

ทางเลือกของการเกิดพาราไซต์ในปฏิภานเคมีระหว่างโพลีเอทิลีนกับ เมทานอล
บนตัวเร่งปฏิภานชนิดซีโอไลต์



นายสีทองศักดิ์ แก้วศรีจันทร์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2533

ISBN 974-578-039-1

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

016984

i 10310526

Product Selectivity of Paraxylene by Reaction of
Toluene with Methanol on Zeolite Catalyst

Mr. Lupong Kaewsichan

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

1990

ISBN 974-578-039-1



หัวข้อวิทยานิพนธ์

ทางเลือกของการเกิดพาราโซลิเนียมปฏิกิริยาเคมีระหว่าง

โพลีอีนกับเมทานอลบนตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดซีโอไลต์

โดย

นายลือพงศ์ แก้วศรีจันทร์


ภาควิชา

วิศวกรรมเคมี


อาจารย์ที่ปรึกษา

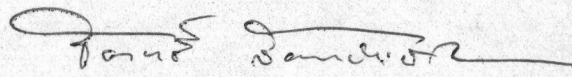
รศ. ดร. ชัยฤทธิ์ สัตยาประเสริฐ

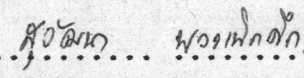
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้วิทยานิพนธ์ ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการ
ศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต

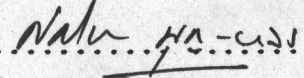

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ ดร.ถาวร วัชรภักย์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.เกริกชัย สุกาญจน์จัท)


..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ชัยฤทธิ์ สัตยาประเสริฐ)


..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ สุวัฒนา พวงเพ็กดี)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศศิธร บุญ-หลง)

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

ลือพงศ์ แก้วศรีจันทร์: ทางเลือกของการเกิดพาราไซลีนในปฏิกิริยาเคมี ระหว่างโทลูอีนกับเมทานอลบนตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดซีโอไลต์ (PRODUCT SELECTIVITY OF PARAXYLENE BY REACTION OF TOLUENE WITH METHANOL ON ZEOLITE CATALYST) อ.ที่ปรึกษา: รศ. ดร. ชัยฤทธิ์ สัตยาประเสริฐ, 120 หน้า. ISBN 947-578-039-1

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาถึงการสังเคราะห์สารพาราไซลีนจากปฏิกิริยาอัลคิลเลชันระหว่างโทลูอีนกับเมทานอลบนตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดซีโอไลต์ โดยจะเปรียบเทียบความเปลี่ยนแปลงของโทลูอีน ผลได้ของผลิตภัณฑ์ และสัดส่วนของไซลีนทั้งสาม ไอโซเมอร์ คือ พาราไซลีน เมตาไซลีน และออร์โธไซลีน ระหว่างตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดซีโอไลต์ แต่ละแบบ ซึ่งมีทั้งหมด 7 แบบ คือ ซีโอไลต์ชนิดมอร์ดีไนต์ 2 แบบ และซีโอไลต์ชนิดเฟอริจาย-ไซต์ 5 แบบ สภาวะของปฏิกิริยาเคมี คือ อุณหภูมิ 200^o ซ. 300^o ซ. และ 500^o ซ. ตามลำดับ ความดัน 1 บรรยากาศ น้ำหนักของสารตั้งต้นต่อน้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อชั่วโมง เท่ากับ 0.47 เศษส่วนโมลของสารตั้งต้นในก๊าซไนโตรเจน (ก๊าซพา) เท่ากับ 0.064 สัดส่วนเชิงโมลของโทลูอีนต่อเมทานอล เท่ากับ 1.7:1 ผลจากการทดลอง คือ ความเปลี่ยนแปลงของโทลูอีนจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิของปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น ผลได้ของผลิตภัณฑ์ไซลีนทั้งสามไอโซเมอร์ เพิ่มขึ้นเมื่อสัดส่วนของซิลิกาออกไซด์ คือ อลูมินาออกไซด์เพิ่มขึ้น แต่จะลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น และสัดส่วนของพาราไซลีนคิดจากไซลีนทั้งสามไอโซเมอร์จะเพิ่มมากขึ้นบนตัวเร่งปฏิกิริยาที่ผ่านการปรับปรุงขนาดของปากรูให้เล็กลง ซึ่งซีโอไลต์ แบบ NaHY 21 ซึ่งปรับปรุงขนาดปากรูด้วย ออกไซด์ ของแมกนีเซียม และมืองค์ประกอบ ดังนี้ Na₂O ร้อยละ 2.8 SiO₂ ร้อยละ 77.1 Al₂O₃ ร้อยละ 6.3 และ MgO ร้อยละ 13.8 โดยให้ร้อยละของพาราไซลีนเท่ากับ 71.2 ที่อุณหภูมิ 200^o ซ



ภาควิชา วิศวกรรมเคมี
สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี
ปีการศึกษา 2533

ลายมือชื่อนิสิต *ณัฐพงศ์ แก้วศรีจันทร์*

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา *ชัยฤทธิ์ สัตยาประเสริฐ*

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม



LUPONG KAWSICHAN: PRODUCT SELECTIVITY OF PARAXYLENE BY REACTION OF TOLUENE WITH METHANOL ON ZEOLITE CATALYST. THESIS ADVISOR: ASS. PROF. CHAIRIT SATYAPRASERT, Dr. Ing. 120 PP.

Paraxylene was synthesized by alkylation reaction of toluene with methanol using zeolite catalysts. Seven types of zeolite catalysts were used, they were 2 types of mordenite and 5 types of faujasite. Efficiency of each type of catalyst were compared on the basis of conversion of toluene, yield of products and selectivity of paraxylene, metaxylene and orthoxylene in the products. In this work, the conditions of the reaction used were: temperature of 200°C, 300°C and 500°C; pressure of 1 atmosphere; weight of reactant per weight of catalyst per hour of 0.47; mole fraction of reactants in carrier gas (nitrogen) of 0.064; and mole ratio of toluene to methanol of 1.7:1

Experimental results showed that as the reaction temperature was increased, the conversion of toluene increased; the yield of xylene increased when the ratio of silica oxide (SiO_2) to alumina oxide (Al_2O_3) was increased but decreased when the temperature was increased. With respect to selectivity of paraxylene, it was found that when the pore size diameter of zeolite was reduced by impregnation with magnesium oxide, the percent selectivity of paraxylene increased. The catalyst sample used in this experiment that gave the highest selectivity of paraxylene was NaHY21 type which composed of Na_2O (2.8%), SiO_2 (77.1%), Al_2O_3 (6.3%) and MgO (13.8%) and gave 71.3 percent selectivity of paraxylene at 200°C.

ภาควิชา ...วิศวกรรมเคมี.....
สาขาวิชา ...วิศวกรรมเคมี.....
ปีการศึกษา 2533

ลายมือชื่อผู้สมัคร

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ ฉบับนี้สำเร็จลงได้ โดยได้รับความช่วยเหลือจาก รองศาสตราจารย์ ดร. ชัยฤทธิ์ สัตยาประเสริฐ ซึ่งให้คำปรึกษาแนะนำแนวทางการแก้ไขปัญหานั้นขณะทำงานวิจัย และให้ข้อคิดเห็นต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ตลอดจนการตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์ จนสำเร็จเป็นรูปเล่มที่สมบูรณ์

นอกจากนี้ ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งประกอบด้วย รองศาสตราจารย์ ดร.เกริกชัย สุกาญจน์ที่ ประธานกรรมการ รองศาสตราจารย์ สุวัฒนา พวงเพ็ชร์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศศิธร บุญ-หลง และรองศาสตราจารย์ ดร.ชัยฤทธิ์ สัตยาประเสริฐ กรรมการ ซึ่งได้ให้ความสนใจ และให้ข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์เพิ่มเติม ทำให้วิทยานิพนธ์มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ท้ายที่สุดนี้ข้าพเจ้าขอขอบคุณ บุคคลากรทุกคนตลอดจนเพื่อน ๆ ในภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความสะดวก และบรรยากาศที่ดีในการดำเนินงานวิจัย ซึ่งมีส่วนในทำงานวิจัยนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญตาราง.....	ง
สารบัญรูปภาพ.....	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของการวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตและขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎี	
2.1 ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบ เซพ-ซี เลคทีวิตี้.....	4
2.2 ขนาดของเม็ดตัวเร่งปฏิกิริยา และขนาดของช่องว่างภายใน	
2.2.1 ความพรุนของเม็ดตัวเร่งปฏิกิริยา.....	4
2.2.2 ขนาดของช่องว่างภายใน.....	7
2.3 บริเวณที่แสดงความเป็นกรดของตัวเร่งปฏิกิริยาแบบซีโอไลต์	
2.3.1 ที่มาของความเป็นกรดของตัวเร่งปฏิกิริยา.....	10
2.3.2 ความรุนแรงของกรด.....	11
2.3.3 ปริมาณของกรด.....	12
2.4 ประจุบวกของโลหะ และโปรตอนในซีโอไลต์	
2.4.1 ศูนย์กลางของขบวนการดูดซับ.....	12
2.4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างประจุบวกกับโปรตอน.....	15

2.5 การถ่ายเทมวลและความร้อนบนพื้นผิวของตัว เร่งปฏิกิริยา

- 2.5.1 การถ่ายเทมวลและความร้อนบริเวณพื้นผิวภายนอก.....17
- 2.5.2 การถ่ายเทมวล และความร้อนบริเวณพื้นผิวภายใน.....19

2.6 งานวิจัยในอดีต.....21

บทที่ 3 การทดลอง

3.1 อุปกรณ์การทดลอง การติดตั้ง และสารเคมี.....25

3.2 การลอกแบบอุปกรณ์

- 3.2.1 อุปกรณ์ระเหยสาร.....30
- 3.2.2 อุปกรณ์แบบแพก เบด.....30
- 3.2.3 อุปกรณ์ เก็บตัวอย่างผลิตภัณฑ์.....30

3.3 การเตรียมการทดลอง

- 3.3.1 การเตรียมสารเคมี35
- 3.3.2 ขั้นตอนการดำเนินการแลกเปลี่ยนประจุ.....38
- 3.3.3 ขั้นตอนการดำเนินการลดอุณหภูมิในผลิตภัณฑ์ตัว เร่งปฏิกิริยา.....38
- 3.3.4 ขั้นตอนการดำเนินการขบวนการกึ่ง เฟรก เนชั่นตัว เร่ง
ปฏิกิริยาด้วยออกไซด์ของแมกนี เซียม.....38
- 3.3.5 ขั้นตอนการดำเนินการลดขนาดทาง เข้ารูของตัว เร่ง
ปฏิกิริยาด้วย เตตระอีทอกซีไฮ เลน.....40
- 3.3.6 การเตรียมการวิเคราะห์ผลการทดลอง.....41

3.4 ขั้นตอนการทดลองปฏิกิริยาอัลคิล เลชั่น ระหว่างโพลีเอทิลีนกับ เมทานอล...45

บทที่ 4 ผลการทดลอง และวิเคราะห์ผลการทดลอง

4.1 ผลการทดลอง.....47

4.2 วิเคราะห์ผลการทดลอง

- 4.2.1 ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นบนตัว เร่งปฏิกิริยา.....60

4.2.2 การคำนวณค่าของความเปลี่ยนแปลง ผลได้ และอัตราการเกิด ปฏิกิริยา.....	61
4.2.3 ความเปลี่ยนแปลงของโพลลูบีน.....	62
4.2.4 ผลได้ของสารผลิตภัณฑ์ และสัดส่วนของโซลีนแต่ละไอโซเมอร์.....	66
4.2.5 อัตราการเกิดปฏิกิริยาของโซลีน.....	75
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง และแนวทางวิจัยในอนาคต.....	82
เอกสารอ้างอิง.....	87
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก. การหาค่าฟลักซ์เชิงโมลของสารตั้งต้น.....	90
ภาคผนวก ข. อัตราการไหลเชิงโมลของกาซพา.....	94
ภาคผนวก ค. คาร์บอนเนี่ยมไดออกไซด์ และปฏิกิริยาของคาร์บอนเนี่ยมไดออกไซด์.....	95
ภาคผนวก ง. ปฏิกิริยาข้างเคียง.....	100
ภาคผนวก จ. ซีโกลไลต์.....	105
ภาคผนวก ฉ. การเลือกตำแหน่งในวงแหวนของเบนซีน เมื่อเกิดปฏิกิริยาแทนที่.....	115
ภาคผนวก ช. คุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์.....	119



สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1.1	จุดหลอมเหลวและจุดเดือดของไซลีน และ เอทิล เบนทึน.....	1
ตารางที่ 1.2	สมดุทางเทอร์โมไดนามิกส์ ของไซลีนผสม.....	2
ตารางที่ 2.1	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโมเลกุลของสารไฮโดรคาร์บอน.....	8
ตารางที่ 2.2	เบสที่ เท็นอินดี เก เดลร์ ในการวัดค่าความรุนแรงของกรด.....	13
ตารางที่ 3.1	อุปกรณ์การทดลอง.....	25
ตารางที่ 3.2	การวิเคราะห์เศษส่วนโมลของโพลีอินในภาซผสมก่อน เข้าปฏิกิริยา.....	29
ตารางที่ 3.3	คุณสมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยา.....	36
ตารางที่ 3.4	ผลวิเคราะห์ด้วยอุปกรณ์แก๊สโครมาโตกราฟฟี ของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน.....	45
ตารางที่ 4.1	ผลการทดลองปฏิกิริยาอัลคิล เลชันของโพลีอินกับ เมทานอล บนตัวเร่งปฏิกิริยา HM 10.....	48
ตารางที่ 4.2	ผลการทดลองปฏิกิริยาอัลคิล เลชันของโพลีอินกับ เมทานอล บนตัวเร่งปฏิกิริยา HM 20.....	49
ตารางที่ 4.3	ผลการทดลองปฏิกิริยาอัลคิล เลชันของโพลีอินกับ เมทานอล บนตัวเร่งปฏิกิริยา NaHY 5.6.....	50
ตารางที่ 4.4	ผลการทดลองปฏิกิริยาอัลคิล เลชันของโพลีอินกับ เมทานอล บนตัวเร่งปฏิกิริยา NaHY 21.....	51
ตารางที่ 4.5.1	ผลการทดลองปฏิกิริยาอัลคิล เลชันของโพลีอินกับ เมทานอล บนตัวเร่งปฏิกิริยา NaHY 21 ที่มีร้อยละโดยน้ำหนักของ MgO เท่ากับ 7.4.....	52
ตารางที่ 4.5.2	ผลการทดลองปฏิกิริยาอัลคิล เลชันของโพลีอินกับ เมทานอล บนตัวเร่งปฏิกิริยา NaHY 21 ที่มีร้อยละโดยน้ำหนักของ MgO เท่ากับ 13.8.....	53

ตารางที่ 4.6 ผลการทดลองปฏิกิริยาอัลคิล เลชันของโทลูอีนกับ เมทธานอล
บนตัวเร่งปฏิกิริยา NaHY 5.6 ซึ่งเคลือบด้วยซิลิกาออกไซด์
จากเตตระอีทอกไซด์ เลข.....54

ตารางที่ 4.7 ผลการทดลองปฏิกิริยาดีสไฮโดรอะซิโตนบนตัวเร่งปฏิกิริยา
NaHY 5.6.....55

ตารางที่ 4.8 ผลได้ของสารผลิตภัณฑ์ และสัดส่วนของโซลีนทั้งสาม
ไอโซเมอร์บนตัวเร่งปฏิกิริยา HM 10.....56

ตารางที่ 4.9 ผลได้ของสารผลิตภัณฑ์ และสัดส่วนของโซลีนทั้งสาม
ไอโซเมอร์บนตัวเร่งปฏิกิริยา HM 20.....56

ตารางที่ 4.10 ผลได้ของสารผลิตภัณฑ์ และสัดส่วนของโซลีนทั้งสาม
ไอโซเมอร์บนตัวเร่งปฏิกิริยา NaHY 5.6.....57

ตารางที่ 4.11 ผลได้ของสารผลิตภัณฑ์ และสัดส่วนของโซลีนทั้งสาม
ไอโซเมอร์บนตัวเร่งปฏิกิริยา NaHY 21.....57

ตารางที่ 4.12.1 ผลได้ของสารผลิตภัณฑ์ และสัดส่วนของโซลีนทั้งสาม
ไอโซเมอร์บนตัวเร่งปฏิกิริยา NaHY 21 ที่มีร้อยละ
ของ MgO เท่ากับ 7.4.....58

ตารางที่ 4.12.2 ผลได้ของสารผลิตภัณฑ์ และสัดส่วนของโซลีนทั้งสาม
ไอโซเมอร์บนตัวเร่งปฏิกิริยา NaHY 21 ที่มีร้อยละ
ของ MgO เท่ากับ 13.8.....58

ตารางที่ 4.13 ผลได้ของสารผลิตภัณฑ์ และสัดส่วนของโซลีน ทั้งสาม
ไอโซเมอร์ บนตัวเร่งปฏิกิริยา NaHY 5.6
เคลือบด้วย SiO₂ ที่ปากรู.....59

ตารางที่ 4.14 เปรียบเทียบอัตราการ การเกิดโซลีน
ระหว่างปฏิกิริยาดีสพรอพอร์ชันบนพื้นของ
โทลูอีน กับปฏิกิริยา อัลคิล เลชัน ของ
โทลูอีนกับ เมทธานอล บนตัวเร่งปฏิกิริยา
ชนิด NaHY 5.6.....61

ตารางที่ 5.1	กัศรการเกิดโซลีน และสัดส่วนของโซลีน ทั้งสองไอโซเมอร์ที่อุณหภูมิต่าง ๆ ของ ตัวเร่งปฏิกิริยาแต่ละแบบ.....	83
ตารางที่ 5.2	ราคาของซีโกลด์ แต่ละประเภทในเชิงพาณิชย์.....	85
ตารางที่ ก.1	ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ และค่าความดันไอของ สารตั้งต้นที่อุณหภูมิต่าง ๆ.....	90
ตารางที่ จ.1	ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบซีโกลด์แบ่งตามขนาดของช่องว่าง.....	113
ตารางที่ จ.2	ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบซีโกลด์ แบ่งตามสัดส่วนของซิลิกา กับอลูมินา.....	114
ตารางที่ ฉ.1	ชนิดของสารที่แทนที่อะตอมไฮโดรเจนในวงแหวนของ เบนซีน.....	115
ตารางที่ ช.1	ความร้อนและพลังงานอิสระในการเกิดของสารอินทรีย์.....	119



สารบัญรูปภาพ

ผ

	หน้า
รูปที่ 2.1 ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบ เทพ-ที เลคทีวิตี.....	5
รูปที่ 2.2 ผลของความหนาแน่นของตัว เร่งปฏิกิริยาค่ความ ว่องไวของปฏิกิริยา.....	6
ไซโตรคาร์บอน เปรียบ เทียบกับขนาดของช่องว่าง ภายในผลึกของตัว เร่งปฏิกิริยา.....	9
รูปที่ 2.4 โครงสร้างของกรดแบบบรอนสเตด และแบบ ลิวอิสของซีโอไลต์.....	10
รูปที่ 2.5 การเกิดคาร์บอน เนียม ลีออน.....	11
รูปที่ 2.6 ขบวนการไหลาไร เซชันของประจุบวกของโลหะ.....	16
รูปที่ 2.7 การเติมน้ำลงไปป็นโครงสร้างผลึก.....	17
รูปที่ 2.8 กลไกการแพร่ของพาราไฮลิค ึนปฏิกิริยา ดีสพรอพเคอร์ชัน เบซัน หรือกัลคิล เลชัน ด้วยเมธานอล ของโพลูลิบีน ตัว เร่งปฏิกิริยา ZSM-5.....	23
รูปที่ 3.1 การจัดตั้งชุดอุปกรณ์การทดลอง.....	27
รูปที่ 3.2 อุปกรณ์ระเหยสาร.....	31
รูปที่ 3.3 อุปกรณ์แบบ เบนดิ่ง.....	32
รูปที่ 3.4 อุปกรณ์ เก็บตัวอย่างผลิตภัณฑ์.....	34
รูปที่ 3.5 อุปกรณ์ชุดวอ เตอร์ บาธ.....	39
รูปที่ 3.6 อุปกรณ์แกสโครมาโตกราฟฟี G.C. 9A และ ชุดอินตี เกร เตอร์ CR 6A.....	43
รูปที่ 3.7 คอลัมน์ของอุปกรณ์แกสโครมาโตกราฟฟี	44
รูปที่ 4.1 ปฏิกิริยาการ เกิด เป็นถ่านโค้กของสารอะโร เมติก.....	62

รูปที่ 4.2 ความเปลี่ยนแปลงของโพลีเอทิลีน (ร้อยละ) บนตัวเร่ง
 ปฏิกริยามอร์ดีไนต์.....63

รูปที่ 4.3 ความเปลี่ยนแปลงของโพลีเอทิลีน (ร้อยละ) บนตัวเร่งปฏิกริยา
 เฟอร์ไรต์.....64

รูปที่ 4.4 ผลได้ของไซลีน (ร้อยละ) บนตัวเร่งปฏิกริยามอร์ดีไนต์.....68

รูปที่ 4.5 ผลได้ของไซลีน (ร้อยละ) บนตัวเร่งปฏิกริยาเฟอร์ไรต์.....69

รูปที่ 4.6 สัดส่วนของไซลีนทั้งสามไอโซเมอร์บนตัวเร่งปฏิกริยา
 มอร์ดีไนต์.....70

รูปที่ 4.7 สัดส่วนของไซลีน ทั้งสามไอโซเมอร์บนตัวเร่งปฏิกริยา
 เฟอร์ไรต์.....71

รูปที่ 4.8 สัดส่วนของไซลีนทั้งสามไอโซเมอร์บนตัวเร่งปฏิกริยา
 NaHY 21.....72

รูปที่ 4.9 พลังงานกระตุ้นของสารอินเทอร์มีเดียต ในปฏิกริยา
 แทนที่ด้วยสารที่ซอบกิลเลคตรอนของเบนซีน และโพลีเอทิลีน.....74

รูปที่ 4.10 อัตราการเกิดไซลีนบนตัวเร่งปฏิกริยามอร์ดีไนต์.....76

รูปที่ 4.11 อัตราการเกิดไซลีนบนตัวเร่งปฏิกริยาเฟอร์ไรต์.....77

รูปที่ 4.12 อัตราการเกิดไซลีนทั้งสามไอโซเมอร์บนตัวเร่ง
 ปฏิกริยามอร์ดีไนต์.....79

รูปที่ 4.13 อัตราการเกิดไซลีน ทั้งสามไอโซเมอร์บนตัวเร่ง
 ปฏิกริยาเฟอร์ไรต์.....80

รูปที่ 4.14 อัตราการเกิดไซลีน ทั้งสามไอโซเมอร์ บนตัวเร่ง
 ปฏิกริยา NaHY 21.....81

รูปที่ ก.1 เครื่องมือระเหยสารตั้งต้น.....91

รูปที่ จ.1 ลักษณะการเกิดผลึกของซีโอไลต์.....106

รูปที่ จ.2 สามรูปแบบของผลึกซีโอไลต์ที่มีหน่วย
 พื้นฐานจากวงแหวนแบบสี่เหลี่ยม และหกเหลี่ยม.....107

รูปที่ จ.3 โครงสร้างของผลึกซีโอไลต์ และเฟอร์ไรต์
 ซึ่งมีประจุบวก บรรจุภายในโครงสร้าง.....108

รูปที่ ๑.4	มิติของช่องว่างในผลึกซีโอไลต์.....	110
รูปที่ ๑.5	ระบบของผลึกซีโอไลต์ และขนาดของช่องว่าง.....	111