การหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดของปฏิกิริยาเคมีสำหรับไฮโดรเจนและออกซิเจน

นาย กอบบุญ หล่อทองคำ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2529

ISBN 974-566-954-7

013469

OPTIMIZATION OF CHEMICAL REACTION FOR HYDROGEN AND OXYGEN

Mr. Gobboon Lothongkum

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Chemical Engineering

Graduate School

1986

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดของปฏิกิริยาเคมีสำหรับไฮโดรเจนและออกซิเจน
โดย	นายกอบบุญ หล่อทองคำ
ภาควิชา	วิศวกรรมเคมี
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุรา ปานเจริญ
	รองศาสตราจารย์ ดร.ปิยะสาร ประเสริฐธรรม

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ ดร.สรชัย พิศาลบุตร)
รักษาการในตำแหน่งรองคณบดีฝ่ายวิชาการ
ปฏิบัติราชการแทน รักษาการในตำแหน่งคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยฤทธิ์ สัตยาประเสริฐ)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุรา ปานเจริญ)

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

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.จรัญญา พิชิตกุล)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ชยากริต ศิริอุปถัมภ์)

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดของปฏิกิริยาเคมีสำหรับไฮโดรเจนและออกซิเจน
ชื่อนิสิต	นายกอบบุญ หล่อทองคำ
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อุรา ปานเจริญ
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	รองศาสตราจารย์ ดร.ปิยะสาร ประเสริฐธรรม
ภาควิชา	วิศวกรรมเคมี
ปีการศึกษา	2528

บทคัดย่อ

การกำจัดกาซออกซิเจนออกจากบรรยากาศของกาซไฮโดรเจน ณ อุณหภูมิห้องหรืออุณหภูมิใกล้เคียง สามารถกระทำได้โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา งานวิจัยนี้ได้ศึกษาตัวเร่งปฏิกิริยาพลาตินัม นิเกิล ทองแดง และโคบอลท์ ที่อยู่บนซับพอร์ทอะลูมินา อันมีพื้นที่ผิวทั้งหมด 70 ตารางเมตรต่อกรัม โดยทำการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาเหล่านี้แบบดูดซับแห้ง ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสมในด้านพลังงานที่เกี่ยวข้อง ราคา ความว่องไวในการทำปฏิกิริยา และความปลอดภัยของการเกิดปฏิกิริยาที่อุณหภูมิต่ำ คือ ตัวเร่งปฏิกิริยาพลาตินัม สมการอัตราเร็วปฏิกิริยา เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาพลาตินัม ความเข้มข้นบนซับพอร์ทอะลูมินา 0.005 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนัก คือ

$$-r_{O_2} = 2.9979 \exp(-1187/RT)\, P_{O_2}^{1.7269}$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Thesis Title	OPTIMIZATION OF CHEMICAL REACTION FOR HYDROGEN AND OXYGEN
Name	Mr. Gobbon Lothongkum
Thesis Advisor	Assistant Professor Ura Pancharoen, D.Eng.Sc
	Associate Professor Piyasan Praserthdam, Dr.Ing.
Department	Chemical Engineering
Academic Year	1985

ABSTRACT

The elimination of oxygen from the hydrogen atmosphere at room temperature or any closer can be done by using the catalyst. Concerning with the involved energy, cost, activity and safety when the reaction take place, the most appropriate catalyst among platinum, nickel, copper and cobalt is platinum. The rate equation in a form of power law by using 0.005 percent by weight of impreghated platinum catalyst on alumina support with 70 m^2/g of BET surface area is

$$-r_{O_2} = 2.9979 \exp(-1187/RT) P_{O_2}^{1.7269}$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุรา ปานเจริญ, รองศาสตราจารย์ ดร.ปิยะสาร ประเสริฐธรรม และดร.จรัญญา พิชิตกุล ที่ได้ให้ความดูแล ช่วยเหลือ ให้คำแนะนำ ปรึกษา จนงานวิจัยนี้เสร็จสมบูรณ์ และใคร่ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยฤทธิ์ สัตยาประเสริฐ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ชยากริต ศิริอุปถัมภ์ ซึ่งเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ช่วยชี้แนะให้งานนี้เสร็จสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ตลอดจนเพื่อนร่วมงานในห้องปฏิบัติการคาตาไลซิส และเพื่อนนิสิตปริญญาโททุก ๆ ท่าน ผู้ได้ให้ความช่วยเหลือ ความสะดวกต่อการทำงานบางประการ

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณอย่างสูงต่อคุณพ่อและคุณแม่ ผู้ให้ความช่วยเหลือทั้งกำลังใจ และกำลังทรัพย์ พร้อมทั้งขอขอบพระคุณต่อคุณพี่และน้องๆ ทุกคนผู้ให้กำลังใจด้วยดีเสมอมา ขอความสุขสมบูรณ์จงมีแด่ผู้ที่ได้กล่าวอ้างมานี้ทุกๆ ท่าน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญตาราง ..... ฌ

สารบัญรูป ..... ฑ

คำอธิบายสัญญลักษณ์ ..... ฒ

คำอธิบายศัพท์วิชาการ ..... ถ

บทที่

1. บทนำ 1

2. ทฤษฎี 5

2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับคาตาไลซิส 5

2.2 เทอร์โมไดนามิกส์และพลังงาน 8

2.3 ปรากฏการณ์การดูดซับสาร 10

2.4 สมการอัตราเร็วปฏิกิริยาและแบบจำลองคณิตศาสตร์ทางจลนพลศาสตร์ 13

3. การทดลอง 27

3.1 เครื่องมือทำการทดลอง 27

3.2 การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา 35

3.3 การทดสอบตัวเร่งปฏิกิริยา 39

4. ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล 56

5. วิจารณ์ผลการทดลอง 66

6. สรุปผลการทดลอง 76

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หน้า

เอกสารอ้างอิง 77

ภาคผนวก 80

ก. กราฟมาตรฐานวัดอัตราการไหลของกาซสำหรับเครื่องวัดอัตราการไหลของกาซแบบมาโนมิเตอร์ 80

ข. การวิเคราะห์หาปริมาณกาซตัวอย่างด้วยเครื่องกาซโครมาโต-กราฟฟี 85

ค. ตัวอย่างการคำนวณหาความเข้มข้นสารละลายโลหะสำหรับใช้เตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา 90

ง. ผลการเปรียบเทียบการวิเคราะห์กาซตัวอย่างด้วยเครื่องกาซโครมาโตกราฟฟี และด้วยเครื่องวัดอัตราการไหลของกาซแบบมาโนมิเตอร์ 91

จ. การคำนวณหาสภาวะการทดลองที่ถือว่าการไหลของกาซเป็นแบบปลัก 93

ฉ. ข้อมูลดิบ 96

ช. การหาสมการตัวแทนความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนการเปลี่ยนแปลงรูปของกาซออกซิเจนกับค่าตัวประกอบเวลาในรูปสมการโพลีโนเมียล.. 114

ซ. โปรแกรม Poly-Fit 122

ฌ. การวิเคราะห์หาค่าคงที่ในสมการอัตราเร็วปฏิกิริยา 127

ญ. การคำนวณทดสอบผลการถ่ายเทมวลและความร้อนภายนอกตัวเร่งปฏิกิริยาตามสมการขีดจำกัด 131

ประวัติ 138

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1.1 แสดงผลการทดลองของ E'.A.Mamedov, V.V.Poposkii และ G.K.Borejkov 3

4.1 แสดงเปรียบเทียบราคาของสารเคมีที่ใช้เตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะต่าง ๆ 58

5.1 เปรียบเทียบสภาวะการทดลองและผลการทดลองของ J.A.Maymo และ J.M.Smith กับการทดลองในที่นี้ 70

ฉ.1 แสดงผลการทดสอบตัวเร่งปฏิกิริยา 0.005% Pt/Al_2O_3 เมตร^2/กรัม เมื่อปฏิกิริยาเกิดขึ้นภายใน 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 68 °ซ ความดัน 1 บรรยากาศ น้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยา 0.0156 กรัม ขนาด 150-200เมช อัตราการไหลกาซรวมขาเข้า 876 ซม^3/นาที ความเข้มข้น กาซออกซิเจน,กาซไฮโดรเจน,กาซไนโตรเจน เท่ากับ 1.90,28.83, 69.27 เปอร์เซนต์โดยปริมาตร ตามลำดับ 96

ฉ.2 แสดงผลการทดสอบตัวเร่งปฏิกิริยา 3% Ni/Al_2O_3 70 เมตร^2/กรัม เมื่อปฏิกิริยาเกิดขึ้นภายใน 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 175 °ซ ความดัน 1 บรรยากาศ น้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยา 0.0484 กรัม ขนาด 150-200 เมช อัตราการไหลของกาซ ผสมรวมขาเข้า 228 ซม^3/นาที ความเข้มข้นกาซออกซิเจน,กาซไฮโดรเจน,กาซไนโตรเจน เท่ากับ 4.13,43.50,43.77 เปอร์เซนต์โดยปริมาตร ตามลำดับ..... 97

ฉ.3 แสดงผลการทดสอบตัวเร่งปฏิกิริยา 3% Cu/Al_2O_3 70 เมตร^2/กรัม เมื่อปฏิกิริยาเกิดขึ้นภายใน 20 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 300 °ซ ความดัน 1 บรรยากาศ น้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยา 0.0175 กรัม ขนาด 150-200 เมช อัตราการไหลของกาซขาเข้า 380 ซม^3/นาที ความเข้มข้นกาซออกซิเจน,กาซไฮโดรเจน,กาซไนโตรเจน เท่ากับ 5.44, 61.04,33.52 เปอร์เซนต์โดยปริมาตรตามลำดับ 98

ตารางที่ หน้า

ฉ.4 แสดงผลการทดสอบตัวเร่งปฏิกิริยา 0.005% Pt/Al_2O_3 70 เมตร^2/กรัม ที่อุณหภูมิต่างๆ ความดัน 1 บรรยากาศ น้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยา 0.0156 กรัม ขนาด 150-200 เมช อัตราการไหลของกาซผสมขาเข้า 876 ซม^3/นาที ความเข้มข้นกาซออกซิเจน,กาซไฮโดรเจน,กาซไนโตรเจน เท่ากับ 1.90, 28.83,69.27 เปอร์เซนต์ โดยปริมาตร ตามลำดับ ในหน่วยโมลต่อนาที เท่ากับ 6.69512×10^{-4}, 1.0145×10^{-2}, 2.78110×10^{-3} ตามลำดับ.. 99

ฉ.5 แสดงผลการทดสอบตัวเร่งปฏิกิริยา 3% Ni/Al_2O_3 70 เมตร^2/กรัม ที่อุณหภูมิต่างๆ ความดัน 1 บรรยากาศ น้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยา 0.0157 กรัม ขนาด 150-200 เมช อัตราการไหลกาซผสมขาเข้า 530 ซม^3/นาที ความเข้มข้นกาซออกซิเจน,กาซไฮโดรเจน,กาซไนโตรเจน เท่ากับ 3.65, 60.19,36.16 เปอร์เซนต์ โดยปริมาตร ตามลำดับ ในหน่วยโมล/นาที เท่ากับ 7.86546×10^{-4}, 1.29494×10^{-2}, 7.77714×10^{-3} ตาม ลำดับ 100

ฉ.6 แสดงผลการทดสอบตัวเร่งปฏิกิริยา 3% Cu/Al_2O_3 70 เมตร^2/กรัม ที่อุณหภูมิต่างๆ ความดัน 1 บรรยากาศ น้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยา 0.0151 กรัม ขนาด 150-200 เมช อัตราการไหลเข้าของกาซผสมเท่ากับ 529 ซม^3/นาที ความเข้มข้นของกาซออกซิเจน,กาซไฮโดรเจน,กาซไนโตรเจน เท่ากับ 3.59,60.30,36.11 เปอร์เซนต์ โดยปริมาตร ตามลำดับ ในหน่วยโมล/นาที เท่ากับ 7.62867×10^{-4}, 1028081×10^{-2},7.66882×10^{-3} ตามลำดับ..... 101

ฉ.7 แสดงผลการทดสอบตัวเร่งปฏิกิริยา 5% Co/Al_2O_3 70 เมตร^2/กรัม ที่อุณหภูมิต่างๆ ความดัน 1 บรรยากาศ น้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยา 0.015 กรัม ขนาด 150-200 เมช อัตราการไหลขาเข้าของกาซผสมเท่ากับ 529 ซม^3/นาที ความเข้มข้นของกาซออกซิเจน,กาซไฮโดรเจน,กาซไนโตรเจน เท่ากับ 3.60,60.22,36.18 เปอร์เซนต์โดยปริมาตร ตามลำดับ ในหน่วยโมล/นาที เท่ากับ 7.64992×10^{-4}, 1.27911×10^{-2}, 7.68369×10^{-3} ตาม ลำดับ 102

ตารางที่ หน้า

ฉ.8 แสดงผลการทดสอบตัวเร่งปฏิกิริยา 1% Ni/Al_2O_3 70 เมตร^2/กรัม ที่อุณหภูมิต่างๆ ความดัน 1 บรรยากาศ น้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยา 0.0155 กรัม ขนาด 150-200 เมช อัตราการไหลขาเข้าของกาซผสมรวมเท่ากับ 513 ซม^3/นาที ความเข้มข้นของกาซออกซิเจน,กาซไฮโดรเจน,,กาซไนโตรเจน เท่ากับ 3.58,60.42,36.00 เปอร์เซนต์โดยปริมาตรตามลำดับ ในหน่วยโมลต่อนาทีเท่ากับ 7.60742×10^{-4}, 1028336×10^{-2}, 7.64546×10^{-3} ตามลำดับ 103

ฉ.9 แสดงค่าสัดส่วนการเปลี่ยนแปลงรูปกาซออกซิเจนที่ค่าตัวประกอบเวลาต่างๆ สำหรับตัวเร่งปฏิกิริยา 0.005% Pt/Al_2O_3 70 เมตร^2/กรัม ที่อุณหภูมิ 53 °ซ ความดัน 1 บรรยากาศ น้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยา 0.0058 กรัม ผสมกับซับพอร์ทเฉื่อยที่มีพื้นที่ผิวทั้งหมด 1-2 เมตร^2/กรัม 0.0065 กรัม ขนาด 200-250 เมช อัตราการไหลของกาซขาเข้า 490-1500 ซม^3/นาที ความเข้มข้นของกาซออกซิเจน,กาซไฮโดรเจน, กาซไนโตรเจน 2.07,27.80,70.00 เปอร์เซนต์โดยปริมาตรตามลำดับ... 104

ฉ.10 แสดงสัดส่วนการเปลี่ยนรูปกาซออกซิเจนที่ค่าตัวประกอบเวลาต่างๆ สำหรับตัวเร่งปฏิกิริยา 0.005% Pt/Al_2O_3 70 เมตร^2/กรัม ที่อุณหภูมิ 53 °ซ ความดัน 1 บรรยากาศ น้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยา 0.0065 กรัม ผสมกับซับพอร์ทเฉื่อยที่มีพื้นที่ผิวทั้งหมด 1-2 เมตร^2/กรัม 0.0065 กรัม ขนาด 200-250 เมช อัตราการไหลของกาซขาเข้า 500-1075 ซม^3/นาที ความเข้มข้นกาซออกซิเจน,กาซไฮโดรเจน,กาซไนโตรเจน 2.07,27.96, 69.79 เปอร์เซนต์โดยปริมาตร ตามลำดับ..... 106

ฉ.11 แสดงสัดส่วนการเปลี่ยนรูปของกาซออกซิเจนที่ค่าตัวประกอบต่างๆ สำหรับตัวเร่งปฏิกิริยา 0.005% Pt/Al_2O_3 70 เมตร^2/กรัม ที่อุณหภูมิ 53 °ซ ความดัน 1 บรรยากาศ น้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยา 0.0119 กรัม ขนาด 200-250 เมช อัตราการไหลของกาซขาเข้า 1000-2000 ซม^3/นาที ความเข้มข้นกาซออกซิเจน,กาซไฮโดรเจน,กาซไนโตรเจน 2.08,27.79, 69.95 เปอร์เซนต์โดยปริมาตร ตามลำดับ 107

ตารางที่ หน้า

ฉ.12 แสดงสัดส่วนการเปลี่ยนรูปกาซออกซิเจนที่ค่าตัวประกอบเวลาต่างๆ เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 0.005%Pt/Al_2O_3 70 เมตร^2/กรัม ที่อุณหภูมิ 53 °ซ ความดัน 1 บรรยากาศ น้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยา 0.0209 กรัม ขนาด 200-250 เมช อัตราการไหลกาซขาเข้า 1800-3070 ซม^3/นาที ความเข้มข้นของกาซออกซิเจน,กาซไฮโดรเจน,กาซไนโตรเจน 2.08,27.96,69.96 เปอร์เซนต์ โดยปริมาตร ตามลำดับ 108

ฉ.13 แสดงสัดส่วนการเปลี่ยนรูปกาซออกซิเจนที่ค่าตัวประกอบเวลาต่างๆ เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 0.005% Pt/Al_2O_3 70 เมตร^2/กรัม ที่อุณหภูมิ 53 °ซ ความดัน 1 บรรยากาศ น้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยา 0.0281 กรัม ขนาด 200-250 เมช อัตราการไหลเข้าของกาซรวม 2647-4512 ซม^3/นาที ความเข้มข้นกาซออกซิเจน,กาซไฮโดรเจน,กาซไนโตรเจน 2.08,27.93,69.98 เปอร์เซนต์ โดยปริมาตร ตามลำดับ 109

ฉ.14 แสดงสัดส่วนการเปลี่ยนรูปกาซออกซิเจนที่อุณหภูมิต่างๆ ความดัน 1 บรรยากาศ เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 0.005%Pt/Al_2O_3 70 เมตร^2/กรัม น้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยา 0.0190 กรัม ขนาด 200-250 เมช อัตราการไหลของกาซผสม 2066 ซม^3/นาที ความเข้มข้นของกาซออกซิเจน,กาซไฮโดรเจน,กาซไนโตรเจน 1.87,20.99,77.14 เปอร์เซนต์ ตามลำดับ ในหน่วยโมล/นาที เท่ากับ 1.54796×10^{-3}, 1.736108×10^{-2}, 6.380883×10^{-3} ตามลำดับ 111

ฉ.15 แสดงสัดส่วนการเปลี่ยนแปลงรูปกาซออกซิเจนที่อุณหภูมิต่างๆ ความดัน 1 บรรยากาศ เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 0.005%Pt/Al_2O_3 70 เมตร^2/กรัม น้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยา 0.0103 ขนาด 200-250 เมช อัตราการไหลกาซผสม 2020 ซม^3/นาที ความเข้มข้น

ตารางที่ หน้า

กาซออกซิเจน,กาซไฮโดรเจน,กาซไนโตรเจน, 1.67,
20.58,77.75 เปอร์เซนต์โดยปริมาตร ตามลำดับ ในหน่วย
โมล/นาที 1.37636×10^{-3}, 1.69734×10^{-2}, 6.41064×10^{-2}
ตามลำดับ 112

ฉ.16 แสดงสัดส่วนการเปลี่ยนรูปกาซออกซิเจนที่อุณหภูมิต่างๆ
ความดัน 1 บรรยากาศ เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 0.005% Pt/Al_2O_3
350 เมตร^2/กรัม น้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยา 0.0193 กรัม ขนาด
200-250 เมช อัตราการไหลกาซผสม 2364 ซม^3/นาที ความ
เข้มข้นกาซออกซิเจน,กาซไฮโดรเจน,กาซไนโตรเจน 1.99,
17.72,80.29 เปอร์เซนต์โดยปริมาตรตามลำดับ ในหน่วยโมล/
นาที เท่ากับ 1.87735×10^{-3},1.66467×10^{-2}, 7.54688×10^{-2}
ตามลำดับ 113

ฌ.1 แสดงค่าอัตราเร็วปฏิกิริยาที่ความดันย่อยกาซออกซิเจนต่างๆ..... 128

ฌ.2 แสดงการคำนวณเทอมต่างๆเพื่อคำนวณค่าสถิติ F 130

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 แสดงแผนภาพพลังงานกับการดำเนินไปของปฏิกิริยา กรณีมีตัวเร่งปฏิกิริยาเกี่ยวข้อง ทำให้ปฏิกิริยาเกิดขึ้นได้ดีกว่าเดิมอย่างไร ตามทฤษฎีทรานสิชันสเตท 9

2.2 แสดงแผนภาพพลังงานเปลี่ยนไปตามแต่ละขั้นตอนของปฏิกิริยาขณะดำเนินไป เมื่อมีตัวเร่งปฏิกิริยาเกี่ยวข้อง 10

3.1 แสดงภาพเครื่องมือทำการทดลอง 27

3.2 แสดงภาพทิศทางการไหลของกาซในเครื่องมือทำการทดลอง..... 28

3.3 แสดงเครื่องมือวัดอัตราการไหลของกาซแบบมาโนมิเตอร์ 29

3.4 แสดงภาพเตาปฏิกรณ์เคมีที่ใช้ในการทดลอง 32

3.5 แสดงรายละเอียดของเตาปฏิกรณ์เคมีที่ใช้ในการทดลอง 33

3.6 เครื่องกาซโครมาโตกราฟฟีของบริษัท GOW MAC จำกัด รุ่น series 150 34

3.7 เครื่องบันทึกสัญญาณของบริษัท OHGURA จำกัด..... 35

3.8 แสดงเครื่องมือใช้หาปริมาตรรูพรุนของซับพอร์ทโดยการแทนที่น้ำ... 36

3.9 แสดงชุดเครื่องมือการดูดซับสารละลายโลหะบนซับพอร์ท..... 37

3.10 แสดงเครื่องมือใช้ในการเผาตัวเร่งปฏิกิริยาที่อุณหภูมิสูง..... 38

3.11 แสดงเตาปฏิกรณ์เคมีของตัวเร่งปฏิกิริยาแบบเบดหยุดนิ่งที่มีการไหลเป็นแบบปลัก 39

3.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนการเปลี่ยนรูปกับค่าตัวประกอบเวลา 40

รูปที่ หน้า

ข.1 แสดงโครมาโตแกรมตัวอย่างที่ได้จากการวิเคราะห์กาซตัวอย่างด้วยเครื่องกาซโครมาโตกราฟฟี 86

ข.2 กราฟมาตรฐานสำหรับหาปริมาณกาซออกซิเจนด้วยเครื่องกาซโครมาโตกราฟฟี 87

ข.3 กราฟมาตรฐานสำหรับหาปริมาณกาซไฮโดรเจนด้วยเครื่องกาซโครมาโตกราฟฟี 88

ข.4 กราฟมาตรฐานสำหรับหาปริมาณกาซไนโตรเจนด้วยเครื่องกาซโครมาโตกราฟฟี 89

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คำอธิบายสัญญลักษณ์

A = สัมประสิทธิ์การชนในสมการอาเรนเนียส

A_b = พื้นที่หน้าตัดของเบดของแข็ง, ซม^2

C_{si} = ความเข้มข้นของสาร ที่ผิวภายนอกตัวเร่งปฏิกิริยา, กรัมโมล/ลบ.ซม.

C_{bi} = ความเข้มข้นของสาร ในเฟสของไหล, กรัมโมล/ลบ.ซม.

C_{ii} = ความเข้มข้นขาเข้าเตาปฏิกรณ์เคมีของสาร ,กรัมโมล/ลบ.ซม.

C_{if} = ความเข้มข้นขาออกเตาปฏิกรณ์เคมีของสาร ,กรัมโมล/ลบ.ซม.

D_p = เส้นผ่าศูนย์กลางของของแข็ง, ซม.

D_e = สัมประสิทธิ์การแพร่ประสิทธิผล, ซม^2/วินาที

D_a = สัมประสิทธิ์การกระจายในแนวแกนเตาปฏิกรณ์เคมี, ซม^2/วินาที

E = พลังงานจำเป็นที่สารตั้งต้นต้องใช้เพื่อให้เกิดปฏิกิริยา (energy barrier)

E_s = ค่าพลังงานกระตุ้นแท้จริงของปฏิกิริยา

E_a = ค่าพลังงานกระตุ้น

F_{ii} = อัตราการไหลเข้าเตาปฏิกรณ์เคมีของสาร i ,กรัมโมล/วินาที

F_{if} = อัตราการไหลออกจากเตาปฏิกรณ์เคมีของสาร i ,กรัมโมล/วินาที

ΔG = พลังงานอิสระกิบบส์

ΔH = การเปลี่ยนแปลงค่าเอทธาลปีของปฏิกิริยา,กิโลคาลอรี/โมล

K = ค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยา

K_i = ค่าคงที่สมดุลของการดูดซับสาร i = k_i/k_i'

L = ความสูงของเบด, ซม.

P_i = ความดันย่อยสาร i ,บรรยากาศ

P_o = ความดันไอสารบริสุทธิ์, บรรยากาศ

ΔP = ความดันลดระหว่างเบดของของแข็ง ,บรรยากาศ

Pe_a = ตัวเลขเพคเลตเทียบกับสัมประสิทธิ์การกระจายในแนวแกนเตาปฏิกรณ์เคมี

Q = อัตราการไหลของกาซเชิงปริมาตร, ซม^3/วินาที

R = ค่าคงที่ของกาซ

R_o = รัศมีของเตาปฏิกรณ์เคมี, ซม.

R_e = ค่าตัวเลขเรย์โนลด์

ΔS = เอนโทรปีของปฏิกิริยา

T = อุณหภูมิ, เคลวิน

T_s = อุณหภูมิที่ผิวตัวเร่งปฏิกิริยา, เคลวิน

T_b = อุณหภูมิของเฟสของไหล, เคลวิน

T_w = อุณหภูมิที่ผนังเตาปฏิกรณ์เคมี, เคลวิน

T.F. = ตัวประกอบเวลา, กรัม-นาที/โมล

V = ความเร็วซุปเปอร์ฟิเชียล, ซม/วินาที

X_i = สัดส่วนการเปลี่ยนรูปสาร i

a_i = แอกติวิตีของสาร i

d_p = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของตัวเร่งปฏิกิริยา, ซม.

g_c = ตัวประกอบสัดส่วนตามกฎของนิวตัน

h = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนแบบการพา, คาลอรี/ซม^2-วินาที-เคลวิน

k_i = ค่าคงที่ของการดูดซับสาร i

k_i' = ค่าคงที่ของการคายสาร i

k_h = ค่าคงที่ของสมการอัตราเร็วปฏิกิริยาแบบยกกำลังสำหรับระบบโฮโมจีเนียส

k_o = ค่าคงที่ของสมการอัตราเร็วปฏิกิริยาแบบยกกำลังสำหรับระบบเฮโตโรจีเนียส

k_s = ค่าคงที่ของสมการอัตราเร็วปฏิกิริยา สำหรับปฏิกิริยาที่มีกลไกแบบแลงเมียร์-ไฮเชนวูด

k_s' = ค่าคงที่ของสมการอัตราเร็วปฏิกิริยาสำหรับปฏิกิริยาที่มีกลไกแบบรีเดียล

k_c = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวล, กรัม/ซม^2-วินาที

n_i = จำนวนโมลของสาร i

n = ลำดับของปฏิกิริยา

q = ความร้อนของการดูดซับแบบดิฟเฟอเรนเชียลตามสมการการดูดซับของเทมคิน

r_p = รัศมีของตัวเร่งปฏิกิริยา, ซม

r_w = อัตราเร็วปฏิกิริยาต่อหน่วยน้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยา, โมล/กรัม-วินาที

$(-r)$ = อัตราเร็วปฏิกิริยาที่สังเกตได้ต่อหน่วยปริมาตรตัวเร่งปฏิกิริยา, โมล/ซม^3-วินาที

$(-r)_b$ = อัตราเร็วปฏิกิริยาที่สังเกตได้ต่อหน่วยปริมาตรเบด, โมล/ซม^3-วินาที

$\bar{u}$ = ความเร็วเฉลี่ยของของไหล, ซม/วินาที

W = น้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยา, กรัม

ε = สัดส่วนช่องว่างในเบดของแข็ง

μ = สัมประสิทธิ์ความหนืด, กรัม/ซม-วินาที

ρ = ความหนาแน่นของของไหล, กรัม/ลบ.ซม.

σ = พารามิเตอร์ ไม่มีหน่วยของสตอกแมร์
(dimensionless parameter of Stock Mayer)

Ω_v = อินทิกรัลการชน (collision integral)

θ = สัดส่วนพื้นผิวหน้าอิสระ

θ_i = สัดส่วนของพื้นที่ผิวถูกปกคลุมด้วยโมเลกุลหรืออะตอมของตัวถูกดูดซับ i

σ_{AB} = ค่าคงที่ของแรงสำหรับเลนนาร์ด-โจน ของคู่ของโมเลกุล
(Lennard-Jone force constant for the binary)

λ = ความร้อนของการดูดซับ, คาลอรี/โมล

Φ_s = ค่าแสดงความเป็นทรงกลม

λ_p = ค่าความนำความร้อนของอนุภาค, คาลอรี/วินาที-ซม.-°ซ

λ_e = ความนำความร้อนประสิทธิผล, คาลอรี/วินาที-ซม.-°ซ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คำอธิบายศัพท์วิชาการ

กราวิเมติก	เป็นเทคนิคการทดลองหาปริมาณสารโดยการชั่งน้ำหนัก
กาซโครมาโตร-	เป็นเทคนิควัดหาคุณภาพและปริมาณสารในสารผสมโดยคุณสมบัติการแพร่
กราฟฟี	หรือการดูดซับสาร (Adsorption)
ความเร็ว	ความเร็วของของไหลที่ไหลผ่านอนุภาคของแข็ง
ซุปเปอร์ฟิเชียล	
คาตาไลซีส	กระบวนการที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา
โครมาโตแกรม	ลักษณะการบันทึกของเครื่องบันทึกสัญญาณออกมาเป็นรูปคล้ายรูปสามเหลี่ยม
จลนพลศาสตร์	วิชาความรู้ว่าด้วยกลไกขั้นตอนปฏิกิริยาย่อยของปฏิกิริยา
แชลเนอรลิง	ลักษณะการไหลของของไหลผ่านช่องว่างของเบดอย่างรวดเร็ว
ซิลิกาเจล	สารเคมีชนิดหนึ่งมีคุณสมบัติดูดจับน้ำได้ดี
ซับพอร์ท	สารของแข็งรูพรุนมากมาย มีพื้นที่ผิวทั้งหมดสูงใช้เป็นสารให้ตัวเร่งปฏิกิริยา จับหรือนั่งอยู่ เพื่อให้ตัวเร่งปฏิกิริยาสามารถทำปฏิกิริยาได้ดีขึ้น
เบด	ส่วนของของแข็งที่ถูกบรรจุภายในเตาปฏิกรณ์เคมี
ปลัก	ลักษณะการไหลของของไหลที่ถือว่าไม่มีการกระจายมวลสารในแนวแกนและรัศมีเตาปฏิกรณ์เคมี
มาโนมิเตอร์	เครื่องมือวัดความดันลด ทำด้วยท่อรูปตัวยู บรรจุของเหลวภายใน
รีดักชัน	กระบวนการที่สารทำปฏิกิริยากับกาซไฮโดรเจน ทำให้ตัวเลขออกซิเดชันของสารลดลง
ออกซิเดชัน	กระบวนการที่สารทำปฏิกิริยากับกาซออกซิเจน ทำให้ตัวเลขออกซิเดชันของสารเพิ่มขึ้น
ไฮโดรเจเนชัน	กระบวนการเติมกาซไฮโดรเจนลงในโมเลกุลของสาร
โฮโมจีเนียส	ระบบที่มีสารอยู่ในเฟสเดียว
เฮโตโรจีเนียส	ระบบที่มีสารต่างเฟสกัน โดยทั่วไปหมายถึงระบบที่มีสองเฟส

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย