

บทที่ 4

ผลการทดลองและการอภิปรายผล

4.1. ผลการวิเคราะห์สมบัติสารตั้งต้นและน้ำมันดีเซล

4.1.1. สมบัติทางเชื้อเพลิงของน้ำมันพืชตัวอย่างและน้ำมันดีเซล

การวิเคราะห์สมบัติทางเชื้อเพลิงของน้ำมันพืชตัวอย่างและน้ำมันดีเซลตามมาตรฐานที่กล่าวไว้ในบทที่ 3 ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 สมบัติทางเชื้อเพลิงของน้ำมันพืชตัวอย่างเทียบกับน้ำมันดีเซล

สมบัติ	น้ำมันดีเซล หมุนเร็ว	น้ำมันดีเซล หมุนช้า	น้ำมัน เมล็ดใน ปาล์ม	น้ำมัน มะพร้าว
Kinematic Viscosity (cSt)	3.6	5.9	29.76	28.06
Specific Gravity at 15.6/15.6 °C	0.845	0.868	0.921	0.923
Cetane Index	51.2	47.6	34.5	33.8
Flash Point (°C)	75	78	290	261
Heating Value (MJ/kg)	43.7	42.1	37.6	37.3
Acid Value (mg KOH / g oil)	-	-	2.49	11.59
Saponification Value (mg KOH / g oil)	-	-	233.56	247.87
Iodine Value (g I ₂ / 100 g oil)	-	-	16.57	9.46

จากตารางที่ 4.1 จะเห็นว่าน้ำมันพืชตัวอย่างทั้งสองชนิดมีสมบัติทางเชื้อเพลิงทางกายภาพและทางเคมีใกล้เคียงกัน เมื่อเปรียบเทียบสมบัติทางเชื้อเพลิงของน้ำมันพืชทั้งสองกับน้ำมันดีเซล พบว่าน้ำมันพืชทั้งสองมีค่าความร้อนต่ำกว่าน้ำมันดีเซล จึงเหมาะสมกับเครื่องยนต์รอบต่ำ ส่วนค่าความหนืดน้ำมันพืชทั้งสองมีค่าสูงกว่าน้ำมันดีเซลมาก ด้วยเหตุนี้การใช้น้ำมันพืชโดยตรงจึงเป็นไปได้ยากเพราะกำลังจะตกและเกิดปัญหากับระบบหัวฉีด โดยหัวฉีดจะไม่สามารถฉีดเชื้อเพลิงเป็นฝอยละเอียดได้ทำให้การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ สำหรับจุดวาบไฟเป็นสมบัติของน้ำมันพืชที่ทำให้ทราบว่าน้ำมันชนิดนั้นมีความสามารถในการระเหยมากหรือน้อย ซึ่งน้ำมันพืชทั้งสองมีจุด

วาบไฟสูง จึงมีความสามารถในการระเหยต่ำทำให้การจุดระเบิดของเครื่องยนต์เป็นไปได้ยากโดยเฉพาะที่อุณหภูมิต่ำและเมื่อเครื่องยนต์เย็น การลดความหนืดและจุดวาบไฟของน้ำมันพืชจึงเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการนำน้ำมันพืชไปใช้เป็นเชื้อเพลิง ส่วนสมบัติทางเคมีพบว่าน้ำมันมะพร้าวมีค่ากรดสูงกว่าน้ำมันเมล็ดในปาล์มซึ่งมีกรดไขมันอิสระมาก จึงเกิดการหมิ่นหืนเร็วกว่าและมีจุดเกิดควันต่ำกว่าน้ำมันที่มีกรดต่ำ และค่าสะพอนิฟิเคชันบ่งบอกถึงขนาดโมเลกุลของไขมัน โดยน้ำมันที่มีค่าสะพอนิฟิเคชันต่ำจะมีขนาดโมเลกุลใหญ่ นอกจากสมบัติที่กล่าวมาแล้วข้างต้นความหนาแน่นของน้ำมันพืชก็เป็นอีกสมบัติหนึ่งที่สามารถบอกถึงขนาดโมเลกุลของน้ำมันพืชได้ โดยความหนาแน่นสูงโมเลกุลจะมีขนาดใหญ่แสดงดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ความหนาแน่นและสภาพความมีขั้วของน้ำมันตัวอย่างและเมทานอล

สารตั้งต้น	ความหนาแน่น (กรัม/มิลลิลิตร)	สภาพความมีขั้ว
เมทานอล	0.792	มีขั้ว
น้ำมันเมล็ดในปาล์ม	0.9013	ไม่มีขั้ว
น้ำมันมะพร้าว	0.9027	ไม่มีขั้ว

จากตารางที่ 4.2 จะเห็นว่าเมทานอลมีความหนาแน่นน้อยกว่าน้ำมันพืชทั้งสองชนิดและมีสภาพความมีขั้วต่างกัน เมื่อนำสารทั้งสองชนิดมาผสมกัน เมทานอลจะแยกชั้นอยู่ด้านบนส่วนน้ำมันพืชอยู่ด้านล่าง ทำให้ในภาวะปกติสารทั้งสองชนิดไม่ทำปฏิกิริยากัน จึงจำเป็นต้องลดสภาพความมีขั้วของเมทานอลลงเพื่อให้สารทั้งสองชนิดละลายเป็นเนื้อเดียวกันจึงจะเกิดปฏิกิริยาได้

4.1.2. ชนิดและปริมาณองค์ประกอบกรดไขมันในน้ำมันพืชตัวอย่าง

จากการส่งตัวอย่างวิเคราะห์ชนิดและปริมาณองค์ประกอบกรดไขมันในน้ำมันพืชตัวอย่างทั้งสองตามมาตรฐาน AOCS Ce - 2 - 66 ที่ศูนย์บริการทางวิชาการแบบเบ็ดเสร็จ กรมวิชาการเกษตร ได้ผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 4.3

จากตารางที่ 4.3 พบว่าน้ำมันเมล็ดในปาล์มมีองค์ประกอบกรดไขมันอิ่มตัวหลัก คือ กรดลอริก กรดไมริสติก และกรดปาล์มมิติกรวมร้อยละ 77.74 ส่วนน้ำมันมะพร้าวมีองค์ประกอบกรดไขมันอิ่มตัวหลักคือ กรดลอริก กรดไมริสติก และกรดคาพริลิก รวมร้อยละ 77.59 โดยน้ำมันเมล็ดในปาล์มมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงกว่าน้ำมันมะพร้าวคือรวมร้อยละ 12.25 และ 5.65 ตามลำดับ ทั้งนี้องค์ประกอบของกรดไขมันไม่อิ่มตัวหลักเป็นชนิดเดียวกันคือกรดโอเลอิก จากตารางที่

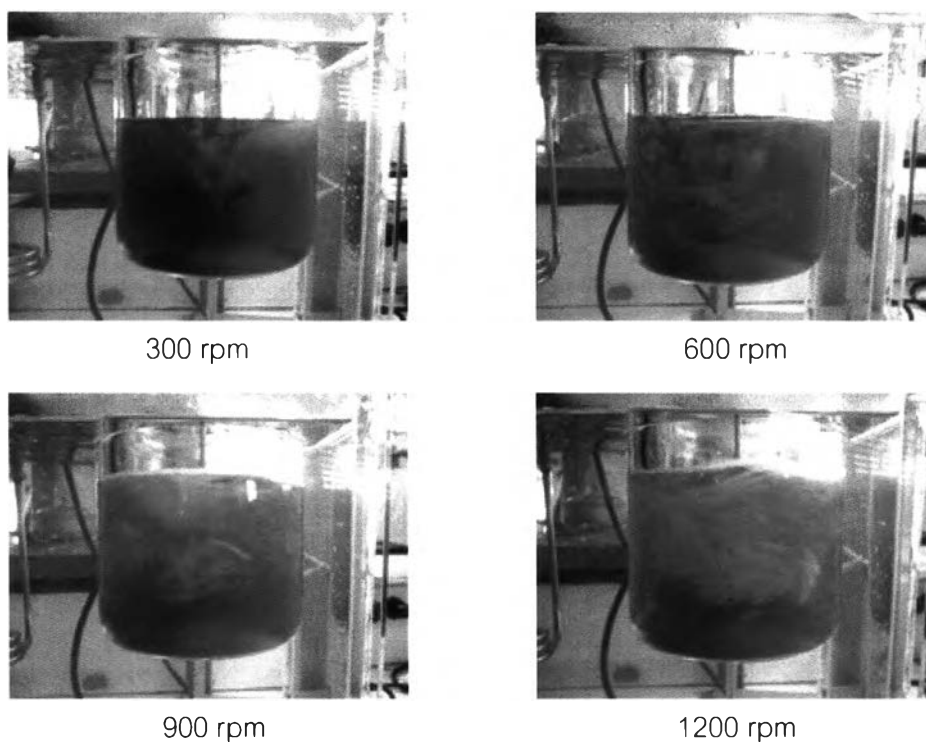
4.3 สามารถคำนวณมวลโมเลกุลได้จากชนิดและปริมาณกรดไขมันในน้ำมันพืช พบว่าน้ำมันเมล็ดในปาล์มและน้ำมันมะพร้าวมีมวลโมเลกุลเท่ากับ 696.8 และ 688.6 ตามลำดับ วิธีการคำนวณแสดงในภาคผนวก ข

ตารางที่ 4.3 ชนิดและองค์ประกอบกรดไขมันในน้ำมันพืชตัวอย่าง

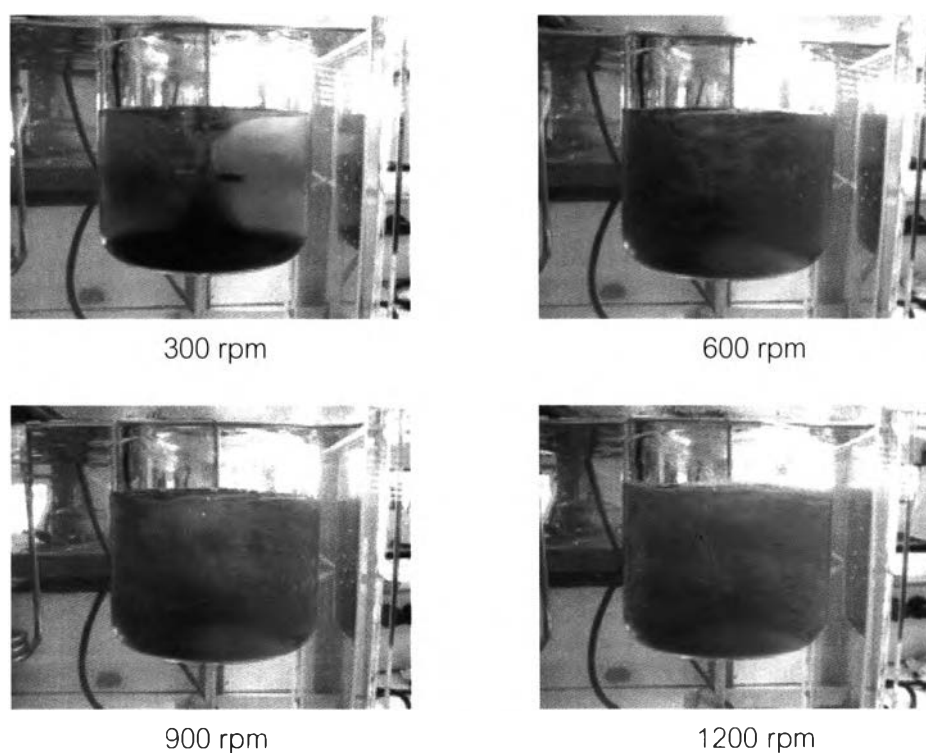
ชนิดของกรดไขมัน	น้ำมันเมล็ดในปาล์ม	น้ำมันมะพร้าว
C6:0 Caproic acid	-	0.54
C8:0 Caprylic acid	4.40	8.48
C10:0 Capric acid	4.03	6.63
C12:0 Lauric acid	55.60	50.55
C14:0 Myristic acid	15.74	18.56
C16:0 Palmitic acid	6.40	7.81
C18:0 Stearic acid	1.58	1.78
กรดไขมันอิ่มตัวทั้งหมด	87.75	94.35
C18:1 Oleic acid	10.70	4.59
C18:2 Linoleic acid	1.55	1.06
กรดไขมันไม่อิ่มตัวทั้งหมด	12.25	5.65
รวม	100.00	100.00
มวลโมเลกุล	696.8	688.6

4.2. ผลการศึกษาอิทธิพลการกวนของใบพัดกวนในถังปฏิกรณ์จำลอง

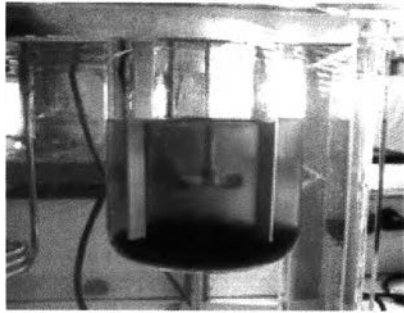
ศึกษาอิทธิพลของการกวนโดยดูจากการผสมในถังปฏิกรณ์แก้วที่ไม่ติดตั้งและติดตั้งแผ่นกั้น ใช้ใบพัดกวน 2 ชนิด คือ ใบพัดกวนแบบกังหัน 6 ใบแบบติดบนจาน และ ใบพัดกวนแบบกังหัน 4 ใบแบบเอียง 45° ที่ความเร็วรอบ 300, 600, 900 และ 1200 รอบต่อนาที ที่ปริมาตรรวมของเหลว 1600, 2000 และ 2400 มิลลิลิตร ซึ่งมีระดับความสูงของเหลวภายในถัง คือ 9.5, 11.8 และ 14.1 เซนติเมตร ตามลำดับ ใช้ภาชนะการทดลองแบบกะ (Batch reactor) อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันเมล็ดในปาล์มคือ 6 ต่อ 1 ตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก และ อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ผลการผสมและการเกิดวอร์เท็กซ์แสดงเป็นภาพถ่ายดังแสดงในภาพที่ 4.1 ถึง 4.12 ตามลำดับ และเปรียบเทียบผลของใบพัดกวนสองชนิดที่ปริมาตรของเหลวรวมของสารภายในถังต่างๆ แสดงดังตารางที่ 4.4 ถึง 4.6 ตามลำดับ



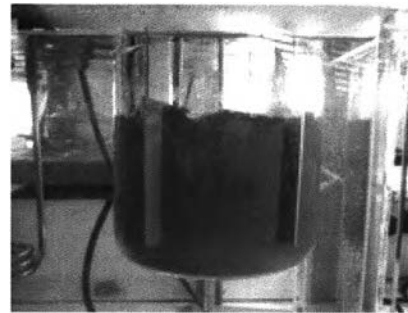
ภาพที่ 4.1 การกวนภายในถังปฏิกรณ์ที่ไม่ติดตั้งแผ่นกั้นของใบพัดกวนแบบกังหัน 6 ใบแบบ ติดบนจาน ที่ความเร็วรอบต่างๆ ปริมาตรของเหลวรวมภายในถัง 1600 มิลลิลิตร



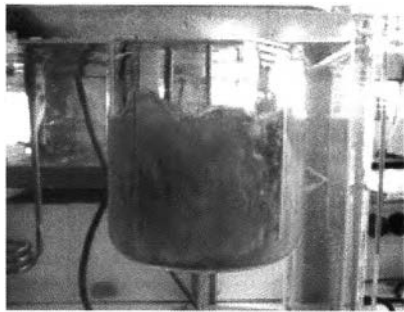
ภาพที่ 4.2 การกวนภายในถังปฏิกรณ์ที่ไม่ติดตั้งแผ่นกั้นของใบพัดกวนแบบกังหัน 4 ใบแบบ เอียง 45° ที่ความเร็วรอบต่างๆ ปริมาตรของเหลวรวมภายในถัง 1600 มิลลิลิตร



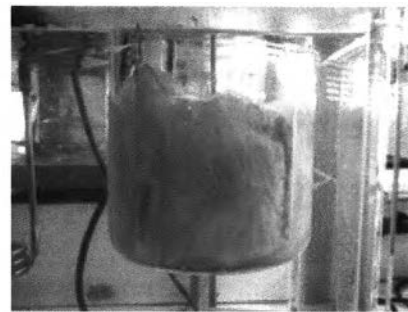
300 rpm



600 rpm

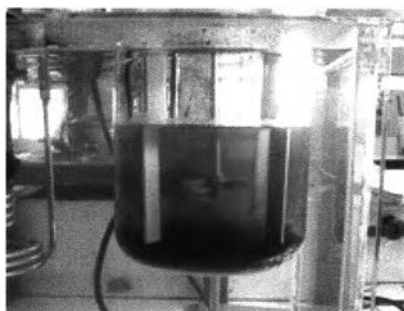


900 rpm



1200 rpm

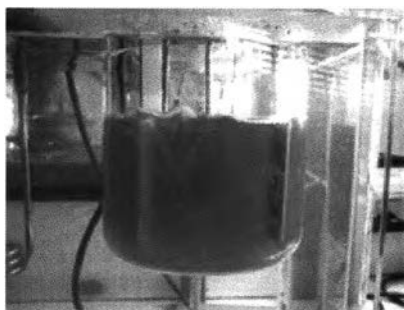
ภาพที่ 4.3 การกวนภายในถังปฏิกรณ์ที่ติดตั้งแผ่นกั้นของใบพัดกวนแบบกังหันใบตรง 6 ใบแบบ
ติดบนจาน ที่ความเร็วรอบต่างๆ ปริมาตรของเหลวรวมภายในถัง 1600 มิลลิลิตร



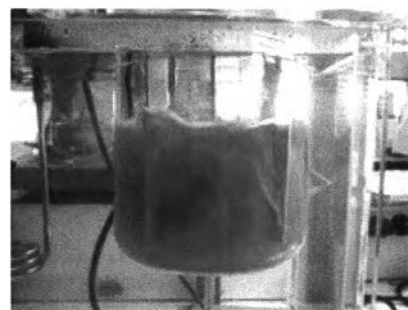
300 rpm



600 rpm



900 rpm



1200 rpm

ภาพที่ 4.4 การกวนภายในถังปฏิกรณ์ที่ติดตั้งแผ่นกั้นของใบพัดกวนแบบกังหัน 4 ใบแบบ
เอียง 45° ที่ความเร็วรอบต่างๆ ปริมาตรของเหลวรวมภายในถัง 1600 มิลลิลิตร



300 rpm



600 rpm



900 rpm



1200 rpm

ภาพที่ 4.5 การกวนภายในถังปฏิกรณ์ที่ไม่ติดตั้งแผ่นกั้นของใบพัดกวนแบบกังหัน 6 ใบแบบ
ติดบนจาน ที่ความเร็วรอบต่างๆ ปริมาตรของเหลวรวมภายในถัง 2000 มิลลิลิตร



300 rpm



600 rpm

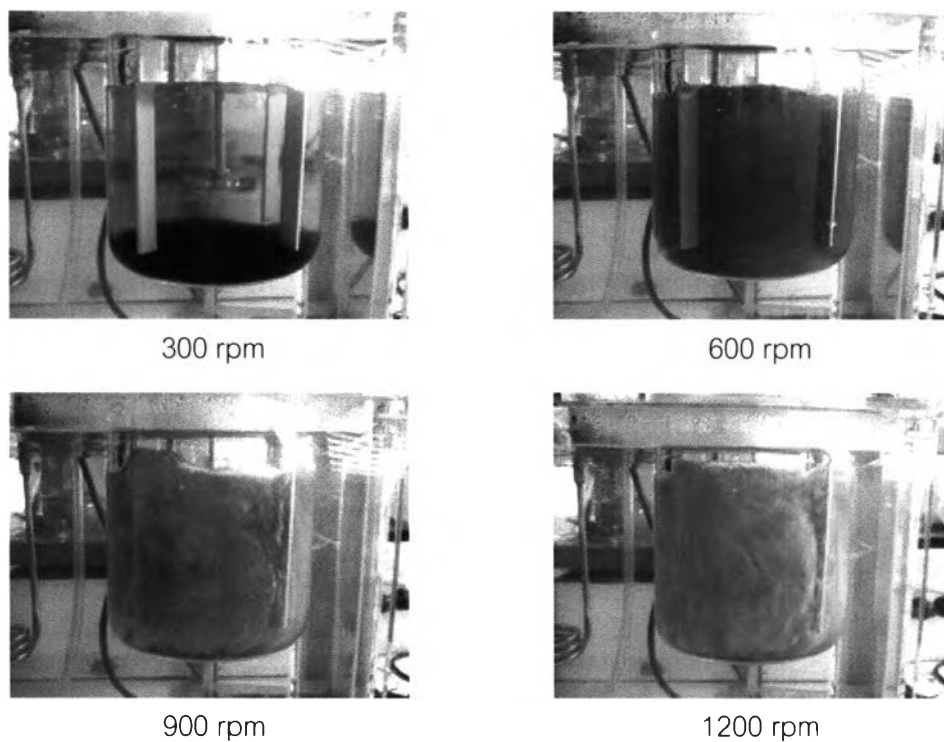


900 rpm

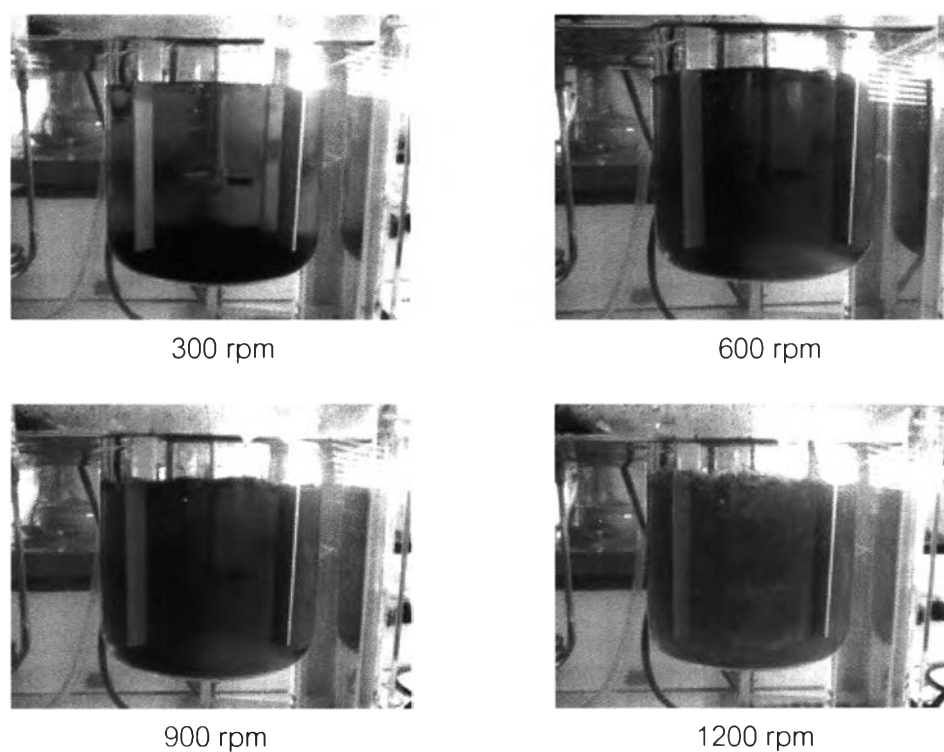


1200 rpm

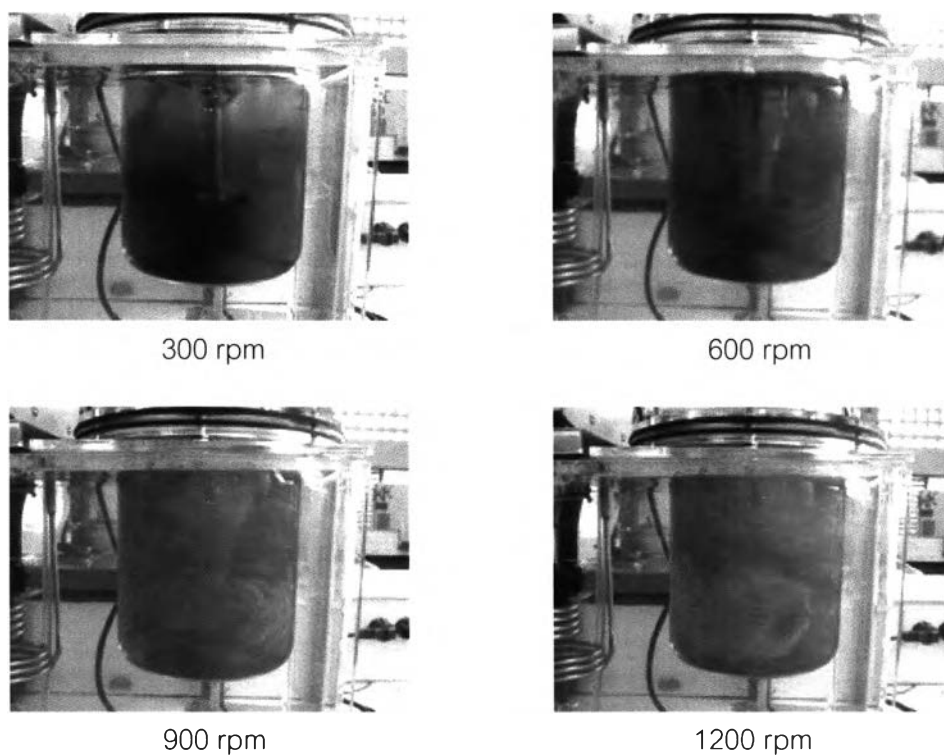
ภาพที่ 4.6 การกวนภายในถังปฏิกรณ์ที่ไม่ติดตั้งแผ่นกั้นของใบพัดกวนแบบกังหัน 4 ใบแบบ
เอียง 45° ที่ความเร็วรอบต่างๆ ปริมาตรของเหลวรวมภายในถัง 2000 มิลลิลิตร



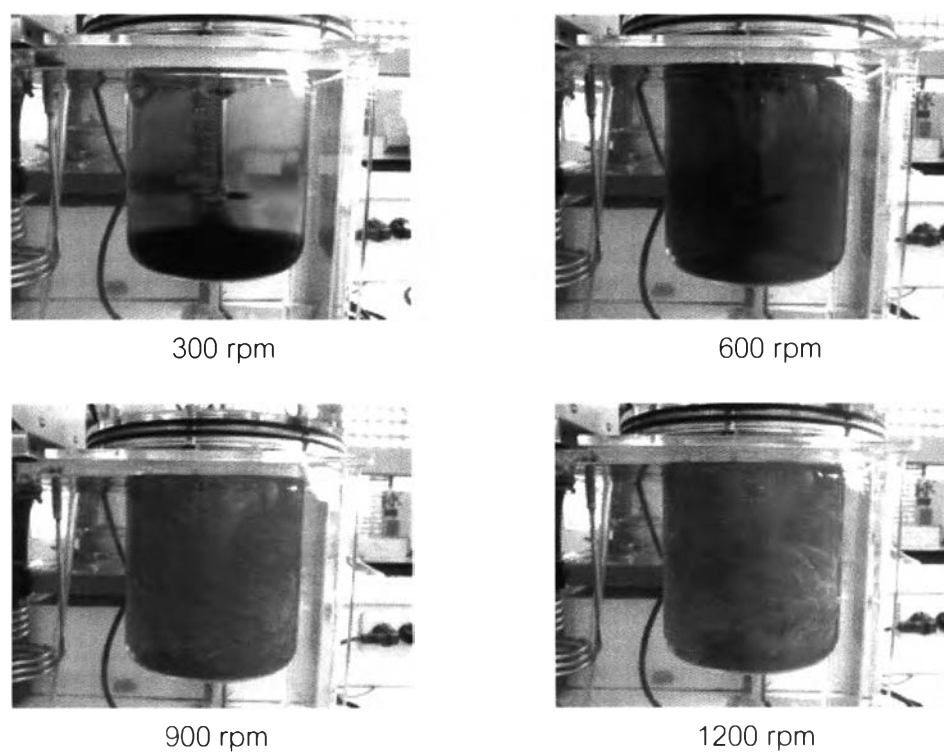
ภาพที่ 4.7 การกวนภายในถังปฏิกรณ์ที่ติดตั้งแผ่นกั้นของใบพัดกวนแบบกังหัน 6 ใบแบบ
ติดบนจาน ที่ความเร็วรอบต่างๆ ปริมาตรของเหลวรวมภายในถัง 2000 มิลลิลิตร



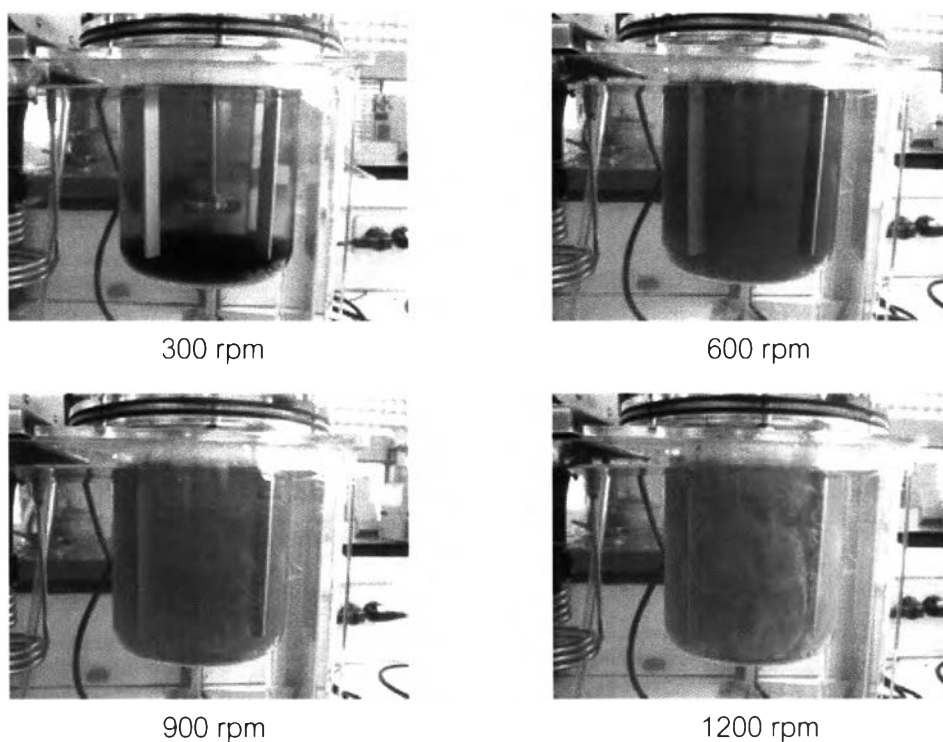
ภาพที่ 4.8 การกวนภายในถังปฏิกรณ์ที่ติดตั้งแผ่นกั้นของใบพัดกวนแบบกังหัน 4 ใบแบบ
เอียง 45° ที่ความเร็วรอบต่างๆ ปริมาตรของเหลวรวมภายในถัง 2000 มิลลิลิตร



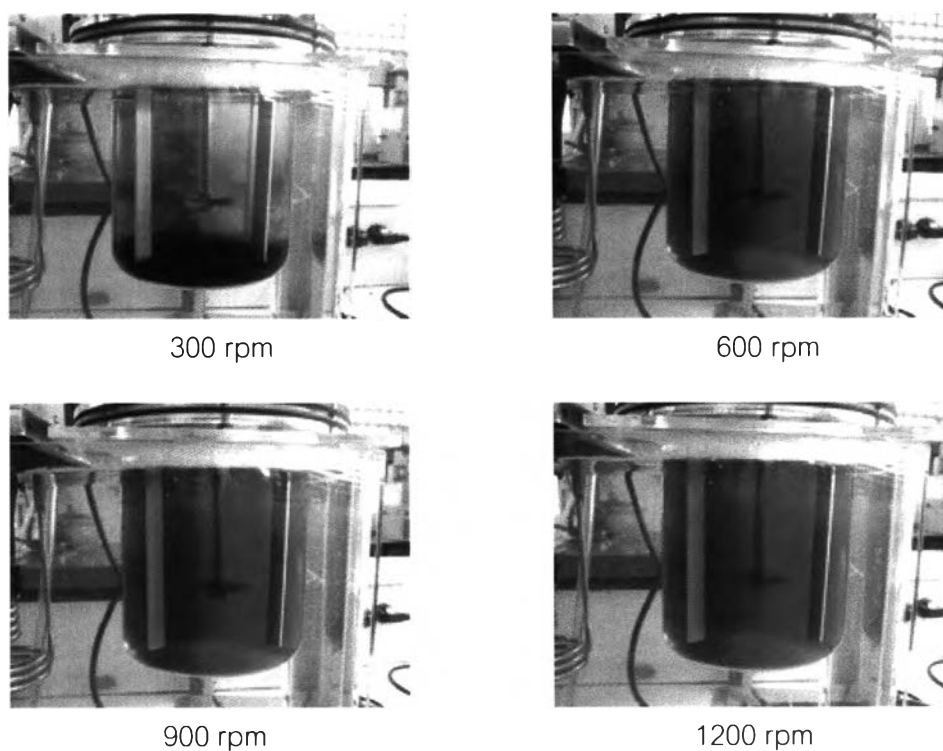
ภาพที่ 4.9 การกวนภายในถังปฏิกรณ์ที่ไม่ติดตั้งแผ่นกั้นของใบพัดกวนแบบกังหัน 6 ใบแบบ ติดบนจาน ที่ความเร็วรอบต่างๆ ปริมาตรของเหลวรวมภายในถัง 2400 มิลลิลิตร



ภาพที่ 4.10 การกวนภายในถังปฏิกรณ์ที่ไม่ติดตั้งแผ่นกั้นของใบพัดกวนแบบกังหัน 4 ใบแบบ เอียง 45° ที่ความเร็วรอบต่างๆ ปริมาตรของเหลวรวมภายในถัง 2400 มิลลิลิตร



ภาพที่ 4.11 การกวนภายในถังปฏิกรณ์ที่ติดตั้งแผ่นกั้นของใบพัดกวนแบบกังหัน 6 ใบแบบ
ติดบนจาน ที่ความเร็วรอบต่างๆ ปริมาตรของเหลวรวมภายในถัง 2400 มิลลิลิตร



ภาพที่ 4.12 การกวนภายในถังปฏิกรณ์ที่ติดตั้งแผ่นกั้นของใบพัดกวนแบบกังหัน 4 ใบแบบ
เอียง 45° ที่ความเร็วรอบต่างๆ ปริมาตรของเหลวรวมภายในถัง 2400 มิลลิลิตร

ตารางที่ 4.4 การเปรียบเทียบผลการผสมเมื่อใช้ใบพัดกวนสองชนิดที่ปริมาตรของเหลวรวม

1600 มิลลิลิตร

Impeller Speed (rpm)	6 blade flat blade turbine				4 blade 45° pitched blade turbine			
	Baffle		No Baffle		Baffle		No Baffle	
	Vortex	Homo geneous	Vortex	Homo geneous	Vortex	Homo geneous	Vortex	Homo geneous
300	×	×	✓	×	×	×	✓	×
600	×	✓	✓	✓	×	✓	✓	✓
900	×	✓	✓	✓	×	✓	✓	✓
1200	×	✓	✓	✓	×	✓	✓	✓

✓ เกิด , × ไม่เกิด

ตารางที่ 4.5 การเปรียบเทียบผลการผสมเมื่อใช้ใบพัดกวนสองชนิดที่ปริมาตรของเหลวรวม

2000 มิลลิลิตร

Impeller Speed (rpm)	6 blade flat blade turbine				4 blade 45° pitched blade turbine			
	Baffle		No Baffle		Baffle		No Baffle	
	Vortex	Homo geneous	Vortex	Homo geneous	Vortex	Homo geneous	Vortex	Homo geneous
300	×	×	✓	×	×	×	✓	×
600	×	✓	✓	✓	×	✓	✓	✓
900	×	✓	✓	✓	×	✓	✓	✓
1200	×	✓	✓	✓	×	✓	✓	✓

✓ เกิด , × ไม่เกิด

ตารางที่ 4.6 การเปรียบเทียบผลการผสมเมื่อใช้ใบพัดกวนสองชนิดที่ปริมาตรของเหลวรวม
2400 มิลลิลิตร

Impeller Speed (rpm)	6 blade flat blade turbine				4 blade 45° pitched blade turbine			
	Baffle		No Baffle		Baffle		No Baffle	
	Vortex	Homo geneous	Vortex	Homo geneous	Vortex	Homo geneous	Vortex	Homo geneous
300	×	×	✓	×	×	×	✓	×
600	×	✓	✓	✓	×	×	✓	✓
900	×	✓	✓	✓	×	✓	✓	✓
1200	×	✓	✓	✓	×	✓	✓	✓

✓ เกิด , × ไม่เกิด

ผลการทดลองที่พึงประสงค์คือการเกิดเป็นเนื้อเดียวกันและไม่มีวอร์เทกซ์ที่ความเร็วรอบต่ำ จากตารางที่ 4.4 และ 4.5 จะเห็นได้ว่าที่ปริมาตรของเหลวรวมภายในถัง 1600 และ 2000 มิลลิลิตร ให้ผลการผสมที่เหมือนกันคือภาวะการผสมในถังปฏิกรณ์ที่ไม่ติดตั้งแผ่นกั้นภายในถังกวนของใบพัดกวนทั้งสองเกิดพฤติกรรมการไหลแบบวอร์เทกซ์ขึ้นที่ทุกความเร็วรอบเป็นสาเหตุให้ระดับของเหลวลดลงรอบแกนของใบพัดกวนทำให้ประสิทธิภาพของการผสมลดลง ส่วนภาวะที่ติดตั้งแผ่นกั้นของใบพัดกวนทั้งสองไม่เกิดพฤติกรรมการไหลแบบวอร์เทกซ์ ซึ่งหมายถึงการผสมมีประสิทธิภาพที่ดี สำหรับการผสมเป็นเนื้อเดียวกันของสารผสมภายในถังกวนของใบพัดกวนทั้งสองพบว่าที่ความเร็วรอบ 300 รอบต่อนาที การผสมไม่เป็นเนื้อเดียวกัน แต่เมื่อเพิ่มความเร็วรอบเป็น 600, 900 และ 1200 รอบต่อนาที การผสมเป็นเนื้อเดียวกัน

จากตารางที่ 4.6 ผลการผสมที่ปริมาตรของเหลวรวมภายในถัง 2400 มิลลิลิตร ให้ผลคล้ายตารางที่ 4.4 และ 4.5 แต่แตกต่างกันตรงผลการทดลองการผสมไม่เป็นเนื้อเดียวกันในภาวะที่ถึงกวนติดตั้งแผ่นกั้นของใบพัดกวนแบบก้าน 4 ใบแบบเอียง 45° ที่ความเร็วรอบ 600 รอบต่อนาที ซึ่งอาจเป็นผลมาจากปริมาตร 2400 มิลลิลิตร มีระดับของเหลวภายในถัง 14.1 เซนติเมตร สูงกว่าที่ปริมาตร 2000 และ 1600 มิลลิลิตร ซึ่งระดับของเหลวอยู่ที่ 11.8 และ 9.5 เซนติเมตร ตามลำดับ และภาวะที่มีแผ่นกั้นทำให้เกิดการต้านทานการผสมจึงทำให้การผสมบริเวณผิวหน้าของสารผสมภายในถังไม่เป็นเนื้อเดียวกัน และอาจเป็นผลมาจากใบพัดแบบก้าน 4 ใบแบบเอียง 45° เป็นใบพัดที่มีแรงเฉือนต่ำจึงทำให้ไม่มีประสิทธิภาพการกวนเมื่อปริมาตรเพิ่มขึ้น แต่ที่ความเร็วรอบของใบพัด 900 และ 1200 รอบต่อนาที การผสมภายในถังเป็นเนื้อเดียวกัน

ดังนั้นถึงกวนที่ติดตั้งแผ่นกันปริมาตรของเหลวรวม 2000 มิลลิลิตร จึงเป็นปริมาตรที่เหมาะสมที่จะนำไปใช้ในถังปฏิกรณ์จริง เพราะถึงแม้ที่ปริมาตร 1600 มิลลิลิตร ให้ผลการผสมเช่นเดียวกันเมื่อใช้ใบพัดกวนทั้งสองชนิด แต่เนื่องจากปริมาตร 2000 มิลลิลิตร ถึงปฏิกรณ์จะบรรจุของเหลวได้มากกว่าที่ปริมาตร 1600 มิลลิลิตร ส่วนที่ปริมาตร 2400 มิลลิลิตร เป็นปริมาตรที่มากเกินไป การผสมเป็นเนื้อเดียวกันจำเป็นต้องใช้ความเร็วรอบสูงกว่าปริมาณ 2000 มิลลิลิตร จะสิ้นเปลืองพลังงานและเกิดการสึกหรอมากกว่า

4.3. ผลการหาภาวะการทดลองของการผลิตไบโอดีเซลโดยใช้ถังปฏิกรณ์จริงแบบกะ

4.3.1. ผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลองแบบ 2^3 แฟกทอเรียล

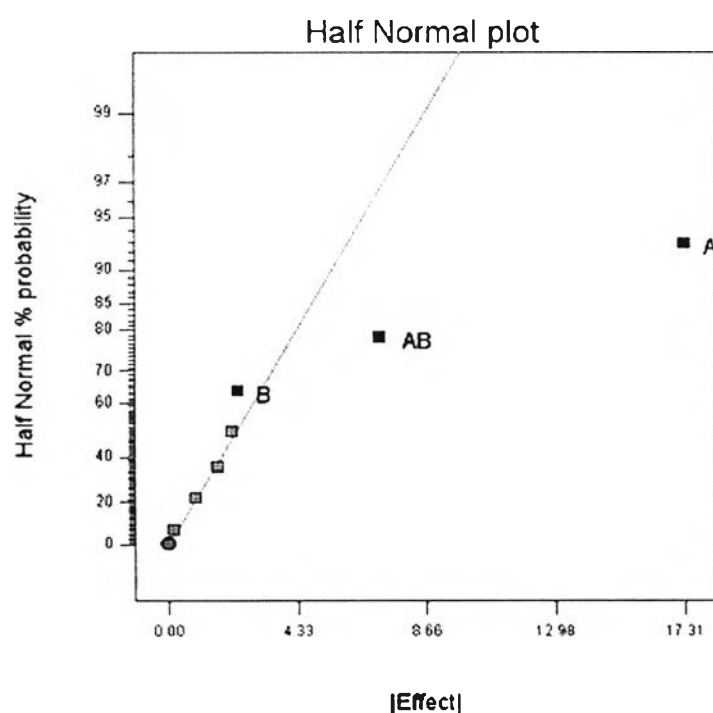
การออกแบบการทดลองแบบ 2^3 แฟกทอเรียล โดยศึกษาปัจจัยหลัก 3 ปัจจัย คือ อัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมันเมล็ดในปาล์ม ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาไฮดรอกไซด์ และ อุณหภูมิ โดยได้กำหนดค่าสูงสุดและต่ำสุดแต่ละตัวแปรสำหรับการทดลองดังตารางที่ 3.1 โดยการออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียล เป็นการออกแบบการทดลองที่ต้องการศึกษาผลของตัวแปรที่มีต่อค่าการตอบสนองของข้อมูล ในการทดลองนี้ค่าการตอบสนองของข้อมูล คือ ค่าร้อยละความบริสุทธิ์เมทิลเอสเทอร์ ซึ่งผลการทดลองแบบ 2^3 แฟกทอเรียล แสดงดังตารางที่ 4.7 ในการทดลองให้ปริมาตรของเหลวรวมภายในถังกวนคือ 2000 มิลลิลิตร ใช้ใบพัดกวนแบบกังหัน 6 ใบแบบติดบนจาน เลือกใช้ความเร็วรอบ 900 รอบต่อนาที เนื่องจากการสังเกตในภาพที่ 4.7 พบว่าความเร็วรอบ 900 รอบต่อนาที มีความปั่นป่วนภายในถังกวนมากกว่าความเร็วรอบ 600 รอบต่อนาที ดังนั้นเพื่อให้แน่ใจว่าการผสมภายในถังปฏิกรณ์สามารถผสมได้อย่างทั่วถึงจึงได้ใช้ความเร็วรอบ 900 รอบต่อนาที และใช้เวลาการทำปฏิกิริยา 60 นาที ทุกการทดลอง

เมื่อนำค่าที่ได้จากการทดลองมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการแจกแจงความน่าจะเป็นปกติแบบครึ่ง (Half normal probability plot) แสดงดังรูปที่ 4.1 พบว่าตัวแปรที่คาดว่ามีส่วนต่อค่าร้อยละความบริสุทธิ์เมทิลเอสเทอร์ คือ อัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมันเมล็ดในปาล์ม (A) ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาไฮดรอกไซด์ และ อัตราส่วนของอัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมันเมล็ดในปาล์มกับปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาไฮดรอกไซด์ (AB) เนื่องจากค่า Effect Estimate ของตัวแปรเบี่ยงเบนออกจากแนวเส้นตรง ส่วนอุณหภูมิ (C) ไม่มีผลต่อค่าร้อยละความบริสุทธิ์เมทิลเอสเทอร์ อาจเป็นผลเนื่องมาจากการเก็บตัวอย่างที่เวลา 60 นาที ซึ่งเป็น

เวลาที่ปฏิกิริยาจึงจุดสมบูรณ์แล้ว จึงทำให้ร้อยละความบริสุทธิ์เมทิลเอสเทอร์มีความใกล้เคียงกัน ซึ่งจะส่งผลให้อุณหภูมิไม่มีผลกระทบสำหรับการออกแบบการทดลองแบบ 2^3 แฟกทอเรียล

ตารางที่ 4.7 ค่าร้อยละความบริสุทธิ์เมทิลเอสเทอร์ของการทดลองแบบ 2^3 แฟกทอเรียล

การทดลอง	อัตราส่วนโดยโมล เมทานอลต่อน้ำมัน เมล็ดในปาล์ม	ตัวเร่งปฏิกิริยา โซเดียมไฮดรอกไซด์ (wt.%)	อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$)	ร้อยละ ความบริสุทธิ์ เมทิลเอสเทอร์
1	3:1	1	50	71.71
2	3:1	1	70	70.15
3	3:1	2	50	82.62
4	3:1	2	70	78.10
5	15:1	1	50	95.06
6	15:1	1	70	95.66
7	15:1	2	50	92.09
8	15:1	2	70	89.02



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการแจกแจงความน่าจะเป็นปกติแบบครึ่ง (Half normal probability plot) กับค่า Effect Estimate

สำหรับการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance, ANOVA) ของตัวแปรต่างๆ มักจะพิจารณาจากค่า F_0 เป็นหลัก ถ้าค่า F_0 ของตัวแปรใดมีค่ามากกว่าค่าวิกฤต F_{α, v_1, v_2} (เมื่อ α คือระดับความเชื่อมั่นที่พิจารณา v_1 คือระดับขั้นความเสรี (Degree of freedom) ของตัวแปร และ v_2 คือระดับขั้นความเสรีของความคลาดเคลื่อน) แสดงว่าตัวแปรนั้นทำให้ผลตอบสนองเบี่ยงเบนจากสมมติฐานที่กำหนดไว้ใน การทดลอง จึงกล่าวได้ว่าตัวแปรนั้นมีผลกระทบต่อ การทดลองอย่างมีนัยสำคัญ หรืออีกนัยหนึ่งอาจพิจารณาตัวแปรที่มีผลต่อผลตอบสนองในการทดลอง ได้จากค่า P-value กล่าวคือถ้าค่า P-value ของตัวแปรใดมีค่าต่ำกว่าค่า α แสดงว่าตัวแปรนั้นมี ผลต่อผลตอบสนองในการทดลอง ซึ่งผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าร้อยละความบริสุทธิ์ เมทิลเอสเทอร์ แสดงดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของตัวแปรที่มีผลต่อค่าร้อยละความบริสุทธิ์

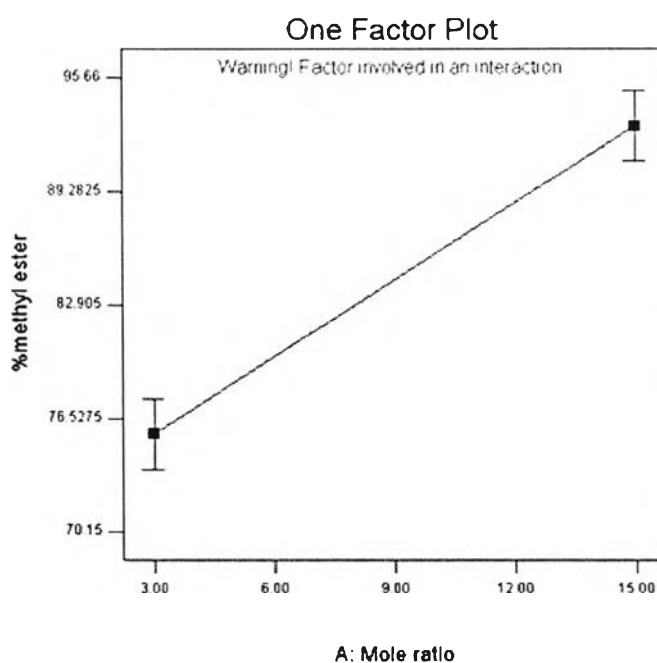
เมทิลเอสเทอร์ (ANOVA Table)

Source	Sum of Squares	Degree of freedom	Mean Square	F_0	P-value
A	599.45	1	599.45	9513.12	0.0065
B	10.70	1	10.70	169.73	0.0488
C	9.14	1	9.14	145.02	0.0527
AB	101.32	1	101.32	1607.90	0.0159
AC	1.63	1	1.63	25.85	0.1236
BC	5.49	1	5.49	87.20	0.0679
Error	0.063	1	0.063		
Total	727.78	7			

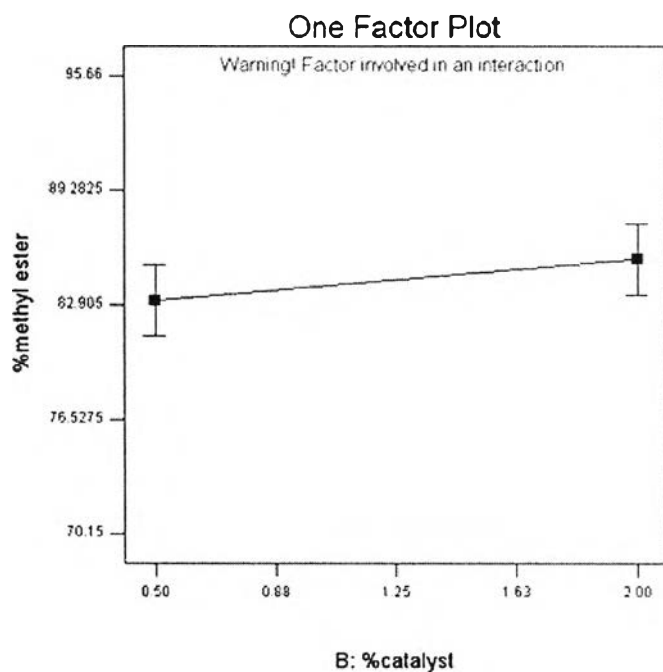
จากตารางที่ 4.8 ทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนของร้อยละความบริสุทธิ์เมทิลเอสเทอร์ โดยพิจารณาที่ระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 95% หรือระดับความสำคัญ (α) เท่ากับ 0.05 ซึ่งมีค่าวิกฤต $F_{0.05,1,1}$ (เปิดจากตาราง Percentage Points of the F Distribution) [31] เท่ากับ 161.4 จากความแปรปรวนของตัวแปรจะเห็นได้ว่าค่า F_0 ของอัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมันเมล็ดในปาล์ม (A) ค่า F_0 ของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาไซเดียมไฮดรอกไซด์ (B) และ ค่า F_0 ของอันตรกิริยาต่อกันของอัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมันเมล็ดในปาล์มกับปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาไซเดียมไฮดรอกไซด์ (AB) พบว่ามีค่ามากกว่าค่าวิกฤต และเมื่อพิจารณาค่า P-value ของอัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมันเมล็ดในปาล์ม (A) ค่า P-value ของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาไซเดียมไฮดรอก

ไซด์ (B) และ ค่า P-value ของอันตรกิริยาของอัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมันเมล็ดในปาล์ม กับปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาไฮดรอกไซด์ (AB) พบว่ามีค่าน้อยกว่า 0.05 ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ตัวแปรที่มีผลต่อค่าร้อยละความบริสุทธิ์เมทิลเอสเทอร์ คือ อัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมันเมล็ดในปาล์ม และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาไฮดรอกไซด์ ส่วนอุณหภูมิไม่มีผลต่อการทดลอง

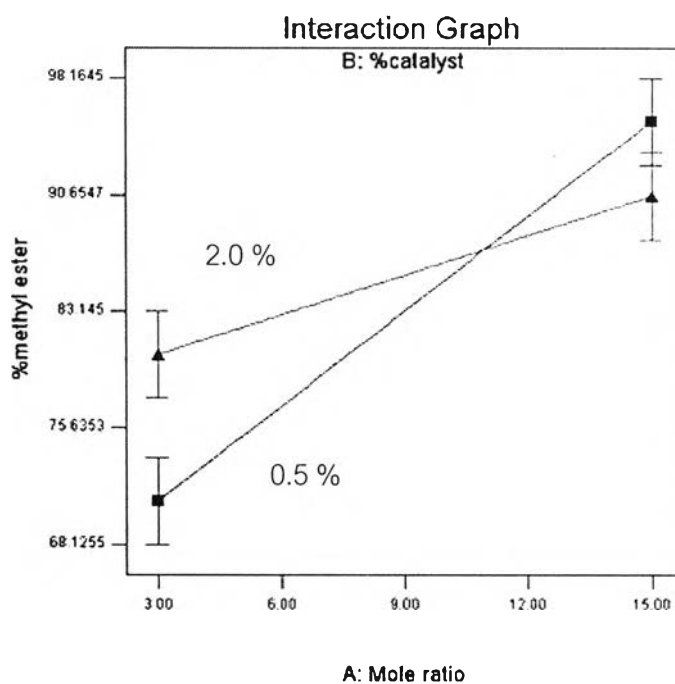
สำหรับผลกระทบของตัวแปรแต่ละชนิดที่มีผลต่อค่าร้อยละความบริสุทธิ์เมทิลเอสเทอร์ แสดงดังรูปที่ 4.2, 4.3 และ 4.4 ตามลำดับ จากรูปที่ 4.2 พบว่าร้อยละความบริสุทธิ์เมทิลเอสเทอร์ มีค่าเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนโดยโมลที่เพิ่มขึ้น โดยพิจารณาจากความชันของกราฟ ซึ่งกราฟมีความชันมากแสดงถึงอัตราส่วนโดยโมลมีผลมากต่อค่าร้อยละความบริสุทธิ์เมทิลเอสเทอร์ รูปที่ 4.3 พบว่าร้อยละความบริสุทธิ์เมทิลเอสเทอร์มีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่เพิ่มขึ้น ซึ่งกราฟมีความชันน้อยแสดงถึงปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยามีผลน้อยต่อค่าร้อยละความบริสุทธิ์เมทิลเอสเทอร์ และรูปที่ 4.4 อันตรกิริยาต่อกันของอัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมันเมล็ดในปาล์มกับปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาไฮดรอกไซด์ พบว่าที่อัตราส่วนโดยโมลค่าต่ำสุดเมื่อใช้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาค่ามากจะให้ร้อยละความบริสุทธิ์ที่มากกว่าปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาค่าน้อย แต่ที่อัตราส่วนโดยโมลค่าสูงสุดเมื่อใช้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาค่าน้อยกลับให้ร้อยละความบริสุทธิ์ที่มากกว่าปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาค่ามาก ดังนั้นการหาภาวะที่เหมาะสมระหว่างอัตราส่วนโดยโมลและปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาจึงต้องทำการทดลองต่อไป



รูปที่ 4.2 ร้อยละความบริสุทธิ์เมทิลเอสเทอร์ที่อัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มสูงสุดและต่ำสุด



รูปที่ 4.3 ร้อยละความบริสุทธิ์เมทิลเอสเทอร์ที่ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาไซเดียมไฮดรอกไซด์สูงสุดและต่ำสุด



รูปที่ 4.4 ร้อยละความบริสุทธิ์เมทิลเอสเทอร์ที่ผลกระทบบรรหว่างกันของอัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมันเมล็ดในปาล์มกับปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาไซเดียมไฮดรอกไซด์สูงสุดและต่ำสุด

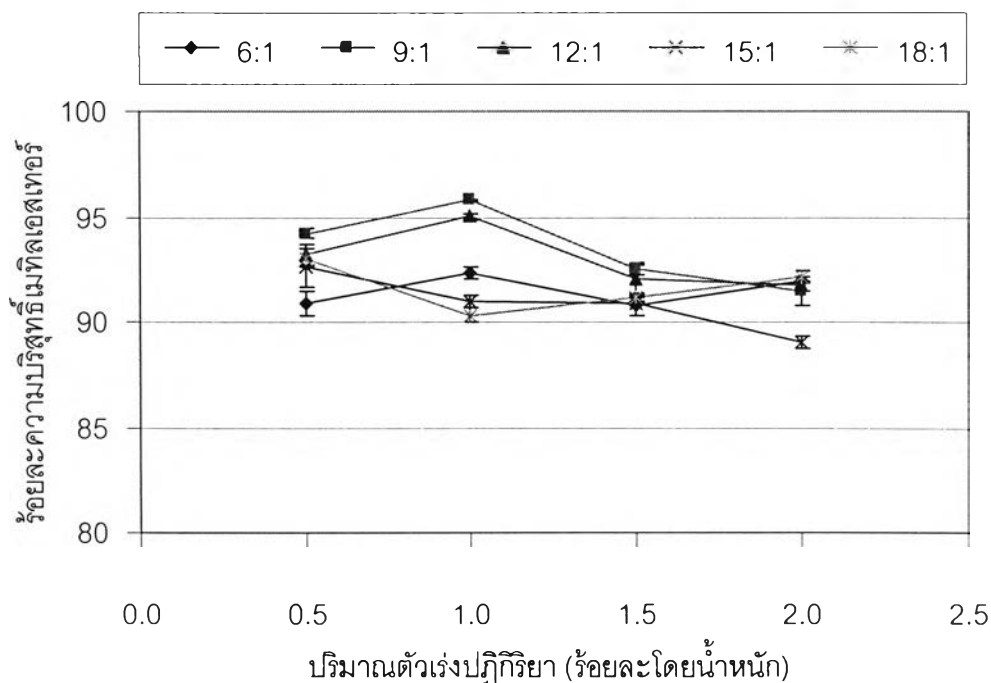
4.3.2. ผลการเปลี่ยนแปลงระหว่างอัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมันพืชกับปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา

การออกแบบการทดลองแบบ 2^3 แฟกทอเรียล ในหัวข้อที่ 4.3.1. พบว่าอัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมันเมล็ดในปาล์มกับปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาไซเดียมไฮดรอกไซด์ มีผลกระทบระหว่างกัน โดยในการทดลองในขั้นนี้จึงเพิ่มการศึกษาที่อัตราส่วนโดยโมลที่ 6:1, 9:1, 12:1, 15:1 และ 18:1 ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 โดยน้ำหนัก ซึ่งในการทดลองใช้อุณหภูมิที่ 50 องศาเซลเซียส เวลาในการทำปฏิกิริยา 60 นาที และใช้ใบพัดกวนแบบก้าน 6 ใบ แบบติดบนจาน ที่ความเร็วรอบ 900 รอบต่อนาที ทุกการทดลอง ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.9 และ รูปที่ 4.5 ตามลำดับ

จากตารางที่ 4.9 และ รูปที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละความบริสุทธิ์เมทิลเอสเทอร์ที่ได้ต่อการเปลี่ยนปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาไซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่อัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมันเมล็ดในปาล์มต่างๆ พบว่าอัตราส่วนโดยโมลและปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยามีอันตรกิริยาต่อกันซึ่งสอดคล้องกับผลที่ได้จากการออกแบบการทดลองแบบ 2^3 แฟกทอเรียล โดยที่อัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมันเมล็ดในปาล์ม 9 ต่อ 1 และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาไซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก สามารถให้ความบริสุทธิ์เมทิลเอสเทอร์มากกว่าที่ภาวะทดลองอื่นๆ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าภาวะที่ดีที่สุด คือ น้ำมันเมล็ดในปาล์ม 9 ต่อ 1 และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาไซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก ซึ่งให้ความบริสุทธิ์เมทิลเอสเทอร์ถึงร้อยละ 95.78

ตารางที่ 4.9 ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงระหว่างอัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมันพืชกับปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาไซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส และเวลาทำปฏิกิริยา 60 นาที

อัตราส่วนโดยโมล เมทานอลต่อน้ำมัน เมล็ดในปาล์ม	ร้อยละความบริสุทธิ์เมทิลเอสเทอร์			
	ตัวเร่งปฏิกิริยาไซเดียมไฮดรอกไซด์ (wt.%)			
	0.5	1.0	1.5	2.0
6:1	90.91	92.35	90.79	91.92
9:1	94.21	95.78	92.49	91.44
12:1	93.21	95.04	92.05	91.79
15:1	92.59	90.98	90.91	89.04
18:1	93.05	90.32	91.21	92.18



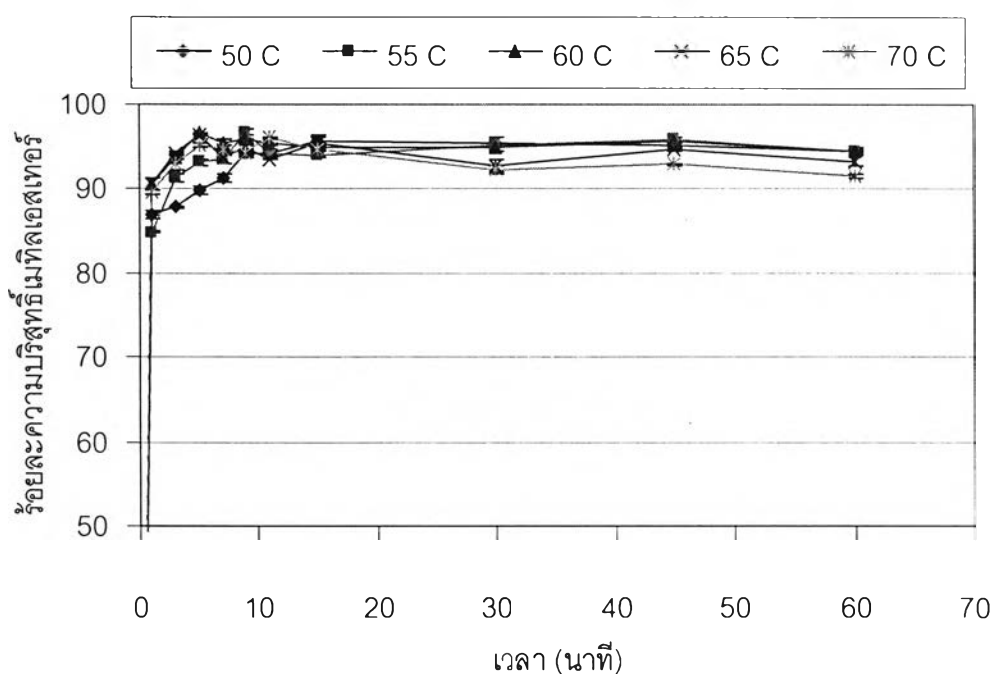
รูปที่ 4.5 ผลการเปลี่ยนแปลงระหว่างอัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมันพีชกับปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาไซเตียมไฮดรอกไซด์ ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส และเวลาทำปฏิกิริยา 60 นาที

4.3.3. ผลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิการทำปฏิกิริยา

การออกแบบการทดลองแบบ 2^3 แฟกทอเรียล ในหัวข้อที่ 4.3.1 พบว่าอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาไม่มีผลกระทบต่อร้อยละความบริสุทธิ์เมทิลเมทาครีเลต อาจเป็นผลเนื่องมาจากการเก็บตัวอย่างที่เวลา 60 นาที ซึ่งเป็นเวลาที่ปฏิกิริยาจึงจุดสมบูรณ์แล้ว จึงทำให้ร้อยละความบริสุทธิ์เมทิลเมทาครีเลตมีความใกล้เคียงกัน ซึ่งจะส่งผลให้ผลการวิเคราะห์ของค่าอุณหภูมิการทำปฏิกิริยาไม่มีผลกระทบสำหรับการออกแบบการทดลองแบบ 2^3 แฟกทอเรียล ดังนั้นจากภาวะที่ดีที่สุด อัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมันเมลิ็ดในปาล์ม 9 ต่อ 1 ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาไซเตียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก จึงนำมาทำการศึกษาผลของอุณหภูมิต่อไปที่ 50, 55, 60, 65 และ 70 องศาเซลเซียส โดยเก็บตัวอย่างที่เวลา 1, 3, 5, 7, 9, 11, 15, 30, 45 และ 60 นาที ซึ่งได้ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.10 และ รูปที่ 4.6 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.10 ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิการทำปฏิกิริยา ที่อัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมันเมล็ดในปาล์ม 9 ต่อ 1 ตัวเร่งปฏิกิริยาไฮดรอกไซด์ร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก

อุณหภูมิ (C°)	ร้อยละความบริสุทธิ์เมทิลเอสเทอร์									
	เวลา (นาที)									
	1	3	5	7	9	11	15	30	45	60
50	86.90	87.82	89.86	91.35	94.25	95.27	95.68	95.33	95.11	94.39
55	84.90	91.28	93.15	93.55	96.58	94.27	94.05	95.11	95.82	94.45
60	90.60	93.75	96.50	95.50	95.78	98.32	94.92	94.97	95.68	94.49
65	90.57	94.20	96.28	93.69	95.03	93.52	95.40	92.69	94.68	93.33
70	89.61	92.94	95.10	94.57	94.14	96.02	94.71	92.32	92.90	91.50



รูปที่ 4.6 ผลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิการทำปฏิกิริยา ที่อัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมันเมล็ดในปาล์ม 9 ต่อ 1 ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาไฮดรอกไซด์ร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก

จากตารางที่ 4.10 และ รูปที่ 4.6 พบว่าในช่วงเวลาการเกิดปฏิกิริยาที่ 15 นาทีแรกที่อุณหภูมิ 60, 65 และ 70 องศาเซลเซียส จะมีอัตราการเกิดเมทิลเอสเทอร์เร็วกว่าที่อุณหภูมิ 50 และ 55 องศาเซลเซียส โดยที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส อัตราการเกิดเมทิลเอสเทอร์มีค่าต่ำสุด ซึ่งอัตราการเกิดเมทิลเอสเทอร์จะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่สูงขึ้นจนถึงที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จากนั้นอัตราการเกิดปฏิกิริยาจึงเริ่มคงที่ ส่วนนี้อาจเป็นผลมาจากการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิทำให้ความหนืดของน้ำมันลดลง ส่งผลให้ความสามารถในการละลายของเมทานอลในการแทรกตัวไปทำปฏิกิริยาได้เร็วมากขึ้น หลังจากการเกิดปฏิกิริยาหลังจาก 15 นาที พบว่าที่อุณหภูมิ 50, 55 และ 60 องศาเซลเซียสจะให้การเกิดของเมทิลเอสเทอร์สูงกว่าอุณหภูมิ 65 และ 70 องศาเซลเซียส อาจเป็นผลมาจากอุณหภูมิที่ 65 และ 70 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิที่ใกล้เคียงและถึงจุดเดือดของเมทานอล (68 องศาเซลเซียส) [32] ที่ความดันบรรยากาศ จึงทำให้เมทานอลส่วนหนึ่งระเหยกลายเป็นไอส่งผลให้ปริมาณที่เข้าทำปฏิกิริยาน้อยลง

ดังนั้นจากผลการทดลองจึงสรุปได้ว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการทำปฏิกิริยา คือ อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เพราะว่ามีอัตราการเกิดปฏิกิริยาที่เร็วและยังสามารถให้ร้อยละความบริสุทธิ์เมทิลเอสเทอร์สูงคงที่ตลอดการทำปฏิกิริยา

4.3.4. ผลการเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบการกววนของใบพัดกวน

จากภาวะที่ดีที่สุด คือ อัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมันเมล็ดในปาล์ม 9 ต่อ 1 ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก และอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จึงนำมาทำการศึกษาผลความเร็วรอบของใบพัดกวน 2 ชนิด คือ กังหัน 6 ใบแบบติดบนจาน และ กังหัน 4 ใบแบบเอียง 45° โดยศึกษาความเร็วรอบของใบพัดกวนที่ 600, 900 และ 1200 รอบต่อนาที ซึ่งผลการทดลองของใบพัดกวนแบบกังหัน 6 ใบแบบติดบนจาน แสดงดังตารางที่ 4.11 และ รูปที่ 4.7 และใบพัดกวนแบบกังหัน 4 ใบแบบเอียง 45° แสดงดังตารางที่ 4.12 และ รูปที่ 4.8 ตามลำดับ

จากตารางที่ 4.11 และ รูปที่ 4.7 พบว่าอัตราการเกิดเมทิลเอสเทอร์เพิ่มขึ้นตามเวลาในช่วงประมาณ 10 นาทีแรก หลังจากนั้นการเกิดเมทิลเอสเทอร์จะคงที่ ซึ่งการใช้ใบพัดกวนแบบกังหัน 6 ใบแบบติดบนจาน ที่ความเร็วรอบ 900 รอบต่อนาที พบว่าได้ความบริสุทธิ์เมทิลเอสเทอร์สูงสุด รองลงมาคือที่ความเร็วรอบ 1200 และ 600 รอบต่อนาที ตามลำดับ อาจเป็นผลมาจากที่ความเร็วรอบ 600 รอบต่อนาที เป็นความเร็วรอบที่ต่ำเกินไปจึงทำให้มีประสิทธิภาพของการกวนน้อย ส่วนที่ความเร็วรอบ 1200 รอบต่อนาที เป็นความเร็วรอบที่สูงเกินไป เนื่องจากใบพัดกวนแบบกังหัน 6 ใบแบบติดบนจาน เป็นใบพัดที่มีแรงเฉือนสูงและมีพฤติกรรมการไหลตามแนวรัศมี

(radial flow) จะทำให้มีประสิทธิภาพภาพสูงเมื่อกวนที่ความเร็วรอบต่ำ ดังนั้นความเร็วรอบที่เหมาะสมสำหรับใบพัดชนิดนี้คือ 900 รอบต่อนาที

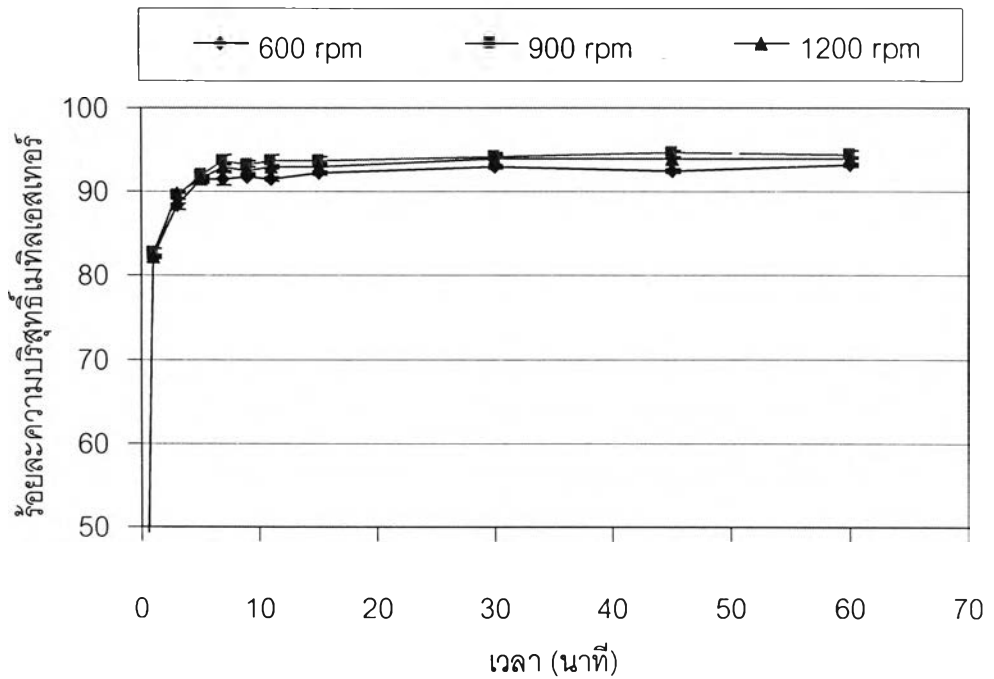
จากตารางที่ 4.12 และ รูปที่ 4.8 พบว่าในช่วงเวลาการเกิดปฏิกิริยาที่ 10 นาทีแรก ของการใช้ใบพัดกวนแบบก้าน 4 ใบแบบเอียง 45° ที่ความเร็วรอบ 1200 รอบต่อนาที จะมีอัตราการเกิดเมทิลเอสเทอร์สูงสุด รองลงคือความเร็วรอบ 900 และ 600 รอบต่อนาที ตามลำดับ อาจเป็นผลมาจากใบพัดกวนแบบก้าน 4 ใบแบบเอียง 45° เป็นใบพัดที่มีแรงเฉือนต่ำและมีพฤติกรรมการไหลตามแนวแกน (axial flow) จะทำให้มีประสิทธิภาพภาพสูงเมื่อกวนที่ความเร็วสูง ดังนั้นความเร็วรอบที่เหมาะสมสำหรับใบพัดชนิดนี้คือ 1200 รอบต่อนาที

ตารางที่ 4.11 ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบการกวนของใบพัดกวนแบบก้าน 6 ใบแบบติดบนจาน ที่ความเร็วรอบต่างๆ อัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมันเมล็ดในปาล์ม 9 ต่อ 1 ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาไฮดรอกไซด์ร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก และอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

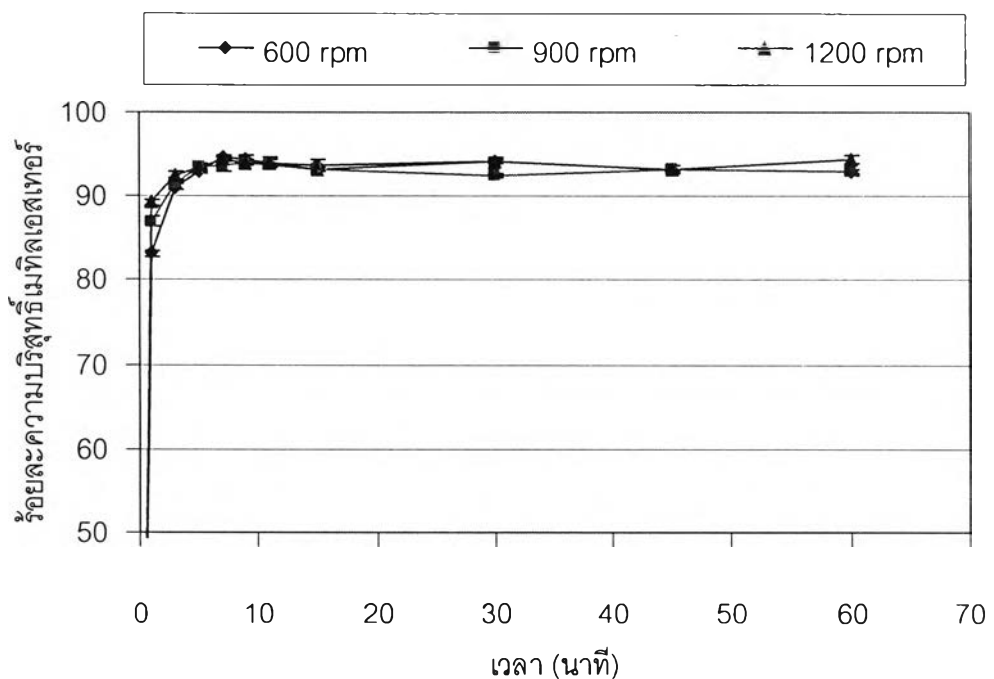
ความเร็ว รอบ (rpm)	ร้อยละความบริสุทธิ์เมทิลเอสเทอร์									
	เวลา (นาที)									
	1	3	5	7	9	11	15	30	45	60
600	82.10	88.27	91.40	91.47	91.80	91.50	92.21	92.87	92.57	93.11
900	82.68	89.45	91.91	93.77	93.20	93.56	93.78	94.21	94.56	94.49
1200	82.20	89.81	91.56	92.88	92.54	92.92	93.02	93.87	94.02	93.87

ตารางที่ 4.12 ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบการกวนของใบพัดกวนแบบก้าน 4 ใบแบบเอียง 45° ที่ความเร็วรอบต่างๆ อัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมันเมล็ดในปาล์ม 9 ต่อ 1 ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาไฮดรอกไซด์ร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก และอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

ความเร็ว รอบ (rpm)	ร้อยละความบริสุทธิ์เมทิลเอสเทอร์									
	เวลา (นาที)									
	1	3	5	7	9	11	15	30	45	60
600	83.17	91.09	93.02	94.54	94.41	93.99	93.79	94.23	93.17	93.05
900	87.01	91.60	93.34	93.72	94.05	93.74	93.28	92.41	93.21	92.87
1200	89.26	92.50	93.56	94.44	93.90	93.88	93.15	94.13	93.28	94.43



รูปที่ 4.7 ผลการเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบการกวนของใบพัดกวนแบบกังหัน 6 ใบแบบติดบนจาน ที่ความเร็วรอบต่างๆ อัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมันเมล็ดในปาล์ม 9 ต่อ 1 ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก และอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.8 ผลการเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบการกวนของใบพัดกวนแบบกังหัน 4 ใบแบบเฉียง 45° ที่ความเร็วรอบต่างๆ อัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมันเมล็ดในปาล์ม 9 ต่อ 1 ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก และอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

4.4. ผลการหาภาวะการทดลองของการผลิตไบโอดีเซลอย่างต่อเนื่องในเครื่องปฏิกรณ์แบบไหลผสม

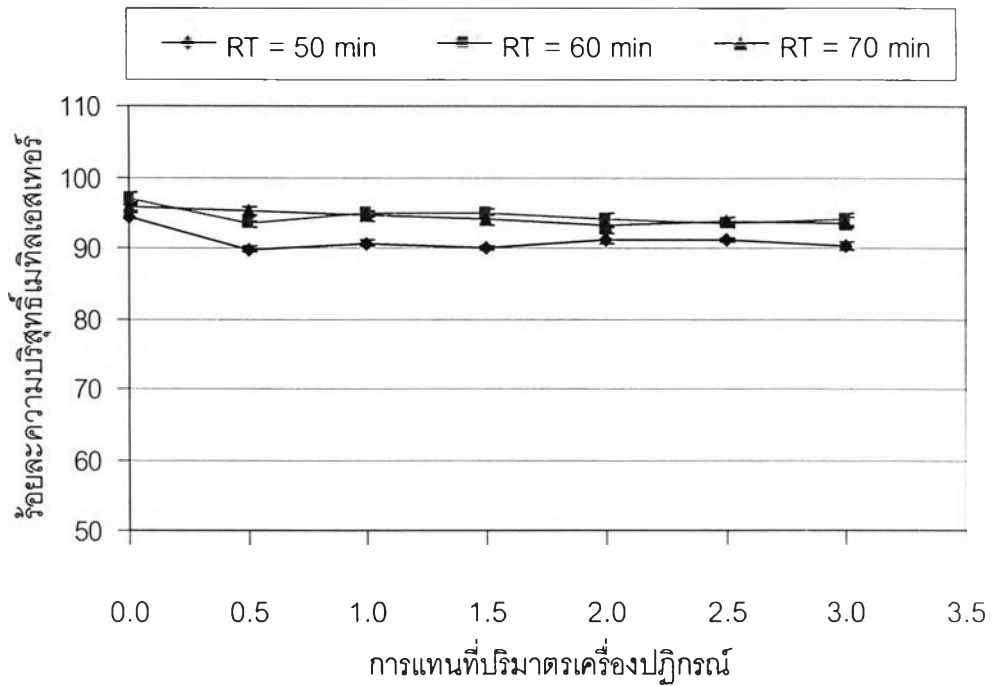
การหาภาวะการทดลองการผลิตไบโอดีเซลอย่างต่อเนื่องในเครื่องปฏิกรณ์แบบไหลผสม ตามรูปที่ 3.1 ซึ่งถังปฏิกรณ์ป้อนสารตั้งต้นเข้าทางด้านบนและผลิตภัณฑ์ที่ได้จะถูกปล่อยออกทางด้านล่างของถัง สำหรับการกวนได้ทำการศึกษาไบพัดกวน 2 ชนิด ที่มีพฤติกรรมการไหลแตกต่างกัน คือ ไบพัดกวนแบบกังหัน 6 ใบแบบติดบนจาน และไบพัดกวนแบบกังหัน 4 ใบแบบเอียง 45° รวมถึงการศึกษาถึงเวลาเฉลี่ยที่สารอยู่ในเครื่องปฏิกรณ์ (residence time) ซึ่งผลการทดลองของไบพัดกวนแต่ละชนิดเป็นดังนี้

4.4.1. ผลการผลิตไบโอดีเซลอย่างต่อเนื่องในเครื่องปฏิกรณ์แบบไหลผสมโดยใช้ไบพัดกวนแบบกังหัน 6 ใบแบบติดบนจาน

การศึกษาสำหรับไบพัดกวนแบบกังหัน 6 ใบแบบติดบนจาน ซึ่งมีพฤติกรรมการไหลตามแนวรัศมี (radial flow) โดยใช้ความเร็วรอบที่ 900 รอบต่อนาที และทำการศึกษาถึงเวลาเฉลี่ยที่สารอยู่ในเครื่องปฏิกรณ์ที่ 50, 60 และ 70 นาที ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.13 และรูปที่ 4.9 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.13 ข้อมูลการผลิตไบโอดีเซลอย่างต่อเนื่องในเครื่องปฏิกรณ์แบบไหลผสม ที่เวลาเฉลี่ยที่สารอยู่ในเครื่องปฏิกรณ์ต่างๆ โดยใช้ไบพัดกวนแบบกังหัน 6 ใบแบบติดบนจาน ความเร็วรอบ 900 รอบต่อนาที อัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมันเมล็ดในปาล์ม 9 ต่อ 1 ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก และอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

เวลาเฉลี่ยที่สารอยู่ในเครื่องปฏิกรณ์ (นาที)	ร้อยละความบริสุทธิ์เมทิลเอสเทอร์						
	การแทนที่ปริมาตรเครื่องปฏิกรณ์						
	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
50	94.49	89.80	90.63	89.96	91.30	91.23	90.30
60	96.98	93.34	94.85	95.02	93.97	93.58	94.08
70	95.79	95.26	94.50	93.96	93.10	93.76	93.53



รูปที่ 4.9 ผลการผลิตไบโอดีเซลอย่างต่อเนื่องในเครื่องปฏิกรณ์แบบไหลผสม ที่เวลาเฉลี่ยที่สารอยู่ในเครื่องปฏิกรณ์ต่างๆ โดยใช้ไบพัตควนแบบกัณฑ์ 6 ไบแบบติดบนจาน ความเร็วรอบ 900 รอบต่อนาที อัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมันเมล็ดในปาล์ม 9 ต่อ 1 ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาไฮดรอกไซด์ร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก และอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

จากตารางที่ 4.13 และ รูปที่ 4.9 พบว่าเวลาเฉลี่ยที่สารอยู่ในเครื่องปฏิกรณ์ที่เวลา 60 และ 70 นาที สามารถให้ความบริสุทธิ์เมทิลเอสเทอร์คงที่อยู่ในช่วงร้อยละ 93-95 ซึ่งมากกว่าเวลาเฉลี่ยที่สารอยู่ในเครื่องปฏิกรณ์ที่เวลา 50 นาที ซึ่งมีความบริสุทธิ์เมทิลเอสเทอร์คงที่อยู่ในช่วงร้อยละ 90-92 เพราะที่เวลา 50 นาที ซึ่งเป็นไปตามที่คาดการณ์การเกิดปฏิกิริยาไม่สมบูรณ์ ดังนั้นเวลาเฉลี่ยที่สารอยู่ในเครื่องปฏิกรณ์ที่เหมาะสมสำหรับการทำปฏิกิริยาของไบพัตควนชนิดนี้ คือ 60 และ 70 นาที แต่เมื่อเปรียบเทียบเวลาเฉลี่ยที่สารอยู่ในเครื่องปฏิกรณ์ระหว่าง 60 และ 70 นาที ให้ร้อยละความบริสุทธิ์เมทิลเอสเทอร์ใกล้เคียงกัน ดังนั้นการผลิตไบโอดีเซลอย่างต่อเนื่องของไบพัตควนชนิดนี้เวลาเฉลี่ยที่สารอยู่ในเครื่องปฏิกรณ์ที่เหมาะสมคือ 60 นาที

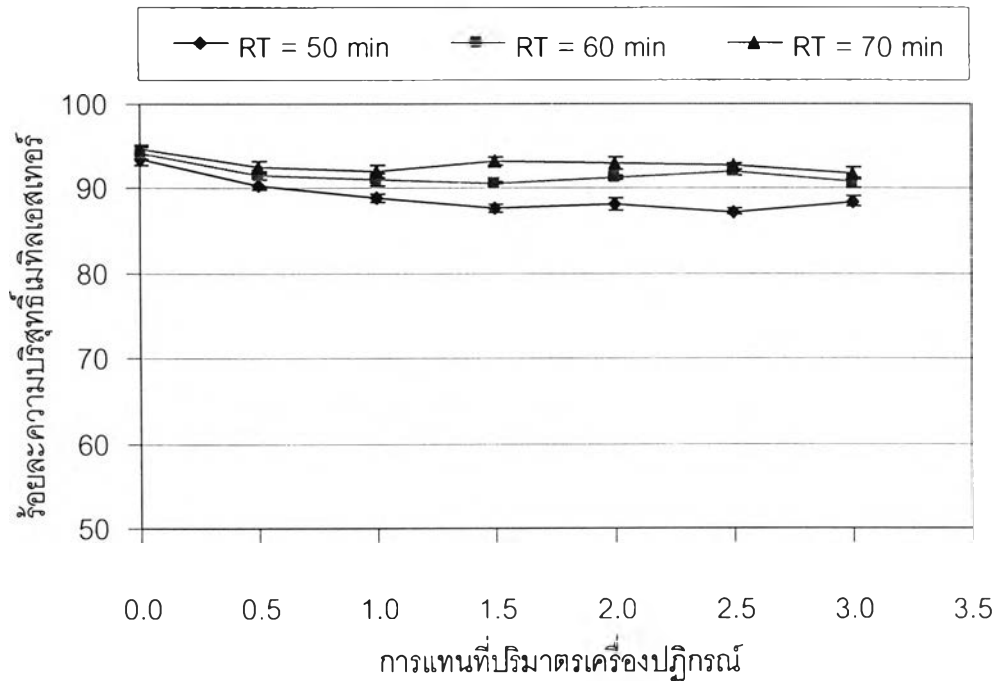
4.4.2. ผลการผลิตไบโอดีเซลอย่างต่อเนื่องในเครื่องปฏิกรณ์แบบไหลผสมโดยใช้ใบพัดกวนแบบก้านหัน 4 ใบแบบเอียง 45°

การศึกษาสำหรับใบพัดกวนแบบก้านหัน 4 ใบแบบเอียง 45° ซึ่งมีพฤติกรรมการไหลตามแนวแกน (axial flow) โดยใช้ความเร็วรอบที่ 1200 รอบต่อนาที และทำการศึกษาถึงเวลาเฉลี่ยที่สารอยู่ในเครื่องปฏิกรณ์ที่ 50, 60 และ 70 นาที ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.14 และรูปที่ 4.10 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.14 ข้อมูลการผลิตไบโอดีเซลอย่างต่อเนื่องในเครื่องปฏิกรณ์แบบไหลผสม ที่เวลาเฉลี่ยที่สารอยู่ในเครื่องปฏิกรณ์ต่างๆ โดยใช้ใบพัดกวนแบบก้านหัน 4 ใบแบบเอียง 45° ความเร็วรอบ 1200 รอบต่อนาที อัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมันเมล็ดในปาล์ม 9 ต่อ 1 ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาไฮดรอกไซด์ร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก และอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

เวลาเฉลี่ยที่ สารอยู่ในเครื่อง ปฏิกรณ์ (นาที)	ร้อยละความบริสุทธิ์เมทิลเอสเทอร์						
	การแทนที่ปริมาตรเครื่องปฏิกรณ์						
	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
50	93.42	90.42	88.85	87.60	88.23	87.30	88.52
60	94.26	91.44	91.04	90.70	91.21	91.94	90.76
70	94.63	92.59	92.04	93.31	92.96	92.69	91.82

จากตารางที่ 4.14 และ รูปที่ 4.10 พบว่าเวลาเฉลี่ยที่สารอยู่ในเครื่องปฏิกรณ์ที่เวลา 70 นาที สามารถให้ความบริสุทธิ์เมทิลเอสเทอร์คงที่อยู่ในช่วงร้อยละ 91-93 รองลงมาคือเวลา 60 และ 50 นาทีสามารถให้ความบริสุทธิ์เมทิลเอสเทอร์คงที่อยู่ในช่วงร้อยละ 90-92 และ 88-90 ตามลำดับ จากผลการทดลองเมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองของใบพัดกวนแบบก้านหัน 4 ใบแบบเอียง 45° กับใบพัดกวนแบบก้านหัน 6 ใบแบบติดบนจาน พบว่าใบพัดกวนแบบก้านหัน 4 ใบแบบเอียง 45° ให้ร้อยละความบริสุทธิ์เมทิลเอสเทอร์ที่ต่ำกว่า อาจเป็นผลมาจากระดับทางออกของผลิตภัณฑ์อยู่ทางด้านล่างของถังปฏิกรณ์ ซึ่งใบพัดกวนแบบก้านหัน 4 ใบแบบเอียง 45° มีพฤติกรรมการไหลตามแนวแกน (axial flow) จึงทำให้ของเหลวที่ออกสารตั้งต้นที่ป้อนเข้ามามากกว่าในกรณีที่ใช้ใบพัดกวนแบบก้านหัน 6 ใบแบบติดบนจาน ที่มีพฤติกรรมการไหลตามแนวรัศมี (radial flow) จึงทำให้เกิดปฏิกิริยาไม่สมบูรณ์



รูปที่ 4.10 ผลการผลิตไบโอดีเซลอย่างต่อเนื่องในเครื่องปฏิกรณ์แบบไหลผสม ที่เวลาเฉลี่ยที่สารอยู่ในเครื่องปฏิกรณ์ต่างๆ โดยใช้ใบพัดกวนแบบกังหัน 4 ใบแบบเอียง 45° ความเร็วรอบ 1200 รอบต่อนาที อัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมันเมล็ดในปาล์ม 9 ต่อ 1 ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก และอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

4.4.3. ผลการเปลี่ยนระดับทางออกของผลิตภัณฑ์ของเครื่องปฏิกรณ์แบบไหลผสม

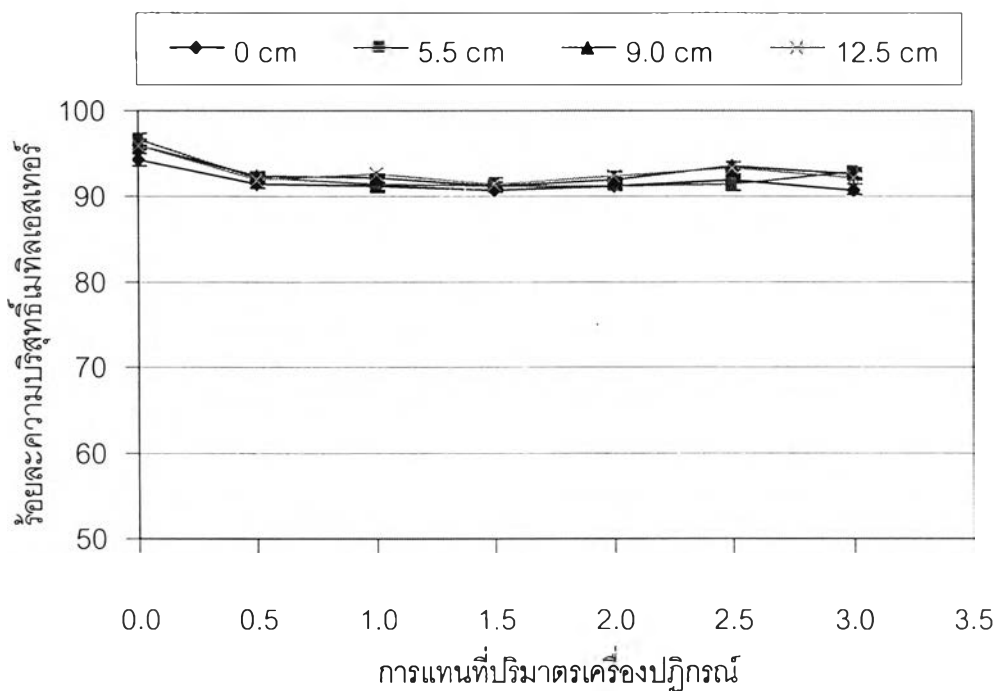
ผลการทดลองในหัวข้อที่ 4.4.2. พบว่าระดับทางออกของผลิตภัณฑ์ด้านล่างถึงปฏิกรณ์ส่งผลให้ร้อยละความบริสุทธิ์เมทิลเอซเตออร์ในผลผลิตลดลง เมื่อใช้ใบพัดกวนแบบกังหัน 4 ใบแบบเอียง 45° ดังนั้นจึงได้ทำทางออกของถังปฏิกรณ์ใหม่ เนื่องจากระดับของเหลวภายในถังปฏิกรณ์สูงจากกันถึง 16 เซนติเมตร เมื่อไม่รวมความสูงส่วนที่เป็นกรวย 2 เซนติเมตร ระดับของเหลวด้านข้างถึงปฏิกรณ์สูง 14 เซนติเมตร จึงได้ทำการทดลองโดยปรับปรุงให้มีทางออกต่ำกว่าระดับของเหลวด้านข้างถึงปฏิกรณ์ 3 ระดับ คือ 3.5, 7.0 และ 10.5 เซนติเมตร ตามลำดับ เมื่อรวมความสูงส่วนที่เป็นกรวยจะได้ความสูงจากกันถึงปฏิกรณ์คือ 5.5, 9.0 และ 12.5 เซนติเมตร ตามลำดับ ในการทดลองใช้ภาวะเดียวกันคือ อัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมันเมล็ดในปาล์ม 9 ต่อ 1 ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และเวลาเฉลี่ยที่สารอยู่ในเครื่องปฏิกรณ์ 60 นาที เก็บตัวอย่างที่ระดับของเหลว 0 เซนติเมตร ซึ่งก็คือทาง

ออกด้านล่างถึงปฏิกรณ์ และเก็บตัวอย่างที่ระดับของเหลว 5.5, 9.0 และ 12.5 เซนติเมตร ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 4.15 และ รูปที่ 4.11 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.15 ข้อมูลการเปลี่ยนทางออกของผลิตภัณฑ์ของเครื่องปฏิกรณ์แบบไหลผสม ที่ระดับทางออกถึงปฏิกรณ์ต่างๆ โดยใช้ใบพัดกวนแบบก้าน 4 ใบแบบเอียง 45° ความเร็วรอบ 1200 รอบต่อนาที อัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมันเมล็ดในปาล์ม 9 ต่อ 1 ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาไฮเดรอกไซด์ร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และเวลาเฉลี่ยที่สารอยู่ในเครื่องปฏิกรณ์ 60 นาที

ความสูงจากก้น ถึงปฏิกรณ์ (เซนติเมตร)	ร้อยละความบริสุทธิ์เมทิลเอสเทอร์						
	การแทนที่ปริมาตรเครื่องปฏิกรณ์						
	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
0	94.26	91.44	91.04	90.70	91.21	91.94	90.76
5.5	96.74	92.01	91.44	91.10	91.05	91.43	93.78
9.0	96.02	92.42	92.06	91.03	91.80	93.51	92.48
12.5	95.86	91.58	92.57	91.46	92.45	93.36	92.10

จากตารางที่ 4.15 และ รูปที่ 4.11 พบว่าที่ระดับของทางออกผลิตภัณฑ์ด้านข้างถึงปฏิกรณ์ที่ 5.5, 9.0 และ 12.5 เซนติเมตร สำหรับการกวนด้วยใบพัดกวนแบบก้าน 4 ใบแบบเอียง 45° ให้ผลการทดลองที่เหมือนกันคือได้ความบริสุทธิ์เมทิลเอสเทอร์อยู่ในช่วงร้อยละ 91-93 แต่เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองกับทางออกของผลิตภัณฑ์ทางด้านล่างถึงปฏิกรณ์ ที่เวลาเฉลี่ยที่สารอยู่ในเครื่องปฏิกรณ์ 60 นาที เหมือนกัน พบว่าทางออกผลิตภัณฑ์ทางด้านข้างถึงปฏิกรณ์ให้ร้อยละความบริสุทธิ์เมทิลเอสเทอร์สูงกว่าทางออกผลิตภัณฑ์ทางด้านล่างถึงปฏิกรณ์เพียงเล็กน้อย ประมาณร้อยละ 1 แต่เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองทางออกของผลิตภัณฑ์ทางด้านข้างถึงปฏิกรณ์เมื่อใช้ใบพัดแบบก้าน 4 ใบแบบเอียง 45° กับทางออกของผลิตภัณฑ์ทางด้านล่างถึงปฏิกรณ์เมื่อใช้ใบพัดกวนแบบก้าน 6 ใบแบบติดบนจาน ที่เวลาเฉลี่ยที่สารอยู่ในเครื่องปฏิกรณ์ 60 นาที เหมือนกัน พบว่าทางออกของผลิตภัณฑ์ทางด้านข้างถึงปฏิกรณ์เมื่อใช้ใบพัดแบบก้าน 4 ใบแบบเอียง 45° ให้ร้อยละความบริสุทธิ์เมทิลเอสเทอร์ที่ต่ำกว่าทางออกของผลิตภัณฑ์ทางด้านล่างถึงปฏิกรณ์เมื่อใช้ใบพัดกวนแบบก้าน 6 ใบแบบติดบนจาน ประมาณร้อยละ 2 ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าใบพัดกวนแบบก้าน 4 ใบแบบเอียง 45° เป็นใบพัดที่มีประสิทธิภาพน้อยไม่เหมาะสำหรับการผลิตไบโอดีเซลด้วยถังปฏิกรณ์แบบไหลผสม



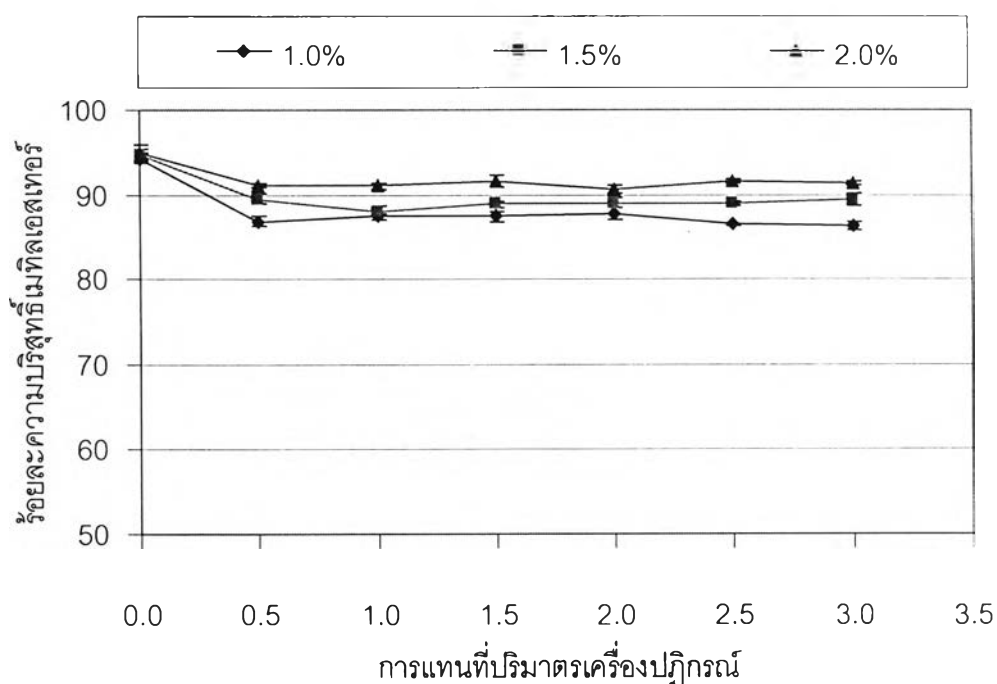
รูปที่ 4.11 ผลการเปลี่ยนทางออกของผลิตภัณฑ์ของเครื่องปฏิกรณ์แบบไหลผสม ที่ระดับทางออกถึงปฏิกรณ์ต่างๆ โดยใช้ใบพัดกวนแบบกั้งหัน 4 ใบแบบเอียง 45° ความเร็วรอบ 1200 รอบต่อนาที อัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมันเมล็ดในปาล์ม 9 ต่อ 1 ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาไซเตียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และเวลาเฉลี่ยที่สารอยู่ในเครื่องปฏิกรณ์ 60 นาที

4.5. ผลการเปลี่ยนแปลงชนิดตัวเร่งปฏิกิริยาของการผลิตไบโอดีเซลอย่างต่อเนื่องในเครื่องปฏิกรณ์แบบไหลผสม

ศึกษาการผลิตไบโอดีเซลโดยได้ทำการเปลี่ยนตัวเร่งปฏิกิริยาจากไซเตียมไฮดรอกไซด์มาเป็นโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ โดยใช้ปริมาณร้อยละ 1.0, 1.5, และ 2.0 โดยน้ำหนัก ที่ภาวะการทดลอง คือ อัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมันเมล็ดในปาล์ม 9 ต่อ 1 อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และเวลาเฉลี่ยที่สารอยู่ในเครื่องปฏิกรณ์ 60 นาที ใช้ใบพัดกวนแบบกั้งหัน 6 ใบแบบติดบนจาน ที่ความเร็วรอบ 900 รอบต่อนาที ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.16 และ รูปที่ 4.12 ตามลำดับ

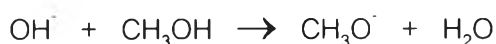
ตารางที่ 4.16 ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงชนิดตัวเร่งปฏิกิริยาของการผลิตไบโอดีเซลอย่างต่อเนื่องในเครื่องปฏิกรณ์แบบไหลผสม ที่ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่างๆ โดยใช้ใบพัดกวนแบบกังหัน 6 ใบแบบติดบนจาน ความเร็วรอบ 900 รอบต่อนาที อัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมันเมล็ดในปาล์ม 9 ต่อ 1 อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และเวลาเฉลี่ยที่สารอยู่ในเครื่องปฏิกรณ์ 60 นาที

ตัวเร่งปฏิกิริยา โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (wt.%)	ร้อยละความบริสุทธิ์เมทิลเอสเตอร์						
	การแทนที่ปริมาตรเครื่องปฏิกรณ์						
	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
1.0	94.33	86.89	87.47	87.41	87.70	86.45	86.37
1.5	94.81	89.53	88.09	88.84	89.06	89.01	89.42
2.0	94.94	91.13	91.02	91.69	90.62	91.60	91.36



รูปที่ 4.12 ผลการเปลี่ยนแปลงชนิดตัวเร่งปฏิกิริยาของการผลิตไบโอดีเซลอย่างต่อเนื่องในเครื่องปฏิกรณ์แบบไหลผสม ที่ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่างๆ โดยใช้ใบพัดกวนแบบกังหัน 6 ใบแบบติดบนจาน ความเร็วรอบ 900 รอบต่อนาที อัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมันเมล็ดในปาล์ม 9 ต่อ 1 อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และเวลาเฉลี่ยที่สารอยู่ในเครื่องปฏิกรณ์ 60 นาที

จากตารางที่ 4.16 และ รูปที่ 4.12 พบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ปริมาณร้อยละ 1.0, 1.5, และ 2.0 โดยน้ำหนัก สามารถให้ความบริสุทธิ์เมทิลเอสเทอร์คงที่อยู่ในช่วงร้อยละ 86-88, 88-90 และ 90-92 ตามลำดับ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองกับตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมไฮดรอกไซด์ในปริมาณที่เท่ากัน พบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ให้ร้อยละความบริสุทธิ์เมทิลเอสเทอร์ต่ำกว่า เมื่อเปรียบเทียบความเป็นเบสของตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมไฮดรอกไซด์และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ไม่น่าจะต่างกันมากเนื่องจากเป็นเบสแก่เหมือนกัน แต่เมื่อพิจารณาถึงมวลโมเลกุลพบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาทั้งสองมีมวลโมเลกุลที่ต่างกันมาก คือ โซเดียมไฮดรอกไซด์และ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์มีมวลโมเลกุล 40 และ 56 ตามลำดับ ด้วยเหตุผลนี้ในการละลายตัวเร่งปฏิกิริยาในเมทานอลเพื่อให้เกิดเป็นเมทอกไซด์ไอออน (CH_3O^-) เป็นดังสมการ [33]



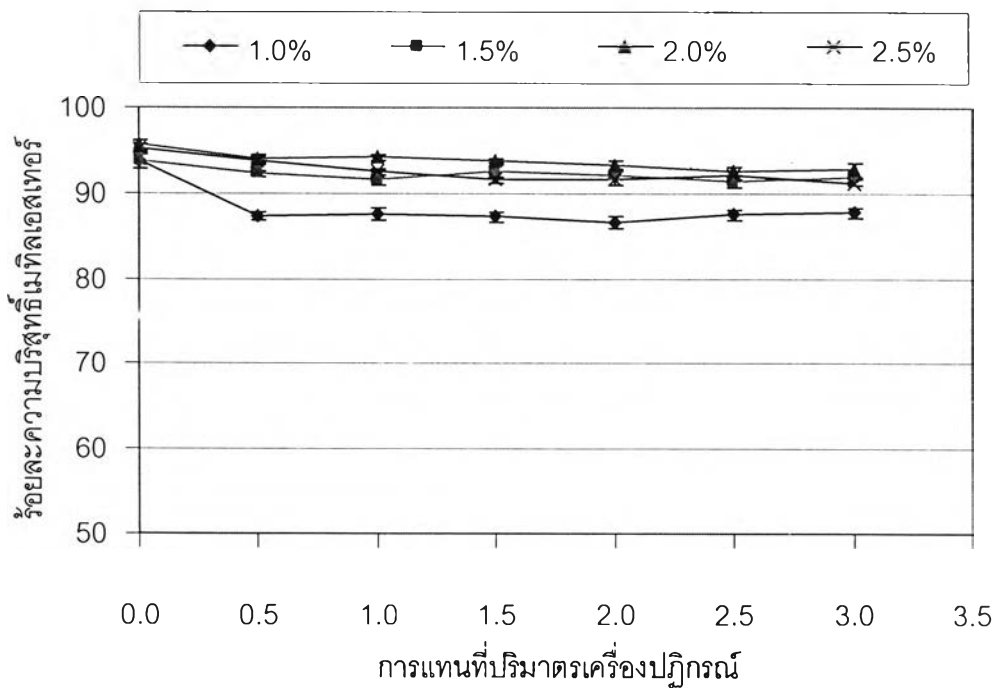
ในปริมาณที่เท่ากันโซเดียมไฮดรอกไซด์มีมวลโมเลกุลต่ำกว่า จึงมีจำนวนโมลมากกว่าโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ เป็นผลให้มีจำนวนไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) ที่ต้องการสำหรับผลิตเมทอกไซด์ไอออน (CH_3O^-) มากกว่า ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าที่ร้อยละโดยน้ำหนักเท่ากันโซเดียมไฮดรอกไซด์สามารถเกิดปฏิกิริยาได้เร็วกว่าโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์

4.6. ผลการผลิตไบโอดีเซลอย่างต่อเนื่องในเครื่องปฏิกรณ์แบบไหลผสมจากน้ำมันมะพร้าว

ศึกษาการผลิตไบโอดีเซลโดยได้ทำการเปลี่ยนชนิดน้ำมันพืชจากน้ำมันเมล็ดในปาล์มเป็นน้ำมันมะพร้าว โดยใช้ภาวะการทดลองที่ดีที่สุดสำหรับน้ำมันเมล็ดในปาล์ม คือ อัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมันมะพร้าว 9 ต่อ 1 อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และเวลาเฉลี่ยที่สารอยู่ในเครื่องปฏิกรณ์ 60 นาที ใช้ใบพัดกวนแบบกังหัน 6 ใบแบบติดบนจาน ที่ความเร็วรอบ 900 รอบต่อนาที ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ร้อยละ 1.0, 1.5, 2.0 และ 2.5 โดยน้ำหนัก สาเหตุที่ใช้ร้อยละโซเดียมไฮดรอกไซด์สูงกว่าน้ำมันเมล็ดในปาล์ม เนื่องจากน้ำมันมะพร้าวมีค่าของกรดสูงกว่า (ตารางที่ 4.1) จึงควรมีโซเดียมไฮดรอกไซด์เพื่อทำปฏิกิริยาสะเทินกับกรดมากกว่ากรณีน้ำมันเมล็ดในปาล์ม ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.17 และ รูปที่ 4.13 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.17 ข้อมูลผลการผลิตไบโอดีเซลอย่างต่อเนื่องในเครื่องปฏิกรณ์แบบไหลผสมจากน้ำมันมะพร้าว ที่ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่างๆ โดยใช้ใบพัดกวนแบบก้าน 6 ใบแบบติดบนจาน ที่ความเร็วรอบ 900 รอบต่อนาที ที่อัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมันมะพร้าว 9 ต่อ 1 อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และเวลาเฉลี่ยที่สารอยู่ในเครื่องปฏิกรณ์ 60 นาที

ตัวเร่งปฏิกิริยา โซเดียมไฮดรอกไซด์ (wt.%)	ร้อยละความบริสุทธิ์เมทิลเอสเทอร์						
	การแทนที่ปริมาตรเครื่องปฏิกรณ์						
	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
1.0	93.78	87.34	87.59	87.21	86.65	87.49	87.72
1.5	93.82	92.24	91.56	92.57	92.06	91.39	91.78
2.0	95.67	94.01	94.21	93.73	93.39	92.52	92.75
2.5	95.18	93.84	92.64	91.54	91.73	92.03	91.22



รูปที่ 4.13 ผลการผลิตไบโอดีเซลอย่างต่อเนื่องในเครื่องปฏิกรณ์แบบไหลผสมจากน้ำมันมะพร้าว ที่ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่างๆ โดยใช้ใบพัดกวนแบบก้าน 6 ใบแบบติดบนจาน ที่ความเร็วรอบ 900 รอบต่อนาที ที่อัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมันมะพร้าว 9 ต่อ 1 อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และเวลาเฉลี่ยที่สารอยู่ในเครื่องปฏิกรณ์ 60 นาที

จากตารางที่ 4.17 และ รูปที่ 4.13 พบว่าที่ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาไฮดรอกไซด์ที่ร้อยละ 2.0 โดยน้ำหนัก สามารถให้ความบริสุทธิ์เมทิลเอสเทอร์สูงสุดคงที่อยู่ในช่วงร้อยละ 92-94 ส่วนปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาไฮดรอกไซด์ที่ร้อยละ 1.0 และ 1.5 โดยน้ำหนัก ให้ความบริสุทธิ์เมทิลเอสเทอร์คงที่อยู่ในช่วงร้อยละ 86-88 และ 91-93 ตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่าที่ร้อยละ 2.0 โดยน้ำหนัก อาจเป็นผลมาจากมีตัวเร่งปฏิกิริยาบางส่วนไปสะเทินกับกรดในน้ำมัน ส่งผลให้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่ทำปฏิกิริยาลดลง ส่วนการเพิ่มปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาไฮดรอกไซด์ที่ร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก ให้ความบริสุทธิ์เมทิลเอสเทอร์คงที่อยู่ในช่วงร้อยละ 91-93 ซึ่งต่ำกว่าที่ร้อยละ 2.0 โดยน้ำหนัก อาจเป็นผลมาจากการเพิ่มปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยามากเกินไปจะทำให้เกิดเป็นอิมัลชันจนกระทั่งก่อตัวขึ้นเป็นเจลและเกิดปัญหาในการแยกชั้นของกลีเซอรอลออกจากชั้นเมทิลเอสเทอร์ยากขึ้น จึงทำให้ปริมาณเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จึงลดลง ดังนั้นปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาไฮดรอกไซด์ที่ร้อยละ 2.0 โดยน้ำหนัก เป็นปริมาณที่เหมาะสมสำหรับการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันมะพร้าว

4.7. ผลการวิเคราะห์สมบัติทางเชื้อเพลิง

เมทิลเอสเทอร์เป็นสารประกอบที่ได้จากการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันระหว่างน้ำมันพืชกับเมทานอล เพื่อใช้ทดแทนน้ำมันดีเซล ดังนั้นสมบัติของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จำเป็นต้องทำการศึกษาสมบัติทางเชื้อเพลิงก่อนนำไปใช้ เพื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานและบ่งชี้ถึงผลกระทบที่มีต่อเครื่องยนต์ ซึ่งในปัจจุบันได้มีการกำหนดมาตรฐานของเมทิลเอสเทอร์หรือที่รู้จักกันในชื่อไบโอดีเซล ตามประกาศกรมธุรกิจพลังงาน (ภาคผนวก ค) แสดงดังตารางที่ 4.18

การวิเคราะห์สมบัติทางเชื้อเพลิงของเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันเมล็ดในปาล์มได้จากภาวะการทดลองที่ดีที่สุดคือ อัตราส่วนเมทานอลต่อน้ำมันเมล็ดในปาล์ม 9 ต่อ 1 ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาไฮดรอกไซด์ร้อยละ 1 อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และ เวลาเฉลี่ยที่สารอยู่ในเครื่องปฏิกรณ์ 60 นาที ส่วนเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันมะพร้าวได้จากภาวะการทดลองที่ดีที่สุดคือ อัตราส่วนเมทานอลต่อน้ำมันมะพร้าว 9 ต่อ 1 ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาไฮดรอกไซด์ร้อยละ 2 อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และ เวลาเฉลี่ยที่สารอยู่ในเครื่องปฏิกรณ์ 60 นาที ซึ่งผลการวิเคราะห์สมบัติทางเชื้อเพลิงของเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันทั้งสองชนิดแสดงดังตารางที่ 4.19

ตารางที่ 4.18 มาตรฐานน้ำมันดีเซลและมาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซล [35, 36]

สมบัติ	มาตรฐานน้ำมันดีเซล		มาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซล [36]	วิธีทดสอบ
	น้ำมันดีเซล หมุนเร็ว [35]	น้ำมันดีเซล หมุนช้า [35]		
Kinematic Viscosity (cSt)	1.8 – 4.1	8.0 max	3.5 -5.0	ASTM D 445
Specific Gravity at 15.6/15.6 °C	0.81 – 0.87	0.920 max	0.86 – 0.90	ASTM D 1298
Cetane Index	47	47 min	51 min	ASTM D 976
Flash Point (°C)	52	52 min	120 min	ASTM D 93
Heating Value (MJ/kg)	-	-	-	ASTM D 240

ตารางที่ 4.19 สมบัติทางเชื้อเพลิงของตัวอย่างน้ำมันดีเซลและเมทิลเอสเทอร์ที่ภาวะการผลิตที่ดีที่สุด

สุด

สมบัติ	ตัวอย่างน้ำมันดีเซล หมุนเร็ว	ตัวอย่างน้ำมันดีเซล หมุนช้า	ตัวอย่างเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันเมล็ด ในปาล์ม	ตัวอย่างเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมัน มะพร้าว	วิธีทดสอบ
Kinematic Viscosity (cSt)	3.6	5.9	2.99	2.90	ASTM D 445
Specific Gravity at 15.6/15.6 °C	0.845	0.868	0.875	0.876	ASTM D1298
Cetane Index	51.2	47.6	57.0	52.2	ASTM D 976
Flash Point (°C)	75	78	128	120	ASTM D 93
Heating Value (MJ/kg)	43.7	42.1	38.7	37.0	ASTM D 240

จากตารางที่ 4.18 และ 4.19 สมบัติของเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันพืชทั้งสองชนิด เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซล พบว่ามีค่าความถ่วงจำเพาะ ค่าดัชนีชี้เทน และจุดวาบไฟ เป็นไปตามมาตรฐานของน้ำมันไบโอดีเซล ยกเว้นค่าความหนืดมีค่าต่ำกว่ามาตรฐาน อาจเป็นผลมาจากน้ำมันพืชที่ใช้เป็นมาตรฐานกับน้ำมันพืชที่ใช้ในการทดลองเป็นคนละชนิดกันจึงทำให้มีความหนืดของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้อยู่ในช่วงแตกต่างกัน แต่เมื่อพิจารณาค่าความหนืดเทียบกับมาตรฐาน ASTM D 6751-3 พบว่ามีค่ามาตรฐานความหนืดอยู่ในช่วง 1.9-6 เซนติสโตก ซึ่งเมทิลเอสเทอร์ของน้ำมันทั้งสองชนิดผ่านมาตรฐาน

เมื่อเปรียบเทียบสมบัติเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันพืชทั้งสองชนิดกับค่ามาตรฐานของน้ำมันดีเซลหมุนเร็ว พบว่าค่าความถ่วงจำเพาะของเมทิลเอสเทอร์สูงกว่ามาตรฐานเพียงเล็กน้อย ซึ่งเมื่อนำเมทิลเอสเทอร์ไปใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลหมุนเร็ว อาจส่งผลให้เครื่องยนต์มีการเผาไหม้เชื้อเพลิงสิ้นเปลืองมากขึ้น เนื่องจากอุปกรณ์การป้อนเชื้อเพลิงควบคุมอัตราการไหลเป็นปริมาตร ดังนั้นเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันที่มีความถ่วงจำเพาะมากกว่าจะให้กำลังมากกว่า เนื่องจากมีมวลของเชื้อเพลิงที่เผาไหม้มากกว่า ขณะเดียวกันอาจมีโอกาสเกิดควันมากกว่า แต่เมื่อพิจารณาพบว่าค่าความถ่วงจำเพาะเมทิลเอสเทอร์แตกต่างกับมาตรฐานน้ำมันดีเซลหมุนเร็วเพียงเล็กน้อยเท่านั้น และเมื่อเปรียบเทียบสมบัติค่าอื่นๆ พบว่าผ่านมาตรฐาน ดังนั้นสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลหมุนเร็วจึงน่าจะใช้เมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันพืชทั้งสองชนิดนี้ได้ เนื่องจากในสภาพปัจจุบันการจำหน่ายน้ำมันดีเซลที่เรียกว่า ไบโอดีเซล เป็นน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันดีเซลจากปิโตรเลียมและเมทิลเอสเทอร์ โดยมีเมทิลเอสเทอร์เพียงเล็กน้อย (ไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์)

เมื่อเปรียบเทียบสมบัติเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันพืชทั้งสองชนิดกับค่ามาตรฐานของน้ำมันดีเซลหมุนช้า พบว่าผ่านมาตรฐานทุกค่า ซึ่งสรุปได้ว่าเมทิลเอสเทอร์ของน้ำมันทั้งสองชนิดเหมาะสมกับเครื่องยนต์ดีเซลหมุนช้า