



รายงานฉบับสมบูรณ์

การกำจัดแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์
Carbon Monoxide Elimination

จัดทำโดย

นางสาวทิตฐิตา พันธุ์แสง 5932917023

นางสาวอรียา ทองรอด 5932976023

อาจารย์ที่ปรึกษา

ศาสตราจารย์ ดร. ณัฐยานันท์ พงศ์สถาบตี

รายงานฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของวิชา 2306499 Senior Project

ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคการศึกษาปลาย ปีการศึกษา 2562

สารบัญ

บทคัดย่อ.....	5
กิตติกรรมประกาศ	7
บทที่ 1 บทนำ.....	8
1.1 ความเป็นมา และมูลเหตุจูงใจในการเสนอโครงการ.....	8
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย.....	9
1.3 วิธีการดำเนินงาน	9
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	9
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	10
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	10
2.1.1 แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (Carbon Monoxide)	10
2.1.2 ปฏิกิริยาออกซิเดชันแบบเลือกเกิด (Carbon Monoxide Preferential Oxidation)	10
2.1.3 เซลล์เชื้อเพลิง.....	11
2.1.4 ตัวเร่งปฏิกิริยา.....	18
2.1.5 วิธีการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา.....	20
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	22
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	24
3.1 วัสดุอุปกรณ์ เครื่องมือ แก๊ส และสารเคมีที่ใช้ในการวิจัย.....	24
3.1.1 สารเคมีที่ใช้ในการวิจัย.....	24
3.1.2 แก๊สที่ใช้ในการวิจัย	24
3.1.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย	24
3.1.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	25
3.2 วิธีดำเนินการทดลอง	26
บทที่ 4 อภิปรายผลการวิจัย.....	29
4.1 ผลของตัวแปรต่อความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน	29

4.1.1 ผลของการเติมซีเรียในตัวเร่งปฏิกิริยา CuMnAl 1% ของน้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยา	29
4.1.2 ผลของการเติมซีเรียในตัวเร่งปฏิกิริยา CuMnAl 5% ของน้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยา	31
4.1.3 ผลของการเติมซีเรียในตัวเร่งปฏิกิริยา CuMnAl 10% ของน้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยา	33
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย	38
5.1 สรุปผลการทดลอง	38
5.2 ข้อเสนอแนะ	39
เอกสารอ้างอิง	40
ภาคผนวก	42
1. ค่ามาตรฐานที่ได้จากการทดลองโดยส่วนใหญ่	42
2. ตัวอย่างการคำนวณ	42

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบปัจจัยต่าง ๆ ในการเร่งปฏิกิริยาแบบเอกพันธ์ และวิวิธพันธ์	18
ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ %CO Conversion และ O ₂ Selectivity ของการเติมซีเรีย 1% โดยน้ำหนักของ ตัวเร่งปฏิกิริยา	29
ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ %CO Conversion และ O ₂ Selectivity ของการเติมซีเรีย 5% โดยน้ำหนักบน ตัวเร่งปฏิกิริยา	31
ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์ %CO Conversion และ O ₂ Selectivity ของการเติมซีเรีย 10% โดยน้ำหนัก ของตัวเร่งปฏิกิริยา.....	33

สารบัญรูปร่างภาพ

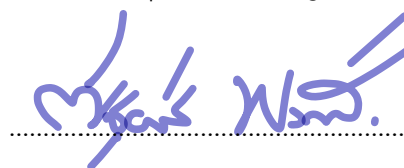
รูปที่	หน้า
รูปที่ 1 เซลล์เชื้อเพลิง (Fuel Cell).....	12
รูปที่ 2 เซลล์เชื้อเพลิงแบบแอลคาไลน์ (Alkaline Fuel Cell, AFC).....	13
รูปที่ 3 เซลล์เชื้อเพลิงแบบกรดฟอสฟอริก (Phosphoric Acid Fuel Cell, PAFC).....	14
รูปที่ 4 เซลล์เชื้อเพลิงแบบเกลือคาร์บอนเหลว (Molten Carbonate Fuel Cell, MCFC).....	15
รูปที่ 5 เซลล์เชื้อเพลิงแบบออกไซด์ของแข็ง (Solid Oxide Fuel Cell, SOFC)	16
รูปที่ 6 เซลล์เชื้อเพลิงแบบเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอน (Proton Exchange Membrane Fuel Cell, PEMFC).....	17
รูปที่ 7 การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยวิธีตกตะกอนร่วม.....	22
รูปที่ 8 เครื่องทดสอบการกำจัดคาร์บอนมอนอกไซด์	25
รูปที่ 9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ และ %CO Conversion ของการเติมซีเรีย 1% โดยน้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยา	30
รูปที่ 10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ และ O ₂ Selectivity ของการเติมซีเรีย 1% โดยน้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยา	30
รูปที่ 11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ และ %CO Conversion ของการเติมซีเรีย 5% โดยน้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยา	32
รูปที่ 12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ และ O ₂ Selectivity ของการเติมซีเรีย 5% โดยน้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยา	32
รูปที่ 13 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ และ %CO Conversion ของการเติมซีเรีย 10% โดยน้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยา.....	34
รูปที่ 14 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ และ O ₂ Selectivity ของการเติมซีเรีย 10% โดยน้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยา	34
รูปที่ 15 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของ %CO Conversion ของแต่ละเปอร์เซ็นต์น้ำหนักของซีเรียที่เติมบนตัวเร่งปฏิกิริยา.....	35
รูปที่ 16 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของ O ₂ Selectivity ของแต่ละเปอร์เซ็นต์น้ำหนักของซีเรียที่เติมบนตัวเร่งปฏิกิริยา	36

CARBON MONOXIDE ELIMINATION

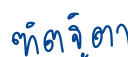
THITTHITA PHANSAENG, ARIYA THONGROD

PROF. DR. NUTTAYA PONGSTABODEE

Carbon Monoxide is pollutant gas caused by incomplete combustion. The reaction of carbon monoxide and water vapor to form carbon dioxide and hydrogen, cause of poisoning water. The promoted CO catalytic performance with the excellent tolerance to water poison, and the higher CO₂ sorption capacity and efficiency, could be attributed to the synergistic interaction between the CO catalyst and the CO. To improve catalytic activity of copper-manganese-alumina mixed oxide, transition metal oxide doping is considered. The Ce promoter enhances the higher catalytic performance of the copper-manganese-alumina mixed oxide due to its high oxygen storage and stabilization at the high temperature. This research was aimed to study an effect of weight percent of Ce promoter on the catalytic activity of copper-manganese-alumina mixed oxide for CO-oxidation in the temperature range of 40-200 Celsius.



(Prof. Dr. Nattaya Pongstabodee)



(Thitthita Phansaeng)



(Ariya Thongrod)

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณศาสตราจารย์ ดร. ณัฐธยาน์ พงศ์สถาปตี อาจารย์ที่ปรึกษาของโครงการ ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ แนวทางต่าง ๆ ข้อคิดเห็น ตลอดจนให้ความเห็นเพื่อปรับปรุงโครงการให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี รวมทั้ง คณาจารย์ทุกท่านในภาควิชาเคมีเทคนิคที่ได้มอบหมายคำแนะนำ คำติชม และความช่วยเหลือตลอดมา

ขอขอบพระคุณ ภาควิชาเคมีเทคนิค ที่ได้อำนวยความสะดวกในการใช้ห้องปฏิบัติการ และกรุณาช่วยเหลือพร้อมทั้งอำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือวิเคราะห์ต่าง ๆ จนทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณบิดา มารดา ญาติพี่น้อง ที่คอยเป็นกำลังใจในการทำงานวิจัยเสมอมา และขอขอบพระคุณเพื่อนๆ และพี่ๆ ที่ให้คำแนะนำในการทำงานวิจัย และสนับสนุนในด้านต่าง ๆ จนงานวิจัยชิ้นนี้สำเร็จด้วยดี

สุดท้ายนี้ขอมอบความดีทั้งหลายของงานวิจัยนี้ให้แก่ทุกท่านที่ได้กล่าวมาข้างต้น และผู้ที่ยังไม่เอ่ยนามมา ณ โอกาสนี้ด้วย

คณะผู้จัดทำ

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมา และมูลเหตุจูงใจในการเสนอโครงการ

เซลล์เชื้อเพลิงชนิดเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอน เป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพในการลด แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศ โดยวิธีการนี้ต้องการไฮโดรเจนที่มีความบริสุทธิ์สูงในสายสารตั้งต้นมาเป็นเชื้อเพลิง และส่วนประกอบของชั้นนั้น ความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ควรมีค่าต่ำกว่า 10 ppm เพื่อป้องกันปัญหาพิษที่เกิดขึ้นกับขั้วโลหะแพลทินัม

จากจุดประสงค์นี้ ปฏิริยาออกซิเดชันของแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์จึงถูกนำมาใช้ เนื่องจากประโยชน์ปฏิริยาออกซิเดชันของแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์นั้นได้รับความสนใจอย่างแพร่หลายในการลดความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ ปฏิริยานี้เกิดขึ้นได้ที่ความดันบรรยากาศและอุณหภูมิต่ำ นอกจากนี้ปฏิริยาออกซิเดชันของแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์นี้เป็นที่นิยมเนื่องจากประหยัดค่าใช้จ่ายในการดำเนิน และสามารถเพิ่มความบริสุทธิ์ให้กับสายไฮโดรเจนได้

ประสิทธิภาพของโลหะบนตัวเร่งปฏิริยานั้นจะขึ้นอยู่กับวิธีการการสังเคราะห์ ซึ่งวิธีการการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิริยาที่เป็นที่นิยม เช่น กระบวนการโซล-เจล หรือ การตกตะกอนแบบร่วม เป็นต้น ซึ่งแต่ละวิธีการในการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิริยานั้น มีข้อดี ข้อเสีย และความเหมาะสมแตกต่างกันไปตามสภาพแวดล้อมของตัวเร่งปฏิริยา ในที่นี้จะพิจารณาการสังเคราะห์แบบการตกตะกอนแบบร่วม เนื่องจากเป็นวิธีการสังเคราะห์ที่ให้ประสิทธิภาพที่ดีที่สุด

ในส่วนของตัวเร่งปฏิริยานั้นจะใช้ทองแดงเป็นโลหะกระตุ้นสำหรับปฏิริยาออกซิเดชัน แต่ตัวเร่งปฏิริยาที่ใช้ทองแดงนั้นมีเสถียรภาพทางความร้อนที่ต่ำ เนื่องจากมีจุดหลอมเหลวที่ต่ำ ด้วยเหตุผลนี้ ในช่วงอุณหภูมิสูง ทองแดงจะเกิดการจับตัวเป็นกลุ่มก้อนที่มีขนาดใหญ่ขึ้นทำให้พื้นที่ผิวมีปริมาตรน้อยลง ส่งผลให้เกิดปฏิริยาน้อยลงด้วยเช่นกัน อะลูมินาเป็นธาตุที่หาได้ง่าย และเหมาะสมที่จะเป็นตัวเร่งปฏิริยาแบบพึ่งพา ด้วยเพราะมีพื้นที่ผิวที่มาก และมีความเป็นรูพรุนสูง มีการกระจายสม่ำเสมอ และมีความเหมาะสมทั้งโครงสร้าง และเสถียรภาพทางเคมี นอกจากนี้การเติมแมงกานีสออกไซด์ สามารถเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อนให้กับผลึกทองแดงได้ แมงกานีสออกไซด์จะทำหน้าที่เป็นในการกระจายพื้นที่ว่างในโครงสร้าง

ด้วยเหตุผลนี้เราจึงเตรียมตัวเร่งปฏิริยา ทองแดงออกไซด์-แมงกานีสออกไซด์-อะลูมินาออกไซด์สำหรับปฏิริยาออกซิเดชัน โดยวิธีการตกตะกอนแบบร่วม ซึ่งผลจากองค์ประกอบตัวเร่งปฏิริยานั้น เราจะศึกษาถึงโครงสร้างของสารและประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิริยาสำหรับปฏิริยาออกซิเดชัน

นอกจากนี้ยังพิจารณาผลของตัวแปรความเข้มข้นของซีเรียที่ความเข้มข้นต่าง ๆ เพื่อหาค่าความเข้มข้นที่เหมาะสมที่สุดในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันแบบเลือกเกิดของแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. เพื่อศึกษาปฏิกิริยาออกซิเดชันของแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ของตัวเร่งปฏิกิริยา CuMnAl
2. เพื่อหาสภาวะตัวเร่งปฏิกิริยาที่ดีที่สุดที่สามารถดูดซับแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์

1.3 วิธีการดำเนินงาน

1. ศึกษา และรวบรวมข้อมูลทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. ศึกษาการใช้งาน และเตรียมเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย
3. ศึกษาการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา
4. ศึกษาปฏิกิริยาการเปลี่ยนคาร์บอนมอนอกไซด์เป็นคาร์บอนไดออกไซด์ โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมไว้
5. วิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ และเคมีของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียม
6. วิเคราะห์ผลการทดลอง และสรุปผลการทดลอง
7. จัดทำรายงาน และนำเสนอผลงาน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้ตัวเร่งปฏิกิริยา CuMnAl สำหรับปฏิกิริยาออกซิเดชันแบบเลือกสรรของคาร์บอนมอนอกไซด์ ปริมาณ และภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ในกระแสไฮโดรเจนเข้มข้น

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (Carbon Monoxide)

แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ เป็นแก๊สที่ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส สูตรทางเคมีคือ CO แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (Carbon Monoxide) พบได้หลายแห่ง ไม่ว่าจะเกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของเชื้อเพลิงที่มีคาร์บอนเป็นส่วนประกอบ หรือเกิดจากการเผาไหม้ในโรงงานอุตสาหกรรมในบรรยากาศที่เราหายใจอยู่นั้นอาจมีแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์อยู่บ้าง ในกรณีที่เราอยู่ใกล้สิ่งที่มีการเผาไหม้ เช่น การหุงต้มอาหารในบ้าน การจราจรหนาแน่น อาจพบคาร์บอนมอนอกไซด์ถึง 100-200 ppm หรือถ้ามาจากปล่องไฟที่มีการเผาไหม้ อาจมากถึง 5,000 ppm จนกระทั่งถึง 7,000 ppm เพราะฉะนั้นเราควรพยายามหลีกเลี่ยงที่จะทำให้ได้รับแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ในปริมาณมากเกินไป เนื่องจากเมื่อแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์เข้าสู่ร่างกายทางระบบหายใจ จะเป็นพิษต่อร่างกาย เพราะจะเข้ามาแทนที่ออกซิเจนในกระแสโลหิต ทำให้ร่างกายไม่สามารถใช้แก๊สออกซิเจนได้ อาจจะทำให้เกิดอาการปวดศีรษะ หัวใจเต้นถี่ขึ้น และทำให้เป็นลมหมดสติ

2.1.2 ปฏิกริยาออกซิเดชันแบบเลือกเกิด (Carbon Monoxide Preferential Oxidation)

ระบบออกซิเดชันด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalytic Oxidation Process) มีหลักการบำบัดกลิ่นโดยอากาศเสียที่มีสารก่อให้เกิดกลิ่นถูกทำให้ร้อนอยู่ระหว่างอุณหภูมิ 250 – 350 องศาเซลเซียส และผ่านเบดของตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst Bed) ซึ่งเป็นการเผาที่อุณหภูมิต่ำ ดังนั้น สารที่ก่อให้เกิดกลิ่นจะอยู่ภายใต้สภาวะที่ถูกออกซิเดชัน (Catalytic Oxidation) บนพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) ซึ่งจะถูกเผาไหม้ให้มีกลิ่นเจือจางหรือไม่มีกลิ่นเลย

ข้อดี คือ

- การใช้ตัวเร่ง (Catalyst) ช่วยให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) จะทำให้การเผาไหม้ของสารที่มีกลิ่นใช้อุณหภูมิที่ต่ำกว่าปกติ โดยจะเสียค่าเชื้อเพลิงน้อยกว่าการเผาไหม้โดยตรง
- สามารถบำบัดสารที่เป็นอันตรายในความเข้มข้นต่ำได้ดี
- ระบบมีขนาดกะทัดรัดและใช้พื้นที่ติดตั้งน้อยมาก
- บำรุงรักษาระบบได้ง่าย

ข้อเสีย คือ

- ไม่สามารถบำบัดสารก่อให้เกิดกลิ่นจำพวกอนินทรีย์ที่ไม่สามารถเผาไหม้ได้

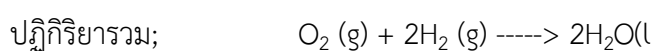
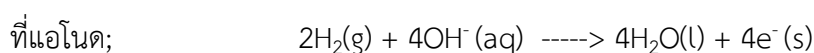
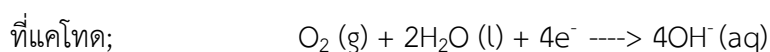
- ตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) จะมีอายุการใช้งานต่ำ ถ้าอากาศเสีย มีสารโลหะหนักปนอยู่ เช่น สังกะสี ปรอท ตะกั่ว และสารจำพวกฟลูออรีน ซัลเฟอร์ เป็นต้น
 - ทำให้เกิดก๊าซซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO₃) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยาและเชื้อเพลิงที่ใช้
- การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาช่วยลดอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาไหม้ จึงช่วยลดค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิงแต่ตัวเร่งปฏิกิริยามักจะทำงานได้ในกรณีที่อุณหภูมิเหมาะสมในช่วงแคบ ๆ และจะต้องไม่มีสารที่ทำลายคุณสมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยาทำให้เสื่อมสภาพ หรือมีสารไปปกคลุมพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา

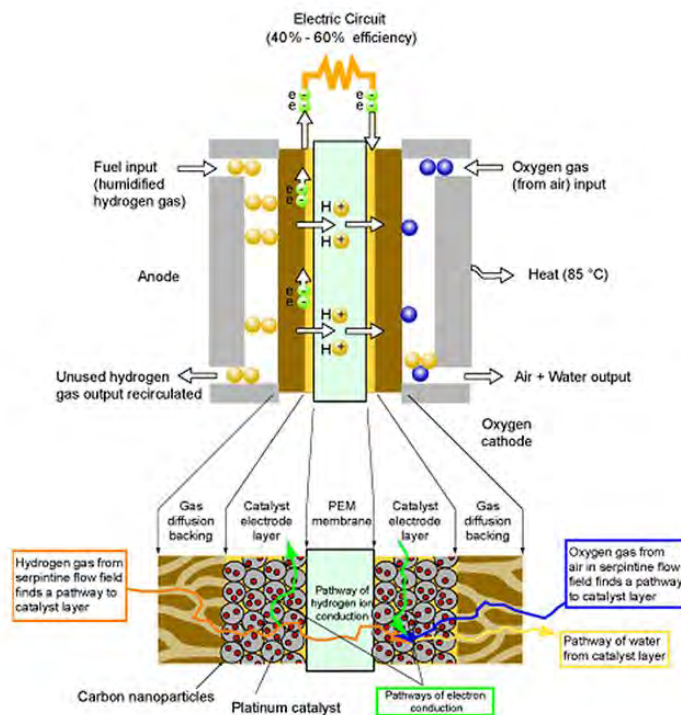
ปัญหาของการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา คือ ราคาแพงและบางชนิดเป็นสารที่เป็นโลหะหนักและเมื่อต้องทิ้งจัดเป็นกากของเสียอันตรายที่มีค่าใช้จ่ายในการบำบัดสูง นอกจากนี้ในกรณีของโรงงานที่มีการผลิตไม่ต่อเนื่องทำให้อากาศที่มีกลิ่นมีอุณหภูมิไม่คงที่เมื่อระบายออก และทำให้ต้องควบคุมอุณหภูมิในห้องเผาไหม้ให้คงที่ เหมาะสมกับตัวเร่งปฏิกิริยาตลอดเวลาเพราะตัวเร่งปฏิกิริยาจะใช้เวลานานในการอุ่นก่อนจะทำงานได้เต็มที่ จึงไม่อาจติด ๆ ดับ ๆ อุปกรณ์ได้บ่อยครั้ง

2.1.3 เซลล์เชื้อเพลิง

เซลล์เชื้อเพลิง (Fuel Cell) เป็นเซลล์ไฟฟ้าเคมีอย่างหนึ่งคล้ายกับแบตเตอรี่ แต่แตกต่างกันที่เซลล์เชื้อเพลิงนั้นออกแบบมาให้มีการเติมไฮโดรเจน และออกซิเจนตลอดเวลา ซึ่งช่วยขจัดปัญหาความจุที่จำกัดของแบตเตอรี่ออกไป นอกจากนี้ที่ขั้วไฟฟ้าของแบตเตอรี่จะเข้าทำปฏิกิริยาเมื่อมันถูกอัดประจุ หรือคายประจุ ในขณะที่ขั้วไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิงเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาและค่อนข้างเสถียร เซลล์เชื้อเพลิงทุกชนิดจะให้กระแสไฟฟ้าที่ 1.16 โวลต์ต่อเซลล์ ประกอบด้วยอิเล็กโทรด 2 ขั้ว คือขั้วแคโทด (Cathode) หรือขั้วบวก ขั้วแอโนด (Anode) หรือขั้วลบ แต่ละขั้วประกอบด้วยแท่งคาร์บอนที่มีรูพรุน 2 แท่งทำหน้าที่เป็นขั้วไฟฟ้า ที่ผิวของแท่งคาร์บอนมีผงแพลทินัมหรือแพลเลเดียมผสมอยู่เพื่อทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ขั้วไฟฟ้าทั้งสองจุ่มอยู่ในอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) ซึ่งอาจเป็นสารละลาย NaOH หรือ KOH ที่จะพากระแสไฟฟ้าจากขั้วหนึ่งไปอีกขั้วหนึ่ง และยังประกอบด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) ทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาของอิเล็กโทรไลต์ ให้เกิดกระแสไฟฟ้ามากขึ้น

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น





รูปที่ 1 เซลล์เชื้อเพลิง (Fuel Cell)

ที่มา : <http://physics.nist.gov/MajResFac/NIF/pemFuelCells.html>

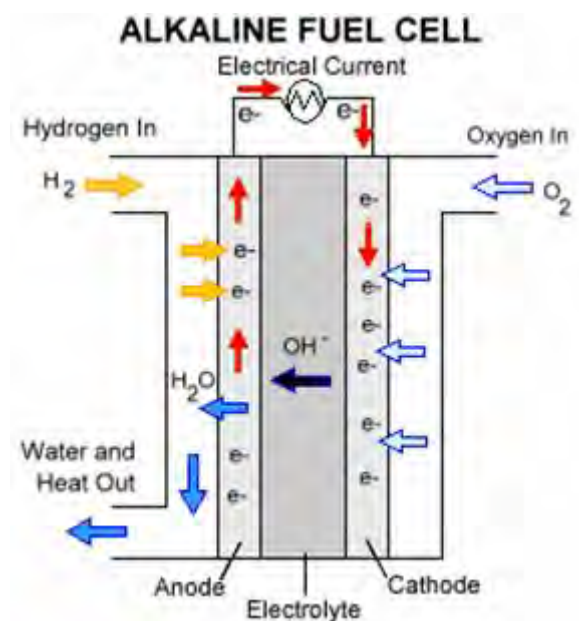
เซลล์เชื้อเพลิงทำงานโดยการเปลี่ยนเชื้อเพลิงเป็นกระแสไฟฟ้าโดยตรงซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพสูงกว่าการเปลี่ยนรูปพลังงานเป็นพลังงานกลก่อน แล้วจึงเปลี่ยนมาเป็นไฟฟ้าอีกทีหนึ่ง เครื่องยนต์ที่ใช้เปลี่ยนรูปพลังงานชนิดนี้มีประสิทธิภาพโดยรวมอยู่ในระดับ 30-35% เท่านั้น ส่วนเซลล์เชื้อเพลิงในบางรูปแบบเปลี่ยนพลังงานของเชื้อเพลิงไปเป็นไฟฟ้าได้ถึง 80% เพราะเป็นการเปลี่ยนพลังงานทางเคมีโดยตรง

เซลล์เชื้อเพลิงในปัจจุบันมีอยู่หลายชนิด แต่ละชนิดจะมีลักษณะการทำงานโดยทั่วไปคืออะตอมของไฮโดรเจนจะถูกจ่ายเข้าสู่เซลล์เชื้อเพลิงทางขั้วแอโนด (Anode) และเกิดปฏิกิริยาทางเคมีแยกอิเล็กตรอน (Electron) ออก ทำให้ไฮโดรเจนอะตอมอยู่ในสภาวะ "Ionized" ผ่าน Electrolyte ไปยังแคโทด (Cathode) ที่มีออกซิเจนอยู่ทำให้เกิดการรวมตัวกันกลายเป็นน้ำไหลออกมา ส่วนอิเล็กตรอนก็จะวิ่งอยู่ภายนอกเป็นกระแสขับเคลื่อนทางไฟฟ้า แม้จะมีแรงดันโวลต์เพียงเล็กน้อย คือ 1.16 V ต่อ Cell ต้องต่อพ่วงกันหลาย ๆ เซลล์ ทำให้ได้แรงดันไฟฟ้าระดับที่ต้องการได้

เซลล์เชื้อเพลิงที่มีใช้งานในปัจจุบันนั้น แต่ละชนิดจะมีโครงสร้างและปฏิกิริยาทางไฟฟ้าเคมีที่แตกต่างกัน ทำให้การนำมาประยุกต์ใช้งานแตกต่างกันด้วย ซึ่งสามารถสรุปโดยย่อได้ดังนี้

เซลล์เชื้อเพลิงแบบแอลคาไลน์ (Alkaline Fuel Cell, AFC) เป็นเซลล์เชื้อเพลิงที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุด (50-70%) แต่เนื่องจากระบบไวต่อการปนเปื้อนมาก จึงจำเป็นต้องใช้ไฮโดรเจนและออกซิเจน ที่บริสุทธิ์

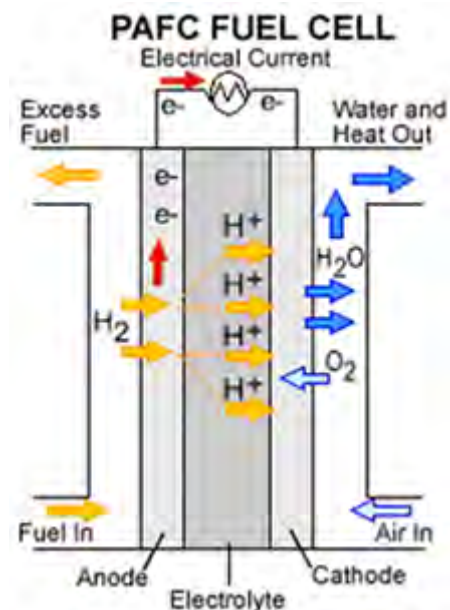
เท่านั้น ทำให้ระบบโดยรวมมีราคาสูงมาก ดังนั้นเซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้จะถูกใช้ในงานด้านอวกาศ เป็นส่วนใหญ่ เนื่องจากมีประสิทธิภาพสูงสุด อุณหภูมิขณะทำงานอยู่ต่ำกว่า 80 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ของเสียที่ได้จากเซลล์เชื้อเพลิงคือ น้ำบริสุทธิ์ ซึ่งนักบินอวกาศสามารถใช้บริโภคได้



รูปที่ 2 เซลล์เชื้อเพลิงแบบแอลคาไลน์ (Alkaline Fuel Cell, AFC)

ที่มา : http://www1.eere.energy.gov/hydrogenandfuelcells/fuelcells/fc_types.html

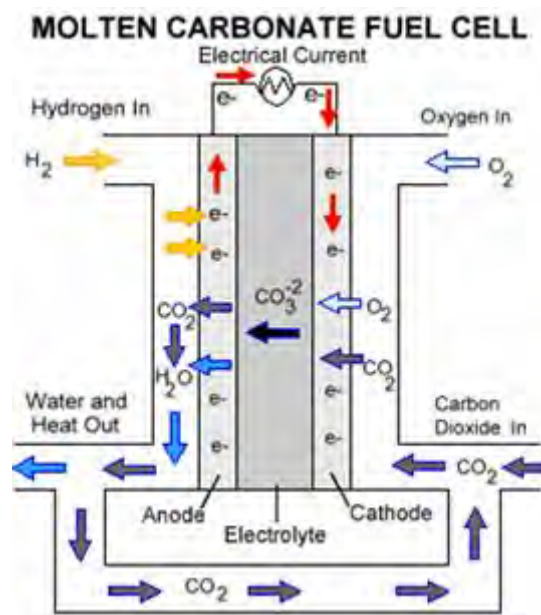
เซลล์เชื้อเพลิงแบบกรดฟอสฟอริก (Phosphoric Acid Fuel Cell, PAFC) เป็นเซลล์เชื้อเพลิงชนิดแรกที่สามารถสร้างขึ้นในเชิงพาณิชย์ มีระดับอุณหภูมิในการทำงานประมาณ 210 องศาเซลเซียส สามารถสร้างพลังงานไฟฟ้าได้ถึง 200 กิโลวัตต์ มีประสิทธิภาพประมาณ 35–50% มักนำไปใช้เป็นแหล่งพลังงานไฟฟ้าในสถานที่ขนาดเล็กต่าง ๆ เช่น โรงแรมและสำนักงานต่าง ๆ เป็นต้น



รูปที่ 3 เซลล์เชื้อเพลิงแบบกรดฟอสฟอริก (Phosphoric Acid Fuel Cell, PAFC)

ที่มา : http://www1.eere.energy.gov/hydrogenandfuelcells/fuelcells/fc_types.html

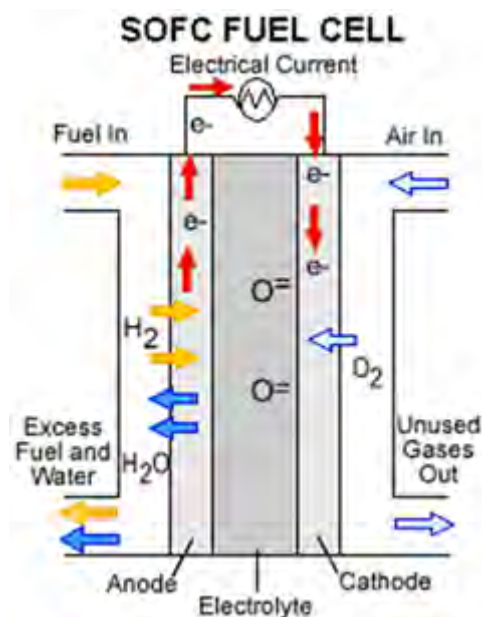
เซลล์เชื้อเพลิงแบบเกลือคาร์บอเนตหลอม (Molten Carbonate Fuel Cell, MCFC) เป็นเซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้เหมาะสม สำหรับโรงไฟฟ้าขนาดใหญ่สำหรับจำหน่ายไฟฟ้า มีอุณหภูมิการทำงานที่สูงมาก ประมาณ 650 องศาเซลเซียส สามารถสร้างพลังงานไฟฟ้าได้สูงถึง 2 เมกะวัตต์ และยังให้อิฐน้ำความดันสูงออกมา ซึ่งสามารถนำมาช่วยผลิตกระแสไฟฟ้าในลักษณะความร้อนร่วมได้ เป็นผลทำให้ประสิทธิภาพของระบบโดยรวมสูงขึ้นถึง 80-85 เปอร์เซ็นต์ และเนื่องจากทำงานที่อุณหภูมิที่ต่ำกว่าเซลล์เชื้อเพลิงแบบออกไซด์ของแข็ง ทำให้ไม่ต้องใช้วัสดุที่มีคุณสมบัติพิเศษ จึงทำให้ระบบโดยรวมมีราคาต่ำกว่า



รูปที่ 4 เซลล์เชื้อเพลิงแบบเกลือคาร์บอเนตหลอม (Molten Carbonate Fuel Cell, MCFC)

ที่มา : http://www1.eere.energy.gov/hydrogenandfuelcells/fuelcells/fc_types.html

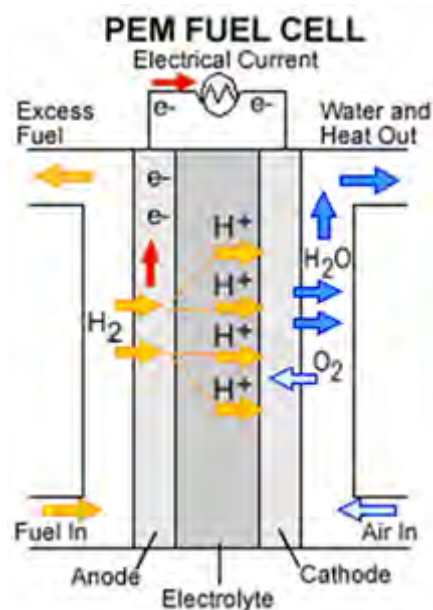
เซลล์เชื้อเพลิงแบบออกไซด์ของแข็ง (Solid Oxide Fuel Cell, SOFC) เป็นเซลล์เชื้อเพลิงชนิดมีอุณหภูมิในการทำงานที่สูงที่สุดเมื่อเทียบกับเซลล์เชื้อเพลิงประเภทอื่น ๆ คือ ประมาณ 800–1000 องศาเซลเซียส เหมาะสำหรับโรงงานไฟฟ้าขนาดใหญ่ มีไอน้ำอุณหภูมิสูง เป็นผลผลิตจากกระบวนการทางเคมี ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้า ในลักษณะความร้อนร่วมได้เช่นเดียวกับเซลล์เชื้อเพลิงแบบเกลือคาร์บอเนตหลอม ทำให้ประสิทธิภาพของระบบเพิ่มขึ้นสูงถึงประมาณ 80-85 เปอร์เซ็นต์ สำหรับในระบบที่ต้องการกำลังไฟฟ้าสูงมาก ๆ นั้นเซลล์เชื้อเพลิงแบบออกไซด์ของแข็ง จะมีราคาถูกกว่าระบบที่ใช้เซลล์เชื้อเพลิงแบบเกลือคาร์บอเนตหลอม



รูปที่ 5 เซลล์เชื้อเพลิงแบบออกไซด์ของแข็ง (Solid Oxide Fuel Cell, SOFC)

ที่มา : http://www1.eere.energy.gov/hydrogenandfuelcells/fuelcells/fc_types.html

เซลล์เชื้อเพลิงแบบเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอน (Proton Exchange Membrane Fuel Cell, PEMFC) เป็นเซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้ได้รับความนิยมมาก ในการนำมาประยุกต์ใช้งาน เนื่องจากมีอุณหภูมิในการทำงานที่ไม่สูงมากนัก และราคาที่ไม่แพงเมื่อเทียบกับเซลล์เชื้อเพลิง ชนิดอื่น รวมถึงมีประสิทธิภาพที่สูง (35–60%) เชื้อเพลิงที่ใช้คือ ไฮโดรเจน (บริสุทธิ์ที่ 99.99%) และอากาศ ปัจจุบันนำมาประยุกต์ใช้งานด้านต่าง ๆ กันอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะการนำมาเป็นแหล่งพลังงานขับเคลื่อน สำหรับรถยนต์หรือรถโดยสารสาธารณะ รวมถึงเป็นแหล่งกำเนิดกระแสไฟฟ้าขนาดเล็กเพื่อใช้ภายในที่อยู่อาศัย เป็นต้น



รูปที่ 6 เซลล์เชื้อเพลิงแบบเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอน (Proton Exchange Membrane Fuel Cell, PEMFC)

ที่มา : http://www1.eere.energy.gov/hydrogenandfuelcells/fuelcells/fc_types.html

เซลล์เชื้อเพลิงแบบป้อนสารเมทานอลโดยตรง (Direct Methanol Fuel Cell, DMFC) เป็นเซลล์เชื้อเพลิงที่ถูกพัฒนาจากเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอน แตกต่างจากเซลล์เชื้อเพลิงประเภทอื่น ๆ คือ ใช้เมทานอลเป็นเชื้อเพลิง ซึ่งถือว่าเป็นข้อดี ในเรื่องของการจัดการเชื้อเพลิงที่สะดวกกว่า หากแต่ให้แรงดันไฟฟ้าที่ค่อนข้างต่ำ ทำให้จำเป็นต้องใช้เซลล์เป็นจำนวนมากมาต่ออนุกรมกันเพื่อให้ได้แรงดันสูงพอ เป็นผลให้เซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้มีประสิทธิภาพต่ำที่สุด (ประมาณ 35–40%) เมื่อเทียบกับเซลล์เชื้อเพลิงประเภทอื่น ๆ อย่างไรก็ตาม เซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้มีอุณหภูมิในการทำงานค่อนข้างต่ำ และใช้เมทานอลเป็นเชื้อเพลิง ทำให้เหมาะที่จะใช้เป็นแหล่งพลังงานไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็ก เช่น โทรศัพท์มือถือ เครื่องคอมพิวเตอร์แบบพกพา เป็นต้น

จากลักษณะเฉพาะดังกล่าวข้างต้น ทำให้เซลล์เชื้อเพลิงแบบเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอน (PEMFC) เป็นที่นิยมสูงสุดในการนำมาใช้เป็นต้นกำลังในภาคคมนาคมขนส่ง เนื่องจากมีขนาดกะทัดรัด และให้พลังงานสูงเมื่อเทียบกับน้ำหนัก เริ่มทำงานได้รวดเร็ว สามารถทำงานได้ที่อุณหภูมิต่ำ และอายุการทำงานยาวกว่าเซลล์เชื้อเพลิงประเภทอื่น หากแต่มีข้อเสียคือ ต้นทุนการผลิตสูงและต้องการเชื้อเพลิงไฮโดรเจนที่มีความบริสุทธิ์สูงสำหรับอุปกรณ์ต่อเนืองที่ใช้กับเซลล์เชื้อเพลิงแต่ละชนิดจะมีลักษณะที่เหมือนกัน หากจะแตกต่างกันตรงขนาดกำลังไฟฟ้าที่ทำงานได้เท่านั้น

2.1.4 ตัวเร่งปฏิกิริยา

ตัวเร่งปฏิกิริยา คือ สารที่เพิ่มอัตราเร็วของปฏิกิริยาทำให้ปฏิกิริยาเข้าสู่สมดุลเร็วขึ้น โดยที่ตัวมันเองไม่ถูกใช้อย่างถาวรในปฏิกิริยา แม้ว่าตัวเร่งปฏิกิริยาอาจมีส่วนร่วมในบางขั้นตอนของการเกิดปฏิกิริยา แต่สุดท้ายมันต้องเปลี่ยนกลับมาอยู่ในรูปเดิมหลังจากปฏิกิริยาสิ้นสุดแล้ว การทำงานของตัวเร่งปฏิกิริยามักจะเกิดขึ้นโดยการเกิดพันธะเคมีกับสารตั้งต้นอย่างน้อยหนึ่งตัว

โดยแบ่งตามสถานะเทียบกับสารตั้งต้น และสารผลิตภัณฑ์มี 2 ประเภท คือ

1. ตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธ์ (Homogeneous catalysts) คือ ตัวเร่งปฏิกิริยาที่อยู่ในสถานะเดียวกับสารที่ทำปฏิกิริยา ไม่ว่าจะเป็นแก๊สหรือของเหลว โดยตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธ์มักเป็นโมเลกุลที่มีตำแหน่งสำหรับเร่งปฏิกิริยาชัดเจน ทำให้ง่ายต่อการศึกษาแต่ก็มีข้อเสียคือ มักสลายตัว หรือเสียดสภาพในภาวะที่ใช้ ความร้อน หรือความดันสูง

2. ตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธ์ (Heterogeneous catalysts) คือ ตัวเร่งปฏิกิริยาที่อยู่ในสถานะแตกต่างกับสารที่ทำปฏิกิริยา เช่น ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นของแข็ง สารตั้งต้น และผลิตภัณฑ์เป็นแก๊ส หรือของเหลว การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธ์พบได้ในอุตสาหกรรมหลาย ๆ อย่าง เนื่องจากสามารถแยกตัวเร่งปฏิกิริยาออกมาจากสารผลิตภัณฑ์ และสารตั้งต้นที่เหลือได้ง่ายกว่าระบบที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบเอกพันธ์

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบปัจจัยต่าง ๆ ในการเร่งปฏิกิริยาแบบเอกพันธ์ และวิวิธพันธ์

ปัจจัยหรือตัวแปรที่น่าสนใจ	การเร่งปฏิกิริยาแบบเอกพันธ์	การเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธ์
กัมมันตภาพเมื่อเปรียบเทียบปริมาณโลหะที่เท่ากัน	สูง	แปรค่าได้
สัดส่วนการเลือกทำปฏิกิริยา	สูง	แปรค่าได้
ภาวะของปฏิกิริยา	ไม่รุนแรง	รุนแรง
อายุการใช้งานของตัวเร่งปฏิกิริยา	แปรค่าได้	นาน
ความไวของตัวเร่งปฏิกิริยาของการเกิดพอยซัน	ต่ำ	สูง
ปัญหาจากการแพร่	ไม่มี	อาจมีผล
การนำตัวเร่งปฏิกิริยากลับมาใช้งาน	แพง	ทำได้
การปรับสมบัติเชิงโมเลกุลของตัวเร่งปฏิกิริยาโดยการเปลี่ยนอะตอมที่เป็นองค์ประกอบ	อาจทำได้	ทำไม่ได้

ที่มา : <http://cuir.car.chula.ac.th/bitstream/123456789/8853/1/sutarawadee.pdf>

2.1.4.1 องค์ประกอบของตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธ์

ตัวเร่งปฏิกิริยาส่วนใหญ่ประกอบด้วย 2 องค์ประกอบหลัก คือ

1. สารว่องไว (Active component) เป็นส่วนที่ช่วยให้เกิดปฏิกิริยาสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 กลุ่มตามหน้าที่หลัก ได้แก่

1.1 โลหะมีความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาการเติมไฮโดรเจน (Hydrogenation) ปฏิกิริยาไฮโดรจิโนลิซิส (Hydrogenolysis) และปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) ตัวอย่าง คือ นิกเกิล พาลาเดียม แพลทินัม ทองแดง และเงิน

1.2 โลหะออกไซด์แบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่เร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันบางส่วน (Partial oxidation) และปฏิกิริยารีดอกซ์ได้ อีกกลุ่ม คือ กลุ่มตัวเร่งปฏิกิริยาที่เร่งปฏิกิริยาการดึงไฮโดรเจนออก (Dehydrogenation) โดยตัวเร่งปฏิกิริยาที่ดีที่สุดสำหรับปฏิกิริยาออกซิเดชันมักจะไม่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ดีที่สุดสำหรับปฏิกิริยาการดึงไฮโดรเจน (Dehydrogenation)

1.3 ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นกรด สามารถเร่งปฏิกิริยาได้หลายชนิด ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดนี้มักประกอบด้วยธาตุสองชนิดขึ้นไป เชื่อมต่อกันอย่างแข็งแรงด้วยอะตอมของออกซิเจน ปฏิกิริยาที่เร่งด้วยกรดมักจะขึ้นกับความแรงและธรรมชาติของกรด แต่ไม่ขึ้นกับชนิดของอะตอมที่มีอยู่บนตัวเร่งปฏิกิริยามากนัก

1.4 โลหะและกรด อาจเรียกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาที่ทำหน้าที่สองอย่าง (Bifunctional catalyst) ตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทนี้ประกอบด้วยโลหะ และองค์ประกอบที่เป็นกรด ทั้งสององค์ประกอบต่างก็เร่งขั้นตอนในระหว่างการเกิดปฏิกิริยา แต่อาจเร่งปฏิกิริยาในขั้นตอนที่แตกต่างกัน

2. ตัวรองรับหรือตัวพา (support) มักเป็นวัสดุที่มีความเฉื่อยสำหรับการกระจายตัวของสารว่องไวในการทำปฏิกิริยา สมบัติที่สำคัญที่สุดของตัวรองรับหรือตัวพา คือการมีพื้นที่ผิวสูงสำหรับสารกัมมันต์ แม้ว่าบางครั้งมันอาจทำหน้าที่ในการเร่งปฏิกิริยาด้วยก็ตาม โดยสมบัติทั่วไปของตัวรองรับสำหรับตัวเร่งปฏิกิริยามีดังต่อไปนี้

- ต้องเฉื่อยต่อปฏิกิริยาที่ไม่ต้องการให้เกิด
- มีความแข็งแรงเชิงกล เช่น ทนต่อการขูดขีด (Attrition) หรือการบีบอัด (Compression)
- มีเสถียรภาพหรือทนต่อภาวะต่าง ๆ ได้ในระหว่างการทำปฏิกิริยา และในช่วงของการเปลี่ยนเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่
- มีพื้นที่ผิวสูงและมีความพรุน แต่ขึ้นกับวัตถุประสงค์ของการใช้งานด้วย การมีความพรุนรวมถึงขนาดของรูพรุน และการกระจายตัวของรูพรุนพอเหมาะ การมีพื้นที่ผิวสูงหมายถึงมีรูพรุนที่มีขนาดเล็ก แต่ถ้ารูพรุนเล็กเกินไปจะทำให้เกิดการอุดตันได้ โดยเฉพาะในกรณีที่มีปริมาณของโลหะตัวเร่งปฏิกิริยาสูง
- มีราคาถูก ซึ่งจะช่วยให้ต้นทุนในการผลิตตัวเร่งปฏิกิริยามีค่าต่ำ หากนำไปสู่การประยุกต์ก็จะเป็นกระบวนการที่ไม่แพง

3. ตัวสนับสนุนหรือโปรโมเตอร์ (Promoter) เป็นองค์ประกอบที่ช่วยส่งเสริมการเร่งปฏิกิริยาให้ดีขึ้น ซึ่งส่วนใหญ่จะใส่ในปริมาณน้อย ๆ เพื่อเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีหรือกายภาพของสารว่องไว หรือตัวรองรับ

สำหรับตัวเร่งปฏิกิริยาที่นิยมใช้ในกระบวนการเลือกเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ส่วนใหญ่ในส่วนของสารว่องไวจะเป็นพวกโลหะมีตระกูลพวกแพลทินัม ส่วนตัวรองรับเป็นพวกโลหะออกไซด์ซึ่งในงานวิจัยนี้เลือกใช้ตัวรองรับซีเรีย (CeO_2) เนื่องจากช่วยสนับสนุนการเกิดปฏิกิริยาออกเตอร็อกซิฟิเคชัน ช่วยในการกระจายตัวของส่วนโลหะบนตัวรองรับ มีพื้นผิวที่มีเสถียรภาพป้องกันการเกิดการรวมตัวกันเป็นก้อน และยังมีสมบัติที่สำคัญคือสามารถกักเก็บออกซิเจนได้ดี

2.1.5 วิธีการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา

วิธีการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาที่นิยมใช้ในการโหลดโลหะลงบนตัวรองรับ นั้นมีหลากหลายวิธีการ ยกตัวอย่างเช่น วิธีการเคลือบฝัง (impregnation) วิธีการโซล-เจล (sol-gel) และวิธีการตกตะกอนร่วม (co-precipitation) เป็นต้น ซึ่งแต่ละวิธีนี้ก็มีความเหมาะสมในการประยุกต์ใช้แตกต่างกัน โดยสรุปได้ดังนี้

1. วิธีการเคลือบฝัง (impregnation)

วิธีการนี้เป็นวิธีที่ง่ายที่สุดสำหรับการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา ในวิธีการนี้จะนำเอาตัวรองรับซึ่งมักเป็นวัสดุที่มีรูพรุนมาสัมผัสกับสารละลายที่มีสารว่องไวละลายอยู่ วิธีการนี้ยังแบ่งย่อยลงไปอีก 2 วิธี คือชนิดเปียก (Wet impregnation) และชนิดแห้ง (Dry impregnation หรือ Incipient wetness)

ในวิธีการเตรียมแบบชนิดเปียกนั้น ตัวรองรับจะถูกจุ่มลงในสารละลายที่เหมาะสมที่มีสารละลายว่องไวละลายอยู่ ซึ่งโดยทั่วไปมักเป็นสารละลายของน้ำ จากนั้นจะค่อย ๆ ทำการระเหยตัวทำละลายออกจนหมด เพื่อให้สารว่องไวตกค้างอยู่บนตัวรองรับ ในระหว่างการระเหยนี้อาจมีการควบคุมอุณหภูมิหรือปรับ pH สารละลายไปพร้อมกันจากนั้นเมื่อนำไปผ่านการเผาให้ร้อนก็จะได้ตัวเร่งปฏิกิริยา ข้อดีของวิธีการนี้คือตัวรองรับแต่ละตัวจะได้รับสารว่องไวอย่างสม่ำเสมอ แต่อาจมีปัญหาเกี่ยวกับการตกตะกอนที่ไม่พร้อมกันที่เกลือของโลหะตั้งแต่สองชนิดขึ้นไป อัตราส่วนของเกลือที่ตกตะกอนบนตัวรองรับมักจะแตกต่างไปจากสัดส่วนความเข้มข้นในสารละลาย นอกจากนี้อาจเกิดการละลายของตัวรองรับขึ้นได้

การควบคุมที่ดีกว่าทำได้โดยการใช้วิธีการเคลือบฝังแบบแห้ง ซึ่งในที่นี้จะมีการพ่นสารละลายที่มีความเข้มข้นของสารว่องไวในปริมาณที่เหมาะสมลงบนตัวรองรับ ปริมาณของสารละลายที่ใช้จะเท่ากับปริมาตรของรูพรุนหรือน้อยกว่าเล็กน้อย สิ่งที่เราควรระวังในที่นี้ คือความสม่ำเสมอที่จะได้ ต้องแน่ใจว่าการผสมกันเป็นไปด้วยดีเพื่อให้ทุกอนุภาคได้สัมผัสกับสารละลาย จากนั้นก็จะปล่อยให้แห้งเพื่อให้สารละลายที่พ่นเข้าไปมีเวลาเพียงพอที่จะซึมเข้าไปในตัวรองรับ ถ้าหากการพ่นเพียงครั้งเดียวไม่เพียงพอ ก็สามารถทำการพ่นซ้ำได้หลายครั้ง

ตัวรองรับที่เป็นสารประกอบออกไซด์บางชนิด เช่น อะลูมินา ซิลิกา และถ่านกัมมันต์หลายชนิดที่มีชั้นของออกซิเจนดูดซับบนพื้นผิว บนพื้นผิวสามารถเปียกน้ำได้ ทำให้เกิดแรงแคปิลารี ที่จะดึงน้ำเข้าไปในรูพรุน แม้ว่ารูพรุนนั้นจะเป็นรูปลายตัน แต่ปริมาณสารละลายที่เข้าไปได้ก็สามารถที่จะเข้าไปได้เกือบเต็มรูพรุน การละลายของแก๊สในสารละลายก็มีส่วนช่วยในการซึมเข้าไปของสารละลายด้วย ในกรณีของตัวรองรับที่ไม่เปียกน้ำ หรือไม่มีออกซิเจนดูดซับบนพื้นผิว เช่น คาร์บอนที่มีความเป็นแกรไฟต์สูงอาจต้องใช้ตัวทำละลายอินทรีย์แทนการใช้น้ำ หรือใช้การทำสุญญากาศช่วย

ด้วยวิธีเคลือบฝั่งนี้ สามารถควบคุมการกระจายตัวของสารว่องไวบนตัวรองรับ ตัวอย่าง เช่น ปฏิกริยาที่เกิดเร็วมากจนสารตั้งต้นไม่สามารถแพร่เข้าไปถึงตอนกลางของตัวเร่งปฏิกริยาได้ ในที่นี้ไม่จำเป็นที่ต้องมีสารว่องไวอยู่ในบริเวณตอนกลางของอนุภาคตัวเร่งปฏิกริยา ด้วยการเลือกช่วงเวลาที่เหมาะสมก็สามารถควบคุมให้สารว่องไวตกค้างอยู่เพียงแค่ปากทางเข้ารูพรุนได้

2. วิธีการโซล-เจล (sol-gel)

โซล คือ การกระจายอนุภาคของแข็ง (ขนาดประมาณ 0.1 - 1 ไมโครเมตร) โดยของเหลว โดยการเคลื่อนที่ของอนุภาคเป็นแบบบราวน์เนียนเท่านั้น

เจล คือ ลักษณะที่ของเหลวและของแข็งกระจายตัวเข้าหากัน แสดงให้เห็นว่าของเหลวแทรกตัวอยู่ในโครงสร้างของของแข็ง

โดยกระบวนการทั่วไปของโซลเจลประกอบด้วย 4 ขั้นตอน ได้แก่

- การทำให้อนุภาคของคอลลอยด์กระจายตัวในของเหลว คือ การเกิดโซล
- การตกตะกอนของโซลเพื่อการเคลือบลงบนตัวรองรับโดยการสเปรย์ การแช่ หรือการกวาด
- อนุภาคในโซลถูกทำให้เกิดปฏิกิริยาจากการเตรียมพอลิเมอร์ผ่านกระบวนการกำจัดองค์ประกอบบางตัว เพื่อให้เกิดเสถียรภาพและการเกิดของเจลในลักษณะที่เป็นโครงร่างตาข่าย
- ขั้นตอนสุดท้ายใช้ความร้อนในการบำบัดโดยการไพโรไลส์ ยังคงเหลือส่วนที่เป็นสารประกอบอินทรีย์หรืออนินทรีย์ และเกิดเป็นรูปร่างที่ไม่แน่นอน หรือผลึกที่ผ่านการเคลือบแล้ว

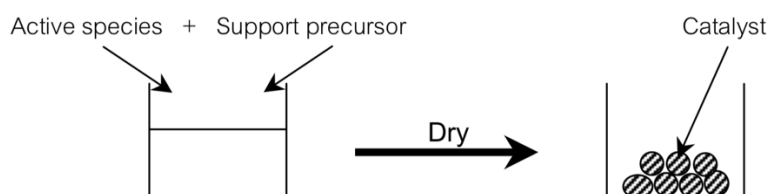
วิธีการเตรียมตัวเร่งปฏิกริยาแบบโซลเจลมีข้อดี คือ ช่วยให้ส่วนของสารว่องไวและตัวรองรับเกาะกันได้ดีซึ่งมีผลต่อการเร่งปฏิกริยาและป้องกันการเกิดการหลอมรวมตัวของส่วนโลหะซึ่ง เป็นสารว่องไว ได้ อนุภาคของตัวเร่งปฏิกริยาที่มีขนาดเล็ก นอกจากนี้ยังช่วยในการกระจายตัวของส่วนที่เป็นสารว่องไวบนตัวรองรับอีกด้วย

โดยในงานวิจัยนี้ได้เลือกศึกษาเปรียบเทียบวิธีการเตรียมตัวเร่งปฏิกริยา 2 วิธี คือ วิธีเคลือบฝั่ง และวิธีโซลเจลแบบขั้นตอนเดียว นอกจากนี้ยังเปรียบเทียบผลของตัวรองรับที่ซื้อสำเร็จ กับที่เตรียมขึ้นเองด้วยวิธีโซลเจลด้วย

3. วิธีการตกตะกอนร่วม (co-precipitation)

เป็นเทคนิคการตกตะกอน ที่อาศัยวิธีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิหรือความดันของสารละลาย เพื่อให้เกิดการตกตะกอนขึ้น กระบวนการหลักที่เกิดขึ้นในการตกตะกอนด้วยการเกิดนิวเคลียส (Nucleation) และการเติบโต (Growth) โดยทั่วไปถ้าระบบมีอัตราการเกิดนิวเคลียสที่สูงแต่มีอัตราการเติบโตที่ช้าอนุภาคของตะกอนที่ได้ออกมาจะมีขนาดเล็ก ตัวแปรสำคัญที่มีผลต่อความบริสุทธิ์และลักษณะทางกายภาพของตะกอนที่เตรียมได้ ได้แก่ ความเข้มข้นของสารตั้งต้น pH และอัตราการผสมสารละลาย กระบวนการตกตะกอนได้นำมาใช้ในการสังเคราะห์อย่างแพร่หลายในปัจจุบันเนื่องจากได้ ผลิตภัณฑ์ที่มีความบริสุทธิ์สูง สามารถควบคุมสัณฐานวิทยาและการแจกแจงของขนาดอนุภาคได้ แต่อย่างไรก็ตามข้อเสียของกระบวนการตกตะกอนคือต้องมีการแยกตะกอนออกจากสารละลาย การทำให้แห้งและการให้ความร้อนแก่ตะกอนเพื่อทำให้เกิดเป็นผงตามที่ต้องการ ซึ่งวิธีการทำให้แห้งและเผาไหม้ทำให้ตะกอนและผงเซรามิกเกิดการเกาะกันเป็นกลุ่มก้อน

จุดเด่นของวิธีการนี้ คือ ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ได้มีการกระจายตัวของสารว่องไวอย่างสม่ำเสมอในระดับโมเลกุล แต่จะมีสารว่องไวบางส่วนฝังอยู่ภายในเนื้อของตัวเร่งปฏิกิริยาไม่สามารถร่วมทำปฏิกิริยาได้ ซึ่งเป็นการสูญเสียเปล่า วิธีการนี้จึงไม่เหมาะกับตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้สารหรือโลหะที่มีราคาแพง นอกจากนี้ถ้าหากตัวเร่งปฏิกิริยาประกอบด้วยสารว่องไวตั้งแต่สองชนิดขึ้นไป สิ่งที่ยังระวังในการเตรียมคือเกลือของโลหะแต่ละชนิดอาจมีอัตราเร็วในการตกตะกอนที่แตกต่างกัน ซึ่งจะมีผลต่อโครงสร้างของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ได้ การควบคุมการตกตะกอนกระทำได้โดยการเลือกใช้เกลือที่เหมาะสม ปรับค่า pH และอุณหภูมิของสารละลาย



รูปที่ 7 การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยวิธีตกตะกอนร่วม

ที่มา : <http://cuir.car.chula.ac.th/bitstream/123456789/8853/1/sutarawadee.pdf>

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Andache และคณะในงานวิจัยนี้ ได้ทำการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยา $\text{CuO-ZnO-Al}_2\text{O}_3$ ที่ความเข้มข้นของ CuO ต่าง ๆ ซึ่งจะถูกลงสังเคราะห์ด้วยวิธีการตกตะกอนแบบร่วม เพื่อศึกษาผลของการกำจัดแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ ด้วยการกำจัดคาร์บอนมอนอกไซด์แบบเลือกเกิด (CO-PROX) จากสายสารตั้งต้น 87% ของ H_2 , 1% ของ CO และ 2% ของ O_2 ที่ความดันบรรยากาศ โดยจะศึกษาอิทธิพลของปริมาณทองแดงและ

สังกะสีต่อคุณสมบัติทางกายภาพและประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยา ตัวอย่างที่เตรียมไว้จะวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์การดูดซับทางเคมีของตัวเร่งปฏิกิริยา (BET) เทคนิคการวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (XRD) และเทคนิคการส่องผ่านของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (SEM) การเพิ่มขึ้นของปริมาณ CuO ช่วยปรับปรุงตัวเร่งปฏิกิริยา CuO-ZnO-Al₂O₃ สำหรับปฏิกิริยาออกซิเดชันของ CO ในตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมไว้ ตัวเร่งปฏิกิริยา 50% CuO-3% ZnO-47%Al₂O₃ ที่คัลไซน์ด้วยอุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ด้วยพื้นที่ BET 82.3 m²/g จะมีค่า activity ที่ดีที่สุดด้วยค่า CO conversion 88.9% ที่ 125 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ยังศึกษาผลกระทบของการเติม CO₂ และ H₂O ในสายสารตั้งต้นของปฏิกิริยาและความเร็วของพื้นที่ต่อชั่วโมงของแก๊ส (GHSV) อีกด้วย

Lin และคณะ ได้ทำการศึกษาพบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะมีตระกูลเช่น Au, Pt และ Pd มักจะมีประสิทธิภาพการเร่งปฏิกิริยาที่ดีมากสำหรับการเกิดออกซิเดชันของคาร์บอนมอนอกไซด์อย่างไรก็ตามข้อเสียหรือข้อบกพร่องภายในบางอย่าง เช่น ความพร้อมในการใช้งานที่จำกัด ค่าใช้จ่ายสูง และการเผาไหม้ได้เงื่อนไขการเกิดปฏิกิริยาจริง ตัวเร่งปฏิกิริยาจากคาร์บอนมอนอกไซด์ และคอปเปอร์ได้รับความสนใจอย่างมากในราคาที่ต่ำ และประสิทธิภาพสูง ในหมู่ออกไซด์ผสม CuO-CeO₂ แสดงการเร่งปฏิกิริยา ที่ดีมาก และค่า selectivity สูงกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาหมู่โลหะ Pt/Al₂O₃ ที่อุณหภูมิต่ำ และในการศึกษาเพิ่มเติมได้เปิดเผยว่า Mn-doped CuO-CeO₂ หรือ CeO₂ ที่สนับสนุน Cu-Mn ออกไซด์สามารถปรับปรุงปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยา เนื่องจากการก่อตัวของสารละลายของแข็งที่มั่นคง และผลของการทำงานร่วมกันของ CuO-MnO₂ และ CuO-CeO₂ อย่างไรก็ตามตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นโลหะมักไวต่อการเสื่อมสภาพของไอน้ำ

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 วัสดุอุปกรณ์ เครื่องมือ แก๊ส และสารเคมีที่ใช้ในการวิจัย

3.1.1 สารเคมีที่ใช้ในการวิจัย

1. แมงกานีสทetraไฮดรตเฮกซะไฮเดรต หรือ Manganese (II) Nitrate Hexahydrate ($Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$) น้ำหนักโมเลกุล เท่ากับ 256.40 กรัมต่อโมล
2. อะลูมิเนียมทetraไฮดรตนาโนไฮเดรต หรือ Aluminium (III) Nitrate Nanohydrate ($Al(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$) น้ำหนักโมเลกุล เท่ากับ 375.13 กรัมต่อโมล
3. คอปเปอร์ทetraไฮดรตไตรไฮเดรต หรือ Copper (II) Nitrate Trihydrate ($Cu(NO_3)_2 \cdot 3H_2O$) น้ำหนักโมเลกุล เท่ากับ 241.60 กรัมต่อโมล
4. โซเดียมไฮดรอกไซด์ หรือ Sodium Hydroxide (NaOH) น้ำหนักโมเลกุล เท่ากับ 40.00 กรัมต่อโมล
5. โซเดียมคาร์บอเนต หรือ Sodium Carbonate (Na_2CO_3) น้ำหนักโมเลกุล เท่ากับ 106.00 กรัมต่อโมล
6. ซีเรียมออกไซด์ หรือ Cerium Oxide (CeO_2) น้ำหนักโมเลกุล เท่ากับ 172.225 กรัมต่อโมล

3.1.2 แก๊สที่ใช้ในการวิจัย

1. แก๊สไฮโดรเจน (H_2)
2. แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO)
3. แก๊สออกซิเจน (O_2)
4. แก๊สฮีเลียม (He)

3.1.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

- | | | |
|------------------|--------------|-------|
| 1. ปีกเกอร์ | ขนาด 25 ml | 2 ใบ |
| 2. ปีกเกอร์ | ขนาด 200 ml | 1 ใบ |
| 3. ปีกเกอร์ | ขนาด 1000 ml | 1 ใบ |
| 4. ขวดวัดปริมาตร | ขนาด 200 ml | 1 ขวด |
| 5. ขวดวัดปริมาตร | ขนาด 250 ml | 1 ขวด |
| 6. แท่งคนสาร | | 1 อัน |

7. ซ้อนตักสาร		1 อัน
8. กระบอกตวง	ขนาด 50 ml	1 ใบ
9. ชามระเหย		1 ใบ
10. กรวย		1 ใบ
11. ครกบดหยาบ		1 ใบ
12. ครกบดละเอียด		1 ใบ
13. ขวดสีชา		6 ขวด
14. กรวยกรองบุชเนอร์		1 อัน
15. ขวดบุชเนอร์		1 ขวด
16. ปีม		1 อัน
17. กระดาษกรอง		
18. กระดาษลิตมัส		

3.1.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยนี้ คือ เครื่องทดสอบการกำจัดแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ แสดงดัง

รูปที่ 8



รูปที่ 8 เครื่องทดสอบการกำจัดคาร์บอนมอนอกไซด์

2. เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (Gas Chromatography) ใช้ในการวิเคราะห์ความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์

3.2 วิธีดำเนินการทดลอง

3.2.1 ขั้นตอนการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา

3.2.1.1 เตรียมสารตั้งต้น ในอัตราส่วนโดยมวล Mn : Al เป็น 3 : 1 และอัตราส่วนโดยมวล Cu : Mn เป็น 3 : 1

- i. ชั่งแมงกานีสไนเตรต
- ii. ชั่งอะลูมิเนียมไนเตรต
- iii. ชั่งคอปเปอร์ไนเตรต
- iv. ละลายด้วยน้ำปราศจากประจุปริมาตร 200 มิลลิลิตร และทำการ stir เป็นเวลา 45 นาที

3.2.1.2 เตรียมสารละลายเบส ในอัตราส่วนโดยมวล OH : Metal เป็น 2.25 : 1 และอัตราส่วนโดยมวล CO_3 : Metal เป็น 0.67 : 1

1. ชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์
2. ชั่งโซเดียมคาร์บอเนต
3. ชั่งซีเรียมออกไซด์
4. ละลายด้วยน้ำปราศจากประจุปริมาตร 200 มิลลิลิตร และทำการ stir เป็นเวลา 15 นาที

3.2.1.3 การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา

1. ทำการหยดสารตั้งต้นตัวเร่งปฏิกิริยาใส่ลงในสารละลายเบส โดยให้สารตั้งต้นตัวเร่งปฏิกิริยาอยู่ในบิวเรต และปล่อยให้สารละลายเบสที่กำลัง stirred อยู่
2. ปิดปากบีกเกอร์เพื่อป้องกันการระเหยและทำการ stir ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 18 ชั่วโมง
3. ทำการกรองด้วย pump suction และล้างด้วยน้ำปราศจากประจุ จนค่า pH ของตัวเร่งปฏิกิริยาใกล้ค่า pH ของน้ำปราศจากประจุ
4. นำตัวเร่งปฏิกิริยาที่ได้ตัดใส่ถ้วยใส่สารโดยแบ่งเป็น 2 ถ้วยในปริมาณเท่ากัน
5. นำไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส 24 ชั่วโมง
6. นำ 1 ถ้วยไปทำการแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง โดยตั้งค่า Heating rate 5 องศาเซลเซียสต่อนาที และรอจนอุณหภูมิลดลงเหลือประมาณ 50 องศาเซลเซียส

7. นำถ้วยออกจากเครื่องแคลไซน์ และนำไปบดให้เป็นผงละเอียด จากนั้นเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง

3.2.2 ขั้นตอนการทดลองการกำจัดแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์

1. นำคอสวูลใส่หลอดรูปตัวยู จากนั้นนำตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมไว้ใส่หลอด
2. นำหลอดที่มีตัวเร่งปฏิกิริยาใส่เครื่อง โดยนำด้านที่มีสารออก
3. เปิดวาล์วของถังฮีเลียม เปิดวาล์วฮีเลียม จากนั้นเปิดสวิตซ์ฮีเลียมตามลำดับ
4. ทำการ Preheat ภายใต้บรรยากาศฮีเลียม ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 40 นาที และเปิดวาล์ว Bypass เพื่อให้ฮีเลียมเข้าหลอดทั้ง 2 วาล์ว
5. ตรวจสอบอัตราการไหลของฮีเลียม ถ้าไม่ไหลให้ปิดและเปิดวาล์วฮีเลียมอีกครั้ง
6. ปิดวาล์ว Bypass ทั้ง 2
7. ทำการ Cool down ภายใต้บรรยากาศฮีเลียม จนถึงอุณหภูมิที่ทำการทดลอง คือ 40 องศาเซลเซียส
8. เปิดวาล์วของถังไฮโดรเจน คาร์บอนมอนอกไซด์ และออกซิเจน
9. ปรับอัตราการไหลของฮีเลียม โดยปรับเป็นโหมด Auto
10. เปิดแก๊ส GC ทั้ง 2 ถัง เปิดเครื่อง GC และเปิดคอมพิวเตอร์สำหรับการวิเคราะห์ตามลำดับ
11. เมื่อเปิดคอมพิวเตอร์แล้ว ทำตามขั้นตอนดังนี้
 - 11.1 เลือกโปรแกรมที่ใช้ในการวิเคราะห์
 - 11.2 เลือก Lab Solution จากนั้นเลือก GC_SPD_PC_Instrument จากนั้นรอเครื่อง 10 นาที
 - 11.3 เลือกวิธีที่ต้องการใช้ โดยเลือก file จากนั้นเลือก open file, GC method และ New shin column ตามลำดับ
 - 11.4 ไปที่ Main จากนั้นไปที่ Real time batch และแก้ไข feed ที่ต้องการ
 - 11.5 การบันทึกข้อมูลให้ไปที่ Setting จากนั้นไปที่ folder จากนั้นเลือกไฟล์ที่ต้องการบันทึก และจากนั้นเลือก OK และ Save ตามลำดับ
12. รอจนกว่าโปรแกรมจะขึ้น Ready จากนั้นจึงกด Run
13. เปิด Heating tape
14. เลือก Start real time batch บนเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์
15. เช็ค่า Standard peak area ของแต่ละค่า โดยการเลือก data analysis เพื่อดูกราฟ ถ้าค่าใกล้กับค่ามาตรฐานให้ทำการทดลองได้เลย แต่ถ้าค่ายังไม่ใกล้เคียงกับค่ามาตรฐานให้ฉีดอีกครั้งจนกว่าค่า peak area จะใกล้เคียงค่า Standard peak area
16. ปิดวาล์ว Bypass ทั้ง 2 วาล์ว และรอจนกว่าอุณหภูมิจะลดลงเป็น 40 องศาเซลเซียส

17. เมื่อถึงอุณหภูมิที่ทำการทดลอง ทำการฉีดสารเข้าเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี ตรวจสอบความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ขาออก โดยกด Start และปรับอุณหภูมิขึ้นครั้งละ 20 องศาเซลเซียส โดยทำการทดลองที่อุณหภูมิ 40, 60, 80, 100, 120, 140, 160, 180 และ 200 องศาเซลเซียสตามลำดับ
18. นำผลการทดลองที่ได้ไปคำนวณ และวิเคราะห์ผลการทดลองต่อไป

บทที่ 4

อภิปรายผลการวิจัย

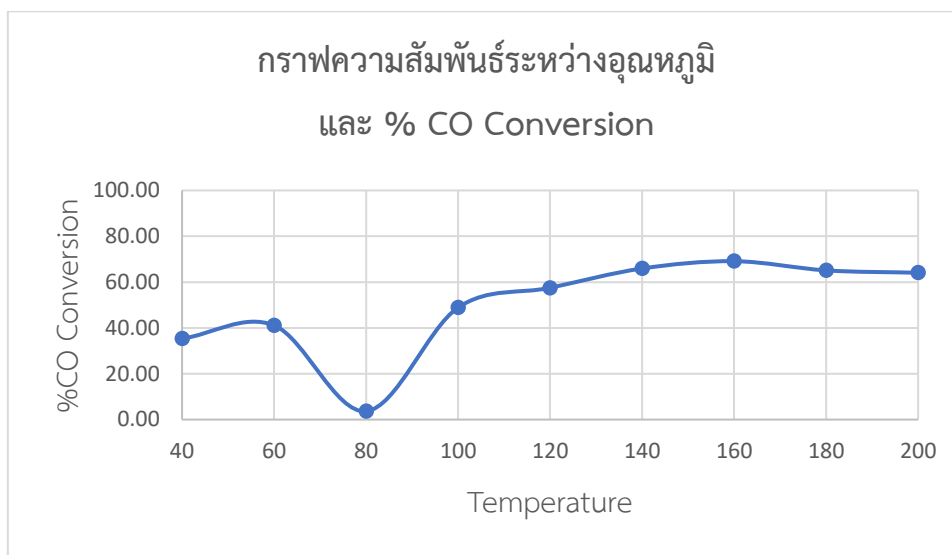
งานวิจัยนี้ทำการศึกษาผลของปฏิกิริยาออกซิเดชันแบบเลือกสรรของคาร์บอนมอนอกไซด์บนตัวเร่งปฏิกิริยา CuMnAl ที่ถูกสังเคราะห์ด้วยวิธีการตกตะกอนร่วม (Co-precipitation) ที่ความเข้มข้นของซีเรียที่แตกต่างกัน โดยศึกษาค่าความเข้มข้นของซีเรียที่ 1% โดยน้ำหนัก, 5% โดยน้ำหนัก และ 10% โดยน้ำหนัก ตามลำดับ โดยจะวิเคราะห์ และเปรียบเทียบค่า %CO Conversion และ O₂ selectivity ในช่วงอุณหภูมิ 40 – 200 องศาเซลเซียส

4.1 ผลของตัวแปรต่อความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน

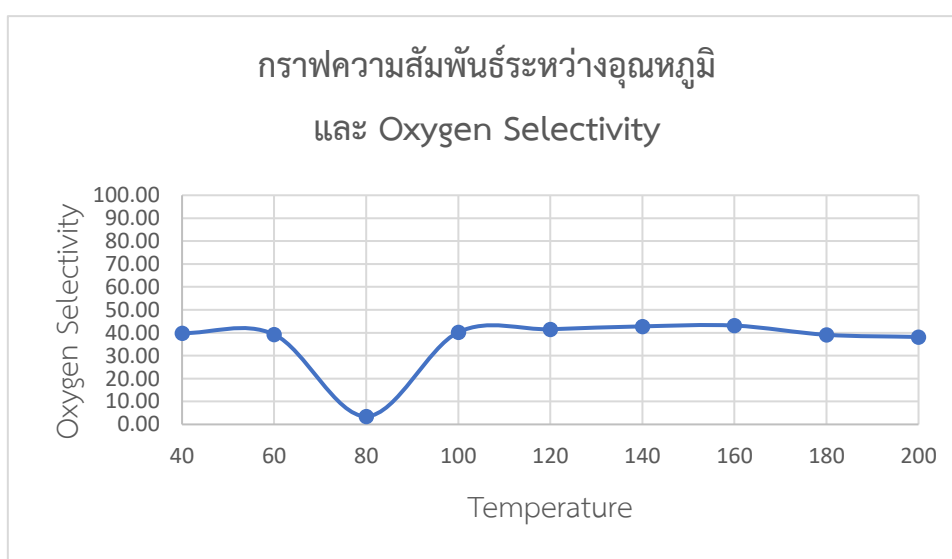
4.1.1 ผลของการเติมซีเรียในตัวเร่งปฏิกิริยา CuMnAl 1% ของน้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยา

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ %CO Conversion และ O₂ Selectivity ของการเติมซีเรีย 1% โดยน้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยา

Temp	%CO conversion	O ₂ selectivity
40	35.30	39.82
60	41.11	39.25
80	3.64	3.53
100	48.87	40.19
120	57.50	41.54
140	65.94	42.79
160	69.13	43.14
180	65.11	39.11
200	64.08	38.17



รูปที่ 9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ และ %CO Conversion ของการเติมซีเรีย 1% โดยน้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยา



รูปที่ 10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ และ O₂ Selectivity ของการเติมซีเรีย 1% โดยน้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยา

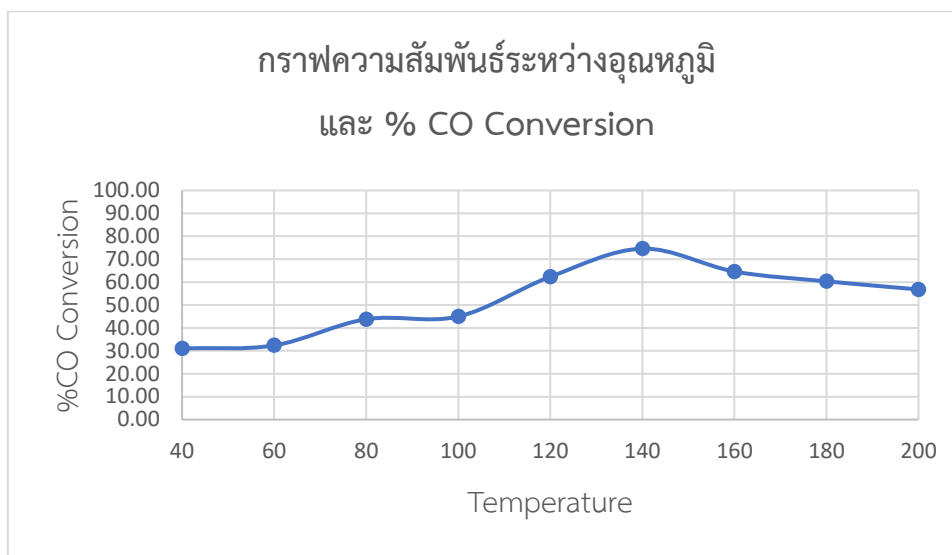
เมื่อทำการวิจัยเพื่อศึกษาผลของการเติมซีเรีย 1% โดยน้ำหนักบนในตัวเร่งปฏิกิริยา CuMnAl ในช่วงอุณหภูมิ 40 – 200 องศาเซลเซียส จากรูปที่ 9 พบว่า %CO Conversion ค่อย ๆ เพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิ แต่ในช่วง 60 – 80 องศาเซลเซียสนั้น กราฟค่อย ๆ ลดต่ำลง หลังจากนั้น ค่า %CO Conversion มีแนวโน้มกลับมาเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิอีกครั้ง และจากรูปที่ 10 จะเห็นได้ว่า ค่า O₂ Selectivity จะคงที่ประมาณ 40% แต่จะมีช่วงอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสที่ค่า O₂ Selectivity ลดลงเช่นเดียวกับค่า %CO Conversion ซึ่งอาจ

มีผลมาจากการที่แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ยังเข้ามาไม่เต็มสายในอุณหภูมิที่ 40 และ 60 องศาเซลเซียส จึงทำให้ทำการพิจารณาผลการทดลองโดยเริ่มที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสแทน

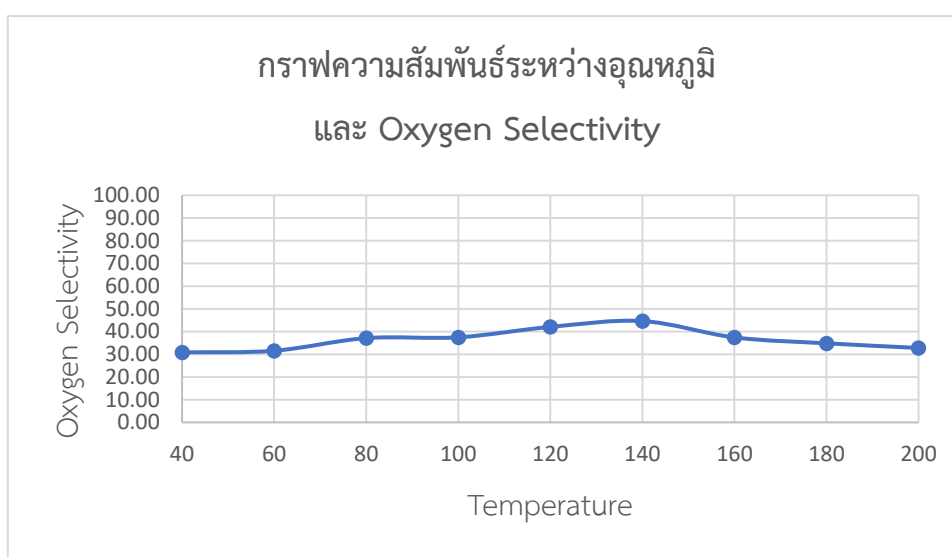
4.1.2 ผลของการเติมซีเรียในตัวเร่งปฏิกิริยา CuMnAl 5% ของน้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยา

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ %CO Conversion และ O₂ Selectivity ของการเติมซีเรีย 5% โดยน้ำหนักบนตัวเร่งปฏิกิริยา

Temp	%CO conversion	O ₂ selectivity
40	31.07	30.83
60	32.37	31.54
80	43.81	37.10
100	44.96	37.47
120	62.33	42.05
140	74.59	44.62
160	64.61	37.42
180	60.34	34.82
200	56.80	32.78



รูปที่ 11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ และ %CO Conversion ของการเติมซีเรีย 5% โดยน้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยา



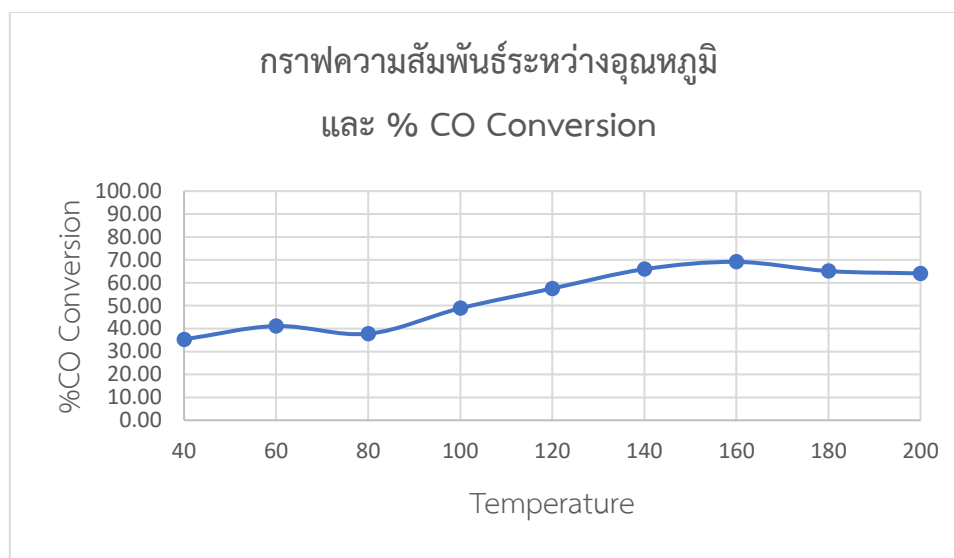
รูปที่ 12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ และ O₂ Selectivity ของการเติมซีเรีย 5% โดยน้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยา

เมื่อทำการวิจัยเพื่อศึกษาผลของการเติมซีเรีย 5% โดยน้ำหนักบนในตัวเร่งปฏิกิริยา CuMnAl ในช่วงอุณหภูมิ 40 – 200 องศาเซลเซียส จากรูปที่ 11 พบว่า %CO Conversion เพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิตั้งแต่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส จนถึงอุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส หลังจากนั้น %CO Conversion มีค่าลดลงเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับช่วงอุณหภูมิ จากรูปที่ 12 จะเห็นได้ว่า ค่า O₂ Selectivity มีทิศทางไปในทางเดียวกับค่า %CO Conversion คือ ค่า O₂ Selectivity จะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิ จนกระทั่งอุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส %CO Conversion จะลดลง ซึ่งอาจมีผลมาจาก ค่า %CO Conversion และ O₂ Selectivity มีผลเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น จนกระทั่งมีค่าสูงสุดที่อุณหภูมิเท่ากับ 140 องศาเซลเซียส และยิ่งเมื่อเพิ่ม

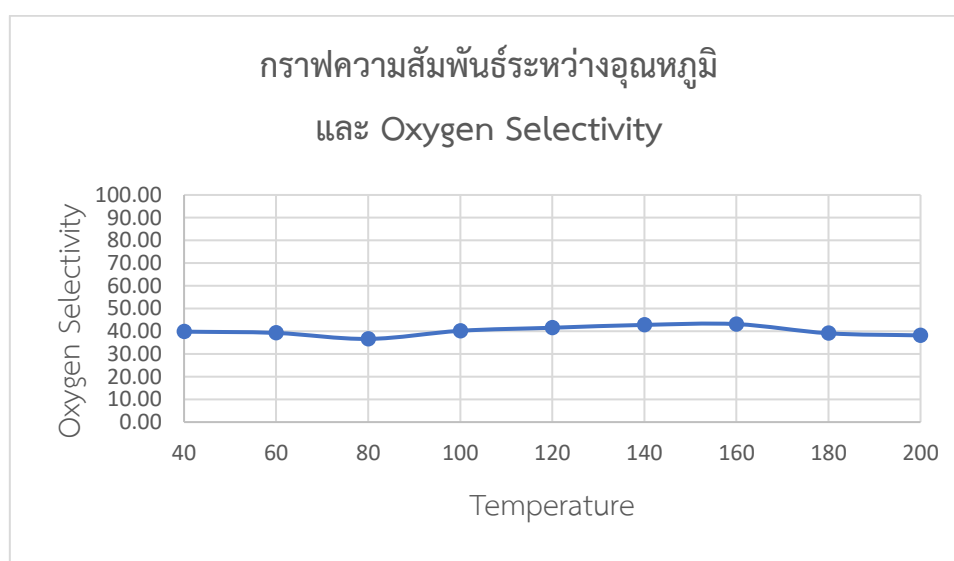
อุณหภูมิทั้งค่า %CO Conversion และ O₂ Selectivity มีค่าลดลงจากการเกาะกลุ่มของตัวเร่งปฏิกิริยา ส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้น้อยลง แสดงให้เห็นว่าการเติมซีเรีย 5% โดยน้ำหนักจะดูดซับแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ได้ดีที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส เนื่องจากอุณหภูมิที่เหมาะสมที่ใช้ในการดูดซับแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์คือ 140 องศาเซลเซียส

4.1.3 ผลของการเติมซีเรียในตัวเร่งปฏิกิริยา CuMnAl 10% ของน้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยา
ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์ %CO Conversion และ O₂ Selectivity ของการเติมซีเรีย 10% โดยน้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยา

Temp	%CO conversion	O2 selectivity
40	35.30	39.82
60	41.11	39.25
80	37.75	36.62
100	48.87	40.19
120	57.50	41.54
140	65.94	42.79
160	69.13	43.14
180	65.11	39.11
200	64.08	38.17



รูปที่ 13 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ และ %CO Conversion ของการเติมซีเรีย 10% โดยน้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยา



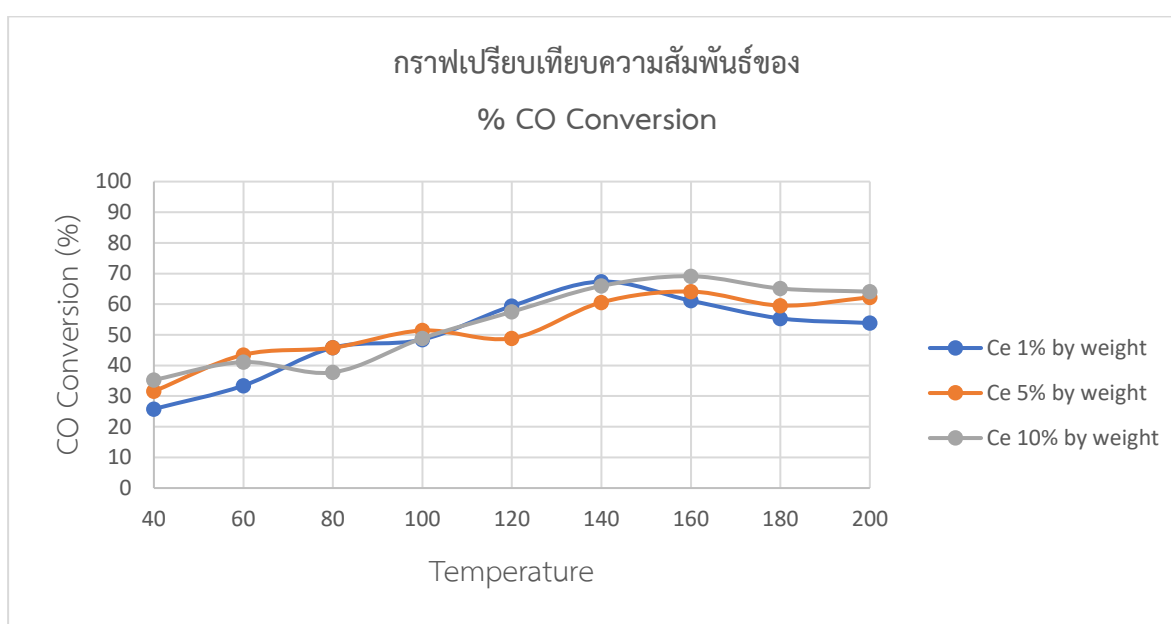
รูปที่ 14 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ และ O₂ Selectivity ของการเติมซีเรีย 10% โดยน้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยา

เมื่อทำการวิจัยเพื่อศึกษาผลของการเติมซีเรีย 10% โดยน้ำหนักบนในตัวเร่งปฏิกิริยา CuMnAl ในช่วงอุณหภูมิ 40 – 200 องศาเซลเซียส จากรูปที่ 13 พบว่า %CO Conversion เพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิ และลดลงหลังจากอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จากนั้น %CO Conversion เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ตามอุณหภูมิ จนกระทั่ง %CO Conversion มีค่าสูงสุดประมาณ 70% ที่อุณหภูมิเท่ากับ 160 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นจะลดลงเรื่อย ๆ จากรูปที่ 14 จะเห็นได้ว่า ค่า O₂ Selectivity จะค่อนข้างคงที่ 40% ตลอดช่วงอุณหภูมิ 40 – 200 องศา

เซลเซียส ซึ่งอาจมีผลมาจาก ค่า %CO Conversion และ O₂ Selectivity มีผลเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเมื่อ อุณหภูมิเพิ่มขึ้น จนกระทั่งมีค่าสูงสุดที่อุณหภูมิเท่ากับ 160 องศาเซลเซียส และยิ่งเมื่อเพิ่มอุณหภูมิทั้งค่า %CO Conversion และ O₂ Selectivity มีค่าลดลงเนื่องจากการเกาะกลุ่มของตัวเร่งปฏิกิริยาที่อุณหภูมิสูง ส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้น้อยลง

4.2 การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์

4.2.1 การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ของ %CO Conversion ของแต่ละเปอร์เซ็นต์น้ำหนักของซีเรียที่เติมบนตัวเร่งปฏิกิริยา

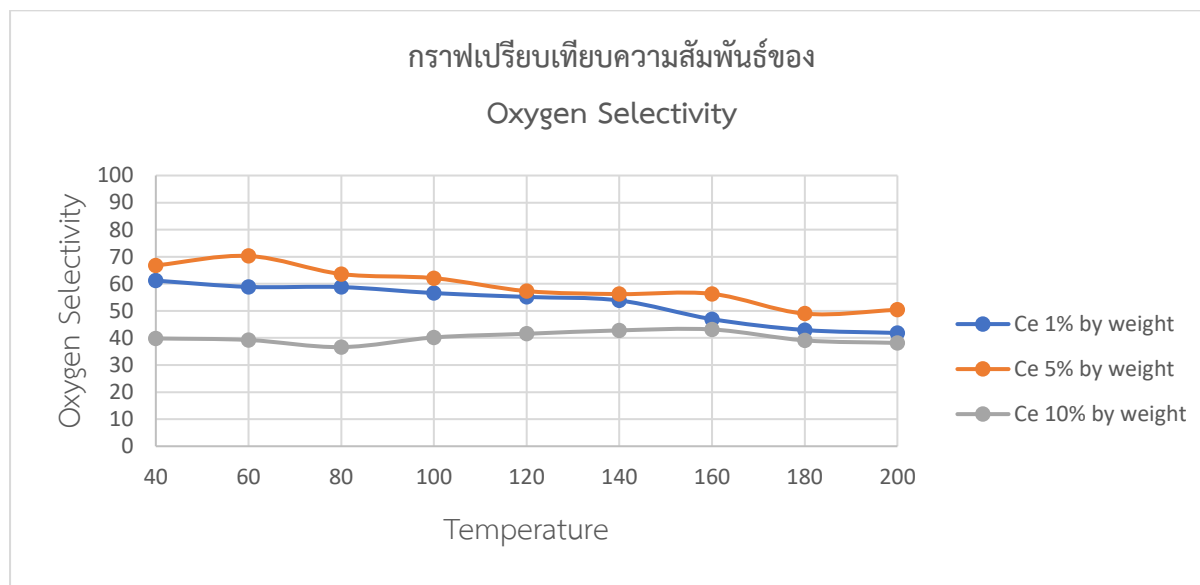


รูปที่ 15 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของ %CO Conversion ของแต่ละเปอร์เซ็นต์น้ำหนักของซีเรียที่เติมบนตัวเร่งปฏิกิริยา

จากรูปที่ 15 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ของ %CO Conversion ของแต่ละเปอร์เซ็นต์น้ำหนักของซีเรียที่เติมบนตัวเร่งปฏิกิริยา จะเห็นได้ว่า ค่าความเข้มข้นของซีเรียที่ 1% โดยน้ำหนัก, 5% โดยน้ำหนัก และ 10% โดยน้ำหนัก มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ความเข้มข้นของซีเรียที่ 1% โดยน้ำหนัก จะมีค่า %CO Conversion สูงสุดที่ประมาณ 68% ที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส และ ความเข้มข้นของซีเรียที่ 5% โดยน้ำหนัก และ 10% โดยน้ำหนัก จะมีค่า %CO Conversion สูงสุดที่ประมาณ 65% และ 70% ตามลำดับที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส ซึ่งจะเห็นได้ว่า %CO Conversion จะดีขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากในสถานะสูง ส่งผลให้เกิดเอื้ออำนวยต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน จากนั้นจะเห็นได้ว่า %CO Conversion จะมีค่าที่ต่ำสุดในช่วงอุณหภูมิหนึ่งเท่านั้น จากนั้น %CO Conversion จะลดลงเนื่องจาก

การเกาะกลุ่มของตัวเร่งปฏิกิริยาในอุณหภูมิสูง ส่งผลให้พื้นที่ในการเกิดปฏิกิริยานั้นน้อยลง ทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้น้อยลงนั่นเอง

4.2.2 การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ของ O₂ Selectivity ของแต่ละเปอร์เซ็นต์น้ำหนักของซีเรียที่เติมบนตัวเร่งปฏิกิริยา



รูปที่ 16 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของ O₂ Selectivity ของแต่ละเปอร์เซ็นต์น้ำหนักของซีเรียที่เติมบนตัวเร่งปฏิกิริยา

จากรูปที่ 16 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ของ O₂ Selectivity ของแต่ละเปอร์เซ็นต์น้ำหนักของซีเรียที่เติมบนตัวเร่งปฏิกิริยา จะเห็นได้ว่า ค่าความเข้มข้นของซีเรียที่ 1% โดยน้ำหนัก, 5% โดยน้ำหนัก และ 10% โดยน้ำหนัก มีแนวโน้มลดลงเรื่อย ๆ ตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ความเข้มข้นของซีเรียที่ 1% โดยน้ำหนัก จะมีค่า O₂ selectivity สูงสุดที่ประมาณ 60% ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นของซีเรียที่ 5% โดยน้ำหนัก จะมีค่า O₂ selectivity สูงสุดที่ประมาณ 70% ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และความเข้มข้นของซีเรียที่ 10% โดยน้ำหนัก จะมีค่า O₂ selectivity สูงสุดที่ประมาณ 42% ที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส จะสังเกตได้ว่าที่ทุกอุณหภูมิ ค่าความเข้มข้นของซีเรียที่ 5% โดยน้ำหนักจะมีค่า O₂ selectivity ที่มากที่สุด และมีค่าความเข้มข้นของซีเรียที่ 10% โดยน้ำหนักจะมีค่า O₂ selectivity น้อยที่สุด จะเห็นได้ว่า O₂ selectivity ค่อนข้างที่จะคงที่เมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป แต่เมื่อถึงช่วงอุณหภูมิค่าหนึ่ง O₂ selectivity จะค่อยๆ ลดลง เนื่องจากผลของปฏิกิริยาออกซิเดชันเกิดขึ้นได้น้อยลง จากการเกาะเป็นกลุ่มก้อนของตัวเร่งปฏิกิริยาในช่วงอุณหภูมิสูง

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

5.1 สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาผลของความเข้มข้นการเติมซีเรียบนตัวเร่งปฏิกิริยา CuMnAl ที่ได้จากการเตรียมจากซีเรียมออกไซด์ โดยศึกษาค่าความเข้มข้นของซีเรียที่ 1% โดยน้ำหนัก, 5% โดยน้ำหนัก และ 10% โดยน้ำหนัก ศึกษาอิทธิพลในด้านบวกของการเติมซีเรียมออกไซด์ ซึ่งทำการทดลองที่อุณหภูมิ 40 ถึง 200 องศาเซลเซียส โดยให้ผลที่ได้คือ Peak area ของสารแต่ละชนิด ซึ่งสามารถนำมาคำนวณหาความเข้มข้น เพื่อไปใช้ในการคำนวณ %CO Conversion และ O₂ selectivity และทำการวิเคราะห์ความเข้มข้นของซีเรียที่เติมบนตัวเร่งปฏิกิริยา CuMnAl และอุณหภูมิที่เหมาะสมที่ใช้ในการกำจัดแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ โดยพบว่า จากการวิเคราะห์ค่า %CO Conversion ของการเติมซีเรีย 10% โดยน้ำหนักที่แต่ละอุณหภูมิโดยส่วนใหญ่มีค่ามากกว่าการเติมซีเรีย 5% และ 10% โดยน้ำหนัก เนื่องจากซีเรียจะทำหน้าที่เป็นตัวกระจายในตัวเร่งปฏิกิริยา ก่อให้เกิดพื้นที่ในการเกิดปฏิกิริยามากขึ้น ดังนั้นเมื่อเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของซีเรียมากขึ้น จะส่งผลให้ค่า %CO Conversion และ O₂ selectivity มากขึ้น นอกจากนี้ผลการวิจัยพบว่า ที่อุณหภูมิประมาณ 110 ถึง 140 องศาเซลเซียส ค่า %CO Conversion ของการเติมซีเรีย 1% โดยน้ำหนัก จะมีค่ามากที่สุด แสดงว่า ช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุด ที่ทำให้คาร์บอนมอนอกไซด์เปลี่ยนเป็นผลิตภัณฑ์ได้มากที่สุดของการเติมซีเรีย 1% โดยน้ำหนัก คืออุณหภูมิประมาณ 110 ถึง 140 องศาเซลเซียส ที่อุณหภูมิ 60 ถึง 100 องศาเซลเซียส ค่า %CO Conversion ของการเติมซีเรีย 5% โดยน้ำหนัก จะมีค่ามากที่สุด แสดงว่าช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุด ที่ทำให้คาร์บอนมอนอกไซด์เปลี่ยนเป็นผลิตภัณฑ์ได้มากที่สุดของการเติมซีเรีย 5% โดยน้ำหนัก คืออุณหภูมิช่วง 60 ถึง 100 องศาเซลเซียส และที่อุณหภูมิที่ 145 ถึง 200 องศาเซลเซียส ค่า %CO Conversion ของการเติมซีเรีย 10% โดยน้ำหนัก จะมีค่ามากที่สุด แสดงว่า ช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุด ที่ทำให้คาร์บอนมอนอกไซด์เปลี่ยนเป็นผลิตภัณฑ์ได้มากที่สุดของการเติมซีเรีย 10% โดยน้ำหนัก คืออุณหภูมิช่วง 145 ถึง 200 องศาเซลเซียส และคาดว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้สูงกว่านี้ %CO Conversion ของการเติมซีเรีย 10% โดยน้ำหนัก ก็จะมีค่ามากที่สุดเช่นกัน และจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดคาร์บอนมอนอกไซด์มากที่สุดคือการเติมซีเรีย 5% โดยน้ำหนักที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส ซึ่งจากความเข้มข้นของซีเรียที่ 1% โดยน้ำหนัก, 5% โดยน้ำหนัก และ 10% โดยน้ำหนัก ค่า %CO Conversion จะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิ แต่เมื่อทุกจุดที่สูงสุด %CO Conversion จะลดต่ำลง เนื่องจากตัวเร่งปฏิกิริยา CuMnAl มีความเหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยาในช่วงอุณหภูมิสูง แต่มีขีดจำกัด คือ เมื่ออุณหภูมิสูงเกินไป อาจเกิดการรวมเป็นกลุ่มก้อน ซึ่งส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาต่ำลง และค่า %CO Conversion ลดลงอีกด้วย

และการวิจัยเปรียบเทียบค่า O_2 selectivity ของการเติมซีเรียความเข้มข้น 1% โดยน้ำหนัก, 5% โดยน้ำหนัก และ 10% โดยน้ำหนัก ที่ทุก ๆ อุณหภูมิ ผลการวิเคราะห์พบว่า O_2 selectivity ของ การเติมซีเรีย 5% โดยน้ำหนัก มีค่ามากกว่าการเติมซีเรีย 1% และ 10% โดยน้ำหนัก เนื่องจากการเติมซีเรีย 5% โดยน้ำหนัก เป็นเปอร์เซ็นต์น้ำหนักของซีเรียที่เหมาะสมที่สุด ในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน จากความเข้มข้นของซีเรียที่ 1% โดยน้ำหนัก, 5% โดยน้ำหนัก และ 10% โดยน้ำหนัก ค่า O_2 selectivity จะมีแนวโน้มคงที่ตลอดช่วงการเปลี่ยนอุณหภูมิ หรือมีการเปลี่ยนที่ค่อนข้างน้อย ซึ่งอาจมีผลจาก อุณหภูมิของปฏิกิริยาที่เพิ่มขึ้น ไม่ค่อยส่งผลโดยตรงต่อค่า O_2 selectivity

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ถ้ามีเวลาในการทดลองมากกว่านี้ ควรทดลองที่อุณหภูมิมากกว่านี้ เพื่อดูแนวโน้มของตัวโปรโมเตอร์ได้มากขึ้น
2. ควรเพิ่มตัวแปรของตัวโปรโมเตอร์ เพื่อหาตัวโปรโมเตอร์ที่ดีที่สุด
3. การวิจัยควรเทียบกับการไม่เติมตัวโปรโมเตอร์ด้วย
4. ควรวิจัยเปรียบเทียบสภาวะที่มีน้ำ และไม่มีน้ำ และสภาวะที่แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และไม่มีคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ข้างเคียงจากปฏิกิริยาด้วย

เอกสารอ้างอิง

- [1] J. Lin, Q. Li, X. Chen, C. Li, S. Lu, K. M. Liew, Sorption-enhanced CO capture over Cu-Mn-Ce composite oxides with LiOH addition: CO oxidation and in-situ CO₂ sorption, *Chemical Engineering Journal* 371 (2019), 267-275.
- [2] S. Monyanon, PREFERENTIAL OXIDATION OF CARBON MONOXIDE IN SYNTHESIS GAS OVER PLATINUM-GOLD CATALYST: A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Science Program in Chemical Technology, Department of Chemical Technology (2005), 11.
- [3] M. Andache, A. N. Kharat and M. Rezaei, Preparation of mesoporous nanocrystalline CuO–ZnO–Al₂O₃ catalysts for the H₂ purification using catalytic preferential oxidation of CO (CO-PROX), *International Journal of Hydrogen Energy* 44 (2019), 27401-27411.
- [4] V.D.B.C. Dasireddy, J. Valand, B. Likozar, PROX reaction of CO in H₂/H₂O/CO₂ Water-Gas shift (WGS) feedstocks over Cu-Mn/Al₂O₃ and Cu-Ni/Al₂O₃ catalysts for fuel cell applications, *Renewable Energy* 116 (2018), 75-87.
- [5] J. Lin, Q. Li, X. Chen, C. Li, S. Lu, K. M. Liew, Sorption-enhanced CO capture over Cu-Mn-Ce composite oxides with LiOH addition: CO oxidation and in-situ CO₂ sorption, *Chemical Engineering Journal* 371 (2019), 267-275.
- [6] T.V. Choudhary, C. Sivadinaryana, C.C. Chusuei, A.K. Datye, J.P. Fackler, J.P. Fackler, D.W. Goodman, CO oxidation on supported nano-Au catalysts synthesized from a [Au₆(PPh₃)₆](BF₄)₂ complex. *Journal of Catalysis* 207 (2002) 247-255.
- [7] N. Satterfield Charles, *Heterogeneous catalysis in practice*, Mcgraw-Hill Book Company, New York, 1980.
- [8] Af. Diwell, RR. Rajaram, HA. Shaw, TJ. Truex, Role of ceria in three-way catalysts, *Studies in Surface Science and Catalysis* 71 (1991), 139-148.
- [9] W. Deng, J.D. Jesus, H. Saltsburg, M. Stephanopoulos-F, Low-content gold-ceria catalysts for the water-gas shift and preferential oxidation reactions, *Applied Catalysis A: General* 291 (2005), 126-135.
- [10] ระบบออกซิเดชันด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาหรือการเผาที่อุณหภูมิต่ำ. [ออนไลน์], แหล่งที่มา http://www.pcd.go.th/info_serv/Datasmell/l4oxidation.htm

ภาคผนวก

ภาคผนวก

1. ค่ามาตรฐานที่ได้จากการทดลองโดยส่วนใหญ่

Composition	Peak area
Hydrogen	726
Oxygen	17377.6
Carbon Monoxide	23935.37
Carbon Dioxide	35512
Air	16129

2. ตัวอย่างการคำนวณ

ตัวอย่างการคำนวณจากการเติมซีเรีย 1% ของน้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยา CuMnAl

ข้อมูลจากการทดลอง

Temp	Peak area			
	H ₂	O ₂	CO	CO ₂
Feed	32839	33754	29321	-
40	33253	24319	18971	8402
60	32663	22605	17266	14256
80	32723	22782	28253	13486
100	32893	20811	14991	16472
120	33185	19019	12461	17517
140	33363	17354	9988	20563
160	32631	16697	9052	22373
180	32527	16033	10229	21955
200	32573	15884	10532	21643