การสังเคราะห์แก๊สโซลีนจากน้ำมันปาล์มโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลต์

นาย ชาลี ใจหาญ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมเคมี
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พ.ศ. 2531
ISBN 974-569-383-9
ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

014297
I15524085

SYNTHESIS OF GASOLINE FROM PALM OIL USING ZEOLITE CATALYST

Mr. CHARLIE JAIHARN

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering
Department of Chemical Engineering
Graduate School
Chulalongkorn University
1988

ISBN 974-569-383-9

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การสังเคราะห์แก๊สโซลีนจากน้ำมันปาล์มโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลต์
โดย	นาย ชาลี ใจหาญ
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร. ปิยะสาร ประเสริฐธรรม
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ดร. ประเทืองศรี สินชัยศรี

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ ดร.ถาวร วัชราภัย)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุรา ปานเจริญ)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ปิยะสาร ประเสริฐธรรม)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยฤทธิ์ สัตยาประเสริฐ)

.....กรรมการ
(ดร.ประเทืองศรี สินชัยศรี)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ชาลี ใจหาญ : การสังเคราะห์แก๊สโซลีนจากน้ำมันปาล์มโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลต์ (SYNTHESIS OF GASOLINE FROM PALM OIL USING ZEOLITE CATALYST) อ.ที่ปรึกษา : รศ.ดร.ปิยะสาร ประเสริฐธรรม, 139 หน้า.

งานวิจัยนี้เป็นการทดลองสังเคราะห์แก๊สโซลีนโดยใช้ปฏิกิริยาคะตะไลติกเครกกิงของน้ำมันปาล์มในเครื่องปฏิกรณ์เคมีแบบเบดนิ่ง ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้คือตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลต์ ซึ่งใช้ในโรงกลั่นน้ำมันของบริษัทไทยออยล์ จำกัด ทำการสังเคราะห์แก๊สโซลีนที่ความดันบรรยากาศ อุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ที่ใช้ประมาณ 350, 400, 450 และ 500 องศาเซลเซียส ความเร็วเชิงสเปซเท่ากับ 0.3307, 0.7350, 1.5863 และ 2.1372 ต่อชั่วโมง ผลการทดลองพบว่าการเกิดผลิตภัณฑ์แก๊สโซลีนในปฏิกิริยาคะตะไลติก-เครกกิงของน้ำมันปาล์ม จะให้ผลดีในช่วงอุณหภูมิ 450-500 องศาเซลเซียส ความเร็วเชิงสเปซเท่ากับ 0.7350-1.5863 ต่อชั่วโมง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมเคมี ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี

ปีการศึกษา 2530 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

CHARLIE JAIHARN : SYNTHESIS OF GASOLINE FROM PALM OIL USING ZEOLITE CATALYST. THESIS ADVISOR : ASSO.PROF.PIYASARN PRASERTHDAM,Dr.Ing., 139 PP.

This research concerns the gasoline synthesis by the method of palm oil catalytic cracking reaction in a fixed bed reactor using zeolites from Thai Oil Refinery Co.,Ltd. as catalyst. Gasoline was synthesized at below atmospheric pressure. The column temperatures were varied at 350, 400, 450 and 500 °C and the space velocities at 0.3307, 0.7350, 1.5863 and 2.1372 $hr.^{-1}$ The results were evidently shown that good yield of gasoline products would be produced at temperatures and space velocities of 450-500 °C and 0.7350-1.5863 $hr.^{-1}$ respectively.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมเคมี ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี

ปีการศึกษา 2530 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.บิยะสาร ประเสริฐธรรมที่กรุณาชี้แนะแนวทางและให้ความรู้ในงานวิจัยพร้อมทั้งสร้างสอนศิษย์ในฐานะอาจารย์ที่ปรึกษาและขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุรา ปานเจริญ , ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยฤทธิ์ สัตยาประเสริฐ ดร.ประเทืองศรี สินชัยศรี ในฐานะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ อาจารย์ กอบบุญ หล่อทองคำ คุณ นพดล สายะเสวี,คุณ สุพจน์ พัฒนศรี,คุณ ชัยทวี โตจิรกุล,คุณ สุวารี ศุภโชคชัย,คุณ มนสิทธิ์ ผดุงสิทธิ์,คุณ สุทิน ประไพตระกูล,คุณวรรณวิภา ศรีวราหกุลและเพื่อนห้องปฏิบัติการคะตะไลซิสทุกคนพร้อมทั้งบริษัท ไทยออยล์ จำกัด ซึ่งได้ช่วยเหลือในด้านตัวเร่งปฏิกิริยา,มูลนิธิสมาคมนิสิตเก่าจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่ได้สนับสนุนทางด้านการเงิน

สิ่งที่มีค่าสูงสุดที่ให้กำลังใจและความรักคือ บิดา-มารดา,คุณยายและน้องๆทุกคน

ชาลี ใจหาญ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....ข
กิตติกรรมประกาศ.....ค
รายการตารางประกอบ.....ฉ
รายการรูปประกอบ.....ฏ

บทที่

1. บทนำ.....1

2. ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับปาล์มน้ำมัน.....5
   - 2.1 ปาล์มน้ำมัน.....5
   - 2.2 ส่วนประกอบของทะลายปาล์มสด.....6
   - 2.3 สูตรโครงสร้างของน้ำมันปาล์ม.....7
   - 2.4 องค์ประกอบของกรดไขมันของน้ำมันปาล์มและน้ำมันเมล็ดปาล์ม.....8
   - 2.5 สารประกอบอื่นๆ.....10
   - 2.6 กระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ.....11
   - 2.7 มาตรฐานคุณภาพของน้ำมันปาล์ม.....15
   - 2.8 กระบวนการทำน้ำมันปาล์มให้บริสุทธิ์.....16
   - 2.9 ประโยชน์ของน้ำมันปาล์ม.....21

3. การสังเคราะห์ไฮโดรคาร์บอนจากน้ำมันพืช.....24
   - 3.1 การปรับปรุงและแปรรูปน้ำมันพืชเป็นน้ำมันเชื้อเพลิง.....24
   - 3.2 การสังเคราะห์ไฮโดรคาร์บอน(น้ำมันเชื้อเพลิง) จากน้ำมันพืชโดยใช้ปฏิกิริยาเครกกิง.....28
   - 3.3 กลไกของปฏิกิริยาเครกกิง.....30
   - 3.4 ประเภทของกระบวนการเครกกิงของน้ำมันพืช.....34
   - 3.5 การศึกษาจากอดีตถึงปัจจุบัน.....35

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หน้า

4. วิธีการทดลองและผลการทดลอง.....88

4.1 เครื่องมือทดลอง.....88
4.2 น้ำมันปาล์ม.....92
4.3 ตัวเร่งปฏิกิริยา.....94
4.4 การทำผลิตภัณฑ์ของเหลวให้บริสุทธิ์ทางเคมี.....95
4.5 การวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสังเคราะห์.....95
4.6 ลำดับขั้นการทดลอง.....99
4.7 สภาวะของการทดลอง.....100
4.8 ผลการทดลอง.....101
4.9 สรุปผลการทดลอง.....103

5. วิจารณ์และสรุปผลการทดลอง.....123

5.1 วิจารณ์ผลการทดลอง.....123
5.2 สรุปผลการทดลอง.....125

เอกสารอ้างอิง.....132

ภาคผนวก

ก. ตัวอย่างการคำนวณความเร็วเชิงสเปซ.....135
ข. ตัวอย่างการคำนวณอัตราป้อนเฉลี่ยของน้ำมันปาล์มเข้าสู่เครื่องปฏิกรณ์.....135
ค. ตัวอย่างการคำนวณเปอร์เซนต์การเปลี่ยนรวม.....135
ง. ตัวอย่างการคำนวณการกระจายของผลิตภัณฑ์.....137
จ. ตัวอย่างการคำนวณการกระจายของผลิตภัณฑ์.....138
ฉ. ตัวอย่างการคำนวณอัตราเฉลี่ยของการเกิดผลิตภัณฑ์
ที่ต้องการ(แก๊สโซลีน)ต่อน้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยา.....138

ประวัติ.....139

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการตารางประกอบ

ตารางที่ หน้า

1.1 แสดงแหล่งพลังงานฟอสซิลของโลก..... 3
1.2 แสดงผลผลิตของน้ำมันปาล์มและน้ำมันเมล็ดปาล์ม..... 3
2.1 แสดงกรดไขมันของน้ำมันปาล์ม..... 8
2.2 แสดงกรดไขมันของน้ำมันเมล็ดปาล์ม..... 9
2.3 แสดงส่วนประกอบที่อยู่ในน้ำมันปาล์ม..... 10
2.4 แสดงกรดไขมันของน้ำมันมะพร้าว..... 10
2.5 แสดงมาตรฐานคุณภาพของน้ำมันปาล์ม..... 15
3.1 แสดงผลการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลต์
กับผลิตภัณฑ์ที่สกัดได้จากพืชยูโฟร์เบีย ลาไทริสในส่วนของเอปเทน..... 25
3.2 เปรียบเทียบคุณสมบัติของน้ำมันมะพร้าว, น้ำมันเมล็ดสบู่ดำ
น้ำมันยูคาลิปตัสและเอทิลแอลกอฮอล์ กับแก๊สโซลีน..... 29
3.3 แสดงคุณสมบัติผลิตภัณฑ์ของของเหลวจากปฏิกิริยาไพโรลิซิส
ของน้ำมันเมล็ดฝ้ายในหม้อนึ่งอัดไอ..... 31
3.4 แสดงองค์ประกอบในส่วนแก๊สจากปฏิกิริยาไพโรลิซิส
ของน้ำมันเมล็ดฝ้ายในหม้อนึ่งอัดไอ..... 32
3.5 แสดงปริมาณของของเหลว ที่ได้จากการกลั่นน้ำมันปาล์ม
จากแหล่งสุมาตรา และไนเจอร์ ที่อุณหภูมิต่าง ๆ กัน..... 36
3.6 แสดงผลได้จากการเครกกิงของน้ำมันปาล์มสุมาตรา ภายใต้ความดัน 135
และ 75 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ 426 °ซ. และน้ำมันปาล์มไนเจอร์
ภายใต้ความดัน 135 และ 50 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ 426 °ซ..... 38
3.7 แสดงคุณสมบัติและปริมาณของการกลั่นของเหลว (จากกระบวนการเครกกิง
น้ำมันปาล์มสุมาตรา และไนเจอร์ ภายใต้ความดัน 135 ปอนด์เกจ)
ที่ผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ทางเคมี..... 38
3.8 แสดงผลได้ของน้ำมันดิบ จากการเครกกิงไอ(จากการกลั่นทำลาย)
ของน้ำมันตั้งอิ๊ว น้ำมันเมล็ดเรพ และผลของการกลั่นน้ำมันดิบ..... 45
3.9 แสดงผลได้ของน้ำมันดิบจากการเครกกิงน้ำมันตั้งอิ๊ว,น้ำมันเมล็ดฝ้ายใน-
วัฏภาคของเหลว โดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาและผลของการกลั่นน้ำมันดิบ.... 45

รายการตารางประกอบ (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

3.10 แสดงผลได้ของน้ำมันดิบ จากการเครกกิง น้ำมันตั้งอิ๋ว น้ำมันเมล็ดเรพ, น้ำมันเมล็ดฝ้าย, น้ำมันถั่วเหลือง ในวัฏภาคของเหลว โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดต่าง ๆ กัน..... 46

3.11 แสดงผลได้ของน้ำมันดิบจากปฏิกิริยาไพโรลิซิส เกลือของกรดไขมันของน้ำมันตั้งอิ๋ว, น้ำมันถั่วเหลือง, น้ำมันเมล็ดเรพ และผลของการกลั่นน้ำมันดิบ..... 47

3.12 เปรียบเทียบคุณสมบัติของน้ำมันดิบที่ได้จากน้ำมันพืช ซึ่งผ่านกระบวนการทั้งสามกระบวนการ..... 48

3.13 เปรียบเทียบคุณสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ได้จากน้ำมันพืช กับน้ำมันเชื้อเพลิงปิโตรเลียม..... 49

3.14 เปรียบเทียบอัตราการสูญเสียเชื้อเพลิง และกำลังของเครื่องยนต์ ระหว่างใช้น้ำมันพืช, น้ำมันดีเซล จากน้ำมันพืช และน้ำมันดีเซล จากน้ำมันปิโตรเลียม..... 50

3.15 แสดงผลของปฏิกิริยาเครกกิงของน้ำมันถั่วเหลือง โดยใช้ความร้อน และตัวเร่งปฏิกิริยาอะลูมินา, แมกนีเซียม ที่อุณหภูมิ 300, 400, 500 °ซ..... 60

3.16 แสดงผลของไอโอดีน ที่มีต่อปฏิกิริยาเครกกิงของน้ำมันถั่วเหลือง โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาอะลูมินาแบบทรงกลมโดยทดลองที่อุณหภูมิ 400 °ซ..... 61

3.17 แสดงผลของปฏิกิริยาเครกกิง น้ำมันถั่วเหลือง ที่มีค่าไอโอดีน 10 เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา อะลูมินาแบบทรงกลมและแมกนีเซียมออกไซด์ โดยทดลองที่อุณหภูมิ 300, 400 และ 500 °ซ..... 63

3.18 แสดงส่วนประกอบของน้ำมันมะพร้าว, น้ำมันเมล็ดสบู่ดำและน้ำมันยูคาลิปตัส.. 65

3.19 แสดงผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาคะตะไลติกเครกกิง ของน้ำมันมะพร้าว..... 67

3.20 แสดงเงื่อนไข และผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาเครกกิง ในระบบเทอร์มัล-เครกกิงคะตะไลติกเครกกิง และไฮโดรเครกกิง ของน้ำมันมะพร้าว..... 69

3.21 แสดงเงื่อนไขและผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาคะตะไลติกเครกกิง ไฮโดรเครกกิง ของน้ำมันมะพร้าว และจากปฏิกิริยาคะตะไลติกเครกกิง ของน้ำมันส่วนเหลือจากปฏิกิริยาคะตะไลติกเครกกิงของน้ำมันมะพร้าว..... 74

รายการตารางประกอบ (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

3.22 เปรียบเทียบคุณสมบัติของแก๊สโซลีนที่ได้จากปฏิกิริยาคะตะไลติก-เครกกิง, ไฮโดรเครกกิงของน้ำมันมะพร้าว กับแก๊สโซลีนจากน้ำมันปิโตรเลียม..... 75

3.23 แสดงผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาคะตะไลติกของน้ำมันเมล็ดสบู่ดำ โดยใช้เครื่องปฏิกรณ์เคมีแบบไรเซอร์..... 77

3.24 แสดงคุณสมบัติของแก๊สโซลีน จากปฏิกิริยาคะตะไลติกเครกกิงของน้ำมันเมล็ดสบู่ดำ โดยใช้เครื่องปฏิกรณ์เคมีแบบไรเซอร์..... 78

3.25 แสดงผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาไฮโดรเครกกิงของน้ำมันยูคาลิปตัส โดยใช้เครื่องปฏิกรณ์เคมีแบบเบดนิ่ง..... 81

3.26 แสดงเงื่อนไข และผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาคะตะไลติกเครกกิงของน้ำมันยูคาลิปตัสโดยใช้เครื่องปฏิกรณ์เคมีแบบเบดนิ่ง..... 82

3.27 แสดงคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาคะตะไลติกเครกกิงของน้ำมันยูคาลิปตัส โดยใช้เครื่องปฏิกรณ์เคมีแบบเบดนิ่ง..... 83

3.28 สรุปผล ผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาคะตะไลติกเครกกิง ของน้ำมันมะพร้าว น้ำมันเมล็ดสบู่ดำ น้ำมันยูคาลิปตัส และน้ำมันปิโตรเลียม..... 84

4.1 แสดงสภาวะการวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี..... 96

4.2 แสดงสภาวะของการทดลองเมื่อความเร็วเชิงสเปซคงที่ อุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์มีค่าเท่ากับ 350, 400, 450 และ 450 °ซ..... 100

4.3 แสดงสภาวะการทดลองเมื่ออุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์มีค่าเท่า 450 °ซ ที่ความเร็วเชิงสเปซมีค่าเท่ากับ 0.3307, 0.7350, 1.5863 และ 2.3172 ชม$^{-1}$..... 101

4.4 แสดงผลของอัตราป้อนของน้ำมันปาล์มเข้าสู่เครื่องปฏิกรณ์ที่ความเร็ว-เชิงสเปซคงที่ อุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์มีค่าเท่ากับ 350, 400, 450 และ 500 °ซ..... 104

4.5 แสดงผลของเปอร์เซนต์การเปลี่ยนรวมของปฏิกิริยาคะตะไลติกเมื่อความเร็วเชิงสเปซมีค่าคงที่ อุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์มีค่าเท่ากับ 350, 400, 450 และ 500 °ซ..... 104

รายการตารางประกอบ (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

4.6 แสดงผลการกระจายของผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยาคะตะไลติก เมื่อความเร็วเชิงสเปซมีค่าคงที่ อุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์มีค่าเท่ากับ 350,400,450 และ 500 °ซ..... 105

4.7 แสดงผลการกระจายของผลิตภัณฑ์แก๊สของปฏิกิริยาคะตะไลติก เมื่อความเร็วเชิงสเปซมีค่าคงที่ อุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์เท่ากับ 350,400,450 และ 500 °ซ..... 106

4.8 แสดงผลของอัตราเฉลี่ยของการเกิดผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ(แก๊สโซลีน) ต่อน้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยาคะตะไลติกเครกกิงเมื่อความเร็ว-เชิงสเปซมีค่าคงที่ อุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์มีค่าเท่ากับ 350 400,450 และ 500 °ซ..... 107

4.9 แสดงผลของเปอร์เซนต์การเปลี่ยนรวมของปฏิกิริยาคะตะไลติก เครกกิงเมื่ออุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์มีค่าคงที่เท่ากับ 450 °ซ ความเร็วเชิงสเปซมีค่าคงที่เท่ากับ 0.3307,0.7350 1.5863 และ 2.1372 ชม$^{-1}$..... 107

4.10 แสดงผลของการกระจายของผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยาคะตะไลติก เมื่ออุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์มีค่าเท่ากับ 450 °ซ ความเร็วเชิงสเปซ มีค่าเท่ากับ 0.3307,0.7350,1.5863 และ 2.1372 ชม$^{-1}$ 108

4.11 แสดงผลการกระจายของผลิภัณฑ์แก๊สของปฏิกิริยาคะตะไลติก-เครกกิง เมื่ออุณหภูมิเครื่องปฏิกรณ์มีค่าคงที่เท่ากับ 450 °ซ ความเร็ว เชิงสเปซมีค่าต่างๆ เท่ากับ 0.3307,0.7350,1.5863 และ 2.1372 ชม$^{-1}$ 109

4.12 แสดงผลของอัตราเฉลี่ยของการเกิดผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ(แก๊สโซลีน) ต่อน้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยาของปฏิกิริยาคะตะไลติกเครกกิง เมื่ออุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์มีค่าคงที่เท่ากับ 450 °ซ ความเร็วเชิง สเปซมีค่าคงที่เท่ากับ 0.3307,0.7350,1.5863 และ 2.1372 ชม$^{-1}$ 110

รายการตารางประกอบ (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

4.13 แสดงเงื่อนไขและผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาคะตะไลติกเครกกิง ของน้ำมันปาล์ม โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลต์ ที่อุณหภูมิ 350 °ซ ความเร็วเชิงสเปซ 0.7350 ชม$^{-1}$ 116

4.14 แสดงเงื่อนไขและผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาคะตะไลติกเครกกิง ของน้ำมันปาล์ม โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลต์ ที่อุณหภูมิ 400 °ซ ความเร็วเชิงสเปซ 0.6985 ชม$^{-1}$ 117

4.15 แสดงเงื่อนไขและผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาคะตะไลติกเครกกิง ของน้ำมันปาล์ม โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลต์ ที่อุณหภูมิ 450 °ซ ความเร็วเชิงสเปซ 0.7350 ชม$^{-1}$ 118

4.16 แสดงเงื่อนไขและผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาคะตะไลติกเครกกิง ของน้ำมันปาล์ม โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลต์ ที่อุณหภูมิ 500 °ซ ความเร็วเชิงสเปซ 0.7039 ชม$^{-1}$ 119

4.17 แสดงเงื่อนไขและผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาคะตะไลติกเครกกิง ของน้ำมันปาล์ม โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลต์ ที่อุณหภูมิ 450 °ซ ความเร็วเชิงสเปซ 0.3307 ชม$^{-1}$ 120

4.18 แสดงเงื่อนไขและผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาคะตะไลติกเครกกิง ของน้ำมันปาล์ม โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลต์ ที่อุณหภูมิ 450 °ซ ความเร็วเชิงสเปซ 1.5863 ชม$^{-1}$ 121

4.19 แสดงเงื่อนไขและผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาคะตะไลติกเครกกิง ของน้ำมันปาล์ม โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลต์ ที่อุณหภูมิ 450 °ซ ความเร็วเชิงสเปซ 2.1372 ชม$^{-1}$ 122

5.1 แสดงผลของอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ที่มีผลต่อผลิตภัณฑ์ในส่วนของเหลวโดยเปรียบเทียบผลการทดลองของ โจ ริบามาร์ และคณะ(33)กับผลการทดลองในงานวิทยานิพนธ์..... 126

รายการรูปประกอบ

รูปที่		หน้า
2.1	แสดงส่วนประกอบของผลปาล์ม.....	7
2.2	แสดงสูตรทั่วไปของโมเลกุลน้ำมันพืช.....	7
2.3	แสดงกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มและน้ำมันเมล็ดปาล์ม.....	13
2.4	แสดงรายละเอียดของโรงงานผลิตน้ำมันปาล์มและน้ำมันเมล็ดปาล์ม.....	13
3.1	แผนผังการสกัดไฮโดรคาร์บอนจากพืช ยูโฟร์เบียลาไทริส.....	26
3.2	แผนผังกระบวนการเอสเตอริฟิเคชัน.....	27
3.3	แผนผังโรงงานทดลองผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงจากน้ำมันพืช โดยใช้ปฏิกิริยาเทอร์มัลเครกกิงในระยะแรกของประเทศจีน.....	51
3.4	แผนผังโรงงานผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงจากน้ำมันพืช โดยใช้ปฏิกิริยาเทอร์มัลเครกกิงภายใต้ความดันเครื่องปฏิกรณ์แบบแบ็ชในประเทศจีน.....	52
3.5	แผนผังการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิง โดยใช้กระบวนการเครกกิง-เกลือของกรดไขมันของน้ำมันพืช.....	53
3.6	แผนผังการผลิตแก๊สโซลีนในระดับอุตสาหกรรม โดยใช้กระบวน-การเครกกิงเกลือของกรดไขมันของน้ำมันพืช.....	55
3.7	เงื่อนไข และผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเครกกิง ก) เมธานอล ข) ยางพารา ค) ไดเพนทีน ง) น้ำมันข้าวโพด จ) น้ำมันละหุ่ง และ ฉ) น้ำมันโฮโฮบา โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ZSM-5.....	58
3.8	การจัดตัวของโมเลกุลของน้ำมันพืช ก) แบบธรรมดา ข) แบบฝังตัวในโพรงโครงสร้างตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลต์.....	59
3.9	ผลการวิเคราะห์ใช้เครื่องอินฟาเรดสเปกโทรสโกปี ของ ก) น้ำมันถั่วเหลืองดิบ ข) ผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาเครกกิง โดยใช้ความร้อน ที่อุณหภูมิ 400 °ซ. ค) ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ทางเคมีของปฏิกิริยาเครกกิง โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา อะลูมินาแบบทรงกลมที่อุณหภูมิ 400 °ซ.....	61
3.10	ผลของค่าไอโอดีน ที่มีต่อการกระจายผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาเครกกิง โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา อะลูมินาแบบทรงกลมที่อุณหภูมิ 400 °ซ.....	62

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.11	ลักษณะโครมาโทแกรม ของผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาเครกกิง โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา อะลูมินาแบบทรงกลมที่ 400 °ซ. ของ ก) น้ำมันถั่วเหลืองมีค่าไอโอดีน 10 ข) น้ำมันถั่วเหลืองมีค่าไอโอดีน 60 ค) ตัวอย่างน้ำมันดีเซล.....	64
3.12	เครื่องมือทดลองของปฏิกิริยาเทอร์มัลเครกกิงน้ำมันพืช.....	66
3.13	เครื่องมือทดลองของปฏิกิริยาคะตะไลติกเครกกิง น้ำมันพืชโดยใช้เครื่องปฏิกรณ์เคมี แบบฟลูอิไดซ์เบด.....	68
3.14	เครื่องมือทดลองของปฏิกิริยาไฮโดรเครกกิง น้ำมันพืชภายใต้-ไฮโดรเจนความดันสูง โดยใช้เครื่องปฏิกรณ์เคมีแบบเบดนิ่ง.....	68
3.15	เครื่องมือทดลองของปฏิกิริยาคะตะไลติกเครกกิง น้ำมันพืช โดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบไรเซอร์.....	70
3.16	เครื่องมือทดลองของปฏิกิริยาไฮโดรเครกกิงน้ำมันพืชภายใต้-ไฮโดรเจนความดันสูง โดยใช้เครื่องปฏิกรณ์เคมีแบบเบดนิ่งขนาดใหญ่.....	70
3.17	ลักษณะแก๊สโครมาโทแกรมของผลิตภัณฑ์แก๊สโซลีนจากปฏิกิริยา-ไฮโดรเครกกิงน้ำมันมะพร้าว โดยใช้เครื่องปฏิกรณ์เคมี แบบเบดนิ่งขนาดใหญ่.....	71
3.18	ลักษณะแก๊สโครมาโทแกรมของผลิตภัณฑ์แก๊สโซลีนจากปฏิกิริยาคะตะ-ไลติกเครกกิงน้ำมันมะพร้าว โดยใช้เครื่องปฏิกรณ์เคมีแบบไรเซอร์.....	73
3.19	ลักษณะแก๊สโครมาโทแกรมของผลิตภัณฑ์แก๊สโซลีนจากปฏิกิริยาคะตะ-ไลติกเครกกิงน้ำมันเมล็ดสบู่ดำ โดยใช้เครื่องปฏิกรณ์เคมีแบบไรเซอร์.....	76
3.20	ลักษณะแก๊สโครมาโทแกรมของผลิตภัณฑ์แก๊สโซลีน จากปฏิกิริยา-คะตะไลติกเครกกิงน้ำมันยูคาลิปตัส ภายใต้ไนโตรเจนความดันสูง โดยใช้เครื่องปฏิกรณ์เคมีเบดนิ่งขนาดใหญ่.....	80
3.21	กราฟการกลั่นของแก๊สโซลีนจากปฏิกิริยาคะตะไลติกเครกกิง ของน้ำมันมะพร้าว น้ำมันเมล็ดสบู่ดำ, น้ำมันยูคาลิปตัส และน้ำมันปิโตรเลียม.....	87
4.1	แสดงแผนผังของเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง.....	89

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.2	แสดงส่วนประกอบของหม้อต้มน้ำมันปาล์ม.....	91
4.3	แสดงเครื่องปฏิกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	91
4.4	แสดงเครื่องมือเก็บผลิตภัณฑ์ของเหลว.....	93
4.5	แสดงเครื่องมือเก็บผลิตภัณฑ์แก๊ส.....	93
4.6	แสดงเครื่องวัดอัตราไหลแบบฟองแก๊ส.....	97
4.7	แสดงเครื่องมือวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ของเหลว.....	97
4.8	แสดงเครื่องมือวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์แก๊ส แบบ TCD.....	98
4.9	แสดงเครื่องมือวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์แก๊ส แบบ FID.....	98
4.10	แสดงผลของอัตราการป้อนน้ำมันปาล์มเข้าสู่เครื่องปฏิกรณ์ที่-ความเร็วเชิงสเปซมีค่าคงที่ อุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์มีค่า-เท่ากับ 350,400,450 และ500 °ซ.....	111
4.11	แสดงผลของเปอร์เซนต์การเปลี่ยนรวมของปฏิกิริยาคะตะไลติก-เครกกิงเมื่อความเร็วเชิงสเปซมีค่าคงที่ อุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์มีค่าเท่ากับ 350,400,450 และ500 °ซ.....	111
4.12	แสดงผลการกระจายของผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยาคะตะไลติกเครกกิงเมื่อความเร็วเชิงสเปซมีค่าคงที่ อุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์มีค่า-เท่ากับ 350,400,450 และ 500 °ซ.....	112
4.13	แสดงผลของอัตราเฉลี่ยของการเกิดผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ(แก๊สโซลีน)ต่อน้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยาของปฏิกิริยาคะตะไลติกเครกกิง เมื่อความเร็วเชิงสเปซมีค่าคงที่ อุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์มีค่าเท่ากับ 350,400,450 และ500 °ซ.....	113
4.14	แสดงผลของเปอร์เซนต์การเปลี่ยนรวมของปฏิกิริยาคะตะไลติก-เครกกิงเมื่ออุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์มีค่าคงที่เท่ากับ 450 °ซ ความเร็วเชิงสเปซมีค่าเท่ากับ 0.3307,0.7350,1.5863 และ 2.1372 ชม$^{-1}$.....	113

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.15 แสดงผลการกระจายของผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยาคะตะไลติก-เครกกิงเมื่ออุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์มีค่าคงที่เท่ากับ 450 °ซ ความเร็วเชิงสเปซมีค่าเท่ากับ 0.3307, 0.7350, 1.5863 และ 2.1372 ชม$^{-1}$ 114

4.16 แสดงผลของอัตราเฉลี่ยของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ(แก๊สโซลีน) ต่อน้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยาของปฏิกิริยาคะตะไลติกเครกกิง เมื่ออุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์มีค่าคงที่เท่ากับ 450 °ซ ความเร็วเชิงสเปซมีค่าเท่ากับ 0.3307, 0.7350, 1.5863 และ 2.1372 ชม$^{-1}$ 115

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย