จลนพลศาสตร์ของการเปลี่ยนแปลงเมทานอลเป็นก๊าซโซลีนโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาวานาโดซิลิเคต

นาย สุชาติ ไตรบำรุงสุข

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2530

ISBN 974-567-614-4

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

012532 i10299786

KINETICS OF METHANOL CONVERSION TO GASOLINE VIA VANADOSILICATE CATALYST

Mr. Suchart Tribumrungsuk

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the degree of Master of Engineering

Department of Chemical Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

1987

ISBN 974-567-614-4

หัวข้อวิทยานิพนธ์	จลนพลศาสตร์ของการเปลี่ยนแปลงเมทานอลเป็นอ้าซูไซลีน โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาวานาโดซิลิเคต
โดย	นาย สุชาติ ไตรบำรุงสุข
ภาควิชา	วิศวกรรมเคมี
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุรา ปานเจริญ

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(ศาสตราจารย์ ดร.ถาวร วัชราภัย)

คณะกรรมการการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยฤทธิ์ สัตยาประเสริฐ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุรา ปานเจริญ)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ปิยะสาร ประเสริฐธรรม)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ เอมอร พิบูลธรรม)

หัวข้อวิทยานิพนธ์ จลนพลศาสตร์ของการเปลี่ยนแปลงเมทานอลเป็นก๊าซโซลีน
โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาวานาโดซิลิเคต

โดย นาย สุชาติ ไตรบำรุงสุข

อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อุรา ปานเจริญ

ภาควิชา วิศวกรรมเคมี

ปีการศึกษา 2529

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อ

จากความสำเร็จของ Chang และ Silvestri ในการเปลี่ยนเมทานอลเป็นก๊าซโซลีนบนตัวเร่งปฏิกิริยา ZSM-5 ซึ่งเป็นซีโอไลท์สังเคราะห์ชนิดใหม่ได้มีการทำวิจัยปฏิกิริยานี้โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีโครงสร้างแตกต่างกันรวมทั้งตัวเร่งปฏิกิริยาวานาโดซิลิเคต ในการศึกษาเชิงวิศวกรรมของตัวเร่งปฏิกิริยาวานาโดซิลิเคต พบว่าตัวเร่งที่มีอัตราส่วนซิลิกาต่อวานาเดียมเท่ากับ 90 มีคุณสมบัติการเลือกผลิตภัณฑ์สารโอลิฟินที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำสูง ซึ่งผลิตภัณฑ์นี้เป็นวัตถุดิบที่สำคัญในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี

ในการวิจัยนี้ทำการศึกษาปฏิกิริยาขั้นต้นของการเกิดสารไฮโดรคาร์บอนบนตัวเร่งปฏิกิริยาวานาโดซิลิเคต ที่มีอัตราส่วนซิลิกาต่อวานาเดียมเท่ากับ 90 ที่อุณหภูมิ 280, 320 และ 360 องศาเซลเซียส โดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบไมโครที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 6 มิลลิเมตร พบว่ากลไกของปฏิกิริยามีลักษณะเดียวกับปฏิกิริยาบนตัวเร่งปฏิกิริยา ZSM-5 และอัตราการเกิดปฏิกิริยาที่ได้เป็นแบบอินทรินซิค (Intrinsic rate) ค่าคงที่ของปฏิกิริยาในแบบจำลองจลนพลศาสตร์พบว่าอัตราการเกิดของอีทีนจากสารออกซิจิเนตมีค่าใกล้เคียงกับอัตราการทำปฏิกิริยาระหว่างสารออกซิจิเนตกับผลิตภัณฑ์โอลิฟินที่ 280 องศาเซลเซียส เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นที่ 320 และ 360 องศาเซลเซียส อัตราการเกิดของอีทีนจะช้าลง เมื่อเทียบกับของปฏิกิริยาระหว่างสารออกซิจิเนตกับสารโอลิฟินตามลำดับ และได้ค่าพลังงานกระตุ้นที่ปรากฏของปฏิกิริยาระหว่างสารออกซิจิเนตกับสารโอลิฟินจากสมการของอาลีเนียสเท่ากับ 29, 569.78 ต่อกรัมโมล และค่าคงที่เท่ากับ 3.56×10^{14} ในช่วงอุณหภูมิที่ทำการวิจัย

Thesis Tittle	Kinetics of Methanol Conversion to Gasoline via Vanadosilicate Catalyst
Name	Mr. Suchart Tribumrungsuk
Thesis Advisor	Assistance Professor Ura Pancharoen, Ph.D.
Department	Chemical Engineering
Academic Year	1985

Abstract

Since the sucess of Chang and Silvestri in Methanol conversion to Gasoline via ZSM-5 as a new Zeolite catalyst. There have been many studies on this reaction by using the new different structure catalysts, including Vanadosilicate. In the engineering test, Vanadosilicate (Si/V = 90) has high selectivity on light olefins (C_2 - C_4 olefins) which are the important raw materials in Petrochemical Industries.

In this research, the kinetics of initial stages of the hydrocarbon formation reaction on Vanadosilicate (Si/V = 90) at temperature of 280, 320 and 360°C had been studied in a Microreactor (diameter = 6 mm.). It find that its reaction mechanism is the same as mechanism on ZSM-5 catalyst. The rate of reaction in this research is the intrinsic rate because of using the microreactor and high space velocity. The values of the rate constants from the kinetic model suggest that the initial rate of formation of ethylene from oxygenates is nearly equal to the rate of reaction of oxygenates with the product olefins at 280°C. When temperature increases to 320 and 360°C, the initial rate of ethylene formation is slower respectively than the rate of

reaction of oxygenates with the product olefins. The appearant activated energy of the reaction of oxygenates with the product olefins by Arrhenius's equation is 29, 569.78 calories/g-mole and its constant is 3.56×10^{14} in this temperature region.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้ได้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ต้องขอกราบขอบพระคุณท่านอาจารย์ที่ปรึกษาทั้ง 2 ท่าน คือ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุรา ปานเจริญ และ รองศาสตราจารย์ ดร.ปิยะสาร ประเสริฐธรรม ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำช่วยเหลือและอบรมสั่งสอนมาโดยตลอด รวมทั้งคณาจารย์ในภาควิชาวิศวกรรมเคมีทุก ๆ ท่านที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำ ขอขอบคุณศูนย์บริการเอกสารการวิจัยแห่งประเทศไทย สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ที่ให้ความกรุณาในการใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ในการวิจัย

วิทยานิพนธ์นี้จะไม่สามารถสำเร็จลงได้หากไม่ได้รับการสนับสนุนด้านเงินทุนวิจัยจากบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จึงขอได้รับความขอบคุณไว้ ณ ที่นี้ด้วย

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณพี่ เพื่อน และน้อง ๆ ที่เป็นกำลังใจสนับสนุนและช่วยเหลือการทำวิทยานิพนธ์มาโดยตลอด

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ฎ

สารบัญรูป ..... ฐ

สารบัญภาพ ..... ณ

บทที่

1. บทนำ 1

2. ตัวเร่งปฏิกิริยาวานาโดซิลิเคต 5

2.1 การเตรียมตังเร่งปฏิกิริยาวานาโดซิลิเคต 5

2.1 คุณลักษณะต่าง ๆ ของตัวเร่งปฏิกิริยาวานาโดซิลิเคต 8

2.3 ผลของตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อปฏิกิริยาการเปลี่ยนเมทานอล เป็นก๊าซโซลีนบนตัวเร่งปฏิกิริยาวานาโดซิลิเคต 17

3. จลนพลศาสตร์และกลไกของปฏิกิริยาการเปลี่ยนเมทานอลเป็นก๊าซโซลีน โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ZSM-5 33

3.1 ปฏิกิริยาอีเทอร์ริฟิเคชัน 33

3.2 ปฏิกิริยาการเกิดสารไฮโดรคาร์บอน 33

3.3 การเปลี่ยนแปลงของสารไอลิฟินเป็นสารพวกพาราฟิน 37

3.4 การศึกษาแบบจำลองทางจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาการเปลี่ยน เมทานอลเป็นสารไฮโดรคาร์บอน 38

บทที่

4. การทดลอง 48

4.1 การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา 48

4.2 เครื่องมือในการทดลอง 48

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.3 วิธีทดลอง 55
4.4 การวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสังเคราะห์ 56
4.5 การศึกษาจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาการเปลี่ยนเมทานอล เป็นสารไฮโดรคาร์บอนที่อุณหภูมิต่าง ๆ 59
5. ผลการทดลอง 61
6. สรุปผลการทดลอง 77
เอกสารอ้างอิง 80
ภาคผนวก ก 83
1ก คุณสมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยาวานาโดซิลิเคตที่มีค่า Si/V เท่ากับ 90 ที่ใช้ในการทดลอง 83
2ก การคำนวณหาอัตราการไหลของก๊าซเข้าที่ความเร็วเชิงสเปซ ที่ต้องการ 84
3ก กราฟความดันไอของเมทานอล 87
4ก การคำนวณน้ำหนักของคาร์บอนในเมทานอลที่เข้าเครื่องปฏิกรณ์ .. 88
ภาคผนวก ข 90
1ข โครมาโตแกรมของการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์สารไฮโดรคาร์บอน ... 90
2ข ตัวอย่างการคำนวณร้อยละของน้ำหนักคาร์บอนในผลิตภัณฑ์ 92
ภาคผนวก ค 96
1ค การใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุดในการหาสมการเส้นถดถอยแบบ เส้นตรงสำหรับตัวแปรอิสระหนึ่งตัวแปร 96
2ค โปรแกรมคอมพิวเตอร์การวิเคราะห์สมการเส้นถดถอยแบบ เส้นตรง 100
3ค การคำนวณค่าคงที่ที่เหมาะสมในการฟิตแบบจำลองตามโปรแกรม คอมพิวเตอร์ 102

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4ค ค่าคงที่สมการอาลีเนียสสำหรับค่าคงที่ k_2 ที่คำนวณได้ตามโปรแกรมคอมพิวเตอร์ 105

ภาคผนวก ง การคำนวณการเปลี่ยนของสารออกซิจิเนตที่เวลาต่าง ๆ ที่อุณหภูมิ 360 องศาเซลเซียส 106

ประวัติผู้เขียน 110

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1.1 การเปรียนเทียบงานวิจัยเกี่ยวกับการเปลี่ยนเมทานอลเป็นสารไฮโดรคาร์บอน 1

1.2 การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติการเลือกผลิตภัณฑ์ของเมทานอลตัวเร่งปฏิกิริยาเมทัลโลซิลิเคตหลาย ๆ ชนิด 3

2.1 พื้นที่ผิว BET (BET SURFACE AREA) ของ Na-form H-form ของตัวเร่งปฏิกิริยาวานาโดซิลิเคต 8

2.2 อิทธิพลของอัตราส่วน Si/V ต่อความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยาและคุณสมบัติการเลือกผลิตภัณฑ์ของตัวเร่งปฏิกิริยาเมทัลโลซิลิเคตที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส 19

2.3 อิทธิพลของอัตราส่วน Si/V ต่อความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยาและคุณสมบัติการเลือกผลิตภัณฑ์ของตัวเร่งปฏิกิริยาเมทัลโลซิลิเคตที่อุณหภูมิ 360 องศาเซลเซียส 21

2.4 ผลของความเร็วเชิงสเปซต่อความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยาและคุณสมบัติการเลือกผลิตภัณฑ์ของตัวเร่งปฏิกิริยา (∞ , 400, 200) 24

2.5 ผลของความเข้มข้นของ MeOH ต่อความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยาและคุณสมบัติการเลือกผลิตภัณฑ์ของตัวเร่งปฏิกิริยา (1,600) 26

2.6 ผลของอุณหภูมิต่อความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยาและคุณสมบัติการเลือกผลิตภัณฑ์ของตัวเร่งปฏิกิริยา H-Si-V (1,600)

2.7 ผลของอุณหภูมิต่อความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยาและคุณสมบัติการเลือกผลิตภัณฑ์ของตัวเร่งปฏิกิริยา H-Si-V (90) 31

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

3.1 การเปลี่ยนแปลงของเมทานอลเป็นสารไฮโดรคาร์บอนที่อุณหภูมิ 370 องศาเซลเซียส 42

3.2 ค่า Stoichiometric Matrix A 45

3.3 ชุดของปฏิกิริยาที่ไม่ขึ้นกับเส้นตรง 45

3.4 แสดงแบบจำลองทางจลนพลศาสตร์ 46

3.5 แสดงอัตราส่วนพารามิเตอร์ทางจลนพลศาสตร์ 47

4.1 แสดงสภาวะการวิเคราะห์ด้วยเครื่องก๊าซโครมาโตกราฟฟี 58

4.2 แสดงสภาวะการปฏิบัติการทั้งหมดของการทดลอง 59

5.1 แสดงผลการคำนวณร้อยละของน้ำหนักคาร์บอนของสารไฮโดรคาร์บอนที่อุณหภูมิ 280 องศาเซลเซียส 61

5.2 แสดงผลการคำนวณร้อยละของน้ำหนักคาร์บอนของสารไฮโดรคาร์บอนที่อุณหภูมิ 320 องศาเซลเซียส 62

5.3 แสดงผลการคำนวณร้อยละของน้ำหนักคาร์บอนของสารไฮโดรคาร์บอนที่อุณหภูมิ 360 องศาเซลเซียส 62

5.4 ผลการฟิตข้อมูลกับแบบจำลองที่อุณหภูมิ 280 องศาเซลเซียส 70

5.5 ผลการฟิตข้อมูลกับแบบจำลองที่อุณหภูมิ 320 องศาเซลเซียส 71

5.6 ผลการฟิตข้อมูลกับแบบจำลองที่อุณหภูมิ 360 องศาเซลเซียส 72

5.7 ค่า k_2 และ k_1 ที่ได้จากการคำนวณโดยสมการที่ 5.8 และ 5.9 73

5.8 ค่าคงที่ต่าง ๆ และผลการวิเคราะห์สมการอาลีเนียสสำหรับค่า k_2.. 75

1ก อัตราการไหลของก๊าซเข้าที่อุณหภูมิและความเร็วเชิงสเปซต่าง ๆ กัน 83

2ก น้ำหนักคาร์บอนในเมทานอลที่เครื่องปฏิกรณ์ที่ความเร็วเชิงสเปซและอุณหภูมิต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดลอง 84

1ง ตารางที่ 1ง ค่า $-\frac{dA}{dt}$ ที่ได้จากการคำนวณโดยกราฟและแบบจำลองทางจลนพลศาสตร์ 109

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 แผนภูมิการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาโดยวิธีที่ปรับปรุงโดยห้องปฏิบัติการวิจัยทางวิศวกรรมตัวเร่งปฏิกิริยา มหาวิทยาลัยเกียวโต.... 7

2.2 พื้นที่ผิว BET ของNa-form และ H-form ของตัวเร่งปฏิกิริยาวานาโดซิลิเคต 9

2.3 แสดงผลจาก EMAX ของตัวเร่งปฏิกิริยาวานาโดซิลิเคตที่ Si/V เท่ากับ 90 และ 3,200 10

2.4 รูปถ่าย SEM ของตัวเร่งปฏิกิริยาที่มี Si/V = ∞ ที่กำลังขยายในช่วง 3,000 - 10,000 เท่า 12

2.5 รูปถ่าย SEM ของตัวเร่งปฏิกิริยาที่มี Si/V = 200 ที่กำลังขยายในช่วง 500 - 7,000 เท่า 13

2.6 รูปถ่าย SEM ของตัวเร่งปฏิกิริยาที่มี Si/V = 90 ที่กำลังขยายในช่วง 5,000 - 10,000 เท่า 14

2.7 รูปถ่าย SEM ของตัวเร่งปฏิกิริยาที่มี Si/V = 40 ที่กำลังขยายในช่วง 3,000 - 10,000 เท่า 15

2.8 การศึกษาตัวเร่งปฏิกิริยาวานาโดซิลิเคตโดยใช้ XRD 16

2.9 กราฟ TPD (NH_3) ของตัวเร่งปฏิกิริยาวานาโดซิลิเคต 18

2.10 ผลของอัตราส่วน Si/V ต่อการกระจายของสารไฮโดรคาร์บอน (สภาวะของการเกิดปฏิกิริยา : SV = 2,000 ต่อชั่วโมง, อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส, 80 % N_2 , 20 % MeOH) 20

2.11 ผลของอัตราส่วน Si/V ต่อการกระจายของสารไฮโดรคาร์บอน (สภาวะของการเกิดปฏิกิริยา : SV = 2,000 ต่อชั่วโมง, อุณหภูมิ 360 องศาเซลเซียส, 80 % N_2 , 20 % MeOH) 22

2.12 ผลของความเร็วเชิงสเปซต่อการกระจายของสารไฮโดรคาร์บอน (สภาวะของการเกิดปฏิกิริยา : อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส, 80 % N_2 , 20 % MeOH เวลา 1 ชั่วโมง) 25

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

2.13 ผลของความเข้มข้นของ MeOH ต่อการกระจายของสารไฮโดรคาร์บอนของตัวเร่งปฏิกิริยา H-Si-V (1600) (สภาวะของการเกิดปฏิกิริยา : SV = 2,000ต่อชั่วโมง, อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส) 27

2.14 ผลของอุณหภูมิต่อการกระจายของสารไฮโดรคาร์บอนของตัวเร่งปฏิกิริยา H-Si-V (1600) (สภาวะของการเกิดปฏิกิริยา: SV = 2,000 ต่อชั่วโมง, 80 % N_2, 20 % MeOH) 30

2.15 ผลของอุณหภูมิต่อการกระจายของสารไฮโดรคาร์บอนของตัวเร่งปฏิกิริยา H-Si-V (90) (สภาวะของการเกิดปฏิกิริยา : SV = 2,000 ต่อชั่วโมง, 80 % N_2, 20 % MeOH) 32

3.1 การเปลี่ยนเมทิลอีเธอร์เป็นสารโอลิฟินที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ 35

3.2 การชนของคาร์บินต่ออีทีน 36

3.3 การชนของคาร์บินต่อโพรพีน 37

3.4 แสดงขั้นตอนการเปลี่ยนเมทานอลเป็นสารไฮโดรคาร์บอน 37

3.6 การเปรียบเทียบวิถีของปฏิกิริยา (reaction paths) การเปลี่ยนเมทานอลเป็นสารไฮโดรคาร์บอนจากการทดลองและจากทฤษฎี 43

3.7 แสดงค่าความดันขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์ทางจลนพลศาสตร์ k_1 และ k_2 44

4.1 แสดงแผนภาพเครื่องมือทดลองปฏิกิริยา MTG โดยเครื่องปฏิกรณ์ขนาดเล็ก (micro reactor) 49

4.2 กราฟการคาร์เบรทของเครื่องวัดอัตราการไหลสำหรับก๊าซชนิดต่าง ๆ 50

5.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารไฮโดรคาร์บอน $-CH_2$ ที่เหลือในสารออกซิจิเนตกับเวลาสัมผัสที่อุณหภูมิ 280 องศาเซลเซียส 64

5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารไฮโดรคาร์บอน $-CH_2$ ที่เหลือในสารออกซิจิเนตกับเวลาสัมผัสที่อุณหภูมิ 320 องศาเซลเซียส 65

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

5.3 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารไฮโดรคาร์บอน $-CH_2$ ที่เหลือในสารออกซิจิเนตกับเวลาสัมผัสที่อุณหภูมิ 360 องศาเซลเซียส 66

5.4 ความสัมพันธ์ระหว่าง k_2 กับ 1/T ที่ได้จากการคำนวณ 76

1ก แสดงตัวเร่งปฏิกิริยาวานาโดซิลิเคต (Si/V = 90) ที่ใช้ในการทดลองจาก Scanning Electron 83

2ก Pattern ของตัวเร่งปฏิกิริยาวานาโดซิลิเคต (Si/V = 90) ที่ใช้ในการทดลองจาก XRD 84

3ก กราฟความดันไอของเมทานอลในช่วงอุณหภูมิ -14 ถึง 65 องศาเซลเซียส 87

1ข โครมาโตแกรมการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ของเครื่องก๊าซโครมาโตกราฟฟี GOW MAC รุ่น Series 750 90

2ข โครมาโตแกรมการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ของเครื่องก๊าซโครมาโตกราฟฟี GOW MAC รุ่น Series 150 91

3ข โครมาโตแกรมการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ของเครื่องก๊าซโครมาโตกราฟฟี GOW MAC รุ่น Series 750 สำหรับการทดลองที่ความเร็วเชิงสเปซ 10,000 ต่อชั่วโมง อุณหภูมิ 280 องศาเซลเซียส 94

4ข โครมาโตแกรมการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ของเครื่องก๊าซโครมาโตกราฟฟี GOW MAC รุ่น Series 150 สำหรับการทดลองที่ความเร็วเชิงสเปซ 10,000 ต่อชั่วโมง อุณหภูมิ 280 องศาเซลเซียส 95

1ค แสดงความคลาดเคลื่อนของค่าแต่ละค่ารอบเส้นที่ประมาณขึ้นมา 97

2ค แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง X และ Y 99

1ง กราฟความสัมพันธ์ระหว่างสารออกซิจิเนตที่เหลือกับเวลาสัมผัสที่อุณหภูมิ 360 องศาเซลเซียส 108

สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า

4.1 เครื่องมือที่ใช้ในการทำวิจัย 52

4.2 เครื่องปฏิกรณ์ซึ่งบรรจุอยู่ในเตาปฏิกรณ์ 53

4.3 หลอดแก้วที่บรรจุสารเมทานอล 54

4.4 เครื่องก๊าซโครมาโตกราฟฟี GOW MAC รุ่น Series 150 57

4.5 เครื่องก๊าซโครมาโตกราฟฟี GOW MAC รุ่น Series 750 57