

การศึกษาความเป็นไปได้ในการเกิดปฏิกิริยาอวตอร์แกนิคที่ย้อนกลับจากคาร์บอนไดออกไซด์
และไฮโดรเจนที่ความดันบรรยากาศด้วยรังสีเอกซ์พลังงานต่ำ



นายอภิชาติ เปลี่ยนเจริญ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

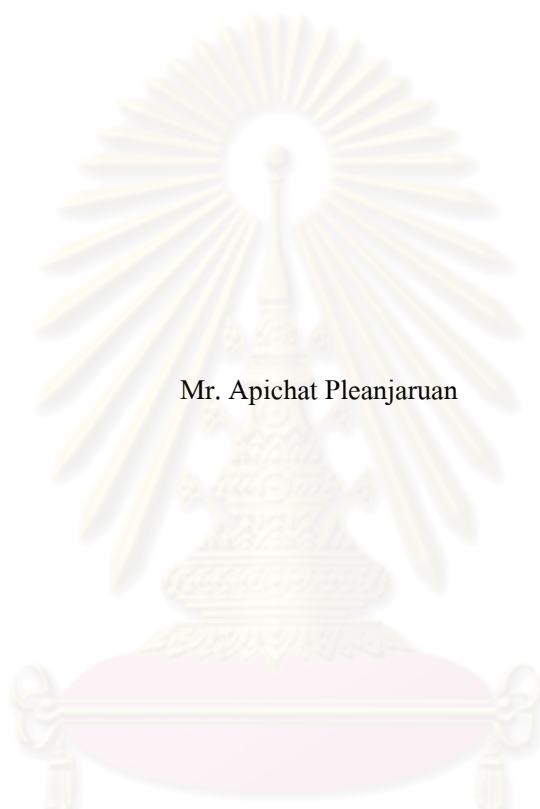
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2551

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

FEASIBILITY STUDY OF REVERSE WATER GAS SHIFT REACTION OCCURRED
FROM CARBON DIOXIDE AND HYDROGEN AT ATMOSPHERIC PRESSURE
WITH SOFT X-RAY

Mr. Apichat Pleanjaruan



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Environmental Engineering

Department of Environmental Engineering

Faculty of Engineering

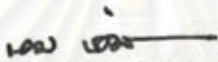
Chulalongkorn University

Academic Year 2008

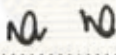
Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาความเป็นไปได้ในการเกิดปฏิกิริยาอวอเดอร์แก๊สซิปต์ย้อนกลับจากคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนที่ความดันบรรยากาศด้วยรังสีเอกซ์พลังงานต่ำ
โดย	นายอภิชาติ เปลี่ยนเจริญ
สาขาวิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศิริมา ปัญญาเมธิกุล
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ประเสริฐ เรียบร้อยเจริญ


คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้แก่นักวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโท


..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร. บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

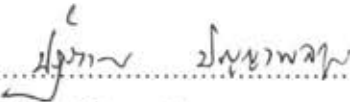
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุธา ขาวเขียว)


..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศิริมา ปัญญาเมธิกุล)


..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ประเสริฐ เรียบร้อยเจริญ)


..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เพ็ญศรี วัฒนชะตา)


..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.ปฏิภาณ ปัญญาผลกุล)

อภิชาติ เปลี่ยนเจริญ : การศึกษาความเป็นไปได้ในการเกิดปฏิกิริยาวอเตอร์แก๊สชิฟต์ย้อนกลับจากคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนที่ความดันบรรยากาศด้วยรังสีเอกซ์พลังงานต่ำ (FEASIBILITY STUDY OF REVERSE WATER GAS SHIFT REACTION OCCURRED FROM CARBON DIOXIDE AND HYDROGEN AT ATMOSPHERIC PRESSURE WITH SOFT X-RAY) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ผศ. ดร. สิริมา ปัญญาเมธิกุล, อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ผศ. ดร. ประเสริฐ เรียบร้อยเจริญ, 86 หน้า

การศึกษาความเป็นไปได้ในการเกิดปฏิกิริยาวอเตอร์แก๊สชิฟต์ย้อนกลับจากคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนที่ความดันบรรยากาศด้วยรังสีเอกซ์พลังงานต่ำ โดยในการทดลองให้คาร์บอนไดออกไซด์ผสมกับไฮโดรเจนในอัตราส่วน 1 : 3 ไหลผ่านเครื่องปฏิกรณ์ที่อัตราการไหล 20 มิลลิลิตรต่อนาที ซึ่งภายในบรรจุตัวเร่งปฏิกิริยากอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ในปริมาณระหว่าง 2-5 กรัม และทำการยิงรังสีเอกซ์พลังงานต่ำอยู่ในช่วง 3.5-9 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ ที่อุณหภูมิต่างๆ ในช่วง 25–200 องศาเซลเซียส โดยศึกษาถึงผลของรังสีเอกซ์พลังงานต่ำและอุณหภูมิที่มีต่อการเกิดปฏิกิริยาวอเตอร์แก๊สชิฟต์ย้อนกลับ

ผลการศึกษาพบว่า รังสีเอกซ์พลังงานต่ำมีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาวอเตอร์แก๊สชิฟต์ย้อนกลับจากคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจน โดยให้ค่าแปรสภาพของคาร์บอนไดออกไซด์สูงสุดร้อยละ 63.64 ซึ่งมีความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 9.09 ที่ภาวะอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส และตัวเร่งปฏิกิริยากอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ 5 กรัม สำหรับการแปรสภาพไฮโดรเจนนั้นพบว่า มีค่าสูงสุดร้อยละ 68.82 ซึ่งมีความเข้มข้นไฮโดรเจนร้อยละ 23.38 ที่ภาวะในการทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และตัวเร่งปฏิกิริยากอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ 5 กรัม นอกจากนั้นยังพบว่าที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และตัวเร่งปฏิกิริยากอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ 4 กรัม ให้ค่าความเลือกจำเพาะของคาร์บอนมอนอกไซด์สูงสุด โดยมีค่าร้อยละ 40.65 และมีความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์ร้อยละ 5.73

ภาควิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม	ลายมือชื่อนิสิต.....
สาขาวิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม	ลายมือชื่อ อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....
ปีการศึกษา	2551	ลายมือชื่อ อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม.....

##4970680121 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING

KEYWORD : REVERSE WATER GAS SHIFT REACTION/ SOFT X-RAY

APICHA PLEANJARUAN : FEASIBILITY STUDY OF REVERSE WATER GAS SHIFT REACTION OCCURED FROM CARBON DIOXIDE AND HYDROGEN AT ATMOSPHERIC PRESSURE WITH SOFT X-RAY. THESIS PRINCIPAL ADVISOR : ASST. PROF. SIRIMA PANYAMETHEEKUL, Ph.D., THESIS CO-ADVISOR : ASST. PROF. PRASERT REUBROYCHAROEN, Ph.D., 86 pp.

This research aims to study the feasibility of reverse water gas shift reaction occurred from CO_2 and H_2 at atmospheric pressure with soft X-ray. The gas mixture of CO_2 and H_2 at molar ratio of 1 : 3 was selected as a standard reactant gas which was fed at flow rate of 20 mL/min through the catalyst bed. The Cu/ZnO catalyst (2-5 gram) was selected at a reference catalyst and fixed in the flow type fixed-bed reactor equipped with the soft X-ray generator. The soft X-ray at activation energy of 3.5-9 keV was generated to examine its effect on the reaction. The effect of reaction temperature (25-200°C) was also investigated in this study.

The results showed that the applied soft X-ray had an effect on the reverse water gas shift reaction of CO_2 and H_2 . The highest CO_2 conversion at 63.64% was obtained with CO_2 concentration of 9.09 % at reaction temperature of 100°C and 5 gram of Cu/ZnO catalyst. The highest H_2 conversion was at 68.82 % with the H_2 concentration of 23.38 % when the reaction was performed at 25°C and Cu/ZnO catalyst of 5 gram. Moreover, the reaction at 25°C with Cu/ZnO catalyst of 4 gram gave the highest CO selectivity of 40.65% with CO concentration of 5.73% when performed at 25°C with Cu/ZnO catalyst of 4 gram.

Department : Environmental Engineering

Field of Study : Environmental Engineering

Academic Year :2008

Student's Signature :

Advisor's Signature :

Co-Advisor's Signature :

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศิริมา ปัญญาเมธีกุล และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ประเสริฐ เรียบร้อยเจริญ ที่ได้ให้คำแนะนำข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่ง รวมถึงแนวทางในการแก้ปัญหาต่างๆ ตลอดระยะเวลาในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร. สุชา ขาวเขียว ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เพ็ญศรี วัจฉลัญญา อาจารย์ ดร.ปฎิภาณ ปัญญาพลกุล ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งแก่ผู้ทำวิทยานิพนธ์และตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทุกท่านที่กรุณาอบรมสั่งสอนและถ่ายทอดความรู้แก่ผู้ทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน โดยได้รับการสนับสนุนจากกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานที่สนับสนุนเงินทุนเพื่อใช้ในการวิจัย

ขอขอบพระคุณบิดามารดาและครอบครัวที่ให้ความรักกำลังใจและให้ความช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์ตลอดมาจนประสบความสำเร็จ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฌ
สารบัญภาพ.....	ญ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 คุณสมบัติของแก๊ส.....	3
2.2 ปฏิกริยาออกเตอรแก๊สซิฟิเคชันกลับ.....	4
2.3 การสังเคราะห์เมทานอล.....	5
2.4 ตัวเร่งปฏิกริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์.....	8
2.5 รังสีเอกซ์พลังงานต่ำ.....	11
2.6 ทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	12
บทที่ 3 แผนการทดลองและวิธีดำเนินการวิจัย.....	18
3.1 วัสดุอุปกรณ์และสารเคมี.....	18
3.2 การเตรียมตัวเร่งปฏิกริยา.....	19
3.3 แผนการทดลอง.....	21
3.4 พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์.....	27
3.5 การคำนวณ.....	28
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	30
4.1 การแปรสภาพคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนด้วยรังสีเอกซ์พลังงานต่ำที่ ปริมาณตัวเร่งปฏิกริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ 0 กรัม และอุณหภูมิในช่วง 25-200 องศาเซลเซียส.....	30

	หน้า
4.2 การแปรสภาพคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนด้วยรังสีเอกซ์พลังงานต่ำที่ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ 2 กรัม และอุณหภูมิในช่วง 25-200 องศาเซลเซียส.....	34
4.3 การแปรสภาพคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนด้วยรังสีเอกซ์พลังงานต่ำที่ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ 3 กรัม และอุณหภูมิในช่วง 25-200 องศาเซลเซียส.....	38
4.4 การแปรสภาพคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนด้วยรังสีเอกซ์พลังงานต่ำที่ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ 4 กรัม และอุณหภูมิในช่วง 25-200 องศาเซลเซียส.....	42
4.5 การแปรสภาพคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนด้วยรังสีเอกซ์พลังงานต่ำที่ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ 5 กรัม และอุณหภูมิในช่วง 25-200 องศาเซลเซียส.....	46
4.6 การแปรสภาพคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนต่ำที่ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาคอป เปอร์ซิงค์ออกไซด์ 2 กรัม และอุณหภูมิในช่วง 25-200 องศาเซลเซียส.....	50
4.7 การวิเคราะห์ค่าทางสถิติ.....	54
บทที่ 5 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	68
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	68
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	70
รายการอ้างอิง.....	71
ภาคผนวก.....	73
ภาคผนวก ก ผลการทดลอง.....	74
ภาคผนวก ข ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ.....	78
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	82

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และแก๊สไฮโดรเจน.....	3
ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติของคอปเปอร์และซิงค์ในการดูดซับแก๊ส.....	8
ตารางที่ 2.3 อัตราส่วน โมลของคอปเปอร์ต่อซิงค์และ โครงสร้างในวิธีการตกตะกอนร่วมกันที่ อุณหภูมิ 298 เคลวิน.....	9
ตารางที่ 2.4 อัตราส่วน โมลของคอปเปอร์ต่อซิงค์และ โครงสร้างในวิธีการตกตะกอนร่วมกันที่ อุณหภูมิ 338 เคลวิน.....	9
ตารางที่ 2.5 ค่าเลือกจำเพาะเมทานอลที่เกิดจากโครงสร้างตัวเร่งปฏิกิริยาก่อนการเผา.....	10
ตารางที่ 2.6 พื้นที่ผิวคอปเปอร์และพื้นที่ผิวตัวเร่งปฏิกิริยากอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ในวิธีการ ตกตะกอนร่วมกันที่อุณหภูมิ 338 เคลวิน.....	12
ตารางที่ 3.1 พารามิเตอร์ที่ต้องการวิเคราะห์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์.....	27
ตารางที่ 4.1 ค่าความสัมพันธ์ของการทดลอง.....	67



 ศูนย์วิทยทรัพยากร
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 3.1 วิธีการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา.....	20
รูปที่ 3.2 อุปกรณ์และจุดเก็บแก๊ส.....	27
รูปที่ 4.1 การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลแก๊สที่ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ 0 กรัม.....	30
รูปที่ 4.2 การแปรสภาพคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ 0 กรัม.....	31
รูปที่ 4.3 การแปรสภาพไฮโดรเจนที่ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ 0 กรัม.....	32
รูปที่ 4.4 การผลิตคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ 0 กรัม.....	33
รูปที่ 4.5 การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลแก๊สที่ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ 2 กรัม.....	34
รูปที่ 4.6 การแปรสภาพคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ 2 กรัม.....	35
รูปที่ 4.7 การแปรสภาพไฮโดรเจนที่ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ 2 กรัม.....	36
รูปที่ 4.8 การผลิตคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ 2 กรัม.....	37
รูปที่ 4.9 การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลแก๊สที่ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ 3 กรัม.....	38
รูปที่ 4.10 การแปรสภาพคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ 3 กรัม.....	39
รูปที่ 4.11 การแปรสภาพไฮโดรเจนที่ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ 3 กรัม.....	40
รูปที่ 4.12 การผลิตคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ 3 กรัม.....	41
รูปที่ 4.11 การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลแก๊สที่ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ 4 กรัม.....	42
รูปที่ 4.12 การแปรสภาพคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ 4 กรัม.....	43
รูปที่ 4.13 การแปรสภาพไฮโดรเจนที่ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ 4 กรัม.....	44
รูปที่ 4.14 การผลิตคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ 4 กรัม.....	45

รูปที่ 4.15 การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลแก๊สที่ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ 46 5 กรัม.....	46
รูปที่ 4.16 การแปรสภาพคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ 47 5 กรัม.....	47
รูปที่ 4.17 การแปรสภาพไฮโดรเจนที่ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ 5 กรัม.....	48
รูปที่ 4.18 การผลิตคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ 5 กรัม.....	49
รูปที่ 4.19 การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลแก๊สที่ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ 50 2 กรัม.....	50
รูปที่ 4.20 การแปรสภาพคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ 51 2 กรัม.....	51
รูปที่ 4.21 การแปรสภาพไฮโดรเจนที่ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ 2 กรัม.....	52
รูปที่ 4.22 การผลิตคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ 2 กรัม.....	53

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันปัญหาที่ทุกภาคส่วนมีความตระหนักและต้องมีส่วนร่วมในการแก้ไข คือ ปัญหาโลกร้อนและการขาดแคลนพลังงาน โดยที่ภาวะโลกร้อนเกิดจากแก๊สเรือนกระจกที่มีคาร์บอนไดออกไซด์เป็นตัวสำคัญและภาวะขาดแคลนพลังงานก็ส่งผลให้พลังงานมีราคาสูงขึ้นมาก

ประเทศไทยมีการนำเข้าน้ำมันจากต่างประเทศเป็นส่วนใหญ่ เนื่องจากน้ำมันในประเทศมีน้อย แต่ในปัจจุบันน้ำมันราคาสูงขึ้นพลังงานทดแทนจึงเข้ามามีบทบาท โดยมีการใช้กระบวนการบำบัดน้ำเสียและหมักขยะแบบไม่ใช้ออกซิเจนในการผลิตมีเทน รวมทั้งการผลิตเอทานอลจากแป้ง อย่างไรก็ตามกระบวนการดังกล่าวก็ผลิตคาร์บอนไดออกไซด์เช่นกัน ซึ่งคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าจากมีเทน หรือการผลิตแก๊สโซลล์จากเอทานอลจะถูกปล่อยทิ้งหรืออาจมีการนำกลับมาใช้ประโยชน์บ้าง อีกทั้งมีอุตสาหกรรมที่มีผลิตภัณฑ์พลอยได้เป็นคาร์บอนไดออกไซด์จำนวนมาก เช่น โรงแยกแก๊สธรรมชาติ โรงปูนซีเมนต์ โรงไฟฟ้าถ่านหิน ซึ่งคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากอุตสาหกรรมประเภทนี้ จะมีการปล่อยสู่อากาศเกือบทั้งหมดทำให้ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเช่นกัน

การใช้ประโยชน์จากคาร์บอนไดออกไซด์ เช่น ผลิตน้ำแข็งแห้ง ใช้ในการดับเพลิงหรือเก็บรักษาอาหาร มีสัดส่วนน้อยมาก อีกทั้งยังไม่สามารถแก้ปัญหาพลังงานทดแทนในประเทศไทยได้ ดังนั้นถ้าสามารถนำคาร์บอนไดออกไซด์เป็นวัตถุดิบในการสร้างพลังงานทดแทนจะทำให้ได้ประโยชน์ทั้ง 2 ทาง คือ การลดแก๊สเรือนกระจกและเป็นทางเลือกในการใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับพลังงานทดแทน

ปัจจุบันเริ่มมีงานวิจัยที่นำคาร์บอนไดออกไซด์มาสังเคราะห์เป็นเอทานอลและเมทานอล แต่ในประเทศไทยสามารถผลิตเอทานอลได้จากแป้ง ส่วนเมทานอลนั้นต้องนำเข้าจากต่างประเทศทั้งหมด ดังนั้นถ้าสามารถสังเคราะห์เมทานอลจากคาร์บอนไดออกไซด์ได้ นอกจากเป็นการลดการนำเข้าเมทานอล การใช้คาร์บอนไดออกไซด์เป็นสารตั้งต้น ในการสังเคราะห์เมทานอลก็เป็นแนวทางหนึ่งในการลดคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเป็นแก๊สเรือนกระจกดังกล่าวข้างต้น

ในงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาการเกิดปฏิกิริยาอวอเทอร์แก๊สซิฟิเคชันกลับจากคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนที่ความดันบรรยากาศและใช้การยิงรังสีเอกซ์พลังงานต่ำเพื่อช่วยในการแตกตัว ซึ่งเป็นการพัฒนาการสังเคราะห์เมทานอลที่ใช้คาร์บอนไดออกไซด์

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้รังสีเอกซ์พลังงานต่ำช่วยในการเกิดปฏิกิริยาอเนกประสงค์ที่ย้อนกลับจากคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนที่ความดันบรรยากาศ

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการทดลองนำคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนมาสังเคราะห์เป็นเมทานอล โดยใช้รังสีเอกซ์พลังงานต่ำทำปฏิกิริยาที่ความดันบรรยากาศและอุณหภูมิที่จะศึกษาในถังปฏิกิริยา ณ ห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยมีขอบเขตของการวิจัยดังนี้

1 คาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนที่ใช้ในการทดลองเป็นแก๊สที่ปราศจากสิ่งปนเปื้อนและบรรจุในถังปริมาตร 7 ลูกบาศก์เมตร ในอัตราส่วนคาร์บอนไดออกไซด์ต่อไฮโดรเจนเท่ากับ 1 ต่อ 3

2 รังสีเอกซ์พลังงานต่ำที่ใช้ในการทดลองมาจากเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์พลังงานต่ำ (Photoionizer) ที่ความยาวคลื่น 0.13-0.41 นาโนเมตร และให้พลังงาน 3.5-9 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์

3 ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในการทดลอง คือ ตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ (Cu/ZnO) ที่มีอัตราส่วน โมลของคอปเปอร์ต่อซิงค์เท่ากับ 50/50

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1 สามารถสังเคราะห์คาร์บอนมอนอกไซด์จากคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจน
- 2 เป็นการพัฒนาอุตสาหกรรมการสังเคราะห์เมทานอลจากคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจน เพื่อลดปัญหาภาวะโลกร้อนและภาวะขาดแคลนพลังงาน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 คุณสมบัติของแก๊ส

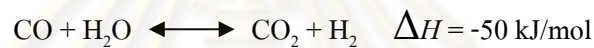
คาร์บอนไดออกไซด์สามารถถูกกระตุ้นได้ที่ความยาวคลื่น 90.0198 นาโนเมตร ส่วนไฮโดรเจนสามารถถูกกระตุ้นได้ที่ความยาวคลื่น 80.3739 นาโนเมตร รวมทั้งยังมีคุณสมบัติอื่นของคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจน ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และแก๊สไฮโดรเจน (Lide, 2008)

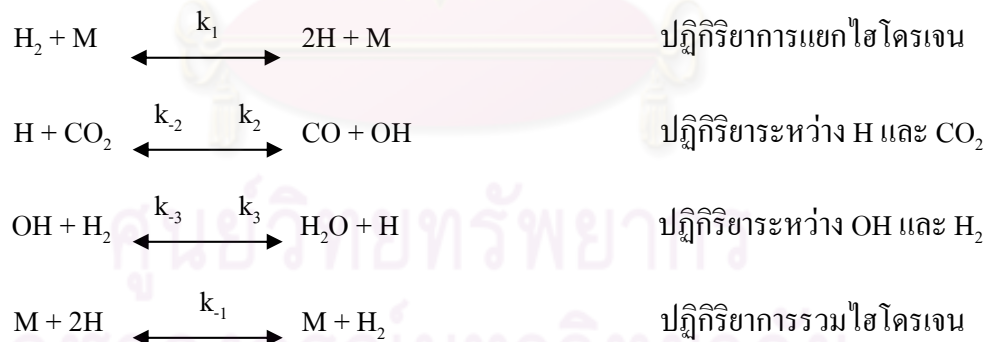
คุณสมบัติ \ แก๊ส	คาร์บอนไดออกไซด์	ไฮโดรเจน
สูตรโมเลกุล	CO ₂	H ₂
น้ำหนักโมเลกุล (กรัมต่อโมล)	44.010	2.016
ลักษณะทางกายภาพ	ไม่มีสี	ไม่มีสีและติดไฟ
จุดหลอมเหลว (องศาเซลเซียส)	-56.558	-259.198
จุดเดือด (องศาเซลเซียส)	-78.464	-252.762
ความยาวพันธะ (อังสตรอม)	1.1600	0.7414
พลังงานไอออไนเซชัน (อิเล็กตรอน โวลต์)	13.773 ± 0.002	15.42593 ± 0.00005
เอนทัลปี (กิโลจูลต่อโมล)	935	1,488

2.2 ปฏิกริยาอวเตอร้แก๊สซฟต์ย้อนกลับ

ปฏิกริยาอวเตอร้แก๊สซฟต์เป็นปฏิกริยาในการการผลิตไฮโดรเจนของกระบวนการอุตสาหกรรม เช่น การเปลี่ยนไอน้ของแก๊สธรรมชาติ หรือการแปรสภาพเป็นแก๊ส (Gasification) ของวัตถุที่มีคาร์บอนเป็นส่วนประกอบหลัก อีกทั้งกระบวนการในการเผาไหม้ของแก๊สธรรมชาติ ถ่านหิน ชีวมวลและปิโตรเลียมที่ใช้อุณหภูมิสูงจะทำให้เกิดแก๊สสังเคราะห์ (Syngas) ที่มีไฮโดรเจนและคาร์บอนมอนอกไซด์เป็นส่วนประกอบ โดยปฏิกริยาอวเตอร้แก๊สซฟต์จะเปลี่ยนคาร์บอนมอนอกไซด์เป็นคาร์บอนไดออกไซด์และทำให้ไฮโดรเจนเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเพิ่มไอน้เข้าไปในแก๊สสังเคราะห์ของไฮโดรเจนและคาร์บอนมอนอกไซด์ ซึ่งปฏิกริยาอวเตอร้แก๊สซฟต์สามารถเกิดขึ้นได้ที่อุณหภูมิต่ำกับตัวเร่งปฏิกริยา หรือที่อุณหภูมิสูงก็ไม่จำเป็นต้องมีเร่งปฏิกริยา (Bustamante *et al.*, 2004)



ปฏิกริยาอวเตอร้แก๊สซฟต์ย้อนกลับสามารถเกิดขึ้นได้ที่อุณหภูมิสูงและความดันบรรยากาศ โดยที่ไม่ต้องการเร่งปฏิกริยาในกระบวนการ (Bustamante *et al.*, 2004)



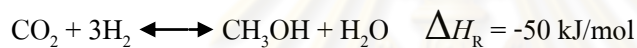
2.3 การสังเคราะห์เมทานอล

ได้เริ่มมีการสังเคราะห์เมทานอลขึ้นในปี ค.ศ. 1920 จากคาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรเจนที่ความดัน 250-350 บาร์ และอุณหภูมิ 350-400 องศาเซลเซียส ร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยาซิงค์ออกไซด์โครมออกไซด์ (ZnO/Cr_2O_3)



(Methanol)

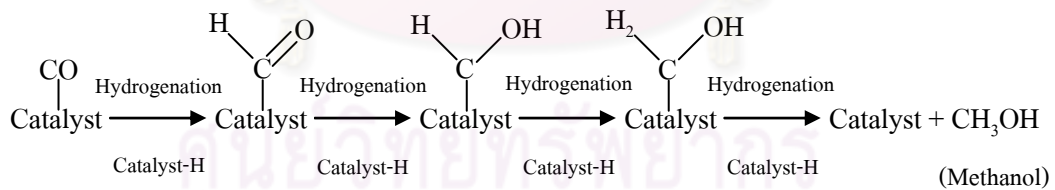
ต่อมาในปี ค.ศ. 1960 ได้มีการพัฒนากระบวนการสังเคราะห์เมทานอลที่ความดัน 50-100 บาร์ และอุณหภูมิต่ำกว่า 350 องศาเซลเซียส ร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยาโคปเปอร์ โดยได้มีการใช้คาร์บอนไดออกไซด์เข้ามาช่วยในการสังเคราะห์เมทานอล



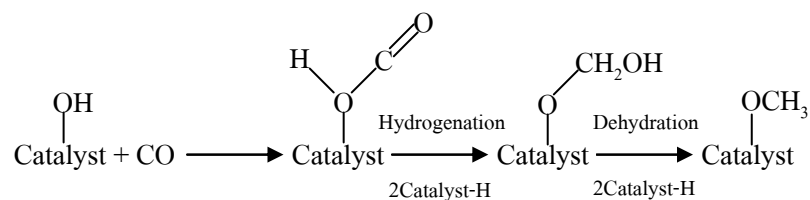
(Methanol)

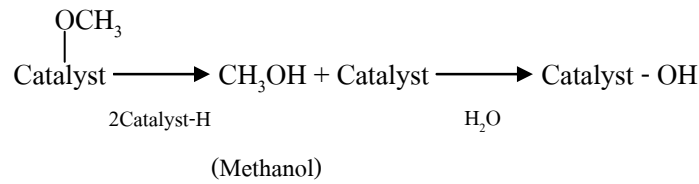
การสังเคราะห์เมทานอลจะเกิดขึ้น 2 วิธี คือ

1. ตัวเร่งปฏิกิริยาคูดซั้บคาร์บอนมอนอกไซด์ที่พื้นผิวร่วมกับไฮโดรเจนทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชัน (Hydrogenation) สังเคราะห์เป็นเมทานอล



2. ตัวเร่งปฏิกิริยาคูดซั้บคาร์บอนมอนอกไซด์ที่พื้นผิว ที่มีไฮดรอกไซด์ (Hydroxide) ทำให้เกิดเป็นฟอร์มेट (Formate) ต่อมาเกิดปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชันและปฏิกิริยาดิไฮเดรชัน (Dehydration) ทำให้เกิดเป็นเมทอกซิล (Methoxyl) จากนั้นสังเคราะห์เป็นเมทานอล

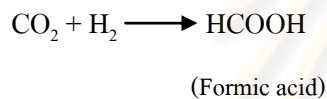




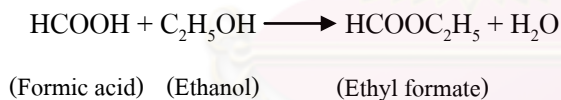
ในวิธีการสังเคราะห์เมทานอลต้องมีตัวกลางในการจับกับออกซิเจน รวมทั้งตัวเร่งปฏิกิริยา ต้องมีส่วนประกอบซิงค์ออกไซด์ นอกจากนั้นยังต้องมีคอปเปอร์ที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรจิเนชัน (Hagen, 2006)

ในปี ค.ศ. 1999 ได้มีการสังเคราะห์เมทานอลจากคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนผ่านกระบวนการสร้างฟอร์มิกเอสเทอร์ (Formic ester) ที่มีการใช้เอทานอลสนับสนุนตัวเร่งปฏิกิริยา คอปเปอร์โครเมียมออกไซด์ (Cu-Cr-O) โดยทำการสังเคราะห์เมทานอลผ่าน 3 ขั้นตอนดังนี้

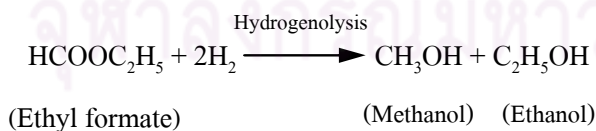
1. คาร์บอนไดออกไซด์รวมตัวกับไฮโดรเจนเปลี่ยนไปเป็นกรดฟอร์มิก (Formic acid)



2. กรดฟอร์มิกทำปฏิกิริยากับเอทานอลเปลี่ยนไปเป็นเอทิลฟอร์มेट (Ethyl formate)

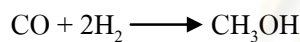
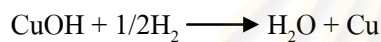
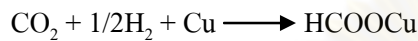
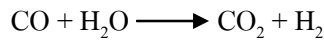


3. เอทิลฟอร์มेटเกิดปฏิกิริยาไฮโดรจิโนไลซิส (Hydrogenolysis) เปลี่ยนไปเป็นเมทานอลและเอทานอล



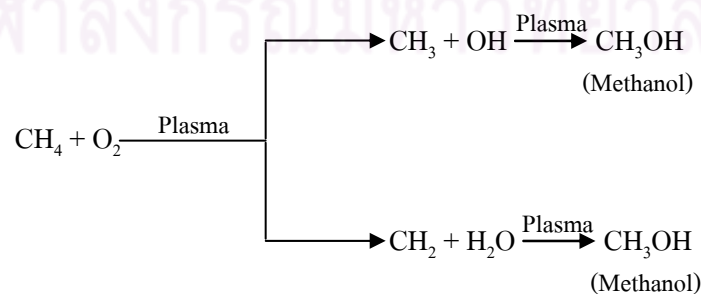
ในการใช้เอทานอลสนับสนุนตัวเร่งปฏิกิริยา คอปเปอร์โครเมียมออกไซด์ทำให้เกิดปฏิกิริยาในการสังเคราะห์เมทานอลเร็วขึ้น อีกทั้งยังทำให้มีการใช้อุณหภูมิและความดันที่ต่ำ โดยใช้อุณหภูมิ 430 เคลวิน และความดัน 50 บาร์ (Fan *et al.*, 1999)

ในปี ค.ศ. 2004 ได้มีการนำวิธีการการสังเคราะห์มีทานอลจากคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนผ่านกระบวนการสร้างฟอร์มิกเอสเทอร์ที่มีการใช้เอทานอลสนับสนุนตัวเร่งปฏิกิริยา คอปเปอร์โครเมียมออกไซด์มาใช้ในกระบวนการสังเคราะห์มีทานอลจากคาร์บอนมอนอกไซด์ คาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนที่มีการใช้แอลกอฮอล์สนับสนุนตัวเร่งปฏิกิริยา คอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ มีปฏิกิริยาดังนี้



ในการใช้แอลกอฮอล์สนับสนุนตัวเร่งปฏิกิริยา คอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ทำให้มีการใช้อุณหภูมิและความดันที่ต่ำ โดยใช้อุณหภูมิ 423-443 เคลวิน และความดัน 30-50 บาร์ (Reubroycharoen *et al.*, 2004)

อย่างไรก็ตามการสังเคราะห์มีทานอลดังกล่าวข้างต้น ยังทำการลดอุณหภูมิและความดันที่ใช้ได้ไม่มากนัก จึงได้มีการใช้ปฏิกิริยาพลาสมา (Plasma) เข้ามาช่วยในการสังเคราะห์มีทานอลจากมีเทน (Methane) และออกซิเจนร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยา คอปเปอร์ซิงค์อะลูมิเนียม (Cu-Zn-Al) ทำให้เกิดปฏิกิริยาดังนี้



ในการใช้ปฏิกิริยาพลาสมาข้างต้นร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยา คอปเปอร์ซิงค์อะลูมิเนียมทำให้การสังเคราะห์มีทานอลเกิดได้ที่อุณหภูมิห้องและความดันบรรยากาศ (Indarto *et al.*, 2006)

2.4 ตัวเร่งปฏิกิริยากอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์

การเกิดปฏิกิริยาอวอเตอร์แก๊สซิงค์ย้อนกลับจากคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนต้องมีการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาช่วยในการแปรสภาพคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนไปเป็นคาร์บอนมอนอกไซด์และน้ำ โดยที่ตัวเร่งปฏิกิริยาที่นิยมใช้ คือ ตัวเร่งปฏิกิริยากอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ (Fujita *et al.*, 2001)

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติของคอปเปอร์และซิงค์ในการดูดซับแก๊ส (Hagen, 2006)

แก๊ส \ โลหะ	คอปเปอร์	ซิงค์
ออกซิเจน (O ₂)	ดูดซับดี	ดูดซับดี
อะเซทิลีน (C ₂ H ₂)	ดูดซับดี	ไม่ดูดซับ
เอทิลีน (C ₂ H ₄)	ดูดซับดี	ไม่ดูดซับ
คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO)	ดูดซับดี	ไม่ดูดซับ
ไฮโดรเจน (H ₂)	ดูดซับดี	ไม่ดูดซับ
คาร์บอนไดออกไซด์ (CO ₂)	ดูดซับปานกลาง	ไม่ดูดซับ
ไนโตรเจน (N ₂)	ไม่ดูดซับ	ไม่ดูดซับ

ในอัตราส่วนโมลของคอปเปอร์ต่อซิงค์ จะเป็นตัวกำหนดโครงสร้างของตัวเร่งปฏิกิริยากอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ โดยที่โครงสร้างของตัวเร่งปฏิกิริยากอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ก่อนเผาประกอบด้วยโครงสร้างไฮโดรซิงค์ไคต์ (Hydrozincite) โครงสร้างอริคาลไซต์ (Aurichalcite) โครงสร้างมาลาไคต์ (Malachite) โครงสร้างโรแซไซต์ (Rosasite) และโครงสร้างที่ผสมกัน ซึ่งโครงสร้างแต่ละชนิดจะให้ค่าในการเกิดปฏิกิริยา (Activity) ของตัวเร่งปฏิกิริยาไม่เท่ากัน รวมทั้งค่า

เลือกจำเพาะ (Selectivity) เมทานอลด้วย โครงสร้างต่างๆเกิดจากวิธีในการเตรียม 2 วิธี คือ การตกตะกอนร่วมกันที่อุณหภูมิ 298 เคลวินและการตกตะกอนร่วมกันที่อุณหภูมิ 338 เคลวิน ดังแสดงในตารางที่ 2.3-2.5

ตารางที่ 2.3 อัตราส่วน โมลของคอปเปอร์ต่อซิงค์และโครงสร้างในวิธีการตกตะกอนร่วมกันที่อุณหภูมิ 298 เคลวิน (Fujita *et al.*, 1998)

อัตราส่วนโมลของคอปเปอร์ต่อซิงค์	โครงสร้าง
30/70	มาลาไคต์และไฮโดรซิงไคต์
50/50	มาลาไคต์
70/30	มาลาไคต์

ตารางที่ 2.4 อัตราส่วน โมลของคอปเปอร์ต่อซิงค์และโครงสร้างในวิธีการตกตะกอนร่วมกันที่อุณหภูมิ 338 เคลวิน (Fujita *et al.*, 1998)

อัตราส่วนโมลของคอปเปอร์ต่อซิงค์	โครงสร้าง
30/70	ออริคาลไซต์
50/50	ออริคาลไซต์และมาลาไคต์
70/30	ออริคาลไซต์และมาลาไคต์

ตารางที่ 2.5 ค่าเลือกจำเพาะเมทานอลที่เกิดจากโครงสร้างตัวเร่งปฏิกิริยาก่อนการเผา (Fujita *et al.*, 1998)

อัตราส่วนโมลของคอปเปอร์ต่อซิงค์	โครงสร้าง	ค่าเลือกจำเพาะ (ร้อยละ)
30/70	มาลาไคต์และไฮโดรซิงไคต์	28.7
30/70	ออริคาลไซต์	46.5
50/50	มาลาไคต์	48.6
50/50	ออริคาลไซต์และมาลาไคต์	56.4
50/50	ออริคาลไซต์	57.6
60/40	มาลาไคต์	39.1
60/40	ออริคาลไซต์และมาลาไคต์	55.5
60/40	ออริคาลไซต์และมาลาไคต์	57.4
70/30	มาลาไคต์	46.1
70/30	ออริคาลไซต์และมาลาไคต์	61.3

ตัวเร่งปฏิกิริยากอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ที่มีโครงสร้างออริคาลไซต์เป็นส่วนประกอบจะให้ค่าเลือกจำเพาะเมทานอลสูง (Fujita *et al.*, 1998) รวมทั้งที่อัตราส่วนโมลของคอปเปอร์ต่อซิงค์เท่ากับ 50/50 ในวิธีการตกตะกอนร่วมกันที่อุณหภูมิ 338 เคลวินจะให้ค่าในการเกิดปฏิกิริยาตัวเร่งปฏิกิริยาสูงสุด ดังแสดงในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.6 พื้นที่ผิวคอปเปอร์และพื้นที่ผิวตัวเร่งปฏิกิริยากอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ในวิธีการตกตะกอนร่วมกันที่อุณหภูมิ 338 เคลวิน (Reubroycharoen *et al.*, 2004)

อัตราส่วนโมลของคอปเปอร์ต่อซิงค์	พื้นที่ผิวคอปเปอร์ (ตารางเมตรต่อกรัม)	พื้นที่ผิวตัวเร่งปฏิกิริยา คอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ (ตารางเมตรต่อกรัม)
10/90	3.6	38
30/70	12.2	44
50/50	30.1	60
70/30	16.1	48
90/10	1.46	22

ตัวเร่งปฏิกิริยากอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ที่มีพื้นที่ผิวคอปเปอร์สูงจะทำให้ค่าในการเกิดปฏิกิริยาตัวเร่งปฏิกิริยาสูง (Reubroycharoen *et al.*, 2004)

2.5 รังสีเอกซ์พลังงานต่ำ

รังสีเอกซ์พลังงานต่ำมีความยาวคลื่น 0.13-0.41 นาโนเมตรและให้พลังงาน 3.5-9 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ มีความสามารถที่จะลดส่วนประกอบทางเคมีได้ (Bai *et al.*, 2007) จึงมีการนำรังสีเอกซ์พลังงานต่ำมาใช้ในการแยกสารอินทรีย์ระเหย (Volatile Organic Compound) ออกจากไนโตรเจน โดยที่สารอินทรีย์ระเหยมีค่าพลังงานไอออไนเซชัน 8.82 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์และไนโตรเจนมีค่าพลังงานไอออไนเซชัน 15.58 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ ซึ่งมีประสิทธิภาพในการแยกสารอินทรีย์ระเหยออกจากไนโตรเจนร้อยละ 43 ที่ความเข้มข้นสารอินทรีย์ระเหย 2 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และความต่างศักย์ไฟฟ้า 600 โวลต์ ในอัตราการไหล 1 ลิตรต่อนาที (Ito *et al.*, 2003) แล้วยังได้มีการนำรังสีเอกซ์พลังงานต่ำมาใช้ในการแยกคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากฮีเลียม โดยคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าพลังงานไอออไนเซชัน 13.78 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ และฮีเลียมมีค่าพลังงานไอออไนเซชัน 24.587 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ ซึ่งมีประสิทธิภาพในการแยกคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากฮีเลียมร้อยละ 14 ที่ความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ 4.7 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และความต่าง

ศักย์ไฟฟ้า 600 โวลต์ในอัตราการไหล 1 ลิตรต่อนาที (Ito *et al.*, 2004) อีกทั้งได้มีการนำรังสีเอกซ์พลังงานต่ำมาใช้ในการสลายโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (Polycyclic aromatic hydrocarbon) เมื่อโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนผ่านรังสีเอกซ์พลังงานต่ำเป็นเวลา 0.022-0.067 วินาที ทำให้โพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนมีการสลายร้อยละ 30 ที่อัตราการไหล 90 ลิตรต่อนาที (Bai *et al.*, 2007)

2.6 ทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.6.1 ปฏิริยาอวอเตอร์แก๊สซิฟต์ย้อนกลับ

Choi และคณะ (2001) ศึกษาปฏิริยาอวอเตอร์แก๊สซิฟต์ย้อนกลับจากคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนที่อัตราส่วน 37.5/12.5 ซึ่งมีอัตราการไหล 800 มิลลิลิตรต่อนาที ที่ความดัน 50 บาร์ และอุณหภูมิอยู่ในช่วง 573-723 เคลวิน ร่วมกับตัวเร่งปฏิริยาคอปเปอร์ซิงค์ไดออกไซด์และซิงค์ซิงค์ไดออกไซด์ (Zn/SiO_2) พบว่าที่อุณหภูมิ 573 เคลวิน มีค่าความเข้มข้นของคาร์บอนมอนอกไซด์ร้อยละ 0.5 ที่อุณหภูมิ 623 เคลวิน มีค่าความเข้มข้นของคาร์บอนมอนอกไซด์ร้อยละ 0.55 ที่อุณหภูมิ 673 เคลวิน มีค่าความเข้มข้นของคาร์บอนมอนอกไซด์ร้อยละ 0.6 และที่อุณหภูมิ 723 เคลวิน มีค่าความเข้มข้นของคาร์บอนมอนอกไซด์ร้อยละ 0.65

Fujita และคณะ (2001) ศึกษาปฏิริยาอวอเตอร์แก๊สซิฟต์ย้อนกลับจากคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศและอุณหภูมิ 440 เคลวิน ร่วมกับตัวเร่งปฏิริยาคอปเปอร์ซิงค์ไดออกไซด์ในอัตราส่วนคอปเปอร์ต่อซิงค์เป็น 1/1 โดยทำการทดลองเปรียบเทียบตัวเร่งปฏิริยาคอปเปอร์ซิงค์ ไดออกไซด์ที่เตรียมในวิธีการแตกต่างกัน พบว่าตัวเร่งปฏิริยาคอปเปอร์ซิงค์ไดออกไซด์ในวิธีการผ่านไฮโดรเจนร้อยละ 4 ในฮีเลียมที่อุณหภูมิ 523 เคลวิน มีค่าความเข้มข้นของคาร์บอนมอนอกไซด์ร้อยละ 9.3 และตัวเร่งปฏิริยาคอปเปอร์ซิงค์ไดออกไซด์ในวิธีการผ่านเมทานอลร้อยละ 4 ในฮีเลียมที่อุณหภูมิ 443 เคลวิน มีค่าความเข้มข้นของคาร์บอนมอนอกไซด์ร้อยละ 3.02

Park และคณะ (2001) ศึกษาปฏิริยาอวอเตอร์แก๊สซิฟต์ย้อนกลับจากคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนที่อัตราส่วน 1/3 ในเครื่องปฏิริยาควอตซ์ (Quartz reactor) ที่ความดันบรรยากาศและอุณหภูมิ 700 เคลวิน โดยทำการทดลองเปรียบเทียบตัวเร่งปฏิริยาซิงค์อะลูมิเนียมในอัตราส่วน 1/1 2/1 4/1 2/1 และตัวเร่งปฏิริยาซิงค์ไดออกไซด์ พบว่าตัวเร่งปฏิริยาซิงค์อะลูมิเนียมในอัตราส่วน 1/1 2/1 และ 4/1 ให้ค่าการแปรสภาพ (Conversion) ของคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 65 และตัวเร่ง

ปฏิกิริยาซิงค์อะลูมิเนียมในอัตราส่วน 2/1 ให้ค่าการแปรสภาพของคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 55 ส่วนตัวเร่งปฏิกิริยาซิงค์ออกไซด์ให้ค่าการแปรสภาพของคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 60

Karagiannakis และคณะ (2003) ศึกษาปฏิกิริยาอวเตอร้แก๊สซิฟต์ย้อนกลับจากคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจน ซึ่งมีอัตราการไหลอยู่ในช่วง 20-30 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที ในเครื่องปฏิกรณ์วายเป็นชุดที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศและอุณหภูมิอยู่ในช่วง 873-1023 เคลวิน พบว่าคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนในอัตราส่วน 1/6 ที่อุณหภูมิ 873 เคลวิน จะมีค่าอัตราการเกิดคาร์บอนมอนอกไซด์ 1×10^{-9} โมลต่อวินาที ที่อุณหภูมิ 923 เคลวิน จะมีค่าอัตราการเกิดคาร์บอนมอนอกไซด์ 2×10^{-9} โมลต่อวินาที ที่อุณหภูมิ 973 เคลวิน จะมีค่าอัตราการเกิดคาร์บอนมอนอกไซด์ 4.5×10^{-9} โมลต่อวินาที และที่อุณหภูมิ 1023 เคลวิน จะมีค่าอัตราการเกิดคาร์บอนมอนอกไซด์ 7.5×10^{-9} โมลต่อวินาที ส่วนคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนในอัตราส่วน 1/5 ที่อุณหภูมิ 873 เคลวิน จะมีค่าอัตราการเกิดคาร์บอนมอนอกไซด์ 1×10^{-9} โมลต่อวินาที ที่อุณหภูมิ 923 เคลวิน จะมีค่าอัตราการเกิดคาร์บอนมอนอกไซด์ 2×10^{-9} โมลต่อวินาที ที่อุณหภูมิ 973 เคลวิน จะมีค่าอัตราการเกิดคาร์บอนมอนอกไซด์ 5×10^{-9} โมลต่อวินาที และที่อุณหภูมิ 1023 เคลวิน จะมีค่าอัตราการเกิดคาร์บอนมอนอกไซด์ 8×10^{-9} โมลต่อวินาที

Chen และคณะ (2003) ศึกษาปฏิกิริยาอวเตอร้แก๊สซิฟต์ย้อนกลับจากคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนที่อัตราส่วน 1/1 ซึ่งมีอัตราการไหล 100 มิลลิลิตรต่อนาที ที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศและอุณหภูมิอยู่ในช่วง 500-600 องศาเซลเซียส ร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิลิกาไดออกไซด์ (Cu/SiO_2) พบว่าที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส มีค่าการแปรสภาพของคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 1.8 ที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส มีค่าการแปรสภาพของคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 2.6 และที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส มีค่าการแปรสภาพของคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 5.3

Bustamante และคณะ (2004) ศึกษาปฏิกิริยาอวเตอร้แก๊สซิฟต์ย้อนกลับจากคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนในเครื่องปฏิกรณ์ควอทซ์ (Quartz reactor) และ เครื่องปฏิกรณ์อินโคเนล (Inconel reactor) ที่ทำจากนิกเกิลร้อยละ 72 โครเมียมร้อยละ 17 เหล็กร้อยละ 10 พบว่าเครื่องปฏิกรณ์ควอทซ์ที่ความดันบรรยากาศ อุณหภูมิ 1173 เคลวิน และใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 0.4 วินาที มีค่าการแปรสภาพของคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 0.1 และที่ความดัน 16 บาร์ อุณหภูมิ 1150 เคลวิน และใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 8 วินาที มีค่าการแปรสภาพของคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 10 ส่วนเครื่องปฏิกรณ์อินโคเนลที่ความดันบรรยากาศ อุณหภูมิ 1173 เคลวิน และใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 0.4 วินาที มีค่าการแปรสภาพของคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 40 และที่ความดัน 16

บาร์ อุณหภูมิ 1150 เคลวิน และใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 8 วินาที มีค่าการแปรสภาพของคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 50

Bebelis และคณะ (2008) ศึกษาปฏิกิริยาออกเตอร์แก๊สซิฟต์ย้อนกลับจากคาร์บอนไดออกไซด์ ไฮโดรเจนและไนโตรเจนในอัตราส่วน 21/49/30 ซึ่งมีอัตราการไหลอยู่ในช่วง 103-300 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที ในเครื่องปฏิกรณ์วายเอสแซด (Yttria stabilized zirconia) ที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศและอุณหภูมิในช่วง 490-560 องศาเซลเซียส ร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยาแพลเลเดียมวายเอสแซด (Pd/YSZ) พบว่าที่อุณหภูมิ 490 องศาเซลเซียส จะมีค่าอัตราการเกิดคาร์บอนมอนอกไซด์ 0.2×10^{-8} โมลต่อวินาที ที่อุณหภูมิ 533 องศาเซลเซียส จะมีค่าอัตราการเกิดคาร์บอนมอนอกไซด์ 1.2×10^{-8} โมลต่อวินาที และที่อุณหภูมิ 560 องศาเซลเซียส จะมีค่าอัตราการเกิดคาร์บอนมอนอกไซด์ 1.5×10^{-8} โมลต่อวินาที

Luhui และคณะ (2008) ศึกษาปฏิกิริยาออกเตอร์แก๊สซิฟต์ย้อนกลับจากคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนที่อัตราส่วน 1/1 ซึ่งมีอัตราการไหล 100 มิลลิลิตรต่อนาที ในเครื่องปฏิกรณ์ควอทซ์ที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศและอุณหภูมิในช่วง 400-750 องศาเซลเซียส ร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลซีเรียมออกไซด์ (Ni-CeO_2) พบว่าที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส จะมีค่าความเข้มข้นของคาร์บอนมอนอกไซด์ร้อยละ 7.5 ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส จะมีค่าความเข้มข้นของคาร์บอนมอนอกไซด์ร้อยละ 22.5 ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส จะมีค่าความเข้มข้นของคาร์บอนมอนอกไซด์ร้อยละ 35 ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส จะมีค่าความเข้มข้นของคาร์บอนมอนอกไซด์ร้อยละ 40 และที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส จะมีค่าความเข้มข้นของคาร์บอนมอนอกไซด์ร้อยละ 45

2.6.2 การสังเคราะห์เมทานอล

Fan และคณะ (1999) ศึกษาการสังเคราะห์เมทานอลจากคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนที่อัตราส่วนคาร์บอนไดออกไซด์ต่อไฮโดรเจนเท่ากับ 1/3 โดยใช้เอทานอลเป็นตัวสนับสนุนตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์โครเมียมออกไซด์ที่อุณหภูมิ 443 เคลวินและความดัน 50 บาร์ ซึ่งมี 3 ขั้นตอนในการสังเคราะห์เมทานอลประกอบด้วยคาร์บอนไดออกไซด์รวมตัวกับไฮโดรเจนเปลี่ยนเป็นกรดฟอร์มิก จากนั้นทำปฏิกิริยากับเอทานอลเปลี่ยนเป็นเอทิลฟอร์มเมต ต่อจากนั้นเกิดปฏิกิริยาไฮโดรจีโนไลซิสเปลี่ยนเป็นเมทานอลและเอทานอล พบว่าถ้าไม่มีการเติมเอทานอลในถึงปฏิกิริยาทำให้การสังเคราะห์เมทานอลจากคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนเกิดขึ้นได้ช้ามาก ค่าผลิตภัณฑ์ (Yield) ของการทดลองที่ไม่มีการเติมเอทานอลจะเป็น 1-10 ของที่มีการเติมเอทานอล

เข้าไป รวมทั้งได้ทำการเปรียบเทียบตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์โครเมียมออกไซด์กับตัวเร่งปฏิกิริยา คอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ที่มีการใช้เอทานอลเป็นตัวสนับสนุนตัวเร่งปฏิกิริยาทั้ง 2 ชนิด ซึ่งตัวเร่ง ปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ให้ค่าการแปรสภาพของคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 7.5 และค่า ความเลือกจำเพาะของเมทานอลร้อยละ 73.3 สูงกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์โครเมียมออกไซด์ที่ให้ ค่าการแปรสภาพของคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 5.2 และค่าความเลือกจำเพาะของเมทานอลร้อยละ 59.6

Reubroycharoen และคณะ (2004) ศึกษาการสังเคราะห์เมทานอลจาก คาร์บอนมอนอกไซด์ คาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนที่อัตราส่วนคาร์บอนมอนอกไซด์ต่อ คาร์บอนไดออกไซด์ต่อไฮโดรเจนต่ออาร์กอนเท่ากับ 32/5/60/3 โดยใช้แอลกอฮอล์เป็นตัว สนับสนุนตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ที่อุณหภูมิ 443 เคลวินและความดัน 50 บาร์ พบว่า ที่อัตราส่วนโมลของคอปเปอร์ต่อซิงค์เท่ากับ 50/50 ให้ค่าพื้นที่ผิวคอปเปอร์ 30.1 ตารางเมตร และ ค่าพื้นที่ผิวตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ 60 ตารางเมตร เป็นค่าสูงสุดของอัตราส่วน โมลของคอปเปอร์ต่อซิงค์ รวมทั้งค่าการเกิดปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยาขึ้นอยู่กับชนิดและ โครงสร้างของแอลกอฮอล์ ซึ่งในชนิดของแอลกอฮอล์ทั้งหมดจะมี 2 แอลกอฮอล์ (2-alcohol) ที่จะ ให้ค่าแอกติวิตีของตัวเร่งปฏิกิริยาสูงสุด โดยการใช้แอลกอฮอล์ที่เป็น 2 บิวทานอล (2-butanol) จะมี ค่าการแปรสภาพของคาร์บอนร้อยละ 47 และค่าความเลือกจำเพาะของเมทานอลร้อยละ 98.9

Indarto และคณะ (2006) ศึกษาการสังเคราะห์เมทานอลจากมีเทนและออกซิเจนที่ อัตราส่วนมีเทนต่อออกซิเจนเท่ากับ 4/1 โดยใช้ปฏิกิริยาพลาสมาพร้อมกับตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ ซิงค์อะลูมิเนียมในเครื่องปฏิกรณ์เคมีแบบอิมพีดี (Electric barrier discharge) ที่อุณหภูมิห้องและ ความดันบรรยากาศ พบว่าการมีตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์อะลูมิเนียมในกระบวนการพลาสมา มี ค่าความเลือกจำเพาะของเมทานอลร้อยละ 34.7 สูงกว่าการที่ไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ อะลูมิเนียมในกระบวนการพลาสมาที่มีค่าความเลือกจำเพาะของเมทานอลร้อยละ 3.7 รวมทั้งมีการ เพิ่มโลหะอิตเทรียม (Yttrium) แพลทินัม (Platinum) เหล็ก (Iron) และนิกเกิล (Nickel) บนตัวเร่ง ปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์อะลูมิเนียม โดยที่นิกเกิลให้ค่าความเลือกจำเพาะของเมทานอลลดลงจากร้อย ละ 34.7 เหลือร้อยละ 20.7 เมื่อใส่บนตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์อะลูมิเนียมและเหล็กให้ค่าความ เลือกจำเพาะของเมทานอลลดลงจากร้อยละ 34.7 เหลือร้อยละ 30.3 เมื่อใส่บนตัวเร่งปฏิกิริยา คอปเปอร์ซิงค์อะลูมิเนียม ส่วนแพลทินัมให้ค่าความเลือกจำเพาะของเมทานอลเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 30.4 ไปเป็นร้อยละ 36 เมื่อใส่บนตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์อะลูมิเนียมและอิตเทรียมให้ค่าความ เลือกจำเพาะของเมทานอลเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 30.4 ไปเป็นร้อยละ 41.5 เมื่อใส่บนตัวเร่งปฏิกิริยา คอปเปอร์ซิงค์อะลูมิเนียม

2.6.3 ตัวเร่งปฏิกิริยากอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์

Fujita และคณะ (1998) ศึกษาอัตราส่วน โมลและโครงสร้างตัวเร่งปฏิกิริยากอปเปอร์ต่อซิงค์ออกไซด์ที่ใช้ในการสังเคราะห์เมทานอล โดยกำหนดอัตราส่วน โมลของคอปเปอร์ต่อซิงค์ อยู่ใน ช่วง 30/70 – 70/30 และใช้วิธีในการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยากอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ 2 วิธี คือ การ ตกตะกอนร่วมกันที่อุณหภูมิ 298 เคลวินและการตกตะกอนร่วมกันที่อุณหภูมิ 338 เคลวิน พบว่า ตัวเร่งปฏิกิริยากอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ก่อนการเผาที่มีโครงสร้างออร์คัลไซด์เป็นส่วนประกอบให้ ค่าซีเล็กติวิตีของเมทานอลสูง โดยตัวเร่งปฏิกิริยากอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ก่อนการเผาที่มีโครงสร้าง มาลาไคต์และไฮโดรซิงไคต์ที่อัตราส่วน โมลของคอปเปอร์ต่อซิงค์ 30/70 ให้ค่าความเลือกจำเพาะ ของเมทานอลร้อยละ 28.7 เป็นค่าที่น้อยสุดและตัวเร่งปฏิกิริยากอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ก่อนการเผาที่มี โครงสร้างออร์คัลไซด์และมาลาไคต์ที่อัตราส่วน โมลของคอปเปอร์ต่อซิงค์ 70/30 ให้ค่าความ เลือกจำเพาะของเมทานอลร้อยละ 61.3 เป็นค่าที่มากที่สุด

2.6.4 รังสีเอกซ์พลังงานต่ำ

Ito และคณะ (2003) ศึกษาการใช้รังสีเอกซ์พลังงานต่ำที่มีความยาวคลื่น 0.13-0.41 นาโน เมตร และให้พลังงาน 3.0-9.5 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ เปรียบเทียบกับรังสีแอลฟาในการแยก สารอินทรีย์ระเหยที่เป็นโทลูอิน (Toluene) มีค่าพลังงานไอออไนเซชัน 8.82 อิเล็กตรอนโวลต์ ออก จากไนโตรเจนที่มีค่าพลังงานไอออไนเซชัน 15.58 อิเล็กตรอนโวลต์ โดยมีความเข้มข้นโทลูอิน 2 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า 600 โวลต์ ในอัตราการไหล 1 ลิตรต่อนาที พบว่ารังสีเอกซ์พลังงานต่ำมีประสิทธิภาพในการแยกโทลูอินออกจากไนโตรเจนร้อยละ 28 สูงกว่า รังสีแอลฟาที่มีประสิทธิภาพในการแยกโทลูอินออกจากไนโตรเจนร้อยละ 11 อีกทั้งได้ทำการแยก โทลูอินออกจากไนโตรเจนที่ความเข้มข้น 0.77 0.93 และ 2 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่ง โทลูอินที่ความเข้มข้น 0.77 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร มีประสิทธิภาพในการแยกโทลูอินออกจาก ไนโตรเจนร้อยละ 43 ส่วนโทลูอินที่ความเข้มข้น 0.93 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร มีประสิทธิภาพใน การแยกโทลูอินออกจากไนโตรเจนร้อยละ 29 และโทลูอินที่ความเข้มข้น 2 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์ เมตร มีประสิทธิภาพในการแยกโทลูอินออกจากไนโตรเจนร้อยละ 11

Ito และคณะ (2004) ศึกษาการใช้รังสีเอกซ์พลังงานต่ำที่มีความยาวคลื่น 0.13-0.41 นาโน เมตร และให้พลังงาน 3.0-9.5 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ ในการแยกคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าพลังงาน ไอออไนเซชัน 13.78 อิเล็กตรอนโวลต์ ออกจากฮีเลียมที่มีค่าพลังงานไอออไนเซชัน 24.587 อิเล็กตรอนโวลต์ โดยมีความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ 4.7 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และค่า

ความต่างศักย์ไฟฟ้า 600 โวลต์ ในอัตราการไหล 1 ลิตรต่อนาที พบว่ามีการแตกตัวของคาร์บอนไดออกไซด์เป็นคาร์บอนมอนอกไซด์ไอออนกับออกซิเจนอะตอมไอออนหรือออกซิเจนอะตอมไอออนกับคาร์บอนอะตอมไอออนกับออกซิเจนอะตอมไอออนและมีประสิทธิภาพในการแยกคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากฮีเลียมร้อยละ 14

Bai และคณะ (2007) ศึกษาการใช้รังสีเอกซ์พลังงานต่ำที่มีความยาวคลื่น 0.13-0.41 นาโนเมตรและให้พลังงานเฉลี่ย 4.4 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ ในการย่อยสลายโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนที่เกิดจากการเผาชีวมวลเป็นไม้ยางพาราที่มีอนุภาคเล็กกว่า 2 ไมโครเมตร และโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนมีค่ามากกว่าในเมือง 5 เท่าที่อยู่ในอนุภาค รวมทั้งมีส่วนประกอบไพรีน (Pyrene) ฟีนันทรีน (Phenanthrene) และฟลูออแรนทีน (Fluoranthene) เป็นส่วนใหญ่ โดยกำหนดให้อัตราการไหลที่ 30 ลิตรต่อนาที และ 90 ลิตรต่อนาที พบว่ามีการสลายโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนทั้งในอัตราการไหลที่ 30 ลิตรต่อนาที และ 90 ลิตรต่อนาที ซึ่งโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนมีการสลายร้อยละ 30 เมื่อมีการผ่านรังสีเอกซ์พลังงานต่ำในเวลา 0.022-0.0675 วินาที ที่อัตราการไหล 90 ลิตรต่อนาที

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

แผนการทดลองและวิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 วัสดุอุปกรณ์และสารเคมี

3.1.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

- เครื่องปฏิกรณ์ (Reactor)
- เครื่องปรับอัตราการไหลแก๊ส (Rota meter)
- เครื่องปรับความดันแก๊ส (Pressure regulator)
- เครื่องควบคุมอุณหภูมิ (Heater)
- เครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์พลังงานต่ำ
- ท่อสแตนเลส (Stainless tube)
- ถุงเก็บแก๊ส (Sampling bag)

3.1.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์

- เครื่องวัดอัตราการไหล (Flow meter)
- เครื่องแก๊สโครโมโตกราฟี (Gas chromatography)

3.1.3 สารเคมีและแก๊ส

- คอปเปอร์ [II] ไนเตรตไตรไฮเดรต (Copper [II] nitrate trihydrate)
- ซิงค์ไนเตรตเฮกซะไฮเดรต (Zinc nitrate hexahydrate)
- โซเดียมคาร์บอเนต (Sodium carbonate)
- ไฮโดรเจน
- คาร์บอนไดออกไซด์

3.2 การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา

งานวิจัยนี้จะดำเนินการทดลองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยากอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ที่อัตราส่วนโมลของคอปเปอร์ต่อซิงค์เท่ากับ 50/50 และมีวิธีในการเตรียมในการเตรียม 4 ขั้นตอน คือ การตกตะกอนร่วมกัน การทำความสะอาด การลดออกไซด์และการเพิ่มความต้านทาน (Reubroycharoen *et al.*, 2004) โดยมีรายละเอียดดังนี้

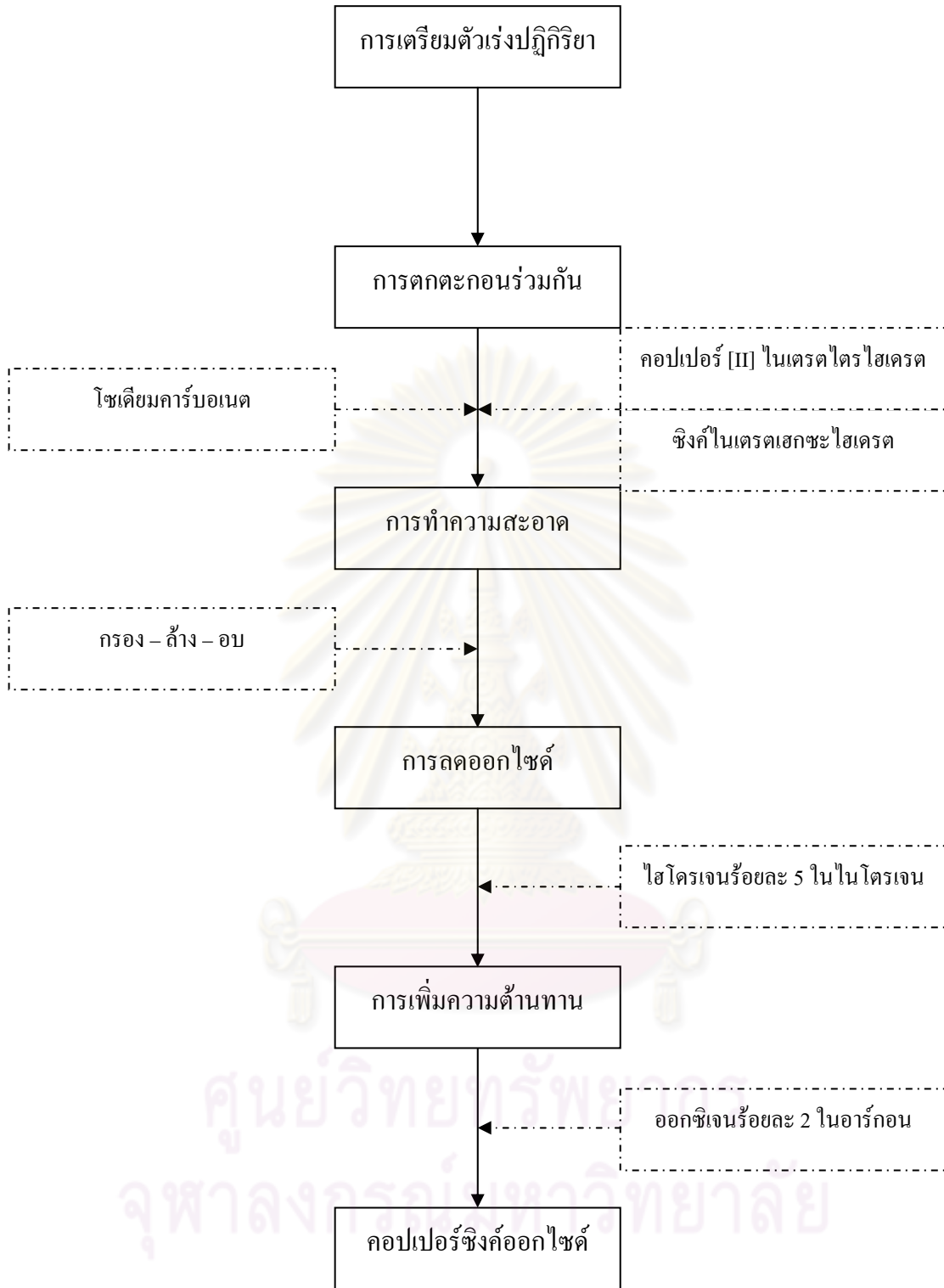
3.2.1 การตกตะกอนร่วมกัน ผสมคอปเปอร์ [II] ในเตรตไตรไฮเดรตกับซิงค์ในเตรตเฮกซะไฮเดรต จากนั้นเติมลงในน้ำกลั่นและใช้โซเดียมคาร์บอเนตในการปรับพีเอชให้ได้ 8.3-8.5 ที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส ตั้งทิ้งไว้ 12 ชั่วโมง ได้ตะกอนคอปเปอร์ซิงค์

3.2.2 การทำความสะอาด นำตะกอนคอปเปอร์ซิงค์ที่ได้จากการตกตะกอนร่วมกันมาทำการกรองและล้างด้วยน้ำกลั่น ตามด้วยการนำไปอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วจึงนำไปเผาที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

3.2.3 การลดออกไซด์ นำตะกอนคอปเปอร์ซิงค์ที่ผ่านการทำความสะอาดมาผ่านไฮโดรเจนร้อยละ 5 ในไนโตรเจนที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 13 ชั่วโมง เพื่อทำการลดออกไซด์ให้กับตะกอนคอปเปอร์ซิงค์

3.2.4 การเพิ่มความต้านทาน นำตะกอนคอปเปอร์ซิงค์ที่ผ่านการลดออกไซด์มาผ่านออกซิเจนร้อยละ 2 ในอาร์กอน เพื่อทำการเพิ่มความต้านทานให้กับตะกอนคอปเปอร์ซิงค์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.1 วิธีการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา

3.3 แผนการทดลอง

งานวิจัยนี้จะดำเนินการทดลอง ณ ห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยเป็นการศึกษาการเกิดปฏิกิริยาอวอเตอร์แก๊สชิฟต์ย้อนกลับจากคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนที่ผ่านรังสีเอ็กซ์พลังงานต่ำ ซึ่งแบ่งการทดลองเป็น 5 ชุดการทดลองดังนี้

3.3.1 ชุดการทดลองที่ 1

เป็นการศึกษาการเกิดปฏิกิริยาอวอเตอร์แก๊สชิฟต์ย้อนกลับ โดยให้คาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนผ่านการเพิ่มอุณหภูมิและการยิงรังสีเอ็กซ์พลังงานต่ำ มีขั้นตอนการทดลองดังนี้

3.3.1.1 การปรับความดันและอัตราการไหล คาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนไหลผ่านเครื่องปรับความดันแก๊สและเครื่องวัดอัตราการไหลแก๊ส เพื่อปรับความดันและอัตราการไหลของคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจน โดยกำหนดให้ความดัน 1 บาร์และอัตราการไหล 20 มิลลิลิตรต่อนาที

3.3.1.2 การเพิ่มอุณหภูมิ คาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนที่ผ่านการปรับความดันและอัตราการไหลจะผ่านเข้าไปในท่อที่มีเครื่องควบคุมอุณหภูมิ ซึ่งจะมีการเพิ่มอุณหภูมิเพื่อช่วยในการทำปฏิกิริยาของคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจน โดยกำหนดให้อุณหภูมิ 50 100 150 และ 200 องศาเซลเซียส

3.3.1.3 การยิงรังสีเอ็กซ์ คาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนที่ผ่านการเพิ่มอุณหภูมิจะผ่านเข้าไปในอุปกรณ์ทำปฏิกิริยา ซึ่งจะมีการยิงรังสีเอ็กซ์พลังงานต่ำเพื่อช่วยในการทำปฏิกิริยาของคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจน

การเก็บตัวอย่างวิเคราะห์ในชุดการทดลองที่ 1 เก็บโดยใช้ถุงเก็บแก๊สในการเก็บแก๊สแล้วมาทำการวิเคราะห์โดยเครื่องแก๊สโครโมโตกราฟี ซึ่งจุดที่ทำการเก็บตัวอย่างอยู่ที่ปลายทางออก

3.3.2 ชุดการทดลองที่ 2

เป็นการศึกษาการเกิดปฏิกิริยาอวตอร์แกนิคซิฟต์ย้อนกลับ โดยให้คาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนผ่านการเพิ่มอุณหภูมิ การยิงรังสีเอกซ์พลังงานต่ำและตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ มีขั้นตอนการทดลองดังนี้

3.3.2.1 การปรับความดันและอัตราการไหล คาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนไหลผ่านเครื่องปรับความดันแก๊สและเครื่องวัดอัตราการไหลแก๊ส เพื่อปรับความดันและอัตราการไหลของคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจน โดยกำหนดให้ความดัน 1 บาร์และอัตราการไหล 20 มิลลิลิตรต่อนาที

3.3.2.2 การเพิ่มอุณหภูมิ คาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนที่ผ่านการปรับความดันและอัตราการไหลจะผ่านเข้าไปในท่อที่มีเครื่องควบคุมอุณหภูมิ ซึ่งจะมีการเพิ่มอุณหภูมิเพื่อช่วยในการทำปฏิกิริยาของคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจน โดยกำหนดให้อุณหภูมิ 50 100 150 และ 200 องศาเซลเซียส

3.3.2.3 การยิงรังสีเอกซ์และผ่านตัวเร่งปฏิกิริยา คาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนที่ผ่านการเพิ่มอุณหภูมิจะผ่านเข้าไปในอุปกรณ์ทำปฏิกิริยา ซึ่งจะมีการยิงรังสีเอกซ์พลังงานต่ำและมีตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์เพื่อช่วยในการทำปฏิกิริยาของคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจน โดยกำหนดให้น้ำหนักน้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ 2 กรัม

การเก็บตัวอย่างวิเคราะห์ในชุดการทดลองที่ 2 เก็บโดยใช้ถุงเก็บแก๊สในการเก็บแก๊สแล้วมาทำการวิเคราะห์โดยเครื่องแก๊สโครโมโตกราฟฟี ซึ่งจุดที่ทำการเก็บตัวอย่างอยู่ที่ปลายทางออก

3.3.3 ชุดการทดลองที่ 3

เป็นการศึกษาการเกิดปฏิกิริยาอวตอร์แกนิคที่ย้อนกลับ โดยให้คาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนผ่านการเพิ่มอุณหภูมิ การยิงรังสีเอกซ์พลังงานต่ำและตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ มีขั้นตอนการทดลองดังนี้

3.3.3.1 การปรับความดันและอัตราการไหล คาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนไหลผ่านเครื่องปรับความดันแก๊สและเครื่องวัดอัตราการไหลแก๊ส เพื่อปรับความดันและอัตราการไหลของคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจน โดยกำหนดให้ความดัน 1 บาร์และอัตราการไหล 20 มิลลิลิตรต่อนาที

3.3.3.2 การเพิ่มอุณหภูมิ คาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนที่ผ่านการปรับความดันและอัตราการไหลจะผ่านเข้าไปในท่อที่มีเครื่องควบคุมอุณหภูมิ ซึ่งจะมีการเพิ่มอุณหภูมิเพื่อช่วยในการทำปฏิกิริยาของคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจน โดยกำหนดให้อุณหภูมิ 50 100 150 และ 200 องศาเซลเซียส

3.3.3.3 การยิงรังสีเอกซ์และผ่านตัวเร่งปฏิกิริยา คาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนที่ผ่านการเพิ่มอุณหภูมิจะผ่านเข้าไปในอุปกรณ์ทำปฏิกิริยา ซึ่งจะมีการยิงรังสีเอกซ์พลังงานต่ำและมีตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์เพื่อช่วยในการทำปฏิกิริยาของคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจน โดยกำหนดให้น้ำหนักน้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ 3 กรัม

การเก็บตัวอย่างวิเคราะห์ในชุดการทดลองที่ 3 เก็บโดยใช้ถุงเก็บแก๊สในการเก็บแก๊สแล้วมาทำการวิเคราะห์โดยเครื่องแก๊สโครโมโตกราฟฟี ซึ่งจุดที่ทำการเก็บตัวอย่างอยู่ที่ปลายทางออก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.3.4 ชุดการทดลองที่ 4

เป็นการศึกษาการเกิดปฏิกิริยาอวตอร์แกนิคซัพซันกลับ โดยให้คาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนผ่านการเพิ่มอุณหภูมิ การยิงรังสีเอกซ์พลังงานต่ำและตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ มีขั้นตอนการทดลองดังนี้

3.3.4.1 การปรับความดันและอัตราการไหล คาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนไหลผ่านเครื่องปรับความดันแก๊สและเครื่องวัดอัตราการไหลแก๊ส เพื่อปรับความดันและอัตราการไหลของคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจน โดยกำหนดให้ความดัน 1 บาร์และอัตราการไหล 20 มิลลิลิตรต่อนาที

3.3.4.2 การเพิ่มอุณหภูมิ คาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนที่ผ่านการปรับความดันและอัตราการไหลจะผ่านเข้าไปในท่อที่มีเครื่องควบคุมอุณหภูมิ ซึ่งจะมีการเพิ่มอุณหภูมิเพื่อช่วยในการทำปฏิกิริยาของคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจน โดยกำหนดให้อุณหภูมิ 50 100 150 และ 200 องศาเซลเซียส

3.3.4.3 การยิงรังสีเอกซ์และผ่านตัวเร่งปฏิกิริยา คาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนที่ผ่านการเพิ่มอุณหภูมิจะผ่านเข้าไปในอุปกรณ์ทำปฏิกิริยา ซึ่งจะมีการยิงรังสีเอกซ์พลังงานต่ำและมีตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์เพื่อช่วยในการทำปฏิกิริยาของคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจน โดยกำหนดให้น้ำหนักน้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ 4 กรัม

การเก็บตัวอย่างวิเคราะห์ในชุดการทดลองที่ 4 เก็บโดยใช้ถุงเก็บแก๊สในการเก็บแก๊สแล้วมาทำการวิเคราะห์โดยเครื่องแก๊สโครโมโตกราฟฟี ซึ่งจุดที่ทำการเก็บตัวอย่างอยู่ที่ปลายทางออก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.3.5 ชุดการทดลองที่ 5

เป็นการศึกษาการเกิดปฏิกิริยาอวตอร์แกนิคซิงค์ย้อนกลับ โดยให้คาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนผ่านการเพิ่มอุณหภูมิ การยิงรังสีเอกซ์พลังงานต่ำและตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ มีขั้นตอนการทดลองดังนี้

3.3.5.1 การปรับความดันและอัตราการไหล คาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนไหลผ่านเครื่องปรับความดันแก๊สและเครื่องวัดอัตราการไหลแก๊ส เพื่อปรับความดันและอัตราการไหลของคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจน โดยกำหนดให้ความดัน 1 บาร์และอัตราการไหล 20 มิลลิลิตรต่อนาที

3.3.5.2 การเพิ่มอุณหภูมิ คาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนที่ผ่านการปรับความดันและอัตราการไหลจะผ่านเข้าไปในท่อที่มีเครื่องควบคุมอุณหภูมิ ซึ่งจะมีการเพิ่มอุณหภูมิเพื่อช่วยในการทำปฏิกิริยาของคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจน โดยกำหนดให้อุณหภูมิ 50 100 150 และ 200 องศาเซลเซียส

3.3.5.3 การยิงรังสีเอกซ์และผ่านตัวเร่งปฏิกิริยา คาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนที่ผ่านการเพิ่มอุณหภูมิจะผ่านเข้าไปในอุปกรณ์ทำปฏิกิริยา ซึ่งจะมีการยิงรังสีเอกซ์พลังงานต่ำและมีตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์เพื่อช่วยในการทำปฏิกิริยาของคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจน โดยกำหนดให้น้ำหนักน้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ 5 กรัม

การเก็บตัวอย่างวิเคราะห์ในชุดการทดลองที่ 5 เก็บโดยใช้ถุงเก็บแก๊สในการเก็บแก๊สแล้วมาทำการวิเคราะห์โดยเครื่องแก๊สโครโมโตกราฟฟี ซึ่งจุดที่ทำการเก็บตัวอย่างอยู่ที่ปลายทางออก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.3.6 ชุดการทดลองที่ 6

เป็นการศึกษาการเกิดปฏิกิริยาอวตอร์แกนิสซิปต์ย้อนกลับ โดยให้คาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนผ่านการเพิ่มอุณหภูมิและตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ มีขั้นตอนการทดลองดังนี้

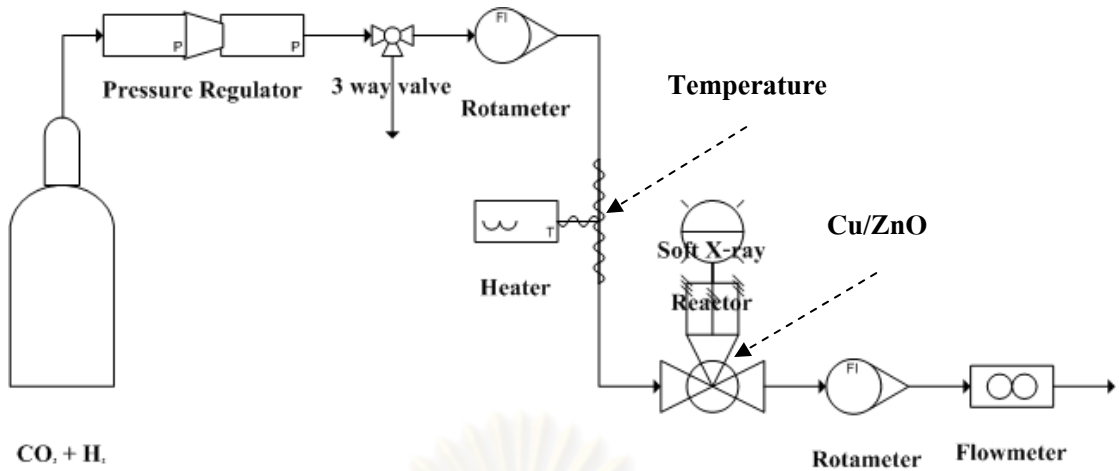
3.3.6.1 การปรับความดันและอัตราการไหล คาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนไหลผ่านเครื่องปรับความดันแก๊สและเครื่องวัดอัตราการไหลแก๊ส เพื่อปรับความดันและอัตราการไหลของคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจน โดยกำหนดให้ความดัน 1 บาร์และอัตราการไหล 20 มิลลิลิตรต่อนาที

3.3.6.2 การเพิ่มอุณหภูมิ คาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนที่ผ่านการปรับความดันและอัตราการไหลจะผ่านเข้าไปในท่อที่มีเครื่องควบคุมอุณหภูมิ ซึ่งจะมีการเพิ่มอุณหภูมิเพื่อช่วยในการทำปฏิกิริยาของคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจน โดยกำหนดให้อุณหภูมิ 50 100 150 และ 200 องศาเซลเซียส

3.3.6.3 การผ่านตัวเร่งปฏิกิริยา คาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนที่ผ่านการเพิ่มอุณหภูมิจะผ่านเข้าไปในอุปกรณ์ทำปฏิกิริยา ซึ่งจะมีตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์เพื่อช่วยในการทำปฏิกิริยาของคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจน โดยกำหนดให้น้ำหนักน้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ 2 กรัม

การเก็บตัวอย่างวิเคราะห์ในชุดการทดลองที่ 2 เก็บโดยใช้ถุงเก็บแก๊สในการเก็บแก๊สแล้วมาทำการวิเคราะห์โดยเครื่องแก๊สโครโมโตกราฟี ซึ่งจุดที่ทำการเก็บตัวอย่างอยู่ที่ปลายทางออก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.2 อุปกรณ์และจุดเก็บแก๊ส

3.4 พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์

ตารางที่ 3.1 พารามิเตอร์ที่ต้องการวิเคราะห์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์

พารามิเตอร์	เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์
อัตราการผลิต	เครื่องวัดอัตราการไหลแก๊ส
คาร์บอนไดออกไซด์ (CO ₂)	เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี
ไฮโดรเจน (H ₂)	เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี
คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO)	เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี

3.5 การคำนวณ

ผลการทดลองที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี นำมาคำนวณเพื่อหาค่าการแปรสภาพของแก๊ส ค่าความเลือกจำเพาะของแก๊สและค่าผลิตภัณฑ์ของแก๊ส โดยมีสูตรที่ใช้ดังนี้

ค่าการแปรสภาพของแก๊ส

$$= \frac{\text{ปริมาตรแก๊สที่เข้า} - \text{ปริมาตรแก๊สที่ออก}}{\text{ปริมาตรแก๊สที่เข้า}} \times 100$$

ค่าความเลือกจำเพาะของแก๊ส

$$= \frac{\text{ปริมาตรแก๊สที่สร้าง}}{\text{ปริมาตรแก๊สที่เข้า} - \text{ปริมาตรแก๊สที่ออก}} \times 100$$

ค่าผลิตภัณฑ์ของแก๊ส

$$= \frac{\text{ปริมาตรแก๊สที่สร้าง}}{\text{ปริมาตรแก๊สที่สร้างทั้งหมด}} \times 100$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการเกิดปฏิกิริยาอวเตอร่าแก๊สซิฟต์ย้อนกลับจากคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนด้วยรังสีเอกซ์พลังงานต่ำ โดยในการทดลองจะใช้รังสีเอกซ์พลังงานต่ำร่วมกับอุณหภูมิและตัวเร่งปฏิกิริยากอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ในการสังเคราะห์คาร์บอนมอนอกไซด์แบ่งออกเป็น

การแปรสภาพคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนด้วยรังสีเอกซ์พลังงานต่ำที่ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยากอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ 0 กรัม และอุณหภูมิอยู่ในช่วง 25-200 องศาเซลเซียส

การแปรสภาพคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนด้วยรังสีเอกซ์พลังงานต่ำที่ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยากอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ 2 กรัม และอุณหภูมิอยู่ในช่วง 25-200 องศาเซลเซียส

การแปรสภาพคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนด้วยรังสีเอกซ์พลังงานต่ำที่ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยากอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ 3 กรัม และอุณหภูมิอยู่ในช่วง 25-200 องศาเซลเซียส

การแปรสภาพคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนด้วยรังสีเอกซ์พลังงานต่ำที่ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยากอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ 4 กรัม และอุณหภูมิอยู่ในช่วง 25-200 องศาเซลเซียส

การแปรสภาพคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนด้วยรังสีเอกซ์พลังงานต่ำที่ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยากอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ 5 กรัม และอุณหภูมิอยู่ในช่วง 25-200 องศาเซลเซียส

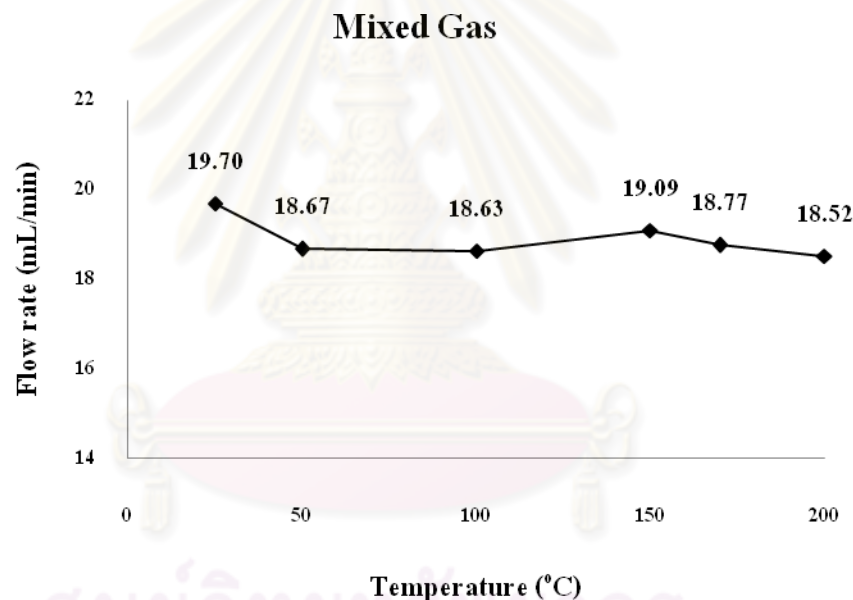
การแปรสภาพคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนที่ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยากอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ 2 กรัม และอุณหภูมิอยู่ในช่วง 25-200 องศาเซลเซียส

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.1 การแปรสภาพคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนด้วยรังสีเอกซ์พลังงานต่ำที่ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ 0 กรัม และอุณหภูมิอยู่ในช่วง 25-200 องศาเซลเซียส

ในการทดลองกำหนดให้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ 0 กรัม อัตราการไหลแก๊ส 20 มิลลิลิตรต่อนาที คาร์บอนไดออกไซด์มีความเข้มข้นร้อยละ 25 ไฮโดรเจนมีความเข้มข้นร้อยละ 75 และใช้อุณหภูมิ 25, 50, 100, 150, 170, 200 องศาเซลเซียส โดยทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจน การแปรสภาพคาร์บอนไดออกไซด์ การแปรสภาพไฮโดรเจนและการผลิตคาร์บอนมอนอกไซด์ มีรายละเอียดดังนี้

4.1.1 การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลแก๊ส

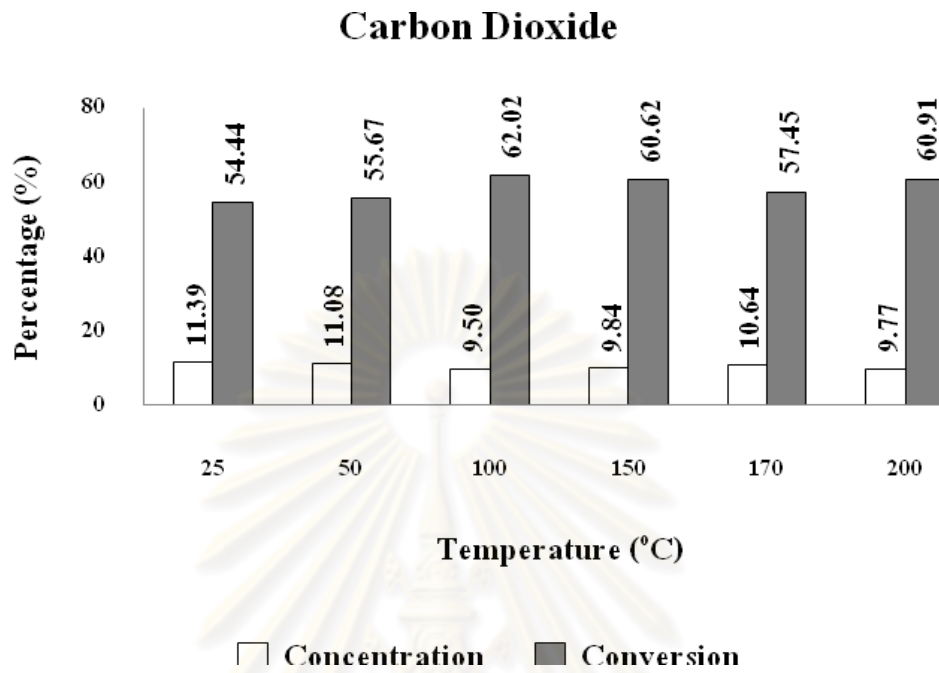


รูปที่ 4.1 การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลแก๊ส

ที่ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ 0 กรัม

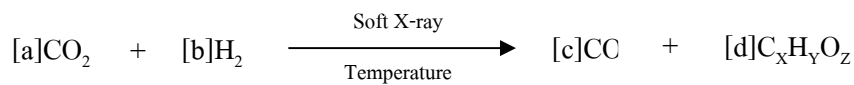
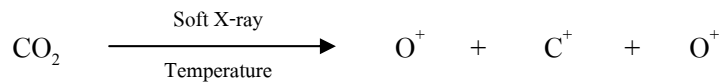
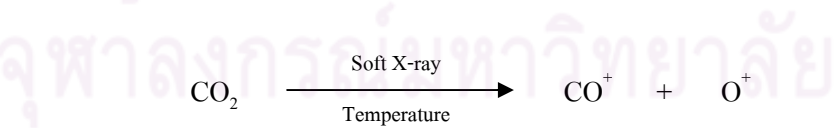
จากรูปที่ 4.1 เมื่อมีการยิงรังสีเอกซ์พลังงานต่ำร่วมกับการเพิ่มอุณหภูมิทำให้มีอัตราการไหลแก๊สลดลงต่ำกว่า 20 มิลลิลิตรต่อนาที เนื่องจากเกิดการทำปฏิกิริยาของคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนด้วยรังสีเอกซ์พลังงานต่ำร่วมกับอุณหภูมิทำให้คาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนแปรสภาพเป็นคาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรคาร์บอน โดยที่อัตราการไหลอยู่ในช่วง 18.52-19.70 มิลลิลิตรต่อนาที

4.1.2 การแปรสภาพคาร์บอนไดออกไซด์

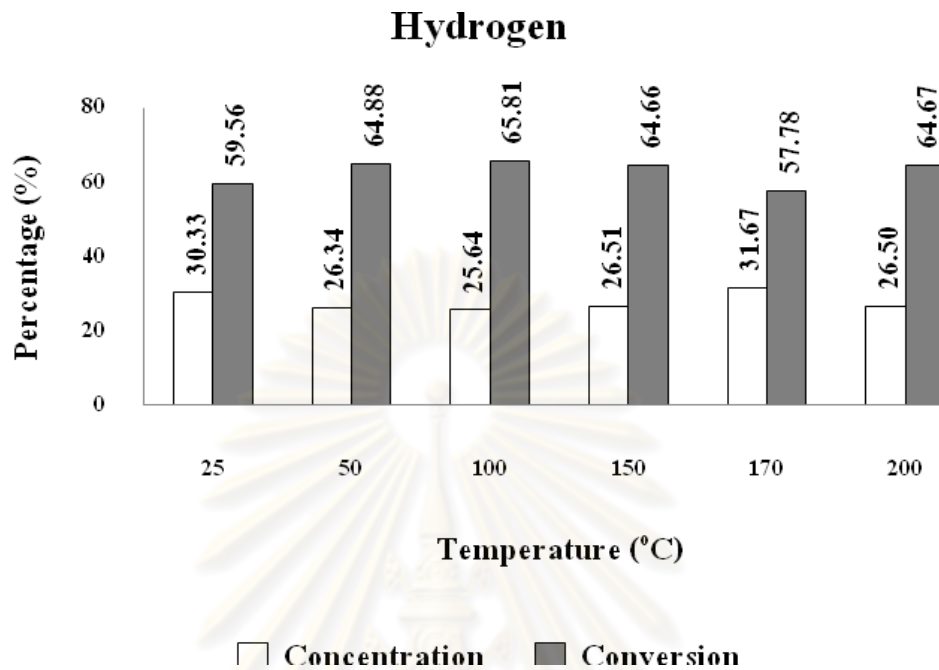


รูปที่ 4.2 การแปรสภาพคาร์บอนไดออกไซด์
ที่ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาออกเปอร์ซิงค์ออกไซด์ 0 กรัม

จากรูปที่ 4.2 เมื่อมีการยิงรังสีเอกซ์พลังงานต่ำร่วมกับการเพิ่มอุณหภูมิทำให้ความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ลดลงต่ำกว่าร้อยละ 25 เนื่องจากเกิดการแตกตัวของคาร์บอนไดออกไซด์ด้วยรังสีเอกซ์พลังงานต่ำร่วมกับอุณหภูมิทำให้คาร์บอนไดออกไซด์แปรสภาพร่วมกับไฮโดรเจนเป็นคาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรคาร์บอน ตามสมการ โดยที่ความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ในช่วงร้อยละ 9.50-11.39 และค่าการแปรสภาพคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ในช่วงร้อยละ 54.44-62.07

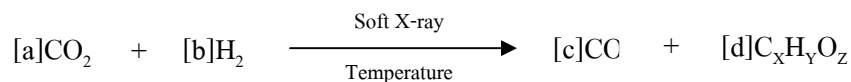
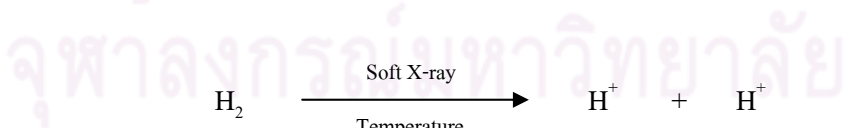


4.1.3 การแปรสภาพไฮโดรเจน

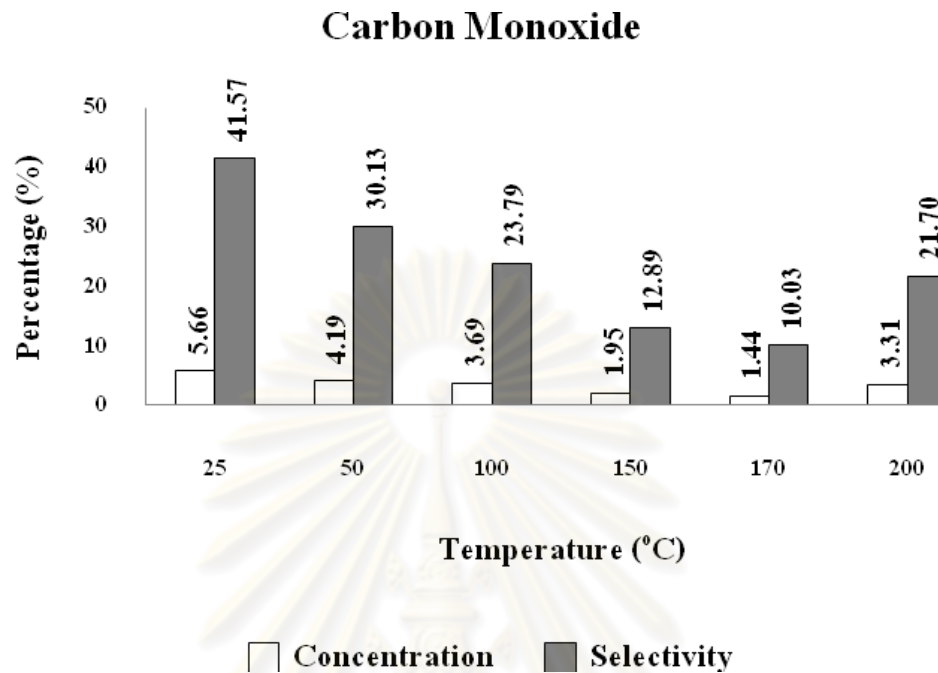


รูปที่ 4.3 การแปรสภาพไฮโดรเจน
ที่ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาออกไซด์ออกไซด์ 0 กรัม

จากรูปที่ 4.2 เมื่อมีการยิงรังสีเอกซ์พลังงานต่ำร่วมกับการเพิ่มอุณหภูมิทำให้ความเข้มข้นไฮโดรเจนลดลงต่ำกว่าร้อยละ 75 เนื่องจากเกิดการแตกตัวของไฮโดรเจนด้วยรังสีเอกซ์พลังงานต่ำร่วมกับอุณหภูมิทำให้ไฮโดรเจนแปรสภาพร่วมกับคาร์บอนไดออกไซด์เป็นคาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรคาร์บอน ตามสมการ โดยที่ความเข้มข้นไฮโดรเจนอยู่ในช่วงร้อยละ 25.64-31.67 และค่าการแปรสภาพไฮโดรเจนอยู่ในช่วงร้อยละ 57.78-65.81

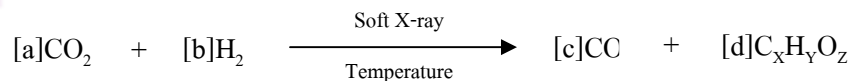


4.1.4 การผลิตคาร์บอนมอนอกไซด์



รูปที่ 4.4 การผลิตคาร์บอนมอนอกไซด์
ที่ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาอะลูมิเนียมออกไซด์ 0 กรัม

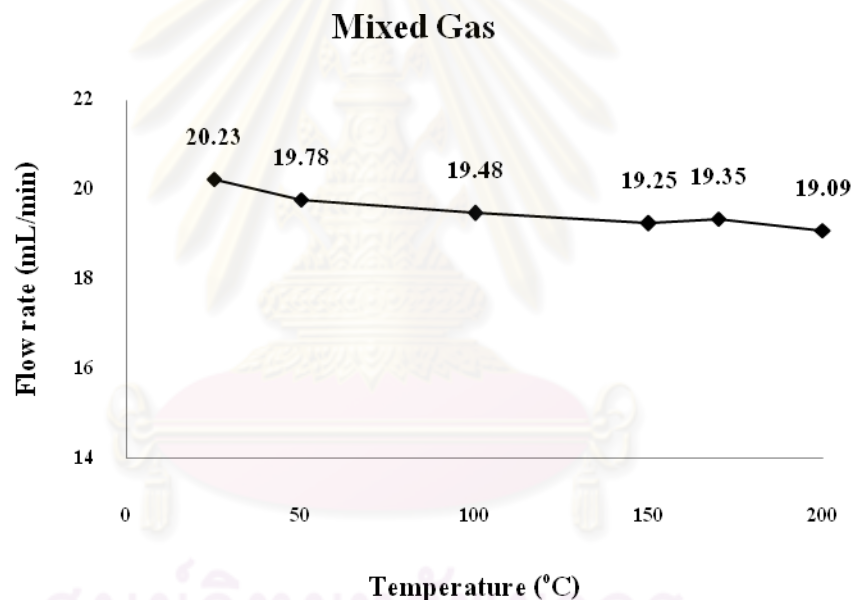
จากรูปที่ 4.4 เมื่อมีการยิงรังสีเอกซ์พลังงานต่ำร่วมกับการเพิ่มอุณหภูมิทำให้ความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์และความเข้มข้นไฮโดรเจนลดลงต่ำกว่าร้อยละ 25 และร้อยละ 75 เนื่องจากเกิดการแตกตัวของคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนด้วยรังสีเอกซ์พลังงานต่ำร่วมกับอุณหภูมิทำให้คาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนแปรสภาพเป็นคาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรคาร์บอนตามสมการ โดยที่ความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์อยู่ในช่วงร้อยละ 1.44-5.66 และค่าความเลือกจำเพาะคาร์บอนมอนอกไซด์อยู่ในช่วงร้อยละ 10.03-41.57



4.2 การแปรสภาพคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนด้วยรังสีเอกซ์พลังงานต่ำที่ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ 2 กรัม และอุณหภูมิอยู่ในช่วง 25-200 องศาเซลเซียส

ในการทดลองกำหนดให้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ 2 กรัม อัตราการไหลแก๊ส 20 มิลลิลิตรต่อนาที คาร์บอนไดออกไซด์มีความเข้มข้นร้อยละ 25 ไฮโดรเจนมีความเข้มข้นร้อยละ 75 และใช้อุณหภูมิ 25, 50, 100, 150, 170, 200 องศาเซลเซียส โดยทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจน การแปรสภาพคาร์บอนไดออกไซด์ การแปรสภาพไฮโดรเจนและการผลิตคาร์บอนมอนอกไซด์ มีรายละเอียดดังนี้

4.2.1 การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลแก๊ส

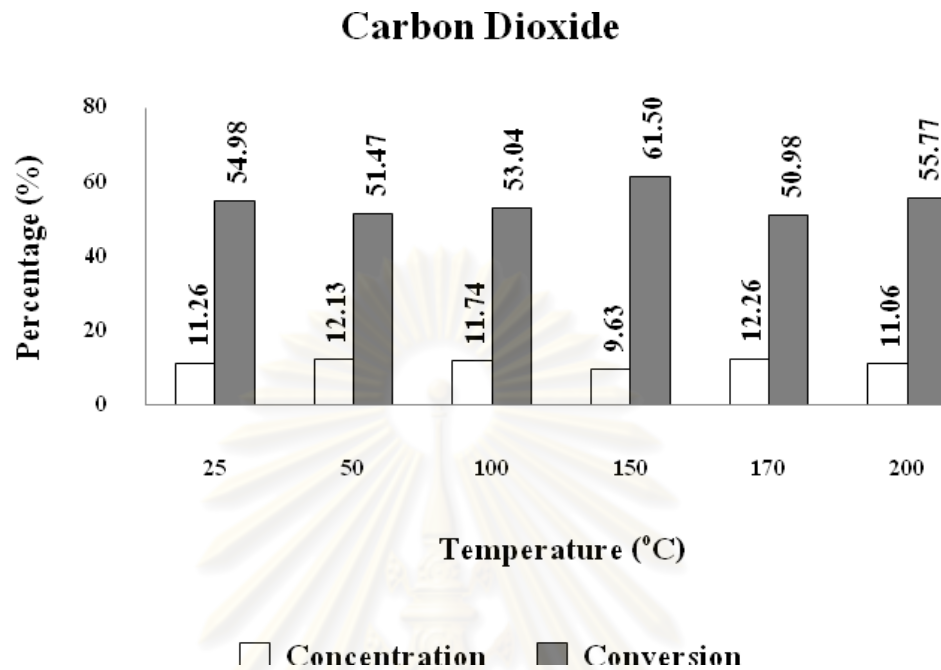


รูปที่ 4.5 การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลแก๊ส

ที่ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ 2 กรัม

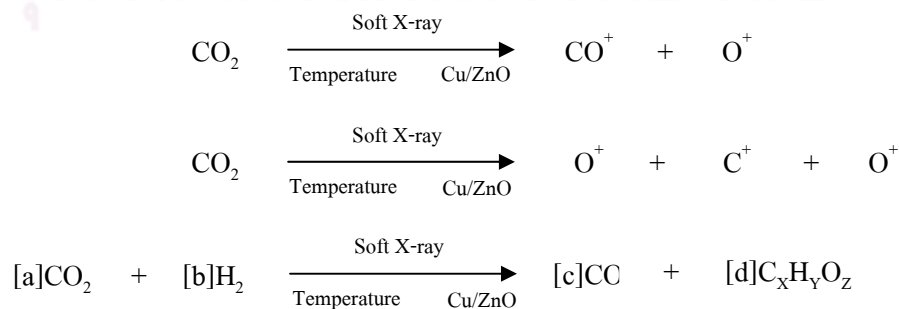
จากรูปที่ 4.5 เมื่อมีการยิงรังสีเอกซ์พลังงานต่ำร่วมกับการเพิ่มอุณหภูมิและตัวเร่งปฏิกิริยา คอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ทำให้มีอัตราการไหลแก๊สลดลงต่ำกว่า 20 มิลลิลิตรต่อนาที เนื่องจากเกิด การทำปฏิกิริยาของคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนด้วยรังสีเอกซ์พลังงานต่ำร่วมกับอุณหภูมิ และตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ทำให้คาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนแปรสภาพเป็น คาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรคาร์บอน โดยที่อัตราการไหลอยู่ในช่วง 19.09-20.23 มิลลิลิตรต่อ นาที

4.2.2 การแปรสภาพคาร์บอนไดออกไซด์

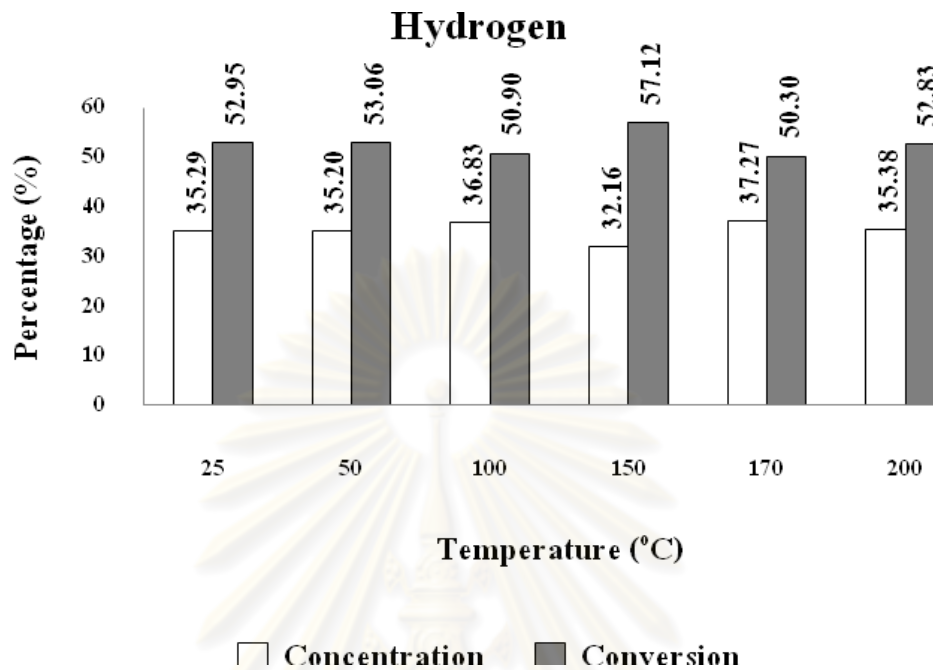


รูปที่ 4.6 การแปรสภาพคาร์บอนไดออกไซด์
ที่ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ 2 กรัม

จากรูปที่ 4.6 เมื่อมีการยิงรังสีเอกซ์พลังงานต่ำร่วมกับการเพิ่มอุณหภูมิและตัวเร่งปฏิกิริยา คอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ทำให้ความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ลดลงต่ำกว่าร้อยละ 25 เนื่องจากเกิดการแตกตัวของคาร์บอนไดออกไซด์ด้วยรังสีเอกซ์พลังงานต่ำร่วมกับอุณหภูมิและตัวเร่งปฏิกิริยา คอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ทำให้คาร์บอนไดออกไซด์แปรสภาพร่วมกับไฮโดรเจนเป็น คาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรคาร์บอน ตามสมการ โดยที่ความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ในช่วงร้อยละ 9.63-12.26 และค่าการแปรสภาพคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ในช่วงร้อยละ 50.98-61.50

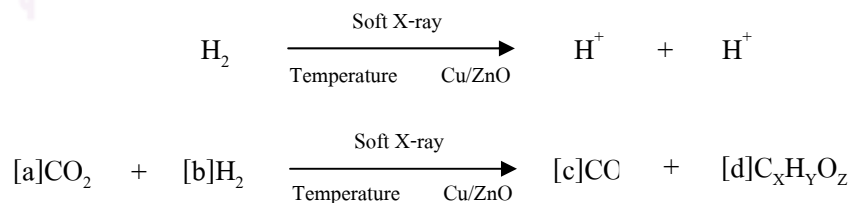


4.2.3 การแปรสภาพไฮโดรเจน

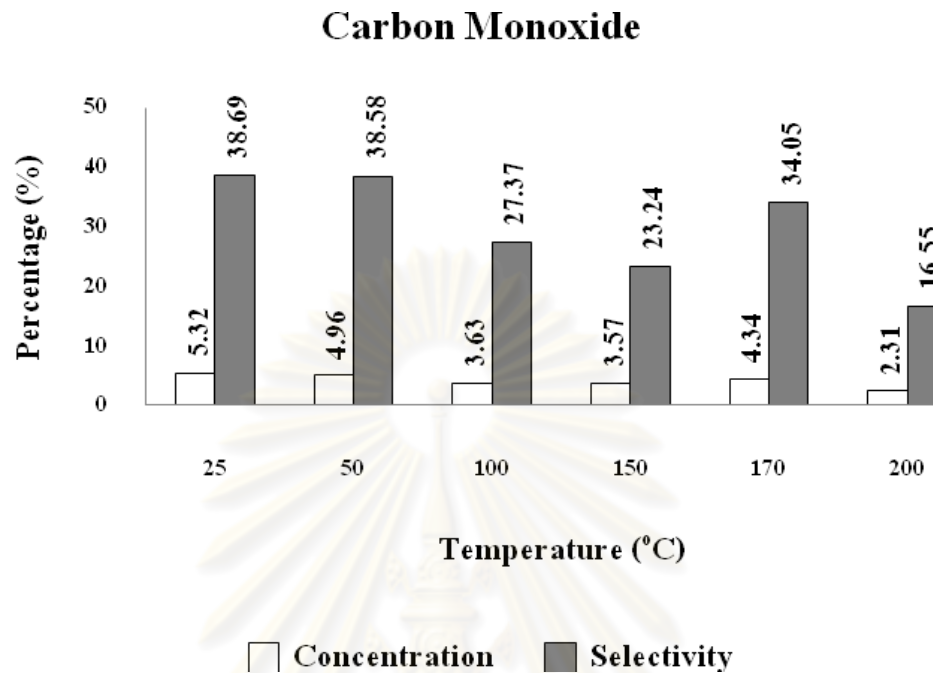


รูปที่ 4.7 การแปรสภาพไฮโดรเจน
ที่ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ 2 กรัม

จากรูปที่ 4.7 เมื่อมีการยิงรังสีเอกซ์พลังงานต่ำร่วมกับการเพิ่มอุณหภูมิและตัวเร่งปฏิกิริยา คอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ทำให้ความเข้มข้นไฮโดรเจนลดลงต่ำกว่าร้อยละ 75 เนื่องจากเกิดการแตกตัวของไฮโดรเจนด้วยรังสีเอกซ์พลังงานต่ำร่วมกับอุณหภูมิและตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ทำให้ไฮโดรเจนแปรสภาพร่วมกับคาร์บอนไดออกไซด์เป็นคาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรคาร์บอน ตามสมการ โดยที่ความเข้มข้นไฮโดรเจนอยู่ในช่วงร้อยละ 32.16-37.27 และค่าการแปรสภาพไฮโดรเจนอยู่ในช่วงร้อยละ 50.30-57.12

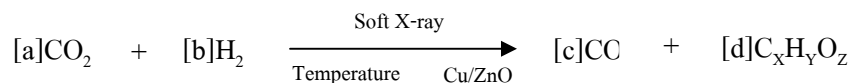


4.2.4 การผลิตคาร์บอนมอนอกไซด์



รูปที่ 4.8 การผลิตคาร์บอนมอนอกไซด์
ที่ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ 2 กรัม

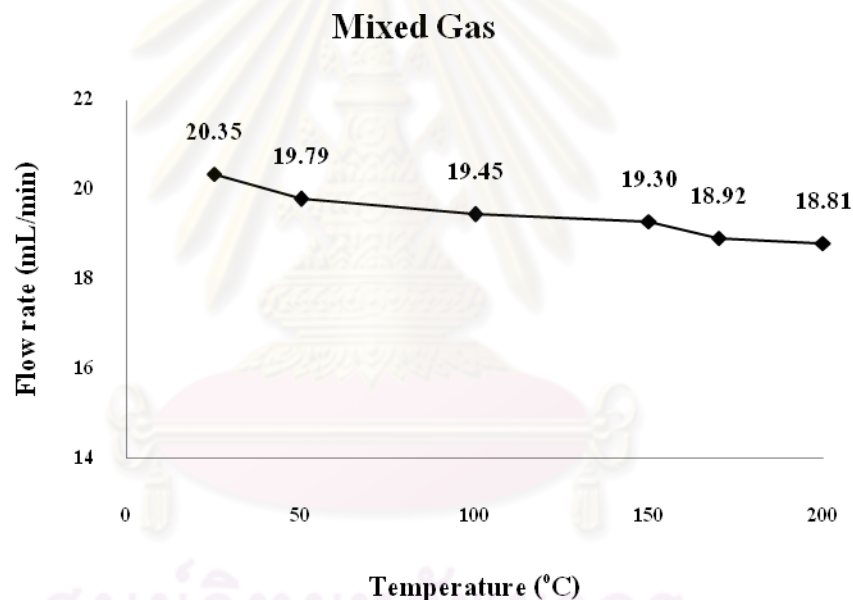
จากรูปที่ 4.8 เมื่อมีการยิงรังสีเอกซ์พลังงานต่ำร่วมกับการเพิ่มอุณหภูมิและตัวเร่งปฏิกิริยา คอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ทำให้ความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์และความเข้มข้นไฮโดรเจนลดลงต่ำกว่าร้อยละ 25 และร้อยละ 75 เนื่องจากเกิดการแตกตัวของคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนด้วยรังสีเอกซ์พลังงานต่ำร่วมกับอุณหภูมิและตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ทำให้คาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนแปรสภาพเป็นคาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรคาร์บอน ตามสมการ โดยที่ความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์อยู่ในช่วงร้อยละ 2.31-5.32 และค่าความเลือกจำเพาะคาร์บอนมอนอกไซด์อยู่ในช่วงร้อยละ 16.55-38.69



4.3 การแปรสภาพคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนด้วยรังสีเอกซ์พลังงานต่ำที่ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ 3 กรัม และอุณหภูมิอยู่ในช่วง 25-200 องศาเซลเซียส

ในการทดลองกำหนดให้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ 3 กรัม อัตราการไหลแก๊ส 20 มิลลิลิตรต่อนาที คาร์บอนไดออกไซด์มีความเข้มข้นร้อยละ 25 ไฮโดรเจนมีความเข้มข้นร้อยละ 75 และใช้อุณหภูมิ 25, 50, 100, 150, 170, 200 องศาเซลเซียส โดยทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจน การแปรสภาพคาร์บอนไดออกไซด์ การแปรสภาพไฮโดรเจนและการผลิตคาร์บอนมอนอกไซด์ มีรายละเอียดดังนี้

4.3.1 การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลแก๊ส

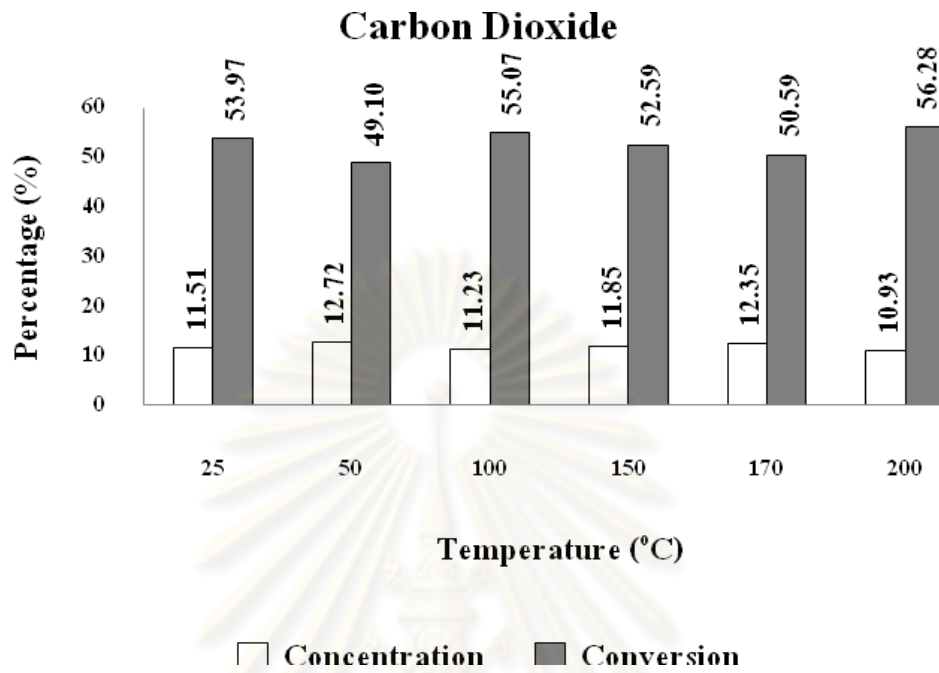


รูปที่ 4.9 การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลแก๊ส

ที่ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ 3 กรัม

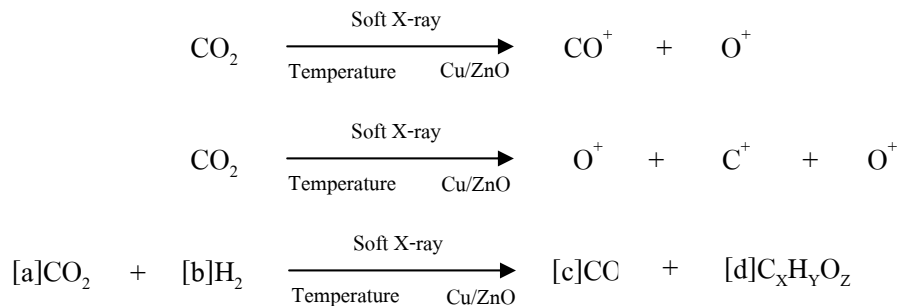
จากรูปที่ 4.9 เมื่อมีการยิงรังสีเอกซ์พลังงานต่ำร่วมกับการเพิ่มอุณหภูมิและตัวเร่งปฏิกิริยา คอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ทำให้มีอัตราการไหลแก๊สลดลงต่ำกว่า 20 มิลลิลิตรต่อนาที เนื่องจากเกิด การทำปฏิกิริยาของคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนด้วยรังสีเอกซ์พลังงานต่ำร่วมกับอุณหภูมิ และตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ทำให้คาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนแปรสภาพเป็น คาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรคาร์บอน โดยที่อัตราการไหลอยู่ในช่วง 18.81-20.35 มิลลิลิตรต่อ นาที

4.3.2 การแปรสภาพคาร์บอนไดออกไซด์

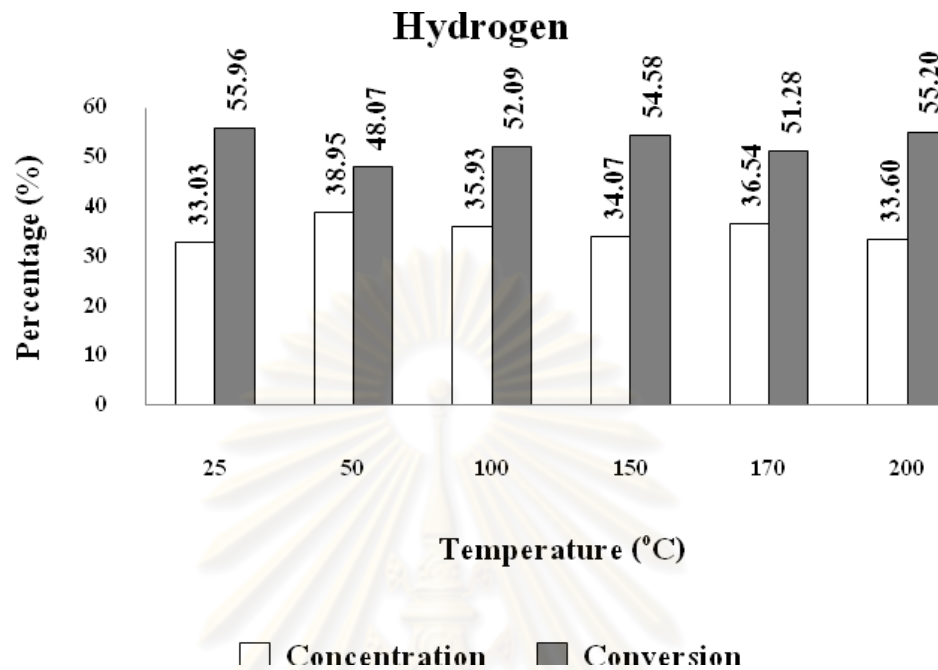


รูปที่ 4.10 การแปรสภาพคาร์บอนไดออกไซด์
ที่ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ 3 กรัม

จากรูปที่ 4.10 เมื่อมีการยิงรังสีเอกซ์พลังงานต่ำร่วมกับการเพิ่มอุณหภูมิและตัวเร่งปฏิกิริยา คอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ทำให้ความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ลดลงต่ำกว่าร้อยละ 25 เนื่องจากเกิดการแตกตัวของคาร์บอนไดออกไซด์ด้วยรังสีเอกซ์พลังงานต่ำร่วมกับอุณหภูมิและตัวเร่งปฏิกิริยา คอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ทำให้คาร์บอนไดออกไซด์แปรสภาพร่วมกับไฮโดรเจนเป็น คาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรคาร์บอน ตามสมการ โดยที่ความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ในช่วงร้อยละ 10.93-12.72 และค่าการแปรสภาพคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ในช่วงร้อยละ 49.10-56.28

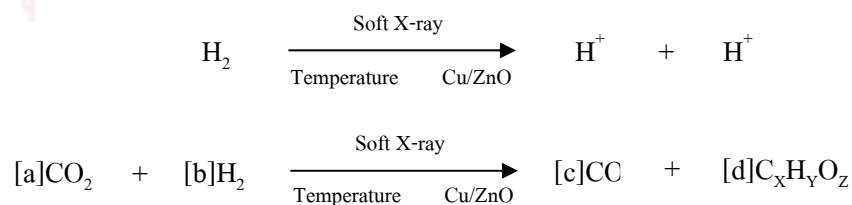


4.3.3 การแปรสภาพไฮโดรเจน

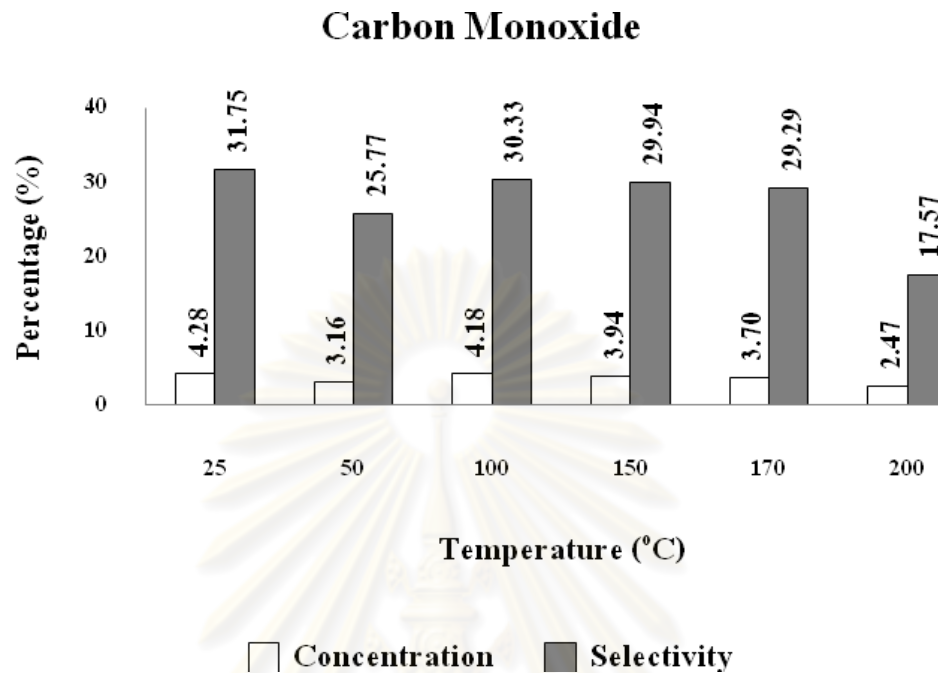


รูปที่ 4.11 การแปรสภาพไฮโดรเจน
ที่ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ 3 กรัม

จากรูปที่ 4.11 เมื่อมีการยิงรังสีเอกซ์พลังงานต่ำร่วมกับการเพิ่มอุณหภูมิและตัวเร่งปฏิกิริยา คอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ทำให้ความเข้มข้นไฮโดรเจนลดลงต่ำกว่าร้อยละ 75 เนื่องจากเกิดการแตกตัวของไฮโดรเจนด้วยรังสีเอกซ์พลังงานต่ำร่วมกับอุณหภูมิและตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ทำให้ไฮโดรเจนแปรสภาพร่วมกับคาร์บอนไดออกไซด์เป็นคาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรคาร์บอน ตามสมการ โดยที่ความเข้มข้นไฮโดรเจนอยู่ในช่วงร้อยละ 33.03-38.95 และค่าการแปรสภาพไฮโดรเจนอยู่ในช่วงร้อยละ 48.07-55.96

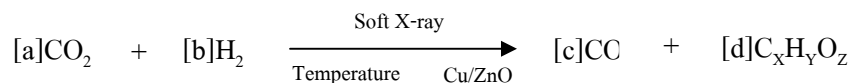


4.3.4 การผลิตคาร์บอนมอนอกไซด์



รูปที่ 4.12 การผลิตคาร์บอนมอนอกไซด์
ที่ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ 3 กรัม

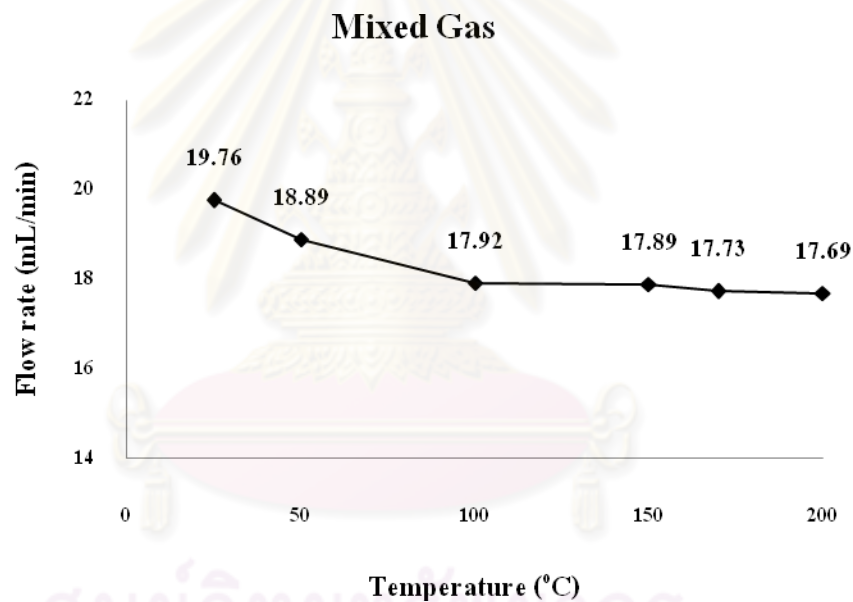
จากรูปที่ 4.12 เมื่อมีการยิงรังสีเอกซ์พลังงานต่ำร่วมกับการเพิ่มอุณหภูมิและตัวเร่งปฏิกิริยา คอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ทำให้ความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์และความเข้มข้นไฮโดรเจนลดลงต่ำกว่าร้อยละ 25 และร้อยละ 75 เนื่องจากเกิดการแตกตัวของคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนด้วยรังสีเอกซ์พลังงานต่ำร่วมกับอุณหภูมิและตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ทำให้คาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนแปรสภาพเป็นคาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรคาร์บอน ตามสมการ โดยที่ความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์อยู่ในช่วงร้อยละ 2.47-4.28 และค่าความเลือกจำเพาะคาร์บอนมอนอกไซด์อยู่ในช่วงร้อยละ 17.57-31.75



4.4 การแปรสภาพคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนด้วยรังสีเอกซ์พลังงานต่ำที่ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ 4 กรัม และอุณหภูมิอยู่ในช่วง 25-200 องศาเซลเซียส

ในการทดลองกำหนดให้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ 4 กรัม อัตราการไหลแก๊ส 20 มิลลิลิตรต่อนาที คาร์บอนไดออกไซด์มีความเข้มข้นร้อยละ 25 ไฮโดรเจนมีความเข้มข้นร้อยละ 75 และใช้อุณหภูมิ 25, 50, 100, 150, 170, 200 องศาเซลเซียส โดยทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจน การแปรสภาพคาร์บอนไดออกไซด์ การแปรสภาพไฮโดรเจนและการผลิตคาร์บอนมอนอกไซด์ มีรายละเอียดดังนี้

4.4.1 การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลแก๊ส

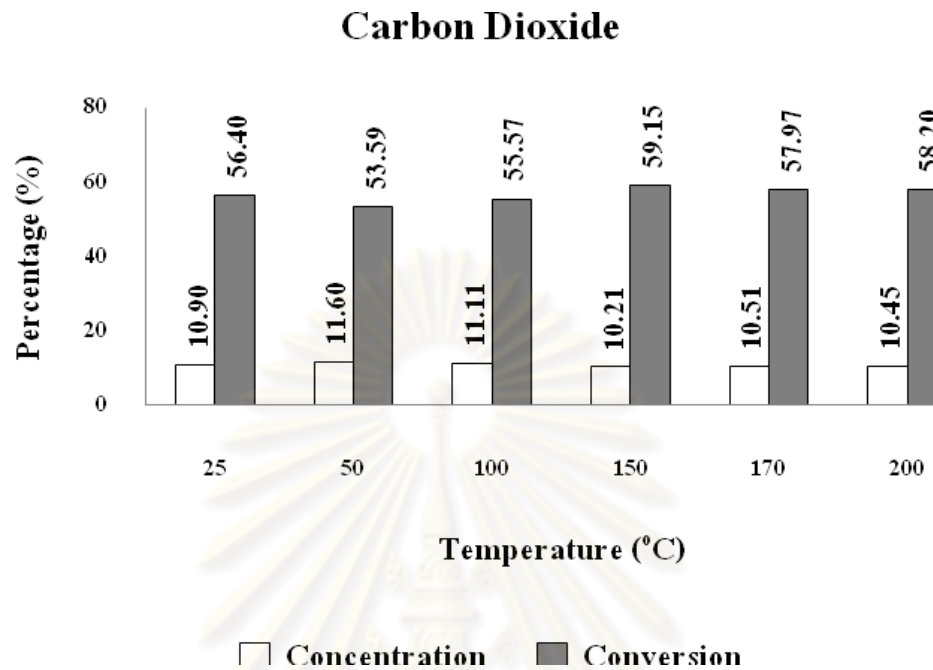


รูปที่ 4.13 การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลแก๊ส

ที่ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ 4 กรัม

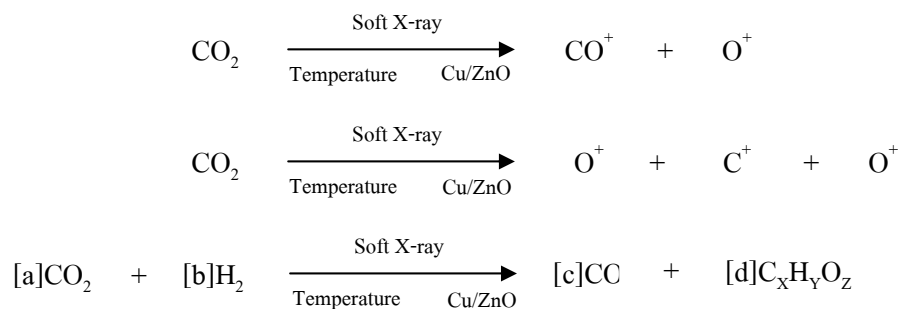
จากรูปที่ 4.13 เมื่อมีการยิงรังสีเอกซ์พลังงานต่ำร่วมกับการเพิ่มอุณหภูมิและตัวเร่งปฏิกิริยา คอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ทำให้มีอัตราการไหลแก๊สลดลงต่ำกว่า 20 มิลลิลิตรต่อนาที เนื่องจากเกิด การทำปฏิกิริยาของคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนด้วยรังสีเอกซ์พลังงานต่ำร่วมกับอุณหภูมิ และตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ทำให้คาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนแปรสภาพเป็น คาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรคาร์บอน โดยที่อัตราการไหลอยู่ในช่วง 17.69-19.76 มิลลิลิตรต่อ นาที

4.4.2 การแปรสภาพคาร์บอนไดออกไซด์

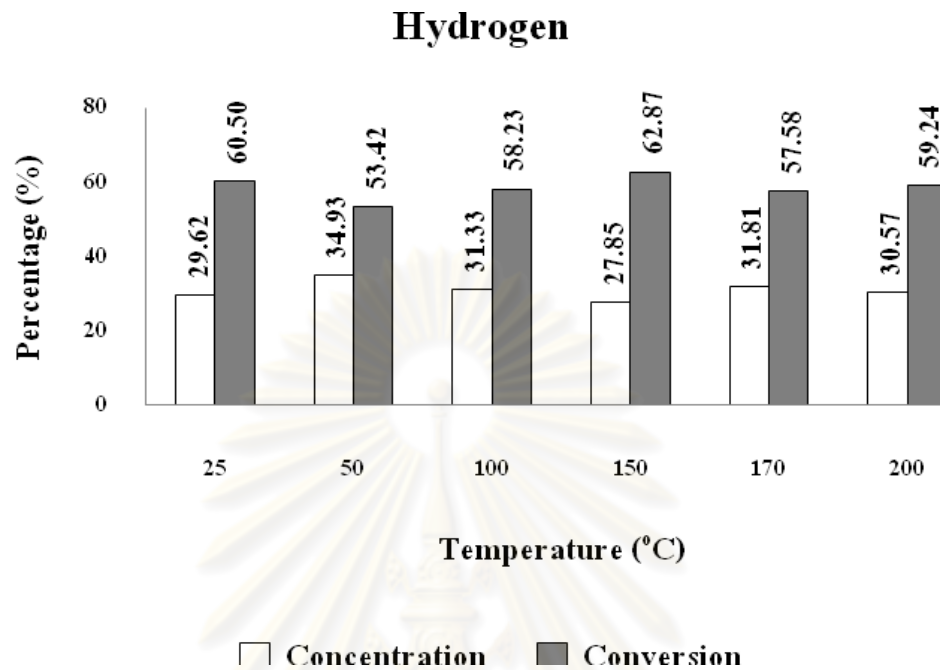


รูปที่ 4.14 การแปรสภาพคาร์บอนไดออกไซด์
ที่ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ 4 กรัม

จากรูปที่ 4.14 เมื่อมีการยิงรังสีเอกซ์พลังงานต่ำร่วมกับการเพิ่มอุณหภูมิและตัวเร่งปฏิกิริยา คอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ทำให้ความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ลดลงต่ำกว่าร้อยละ 25 เนื่องจากเกิดการแตกตัวของคาร์บอนไดออกไซด์ด้วยรังสีเอกซ์พลังงานต่ำร่วมกับอุณหภูมิและตัวเร่งปฏิกิริยา คอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ทำให้คาร์บอนไดออกไซด์แปรสภาพร่วมกับไฮโดรเจนเป็น คาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรคาร์บอน ตามสมการ โดยที่ความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ในช่วงร้อยละ 10.21-11.60 และค่าการแปรสภาพคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ในช่วงร้อยละ 53.59-59.15

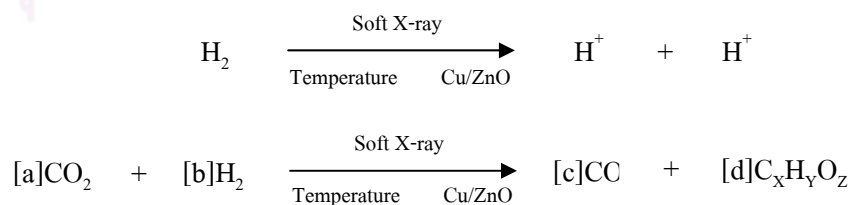


4.4.3 การแปรสภาพไฮโดรเจน

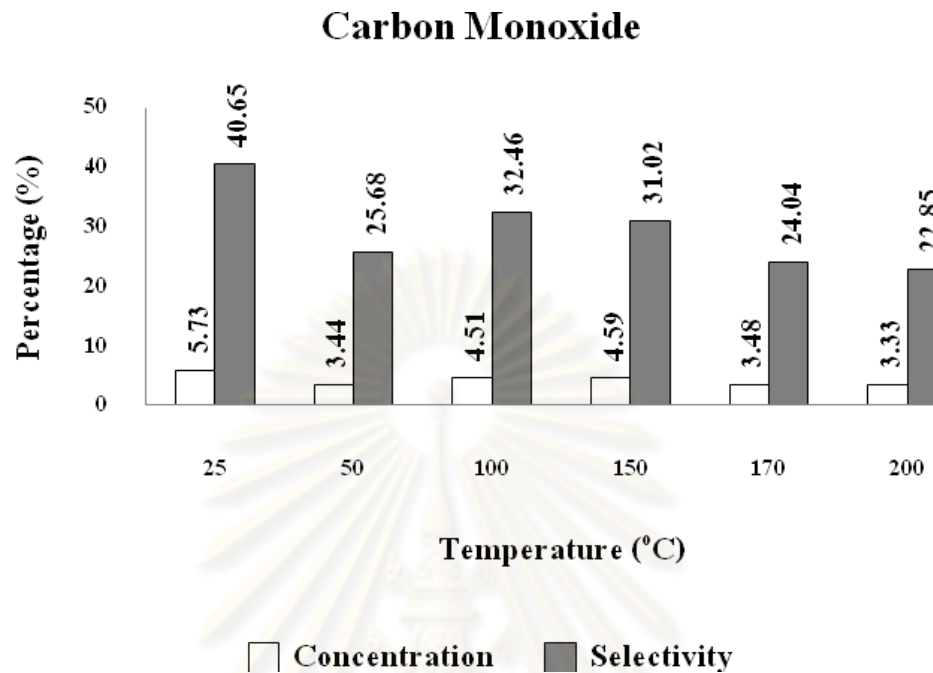


รูปที่ 4.15 การแปรสภาพไฮโดรเจน
ที่ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ 4 กรัม

จากรูปที่ 4.15 เมื่อมีการยิงรังสีเอกซ์พลังงานต่ำร่วมกับการเพิ่มอุณหภูมิและตัวเร่งปฏิกิริยา คอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ทำให้ความเข้มข้นไฮโดรเจนลดลงต่ำกว่าร้อยละ 75 เนื่องจากเกิดการแตกตัวของไฮโดรเจนด้วยรังสีเอกซ์พลังงานต่ำร่วมกับอุณหภูมิและตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ทำให้ไฮโดรเจนแปรสภาพร่วมกับคาร์บอนไดออกไซด์เป็นคาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรคาร์บอน ตามสมการ โดยที่ความเข้มข้นไฮโดรเจนอยู่ในช่วงร้อยละ 27.85-34.93 และค่าการแปรสภาพไฮโดรเจนอยู่ในช่วงร้อยละ 53.42-62.87

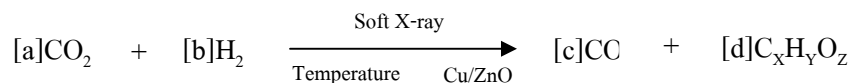


4.4.4 การผลิตคาร์บอนมอนอกไซด์



รูปที่ 4.16 การผลิตคาร์บอนมอนอกไซด์
ที่ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ 4 กรัม

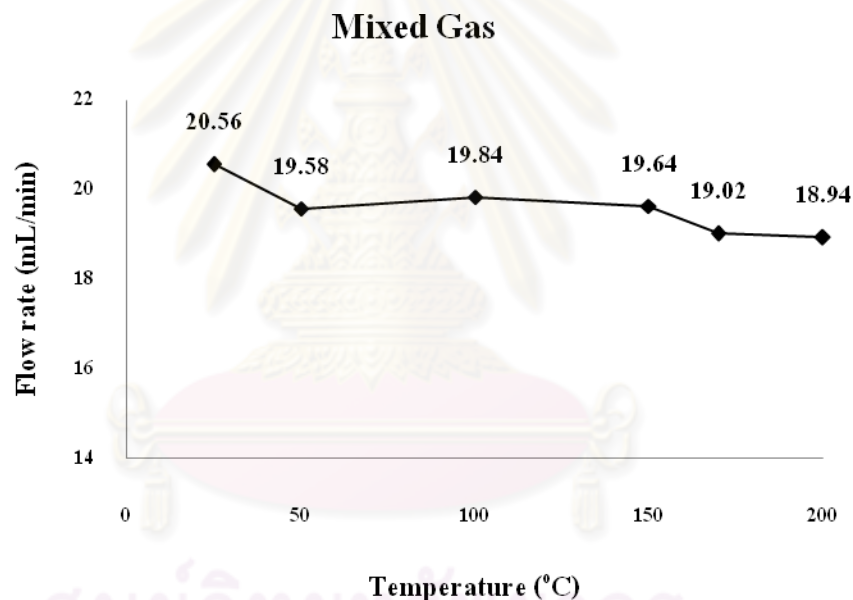
จากรูปที่ 4.16 เมื่อมีการยิงรังสีเอกซ์พลังงานต่ำร่วมกับการเพิ่มอุณหภูมิและตัวเร่งปฏิกิริยา คอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ทำให้ความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์และความเข้มข้นไฮโดรเจนลดลงต่ำกว่าร้อยละ 25 และร้อยละ 75 เนื่องจากเกิดการแตกตัวของคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนด้วยรังสีเอกซ์พลังงานต่ำร่วมกับอุณหภูมิและตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ทำให้คาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนแปรสภาพเป็นคาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรคาร์บอน ตามสมการ โดยที่ความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์อยู่ในช่วงร้อยละ 3.33-5.73 และค่าความเลือกจำเพาะคาร์บอนมอนอกไซด์อยู่ในช่วงร้อยละ 22.85-40.65



4.5 การแปรสภาพคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนด้วยรังสีเอกซ์พลังงานต่ำที่ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ 5 กรัม และอุณหภูมิอยู่ในช่วง 25-200 องศาเซลเซียส

ในการทดลองกำหนดให้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ 5 กรัม อัตราการไหลแก๊ส 20 มิลลิลิตรต่อนาที คาร์บอนไดออกไซด์มีความเข้มข้นร้อยละ 25 ไฮโดรเจนมีความเข้มข้นร้อยละ 75 และใช้อุณหภูมิ 25, 50, 100, 150, 170, 200 องศาเซลเซียส โดยทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจน การแปรสภาพคาร์บอนไดออกไซด์ การแปรสภาพไฮโดรเจนและการผลิตคาร์บอนมอนอกไซด์ มีรายละเอียดดังนี้

4.5.1 การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลแก๊ส

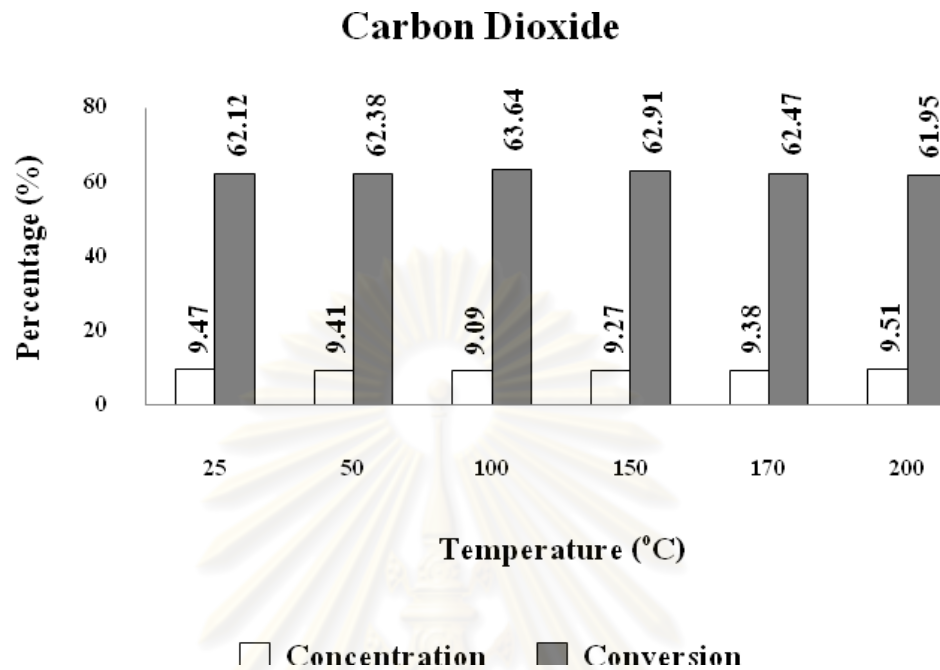


รูปที่ 4.17 การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลแก๊ส

ที่ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ 5 กรัม

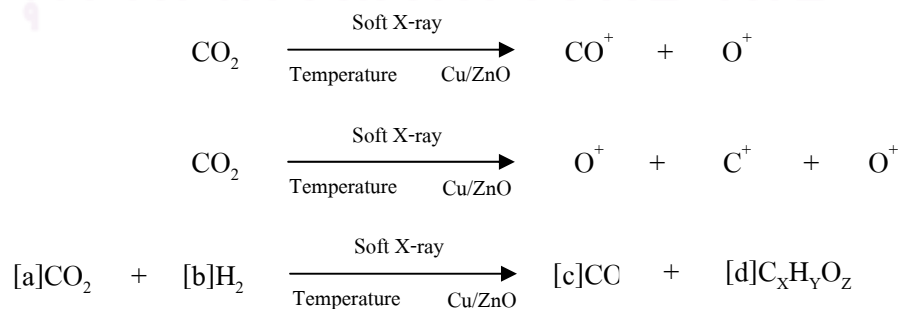
จากรูปที่ 4.17 เมื่อมีการยิงรังสีเอกซ์พลังงานต่ำร่วมกับการเพิ่มอุณหภูมิและตัวเร่งปฏิกิริยา คอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ทำให้มีอัตราการไหลแก๊สลดลงต่ำกว่า 20 มิลลิลิตรต่อนาที เนื่องจากเกิด การทำปฏิกิริยาของคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนด้วยรังสีเอกซ์พลังงานต่ำร่วมกับอุณหภูมิ และตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ทำให้คาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนแปรสภาพเป็น คาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรคาร์บอน โดยที่อัตราการไหลอยู่ในช่วง 18.94-20.56 มิลลิลิตรต่อ นาที

4.5.2 การแปรสภาพคาร์บอนไดออกไซด์

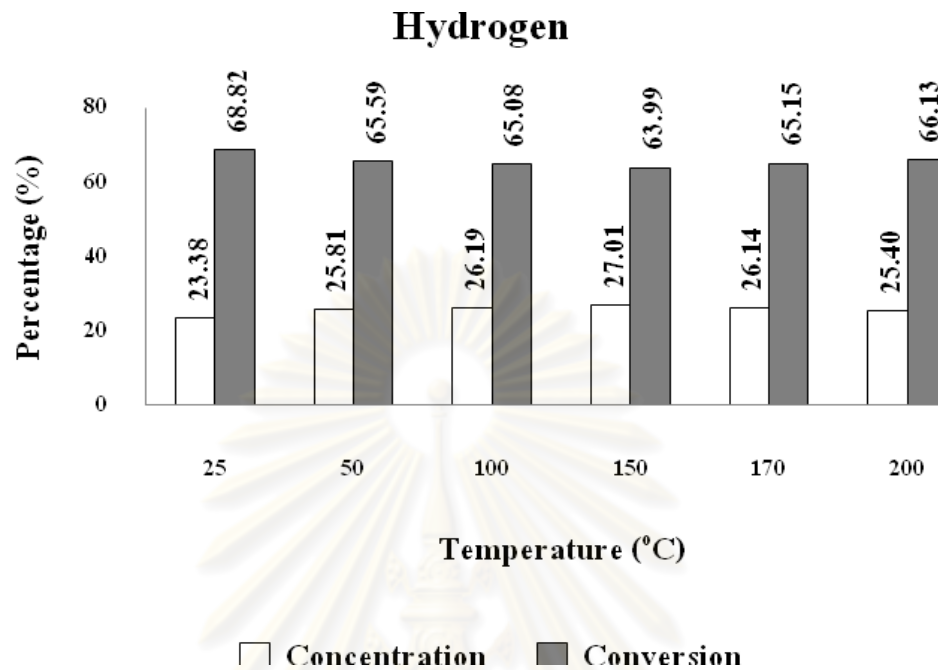


รูปที่ 4.18 การแปรสภาพคาร์บอนไดออกไซด์
ที่ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ 5 กรัม

จากรูปที่ 4.18 เมื่อมีการยิงรังสีเอกซ์พลังงานต่ำร่วมกับการเพิ่มอุณหภูมิและตัวเร่งปฏิกิริยา คอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ทำให้ความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ลดลงต่ำกว่าร้อยละ 25 เนื่องจากเกิดการแตกตัวของคาร์บอนไดออกไซด์ด้วยรังสีเอกซ์พลังงานต่ำร่วมกับอุณหภูมิและตัวเร่งปฏิกิริยา คอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ทำให้คาร์บอนไดออกไซด์แปรสภาพร่วมกับไฮโดรเจนเป็น คาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรคาร์บอน ตามสมการ โดยที่ความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ในช่วงร้อยละ 9.09-9.51 และค่าการแปรสภาพคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ในช่วงร้อยละ 61.95-63.64

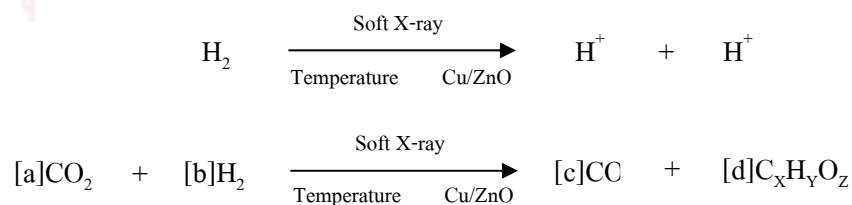


4.5.3 การแปรสภาพไฮโดรเจน

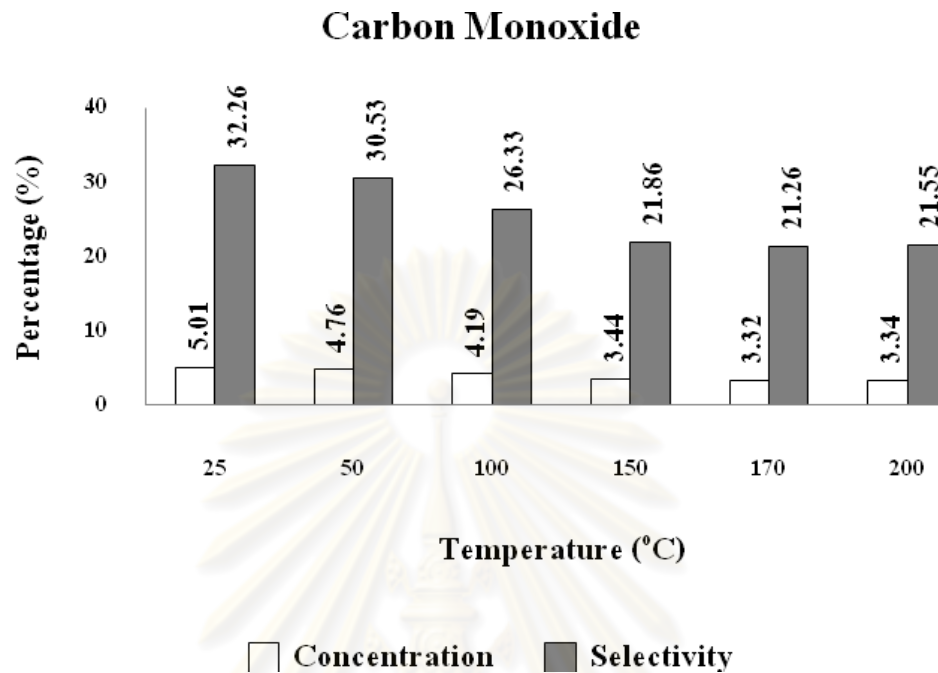


รูปที่ 4.19 การแปรสภาพไฮโดรเจน
ที่ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ 5 กรัม

จากรูปที่ 4.19 เมื่อมีการยิงรังสีเอกซ์พลังงานต่ำร่วมกับการเพิ่มอุณหภูมิและตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ทำให้ความเข้มข้นไฮโดรเจนลดลงต่ำกว่าร้อยละ 75 เนื่องจากเกิดการแตกตัวของไฮโดรเจนด้วยรังสีเอกซ์พลังงานต่ำร่วมกับอุณหภูมิและตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ทำให้ไฮโดรเจนแปรสภาพร่วมกับคาร์บอนไดออกไซด์เป็นคาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรคาร์บอน ตามสมการ โดยที่ความเข้มข้นไฮโดรเจนอยู่ในช่วงร้อยละ 23.38-37.01 และค่าการแปรสภาพไฮโดรเจนอยู่ในช่วงร้อยละ 63.99-68.82

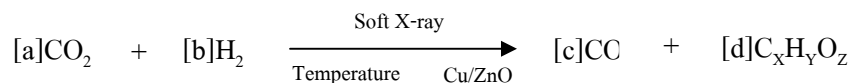


4.5.4 การผลิตคาร์บอนมอนอกไซด์



รูปที่ 4.20 การผลิตคาร์บอนมอนอกไซด์
ที่ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ 5 กรัม

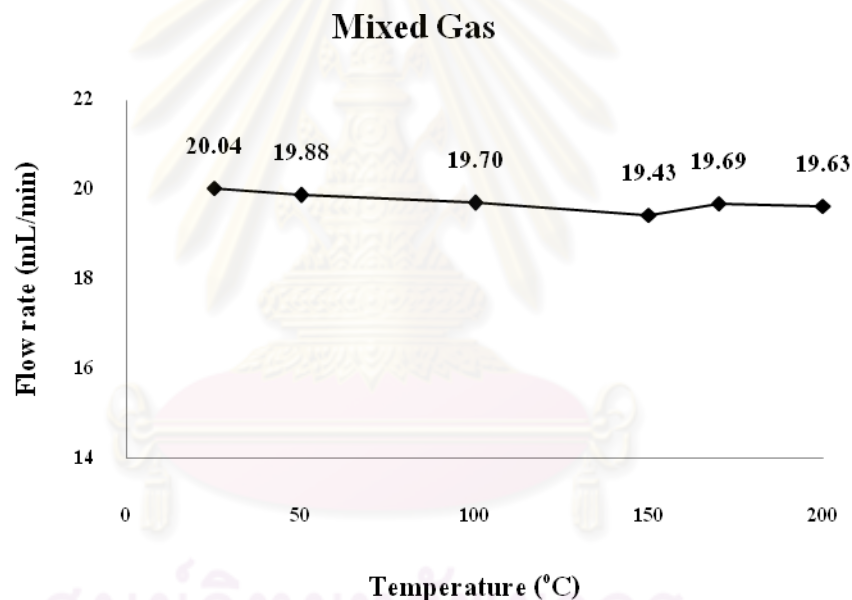
จากรูปที่ 4.20 เมื่อมีการยิงรังสีเอกซ์พลังงานต่ำร่วมกับการเพิ่มอุณหภูมิและตัวเร่งปฏิกิริยา คอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ทำให้ความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์และความเข้มข้นไฮโดรเจนลดลงต่ำกว่าร้อยละ 25 และร้อยละ 75 เนื่องจากเกิดการแตกตัวของคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนด้วยรังสีเอกซ์พลังงานต่ำร่วมกับอุณหภูมิและตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ทำให้คาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนแปรสภาพเป็นคาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรคาร์บอน ตามสมการ โดยที่ความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์อยู่ในช่วงร้อยละ 3.32-5.01 และค่าความเลือกจำเพาะคาร์บอนมอนอกไซด์อยู่ในช่วงร้อยละ 21.26-32.26



4.6 การแปรสภาพคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนต่ำที่ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ 2 กรัม และอุณหภูมิในช่วง 25-200 องศาเซลเซียส

ในการทดลองกำหนดให้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ 2 กรัม อัตราการไหลแก๊ส 20 มิลลิลิตรต่อนาที คาร์บอนไดออกไซด์มีความเข้มข้นร้อยละ 25 ไฮโดรเจนมีความเข้มข้นร้อยละ 75 และใช้อุณหภูมิ 25, 50, 100, 150, 170, 200 องศาเซลเซียส โดยทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจน การแปรสภาพคาร์บอนไดออกไซด์ การแปรสภาพไฮโดรเจนและการผลิตคาร์บอนมอนอกไซด์ มีรายละเอียดดังนี้

4.6.1 การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลแก๊ส

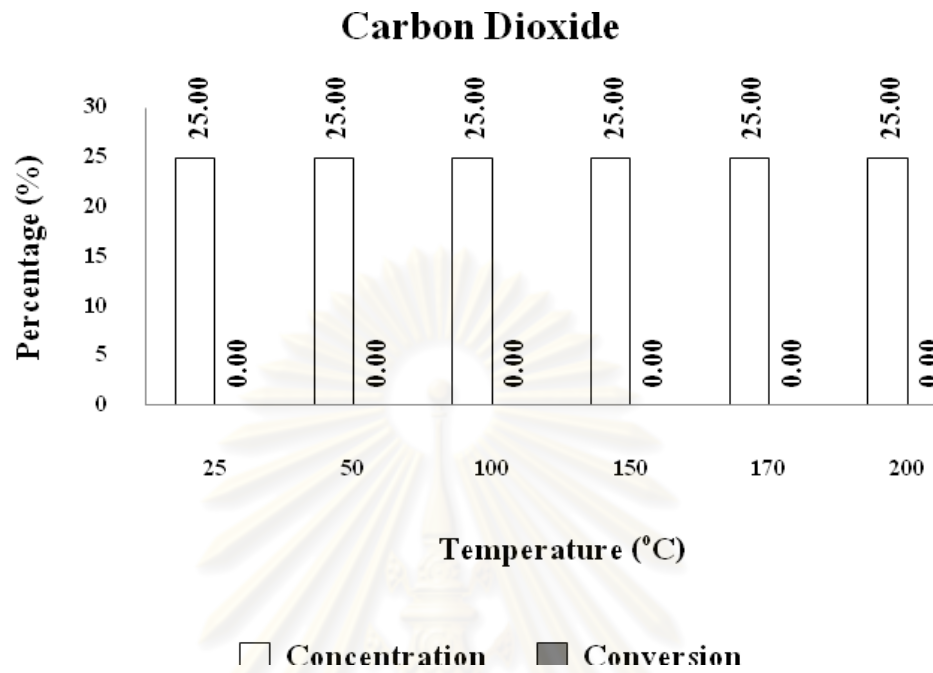


รูปที่ 4.21 การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลแก๊ส

ที่ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ 2 กรัม

จากรูปที่ 4.21 เมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ทำให้มีอัตราการไหลแก๊สลดลงต่ำกว่า 20 มิลลิลิตรต่อนาที เนื่องจากเกิดการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนที่พื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ทำให้มีอัตราการไหลแก๊สลดลงโดยที่อัตราการไหลอยู่ในช่วง 19.43-20.24 มิลลิลิตรต่อนาที

4.6.2 การแปรสภาพคาร์บอนไดออกไซด์

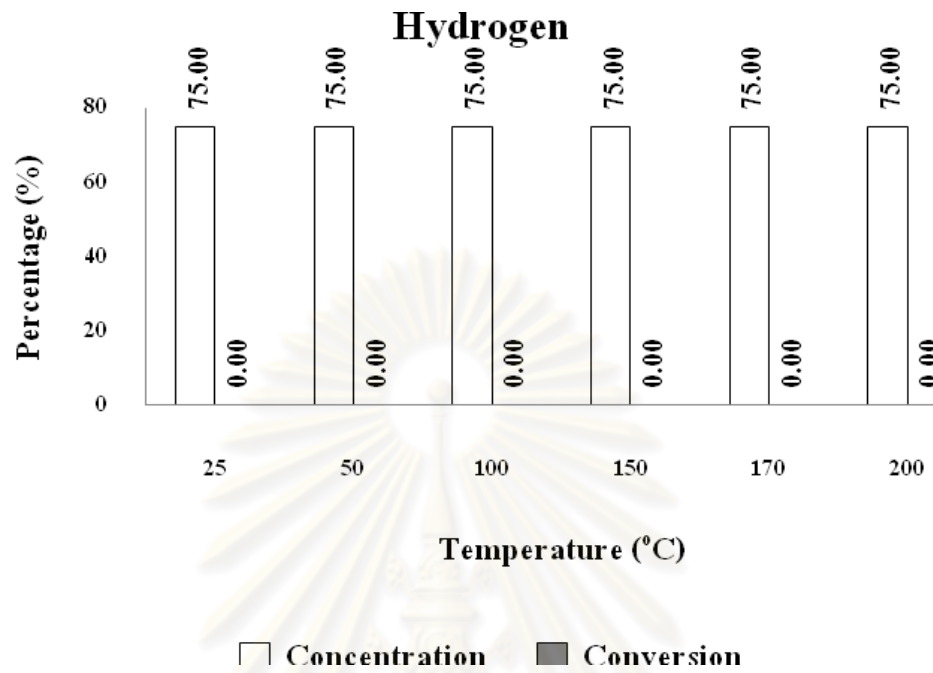


รูปที่ 4.22 การแปรสภาพคาร์บอนไดออกไซด์
ที่ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ 2 กรัม

จากรูปที่ 4.22 เมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ แต่ความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าร้อยละ 25 แสดงว่าไม่มีการทำปฏิกิริยาเกิดขึ้น เนื่องจากมีพลังงานไม่เพียงพอที่เข้าไปช่วยในการทำปฏิกิริยาคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนทำให้ไม่มีการแปรสภาพคาร์บอนไดออกไซด์

ศูนย์วิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.6.3 การแปรสภาพไฮโดรเจน

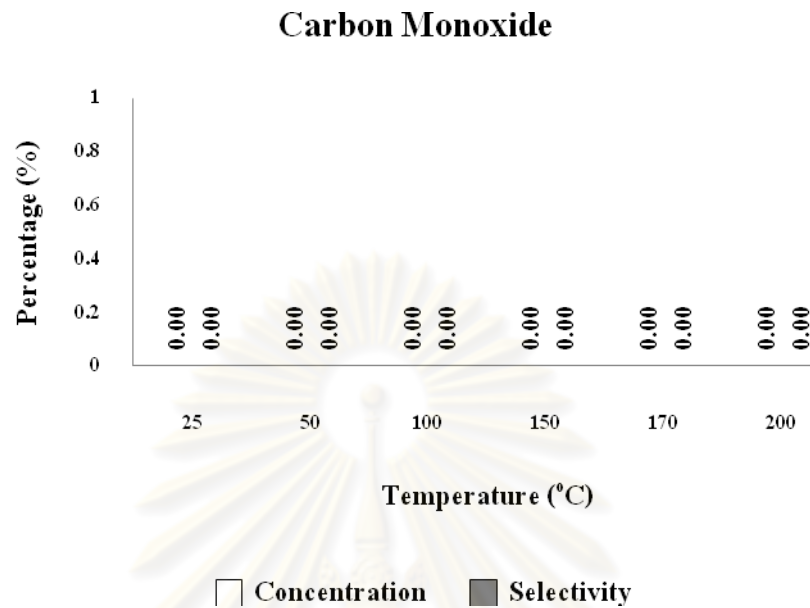


รูปที่ 4.23 การแปรสภาพไฮโดรเจน
ที่ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ 2 กรัม

จากรูปที่ 4.23 เมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ แต่ความเข้มข้นไฮโดรเจนมีค่าร้อยละ 75 แสดงว่าไม่มีการทำปฏิกิริยาเกิดขึ้น เนื่องจากมีพลังงานไม่เพียงพอที่เข้าไปช่วยในการทำปฏิกิริยาคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนทำให้ไม่มีการแปรสภาพไฮโดรเจน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.6.4 การผลิตคาร์บอนมอนอกไซด์



รูปที่ 4.24 การผลิตคาร์บอนมอนอกไซด์
ที่ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ 2 กรัม

จากรูปที่ 4.24 เมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ แต่ความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์และความเข้มข้นไฮโดรเจนมีค่าร้อยละ 25 และร้อยละ 75 แสดงว่าไม่มีการทำปฏิกิริยาเกิดขึ้น เนื่องจากมีพลังงานไม่เพียงพอที่เข้าไปช่วยในการทำปฏิกิริยา คาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนทำให้ไม่มีการแปรสภาพเป็นคาร์บอนมอนอกไซด์

4.12 การวิเคราะห์ค่าทางสถิติ

ในการวิเคราะห์ค่าทางสถิติของการทดลองนี้จะใช้ค่าตัวเร่งปฏิกิริยาของคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ อุณหภูมิ อัตราการไหลแก๊ส ความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ ความเข้มข้นไฮโดรเจน ความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์ ค่าการแปรสภาพคาร์บอนไดออกไซด์ ค่าการแปรสภาพไฮโดรเจน และค่าความเลือกจำเพาะคาร์บอนมอนอกไซด์มาใช้ในการวิเคราะห์ค่าทางสถิติของวิธีการทดลองแบบบล็อกเชิงสุ่มสมบูรณ์และการวิเคราะห์ความสัมพันธ์แบ่งออกเป็น

1. การวิเคราะห์วิธีการทดลองแบบบล็อกเชิงสุ่มสมบูรณ์ของความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ ที่ใช้ในการหาสมมติฐานความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ต่อตัวเร่งปฏิกิริยาของคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์กับอุณหภูมิและสมมติฐานค่าการแปรสภาพคาร์บอนไดออกไซด์ต่อตัวเร่งปฏิกิริยาของคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์กับอุณหภูมิ

2. การวิเคราะห์วิธีการทดลองแบบบล็อกเชิงสุ่มสมบูรณ์ของไฮโดรเจน ที่ใช้ในการหาสมมติฐานความเข้มข้นไฮโดรเจนต่อตัวเร่งปฏิกิริยาของคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์กับอุณหภูมิและสมมติฐานค่าการแปรสภาพไฮโดรเจนต่อตัวเร่งปฏิกิริยาของคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์กับอุณหภูมิ

3. การวิเคราะห์วิธีการทดลองแบบบล็อกเชิงสุ่มสมบูรณ์ของคาร์บอนมอนอกไซด์ ที่ใช้ในการหาสมมติฐานความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์ต่อตัวเร่งปฏิกิริยาของคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์กับอุณหภูมิและสมมติฐานค่าความเลือกจำเพาะคาร์บอนมอนอกไซด์ต่อตัวเร่งปฏิกิริยาของคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์กับอุณหภูมิ

4. การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ ที่ใช้ในการดูความสัมพันธ์ของตัวเร่งปฏิกิริยาของคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ อุณหภูมิ ความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ ความเข้มข้นไฮโดรเจน ความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์ ค่าการแปรสภาพคาร์บอนไดออกไซด์ ค่าการแปรสภาพไฮโดรเจน และค่าความเลือกจำเพาะของคาร์บอนมอนอกไซด์

การวิเคราะห์ค่าทางสถิติของวิธีการทดลองแบบบล็อกเชิงสุ่มสมบูรณ์และการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ โดยใช้โปรแกรมเอสพีเอสเอสฟอว์วินโดส์ (SPSS for Windows) เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์ข้อมูล

4.12.1 การวิเคราะห์วิธีการทดลองแบบบล็อกเชิงสุ่มสมบูรณ์ของคาร์บอนไดออกไซด์

การวิเคราะห์วิธีการทดลองแบบบล็อกเชิงสุ่มสมบูรณ์ของความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ มีตัวแปรทรีตเมนต์ ตัวแปรบล็อกและตัวแปรตามดังนี้

- ตัวแปรทรีตเมนต์ คือ ตัวเร่งปฏิกิริยากอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์
- ตัวแปรบล็อก คือ อุณหภูมิ
- ตัวแปรตาม คือ ความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์

สมมติฐานในการทดสอบตัวเร่งปฏิกิริยากอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ คือ

$H_{0Catalyst}$: ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างค่าความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ของตัวเร่งปฏิกิริยากอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์

$H_{1Catalyst}$: มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างค่าความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ของตัวเร่งปฏิกิริยากอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์อย่างน้อยหนึ่งค่ากับค่าความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ของตัวเร่งปฏิกิริยากอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์

การพิจารณาค่า F จากตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน

- ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$
- องศาอิสระ คือ (4, 20)
- F จากตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน คือ 2.87
- F จากการคำนวณด้วยโปรแกรมเอสพีเอสเอสฟอร์วิน โดส์ คือ 17.130

$$F_{\text{Calculation}} = 17.130 > F_{0.05, (4, 20)} = 2.87$$

การพิจารณาค่า Sig จากตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน

- ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$
- Sig จากการคำนวณด้วยโปรแกรมเอสพีเอสเอสฟอร์วิน โดส์ คือ 0.000

$$\text{Sig} = 0.000 < \alpha = 0.05$$

ดังนั้น

จากทั้งสองกรณีสามารถบอกได้ว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างค่าความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ของตัวเร่งปฏิกิริยากอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์อย่างน้อยหนึ่งค่ากับค่าความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ของตัวเร่งปฏิกิริยากอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์

สมมติฐานในการทดสอบอุณหภูมิก็คือ

H_{0Temp} : ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างค่าความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ของอุณหภูมิก็คือ

H_{1Temp} : มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างค่าความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ของอุณหภูมิก็คืออย่างน้อยหนึ่งค่ากับค่าความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ของอุณหภูมิก็คือ

การพิจารณาค่า F จากตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน

- ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$
- องศาอิสระ คือ (5, 20)
- F จากตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน คือ 2.71
- F จากการคำนวณด้วยโปรแกรมเอสพีเอสเอสฟอร์วินโดส์ คือ 3.498

$$F_{\text{Calculation}} = 3.498 > F_{0.05, (4, 20)} = 2.71$$

การพิจารณาค่า Sig จากตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน

- ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$
- Sig จากการคำนวณด้วยโปรแกรมเอสพีเอสเอสฟอร์วินโดส์ คือ 0.020

$$\text{Sig} = 0.020 < \alpha = 0.05$$

ดังนั้น

จากทั้งสองกรณีสามารถบอกได้ว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างค่าความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ของอุณหภูมิก็คืออย่างน้อยหนึ่งค่ากับค่าความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ของอุณหภูมิก็คือ

การวิเคราะห์วิธีการทดลองแบบบล็อกเชิงสุ่มสมบูรณ์ของค่าการแปรสภาพคาร์บอนไดออกไซด์ มีตัวแปรทรีตเมนต์ ตัวแปรบล็อกและตัวแปรตามดังนี้

- ตัวแปรทรีตเมนต์ คือ ตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์
- ตัวแปรบล็อก คือ อุณหภูมิ
- ตัวแปรตาม คือ ค่าการแปรสภาพคาร์บอนไดออกไซด์

สมมติฐานในการทดสอบตัวเร่งปฏิกิริยา คอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ คือ

$H_{0\text{Catalyst}}$: ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างค่าการแปรสภาพคาร์บอนไดออกไซด์ของตัวเร่งปฏิกิริยา คอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์

$H_{1\text{Catalyst}}$: มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างค่าการแปรสภาพคาร์บอนไดออกไซด์ของตัวเร่งปฏิกิริยา คอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์อย่างน้อยหนึ่งค่ากับค่าการแปรสภาพคาร์บอนไดออกไซด์ของตัวเร่งปฏิกิริยา คอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์

การพิจารณาค่า F จากตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน

- ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$
- องศาอิสระ คือ (4, 20)
- F จากตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน คือ 2.87
- F จากการคำนวณด้วยโปรแกรมเอสพีเอสเอสฟอร์วิน โดส์ คือ 17.130

$$F_{\text{Calculation}} = 17.130 > F_{0.05, (4, 20)} = 2.87$$

การพิจารณาค่า Sig จากตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน

- ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$
- Sig จากการคำนวณด้วยโปรแกรมเอสพีเอสเอสฟอร์วิน โดส์ คือ 0.000

$$\text{Sig} = 0.000 < \alpha = 0.05$$

ดังนั้น

จากทั้งสองกรณีสามารถบอกได้ว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างค่าการแปรสภาพคาร์บอนไดออกไซด์ของตัวเร่งปฏิกิริยา คอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์อย่างน้อยหนึ่งค่ากับค่าการแปรสภาพคาร์บอนไดออกไซด์ของตัวเร่งปฏิกิริยา คอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์

สมมติฐานในการทดสอบอุณหภูมิ คือ

$H_{0\text{Temp}}$: ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างค่าการแปรสภาพคาร์บอนไดออกไซด์ของอุณหภูมิ

$H_{1\text{Temp}}$: มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างค่าการแปรสภาพคาร์บอนไดออกไซด์ของอุณหภูมิตั้งแต่หนึ่งค่ากับค่าการแปรสภาพคาร์บอนไดออกไซด์ของอุณหภูมิ

การพิจารณาค่า F จากตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน

- ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$
- องศาอิสระ คือ (5, 20)
- F จากตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน คือ 2.71
- F จากการคำนวณด้วยโปรแกรมเอสพีเอสเอสฟอร์วินโดส์ คือ 3.498

$$F_{\text{Calculation}} = 3.498 > F_{0.05, (4, 20)} = 2.71$$

การพิจารณาค่า Sig จากตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน

- ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$
- Sig จากการคำนวณด้วยโปรแกรมเอสพีเอสเอสฟอร์วินโดส์ คือ 0.020

$$\text{Sig} = 0.020 < \alpha = 0.05$$

ดังนั้น

จากทั้งสองกรณีสามารถบอกได้ว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างค่าการแปรสภาพคาร์บอนไดออกไซด์ของอุณหภูมิต่ำหนึ่งค่ากับค่าการแปรสภาพคาร์บอนไดออกไซด์ของอุณหภูมิ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.12.2 การวิเคราะห์วิธีการทดลองแบบบล็อกเชิงสุ่มสมบูรณ์ของไฮโดรเจน

การวิเคราะห์วิธีการทดลองแบบบล็อกเชิงสุ่มสมบูรณ์ของความเข้มข้นไฮโดรเจน มีตัวแปรพรีตเมนต์ ตัวแปรบล็อกและตัวแปรตามดังนี้

- ตัวแปรพรีตเมนต์ คือ ตัวเร่งปฏิกิริยากอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์
- ตัวแปรบล็อก คือ อุณหภูมิ
- ตัวแปรตาม คือ ความเข้มข้นไฮโดรเจน

สมมติฐานในการทดสอบตัวเร่งปฏิกิริยากอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ คือ

$H_{0Catalyst}$: ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างค่าความเข้มข้นไฮโดรเจนของตัวเร่งปฏิกิริยากอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์

$H_{1Catalyst}$: มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างค่าความเข้มข้นไฮโดรเจนของตัวเร่งปฏิกิริยากอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์อย่างน้อยหนึ่งค่ากับค่าความเข้มข้นไฮโดรเจนของตัวเร่งปฏิกิริยากอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์

การพิจารณาค่า F จากตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน

- ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$
- องศาอิสระ คือ (4, 20)
- F จากตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน คือ 2.87
- F จากการคำนวณด้วยโปรแกรมเอสพีเอสเอสฟอร์วิน โดส์ คือ 32.773

$$F_{\text{Calculation}} = 32.773 > F_{0.05, (4, 20)} = 2.87$$

การพิจารณาค่า Sig จากตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน

- ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$
- Sig จากการคำนวณด้วยโปรแกรมเอสพีเอสเอสฟอร์วิน โดส์ คือ 0.000

$$\text{Sig} = 0.000 < \alpha = 0.05$$

ดังนั้น

จากทั้งสองกรณีสามารถบอกได้ว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างค่าความเข้มข้นไฮโดรเจนของตัวเร่งปฏิกิริยากอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์อย่างน้อยหนึ่งค่ากับค่าความเข้มข้นไฮโดรเจนของตัวเร่งปฏิกิริยากอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์

สมมติฐานในการทดสอบอุณหภูมิ คือ

H_{0Temp} : ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างค่าความเข้มข้นไฮโดรเจนของอุณหภูมิ

H_{1Temp} : มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างค่าความเข้มข้นไฮโดรเจนของอุณหภูมิอย่างน้อยหนึ่งค่ากับค่าความเข้มข้นไฮโดรเจนของอุณหภูมิ

การพิจารณาค่า F จากตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน

- ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$
- องศาอิสระ คือ (5, 20)
- F จากตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน คือ 2.71
- F จากการคำนวณด้วยโปรแกรมเอสพีเอสเอสฟอร์วินโดส์ คือ 2.181

$$F_{\text{Calculation}} = 2.181 < F_{0.05, (4, 20)} = 2.71$$

การพิจารณาค่า Sig จากตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน

- ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$
- Sig จากการคำนวณด้วยโปรแกรมเอสพีเอสเอสฟอร์วินโดส์ คือ 0.097

$$\text{Sig} = 0.097 > \alpha = 0.05$$

ดังนั้น

จากทั้งสองกรณีสามารถบอกได้ว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างค่าความเข้มข้นไฮโดรเจนของอุณหภูมิ

การวิเคราะห์วิธีการทดลองแบบบล็อกเชิงสุ่มสมบูรณ์ของค่าการแปรสภาพไฮโดรเจน มีตัวแปรที่ติดเมนต์ ตัวแปรบล็อกและตัวแปรตามดังนี้

- ตัวแปรที่ติดเมนต์ คือ ตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์
- ตัวแปรบล็อก คือ อุณหภูมิ
- ตัวแปรตาม คือ ค่าการแปรสภาพไฮโดรเจน

สมมติฐานในการทดสอบตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ คือ

$H_{0Catalyst}$: ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างค่าการแปรสภาพไฮโดรเจนของตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์

$H_{1Catalyst}$: มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างค่าการแปรสภาพไฮโดรเจนของตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์อย่างน้อยหนึ่งค่ากับค่าการแปรสภาพไฮโดรเจนของตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์

การพิจารณาค่า F จากตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน

- ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$
- องศาอิสระ คือ (4, 20)
- F จากตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน คือ 2.87
- F จากการคำนวณด้วยโปรแกรมเอสพีเอสเอสฟอร์วิน โดส์ คือ 32.773

$$F_{\text{Calculation}} = 32.773 > F_{0.05, (4, 20)} = 2.87$$

การพิจารณาค่า Sig จากตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน

- ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$
- Sig จากการคำนวณด้วยโปรแกรมเอสพีเอสเอสฟอร์วิน โดส์ คือ 0.000

$$\text{Sig} = 0.000 < \alpha = 0.05$$

ดังนั้น

จากทั้งสองกรณีสามารถบอกได้ว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างค่าการแปรสภาพไฮโดรเจนของตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์อย่างน้อยหนึ่งค่ากับค่าการแปรสภาพไฮโดรเจนของตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์

สมมติฐานในการทดสอบอุณหภูมิ คือ

H_{0Temp} : ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างค่าการแปรสภาพไฮโดรเจนของอุณหภูมิ

H_{1Temp} : มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างค่าการแปรสภาพไฮโดรเจนของอุณหภูมิอย่างน้อยหนึ่งค่ากับค่าการแปรสภาพคาร์บอนไดออกไซด์ของอุณหภูมิ

การพิจารณาค่า F จากตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน

- ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$
- องศาอิสระ คือ (5, 20)
- F จากตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน คือ 2.71
- F จากการคำนวณด้วยโปรแกรมเอสพีเอสเอสฟอร์วินโดส์ คือ 2.181

$$F_{\text{Calculation}} = 2.181 < F_{0.05, (4, 20)} = 2.71$$

การพิจารณาค่า Sig จากตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน

- ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$
- Sig จากการคำนวณด้วยโปรแกรมเอสพีเอสเอสฟอร์วินโดส์ คือ 0.097

$$\text{Sig} = 0.097 > \alpha = 0.05$$

ดังนั้น

จากทั้งสองกรณีสามารถบอกได้ว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างค่าการแปรสภาพไฮโดรเจนของอนุหุมิ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.12.3 การวิเคราะห์วิธีการทดลองแบบบล็อกเชิงสุ่มสมบูรณ์ของคาร์บอนมอนอกไซด์

การวิเคราะห์วิธีการทดลองแบบบล็อกเชิงสุ่มสมบูรณ์ของความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์ มีตัวแปรทรีตเมนต์ ตัวแปรบล็อกและตัวแปรตามดังนี้

- ตัวแปรทรีตเมนต์ คือ ตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์
- ตัวแปรบล็อก คือ อุณหภูมิ
- ตัวแปรตาม คือ ความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์

สมมติฐานในการทดสอบตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ คือ

$H_{0Catalyst}$: ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างค่าความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์ของตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์

$H_{1Catalyst}$: มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างค่าความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์ของตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์อย่างน้อยหนึ่งค่ากับค่าความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์ของตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์

การพิจารณาค่า F จากตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน

- ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$
- องศาอิสระ คือ (4, 20)
- F จากตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน คือ 2.87
- F จากการคำนวณด้วยโปรแกรมเอสพีเอสเอสฟอร์วิน โดส์ คือ 1.083

$$F_{\text{Calculation}} = 1.083 < F_{0.05, (4, 20)} = 2.87$$

การพิจารณาค่า Sig จากตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน

- ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$
- Sig จากการคำนวณด้วยโปรแกรมเอสพีเอสเอสฟอร์วิน โดส์ คือ 0.392

$$\text{Sig} = 0.392 > \alpha = 0.05$$

ดังนั้น

จากทั้งสองกรณีสามารถบอกได้ว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างค่าความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์ของตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์

สมมติฐานในการทดสอบอุณหภูมิก็คือ

H_{0Temp} : ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างค่าความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์ของอุณหภูมิก็คือ

H_{1Temp} : มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างค่าความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์ของอุณหภูมิก็คืออย่างน้อยหนึ่งค่ากับค่าความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์ของอุณหภูมิก็คือ

การพิจารณาค่า F จากตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน

- ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$
- องศาอิสระ คือ (5, 20)
- F จากตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน คือ 2.71
- F จากการคำนวณด้วยโปรแกรมเอสพีเอสเอสฟอร์วินโดส์ คือ 5.532

$$F_{\text{Calculation}} = 5.532 > F_{0.05, (4, 20)} = 2.71$$

การพิจารณาค่า Sig จากตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน

- ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$
- Sig จากการคำนวณด้วยโปรแกรมเอสพีเอสเอสฟอร์วินโดส์ คือ 0.002

$$\text{Sig} = 0.002 < \alpha = 0.05$$

ดังนั้น

จากทั้งสองกรณีสามารถบอกได้ว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างค่าความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์ของอุณหภูมิก็คืออย่างน้อยหนึ่งค่ากับค่าความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์ของอุณหภูมิก็คือ

การวิเคราะห์วิธีการทดลองแบบบล็อกเชิงสุ่มสมบูรณ์ของค่าความเลือกจำเพาะคาร์บอนมอนอกไซด์ มีตัวแปรทรีตเมนต์ ตัวแปรบล็อกและตัวแปรตามดังนี้

- ตัวแปรทรีตเมนต์ คือ ตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์
- ตัวแปรบล็อก คือ อุณหภูมิ
- ตัวแปรตาม คือ ค่าความเลือกจำเพาะคาร์บอนมอนอกไซด์

สมมติฐานในการทดสอบตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ คือ

$H_{0\text{Catalyst}}$: ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างค่าความเลือกจำเพาะคาร์บอนมอนอกไซด์ของตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์

$H_{1\text{Catalyst}}$: มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างค่าความเลือกจำเพาะคาร์บอนมอนอกไซด์ของตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์อย่างน้อยหนึ่งค่ากับค่าความเลือกจำเพาะคาร์บอนมอนอกไซด์ของตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์

การพิจารณาค่า F จากตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน

- ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$
- องศาอิสระ คือ (4, 20)
- F จากตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน คือ 2.87
- F จากการคำนวณด้วยโปรแกรมเอสพีเอสเอสฟอร์วิน โดส์ คือ 1.585

$$F_{\text{Calculation}} = 1.585 < F_{0.05, (4, 20)} = 2.87$$

การพิจารณาค่า Sig จากตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน

- ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$
- Sig จากการคำนวณด้วยโปรแกรมเอสพีเอสเอสฟอร์วิน โดส์ คือ 0.217

$$\text{Sig} = 0.217 > \alpha = 0.05$$

ดังนั้น

จากทั้งสองกรณีสามารถบอกได้ว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างค่าความเลือกจำเพาะคาร์บอนมอนอกไซด์ของตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์

สมมติฐานในการทดสอบอุณหภูมิ คือ

$H_{0\text{Temp}}$: ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างค่าความเลือกจำเพาะคาร์บอนมอนอกไซด์ของอุณหภูมิ

$H_{1\text{Temp}}$: มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างค่าความเลือกจำเพาะคาร์บอนมอนอกไซด์ของอุณหภูมิอย่างน้อยหนึ่งค่ากับค่าความเลือกจำเพาะคาร์บอนมอนอกไซด์ของอุณหภูมิ

การพิจารณาค่า F จากตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน

- ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$
- องศาอิสระ คือ (5, 20)
- F จากตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน คือ 2.71
- F จากการคำนวณด้วยโปรแกรมเอสพีเอสเอสฟอร์วินโดส์ คือ 5.149

$$F_{\text{Calculation}} = 5.149 > F_{0.05, (4, 20)} = 2.71$$

การพิจารณาค่า Sig จากตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน

- ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$
- Sig จากการคำนวณด้วยโปรแกรมเอสพีเอสเอสฟอร์วินโดส์ คือ 0.003

$$\text{Sig} = 0.003 < \alpha = 0.05$$

ดังนั้น

จากทั้งสองกรณีสามารถบอกได้ว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างค่าความเลือกจำเพาะคาร์บอนมอนอกไซด์ของอุณหภูมิต่างกันอย่างน้อยหนึ่งค่ากับค่าความเลือกจำเพาะคาร์บอนมอนอกไซด์ของอุณหภูมิ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.12.4 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ เป็นการวิเคราะห์เพื่อหาค่าความสัมพันธ์ระหว่าง ตัวเร่งปฏิกิริยา คอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ อุณหภูมิ อัตราการไหลแก๊ส ความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ ความเข้มข้นไฮโดรเจน ความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์ ค่าการแปรสภาพคาร์บอนไดออกไซด์ ค่าการแปรสภาพไฮโดรเจนและค่าความเลือกจำเพาะคาร์บอนมอนอกไซด์ ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ค่าความสัมพันธ์ของการทดลอง

	Cat	Temp	Flow	CO ₂ conc	CO ₂ con	H ₂ conc	H ₂ con	CO conc	CO sel
Cat	1.000	0.000	0.071	-0.249	0.249	-0.146	0.146	0.162	0.072
Temp	0.000	1.000	-0.617	-0.234	-0.234	-0.026	0.026	-0.648	-0.652
Flow	0.071	-0.617	1.000	0.116	-0.116	0.103	-0.103	0.362	0.367
CO ₂ conc	-0.249	-0.234	0.116	1.000	-1.000	0.871	-0.871	0.194	0.434
CO ₂ con	0.249	0.234	-0.116	-1.000	1	-0.871	0.871	-0.194	-0.434
H ₂ conc	-0.146	-0.026	0.103	0.871	-0.871	1.000	-1.000	-0.008	0.215
H ₂ con	0.146	0.026	-0.103	-0.871	0.871	-1.000	1.000	0.008	-0.215
CO conc	0.162	-0.648	0.362	0.194	-0.194	-0.008	0.008	1.000	0.967
CO sel	0.072	-0.652	0.367	0.434	-0.434	0.215	-0.215	0.967	1.000

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 การแปรสภาพคาร์บอนไดออกไซด์

การแปรสภาพคาร์บอนไดออกไซด์ด้วยรังสีเอกซ์พลังงานต่ำร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยากอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์และอนุหภูมิ โดยค่าการแปรสภาพของคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 63.64 เป็นค่าที่สูงสุด และมีค่าความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 9.09 ซึ่งใช้ตัวเร่งปฏิกิริยากอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ 5 กรัม และอนุหภูมิ 100 องศาเซลเซียส แต่ถ้าคาร์บอนไดออกไซด์ไม่มีการผ่านรังสีเอกซ์พลังงานต่ำทำให้คาร์บอนไดออกไซด์ไม่เกิดการแปรสภาพ

5.1.2 การแปรสภาพไฮโดรเจน

การแปรสภาพไฮโดรเจนด้วยรังสีเอกซ์พลังงานต่ำร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยากอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์และอนุหภูมิ โดยค่าการแปรสภาพของไฮโดรเจนร้อยละ 68.82 เป็นค่าที่สูงสุด และความเข้มข้นของไฮโดรเจนร้อยละ 23.38 ซึ่งใช้ตัวเร่งปฏิกิริยากอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ 5 กรัม และอนุหภูมิ 25 องศาเซลเซียส แต่ถ้าไฮโดรเจนไม่มีการผ่านรังสีเอกซ์พลังงานต่ำทำให้ไฮโดรเจนไม่เกิดการแปรสภาพ

5.1.3 การผลิตคาร์บอนมอนอกไซด์

การผลิตคาร์บอนมอนอกไซด์ด้วยรังสีเอกซ์พลังงานต่ำร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยากอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์และอนุหภูมิ โดยค่าความเลือกจำเพาะของคาร์บอนมอนอกไซด์ร้อยละ 40.65 เป็นค่าที่สูงสุด และความเข้มข้นของคาร์บอนมอนอกไซด์ร้อยละ 5.73 ซึ่งใช้ตัวเร่งปฏิกิริยากอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ 4 กรัม และอนุหภูมิ 25 องศาเซลเซียส แต่ถ้าคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนไม่มีการผ่านรังสีเอกซ์พลังงานต่ำทำให้ไม่เกิดคาร์บอนมอนอกไซด์

ซิงค์ออกไซด์ ส่วนค่าการแปรสภาพคาร์บอนไดออกไซด์ของอุณหภูมิไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างค่าการแปรสภาพไฮโดรเจนของอุณหภูมิ

การวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธีการทดลองแบบบล็อกเชิงสุ่มสมบูรณ์ของคาร์บอนมอนอกไซด์ พบว่าค่าความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์ของตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างค่าความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์ของตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ ส่วนค่าความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์ของอุณหภูมิมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างค่าความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์ของอุณหภูมิต่างกันหนึ่งค่ากับค่าความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์ของอุณหภูมิ ส่วนค่าความเลือกจำเพาะคาร์บอนมอนอกไซด์ของตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างค่าความเลือกจำเพาะคาร์บอนมอนอกไซด์ของตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ ส่วนค่าความเลือกจำเพาะคาร์บอนมอนอกไซด์ของอุณหภูมิต่างกันหนึ่งค่ากับค่าความเลือกจำเพาะคาร์บอนมอนอกไซด์ของอุณหภูมิ

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. อุปกรณ์ทำปฏิกิริยาที่ใช้ในการทดลองควรให้แก๊สไหลในแนวตั้งเพื่อให้แก๊สที่ผ่านรังสีเอกซ์พลังงานต่ำได้ทำปฏิกิริยากับตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ได้ดียิ่งขึ้น
2. ในการทดลองนี้ยังมีแก๊สบางส่วนที่ไม่สามารถวิเคราะห์ได้ เนื่องจากจำกัดด้วยอุปกรณ์และเครื่องมือ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เอกสารอ้างอิง

- Bebelis, S., Karasali, H., and Vayenas, C.G. Electrochemical promotion of the CO₂ hydrogenation on Pd/YSZ and Pd/ β "-Al₂O₃ catalyst-electrodes. Solid State Ionics. 179(2008): 1391-1395.
- Bai, Y., Furuuchi, M., Tekasakul, P., Tekasakul, S., Choosong, T., Aizawa, M., Hata, M., and Otani, Y. Application of soft X-rays in the decomposition of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in smoke particles from biomass fuel burning. Aerosol and Air Quality Research. 7(2007): 79-94.
- Bustamante, F., Enick, R.M., Cugini, A.V., Killmeyer, R.P., Howard, B.H., Rothenberger, K.S., Ciocco, M.V., Morreale, B.D., Chattopadhyay, S., and Shi, S. High-temperature kinetics of the homogeneous reverse water-gas shift reaction. AIChE journal. 50(2004): 1028-1041.
- Chen, C.S., Cheng, W.H., and Lin, S.S. Study of reverse water gas shift reaction by TPD, TPR and CO₂ hydrogenation over potassium-promoted Cu/SiO₂ catalyst. Applied Catalysis. 238(2003): 55-67.
- Choi, Y., Futagami, K., Fujitani, T., and Nakamura, J. The role of ZnO in Cu/ZnO methanol synthesis catalysts-morphology effect or active site model?. Applied Catalysis. 208(2001): 163-167.
- Fan, L., Sakaiya, Y., and Fujimoto, K. Low-temperature methanol synthesis from carbon dioxide and hydrogen via formic ester. Applied Catalysis A: General. 180(1999): L11-L13.
- Fujita, S., Kanamori, Y., Satriyo, A.M., and Takezawa, N. Methanol synthesis from CO₂ over Cu/ZnO catalysts prepared from various coprecipitated precursors. Catalysis Today. 45(1998): 241-244.
- Fujita, F., Moribe, S., Kanamori, Y., Kakudate, M., and Takezawa, N. Preparation of a coprecipitated Cu/ZnO catalyst for the methanol synthesis from CO₂-effects of the calcination and reduction conditions on the catalytic performance. Applied Catalysis. 207(2001): 121-128.
- Hagen, J. Industrial catalysis. Darmstadt: WILEY-VCH, 2006
- Indarto, A., Yang, D.R., Palgunadi, J., Choi, J.W., Lee, H., and Song, H.K. Partial oxidation of methane with Cu-Zn-Al catalyst in a dielectric barrier discharge. Chemical Engineering and Processing. 47(2008): 780-786.

- Ito, T., Otani, Y., and Namiki, N. Electrostatic separation of carbon dioxide by ionization in bifurcation flow. Aerosol and Air Quality Research. 4(2004): 91-104.
- Ito, T., Otani, Y., and Namiki, N. Separation of volatile organic compound vapor by an ionization and electrical migrations-separation model. Ind. Eng. Chem. Res. 42(2003): 5617-5621.
- Karagiannakis, G., Zisekas, S., and Stoukides, M. Hydrogenation of carbon dioxide on copper in a H^+ conducting membrane-reactor. Solid State Ionics. 162-163(2003): 313-318.
- Lide, D.R. CRC Handbook of chemistry and Physics. Boca Raton: Taylor & Francis, 2008
- Luhui, W., Shaoxing, Z., and Yuan, L. Reverse water gas shift reaction over Co-precipitated Ni-CeO₂ catalysts. JOURNAL OF RARE EARTHS. 26(2008): 66-70.
- Park, S.W., Joo, O.S., Jung, K.D., Kim, H., and Han, S.H. Development of ZnO/Al₂O₃ catalyst for reverse-water-gas-shift reaction of CAMERE (carbon dioxide hydrogenation to form methanol via a reverse-water-gas-shift reaction) process. Applied Catalysis. 211(2001) 81-90.
- Reubroycharoen, P., Vitidsant, T., Yoneyama, Y., and Tsubaki, N. Development of a new low temperature methanol synthesis process. Catalysis Today. 89(2004): 447-454.



ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ก
ผลการทดลอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-1 ผลการทดลองค่าอัตราการไหลแก๊ส

Temp (°C)	Cat 0 g (mL/min)	Cat 2 g (mL/min)	Cat 3 g (mL/min)	Cat 4 g (mL/min)	Cat 5 g (mL/min)
25	19.70	20.23	20.35	19.76	20.56
50	18.67	19.78	19.79	18.89	19.58
100	18.63	19.48	19.45	17.92	19.84
150	19.09	19.25	19.30	17.89	19.64
170	18.77	19.35	18.92	17.73	19.02
200	18.52	19.09	18.81	17.69	18.94

ตารางที่ ก-2 ผลการทดลองค่าความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์

Temp (°C)	Cat 0 g (%)	Cat 2 g (%)	Cat 3 g (%)	Cat 4 g (%)	Cat 5 g (%)
25	11.39	11.26	11.51	10.90	9.47
50	11.08	12.13	12.72	11.60	9.41
100	9.50	11.74	11.23	11.11	9.09
150	9.84	9.63	11.85	10.21	9.27
170	10.64	12.26	12.35	10.51	9.38
200	9.77	11.06	10.93	10.45	9.51

ตารางที่ ก-3 ผลการทดลองค่าการแปรสภาพคาร์บอนไดออกไซด์

Temp (°C)	Cat 0 g (%)	Cat 2 g (%)	Cat 3 g (%)	Cat 4 g (%)	Cat 5 g (%)
25	54.44	54.98	53.97	56.40	62.12
50	55.67	51.47	49.10	53.59	62.38
100	62.02	53.04	55.07	55.57	63.64
150	60.62	61.50	52.59	59.15	62.91
170	57.45	50.98	50.59	57.97	62.47
200	60.91	55.77	56.28	58.20	61.95

ตารางที่ ก-4 ผลการทดลองค่าความเข้มข้นไฮโดรเจน

Temp (°C)	Cat 0 g (%)	Cat 2 g (%)	Cat 3 g (%)	Cat 4 g (%)	Cat 5 g (%)
25	30.33	35.29	33.03	29.62	23.38
50	26.34	35.20	38.95	34.93	25.81
100	25.64	36.83	35.93	31.33	26.19
150	26.51	32.16	34.07	27.85	27.01
170	31.67	37.27	36.54	31.81	26.14
200	26.50	35.38	33.60	30.57	25.40

ตารางที่ ก-5 ผลการทดลองค่าการแปรสภาพไฮโดรเจน

Temp (°C)	Cat 0 g (%)	Cat 2 g (%)	Cat 3 g (%)	Cat 4 g (%)	Cat 5 g (%)
25	59.56	52.95	55.96	60.50	68.82
50	64.88	53.06	48.07	53.42	65.59
100	65.81	50.90	52.09	58.23	65.08
150	64.66	57.12	54.58	62.87	63.99
170	57.78	50.30	51.28	57.58	65.15
200	64.67	52.83	55.20	59.24	66.13

ตารางที่ ก-6 ผลการทดลองค่าความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์

Temp (°C)	Cat 0 g (%)	Cat 2 g (%)	Cat 3 g (%)	Cat 4 g (%)	Cat 5 g (%)
25	5.66	5.32	4.28	5.73	5.01
50	4.19	4.96	3.16	3.44	4.76
100	3.69	3.63	4.18	4.51	4.19
150	1.95	3.57	3.94	4.59	3.44
170	1.44	4.34	3.70	3.48	3.32
200	3.31	2.31	2.47	3.33	3.34

ตารางที่ ก-7 ผลการทดลองค่าความเลือกจำเพาะคาร์บอนมอนอกไซด์

Temp (°C)	Cat 0 g (%)	Cat 2 g (%)	Cat 3 g (%)	Cat 4 g (%)	Cat 5 g (%)
25	41.57	38.69	31.75	40.65	32.26
50	30.13	38.58	25.77	25.68	30.53
100	23.79	27.37	30.33	32.46	26.33
150	12.89	23.24	29.94	31.02	21.86
170	10.03	34.05	29.29	24.04	21.26
200	21.70	16.55	17.57	22.85	21.55



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ข
ผลการวิเคราะห์ค่าทางสถิติ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: CONC

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	26.179(a)	9	2.909	9.557	.000
Intercept	3451.848	1	3451.848	11341.026	.000
CATALYST	20.855	4	5.214	17.130	.000
TEMP	5.324	5	1.065	3.498	.020
Error	6.087	20	.304		
Total	3484.115	30			
Corrected Total	32.267	29			

a R Squared = .811 (Adjusted R Squared = .726)

รูปที่ ข-1 การวิเคราะห์ทางสถิติของค่าความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ต่อตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์และอุณหภูมิ

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: CON

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	418.870(a)	9	46.541	9.557	.000
Intercept	97789.324	1	97789.324	20080.392	.000
CATALYST	333.684	4	83.421	17.130	.000
TEMP	85.187	5	17.037	3.498	.020
Error	97.398	20	4.870		
Total	98305.592	30			
Corrected Total	516.268	29			

a R Squared = .811 (Adjusted R Squared = .726)

รูปที่ ข-2 การวิเคราะห์ทางสถิติของค่าการแปรสภาพคาร์บอนไดออกไซด์ต่อตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์และอุณหภูมิ

ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: CONC

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	497.399(a)	9	55.267	15.777	.000
Intercept	28908.850	1	28908.850	8252.780	.000
CATALYST	459.200	4	114.800	32.773	.000
TEMP	38.199	5	7.640	2.181	.097
Error	70.058	20	3.503		
Total	29476.307	30			
Corrected Total	567.457	29			

a R Squared = .877 (Adjusted R Squared = .821)

รูปที่ ข-3 การวิเคราะห์ทางสถิติของค่าความเข้มข้นไฮโดรเจนต่อตัวเร่งปฏิกิริยาอะปเปอร์ซิงค์ออกไซด์และอุณหภูมิ

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: CON

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	884.265(a)	9	98.252	15.777	.000
Intercept	103054.604	1	103054.604	16548.528	.000
CATALYST	816.356	4	204.089	32.773	.000
TEMP	67.909	5	13.582	2.181	.097
Error	124.548	20	6.227		
Total	104063.417	30			
Corrected Total	1008.813	29			

a R Squared = .877 (Adjusted R Squared = .821)

รูปที่ ข-4 การวิเคราะห์ทางสถิติของค่าการแปรสภาพไฮโดรเจนต่อตัวเร่งปฏิกิริยาอะปเปอร์ซิงค์ออกไซด์และอุณหภูมิ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: CONC

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	18.079(a)	9	2.009	3.556	.009
Intercept	431.830	1	431.830	764.406	.000
CATALYST	2.446	4	.612	1.083	.392
TEMP	15.633	5	3.127	5.535	.002
Error	11.298	20	.565		
Total	461.208	30			
Corrected Total	29.378	29			

a R Squared = .615 (Adjusted R Squared = .442)

รูปที่ ข-5 การวิเคราะห์ทางสถิติของค่าความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์ต่อตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์และอุณหภูมิ

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: SEL

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	1069.951(a)	9	118.883	3.565	.009
Intercept	21581.160	1	21581.160	647.173	.000
CATALYST	211.463	4	52.866	1.585	.217
TEMP	858.488	5	171.698	5.149	.003
Error	666.936	20	33.347		
Total	23318.047	30			
Corrected Total	1736.887	29			

a R Squared = .616 (Adjusted R Squared = .443)

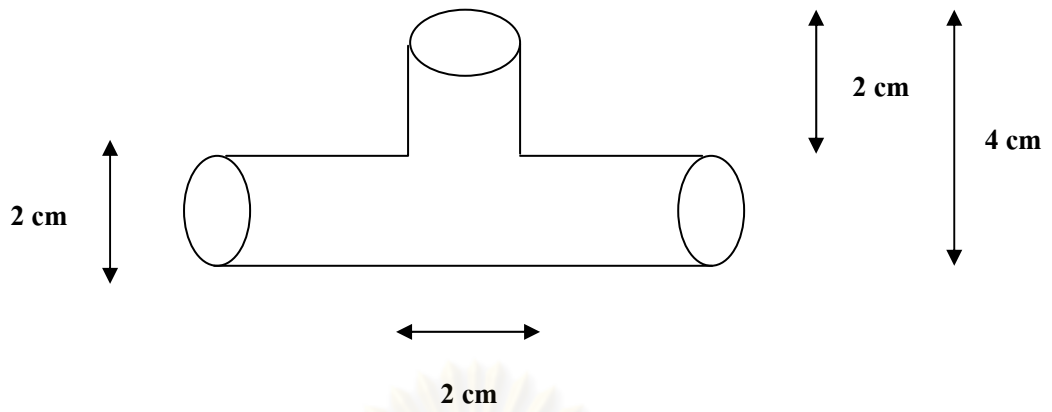
รูปที่ ข-6 การวิเคราะห์ทางสถิติของค่าความเลือกจำเพาะคาร์บอนมอนอกไซด์ต่อตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์และอุณหภูมิ

ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ค
อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ค-1 ขนาดเครื่องปฏิกรณ์



รูปที่ ค-2 อุปกรณ์การทดลอง



รูปที่ ค-3 ถังคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจน



รูปที่ ค-4 เครื่องปรับความดันแก๊ส



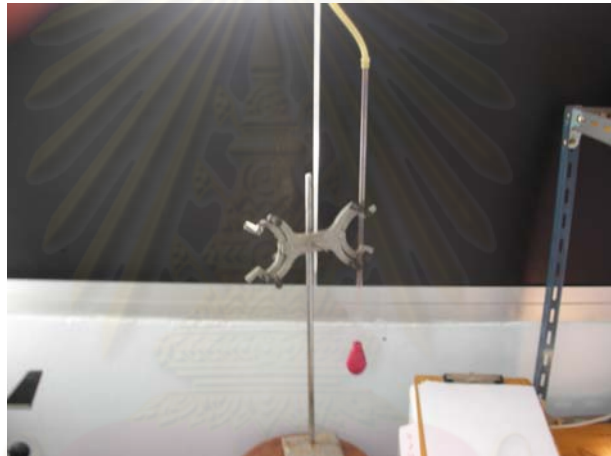
รูปที่ ค-5 เครื่องปรับอัตราการไหลแก๊ส



รูปที่ ค-6 เครื่องควบคุมอุณหภูมิ



รูปที่ ค-7 เครื่องปฏิกรณ์ เครื่องกำเนิดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับและตัวเร่งปฏิกิริยาโคเปอร์ซิงค์ออกไซด์



รูปที่ ค-8 เครื่องวัดอัตราการไหล



รูปที่ ค-9 ถังเก็บแก๊ส

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายอภิชาติ เปลี่ยนเจริญ เกิดเมื่อวันที่ 1 สิงหาคม พ.ศ. 2525 ที่จังหวัดระยอง สำเร็จ การศึกษาระดับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต คณะเทคโนโลยีทางทะเล มหาวิทยาลัยบูรพา ในปี การศึกษา 2547 และเข้าศึกษาในระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรม สิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2549



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย