

ความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์
ซิงค์ออกไซด์อะลูมิเนียมออกไซด์บนแกมมาอะลูมินาสำหรับ
ปฏิกิริยาการสังเคราะห์ไดเมทิลอีเทอร์

CATALYTIC ACTIVITY OF COPPER ZINC OXIDE
ALUMINIUM OXIDE OVER γ -ALUMINA CATALYST FOR
DIMETHYL ETHER SYNTHESIS



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2559

ความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์
ซิงค์ออกไซด์อะลูมิเนียมออกไซด์บนแกมมาอะลูมินาสำหรับ
ปฏิกิริยาการสังเคราะห์ไดเมทิลอีเทอร์

CATALYTIC ACTIVITY OF COPPER ZINC OXIDE
ALUMINIUM OXIDE OVER γ -ALUMINA CATALYST FOR
DIMETHYL ETHER SYNTHESIS



TB00037
00264871

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2559
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CATALYTIC ACTIVITY OF COPPER ZINC OXIDE
ALUMINIUM OXIDE OVER γ -ALUMINA CATALYST FOR
DIMETHYL ETHER SYNTHESIS



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE
REQUIREMENT FOR
THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE (INDUSTRIAL CHEMISTRY)
DEPARTMENT OF CHEMISTRY, FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2016

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ

ความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์อะลูมิเนียมออกไซด์บนแกมมาอะลูมินาสำหรับปฏิกิริยาการสังเคราะห์ไดเมทิลอีเทอร์

Catalytic activity of copper zinc oxide aluminium oxide over γ -alumina catalyst for dimethyl ether synthesis

ชื่อนักศึกษา

นายณัฐวุฒิ	สุวรรณจัน	56050489
นางสาวณัชชกัญย์	ปิยะบัณฑิตกุล	56050491
นางสาวดวงรัตน์	เหลื่องเจริญวัฒนา	56050495

ปริญญา

วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)

ภาควิชา

เคมี

ปีการศึกษา

2559

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร.มนตรี ทองคำ

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม) ประจำปีการศึกษา 2559

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร. ภิเชก รุ่งโรจน์ชัยพร ประธานกรรมการ	
ดร. ณัฐธิดา นุ่มวงศ์ กรรมการ	
ผศ.ดร.มนตรี ทองคำ กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	ความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ อะลูมิเนียมออกไซด์บนแกมมาอะลูมินาสำหรับการสังเคราะห์ไดเมทิลอีเทอร์		
ชื่อนักศึกษา	นายณัฐวุฒิ สุวรรณจัน		56050489
	นางสาวณัชนชภัคย์ ปิยะบัณฑิตกุล		56050491
	นางสาวดวงรัตน์ เหลืองเจริญวัฒนา		56050495
ปริญญา ภาควิชา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม) เคมี		
คณะ	วิทยาศาสตร์		
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)		
ปีการศึกษา	2559		
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.มนตรี ทองคำ		

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้ศึกษาความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ อะลูมิเนียมออกไซด์บนแกมมาอะลูมินา สำหรับการสังเคราะห์ไดเมทิลอีเทอร์ โดยการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาจะเตรียมด้วยวิธีที่แตกต่างกันคือ เตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์อะลูมิเนียมออกไซด์ ($\text{CuZnOAl}_2\text{O}_3$) ที่มีอัตราส่วนโดยโมลของคอปเปอร์ออกไซด์ต่อซิงค์ออกไซด์ต่ออะลูมิเนียมออกไซด์ ($\text{CuO} : \text{ZnO} : \text{Al}_2\text{O}_3$) เป็น 6:3:1 ด้วยวิธีตกตะกอนร่วม (Co-precipitation) และเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์อะลูมิเนียมออกไซด์บนแกมมาอะลูมินา ($\text{CuZnOAl}_2\text{O}_3 / \gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$) ที่มีอัตราส่วนโดยโมลของคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ต่ออะลูมิเนียมออกไซด์ต่อแกมมาอะลูมินา ($\text{CuZnOAl}_2\text{O}_3 : \gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$) เป็น 2:1 ด้วยวิธีผสมกันทางกายภาพ (Physical mixing) และวิธีตกตะกอนร่วมแบบเอ็บซุ่ม (Co-precipitation Impregnation) เมื่อนำตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมได้ไปใช้ในการสังเคราะห์ไดเมทิลอีเทอร์โดยตรงจากแก๊สสังเคราะห์ พบว่าการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์อะลูมิเนียมออกไซด์บนแกมมาอะลูมินาที่เตรียมด้วยวิธีผสมกันทางกายภาพ จะให้ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของคาร์บอนมอนอกไซด์ และค่าร้อยละความจำเพาะต่อการเลือกเกิดไดเมทิลอีเทอร์สูงที่สุด โดยมีค่า 29.68 mol% และ 82.71 mol% ตามลำดับ ซึ่งทำให้มีค่าร้อยละผลิตภัณฑ์ของไดเมทิลอีเทอร์สูงที่สุดคือ 25.06 mol% เมื่อเทียบกับการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมด้วยวิธีตกตะกอนร่วมแบบเอ็บซุ่ม

คำสำคัญ : การตกตะกอนร่วม การผสมกันทางกายภาพ แกมมาอะลูมินา คอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ อะลูมิเนียมออกไซด์ ไดเมทิลอีเทอร์ เอ็บซุ่ม

Title	Catalytic activity of copper zinc oxide aluminium oxide over γ -alumina catalyst for dimethyl ether synthesis		
Students	Mr. Nattawut	Suwanchan	56050489
	Miss Nanchapak	Piyabunditgul	56050491
	Miss Tuangrat	Leungcharoenwattana	56050495
Degree	Bachelor of Science (Industrial Chemistry)		
Department	Chemistry		
Faculty	Science		
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)		
Academic Year	2016		
Advisor	Asst.Prof.Dr.Montree Thongkam		

Abstract

The special project studied catalytic activity of $\text{CuZnOAl}_2\text{O}_3 / \gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ catalyst for dimethyl ether synthesis by the different catalyst preparation methods. $\text{CuZnOAl}_2\text{O}_3$ catalyst was prepared by co-precipitation method in CuO to ZnO to Al_2O_3 molar ratio of 6:3:1. After that, $\text{CuZnOAl}_2\text{O}_3 / \gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ catalysts were prepared by physical mixing and co-precipitation impregnation methods in the mole of $\text{CuZnOAl}_2\text{O}_3$ to $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ ratio of 2:1. Then the catalysts were used as a bifunctional catalyst for direct dimethyl ether synthesis from synthesis gas. Using $\text{CuZnOAl}_2\text{O}_3 / \gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ catalyst prepared by physical mixing method, gave a CO conversion percentage of 29.68 mol% and a DME selectivity percentage of 82.71 mol%. As a result, the highest yield of DME was 25.06 mol% compared with co-precipitation impregnation method.

Keywords : Co-precipitation , Physical mixing , $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$, $\text{CuZnOAl}_2\text{O}_3$, Dimethyl ether , Impregnation

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากคณะผู้จัดทำได้รับความอนุเคราะห์และความกรุณาจากคณะอาจารย์และบุคคลผู้มีพระคุณหลายท่าน ดังรายนามต่อไปนี้

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มนตรี ทองคำ อาจารย์ภาคเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษที่ได้ช่วยแนะนำและให้คำปรึกษา รวมถึงเสนอแนะแนวทางการแก้ไขปัญหา ตลอดจนถ่ายทอดประสบการณ์ในการทำงานของท่านเพื่อเป็นประโยชน์ในการคิดวิเคราะห์ การวางแผนในโครงการนี้ โดยท่านได้ให้คำปรึกษาตั้งแต่การค้นหาข้อมูลจนการทำงานวิจัยสำเร็จ รวมทั้งตรวจทานแก้ไขโครงการพิเศษเล่มนี้ให้สมบูรณ์

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภิเชก รุ่งโรจน์ชัยพร และ ดร.ณัฐธิดา นุ่มวงศ์ ที่กรุณาเป็นกรรมการสอบโครงการพิเศษ อีกทั้งยังให้ความรู้ คำแนะนำและช่วยตรวจสอบแก้ไขให้โครงการพิเศษเล่มนี้ออกมาสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณคณาจารย์คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่านที่ได้ให้ความรู้ คำแนะนำ จนสามารถนำความรู้มาประยุกต์ใช้ในโครงการพิเศษนี้ได้

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่าน ที่ช่วยอำนวยความสะดวกตลอดการทำโครงการพิเศษนี้

สุดท้ายนี้ผู้จัดทำขอขอบพระคุณบิดา มารดาและบุคคลในครอบครัว รวมทั้งเพื่อนๆ ที่ให้ความช่วยเหลือและกำลังใจตลอดการทำโครงการพิเศษนี้

ณัฐวุฒิ สุวรรณจัน
ณัชชภักย์ ปิยะบัณฑิตกุล
ดวงรัตน์ เหลืองเจริญวัฒนา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป	ซ
คำย่อ/สัญลักษณ์	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ไดมเทิลีเทอร์	4
2.1.1 การสังเคราะห์ไดเมทิลอีเทอร์.....	5
2.1.2 ตัวเร่งปฏิกิริยาสำหรับการสังเคราะห์ไดเมทิลอีเทอร์.....	8
2.1.3 เครื่องปฏิกรณ์สำหรับการสังเคราะห์ไดเมทิลอีเทอร์	11
2.1.4 การใช้งานไดเมทิลอีเทอร์ด้านต่างๆ.....	12
2.1.5 อนาคตของไดเมทิลอีเทอร์	13
2.2 คอปเปอร์ออกไซด์.....	14
2.2.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับคอปเปอร์ออกไซด์.....	14
2.2.2 สมบัติทางกายภาพของคอปเปอร์ออกไซด์.....	14
2.3 ซิงค์ออกไซด์	15
2.3.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับซิงค์ออกไซด์.....	15
2.3.2 สมบัติทางกายภาพของซิงค์ออกไซด์.....	15
2.4 อะลูมิเนียมออกไซด์.....	15
2.4.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับอะลูมิเนียมออกไซด์.....	15
2.4.2 สมบัติทางกายภาพของอะลูมิเนียมออกไซด์.....	16
2.4.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับแกมมาอะลูมินา	16
2.5 เทคนิคสำหรับการตรวจสอบเอกลักษณ์และเครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์.....	17
2.5.1 เครื่องมือวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์	17
2.5.2 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด	17
2.5.3 เทคนิคการวิเคราะห์สารด้วยแสงอินฟราเรด.....	18
2.5.4 การวัดพื้นที่ผิวและขนาดอนุภาครูพรุน โดยใช้ BET (The Brunauer-	
Emmett-Teller).....	19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำหรือเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.5.5 เทคนิคการแยกตัวอย่างที่เป็นสารผสม (Gas Chromatography: GC)	20
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	20
2.6.1 Effect of the Hybrid Catalyst Preparation Method upon Direct Synthesis of Dimethyl Ether from Synthesis Gas	20
2.6.2 Direct Synthesis of Dimethyl Ether from Carbon-Monoxide-Rich Synthesis Gas: Influence of Dehydration Catalyst and Operating Conditions	21
2.6.3 Activity and Deactivation Studies for Direct Dimethyl Ether Synthesis using CuO-ZnO-Al ₂ O ₃ with NH ₄ ZSM-5, HZSM-5 or γ -Al ₂ O ₃	21
2.6.4 Investigation of Different Precipitating Agents Effects on Performance of γ -Al ₂ O ₃ Nanocatalysts for Methanol Dehydration to Dimethyl Ether	21
2.6.5 Effect of Metal Precursor on Cu/ZnO/ Al ₂ O ₃ Synthesized by Flame Spray Pyrolysis for Direct DME Production	22
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	23
3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือ	23
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการตรวจสอบเอกลักษณ์	23
3.3 แก๊สและสารเคมี	24
3.4 การทดสอบประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยา	24
3.4.1 การอัดเม็ดตัวเร่งปฏิกิริยา	24
3.4.2 การสังเคราะห์ดีเมทิลอีเทอร์โดยตรง	25
3.5 การตรวจสอบเอกลักษณ์ละเครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์	26
3.5.1 การวิเคราะห์ลักษณะผลึกและอสัณฐาน	26
3.5.2 การวิเคราะห์ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของสารในระดับจุลภาค	26
3.5.3 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของสาร	27
3.5.4 การวิเคราะห์พื้นที่ผิว	27
3.5.5 การวิเคราะห์แยกสารตัวอย่างที่เป็นสารผสม	27
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล	29
4.1 การตรวจสอบเอกลักษณ์ตัวเร่งปฏิกิริยา	29
4.1.1 การวิเคราะห์โครงสร้างและความเป็นผลึกด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (X-ray Diffraction, XRD)	29
4.1.2 การวิเคราะห์ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของตัวเร่งปฏิกิริยาในระดับจุลภาค (SEM)	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.1.3 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของสารด้วยแสงอินฟราเรด (Fourier transform infrared Spectroscopy, FT-IR)	33
4.1.4 การวิเคราะห์พื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาด้วย BET.....	34
4.2 การศึกษาผลการเร่งปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยา.....	35
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	41
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	41
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	42
เอกสารอ้างอิง.....	43
ภาคผนวก.....	47
ภาคผนวก ก.....	48
ภาคผนวก ข.....	57
ภาคผนวก ค.....	59
ภาคผนวก ง.....	66



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 เปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพระหว่างโดเมทิลอีเทอร์และเชื้อเพลิงชนิดอื่นที่ใช้ในปัจจุบัน.....	4
4.1 ผลการวิเคราะห์พื้นที่ผิว ปริมาตรรูพรุน และขนาดรูพรุนของตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ออกไซด์ซิงค์ออกไซด์อะลูมิเนียมออกไซด์ แกมมาอะลูมินา และคอปเปอร์ออกไซด์ซิงค์ออกไซด์อะลูมิเนียมออกไซด์บนแกมมาอะลูมินาด้วยวิธีการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาที่แตกต่างกัน.....	35
4.2 ร้อยละผลผลิตและค่าการเลือกเกิดเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆเฉลี่ยของการสังเคราะห์โดเมทิลอีเทอร์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์อะลูมิเนียมออกไซด์บนแกมมาอะลูมิเนียม.....	39
ก.1 %CO Conversion ของตัวเร่งปฏิกิริยา $CuZnOAl_2O_3$ ที่ได้จากการเตรียมด้วยวิธี Co-precipitation.....	48
ก.2 %Selectivity ของตัวเร่งปฏิกิริยา $CuZnOAl_2O_3$ ที่ได้จากการเตรียมด้วยวิธี Co-precipitation.....	49
ก.3 %Yield ของตัวเร่งปฏิกิริยา $CuZnOAl_2O_3$ ที่ได้จากการเตรียมด้วยวิธี Co-precipitation....	50
ก.4 %CO Conversion ของตัวเร่งปฏิกิริยา $CuZnOAl_2O_3 / \gamma-Al_2O_3$ ที่ได้จากการเตรียมด้วยวิธี Physical mixing.....	51
ก.5 %Selectivity ของตัวเร่งปฏิกิริยา $CuZnOAl_2O_3 / \gamma-Al_2O_3$ ที่ได้จากการเตรียมด้วยวิธี Physical mixing.....	52
ก.6 %Yield ของตัวเร่งปฏิกิริยา $CuZnOAl_2O_3 / \gamma-Al_2O_3$ ที่ได้จากการเตรียมด้วยวิธี Physical mixing.....	53
ก.7 %CO Conversion ของตัวเร่งปฏิกิริยา $CuZnOAl_2O_3 / \gamma-Al_2O_3$ ที่ได้จากการเตรียมด้วยวิธี Co-precipitation Impregnation.....	54
ก.8 %Selectivity ของตัวเร่งปฏิกิริยา $CuZnOAl_2O_3 / \gamma-Al_2O_3$ ที่ได้จากการเตรียมด้วยวิธี Co-precipitation Impregnation.....	55
ก.9 %Yield ของตัวเร่งปฏิกิริยา $CuZnOAl_2O_3 / \gamma-Al_2O_3$ ที่ได้จากการเตรียมด้วยวิธี Co-precipitation Impregnation.....	56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 กระบวนการผลิตไดเมทิลอีเทอร์แบบทางอ้อม (Indirect DME Synthesis)	5
2.2 แผนผังกระบวนการผลิตไดเมทิลอีเทอร์แบบทางอ้อม	6
2.3 กระบวนการผลิตไดเมทิลอีเทอร์แบบทางตรง (Direct DME synthesis).....	6
2.4 แผนผังกระบวนการผลิตไดเมทิลอีเทอร์แบบทางตรง	7
2.5 การเปลี่ยนแปลงที่สมดุลของแก๊สสังเคราะห์.....	8
2.6 เครื่องปฏิกรณ์แบบเบตนิ่ง (Fixed-bed reactor)	11
2.7 เครื่องปฏิกรณ์แบบฟลูอิดซ์ (Fluidized-bed reactor)	12
2.8 คอปเปอร์ออกไซด์	14
2.9 ซิงค์ออกไซด์.....	15
2.10 อะลูมิเนียมออกไซด์.....	16
2.11 โครงสร้างอะลูมินา	16
2.12 เครื่อง X-ray Diffractometer	17
2.13 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope: SEM)	18
2.14 เครื่อง Fourier Transform Infrared Spectroscopy: FT-IR.....	19
2.15 เครื่องวัดพื้นที่ผิวและขนาดอนุภาครูพรุน (The Brunauer-Emmett-Teller: BET).....	19
2.16 แสดงส่วนประกอบของเครื่อง GC	20
3.1 ชุดเครื่องอัดเม็ดสาร.....	24
3.2 ชุดเครื่องปฏิกรณ์แบบเบตนิ่ง (Fixed-bed reactor)	25
3.3 แผนผังการแสดงกระบวนการสังเคราะห์ไดเมทิลอีเทอร์	28
4.1 กราฟแสดงโครงสร้างผลึกของตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ออกไซด์ซิงค์ออกไซด์อะลูมิเนียมออกไซด์เทียบกับโครงสร้างผลึกมาตรฐานของคอปเปอร์ออกไซด์ (CuO, JCPDS no.80-7600), ซิงค์ออกไซด์ (ZnO, JCPDS no. 79-2080) และอะลูมิเนียมออกไซด์ (Al ₂ O ₃ , JCPDS no.73-2294).....	29
4.2 กราฟแสดงโครงสร้างผลึกของตัวเร่งปฏิกิริยาแกมมาอะลูมินาเทียบกับโครงสร้างผลึกมาตรฐานของแกมมาอะลูมินา (γ-Al ₂ O ₃ , JCPDS no. 74-2206).....	30
4.3 กราฟแสดงการเปรียบเทียบโครงสร้างผลึกของตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ออกไซด์ซิงค์ออกไซด์อะลูมิเนียมออกไซด์บนแกมมาอะลูมินาที่ถูกเตรียมโดย 2 วิธี เทียบกับโครงสร้างผลึกมาตรฐานของคอปเปอร์ออกไซด์ (CuO, JCPDS no.80-7600) , ซิงค์ออกไซด์ (ZnO, JCPDS no. 79-2080), อะลูมิเนียมออกไซด์ (Al ₂ O ₃ , JCPDS no.73-2294) และแกมมาอะลูมินา (γ-Al ₂ O ₃ , JCPDS no. 74-2206).....	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ก.1 %CO Conversion ของตัวเร่งปฏิกิริยา $\text{CuZnOAl}_2\text{O}_3$ ที่ได้จากการเตรียมด้วยวิธี Co-precipitation โดยมีน้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยาเท่ากับ 0.50 กรัม และมีอัตราการไหลเท่ากับ 22.00 ml/min.....	48
ก.2 %Selectivity ของตัวเร่งปฏิกิริยา $\text{CuZnOAl}_2\text{O}_3$ ที่ได้จากการเตรียมด้วยวิธี Co-precipitation โดยมีน้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยาเท่ากับ 0.50 กรัม และมีอัตราการไหลเท่ากับ 22.00 ml/min.....	49
ก.3 %Yield ของตัวเร่งปฏิกิริยา $\text{CuZnOAl}_2\text{O}_3$ ที่ได้จากการเตรียมด้วยวิธี Co-precipitation โดยมีน้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยาเท่ากับ 0.50 กรัม และมีอัตราการไหลเท่ากับ 22.00 ml/min.....	50
ก.4 %CO Conversion ของตัวเร่งปฏิกิริยา $\text{CuZnOAl}_2\text{O}_3/\text{Y-Al}_2\text{O}_3$ ที่ได้จากการเตรียมด้วยวิธี Physical Mixing โดยมีน้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยาเท่ากับ 0.50 กรัม และมีอัตราการไหลเท่ากับ 22.00 ml/min.....	51
ก.5 %Selectivity ของตัวเร่งปฏิกิริยา $\text{CuZnOAl}_2\text{O}_3/\text{Y-Al}_2\text{O}_3$ ที่ได้จากการเตรียมด้วยวิธี Physical Mixing โดยมีน้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยาเท่ากับ 0.50 กรัม และมีอัตราการไหลเท่ากับ 22.00 ml/min.....	52
ก.6 %Yield ของตัวเร่งปฏิกิริยา $\text{CuZnOAl}_2\text{O}_3/\text{Y-Al}_2\text{O}_3$ ที่ได้จากการเตรียมด้วยวิธี Physical Mixing โดยมีน้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยาเท่ากับ 0.50 กรัม และมีอัตราการไหลเท่ากับ 22.00 ml/min.....	53
ก.7 %CO Conversion ของตัวเร่งปฏิกิริยา $\text{CuZnOAl}_2\text{O}_3/\text{Y-Al}_2\text{O}_3$ ที่ได้จากการเตรียมด้วยวิธี Co-precipitation Impregnation โดยมีน้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยาเท่ากับ 0.50 กรัม และมีอัตราการไหลเท่ากับ 23.00 ml/min.....	54
ก.8 %Selectivity ของตัวเร่งปฏิกิริยา $\text{CuZnOAl}_2\text{O}_3/\text{Y-Al}_2\text{O}_3$ ที่ได้จากการเตรียมด้วยวิธี Co-precipitation Impregnation โดยมีน้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยาเท่ากับ 0.50 กรัม และมีอัตราการไหลเท่ากับ 23.00 ml/min.....	55
ก.9 %Yield ของตัวเร่งปฏิกิริยา $\text{CuZnOAl}_2\text{O}_3/\text{Y-Al}_2\text{O}_3$ ที่ได้จากการเตรียมด้วยวิธี Co-precipitation Impregnation โดยมีน้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยาเท่ากับ 0.50 กรัม และมีอัตราการไหลเท่ากับ 23.00 ml/min.....	56

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.4 รูปร่างสัณฐานวิทยาของตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ออกไซด์ซิงค์ออกไซด์อะลูมิเนียมออกไซด์ ออกไซด์ ที่กำลังขยาย 5000 เท่า (ก) และที่กำลังขยาย 10000 เท่า (ข).....	32
4.5 รูปร่างสัณฐานวิทยาของแกมมาอะลูมินา ที่กำลังขยาย 5000 เท่า (ก) และกำลังขยาย 10000 เท่า (ข).....	32
4.6 รูปร่างสัณฐานวิทยาของตัวเร่งปฏิกิริยาผสมคอปเปอร์ออกไซด์ซิงค์ออกไซด์อะลูมิเนียม ออกไซด์ ที่เตรียมจากวิธีการผสมทางกายภาพ (Physical mixing) ที่กำลังขยาย 5000 เท่า (ก) และกำลังขยาย 10000 เท่า (ข)	33
4.7 รูปร่างสัณฐานวิทยาของตัวเร่งปฏิกิริยาผสมคอปเปอร์ออกไซด์ซิงค์ออกไซด์อะลูมิเนียม ออกไซด์ ที่เตรียมจากวิธีการตกตะกอนร่วมแบบเอ็บซุ่ม (Co-precipitate impregnation) ที่กำลังขยาย 5000 เท่า (ก) และกำลังขยาย 10000 เท่า (ข).....	33
4.8 อินฟราเรดสเปกตรัมของตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ออกไซด์ซิงค์ออกไซด์อะลูมิเนียมออกไซด์ และคอปเปอร์ออกไซด์ซิงค์ออกไซด์อะลูมิเนียมออกไซด์บนแกมมาอะลูมินา ($\text{CuOZnOAl}_2\text{O}_3/\text{Y-Al}_2\text{O}_3$) ด้วยวิธีผสมแบบต่างๆ ในช่วงเลขคลื่น $4000\text{-}400\text{ cm}^{-1}$	34
4.9 อินฟราเรดสเปกตรัมของของตัวเร่งปฏิกิริยาแกมมาอะลูมินา ($\text{Y-Al}_2\text{O}_3$) ในช่วงเลขคลื่น $4000\text{-}400\text{ cm}^{-1}$	34
4.10 กราฟแสดงค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์กับเวลาในการทำ ปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์อะลูมิเนียมออกไซด์บนแกมมาอะลูมินา ที่เตรียมจากวิธีที่แตกต่างกัน	36
4.11 กราฟแสดงค่าร้อยละการเลือกเกิดเป็นโดเมทิลอีเทอร์กับเวลาในการทำปฏิกิริยาของ ตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์อะลูมิเนียมออกไซด์บนแกมมาอะลูมินาที่เตรียม จากวิธีที่แตกต่างกัน	37
4.12 กราฟแสดงค่าร้อยละการเลือกเกิดเป็นเมทานอลกับเวลาในการทำปฏิกิริยาของตัวเร่ง ปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์อะลูมิเนียมออกไซด์บนแกมมาอะลูมินาที่เตรียมจาก วิธีที่แตกต่างกัน.....	37
4.13 กราฟแสดงค่าร้อยละการเลือกเกิดเป็นผลิตภัณฑ์ข้างเคียงอื่นๆกับเวลาในการทำปฏิกิริยา ของตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์อะลูมิเนียมออกไซด์บนแกมมาอะลูมินาที่เตรียม จากวิธีที่แตกต่างกัน	38
4.14 กราฟแสดงค่าร้อยละผลิตภัณฑ์ (โดเมทิลอีเทอร์)กับเวลาในการทำปฏิกิริยาของตัวเร่ง ปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์อะลูมิเนียมออกไซด์บนแกมมาอะลูมินาที่เตรียมจากวิธีที่ แตกต่างกัน.....	38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำย่อ/สัญลักษณ์

คำย่อ/สัญลักษณ์	คำอธิบาย
C	คอปเปอร์
Z	ซิงค์ออกไซด์
A	อะลูมิเนียมออกไซด์
A*	แกมมาอะลูมินา
CO	วิธีการตกตะกอนร่วม
PM	วิธีการผสมทางกายภาพ
CO-IM	วิธีการตกตะกอนร่วมแบบเอิบชุ่ม
CZA (CO)	คอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์อะลูมิเนียมออกไซด์ (วิธีการตกตะกอนร่วม)
CZA/A* (PM)	คอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์อะลูมิเนียมออกไซด์ (วิธีการผสมทางกายภาพ)
CZA/A* (CO-IM)	คอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์อะลูมิเนียมออกไซด์ (วิธีการตกตะกอนร่วมแบบเอิบชุ่ม)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

พลังงานเป็นปัจจัยพื้นฐานที่สำคัญสำหรับทุกประเทศและประชากรของประเทศนั้น ทุกวันนี้เราใช้พลังงานเพื่อตอบสนองความต้องการขั้นพื้นฐานและเป็นปัจจัยพื้นฐานการผลิตในภาคธุรกิจและอุตสาหกรรม พลังงานส่วนใหญ่ที่เรานิยมใช้อยู่ในปัจจุบัน คือ พลังงานสิ้นเปลือง ได้แก่ ถ่านหิน หินน้ำมัน ทรายน้ำมัน น้ำมันดิบ น้ำมันเชื้อเพลิง และแก๊สธรรมชาติ ซึ่งไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้และมีปริมาณจำกัด นอกจากนี้ยังส่งผลเชิงลบต่อสิ่งแวดล้อม จึงมีการนำพลังงานทางเลือกหลายแบบมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทน เพื่อลดการใช้พลังงานหลักและรักษาสิ่งแวดล้อมควบคู่กันไปด้วย

หนึ่งในพลังงานทางเลือกที่มีการส่งเสริมให้ใช้กันมากขึ้นในปัจจุบัน คือการนำสารอินทรีย์ที่เป็นแหล่งกักเก็บพลังงานจากธรรมชาติหรือ ชีวมวล (Biomass) ซึ่งได้มาจากพืชและสัตว์ต่างๆ เช่น พืชผลทางการเกษตร (agricultural crops) เศษวัสดุเหลือทิ้งการเกษตร (agricultural residues) ไม้และเศษไม้ (wood and wood residues) หรือของเหลือจากจากอุตสาหกรรมและชุมชน อาทิ แกลบ ชานอ้อย กากปาล์ม ชังข้าวโพด กะลามะพร้าว [Siam Bioenergy, 2555] มาแปรรูปให้เป็นพลังงานเชื้อเพลิงในลักษณะที่เป็นแก๊สเชื้อเพลิง หรือแก๊สสังเคราะห์ โดยผ่านกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันในเครื่องแก๊สซิไฟเออร์ เพื่อเปลี่ยนชีวมวลเป็นแก๊สสังเคราะห์ แล้วนำมาใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตเชื้อเพลิงสังเคราะห์ ผ่านกระบวนการฟิชเชอร์-ทรอปช์ (Fischer-Tropsch) เพื่อเปลี่ยนโมเลกุลของแก๊สสังเคราะห์ให้เป็นเชื้อเพลิงสังเคราะห์ต่างๆ ซึ่งเป็นเชื้อเพลิงสะอาดและเป็นพลังงานหมุนเวียนที่ยั่งยืน (ประเสริฐ, 2551) สามารถนำมาใช้ทดแทนน้ำมันปิโตรเลียมได้ โดยไม่ต้องเปลี่ยนแปลงโครงสร้างพื้นฐาน ทั้งยังไม่ก่อให้เกิดมลพิษจากการใช้งานเนื่องจากปราศจากกำมะถัน มีปริมาณสารประกอบอะโรมาติกต่ำ มีเขมน้อย เป็นต้น โดยเชื้อเพลิงสังเคราะห์ที่เราสนใจในงานวิจัยนี้ คือ ไดเมทิลอีเทอร์ หรือ DME (Dimethyl Ether: DME)

ไดเมทิลอีเทอร์ หรือ DME (Dimethyl Ether: DME) มีสูตรทางเคมี คือ C_2H_6O เป็นสารออกซิเจนเนตประเภทอีเทอร์ ซึ่งมีสถานะเป็นแก๊สที่ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ที่อุณหภูมิและความดันบรรยากาศ มีจุดเดือดที่อุณหภูมิ $-24.82^{\circ}C$ จุดหลอมเหลวที่อุณหภูมิ $-141.50^{\circ}C$ สามารถทำให้เป็นของเหลวได้เมื่อถูกอัดภายใต้ความดัน มีคุณสมบัติคล้ายคลึงกับแก๊สปิโตรเลียมเหลว (LPG) และน้ำมันดีเซล เนื่องจากมีค่าซีเทน (Cetane Number) สูงถึง 55-60 ไดเมทิลอีเทอร์เป็นเชื้อเพลิง ที่มีความสะอาดสูงมาก เมื่อเกิดกระบวนการเผาไหม้ขึ้นจะปลดปล่อยแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์(CO) แก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์(SO₂) และออกไซด์ของไนโตรเจน(NO_x) ในปริมาณที่ต่ำมาก [นาวดล, 2560] ปกติถูกใช้เป็นสารขับเคลื่อนในกระป๋องสเปรย์และสารทำความสะอาด เพื่อทดแทนการใช้สารฟรอนหรือสารประกอบไฮโดรคาร์บอน และยังสามารถนำมาใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าในเครื่องกังหันแก๊ส นอกจากนี้ยังมีประโยชน์ในภาคการขนส่ง คือ ใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซล โดยนำไดเมทิลอีเทอร์มาผสมกับน้ำมันดีเซลหมุนเร็วและต้องมีการปรับแต่งเครื่องยนต์เล็กน้อย (ระบบฉีดเชื้อเพลิง) ใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์เบนซิน โดยนำมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดัดแปลงให้สามารถใช้แก๊สปิโตรเลียมเหลว ผสมกับโดเมทิลอีเทอร์เป็นเชื้อเพลิงได้ และยังมีการพัฒนาเครื่องยนต์เพื่อให้สามารถใช้โดเมทิลอีเทอร์เป็นเชื้อเพลิงได้โดยตรงอีกด้วย

การผลิตโดเมทิลอีเทอร์มี 2 ทางด้วยกันคือการสังเคราะห์ทางตรงและทางอ้อม ซึ่งการสังเคราะห์ทางตรงเป็นวิธีที่ได้รับความนิยมมากกว่า เนื่องจากมีต้นทุนต่อหน่วยที่ถูกกว่า โดยจะสังเคราะห์จากแก๊สสังเคราะห์ ($H_2 : CO = 1:1$) โดยตรง ผ่านกระบวนการความร้อนเคมีในเครื่องปฏิกรณ์ [สำนักคุณภาพน้ำมันเชื้อเพลิง, 2558] บนตัวเร่งปฏิกิริยา metal oxide เช่น Cu/ZnO , $Cu/ZnO/Al_2O_3$, $Cu/ZnO/Ga_2O_3$ และใช้ solid acid แบบต่างๆ เช่น $\gamma-Al_2O_3$, TiO_2-ZrO_2 , zeolite เป็นต้น แกมมาอะลูมินา ($\gamma-Al_2O_3$) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ได้รับความนิยมอย่างกว้างขวาง เนื่องจากมีพื้นที่ผิวสูง มีเสถียรภาพทางความร้อนและกลไกปฏิกิริยาสูง และมีความจำเพาะเจาะจงต่อการเกิดโดเมทิลอีเทอร์ (DME selectivity) สูง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีจุดมุ่งหมายในการพัฒนาตัวเร่งปฏิกิริยาสำหรับการสังเคราะห์โดเมทิลอีเทอร์ โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์อะลูมิเนียมออกไซด์บนแกมมาอะลูมินา โดยเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยวิธีที่แตกต่างกัน คือ วิธีตกตะกอนร่วม (Co-precipitation) วิธีผสมกันทางกายภาพ (Physical mixing) และวิธีตกตะกอนร่วมแบบเอ็บซุ่ม (Co-precipitation Impregnation) และนำไปวิเคราะห์เอกลักษณ์ของตัวเร่งปฏิกิริยา เพื่อศึกษาว่าการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาแบบใดที่มีผลทำให้ได้โดเมทิลอีเทอร์สูงที่สุด

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 ศึกษาผลของการสังเคราะห์โดเมทิลอีเทอร์โดยตรงจากแก๊สสังเคราะห์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา $CuZnOAl_2O_3 / \gamma-Al_2O_3$ ที่เตรียมได้ โดยวิธีผสมกันทางกายภาพและวิธีตกตะกอนร่วมแบบเอ็บซุ่ม

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 การสังเคราะห์โดเมทิลอีเทอร์ ในเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง (Fixed bed reactor) ภายใต้อุณหภูมิดังนี้

1.3.1.1 รีดิวซ์ตัวเร่งปฏิกิริยาด้วย 5% H_2 ที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

1.3.1.2 อุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยา (Reactor temperature) 250 องศาเซลเซียส

1.3.1.3 ความดัน (Pressure) 40 บาร์

1.3.1.4 เวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา (Reaction time) 6 ชั่วโมง

1.3.1.5 อัตราการไหล (Flow rate) 20 มิลลิลิตรต่อนาที

1.3.1.6 ใช้แก๊สสังเคราะห์เป็นสารตั้งต้น ($H_2 : CO = 1 : 1$)

1.3.1.7 อัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยาต่ออัตราการไหลของแก๊สสังเคราะห์ (W/F) $10.20 \text{ g.h.mol}^{-1}$

1.3.2 ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะถูกตรวจสอบด้วย off-line Gas Chromatography ที่มี Detector แบบ FID (Flame Ionization Detector) และ TCD (Thermal Conductivity Detector)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยา คอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์อลูมิเนียมออกไซด์/แกมมาอะลูมินาโดยวิธีการที่แตกต่างกัน

1.4.2 สามารถสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยา คอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์อลูมิเนียมออกไซด์/แกมมาอะลูมินา เพื่อใช้ในการสังเคราะห์ไดเมทิลอีเทอร์

1.4.3 สามารถสังเคราะห์ไดเมทิลอีเทอร์เพื่อนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับรถยนต์โดยไม่ก่อมลพิษให้กับสิ่งแวดล้อม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บทนี้นำเสนอเกี่ยวกับข้อมูลทางวิชาการของตัวเร่งปฏิกิริยา ไดมethylอีเทอร์ คอปเปอร์ซิงค์ ออกไซด์อะลูมิเนียมออกไซด์บนแกมมาอะลูมินา รวมถึงวิธีการที่ใช้สังเคราะห์ไดมethylอีเทอร์ ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1 ไดมethylอีเทอร์ (Dimethyl Ether)

ไดมethylอีเทอร์ (Dimethyl Ether: DME) หรือที่เรียกชื่อย่อว่า ดีเอ็มอี หรือเรียกชื่อตามระบบ IUPAC คือ เมทอกซีมีเทน (Methoxymethane) มีสูตรทางเคมีคือ C_2H_6O เป็นสารประกอบออร์แกนิก และเป็นสารออกซิเจนเนตประเภทอีเทอร์ มีสถานะเป็นแก๊สที่อุณหภูมิปกติและความดันบรรยากาศ แต่หากถูกอัดอยู่ในถังภายใต้ความดันจะสามารถอยู่ในสถานะของเหลวได้ ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น สามารถติดไฟได้ และมีความหนืดต่ำ ด้วยสมบัติทางกายภาพดังกล่าว ไดมethylอีเทอร์จึงได้รับความนิยมมาใช้ทดแทนแก๊สปิโตรเลียมเหลว เมื่อนำมาใช้งานจะเกิดการเผาไหม้ได้อย่างสมบูรณ์ ไม่เกิดเขม่า ไม่ก่อให้เกิดแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เนื่องจากไม่มีส่วนประกอบของกำมะถัน ปลดปล่อยแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ และ ออกไซด์ของไนโตรเจนต่ำกว่าเชื้อเพลิงทั่วไป จึงไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

ไดมethylอีเทอร์สามารถนำมาใช้ทดแทนแก๊สปิโตรเลียมเหลว เนื่องจากคุณสมบัติทางกายภาพมีความคล้ายคลึงกัน เช่น มวลโมเลกุล ความถ่วงจำเพาะ จุดเดือด ความดันไอ ค่าพลังงานความร้อน รวมถึงค่าซีเทนที่ใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล จึงนำมาเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพของไดมethylอีเทอร์และเชื้อเพลิงชนิดต่างๆที่ใช้ในปัจจุบัน ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ตารางเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพระหว่างไดมethylอีเทอร์และเชื้อเพลิงชนิดอื่นที่ใช้ในปัจจุบัน [T.A. Semelsberger, 2006]

สมบัติทางกายภาพ	DME	มีเทน	เมทานอล	โพรเพน	น้ำมันดีเซล
สูตรโมเลกุล	CH_3OCH_3	CH_4	CH_3OH	C_3H_8	$C_{14}-C_{19}$
มวลโมเลกุล (กรัมต่อโมล)	46.07	16.04	32.04	44.10	-
ความถ่วงจำเพาะที่ 293 เคลวิน	0.67	0.42	0.79	0.49	0.83
จุดเดือด (องศาเซลเซียส)	-25	-161	64.70	-42	180-370
ค่าซีเทน	55-60	0	5	5	40-55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมบัติทางกายภาพ	DME	มีเทน	เมทานอล	โพรเพน	น้ำมันดีเซล
จุดวาบไฟ (องศาเซลเซียส)	-41.11	-188	11	-104	93
ค่าพลังงานความร้อน (กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม)	6,900	12,000	4,800	11,100	10,000

2.1.1 การสังเคราะห์ไดเมทิลอีเทอร์ [ความรู้เกี่ยวกับไดเมทิลอีเทอร์, 2554]

วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตไดเมทิลอีเทอร์ ได้แก่ แก๊สธรรมชาติ ถ่านหิน หรือ สารชีวมวล โดยกระบวนการผลิตสามารถแบ่งออกเป็น 2 วิธี คือ

2.1.1.1 การผลิตแบบทางอ้อมโดยผ่านกระบวนการดีไฮเดรชันของเมทานอล

การผลิตวิธีนี้เป็นวิธีที่ใช้กันโดยทั่วไป โดยแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ และแก๊สไฮโดรเจน (แก๊สสังเคราะห์) ที่ได้จากกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันของถ่านหินหรือชีวมวล หรือจากกระบวนการรีฟอร์มมิงของแก๊สธรรมชาติ จะถูกนำมาทำปฏิกิริยากันเพื่อผลิตเมทานอล จากนั้นเมทานอลจะเกิดปฏิกิริยาควบน้ำเกิดเป็นไดเมทิลอีเทอร์และน้ำ



รูปที่ 2.1 กระบวนการผลิตไดเมทิลอีเทอร์แบบทางอ้อม (Indirect DME Synthesis)

เดิมเมทานอลเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตไดเมทิลอีเทอร์ ผ่านปฏิกิริยาดีไฮเดรชัน จึงนำเมทานอลมาผลิตเป็นไดเมทิลอีเทอร์ โดยปฏิกิริยาดังกล่าวสามารถแสดงได้ดังสมการ 2.1 , 2.2 และ 2.3 ตามลำดับ [M.H. Huang และคณะ, 2015]

CO hydrogenation (Methanol formation) :



Methanol dehydration :



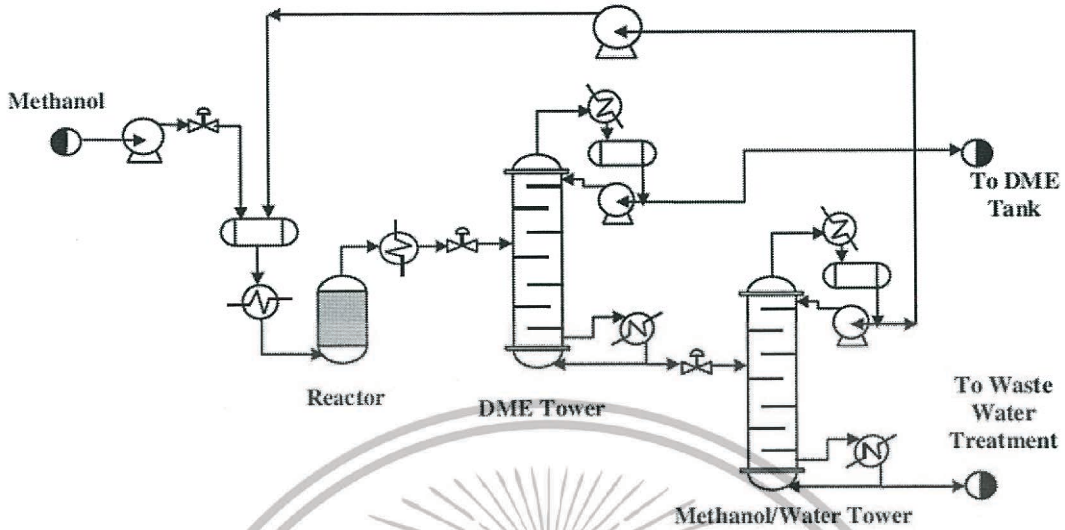
Water gas shift reaction (WGSR) :



ปฏิกิริยาที่ 2.1 , 2.2 และ 2.3 สามารถเกิดขึ้นได้ในขณะเดียวกัน จากสมการ (2.1) มีสารตั้งต้นคือแก๊สไฮโดรเจนและแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ในอัตราส่วน 2:1 โดยโมล (H_2/CO mole ratio = 2:1) เกิดปฏิกิริยาได้ผลิตภัณฑ์เป็นเมทานอล 1 โมเลกุล จากนั้นเกิดปฏิกิริยาดีไฮเดรชันของเมทานอลได้ผลิตภัณฑ์เป็นไดเมทิลอีเทอร์และน้ำ ดังสมการ (2.2) และน้ำจากปฏิกิริยาดังกล่าวจะถูก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

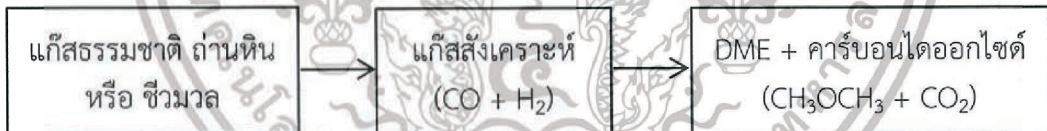
เปลี่ยนเป็นแก๊สไฮโดรเจน ดังสมการ (2.3) และแก๊สไฮโดรเจนนั้นจะถูกนำกลับไปใช้เป็นสารตั้งต้นในสมการ (2.1)



รูปที่ 2.2 แผนผังกระบวนการผลิตไดเมทิลอีเทอร์แบบทางอ้อม [Z. Azizi และคณะ, 2014]

2.1.1.2 กระบวนการผลิตไดเมทิลอีเทอร์แบบทางตรง

การผลิตไดเมทิลอีเทอร์วิธีนี้เป็นเทคโนโลยีที่คิดค้นขึ้นใหม่ ซึ่งมีข้อดีกว่าวิธีการผลิตดีเอ็มอีทางอ้อม คือไม่จำเป็นต้องมีขั้นตอนของการสังเคราะห์เมทานอล ทำให้สามารถลดต้นทุนการผลิตได้ โดยกระบวนการนี้แก๊สสังเคราะห์สามารถเกิดปฏิกิริยาเคมีได้ผลิตภัณฑ์เป็นไดเมทิลอีเทอร์ได้โดยตรง

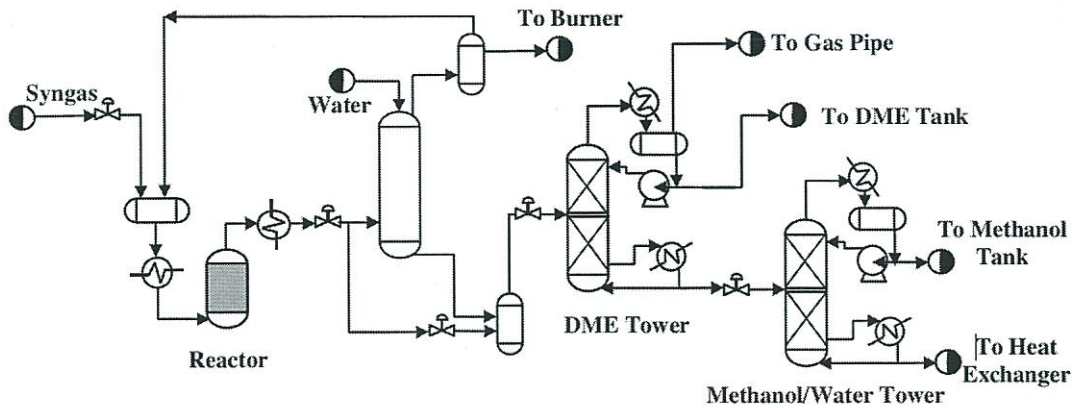


รูปที่ 2.3 กระบวนการผลิตไดเมทิลอีเทอร์แบบทางตรง (Direct DME synthesis)

กระบวนการสังเคราะห์ไดเมทิลอีเทอร์วิธีนี้จะใช้สารตั้งต้นคือ แก๊สไฮโดรเจน และแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ ซึ่งได้จากกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันของชีวมวล กระบวนการรีฟอร์มมิงของแก๊สชีวภาพ หรือ ปฏิกิริยาออกซิเดชันบางส่วนของแก๊สชีวภาพ มาทำปฏิกิริยาในเครื่องปฏิกรณ์ที่มีตัวเร่งปฏิกิริยาทำหน้าที่สังเคราะห์ไดเมทิลอีเทอร์ โดยเกิดผ่านเมทานอลและดึงน้ำออกจากเมทานอลภายในขั้นตอนเดียว ดังแสดงในสมการ (2.4) ซึ่งมีอัตราส่วนของแก๊สไฮโดรเจนต่อแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์เท่ากับ 1:1 โดยโมล (H_2/CO mole ratio = 1:1) และนำผลิตภัณฑ์ข้างเคียงจากปฏิกิริยา คือ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ มาทำปฏิกิริยารีฟอร์มมิงใหม่ และแยกน้ำออกในขั้นตอนสุดท้าย



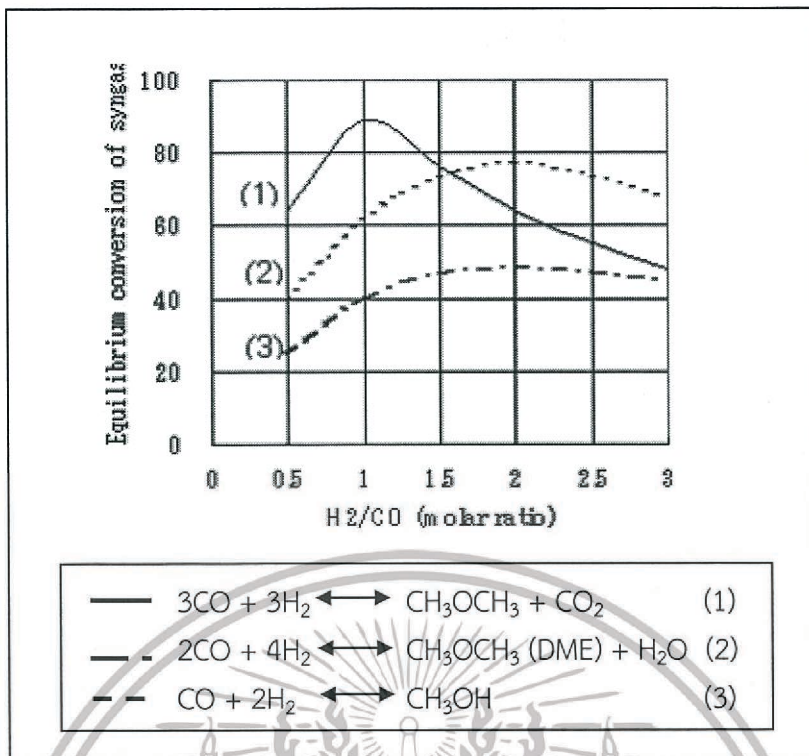
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่ควรเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 แผนผังกระบวนการผลิตไดเมทิลอีเทอร์แบบทางตรง [Z. Azizi และคณะ, 2014]

อัตราส่วนของแก๊สไฮโดรเจนต่อแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ในอัตราส่วนต่างๆ ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของปฏิกิริยา ดังแสดงในรูป 2.5 จะเห็นได้ว่าจุดที่ให้ค่าการเปลี่ยนแปลงสูงสุดนั้นเป็นอัตราส่วนที่ถูกต้องตามหลักสมดุลโมลตามสมการการเกิดปฏิกิริยา โดยปฏิกิริยาที่ 2.5 อัตราส่วนของแก๊สสังเคราะห์ที่ให้ค่าการเปลี่ยนแปลงสูงสุดคือ H_2/CO เท่ากับ 2 และปฏิกิริยาที่ 2.4 อัตราส่วนของแก๊สสังเคราะห์ที่ให้ค่าการเปลี่ยนแปลงสูงสุดคือ H_2/CO เท่ากับ 1 และเป็นปฏิกิริยาที่ให้ค่าการเปลี่ยนแปลงสมดุลที่สูงสุดอีกด้วย

จากรูปที่ 2.5 แสดงค่าการเปลี่ยนที่สมดุล (Equilibrium Conversion) ของแก๊สสังเคราะห์ (CO conversion และ H_2 conversion) ที่ขึ้นกับอัตราส่วนของแก๊สไฮโดรเจนต่อแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์เริ่มต้น (H_2/CO) สำหรับปฏิกิริยาการสังเคราะห์ไดเมทิลอีเทอร์ทั้งสองปฏิกิริยา คือ ปฏิกิริยาที่ 2.4 , 2.5 และปฏิกิริยาการสังเคราะห์เมทานอล ดังแสดงในปฏิกิริยาที่ 2.1 พบว่าจุดที่ให้ค่าการเปลี่ยนแปลงที่สมดุลมากที่สุด คือที่อัตราส่วนของ H_2/CO มีค่าสอดคล้องกับ Stoichiometric ของสมการเคมีนั้นๆ โดยปฏิกิริยาที่ 2.4 อัตราส่วนของ H_2/CO (แกน x) ที่ให้ค่าการเปลี่ยนแปลงสมดุล (แกน y) มากที่สุด เท่ากับ 1 ปฏิกิริยาที่ 2.5 อัตราส่วนของ H_2/CO ที่ให้ค่าการเปลี่ยนแปลงสมดุลมากที่สุด เท่ากับ 2 และ ปฏิกิริยาที่ 2.1 อัตราส่วนของ H_2/CO ที่ให้ค่าการเปลี่ยนแปลงสมดุลมากที่สุด เท่ากับ 2 จะเห็นว่าที่อัตราส่วนของ H_2/CO เท่ากับ 1 จะให้ค่าการเปลี่ยนแปลงสมดุลมากที่สุด ดังนั้นจึงแสดงให้เห็นว่าอัตราส่วนของ H_2/CO ที่ป้อนเข้าเท่ากับ 1 เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมในการสังเคราะห์ไดเมทิลอีเทอร์มากที่สุด



รูปที่ 2.5 การเปลี่ยนแปลงที่สมดุลของแก๊สสังเคราะห์ ที่ 280 องศาเซลเซียส, 5 บรรยากาศ [Yotaro Ohno, 2014]

2.1.2 ตัวเร่งปฏิกิริยาสำหรับการสังเคราะห์ไดเมทิลอีเทอร์ [Z. Azizi และคณะ, 2014]

งานวิจัยส่วนใหญ่ทำการค้นคว้าหาตัวเร่งปฏิกิริยาที่ดีที่สุด ที่สามารถให้ค่าความเลือกจำเพาะในการเกิดเป็นไดเมทิลอีเทอร์ที่สูง และ แนวนอนในการเกิดไฮโดรคาร์บอนและ coke ลดลง

การสังเคราะห์ไดเมทิลอีเทอร์โดยวิธีทางอ้อมจะใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิด solid-acid catalyst ส่วนตัวเร่งปฏิกิริยาสำหรับ STD process (syngas to DME) คือ bi-functional catalyst ประกอบด้วย โลหะออกไซด์สำหรับปฏิกิริยาสังเคราะห์เมทานอล และตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรดของแข็ง (solid-acid catalyst) สำหรับปฏิกิริยาเปลี่ยนเมทานอลให้เป็นไดเมทิลอีเทอร์

ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็น bi-functional จะเป็นตัวนำความร้อนที่ไม่ดี ดังนั้นจึงต้องใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาอยู่ในช่วง 523-673 K และใช้ความดันมากกว่า 10 bar โดยโลหะออกไซด์ที่นิยมนำมาในการสังเคราะห์เมทานอล ได้แก่ CuO, ZnO, Al₂O₃ และ Cr₂O₃ และตัวเร่งปฏิกิริยากรดของแข็ง (solid-acid catalyst) ได้แก่ γ-Al₂O₃, Alumina-Silica, TiO₂-ZrO₂, Clay, Ion exchange resins, Boehmite (AlOOH) และซีโอไลต์ เช่น HZSM-5, HY, Mordenites, SAPO, MCM, Ferrierite, Chabazite และ H-beta

2.1.2.1 ตัวเร่งปฏิกิริยาสำหรับการสังเคราะห์เมทานอล [ตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์บนเซอร์โคเนียมไดออกไซด์และแคลเซียมออกไซด์ปรับปรุงจากเปลือกหอยนางรมสำหรับปฏิกิริยาคาร์บอนไดออกไซด์ไฮโดรจีเนชัน, 2559]

ตัวเร่งปฏิกิริยาที่นิยมใช้ในปฏิกิริยาการสังเคราะห์เมทานอล (CO hydrogenation หรือ Methanol formation) คือ ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นของแข็ง อยู่ในรูปของโลหะออกไซด์ ซึ่งมีองค์ประกอบดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2.1.1 โลหะว่องไว (Active metal site)

โลหะว่องไวจะทำหน้าที่ในการช่วยดูดซับสารตั้งต้น และเร่งให้เกิดปฏิกิริยาขึ้น ซึ่งความว่องไวของโลหะนั้น จะขึ้นอยู่กับพื้นที่ผิวของโลหะนั้นๆ หากมีพื้นที่ผิวมาก สารตั้งต้นจะถูกดูดซับและเกิดปฏิกิริยาได้มาก โลหะว่องไวที่นิยมนำมาใช้ในปฏิกิริยาการสังเคราะห์เมทานอล คือ โลหะคอปเปอร์ (Cu) เนื่องจากสามารถเตรียมและวิเคราะห์ลักษณะได้ง่าย

2.1.2.1.2 ตัวรองรับ (Supporter)

ตัวรองรับเป็นสารเฉื่อยที่ใช้สำหรับให้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นโลหะว่องไวมากระจายอยู่บนพื้นผิว ทั้งนี้เพื่อเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวทั้งหมดให้กับตัวเร่งปฏิกิริยา โดยส่วนใหญ่ตัวรองรับจะเป็นสารที่มีรูพรุน (Porous) สูง และพื้นที่ผิวส่วนใหญ่จะอยู่ในรูพรุน ส่วนที่อยู่ภายนอกของตัวรองรับจะมีพื้นที่ผิวอยู่เพียงเล็กน้อยเท่านั้น ดังนั้นตัวเร่งปฏิกิริยาส่วนใหญ่จะแทรกตัวอยู่ในรูพรุนเหล่านั้น โดยอาจอยู่ในรูปเม็ด (Pellet) หรือ ผง (Powder) ตัวรองรับที่นิยมนำมาใช้ในการสังเคราะห์เมทานอล เช่น ZnO, ZrO₂, SiO₂, MgO, Al₂O₃, Zeolite เป็นต้น โดยสมบัติทั่วไปของตัวรองรับสำหรับตัวเร่งปฏิกิริยาดังนี้

1. ต้องเฉื่อยต่อปฏิกิริยาที่ไม่ต้องการให้เกิด
2. ต้องมีความแข็งแรงเชิงกล เช่น ทนต่อการขีดขูด หรือการบีบอัด
3. มีเสถียรภาพหรือทนต่อสภาวะต่างๆ ได้ ในระหว่างการทำปฏิกิริยา เพื่อ

นำกลับมาใช้ใหม่

4. มีพื้นที่ผิวสูงและมีความเป็นรูพรุน แต่ทั้งนี้ต้องขึ้นกับวัตถุประสงค์ของการใช้งาน การมีความเป็นรูพรุนรวมถึงขนาดของรูพรุนและการกระจายของรูพรุนที่พอเหมาะ การมีพื้นที่ผิวสูง (การมีรูพรุนขนาดเล็ก) แต่ถ้ามีรูพรุนเล็กเกินไปจะทำให้เกิดการอุดตันได้ โดยเฉพาะกรณีที่มีปริมาณของโลหะตัวเร่งสูง

5. มีราคาถูก ซึ่งจะช่วยให้ต้นทุนในการผลิตตัวเร่งปฏิกิริยามีค่าต่ำ หากมีการนำไปประยุกต์ใช้ก็จะเป็นกระบวนการที่ช่วยลดต้นทุนการผลิตได้

2.1.2.1.3 ตัวส่งเสริม (Promoter)

ตัวส่งเสริมเป็นองค์ประกอบที่ช่วยส่งเสริมให้ตัวเร่งปฏิกิริยาทำงานได้ดีขึ้น ซึ่งส่วนใหญ่สารที่ใส่ลงไปจะมีปริมาณน้อย เพื่อเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีหรือกายภาพของโลหะว่องไว หรือตัวรองรับ ซึ่งอาจเพิ่มกัมมันตภาพ (Activity) สัดส่วนเลือกทำปฏิกิริยา (Selectivity) และเสถียรภาพ (Stability) ของตัวเร่งปฏิกิริยา

2.1.2.2 ตัวเร่งปฏิกิริยาสำหรับกระบวนการขจัดน้ำของเมทานอล [S.D. Kim, 2006]

แกมมาอะลูมินา (γ -Al₂O₃) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้สำหรับปฏิกิริยาการขจัดน้ำของเมทานอล (Methanol Dehydration) ที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีพื้นที่ผิวสูง มีเสถียรภาพทางความร้อนและกลไกการเกิดปฏิกิริยาสูง และมีความจำเพาะเจาะจงต่อการเกิดไดเมทิลอีเทอร์ (DME Selectivity)

2.1.2.3 การเสื่อมสภาพของตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst Deactivation) [ตัวเร่งปฏิกิริยาในอุตสาหกรรมปิโตรเลียม, 2013]

การเสื่อมสภาพของตัวเร่งปฏิกิริยา คือ การที่ตัวเร่งปฏิกิริยาสูญเสียความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยา (Activity) หรือสูญเสียความจำเพาะเจาะจงในการเลือกเกิดเป็นผลิตภัณฑ์ โดยการเสื่อมสภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาอาจเกิดจากสาเหตุต่อไปนี้

1. การเกิดภาวะเป็นพิษบนตัวเร่งปฏิกิริยา (Poisoning)

เกิดจากการปนเปื้อนในสารที่ใช้ทำปฏิกิริยา ซึ่งทำให้ความว่องไวของตัวเร่งปฏิกิริยาลดลง เนื่องจากสารเจือปนถูกดูดซับบนพื้นผิวที่ว่องไวของตัวเร่งปฏิกิริยาบางส่วน ถ้าการดูดซับที่เกิดขึ้นไม่แข็งแรงตัวเร่งปฏิกิริยาก็จะเกิดการคายซับ ทำให้สามารถใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาต่อไปได้ ถ้าการดูดซับเกิดขึ้นแบบแข็งแรง ตัวเร่งปฏิกิริยาก็จะเกิดการเสื่อมสภาพแบบถาวร

2. การเกาะตัวของเขม่าบนผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา (Fouling)

เป็นปรากฏการณ์ทางกายภาพ สาเหตุเกิดจากฝุ่นผงหรือสารประกอบของคาร์บอนที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยามาเกาะ หรือไปอุดตันที่บริเวณรูพรุนตัวเร่งปฏิกิริยา ทำให้ความว่องไวและความจำเพาะของตัวเร่งปฏิกิริยาลดลง

3. การรวมตัวเนื่องจากความร้อน (Sintering)

เกิดจากการใช้อุณหภูมิสูงในขณะที่ทำปฏิกิริยา ดังนั้นเมื่ออุณหภูมิลดลงทำให้โลหะนั้นมีขนาดใหญ่ขึ้น ส่งผลให้ตำแหน่งที่ว่องไวของตัวเร่งปฏิกิริยา (Active site) ลดลง หรืออาจเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งทำให้ความว่องไวของตัวเร่งปฏิกิริยาลดลง

4. การเกิดสารประกอบของโลหะที่ระเหยได้ (Volatile metal)

เป็นการเกิดสูญเสียโลหะที่ว่องไว (Active species) โดยสามารถเกิดได้จากการรวมตัวระหว่างโลหะกับคาร์บอนมอนอกไซด์ เช่น $\text{Ni}(\text{CO})_4$ และ $\text{Cr}(\text{CO})_6$

2.1.2.4 การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา [ไฮโนจีนชั้นแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์บนตัวเร่งปฏิกิริยา Ruthenium, 2558]

1. การตกตะกอนร่วม (Co-precipitation)

เป็นการเตรียมสารละลายของเกลือโลหะ 2 ชนิดหรือมากกว่า เช่น การเตรียมโลหะบนตัวรองรับซิงค์ออกไซด์ จะต้องเตรียมสารละลายของเกลือโลหะและเกลือซิงค์ก่อน จากนั้นเติมสารที่ทำให้เกิดการตกตะกอน (Precipitation Agent) เช่น โลหะอัลคาไลน์คาร์บอเนต จากนั้นได้ตัวเร่งปฏิกิริยาตั้งต้น (Catalyst Precursor) และให้ความร้อนเพื่อให้ตัวเร่งปฏิกิริยาตั้งต้นสลายตัวได้โลหะออกไซด์บนตัวรองรับที่ต้องการ เช่น ซิงค์ออกไซด์และอะลูมิเนียมออกไซด์ เป็นต้น

2. การตกตะกอนร่วมแบบเอ็บซุ่ม (Co-precipitation Impregnation)

เป็นการเตรียมสารละลายผสมของโลหะไนเตรต เช่น คอปเปอร์ไนเตรต ซิงค์ไนเตรต อะลูมิเนียมไนเตรต และสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต จะถูกหยดลงพร้อมกันในบีกเกอร์ที่บรรจุผงแกมมาอะลูมินา และน้ำปราศจากไอออน โดยใช้สภาวะอุณหภูมิและค่าความเป็นกรด (pH) ที่เหมาะสม

3. การผสมทางกายภาพ (Physical Mixing)

การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาโดยวิธีผสมทางกายภาพเป็นวิธีที่ง่ายที่สุด เป็นการนำตัวเร่งปฏิกิริยาตั้งแต่สองตัวขึ้นไปมาผสมเข้าด้วยกัน โดยไม่ผ่านกระบวนการทางเคมีหรือกระบวนการทางความร้อนใดๆ

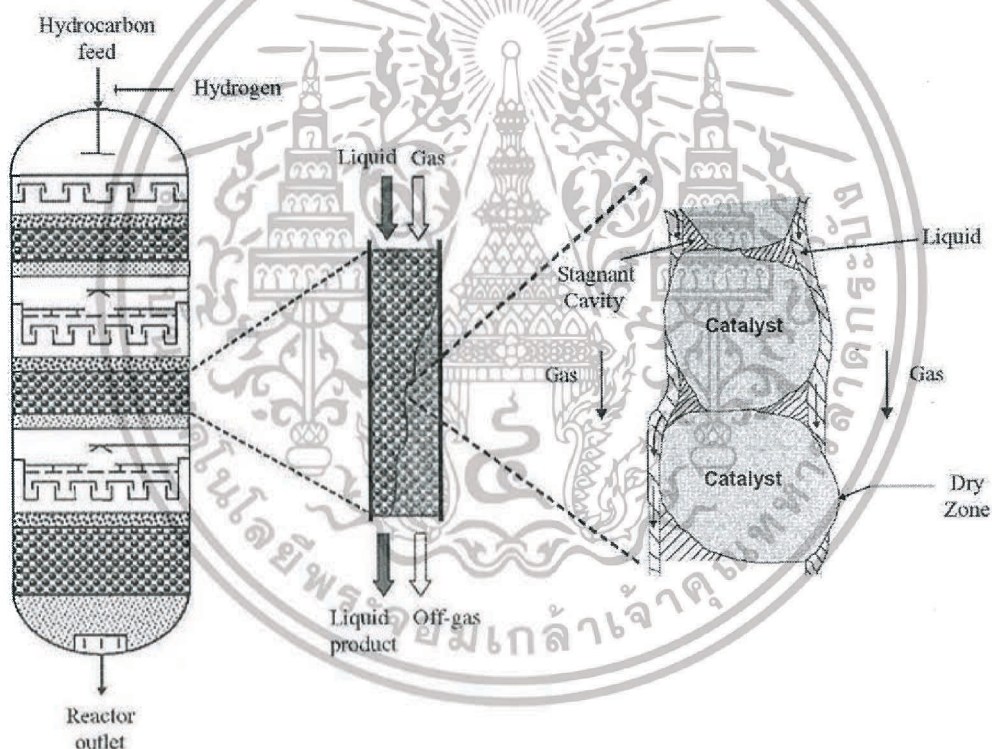
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3 เครื่องปฏิกรณ์สำหรับการสังเคราะห์ไอเมทิลเอทีเทอร์ [Z. Azizi และคณะ, 2014]

2.1.3.1 เครื่องปฏิกรณ์แบบเบตนิ่ง (Fixed-bed reactor)

เนื่องจากเครื่องปฏิกรณ์แบบเบตนิ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้งานง่ายและราคาถูก จึงเป็นเครื่องปฏิกรณ์ที่นิยมใช้ในหอปฏิบัติการหรือในระดับนําร่อง โดยในระบบดังกล่าวมีข้อจำกัดการแพร่ระหว่างเฟสจะถูกกำจัดโดย gas – solid contractor นอกจากนี้การใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบเบตนิ่งเป็นทางเลือกที่น่าสนใจที่ทำให้อุณหภูมิตลอดความยาวของเครื่องปฏิกรณ์ตั้งแต่ทางเข้าจนถึงทางออกมีความเหมาะสม

เครื่องปฏิกรณ์ชนิดนี้ถูกออกแบบอย่างง่าย โดยให้มีการบรรจุสารตั้งต้นและตัวเร่งปฏิกิริยาภายในเครื่องแบบคงที่ ดังนั้นสารตั้งต้นและตัวเร่งปฏิกิริยาจะไม่เกิดการเคลื่อนที่ขณะที่มีการให้ความร้อน จนกระทั่งเกิดปฏิกิริยาได้สมบูรณ์ ผลิตภัณฑ์จึงไหลออกจากเครื่องปฏิกรณ์ โดยลักษณะการทำงานของเครื่องปฏิกรณ์เป็นแบบกึ่งต่อเนื่อง เมื่อเกิดปฏิกิริยาเสร็จสิ้นแล้วจึงทำการนำตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นของแข็งออกจากเครื่องปฏิกรณ์ แล้วจึงใส่ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดใหม่เพื่อทำปฏิกิริยาอื่นๆต่อไป เครื่องปฏิกรณ์แบบเบตนิ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 เครื่องปฏิกรณ์แบบเบตนิ่ง (Fixed-bed reactor) [Description of Reactors (Petroleum refining), 2015]

2.1.3.2 เครื่องปฏิกรณ์แบบ 3 วัฏภาค (Slurry phase reactor)

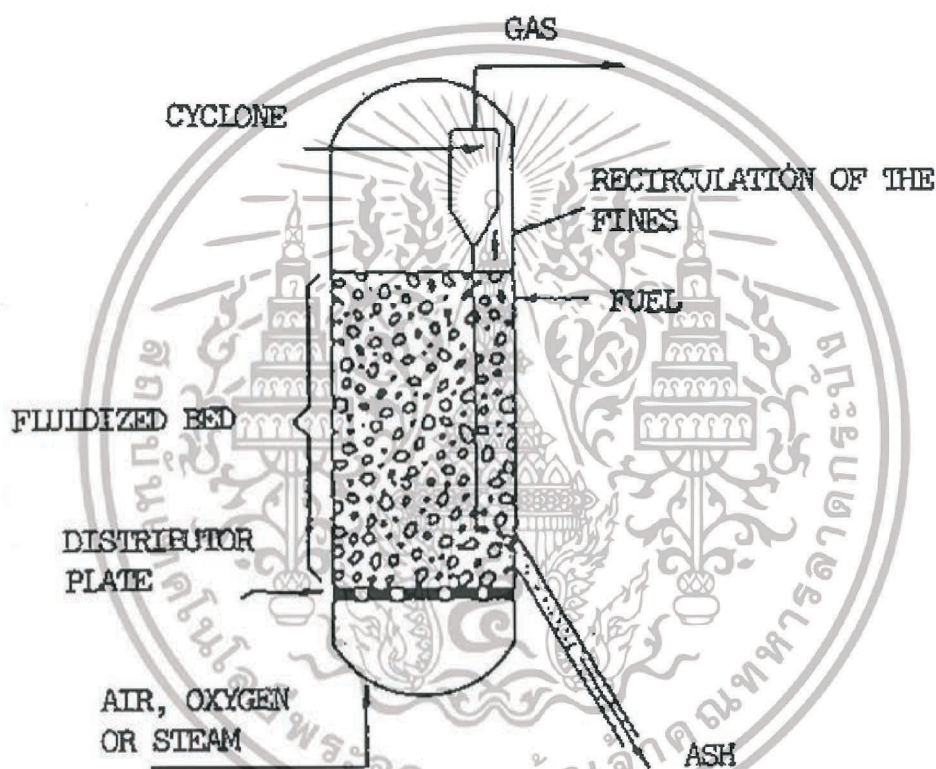
นอกจากเครื่องปฏิกรณ์แบบเบตนิ่งแล้ว เครื่องปฏิกรณ์อีกชนิดหนึ่งที่นิยมใช้ในการสังเคราะห์ไอเมทิลเอทีเทอร์แบบทางตรงคือ Slurry phase reactor ซึ่งเครื่องปฏิกรณ์แบบ 3 วัฏภาค (Three-phase slurry reactor) นี้ แก๊สสังเคราะห์จะถูกทำให้แตกตัวกลายเป็นฟองในตัวทำละลายเพื่อให้ตัวเร่งปฏิกิริยาลอยตัว โดยเครื่องปฏิกรณ์แบบนี้ใช้การลงทุนต่ำและมีการถ่ายโอนความร้อนได้ดี สามารถสังเคราะห์ไอเมทิลเอทีเทอร์ได้ในปริมาณมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสังเคราะห์ไดเมทิลอีเทอร์จาก Slurry phase reactor นั้น มีข้อจำกัดคือ การถ่ายโอนมวลระหว่างเฟสและการลดลงของอัตราการเกิดปฏิกิริยาโดยรวม อย่างไรก็ตามการควบคุมอุณหภูมิของ Slurry phase reactor สามารถทำได้ดีกว่าเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง เนื่องจากความจุความร้อนของตัวทำละลายสูงกว่า

2.1.3.3 เครื่องปฏิกรณ์แบบฟลูอิดไคซ์ (Fluidized-bed reactor)

เครื่องปฏิกรณ์นี้เริ่มจากการทดลองในห้องปฏิบัติการ โดยเครื่องปฏิกรณ์นี้สามารถกำจัดความร้อนที่เกิดขึ้นได้ดี สามารถสังเคราะห์ไดเมทิลอีเทอร์ได้ปริมาณมาก เนื่องจากตัวเร่งปฏิกิริยาสามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ ด้วยเหตุนี้ตัวเร่งปฏิกิริยาจะเกิดการชนกับผนังของเครื่องปฏิกรณ์ทำให้เกิดการสูญเสียตัวเร่งปฏิกิริยา ดังแสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 เครื่องปฏิกรณ์แบบฟลูอิดไคซ์ (Fluidized-bed reactor) [Types of gasifiers, 2015]

2.1.4 การใช้งานไดเมทิลอีเทอร์ด้านต่างๆ

2.1.4.1 การใช้งานไดเมทิลอีเทอร์เป็นเชื้อเพลิง [ความรู้เกี่ยวกับไดเมทิลอีเทอร์, 2554]

การใช้งานไดเมทิลอีเทอร์เพื่อเป็นเชื้อเพลิง แบ่งออกได้เป็น 2 รูปแบบ คือ

2.1.4.1.1 ใช้เป็นเชื้อเพลิงให้ความร้อน

เป็นรูปแบบของการใช้งานส่วนใหญ่ โดยเฉพาะในประเทศจีน ดังที่กล่าวมาข้างต้นว่า ไดเมทิลอีเทอร์มีสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ที่คล้ายคลึงกับแก๊ส LPG ดังนั้น จึงสามารถนำมาผสมกับแก๊ส LPG เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับหุงต้มในครัวเรือนได้ โดยอัตราส่วนผสมของดีเอ็มอีที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถใช้ได้โดยไม่ต้องมีการปรับแต่ง เต่าเผา และ อุปกรณ์โครงสร้างพื้นฐานที่ใช้ในการบรรจุ ขนส่ง หรือเก็บรักษา คือประมาณร้อยละ 20 โดยปริมาตร

2.1.4.1.2 ใช้เป็นเชื้อเพลิงในภาคการขนส่ง

ปัจจุบันได้มีการริเริ่มนำโดเมทิลอีเทอร์มาใช้เป็นเชื้อเพลิงในภาคการขนส่ง โดยการใช้งานสามารถใช้งานได้กับ

1. เครื่องยนต์ดีเซล เนื่องจากโดเมทิลอีเทอร์มีค่าซีเทนสูง ดังนั้นจึงสามารถนำโดเมทิลอีเทอร์มาผสมกับน้ำมันดีเซลหมุนเร็วเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลได้ โดยต้องมีการปรับแต่งเครื่องยนต์เล็กน้อย (ระบบฉีดเชื้อเพลิง) สำหรับอัตราส่วนผสมของดีเอ็มอีสูงสุดที่ไม่ทำให้เชื้อเพลิงผสมที่ได้มีความหนืดต่ำจนเกินไป คืออยู่ที่ประมาณร้อยละ 25 โดยน้ำหนัก

2. เครื่องยนต์เบนซิน เครื่องยนต์เบนซินสามารถนำมาดัดแปลงให้สามารถใช้แก๊ส LPG ผสมกับดีเอ็มอีเป็นเชื้อเพลิงได้ โดยอัตราส่วนผสมสูงสุดของดีเอ็มอีคือ ประมาณร้อยละ 25 โดยน้ำหนัก ทั้งนี้ข้อจำกัดของการใช้ดีเอ็มอีเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์เบนซิน คือ โดเมทิลอีเทอร์มีค่าออกเทนที่ต่ำ ดังนั้นหากผสมในอัตราส่วนที่สูงเกินไปจะทำให้เครื่องยนต์ขัดข้องได้

3. เครื่องยนต์ที่ใช้ดีเอ็มอีเป็นเชื้อเพลิง ปัจจุบันบริษัทผู้ผลิตรถยนต์หลายรายได้มีการคิดค้นพัฒนารถบรรทุกขนาดใหญ่ที่ใช้ดีเอ็มอีเป็นเชื้อเพลิง ตัวอย่างเช่น นิสสัน อิซูซุ ฮีโน่ มิทซูบิชิ ในประเทศญี่ปุ่น และ วอลโว่ ในประเทศสวีเดน

2.1.4.2 การใช้งานโดเมทิลอีเทอร์ด้านอุตสาหกรรม [สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 2554]

โดเมทิลอีเทอร์สามารถใช้เป็นสารทำความเย็น (Refrigerant) สำหรับระบบปรับอากาศ หรือ ตู้เย็น และใช้เป็นสารเพิ่มแรงดัน (Propellant) สำหรับบรรจุในกระป๋องสเปรย์หรือสีพ่นทดแทนสาร CFC (Chlorofluorocarbons)

2.1.4.3 การใช้งานโดเมทิลอีเทอร์ด้านการแพทย์ [สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 2554]

การนำสารผสมระหว่างโดเมทิลอีเทอร์และโพรเพน (Propane) สามารถนำมาใช้กำจัดหูดได้ โดยใช้ในปริมาณน้อยๆ แต้มเพื่อทำลายเซลล์หูด (Wart) แม้จะถูกจัดเป็นสารพิษ (Hazardous substance) แต่โดเมทิลอีเทอร์ไม่ใช่สารก่อมะเร็ง และไม่ทำให้เกิดความผิดปกติของระบบสืบพันธุ์ หรือ ความผิดปกติของทารกในครรภ์ของผู้ที่สัมผัสโดเมทิลอีเทอร์ หากสูดดมในปริมาณไม่มาก จะทำให้เยื่อตา จมูก และคอ เกิดการระคายเคือง หากสูดดมในปริมาณมากอาจทำให้เกิดอาการวิงเวียนศีรษะ หรือหมดสติ หากสัมผัสกับผิวหนังโดยตรงจะทำลายเซลล์หรือเนื้อเยื่อคล้ายอาการหิมะกัด

2.1.5 อนาคตของโดเมทิลอีเทอร์ในด้านเชื้อเพลิง [เทคโนโลยี GTL, 2551]

จากการที่โดเมทิลอีเทอร์สามารถนำมาทดแทนแก๊สหุงต้มและน้ำมันดีเซลได้ เมื่อเปรียบเทียบกับในด้านเศรษฐศาสตร์ พบว่าโดเมทิลอีเทอร์ยังคงมีต้นทุนที่สูงกว่าแก๊สหุงต้มและน้ำมันดีเซล เนื่องจากความซับซ้อนในการผลิตและต้นทุนของแก๊สสังเคราะห์ อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาราคาของน้ำมันดิบที่สูงขึ้น ประกอบกับหากเราพิจารณาในเชิงคุณภาพชีวิต สิ่งแวดล้อม และภาวะโลกร้อนนั้นจะพบว่าโอกาสสำหรับโดเมทิลอีเทอร์นั้นอยู่มาก ซึ่งขณะนี้หลายประเทศกำลังให้ความสนใจอย่างมาก เช่น ญี่ปุ่น สหรัฐอเมริกา จีน เป็นต้น โดยประเทศต่างๆเหล่านี้กำลังพัฒนากระบวนการผลิตและเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จัดสร้างโรงงานขนาดใหญ่ เพื่อลดต้นทุนการผลิตของโดเมทิลอีเทอร์ และนำมาใช้ทดแทนแก๊สหุงต้ม ในบริเวณที่ขาดแคลน ในประเทศไทยโดเมทิลอีเทอร์ยังไม่เป็นที่รู้จักแพร่หลายมีเพียงนักวิจัยบางกลุ่ม ในสถาบันอุดมศึกษา และหน่วยงานวิจัยของรัฐเท่านั้นที่ทำงานวิจัยเกี่ยวกับการผลิตโดเมทิลอีเทอร์ และการทดสอบการใช้โดเมทิลอีเทอร์เป็นเชื้อเพลิงในรถยนต์ดีเซล ยังไม่มีภาคเอกชนให้ความสนใจเท่าใดนัก

2.2 คอปเปอร์ออกไซด์

2.2.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับคอปเปอร์ออกไซด์ [งามนิตย์ วงษ์เจริญ, 2558]

รูปที่ 2.8 คอปเปอร์ออกไซด์ [Copper Oxide powder, 2016]

สารประกอบคอปเปอร์ออกไซด์ สูตรโครงสร้างคือ CuO มีสีดำ พบได้ในธรรมชาติ โครงสร้างผลึกเป็นแบบโมนอคลินิก (Monoclinic) เป็นสารกึ่งตัวนำชนิดพี (p-type) สามารถสังเคราะห์ให้เป็นวัสดุนาโนได้

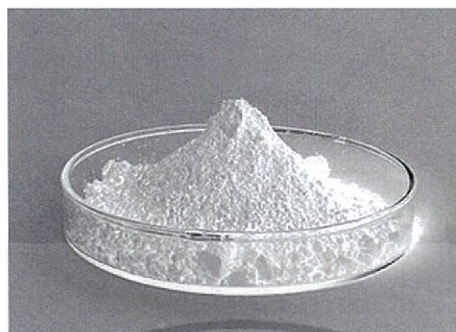
2.2.2 สมบัติทางกายภาพของคอปเปอร์ออกไซด์ [CuO MSDS, 2013]

ชื่อทั่วไป	Copper Oxide; Cupric Oxide
มวลโมเลกุล	79.55 กรัมต่อโมล
สถานะ	ผงผลึก ของแข็ง สีดำ
ความถ่วงจำเพาะ	6.40
จุดหลอมเหลว	1,326 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ซิงค์ออกไซด์ [การอบรมนวัตกรรมการนาโนเทคโนโลยี วัสดุนาโนซิงค์ออกไซด์ (nano-ZnO) และการประยุกต์ใช้, 2015]

2.3.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับซิงค์ออกไซด์



รูปที่ 2.9 ซิงค์ออกไซด์

ซิงค์ออกไซด์หรือที่รู้จักกันในชื่อ คาลาไมต์ (Calamine) ลักษณะเป็นผงสีขาว สามารถละลายได้ดีทั้งในสารละลายกรดและเบส

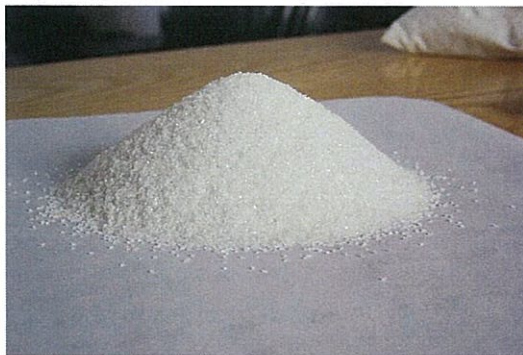
2.3.2 สมบัติทางกายภาพของซิงค์ออกไซด์ [ZnO MSDS, 2013]

ชื่อทั่วไป	Zinc Oxide
มวลโมเลกุล	81.38 กรัมต่อโมล
สถานะ	ผง ของแข็ง สีขาว
ความถ่วงจำเพาะ	5.61
จุดหลอมเหลว	1,975 องศาเซลเซียส

2.4 อะลูมิเนียมออกไซด์

2.4.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับอะลูมิเนียมออกไซด์ [อะลูมินา วัสดุสารพัดประโยชน์, 2545]

อะลูมินา (Alumina) มีชื่อทางเคมีคือ อะลูมิเนียมออกไซด์ (Aluminium Oxide: Al_2O_3) พบในธรรมชาติในรูปของแร่คอร์ันดัม (Corundum: Al_2O_3) นอกจากนี้ยังมีไดอะสปอร์ (Diaspore: $Al_2O_3 \cdot H_2O$) บ็อกไซต์ (Bauxite: $Al_2O_3 \cdot 2H_2O$) และกิบบ์ไซต์ (Gibbsite: $Al_2O_3 \cdot 3H_2O$) โดยจัดเป็นออกไซด์ที่มนุษย์นำมาใช้ประโยชน์ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน และยังคงถูกพัฒนามาใช้งานมากขึ้นในอนาคต



รูปที่ 2.10 อะลูมิเนียมออกไซด์

2.4.2 สมบัติทางกายภาพของอะลูมิเนียมออกไซด์ [Al₂O₃ MSDS, 2010]

ชื่อทั่วไป	Alumina, Aluminium Oxide
มวลโมเลกุล	101.96 กรัมต่อโมล
สถานะ	ผง ของแข็ง สีขาว ไม่ละลายน้ำ
ความถ่วงจำเพาะ	4.00
จุดหลอมเหลว	2,072 องศาเซลเซียส
จุดเดือด	2,980 องศาเซลเซียส

2.4.3 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับแกมมาอะลูมินา [หนานจิงยวมคริสตจักรวัสดุเทคโนโลยี, 2559]

อะลูมินาสามารถพบได้ในรูปแอลฟา (α) เบต้า (β) และ แกมมา (γ) โดยส่วนใหญ่จะพบอยู่ในรูปของแอลฟาอะลูมินาและแกมมาอะลูมินา โดยที่อุณหภูมิไม่เกิน 500 องศาเซลเซียส อะลูมินาจะจัดเรียงตัวอยู่ในรูปของแกมมา หากนำไปเผาที่อุณหภูมิสูงถึง 1,150-1,200 องศาเซลเซียส อะลูมินาจะจัดเรียงตัวอยู่ในรูปของแอลฟา แต่เบต้าอะลูมินาจะจัดเรียงตัวอยู่ในรูปของสารประกอบโซเดียมคือ โซเดียมอะลูมิเนต (Na₂O · 11Al₂O₃) แกมมาอะลูมินาไม่ละลายน้ำ แต่สามารถละลายได้ในกรดแก่เป็นวัสดุที่มีรูพรุนสูงจึงทำให้พื้นที่ผิวภายในสูงถึงหลายร้อยตารางเมตรต่อกรัม และจัดเรียงตัวในรูปทรงแปดหน้า (Octahedral)



Key :- ○ Oxygen ● Al

รูปที่ 2.11 โครงสร้างอะลูมินา [การปรับปรุงสมบัติเชิงกลของอะลูมินาด้วยอนุภาคนาโนซิลิคอนคาร์ไบด์, 2554]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 เทคนิคสำหรับการตรวจสอบเอกลักษณ์และเครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์

2.5.1 เครื่องมือวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (X-ray Diffractometer, XRD) [ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง, 2558]

เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์สมบัติของวัสดุ โดยอาศัยหลักการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ โดยสามารถทำการวิเคราะห์ได้ทั้งสารประกอบที่มีอยู่ในตัวอย่าง และนำมาใช้ศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับโครงสร้างผลึกของสารตัวอย่างได้อีกด้วย ในผลึกของตัวอย่างแต่ละชนิดจะมีขนาดของ Unit Cell ที่ไม่เท่ากันทำให้รูปแบบของการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ที่ออกมาไม่เท่ากัน ทำให้เราสามารถหาความสัมพันธ์ของสารประกอบต่างๆกับรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ได้ ซึ่งทำให้เราทราบว่าในตัวอย่างนั้นมีสารประกอบใดบ้าง

นอกจากนี้ผลของการวิเคราะห์ XRD จะสามารถหองค์ประกอบของตัวอย่างได้แล้วนั้น ยังสามารถคำนวณหาปริมาณองค์ประกอบต่างๆที่อยู่ในตัวอย่าง คำนวณหาขนาดอนุภาคของแต่ละ Unit Cell ความเครียดของตัวอย่าง ค่าความเป็นผลึกของตัวอย่างได้อีกด้วย อีกทั้งยังสามารถทำการวิเคราะห์หองค์ประกอบของฟิล์มบาง และคำนวณความหนาของชั้นฟิล์มบางได้อีกด้วย



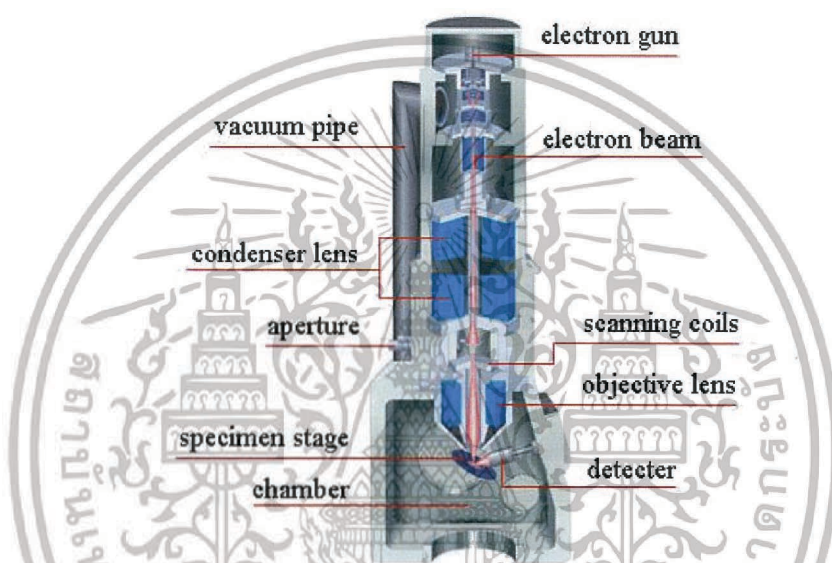
รูปที่ 2.12 เครื่อง X-ray Diffractometer [B. L. Dutrow, 2016]

2.5.2 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) [ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง, 2559]

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด เป็นกล้องจุลทรรศน์ที่ใช้ electron เป็นแหล่งกำเนิดแสง เป็นเครื่องมือที่ใช้ศึกษาลักษณะสัญญาณของวัสดุในระดับจุลภาค และเนื่องจากข้อจำกัดของกล้องจุลทรรศน์แบบแสงที่มีความยาวคลื่นแสงขนาดใหญ่กว่าลักษณะสัญญาณบางชนิดที่ต้องการศึกษา และกำลังความสามารถในการแยกชัดของกล้องจุลทรรศน์แบบแสงธรรมดาที่มีค่าต่ำ ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดูวัตถุเล็กสุดประมาณ 0.2 ไมโครเมตร และให้กำลังขยายสูงสุดไม่เกิน 3000 เท่า ซึ่งไม่สามารถตรวจสอบรายละเอียดของวัตถุที่มีขนาดเล็กมากๆ ได้ จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่มีกำลังขยายสูง มีความสามารถในการแยกชัดดี เนื่องจากมีความยาวคลื่นสั้นเพื่อช่วยในการวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานของวัสดุ โดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดมีกำลังขยายมากกว่า 3000 เท่า จนถึงระดับมากกว่า 100000 เท่า และสามารถแจกแจงรายละเอียดของภาพ ซึ่งขึ้นกับลักษณะตัวอย่างได้ตั้งแต่ 3 ถึง 100 นาโนเมตร อีกทั้งยังสามารถใช้งานร่วมกับเทคนิคการวิเคราะห์อื่น เช่น Energy Dispersive Spectrometry (EDS) และ Wavelength Dispersive Spectrometry (WDS) ที่เป็นข้อมูลทางเคมี จึงทำให้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดเป็นที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในปัจจุบัน



รูปที่ 2.13 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope: SEM)

2.5.3 เทคนิคการวิเคราะห์สารด้วยแสงอินฟราเรด (Fourier Transform Infrared Spectroscopy, FT-IR) [การลดปริมาณเบนซีน โทลูอิน เอธิลเบนซีน และไซลีนที่ปล่อยออกมาจากสีทาภายในอาคารด้วยต้นสนห้จันทร์แดง และต้นเดหลี ในประเทศไทย, 2551]

เป็นเทคนิคหนึ่งที่ใช้ในการจำแนกประเภทของสารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ และพินอะเคมีในโมเลกุล นอกจากนี้สามารถบอกถึงปริมาณองค์ประกอบที่มีอยู่ในโมเลกุลของสารผสมตัวอย่างไม่ทราบชนิด โดยทำการตรวจวัดการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของสารตัวอย่างที่ความถี่ต่างๆ ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะตัวของแต่ละพินอะ



รูปที่ 2.14 เครื่อง Fourier Transform Infrared Spectroscopy: FT-IR [Labcompare, 2017]

2.5.4 การวัดพื้นที่ผิวและขนาดอนุภาครูพรุน โดยใช้ BET (The Brunauer-Emmett-Teller) [ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ, 2560]

การหาพื้นที่ผิวจำเพาะ ตามทฤษฎีของ The Brunauer-Emmett-Teller ใช้หลักการของการดูดซับแก๊สบนพื้นผิวของตัวอย่างที่ต้องการทดสอบ โดยมีสมมติฐานว่าการดูดซับของแก๊สเกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอทั่วพื้นผิวไม่จำเพาะบริเวณใดบริเวณหนึ่ง และอีกสมมติฐานหนึ่ง คือ แก๊สที่ใช้มีความสามารถในการดูดซับบนพื้นผิวได้ดีกว่าการที่แก๊สเกิดตั้งตัวกันเอง



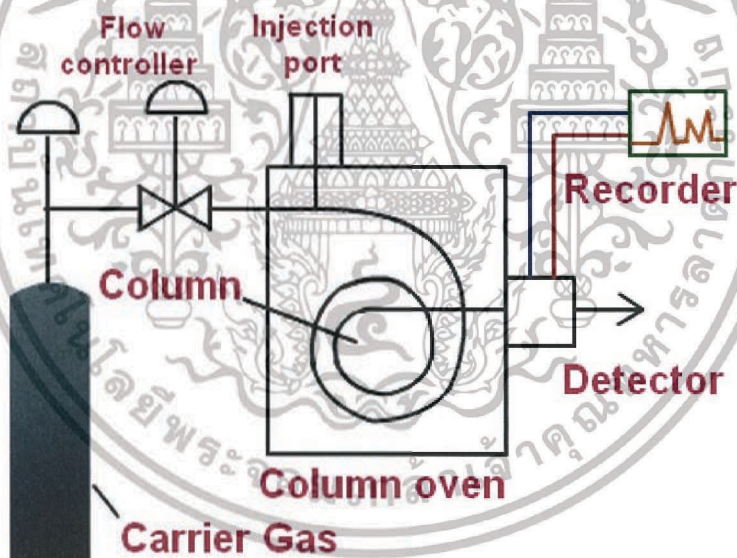
รูปที่ 2.15 เครื่องวัดพื้นที่ผิวและขนาดอนุภาครูพรุน (The Brunauer-Emmett-Teller: BET) [ภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2560]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.5 เทคนิคการแยกสารตัวอย่างที่เป็นสารผสม (Gas Chromatography; GC) [Environmental Engineering Chula Engineering, 2017]

เทคนิคการแยกองค์ประกอบของสารผสม โดยอาศัยความแตกต่างของอัตราการเคลื่อนที่ของแต่ละองค์ประกอบของสารผสมบนเฟสคงที่ (Stationary phase) ภายใต้การพาของเฟสเคลื่อนที่ (Mobile phase) สำหรับเครื่อง GC เฟสคงที่ คือ สารที่อยู่ภายในคอลัมน์ ส่วนเฟสเคลื่อนที่ คือ แก๊สฮีเลียม เมื่อสารที่ต้องการวิเคราะห์ผ่านเข้าสู่เครื่อง GC สารดังกล่าวจะถูกเปลี่ยนสถานะจากของเหลว (Liquid) เป็นแก๊ส (Gas) และส่วนแก๊สของสารผสมจะถูกพาเข้าสู่คอลัมน์โดยแก๊สฮีเลียม ซึ่งภายในคอลัมน์จะเกิดการแยกสารผสม (Separation) โดยอาศัยการทำปฏิกิริยา (Interaction) ระหว่างสารที่อยู่ภายในคอลัมน์ (Stationary phase) และสารผสม

ทั้งนี้ในการแยกสารผสมให้เป็นสารเชิงเดี่ยวนั้นอาศัยความแตกต่างของน้ำหนักโมเลกุล จุดเดือด โครงสร้างของสารและสมบัติทางเคมีในการทำปฏิกิริยากับสารที่อยู่ภายในคอลัมน์ ซึ่งหลังจากที่สารแต่ละชนิดถูกแยกเป็นส่วนๆ เคลื่อนที่ที่อยู่ภายในคอลัมน์ในเวลาที่แตกต่างกัน หลังจากนั้นสารเชิงเดี่ยวแต่ละชนิดจะเคลื่อนเข้าสู่อุปกรณ์วัดสัญญาณ (Detector) และแปรผลออกมาเป็นโครมาโทแกรม (Chromatogram) ซึ่งสารเชิงเดี่ยว แต่ละสารจะมีระยะเวลาที่อยู่ในคอลัมน์ (Retention time, RT) เฉพาะตัว ในการวิเคราะห์ผลจะนำพื้นที่ใต้พีค (Peak) ของแต่ละสารมาคำนวณผลเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐาน (Calibration curve) ก็จะทราบปริมาณของสารตัวอย่างได้



รูปที่ 2.16 แสดงส่วนประกอบของเครื่อง GC

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.6.1 Effect of the Hybrid Catalyst Preparation Method upon Direct Synthesis of Dimethyl Ether from Synthesis Gas

G.R. Moradi และคณะ (2006) [G.R. Moradi และคณะ, 2006] ได้ศึกษาผลของตัวเร่งปฏิกิริยา $\text{CuO/ZnO/Al}_2\text{O}_3$ สำหรับการสังเคราะห์ดีเมทิลอีเทอร์จากแก๊สสังเคราะห์ทางตรง ด้วยวิธีการต่างๆ ดังนี้

1. การตกตะกอนร่วมโดยโซเดียมคาร์บอเนต (Co-precipitation by Na_2CO_3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การตกตะกอนร่วมโดยโซเดียมอะลูมิเนต (Co-precipitation by NaAlO_2)
3. การตกตะกอนร่วมแบบเอ็บซุ่ม (Co-precipitation impregnation)
4. Co-precipitation sedimentation
5. เทคนิคโซเจล (Sol-gel method)
6. การให้เอ็บซุ่มร่วมกับเทคนิคโซเจล (Sol-gel impregnation)
7. การทำให้เอ็บซุ่ม (Impregnation)

2.6.2 Direct Synthesis of Dimethyl Ether from Carbon-Monoxide-Rich Synthesis Gas: Influence of Dehydration Catalyst and Operating Conditions

M. Stiefel และคณะ (2011) [M. stiefel และคณะ, 2011] ศึกษาอิทธิพลของตัวเร่งปฏิกิริยา dehydration และสภาพในการทำปฏิกิริยาสังเคราะห์ไดเมทิลอีเทอร์โดยตรง จากแก๊สสังเคราะห์ที่มีปริมาณ CO จำนวนมาก โดยได้มาจากการเปรียบเทียบตัวเร่งปฏิกิริยา dehydration ได้แก่ $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$, HMOR-90, HMFI-90, HMFI-400 จากกราฟ NH_3 -TPD พบว่า $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ มีปริมาณของ strong acid น้อยที่สุด เมื่อนำมาทำปฏิกิริยาเพื่อสังเคราะห์ไดเมทิลอีเทอร์ โดยคงปริมาณและชนิดของโลหะว่องไวไว้ พบว่า bi-functional catalyst ที่ใช้ $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ ที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส อัตราของแก๊สสังเคราะห์คือ 1:1 ให้ค่าร้อยละผลได้ของไดเมทิลอีเทอร์สูงสุด เมื่อเทียบกับตัวเร่งปฏิกิริยา dehydration ชนิดอื่นที่สภาวะเดียวกัน

2.6.3 Activity and Deactivation Studies for Direct Dimethyl Ether Synthesis using $\text{CuO-ZnO-Al}_2\text{O}_3$ with $\text{NH}_4\text{ZSM-5}$, HZSM-5 or $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$.

J. Abu-Dahrieh และคณะ (2012) [J. Abu-Darieh และคณะ, 2012] ศึกษาประสิทธิภาพและการเสื่อมสภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาในการสังเคราะห์ไดเมทิลอีเทอร์จากแก๊สสังเคราะห์ทางตรง ซึ่งใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาส่วนโลหะออกไซด์ (metal oxide) คือ $\text{CuO-ZnO-Al}_2\text{O}_3$ (CZA) และใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาส่วนกรดของแข็ง (solid acid) ที่แตกต่างกัน คือ $\text{NH}_4\text{ZSM-5}$ HZSM-5 และ $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ จากผลการทดลองพบว่าการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา $\text{CuO-ZnO-Al}_2\text{O}_3/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ ที่ความดัน 20 บาร์ และอุณหภูมิ 205 องศาเซลเซียส จะให้ ร้อยละการเปลี่ยนไปของคาร์บอนมอนอกไซด์ เท่ากับ 12.24 ร้อยละโดยโมลของดีเอ็มอี เท่ากับ 0.24 ร้อยละโดยโมลของเมทานอล เท่ากับ 4.3 และที่ความดันเดียวกันแต่เปลี่ยนอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาเป็น 260 องศาเซลเซียส จะให้ ร้อยละการเปลี่ยนไปของคาร์บอนมอนอกไซด์ เท่ากับ 37.74 ร้อยละโดยโมลของดีเอ็มอี เท่ากับ 4.6 ร้อยละโดยโมลของเมทานอล เท่ากับ 2.9 จะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยา จะทำให้ร้อยละการเปลี่ยนไปของคาร์บอนมอนอกไซด์มีค่าเพิ่มขึ้น และผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นได้เป็นไดเมทิลอีเทอร์เพิ่มขึ้น และผลิตภัณฑ์ข้างเคียง คือ เมทานอล เกิดขึ้นลดลง

2.6.4 Investigation of Different Precipitating Agents Effects on Performance of $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ Nanocatalysts for Methanol Dehydration to Dimethyl Ether

S.Y. Hosseini และคณะ (2014) [S.Y. Hosseini และคณะ, 2014] ศึกษาผลกระทบของตัว

ที่ใช้ตกตะกอนร่วมกับอะลูมิเนียมไนเตรต โนนาไฮเดรต {Aluminium Nitrate Nonahydrate: เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์กับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปเผยแพร่เรียนด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$, 98.5% (Merck)} เพื่อสังเคราะห์ $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ โดยตัวที่ใช้ตกตะกอนรวมคือ Sodium Carbonate $\{\text{Na}_2\text{CO}_3$, 98% (Merck)}, Sodium Bicarbonate $\{\text{NaHCO}_3$, 99% (Merck)}, Ammonium Carbonate $\{(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$, (Merck)}, Ammonium Bicarbonate $\{\text{NH}_4\text{HCO}_3$, 98% (Merck)} และนำมาสังเคราะห์โดเมทิลเอเทอร์จากเมทานอล โดยตัวเร่งปฏิกิริยาจะนำไปตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิค XRD, FTIR, $\text{NH}_3\text{-TPD}$, SEM, TEM และ N_2 adsorption-desorption ผลจากการทดลองพบว่า การตกตะกอนร่วมกับ Ammonium Carbonate ได้ตะกอนที่มีพื้นที่ผิวและความแรงของกรดสูงสุด และมีประสิทธิภาพดีสุด เมื่อเปรียบเทียบกับสารตัวอื่น และเมื่อนำมาทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ ความดัน, WHSV ต่างๆ พบว่าที่ความดัน 1 บาร์ อุณหภูมิ 375 องศาเซลเซียส WSHV 35 h^{-1} ให้ผลผลิตสูงสุด

2.6.5 Effect of Metal Precursor on $\text{Cu/ZnO/Al}_2\text{O}_3$ Synthesized by Flame Spray Pyrolysis for Direct DME Production

S.C. Lee และคณะ (2015) [S.C. Lee และคณะ, 2015] ศึกษาผลกระทบเกี่ยวกับความแตกต่างระหว่างชนิดและคุณสมบัติของสารตั้งต้นในการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยา ได้แก่ สารประกอบ nitrates และ สารประกอบ organometallics โดยทำการปรับความเข้มข้นของ $\text{Cu/Zn/Al}_2\text{O}_3$ ในอัตราส่วนที่ต่างกัน จากผลการทดลองพบว่า การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาโดยใช้สารตั้งต้นเป็นสารประกอบ Nitrates ที่ความเข้มข้นของ $\text{Cu/Zn/Al}_2\text{O}_3$ ในอัตราส่วน 6:3:1 จะสามารถสังเคราะห์ $\text{Cu/Zn/Al}_2\text{O}_3$ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่มี พื้นที่ผิวของ Cu สูง และประสิทธิภาพในการสังเคราะห์โดเมทิลเอเทอร์ทางตรงโดยมี $\text{Cu/Zn/Al}_2\text{O}_3$ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาสูงกว่า การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมจาก สารประกอบ Organometallics

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้สนใจศึกษาเกี่ยวกับความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยาสำหรับการสังเคราะห์ไดเมทิลอีเทอร์ (Dimethyl Ether) โดยตรงที่เตรียมจากวิธีการต่างๆที่แตกต่างกันออกไป สามารถสังเคราะห์ได้สะดวก รวดเร็ว พร้อมทั้งไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม สำหรับตัวเร่งปฏิกิริยาที่สนใจศึกษา ได้แก่ คอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์อะลูมิเนียมออกไซด์บนแกมมาอะลูมินา ที่มีอัตราส่วนโดยมวลที่เหมาะสม (2:1)

ตัวเร่งปฏิกิริยาที่นำมาใช้ในปฏิกิริยาการสังเคราะห์ไดเมทิลอีเทอร์ สามารถเตรียมได้จากวิธีการต่างๆ คือ การตกตะกอนร่วม (Co-precipitation) , การผสมทางกายภาพ (Physical mixing) และการตกตะกอนร่วมแบบเอ็บซุ่ม (Co-precipitation Impregnation)

3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. ชุดเครื่องแก้ว Pyrex
2. เครื่องชั่งความละเอียด 4 ตำแหน่ง Mettler Toledo ,ME-204
3. ตะแกรงร่อนมาตรฐาน (Sieve) Misumi Vona , 5-3294-33
4. เครื่องอัดเม็ด Chavachote
5. โกร่งบดสาร (Mortar and Pestle)
6. ชุดเครื่องปฏิกรณ์แบบเบตนิ่ง (Fixed-bed reactor)
7. โถดูดความชื้น (Desiccator)
8. ฉนวนใยแก้ว (Glass wool)

3.2 เครื่องมือใช้ในการตรวจสอบเอกลักษณ์

1. เครื่องวิเคราะห์ด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี (Gas Chromatography, GC), Varian CP-3800
2. เครื่องวิเคราะห์ลักษณะผลึกและอสัณฐาน (X-ray Diffractometer, XRD), Bruker AXS D8 Advance
3. เครื่องวิเคราะห์ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของสารในระดับจุลภาค (Scanning Electron Microscope, SEM), LEO 1455 VP
4. เครื่องวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของสาร (Fourier transform infrared spectroscopy, FT-IR), Spectrum GX
5. เครื่องวิเคราะห์พื้นที่ผิว (Surface Area and Porosity Analyzer, BET)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 แก๊สและสารเคมี

1. คอปเปอร์ไนเตรทไตรไฮเดรต ($\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) ความบริสุทธิ์ 99.50 เปอร์เซ็นต์ เกรด วิเคราะห์ บริษัท Loba chemie Pvt,Ltd. ประเทศอินเดีย
2. โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) ความบริสุทธิ์ 99.50 เปอร์เซ็นต์ เกรดวิเคราะห์ บริษัท Sigma Aldrich Pte,Ltd ประเทศสิงคโปร์
3. ซิงค์ไนเตรทเฮกซะไฮเดรต ($\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) ความบริสุทธิ์ 98.00 เปอร์เซ็นต์ เกรด วิเคราะห์ บริษัท Loba chemie Pvt,Ltd. ประเทศอินเดีย
4. อะลูมิเนียมไนเตรทโนนไฮเดรต ($\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$) ความบริสุทธิ์ 98.00 เปอร์เซ็นต์ เกรดวิเคราะห์ บริษัท Loba chemie Pvt,Ltd. ประเทศอินเดีย
5. แกมมาอะลูมินา ($\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$) เกรดการค้า
6. Quartz Sand บริษัท Wako Pure Chemical Industries,Ltd. ประเทศญี่ปุ่น
7. น้ำปราศจากไอออน (Deionized water)
8. แก๊สไนโตรเจน (N_2) ความบริสุทธิ์ 99.99 เปอร์เซ็นต์ บริษัท Praxair (Thailand),Ltd. ประเทศไทย
9. แก๊สไฮโดรเจน (H_2) ความบริสุทธิ์ 5.00 เปอร์เซ็นต์ในแก๊สไนโตรเจน (N_2) บริษัท Praxair (Thailand),Ltd. ประเทศไทย
10. แก๊สสังเคราะห์ ($\text{H}_2 : \text{CO} = 1:1$) บริษัท United industrial gases Co.,Ltd.

3.4 การทดสอบประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยา

3.4.1 การอัดเม็ดตัวเร่งปฏิกิริยา

1. เตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา คอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์อะลูมิเนียมออกไซด์บนแกมมาอะลูมินา มาอัดเป็นเม็ดด้วยเครื่องอัดเม็ด ดังรูปที่ 3.1 โดยมีความดัน 200 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ทิ้งไว้เป็นเวลาประมาณ 5 นาที

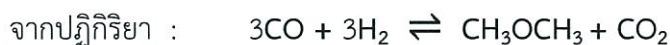


รูปที่ 3.1 ชุดเครื่องอัดเม็ดสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. เมื่อตัวอย่างสารถูกอัดเป็นเม็ดแล้ว จะนำมาบดด้วยโม่รึงบดสาร
3. นำตัวอย่างสารมาร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐานที่มีขนาด 500 ไมโครเมตร
4. ทำตามข้อ 1-3 ซ้ำ โดยเปลี่ยนเทคนิคของการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์อะลูมิเนียมออกไซด์บนแกนมาอะลูมินา

3.4.2 การสังเคราะห์ไดเมทิลอีเทอร์โดยตรง



มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. เตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์อะลูมิเนียมออกไซด์บนแกนมาอะลูมินาด้วยอัตราส่วน 2:1 ประมาณ 0.50 กรัม ผสมกับ Quartz Sand ประมาณ 0.50 กรัม โดยใช้เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง จากนั้นนำตัวเร่งปฏิกิริยาแพ็คเกจลงในเครื่องปฏิกรณ์ ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ชุดเครื่องปฏิกรณ์แบบเบตนิ่ง (Fixed-bed reactor)

2. ก่อนเริ่มทำปฏิกิริยา เก็บตัวอย่างแก๊สสังเคราะห์ไปตรวจวัดด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี เพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบที่เป็นสารผสม
3. ป้อนแก๊สไนโตรเจนเข้าสู่เครื่องปฏิกรณ์ เพื่อขับไล่แก๊สออกซิเจนและสารตกค้างอื่นออก
4. เพิ่มอุณหภูมิด้วยอัตราความร้อน 5 องศาเซลเซียสต่อนาที เป็นเวลาทั้งหมด 24 นาที จนกระทั่งอุณหภูมิถึง 150 องศาเซลเซียสและคงอุณหภูมิให้คงที่ เป็นเวลา 30 นาที
5. ลดอัตราการให้ความร้อนลงเหลือ 3 องศาเซลเซียสต่อนาที เป็นเวลา 34 นาที จนกระทั่งอุณหภูมิถึง 250 องศาเซลเซียส
6. ทำการเปลี่ยนแก๊สที่ป้อนจากแก๊สไนโตรเจนไปเป็นแก๊สไฮโดรเจน 5 เปอร์เซ็นต์ในแก๊สไนโตรเจน เพื่อเข้าสู่ขั้นตอนของการรีดิวซ์ตัวเร่งปฏิกิริยา เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. ป้อนแก๊สสังเคราะห์ โดยใช้อัตราส่วน $H_2 : CO$ เป็น 1:1 ที่มีอัตราการไหล 20 มิลลิลิตรต่อนาที เพื่อเริ่มทำการสังเคราะห์ไดเมทิลอีเทอร์ประมาณ 6 ชั่วโมงและควบคุมความดันด้วย Back pressure valve ที่มีความดัน 40 บาร์ อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส

8. เก็บตัวอย่างแก๊สผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปตรวจสอบด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีทุกๆ 1 ชั่วโมง

9. ทำตามข้อ 1-8 ซ้ำ โดยเปลี่ยนตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยเทคนิคต่างๆ คือ การตกตะกอนร่วม (Co-precipitation), การผสมทางกายภาพ (Physical mixing) และการทำให้เอิบชุ่มกับการตกตะกอนร่วม (Co-precipitation impregnation) ตามลำดับ

3.5 การตรวจสอบเอกลักษณ์และเครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์

3.5.1 การวิเคราะห์ลักษณะผลึกและอสัณฐาน

เทคนิคสำหรับการวิเคราะห์ลักษณะผลึกและอสัณฐาน เป็นเทคนิคที่นำรังสี X มาใช้วิเคราะห์สารประกอบที่มีอยู่ในสารตัวอย่างและนำมาใช้ศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับโครงสร้างผลึกของสารตัวอย่าง เทคนิค XRD อาศัยหลักการของการยิงรังสี X ไปกระทบชิ้นงาน ทำให้เกิดการเลี้ยวเบนของรังสีที่มุมต่างๆกัน ข้อมูลที่ได้รับจึงสามารถบ่งบอกชนิดของสารประกอบที่มีอยู่ในสารตัวอย่างและสามารถนำมาใช้ศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับโครงสร้างของผลึกของสารตัวอย่างนั้นๆได้ ผลการวิเคราะห์ที่ได้จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับฐานข้อมูลมาตรฐานเพื่อระบุวิฤภาคองค์ประกอบของสารตัวอย่าง โดยใช้ $Cu K\alpha$ (ความยาวคลื่น 1.54 Å) เป็นตัว X-ray source ศึกษา intensity ที่ 2θ ในช่วง $10 - 80^\circ$ (step เป็น 0.040° และ counting time เป็น 1 วินาทีต่อ step)

การหาขนาดผลึกของคอปเปอร์ออกไซด์สามารถคำนวณได้จากค่าความสูงกึ่งกลาง (Full Width of Half Maximum, FWHM) โดยใช้สมการของ Scherrer ดังสมการ (3.1)

$$\text{Crystallalline size} = \frac{K\lambda}{\beta_{1/2} \cos\theta_B} \quad (3.1)$$

เมื่อ ; K คือ Unit cell geometry dependent constant
 λ คือ ความยาวคลื่นของ X-ray
 $\beta_{1/2}$ คือ ค่าความสูงกึ่งกลาง (Full Width of Half Maximum, FWHM)
 θ_B คือ Bragg angle

3.5.2 การวิเคราะห์ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของสารในระดับจุลภาค

การศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) การสร้างภาพทำได้โดยการตรวจวัดอิเล็กตรอนที่สะท้อนจากพื้นผิวหน้าของ ตัวอย่างที่ทำการสำรวจ ซึ่งภาพที่ได้จากเครื่อง SEM นี้จะเป็นภาพลักษณะของ 3 มิติ

การเตรียมตัวอย่างที่จะนำไปวิเคราะห์นั้นจะต้องทำการเคลือบผิวด้วยทอง (Au) โดยเครื่องมือที่เรียกว่า sputter coater ก่อน ซึ่งเวลาที่ใช้ในการเคลือบประมาณ 30 วินาที เพื่อให้เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พื้นผิวของตัวอย่างมีคุณสมบัตินำไฟฟ้าจากนั้นจึงนำสารตัวอย่างไปวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) โดยใช้กำลังขยายเท่ากับ 3,000 เท่า, 5,000 เท่า และ 10,000 เท่า

3.5.3 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของสาร

เทคนิคสำหรับการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของสารด้วยเครื่องวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของสาร (Fourier transform infrared spectroscopy, FT-IR) เป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันของสารประกอบอินทรีย์ โดยอาศัยหลักการของการดูดกลืนคลื่นรังสีอินฟราเรด ประมาณ $12800 - 10 \text{ cm}^{-1}$ เมื่อโมเลกุลได้รับพลังงานจากคลื่นรังสีอินฟราเรด ที่มีความถี่ตรงกับความถี่ของการสั่น (Stretching) หรือ การหมุน (Bending) ของพันธะโควาเลนต์ในโมเลกุลจะทำให้โมเลกุลดังกล่าวเกิดการดูดกลืนแสง IR และมีการเปลี่ยนแปลงค่าโมเมนต์ขั้วคู่ (Dipole moment) ของโมเลกุล จากนั้นเครื่องมือจะวัดค่าความเข้มแสงต่อความถี่หรือความยาวคลื่น (Wave number)

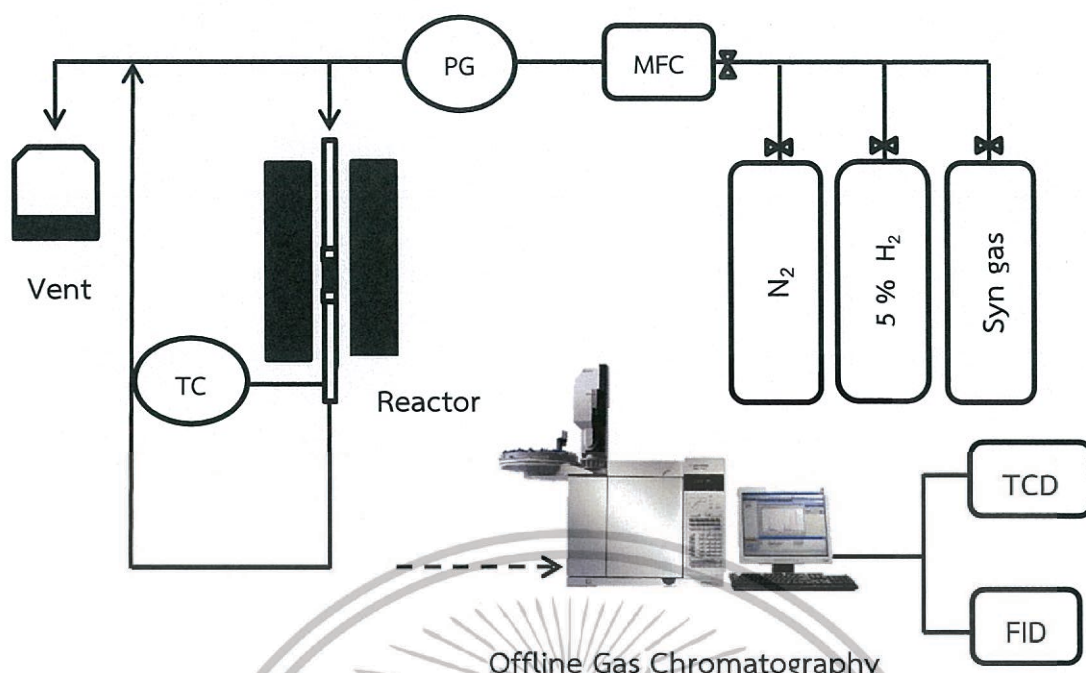
โดยขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างที่จะนำไปวิเคราะห์นั้นจะต้องนำสารตัวอย่างไปบดผสมกับ KBr เรียบร้อยแล้วไปใส่ในแม่พิมพ์เข้าเครื่องอัดเม็ดปล่อยทิ้งไว้ประมาณ 2 นาที เสร็จแล้วจะได้สารตัวอย่างที่เป็นแผ่นวงกลมใส แล้วจึงนำไปวิเคราะห์ในเครื่อง FT-IR

3.5.4 การวิเคราะห์พื้นที่ผิว

Brunauer-Emmett-Teller surface area, BET เป็นวิธีศึกษาสมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น ขนาดรูพรุน ปริมาตรรูพรุน พื้นที่ผิวสัมผัสรูพรุน โดยอาศัยเทคนิคการดูดซับแก๊สไนโตรเจน (N_2 Adsorption) โดยใช้ Quanta Chrome Instruments ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้คือ 100 มิลลิกรัม ซึ่งจะถูกนำมาให้ความร้อนก่อนทดสอบ (Out Gas) ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส หาพื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาโดยใช้การคำนวณด้วยวิธี BET (BET calculation method)

3.5.5 การวิเคราะห์การแยกสารตัวอย่างที่เป็นสารผสม

เทคนิคสำหรับการแยกสารตัวอย่างที่เป็นสารผสม โดยสารผสมตัวอย่างถูกป้อนเข้าที่ sample injection port จึงทำให้ถูกความร้อนจนกลายเป็นไอเข้าไปในคอลัมน์และถูกตรวจวัดสัญญาณด้วย Detector หลังจากนั้นสัญญาณจะถูกบันทึกและแสดงผลออกมาในรูปของ Chromatogram ซึ่งตรวจวัดโดย FID (Flame Ionization Detector) และ TCD (Thermal Conductivity Detector)



Offline Gas Chromatography

รูปที่ 3.3 แผนผังการแสดงกระบวนการสังเคราะห์ไดเมทิลอีเทอร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

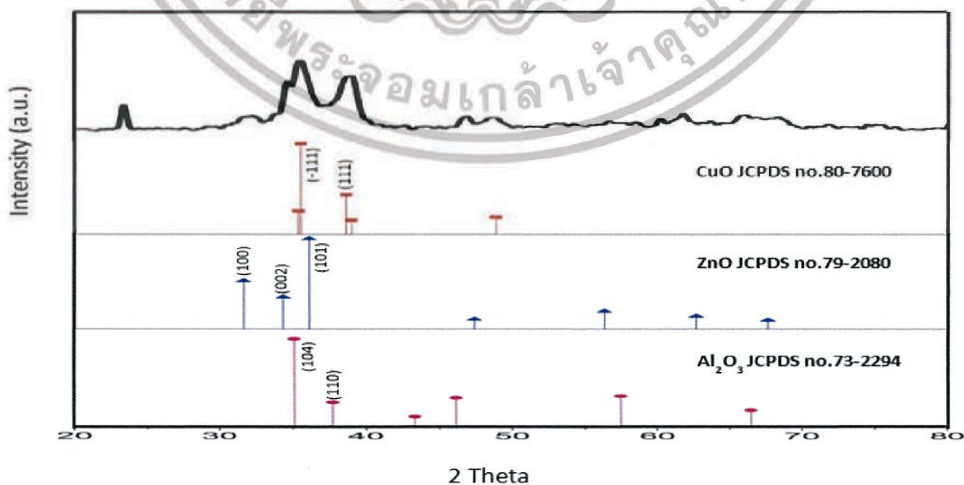
โครงการพิเศษฉบับนี้ได้ศึกษาความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์อะลูมิเนียมออกไซด์ ($\text{CuZnOAl}_2\text{O}_3$) บนแกมมาอะลูมินา ($\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$) สำหรับปฏิกิริยาการสังเคราะห์ไดเมทิลอีเทอร์ โดยมุ่งเน้นไปที่วิธีการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาที่แตกต่างกัน คือ การตกตะกอนร่วม (Co-precipitation) , การผสมทางกายภาพ (Physical mixing) และการตกตะกอนร่วมแบบเอ็บซุ่ม (Co-precipitation Impregnation) เพื่อหาวิธีการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสมในการสังเคราะห์ไดเมทิลอีเทอร์

ในบทนี้ได้นำเสนอผลการตรวจสอบเอกลักษณ์ของตัวเร่งปฏิกิริยาและผลการทดลองที่ได้จากการสังเคราะห์ไดเมทิลอีเทอร์จากแก๊สสังเคราะห์ โดยการวิเคราะห์แยกผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาที่เป็นสารผสมด้วยแก๊สโครมาโทกราฟี (Gas Chromatography; GC) โดยผลที่ได้จากการศึกษาแสดงรายละเอียดได้ดังนี้

4.1 การตรวจสอบเอกลักษณ์ตัวเร่งปฏิกิริยา [การเตรียมและการพิสูจน์เอกลักษณ์ของตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ออกไซด์-ซิงค์ออกไซด์-อะลูมิเนียมออกไซด์บนแกมมา-อะลูมินา สำหรับการสังเคราะห์ไดเมทิลอีเทอร์โดยตรงจากแก๊สสังเคราะห์, 2560]

4.1.1 การวิเคราะห์โครงสร้างและความเป็นผลึกด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (X-ray Diffraction, XRD)

เทคนิคการเลี้ยวเบนแบบรังสีเอ็กซ์ (XRD) เป็นเทคนิคที่ใช้วิเคราะห์สารประกอบที่มีอยู่ในสารตัวอย่างและนำมาใช้ศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับโครงสร้างผลึกของสารตัวอย่าง โดยใช้เครื่อง X-ray Diffractometer นอกจากนี้ XRD ยังสามารถยืนยันโครงสร้างของสารตัวอย่างที่สังเคราะห์ได้ โดยเทียบกับโครงสร้างผลึกมาตรฐานของสารนั้นๆ

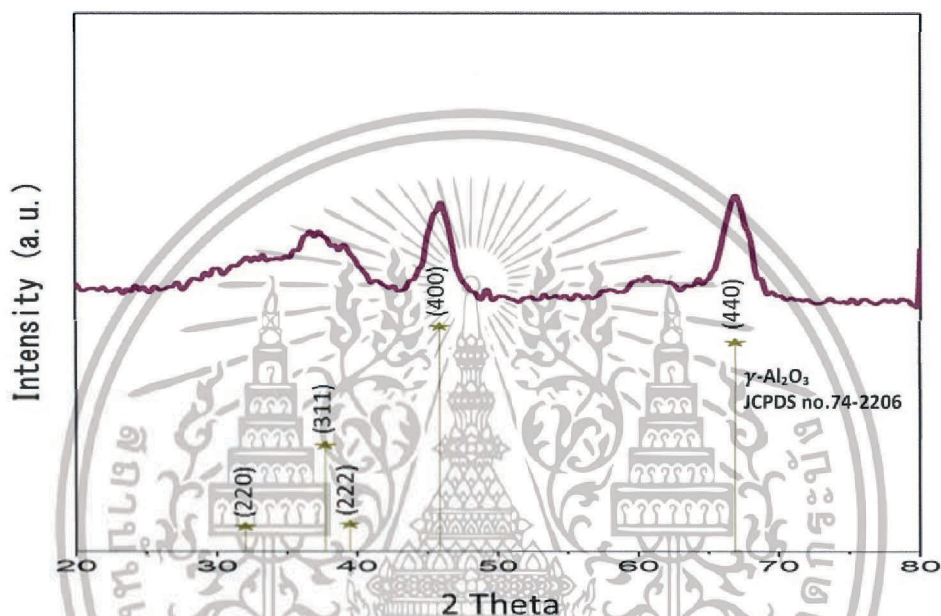


รูปที่ 4.1 กราฟแสดงโครงสร้างผลึกของตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ออกไซด์ซิงค์ออกไซด์อะลูมิเนียมออกไซด์ เทียบกับโครงสร้างผลึกมาตรฐานของคอปเปอร์ออกไซด์ (CuO , JCPDS no.80-7600), ซิงค์ออกไซด์ (ZnO , JCPDS no. 79-2080) และอะลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3 , JCPDS no.73-2294)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า

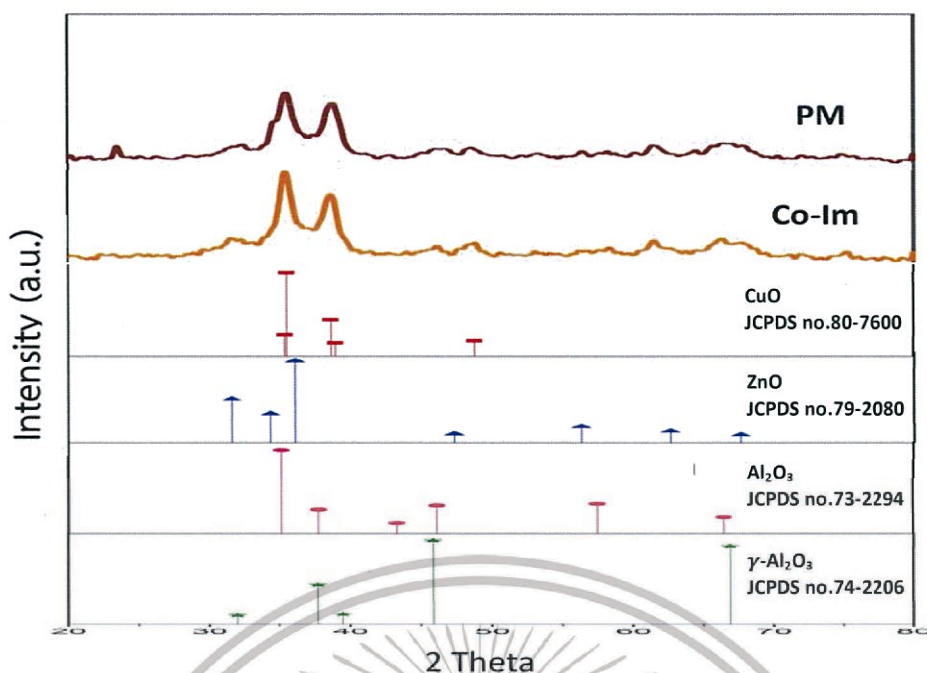
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.1 เมื่อนำตัวเร่งปฏิกิริยาที่สังเคราะห์ได้มาวิเคราะห์โครงสร้าง พบว่า พีคของคอปเปอร์ออกไซด์ (CuO) ขึ้นที่ตำแหน่ง 2θ เท่ากับ 35.50° และ 38.60° ในระนาบ (-111) และ (111) ซึ่งใกล้เคียงกับโครงสร้างผลึกมาตรฐานคอปเปอร์ออกไซด์ (CuO) พีคของซิงค์ออกไซด์ (ZnO) ขึ้นที่ตำแหน่ง 2θ เท่ากับ 31.60° , 34.30° และ 36.10° ในระนาบ (100), (002) และ (101) ซึ่งใกล้เคียงกับโครงสร้างผลึกมาตรฐานซิงค์ออกไซด์ (ZnO) และ พีคของอะลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) ขึ้นที่ตำแหน่ง 2θ เท่ากับ 35.10° และ 37.70° ซึ่งใกล้เคียงกับโครงสร้างผลึกมาตรฐานอะลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) จาก XRD Pattern สามารถยืนยันได้ว่าตัวเร่งปฏิกิริยาที่สังเคราะห์ได้คือคอปเปอร์ออกไซด์ (CuO) ซิงค์ออกไซด์ (ZnO) และอะลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3)



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงโครงสร้างผลึกของตัวเร่งปฏิกิริยาแกมมาอะลูมินา เทียบกับโครงสร้างผลึกมาตรฐานของแกมมาอะลูมินา ($\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$, JCPDS no. 74-2206)

จากรูปที่ 4.2 การวิเคราะห์โครงสร้างของแกมมาอะลูมินา พบว่า พีคของแกมมาอะลูมินา ($\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$) ขึ้นที่ตำแหน่ง 2θ เท่ากับ 37.70° , 45.90° และ 66.90° แสดงถึงระนาบ (311), (400) และ (440) ตามลำดับ ซึ่งใกล้เคียงกับโครงสร้างผลึกมาตรฐานของแกมมาอะลูมินา ($\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$) จาก XRD Pattern สามารถยืนยันได้ว่าตัวเร่งปฏิกิริยาแกมมาอะลูมินา ($\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$) เกรดการค้า มีสมบัติคล้ายแกมมาอะลูมินามาตรฐาน



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงการเปรียบเทียบโครงสร้างผลึกของตัวเร่งปฏิกิริยาออกไซด์ซึ่งคอกออกไซด์อะลูมิเนียมออกไซด์บนแกมมาอะลูมินาที่ถูกเตรียมโดย 2 วิธี เทียบกับโครงสร้างผลึกมาตรฐานของคอปเปอร์ออกไซด์ (CuO, JCPDS no.80-7600) , ซิงค์ออกไซด์ (ZnO, JCPDS no. 79-2080), อะลูมิเนียมออกไซด์ (Al₂O₃, JCPDS no.73-2294) และ แกมมาอะลูมินา (γ-Al₂O₃, JCPDS no. 74-2206)

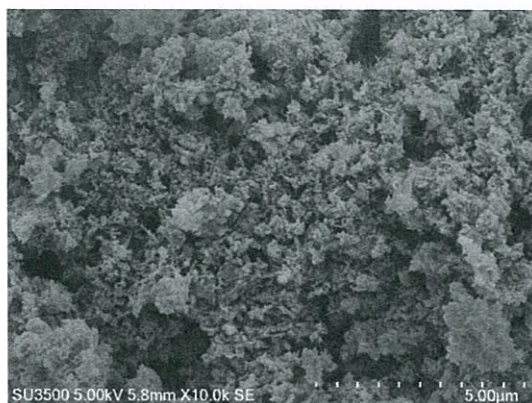
จากรูปที่ 4.3 การวิเคราะห์โครงสร้างของตัวเร่งปฏิกิริยาผสม คอปเปอร์ออกไซด์ซึ่งคอกออกไซด์อะลูมิเนียมออกไซด์บนแกมมาอะลูมินา (CuOZnOAl₂O₃/γ-Al₂O₃) ที่เตรียมได้จาก 2 วิธี คือ วิธีการผสมทางกายภาพ (Physical Mixing) และ การตกตะกอนร่วมแบบเอ็บซุ่ม พบว่า การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาทั้ง 2 วิธี มีพีคหลักที่ขึ้น 2 ตำแหน่ง โดยขึ้นที่ตำแหน่ง 2θ เท่ากับ 35° และ 37° ซึ่งทั้ง 2 ตำแหน่งนี้ ใกล้เคียงกับตำแหน่ง 2θ ของพีคหลักของคอปเปอร์ออกไซด์ (CuO) ซิงค์ออกไซด์ (ZnO) และอะลูมิเนียมออกไซด์ (Al₂O₃) ทั้งนี้ยังพบพีคของแกมมาอะลูมินาที่บริเวณตำแหน่ง 2θ ประมาณ 67°

4.1.2 การวิเคราะห์ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของตัวเร่งปฏิกิริยาในระดับจุลภาค (SEM)

การวิเคราะห์ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของตัวเร่งปฏิกิริยาโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดสามารถอธิบายลักษณะพื้นที่ผิว ขนาด และการกระจายตัวของอนุภาค ของตัวเร่งปฏิกิริยา



(ก)



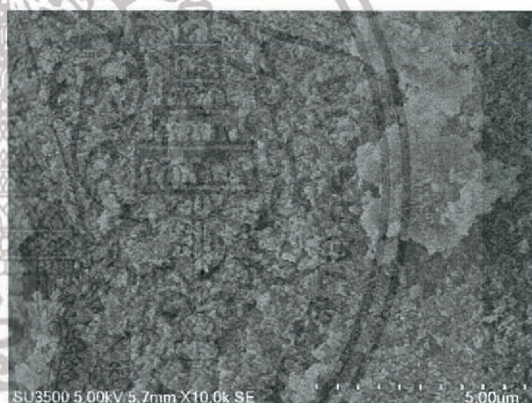
(ข)

รูปที่ 4.4 รูปร่างสัณฐานวิทยาของตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ออกไซด์ซิงค์ออกไซด์อะลูมิเนียมออกไซด์ที่กำลังขยาย 5000 เท่า (ก) และที่กำลังขยาย 10000 เท่า (ข)

จากรูปที่ 4.4 พบว่า ลักษณะสัณฐานวิทยาของคอปเปอร์ออกไซด์ซิงค์ออกไซด์อะลูมิเนียมออกไซด์ ($\text{CuOZnOAl}_2\text{O}_3$) มีลักษณะเป็นผลึกเล็กๆ ที่มีขนาดแตกต่างกัน มีการกระจายตัวอย่างไม่เป็นระเบียบ และรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อน



(ก)



(ข)

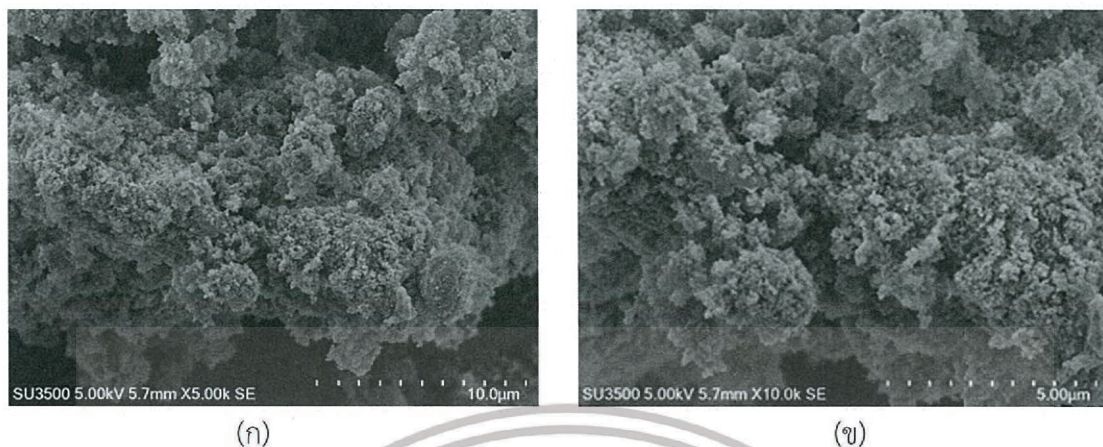
รูปที่ 4.5 รูปร่างสัณฐานวิทยาของแกมมาอะลูมินา ที่กำลังขยาย 5000 เท่า (ก) และกำลังขยาย 10000 เท่า (ข)

จากรูปที่ 4.5 พบว่าสัณฐานวิทยาของแกมมาอะลูมินา ($\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$) มีลักษณะเป็นแผ่นขนาดใหญ่ และมีความเป็นรูพรุน

จากนั้นเมื่อนำตัวเร่งปฏิกิริยาผสม คือ คอปเปอร์ออกไซด์ซิงค์ออกไซด์อะลูมิเนียมออกไซด์มาผสมกับแกมมาอะลูมินา ($\text{CuOZnOAl}_2\text{O}_3/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$) ในอัตราส่วน 2:1 โดยน้ำหนัก ด้วยวิธีการผสมทางกายภาพ (Physical Mixing) และ การตกตะกอนร่วมแบบเอ็บซุ่ม (Co-precipitation Impregnation) ไปตรวจสอบเอกลักษณ์พบว่า วิธีการผสมทางกายภาพ (Physical Mixing) ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมได้จะมีลักษณะเป็นอนุภาคนาขนาดเล็ก รวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อน กระจายตัวอย่างไม่เป็นระเบียบ ดังรูปที่ 4.6 เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการตกตะกอนร่วมแบบเอ็บซุ่ม (Co-precipitation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Impregnation) ดังรูปที่ 4.7 ตัวเร่งปฏิกิริยาจะมีลักษณะ รวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อน เป็นแผ่นที่มีขนาดแตกต่างกัน กระจายตัวอย่างไม่เป็นระเบียบ และมีความเป็นรูพรุนที่ต่ำกว่า



รูปที่ 4.6 รูปร่างสัณฐานวิทยาของตัวเร่งปฏิกิริยาผสมคอปเปอร์ออกไซด์ซิงค์ออกไซด์อะลูมิเนียมออกไซด์ ที่เตรียมจากวิธีการผสมทางกายภาพ (Physical mixing) ที่กำลังขยาย 5000 เท่า (ก) และกำลังขยาย 10000 เท่า (ข)

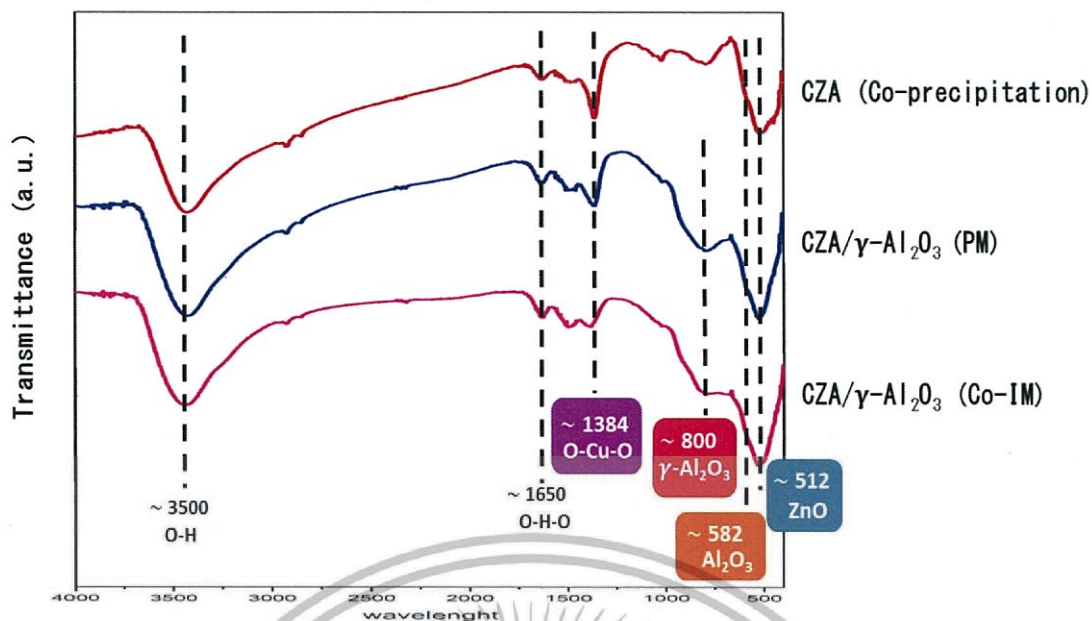


รูปที่ 4.7 รูปร่างสัณฐานวิทยาของตัวเร่งปฏิกิริยาผสมคอปเปอร์ออกไซด์ซิงค์ออกไซด์อะลูมิเนียมออกไซด์ ที่เตรียมจากวิธีการตกตะกอนร่วมแบบเอ็บซิม (Co-precipitate impregnation) ที่กำลังขยาย 5000 เท่า (ก) และกำลังขยาย 10000 เท่า (ข)

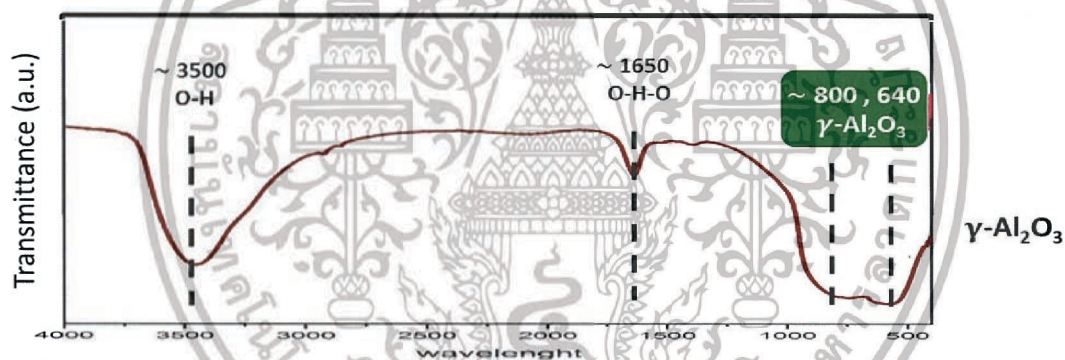
4.1.3 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของสารด้วยแสงอินฟราเรด (Fourier transform infrared Spectroscopy, FT-IR)

การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของสารด้วยแสงอินฟราเรด ทำการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR) ซึ่งสามารถตรวจวัดโครงสร้างของโมเลกุลโดยการวัดจากการสั่นของโมเลกุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 อินฟราเรดสเปกตรัมของตัวเร่งปฏิกิริยาออกไซด์คอปเปอร์ออกไซด์ซิงค์ออกไซด์อะลูมิเนียมออกไซด์ และออกไซด์คอปเปอร์ออกไซด์ซิงค์ออกไซด์อะลูมิเนียมออกไซด์บนแกมมาอะลูมินา ($\text{CuOZnOAl}_2\text{O}_3/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$) ด้วยวิธีผสมแบบต่างๆ ในช่วงเลขคลื่น $4000\text{-}400\text{ cm}^{-1}$



รูปที่ 4.9 อินฟราเรดสเปกตรัมของตัวเร่งปฏิกิริยาแกมมาอะลูมินา ($\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$) ในช่วงเลขคลื่น $4000\text{-}400\text{ cm}^{-1}$

จากรูปที่ 4.8 และ 4.9 พบว่าที่ความยาวคลื่นประมาณ 1384 cm^{-1} , 582 cm^{-1} , 512 cm^{-1} เป็นการสั่นของ CuO_2 , ZnO และ Al_2O_3 ส่วนที่ประมาณ 800 cm^{-1} และ 640 cm^{-1} เป็นการสั่นของ $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ ตามลำดับ

4.1.4 การวิเคราะห์พื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาด้วย BET

พื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นปัจจัยสำคัญของการทำปฏิกิริยา เนื่องจากตัวเร่งปฏิกิริยาแต่ละชนิดก็มีพื้นที่ผิวที่แตกต่างกันออกไป หากตัวเร่งปฏิกิริยามีพื้นที่ผิวมาก สารตั้งต้นก็จะสามารถดูดซับลงบนพื้นผิว และเกิดปฏิกิริยาได้มาก

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์พื้นที่ผิว ปริมาตรรูพรุน และขนาดรูพรุนของตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ออกไซด์ซิงค์ออกไซด์อะลูมิเนียมออกไซด์ แกมมาอะลูมินา และคอปเปอร์ออกไซด์ซิงค์ออกไซด์อะลูมิเนียมออกไซด์บนแกมมาอะลูมินาด้วยวิธีการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาที่แตกต่างกัน

Catalysts	Surface area (ตารางเมตรต่อกรัม)	Pore volume (ลูกบาศก์เซนติเมตร ต่อกรัม)	Pore size (นาโนเมตร)
$\text{CuOZnOAl}_2\text{O}_3$ (Co-precipitation)	98.98	0.26	2.16
$\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$	355.00	1.01	17.68
$\text{CuOZnOAl}_2\text{O}_3/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ (PM)	190.80	0.52	2.16
$\text{CuOZnOAl}_2\text{O}_3/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ (CO-IM)	155.10	0.49	2.15

จากตารางที่ 4.1 พบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ออกไซด์ซิงค์ออกไซด์อะลูมิเนียมออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้มีพื้นที่ผิวเท่ากับ 98.98 ตารางเมตรต่อกรัม ปริมาตรรูพรุนเท่ากับ 0.26 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม และปริมาตรรูพรุนเท่ากับ 0.26 นาโนเมตร

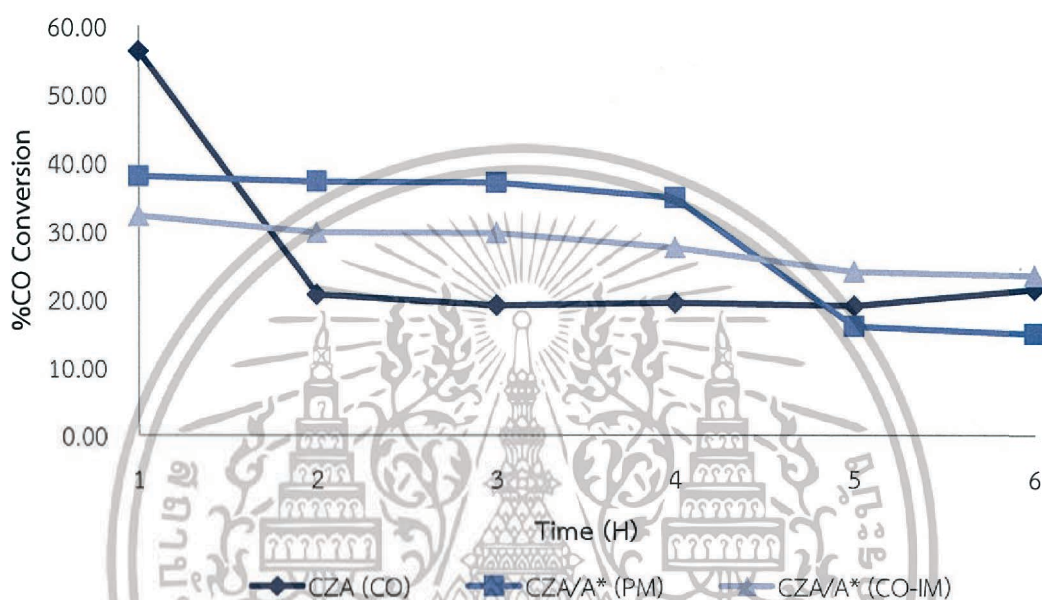
ผลจากการตรวจเอกลักษณ์หาพื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาผสมคอปเปอร์ออกไซด์ซิงค์ออกไซด์อะลูมิเนียมออกไซด์บนแกมมาอะลูมินาที่เตรียมได้จากวิธีการผสมทางกายภาพ (Physical Mixing) มีพื้นที่ผิวเท่ากับ 190.80 ตารางเมตรต่อกรัม ปริมาตรรูพรุนเท่ากับ 0.52 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม และปริมาตรรูพรุนเท่ากับ 2.16 นาโนเมตร ซึ่งให้ผลดีกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมได้จากวิธีการตกตะกอนแบบเอ็บซุ่ม (Co-precipitation Impregnation) โดยมีพื้นที่ผิวเท่ากับ 155.10 ตารางเมตรต่อกรัม ปริมาตรรูพรุนเท่ากับ 0.49 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม และปริมาตรรูพรุนเท่ากับ 2.15 นาโนเมตร

4.2 การศึกษาผลการเร่งปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยา

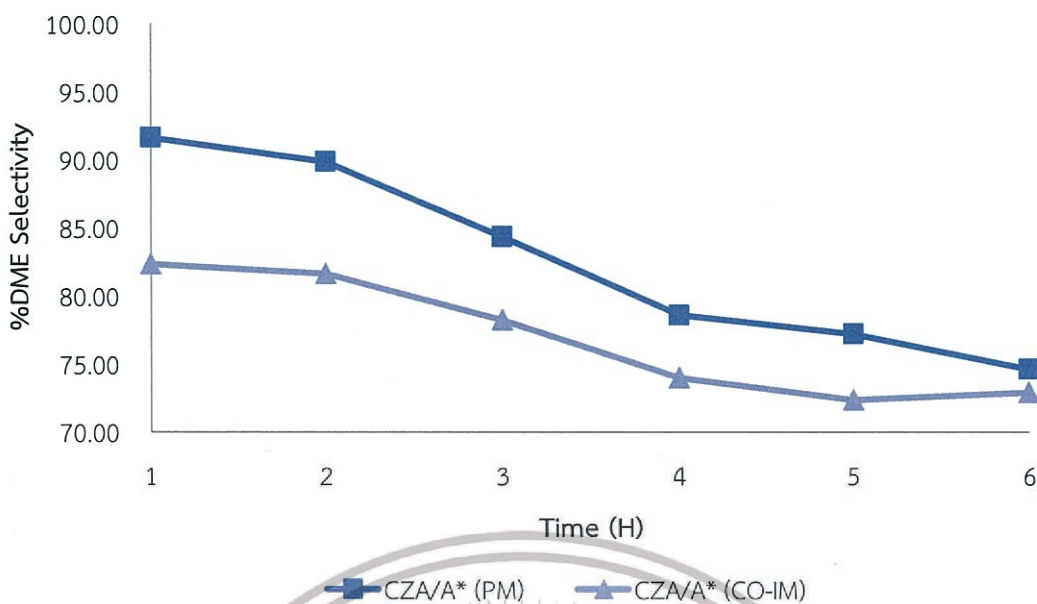
จากการทดสอบความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาด้วยเครื่องปฏิกรณ์แบบเบตนิ่ง (Fixed-bed Reactor) โดยมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 10.00 มิลลิเมตร ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 0.50 กรัม ขั้นตอนการทดลองจะปรับสภาพตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยแก๊สไนโตรเจนที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นทำการรีดิวซ์ตัวเร่งปฏิกิริยาด้วย แก๊สไฮโดรเจน 5% ในแก๊สไนโตรเจนที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง อัตราส่วนของแก๊สสังเคราะห์ $\text{CO} : \text{H}_2$ เท่ากับ 1 : 1 โดยโมล อุณหภูมิที่ของเตาปฏิกรณ์ใช้ในการทดลองคือ 250 องศาเซลเซียส ความดัน 40 บาร์ เวลาในการทำปฏิกิริยา 6 ชั่วโมง อัตราการไหลของแก๊สสังเคราะห์โดยเฉลี่ย 20 มิลลิลิตรต่อนาที และ อัตราส่วนระหว่างตัวเร่งปฏิกิริยาต่ออัตราการไหลของแก๊สสังเคราะห์เท่ากับ 10.20 กรัมชั่วโมงต่อโมล ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะถูกเก็บทุกๆ 1 ชั่วโมง การวิเคราะห์แยกผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยา เป็นการวิเคราะห์ร้อยละผลผลิตและร้อยละความจำเพาะในการสังเคราะห์โคมพิลอิเทอร์โดยใช้ตัวเร่ง

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

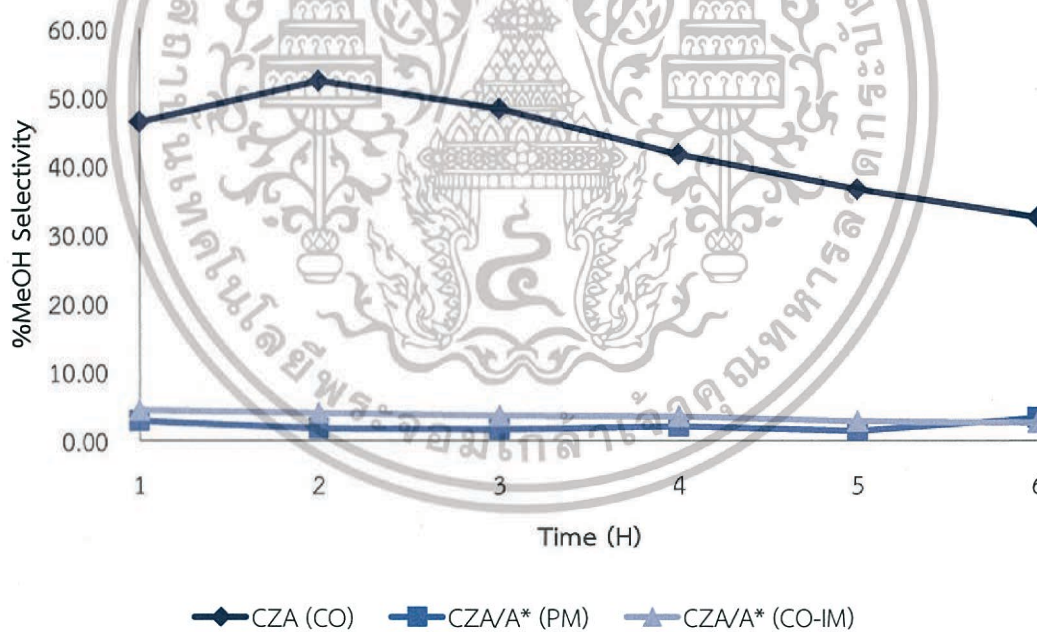
ปฏิกิริยาออกปเปอร์ซิงค์ออกไซด์อะลูมิเนียมออกไซด์ และอัตราส่วนตัวเร่งปฏิกิริยาออกปเปอร์ซิงค์ออกไซด์อะลูมิเนียมออกไซด์บนแกมมาอะลูมินา เท่ากับ 2:1 โดยน้ำหนัก ที่เตรียมได้จากวิธีที่ต่างกัน จะได้ไดเมทิลอีเทอร์และผลิตภัณฑ์อื่นๆอยู่ในรูปของแก๊ส ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะถูกวิเคราะห์ด้วย Offline Gas Chromatography รุ่น CP-3800 ยี่ห้อ VARIAN โดยใช้คอลัมน์ CP-7538 ต่อกับ Thermal Conductivity Detector (TCD) เพื่อวิเคราะห์ แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และแก๊สอาร์กอน (Ar) และคอลัมน์ HP-PLOT/Q ต่อกับ Flame Ionization Detector (FID) เพื่อวิเคราะห์ เมทานอล ไดเมทิลอีเทอร์ และผลิตภัณฑ์ไฮโดรคาร์บอนชนิดอื่นๆ เช่น มีเทน อีเทน โพรเพน เป็นต้น



รูปที่ 4.10 กราฟแสดงค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์กับเวลาในการทำปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยาออกปเปอร์ซิงค์ออกไซด์อะลูมิเนียมออกไซด์บนแกมมาอะลูมินาที่เตรียมจากวิธีที่ต่างกัน

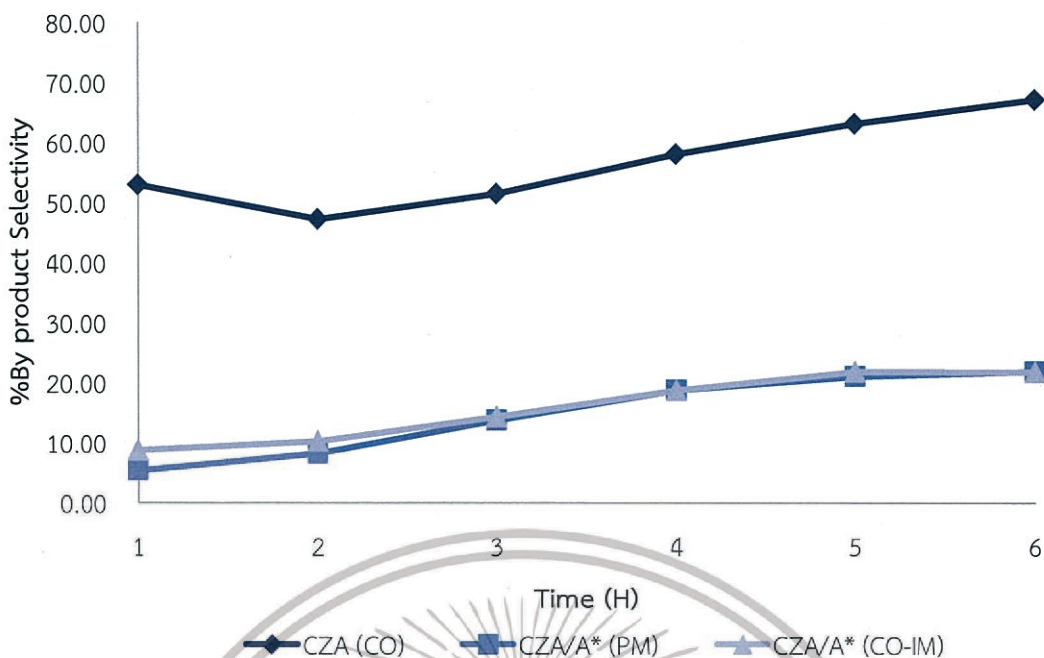


รูปที่ 4.11 กราฟแสดงค่าร้อยละการเลือกเกิดเป็นไดเมทิลอีเทอร์กับเวลาในการทำปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์อะลูมิเนียมออกไซด์บนแกนเมมาอะลูมินาที่เตรียมจากวิธีที่แตกต่างกัน

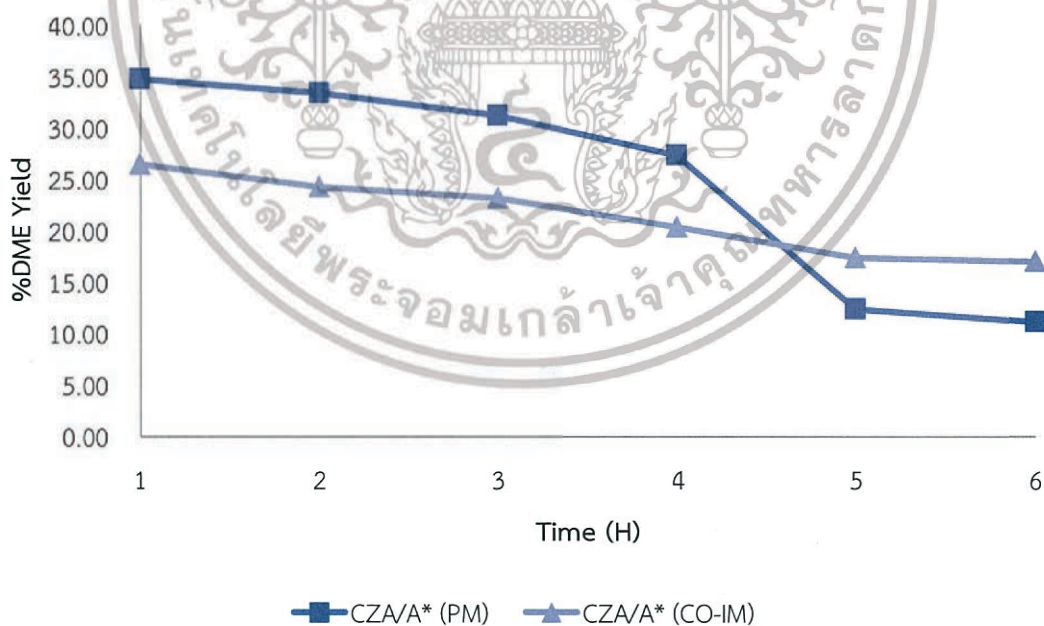


รูปที่ 4.12 กราฟแสดงค่าร้อยละการเลือกเกิดเป็นเมทานอลกับเวลาในการทำปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์อะลูมิเนียมออกไซด์บนแกนเมมาอะลูมินาที่เตรียมจากวิธีที่แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 กราฟแสดงค่าร้อยละการเลือกเกิดเป็นผลิตภัณฑ์ข้างเคียงอื่นๆ เช่น มีเทน อีเทน โพรเพน เป็นต้น กับเวลาในการทำปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์อะลูมิเนียมออกไซด์บนแกมมาอะลูมินาที่เตรียมจากวิธีที่แตกต่างกัน



รูปที่ 4.14 กราฟแสดงค่าร้อยละผลิตภัณฑ์ (ไดเมทิลอีเทอร์) กับเวลาในการทำปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์อะลูมิเนียมออกไซด์บนแกมมาอะลูมินาที่เตรียมจากวิธีที่แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ร้อยละผลผลิตและค่าการเลือกเกิดเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆเฉลี่ยของการสังเคราะห์โดเมทิลอีเทอร์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์อะลูมิเนียมออกไซด์บนแกมมาอะลูมินา

Notation ^a	%CO Conversion (mol%)	% Selectivity (mol%)			%Yield of DME
		DME	Methanol	By-Products ^b	
CZA (CO)	26.00	0.00	43.05	56.69	0.00
CZA/A* (PM)	29.68	82.71	2.22	14.86	25.06
CZA/A* (CO-IM)	27.77	76.92	3.55	15.97	21.48

^a ตัวเร่งปฏิกิริยา CZA โดย C, Z, A คือ Cu, ZnO, Al₂O₃ และ G คือ γ -Al₂O₃ ซึ่ง (X) แสดงวิธีการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา CO คือ วิธี Co-precipitation, PM คือ วิธี Physical mixing และ CO-IM คือ วิธี Co-precipitation Impregnation

^b ปริมาณของผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ที่เกิดขึ้น เช่น มีเทน อีเทน โพรเพน บิวเทน เป็นต้น

ผลของการทดสอบความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์อะลูมิเนียมออกไซด์ (CuZnOAl₂O₃) บนแกมมาอะลูมินา (γ -Al₂O₃) ที่เตรียมได้จากวิธีการที่แตกต่างกัน คือ การตกตะกอนร่วม (Co-precipitation), การผสมทางกายภาพ (Physical Mixing), การตกตะกอนร่วมแบบอิมบูชัน (Co-precipitation Impregnation) สำหรับปฏิกิริยาการสังเคราะห์โดเมทิลอีเทอร์ ที่สภาวะคงที่สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.2 ซึ่งค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ และค่าร้อยละการเลือกเกิดเป็นโดเมทิลอีเทอร์ ขึ้นกับ 2 ปัจจัยที่สำคัญ ปัจจัยแรกคือพื้นที่ผิวของโลหะคอปเปอร์สำหรับปฏิกิริยา CO hydrogenation (Methanol formation) โดยโลหะคอปเปอร์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีลักษณะเป็น Active sites ซิงค์ออกไซด์เป็นตัวสนับสนุน (Supporter) ช่วยเพิ่มการกระจายตัวของผลึกคอปเปอร์และช่วยลดโอกาสการเกิดการรวมตัวกันของผลึกคอปเปอร์ และ อะลูมิเนียมออกไซด์เป็นตัวส่งเสริม (Promoter) เพื่อช่วยเพิ่มความทนทานต่ออุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา (Thermal stability)

อีกปัจจัยหนึ่งคือวิธีการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยวิธีที่แตกต่างกันส่งผลต่อค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของคาร์บอนมอนอกไซด์ ค่าร้อยละการเลือกเกิดเป็นโดเมทิลอีเทอร์ และค่าร้อยละผลิตภัณฑ์ของโดเมทิลอีเทอร์ที่แตกต่างกัน จากผลการทดลองเมื่อนำไปตรวจวัดด้วยเครื่อง Gas Chromatography พบว่า ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของคาร์บอนมอนอกไซด์ของตัวเร่งปฏิกิริยา CZA (CO), CZA/A* (PM), CZA/A* (CO-IM) มีค่าเท่ากับ 26.00, 29.68, 27.77 mol% ตามลำดับ ค่าร้อยละการเลือกเกิดเป็นโดเมทิลอีเทอร์ของ CZA/A* (PM), CZA/A* (CO-IM) มีค่าเท่ากับ 82.71, 76.92 mol% ตามลำดับ และค่าร้อยละผลิตภัณฑ์ของโดเมทิลอีเทอร์ของ CZA/A* (PM), CZA/A* (CO-IM) มีค่าเท่ากับ 25.06, 21.48 mol% ตามลำดับ

การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาโดยใช้วิธี Physical Mixing เป็นการผสมตัวเร่งปฏิกิริยาทั้งสองชนิด คือ คอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์อะลูมิเนียมออกไซด์ (CuZnOAl₂O₃) และแกมมาอะลูมินา (γ -Al₂O₃) ทางกายภาพ ดังนั้น การเกิดปฏิกิริยา CO hydrogenation (Methanol formation) และ Methanol Dehydration จึงให้ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของคาร์บอนมอนอกไซด์ ค่าร้อยละการเลือกเกิดเป็นโดเมทิลอีเทอร์ และค่าร้อยละผลิตภัณฑ์ของโดเมทิลอีเทอร์ที่สูงที่สุด นอกจากนี้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมด้วยวิธี Co-precipitation Impregnation จะทำให้ผลึกของตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปอร์ซิงค์ออกไซด์อะลูมิเนียมออกไซด์ ($\text{CuZnOAl}_2\text{O}_3$) จะฝังตัวอยู่ในรูพรุนของแกมมาอะลูมินา ($\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$) ทำให้ประสิทธิภาพในการเกิดปฏิกิริยา CO hydrogenation (Methanol formation) ลดลง และตัวเร่งปฏิกิริยา CZA (CO) จะได้ผลิตภัณฑ์เป็นเมทานอล และสารประกอบไฮโดรคาร์บอนตัวอื่นๆ เนื่องจากไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยาชนิด Solid Acid Catalyst ที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในปฏิกิริยา Methanol Dehydration จึงไม่สามารถสังเคราะห์ไดเมทิลอีเทอร์ได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์อะลูมิเนียมออกไซด์บนแกมมาอะลูมินาสำหรับปฏิกิริยาการสังเคราะห์ไดเมทิลอีเทอร์ที่เตรียมได้จากการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยวิธีที่แตกต่างกัน นอกจากนี้ยังวิเคราะห์การแยกสารตัวอย่างที่เป็นสารผสม (Gas Chromatography : GC) และในงานวิจัยยังศึกษาผลของช่วงเวลาในการเปลี่ยนแปลงสารตั้งต้นที่ดีที่สุดของตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์อะลูมิเนียมออกไซด์บนแกมมาอะลูมินา ที่มีอัตราส่วนโดยมวลที่เหมาะสม (2:1) สามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังต่อไปนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์อะลูมิเนียมออกไซด์บนแกมมาอะลูมินาสำหรับปฏิกิริยาการสังเคราะห์ไดเมทิลอีเทอร์ เมื่อนำตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมได้มาทดสอบเอกลักษณ์ของตัวเร่งปฏิกิริยาโดยเทคนิคการวิเคราะห์ลักษณะผลึกและออสติฐาน (X-ray Diffraction, XRD) เพื่อเป็นการยืนยันโครงสร้างผลึกของตัวเร่งปฏิกิริยา จะพบว่าได้มีโครงสร้างผลึกของ CuO , ZnO , Al_2O_3 และ $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ ตามลำดับ และผลจากการวิเคราะห์ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของสารในระดับจุลภาคโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) พบว่าพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาผสม (bi-functional catalyst) $\text{CuOZnOAl}_2\text{O}_3/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ ที่สังเคราะห์โดยวิธีการผสมทางกายภาพ (Physical mixing) จะมีขนาดพื้นที่ผิวของรูพรุนที่มากกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาที่ถูกสังเคราะห์โดยวิธีการตกตะกอนร่วมแบบเอ็บซุม (Co-precipitation Impregnation) จะมีลักษณะเป็นก้อนที่ถูกรวมตัวด้วยผลึกเล็กๆและกระจายตัวอย่างไม่เป็นระเบียบ ผลจากการวิเคราะห์ฟูร์ฟังก์ชันของสาร (Fourier Transform Infrared Spectroscopy, FT-IR) ที่สังเคราะห์ได้จะพบหมู่ฟังก์ชันของ CuO , ZnO , Al_2O_3 และ $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ ตามลำดับ ต่อมาจึงได้วิเคราะห์เทคนิคการดูดซับแก๊สไนโตรเจน (N_2 Adsorption) ด้วยเครื่อง Brunauer-Emmett-Teller surface area, BET พบว่า $\text{CuOZnOAl}_2\text{O}_3/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ ที่สังเคราะห์ด้วยเทคนิคการผสมทางกายภาพจะมีพื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาและการกระจายตัวของคอปเปอร์ออกไซด์ (CuO) ที่มีมากกว่าตัวเร่งที่ถูกสังเคราะห์ด้วยเทคนิควิธีการตกตะกอนร่วมแบบเอ็บซุม [การเตรียมและการพิสูจน์เอกลักษณ์ของตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ออกไซด์-ซิงค์ออกไซด์-อะลูมิเนียมออกไซด์บนแกมมาอะลูมินา สำหรับการสังเคราะห์ไดเมทิลอีเทอร์โดยตรงจากแก๊สสังเคราะห์, 2560]

จากการทดสอบประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยา ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงคาร์บอนมอนอกไซด์และค่าความจำเพาะต่อการเลือกเกิดเป็นไดเมทิลอีเทอร์ของตัวเร่งปฏิกิริยา $\text{CuZnOAl}_2\text{O}_3/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ สำหรับการสังเคราะห์ไดเมทิลอีเทอร์จากแก๊สสังเคราะห์ ขึ้นอยู่กับ 2 ปัจจัยคือ พื้นที่ผิวของโลหะคอปเปอร์ และวิธีการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา จากการทดลองพบว่าวิธีการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาที่แตกต่างกันส่งผลอย่างมากต่อค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงคาร์บอนมอนอกไซด์ และช่วยเพิ่มค่าร้อยละผลิตภัณฑ์ไดเมทิลอีเทอร์

จากผลการทดลองจึงสรุปได้ว่า ตัวเร่งปฏิกิริยา $\text{CuOZnOAl}_2\text{O}_3/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ อัตราส่วน 2:1 โดยน้ำหนัก ที่ถูกสังเคราะห์ด้วยเทคนิคการผสมทางกายภาพ (Physical mixing) จะมีประสิทธิภาพของตัวเร่งของปฏิกิริยาดีกว่าที่สังเคราะห์ด้วยเทคนิควิธีการตกตะกอนร่วมแบบเอิบซุม (Co-precipitation) เมื่อตัวเร่งปฏิกิริยานำไปทดสอบความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาและฤทธิ์ดีวีซจะกลายเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา $\text{CuZnOAl}_2\text{O}_3/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ ที่สังเคราะห์ด้วยเทคนิคการผสมทางกายภาพ (Physical mixing) จะมีค่าร้อยละผลิตภัณฑ์ ไดมethylอีเทอร์สูงสุดถึง 25.07% และที่สังเคราะห์ด้วยเทคนิควิธีการตกตะกอนร่วมแบบเอิบซุม (Co-precipitation Impregnation) จะมีค่าร้อยละผลิตภัณฑ์ไดเมทิลอีเทอร์ 21.48% ตามลำดับ

5.2 ข้อเสนอแนะ

โครงการพิเศษนี้ได้ทำการศึกษาความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์อะลูมิเนียมออกไซด์บนแกนมาอะลูมินาสำหรับปฏิกิริยาการสังเคราะห์ไดเมทิลอีเทอร์ด้วยวิธีการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาที่แตกต่างกัน และนอกจากนี้ยังวิเคราะห์การแยกสารตัวอย่างที่เป็นสารผสม (Gas Chromatography : GC) โดยมีข้อเสนอแนะดังนี้

1. ศึกษาความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์อะลูมิเนียมออกไซด์บนแกนมาอะลูมินาด้วยอัตราส่วนของการเตรียมตัวเร่งที่แตกต่างกัน เพื่อนำมาเปรียบเทียบผลที่ได้จากงานวิจัยนี้
2. ศึกษาการลดปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในการสังเคราะห์ไดเมทิลอีเทอร์จากแก๊สสังเคราะห์ว่าสามารถส่งผลกระทบต่อเพิ่มปริมาณของร้อยละการเปลี่ยนแปลงคาร์บอนมอนอกไซด์อย่างไร
3. ศึกษาผลการตรวจสอบเอกลักษณ์ของตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์อะลูมิเนียมออกไซด์บนแกนมาอะลูมินาที่ได้หลังจากการทำปฏิกิริยา
4. ศึกษาการตรวจสอบผลิตภัณฑ์ที่ได้ด้วย Online-Gas Chromatography

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- กิตติพงศ์ อำนวยสวัสดิ์. 2560. การอบรมนวัตกรรมนาโนเทคโนโลยีวัสดุนาโนซิงค์ออกไซด์ (nano-ZnO) และการประยุกต์ใช้. [Online]. Available : http://www.nano.kmitl.ac.th/files/nano_innovation/2557/training/03-วัสดุนาโนซิงค์ออกไซด์.pdf. เข้าถึงเมื่อ 12 มกราคม 2560
- งามนิตย์ วงษ์เจริญ. 2558. การเตรียมฟิล์มบาง CuO โดยวิธีปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วยความร้อนของฟิล์มโลหะ Cu ที่ได้จากการสปีดเตอร์เพื่อประยุกต์ใช้ในเซลล์แสงอาทิตย์. กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- จิรัฐฐา บุญประกอบ. 2551. หลักการ Fourier Transform Infrared Spectrometer (FTIR). [Online]. Available : http://digi.library.tu.ac.th/thesis/ra/0126/19APPENDIX_E.pdf. เข้าถึงเมื่อ 15 มกราคม 2560
- ฐิติพร ฉิมสุข. 2560. ตัวเร่งปฏิกิริยาในอุตสาหกรรมปิโตรเลียม. [Online]. Available : http://www.science.mju.ac.th/chemistry/download/t_chimsook/คม443-ตัวเร่งปฏิกิริยาในอุตสาหกรรมปิโตรเลียม1p.pdf. เข้าถึงเมื่อ 12 มกราคม 2560
- ประเสริฐ เรียบร้อยเจริญ. 2551. เทคโนโลยี GTL (Gas-to-Liquid Technology) เพื่อการผลิตเชื้อเพลิงสะอาดทางเลือก. [Online]. Available : <http://www.vcharkarn.com/varticle/37452>. เข้าถึงเมื่อ 8 มกราคม 2560
- นवल เหล่าศิริพจน์. 2560. เชื้อเพลิงทางเลือกใหม่ทดแทนน้ำมันฝีมือนักวิจัยไทย. [Online]. Available : [http://www.fio.co.th/instituion/woodeconomy/main_web/data/Biomass%20to%20Liquid%20\(BTL\).pdf](http://www.fio.co.th/instituion/woodeconomy/main_web/data/Biomass%20to%20Liquid%20(BTL).pdf). เข้าถึงเมื่อ 20 มกราคม 2560
- ภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 2560. การวิเคราะห์ทางกายภาพ. [Online]. Available : <http://www.inc.science.cmu.ac.th/thai/webic/about/7physical.html>. เข้าถึงเมื่อ 17 มกราคม 2560
- มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. 2558. ไฮโดรจีเนชั่นแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์บนตัวเร่งปฏิกิริยารูทีเนียม. [Online]. Available : <http://www.gits.kmutnb.ac.th/ethesis/data/40180023.pdf>. เข้าถึงเมื่อ 12 มกราคม 2560
- มานิตย์ ดวงเพ็ญมาตร และคณะ. 2554. การเปลี่ยนเมทานอลเป็นไดเมทิลอีเทอร์บนตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะฟอสเฟต. [Online]. Available : <http://www.chem.eng.psu.ac.th/tiche2011/TCHE/data/paper/thai/tcr/oral/Tcr003.pdf>. เข้าถึงเมื่อ 8 มกราคม 2560
- ลัทธวัฒน์ ตั้งจิตจำเริญ และคณะ. 2560. “การเตรียมและการพิสูจน์เอกลักษณ์ของตัวเร่งปฏิกิริยา คอปเปอร์ออกไซด์-ซิงค์ออกไซด์-อะลูมิเนียมออกไซด์บนแกมมา-อะลูมินา สำหรับการสังเคราะห์ไดเมทิลอีเทอร์โดยตรงจากแก๊สสังเคราะห์.” วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเคมีอุตสาหกรรม, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- วิลาสินี วิสัยจร. 2559. “ตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์บนเซอร์โคเนียมไดออกไซด์และแคลเซียมออกไซด์ ปรับปรุงจากเปลือกหอยนางรมสำหรับปฏิกิริยาคาร์บอนไดออกไซด์ไฮโดรจีเนชัน.” วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมีและสิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยบูรพา
- ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง. 2559. Scanning Electron Microscope [Online]. Available : <http://web2.mfu.ac.th/center/stic/micro-analysis-instrument-menu/item/96-scanning-electron-microscrope.html>. เข้าถึงเมื่อ 15 มกราคม 2560.
- ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง. 2558. X-ray Diffractometer XRD. [Online]. Available : <http://web2.mfu.ac.th/center/stic/x-ray-analysis-instrument-menu/item/87-เครื่องวิเคราะห์ทดสอบทางรังสีเอกซ์-xrd.html>. เข้าถึงเมื่อ 15 มกราคม 2560
- ศูนย์เทคโนโลยีและวัสดุแห่งชาติ. 2560. เทคนิคการวิเคราะห์ลักษณะของวัสดุ. [Online]. Available : https://www.mtec.or.th/mcu/phcl/files/presentation/Technique_for_PC.pdf. เข้าถึงเมื่อ 17 มกราคม 2560
- สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (วว.). 2554. “ไดเมทิลอีเทอร์เชื้อเพลิงสารพัดประโยชน์.” *จดหมายข่าว วว.* 14(6) : 11
- สุขเกษม กังวานตระกูล. 2554. การปรับปรุงสมบัติเชิงกลของอะลูมินาด้วยอนุภาคนาโนซิลิคอนคาร์ไบด์. [Online]. Available : <http://sutir.sut.ac.th:8080/sutir/bitstream/123456789/3992/1/SUT7-708-48-24-78-Fulltext.pdf>. เข้าถึงเมื่อ 12 มกราคม 2560
- สุรศักดิ์ ไททวงษ์สกุล. 2560. อะลูมินาวัสดุสารพัดประโยชน์. [Online]. Available : <http://www.material.chula.ac.th/RADIO44/FEBRUARY/RADIO2-5.HTM>. เข้าถึงเมื่อ 5 มกราคม 2560
- สำนักคุณภาพน้ำมันเชื้อเพลิง. 2558. DME พลังงานทางเลือกชนิดใหม่ทดแทน LPG. [Online]. Available : http://www.doeb.go.th/knowledge/data/10_58%20km_DME.pdf. เข้าถึงเมื่อ 9 มกราคม 2560
- สำนักคุณภาพน้ำมันเชื้อเพลิง. 2560. ความรู้เกี่ยวกับไดเมทิลอีเทอร์ (Dimethyl Ether). [Online]. Available : http://www.doeb.go.th/knowledge/data/1Dimethyl_Ether.pdf. เข้าถึงเมื่อ 9 มกราคม 2560
- หนานจิงยอมนคริสตัลวัสดุเทคโนโลยี. 2559. อะลูมินาและคริสตัล. [Online]. Available. : <http://th.njfuhaojtcl.com/info/alumina-and-crystal-833597.html>. เข้าถึงเมื่อ 14 มกราคม 2560
- อะลูมินา. 2560. [Online]. Available : http://www.proton.rmutphysics.com/physics-glossary/index.php?option=com_content&task=view&id=1260&Itemid=32. เข้าถึงเมื่อ 12 มกราคม 2560
- B. L. Dutrow. 2016. X-ray Powder Diffraction (XRD). [Online]. Available : http://serc.carleton.edu/research_education/geochemsheets/techniques/XRD.html. เข้าถึงเมื่อ 15 มกราคม 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Description of Reactors (Petroleum Refining). 2017. [Online]. Available : <http://what-when-how.com/petroleum-refining/description-of-reactors-petroleum-refining/>. เข้าถึงเมื่อ 11 มกราคม 2560
- Environmental Engineering Chula Engineering. 2017. Gas Chromatography, GC. [Online]. Available : <http://www.env.eng.chula.ac.th/?q=content/gas-chromatography-gc>. เข้าถึงเมื่อ 14 มกราคม 2560
- Forestry Department. 1986. Types of Gesifiers. [Online]. Available : <http://www.fao.org/docrep/t0512e/T0512e0a.htm>. เข้าถึงเมื่อ 14 มกราคม 2560
- G.R. Moradi, S. Nosrati, F. Yaripor. 2007. "Effect of the Hybrid Catalyst Preparation Method upon Direct Synthesis of Dimethyl Ether from Synthesis Gas." *Catalysis Communications*. (8) : 598-606
- J. Abu-Dahrieh, D. Rooney, A. Goguet, Y. Saih. "Activity and Deactivation Studies for Direct Dimethyl Ether Synthesis using CuO-ZnO-Al₂O₃ with NH₄ZSM-5, HZSM-5 or γ-Al₂O₃." *Chemical Engineering Journal*. (203) : 201-211
- Labcompare. 2017. HYPERION Series Microscopes from Bruker Optics. [Online]. Available : <http://www.labcompare.com/166-FTIR-Microscope/3038-HYPERION-Series-FT-IR-Microscopes/>. เข้าถึงเมื่อ 17 มกราคม 2560
- M. Stiefel, R. Ahmad, U. Arnold, M. Doring. 2011. "Direct Synthesis of Dimethyl Ether from Carbon-Monoxide-Rich Synthesis Gas: Influence of Dehydration Catalyst and Operating Conditions." *Fuel Processing Technology*. (92) : 1466-1474
- Science Lab. 2013. Material Safety Data Sheet Alumina MSDS. [Online]. Available : <https://www.sciencelab.com/msds.php?msdsId=9925577>. เข้าถึงเมื่อ 12 มกราคม 2560
- Science Lab. 2013. Material Safety Data Sheet Cupric Oxide MSDS. [Online]. Available : <http://www.sciencelab.com/msds.php?msdsId=9923595>. เข้าถึงเมื่อ 12 มกราคม 2560
- Science Lab. 2013. Material Safety Data Sheet Zinc Oxide MSDS. [Online]. Available : <http://www.sciencelab.com/msds.php?msdsId=9927329>. เข้าถึงเมื่อ 12 มกราคม 2560
- S.C. Lee, K. Schneider, J. Schumann, A.K. Mogakicherla. 2015. "Effect of Metal Precursor on Cu/ZnO/Al₂O₃ Synthesized by Flame Spray Pyrolysis for Direct DME Production." *Chemical Engineering Science*. (138) : 194-202
- S.D. Kim, S.C. Beak, Y.J. Lee, K.W. Jun, M.J. Kim, I.K. Yoo. 2006. "Effect of γ-Alumina Content on Catalytic Performance of Modified ZSM-5 for Dehydration of

- Crude Methanol to Dimethyl Ether.” *Applied Catalysis A: General*. (309) : 139-143
- Shaffield Hallam University. 2017. *Gas Chromatography*. [Online]. Available : <http://teaching.shu.ac.uk/hwb/chemistry/tutorials/chrom/gaschrm.htm>. เข้าถึงเมื่อ 17 มกราคม 2560
- Siam Bioenergy. 2555. *พลังงานชีวมวล*. [Online]. Available : <http://www.siambioenergy.com/bio65/index.php/2012-10-14-08-58-20/2012-10-14-08-59-07>. เข้าถึงเมื่อ 9 มกราคม 2560
- S.Y. Hosseini, M.R.K. Nikou. 2014. “Investigation of Different Precipitating Agents Effects on Performance of γ - Al_2O_3 Nanocatalysts for Methanol Dehydration to Dimethyl Ether.” *Journal of Industrial and Engineering Chemistry* (20) : 4421-4428
- T.A. Semelsberger, R.L. Borup, H.L. Greene. 2006. “Dimethyl Ether (DME) as an Alternative Fuel.” *Journal of Power Sources*. (156) : 497-511.
- Tutorvista. 2017. *Chromatography*. [Online]. Available : <http://chemistry.tutorvista.com/analytical-chemistry/chromotography.html>. เข้าถึงเมื่อ 14 มกราคม 2560
- Yotaro Ohno. 2004. *Development of DME Direct Synthesis Technology*. [Online]. Available : <http://www.pogc.ir/portals/0/maghalat/890718-11.pdf>. เข้าถึงเมื่อ 11 มกราคม 2560
- Z. Azizi, M. Rezaeimanesh, T. Tohidian, M.R. Rahimpour. 2014. “Dimethyl Ether: A review of technologies and production challenges.” *Chemicals Engineering and Processing*. (82) : 150-172.



ภาคผนวก

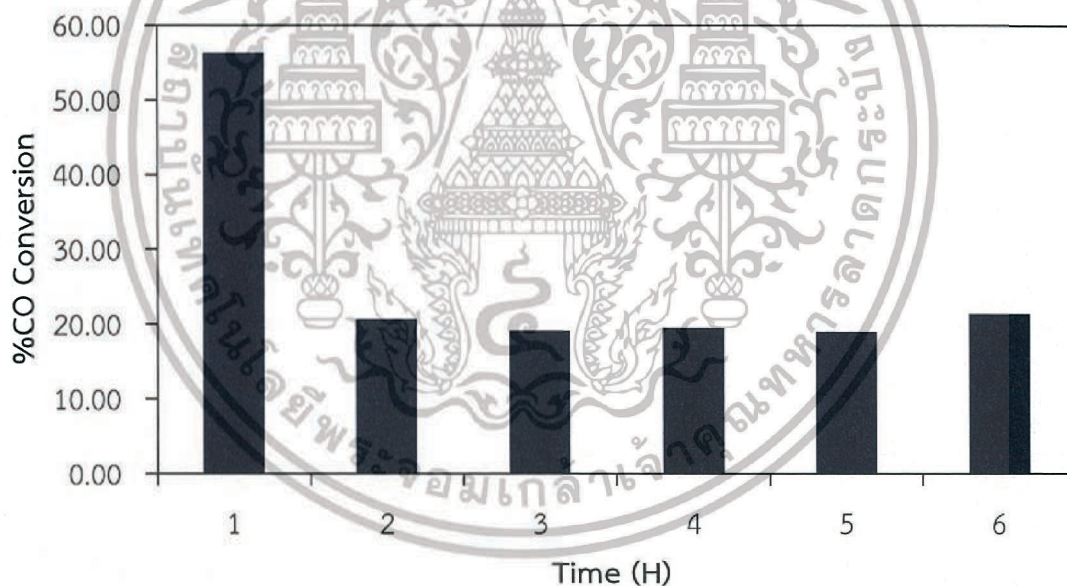
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ผลการทดลอง

ตารางที่ ก.1 %CO Conversion ของตัวเร่งปฏิกิริยา $\text{CuZnOAl}_2\text{O}_3$ ที่ได้จากการเตรียมด้วยวิธี Co-precipitation

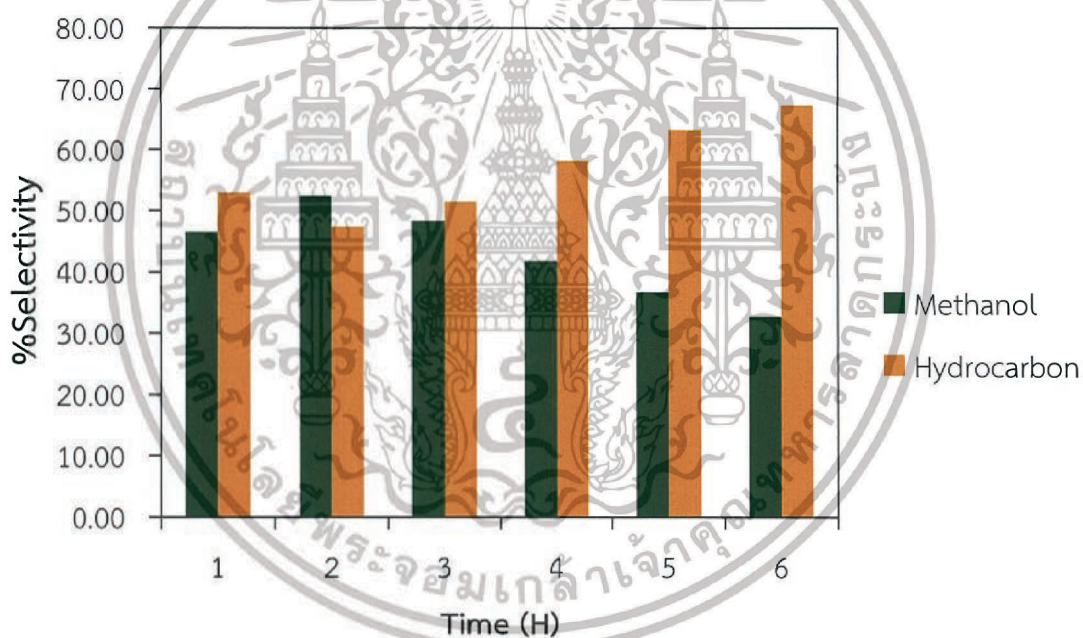
Time (H)	%CO Conversion
1	56.29
2	20.69
3	19.10
4	19.54
5	19.01
6	21.38



รูปที่ ก.1 %CO Conversion ของตัวเร่งปฏิกิริยา $\text{CuZnOAl}_2\text{O}_3$ ที่ได้จากการเตรียมด้วยวิธี Co-precipitation โดยมีน้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยาเท่ากับ 0.50 กรัม และมีอัตราการไหลเท่ากับ 22.00 mL/min

ตารางที่ ก.2 %Selectivity ของตัวเร่งปฏิกิริยา $\text{CuZnOAl}_2\text{O}_3$ ที่ได้จากการเตรียมด้วยวิธี Co-precipitation

Time (H)	%Selectivity	
	Methanol	Hydrocarbon
1	46.45	52.97
2	52.41	47.32
3	48.34	51.44
4	41.73	58.08
5	36.68	63.15
6	32.66	67.19

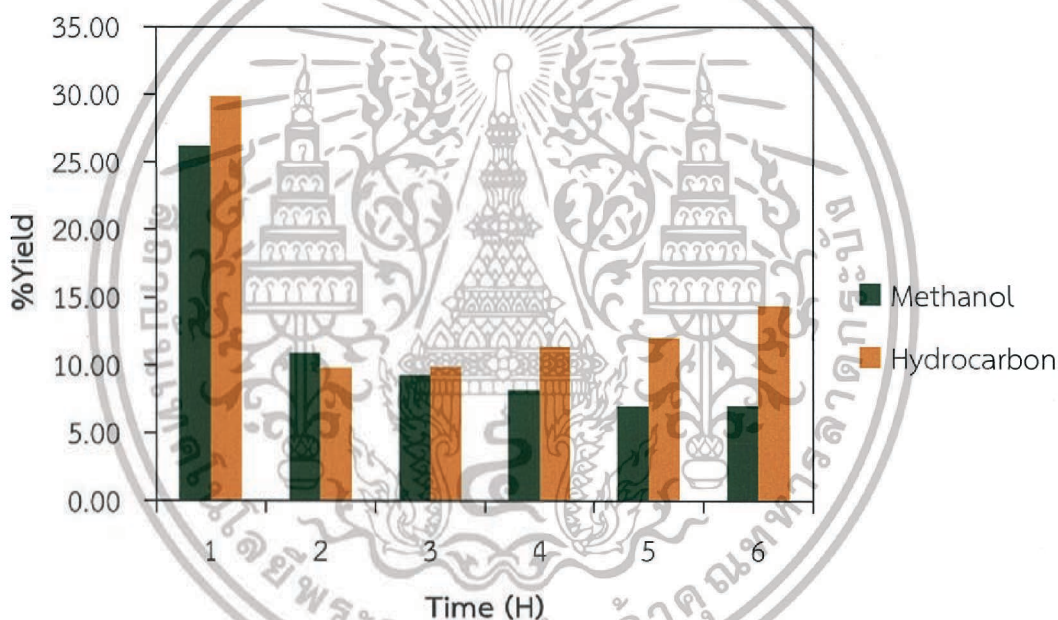


รูปที่ ก.2 %Selectivity ของตัวเร่งปฏิกิริยา $\text{CuZnOAl}_2\text{O}_3$ ที่ได้จากการเตรียมด้วยวิธี Co-precipitation โดยมีน้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยาเท่ากับ 0.50 กรัม และมีอัตราการไหลเท่ากับ 22.00 mL/min

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3 %Yield ของตัวเร่งปฏิกิริยา $\text{CuZnOAl}_2\text{O}_3$ ที่ได้จากการเตรียมด้วยวิธี Co-precipitation

Time (H)	%Yield	
	Methanol	Hydrocarbon
1	26.15	29.82
2	10.84	9.79
3	9.23	9.83
4	8.15	11.35
5	6.97	12.00
6	6.89	14.37

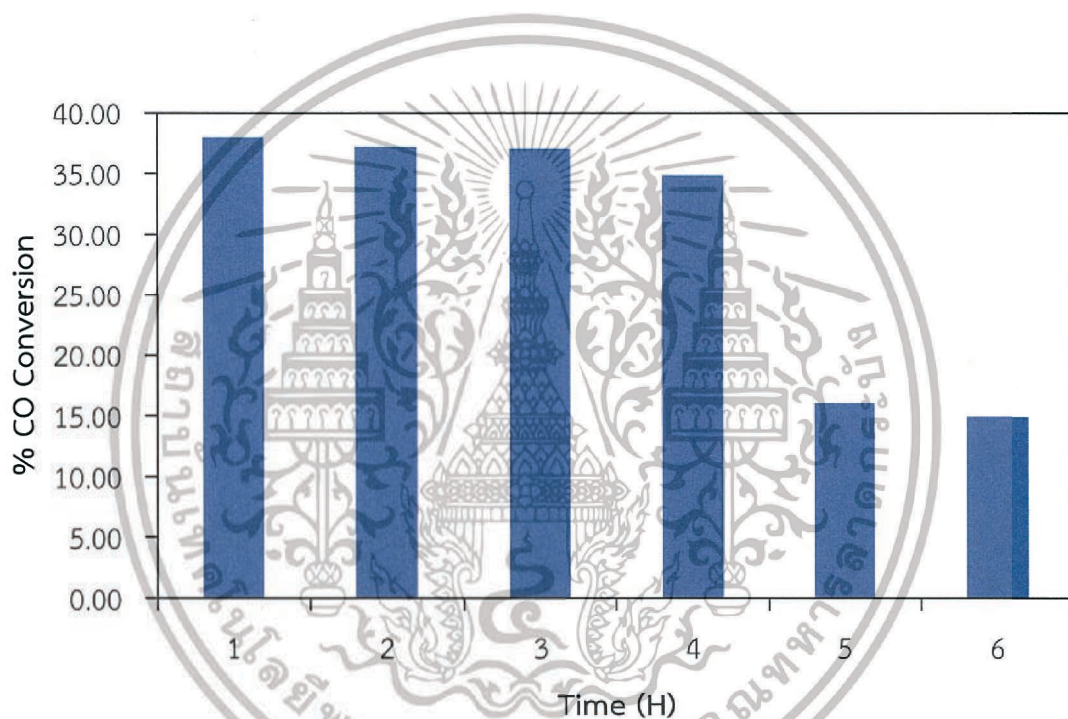


รูปที่ ก.3 %Yield ของตัวเร่งปฏิกิริยา $\text{CuZnOAl}_2\text{O}_3$ ที่ได้จากการเตรียมด้วยวิธี Co-precipitation โดยมีน้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยาเท่ากับ 0.50 กรัม และมีอัตราการไหลเท่ากับ 22.00 ml/min

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.4 %CO Conversion ของตัวเร่งปฏิกิริยา $\text{CuZnOAl}_2\text{O}_3/\text{Y-Al}_2\text{O}_3$ ที่ได้จากการเตรียมด้วยวิธี Physical Mixing

Time (H)	%CO Conversion
1	37.97
2	37.20
3	37.06
4	34.85
5	16.05
6	14.93

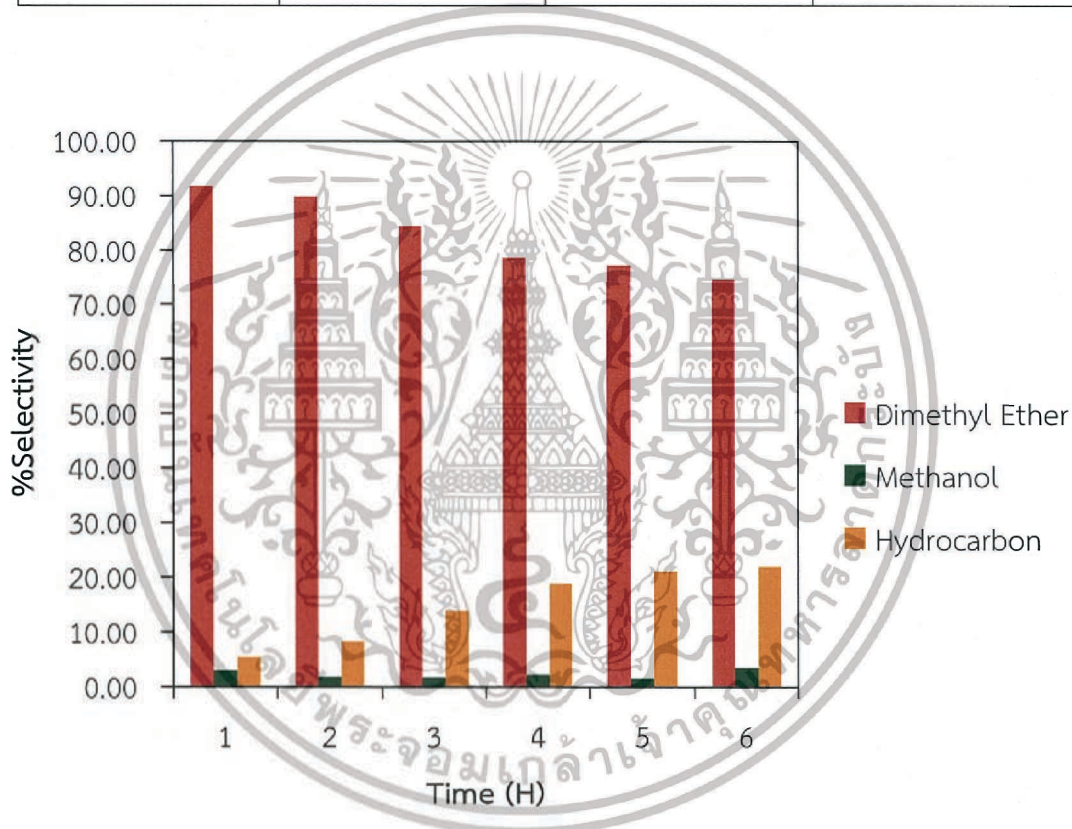


รูปที่ ก.4 %CO Conversion ของตัวเร่งปฏิกิริยา $\text{CuZnOAl}_2\text{O}_3/\text{Y-Al}_2\text{O}_3$ ที่ได้จากการเตรียมด้วยวิธี Physical Mixing โดยมีน้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยาเท่ากับ 0.50 กรัม และมีอัตราการไหลเท่ากับ 22.00 mL/min

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.5 %Selectivity ของตัวเร่งปฏิกิริยา $\text{CuZnOAl}_2\text{O}_3/\text{Y-Al}_2\text{O}_3$ ที่ได้จากการเตรียมด้วยวิธี Physical Mixing

%Selectivity			
Time (H)	Dimethyl Ether	Methanol	Hydrocarbon
1	91.63	2.92	5.36
2	89.83	1.80	8.27
3	84.34	1.63	13.81
4	78.58	2.13	18.78
5	77.23	1.47	21.06
6	74.62	3.38	21.91

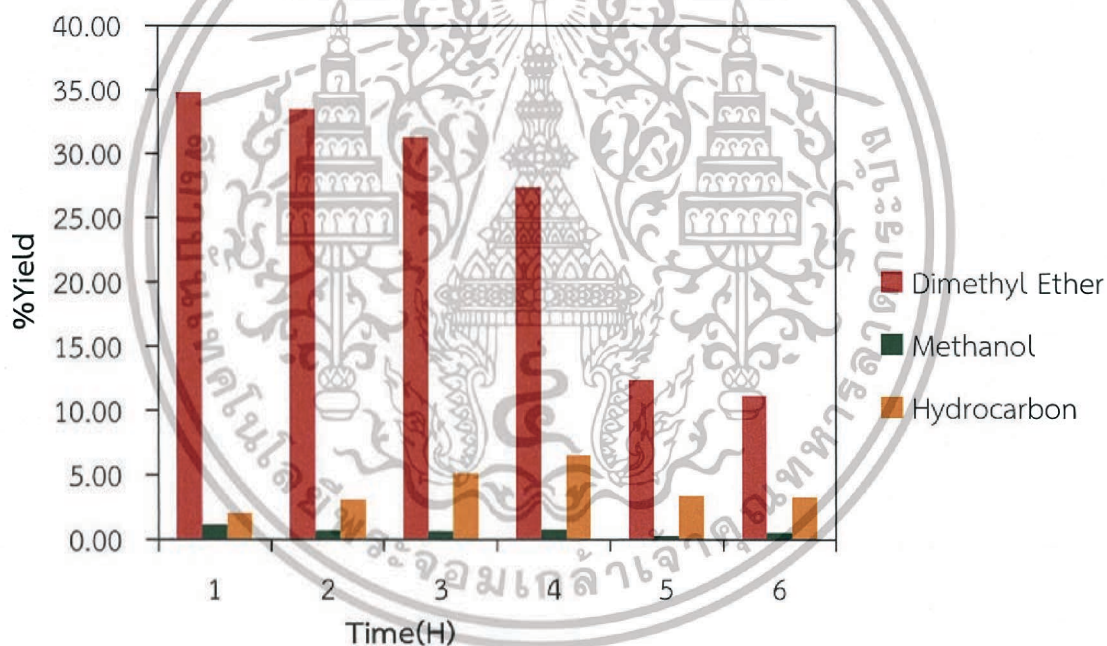


รูปที่ ก.5 %Selectivity ของตัวเร่งปฏิกิริยา $\text{CuZnOAl}_2\text{O}_3/\text{Y-Al}_2\text{O}_3$ ที่ได้จากการเตรียมด้วยวิธี Physical Mixing โดยมีน้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยาเท่ากับ 0.50 กรัม และมีอัตราการไหลเท่ากับ 22.00 mL/min

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.6 %Yield ของตัวเร่งปฏิกิริยา $\text{CuZnOAl}_2\text{O}_3/\text{Y-Al}_2\text{O}_3$ ที่ได้จากการเตรียมด้วยวิธี Physical Mixing

%Yield			
Time (H)	Dimethyl Ether	Methanol	Hydrocarbon
1	34.40	1.11	2.04
2	33.42	0.67	3.07
3	31.25	0.61	5.12
4	27.38	0.75	6.55
5	12.40	0.02	3.38
6	11.14	0.51	3.90

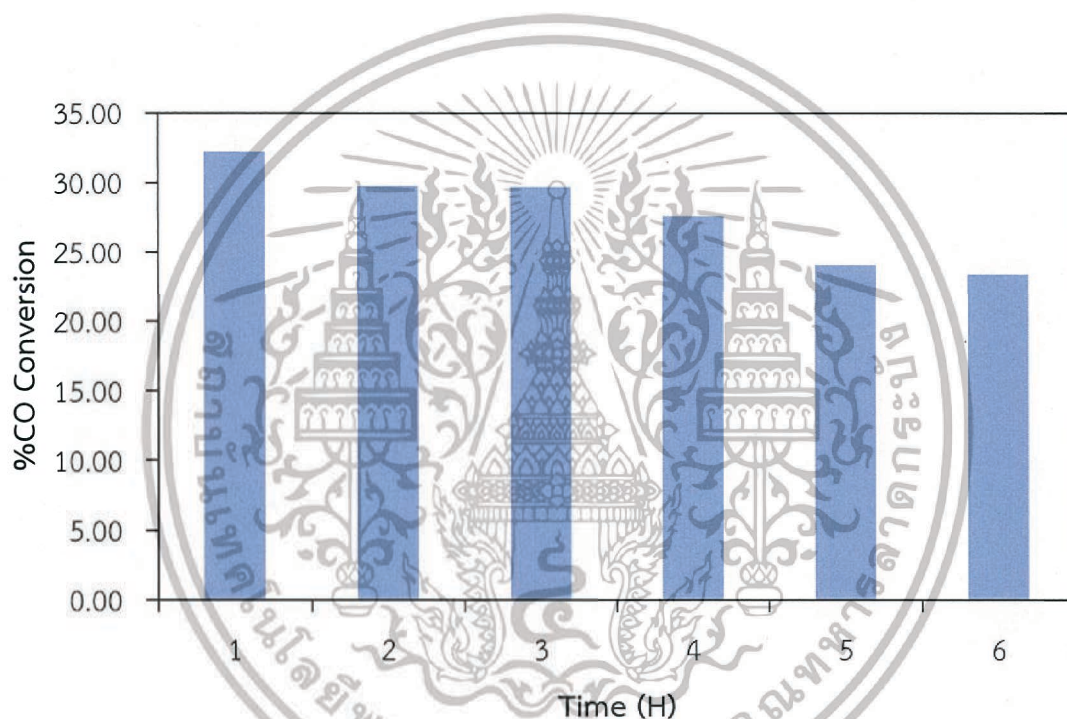


รูปที่ ก.6 %Yield ของตัวเร่งปฏิกิริยา $\text{CuZnOAl}_2\text{O}_3/\text{Y-Al}_2\text{O}_3$ ที่ได้จากการเตรียมด้วยวิธี Physical Mixing โดยมีน้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยาเท่ากับ 0.50 กรัม และมีอัตราการไหลเท่ากับ 22.00 mL/min

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.7 %CO Conversion ของตัวเร่งปฏิกิริยา $\text{CuZnOAl}_2\text{O}_3/\text{Y-Al}_2\text{O}_3$ ที่ได้จากการเตรียมด้วยวิธี Co-precipitation Impregnation

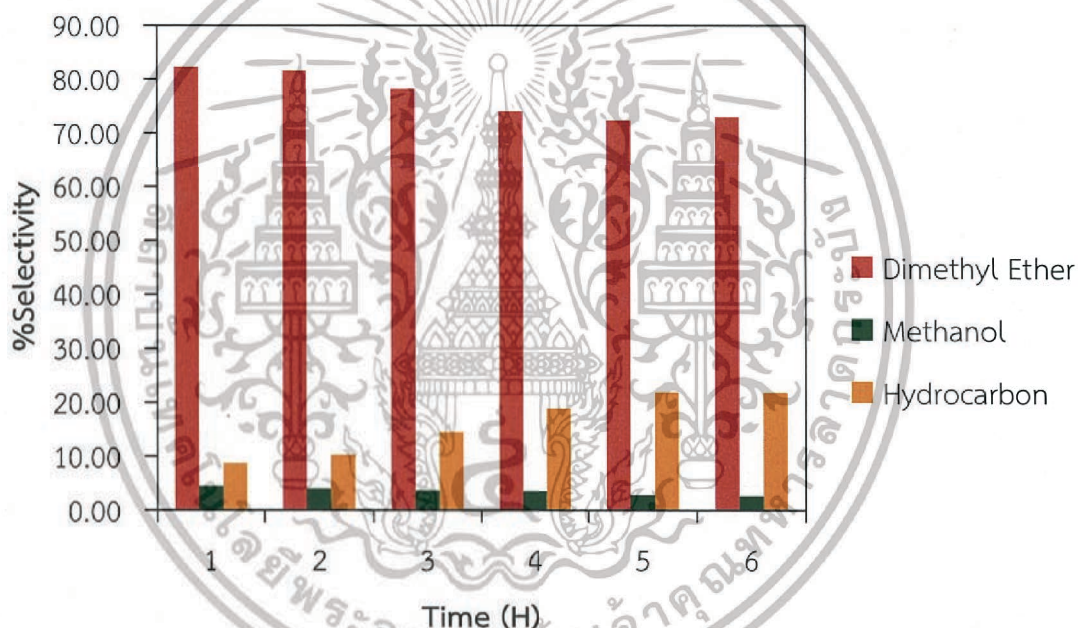
Time (H)	%CO Conversion
1	32.18
2	29.75
3	29.68
4	27.58
5	24.05
6	23.40



รูปที่ ก.7 %CO Conversion ของตัวเร่งปฏิกิริยา $\text{CuZnOAl}_2\text{O}_3/\text{Y-Al}_2\text{O}_3$ ที่ได้จากการเตรียมด้วยวิธี Co-precipitation Impregnation โดยมีน้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยาเท่ากับ 0.50 กรัม และมีอัตราการไหลเท่ากับ 23.00 ml/min

ตารางที่ ก.8 %Selectivity ของตัวเร่งปฏิกิริยา $\text{CuZnOAl}_2\text{O}_3/\text{Y-Al}_2\text{O}_3$ ที่ได้จากการเตรียมด้วยวิธี Co-precipitation Impregnation

%Selectivity			
Time (H)	Dimethyl Ether	Methanol	Hydrocarbon
1	82.32	4.46	8.74
2	81.62	4.06	10.25
3	78.23	3.67	14.42
4	74.00	3.59	18.79
5	72.37	2.89	21.85
6	72.95	2.64	21.75

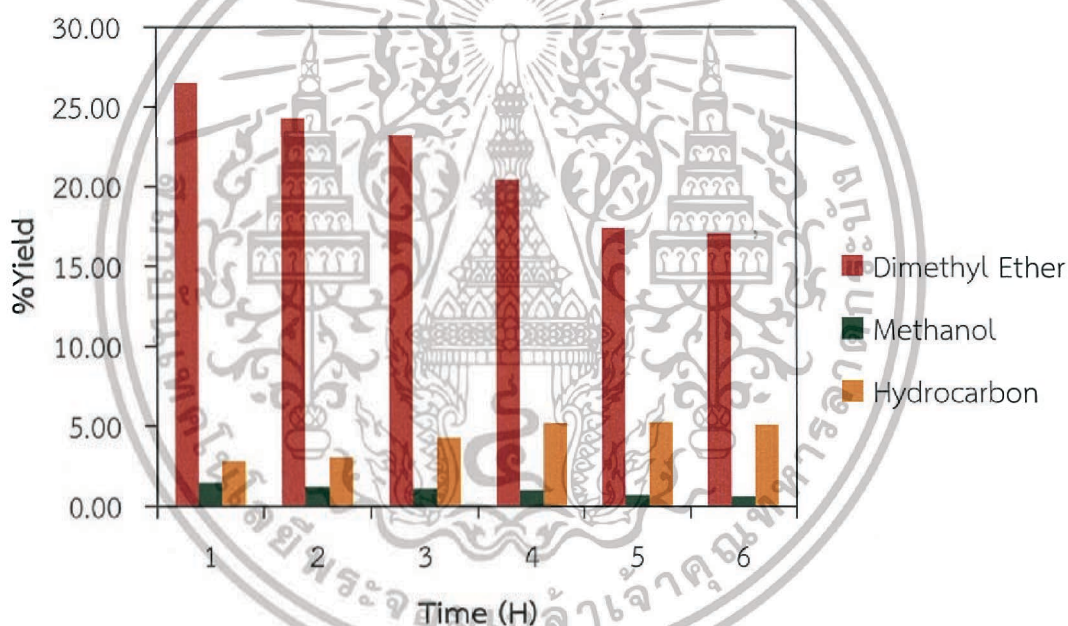


รูปที่ ก.8 %Selectivity ของตัวเร่งปฏิกิริยา $\text{CuZnOAl}_2\text{O}_3/\text{Y-Al}_2\text{O}_3$ ที่ได้จากการเตรียมด้วยวิธี Co-precipitation Impregnation โดยมีน้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยาเท่ากับ 0.50 กรัม และมีอัตราการไหลเท่ากับ 23.00 ml/min

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.9 %Yield ของตัวเร่งปฏิกิริยา $\text{CuZnOAl}_2\text{O}_3/\text{Y-Al}_2\text{O}_3$ ที่ได้จากการเตรียมด้วยวิธี Co-precipitation Impregnation

%Yield			
Time (H)	Dimethyl Ether	Methanol	Hydrocarbon
1	26.49	1.44	2.81
2	24.28	1.21	3.05
3	23.22	1.09	4.28
4	20.41	0.99	5.18
5	17.41	0.69	5.26
6	17.07	0.62	5.09



รูปที่ ก.9 %Yield ของตัวเร่งปฏิกิริยา $\text{CuZnOAl}_2\text{O}_3/\text{Y-Al}_2\text{O}_3$ ที่ได้จากการเตรียมด้วยวิธี Co-precipitation Impregnation โดยมีน้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยาเท่ากับ 0.50 กรัม และมีอัตราการไหลเท่ากับ 23.00 ml/min

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

การคำนวณค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของคาร์บอนมอนอกไซด์ (%CO Conversion)

1. ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของคาร์บอนมอนอกไซด์

$$\%CO \text{ Conversion} = \frac{CO \text{ Mole (Initial Amount)} - CO \text{ Mole (Final Amount)}}{CO \text{ Mole (Initial Amount)}} \times 100$$

ตัวอย่างการคำนวณ ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงคาร์บอนมอนอกไซด์ของตัวเร่งปฏิกิริยา $CuZnOAl_2O_3 / \gamma-Al_2O_3$ ด้วยเทคนิคการผสมทางกายภาพ (Physical mixing)

▪ คิดที่ชั่วโมงที่ 1

จากสูตร $PV = nRT$, $n = \frac{PV}{RT}$

ขาเข้า ; $P = 1.003 \text{ atm}$ $V_{in} = 20 \text{ mL / min}$
 $R = 82.06 \text{ mLatm / Kmol}$ $T = 299 \text{ K}$

$$n (\text{syngas}) = \frac{(1.003 \text{ atm})(20 \frac{\text{mL}}{\text{min}})}{(82.06 \frac{\text{mLatm}}{\text{Kmol}})(299 \text{ K})} = 0.000817576 \frac{\text{mol}}{\text{min}}$$

$n (\text{in}) = \text{Syngas's standard peak area} \times n (\text{syngas})$; peak area จาก GC-TCD

$$= 10.60043409 \times 0.000817576 \frac{\text{mol}}{\text{min}}$$

$$= 0.008666662 \frac{\text{mol}}{\text{min}}$$

ขาออก ; $P = 1.003 \text{ atm}$ $V_{in} = 20 \text{ mL / min}$
 $R = 82.06 \text{ mLatm / Kmol}$ $T = 299 \text{ K}$

$$n (\text{syngas}) = \frac{(1.003 \text{ atm})(20 \frac{\text{mL}}{\text{min}})}{(82.06 \frac{\text{mLatm}}{\text{Kmol}})(299 \text{ K})} = 0.000817576 \frac{\text{mol}}{\text{min}}$$

$n (\text{out}) = \text{Syngas's peak area of each hours} \times n (\text{syngas})$; peak area จาก GC-TCD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= 6.575037 \times 0.000817576 \frac{\text{mol}}{\text{min}}$$

$$= 0.005375592 \frac{\text{mol}}{\text{min}}$$

$$\% \text{CO Conversion} = \frac{n(\text{in}) - n(\text{out})}{n(\text{in})} \times 100$$

$$= \frac{0.008666662 \frac{\text{mol}}{\text{min}} - 0.005375592 \frac{\text{mol}}{\text{min}}}{0.008666662 \frac{\text{mol}}{\text{min}}} \times 100$$

$$= 37.9739 \%$$

Hour	n (in)	n (out)	% CO Conversion
1	0.008666662	0.005375592	37.9739
2	0.008666662	0.005442871	37.1976
3	0.008666662	0.005455178	37.0556
4	0.008666662	0.005646321	34.8501
5	0.008666662	0.007275246	16.0548
6	0.008666662	0.007372989	14.9270
		Average	29.6765

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

การคำนวณค่าร้อยละความจำเพาะต่อการเลือกเกิด (Selectivity)

1. ค่าร้อยละความจำเพาะต่อการเลือกเกิดเป็นไดเมทิลอีเทอร์

$$\% \text{DME Selectivity} = \frac{2 \times \text{DME moles produced}}{\text{All products (moles)}} \times 100$$

ตัวอย่างการคำนวณ ค่าร้อยละความจำเพาะต่อการเลือกเกิดเป็นไดเมทิลอีเทอร์ของตัวเร่งปฏิกิริยา $\text{CuZnOAl}_2\text{O}_3 / \gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ ด้วยเทคนิคการผสมทางกายภาพ (Physical mixing)

- คิตที่ชั่วโมงที่ 1 ; ภายใต้อุณหภูมิ $T = 299 \text{ K}$ และ $P = 1.003 \text{ atm}$

$$\% \text{ Selectivity} = \frac{2 \times \text{DME}}{\sum_{i=0}^n C} \times 100$$

และ

$$\text{All products} = \frac{\text{Total hydrocarbon area peak}}{\text{standard peak (STD)}}$$

โดย

$$2 \text{ DME} = \left[\frac{n (\text{syngas}) \times \left[\frac{\text{Area peak}}{\text{standard peak (STD)}} \right]}{\text{All product}} \right]$$

$$2 \text{ DME} = \left[\frac{0.000817576 \times 4960577}{5529816} \right] \times 2$$

$$= 0.001466824 \frac{\text{mol}}{\text{min}}$$

C_1 คำนวณได้จาก

$$C = \left[\frac{n (\text{syngas}) \times \left[\frac{\text{Area peak}}{\text{standard peak (STD)}} \right]}{C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + C_5 + \text{CO}_2} \right] \times \text{number of carbons}$$

$$C_1 = \left[\frac{0.000817576 \times (92531 + 316143)}{5529816} \right] \times 1$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= 0.0000604219 \frac{\text{mol}}{\text{min}}$$

$$C_2 = \left[\frac{0.000817576 \times (44107)}{5529816} \right] \times 2$$

$$= 0.0000130423 \frac{\text{mol}}{\text{min}}$$

$$C_3 = \left[\frac{0.000817576 \times (43999)}{5529816} \right] \times 3$$

$$= 0.0000195156 \frac{\text{mol}}{\text{min}}$$

$$C_4 = \left[\frac{0.000817576 \times (24301+28556)}{5529816} \right] \times 4$$

$$= 0.0000312594 \frac{\text{mol}}{\text{min}}$$

$$C_5 = \left[\frac{0.000817576 \times (92531+316143)}{5529816} \right] \times 5$$

$$= 0.00000846064 \frac{\text{mol}}{\text{min}}$$

$$CO_2 = \left[\frac{0.000817576 \times (8177)}{5529816} \right] \times 1$$

$$= 0.00000120896 \frac{\text{mol}}{\text{min}}$$

จากสูตร

$$\% \text{ Selectivity} = \frac{2 \times \text{DME}}{\sum_{i=0}^n C} \times 100$$

$$= \left[\frac{0.001466824 \frac{\text{mol}}{\text{min}} \times 100}{(60.4219 + 13.0423 + 19.5156 + 31.2594 + 8.46064 + 1.20896 + 1466.824) \times 10^{-6} \frac{\text{mol}}{\text{min}}} \right]$$

$$= 91.63 \%$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชั่วโมง	Area peak ($\times 10^{-6}$)							% Selectivity DME
	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	CO ₂	2DME	
1	60.42	13.04	19.52	31.26	8.46	1.20	1466.82	91.63
2	49.27	18.40	32.90	44.46	18.83	1.71	1463.09	89.83
3	57.55	29.74	59.49	73.00	34.52	3.52	1388.98	84.34
4	70.70	36.47	78.00	103.77	60.30	8.52	1312.25	78.58
5	7.75	4.60	8.92	10.40	52.65	0.40	126.66	77.23
6	9.58	37.40	83.32	125.11	82.70	1.52	1252.00	74.62
	ค่าเฉลี่ย 6 ชั่วโมง							82.71

2. คำนวณร้อยละความจำเพาะต่อการเลือกเกิดเป็นเมทานอล

$$\% \text{MeOH Selectivity} = \frac{\text{MeOH moles produced}}{\text{All products (moles)}} \times 100$$

ตัวอย่างการคำนวณ คำนวณร้อยละความจำเพาะต่อการเลือกเกิดเป็นเมทานอลของตัวเร่งปฏิกิริยา CuZnO/Al₂O₃ / γ-Al₂O₃ ด้วยเทคนิคการผสมทางกายภาพ (Physical mixing)

- คัดที่ชั่วโมงที่ 1 ; ภายใต้สภาวะ T = 299 K และ P = 1.003 atm

$$\% \text{ Selectivity} = \frac{\text{MeOH}}{\sum_{i=0}^n C} \times 100$$

และ

$$\text{All products} = \frac{\text{Total hydrocarbon area peak}}{\text{standard peak (STD)}}$$

โดย

$$\text{MeOH} = \left[\frac{n (\text{syngas}) \times \left[\frac{\text{Area peak}}{\text{standard peak (STD)}} \right]}{\text{All product}} \right]$$

$$\text{MeOH} = \left[\frac{0.000817576 \times 316143}{5529816} \right]$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= 0.0000467413 \frac{\text{mol}}{\text{min}}$$

C₁ คำนวณได้จาก

$$C = \left[\frac{n(\text{syngas}) \times \left[\frac{\text{Area peak}}{\text{standard peak (STD)}} \right]}{C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + C_5 + \text{CO}_2 + \text{MeOH} + 2\text{DME}} \right] \times \text{number of carbons}$$

$$C_1 = \left[\frac{0.000817576 \times (92531)}{5529816} \right] \times 1$$

$$= 0.0000136806 \frac{\text{mol}}{\text{min}}$$

$$C_2 = \left[\frac{0.000817576 \times (44107)}{5529816} \right] \times 2$$

$$= 0.0000130423 \frac{\text{mol}}{\text{min}}$$

$$C_3 = \left[\frac{0.000817576 \times (43999)}{5529816} \right] \times 3$$

$$= 0.0000195156 \frac{\text{mol}}{\text{min}}$$

$$C_4 = \left[\frac{0.000817576 \times (24301 + 28556)}{5529816} \right] \times 4$$

$$= 0.0000312594 \frac{\text{mol}}{\text{min}}$$

$$C_5 = \left[\frac{0.000817576 \times (95471 + 1898)}{5529816} \right] \times 5$$

$$= 0.00000846064 \frac{\text{mol}}{\text{min}}$$

$$\text{CO}_2 = \left[\frac{0.000817576 \times (8177)}{5529816} \right] \times 1$$

$$= 0.00000120896 \frac{\text{mol}}{\text{min}}$$

$$2 \text{ DME} = \left[\frac{0.000817576 \times (4960557)}{5529816} \right] \times 2$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= 0.001466842 \frac{\text{mol}}{\text{min}}$$

จากสูตร

$$\% \text{ Selectivity} = \frac{\text{MeOH}}{\sum_{i=0}^n C} \times 100$$

=

$$\left[\frac{0.000046596 \frac{\text{mol}}{\text{min}} \times 100}{(13.6806 + 13.0423 + 19.5156 + 31.2594 + 8.46064 + 1.20896 + 1466.824 + 46.7413) \times 10^{-6} \frac{\text{mol}}{\text{min}}} \right]$$

$$= 2.92 \%$$

ชั่วโมง	Area peak ($\times 10^{-6}$)								% Selectivity MeOH
	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	CO ₂	2DME	MeOH	
1	13.68	13.04	19.52	31.26	8.46	1.21	1466.82	46.74	2.92
2	20.02	18.40	32.90	44.46	18.84	1.71	1458.10	29.25	1.80
3	30.63	29.74	59.49	73.00	34.52	3.52	1382.93	26.91	1.63
4	35.14	36.47	78.00	103.77	60.30	8.52	1304.66	35.56	2.13
5	5.35	4.60	8.92	10.40	5.27	0.40	1280.65	2.41	1.47
6	39.02	37.39	83.32	125.11	82.70	1.52	1243.50	56.75	3.38
	ค่าเฉลี่ย 6 ชั่วโมง								2.22

3. ร้อยละความจำเพาะต่อการเลือกเกิดเป็นไฮโดรคาร์บอน

$$\% \text{HC Selectivity} = \frac{\text{HC moles produced}}{\text{All products (moles)}} \times 100$$

ตัวอย่างการคำนวณ ค่าร้อยละความจำเพาะต่อการเลือกเกิดเป็นไฮโดรคาร์บอนของตัวเร่งปฏิกิริยา CuZnOAl₂O₃ / γ-Al₂O₃ ด้วยเทคนิคการผสมทางกายภาพ (Physical mixing)

- คัดที่ชั่วโมงที่ 1 ; ภายใต้สภาวะ T = 299 K และ P = 1.003 atm

$$\% \text{HC Selectivity} = \frac{\text{HC}}{\sum_{i=0}^n C} \times 100$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาดูเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ

$$\text{All products} = \frac{\text{Total hydrocarbon area peak}}{\text{standard peak (STD)}}$$

โดย

$$\text{HC} = \left[\frac{n (\text{syngas}) \times \left[\frac{\text{Area peak}}{\text{standard peak (STD)}} \right]}{\text{All product}} \right]$$

C₁ คำนวณได้จาก

$$C = \left[\frac{n (\text{syngas}) \times \left[\frac{\text{Area peak}}{\text{standard peak (STD)}} \right]}{C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + C_5 + \text{CO}_2 + \text{MeOH} + 2\text{DME}} \right] \times \text{number of carbons}$$

$$C_1 = \left[\frac{0.000817576 \times (92531)}{5529816} \right] \times 1$$

$$= 0.0000136806 \frac{\text{mol}}{\text{min}}$$

$$C_2 = \left[\frac{0.000817576 \times (44107)}{5529816} \right] \times 2$$

$$= 0.0000130423 \frac{\text{mol}}{\text{min}}$$

$$C_3 = \left[\frac{0.000817576 \times (43999)}{5529816} \right] \times 3$$

$$= 0.0000195156 \frac{\text{mol}}{\text{min}}$$

$$C_4 = \left[\frac{0.000817576 \times (24301 + 28556)}{5529816} \right] \times 4$$

$$= 0.0000312594 \frac{\text{mol}}{\text{min}}$$

$$C_5 = \left[\frac{0.000817576 \times (95471 + 1898)}{5529816} \right] \times 5$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= 0.00000846064 \frac{\text{mol}}{\text{min}}$$

$$\text{CO}_2 = \left[\frac{0.000817576 \times (8177)}{5529816} \right] \times 1$$

$$= 0.00000120896 \frac{\text{mol}}{\text{min}}$$

$$2 \text{ DME} = \left[\frac{0.000817576 \times (4960557)}{5529816} \right] \times 2$$

$$= 0.001466842 \frac{\text{mol}}{\text{min}}$$

$$\text{MeOH} = \left[\frac{0.000817576 \times 316143}{5529816} \right]$$

$$= 0.0000467413 \frac{\text{mol}}{\text{min}}$$

จากสูตร

$$\% \text{ Selectivity} = \frac{\text{HC}}{\sum_{i=0}^n \text{C}} \times 100$$

=

$$\left[\frac{(13.6806 + 13.0423 + 19.5156 + 31.2594 + 8.46064 + 1.20896) \times 10^{-6} \frac{\text{mol}}{\text{min}} \times 100}{(13.6806 + 13.0423 + 19.5156 + 31.2594 + 8.46064 + 1.20896 + 1466.824 + 46.7413) \times 10^{-6} \frac{\text{mol}}{\text{min}}} \right]$$

$$= 5.37 \%$$

ชั่วโมง	Area peak (x 10 ⁻⁶)								% Selectivity HC
	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	CO ₂	2DME	MeOH	
1	13.68	13.04	19.52	31.26	8.46	1.21	1466.82	46.74	5.37
2	20.02	18.40	32.90	44.46	18.84	1.71	1458.10	29.25	8.27
3	30.64	29.74	59.49	73.00	34.52	3.52	1382.93	26.91	13.81
4	35.14	36.47	78.00	103.77	60.30	8.52	1304.66	35.56	18.78
5	5.35	4.60	8.92	10.40	5.27	0.40	1280.65	2.40	21.06
6	39.02	37.39	83.32	125.11	82.70	1.52	1243.50	56.75	21.91
	ค่าเฉลี่ย 6 ชั่วโมง								14.87

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

การคำนวณค่าร้อยละผลิตภัณฑ์ (Yield)

1. ค่าร้อยละผลิตภัณฑ์ของไดเมทิลอีเทอร์

$$\%DME \text{ Yield} = \frac{\%CO \text{ conversion} \times \%DME \text{ selectivity}}{100}$$

ตัวอย่างการคำนวณ ค่าร้อยละผลิตภัณฑ์ไดเมทิลอีเทอร์ของตัวเร่งปฏิกิริยา $CuZnOAl_2O_3 / \gamma-Al_2O_3$ ด้วยเทคนิคการผสมทางกายภาพ (Physical mixing)

- คัดที่ชั่วโมงที่ 1 ; ภายใต้สภาวะ $T = 299 \text{ K}$ และ $P = 1.003 \text{ atm}$

จากภาคผนวก ข จะพบว่าค่า %CO conversion มีค่า 37.97 %

จากภาคผนวก ค จะพบว่าค่า %DME selectivity มีค่า 91.63 %

จากสูตร ; $\%DME \text{ Yield} = \frac{\%CO \text{ conversion} \times \%DME \text{ selectivity}}{100}$

$$= \frac{37.9739 \% \times 91.6345 \%}{100}$$

$$= 34.7972 \%$$

ชั่วโมง	%CO conversion	%DME selectivity	%DME Yield
1	37.9739	91.6345	34.7972
2	37.1976	89.8336	33.4159
3	37.0556	84.3439	31.2541
4	34.8501	78.5780	27.3845
5	16.0548	77.2279	12.3988
6	14.9270	74.6211	11.1387
Average			25.0649

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ค่าร้อยละผลิตภัณฑ์ของเมทานอล

$$\% \text{MeOH Yield} = \frac{\% \text{CO conversion} \times \% \text{MeOH selectivity}}{100}$$

ตัวอย่างการคำนวณ ค่าร้อยละผลิตภัณฑ์เมทานอลของตัวเร่งปฏิกิริยา $\text{CuZnOAl}_2\text{O}_3 / \gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ ด้วยเทคนิคการผสมทางกายภาพ (Physical mixing)

- คัดที่ชั่วโมงที่ 1 ; ภายใต้สภาวะ $T = 299 \text{ K}$ และ $P = 1.003 \text{ atm}$

จากภาคผนวก ข จะพบว่าค่า $\% \text{CO conversion}$ มีค่า 37.97%

จากภาคผนวก ค จะพบว่าค่า $\% \text{MeOH selectivity}$ มีค่า 2.92%

จากสูตร ; $\% \text{MeOH Yield} = \frac{\% \text{CO conversion} \times \% \text{MeOH selectivity}}{100}$

$$= \frac{37.9739 \% \times 5.3698 \%}{100}$$

$$= 2.0368 \%$$

ชั่วโมง	$\% \text{CO conversion}$	$\% \text{MeOH selectivity}$	$\% \text{MeOH Yield}$
1	37.9739	2.9199	1.1088
2	37.1976	1.7957	0.6679
3	37.0556	1.6341	0.6055
4	34.8501	2.1292	0.7420
5	16.0548	1.4672	0.2356
6	14.9270	3.3823	0.5049
Average			0.6441

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ค่าร้อยละผลิตภัณฑ์ของไฮโดรคาร์บอน

$$\%HC \text{ Yield} = \frac{\%CO \text{ conversion} \times \%HC \text{ selectivity}}{100}$$

ตัวอย่างการคำนวณ ค่าร้อยละผลิตภัณฑ์ไฮโดรคาร์บอนของตัวเร่งปฏิกิริยา $CuZnOAl_2O_3 / \gamma-Al_2O_3$ ด้วยเทคนิคการผสมทางกายภาพ (Physical mixing)

- คัดที่ชั่วโมงที่ 1 ; ภายใต้อุณหภูมิ $T = 299 \text{ K}$ และ $P = 1.003 \text{ atm}$

จากภาคผนวก ข จะพบว่าค่า $\%CO \text{ conversion}$ มีค่า 37.97%

จากภาคผนวก ค จะพบว่าค่า $\%HC \text{ selectivity}$ มีค่า 5.37%

จากสูตร ; $\%DME \text{ Yield} = \frac{\%CO \text{ conversion} \times \%HC \text{ selectivity}}{100}$

$$= \frac{37.9739 \% \times 5.3698\%}{100}$$

$$= 2.0391\%$$

ชั่วโมง	%CO conversion	%HC selectivity	%HC Yield
1	37.9739	5.3698	2.0391
2	37.1976	8.2654	3.0745
3	37.0556	13.8080	5.1166
4	34.8501	18.7828	6.5458
5	16.0548	21.0587	3.3809
6	14.9270	21.9058	3.2699
Average			3.9045

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้