

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยบูรพา
ต.แสนสุข อ.เมือง จ.ชลบุรี 20131

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์
ทุนอุดหนุนการวิจัย งบประมาณแผ่นดิน ประจำปี 2548

หัวข้อโครงการวิจัย

การพัฒนาตัวเร่งปฏิกิริยาประเภท $\text{Pt/CeO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ และศึกษากลไก
การเกิดปฏิกิริยาสำหรับปฏิกิริยาคาร์บอนมอนอกไซด์ออกซิเดชันที่อุณหภูมิต่ำ

Development of Platinum Ceria Supported over Alumina Catalysts for
Low Temperature CO Oxidation and the Study of Reaction Mechanism

- 1 ส.ค. 2549

210485

BK009114

QA 0036226

โดย

ดร. เอกรัตน์ วงษ์แก้ว

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

เริ่มบริการ

1- 1 S.A. 2549

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทแพลทินัมบนตัวรองรับออกไซด์ออกซิเดชัน โดยการเติมสารโปรโมทที่มีคุณสมบัติในการกักเก็บออกซิเจน เมื่อใช้วิธีการโซล เจล ตัวรองรับประเภทอลูมินา ซีเรียออกไซด์อลูมินา และเหล็กออกไซด์อลูมินา ที่เตรียมได้ถูกนำไปวิเคราะห์หาพื้นที่ผิวจำเพาะ และเปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้กับอลูมินาที่ได้รับจากบริษัท พบว่าวิธีการโซล เจลให้พื้นที่ผิวจำเพาะสูงกว่าวิธีอื่นประมาณร้อยละ 50 และ เมื่อมีการเติมสารโปรโมทร้อยละ 5 ลงไปบนอลูมินา ทำให้พื้นที่ผิวจำเพาะลดลงประมาณร้อยละ 7 จากนั้นตัวรองรับทุกตัวถูกเติมด้วยแพลทินัมร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก และนำไปทดสอบความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาการเผาไหม้ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ตัวรองรับทุกตัวที่ไม่มีการเติมแพลทินัมเป็นสารที่เฉื่อยต่อปฏิกิริยา แต่เมื่อมีการเติมแพลทินัมลงไปส่งผลให้สารตัวอย่างมีความสามารถในการเร่งปฏิกิริยา โดยในกรณีที่ไม่มีสารโปรโมท ตัวเร่งปฏิกิริยา คือ $5\%Pt/Al_2O_3$ อลูมินาที่ได้จากบริษัท และที่เตรียมเองโดยวิธีโซล เจล ให้ผลการเร่งปฏิกิริยาใกล้เคียงกัน เมื่อมีการเติมซีเรียออกไซด์ร้อยละ 5 ลงบนอลูมินา โดยวิธีโซล เจล ตัวเร่งปฏิกิริยา คือ $5\%Pt/5\%CeO_2/Al_2O_3$ ประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นมาก ดังนั้น อุณหภูมิที่ทำให้ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์มีปริมาณลดลงในปริมาณร้อยละ 50 ของปริมาณเริ่มต้น ($T_{1/2}$) มีค่าประมาณ 145 องศาเซลเซียส ในขณะที่อุณหภูมิที่ทำให้ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์มีปริมาณลดลงในปริมาณร้อยละ 50 ของปริมาณเริ่มต้น ($T_{1/2}$) มีค่าประมาณ 170 องศาเซลเซียสสำหรับตัวเร่งปฏิกิริยา $5\%Pt/Al_2O_3$ เมื่อใช้วิธีอิมเพรคเนชันในการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา $5\%Pt/5\%CeO_2/Al_2O_3$ พบว่าความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาใกล้เคียงกับของ $5\%Pt/Al_2O_3$ จากนั้นได้ทดสอบความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาการเผาไหม้ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ สำหรับตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีการเติมเหล็กออกไซด์ คือ $5\%Pt/5\%Fe_2O_3/Al_2O_3$ โดยที่เหล็กออกไซด์มีคุณสมบัติเดียวกับซีเรียออกไซด์ พบว่าอุณหภูมิที่ทำให้ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์มีปริมาณลดลงในปริมาณร้อยละ 50 ของปริมาณเริ่มต้น ($T_{1/2}$) มีค่าประมาณ 160 องศาเซลเซียส กลไกการเกิดปฏิกิริยาเมื่อมีการเติมสารโปรโมท น่าจะมาจากออกซิเจนอะตอมภายในโครงร่างซีเรียออกไซด์เกิดปฏิกิริยากับโมเลกุลของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ที่ดูดซับบนแพลทินัมในตำแหน่งที่ติดกับซีเรียออกไซด์ ส่งผลให้เลขออกซิเดชันของซีเรียเปลี่ยนแปลง

คำสำคัญ: คาร์บอนมอนอกไซด์ออกซิเดชัน, สารโปรโมท, การกักเก็บออกซิเจน, แพลทินัม

Abstract

In this research, platinum over promoted alumina was investigated its activity to CO oxidation. The supports were prepared by sol gel method and platinum was impregnated into the supports by incipient wetness impregnation method. All supports were characterized their specific surface area by Auto sorption -1 Instrument and catalysts were measured platinum crystalline size by XRD instrument. The results were showed that the sol gel method offers high specific surface area of metal oxide. The addition of cerium oxide in the alumina decreased the specific surface area of final oxide approximately 5% and the additional of iron oxide into alumina support decreased the specific surface area approximately 8%. Pt was well dispersed in the supports for all catalysts. Then, the obtained catalysts were tested their activity to CO oxidation. The results showed that the activities of 5%Pt/Al₂O₃ catalysts were the same for the one with commercial alumina support and the one with sol gel alumina support. This meant that specific surface area is not dominant parameter to increase the activity of this catalyst to CO oxidation reaction. Then, 5%CeO₂/Al₂O₃ was used as a support. The results showed that $T_{1/2}$ of the 5%Pt/5%CeO₂/Al₂O₃ was 145°C and $T_{1/2}$ of the 5%Pt/5%Fe₂O₃/Al₂O₃ was 160°C while $T_{1/2}$ of the 5%Pt/Al₂O₃ was 170°C. Interestingly, the addition of small amount of promoters such as cerium oxide and iron oxide enhanced the performance of Pt/Al₂O₃. The oxygen concentration affect to the rate of reaction for platinum over alumina catalysts. The higher the oxygen concentration, the higher the rate of reaction is. However for promoted catalyst, the oxygen concentration does not affect to the rate of reaction when the oxygen is excess. The mechanism of the improvement of catalyst when it is promoted with oxygen storage compound was that the changing of oxidation state of the compounds due to the transferring of oxygen in the lattice.

Keywords: CO oxidation, Promoter, Oxygen Storage, Pt

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนเงินทุนวิจัยจาก สภาวิจัยแห่งชาติ (วช.) ประจำปีงบประมาณ 2547-2548 เป็นระยะเวลา 2 ปี ภายใต้หัวข้อเรื่อง "การพัฒนาตัวเร่งปฏิกิริยาประเภท Pt/CeO₂/Al₂O₃ และศึกษากลไกการเกิดปฏิกิริยาสำหรับปฏิกิริยาคาร์บอนมอนอกไซด์ออกซิเดชันที่อุณหภูมิต่ำ" ผู้วิจัยขอแสดงความขอบคุณมา ณ.ที่นี้ นอกจากนี้อุปกรณ์และครุภัณฑ์บางชิ้นที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ได้รับทุนสนับสนุนจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย จึงขอขอบคุณมา ณ.ที่นี้ด้วย

การวิเคราะห์คุณสมบัติของสาร และการเก็บข้อมูลบางส่วนในเรื่องการทดสอบความสามารถในการเร่งปฏิกิริยา ได้รับการสนับสนุนจากภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมิชิแกน แอนอาร์เบอร์ ประเทศสหรัฐอเมริกา ในห้องปฏิบัติการภายใต้การดูแลของ Prof. Erdogan Gulari and Prof. Levi Thompson พร้อมด้วย นิสิตระดับปริญญาโท และปริญญาเอก รวมถึงนักวิจัยประจำห้องปฏิบัติการ ผู้วิจัยขอแสดงความขอบคุณเป็นอย่างสูงในความช่วยเหลือ รวมถึงกำลังใจ และข้อเสนอแนะต่างๆที่เป็นประโยชน์ในการวิจัย

ท้ายที่สุดผู้วิจัยขอขอบคุณ ดร.อานนท์ วงษ์แก้ว เอกภพ วงษ์แก้ว อาริยา วงษ์แก้ว และพัชรา มานะศิลป์ สำหรับกำลังใจสูงสุดในการทำงานวิจัยนี้ ทำให้ผู้วิจัยสามารถผ่านอุปสรรคในการทำงานวิจัยได้ และมีความสบายใจที่จะทำงานวิจัยต่อไป

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	i
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ii
กิตติกรรมประกาศ	iii
สารบัญ	iv
สารบัญตาราง	vi
สารบัญรูป	viii
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ที่มา และปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	4
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ และหน่วยงานที่นำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์	5
บทที่ 2 ทฤษฎี	
2.1 ความสำคัญของตัวเร่งปฏิกิริยา	10
2.2 ชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา	11
2.3 องค์ประกอบของตัวเร่งปฏิกิริยา	12
2.4 กลไกการเกิดปฏิกิริยาที่พื้นผิว	13
2.5 การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา	16
2.6 การวิเคราะห์คุณสมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยา	19
2.7 การทดสอบความสามารถในการเร่งปฏิกิริยา (Activity Test)	21
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	
3.1 สารเคมี	24
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ	24
3.3 วิธีการทดลอง	25

บทที่ 4 ผลการทดลอง และการอภิปรายผลการทดลอง	
4.1 พารามิเตอร์ที่มีผลต่อพื้นที่ผิวจำเพาะของตัวเร่งปฏิกิริยา	31
4.2 พารามิเตอร์ที่มีผลต่อความว่องไวในการเร่งปฏิกิริยา	34
 บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	
5.1 สรุปผลการทดลอง	50
5.2 ข้อเสนอแนะ	51
 เอกสารอ้างอิง	52

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 ประสิทธิภาพการทำงานของฟลูเซล เมื่อมีก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในปริมาณต่าง ๆ เจือปนอยู่ในเชื้อเพลิง	7
1.2 งานประยุกต์ของฟลูเซลที่ใช้เป็นแหล่งพลังงานให้กับคอมพิวเตอร์แบบพกพา หรือ เป็นแหล่งพลังงานให้กับโทรศัพท์มือถือ	8
1.3 ฟลูเซลใช้ในการให้พลังงานกับโทรทัศน์และเครื่องเล่นวีดีโอ (100 วัตต์) และงานขับเคลื่อนรถยนต์ และรถมอเตอร์ไซด์	9
2.1 การดูดซับทางเคมีของสารตั้งต้นบนผิวหน้าของตัวเร่งปฏิกิริยา	14
2.2 การเคลื่อนที่มาพบกันและทำปฏิกิริยากันเกิดเป็นโมเลกุลใหม่	15
2.3 ส่วนประกอบของเครื่องมือทดสอบความสามารถในการเร่งปฏิกิริยา	23
3.1 Gas Sorption Analysis ใช้วิเคราะห์พื้นที่ผิวจำเพาะของสารตัวอย่าง	28
3.2 เครื่อง Tubular micro reactor ต่อกับ เครื่องวิเคราะห์ก๊าซโครมาโตกราฟี (Gas Chromatograph, GC) ใช้ทดสอบความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยา	30
4.1 ความว่องไวในการเร่งปฏิกิริยาของตัวรองรับต่าง ๆ ที่เตรียมโดยวิธีโซล เจล	35
4.2 ความว่องไวในการเร่งปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยา 5%Pt/Al ₂ O ₃ โดยตัวรองรับอลูมินามาจากวิธีการต่างกัน	36
4.3 เปรียบเทียบความว่องไวในการเร่งปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีการเติมสารโปรโมทตัวเร่งปฏิกิริยาที่ไม่มีการเติมสารโปรโมท และตัวรองรับ	38
4.4 เปรียบเทียบความว่องไวในการเร่งปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัมที่ถูกโปรโมทบนอลูมินา (5%Pt/5%CeO ₂ /Al ₂ O ₃) ที่เตรียมโดยวิธีต่างกัน	40
4.5 เปรียบเทียบความว่องไวในการเร่งปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัมที่ถูกโปรโมทด้วยสารต่างชนิดกัน	42
4.6 ความว่องไวในการเร่งปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยา 5%Pt/Al ₂ O ₃ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณก๊าซออกซิเจนในการผสมเป็น ร้อยละ 0.5 ร้อยละ 1 และ ร้อยละ 2 ตามลำดับ โดยที่ปริมาณของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์คงที่ที่ ร้อยละ 1 โดยปริมาตร	44

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.7 ความว่องไวในการเร่งปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยา 5%Pt/5%CeO ₂ /Al ₂ O ₃ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณก๊าซออกซิเจนในการผสม เป็นร้อยละ 0.5 ร้อยละ 1 และ ร้อยละ 2 ตามลำดับ โดยที่ปริมาณของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์คงที่ที่ ร้อยละ 1 โดยปริมาตร	47

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 พื้นที่ผิวจำเพาะของตัวรองรับที่เตรียมด้วยวิธีต่างกัน	32
4.2 พื้นที่ผิวจำเพาะของตัวรองรับที่มีการเติมสารโปรโมท ที่เตรียมด้วยวิธีโซล เจล	32
4.3 พื้นที่ผิวจำเพาะของตัวรองรับที่มีการเติมสารประกอบ 1,3 บิวเทนไดออล	33

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มา และปัญหา

เนื่องจากในปัจจุบันนี้ปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อมได้ทวีความรุนแรงมากขึ้นโดยเฉพาะ
ปัญหามลภาวะทางอากาศ ในเมืองใหญ่ๆ ของประเทศที่กำลังพัฒนาเช่น กรุงเทพฯ บอมเบย์
ปักกิ่ง มนิลา เป็นต้น เมืองเหล่านี้เป็นเมืองขนาดใหญ่ที่มีจำนวนประชากรอยู่อาศัยเป็นจำนวน
มาก และ เป็นเมืองที่มีการจราจรหนาแน่นก่อให้เกิดปัญหามลพิษทางอากาศ โดยเฉพาะก๊าซ
คาร์บอนมอนอกไซด์ที่เกิดจากกระบวนการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ที่ไม่สมบูรณ์ การลดปริมาณ
ของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ที่เจือปนในอากาศสามารถกระทำได้ด้วยวิธีการง่ายๆ คือ
วิธีการเผาไหม้คาร์บอนมอนอกไซด์ด้วยก๊าซออกซิเจน(CO Oxidation) ซึ่งเป็นไปตามสมการ
 $CO + 1/2O_2 \rightarrow CO_2$ โดยที่ปฏิกิริยานี้ไม่สามารถเกิดได้เองที่อุณหภูมิห้อง จึงต้องมีการใช้ตัวเร่ง
ปฏิกิริยา เพื่อให้ปฏิกิริยาเกิดได้เร็วขึ้นภายใต้อุณหภูมิต่ำลง วิธีการดังกล่าวสามารถนำไป
ประยุกต์ใช้ในการทำหน้ากากลดมลพิษของตัวตรวจจรวจหรืออุปกรณ์ลดมลพิษ(Catalytic
Converter) ภายในรถยนต์ นอกจากนี้แล้วยังสามารถนำไปประยุกต์ในกรณีอื่นๆ เช่น Sealed
long life CO₂ lasers และเครื่องตรวจวัดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ใช้กันอยู่ในบ้านเรือน(CO
detector and sensors) [1,2] สำหรับ Sealed long life CO₂ lasers นั้น การนำกระบวนการ
คาร์บอนมอนอกไซด์ออกซิเดชันมาใช้เพื่อเผาไหม้คาร์บอนมอนอกไซด์ และออกซิเจนที่เกิดจาก
การแตกตัวของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในเครื่องมือนี้ เป็นการกำจัดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์
เนื่องจาก ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์จะมีผลเสียต่อเครื่องมือเป็นสาเหตุทำให้มีการสูญเสียพลังงาน

อย่างรวดเร็ว ดังนั้นการจัดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์และออกซิเจนออกไปจากระบบ จึงเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานให้กับ Sealed long life CO₂ lasers [3]

จากตัวอย่างงานประยุกต์ที่กล่าวมาข้างต้นจะพบว่า การใช้ออกซิเจนในการจัดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ควรจะทำการที่อุณหภูมิต่ำ (น้อยกว่า 80 องศาเซลเซียส) เพื่อความสะดวกในการใช้งานและจะพบว่า งานวิจัยนี้เป็นเรื่องที่น่าสนใจและจำเป็นที่จะต้องทำ

ในปัจจุบันนี้ได้มีการศึกษาและค้นคว้าหาตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสมสำหรับปฏิกิริยาคาร์บอนมอนอกไซด์ออกซิเดชันอย่างจริงจังและแพร่หลาย แต่อย่างไรก็ตามตัวเร่งปฏิกิริยาเหล่านี้ยังขาดความเหมาะสมทางคุณลักษณะที่จะดำเนินการภายใต้สภาวะอุณหภูมิและความเข้มข้นของออกซิเจนต่ำ นอกจากนั้นตัวเร่งปฏิกิริยาต้องมีคุณลักษณะอื่นๆประกอบด้วย เช่น ความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาให้เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว (High activity) ความเสถียร (Stability) และความสามารถในการนำกลับมาใช้ใหม่ (Regeneration)

ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้สำหรับปฏิกิริยาคาร์บอนมอนอกไซด์ออกซิเดชัน สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ โลหะทรานซิชัน และ โลหะโนเบล จากการศึกษาของสมภพและคณะ [4] พบว่า ตัวเร่งปฏิกิริยาประเภท โลหะทรานซิชันมีความสามารถสูงในการเร่งปฏิกิริยาคาร์บอนมอนอกไซด์ออกซิเดชันที่อุณหภูมิต่ำ (ประมาณ 30-50 องศาเซลเซียส) แต่จะมีเสถียรภาพต่ำหลังจากมีการใช้งานไปในระยะเวลาหนึ่ง ซึ่งการศึกษานี้สอดคล้องกับการศึกษาของ Cigdem และคณะ [5] ซึ่งพบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทโลหะทรานซิชันเมื่อนำมาใช้กับปฏิกิริยาคาร์บอนมอนอกไซด์ออกซิเดชัน จะมีประสิทธิภาพต่ำลงเมื่อใช้ไประยะเวลาหนึ่ง (Deactivation) โดยที่ไม่สามารถทำให้ตัวเร่งปฏิกิริยานี้มีประสิทธิภาพสูงดังเดิมได้ สำหรับตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้โลหะประเภทโนเบลเช่น ทองและ แพลทินัม เป็นต้น นั้นพบว่า มีประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยา

สูง และไม่มีปัญหาเรื่องการนำกลับมาใช้ใหม่ ทองบนตัวรองรับชนิดต่างๆ ถูกนำมาใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาสำหรับปฏิกิริยาคาร์บอนมอนอกไซด์ออกซิเดชันเช่นกัน และพบว่ามีประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยาที่อุณหภูมิต่ำมาก (น้อยกว่า 0 องศาเซลเซียส) และพบว่าเมื่อใช้เป็นเวลานาน อนุภาคของทองจะมารวมกัน ซึ่งกระบวนการนี้ทำให้ประสิทธิภาพของทองในการเร่งปฏิกิริยาลดลง แต่อย่างไรก็ตามพฤติกรรมนี้สามารถแก้ไขได้ ส่วนแพลทินัมพบว่า ไม่มีปัญหาเรื่องการสูญเสียประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยา ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะเน้นไปที่การใช้โลหะแพลทินัมในการเร่งปฏิกิริยาคาร์บอนมอนอกไซด์ออกซิเดชัน

ตัวเร่งปฏิกิริยาประเภท Pt/Al_2O_3 จะมีความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาการเผาไหม้ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่อุณหภูมิค่อนข้างสูง (สูงกว่า 160 องศาเซลเซียส)[6,7] และมีความเสถียรซึ่งหมายความว่าตัวเร่งปฏิกิริยาไม่แสดงถึงการสูญเสียความสามารถในการเร่งปฏิกิริยา เมื่อมีการนำมาใช้ในระยะเวลาอันยาวนาน ดังนั้นการที่จะพัฒนาตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดนี้ให้มีความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นที่อุณหภูมิต่ำลง (น้อยกว่า 150 องศาเซลเซียส) จึงเป็นเรื่องที่น่าสนใจและน่าค้นคว้าต่อไป Mergler Y.J. *et.al.* [8] ได้รายงานไว้ว่า เมื่อมีการเติมซีเรียมออกไซด์ (CeO_2) ปริมาณเล็กน้อยลงใน Pt/Al_2O_3 ทำให้คอนเวอร์ชันของคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO Conversion) เกือบสมบูรณ์ และ อุณหภูมิที่ใช้ในการดำเนินการลดลงจาก 300 องศาเซลเซียส เป็น 150 องศาเซลเซียส โดยปริมาณก๊าซ คาร์บอนมอนอกไซด์ และ ก๊าซออกซิเจนที่ใช้ เป็นไปตามอัตราส่วนสัมประสิทธิ์จากปฏิกิริยาเคมี (Stoichiometric ratio) และ ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้จะต้องผ่านการพรี-ทรีตเมนต์แบบรีดักชัน ผลการทดลองนี้มีความสอดคล้องกับผลการทดลองของ Serre C. *et.al.* [9] ที่ใช้วิธี Temperature-Programmed Reduction, TPR เพื่อหากลไกการเกิดปฏิกิริยาของการเพิ่มประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยาเมื่อมีซีเรียมออกไซด์ (CeO_2) อยู่ของ $Pt/CeO_2/Al_2O_3$ ซึ่งได้

สรุปผลว่ากลไกการสะสมออกซิเจนของ CeO_2 เป็นสาเหตุให้ความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยานี้เพิ่มขึ้น ในทำนองเดียวกัน Martinez-Arias A. *et.al.*[10] ได้รายงานว่าการกระจายตัวของคาร์บอนมอนอกไซด์ออกซิเดชันที่มีตัวเร่งปฏิกิริยาประเภท $\text{Pt/CeO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ จะมีความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาได้สูงกว่า $\text{Pt/Al}_2\text{O}_3$ นอกจากนี้ยังพบว่า ขนาดผลึกของแพลทินัมในตัวเร่งปฏิกิริยามีผลกระทบต่อความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาของกระบวนการคาร์บอนมอนอกไซด์ออกซิเดชันด้วย Engel และ Ertl [11] พบว่า ในกรณีที่แพลทินัมมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอบน Al_2O_3 หรือ กล่าวอีกนัยหนึ่งคือ ขนาดผลึกของแพลทินัมมีขนาดเล็ก ตัวเร่งปฏิกิริยาจะมีความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาการคาร์บอนมอนอกไซด์ออกซิเดชันได้ดีกว่าในกรณีที่ตัวเร่งปฏิกิริยามีขนาดผลึกของแพลทินัมใหญ่ ดังนั้นจะพบว่าการเพิ่มความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาของ $\text{Pt/Al}_2\text{O}_3$ ต่อปฏิกิริยาการคาร์บอนมอนอกไซด์ออกซิเดชัน สามารถทำได้ 3 วิธีคือการลดขนาดผลึกของแพลทินัม การใช้สภาวะที่เหมาะสมในการพรี-ทรีตเมนต์ตัวเร่งปฏิกิริยา และการเลือกใช้โลหะที่เหมาะสมเติมลงไปในตัวเร่งปฏิกิริยา Erol S. *et.al* [12] รายงานว่า การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในกระบวนการลด NO_x โดยวิธีการโซลเจล (Sol-Gel) จะส่งผลให้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้มีความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาได้สูงขึ้น เนื่องจากมีการกระจายตัวขององค์ประกอบโลหะในตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นอย่างดี ซึ่งเป็นผลมาจากการเพิ่มขึ้นของพื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะเน้นไปที่ใช้วิธีการโซล เจล ในการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา $\text{Pt/CeO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ เพื่อเพิ่มการกระจายตัวของโลหะในตัวเร่งปฏิกิริยา

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

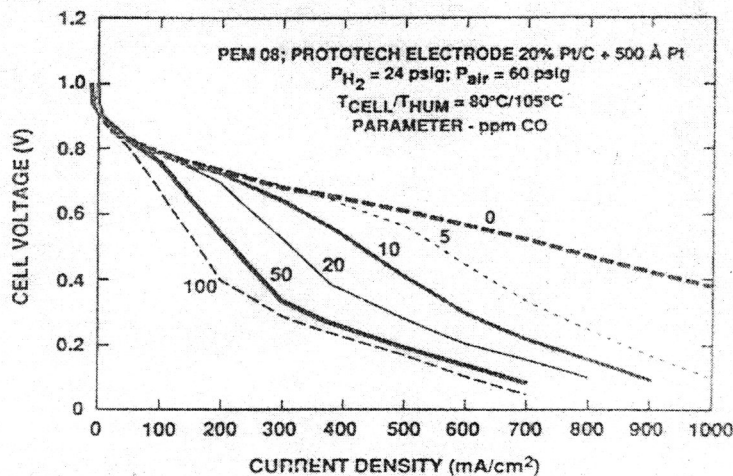
1. ใช้วิธีการโซล เจล ในการพัฒนาตัวเร่งปฏิกิริยา $\text{Pt/CeO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ เพื่อให้เหมาะสมกับปฏิกิริยาคาร์บอนมอนอกไซด์ออกซิเดชันที่อุณหภูมิต่ำ
2. ศึกษาความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยา $\text{Pt/CeO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ ที่เตรียมจากวิธีการโซล เจล เพื่อใช้ในปฏิกิริยาคาร์บอนมอนอกไซด์ออกซิเดชัน
3. ศึกษาความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทแพลทินัมบนตัวรองรับ อลูมินา เมื่อมีการโปรโมทด้วยเหล็กออกไซด์ ซึ่งเป็นสารประกอบที่มีคุณสมบัติเช่นเดียวกับซีเรียออกไซด์
4. ศึกษากลไกการเกิดปฏิกิริยาคาร์บอนมอนอกไซด์ออกซิเดชันของตัวเร่งปฏิกิริยา $\text{Pt/CeO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ และหน่วยงานที่นำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

1. พัฒนาตัวเร่งปฏิกิริยา $\text{Pt/Al}_2\text{O}_3$ ที่เหมาะสมกับปฏิกิริยาคาร์บอนมอนอกไซด์ออกซิเดชันที่อุณหภูมิต่ำโดยการเติมซีเรีย
2. มีความรู้ความเข้าใจถึงผลกระทบของวิธีการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาต่อความสามารถในการเร่งปฏิกิริยา ของตัวเร่งปฏิกิริยา $\text{Pt/CeO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ สำหรับปฏิกิริยาคาร์บอนมอนอกไซด์ออกซิเดชัน
3. ทราบถึงปริมาณที่เหมาะสมที่สุดของแพลทินัมและซีเรียในตัวเร่งปฏิกิริยาสำหรับใช้ในการเร่งปฏิกิริยาคาร์บอนมอนอกไซด์ออกซิเดชันที่อุณหภูมิต่ำ
4. ทราบถึงกลไกการเกิดปฏิกิริยาคาร์บอนมอนอกไซด์ออกซิเดชันของตัวเร่งปฏิกิริยา $\text{Pt/CeO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$

ผลที่ได้จากศึกษานี้จะมีประโยชน์โดยตรงต่อสถาบันสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย เพื่อนำข้อมูลไปประยุกต์ใช้ในการพัฒนาอุปกรณ์เพื่อลดมลพิษโดยเฉพาะในเมืองใหญ่ๆ เช่น กรุงเทพมหานคร เชียงใหม่ เป็นต้น ซึ่งก๊าซพิษ (CO , NO_x) เหล่านี้เกิดขึ้นจากการเผาไหม้แบบไม่สมบูรณ์ของเชื้อเพลิงที่ใช้ในรถยนต์ รูปแบบที่จะนำไปใช้เช่น Catalytic Converter ในรถยนต์เป็นต้น นอกจากนี้ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับหน้ากากป้องกันมลพิษทางอากาศสำหรับตำรวจจราจรที่ทำงานตามสี่แยกไฟแดงที่มีปริมาณรถยนต์จำนวนมากได้อีกด้วย

นอกจากนี้แล้ว ผลการทดลองที่ได้ยังสามารถใช้เป็นฐานข้อมูลให้กับงานประยุกต์ด้านฟลู-เซลล์ที่ใช้กับรถ ซึ่งเป็นทางเลือกใหม่ของเครื่องยนต์ที่ใช้ในการขับเคลื่อน โดยไม่ผ่านระบบการเผาไหม้ภายใน ส่งผลให้ลดปัญหามลพิษทางอากาศ และ ลดปัญหาการใช้น้ำมัน โดยในส่วนของก๊าซรีฟอร์มที่จะส่งเข้าไปยังฟลูเซลล์ ถ้ามีก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ปะปนจะทำให้ประสิทธิภาพการทำงานลดลงอย่างมาก ดังแสดงในรูป 1.1

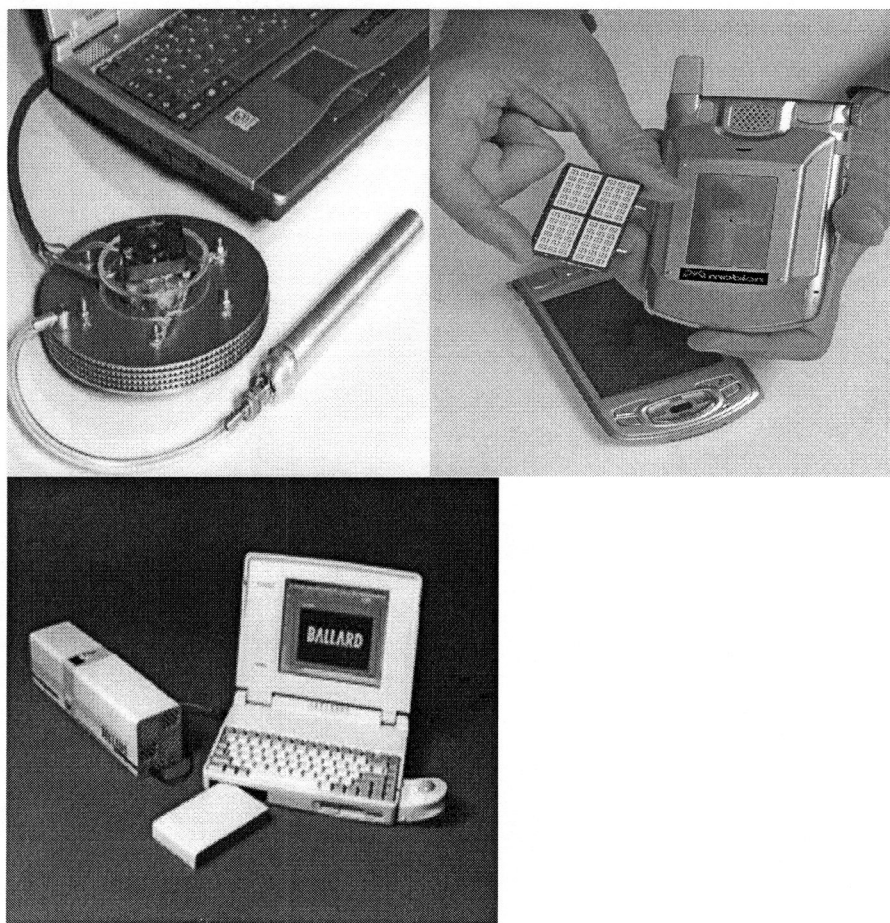


[1] Gottesfeld, S., US Patent 4,910,099 (March 20, 1990).

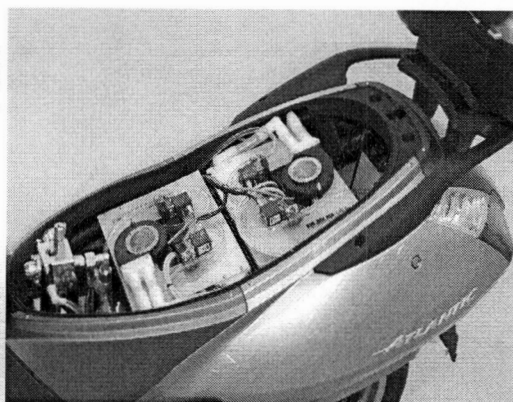
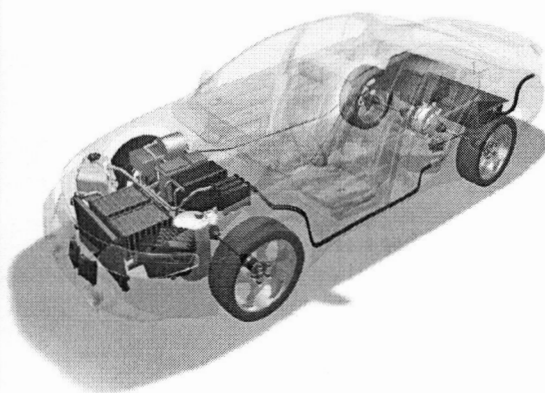
รูปที่ 1.1 ประสิทธิภาพการทำงานของฟลูเซลล์ เมื่อมีก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในปริมาณต่างๆเจือปนอยู่ในเชื้อเพลิง

จากรูปที่ 1.1 พบว่า ประสิทธิภาพของหน่วยผลิตพลังงานโดยฟลูเซลล์ลดลงมากเมื่อมีก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์เจือปนในปริมาณเพียงเล็กน้อย (5 ล้านส่วน) เปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่มีก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ปะปนอยู่เลย (เส้นประด้านบนสุด) ดังนั้นการกำจัดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์จะส่งผลให้ฟลูเซลล์ทำงานอย่างเต็มประสิทธิภาพ การหาตัวเร่งปฏิกิริยามาใช้ในงานประยุกต์นี้จึงเป็นเรื่องที่สำคัญ และตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทแพลทินัมบนตัวรองรับอลูมินาที่ถูกโปรโมทด้วยสารที่มีคุณสมบัติกักเก็บออกซิเจน จึงเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่น่าจะทดลองใช้กับงานนี้

ฟลูเซลล์แบบเยื่อเมมเบรนนอกจากจะถูกประยุกต์ใช้กับงานรถยนต์แล้ว ยังสามารถใช้กับงานอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับพลังงานอีกมากมาย ดังแสดงในรูป 1.2 และ 1.3



รูปที่ 1.2 งานประยุกต์ของฟลูเซลล์ที่ใช้เป็นแหล่งพลังงานให้กับคอมพิวเตอร์แบบพกพา หรือ เป็นแหล่งพลังงานให้กับโทรศัพท์มือถือ



รูปที่ 1.3 ฟลูเซลล์ใช้ในการให้พลังงานกับโทรทัศน์และเครื่องเล่นวีดีโอ (กำลังขนาด 100 วัตต์) และงานขับเคลื่อนรถยนต์ และรถมอเตอร์ไซด์

บทที่ 2

ทฤษฎี

ในส่วนนี้จะกล่าวถึงความสำคัญของตัวเร่งปฏิกิริยา โดยนิยามคำจำกัดความของคำว่า ตัวเร่งปฏิกิริยา จากนั้นจะกล่าวถึง ชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา กลไกการเกิดปฏิกิริยาที่พื้นผิว องค์ประกอบของตัวเร่งปฏิกิริยา วิธีการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา และวิธีวิเคราะห์คุณสมบัติเฉพาะของตัวเร่งปฏิกิริยา รายละเอียดแสดงดังต่อไปนี้

2.1 ความสำคัญของตัวเร่งปฏิกิริยา

ปัจจุบันกระบวนการผลิตสารต่างๆ ในโรงงานอุตสาหกรรมหลายประเภทมีการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) กันอย่างกว้างขวาง โดยเฉพาะโรงงานทางด้านปิโตรเคมี เนื่องจากตัวเร่งปฏิกิริยาสามารถเพิ่มอัตราเร็วการเกิดปฏิกิริยา ทำให้ปฏิกิริยาเข้าสู่ภาวะสมดุลเร็วขึ้น [จตุพรและนุรักษ์, 2547] และทำให้ได้ผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาในอัตราที่สูง (Yield of reaction) รวมทั้งปฏิกิริยาเกิดขึ้นในสภาวะที่ต่ำ ส่งผลให้ลดต้นทุนในการผลิตลดลง ตัวเร่งปฏิกิริยาได้รับการค้นพบในต้นศตวรรษที่ 19 เริ่มจากการค้นพบว่ากรดปริมาณน้อยๆ สามารถทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) ในปฏิกิริยาการย่อยสลายแป้ง และได้มีการพัฒนาต่อมาเรื่อยๆ จนในปี 1831 ฟิลลิปส์ (Peregrine Phillips) ได้ทำการทดลองโดยใช้แพลทินัมเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในปฏิกิริยาออกซิเดชันของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์(SO_2) ซึ่งต่อมาสารตัวนี้ได้กลายเป็นสารตั้งต้นที่สำคัญสำหรับการผลิตกรดซัลฟูริกในทางอุตสาหกรรม [รศ.ดร.วิทยา, 2547] ตัวเร่งปฏิกิริยาสามารถ

นำไปใช้กับปฏิกิริยาอื่นๆอีกมากมาย โดยกฎเกณฑ์การเลือกตัวเร่งปฏิกิริยาขึ้นอยู่กับ ประเภทของปฏิกิริยา คุณสมบัติเฉพาะตัวของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสมกับปฏิกิริยานั้นๆ เช่น การผลิตปิโตรเลียมจากกระบวนการดีไฮโดรจีไนต์ปิโตรเลียมด้วย $\text{Cr}_2\text{O}_3 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ และการผลิตแอมโมเนียจากกระบวนการไฮโดรจีไนต์ไนโตรเจนด้วย $\text{Fe} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ เป็นต้น [Satterfield,1991]

กล่าวโดยสรุปได้ว่าตัวเร่งปฏิกิริยาคือสารที่เพิ่มอัตราเร็วของปฏิกิริยาทำให้ปฏิกิริยาเข้าสู่สมดุลเร็วขึ้นโดยที่ตัวมันเองไม่ถูกใช้อย่างถาวรในปฏิกิริยา แม้ว่าตัวเร่งปฏิกิริยาอาจมีส่วนร่วมในบางขั้นตอนของการเกิดปฏิกิริยาแต่ในที่สุดแล้วตัวเร่งปฏิกิริยาจะต้องกลับมาอยู่ในรูปแบบเดิมหลังจากปฏิกิริยาสิ้นสุด

2.2 ชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา

ตัวเร่งปฏิกิริยาแบ่งตามสถานะเทียบกับสารตั้งต้นและสารผลิตภัณฑ์มี 2 ประเภท คือ

1) ตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธ์ (Homogeneous Catalysts) คือ ตัวเร่งปฏิกิริยาที่อยู่ในสถานะเดียวกับสารที่ทำปฏิกิริยา ไม่ว่าจะเป็นก๊าซหรือของเหลว เช่น ปฏิกิริยาในสิ่งมีชีวิตที่ใช้เอนไซม์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และปฏิกิริยาในรูปของสารละลาย ตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธ์มักเป็นโมเลกุลที่มีตำแหน่งสำหรับเร่งปฏิกิริยาชัดเจน และเนื่องจากตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธ์อยู่ในวัฏภาคเดียวกับสารตั้งต้น จึงมีข้อดีคือประสิทธิภาพการเร่งปฏิกิริยาสูง และสามารถเลือกให้เร่งปฏิกิริยาที่ต้องการได้ง่าย อีกทั้งสามารถศึกษากลไกของปฏิกิริยาได้ง่าย และไม่มีปัญหาเกี่ยวกับการแพร่ของสารตั้งต้นไปหาตัวเร่งปฏิกิริยา แต่มีข้อเสียคือ การแยกตัวเร่งปฏิกิริยาออกจากสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์ทำได้ยาก และอายุการใช้งานสั้น

2) ตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิพันธ์ (Heterogeneous Catalysts) คือ ตัวเร่งปฏิกิริยาที่อยู่ในสถานะแตกต่างกับสารที่ทำปฏิกิริยา เช่น ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นของแข็ง สารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์เป็นก๊าซหรือของเหลว การใช้ตัวเร่งแบบวิวิพันธ์พบได้ในอุตสาหกรรมหลายอย่าง เช่น ปุ๋ย ผลิตภัณฑ์ยา เชื้อเพลิง เส้นใยสังเคราะห์ ข้อดีของตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิพันธ์คือ สามารถแยกสารตั้งต้นกับสารผลิตภัณฑ์ออกจากตัวเร่งปฏิกิริยาได้ง่าย สามารถใช้ได้ในสภาวะที่มีอุณหภูมิ และ/หรือ ความดันสูงได้ อายุการใช้งานยาวนาน และอาจนำกลับมาใช้ใหม่ได้ [จตุพรและนุรักษ์, 2547]

2.3 องค์ประกอบของตัวเร่งปฏิกิริยา

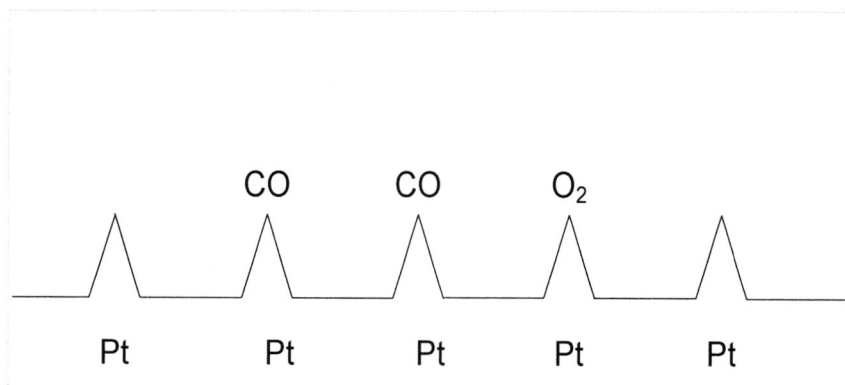
ส่วนประกอบของตัวเร่งปฏิกิริยามีสองส่วนด้วยกัน ส่วนแรกคือ ตัวรองรับ (Support หรือ Carrier) ทำหน้าที่เป็นฐานของส่วนที่ทำให้เกิดปฏิกิริยา หรือโครง/ส่วนที่ให้กลุ่มอะตอมของโลหะที่ทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเกาะ เพื่อให้เกิดการกระจายตัวที่ดี (High Dispersion) เช่น อลูมินา (Alumina) ซิลิกา (Silica) ซีโอไลต์ (Zeolites) ไททาเนีย (Titania) และถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon or Activated Charcoal) โดยคุณสมบัติของตัวรองรับที่เป็นเกณฑ์ในการเลือกใช้คือ เป็นสารเฉื่อย มีคุณสมบัติทางกลศาสตร์ดี เช่น ด้านทานการสึกกร่อน แข็งแรงและทนทานต่อการกดอัด ความเสถียรภาพสูง ความเป็นรูพรุนสูงและองค์ประกอบภายในตัวรองรับต้องมีความสม่ำเสมอ และตัวรองรับที่เลือกใช้ควรมีราคาถูก ในงานวิจัยนี้เลือกใช้อลูมินา เนื่องจากราคาไม่แพง สามารถเตรียมให้มีขนาดอนุภาคเล็กได้ง่าย อีกทั้งในการเตรียมสามารถกำหนดพื้นที่ผิวของการกระจายของรูพรุนได้ตามต้องการ การที่ตัวรองรับมีความพรุนสูงทำให้มีพื้นที่ผิวภายในสูง ส่งผลให้อนุภาคของโลหะที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยากระจายตัวได้ดีและเพิ่มประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยา อลูมินามีหลายเฟส แต่ที่นิยมใช้เป็นตัวรองรับในอุตสาหกรรมคือ แกมมาอลูมินา (γ -Alumina) ซึ่งมีความ

พูน ทำให้มีพื้นที่ผิวสูง ส่วนเฟสที่เสถียรที่สุดคือ แอลฟาอะลูมินา (α - Alumina) ซึ่งไม่มีรูพูน อย่างไรก็ตามแกมมาอะลูมินามีเสถียรภาพพอสมควรเพราะที่สภาวะทั่วไปมันจะไม่เปลี่ยนเฟสไปเป็นแอลฟาอะลูมินา ส่วนที่สอง คือ แอคทีฟไซต์หรือโปรโมเตอร์ (Active Site or Promoter) เป็นโลหะที่เติมเข้าไปในกระบวนการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงกัมมันตภาพ (Activity) สัดส่วนการเลือกทำปฏิกิริยา (Selectivity) หรือเสถียรภาพของตัวเร่งปฏิกิริยา โลหะที่ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ 1) โลหะทรานซิชัน ซึ่งมีความสามารถสูงในการเร่งปฏิกิริยาที่อุณหภูมิต่ำ (ประมาณ 30-50 องศาเซลเซียส) แต่จะมีเสถียรภาพต่ำหลังจากมีการใช้งานไปได้ระยะเวลาหนึ่ง ความว่องไวในการทำปฏิกิริยาจะลดลง (Deactivation) โดยที่ไม่สามารถทำให้ตัวเร่งปฏิกิริยานี้มีประสิทธิภาพสูงดังเดิมได้ 2) โลหะโนเบล เช่น ทอง พลาตินัม และ แพลทินัม เป็นต้น พบว่า มีประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยาสูง และไม่มีปัญหาเรื่องการนำกลับมาใช้ใหม่ ดังนั้นงานวิจัยนี้จะเน้นไปที่โลหะแพลทินัมเนื่องจากไม่มีปัญหาเรื่องการสูญเสียประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยา

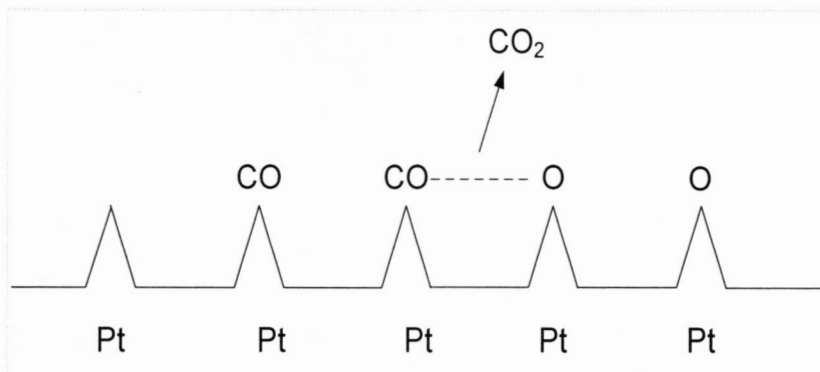
2.4 กลไกการเกิดปฏิกิริยาที่พื้นผิว

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในวัฏภาคก๊าซ และมีตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นของแข็ง กลไกการเกิดปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นบนพื้นผิวของของแข็งนั้นๆ เช่น การเผาไหม้ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO Oxidation) บนตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทแพลทินัมบนตัวรองรับอะลูมินา จะเกิดขึ้นบริเวณพื้นผิวของแพลทินัม โดยที่ตำแหน่งของโลหะที่ฝังตัวอยู่ ณ รูพูนของตัวรองรับ จะทำหน้าที่เป็นตำแหน่งกระตุ้น ซึ่งก่อให้เกิดการดูดซับของสารตั้งต้น (ในที่นี้คือ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์, CO และก๊าซออกซิเจน, O_2) บนผิวหน้าของตัวเร่งปฏิกิริยา ในขั้นตอนนี้โมเลกุลของสารตั้งต้นจะแพร่ไปถึงตำแหน่งกระตุ้น

(Active Sites) ซึ่งอยู่ในรูปพรุนของตัวเร่งปฏิกิริยา แล้วเกิดการดูดซับทางเคมี (Chemisorption) แรงกระทำระหว่างโมเลกุลของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์กับโลหะแพลทินัมมีความรุนแรง ส่งผลให้สามารถเกิดปฏิกิริยากับออกซิเจนอะตอมที่อยู่บริเวณข้างเคียงเกิดเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งโมเลกุลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีแรงกระทำกับแพลทินัมต่ำกว่า ดังนั้นสามารถคายซับออกไปจากพื้นผิว ทิ้งตำแหน่งว่างของแพลทินัมให้โมเลกุลอื่นๆ ต่อไป ดังแสดงในรูป 2.1 ในการเกิดปฏิกิริยานี้เมื่อโมเลกุลของก๊าซออกซิเจนมาดูดซับบนแพลทินัม ก๊าซออกซิเจนจะเกิดการแตกตัว (Dissociate) เป็นออกซิเจน 2 อะตอมเกาะอยู่บนแพลทินัม ดังรูป 2.2 กลไกการเกิดปฏิกิริยาแบบนี้เรียกว่า Langmuir Hinshelwood Model



รูป 2.1 การดูดซับทางเคมีของสารตั้งต้นบนพื้นผิวหน้าของตัวเร่งปฏิกิริยา



รูป 2.2 การเคลื่อนที่มาพบกันและทำปฏิกิริยากันเกิดเป็นโมเลกุลใหม่

จากกลไกการเกิดปฏิกิริยาแบบที่พื้นผิวนี้ พบว่าถ้าพื้นที่ผิวของตัวรองรับมีค่ามาก ซึ่งก็คือพื้นที่ผิวมีความพรุนสูง จะทำให้โลหะสามารถกระจายตัวเข้าสู่รูพรุนได้มากขึ้น เป็นการเพิ่มตำแหน่งกัมมันต์ (Active Sites) ให้กับสารตั้งต้น (O_2 , CO) ทำให้โอกาสในการที่ก๊าซออกซิเจน (O_2) กับ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) จะดูดซับบนตำแหน่งกัมมันต์ที่ติดกัน แล้วเกิดปฏิกิริยาได้เป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) มีโอกาสมากขึ้นด้วย นอกเหนือจากนี้ยังอัตราเร็วการเกิดปฏิกิริยาบนพื้นผิวยังขึ้นอยู่กับ ค่าเอนทัลปี (Enthalpy) ค่าพลังงานก่อกัมมันต์ของการดูดซับ (Activation energy of adsorption) และความรุนแรงในการดูดซับด้วย ปัจจัยอื่นๆที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ รูปร่าง และคุณสมบัติทางไฟฟ้าของโลหะแต่ละตัว เป็นต้น

จากแนวความคิดนี้ พบว่าวิธีการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา ก็มีผลกระทบต่อความว่องไวของปฏิกิริยาด้วย โดยวิธีการที่ให้พื้นที่ผิวที่มากในการเตรียมตัวรองรับ หรือ วิธีการที่ให้โลหะมีการกระจายตัวสม่ำเสมอ ก็น่าจะทำให้ได้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีความว่องไวสูงต่อปฏิกิริยา

2.5 การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา

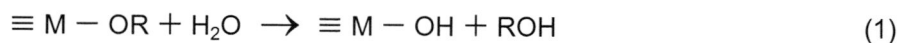
กระบวนการที่ใช้ในการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยามีอยู่หลายวิธี ได้แก่ กระบวนการโซลเจล (Sol-Gel) กระบวนการอิมเพรเกนชัน (Impregnation) และกระบวนการตกตะกอนร่วม (Coprecipitation) เป็นต้น ในที่นี้จะแสดงรายละเอียดของวิธีการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา 2 วิธี คือ วิธีโซล เจล และ วิธีอิมเพรเกนชัน ดังแสดงในรายละเอียด ดังต่อไปนี้

1. วิธีโซล เจล (Sol-Gel Method)

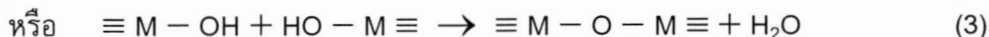
วิธีโซล เจล เป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้ในการเตรียมโลหะออกไซด์ โดยปฏิกิริยาระหว่างน้ำกับสารตั้งต้นที่อยู่ในตัวทำละลาย ได้สารละลายใหม่ เรียกว่า โซล (Sol) จากนั้นปฏิกิริยาดำเนินไปโดยอนุภาคเชื่อมต่อกันเป็นโครงร่างตาข่าย ด้วยปฏิกิริยาการควบแน่น (Condensation Reaction) ได้ผลิตภัณฑ์อยู่ในรูปกิ่งของแข็ง เรียกว่า เจล (Gel) ดังนั้นกระบวนการโซลเจลจึงเป็นการละลายของอินทรีย์สารหรืออินทรีย์สารกับตัวทำละลายที่อุณหภูมิต่ำ

ขั้นตอนในการเตรียมโซล เจลจะมีอยู่ 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนแรกเป็นการเตรียมสารให้อยู่ในรูปคอลลอยด์ (โซล) จากโลหะอัลคอกไซด์เป็นโลหะไฮดรอกไซด์โดยขบวนการไฮโดรไลซิส ขั้นตอนที่สองเป็นการทำให้เป็นเจลโดยใช้ปฏิกิริยาการควบแน่น (Condensation Reaction) จากโลหะไฮดรอกไซด์ตามสมการดังนี้

ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส



ปฏิกิริยาการควบแน่น



โดยที่ M = โลหะ หรือ Si และ R = หมู่แอลคิล (C_nH_{2n+1})

ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสจะเกิดขึ้นเมื่อมีน้ำเพิ่มใน $\equiv M-OR$ และผลที่ได้คือ หมู่ไฮดรอกซิล

(Hydroxy Group, $\equiv M-OH$) ซึ่งหมู่ไฮดรอกซิลก็มีผลต่อปฏิกิริยาการควบแน่นด้วย โดย

ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาการควบแน่น คือ ออกไซด์ของโลหะ แอลกอฮอล์ (ROH) และน้ำ

ในทางปฏิบัติปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส และ ปฏิกิริยาการควบแน่นจะเกิดขึ้นพร้อมกันและอัตราเร็วของปฏิกิริยาทั้งสองสามารถทำให้เร็วได้ด้วยการเติมกรดหรือเบส โดยอัตราการเกิดปฏิกิริยาจะขึ้นอยู่กับธรรมชาติของโลหะและหมู่แอลคิลของโลหะแอลคอกไซด์ อัตราเร็วการเกิดปฏิกิริยาของทั้ง 2 ปฏิกิริยา จะดำเนินไปอย่างรวดเร็ว เมื่อสารตั้งต้นที่ใช้เป็นประเภตสารประกอบอินทรีย์ของโลหะทรานสิชัน (Alkoxide of Transition Metals) ซึ่งตรงข้ามกับ ในกรณีที่ใช้สารประกอบอินทรีย์ของโลหะซิลิคอน (ซิลิคอนแอลคอกไซด์, Silicon Alkoxide) เนื่องจากโลหะทรานสิชันมีค่าอิเล็กโตรเนกาติวิตีต่ำ

เมื่อปฏิกิริยาควบแน่นดำเนินไป พบว่าความหนืดของสารละลายโซลจะเปลี่ยนแปลงอย่างช้า ๆ จนกระทั่ง ณ. เวลาหนึ่งที่เรียกว่า Gelation Time ความหนืดของสารละลายจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ณ. เวลานั้นจะสังเกตเห็นเนื้อสารละลายเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว คือ จากสารละลายเป็นของแข็งกึ่งเหลว เหมือนนุ่น ซึ่งเรียกว่า เจล และขบวนการนี้เรียกว่า การทำให้เกิด

เจล (Gelation) เกิดขึ้นเมื่ออนุภาคของของแข็งในโซลเชื่อมประสานตัวกันและเกิดเป็นโครงร่างตาข่าย 3 มิติ ล้อมรอบตัวทำละลาย ทำให้ตัวทำละลายยังคงอยู่ในโครงตาข่ายของของแข็งนี้

อัตราการทำให้เป็นเจลขึ้นอยู่กับอัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสและปฏิกิริยาการควบแน่น ถ้าปฏิกิริยาทั้งคู่เกิดเร็ว การเกิดเจลก็เร็วตามไปด้วย ทำให้ใช้เวลาในการเกิดเจลด้อยลงในทางตรงกันข้ามถ้าปฏิกิริยาทั้งคู่เกิดช้า การเกิดเจลก็ช้าตามไปด้วย ทำให้ใช้เวลาในการเกิดเจลมากขึ้น โดยอัตราการเกิดปฏิกิริยาทั้งสองส่งผลถึงลักษณะโครงสร้างของโลหะออกไซด์สุดท้าย หลังจากนั้นเจลที่ได้จะถูกทำให้แห้งโดยการดึงตัวทำละลาย (Solvent) ออกจากพอร์ด้วยความร้อน และผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้จะอยู่ในรูปโลหะออกไซด์ การทำให้แห้ง (Drying) สามารถทำได้ทั้งที่สภาวะเหนือระยะวิกฤต (Supercritical Condition) การทำให้แห้งโดยใช้วิธีนี้ สารประกอบออกไซด์ที่ได้เรียกว่า "Aerogel" ส่วนวิธีการทำให้แห้งโดยใช้เดอบอรรเมดา สารประกอบออกไซด์ที่ได้ เรียกว่า "Xerogel" พบว่าการที่ใช้วิธีทำให้เจลแห้งที่แตกต่างกันส่งผลถึงคุณสมบัติทางกายภาพ เช่น พื้นผิวจำเพาะแตกต่างกัน กรณีของซิลิคอนใช้วิธีการทำให้แห้งแบบ Aerogel สามารถมีพื้นที่ผิวสูงถึง $1000 \text{ m}^2/\text{g}$ แต่ถ้าใช้วิธีแบบ Xerogel จะได้พื้นที่ผิวเพียง $200 \text{ m}^2/\text{g}$ อย่างไรก็ตามกระบวนการการทำให้แห้งไม่ได้มีผลกระทบต่อพื้นที่ผิวเท่านั้น ยังมีตัวแปรอื่นๆ อีก เช่น ชนิดของตัวทำละลาย จำนวนของตัวทำละลายและค่าความเป็นกรด-เบส ซึ่งมีผลกระทบโดยตรงต่อโครงสร้างของสาร

2. วิธีอิมเพรคเนชัน (Impregnation Process)

อิมเพรคเนชันเป็นวิธีการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาอีกวิธีหนึ่งที่นิยมใช้กันมาก เนื่องจากเป็นวิธีที่ง่ายไม่มีขั้นตอนหรือไม่มีกระบวนการที่ซับซ้อน แต่มีข้อกำหนดในการเตรียมแบบอิม

เพรคเนชั่น คือความสามารถในการละลาย (Solubility) ของโลหะตั้งต้นกับน้ำ หรือตัวทำละลายอื่นๆ นอกจากนั้นแล้วตัวรองรับต้องมีคุณสมบัติเปียก (Wet, Contact angle = 0) ในสารละลายนั้นด้วย ตัวรองรับเหล่านั้นได้แก่ อลูมินา และซิลิกา เป็นต้น ถ้ากรณีที่ตัวรองรับไม่มีคุณสมบัติเปียก ระบบนั้นต้องดำเนินการภายใต้สุญญากาศหรือเปลี่ยนชนิดของตัวทำละลายที่มีคุณสมบัติเปียกกับตัวรองรับที่นำมาใช้งาน โดยทั่วไปแล้วโลหะที่เติมลงบนตัวรองรับต้องมีปริมาณอยู่ในช่วง 20-40 เปอร์เซ็นต์ของตัวรองรับ ผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้ต้องผ่านการอบแห้งและแคลไซด์เพื่อกำจัดสารปนเปื้อนในตัวเร่งปฏิกิริยาและเป็นการเพิ่มคุณสมบัติเชิงกลศาสตร์ของตัวเร่งปฏิกิริยา

2.6 การวิเคราะห์คุณสมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยา

ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นวัสดุที่มีโครงสร้างซับซ้อนมาก ซึ่งสามารถบอกความซับซ้อนต่างๆ ออกมาเป็นค่ามาตรฐานที่ใช้ในการบ่งชี้ถึงคุณสมบัติทางกายภาพของตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น พื้นที่ผิว ปริมาตรของรูพรุน (Pore Volume) สัดส่วนช่องว่าง (Void Fraction) และขนาดผลึก (Crystallite Size) ค่ามาตรฐานเหล่านี้สามารถหาได้จากเครื่องมือหลายชนิด แต่ในการทดลองนี้ได้ทำการวิเคราะห์พื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยวิธีของบรูนอเออร์ เอ็มเมตต์และเทลเลอร์ ซึ่งหลักการของอุปกรณ์ชนิดนี้ได้ทำการอธิบายดังต่อไปนี้

วิธีบรูนอเออร์ เอ็มเมตต์ และ เทลเลอร์ (BET) เป็นวิธีการที่นิยมมากในการวัดพื้นที่ผิวจำเพาะ (Surface Area) โดยอาศัยหลักการการดูดซับระหว่างของแข็งกับก๊าซซึ่งส่วนมากใช้ก๊าซไนโตรเจนเป็นตัวถูกดูดซับ ผู้คิดค้นวิธีนี้คือ บรูนอเออร์ เอ็มเมตต์ และ เทลเลอร์ ซึ่งแสดงได้ดังสมการ

$$\frac{P}{V(P_0 - P)} = \frac{1}{V_m C} + \frac{(C - 1)P}{V_m C P_0} \quad (4)$$

กำหนดให้ V คือ ปริมาตรของก๊าซที่ถูกดูดซับ ที่ความดัน P

V_m คือ ปริมาตรของก๊าซที่ถูกดูดซับในมอนอเลเยอร์ (Monolayer)

P_0 คือ ความดันอิ่มตัว (Saturation Pressure)

C คือ ค่าคงที่

สามารถหาได้จาก

$$C = e^{(q_1 - q_L)/RT} \quad (5)$$

กำหนดให้ q_1 คือ ความร้อนของการดูดซับบนชั้นแรก

q_L คือ ความร้อนของของเหลวที่ดูดซับก๊าซในชั้นอื่นทั้งหมด

R คือ ค่าคงที่ก๊าซ

การหาค่าพื้นที่ผิวหาได้จากการพล็อตกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง P/V ($P_0 - P$) เทียบกับ P/P_0 ช่วงที่ใช้ในการวัดพื้นที่ผิวของผลึกจะใช้ค่า P/P_0 ที่อยู่ระหว่าง 0.05-0.30 โดยค่าความชัน (S) ที่ได้จากกราฟจะมีค่าเท่ากับ $(C-1)/V_m C$ และจุดตัดที่ได้ (I) มีค่าเท่ากับ $1/V_m C$ ซึ่งสามารถเขียนสมการแสดงความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$s + i = \frac{1}{V_m C} [(C - 1) + 1] = \frac{1}{V_m} \quad (6)$$

$$A = V_m N_0 \sigma \rho / M_w \quad (7)$$

กำหนดให้ N_0 คือ จำนวนโมเลกุลใน 1 โมล (6.02×10^{23} molecule/mol)

A คือ พื้นที่ผิวจำเพาะของของแข็ง (พื้นที่/น้ำหนักของแข็ง)

σ คือ พื้นที่ผิวของแข็งที่ถูกดูดซับด้วยโมเลกุลก๊าซ 1 โมเลกุล

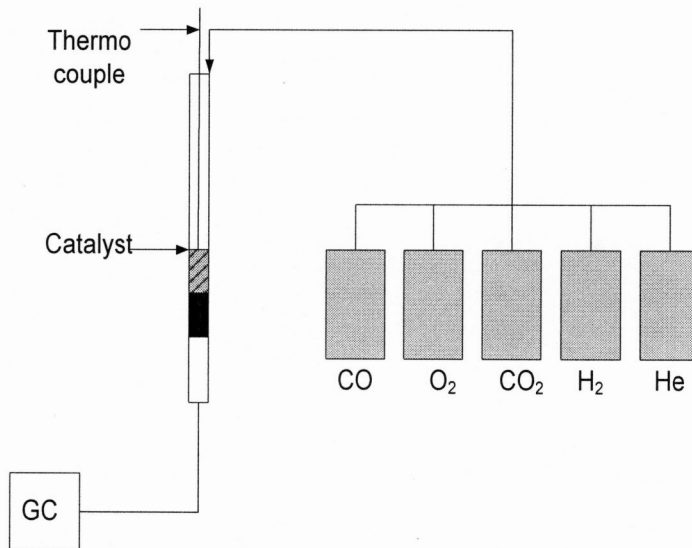
ρ คือ ความหนาแน่นของก๊าซ

M_w คือ น้ำหนักโมเลกุลของก๊าซ

2.7 การทดสอบความสามารถในการเร่งปฏิกิริยา (Activity Test)

เป็นการวัดการเปลี่ยนแปลงสมบัติของสารทั้งทางกายภาพและเคมีที่เกิดขึ้นตามอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป รวมทั้งอัตราเร็วในการไหลของก๊าซผสมที่เปลี่ยนแปลงไปตามที่กำหนดไว้ อาจเป็นการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักหรือพลังงานความร้อน เป็นต้น ส่วนประกอบของเครื่องมือนี้ จะมีก๊าซที่ต้องการศึกษา เช่น ก๊าซไฮโดรเจน ก๊าซออกซิเจน ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ และ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยก๊าซเหล่านี้จะเจือจางด้วยก๊าซเฉื่อย เช่น ก๊าซฮีเลียม อาร์กอน หรือ ไนโตรเจน การไหลของก๊าซจะถูกควบคุมด้วยเครื่องควบคุมการไหลก่อนเข้าสู่เครื่องปฏิกรณ์ซึ่งบรรจุตัวเร่งปฏิกิริยาแล้ว ตัวตรวจวัดก๊าซจะเป็นเครื่องวัดการนำความร้อน (Thermal Conductivity Detector หรือ TCD) หรือ เป็นแบบ FID (Frame Ionization Detector) ก็ได้ ขึ้นอยู่

กับประเภทหรือโมเลกุลของสารที่ต้องการวิเคราะห์ ซึ่งจะวัดปริมาณของก๊าซไฮโดรเจนหรือออกซิเจนหลังการเกิดปฏิกิริยาหรือน้ำที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยารีดักชัน หรือก๊าซที่ถูกดูดซับและคายออกมาหลังจากให้ความร้อน ผลที่ได้คือกราฟของปริมาณก๊าซกับอุณหภูมิหรือเวลา แต่ก่อนที่จะนำไปทดสอบตัวเร่งปฏิกิริยาจำเป็นต้องรีดิวซ์ตัวเร่งปฏิกิริยาโดยให้ก๊าซไฮโดรเจนไหลผ่าน เพื่อกำจัดสารผลิตภัณฑ์ตัวหนึ่งคือน้ำให้ออกไปก่อน เนื่องจากถ้าไม่ทำอาจเกิดการหลอมรวมตัวกันหรือซินเทอริง (เป็นการลดลงของพื้นผิวกัมมันต์โดยมีการปรับโครงสร้างภายในของตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งเป็นการเคลื่อนมารวมกันของอะตอมโลหะไปเป็นอะตอมที่ใหญ่ขึ้น) [จุฑพรและนุรักษ์, 2547] หลังจากนั้นก๊าซผสมที่ทางออกของเครื่องปฏิกรณ์แล้ว จะถูกวิเคราะห์โดยเครื่องวิเคราะห์ก๊าซโครมาโตกราฟ (Gas chromatograph, GC) รูป 2.3 แสดงให้เห็นถึงชุดอุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบความว่องไวของตัวเร่งปฏิกิริยา ในกรณีที่สารตั้งต้นอยู่ในสภาวะก๊าซ และมีตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นของแข็ง



รูป 2.3 ส่วนประกอบของเครื่องมือทดสอบความสามารถในการเร่งปฏิกิริยา

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

ในบทนี้ได้ทำการกล่าวถึงสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง อุปกรณ์ เครื่องมือที่มีความจำเป็นในการทำงานวิจัย และวิธีการทำการทดลองรายละเอียดของแต่ละหัวข้อจะถูกแสดงตามลำดับดังนี้

3.1 สารเคมี

1. ซีเรียม(III) อะซิเตทเฮกซะไฮเดรท (Cerium (III) acetate hexahydrate)
2. อลูมิเนียมไอโซโพรพอกไซด์ (Aluminium Isopropoxide)
4. 1,3 – บิวเทนไดออล (1,3 –butanediol)
5. ไฮโดรเจนเฮกซะคลอโรพลาทีเนต(IV)ไฮเดรต
6. ไออนไนเตรท (Ferrous (III) Nitrate)
7. กรดไนตริก (Nitric Acid)
8. น้ำดีออนไนซ์ (Deionized Water)

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. ชุดอุปกรณ์เครื่องปฏิกรณ์แก้ว (Tubular micro reactor)
 - เป็นเครื่องที่ใช้ในการทดสอบตัวเร่งปฏิกิริยา
2. เครื่องก๊าซโครมาโตกราฟี (Gas chromatograph, GC)
 - ใช้วิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซผสม

3. เครื่อง Gas Sorption Analysis

- ใช้วัดพื้นที่ผิว

4. เครื่องอบ

5. เตาเผา

6. เครื่องกวนแบบแม่เหล็กและความร้อน

7. อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ

8. เครื่องแก้ว

3.3 วิธีการทดลอง

การทดลองสามารถแยกออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนที่หนึ่งเป็นวิธีการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา แบ่งได้เป็น 2 วิธี คือ วิธีโซล เจล และ วิธีอิมเพคเนชัน ส่วนที่สองเป็นการวิเคราะห์คุณสมบัติเฉพาะตัวของตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst Characterization) และส่วนสุดท้ายเป็นการทดสอบความสามารถในการเร่งปฏิกิริยา (Activity Test) ของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมได้จากส่วนที่หนึ่งซึ่งรายละเอียดของแต่ละส่วนเป็นดังนี้

3.3.1 วิธีการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา

1. วิธีการโซล เจล มีรายละเอียดดังนี้

1) ให้ความร้อนกับน้ำจนกระทั่งอุณหภูมิของน้ำประมาณ 80 องศาเซลเซียส โดยปริมาณของน้ำที่ได้จะขึ้นอยู่กับปริมาณของสารอลูมิเนียมออกไซด์ที่ต้องการเตรียม

2) เติมอลูมิเนียมไอโซโพรพอกไซด์ (Aluminium Isopropoxide) ลงในน้ำร้อน โดยให้กวนสารละลายด้วย เพื่อเพิ่มอัตราการเกิดปฏิกิริยาและความสม่ำเสมอของสารละลาย

3) กวนสารละลายในข้อ 2) ประมาณ 30 นาทีที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส

4) เติมกรดไนตริกที่ทราบปริมาณแน่นอนลงในสารละลายข้อ 3) โดยให้ปริมาณของกรดไนตริกที่ถูกเติมลงไปเพียงพอที่จะทำให้สารละลายเปลี่ยนจากขุ่นเป็นใส

5) กวนสารละลายในข้อ 4) ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที แล้วเติมซีเรียม(III) อะซิเตทเฮกซะไฮเดรต (Cerium (III) acetate hexahydrate)

6) กวนสารละลายในข้อ 5) ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นหยุดให้ความร้อน

7) นำสารละลายในข้อ 6) เทใส่ปิกเกอร์ที่ควบคุมอุณหภูมิ รอจนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนเป็นเจล โดยเจลมีลักษณะเป็นของแข็งที่ยังมีความนุ่ม เนื่องจากยังคงมีตัวทำละลายอยู่ภายในโครงร่างของแข็ง ในกรณีนี้คือ น้ำ นั่นเอง

8) บ่มเจลที่ได้ ในสภาวะอุณหภูมิห้อง

9) อบเจลที่ได้ในเครื่องเตาอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส นาน 10 ชั่วโมง จากนั้นนำของแข็งที่ได้ไปเผาที่อุณหภูมิตามที่ต้องการ

10) นำของแข็งที่ได้มาบดให้ละเอียดและร่อนด้วยตะแกรงขนาด 100 เมช ของแข็งที่ได้คือออกไซด์ของโลหะผสมระหว่างซีเรีย และอลูมินา ซึ่งถูกนำมาใช้เป็นตัวรองรับของตัวเร่งปฏิกิริยา

ในกรณีที่ศึกษาผลของการเติมสารปรับปรุงคุณภาพต่อสมบัติของแข็งที่ได้ จะมีการเติม 1,3 – butanediol ลงไปในขั้นตอนที่ 5 จากนั้นทำซ้ำขั้นตอนอื่นๆทั้งหมด ของแข็งออกไซด์ที่ได้รับในขั้นตอนที่ 10 จะถูกนำไปโดปด้วยแพลทินัมในปริมาณต่างๆ โดยวิธีอิมเพรคเนชัน

2. การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทแพลทินัมบนตัวรองรับซีเรียอลูมินา โดยกระบวนการ อิมเพรคเนชัน มีขั้นตอนการเตรียมดังนี้

- 1) ชั่งออกไซด์ของโลหะผสมระหว่างซีเรีย และอลูมินาที่เตรียมโดยวิธีโซล เจล ในปริมาณที่แน่นอน
- 2) ชั่งสารตั้งต้นแพลทินัมในปริมาณที่ทราบ แล้วนำไปละลายในน้ำ โดยปริมาณน้ำที่ใช้ต้องเพียงพอที่จะทำให้ตัวโลหะออกไซด์ในข้อ 1 เปียกพอดี
- 3) นำสารละลายในข้อ 2) ไปผสมกับข้อ 1) โดยต้องผสมให้คลุกเคล้าเป็นอย่างดี
- 4) นำของแข็งที่ได้ในข้อ 3) ไปอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส
- 5) นำของแข็งที่ได้จากข้อ 4) ไปเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส
- 6) นำของแข็งที่ได้ในข้อ 5) ไปบด และร่อนด้วยตะแกรงขนาด 100 เมช

3.3.2 วิเคราะห์คุณสมบัติเฉพาะตัวของตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst Characterization)

การวัดพื้นที่ผิวจำเพาะ โดยใช้เครื่อง Gas Sorption Analysis ดังแสดงในรูป 3.1 และสมการวิเคราะห์วิธีบีอีที (Brunauer, Emmett and Teller: BET) ซึ่งมีรายละเอียดอยู่ในบทที่ 2



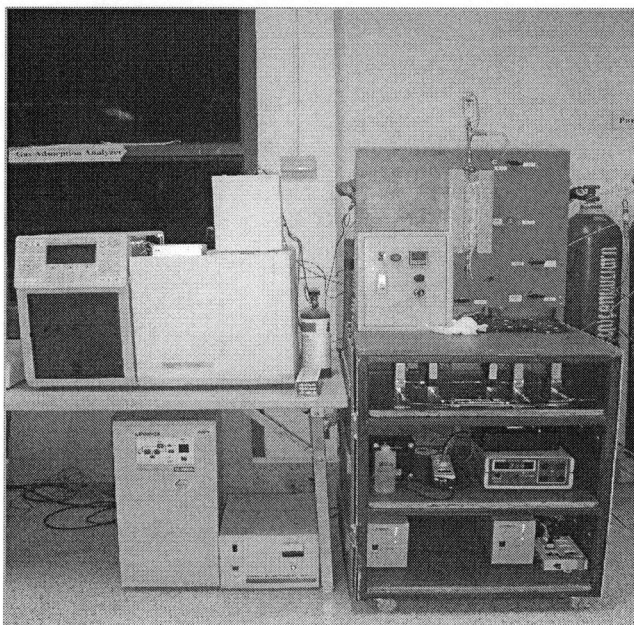
รูป 3.1 Gas Sorption Analysis ใช้วิเคราะห์พื้นที่ผิวจำเพาะของสารตัวอย่าง

ก่อนสารตัวอย่างจะถูกวัดพื้นที่ผิวจะต้องมีการทำความสะอาดพื้นผิวก่อน (Degassing) โดยการผ่านด้วยก๊าซไนโตรเจนที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ในการทดลองนี้ใช้ก๊าซอาร์กอนเป็นตัวดูดซับบนพื้นผิว และใช้ไนโตรเจนเหลวเป็นตัวควบคุมอุณหภูมิในระหว่างการวิเคราะห์

3.3.3 ขั้นตอนการทดสอบความสามารถในการเร่งปฏิกิริยา (Activity Test)

การทดสอบความสามารถในการเร่งปฏิกิริยา (Activity Test) ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมจากวิธีที่กล่าวในข้างต้นจะถูกทดสอบในเครื่องปฏิกรณ์แก้วขนาดเล็ก (Tubular Micro Reactor) โดยปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ประมาณ 80 มิลลิกรัม อุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยาสามารถวัดได้จากเทอร์โมคัปเปิล (K-type Thermocouple) ที่สัมผัสอยู่ด้านบนตัวเร่งปฏิกิริยา ตัวเทอร์โมคัปเปิลจะ

ต่อกับเครื่องควบคุมอุณหภูมิ (Temperature Controller) ซึ่งทำหน้าที่ควบคุมอุณหภูมิในระหว่างปฏิกิริยาให้คงที่ องค์ประกอบของก๊าซผสมคือ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ร้อยละ 1 โดยประมาณ ก๊าซออกซิเจนร้อยละ 0.5, 1 และ 2 โดยประมาณ และ ในส่วนที่เหลือเป็นก๊าซฮีเลียม อัตราการไหลของก๊าซทั้งหมดเท่ากับ 100 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที ก่อนการทดสอบความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยา ตัวเร่งปฏิกิริยาจะถูกผ่านด้วยก๊าซไฮโดรเจนที่อุณหภูมิ 320 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 4 ชั่วโมง องค์ประกอบของก๊าซผสมที่ทางเข้า และทางออกของเครื่องปฏิกรณ์แก้ว จะถูกวิเคราะห์โดยเครื่องวิเคราะห์ก๊าซโครมาโตกราฟ (Gas Chromatograph, GC) ซึ่งใช้ตัว Detector แบบ Thermal Conductivity (TCD) และคอลัมน์ที่ใช้ในการแยกก๊าซเป็นแบบ Molecular Sieve คอลัมน์นี้ใช้ในการตรวจสอบก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ออกซิเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ วิธีการนี้ทำให้สามารถทำสมดุลมวลสารของคาร์บอนได้ ชุดทดสอบความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยาแสดงดังรูป 3.2



รูป 3.2 เครื่อง Tubular micro reactor ต่อกับ เครื่องวิเคราะห์ก๊าซโครมาโตกราฟ (Gas Chromatograph, GC) ใช้ทดสอบความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยา

บทที่ 4

ผลการทดลอง และการอภิปรายผลการทดลอง

ในบทนี้ได้กล่าวถึงผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง ซึ่งสามารถจำแนกผลการทดลองออกเป็น 2 ส่วน คือ ในส่วนแรกจะเป็นการศึกษาถึงผลกระทบของตัวแปรในระหว่างการเตรียมตัวรองรับ/ตัวเร่งปฏิกิริยาโดยวิธีโซล เจล ที่มีผลต่อพื้นที่ผิวจำเพาะของตัวเร่งปฏิกิริยา โดยตัวแปรที่ศึกษาได้แก่ วิธีการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา ชนิดของสารโปรโมทและ การเติมสารปรับปรุงคุณภาพประเภทไดออกไซด์ ในส่วนที่สอง เป็นการศึกษาความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมได้จากส่วนแรกต่อการเผาไหม้ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ด้วยออกซิเจน (CO Oxidation) สำหรับตัวเร่งปฏิกิริยาที่ได้จากส่วนที่ 1 ซึ่งมีพารามิเตอร์ที่ทำการศึกษาดังนี้ วิธีการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา ปริมาณโลหะแพลทินัมที่เติมลงไปบนตัวรองรับ ชนิดของสารโปรโมท และการเติมสารปรับปรุงคุณภาพในวิธีการโซล เจล รายละเอียดของผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง แสดงได้ดังต่อไปนี้

4.1 พารามิเตอร์ที่มีผลต่อพื้นที่ผิวจำเพาะของตัวเร่งปฏิกิริยา

4.1.1 วิธีการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา

ผลการวิเคราะห์พื้นที่ผิวจำเพาะของตัวรองรับโดยใช้เครื่อง Gas Sorption Analysis ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 พื้นที่ผิวจำเพาะของตัวรองรับที่เตรียมด้วยวิธีต่างกัน

ชนิดของตัวรองรับ	พื้นที่ผิวจำเพาะ (ตารางเมตรต่อกรัม)
อลูมินาจากบริษัท	150
อลูมินาจากวิธีโซล เจล	228

จากตารางที่ 4.1 พบว่าตัวรองรับอลูมินาที่เตรียมโดยวิธีโซล เจล ให้พื้นที่ผิวจำเพาะสูงถึง 228 ตารางเมตรต่อกรัม ซึ่งสูงกว่าตัวรองรับอลูมินาที่ซื้อจากบริษัทถึงประมาณร้อยละ 50 สาเหตุเป็น เพราะวิธีการเตรียมสารประกอบออกไซด์โดยโซล เจล ต้องผ่านกระบวนการทำให้เป็น เจล โดยที่ เจล นี้คือของแข็งที่มีตัวทำละลายอยู่ในโครงร่างของแข็ง การกำจัดตัวทำละลายออกจากโครงร่างตาข่ายนี้ทำให้มีช่องว่าง นำไปสู่ความมีรูพรุน

4.1.2 ชนิดของสารโปรโมท

ผลการวิเคราะห์พื้นที่ผิวจำเพาะของตัวรองรับที่มีการเติมสารโปรโมท โดยใช้เครื่อง Gas Sorption Analysis ตัวรองรับนี้เตรียมจากวิธีโซล เจล ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.2 ตารางที่ 4.2 พื้นที่ผิวจำเพาะของตัวรองรับที่มีการเติมสารโปรโมท ที่เตรียมด้วยวิธีโซล เจล

ชนิดของตัวรองรับ	พื้นที่ผิวจำเพาะ (ตารางเมตรต่อกรัม)
Al_2O_3	228
5% $\text{CeO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$	217
5% $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{Al}_2\text{O}_3$	209

ตารางที่ 4.2 พบว่า การเตรียมตัวรองรับอลูมินา และโลหะออกไซด์ผสมระหว่างสารโปรโมท ในที่นี้คือ เหล็กออกไซด์ และซีเรียมออกไซด์ บนอลูมินา ส่งผลให้พื้นที่ผิวจำเพาะลดลงประมาณร้อยละ 5 สำหรับการโปรโมทด้วยซีเรียมออกไซด์ และพื้นที่ผิวจำเพาะลดลงประมาณร้อยละ 8 สำหรับการโปรโมทด้วยเหล็กออกไซด์ ผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่า การโปรโมทอลูมินาด้วยโลหะทรานสิชันอื่นส่งผลให้พื้นที่ผิวจำเพาะลดลง

4.1.3 การเติมสารประกอบประเภทไดออล

ผลการวิเคราะห์พื้นที่ผิวจำเพาะของตัวรองรับที่มีการเติมสารประกอบประเภทไดออลในระหว่างการเตรียมตัวรองรับโดยวิธีโซล เจล ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 พื้นที่ผิวจำเพาะของตัวรองรับที่มีการเติมสารประกอบ 1,3 บิวเทนไดออล

ชนิดของตัวรองรับ	พื้นที่ผิวจำเพาะ (ตารางเมตรต่อกรัม)
Al_2O_3	228
5% $\text{CeO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$	217
5% $\text{CeO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ (เติมสารประกอบไดออล)	314

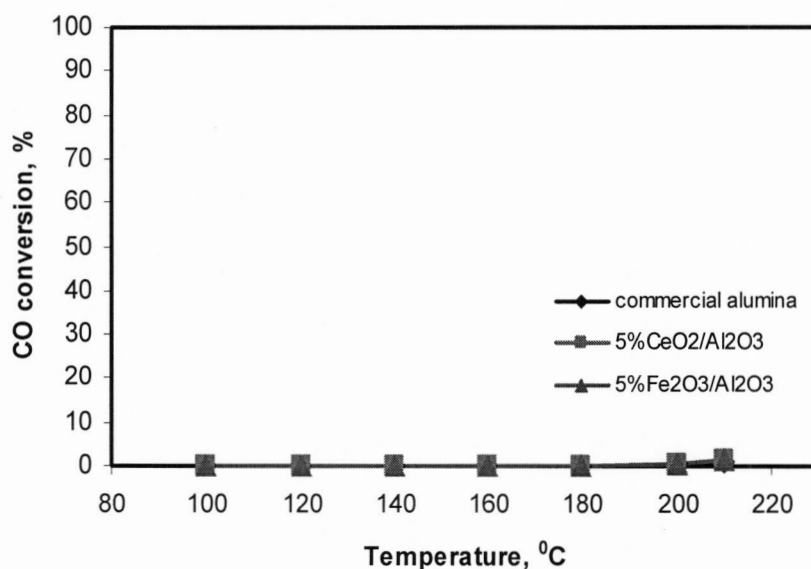
จากตารางที่ 4.3 พบว่า เมื่อมีการเติมสารประกอบ 1,3 บิวเทนไดออล (1,3- butanediol) ลงไประหว่างการเตรียมตัวรองรับโดยวิธีโซล เจล ส่งผลให้พื้นที่ผิวจำเพาะเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 45 เมื่อเปรียบเทียบกับตัวรองรับประเภทเดียวกัน คือ 5% $\text{CeO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ และ พื้นที่ผิวจำเพาะเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 38 เมื่อเปรียบเทียบกับตัวรองรับที่เป็นอลูมินาบริสุทธิ์ สาเหตุของการ

เพิ่มขึ้นของพื้นที่ผิวจำเพาะเมื่อมีการเติมสารประกอบ 1,3 บิวเทนไดออล เนื่องจาก สารประกอบ 1,3 บิวเทนไดออลที่เติมลงไปในระบบการโซล เจล มีคุณสมบัติในการเข้าไปลดอัตราการระเหยของน้ำที่เป็นตัวทำละลายในระหว่างที่กำลังจะกลายเป็นเจล ทำให้การระเหยของน้ำช้าลง ดังนั้นผนังของโลหะออกไซด์จึงรับแรงที่เกิดจากแรงแคปิลลารี (Capillary Force) ในรูปพุนภายในโลหะออกไซด์ได้ดียิ่งขึ้น การพังทลายของผนังของของแข็งลดน้อยลง ออกไซด์สุดท้ายจึงมีพื้นที่ผิวจำเพาะสูง

4.2 พารามิเตอร์ที่มีผลต่อความว่องไวในการเร่งปฏิกิริยา

4.2.1 วิธีการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา

ตัวรองรับที่เตรียมโดยวิธีการโซล เจล ทั้งหมดได้แก่ อลูมินา (Al_2O_3), ซีเรียม-อลูมินา ($5\%\text{CeO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$) และ ออกไซด์ของเหล็ก-อลูมินา ($5\%\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{Al}_2\text{O}_3$) ถูกนำไปทดสอบความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาคาร์บอนมอนอกไซด์ออกซิเดชัน โดยใช้สารแต่ละชนิดในปริมาณ 80 มิลลิกรัม ทำการทดลองแยกกัน สภาวะในการทดลองเป็นดังนี้ อัตราเร็วเชิงปริมาตรของก๊าซผสม คือ 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร ต่อนาที ก๊าซผสมประกอบด้วย ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ร้อยละ 1 ก๊าซออกซิเจนร้อยละ 1 และ ก๊าซฮีเลียมร้อยละ 98 ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.1

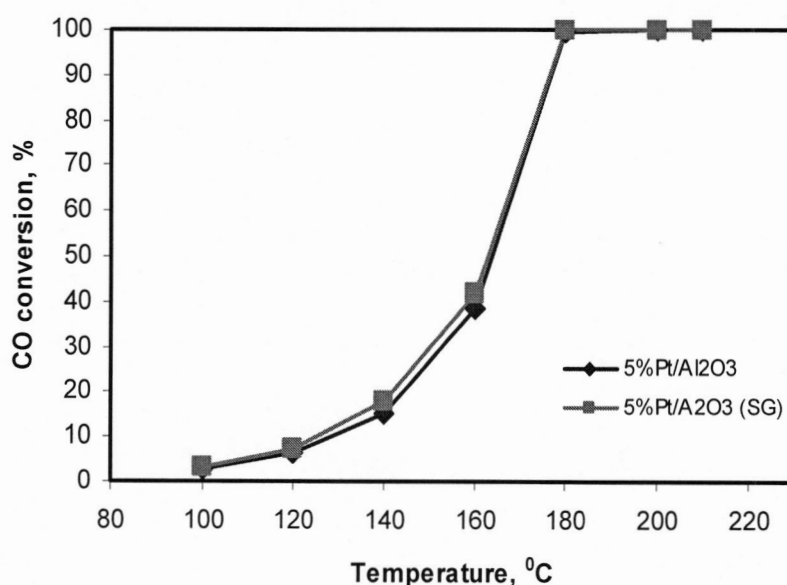


รูปที่ 4.1 ความว่องไวในการเร่งปฏิกิริยาของตัวรองรับต่างๆ ที่เตรียมโดยวิธีโซล เจล

จากรูปที่ 4.1 พบว่าในช่วงอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ถึง 200 องศาเซลเซียส ตัวรองรับทั้งสาม ได้แก่ อลูมินา อลูมินาที่เติมสารโปรโมทซีเรียมออกไซด์ และ อลูมินาที่เติมสารโปรโมทเหล็กออกไซด์ ต่างเป็นสารที่เฉื่อยต่อปฏิกิริยาการเผาไหม้ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ โดยจากกราฟจะสังเกตเห็นว่าค่าคอนเวอร์ชันของคาร์บอนมอนอกไซด์น้อยกว่า 2 เปอร์เซ็นต์ ตลอดช่วงอุณหภูมิที่ศึกษา

จากนั้นตัวรองรับประเภทอลูมินาที่ซื้อมาจากบริษัท และ ตัวรองรับประเภทอลูมินาที่เตรียมได้จากวิธีโซล เจล ถูกนำมาเติมด้วยแพลทินัม (Pt) ในปริมาณร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก และ ตัวเร่งปฏิกิริยาทั้งสองถูกนำวิเคราะห์ขนาดผลึกของแพลทินัมโดยเครื่องเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรคชัน (X-Ray Diffraction) พบว่า ตัวเร่งปฏิกิริยาทั้งสองมีขนาดผลึกของแพลทินัมเล็กกว่า 3 นาโนเมตร

แสดงว่า โลหะแพลทินัมมีการกระจายตัวอย่างดี จากนั้นตัวเร่งปฏิกิริยานี้ถูกนำไปทดสอบความว่องไวในการเร่งปฏิกิริยาการเผาไหม้ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ โดยมีสภาวะในการทดลองเป็นดังนี้ อัตราเร็วเชิงปริมาตรของก๊าซผสมคือ 100 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที ก๊าซผสมประกอบด้วยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ร้อยละ 1 ก๊าซออกซิเจนร้อยละ 1 และ ก๊าซฮีเลียมร้อยละ 98 ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.2



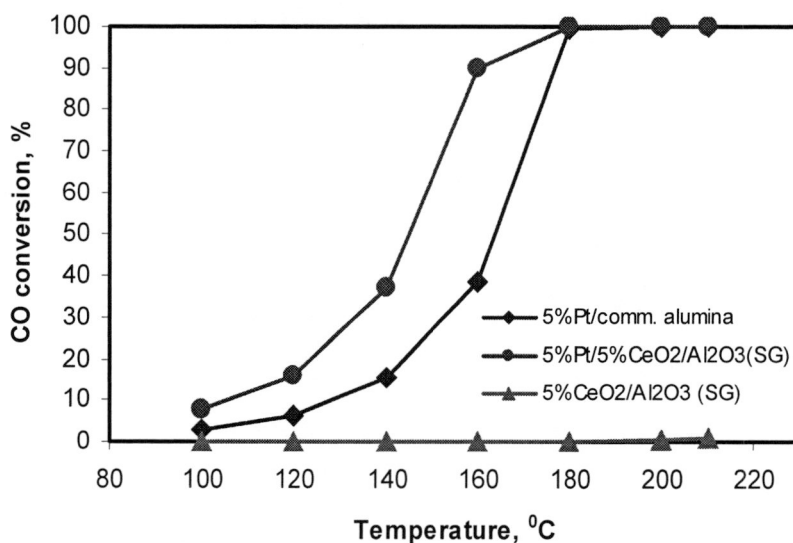
รูปที่ 4.2 ความว่องไวในการเร่งปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยา 5%Pt/Al₂O₃ โดยตัวรองรับอัลูมินามาจากวิธีการเตรียมที่ต่างกัน

พิจารณารูปที่ 4.2 พบว่า เมื่อเติมแพลทินัมลงบนตัวรองรับทั้งสองในปริมาณร้อยละ 5 โดยน้ำหนักทำให้ตัวเร่งปฏิกิริยาทั้งสองสามารถเร่งปฏิกิริยาที่ศึกษาได้เป็นอย่างดี โดยได้อุณหภูมิที่ทำให้ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในปริมาณร้อยละ 50 ของปริมาณเริ่มต้น ($T_{1/2}$) มีค่าประมาณ

170 องศาเซลเซียส และ อุณหภูมิที่ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ทั้งหมดเปลี่ยนไปเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ คือ 180 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ยังสังเกตได้ว่า เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ค่าคอนเวอร์ชันของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์มีค่าสูงขึ้น แสดงว่าความว่องไวในการเร่งปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยา ความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยาทั้งสองมีความใกล้เคียงกัน ถึงแม้ว่าพื้นที่ผิวจำเพาะของตัวรองรับทั้งสองจะแตกต่างกันถึงร้อยละ 50 ดังนั้นผลการทดลองนี้อาจจะกล่าวได้ว่าพื้นที่ผิวจำเพาะของตัวรองรับไม่ได้ส่งผลกระทบอย่างใดต่อความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยา $5\%Pt/Al_2O_3$

4.2.2 การเติมสารโปรโมท

ซีเรียมออกไซด์ถูกนำมาใช้เป็นสารโปรโมท โดยถูกเติมในปริมาณร้อยละ 5 โดยน้ำหนักบนตัวรองรับอลูมินา และใช้วิธีการโซล เจล ในการเตรียม ดังนั้นตัวรองรับที่ได้คือ $5\%CeO_2/Al_2O_3$ จากนั้นตัวรองรับนี้จะถูกเติมด้วยแพลทินัมร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก และตัวเร่งปฏิกิริยานี้ คือ $5\%Pt/5\%CeO_2/Al_2O_3$ เราทราบจากรูปที่ 4.1 แล้วว่า ตัวรองรับอลูมินาที่มีการเติมซีเรียมออกไซด์ไม่สามารถเร่งปฏิกิริยาการเผาไหม้ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ได้ในช่วงอุณหภูมิที่ศึกษา ดังนั้นตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีการเติมแพลทินัมจึงถูกนำมา ทดสอบความสามารถในการเร่งปฏิกิริยานี้ ที่สภาวะเดียวกัน ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 เปรียบเทียบความว่องไวในการเร่งปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีการเติมสารโปรโมท ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ไม่มีการเติมสารโปรโมท และตัวรองรับ

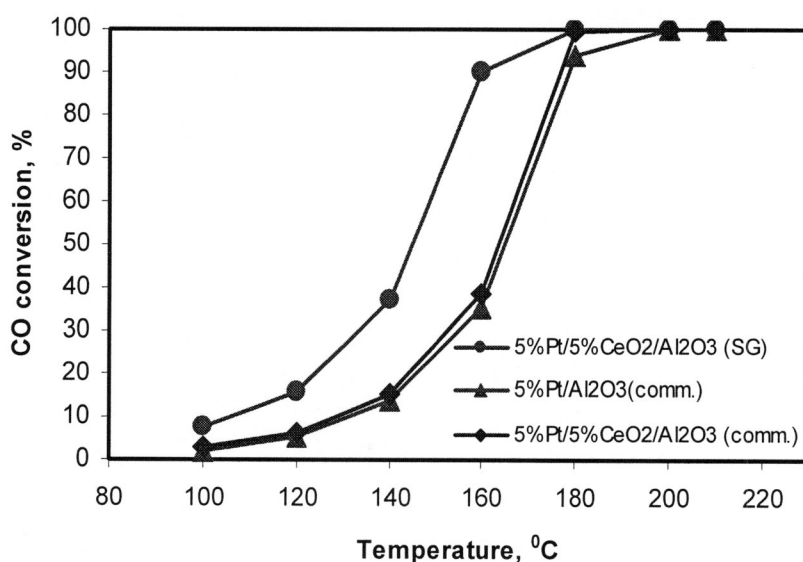
จากรูปที่ 4.3 พบว่าในกรณีที่มีการเติมซีเรียมออกไซด์ร้อยละ 5 (สัญลักษณ์ วงกลมทึบ) ตัวเร่งปฏิกิริยามีความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นมาก โดย ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ เปลี่ยนไปเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ประมาณ 8 เปอร์เซ็นต์ 17 เปอร์เซ็นต์ 40 เปอร์เซ็นต์ 90 เปอร์เซ็นต์ และ 100 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส 120 องศาเซลเซียส 140 องศาเซลเซียส 160 องศาเซลเซียส และ 180 องศาเซลเซียส ตามลำดับ อุณหภูมิที่ทำให้ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์มีปริมาณลดลงในปริมาณร้อยละ 50 ของปริมาณเริ่มต้น ($T_{1/2}$) มีค่าประมาณ 145 องศาเซลเซียส ขณะที่ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ไม่มีการเติมสารโปรโมท ($5\%Pt/Al_2O_3$) ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์เปลี่ยนไปเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ประมาณ 3 เปอร์เซ็นต์ 5 เปอร์เซ็นต์ 15 เปอร์เซ็นต์ 42 เปอร์เซ็นต์ และ 100 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส 120 องศา

เซลเซียส 140 องศาเซลเซียส 160 องศาเซลเซียส และ 180 องศาเซลเซียส ตามลำดับ อุณหภูมิที่ทำให้ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์มีปริมาณลดลงในปริมาณร้อยละ 50 ของปริมาณเริ่มต้น ($T_{1/2}$) มีค่าประมาณ 170 องศาเซลเซียส

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการเติมซีเรียมออกไซด์ในปริมาณน้อย ส่งผลให้ตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทแพลทินัมบนตัวรองรับอลูมินามีความว่องไวในการเร่งปฏิกิริยาคาร์บอนมอนอกไซด์ขึ้น โดยเฉพาะในช่วงอุณหภูมิต่ำ (ต่ำกว่า 160 องศาเซลเซียส) สาเหตุที่ตัวเร่งปฏิกิริยามีความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาคาร์บอนมอนอกไซด์ขึ้นเป็นเพราะ ซีเรียมเป็นสารที่มีคุณสมบัติในการกักเก็บออกซิเจน คือตัวสารเองสามารถมีเลขออกซิเดชันได้สองค่า คือ 3^+ และ 4^+ ในสภาวะเริ่มต้นซีเรียมออกไซด์อยู่ในรูป CeO_2 ในสภาวะที่ขาดออกซิเจนซีเรียมออกไซด์จะอยู่ในรูป Ce_2O_3 ดังนั้นเมื่อโมเลกุลของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ดูดซับบนแพลทินัม ที่อุณหภูมิต่ำ (ต่ำกว่า 160 องศาเซลเซียส) แรงกระทำระหว่างโมเลกุลของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ กับแพลทินัม รุนแรงมาก ทำให้โมเลกุลของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ไม่สามารถคายซับออกไปจากแพลทินัมได้ ปฏิกิริยาการเผาไหม้ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์จะเกิดได้เมื่อมีออกซิเจนอะตอมดูดซับบนแพลทินัมในบริเวณติดกัน ในกรณีที่มีซีเรียมออกไซด์ ถ้าโมเลกุลของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ดูดซับบนแพลทินัมที่ติดกับซีเรียมออกไซด์ อะตอมของออกซิเจนที่อยู่ในซีเรียมออกไซด์สามารถเคลื่อนที่ผ่าน และทำปฏิกิริยากับโมเลกุลของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ กลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ คายซับออกไปจากแพลทินัม ทำให้เหลือตำแหน่งว่างของแพลทินัมให้โมเลกุลอื่นดูดซับต่อไป กลไกการเกิดปฏิกิริยานี้จะเกิดขึ้นได้เมื่อมีแพลทินัมอยู่ในตัวเร่งปฏิกิริยา ในกรณีที่เป็นตัวรองรับที่มีซีเรียมออกไซด์ แต่ไม่มีแพลทินัม พบว่าจะไม่ว่องไวในการเร่งปฏิกิริยา ดังรูปกราฟสัญลักษณ์สามเหลี่ยม ในรูปที่ 4.3 สิ่งที่น่าสนใจอีกอย่างหนึ่งในผลการทดลองนี้คือ ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีตัวโปรโมท และที่ไม่มีตัวโปร-

โมท จะให้ค่าคอนเวอร์ชันของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ร้อยละ 100 ที่อุณหภูมิเดียวกัน คือ 180 องศาเซลเซียส

นอกจากนั้นแล้วได้ทำการเตรียมตัวรองรับประกอบด้วยซีเรียมออกไซด์ และ อลูมิเนียมออกไซด์ด้วยวิธีต่างกัน คือ วิธีโซล เจล และ วิธีอิมเพรคเนชัน จากนั้นเติมแพลทินัมร้อยละ 5 และ นำตัวเร่งปฏิกิริยาที่ได้ไปทดสอบความสามารถในการเร่งปฏิกิริยา ที่สภาวะเดียวกับที่กล่าวในข้างต้น ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 เปรียบเทียบความว่องไวในการเร่งปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยา แพลทินัมที่ถูกโปรโมทบนอลูมินา (5%Pt/5%CeO₂/Al₂O₃) ที่เตรียมโดยวิธีต่างกัน

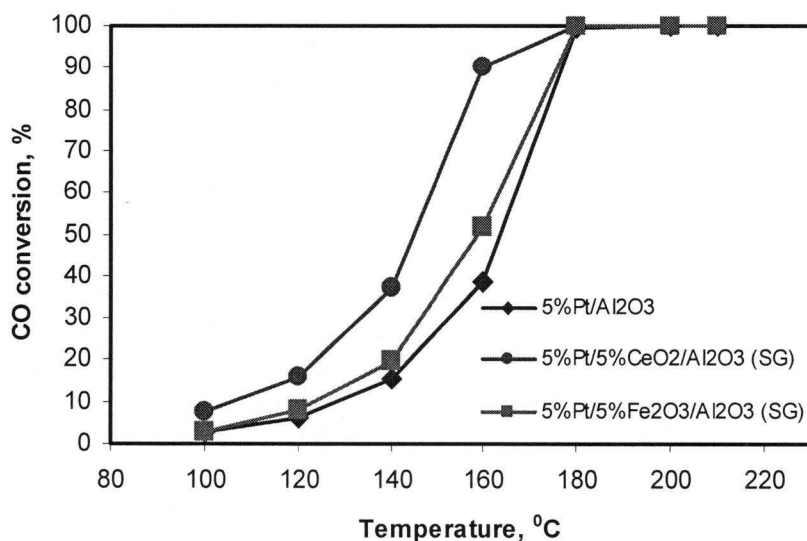
จากผลการทดลองในรูปที่ 4.4 พบว่าเมื่อเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา 5%Pt/5%CeO₂/Al₂O₃ โดยวิธีอิมเพรคเนชัน ความว่องไวในการเร่งปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยานี้ไม่มีความแตกต่างจาก

ความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยา $5\text{Pt}/\text{Al}_2\text{O}_3$ เลย ถึงแม้ว่าเราเคยเห็นผลการทดลองที่บอกว่า การเติมสารโปรโมทที่มีคุณสมบัติในการกักเก็บออกซิเจนจะทำให้ความว่องไวในการเร่งปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทแพลทินัมบนตัวรองรับอลูมินาดีขึ้นในช่วงอุณหภูมิต่ำ ดังเส้นกราฟที่ใช้สัญลักษณ์วงกลมทึบ สาเหตุของความแตกต่างน่าจะเป็นเพราะ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากวิธีการโซล เจล จะเป็นโลหะออกไซด์ผสมที่มีการเกิดพันธะร่วมกันระหว่างซีเรียมออกไซด์และ อลูมินาออกไซด์ ดังนั้นซีเรียมจะเข้าไปอยู่ในโครงร่างของอลูมินา ส่งผลให้ซีเรียมมีการกระจายตัวเป็นอย่างดีบนในอลูมินา สำหรับวิธีอิมเพรคเนชันแล้ว ซีเรียมจะถูกนำไปวางบนอลูมินาโดยไม่มีพันธะต่อกัน การกระจายตัวของซีเรียมออกไซด์ไม่น่าจะดีเท่ากับในกรณีของวิธีการโซล เจล การทดลองในส่วนนี้ทำให้ กล่าวได้ว่า วิธีการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา $5\text{Pt}/5\%\text{CeO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ ส่งผลต่อความสามารถในการเร่งปฏิกิริยา

4.2.3 ชนิดของสารโปรโมท

สารที่มีคุณสมบัติในการกักเก็บออกซิเจน ที่ได้รับความนิยมและมีได้รับการกล่าวถึงบ่อยครั้งในงานวิจัย เพื่อใช้ในงานโปรโมทตัวเร่งปฏิกิริยามี สองตัวคือ ซีเรียมออกไซด์ และเหล็กออกไซด์ ผลการทดลองในส่วนนี้จะเปรียบเทียบความสามารถในการโปรโมทตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทแพลทินัมบนตัวรองรับอลูมินา ของสารโปรโมททั้งสองชนิดนี้ โดยทำการโคปเหล็กออกไซด์ในปริมาณร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก และ ใช้วิธีโซล เจล ในการเตรียมสาร จากนั้นนำตัวเร่งปฏิกิริยาที่ได้ไปทดสอบความว่องไวในการเร่งปฏิกิริยา สภาวะในการทดลองเป็นดังนี้ อัตราเร็วเชิงปริมาตรของก๊าซผสม คือ 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร ต่อนาที ก๊าซผสมประกอบด้วย ก๊าซ

คาร์บอนมอนอกไซด์ร้อยละ 1 แก๊สออกซิเจนร้อยละ 1 และ แก๊สฮีเลียมร้อยละ 98 ผลการทดลอง แสดงดังรูปที่ 4.5



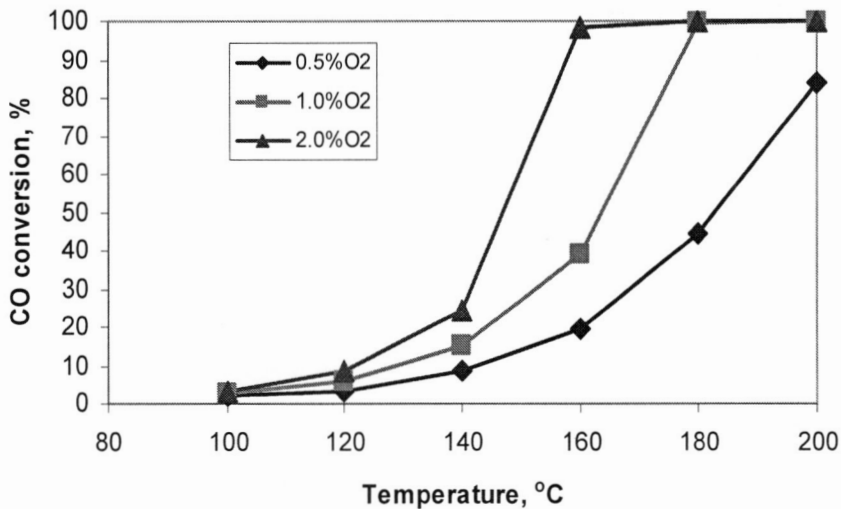
รูปที่ 4.5 เปรียบเทียบความว่องไวในการเร่งปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัมที่ถูกโปรโมทด้วยสารต่างชนิดกัน

จากรูปที่ 4.5 จะพบว่าเมื่อตัวเร่งปฏิกิริยาเป็น 5%Pt/5%Fe₂O₃/Al₂O₃ ค่าคอนเวอร์ชันของคาร์บอนมอนอกไซด์จะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิของการทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น ดังนี้ ค่าคอนเวอร์ชันของคาร์บอนมอนอกไซด์เป็น ร้อยละ 3 ร้อยละ 8 ร้อยละ 18 ร้อยละ 55 และ ร้อยละ 100 ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส 120 องศาเซลเซียส 140 องศาเซลเซียส 160 องศาเซลเซียส และ 180 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีความแตกต่างของอุณหภูมิที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาประมาณร้อยละ 5 เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่มีการโดปสารโปรโมทเลย และช่วงอุณหภูมิที่เห็น

ความแตกต่างเมื่อมีการโอบสารโปรโมทเหล็กออกไซด์ คือ ระหว่าง 120 องศาเซลเซียส ถึง 160 องศาเซลเซียส อุณหภูมิที่ทำให้ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์มีปริมาณลดลงในปริมาณร้อยละ 50 ของปริมาณเริ่มต้น ($T_{1/2}$) มีค่าประมาณ 160 องศาเซลเซียส ในขณะที่อุณหภูมิที่ทำให้ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์มีปริมาณลดลงในปริมาณร้อยละ 50 ของปริมาณเริ่มต้น ($T_{1/2}$) มีค่าประมาณ 170 องศาเซลเซียส สำหรับตัวเร่งปฏิกิริยา $5\%Pt/Al_2O_3$ จะเห็นว่า การเติมเหล็กออกไซด์ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก ทำให้เพิ่มความว่องไวในการเร่งปฏิกิริยาเพียงเล็กน้อย ขณะที่เมื่อใช้ซีเรียมออกไซด์ในปริมาณที่เท่ากัน อุณหภูมิที่ทำให้ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์มีปริมาณลดลงในปริมาณร้อยละ 50 ของปริมาณเริ่มต้น ($T_{1/2}$) มีค่าประมาณ 145 องศาเซลเซียส แสดงว่า ซีเรียมออกไซด์มีคุณสมบัติในการกักเก็บ และปลดปล่อยออกซิเจนได้ดีกว่าเหล็กออกไซด์ ผลการทดลองมีจุดที่น่าสนใจอยู่อย่างหนึ่งคือ ทั้งสามกรณีที่พิจารณา สังเกตได้ว่า ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ถูกเปลี่ยนไปเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อย่างสมบูรณ์ที่ อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส

4.2.4 ความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจน

เนื่องจากการเติมซีเรียมออกไซด์ลงบนตัวรองรับส่งผลกระทบต่อความว่องไวในการเร่งปฏิกิริยา โดยซีเรียมออกไซด์ทำหน้าที่เป็นตัวเก็บกักออกซิเจน ดังนั้นในส่วนการทดลองนี้จะศึกษาปริมาณก๊าซออกซิเจนที่อยู่ในก๊าซผสมต่อความว่องไวในการเร่งปฏิกิริยา สำหรับตัวเร่งปฏิกิริยา $5\%Pt/Al_2O_3$ และ $5\%Pt/5\%CeO_2/Al_2O_3$ องค์ประกอบของก๊าซผสมเป็นดังนี้ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ร้อยละ 1 โดยปริมาตร ก๊าซออกซิเจนมีการเปลี่ยนค่าตามลำดับ ร้อยละ 0.5 โดยปริมาตร ร้อยละ 1.0 โดยปริมาตร และร้อยละ 2.0 โดยปริมาตร ตามลำดับ ก๊าซที่เหลือคือ ก๊าซฮีเลียม ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.6 และ 4.7

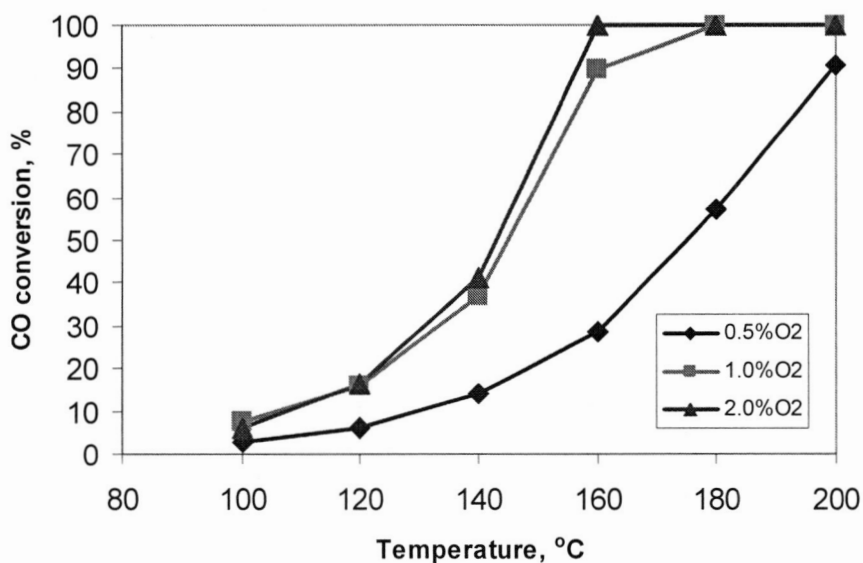


รูปที่ 4.6 ความว่องไวในการเร่งปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยา 5%Pt/Al₂O₃ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณก๊าซออกซิเจนในการผสมเป็น ร้อยละ 0.5 ร้อยละ 1 และ ร้อยละ 2 ตามลำดับ โดยที่ปริมาณของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์คงที่ที่ ร้อยละ 1 โดยปริมาตร

จากรูปที่ 4.6 พบว่า เมื่อปริมาณก๊าซออกซิเจนในก๊าซผสมเปลี่ยนแปลงไปส่งผลให้ค่าคอนเวอร์ชันของคาร์บอนมอนอกไซด์ ที่อุณหภูมิต่างๆ เปลี่ยนแปลงไป ดังนี้ ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ค่าคอนเวอร์ชันของคาร์บอนมอนอกไซด์เป็นร้อยละ 3 ร้อยละ 5 และ ร้อยละ 8 ที่ความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนในก๊าซผสมเป็น ร้อยละ 0.5 ร้อยละ 1 และ ร้อยละ 2 ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส ค่าคอนเวอร์ชันของคาร์บอนมอนอกไซด์เป็นร้อยละ 8 ร้อยละ 14 และ ร้อยละ 22 ที่ความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนในก๊าซผสมเป็น ร้อยละ 0.5 ร้อยละ 1 และ ร้อยละ 2 ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส ค่าคอนเวอร์ชันของคาร์บอนมอนอกไซด์เป็นร้อยละ 18 ร้อยละ 40 และ ร้อยละ 95 ที่ความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนในก๊าซผสมเป็น ร้อยละ 0.5

ร้อยละ 1 และ ร้อยละ 2 ตามลำดับ และ ที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส ค่าคอนเวอร์ชันของคาร์บอนมอนอกไซด์เป็นร้อยละ 40 ร้อยละ 100 และ ร้อยละ 100 ที่ความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนในก๊าซผสมเป็น ร้อยละ 0.5 ร้อยละ 1 และ ร้อยละ 2 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนส่งผลกระทบต่ออัตราเร็วการเกิดปฏิกิริยานี้เป็นอย่างมาก สาเหตุเป็นเพราะ กลไกการเกิดปฏิกิริยาเป็นแบบ ลางเมียร์ อินเชลวูดต์ (Langmuir Hinshelwood) ซึ่งเป็นกลไกการเกิดปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา และอัตราเร็วการเกิดปฏิกิริยารับขึ้นอยู่กับการกระทำระหว่างตัวดูดซับ กับตัวก๊าซที่ถูกดูดซับ และความเข้มข้นของก๊าซที่เป็นสารตั้งต้นในที่นี้คือ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ และก๊าซออกซิเจน ในกรณีที่ความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนต่ำ โอกาสที่โมเลกุลของก๊าซออกซิเจนจะดูดซับบนตัวเร่งปฏิกิริยา แล้วทำปฏิกิริยากับโมเลกุลของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ตำแหน่งข้างเคียง ก่อนข้างจะต่ำเพราะต้องแข่งขันกับโมเลกุลของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในการดูดซับบนตำแหน่งกัมมันต์ (Active Sites) จึงทำให้การดำเนินไปของปฏิกิริยาเกิดขึ้นอย่างช้าๆ เมื่อความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 1 โดยปริมาตร พบว่าอัตราเร็วในการเกิดปฏิกิริยาที่อุณหภูมิต่างๆเพิ่มขึ้น สาเหตุเป็นเพราะว่าจำนวนโมเลกุลของก๊าซออกซิเจนเพิ่มมากขึ้นหนึ่งเท่าตัว จึงทำให้อัตราเร็วการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มมากขึ้นด้วย และเมื่อความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนเพิ่มขึ้น เป็นร้อยละ 2 โดยปริมาตร อัตราเร็วการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มมากขึ้นกว่าทั้งสองกรณีแรก โดยสาเหตุเป็นไปตามที่อธิบายมาแล้ว แสดงว่าความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนเป็นปัจจัยที่สำคัญที่ทำให้อัตราเร็วการเกิดปฏิกิริยาเป็นไปอย่างรวดเร็ว นอกเหนือจากการเลือกใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ดี นอกจากนี้แล้วยังสามารถสังเกตจากผลการทดลองได้ว่าในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนในก๊าซผสมเริ่มต้น อุณหภูมิที่ใช้ในการเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ทั้งหมดไปเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะแตกต่างกัน ที่ความเข้มข้น

ของก๊าซออกซิเจนร้อยละ 0.5 อุณหภูมิที่ใช้ในการเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ทั้งหมดไปเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงกว่า 200 องศาเซลเซียส ที่ความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจน ร้อยละ 1 อุณหภูมิที่ใช้ในการเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ทั้งหมดไปเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เกิดที่ 180 องศาเซลเซียส และ ที่ความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจน ร้อยละ 2 อุณหภูมิที่ใช้ในการเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ทั้งหมดไปเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เกิดที่ประมาณ 165 องศาเซลเซียส จากนั้นวิธีการทดลองเดียวกันถูกนำมาใช้ทดสอบผลกระทบของความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนต่ออัตราเร็วการเกิดปฏิกิริยา กับตัวเร่งปฏิกิริยา $5\% \text{Pt}/5\% \text{CeO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 ความว่องไวในการเร่งปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยา 5%Pt/5%CeO₂/Al₂O₃ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณก๊าซออกซิเจนในการผสม เป็นร้อยละ 0.5 ร้อยละ 1 และ ร้อยละ 2 ตามลำดับ โดยที่ปริมาณของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์คงที่ที่ ร้อยละ 1 โดยปริมาตร

จากรูปที่ 4.7 พบว่า เมื่อปริมาณก๊าซออกซิเจนในก๊าซผสมเปลี่ยนแปลงไปส่งผลให้ค่าคอนเวอร์ชันของคาร์บอนมอนอกไซด์ ที่อุณหภูมิต่างๆ เปลี่ยนแปลงไป ดังนี้ ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ค่าคอนเวอร์ชันของคาร์บอนมอนอกไซด์เป็นร้อยละ 5 ร้อยละ 18 และ ร้อยละ 18 ที่ความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนในก๊าซผสมเป็น ร้อยละ 0.5 ร้อยละ 1 และ ร้อยละ 2 ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส ค่าคอนเวอร์ชันของคาร์บอนมอนอกไซด์เป็นร้อยละ 13 ร้อยละ 36 และ ร้อยละ 40 ที่ความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนในก๊าซผสมเป็น ร้อยละ 0.5 ร้อยละ 1 และ ร้อยละ 2 ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส ค่าคอนเวอร์ชันของคาร์บอนมอนอกไซด์เป็นร้อยละ

ละ 30 ร้อยละ 92 และ ร้อยละ 100 ที่ความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนในก๊าซผสมเป็น ร้อยละ 0.5 ร้อยละ 1 และ ร้อยละ 2 ตามลำดับ และ ที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส ค่าคอนเวอร์ชันของคาร์บอนมอนอกไซด์เป็นร้อยละ 60 ร้อยละ 100 และ ร้อยละ 100 ที่ความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนในก๊าซผสมเป็น ร้อยละ 0.5 ร้อยละ 1 และ ร้อยละ 2 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนส่งผลกระทบต่ออัตราเร็วการเกิดปฏิกิริยานี้เป็นอย่างมาก ที่ช่วงความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนต่ำ (ต่ำกว่าปริมาณสารสัมพันธ์) แต่เมื่อความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนเพิ่มขึ้นสูงกว่าปริมาณสารสัมพันธ์พบว่า อัตราเร็วการเกิดปฏิกิริยามีความแตกต่างกันน้อยมากในแต่ละอุณหภูมิที่ศึกษา ซึ่งแตกต่างจากกรณีที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา $5\%Pt/Al_2O_3$ สาเหตุเป็นเพราะซีเรียมออกไซด์มีคุณสมบัติในการกักเก็บออกซิเจน ดังนั้นความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนในปฏิกิริยามีที่มา สองแหล่งคือ จากก๊าซผสม และจากออกซิเจนอะตอมภายในผลึกของซีเรียมออกไซด์ ในสภาวะที่มีก๊าซออกซิเจนมากพอ ซีเรียมออกไซด์ยังคงทำหน้าที่ให้ออกซิเจนจึงทำให้ที่ก๊าซผสมที่มีก๊าซออกซิเจนร้อยละ 1.0 และร้อยละ 2.0 ให้ผลการทดลองใกล้เคียงกัน และเมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาระหว่างตัวเร่งปฏิกิริยาทั้งสอง ในสภาวะที่ความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนเปลี่ยนไป พบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีการเติมสารซีเรียมออกไซด์จะมีความว่องไวมากกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาที่ไม่มีการเติมสารโปรโมท

ดังนั้นจากผลการทดลองที่ได้มาทั้งหมด อาจจะกล่าวได้ว่า การเติมสารที่มีคุณสมบัติในการกักเก็บออกซิเจนสามารถเพิ่มความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาสำหรับตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทแพลทินัมบนตัวรองรับอลูมินา โดยทำให้ช่วงอุณหภูมิลดลงประมาณ 30 องศาเซลเซียส และกลไกในการเกิดปฏิกิริยาคือ โมเลกุลของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ดูดซับบนแพลทินัมที่อยู่ติดกับ

ซีเรียมออกไซด์จะเกิดปฏิกิริยากับอะตอมของออกซิเจนที่อยู่ในโครงร่างของซีเรียมออกไซด์ ได้
เป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และคายซับออกไปจากตำแหน่งนั้น

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

ผลการทดลองทั้งหมดสามารถสรุปได้ดังนี้

1. วิธีการโซล เจล เป็นวิธีการเตรียมตัวรองรับ หรือ ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ให้ พื้นที่ผิวจำเพาะสูงมาก และ ให้สารผลิตภัณฑ์สุดท้ายมีความเป็นเนื้อเดียว และมีความสม่ำเสมอขององค์ประกอบ
2. การเติมสารประกอบประเภท-ไดออกไซด์ ส่งผลให้พื้นที่ผิวจำเพาะมีค่าสูง เนื่องจาก สารประกอบประเภท -ไดออกไซด์ ช่วยลดอัตราการระเหยของน้ำออกจากกรูพอร์
3. เมื่อโลหะมีการกระจายตัวเป็นอย่างดีภายในตัวรองรับแล้ว การเพิ่มพื้นที่ผิวจำเพาะให้กับตัวรองรับไม่ส่งผลให้ความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น
4. การเติมซีเรียมออกไซด์ไปโปรโมทตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทแพลทินัมบนอลูมินา ทำให้ตัวเร่งปฏิกิริยามีประสิทธิภาพดีขึ้น ทำงานที่อุณหภูมิต่ำลง
5. เหล็กออกไซด์มีคุณสมบัติเก็บกักออกซิเจนได้เหมือนซีเรียมออกไซด์ แต่ประสิทธิภาพด้อยกว่า
6. ความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนในก๊าซผสม ส่งผลต่ออัตราเร็วในการเกิดปฏิกิริยา สำหรับตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัมบนตัวรองรับอลูมินา

7. ความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนในก๊าซผสม ส่งผลต่ออัตราเร็วในการเกิดปฏิกิริยาน้อยมากที่ความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนสูงกว่าปริมาณสารสัมพันธ์ สำหรับตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัมที่ถูกโปรโมทด้วยซีเรียมออกไซด์บนตัวรองรับอลูมินา
8. กลไกการเกิดปฏิกิริยาสำหรับตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีการเติมสารโปรโมท คือ การเคลื่อนที่ของออกซิเจนอะตอมภายในซีเรียมออกไซด์ในบริเวณที่ติดกับแพลทินัม เข้าทำปฏิกิริยากับโมเลกุลของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ดูดซับบนแพลทินัม

5.2 ข้อเสนอแนะ

ผลการเติมซีเรียมออกไซด์ลงไปบนตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัมบนตัวรองรับอลูมินา แสดงให้เห็นว่าความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น และอุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยาลดต่ำลงประมาณ 30 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ได้มีการทดสอบความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาที่สภาวะคงตัว เป็นเวลามากกว่า 72 ชั่วโมง พบว่า ตัวเร่งปฏิกิริยายังคงทำงานด้วยประสิทธิภาพเดิม กล่าวอีกนัยหนึ่งคือ ไม่มีการสูญเสียความว่องไวในการเร่งปฏิกิริยาเลย แสดงว่าตัวเร่งปฏิกิริยามีความเสถียรภายใต้สภาวะในการทดลอง ดังนั้นตัวเร่งปฏิกิริยานี้ควรนำไปทดสอบที่สภาวะใกล้เคียงกับสภาวะจริง คือ มีความชื้น และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เพื่อสังเกตการทำงานของตัวเร่งปฏิกิริยา และ การเกิดปฏิกิริยาข้างเคียง

นอกจากนี้แล้วยังสามารถนำตัวเร่งปฏิกิริยาที่ได้ไปทดลองใช้ในงานการกำจัดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ปะปนอยู่ในรีฟอร์มก๊าซก่อนที่จะนำไปใช้กับระบบพลังงานฟูลเซลล์ เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงาน

เอกสารอ้างอิง

1. Kobayasi, T., Haruta, M., Sano, H., and Nakane, M., "Sensors and Actuators", Soc. Auto. Engineers, 13, 339 (1988).
2. Harrison, P.G., and Willett, M.J., Nature, 332, 337 (1988).
3. Stark, D.S., and Harris, M.R., J. Phy. E. Sci. Instrum., 21, 715 (1988).
4. สมภพ และคณะ, ซิลเวอร์โคบอลต์คอมโพสิตออกไซด์ในปฏิกิริยาการบอนมอนอกไซด์ออกซิเดชัน, วิทยาลัยปิโตรเคมี, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2540.
5. Gulari, E., Guldur, C., Srivannavit, S., and Osuwan, S., Appl. Catal. A: General 182, 147 (1999).
6. Vlastnik, V.J., Armellini, F.J. and Jordano, F.A., "Carbon Monoxide Removal by Preferential Oxidation from Hydrogen-Rich Gas Streams", Los Alamos National Laboratory, August 1987.
7. Oh, S.H., and Sinkevitch, R.M., J. Catal. 142, 254 (1993).
8. Megler, Y.J., van Aalst, A., van Delft, J., and Nieuwenhuys, B.E., Applied Catalysis B: Environmental, 10, 245 (1996).
9. Serre, C., Garin, F., Belot, G., and Maire, G., J. Catal. 141, 1(1993).
10. Martinez-Arias, A., Coronado, J.M., Cataluna, R., Conesa, J.C., and Soria, J., J. Phys. Chem. B, 102, 4357 (1998).
11. Engle, T., and Ertl, G., J. Chem. Phys., 69, 1267 (1978).
12. Seger, E., and Gulari, E., J. Catal, 194, (2000).
13. Satterfield, C.N., Heterogeneous Catalysis in Industrial Practice, 2nd edition, Mc-Graw Hill Inc., Singapore, 1991.
14. จตุพร วิทยาคุณ และ นุรักษ์ กฤษดานุรักษ์. การเร่งปฏิกิริยาพื้นฐานและการประยุกต์ : โรงพิมพ์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ , พ.ศ. 2547.