การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลต์เพื่อใช้สังเคราะห์กาซโซลีน

นาย วุฒิพล ท้วมภูมิงาม

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิศวกรรมเคมี
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พ.ศ. ๒๕๒๙

ISBN 974-565-733-2

013281

i 1740955X

PREPARATION OF ZEOLITE CATALYST FOR GASOLINE SYNTHESIS

Mr. Vuthiphon Thuampoomngam

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Chemical Engineering

Graduate School

1986

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลต์เพื่อใช้สังเคราะห์กาซโซลีน

โดย นาย วุฒิพล ท้วมภูมิงาม

ภาควิชา วิศวกรรมเคมี

อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.ปิยะสาร ประเสริฐธรรม

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร.สรชัย พิศาลบุตร)

รักษาการในตำแหน่งรองคณบดีฝ่ายวิชาการ

ปฏิบัติราชการแทนรักษาการในตำแหน่งคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยฤทธิ์ สัตยาประเสริฐ)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ปิยะสาร ประเสริฐธรรม)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุวัฒนา พวงเพิกศึก)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลท์เพื่อใช้สังเคราะห์ก๊าซโซลีน
ชื่อนิสิต นาย วุฒิพล ห้วมภูมิงาม
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.ปิยะสาร ประเสริฐธรรม
ภาควิชา วิศวกรรมเคมี
ปีการศึกษา ๒๕๒๘

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ และก๊าซไฮโดรเจน เป็นก๊าซโซลีน ในเครื่องปฏิกรณ์เคมีแบบเบดนิ่ง โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็ก และตัวเร่งปฏิกิริยาผสมระหว่างเหล็กซีโอไลท์ (ZSM - 5) ซึ่งมีทั้งของบริษัทโมบิล และเตรียมขึ้นมาเอง การสังเคราะห์ใช้ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์และก๊าซไฮโดรเจนในอัตราส่วน ๑ : ๑ และปฏิบัติการที่อุณหภูมิ ๒๒๐, ๒๕๐, ๒๘๐ และ ๓๑๐ °ซ ความเร็วเชิงสเปซ ๒,๐๐๐, ๓,๐๐๐ และ ๔,๐๐๐ ต่อชั่วโมง และความดัน ๑๐ และ ๒๐ บรรยากาศ ผลการทดลองปรากฏว่า การเปลี่ยนรูปของก๊าซสังเคราะห์ มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิและความดันเพิ่มขึ้น แต่มีค่าลดลงเมื่อความเร็วเชิงสเปซเพิ่มขึ้น ปริมาณก๊าซโซลีนในสารประกอบไฮโดรคาร์บอน มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิและความดันเพิ่มขึ้น ตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กผสมตัวเร่งปฏิกิริยา ZSM - 5 ให้ปริมาณก๊าซโซลีนในสารประกอบไฮโดรคาร์บอนมากกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กตัวเดียว เมื่ออุณหภูมิมากกว่า ๒๕๐ °ซ สภาวะที่ก๊าซโซลีนในสารประกอบไฮโดรคาร์บอนสูงสุดคือ อุณหภูมิ ๓๑๐ °ซ ความดัน ๒๐ บรรยากาศ ความเร็วเชิงสเปซ ๔,๐๐๐ ต่อชั่วโมง และใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กหลอมของบริษัทไอซีไอผสมกับตัวเร่งปฏิกิริยา ZSM - 5 ของบริษัทโมบิล

Thesis Title PREPARATION OF ZEOLITE CATALYST FOR GASOLINE SYNTHESIS

Name Mr. Vuthiphon Thuampoomngam

Thesis Advisor Associate Professor Piyasan Praserthdam, Dr. Ing.

Department Chemical Engineering

Academic Year 1985

ABSTRACT

This thesis is to convert carbonmonoxide and hydrogen gas to gasoline - range hydrocarbons in fixed bed by using iron catalyst and iron - ZSM - 5 zeolite catalyst. There are two different ZSM - 5 zeolite catalysts; Mobil's ZSM - 5 zeolite catalyst and ZSM - 5 zeolite catalyst which is prepared for the experiments. The experiments are conducted with the condition of H_2:CO = 1:1, temperature of 220, 250, 280 and 310 °C, space velocity of 2,000, 3,000 and 4,000 hr^{-1} and pressure of 10 and 20 atmosphere. The results show that conversion of syngas increases by increasing temperature and pressure but decreases by increasing space velocity. The composition of gasoline - range in hydrocarbon increases by increasing temperature and pressure. The iron - ZSM - 5 zeolite catalyst gives gasoline - range in hydrocarbon more than the iron catalyst when temperature is above 250°C. The condition to produce the highest percent of gasoline - range in hydrocarbon is temperature of 310°C, pressure of 20 atmosphere and space velocity of 4,000 hr^{-1} by using mixed catalyst of the ICI's fused iron catalyst and the Mobil's ZSM - 5 zeolite catalyst.

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณ รศ.ดร.ปิยะสาร ประเสริฐธรรม ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ในการให้คำปรึกษาแนะนำเกี่ยวกับการทดลอง และทำให้วิทยานิพนธ์ลุล่วงไปด้วยดี และผู้เขียนขอขอบคุณกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่าน ซึ่งได้แก่ ผศ.ดร.ชัยฤทธิ์ สัตยาประเสริฐ, รศ.ดร.วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล และ ผศ.สุวัฒนา พวงเพิกศึก ในการช่วยตรวจสอบและแก้ไขวิทยานิพนธ์ จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น นอกจากนี้ผู้เขียนยังขอบคุณ นาย สุรพงษ์ ศุภจรรยา, นาย กอบบุญ หล่อทองคำ และเพื่อนๆ ในห้องทดลองคะตะไลซิส ที่ให้ความช่วยเหลือระหว่างทำการทดลอง และบุคคล ๒ คนสุดท้ายที่ผู้เขียนต้องกล่าวขอบคุณเป็นอย่างมาก คือ คุณแม่ และคุณป้า ของผู้เขียน ในการให้ความสนับสนุนและเป็นกำลังใจอย่างมากให้แก่ผู้เขียน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย _____ ฆ
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ _____ ง
กิตติกรรมประกาศ _____ จ
สารบัญตาราง _____ ช
สารบัญรูป _____ ฌ
บทที่

๑. บทนำ _____ ๑
๑.๑ น้ำมันปิโตรเลียม _____ ๓
๑.๒ ปัญหาการใช้น้ำมันเป็นแหล่งพลังงาน _____ ๔
๑.๓ ถ่านหิน : วัตถุเชื้อเพลิงที่ใช้แทนน้ำมัน _____ ๖
๑.๔ การสังเคราะห์แบบฟิสเชอร์ – โทรปช์ _____ ๗
๑.๕ วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์ _____ ๙
๒. การสังเคราะห์แบบฟิสเชอร์ – โทรปช์ _____ ๑๐
๒.๑ เทอร์โมไดนามิคส์ของปฏิกิริยาฟิสเชอร์ – โทรปช์ _____ ๑๐
๒.๒ ตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการสังเคราะห์แบบฟิสเชอร์ – โทรปช์ _____ ๒๐
๒.๓ ตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กหลอม _____ ๒๒
๒.๔ การกระจายของผลิตภัณฑ์ _____ ๓๐
๓. ตัวเร่งปฏิกิริยาอลูมิโนซิลิเคท _____ ๓๔
๓.๑ การเปลี่ยนเมธานอลเป็นก๊าซโซลีน _____ ๓๕
๓.๒ การเปลี่ยนก๊าซสังเคราะห์เป็นก๊าซโซลีน _____ ๕๔
๔. วิธีการทดลอง _____ ๖๕
๔.๑ การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา ZSM-5 _____ ๖๕
๔.๒ การทดสอบตัวเร่งปฏิกิริยาในเชิงวิศวกรรม _____ ๖๘

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ หน้า

๔.๓ การทดสอบตัวเร่งปฏิกิริยาในเชิงฟิสิกส์ _ _ _ _ _ _ _ _ _ ๗๘

๕. ผลการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูล _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ ๘๐

๕.๑ การทดสอบตัวเร่งปฏิกิริยาในเชิงวิศวกรรม _ _ _ _ _ _ _ ๘๔

๕.๒ การทดสอบตัวเร่งปฏิกิริยา ZSM-5 ในเชิงฟิสิกส์ _ _ _ _ ๑๐๓

๖. สรุปผลการทดลอง _ ๑๐๘

เอกสารอ้างอิง _ ๑๑๗

ภาคผนวก _ ๑๒๒

ก. กราฟการคาลิเบรทหาปริมาณของก๊าซต่างๆ _ _ _ _ _ _ _ _ _ ๑๒๓

ข. โครมาโตแกรมของการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ไฮโดรคาร์บอน _ _ _ _ _ ๑๒๔

ค. ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องมือทดลอง _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ ๑๓๐

ง. นิยามของคำที่สำคัญ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ ๑๓๒

ประวัติ _ ๑๓๓

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

๑.๑ แหล่งพลังงานฟอสซิลของโลก _____ ๑

๑.๒ ที่ตั้งของแหล่งพลังงานฟอสซิลชนิดต่างๆ บนโลก _____ ๒

๑.๓ แหล่งน้ำมันสำรองคงเหลือของประเทศต่างๆ และการผลิตรวมถึงสิ้นปี พ.ศ.๒๕๑๘ _____ ๕

๒.๑ แสดงค่าความร้อนของปฏิกิริยาของการเกิดสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่อุณหภูมิต่างๆ _____ ๑๒

๒.๒ แสดงค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยาการเกิดสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่อุณหภูมิต่างๆ เมื่อได้น้ำเป็นผลิตภัณฑ์ข้างเคียง _____ ๑๔

๒.๓ แสดงค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยาการเกิดสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่อุณหภูมิต่างๆ เมื่อได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นผลิตภัณฑ์ข้างเคียง _____ ๑๕

๒.๔ เปรียบเทียบตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดต่างๆ ที่ใช้กับปฏิกิริยาระหว่างก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์กับก๊าซไฮโดรเจน _____ ๒๑

๒.๕ แสดงส่วนประกอบและสภาวะการปฏิบัติการของตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กชนิดต่างๆ ก่อนจะปฏิบัติการจริง _____ ๒๓

๒.๖ อิทธิพลของความกันต่อความว่องไวในการทำปฏิกิริยา และ คุณสมบัติเลือกผลิตของตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็ก _____ ๒๔

๒.๗ อิทธิพลของขนาดตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กหลอมต่อความว่องไวในการทำปฏิกิริยาและคุณสมบัติเลือกผลิต _____ ๒๗

๒.๘ แสดงอิทธิพลของอัตราส่วนของก๊าซสังเคราะห์ต่อการกระจายของผลิตภัณฑ์ต่อการกระจายของผลิตภัณฑ์ของตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็ก _____ ๒๘

๒.๙ แสดงอิทธิพลของความเร็วเชิงสเปซต่อการกระจายของผลิตภัณฑ์ของตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็ก _____ ๒๙

๓.๑ แสดงอิทธิพลของอุณหภูมิต่อค่าการเปลี่ยนรูปของตัวเร่งปฏิกิริยา ZSM – 5 _____ ๓๙

๓.๒ แสดงอิทธิพลของความกันต่อการเปลี่ยนเมธานอลเป็นก๊าซโซลีน _____ ๔๑

ตารางที่ หน้า

๓.๓ แสดงอิทธิพลของอัตราส่วนของซิลิกอนต่ออาลูมิเนียมต่อความว่องไว _ _๔๖
ในการทำปฏิกิริยาและคุณสมบัติในการเลือกผลิต

๓.๔ แสดงอิทธิพลของความเร็วเชิงสเปซต่อความว่องไวในการทำปฏิกิริยา _๔๘
และคุณสมบัติในการเลือกผลิต

๓.๕ แสดงอิทธิพลของอุณหภูมิต่อความว่องไวในการทำปฏิกิริยาและคุณสมบัติ _๕๑
ในการเลือกผลิต

๓.๖ แสดงอิทธิพลของความเข้มข้นของเมธานอลต่อความว่องไวในการทำ _๕๓
ปฏิกิริยาและคุณสมบัติในการเลือกผลิต

๓.๗ แสดงผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเปลี่ยนเมธานอลเป็นก๊าซโซลีน _ _ _ _ _๕๕

๓.๘ แสดงคุณสมบัติของก๊าซโซลีนจากการปฏิบัติการในการปฏิกรณ์แบบ _ _ _๕๖
เบดของไหล

๓.๙ แสดงผลิตภัณฑ์และคุณสมบัติของก๊าซโซลีนจากการเปลี่ยนเมธานอล _ _๕๖
และเอธานอลเป็นก๊าซโซลีน

๓.๑๐ แสดงการกระจายของผลิตภัณฑ์สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ได้จาก _ _๕๘
การเปลี่ยนเมธานอลและเอธานอลเป็นก๊าซโซลีน

๓.๑๑ แสดงผลการเปลี่ยนก๊าซสังเคราะห์เป็นก๊าซโซลีน _ _ _ _ _ _ _ _๖๑

๓.๑๒ แสดงผลการเปลี่ยนก๊าซสังเคราะห์เป็นก๊าซโซลีนบนตัวเร่งปฏิกิริยา _ _๖๓
โคบอลท์ผสมกับตัวเร่งปฏิกิริยา ZSM - 5

๓.๑๓ แสดงผลการเปลี่ยนก๊าซสังเคราะห์เป็นก๊าซโซลีนบนตัวเร่งปฏิกิริยา _ _๖๓
เหล็กผสมตัวเร่งปฏิกิริยา ZSM - 5

๔.๑ แสดงสภาวะการปฏิบัติการทั้งหมดของการทดลอง _ _ _ _ _ _ _ _๗๖

๔.๒ แสดงสภาวะการวิเคราะห์ด้วยเครื่องก๊าซโครมาโตกราฟฟี _ _ _ _๗๙

๕.๑ ผลการทดสอบการเสื่อมของตัวเร่งปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ ๒๒๐ °ซ ความดัน _๘๓
๑๐ บรรยากาศ และความเร็วเชิงสเปซ ๒,๐๐๐ ต่อชั่วโมง

๕.๒ แสดงสภาวะต่างๆ ของการปฏิบัติการโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กหลอม_๘๕

๕.๓ แสดงสภาวะต่างๆของการปฏิบัติการโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กหลอม _๘๖
ผสมกับตัวเร่งปฏิกิริยา ZSM - 5 ของบริษัทโมบิล

ตารางที่ หน้า

๕.๔ แสดงสภาวะต่างๆของการปฏิบัติโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กหลอมผสมตัวเร่งปฏิกิริยา ZSM – 5 ที่เตรียมเอง ๘๗

๕.๕ แสดงผลของการวิเคราะห์ก๊าซขาออกโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กหลอม ๘๘

๕.๖ แสดงผลของการวิเคราะห์ก๊าซขาออกโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กหลอมผสมตัวเร่งปฏิกิริยา ZSM – 5 ของบริษัทโมบิล ๘๙

๕.๗ แสดงผลการวิเคราะห์ก๊าซขาออกโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กหลอมผสมตัวเร่งปฏิกิริยา ZSM – 5 ที่เตรียมเอง ๙๐

๕.๘ แสดงค่าการเปลี่ยนรูปโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กหลอม ๙๑

๕.๙ แสดงค่าการเปลี่ยนรูปโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กหลอมผสมตัวเร่งปฏิกิริยา ZSM – 5 ของบริษัทโมบิล ๙๒

๕.๑๐ แสดงค่าการเปลี่ยนรูปโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กหลอมผสมตัวเร่งปฏิกิริยา ZSM – 5 ที่เตรียมเอง ๙๓

๕.๑๑ แสดงค่าการเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กหลอม ๙๔

๕.๑๒ แสดงค่าการเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กหลอมผสมตัวเร่งปฏิกิริยา ZSM–5 ของบริษัทโมบิล ๙๕

๕.๑๓ แสดงค่าการเกิดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กหลอมผสมตัวเร่งปฏิกิริยา ZSM–5 ที่เตรียมเอง ๙๖

๕.๑๔ แสดงผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบการเกิดไฮโดรคาร์บอนของตัวอย่างก๊าซจุดแรกโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กหลอม ๙๗

๕.๑๕ แสดงผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบการเกิดไฮโดรคาร์บอนของตัวอย่างก๊าซจุดแรกโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กหลอมผสมตัวเร่งปฏิกิริยา ZSM–5 ของบริษัทโมบิล ๙๘

ตารางที่ หน้า

๕.๑๖ แสดงผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบการเกิดไฮโดรคาร์บอนของ _ _ _๙๙
ตัวอย่างก๊าซจุดแรกโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กหลอมผสมตัวเร่ง
ปฏิกิริยา ZSM-5 ที่เตรียมเอง

๕.๑๗ แสดงผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบการเกิดไฮโดรคาร์บอนของ _ _ ๑๐๐
ตัวอย่างก๊าซจุดที่สองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กหลอม

๕.๑๘ แสดงผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบการเกิดไฮโดรคาร์บอนของ _ _ ๑๐๑
ตัวอย่างก๊าซจุดที่สองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กหลอมผสมตัวเร่ง
ปฏิกิริยา ZSM-5 ของบริษัทโมบิล

๕.๑๙ แสดงผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบการเกิดไฮโดรคาร์บอนของ _ _ ๑๐๒
ตัวอย่างก๊าซจุดที่สองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กหลอมผสมตัวเร่ง
ปฏิกิริยา ZSM-5 ที่เตรียมเอง

๖.๑ แสดงการกระจายของผลิตภัณฑ์สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่สภาวะ _ ๑๐๓
ต่างๆของการปฏิบัติการโดยการรวมกลุ่ม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
๑.๑	การใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลของโลก	๒
๑.๒	แนวทางการแปลงรูปถ่านหินให้เป็นน้ำมัน	๘
๒.๑	แสดงค่าความร้อนของปฏิกิริยาของการเกิดสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่อุณหภูมิต่างๆ	๑๓
๒.๒	แสดงค่าพลังงานเสรีของการเกิดสารประกอบไฮโดรคาร์บอนพวกพาราฟินที่อุณหภูมิต่างๆ	๑๖
๒.๓	แสดงค่าพลังงานเสรีของการเกิดสารประกอบไฮโดรคาร์บอนพวกโอลิฟินที่อุณหภูมิต่างๆ	๑๗
๒.๔	แสดงค่าพลังงานเสรีของการเกิดสารประกอบไฮโดรคาร์บอนต่างๆที่อุณหภูมิต่างๆ	๑๘
๒.๕	แสดงอิทธิพลของความกันต่อความว่องไวในการทำปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กหลอม	๒๖
๒.๖	อิทธิพลของอุณหภูมิต่อการกระจายผลิตภัณฑ์ของตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กหลอม	๒๖
๒.๗	อิทธิพลของพื้นที่ผิวภายนอกต่อความว่องไวในการทำปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กหลอม	๒๗
๒.๘	อิทธิพลของปริมาณอัลคาไลน์ของตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กต่อความว่องไวในการทำปฏิกิริยา	๒๘
๒.๙	การใช้กระจายผลิตภัณฑ์ของซูลส์กับข้อมูลการสังเคราะห์แบบฟิสเชอร์ – โทรปช์ของแชดเตอร์ฟิวกับฮัฟ	๓๒
๒.๑๐	การกระจายผลิตภัณฑ์ของการสังเคราะห์แบบฟิสเชอร์ – โทรปช์ในรูปของอัตราส่วนน้ำหนัก	๓๒
๒.๑๑	การคัดช่วงผลิตภัณฑ์ไฮโดรคาร์บอนที่ได้จากการสังเคราะห์แบบฟิสเชอร์ – โทรปช์	๓๓

รูปที่ หน้า

๓.๑ แสดงกระบวนการเปลี่ยนถ่านหินและก๊าซธรรมชาติเป็นก๊าซโซลีน _ _ _ _๓๗

๓.๒ แสดงค่าสัมประสิทธิ์ของการแพร่ของโมเลกุลต่างๆผ่านรูในโครงสร้าง _ _๓๗
รูปผลึกของตัวเร่งปฏิกิริยา ZSM-5

๓.๓ แสดงอิทธิพลของอีธีนต่อการเปลี่ยนเมธานอลเป็นก๊าซโซลีน _ _ _ _ _๔๐

๓.๔ แสดงอิทธิพลของโพรพีนต่อการเปลี่ยนเมธานอลเป็นก๊าซโซลีน _ _ _ _๔๒

๓.๕ แสดงอิทธิพลของเวลาสัมผัสต่อการกระจายของผลิตภัณฑ์ _ _ _ _ _ _๔๓

๓.๖ แสดงอิทธิพลของอัตราส่วนซิลิกาต่ออลูมินาที่อุณหภูมิต่างๆต่อการเกิด_ _ _๔๔
ผลิตภัณฑ์

๓.๗ แสดงอิทธิพลของอัลลิลอัลกอฮอล์ต่อการเปลี่ยนเมธานอลเป็นก๊าซโซลีน _ _๔๕

๓.๘ แสดงอิทธิพลของอัตราส่วนของซิลิกอนต่ออาลาเคียมต่อการกระจายของ_ _๔๘
ผลิตภัณฑ์สารประกอบไฮโดรคาร์บอน

๓.๙ แสดงอิทธิพลของความเร็วเชิงสเปซต่อการกระจายของผลิตภัณฑ์สาร_ _ _๔๙
ประกอบไฮโดรคาร์บอน

๓.๑๐ แสดงอิทธิพลอุณหภูมิต่อการกระจายของผลิตภัณฑ์สารประกอบไฮโดร _ _ _๕๒
คาร์บอน

๓.๑๑ แสดงอิทธิพลของความเข้มข้นของเมธานอลต่อการกระจายของผลิตภัณฑ์ _๕๔
สารประกอบไฮโดรคาร์บอน

๓.๑๒ แสดงผลเปรียบเทียบการเปลี่ยนอัลกอฮอล์ต่างๆเป็นก๊าซโซลีน _ _ _ _๕๗

๓.๑๓ แสดงขั้นตอนของปฏิกิริยาการเปลี่ยนก๊าซสังเคราะห์เป็นก๊าซโซลีน _ _ _๖๐
บนตัวเร่งปฏิกิริยาผสมระหว่างตัวเร่งปฏิกิริยาในการผลิตเมธานอลและ
ตัวเร่งปฏิกิริยา ZSM-5

๓.๑๔ แสดงขั้นตอนของปฏิกิริยาการเปลี่ยนก๊าซสังเคราะห์เป็นก๊าซโซลีนบน _ _๖๐
ตัวเร่งปฏิกิริยาผสมระหว่างตัวเร่งปฏิกิริยาในการสังเคราะห์แบบ
ฟิสเชอร์ – โทรปช์ และตัวเร่งปฏิกิริยา ZSM-5

๔.๑ แสดงแผนผังการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา ZSM-5 _ _ _ _ _ _ _ _ _๖๙

๔.๒ แสดงภาพเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _๗๑

รูปที่ หน้า

๔.๓ แสดงภาพลักษณะภายในของเตาอบ ที่มีเครื่องปฏิกรณ์เคมีแบบเบดนิ่ง ติดตั้งอยู่ภายใน ๗๒
๔.๔ แสดงแผนภาพของเครื่องมือขณะทำการคาลิเบรท ๗๔
๔.๕ แสดงเครื่องก๊าซโครมาโตกราฟฟี GOW MAC รุ่น Series ๑๕๐ ๗๗
๔.๖ แสดงเครื่องก๊าซโครมาโตกราฟฟี GOW MAC รุ่น Series ๗๕๐ ๗๗
๔.๗ แสดงเครื่องก๊าซโครมาโตกราฟฟี VARIAN VISTA ๔๖๐๐ และ VISTA ๔๐๑ ๗๙
๕.๑ แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของปรอท กับอัตราการไหลของก๊าซสังเคราะห์ที่ความดัน ๑๐ บรรยากาศ ๘๑
๕.๒ แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของปรอท กับอัตราการไหลของก๊าซสังเคราะห์ที่ความดัน ๒๐ บรรยากาศ ๘๒
๕.๓ แสดงเอกซ์–เรย์ ดิฟเฟรคชันของตัวเร่งปฏิกิริยา ZSM-5 ของบริษัทโมบิล ๑๐๔
๕.๔ แสดงเอกซ์–เรย์ ดิฟเฟรคชันของตัวเร่งปฏิกิริยา ZSM-5 ที่เตรียมเอง ๑๐๕
๕.๕ แสดงภาพถ่ายผลึกของตัวเร่งปฏิกิริยา ZSM-5 ของบริษัทโมบิล ๑๐๖
๕.๖ แสดงภาพถ่ายผลึกของตัวเร่งปฏิกิริยา ZSM-5 ที่เตรียมเอง ๑๐๗
ผ.ก.๑ กราฟการคาลิเบรทหาปริมาณของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ๑๒๒
ผ.ก.๒ กราฟการคาลิเบรทหาปริมาณของก๊าซไฮโดรเจน ๑๒๓
ผ.ข.๑ โปรมแกรมการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ไฮโดรคาร์บอนของเครื่องก๊าซโครมาโตกราฟฟี VARIAN 4600 ๑๒๔
ผ.ข.๒ แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวเลขคาร์บอนกับโมลของไฮโดรคาร์บอนของการทดลองที่อุณหภูมิ ๒๑๘ °ซ ความดัน ๑๐.๐ บรรยากาศ และความเร็วเชิงสเปซ ๑๙๑๔ ต่อชั่วโมง โดยใช้เหล็กหลอมเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ๑๒๗
ผ.ข.๓ โครมาโตแกรมการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ของเครื่องก๊าซโครมาโตกราฟฟี GOW MAC รุ่น Series 150 ๑๒๘
ผ.ข.๔ โครมาโตแกรมการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ของเครื่องก๊าซโครมาโตกราฟฟี GOW MAC รุ่น Series 750 ๑๒๙