การแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของพอลิพรอพิลีน พอลิสไตรีน และน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วด้วยเหล็กบนถ่านกัมมันต์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง

นางสาวศิลป์ดารา ทัศนปริชญานนท์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเคมีเทคนิค ภาควิชาเคมีเทคนิค
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2549

ISBN : 974-14-2594-5

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CATALYTIC CRACKING OF POLYPROPYLENE, POLYSTYRENE AND USED LUBRICATING OIL WITH Fe/ACTIVATED CARBON IN A CONTINUOUS REACTOR

Ms. Sindara Thassanaprichayanont

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science Program in Chemical Technology

Department of Chemical Technology

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2006

ISBN : 974-14-2594-5

Copyright of Chulalongkorn University

490032

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของพอลิพรอพิลีน พอลิสไตรีน และน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วด้วยเหล็กบนถ่านกัมมันต์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง
โดย	นางสาวศิลป์ดารา ทัศนปริชญานนท์
สาขาวิชา	เคมีเทคนิค
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร. ธราพงษ์ วิทิตศานต์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร.เปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(ศาสตราจารย์ ดร.ภัทรพรรณ ประศาสน์สารกิจ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ ดร.ธราพงษ์ วิทิตศานต์)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุชญา นิติวัฒนานนท์)

..... กรรมการ

(อาจารย์ ดร.ชวลิต งามจรัสศรีวิชัย)

นางสาวศิลป์ดารา ทัศนปริชญานนท์ : การแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของพอลิพรอพิลีน พอลิสไตรีน และน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วด้วยเหล็กบนถ่านกัมมันต์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง (CATALYTIC CRACKING OF POLYPROPYLENE, POLYSTYRENE AND USED LUBRICATING OIL WITH Fe/ACTIVATED CARBON IN A CONTINUOUS REACTOR)
อ.ที่ปรึกษา: รศ. ดร.ธราพงษ์ วิทิตศานต์, 127 หน้า. ISBN 974-14-2594-5.

งานวิจัยนี้ศึกษาการแตกตัวพอลิพรอพิลีน พอลิสไตรีน และน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว ด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบท่ออย่างต่อเนื่องขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.0045 เมตร ยาว 12 เมตร โดยกระบวนการแตกตัวจะทำการศึกษาที่อุณหภูมิ 390 - 450 องศาเซลเซียส อัตราการไหลเข้าของสารตั้งต้น 0.32 – 1.23 กรัมต่อนาที อัตราส่วนของพลาสติกผสมพอลิพรอพิลีนต่อพอลิสไตรีนที่ใช้คือ 70:30 โดยน้ำหนัก จำนวนร้อยละ 1 – 10 โดยน้ำหนักของสารตั้งต้น อัตราการไหลเข้าของแก๊สไฮโดรเจน 5 – 10 มิลลิลิตรต่อนาที และปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์ร้อยละ 0.10 - 1.00 โดยน้ำหนัก แล้วนำผลิตภัณฑ์ที่ได้มาทดสอบปริมาณของน้ำมันชนิดเบาที่เกิดขึ้นด้วย Simulated Distillation Gas Chromatography (DGC) เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์น้ำมันและองค์ประกอบที่ดีที่สุด

จากผลการทดลองพบว่าภาวะที่เหมาะสมของการแตกตัวพอลิพรอพิลีน พอลิสไตรีน และน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว ด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบท่ออย่างต่อเนื่องคือ อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส อัตราการไหลเข้าของสารตั้งต้น 2.01 กรัมต่อนาที ปริมาณพลาสติกผสมพอลิพรอพิลีนต่อพอลิสไตรีน 70:30 โดยน้ำหนัก จำนวนร้อยละ 10 โดยน้ำหนักของสารตั้งต้น อัตราการไหลเข้าของแก๊สไฮโดรเจน 5 มิลลิลิตรต่อนาที และปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กร้อยละ 5 บนถ่านกัมมันต์ร้อยละ 0.75 โดยน้ำหนัก ซึ่งในภาวะการทดลองนี้จะได้ผลิตภัณฑ์น้ำมันที่เกิดการแตกตัวร้อยละ 39.26 ผลิตภัณฑ์ของแข็งและแก๊สร้อยละ 37.28 เมื่อนำผลิตภัณฑ์น้ำมันมาวิเคราะห์หาการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์ พบว่ามีปริมาณแนฟทาร้อยละ 20.51 เคโรซีนร้อยละ 4.20 แก๊สออยล์เบาร้อยละ 11.60 แก๊สออยล์ร้อยละ 2.95 และกากน้ำมันหนักร้อย-ละ 23.46 โดยน้ำหนัก

ภาควิชา เคมีเทคนิค ลายมือชื่อนิสิต ศิลป์ดารา ทัศนปริชญานนท์
สาขาวิชา เคมีเทคนิค ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....
ปีการศึกษา 2549 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

4772502323: MAJOR CHEMICAL TECHNOLOGY

KEY WORD: CATALYTIC CRACKING / POLYPROPYLENE / POLYSTYRENE / LUBRICATING OIL

SINDARA THASSANAPRICHAYANONT: CATALYTIC CRACKING OF POLYPROPYLENE, POLYSTYRENE AND USED LUBRICATING OIL WITH Fe/ACTIVATED CARBON IN A CONTINUOUS REACTOR. THESIS ADVISOR: ASSOC. PROF.THARAPONG VITIDSANT, Ph.D.127 pp. ISBN XXX-XX-XXXX-X.

This research work is to study the catalytic cracking of polypropylene, polystyrene and used lubricating oil with Fe/Activated carbon in a tubular continuous reactor 0.0045 meters inside diameter and 12 meters long. The experiment was carried out under various conditions by the following variables: reaction temperature ranging from 390 to 450 degree of Celsius, feed rate from 0.32 to 1.23 g/min, amount of PP : PS ratio 70:30 from 1.00% to 10.00% by weight , flow rate of hydrogen gas between 5 and 10 ml/min, amount of Fe loading on activated carbon as a catalyst ranging from 0.10% to 1.00% by weight. To determine the optimum conditions, the product oil was analyzed by Simulated Distillation Gas Chromatography (DGC).

The optimum conditions of catalytic cracking of polypropylene, polystyrene and used lubricating oil with Fe/activated carbon were reaction temperature of 430 degree of Celsius, feed rate at 2.01 g/min, 10.00% by weight of plastic mixture mixed in 70 : 30 ratio of PP : PS, 0.75% by weight of 5% Fe loading on activated carbon and flow rate of hydrogen gas at 5 ml/min. The cracked products consisted of 39.26% conversion and 37.28 % yield of solid and gas. The product distribution of oil was naphtha, kerosene, light gas oil, gas oil and long residue (20.51, 4.20, 11.60, 2.95, 23.46 percentage by weight, respectively).

Department : Chemical Technology Student's Signature : Sindara Thassanaprichayanont

Field of Study : Chemical Technology Advisor's Signature : T. Vitidsant

Academic Year : 2006

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.ธราพงษ์ วิทิตศานต์ ที่กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำและช่วยเหลือให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี รวมทั้งคณาจารย์ทุกท่านในภาควิชาเคมีเทคนิคที่ได้ให้คำแนะนำตลอดมา

ขอกราบขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร.ภัทรพรรณ ประศาสน์สารกิจ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุชญา นิติวัฒนานนท์ และ อาจารย์ ดร.ชวลิต งามจรัส-ศรีวิชัย กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้ความเห็น คำแนะนำ ในการจัดทำวิทยานิพนธ์ให้มีความสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณบุคลากรในภาควิชาเคมีเทคนิคทุกท่านที่ได้อำนวยความสะดวกในการใช้ห้องปฏิบัติการ รวมถึงอุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับการทำงานวิจัย พร้อมทั้งกรุณาช่วยเหลือ ให้คำแนะนำและให้กำลังใจ

ขอขอบพระคุณบุคลากรในภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์-มหาวิทยาลัยที่อำนวยความสะดวกในการใช้ห้องปฏิบัติการ พร้อมให้คำแนะนำในการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ

ขอขอบพระคุณศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งจุฬาลงกรณ์-มหาวิทยาลัยที่อำนวยความสะดวกในการวิเคราะห์สารตัวอย่าง

ขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆ ในภาควิชาเคมีเทคนิคที่ได้ให้การช่วยเหลือ ให้คำเสนอแนะและเป็นกำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จลุล่วง

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา รวมถึงผู้มีพระคุณทุกท่านที่อยู่เบื้องหลังที่ได้ให้กำลังใจ ให้คำแนะนำ ความช่วยเหลือ และให้การสนับสนุนเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย .....ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....จ

กิตติกรรมประกาศ .....ฉ

สารบัญ .....ช

สารบัญตาราง .....ญ

สารบัญภาพ .....ฏ

บทที่

1. บทนำ 1

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4

2.1 น้ำมันปิโตรเลียม 4

2.2 น้ำมันหล่อลื่น 5

2.2.1 น้ำมันแร่ 6

2.2.2 น้ำมันหล่อลื่นสังเคราะห์ 7

2.2.3 สมบัติของน้ำมันหล่อลื่น 9

2.2.4 หน้าที่ของน้ำมันหล่อลื่น 13

2.2.5 การเสื่อมสภาพของน้ำมันหล่อลื่น 14

2.2.6 การวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว 15

2.3 โพลีเมอร์ 19

2.4 พลาสติก 20

2.4.1 สมบัติของพลาสติก 21

2.4.2 พอลิพรอพิลีน 21

2.4.2.1 สมบัติทางเคมีของพอลิพรอพิลีน 23

2.4.2.2 ประเภทของพอลิพรอพิลีน 23

2.4.2.3 การใช้ประโยชน์ของพอลิพรอพิลีน 25

2.4.3 พอลิสไตรีน 25

2.4.3.1 ประเภทของพอลิสไตรีน 26

2.4.3.2 ประโยชน์ของพอลิสไตรีน 26

2.5 ตัวเร่งปฏิกิริยา 27

2.5.1 สมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยา 27

บทที่ หน้า

2.5.2 ปฏิกิริยาที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา....28
2.5.3 การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา....28
2.5.4 กรรมวิธีหลังการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา....30
2.6 ตัวรองรับ....31
2.6.1 หน้าที่ของตัวรองรับ (Support)....31
2.6.2 การเลือกตัวรองรับ....31
2.7 ถ่านกัมมันต์....32
2.7.1 ความหมายของสารกัมมันต์....32
2.7.2 วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตสารกัมมันต์....32
2.7.3 การเตรียมถ่านกัมมันต์....32
2.7.4 โครงสร้างรูพรุนของถ่านกัมมันต์....35
2.7.5 โครงสร้างทางเคมีของผิวถ่านกัมมันต์....37
2.8 การแตกตัวด้วยความร้อน (Thermal cracking)....41
2.9 การแตกตัวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalytic cracking)....42
2.10 การแตกตัวโดยใช้ไฮโดรเจนร่วม (Hydrocracking)....45
2.11 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง....46
3. เครื่องมือและอุปกรณ์....54
3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์....54
3.2 สารตั้งต้นและสารเคมี....59
3.3 การดำเนินการวิจัย....59
3.4 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย....60
4. ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง....63
4.1 การวิเคราะห์สมบัติของสารตั้งต้น....63
4.1.1 องค์ประกอบของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว....63
4.1.2 สมบัติทางกายภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์....64
4.2 อิทธิพลของปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงไปเป็นผลิตภัณฑ์น้ำมัน....65
4.2.1 การศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผลต่อการศึกษาหาแตกตัวของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว....65
4.2.2 การการศึกษาหาอิทธิพลของอัตราการไหลที่มีผลต่อการแตกตัวของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว....73

บทที่ หน้า

4.2.3 การเปรียบเทียบอิทธิพลของอุณหภูมิและอัตราการไหลที่มีผลต่อการแตกตัวของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว 83
4.2.4 อิทธิพลของปริมาณแก๊สไฮโดรเจนต่อการเปลี่ยนแปลงเป็นผลิตภัณฑ์น้ำมัน 87
4.2.5 อิทธิพลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาต่อการเปลี่ยนแปลงเป็นผลิตภัณฑ์น้ำมัน 90
4.2.6 อิทธิพลของปริมาณพลาสติกผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและพอลิสไตรีนกับน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วต่อการเปลี่ยนแปลงเป็นผลิตภัณฑ์น้ำมัน.....94
4.4 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้จากการทดลอง.....98
4.5 เปรียบเทียบงานวิจัยที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน.....101
5 สรุปผลการทดลอง.....103
5.1 สรุปผลการทดลอง.....103
5.1.1 การแตกตัวด้วยความร้อนของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว.....103
5.1.2 การแตกตัวด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กร้อยละ 5 บนถ่านกัมมันต์.....104
5.1.3 การแตกตัวของพอลิพรอพิลีน พอลิสไตรีนและน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์.....105
5.2 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยต่อไป.....105
รายการอ้างอิง.....106
ภาคผนวก.....110
ภาคผนวก ก. ข้อมูลการทดลอง.....111
ภาคผนวก ข. ตัวอย่างการคำนวณ.....118
ภาคผนวก ค. การวิเคราะห์การกระจายตัวขององค์ประกอบผลิตภัณฑ์น้ำมันตามคาบจุดเดือด 121
ภาคผนวก ง. การวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ของเหลวด้วย FT – IR.....125
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....127

สารบัญตาราง

ตาราง หน้า

2.1 สมบัติของพอลิพรอพิลีน 22

2.2 สมบัติของพอลิสไตรีน....26

4.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว....63

4.2 ผลการวิเคราะห์พื้นที่ผิวรูพรุนของตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์....64

4.3 ปริมาณโลหะในตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กร้อยละ 5 บนถ่านกัมมันต์....64

4.4 เปรียบเทียบงานวิจัยที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน....102

ก1 แสดงอิทธิพลของอุณหภูมิต่อปฏิกิริยาการแตกตัวของน้ำมันหล่อลื่นที่อัตราการไหล 0.32 กรัมต่อนาที....111

ก2 แสดงอิทธิพลของอุณหภูมิต่อปฏิกิริยาการแตกตัวของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่อัตราการไหล 0.60 กรัมต่อนาที....112

ก3 แสดงอิทธิพลของอุณหภูมิต่อปฏิกิริยาการแตกตัวของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่อัตราการไหล 1.23 กรัมต่อนาที....112

ก4 แสดงอิทธิพลของอัตราการไหลขาเข้าของสารตั้งต้นต่อปฏิกิริยาการแตกตัวของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว ที่อุณหภูมิ 390 องศาเซลเซียส....113

ก5 แสดงอิทธิพลของอัตราการไหลขาเข้าของสารตั้งต้นต่อปฏิกิริยาการแตกตัวของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว ที่อุณหภูมิ 410 องศาเซลเซียส....113

ก6 แสดงอิทธิพลของอัตราการไหลขาเข้าของสารตั้งต้นต่อปฏิกิริยาการแตกตัวของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว ที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส....114

ก7 แสดงอิทธิพลของอัตราการไหลขาเข้าของสารตั้งต้นต่อปฏิกิริยาการแตกตัวของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส....114

ก8 แสดงอิทธิพลของปริมาณแก๊สไฮโดรเจนต่อปฏิกิริยาการแตกตัวของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว ที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส อัตราการไหลขาเข้าของสารตั้งต้น 2.05 กรัมต่อนาที...115

ก9 แสดงอิทธิพลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาต่อปฏิกิริยาการแตกตัวของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว ที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส อัตราการไหลขาเข้าของสารตั้งต้น 2.05 กรัมต่อนาที ปริมาณแก๊สไฮโดรเจน 5 มิลลิลิตรต่อนาที....116

ก10 แสดงอิทธิพลของปริมาณพลาสติกผสมต่อปฏิกิริยาการแตกตัวของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว ที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส อัตราการไหลขาเข้าของสารตั้งต้น 2.01 กรัมต่อนาที ปริมาณแก๊สไฮโดรเจน 5 มิลลิลิตรต่อนาที ตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 0.75 โดยน้ำหนัก....117

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ		หน้า
2.1	ตัวอย่างสารไฮโดรคาร์บอนประเภทพาราฟิน	4
2.2	ตัวอย่างสารไฮโดรคาร์บอนประเภทแนพทีน	5
2.3	ตัวอย่างสารไฮโดรคาร์บอนประเภทแอโรแมติก	5
2.4	การกลั่นน้ำมันดิบ	6
2.5	ขบวนการผลิตน้ำมันหล่อลื่น	7
2.6	หลักการของความหนืด	10
2.7	ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดและอุณหภูมิของน้ำมันหล่อลื่นบางชนิด	11
2.8	แสดงการเปรียบเทียบระหว่างน้ำมันหล่อลื่นที่ดี และน้ำมันหล่อลื่นที่ไม่ดี	13
2.9	พอลิเมอร์แบบเส้น	20
2.10	พอลิเมอร์แบบกิ่ง	20
2.11	พอลิเมอร์แบบร่างแห	20
2.12	โครงสร้างทางเคมีของพอลิพรอพิลีน	22
2.13	ไอโซแทกติก คอนฟิกูเรชัน (Isotactic Configuration)	23
2.14	อะแทกติก คอนฟิกูเรชัน (Atactic Configuration)	24
2.15	ซินดิโอแทกติก คอนฟิกูเรชัน (Syndiotactic Configuration)	24
2.16	ลักษณะโครงสร้างของพอลิสไตรีน	25
2.17	การใช้งานของพอลิสไตรลีน	27
2.18	การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างในการคาร์บอไนซ์	33
2.19	การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจากกระตุ้นทางเคมีด้วยซิงค์คลอไรด์	34
2.20	การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจากกระตุ้นทางกายภาพ	35
2.21	การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจากกระตุ้นทางกายภาพโดยมีการกำจัดโมเลกุลแปลกปลอม	35
2.22	เปรียบเทียบขนาดและการวางตัวของรูพรุนขนาดต่าง ๆ	36
2.23	การดูดซับสารเคมีที่รูพรุนของถ่านกัมมันต์	37
2.24	โครงสร้างของถ่านกัมมันต์	38
2.25	การเคลื่อนที่ของไพอิเล็กตรอนในโครงสร้างของถ่านและถ่านกัมมันต์	38
2.26	ตัวอย่างหมู่ฟังก์ชันนัลที่เป็นกรดบนผิวถ่านกัมมันต์	39
2.27	ตัวอย่างปฏิกิริยาของถ่านกัมมันต์ที่ผิวเป็นกรด	40
2.28	ตัวอย่างการดูดซับโมเลกุลกรดด้วยถ่านกัมมันต์ที่มีผิวเป็นเบส	40

ภาพประกอบ หน้า

2.29 การเกิดผลิตภัณฑ์เป็นสารประกอบแอโรแมติก 44
3.1 เตาเผาอุณหภูมิสูง และตัวควบคุมอุณหภูมิ 54
3.2 เครื่องปฏิกรณ์แบบท่อ เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.0045 เมตร ยาว 12 เมตร 55
3.3 ชุดลดอุณหภูมิสารผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการทดลอง 55
3.4 ปั๊มเพอริสแตติก 56
3.5 ชุดควบคุมปริมาณการไหล 56
3.6 ชุดเลือกบอกอุณหภูมิแบบดิจิตอล 57
3.7 เครื่องบดย่อย 57
3.8 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีแบบจำลองการกลั่น 58
3.9 เครื่อง FT-IR (Fourier Transform Infrared Spectrophotometer) 58
3.10 เครื่องหาพื้นที่ผิวรูพรุนทั้งหมด 59
3.11 ชุดทดลองประกอบด้วย (1)เครื่องชั่งน้ำหนัก ทศนิยม 2 ตำแหน่ง (2)บีกเกอร์สารตัวอย่าง (3)ปั๊มเพอริสแตติก (4)อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิแบบดิจิตอล (5)ท่อปฏิกรณ์ (6)เตาเผา (7)ชุดลดอุณหภูมิ และ(8)ชุดควบคุมอัตราการไหลของแก๊ส 62
4.1 อิทธิพลของอุณหภูมิที่มีต่อร้อยละผลได้ของ 1)น้ำมันที่เกิดปฏิกิริยา 2)กากน้ำมัน และ 3) ของแข็งและแก๊สที่เกิดขึ้นที่ 390, 410, 430 และ 450 องศาเซลเซียส อัตราการไหลเข้าของสารตั้งต้น 0.32 กรัมต่อนาที..... 66
4.2 องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์น้ำมันของการแตกตัวน้ำมันหล่อลื่นที่อุณหภูมิ 390, 410, 430 และ450 องศาเซลเซียส ที่อัตราการไหลเข้าของสารตั้งต้น 0.32 กรัมต่อนาที..... 67
4.3 อิทธิพลของอุณหภูมิที่มีต่อร้อยละผลได้ของ 1)น้ำมันที่เกิดปฏิกิริยา 2)กากน้ำมัน และ 3) ของแข็งและแก๊สที่เกิดขึ้นที่ 390, 410, 430 และ 450 องศาเซลเซียส อัตราการไหลเข้าของสารตั้งต้น 0.60 กรัมต่อนาที..... 68
4.4 องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์น้ำมันจากการแตกตัวน้ำมันหล่อลื่น ที่อุณหภูมิ 390, 410, 430 และ 450 องศาเซลเซียส ที่อัตราการไหลเข้าของสารตั้งต้น 0.60 กรัมต่อนาที..... 69
4.5 อิทธิพลของอุณหภูมิที่มีต่อร้อยละผลได้ของ 1)น้ำมันที่เกิดปฏิกิริยา 2)กากน้ำมัน และ 3) ของแข็งและแก๊สที่เกิดขึ้นที่ 390, 410, 430 และ 450 องศาเซลเซียส อัตราการไหลเข้าของสารตั้งต้น 1.23 กรัมต่อนาที..... 70
4.6 องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์น้ำมันจากการแตกตัวน้ำมันหล่อลื่น ที่อุณหภูมิ 390, 410, 430 และ 450 องศาเซลเซียส ที่อัตราการไหลเข้าของสารตั้งต้น 1.23 กรัมต่อนาที..... 71

4.7 ผลของอัตราการผลิตน้ำมันชนิดเบาต่อหนึ่งหน่วยเวลาที่ได้จากการแตกตัวน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่อุณหภูมิ 390, 410, 430 และ 450 องศาเซลเซียส ที่อัตราการไหลเข้าของสารตั้งต้นเป็น 0.32, 0.60 และ 1.23 กรัมต่อนาที 72

4.8 อิทธิพลของอัตราการไหลเข้าของสารตั้งต้นที่มีต่อร้อยละผลได้ของ 1)น้ำมันที่เกิดปฏิกิริยา 2)กากน้ำมัน และ 3)ของแข็งและแก๊สที่เกิดขึ้นที่ 0.32, 0.60 และ 1.23 กรัมต่อนาที ที่อุณหภูมิ 390 องศาเซลเซียส 74

4.9 องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์น้ำมันจากการแตกตัวน้ำมันหล่อลื่นที่อัตราการไหลเข้าของสารตั้งต้น เป็น 0.32, 0.60 และ1.23 กรัมต่อนาที ที่อุณหภูมิ 390 องศาเซลเซียส 75

4.10 อิทธิพลของอัตราการไหลเข้าของสารตั้งต้นที่มีต่อร้อยละผลได้ของ 1)น้ำมันที่เกิดปฏิกิริยา 2)กากน้ำมัน และ 3)ของแข็งและแก๊สที่เกิดขึ้นที่ 0.32, 0.60 และ 1.23 กรัมต่อนาที ที่อุณหภูมิ 410 องศาเซลเซียส 76

4.11 องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์น้ำมันจากการแตกตัวน้ำมันหล่อลื่นที่อัตราการไหลเข้าของสารตั้งต้น เป็น 0.32, 0.60 และ1.23 กรัมต่อนาที ที่อุณหภูมิ 410 องศาเซลเซียส.....77

4.12 อิทธิพลของอัตราการไหลเข้าของสารตั้งต้นที่มีต่อร้อยละผลได้ของ 1)น้ำมันที่เกิดปฏิกิริยา 2)กากน้ำมัน และ 3)ของแข็งและแก๊สที่เกิดขึ้นที่ 0.32, 0.60 และ 1.23 กรัมต่อนาที ที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส 78

4.13 องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์น้ำมันจากการแตกตัวน้ำมันหล่อลื่นที่อัตราการไหลเข้าของสารตั้งต้น เป็น 0.32, 0.60 และ1.23 กรัมต่อนาที ที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส.....79

4.14 อิทธิพลของอัตราการไหลเข้าของสารตั้งต้นที่มีต่อร้อยละผลได้ของ 1)น้ำมันที่เกิดปฏิกิริยา 2)กากน้ำมัน และ 3)ของแข็งและแก๊สที่เกิดขึ้นที่ 0.32, 0.60 และ 1.23 กรัมต่อนาที ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส 80

4.15 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์น้ำมันของการแตกตัวน้ำมันหล่อลื่นที่อัตราการไหลเข้าของสารตั้งต้นเป็น 0.32, 0.60 และ1.23 กรัมต่อนาที ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส 81

4.16 อัตราการผลิตน้ำมันชนิดเบาต่อหนึ่งหน่วยเวลา ที่ได้จากการแตกตัวน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่อุณหภูมิ 390, 410, 430 และ 450 องศาเซลเซียส ที่อัตราการไหลเข้าของสารตั้งต้นต่างๆกันเป็น 0.32, 0.60 และ 1.23 กรัมต่อนาที 82

4.17 ร้อยละผลได้น้ำมันที่เกิดปฏิกิริยา จากอิทธิพลของอุณหภูมิที่ 390, 410, 430 และ450 องศาเซลเซียส อัตราการไหลขาเข้าของสารตั้งต้น 0.32, 0.60 และ1.23 กรัมต่อนาที .. 84

4.18 ร้อยละผลได้ของแนฟทาจากการวิเคราะห์องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์น้ำมัน อุณหภูมิ 390, 410, 430 และ450 องศาเซลเซียส ที่อัตราการไหล 0.32, 0.60 และ1.23 กรัมต่อนาที 85

4.19 อัตราการผลิตแนฟทาต่อหนึ่งหน่วยเวลา จากการแตกตัวน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว อัตราการไหลเข้าของสารตั้งต้นเป็น 0.32, 0.60 และ1.23 กรัมต่อนาที ที่อุณหภูมิ 390, 410, 430 และ 450 องศาเซลเซียส 86

4.20 อิทธิพลของอัตราการไหลเข้าของแก๊สไฮโดรเจนที่มีต่อร้อยละผลได้ของ 1)น้ำมันที่เกิดปฏิกิริยา 2)กากน้ำมัน และ 3)ของแข็งและแก๊สที่เกิดขึ้นที่ 0, 5 และ 10 มิลลิลิตรต่อนาที อัตราการไหลเข้าของสารตั้งต้น 2.05 กรัมต่อนาที ที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส 87

4.21 องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์น้ำมัน จากการจากการศึกษาอิทธิพลของอัตราการไหลเข้าของแก๊สไฮโดรเจน 0, 5 และ 10 มิลลิลิตรต่อนาที อัตราการไหลเข้าของสารตั้งต้น 2.05 กรัมต่อนาที ที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส 88

4.22 อัตราการผลิตน้ำมันเบาที่ได้ต่อหนึ่งหน่วยเวลา จากการจากการศึกษาอิทธิพล ของอัตราการไหลเข้าของแก๊สไฮโดรเจน 0, 5 และ 10 มิลลิลิตรต่อนาที อัตราการไหลเข้าของสารตั้งต้น 2.05 กรัมต่อนาที ที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส..... 89

4.23 ร้อยละผลได้ของน้ำมันที่เกิดปฏิกิริยา จากอิทธิพลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 0.00, 0.10, 0.50, 0.75 และ 1.00 โดยน้ำหนัก อัตราการไหลเข้าของแก๊สไฮโดรเจน 5 มิลลิลิตรต่อนาที อัตราการไหลเข้าของสารตั้งต้น 2.05 กรัมต่อนาที ที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส 90

4.24 องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์น้ำมัน จากอิทธิพลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 0, 0.10, 0.50, 0.75 1.00 โดยน้ำหนัก อัตราการไหลเข้าแก๊สไฮโดรเจน 5 มิลลิลิตรต่อนาที อัตราการไหลเข้าของสารตั้งต้น 2.05 กรัมต่อนาที ที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส..... 91

4.25 อัตราการผลิตน้ำมันเบาที่ได้ต่อหนึ่งหน่วยเวลาจากการจากการศึกษาอิทธิพลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 0, 0.10, 0.50, 0.75 และ1.00 โดยน้ำหนัก อัตราการไหลเข้าแก๊สไฮโดรเจน 5 มิลลิลิตรต่อนาที อัตราการไหลเข้าของสารตั้งต้น 2.05 กรัมต่อนาที ที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส 92

4.26 อิทธิพลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีต่ออัตราส่วนระหว่างร้อยละของน้ำมันที่เกิดปฏิกิริยากับปริมาณกากน้ำมันที่เหลือ ร้อยละ 0.00, 0.10, 0.50, 0.75 และ 1.00 โดยน้ำหนัก อัตราการไหลเข้าของแก๊สไฮโดรเจน 5 มิลลิลิตรต่อนาที อัตราการไหลเข้าของสารตั้งต้น 2.05 กรัมต่อนาที ที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส 93

ภาพประกอบ หน้า

4.27 อิทธิพลของปริมาณพลาสติกผสมพอลิพรอพิลีนกับพอลิสไตรีน 70 : 30 ที่มีต่อร้อยละของน้ำมันที่เกิดปฏิกิริยาที่ร้อยละ 1.00, 2.50, 4.00 และ10.00 โดยน้ำหนัก ตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 0.75 โดยน้ำหนัก อัตราการไหลเข้าของแก๊สไฮโดรเจน 5 มิลลิลิตรต่อนาที อัตราการไหลเข้าของสารตั้งต้น 2.01 กรัมต่อนาที ที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส 95

4.28 องค์ประกอบผลิตภัณฑ์น้ำมัน จากอิทธิพลของปริมาณพลาสติกผสมพอลิพรอพิลีนกับพอลิสไตรีน 70 : 30 ร้อยละ 1.00, 2.50, 4.00 และ10.00 โดยน้ำหนัก ตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 0.75 โดยน้ำหนัก อัตราการไหลเข้าของแก๊สไฮโดรเจน 5 มิลลิลิตรต่อนาที อัตราการไหลเข้าของสารตั้งต้น 2.01 กรัมต่อนาที ที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส..... 96

4.29 อัตราการผลิตน้ำมันเบาที่ได้ต่อหนึ่งหน่วยเวลา จากอิทธิพลของปริมาณพลาสติกผสมพอลิพรอพิลีนกับพอลิสไตรีน 70 : 30 ร้อยละ 1.00, 2.50, 4.00 และ10.00 โดยน้ำหนัก ตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 0.75 โดยน้ำหนัก อัตราการไหลเข้าของแก๊สไฮโดรเจน 5 มิลลิลิตรต่อนาที อัตราการไหลเข้าของสารตั้งต้น 2.01 กรัมต่อนาที ที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส 97

4.30 อิทธิพลของปริมาณพลาสติกผสมพอลิพรอพิลีนกับพอลิสไตรีน 70 : 30 ที่มีต่ออัตราส่วนระหว่างร้อยละการเปลี่ยนแปลงจากกากน้ำมันไปเป็นน้ำมันเบาที่ได้กับปริมาณกากน้ำมันที่เหลือที่ร้อยละ 1.00, 2.50, 4.00 และ 10.00 โดยน้ำหนัก ตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 0.75 โดยน้ำหนัก อัตราการไหลเข้าของแก๊สไฮโดรเจน 5 มิลลิลิตรต่อนาที อัตราการไหลเข้าของสารตั้งต้น 2.01 กรัมต่อนาที ที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส..... 98

4.31 FT-IR spectrum จากผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้จากการแตกตัวของพอลิพรอพิลีน พอลิสไตรีน และน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส อัตราการไหลขาเข้าของสารตั้งต้น 2.01 กรัมต่อนาที อัตราการไหลขาเข้าของแก๊สไฮโดรเจน 5 มิลลิลิตรต่อนาที ตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กร้อยละ 5 โดยน้ำหนักบนถ่านกัมมันต์ร้อยละ 0.75 โดยน้ำหนัก ปริมาณของพลาสติกผสม พอลิพรอพิลีน และพอลิสไตรีนอัตราส่วน 70 : 30 ร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก..... 100

4.32 FT-IR spectrum จากผลิตภัณฑ์น้ำมันเบนซินออกเทน 95.....100

ค1 แสดงโครมาโทแกรมจากการแยกของผลิตภัณฑ์น้ำมันด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี..122

ค2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละผลิตภัณฑ์น้ำมัน(%off) กับจุดเดือดของสารจากโปรแกรม Simulated Distillation..... 122

ภาพประกอบ หน้า

ค3 ตัวอย่างกราฟแสดงผลการวิเคราะห์ค่าการกระจายตัวขององค์ประกอบผลิตภัณฑ์น้ำมันตามคาบจุดเดือดด้วยเครื่องมือ Simulated Distillation Gas Chromatography และการคำนวณปริมาณขององค์ประกอบต่าง ๆ 123

ง1 แถบการดูดกลืนของ Infrared Spectra ที่ความยาวคลื่นต่าง ๆ 126

ง2 ตัวอย่างแสดงค่าการดูดกลืนของแสงจากผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้จากการแตกตัวของ พอลิพรอพิลีน พอลิสไตรีนและน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว 126