ออกซิเดชันแบบเลือกสรรของคาร์บอนมอนอกไซด์ในสายป้อนไฮโดรเจนสำหรับเซลล์เชื้อเพลิงพีอีเอ็ม

นายอภิชาต ปริญญาสวรรค์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเคมีเทคนิค ภาควิชาเคมีเทคนิค
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2547

ISBN 974-17-6553-3

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

SELECTIVE CARBON MONOXIDE OXIDATION IN HYDROGEN FEED FOR PEM FUEL CELL

Mr. Apichart Parinyaswan

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Chemical Technology
Department of Chemical Technology
Faculty of Science
Chulalongkorn University
Academic Year 2004

ISBN 974-17-6553-3

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ออกซิเดชันแบบเลือกสรรของคาร์บอนมอนอกไซด์ในสายป้อนไฮโดรเจนสำหรับเซลล์เชื้อเพลิงพีอีเอ็ม
โดย	นายอภิชาต ปริญญาสวรรค์
สาขาวิชา	เคมีเทคนิค
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สงบทิพย์ พงศ์สถาบดี
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์ ดร. อาภาณี เหลืองนฤมิตรชัย

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.เปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร.ภัทรพรรณ ประศาสน์สารกิจ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สงบทิพย์ พงศ์สถาบดี)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(อาจารย์ ดร. อาภาณี เหลืองนฤมิตรชัย)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ธราพงษ์ วิทิตศานต์)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ขันทอง สุนทราภา)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อภิชาต ปริญญาสวรรค์ : ออกซิเดชันแบบเลือกสรรของแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ในสายป้อนไฮโดรเจนสำหรับเซลล์เชื้อเพลิงพีอีเอ็ม (SELECTIVE CARBON MONOXIDE OXIDATION IN HYDROGEN FEED FOR PEM FUEL CELL) อ.ที่ปรึกษา : ผศ.ดร. สงบทิพย์ พงศ์สถาบดี อ.ที่ปรึกษาร่วม อ.ดร. อาภาณี เหลืองนฤมิตชัย, 71 หน้า. ISBN 974-17-6553-3.

งานวิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะผสมระหว่างแพลทินัมกับแพลเลเดียมบนตัวรองรับซีเรียต่อการเปลี่ยนแปลงของแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์และต่อการเลือกเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ภายใต้บรรยากาศจำลองสำหรับเซลล์เชื้อเพลิงแบบเยื่อแผ่นแลกเปลี่ยนโปรตอน ตัวรองรับซีเรียสังเคราะห์โดยวิธีโซลเจลและตัวรองรับซีเรียซื้อจากบริษัทฟูลก้าถูกเลือกใช้ในงานวิจัยนี้ ผลการศึกษาที่ได้จากการเครื่องวัดพื้นที่ผิว เอ็กซเรย์ดิฟแฟรกชัน และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบทรานสมิทชัน แสดงให้เห็นว่า ตัวรองรับซีเรียสังเคราะห์โดยวิธีโซลเจลมีพื้นที่ผิวมากกว่าตัวรองรับซีเรียที่ซื้อจากบริษัทฟูลก้า นอกจากนี้ในการทดลองมีการศึกษาผลของตัวรองรับ อุณหภูมิที่ใช้ในการเผา ปริมาณที่ใช้ของโลหะผสมระหว่างแพลทินัมและแพลเลเดียมบนตัวรองรับซีเรีย สัดส่วนของโลหะแพลทินัมและโลหะแพลเลเดียมบนตัวรองรับซีเรีย ความเข้มข้นของไอน้ำ ความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนและความเข้มข้นของไอน้ำผสมแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในกระแสเชื้อเพลิงป้อนเข้าต่อความว่องไวของตัวเร่งปฏิกิริยาในช่วงอุณหภูมิ 50 ถึง 190 องศาเซลเซียส จากผลของการทดลองพบว่า ที่ร้อยละหนึ่งโดยน้ำหนักของโลหะผสมแพลทินัมกับแพลเลเดียมบนตัวรองรับซีเรียที่เตรียมแบบโซลเจลโดยมีแพลทินัม 1 ส่วนต่อแพลเลเดียม 7 ส่วน และเผาที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียสเป็นเวลาสองชั่วโมงให้ประสิทธิภาพสูงกว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของไอน้ำ ความว่องไวของตัวเร่งปฏิกิริยาจะสูงขึ้น ในทางตรงกันข้ามความว่องไวของตัวเร่งปฏิกิริยาจะลดลงเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในกระแสเชื้อเพลิงป้อนเข้า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนในกระแสเชื้อเพลิงป้อนเข้าทำให้ร้อยละการเปลี่ยนของแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์สูงแต่ร้อยละการเลือกเกิดกับแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ต่ำ นอกจากนี้เมื่อเพิ่มทั้งความเข้มข้นไอน้ำและความเข้มข้นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในกระแสเชื้อเพลิงป้อนเข้าสามารถเพิ่มความว่องไวของตัวเร่งปฏิกิริยา สิ่งนี้แสดงผลเป็นนัยว่า ไอน้ำมีผลกระทบต่อความว่องไวของตัวเร่งปฏิกิริยามากกว่าแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์

สาขาวิชา....เคมีเทคนิค.....ลายมือชื่อนักศึกษา.....อภิชาต ปริญญาสวรรค์.....

ปีการศึกษา.....2547.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4672490323: MAJOR CHEMICAL TECHNOLOGY

KEY WORD: SELECTIVE CO OXIDATION/ BINARY PLATINUM ALLOY/ IMPREGNATION ON SOL-GEL.

APICHART PARINYASWAN: SELECTIVE CARBON MONOXIDE OXIDATION IN HYDROGEN FEED FOR PEM FUEL CELL. THESIS ADVISOR: ASST. PROF. DR.SANGOBTIP PONGSTABODEE THESIS CO-ADVISOR : APANEE LUENGNARUEMITCHAI, Ph.D., 71 pp. ISBN: 974-17-6553-3

The purpose of this work was to study an effect of Pt-Pd/CeO_2 alloy catalyst on CO conversion and selective oxidation of CO under simulated fuel processing conditions for Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC). Synthesis ceria by sol-gel method and commercial ceria (purchased from Fluka) were used as a supporter of the catalyst in this work. The results obtained from BET, XRD and TEM revealed that support prepared by sol-gel had higher surface area than commercial support. In addition, effect of support, calcination temperature, % metal loading catalyst, ratio of Pt-Pd on the catalyst, water vapor concentration, CO_2 concentration, O_2 concentration and combination between H_2O and CO_2 in feed stream on the catalytic performance of Pt-Pd/CeO_2 catalysts were investigated in the temperature range of 50-190 ^{o}C. The experimental results showed that 1% (1:7) Pt-Pd/CeO_2 (sol-gel) calcined at 400 ^{o}C for 2 hours exhibited the higher activity. When increasing water vapor concentration in the feed stream, the activity of the catalysts increased dramatically. On the other hand, the activity of the catalyst was reduced in the presence of CO_2 in the feed stream. When increasing O_2 concentration in the feed stream the conversion of CO increased significantly but the selectivity of CO did not. Furthermore, when both H_2O concentration and CO_2 concentration in the feed stream were increased, the activity of catalyst was increased. This implied that the positive effect of water was more dominant than the negative effect of CO_2.

Field of study...Chemical Technology.....

Academic year.....2004.....

Student's signature.....Apichart.....

Advisor's signature.....Sangobtip Pongstabodee.....

Co-Advisor signature.....Apanee.....

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สงบทิพย์ พงศ์สถาบดี และ อาจารย์ ดร. อาภาณี เหลืองนฤมิตชัย ที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำและช่วยเหลือให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี รวมทั้งคณาจารย์ทุกท่านในภาควิชาเคมีเทคนิคที่ได้ให้คำแนะนำตลอดมา

ขอกราบขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร.ภัทรพรรณ ประศาสน์สารกิจ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.ธราพงษ์ วิทิตศานต์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ขันทอง สุนทราภา กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้ความเห็น คำแนะนำ ในการจัดทำวิทยานิพนธ์ให้มีความสมบูรณ์

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัยที่ให้ทุนอุดหนุนงานวิจัย ขอขอบคุณบุคลากรในภาควิชาเคมีเทคนิคทุกท่านที่ได้อำนวยความสะดวกในการใช้ห้องปฏิบัติการและกรุณาช่วยเหลือพร้อมทั้งอำนวยความสะด้วยในการใช้เครื่องมือวิเคราะห์ต่างๆ

ขอขอบคุณวิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมีที่ได้อำนวยความสะดวกในการใช้ห้องปฏิบัติการและกรุณาช่วยเหลือพร้อมทั้งอำนวยความสะด้วยในการใช้เครื่องมือวิเคราะห์ต่างๆ

ขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ ในภาควิชาเคมีเทคนิคที่ได้ให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จลุล่วง

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และผู้อยู่เบื้องหลังที่ได้ให้กำลังใจ ให้คำแนะนำ ความช่วยเหลือและให้การสนับสนุนเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ญ

สารบัญภาพ ..... ฏ

บทที่

1. บทนำ 1

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 3

1.3 ขอบเขตงานวิจัย 3

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4

2.1 เซลล์เชื้อเพลิง 4

2.1.1 เซลล์เชื้อเพลิงแบบเยื่อแผ่นแลกเปลี่ยนโปรตอน 5

2.1.2 เซลล์เชื้อเพลิงแบบอัลคาไลน์ 6

2.1.3 เซลล์เชื้อเพลิงแบบใช้เมทานอลโดยตรง 7

2.1.4 เซลล์เชื้อเพลิงแบบกรดฟอสฟอริก 8

2.1.5 เซลล์เชื้อเพลิงแบบคาร์บอเนตหลอม 9

2.1.6 เซลล์เชื้อเพลิงแบบออกไซด์ของแข็ง 10

2.2 กระบวนการการเกิดปฏิกิริยาของ Preferential Oxidation 11

2.2.1 ตัวเร่งปฏิกิริยา 12

2.2.2 ตัวรองรับ 13

2.2.3 วิธีเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาและเตรียมตัวรองรับ 14

2.2.4 กรรมวิธีหลังการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา 15

2.2.5 การรีดิวซ์เป็นโลหะ 16

2.3 เครื่องมือที่สำคัญในการวิเคราะห์ลักษณะของตัวรองรับ
และตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมได้ 17

2.3.1 เครื่องวัดพื้นที่ผิว 17

หน้า

2.3.2 เครื่องเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรกชัน 22
2.3.3 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบทรานสมิสชัน.....25
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....25
3. เครื่องมือและการทดลอง 28
3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ 28
3.2 สารเคมี 29
3.2.1 แก๊ส.....29
3.2.2 สารเคมี 29
3.3 วิธีการเตรียมตัวรองรับ.....29
3.4 วิธีการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา(โดยวิธีแบบฝังชนิดแห้ง).....30
3.5 การดำเนินการวิจัย 30
4. ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง 33
4.1 วิเคราะห์คุณลักษณะของตัวเร่งปฏิกิริยา.....33
4.1.1 พื้นที่ผิวรูพรุนทั้งหมด 33
4.1.2 ขนาดตัวรองรับ.....37
4.1.3 ขนาดตัวเร่งปฏิกิริยา.....41
4.2 ตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะผสมระหว่างแพลทินัม
กับแพลเลเดียมบนตัวรองรับซีเรีย..... 43
4.2.1 ผลของตัวรองรับ.....44
4.2.2 ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาตัวเร่งปฏิกิริยา 46
4.2.3 ผลของสัดส่วนของโลหะผสมระหว่างแพลทินัมและแพลเลเดียม
บนตัวรองรับซีเรียสังเคราะห์.....47
4.2.4 ผลของปริมาณที่ใช้ของโลหะผสมระหว่างแพลทินัม
และแพลเลเดียมบนตัวรองรับซีเรีย.....49
4.2.5 ผลของความเข้มข้นของไอน้ำ..... 51
4.2.6 ผลความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์.....52
4.2.7 ผลความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจน..... 54
4.2.8 ผลความเข้มข้นของไอน้ำกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์.....55

หน้า

4.2.9 ศึกษาการเปรียบเทียบตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัมกับ
ตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะผสมแพลทินัมกับแพลเลเดียม.....57
4.3 เปรียบเทียบงานวิจัย.....58
5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....60
5.1 พื้นที่ผิวรูพรุนทั้งหมด.....60
5.2 ขนาดตัวรองรับซีเรีย.....61
5.3 ขนาดตัวเร่งปฏิกิริยาของโลหะผสมแพลทินัมกับแพลเลเดียม
บนตัวรองรับซีเรีย.....61
5.4 ภาวะที่เหมาะสมของตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะผสมแพลทินัมกับแพลเลเดียม
บนตัวรองรับซีเรียและตัวแปรที่มีผลกระทบต่อตัวเร่งปฏิกิริยา.....61
5.5 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในระดับต่อไป.....62
รายการอ้างอิง.....63
ภาคผนวก.....65
ภาคผนวก ก. 66
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....71

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตาราง หน้า

2.1 ชนิดและสภาวะการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดต่างๆ... 4

4.1 ผลการวิเคราะห์พื้นที่ผิวรูพรุนของซีเรียที่ซื้อจาก บริษัท Fluka และซีเรีย ที่สังเคราะห์ขึ้นโดยโซลเจล 33

4.2 ผลการวิเคราะห์พื้นที่ผิวรูพรุนของตัวเร่งปฏิกิริยา 1%(1:1) Pt-Pd/CeO_2 (ซีเรียที่ซื้อจากบริษัท Fluka) 1%(1:1) Pt-Pd/CeO_2 (ซีเรียที่สังเคราะห์ขึ้นโดยวิธีโซลเจล) อุณหภูมิการเผาตัวเร่งปฏิกิริยา 400 องศาเซลเซียส 34

4.3 ผลการวิเคราะห์พื้นที่ผิวรูพรุนของตัวเร่งปฏิกิริยา 1%(1:1) Pt-Pd/CeO_2 (ซีเรียที่สังเคราะห์ขึ้นโดยวิธีโซลเจล) ที่อุณหภูมิ 400 และ 500 องศาเซลเซียส..... 35

4.4 ผลการวิเคราะห์พื้นที่ผิวรูพรุนของตัวเร่งปฏิกิริยา 1%(1:1) Pt-Pd/CeO_2 1%(1:7) Pt-Pd/CeO_2 และ 1%(1:9) Pt-Pd/CeO_2 (ซีเรียที่สังเคราะห์ขึ้นโดยวิธี โซลเจล) อุณหภูมิการเผาตัวเร่งปฏิกิริยา 400 องศาเซลเซียส..... 36

4.5 ผลการวิเคราะห์พื้นที่ผิวรูพรุนของตัวเร่งปฏิกิริยา (1:7) Pt-Pd/CeO_2 (ซีเรียที่สังเคราะห์ขึ้นโดยวิธีโซลเจล) ที่ร้อยละของโลหะรวม 1 3 และ5 โดยน้ำหนัก..... 36

4.6 ผลการวิเคราะห์ขนาดของซีเรียจากตัวเร่งปฏิกิริยา 1%(1:1) Pt-Pd/CeO_2 (ซีเรียที่ซื้อจาก บริษัท Fluka) 1%(1:1) Pt-Pd/CeO_2 (ซีเรียที่สังเคราะห์ขึ้นโดยวิธี โซลเจล) อุณหภูมิการเผาตัวเร่งปฏิกิริยา 400 องศาเซลเซียส..... 37

4.7 ผลการวิเคราะห์ขนาดซีเรียของตัวเร่งปฏิกิริยา 1%(1:1) Pt-Pd/CeO_2 (ซีเรียที่สังเคราะห์ขึ้นโดยวิธีโซลเจล) ที่อุณหภูมิการเผา 400 และ 500 องศาเซลเซียส...39

4.8 ผลการวิเคราะห์ขนาดซีเรียของตัวเร่งปฏิกิริยา (1:7) Pt-Pd/CeO_2 (ซีเรียที่สังเคราะห์ขึ้นโดยวิธีโซลเจล) ที่ร้อยละของโลหะรวม 1 3 และ5 โดยน้ำหนัก..... 40

4.9 ผลการวิเคราะห์ขนาดของตัวเร่งปฏิกิริยา 1%(1:1) Pt-Pd/CeO_2, 1%(1:7) Pt-Pd/CeO_2 และ 1%(1:9) Pt-Pd/CeO_2 (ซีเรียที่สังเคราะห์ขึ้นโดยวิธีโซลเจล)..... 42

4.10 เปรียบเทียบงานวิจัยที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน..... 59

ก1 ปริมาณแก๊สขาเข้าและขาออกในเครื่องปฏิกรณ์..... 66

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ หน้า

2.1 การทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงแบบเยื่อแผ่นแลกเปลี่ยนโปรตอน..... 5

2.2 การทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงแบบอัลคาไลน์..... 6

2.3 การทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงแบบใช้เมทานอลโดยตรง..... 7

2.4 โครงสร้างของเซลล์เชื้อเพลิงแบบกรดฟอสฟอริก 8

2.5 การทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงแบบคาร์บอเนตหลอม 9

2.6 การทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงแบบออกไซด์ของแข็ง 11

2.7 กราฟที่ได้จากการคำนวณโดยใช้สมการของ BET 19

2.8 หลักการทำงานเครื่องวัดพื้นที่ผิว 21

2.9 การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์จากระนาบของผลึก..... 23

2.10 X-ray beamdiffracted และ XRD Instrumentation..... 24

3.1 แผนผังเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง..... 28

4.1 ผลการวิเคราะห์เอ็กซเรย์ดิฟแฟรกชันของตัวเร่งปฏิกิริยา 1%(1:1) Pt-Pd/CeO_2 (ซีเรียที่ซื้อจาก บริษัท Fluka) 1%(1:1) Pt-Pd/CeO_2 (ซีเรียที่สังเคราะห์ขึ้นโดยวิธีโซลเจล) อุณหภูมิการเผาตัวเร่งปฏิกิริยา 400 องศาเซลเซียส..... 38

4.2 ผลการวิเคราะห์เอ็กซเรย์ดิฟแฟรกชันของตัวเร่งปฏิกิริยา 1%(1:1) Pt-Pd/CeO_2 (ซีเรียที่สังเคราะห์ขึ้นโดยวิธีโซลเจล) ที่อุณหภูมิการเผา 400 และ 500 องศาเซลเซียส..... 39

4.3 ผลการวิเคราะห์เอ็กซเรย์ดิฟแฟรกชันของตัวเร่งปฏิกิริยา (1:7) Pt-Pd/CeO_2 (ซีเรียที่สังเคราะห์ขึ้นโดยวิธีโซลเจล) ที่ร้อยละของโลหะรวม 1 3 และ5 โดยน้ำหนัก..... 41

4.4 TEM ของ 1%(1:1) Pt-Pd/CeO_2..... 42

4.5 TEM ของ 1%(1:7) Pt-Pd/CeO_2..... 42

4.6 TEM ของ 1%(1:9) Pt-Pd/CeO_2..... 43

4.7ก ผลของตัวรองรับบนร้อยละการเปลี่ยนของแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ 1%(1:1) Pt-Pd/CeO_2 อุณหภูมิการเผาตัวเร่งปฏิกิริยา 400 องศาเซลเซียส.....44

4.7ข ผลของตัวรองรับบนร้อยละการเลือกเกิดกับแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ 1%(1:1) Pt-Pd/CeO_2 อุณหภูมิการเผาตัวเร่งปฏิกิริยา 400 องศาเซลเซียส.....45

4.8ก ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาตัวเร่งปฏิกิริยาบนร้อยละการเปลี่ยนของแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ 1%(1:1) Pt-Pd/CeO_2.....46

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ หน้า

4.8ข ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาตัวเร่งปฏิกิริยาบนร้อยละการเลือกเกิดกับแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ 1%(1:1) Pt-Pd/CeO_2.....47

4.9ก ผลของสัดส่วนของโลหะผสมระหว่างแพลทินัมและแพลเลเดียมบนตัวรองรับซีเรียบนร้อยละการเปลี่ยนของแก๊สแคาร์บอนมอนอกไซด์ ที่1%Pt-Pd/CeO_2 อุณหภูมิการเผาตัวเร่งปฏิกิริยา 400 องศาเซลเซียส 48

4.9ข ผลของสัดส่วนของโลหะผสมระหว่างแพลทินัมและแพลเลเดียมบนตัวรองรับซีเรียบนร้อยละการเลือกเกิดกับแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ ที่1%Pt-Pd/CeO_2 อุณหภูมิการเผาตัวเร่งปฏิกิริยา 400 องศาเซลเซียส.....48

4.10ก ผลของปริมาณที่ใช้ของโลหะผสมระหว่างแพลทินัมและแพลเลเดียมที่สัดส่วนหนึ่งต่อเจ็ดบนตัวรองรับซีเรียบนร้อยละการเปลี่ยนของแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ อุณหภูมิการเผาตัวเร่งปฏิกิริยา 400 องศาเซลเซียส.....50

4.10ข ผลของปริมาณที่ใช้ของโลหะผสมระหว่างแพลทินัมและแพลเลเดียมที่สัดส่วนหนึ่งต่อเจ็ดบนตัวรองรับซีเรียบนร้อยละการเลือกเกิดกับแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ อุณหภูมิการเผาตัวเร่งปฏิกิริยา 400 องศาเซลเซียส.....50

4.11ก ผลความเข้มข้นของไอน้ำบนร้อยละการเปลี่ยนของแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ เมื่อใช้ 1%(1:1) Pt-Pd/CeO_2 อุณหภูมิการเผาตัวเร่งปฏิกิริยา 400 องศาเซลเซียส.....51

4.11ข ผลความเข้มข้นของไอน้ำบนร้อยละการเลือกเกิดกับแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ เมื่อใช้ 1%(1:1) Pt-Pd/CeO_2 อุณหภูมิการเผาตัวเร่งปฏิกิริยา 400 องศาเซลเซียส.....52

4.12ก ผลความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์บนร้อยละการเปลี่ยนของแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ 1%(1:1) Pt-Pd/CeO_2 อุณหภูมิการเผาตัวเร่งปฏิกิริยา 400 องศาเซลเซียส.....53

4.12ข ผลความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์บนร้อยละการเลือกเกิดกับแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ 1%(1:1) Pt-Pd/CeO_2 อุณหภูมิการเผาตัวเร่งปฏิกิริยา 400 องศาเซลเซียส.....53

4.13ก ผลความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนบนร้อยละการเปลี่ยนของแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ 1%(1:1) Pt-Pd/CeO_2 อุณหภูมิการเผาตัวเร่งปฏิกิริยา 400 องศาเซลเซียส.....54

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ หน้า

4.13ข ผลความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนบนร้อยละการเลือกเกิดของแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ 1%(1:1) Pt-Pd/CeO_2 อุณหภูมิการเผาตัวเร่งปฏิกิริยา 400 องศาเซลเซียส.....55

4.14ก ผลความเข้มข้นของไอน้ำกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์บนร้อยละการเปลี่ยนของแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ 1%(1:1) Pt-Pd/CeO_2.....56

4.14ข ผลความเข้มข้นของอน้ำกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์บนร้อยละการเลือกเกิดของแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์1%(1:1) Pt-Pd/CeO_2.....56

4.15ก การเปรียบเทียบผลของตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัมกับตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะผสมแพลทินัมกับแพลเลเดียมบนร้อยละการเปลี่ยนของแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ อุณหภูมิการเผาตัวเร่งปฏิกิริยา 400 องศาเซลเซียส..... 57

4.15ข การเปรียบเทียบผลของตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัมกับตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะผสมแพลทินัมกับแพลเลเดียมบนร้อยละการเลือกเกิดของแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ อุณหภูมิการเผาตัวเร่งปฏิกิริยา 400 องศาเซลเซียส.....58

ก1 ปริมาณแก๊สขาเข้า..... 66

ก2 ปริมาณแก๊สขาออก..... 66

ก3 Calibration curve ของ H_2..... 68

ก4 Calibration curve ของ O_2..... 68

ก5 Calibration curve ของ CO..... 69

ก6 Calibration curve ของ CO_2..... 69

ก7 TPR ของ 1% (1:1) Pt-Pd/CeO_2..... 70

ก8 EDS ของ 1% (1:7) Pt-Pd/CeO_2..... 70