

ไพโรไลซิสของน้ำมันจากทะเลลายปาล์มเปล่าเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพเหลวบนแมกนีเซียมออกไซด์และ  
ถ่านกัมมันต์



นางสาวญาดา ปาลกะวงศ์ ณ อยุธยา



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาปิโตรเคมีและวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์  
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
ปีการศึกษา 2556  
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



5571960023

PYROLYSIS OF OIL FROM OIL PALM EMPTY FRUIT BUNCH TO LIQUID BIOFUEL ON  
MAGNESIUM OXIDE AND ACTIVATED CARBON

Miss Yada Palakawong Na Ayuddhaya

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Science Program in Petrochemistry and Polymer  
Science

Faculty of Science  
Chulalongkorn University

Academic Year 2013

Copyright of Chulalongkorn University



หัวข้อวิทยานิพนธ์

ไฟโรไลซิสของน้ำมันจากทะเลลายปาล์มเปล่าเป็นเชื้อเพลิง  
ชีวภาพเหลวบนแมกนีเซียมออกไซด์และถ่านกัมมันต์

โดย

นางสาวญาดา ปาลกะวงศ์ ณ อยุธยา

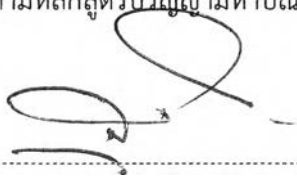
สาขาวิชา

ปิโตรเคมีและวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ศาสตราจารย์ ดร. ธราพงษ์ วิทิตสานต์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง  
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบริหารธุรกิจ



..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

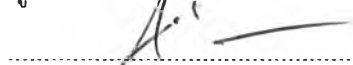
(ศาสตราจารย์ ดร. สุพจน์ ทารหนองบัว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



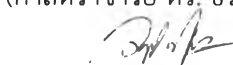
..... ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วรินทร์ ชวศิริ)



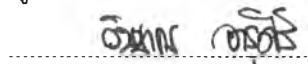
..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ศาสตราจารย์ ดร. ธราพงษ์ วิทิตสานต์)



..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วราวดี ตั้งพสุธาตล)



..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิชชากร จารุศิริ)

ญาดา ปาลกะวงศ์ ณ อยุธยา : ไพโรไลซิสของน้ำมันจากทะเลลายปาล์มเปล่าเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพเหลวบนแมกนีเซียมออกไซด์และถ่านกัมมันต์. (PYROLYSIS OF OIL FROM OIL PALM EMPTY FRUIT BUNCH TO LIQUID BIOFUEL ON MAGNESIUM OXIDE AND ACTIVATED CARBON) อ.ที่ปริกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ศ. ดร. ธราพงษ์ วิทิตสานต์, 92 หน้า.

งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษากระบวนการไพโรไลซิสน้ำมันจากทะเลลายปาล์มเปล่าในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบดซ์ขนาด 70 มิลลิลิตรโดยใช้แมกนีเซียมออกไซด์และถ่านกัมมันต์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เพื่อศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อร้อยละการเปลี่ยนแปลงของเชื้อเพลิงชีวภาพเหลวและองค์ประกอบตามคาบจุดเดือด โดยใช้วิธีออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลสองระดับในการหาตัวแปรที่มีผลกระทบต่อร้อยละการเปลี่ยนแปลงของเชื้อเพลิงเหลวและองค์ประกอบของน้ำมันและหาภาวะที่เหมาะสมที่ให้อัตราการเปลี่ยนแปลงเป็นของเหลวและมีองค์ประกอบในช่วงของน้ำมันดีเซลมากที่สุด

ผลการทดลองพบว่าภาวะที่เหมาะสมและได้อัตราของเชื้อเพลิงเหลวมากที่สุดที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส เวลา 60 นาที ความดันของไฮโดรเจนเริ่มต้น 5 บาร์ และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก ให้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นแก๊สร้อยละ 21.73 ของเหลวร้อยละ 66.68 และของแข็งร้อยละ 11.59 ตามลำดับ เมื่อนำผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวไปวิเคราะห์องค์ประกอบตามคาบจุดเดือดด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีแบบจำลองการกลั่น พบว่ามีปริมาณเนฟทาร้อยละ 22.50 เคโรซีนร้อยละ 17.50 ดีเซลร้อยละ 55.00 และกากน้ำมันร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก

สาขาวิชา ปิโตรเคมีและวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์  
ปีการศึกษา 2556

ลายมือชื่อนิสิต ญาดา ปาลกะวงศ์ ณ อยุธยา  
ลายมือชื่อ อ.ที่ปริกษาวิทยานิพนธ์หลัก ธราพงษ์ วิทิตสานต์

# # 5571960023 : MAJOR PETROCHEMISTRY AND POLYMER SCIENCE

KEYWORDS: PYROLYSIS / PALM OIL EMPTY FRUIT BUNCH / MAGNESIUM OXIDE /  
ACTIVATED CARBON

YADA PALAKAWONG NA AYUDDHAYA: PYROLYSIS OF OIL FROM OIL PALM  
EMPTY FRUIT BUNCH TO LIQUID BIOFUEL ON MAGNESIUM OXIDE AND  
ACTIVATED CARBON. ADVISOR: PROF. THARAPONG VITIDSANT, Ph.D., 92  
pp.

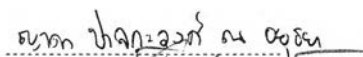
The research aims to study the pyrolysis of oil from palm oil empty fruit  
bunch perform in a 70 ml. batch reactor over magnesium oxide and activated  
carbon as a catalyst. To study the parameters which affect to the liquid yield and  
product distribution of liquid yield by using 2k factorial experimental design to  
investigate the condition which give the highest liquid yield and product  
distribution like as diesel.

The results shown that the optimum condition at the temperature of  
430 °C, time of reaction of 60 minutes, initial hydrogen pressure of 5 bars and  
using 5%wt of magnesium oxide and activated carbon gave the highest of liquid  
yield of 66.68 %wt, 1.73 %wt of gas and 11.59 % of solid were obtained. The  
product distribution was analyzed by simulation distillation gas chromatograph  
which found that the production distribution of naphtha, kerosene, diesel and log  
residue of 22.50 wt%, 17.50 wt%, 55.00 wt% and 5.00 wt% respectively.

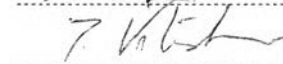
Field of Study: Petrochemistry and  
Polymer Science

Academic Year: 2013

Student's Signature



Advisor's Signature



## กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณศาสตราจารย์ ดร.ธราพงษ์ วิทิตสานต์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ ตลอดจนให้ความเห็นเพื่อปรับปรุงงานวิจัยให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี รวมทั้งคณาจารย์ทุกท่านในหลักสูตรปีโทแรกมีและวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์

ขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรินทร์ ชวศิริ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วราวุฒิ ตั้งพสุธาตล กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่กรุณาให้ความรู้ ความคิดเห็น รวมถึงแนะนำในการจัดทำวิทยานิพนธ์ให้มีความสมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิชชากร จารุศิริ กรรมการจากมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒที่กรุณาให้ความรู้ ความคิดเห็น รวมถึงแนะนำในการจัดทำวิทยานิพนธ์ให้มีความสมบูรณ์

ขอขอบคุณบริษัท ทักษิณปาล์ม (2521) จำกัด สำหรับการให้ทุนสนับสนุนและให้น้ำมันปาล์มดิบเพื่อนำมาใช้ในการทำงานวิจัย

ขอขอบคุณกองทุนรัชดาภิเษกสมโภชที่สนับสนุนเครื่องมือและอุปกรณ์ในการทำงานวิจัย

ขอขอบคุณบุคลากรในศูนย์เชื้อเพลิงและพลังงานชีวมวลที่ อำเภอแก่งคอย จังหวัดสระบุรี รวมถึง หลักสูตรปีโทแรกมีและวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ ภาควิชาเคมีเทคนิคและภาควิชาเคมีทุกท่านที่ได้อำนวยความสะดวกในการใช้ห้องปฏิบัติการและกรุณาช่วยเหลือพร้อมทั้งอำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือวิเคราะห์ต่างๆ

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และผู้อยู่เบื้องหลังที่ได้ให้กำลังใจ ให้คำแนะนำ ความช่วยเหลือและให้การสนับสนุนเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

## สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	จ
กิตติกรรมประกาศ .....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูปภาพ.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ .....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 ปีโตรเลียม .....	4
2.2 องค์ประกอบของน้ำมันดิบ .....	4
2.3 พลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก .....	9
2.4 ปาล์มน้ำมัน .....	13
2.5 เทคโนโลยีในการผลิตดีเซล.....	15
2.6 ปฏิกริยาการแตกตัวของสารไฮโดรคาร์บอน .....	17
2.6.1 กระบวนการแตกตัวของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนด้วยความร้อน.....	17
2.6.2 กระบวนการแตกตัวของไฮโดรคาร์บอนด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา.....	18
2.6.3 กระบวนการแตกตัวของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนโดยใช้ไฮโดรเจนร่วม .....	21
2.7 การเร่งปฏิกิริยา.....	22
2.7.1 เทอมที่เกี่ยวข้องกับการเร่งปฏิกิริยา.....	22
2.7.2 ขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาในปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์.....	24
2.7.3 การดูดซับและการคาย .....	27
2.7.4 สมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์.....	28
2.7.5 การวัดพื้นที่ผิวและขนาดของรูพรุนโดยใช้วิธีบีอีที (BET) .....	29



2.7.6 การเสื่อมสภาพของตัวเร่งปฏิกิริยา.....	31
2.7.8 การแยกชนิดของน้ำมันดิบ .....	33
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	34
บทที่ 3 เครื่องมือและวิธีการทดลอง.....	37
3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์.....	37
3.2 สารตั้งต้นและสารเคมี .....	40
3.3 การดำเนินการวิจัย .....	40
3.4 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย.....	41
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	43
4.1 คุณสมบัติและองค์ประกอบของน้ำมันจากทะเลลายปาล์มเปล่า .....	43
4.2 สมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์และถ่านกัมมันต์.....	45
4.3 ผลการทดลองที่ได้จากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันจากทะเลลายปาล์มเปล่าด้วย แมกนีเซียมออกไซด์และถ่านกัมมันต์ .....	46
4.4 ภาวะที่เหมาะสมของการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันจากทะเลลายปาล์มเปล่าบน แมกนีเซียมออกไซด์และถ่านกัมมันต์เป็นเชื้อเพลิงชีวภาพเหลวโดยใช้โปรแกรม Design-Expert	65
4.5 ค่าความเป็นกรด (Total acid value) ของเชื้อเพลิงชีวภาพเหลว .....	67
4.6 องค์ประกอบธาตุ CHO ของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงชีวภาพเหลวที่ได้จากการแตกตัวเชิงเร่ง ปฏิกิริยาของน้ำมันจากทะเลลายปาล์มเปล่าบนแมกนีเซียมออกไซด์และถ่านกัมมันต์ .....	68
4.7 องค์ประกอบของเชื้อเพลิงชีวภาพเหลวที่ได้จากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันจาก ทะเลลายปาล์มเปล่าบนแมกนีเซียมออกไซด์และถ่านกัมมันต์ .....	69
4.8 ค่าความร้อนของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงชีวภาพเหลวที่ได้จากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมัน จากทะเลลายปาล์มเปล่าบนแมกนีเซียมออกไซด์และถ่านกัมมันต์ .....	70
4.9 เปรียบเทียบงานวิจัยที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน .....	71
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ .....	74
5.1 สรุปผลการทดลอง .....	74
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	75
รายการอ้างอิง.....	76
ภาคผนวก.....	78





ภาคผนวก ก.....	79
ภาคผนวก ข.....	81
ภาคผนวก ค.....	82
ภาคผนวก ง.....	86
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	92



## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันปาล์มดิบ .....	15
ตารางที่ 3.1 ตัวแปรและระดับของตัวแปรที่ทำการศึกษาน้ำมันเหลือทิ้งจากทะเลลายปาล์มเปล่าบน แมกนีเซียมออกไซด์และถ่านกัมมันต์.....	40
ตารางที่ 3.2 การทดลองแพกทอเรียลสองระดับของน้ำมันจากทะเลลายปาล์มเปล่าบนตัวเร่งปฏิกิริยา แมกนีเซียมออกไซด์และถ่านกัมมันต์.....	41
ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบของน้ำมันจากทะเลลายปาล์มเปล่าก่อนการศึกษาการแตกตัวเชิงเร่ง ปฏิกิริยา.....	43
ตารางที่ 4.2 องค์ประกอบของน้ำมันจากทะเลลายปาล์มเปล่าจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊ส โครมาโทกราฟีประกอบด้วยแมสสเปกโตรมิเตอร์ .....	44
ตารางที่ 4.3 องค์ประกอบของตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์.....	45
ตารางที่ 4.4 พื้นที่ผิวรูพรุนทั้งหมดของตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์และถ่านกัมมันต์.....	45
ตารางที่ 4.5 ร้อยละการเปลี่ยนแปลงของเชื้อเพลิงชีวภาพเหลวที่ได้จากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยา ของน้ำมันจากทะเลลายปาล์มเปล่าที่ภาวะต่างๆ .....	47
ตารางที่ 4.6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของร้อยละการเปลี่ยนแปลงของเชื้อเพลิงชีวภาพเหลวจาก การแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันจากทะเลลายปาล์มเปล่าบนแมกนีเซียมออกไซด์และ ถ่านกัมมันต์ .....	51
ตารางที่ 4.7 ร้อยละของผลิตภัณฑ์ที่เป็นดีเซลที่ได้จากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันจาก ทะเลลายปาล์มเปล่าที่ภาวะต่างๆ .....	51
ตารางที่ 4.8 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของร้อยละผลิตภัณฑ์ที่เป็นดีเซลที่ได้จากการแตกตัวเชิงเร่ง ปฏิกิริยาของน้ำมันจากทะเลลายปาล์มเปล่าบนแมกนีเซียมออกไซด์และถ่านกัมมันต์....	56
ตารางที่ 4.9 ขอบเขตของการหาภาวะที่เหมาะสมจากโปรแกรม Design-Expert ของการแตกตัวเชิง เร่งปฏิกิริยาของน้ำมันจากทะเลลายปาล์มบนแมกนีเซียมออกไซด์และถ่านกัมมันต์ .....	66
ตารางที่ 4.10 ภาวะที่เหมาะสมที่ได้จากการคำนวณของโปรแกรม Design-Expert .....	66
ตารางที่ 4.11 การเปรียบเทียบระหว่างภาวะที่เหมาะสมที่ได้จากการคำนวณของโปรแกรม Design-Expert กับค่าที่ได้จากการทดลอง.....	67
ตารางที่ 4.12 ค่าความเป็นกรด (Total acid value) ของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงชีวภาพเหลวที่ได้จาก การแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันจากทะเลลายปาล์มเปล่าบนแมกนีเซียมออกไซด์และ ถ่านกัมมันต์ .....	68
ตารางที่ 4.13 องค์ประกอบธาตุ CHO ของน้ำมันจากทะเลลายปาล์มเปล่า .....	68



ตารางที่ 4.14 องค์ประกอบเชื้อเพลิงชีวภาพเหลวที่ได้จากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันจาก ทะเลลายปาล์มเปล่าบนแมกนีเซียมออกไซด์และถ่านกัมมันต์ด้วยเครื่องแก๊ส โครมาโทกราฟีประกอบด้วยแมสสเปกโตรมิเตอร์ .....	70
ตารางที่ 4.15 ค่าความร้อนของน้ำมันจากทะเลลายปาล์มเปล่าก่อนและหลังการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยา .....	71
ตารางที่ 4.16 เปรียบเทียบงานวิจัยที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน .....	73



## สารบัญรูปลูกภาพ

	หน้า
รูปภาพที่ 2.1 พาราฟินที่พบในปิโตรเลียม .....	5
รูปภาพที่ 2.2 แนฟทีนที่พบในปิโตรเลียม .....	5
รูปภาพที่ 2.3 แอโรแมติกที่พบในปิโตรเลียม .....	6
รูปภาพที่ 2.4 แนฟทีโน-แอโรแมติกที่ตรวจพบอยู่ในปิโตรเลียม .....	6
รูปภาพที่ 2.5 สารประกอบกำมะถันที่พบในปิโตรเลียม .....	7
รูปภาพที่ 2.6 สารประกอบไนโตรเจนที่ตรวจพบอยู่ในปิโตรเลียม .....	8
รูปภาพที่ 2.7 สารประกอบออกซิเจนที่ตรวจพบอยู่ในปิโตรเลียม .....	8
รูปภาพที่ 2.8 โครงสร้างของคลอโรฟิลล์ซึ่งมีวงพอร์ไฟรินเป็นโครงสร้างหลัก .....	9
รูปภาพที่ 2. 9 ต้นปาล์มและผลของปาล์มน้ำมัน .....	13
รูปภาพที่ 2. 10 กระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน.....	15
รูปภาพที่ 2. 11 กระบวนการดีคาร์บอกซิเลชัน .....	16
รูปภาพที่ 2. 12 พลังงานของปฏิกิริยาที่ไม่มีตัวเร่งและมีพลังงานก่อกัมมันต์ของกิบส์สูงและปฏิกิริยาที่มีตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีพลังงานก่อกัมมันต์ต่ำแต่พลังงานโดยรวมของปฏิกิริยาทั้งสองเท่ากัน .....	23
รูปภาพที่ 2. 13 การแพร่จากภายนอกของสารตั้งต้น .....	25
รูปภาพที่ 2. 14 การแพร่ของสารตั้งต้นเข้าสู่ภายในรูพรุน .....	25
รูปภาพที่ 2. 15 การดูดซับทางเคมีของสาร A บนผิวหน้าของตัวเร่งปฏิกิริยา.....	26
รูปภาพที่ 2. 16 การเกิดปฏิกิริยาบนพื้นผิวดังตัวเร่งปฏิกิริยาจากโมเลกุล A ไปเป็น B .....	26
รูปภาพที่ 2. 17 การวัดพื้นที่ผิวโดยใช้วิธี BET .....	29
รูปภาพที่ 2. 18 สมการ BET .....	30
รูปภาพที่ 2. 19 การเกิดพอยซันนิงของปฏิกิริยาการเติมไฮโดรเจนของเอทิลีน .....	31
รูปภาพที่ 2. 20 การเกิดโค้กที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา .....	32
รูปภาพที่ 2. 21 การเสื่อมสภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาแบบซินเทอริง .....	32
รูปภาพที่ 3.1 เครื่องปฏิกรณ์ขนาดเล็กขนาด 70 มิลลิลิตร (Microreactor).....	37
รูปภาพที่ 3.2 ชุดทดลองและอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิแบบดิจิทัล.....	38
รูปภาพที่ 3.3 ชุดกรองสุญญากาศ.....	38
รูปภาพที่ 3.4 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีแบบจำลองการกลั่น .....	39
รูปภาพที่ 3.5 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีประกอบด้วยแมสสเปกโตรมิเตอร์.....	39



รูปภาพที่ 4.1 องค์ประกอบของน้ำมันจากทะเลลายปาล์มเปล่าด้วยเครื่องโครมาโทกราฟีประกอบ กับแมสสเปกโตรมิเตอร์ .....	44
รูปภาพที่ 4.2 Normal probability plot of residuals ของร้อยละการเปลี่ยนแปลงของเชื้อเพลิง ชีวภาพเหลวที่ได้จากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันจากทะเลลายปาล์มเปล่าบน แมกนีเซียมออกไซด์และถ่านกัมมันต์ .....	49
รูปภาพที่ 4.3 Half Normal plot ของร้อยละการเปลี่ยนแปลงของเชื้อเพลิงชีวภาพเหลวที่ได้จากการ แตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันจากทะเลลายปาล์มเปล่าบนแมกนีเซียมออกไซด์และ ถ่านกัมมันต์.....	49
รูปภาพที่ 4. 4 Normal probability plot of residuals ของร้อยละผลิตภัณฑ์ที่เป็นดีเซลที่ได้จาก การแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันจากทะเลลายปาล์มเปล่าบนแมกนีเซียมออกไซด์ และถ่านกัมมันต์.....	54
รูปภาพที่ 4. 5 Half Normal plot ของร้อยละผลิตภัณฑ์ที่เป็นดีเซลที่ได้จากการแตกตัวเชิงเร่ง ปฏิกิริยาของน้ำมันจากทะเลลายปาล์มเปล่าบนแมกนีเซียมออกไซด์และถ่านกัมมันต์ .....	54
รูปภาพที่ 4.6 ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแตกตัวของน้ำมันจากทะเลลายปาล์มเมื่อ เปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่เวลา 60 นาที ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 5 บาร์ ปริมาณ ตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก.....	57
รูปภาพที่ 4.7 ร้อยละการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแตกตัวของน้ำมันจากทะเลลายปาล์ม เมื่อเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่เวลา 60 นาที ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 5 บาร์ ปริมาณ ตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก.....	58
รูปภาพที่ 4.8 ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแตกตัวของน้ำมันจากทะเลลายปาล์มเมื่อ เปลี่ยนแปลงเวลา ที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 5 บาร์ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก.....	59
รูปภาพที่ 4.9 ร้อยละการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแตกตัวของน้ำมันจากทะเลลายปาล์ม เมื่อเปลี่ยนแปลงเวลา ที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 5 บาร์ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก.....	60
รูปภาพที่ 4.10 ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแตกตัวของน้ำมันจากทะเลลายปาล์มเมื่อ เปลี่ยนแปลงความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น ที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส เวลา 60 นาที ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก .....	61

รูปภาพที่ 4.11	ร้อยละการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแตกตัวของน้ำมันจากทะเลสาบปาล์ม เมื่อเปลี่ยนแปลงความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น ที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส เวลา 60 นาที ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก .....	62
รูปภาพที่ 4.12	ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแตกตัวของน้ำมันจากทะเลสาบปาล์มเมื่อ เปลี่ยนแปลงปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา ที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส เวลา 60 นาที ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 5 บาร์ .....	63
รูปภาพที่ 4.13	ร้อยละการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแตกตัวของน้ำมันจากทะเลสาบปาล์ม เมื่อเปลี่ยนแปลงปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา ที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส เวลา 60 นาที ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 5 บาร์ .....	64
รูปภาพที่ 4.14	องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์แก๊สที่ได้จากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันจาก ทะเลสาบปาล์มเปล่าบนแมกนีเซียมออกไซด์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีที่มีตัว ตรวจวัดแบบ TCD .....	64
รูปภาพที่ 4.15	องค์ประกอบของเชื้อเพลิงชีวภาพเหลวที่ได้จากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมัน จากทะเลสาบปาล์มเปล่าบนแมกนีเซียมออกไซด์และถ่านกัมมันต์ด้วยเครื่องแก๊สโคร มาโทกราฟีประกอบกับแมสสเปกโตรมิเตอร์ .....	69
รูปภาพที่ ค. 1	ส่วนประกอบของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี .....	82
รูปภาพที่ ค. 2	Flame Ionization Detector .....	83
รูปภาพที่ ค. 3	โครมาโทแกรมที่ได้จากเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี .....	84
รูปภาพที่ ค. 4	การเปรียบเทียบค่า Retention Time ของสารตัวอย่างกับสารมาตรฐาน .....	85
รูปภาพที่ ง. 1	ตารางของ 2 level Factorial Design .....	88
รูปภาพที่ ง. 2	ตัวแปรและหน่วยที่ใช้ในการทดลอง .....	88
รูปภาพที่ ง. 3	Response และหน่วยที่ใช้ในการทดลอง .....	88
รูปภาพที่ ง. 4	ตารางการทดลองและผลที่ได้จากการทดลองที่ภาวะต่างๆ .....	89
รูปภาพที่ ง. 5	แถบของ conversion และ diesel .....	89
รูปภาพที่ ง. 6	Half-Normal plot ของร้อยละการเปลี่ยนแปลงไปของเชื้อเพลิงชีวภาพเหลวจากการ แตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันจากทะเลสาบปาล์มเปล่าบนแมกนีเซียมออกไซด์และ ถ่านกัมมันต์ .....	90
รูปภาพที่ ง. 7	การคำนวณผลของ ANOVA .....	90
รูปภาพที่ ง. 8	ขอบเขตที่ต้องการในการทดลอง .....	91
รูปภาพที่ ง. 9	ภาวะที่เหมาะสมของการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันจากทะเลสาบปาล์มเปล่าเป็น เชื้อเพลิงชีวภาพเหลวบนแมกนีเซียมออกไซด์และถ่านกัมมันต์ .....	91