

ผลของการเผาที่อุณหภูมิสูงที่มีต่อพื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิล



นาย สุพจน์ พัฒนศรี

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาคตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2530

ISBN 974-568-433-3

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

013071

11029305X

EFFECT OF CALCINATION ON SURFACE AREA OF NICKEL CATALYST

Mr. Supoj Patanasri

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

หัวข้อวิทยานิพนธ์ ผลของการเผาที่อุณหภูมิสูงที่มีต่อพื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิล

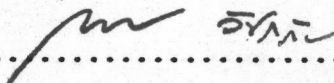
โดย นาย สุพจน์ พัฒน์ศรี

ภาควิชา วิศวกรรมเคมี

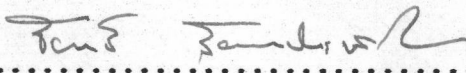
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร. ปิยะสาร ประเสริฐธรรม

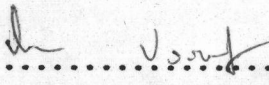


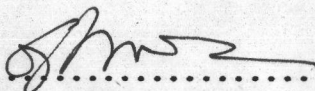
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยนี้เป็นส่วนหนึ่ง  
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต

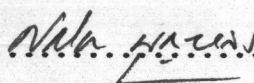
  
.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย  
(ศาสตราจารย์ ดร.ถาวร วัชรากัย)

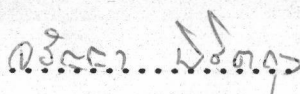
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

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

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

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

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

  
.....กรรมการ  
(อาจารย์ ดร.จรัญญา พิซิคกุล)



สุพจน์ พัฒนศรี : ผลของการเผาที่อุณหภูมิสูงที่มีต่อพื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิล (EFFECT OF CALCINATION ON SURFACE AREA OF NICKEL CATALYST) อ.ที่ปรึกษา : รศ.ดร. บิยะสาร ประเสริฐธรรม, 133 หน้า.

ในการศึกษานี้ได้เตรียมตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิล 8% โดยนำหนักโดยวิธีซบแห้งบนตัวรองรับอะลูมินาที่มีพื้นที่ผิวทั้งหมด 8.1, 32.2, 67.4 และ 342.5 ตารางเมตรต่อกรัม ตามลำดับ หลังจากทำการเผาที่อุณหภูมิสูงภายใต้ภาวะต่าง ๆ พบว่า ชุดของ 8% Ni บนตัวรองรับอะลูมินาที่มีพื้นที่ผิวทั้งหมด 8.1 ตารางเมตรต่อกรัม จะให้พื้นที่ผิวส่วนที่ว่องไวต่อปฏิกิริยาสูงสุด คือ 0.70 ตารางเมตร ต่อกรัม เมื่อทำการเผาที่อุณหภูมิ 300°ซ ด้วยอัตราเร็ว 15°ซ ต่อนาที และทิ้งไว้เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ส่วนชุดของ 8% Ni บนตัวรองรับอะลูมินาที่มีพื้นที่ผิวทั้งหมด 32.2, 67.4 และ 342.5 ตารางเมตรต่อกรัมนั้นจะให้พื้นที่ผิวส่วนที่ว่องไวต่อปฏิกิริยาสูงสุด คือ 1.87, 3.76 และ 7.81 ตารางเมตรต่อกรัม ตามลำดับ เมื่อทำการเผาที่อุณหภูมิ 300°ซ ด้วยอัตราเร็ว 10°ซ ต่อนาที และทิ้งไว้เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากการหาสมการอัตราการรวมตัว เนื่องจากความร้อนของตัวเร่งปฏิกิริยา 8% Ni บนตัวรองรับอะลูมินาทั้ง 4 ชุด ที่อุณหภูมิ 300°ซ พบว่า ชุดของ 8% Ni บนตัวรองรับอะลูมินาที่มีพื้นที่ผิวทั้งหมด 8.1 ตารางเมตรต่อกรัม จะมีอันดับของสมการเท่ากับ 7 และมีค่าคงที่ของการรวมตัว เนื่องจากความร้อนเท่ากับ  $0.28 \text{ เมตร}^{-12} \text{ กรัม}^6 \text{ ชั่วโมง}^{-1}$  ส่วนชุดของ 8% Ni บนตัวรองรับอะลูมินาที่มีพื้นที่ผิวทั้งหมด 32.2, 67.4 และ 342.5 ตารางเมตรต่อกรัมจะมีอันดับของสมการเท่ากับ 6, 4, 2 และมีค่าคงที่ของการรวมตัว เนื่องจากความร้อนเท่ากับ  $1.66 \times 10^{-3} \text{ เมตร}^{-10} \text{ กรัม}^5 \text{ ชั่วโมง}^{-1}$ ,  $6.35 \times 10^{-4} \text{ เมตร}^{-6} \text{ กรัม}^3 \text{ ชั่วโมง}^{-1}$  และ  $4.17 \times 10^{-3} \text{ เมตร}^{-2} \text{ กรัม} \text{ ชั่วโมง}^{-1}$  ตามลำดับ

ภาควิชา ..... วิศวกรรมเคมี  
สาขาวิชา ..... วิศวกรรมเคมี  
ปีการศึกษา ..... 2530

ลายมือชื่อนิสิต .....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....



SUPOJ PATANASRI : EFFECT OF CALCINATION ON SURFACE AREA OF NICKEL CATALYST. THESIS ADVISOR : ASSO. PROF. PIYASAN PRASERTHDAM, Dr. Ing. 133 PP.

Nickel catalysts were prepared by dry impregnation of nickel nitrate on alumina support having 4 different BET area of 8.1, 32.2, 67.4 and 342.5 square metre per gram in 8% of nickel on alumina. Those catalysts then were calcined at various calcination temperature, heating rate and maintain period. From the experiments, the nickel catalyst on 8.1 square metre per gram of alumina calcined at 300°C with heating rate 15°C/minute and maintain for 1 hour was found to possess the largest active surface area of 0.70 square metre per gram with the 7th order of sintering rate equation having sintering rate constant, at 300°C, of  $0.28 \text{ metre}^{-12} \text{ gram}^6 \text{ hour}^{-1}$ . The others on 32.2, 67.4 and 342.5 square metre per gram of alumina calcined at 300°C with heating rate 10°C/minute and maintain for 1 hour were found to possess the largest active surface area of 1.87, 3.76, 7.81 square metre per gram with the 6th, 4th, 2nd order of sintering rate equation having sintering rate constant, at 300°C, of  $1.66 \times 10^{-3} \text{ metre}^{-10} \text{ gram}^{-1} \text{ hour}^{-1}$ ,  $6.35 \times 10^{-4} \text{ metre}^{-6} \text{ gram}^3 \text{ hour}^{-1}$  and  $4.17 \times 10^{-3} \text{ metre}^{-2} \text{ gram} \text{ hour}^{-1}$  respectively.

ภาควิชา ..... วิศวกรรมเคมี  
สาขาวิชา ..... วิศวกรรมเคมี  
ปีการศึกษา ..... 2530

ลายมือชื่อนิสิต .....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ..... 2530



### กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร. ปิยะสาร ประเสริฐธรรม ที่ให้ความ  
คุณช่วยเหลือ ให้คำแนะนำปรึกษาจนงานวิจัยนี้เสร็จสมบูรณ์ และใคร่ขอขอบพระคุณอาจารย์  
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่าน ที่ช่วยชี้แนะให้งานนี้เสร็จสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ขอกราบคารวะ  
คุณพ่อคุณแม่ที่ได้ให้กำลังใจและให้ความสนับสนุนด้านการเงินตลอดมา ขอขอบ คุณเพื่อนร่วม  
งานในห้องปฏิบัติการคหะตาไลซิส และเพื่อนนิสิตปริญญาโททุก ๆ ท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือ  
ความสะดวกต่อการทำงานบางประการ

สำหรับทุนอุดหนุนการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ได้รับจากบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหา  
วิทยาลัย จึงใคร่ขอขอบพระคุณไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

สุพจน์ พัฒนศรี

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
2530





บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
รายการตารางประกอบ.....	ช
รายการรูปประกอบ.....	ญ
บท	
1 บทนำ.....	1
1.1 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	3
1.2 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย.....	3
2 ทฤษฎีการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา.....	5
2.1 การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิทพันธ์.....	6
2.2 กรรมวิธีหลังจากการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา.....	13
2.3 ตัวรองรับ.....	17
2.4 โพรโมเตอร์.....	18
2.5 ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบโลหะเกาะบนตัวรองรับ.....	20
2.6 การรวมตัวของตัวเร่งปฏิกิริยาเนื่องจากความร้อน.....	21
3 คุณสมบัติทางภาพของตัวเร่งปฏิกิริยา.....	27
3.1 การวัดพื้นที่ผิว.....	27
3.2 การหาปริมาตรของรูพรุนหรือช่องว่างของรูพรุน.....	38
3.3 การแจกแจงขนาดของรูพรุน.....	38
3.4 การแจกแจงขนาดของตัวเร่งปฏิกิริยา.....	42
4 เครื่องมือทดลองและหลักการ.....	44
4.1 เครื่องมือสำหรับเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาโดยวิธีขับ.....	44
4.2 เครื่องมือสำหรับเผาที่อุณหภูมิสูง.....	44



	หน้า
4.3 เครื่องมือสำหรับทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของตัวเร่งปฏิกิริยา.....	48
5 วิธีการทดลอง และผลการทดลอง.....	54
5.1 วิธีการทดลอง.....	54
5.2 ผลการทดลอง.....	59 ✕
6 สรุปผลการทดลองและอภิปราย.....	82
6.1 สรุปผลการทดลอง.....	82
6.2 อภิปราย.....	83
เอกสารอ้างอิง.....	87
ภาคผนวก.....	92
ศัพท์ทางวิชาการ.....	129
ประวัติผู้เขียน.....	131

รายการตารางประกอบ

ตารางที่	หน้า
2.1 ความแตกต่างระหว่างตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธ์ และตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธ์..	5
2.2 ความดันคาพิลารีของตัวรองรับต่างชนิดกัน.....	9
2.3 ข้อได้เปรียบเสียเปรียบของการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาแบบซัพ และแบบตกตะกอน.....	13
2.4 คุณสมบัติของตัวรองรับ.....	17
2.5 ตัวรองรับแบ่งตามคุณสมบัติที่เป็นเบส กรด กลาง ครึ่งกรดครึ่งเบส และจุลหุลอมเหลว.....	19
2.6 ตัวรองรับแบ่งตามพื้นที่ผิว.....	19
3.1 การหาพื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาโดยวิธีต่าง ๆ.....	35
3.2 ความหนาของชั้นที่ดูดซับบนสารไม่มีรูพรุนกับค่า $P/P_0$ .....	41
3.3 Tyler Standard sieve series (TSSS).....	43
5.1 การหาปริมาตรของรูพรุนของตัวรองรับอะลูมินา.....	59
5.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณของนิกเกิลบนตัวรองรับอะลูมินาด้วย เครื่องอะตอมมิกแบบขอบชั้น.....	60
5.3 คุณสมบัติของตัวรองรับ CS-303 ของบริษัทยูไนเท็คกาทาลิส.....	60
5.4 คุณสมบัติของตัวรองรับ SA-3323 ของบริษัทนอตัน.....	62
5.5 คุณสมบัติของตัวรองรับ KNH 2 ของบริษัทซุมิโตโม.....	63
5.6 คุณสมบัติของตัวรองรับ KNH 3 ของบริษัทซุมิโตโม.....	64
5.7 ผลของการเผาที่อุณหภูมิสูงที่มีต่อพื้นที่ผิวทั้งหมดของตัวรองรับอะลูมินา .....	65
5.8 ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาที่มีต่อพื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิล .....	66
5.9 ผลของอัตราการเพิ่มอุณหภูมิในการเผาที่มีต่อพื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา นิกเกิล .....	68



ตารางที่	หน้า
5.10 ผลของระยะเวลาที่ทิ้งไว้ ณ อุณหภูมิในการเผาที่มีต่อพื้นที่ผิวของ ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิล .....	69
5.11 ผลของขนาดพื้นที่ผิวทั้งหมดของตัวรองรับอะลูมินาที่มีต่อระดับของ การเกิดการรวมตัวเนื่องจากความร้อนภายในช่วงอุณหภูมิในการเผา ที่ศึกษา .....	70
5.12 ผลของขนาดพื้นที่ผิวทั้งหมดของตัวรองรับอะลูมินาที่มีต่อระดับของ การเกิดการรวมตัวเนื่องจากความร้อนภายในช่วงอัตราการเพิ่ม อุณหภูมิในการเผาที่ศึกษา .....	71
5.13 ผลของขนาดพื้นที่ผิวทั้งหมดของตัวรองรับอะลูมินาที่มีต่อระดับของ การเกิดการรวมตัวเนื่องจากความร้อนภายในช่วงระยะเวลาที่ทิ้งไว้ ณ อุณหภูมิในการเผาที่ศึกษา .....	72
5.14 ผลการหาสมการอัตราการรวมตัวเนื่องจากความร้อนของตัวเร่ง ปฏิกิริยานิกเกิล ตามโมเดลของรัคเคนสไตน์และพัลเวอร์เมเชอร์ .....	73
5.15 ผลการวิเคราะห์ด้วยเอกซเรย์ดิฟแฟรคชัน .....	73
5.16 ภาวะการวิเคราะห์หาพื้นที่ผิวของโลหะบนตัวเร่งปฏิกิริยาต่าง ๆ ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี .....	74
ก.4.1 ข้อมูลแสดงการลดลงของพื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลบนตัวรองรับ อะลูมินา CS-303 เมื่อทำการเผาที่อุณหภูมิ 300 °ซ และทิ้งไว้ ที่เวลาต่าง ๆ .....	96
ก.4.2 ข้อมูลแสดงการลดลงของพื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลบนตัวรองรับ อะลูมินา SA-3232 เมื่อทำการเผาที่อุณหภูมิ 300 °ซ และทิ้งไว้ ที่เวลาต่าง ๆ .....	97
ก.4.3 ข้อมูลแสดงการลดลงของพื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลบนตัวรองรับ อะลูมินา KNH 2 เมื่อทำการเผาที่อุณหภูมิ 300 °ซ และทิ้งไว้ ที่เวลาต่าง ๆ .....	98



ตารางที่

หน้า

ก.4.4 ข้อมูลแสดงการลดลงของพื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลบนตัวรองรับ อะลูมินา KNH 3 เมื่อทำการเผาที่อุณหภูมิ 300 °ซ และทิ้งไว้ ที่เวลาต่าง ๆ .....	100
---	-----

## รายการรูปประกอบ

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงพฤติกรรมของการดูดซับแก๊สโลหะที่แพร่กระจายเข้าไปในรูพรุนของตัวเร่งปฏิกิริยา.....	7
2.2 แสดงการดูดซับของกรดคลอโรฟอสฟอริกบนตัวรองรับ Columbia Carbon และ Chi-Alumina ที่อุณหภูมิห้อง.....	10
2.3 แสดงภาพตัดขวางของตัวรองรับที่มีรูพรุนขนาดต่างกันก่อนและหลังการระเหย....	11
2.4 อิทธิพลของตัวรองรับที่มีผลต่อการรีดักชัน เมื่อทำการเผาที่อุณหภูมิสูงที่ 538 ซ มาก่อน.....	16
2.5 อิทธิพลของตัวรองรับที่มีผลต่อการรีดักชัน เมื่อทำการเผาที่อุณหภูมิสูงที่ 732 ซ มาก่อน.....	16
2.6 แสดงลักษณะการเกิดการรวมตัวเนื่องจากความร้อน.....	23
2.7 แสดงถึงวิธีการหาค่าดัชนีมิลเลอ.....	26
2.8 ระนาบ (100), (110), (111) ซึ่งสมมติว่าเป็นระนาบของผลึกโลหะเหล็กของปฏิกิริยาการสังเคราะห์แอมโมเนีย.....	26
3.1 BDDT'S FIVE TYPES OF ADSORPTION ISOTHERMS .....	28
3.2 แสดงชั้นของโมเลกุลที่ถูกดูดซับ.....	30
3.3 แสดงรูปร่างภายในตัวเร่งปฏิกิริยา.....	37
4.1 เครื่องมือสำหรับเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาโดยวิธีขึ้น.....	44
4.2 เครื่องมือสำหรับเผาที่อุณหภูมิสูง.....	46
4.3 ภาพถ่ายเครื่องมือสำหรับเผาที่อุณหภูมิสูง.....	47
4.4 เครื่องมือวัดอัตราการไหลแบบฟองแก๊ส.....	47
4.5 เครื่องมือสำหรับหาพื้นที่ผิวแบบเบท.....	48
4.6 ภาพถ่ายเครื่องมือสำหรับวิเคราะห์หาพื้นที่ผิวแบบเบท.....	49
4.7 ภาพสำหรับบรรจุตัวเร่งปฏิกิริยา.....	50



รูปที่	หน้า
4.8 แสดงเครื่องมือสำหรับหาพื้นที่ผิวโลหะแบบการคูดซับทางเคมีของแก๊ส คาร์บอนมอนนอกไซด์ .....	51
4.9 เครื่องมือสำหรับหาปริมาณของรูปพรุนของตัวรองรับ .....	52
4.10 ภาพถ่ายเครื่องมือสำหรับหาพื้นที่ผิวโลหะแบบการคูดซับทางเคมีของ แก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์ .....	53
4.11 เครื่องมือสแกนนิ่ง อีเลคตรอน ไมโครสโคป .....	53
5.1 แสดงลักษณะของการเผาที่อุณหภูมิสูงที่เหมาะสมของตัวเร่งปฏิกิริยา 8%Ni บนตัวรองรับอะลูมินา CS-303 .....	76
5.2 แสดงลักษณะของการเผาที่อุณหภูมิสูงที่เหมาะสมของตัวเร่งปฏิกิริยา 8% Ni บนตัวรองรับอะลูมินา SA-3232, KNH 2 และ KNH 3 .....	77
5.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในการเผากับพื้นที่ผิวส่วนที่ว่องไวต่อ ปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยา 8%Ni ที่ผ่านการเผาด้วยอัตราเร็ว 10 °ซ ต่อนาทีและทิ้งไว้เป็นเวลา 1 ชั่วโมง .....	78
5.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเพิ่มอุณหภูมิกับ พื้นที่ผิวส่วนที่ว่องไวต่อ ปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยา 8%Ni ที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 300 °ซ และทิ้งไว้เป็นเวลา 1 ชั่วโมง .....	79
5.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ทิ้งไว้ ณ อุณหภูมิในการเผา กับพื้นที่ผิว ส่วนที่ว่องไวต่อปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยา 8%Ni ที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 300 °ซ ด้วยอัตราเร็ว 15 °ซ ต่อนาที สำหรับตัวรองรับแบบ CS-303 และ 10 °ซ ต่อนาที สำหรับตัวรองรับแบบ SA-3232, KNH 2, KNH 3. ...	80
5.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของพื้นที่ผิวทั้งหมดของตัวรองรับกับระดับ ของการเกิดการรวมตัวเนื่องจากความร้อนของตัวเร่งปฏิกิริยา อันเนื่องจาก การแปรค่าอุณหภูมิในการเผา, อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ และระยะเวลาที่ทิ้งไว้ ณ อุณหภูมิในการเผาภายในช่วงที่ศึกษา .....	81



รูปที่	หน้า
ก.4.1 แสดงความสัมพันธ์ของ $\log [S^{-6} - S_0^{-6}]$ และ $\log t$ ของ 8% Ni บนตัว รองรับอะลูมินา CS - 303 .....	101
ก.4.2 แสดงความสัมพันธ์ของ $\log [S^{-5} - S_0^{-5}]$ และ $\log t$ ของ 8% Ni บนตัวรองรับอะลูมินา SA - 3232 .....	102
ก.4.3 แสดงความสัมพันธ์ของ $\log [S^{-3} - S_0^{-3}]$ และ $\log t$ ของ 8% Ni บนตัวรองรับอะลูมินา KNH 2 .....	103
ก.4.4 แสดงความสัมพันธ์ของ $\log [\frac{1}{S} - \frac{1}{S_0}]$ และ $\log t$ ของ 8% Ni บนตัวรองรับอะลูมินา KNH 3 .....	104
ก.5.1 ภาพถ่ายสแกนนิ่งอิเล็กตรอน กำลังขยาย 1,500 เท่า ของตัวเร่งปฏิกิริยา 8%Ni บนตัวรองรับอะลูมินา CS-303 ที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 300 °ซ ....	105
ก.5.2 ภาพถ่ายสแกนนิ่งอิเล็กตรอน กำลังขยาย 1,500 เท่า ของตัวเร่งปฏิกิริยา 8%Ni บนตัวรองรับอะลูมินา CS-303 ที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 400 °ซ ....	106
ก.5.3 ภาพถ่ายสแกนนิ่งอิเล็กตรอน กำลังขยาย 1,500 เท่า ของตัวเร่งปฏิกิริยา 8%Ni บนตัวรองรับอะลูมินา CS-303 ที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 500 °ซ ....	107
ก.5.4 ภาพถ่ายสแกนนิ่งอิเล็กตรอน กำลังขยาย 1,500 เท่า ของตัวเร่งปฏิกิริยา 8%Ni บนตัวรองรับอะลูมินา CS-303 ที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 600 °ซ ....	108
ก.5.5 ภาพถ่ายสแกนนิ่งอิเล็กตรอน กำลังขยาย 1,500 เท่า ของตัวเร่งปฏิกิริยา 8%Ni บนตัวรองรับอะลูมินา CS-303 ที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 700 °ซ ....	109
ก.5.6 ภาพถ่ายสแกนนิ่งอิเล็กตรอน กำลังขยาย 1,500 เท่า ของตัวเร่งปฏิกิริยา 8%Ni บนตัวรองรับอะลูมินา SA-3232 ที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 300 °ซ ...	110
ก.5.7 ภาพถ่ายสแกนนิ่งอิเล็กตรอน กำลังขยาย 1,500 เท่า ของตัวเร่งปฏิกิริยา 8%Ni บนตัวรองรับอะลูมินา SA-3232 ที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 400 °ซ ...	111
ก.5.8 ภาพถ่ายสแกนนิ่งอิเล็กตรอน กำลังขยาย 1,500 เท่า ของตัวเร่งปฏิกิริยา 8%Ni บนตัวรองรับอะลูมินา SA-3232 ที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 500 °ซ ...	112
ก.5.9 ภาพถ่ายสแกนนิ่งอิเล็กตรอน กำลังขยาย 1,500 เท่า ของตัวเร่งปฏิกิริยา 8%Ni บนตัวรองรับอะลูมินา SA-3232 ที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 600 °ซ ...	113

รูปที่	หน้า
ก.5.10 ภาพถ่ายสแกนนิ่งอิเล็กตรอน กำลังขยาย 1,500 เท่า ของตัวเร่งปฏิกิริยา 8%Ni บนตัวรองรับอะลูมินา SA-3232 ที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 700 °ซ ...	114
ก.5.11 ภาพถ่ายสแกนนิ่งอิเล็กตรอน กำลังขยาย 1,500 เท่า ของตัวเร่งปฏิกิริยา 8%Ni บนตัวรองรับอะลูมินา KNH 2 ที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 300 °ซ .....	115
ก.5.12 ภาพถ่ายสแกนนิ่งอิเล็กตรอน กำลังขยาย 1,500 เท่า ของตัวเร่งปฏิกิริยา 8%Ni บนตัวรองรับอะลูมินา KNH 2 ที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 400 °ซ .....	116
ก.5.13 ภาพถ่ายสแกนนิ่งอิเล็กตรอน กำลังขยาย 1,500 เท่า ของตัวเร่งปฏิกิริยา 8%Ni บนตัวรองรับอะลูมินา KNH 2 ที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 500 °ซ .....	117
ก.5.14 ภาพถ่ายสแกนนิ่งอิเล็กตรอน กำลังขยาย 1,500 เท่า ของตัวเร่งปฏิกิริยา 8%Ni บนตัวรองรับอะลูมินา KNH 2 ที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 600 °ซ .....	118
ก.5.15 ภาพถ่ายสแกนนิ่งอิเล็กตรอน กำลังขยาย 1,500 เท่า ของตัวเร่งปฏิกิริยา 8%Ni บนตัวรองรับอะลูมินา KNH 2 ที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 700 °ซ .....	119
ก.5.16 ภาพถ่ายสแกนนิ่งอิเล็กตรอน กำลังขยาย 1,500 เท่า ของตัวเร่งปฏิกิริยา 8%Ni บนตัวรองรับอะลูมินา KNH 3 ที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 300 °ซ .....	120
ก.5.17 ภาพถ่ายสแกนนิ่งอิเล็กตรอน กำลังขยาย 1,500 เท่า ของตัวเร่งปฏิกิริยา 8%Ni บนตัวรองรับอะลูมินา KNH 3 ที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 400 °ซ .....	121
ก.5.18 ภาพถ่ายสแกนนิ่งอิเล็กตรอน กำลังขยาย 1,500 เท่า ของตัวเร่งปฏิกิริยา 8%Ni บนตัวรองรับอะลูมินา KNH 3 ที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 500 °ซ .....	122
ก.5.19 ภาพถ่ายสแกนนิ่งอิเล็กตรอน กำลังขยาย 1,500 เท่า ของตัวเร่งปฏิกิริยา 8%Ni บนตัวรองรับอะลูมินา KNH 3 ที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 600 °ซ .....	123
ก.5.20 ภาพถ่ายสแกนนิ่งอิเล็กตรอน กำลังขยาย 1,500 เท่า ของตัวเร่งปฏิกิริยา 8%Ni บนตัวรองรับอะลูมินา KNH 3 ที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 700 °ซ .....	124
ก.6.1 แสดงโครมาโตแกรมที่ได้จากการวิเคราะห์หาพื้นที่ผิวโลหะโดยวิธีการดูดซับทางเคมีของแก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์บนตัวเร่งปฏิกิริยา 8%Ni บนตัวรองรับอะลูมินา CS-303 ที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 300 °ซ ด้วยอัตราเร็ว 15 ซ ต่อนาที และทิ้งไว้เป็นเวลา 1 ชั่วโมง .....	125



รูปที่	หน้า
ก.6.2 แสดงโครมาโตแกรมที่ได้จากการวิเคราะห์หาพีเคที่ผิวโลหะโดยวิธีการ คุคซ์ทางเคมีของแก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์บนตัวเร่งปฏิกิริยา 8%Ni บนตัวรองรับอะลูมินา SA-3232 ที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 300 °ซ ด้วยอัตราเร็ว 10 °ซ ต่อนาที และทิ้งไว้เป็นเวลา 1 ชั่วโมง .....	126
ก.6.3 แสดงโครมาโตแกรมที่ได้จากการวิเคราะห์หาพีเคที่ผิวโลหะโดยวิธีการ คุคซ์ทางเคมีของแก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์บนตัวเร่งปฏิกิริยา 8%Ni บนตัวรองรับอะลูมินา KNH 2 ที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 300 °ซ ด้วยอัตราเร็ว 10 °ซ ต่อนาทีและทิ้งไว้เป็นเวลา 1 ชั่วโมง .....	127
ก.6.4 แสดงโครมาโตแกรมที่ได้จากการวิเคราะห์หาพีเคที่ผิวโลหะโดยวิธีการ คุคซ์ทางเคมีของแก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์บนตัวเร่งปฏิกิริยา 8%Ni บนตัวรองรับอะลูมินา KNH 3 ที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 300 °ซ ด้วยอัตราเร็ว 10 °ซ ต่อนาทีและทิ้งไว้เป็นเวลา 1 ชั่วโมง .....	128