

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	5
อุปกรณ์และวิธีการ	61
ผลและวิจารณ์	68
สรุปและข้อเสนอแนะ	114
สรุป	114
ข้อเสนอแนะ	116
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	117
ภาคผนวก	127
ภาคผนวก ก การคำนวณค่าต่างๆ ที่ใช้ในงานวิจัย	128
ภาคผนวก ข วิธีวิเคราะห์คุณสมบัติของไบโอดีเซล	137
ภาคผนวก ค ข้อมูลของการวิเคราะห์ทางสถิติ	142
ภาคผนวก ง โครมาโทแกรมของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วย เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี	144
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	160

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	โครงสร้างทางเคมีของกรดไขมันทั่วไป	9
2	องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันพืช	10
3	กำหนดลักษณะและคุณภาพของ ไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน	12
4	ข้อกำหนดลักษณะและคุณภาพของ ไบโอดีเซลสำหรับเครื่องยนต์การเกษตร (ไบโอดีเซลชุมชน)	14
5	คุณสมบัติของน้ำมันต่างๆ	15
6	ปริมาณน้ำมันพืชที่ใช้และปริมาณน้ำมันพืชที่เหลือจากกระบวนการผลิต	17
7	ลักษณะทางกายภาพและเคมีของน้ำมันที่ผ่านการใช้ทอดแล้วก่อนและหลังการบำบัด	19
8	ผลจากการเปลี่ยนแปลงตัวแปรต่าง ๆ ที่มีต่อการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันที่ผ่านการใช้ทอดแล้วเมื่อใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา	34
9	ปริมาณเอสเทอร์จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันที่ผ่านการใช้ทอดแล้วที่สภาวะการทดลองต่างๆ	35
10	ปริมาณเอสเทอร์จากการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันที่ผ่านการใช้ทอดแล้ว โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดต่างๆ	37
11	เปรียบเทียบปริมาณเอสเทอร์จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันชนิดต่างๆ โดยวิธีที่ใช้และวิธีที่ไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา	45
12	เปรียบเทียบการผลิตไบโอดีเซลด้วยวิธีต่างๆ	46
13	ปริมาณและชนิดของกรดไขมันของน้ำมันที่ผ่านการใช้ทอดแล้ว	69
14	ค่าความเป็นกรด เปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์ และร้อยละของผลได้ จากการออกแบบการทดลองแบบ Full Factorial	78
15	การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของเปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์จากการออกแบบการทดลองแบบ Full Factorial	80

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
16	เปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์ ค่าความเป็นกรดของผลิตภัณฑ์ในขั้นตอนที่ 1 และปริมาณเมทิลเอสเทอร์ ที่สภาวะการทดลองต่างๆ	83
17	ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานและค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ จากการทำปฏิกิริยาในขั้นตอนที่ 1	84
18	ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของตัวแปรอิสระในการทำปฏิกิริยาในขั้นตอนที่ 1	84
19	ค่าความเป็นกรด เปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์ และปริมาณเมทิลเอสเทอร์จากการทำปฏิกิริยาในขั้นตอนที่ 2 ที่สภาวะการทดลองต่างๆ	100
20	ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานและค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของการทำปฏิกิริยาในขั้นตอนที่ 2	101
21	ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของตัวแปรอิสระในการทำปฏิกิริยาในขั้นตอนที่ 2	102
22	คุณสมบัติของไบโอดีเซลที่ผลิตได้เปรียบเทียบกับมาตรฐานไบโอดีเซล	112
ตารางผนวกที่		
ก1	ปริมาณและชนิดของกรดไขมันของน้ำมันที่ผ่านการใช้ทอดแล้ว	129
ก2	ตัวอย่างค่าจากโครมาโทแกรมของตัวอย่างเมทิลเอสเทอร์	133

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	โครงสร้างโมเลกุลของโมโนกลีเซอไรด์และไดกลีเซอไรด์	7
2	โครงสร้างตัวอย่างโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์	8
3	ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของไตรกลีเซอไรด์กับแอลกอฮอล์	23
4	ขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของไตรกลีเซอไรด์กับแอลกอฮอล์	24
5	ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันของกรดไขมันอิสระ	25
6	ปฏิกิริยาสaponิฟิเคชันของกรดไขมันอิสระ	26
7	ปฏิกิริยาสaponิฟิเคชันจากเอสเทอร์	26
8	กลไกของปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันที่ใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา	27
9	กลไกของปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันที่มีกรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา	32
10	แผนภาพอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองผลิตไบโอดีเซลโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา	65
11	แผนภาพอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองผลิตไบโอดีเซลโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบ 2 ขั้นตอน ในส่วนขั้นตอนที่ 2 : การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นเบส	65
12	แผนภาพขั้นตอนการแยกผลิตภัณฑ์จากการทดลองผลิตไบโอดีเซลโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบ 2 ขั้นตอน	66
13	เปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์ของผลิตภัณฑ์ เมื่อเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนโดยโมลระหว่าง เมทานอลต่อน้ำมันที่ผ่านการใช้ทอดแล้วในขั้นตอนที่ 1	71
14	เปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์ของผลิตภัณฑ์ เมื่อเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกในการทำปฏิกิริยาในขั้นตอนที่ 1	73
15	เปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์ของผลิตภัณฑ์ เมื่อเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาในขั้นตอนที่ 1	74
16	ค่าความเป็นกรดของผลิตภัณฑ์เมื่อผ่านการทำปฏิกิริยาในขั้นตอนที่ 1 และขั้นตอนที่ 2 เทียบกับค่าความเป็นกรดของน้ำมันเริ่มต้น	75
17	ผลของปัจจัยหลักที่มีผลต่อการผลิตเมทิลเอสเทอร์	80

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
18	Contour Plot (ก) และ Surface Plot (ข) แสดงอิทธิพลของความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกและเวลาในการทำปฏิกิริยาต่อเปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์ ของการทำปฏิกิริยาในขั้นตอนที่ 1	90
19	Contour Plot (ก) และ Surface Plot (ข) แสดงอิทธิพลของความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกและเวลาในการทำปฏิกิริยาต่อค่าความเป็นกรดของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากขั้นตอนที่ 1	91
20	Contour Plot (ก) และ Surface Plot (ข) แสดงผลของความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกและอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาต่อเปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์ของการทำปฏิกิริยาในขั้นตอนที่ 1	92
21	Contour Plot (ก) และ Surface Plot (ข) แสดงผลของความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกและอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาต่อค่าความเป็นกรดของผลิตภัณฑ์จากขั้นตอนที่ 1	93
22	Contour Plot (ก) และ Surface Plot (ข) แสดงผลของเวลาในการทำปฏิกิริยาและอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาต่อเปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์ ของการทำปฏิกิริยาในขั้นตอนที่ 1	94
23	Contour Plot (ก) และ Surface Plot (ข) แสดงผลของเวลาในการทำปฏิกิริยาและอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาต่อค่าความเป็นกรดของผลิตภัณฑ์จากขั้นตอนที่ 1	95
24	เปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตได้จากสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในขั้นตอนที่ 1 ที่ได้จากการประเมินผลโดยโปรแกรม MINITAB	97
25	เปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์ของผลิตภัณฑ์เมื่อเปลี่ยนแปลงเวลาในการทำปฏิกิริยาในขั้นตอนที่ 2	98
26	Contour Plot (ก) และ Surface Plot (ข) แสดงผลของอัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันและความเข้มข้นของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อเปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์ ของการทำปฏิกิริยาในขั้นตอนที่ 2	107

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
27	Contour Plot (ก) และ Surface Plot (ข) แสดงผลของอัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันและอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาต่อเปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์ ของการทำปฏิกิริยาในขั้นตอนที่ 2	108
28	Contour Plot (ก) และ Surface Plot (ข) แสดงผลของความเข้มข้นของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์และอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาต่อเปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์ ของการทำปฏิกิริยาในขั้นตอนที่ 2	109
29	เปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตได้จากสภาวะที่เหมาะสมที่สุด จากการประเมินผลโดยโปรแกรม MINITAB	111
ภาพผนวกที่		
ก1	โครงสร้างโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์	130
ก2	ตัวอย่างโครมาโทแกรมของตัวอย่างเมทิลเอสเทอร์	133
ข1	เครื่องวัดความหนาแน่นรุ่น Toledo DE40 จากบริษัท Mettler	138
ข2	เครื่อง Constant – Temperature Bath	139
ข3	วิสโคมิเตอร์สำหรับวัดความหนืด	140
ข4	เครื่อง Pensky-Martens Closed Flash Tester	140
ข5	เครื่องมือวิเคราะห์จุดหมอกควันและจุดไหลเท	141
ง1	โครมาโทแกรมของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบ 2 ขั้นตอน สภาวะในขั้นตอนที่ 2 ที่อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันที่ผ่านการใช้ทอดแล้วเท่ากับ 9.09:1 ปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของน้ำมัน อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 50 องศาเซลเซียส และเวลาในการทำปฏิกิริยาเท่ากับ 30 นาที	145

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่	หน้า
ง2 โครมาโทแกรมของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบ 2 ขั้นตอน สภาวะในขั้นตอนที่ 2 ที่อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันที่ผ่านการใช้ทอดแล้วเท่ากับ 9.09:1 ปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของน้ำมัน อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 50 องศาเซลเซียส และเวลาในการทำปฏิกิริยาเท่ากับ 30 นาที	145
ง3 โครมาโทแกรมของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบ 2 ขั้นตอน สภาวะในขั้นตอนที่ 2 ที่อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันที่ผ่านการใช้ทอดแล้วเท่ากับ 9.09:1 ปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของน้ำมัน อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 50 องศาเซลเซียส และเวลาในการทำปฏิกิริยาเท่ากับ 30 นาที	146
ง4 โครมาโทแกรมของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบ 2 ขั้นตอน สภาวะในขั้นตอนที่ 2 ที่อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันที่ผ่านการใช้ทอดแล้วเท่ากับ 9.09:1 ปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของน้ำมัน อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 50 องศาเซลเซียส และเวลาในการทำปฏิกิริยาเท่ากับ 30 นาที	146
ง5 โครมาโทแกรมของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบ 2 ขั้นตอน สภาวะในขั้นตอนที่ 2 ที่อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันที่ผ่านการใช้ทอดแล้วเท่ากับ 9.09:1 ปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของน้ำมัน อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 50 องศาเซลเซียส และเวลาในการทำปฏิกิริยาเท่ากับ 30 นาที	147
ง6 โครมาโทแกรมของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบ 2 ขั้นตอน สภาวะในขั้นตอนที่ 2 ที่อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันที่ผ่านการใช้ทอดแล้วเท่ากับ 9.09:1 ปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของน้ำมัน อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 50 องศาเซลเซียส และเวลาในการทำปฏิกิริยาเท่ากับ 30 นาที	147

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่	หน้า
ง7 โคโรนาโทแกรมของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบ 2 ขั้นตอน สภาวะในขั้นตอนที่ 2 ที่อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อ น้ำมันที่ผ่านการใช้ทอดแล้วเท่ากับ 9.09:1 ปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของน้ำมัน อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 50 องศาเซลเซียส และเวลาในการทำปฏิกิริยาเท่ากับ 30 นาที	148
ง8 โคโรนาโทแกรมของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบ 2 ขั้นตอน สภาวะในขั้นตอนที่ 2 ที่อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อ น้ำมันที่ผ่านการใช้ทอดแล้วเท่ากับ 9.09:1 ปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของน้ำมัน อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 50 องศาเซลเซียส และเวลาในการทำปฏิกิริยาเท่ากับ 30 นาที	148
ง9 โคโรนาโทแกรมของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบ 2 ขั้นตอน สภาวะในขั้นตอนที่ 2 ที่อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อ น้ำมันที่ผ่านการใช้ทอดแล้วเท่ากับ 9.09:1 ปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของน้ำมัน อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 50 องศาเซลเซียส และเวลาในการทำปฏิกิริยาเท่ากับ 30 นาที	149
ง10 โคโรนาโทแกรมของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบ 2 ขั้นตอน สภาวะในขั้นตอนที่ 2 ที่อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อ น้ำมันที่ผ่านการใช้ทอดแล้วเท่ากับ 9.09:1 ปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของน้ำมัน อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 50 องศาเซลเซียส และเวลาในการทำปฏิกิริยาเท่ากับ 30 นาที	149

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่	หน้า
ง11 โครมาโทแกรมของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบ 2 ขั้นตอน สภาวะในขั้นตอนที่ 1 ที่อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันที่ผ่านการใช้ทอดแล้วเท่ากับ 6.05:1 ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริก เท่ากับ 0.68 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักน้ำมัน อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 51 องศาเซลเซียส และเวลาในการทำปฏิกิริยาเท่ากับ 60 นาที	150
ง12 โครมาโทแกรมของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบ 2 ขั้นตอน สภาวะในขั้นตอนที่ 1 ที่อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันที่ผ่านการใช้ทอดแล้วเท่ากับ 6.05:1 ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริก เท่ากับ 0.68 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักน้ำมัน อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 51 องศาเซลเซียส และเวลาในการทำปฏิกิริยาเท่ากับ 60 นาที	150
ง13 โครมาโทแกรมของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบ 2 ขั้นตอน สภาวะในขั้นตอนที่ 1 ที่อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันที่ผ่านการใช้ทอดแล้วเท่ากับ 6.05:1 ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริก เท่ากับ 0.68 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักน้ำมัน อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 51 องศาเซลเซียส และเวลาในการทำปฏิกิริยาเท่ากับ 60 นาที	151
ง14 โครมาโทแกรมของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบ 2 ขั้นตอน สภาวะในขั้นตอนที่ 1 ที่อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันที่ผ่านการใช้ทอดแล้วเท่ากับ 6.05:1 ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริก เท่ากับ 0.68 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักน้ำมัน อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 51 องศาเซลเซียส และเวลาในการทำปฏิกิริยาเท่ากับ 60 นาที	151
ง15 โครมาโทแกรมของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบ 2 ขั้นตอน สภาวะในขั้นตอนที่ 2 ที่อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันที่ผ่านการใช้ทอดแล้วเท่ากับ 9.09:1 ปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของน้ำมัน อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 50 องศาเซลเซียส และเวลาในการทำปฏิกิริยาเท่ากับ 30 นาที	152

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่	หน้า
ง16 โคโรมาโทแกรมของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบ 2 ขั้นตอน สภาวะในขั้นตอนที่ 1 ที่อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันที่ผ่านการใช้ทอดแล้วเท่ากับ 6.05:1 ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกเท่ากับ 0.68 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักน้ำมัน อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 51 องศาเซลเซียส และเวลาในการทำปฏิกิริยาเท่ากับ 60 นาที	152
ง17 โคโรมาโทแกรมของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบ 2 ขั้นตอน สภาวะในขั้นตอนที่ 1 ที่อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันที่ผ่านการใช้ทอดแล้วเท่ากับ 6.05:1 ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกเท่ากับ 0.68 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักน้ำมัน อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 51 องศาเซลเซียส และเวลาในการทำปฏิกิริยาเท่ากับ 60 นาที	153
ง18 โคโรมาโทแกรมของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบ 2 ขั้นตอน สภาวะในขั้นตอนที่ 1 ที่อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันที่ผ่านการใช้ทอดแล้วเท่ากับ 6.05:1 ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกเท่ากับ 0.68 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักน้ำมัน อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 51 องศาเซลเซียส และเวลาในการทำปฏิกิริยาเท่ากับ 60 นาที	153
ง19 โคโรมาโทแกรมของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบ 2 ขั้นตอน สภาวะในขั้นตอนที่ 1 ที่อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันที่ผ่านการใช้ทอดแล้วเท่ากับ 6.05:1 ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกเท่ากับ 0.68 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักน้ำมัน อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 51 องศาเซลเซียส และเวลาในการทำปฏิกิริยาเท่ากับ 60 นาที	154

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่	หน้า
ง20 โคโรมาโทแกรมของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบ 2 ขั้นตอน สภาวะในขั้นตอนที่ 1 ที่อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันที่ผ่านการใช้ทอดแล้วเท่ากับ 6.05:1 ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกเท่ากับ 0.68 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักน้ำมัน อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 51 องศาเซลเซียส และเวลาในการทำปฏิกิริยาเท่ากับ 60 นาที	154
ง21 โคโรมาโทแกรมของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบ 2 ขั้นตอน สภาวะในขั้นตอนที่ 1 ที่อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันที่ผ่านการใช้ทอดแล้วเท่ากับ 6.05:1 ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกเท่ากับ 0.68 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักน้ำมัน อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 51 องศาเซลเซียส และเวลาในการทำปฏิกิริยาเท่ากับ 60 นาที	155
ง22 โคโรมาโทแกรมของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบ 2 ขั้นตอน สภาวะในขั้นตอนที่ 1 ที่อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันที่ผ่านการใช้ทอดแล้วเท่ากับ 6.05:1 ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกเท่ากับ 0.68 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักน้ำมัน อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 51 องศาเซลเซียส และเวลาในการทำปฏิกิริยาเท่ากับ 60 นาที	155
ง23 โคโรมาโทแกรมของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบ 2 ขั้นตอน สภาวะในขั้นตอนที่ 1 ที่อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันที่ผ่านการใช้ทอดแล้วเท่ากับ 6.05:1 ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกเท่ากับ 0.68 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักน้ำมัน อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 51 องศาเซลเซียส และเวลาในการทำปฏิกิริยาเท่ากับ 60 นาที	156
ง24 โคโรมาโทแกรมของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบ 2 ขั้นตอน สภาวะในขั้นตอนที่ 1 ที่อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันที่ผ่านการใช้ทอดแล้วเท่ากับ 6.05:1 ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกเท่ากับ 0.68 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักน้ำมัน อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 51 องศาเซลเซียส และเวลาในการทำปฏิกิริยาเท่ากับ 60 นาที	156

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่	หน้า
ง25 โคโรมาโทแกรมของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบ 2 ขั้นตอน สภาวะในขั้นตอนที่ 1 ที่อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันที่ผ่านการใช้ทอดแล้วเท่ากับ 6.05:1 ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกเท่ากับ 0.68 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักน้ำมัน อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 51 องศาเซลเซียส และเวลาในการทำปฏิกิริยาเท่ากับ 60 นาที	157
ง26 โคโรมาโทแกรมของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบ 2 ขั้นตอน สภาวะในขั้นตอนที่ 1 ที่อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันที่ผ่านการใช้ทอดแล้วเท่ากับ 6.05:1 ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกเท่ากับ 0.68 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักน้ำมัน อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 51 องศาเซลเซียส และเวลาในการทำปฏิกิริยาเท่ากับ 60 นาที	157
ง27 โคโรมาโทแกรมของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบ 2 ขั้นตอน สภาวะในขั้นตอนที่ 1 ที่อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันที่ผ่านการใช้ทอดแล้วเท่ากับ 6.05:1 ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกเท่ากับ 0.68 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักน้ำมัน อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 51 องศาเซลเซียส และเวลาในการทำปฏิกิริยาเท่ากับ 60 นาที	158
ง28 โคโรมาโทแกรมของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบ 2 ขั้นตอน สภาวะในขั้นตอนที่ 1 ที่อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันที่ผ่านการใช้ทอดแล้วเท่ากับ 6.05:1 ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกเท่ากับ 0.68 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักน้ำมัน อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 51 องศาเซลเซียส และเวลาในการทำปฏิกิริยาเท่ากับ 60 นาที	158
ง29 โคโรมาโทแกรมของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบ 2 ขั้นตอน สภาวะในขั้นตอนที่ 1 ที่อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันที่ผ่านการใช้ทอดแล้วเท่ากับ 6.05:1 ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกเท่ากับ 0.68 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักน้ำมัน อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 51 องศาเซลเซียส และเวลาในการทำปฏิกิริยาเท่ากับ 60 นาที	159

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่	หน้า
ง30	
โครมาโทแกรมของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบ 2 ขั้นตอน สภาวะในขั้นตอนที่ 1 ที่อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันที่ผ่านการใช้ทอดแล้วเท่ากับ 6.05:1 ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกเท่ากับ 0.68 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักน้ำมัน อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 51 องศาเซลเซียส และเวลาในการทำปฏิกิริยาเท่ากับ 60 นาที	159

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

FAME	= Fatty Acid Methyl Ester
AGQM	= Arbeitsgemeinachft Qualitats Management Biodiesel e.V
ASTM	= American Society for Testing and Materials
°C	= Degree Celsius
GC	= Gas Chromatography
AV	= Acid Value
NaOH	= Sodium hydroxide
KOH	= Potassium hydroxide
THF	= Tetrahydrofuran
% wt	= Percentage by Weight
RSM	= Response Surface Methodology
StdOrder	= Standard Order
DF	= Degree of Freedom
SS	= Sum of Square
MS	= Mean Square