าดีเซลประมาณ 3-5 ของวัฏจักรการทำงาน นอกจากนี้ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยในห้องเผาไหม้ที่ได้จากการประเมินยังพบว่า RME ส่งผลให้อุณหภูมิเฉลี่ยในห้องเผาไหม้สูงกว่าดีเซล จากอุณหภูมิห้องเผาไหม้ที่สูงขึ้นนี้สอดคล้องกับปริมาณ NO_x ที่สูงขึ้น เนื่องจากความหนาแน่นที่มากกว่าส่งผลให้ลูกสูบเพิ่มแรงดันได้เร็วกว่า

16) เกียรติก้อง และคณะ, (2551) ศึกษาการทดสอบเชื้อเพลิงที่มีเอทานอลเป็นส่วนผสมในอัตราส่วนต่างๆ คือ E10, E20, E60 และ E70 เปรียบเทียบกับน้ำมันเบนซิน 95 ที่ความเร็วรอบ 1,800-5,800 rpm โดยใช้เครื่องยนต์สำหรับอากาศยานขนาดเล็ก ซึ่งเป็นเครื่องยนต์แก๊สโซลีน 4 จังหวะ 4 สูบ (แบบสูบนอน) ยี่ห้อ Rotax รุ่น 912S ทั้งนี้ได้มีการปรับเครื่องเพื่อให้เหมาะกับน้ำมันเบนซิน 95 ก่อนทำการทดสอบ โดยผลการทดสอบพบว่า แรงขับหรือแรงจลกลามีค่ามากขึ้นตามความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่สูงขึ้น อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงสูงขึ้นเมื่อเร่งความเร็วรอบให้สูงขึ้น เพื่อผลิตแรงมาให้สูงขึ้น ส่วนการทดสอบปริมาณแก๊สไอเสียในช่วงความเร็วรอบ 1,800-2,500 rpm เกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ เนื่องจาก CO ออกมามาก (CO_2 ออกมาน้อย) และในช่วงความเร็วรอบ $> 2,500$ rpm การเผาไหม้เริ่มดีขึ้นตามลำดับ ซึ่งสังเกตได้จากมี CO_2 ออกมาจากท่อไอเสียมากขึ้น โดยยังชี้ให้เห็นว่าการเผาไหม้จะดีขึ้นเมื่อน้ำมันเชื้อเพลิงมีส่วนผสมของเอทานอลมากขึ้น (E60 และ E70) ในส่วนของค่า O_2 ในไอเสียนั้น ถ้าในช่วงความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่เกิดส่วนผสมไอดีบาง ก็จะมีค่าของ O_2 ปะปนออกมากับไอเสียมากขึ้น นอกจากนี้เชื้อเพลิงที่มีเอทานอลผสมอยู่มากก็จะมีปริมาณของ O_2 หลงเหลือมากับไอเสียมากขึ้น สำหรับแก๊ส NO_x ที่วัดได้จะมีค่ามากสำหรับเครื่องยนต์ที่ใช้แก๊สโซลีนเป็นเชื้อเพลิง แต่สำหรับน้ำมันเบนซิน 95 มีปริมาณของแก๊ส NO_x ออกมากับไอเสียเพียงเล็กน้อย ซึ่งมลพิษที่เกิดขึ้นจากแก๊สโซลีน E20 จะต่างจากน้ำมันเบนซิน 95 และแก๊สโซลีน E10 แต่ในทางกลับกัน เชื้อเพลิง E60 และ E70 นั้นไม่สามารถใช้งานกับเครื่องยนต์นี้ได้ต้องมีการปรับจูนเครื่องก่อน เนื่องจากไม่สามารถเร่งเครื่องได้ถึงรอบสูงสุดที่ 5,800 rpm ด้วยเหตุนี้หากต้องการใช้น้ำมันแก๊สโซลีนที่มีปริมาณเอทานอลผสมอยู่มากๆ ควรทำการปรับแต่งเครื่องยนต์ (ปรับการจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิง ปริมาณอากาศ และปรับองศาการจุดระเบิด พร้อมทั้งตรวจสอบค่า Lambda อีกครั้ง) ให้เหมาะสม

จากการทบทวนเอกสารการทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ดีเซลประเภทต่างๆ ด้วยเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ ได้แก่ น้ำมันปาล์ม น้ำมันปาล์มดิบ น้ำมันปาล์มดิบหีบรวม น้ำมันปาล์มลดขางเหนียวและลดกรด น้ำมันปาล์มดิบหีบรวมลดขางเหนียวและลดกรด น้ำมันปาล์มกลั่น เมทิลเอสเตอร์ น้ำมันพืชลดขางเหนียว น้ำมันเรพ และเอทานอลผสมเบนซิน (เพื่อดูสมรรถนะเครื่องยนต์และการปลดปล่อยก๊าซไอเสีย) โดยสรุปได้ว่า การนำเชื้อเพลิงแต่ละชนิดผสมในดีเซลที่สัดส่วนการผสมต่างๆ เชื้อเพลิงผสมบางชนิดเมื่อใช้ทดสอบเครื่องยนต์ดีเซล ให้ผลการทดสอบที่

น่าพึงพอใจ เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ดีเซลในเครื่องยนต์ เนื่องจากการนำเชื้อเพลิงผสมในดีเซลช่วยลดความหนืดของเชื้อเพลิง และยังปรับปรุงคุณสมบัติเชื้อเพลิงด้านอื่นๆ นอกจากนี้ การอุ่นเชื้อเพลิงเริ่มต้นก่อนการใช้งาน เป็นอีกวิธีหนึ่งที่น่าสนใจซึ่งสามารถลดความหนืดได้อีกด้วย แต่อย่างไรก็ตาม ในงานวิจัยนี้จะทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ โดยไม่อุ่นเชื้อเพลิงเริ่มต้นก่อนใช้งาน ซึ่งง่ายและสะดวกสำหรับผู้ใช้เครื่องยนต์ทั่วไป ที่ไม่มีความประสงค์จะดัดแปลงเครื่องยนต์ (ติดตั้งระบบอุ่นเชื้อเพลิงในถังน้ำมัน) ที่มีอยู่เดิม โดยงานวิจัยนี้จะแก้ปัญหาคุณสมบัติเชื้อเพลิงเริ่มต้น ด้วยการผสมเชื้อเพลิงในดีเซล โดยเลือกสัดส่วนการผสมเชื้อเพลิงในดีเซลสูงสุด ที่ผ่านการวิเคราะห์การผลิต ต้นทุน องค์ประกอบเชื้อเพลิง คุณลักษณะการเป็นของเหลว ได้แก่ การเป็นไข ความหนืด และความหนาแน่น ซึ่งผลการทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์จะกล่าวในบทถัดไป

บทที่ 3

วิธีการวิจัย

บทนี้จะกล่าวถึง วิธีการวิจัย โดยเนื้อหาประกอบด้วย การศึกษาและพัฒนากระบวนการผลิตส่วนผสมซีเมนต์จากน้ำมันปาล์มดิบหีบรวม การบ่งบอกองค์ประกอบเชื้อเพลิงของส่วนผสมซีเมนต์คุณสมบัติการเป็นของเหลวของส่วนผสมซีเมนต์ 3 ประเภท ได้แก่ ความหนืด ความหนาแน่น และการเป็นไข การเลือกส่วนผสมซีเมนต์ในการทดสอบเครื่องยนต์เบนซิน การผลิตต้นทุน และคุณสมบัติการเป็นของเหลว นอกจากนี้ ยังกล่าวถึง การทดสอบคุณสมบัติเชื้อเพลิงสมรรถนะเครื่องยนต์ และไอเสีย ซึ่งมีขั้นตอนการวิจัยแสดงดังรูปที่ 3.1

3.1 อุปกรณ์การทดลอง

- 3.1.1 ไขพัดคววนซ์ด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า ขนาด 72 W (ยี่ห้อ IKA)
- 3.1.2 Hotplate Stirrer (ยี่ห้อ Labtech)
- 3.1.3 เทอร์โมมิเตอร์ (ยี่ห้อ FLUKE, รุ่น FLUKE 51 II)
- 3.1.4 เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 2 ตำแหน่ง
- 3.1.5 ชุดเครื่องแก้ว เช่น บีกเกอร์ กรวยล้าง กระจกตวง ขวดชมพูและบิวเรต (ยี่ห้อ Glassco)
- 3.1.6 เครื่องยนต์ KUBOTA รุ่น RT80
- 3.1.7 แท่นทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ (Dynamometer Test Bed) ขนาด 12 แรงม้า

3.2 วัตถุดิบและสารเคมี

- 3.2.1 น้ำมันปาล์มดิบหีบรวม (กรดไขมันอิสระ 8-14 wt.%)
- 3.2.2 เมทานอล (commercial grade 98%)
- 3.2.3 กรดซัลฟิวริก (commercial grade 98%)
- 3.2.4 โซเดียมไฮดรอกไซด์
- 3.2.5 ไอโซโพรพานอล
- 3.2.6 ฟีนอล์ฟทาลินอินดิเคเตอร์
- 3.2.7 น้ำมันซีเมนต์

3.3 วิธีการดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้แบ่งการดำเนินงานหลักที่สำคัญออกเป็น 3 ข้อ ดังนี้

3.3.1 การศึกษาและพัฒนากระบวนการผลิตส่วนผสมดีเซลจาก MCPO

ศึกษาโดยการทบทวนเอกสารและการทดลองในห้องปฏิบัติการ เพื่อพัฒนากระบวนการผลิตให้ได้ส่วนผสมเซลจากน้ำมันปาล์มดิบหีบรวมด้วยปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชันและการเลือกทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันจากส่วนไขที่มีต้นทุนต่ำ (ใช้เมทานอลรวม 2 ขั้นตอน น้อยกว่า มีปริมาณการได้คืนของผลิตภัณฑ์รวมของ 2 ขั้นตอนสูง และผสมในดีเซลได้ในสัดส่วนที่สูง โดยเชื้อเพลิงผสมไม่เป็นไขเมื่อตั้งไว้ในบรรยากาศ 14 วัน) ซึ่งมีงานที่ต้องศึกษาและพัฒนา 3 ส่วน คือ

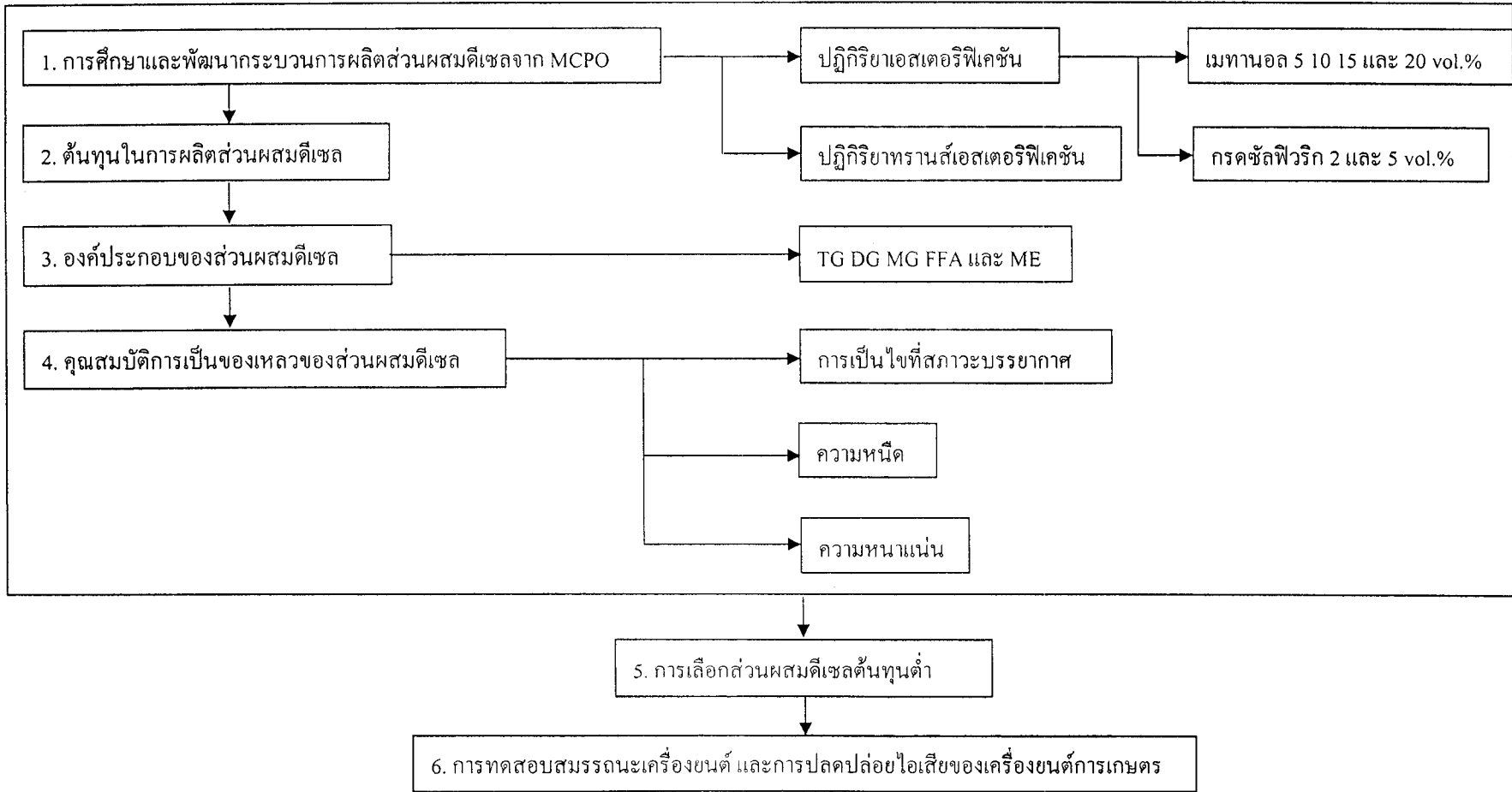
1. การทำปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชันระหว่างน้ำมันปาล์มดิบหีบรวมกับเมทานอล ในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ (จำกัดเป็นปฏิกิริยาเอกพันธ์ ที่ความดันบรรยากาศ อุณหภูมิ 60°C ใช้กรดซัลฟิวริก 2 และ 5 vol.% เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา) เพื่อศึกษาผลของปริมาณเมทานอลที่ใช้ในช่วง 5-20 vol.% ของน้ำมันปาล์มดิบหีบรวม ต่อการลดกรดไขมันอิสระ ปริมาณการเกิดเอสเตอร์ และปริมาณการได้คืนของน้ำมันปาล์มดิบหีบรวมชนิดลดขางเหนียวและลดกรด

2. การแยกไขไตรกลีเซอไรด์และส่วนที่เป็นของเหลวออกจากน้ำมันปาล์มดิบชนิดเอสเตอริไฟน์ที่ผลิตได้ ปริมาณเมทานอลที่ใช้ทำปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชันที่แตกต่างกันน่าจะมีผลต่อปริมาณการเกิดไขไตรกลีเซอไรด์ของน้ำมันปาล์มดิบหีบรวมชนิดลดขางเหนียวและลดกรดที่แตกต่างกันด้วย ซึ่งผลดังกล่าวจะถูกศึกษาในขั้นตอนนี้ด้วย

นอกจากนี้ สำหรับการผลิตเชื้อเพลิงผสมกับดีเซลที่ไม่เป็นไข ส่วนของเหลวที่แยกได้จากน้ำมันปาล์มดิบหีบรวมชนิดเอสเตอริไฟน์ไม่จำเป็นต้องแยกไขไตรกลีเซอไรด์ออกทั้งหมด เนื่องจากในกระบวนการแยกอาจมีไตรกลีเซอไรด์บางส่วนผสมกับเชื้อเพลิง เมื่อนำส่วนของเหลวที่แยกไขบางส่วนไปผสมกับดีเซล เชื้อเพลิงผสมจะไม่เป็นไขแม้เก็บไว้ระยะยาว

ส่วนไขไตรกลีเซอไรด์ที่แยกได้จะนำไปผลิตเป็นเมทิลเอสเตอร์ด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันในขั้นตอนต่อไป

3. การทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันระหว่างไขไตรกลีเซอไรด์ที่แยกได้กับเมทานอลในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ใช้สภาวะเหมาะสมจากการทบทวนเอกสาร คือ อุณหภูมิ 60°C เมทานอล 23 vol.% ของไขไตรกลีเซอไรด์ ส่วนตัวเร่งปฏิกิริยาหาจากค่ากรดไขมันอิสระที่ไตเตรทได้ + 0.5 wt.% ของไขไตรกลีเซอไรด์ เพื่อดูปริมาณการได้คืนของผลิตภัณฑ์เป็นหลัก ซึ่งมีผลต่อการคำนวณต้นทุนในการผลิต



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการวิจัย

จากหัวข้อข้างต้น กระบวนการผลิตเชื้อเพลิงทดแทนดีเซลได้แยกการทดลองออกเป็น 2 การทดลอง ดังนี้

การทดลองที่ 1 : กระบวนการผลิตน้ำมันเอสเทอร์ไฟน์จากน้ำมันปาล์มดิบหีบรวม ขั้นตอนการทำปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชัน (Esterification)

1. นำน้ำมันปาล์มดิบหีบรวม (MCPO) ไตรเตรทด้วยสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์เพื่อหาปริมาณกรดไขมันอิสระเริ่มต้น
2. ทำการอุ่น MCPO จำนวน 1,000 ml ในบีกเกอร์ (ผลิตแบบกะครั้งละ 1,000 ml) ด้วยแผ่นให้ความร้อนไฟฟ้า (Hotplate stirer) จน MCPO มีอุณหภูมิ 60°C และกวนตลอดเวลาด้วยชุดมอเตอร์ติดตั้งพร้อมใบกวน ดังรูปที่ 3.2 ที่ความเร็วรอบ 300 รอบต่อนาที เพื่อลดความหนืดของ MCPO
3. เมทานอลที่ใช้มีปริมาณ 5, 10, 15 และ 20 vol.% ของ MCPO และเติมลงไปอย่างช้าๆจนหมด รอให้เกิดปฏิกิริยาเป็นเวลา 5 นาที
4. กรดซัลฟิวริกที่ใช้มีปริมาณ 2 และ 5 vol.% ของ MCPO และเติมลงไปอย่างช้าๆจนหมด รอให้เกิดปฏิกิริยาเป็นเวลา 240 นาที (ขั้นตอนนี้อุณหภูมิของระบบจะเพิ่มขึ้นเนื่องจากปฏิกิริยาการคายความร้อน)
5. เก็บตัวอย่างน้ำมันทุกๆ 30 นาที เพื่อนำไปไตรเตรทหาปริมาณกรดไขมันอิสระที่ลดลง
6. เมื่อทำปฏิกิริยาครบ 240 นาที ให้หยุดกวน ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 120 นาที เพื่อให้เกิดการแยกชั้นระหว่างชั้นน้ำมันและชั้นของยางเหนียว หลังจากนั้นก็แยกยางเหนียวออกทิ้ง
7. น้ำมันที่แยกได้จากขั้นตอนที่แล้วตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 2-3 วัน เพื่อให้สามารถแยกชั้นระหว่างชั้นของของเหลวกับไข หลังจากนั้นก็แยกน้ำมันปาล์มส่วนที่เป็นของเหลวซึ่งน้ำมันที่ได้ในกระบวนการนี้เรียกว่าน้ำมันปาล์มดิบหีบรวมเอสเทอร์ไฟน์ (EMCPO) และน้ำมันปาล์มส่วนที่เป็นไข
8. นำ EMCPO ที่ได้ใส่ในกรวยแยก เพื่อผ่านกระบวนการล้างโดยการใช้น้ำกลั่นอุ่นที่อุณหภูมิ 60°C ฉีดสเปรย์น้ำผ่านชั้นของน้ำมัน ซึ่งน้ำมันจะอยู่ส่วนบนและน้ำกลั่นอยู่ส่วนล่างของกรวยแยก พร้อมทั้งวัดค่า pH ของน้ำที่ปล่อยทิ้ง ถ้าน้ำที่ล้างสะอาดแล้วจะมีค่า pH=7 หรือสังเกตว่าน้ำล้างแล้วมีความใสใกล้เคียงกับน้ำก่อนล้าง ถ้ายังไม่ใสให้สเปรย์น้ำต่อไปเรื่อยๆ จนกว่าน้ำล้างมีความใสใกล้เคียงกับน้ำก่อนนำไปใช้ล้าง

9. EMCPO ที่ผ่านการล้างจนสะอาดแล้ว นำไปผ่านกระบวนการให้ความร้อน เพื่อไล่น้ำออกจากน้ำมันผสม โดยใช้แผ่นให้ความร้อนไฟฟ้า (Hotplate stirrer) ที่อุณหภูมิ 100-110°C และใช้ใบพัดกวนตลอดเวลา (สังเกตว่าน้ำมันผสมไม่เดือดและไม่มีฟองอากาศผุดขึ้นมา)

10. เมื่ออุ่นไล่น้ำออกจนหมดตั้งทิ้งไว้ให้เย็นตัวลงที่อุณหภูมิห้อง นำน้ำมันส่วนหนึ่งไปวิเคราะห์เพื่อดูค่าปริมาณกรดไขมันอิสระที่เหลืออยู่ และจากนั้นจึงนำน้ำมัน EMCPO ผสมกับน้ำมันดีเซล ในอัตราส่วน 10:90, 15:85, 20:80, 25:75, 30:70, 35:65, 40:60, 60:40, 80:20 และ 100:0 vol.% เพื่อสังเกตพฤติกรรมกรดไขมันของน้ำมันที่อัตราส่วนการผสมต่างๆ

การทดลองที่ 2 : การผลิตเมทิลเอสเทอร์จาก EMCPO ส่วนที่เป็นไขไตรกลีเซอไรด์

ขั้นตอนการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน (Tranesterification)

1. ทำการทดลองเหมือนการทดลองที่ 1 จนกระทั่งถึงวิธีการแยกชั้นระหว่าง EMCPO ส่วนที่เป็นของเหลว (ซึ่งน้ำมันส่วนนี้แยกเก็บไว้) และ EMCPO ส่วนที่เป็นไข (ไขส่วนนี้ นำไปผ่านกระบวนการทรานส์เอสเตอริฟิเคชันต่อไป)

2. นำ EMCPO ส่วนที่เป็นไขมาวิเคราะห์ด้วยสารละลายมาตรฐาน โซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ เพื่อคำนวณหาปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการนี้

3. ทำการอุ่น EMCPO ส่วนที่เป็นไขด้วยแผ่นให้ความร้อนไฟฟ้า (Hotplate stirrer) จนมีอุณหภูมิ 60°C พร้อมทั้งกวนด้วยใบพัดตลอดเวลาที่ความเร็วรอบ 300 รอบต่อนาที

4. เมทานอลที่ใช้มีปริมาณ 23 vol.% (Jansri et., 2007) ของ EMCPO ส่วนที่เป็นไข และเติมลงไปอย่างช้าๆจนหมด รอให้เกิดปฏิกิริยาเป็นเวลา 5 นาที

5. โซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้มีปริมาณดังที่ได้จากการคำนวณข้างต้น (กิจกรรมที่ 1 ข้อย่อยที่ 3) และเติมลงไปอย่างช้าๆ จนหมด รอให้เกิดปฏิกิริยาเป็นเวลา 90 นาที

6. เมื่อทำปฏิกิริยาครบ 90 นาที ให้หยุดกวน ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 120 นาที เพื่อให้เกิดการแยกชั้นระหว่างชั้นเมทิลเอสเทอร์ (ME) และชั้นของกลีเซอรอล หลังจากนั้นก็แยกกลีเซอรอลทิ้ง

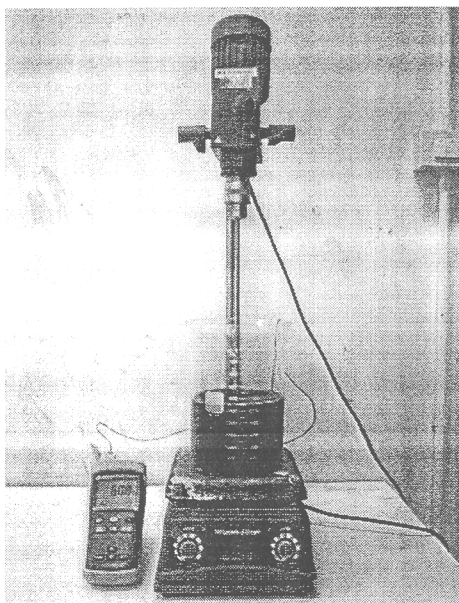
7. นำ EMCPO (ส่วนที่เป็นของเหลวซึ่งแยกเก็บไว้ข้างต้น) และ ME ผสมกันในบีกเกอร์และใช้ใบพัดกวนผสมให้เข้ากันเป็นเวลา 15 นาที ซึ่งน้ำมันที่ได้ในกระบวนการนี้เรียกว่า น้ำมันปาล์มดิบหีบรวมเอสเทอร์ไฟน์ผสมเมทิลเอสเทอร์ (EMCPO+ME)

8. นำน้ำมันผสม (EMCPO+ME) ที่ได้ใส่ในกรวยแยก เพื่อผ่านกระบวนการล้าง โดยการใช้ น้ำกลั่นอุ่นที่อุณหภูมิ 60°C ฉีดสเปรย์น้ำผ่านชั้นของน้ำมัน ซึ่งน้ำมันจะอยู่ส่วนบนและ

น้ำกลั่นอยู่ส่วนล่างของกรวยแยก พร้อมทั้งวัดค่า pH ของน้ำที่ปล่อยทิ้ง ถ้าน้ำที่ล้างสะอาดแล้วจะมีค่า pH=7 หรือสังเกตว่าน้ำล้างแล้วมีความใสใกล้เคียงกับน้ำก่อนล้าง ถ้ายังไม่ใสให้สเปรย์น้ำต่อไปเรื่อยๆจนกว่าน้ำล้างมีความใสใกล้เคียงกับน้ำก่อนนำไปใช้ล้าง

9. EMCPO ที่ผ่านการล้างจนสะอาดแล้ว นำไปผ่านกระบวนการให้ความร้อน เพื่อไล่น้ำออกจากน้ำมันผสม โดยใช้แผ่นให้ความร้อนไฟฟ้า (Hotplate stirrer) ที่อุณหภูมิ 100-110°C และใช้ใบพัดกวนตลอดเวลา (สังเกตว่าน้ำมันผสมไม่เดือดและไม่มีฟองอากาศผุดขึ้นมา)

10. เมื่ออุ่น ไล่น้ำออกจนหมดตั้งทิ้งไว้ให้เย็นตัวลงที่อุณหภูมิห้อง นำน้ำมันส่วนหนึ่งไปวิเคราะห์เพื่อดูค่าปริมาณกรดไขมันอิสระที่เหลืออยู่ และจากนั้นจึงนำน้ำมัน EMCPO+ME ผสมกับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วน 10:90, 20:80, 30:70, 40:60, 50:50, 60:40, 70:30, 80:20, 90:10 และ 100:0 vol.% เพื่อสังเกตพฤติกรรมการตกใจของน้ำมันที่อัตราส่วนการผสมต่างๆ



รูปที่ 3.2 ชุดการผลิต

3.3.2 การศึกษาศักยภาพและขีดจำกัดการใช้งานของส่วนผสมดีเซลที่ผลิตได้

จากหัวข้อ 3.3.1 ในแต่ละเงื่อนไขของการทดลองผลิตที่ศึกษาเปรียบเทียบ เก็บข้อมูล ปริมาณสารตั้งต้น น้ำล้าง พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิต และปริมาณการได้คืนของผลิตภัณฑ์รวม ซึ่งนำมาคำนวณเปรียบเทียบต้นทุนในการผลิตของแต่ละวิธีได้ต่อไป

สำหรับผลิตภัณฑ์ที่ได้จากแต่ละเงื่อนไขการผลิตก็สามารถทราบองค์ประกอบเชื้อเพลิง คุณสมบัติการเป็นของเหลวของส่วนผสมดีเซล 3 ประเภท ได้แก่ ความหนืด

ความหนาแน่น และการไม่เป็นไข ซึ่งจะได้สัดส่วนการผสมในดีเซลสูงสุดโดยที่ส่วนผสมดีเซลไม่เกิดเป็นไขเมื่อเก็บไว้ระยะยาวด้วย

จากข้อมูลของต้นทุนการผลิต คุณสมบัติเชื้อเพลิงและศักยภาพสูงสุดในการผสมกับดีเซลดังกล่าว สามารถนำมาประกอบเพื่อพิจารณาเลือกวิธีการผลิตส่วนผสมดีเซลต้นทุนต่ำที่มีศักยภาพผสมในดีเซลได้ในปริมาณสูงโดยเชื้อเพลิงไม่เป็นที่สนใจสำหรับการนำไปใช้งานในเครื่องยนต์การเกษตรปกติ (ไม่ต้องอุ่นเชื้อเพลิง) ได้ต่อไป

3.3.3 การทดสอบใช้งานขั้นต้นในเครื่องยนต์การเกษตร ของส่วนผสมดีเซลที่ผลิตได้ผสมในดีเซล

จากหัวข้อที่ 3.3.1 และ 3.3.2 จะทราบกระบวนการผลิต และได้ส่วนผสมดีเซลที่น่าสนใจจากเงื่อนไขของต้นทุนการผลิตที่ต่ำและศักยภาพการผสมในดีเซลโดยที่ส่วนผสมดีเซลไม่เป็นที่สนใจ ในหัวข้อที่ 3.3.3 จะส่งตัวอย่างส่วนผสมดีเซลที่น่าสนใจดังกล่าวไปทดสอบคุณสมบัติเชื้อเพลิง (รายละเอียดการทดสอบเป็นไปตามรายการทดสอบคุณลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลสำหรับเครื่องยนต์การเกษตร) เพื่อใช้ประกอบการวิเคราะห์ผลการทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์การเกษตรต่อไป

สำหรับการทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์การเกษตรระยะสั้นเมื่อเดินด้วยเชื้อเพลิงผสมที่น่าสนใจ จะใช้เครื่องยนต์ทดสอบยี่ห้อ KUBOTA รุ่น RT80 ซึ่งเป็นเครื่องยนต์ดีเซลการเกษตรที่ใช้งานทั่วไปในประเทศ คุณลักษณะที่สำคัญของเครื่องยนต์เป็นดังนี้ เครื่องยนต์สูบเดียวแวนอน ระบบ 4 จังหวะ มีห้องเผาไหม้ล่วงหน้าแบบหมุนวน (Indirect Injection: IDI) ขนาดกระบอกสูบ 84 mm ช่วงชัก 84 mm ปริมาตรช่วงชัก 465 cm³ อัตราส่วนการอัด 23:1 กำลังเครื่องยนต์สูงสุด 5.9 kW ที่ 2,400 rpm แรงบิดสูงสุด 2.8 kg-m ที่ 1,600 rpm ระบายความร้อนด้วยน้ำ (หม้อน้ำแบบรังผึ้ง) ขับดันน้ำมันหล่อลื่นด้วยปั๊มโทรคอกซ์ และมีหม้อกรองอากาศแบบเปียก นำเครื่องยนต์ติดตั้งบนแท่นทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ (Dynamometer Test Bed) ขนาด 12 แรงม้า ของบริษัท PLINT & PARTNERS เพื่อสังเกตปัญหาการใช้งานทั่วไป (การสตาร์ท การเดินเครื่อง และการจุดตันระบบจ่ายเชื้อเพลิง) และสมรรถนะเครื่องยนต์ (อัตราการใช้เชื้อเพลิงจำเพาะเบรก และประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรก)

3.4 การบ่งบอกองค์ประกอบเชื้อเพลิงของส่วนผสมดีเซล

การบ่งบอกองค์ประกอบเชื้อเพลิงของส่วนผสมดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มดิบหีบรวมทั้ง 2 ชนิด วิเคราะห์ด้วยวิธี Thin Layer Chromatography / Flame Ionization Detector (TLC/FID) โดยใช้อุปกรณ์ Itronscan รุ่น MK-6s และหลอดแก้วชนิด S-III quartz rod ยี่ห้อ

Mitsubishi Kagaku Iatron ทำการทดลองที่ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ มีขั้นตอนการวิเคราะห์ดังนี้คือ นำตัวอย่างเชื้อเพลิง 1 μl ละลายในเฮกเซน 0.75 ml หยดสารละลายลงบนหลอดแก้ว นำหลอดแก้วแช่ในสารละลาย Hexane:Diethyl Ether:Formic Acid ที่มีสัดส่วนผสม 50:20:0.3 vol.% จนสารละลายเคลื่อนที่บนหลอดแก้วเป็นระยะทาง 8 cm นำหลอดแก้วไปแช่ในสารละลาย Hexane:Benzene ที่มีสัดส่วนผสม 1:1 vol.% จนสารละลายเคลื่อนที่บนหลอดแก้วเป็นระยะทาง 10 cm จากนั้นนำหลอดแก้วไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 105°C และนำไปเผาวิเคราะห์ด้วยอุปกรณ์ Itronscan ที่อัตราการไหลก๊าซไฮโดรเจนและอากาศ 0.16 และ 2 l/min ระยะเวลาในการสแกน 30 sec ซึ่งจะได้ผลการวิเคราะห์หองค์ประกอบของเชื้อเพลิง

3.5 คุณสมบัติการเป็นของเหลวของส่วนผสมดีเซล

3.5.1 ความหนืดจลศาสตร์

นำส่วนผสมดีเซลที่ผลิตได้จากน้ำมันปาล์มดิบที่บรวมน มีขั้นตอนการผลิตดังการทดลองที่ 1 ผสมในดีเซลที่สัดส่วน 30 vol.% ส่วนผสมดีเซลถูกทดสอบความหนืดจลศาสตร์ตามมาตรฐาน ASTM D445 ที่อุณหภูมิ 40°C ด้วยอุปกรณ์วัดความหนืด ซึ่งการทดสอบความหนืดจลศาสตร์ของส่วนผสมดีเซลส่งทดสอบที่ บริษัท ปตท. จำกัดมหาชน

3.5.2 ความหนาแน่น

นำส่วนผสมดีเซลทั้ง 2 ชนิด จากการทดลองที่ 1 และ 2 ข้างต้น (หัวข้อที่ 3.3.1) ผสมในดีเซลที่สัดส่วน 30 และ 50 vol.% ตามลำดับ ด้วยกระบอกตวง 100 ml ความละเอียด ± 0.5 ml ที่อุณหภูมิห้อง เชื้อเพลิงผสมทั้งหมดถูกทดสอบความหนาแน่นที่อุณหภูมิ 15°C ด้วยอุปกรณ์ Picanometer 25 ml และเครื่องชั่งน้ำหนักหือ LIBROR รุ่น EBQ-3200H ความละเอียด 0.01 g ความหนาแน่นของเชื้อเพลิงถูกคำนวณจากน้ำหนักเชื้อเพลิงหารด้วยปริมาตรเชื้อเพลิงที่บรรจุใน Picanometer การทดสอบความหนาแน่นของเชื้อเพลิงผสมทั้งหมดถูกทดสอบเป็นจำนวน 3 ซ้ำ เพื่อหาค่าเฉลี่ย

3.5.3 คุณลักษณะการไม่เป็นไอของส่วนผสมดีเซล

การทดสอบการไม่เป็นไอของเชื้อเพลิง 2 ชนิด ที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มดิบที่บรวมน เมื่อผสมในดีเซลที่สัดส่วน 0 10 15 20 25 30 35 40 50 60 80 และ 100 vol.% ตามลำดับ เชื้อเพลิงผสมทั้งหมดถูกบรรจุในกระบอกตวงขนาด 100 ml (อ่านค่าละเอียด 1 ml) ปิดปากกระบอกตวงด้วยแผ่นอะลูมิเนียมฟอยล์ เพื่อป้องกันฝุ่นละออง ความชื้น และสิ่งปนเปื้อน จากนั้นนำเชื้อเพลิงผสมทั้งหมดวางในบรรยากาศปกติที่ห้องทดลองภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ซึ่งมีอุณหภูมิรอบวันเฉลี่ยประมาณ $22-34^{\circ}\text{C}$ (คอหงษ์ สกษ., 2555) สังเกตและอ่านค่าปริมาณไที่เกิดขึ้นทุกวัน

3.6 การเลือกส่วนผสมดีเซลในการทดสอบเครื่องยนต์

การเลือกส่วนผสมดีเซลที่ผ่านมาตรฐานสำหรับนำไปใช้งานในเครื่องยนต์ดีเซล การเกษตร ยี่ห้อ KUBOTA รุ่น RT80 ที่ไม่ตัดแปลงเครื่องยนต์ โดยอาศัยผลการศึกษาค่าการผลิต ส่วนผสมดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบหีบรวมและต้นทุน องค์กรประกอบเชื้อเพลิง และผลการศึกษาคู่คุณลักษณะการเป็นของเหลวที่สำคัญ 3 ประเภท ได้แก่ ความหนืด ความหนาแน่น และการไม่เป็นไข ของส่วนผสมดีเซล เป็นเงื่อนไขพิจารณา

3.7 การทดสอบคุณสมบัติเชื้อเพลิง สมรรถนะเครื่องยนต์ และการปลดปล่อยไอเสีย

3.7.1 การทดสอบคุณสมบัติเชื้อเพลิง

สำหรับส่วนผสมดีเซลที่ถูกเลือก และดีเซล ควรทดสอบคุณสมบัติเชื้อเพลิงตามมาตรฐาน กรมธุรกิจพลังงานให้ครอบคลุมมากที่สุด ซึ่งในงานวิจัยนี้จึงได้ทดสอบคุณสมบัติเชื้อเพลิงให้ครอบคลุมคุณสมบัติเชื้อเพลิงที่สำคัญมากที่สุด เพื่อประเมินข้อดีและข้อด้อยของการเป็นส่วนผสมดีเซลต้นทุนต่ำ

3.7.2 การทดสอบสมรรถนะและการปลดปล่อยไอเสีย

การทดสอบสมรรถนะและการปลดปล่อยไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซลการเกษตร ยี่ห้อ KUBOTA รุ่น RT80 ทดสอบบนแท่นทดสอบด้วยส่วนผสมดีเซลทั้ง 2 ชนิด คือ น้ำมันปาล์มดิบหีบรวมเอสเตอรีไฟน์และน้ำมันปาล์มดิบหีบรวมเอสเตอรีไฟน์จากส่วน ไข โดยนำไปเปรียบเทียบกับการเดินด้วยดีเซล เพื่อศึกษาผลกระทบต่อสมรรถนะและการปลดปล่อยไอเสียของเครื่องยนต์

3.7.2.1 อุปกรณ์ทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์

การทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์การเกษตรระยะสั้นบนแท่นทดสอบ มีอุปกรณ์ทดสอบ และรายละเอียดอุปกรณ์ ดังนี้

1) เครื่องยนต์ดีเซลการเกษตร ยี่ห้อคูโบต้า รุ่น RT80 เป็นเครื่องยนต์สูบลมเดี่ยว แนวนอน ระบบ 4 จังหวะ ชนิดห้องเผาไหม้ถ่วงหน้าหมุนวน ขนาดกระบอกสูบ 84 mm. ปริมาตรช่วงชัก 465 mm. อัตราส่วนการอัด 23:1 กำลังสูงสุด 5.9 kW ที่ 2,400 rpm กำลังต่อเนื่อง 5.1 kW ที่ 2,400 rpm แรงบิดสูงสุด 2.8 kg-m ที่ 1,600 rpm ระบายความร้อนด้วยน้ำ หม้อน้ำแบบรังผึ้ง ขับดันน้ำมันหล่อลื่นด้วยปั๊ม ไทโรคอยด์ และมีหม้อกรองอากาศแบบเปียก

2) แท่นทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ขนาด 12 hp ของบริษัท Plint & Partner

3) เครื่องวัดความเร็วรอบดิจิทัลแบบลำแสง ยี่ห้อ DIGICON รุ่น DT240P พิกัด 0-5,000 rpm

4) นาฬิกาดิจิทัล ยี่ห้อ ALBA ความละเอียด 0.01 วินาที

5) เครื่องวิเคราะห์ก๊าซไอเสีย ยี่ห้อ Testo รุ่น 350

3.7.2.2 วิธีการทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์

สำหรับการทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์การเกษตรระยะสั้น ด้วยเชื้อเพลิงทดสอบ 3 ชนิด งานวิจัยนี้เลือกวิธีทดสอบ 2 วิธี ดังนี้

1) การเปลี่ยนแปลงภาระ ที่ความเร็วรอบคงที่ 2,200 rpm เลือกทดสอบที่ภาระ 1.28 2.55 3.83 5.10 kW และภาระเต็มทีที่ความเร็วรอบ 2,200 rpm ตามลำดับ ที่ภาระต่างๆ บันทึกข้อมูล แรงบิด ความเร็วรอบ ระยะเวลาสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงทดสอบ โดยปริมาตร อุณหภูมิเชื้อเพลิงทดสอบ อุณหภูมิก๊าซไอเสีย และองค์ประกอบก๊าซไอเสีย

2) การเดินเครื่องยนต์เต็มกำลังในช่วงความเร็วรอบ 1,600-2,400 rpm เลือกทดสอบทุกช่วงความเร็วรอบ 200 rpm (โดยการเปิดคันเร่งเต็มกำลังแล้วค่อยๆ ไล่ภาระจนถึงช่วงความเร็วรอบที่ทำการศึกษา) การทดสอบนี้บันทึกข้อมูลทั้งหมดเช่นเดียวกับการเปลี่ยนภาระ โหลดที่ความเร็วรอบคงที่ 2,200 rpm

เมื่อบันทึกข้อมูลทั้งหมดจากการทดสอบ 2 วิธีข้างต้น นำข้อมูลทั้งหมดคำนวณกำลังเบรค อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเบรคจำเพาะ และประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรค ดังสมการที่ 3.1-3.5 (Taylor, 1968) ตามลำดับ

$$BHP = \frac{WN}{5000} \quad (3.1)$$

$$P = 0.746BHP \quad (3.2)$$

$$\dot{m} = \rho \dot{v} \quad (3.3)$$

$$BSFC = \frac{\dot{m}}{P} \quad (3.4)$$

$$\eta_{bh} = \frac{3,600 \times 100\%}{BSFC \times LHV} \quad (3.5)$$

กำหนดให้

BHP คือ กำลัง (HP)

W คือ แรงบิด (lb.ft)

N คือ ความเร็วรอบ (rpm)

P คือ กำลังเบรคของเครื่องยนต์ (kW)

ρ คือ ความหนาแน่นเชื้อเพลิง (kg/m^3)

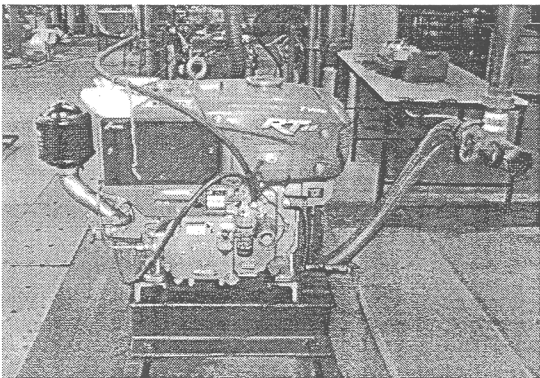
\dot{v} คือ อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงโดยปริมาตร (m^3/hr)

\dot{m} คือ อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง (kg/hr)

BSFC คือ อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเบรคจำเพาะ (kg/kW-hr)

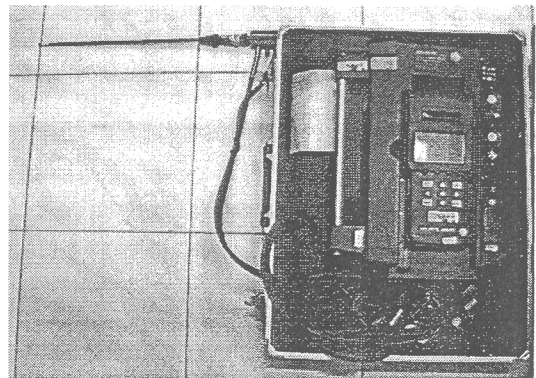
η_{bh} คือ ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรค (%)

LHV คือ ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (kJ/kg)



รูปที่ 3.3 เครื่องยนต์ดีเซลการเกษตรคูโบต้า

รุ่น RT80



รูปที่ 3.4 เครื่องวิเคราะห์ก๊าซไอเสีย ยี่ห้อ Testo

รุ่น 350

บทที่ 4

ผลและวิจารณ์

4.1 การผลิตส่วนผสมดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบหีบรวมและต้นทุน

การผลิตส่วนผสมดีเซลทั้ง 2 ชนิด จากน้ำมันปาล์มดิบหีบรวม คือน้ำมันปาล์มดิบหีบรวมเอสเทอร์ไฟน์ (EMCPO) และน้ำมันปาล์มดิบหีบรวมเอสเทอร์ไฟน์ผสมกับเมทิลเอสเทอร์จากส่วนไข (EMCPO+ME) มีกระบวนการผลิตไม่ซับซ้อน ไม่จำเป็นต้องใช้เทคโนโลยีขั้นสูง จึงไม่มีข้อจำกัดหากจะนำไปผลิตใช้งานจริง (แม้ในชุมชนเกษตรกรรม) ซึ่งวิธีการผลิตน้ำมันปาล์มดิบหีบรวมเอสเทอร์ไฟน์นั้น ใช้การผลิตด้วยปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน ซึ่งใช้กรดซัลฟิวริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และการผลิตน้ำมันปาล์มดิบหีบรวมเอสเทอร์ไฟน์ผสมกับเมทิลเอสเทอร์ ใช้การผลิตแบบ 2 ขั้นตอนคือการผลิตด้วยปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน ใช้กรดซัลฟิวริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาและการเลือกทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันจากส่วนไข ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งการผลิตเชื้อเพลิงชนิดนี้ต้องใช้เวลาการผลิตเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า

การผลิตน้ำมันปาล์มดิบหีบรวมเอสเทอร์ไฟน์ดังหัวข้อที่ 3.3 (การทดลองที่ 1) ใช้เมทานอลในกระบวนการ 5 10 15 และ 20 vol.% กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) ที่ความเข้มข้น 5 vol.% และ 2 vol.% ของน้ำมันปาล์มดิบหีบรวม เพื่อศึกษาดูการลดลงของกรดไขมันอิสระที่ระยะเวลาการทำปฏิกิริยาที่ต่างกันตั้งแต่ 0 - 240 นาที (เก็บผลทุกๆ 30 นาที) ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.1 และ 4.2 ซึ่งปริมาณของกรดไขมันอิสระที่ลดลงนี้มีผลต่อปริมาณการได้กินและต้นทุนในการผลิตเชื้อเพลิงดังได้กล่าวในหัวข้อถัดไป

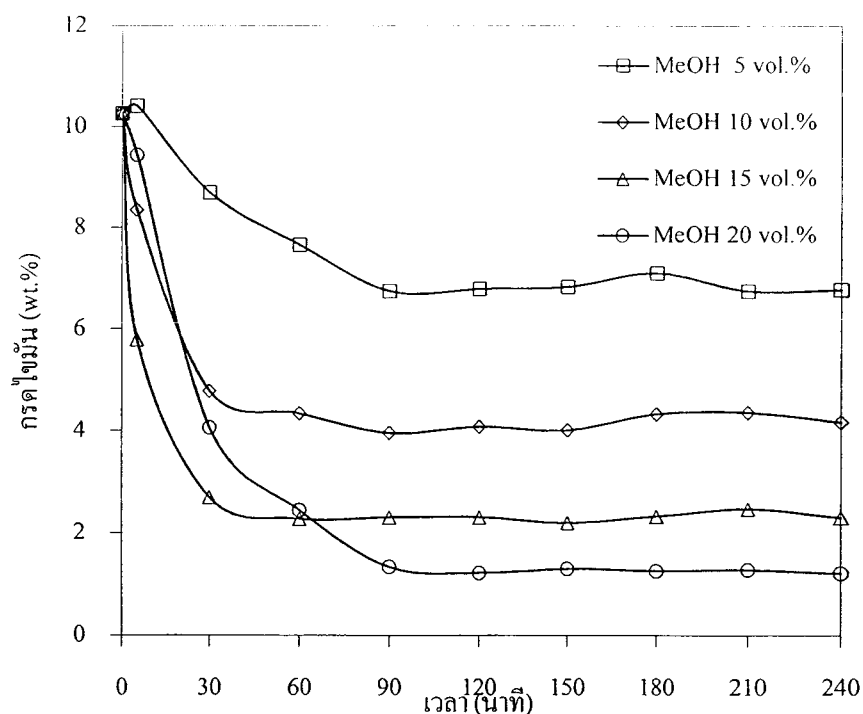
ตารางที่ 4.1 ปริมาณกรดไขมันอิสระ (wt.%) ในน้ำมันปาล์มดิบหีบรวมที่ผ่านกระบวนการเอสเทอร์ฟิเคชัน ใช้กรดซัลฟิวริก 5 vol.%

เมทานอล (vol.%)	ปริมาณกรดไขมันอิสระ (wt.%) ที่เวลา (นาที)									
	0	5	30	60	90	120	150	180	210	240
5	10.26	10.41	8.69	7.66	6.75	6.79	6.83	7.1	6.75	6.77
10	10.26	8.35	4.78	4.34	3.96	4.08	4.01	4.33	4.36	4.17
15	10.26	5.79	2.7	2.28	2.31	2.31	2.2	2.33	2.47	2.3
20	10.26	9.44	4.06	2.45	1.34	1.22	1.3	1.26	1.28	1.21

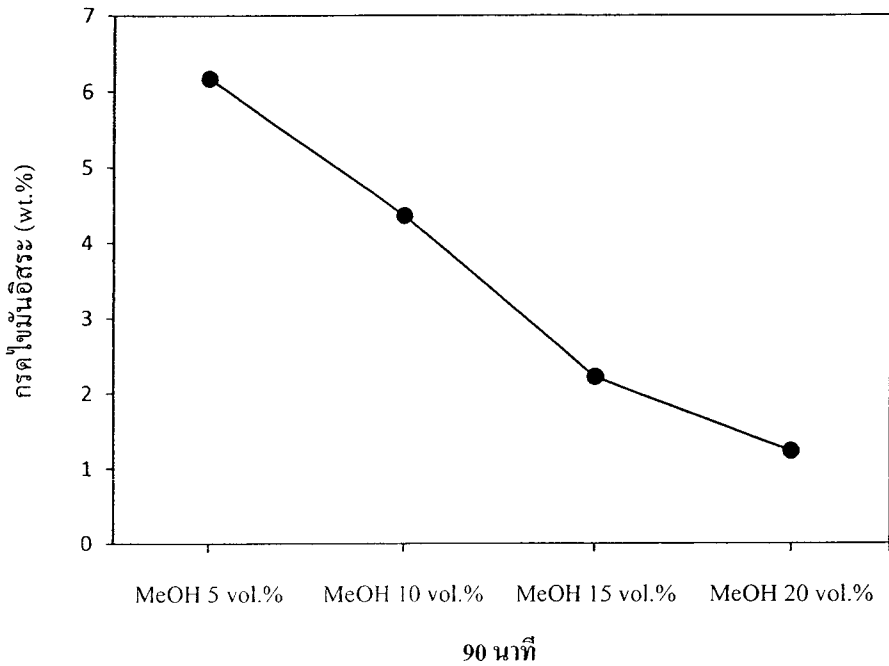
ตารางที่ 4.2 ปริมาณกรดไขมันอิสระ (wt.%) ในน้ำมันปาล์มดิบที่บวมที่ผ่านกระบวนการเอสเตอริฟิเคชัน ใช้กรดซัลฟิวริก 2 vol.%

เมทานอล (vol.%)	ปริมาณกรดไขมันอิสระ (wt.%) ที่เวลา (นาที)									
	0	5	30	60	90	120	150	180	210	240
5	12.0	14.58	12.34	8.76	6.17	6.21	6.23	6.15	6.27	6.18
10	12.0	12.76	7.03	6.29	4.36	4.38	4.41	4.36	4.29	4.33
15	12.0	9.37	6.96	4.49	2.22	2.33	2.24	2.31	2.37	2.27
20	12.0	13.9	3.57	1.85	1.23	1.21	1.28	1.24	1.26	1.29

เมื่อเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกรดไขมันอิสระกับระยะเวลา จะได้กราฟผลการทดลองดังรูปที่ 4.1 ซึ่งจะเห็นได้ว่า กระบวนการเอสเตอริฟิเคชันนี้ เมื่อใช้อัตราส่วนผสมของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มดิบที่บวมมากขึ้น สามารถลดปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบที่บวมมากขึ้นด้วยและพบว่าการทำปฏิกิริยาที่ระยะเวลา 90 - 240 นาที อัตราการลดลงของกรดไขมันอิสระเข้าสู่สภาวะคงที่ (Steady state) ซึ่งระยะเวลาที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาทั้งกระบวนการคือ 90 นาที ดังนั้นในการทดลองโดยใช้กรดซัลฟิวริกในกระบวนการ 2 vol.% ดังรูปที่ 4.2 ระยะเวลาในการทดลองทั้งหมด 90 นาทีก็เพียงพอต่อการผลิตส่วนผสมดีเซล



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงการลดลงของกรดไขมันอิสระที่อัตราส่วนผสมเมทานอล 5, 10, 15 และ 20 vol.% ใช้กรดซัลฟิวริก 5 vol.%



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงกรดไขมันอิสระที่เวลา 90 นาที อัตราส่วนผสมเมทานอล 5, 10, 15 และ 20 vol.% ใช้กรดซัลฟูริก 2 vol.%

จากรูปที่ 4.1 และ 4.2 เมื่อใช้กรดซัลฟูริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ 2 และ 5 vol.% ระยะเวลาการทำปฏิกิริยา 90 นาที อัตราการลดลงของกรดไขมันอิสระมีค่าใกล้เคียงกันมาก ซึ่งตัวแปรด้านความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาจึงไม่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาดังแต่ระยะเวลาที่ 90 นาที เป็นต้นไป ดังนั้นในหัวข้องานวิจัยนี้จึงเลือกความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ 2 vol.% เวลาในการผลิตเชื้อเพลิง 90 นาที อุณหภูมิ 60°C และความเร็วรอบในการกวนผสม 300 รอบต่อนาที ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.3

ส่วนการผลิตน้ำมันปาล์มดิบหีบรวมเอสเทอร์ไฟน์ผสมเมทิลเอสเทอร์ดังหัวข้อที่ 3.3 (การทดลองที่ 2) จะทำเหมือนการผลิตน้ำมันปาล์มดิบหีบรวมเอสเทอร์ไฟน์ แต่ EMCPO ที่ได้จากการไตรเอรทแล้วจะตั้งทิ้งไว้ 2 วัน เพื่อให้ EMCPO ดังกล่าวแยกออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นของเหลวและส่วนที่เป็นไข จากนั้นนำเฉพาะส่วนที่เป็นไขไปทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้เมทานอล 23 vol.% และ โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จะได้ ME เป็นผลิตภัณฑ์ดังตารางที่ 4.4 แล้วนำไปล้างทำความสะอาด อุ่นใ้ไอน้ำอีกครั้ง จากนั้นนำ EMCPO ส่วนที่เป็นของเหลวและ ME ที่ผลิตได้จากไขมันรวมกับน้ำมันดีเซลจะได้ส่วนผสมดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบหีบรวมเป็นผลิตภัณฑ์สุดท้าย

ตารางที่ 4.3 กระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มดิบที่บรวมด้วยปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชัน

ขั้นตอนการผลิต (Esterification)	CH ₃ OH (vol.% of MCPO)			
	5 vol.%	10 vol.%	15 vol.%	20 vol.%
1. กวนทำปฏิกิริยานาน 90 นาที				
➤ วัตถุดิบ				
- MCPO (ml)	1000	1000	1000	1000
- H ₂ SO ₄ (vol.% of MCPO)	2	2	2	2
➤ อุณหภูมิ (°C)	60	60	60	60
2. ปล่อยให้เย็นตัวและแยกชั้น เป็นเวลา 120 นาที				
- ชั้นบน: EMCPO (ml)	918	935	955	967
- ชั้นล่าง: กลีเซอรอลและขางเหนียว (ml)	82	65	45	33
3. กรองด้วยตะแกรง	-	-	-	-
4. นำไปล้างน้ำ	-	-	-	-
5. อุ่นไล่ไอน้ำที่ 100 °C	-	-	-	-
6. ไตเตรท FFA (wt.%)	6.77	4.17	2.3	1.21
7. ตั้ง EMCPO เป็นเวลา 2 วัน เพื่อให้เกิดการแยกชั้น				
- ชั้นบน: EMCPO ของเหลว (ml)	528	585	629	635
- ชั้นล่าง: EMCPO ไข (ml)	390	350	326	332

ตารางที่ 4.4 กระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มดิบที่บรวมด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน

ขั้นตอนการผลิต (Tranesterification)	CH ₃ OH (vol.% of MCPO)			
	5 vol.%	10 vol.%	15 vol.%	20 vol.%
1. กวนทำปฏิกิริยานาน 90 นาที				
➤ วัตถุดิบ				
- EMCPO ส่วนไข (ml) (จากตารางที่ 1 ขั้นตอนที่ 7)	390	350	326	332
- NaOH (g of NaOH/l of EMCPO)	14.97	12.26	8.58	5.9
- CH ₃ OH (vol.% of EMCPO ไข)	23	23	23	23
➤ อุณหภูมิ (°C)	60	60	60	60
2. ตั้ง EMCPO ให้แยกชั้น				
- ชั้นบน: ME (ml)	0	90	291	316
- ชั้นล่าง: กลีเซอรอล (ml)	0	260	35	16
3. กรองด้วยตะแกรง	-	-	-	-
4. นำไปล้างน้ำ	-	-	-	-
5. อุ่นไล่ไอน้ำที่ 100 °C	-	-	-	-
6. ไตเตรท FFA (wt.%)	-	0.1	0.1	0.1

เมื่อพิจารณาการใช้สารเคมีจากกระบวนการผลิตทั้งหมด พบว่า การผลิตส่วนผสมดีเซลด้วยปฏิกิริยาแบบ 2 ขั้นตอน ต้องใช้สารเคมีทั้งกระบวนการสูงที่สุด โดยเฉพาะเมทานอล เมื่อพิจารณาปริมาณการ ได้คีน หรือสัดส่วนปริมาณเชื้อเพลิงที่ผลิตได้ต่อปริมาณสารตั้งต้น จะเห็นได้ว่า น้ำมันปาล์มดิบหีบรวมเอสเตอรีไฟน์ ซึ่งนำมาทำปฏิกิริยากับเมทานอลที่สัดส่วนการผสม 5 10 15 และ 20 vol.% ได้ปริมาณการ ได้คีนที่ 91.80 93.50 95.50 และ 96.70 vol.% ตามลำดับ ส่วนการผลิตส่วนผสมดีเซลด้วยปฏิกิริยาแบบ 2 ขั้นตอน ซึ่งการผลิตส่วนผสมดีเซลในขั้นตอนทรานส์เอสเตอรีไฟเคชัน ใช้เมทานอลในกระบวนการ 23 vol.% ได้ปริมาณการ ได้คีนที่ 25.71 89.26 และ 95.18 vol.% ตามลำดับ ซึ่งการทำปฏิกิริยาจากขั้นตอนแรกที่สัดส่วนเมทานอล 5 vol.% นำมาผลิตส่วนผสมดีเซลในขั้นตอนทรานส์เอสเตอรีไฟเคชัน ทำให้เกิดเป็นสบู่ จึงไม่สามารถวัดปริมาณการ ได้คีนได้ เมื่อจำแนกขั้นตอนการผลิตเชื้อเพลิง พบว่า ขั้นตอนการแยกชั้น การล้างและปริมาณเมทานอลที่ใช้ในกระบวนการ มีการสูญเสียเชื้อเพลิงส่วนหนึ่ง สาเหตุดังกล่าว ส่งผลให้ปริมาณการ ได้คีนของส่วนผสมดีเซลมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณเมทานอล เมื่อเปรียบเทียบขั้นตอนการผลิตเชื้อเพลิงทั้ง 2 ชนิด พบว่า การผลิตน้ำมันปาล์มดิบหีบรวมเอสเตอรีไฟน์ มีการสูญเสียเชื้อเพลิงเล็กน้อยในขั้นตอนการแยกชั้นและการล้างซึ่งจะแปรผกผันตามปริมาณเมทานอลที่ใช้ในกระบวนการ สำหรับการผลิตน้ำมันปาล์มดิบหีบรวมเอสเตอรีไฟน์ผสมเมทิลเอสเตอรีไฟเคชัน มีการสูญเสียเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นอีกในขั้นตอนการผลิตเป็นเมทิลเอสเตอรีไฟเคชัน เนื่องจากการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอรีไฟเคชัน ด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมไฮดรอกไซด์ โซเดียมไฮดรอกไซด์ส่วนหนึ่งจะทำปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชันกับกรดไขมันอิสระ (กรดไขมันอิสระที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาเอสเตอรีไฟเคชัน) เปลี่ยนเป็นสบู่ เป็นที่ทราบกันดีว่า สบู่เป็นอิมัลซิไฟเออร์อย่างคิระหว่างน้ำกับไขมัน ดังนั้นการผลิตส่วนผสมดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบหีบรวม ยังมีปริมาณสบู่ที่เกิดขึ้นมากในขั้นตอนการทำปฏิกิริยา จึงเกิดการสูญเสียเชื้อเพลิงในขั้นตอนการแยกชั้นและการล้างก็จะเพิ่มขึ้น

สำหรับต้นทุนการผลิตส่วนผสมดีเซลทั้ง 2 ชนิด จากน้ำมันปาล์มดิบหีบรวม เมื่อนำปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ผลิต ต้นทุนวัตถุดิบ และปริมาณการ ได้คีนของเชื้อเพลิง คำนวณด้วยสมการที่ 4.1 (ปริญญา, 2012) จะได้ต้นทุนการผลิตส่วนผสมดีเซล ดังตารางที่ 4.5 และ 4.6 สำหรับปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ผลิต ประกอบด้วย สารตั้งต้น (น้ำมันปาล์มดิบหีบรวม) ตัวทำปฏิกิริยา ตัวเร่งปฏิกิริยา และตัวทำละลาย (ใช้น้ำละลายตัวทำปฏิกิริยาและล้างน้ำมัน) ในกิจกรรมที่ 1 (การทดลองที่ 1 และ 2) บวกด้วยปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ผลิต (วิธีการคำนวณปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ผลิตแสดงในภาคผนวก ข) ส่วนต้นทุนวัตถุดิบ ใช้ราคาน้ำมันปาล์มดิบหีบรวมและสารเคมี ในตารางที่ 2.1 และภาคผนวก ก

$$cf = \frac{\sum_{i=1}^n (n_i cm_i) \times 100}{y}$$

(4.1)

กำหนดให้

- cf คือ ต้นทุนส่วนผสมดีเซล 1 ลิตร (บาท/ลิตร)
- cm_i คือ ต้นทุนวัตถุดิบแต่ละชนิด i ที่ใช้ผลิตส่วนผสมดีเซล 1 ลิตร (บาท/หน่วย)
- n คือ จำนวนวัตถุดิบที่ใช้ผลิต
- n_i คือ จำนวนหน่วยวัตถุดิบแต่ละชนิด i ที่ใช้ผลิตส่วนผสมดีเซล 1 ลิตร (หน่วย)
- y คือ ปริมาณการได้คืน หรือสัดส่วนปริมาณส่วนผสมดีเซลที่ผลิตได้ต่อ ปริมาณสารตั้งต้น (% vol. basis)

จากตารางที่ 4.5 และ 4.6 จะเห็นได้ว่า น้ำมันปาล์มดิบที่บรวมนเอสเตอรีไฟน์ ซึ่งนำมาทำปฏิกิริยากับเมทานอลที่สัดส่วนการผสม 5 10 15 และ 20 vol.% มีต้นทุนการผลิตสูงขึ้นตามลำดับดังนี้ 27.23 28.35 29.35 และ 30.55 บาท/ลิตร และการผลิตส่วนผสมดีเซลด้วยปฏิกิริยาแบบ 2 ขั้นตอน (น้ำมันปาล์มดิบที่บรวมนเอสเตอรีไฟน์ผสมเมทิลเอสเตอรี) เมื่อนำราคาต้นทุนรวมมาคิดเห็นว่าที่สัดส่วนของเมทานอล 10 15 และ 20 vol.% (สัดส่วนเมทานอลมาจากปฏิกิริยาเอสเตอรีฟิเคชัน) มีราคาต้นทุนรวมเป็น 40.06 32.29 และ 33.47 บาท/ลิตร แต่ที่สัดส่วนเมทานอล 5 vol.% ไม่สามารถนำมาคิดราคาต้นทุนได้เนื่องจากในขั้นตอนทรานส์เอสเตอรีฟิเคชันที่ได้เป็นสบู่เมื่อเปรียบเทียบราคาขายปลีกดีเซลหน้าปั๊มทั่วประเทศเฉลี่ย 28.45 บาท/ลิตร (ตารางที่ 2.2) พบว่า น้ำมันปาล์มดิบที่บรวมนเอสเตอรีไฟน์ มีราคาต้นทุนต่ำกว่าดีเซล (1.22 และ 0.10 บาท/ลิตร) และสูงกว่าราคาดีเซล (0.90 และ 2.10 บาท/ลิตร) ขึ้นอยู่กับปริมาณเมทานอลที่ใช้ในกระบวนการ ส่วนราคาการผลิตน้ำมันปาล์มดิบที่บรวมนเอสเตอรีไฟน์ผสมเมทิลเอสเตอรีจากส่วนไข่ มีราคาต้นทุนสูงกว่าราคาดีเซล 11.61 3.84 และ 5.02 บาท/ลิตร ตามลำดับของเมทานอลที่ใช้ในกระบวนการเอสเตอรีฟิเคชัน ดังนั้นการผลิตส่วนผสมดีเซลด้วยปฏิกิริยาเอสเตอรีฟิเคชันได้น้ำมันปาล์มดิบที่บรวมนเอสเตอรีไฟน์ที่สัดส่วนเมทานอล 5 vol.% เป็นเชื้อเพลิงที่มีความน่าสนใจมากที่สุดในด้านราคา ส่วนการผลิตส่วนผสมดีเซลด้วยปฏิกิริยาแบบ 2 ขั้นตอนได้น้ำมันปาล์มดิบที่บรวมนเอสเตอรีไฟน์ผสมเมทิลเอสเตอรี ที่สัดส่วนเมทานอล 15 vol.% เป็นเชื้อเพลิงที่น่าสนใจรองลงมา

ตารางที่ 4.5 ต้นทุนการผลิตส่วนผสมดีเซลจากกระบวนการเอสเตอริฟิเคชัน

วัตถุดิบ (unit)	ต้นทุน/ หน่วย (baht)	CH ₃ OH (vol.% of MCPO)				ต้นทุนการผลิตส่วนผสมดีเซลแต่ละชนิด (baht)			
		5 vol.%	10 vol.%	15 vol.%	20 vol.%	5 vol.%	10 vol.%	15 vol.%	20 vol.%
น้ำมันปาล์มดิบที่บรวม (L)	22.64	1	1	1	1	22.64	22.64	22.64	22.64
กรดซัลฟิวริก (kg)	15.29	0.04	0.04	0.04	0.04	0.61	0.61	0.61	0.61
เมทานอล (kg)	30.31	0.05	0.10	0.15	0.20	1.52	3.03	4.55	6.06
โซเดียมไฮดรอกไซด์ (kg)	38.40	-	-	-	-	-	-	-	-
น้ำประปา (L)	0.013	2	2	2	2	0.03	0.03	0.03	0.03
ไฟฟ้า (kWh)	2.76	0.07	0.07	0.07	0.07	0.20	0.20	0.20	0.20
ต้นทุนรวม (baht)						25.00	26.51	28.03	29.54
ปริมาณการได้คืน (% vol. basis)						91.8	93.5	95.5	96.7
ต้นทุนเชื้อเพลิงทดแทนดีเซล (baht/L)						27.23	28.35	29.35	30.55

ตารางที่ 4.6 ต้นทุนการผลิตส่วนผสมดีเซลจากกระบวนการทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน

วัตถุดิบ (unit)	ต้นทุน/หน่วย (baht)	CH ₃ OH (vol.% of MCPO)				ต้นทุนการผลิตส่วนผสมดีเซลแต่ละชนิด (baht)			
		5 vol.%	10 vol.%	15 vol.%	20 vol.%	5 vol.%	10 vol.%	15 vol.%	20 vol.%
น้ำมันปาล์มดิบหีบรวม (L)	22.64	-	0.350	0.326	0.332	-	-	-	-
เมทานอล (kg)	30.31	-	0.083	0.071	0.076	-	2.52	2.16	2.31
โซเดียมไฮดรอกไซด์ (kg)	38.40	-	0.004	0.003	0.002	-	0.16	0.11	0.09
น้ำประปา (L)	0.013	-	2	2	2	-	0.03	0.03	0.03
ไฟฟ้า (kWh)	2.76	-	0.11	0.14	0.15	-	0.30	0.39	0.40
ต้นทุนรวม (baht)						-	3.01	2.69	2.83
ปริมาณการได้คีน (% vol. basis)						-	25.71	89.26	95.18
ต้นทุนเชื้อเพลิงทดแทนดีเซล (baht/L)						-	11.71	3.00	2.97

- หมายเหตุ 1. ME ผลิตจาก EMCPO (ส่วนไซ) จึงไม่ต้องคิดต้นทุนของน้ำมันปาล์มดิบหีบรวม
- ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ทำปฏิกิริยาขึ้นอยู่กับค่ากรดไขมันอิสระที่ไตเตรทได้ของน้ำมันตั้งต้น
 - ต้นทุนในที่นี้ไม่รวมค่าแรงงานในการผลิต
 - ต้นทุนค่าน้ำประปา (อัตราค่าน้ำธุรกิจขนาดเล็ก; ภาษีค่าไฟฟ้าและน้ำประปา)
 - ต้นทุนค่าไฟฟ้า (อัตราค่าไฟฟ้ากิจการขนาดเล็ก; ค่าไฟฟ้าโดยอัตโนมัติ Ft; ภาษีค่าไฟฟ้าและน้ำประปา)

4.2 องค์ประกอบโมเลกุลของส่วนผสมดีเซล

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบดังตารางที่ 4.7 พบว่า องค์ประกอบของน้ำมันปาล์มดิบหีบรวมประกอบไปด้วย ไตรกลีเซอไรด์ ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลัก 79.5 wt.% ส่วนองค์ประกอบที่เหลือเป็นกรดไขมันอิสระ 11.9 wt.% ไดกลีเซอไรด์ 7.7 wt.% และ โมโนกลีเซอไรด์ 0.9 wt.% โดยการผลิตส่วนผสมจากน้ำมันปาล์มดิบหีบรวมทั้ง 2 ชนิด คือ น้ำมันปาล์มดิบหีบรวมเอสเตอรีไฟน์และน้ำมันปาล์มดิบหีบรวมเอสเตอรีไฟน์ผสมเมทิลเอสเตออร์ องค์ประกอบของไดกลีเซอไรด์และโมโนกลีเซอไรด์ มีองค์ประกอบที่ใกล้เคียงกับองค์ประกอบของน้ำมันปาล์มดิบหีบรวม แต่องค์ประกอบที่เปลี่ยนไปคือ องค์ประกอบของไตรกลีเซอไรด์และกรดไขมันอิสระ ซึ่งถูกเปลี่ยนไปเป็นเมทิลเอสเตออร์ โดยสรุปจะเห็นได้ว่า เมื่อน้ำมันปาล์มดิบหีบรวมถูกนำมาทำปฏิกิริยาเอสเตอรีฟิเคชันและทรานส์เอสเตอรีฟิเคชัน ทำให้มีปริมาณของเมทิลเอสเตออร์เพิ่มมากขึ้นตามลำดับ ตารางที่ 4.7 องค์ประกอบ โมเลกุลของน้ำมันปาล์มดิบหีบรวม และส่วนผสมดีเซลทั้ง 2 ชนิด ที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มดิบหีบรวม (wt.%)

ชื่อเพลิง	องค์ประกอบโมเลกุล				
	TG	DG	MG	FFA	ME
ปาล์มดิบหีบรวม	79.5	7.7	0.9	11.9	-
ปาล์มดิบหีบรวมเอสเตอรีไฟน์	70.5	8.3	2.4	3.5	15.3
ปาล์มดิบหีบรวมเอสเตอรีไฟน์+เมทิลเอสเตออร์	63.7	7.6	1.7	1.2	25.8

หมายเหตุ: TG คือ ไตรกลีเซอไรด์; DG คือ ไดกลีเซอไรด์; MG คือ โมโนกลีเซอไรด์; FFA คือ กรดไขมันอิสระ; ME คือ เมทิลเอสเตออร์, องค์ประกอบของปาล์มดิบหีบรวมอ้างอิงจากวิทยานิพนธ์ของ ปริญญา, 2012

สำหรับน้ำมันปาล์มดิบหีบรวมเอสเตอรีไฟน์เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันปาล์มดิบหีบรวม พบว่า ไตรกลีเซอไรด์และกรดไขมันอิสระมีค่าน้อยกว่า 9 และ 8.4 wt.% ตามลำดับ ไดกลีเซอไรด์และโมโนกลีเซอไรด์มีค่ามากกว่า 0.6 และ 1.5 wt.% ตามลำดับ แต่มีเมทิลเอสเตออร์มากกว่า 15.3 wt.% โดยรวมจะเห็นได้ว่า ผลรวมของปริมาณกรดไขมันอิสระและไตรกลีเซอไรด์มีค่าลดลงสอดคล้องกับปริมาณ เมทิลเอสเตออร์ที่เพิ่มขึ้น ดังนั้น สรุปได้ว่า การทำปฏิกิริยาเอสเตอรีฟิเคชันที่ศึกษาองค์ประกอบของกรดไขมันอิสระและไตรกลีเซอไรด์บางส่วนถูกเปลี่ยนเป็นเมทิลเอสเตออร์

ส่วนการผลิตส่วนผสมดีเซลด้วยปฏิกิริยา 2 ขั้นตอน (น้ำมันปาล์มดิบหีบรวมเอสเตอรีไฟน์ผสมเมทิล เอสเตออร์จากส่วนไข) พบว่าไตรกลีเซอไรด์ และกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบหีบรวมมีค่าลดลง 15.8 และ 10.7 wt.% ตามลำดับ เมื่อเทียบกับน้ำมันปาล์มดิบหีบรวม ซึ่งจะเห็นได้ว่าองค์ประกอบหลักของไตรกลีเซอไรด์และกรดไขมันอิสระนั้นถูกเปลี่ยนเป็นเมทิลเอสเตออร์ให้มียค่ามากขึ้น

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบขององค์ประกอบโมเลกุลของส่วนผสมดีเซลทั้ง 2 ชนิดข้างต้นกับองค์ประกอบโมเลกุลเชื้อเพลิง 4 ชนิด (ปริญญา, 2012) คือ ปาล์มดิบหีบรวมลดยางเหนียว ปาล์มดิบหีบรวมลดยางเหนียวและลดกรด ปาล์มดิบหีบรวมเอสเทอร์รีไฟน์ และเมทิลเอสเทอร์จากปาล์มดิบหีบรวม จะเห็นได้ว่าโดยรวมส่วนผสมดีเซลทั้ง 2 ชนิด คือ น้ำมันปาล์มดิบหีบรวมเอสเทอร์รีไฟน์ และน้ำมันปาล์มดิบหีบรวมเอสเทอร์รีไฟน์ผสมเมทิลเอสเทอร์ มีองค์ประกอบของไตรกลีเซอไรด์ และกรดไขมันอิสระ น้อยกว่า ปาล์มดิบหีบรวมลดยางเหนียว และปาล์มดิบหีบรวมลดยางเหนียวและลดกรด เนื่องจากองค์ประกอบข้างต้นถูกเปลี่ยนเป็นเมทิลเอสเทอร์ ดังนั้นพอสรุปได้ว่า น้ำมันปาล์มดิบหีบรวมเอสเทอร์รีไฟน์ และน้ำมันปาล์มดิบหีบรวมเอสเทอร์รีไฟน์ผสมเมทิลเอสเทอร์จากส่วนไซ มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับดีเซลมากกว่าปาล์มดิบหีบรวมลดยางเหนียว และปาล์มดิบหีบรวมลดยางเหนียวและลดกรด

4.3 การไม่เป็นไขของส่วนผสมดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มดิบหีบรวมผสมในดีเซล

ผลการทดลองปริมาณไขของส่วนผสมดีเซล

จากผลการทดลอง พบว่า ลักษณะการเป็นไขของส่วนผสมดีเซล ในระยะแรก ส่วนผสมดีเซลเหลวจะเปลี่ยนเป็นสีขุ่น เมื่อเวลาผ่านไปจะเกิดการจับตัวเป็นก้อนไขเล็กๆ ในส่วนผสมดีเซลเหลว เมื่อก้อนไขโตขึ้นและมีน้ำหนักมากพอ ก้อนไขจะตกลงด้านล่างของกระบอกดวง แต่ยังมีก้อนไขอีกเล็กน้อยที่เกาะอยู่ข้างกระบอกดวง ดังนั้นในช่วงนี้ควรเคาะและหมุนกระบอกดวงเพื่อช่วยให้ไขที่ติดด้านข้างของกระบอกดวงตกลงสู่ด้านล่างและยังช่วยแยกชั้นระหว่างไขกับส่วนผสมดีเซลในรูปของเหลวได้ดียิ่งขึ้น ซึ่งไขที่ตกลงด้านล่างมีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ และเริ่มคงตัวในช่วง 7-14 วัน สำหรับส่วนผสมดีเซลในส่วนของเหลวจะมีความใสเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่ตั้งไว้ ในงานวิจัยนี้จึงสรุปได้ว่า ระยะเวลา 14 วัน เป็นระยะเวลาที่เพียงพอสำหรับการศึกษาพฤติกรรมการเป็นไขของส่วนผสมดีเซล

การศึกษาการเป็นไขของส่วนผสมดีเซลทั้ง 2 ชนิด ที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มดิบหีบรวมผสมในดีเซล ซึ่งจากการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง พบว่า ปริมาณไขที่สภาวะคงตัวของน้ำมันปาล์มดิบหีบรวมเอสเทอร์รีไฟน์และน้ำมันปาล์มดิบหีบรวมเอสเทอร์รีไฟน์ผสมกับเมทิลเอสเทอร์ ยังมีค่าแตกต่างกันในช่วง 45-49 และ 11-19 vol.% ตามลำดับ โดยความแตกต่างนี้จะมีค่าลดลงเมื่อสัดส่วนของการผสมในดีเซลลดลง

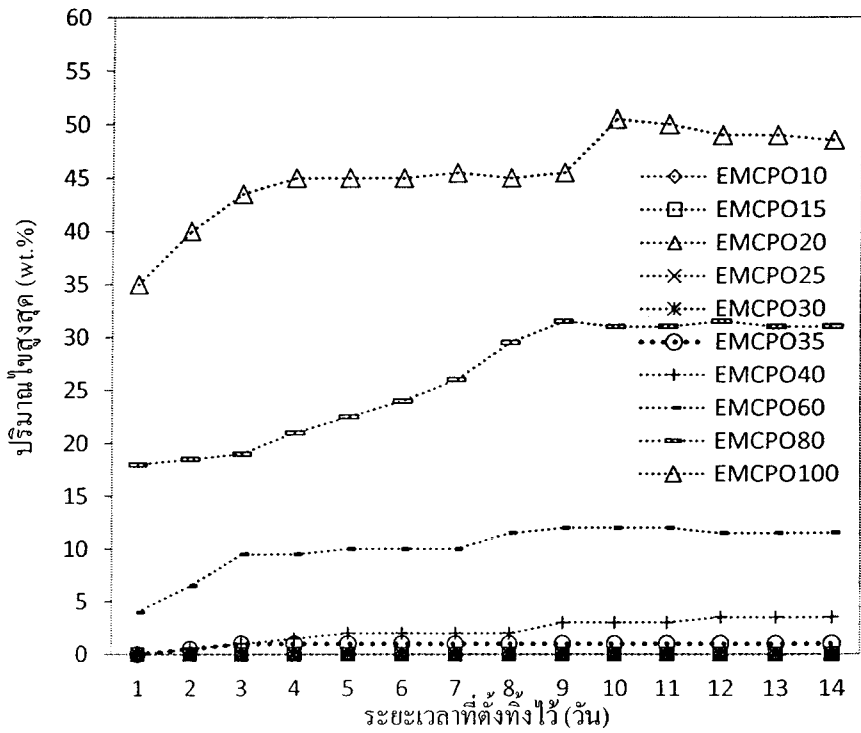
จากผลการวัดปริมาณ ไขของส่วนผสมดีเซลทำให้ได้ข้อมูลของค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดซึ่งข้อมูลชุดนี้ยังอยู่ในช่วงที่กว้าง แต่อย่างไรก็ตาม ค่าสูงสุดของปริมาณ ไขที่เกิดขึ้นสามารถบ่งบอกถึงกรณีร้ายแรงมากที่สุดสำหรับการเป็นไขของส่วนผสมดีเซลที่เกิดขึ้น ซึ่งได้ใช้เป็นเงื่อนไขสำคัญเพื่อพิจารณาสำหรับการพัฒนาส่วนผสมดีเซลต้นทุนต่ำที่ไม่เป็นไข ดังนั้นใน

งานวิจัยนี้จึงได้เลือกรายงานค่าสูงสุดของปริมาณไซที่เกิดขึ้นของส่วนผสมดีเซล เมื่อวางไว้เป็นระยะเวลา 14 วัน (ที่อุณหภูมิห้อง) ดังตารางที่ 4.8

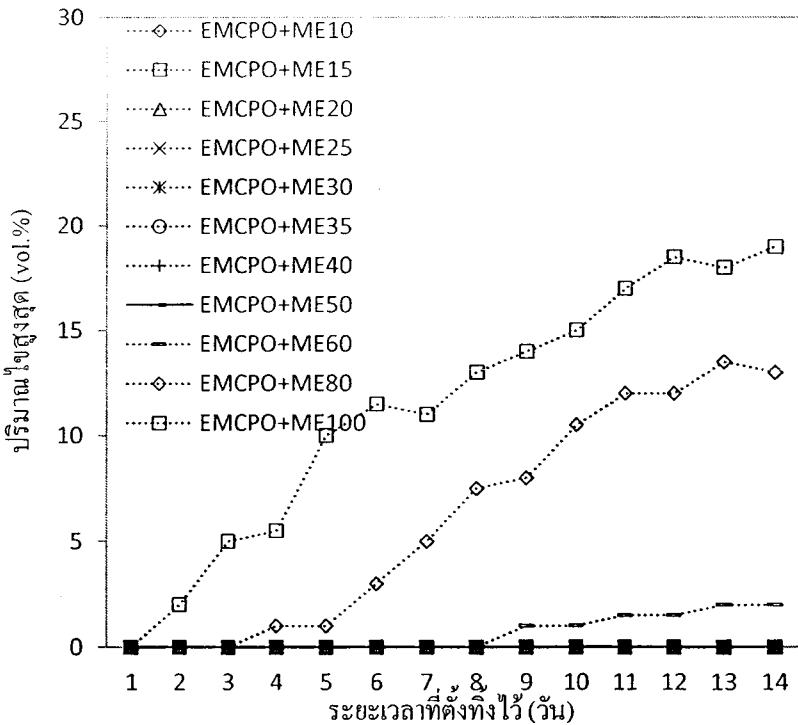
ตารางที่ 4.8 ปริมาณไซสูงสุดของส่วนผสมดีเซลเมื่อวางไว้ที่อุณหภูมิห้องระยะเวลา 14 วัน (vol.%)

ส่วนผสมดีเซล	ปริมาณไซ (vol.%) ตามระยะเวลา (วัน)													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
ปาล์มดิบหีบรวมเอสเตอรีไฟน์ 10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ปาล์มดิบหีบรวมเอสเตอรีไฟน์ 15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ปาล์มดิบหีบรวมเอสเตอรีไฟน์ 20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ปาล์มดิบหีบรวมเอสเตอรีไฟน์ 25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ปาล์มดิบหีบรวมเอสเตอรีไฟน์ 30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ปาล์มดิบหีบรวมเอสเตอรีไฟน์ 35	0	0.5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
ปาล์มดิบหีบรวมเอสเตอรีไฟน์ 40	0	0.5	1	1.5	2	2	2	2	3	3	3	3.5	3.5	3.5
ปาล์มดิบหีบรวมเอสเตอรีไฟน์ 60	4	6.5	9.5	9.5	10	10	10	11.5	12	12	12	11.5	11.5	11.5
ปาล์มดิบหีบรวมเอสเตอรีไฟน์ 80	18	18.5	19	21	22.5	24	26	29.5	31.5	31	31	31.5	31	31
ปาล์มดิบหีบรวมเอสเตอรีไฟน์ 100	35	40	43.5	45	45	45	45.5	45	45.5	50.5	50	49	49	48.5
เอสเตอรีไฟน์ + เมทิลเอสเตออร์ 10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
เอสเตอรีไฟน์ + เมทิลเอสเตออร์ 15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
เอสเตอรีไฟน์ + เมทิลเอสเตออร์ 20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
เอสเตอรีไฟน์ + เมทิลเอสเตออร์ 25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
เอสเตอรีไฟน์ + เมทิลเอสเตออร์ 30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
เอสเตอรีไฟน์ + เมทิลเอสเตออร์ 35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
เอสเตอรีไฟน์ + เมทิลเอสเตออร์ 40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
เอสเตอรีไฟน์ + เมทิลเอสเตออร์ 50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
เอสเตอรีไฟน์ + เมทิลเอสเตออร์ 60	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1.5	1.5	2	2
เอสเตอรีไฟน์ + เมทิลเอสเตออร์ 80	0	0	0	1	1	3	5	7.5	8	10.5	12	12	13.5	13
เอสเตอรีไฟน์ + เมทิลเอสเตออร์ 100	0	2	5	5.5	10	11.5	11	13	14	15	17	18.5	18	19

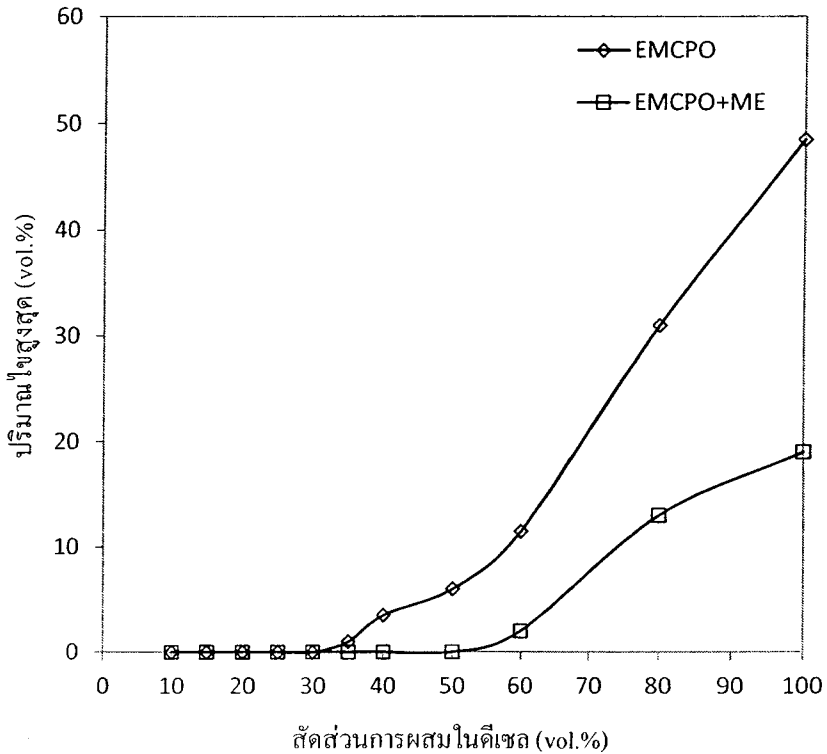
สำหรับน้ำมันปาล์มดิบหีบรวมเอสเตอรีไฟน์ในดีเซลและน้ำมันปาล์มดิบหีบรวมเอสเตอรีไฟน์ผสมเมทิลเอสเตออร์จากส่วนไซในดีเซล เมื่อเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไซกับระยะเวลา จะได้กราฟผลการทดลองดังรูปที่ 4.3 และ 4.4 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่า ปริมาณไซมีค่าคงตัวในช่วง 7-14 วัน ดังที่ได้กล่าวก่อนหน้านี้นอกจากนี้ เมื่อเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไซที่ภาวะคงตัว (วันที่ 14) กับสัดส่วนการผสมในดีเซลของเชื้อเพลิงผสมทั้งหมด จะได้กราฟผลการทดลองดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.3 ปริมาณไขสูงสุดของน้ำมันปาล์มดิบที่บรวมนเอสเทอร์ไขมันผสมในดีเซล (1-14 วัน)



รูปที่ 4.4 ปริมาณไขสูงสุดของน้ำมันปาล์มดิบที่บรวมนเอสเทอร์ไขมันผสมเมทิลเอสเทอร์จากส่วนไขในดีเซล (1-14 วัน)



รูปที่ 4.5 ปริมาณไขสูงสุดของส่วนผสมดีเซล ณ วันที่ 14

จากการสังเกตและศึกษาพฤติกรรมการณ์เป็นไขข้างต้น ทราบถึงสัดส่วนการผสมในดีเซลได้สูงสุดของส่วนผสมดีเซลแต่ละชนิดที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มดิบหีบรวม โดยที่ส่วนผสมดีเซลที่ได้ต้องไม่เป็นไข ซึ่งผลการทดลองในตารางที่ 4.8 ให้ข้อสรุปที่ชัดเจน ดังนี้ น้ำมันปาล์มดิบหีบรวมเอสเทอร์ไฟน์ผสมในดีเซล และน้ำมันปาล์มดิบหีบรวมเอสเทอร์ไฟน์ผสมเมทิลเอสเทอร์จากส่วนไขในดีเซลได้สูงสุด 30 และ 50 vol.% ตามลำดับ

4.4 ความหนืดจลศาสตร์

ผลการทดลองและการวิจารณ์

ผลการทดสอบความหนืดจลศาสตร์ ของส่วนผสมดีเซลทั้ง 2 ชนิด ที่อุณหภูมิ 40°C สำหรับมาตรฐานดีเซล กรมธุรกิจพลังงาน ได้กำหนดคุณสมบัติความหนืดจลศาสตร์ที่อุณหภูมิอ้างอิง 40°C ดังตารางที่ 1.1 เมื่อพิจารณาผลการทดสอบความหนืดจลศาสตร์ พบว่า ส่วนผสมดีเซลทั้ง 2 ชนิด คือน้ำมันปาล์มดิบหีบรวมเอสเทอร์ไฟน์ 30 มีความหนืดจลศาสตร์ 6.08 cSt ส่วนน้ำมันปาล์มดิบหีบรวมเอสเทอร์ไฟน์ผสมเมทิล เอสเทอร์จากส่วนไข 50 ไม่ได้ส่งผลการทดสอบความหนืด แต่สามารถหาค่าได้จากสมการทำนายความหนืด สมการที่ 4.4 (ปริญญา, 2012) เมื่อนำค่าความหนืดของน้ำมันปาล์มดิบหีบรวมเอสเทอร์ไฟน์ 30 เปรียบเทียบมาตรฐานดีเซลในตารางที่

1.1 พบว่า ความหนืดจลศาสตร์ของส่วนผสมดีเซล ผ่านมาตรฐานดีเซลหมุนช้า และดีเซลเครื่องยนต์ การเกษตร แต่ไม่ผ่านมาตรฐานดีเซลหมุนเร็ว

สมการทำนายความหนืดจลศาสตร์ของเชื้อเพลิงที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มดิบหีบรวม ผสมในดีเซลที่อุณหภูมิมาตรฐาน 40°C

$$\eta_{B,40} = e^{((1-v_F) \ln \eta_{D,40} + v_F \ln \eta_{F,40})}$$

(4.4)

กำหนดให้

$\eta_{B,40}$ คือ ความหนืดจลศาสตร์เชื้อเพลิงผสมที่อุณหภูมิ 40°C (cSt)

$\eta_{D,40}$ คือ ความหนืดจลศาสตร์ดีเซลที่อุณหภูมิ 40°C (cSt)

$\eta_{F,40}$ คือ ความหนืดจลศาสตร์เชื้อเพลิงที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มดิบหีบรวมที่ อุณหภูมิ 40°C (cSt)

v_F คือ สัดส่วนปริมาตรของเชื้อเพลิงในดีเซล (decimol)

4.5 ความหนาแน่น

ผลการทดลองและการวิจารณ์

สำหรับมาตรฐานดีเซล กรมธุรกิจพลังงานได้กำหนดคุณสมบัติความหนาแน่น ของดีเซลหมุนเร็ว ดีเซลหมุนช้า และดีเซลเครื่องยนต์การเกษตร ที่อุณหภูมิอ้างอิง 15.6 15.6 และ 15°C ตามลำดับ แต่จากการตรวจสอบโดยการประมาณค่าออกช่วง พบว่า ความหนาแน่นของ ส่วนผสมดีเซลทดสอบที่อุณหภูมิ 15 และ 15.6°C มีความแตกต่างกันอย่างมาก และไม่มีนัยสำคัญ (ปริญญา, 2012) ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเปลี่ยนอุณหภูมิอ้างอิงมาตรฐานดีเซลเครื่องยนต์การเกษตรเป็น 15.6°C แต่ยังคงกำหนดค่าความหนาแน่นเท่าเดิม ทั้งนี้เพื่อง่ายต่อการเปรียบเทียบมาตรฐานดีเซล ทั้งหมด

เมื่อพิจารณาผลการทดสอบความหนาแน่น พบว่า ส่วนผสมดีเซลทั้ง 2 ชนิด มีความหนาแน่นใกล้เคียงกันโดยน้ำมันปาล์มดิบหีบรวมเอสเตอรีไฟน์ 30 และน้ำมันปาล์มดิบหีบ รวมเอสเตอรีไฟน์ผสมเมทิลเอสเตอรีจากส่วนไซ 50 มีความหนาแน่น 862 และ 856 kg/m³ ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบมาตรฐานดีเซลในตารางที่ 1.1 พบว่า ความหนาแน่นของน้ำมันปาล์มดิบ หีบรวมเอสเตอรีไฟน์ 30 ผ่านมาตรฐานดีเซลเครื่องยนต์การเกษตร ส่วนน้ำมันปาล์มดิบหีบรวม เอสเตอรีไฟน์ผสมเมทิลเอสเตอรี 50 ไม่ผ่านมาตรฐานดีเซลเครื่องยนต์การเกษตร แต่สำหรับ

มาตรฐานดีเซลรอบต่ำและรอบสูง น้ำมันปาล์มดิบหีบรวมเอสเตอรีไฟน์ 30 และน้ำมันปาล์มดิบหีบรวมเอสเตอรีไฟน์ผสมเมทิลเอสเตอรีจากส่วนไซ 50 มีความหนาแน่นผ่านมาตรฐานทั้งหมด

แต่เนื่องจากความหนาแน่นดีเซลที่อุณหภูมิ 15.6°C มีค่า 835 kg/m³ มีค่าต่ำกว่าความหนาแน่นค่าสุดของมาตรฐานดีเซลเครื่องยนต์การเกษตร อย่างไรก็ตาม เมื่อนำดีเซลใช้งานจริงในเครื่องยนต์ดีเซลการเกษตร ดีเซลสามารถใช้งานได้ดีและไม่พบปัญหาใดๆ ด้วยเหตุนี้จึงพอสรุปได้ว่า ส่วนผสมดีเซลที่มีความหนาแน่นต่ำกว่าความหนาแน่นค่าสุดของมาตรฐานดีเซลเครื่องยนต์การเกษตร ส่วนผสมดีเซลดังกล่าวก็สามารถใช้ในเครื่องยนต์ดีเซลการเกษตรได้ดีเช่นเดียวกัน

4.6 การเลือกส่วนผสมดีเซลต้นทุนต่ำ

เมื่อพิจารณาเรื่องต้นทุนการผลิต จำเป็นต้องคำนึงถึงการใช้สารเคมี ค่าไฟฟ้า ค่าน้ำที่ใช้ทั้งกระบวนการ และราคาของน้ำมันปาล์มดิบหีบรวมซึ่งมีผลต่อต้นทุนเมื่อเทียบกับดีเซลพบว่า การผลิตน้ำมันปาล์มดิบหีบรวมดิบหีบรวมเอสเตอรีไฟน์ผสมเมทิลเอสเตอรี จำเป็นต้องใช้สารเคมีในปริมาณมากซึ่งเป็นปัจจัยหลักเรื่องต้นทุนการผลิตนั่นคือเมทานอล เนื่องจากปริมาณเมทานอลที่ใช้ในกระบวนการผลิตมี 2 ขั้นตอน คือกระบวนการเอสเตอรีไฟเคชันใช้เมทานอล 15 vol.% และกระบวนการทรานส์เอสเตอรีไฟเคชันใช้เมทานอล 23 vol.% ส่วนน้ำมันปาล์มดิบหีบรวมเอสเตอรีไฟน์ใช้สารเคมีน้อยกว่า เนื่องจากปริมาณเมทานอลที่ใช้ในการผลิตมีเพียงขั้นตอนเดียวคือกระบวนการเอสเตอรีไฟเคชันใช้เมทานอลเพียง 5 vol.%

หากพิจารณาปริมาณการได้คืนสำหรับการผลิตส่วนผสมดีเซลทั้ง 2 ชนิด ซึ่งเป็นปัจจัยอีกอย่างหนึ่งที่เป็นตัวบ่งชี้ในด้านราคาของการผลิตส่วนผสมดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบหีบรวม โดยปริมาณการได้คืนยังมีค่าน้อยก็ผลทำให้ราคาในการผลิตมีค่ามากยิ่งขึ้น ซึ่งการผลิตน้ำมันปาล์มดิบหีบรวมเอสเตอรีไฟน์ (ดังตารางที่ 4.5) และการผลิตน้ำมันปาล์มดิบหีบรวมดิบหีบรวมเอสเตอรีไฟน์ผสมเมทิลเอสเตอรีจากส่วนไซ (ดังตารางที่ 4.6) มีปริมาณการได้คืน 91.8 และ 89.26 vol.% ตามลำดับ

และเมื่อคำนวณต้นทุนการผลิตส่วนผสมดีเซลต้นทุนต่ำ (เฉพาะวัตถุดิบ สารเคมี น้ำ และพลังงาน) พบว่า น้ำมันปาล์มดิบหีบรวมเอสเตอรีไฟน์ และน้ำมันปาล์มดิบหีบรวมดิบหีบรวมเอสเตอรีไฟน์ผสมเมทิลเอสเตอรีจากส่วนไซ มีต้นทุนคือ 27.23 และ 32.29 บาท/ลิตร ตามลำดับ เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับราคาน้ำมันปาล์มดิบหีบรวม 22.64 บาท/ลิตร และราคาดีเซลขายปลีกหน้าปั้มเฉลี่ยทั่วประเทศ 28.45 บาท/ลิตร พบว่า น้ำมันปาล์มดิบหีบรวมเอสเตอรีไฟน์ เป็นเชื้อเพลิงที่น่าสนใจมากที่สุด มีต้นทุนเพิ่มขึ้นจากน้ำมันปาล์มดิบหีบรวม 4.59 บาท/ลิตร (20.27% ของราคาน้ำมันปาล์มดิบหีบรวม) และมีราคาต่ำกว่าดีเซลขายปลีกหน้าปั้มทั่วประเทศ 1.22 บาท/ลิตร ส่วนน้ำมันปาล์มดิบหีบรวมดิบหีบรวมเอสเตอรีไฟน์ผสมเมทิลเอสเตอรี มีต้นทุนเพิ่มขึ้นจากน้ำมัน

ปาล์มดิบหีบรวม 9.65 บาท/ลิตร (42.63% ของราคาน้ำมันปาล์มดิบหีบรวม) และมีราคาสูงกว่าดีเซล ขายเป็นลิตรทั่วประเทศ 3.84 บาท/ลิตร

การศึกษาคุณลักษณะการเป็นของเหลวที่สำคัญ ได้แก่ การเป็นไข ความหนืด และความหนาแน่น ของส่วนผสมดีเซล พบว่า น้ำมันปาล์มดิบหีบรวมดิบหีบรวมเอสเตอรีไฟน์ และ น้ำมันปาล์มดิบหีบรวมดิบหีบรวมเอสเตอรีไฟน์ผสมเมทิลเอสเตอรืจากส่วนไข มีสัดส่วนการผสม ในดีเซลสูงสุด 30 และ 50 vol.% ตามลำดับ ซึ่งสัดส่วนการผสมดังกล่าวถูกจำกัดด้วยเงื่อนไขการ เป็นไขเป็นหลัก ขณะที่เงื่อนไขความหนืดและความหนาแน่น ของสัดส่วนการผสมมีผลต่อการ พิจารณารองลงมา

เมื่อเปรียบเทียบกระบวนการผลิตและต้นทุน พบว่า ส่วนผสมดีเซลทั้ง 2 ชนิดผลิต ง่าย กระบวนการผลิตไม่ยุ่งยาก วัตถุดิบและสารเคมีสามารถหาซื้อได้ง่าย โดยตัวแปรหลักที่มีผลต่อ ต้นทุนในการผลิตส่วนผสมดีเซลคือปริมาณเมทานอล ซึ่งกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มดิบหีบรวม เอสเตอรีไฟน์ 30 มีกระบวนการผลิตและปริมาณเมทานอลที่ใช้ในกระบวนการน้อยกว่าน้ำมัน ปาล์มดิบหีบรวมเอสเตอรีไฟน์ผสมเมทิลเอสเตอรืจากส่วนไข 50 สำหรับต้นทุนการผลิตส่วนผสม ดีเซลมีราคา 28.12 และ 30.41 บาท/ลิตร ตามลำดับ

ดังนั้นจึงกล่าวโดยสรุปในงานวิจัยนี้ให้ความสนใจ น้ำมันปาล์มดิบหีบรวมเอสเตอ รีไฟน์ผสมในดีเซล 30 vol.% (เอสเตอรีไฟน์ 30) เป็นส่วนผสมดีเซลต้นทุนต่ำที่น่าสนใจมากที่สุด ในด้านการผลิต ราคา และคุณสมบัติการเป็นของเหลว ส่วนน้ำมันปาล์มดิบหีบรวมดิบหีบรวม เอสเตอรีไฟน์ผสมเมทิลเอสเตอรืจากส่วนไขในดีเซล 50 vol.% (เอสเตอรีไฟน์ผสมเมทิลเอสเตอรื จากส่วนไข 50) มีความน่าสนใจรองลงมา ซึ่งงานวิจัยนี้จะนำส่วนผสมดีเซลทั้ง 2 ชนิด มาทดสอบ สมรรถนะเครื่องยนต์ดีเซลการเกษตรเปรียบเทียบกับดีเซล

4.6.1 การทดสอบคุณสมบัติเชื้อเพลิง

สำหรับส่วนผสมดีเซลที่ทดสอบได้ทำการทดสอบน้ำมันปาล์มดิบหีบรวมเอสเตอ รีไฟน์ผสมในดีเซล 30 vol.% ส่วนน้ำมันปาล์มดิบหีบรวมเอสเตอรีไฟน์ผสมเมทิลเอสเตอรืจากส่วน ไขในดีเซล 50 vol.% ไม่ได้ทดสอบ เนื่องจากมีคุณสมบัติการเป็นเชื้อเพลิงที่ใกล้เคียงกับดีเซล (เมทิลเอสเตอรืมีคุณสมบัติที่ใกล้เคียงดีเซลมากที่สุด) หากเปรียบเทียบกับน้ำมันปาล์มดิบหีบรวม เอสเตอรีไฟน์ ซึ่งได้ทดสอบคุณสมบัติเฉพาะที่ใช้คำนวณตัวแปรสมรรถนะเครื่องยนต์ แต่ คุณสมบัติอื่นๆ ของดีเซล ที่ใช้อ้างอิงประกอบการวิจารณ์ผล ได้จากการทบทวนเอกสารและการ

ประมาณเทียบจากมาตรฐานกรมธุรกิจพลังงาน ซึ่งรายละเอียดคุณสมบัติเชื้อเพลิง และห้องปฏิบัติการทดสอบของเชื้อเพลิงแต่ละชนิด แสดงดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 รายการทดสอบคุณสมบัติของเชื้อเพลิงแต่ละชนิดและห้องปฏิบัติการที่ทดสอบ

คุณสมบัติเชื้อเพลิง	ห้องปฏิบัติการ
ค่าซีเทน	การปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย
ความหนืด	การปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย
ความหนาแน่น	วิศวกรรมเครื่องกล
ความร้อนค่า	ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์
จุดวาบไฟ	วิศวกรรมเคมี
ปริมาณน้ำ	ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์
น้ำและตะกอน	ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์
เถ้าซัลเฟต	ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์
ค่ากรด	ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์
การกัดกร่อนแผ่นทองแดง	วิศวกรรมเคมี

4.6.2 คุณสมบัติเชื้อเพลิงของส่วนผสมดีเซล

คุณสมบัติน้ำมันปาล์มดิบที่รวมเอสเตอรีไฟน์ 30 และเอสเตอรีไฟน์ผสมเมทิลเอสเตอรี 50 ที่ได้จากการทดสอบ การทบทวนเอกสาร และการประมาณจากมาตรฐานดีเซลหมุนเร็วของกรมธุรกิจพลังงาน แสดงดังตารางที่ 4.10 เมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ ของเอสเตอรีไฟน์ 30 และเอสเตอรีไฟน์ผสมเมทิลเอสเตอรีจากส่วนไซ 50 กับดีเซล สามารถเปรียบเทียบคุณสมบัติเชื้อเพลิง และรายละเอียดคุณสมบัติเชื้อเพลิงได้ดังนี้

ค่าซีเทน เป็นคุณสมบัติการเผาไหม้ที่สำคัญที่สุดสำหรับเชื้อเพลิงที่ใช้ในเครื่องยนต์ดีเซล ซึ่งได้กล่าวในหัวข้อ 2.5 ก่อนหน้านี้ ซึ่งเอสเตอรีไฟน์ 30 มีค่าซีเทน 56 และเอสเตอรีไฟน์ผสมเมทิลเอสเตอรีจากส่วนไซ 50 มีค่าซีเทนอยู่ในช่วง 52-56 โดยส่วนผสมดีเซลทั้ง 2 ชนิดมีค่าซีเทนสูงกว่าดีเซลประมาณ 5-9

ความหนืดจลศาสตร์ และความหนาแน่น เป็นคุณสมบัติที่สำคัญต่อการฉีดเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซล โดยเอสเตอรีไฟน์ 30 และเอสเตอรีไฟน์ผสมเมทิลเอสเตอรีจากส่วนไซ 50 มีความหนืดจลศาสตร์ 6.08 และ 4.51 cSt ซึ่งสูงกว่าดีเซล 2.84 และ 1.27 cSt ตามลำดับ โดยส่วนผสมดีเซลทั้ง 2 ชนิดมีค่าความหนืดผ่านมาตรฐานดีเซลเครื่องยนต์การเกษตรและดีเซลหมุนช้า แต่ไม่ผ่านมาตรฐานดีเซลหมุนเร็ว ส่วนความหนาแน่นของเอสเตอรีไฟน์ 30 มีค่า 862 kg/m^3 สูงกว่าดีเซล 27 kg/m^3 ซึ่งผ่านมาตรฐานดีเซลทุกประเภท และความหนาแน่นของเอสเตอรีไฟน์ผสมเมทิล

เอสเทอร์จากส่วนไซ 50 มีค่า 856 kg/m^3 สูงกว่าดีเซล 21 kg/m^3 ซึ่งผ่านมาตรฐานดีเซลหมุนเร็ว แต่ไม่ผ่านมาตรฐานดีเซลเครื่องยนต์การเกษตร

ค่าความร้อนต่ำ (Lower heating value) เป็นคุณสมบัติการเผาไหม้อย่างหนึ่งสำหรับเชื้อเพลิงที่ใช้ในเครื่องยนต์สันดาปภายใน โดยเอสเทอร์ไฟน์ 30 และเอสเทอร์ไฟน์ผสมเมทิลเอสเทอร์จากส่วนไซ 50 มีค่าความร้อนประมาณ $41,293$ และ $41,486 \text{ kJ/kg}$ ซึ่งต่ำกว่าดีเซล $1,654$ และ $1,847 \text{ kJ/kg}$ หรือคิดเป็น 3.85 และ 4.30% ตามลำดับ

จุดวาบไฟ (Flash point) เป็นอุณหภูมิต่ำสุดของเชื้อเพลิงเหลวโดยที่เชื้อเพลิงเหลวสามารถระเหยเป็นไอ และมีปริมาณมากพอที่จะสัมผัสกับเปลวไฟก็จะลุกไหม้ทันที โดยทั่วไปจุดวาบไฟจะไม่มีผลต่อคุณภาพหรือการใช้งานโดยตรง แต่เป็นข้อกำหนดทางกฎหมายเพื่อความปลอดภัยจากการเกิดอัคคีภัยในการเก็บรักษา และการขนถ่าย โดยปกติจุดวาบไฟไม่ควรเกิน 130°C ถ้าสูงกว่านี้จะทำให้รุดสตาร์ทติดยาก สำหรับ เอสเทอร์ไฟน์ 30 และเอสเทอร์ไฟน์ผสมเมทิลเอสเทอร์จากส่วนไซ 50 มีจุดวาบไฟประมาณ 70°C ซึ่งเทียบเท่าดีเซลและผ่านมาตรฐานดีเซลทุกประเภท

ปริมาณน้ำและตะกอน (Water and sediment) เป็นการวัดปริมาณน้ำและตะกอน ซึ่งผลการวิเคราะห์นี้เป็นการแสดงถึงความสะอาดของเชื้อเพลิง โดยเฉพาะไบโอดีเซลค่านี้มี ความสำคัญมากเนื่องจากน้ำที่มีอยู่สามารถทำปฏิกิริยากับเอสเทอร์ทำให้เกิดกรดไขมันอิสระได้ และทำให้มีการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ภายในถังเก็บ โดยปกติกระบวนการผลิตจะถูกควบคุม ปริมาณน้ำตั้งแต่การกำหนดคุณภาพวัตถุดิบ แต่อย่างไรก็ตามพบว่า น้ำอาจเกิดขึ้นได้จากการทำปฏิกิริยาระหว่างแอลกอฮอล์และสารเร่งปฏิกิริยา เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์หรือโปตัสเซียมไฮดรอกไซด์ แต่น้ำและสบู่จะถูกกำจัดออกเมื่อผ่านการล้างและไล่น้ำ สำหรับตะกอนจะมีผลต่อกรองเชื้อเพลิงอุดตัน ส่งผลกระทบถึงหัวฉีดเชื้อเพลิงและชิ้นส่วนต่าง ๆ ในเครื่องยนต์เสียหายได้ โดยปริมาณน้ำและตะกอนต้องไม่สูงกว่า 0.05% สำหรับเอสเทอร์ไฟน์ 30 และเอสเทอร์ไฟน์ผสมเมทิลเอสเทอร์จากส่วนไซ 50 ก็มีปริมาณน้ำและตะกอนต่ำกว่า 0.05% ซึ่งผ่านมาตรฐานดีเซลทุกประเภท

เถ้าซัลเฟต เป็นการหาปริมาณสารอัลคาไลน์อนุภาคของแข็งในเชื้อเพลิง และเป็นคุณสมบัติความสะอาดของเชื้อเพลิง ที่ขึ้นกับความสะอาดในการผลิต สำหรับ เอสเทอร์ไฟน์ 30 มีเถ้าซัลเฟตต่ำกว่าดีเซล $0.015 \text{ wt.}\%$ และเอสเทอร์ไฟน์ผสมเมทิลเอสเทอร์จากส่วนไซ 50 มีเถ้าซัลเฟตน้อยกว่า $0.01 \text{ wt.}\%$ ซึ่งผ่านมาตรฐานดีเซลทุกประเภท

ค่ากรด เป็นคุณสมบัติเชื้อเพลิง ที่ส่งผลต่อการสึกหรอของเครื่องยนต์ สำหรับ เอสเทอร์ไฟน์ 30 และเอสเทอร์ไฟน์ผสมเมทิลเอสเทอร์จากส่วนไซ 50 มีค่าความเป็นกรดที่ 3.66 และ 1.23 mgKOH/g ตามลำดับ

การกักกรองแผ่นทองแดง คือ การทดสอบพฤติกรรมการกักกรองของเชื้อเพลิงด้วยแผ่นทองแดง ทดสอบเพื่อควบคุมและป้องกันความเสียหายจากการกักกรองของเชื้อเพลิงในถังเก็บ ท่อ ทางเดินน้ำมัน และห้องเผาไหม้ในเครื่องยนต์ ผลการทดสอบ พบว่า เอสเตอร์ไฟน์ 30 และ เอสเตอร์ไฟน์ผสมเมทิลเอสเตอร์จากส่วนไซ 50 มีการกักกรองแผ่นทองแดงผ่านมาตรฐานดีเซลทุกประเภท และอยู่ในเกณฑ์เดียวกับดีเซล

ตารางที่ 4.10 คุณสมบัติของเชื้อเพลิงทดสอบเมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานดีเซลประเภทต่างๆ ของประเทศไทย

คุณสมบัติเชื้อเพลิง	วิธีทดสอบ	มาตรฐานประเทศไทย			เชื้อเพลิงทดสอบ		
		ดีเซล		ดีเซล	เอสเตอร ไฟน์ 30	เอสเตอ รีไฟน์ + เมทิลเอ สเตอร์ 50	ดีเซล
		หมุนเร็ว	หมุน ช้า	เครื่องยนต์ การเกษตร			
ค่าซีเทน	ASTM D613	≥50	≥45	≥50	56	52-56 ^B	47-52 ^A
ความหนืดจลศาสตร์ที่ 40 °C (cSt)	ASTM D445	1.8-4.1	≤8.0	1.9-8.0	6.08	4.51	3.24
ความหนาแน่นที่ 15 °C (kg/m ³)	ASTM	810-870	≤920	860-900	862	856	835
ค่าความร้อนต่ำ (kJ/kg)	D1298	n.a.	n.a.	n.a.	41,293	41,486 ^B	42,947
จุดวาบไฟ (°C)	ASTM D240	≥52	≥52	≥120	70	70 ^B	69 ^A
ปริมาณน้ำ (%)	ASTM D93	≤0.05	n.a.	n.a.	0.023	<0.05 ^B	-
น้ำและตะกอน (%)	KFC001	≤0.05	n.a.	n.a.	<0.05	<0.05 ^B	-
เถ้าซัลเฟต (wt.%)	ASTM D97	≤0.01	≤0.02	≤0.02	<0.005	<0.01 ^B	≤0.01 ^B
ค่ากรด (mgKOH/g)	ASTM D874	n.a.	n.a.	≤0.80	3.66	1.23	-
การกักกรองแผ่นทองแดง (หมายเลข)	ASTM D664 ASTM D130	≤1	n.a.	≤3	1a	1a ^B	1a

หมายเหตุ: n.a. = ไม่กำหนด; ^Aอ้างอิง Leevijit and Prateepchaikul, 2011; ^Bค่าประมาณ; ความหนืดจลศาสตร์ที่ 40 °C (cSt) คำนวณจากสมการที่ 4.4.; คุณสมบัติเชื้อเพลิงของดีเซลอ้างอิงจากวิทยานิพนธ์ของ ปริญญา, 2012

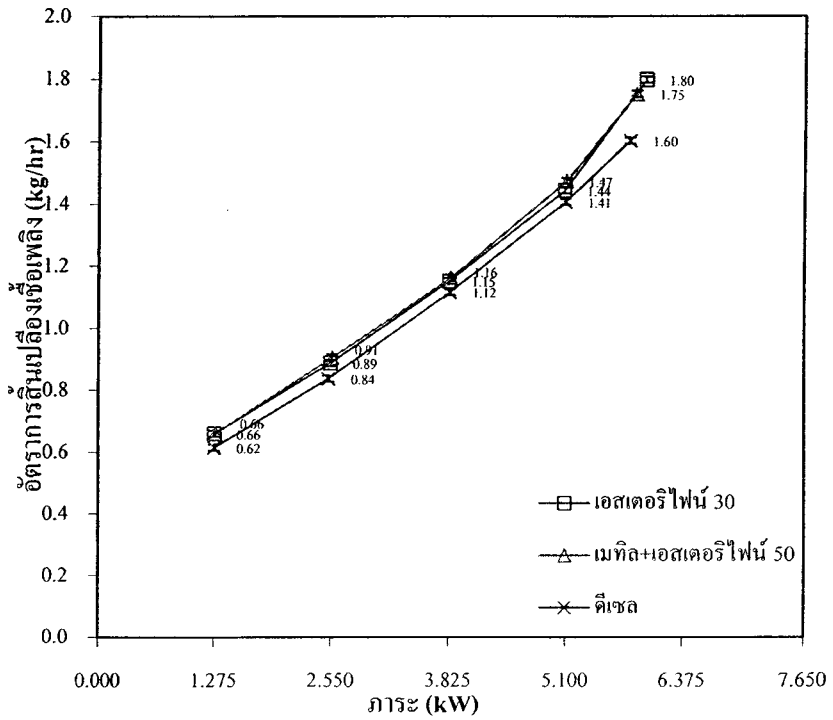
4.7 การทดสอบสมรรถนะและการปลดปล่อยไอเสียของเครื่องยนต์การเกษตร

4.7.1 การเดินเครื่องยนต์ทั่วไป

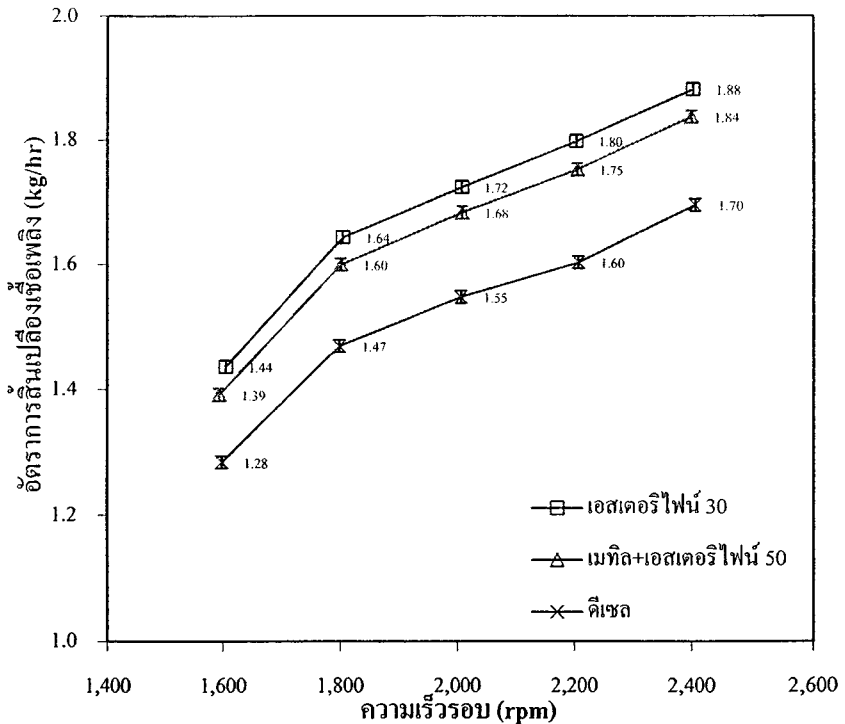
การสตาร์ทเครื่องยนต์ และเดินเครื่องยนต์ด้วยเชื้อเพลิงทดสอบทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ ดีเซล เอสเตอรีไฟน์ 30 และเอสเตอรีไฟน์ผสมเมทิลเอสเตอรืจากส่วนไข 50 ที่ช่วงความเร็วรอบประมาณ 1,600-2,400 rpm โดยไม่เพิ่มภาระ การเดินเครื่องยนต์สามารถสตาร์ทได้ง่าย เดินเรียบ และไม่มีการน็อคเกิดขึ้น

4.7.2 อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง

สำหรับการเดินเครื่องยนต์ ด้วยวิธีการเปลี่ยนแปลงภาระที่ความเร็วรอบคงที่ 2,200 rpm และการเดินเครื่องยนต์เต็มกำลังในช่วงความเร็วรอบ 1,600-2,400 rpm แสดงอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง ดังรูปที่ 4.6-4.7 ซึ่งจะเห็นได้ว่า เมื่อภาระเพิ่มขึ้น อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงก็เพิ่มขึ้น ซึ่งลักษณะดังกล่าวนี้เป็นลักษณะทั่วไปของเครื่องยนต์ดีเซล เนื่องจากค่าความร้อน (Heating value) ของส่วนผสมดีเซล มีค่าความร้อนต่ำกว่าดีเซล เครื่องยนต์จึงจำเป็นต้องฉีดส่วนผสมดีเซลในปริมาณที่มากขึ้น เพื่อรักษากำลังของเครื่องยนต์ให้คงที่ (ธีรพงษ์ และคณะ, 2551) และเมื่อเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงทั้ง 3 ชนิด สำหรับการเดินเครื่องยนต์ด้วยวิธีการเปลี่ยนแปลงภาระ ที่ความเร็วรอบคงที่ 2,200 rpm ดังรูปที่ 4.6 จะเห็นได้ว่าเครื่องยนต์ที่เดินด้วยเอสเตอรีไฟน์ 30 และเอสเตอรีไฟน์ผสมเมทิลเอสเตอรืจากส่วนไข 50 มีอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงมากกว่าเครื่องยนต์ที่เดินด้วยดีเซลเฉลี่ย 6.74 และ 6.51% ตามลำดับ ส่วนวิธีการเดินเครื่องยนต์เต็มกำลังในช่วงความเร็วรอบ 1,600-2,400 rpm พบว่าเครื่องยนต์ที่เดินด้วย เอสเตอรีไฟน์ 30 และเอสเตอรีไฟน์ผสมเมทิลเอสเตอรืจากส่วนไข 50 มีอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงมากกว่าเครื่องยนต์ที่เดินด้วยดีเซลเฉลี่ย 11.63 และ 8.75% ตามลำดับ



รูปที่ 4.6 อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ (ความเร็วรอบ 2,200 rpm)

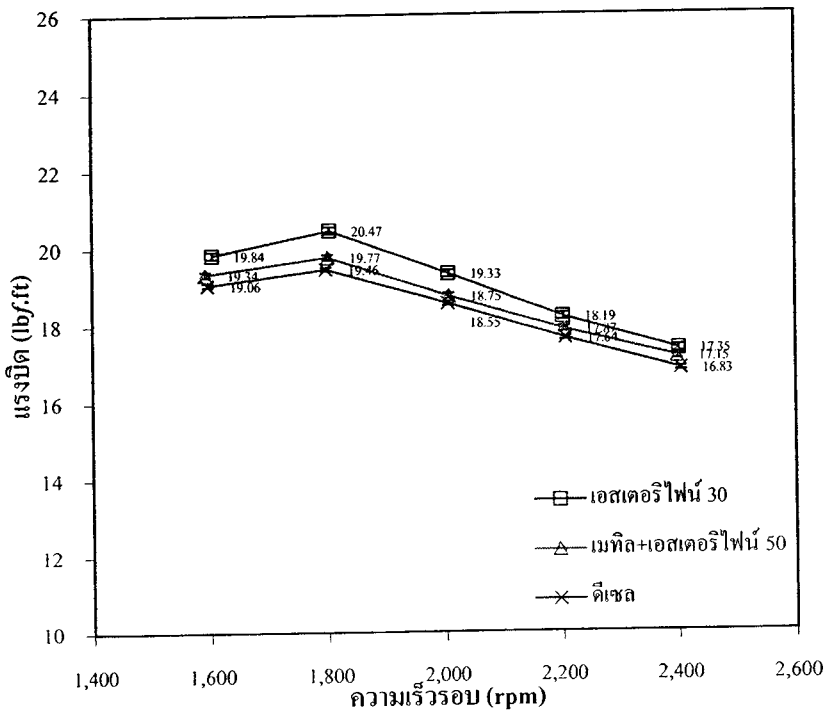


รูปที่ 4.7 อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ (เดินเครื่องเต็มกำลัง)

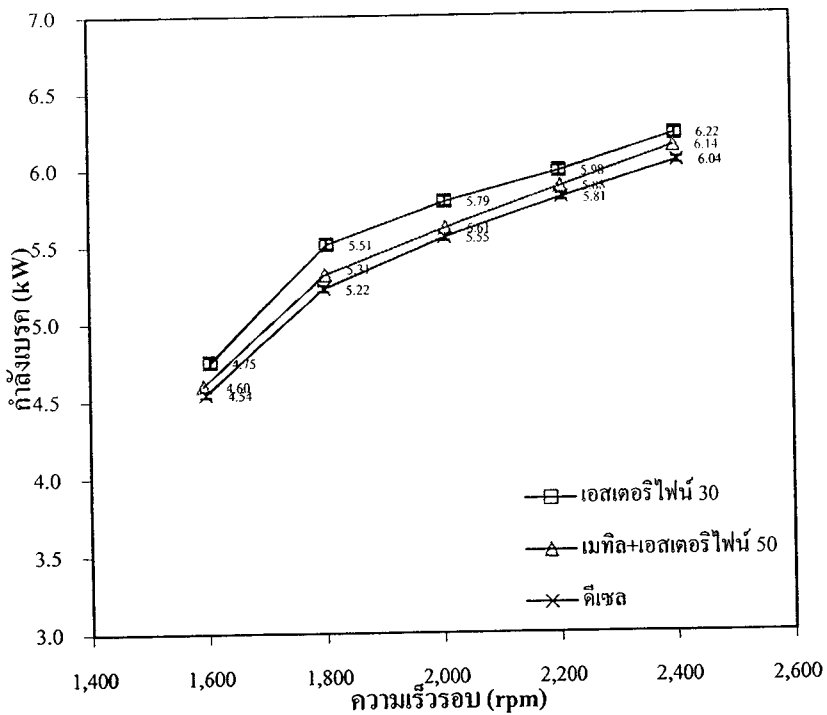
4.7.3 แรงบิดและกำลังเบรค

การเดินเครื่องยนต์เต็มกำลังในช่วงความเร็วรอบ 1,600-2,400 rpm ด้วยเชื้อเพลิงทั้ง 3 ชนิด แสดงผลของแรงบิดและกำลังเบรคของเครื่องยนต์ที่วัดได้ดังรูปที่ 4.8-4.9 จะเห็นได้ว่าการเดินเครื่องยนต์ด้วยเชื้อเพลิงทั้ง 3 ชนิดนี้ เมื่อความเร็วรอบสูงขึ้น แรงบิดของเครื่องยนต์จะมีค่าลดลง แต่แรงบิดของเครื่องยนต์จะมีค่าสูงสุดที่ความเร็วรอบ 1,800 rpm ส่วนกำลังเบรคเครื่องยนต์จะมีค่ามากขึ้น เมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์สูงขึ้น โดยลักษณะดังกล่าวเป็นลักษณะทั่วไปของเครื่องยนต์ดีเซล และเมื่อเปรียบเทียบแรงบิดและกำลังเบรคเครื่องยนต์ที่เดินด้วยเอสเตอรไฟน์ 30 ให้แรงบิดและกำลังเบรคสูงที่สุดเมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงทดสอบอีก 2 ชนิด ตลอดช่วงความเร็วรอบ 1,600-2,400 rpm ซึ่งให้แรงบิดและกำลังเบรคสูงกว่าการเดินเครื่องยนต์ด้วยดีเซลประมาณ 3.0-4.2% โดยความแตกต่างมีค่าสูงสุดที่ความเร็วรอบ 1,800 rpm และมีค่าลดลงตามลำดับเมื่อเครื่องยนต์มีความเร็วรอบเพิ่มขึ้น ส่วนเครื่องยนต์ที่เดินด้วยเอสเตอรไฟน์ผสมเมทิลเอสเตอรจากส่วนไซ 50 ให้แรงบิดและกำลังเบรคสูงกว่าเครื่องยนต์ที่เดินด้วยดีเซลประมาณ 1.4-2.0% และมีค่าลดลงเมื่อเครื่องยนต์มีความเร็วรอบเพิ่มขึ้น

จากลักษณะดังกล่าวที่ทำให้เครื่องยนต์ที่เดินด้วยเอสเตอรไฟน์ 30 และเอสเตอรไฟน์ผสมเมทิลเอสเตอรจากส่วนไซ 50 มีแรงบิดและกำลังเบรคสูงกว่าการเดินเครื่องยนต์ด้วยดีเซล เนื่องจากเชื้อเพลิงดังกล่าวมีความหนาแน่นสูงกว่าดีเซล จนส่งผลให้เครื่องยนต์ฉีดเชื้อเพลิงเชิงมวลและเชิงพลังงานสูงกว่าดีเซล (ปริญญา, 2012) จากข้อมูลอัตราการไหลเชิงมวลของเชื้อเพลิงทดสอบเมื่อเดินเครื่องยนต์เต็มกำลังในช่วงความเร็วรอบ 1,600-2,400 rpm ดังรูปที่ 4.7 จะสังเกตเห็นผลดังกล่าวซึ่งสอดคล้องกับข้อสันนิษฐานข้างต้นว่า ตลอดช่วงความเร็วรอบที่เดินเครื่องยนต์ด้วย เอสเตอรไฟน์ 30 อัตราการฉีดเชื้อเพลิงเชิงมวลมีค่าสูงกว่าการเดินเครื่องยนต์ด้วยดีเซล 11.63% เมื่อคิดเป็นพลังงาน อัตราการฉีดเชื้อเพลิงเชิงพลังงานสูงกว่าการเดินเครื่องยนต์ด้วยดีเซล 7.33% (ความแตกต่างลดลงเมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์สูงขึ้น) ส่วนการเดินเครื่องยนต์ด้วยเอสเตอรไฟน์ผสมเมทิลเอสเตอรจากส่วนไซ 50 มีอัตราการฉีดเชื้อเพลิงเชิงมวลสูงกว่าการเดินเครื่องยนต์ด้วยดีเซล 8.75% และมีอัตราการฉีดเชื้อเพลิงเชิงพลังงานสูงกว่าการเดินเครื่องยนต์ด้วยดีเซล 5.05% (ความแตกต่างลดลงเมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์สูงขึ้น) ด้วยเหตุนี้การเดินเครื่องยนต์เต็มกำลังในช่วงความเร็วรอบ 1,600-2,400 rpm ด้วย เอสเตอรไฟน์ 30 และเอสเตอรไฟน์ผสมเมทิลเอสเตอรจากส่วนไซ 50 จึงทำให้แรงบิดและกำลังเบรคสูงกว่าการเดินเครื่องยนต์เต็มกำลังด้วยดีเซล



รูปที่ 4.8 แรงบิดของเครื่องยนต์ (เดินเครื่องเต็มกำลัง)

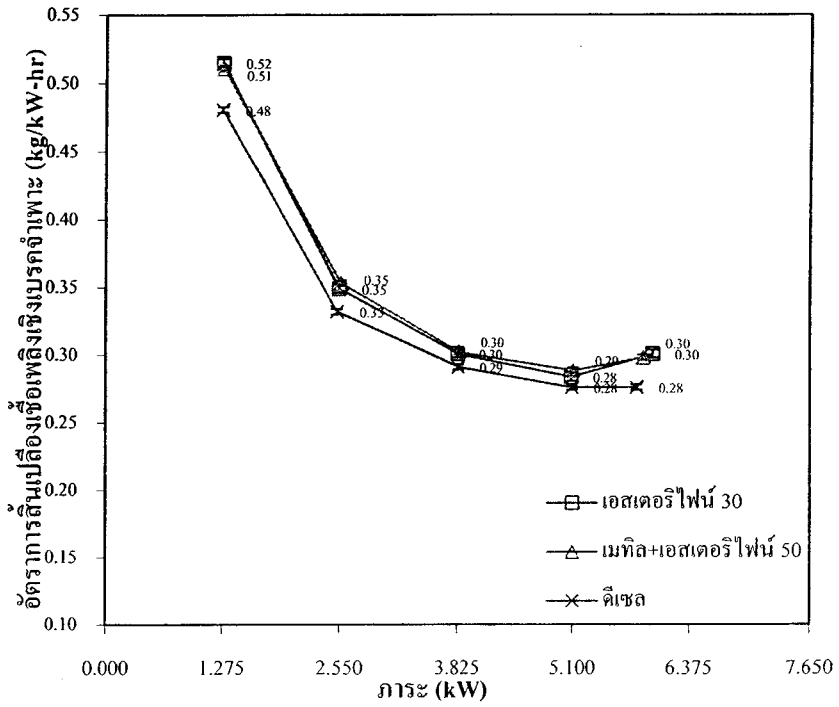


รูปที่ 4.9 กำลังเบรคของเครื่องยนต์ (เดินเครื่องเต็มกำลัง)

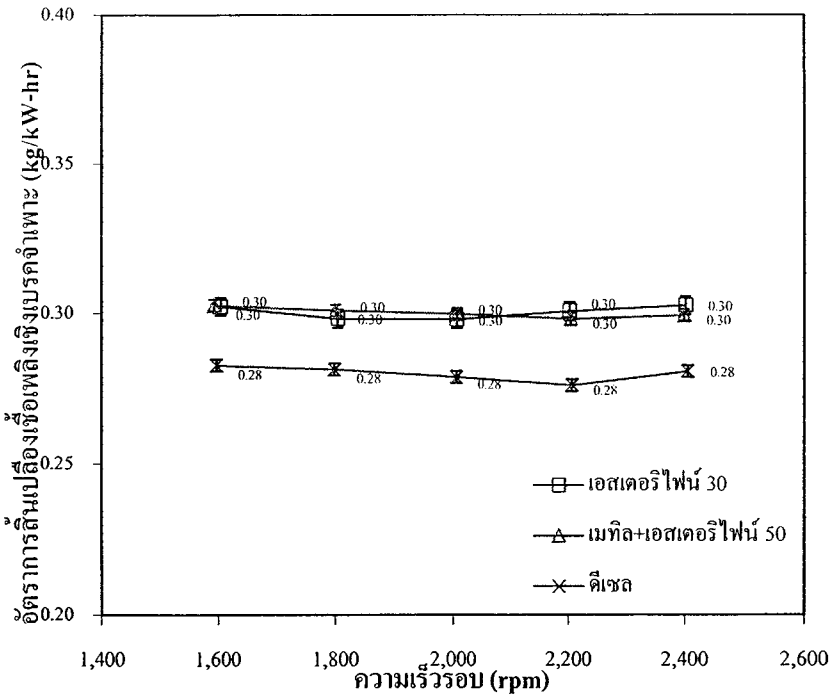
4.7.4 อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเบรคจำเพาะ

สำหรับการเดินเครื่องยนต์ด้วยวิธีการเปลี่ยนแปลงภาระ ที่ความเร็วรอบคงที่ 2,200 rpm และการเดินเครื่องยนต์เต็มกำลังในช่วงความเร็วรอบ 1,600-2,400 rpm แสดงอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเบรคจำเพาะ ดังรูปที่ 4.10 และ 4.11 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่า เมื่อเดินเครื่องยนต์ด้วยวิธีการเปลี่ยนแปลงภาระ ที่ความเร็วรอบคงที่ 2,200 rpm เครื่องยนต์ที่เดินด้วยเอสเตอร์ไฟน์ 30 และเอสเตอร์ไฟน์ผสมเมทิลเอสเตอร์จากส่วนไซ 50 มีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเบรคจำเพาะสูงกว่าเครื่องยนต์ที่เดินด้วยดีเซลเฉลี่ย 5.00 และ 5.44% ตามลำดับ ส่วนการเดินเครื่องยนต์เต็มกำลัง ที่ความเร็วรอบ 1,600-2,400 rpm เครื่องยนต์ที่เดินด้วยเอสเตอร์ไฟน์ 30 และเอสเตอร์ไฟน์ผสมเมทิลเอสเตอร์ 50 มีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเบรคจำเพาะสูงกว่าเครื่องยนต์ที่เดินด้วยดีเซลและเมื่อเปรียบเทียบเชื้อเพลิงทดสอบทั้ง 3 ชนิด เครื่องยนต์ที่เดินด้วยเอสเตอร์ไฟน์ 30 และเอสเตอร์ไฟน์ผสมเมทิลเอสเตอร์จากส่วนไซ 50 มีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเบรคจำเพาะมากกว่าเครื่องยนต์ที่เดินด้วยดีเซลเฉลี่ย 7.31 และ 7.24% ตามลำดับ จากการทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้องโดยการผลิตเชื้อเพลิงจากน้ำมันปาล์มทดสอบกับเครื่องยนต์ดีเซล มีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเบรคจำเพาะของเชื้อเพลิงสูงกว่าดีเซล (Prateepchaikul and Apichato, 2003; นพพร, 2546; วีระยุทธ และคณะ, 2551)

และเมื่อคำนวณอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงในทอมของพลังงานที่ใช้เทียบกับราคาเชื้อเพลิงแต่ละชนิด จะเห็นได้ว่า การเดินเครื่องยนต์ที่ภาระ 2.550 kW ทั้ง ดีเซล เอสเตอร์ไฟน์ 30 และเอสเตอร์ไฟน์ผสมเมทิลเอสเตอร์จากส่วนไซ 50 ใช้พลังงานไปทั้งสิ้น 7.70 8.27 และ 9.06 บาท/กิโลวัตต์ชั่วโมง ส่วนการเดินเครื่องยนต์เต็มกำลังที่ความเร็วรอบ 2,200 rpm ดีเซล เอสเตอร์ไฟน์ 30 และเอสเตอร์ไฟน์ผสมเมทิลเอสเตอร์จากส่วนไซ 50 ใช้พลังงานไปทั้งสิ้น 6.42 7.27 และ 7.48 บาท/กิโลวัตต์ชั่วโมง ตามลำดับ (ดังภาคผนวก คม)



รูปที่ 4.10 อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเบรคจำเพาะของเครื่องยนต์ (ความเร็วรอบ 2,200 rpm)

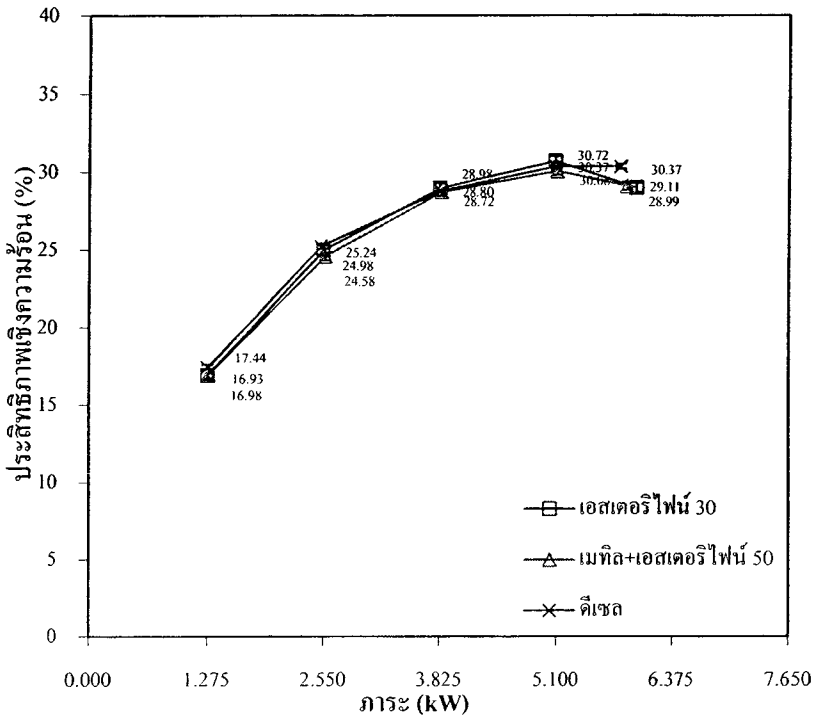


รูปที่ 4.11 อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเบรคจำเพาะของเครื่องยนต์ (เดินเครื่องเต็มกำลัง)

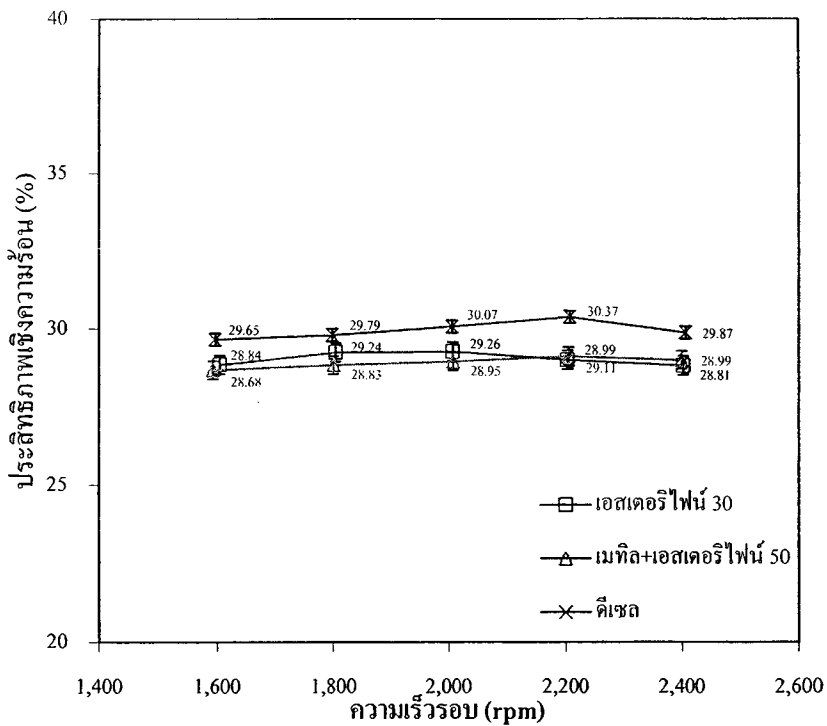
4.7.5 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรค

เมื่อเดินเครื่องยนต์ด้วยวิธีเปลี่ยนแปลงภาระ ที่ความเร็วรอบคงที่ 2,200 rpm ดังรูปที่ 4.12 จะเห็นได้ว่า ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรคของเครื่องยนต์มีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อภาระสูงขึ้น โดยเครื่องยนต์ที่เดินด้วยเอสเตอรีไฟน์ 30 และเอสเตอรีไฟน์ผสมเมทิลเอสเตอรืจากส่วนไข 50 มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรคต่ำกว่าเครื่องยนต์ที่เดินด้วยดีเซลเฉลี่ย 0.25 และ 1.47% ตามลำดับ ส่วนการเดินเครื่องยนต์เต็มกำลังในช่วงความเร็วรอบ 1,600-2,400 rpm ดังรูปที่ 4.13 เมื่อเปรียบเทียบเชื้อเพลิงทั้ง 3 ชนิด เครื่องยนต์ที่เดินด้วย เอสเตอรีไฟน์ 30 และเอสเตอรีไฟน์ผสมเมทิลเอสเตอรืจากส่วนไข 50 มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรคต่ำกว่าเครื่องยนต์ที่เดินด้วยดีเซลเฉลี่ย 3.09 และ 3.47% ตามลำดับ

โดยทั่วไปประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรคของเครื่องยนต์ดีเซลจะขึ้นกับ 3 ปัจจัยหลัก ได้แก่ 1. วัฏจักรอากาศมาตรฐาน 2. ลักษณะห้องเผาไหม้ หัวฉีด และระบบต่างๆ ของเครื่องยนต์ และ 3. พฤติกรรมการเผาไหม้เชื้อเพลิงแต่ละชนิด ซึ่งพฤติกรรมการเผาไหม้เชื้อเพลิงแต่ละชนิดในเครื่องยนต์จะขึ้นกับคุณสมบัติเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ ได้แก่ ค่าซีเทน ความหนืด และสัดส่วนอะตอมออกซิเจนในเชื้อเพลิง และเมื่อพิจารณาคุณสมบัติค่าซีเทนซึ่งเอสเตอรีไฟน์ 30 มีค่าซีเทนสูงกว่าดีเซล โดยเชื้อเพลิงที่มีค่าซีเทนสูง ระยะเวลาหน่วงเวลาของการจุดระเบิด (Ignition delay period) ต่ำ เชื้อเพลิงสามารถจุดระเบิดได้รวดเร็วเมื่อถูกสูบเคลื่อนที่ถึงจุดศูนย์กลางบน (Top dead center) ส่งผลให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรคของเครื่องยนต์สูงขึ้น สำหรับเชื้อเพลิงที่มีความหนืดสูง เมื่อฉีดเชื้อเพลิง เชื้อเพลิงจะกระจายตัวในอากาศได้ไม่ดี เกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ ทำให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรคของเครื่องยนต์ลดลง ถึงแม้ว่าเอสเตอรีไฟน์ 30 มีความหนืดสูงกว่าดีเซล แต่ความหนืดก็ยังผ่านมาตรฐานดีเซลเครื่องยนต์การเกษตร (ตารางที่ 1.1) ส่วนสัดส่วนอะตอมออกซิเจนในเชื้อเพลิง เมื่อพิจารณาลักษณะการฉีดเชื้อเพลิง เชื้อเพลิงจะสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศได้ดีเฉพาะพื้นที่ผิวภายนอกเชื้อเพลิงเท่านั้น ถ้าเชื้อเพลิงมีอะตอมออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ อะตอมออกซิเจนจะช่วยสันดาปภายในเชื้อเพลิง ซึ่งจะเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรคของเครื่องยนต์ (ปริญญา, 2012)



รูปที่ 4.12 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรคของเครื่องยนต์ (ความเร็วรอบ 2,200 rpm)



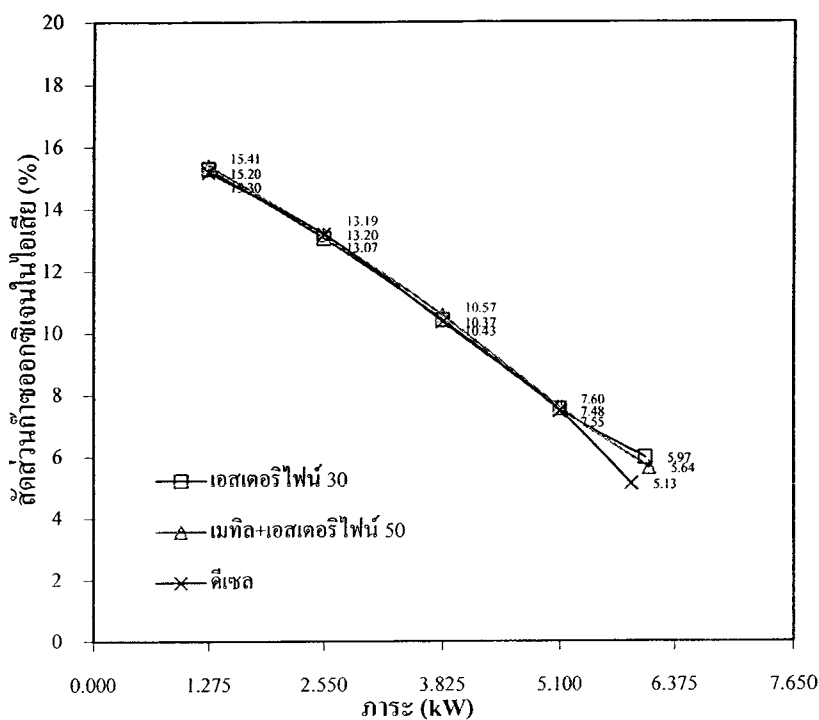
รูปที่ 4.13 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรคของเครื่องยนต์ (เดินเครื่องเต็มกำลัง)

4.7.6 สัดส่วนก๊าซออกซิเจนในไอเสีย

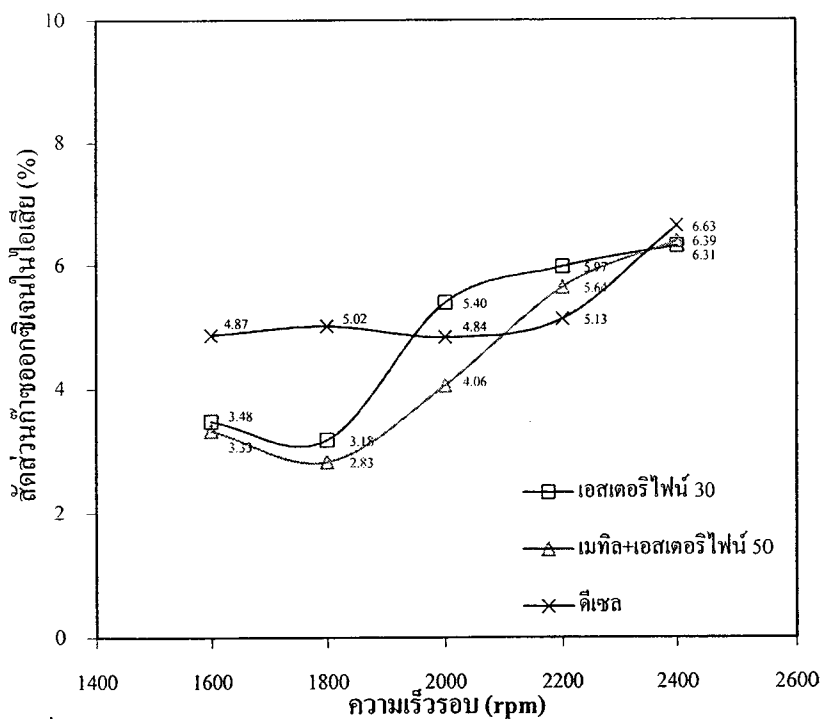
สัดส่วนก๊าซออกซิเจนในไอเสีย หรือ สัดส่วนก๊าซออกซิเจนที่เหลือจากการสันดาป เป็นตัวบ่งบอกความสามารถการนำออกซิเจนในไอดีไปใช้ในการสันดาป สัดส่วนก๊าซออกซิเจนในไอเสียเมื่อเดินเครื่องยนต์ด้วยเชื้อเพลิงทั้ง 3 ชนิด ด้วยวิธีการเปลี่ยนแปลงภาระ ที่ความเร็วรอบคงที่ 2,200 rpm และการเดินเครื่องยนต์เต็มกำลังในช่วงความเร็วรอบ 1,600-2,400 rpm แสดงดังรูปที่ 4.14-4.15 ตามลำดับ

โดยทั่วไป เครื่องยนต์ดีเซลสามารถเพิ่มปริมาณอากาศและเชื้อเพลิงในห้องเผาไหม้ตามภาระและความเร็วรอบที่สูงขึ้น แต่ไม่สามารถเพิ่มปริมาณอากาศและเชื้อเพลิงได้ถูกต้องตามสัดส่วนการเผาไหม้ทางทฤษฎี ซึ่งการวิเคราะห์สัดส่วนก๊าซออกซิเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในไอเสีย สามารถใช้เป็นข้อมูลบ่งบอกลักษณะสัดส่วนการผสมอากาศกับเชื้อเพลิงในการสันดาป

สำหรับการเดินเครื่องยนต์ ด้วยวิธีการเปลี่ยนแปลงภาระ ที่ความเร็วรอบคงที่ 2,200 rpm ดังรูปที่ 4.14 จะเห็นได้ว่า เมื่อภาระสูงขึ้น สัดส่วนก๊าซออกซิเจนในไอเสีย มีค่าต่ำลงอย่างเห็นได้ชัด เนื่องจากเครื่องยนต์ต้องการพลังงานจากเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้น (รูปที่ 4.6) จึงต้องใช้ก๊าซออกซิเจนในไอดีปริมาณสูงสำหรับการสันดาป โดยที่สัดส่วนก๊าซออกซิเจนในไอเสียที่ภาระ 1.28 kW มีค่าสูงมากถึง 15.2-15.4% ส่วนสัดส่วนก๊าซออกซิเจนในไอเสียที่ภาระเต็ม (2,200 rpm) มีค่าน้อยมาก 5.1-6.0% ส่วนการเดินเครื่องยนต์เต็มกำลังในช่วงความเร็วรอบ 1,600-2,400 rpm ดังรูปที่ 4.15 พบว่า ในช่วงแรก ตั้งแต่ช่วงความเร็วรอบ 1,600-2,000 rpm สัดส่วนก๊าซออกซิเจนในไอเสียมีค่าน้อย สาเหตุเนื่องจากไบโอดีเซลมีสัดส่วนอะตอมออกซิเจนในเชื้อเพลิงสูงกว่าดีเซล (Young, 2011; Xue et al., 2011) และเมื่อพิจารณาพร้อมกับอุณหภูมิก๊าซไอเสีย (รูปที่ 4.19) จะเห็นว่าอุณหภูมิก๊าซไอเสียในช่วง 1,600-2,000 rpm มีค่ามาก ดังนั้นการเผาไหม้ในช่วงนี้จึงใกล้เคียงการเผาไหม้สมบูรณ์มากที่สุด โดยก๊าซออกซิเจนในไอดีจำนวนมากถูกใช้ในการสันดาป จึงส่งผลให้สัดส่วนก๊าซออกซิเจนในไอเสียมีค่าน้อย และในช่วงหลัง ตั้งแต่ช่วงความเร็วรอบ 2,000-2,400 rpm สัดส่วนก๊าซออกซิเจนใน ไอเสียมีค่าสูงขึ้นเมื่อความเร็วรอบสูงขึ้น สาเหตุเกิดจากเครื่องยนต์ต้องการพลังงานจากเชื้อเพลิงเพิ่มมากขึ้นตามความเร็วรอบ หัวฉีดจึงต้องฉีดเชื้อเพลิงปริมาณเพิ่มขึ้น การฉีดเชื้อเพลิงปริมาณมาก ทำให้เชื้อเพลิงกระจายตัวเป็นละอองในอากาศได้ไม่ดี ส่งผลให้การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ (Leevijit and Prateepchaikul, 2011) เมื่อเปรียบเทียบเชื้อเพลิงทั้ง 3 ชนิด พบว่า เครื่องยนต์ที่เดินด้วย เอสเตอร์ไฟน์ 30 และเอสเตอร์ไฟน์ผสมเมทิลเอสเตอร์จากส่วนไซ 50 มีสัดส่วนก๊าซออกซิเจนใน ไอเสียโดยรวมน้อยกว่าเครื่องยนต์ที่เดินด้วยดีเซลเฉลี่ย 8.10 และ 16.03% ตามลำดับ



รูปที่ 4.14 สัดส่วนก๊าซออกซิเจนในไอเสีย (ความเร็วรอบ 2,200 rpm)



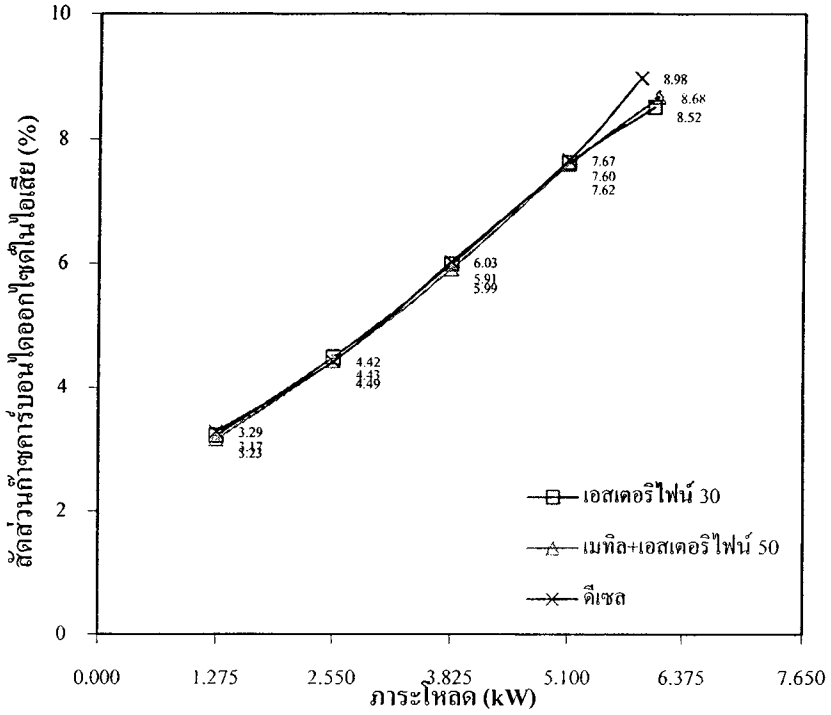
รูปที่ 4.15 สัดส่วนก๊าซออกซิเจนในไอเสีย (เดินเครื่องเต็มกำลัง)

4.7.7 สัดส่วนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในไอเสีย

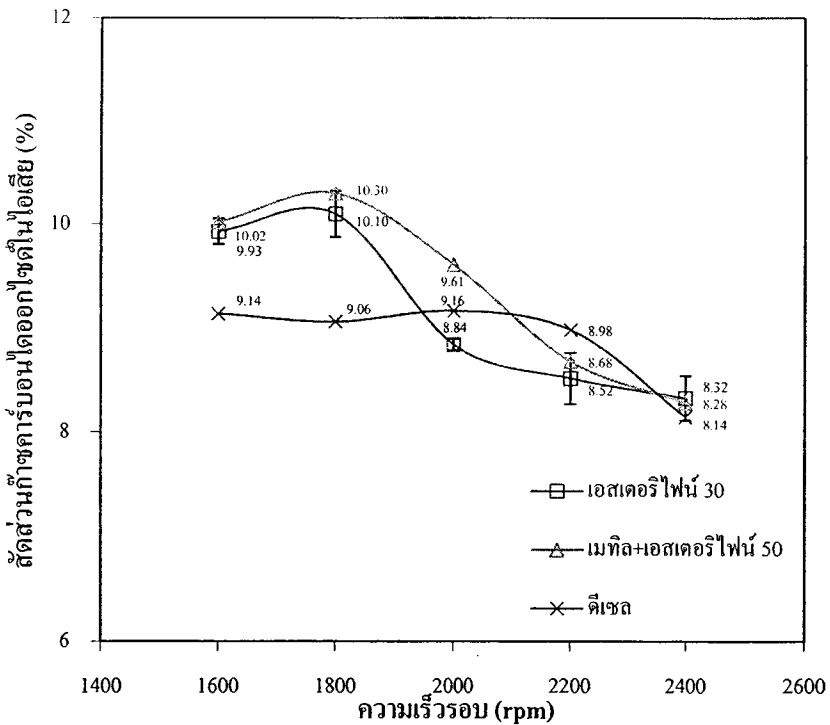
สัดส่วนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในไอเสียเมื่อเดินเครื่องยนต์ด้วยเชื้อเพลิงทดสอบ 3 ชนิด ด้วยวิธีการเปลี่ยนแปลงภาระ ที่ความเร็วรอบคงที่ 2,200 rpm และการเดินเครื่องยนต์เต็มกำลังในช่วงความเร็วรอบ 1,600-2,400 rpm แสดงดังรูปที่ 4.16-4.17 ตามลำดับ

การเดินเครื่องยนต์ด้วยวิธีการเปลี่ยนแปลงภาระ ที่ความเร็วรอบคงที่ 2,200 rpm เมื่อพิจารณาสัดส่วนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในไอเสีย ดังรูปที่ 4.16 พร้อมทั้งสัดส่วนก๊าซออกซิเจนในไอเสีย ดังรูปที่ 4.14 พบว่า ที่ภาระต่ำสุด 1.28 kW สัดส่วนการผสมอากาศกับเชื้อเพลิงเป็นแบบบาง เนื่องจากสัดส่วนก๊าซออกซิเจนในไอเสียมีค่าสูงมาก ขณะที่สัดส่วนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าต่ำมากเช่นเดียวกัน อยู่ที่ 3.2-3.3% เมื่อภาระเพิ่มขึ้น สัดส่วนการผสมอากาศกับเชื้อเพลิงเริ่มหนาขึ้นเล็กน้อย สังเกตได้จากสัดส่วนก๊าซออกซิเจนในไอเสียเริ่มมีค่าลดลง ขณะที่สัดส่วนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในไอเสียกลับมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งที่ภาระเต็ม (2,200 rpm) สัดส่วนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในไอเสียมีค่า 8.5-9.0% ส่วนการเดินเครื่องยนต์เต็มกำลังในช่วงความเร็วรอบ 1,600-2,400 rpm เมื่อพิจารณาสัดส่วนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในไอเสีย รูปที่ 4.17 พร้อมทั้งสัดส่วนก๊าซออกซิเจนในไอเสีย รูปที่ 4.15 และอุณหภูมิก๊าซไอเสีย รูปที่ 4.19 พบว่า ในช่วงแรก ที่ช่วงความเร็วรอบ 1,600-2,000 rpm สัดส่วนการผสมอากาศกับเชื้อเพลิงเป็นแบบหนา เนื่องจากสัดส่วนก๊าซออกซิเจนในไอเสียน้อย และเมื่อพิจารณาร่วมกับอุณหภูมิก๊าซไอเสีย เห็นว่า อุณหภูมิก๊าซไอเสียในช่วงความเร็วรอบ 1,600-2,000 rpm มีค่ามาก ทำให้การเผาไหม้ในช่วงนี้เป็น การเผาไหม้ที่ใกล้เคียงการเผาไหม้สมบูรณ์ จึงส่งผลให้สัดส่วนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในไอเสียมีค่ามาก และในช่วงหลัง ที่ช่วงความเร็วรอบ 2,000-2,400 rpm สัดส่วนการผสมอากาศกับเชื้อเพลิงเป็นแบบบาง เนื่องจากสัดส่วนก๊าซออกซิเจนในไอเสียมีค่าสูง เมื่อพิจารณาร่วมกับอุณหภูมิก๊าซไอเสีย จะเห็นว่าอุณหภูมิก๊าซไอเสียในช่วงนี้มีค่าน้อย ส่งผลให้สัดส่วนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าน้อย เมื่อเปรียบเทียบเชื้อเพลิงทดสอบ 3 ชนิด พบว่า เครื่องยนต์ที่เดินด้วย เอสเตอร์ไฟน์ 30 และ เอสเตอร์ไฟน์ผสมเมทิลเอสเตอร์จากส่วนไซ 50 มีสัดส่วนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในไอเสียมากกว่าเครื่องยนต์ที่เดินด้วยดีเซลเฉลี่ย 2.74 และ 5.40% ตามลำดับ

โดยที่สัดส่วนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในไอเสีย เป็นตัวบ่งบอกการเผาไหม้สมบูรณ์ ถ้าสัดส่วนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในไอเสียสูงหรือมีสัดส่วนก๊าซออกซิเจนและก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในไอเสียต่ำ การเผาไหม้จะใกล้เคียงการเผาไหม้สมบูรณ์



รูปที่ 4.16 สัดส่วนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในไอเสีย (ความเร็วรอบ 2,200 rpm)

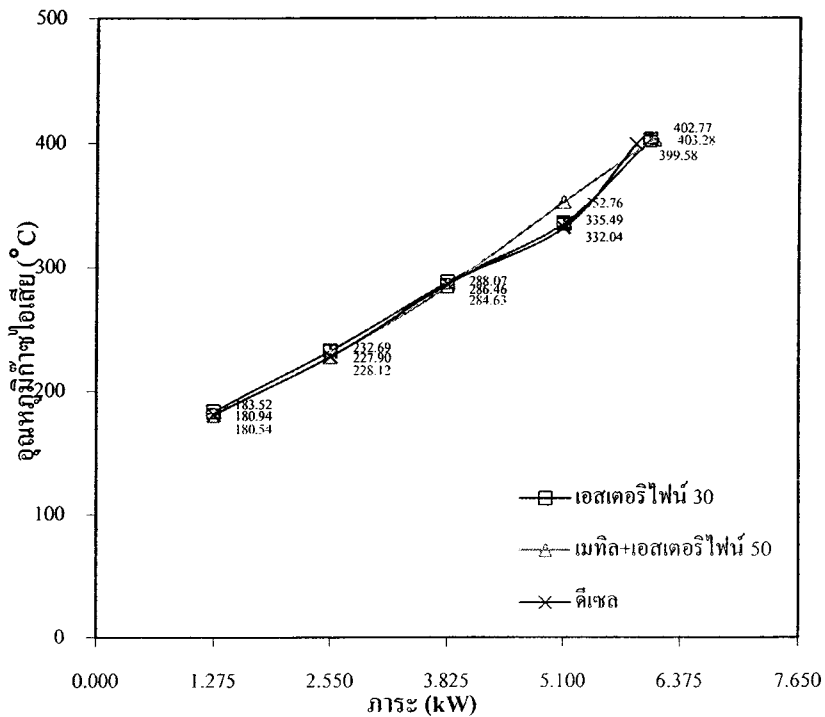


รูปที่ 4.17 สัดส่วนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในไอเสีย (เดินเครื่องเต็มกำลัง)

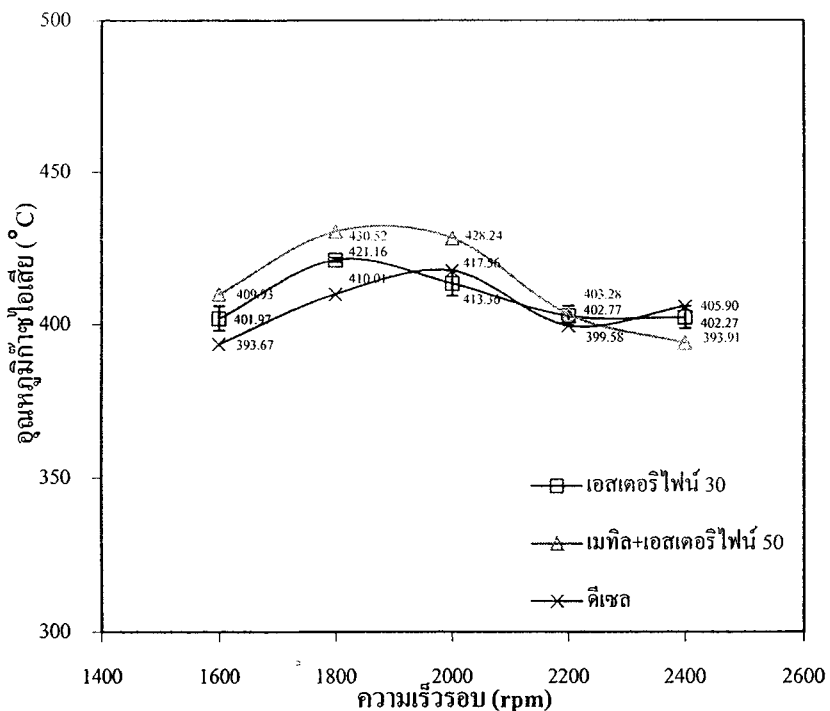
4.7.8 อุณหภูมิก๊าซไอเสีย

อุณหภูมิก๊าซไอเสีย เป็นข้อมูลชนิดหนึ่ง ที่สามารถประมาณการอุณหภูมิห้องเผาไหม้ และ ใช้ทำนายสัดส่วนการผสมอากาศกับเชื้อเพลิงในการสันดาป โดยลักษณะการเผาไหม้ตามทฤษฎี คือการเผาไหม้ที่อุณหภูมิสูงที่สุด จะเป็นการเผาไหม้สมบูร์น (stoicheometric) ซึ่งมีสัดส่วนการผสมอากาศกับเชื้อเพลิงถูกต้องตามทฤษฎี อุณหภูมิก๊าซไอเสียเมื่อเดินเครื่องยนต์ด้วยเชื้อเพลิงทดสอบ 3 ชนิด ด้วยวิธีการเปลี่ยนแปลงภาระ ที่ความเร็วรอบคงที่ 2,200 rpm และการเดินเครื่องยนต์เต็มกำลังในช่วงความเร็วรอบ 1,600-2,400 rpm แสดงดังรูปที่ 4.18-4.19 ตามลำดับ

สำหรับการเดินเครื่องยนต์ ด้วยวิธีการเปลี่ยนแปลงภาระ ที่ความเร็วรอบคงที่ 2,200 rpm รูปที่ 4.18 จะเห็นได้ว่า อุณหภูมิก๊าซไอเสียมีค่าเพิ่มขึ้นตามภาระที่สูงขึ้น เมื่อพิจารณา ร่วมกับอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง สัดส่วนก๊าซออกซิเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในไอเสียพบว่า ข้อมูลทั้งหมดให้ผลที่สอดคล้องกัน เนื่องจากเครื่องยนต์ต้องการพลังงานจากเชื้อเพลิง เพิ่มขึ้นตามภาระที่สูงขึ้น ส่งผลให้ปริมาณก๊าซออกซิเจนในไอดีจำนวนมากถูกใช้ในการสันดาป สัดส่วนก๊าซออกซิเจนในไอเสียจึงลดลง ขณะที่สัดส่วนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในไอเสียมีค่าเพิ่มขึ้น ส่วนการเดินเครื่องยนต์เต็มกำลังในช่วงความเร็วรอบ 1,600-2,400 rpm ดังรูปที่ 4.19 จะเห็นได้ว่า ในช่วงแรก ที่ช่วงความเร็วรอบ 1,600-2,000 rpm อุณหภูมิก๊าซไอเสียมีค่ามากขึ้นแล้วค่อยๆ ลดลงในช่วงหลัง ตั้งแต่ช่วงความเร็วรอบ 2,000-2,400 rpm จากทฤษฎีที่ได้กล่าวไว้ข้างต้นที่อุณหภูมิสูงสุด เป็นการเผาไหม้สมบูร์น ดังนั้นการเผาไหม้ที่ช่วงความเร็วรอบประมาณ 2,000 rpm จึงใกล้เคียงการเผาไหม้สมบูร์นมากที่สุด และเมื่อเปรียบเทียบเชื้อเพลิงทั้ง 3 ชนิด พบว่า เอสเตอร์ไฟน์ 30 และเอสเตอร์ไฟน์ผสมเมทิลเอสเตอร์จากส่วนไข 50 มีอุณหภูมิก๊าซไอเสียใกล้เคียงกับดีเซล โดยสูงกว่าดีเซลเฉลี่ย 0.73 และ 1.93% ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ (คณิต และ เทิดศักดิ์, 2547)



รูปที่ 4.18 อุณหภูมิแก๊ซไอเสีย (ความเร็วรอบ 2,200 rpm)



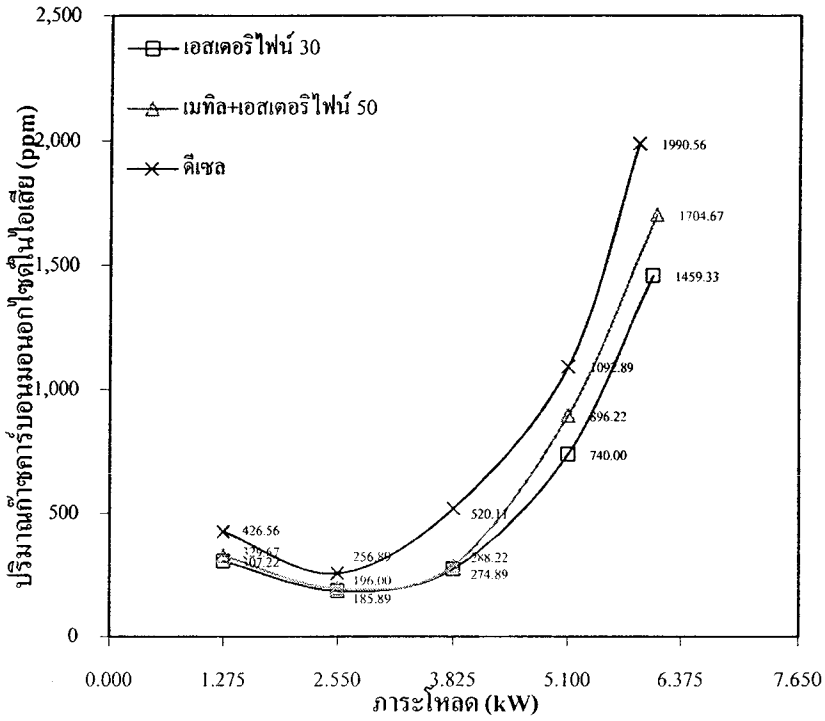
รูปที่ 4.19 อุณหภูมิแก๊ซไอเสีย (เดินเครื่องเต็มกำลัง)

4.7.9 ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในไอเสีย

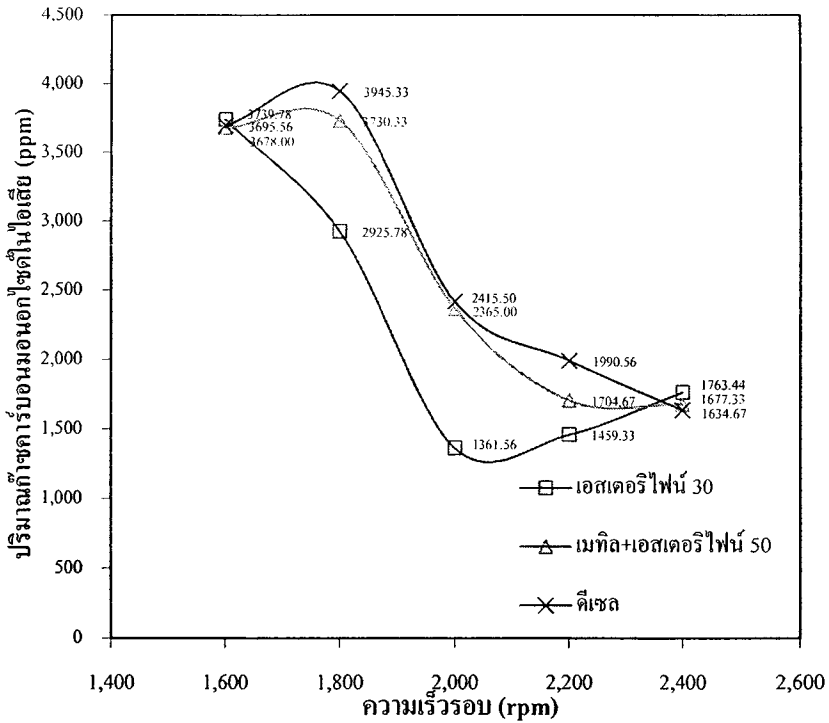
ในงานวิจัยนี้ได้ทดสอบก๊าซพิษจากท่อไอเสีย 2 ชนิด คือ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในไอเสีย และก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนในไอเสีย โดยก๊าซพิษทั้ง 2 ชนิดนี้ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์

สำหรับการทดสอบปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในไอเสีย เมื่อเดินเครื่องยนต์ด้วยวิธีการเปลี่ยนแปลงภาระ ที่ความเร็วรอบคงที่ 2,200 rpm ดังรูปที่ 4.20 พบว่า ที่ภาระต่ำ ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในไอเสียมีค่าน้อย สาเหตุอาจเกิดจาก ในขณะที่นั้นการฉีดเชื้อเพลิงเป็นละอองยังได้ไม่ดี เชื้อเพลิงที่ถูกฉีดระเหยกลายเป็นไอน้ำน้อย เนื่องจากอุณหภูมิในห้องเผาไหม้ต่ำ ซึ่งอุณหภูมิในห้องเผาไหม้สังเกตได้จากอุณหภูมิก๊าซไอเสีย (รูปที่ 4.18) และเมื่อเมื่อภาระสูงขึ้น อุณหภูมิในห้องเผาไหม้มีค่าสูงขึ้น เชื้อเพลิงระเหยกลายเป็นไอน้ำได้ดีขึ้น ส่งผลให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ดีขึ้น (ประสิทธิภาพการเผาไหม้สังเกตได้จากประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรค รูปที่ 4.12) ส่งผลให้ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในไอเสียจึงลดลง แต่ที่ภาระสูงปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในไอเสียกลับมีค่าเพิ่มขึ้น สาเหตุสำคัญเกิดจากเมื่อภาระเพิ่มขึ้น เครื่องยนต์ต้องการพลังงานจากเชื้อเพลิงเพิ่มมากขึ้น หัวฉีดจึงต้องฉีดเชื้อเพลิงในปริมาณที่เพิ่มขึ้น การฉีดเชื้อเพลิงปริมาณมาก ทำให้เชื้อเพลิงกระจายตัวเป็นละอองในอากาศได้ไม่ดี ก่อให้เกิด Rich zone (เชื้อเพลิงที่หัวฉีดฉีดหนาแน่น และกระจายตัวไม่ดี) ส่งผลให้การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ (Leevijit and Prateepchaikul, 2011)

ส่วนการเดินเครื่องยนต์เต็มกำลังในช่วงความเร็วรอบ 1,600-2,400 rpm รูปที่ 4.21 พบว่า เมื่อความเร็วรอบเพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในไอเสียมีลักษณะลดลง โดยปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในไอเสียมีค่าต่ำสุดในช่วงความเร็วรอบประมาณ 2,000 rpm ซึ่งสอดคล้องกับอุณหภูมิก๊าซไอเสีย (รูปที่ 4.19) คือในช่วงความเร็วรอบดังกล่าวนี้ อุณหภูมิก๊าซไอเสียมีค่าสูงที่สุด และเป็นการเผาไหม้ที่ใกล้เคียงการเผาไหม้สมบูรณ์มากที่สุด และเมื่อเปรียบเทียบเชื้อเพลิงทดสอบ 3 ชนิด สรุปได้ว่า เครื่องยนต์ที่เดินด้วย เอสเตอร์ไฟน์ 30 และเอสเตอร์ไฟน์ผสมเมทิลเอสเตอร์จากส่วนไซ 50 มีปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในไอเสียน้อยกว่าเครื่องยนต์ที่เดินด้วยดีเซลเฉลี่ย 17.77 และ 3.85% ตามลำดับ โดยผลการเปรียบเทียบดังกล่าวได้สอดคล้องกับการทบทวนเอกสารงานวิจัย ที่รายงานว่า การใช้ไบโอดีเซลทดแทนดีเซลในเครื่องยนต์ช่วยลดปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในไอเสีย เนื่องจากไบโอดีเซลมีสัดส่วนอะตอมออกซิเจนในเชื้อเพลิงสูงกว่าดีเซล (Young, 2011; Xue et al., 2011)



รูปที่ 4.20 ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในไอเสียของเครื่องยนต์ (ความเร็วรอบ 2,200 rpm)



รูปที่ 4.21 ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในไอเสียของเครื่องยนต์ (เดินเครื่องเต็มกำลัง)

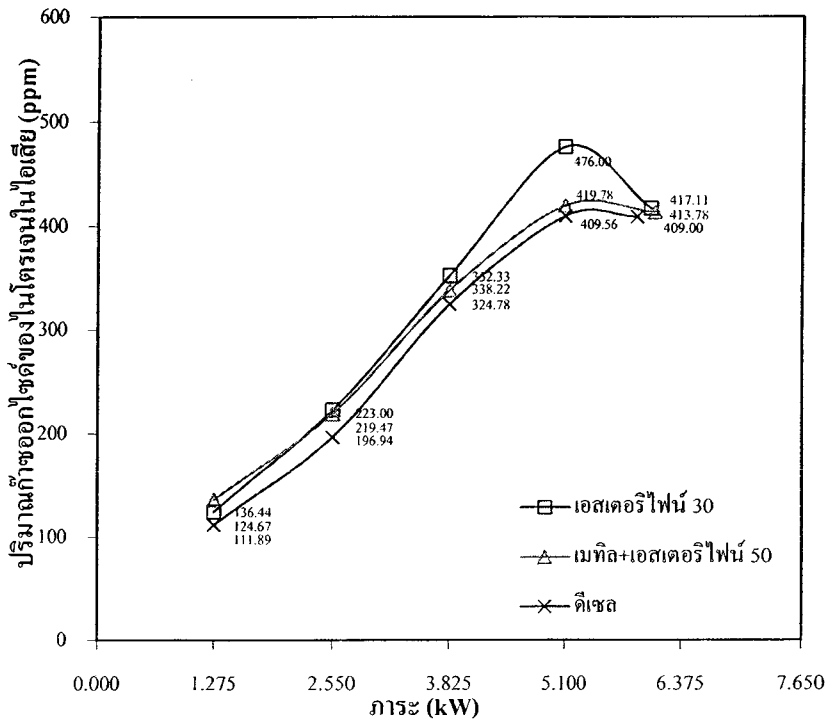
4.7.10 ปริมาณก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนในไอเสีย

การเดินเครื่องยนต์ด้วยเชื้อเพลิงทั้ง 3 ชนิด ด้วยวิธีการเปลี่ยนแปลงภาระ ที่ความเร็วรอบคงที่ 2,200 rpm และการเดินเครื่องยนต์เต็มกำลังในช่วงความเร็วรอบ 1,600-2,400 rpm มีปริมาณก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนในไอเสีย แสดงดังรูปที่ 4.22-4.23 จะเห็นว่า ปริมาณก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนในไอเสียมีค่าเพิ่มขึ้นตามภาระและความเร็วรอบที่สูงขึ้น เนื่องจากเมื่อภาระและความเร็วรอบสูงขึ้น ทำให้เครื่องยนต์ต้องการพลังงานจากเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้น อัตราการฉีดเชื้อเพลิงก็เพิ่มมากขึ้น (รูปที่ 4.6-4.7) จึงทำให้เกิดการสันดาปในห้องเผาไหม้สูง ส่งผลให้ก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนเพิ่มขึ้น

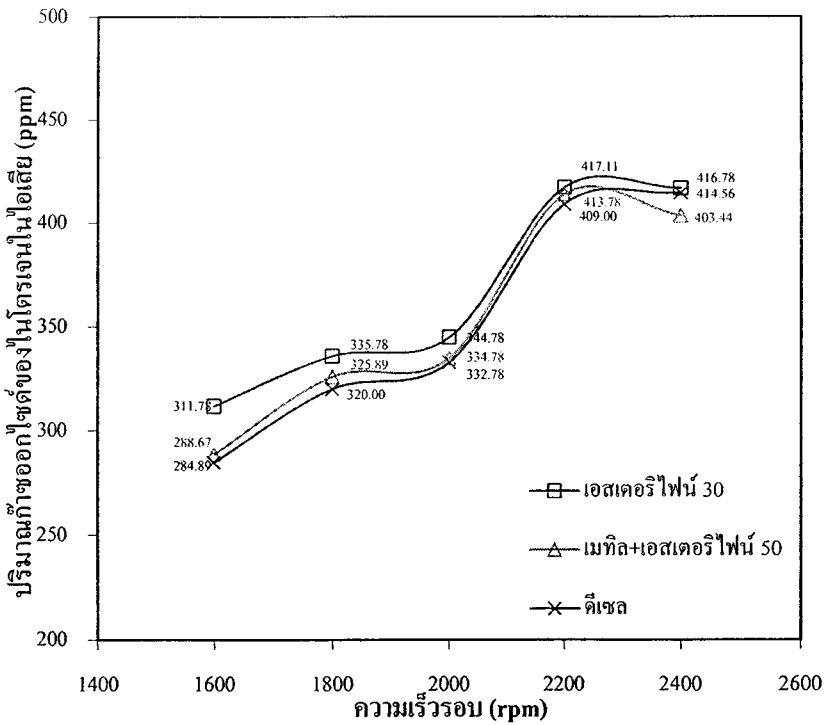
โดยทั่วไปการเกิดก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนขึ้นกับความเข้มข้นของออกซิเจนในการสันดาป และอุณหภูมิในการเผาไหม้ แต่สำหรับเครื่องยนต์ดีเซล การเกิดก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนขึ้นกับปริมาณ frame zone (พื้นที่เฉพาะการเผาไหม้ในห้องเผาไหม้) เป็นหลัก (Leevijit and Prateepchaikul, 2011) ในงานวิจัยนี้ได้ทดสอบก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนในไอเสีย (NO_x) ซึ่งเป็นผลรวมระหว่าง ก๊าซไนตริกออกไซด์ (NO) และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2)

เมื่อเปรียบเทียบเชื้อเพลิงทั้ง 3 ชนิด ด้วยวิธีการเปลี่ยนแปลงภาระ ที่ความเร็วรอบคงที่ 2,200 rpm จะเห็นว่า เครื่องยนต์ที่เดินด้วย เอสเตอร์ไฟน์ 30 และเอสเตอร์ไฟน์ผสมเมทิลเอสเตอร์จากส่วนไซ 50 มีปริมาณก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนในไอเสียมากกว่าเครื่องยนต์ที่เดินด้วยดีเซลเฉลี่ย 6.59 และ 2.64% ตามลำดับ ส่วนการเดินเครื่องยนต์เต็มกำลังในช่วงความเร็วรอบ 1,600-2,400 rpm พบว่า เครื่องยนต์ที่เดินด้วย เอสเตอร์ไฟน์ 30 และเอสเตอร์ไฟน์ผสมเมทิลเอสเตอร์ 50 มีปริมาณก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนในไอเสียมากกว่าเครื่องยนต์ที่เดินด้วยดีเซลเฉลี่ย 3.69 และ 0.30% ตามลำดับ

จากการทดสอบดังกล่าว ให้ผลที่สอดคล้องกับการทบทวนเอกสารงานวิจัย ที่รายงานว่าการใช้ไบโอดีเซลทดแทนดีเซลมีปริมาณการปล่อยก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนเพิ่มขึ้น เนื่องจากไบโอดีเซลมีส่วนอะตอมออกซิเจนในเชื้อเพลิงสูงกว่าดีเซล (Young, 2011; Xue et al., 2011)



รูปที่ 4.22 ก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนในไอเสียของเครื่องยนต์ (ความเร็วรอบ 2,200 rpm)



รูปที่ 4.23 ปริมาณก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนในไอเสียของเครื่องยนต์ (เดินเครื่องเต็มกำลัง)

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

5.1.1 การผลิตส่วนผสมดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่บรวมน้ำมันและต้นทุน

จากการศึกษาเปรียบเทียบกระบวนการผลิตและต้นทุนในการผลิตส่วนผสมดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่บรวมน้ำมัน 2 ชนิด ได้แก่ น้ำมันปาล์มดิบที่บรวมน้ำมันเอสเตอรีไฟน์ 30 และน้ำมันปาล์มดิบที่บรวมน้ำมันเอสเตอรีไฟน์ผสมเมทิลเอสเตอรีจากส่วนไข 50 สรุปได้ว่า ส่วนผสมดีเซลทั้ง 2 ชนิดผลิตง่าย กระบวนการผลิตไม่ยุ่งยาก และวัตถุดิบสามารถหาซื้อได้ง่ายเนื่องจากภาคใต้มีพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันมากรวมทั้งสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการมีขายโดยทั่วไป ซึ่งการผลิตน้ำมันปาล์มดิบที่บรวมน้ำมันเอสเตอรีไฟน์ โดยใช้เมทานอลในกระบวนการ 5 10 15 และ 20 vol.% มีต้นทุนการผลิตทั้งกระบวนการที่ 27.23 28.35 29.35 และ 30.55 บาท/ลิตร ตามลำดับ จะเห็นว่าเชื้อเพลิงที่ใช้เมทานอลในกระบวนการน้อยที่สุด มีราคาต่ำสุด ซึ่งเมทานอลเป็นตัวแปรหลักที่ส่งผลต่อต้นทุนราคาในการผลิตน้ำมันปาล์มดิบที่บรวมน้ำมันเอสเตอรีไฟน์ ส่วนน้ำมันปาล์มดิบที่บรวมน้ำมันเอสเตอรีไฟน์ผสมเมทิลเอสเตอรีจากส่วนไข ที่สัดส่วนเมทานอล 10 15 และ 20 vol.% (สัดส่วนเมทานอลจากกระบวนการเอสเตอรีไฟน์) มีราคาต้นทุนการผลิตรวมเป็น 40.06 32.29 และ 33.47 บาท/ลิตร ตามลำดับ แต่ที่สัดส่วนเมทานอล 5 vol.% ไม่สามารถนำมาคิดต้นทุนราคาได้ เนื่องจากขั้นตอนปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอรีไฟน์ ผลิตภัณฑ์ที่ได้เป็นสบู่ ซึ่งจะเห็นได้ว่าการผลิตน้ำมันปาล์มดิบที่บรวมน้ำมันเอสเตอรีไฟน์ผสมเมทิลเอสเตอรีจากส่วนไข ตัวแปรหลักที่ส่งผลต่อต้นทุนราคาในการผลิต คือ ปริมาณการได้คืน (%yield) ดังแสดงในตารางที่ 4.6 ดังนั้นส่วนผสมดีเซลต้นทุนต่ำทั้ง 2 ชนิด คือ น้ำมันปาล์มดิบที่บรวมน้ำมันเอสเตอรีไฟน์ผสมในดีเซล 30 vol.% (เอสเตอรีไฟน์ 30) และน้ำมันปาล์มดิบที่บรวมน้ำมันเอสเตอรีไฟน์ผสมเมทิลเอสเตอรีจากส่วนไขในดีเซล 50 vol.% (เอสเตอรีไฟน์ผสมเมทิลเอสเตอรีจากส่วนไข 50) มีราคา 28.12 และ 30.41 บาท/ลิตร ตามลำดับ เป็นเชื้อเพลิงที่มีราคาต่ำที่สุด

5.1.2 องค์ประกอบเชื้อเพลิง

การศึกษาองค์ประกอบเชื้อเพลิง สรุปได้ว่า องค์ประกอบของน้ำมันปาล์มดิบที่บรวมน้ำมันประกอบไปด้วย ไตรกลีเซอไรด์ ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลัก 79.5 wt.% ส่วนองค์ประกอบที่เหลือเป็นกรดไขมันอิสระ 11.9 wt.% ไคลีสเทอไรด์ 7.7 wt.% และ โมโนกลีเซอไรด์ 0.9 wt.% โดยการผลิตส่วนผสมดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่บรวมน้ำมันทั้ง 2 ชนิด คือ น้ำมันปาล์มดิบที่บรวมน้ำมันเอสเตอรีไฟน์ และน้ำมันปาล์มดิบที่บรวมน้ำมันเอสเตอรีไฟน์ผสมเมทิลเอสเตอรี องค์ประกอบของไตรกลีเซอไรด์และโมโนกลีเซอไรด์ มีองค์ประกอบที่ใกล้เคียงกับองค์ประกอบของน้ำมันปาล์มดิบที่บรวมน้ำมัน แต่

องค์ประกอบที่เปลี่ยนไปคือ องค์ประกอบของไตรกลีเซอไรด์และกรดไขมันอิสระ ซึ่งถูกเปลี่ยนไปเป็นเมทิลเอสเทอร์ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าน้ำมันปาล์มดิบหีบรวมเอสเทอร์ไฟน์ซึ่งผ่านกระบวนการทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันและน้ำมันปาล์มดิบหีบรวมเอสเทอร์ไฟน์ผสมเมทิลเอสเทอร์ที่ผ่านกระบวนการทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันและทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ทำให้ได้ปริมาณเมทิลเอสเทอร์เพิ่มขึ้นตามลำดับ

5.1.3 การไม่เป็นไขของส่วนผสมดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มดิบหีบรวมผสมในดีเซล

การศึกษาคุณลักษณะการไม่เป็นไขของส่วนผสมดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มดิบหีบรวมผสมในดีเซล โดยบรรจุเชื้อเพลิงทดสอบในกระบอกตวงขนาด 100 ml ปิดฝาป้องกันสิ่งปนเปื้อน วางไว้ในบรรยากาศปกติ จนการเป็นไขเข้าสู่สภาวะคงตัว สรุปได้ว่า น้ำมันปาล์มดิบหีบรวมเอสเทอร์ไฟน์ และน้ำมันปาล์มดิบหีบรวมเอสเทอร์ไฟน์ผสมเมทิลเอสเทอร์ สามารถผสมในดีเซลได้สูงสุดที่ 30 และ 50 vol.% ตามลำดับ โดยที่ส่วนผสมดีเซลไม่เป็นไข

5.1.4 ความหนืดจลศาสตร์

การทดสอบความหนืดจลศาสตร์ของส่วนผสมดีเซลทั้ง 2 ชนิด ที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มดิบหีบรวมผสมในดีเซล ที่อุณหภูมิ 40°C (ASTM D445) สรุปได้ว่า น้ำมันปาล์มดิบหีบรวมเอสเทอร์ไฟน์ 30 และน้ำมันปาล์มดิบหีบรวมเอสเทอร์ไฟน์ผสมเมทิลเอสเทอร์จากส่วนไข 50 มีความหนืดจลศาสตร์ 6.08 และ 4.51 cSt ตามลำดับ ดังนั้นความหนืดจลศาสตร์ของส่วนผสมดีเซลทั้ง 2 ชนิดนี้ ผ่านมาตรฐานดีเซลเครื่องยนต์การเกษตร และดีเซลหมุนช้า แต่ไม่ผ่านมาตรฐานดีเซลหมุนเร็ว ซึ่งในงานวิจัยนี้จะพิจารณาเครื่องยนต์การเกษตรเป็นหลัก

5.1.5 ความหนาแน่น

ในการทดสอบความหนาแน่นของส่วนผสมดีเซลทั้ง 2 ชนิด ที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มดิบหีบรวมผสมในดีเซล ทดสอบด้วยอุปกรณ์ Picanometer และเครื่องชั่งน้ำหนัก ที่อุณหภูมิมาตรฐาน 15°C ซึ่งสรุปได้ว่า น้ำมันปาล์มดิบหีบรวมเอสเทอร์ไฟน์ 30 และน้ำมันปาล์มดิบหีบรวมเอสเทอร์ไฟน์ผสมเมทิลเอสเทอร์จากส่วนไข 50 มีความหนาแน่น 862 และ 856 kg/m³ ตามลำดับ เมื่อนำความหนาแน่นของส่วนผสมดีเซลทั้ง 2 ชนิด เปรียบเทียบกับมาตรฐานดีเซลในตารางที่ 1.1 จะเห็นได้ว่า ความหนาแน่นของน้ำมันปาล์มดิบหีบรวมเอสเทอร์ไฟน์ 30 ผ่านมาตรฐานดีเซลเครื่องยนต์การเกษตร ส่วนความหนาแน่นของน้ำมันปาล์มดิบหีบรวมเอสเทอร์ไฟน์ผสมเมทิลเอสเทอร์จากส่วนไข 50 ต่ำกว่าค่าต่ำสุดของมาตรฐานดีเซลเครื่องยนต์การเกษตรเล็กน้อย แต่ผ่านมาตรฐานดีเซลหมุนเร็ว

5.1.6 การทดสอบสมรรถนะและการปลดปล่อยไอเสียของเครื่องยนต์การเกษตร

เมื่อนำส่วนผสมดีเซลทั้ง 2 ชนิด ที่ผ่านการศึกษาระบวนการผลิต ต้นทุน คุณลักษณะการ ไม่เป็นไข ความหนืด และความหนาแน่น คือ น้ำมันปาล์มดิบที่บรวมนเอสเทอร์ไฟน์ผสมในดีเซล 30 vol.% (เอสเทอร์ไฟน์ 30) และน้ำมันปาล์มดิบที่บรวมนเอสเทอร์ไฟน์ผสมเมทิลเอสเทอร์จากส่วนไขในดีเซล 50 vol.% (เอสเทอร์ไฟน์ผสมเมทิลเอสเทอร์จากส่วนไข 50) ทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ดีเซลการเกษตรระยะสั้นเปรียบเทียบกับดีเซล ด้วยเครื่องยนต์การเกษตรที่ห้อยคูโบต้า รุ่น RT80 ผลการทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ พบว่า เครื่องยนต์ที่เดินด้วย เอสเทอร์ไฟน์ 30 และเอสเทอร์ไฟน์ผสมเมทิลเอสเทอร์จากส่วนไข 50 เครื่องยนต์สามารถสตาร์ทติดง่าย เดินเรียบ และไม่มีการน็อกเกิดขึ้น มีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงมากกว่าเครื่องยนต์ที่เดินด้วยดีเซลเฉลี่ย 9.09 และ 7.70% มีแรงบิดมากกว่าเครื่องยนต์ที่เดินด้วยดีเซลเฉลี่ย 3.97 และ 1.46% มีกำลังเบรคมากกว่าเครื่องยนต์ที่เดินด้วยดีเซลเฉลี่ย 2.72 และ 1.14% มีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเบรคจำเพาะมากกว่าเครื่องยนต์ที่เดินด้วยดีเซลเฉลี่ย 6.16 และ 6.35% มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรคต่ำกว่าเครื่องยนต์ที่เดินด้วยดีเซลเฉลี่ย 1.94 และ 2.66% มีสัดส่วนก๊าซออกซิเจนในไอเสียน้อยกว่าเครื่องยนต์ที่เดินด้วยดีเซลเฉลี่ย 8.10 และ 16.03% มีสัดส่วนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในไอเสียมากกว่าเครื่องยนต์ที่เดินด้วยดีเซลเฉลี่ย 2.74 และ 5.40% มีอุณหภูมิก๊าซไอเสียต่ำกว่าเครื่องยนต์ที่เดินด้วยดีเซลเฉลี่ย 9.36 และ 8.40% มีปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในไอเสียน้อยกว่าเครื่องยนต์ที่เดินด้วยดีเซลเฉลี่ย ประมาณ 17.77 และ 3.85% และมีปริมาณการปลดปล่อยก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนในไอเสียมากกว่าเครื่องยนต์ที่เดินด้วยดีเซลเฉลี่ย ประมาณ 3.69 และ 0.30% ตามลำดับ

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาระบวนการผลิต ต้นทุน องค์ประกอบส่วนผสมดีเซล คุณลักษณะการเป็นของเหลวซึ่งได้แก่ การเป็นไข ความหนืด และความหนาแน่น การเลือกส่วนผสมดีเซลและการทดสอบเครื่องยนต์การเกษตร มีข้อเสนอแนะ ดังนี้

1. สำหรับผู้ที่สนใจการผลิตส่วนผสมดีเซลต้นทุนต่ำจากน้ำมันปาล์มดิบที่บรวมน ควรศึกษาผลต่างราคาดีเซลกับราคาน้ำมันปาล์มดิบที่บรวมนในปัจจุบัน เนื่องจากผลต่างระหว่างราคาดีเซลกับราคาน้ำมันปาล์มดิบที่บรวมน มีความไม่แน่นอน

2. การผลิตน้ำมันปาล์มดิบที่บรวมนเอสเทอร์ไฟน์และน้ำมันปาล์มดิบที่บรวมนเอสเทอร์ไฟน์ผสมเมทิลเอสเทอร์ โดยเชื้อเพลิงทั้ง 2 ชนิดนี้ยังมีราคาต้นทุนในการผลิตที่ค่อนข้างแพง เนื่องจากตัวแปรหลักที่มีผลต่อต้นทุนในการผลิต คือปริมาณเมทานอลที่ใช้ในกระบวนการ ซึ่งมีกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงที่น่าสนใจ คือการผลิตเชื้อเพลิงเหลวด้วยกระบวนการไฮโดรไลซิสโดย

ใช้น้ำที่อุณหภูมิและความดันสูง (Subcritical water) เป็นเทคโนโลยีใหม่ที่ถูกพัฒนาขึ้น ให้ผลผลิตของกรดไขมันที่มีความบริสุทธิ์สูง โดยไม่ต้องใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา และสามารถผลิตได้ในระยะเวลาอันรวดเร็ว เพื่อนำไปใช้สำหรับพัฒนาเชื้อเพลิงทดแทนดีเซลต้นทุนต่ำต่อไป

3. การทดสอบสมรรถนะ และการปลดปล่อยไอเสียของเครื่องยนต์การเกษตร เมื่อสังเกต อุณหภูมิก๊าซไอเสีย รูปที่ 4.12 และ 4.13 พบว่า การทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ ด้วยการเปลี่ยนแปลงภาระ ที่ความเร็วรอบคงที่ 2,200 rpm และการเดินเครื่องยนต์เต็มกำลังในช่วงความเร็วรอบ 1,600-2,400 rpm มีอุณหภูมิก๊าซไอเสียต่ำสุด ประมาณ 180°C จากอุณหภูมิดังกล่าว สามารถคำนวณอัตราให้ความร้อนต่ำสุด สำหรับการนำความร้อนจากก๊าซไอเสียอุ่นเชื้อเพลิงในถังเก็บ ซึ่งจะช่วยลดความหนืด และแก้ปัญหาการเป็นไขของเชื้อเพลิง ซึ่งเป็นวิธีการประยุกต์ดัดแปลงเครื่องยนต์ให้ใช้เชื้อเพลิงทดแทนดีเซลได้มากขึ้น โดยนำความร้อนจากก๊าซไอเสียที่สูญเสียไปมาปรับปรุงคุณสมบัติเชื้อเพลิงด้วยกระบวนการทางความร้อน แทนการปรับปรุงคุณสมบัติเชื้อเพลิงด้วยกระบวนการเคมี ซึ่งจะช่วยลดต้นทุนการผลิตส่วนผสมดีเซลให้ต่ำลง

สำหรับข้อเสนอแนะทั้งหมดที่กล่าวมา โดยสรุป สามารถใช้เป็นแนวทางศึกษาต่อยอดความรู้ การผลิตส่วนผสมดีเซลต้นทุนต่ำจากน้ำมันปาล์มดิบหีบรวม และการออกแบบหรือการดัดแปลงเครื่องยนต์ให้ใช้ส่วนผสมดีเซลได้มากขึ้น ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อ เศรษฐกิจ สังคม และประเทศชาติต่อไป

บรรณานุกรม

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2554

กิตติศักดิ์ ทวีสินโสภณ. 2549. การผลิตเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันปาล์มดิบหีบรวม โดยใช้กระบวนการผลิตแบบ Esterification และ Tranesterification. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ไกรวุฒิ ศิริอนันตภักดิ์. 2534. การปรับปรุงคุณภาพน้ำมันดิบที่ได้บีบผลปาล์มทิ้งผล. วิทยานิพนธ์อุตสาหกรรมเกษตรมหาบัณฑิต สาขาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กำพล ประทีปชัยกูร และ ชีระยุทธ หลีวิจิตร. 2551. การใช้น้ำมันปาล์มลดกัมลกรดผสมกับดีเซลในเครื่องยนต์การเกษตร: ส่วน I-สมรรถนะเครื่องยนต์. การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ครั้งที่ 6. หน้าที่ 634-640.

กำพล ประทีปชัยกูร และ ชีระยุทธ หลีวิจิตร. 2551. การใช้น้ำมันปาล์มลดกัมลกรดผสมกับดีเซลในเครื่องยนต์การเกษตร: ส่วน II-การสึกหรอของชิ้นส่วนเครื่องยนต์. การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ครั้งที่ 6. หน้าที่ 641-648.

เกียรติก้อง สุวรรณกิจ ชนากร ค้วงมุขพะเนา มงคล คณานนท์ ชไมพร สุขแจ่มศรี นววงศ์ ชลคุป และ สูงงกช โตไพบูลย์. 2551. ความเป็นไปได้ในการใช้เอทานอลไร้น้ำเป็นส่วนผสมกับน้ำมันเบนซินสำหรับเครื่องยนต์อากาศยานขนาดเล็ก. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 22. ปทุมธานี. ประเทศไทย. 15-17 ตุลาคม 2551.

คณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน. 2010. สารพลังงาน.

<http://www.erc.or.th/ercweb/Front/Article/ArticleDetail.aspx?Type=1&CatId=1&rid=55>

[สืบค้นเมื่อ 25 ตุลาคม 2553]

กณิต วัฒนวิเชียร และ เทอดศักดิ์ ชัยสุริยะพันธ์. 2547. Performance Deterioration and Durability of High speed IDI Engine with CPO Diesel. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 18. ขอนแก่น. ประเทศไทย. 18-20 ตุลาคม 2547.

คองหงษ์ สกษ.. กรมอุตุนิยมวิทยา. กระทรวงเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร. สืบค้นจาก : <http://www.tmd.go.th/climate/climate.php> [9 มกราคม 2555]

ค่าไฟฟ้าโดยอัตโนมัติ Ft. กลุ่มงานค่าไฟฟ้า. ฝ่ายเศรษฐกิจพลังงาน. การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. สืบค้นจาก : <http://www2.egat.co.th/ft/> [29 ตุลาคม 2554]

ฉกรรจ์ สังข์ทอง. 2550. ปาล์มน้ำมัน. สำนักพิมพ์ เซาท์เทิร์นเพรสแอนคัพบลิคชั่น. สงขลา. หน้า 328.

ชนินทร์ พรนภดล. 2550. การวิเคราะห์และออกแบบตู้หนึ่งปาล์ม. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ชาคริต ทองอุไร สันห้ชัย กลิ่นพิกุล จรรย์ บุญกาญจน์ และพิมพ์พรณ เกียรติชิมกุล. การผลิตไบโอดีเซลจากผลิตผลปาล์มน้ำมัน. สถานวิจัยและพัฒนาพลังงานทดแทนจากน้ำมันปาล์มและพืชน้ำมัน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. สืบค้นจาก : <http://www.biodiesel.eng.psu.ac.th/paper.php> [29 ตุลาคม 2554]

ชาคริต ทองอุไร สันห้ชัย กลิ่นพิกุล ชิต ถิ่นวรพันธ์ และเสถียร วาณิชวิริยะ. การวิจัยเพื่อแปรรูปน้ำมันปาล์มเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันดีเซลสำหรับเครื่องจักรกลการเกษตร. สถานวิจัยและพัฒนาพลังงานทดแทนจากน้ำมันปาล์มและพืชน้ำมัน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. สืบค้นจาก : <http://www.biodiesel.eng.psu.ac.th/paper.php> [29 ตุลาคม 2554]

ทวีศักดิ์ ขัตติยวรรณ. 2553. การทดสอบน้ำมันปาล์มลดยางเหนียวลดกรดผสมน้ำมันดีเซลในเครื่องยนต์ดีเซลสำหรับยานพาหนะระยะยาว. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ธีระยุทธ หลิวจิตร กำพล ประทีปชัยกูร และ ธนัต ฉิมพลี. 2551. สมรรถนะและการปลดปล่อยไอเสียของการใช้น้ำมันปาล์มชนิดลดกำมะถันและลดกรดผสมกับดีเซลในเครื่องยนต์ยานพาหนะแบบ IDI. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 22. ปทุมธานี. ประเทศไทย. 15-17 ตุลาคม 2551.

ธีรพงษ์ บ่ายเที่ยง เกียรติกิ่ง สุวรรณกิจ ธนากร ด้วงมุขพะเนา ชไมพร สุขแจ่มศรี สุบงกช โตไพบูลย์ และ นวงศ์ ชลคุป. 2551. การทดสอบการใช้ไบโอดีเซลล้วนในเครื่องยนต์ดีเซลสูบเดียว: สมรรถนะ คิว้นค่า และผลการใช้งานระยะยาว. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 22. ปทุมธานี. ประเทศไทย. 15-17 ตุลาคม 2551.

นพพร เทนอิสสระ. 2546. การศึกษาสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลแบบฉีดโดยตรง โดยใช้น้ำมันปาล์มดิบเป็นเชื้อเพลิง. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

นิโอะ ปุชู. 2552. การออกแบบและสร้างชุดควบคุมแอมทานอลสำหรับระบบผลิตไบโอดีเซลชุมชน. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ประกาศกรมธุรกิจพลังงาน. 2549. เรื่อง กำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซล (ไบโอดีเซลชุมชน). ราชกิจจานุเบกษา. เล่มที่ 123. ตอนพิเศษ 79 ง.

ประกาศกรมธุรกิจพลังงาน. 2550. เรื่อง กำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน (ไบโอดีเซลชุมชน). ราชกิจจานุเบกษา. เล่มที่ 124. ฉบับที่ 3. ตอนพิเศษ 62 ง.

ประกาศกรมธุรกิจพลังงาน. 2554. เรื่อง กำหนดลักษณะคุณภาพน้ำมันดีเซล. ราชกิจจานุเบกษา. เล่มที่ 128. ตอนพิเศษ 48 ง.

ปริญญา หม่อมพิบูลย์ ธีระยุทธ หลีวิจิตร กำพล ประทีปชัยกูร จีระศักดิ์ เพ็ชรเจริญ. 2553. ความหนักของเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ ที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มดิบที่บรวมน. การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ครั้งที่ 8, 22-23 เมษายน 2553 จังหวัดสงขลา CD-ROM.

ปริญญา หม่อมพิบูลย์ ธีระยุทธ หลีวิจิตร กำพล ประทีปชัยกูร จีระศักดิ์ เพ็ชรเจริญ กฤตพจน์ เทพธร. 2553. กระบวนการและต้นทุนในการผลิตเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ จากน้ำมันปาล์มดิบที่บรวมน. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 24, 20-22 ตุลาคม 2553 จังหวัดอุบลราชธานี CD-ROM.

เผชิญ จันทร์สา และ รักษ์จิต จิตพัฒน์พงศ์. 2551. การศึกษามุมจ่ายเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลคอมมอนเรลที่ใช้ดีเซลชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงทดแทน. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 22. ปทุมธานี. ประเทศไทย. 15-17 ตุลาคม 2551.

ไพศาล เหลืองตระกูล, http://www.bt50.com/description.aspx?q_sec=46043441&word=ute

[21/06/2552]

ภาษีค่าไฟฟ้าและน้ำประปา. สรรพากรสาส์น Plus ปีที่ 2 ฉบับที่ 11 เดือนเมษายน 2553. สืบค้นจาก : <http://www.pattanakit.net> [29 ตุลาคม 2554]

มณีชนก สุวรรณวงศ์. 2552. ตัวเร่งปฏิกิริยาน้ำส้มควันไม้และเฟอร์ริกซัลเฟตบนผงถ่านกัมมันต์สำหรับการผลิตไบโอดีเซล. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

รายงานความก้าวหน้าโครงการ MT-B-49-END-07-012-1 การศึกษาผลกระทบของน้ำมันสนู้ด้า สำหรับเครื่องจักรกลเกษตรและใช้ไบโอดีเซลสำหรับรถยนต์ขนส่งขนาดเล็ก ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ

วุฒินันท์ ทองสุข และคณะ, <http://www.rsu.ac.th/engineer/AE/.../Palmoil%20in%20engine.doc>

[21/06/2552]

- สวิตชาติ ญาณแก้ว. 2547. การทดสอบการใช้น้ำมันปาล์มลดกัมลคกรด และเมทิลเอสเตอร์จาก น้ำมันปาล์ม ทดแทนน้ำมันดีเซลในเครื่องจักรกลทางการเกษตร. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- สินินาฏ จงกง. 2549. การผลิตเมทิลเอสเตอร์ด้วยกระบวนการเอสเตอริฟิเคชันของส่วนกลั่นกรด ไขมันปาล์ม. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน. 2551. วารสารนโยบายพลังงาน. ฉบับที่ 81. กรกฎาคม-กันยายน. หน้า 36.
- สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน. 2553. รายงานสถิติพลังงานของประเทศไทย 2553. หน้า 30, 275-283.
- สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน. 2554. วารสารนโยบายพลังงาน. ฉบับที่ 91. มกราคม-มีนาคม. หน้า 9.
- สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2555. วารสารนโยบายพลังงาน. ฉบับที่ 95. มกราคม-มีนาคม. ราคาน้ำมันดีเซลเฉลี่ย ปี 2553-2555
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2010. วารสารพยากรณ์การเกษตร [<http://www.energy.go.th>, 2010]
- สำนักงานส่งเสริมการค้าสินค้าเกษตร. กรมการค้าภายใน. กระทรวงพาณิชย์. สืบค้นจาก : <http://agri.dit.go.th> [9 กันยายน 2556]
- ศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันสุราษฎร์ธานี. สืบค้นจาก : <http://it.doa.go.th/palm/linkTechnical/biodiesel.html> [29 ตุลาคม 2554]
- อาภาณี เหลืองนฤมิตรชัย. 2007. ไบโอดีเซล: บทนำ(ออนไลน์). สืบค้นจาก: <http://www.vcharkarn.com/varticle/409/1.html> [12 มกราคม 2550]
- อัตราค่าน้ำธูรกิจขนาดเล็ก. อัตราค่าน้ำประปาพื้นที่ กปภ. สาขาอื่น (ทั่วประเทศ). การประปาส่วนภูมิภาค. สืบค้นจาก : http://www.pwa.co.th/service/tariff_rate.html [29 ตุลาคม 2554]
- อัตราค่าไฟฟ้ากิจการขนาดเล็ก. การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. สืบค้นจาก : <http://www.eppo.go.th/power/pw-Rate-PEA.html> [29 ตุลาคม 2554]
- Ali, Y., Hanna, M.A. 1994. Alternative Diesel Fuels from Vegetable Oils . Bioresources Technology. 50. pp. 153-163.
- Almeida, S.C.A., Belchior, C.R., Nascimento, M.V.G., Vieira, L.S.R. and Fleury, G. 2002. Performance of a diesel generator fuelled with palm oil. Fuel. 81. pp. 2097-2102.

- Balat, M. and Balat, H. 2007. A critical review of bio-diesel as a vehicular fuel. *Energy Conversion and Management*. 49. pp. 2727-2741.
- Bekal, S. and Babu, T.P.A. 2008. Bio-fuel variants for use in CI engine at design and off-design regimes: An experimental analysis. *Fuel*. 87. pp. 3550-3561.
- Chen, H., Wang, J., Shuai, S. and Chen, W. 2008. Study of oxygenated biomass fuel blends on a diesel engine. *Fuel*. 87. pp. 3462-3468.
- Chongkhong, S., Tongurai, C., Chetpattananondh, P. and Bunyakan, C. 2007. Biodiesel production by esterification of palm fatty acid distillate. *Biomass & Bioenergy*. 31. pp. 563-568.
- Chotwichien, A., Luengnaruemitchai, A., Jai-In, S. 2009. Utilization of palm oil alkyl esters as an additive in ethanol-diesel. *Fuel*. 88. pp. 1618-1624.
- El-Award, M.M and Yusaf, T.F. 2004. Performance and Exhaust Emission of a diesel engine using crude palm oil as fuel extender.
- Haldar, S.K., Ghosh, B.B. and Nag, A. 2009. Studies on the comparison of performance and emission characteristics of a diesel engine using three degummed non-edible vegetable oils. *Biomass and Bioenergy*. 33. pp. 1013-1018.
- Jansri, S., Prateepchaikul, G. and Ratanawilai, B. 2007. Acid-Catalyzed Esterification: A technique for Reducing High Free Fatty Acid in Mixed Crude Palm Oil. *Kasetsart Journal Natural Science*. 41. pp. 555-560.
- Jansri, S. 2007. Kinetics of Methyl Ester Production from Crude Palm Oil by Using Acid-Alkali Catalyst. A Thesis for the Degree of Master of Engineering in Mechanical Engineering. Prince of Songkla University.
- Kalam, M.A. and Masjuki, H.H. 2004. Emission and deposit characteristics of a small diesel engine when operated on preheated crude palm oil. *Biomass and Bioenergy*. 27. pp. 289-297.
- Kratzeisen, M. Muller, J. 2009. Influence of free fatty acid content of coconut oil on deposit and performance of plant oil pressure stoves. *Fuel*, doi.10.1016/j.fuel.2009.08.038.
- Ladommatos, N. and Goacher, J. 1995. Equations for predicting the cetane number of diesel fuels from their physical properties. *Fuel*. 74. pp. 1083-1093.

- Lapuerta, M., Herreros, J.M., Lyons, L.L., Garcia-Contreras, R., Briceno, Y. 2008. Effect of the alcohol type used in the production of waste cooking oil biodiesel on diesel performance and emissions. *Fuel*. 87. pp. 3161-3169.
- Leevijit, T., W.Wisuthimethangoon., G. Prateepchaikul., C. Tongurai., M. Allen. 2004. A second order kinetics of palm oil transesterification., Proc. of The Joint International Conference on "Sustainable Energy and Environment"., Hau Hin., Thailand., 277-281.
- Leevijit, T. 2006. Design and Performance Test of A continuous Reactor for Palm Methyl Ester Production. A Thesis for the Degree of Doctor of Philosophy in Energy Technology. King Mongkut's University of Technology Thonburi. Bangkok. Thailand.
- Leevijit, T., Tongurai, C., Prateepchaikul, G. and Wisutmethangoon, W. 2008. Performance test of a 6-stage continuous reactor for palm methyl ester production. *Bioresource Technology*. 99. pp. 214-221.
- Leevijit, T. and Prateepchaikul, G. 2011. Comparative performance and emissions of IDI-turbo automobile diesel engine operated using degummed, deacidified mixed crude palm oil–diesel blends. *Fuel*. 90. pp. 1487-1491.
- Lepera, M.E. 1982. Fuel quality vs engine types. *Hydrocarbon Processing*. 61. pp. 139-142.
- Leung, D.Y.C., Wu, X. and Leung, M.K.H. 2010. A review on biodiesel production using catalyzed Transesterification. *Applied Energy* 87: 1083-1095.
- Manning, R.E. Henderson, K.O. Zubler, M.T. Cannon Instrument Co. State College. PA 16803-1733. USA.
- Masjuki, H.H., Zaki, M. and Sii, H.S. 1996. Investigations on preheated palm oil methyl esters in diesel engine. *Journal of Power and Energy*. 210. pp. 131-138.
- Murillo, S., Miguez, J.L., Porteiro, J., Granada, E., Moran, J.C. 2007. Performance and exhaust emissions in the use of biodiesel in outboard diesel engines. *Fuel*. 86. pp. 1765-1771.
- Murugesan, A., Umarani, C., Subramanian, R. and Nedunchezian, N. 2009. Bio-diesel as an alternative fuel for diesel engines-A review. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*. 13. pp. 653-662.
- Noureddini, H. and Zhu, D. 1997. Kinetics of Transesterification of Soybean Oil. *JAOCS*. 74. pp.1457-1463.

- Noureddini, H., Harkey, D. and Medikondura, V. 1998. A Continuous Process for the Conversion Of Vegetable Oil into Methyl Ester of Fatty Acids. *JAOCS*. 75. pp. 1775-1783.
- Perry, R.H., Green, D. W. and Maloney, J. O. 1998. *Perry's Chemical Engineers' Handbook Seventh Edition*. Mc-Graw-Hill. Australia.
- Prateepchaikul, G., Allen, M.L., Leevijit, T. and Thaveesinsopha, K. 2007. Methyl ester production from high free fatty acid mixed crude palm oil. *Songklanakarin J. Sci. Technol.* 29. pp. 1551-1561.
- Prateepchaikul, G. and Apichato, T. 2003. Palm oil as fuel for agriculture diesel engine: Comparative testing against diesel oil. *Songklanakarin J Sci Technol.* 25. pp. 317-326.
- Prateepchaikul, G., Somnul, K., Allen, M. 2009. Design and testing of continuous acid-catalysted esterification reactor for high free fatty acid mixed crude palm oil. *Fuel Processing Technol.* 90. pp. 784-789.
- Raheman, H., Ghadge, S.V. 2007. Performance of compression ignition engine with mahua (*Madhuca indica*) biodiesel. *Fuel*. 2568-2573.
- Rakopoulos, C.D., Rakopoulos, D.C., Hountalas, D.T., Giakoumis, E.G., Andritsakis, E.C. 2008. Performance and emissions of bus engine using blends of diesel fuel with bio-diesel of sunflower or cottonseeds oils derived from Greek feedstock. *Fuel*. 87. pp. 147-157.
- Ramadhas, A. S., Jayaraj, S. and Muraleedharan, C. 2004. Use of vegetable oils as I.C. engine fuels-A review. *Renewable Energy*. 29. pp. 727-742.
- Sapaun, S.M., Masjuki, H.H. and Azlan, A. 1996. The use of palm oil as diesel fuel substitute. *Journal of Power and Energy*. 210. pp. 47-53.
- Shahid, E.M. and Jamal, Y. 2007. A review of biodiesel as vehicular fuel. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 12. pp. 2484-2494.
- Srivastava, A. and Prasad, R. 2000. Triglycerides-based diesel fuel. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 4. pp. 111-133.
- Taylor, C.F. 1968. *The Internal Combustion Engine in Theory and Practice*, vol. II, MIT Press, Cambridge, Mass.
- Veljkovic, V.B., Lakicevic, S.H., Stamenkovic, O.S., Todorovic, Z.B. and Lazic, M.L. 2006. Biodiesel production from tobacco (*Nicotiana tabacum* L.) seed oil with a high content of free fatty acids. *Fuel*. 85. pp. 2671-2675.

- Yamane K., Ueta A., Shimamoto Y. 2001. Influence of physical and chemical properties of biodiesel fuels on injection, combustion and exhaust emission characteristics in a direct injection compression ignition engine. *Int. J. Engine.* 249-261.
- Yankaew, S. 2005. Testing of degummed deacidified palm oil and palm methyl esters as diesel fuel substitute in agricultural machines. M. Eng Thesis, Prince of Songkla University, Songkhla, Thailand.
- Zheng, M., Mulenga, M.C., Reader, G.T., Wang, M., Ting, D.S.K., Tjong, J. 2008. Biodiesel engine performance and emissions in low temperature combustion. *Fuel.* 87. pp. 714-722.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
การคำนวณปริมาณกรดไขมันอิสระ

การคำนวณปริมาณกรดไขมันอิสระที่อยู่ในน้ำมันคำนวณได้จากสมการที่ ก.1 (กิตติศักดิ์, 2549)

$$FFA(\text{wt.}\%) = \frac{ml \times N \times 25.6}{g}$$

(ก.1)

กำหนดให้

<i>FFA</i>	คือ ปริมาณกรดไขมันอิสระที่อยู่ในน้ำมัน (wt.%)
<i>ml</i>	คือ ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ไทเทรต (ml)
<i>N</i>	คือ ความเข้มข้นโซเดียมไฮดรอกไซด์ (molar)
<i>g</i>	คือ น้ำหนักน้ำมัน (g)

ภาคผนวก ข

การคำนวณค่าพลังงานที่ใช้ผลิตส่วนผสมดีเซล

การคำนวณปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ผลิตส่วนผสมดีเซล 2 ชนิด จากน้ำมันปาล์มดิบหีบรวม คำนวณด้วยค่าคงที่ ในตารางที่ ข.1 (ปริญา, 2012)

ตารางที่ ข.1 ค่าคงที่สำหรับใช้คำนวณปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ผลิตส่วนผสมดีเซล

ค่าคงที่	จำนวน
ความหนาแน่นของน้ำมันปาล์มดิบหีบรวมที่อุณหภูมิ 30°C (kg/m ³)	918.08
ความหนาแน่นของน้ำมันปาล์มดิบหีบรวมเอสเตอริไฟท์ที่อุณหภูมิ 30°C (kg/m ³)	901.57
ความหนาแน่นของเมทิลเอสเตอริไฟท์ที่อุณหภูมิ 30°C (kg/m ³)	873.22
ความหนาแน่นของกรดซัลฟิวริกความบริสุทธิ์ 98 wt.% ที่อุณหภูมิ 30°C (kg/m ³) (Perry et al., 1998)	1826
ความหนาแน่นของเมทานอลความบริสุทธิ์ 98 wt.% ที่อุณหภูมิ 30°C (kg/m ³) (Perry et al., 1998)	789
ความหนาแน่นของน้ำที่อุณหภูมิ 30°C (kg/m ³) (Perry et al., 1998)	996
ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำมันปาล์มดิบ ใช้แทนเชื้อเพลิงจากน้ำมันปาล์มดิบหีบรวมทั้งหมด (kJ/kg.°C) (Leevijit, 2006)	2.0530
ค่าความจุความร้อนจำเพาะของกรดซัลฟิวริกความบริสุทธิ์ 98 wt.% ที่อุณหภูมิ 30°C (kJ/kg.°C) (Perry et al., 1998)	1.4195
ค่าความจุความร้อนจำเพาะของเมทานอลความบริสุทธิ์ 98 wt.% ที่อุณหภูมิ 30°C (kJ/kg.°C) (Perry et al., 1998)	2.7700
ค่าความจุความร้อนจำเพาะน้ำ (kJ/kg.°C)	4.1860

การคำนวณปริมาณไฟฟ้า คำนวณจากปริมาณความร้อนที่ใช้ผลิตเชื้อเพลิงทดแทนดีเซล ตัวอย่างสมการคำนวณปริมาณความร้อนที่ใช้ผลิตส่วนผสมดีเซล จากน้ำมันปาล์มดิบหีบรวม

1. สมการคำนวณปริมาณความร้อนที่ใช้ผลิตน้ำมันปาล์มดิบหีบรวมเอสเตอริไฟน์ สมการที่ ข.1

$$Q_{EMCPO} = \sum \dot{m} C_p \Delta T = Q_1 + (Q_2 + Q_3 + Q_4) + Q_5$$

(ข.1)

กำหนดให้

\dot{m} คือ อัตราการไหลเชิงมวล (kg/hr)

C_p คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะ (kJ/kg.°C)

ΔT คือ ผลต่างอุณหภูมิ (°C)

Q_1 คือ ปริมาณความร้อนที่ใช้อุ่นน้ำมันปาล์มดิบหีบรวมก่อนทำปฏิกิริยา 30 นาที ช่วงอุณหภูมิ 25-60°C (kW-hr)

Q_2 คือ ปริมาณความร้อนที่ใช้อุ่นน้ำมันปาล์มดิบหีบรวมขณะทำปฏิกิริยา 90 นาที ช่วงอุณหภูมิ 55-60°C (kW-hr)

Q_3 คือ ปริมาณความร้อนที่ใช้อุ่นเมทานอลขณะทำปฏิกิริยา 90 นาที ช่วงอุณหภูมิ 55-60°C (kW-hr)

Q_4 คือ ปริมาณความร้อนที่ใช้อุ่นกรดซัลฟิวริกขณะทำปฏิกิริยา 90 นาที ช่วงอุณหภูมิ 55-60°C (kW-hr)

Q_5 คือ ปริมาณความร้อนที่ใช้อุ่นน้ำมันปาล์มดิบที่บรวมนเอสเทอร์รีไฟน์ไอน้ำ 30 นาที ช่วงอุณหภูมิ 25-100°C (kW-hr)

2. สมการคำนวณปริมาณความร้อนที่ใช้ผลิตเมทิลเอสเทอร์ของส่วนไข สมการที่ ข.2

$$Q_{ME} = \sum mC_p\Delta T = Q_1 + (Q_2 + Q_3) + Q_4 \quad (\text{ข.2})$$

กำหนดให้

m คือ อัตราการไหลเชิงมวล (kg/hr)

C_p คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะ (kJ/kg.°C)

ΔT คือ ผลต่างอุณหภูมิ (°C)

Q_1 คือ ปริมาณความร้อนที่ใช้อุ่นน้ำมันปาล์มดิบที่บรวมนเอสเทอร์รีไฟน์ (ไข) ก่อนทำปฏิกิริยา 30 นาที ช่วงอุณหภูมิ 25-60°C (kW-hr)

Q_2 คือ ปริมาณความร้อนที่ใช้อุ่นน้ำมันปาล์มดิบที่บรวมนเอสเทอร์รีไฟน์ (ไข) ขณะทำปฏิกิริยา 90 นาที ช่วงอุณหภูมิ 55-60°C (kW-hr)

Q_3 คือ ปริมาณความร้อนที่ใช้อุ่นเมทานอลขณะทำปฏิกิริยา 90 นาที ช่วงอุณหภูมิ 55-60°C (kW-hr)

Q_4 คือ ปริมาณความร้อนที่ใช้อุ่นน้ำมันเอสเทอร์รีไฟน์ผสมเมทิลเอสเทอร์ไอน้ำ 30 นาที ช่วงอุณหภูมิ 25-100°C (kW-hr)

จากสมการ ข.1 และ ข.2 นำปริมาณความร้อนที่คำนวณได้ คำนวณปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ผลิตส่วนผสมดีเซลแต่ละชนิด ด้วยสมการที่ ข.3

$$Q_{th} = Q_{ele} \quad (\text{ข.3})$$

กำหนดให้

Q_{th} คือ ปริมาณความร้อนที่ใช้ผลิตเชื้อเพลิง (kW-hr)

Q_{ele} คือ ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ผลิตเชื้อเพลิง (kW-hr)

ภาคผนวก ก
 ต้นทุนสารเคมี



ห้างหุ้นส่วนจำกัด ไฮไซน์ 62 ถ.จตุทิศ 3 อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา
HIGH SCIENCE LIMITED PARTNERSHIP
TEL : 074-347242 , 074-346663 , FAX : 074-237410

ใบเสนอราคา (QUOTATION)

เรียน ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
 ที่อยู่ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มอ.

เลขที่ใบเสนอราคา J-1201-3208
 วันที่ 18 January 2012

ลำดับ	รายการ	จำนวน	ราคาต่อหน่วย	ราคารวม	ยี่ห้อ
1	Phosphoric Acid 35kgs./pail	1 pail	1,790.00	1,790.00	Commercial Grade
2	Sulfuric Acid 35kgs./pail	1 pail	535.00	535.00	Commercial Grade
3	Methanol 160kgs./drum	1 drum	4,850.00	4,850.00	Commercial Grade
4	Sodium Hydroxide 99% 25kgs./pack	1 pack	960.00	960.00	Commercial Grade
หมายเหตุ : ราคาที่เสนอรวมภาษีมูลค่าเพิ่ม และค่าขนส่งแล้ว					

กำหนดส่งสินค้า (Terms of Delivery) 7-10 วัน/Days

กำหนดยื่นราคา (Price Validity) 30 วัน/Days

กำหนดชำระเงิน (Payment Term) 7 วัน/Days

ห้างฯหวังเป็นอย่างยิ่ง ที่จะได้รับการพิจารณา
 สั่งซื้อจากท่าน พร้อมขอขอบคุณ ณ โอกาสนี้ด้วย
 ขอแสดงความนับถือ

Signature

อธิวัตร์ อธิภูพานิช

ภาคผนวก ง

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชื้อเพลิงของน้ำมันเอสเตอรีไฟน์

Sample Identifier:

Data Processing Parameters

Injected on: 17/9/2555

Injected at: 11:41

Slice Width (ms): 50

Noise (µV/s): undefined

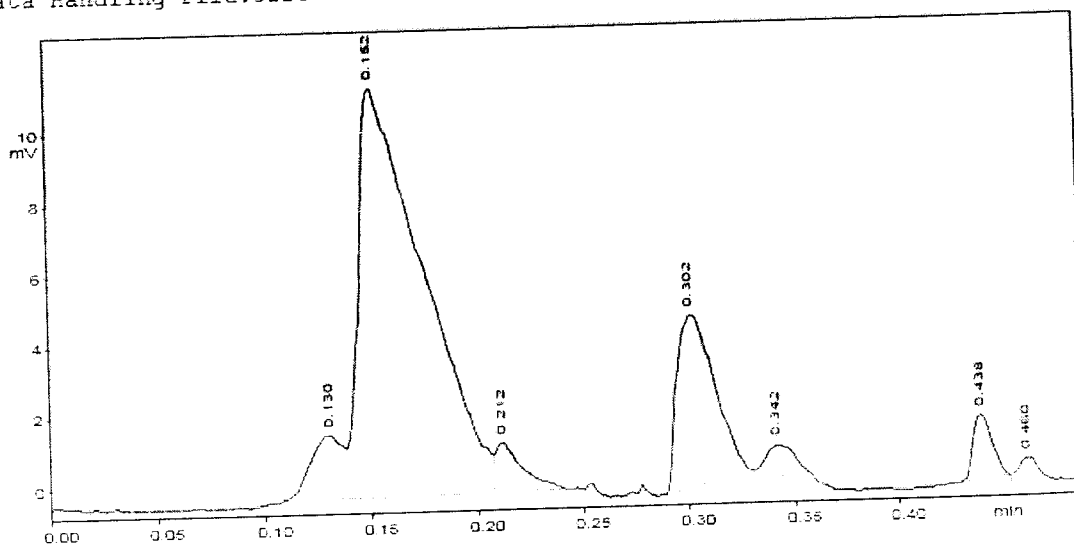
Threshold (mV): 0

Skim Ratio: 0

Parameter Files:

Data Handling File:test 0.55 min

Calculation-File:~oy 201112143097



Calculation Method : Percent

Peak No	Ret.Time (min)	Pk.Start (min)	Pk.End (min)	Area	Height (mV)	Area%
1	0.130	0.108	0.139	994	1.31	5.265
2	0.152	0.138	0.207	12945	11.51	68.594
3	0.212	0.207	0.242	622	1.36	3.296
4	0.302	0.289	0.329	3157	4.31	16.731
5	0.342	0.332	0.364	445	0.88	2.361
6	0.438	0.429	0.451	571	1.78	3.023
7	0.460	0.452	0.469	138	0.53	0.730

12971 22.68 100.000

หมายเหตุ ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชื้อเพลิงนี้ยังไม่ได้หาค่าเฉลี่ยดังที่แสดงในวิทยานิพนธ์บทที่ 4 ตารางที่ 4.7

ภาคผนวก จ

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชื้อเพลิงของน้ำมันเอสเตอรีไฟน์ผสมเมทิลเอสเตอรืจากส่วนไข

Sample Identifier:

Data Processing Parameters

Injected on: 22/10/2555

Injected at: 16:37

Slice Width (ms): 50

Noise (µV/s): undefined

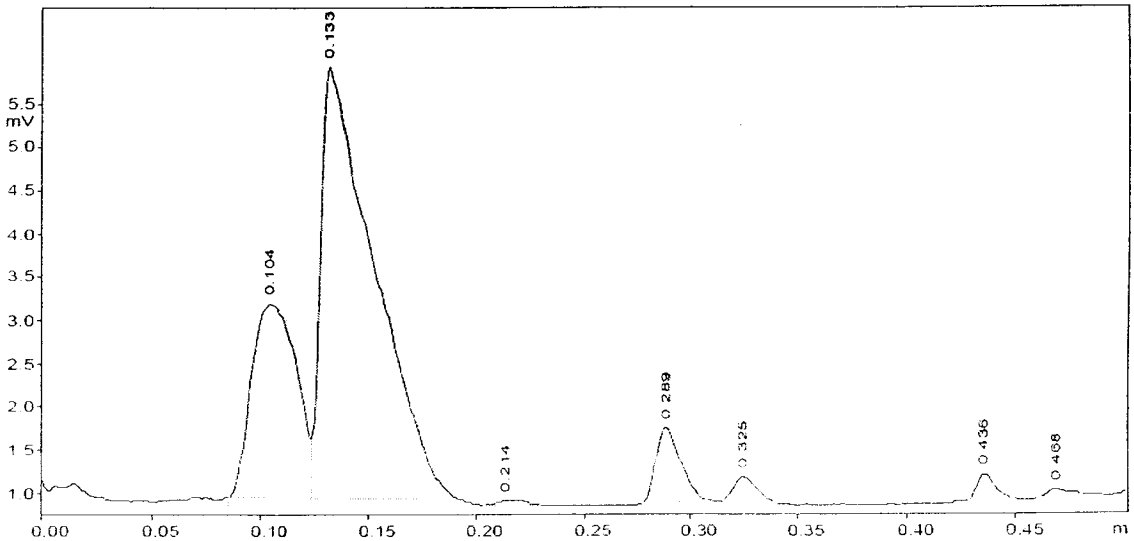
Threshold (mV): 0

Skim Ratio: 0

Parameter Files:

Data Handling File:test 0.55 min

Calculation-File:~cy 201112144204



Calculation Method : Percent

Peak No	Ret. Time (min)	Pk. Start (min)	Pk. End (min)	Area	Height (mV)	Area%
1	0.104	0.085	0.124	1723	3.27	25.029
2	0.132	0.124	0.192	4511	4.98	66.065
3	0.214	0.204	0.230	27	0.09	0.390
4	0.289	0.278	0.308	355	0.89	5.198
5	0.325	0.315	0.339	105	0.29	1.537
6	0.436	0.428	0.449	84	0.31	1.230
7	0.468	0.460	0.479	24	0.07	0.350

6828 9.90 100.000

หมายเหตุ ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชื้อเพลิงนี้ยังไม่ได้หาค่าเฉลี่ยดังที่แสดงในวิทยานิพนธ์บทที่ 4 ตารางที่ 4.7

ภาคผนวก ฉ
ผลการวิเคราะห์ค่าซีเทน



PTT PUBLIC COMPANY LIMITED

PTT Research & Technology Institute

71 Moo 2, Pahon Yo Thin Rd. km 78. Wang Noi, Ayutthaya 13170 THAILAND Tel. (662)537-3000

FAX (662)537-3000 Ext. 8316

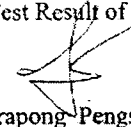
Energy Application Technique and Engine Lab Department

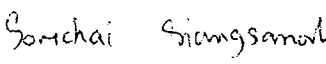
TEST REPORT

Test Number : CFR-2012-63
Test Cell Number : TB109
Sample Description : Esterified 5%B30
Customer : Department of Mechanical Engineering Faculty of Engineering
 Songkla University
Customer Address : Corhong, Hatyai, Songkla 90110
Sample Received Date : July 30, 2012
Tested Date : August 21, 2012

Test Item	Methods	Result
Octane Number, Research Method (RON)	ASTM D 2699	-
Octane Number, Motor Method (MON)	ASTM D 2700	-
Cetane Number (CN)	ASTM D 613	56.0

REMARK Test Result of Check Fuel High = 55.3

Tested by 
 (Tharapong Pengsagul)
 Technician

Approved By 
 (Somchai Siangsanorh)
 Specialist

Energy Application Technique and Engine Lab Department

August 21, 2012

August 21, 2012

ภาคผนวก ข

ผลการวิเคราะห์จุดวาบไฟและการกักคร่อนแผ่นทองแดง

บันทึกงานที่ Pe6 /55

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์


ตู้ปณ.2 คอหงส์ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา 90112 โทร 074-287055 โทรสาร 074-558833

ผู้ขอรับบริการ : ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์


วันที่รับตัวอย่าง : 20 กรกฎาคม พ.ศ.2555

ชื่อตัวอย่าง	รายการวิเคราะห์	ผลการวิเคราะห์
1. Esterified 5% B30	จุดวาบไฟ(Flash point.ASTM D93)	70°C
	การกักคร่อนแผ่นทองแดง (ASTM-D130)	No. 1a



 (นายชนกร เกียรติขวัญบุตร)

ผู้วิเคราะห์



 (รองศาสตราจารย์ ดร.สุภวรรณ ฐิระวณิชย์กุล)

รองหัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมเคมีฝ่ายบัณฑิตศึกษาและบริการวิชาการ

ปฏิบัติราชการแทนหัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมเคมี

ภาคผนวก ฉ

ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำ



ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
 ชั้น 1 อาคารบริหารวิชาการรวม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 90110
 Scientific Equipment Center, Prince of Songkla University
 Central Academic Administrator Bld. Hai-Yai Campus, Songkhla 90110 Tel.0 7428 6904-7 Fax.0 7421 2813

F-RES-003T ฉบับที่ 6 บังคับใช้ 20/10/53

เลขที่ 232155 หน้า 1/1

รายงานผลการทดสอบ

ชื่อและที่อยู่ลูกค้า : นายฤกษ์พงษ์ เกษพชร
 ภาควิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

เลขที่ใบขอใช้บริการฯ : 2384-55

วันที่รับตัวอย่าง : 20 กรกฎาคม 2555

วันที่ขอใช้บริการฯ : 20 กรกฎาคม 2555

ผู้ทดสอบ : นางสาวทรงสุดา พรหมทอง

วันที่ทำการทดสอบ : 20 กรกฎาคม 2555

วิธีการทดสอบ : อ้างอิง WI-RES-831/KFC-001 และ REF-RES-ISO 12937:2000-001

เครื่องมือทดสอบ : Karl Fischer Coulometer, 831 KFC, Metrohm, Switzerland

เทคนิคการทดสอบ : Karl Fischer Coulometric Titration

สถานะการทดสอบ : -

รายละเอียดตัวอย่าง : Biodiesel จำนวน : 1 ตัวอย่าง

ผลการทดสอบ :

ลำดับที่	ชื่อตัวอย่าง	ปริมาณน้ำ (%)	%RSD	เกณฑ์มาตรฐาน (%)
1	Estenloc 5% B30	0.023	0.67	≤ 0.050

(นางรุชนี กุสวิจิตร)

หัวหน้าฝ่ายบริการเครื่องมือวิจัยทางวิทยาศาสตร์

31 กรกฎาคม 2555

หมายเหตุ รายงานผลการทดสอบนี้มีผลเฉพาะกับตัวอย่างที่นำมาทดสอบเท่านั้น และรายงานผลการทดสอบนี้ต้องไม่ถูกทำสำเนาหรือเผยแพร่
 งดเว้นทำทั้งฉบับ โดยไม่ได้รับความยินยอมเป็นลายลักษณ์อักษรจากทางศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์

ภาคผนวก ญ
ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำและตะกอน



ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ชั้น 1 อาคารบริหารวิชาการรวม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 90110
Scientific Equipment Center, Prince of Songkla University
Central Academic Administrator Bld. Hat-Yai Campus, Songkhla 90110 Tel.0 7428 6904-7 Fax.0 7421 2813

F-RES-003T ฉบับที่ 6 บังคับใช้ 20/10/53

เลขที่ 2287/55 หน้า 1/1

รายงานผลการทดสอบ

ชื่อและที่อยู่ลูกค้า : นายกฤษกรณ์ เทพพร
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
เลขที่ใบขอใช้บริการฯ : 2385/55
วันที่รับตัวอย่าง : 20 กรกฎาคม 2555
วันที่ขอใช้บริการฯ : 20 กรกฎาคม 2555
ผู้ทดสอบ : นางสาวจิราภรณ์ ทองบุญ
วันที่ทำการทดสอบ : 25 กรกฎาคม 2555
วิธีการทดสอบ : อ้างอิง WI-RES-Cen-Koehler-001 Mar REF-RES-ASTM D 2709-96
เครื่องมือทดสอบ : Centrifuge, Benchmark 2000, Koebler, USA
เทคนิคการทดสอบ : Centrifuge
สภาวะการทดสอบ : Relative centrifuge force (rcf) 800 ± 60
รายละเอียดตัวอย่าง : Biodiesel จำนวน : 1 ตัวอย่าง
ผลการทดสอบ :

ที่	ชื่อตัวอย่าง	ปริมาณน้ำและตะกอน
1	Esterifine 5% B30	< 0.05%

- ข้อมูลฉบับนี้ถูกจัดเก็บในไฟล์เลขที่ 2385-55

(นางรุสนิ ภูลวิจิตร)

หัวหน้าฝ่ายบริการเครื่องมือวิจัยทางวิทยาศาสตร์

27 กรกฎาคม 2555

หมายเหตุ รายงานผลการทดสอบนี้มีผลเฉพาะกับตัวอย่างที่นำมาทดสอบเท่านั้น และรายงานผลการทดสอบนี้ต้องไม่ถูกทำซ้ำเน่าหรือขงส่วน
ยกเว้นทำทั้งฉบับ โดยไม่ได้รับความยินยอมเป็นลายลักษณ์อักษรจากทางศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์

ภาคผนวก ก

ผลการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด



ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชั้น 1 อาคารบริหารวิชาการรวม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ ถิ่นกอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 90110

Scientific Equipment Center, Prince of Songkla University

Central Academic Administrator Bld. Hat-Yai Campus, Songkhla 90110 Tel.0 7428 6904-7 Fax.0 7421 2813

F-RES-003T ฉบับที่ 6 บังคับใช้ 20 10:53

เลขที่ 2320:55 หน้า 1/1

รายงานผลการทดสอบ

ชื่อและที่อยู่ลูกค้า: นายกฤตพนธ์ เกษพร
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

เลขที่ใบขอใช้บริการฯ: 2383/55

วันที่รับตัวอย่าง: 20 กรกฎาคม 2555

วันที่ขอใช้บริการฯ: 20 กรกฎาคม 2555

ผู้ทดสอบ: นางสาวทรงสุลา พรหมทอง

วันที่ทำการทดสอบ: 27 กรกฎาคม 2555

วิธีการทดสอบ: อ้างอิง WI-RES-Titrate-001 และ REF-RFS-ASTM D664-09-001

เครื่องมือทดสอบ: Potentiometric Autotitrator, 794 Basic Titrino, Metrohm, Switzerland

เทคนิคการทดสอบ: Potentiometric Titration

สถานะการทดสอบ: -

รายละเอียดตัวอย่าง: Biodiesel จำนวน: 1 ตัวอย่าง

ผลการทดสอบ:

ลำดับที่	ชื่อตัวอย่าง	ค่าความเป็นกรด (mg KOH/g)	%RSD	เกณฑ์มาตรฐาน (mg KOH/g)
1	Esterifine 5% B30	5.66	0.37	≤ 0.50

(นางรุ่งนีย์ กู่วิจิตร)

หัวหน้าฝ่ายบริการเครื่องมือวิจัยทางวิทยาศาสตร์

21 กรกฎาคม 2555

หมายเหตุ รายงานผลการทดสอบนี้มีผลเฉพาะกับตัวอย่างที่นำมาทดสอบเท่านั้น และรายงานผลการทดสอบนี้ต้องไม่ถูกทำสำเนาเพื่อบางส่วน
ยกเว้นทำทั้งฉบับ โคโซไม่ได้รับความยินยอมเป็นลายลักษณ์อักษรจากทางศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์

ภาคผนวก ฐ

ผลการวิเคราะห์เถ้าซัลเฟต



ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชั้น 1 อาคารบริหารวิชาการรวม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 90110

Scientific Equipment Center, Prince of Songkla University

Central Academic Administrator Bld. Hat-Yai Campus, Songkhla 90110 Tel.0 7428 6904-7 Fax.0 7421 2813

F RES-002/IT ฉบับที่ 5 วันที่รับใช้ 29/05/52

เลขที่ 2337/55 หน้า 1/1

รายงานผลการทดสอบ

ชื่อและที่อยู่ลูกค้า : นายกฤตพจน์ เทพธร
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

เลขที่ใบขอใช้บริการฯ : 2382/55

วันที่รับตัวอย่าง : 20 กรกฎาคม 2555

วันที่ขอใช้บริการฯ : 20 กรกฎาคม 2555

ผู้ทดสอบ : นางสาวโสวลักษณ์ อุปถัมภ์

วันที่ทำการทดสอบ : 23 - 31 กรกฎาคม 2555

วิธีการทดสอบ : อ้างอิง REF-ASTM D 874-07

เครื่องมือทดสอบ : High Temperature Furnace

เทคนิคการทดสอบ : Gravimetric method

สภาวะการทดสอบ : เตาที่อุณหภูมิ 775 ± 25 °C

รายละเอียดตัวอย่าง : Biodiesel จำนวน : 1 ตัวอย่าง

ผลการทดสอบ :

หมายเลข	สิ่งตัวอย่าง	Sulfate Ash mass % (±RSD)
1.	Esterline 5% B30	ค่าจำกัด Limit of the method

เกณฑ์มาตรฐาน

0.02%

Limit of the method 0.005 mass %

(นางรุสนี กุลสวัสดิ์)

หัวหน้าฝ่ายบริการเครื่องมือวิจัยทางวิทยาศาสตร์

1 สิงหาคม 2555

หมายเหตุ รายงานผลการทดสอบนี้มีผลเฉพาะกับตัวอย่างที่นำมาทดสอบเท่านั้น และรายงานผลการทดสอบนี้ต้องไม่ถูกทำสำเนาเพียงบางส่วน
ยกเว้นทำทั้งฉบับ โดยไม่ได้รับความยินยอมเป็นลายลักษณ์อักษรจากทางศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์

ภาคผนวก ข

ผลการทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์

ตารางที่ ข.1 ผลการทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ ด้วยวิธีการเปลี่ยนแปลงภาระ ที่ความเร็วรอบคงที่

2,200 rpm

ดีเซล	ความเร็วรอบ (rpm)					แรงบิด (lb/ft)				
	ภาระ (kW)	1.275	2.550	3.825	5.100	Full Load	1.275	2.550	3.825	5.100
1.1	2200	2200	2200	2200	2200	3.9	7.8	11.7	15.5	17.7
1.2	2199	2201	2200	2199	2204	3.9	7.8	11.7	15.6	17.6
1.3	2197	2203	2202	2200	2206	3.9	7.7	11.7	15.5	17.6
1.4	2199	2203	2201	2199	2204	3.9	7.7	11.7	15.5	17.5
1.5	2198	2204	2201	2195	2207	3.9	7.6	11.7	15.6	17.6
2.1	2200	2200	2202	2199	2204	3.9	7.6	11.6	15.6	17.7
2.2	2201	2203	2202	2197	2203	3.9	7.6	11.6	15.5	17.7
2.3	2203	2202	2200	2197	2210	3.9	7.7	11.7	15.5	17.6
2.4	2199	2201	2200	2196	2211	3.9	7.7	11.7	15.6	17.7
2.5	2201	2200	2200	2196	2210	3.9	7.6	11.7	15.6	17.7
3.1	2200	2198	2202	2197	2208	3.9	7.6	11.6	15.5	17.6
3.2	2198	2198	2202	2195	2210	3.9	7.7	11.7	15.5	17.7
3.3	2198	2199	2200	2197	2206	3.9	7.7	11.7	15.6	17.6
3.4	2199	2199	2200	2199	2205	3.9	7.7	11.7	15.5	17.6
3.5	2201	2197	2200	2199	2211	3.9	7.7	11.7	15.5	17.7
ค่าเฉลี่ย	2199.53	2200.53	2200.8	2196.67	2206.6	3.9	7.68	11.68	15.54	17.64
SD	1.55	2.13	0.94	1.72	3.33	0.00	0.07	0.04	0.05	0.06

เฮตเตอร์ไฟน์ 30	ความเร็วรอบ (rpm)					แรงบิด (lb/ft)				
	ภาระ (kW)	1.275	2.550	3.825	5.100	Full Load	1.275	2.550	3.825	5.100
1.1	2200	2200	2200	2200	2200	3.9	7.8	11.7	15.5	18.2
1.2	2202	2202	2201	2203	2201	3.9	7.8	11.7	15.5	18.2
1.3	2200	2203	2201	2200	2197	3.9	7.8	11.7	15.5	18.1
1.4	2201	2203	2200	2202	2200	3.9	7.8	11.7	15.5	18.1
1.5	2201	2204	2201	2197	2207	3.9	7.8	11.7	15.5	18.2
2.1	2204	2204	2196	2196	2197	3.9	7.8	11.7	15.5	18.1
2.2	2203	2206	2195	2196	2206	3.9	7.7	11.7	15.5	18.1
2.3	2201	2206	2196	2197	2211	3.9	7.7	11.7	15.5	18.2
2.4	2203	2204	2198	2199	2212	3.9	7.7	11.7	15.5	18.2
2.5	2204	2203	2197	2200	2205	3.9	7.7	11.7	15.5	18.3
3.1	2206	2203	2197	2202	2202	3.9	7.7	11.6	15.5	18.3
3.2	2204	2203	2198	2201	2199	3.9	7.7	11.6	15.5	18.2

เอสเคอร์รี่ไฟน์ 30		ความเร็วรอบ (rpm)					แรงบิด (lb.ft)				
ภาวะ (kW)	1.275	2.550	3.825	5.100	Full Load	1.275	2.550	3.825	5.100	Full Load	
3.3	2204	2201	2199	2202	2203	3.9	7.7	11.6	15.5	18.2	
3.4	2202	2201	2199	2198	2200	3.9	7.7	11.6	15.5	18.2	
3.5	2203	2202	2197	2200	2201	3.9	7.7	11.6	15.5	18.2	
ค่าเฉลี่ย	2202.53	2203	2198.33	2199.53	2202.73	3.9	7.74	11.67	15.5	18.19	
SD	1.73	1.69	1.99	2.29	4.61	0.00	0.05	0.05	0.00	0.06	

เอสเคอร์รี่ไฟน์+เมทิล เอสเคอร์รี่ 50		ความเร็วรอบ (rpm)					แรงบิด (lb.ft)				
ภาวะ (kW)	1.275	2.550	3.825	5.100	Full Load	1.275	2.550	3.825	5.100	Full Load	
1.1	2200	2200	2200	2200	2206	3.9	7.8	11.7	15.5	17.9	
1.2	2199	2202	2201	2201	2229	3.9	7.8	11.7	15.6	17.9	
1.3	2202	2203	2200	2201	2224	3.9	7.8	11.8	15.6	17.8	
1.4	2202	2204	2200	2202	2226	3.9	7.8	11.8	15.6	17.9	
1.5	2203	2202	2200	2204	2221	3.9	7.8	11.7	15.6	17.9	
2.1	2203	2202	2201	2200	2222	3.9	7.9	11.7	15.6	17.9	
2.2	2203	2204	2201	2201	2230	4.0	7.8	11.7	15.6	17.8	
2.3	2202	2202	2199	2204	2213	4.0	7.8	11.7	15.6	17.8	
2.4	2200	2203	2199	2200	2230	3.9	7.8	11.7	15.6	17.9	
2.5	2201	2204	2198	2202	2228	3.9	7.8	11.7	15.5	17.8	
3.1	2203	2202	2200	2200	2228	4.0	7.8	11.7	15.5	17.9	
3.2	2204	2203	2200	2198	2230	4.0	7.8	11.7	15.5	17.9	
3.3	2202	2202	2202	2201	2230	3.9	7.8	11.7	15.5	17.9	
3.4	2203	2201	2201	2201	2228	3.9	7.8	11.7	15.5	17.9	
3.5	2202	2200	2200	2197	2230	4.0	7.8	11.7	15.5	17.9	
ค่าเฉลี่ย	2201.93	2202.27	2200.13	2200.8	2225	3.93	7.81	11.71	15.53	17.87	
SD	1.39	1.28	0.99	1.86	7.07	0.05	0.03	0.04	0.05	0.05	

ดีเซล	ภาวะ (kW)	1.275	2.550	3.825	5.100	Full Load
ระยะเวลาสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง 50 ml (s)	1	241.03	175.33	131.31	104.41	90.85
	2	238.91	176.29	132.73	104.99	90.44
	3	240.27	177.51	132.67	104.89	90.19
	ค่าเฉลี่ย	240.07	176.38	132.24	104.76	90.49
	SD	0.91	0.92	0.68	0.26	0.28
อุณหภูมิ (°C)	1	33.3	33.8	34.3	35.9	38.1
	2	33.4	33.7	34.4	36.1	38.5
	3	33.5	33.9	34.6	36.3	38.9
	ค่าเฉลี่ย	33.4	33.7	34.43	36.1	38.5
	SD	0.10	0.10	0.15	0.20	0.40

คิซล	ภาระ (kW)	1.275	2.550	3.825	5.100	Full Load
ความหนาแน่น (kg/m ³)	1	820.74	820.35	819.96	818.58	816.98
	2	820.58	820.51	820.36	818.42	816.89
	3	820.66	820.43	819.89	818.50	816.55
	ค่าเฉลี่ย	820.65	820.43	820.07	818.50	816.81
	SD	0.09	0.08	0.25	0.08	0.23
เอสเทอร์ไฟน์ 30	ภาระ (kW)	1.275	2.550	3.825	5.100	Full Load
ระยะเวลาสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง 50 ml (s)	1	234.53	170.36	133.42	105.45	83.74
	2	228.94	171.91	131.99	105.81	84.09
	3	228.37	172.75	131.57	105.14	85.00
	ค่าเฉลี่ย	230.61	171.67	132.33	105.47	84.28
	SD	2.88	1.02	0.82	0.28	0.55
อุณหภูมิ (°C)	1	36.2	34.2	34.4	35.0	36.0
	2	35.3	34.1	34.6	35.5	36.3
	3	34.8	34.3	34.8	35.6	36.4
	ค่าเฉลี่ย	35.43	34.2	34.6	35.37	36.23
	SD	0.71	0.10	0.20	0.32	0.21
ความหนาแน่น (kg/m ³)	1	845.89	846.85	846.45	845.65	845.33
	2	845.73	846.77	846.29	845.93	844.94
	3	845.62	846.80	846.51	845.87	845.25
	ค่าเฉลี่ย	845.75	846.81	846.42	845.82	845.17
	SD	0.14	0.04	0.11	0.15	0.21
เอสเทอร์ไฟน์+เมทิลเอสเทอร์ 50	ภาระ (kW)	1.275	2.550	3.825	5.100	Full Load
ระยะเวลาสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง 50 ml (s)	1	229.61	165.84	129.29	101.68	86.44
	2	229.35	166.44	129.92	102.63	86.07
	3	226.75	167.59	130.44	102.63	86.12
	ค่าเฉลี่ย	228.57	166.62	129.88	102.31	86.21
	SD	1.34	0.75	0.49	0.46	0.17
อุณหภูมิ (°C)	1	36.3	36.8	36.8	37.7	37.3
	2	36.5	37.0	36.9	37.9	38.3
	3	36.6	37.2	37.2	38.6	38.6
	ค่าเฉลี่ย	36.47	37.00	36.97	38.07	38.07
	SD	0.15	0.20	0.21	0.47	0.68
ความหนาแน่น (kg/m ³)	1	838.81	838.56	838.42	837.72	837.60
	2	838.66	838.42	838.34	837.44	837.56
	3	838.58	838.22	845.21	837.56	837.46
	ค่าเฉลี่ย	838.68	838.40	838.32	837.57	837.54
	SD	0.12	0.17	0.11	0.14	0.07

		ภาระ (kW)	ดีเซล	เอสเตอรีไฟน์ 30	เอสเตอรีไฟน์+เมทิล เอสเตอรี 50	
ค่าความร้อนค่า (kJ/kg)			42921	41293	41486	
อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง โดยปริมาตร (m ³ /hr)		1.275	0.000749	0.000786	0.000785	
		2.550	0.001021	0.001047	0.001081	
		3.825	0.001356	0.001364	0.001385	
		5.100	0.001714	0.001707	0.001754	
		Full Load	0.001966	0.002124	0.002091	
อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง (kg/hr)		1.275	0.62	0.66	0.66	
		2.550	0.84	0.89	0.91	
		3.825	1.12	1.15	1.16	
		5.100	1.41	1.44	1.47	
		Full Load	1.60	1.80	1.75	
อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง เบรคจำเพาะ (kg/kW-hr)		1.275	0.48	0.52	0.51	
		2.550	0.33	0.35	0.35	
		3.825	0.29	0.30	0.30	
		5.100	0.28	0.28	0.29	
		Full Load	0.28	0.30	0.30	
ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรค (%)		1.275	17.44	16.93	16.98	
		2.550	25.24	24.98	24.58	
		3.825	28.80	28.98	28.72	
		5.100	30.37	30.72	30.08	
		Full Load	30.37	28.99	29.11	
ชนิดน้ำมัน	ภาระ (kW)	1.275	2.550	3.825	5.100	Full Load
	CO (ppm)	426.56	256.89	520.11	1092.89	1990.56
ดีเซล	NOx (ppm)	111.89	196.94	324.78	409.59	409.00
	FT (°C)	180.94	227.90	286.46	332.04	399.58
	CO (ppm)	307.22	185.89	274.89	740.00	1459.33
เอสเตอรีไฟน์ 30	NOx (ppm)	124.67	223.00	352.33	476.00	417.11
	FT (°C)	183.52	232.69	288.07	335.49	402.77
	CO (ppm)	329.67	196.00	288.22	896.22	1704.67
เอสเตอรีไฟน์+เมทิล เอสเตอรี 50	NOx (ppm)	136.44	219.47	338.22	419.78	413.78
	FT (°C)	180.54	228.12	284.63	352.76	403.28

ตารางที่ ท.2 ผลการทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ ที่การเดินเครื่องยนต์เต็มกำลังในช่วงความเร็วรอบ
1,600-2,400 rpm

ดีเซล	ความเร็วรอบ (rpm)					แรงบิด (lb/ft)				
	ความเร็วรอบ (rpm)	1600	1800	2000	2200	2400	1600	1800	2000	2200
1.1	1598	1802	2008	2200	2408	19.1	19.5	18.6	17.7	16.8
1.2	1600	1803	2010	2204	2405	19.1	19.4	18.5	17.6	16.8
1.3	1601	1799	2008	2206	2409	19.1	19.5	18.5	17.6	16.8
1.4	1604	1795	2005	2204	2401	19.1	19.4	18.5	17.5	16.8
1.5	1601	1793	2001	2207	2402	19.0	19.5	18.4	17.6	16.9
2.1	1594	1792	2007	2204	2396	19.0	19.5	18.5	17.7	16.9
2.2	1593	1793	2004	2203	2414	19.1	19.3	18.6	17.7	16.8
2.3	1592	1799	2000	2210	2411	19.0	19.2	18.5	17.6	16.8
2.4	1593	1799	2008	2211	2403	19.0	19.4	18.5	17.7	16.9
2.5	1595	1800	2003	2210	2407	19.0	19.5	18.5	17.7	16.9
3.1	1594	1798	2001	2208	2407	19.0	19.7	18.6	17.6	16.8
3.2	1592	1798	2009	2210	2410	19.1	19.6	18.7	17.7	16.8
3.3	1601	1803	2010	2206	2408	19.1	19.5	18.6	17.6	16.8
3.4	1603	1802	2006	2205	2405	19.1	19.4	18.6	17.6	16.8
3.5	1601	1800	2001	2211	2404	19.1	19.5	18.7	17.7	16.8
ค่าเฉลี่ย	1597.47	1798.4	2005.4	2206.6	2406	19.06	19.46	18.55	17.64	16.83
SD	4.31	3.64	3.52	3.33	4.47	0.05	0.12	0.08	0.06	0.05

เอสเตอรีโฟน 30	ความเร็วรอบ (rpm)					แรงบิด (lb/ft)				
	ความเร็วรอบ (rpm)	1600	1800	2000	2200	2400	1600	1800	2000	2200
1.1	1600	1799	1998	2200	2402	19.8	20.5	19.3	18.2	17.4
1.2	1604	1796	2012	2201	2408	19.8	20.5	19.3	18.2	17.3
1.3	1608	1800	2014	2197	2422	19.8	20.4	19.3	18.1	17.3
1.4	1608	1801	2008	2200	2397	19.8	20.5	19.3	18.2	17.3
1.5	1606	1807	2004	2207	2403	19.8	20.4	19.3	18.2	17.3
2.1	1601	1802	2008	2197	2397	19.8	20.5	19.4	18.1	17.4
2.2	1603	1804	2010	2206	2394	19.9	20.6	19.4	18.1	17.4
2.3	1605	1807	2012	2211	2412	19.9	20.5	19.3	18.2	17.3
2.4	1610	1807	2002	2212	2413	19.9	20.6	19.4	18.2	17.4
2.5	1608	1810	2001	2205	2402	19.8	20.6	19.4	18.3	17.3
3.1	1604	1805	2006	2202	2396	19.8	20.4	19.3	18.3	17.3
3.2	1601	1809	2000	2199	2397	19.9	20.3	19.3	18.2	17.3
3.3	1604	1813	1998	2203	2396	19.8	20.3	19.3	18.2	17.4
3.4	1603	1802	2010	2200	2395	19.9	20.4	19.3	18.2	17.4
3.5	1609	1803	2012	2201	2400	19.9	20.5	19.3	18.2	17.4

ค่าเฉลี่ย	1604.93	1804.33	2006.33	2202.73	2402.27	19.84	20.47	19.33	18.19	17.35
SD	3.13	4.56	5.47	4.61	8.11	0.05	0.10	0.05	0.06	0.05

เอสเคอร์วีน+เมทิลเอสเคอร์ 50	ความเร็วรอบ (rpm)					แรงบิด (lb/ft)				
	ความเร็วรอบ (rpm)	1600	1800	2000	2200	2400	1600	1800	2000	2200
1.1	1580	1803	2022	2206	2394	19.3	19.8	18.7	17.9	17.2
1.2	1581	1797	2009	2204	2384	19.3	19.8	18.7	17.9	17.2
1.3	1589	1796	2016	2201	2390	19.3	19.8	18.7	17.8	17.2
1.4	1583	1802	2010	2199	2380	19.3	19.7	18.7	17.9	17.2
1.5	1598	1796	2007	2197	2382	19.3	19.7	18.7	17.9	17.1
2.1	1611	1803	2006	2207	2360	19.3	19.8	18.7	17.9	17.1
2.2	1583	1802	2001	2203	2374	19.4	19.8	18.8	17.8	17.1
2.3	1602	1800	2010	2209	2370	19.4	19.8	18.8	17.8	17.2
2.4	1589	1804	2016	2212	2346	19.3	19.8	18.7	17.9	17.2
2.5	1588	1805	2008	2202	2347	19.4	19.8	18.8	17.8	17.1
3.1	1593	1794	2009	2206	2353	19.3	19.7	18.8	17.9	17.1
3.2	1594	1798	2005	2206	2367	19.3	19.8	18.8	17.9	17.2
3.3	1603	1806	2002	2208	2350	19.4	19.7	18.8	17.9	17.1
3.4	1610	1804	2003	2203	2354	19.4	19.8	18.7	17.9	17.1
3.5	1597	1805	2001	2205	2355	19.4	19.8	18.8	17.9	17.1
ค่าเฉลี่ย	1593.4	1801	2007.00	2204.53	2367.07	19.34	19.77	18.75	17.87	17.15
SD	10.01	3.87	4.87	3.89	16.23	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05

ดีเซล	ความเร็วรอบ (rpm)	1600	1800	2000	2200	2400
ระยะเวลาสั้นเปลี่ยนเชื้อเพลิง 50 ml (s)	1	114.62	99.97	94.53	92.13	86.54
	2	115.00	99.69	94.97	91.40	87.28
	3	113.16	99.87	94.81	91.56	87.25
	ค่าเฉลี่ย	114.26	99.84	90.47	91.70	87.02
	SD	0.82	0.12	0.16	0.32	0.35
อุณหภูมิ (°C)	1	40.8	40.7	39.8	38.1	34.3
	2	40.6	41.1	41.1	38.8	34.8
	3	40.7	41.2	41.9	39.8	35.2
	ค่าเฉลี่ย	40.70	41.0	40.93	38.90	34.77
	SD	0.08	0.21	1.06	0.85	0.45
ความหนาแน่น (kg/m ³)	1	815.88	814.89	814.81	816.75	819.73
	2	815.09	814.74	814.67	816.45	819.46
	3	814.89	814.95	814.89	816.42	819.52
	ค่าเฉลี่ย	815.12	814.86	814.79	816.54	819.57
	SD	0.25	0.11	0.11	0.18	0.14

เอสเตอรีฟีน 30	ความเร็วรอบ (rpm)	1600	1800	2000	2200	2400
ระยะเวลาสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง 50 ml (s)	1	105.85	92.25	88.15	84.74	80.99
	2	105.37	92.81	88.22	84.09	81.06
	3	106.85	93.06	88.46	85.00	80.92
	ค่าเฉลี่ย	106.02	92.71	88.28	84.61	80.99
	SD	0.64	0.35	0.14	0.40	0.06
อุณหภูมิ (°C)	1	35.1	35.1	35.9	36.0	34.0
	2	35.5	35.4	36.1	36.3	34.4
	3	35.6	35.8	36.2	36.5	34.7
	ค่าเฉลี่ย	35.40	35.43	36.07	36.27	34.37
	SD	0.26	0.35	0.15	0.25	0.35
ความหนาแน่น (kg/m ³)	1	845.89	845.89	845.25	844.94	846.77
	2	845.73	846.54	845.65	845.33	846.45
	3	845.91	846.26	845.28	845.21	846.68
	ค่าเฉลี่ย	845.84	846.23	845.39	845.16	846.63
	SD	0.10	0.33	0.22	0.20	0.17
เอสเตอรีฟีน+เมทิลเอสเตอรี 50	ความเร็วรอบ (rpm)	1600	1800	2000	2200	2400
ระยะเวลาสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง 50 ml (s)	1	109.44	94.82	88.96	85.88	81.94
	2	107.38	93.69	89.50	86.07	82.87
	3	108.31	94.50	90.32	86.12	82.03
	ค่าเฉลี่ย	108.38	93.34	89.59	86.02	82.28
	SD	0.87	0.49	0.58	0.11	0.43
อุณหภูมิ (°C)	1	37.5	36.6	37.3	37.3	34.1
	2	37.7	37.3	38.1	38.4	34.4
	3	38.2	37.6	38.4	39.0	36.3
	ค่าเฉลี่ย	37.80	37.17	37.93	38.23	34.93
	SD	0.36	0.51	0.57	0.86	1.19
ความหนาแน่น (kg/m ³)	1	837.87	838.19	837.87	837.56	840.15
	2	837.64	838.11	837.25	837.49	839.76
	3	837.52	838.05	837.68	837.53	839.67
	ค่าเฉลี่ย	837.68	838.12	837.60	837.53	839.86
	SD	0.18	0.07	0.32	0.04	0.26

	ความเร็วรอบ (rpm)	ดีเซล	เอสเตอรีไฟน์ 30	เอสเตอรีไฟน์+เมทิล เอสเตอรี 50
ค่าความร้อนค่า (kJ/kg)		42921	41293	41486
อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง โดยปริมาตร (m ³ /hr)	1600	0.001565	0.001701	0.001662
	1800	0.001802	0.001939	0.001905
	2000	0.001899	0.002040	0.002011
	2200	0.001966	0.002124	0.002091
	2400	0.002063	0.002222	0.002194

	ความเร็วรอบ (rpm)	ดีเซล	เอสเตอรีไฟน์ 30	เอสเตอรีไฟน์+เมทิล เอสเตอรี 50
ค่าความร้อนค่า (kJ/kg)		42921	41318	41421
อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง (kg/hr)	1600	1.28	1.44	1.39
	1800	1.47	1.64	1.60
	2000	1.55	1.72	1.68
	2200	1.60	1.80	1.75
	2400	1.70	1.88	1.84
อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง เบรกจำเพาะ (kg/kW-hr)	1600	0.28	0.30	0.30
	1800	0.28	0.30	0.30
	2000	0.28	0.30	0.30
	2200	0.28	0.30	0.30
	2400	0.28	0.30	0.30
ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรก (%)	1600	29.65	28.84	28.68
	1800	29.79	29.24	28.83
	2000	30.37	29.26	28.95
	2200	30.37	28.99	29.11
	2400	29.87	28.81	28.99

ชนิดน้ำมัน	ความเร็วรอบ	ความเร็วรอบ (rpm)				
		1600	1800	2000	2200	2400
ดีเซล	CO (ppm)	3695.56	3945.33	2415.50	1990.56	1634.67
	NOx (ppm)	284.89	320.00	332.78	409.00	414.56
	FT (°C)	393.67	410.01	417.56	399.58	405.90
เอสเตอรีไฟน์ 30	CO (ppm)	3739.78	2925.78	1361.56	1459.33	1763.44
	NOx (ppm)	311.78	335.78	334.78	417.11	416.78
	FT (°C)	401.97	421.16	413.36	402.77	402.27
เอสเตอรีไฟน์+เมทิล เอสเตอรี 50	CO (ppm)	3678.00	3730.33	2365.00	1704.67	1677.33
	NOx (ppm)	288.67	325.89	334.78	413.78	403.44
	FT (°C)	409.93	430.52	428.24	403.28	393.91

ภาคผนวก ค

การคำนวณอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงต่อราคา

1. เติมน้ำมันที่ภาระ 2.550 kW (50%)

ดีเซล : ความหนาแน่น (ρ) = 820.43 (kg/m³)
 อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเชิงปริมาตร (\dot{v}) = 0.001021 (m³/hr)

เอสเตอรีไฟน์ 30 : ความหนาแน่น (ρ) = 846.81 (kg/m³)
 อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเชิงปริมาตร (\dot{v}) = 0.001047 (m³/hr)

เอสเตอรีไฟน์+เมทิลเอสเตอรี 50 : ความหนาแน่น (ρ) = 838.40 (kg/m³)
 อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเชิงปริมาตร (\dot{v}) = 0.001081 (m³/hr)

จากสมการ $\dot{m} = \rho \dot{v}$; \dot{m} คือ อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง (kg/hr)

ดังนั้น อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง : ดีเซล = 0.84 kg/hr = 0.69 L/hr

เอสเตอรีไฟน์ 30 = 0.89 kg/hr = 0.75 L/hr

เอสเตอรีไฟน์+เมทิลเอสเตอรี 50 = 0.91 kg/hr = 0.76 L/hr

หมายเหตุ : การเปลี่ยนหน่วย kg/hr เป็น l/hr โดยการนำค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิงนั้นๆ ไปคูณแล้วหารด้วย 1,000

โดยราคา : ดีเซล = 28.45 baht/L

เอสเตอรีไฟน์ 30 = 28.12 baht/L

เอสเตอรีไฟน์+เมทิลเอสเตอรี 50 = 30.41 baht/L

เพราะฉะนั้น อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงต่อราคา มีดังนี้

ดีเซล = 19.63 baht/hr

เอสเตอรีไฟน์ 30 = 21.09 baht/hr

เอสเตอรีไฟน์+เมทิลเอสเตอรี 50 = 23.11 baht/hr

หรือคิดในเชิงพลังงาน ;

ดีเซล : ใน 1 ชั่วโมง ใช้พลังงานไป 2.55 kW และใช้น้ำมันไป 19.63 baht

แสดงว่า ใน 1 ชั่วโมง ใช้พลังงานไปทั้งสิ้น $19.63/2.55 = 7.70$ baht/kW

เอสเตอรีไฟน์ 30 : ใน 1 ชั่วโมง ใช้พลังงานไป 2.55 kW และใช้น้ำมันไป 21.09 baht

แสดงว่า ใน 1 ชั่วโมง ใช้พลังงานไปทั้งสิ้น $21.09/2.55 = 8.27$ baht/kW

เอสเตอรีไฟน์+เมทิลเอสเตอรี 50 : ใน 1 ชั่วโมง ใช้พลังงานไป 2.55 kW และใช้น้ำมันไป

23.11 baht

แสดงว่า ใน 1 ชั่วโมง ใช้พลังงานไปทั้งสิ้น $23.11/2.55 = 9.06$ baht/kW

2. เติมน้ำมันที่ความเร็วรอบ 2,200 rpm

ดีเซล :	ความหนาแน่น (ρ) = 816.54 (kg/m ³)
	อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเชิงปริมาตร (\dot{v}) = 0.001966 (m ³ /hr)
เอสเตอรีไฟน์ 30 :	ความหนาแน่น (ρ) = 845.16 (kg/m ³)
	อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเชิงปริมาตร (\dot{v}) = 0.002124 (m ³ /hr)
เอสเตอรีไฟน์+เมทิลเอสเตอรี 50 :	ความหนาแน่น (ρ) = 837.53 (kg/m ³)
	อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเชิงปริมาตร (\dot{v}) = 0.002091 (m ³ /hr)

จากสมการ $\dot{m} = \rho \dot{v}$; \dot{m} คือ อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง (kg/hr)

ดังนั้น อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง : ดีเซล = 1.60 kg/hr = 1.31 L/hr

เอสเตอรีไฟน์ 30 = 1.80 kg/hr = 1.52 L/hr

เอสเตอรีไฟน์+เมทิลเอสเตอรี 50 = 1.75 kg/hr = 1.47 L/hr

หมายเหตุ : การเปลี่ยนหน่วย kg/hr เป็น l/hr โดยการนำค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิงนั้นๆ ไปคูณแล้วหารด้วย 1,000

โดยราคา : ดีเซล = 28.45 baht/L

เอสเตอรีไฟน์ 30 = 28.12 baht/L

เอสเตอรีไฟน์+เมทิลเอสเตอรี 50 = 30.41 baht/L

เพราะฉะนั้น อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงต่อราคา เป็นดังนี้

ดีเซล = 37.27 baht/hr

เอสเตอรีไฟน์ 30 = 42.74 baht/hr

เอสเตอรีไฟน์+เมทิลเอสเตอรี 50 = 44.70 baht/hr

หรือคิดในเชิงพลังงาน ;

ดีเซล : ใน 1 ชั่วโมง ใช้พลังงานไป 5.81 kW และใช้น้ำมันไป 37.27 baht

แสดงว่า ใน 1 ชั่วโมง ใช้พลังงานไปทั้งสิ้น $37.27/5.81 = 6.42$ baht/kW

เอสเตอรีไฟน์ 30 : ใน 1 ชั่วโมง ใช้พลังงานไป 5.88 kW และใช้น้ำมันไป 42.74 baht

แสดงว่า ใน 1 ชั่วโมง ใช้พลังงานไปทั้งสิ้น $42.74/5.88 = 7.27$ baht/kW

เอสเตอรีไฟน์+เมทิลเอสเตอรี 50 : ใน 1 ชั่วโมง ใช้พลังงานไป 5.98 kW และใช้น้ำมันไป

44.70 baht

แสดงว่า ใน 1 ชั่วโมง ใช้พลังงานไปทั้งสิ้น $44.70/5.98 = 7.48$ baht/kW

ภาคผนวก ฅ

ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่วิทยานิพนธ์

กระบวนการและต้นทุนในการผลิตส่วนผสมดีเซลจาก น้ำมันปาล์มดิบหีบรวม

Procedure and Cost Diesel Extender Production from Mixed Crude Palm Oil

กฤตพจน์ เทพขจร¹, อธิษฐาน หล้าวิจิตร² และ กำพล ประทีปชัยกูร³

^{1,2,3} ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อ.หาดใหญ่

จ.สงขลา 90112

E-mail : pk_jesuses@hotmail.com

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของบทความนี้ คือ พัฒนาการกระบวนการผลิตส่วนผสมดีเซลต้นทุนต่ำจาก MCPO ที่สามารถผสมในน้ำมันดีเซลได้สูงสุดโดยไม่เกิดไขที่อุณหภูมิห้อง

ในงานวิจัยนี้จะแบ่งออกเป็น 2 การทดลอง การทดลองที่ 1 การผลิตส่วนผสมดีเซลด้วยปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชันเป็นการนำ MCPO ไปทำปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชันกับเมทานอลที่สัดส่วนต่างๆ เพื่อให้ได้ EMCPO ไปผสมกับน้ำมันดีเซล ส่วนการทดลองที่ 2 เป็นการผลิตส่วนผสมดีเซลด้วยปฏิกิริยา 2 ขั้นตอน จะทำเหมือนการผลิตส่วนผสมดีเซลด้วยวิธีเอสเตอริฟิเคชัน แต่ EMCPO ที่ได้จะถูกแยกออกเป็น EMCPO ส่วนที่เป็นของเหลวและส่วนที่เป็นไข โดยส่วนที่เป็นไขจะถูกนำไปทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน จะได้ ME เป็นผลิตภัณฑ์ จากนั้นนำไปผสมกับ EMCPO ส่วนที่เป็นของเหลวและน้ำมันดีเซล โดยที่ทั้ง 2 การทดลองทำเพื่อศึกษาคุณลักษณะการเกิดไขไปพร้อมกับการวิเคราะห์ต้นทุน ซึ่งจะได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายเป็นเชื้อเพลิงทดแทนดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบหีบรวมที่มีต้นทุนต่ำ ผลการทดลองที่ได้จากงานวิจัยนี้พบว่า 1. EMCPO และ EMCPO ที่ผสมกับ ME โดยใช้สัดส่วนเมทานอล 5 และ 15 vol.% มีต้นทุนราคาต่ำที่สุด 2. EMCPO และ EMCPO ที่ผสมกับ ME สามารถผสมในน้ำมันดีเซลได้สูงสุด 30 และ 50 vol.% โดยไม่เกิดไข

คำหลัก: ไบโอดีเซล น้ำมันปาล์มดิบหีบรวม เอสเตอริฟิเคชัน

Abstract

The objective of this research were to develop the procedure for production of the admixture low cost replacing diesel alternative fuel from MCPO which is able to add in diesel and do not become waxing in the room temperature.

This research can be separated into 2 experiments. First, the production of the admixture diesel with esterification is to use MCPO esterification with methanol in the suitable blending portions to get EMCPO to add with diesel. The second experiment is to produce the admixture diesel with interaction of 2 steps which is similar as the first experiment but EMCPO that we got will be separated to EMCPO in a part of fluid and in a part of waxing. The waxing part will be used to trans-esterification to get ME production. After that mixing with EMCPO in a part of fluid and diesel. As both experiments have been made for researching the characteristic of waxing and in the same time with cost analysis which the last production is the low cost of diesel alternative fuel of various fuels derived from Mixed Crude Palm Oil. The result of this research found that 1. EMCPO and EMCPO which is mixed up with ME by using methanol 5 and 15 vol.% would have the lowest cost. 2. EMCPO and EMCPO which is mixed up with ME can be added in diesel 30 and 50 vol.% without waxing.

Keywords: Biodiesel, Mixed Crude Palm Oil, Esterification

1. บทนำ

เป็นที่ทราบกันดีแล้วว่าน้ำมันพืชเป็นแหล่งวัตถุดิบที่มีศักยภาพเหมาะสมสำหรับการผลิตเชื้อเพลิงทดแทนชนิดต่างๆ [11,13-15] เชื้อเพลิงทดแทนดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มดิบที่บรวมน (Mixed Crude Palm Oil: MCPO) แบ่งได้เป็น 4 ชนิด คือ ชนิดลอยเหนียว (D_{90} MCPO) ชนิดลอยและลดกรด (D_{90} aMCPO) ชนิดเอสเตอรีไฟน์ (Esterifine Mixed Crude Palm Oil: EMCPO) และชนิดเมทิลเอสเตอร (ME)

น้ำมันไบโอดีเซลหรือเมทิลเอสเตอร (Methyl Ester: ME) [12] สามารถผลิตได้จากการทำปฏิกิริยา 2 ขั้นตอน คือ ปฏิกิริยาเอสเตอรีไฟเคชันเป็นการทำปฏิกิริยาระหว่างกรดไขมันอิสระ (Free Fatty Acids: FFA) กับเมทานอล โดยมีกรดซัลฟิวริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เพื่อให้ได้ EMCPO ที่สามารถผสมในดีเซลสูงสุด ≤ 30 vol.% สำหรับใช้ในเครื่องยนต์การเกษตร และตามด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอรีไฟเคชัน เป็นการทำปฏิกิริยาระหว่าง ไตรกลีเซอไรด์กับเมทานอล โดยมีโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เพื่อให้ได้ ME ที่สามารถใช้งานได้โดยตรงในเครื่องยนต์การเกษตรและผสมในดีเซล ≤ 65 vol.% สำหรับการใช้งานในเครื่องยนต์ยานพาหนะ [2]

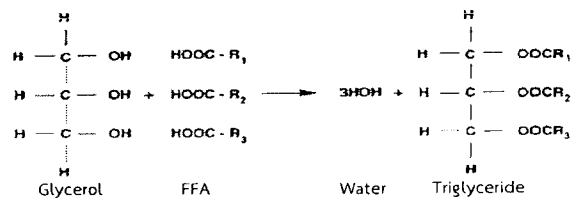
แต่ในการผลิตส่วนผสมดีเซลยังมีข้อด้อยที่ต้องปรับปรุงคือ มีกรดไขมันอิสระสูงซึ่งมีผลต่อการผลิตเมทิลเอสเตอร (ทำให้ปริมาณการได้คีนของเชื้อเพลิงลดลง เนื่องจากการสูญเสียกรดไขมันในรูปของสบู่) มียางเหนียวทำให้เกิดการอุดตันในไส้กรองน้ำมันและหัวฉีด มีความหนืดสูงที่ก่อให้เกิดการตกค้างหลังการเผาไหม้ [10] และการเป็นไขจะทำให้ระบบจ่ายเชื้อเพลิงอุดตัน

และในการผลิต ME ยังใช้ต้นทุนในการผลิตค่อนข้างสูง เมื่อเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงทดแทนดีเซลชนิดต่างๆ ดังนั้น เมื่อพิจารณาราคาน้ำมันดีเซล และผลผลิตจากปาล์มน้ำมันเฉลี่ย ตั้งแต่ ปี 2549-2554 จะพบว่า ส่วนต่างราคาขายปลีกของน้ำมันดีเซลหน้าปั๊ม กับราคาน้ำมันปาล์มดิบที่บรวมนเฉลี่ยอยู่ที่ 6.32-6.35 บาทต่อลิตร คิดเป็น 22.43-22.52% ของราคาขายปลีกน้ำมันดีเซลหน้าปั๊ม [1,5] จากข้อมูลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า การผลิตเชื้อเพลิงทดแทนดีเซลต้นทุนต่ำ มีความจำเป็นที่ต้องปรับปรุงและพัฒนา ซึ่งถือว่าเป็นโอกาสทางธุรกิจช่องทางหนึ่งที่จะช่วยลดการนำเข้าน้ำมันดีเซลจากต่างประเทศ อีกทั้งยังเป็นการเพิ่มรายได้ให้กับกลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกปาล์มในไทยอีกด้วย

วัตถุประสงค์ของบทความนี้ คือ พัฒนาระบบการผลิตส่วนผสมดีเซลต้นทุนต่ำจาก MCPO ที่สามารถผสมในน้ำมันดีเซลได้สูงสุดโดยไม่เกิดไขที่อุณหภูมิห้อง สำหรับการนำไปใช้งานในเครื่องยนต์การเกษตร

2. ทฤษฎีและหลักการ

น้ำมันพืชประกอบด้วยไตรกลีเซอไรด์ (TG) 90-98 wt.% ไตรกลีเซอไรด์ (DG) โมโนกลีเซอไรด์(MG) และกรดไขมันอิสระ (Free Fatty Acids: FFA) อีกเล็กน้อย [13] ไตรกลีเซอไรด์เป็นเอสเทอร์ของกรดไขมัน 3 โมเลกุล ซึ่งเป็นโครงสร้างโมเลกุลที่มีพันธะยาว จับอยู่กับแกนของกลีเซอรอล 1 โมเลกุล ทำให้มีโอกาสเกิดไขสูง ดังรูปที่ 1 [8]



รูปที่ 1 โครงสร้างทางเคมีของน้ำมันพืช

ดังนั้นในการผลิตส่วนผสมดีเซลจาก MCPO จึงต้องใช้การทำปฏิกิริยา 2 ขั้นตอน เพื่อให้โครงสร้างโมเลกุลของน้ำมันสั้นลงเป็นการลดการเกิดไข สามารถอธิบายได้ดังปฏิกิริยา ต่อไปนี้

2.1 ปฏิกิริยาเอสเตอรีไฟเคชัน

ปฏิกิริยาเอสเตอรีไฟเคชัน เป็นการทำปฏิกิริยาระหว่างกรดไขมันอิสระ 1 โมเลกุล กับเมทานอล 1 โมเลกุล เปลี่ยนเป็นเมทิลเอสเตอร 1 โมเลกุล กับน้ำ 1 โมเลกุล โดยมีกรดซัลฟิวริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และแยกยางเหนียวออกจากน้ำมัน ดังรูปที่ 2 [9]



รูปที่ 2 ปฏิกิริยาเอสเตอรีไฟเคชัน

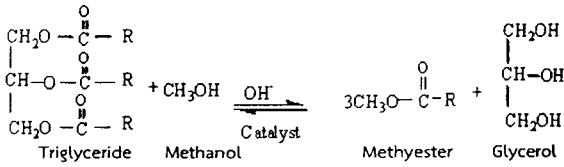
แต่ในขั้นตอนต่อไปจะนำเฉพาะ Ester ไปทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอรีไฟเคชัน ในขั้นตอนถัดไป

2.2 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอรีไฟเคชัน

ปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอรีไฟเคชัน เป็นการทำปฏิกิริยาระหว่างไตรกลีเซอไรด์ 1 โมเลกุล กับเมทานอล 3 โมเลกุล เปลี่ยนเป็นเมทิลเอสเตอร 3 โมเลกุล กับกลี



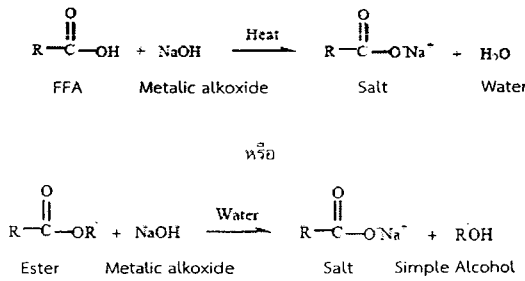
เซอร์อล 1 โมเลกุล กระบวนการนี้ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ดังรูปที่ 3 [4]



รูปที่ 3 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน

หาก Ester ที่นำมาทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน มีกรดไขมันอิสระอยู่สูง (โดยประมาณ 4 wt.%) ปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชันก็อาจเกิดขึ้นได้

2.3 ปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชัน



รูปที่ 4 ปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชัน

3. วัตถุประสงค์และขั้นตอนการทดลอง

3.1 วัตถุประสงค์

MCPO ที่มีกรดไขมันอิสระระหว่าง 8-14 wt.% และสารเคมีเกรดการค้า (Commercial Grade) ได้แก่ กรดซัลฟิวริกเกรด (98 wt.%) เมทิลแอลกอฮอล์ (98 wt.%) และโซเดียมไฮดรอกไซด์ 99 (wt.%)

3.2 การเตรียมเชื้อเพลิง

การเตรียมเชื้อเพลิงจะแบ่งออกเป็น 2 วิธี โดยวิธีการผลิตส่วนผสมดีเซลด้วยปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชัน จะเริ่มต้นจากการนำ MCPO ไปทำปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชันกับเมทานอลที่สัดส่วน 5, 10, 15 และ 20 vol.% โดยใช้กรดซัลฟิวริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ปล่อยให้เย็นตัวลงเป็นเวลา 120 นาที ผลิตภัณฑ์ที่ได้ในขั้นตอนนี้จะแยกชั้นออกเป็น 2 ส่วน คือ EMCPO และกลีเซอรอลกับยางเหนียว ให้กรองด้วยตะแกรงเพื่อแยกกลีเซอรอลกับยางเหนียวทิ้ง นำ EMCPO ที่ได้ไปล้างน้ำ อุ่นไล่ น้ำ ไตรเอทิล และนำไปผสมกับน้ำมันดีเซล เพื่อศึกษาคุณลักษณะการเกิดไข ดังตารางที่ 1 (ขั้นตอนการผลิต 1-6) ส่วนวิธีการผลิตส่วนผสมดีเซลด้วยปฏิกิริยา 2 ขั้นตอน จะทำเหมือนการผลิตส่วนผสมดีเซลด้วยปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเค

ชัน แต่ EMCPO ที่ได้จากการไตรเอทิลแล้วจะตั้งทิ้งไว้ 2 วัน เพื่อให้ EMCPO ดังกล่าวแยกออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นของเหลวและส่วนที่เป็นไข ดังตารางที่ 1 (ขั้นตอนการผลิต 1-7) จากนั้นนำเฉพาะส่วนที่เป็นไขไปทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จะได้ ME เป็นผลิตภัณฑ์แล้วนำไปล้างทำความสะอาด อุ่นไล่ น้ำ อีกครั้ง ดังตารางที่ 2 จากนั้นนำ EMCPO ส่วนที่เป็นของเหลวและ ME ที่ผลิตได้จากไขมารวมกับน้ำมันดีเซลจะได้เชื้อเพลิงทดแทนดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่บวมเป็นผลิตภัณฑ์สุดท้าย

ตารางที่ 1 กระบวนการเอสเตอริฟิเคชัน

ขั้นตอนการผลิต (Esterification)	CH ₃ OH (vol. % of MCPO)			
	5 vol. %	10 vol. %	15 vol. %	20 vol. %
1. กวนทำปฏิกิริยานาน 90 นาที				
• วัตถุประสงค์				
- MCPO (ml)	1000	1000	1000	1000
- H ₂ SO ₄ (vol. % of MCPO)	2	2	2	2
• อุณหภูมิ (°C)	60	60	60	60
2. ปล่อยให้เย็นตัวและแยกชั้น เป็นเวลา 120 นาที				
- ขึ้นบน EMCPO (ml)	918	935	955	967
- ชั้นล่าง: กลีเซอรอลและยางเหนียว (ml)	82	65	45	33
3. กรองด้วยตะแกรง	-	-	-	-
4. นำไปล้างน้ำ	-	-	-	-
5. อุ่นไล่ น้ำ ที่ 100 °C	-	-	-	-
6. ไตรเอทิล FFA (wt. %)	6.77	4.17	2.3	1.21
7. ตั้ง EMCPO เป็นเวลา 2 วัน เพื่อให้เกิดการแยกชั้น				
- ขึ้นบน EMCPO ของเหลว (ml)	528	585	629	635
- ชั้นล่าง: EMCPO ไข (ml)	390	350	326	332

ตารางที่ 2 กระบวนการทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน

ขั้นตอนการผลิต (Tranesterification)	CH ₃ OH (vol. % of MCPO)			
	5 vol. %	10 vol. %	15 vol. %	20 vol. %
1. กวนทำปฏิกิริยานาน 90 นาที				
• วัตถุประสงค์				
- EMCPO ส่วนไข (ml) (จากตารางที่ 1 ขั้นตอนที่ 7)	390	350	326	332
- NaOH (g of NaOH of EMCPO)	14.97	12.26	8.58	5.9
- CH ₃ OH (vol. % of EMCPO ไข)	23	23	23	23
• อุณหภูมิ (°C)	60	60	60	60
2. ตั้ง EMCPO ให้แยกชั้น				
- ขึ้นบน ME (ml)	0	90	291	316
- ชั้นล่าง: กลีเซอรอล (ml)	0	260	35	16
3. กรองด้วยตะแกรง	-	-	-	-
4. นำไปล้างน้ำ	-	-	-	-
5. อุ่นไล่ น้ำ ที่ 100 °C	-	-	-	-
6. ไตรเอทิล FFA (wt. %)	-	0.1	0.1	0.1

3.3 การวัดการเกิดไซ

นำเชื้อเพลิงทดแทนดีเซลผสมกับน้ำมันดีเซลที่สัดส่วนต่างๆ บรรจุในกระบอกตวงปริมาตร 100 ml มีสเกลอ่านค่าทั้งหมด 100 สเกล ค่าความละเอียดในการอ่าน ± 0.5 ml ซึ่งการเกิดไซจะคิดเป็น vol.% โดยการทดลองนี้จะตั้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 14 วัน

4. ผลและวิจารณ์

4.1 ปริมาณการได้คืน

จากการผลิตส่วนผสมดีเซลทั้ง 2 วิธี พบว่า ในขั้นตอนปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชัน ที่เกิดจากการนำ MCPO มาทำปฏิกิริยากับเมทานอลที่ปริมาตรต่างๆ กัน 5,10,15 และ 20 vol.% จะได้ EMCPO ที่มีปริมาณการได้คืน(%yield) คิดเป็น 91.8, 93.5, 95.5 และ 96.7% ตามลำดับ

ส่วนการผลิตส่วนผสมดีเซลด้วยปฏิกิริยาแบบ 2 ขั้นตอน ซึ่ง EMCPO ที่ได้จะแยกชั้นออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นของเหลวและส่วนที่เป็นไซ เมื่อนำส่วนที่เป็นไซจากตารางที่ 1 (ขั้นตอนที่7) มาทำปฏิกิริยากับเมทานอลที่ 23 vol.% ในขั้นตอนปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน จะได้ ME เป็นผลิตภัณฑ์ โดยพบว่า เมทานอลที่ 5vol.% ของ MCPO จะให้ค่า FFA 6.77 wt.% จึงทำให้เกิดปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชันที่ได้สูงเป็นผลิตภัณฑ์ ส่วนเมทานอลที่ 10,15 และ 20 vol.% จะให้ปริมาณการได้คืนที่ 25.71, 89.26 และ 95.18% ตามลำดับ ดังตารางที่ 2 ดังนั้นปริมาณการได้คืนทั้ง 2 วิธีนี้ จึงมีผลต่อต้นทุนราคาเชื้อเพลิง ดังจะวิเคราะห์ในหัวข้อถัดไป

4.2 ต้นทุนเชื้อเพลิง

ต้นทุนราคาเชื้อเพลิงในการผลิตส่วนผสมดีเซลด้วยปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชัน จะคิดเฉพาะกระบวนการเอสเตอริฟิเคชัน ดังตารางที่ 3 ส่วนการผลิตส่วนผสมดีเซลด้วยปฏิกิริยาแบบ 2 ขั้นตอน จะคิดทั้งกระบวนการเอสเตอริฟิเคชันและทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน ดังตารางที่ 3 และ 4

ตารางที่ 3 ต้นทุนราคาเชื้อเพลิงทดแทนดีเซลจากกระบวนการเอสเตอริฟิเคชัน

วัตถุดิบ (unit)	ราคา/หน่วย (baht)	CH ₃ OH (vol % of MCPO)				ต้นทุนในการผลิตเชื้อเพลิงแต่ละชนิดของ CH ₃ OH (vol.% of MCPO) (baht)			
		5vol %	10vol.%	15vol %	20vol %	5vol %	10vol %	15vol %	20vol %
MCPO (L)	21.86	1	1	1	1	21.86	21.86	21.86	21.86
H ₂ SO ₄ (kg)	15.29	0.0368	0.0368	0.0368	0.0368	0.5627	0.5627	0.5627	0.5627
CH ₃ OH (L)	30.31	0.05	0.10	0.15	0.20	1.5155	3.031	4.5465	6.062
NaOH (kg)	38.40	-	-	-	-	-	-	-	-
น้ำประปา (L)	0.013	2	2	2	2	0.026	0.026	0.026	0.026
ไฟฟ้า (kWh)	2.76	0.0719	0.0723	0.0728	0.0732	0.1984	0.1996	0.2009	0.2020
ต้นทุนรวม (baht)						24.1626	25.6793	27.1961	28.7127
ปริมาณการได้คืน (%yield)						91.8	93.5	95.5	96.7
ราคาต้นทุน (baht/L)						26.32	27.47	28.63	29.69

ตารางที่ 4 ต้นทุนราคาเชื้อเพลิงทดแทนดีเซลจากกระบวนการทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน

วัตถุดิบ (unit)	ราคา/หน่วย (baht)	CH ₃ OH (vol.% of MCPO)				ต้นทุนในการผลิตเชื้อเพลิงแต่ละชนิดของ CH ₃ OH (vol.% of MCPO) (baht)			
		5vol.%	10vol.%	15vol %	20vol.%	5vol.%	10vol.%	15vol.%	20vol.%
MCPO (L)	21.86	-	0.350	0.326	0.332	-	-	-	-
H ₂ SO ₄ (kg)	15.29	-	-	-	-	-	-	-	-
CH ₃ OH (L)	30.31	-	0.0805	0.0713	0.07636	-	2.43996	2.1611	2.3145
NaOH (kg)	38.40	-	0.004025	0.00279708	0.0022244	-	0.15456	0.1074	0.0854
น้ำประปา (L)	0.013	-	2	2	2	-	0.026	0.026	0.026
ไฟฟ้า (kWh)	2.76	-	0.1102	0.1396	0.14398	-	0.3042	0.3853	0.3974
ต้นทุนรวม (baht)						0	2.9247	2.6798	2.8233
ปริมาณการได้คืน (%yield)						0	25.71	89.26	95.18
ราคาต้นทุน (baht/L)						0	11.39	3.00	2.97

จากตารางที่ 3 แสดงให้เห็นว่า ปริมาณเมทานอลที่มากขึ้นจะให้ปริมาณการได้คืนที่สูงขึ้นตาม แต่ราคาต้นทุนก็จะสูงขึ้นตามด้วย ตามปริมาณเมทานอลที่ต้องใช้เพิ่มขึ้นซึ่งมีราคาแพง ดังนั้นเมทานอลที่ 5 vol.% จึงมีความเป็นไปได้ที่จะสามารถนำมาผลิตเป็นส่วนผสมดีเซลต้นทุนต่ำสำหรับใช้ในเครื่องยนต์การเกษตร

จากตารางที่ 4 แสดงให้เห็นว่า ปริมาณการได้คืนของ ME ยิ่งสูง ราคาต้นทุนยิ่งต่ำลง เพราะเมทานอลที่ใช้ในขั้นตอนนี้มีปริมาณเท่ากัน ดังนั้นต้นทุนในขั้นตอนนี้จึงขึ้นอยู่กับปริมาณการได้คืนของ ME เป็นปัจจัยหลัก

และการผลิตส่วนผสมดีเซลด้วยปฏิกิริยาแบบ 2 ขั้นตอน เมื่อนำราคาต้นทุนรวมมาคิดจะเห็นว่า ที่สัดส่วนของเมทานอล 10, 15 และ 20 vol.% ได้ราคาต้นทุนรวมเป็น 38.86, 31.63 และ 32.66 บาท แต่ที่สัดส่วนเมทานอล 5 vol.% ไม่สามารถนำมาคิดราคาต้นทุนได้ เนื่องจากในขั้นตอนทรานส์เอสเตอริฟิเคชันผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นเป็นสบู่ ดังนั้นที่สัดส่วนเมทานอล 15 vol.% จึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงทดแทนดีเซลต้นทุนต่ำสำหรับใช้ในเครื่องยนต์การเกษตร

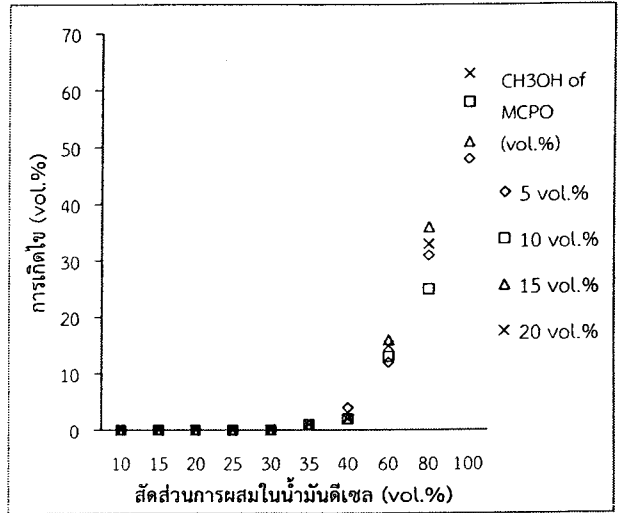
1. ME ผลิตจาก EMCPO (ส่วนไข) จึงไม่ต้องคิดต้นทุนของน้ำมันปาล์มดิบ
2. ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ทำปฏิกิริยาขึ้นอยู่กับค่ากรดไขมันอิสระที่ได้ออกมาของน้ำมันตั้งต้น
3. ต้นทุนในที่นี้ไม่รวมค่าแรงงานในการผลิต
4. ต้นทุนค่าน้ำประปา [6]
5. ต้นทุนค่าไฟฟ้า [7]

4.3 การเกิดไข

กระบวนการเอสเตอริฟิเคชันและทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน ถูกนำมาใช้ในการผลิตส่วนผสมดีเซลจาก MCPO หลักการคือ ทำให้โครงสร้างโมเลกุลของน้ำมันที่มีพันธะยาวให้มีโครงสร้างโมเลกุลสั้นลง เพื่อลดการเกิดไข ผลที่ได้จากการทดลอง เป็นดังนี้

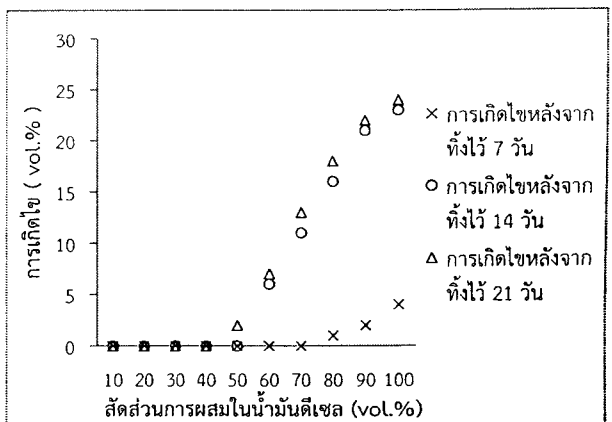
การผลิตส่วนผสมดีเซลด้วยปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชัน เมื่อพิจารณาพฤติกรรมการเกิดไขของ EMCPO ที่ผสมในน้ำมันดีเซล เป็นเวลา 14 วัน ซึ่งเป็นระยะเวลาที่การเกิดไขจะเริ่มคงตัว [3] จะเห็นได้ว่า สัดส่วนการผสมของ EMCPO ในน้ำมันดีเซลที่เหมาะสม กล่าวคือ ไม่ทำให้เกิดไข จะอยู่ที่ 30 vol.% ที่ทุกสัดส่วนของเมทานอลที่ใช้ทำปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชัน และปริมาณการเกิดไขมี

แนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อสัดส่วนการผสมของ EMCPO ในน้ำมันดีเซลเพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 อัตราส่วนการผสมเชื้อเพลิงทดแทนดีเซลกับน้ำมันดีเซลที่สัดส่วนต่างๆ เมื่อตั้งทิ้งไว้ 14 วัน

และการผลิตส่วนผสมดีเซลด้วยปฏิกิริยาแบบ 2 ขั้นตอน เมื่อพิจารณาพฤติกรรมการเกิดไขของ EMCPO (เกิดจากการทำปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชันและทรานส์เอสเตอริฟิเคชันที่เมทานอล 15 vol.% ของ MCPO) ส่วนที่เป็นของเหลวผสมกับ ME และน้ำมันดีเซลที่ปริมาตรต่างๆ จะเห็นได้ว่า สัดส่วนการผสมในน้ำมันดีเซลที่เหมาะสม คือ 50 vol.% พิจารณาจากการเกิดไขจะเริ่มคงตัวเมื่อเวลาผ่านไป 14 วัน ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 อัตราส่วนการผสมเชื้อเพลิงทดแทนดีเซลกับน้ำมันดีเซลที่สัดส่วนต่างๆ

5. สรุปผล

5.1 พัฒนาการกระบวนการผลิตส่วนผสมดีเซลต้นทุนต่ำจาก MCPO 2 วิธี คือ วิธีการผลิตส่วนผสมดีเซลด้วยปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชันและการผลิตส่วนผสมดีเซลด้วยปฏิกิริยาแบบ 2 ขั้นตอน (ปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชันและปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันของส่วนไข)

5.2 การผลิตส่วนผสมดีเซลด้วยปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชันที่ เมื่อเปรียบเทียบกับต้นทุนราคาที่สุดส่วนเมทานอล 5 vol.% ของ MCPO ใช้ต้นทุนในการผลิตต่ำสุดคือ 26.32 บาทต่อการผลิตส่วนผสมดีเซล 1 ลิตร ซึ่งสามารถผสมในน้ำมันดีเซลได้สูงสุดโดยไม่เป็นไขที่ 30 vol.% ส่วนการผลิตส่วนผสมดีเซลด้วยปฏิกิริยาแบบ 2 ขั้นตอน (ปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชันและปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันของส่วนไข) ที่สัดส่วนเมทานอล 15 vol.% ของ MCPO ใช้ต้นทุนในการผลิตต่ำสุดคือ 31.63 บาทต่อการผลิตส่วนผสมดีเซล 1 ลิตร (นำราคาต้นทุนรวมของทั้ง 2 กระบวนการมาคิดรวมกัน) และสามารถผสมในน้ำมันดีเซลได้สูงสุดโดยไม่เกิดไขที่ 50 vol.%

5.3 การผลิตส่วนผสมดีเซลด้วยปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชันที่สัดส่วนเมทานอล 5 vol.% ของ MCPO และการผลิตส่วนผสมดีเซลด้วยปฏิกิริยาแบบ 2 ขั้นตอน (ปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชันและปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันของส่วนไข) ที่สัดส่วนเมทานอล 15 vol.% ของ MCPO จึงมีแนวโน้มที่น่าสนใจในการผลิตส่วนผสมดีเซลต้นทุนต่ำที่สามารถใช้ในเครื่องยนต์การเกษตรได้ จึงจำเป็นต้องส่งไปวิเคราะห์คุณสมบัติเชื้อเพลิงและทดสอบในเครื่องยนต์การเกษตรต่อไป

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

7. เอกสารอ้างอิง

[1] การปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย. สืบค้นจาก : <http://www.pttplc.com/en/news-energy-fact-oil-price-bangkok.aspx> [9 มกราคม 2555]
[2] ปริญญา หม่อมพิบูลย์, วีระยุทธ หลีวีจิตร, กำพล ประทีปชัยกุล และ จีระศักดิ์ เพียรเจริญ (2553). ความหนืดของเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ ที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มดิบหีบรวม, การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 8, 21 – 22 เมษายน 2553, หน้า 791 – 796.

[3] ปริญญา หม่อมพิบูลย์, วีระยุทธ หลีวีจิตร, กำพล ประทีปชัยกุล และ นริฐ สีนอุดม. 2554. การเกิดไขของเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ ที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มดิบหีบรวม. การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ครั้งที่ 9. ภูเก็ต. ประเทศไทย. 2-3 พฤษภาคม 2554.

[4] มณีชนก สุวรรณวงศ์, ตัวเร่งปฏิกิริยาน้ำส้มควันไม้และเพอร์ริกซ์เลตบนผงถ่านกัมมันต์ สำหรับการผลิตไบโอดีเซล, 2552, วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตภาควิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

[5] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน. 2551. วารสารนโยบายพลังงาน. ฉบับที่ 81. กรกฎาคม-กันยายน. หน้า 36.

[6] อัตราค่าน้ำธรรกขนาดเล็ก. อัตราค่าน้ำประปาพื้นที่ กปภ. สาขาอื่น (ทั่วประเทศ). การประปาส่วนภูมิภาค. สืบค้นจาก : <http://www.pwa.co.th/service/tariff-rate.html> [9 มกราคม 2555]

[7] อัตราค่าไฟฟ้ากิจการขนาดเล็ก.การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค.สืบค้นจาก: <http://www.eppo.go.th/power/pw-Rate-PEA.html> [9 มกราคม 2555]

[8] Ali, Y., Hanna, M.A. 1994. Alternative Diesel Fuels from Vegetable Oils . Bioresources Technology, 50: 153-163.

[9] Jansri, S. 2007. Kinetics of Methyl Ester Production from Crude Palm Oil by Using Acid-Alkali Catalyst. A Thesis for the Degree of Master of Engineering in Mechanical Engineering. Prince of Songkla University.

[10] Kratzeisen, M. Muller, J. 2009. Influence of free fatty acid content of coconut oil on deposit and performance of plant oil pressure stoves. Fuel, doi:10.1016/j.fuel.2009.08.038.

[11] Murugesan, A., Umarani, C., Subramanian, R., Nedunchezian, N. 2008. Bio-diesel as an alternative fuel for diesel engines-A review. Renew Sustain Energy Rev;doi:10.1016/j.rser.2007.10.007.

[12] Prateepchaikul, G., Allen, M.L., Leevijit, T., Thaveesinsopha, K. 2007. Methyl ester production from high free fatty acid mixed



crude palm oil. Songklanakarin J Sci Technol, 29: 1551-1561.

[13] Srivastava, A., Prasad, R. 2000. Triglycerides-based diesel fuels. Renew Sustain Energy Rev, 4: 111-33.

[14] Shahid, E.M. and Jamal, Y. 2007. A review of biodiesel as vehicular fuel. Renewable and Sustainable Energy Review, doi:10.1016/j.rser.2007.06.001

[15] Ramadhas, A.S., Jayaraj, S., Muraleedharan, C. 2004. Use of vegetable oils as I.C. engine fuels-A review. Renewable Energy, 29: 727-742.