



รายงานการวิจัย

การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วและศึกษาผลกระทบต่อ
เครื่องยนต์

**Production of Biodiesel from Used Vegetable Oil and Effect on Engine
Performances**

ชื่อผู้วิจัย

ผศ.ประชาสันติ ไตรยสุทธิ
ผศ.ดร.กุลเชษฐ์ เพียรทอง
นาย ไพบุลย์ เสถียรรัมย์
นาย ทองคำ กิริยะ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2548

ISBN 974-523-053-7

รายงานการวิจัยเรื่อง	การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วและศึกษาผลกระทบต่อเครื่องยนต์	
หัวหน้าโครงการวิจัย	ผศ.ประชาสันติ	ไตรยสุทธิ
ผู้ร่วมโครงการวิจัย	ผศ.ดร.กุลเชษฐ์	เพ็ชรทอง
	นาย ไพบุลย์	เสถียรรัมย์
	นาย ทองคำ	กิริยะ
คณะวิศวกรรมศาสตร์	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี	
ปีงบประมาณ	2548	
งบประมาณที่ได้รับ	40,000.- บาท	
คำสำคัญ	ไบโอดีเซล, น้ำมันพืชใช้แล้ว, ทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน, สมรรถนะของเครื่องยนต์	

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วเพื่อให้ได้ปริมาณน้ำมันไบโอดีเซลมากที่สุดต่อหนึ่งรอบการผลิตจากเครื่องผลิตไบโอดีเซลต้นแบบที่สร้างขึ้นแบบกะขนาด 150 ลิตร การผลิตน้ำมันไบโอดีเซลในงานวิจัยนี้มีขั้นตอนดังนี้คือนำน้ำมันพืชใช้แล้วมาทำปฏิกิริยากับเมทานอล ด้วยกระบวนการทางเคมีที่เรียกว่า ทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และตัวแปรที่ศึกษาในการทำวิจัยครั้งนี้คือ อุณหภูมิในระหว่างทำปฏิกิริยากำหนดให้อยู่ในช่วงระหว่าง 50-65 องศาเซลเซียส และเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาซึ่งกำหนดให้อยู่ในช่วงระหว่าง 1-4 ชั่วโมง จากผลการทดลองพบว่าได้ปริมาณน้ำมันไบโอดีเซลมากที่สุดคือ 88 % เมื่อกำหนดให้อุณหภูมิในระหว่างทำปฏิกิริยาเป็น 60 องศาเซลเซียส และเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาเท่ากับ 2 ชั่วโมง นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อนำน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตได้นี้ผสมกับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วนต่างๆไปทดสอบใช้กับเครื่องยนต์เพื่อการเกษตรขนาดเล็ก 1 สูบพบว่าเครื่องยนต์เดินได้ปกติและไม่มีปัญหาเครื่องยนต์เดินสะดุด การทดสอบสมรรถนะในเบื้องต้นพบว่าน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตได้ (100%) ให้สมรรถนะของเครื่องยนต์ใกล้เคียงกับการใช้น้ำมันดีเซลมาตรฐานโดยที่ค่าแรงบิดและกำลังสูงสุดของเครื่องยนต์ต่ำลงประมาณ 5-10% ค่าสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะมีค่าสูงกว่าการใช้น้ำมันดีเซล ประมาณ 5-10%

Production of Biodiesel	from Used Vegetable Oil and Effect on Engine Performances
Head of Project	Asst. Prof. Prachasanti Thaiyasuit
Co-researchers	Asst.Prof.Dr. Kulachate Pianthong Mr. Piboon Sateinrum Mr. Thongkum Kiriya
Faculty of Engineering	Ubon Ratchathani University
In Finance Year	2005 for 40,000.- Baht
Keyword	Biodiesel, used vegetable oils, trans-esterification, engine performance

Abstract

This research aims to determine the optimum conditions to achieve the maximum yield in biodiesel production process. The raw material for producing biodiesel is either used vegetable oil. The prototype of biodiesel reactor at capacity of 150 liter/batch is designed and manufactured. The typical process called "Trans-esterification" reaction is adopted by using methanol as the reactor and sodium hydroxide as the catalyst, while the temperature of the raw material is heated to the temperature between 50-65 °C. In the experiment, the reacting time is varied between 1-4 hrs. The maximum yield of 88 % is obtained at the mixing temperature of 60 °C and for the reacting period of 2 hrs. Then the output biodiesel is tested for its fuel properties and applied to the single cylinder engine to verify its effects. When the biodiesel is mixed with standard diesel, engine performances are quite similar to those of using standard diesel fuel. However, when the pure biodiesel (100%) is applied, the engine usually gives the lower torque and power, around 5-10%, comparing to those of using standard diesel fuel. The specific fuel consumption of the engine with pure biodiesel is also tested and is about 5-10% higher than that of using standard diesel fuel.

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณผู้มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่านที่ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ รวมทั้งการจัดทำรูปเล่มรายงานการวิจัยสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ขอขอบคุณนักศึกษาผู้ช่วยงานวิจัย ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล นาย พิศาล สมบัติวงศ์ นายนิมิตรมงคล สุดเสน่ห์ และ นายอิทธิพล วรรณธ์ ที่ช่วยสร้างชุดทดลองและทำการทดลอง อย่างขะมักเขม้น ตลอดระยะเวลาในการทำวิจัยที่ผ่านมา และการวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากเงินรายได้ของมหาวิทยาลัยอุบลราชธานีเพื่อการวิจัย ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2548

คณะผู้วิจัย
ธันวาคม 2548

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ความหมายน้ำมันไบโอดีเซล	4
2.2 โอกาสของไบโอดีเซลในการเป็นพลังงานทางเลือก	5
2.3 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันพืช/น้ำมันสัตว์	6
2.4 ขบวนการทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน	8
2.5 วัตถุดิบสำหรับการผลิตไบโอดีเซล	13
2.6 การนำน้ำมันไบโอดีเซลมาใช้กับเครื่องยนต์	15
2.7 ประโยชน์ของการใช้น้ำมันไบโอดีเซล	16
2.8 คุณสมบัติทางกายภาพของน้ำมันเชื้อเพลิง	17
2.9 การคำนวณหาสมรรถนะของเครื่องยนต์	19
2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	20
บทที่ 3 การออกแบบเครื่องผลิตไบโอดีเซล	23
3.1 รายละเอียดของเครื่องผลิตไบโอดีเซลขนาด 150 ลิตร	23
3.2 การออกแบบใบกวนผสมสารเคมีและน้ำมันพืช	25
3.3 การออกแบบเพลตาม ASTM	27
3.4 การออกแบบขนาดสายพาน	30
3.5 สรุปผลการออกแบบ	36

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 การทดลอง	37
4.1 การเตรียมน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว	38
4.2 การหาจำนวนโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ต้องใช้ในการทำปฏิกิริยา - ทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน	38
4.3 การผลิตไบโอดีเซลขนาด 1 ลิตรโดยขบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน	41
4.4 การผลิตไบโอดีเซลขนาด 150 ลิตรจากเครื่องผลิตไบโอดีเซลต้นแบบ	44
4.5 การทดสอบคุณสมบัติการเป็นเชื้อเพลิงของน้ำมันไบโอดีเซล	47
4.6 เครื่องยนต์และอุปกรณ์ทดสอบสมรรถนะ	47
4.7 วิธีการทดสอบหาสมรรถนะของเครื่องยนต์	49
บทที่ 5 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล	51
5.1 ผลการทดลองผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วในระดับห้องปฏิบัติการ	51
5.2 ผลการทดลองผลิตไบโอดีเซลขนาด 150 ลิตรจากเครื่องต้นแบบ	52
5.3 ผลการทดสอบคุณสมบัติการเป็นเชื้อเพลิงของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตได้	53
5.4 ผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์	55
5.5 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์	57
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัย	61
6.1 สรุปผลการวิจัย	61
6.2 ข้อเสนอแนะ	62
บรรณานุกรม	63
ภาคผนวก	65
ภาคผนวก ก ตารางบันทึกผลการทดลองและผลการคำนวณสมรรถนะของเครื่องยนต์	66
ภาคผนวก ข แบบร่างของเครื่องผลิตไบโอดีเซล	72
ประวัตินักวิจัย	77

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 2.1	คุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลและน้ำมันดีเซล	9
ตารางที่ 2.2	ปริมาณการผลิตพืชน้ำมันของประเทศไทย	14
ตารางที่ 2.3	ปริมาณน้ำมันพืชที่ใช้แล้วและปริมาณน้ำมันพืชที่เหลือจากกระบวนการผลิต	15
ตารางที่ 3.1	Standard V-Belt Section	32
ตารางที่ 3.2	Inside Cirumferences of standard V Belts	32
ตารางที่ 3.3	Horsepower rating of standard V Belts	33
ตารางที่ 3.4	Belt-Length Correction Factor K_2	35
ตารางที่ 3.5	ลักษณะทั่วไปของเครื่องผลิตน้ำมันไบโอดีเซล	36
ตารางที่ 4.1	รายละเอียดทางเทคนิคของเครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดสอบ	48
ตารางที่ 5.1	แสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่เวลาในการทำปฏิกิริยา 1 ชั่วโมง	51
ตารางที่ 5.2	แสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่เวลาในการทำปฏิกิริยา 2 ชั่วโมง	51
ตารางที่ 5.3	ผลการทดลองเปรียบเทียบคุณสมบัติของไบโอดีเซลกับน้ำมันดีเซล	54
ตารางที่ ก.1	บันทึกผลการทดลองและผลการคำนวณจากการใช้น้ำมันดีเซล กับเครื่องยนต์	67
ตารางที่ ก.2	บันทึกผลการทดลองและผลการคำนวณจากการใช้น้ำมันไบโอดีเซล 100 % กับเครื่องยนต์	68
ตารางที่ ก.3	บันทึกผลการทดลองและผลการคำนวณจากการใช้น้ำมันไบโอดีเซล 25 % กับเครื่องยนต์	69
ตารางที่ ก.4	บันทึกผลการทดลองและผลการคำนวณจากการใช้น้ำมันไบโอดีเซล 50 % กับเครื่องยนต์	70
ตารางที่ ก.5	บันทึกผลการทดลองและผลการคำนวณจากการใช้น้ำมันไบโอดีเซล 75 % กับเครื่องยนต์	71

สารบัญรูป

		หน้า
รูปที่ 2.1	แสดงปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน	8
รูปที่ 2.2	ปฏิกิริยาระหว่างน้ำมันพืชหรือไขมันกับแอลกอฮอล์	10
รูปที่ 2.3	ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันขั้นตอนที่ 1 ระหว่างไตรกลีเซอไรด์ - กับแอลกอฮอล์	11
รูปที่ 2.4	ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันขั้นตอนที่ 2 ระหว่างไตรกลีเซอไรด์ - กับแอลกอฮอล์	11
รูปที่ 2.5	ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันขั้นตอนที่ 3 ระหว่างโมโนกลีเซอไรด์ - กับแอลกอฮอล์	12
รูปที่ 3.1	แผนผังการทำงานของเครื่องผลิตไบโอดีเซลแบบกะ	23
รูปที่ 3.2	แสดงแบบของเครื่องผลิตไบโอดีเซลแบบกะ	24
รูปที่ 3.3	แสดงรูปเครื่องผลิตไบโอดีเซลแบบกะที่สร้างขึ้นมา	25
รูปที่ 3.4	แสดงแรงกระทำที่ล้อสายพานใหญ่	28
รูปที่ 3.5	แสดงแรงกระทำที่เพลลา	28
รูปที่ 3.6	แสดงแผนภาพแรงเฉือนและโมเมนต์ที่กระทำต่อเพลลา	29
รูปที่ 3.7	คุณลักษณะของสายพานส่งกำลัง	30
รูปที่ 3.8	Corrected factor K_c for angle of contact. Multiply the rated horsepower - per belt by this factor to obtain the corrected horsepower	34
รูปที่ 4.1	แผนภาพแสดงขั้นตอนการผลิตและทดสอบไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว	37
รูปที่ 4.2	การหยदन้ำมันพืชลงในไอโซโพรพิล แอลกอฮอล์	39
รูปที่ 4.3	การเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์กับน้ำกลั่นลงในสารละลาย - oil/alcohol	40
รูปที่ 4.4	การตรวจสอบค่า pH โดยใช้กระดาษลิตมัส	40
รูปที่ 4.5	น้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านการกรองและกำจัดความชื้น	41
รูปที่ 4.6	การปั่นผสมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์กับเมทานอล	42
รูปที่ 4.7	แสดงการแยกชั้นของน้ำมันไบโอดีเซล(ชั้นบน) กับ กลีเซอริน(ชั้นล่าง)	43
รูปที่ 4.8	แสดงการแยกชั้นของน้ำมันไบโอดีเซล(ชั้นบน) กับ น้ำ (ชั้นล่าง) - ในขั้นตอนการล้างน้ำ (Washing)	43
รูปที่ 4.9	การผสมอย่างป่วนของน้ำมันพืชใช้แล้วและสารเคมี	44
รูปที่ 4.10	การแยกเอาน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตได้ออกจากกลีเซอริน	45

สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า	
รูปที่ 4.11	แสดงการสเปรย์น้ำในกระบวนการ Washing	46
รูปที่ 4.12	ตัวอย่างน้ำมันที่ผ่านการล้างน้ำแล้วโดยสีของน้ำมันไบโอดีเซลขึ้นอยู่กับ ความเก่า-ใหม่ของน้ำมันพืชใช้แล้วที่นำมาเป็นวัตถุดิบในการผลิต	46
รูปที่ 4.13	เครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดสอบ	47
รูปที่ 4.14	ชุดทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์แบบ EDDY CURRENT TEST BED	48
รูปที่ 4.15	ไดนาโมมิเตอร์ที่ต่อกับเครื่องยนต์ที่ใช้ทดสอบ	49
รูปที่ 5.1	แสดงปริมาณของไบโอดีเซลที่ได้ต่อเวลาในการทำปฏิกิริยา	52
รูปที่ 5.2	แสดงปริมาณของไบโอดีเซลที่ได้ต่ออุณหภูมิตั้งต้นของน้ำมัน ก่อนทำปฏิกิริยา	53
รูปที่ 5.3	แสดงแรงบิดของเครื่องยนต์เมื่อนำน้ำมันไบโอดีเซลที่อัตราส่วนผสมต่าง ๆ - เทียบกับน้ำมันดีเซล	55
รูปที่ 5.4	แสดงกำลังเบรกของเครื่องยนต์เมื่อนำน้ำมันไบโอดีเซลที่อัตราส่วนผสม - ต่าง ๆ เทียบกับน้ำมันดีเซล	56
รูปที่ 5.5	แสดงอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะของเครื่องยนต์เมื่อนำใช้ - น้ำมันไบโอดีเซลที่อัตราส่วนผสมต่าง ๆ เทียบกับน้ำมันดีเซล	57

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันภาวะความต้องการใช้พลังงานของประเทศไทยเพิ่มขึ้นทุกปีอย่างต่อเนื่องตามอัตราการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากรและการเจริญเติบโตของเศรษฐกิจภายในประเทศโดยเฉพาะพลังงานที่เป็นเชื้อเพลิงปิโตรเลียมมีความต้องการใช้ในปริมาณที่มาก เฉพาะน้ำมันดีเซลใช้มากถึง 43 ล้านลิตรต่อวันซึ่งมีสัดส่วนการใช้สูงกว่าเชื้อเพลิงชนิดอื่น (การปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย, 2546) จึงเป็นภาระที่รัฐบาลจะต้องทำการจัดหาและสำรองพลังงานให้มีปริมาณเพียงพอกับความต้องการของประเทศ จากปรากฏการณ์ราคาน้ำมันของตลาดโลกมีค่าเพิ่มสูงขึ้น อาจจะเป็นด้วยสาเหตุของปริมาณน้ำมันดิบของโลกเริ่มน้อยลง ซึ่งคาดกันว่าปริมาณน้ำมันดิบยังคงมีใช้ได้อีกเพียง 46 ปี หรือปัญหาความไม่สงบในกลุ่มประเทศผู้ผลิตน้ำมันเอง ในแต่ละปีประเทศไทยต้องจ่ายเงินเป็นจำนวนมากในการจัดซื้อพลังงาน ซึ่งส่วนมากต้องนำเข้าจากต่างประเทศ ทำให้ประเทศชาติตกอยู่ในสภาวะเสียดุลทางการค้า เพื่อลดการพึ่งพาพลังงานจากต่างประเทศและให้เกิดความมั่นใจว่าจะมีพลังงานใช้อย่างเพียงพอในอนาคต ทำให้ภาครัฐหันมาส่งเสริมเกี่ยวกับการแสวงหาแหล่งเชื้อเพลิงและพลังงานที่ผลิตได้เองภายในประเทศเพื่อเป็นการทดแทนการนำเข้าพลังงานได้ในส่วนหนึ่งและพบว่าพลังงานทดแทนที่ได้รับความนิยมและกล่าวขานกันมากในขณะนี้คือ การผลิตไบโอดีเซลเพื่อใช้แทนน้ำมันดีเซลสำหรับเครื่องยนต์ดีเซล แต่การนำน้ำมันไบโอดีเซลมาใช้งานจริงยังมีข้อจำกัดอยู่หลายประการไม่ว่าจะเป็นเรื่อง สมรรถนะและผลกระทบต่อเครื่องยนต์ โดยเมื่อปี พ.ศ. 2542 ได้มีกลุ่มเกษตรกร อ.ทับสะแก จ.ประจวบคีรีขันธ์ ได้คิดค้นน้ำมันไบโอดีเซลสูตรทับสะแกขึ้นโดยการนำเอาน้ำมันมะพร้าวมาผสมกับน้ำมันก๊าด แต่ยังมีปัญหาเรื่องคุณภาพของน้ำมันที่ผลิตได้และเมื่อนำมาใช้กับเครื่องยนต์ก็เกิดการอุดตันของไส้กรองและปัญหาเครื่องยนต์ติดยากอันเนื่องมาจากค่าความหนืดของน้ำมันที่ยังสูงกว่าน้ำมันดีเซลอยู่มาก แต่ในประเทศแถบยุโรปและอเมริกา “ไบโอดีเซล” ในความหมายสากลจะหมายถึง ไบโอดีเซลแบบเอสเทอร์ สำหรับไบโอดีเซลประเภทนี้ต้องผ่าน กระบวนการแปรรูปด้วยกระบวนการทางเคมีที่เรียกว่า ทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน (Trans-esterification) นั่นคือ การนำเอาน้ำมันพืชหรือสัตว์ที่มีกรดไขมันไปทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์โดยใช้กรดหรือด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทำให้ได้เอสเทอร์ โดยจะเรียกชนิดของไบโอดีเซลตามชนิดของแอลกอฮอล์ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาซึ่ง ไบโอดีเซลที่ผลิตได้โดยวิธีนี้จะทำให้ค่าความหนืดและคุณสมบัติอื่น ๆ ของน้ำมันไบโอดีเซลมีค่าใกล้เคียงน้ำมันดีเซลมากขึ้น แต่ต้นทุนต่อลิตรของไบโอดีเซลที่ผลิตได้โดยวิธีนี้จะมีราคาสูงและต้องใช้เทคโนโลยีในการผลิตที่มีราคาแพง การแก้ปัญหาเรื่องราคาของไบโอดีเซลสามารถทำได้โดยการลดต้นทุนของวัตถุดิบที่จะนำมาผลิตเป็นไบโอดีเซล โดยทางคณะผู้วิจัยเองได้พยายามหาวัตถุดิบที่เป็น

น้ำมันพืชที่มีราคาต่ำมาผ่านกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันในการผลิตเป็นไบโอดีเซล ซึ่งในปัจจุบันพบว่าสถานประกอบการอุตสาหกรรมอาหารและตามครัวเรือนมีน้ำมันพืชที่เหลือจากการกระบวนการผลิตและการใช้งานประมาณ 16,490,676 ลิตรต่อปี (พุทธชาติ และคณะ, 2546) บางส่วนมีการนำไปประกอบอาหารซ้ำซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพของผู้บริโภคได้ จากเหตุผลดังกล่าวจึงเป็นเหตุให้ทางคณะผู้วิจัยสนใจในการศึกษาวิจัยวิธีการสังเคราะห์น้ำมันพืชที่ใช้แล้วเหล่านี้ให้เป็นไบโอดีเซล โดยมีขอบเขตในการศึกษาตั้งแต่การหาวิธีการนำน้ำมันพืชใช้แล้วมาทำให้เป็นน้ำมันไบโอดีเซล รวมถึงการออกแบบสร้างเครื่องผลิตไบโอดีเซล ซึ่งมีความจำเป็นสำหรับประเทศไทยเราโดยเฉพาะการมีเครื่องผลิตไบโอดีเซลที่สามารถผลิตขึ้นใช้เองได้ซึ่งจะเป็นการช่วยลดการสูญเสียเงินตราจากการนำเข้าเทคโนโลยีจากต่างประเทศ และเมื่อการศึกษานี้สำเร็จก็จะเป็นประโยชน์อย่างมากในการใช้น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วเป็นพลังงานทางเลือกต่อไปในอนาคต

ในงานวิจัยนี้จึงได้ออกแบบสร้างเครื่องผลิตไบโอดีเซลต้นแบบแบบกะขนาด 150 ลิตรต่อรอบการผลิตโดยมีจุดมุ่งหมายให้สามารถผลิตขึ้นใช้ได้ตามชุมชนและทำการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว พร้อมทั้งทำการทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้น และทำการทดสอบกับเครื่องยนต์เพื่อศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษา และทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว
2. เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องผลิตน้ำมันไบโอดีเซลขนาดประมาณ 150 ลิตรต่อรอบการผลิต
3. เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตได้เทียบกับน้ำมันดีเซลมาตรฐาน
4. เพื่อทดสอบหาผลกระทบต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้น้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตได้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์
5. เพื่อเป็นข้อมูลและแนวทางในการนำน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันพืชใช้แล้วมาใช้เป็นพลังงานทดแทนในอนาคต

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. ทดลองผลิตน้ำมันไบโอดีเซล จากน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว
2. ออกแบบและสร้างเครื่องผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วแบบกะขนาด 150 ลิตรต่อรอบการผลิต
3. ผลิตน้ำมันไบโอดีเซล จากน้ำมันพืชที่ใช้แล้วจากเครื่องที่สร้างขึ้น
4. ในการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ใช้เครื่องยนต์ทางการเกษตรขนาดเล็ก 1 สูบ
5. สมรรถนะของเครื่องยนต์ที่จะทำการทดสอบหาได้แก่ แรงบิด, กำลังของเครื่องยนต์ และอัตรา การสิ้นเปลืองน้ำมันจำเพาะ

6. ทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของการเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงของน้ำมันไบโอดีเซล ประกอบด้วย การทดสอบค่า ความหนืด, จุดไหลเท, จุดติดไฟ, จุดวาบไฟ, ค่าดัชนีซีเทน, ค่าความต่างจำเพาะ และค่าความร้อนของน้ำมันเชื้อเพลิง โดยเปรียบเทียบกับค่าคุณสมบัติของน้ำมันดีเซลมาตรฐาน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

1. ได้เครื่องต้นแบบในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซล และกระบวนการผลิตที่มีประสิทธิภาพ เพื่อพัฒนาให้สมบูรณ์แบบต่อไป
2. ทำให้เกิดการใช้ทรัพยากรที่คุ้มค่าโดยการนำน้ำมันพืชที่ใช้แล้วกลับมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซลลดปัญหาการนำน้ำมันพืชที่ใช้แล้วไปใช้ซ้ำ
3. ทราบถึงผลกระทบจากการใช้น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ทางการเกษตรขนาดเล็กในด้านสมรรถนะของเครื่องยนต์
4. เป็นการพัฒนาพลังงานทดแทนชนิดหนึ่งเพื่อช่วยลดการนำเข้าน้ำมันจากต่างประเทศ

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความหมายของน้ำมันไบโอดีเซล

ในประเทศไทยโดยทั่วไปไบโอดีเซล หมายถึง น้ำมันที่สามารถใช้ทดแทนน้ำมันดีเซลได้ โดยการนำน้ำมันจากพืชหรือไขมันสัตว์หรือแม้แต่ไขมันที่ใช้แล้วมาปรับปรุงคุณภาพแล้วใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซล ซึ่งอาจแบ่งไบโอดีเซลตามประเภทของน้ำมัน ที่นำมาใช้ได้ออกเป็น 3 ประเภทดังนี้

1. น้ำมันพืชหรือน้ำมันสัตว์

ไบโอดีเซลประเภทนี้ก็คือน้ำมันพืชต่างๆ (เช่น น้ำมันมะพร้าว, น้ำมันปาล์ม, น้ำมันถั่วลิสง, น้ำมันถั่วเหลือง) หรือน้ำมันจากไขมันสัตว์ (เช่น ไขมันหมู) ซึ่งสามารถเอามาใช้ได้เลยกับเครื่องยนต์ดีเซลโดยไม่ต้องผสม หรือเติมสารเคมีอื่นใด หรือไม่ต้องนำมาเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของน้ำมันอีกเลย

2. ไบโอดีเซลลูกผสม

ไบโอดีเซลชนิดนี้เป็นลูกผสมระหว่างน้ำมันพืช (หรือสัตว์) กับ น้ำมันก๊าดหรือ น้ำมันดีเซล เพื่อให้ไบโอดีเซลที่ได้มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลให้มากที่สุด อย่างเช่น โคโคดีเซล (coco-diesel) ที่ อ.ทับสะแก ประจวบคีรีขันธ์ ซึ่งเป็นการผสมกันระหว่างน้ำมันมะพร้าวกับน้ำมันก๊าด หรือปาล์มดีเซล (palm-diesel) เป็นการผสมระหว่างน้ำมันปาล์มกับน้ำมันดีเซล

3. ไบโอดีเซลแบบเอสเทอร์

เป็นความหมายของไบโอดีเซลที่แท้จริงที่ใช้ในต่างประเทศโดยทั่วไป ดังนั้นคำว่า “ไบโอดีเซล” ในความหมายของสากลจะหมายถึง ไบโอดีเซลแบบเอสเทอร์ สำหรับไบโอดีเซลประเภทนี้ต้องผ่านกระบวนการแปรรูปด้วยกระบวนการทางเคมีที่เรียกว่า ทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (Trans-esterification) นั่นคือ การนำเอาน้ำมันพืชหรือสัตว์ที่มีกรดไขมันไปทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์โดยใช้กรดหรือด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทำให้ได้เอสเทอร์ โดยจะเรียกชนิดของไบโอดีเซลตามชนิดของแอลกอฮอล์ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา

ถ้าเป็นงานวิจัยในประเทศยุโรป หรืออเมริกานั้น คำว่าไบโอดีเซล จะเป็นน้ำมันที่สังเคราะห์ขึ้นจากปฏิกิริยาเคมีระหว่าง น้ำมันพืชนั้นกับเมทานอลหรือเอทานอล โดยมีตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อเกิดเป็นเมทิลเอสเทอร์หรือเอทิลเอสเทอร์แล้วแต่ชนิดของแอลกอฮอล์ ซึ่งกระบวนการดังกล่าวจะต้องมีกระบวนการ

และขั้นตอนที่เฉพาะทำให้ราคาต้นทุนของน้ำมันประเภทนี้จะสูงกว่าน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้กันในปัจจุบัน แต่อย่างไรก็ดีนักวิจัยในยุโรป และอเมริกา ได้พยายามทำวิจัยในแง่มุมต่างๆ เพื่อที่จะลดต้นทุนการผลิตให้ถูกลง เพราะเล็งเห็นถึงคุณค่าของน้ำมันเชื้อเพลิงไบโอดีเซล ในการลดมลพิษที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

2.2 โอกาสของไบโอดีเซลในการเป็นพลังงานทางเลือก

แนวคิดเรื่องการนำน้ำมันพืชมาเป็นเชื้อเพลิงเริ่มต้นจาก Rudolph Diesel ได้ใช้น้ำมันถั่วลิสงเป็นเชื้อเพลิงให้กับเครื่องยนต์สันดาปภายในและแสดงในงานเอ็กซ์โปที่กรุงปารีสในปี ค.ศ. 1900 แต่ไม่เป็นที่สนใจมากเนื่องจากราคาน้ำมันดีเซลในขณะนั้นยังมีราคาถูก การนำน้ำมันพืชมาใช้เป็นเชื้อเพลิงจึงมักใช้ในสถานการณ์คับขันเท่านั้น เช่น ในปี ค.ศ. 1980 ประเทศแถบอเมริกาใต้ถูกกดดันทางการเมืองและถูกปิดล้อมการขนส่งน้ำมัน ก็ได้ใช้น้ำมันเมล็ดทานตะวันผสมน้ำมันเบนซินเป็นเชื้อเพลิง จนกระทั่งเหตุการณ์ขาดแคลนน้ำมันเชื้อเพลิงในช่วงทศวรรษที่ 70 และสงครามอ่าวเปอร์เซียในปี ค.ศ. 1991 อีกทั้งปัญหาต่างๆ เช่นราคาน้ำมันที่สูงขึ้น, การประกาศเตือนปริมาณน้ำมันที่จะหมดในอนาคตอันใกล้, ปริมาณผลผลิตเกษตรที่เกินความต้องการและกระตุ้นตัวในปัญหาสิ่งแวดล้อมซึ่งเป็นตัวเร่งอย่างดีให้แก่แต่ละประเทศค้นหาพลังงานจากแหล่งอื่น ๆ เพื่อมาทดแทน ความตื่นตัวในการหาพลังงานน้ำมันดีเซลได้ขยายกว้างขวางขึ้น โดยมีสาเหตุมาจากปัญหาที่สำคัญ 2 ประการคือ

1. ปัญหาราคาน้ำมันเชื้อเพลิง

วิกฤตการณ์ขาดแคลนน้ำมันเชื้อเพลิงในช่วงทศวรรษที่ 70 และสงครามอ่าวเปอร์เซียในปี ค.ศ. 1991 อีกทั้งประกาศเตือนจาก International Energy Agency ที่ออกมาระบุว่า น้ำมันปิโตรเลียมจะค่อย ๆ หมดไปจากส่วนต่างๆ บนโลกในอนาคตอันใกล้ สวนทางกับอุปสงค์จากประเทศกำลังพัฒนาโดยเฉพาะอย่างยิ่งจากประเทศที่มีจำนวนอุปสงค์มหาศาลอย่างประเทศจีน ยิ่งจะเป็นปัจจัยเร่งทำให้พลังงานสำรองของโลกลดลงอย่างรวดเร็ว ทำให้ทั่วโลกโดยเฉพาะอย่างยิ่งประเทศที่มีความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีและนำเข้าพลังงานเกือบทั้งหมด เช่น สหภาพยุโรป, ญี่ปุ่น, สหรัฐอเมริกา ต้องหันกลับมาพิจารณาหาพลังงานทางเลือกของตนเอง ไม่ว่าจะเป็นไบโอดีเซล, ไบโอบีโอดีเซล, พลังงานแสงแดด, พลังงานลม เป็นต้น

2. ปัญหาสิ่งแวดล้อม

ในช่วงหลายทศวรรษที่ผ่านมา ความก้าวหน้าทางเทคโนโลยี ทางเศรษฐกิจ ทางการขนส่ง ได้ก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมต่างๆ เช่น โลกร้อน, มลภาวะทางอากาศ โดยเฉพาะความร้อนที่ได้จากการเผาผลาญน้ำมันเชื้อเพลิงของยานยนต์คิดเป็น 75% ของมลภาวะโลกทั้งหมดและมีแนวโน้มที่จะทวีความรุนแรงมากขึ้น เหล่านี้ล้วนเป็นภัยคุกคามต่อสุขภาพและคุณภาพชีวิตของมนุษย์ทั้งสิ้น ในจำพวกพลังงานเชื้อเพลิงทดแทน ไบโอดีเซลมีความสำคัญในอนาคตอันใกล้เนื่องจากเป็นพลังงานหมุนเวียน ซึ่งมีอยู่ไม่จำกัดตราบดีที่โลกยังมีพืชและแสงแดด เป็นพลังงานสีเขียว ไม่เป็นพิษกับสิ่งแวดล้อม เมื่อเผาผลาญจะให้ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ น้อยกว่าน้ำมันดีเซลปกติ และไม่ปล่อยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ช่วยลด

ผลกระทบจากปรากฏการณ์เรือนกระจก นอกจากปัญหาเรื่องการขาดแคลนปิโตรเลียมและแรงกดดันจากสังคมเรื่องการแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อม ไบโอดีเซลยังเป็นแนวทางในการพัฒนาความยั่งยืนของระบบพลังงานและการเกษตร

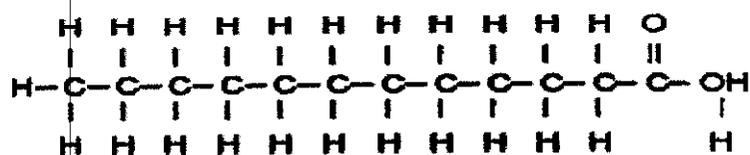
2.3 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันพืชและน้ำมันสัตว์

โดยทั่วไปแล้วน้ำมันพืชและน้ำมันสัตว์ทุกชนิดเป็นสารประกอบตระกูลไตรกลีเซอไรด์ (triglyceride) มีโครงสร้างเป็น C_3H_5 เชื่อมต่อกับกรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนตั้งแต่ 10 ถึง 30 ตัว น้ำมันพืชและน้ำมันสัตว์มีกรดไขมันชนิดต่าง ๆ กันเป็นองค์ประกอบ โดยที่มีปริมาณของกรดไขมันอยู่ในโครงสร้างถึงร้อยละ 94-96 ของน้ำหนักโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ ทำให้คุณสมบัติของน้ำมันแต่ละชนิดทั้งทางเคมีและกายภาพ แตกต่างกันไปตามคุณสมบัติของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบอยู่ น้ำมันพืชส่วนใหญ่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบในกรดไขมันระหว่าง 12-18 ตัว มีปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวแตกต่างกัน น้ำมันพืชที่มีกรดไขมันอิ่มตัวในปริมาณสูงจะมีค่าไอโอดีนต่ำ และเมื่อมีปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวลดลงหรือมีกรดไขมันอิ่มตัวสูงขึ้นค่าไอโอดีนจะสูงขึ้นตามลำดับ น้ำมันพืชเป็นสารที่ไม่อยู่ตัว เมื่อสัมผัสอากาศจะถูกออกซิไดซ์ได้ง่าย และเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรส์ได้ที่อุณหภูมิสูง เมื่อเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรส์แล้ว น้ำมันจะมีสภาพเป็นสารเหนียวขึ้น โดยทั่วไป ค่าไอโอดีนของน้ำมันพืชจะเป็นดัชนีชี้บอกถึงปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีอยู่ในน้ำมันนั้น ๆ ซึ่งบอกถึงความยากง่ายของการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรส์ด้วย เมื่อน้ำมันมีค่าไอโอดีนสูง จะเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรส์ได้ง่าย ฉะนั้นการเลือกใช้น้ำมันพืชที่มีค่าไอโอดีนต่ำเป็นเชื้อเพลิงจะเป็นการป้องกันการเกิดสารเหนียวที่เกิดจากปฏิกิริยาพอลิเมอไรส์ในเครื่องยนต์ได้ในเบื้องต้น

โมเลกุลส่วนใหญ่ของน้ำมันพืชมีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัว (Unsaturated fatty acid) มากกว่ากรดไขมันอิ่มตัว (Saturated fatty acid) ดังนั้นจึงปรากฏเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง สำหรับโมเลกุลของไขมันสัตว์มีปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวมากกว่าปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัว จึงปรากฏเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้อง และทำให้ไขมันสัตว์มีลักษณะเฉพาะคือมีจุดหลอมเหลวสูงและมีค่าความหนืดสูง

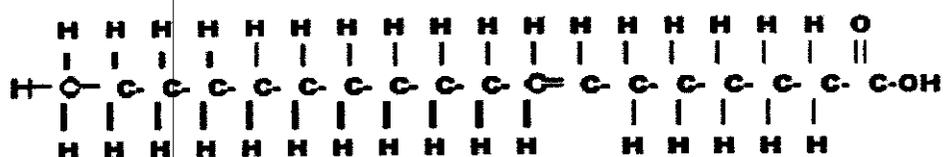
2.3.1 กรดไขมัน (สุรชัย จิรชาติ, 2539)

1. กรดไขมันอิ่มตัว ตัวหมายถึง กรดไขมันที่มีคาร์บอนอะตอมทุกตัวจับตัวกันด้วยพันธะเดี่ยวมีสูตรทั่วไปเป็น $C_nH_{2n}O_n$ ดังตัวอย่าง



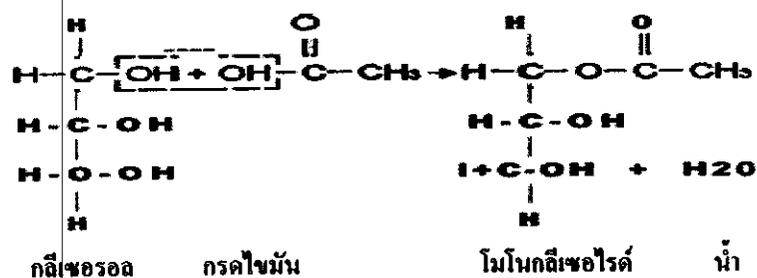
กรดลอริก

2.3.2 กรดไขมันไม่อิ่มตัว หมายถึงกรดไขมันที่มีคาร์บอนอะตอมบางตัวจับกันด้วยพันธะคู่ ดังตัวอย่าง

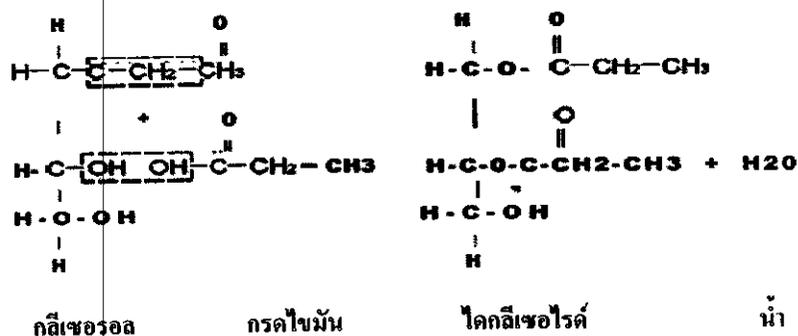


กรดโอเลอิก

2.3.3 โมโนกลีเซอไรด์ หมายถึงกลีเซอรอลที่มีกรดจับอยู่ 1 ตัว ดังตัวอย่าง



2.3.4 ไดกลีเซอไรด์ หมายถึงกลีเซอรอลที่มีกรดจับอยู่ 2 ตัว ดังตัวอย่าง



โดยการเติมแอลกอฮอล์ เช่น เอทานอล หรือเมทานอลและตัวเร่งปฏิกิริยาเช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ ภายใต้สภาวะที่มีอุณหภูมิสูง เพื่อเปลี่ยนโครงสร้างของน้ำมันจาก Tri-glycerides เป็น Organic Acid Esters เรียกว่า ไบโอดีเซลและไดกลีเซอรอลเป็นผลพลอย ซึ่งใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับอุตสาหกรรมยา เครื่องสำอาง เป็นต้น วัตถุประสงค์ของกระบวนการดังกล่าวคือ ช่วยปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำมันในเรื่องความหนืด ให้เหมาะสมกับการใช้งานกับเครื่องยนต์ดีเซลและเพิ่มค่า Cetane number ของน้ำมัน ซึ่งคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผ่านกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันจะมีค่าใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลมาตรฐานดังแสดงในตารางที่ 2.1

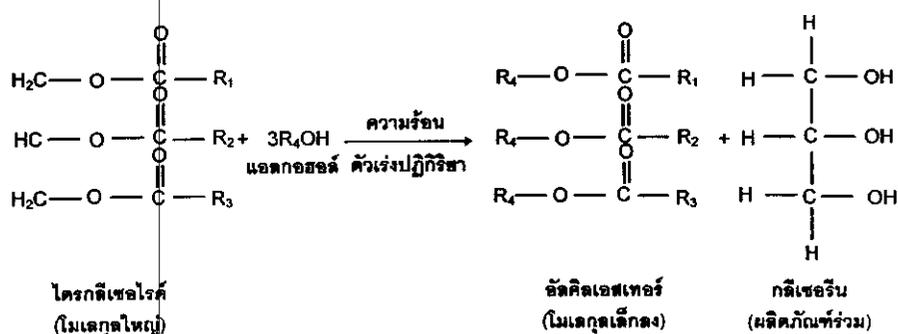
ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลและน้ำมันดีเซล (Ma and Hunna,1999)

Descriptions	High Speed diesel	Low Speed Diesel	Diesel	100% Methyl Ester	10% Methyl Ester
Specific gravity @15.6 °C ASTM D 1298	0.81-0.87	0.920 Max	0.8283	0.8642	0.8306
Kinematic viscosity at 40° C ASTM D445	1.8-4.1	8.0 Max	3.36	6.32	3.66
Pour point °C ASTM D97	10 Max	16 Max	-8	15	2
Sulphur Content, %wt ASTM D129	0.05 Max	1.5 Max	0.04	0.001	-
Flash point °C ASTM D 93	52 Min	66 Min	65.73	152	69.2
Fire point °C	-	-	74	188	84
Heating value (KJ/Kg)	-	-	47,330	40,390	47,317

2.4.1 ปฏิกริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

เนื่องจากน้ำมันพืชทั่วไปเป็นสารประกอบประเภทไตรกลีเซอไรด์ ซึ่งตามธรรมชาติจะมีความหนืดสูงโดยมีผลมาจากการที่มีมวลโมเลกุลใหญ่ สามารถนำมาทำให้มีมวลโมเลกุลเล็กลงเพื่อให้ความหนืดลดลงได้ โดยใช้กระบวนการที่เรียกว่า ทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ซึ่งจะได้น้ำมันที่มีความหนืดลดลง

ปฏิกริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันคือ ปฏิกริยาแตกพันธะของเอสเทอร์ด้วยแอลกอฮอล์โดยมีกรด (Acid) หรือเบส (Alkali) เป็นตัวเร่งปฏิกริยา (Catalyst) ผลึกภัณฑ์ที่ได้คือ เอสเทอร์และกลีเซอริน ในทางทฤษฎีการเกิดปฏิกริยาโดยสมบูรณ์จะต้องใช้อัตราส่วนโดยมวลของแอลกอฮอล์กับน้ำมันเป็น 3:1 สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 ปฏิกริยาระหว่างน้ำมันพืชหรือไขมันกับแอลกอฮอล์

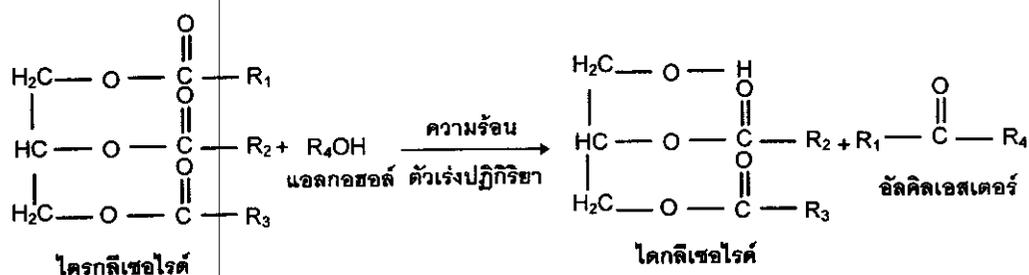
แอลกอฮอล์ที่ใช้ได้แก่ เมทานอลหรือเอทานอลโดยที่เมทานอลมักจะนิยมใช้มากกว่าเนื่องจากเป็นแอลกอฮอล์ที่มีโมเลกุลเล็ก ทำให้สามารถเข้าทำปฏิกริยากับไขมันหรือน้ำมันพืชได้ง่ายกว่า นอกจากนี้ถ้าใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกริยา ก็จะสามารถละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในเมทานอลในระหว่างเตรียมสารได้ง่ายด้วย

ตัวเร่งปฏิกริยาที่เป็นเบสได้แก่ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) โพตัสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) โซเดียมเมธีออกไซด์ (NaOCH₃) โซเดียมเอธีออกไซด์ (NaOC₂H₅) หรือโพตัสเซียมเมธีออกไซด์ (KOCH₃) เป็นต้น ตัวเร่งปฏิกริยาที่เป็นเบสได้รับความนิยมมากกว่าเนื่องจากเบสให้อัตราการเกิดปฏิกริยาสูง ปฏิกริยาเกิดได้สมบูรณ์ และให้ผลที่อุณหภูมิต่ำกว่าตัวเร่งปฏิกริยาที่เป็นกรด อย่างไรก็ตามการใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกริยาจะต้องให้แอลกอฮอล์และน้ำมันหรือไขมันที่นำมาใช้นั้นไม่มีน้ำหรือความชื้นปนเพราะจะทำให้เกิดปฏิกริยาซาปอนิฟิเคชัน (Saponification) ซึ่งจะทำให้เกิดสบู่และทำให้ปริมาณของอัลคิลเอสเทอร์น้อยลง รวมทั้งทำให้การแยกกลีเซอรินออกจากเอสเทอร์ทำได้ยาก แต่ถ้าแอลกอฮอล์และน้ำมันหรือไขมัน

มีน้ำปนอยู่มากก็อาจจะใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาแทนต่าง กรดส่วนใหญ่ที่ใช้คือกรดซัลฟูริก (H_2SO_4) และกรดไฮโดรคลอริก (HCl)

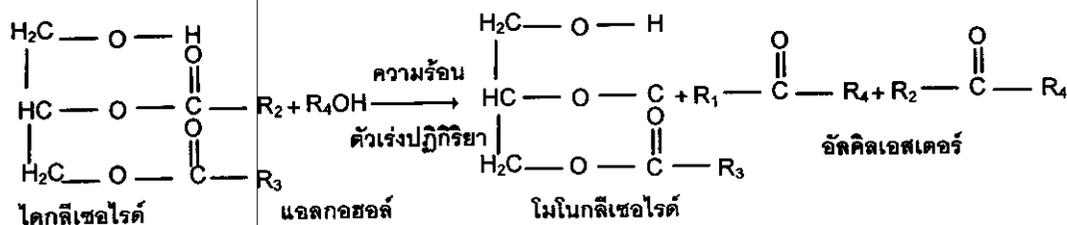
หลังจากปฏิกิริยาลิ้นสุดลงผลิตภัณฑ์ที่ได้จะถูกแยกเป็นสองชั้น โดยชั้นบนเป็นอัลคิลเอสเทอร์ ส่วนชั้นล่างเป็นกลีเซอริน ซึ่งจะถูกแยกออกจากสารละลายชั้นบนโดยวิธีปล่อยออกมาจากภาชนะ ชนิดของอัลคิลเอสเทอร์จะขึ้นอยู่กับชนิดของกรดไขมันที่เป็นสารตั้งต้นของปฏิกิริยา จากปฏิกิริยาในภาพที่ 2.3 สามารถเขียนปฏิกิริยาของกระบวนการ ทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเป็นปฏิกิริยาย่อยๆ ได้ 3 ขั้นตอน ดังนี้

1. ปฏิกิริยาขั้นที่ 1 ไตรกลีเซอไรด์ทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์โดยมีตัวเร่งปฏิกิริยา กับความร้อน ผลิตภัณฑ์ที่ได้คือ ไตรกลีเซอไรด์ และอัลคิลเอสเทอร์ 1 โมล ดังแสดงในภาพที่ 2.3



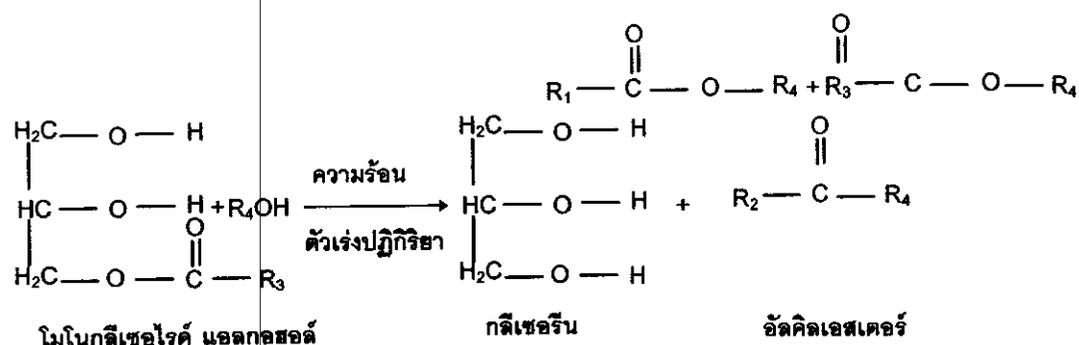
ภาพที่ 2.3 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันขั้นตอนที่ 1 ระหว่างไตรกลีเซอไรด์กับแอลกอฮอล์

2. ปฏิกิริยาขั้นที่ 2 ไตรกลีเซอไรด์จากปฏิกิริยาขั้นที่ 1 ทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์โดยมีตัวเร่งปฏิกิริยากับความร้อน ผลิตภัณฑ์ที่ได้คือ โมโนกลีเซอไรด์ และอัลคิลเอสเทอร์ 2 โมล ดังแสดงในภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.4 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันขั้นตอนที่ 2 ระหว่างไตรกลีเซอไรด์กับแอลกอฮอล์

3.ปฏิกิริยาขั้นที่ 3 โมโนกลีเซอไรด์จากปฏิกิริยาขั้นที่ 2 ทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์โดยมีตัวเร่งปฏิกิริยากับความร้อน ผลิตภัณฑ์ที่ได้คือ กลีเซอริน และ อัลคิลเอสเทอร์ 3 โมล ดังแสดงในภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.5 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันขั้นตอนที่ 3 ระหว่างโมโนกลีเซอไรด์กับแอลกอฮอล์

และเนื่องจากปฏิกิริยาตามภาพที่ 2.3 2.4 และ 2.5 เป็นปฏิกิริยาที่ย้อนกลับได้ ดังนั้นเมื่อต้องการปริมาณอัลคิลเอสเทอร์ที่มากจะต้องใช้แอลกอฮอล์ที่มากเพียงพอกับความต้องการเพื่อป้องกันการย้อนกลับของปฏิกิริยาลดลง

2.4.2 ปัจจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน

1. น้ำหรือความชื้น

การที่มีความชื้นในไขมันจะทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของไขมันหรือน้ำมันโดยที่น้ำและด่างจะเป็นสาเหตุให้เกิดสบู่ และสบู่ที่เกิดขึ้นจะปนกับเอสเทอร์และกลีเซอรินที่ได้ ทำให้สารละลายผสมทั้งสองชนิดมีความหนืดสูงซึ่งส่งผลให้การแยกกลีเซอรินออกจากเอสเทอร์ทำได้ยากขึ้น วิธีป้องกันคือ แอลกอฮอล์ ไขมัน หรือน้ำมัน ควรมีน้ำหรือความชื้นปนอยู่น้อยที่สุดหรือไม่มีเลยเพื่อทำให้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันเกิดได้สมบูรณ์

2. ตัวเร่งปฏิกิริยา

ตัวเร่งปฏิกิริยามีทั้งกรดและเบส แต่ตัวเร่งปฏิกิริยาที่นิยมใช้คือ ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นเบส เนื่องจากเบสมีอัตราการเกิดปฏิกิริยาสูง และให้ผลดีที่อุณหภูมิต่ำกว่าใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ในกรณีที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นเบส ควรใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่สอดคล้องกับแอลกอฮอล์ เช่นถ้าใช้เอทานอลตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ควรเป็นโซเดียมเอธิลออกไซด์หรือโซเดียมเมธิลออกไซด์ ซึ่งจะมีประสิทธิภาพมากกว่าโซเดียมไฮดรอกไซด์ สำหรับตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นกรดพบว่ามีความเสี่ยงหลายประการ ได้แก่ภาวะที่ใช้อย่างมีความ

ทนทานต่อการกัดกร่อนของกรด อัตราส่วนของแอลกอฮอล์ต่อน้ำมันที่ใช้ต้องสูง อุณหภูมิสูงและใช้เวลานานในการทำปฏิกิริยา

3. เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา

อัตราการเกิดปฏิกิริยาจะมีค่าสูงในระยะแรกของปฏิกิริยาและจะลดลงเมื่อเวลามากขึ้นดังนั้นระยะเวลาที่เหมาะสมจึงจำเป็นในการผลิตไบโอดีเซลในเชิงพาณิชย์

4. อุณหภูมิ

ในปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันอุณหภูมิมีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นอัตราการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นด้วยเนื่องจากอุณหภูมิที่สูงทำให้แอลกอฮอล์ทำปฏิกิริยาได้ง่ายขึ้นแต่ถ้าอุณหภูมิที่ใช้สูงเกินจุดเดือดของแอลกอฮอล์จะทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาลดลงเนื่องจากการสูญเสียแอลกอฮอล์ในระหว่างทำปฏิกิริยา

5. ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา

ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยามีผลต่อปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่ได้กล่าวคือ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่ต่ำและสูงเกินไปจะทำให้ปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่ได้ต่ำ ดังนั้นปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสมจะมีค่าจะมีค่าที่ค่าหนึ่งเท่านั้น นอกจากนี้ถ้าปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยามีค่ามากจะทำให้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เกินมาไปทำปฏิกิริยากับน้ำมันทำให้เกิดปฏิกิริยาซาปอนิฟิเคชันหรือการเกิดสบู่ขึ้นเอง

6. สัดส่วนของแอลกอฮอล์ต่อน้ำมัน

สัดส่วนของแอลกอฮอล์ต่อน้ำมันมีผลต่อปริมาณของเอสเทอร์ที่เกิดขึ้น โดยตามทฤษฎีสัดส่วนโดยโมลของแอลกอฮอล์ต่อน้ำมันเท่ากับ 3:1 ในทางปฏิบัติจะต้องใช้ปริมาณของแอลกอฮอล์มากกว่าในทางทฤษฎีเพื่อให้ปฏิกิริยาเกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์

2.5 วัตถุประสงค์สำหรับการผลิตไบโอดีเซล

การพิจารณาเลือกพืชชนิดใดมาใช้ ต้องคำนึงถึงปริมาณและองค์ประกอบของน้ำมันในพืชชนิดนั้น และความเหมาะสมของปริมาณการเพาะปลูกพืชน้ำมันในพื้นที่นั้น ๆ ด้วยน้ำมันพืชและน้ำมันสัตว์เป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซล น้ำมันพืชที่ใช้เป็นวัตถุดิบสามารถสกัดจากพืชน้ำมันได้ทุกชนิด การพิจารณาเลือกพืชชนิดใดมาใช้ ต้องคำนึงถึงปริมาณและองค์ประกอบของน้ำมันในพืชชนิดนั้น และความเหมาะสมของปริมาณการเพาะปลูกพืชน้ำมันในพื้นที่นั้น ๆ ด้วย เช่น ปาล์มน้ำมันและ มะพร้าว เป็นพืชน้ำมันที่มีการปลูกมากในประเทศไทย ปาล์มน้ำมันปลูกมากในมาเลเซีย ถั่วเหลืองปลูกมากในประเทศสหรัฐอเมริกา ต้นเรพและต้นทานตะวันปลูกมากในกลุ่มประเทศยุโรป เป็นต้น

2.5.1 ปริมาณการผลิตพืชน้ำมันของประเทศไทย

ประเทศไทยทำการเพาะปลูกพืชน้ำมัน 6 ชนิด คือ ถั่วเหลือง ปาล์มน้ำมัน ถั่วลิสง มะพร้าว ละหุ่งและงา ในจำนวนพืช 6 ชนิดนี้ ปาล์มน้ำมันเป็นพืชที่มีรายงานปริมาณผลผลิตในแต่ละปีสูงที่สุด ในปี พ.ศ.2543/2544 ประเทศไทยมีการผลิตปาล์มน้ำมันประมาณ 3.3 ล้านตัน รองลงมาได้แก่ มะพร้าว ซึ่งมีการผลิตประมาณ 1.4 ล้านตัน สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและ สหกรณ์ ได้รายงานปริมาณผลผลิตของพืชน้ำมัน 6 ชนิด ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ปริมาณการผลิตพืชน้ำมันของประเทศไทย (หน่วย : พันตัน) (สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ,2546)

ปี พ.ศ.	ปาล์ม น้ำมัน	มะพร้าว	ถั่วเหลือง	ถั่วลิสง	ละหุ่ง	งา
2538/2539	2,255	1,413	386	147	6	34
2539/2540	2,688	1,419	359	147	6	34
2540/2541	2,681	1,386	338	126	6	35
2541/2542	2,465	1,372	321	135	7	36
2542/2543	3,512	1,381	319	138	7	37
2543/2544	3,256	1,400*	324*	135*	9*	39*

* = ตัวเลขคาดการณ์

2.5.2 ปริมาณน้ำมันพืชที่ใช้แล้วในประเทศไทย

จากการสำรวจปริมาณการใช้ น้ำมันพืชในอุตสาหกรรมอาหารที่คาดว่าจะมีน้ำมันเหลือจากกระบวนการผลิตพบว่าโรงงานอุตสาหกรรมและสถานประกอบการประเภทฟาสต์ฟู้ดทั้งประเทศมีการใช้น้ำมันพืช 83,147,825 ลิตรต่อปี และมีปริมาณน้ำมันที่เหลือจากกระบวนการผลิต 16,490,676 ลิตรต่อปี สถานประกอบการส่วนใหญ่อยู่ในกรุงเทพมหานครและปริมณฑล ซึ่งมีการใช้น้ำมันประมาณร้อยละ 55 ของการใช้ทั้งประเทศและมีปริมาณน้ำมันที่เหลือประมาณร้อยละ 67 ของปริมาณที่เหลือทั้งประเทศ รองลงมาเป็นภาคตะวันออกเฉียงใต้ออกมีการใช้น้ำมันพืชร้อยละ 27 มีปริมาณน้ำมันที่เหลือร้อยละ 13 ส่วนภาคอื่น ๆ มีปริมาณการใช้ น้ำมันพืชและปริมาณน้ำมันที่เหลือใกล้เคียงกันประมาณร้อยละ 2 ถึงร้อยละ 8 ดังแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ปริมาณน้ำมันพืชที่ใช้และปริมาณน้ำมันพืชที่เหลือจากกระบวนการผลิต (สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, 2546)

จังหวัด/ภาค	น้ำมันพืชที่ใช้		น้ำมันพืชที่เหลือ	
	(ลิตร/ปี)	ร้อยละ	(ลิตร/ปี)	ร้อยละ
กรุงเทพมหานคร	16,558,267	20	5,310,276	32
ปริมณฑล	29,404,612	35	5,778,219	35
ภาคกลาง	4,923,027	6	1,349,320	8
ภาคเหนือ	4,265,067	5	510,050	3
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	1,671,611	2	576,257	3
ภาคใต้	3,737,029	5	876,120	5
ภาคตะวันออก	22,588,212	27	2,090,434	13
รวม	83,147,825	100	16,490,676	100

2.6 การนำน้ำมันไบโอดีเซลมาใช้กับเครื่องยนต์

2.6.1 น้ำมันไบโอดีเซล (Biodiesel)

เป็นวิธีการที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยการนำน้ำมันพืชมาทำปฏิกิริยากับ แอลกอฮอล์ และต่าง จะได้น้ำมันไบโอดีเซล ซึ่งอยู่ในรูปของ เมทิลเอสเทอร์ และ กลีเซอริน น้ำมันไบโอดีเซลที่ได้จะมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลมากสามารถนำไปเติมในเครื่องยนต์ดีเซล ได้ทุกชนิด ทั้งเติมโดยตรงและผสมลงในน้ำมันดีเซล 20 %

2.6.2 น้ำมันก๊าดผสมน้ำมันพืช (Veggie / Kero Mix)

เป็นวิธีการผสมน้ำมันพืชด้วยน้ำมันก๊าด ซึ่งน้ำมันที่ได้จากวิธีการดังกล่าวเหมาะกับกรณีจำเป็นต้องการใช้ น้ำมันอย่างเร่งด่วน และใช้กับเครื่องยนต์ ที่ใช้งานหนักตลอดจนใช้งานในภูมิอากาศเขตร้อน อัตราส่วนผสม ระหว่างน้ำมันก๊าดและน้ำมันพืช ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของพื้นที่ใช้งาน อัตราส่วนผสมโดยมากจะอยู่ตั้งแต่ 10 % น้ำมันก๊าด 90 % น้ำมันพืช จนถึง 40 % น้ำมันก๊าด 60 % น้ำมันพืชอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมอยู่ที่ 20 % น้ำมันก๊าด 80 % น้ำมันพืช อย่างไรก็ตามหากต้องการเพิ่ม ประสิทธิภาพในการใช้น้ำมันพืชผสมน้ำมันก๊าด ให้ติดตั้งถังน้ำมันดีเซลหรือน้ำมันไบโอดีเซลเพื่อใช้ในการสตาร์ทเครื่องยนต์และตอนก่อนเลิก ใช้งานเครื่องยนต์

ปัจจุบันมีการนำวิธีดังกล่าวไปใช้งานแต่เนื่องจากราคาของน้ำมันก๊าดค่อนข้างสูงทำให้ใช้ปริมาณของน้ำมันก๊าดน้อยเกินไป ทำให้น้ำมันผสมที่ได้เมื่อนำไปใช้จึงเกิดผลกระทบต่อเครื่องยนต์จากปัญหาการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ของน้ำมันผสม

2.6.3 ใช้น้ำมันพืชโดยตรง (Straight Vegetable Oil)

เป็นวิธีการนำน้ำมันพืชบริสุทธิ์หรือน้ำมันพืชที่ใช้งานแล้วมาเดินเครื่องยนต์ดีเซล ซึ่งจำเป็นต้องมีถึง น้ำมันดีเซลหรือน้ำมันไบโอดีเซลเพื่อใช้ในการสตาร์ทเครื่องยนต์และใช้ก่อนหยุดเครื่องยนต์ประเด็นสำคัญของการใช้น้ำมันพืชโดยตรงคือต้องมีการอุ่นน้ำมันในทุกจุดที่มีน้ำมันผ่านได้แก่ ถังน้ำมัน ท่อทางเดินน้ำมัน ชุดกรองน้ำมัน อุณหภูมิของน้ำมันที่อุ่นอย่างน้อย 70 °C

แนวทางในการนำน้ำมันพืชมาใช้โดยตรงเป็นวิธีการที่ได้น้ำมันในราคาที่ถูกลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งการนำน้ำมันพืชซึ่งยังไม่ผ่านกระบวนการกลั่นมาใช้แต่การที่จะนำมาใช้ได้เหมาะสมจำเป็นต้องอาศัยความร้อนในการหลอมเหลว ไซแข็ง และลดความหนืดของน้ำมัน

2.7 ประโยชน์ของการใช้น้ำมันไบโอดีเซล

น้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตได้จากการแปรสภาพจากกระบวนการทรานส์เอสเตอริฟิเคชันพบว่า น้ำมันไบโอดีเซลที่ได้มีประโยชน์ดังนี้

1. เป็นเชื้อเพลิงสะอาดและปลอดภัยโดยพบว่าก๊าซไอเสียจากน้ำมันไบโอดีเซลมีอันตรายน้อยกว่า น้ำมันดีเซลโดยผ่านการทดสอบจาก US - EPA Tier I Health Effects Testing ซึ่งเป็นหน่วยงานที่ได้รับการยอมรับในเรื่องการดูแลผลกระทบต่อ สุขภาพทางสิ่งแวดล้อม ของมนุษย์
2. สามารถใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลรอบสูงหรือรอบต่ำได้เลยโดยไม่ต้องปรับแต่งเครื่องยนต์ได้ เหมือนกับเครื่องยนต์ดีเซลทั่วไปและสามารถยืดอายุการใช้งานของเครื่องยนต์ดีเซลเพราะไบโอดีเซลมีสารหล่อลื่นที่ดีกว่าน้ำมันดีเซล
3. ปลอดภัยในการจัดเก็บและขนส่งเพราะไบโอดีเซลมีจุดวาบไฟ (Flash point) สูงกว่าน้ำมันดีเซล และลุกติดไฟได้ยากกว่าในสภาพบรรยากาศ
4. การเผาไหม้ของน้ำมันไบโอดีเซลสมบูรณ์กว่าการเผาไหม้ของน้ำมันดีเซลจึงช่วยลดปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ ไฮโดรคาร์บอนที่ไม่เผาไหม้และฝุ่น
5. เป็นเชื้อเพลิงทางเลือกที่สามารถผลิตได้จากวัตถุดิบภายในประเทศและเป็นพลังงานทดแทนที่สามารถนำมาใช้งานโดยนำมาผสม (Blends) กับน้ำมันดีเซลหรือใช้โดยตรงโดยไม่ผสมกับน้ำมันดีเซล

2.8 คุณสมบัติทางกายภาพของน้ำมันเชื้อเพลิง

คุณสมบัติทางกายภาพของน้ำมันที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ได้แก่ จุดไหลเท ความถ่วงจำเพาะ ความหนืด จุดวาบไฟ จุดติดไฟ ค่าซีเทน ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง

2.8.1 ความถ่วงจำเพาะ

คือค่าความหนาแน่นของน้ำมันโดยวัดความถ่วงจำเพาะที่อุณหภูมิมาตรฐาน 15 °C ของเซตอบอุ่น โดยเครื่องมือที่ใช้วัดค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำมันเรียกว่า ไฮโดรมิเตอร์ ค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำมันแต่ละชนิดไม่เท่ากัน การทราบค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำมันแต่ละชนิดทำให้สามารถใช้ค่าความถ่วงจำเพาะเพื่อบอกความบริสุทธิ์ของน้ำมันได้เพราะถ้ามีการปลอมปนน้ำมันจะทำให้ค่าความถ่วงจำเพาะมีค่าเปลี่ยนแปลงไปด้วย

2.8.2 ความหนาแน่น

คือมวลของน้ำมันต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร ความหนาแน่นของน้ำมันขึ้นอยู่กับ ค่าซาปอนิฟิเคชัน, ค่าไอโอดีน, ปริมาณกรดไขมันอิสระ, ปริมาณน้ำมันและอุณหภูมิของน้ำมันโดยที่ความหนาแน่นของน้ำมันจะเปลี่ยนแปลงไปประมาณ +3 kg/m³ ซึ่งความหนาแน่นของน้ำมันดีเซลที่ 15 °C ควรอยู่ในช่วง 0.81-0.87 น้ำมันที่มีความหนาแน่นต่ำกว่า 0.81 อาจทำให้เครื่องยนต์กำลังตก ขณะที่น้ำมันที่มีความหนาแน่นสูงกว่า 0.87 อาจทำให้เกิดปัญหาควันดำได้ ค่าความหนาแน่นสามารถหาได้จากสมการดังนี้

$$\text{ความหนาแน่น (g/m}^3\text{)} = 0.9244 - 0.00067 T \quad (2.1)$$

เมื่อ T เป็นอุณหภูมิของน้ำมันมีหน่วยเป็น °C

2.8.3 ความหนืด

ความหนืด (Viscosity) ของน้ำมันมีผลอิทธิพลต่อรูปร่างของละอองน้ำมันที่ฉีดออกมาจากหัวฉีด หากน้ำมันมีความหนืดสูง หากน้ำมันมีความหนืดสูงจะทำให้การฉีดเป็นฝอยไม่ดี ละอองน้ำมันที่มีขนาดใหญ่จะพุ่งไปไกลและเป็นสาย ทำให้น้ำมันรวมกับอากาศได้ไม่ดีทำให้การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์เครื่องกำลังตก น้ำมันเชื้อเพลิงที่มีความหนืดต่ำไป จะทำให้น้ำมันที่พ่นออกมาเป็นฝอยละเอียดมากจึงไม่พุ่งไปไกลเท่าที่ควร การเผาไหม้จะไม่ดี กำลังและประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ตกเช่นกันนอกจากนี้การสึกหรอ

ของชั้นส่วนในระบบเชื้อเพลิงอาจมากขึ้น เนื่องจากน้ำมันใสจะทำให้การหล่อลื่นไม่ดี โดยทั่วไปน้ำมันเชื้อเพลิงทั่วไปมักจะมีค่านี้น้ำมันในช่วง 1.8 – 4.1 Cst ที่ 40°C

2.8.4 จุดวาบไฟและจุดติดไฟ

จุดวาบไฟคืออุณหภูมิต่ำสุดของของน้ำมันที่ไอของน้ำมันเกิดติดไฟและดับทันที จุดนี้หาได้จากค่าความร้อนแก่น้ำมันพอลิอุมทมิจุดหนึ่ง จะเกิดเปลวไฟกวาดไปบนพื้นผิวหน้าน้ำมันวบบหนึ่งและดับ ส่วนจุดติดไฟคือ อุณหภูมิต่ำสุดที่ไอน้ำมันเกิดการติดไฟ และติดอยู่ได้ไม่ต่ำกว่า 5 วินาที

2.8.5 ค่าซีเทน

น้ำมันเชื้อเพลิงที่ถูกฉีดเข้าไปในห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซลนั้นต้องการเวลาเพียงเล็กน้อยในการระเหยตัวและผสมกับอากาศก่อนเกิดการลุกไหม้ด้วยตัวเอง ช่วงเวลานี้เรียกว่า Ignition Delay ถ้า Ignition Delay นานก็จะทำให้มีการสะสมของน้ำมันเชื้อเพลิงในห้องเผาไหม้ เมื่อทำให้มีการสะสมของน้ำมันเชื้อเพลิงในห้องเผาไหม้ เมื่อเกิดการลุกไหม้ขึ้นจึงมีการเผาไหม้รุนแรงและไม่มีประสิทธิภาพดังนั้นจึงต้องลดช่วงเวลา Ignition Delay ให้เหลือน้อยที่สุด ค่าซีเทนของน้ำมันดีเซลหมุนเร็วคือตัวเลขที่ใช้บ่งชี้ถึง Ignition Delay ของน้ำมันที่ได้มาจากการทดสอบในเครื่องยนต์ทดสอบมาตรฐาน CFR (Cooperative Fuel Research) โดยการตั้งมาตรฐานให้ไฮโดรคาร์บอน Normal Cetane ($C_{16}H_{34}$) ซึ่งลุกติดไฟได้ง่ายมีค่าเป็น 100 และ Heptamethylnonane มีค่าซีเทนเป็น 15 ซึ่งสามารถหาค่าซีเทนได้จากสมการ

$$\text{ค่าซีเทน} = \% n\text{-Cetane} + 0.15 (\% \text{Heptamethylnonane}) \quad (2.2)$$

2.8.6 ความร้อนทางสูงและทางต่ำ

ค่าความร้อนคือปริมาณความร้อนที่เชื้อเพลิงให้หลังจากการเผาไหม้ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนัก เนื่องจากเชื้อเพลิงมีไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบเมื่อเกิดการเผาไหม้ไฮโดรเจนจะรวมกับออกซิเจนได้น้ำ น้ำที่ออกมาเป็นของเหลวเชื้อเพลิงนั้นจะให้ค่าความร้อนทางสูงแต่ถ้าที่ออกมาเป็นไอ เชื้อเพลิงจะให้ค่าความร้อนในทางต่ำทั้งนี้เพราะความร้อนจากการเผาไหม้ส่วนหนึ่งจะต้องเอาไปใช้ในการเผาน้ำเหลวให้กลายเป็นไอลผลต่างของความร้อนทั้งสองชนิดนี้คือ ความร้อนแฝงแห่งการระเหย ณ ที่อุณหภูมินั้น ค่าความร้อนต่ำหาได้จาก

$$L_{hv} = H_{hv} \times 21.98 \times (H) \quad (2.3)$$

เมื่อ L_{hv} = ค่าความร้อนต่ำ, kJ/kg

H_{hv} = ค่าความร้อนสูง, kJ/kg

H = เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของไฮโดรเจนในเชื้อเพลิง, %

2.9 การคำนวณหาสมรรถนะของเครื่องยนต์

2.9.1 แรงบิดและกำลังของเครื่องยนต์

แรงบิดในเครื่องยนต์เกิดจากการสันดาปของเชื้อเพลิงและอากาศในห้องสันดาป ทำให้ก๊าซในลูกสูบมีอุณหภูมิสูงและความดันสูงไปดันให้ลูกสูบเกิดการเคลื่อนที่ ทำให้เกิดงานขึ้นสำหรับแรงบิดและกำลังเครื่องยนต์มีความสัมพันธ์ดังสมการ

$$P = T \times \omega = \frac{2\pi TN}{60} \quad (2.4)$$

เมื่อ

P = กำลังที่เครื่องยนต์ผลิตได้ที่เพลลา, kw

T = แรงบิด, N-m

ω = ความเร็วเชิงมุมของเครื่องยนต์, เรเดียน/วินาที

N = ความเร็วรอบของเครื่องยนต์, รอบต่อนาที

2.9.2 อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ

เป็นอัตราส่วนระหว่างอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงต่อกำลังเบรคของเครื่องยนต์ที่ได้ซึ่งสามารถหาได้จากสมการ

$$\text{Specific fuel consumption} = \frac{\text{Specific gravity} \times \text{fuel consumption} \times 3,600}{\text{Engine Power}} \quad (2.5)$$

เมื่อ

Specific fuel consumption = อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ, kg/kw.hr

Specific gravity = ค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำมันเชื้อเพลิง, gm/cc

Fuel consumption = ค่าสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง, cc/sec

Engine Power = กำลังที่เครื่องยนต์ผลิตได้ที่เพลลา, kw

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Zheng และ Hunna ได้ทำการผลิตไบโอดีเซลจากไขวัวจากนั้นนำน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตได้มาผสมกับเอทานอลในอัตราส่วน 100:0, 95:5, 80:20, 65:35, 55:45% โดยปริมาตรเพื่อที่จะทดสอบหาคุณสมบัติของน้ำมันชนิดต่างๆ พบว่าค่าคุณสมบัติเช่น Melting point, Cloud point, Pour point, Specific gravity และ CCI มีค่าลดลงเมื่อส่วนผสมเอทานอลมีอัตราเพิ่มมากขึ้น (Zheng and Hunna, 1996)

Ali และ Hunna ได้ทดสอบคุณสมบัติของเชื้อเพลิงเมทิลเอสเทอร์ (Tallow ester) และเมทิลเอสเทอร์ผสมเอทานอลพบว่าเอสเทอร์ที่ได้ยังมีค่าความหนืดเป็น 3 ถึง 4 เท่าของน้ำมันดีเซล แต่เมื่อผสมเมทิลเอสเทอร์กับเอทานอล พบว่าน้ำมันผสมมีค่าความหนืดลดลง และเมื่อผสมเมทิลเอสเทอร์กับเอทานอลที่อัตราส่วน 65:35 โดยปริมาตรพบว่าค่าความหนืดมีค่าใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลในส่วนของค่าซีเทนนิ่มเบอร์ได้ทดสอบโดยนำน้ำมันดีเซลไปผสมกับน้ำมันผสมระหว่างเมทิลเอสเทอร์กับเอทานอล ในอัตราส่วน 75:25 โดยปริมาตรพบว่าค่าซีเทนนิ่มเบอร์มีค่าลดลงจาก 56 เป็น 46 (Ali and Hunna, 1994)

นันทมนต์ จันทร์ศิริสกุล และ ประกอบ กิจไชยา ได้ทำการผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพจากน้ำมันปาล์มสดที่ยังอยู่ในเครื่องปฏิกรณ์เคมีแบบกะ น้ำมันดีเซลชีวภาพที่สังเคราะห์ได้มีความหนืด และจุดไหลเทเท่ากับ 4.6 cSt และ 16 °C ตามลำดับ ซึ่งไม่เป็นไปตามข้อกำหนดคุณภาพน้ำมันดีเซลหมุนเร็วตามประกาศกระทรวงพาณิชย์ ฉบับที่ 2 พ.ศ. 2541 จึงได้ทำการปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำมันดีเซลชีวภาพโดยการนำเอทานอลมาผสมในปริมาณ 15 และ 35 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรและผสมกับน้ำมันดีเซลที่ปริมาณ 20, 50, 70, 80 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร เมื่อทำการตรวจสอบคุณสมบัติของน้ำมันชีวภาพและน้ำมันชีวภาพผสมด้วยวิธีมาตรฐาน ASTM ของน้ำมันดีเซลพบว่าการผสมด้วยเอทานอลทำให้น้ำมันดีเซลชีวภาพมีความหนืดลดลงผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานกระทรวงพาณิชย์แต่จุดไหลเทยังคงลดลงไม่มากนัก 13 C และเมื่อผสมด้วยน้ำมันดีเซลพบว่าที่อัตราส่วน 50 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรทำให้ความหนืดลดลงมีค่าเท่ากับ 3.5 cSt และมีจุดไหลเทเท่ากับ 7 °C ซึ่งเป็นไปตามข้อกำหนดคุณสมบัติน้ำมันดีเซล (นันทมนต์ จันทร์ศิริสกุล และ ประกอบ กิจไชยา, 2547)

Dorado และคณะ ได้ทดสอบการใช้น้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันพืช (โอเลฟ) ใช้แล้วกับเครื่องยนต์ดีเซลโดยศึกษาในเรื่องการปล่อยมลพิษของเครื่องยนต์เปรียบเทียบกับการใช้น้ำมันดีเซลพบว่ามลพิษที่มีค่าลดลงได้แก่ CO, CO₂, NO และ SO₂ แต่ NO₂ มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในส่วนของค่าอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะมีค่าเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น (Dorado et.al, 2000)

Usta และคณะ ได้ทำการศึกษาหาผลกระทบของน้ำมันผสมที่มีผลต่อเครื่องยนต์ในส่วนของสมรรถนะและการปล่อยมลพิษ โดยน้ำมันที่ใช้ได้แก่น้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันต้นเฮลซัส

(Hazelnut) และน้ำมันเมล็ดทานตะวันที่ใช้แล้วมาผสมกับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วนต่าง ๆ ดังนี้ 5%, 10%, 15%, 17.5% และ 25% นำไปทดสอบกับเครื่องยนต์แบบเทอร์โบชาร์จเจอร์พบว่าที่อัตราส่วนผสม 17.5% ไบโอดีเซล ให้กำลังและประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงที่สุด ในส่วนของการปล่อยมลพิษที่โหลดเต็มที่ CO จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์ต่ำและจะมีค่าลดลงเมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์สูงขึ้นและ CO₂ มีค่าสูงขึ้น ที่โหลดบางส่วน SO₂ มีค่าลดลง และ NO_x มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการเผาไหม้สูงขึ้นและจะค่อย ๆ ลดลงเมื่อมีการปรับลดโหลด (Usta et.al, 2004)

Lee และคณะ ได้ทำการศึกษาโดยผสมน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากถั่วเหลืองกับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วน 20:80 โดยปริมาตรแล้วนำน้ำมันผสมที่ได้ไปใช้กับหม้อไอน้ำ (Boiler) ที่ไม่มีการปรับแต่งอุปกรณ์ใด ๆ ทั้งสิ้นผลการทดสอบจากการวัดมลพิษที่ปล่อยคว้นพบว่า SO₂ ลดลง 19.7 % เมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซล NO_x ที่ปล่อยออกมาเบาบางมากแต่ก็ลดลงถึง 15 % ในส่วนของซัลเฟอร์ลดลง 14.1 % (Lee et.al, 2004)

Raheman และ Phadatare ได้ทำการศึกษาผลกระทบของน้ำมันที่มีต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์และการปล่อยมลพิษโดยน้ำมันที่ใช้ในการทดสอบคือไบโอดีเซลที่ผลิตจาก Karanja นำมาผสมกับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วนดังนี้ 20%, 40%, 60%, 80% และ 100% ผลการทดสอบพบว่าน้ำมันผสมสามารถช่วยลด CO, ความหนาแน่นของไอเสีย, NO_x เหลือ 80%, 50%, 26% ตามลำดับ ในส่วนของกำลังของเครื่องยนต์ที่อัตราส่วนผสม 20%, 40% กำลังจะเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 6% แต่ถ้าอัตราส่วนผสมเพิ่มขึ้นกำลังเครื่องยนต์จะลดลง (Raheman and Phadatare, 2000)

Can และคณะ ได้ทำการศึกษาหาผลกระทบของน้ำมันดีเซลผสมเอทานอลที่อัตราส่วนต่าง ๆ ที่มีต่อสมรรถนะและการปล่อยมลพิษของเครื่องยนต์แล้วเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซลโดยน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันดีเซลและเอทานอลมีอัตราส่วนดังนี้ 90:10, 85:15 โดยปริมาตร แล้วนำมาทดสอบกับเครื่องยนต์ดีเซล 4 กระบอกสูบ เทอร์โบชาร์จเจอร์ ที่ความดันหัวฉีด 150, 200 และ 250 bar โดยในน้ำมันผสมแต่ละชนิดจะมีการเติมสารเพื่อเป็นตัวเชื่อมไม่ให้เอทานอลกับน้ำมันแยกตัวกัน 1% ผลการทดสอบพบว่าน้ำมันผสมทำให้ CO, SO₂ เขม่าควันจากไอเสียเครื่องยนต์ลดลง แต่พบว่า NO_x มีค่าเพิ่มขึ้นราว 12.5% (น้ำมันที่มีเอทานอลผสมอยู่ 10%) และ 20% (น้ำมันที่มีเอทานอลผสมอยู่ 15%) และความดันของหัวฉีดที่เพิ่มขึ้นทำให้ CO และคว้นต่ำลดลงโดยเฉพาะในช่วงความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 1,500 และ 2,500 rpm แต่ทำให้กำลังของเครื่องยนต์ลดลง (Can et.al, 2004)

Li และคณะ ได้ทำการศึกษาหาเปอร์เซ็นต์ของเอทานอลที่จะนำไปผสมกับน้ำมันดีเซลที่สามารถให้ค่าสมรรถนะดีที่สุดและช่วยลดปล่อยมลพิษที่ต่ำที่สุดในการทดสอบใช้เครื่องยนต์ดีเซล 1 กระบอกสูบแบบฉีดตรงโดยทดสอบที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 2,200 และ 1,760 rpm น้ำมันที่ใช้ในการทดสอบ

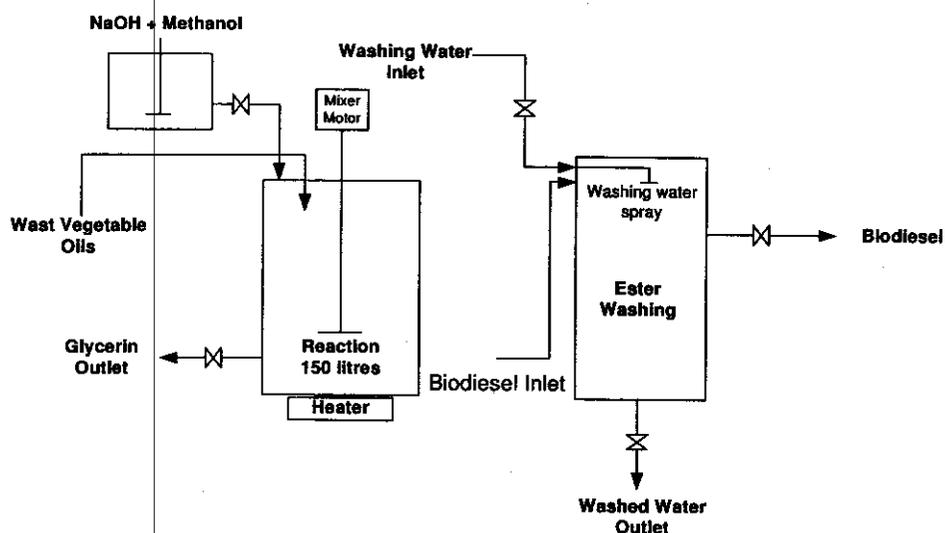
ได้แก่ น้ำมันดีเซล และน้ำมันดีเซลผสมเอทานอลในอัตราส่วน 5%, 10%, 15% และ 20% โดยปริมาตร ผลการทดลองพบว่า ค่าอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะมีค่าเพิ่มขึ้นและพบว่าค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณของเอทานอลที่ผสมอยู่ในน้ำมันในส่วนของมลพิษที่ปล่อยออกมาพบว่าที่อัตราส่วนผสมของน้ำมันดีเซลกับเอทานอล 10% และ 15% CO และ NO_x มีค่าลดลงแต่ THC มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซล (Li et.al, 2004)

Lu และคณะ ได้ทำการปรับปรุงค่าซีเทนน้ำมันเบอร์ของน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันดีเซลกับเอทานอล โดยการเติมสารเพิ่มค่าซีเทนน้ำมันเบอร์ในปริมาณ 0, 0.2 และ 0.4 % ลงไปในน้ำมันผสมจากนั้นนำน้ำมันที่ได้ไปทดสอบกับเครื่องยนต์ดีเซล 4 กระบอกสูบผลการทดลองพบว่าค่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงและค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนมีค่าลดลงเกือบจะเหมือนกับค่าที่ได้จากการทดสอบด้วยน้ำมันดีเซลส่วนค่า NO_x มีค่าลดลงเมื่อมีการปรับปรุงค่าซีเทนน้ำมัน และค่า CO มีค่าลดลงที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ต่ำและปานกลาง นอกจากนี้จุดลาไฟยังยาวนานขึ้นและระยะเวลาในการเผาไหม้สั้นลง (Lu et.al, 2004)

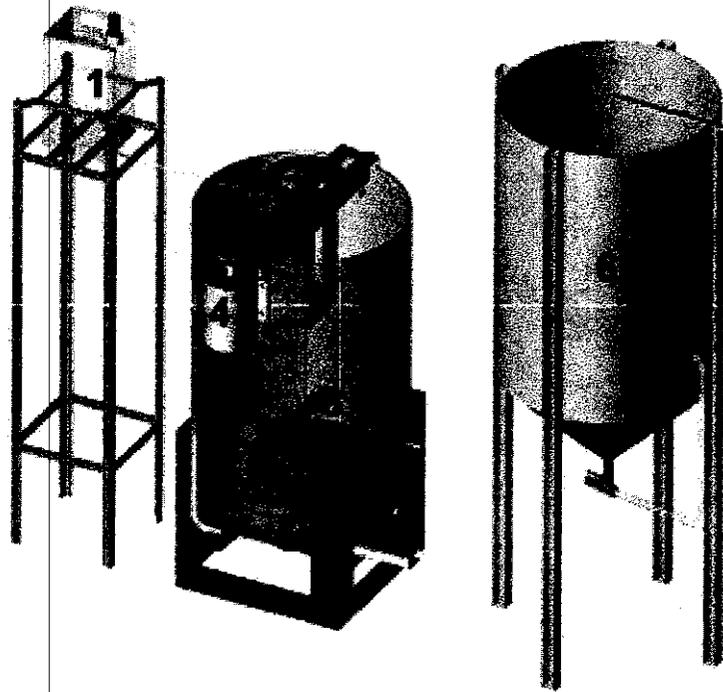
บทที่ 3 การออกแบบเครื่องผลิตไบโอดีเซล

3.1 รายละเอียดของเครื่องผลิตไบโอดีเซลต้นแบบสำหรับผลิตไบโอดีเซลรอบละ 150 ลิตร

เครื่องผลิตไบโอดีเซลต้นแบบที่ออกแบบและสร้างขึ้นในงานวิจัยนี้เป็นเครื่องผลิตไบโอดีเซลแบบกะ (batch) ซึ่งมีแผนผังการทำงานดังรูปที่ 3.1 แบ่งการทำงานออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้ ส่วนที่ 1 คือส่วนของถังผสมสารเคมีประกอบด้วยถังผสมสารเคมี ชุดกวนสาร และชาตัง ส่วนที่ 2 คือส่วนของชุดผลิตน้ำมันไบโอดีเซลประกอบด้วยชาตัง ถังปฏิกรณ์ ชุดใบกวน และ ชุดให้ความร้อนและส่วนสุดท้ายส่วนที่ 3 คือส่วนของถัง washing ประกอบด้วยถังทรงกรวย ท่อสเปรย์น้ำ โดยในส่วนต่างๆจะมีรายละเอียดของส่วนประกอบดังรูปที่ 3.2 และรูปที่ 3.3 และมีหลักการทำงานดังนี้ ในส่วนที่ 1 จะทำหน้าที่ในการผสมสารเคมีที่จะใช้ในการผลิตไบโอดีเซลซึ่งประกอบ โซเดียมไฮดรอกไซด์กับเอทานอล ส่วนที่ 2 จะทำหน้าที่เป็นถังปฏิกรณ์เคมีสำหรับผลิตไบโอดีเซล และส่วนที่ 3 จะทำหน้าที่เป็นถังล้างสารเคมีต่าง ๆ ที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาขณะผลิตไบโอดีเซลเพื่อที่จะให้ไบโอดีเซลมีความบริสุทธิ์มากขึ้น



รูปที่ 3.1 แผนผังการทำงานของเครื่องผลิตไบโอดีเซลแบบกะ



รูปที่ 3.2 แสดงแบบของเครื่องผลิตไบโอดีเซลแบบกะ

ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องสังเคราะห์ไบโอดีเซลมีดังนี้

- | | |
|-------------------|--------------------------------------|
| 1. ถังผสมสารเคมี | 2. ถังปฏิกรณ์เคมีขนาดความจุ 200 ลิตร |
| 3. ชุดใบกวน | 4. มอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 1/2 แรงม้า |
| 5. ชุดให้ความร้อน | 6. ถังสำหรับทำการ Washing |



รูปที่ 3.3 แสดงรูปเครื่องผลิตไบโอดีเซลแบบกะตันแบบ

3.2 การออกแบบใบกวนผสมสารเคมีและน้ำมันพืช

จากหลักการและทฤษฎีกลศาสตร์ของไหล นำมาพิจารณาออกแบบใบกวนเพื่อผสมน้ำมันพืชใช้แล้วและสารเคมีจากสมการ Reynolds number

$$N_R = \frac{n\rho D^2}{\mu} \quad (3.1)$$

กำลังที่ใช้ในการกวนหาได้จากสมการที่สภาวะต่าง ๆ ดังนี้

$$\text{ที่สภาวะ Laminar} \quad P = k\mu n^2 D^3 \quad (3.2)$$

$$\text{ที่สภาวะ Turbulent} \quad P = k\rho n^3 D^5 \quad (3.3)$$

โดยที่ P = กำลังงานที่ต้องการใช้ (watt)

ρ = ความหนาแน่นของน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว (kg/m^3)

D = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของใบกวน (m)

n = รอบของการหมุนต่อนาที (rpm.)

μ = ค่า Dynamic viscosity ($N.s/m^2$)

k = ค่าคงที่ขึ้นอยู่กับชนิดของใบกวน

และเพื่อให้การปั่นผสมเป็นไปอย่างทั่วถึงและใช้เวลาน้อยเราจึงกำหนดให้ Reynolds number มากกว่า 10,000 เพื่อให้การไหลเป็นแบบ Turbulent ซึ่งเราสามารถคำนวณหาขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางใบกวนที่เหมาะสมได้โดยมีข้อมูลในการออกแบบดังนี้

1. ของไหลเป็นน้ำมันไบโอดีเซล

4. $\mu = 0.014$ Pa.s

2. $n=500$ rpm

5. ใบกวนแบบ Propeller

3. $\rho=850$ kg/m^3

6. $k = 0.6$ สำหรับ Turbulent

จากสมการที่ 3.1

Reynolds number $N_R = \frac{n\rho D^2}{\mu}$ แทนค่าต่าง ๆ ลงในสมการ

จะได้

$$10000 = \frac{500 \times 850 \times D^2}{0.014 \times 60}$$

$$D = 0.14 \text{ m}$$

โดยจะต้องใช้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางใบกวนอย่างน้อย 0.14 m เพื่อให้เกิดการไหลแบบ Turbulent และหากต้องการใช้มอเตอร์ ขนาด 1/2 hp (373 watt) ในการเป็นต้นกำลัง ดังนั้นขนาดใบกวนที่เหมาะสมหาได้จากสมการที่ 3.3

$$P = k \rho n^3 D^5$$

แทนค่าต่าง ๆ ลงในสมการที่ 3.3 จะได้

$$373 = 0.6 \times 850 \times (500/60)^3 \times D^5$$

$$D = 0.263 \text{ m}$$

ดังนั้นขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางใบกวนที่เหมาะสมคือ 0.263 m

ในการออกแบบครั้งนี้ต้องการใช้มอเตอร์ขนาดมอเตอร์ 1/2 hp ดังนั้นเลือกขนาดใบกวน 0.25 m หรือ 10 นิ้ว

3.3 การออกแบบเพลตาม ASTM

เนื่องจากเหล็กที่ซื้อมาเป็นเหล็กรูปพรรณตามท้องตลาด ซึ่งไม่ทราบค่าคุณสมบัติที่แน่นอนดังนั้น จึงใช้การคำนวณตาม ASTM code ดังนี้

คำนวณหาแรงกระทำจากสายพานจากสมการ

$$P = (F_1 - F_2) V \quad (3.5)$$

จะได้

$$(F_1 - F_2) = P/V = \frac{0.5 \times 550 \times 12 \times 60}{\pi \times 9 \times 500} = 14 \text{ lb}_f$$

จากสมการ

$$\frac{F_1}{F_2} = e^{f\theta / \sin \beta} \quad (3.6)$$

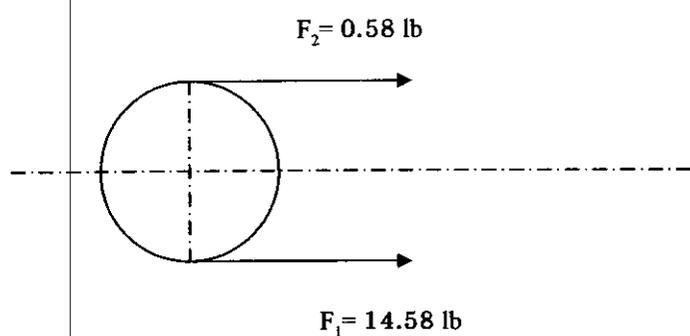
โดยที่ $f = 0.4$, $\theta = 2.74 \text{ rad}$, $\beta = 20^\circ$

แทนค่าต่าง ๆ ลงในสมการที่ 3.6 จะได้ $F_1 = 25F_2$

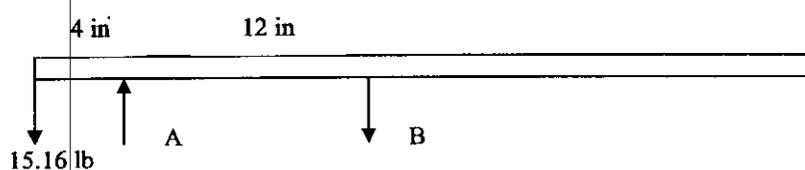
ดังนั้น

$$F_1 = 14.58 \text{ lb}$$

$$F_2 = 0.58 \text{ lb}$$



รูปที่ 3.4 แสดงแรงกระทำที่ล้อยาวขนาดใหญ่



รูปที่ 3.5 แสดงแรงกระทำที่เพลา

จากรูปที่ 3.2 $\sum M_B = 0;$

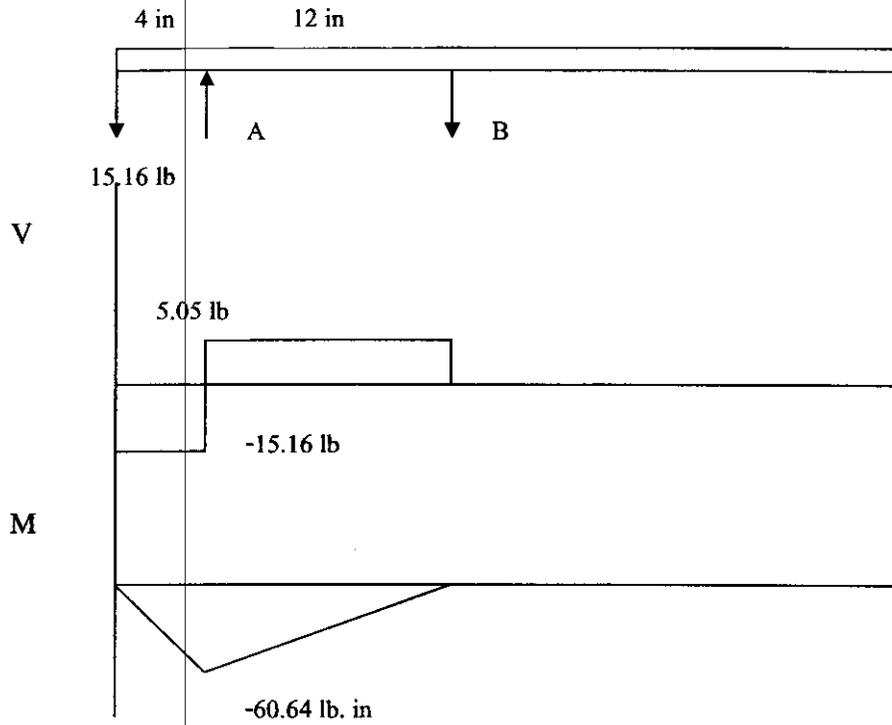
$$12A - 15.16(16) = 0$$

จะได้ $A = 20.21 \text{ lb}$

และ $\sum F_y = 0;$

$$B - 20.21 + 15.16 = 0$$

จะได้ $B = 5.05 \text{ lb}$



รูปที่ 3.6 แสดงแผนภาพแรงเฉือนและโมเมนต์ที่กระทำต่อเพลลา

จาก

$$T = (F_1 - F_2) r$$

จะได้

$$T = (14.58 \text{ lb} - 0.58 \text{ lb}) (4.5 \text{ in})$$

$$T = 63 \text{ lb.in}$$

สูตรการคำนวณเพลลาตาม ASTM code สำหรับเพลลากลมตัน

$$\tau_d = \frac{16}{\pi D^3} \sqrt{(k_m M)^2 + (k_s T)^2} \quad (3.7)$$

สามารถหาขนาดเพลลาได้จากสมการ

$$D^3 = \frac{16}{\pi \tau_d} \sqrt{(k_m M)^2 + (k_s T)^2} \quad (3.8)$$

แทนค่าต่าง ๆ ที่คำนวณได้ในสมการที่ 3.8

$$D^3 = \frac{16}{\pi(8000)} \sqrt{(2 \times 60.64)^2 + (1.5 \times 63)^2}$$

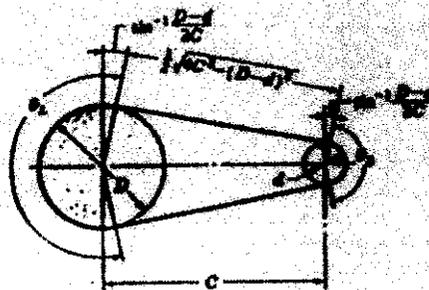
$$D = 0.46 \text{ in}$$

ได้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเพลชขนาด 0.46 in ซึ่งเพลตามท้องตลาดที่มีขนาดใกล้เคียงกับค่าที่คำนวณได้ มีดังนี้คือ ขนาด ½ นิ้ว และ ¾ นิ้ว ดังนั้นเพื่อความเหมาะสมและเผื่อขนาดเพื่อความคงทนในการใช้งาน จึงเลือกเหล็กเพลกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ¾ นิ้ว

3.4 การออกแบบขนาดสายพาน

จากที่ได้ออกแบบใบกวนผสมสารเคมีกับน้ำมันพืชและเพลแล้วนั้นก็มีข้อมูลในการออกแบบสายพานดังนี้

1. มอเตอร์ขนาด ½ hp | ความเร็วรอบ 1,500 rpm
2. เพลขนาด ¾ นิ้ว
3. ใบกวนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 นิ้ว
4. ขนาดล้อสายพานขับ 3 นิ้ว
5. ระยะห่างระหว่างล้อสายพานเล็กและใหญ่ 15 นิ้ว
6. ความเร็วของการกวนผสมน้ำมัน 500 rpm



รูปที่ 3.7 คุณลักษณะของสายพานส่งกำลัง (Shigley and Mische,2002)

จากข้อมูลที่มีอยู่สามารถออกแบบสายพานที่เหมาะสมกับการใช้งานได้ดังนี้
หาขนาดล้อสายพานตัวใหญ่ได้จากสมการ

$$\frac{dm}{dp} = \frac{np}{nm} \quad (3.9)$$

โดยที่ dm และ dp คือ ขนาดของล้อสายพานตัวขับและตัวตามตามลำดับ
 nm และ np คือความเร็วรอบของล้อสายพานตัวขับและตัวตามตามลำดับ

แทนค่าต่าง ๆ ลงในสมการที่ 3.9 จะได้

$$dp = \frac{1500}{500} (3) = 9 \text{ นิ้ว}$$

ค่าที่เหมาะสมในการออกแบบสายพานตัววี

$$D \leq C \leq 3(D+d) \quad (3.10)$$

ดังนั้น $9 \leq 15 \leq 3(9+3)$ (ค่าที่คำนวณได้อยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสม)

หาความยาวของสายพานจากสมการ

$$L_{in} = 2C + 1.57(D+d) + \frac{(D-d)^2}{4C} \quad (3.11)$$

แทนค่าต่าง ๆ ลงในสมการที่ 3.11 จะได้

$$L_{in} = 2(15) + 1.57(9+3) + \frac{(9-3)^2}{4(15)}$$

$$L_{in} = 49.44 \text{ in}$$

จากผลการคำนวณที่ได้จึงพิจารณาเลือกสายพาน Section A ความยาว 48 in จากตารางที่ 3.1 และตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.1 Standard V-Belt Section (Shigley and Mische, 2002)



BELT SECTION	WIDTH a. in	THICKNESS b. in	MINIMUM SHEAVE DIAMETER , in	Hp RANGE ONE OR MORE BELTS
A	$\frac{1}{2}$	$\frac{11}{22}$	3.0	$\frac{1}{4}$ -10
B	$\frac{21}{22}$	$\frac{7}{16}$	5.4	1-25
C	$\frac{7}{8}$	$\frac{17}{22}$	9.0	15-100
D	$1\frac{1}{4}$	$\frac{3}{4}$	13.0	50-250
E	$1\frac{1}{2}$	1	21.6	100 and up

ตารางที่ 3.2 Inside Circumferences of standard V Belts (Shigley and Mische,2002)

SECTION	CIRCUMFERENCE, in
A	26,31,33,35,38,42,46,48,51,53,55,57,60,62,64,66,68,71,75,78,80,85,90,96,105,112,120,128
B	35,38,42,46,48,51,53,55,57,60,62,64,65,66,68,71,75,78,79,81,83,85,90,93,97,100,103,105 112,120,128,131,136,144,158,173,180,195,210,240,270,300
C	51,60,68,75,81,85,90,96,105,112,120,128,136,144,158,162,173,180,195,210,240,300,330, 360,390,420
D	120 ,128,144,158,162,173,180,195,210,240,270,300,330,360,390,420,480,540,600,660
E	180,195,210,240,270,300,330,360,390,420,480,540,600,660

ตารางที่ 3.3 Horsepower Rating of standard V Belts

BELT SECTION	SHEAVE PITCH DIAMETER, in	BELT SPEED ft/min				
		1000	2000	3000	4000	5000
A	2.6	0.47	0.62	0.53	0.15	
	3.0	0.66	1.01	1.12	0.93	0.38
	3.4	0.81	1.31	1.57	1.53	1.12
	3.8	0.93	1.55	1.92	2.00	1.71
	4.2	1.03	1.74	2.20	2.38	2.19
	4.6	1.11	1.89	2.44	2.69	2.58
	5.0 and up	1.17	2.03	2.64	2.96	2.89
B	4.2	1.07	1.58	1.68	1.26	0.22
	4.6	1.27	1.99	2.29	2.08	1.24
	5.0	1.44	2.33	2.80	2.76	2.10
	5.4	1.59	2.62	3.24	3.34	2.82
	5.8	1.72	2.87	3.61	3.85	3.45
	6.2	1.82	3.09	3.94	4.28	4.00
	6.6	1.92	3.29	4.23	4.67	4.48
	7.0 and up	2.01	3.46	4.49	5.01	4.90
D	6.0	1.84	2.66	2.72	1.87	
	7.0	2.48	3.94	4.64	4.44	3.12
	8.0	2.96	4.90	6.09	6.36	5.52
	9.0	3.34	5.65	7.21	7.86	7.39
	10.0	3.64	6.25	8.11	9.06	8.89
	11.0	3.88	6.74	8.84	10.0	10.1
	12.0 and up	4.09	7.15	9.46	10.9	11.1
E	10.0	4.14	6.13	6.55	5.09	1.35
	11.0	5.00	7.83	9.11	8.50	5.62
	12.0	5.71	9.26	11.20	11.4	9.18
	13.0	6.31	10.50	13.0	13.8	12.20
	14.0	6.82	11.50	14.6	15.8	14.80
	15.0	7.27	12.40	15.9	17.6	17.00
	16.0	7.66	13.20	17.1	19.2	19.00
	17.0 and up	8.01	13.90	18.1	20.6	20.70
E	16.0	8.68	14.0	17.5	18.1	15.3
	18.0	9.92	16.7	21.2	23.0	21.5
	20.0	10.90	18.7	24.2	26.9	26.4
	22.0	11.70	20.3	26.6	30.2	30.5

	24.0	12.40	21.6	28.6	32.9	33.8
	26.0	13.00	22.8	30.3	35.1	36.7
	28.0 and up	13.40	23.7	31.8	37.1	39.1

ความเร็วเชิงเส้นสายพานควรมีค่าระหว่าง $1,000 \text{ fpm} < V < 5,000 \text{ fpm}$

จะได้
$$V = \frac{\pi d n}{12} = \frac{\pi \times 3 \times 1500}{12} = 1178 \text{ ft/min}$$

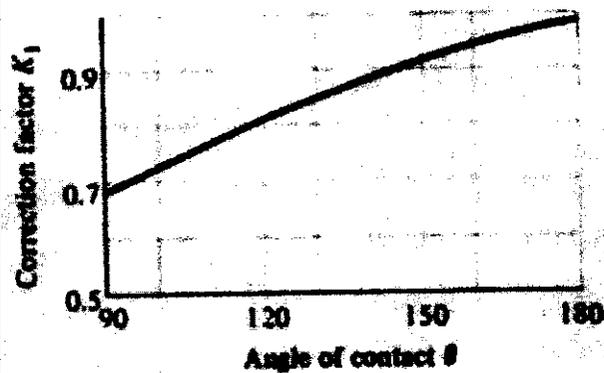
จากตารางที่ 3.3

สายพาน Section A และ $d_m = 3 \text{ in.}$

Rated hp = 0.7223 hp ต่อเส้น (interpolation)

Corrected hp = $k_1 k_2$ (rated hp)

$\theta = 157.6^\circ$



รูปที่ 3.8 Corrected factor K_1 for angle of contact. Multiply the rated horsepower per belt by this factor to obtain the corrected horsepower. (Shigley and Mische, 2002)

ตารางที่ 3.4 Belt-Length Correction Factor K_2

LENGTH FACTOR	NOMINAL BELT LENGTH, in				
	A BELTS	B BELTS	C BELTS	D BELTS	E BELTS
0.85	Up to 35	Up to 46	Up to 75	Up to 128	
0.90	38-46	48-60	81-96	144-162	Up to 195
0.95	48-55	62-75	105-120	173-210	210-240
1.00	60-75	78-97	128-158	240	270-300
1.05	78-90	105-120	162-195	270-330	330-390
1.10	96-112	128-144	210-240	360-420	420-480
1.15	120 and up	158-180	270-300	480	540-600
1.20		195 and up	330 and up	540 and up	660

จากตารางที่ 3.4 และรูปที่ 3.5 จะได้

$$k_1 = 0.95$$

$$k_2 = 0.95$$

$$\begin{aligned} \text{Corrected hp} &= 0.95 \times 0.95 \times 0.7223 \\ &= 0.65 \text{ hp (ต่อเส้น)} \end{aligned}$$

เราสามารถเลือกใช้สายพานชนิด A ความยาว 48 นิ้ว จำนวน 1 เส้น เพื่อใช้ในการส่งกำลังได้

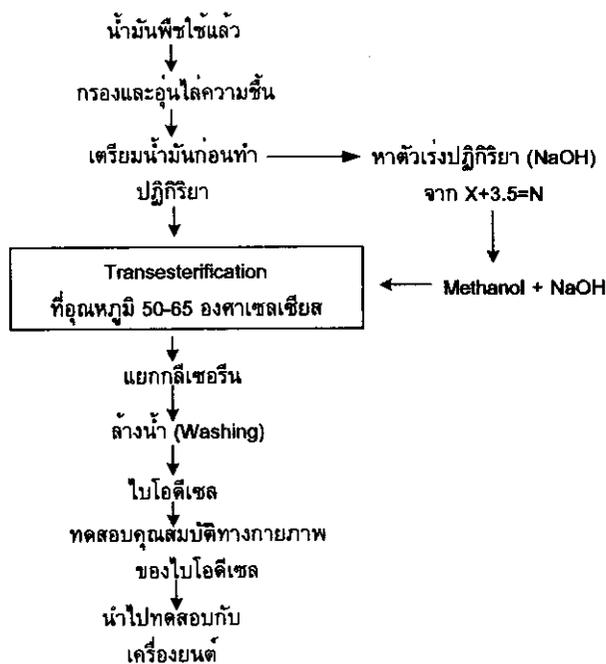
3.5 สรุปผลการออกแบบ

ตารางที่ 3.5 ลักษณะทั่วไปของเครื่องผลิตน้ำมันไบโอดีเซล

รายการ	ขนาด	วัสดุ
-ใบกวน ความกว้าง ความยาว	7 mm 12.5 mm	เหล็กแผ่นหนา 2 mm
-แกนเพลลา	เส้นผ่าศูนย์กลาง 19 mm (¾ นิ้ว) ความยาว 1 m	เหล็กกลมตัน
-ล้อย้ายพานเล็ก -ล้อย้ายพานใหญ่	เส้นผ่าศูนย์กลาง 3 นิ้ว เส้นผ่าศูนย์กลาง 9 นิ้ว	เหล็กหล่อ เหล็กหล่อ
-มอเตอร์	½ hp	มอเตอร์กระแสสลับ 1 เฟส
-ตลับลูกปืน	ขนาดรูสวมภายใน ¾ นิ้ว	ลูกปืนตักตา self-aligning
-ถังผสม -ถัง washing	210 ลิตร 240 ลิตร	ถังน้ำมันเหล็กทั่วไป ถังน้ำมันเหล็กทั่วไปเชื่อมเป็น ทรงกรวย
-วาล์ว	¾ นิ้ว	วาล์วน้ำตามท้องตลาด

บทที่ 4 การทดลอง

ในการศึกษานี้ได้ศึกษาวิธีการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วโดยผ่านกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันและศึกษาปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันในระดับห้องปฏิบัติการ (1 ลิตร) ซึ่งปัจจัยที่ศึกษาได้แก่ อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา และระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา จากนั้นก็จะนำสภาวะที่ได้ในระดับห้องปฏิบัติการไปทดลองผลิตในระดับ 150 ลิตรต่อรอบการผลิตจากเครื่องผลิตไบโอดีเซลที่ออกแบบและสร้างขึ้นมา และน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตได้จากเครื่องต้นแบบจะถูกนำไปทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพการเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงเทียบกับน้ำมันดีเซลมาตรฐานและนำไปทดสอบกับเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กเพื่อศึกษาผลกระทบต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์ ดังแสดงในแผนภาพรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แผนภาพแสดงขั้นตอนการผลิตและทดสอบไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว

4.1 การเตรียมน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว

เนื่องจากน้ำมันพืชที่ใช้แล้วจะมีเศษอาหารหรือมีสิ่งปนเปื้อนติดมาด้วยและยังมีความชื้นอยู่ด้วยจึงต้องมีการกำจัดสิ่งต่างๆ เหล่านี้ออกจากน้ำมันพืชใช้แล้วเสียก่อนโดยมีขั้นตอนในการเตรียมน้ำมันดังนี้

4.1.1 การกรองน้ำมัน

น้ำมันพืชใช้แล้วที่รวบรวมมาจากแหล่งต่างๆ จะถูกนำมาผสมรวมกันให้เป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นก็จะปล่อยผ่านผ้ากรองขนาด 30 mesh เพื่อกำจัดเศษอาหารหรือสิ่งปนเปื้อนออกจากน้ำมัน

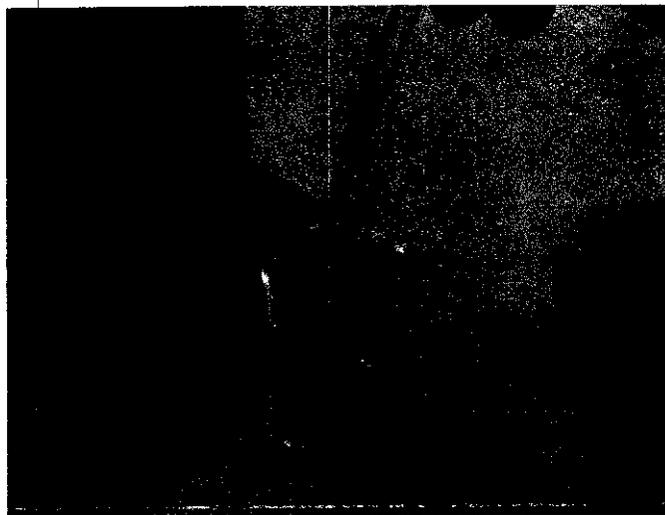
4.1.2 การกำจัดความชื้น

ความชื้นที่ปะปนอยู่ในน้ำมันพืชใช้แล้วจะอยู่ในรูปของน้ำซึ่งถ้ามีน้ำปะปนอยู่ในน้ำมันจำนวนมากในขั้นตอนการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันจะทำให้ปฏิกิริยาเกิดขึ้นน้อยและเกิดสบู่ขึ้นได้ ดังนั้นจึงต้องมีการกำจัดความชื้นให้หมดเสียก่อนโดยน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านการกรองแล้วจะถูกนำมาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสเป็นเวลาประมาณ 30 นาที เพื่อไล่ความชื้นออกจากน้ำมัน

4.2 การหาจำนวนโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ต้องใช้ในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสมที่ใช้ในกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันสามารถหาได้โดยวิธีการไทเทรตโดยมีขั้นตอนดังนี้

- 1) ละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium Hydroxide, NaOH) จำนวน 1 กรัม ในน้ำกลั่น (distilled water) จำนวน 1 ลิตร
- 2) ตวงไอโซโพรพิล แอลกอฮอล์ (Isopropyl alcohol) จำนวน 10 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ขนาด 20 มิลลิลิตร
- 3) ใช้หลอดหยดหยดน้ำมันพืชใช้แล้วจำนวน 1 มิลลิลิตร (20 หยด เท่ากับ 1 มิลลิลิตร) ลงในไอโซโพรพิล แอลกอฮอล์ ดังรูปที่ 4.2
- 4) ใช้หลอดหยด (ต้องเป็นหลอดหยดคนละอันกับที่เคยใช้กับน้ำมัน) เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่เตรียมไว้ ลงในสารละลาย oil/alcohol ดังรูปที่ 4.3
- 5) หลังจากที่ได้เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์จำนวน 1 มิลลิลิตร ลงในสารละลาย oil/alcohol แล้วให้ตรวจสอบค่า pH ค่า pH จะต้องอยู่ระหว่าง 8-9 ดังรูปที่ 4.4



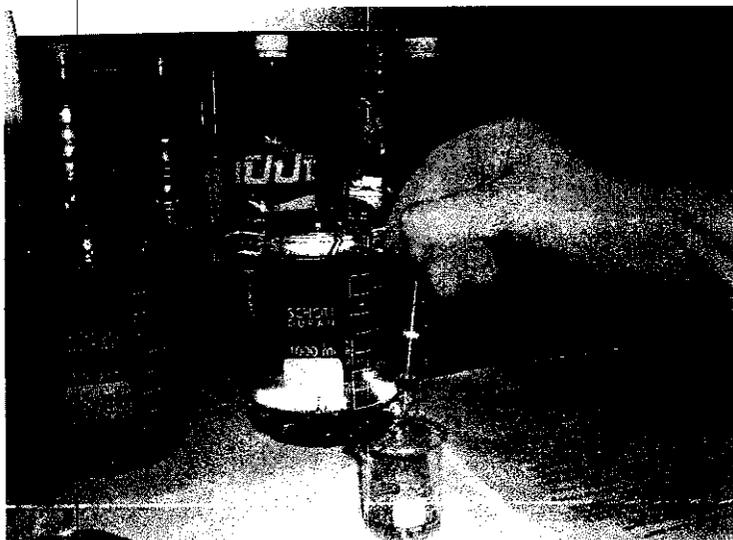
รูปที่ 4.2 การหยदनํ้ามันพืชลงในไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์

- 6) หากยังไม่ได้ค่า pH ที่ต้องการ ($\text{pH} = 8-9$) ให้ทำตามขั้นตอนที่ 4-5 ใหม่จนกว่าจะได้ช่วงของค่า pH ที่ต้องการ แต่ส่วนใหญ่แล้ว สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เติมลงไปจะอยู่ประมาณ 1-4.5 มิลลิลิตร ซึ่งขึ้นอยู่กับความเก่าของนํ้ามันใช้แล้วที่จะนำมาทำ Biodiesel
- 7) คำนวณหาจำนวนของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่จะต้องใช้ในการทำไบโอดีเซลจำนวน 1 ลิตร โดยใช้สมการ

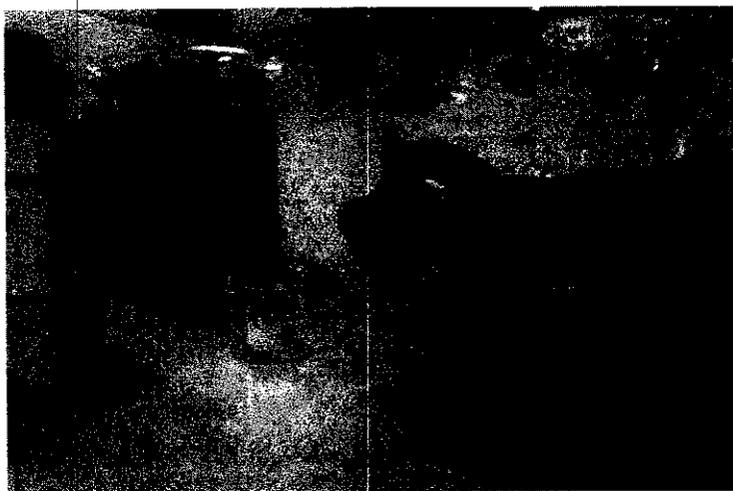
$$(X+3.5) = N \quad (4.1)$$

โดยที่ X คือ ปริมาณของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เติมลงไป

N คือ จำนวนกรัมของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ต่อนํ้ามัน 1 ลิตร โดยส่วนใหญ่แล้วจะอยู่ระหว่าง 4.5-6.5 กรัม ขึ้นอยู่กับความเก่าของนํ้ามันพืชใช้แล้วที่จะนำมาทำไบโอดีเซล



รูปที่ 4.3 การเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ลงในสารละลาย oil/alcohol

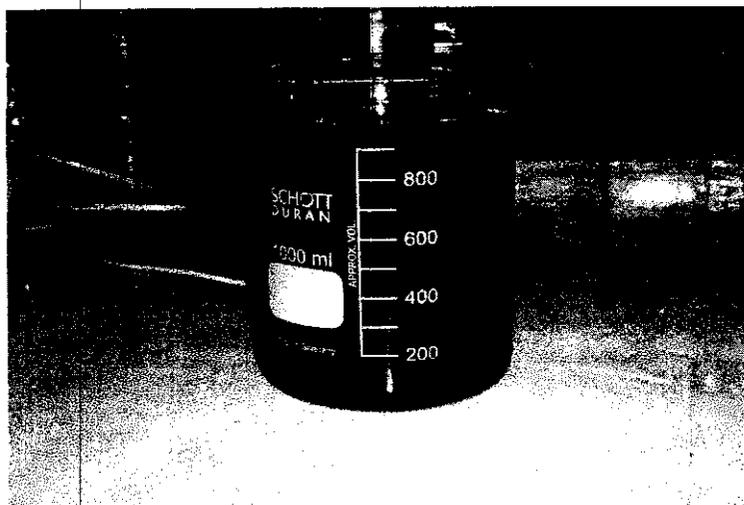


รูปที่ 4.4 การตรวจสอบค่า pH โดยใช้กระดาษลิตมัส

4.3 การผลิตไบโอดีเซลขนาด 1 ลิตรโดยกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

น้ำมันพืชใช้แล้วที่ได้ผ่านการกรองและกำจัดความชื้นแล้วจะถูกนำมาหาจำนวนของไฮเดียมไฮดรอกไซด์ที่จะต้องใช้ในการทำปฏิกิริยาจากนั้นจึงนำมาทำการสังเคราะห์ไบโอดีเซลด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยมีขั้นตอนดังนี้

- 1) นำน้ำมันพืชใช้แล้วที่ได้ผ่านการกรองและกำจัดความชื้นแล้ว จำนวน 1 ลิตรดังรูป 4.5 นำไปอุ่นที่อุณหภูมิต่างๆตามที่จะศึกษา (50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส)
- 2) ละลายไฮเดียมไฮดรอกไซด์ จำนวน N กรัมซึ่งหาได้จากสมการ 4.1 ในหัวข้อที่ 4.2 ในเมทานอลจำนวน 200 มิลลิลิตร ในเครื่องปั่นผสม (เมทานอลจำนวน 200 มิลลิลิตรได้จากสัดส่วนของเมทานอลต่อน้ำมันพืชใช้แล้ว 1:5)



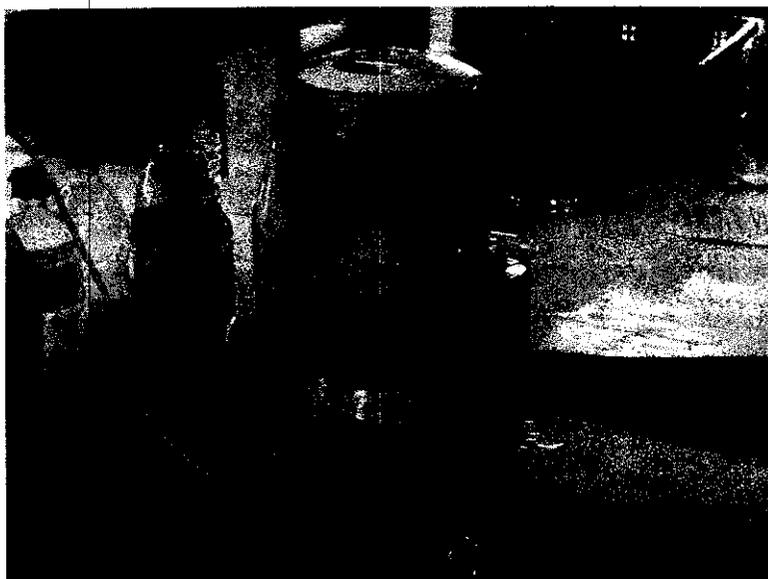
รูปที่ 4.5 น้ำมันพืชใช้แล้วที่ได้ผ่านการกรองและกำจัดความชื้น

3) เปิดเครื่องผสม (Blender) เพื่อให้สารทั้งสองตัวผสมกันอย่างดี กลายเป็นสารละลาย Sodium methoxide ดังรูปที่ 4.6 จากนั้นเติมน้ำมันลงไปเครื่องผสมพร้อมกับปั่นผสมเป็นเวลาตามที่จะศึกษา (1 และ 2 ชั่วโมง) โดยรักษาอุณหภูมิให้อยู่ในช่วงที่ต้องการจะศึกษา (50, 60, 70 องศาเซลเซียส) และจะต้องใช้ความเร็วรอบในการผสมอยู่ที่ ขนาดปานกลางถึงสูง ซึ่งจะสามารถสังเกตการไหลในเครื่องคนเป็นการไหลแบบปั่นป่วน หรือ Turbulent flow ซึ่งจะทำให้สารทั้งสองชนิดผสมกันและทำปฏิกิริยากันได้เป็นอย่างดี

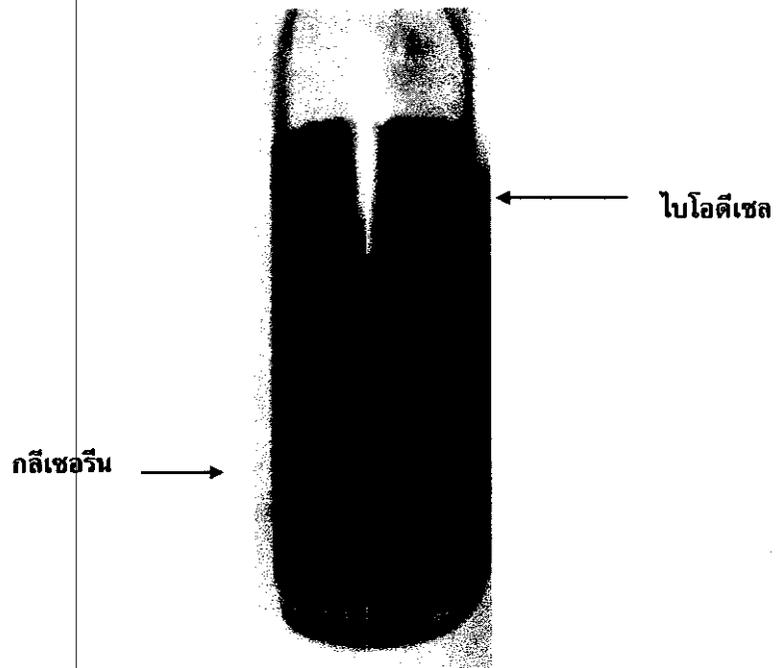
4) เมื่อถึงเวลาตามที่กำหนดแล้วปิดเครื่องผสมและปล่อยให้ทิ้งไว้ประมาณ 15 นาที จะสังเกตเห็นการแยกชั้นของไบโอดีเซลกับกลีเซอริน ดังรูปที่ 4. 7 โดยส่วนที่อยู่ด้านบนคือไบโอดีเซลและด้านล่างคือกลีเซอริน

5) ทำการแยกน้ำมันไบโอดีเซลออกจากกลีเซอรินแล้วนำไปล้างด้วยน้ำ (Washing) ประมาณ 2-3 ครั้งโดยการสเปรย์น้ำผ่านน้ำมันไบโอดีเซลน้ำจะไหลผ่านน้ำมันไบโอดีเซลและล้างเอาสารเคมีที่ทำปฏิกิริยาไม่หมดไปด้วยในที่สุดก็จะแยกชั้นกันระหว่างน้ำกับน้ำมันไบโอดีเซลดังรูปที่ 4.8 จากนั้นนำน้ำมันไบโอดีเซลที่ได้ไปหาปริมาณที่ได้ (Yield) จากสมการ

$$\text{Yield} = \frac{\text{ปริมาณน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตได้ทั้งหมด (ลิตร)} \times 100}{\text{ปริมาณของส่วนผสมตั้งต้นทั้งหมด}} \quad (4.2)$$



รูปที่ 4.6 การป้อนผสมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์กับเมทานอล



รูปที่ 4.7 การแยกชั้นของน้ำมันไบโอดีเซล(ชั้นบน) กับ กลีเซอริน(ชั้นล่าง)

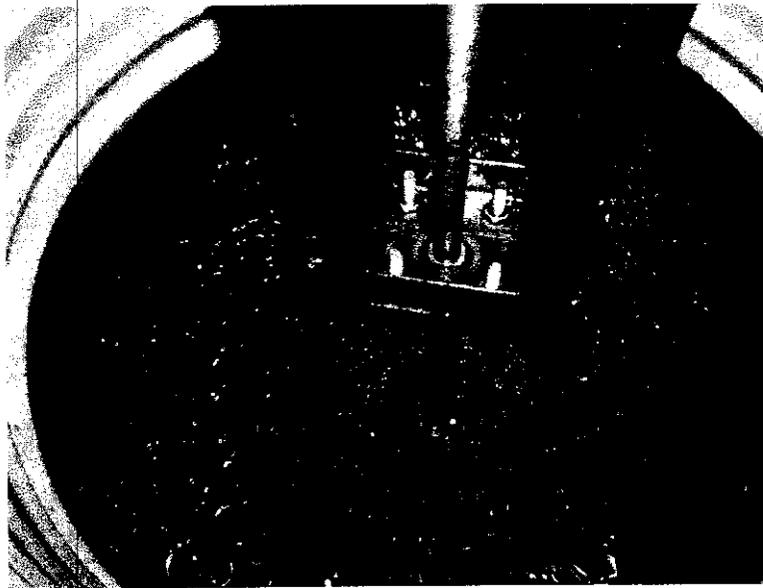


รูปที่ 4.8 การแยกชั้นของน้ำมันไบโอดีเซล (ชั้นบน) กับน้ำ (ชั้นล่าง) ในขั้นตอนล้างน้ำ (Whasing)

4.4 การผลิตไบโอดีเซลขนาด 150 ลิตรด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันจากเครื่องผลิตไบโอดีเซลต้นแบบ

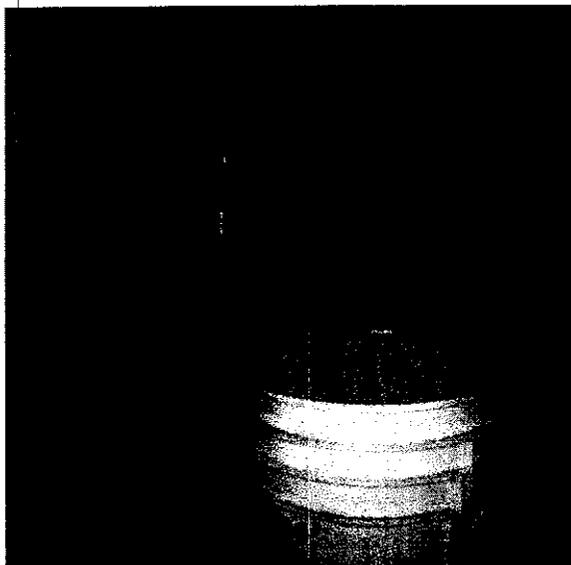
หลังจากได้สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการผลิตไบโอดีเซลจากระดับห้องปฏิบัติการแล้วนั้นก็ได้ใช้สภาวะที่มีความเหมาะสมดังกล่าวมาผลิตไบโอดีเซลในระดับ Pilot Scale จากเครื่องผลิตไบโอดีเซลต้นแบบขนาด 150 ลิตรต่อรอบการผลิตโดยมีขั้นตอนดังนี้

- 1) นำมันพืชที่ใช้แล้วจะถูกนำไปกรองและกำจัดความชื้น ตามรายละเอียดในหัวข้อที่ 4.1 และทำการไทเทรตหาจำนวนโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่จะใช้เป็นตัวเร่งในปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน
- 2) เตรียมเมทานอลที่จะใช้ในกระบวนการผลิตจำนวน 20 ลิตรแล้วกวนผสมกับโซเดียมไฮดรอกไซด์จำนวน N (หาจากสมการที่ 4.1) คูณ 100 กรัม ในถังผสมสารเคมี จะได้สารละลาย Sodium methoxide ที่จะนำไปผสมกับน้ำมันพืชใช้แล้วต่อไป
- 3) อุ่นน้ำมันในถังผสมให้มีอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสแล้วปั่นผสม
- 4) เปิดวาล์วให้สารละลายค่อยไหลเข้าผสมขณะที่ปั่นผสม โดยใช้เวลาในการปั่นผสม 2 ชั่วโมง ดังรูปที่ 4.9



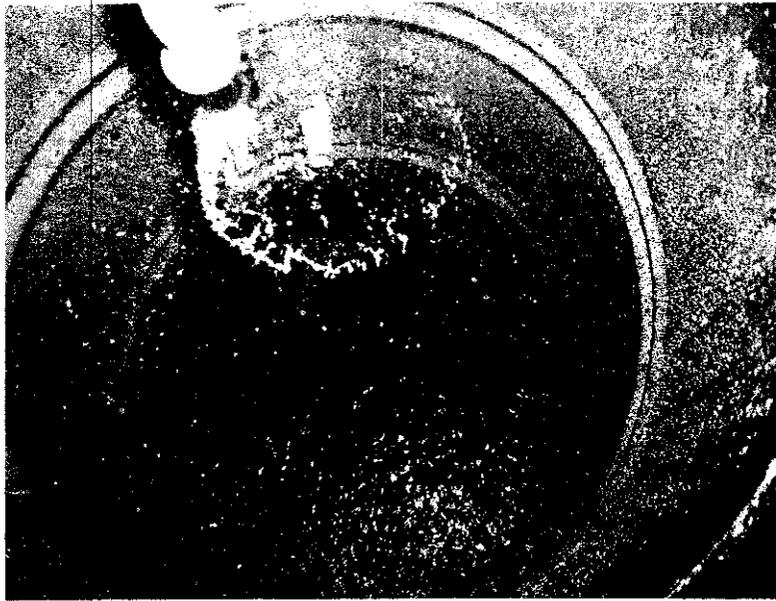
รูปที่ 4.9 การผสมอย่างปั่นป่วนของน้ำมันพืชใช้แล้วและสารเคมี

5) หลังจากปั่นผสมเสร็จตามเวลาที่กำหนดทิ้งไว้ให้เกิดการแยกชั้นระหว่างน้ำมันไบโอดีเซลและกลีเซอรินประมาณ 8-10 ชั่วโมง และแยกน้ำมันไบโอดีเซลดังรูปที่ 4.10 โดยการเปิดวาล์วเพื่อแยกเอาน้ำมันไบโอดีเซลออกจากกลีเซอรินเพื่อทำการ Washing ต่อไป

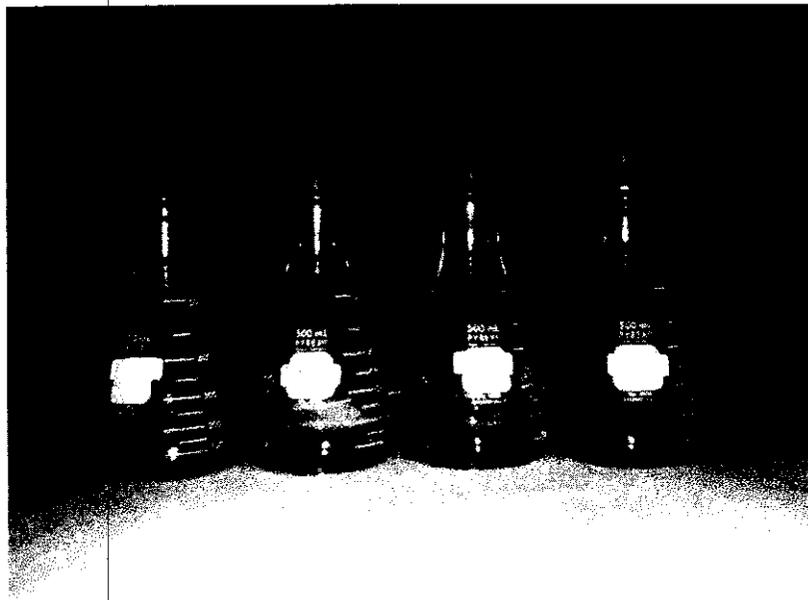


รูปที่ 4.10 การแยกเอาน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตได้ออกจากกลีเซอริน

6) เนื่องจากยังมีสารเคมีบางส่วนยังคงตกค้างในน้ำมันไบโอดีเซล ซึ่งจากการสังเกตในห้องปฏิบัติการพบว่าสารเคมีพวกนี้จะค่อยๆ แยกออกมา ซึ่งใช้เวลานานมาก และสารตกค้างเหล่านี้มีผลต่อคุณภาพของน้ำมันไบโอดีเซล กระบวนการในการแยกสารเหล่านี้เรียกว่า กระบวนการ Washing ดังรูปที่ 4.11 คือการล้างสารเคมีออกโดยการใช้น้ำสะอาดที่มีค่า pH เป็นกลางฉีดเป็นฝอยผ่านน้ำมันไบโอดีเซล โดยใช้น้ำประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ของน้ำมันไบโอดีเซล แล้วปล่อยให้เกิดการแยกชั้นของน้ำมันไบโอดีเซลและน้ำ จำนวนครั้งในการ Washing ขึ้นกับความสะอาดของน้ำมันไบโอดีเซลซึ่งสังเกตได้จากลักษณะสีของน้ำที่แยกชั้นออกมาข้างล่าง ซึ่งถ้าน้ำมันสะอาดแล้วน้ำจะมีลักษณะใส จำนวนครั้งในการ Washing ขึ้นอยู่กับสภาพของน้ำมันไบโอดีเซล ปกติจะอยู่ประมาณ 3-5 ครั้งโดยดูจากค่า pH จะเท่ากับ 7 ซึ่งเป็นกลาง หลังจากล้างน้ำ (Washing) เสร็จแล้วก็จะได้น้ำมันไบโอดีเซลที่พร้อมจะนำไปใช้งานดังรูป 4.12



รูปที่ 4.11 แสดงการสเปรย์น้ำในกระบวนการล้างน้ำ



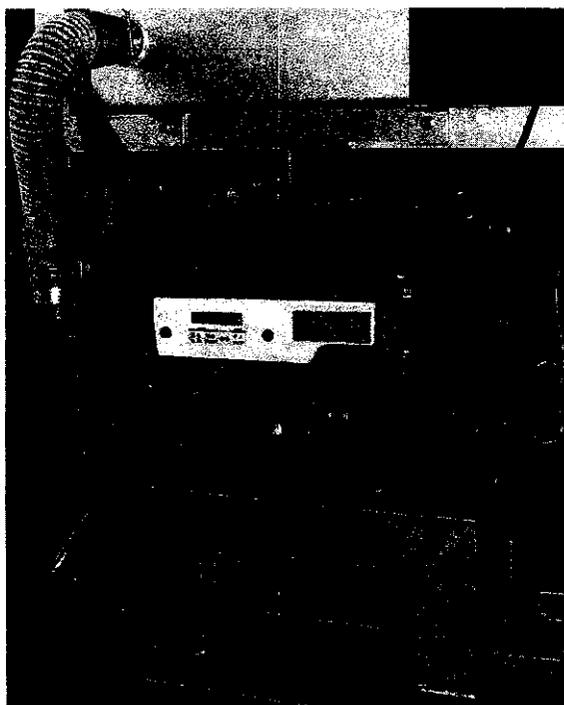
รูปที่ 4.12 ตัวอย่างน้ำมันที่ผ่านการล้างน้ำแล้วโดยสีของน้ำมันไบโอดีเซลขึ้นอยู่กับความเก่า-ใหม่ของน้ำมันพืชใช้แล้วที่นำมาเป็นวัตถุดิบในการผลิต

4.5 การทดสอบคุณสมบัติการเป็นเชื้อเพลิงของน้ำมันไบโอดีเซล

ในงานวิจัยนี้ทำการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพที่จำเป็นและสำคัญในการเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงของน้ำมันไบโอดีเซลที่สังเคราะห์ได้ ตามมาตรฐาน ASTM. (ASTM,2001) ซึ่งประกอบด้วยค่าความหนืด, จุดวาบไฟ, จุดติดไฟ, ค่าความถ่วงจำเพาะ, ค่าความร้อนของน้ำมันเชื้อเพลิง, ค่าความหนาแน่น และค่าดัชนีซีเทน โดยเปรียบเทียบกับค่าคุณสมบัติของน้ำมันดีเซลมาตรฐาน ตามข้อกำหนดของกระทรวงพาณิชย์ โดยการทดสอบนี้ได้ทำการทดสอบที่ห้องปฏิบัติการของภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.6 เครื่องยนต์และอุปกรณ์ทดสอบสมรรถนะ

การทดสอบในส่วนของผลกระทบต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตได้จะใช้เครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กเพื่อการเกษตรยี่ห้อ MITSUBISHI รุ่น D-800 ซึ่งไม่มีการปรับแต่งหรือดัดแปลงเครื่องยนต์แต่ประการใดดังรูปที่ 4.13 โดยมีรายละเอียดของเครื่องยนต์ดังแสดงในตารางที่ 4.1

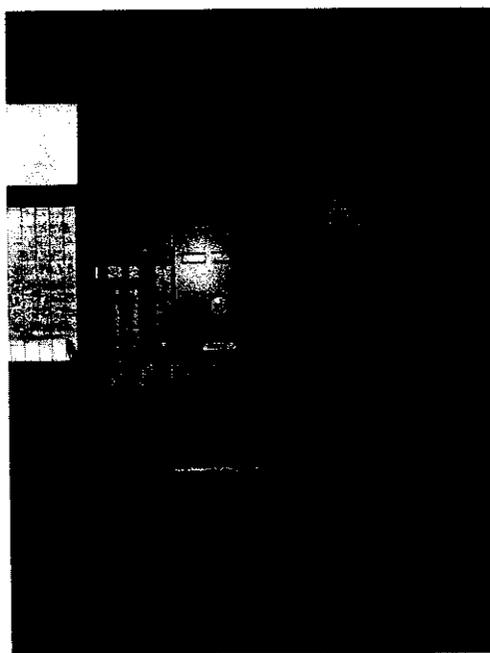


รูปที่ 4.13 เครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดสอบ

ตารางที่ 4.1 รายละเอียดทางเทคนิคของเครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดสอบ

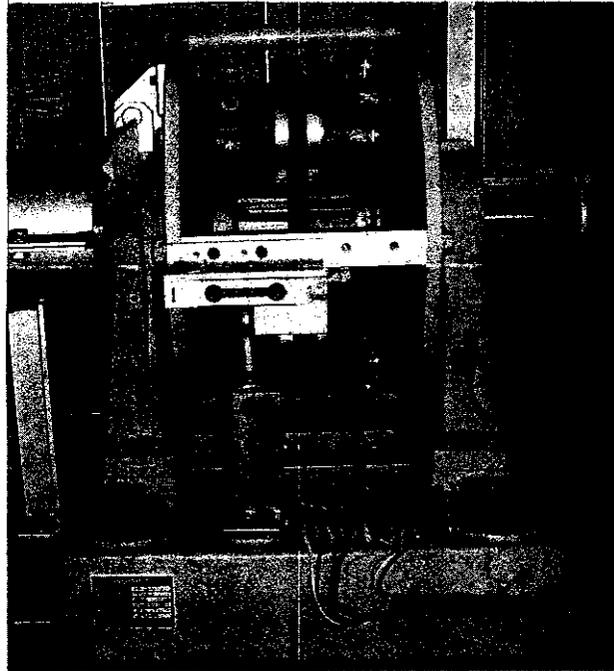
Model	D-800 (Mitsubishi Diesel Engine)
Bore x Stroke	82 x 78 mm.
number of cylinder	1
Piston Volume	411 cc
Link ratio	3.54
Maximum output	8.0 PS / 2400 rpm
Maximum torque	2.6 kg-m / 1900 rpm
Compression ratio	18.0

สำหรับการวัดกำลังงานของเครื่องยนต์ในงานวิจัยนี้จะใช้ชุดทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์แบบ EDDY CURRENT TEST BED ดังแสดงในรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 ชุดทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์แบบ EDDY CURRENT TEST BED

โดยมีเงื่อนไขในการทดสอบคือ ทดสอบเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบตั้งแต่ 400 ถึง 2,500 rpm ที่ภาระของเครื่องยนต์สูงสุด (full load) โดยที่ชุดทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ประกอบด้วยเครื่องยนต์ที่ต่อเข้ากับไดนามิเตอร์ในรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.15 ไดนามิเตอร์ที่ต่อกับเครื่องยนต์ที่ใช้ทดสอบ

4.8 วิธีการทดสอบหาสมรรถนะของเครื่องยนต์

ขั้นตอนก่อนการทดสอบ

- 1) ทำการเปลี่ยนถ่ายน้ำมัน และไส้กรองอากาศ ที่ระยะเริ่มต้นของการทดสอบ
- 2) ตรวจสอบสภาพรอบ ๆ เครื่องยนต์ สังเกตดูสภาพชิ้นส่วนต่าง ๆ ชำรุดหรือไม่ การรั่วของน้ำมันหล่อลื่น น้ำมันเชื้อเพลิง น้ำหล่อเย็น ฯลฯ ถ้าจำเป็นต้องทำการแก้ไข
- 3) ก่อนเริ่มทำการทดสอบ ทำการวัดอุณหภูมิกระเปาะเปียกและกระเปาะแห้งของอากาศ ของบริเวณที่ทำการทดสอบ เพื่อให้ทราบถึงค่าที่แท้จริงของอุณหภูมิ ความหนาแน่นของอากาศและความชื้นสัมพัทธ์
- 4) ก่อนทำการทดสอบจะต้องมีการอุ่นอุปกรณ์การวัดต่าง ๆ ให้มีอุณหภูมิที่เหมาะสมเพื่อให้อุณหภูมิของชิ้นส่วนต่าง ๆ โดยเฉพาะอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับอิเล็กทรอนิกส์ให้อยู่ในช่วงอุณหภูมิทำงานเสียก่อน

5) ติดเครื่องยนต์ทิ้งไว้ประมาณ 20 นาที โดยให้เครื่องยนต์ทำงานที่รอบเบาจากนั้นจึงเร่งเครื่องให้รอบเพิ่มขึ้นสลับกับรอบเบา เพื่อทำการอุ่นเครื่องยนต์ หรือเพื่อให้ชิ้นส่วนต่างๆของเครื่องยนต์ น้ำหล่อเย็นและน้ำมันหล่อลื่นมีอุณหภูมิที่อุณหภูมิทำงานเสียก่อนเพื่อความพร้อมในการทำการทดสอบ

ขั้นตอนการทดสอบ

1) เมื่อเครื่องยนต์และอุปกรณ์การวัดค่าต่างๆอยู่ในสภาวะการทำงานแล้วให้เริ่มทำการเก็บค่าโดยเร่งรอบของเครื่องยนต์ไปที่ความเร็วรอบสูงสุดที่เครื่องยนต์จะทำได้ (Full load) ซึ่งเป็นค่าเริ่มต้น

2) ปรับโหลดของไดนาโมมิเตอร์เพื่อเพิ่มภาระให้แก่เครื่องยนต์ให้ได้ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ตามที่ทำการทดสอบ รอจนกระทั่งเครื่องยนต์มีสภาวะการทำงานคงที่ จึงเริ่มบันทึกค่าต่างๆ โดยทำการบันทึกค่าแรงบิด อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันและมลพิษที่เกิดขึ้นทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบของเครื่องยนต์

3) เมื่อทำการทดสอบน้ำมันตัวอย่างเสร็จเรียบร้อยแล้ว ก่อนที่จะทำการทดสอบน้ำมันตัวอย่างชนิดต่อไป จะต้องเปลี่ยนไส้กรองน้ำมันเชื้อเพลิงใหม่เพื่อกำจัดน้ำมันตัวอย่างก่อนหน้าที่ยังตกค้างอยู่

4) เปลี่ยนเชื้อเพลิงเป็นเชื้อเพลิงชนิดอื่นแล้วทำซ้ำตามขั้นตอนในข้อ 1, 2 และ 3

5) เมื่อทำการทดสอบน้ำมันเชื้อเพลิงจนครบ 5 ตัวอย่างแล้ว ก็ทำการทดสอบซ้ำแบบเดิมอีก 2 ครั้ง ทั้งนี้เพื่อให้เกิดความแน่ใจกับผลการทดสอบที่ได้

บทที่ 5 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

การวิจัยนี้เน้นผลจากการทดลองเป็นสำคัญ ดังนั้นในบทนี้จะกล่าวถึงผลการทดลอง และการวิเคราะห์ผลการทดลอง

5.1 ผลการทดลองผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วในระดับห้องปฏิบัติการ

จากการหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วในระดับห้องปฏิบัติการโดยกำหนดตัวแปรในการทดลองเพียงแค่ 2 ตัวแปรคือจะศึกษา อุณหภูมิตั้งต้นของการทำปฏิกิริยา และเวลาในการทำปฏิกิริยาเพียงเท่านั้น ส่วนแอลกอฮอล์และตัวเร่งปฏิกิริยาจะใช้เมทานอลกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ในทุกครั้งของการทดลองโดยคงสัดส่วนโดยปริมาตรของเมทานอลต่อปริมาณน้ำในพืชที่ใช้แล้ว 1:5 ได้ทดลองเปลี่ยนอุณหภูมิของการทำปฏิกิริยา ที่เวลาในการทำปฏิกิริยา 1 ชั่วโมงและ 2 ชั่วโมงได้ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 5.1 และ 5.2 ตามลำดับ

ตารางที่ 5.1 แสดงผลของอุณหภูมิตั้งต้นในการทำปฏิกิริยา 1 ชั่วโมง

อุณหภูมิ (C°)	ผลที่ได้ (%)
50	91.5
60	94
70	92

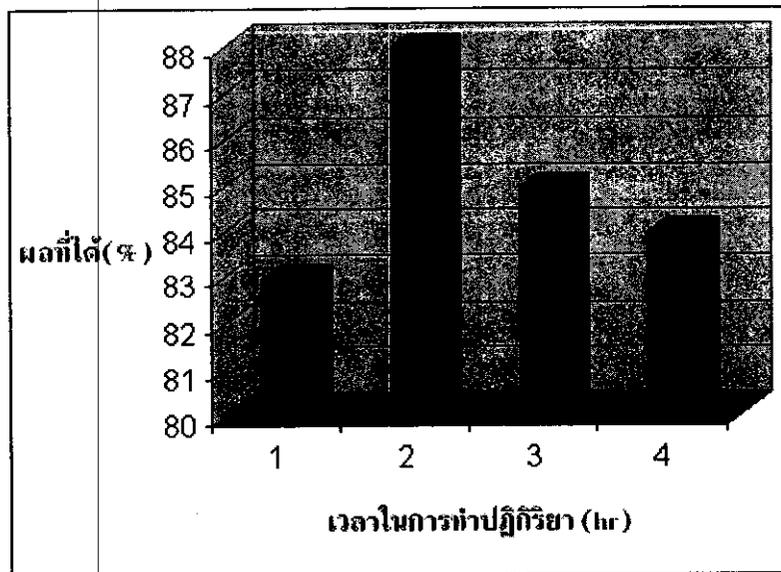
ตารางที่ 5.2 แสดงผลของอุณหภูมิตั้งต้นในการทำปฏิกิริยา 2 ชั่วโมง

อุณหภูมิ (C°)	ผลที่ได้ (%)
50	92
60	95
70	94

จากผลการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการพบว่าอุณหภูมิตั้งต้นของการทำปฏิกิริยา และเวลาในการทำปฏิกิริยามีผลต่อผลที่ได้ (Yield) ของไบโอดีเซลโดยพบว่าที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสจะให้ไบโอดีเซลที่ได้มากที่สุดเป็นเวลาในการทำปฏิกิริยาทั้ง 1 และ 2 ชั่วโมง

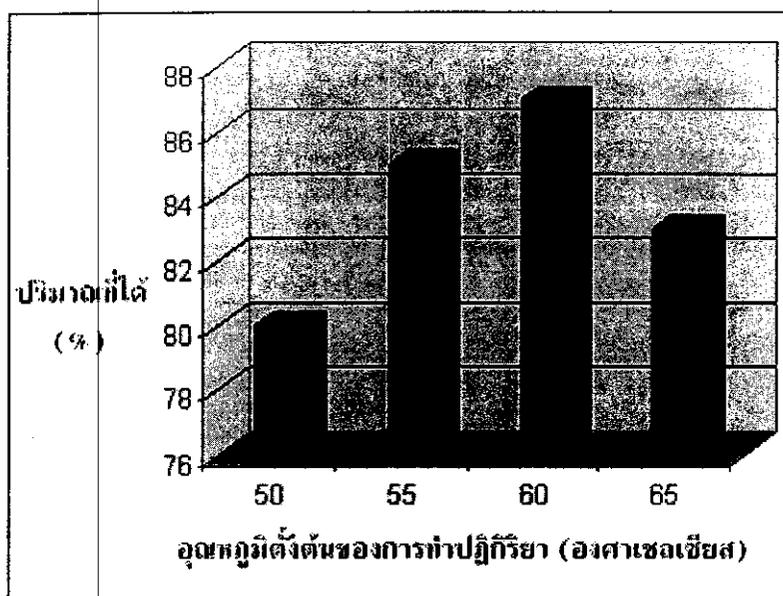
5.2 ผลการทดลองผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วจากเครื่องต้นแบบ

จากการหาสภาวะที่เหมาะสม ในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วในระดับห้องปฏิบัติการ พบว่าที่ อุณหภูมิตั้งต้นของการทำปฏิกิริยา 60 องศาเซลเซียสจะให้ปริมาณของไบโอดีเซลที่ได้ (Yield) มากที่สุดคือ 95% จึงเลือกสภาวะดังกล่าวมาเป็นสภาวะในการผลิตไบโอดีเซลในระดับ Pilot scale จากเครื่องผลิตไบโอดีเซลต้นแบบ สำหรับการทดลองผลิตไบโอดีเซลขนาด 150 ลิตรนั้นขั้นแรกได้ทดลองหาเวลาในการทำปฏิกิริยาที่เหมาะสมจากสภาวะที่ได้จากการทดลองในห้องปฏิบัติการโดยได้ปรับเปลี่ยนเวลาในการทำปฏิกิริยาในช่วงระหว่าง 1- 4 ชั่วโมง ที่สัดส่วนโดยมวลของเมทานอลต่อน้ำมันพืชใช้แล้ว 1: 5 ได้ผลการทดลองดังในรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 แสดงปริมาณของไบโอดีเซลที่ได้ต่อเวลาในการทำปฏิกิริยา

จากนั้นได้ทำการทดลองผลิตไบโอดีเซลในระดับ Pilot scale (150 ลิตร) จากเครื่องผลิตไบโอดีเซลต้นแบบ โดยได้ทำการปรับเปลี่ยนอุณหภูมิตั้งต้นของการทำปฏิกิริยาในช่วง 50-65 องศาเซลเซียส ที่สัดส่วนโดยมวลของเมทานอลต่อน้ำมันพืชใช้แล้ว 1: 5, ที่เวลาทำปฏิกิริยา 2 ชั่วโมงได้ผลการทดลองดังในรูปที่ 5.2



รูปที่ 5.2 แสดงปริมาณของไบโอดีเซลที่ได้ต่ออุณหภูมิตั้งต้นของน้ำมันขณะทำปฏิกิริยา

จากผลการทดลองจากรูปที่ 5.1 และรูปที่ 5.2 พบว่าเวลาที่ปล่อยทิ้งไว้ให้ทำปฏิกิริยา 2 ชั่วโมง จะเป็นช่วงเวลาที่เกิดปฏิกิริยาดีที่สุดในขณะที่เวลา 3 และ 4 ชั่วโมงที่ปล่อยให้เกิดการทำให้ปฏิกิริยาจะได้ปริมาณน้ำมันไบโอดีเซลที่ได้ลดลงเรื่อยๆ และอุณหภูมิขณะทำปฏิกิริยา 60 องศาเซลเซียส จะได้ปริมาณน้ำมันไบโอดีเซลมากที่สุดซึ่งใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Sukhawanit และคณะที่นำ น้ำมันเมล็ดทานตะวันดิบ มาผลิตเป็นไบโอดีเซล (Sukhawanit et al., 2004) นอกจากนั้น Korus และคณะยังพบว่าอุณหภูมิขณะทำปฏิกิริยาและเวลาในการทำปฏิกิริยามีผลต่อปริมาณของไบโอดีเซลที่ผลิตได้ (Korus et al., 2004) ดังนั้นที่อุณหภูมิตั้งต้นของการทำปฏิกิริยาที่ 60 องศาเซลเซียสและเวลาที่ปล่อยให้ทำปฏิกิริยา 2 ชั่วโมงจึงเป็นสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลจากเครื่องต้นแบบที่สร้างขึ้น ดังนั้นหลังจากทราบข้อมูลดังกล่าวแล้วจึงนำสภาวะที่เหมาะสมดังกล่าวมาทดลองผลิตไบโอดีเซลจากเครื่องต้นแบบพบว่าปริมาณไบโอดีเซลที่ได้คือ 88 % ต่อ 1 รอบการผลิต

5.3 ผลการทดสอบคุณสมบัติการเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตได้เทียบกับน้ำมันดีเซล

น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผลิตได้จากเครื่องผลิตขนาด 150 ลิตร เมื่อนำไปทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพการเป็นน้ำมันเชื้อเพลิง ตามมาตรฐาน ASTM ที่ห้องปฏิบัติการของภาควิชาเคมี

เทคนิค จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ได้ผลการทดสอบคุณสมบัติของเชื้อเพลิงดังในตารางที่ 5.3 โดยเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซลตามประกาศกระทรวงพาณิชย์

ตารางที่ 5.3 ผลการทดลองเปรียบเทียบคุณสมบัติของไบโอดีเซลกับน้ำมันดีเซล

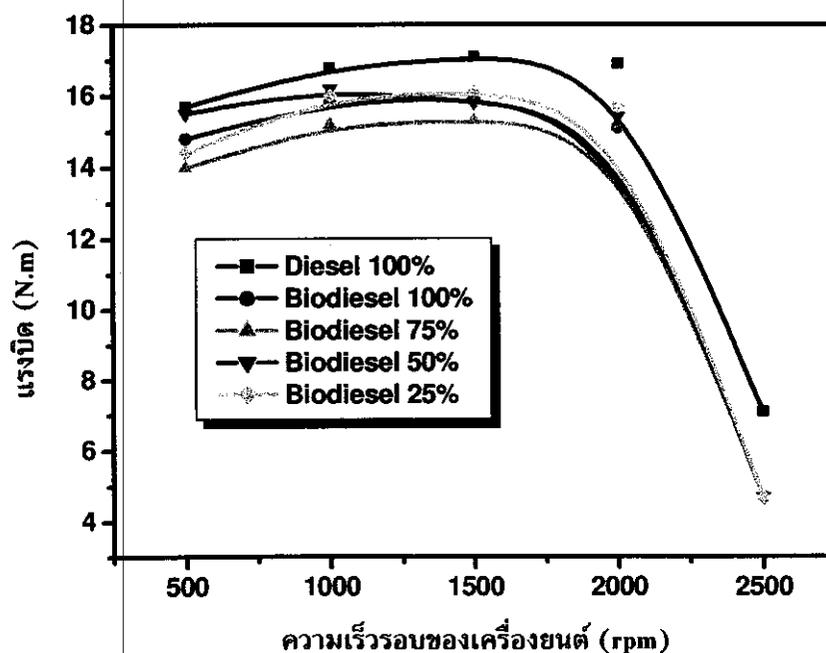
Description	Diesel (High speed)	Diesel (Low speed)	Diesel	100% Biodiesel
Density@15°C	-	-	0.8283	0.8642
Viscosity@ 40°C ASTM D88	1.8-4.1	8.0 max	3.36	6.445
Specific gravity ASTM D1298	0.81	-	0.832	0.88
Fire point (°C) ASTM D92	-	-	74	160
Flash point (°C) ASTM D92	52 min	66 min	65.73	155
Heating value (MJ/Kg) ASTM D1250	-	-	42.9	39.4
Cetane index ASTM D976-9	47 min	45 min	52	45

จากตารางที่ 5.3 พบว่าน้ำมันไบโอดีเซลชนิด Methyl Ester ที่ผลิตได้จากน้ำมันพืชใช้แล้ว มีค่าความหนืด(Viscosity) 6.445 cSt สูงกว่าค่ามาตรฐานข้อกำหนดคุณภาพน้ำมันดีเซลหมุนเร็วกระทรวงพาณิชย์ (1.8-4.1cSt) แต่มีค่าไม่เกินค่ามาตรฐานข้อกำหนดคุณภาพน้ำมันดีเซลหมุนช้ากระทรวงพาณิชย์ (8.0 max cSt) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าน้ำมันไบโอดีเซลที่สังเคราะห์ได้จากน้ำมันพืชใช้แล้วสามารถนำไปใช้งานกับเครื่องยนต์ความเร็วรอบช้าได้ และค่าความหนาแน่น (Density) สูงกว่าน้ำมันดีเซล แต่มีค่าความร้อนต่ำ (Lower Heating Value) ต่ำกว่าน้ำมันดีเซล ซึ่งเชื้อเพลิงที่มีความหนาแน่นและค่าความร้อนสูงจะทำให้การแตกเป็นฝอยละอองของเชื้อเพลิงเกิดได้ไม่ดี เส้นผ่านศูนย์กลางของละอองมีขนาดใหญ่ ทำให้การคลุกเคล้ากับอากาศได้ยาก ทำให้การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ ดังนั้นการใช้น้ำมันไบโอดีเซลจะส่งผลให้การกระจายละอองไม่ดี แต่การมีออกซิเจนอยู่ในตัวน้ำมันไบโอดีเซล สามารถช่วยลดปัญหาเนื่องจากการคลุกเคล้ากับอากาศได้และช่วยให้การเผาไหม้สมบูรณ์กว่าการใช้ น้ำมันดีเซล ส่งผลให้เครื่องยนต์มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงกว่าได้ สำหรับค่าดัชนีซีเทน (Cetane Index) นั้นแสดงคุณภาพจุดระเบิดของน้ำมัน (Ignition Quality) หรือการต้านทานการน็อค น้ำมันที่มีความล่าช้าในการติดไฟ (Ignition delay) สั้นสุดจะมีคุณสมบัติการต้านทานน็อคได้ดีที่สุด เริ่มจากการฉีดน้ำมันใช้เวลาในการอุ่นเป็นไอ (Vapor)

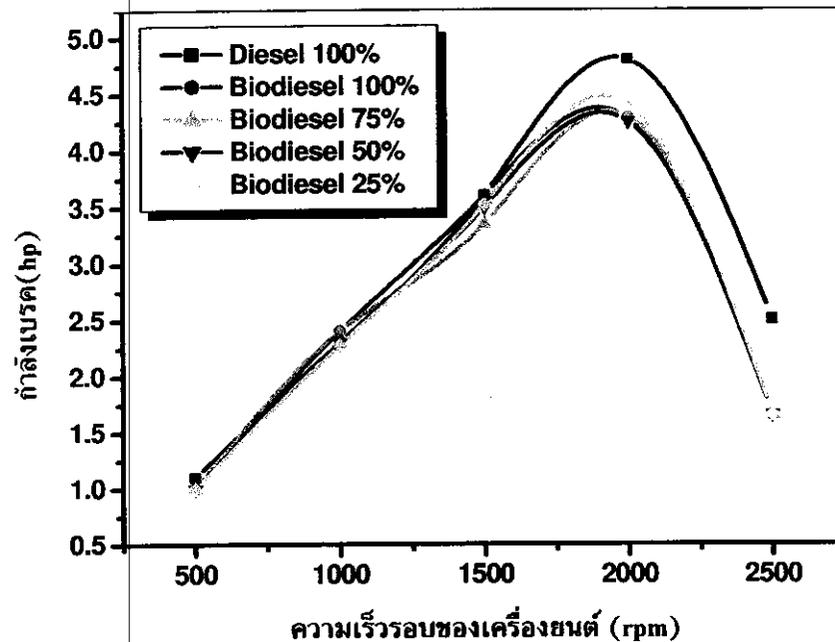
รวมตัวกับอากาศเริ่มลุกไหม้ (Rapid Combustion) น้ำมันที่มีค่าซีเทน สูงจะความล่าช้าสั้น (Short delay) น้ำมันที่มีค่าซีเทน ต่ำจะความล่าช้านาน (Long delay) เครื่องยนต์ดีเซลจะไม่มี Pre-ignition delay แต่จะมีเฉพาะ Detonation knock อันเกิดจากการสะสมน้ำมันเชื้อเพลิงไว้มาก ๆ แล้วลุกไหม้ขึ้นพร้อม ๆ กันทีเดียว ทำให้ Pressure rise สูงมากจึงเกิดเสียงดัง และกระแทกบนหัวลูกสูบอย่างรุนแรง กรณีที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงที่มีค่าซีเทนต่ำเกินไป เมื่อน้ำมันจำนวนแรกฉีดออกไปแล้วต้องเสียเวลาในการอุ่นตัวนาน จำนวนต่อไปจึงฉีดต่อมาเรื่อยๆ ทำให้เกิดสะสมน้ำมันเชื้อเพลิงไว้มาก ๆ แล้วลุกไหม้ขึ้นพร้อมกันทีเดียว อันเป็นผลให้เกิด Detonation knock ขึ้นโดยที่ค่าดัชนีซีเทนของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตได้จากน้ำมันพืชใช้แล้วนั้นมีค่า 45 ต่ำกว่าค่ามาตรฐานข้อกำหนดคุณภาพน้ำมันดีเซลหมุนเร็วกระทรวงพาณิชย์ (47 min) แต่มีค่าเท่ากับค่ามาตรฐานข้อกำหนดคุณภาพน้ำมันดีเซลหมุนช้ากระทรวงพาณิชย์ (45 min) และเมื่อพิจารณาการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันไบโอดีเซลนั้นจะมีการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงมากกว่าการใช้น้ำมันดีเซล เนื่องจากน้ำมันไบโอดีเซลมีค่าความร้อนที่ต่ำกว่าน้ำมันดีเซล จึงทำให้ต้องใช้เชื้อเพลิงในปริมาณที่มากกว่าที่ภาระเครื่องยนต์เท่ากัน

5.4 ผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์

5.4.1 แรงบิดและกำลังของเครื่องยนต์



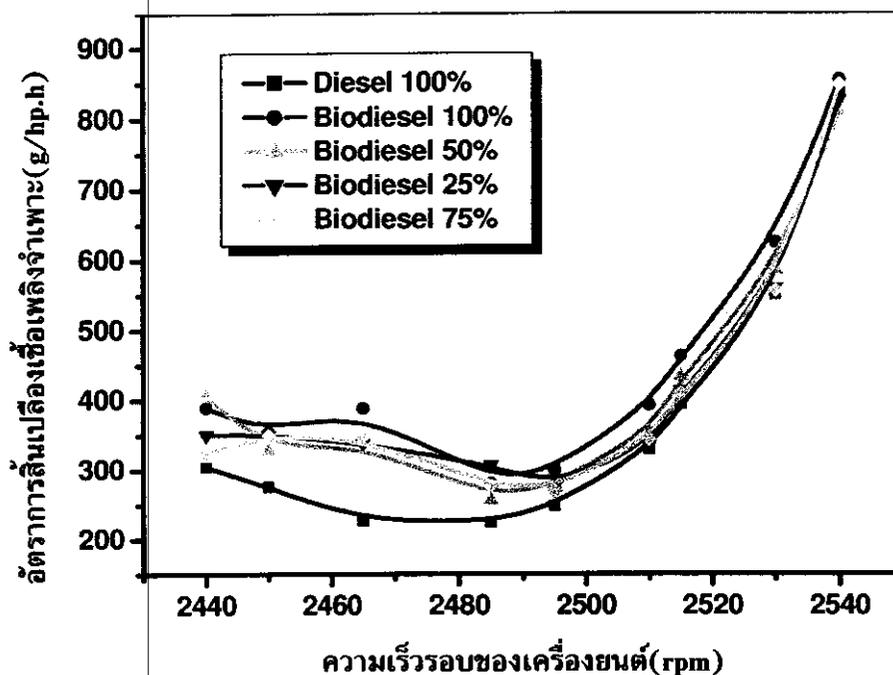
รูปที่ 5.3 แสดงแรงบิดของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันไบโอดีเซลที่อัตราส่วนผสมต่างๆเทียบกับน้ำมันดีเซล



รูปที่ 5.4 แสดงกำลังเบรคของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันไบโอดีเซลที่อัตราส่วนผสมต่างๆเทียบกับน้ำมันดีเซล

ผลการทดลองจากรูปที่ 5.3 และรูปที่ 5.4 แสดงค่าแรงบิดและค่ากำลังของเครื่องยนต์ที่อัตราส่วนผสมต่างๆของน้ำมันไบโอดีเซลเทียบกับน้ำมันดีเซล พบว่าน้ำมันไบโอดีเซลผสมให้ค่าแรงบิดและค่ากำลังของเครื่องยนต์ใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลมาตรฐานโดยมีค่าต่ำกว่าไม่มากนัก ค่าแรงบิดจากน้ำมันผสมอัตราส่วนต่างๆจะมีค่าใกล้เคียงกับค่าแรงบิดจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลในช่วงความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 500 ถึง 2,400 rpm โดยให้ค่าแรงบิดสูงสุดที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 1,900 rpm จากนั้นก็จะลดต่ำลงเรื่อยๆ สำหรับค่ากำลังของเครื่องยนต์ที่ได้จากการใช้น้ำมันอัตราส่วนผสมต่างๆ ก็พบว่ามีความใกล้เคียงกับค่ากำลังที่ได้จากน้ำมันดีเซลในช่วง 500 ถึง 1,500 rpm และจะให้ค่ากำลังสูงสุดที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ประมาณ 2,100 rpm และจะค่อยๆลดต่ำลงเรื่อยๆ โดยที่ค่าแรงบิดและค่ากำลังที่ได้จากเครื่องยนต์โดยใช้น้ำมันไบโอดีเซล 100% เป็นเชื้อเพลิงนั้นจะให้ค่าต่ำกว่าค่าแรงบิดและค่ากำลังที่ได้จากการใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงประมาณ 5-10% ซึ่งถือว่าไม่แตกต่างกัน

5.4.2 อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ



รูปที่ 5.5 แสดงอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะของเครื่องยนต์ เมื่อใช้น้ำมันไบโอดีเซลที่อัตราส่วนผสมต่างๆเทียบกับน้ำมันดีเซล

จากผลการทดลองรูปที่ 5.5 แสดงอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะของเครื่องยนต์ ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าการนำน้ำมันไบโอดีเซลผสมกับน้ำมันดีเซลหรือน้ำมันไบโอดีเซล 100% มาใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์นั้นพบว่าทำให้อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะที่สูงกว่าน้ำมันดีเซลสาเหตุนี้สามารถสมมุติฐานได้ว่ามาจากค่าความร้อนจำเพาะจากการเผาไหม้ของน้ำมันไบโอดีเซลมีค่าต่ำกว่าน้ำมันดีเซลนั่นเอง

5.5 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

ในการนำเครื่องผลิตไบโอดีเซลต้นแบบไปใช้งานนั้น ต้องเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้น เช่น การลงทุน และการบำรุงรักษาเครื่อง ดังนั้นจึงต้องมีการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์เพื่อเป็นดัชนีชี้ให้เห็นว่าสมควรนำเครื่องผลิตไบโอดีเซลต้นแบบที่สร้างขึ้นมาใช้ได้ในเชิงพาณิชย์หรือไม่

วิธีการวิเคราะห์จะใช้การวิเคราะห์แบบรายปี (Annual cost method) ค่าใช้จ่ายแบ่งเป็น 2 ประเภทคือ

ประเภทที่ 1 ค่าใช้จ่ายคงตัว (Fixed cost) เป็นค่าใช้จ่ายที่ผู้เป็นเจ้าของของเครื่องไบโอดีเซล จะต้องจ่ายอย่างแน่นอน ไม่ว่าจะใช้หรือไม่ใช้เครื่องผลิตไบโอดีเซลก็ตาม เช่น ราคาในการสร้างเครื่อง ค่าบำรุงรักษา เป็นต้น

ประเภทที่ 2 ค่าใช้จ่ายแปรผัน (Variable cost) เป็นค่าใช้จ่ายขณะที่กำลังใช้งานเครื่องผลิตไบโอดีเซล เช่น ค่าวัตถุดิบที่นำมาผลิตเป็นไบโอดีเซล เป็นต้น

สมการที่ใช้ในการคำนวณมีดังนี้

$$\text{ราคาต้นทุนต่อปี} \quad R_1 = P(\text{CRF})^{in} \quad (5.1)$$

$$\text{ราคาเศษวัสดุต่อปี} \quad R_2 = S(\text{CRF})^{in} \quad (5.2)$$

เมื่อ

P = เงินต้นในปัจจุบัน

S = เงินที่ได้จากการขายซากวัสดุในที่สุดท้าย (Salvage Value)

$\text{CRF} = i(1+i)^n / (1+i)^n - 1$, Capital recovery factor

$\text{SFF} = i / (1+i)^n - 1$, Sinking fund factor

i = อัตราดอกเบี้ยต่อหน่วยเวลา

n = หน่วยเวลา

R_3 = ราคาบำรุงรักษาต่อปี

ดังนั้น ราคาค่าใช้จ่ายรวมต่อปี = $R_1 - (R_2 + R_3)$

5.5.1 การวิเคราะห์ต้นทุนการใช้เครื่องผลิตไบโอดีเซล

ในการวิเคราะห์ต้นทุนการใช้เครื่องผลิตไบโอดีเซล มีเงื่อนไขดังนี้

1. สามารถทำการผลิตไบโอดีเซลได้สัปดาห์ละ 1 ครั้ง ๆ ละ 150 ลิตร เฉลี่ยทำการผลิต 48 สัปดาห์ต่อปี
2. ราคาค่าบำรุงรักษาเฉลี่ยประมาณปีละ 500 บาท ซึ่งเป็นค่าซ่อมแซมอุปกรณ์ต่าง ๆ ของเครื่องที่ได้รับความเสียหาย
3. อายุการใช้งานของเครื่องผลิตไบโอดีเซลประมาณ 10 ปี

4. อัตราดอกเบี้ย 10% ต่อปี
5. ราคามูลค่าเศษวัสดุในที่สุดท้าย 20% ของต้นทุน
6. ราคาน้ำมันพืชใช้แล้วและสารเคมีเท่ากันตลอดทั้งปี

การคิดค่าใช้จ่ายในการผลิตไบโอดีเซลด้วยเครื่องผลิตไบโอดีเซลต้นแบบขนาด 150 ลิตรมีดังนี้

1. ราคาเครื่องผลิตไบโอดีเซล 20,000 บาท
2. ราคามารูรักษาปีละ 500 บาท
3. ราคาซากวัสดุ 4,000 บาท

การคำนวณค่าใช้จ่ายเป็นค่าใช้จ่ายรายปี ดังนี้

ราคาใช้จ่ายรายปีของเครื่องผลิตไบโอดีเซล	=	20,000 (CRF, 10%, 10)
	=	20,000 (0.1627)
	=	3,254 บาท
ราคาค่าซากเศษวัสดุ	=	4,000 (SFF, 10%, 10)
	=	4,000 (0.0627)
	=	250.8 บาท
ค่าบำรุงรักษาปีละ	=	500 บาท

ใน 1 สัปดาห์ทำการผลิตไบโอดีเซล 1 ครั้ง ะละ 150 ลิตร มีค่าลงทุนในการดำเนินการผลิตต่อลิตรดังนี้

1. ค่าน้ำมันพืชใช้แล้ว 5 บาท
2. ค่าสารเคมี 8 บาท
3. ค่าแรงและค่าไฟฟ้า 3 บาท

ดังนั้นค่าลงทุนในการผลิตไบโอดีเซล 1 ลิตร เท่ากับ 16 บาท ใน 1 ปี (เฉลี่ย 48 สัปดาห์) ต้องการน้ำมันพืชใช้แล้วทั้งหมด 7,200 ลิตรต่อปีแต่จากการทดลองผลิตไบโอดีเซลจากเครื่องผลิตไบโอดีเซลต้นแบบได้ปริมาณไบโอดีเซลที่ได้ (Yield) = 88 % ต่อ 1 รอบการผลิต ในเวลา 1 ปี สามารถผลิตไบโอดีเซลได้ปริมาณทั้งหมด

$$= 150 \times 0.88 \times 48$$

$$= 6,336 \text{ ลิตรต่อปี}$$

ค่าใช้จ่ายรายปี

$$\begin{aligned} \text{ค่าลงทุนในการผลิตไบโอดีเซลต่อปี} &= 7,200 \times 16 \\ &= 115,200 \text{ บาท} \end{aligned}$$

$$\text{ค่าบำรุงรักษา} = 500 \text{ บาท}$$

5.5.2 การวิเคราะห์จุดคุ้มทุน

$$\begin{aligned} \text{เงินต้องลงทุนในระบบ} &= 20,000 - 4,000 \\ &= 16,000 \text{ บาท} \end{aligned}$$

$$\text{ปริมาณไบโอดีเซลที่ผลิตได้ทั้งหมดต่อปี} = 6,336 \text{ ลิตร}$$

$$\text{ถ้าราคาขายน้ำมันไบโอดีเซลลิตรละ} = 22 \text{ บาท}$$

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น รายได้จากการขายน้ำมันไบโอดีเซล} &= 6,336 \times 22 \\ &= 139,392 \text{ บาท} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{รายได้หักค่าใช้จ่ายรายปี} &= 139,392 - 115,200 - 500 \\ &= 23,692 \text{ บาท} \end{aligned}$$

หาจำนวนปีที่คุ้มทุน โดยเขียนสมการของเงินรายปีดังนี้

$$16,000 (\text{CRF}, 10\%n) = 23,692$$

$$\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} = 1.48$$

$$n = 0.75 \text{ ปี หรือ } 9 \text{ เดือน}$$

จะเห็นได้ว่าระยะเวลาในการที่จะทำให้คุ้มทุนใช้ระยะเวลาไม่นาน คือใช้เวลา 0.75 ปีก็คุ้มทุนแล้ว แสดงว่าเครื่องผลิตไบโอดีเซลขนาด 150 ลิตร มีความเหมาะสมในทางเศรษฐศาสตร์ จึงเหมาะที่จะนำมาใช้งานจริงในเชิงพาณิชย์ได้

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัย

6.1 สรุปผลการศึกษาวิจัย

6.1.1 ผลการศึกษาการผลิตไบโอดีเซลในห้องปฏิบัติการ

จากการศึกษาและทดลองในห้องปฏิบัติการพบว่าปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพและปริมาณน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตได้คือ อุณหภูมิขณะทำปฏิกิริยาที่เหมาะสม และระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา ซึ่งสภาวะที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซลในระดับห้องปฏิบัติการสามารถนำไปผลิตในระดับ Pilot scale ได้ด้วยดี โดยได้ผลผลิตไบโอดีเซลตามที่คาดหวังไว้

6.1.2 ผลการทดลองผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากเครื่องที่สร้างขึ้น

ผลการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันของน้ำมันพืชที่ใช้แล้วจากเครื่องผลิตไบโอดีเซลต้นแบบโดยใช้เมทานอล และมีโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาพบว่าสภาวะที่เหมาะสมคือ อุณหภูมิตั้งต้นของน้ำมันก่อนทำปฏิกิริยา 60 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมงในการทำปฏิกิริยาได้ปริมาณน้ำมันไบโอดีเซล (Yield) 88 %

6.1.3 ผลการทดสอบน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตได้ต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์

เมื่อนำน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตได้ไปทดสอบกับเครื่องยนต์ เพื่อเปรียบเทียบกับใช้น้ำมันดีเซล พบว่าสามารถใช้ได้กับเครื่องยนต์โดยไม่ต้องดัดแปลงเครื่องยนต์หรืออุ่นน้ำมันก่อนเครื่องยนต์สามารถทำงานได้ดีโดยไม่เกิดการสะดุดของเครื่องยนต์ และสมรรถนะที่ได้คือ น้ำมันไบโอดีเซลจะให้กำลังเบรค และแรงบิด ต่ำกว่าน้ำมันดีเซลประมาณ 5-10 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรคสูงกว่าน้ำมันดีเซลประมาณ 5-10 เปอร์เซ็นต์ ส่วนน้ำมันที่ได้จากการผสมน้ำมันดีเซลและน้ำมันไบโอดีเซลในอัตราส่วนต่างๆ จะให้ค่าต่างใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลกว่า ซึ่งจากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่านำน้ำมันไบโอดีเซลไปใช้ได้โดยตรง หรืออาจจะผสมกับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วนต่างๆ ตามความเหมาะสม

6.1.4 ความเป็นไปได้ในการนำไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วมาใช้เป็นเชื้อเพลิง

จากผลการทดสอบการใช้น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วล้วน ๆ หรือว่าผสมกับน้ำมันดีเซลที่อัตราส่วนผสมต่างๆ ทำให้ทราบว่าให้ค่าสมรรถนะใกล้เคียงกับค่าสมรรถนะของน้ำมันดีเซล เมื่อพิจารณาในด้านสมรรถนะของเครื่องยนต์น้ำมันไบโอดีเซลจึงมีศักยภาพที่จะนำไปใช้ใน

เครื่องยนต์จริงในลักษณะเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันดีเซลในรูปแบบของเชื้อเพลิงไบโอดีเซล 100 % หรือเชื้อเพลิงผสมโดยที่ไม่ต้องทำการดัดแปลงเครื่องยนต์ได้เป็นอย่างดี

6.2 ข้อเสนอแนะ

1. จากการที่ได้ทำการทดลองมา เราพบว่าไม่เพียงแต่น้ำมันพืชเท่านั้นที่เราสามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซล แต่เรายังสามารถใช้น้ำมันจากไขมันสัตว์ในการผลิตไบโอดีเซล ได้เช่นกัน นั่นก็คือเรามีทางเลือกในการใช้วัตถุดิบได้กว้างขึ้น

2. ควรศึกษาถึงผลการใช้ น้ำมันไบโอดีเซลที่มีต่ออุปกรณ์และชิ้นส่วนทั้งในระบบน้ำมันเชื้อเพลิงและภายในเครื่องยนต์ หลังจากการใช้ น้ำมันไบโอดีเซลที่ระยะเวลา 500 ชั่วโมงเพื่อดูผลกระทบการสึกหรอของชิ้นส่วนต่างๆ ในสภาวะการใช้งานเสมือนจริง

3. ในการทดสอบน้ำมันไบโอดีเซลกับเครื่องยนต์ในงานวิจัยนี้ ทางคณะผู้วิจัยไม่สามารถทำการวิเคราะห์ในเรื่องไอเสียได้ ซึ่งการวิเคราะห์ไอเสียเป็นสิ่งสำคัญและจำเป็นอย่างยิ่ง ไม่แพ้การวิเคราะห์ในด้านอื่น ดังนั้น จึงควรทำการวิเคราะห์ไอเสียเพื่อศึกษาดูปริมาณมลพิษจากไอเสียของเครื่องยนต์ที่ปล่อยออกมาจากการใช้น้ำมันไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงเทียบกับน้ำมันดีเซลมาตรฐาน

4. ศึกษาผลกระทบต่อการใช้งานระยะยาว เช่น การกัดกร่อนชิ้นส่วนเครื่องยนต์ Wax หรือ Gum deposit ที่จะเกิดขึ้นตามกระบอกสูบ หรือหัวฉีดที่รอบการทดสอบต่างๆ หรือการ เจริญเติบโตของเชื้อโรคในน้ำมันไบโอดีเซล

5. ควรจะทดสอบน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตได้กับเครื่องยนต์ขนาดใหญ่ เช่น เครื่องยนต์ขนาด 4 สูบ 2,000 cc. เพื่อจะได้เห็นความแตกต่างของค่าสมรรถนะได้ชัดเจนมากขึ้น

6. ควรปรับปรุงกระบวนการผลิตของเครื่องที่สร้างขึ้นให้เป็นแบบต่อเนื่องเพื่อการผลิตในเชิงพาณิชย์

บรรณานุกรม

- การปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย. (2546). การพัฒนาและส่งเสริมพลังงานทดแทน เอกสารประกอบการบรรยาย. ณ.มหาวิทยาลัยนครสวรรค์.
- พุทธชาติ เมฆทอง ,ศุทธิพันธ์ นันทจิต, สุวิน อภิชาติพัฒนศิริ,วนิดา คูอมรพัฒนะ. (2546) การศึกษาความเป็นไปได้ในการนำน้ำมันพืชใช้แล้วจากอุตสาหกรรมอาหารมาใช้ประโยชน์ด้านพลังงาน. การสัมมนาเผยแพร่งานวิจัยทางด้านพลังงานทดแทน สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ. กรุงเทพมหานคร
- สุรัชย์ จิรชาคริต .(2539) การเผาไหม้น้ำมันพืชผสมน้ำมันดีเซล.วิทยานิพนธ์ คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. กรุงเทพมหานคร
- Annual book of ASTM standards.**2001. Vol. 05.01. Sec .5 . Washington DC. ASTM .
- DaNian Zheng, Milford A .Hanna.1996. Preparation and propoties of methyl esters of beef tallow. **Bioresource Technology.** Vol. 57 pp.137-142.
- De-gang Li. Huang Zhen, Lu Xingcai, Zhung Wu-gao, Yang Jian-guang.2004.Physico-chemical properties of ethanol-diesel blend fuel and its effect on performance and emissions of diesel engines. **Renewable Energy.** pp.1-10.
- Dorado E. M.P, Ballesteros J.M, Arnal, J. Gomez, Lopez. F.J.2003. Exhaust emission from a Diesel engine fueled with transesterified waste olive oil. **Fuel .** Vol.82 pp. 1311-1315.
- Fangrui Ma. and Hanna M.A.1999. Biodiesel Production : a review. **Bioresource Technology.** Vol. 70.pp.1-15.
- Jon Van Gerper.2004.Biodiesel Processing and Production. **Fuel Processing Technology.** Article in Press.
- Joseph Edward Shigley and Charles R. Mische.2002. **Mechanical Engineering Design.**5th ed. USA. McGRAW-HILL
- Lu Xing-cai, Yang Jian. Zhang Wu-gao, Huang Zhen.2004. Effect of cetane number improver on heat release rate and emissions of high speed diesel engine fueled with ethanol-diesel blend fuel. **Fuel .**Vol. 83. pp.2013-2020.
- Ozer Can, Ismet Celikten, Nazim Usta. 2004. Effect of ethanol addition on performance and emissions of a turbocharged indirect injection Diesel engine running at different injection pressures. **Energy Conversion and Management .**Vol. 45. pp.2429-2440.

- Roger A. Korus, Dwight S. Hoffman, Narendra Bam, Charles L. Peterson, and David C. Drown. 2002. Transesterification process to manufacture ethyl ester of rape oil. **Department of Chemical Engineering University of Idaho Moscow**. ID 83843.
- Sukhawanit, C, Srinophakun. P. and Matsumura, M. 2004. Biodiesel Production from Crude Sunflower Oil. **Engineering and Technology**. Vol. 1. No. 2. pp. 141-150.
- Usta. E. N, Ozturk. O. Can, Conkur. E.S, Nas. S, Con. A.H., Can. A.C., Topcu. M. 2004. Combustion of biodiesel fuel produced from hazenut soapstock/waste sunflower oil mixture in a diesel engine” **Energy Conversion and Management** .
- Win. S. Lee, Herage. T, Young. B. 2004. Emission reduction potential from the combustion of soy ester fuel blended wite petroleum distillate fuel. **Fuel**. Vol. 83. pp.1607-1613.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ตารางบันทึกผลการทดลองและผลการคำนวณสมรรถนะของเครื่องยนต์

ตารางที่ ก.1 บันทึกผลการทดลองและผลการคำนวณจากการใช้น้ำมันดีเซลกับเครื่องยนต์

น้ำมันดีเซล													
n(rpm)	W(kgf)	t(sec)	F(N)	T(N.m)	t(hr)	P(W)	P(hp)	V(litre)	F(litre/hr)	bsfc(g/hp.hr)	bmepp(kPa)		
2540	0.6	35	5.89	1.413	0.0097	375.555	0.503	0.005	0.514	835.1365	43.170		
2530	1	32	9.81	2.354	0.0089	623.461	0.836	0.005	0.563	550.2245	71.950		
2515	1.5	30	14.72	3.532	0.0083	929.647	1.246	0.005	0.600	393.6044	107.924		
2510	2	27	19.62	4.709	0.0075	1237.065	1.658	0.005	0.667	328.6571	143.899		
2495	3	24	29.43	7.063	0.0067	1844.508	2.473	0.005	0.750	247.9747	215.849		
2485	4	20	39.24	9.418	0.0056	2449.486	3.283	0.005	0.900	224.0753	287.798		
2465	5	16	49.05	11.772	0.0044	3037.215	4.071	0.005	1.125	225.8934	359.748		
2450	5.5	12	53.96	12.949	0.0033	3320.607	4.451	0.005	1.500	275.4866	395.723		
2440	6	10	58.86	14.126	0.0028	3607.694	4.836	0.005	1.800	304.2772	431.697		
2335	6.3		61.80	14.833		3625.067	4.859				453.282		
2250	6.4		62.78	15.068		3548.552	4.757				460.477		
2140	7		68.67	16.481		3691.479	4.948				503.647		
2100	7.1		69.65	16.716		3674.230	4.925				510.842		
2045	7.2		70.63	16.952		3628.394	4.864				518.037		
1915	7.2		70.63	16.952		3397.738	4.555				518.037		
1790	7.3		71.61	17.187		3220.064	4.316				525.232		
1640	7.4		72.59	17.423		2990.640	4.009				532.427		
1530	7.3		71.61	17.187		2752.345	3.689				525.232		
1460	7.2		70.63	16.952		2590.443	3.472				518.037		
1235	7.2		70.63	16.952		2191.231	2.937				518.037		
965	7.1		69.65	16.716		1688.396	2.263				510.842		
875	7		68.67	16.481		1509.367	2.023				503.647		
705	6.9		67.69	16.245		1198.745	1.607				496.452		
545	6.8		66.71	16.010		913.259	1.224				489.257		
500	6.7		65.73	15.774		825.531	1.107				482.062		
450	6.6		64.75	15.539		731.889	0.981				474.867		
400	5		49.05	11.772		492.854	0.661				359.748		

ตารางที่ ก.2 บันทึกผลการทดลองและผลการคำนวณจากการใช้หม้อไอน้ำ 100 เปอร์เซ็นต์เครื่องชนิด

หม้อไอน้ำ 100 เปอร์เซ็นต์												
η (%)	W(kg)	t(sec)	F(N)	T(N.m)	t(hr)	P(W)	P(hp)	V(litre)	F(litre/hr)	bsfc(g/hp.hr)	bmpc(kPa)	
2525	0.5	31	4.905	1.1772	0.0086	311.114	0.417	0.005	0.581	1202.938	35.975	
2515	1	30	9.810	2.354	0.0083	619.764	0.831	0.005	0.600	623.9894	71.950	
2510	1.5	27	14.715	3.532	0.0075	927.798	1.244	0.005	0.667	463.1351	107.924	
2500	2	24	19.620	4.709	0.0067	1,232.136	1.652	0.005	0.750	392.3333	143.899	
2490	3	21	29.430	7.063	0.0058	1,840.811	2.468	0.005	0.857	300.1211	215.849	
2470	4	17	39.240	9.418	0.0047	2,434.701	3.264	0.005	1.059	280.3048	287.798	
2425	5	10	49.050	11.772	0.0028	2,987.930	4.005	0.005	1.800	388.2886	359.748	
2420	5.5	10	53.955	12.949	0.0028	3,279.946	4.397	0.005	1.800	353.719	395.723	
2170	6.2	9	60.822	14.597	0.0025	3,315.432	4.444	0.005	2.000	388.8145	446.087	
2055	6.4		62.784	15.068		3,241.011	4.345				460.477	
2025	6.4		62.784	15.068		3,193.697	4.281				460.477	
1850	6.6		64.746	15.539		3,008.876	4.033				474.867	
1842	6.7		65.727	15.774		3,041.257	4.077				482.062	
1692	6.8		66.708	16.010		2,835.293	3.801				489.257	
1120	6.8		66.708	16.010		1,876.790	2.516				489.257	
770	6.6		64.746	15.539		1,252.343	1.679				474.867	
745	6.5		63.765	15.304		1,193.324	1.600				467.672	
560	6.4		62.784	15.068		883.195	1.184				460.477	
470	6.3		61.803	14.833		729.671	0.978				453.282	
400	5		49.050	11.772		492.854	0.661				359.748	

ตารางที่ ก.3 บันทึกผลการทดลองและผลการคำนวณจากการใช้น้ำมันโปโตเซล 25 เปอร์เซ็นต์ กับเครื่องยนต์
น้ำมันโปโตเซล 25 เปอร์เซ็นต์

n(rpm)	W(kgf)	t(sec)	F(N)	T(N.m)	t(hr)	P(W)	P(hp)	V(litre)	F(litre/hr)	bsfc(g/hp.hr)	bmepp(kPa)
2535	0.6	36	5.89	1.413	0.0100	374.816	0.502	0.005	0.500	825.9791	43.170
2525	1	32	9.81	2.354	0.0089	622.229	0.834	0.005	0.563	559.744	71.950
2515	1.5	29	14.72	3.532	0.0081	929.647	1.246	0.005	0.621	413.4029	107.924
2500	2	27	19.62	4.709	0.0075	1232.136	1.652	0.005	0.667	335.0171	143.899
2490	3	22	29.43	7.063	0.0061	1840.811	2.468	0.005	0.818	275.2057	215.849
2460	4	15	39.24	9.418	0.0042	2424.844	3.250	0.005	1.200	306.4181	287.798
2430	5	11	49.05	11.772	0.0031	2994.090	4.014	0.005	1.636	338.4011	359.748
2345	5.5	10	53.96	12.949	0.0028	3178.295	4.260	0.005	1.800	350.6673	395.723
2150	6	10	58.86	14.126	0.0028	3178.911	4.261	0.005	1.800	350.5993	431.697
2145	6.5		63.77	15.304		3435.811	4.606				467.672
1945	6.7		65.73	15.774		3211.316	4.305				482.062
1835	6.8		66.71	16.010		3074.919	4.122				489.257
1000	6.8		66.71	16.010		1675.705	2.246				489.257
860	6.7		65.73	15.774		1419.914	1.903				482.062
760	6.6		64.75	15.539		1236.079	1.657				474.867
685	6.5		63.77	15.304		1097.217	1.471				467.672
600	6.4		62.78	15.068		946.280	1.268				460.477
550	6.3		61.80	14.833		853.870	1.145				453.282
510	6.2		60.82	14.597		779.203	1.045				446.087
500	6.1		59.84	14.362		751.603	1.008				438.892
450	6		58.86	14.126		665.353	0.892				431.697
400	5		49.05	11.772		492.854	0.661				359.748

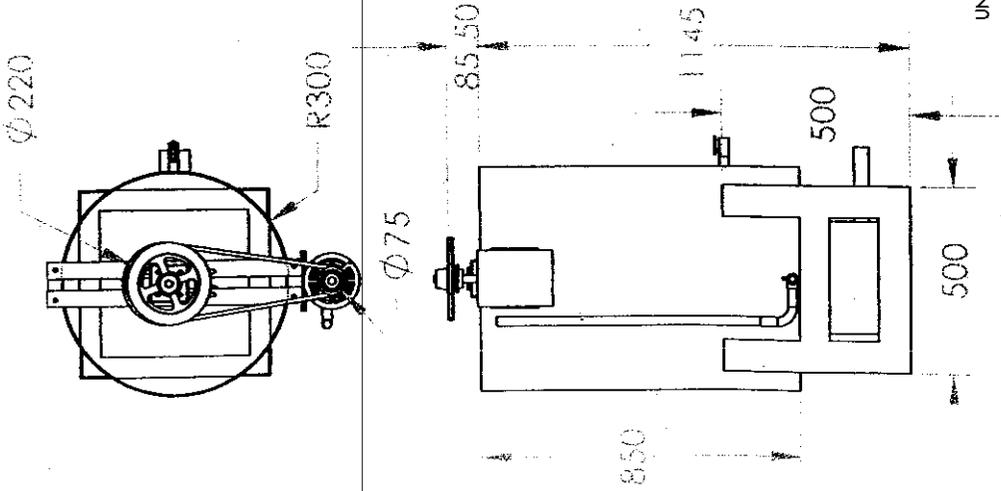
ตารางที่ ก.4 บันทึกผลการทดลองและผลการคำนวณจากการใช้น้ำมันไบโอดีเซล 50 เปอร์เซ็นต์ กับเครื่องยนต์

น้ำมันไบโอดีเซล 50 เปอร์เซ็นต์													
n(rpm)	W(kgf)	t(sec)	F(N)	T(N.m)	t(hr)	P(W)	P(hp)	V(litre)	F(litre/hr)	bsfc(g/hp.hr)	bmep(kPa)		
2530	0.7	32	6.87	1.648	0.0089	436.423	0.585	0.005	0.563	807.669	50.365		
2525	1	31	9.81	2.354	0.0086	622.229	0.834	0.005	0.581	584.7617	71.950		
2515	1.5	28	14.72	3.532	0.0078	929.647	1.246	0.005	0.643	433.3259	107.924		
2500	2	26	19.62	4.709	0.0072	1232.136	1.662	0.005	0.692	352.094	143.899		
2490	3	22	29.43	7.063	0.0061	1840.811	2.468	0.005	0.818	278.5215	215.849		
2480	4	18	39.24	9.418	0.0050	2444.558	3.277	0.005	1.000	256.3408	287.798		
2450	5	11	49.05	11.772	0.0031	3018.733	4.047	0.005	1.636	339.6825	359.748		
2325	6	10	58.86	14.126	0.0028	3437.659	4.608	0.005	1.800	328.1163	431.697		
1900	6.6	9	64.75	15.539	0.0025	3090.197	4.142	0.005	2.000	405.5664	474.867		
1645	6.8		66.71	16.010		2756.535	3.695				489.257		
1373	6.9		67.69	16.245		2334.577	3.129				496.452		
1075	6.9		67.69	16.245		1827.874	2.450				496.452		
770	6.9		67.69	16.245		1309.268	1.755				496.452		
580	6.8		66.71	16.010		971.909	1.303				489.257		
500	6.6		64.75	15.539		813.210	1.090				474.867		
400	5		49.05	11.772		492.854	0.661				359.748		

ตารางที่ ก.5 บันทึกผลการทดลองและผลการคำนวณจากการใช้น้ำมันโปติเซล 75 เปอร์เซ็นต์ กับเครื่องยนต์

น้ำมันโปติเซล 75 เปอร์เซ็นต์													
n(p/m)	W(kgf)	t(sec)	F(N)	T(N.m)	t(hr)	P(W)	P(hp)	V(litre)	F(litre/hr)	bsfc(g/hp.hr)	bmepp(kPa)		
2530	0.6	36	5.89	1.413	0.0100	374.076	0.501	0.005	0.500	847.5539	43.17		
2525	1	33	9.81	2.354	0.0092	622.229	0.834	0.005	0.545	555.8611	71.95		
2515	1.5	30	14.72	3.532	0.0083	929.647	1.246	0.005	0.600	409.2523	107.92		
2500	2	27	19.62	4.709	0.0075	1282.136	1.652	0.005	0.667	343.0898	143.90		
2485	3	23	29.43	7.063	0.0064	1837.115	2.463	0.005	0.783	270.1258	215.85		
2465	4	17	39.24	9.418	0.0047	2429.772	3.257	0.005	1.059	276.3222	287.80		
2430	5	11	49.05	11.772	0.0031	2994.090	4.014	0.005	1.636	346.5554	359.75		
2410	5.5	10	53.96	12.949	0.0028	3266.393	4.379	0.005	1.800	349.4314	395.72		
2370	6	10	58.86	14.126	0.0028	3504.195	4.697	0.005	1.800	325.7182	431.70		
2200	6.2		60.82	14.597		3361.267	4.506				446.09		
2050	6.4		62.78	15.068		3233.125	4.334				460.48		
1890	6.5		63.77	15.304		3027.358	4.058				467.67		
1610	6.6		64.75	15.539		2618.535	3.510				474.87		
1500	6.5		63.77	15.304		2402.665	3.221				467.67		
1190	6.5		63.77	15.304		1906.114	2.555				467.67		
870	6.4		62.78	15.068		1372.107	1.839				460.48		
710	6.3		61.80	14.833		1102.269	1.478				453.28		
605	6.2		60.82	14.597		924.348	1.239				446.09		
545	6.1		59.84	14.362		819.247	1.098				438.89		
490	5.9		57.88	13.891		712.421	0.955				424.50		
400	5		49.05	11.772		492.854	0.661				359.75		

ภาคผนวก ข
แบบ ร่างของเครื่องผลิตไบโอดีเซล



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:

- DIMENSIONS ARE IN ()
- TOLERANCES: FRACTIONAL ±
- ANGULAR: MACH ± BEND ±
- TWO PLACE DECIMAL ±
- THREE PLACE DECIMAL ±
- DRAWN
- CHECKED
- ENG APPR.
- MFG APPR.

INTERPRET GEOMETRIC TOLERANCING PER: Q.A.
MATERIAL COMMENTS:

FINISH

NEXT ASSY USED ON

APPLICATION

DO NOT SCALE DRAWING

NAME DATE

TITLE:

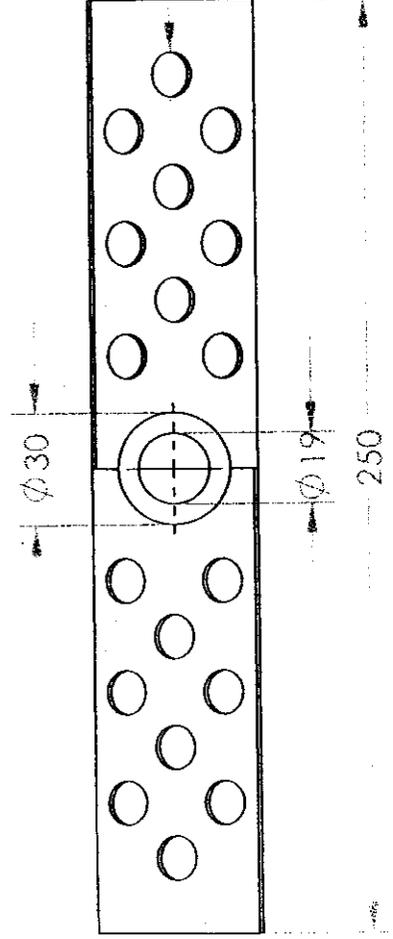
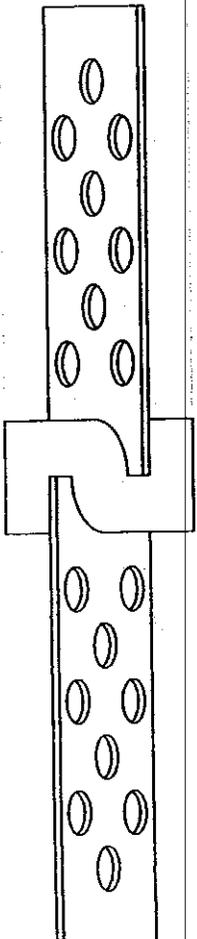
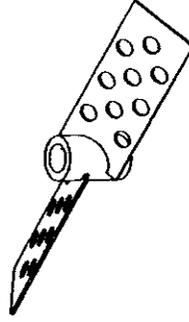
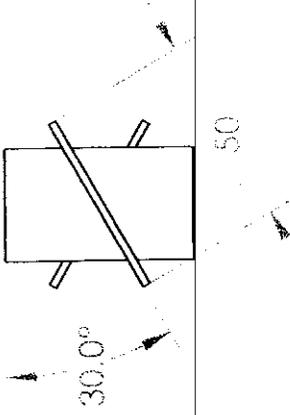
SIZE DWG. NO.

REV

SCALE: 1:20 WEIGHT:

SHEET 1 OF 1

PROPRIETARY AND CONFIDENTIAL
THE INFORMATION CONTAINED IN THIS
DRAWING IS THE SOLE PROPERTY OF
KINSERT COMPANY NAME HERE. ANY
REPRODUCTION IN PART OR AS A WHOLE
WITHOUT THE WRITTEN PERMISSION OF
KINSERT COMPANY NAME HERE IS
PROHIBITED.



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:

DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS

TOLERANCES:

FRACTIONAL: ±

ANGULAR: MACH ± BEND ±

TWO PLACE DECIMAL ±

THREE PLACE DECIMAL ±

DRAWN

CHECKED

ENG APPR.

MFG APPR.

G.A.

COMMENTS:

NAME

DATE

TITLE:

SIZE DWG. NO. **ใบพัด** REV

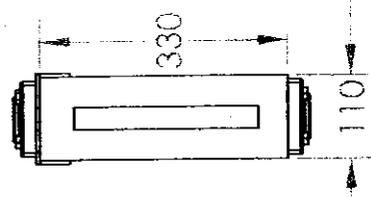
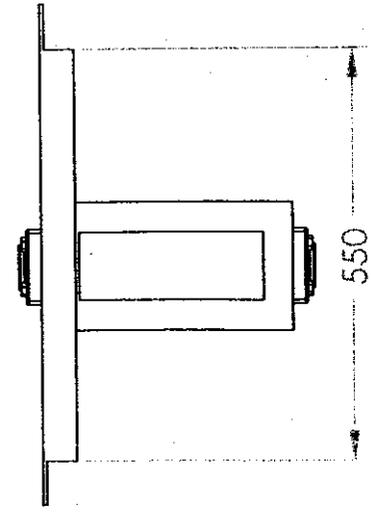
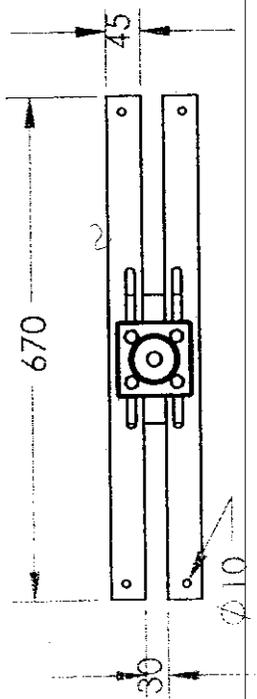
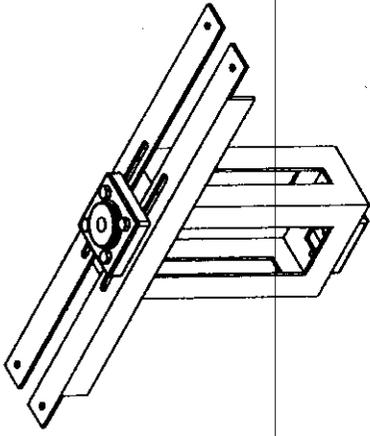
NEXT ASSY

USED ON

APPLICATION

DO NOT SCALE DRAWING

SCALE: 1:2 WEIGHT: SHEET 1 OF 1



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 DIMENSIONS ARE IN (T.O.)
 TOLERANCES:
 FRACTIONAL ±
 ANGULAR: MACH ± BEND ±
 TWO PLACE DECIMAL ±
 THREE PLACE DECIMAL ±
 INTERPRET GEOMETRIC TOLERANCING PER:
 MATERIAL:
 FINISH
 USED ON
 NEXT ASSY
 APPLICATION
 DO NOT SCALE DRAWING

NAME DATE

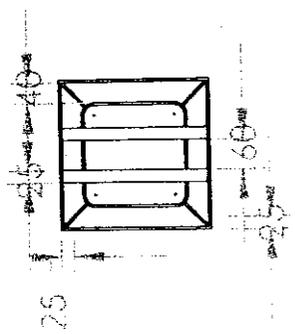
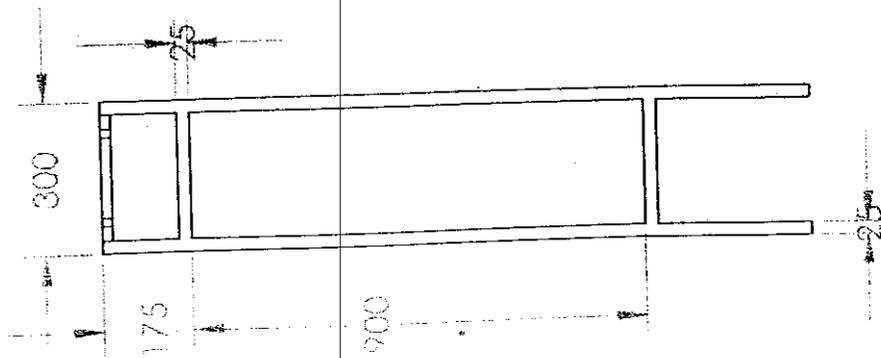
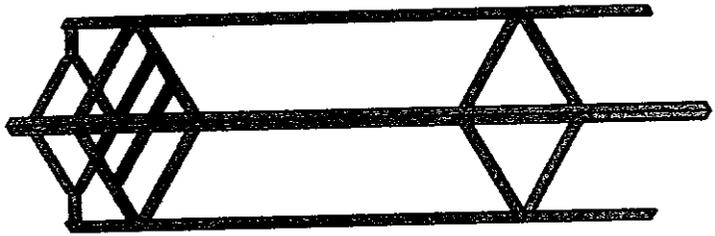
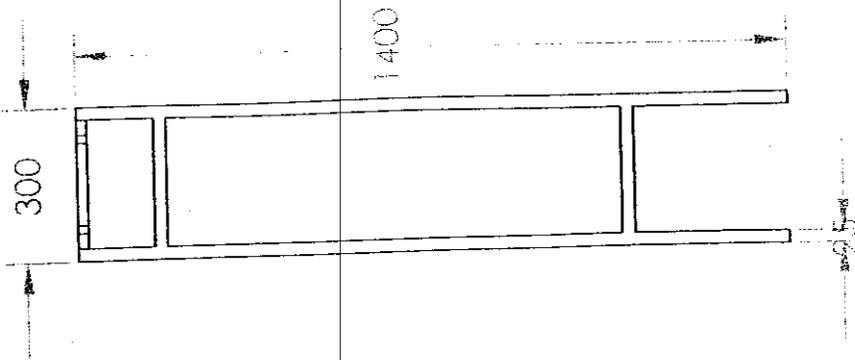
TITLE:

DRAWN
 CHECKED
 ENG APPR.
 MFG APPR.

G.A.
 COMMENTS:

SIZE DWG. NO. REV
 ประกอบชุดใบกวน
 SCALE: 1:10 WEIGHT: SHEET 1 OF 1

PROPRIETARY AND CONFIDENTIAL
 THE INFORMATION CONTAINED IN THIS DRAWING IS THE SOLE PROPERTY OF <INSERT COMPANY NAME HERE>. ANY REPRODUCTION IN PART OR AS A WHOLE WITHOUT THE WRITTEN PERMISSION OF <INSERT COMPANY NAME HERE> IS PROHIBITED.



ประวัตินักวิจัย

หัวหน้าโครงการ

ชื่อ(ภาษาไทย) ผศ.ประชาสันติ ไตรยสุทธิ

(ภาษาอังกฤษ) Asst. Prof. Prachasanti Thaiyasuit

1. ประวัติส่วนตัว

เกิด วันที่ 8 ธันวาคม พ.ศ. 2513 อายุ 35 ปี
 คุณวุฒิ ปริญญาโท วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล)
 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2. ตำแหน่งปัจจุบัน

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ระดับ 7
 ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
 คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
 โทรศัพท์ 045 288400-3 ต่อ 3380, 3381 โทรสาร 045 353333

3. ประวัติการศึกษา

ปีการศึกษา ที่จบ	ระดับปริญญา (ตรี โท เอก) และชื่อเต็ม	อักษรย่อ ปริญญา/วิชา	สาขา	ชื่อสถาบัน การศึกษา	ประเท ศ
2536	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต	วศ.บ. (เครื่องกล)	วิศวกรรม เครื่องกล	มหาวิทยาลัย รังสิต	ไทย
2540	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต	วศ.ม. (เครื่องกล)	วิศวกรรม เครื่องกล	มหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์	ไทย

4. ผลงานวิจัย บทความทางวิชาการ และสิ่งตีพิมพ์

4.1 ประชาสันติ ไตรยสุทธิ 2547, "(Effect of Ethanol-Gasoline Fueled on Combustion Characteristics for SI Engine)" การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 18

4.2 กุลเชษฐ์ เพียรทอง อธิพิล วรพันธ์ ประชาสันติ ไตรยสุทธิ พิศาล สมบัติวงศ์ นิมิตร มงคล สุดเสนห์ 2548, "การผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วขนาด 150 ลิตร ต่อรอบการผลิต และการใช้งานกับเครื่องยนต์ขนาดเล็ก", การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 1

5. ประวัติการทำงาน

- ปี พ.ศ. 2536-2537: วิศวกร บริษัท Fujitsu(Thailand) Ltd.

- ปี พ.ศ. 2541-2547: อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
- ปี พ.ศ. 2547-ปัจจุบัน: อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ผู้ร่วมวิจัย

ชื่อ(ภาษาไทย)

ผศ.ดร.กุลเชษฐ์ เพียรทอง

(English)

Asst.Prof.Dr.Kulachate PIANTHONG

1.คุณวุฒิ

Doctor of Philosophy, Ph.D. (Mechanical Engineering)

2.ตำแหน่งปัจจุบัน

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ระดับ 7

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

โทรศัพท์ 0-4535-3382 โทรสาร 0-4535-3333

3. ประวัติการศึกษา

ปีการศึกษาที่จบ	ระดับปริญญา (ตรี โท เอก) และชื่อเต็ม	อักษรย่อปริญญาวิชา	สาขา	ชื่อสถาบันการศึกษา	ประเทศ
2535	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต	วศ.บ. (เครื่องกล)	วิศวกรรมเครื่องกล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี	ไทย
2541	Master of Engineering Science	M.Eng.Sc. (Mechanical engineering)	Mechanical Engineering	The University of New South Wales	Australia
2545	Doctor of Philosophy (Mech. Eng)	Ph.D. (Mechanical Engineering)	Mechanical Engineering	The University of New South Wales	Australia

4. ผลงานวิจัย บทความทางวิชาการ และสิ่งตีพิมพ์

International Refereed Journals

- [1] **K. Pianthong**, S. Zakrzewski, B.E. Milton, and M. Behnia, "Supersonic liquid jets; their generation and shock wave characteristics," *Shock Waves Journal*, Vol. 11, no. 6, pp. 457-466, 2002.
- [2] **K. Pianthong**, S. Zakrzewski, M. Behnia, and B.E. Milton, "Characteristics of impact driven supersonic liquid jets," *Experimental Thermal and Fluid Science*, vol. 27 (5), pp. 589-598, 2003.
- [3] **K. Pianthong**, B.E. Milton, and M. Behnia, "Generation and shock wave characteristics of unsteady pulsed supersonic liquid jets," *Journal of Atomization and Sprays*, vol. 13, no. 5&6, pp. 475-498, 2003.
- [4] S. Zakrzewski, B.E. Milton, **K. Pianthong**, and M. Behnia, "Supersonic liquid fuel jets injected into quiescent air," *International Journal of Heat and Fluid Flow*, Vol. 25, pp. 833-840, 2004.
- [5] **K. Pianthong**, K. Takayama, B.E. Milton, and M. Behnia, "Multiple pulsed hypersonic liquid diesel fuel jets driven by projectile impact," *Shock Waves Journal*, Vol. 14, no. 1&2, pp. 73-82, 2005.
- [6] B.E. Milton and **K. Pianthong**, "Pulsed, supersonic fuel jets - A review of their characteristics and potential for fuel injection," *International Journal of Heat and Fluid Flow*, Vol. 26, issue 4, pp. 656-671, 2005.

International Refereed Conferences

- [1] **K. Pianthong**, K. Takayama, B.E. Milton, and M. Behnia, "Micro two-stage light gas gun performance test and its penetration on a Whipple bumper shield," *Proceedings of the 22nd International Symposium on Shock Waves (ISSW22) Conference*, London, UK, paper no. 1650, pp.541-546, 18-23 July 1999.
- [2] **K. Pianthong**, S. Zakrzewski, B.E. Milton, and M. Behnia, "Generation of supersonic diesel fuel jets: does auto-ignition occur?," *Proceedings of the 16th Annual Conference on Liquid Atomization and Spray Systems (LASS-Europe)*, Darmstadt, Germany, paper no. I. 11, 11-13 September 2000.
- [3] **K. Pianthong**, M. Behnia, and B.E. Milton, "Visualization of supersonic diesel fuel jets using shadowgraph technique," *Proceedings of the 24th International Congress on High-Speed Photography and Photonics (ICHSP24)*, Sendai, Japan, pp. 845-855, 24-29 September 2000.
- [4] **K. Pianthong**, S. Zakrzewski, B.E. Milton, and M. Behnia, "Contribution to auto-ignition of the shock wave characteristics from supersonic diesel fuel jets," *Proceedings of the 23rd International*

- Symposium on Shock Waves (ISSW23) Conference*, Fort Worth, Texas, USA, paper no. 2398, pp. 165-172, 22-27 July 2001.
- [5] S. Zakrzewski, **K. Pianthong**, M. Behnia, and B.E. Milton, "CFD predictions of bow shock characteristics ahead of a high-speed liquid jet," *Proceedings of the 23rd International Symposium on Shock Waves (ISSW23) Conference*, Fort Worth, Texas, USA, paper no. 3124, pp. 698-704, 22-27 July 2001.
- [6] **K. Pianthong**, S. Zakrzewski, B.E. Milton, and M. Behnia, "Generation and analysis of impact driven water and diesel fuel jets in the supersonic range," *Proceedings of the 17th Annual Conference on Liquid Atomization and Spray Systems (ILASS-Europe)*, Zurich, Switzerland, pp. 279-284, 2-6 September 2001.
- [7] **K. Pianthong**, M. Behnia, and B.E. Milton, "Study of shock wave characteristics of supersonic diesel fuel jets using a shadowgraph technique," *Proceedings of the 14th Australasian Fluid Mechanics Conference (AFMC14)*, Adelaide, Australia, pp. 777-780, 9-14 December 2001.
- [8] S. Zakrzewski, **K. Pianthong**, M. Behnia, and B.E. Milton, "A blunt body analogy for bow shock characteristics in front of a supersonic liquid jet," *Proceedings of the 2nd International Conference on Computational Fluid dynamics (ICCFD2)*, Sydney, Australia, 15-19 July 2002, pp. 229 - 234.
- [9] **K. Pianthong**, B.E. Milton, and M. Behnia, "Fundamentals of supersonic diesel fuel jets for use in diesel engine," *Proceedings of the 12th International Pacific Conference on Automotive Engineering (12IPC)*, paper no. D08, 1-4 April 2003, Bangkok, Thailand.
- [10] **K. Pianthong**, M. Behnia, and B.E. Milton, "Visualization of supersonic liquid diesel fuel jets: effect of nozzle geometries on jet shapes and shock waves characteristics," *Proceedings of the 7th Asian Symposium on Visualization (7ASV)*, 3-7 Nov. 2003, Singapore.
- [11] B.E. Milton, **K. Pianthong**, and M. Behnia, S. Zakrzewski, K. Takayama, "Supersonic and hypersonic liquid jets: Part 1--overview, theory of impact driven injection pressure and jet velocity predictions," *Proceedings of the International Symposium on Interdisciplinary Shock Wave Research*, Sendai, Japan, 22-24 March, 2004.
- [12] **K. Pianthong**, K. Takayama, B.E. Milton, and M. Behnia, "Supersonic and hypersonic liquid jets: Part 2--Experiments, nozzle profiles, penetration and velocity attenuation" *Proceedings of the International Symposium on Interdisciplinary Shock Wave Research*, Sendai, Japan, 22-24 March, 2004.

- [13] M. Behnia, S. Zakrzewski, **K. Pianthong**, B.E. Milton, and K. Takayama, "Supersonic and hypersonic liquid jets: Part 3--Simulation of shock wave structures and liquid/air mixing layers" *Proceedings of the International Symposium on Interdisciplinary Shock Wave Research*, Sendai, Japan, 22-24 March, 2004.
- [14] **K. Pianthong**, K. Takayama, B.E. Milton, and M. Behnia, "Motion of unsteady pulsed hypersonic liquid diesel fuel jets" *Proceedings of the 15th International Symposium on Transport Phenomena*, Bangkok, Thailand, 9-13 May, 2004.
- [15] **K. Pianthong**, K. Takayama, B.E. Milton, and M. Behnia, "Penetration and velocity attenuation of pulsed supersonic liquid jets," *Proceedings of the 24th International Symposium on Shock Waves (ISSW24)*, Beijing, 11-16 July 2004, paper no.3591.
- [16] B.E. Milton, **K. Pianthong**, "Prediction of the driving conditions for hypersonic liquid fuel jets," *Proceedings of the 24th International Symposium on Shock Waves (ISSW24)*, Beijing, 11-16 July 2004, paper no. 3771.
- [17] **K. Pianthong**, A. Matthujak, K. Takayama, B.E. Milton, and M. Behnia, "Fundamental studies on effects of nozzle geometries and fuel properties on the characteristics of supersonic fuel jets," *Proceedings of the 2nd International Symposium on Interdisciplinary Shock Wave Research*, Sendai, Japan, 1-3 March, 2005.
- [18] **K. Pianthong**, A. Matthujak, K. Takayama, B.E. Milton, and M. Behnia, "Confirmation of multiple pulsed phenomena in supersonic liquid fuel jets by optical visualization and high speed video camera," *Proceedings of the 8th Asian Symposium on Visualization (ASV)*, 23-27 May. 2005, Chiangmai, Thailand.
- [19] W. Sehanam, K. Sahumin, **K. Pianthong** and M. Behnia, "Prediction of flow characteristic and performance of steam ejector in refrigeration cycle using CFD," *Proceedings of the 8th Asian Symposium on Visualization (ASV)*, 23-27 May. 2005, Chiangmai, Thailand.
- [20] A. Matthujak, **K. Pianthong**, M. Sun, K. Takayama, T. Ikohagi, "Effect of different fuels on the characteristics of supersonic liquid fuel jets," *Proceedings of the 25th International Symposium on Shock Waves (ISSW25)*, Bangalore, India, 17-19 July 2005, paper no.1104.
- [21] B.E. Milton, M. Watanabe, T. Saito, **K. Pianthong**, "Simulation of supersonic liquid jets using the Autodyne," *Proceedings of the 25th International Symposium on Shock Waves (ISSW25)*, Bangalore, India, 17-19 July 2005, paper no.1185.

[22] **K. Pianthong**, "Visualisation of supersonic liquid fuel jets," *Proceedings of the 5th Pacific Symposium on Flow Visualisation and Image Proceeding (PSFVIP5)*, 27-29th September, 2005, Australia (**Keynote Lecture**).

[23] P. Techarungpaisan, S. Theerakulpisut, S. Priprem, **K. Pianthong**, "Investigation on the performance of a hot water heater using waste heat from a small split-type air conditioner," *Proceedings of the 5th Pacific Symposium on Flow Visualisation and Image Proceeding (PSFVIP5)*, 27-29th September, 2005, Australia.

National Refereed Conferences

[1] **K. Pianthong**, "Generation, shock wave characteristics, and auto-ignition investigation of supersonic liquid diesel fuel jets," *Proceedings of the 3rd National Symposium on Graduate Research (Thailand)*, 18-19 July, 2002.

[2] **K. Pianthong**, B.E. Milton, and M. Behnia, "Auto-ignition feasibilities of supersonic liquid diesel fuel jets at low ambient conditions," *Proceedings of the 16th Annual conference of Mechanical Engineering Network of Thailand*, Phuket, 14-16 October, 2002 .

[3] E. Rusly, Lu Aye, W.W.S. Charters, A. Ooi, and **K. Pianthong**, "Ejector CFD modelling with real gas model," *Proceedings of the 16th Annual conference of Mechanical Engineering Network of Thailand*, Phuket, 14-16 October, 2002.

[4] **K. Pianthong**, H. Yamashita, B.E. Milton, and T. Saito, "Estimation of driving pressure and jet velocity for projectile impact driven supersonic water jets," *Proceedings of the 17th Annual conference of Mechanical Engineering Network of Thailand*, Prajeenburi, 15-17 October, 2003, paper no TF038.

[5] **K. Pianthong**, K. Takayama, B.E. Milton, and M. Behnia, "Measurements of attenuation and penetration of pulsed supersonic liquid diesel fuel jets - the possibility for use in diesel engines," *Proceedings of the 17th Annual conference of Mechanical Engineering Network of Thailand*, Prajeenburi, 15-17 October, 2003, paper no TF039.

[6] A. Matthujak, K. Janevijitsakul, and **K. Pianthong**, "A Study of the production of biomass gas from rice straw using a downdraft gasifier," *Proceedings of the 17th Annual conference of Mechanical Engineering Network of Thailand*, Prajeenburi, 15-17 October, 2003, paper no. IC003. (in Thai)

[7] A. Matthujak, **K. Pianthong** and K. Takayama, "Performance of a vertical two-stage light gas gun and its applications," *Proceedings of the Conference on 40th Year Anniversary of Engineering Faculty of Khonkaen University*, Khonkaen, Thailand, 22-24 January 2004, pp.xx-yy. (in Thai)

- [8] **K. Pianthong**, V. Sechanam, K. Chunnanond, S. Aphornratana, M. Behnia, "Prediction of performance and flow behavior of steam ejector using computational fluid dynamics techniques," *Proceedings of the 8th Annual National Symposium on Computational Science and Engineering (ANSCSE8)*, at Nakorn Ratchasema, Thailand , 21-23 July 2004, paper no. CFDM-028.
- [9] I. Vorapun, V. Meetham, S. Srisuruk, and **K. Pianthong**, "Production of biodiesel from used cooking oil and effect to engine performances," *Proceedings of the 18th Annual conference of Mechanical Engineering Network of Thailand*, Khonkaen, 18-20 October, 2004, paper no. ETM19. (in Thai)
- [10] V. Sechanam, **K. Pianthong**, M.Behnia, K. Chunnanond, and S. Aphornratana, "Simulation on performance of CPM and CRMC steam ejectors using CFD technique," *Proceedings of the 18th Annual Conference of Mechanical Engineering Network of Thailand*, Khonkaen, 18-20 October, 2004, paper no. CST29.
- [11] **K. Pianthong**, I. Vorapun, P. Triyasut, P. Sombutwong, N. Soodsane, "Production of biodiesel from used cooking oil at 150 liter/batch and its effect to engine performances," *Proceedings of the 1st Annual Conference of Energy Network of Thailand (E-Nett)* , Pattaya City, 11-13 May, 2005, paper no. RE07. (in Thai)
- [12] C. Thinvongpituk and **K. Pianthong**, "Temperature Distribution in Wood-Fired Ceramic Kilns," *Proceedings of the 1st Annual Conference of Energy Network of Thailand (E-Nett)* , Pattaya City, 11-13 May, 2005, paper no. AE007. (in Thai)
- [13] I. Vorapun, **K. Pianthong**, S. Pongsathanbordee, and D. Soodphukdee "Study of performance and black smoke in diesel engine using bio-diesel ethanol blend as a fuel," *Proceedings of the 19th Annual conference of Mechanical Engineering Network of Thailand*, Phuket, 19-21 October, 2005, paper no. ETM033. (in Thai)
- [14] V. Sechanam, **K. Pianthong**, T. Sriveerakul, S. Aphornratana, and M.Behnia, "Design and test of CRMC steam ejector in refrigeration system," *Proceedings of the 19th Annual conference of Mechanical Engineering Network of Thailand*, Phuket, 19-21 October, 2005, paper no. CST043. (in Thai)

5. ประวัติการทำงาน

- ปี พ.ศ. 2535 - 2537: วิศวกรฝ่ายผลิต โรงงานปูนซีเมนต์ ที พี โอ โพลีน จำกัด อ.แก่งคอย จ.สระบุรี
- ปี พ.ศ. 2537 - ปัจจุบัน: อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ชื่อ(ภาษาไทย) นายไพบูลย์ เสถียรรัมย์
(English) Mr. Paiboon Satianram

1. คุณวุฒิ ปม. Diploma (Automotive Engineering)
2. ตำแหน่งปัจจุบัน ครูปฏิบัติการ ระดับ 5
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
โทรศัพท์ 045 288400-3 ต่อ 3815, 3814 โทรสาร 045 28837

3. ประวัติการศึกษา

ปีการศึกษา ที่จบ	ระดับปริญญา (ตรี โท เอก) และชื่อเต็ม	อักษรย่อปริญญา วิชา	สาขา	ชื่อสถาบัน การศึกษา	ประเทศ
2525	ประกาศนียบัตร วิชาชีพชั้นสูง สาขา ช่างยนต์	ปว.ส. (ช่างยนต์)	ช่าง เครื่องยนต์	วิทยาลัยเทคนิค นครราชสีมา	ไทย
2526	อนุปริญญา	(ปม.)	ฝึกหัดครู มัธยมอาชีวะ (ช่างยนต์)	สถาบัน เทคโนโลยี ราชมงคล นครราชสีมา	ไทย

4. ผลงานวิจัย บทความทางวิชาการ และสิ่งตีพิมพ์

- ผลงานสิ่งประดิษฐ์ "วาล์วลดแรงดันน้ำประปา" ประจำปีคณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ปี 2535-2537
- ข้าราชการดีเด่น ปี พ.ศ. 2536 (ขณะ รับราชการ ณ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่)

ชื่อ(ภาษาไทย) นายทองคำ กิริยะ
(English) Mr. Thongkhum Kiriya

1.คุณวุฒิ B.S. Tech. Ed (Mechanical Engineering)
2.ตำแหน่งปัจจุบัน ครูปฏิบัติการ ระดับ 5
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
โทรศัพท์ 045 288400-3 ต่อ 3815, 3814 โทรสาร 045 28837

3. ประวัติการศึกษา

ปีการศึกษา ที่จบ	ระดับปริญญา (ตรี โท เอก) และชื่อเต็ม	อักษรย่อปริญญา วิชา	สาขา	ชื่อสถาบัน การศึกษา	ประเทศ
2520	ประกาศนียบัตร วิชาชีพชั้นสูง สาขา ช่างยนต์	ปว.ส. (ช่างยนต์)	ช่าง เครื่องยนต์	วิทยาลัยเทคนิค คไทย- เยอรมัน ขอนแก่น	ไทย
2538	ครุศาสตร์ อุตสาหกรรม บัณฑิต	คอ.บ (เครื่องกล)	Mechanical Engineering	สถาบัน เทคโนโลยี ราชมงคล (วิทยาเขต เทเวศร์)	ไทย