

ผลของผลึกคอปเปอร์ออกไซด์บนตัวเร่งปฏิกิริยาฐานคอปเปอร์
ต่อการสังเคราะห์ไดเมทิลอีเทอร์โดยตรงจากแก๊สสังเคราะห์

THE INFLUENCE OF CRYSTALLINE COPPER OXIDE ON
COPPER-BASED CATALYSTS TO DIRECT SYNTHESIS OF
DIMETHYL ETHER FROM SYNGAS



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2560

ผลของผลึกคอปเปอร์ออกไซด์บนตัวเร่งปฏิกิริยาฐานคอปเปอร์
ต่อการสังเคราะห์ไดเมทิลอีเทอร์โดยตรงจากแก๊สสังเคราะห์

THE INFLUENCE OF CRYSTALLINE COPPER OXIDE ON
COPPER-BASED CATALYSTS TO DIRECT SYNTHESIS OF
DIMETHYL ETHER FROM SYNGAS



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THE INFLUENCE OF CRYSTALLINE COPPER OXIDE ON
COPPER-BASED CATALYSTS TO DIRECT SYNTHESIS OF
DIMETHYL ETHER FROM SYNGAS



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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่ **ACADEMIC 2017** อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ

ผลของผลึกคอปเปอร์ออกไซด์บนตัวเร่งปฏิกิริยาฐานคอปเปอร์ต่อการสังเคราะห์ไดเมทิลอีเทอร์โดยตรงจากแก๊สสังเคราะห์
The Influence of Crystalline Copper Oxide on Copper-Based Catalysts to Direct Synthesis of Dimethyl Ether from Syngas

ชื่อนักศึกษา

นายบวรชัย เจริญธีรบูรณ์ รหัสนักศึกษา 57050446
นางสาวปรีภักดิ์ หอมจันทร์ รหัสนักศึกษา 57050453
นายอภิเดช สายสุวรรณ รหัสนักศึกษา 57050551

ปริญญา

วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)

ภาควิชา

เคมี

ปีการศึกษา

2560

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร. มন্ত্রী ทองคำ

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม) ประจำปีการศึกษา 2560

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
รศ.ดร.สมศักดิ์ วรมงคลชัย ประธานกรรมการ	
ดร.อำนาจ เพิ่มทรัพย์สกุล กรรมการ	
ผศ.ดร.มন্ত্রী ทองคำ กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	ผลของผลึกคอปเปอร์ออกไซด์บนตัวเร่งปฏิกิริยาฐานคอปเปอร์ต่อการสังเคราะห์ไดเมทิลอีเทอร์โดยตรงจากแก๊สสังเคราะห์	
ชื่อนักศึกษา	นายบวรชัย เจริญธีรบูรณ์	รหัสนักศึกษา 57050446
	นางสาวปรีภัท หอมจันทร์	รหัสนักศึกษา 57050453
	นายอภิเดช สายสุวรรณ	รหัสนักศึกษา 57050551
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)	
ภาควิชา	เคมี	
คณะ	วิทยาศาสตร์	
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)	
ปีการศึกษา	2560	
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร. มนตรี ทองคำ	

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้ทำการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีองค์ประกอบต่างกันทั้งหมด 5 ชนิด คือ คอปเปอร์ออกไซด์ (CuO), คอปเปอร์ออกไซด์ซิงค์ออกไซด์ (CuOZnO) ในอัตราส่วน 1:1 และ 2:1, คอปเปอร์ออกไซด์ซิงค์ออกไซด์อะลูมิเนียมออกไซด์ ($\text{CuOZnOAl}_2\text{O}_3$) และคอปเปอร์ออกไซด์ซิงค์ออกไซด์อะลูมิเนียมออกไซด์เซอร์โคเรเนียมออกไซด์ ($\text{CuOZnOAl}_2\text{O}_3\text{-Zr3\%}$) ด้วยวิธีการตกตะกอนร่วม (Co-precipitation Method) เพื่อศึกษาผลกระทบของผลึกคอปเปอร์ออกไซด์บนตัวเร่งปฏิกิริยาฐานคอปเปอร์ แล้วจึงนำตัวเร่งปฏิกิริยาไปพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยวิธีการเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และเครื่อง FT-IR และเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาฐานคอปเปอร์บนแกมมาอะลูมินา ($\text{CuZnOAl}_2\text{O}_3\text{ZrO}_2\text{:Y-Al}_2\text{O}_3$) ในอัตราส่วน 2:1 ด้วยวิธีการผสมกันทางกายภาพ (Physical mixing) แล้วจึงนำตัวเร่งปฏิกิริยาไปพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยการวัดพื้นที่ผิวและขนาดอนุภาครูพรุน โดยใช้ BET พบว่า ตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ออกไซด์ซิงค์ออกไซด์อะลูมิเนียมออกไซด์เซอร์โคเรเนียมออกไซด์ จะมีค่าพื้นที่ผิวสูงสุดคือ 195.1 ตารางเมตรต่อกรัม เมื่อนำตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมได้ไปใช้ในการสังเคราะห์ไดเมทิลอีเทอร์โดยตรงจากแก๊สสังเคราะห์ พบว่าการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ออกไซด์ซิงค์ออกไซด์อะลูมิเนียมออกไซด์เซอร์โคเรเนียมออกไซด์ จะให้ค่าร้อยละความจำเพาะต่อการเลือกเกิดไดเมทิลอีเทอร์ และร้อยละการเปลี่ยนแปลงของคาร์บอนมอนอกไซด์สูงสุด โดยมีค่า 90.78 mol% และ 71.71 mol% ตามลำดับ ซึ่งทำให้มีค่าร้อยละผลิตภัณฑ์ของไดเมทิลอีเทอร์ที่สูงที่สุดคือ 65.10 mol% เมื่อเทียบกับการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาตัวอื่นๆ

คำสำคัญ : ไดเมทิลอีเทอร์ การตกตะกอนร่วม การผสมกันทางกายภาพ แกมมาอะลูมินา

เอกสารนี้คอปเปอร์ออกไซด์ซิงค์ออกไซด์อะลูมิเนียมออกไซด์เซอร์โคเรเนียมออกไซด์ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	The Influence of Crystalline Copper Oxide on Copper-Based Catalysts to Direct Synthesis of Dimethyl Ether from Syngas	
Students	Mr. Bowornchai Chareonteraboon	Student ID 57050446
	Miss Preeyapath Homchun	Student ID 57050453
	Mr. Apidej Saisuwan	Student ID 57050451
Degree	Bachelor of Science (Industrial Chemistry)	
Department	Chemistry	
Faculty	Science	
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)	
Academic Year	2017	
Advisor	Asst.Prof.Dr. Montri Thongkam	

Abstract

This special project studied the influence of copper oxide crystalline in copper-based catalysts which have different compositions on dimethyl ether synthesis. The catalyst preparation was conducted in 5 types including CuO, CuO:ZnO ratio of 1:1, CuO:ZnO ratio of 2:1, CuO:ZnO:Al₂O₃ ratio of 6:3:1 and CuO:ZnO:Al₂O₃-ZrO₂3% ratio of 6:3:1:ZrO₂3% was prepared by co-precipitation method. The catalyst was identified by FT-IR and X-ray Diffraction analysis. The catalyst crystalline was also observed using Scanning Electron Microscope. After that, copper-based catalysts and γ -Al₂O₃ was prepared by physical mixing in the mole of copper-based catalysts to γ -Al₂O₃ ratio of 2:1. The catalysts were identified by surface area measurement and porous particle size using BET analysis. The CuO:ZnO:Al₂O₃-ZrO₂3% ratio of 6:3:1:ZrO₂3% had surface area 195.1 m²/g. The bifunctional type catalysts were used in direct dimethyl ether synthesis from synthesis gas. The result was shown that CuOZnOAl₂O₃-ZrO₂3% catalyst had DME selectivity percentage of 90.78 mol% and CO conversion percentage of 71.71 mol%. This was dominated the highest yield of 65.10 mol% DME compared to other catalysts.

Keywords : Dimethyl ether, Co-precipitation, Physical mixing, γ -Al₂O₃,

CuZnOAl₂O₃ZrO₂

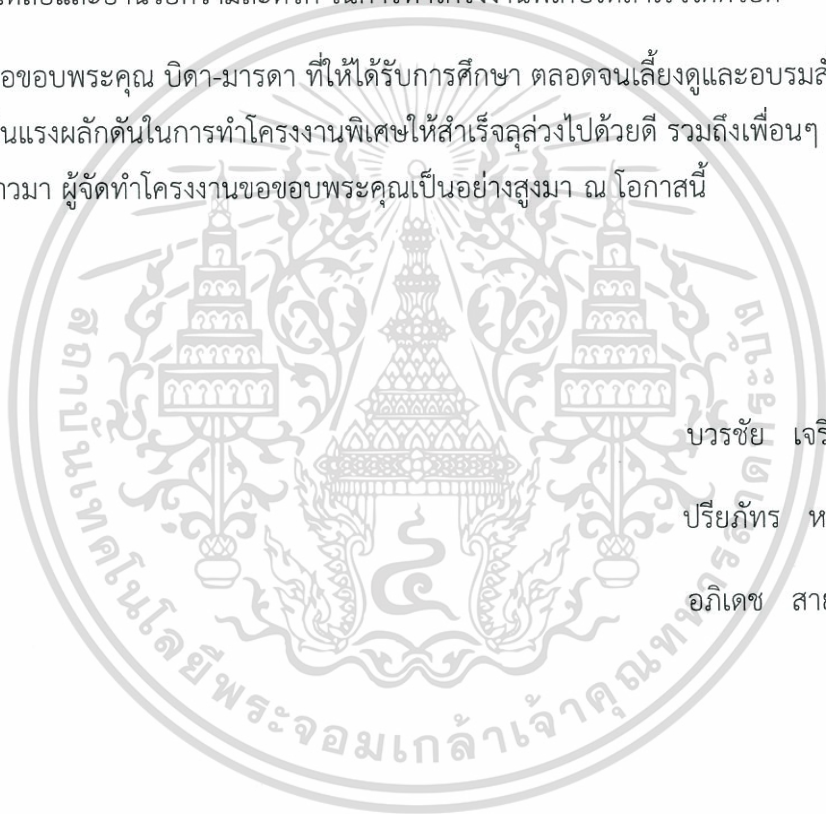
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องมาจากความกรุณาและความร่วมมือของทุกๆท่าน ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.มนตรี ทองคำ ที่คอยให้คำปรึกษาดูแลอย่างใกล้ชิด และให้ความช่วยเหลือแนะนำที่ดีในการปรับปรุงข้อบกพร่องในการทำโครงการพิเศษ และขอขอบพระคุณกรรมการสอบโครงการพิเศษ คือ รศ.ดร.สมศักดิ์ วรมงคลชัย และดร.อำนาจ เพิ่มทรัพย์สกุล ที่ให้ข้อคิดเห็นและคำแนะนำช่วยเหลือในการทำโครงการพิเศษให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการเคมี และเจ้าหน้าที่ห้องธุรการ สาขาวิชาเคมี ที่ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวก ในการทำโครงการพิเศษให้สำเร็จได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ บิดา-มารดา ที่ให้ได้รับการศึกษา ตลอดจนถึงเลี้ยงดูและอบรมสั่งสอน และเป็นกำลังใจเป็นแรงผลักดันในการทำโครงการพิเศษให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี รวมถึงเพื่อนๆ และบุคคลอื่นๆ ที่ไม่ได้กล่าวมา ผู้จัดทำโครงการขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้



บวรชัย เจริญธีรบุรณ

ปรียกัทร หอมจันทร์

อภิเดช สายสุวรรณ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูปภาพ.....	ญ
คำย่อ/สัญลักษณ์.....	ท
บทที่	หน้า
1. บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตงานวิจัย.....	2
1.4 วิธีการดำเนินงาน.....	4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับของโครงการวิจัย.....	4
2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 ไดม์ทิลอ์เทอร์.....	5
2.1.1 กระบวนการสังเคราะห์ไดม์ทิลอ์เทอร์.....	6
2.1.1.1 กระบวนการการผลิตแบบทางอ้อม.....	6
2.1.1.2 กระบวนการผลิตดีเอ็มอีแบบทางตรง.....	6
2.1.2 การใช้งานไดม์ทิลอ์เทอร์เป็นเชื้อเพลิง.....	7
2.1.2.1 ใช้เป็นเชื้อเพลิงเพื่อให้ความร้อน.....	7
2.1.2.2 ใช้เป็นเชื้อเพลิงในภาคการขนส่ง.....	7
2.1.3 การสังเคราะห์ไดม์ทิลอ์เทอร์จากแก๊สสังเคราะห์.....	8
2.2 เมทานอล (Methanol).....	10
2.2.1 สมบัติทางกายภาพของเมทานอล.....	10
2.2.2 กระบวนการผลิตเมทานอล.....	11
2.2.3 เครื่องปฏิกรณ์ที่ใช้การผลิตเมทานอล.....	13
2.2.4 พิษของเมทานอล.....	13
2.3 ตัวเร่งปฏิกิริยา.....	13
2.3.1 การเร่งปฏิกิริยา.....	14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
2.3.1.1 การเร่งปฏิกิริยาเอกพันธ์.....	13
2.3.1.2 การเร่งปฏิกิริยาวิธพันธ์.....	14
2.3.2 การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา.....	14
2.3.2.1 การตกตะกอนร่วม.....	14
2.3.2.2 การตกตะกอนร่วมแบบเอิบซูป.....	14
2.3.2.3 การผสมทางกายภาพ.....	15
2.3.2.4 กระบวนการโซลเจล.....	15
2.4 คอปเปอร์ออกไซด์.....	15
2.4.1 สมบัติทางกายภาพของคอปเปอร์ออกไซด์.....	15
2.5 ซิงค์ออกไซด์.....	16
2.5.1 สมบัติทางกายภาพของซิงค์ออกไซด์.....	16
2.6 อะลูมิเนียมออกไซด์.....	16
2.6.1 สมบัติทางกายภาพของอะลูมิเนียมออกไซด์.....	16
2.6.2 แกมมาอะลูมินา.....	17
2.7 เซอโคเนียมออกไซด์.....	18
2.7.1 สมบัติทางกายภาพของเซอโคเนียมออกไซด์.....	18
2.8 เทคนิคสำหรับการพิสูจน์เอกลักษณ์ และเครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์.....	18
2.8.1 X-ray Diffractometer (XRD).....	18
2.5.2 Scanning Electron Microscope (SEM).....	19
2.5.3 Fourier Transform Infrared Spectrometer (FT-IR).....	21
2.5.4 การวัดพื้นที่ผิวและขนาดอนุภาครูพรุน โดยใช้ BET.....	22
2.5.5 Gas Chromatography (GC).....	23
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	25
2.9.1 Direct synthesis of dimethyl ether from syngas on CuO-ZnO- MnO/SAPO-18 Bifunctional catalyst.....	25
2.9.2 Low-Temperature methanol dehydration to dimethyl ether over various small-pore zeolites.....	25
2.9.3 Direct synthesis of dimethyl ether from synthesis gas: Experimental study and mathematical modeling.....	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

บทที่

หน้า

2.9.4 Direct Synthesis of Dimethyl Ether from Carbon-Monoxide-Rich Synthesis Gas: Influence of Dehydration Catalyst and Operating Conditions.....	26
2.9.5 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	26
2.9.6 Effect of Metal Precursor on Cu/ZnO/Al ₂ O ₃ Synthesized by Flame Spray Pyrolysis for Direct DME Production.....	27
3. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง.....	28
3.1 อุปกรณ์การทดลอง.....	28
3.1.1 อุปกรณ์การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา.....	28
3.1.2 ชุดอุปกรณ์การสังเคราะห์ไดเมทิลอีเทอร์.....	28
3.2 เครื่องมือใช้ในการตรวจสอบเอกลักษณ์.....	29
3.3 แก๊สและสารเคมี.....	29
3.4 วิธีการทดลอง.....	30
3.4.1 การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาออกไซด์ของตัวเร่งทั้ง 5 แบบ โดยใช้วิธีการตกตะกอนร่วม.....	30
3.4.1.1 สังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยา CuO.....	30
3.4.1.2 สังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยา CuO-ZnO (อัตราส่วน 1:1).....	30
3.4.1.3 สังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยา CuO-ZnO (อัตราส่วน 2:1).....	31
3.4.1.4 สังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยา CuO-ZnO-Al ₂ O ₃	31
3.4.1.5 สังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยา CuO-ZnO-Al ₂ O ₃ -ZrO ₂ 3%.....	32
3.4.2 การเตรียมแกมมาอะลูมินา (γ -Al ₂ O ₃).....	32
3.4.3 เตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะออกไซด์บนแกมมาอะลูมินา.....	33
3.4.4 การสังเคราะห์ไดเมทิลอีเทอร์แบบทางตรง.....	33
3.5 การตรวจสอบเอกลักษณ์และเครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์.....	34
3.5.1 การวิเคราะห์ลักษณะผลึกและอสัณฐาน.....	34
3.5.2 การวิเคราะห์ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของสารในระดับจุลภาค.....	35
3.5.3 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของสาร.....	35
3.5.4 การวิเคราะห์พื้นที่ผิว.....	35
3.5.5 การวิเคราะห์การแยกสารตัวอย่างที่เป็นสารผสม.....	36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
บทที่ 4 ผลการวิจัย และการอภิปรายผล.....	37
4.1 การตรวจสอบเอกลักษณ์ตัวเร่งปฏิกิริยา.....	37
4.1.1 การวิเคราะห์โครงสร้างและความเป็นผลึกด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์.....	37
4.1.2 การวิเคราะห์ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของตัวเร่งปฏิกิริยาในระดับจุลภาพ.....	40
4.1.3 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของสารด้วยแสงอินฟราเรด.....	43
4.1.4 การวิเคราะห์พื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาด้วย BET.....	45
4.2 การศึกษาผลของตัวเร่งปฏิกิริยาในการสังเคราะห์ไดเมทิลอีเทอร์.....	46
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	52
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	52
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	53
เอกสารอ้างอิง.....	54
ภาคผนวก.....	58
ภาคผนวก ก.....	59
ภาคผนวก ข.....	67
ภาคผนวก ค.....	77
ภาคผนวก ง.....	92
ภาคผนวก จ.....	94
ภาคผนวก ฉ.....	101
คำรับรองเล่มโครงการพิเศษ.....	102

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 สมบัติทางกายภาพ และทางเชื้อเพลิงของไดเมทิลอีเทอร์และเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ.....	6
4.1 ผลวิเคราะห์พื้นที่ผิวปริมาตรรูพรุน และขนาดรูพรุนของตัวเร่งปฏิกิริยาทั้ง 5 แบบคือ คอปเปอร์ออกไซด์ (CuO), คอปเปอร์ออกไซด์ซิงค์ออกไซด์ (CuOZnO) ในอัตราส่วน 1:1, คอปเปอร์ออกไซด์ซิงค์ออกไซด์ (CuOZnO) ในอัตราส่วน 2:1, คอปเปอร์ออกไซด์ซิงค์ออกไซด์อะลูมิเนียมออกไซด์ (CuOZnOAl ₂ O ₃) ในอัตราส่วน 6:3:1, คอปเปอร์ออกไซด์ซิงค์ออกไซด์อะลูมิเนียมออกไซด์เซโคเนียมออกไซด์ (CuOZnOAl ₂ O ₃ -3%ZrO ₂) ในอัตราส่วน 6:3:1:3% ตัวเร่งทั้ง 5 แบบ บนแกมมาอะลูมินา และแกมมาอะลูมินา.....	45
4.2 ค่าเฉลี่ยร้อยละผลผลิตและค่าเฉลี่ยการเลือกเกิดเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆของการสังเคราะห์ไดเมทิลอีเทอร์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Cu, Cu-ZnO 1:1, Cu-ZnO 2:1, Cu-ZnO-Al ₂ O ₃ , Cu-ZnO-Al ₂ O ₃ -ZrO ₂ 3% บนแกมมาอะลูมินา.....	50
ข.1 ผลของการวิเคราะห์พื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ออกไซด์บนแกมมาอะลูมินา (CuO / γ -Al ₂ O ₃).....	67
ข.2 ผลของการวิเคราะห์พื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ออกไซด์ซิงค์ออกไซด์ในอัตราส่วน 1:1 บนแกมมาอะลูมินา (CuO-ZnO (1:1) / γ -Al ₂ O ₃).....	69
ข.3 ผลของการวิเคราะห์พื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ออกไซด์ซิงค์ออกไซด์ในอัตราส่วน 2:1 บนแกมมาอะลูมินา (CuO-ZnO (2:1) / γ -Al ₂ O ₃).....	71
ข.4 ผลของการวิเคราะห์พื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ออกไซด์ซิงค์ออกไซด์อะลูมิเนียมออกไซด์ บนแกมมาอะลูมินา (CuO-ZnO-Al ₂ O ₃ / γ -Al ₂ O ₃).....	73
ข.5 ผลของการวิเคราะห์พื้นที่ผิวตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ออกไซด์ซิงค์ออกไซด์อะลูมิเนียมออกไซด์เซโคเนียม 3% บนแกมมาอะลูมินา (CuO-ZnO-Al ₂ O ₃ -3%Zr / γ -Al ₂ O ₃).....	75
ค.1 %CO Conversion ของตัวเร่งปฏิกิริยา Cu / γ -Al ₂ O ₃	77
ค.2 %Selectivity ของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสังเคราะห์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Cu / γ -Al ₂ O ₃	78
ค.3 %Yield ของไดเมทิลอีเทอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Cu / γ -Al ₂ O ₃	79
ค.4 %CO Conversion ของตัวเร่งปฏิกิริยา CuZnO (1:1) / γ -Al ₂ O ₃	80
ค.5 %Selectivity ของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสังเคราะห์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา CuZnO (1:1) / γ -Al ₂ O ₃	81
ค.6 %Yield ของไดเมทิลอีเทอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา CuZnO (1:1) / γ -Al ₂ O ₃	82
ค.7 %CO Conversion ของตัวเร่งปฏิกิริยา CuZnO (2:1) / γ -Al ₂ O ₃	83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ค.8 %Selectivity ของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสังเคราะห์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา CuZnO (2:1) / γ -Al ₂ O ₃	84
ค.9 %Yield ของไดเมทิลอีเทอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา CuZnO (2:1) / γ -Al ₂ O ₃	85
ค.10 %CO Conversion ของตัวเร่งปฏิกิริยา CuZnOAl ₂ O ₃ / γ -Al ₂ O ₃	86
ค.11 %Selectivity ของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสังเคราะห์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา CuZnOAl ₂ O ₃ / γ -Al ₂ O ₃	87
ค.12 %Yield ของไดเมทิลอีเทอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา CuZnOAl ₂ O ₃ / γ -Al ₂ O ₃	88
ค.13 %CO Conversion ของตัวเร่งปฏิกิริยา CuZnOAl ₂ O ₃ -Zr3% / γ -Al ₂ O ₃	89
ค.14 %Selectivity ของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสังเคราะห์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา CuZnOAl ₂ O ₃ -Zr3% / γ -Al ₂ O ₃	90
ค.15 %Yield ของไดเมทิลอีเทอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา CuZnOAl ₂ O ₃ -Zr3% / γ -Al ₂ O ₃	91
ง.1 แสดง %CO Conversion ของ CuO/ γ -Al ₂ O ₃	93
จ.1 แสดง %DME Selectivity ของ Cu / γ -Al ₂ O ₃	96
จ.2 แสดง %MeOH Selectivity ของ Cu / γ -Al ₂ O ₃	98
จ.3 แสดง %Hydrocarbon Selectivity ของ Cu / γ -Al ₂ O ₃	100
ฉ.1 แสดง %DME Yield ของ Cu / γ -Al ₂ O ₃	101

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 โครงสร้างโมเลกุลของไดเมทิลอีเทอร์.....	5
2.2 กระบวนการผลิตไดเมทิลอีเทอร์แบบทางอ้อม.....	6
2.3 กระบวนการผลิตไดเมทิลอีเทอร์แบบทางตรง.....	7
2.4 คอปเปอร์ออกไซด์.....	15
2.5 ซิงค์ออกไซด์.....	16
2.6 อะลูมิเนียมออกไซด์.....	17
2.7 แกมมาอะลูมินา.....	17
2.8 เซอโคเนียมออกไซด์.....	18
2.9 เครื่อง X-ray Diffractometer.....	19
2.10 เครื่อง Scanning Electron Microscope.....	21
2.11 เครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrometer.....	22
2.12 เครื่องวัดพื้นที่ผิวและขนาดอนุภาครูพรุน.....	23
2.13 หลักการทำงานเครื่อง Gas Chromatography.....	24
3.1 เครื่องอัดเม็ด.....	33
3.2 ชุดเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง (Fixed-bed reactor).....	34
4.1 กราฟแสดงโครงสร้างผลึกมาตรฐานของคอปเปอร์ออกไซด์, ซิงค์ออกไซด์, อะลูมิเนียมออกไซด์ และ เซอโคเนียมออกไซด์.....	37
4.2 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของกราฟ (a) CuO (b) CuO-ZnO อัตราส่วน 1:1 (c) CuO-ZnO อัตราส่วน 2:1 (d) CuO-ZnO-Al ₂ O ₃ อัตราส่วน 6:3:1 (e) CuO-ZnO- Al ₂ O ₃ -ZrO ₂ อัตราส่วน 6:3:1:3%.....	38
4.3 กราฟแสดงโครงสร้างผลึกของตัวเร่งปฏิกิริยาแกมมาอะลูมินา เทียบกับโครงสร้างผลึกมาตรฐานของแกมมาอะลูมินา.....	39
4.4 รูปร่างสัณฐานวิทยาของตัวเร่งปฏิกิริยากอปเปอร์ออกไซด์ที่กำลังขยาย 5000 เท่า (ก) และที่กำลังขยาย 1000 เท่า (ข).....	40
4.5 รูปร่างสัณฐานวิทยาของตัวเร่งปฏิกิริยากอปเปอร์ออกไซด์ซิงค์ออกไซด์อัตราส่วนแบบ 1:1 ที่กำลังขยาย 5000 เท่า (ก) และที่กำลังขยาย 1000 เท่า (ข).....	40
4.6 รูปร่างสัณฐานวิทยาของตัวเร่งปฏิกิริยากอปเปอร์ออกไซด์ซิงค์ออกไซด์อัตราส่วนแบบ 2:1 ที่กำลังขยาย 5000 เท่า (ก) และที่กำลังขยาย 1000 เท่า (ข).....	41
4.7 รูปร่างสัณฐานวิทยาของตัวเร่งปฏิกิริยากอปเปอร์ออกไซด์ซิงค์ออกไซด์อะลูมิเนียมออกไซด์อัตราส่วนแบบ 6:3:1 ที่กำลังขยาย 5000 เท่า (ก) และที่กำลังขยาย 1000 เท่า (ข).....	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.8 รูปร่างสัณฐานวิทยาของตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ออกไซด์ซิงค์ออกไซด์อะลูมิเนียมออกไซด์ เซอโคเนียมออกไซด์อัตราส่วนแบบ 6:3:1:3% ที่กำลังขยาย 5000 เท่า (ก) และที่กำลังขยาย 1000.....	42
4.9 รูปร่างสัณฐานวิทยาของแกมมาอะลูมินา ที่กำลังขยาย 5000 เท่า (ก) และที่กำลังขยาย 1000 เท่า (ข).....	42
4.10 อินฟราเรดสเปกตร้าของตัวเร่งปฏิกิริยากราฟ (a) CuO (b) CuO-ZnO อัตราส่วน 1:1 (c) CuO-ZnO อัตราส่วน 2:1 (d) CuO-ZnO-Al ₂ O ₃ อัตราส่วน 6:3:1 (e) CuO-ZnO- Al ₂ O ₃ - ZrO ₂ อัตราส่วน 6:3:1:3% ด้วยวิธีผสมแบบต่างๆในช่วงเลขคลื่น 4000-400 cm ⁻¹	43
4.11 อินฟราเรดสเปกตร้าของตัวเร่งปฏิกิริยาแกมมาอะลูมินา (γ-Al ₂ O ₃) ในช่วงเลขคลื่น 4000-400 cm ⁻¹	44
4.12 กราฟแสดงค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์กับเวลาในการทำปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยา Cu, CuZnO 1:1, CuZnO 2:1, CuZnOAl ₂ O ₃ , CuZnOAl ₂ O ₃ Zr3% บนแกมมาอะลูมินา.....	47
4.13 กราฟแสดงค่าร้อยละการเลือกเกิดเป็นไดเมทิลอีเทอร์กับเวลาในการทำปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยา Cu, CuZnO 1:1, CuZnO 2:1, CuZnOAl ₂ O ₃ , CuZnOAl ₂ O ₃ Zr3% บนแกมมาอะลูมินา.....	48
4.14 กราฟแสดงค่าร้อยละการเลือกเกิดเป็นเมทานอลกับเวลาในการทำปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยา Cu, CuZnO 1:1, CuZnO 2:1, CuZnOAl ₂ O ₃ , CuZnOAl ₂ O ₃ Zr3% บนแกมมาอะลูมินา.....	48
4.15 กราฟแสดงค่าร้อยละการเลือกเกิดเป็นผลิตภัณฑ์รองกับเวลาในการทำปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยา Cu, CuZnO 1:1, CuZnO 2:1, CuZnOAl ₂ O ₃ , CuZnOAl ₂ O ₃ Zr3% บนแกมมาอะลูมินา.....	49
4.16 กราฟแสดงค่าร้อยละผลิตภัณฑ์ไดเมทิลอีเทอร์กับเวลาในการทำปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยา Cu, CuZnO 1:1, CuZnO 2:1, CuZnOAl ₂ O ₃ , CuZnOAl ₂ O ₃ Zr3% บนแกมมาอะลูมินา.....	49
ข.1 กราฟการวิเคราะห์พื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ออกไซด์บนแกมมาอะลูมินา (CuO / γ-Al ₂ O ₃).....	68
ข.2 กราฟการวิเคราะห์พื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ออกไซด์ซิงค์ออกไซด์ในอัตราส่วน 1:1 บนแกมมาอะลูมินา (CuO-ZnO (1:1) / γ-Al ₂ O ₃).....	70
ข.3 กราฟการวิเคราะห์พื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ออกไซด์ซิงค์ออกไซด์ในอัตราส่วน 2:1 บนแกมมาอะลูมินา (CuO-ZnO (2:1) / γ-Al ₂ O ₃).....	72

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่

หน้า

ข.4 กราฟการวิเคราะห์พื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ออกไซด์ซิงค์ออกไซด์อะลูมิเนียมออกไซด์ บนแกมมาอะลูมินา ($\text{CuO-ZnO-Al}_2\text{O}_3 / \text{Y-Al}_2\text{O}_3$).....	74
ข.5 กราฟการวิเคราะห์พื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ออกไซด์ซิงค์ออกไซด์อะลูมิเนียมออกไซด์เซอโคเนียม 3% บนแกมมาอะลูมินา ($\text{CuO-ZnO-Al}_2\text{O}_3\text{-3\%Zr} / \text{Y-Al}_2\text{O}_3$).....	76
ค.1 %CO Conversion ของตัวเร่งปฏิกิริยา $\text{Cu} / \text{Y-Al}_2\text{O}_3$ โดยตัวเร่งปฏิกิริยาปริมาณ 0.5 กรัม และอัตราการไหลของแก๊สสังเคราะห์คือ 20 ml/min.....	77
ค.2 %Selectivity ของไดเมทิลอีเทอร์ เมทานอล และไฮโดรคาร์บอนที่ได้จากการสังเคราะห์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา $\text{Cu} / \text{Y-Al}_2\text{O}_3$ โดยตัวเร่งปฏิกิริยาปริมาณ 0.5 กรัม และอัตราการไหลของแก๊สสังเคราะห์คือ 20 ml/min.....	78
ค.3 %Yield ของไดเมทิลอีเทอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา $\text{Cu} / \text{Y-Al}_2\text{O}_3$ โดยตัวเร่งปฏิกิริยาปริมาณ 0.5 กรัม และอัตราการไหลของแก๊สสังเคราะห์คือ 20 ml/min.....	79
ค.4 %CO Conversion ของตัวเร่งปฏิกิริยา $\text{CuZnO (1:1)} / \text{Y-Al}_2\text{O}_3$ โดยตัวเร่งปฏิกิริยาปริมาณ 0.5 กรัม และอัตราการไหลของแก๊สสังเคราะห์คือ 20 ml/min.....	80
ค.5 %Selectivity ของไดเมทิลอีเทอร์ เมทานอล และไฮโดรคาร์บอนที่ได้จากการสังเคราะห์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา $\text{CuZnO (1:1)} / \text{Y-Al}_2\text{O}_3$ โดยตัวเร่งปฏิกิริยาปริมาณ 0.5 กรัม และอัตราการไหลของแก๊สสังเคราะห์คือ 20 ml/min.....	81
ค.6 %Yield ของไดเมทิลอีเทอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา $\text{CuZnO (1:1)} / \text{Y-Al}_2\text{O}_3$ โดยตัวเร่งปฏิกิริยาปริมาณ 0.5 กรัม และอัตราการไหลของแก๊สสังเคราะห์คือ 20 ml/min.....	82
ค.7 %CO Conversion ของตัวเร่งปฏิกิริยา $\text{CuZnO (2:1)} / \text{Y-Al}_2\text{O}_3$ โดยตัวเร่งปฏิกิริยาปริมาณ 0.5 กรัม และอัตราการไหลของแก๊สสังเคราะห์คือ 20 ml/min.....	83
ค.8 %Selectivity ของไดเมทิลอีเทอร์ เมทานอล และไฮโดรคาร์บอนที่ได้จากการสังเคราะห์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา $\text{CuZnO (2:1)} / \text{Y-Al}_2\text{O}_3$ โดยตัวเร่งปฏิกิริยาปริมาณ 0.5 กรัม และอัตราการไหลของแก๊สสังเคราะห์คือ 20 ml/min.....	84
ค.9 %Yield ของไดเมทิลอีเทอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา $\text{CuZnO (2:1)} / \text{Y-Al}_2\text{O}_3$ โดยตัวเร่งปฏิกิริยาปริมาณ 0.5 กรัม และอัตราการไหลของแก๊สสังเคราะห์คือ 20 ml/min.....	85
ค.10 %CO Conversion ของตัวเร่งปฏิกิริยา $\text{CuZnOAl}_2\text{O}_3 / \text{Y-Al}_2\text{O}_3$ โดยตัวเร่งปฏิกิริยาปริมาณ 0.5 กรัม และอัตราการไหลของแก๊สสังเคราะห์คือ 20 ml/min.....	86

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ค.11 %Selectivity ของไดเมทิลอีเทอร์ เมทานอล และไฮโดรคาร์บอนที่ได้จากการสังเคราะห์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา $\text{CuZnOAl}_2\text{O}_3 / \gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ โดยตัวเร่งปฏิกิริยาปริมาณ 0.5 กรัม และอัตราการไหลของแก๊สสังเคราะห์คือ 20 ml/min.....	87
ค.12 %Yield ของไดเมทิลอีเทอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา $\text{CuZnOAl}_2\text{O}_3 / \gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ โดยตัวเร่งปฏิกิริยาปริมาณ 0.5 กรัม และอัตราการไหลของแก๊สสังเคราะห์คือ 20 ml/min.....	88
ค.13 %CO Conversion ของตัวเร่งปฏิกิริยา $\text{CuZnOAl}_2\text{O}_3\text{-Zr3\%} / \gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ โดยตัวเร่งปฏิกิริยาปริมาณ 0.5 กรัม และอัตราการไหลของแก๊สสังเคราะห์คือ 20 ml/min.....	89
ค.14 %Selectivity ของไดเมทิลอีเทอร์ เมทานอล และไฮโดรคาร์บอนที่ได้จากการสังเคราะห์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา $\text{CuZnOAl}_2\text{O}_3\text{-Zr3\%} / \gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ โดยตัวเร่งปฏิกิริยาปริมาณ 0.5 กรัม และอัตราการไหลของแก๊สสังเคราะห์คือ 20 ml/min.....	90
ค.15 %Yield ของไดเมทิลอีเทอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา $\text{CuZnOAl}_2\text{O}_3\text{-Zr3\%} / \gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ โดยตัวเร่งปฏิกิริยาปริมาณ 0.5 กรัม และอัตราการไหลของแก๊สสังเคราะห์คือ 20 ml/min.....	91

คำย่อ/สัญลักษณ์

คำย่อ/สัญลักษณ์	คำอธิบาย
C	คอปเปอร์ออกไซด์
Z	ซิงค์ออกไซด์
A	อะลูมิเนียมออกไซด์
Z*	เซอโคเนียมออกไซด์
A*	แกมมาอะลูมินา
HC	ไฮโดรคาร์บอน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ในปัจจุบันพลังงานจากธรรมชาติที่ใช้กันอยู่นั้นมีอยู่อย่างจำกัดใช้แล้วเริ่มหมดไปเร็วกว่าที่ธรรมชาติจะสร้างขึ้นได้ทัน จึงจำเป็นต้องหาพลังงานที่เข้ามาช่วยชะลอการใช้พลังงานที่มีอยู่อย่างจำกัด เพื่อแก้ไขปัญหาพลังงานที่จะหมดไป และต้องเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม นั่นคือไดเมทิลอีเทอร์ หรือ DME (Dimethyl Ether : DME) มีสูตรทางเคมีคือ C_2H_6O เป็นสารประกอบประเภท อีเทอร์ ใช้เป็นเชื้อเพลิงแทนน้ำมันดีเซลและแก๊สหุงต้มได้ คุณสมบัติเป็นแก๊สที่อุณหภูมิห้อง และความดันบรรยากาศ มีค่าซีเทน (Cetane number) 55-60 ซึ่งมีค่าซีเทนที่สูงกว่าน้ำมันดีเซล ที่มีค่าซีเทน 40-55 อุณหภูมิติดไฟอัตโนมัติ (Auto-ignition temperature) เกิดที่อุณหภูมิต่ำ เมื่อเกิดการเผาไหม้สร้างมลพิษน้อยกว่าน้ำมันดีเซล และลดเสียงการทำงานของเครื่องยนต์

ในการสังเคราะห์ไดเมทิลอีเทอร์ทางอ้อม อันดับแรกจะเป็นสังเคราะห์เมทานอลจากแก๊สสังเคราะห์ที่ประกอบไปด้วยแก๊สไฮโดรเจน และแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ บนตัวเร่งที่ประกอบไปด้วยทองแดงและสังกะสี ในขั้นตอนนี้จะเกิดการเกิดเมทานอลที่ต่ำ จากนั้นจะเกิดปฏิกิริยาดังน้ำออกจากเมทานอล เรียกว่ากระบวนการ Dehydration ในขั้นตอนที่สอง ซึ่งการสังเคราะห์ไดเมทิลอีเทอร์แบบทางอ้อมนั้นจะมีความยุ่งยาก ใช้เวลานาน และต้นทุนการผลิตที่สูง ประกอบกับสารละลายเมทานอลที่ผลิตได้จากขั้นตอนแรกเป็นสารระเหยที่มีอันตรายต่อร่างกาย จึงมีการวิจัยและพัฒนากระบวนการผลิตไดเมทิลอีเทอร์ เป็นการสังเคราะห์ไดเมทิลอีเทอร์ทางตรง เป็นแบบขั้นตอนเดียว ได้อัตราการเกิดผลิตภัณฑ์เป็นไดเมทิลอีเทอร์ที่สูง การเกิดไดเมทิลอีเทอร์ทางตรงจากแก๊สสังเคราะห์ ประกอบด้วยสามปฏิกิริยา คือ



จะได้ปฏิกิริยาหลักที่เกิดขึ้น คือ



ในการผลิตไดเมทิลอีเทอร์จากแก๊สสังเคราะห์นิยมใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบไบฟังก์ชัน (Bifunctional catalyst) ซึ่งประกอบด้วย 2 ส่วนประกอบหลัก คือตัวเร่งปฏิกิริยาในการเกิดการสังเคราะห์เมทานอลจะใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาฐานคอปเปอร์ และตัวเร่งปฏิกิริยาในการเกิดปฏิกิริยาดังน้ำออกจากเมทานอล เพื่อลดการเกิดไฮโดรคาร์บอน (Hydrocarbon)

งานวิจัยนี้มุ่งศึกษาการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาสำหรับการสังเคราะห์ไดเมทิลอีเทอร์จากแก๊สสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มี CuO เป็นส่วนประกอบเพื่อเปรียบเทียบการเกิดไดเมทิลอีเทอร์ CuO,

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CuO-ZnO, CuO-ZnO-Al₂O₃, CuO-ZnO-Al₂O₃-Zr3% โดยวิธีตกตะกอนร่วม (Co-precipitation) แล้วนำไปผสมกับ γ -Al₂O₃ แกมมาอะลูมินา ด้วยวิธีการ physical mixing

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาการเตรียม CuO, CuO-ZnO, CuO-ZnO-Al₂O₃, CuO-ZnO-Al₂O₃-Zr3% ด้วยการตกตะกอนร่วม

1.2.2 เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบผลของตัวเร่งปฏิกิริยาฝั่งโลหะที่มี CuO เป็นส่วนประกอบ

1.2.3 เพื่อพิสูจน์เอกลักษณ์ของตัวเร่งปฏิกิริยาที่สังเคราะห์ได้

1.2.4 เพื่อเปรียบเทียบปริมาณและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ไดเมทิลอีเทอร์ที่สังเคราะห์ได้จากตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียม

1.2.5 เพื่อศึกษาผลของการสังเคราะห์ไดเมทิลอีเทอร์โดยตรงจากแก๊สสังเคราะห์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา CuZnOAl₂O₃ / γ -Al₂O₃ ที่เตรียมได้ โดยวิธีผสมกันทางกายภาพและวิธีตกตะกอนร่วม

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1.3.1 การศึกษาการเตรียมตัวเร่ง CuO, CuO-ZnO, CuO-ZnO-Al₂O₃, CuO-ZnO-Al₂O₃-Zr3% มีวิธีการควบคุมสภาวะดังนี้

1.3.1.1 การเตรียม CuO

- สารตั้งต้นที่ใช้คอปเปอร์ไนเตรต (Cu(NO₃)₂ · 3H₂O)
- สารตกตะกอนที่ใช้ คือ โซเดียมคาร์บอเนต (Na₂CO₃)
- สภาวะของการตกตะกอนที่ต้องควบคุมคือ อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส, ค่าความเป็นกรด เบส(pH)เท่ากับ 7 อุณหภูมิการเผา 350 องศาเซลเซียส
- นำมาผสมรวมกับตัวเร่ง γ -Al₂O₃ ด้วยอัตราส่วนระหว่างตัวเร่งฝั่งโลหะกับตัวเร่งฝั่งกรด เป็น 2:1

1.3.1.2 การเตรียม CuO-ZnO

- สารตั้งต้นที่ใช้คอปเปอร์ไนเตรต(Cu(NO₃)₂·3H₂O)และ ซิงค์ไนเตรต (Zn(NO₃)₂ · 6H₂O)
- อัตราส่วน Cu:Zn คือ 1:1 และ 2:1
- สารตกตะกอนที่ใช้ คือ โซเดียมคาร์บอเนต (Na₂CO₃)
- สภาวะของการตกตะกอนที่ต้องควบคุมคือ อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส, ค่าความเป็นกรด เบส (pH) เท่ากับ 7 อุณหภูมิการเผา 350 องศาเซลเซียส
- นำมาผสมรวมกับตัวเร่ง γ -Al₂O₃ ด้วยอัตราส่วนระหว่างตัวเร่งฝั่งโลหะกับตัวเร่งฝั่งกรด เป็น 2:1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3.1.3 การเตรียม CuO-ZnO-Al₂O₃

- สารตั้งต้นที่ใช้คอปเปอร์ไนเตรต (Cu(NO₃)₂·3H₂O), ซิงค์ไนเตรต (Zn(NO₃)₂ · 6H₂O) และ อะลูมิเนียมไนเตรต (Al(NO₃)₃ · 9H₂O)
- สารตกตะกอนที่ใช้ คือ โซเดียมคาร์บอเนต (Na₂CO₃)
- อัตราส่วนโดยโมลของ Cu:Zn:Al คือ 6:3:1
- สภาพะของการตกตะกอนที่ต้องควบคุมคือ อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส, ค่าความเป็นกรด เบส(pH) เท่ากับ 7 อุณหภูมิการเผา 350 องศาเซลเซียส
- นำมาบดผสมรวมกับตัวเร่ง γ -Al₂O₃ ด้วยอัตราส่วนระหว่างตัวเร่งฝั่งโลหะกับตัวเร่งฝั่งกรด เป็น 2:1

1.3.1.4 การเตรียม CuO-ZnO-Al₂O₃-Zr3%

- สารตั้งต้นที่ใช้คอปเปอร์ไนเตรต (Cu(NO₃)₂·3H₂O), ซิงค์ไนเตรต (Zn(NO₃)₂·6H₂O), อะลูมิเนียมไนเตรต (Al(NO₃)₃ · 9H₂O) และ เซอโคเนียมออกซีคลอไรด์ (ZrOCl₂ · 8H₂O)
- สารตกตะกอนที่ใช้ คือ โซเดียมคาร์บอเนต (Na₂CO₃)
- อัตราส่วนโดยโมลของ Cu:Zn:Al คือ 6:3:1 และ เจือเซอโคเนียม 3%
- สภาพะของการตกตะกอนที่ต้องควบคุมคือ อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส, ค่าความเป็นกรด-เบส(pH) เท่ากับ 7 อุณหภูมิการเผา 350 องศาเซลเซียส
- นำมาบดผสมรวมกับตัวเร่ง γ -Al₂O₃ ด้วยอัตราส่วนระหว่างตัวเร่งฝั่งโลหะกับตัวเร่งฝั่งกรด เป็น 2:1

1.3.2 พิสูจน์เอกลักษณ์ของตัวเร่งปฏิกิริยาที่สังเคราะห์ได้ด้วยวิธีการต่างๆดังต่อไปนี้

- ตรวจสอบความเป็นผลึกด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD)
- ตรวจสอบเทคนิคการกระตุ้นสารด้วยพลังงานแสงอินฟราเรดบอกหมู่ฟังก์ชันในสาร (FT-IR)
- ตรวจสอบศึกษาสัณฐานและรายละเอียดของลักษณะพื้นผิวของตัวอย่าง (SEM)
- ตรวจสอบพื้นที่ผิวและขนาดอนุภาครูพรุน โดยใช้ BET (The Brunauer-Emmett-Teller)

1.3.3 การเปรียบเทียบความสามารถในการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาเมื่อนำไปสังเคราะห์ไดเมทิลอีเทอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3.4 การสังเคราะห์ไดเมทิลอีเทอร์ ในเครื่องปฏิกรณ์แบบเบตนิ่ง (Fixed bed reactor) ภายใต้สภาวะดังนี้

- รีดิทซ์ตัวเร่งปฏิกิริยาด้วย 100% H_2 ที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
- อุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยา (Reactor temperature) 250 องศาเซลเซียส
- ความดัน (Pressure) 40 บาร์
- เวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา (Reaction time) 6 ชั่วโมง
- อัตราการไหล (Flow rate) 20 มิลลิลิตรต่อนาที
- ใช้แก๊สสังเคราะห์เป็นสารตั้งต้น ($H_2 : CO = 1 : 1$)
- อัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยาต่ออัตราการไหลของแก๊สสังเคราะห์ (W/F) $10.20 \text{ g.h.mol}^{-1}$

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

1.4 วิธีการดำเนินงาน

1.4.1 ศึกษาและค้นคว้าเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาออกไซด์ สำหรับใช้กับการสังเคราะห์ไดเมทิลอีเทอร์

1.4.2 วางแผนการดำเนินงาน จัดเตรียมเครื่องมือ อุปกรณ์ และสารเคมี

1.4.3 เตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาออกไซด์ของโลหะ และนำตัวเร่งปฏิกิริยาที่ได้มาผสมกับ

$\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ ด้วยวิธีการบดผสมกัน

1.4.4 ตรวจสอบคุณสมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยา

1.4.5 นำตัวเร่งปฏิกิริยาไปสังเคราะห์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบเบตนิ่งตามสภาวะที่กำหนดไว้

1.4.6 วิเคราะห์ข้อมูล สรุป และวิจารณ์ผลการทดลอง

1.4.7 สรุปผลการทดลองเขียนเป็นรายงาน

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับของโครงการวิจัย

1.5.1 สามารถสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยา เพื่อใช้ในการสังเคราะห์ไดเมทิลอีเทอร์

1.5.2 สามารถสังเคราะห์ไดเมทิลอีเทอร์เพื่อนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับรถยนต์โดยไม่ก่อมลพิษให้กับสิ่งแวดล้อม

1.5.3 สามารถนำมาวิจัยและพัฒนาตัวเร่งของปฏิกิริยาที่สังเคราะห์ได้ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

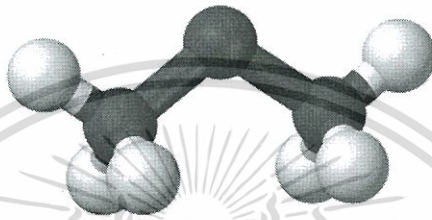
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1. ไดเมทิลอีเทอร์ (Dimethyl Ether) [1]

ไดเมทิลอีเทอร์ (Dimethyl Ether หรือ DME) หรือชื่อเรียกตามระบบ IUPAC ว่า เมทอกซีมีเทน (Methoxymethane) มีสูตรทางเคมี คือ C_2H_6O หรือเขียนเป็น CH_3OCH_3 มีการเรียงตัวในโมเลกุลดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 โครงสร้างโมเลกุลของไดเมทิลอีเทอร์ [2]

เป็นแก๊สที่มีคุณสมบัติไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ที่อุณหภูมิห้องและความดันบรรยากาศ ทั้งนี้คุณสมบัติของไดเมทิลอีเทอร์จะคล้ายคลึงกับก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) กล่าวคือมีจุดเดือด ณ ความดันบรรยากาศที่ -25 องศาเซลเซียส จึงสามารถทำให้อยู่ในรูปของเหลวได้ง่าย ไดเมทิลอีเทอร์เป็นสารประกอบอินทรีย์ กลุ่มระเหยง่าย (Volatile Organic compound) แต่เมื่อนำมาใช้งานจะเกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ ไม่เกิดเขม่า ไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม และจัดว่าไดเมทิลอีเทอร์เป็นพลังงานเชื้อเพลิงที่มีประสิทธิภาพสูง

ไดเมทิลอีเทอร์เป็นสารประกอบอีเทอร์ที่มีขนาดเล็กที่สุด จึงสามารถทำให้เป็นของเหลวได้เมื่ออัดไว้ภายใต้ความดันสูง และไดเมทิลอีเทอร์สามารถลุกติดไฟได้ จึงสามารถใช้ทดแทนแก๊สปิโตรเลียมเหลวได้ในบางกรณี นอกจากนี้ไดเมทิลอีเธอร์ยังมีคุณสมบัติบางอย่างใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลอีกด้วย เช่น ผสมไดเมทิลอีเทอร์ปริมาณ 20wt% ลงในแก๊สปิโตรเลียมเหลว จะพบว่าสามารถนำแก๊สผสมนี้ไปใช้ในครัวเรือนได้ และสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็ก หรือเครื่องผลิตกระแสไฟฟ้าได้ จึงนำไดเมทิลอีเทอร์มาเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพกับเชื้อเพลิงชนิดต่างๆที่ใช้ในปัจจุบัน ดังแสดงในตารางที่ 2.1 [3]

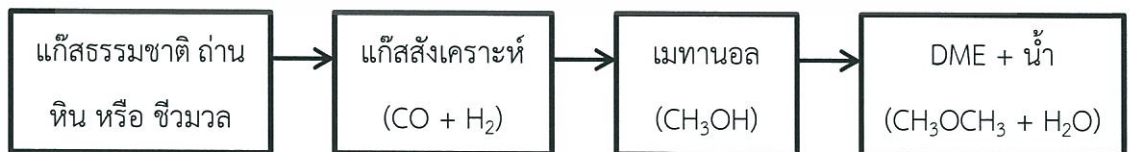
ตารางที่ 2.1 สมบัติทางกายภาพ และทางเชื้อเพลิงของไดเมทิลอีเทอร์และเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ [3]

สมบัติทางกายภาพ	DME	มีเทน	เมทานอล	โพรเพน	น้ำมันดีเซล
สูตรโมเลกุล	CH_3OCH_3	CH_4	CH_3OH	C_3H_8	$\text{C}_{14}\text{-C}_{19}$
มวลโมเลกุล (กรัมต่อโมล)	46.07	16.04	32.04	44.10	-
ความถ่วงจำเพาะ (ที่ 20 องศาเซลเซียส)	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
จุดวาบไฟ (องศาเซลเซียส)	-41.11	-188	11	-104	93
ค่าพลังงานความร้อน (กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม)	6,900	12,000	4,800	11,100	10,000

2.1.1 กระบวนการสังเคราะห์ไดเมทิลอีเทอร์ [1]

วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตไดเมทิลอีเทอร์ ได้แก่ แก๊สธรรมชาติ ถ่านหิน หรือชีวมวล โดยกระบวนการผลิตสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 วิธี คือ

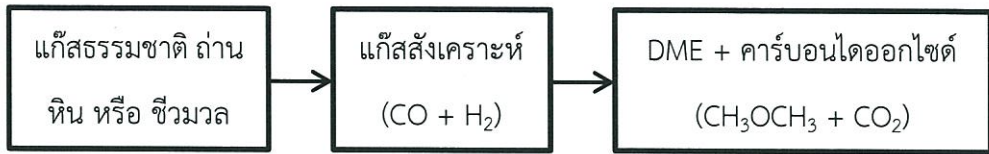
2.1.1.1 การผลิตแบบทางอ้อมโดยผ่านกระบวนการดีไฮเดรชันของเมทานอล การผลิตวิธีนี้เป็นวิธีที่ใช้กันโดยทั่วไป โดยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ และก๊าซไฮโดรเจน (ก๊าซสังเคราะห์) ที่ได้จากกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันของถ่านหินหรือชีวมวล หรือจากกระบวนการรีฟอร์มมิงของแก๊สธรรมชาติ จะถูกนำมาทำปฏิกิริยากันเพื่อผลิตเมทานอล จากนั้นเมทานอลจะเกิดปฏิกิริยาควบแน่นเกิดเป็นไดเมทิลอีเทอร์ และน้ำ



รูปที่ 2.2 กระบวนการผลิตไดเมทิลอีเทอร์แบบทางอ้อม (Indirect DME Synthesis) [1]

2.1.1.2 กระบวนการผลิตไดเมทิลอีเทอร์แบบทางตรง การผลิตไดเมทิลอีเทอร์วิธีนี้เป็นเทคโนโลยีที่คิดค้นขึ้นใหม่ ซึ่งมีข้อดีกว่าวิธีการทางอ้อม คือ ไม่จำเป็นต้องมีขั้นตอนของ

การสังเคราะห์เมทานอล ทำให้สามารถลดต้นทุนการผลิตได้ โดยในกระบวนการผลิตนี้ แก๊สสังเคราะห์สามารถเกิดปฏิกิริยาเคมีเกิดเป็นไดเมทิลอีเทอร์ได้โดยตรง



รูปที่ 2.3 กระบวนการผลิตไดเมทิลอีเทอร์แบบทางตรง (Direct DME Synthesis) [1]

2.1.2 การใช้งานไดเมทิลอีเทอร์เป็นเชื้อเพลิง [1]

การใช้งานไดเมทิลอีเทอร์เพื่อเป็นเชื้อเพลิง แบ่งออกได้เป็น 2 รูปแบบ คือ

2.1.2.1 ใช้เป็นเชื้อเพลิงเพื่อให้ความร้อน ซึ่งเป็นรูปแบบของการใช้งานส่วนใหญ่ โดยเฉพาะในประเทศจีน ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้นว่า ไดเมทิลอีเทอร์มีคุณสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ที่คล้ายคลึงกับก๊าซ LPG ดังนั้น จึงสามารถนำมาผสมกับแก๊ส LPG เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับหุงต้มในครัวเรือนได้ โดยอัตราส่วนผสมของไดเมทิลอีเทอร์ที่สามารถใช้ได้ โดยไม่ต้องมีการปรับแต่ง เตาเผา และอุปกรณ์โครงสร้างพื้นฐานที่ใช้ในการบรรจุ ขนส่ง หรือ เก็บรักษา คือ ประมาณร้อยละ 20 โดยปริมาตร

2.1.2.2 ใช้เป็นเชื้อเพลิงในภาคการขนส่ง ปัจจุบันได้มีการริเริ่มนำไดเมทิลอีเทอร์มาใช้เป็นเชื้อเพลิงในภาคการขนส่ง โดยการใช้งานสามารถใช้งานได้กับเครื่องยนต์ต่างๆ ดังนี้

- เครื่องยนต์ดีเซล เนื่องจากไดเมทิลอีเทอร์มีค่าซีเทนสูง ดังนั้น จึงสามารถนำไดเมทิลอีเทอร์มาผสมกับน้ำมันดีเซลหมุนเร็วเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลได้ โดยต้องมีการปรับแต่งเครื่องยนต์เล็กน้อย (ระบบฉีดเชื้อเพลิง) สำหรับอัตราส่วนผสมของไดเมทิลอีเทอร์สูงสุดที่จะไม่ทำให้เชื้อเพลิงผสมที่ได้มีความหนืดต่ำจนเกินไปอยู่ที่ประมาณร้อยละ 25 โดยน้ำหนัก

- เครื่องยนต์เบนซิน เครื่องยนต์เบนซินสามารถนำมาดัดแปลงให้สามารถใช้ก๊าซ LPG ผสมกับไดเมทิลอีเทอร์เป็นเชื้อเพลิงได้โดยอัตราส่วนผสมสูงสุดของไดเมทิลอีเทอร์คือ ประมาณร้อยละ 25 โดยน้ำหนัก ทั้งนี้ ข้อจำกัดในการใช้ไดเมทิลอีเทอร์เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์เบนซิน คือ การที่ไดเมทิลอีเทอร์มีค่าออกเทนต่ำ ดังนั้น หากผสมไดเมทิลอีเทอร์ในอัตราส่วนที่สูงเกินไปก็จะทำให้เครื่องยนต์น็อคได้

- เครื่องยนต์ที่ใช้ไดเมทิลอีเทอร์เป็นเชื้อเพลิง ปัจจุบันบริษัทผู้ผลิตรถยนต์หลายรายได้มีการคิดค้นพัฒนารถบรรทุกขนาดใหญ่ที่ใช้ไดเมทิลอีเทอร์เป็นเชื้อเพลิง ตัวอย่างเช่น นิสสัน ฮีโน่ อีซูซุ มิตซูบิชิ ในประเทศญี่ปุ่น และวอลโว่ ในประเทศสวีเดน

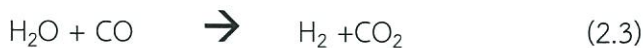
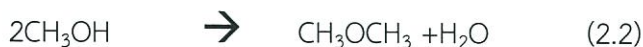
2.1.3 การสังเคราะห์ไดเมทิลอีเทอร์จากแก๊สสังเคราะห์ [4]

แก๊สสังเคราะห์ที่ใช้ในกระบวนการผลิตไดเมทิลอีเทอร์สามารถนำมาได้จากหลายกระบวนการ เช่น กระบวนการ Fuel Processing ซึ่งกระบวนการในการผลิตแก๊สไฮโดรเจนจากสารประกอบไฮโดรคาร์บอนชนิดอื่น อาจจะเป็นได้ทั้งของแข็ง เช่น ถ่านหิน และชีวมวล เป็นต้น ของเหลว และแก๊ส โดยจุดประสงค์หลักคือ นำแก๊สไฮโดรเจนที่ได้ไปใช้ในเซลล์เชื้อเพลิงและใช้ในพลังงานต่างๆ

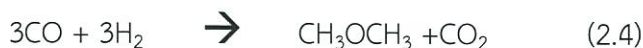
โดยกระบวนการ Fuel Processing แบ่งออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ คือ ขั้นตอนการเปลี่ยนสารประกอบไฮโดรคาร์บอนให้เป็นแก๊สไฮโดรเจน (Primary Conversion) และขั้นตอนในการทำให้แก๊สไฮโดรเจนบริสุทธิ์ (Purification)

สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ใช้ในการผลิตแก๊สไฮโดรเจนส่วนใหญ่ จะใช้สารประกอบไฮโดรคาร์บอนเบา (Light Hydrocarbon) เช่น มีเทน เมทานอล เป็นต้น โดยกระบวนการที่สำคัญ คือ Steam Reforming, Carbon Dioxide Reforming, Partial Oxidation นอกจากนี้ยังสามารถผลิตแก๊สไฮโดรเจนจากของแข็ง เช่น ถ่านหิน และสารชีวมวล โดยผ่านกระบวนการ Gasification กระบวนการทั้งหมดที่กล่าวมานี้จะได้ผลิตภัณฑ์เป็นแก๊สผสมระหว่างแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ และแก๊สไฮโดรเจน ซึ่งเรียกว่า แก๊สสังเคราะห์ (Synthesis Gas)

การสังเคราะห์ไดเมทิลอีเทอร์จากแก๊สสังเคราะห์ ซึ่งหมายถึง แก๊สไฮโดรเจน (H_2) และแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) แสดงสมการการเกิดปฏิกิริยาดังนี้



นำปฏิกิริยา (2.1) - (2.3) มารวมกัน มีปฏิกิริยารวมเป็น



ปฏิกิริยา (2.1) มีสารตั้งต้น คือแก๊สไฮโดรเจน และแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ในอัตราส่วนเท่ากับ 2:1 จึงเกิดปฏิกิริยาได้เมทานอล 2 โมเลกุล จากนั้นปฏิกิริยาที่ (2.2) เกิดปฏิกิริยาดีไฮเดรชันได้ผลิตภัณฑ์เป็นไดเมทิลอีเทอร์ และน้ำ อย่างละ 1 โมเลกุล และน้ำที่ได้จากปฏิกิริยาที่ (2.2) จะไปเกิดปฏิกิริยาที่ (2.3) ถูกเปลี่ยนให้เป็นแก๊สไฮโดรเจน โดยแก๊สไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นนี้จะถูกนำกลับไปใช้เป็นสารตั้งต้นในปฏิกิริยาที่ (2.1) เมื่อรวมสมการที่ (2.1) - (2.3) จะได้สมการที่ (2.4)

การผลิตไดเมทิลอีเทอร์จากถ่านหินโดยให้ถ่านหินแห้งก่อนแล้วทำการบดเป็นชิ้นเล็กๆ จากนั้นทำการขนส่งโดยใช้แก๊สนำพา คือแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ แล้วจึงป้อนเข้าสู่ส่วนของการทำปฏิกิริยาเปลี่ยนถ่านหินเป็นแก๊สที่อุณหภูมิสูง โดยการใช้แก๊สออกซิเจน และไอน้ำซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้คือ แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ และแก๊สไฮโดรเจน หรือที่เรียกว่าแก๊สสังเคราะห์ และกากที่เป็นของเหลว นอกจากนี้ยังได้ผลิตภัณฑ์ข้างเคียง คือ ไอน้ำที่มีความดันสูง ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ คือ สามารถใช้เป็นพลังงานในการผลิตกระแสไฟฟ้าได้ จากนั้นจะทำให้แก๊สสังเคราะห์เย็นตัวลง แล้วจึงนำไปทำปฏิกิริยาวอเตอร์แก๊สชิฟ เพื่อให้แก๊สสังเคราะห์มีอัตราส่วนของแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ก่อนทำการป้อนเข้าสู่ขั้นตอนการสังเคราะห์ไดเมทิลอีเทอร์ ซึ่งใช้ปฏิกรณ์แบบของเหลวแขวนลอย (Slurry phase reactor) แล้วจึงทำการกลั่นแยกของผสม เนื่องจากของผสมที่มีส่วนผสมของไดเมทิลอีเทอร์ เมทานอล แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ และน้ำ สำหรับเมทานอลที่ได้จะถูกนำกลับไปใช้ใหม่ในเครื่องปฏิกรณ์อีกครั้งหนึ่ง

จากขั้นตอนการทำปฏิกิริยาสังเคราะห์ไดเมทิลอีเทอร์ จะมีการใช้เครื่องปฏิกรณ์ของเหลวแบบแขวนลอย เนื่องจากว่าปฏิกิริยาการสังเคราะห์ไดเมทิลอีเทอร์จากคายความร้อนสูงมาก ดังนั้นจึงจำเป็นต้องควบคุมอุณหภูมิที่เกิดขึ้นมากกว่าการควบคุมอุณหภูมิการสังเคราะห์เมทานอล ถ้าหากใช้เครื่องปฏิกรณ์ที่ใช้กันทั่วไป คือเครื่องปฏิกรณ์เบดนิ่ง (Fix Bed) จะทำให้ไม่สามารถควบคุมความร้อนที่เกิดขึ้นได้ นอกจากนี้ยังเกิดความร้อนเป็นจุด (Hot spot) ขึ้นบนตัวเร่งปฏิกิริยาอีกด้วย เป็นสาเหตุให้ตัวเร่งปฏิกิริยาเสื่อมสภาพเร็วขึ้น

2.2 เมทานอล (Methanol) [5]

เมทานอล เป็นแอลกอฮอล์ที่มีขนาดเล็กที่สุด มีสูตรโครงสร้างทางเคมี คือ CH_3OH มีสถานะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง เป็นสารเคมีพื้นฐานที่สำคัญในอุตสาหกรรมเคมีต่าง ๆ มีเปลวไฟสีฟ้าเมื่อเกิดการเผาไหม้ โดยเกิดการเผาไหม้ได้อย่างสมบูรณ์โดยไม่มีเขม่า สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ทั้งการใช้ทางตรงและทางอ้อม สำหรับการใช้อย่างตรงนั้น คือ การใช้เป็นเชื้อเพลิงในตะเกียงหรือในเครื่องยนต์ออตโต (otto engine) หรือเครื่องยนต์ดีเซล แต่ไม่ค่อยเป็นที่นิยมเนื่องจากมีพิษต่อร่างกาย ซึ่งทำให้ตาบอดและเสียชีวิตได้

อย่างไรก็ตามได้มีการนำเมทานอลมาใช้ทางอ้อม โดยการพัฒนาและนำมาประยุกต์ใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเซลล์เชื้อเพลิงขนาดเล็ก เช่น ในคอมพิวเตอร์แบบพกพา และรถมอเตอร์ไซด์ขนาดเล็ก เป็นต้น นอกจากนี้ในปัจจุบันการขาดแคลนน้ำมันเชื้อเพลิงโดยเฉพาะอย่างยิ่งน้ำมันดีเซลนั้น เมทานอลเป็นสารตั้งต้นที่สำคัญสำหรับการผลิตไบโอดีเซลอีกด้วย รัฐบาลได้ส่งเสริมให้ภาคเอกชนผลิตไบโอดีเซลเพื่อลดการนำเข้าน้ำมันดีเซลไบโอดีเซลได้จากการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน (transesterification) ของน้ำมันพืช หรือน้ำมันสัตว์กับแอลกอฮอล์ เช่นเมทานอล เอทานอล เป็นต้น

เป็นที่รู้กันดีว่าในบรรดาแอลกอฮอล์ชนิดต่าง ๆ นั้นเมทานอลเป็นสารตั้งต้นที่ดีที่สุด โดยในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลจะใช้เมทานอลต่อน้ำมันในอัตราส่วนร้อยละ 15 นอกจากนี้เมทานอลยังสามารถนำมาใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตก๊าซโซลีน ผ่านกระบวนการ MTG (Methanol to Gasoline) ได้อีกด้วยด้วย จะเห็นว่าความต้องการเมทานอลนั้นเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วแต่ในปัจจุบันสำหรับประเทศไทยนั้น ประเทศไทยยังไม่สามารถผลิตเมทานอลได้เอง จึงต้องพึ่งพาการนำเข้าจากต่างประเทศ ทำให้ต้องสูญเสียเงินตราต่างประเทศอย่างมาก ตามปริมาณความต้องการที่เพิ่มขึ้น

2.2.1 สมบัติทางกายภาพของเมทานอล [6]

ชื่อทั่วไป	Methanol, Methyl alcohol
มวลโมเลกุล	32.04 กรัมต่อโมล
สถานะ	ของเหลวใส ไม่มีสี
ความถ่วงจำเพาะ	0.7915
จุดหลอมเหลว	-97.8 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

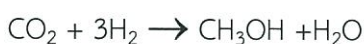
2.2.2 กระบวนการผลิตเมทานอล [5]

ในอดีตเมทานอลเป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้ที่เกิดจากการกลั่นไม้ (wood spirit) ซึ่งมีปริมาณน้อยมากไม่สามารถผลิตในเชิงอุตสาหกรรมได้ หลังจากนั้นการผลิตเมทานอลในอุตสาหกรรมเริ่มต้นในประเทศ เยอรมัน โดยบริษัท บาฟ (BASF) ซึ่งใช้ก๊าซสังเคราะห์เป็นสารตั้งต้น ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 320-380 °C และความดัน 350 bar ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโครเมียมออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์ ซึ่งรู้จักกันดีในชื่อกระบวนการความดันสูง แต่ในปัจจุบันการผลิตในอุตสาหกรรมนั้นจะใช้เทคโนโลยีของบริษัท ไอซีไอ (ICI) ซึ่งเป็นกระบวนการความดันต่ำ ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ ที่ความดัน 50-80 bar และอุณหภูมิ 250-280 °C

เมทานอลสามารถผลิตได้จากกระบวนการเคมีความร้อนโดยอาศัยการทำปฏิกิริยาระหว่างคาร์บอนมอนอกไซด์ และไฮโดรเจน ซึ่งรู้จักกันดีในชื่อ ก๊าซสังเคราะห์ ในอัตราส่วนที่เหมาะสม ($\text{CO}:\text{H}_2 = 1:2$) ดังแสดงในปฏิกิริยา โดยมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ปนอยู่ในปริมาณเล็กน้อยประมาณร้อยละ 5 ที่อุณหภูมิประมาณ 250-280 °C และความดัน 60-80 บรรยากาศโดยอาศัยตัวเร่งปฏิกิริยาออกไซด์ของทองแดงและสังกะสี โดยอาจมีออกไซด์ของโลหะอื่น ๆ ผสมอยู่ในปริมาณเล็กน้อยเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยา

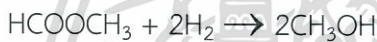


กระบวนการที่ได้รับความสนใจอีกกระบวนการหนึ่งคือการผลิตเมทานอลจากก๊าซผสมระหว่างก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซไฮโดรเจน ในเครื่องปฏิกรณ์เบดนิ่ง ที่อุณหภูมิ 260°C ความดัน 80 bar ซึ่งมีข้อดีคือ สามารถผลภาวะเรือนกระจกที่เกิดจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และมีอัตราการเกิดปฏิกิริยาที่สูงกว่าการใช้ก๊าซสังเคราะห์ โดยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ใช้นั้นสามารถหาได้ง่าย เช่น ในบรรยากาศ จากก๊าซที่ปล่อยจากโรงไฟฟ้า เป็นต้น อย่างไรก็ตามจากปฏิกิริยา จะมีน้ำเกิดเป็นผลิตภัณฑ์ด้วยทำให้ผลิตภัณฑ์เมทานอลที่มีความบริสุทธิ์ต่ำกว่าการใช้ก๊าซสังเคราะห์เป็นสารตั้งต้น และน้ำที่เกิดขึ้นทำให้ความเสถียรของตัวเร่งปฏิกิริยาลดลงอีกด้วย

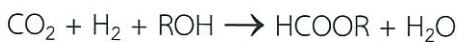
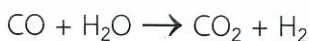


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้ยังได้มีการพัฒนากระบวนการสังเคราะห์เมทานอลด้วยกระบวนการอื่น ๆ อีกหลากหลายกระบวนการ ซึ่งเป็นเพียงการทดลองในห้องปฏิบัติการ เช่น การผลิตเมทานอลด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาอัลคอกไซด์ (RONa) ซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธ์ ร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยาออกไซด์ของทองแดง ซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธ์ ภายใต้ภาวะการเกิดปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 100 °C และความดัน 10บรรยากาศ เป็นอีกกระบวนการหนึ่งที่ได้รับ ความสนใจอย่างมาก เนื่องจากอุณหภูมิและความดันที่ต่ำ มีค่าการเปลี่ยนของก๊าซสังเคราะห์ สูงถึงร้อยละ 90 และค่าการเลือกเกิดเมทานอลสูงถึงร้อยละ 99 แต่มีข้อเสียก๊าซสังเคราะห์ที่ใช้จะต้องมีความบริสุทธิ์สูง (ทำให้มีต้นทุนในการผลิตสูงมาก) กล่าวคือต้องไม่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ปนเปื้อน เนื่องจากจะทำให้ตัวเร่งปฏิกิริยาเสื่อมสภาพอย่างรวดเร็ว อีกทั้งตัวเร่งปฏิกิริยายังว่องไวต่อน้ำที่อาจเกิดขึ้นได้จากปฏิกิริยาไฮโดรเจนแก๊สซิฟ ทำให้กระบวนการนี้ยังไม่สามารถพัฒนาสู่การผลิตในขนาดอุตสาหกรรมได้



กระบวนการที่มีการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธ์ (ใช้แอลกอฮอล์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา) ร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธ์ (ตัวเร่งปฏิกิริยาออกไซด์ของทองแดง) เมทานอลถูกผลิตภายใต้ความดัน 30-50 บรรยากาศ และอุณหภูมิ 170 °C พบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้มีความเสถียรต่อก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และ น้ำ ทำให้สามารถนำก๊าซสังเคราะห์ที่มีอยู่ทั่วไปมาใช้ในการผลิตได้มีค่าการเปลี่ยนร้อยละ 50 และค่าการเลือกเกิดเมทานอลร้อยละ 99 โดยเมทานอลเกิดจากปฏิกิริยาไฮโดรเจนแก๊สซิฟ ปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชัน และปฏิกิริยาไฮโดรจีโนไลซิส ดังแสดงในสมการด้านล่าง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 เครื่องปฏิกรณ์ที่ใช้การผลิตเมทานอล [5]

ในส่วน of เครื่องปฏิกรณ์นั้น เครื่องปฏิกรณ์เบตนิ่งเป็นเครื่องปฏิกรณ์แบบเดี่ยวที่ใช้ในการผลิตในอุตสาหกรรม อย่างไรก็ตาม ต้องออกแบบระบบระบายความร้อนให้มีประสิทธิภาพสูง เนื่องจากปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยาที่มีการคายความร้อนมาก จึงเกิดปฏิกิริยาได้สติที่อุณหภูมิต่ำ หากไม่มีการระบายความร้อนที่ดีจะทำให้ค่าการเปลี่ยนแปลงและตัวเร่งปฏิกิริยาเสื่อมสภาพได้ ค่าการเปลี่ยนของก๊าซสังเคราะห์มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 15-25 เท่านั้น จึงต้องมีการนำก๊าซสังเคราะห์ที่เหลือกลับมาใช้ด้วย ซึ่งเป็นการสิ้นเปลืองพลังงานมาก เครื่องปฏิกรณ์อีกแบบที่ได้รับความนิยม คือ เครื่องปฏิกรณ์ของเหลวผสมแขวนลอย ซึ่งอยู่ในขั้นตอนผลิตในเครื่องต้นแบบขนาดใหญ่ รู้จักกันดี ในชื่อ LPMeOHTM (liquid phase methanol synthesis process) ซึ่งมีข้อได้เปรียบในเรื่องของการดึงความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาในขณะที่เมทานอลที่เกิดขึ้นจะอยู่ในสถานะก๊าซจึงดึงออกจากเครื่องปฏิกรณ์ได้ง่าย มีผลให้ค่าการเปลี่ยนเพิ่มสูงขึ้นอย่างมากถึงร้อยละ 96 เครื่องปฏิกรณ์ชนิดนี้ถูกคาดการณ์ว่าจะมาแทนที่เครื่องปฏิกรณ์เบตนิ่งที่มีการใช้งานอยู่ในปัจจุบัน

2.2.4 พิษของเมทานอล [7]

เกิดจากกรดฟอร์มิกที่เกิดขึ้นไปลด alkaline reserve ทำให้เกิดภาวะความเป็นกรด (metabolic acidosis) สูงขึ้น จนกระทั่งทำให้เนื้อเยื่อตับอ่อนกลายเป็นเนื้อตาย (necrosis) นอกจากนี้ ฟอร์มัลดีไฮด์ยังมีผลไปทำลายประสาทตาจนอาจเกิดอาการตาบอดชั่วคราวหรือถาวร ในกรณีนี้ ผู้ป่วยมีอาการรุนแรงจะแตกลิ้นของฟอร์มัลดีไฮด์ทางลมหายใจและปัสสาวะของผู้ป่วย หัวใจเต้นช้า (bradycardia) ชัก และเข้าขั้นโคม่า

2.3 ตัวเร่งปฏิกิริยา [8]

2.3.1 การเร่งปฏิกิริยา [8]

ปฏิกิริยาบางปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นได้ช้ามากที่สภาวะปกติ แต่ถ้ามีการเติม ตัวเร่งปฏิกิริยา (catalyst) ลงไป จะช่วยให้ปฏิกิริยาเกิดได้เร็วขึ้น ดังนั้น เราจึงให้ความหมายของตัวเร่งปฏิกิริยาว่า สารที่ทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาสูงขึ้นโดยที่สารตัวเร่งปฏิกิริยาสามารถกลับคืนสู่รูปเดิมได้ ซึ่งตัวเร่งปฏิกิริยาอาจจะเข้าทำปฏิกิริยาแล้วเกิดเป็นสารมัธยันตร์ แต่ก็กลับคืนรูปเดิมได้ในปฏิกิริยาต่อๆ ไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบ่งการเร่งปฏิกิริยาออกเป็น 2 ประเภท คือ การเร่งปฏิกิริยาเอกพันธ์ และการเร่งปฏิกิริยาวិวิพันธ์

2.3.1.1 การเร่งปฏิกิริยาเอกพันธ์

ปฏิกิริยาเอกพันธ์ (homogeneous reaction) คือ ปฏิกิริยาที่ทั้งสารตั้งต้นและสารผลิตภัณฑ์อยู่ในวิภาค (phase) เดียวกัน ดังนั้น การเร่งปฏิกิริยาเอกพันธ์ (homogeneous catalysis) ก็จะต้องใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีวิภาคเดียวกันกับทั้งสารตั้งต้นและสารผลิตภัณฑ์

การเร่งปฏิกิริยาเอกพันธ์มีข้อดีหลายประการ การเร่งปฏิกิริยาเอกพันธ์มักเกิดขึ้นได้ภายใต้สภาวะปกติ ทำให้ค่าใช้จ่ายในการผลิตต่ำ ลดปัญหาเกี่ยวกับการสลายตัวของสารผลิตภัณฑ์ (สารบางตัวอาจสลายตัวที่อุณหภูมิสูง ซึ่งการเร่งปฏิกิริยาเอกพันธ์เกิดปฏิกิริยาที่อุณหภูมิไม่สูงมากนัก) สามารถออกแบบตัวเร่งปฏิกิริยาให้เลือกเร่งเฉพาะปฏิกิริยาที่ต้องการได้ ตัวเร่งมีราคาไม่แพงเมื่อเทียบกับโลหะที่ใช้ในการเร่งปฏิกิริยาวิวิพันธ์ เช่น แพลทินัม (platinum) และทองคำ (gold)

2.3.1.2 การเร่งปฏิกิริยาวิวิพันธ์

การเร่งปฏิกิริยาที่สารตั้งต้นและตัวเร่งมีวิภาคต่างกัน เรียกว่า การเร่งปฏิกิริยาวิวิพันธ์ (heterogeneous catalysis) ปฏิกิริยาวิวิพันธ์ส่วนใหญ่นิยมใช้ตัวเร่งที่เป็นของแข็งในการเร่งปฏิกิริยาที่มีสารตั้งต้นที่อยู่ในวิภาคแก๊สหรือของเหลว ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยากันที่ผิวของตัวเร่ง

2.3.2 การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา [9,10]

2.3.2.1 การตกตะกอนร่วม (Co-precipitation) เป็นการเตรียมสารละลายของเกลือโลหะ 2 ชนิดหรือมากกว่า เช่น การเตรียมโลหะ บนตัวรองรับซิงค์ออกไซด์ จะต้องเตรียมสารละลายของเกลือโลหะและเกลือซิงค์ก่อน จากนั้นเติมสาร ที่ทำให้เกิดการตกตะกอน (Precipitation Agent) เช่น โลหะอัลคาไลน์คาร์บอเนต จากนั้นได้ตัวเร่งปฏิกิริยาตั้งต้น (Catalyst Precursor) และให้ความร้อนเพื่อให้ตัวเร่งปฏิกิริยาตั้งต้นสลายตัวได้โลหะออกไซด์บนตัวรองรับที่ต้องการ เช่น ซิงค์ออกไซด์และอะลูมิเนียมออกไซด์ เป็นต้น

2.3.2.2 การตกตะกอนร่วมแบบเอบซุ่ม (Co-precipitation Impregnation) เป็นการเตรียมสารละลายผสมของโลหะไนเตรต เช่น คอปเปอร์ไนเตรต ซิงค์ไนเตรต อะลูมิเนียมไนเตรต และสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต จะถูกหยดลงพร้อมกันในบีกเกอร์ที่บรรจุผง แกม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาอะลูมินา และน้ำปราศจากไอออน โดยใช้สภาวะอุณหภูมิและค่าความเป็นกรด (pH) ที่เหมาะสม

2.3.2.3 การผสมทางกายภาพ (Physical Mixing) การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาโดยวิธีผสมทางกายภาพเป็นวิธีที่ง่ายที่สุด เป็นการนำตัวเร่งปฏิกิริยาตั้งแต่สองตัวขึ้นไปมาผสมเข้าด้วยกัน โดยไม่ผ่านกระบวนการทางเคมีหรือกระบวนการทางความร้อนใดๆ

2.3.2.4 กระบวนการโซลเจล (Sol-Gel Method) ความหมายของกระบวนการโซลเจลไว้ว่า เป็นกระบวนการที่ใช้สังเคราะห์ออกไซด์ของสารอนินทรีย์ โดย “โซล (sol)” หมายถึงอนุภาคของแข็งที่เป็นคอลลอยด์ กระจายตัวอยู่ในของเหลวอย่างมีเสถียรภาพ ส่วน “เจล (gel)” หมายถึงของแข็งที่มีโครงสร้างร่างแหใน 3 มิติ และเติมไปด้วยรูพรุน ในกระบวนการโซลเจลนั้น เมื่ออนุภาคคอลลอยด์ใน “โซล” เกิดการพอลิเมอไรเซชัน (polymerization) ผ่านปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (hydrolysis) และปฏิกิริยาควบแน่น (condensation) จะได้ของแข็งที่มีรูพรุนที่เรียกว่า “เจล”

2.4 คอปเปอร์ออกไซด์ [11]

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

2.4.1 สมบัติทางกายภาพของคอปเปอร์ออกไซด์ [12]

คอปเปอร์ออกไซด์มีชื่อทั่วไปคือ Copper Oxide, Cupric oxide มีมวลโมเลกุลเท่ากับ 79.55 กรัมต่อโมล มีลักษณะเป็นของแข็ง เป็นผงสีดำ มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 6.40 มีจุดหลอมเหลวเท่ากับ 1,326 องศาเซลเซียส



รูปที่ 2.4 คอปเปอร์ออกไซด์ [13]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการรู้เท่าทันเพื่อการศึกษาเท่านั้น กรุณาอย่านำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 ซิงค์ออกไซด์ [14]

ZnO หรือ ซิงค์ออกไซด์เป็นที่รู้จักในนามคาลาไมล์ ซึ่งเป็นภาษาอียิปต์โบราณ เป็นธาตุธรรมชาติจากสินแร่ สมิธโซไนต์ (Smithsonite) มีลักษณะเป็นผงอนุภาคละเอียดสีขาว

2.5.1 สมบัติทางกายภาพของซิงค์ออกไซด์ [15]

ซิงค์ออกไซด์มีชื่อทั่วไปคือ Zinc oxide, Calamine มีมวลโมเลกุลเท่ากับ 81.38 กรัมต่อโมล มีลักษณะเป็นของแข็ง เป็นผงสีขาว มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 5.61 มีจุดหลอมเหลวเท่ากับ 1,975 องศาเซลเซียส



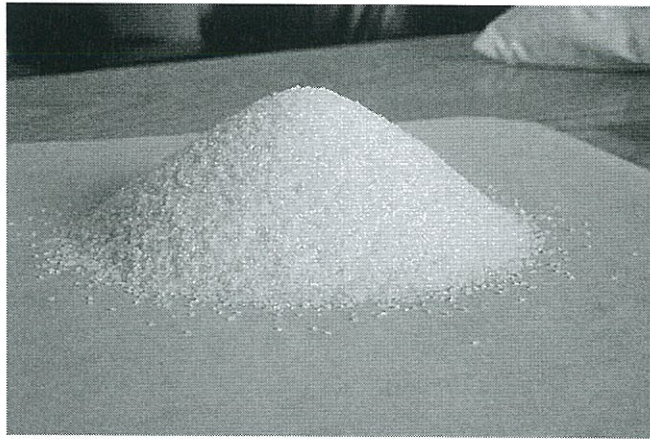
รูปที่ 2.5 ซิงค์ออกไซด์ [16]

2.6 อะลูมิเนียมออกไซด์ [17]

อะลูมินามีชื่อทางเคมีว่า อะลูมิเนียมออกไซด์ สูตรทางเคมีคือ Al_2O_3 พบในธรรมชาติในรูปของแร่คอร์ันดัม (corundum) โดยปกติจะมีสีขาวหรือไม่มีสี แต่หากมีสิ่งเจือปนในโครงสร้าง ของอะลูมินาเล็กน้อย จะทำให้เกิดสีต่าง ๆ

2.6.1 สมบัติทางกายภาพของอะลูมิเนียมออกไซด์ [18]

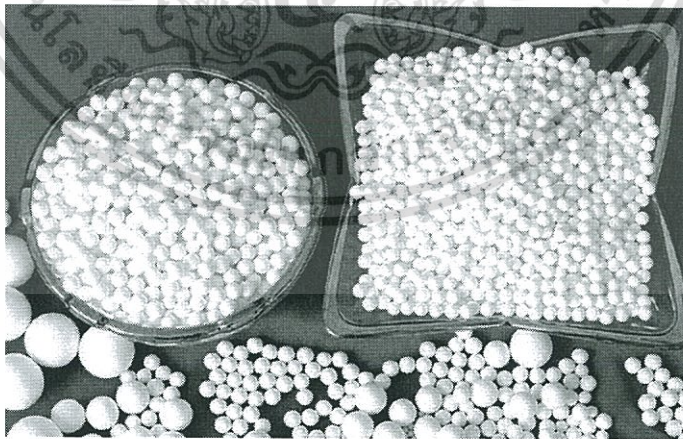
อะลูมิเนียมออกไซด์ มีชื่อทั่วไปคือ Aluminum oxide, Alumina, Alpha-alumina มีมวลโมเลกุลเท่ากับ 101.96 กรัมต่อโมล มีลักษณะเป็นของแข็ง เป็นผงสีขาว มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 4.00 มีจุดหลอมเหลวเท่ากับ 2,072 องศาเซลเซียส



รูปที่ 2.6 อะลูมิเนียมออกไซด์ [19]

2.6.2 แกมมาอะลูมินา [20]

อะลูมินาสามารถพบได้ในรูปแอลฟา (α) เบตา (β) และ แกมมา (γ) โดยส่วนใหญ่จะพบอยู่ในรูปของแอลฟาอะลูมินา และแกมมาอะลูมินา โดยที่อุณหภูมิไม่เกิน 500 องศาเซลเซียส อะลูมินาจะจัดเรียงตัวอยู่ในรูปของแกมมา หากนำไปเผาที่อุณหภูมิสูงถึง 1,150-1,200 องศาเซลเซียส อะลูมินาจะจัดเรียงตัวอยู่ในรูปของแอลฟา แต่เบต้าอะลูมินาจะจัดเรียงตัวอยู่ในรูปของสารประกอบไฮเดรต คือ ไฮเดรตอะลูมินา ($\text{Na}_2\text{O} \cdot 11\text{Al}_2\text{O}_3$) แกมมาอะลูมินาไม่ละลายน้ำ แต่สามารถละลายได้ในกรดแก่ เป็นวัสดุที่มีรูพรุนจึงทำให้พื้นที่ผิวภายในสูงถึงหลายร้อยตารางเมตรต่อกรัม และจัดเรียงตัวในรูปทรงแปดหน้า (Octahedral)



รูปที่ 2.7 แกมมาอะลูมินา [21]

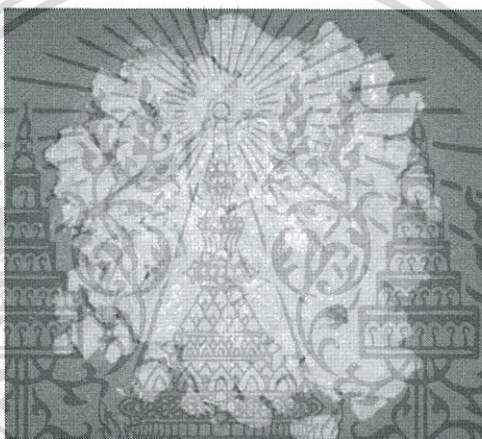
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 เซอโคเนียมออกไซด์ [22]

เซอโคเนียมออกไซด์มีสูตรทางเคมีคือ ZrO_2 เรียกโดยทั่วไปว่า เซอโคเนีย พบในสินแร่ธรรมชาติ มีโครงสร้างแบบมอนอคลินิก เซอโคเนียใช้ประโยชน์ในเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ทำหน้าที่เป็นตัวดูดซับนิวตรอน และทำให้โลหะผสมที่ทนต่อการกัดกร่อน

2.7.1 สมบัติทางกายภาพของเซอโคเนียมออกไซด์ [23]

เซอโคเนียมออกไซด์ มีชื่อทั่วไปคือ Zirconium Oxide, Zirconium Dioxide มีมวลโมเลกุลเท่ากับ 123.22 กรัมต่อโมล มีลักษณะเป็นของแข็ง เป็นผงสีขาว มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 5.85 มีจุดหลอมเหลวเท่ากับ 2,680 องศาเซลเซียส



รูปที่ 2.8 เซอโคเนียมออกไซด์ [24]

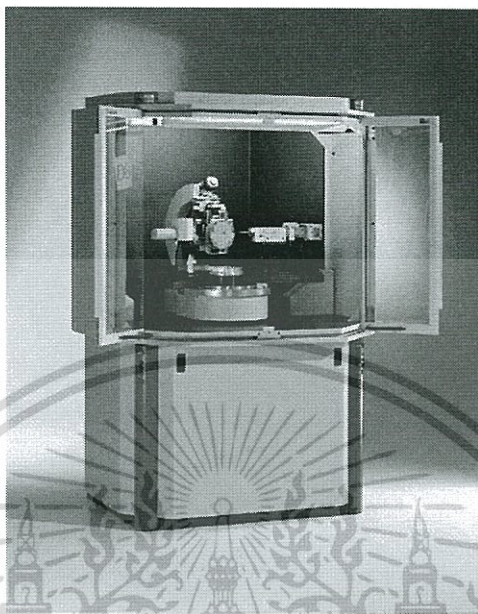
2.8 เทคนิคสำหรับการพิสูจน์เอกลักษณ์ และเครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์

2.8.1 เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ หรือ X-ray Diffractometer (XRD) [25]

เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์สมบัติของวัสดุ โดยอาศัยหลักการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ โดยสามารถทำการวิเคราะห์ได้ทั้งสารประกอบที่มีอยู่ในสารตัวอย่าง และนำมาใช้ศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับโครงสร้างผลึกของสารตัวอย่างได้อีกด้วย ในผลึกของตัวอย่างแต่ละชนิด จะมีขนาดของ Unit Cell ที่ไม่เท่ากัน ทำให้ Pattern ของการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ ที่ออกมาไม่เท่ากัน ทำให้เราสามารถหาความสัมพันธ์ของสารประกอบต่างๆ กับ Pattern การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ได้ ซึ่งจะทำให้เราทราบว่า ในตัวอย่างนั้นๆ มีสารประกอบอะไรอยู่บ้าง

นอกจากนี้ผลการวิเคราะห์ของ XRD จะสามารถหองค์ประกอบของตัวอย่างได้แล้วนั้น ยังสามารถคำนวณหา ปริมาณขององค์ประกอบต่างๆ ที่อยู่ในตัวอย่าง คำนวณหาขนาดอนุภาคของแต่ละเอกลินนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ละ Unit cell ความเครียดของตัวอย่าง ค่าความเป็นผลึกของตัวอย่างได้อีกด้วย นอกจากนี้ ยังสามารถทำการวิเคราะห์ องค์ประกอบของฟิล์มบาง และคำนวณค่าความหนาของชั้นฟิล์มบาง ได้อีกด้วย



รูปที่ 2.9 เครื่อง X-ray Diffractometer [26]

2.8.2 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด หรือ Scanning Electron Microscope (SEM) [27]

เป็นกล้องจุลทรรศน์ที่ใช้ electron เป็นแหล่งกำเนิดแสง เป็นเครื่องมือที่ใช้ศึกษาลักษณะ สันฐานของวัสดุในระดับจุลภาค ซึ่งเป็นรายละเอียดที่เล็กมาก และเนื่องจากข้อจำกัดของกล้อง จุลทรรศน์แบบแสงที่มีความยาวคลื่นแสงขนาดใหญ่กว่าลักษณะสันฐานบางชนิดที่ต้องการศึกษา และ กำลังความสามารถในการแยกชัดของกล้องจุลทรรศน์แบบแสงธรรมดา มีค่าต่ำ ใช้ดูวัตถุเล็กสุด ประมาณ 0.2 ไมโครเมตร และให้กำลังขยายสูงสุดไม่เกิน 3000 เท่า ซึ่งไม่สามารถตรวจสอบ รายละเอียดของวัตถุที่มีขนาดเล็กมากๆได้ จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องใช้กล้องจุลทรรศน์ อิเล็กตรอนที่มีกำลังขยายสูง มีความสามารถในการแยกชัดดี เนื่องจากมีความยาวคลื่นสั้น เพื่อช่วยใน การวิเคราะห์ลักษณะสันฐานของวัสดุ โดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดมีกำลังขยาย มากกว่า 3000 เท่า จนถึงระดับมากกว่า 100000 เท่า และสามารถแจกแจงรายละเอียดของภาพ ซึ่ง ขึ้นกับลักษณะตัวอย่างได้ตั้งแต่ 3 ถึง 100 นาโนเมตร อีกทั้งยังสามารถใช้งานร่วมกับเทคนิคการ วิเคราะห์อื่น เช่น Energy Dispersive Spectrometry (EDS) และ Wavelength Dispersive

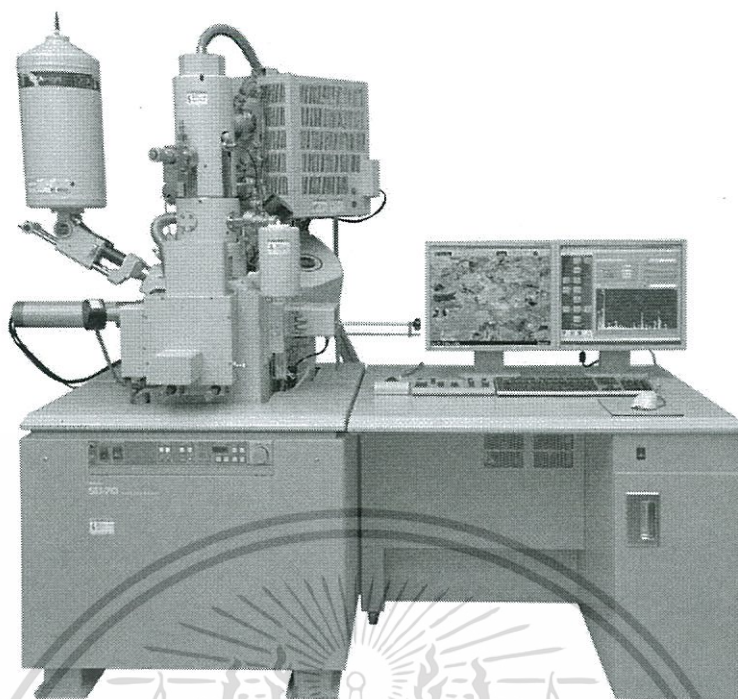
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Spectrometry (WDS) ที่เป็นข้อมูลทางเคมี จึงทำให้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดเป็นที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในปัจจุบัน

อิเล็กตรอนทุติยภูมิ (Secondary electron) เป็นอิเล็กตรอนที่หลุดออกจากชั้นแถบการนำ (Conduction band) หรือแถบพลังงานเวเลนซ์ (Valance band) ซึ่งไม่ต้องใช้พลังงานสูงสามารถหลุดออกจากผิวชิ้นงานได้ง่าย บางครั้งเรียกว่าอิเล็กตรอนอิสระ ซึ่งจะมีช่วงพลังงาน 10 ถึง 50 อิเล็กตรอนโวลต์ อิเล็กตรอนชนิดนี้จะใช้ในการสร้างภาพที่บริเวณพื้นผิวของชิ้นงานสำหรับ กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

อิเล็กตรอนแบบกระเจิงกลับ (Back scattered electron) เป็นอิเล็กตรอนที่เกิดจากการที่ลำอิเล็กตรอนปฐมภูมิวิ่งเข้าชนกับชิ้นงาน โดยสูญเสียพลังงานให้กับอะตอมในชิ้นงานเพียงบางส่วน แล้วเกิดการกระเจิงกลับออกมาจากชิ้นงาน ซึ่งพลังงานของอิเล็กตรอนชนิดนี้จะมีค่าตั้งแต่พลังงานของอิเล็กตรอนปฐมภูมิไปจนถึงพลังงานอิเล็กตรอนทุติยภูมิ ค่าพลังงานต่างๆที่กระเจิงกลับมานั้นจะขึ้นกับเลขมวลอะตอมของธาตุที่เป็นองค์ประกอบในชิ้นงาน ดังนั้นอิเล็กตรอนชนิดนี้จึงสามารถใช้สร้างภาพที่แสดงความแตกต่างของธาตุได้ โดยแสดงในรูปแบบของความเข้ม และความสว่างของภาพที่เกิดขึ้นในแต่ละบริเวณ ใช้ในการวิเคราะห์การกระจายตัวของธาตุที่เป็นองค์ประกอบในชิ้นงาน

รังสีเอกซ์ (X-ray) เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นสั้น มีความถี่สูง เกิดจากการที่ลำอิเล็กตรอนพลังงานสูงวิ่งเข้าชนชิ้นงาน ทำให้อิเล็กตรอนในระดับชั้นโคจรต่างๆ (K, L, M, ...) ได้รับพลังงานมากพอจนหลุดออกจากวงโคจร แล้วอิเล็กตรอนจากชั้นโคจรถัดไปเข้ามาแทนที่ ทำให้มีการปลดปล่อยรังสีเอกซ์ออกมา ซึ่งสเปกตรัมของรังสีเอกซ์ที่ปล่อยออกมานี้สามารถนำไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบของธาตุได้ทั้งในเชิงคุณภาพและปริมาณ โดยค่าพลังงานนี้จะขึ้นกับเลขอะตอมของธาตุ ซึ่งจะใช้หัววัดรังสีเอกซ์ (EDS) ในการวิเคราะห์ข้อมูลประกอบกับ กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)



รูปที่ 2.10 เครื่อง Scanning Electron Microscope [28]

2.8.3 FT-IR spectrometer (Fourier Transform Infrared Spectrometer) [29]

เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ ตรวจสอบ โครงสร้างของสาร โดยการวัดการดูดกลืนรังสีที่อยู่ในช่วงอินฟราเรด ที่อยู่ในช่วงเลขคลื่น (Wave number) ประมาณ $12800 - 10 \text{ cm}^{-1}$ ซึ่งสามารถวิเคราะห์ตัวอย่างได้ทั้ง ของแข็ง ของเหลว และก๊าซ

รังสีอินฟราเรด (Infrared radiation) เป็นรังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มองไม่เห็นด้วยตาเปล่า แต่ให้ความร้อนที่สัมผัสได้ รังสีอินฟราเรดอยู่ระหว่างช่วง Visible radiation กับ Microwave radiation โดยช่วงของรังสีอินฟราเรดแบ่งออกเป็น 3 ช่วง ได้แก่

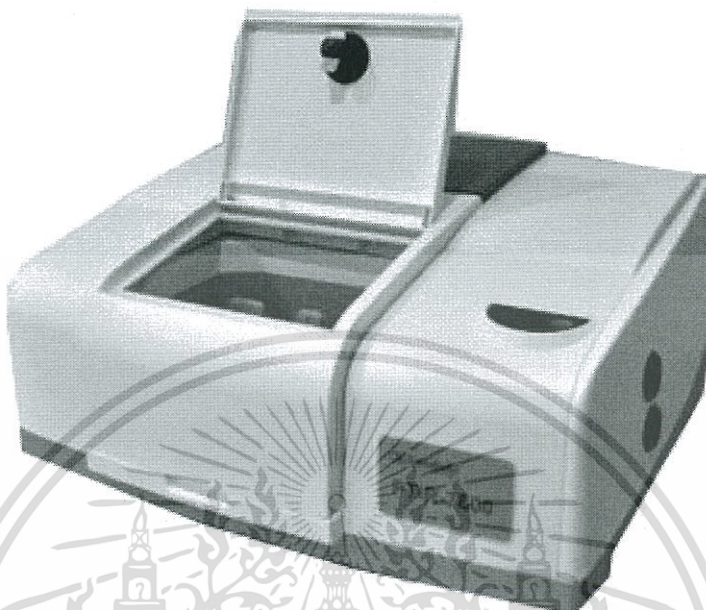
Near Infrared (12800-4000 cm^{-1})

Middle Infrared (4000-200 cm^{-1})

Far Infrared (200-10 cm^{-1})

ช่วงของรังสีอินฟราเรดที่ใช้ประโยชน์ในการวิเคราะห์ทางเคมีได้แก่ช่วง Middle IR เนื่องจากรังสีอินฟราเรดมีพลังงานค่อนข้างต่ำ เมื่อโมเลกุลของสารดูดกลืนรังสีอินฟราเรดเข้าไปจะทำให้พันธะในโมเลกุลเกิดการสั่นและการหมุน ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง ของโมเลกุล การที่โมเลกุลจะดูดกลืนรังสีอินฟราเรดได้นั้นความถี่ของรังสีอินฟราเรดต้องเท่ากับความถี่การสั่นของโมเลกุลของสารนั้นๆ ซึ่งสารอินทรีย์แต่ละชนิดจะมีค่าความถี่ของการสั่นที่จำเพาะและแตกต่างกันไปทำให้สามารถนำเทคนิคนี้ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

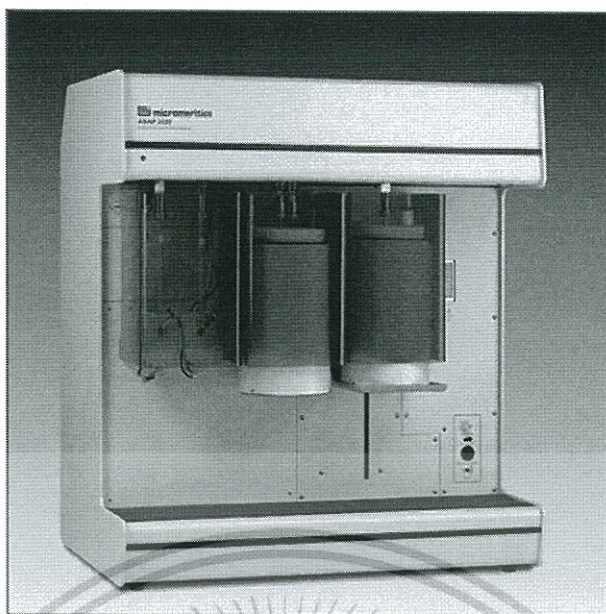
มาใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้างและชนิดของสารอินทรีย์ได้ การแสดงผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคนี้แสดงเป็นความสัมพันธ์ระหว่าง Wave number กับ Transmittance ซึ่งเรียกว่า Infrared spectrum



รูปที่ 2.11 เครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrometer [30]

2.8.4 การวัดพื้นที่ผิวและขนาดอนุภาครูพรุน โดยใช้ BET (The Brunauer-Emmett-Teller) [31]

เป็นเครื่องมือศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของตัวอย่าง เพื่อวิเคราะห์หาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุน (Pore size diameter) พื้นที่ผิวของผงตัวอย่าง (Surface area) ปริมาตรของรูพรุน (Pore volume) ในแบบต่างๆ (Micropore, mesopore and macropore) ค่าการดูดซับหรือคายก๊าซ (adsorption / desorption isotherm) และการดูดซับทางเคมี (Chemisorption) โดยใช้หลักการ Vacuum Volumetric Technique



รูปที่ 2.12 เครื่องวัดพื้นที่ผิวและขนาดอนุภาครูพรุน [32]

2.8.5 เทคนิคการแยกสารตัวอย่างที่เป็นสารผสม หรือ Gas Chromatography (GC)

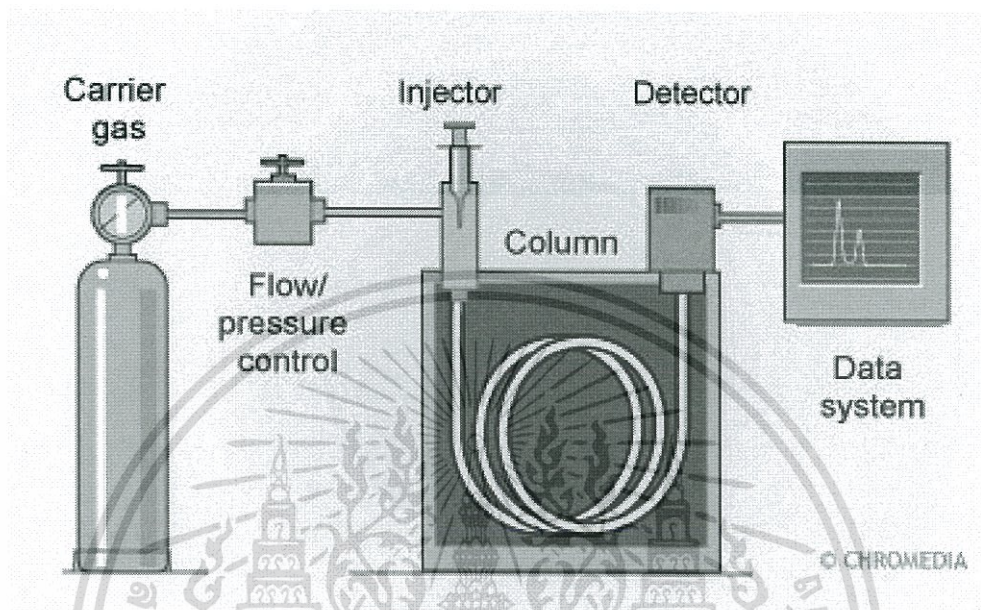
[33]

เป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับวิเคราะห์กลุ่มของสารประกอบอินทรีย์ระเหยได้ง่าย (Volatile Organic Compounds, VOCs) และกลุ่มสารประกอบอินทรีย์ที่สามารถระเหยได้ปานกลาง (Semi-Volatile Organic Compounds)

หลักการของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี ใช้เทคนิคการแยกองค์ประกอบของสารผสม โดยอาศัยความแตกต่างของอัตราการเคลื่อนที่ของแต่ละองค์ประกอบของสารผสมบนเฟสคงที่ (Stationary phase) ภายใต้การพาของเฟสเคลื่อนที่ (Mobile phase) สำหรับเครื่อง GC เฟสคงที่คือ สารที่อยู่ภายในคอลัมน์ ส่วนเฟสเคลื่อนที่คือ แก๊สฮีเลียม เมื่อสารที่ต้องการวิเคราะห์ผ่านเข้าสู่เครื่อง GC สารดังกล่าวจะถูกเปลี่ยนสถานะจากของเหลว (Liquid) เป็นแก๊ส (Gas) และส่วนแก๊สของสารผสมจะถูกพาเข้าสู่คอลัมน์โดยแก๊สฮีเลียม ซึ่งภายในคอลัมน์จะเกิดการแยกสารผสม (Separation) โดยอาศัยการทำปฏิกิริยา (Interaction) ระหว่างสารที่อยู่ภายในคอลัมน์ (Stationary phase) และสารผสม

ทั้งนี้ในแยกสารผสมให้เป็นสารเชิงเดี่ยวนั้น อาศัยความแตกต่างของน้ำหนักโมเลกุล จุดเดือด โครงสร้างของสาร และสมบัติทางเคมีในการทำปฏิกิริยากับสารที่อยู่ภายในคอลัมน์ ซึ่งหลังจากที่สารแต่ละชนิดถูกแยกเป็นส่วนๆ จะเคลื่อนที่อยู่ภายในคอลัมน์ในเวลาที่แตกต่างกัน จากนั้นสารเชิงเดี่ยวแต่ละชนิดจะผ่านเข้าสู่อุปกรณ์วัดสัญญาณ (Detector) และแปรผลออกมาเป็นโครมาโทแกรม เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Chromatogram) ซึ่งสารเชิงเดี่ยวแต่ละสารจะมีระยะเวลาที่อยู่ในคอลัมน์ (Retention time, RT) เฉพาะตัว ในการวิเคราะห์ผลจะนำพื้นที่ใต้พีค (Peak) ของแต่ละสารมาคำนวณผลเปรียบเทียบกับ กราฟมาตรฐาน (Calibration curve) ก็จะทราบปริมาณของสารตัวอย่างได้



รูปที่ 2.13 หลักการทำงานเครื่อง Gas Chromatography [34]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.9.1 Direct synthesis of dimethyl ether from syngas on CuO-ZnO-MnO/SAPO-18 Bifunctional catalyst. [35]

Ainara Ateka และคณะ (2016) ได้ทำการศึกษาการสังเคราะห์ไดเมทิลอีเทอร์ (Dimethyl ether : DME) โดยตรงจาก syngas ด้วยกระบวนการสังเคราะห์แบบขั้นตอนเดียว โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาทวิภาค (Bifunctional Catalyst) CuO-ZnO- MnO/SAPO-18 (CZMn/S) โดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่งความดันสูง (high-pressure fixed-bed reactor) เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิ ในช่วง 250-350 องศาเซลเซียส , space time ในช่วง 2.5-20 g cat h(mol c)⁻¹ , ความดันปฏิกิริยาในช่วง 20-40 บาร์ และ time on stream จากผลการทดลองพบว่า สภาวะที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ และค่าการเลือกเกิดของ DME สูง คือในช่วงอุณหภูมิ 275-300 องศาเซลเซียส , ความดัน 30 บาร์ , space time 5 g cat h(mol c)⁻¹ ตัวเร่งปฏิกิริยาจะเข้าสู่สภาวะคงตัวเทียมก่อนที่จะป้อน syngas เข้าเครื่องปฏิกรณ์จำเป็นต้องทำให้สะอาด (ปราศจากโอเลฟินและพาราฟิน) ก่อนเพื่อหลีกเลี่ยง การรวมตัวของไฮโดรคาร์บอน ซึ่งอาจรบกวนการตรวจวัดได้ การยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาของ CZMn/S (Deactivation of CZMn/S) มีสาเหตุหลักมาจาก การเกิด coke ในระบบ โดยจำแนกได้เป็น 3 ประเภทตามที่อยู่บนตัวเร่งปฏิกิริยา 1.บริเวณพื้นผิวโลหะ 2. ระหว่างพื้นผิวโลหะกับ MnO และ 3. บริเวณ acid function

2.9.2 Low-Temperature methanol dehydration to dimethyl ether over various small-pore zeolites. [36]

Dilshad Masiha และคณะ (2017) ได้ทำการศึกษาปฏิกิริยาการดึงน้ำออก (Dehydration) เพื่อเปลี่ยนเมทานอลไปเป็นไดเมทิลอีเทอร์ที่อุณหภูมิต่ำผ่านซีโอไลต์ที่มีขนาดรูพรุนเล็กๆ โดยการทดลองนี้มีการสังเคราะห์ซีโอไลต์ขึ้นมาสองชนิด คือ ซีโอไลต์ Rho และซีโอไลต์ KFI และมีการนำมาเปรียบเทียบซีโอไลต์ที่แตกต่างกัน 3 ชนิด คือ ZSM-5 เกรดการค้า แกมมาอะลูมินาเกรดการค้า และแกมมาอะลูมินาที่เตรียมจากแลป พบว่าซีโอไลต์ที่มีรูพรุนขนาดเล็ก และมีโครงสร้างสามมิติสามารถให้ผลิตภัณฑ์เป็นไดเมทิลอีเทอร์ที่มากที่สุด

2.9.3 Direct synthesis of dimethyl ether from synthesis gas: Experimental study and mathematical modeling. [37]

I.A. Kurzina และคณะ (2017) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับวิธีการและการคำนวณในการสังเคราะห์ไดเมทิลอีเทอร์ทางตรงจากแก๊สสังเคราะห์ โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา $\text{CuO-ZnO-Al}_2\text{O}_3$ ในการสังเคราะห์เมทานอล และใช้แกมมาอะลูมินาในการเกิดปฏิกิริยาดังน้ำออกจากเมทานอลเป็นไดเมทิลอีเทอร์ งานวิจัยนี้มีการเปรียบเทียบการสังเคราะห์ไดเมทิลอีเทอร์ทางตรงในสภาวะที่ต่างกัน คือการเปรียบเทียบความดันจะทำได้ 10-100 bar การเปรียบเทียบอุณหภูมิจะทำได้ 220-280 องศาเซลเซียส เปรียบเทียบอัตราส่วนของแก๊สไฮโดรเจนต่อแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ของแก๊สสังเคราะห์ที่ 1-6 โมลาร์ เมื่อนำมาทำปฏิกิริยาเพื่อสังเคราะห์ไดเมทิลอีเทอร์ ได้ผลว่าสภาวะที่ดีที่สุดคือความดัน 30 bar อุณหภูมิ 280 องศาเซลเซียส และอัตราส่วน $\text{H}_2:\text{CO}$ เป็น 2:1

2.9.4 Direct Synthesis of Dimethyl Ether from Carbon-Monoxide-Rich Synthesis Gas: Influence of Dehydration Catalyst and Operating Conditions [38]

M. Stiefel และคณะ (2011) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับผลกระทบของตัวเร่งปฏิกิริยา และสภาพต่างๆ ในการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาโดยตรงจากแก๊สสังเคราะห์ที่มีปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์เป็นปริมาณมาก โดยเปรียบเทียบตัวเร่งปฏิกิริยาในปฏิกิริยาดังน้ำออกทั้งหมด 4 ชนิด คือ $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$, HMOR-90, HMFI-90 และ HMFI-400 พบว่า $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ เมื่อนำไปใช้ในการสังเคราะห์ไดเมทิลอีเทอร์ จะได้ค่าร้อยละผลิตภัณฑ์ของไดเมทิลอีเทอร์สูงที่สุดที่สภาวะอุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส อัตราส่วนแก๊สไฮโดรเจนและแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ของแก๊สสังเคราะห์คือ 1:1

2.9.5 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 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$. [39]

J. Abu-Dahrieh และคณะ (2012) ได้ทำการศึกษาการทำงาน และการสูญเสียสภาพการทำงานของตัวเร่งปฏิกิริยาออกไซด์ออกไซด์ซิงค์ออกไซด์อะลูมิเนียมออกไซด์ที่ใช้ในการสังเคราะห์ไดเมทิลอีเทอร์ทางตรง และใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาในส่วนของปฏิกิริยาดังน้ำออกที่ต่างกัน 3 ชนิด คือ $\text{NH}_4\text{ZSM-5}$, HZSM-5 และ $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ เมื่อนำตัวเร่งปฏิกิริยาออกไซด์ผสมกับ $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ ไปใช้ในการสังเคราะห์ไดเมทิลอีเทอร์ พบว่า เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยา จะทำให้ร้อยละการเปลี่ยนไป

ของคาร์บอนมอนอกไซด์มีค่าเพิ่มขึ้น และผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นได้เป็นไดเมทิลอีเทอร์เพิ่มขึ้น และผลิตภัณฑ์ข้างเคียง คือ เมทานอล เกิดขึ้นลดลง

2.9.6 Effect of Metal Precursor on Cu/ZnO/Al₂O₃ Synthesized by Flame Spray Pyrolysis for Direct DME Production. [40]

S.C. Lee และคณะ (2015) ได้ทำการศึกษาผลกระทบของสารตั้งต้นในการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยา โลหะออกไซด์ (Cu/ZnO/Al₂O₃) เพื่อใช้ในการสังเคราะห์ไดเมทิลอีเทอร์ โดยเปรียบเทียบสารตั้งต้น 2 ชนิดคือสารประกอบไนเตรต และสารประกอบ organometallics และใช้อัตราส่วนของโลหะออกไซด์ที่แตกต่างกัน พบว่าการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะออกไซด์ที่อัตราส่วนคอปเปอร์ออกไซด์ต่อสังกะสีออกไซด์ต่ออะลูมิเนียมออกไซด์ที่ 6:3:1 และใช้สารตั้งต้นเป็นสารประกอบไนเตรต จะได้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีพื้นที่ผิวของคอปเปอร์ในการทำปฏิกิริยาที่สูงกว่าอัตราส่วนอื่น



บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

การทดลองนี้เป็นการศึกษาการเปรียบเทียบตัวเร่งปฏิกิริยาออกไซด์ของโลหะทั้ง 5 แบบ ได้แก่ CuO, CuO-ZnO (อัตราส่วน 1:1), CuO-ZnO (อัตราส่วน 2:1), CuO-ZnO-Al₂O₃, CuO-ZnO-Al₂O₃-Zr 3% บนซีโอไลท์ γ -Al₂O₃ เพื่อใช้ในการผลิตไดเมทิลอีเทอร์จากแก๊สสังเคราะห์

ซึ่งทำการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยเทคนิคการตกตะกอนร่วม(co-precipitation) และเทคนิคการผสมแบบกายภาพ (physical mixing) โดยอุปกรณ์ที่ใช้มีดังนี้

3.1 อุปกรณ์การทดลอง

3.1.1 อุปกรณ์การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา

1. Water bath MEMERT รุ่น WNB 14
2. บีกเกอร์ แท่งแก้ว ขวดน้ำกลั่น ข้อนตักสาร
3. มอเตอร์และใบกวน
4. เครื่องวัด pH DENVER INSTRUMENT รุ่น UB-10 UltraBasic
5. ชุดอุปกรณ์การกรองแบบลดความดัน
6. กระดาษกรองเบอร์ 4 Whatman
7. เตาอบ (Oven) MEMERT, UNB 300
8. เตาเผา (Furnace) ซาโซติ, L9/12P
9. โถดูดความชื้น (Desiccator)
10. เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง Mettler Toledo, ME-204
11. ตะแกรงร่อนมาตรฐาน (Sieve) Misumi Vona, 5-3294-33
12. เครื่องอัดเม็ด Chavachote
13. โกร่งบดสาร (Mortar and Pestle)

3.1.2 ชุดอุปกรณ์การสังเคราะห์ไดเมทิลอีเทอร์

1. ชุดเครื่องปฏิกรณ์แบบเบตนิ่ง (Fixed-bed reactor)
2. ฉนวนใยแก้ว (Glass wool)
3. ถุงเก็บแก๊ส (Gas Sampling Bag)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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, FTIR), Spectrum GX
5. เครื่องวิเคราะห์พื้นที่ผิว (Surface Area and Porosity Analyzer, BET)

3.3 แก๊สและสารเคมี

1. คอปเปอร์ไนเตรต ไตรไฮเดรต ($\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) 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. ซิงค์ไนเตรต เฮกซะไฮเดรต ($\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) ความบริสุทธิ์ 98.00 เปอร์เซ็นต์ เกรด วิเคราะห์ บริษัท Loba chemie Pvt,Ltd. ประเทศอินเดีย
4. อะลูมิเนียมไนเตรดโนนไฮเดรต ($\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$) ความบริสุทธิ์ 98.00 เปอร์เซ็นต์ เกรดวิเคราะห์ บริษัท Loba chemie Pvt,Ltd. ประเทศอินเดีย
5. เซอโคเนียมออกซีคลอไรด์ ออกตะไฮเดรต ($\text{ZrOCl}_2 \cdot 8 \text{H}_2\text{O}$) เกรดวิเคราะห์ บริษัท ACROS ORGANICS จำกัด
6. แกมมาอะลูมินา ($\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$) เกรดการค้า
7. Quartz Sand บริษัท Wako Pure Chemical Industries,Ltd. ประเทศญี่ปุ่น
8. น้ำปราศจากไอออน (Deionized water)
9. แก๊สไนโตรเจน (N_2) ความบริสุทธิ์ 99.99 เปอร์เซ็นต์ บริษัท Praxair (Thailand),Ltd. ประเทศไทย
10. แก๊สไฮโดรเจน (H_2) ความบริสุทธิ์ 5.00 เปอร์เซ็นต์ในแก๊สไนโตรเจน (N_2) บริษัท Praxair (Thailand),Ltd. ประเทศไทย
11. แก๊สสังเคราะห์ ($\text{H}_2 : \text{CO} = 1:1$) บริษัท United industrial gases Co.,Ltd.

3.4 วิธีการทดลอง

3.4.1 การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาออกไซด์ของตัวเร่งทั้ง 5 แบบโดยใช้วิธีการตกตะกอนร่วม

3.4.1.1 สังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยา CuO

ทำการตกตะกอนร่วมตัวเร่งปฏิกิริยานำคอปเปอร์ไนเตรตไปละลายในน้ำปราศจากไอออน (Deionized water) และเตรียมโซเดียมคาร์บอเนตนำไปละลายน้ำปราศจากไอออน (Deionized water) จากนั้นนำสารละลายไนเตรตกับสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตใส่ในกรวยแยกคนละอัน ทำการหยดสารละลายพร้อมปรับอัตราการหยดของสารละลายทั้งสองให้มี pH เท่ากับ 7 โดยการหยดสารละลายลงในบีกเกอร์ที่บรรจุน้ำปราศจากไอออน (Deionized water) ค่อยๆหยดด้วยอัตราคงที่ลงในบีกเกอร์ ภายใต้ความเร็วการหมุน 600 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส หลังจากทำการตกตะกอนเสร็จสิ้นให้ทำการแขวนลอยที่อุณหภูมิเดิม โดยใช้เวลากวนเป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นทิ้งให้ตกตะกอนไว้ประมาณ 1 คืน แล้วทำการล้างตะกอนที่ได้พร้อมกับบอแห่งที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นทำการเผาตะกอนที่อบเสร็จภายใต้ความดันบรรยากาศอุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง โดยมีอัตราเพิ่มอุณหภูมิที่ 3 องศาเซลเซียสต่อนาที

3.4.1.2 สังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยา CuO-ZnO (อัตราส่วน 1:1)

ทำการตกตะกอนร่วมตัวเร่งปฏิกิริยานำคอปเปอร์ไนเตรตและซิงค์ไนเตรตไปละลายในน้ำปราศจากไอออน (Deionized water) CuO:ZnO อัตราส่วน 1:1 และเตรียมโซเดียมคาร์บอเนตนำไปละลายน้ำปราศจากไอออน (Deionized water) จากนั้นนำสารละลายไนเตรตกับสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตใส่ในกรวยแยกคนละอัน ทำการหยดสารละลายพร้อมปรับอัตราการหยดของสารละลายทั้งสองให้มี pH เท่ากับ 7 โดยการหยดสารละลายลงในบีกเกอร์ที่บรรจุน้ำปราศจากไอออน (Deionized water) ผสมกันภายใต้ความเร็วการหมุน 600 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส หลังจากทำการตกตะกอนเสร็จสิ้นให้ทำการแขวนลอยที่อุณหภูมิเดิม โดยใช้เวลากวนเป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นทิ้งให้ตกตะกอนไว้ประมาณ 1 คืน แล้วทำการล้างตะกอนที่ได้พร้อมกับบอแห่งที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็น เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นทำการเผาตะกอนที่อบเสร็จภายใต้ความดันบรรยากาศอุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง โดยมีอัตราเพิ่มอุณหภูมิที่ 3 องศาเซลเซียสต่อนาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.1.3 สังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยา CuO-ZnO (อัตราส่วน 2:1)

ทำการตกตะกอนร่วมตัวเร่งปฏิกิริยานำคอปเปอร์ไนเตรตและซิงค์ไนเตรตไปละลายในน้ำปราศจากไอออน (Deionized water) CuO:ZnO อัตราส่วน 2:1 และเตรียมโซเดียมคาร์บอเนตนำไปละลายน้ำปราศจากไอออน (Deionized water) จากนั้นนำสารละลายไนเตรตกับสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตใส่ในกรวยแยกคนละอัน ทำการหยดสารละลายพร้อมปรับอัตราการหยดของสารละลายทั้งสองให้มี pH เท่ากับ 7 โดยการหยดสารละลายลงในบีกเกอร์ที่บรรจุน้ำปราศจากไอออน (Deionized water) ผสมกันภายใต้ความเร็วการหมุน 600 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส หลังจากทำการตกตะกอนเสร็จสิ้นให้ทำการแขวนลอยที่อุณหภูมิเดิม โดยใช้เวลากวนเป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นทิ้งให้ตกตะกอนไว้ประมาณ 1 คืน แล้วทำการล้างตะกอนที่ได้พร้อมกับบอห์ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็น เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นทำการเผาตะกอนที่อบเสร็จภายใต้ความดันบรรยากาศอุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง โดยมีอัตราเพิ่มอุณหภูมิที่ 3 องศาเซลเซียส ต่อนาที

3.4.1.4 สังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยา CuO-ZnO-Al₂O₃

ทำการตกตะกอนร่วมตัวเร่งปฏิกิริยานำคอปเปอร์ไนเตรต, ซิงค์ไนเตรต, อะลูมิเนียมไนเตรต ไปละลายในน้ำปราศจากไอออน (Deionized water) CuO:ZnO:Al₂O₃ อัตราส่วน 6:3:1 และเตรียมโซเดียมคาร์บอเนตนำไปละลายน้ำปราศจากไอออน (Deionized water) จากนั้นนำสารละลายไนเตรตกับสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตใส่ในกรวยแยกคนละอันทำการหยดสารละลายพร้อมปรับอัตราการหยดของสารละลายทั้งสองให้มี pH เท่ากับ 7 โดยการหยดสารละลายลงในบีกเกอร์ที่บรรจุน้ำปราศจากไอออน (Deionized water) ผสมกันภายใต้ความเร็วการหมุน 600 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส หลังจากทำการตกตะกอนเสร็จสิ้นให้ทำการแขวนลอยที่อุณหภูมิเดิม โดยใช้เวลากวนเป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นทิ้งให้ตกตะกอนไว้ประมาณ 1 คืน แล้วทำการล้างตะกอนที่ได้พร้อมกับบอห์ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็น เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นทำการเผาตะกอนที่อบเสร็จภายใต้ความดันบรรยากาศอุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง โดยมีอัตราเพิ่มอุณหภูมิที่ 3 องศาเซลเซียส ต่อนาที

3.4.1.5 สังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยา CuO-ZnO-Al₂O₃-ZrO₂

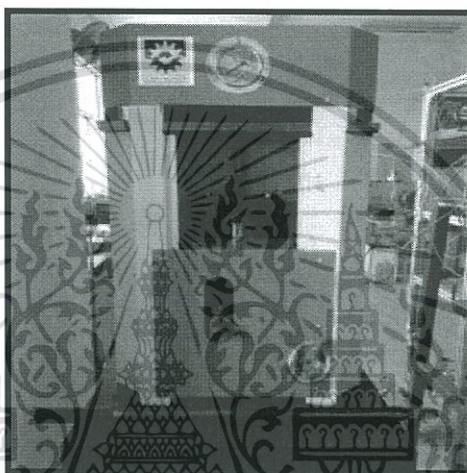
ทำการตกตะกอนร่วมตัวเร่งปฏิกิริยานำคอปเปอร์ไนเตรต, ซิงค์ไนเตรต, อะลูมิเนียมไนเตรต, เซอโคเนียมออกซะคลอไรด์ ไปละลายในน้ำปราศจากไอออน (Deionized water) CuO:ZnO:Al₂O₃:ZrO₂ อัตราส่วน 6:3:1:3%w และเตรียมโซเดียมคาร์บอเนตนำไปละลายน้ำปราศจากไอออน (Deionized water) จากนั้นนำสารละลายไนเตรตกับสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตใส่ในกรวยแยกคนละอันทำการหยดสารละลายพร้อมปรับอัตราการหยดของสารละลายทั้งสองให้มี pH เท่ากับ 7 โดยการหยดสารละลายลงในบีกเกอร์ที่บรรจุน้ำปราศจากไอออน (Deionized water) ผสมกันภายใต้ความเร็วการหมุน 600 รอบต่อนาที ในอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส หลังจากทำการตกตะกอนเสร็จสิ้นให้ทำการแขวนลอยที่อุณหภูมิเดิม โดยใช้เวลากวนเป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นทิ้งให้ตกตะกอนไว้ประมาณ 1 คืน แล้วทำการล้างตะกอนที่ได้พร้อมกับอบแห้งที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็น เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นทำการเผาตะกอนที่อบเสร็จภายใต้ความดันบรรยากาศอุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง โดยมีอัตราเพิ่มอุณหภูมิที่ 3 องศาเซลเซียสต่อนาที

3.4.2 การเตรียมแกมมาอะลูมินา (γ-Al₂O₃)

นำแกมมาอะลูมินา (γ-Al₂O₃) ไปเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส โดยมีอัตราเพิ่มอุณหภูมิที่ 3 องศาเซลเซียสต่อนาที เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

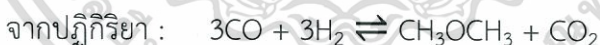
3.4.3 เตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะออกไซด์บนแกมมาอะลูมินา

1. เตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะออกไซด์บนแกมมาอะลูมินามาอัดเป็นเม็ดด้วยเครื่องอัดเม็ด ดังรูปที่ 3.1 โดยมีความดัน 250 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ทั้ง ไว้เป็นเวลาประมาณ 5 นาที
2. เมื่อตัวอย่างสารถูกอัดเป็นเม็ดแล้ว จะนำมาบดด้วยโกร่งบดสาร
3. นำตัวอย่างสารมาร้อนผ่านตะแกรงมาตรฐานที่มีขนาด 500 ไมโครเมตร
4. ทำตามข้อ 1-3 ซ้ำ โดยเปลี่ยนเทคนิคของการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะอีก 4 ชนิด



รูปที่ 3.1 เครื่องอัดเม็ด

3.4.4 การสังเคราะห์ไดเมทิลอีเทอร์แบบทางตรง

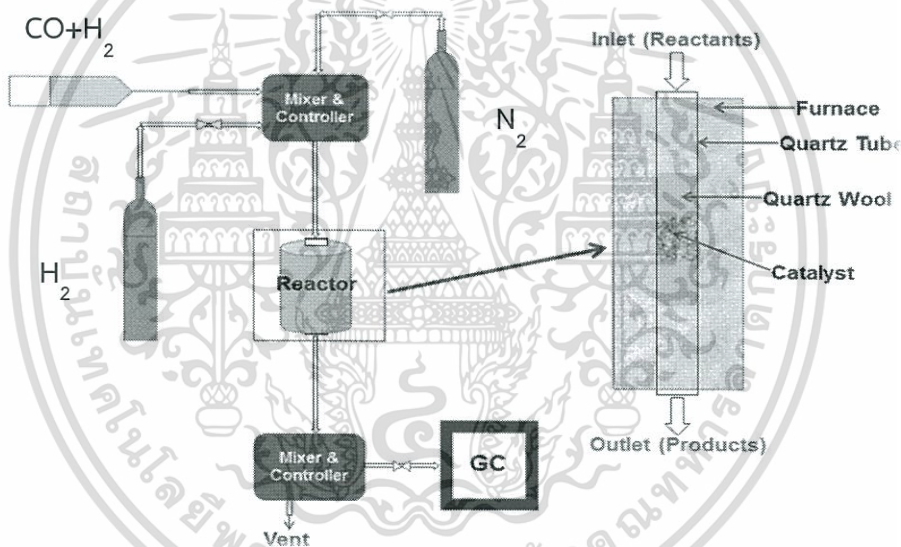


มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. เตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์อะลูมินาเตรียมออกไซด์บนแกมมาอะลูมินาด้วยอัตราส่วน 2:1 ประมาณ 0.50 กรัม ผสมกับ Quartz Sand ประมาณ 0.50 กรัม โดยใช้เครื่องชั่งตวงวัด 4 ตำแหน่ง จากนั้นนำตัวเร่งปฏิกิริยาแพ็คลงในเครื่องปฏิกรณ์ดังรูปที่ 3.2
2. ก่อนเริ่มทำปฏิกิริยา เก็บตัวอย่างแก๊สสังเคราะห์ไปตรวจวัดด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี เพื่อวิเคราะห์หาองค์ประกอบที่เป็นสารผสมของ แก๊สสังเคราะห์
3. ป้อนแก๊สไนโตรเจนเข้าสู่เครื่องปฏิกรณ์ เพื่อขับไล่แก๊สออกซิเจน อากาศ และสารตกค้างอื่นออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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 เปอร์เซ็นต์ ในแก๊สไนโตรเจน เพื่อเข้าสู่ขั้นตอนของการรีดิวซ์ตัวเร่งปฏิกิริยา เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
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



รูปที่ 3.2 ชุดเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง (Fixed-bed reactor)

3.5 การตรวจสอบเอกลักษณ์และเครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์

3.5.1 การวิเคราะห์ลักษณะผลึกและอสัณฐาน

เทคนิคสำหรับการวิเคราะห์ลักษณะผลึกและอสัณฐาน เป็นเทคนิคที่นำรังสีเอ็กซ์ มาใช้วิเคราะห์ สารประกอบที่มีอยู่ในสารตัวอย่างและนำมาใช้ศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับโครงสร้างผลึกของสาร ตัวอย่าง เทคนิค XRD อาศัยหลักการของการยิงรังสีเอ็กซ์ ไปกระทบชิ้นงาน ทำให้เกิดการเลี้ยวเบนของ รังสีที่มุมต่างๆกัน ข้อมูลที่ได้รับจึงสามารถบ่งบอกชนิดของสารประกอบที่มีอยู่ในสารตัวอย่างและ สามารถนำมาใช้ในศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับโครงสร้างของผลึกของสารตัวอย่างนั้นๆได้ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการ วิเคราะห์ที่ได้จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับฐานข้อมูลมาตรฐานเพื่อระบุวัสดุภาคองค์ประกอบของ สาร ตัวอย่าง โดยใช้ Cu K α (ความยาวคลื่น 1.54 Å) เป็นตัว X-ray source ศึกษา intensity ที่ 2 θ ในช่วง 10° – 80° (step เป็น 0.040° และ counting time เป็น 1 วินาทีต่อ step) การหา ขนาดผลึกของคอปเปอร์ออกไซด์สามารถคำนวณได้จากค่าความสูงกึ่งกลาง (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) การสร้างภาพทำได้โดยการตรวจวัดอิเล็กตรอนที่ สะท้อน จากพื้นผิวหน้าของ ตัวอย่างที่ทำการสำรวจ ซึ่งภาพที่ได้จากเครื่อง SEM นี้จะเป็น ภาพลักษณะของ 3 มิติ การเตรียมตัวอย่างที่จะนำไปวิเคราะห์นั้นจะต้องทำการเคลือบผิวด้วยทอง (Au) โดย เครื่องมือที่ เรียกว่า sputter coater ก่อน ซึ่งเวลาที่ใช้ในการเคลือบประมาณ 30 วินาที เพื่อให้ 27 พื้นผิว ของตัวอย่างมีคุณสมบัตินำไฟฟ้าจากนั้นจึงนำสารตัวอย่างไปวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์ อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (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) เป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับวิเคราะห์หาหมู่ ฟังก์ชันของสารประกอบอินทรีย์ โดยอาศัยหลักการของการดูดกลืนคลื่นรังสีอินฟราเรด ประมาณ 12800 – 10 cm⁻¹ เมื่อโมเลกุลได้รับพลังงานจากคลื่นรังสีอินฟราเรด ที่มีความถี่ตรงกับความถี่ของ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสั่น (Stretching) หรือ การหมุน (Bending) ของพันธะโคเวเลนต์ในโมเลกุลจะทำให้โมเลกุลตั้งกล่าวเกิดการดูดกลืนแสง IR และมีการเปลี่ยนแปลงค่าโมเมนต์ขั้วคู่ (Dipole moment) ของโมเลกุล จากนั้นเครื่องมือจะวัดค่าความเข้มแสงต่อความถี่หรือความยาวคลื่น (Wave number) โดยขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างที่จะนำไปวิเคราะห์นั้นจะต้องนำสารตัวอย่างไปบดผสมกับ KBr เรียบร้อยแล้วไปใส่ในแม่พิมพ์เข้าเครื่องอัดเม็ดปล่อยให้แห้งประมาณ 2 นาที เสร็จแล้วจะได้สาร ตัวอย่างที่เป็นแผ่นวงกลมใส แล้วจึงนำไปวิเคราะห์ในเครื่อง FT-IR

3.5.4 การวิเคราะห์พื้นที่ผิว

Brunauer-Emmett-Teller surface area, BET เป็นวิธีศึกษาสมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น ขนาดรูพรุน ปริมาตรรูพรุน พื้นที่ผิวสัมผัสรูพรุน โดยอาศัยเทคนิคการดูดซับแก๊สไนโตรเจน (N₂ 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)

ผลการวิจัย และการอภิปรายผล

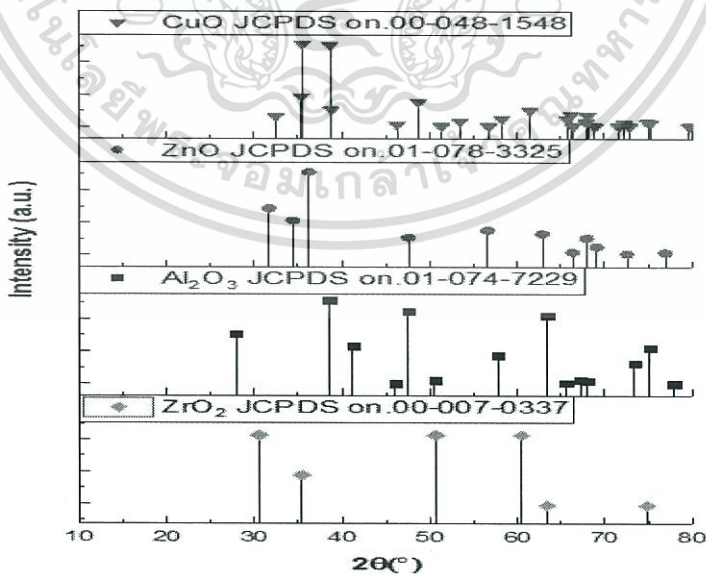
4.1 การตรวจสอบเอกลักษณ์ตัวเร่งปฏิกิริยา

การเตรียมและพิสูจน์เอกลักษณ์ของตัวเร่งปฏิกิริยาทั้ง 5 แบบ คือ คอปเปอร์ออกไซด์ (CuO), คอปเปอร์ออกไซด์ซิงค์ออกไซด์ (CuOZnO) ในอัตราส่วน 1:1, คอปเปอร์ออกไซด์ซิงค์ออกไซด์ (CuOZnO) ในอัตราส่วน 2:1, คอปเปอร์ออกไซด์ซิงค์ออกไซด์อะลูมิเนียมออกไซด์ (CuOZnOAl₂O₃) ในอัตราส่วน 6:3:1 และคอปเปอร์ออกไซด์ซิงค์ออกไซด์อะลูมิเนียมออกไซด์เซอร์โคเนียออกไซด์ (CuOZnOAl₂O₃-3%ZrO₂) ในอัตราส่วน 6:3:1:3%, 2561

4.1.1 การวิเคราะห์โครงสร้างและความเป็นผลึกด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์

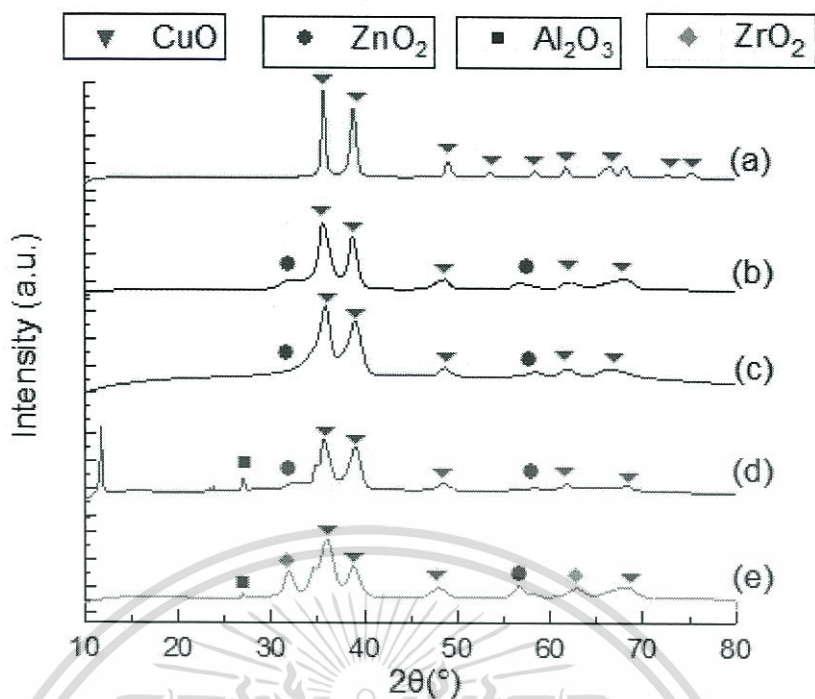
(X-ray Diffraction, XRD)

เทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (XRD) เป็นเทคนิคที่ใช้วิเคราะห์สารประกอบในสารตัวอย่างและศึกษารายละเอียดโครงสร้างของผลึกของสารตัวอย่าง โดยใช้เครื่อง X-ray Diffractometer นอกจากนี้ XRD ยังสามารถยืนยันโครงสร้างของสารตัวอย่างที่สังเคราะห์ได้โดยเทียบกับโครงสร้างผลึกมาตรฐานของสารนั้นๆ



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงโครงสร้างผลึกมาตรฐานของคอปเปอร์ออกไซด์ (CuO JCPDS on.00-048-1548) , ซิงค์ออกไซด์ (ZnO, JCPDS on.01-078-3325), อะลูมิเนียมออกไซด์ (Al₂O₃, JCPDS on.01-074-7229) และเซอร์โคเนียออกไซด์ (ZrO₂, JCPDS on.00-007-0337)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีถือว่าผิดกฎหมาย
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

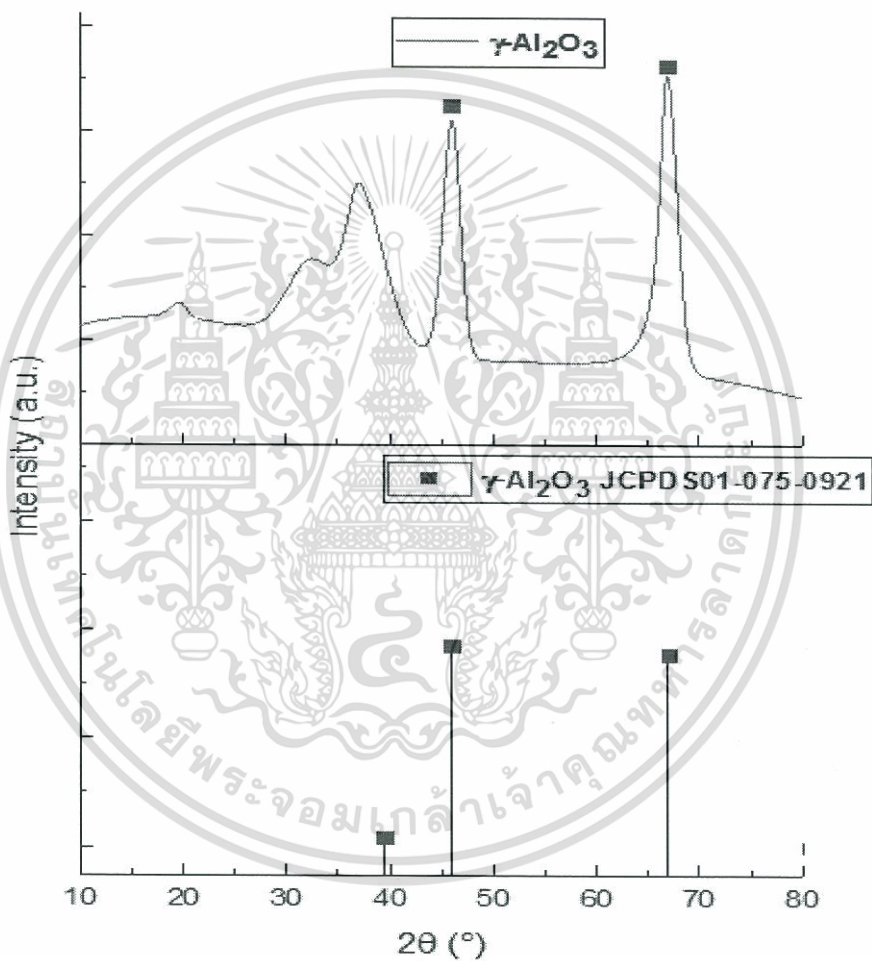


รูปที่ 4.2 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของกราฟ (a) CuO (b) CuO-ZnO อัตราส่วน 1:1 (c) CuO-ZnO อัตราส่วน 2:1 (d) CuO-ZnO- Al_2O_3 อัตราส่วน 6:3:1 (e) CuO-ZnO- Al_2O_3 - ZrO_2 อัตราส่วน 6:3:1:3%

จากรูปที่ 4.2 พบว่าเมื่อนำตัวเร่งปฏิกิริยาที่สังเคราะห์ได้ทั้ง 5 แบบ มาวิเคราะห์โครงสร้าง พบว่า พีคของคอปเปอร์ออกไซด์ (CuO) ที่ตำแหน่ง 2θ ต่างๆ ในกราฟ a) พบที่ตำแหน่ง 35.50° , 38.71° , 48.72° , 53.49° , 58.26° , 61.53° , 66.22° , 72.37° , 75.24° ในระนาบ (11-1), (111), (20-2), (020), (202), (11-3), (31-1), (311) และ (22-2) ในกราฟ b), c), d) พบที่ตำแหน่ง 35.50° , 38.71° , 48.72° , 61.53° และ 66.22° ในระนาบ (11-1), (111), (20-2), (11-3) และ (31-1) และในกราฟ e) พบที่ตำแหน่ง 35.50° , 38.71° , 48.72° และ 66.22° ในระนาบ (11-1), (111), (20-2) และ (31-1) ซึ่งใกล้เคียงกับกราฟมาตรฐานคอปเปอร์ออกไซด์ (CuO JCPDS on.00-048-1548) ในรูปที่ 4.1 ต่อไปเป็นพีคของซิงค์ออกไซด์ (ZnO) ที่ตำแหน่ง 2θ ต่างๆ ในกราฟ a) ไม่พบพีค ในกราฟ b), c), d) พบที่ตำแหน่ง 31.78° , 56.61° ในระนาบ (100) และ (110) และในกราฟ e) พบที่ตำแหน่ง 56.61° ในระนาบ (110) จากกราฟทั้ง 5 แบบมีกราฟ b), c), d) และ e) ใกล้เคียงกับกราฟมาตรฐานซิงค์ออกไซด์ (ZnO, JCPDS on.01-078-3325) ในรูปที่ 4.1 ต่อไปเป็นพีคของอะลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) ที่ตำแหน่ง 2θ ต่างๆ ในกราฟ a), b), c) ไม่พบพีค ส่วนกราฟ d), e) พบที่ตำแหน่ง 27.95° ในระนาบ (012) จากกราฟทั้ง 5 แบบมีกราฟ d) และ e) ใกล้เคียงกับกราฟมาตรฐานอะลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3 , JCPDS on.01-074-7229) ในรูปที่ 4.1 ต่อไปเป็นพีคของเซอร์โคเนียมออกไซด์ (ZrO_2) ที่ตำแหน่ง 2θ ต่างๆ ในกราฟ a), b), c), d) ส่วนกราฟ e) พบที่ตำแหน่ง 30.59° และ 63.49° ในระนาบ (111), (222) จากกราฟทั้ง 5 แบบมีกราฟ e) ใกล้เคียงกับกราฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาตรฐานเซอร์โคเนียมออกไซด์ (ZrO_2 , JCPDS on.00-007-0337) ในรูปที่ 4.1 ดังนั้นจึงสามารถยืนยันได้ว่ากราฟ a) เป็นกราฟของตัวเร่งคอปเปอร์ออกไซด์ (CuO) ส่วนกราฟ b) และ c) เป็นกราฟของตัวเร่งคอปเปอร์ออกไซด์และซิงค์ออกไซด์ ($CuOZnO$) ส่วนกราฟ d) เป็นกราฟของตัวเร่งคอปเปอร์ออกไซด์ซิงค์ออกไซด์และอะลูมิเนียมออกไซด์ ($CuOZnOAl_2O_3$) และกราฟ e) เป็นกราฟของตัวเร่งคอปเปอร์ออกไซด์ซิงค์ออกไซด์อะลูมิเนียมออกไซด์และเซอร์โคเนียมออกไซด์ ($CuOZnOAl_2O_3ZrO_2$) เมื่อนำกราฟทั้งหมดมาเทียบกับ XRD Pattern สามารถยืนยันได้ว่าตัวเร่งที่สังเคราะห์มีองค์ประกอบของสารตาม XRD Pattern



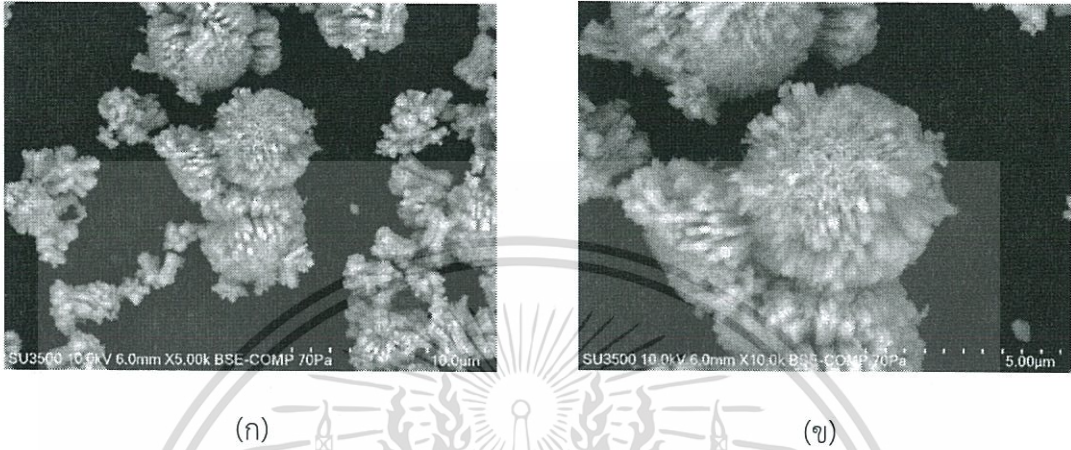
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงโครงสร้างผลึกของตัวเร่งปฏิกิริยาแกมมาอะลูมินา เทียบกับโครงสร้างผลึกมาตรฐานของแกมมาอะลูมินา (γ - Al_2O_3 , JCPDS on. 01-075-0921)

จากรูปที่ 4.3 การวิเคราะห์โครงสร้างของแกมมาอะลูมินา พบว่าพีคของแกมมาอะลูมินา (γ - Al_2O_3) ขึ้นที่ตำแหน่ง 2θ เท่ากับ 45.91° และ 66.95° แสดงถึงระนาบที่ (200) และ (220) ซึ่งใกล้เคียงกับโครงสร้างผลึกมาตรฐานของแกมมาอะลูมินา (γ - Al_2O_3) จาก XRD Pattern สามารถยืนยันได้ว่าแกมมาเอเรดการคำ มีสมบัติคล้ายแกมมาอะลูมินามาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

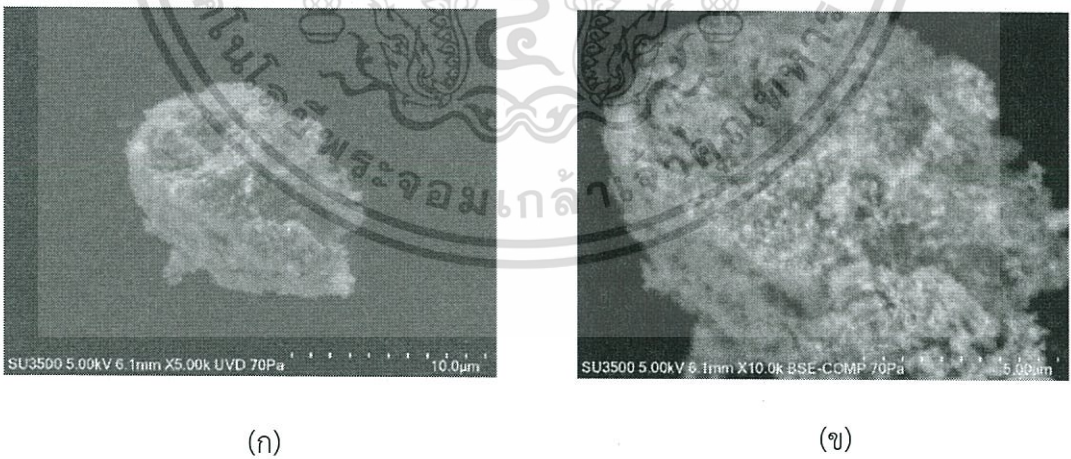
4.1.2 การวิเคราะห์ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของตัวเร่งปฏิกิริยาในระดับจุลภาค (SEM)

การวิเคราะห์ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของตัวเร่งปฏิกิริยาโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดสามารถอธิบายลักษณะพื้นที่ผิว ขนาด และการกระจายตัวของอนุภาค ของตัวเร่งปฏิกิริยา



รูปที่ 4.4 รูปร่างสัณฐานวิทยาของตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ออกไซด์(ก) ที่กำลังขยาย 5000 เท่า และ (ข) ที่กำลังขยาย 1000 เท่า

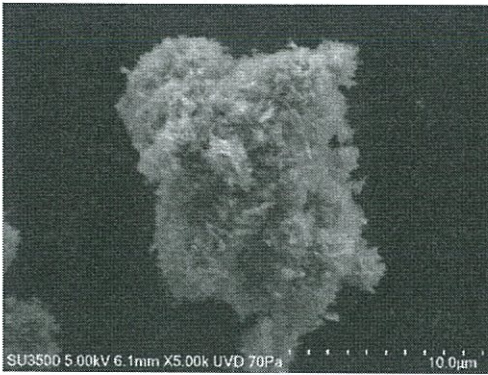
จากรูปที่ 4.4 พบว่า ลักษณะสัณฐานวิทยาของคอปเปอร์ออกไซด์ (CuO) มีลักษณะเป็นผลึกขนาดใหญ่การเรียงตัวของผลึกเป็นแท่งผลึก เรียงตัวกัน



รูปที่ 4.5 รูปร่างสัณฐานวิทยาของตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ออกไซด์ซิงค์ออกไซด์อัตราส่วนแบบ 1:1 (ก) ที่กำลังขยาย 5000 เท่า และ (ข) ที่กำลังขยาย 1000 เท่า

จากรูปที่ 4.5 พบว่า ลักษณะสัณฐานวิทยาของคอปเปอร์ออกไซด์ซิงค์ออกไซด์อัตราส่วนแบบ 1:1 (CuOZnO) มีลักษณะเป็นผลึกขนาดเล็กใหญ่รวมตัวกัน มีการจัดเรียงตัวแบบไม่เป็นระเบียบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



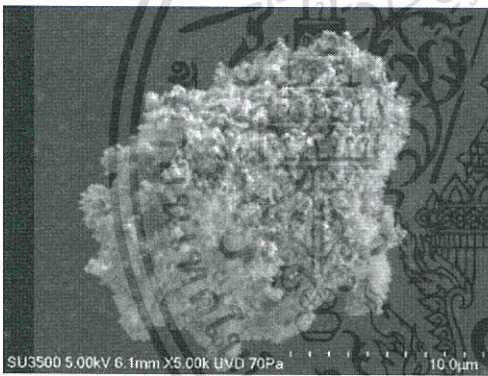
(ก)



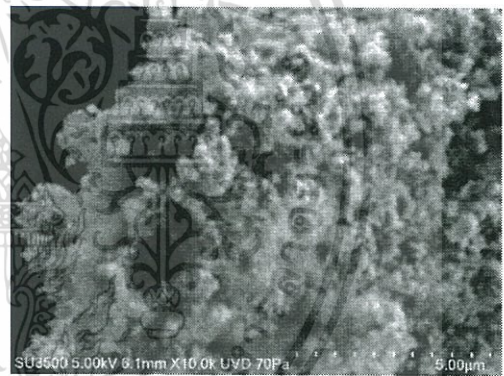
(ข)

รูปที่ 4.6 รูปร่างสัณฐานวิทยาของตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ออกไซด์ซิงค์ออกไซด์อัตราส่วนแบบ 2:1 (ก) ที่กำลังขยาย 5000 เท่า และ (ข) ที่กำลังขยาย 1000 เท่า

จากรูปที่ 4.6 พบว่า ลักษณะสัณฐานวิทยาของคอปเปอร์ออกไซด์ซิงค์ออกไซด์อัตราส่วนแบบ 2:1 (CuOZnO) มีลักษณะเป็นผลึกขนาดเล็กใหญ่รวมตัวกัน มีการกระจายตัวแบบไม่เป็นระเบียบ



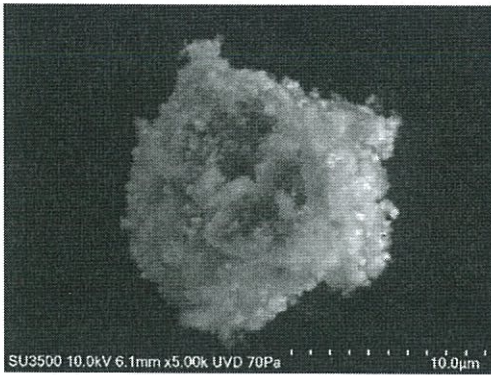
(ก)



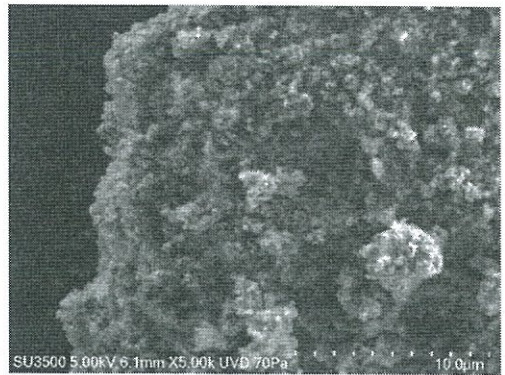
(ข)

รูปที่ 4.7 รูปร่างสัณฐานวิทยาของตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ออกไซด์ซิงค์ออกไซด์อะลูมิเนียมออกไซด์อัตราส่วนแบบ 6:3:1 (ก) ที่กำลังขยาย 5000 เท่า และ (ข) ที่กำลังขยาย 1000 เท่า

จากรูปที่ 4.7 พบว่า ลักษณะสัณฐานวิทยาของคอปเปอร์ออกไซด์ซิงค์ออกไซด์อะลูมิเนียมออกไซด์อัตราส่วนแบบ 6:3:1 ($\text{CuOZnOAl}_2\text{O}_3$) มีลักษณะเป็นผลึกขนาดเล็กๆ ที่มีขนาดแตกต่างกัน มีการกระจายตัวแบบไม่เป็นระเบียบ และรวมตัวเป็นก้อน



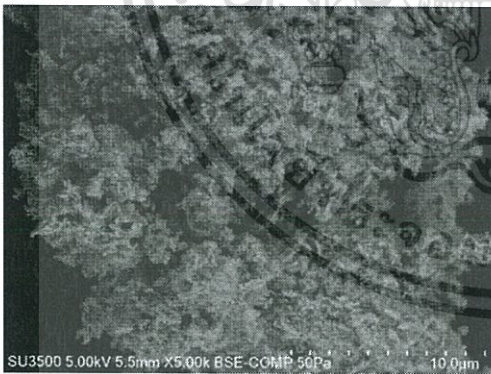
(ก)



(ข)

รูปที่ 4.8 รูปร่างสัณฐานวิทยาของตัวเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของไฮโดรคาร์บอนอะโรมาติกด้วยออกซิเจนของโคบอลต์ออกไซด์อัตราส่วนแบบ 6:3:1:3% (ก) ที่กำลังขยาย 5000 เท่า และ (ข) ที่กำลังขยาย 1000 เท่า

จากรูปที่ 4.8 พบว่า ลักษณะสัณฐานวิทยาของออกซิเดชันของไฮโดรคาร์บอนอะโรมาติกด้วยออกซิเจนอัตราส่วนแบบ 6:3:1:3% ($\text{CuOZnOAl}_2\text{O}_3\text{ZrO}_2$) มีลักษณะเป็นผลึกขนาดเล็กๆมากกว่าของออกซิเดชันของไฮโดรคาร์บอนอะโรมาติกด้วยออกซิเจนอัตราส่วนแบบ 6:3:1 มีการจัดตัวแบบไม่เป็นระเบียบ และผลึกเป็นก้อนขนาดเล็ก



(ก)



(ข)

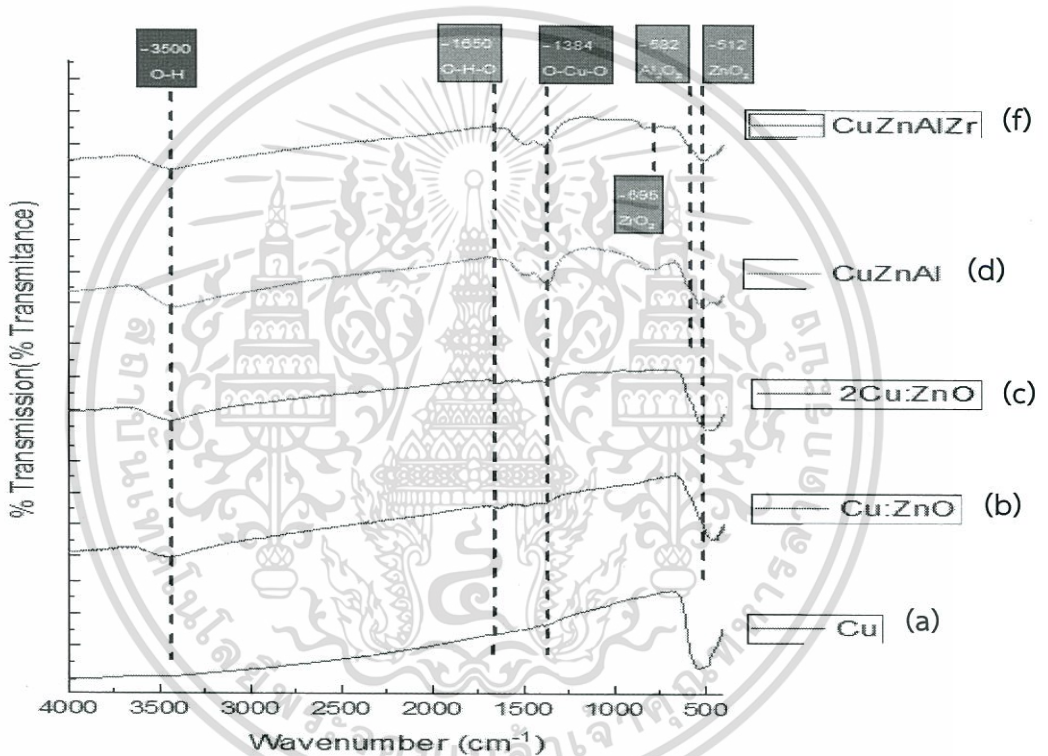
รูปที่ 4.9 รูปร่างสัณฐานวิทยาของแกมมาอะลูมินา (ก) ที่กำลังขยาย 5000 เท่า และ (ข) ที่กำลังขยาย 1000 เท่า

จากรูปที่ 4.9 พบว่าลักษณะสัณฐานวิทยาของแกมมาอะลูมินา ($\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$) มีลักษณะเป็นก้อนขนาดใหญ่ และมีความเป็นรูพรุน

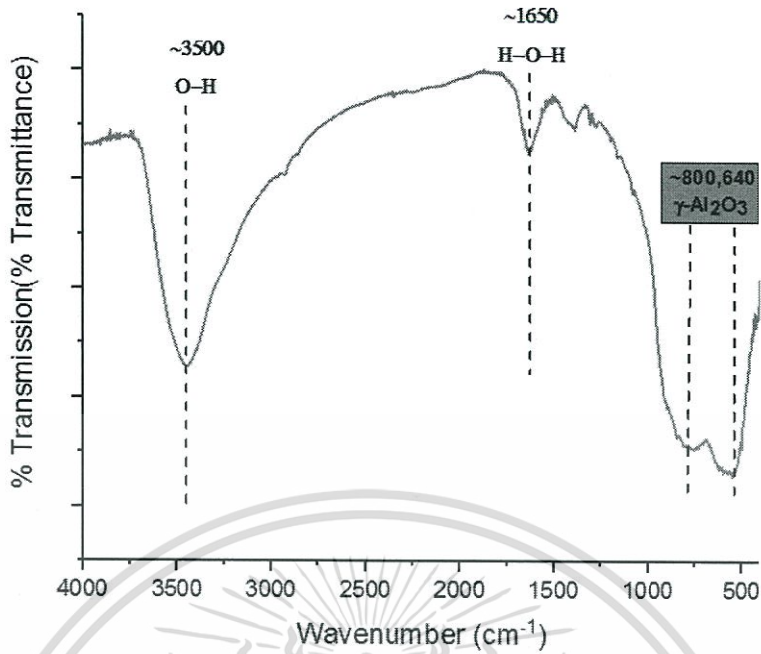
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของสารด้วยแสงอินฟราเรด ทำการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค (Fourier transform infrared Spectroscopy, FT-IR) ซึ่งสามารถตรวจวัดโครงสร้างของโมเลกุลด้วยการวัดการสั่นของโมเลกุล ซึ่งสารแต่ละชนิดจะมีค่าความถี่ของการสั่นที่จำเพาะและแตกต่างกันไป ได้ การแสดงผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคนี้แสดงเป็นความสัมพันธ์ระหว่าง Wave number กับ Transmittance ได้ผลการทดลองดังนี้



รูปที่ 4.10 อินฟราเรดสเปกตรัมของตัวเร่งปฏิกิริยากราฟ (a) CuO (b) CuO-ZnO อัตราส่วน 1:1 (c) CuO-ZnO อัตราส่วน 2:1 (d) CuO-ZnO- Al_2O_3 อัตราส่วน 6:3:1 (e) CuO-ZnO- Al_2O_3 - ZrO_2 อัตราส่วน 6:3:1:3% ด้วยวิธีผสมแบบต่างๆในช่วงเลขคลื่น 4000-400 cm^{-1}



รูปที่ 4.11 อินฟราเรดสเปกตรัมของตัวเร่งปฏิกิริยาแกมมาอะลูมินา (γ -Al₂O₃) ในช่วงเลขคลื่น 4000-400 cm⁻¹

จากรูปที่ 4.10 และ 4.11 พบว่าที่ความยาวคลื่นประมาณ 1384 cm⁻¹, 695 cm⁻¹, 582 cm⁻¹, 512 cm⁻¹ เป็นการสั่นของ CuO₂, ZrO₂, ZnO, Al₂O₃ ตามลำดับ ส่วนที่ประมาณ 800 cm⁻¹ และ 640 cm⁻¹ เป็นการสั่นของ γ -Al₂O₃

4.1.4 การวิเคราะห์พื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาด้วย BET

พื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นปัจจัยสำคัญของการทำปฏิกิริยา เนื่องปฏิกิริยาแต่ละชนิดมีพื้นที่ผิวแตกต่างกันออกไป หากตัวเร่งปฏิกิริยามีพื้นที่ผิวมาก สารตั้งต้นก็สามารถดูดซับผิวลงบนพื้นที่ผิว และเกิดปฏิกิริยาได้มาก

ตารางที่ 4.1 ผลวิเคราะห์พื้นที่ผิวปริมาตรรูพรุน และขนาดรูพรุนของตัวเร่งปฏิกิริยาทั้ง 5 แบบ คือ คอปเปอร์ออกไซด์ (CuO), คอปเปอร์ออกไซด์ซิงค์ออกไซด์ (CuOZnO) ในอัตราส่วน 1:1 ,คอปเปอร์ออกไซด์ซิงค์ออกไซด์ (CuOZnO) ในอัตราส่วน 2:1 ,คอปเปอร์ออกไซด์ซิงค์ออกไซด์อะลูมิเนียมออกไซด์ (CuOZnOAl₂O₃) ในอัตราส่วน 6:3:1 ,คอปเปอร์ออกไซด์ซิงค์ออกไซด์อะลูมิเนียมออกไซด์ เซอโคเนียมออกไซด์ (CuOZnOAl₂O₃-3%ZrO₂) ในอัตราส่วน 6:3:1:3% ตัวเร่งทั้ง 5 แบบ บนแกมมาอะลูมินา และแกมมาอะลูมินา

Catalysts	Surface area (ตารางเมตรต่อ กรัม)	Pore volume (ลูกบาศก์ เซนติเมตร)	Pore size (นาโนเมตร)	CuO Crystalline size ^a (นาโนเมตร)
CuO / A*	173.0	0.47	10.87	5.331
C:Z / A*	185.7	0.51	10.99	4.589
2C:Z / A*	181.9	0.43	9.49	4.683
6C:3Z:1A / A*	189.7	0.52	9.19	3.604
6C:3Z:1A:3%Z* / A*	195.1	0.55	8.96	3.507
γ-Al ₂ O ₃	355.0	1.01	17.68	-

^aคำนวณจากสมการ Scherrer

จากตารางที่ 4.1 พบว่าคอปเปอร์ออกไซด์บนแกมมาอะลูมินาที่สังเคราะห์ได้ มีพื้นที่ผิว 173.0 ตารางเมตรต่อกรัม ปริมาตรรูพรุน 0.47 ลูกบาศก์เซนติเมตร ขนาดรูพรุน 10.87 นาโนเมตร และมีขนาดผลึกของคอปเปอร์ออกไซด์ 5.331 นาโนเมตร

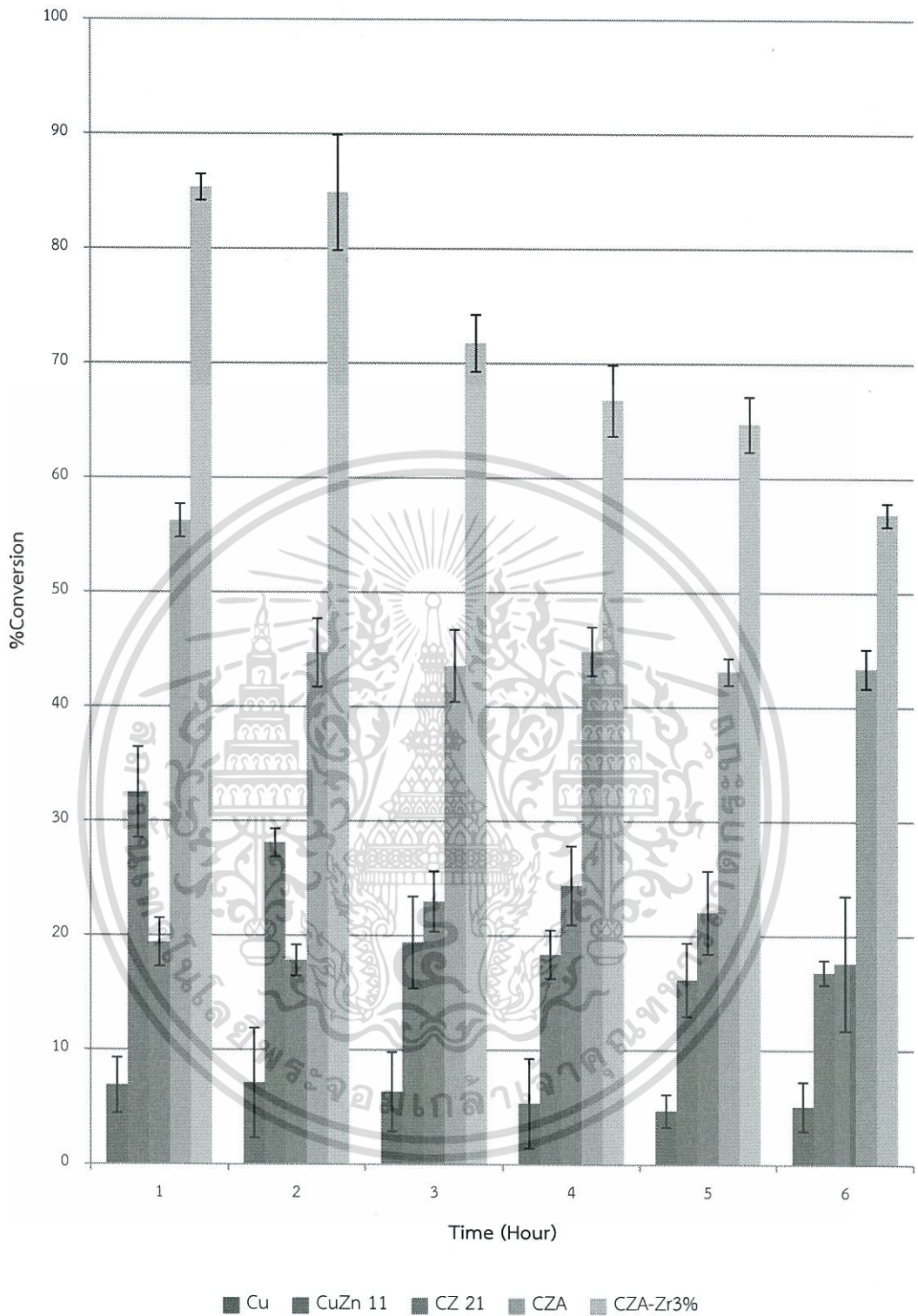
พบว่าเมื่อเติมซิงค์ออกไซด์ที่ตัวเร่งฝั่งโลหะ จะให้ผลที่ดีขึ้นกว่าคอปเปอร์ออกไซด์บนแกมมาอะลูมินา เป็นคอปเปอร์ออกไซด์ซิงค์ออกไซด์อัตราส่วน 1:1 บนแกมมาอะลูมินา มีพื้นที่ผิว 185.7 ตารางเมตรต่อกรัม ปริมาตรรูพรุน 0.51 ลูกบาศก์เซนติเมตร ขนาดรูพรุน 10.99 นาโนเมตร และมีขนาดผลึกของคอปเปอร์ออกไซด์ 4.589 นาโนเมตร ซึ่งให้ผลที่ดีกว่าคอปเปอร์ออกไซด์ซิงค์ออกไซด์อัตราส่วน 2:1 บนแกมมาอะลูมินา

เมื่อเติมอะลูมิเนียมออกไซด์เพิ่มจากตัวเร่งคอปเปอร์ออกไซด์ซิงค์ออกไซด์ จะได้คอปเปอร์ออกไซด์ซิงค์ออกไซด์อะลูมิเนียมออกไซด์อัตราส่วน 6:3:1 บนแกมมาอะลูมินา มีพื้นที่ผิว 190.8 ตารางเมตรต่อกรัม ปริมาตรรูพรุน 0.52 ลูกบาศก์เซนติเมตร ขนาดรูพรุน 9.19 นาโนเมตร และมีขนาดผลึกของคอปเปอร์ออกไซด์ 3.604 นาโนเมตร ซึ่งให้ผลที่ดีกว่าคอปเปอร์ออกไซด์ซิงค์ออกไซด์บนแกมมาอะลูมินาในอัตราส่วนต่างๆ

เมื่อเติมเซอโคเนียมออกไซด์เพิ่มจากตัวเร่งคอปเปอร์ออกไซด์ซึ่งคือออกไซด์อะลูมิเนียม ออกไซด์อัตราส่วน 6:3:1 เป็นปริมาณ 3 เปอร์เซ็นต์ บนแกมมาอะลูมินา พบว่าตัวเร่งปฏิกิริยามี พื้นที่ผิว 195.1 ตารางเมตรต่อกรัม ปริมาตรรูพรุน 0.55 ลูกบาศก์เซนติเมตร ขนาดรูพรุน 8.96 นาโนเมตร และมีขนาดผลึกของคอปเปอร์ออกไซด์ 3.507 นาโนเมตร เป็นผลมาจากขนาดของเซอโคเนียม ออกไซด์มีขนาดเล็ก ทำให้เซอโคเนียมไปแทรกอยู่ระหว่างผลึกคอปเปอร์ออกไซด์ ทำให้คอปเปอร์ ออกไซด์มีพื้นที่ผิวมากขึ้น ซึ่งให้ผลดีที่สุดในการสังเคราะห์ตัวเร่งทั้งหมด 5 ชนิดในโรงงานพิเศษนี้

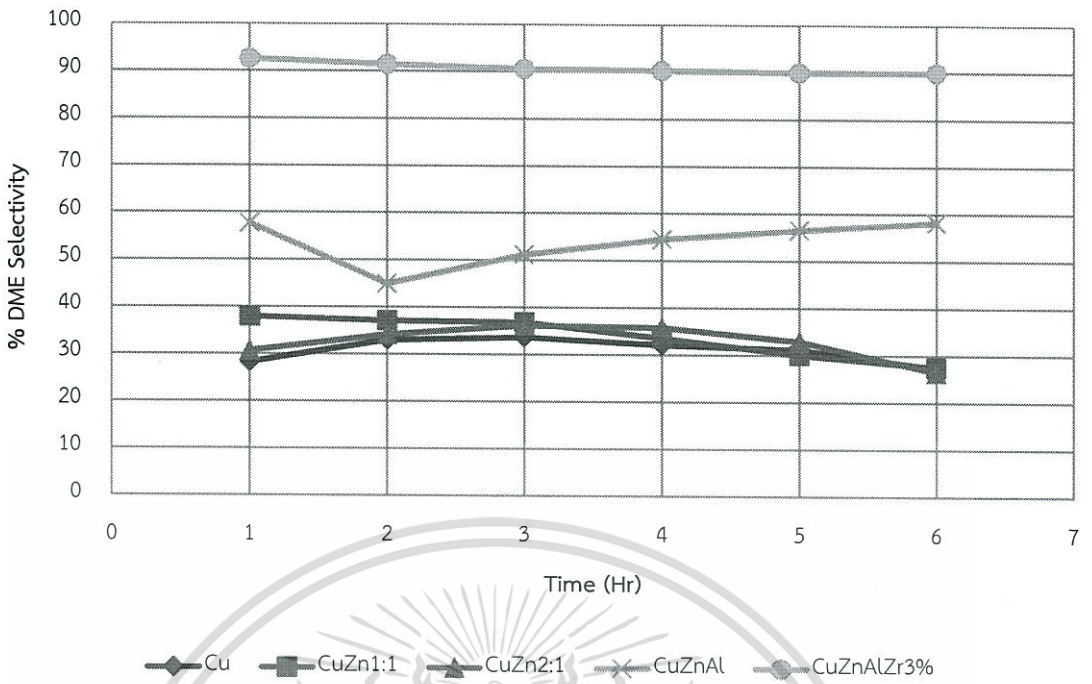
4.2 การศึกษาผลของตัวเร่งปฏิกิริยาในการสังเคราะห์ไดเมทิลอีเทอร์

ในการทดสอบผลของตัวเร่งปฏิกิริยาในการสังเคราะห์ไดเมทิลอีเทอร์ ด้วยเครื่องปฏิกรณ์ แบบเบดนิ่ง (Fixed-bed Reactor) ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาปริมาณ 0.5 กรัม ขั้นตอนการทดลองจะปรับสภาพตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยแก๊สไนโตรเจน โดยจะเพิ่มอุณหภูมิจนถึง 150 องศาเซลเซียสและคงสภาพไว้ 30 นาที จากนั้นจึงจะป้อนไฮโดรเจน 100 เปอร์เซ็นต์เข้าไปเพื่อรีดิวซ์ตัวเร่งปฏิกิริยาและเพิ่มอุณหภูมิจนถึง 250 องศาเซลเซียส คงสภาพไว้ 2 ชั่วโมง Syngas ที่มีอัตราส่วนระหว่าง CO : H₂ เป็น 1 : 1 ใช้อัตราการไหลของ Syngas 1.2 ลิตรต่อชั่วโมง กักความดันในเครื่องปฏิกรณ์ที่ 40 บาร์ ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 6 ชั่วโมง โดยเก็บผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปตรวจวัดทุกๆ ชั่วโมง โดยการวิเคราะห์ จะสนใจปริมาณสารตั้งต้นที่เปลี่ยนไปและความจำเพาะของผลิตภัณฑ์ ทั้งเมทานอลที่เป็นผลิตภัณฑ์ รองและไดเมทิลอีเทอร์ที่เป็นผลิตภัณฑ์หลัก โดยการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีฟังก์ชันโลหะที่แตกต่างกัน ออกไป แต่มีฟังก์ชันกรดชนิดเดียวกันคือแกมมาอะลูมินา เมื่อทำปฏิกิริยาได้ผลิตภัณฑ์ออกมาจะนำไป ตรวจวิเคราะห์ด้วย Offline Gas Chromatography รุ่น CP-3800 ยี่ห้อ VARIAN โดยใช้คอลัมน์ CP-7538 ต่อกับ Thermal Conductivity Detector (TCD) เพื่อวิเคราะห์แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ และอาร์กอน และคอลัมน์ HP-PLOT/Q ต่อกับ Flame Ionization Detector (FID) เพื่อวิเคราะห์ เมทานอล ไดเมทิลอีเทอร์ และไฮโดรคาร์บอนอื่นๆตั้งแต่ C₁ ถึง C₆ และคาร์บอนไดออกไซด์

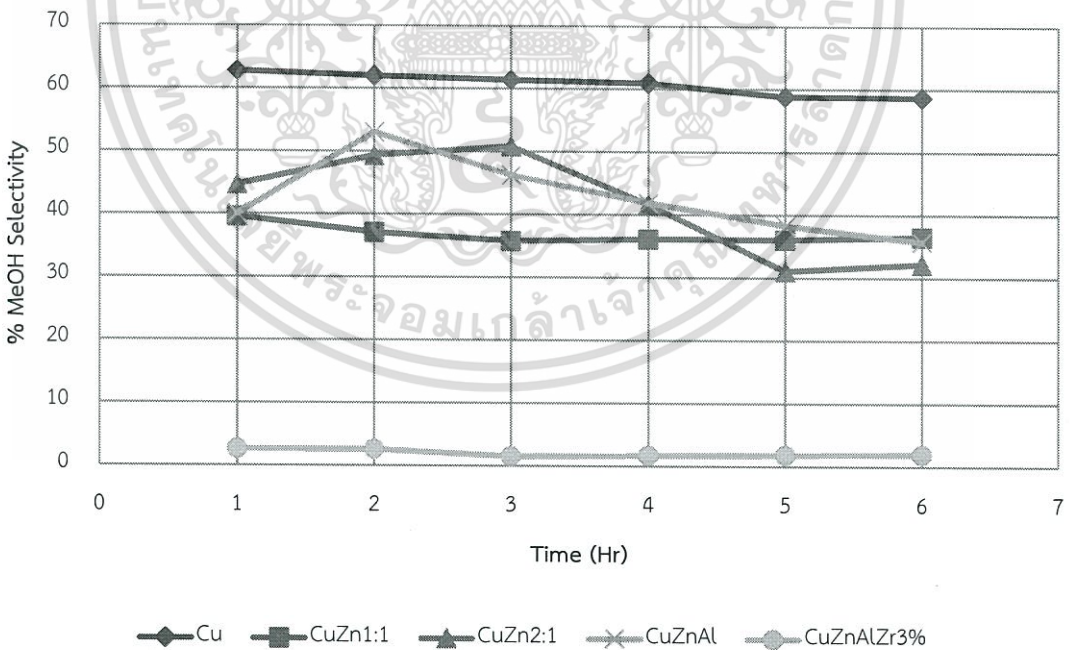


รูปที่ 4.12 กราฟแสดงค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์กับเวลาในการทำปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยา Cu, Cu-ZnO 1:1, Cu-ZnO 2:1, Cu-ZnO-Al₂O₃, Cu-ZnO-Al₂O₃-ZrO₂3% บนแกมมาอะลูมินา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

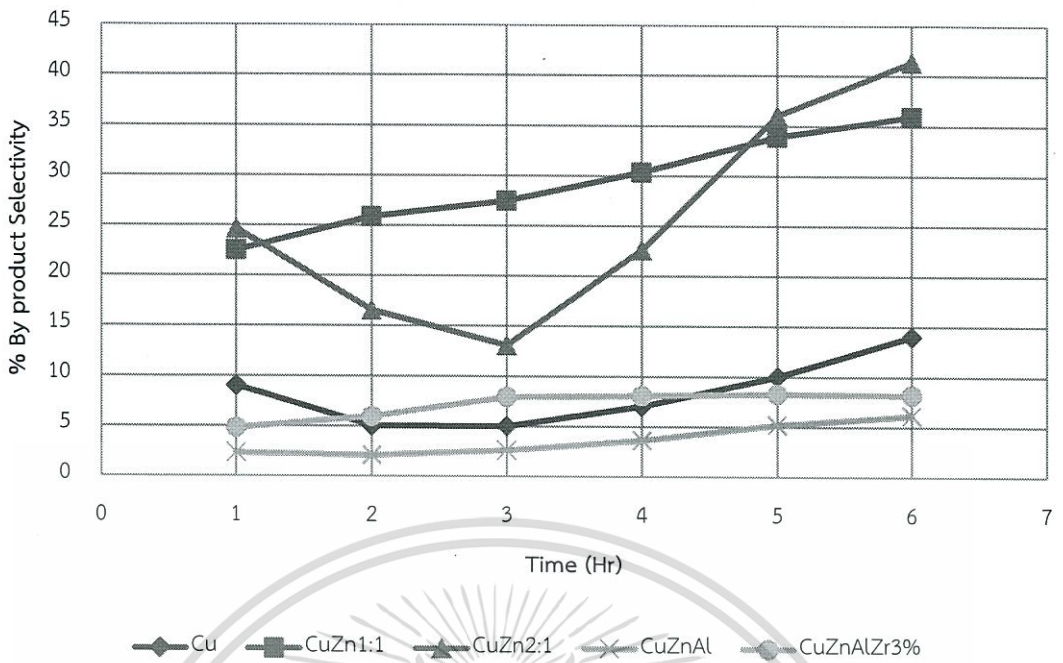


รูปที่ 4.13 กราฟแสดงค่าร้อยละการเลือกเกิดเป็นไดเมทิลอีเทอร์กับเวลาในการทำปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยา Cu, Cu-ZnO 1:1, Cu-ZnO 2:1, Cu-ZnO-Al₂O₃, Cu-ZnO-Al₂O₃-ZrO₂3% บนแกมมาอะลูมินา

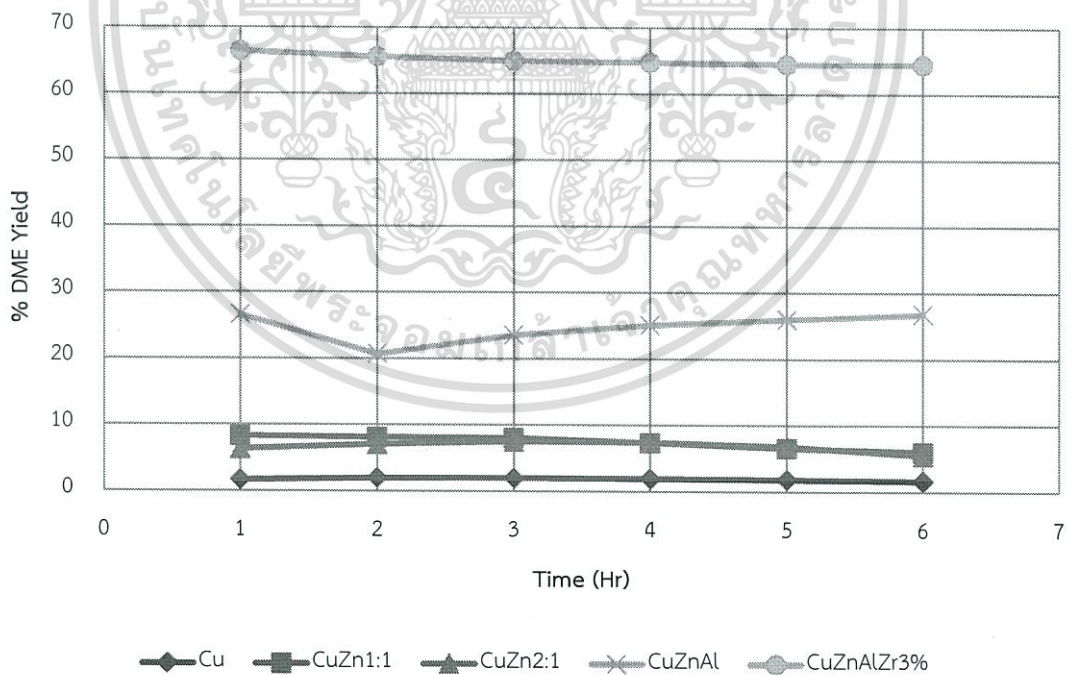


รูปที่ 4.14 กราฟแสดงค่าร้อยละการเลือกเกิดเป็นเมทานอลกับเวลาในการทำปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยา Cu, Cu-ZnO 1:1, Cu-ZnO 2:1, Cu-ZnO-Al₂O₃, Cu-ZnO-Al₂O₃-ZrO₂3% บนแกมมาอะลูมินา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 กราฟแสดงค่าร้อยละการเลือกเกิดเป็นผลิตภัณฑ์พร้อมๆกับเวลาในการทำปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยา Cu, Cu-ZnO 1:1, Cu-ZnO 2:1, Cu-ZnO-Al₂O₃, Cu-ZnO-Al₂O₃-ZrO₂3% บนแกมมาอะลูมินา



รูปที่ 4.16 กราฟแสดงค่าร้อยละผลิตภัณฑ์ดีเมทิลอีเทอร์กับเวลาในการทำปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยา Cu, Cu-ZnO 1:1, Cu-ZnO 2:1, Cu-ZnO-Al₂O₃, Cu-ZnO-Al₂O₃-ZrO₂3% บนแกมมาอะลูมินา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ค่าเฉลี่ยร้อยละผลผลิตและค่าเฉลี่ยการเลือกเกิดเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆของการสังเคราะห์ไดเมทิลอีเทอร์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Cu, Cu-ZnO 1:1, Cu-ZnO 2:1, Cu-ZnO-Al₂O₃, Cu-ZnO-Al₂O₃-ZrO₂3% บนแกมมาอะลูมินา

	%CO Conversion (mol%)	% Selectivity (mol%)			%Yield of DME
		DME	Methanol	By- Products ^a	
Cu	5.91	30.90	60.77	8.20	1.83
CuZn 1:1	21.87	33.81	36.86	29.33	7.39
CuZn 2:1	20.69	32.67	41.63	25.70	6.76
CuZnAl	45.98	53.81	42.55	3.64	24.73
CuZnAlZr 3%	71.71	90.78	2.04	7.18	65.10

^aคือไฮโดรคาร์บอน (มีเทน, อีเทน, โพรเพน, บิวเทน, ไอโซบิวเทน, เพนเทน และคาร์บอนไดออกไซด์)

จากตารางที่ 4.2 สามารถสรุปผลจากการทดสอบประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์, คอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ 1:1, คอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ 2:1, คอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์อะลูมิเนียมออกไซด์ และคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์อะลูมิเนียมออกไซด์เจือเซอร์โคเนียม 3 เปอร์เซ็นต์ บนแกมมาอะลูมินา (γ -Al₂O₃) ที่ใช้ในปฏิกิริยาสังเคราะห์ไดเมทิลอีเทอร์ที่สภาวะคงที่ ค่าที่ได้จากตารางแสดงให้เห็นว่าค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ และค่าร้อยละการเลือกเกิดเป็นไดเมทิลอีเทอร์จะขึ้นอยู่กับฟังก์ชันโลหะของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เลือกใช้ทั้ง 4 ตัว

เมื่อพิจารณาจะพบว่าคอปเปอร์นั้นให้ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงและค่าร้อยละการเลือกเกิดเป็นไดเมทิลอีเทอร์ที่น้อยที่สุดเพราะตัวคอปเปอร์เองมีความสามารถในการเปลี่ยนจากแก๊สสังเคราะห์ไปเป็นเมทานอลที่ต่ำ เมทานอลที่ได้มามีปริมาณน้อยและไม่สามารถเปลี่ยนไปเป็นไดเมทิลอีเทอร์ได้ดี จึงทำให้ได้ค่าการเลือกเกิดเป็นไดเมทิลอีเทอร์ที่ต่ำ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จึงน้อยตามไปด้วย ซึ่งสอดคล้องกับผลของการวิเคราะห์พื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาเนื่องจากตัวเร่งปฏิกิริยามีพื้นที่ผิวของตัวเร่งน้อยที่สุด และมีผลึกใหญ่ที่สุดทำให้การกระจายตัวน้อยทำให้ค่า CO Conversion และ DME Selectivity ต่ำที่สุด

เมื่อเพิ่มตัวฟังก์ชันโลหะซิงค์เข้าไปจะพบว่าได้ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของแก๊สสังเคราะห์ที่เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 21.87 แต่ค่าร้อยละการเลือกเกิดเป็นไดเมทิลอีเทอร์มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก และเกิดเป็นผลิตภัณฑ์รองจำนวนมาก เนื่องจากการวิเคราะห์พื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา พบว่าพื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับคอปเปอร์ ทำให้คอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์เกิด CO Conversion และ DME Selectivity มากกว่าคอปเปอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนของคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ จะมีการวิเคราะห์ในอัตราส่วน 1:1 และ 2:1 เพื่อเทียบผลของอัตราส่วนระหว่างคอปเปอร์และซิงค์ที่เราใช้งาน จากการทดลองจะพบว่าคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ทั้ง 1:1 และ 2:1 ให้ผลที่ใกล้เคียงกัน แต่อัตราส่วน 1:1 อาจจะให้ผลที่ดีกว่าเล็กน้อยเพราะมีอัตราส่วนคอปเปอร์และซิงค์เท่ากัน จากผลของการวิเคราะห์พื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาจะมีพื้นที่ผิวที่มากกว่า แต่อัตราส่วน 2:1 มีคอปเปอร์สองส่วนและมีซิงค์เพียงหนึ่งส่วนเท่านั้น จึงส่งผลให้ทำงานได้ไม่มีเท่าแบบ 1:1

เมื่อเติมโลหะอะลูมิเนียมออกไซด์ลงไปในฟังก์ชันโลหะ จะพบว่านอกจากคาร์บอนมอนอกไซด์และการเปลี่ยนแปลงของแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ที่เพิ่มขึ้นแล้ว คาร์บอนมอนอกไซด์เลือกเกิดเป็นไดเมทิลอีเทอร์ก็เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน ทำให้เกิดเป็นผลิตภัณฑ์รองที่น้อยมาก และได้ผลิตภัณฑ์หลักจำนวนมาก เป็นผลมาจากพื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เพิ่มทำให้พื้นที่ผิวในการเกิดปฏิกิริยามากขึ้น ผลึกของคอปเปอร์มีขนาดเล็กลง และมีการกระจายตัวที่ดี จึงเกิด CO Conversion และ DME Selectivity เพิ่มขึ้นเมื่อเติมซิงค์ออกไซด์และอะลูมิเนียมออกไซด์ลงไป

เมื่อเติมเซอร์โคเนียมเข้าไปจะยิ่งเข้าไปช่วยในการกระจายตัวของคอปเปอร์ ส่งผลให้คาร์บอนมอนอกไซด์และการเปลี่ยนแปลงและคาร์บอนมอนอกไซด์เลือกเกิดเป็นไดเมทิลอีเทอร์มีค่าเพิ่มขึ้นสูงมาก กล่าวคือแก๊สสังเคราะห์เปลี่ยนเป็นไดเมทิลอีเทอร์ได้เกือบทั้งหมดแล้วเปลี่ยนเป็นเมทานอลกับผลิตภัณฑ์ข้างเคียงในอัตราที่น้อยมาก และได้ผลิตภัณฑ์หลักเพิ่มขึ้นมากถึง 65.1 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งปรับปรุงคุณภาพตัวเร่งปฏิกิริยาให้มีประสิทธิภาพดีขึ้นกว่าแบบไม่เติมเซอร์โคเนียม 3% เป็นผลมาจากการเติมเซอร์โคเนียมออกไซด์ลงไปในตัวเร่งปฏิกิริยา จากผลของการวิเคราะห์พื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา พื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เพิ่มมากขึ้น ผลึกมีขนาดเล็กที่สุด และการกระจายตัวดีที่สุด จึงทำให้เกิด CO Conversion และ DME Selectivity ดีที่สุดในการทดลองของโครงการพิเศษนี้

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาอิทธิพลของผลึกคอปเปอร์ออกไซด์บนตัวเร่งปฏิกิริยาฐานคอปเปอร์ ด้วยการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีการกระจายตัวของคอปเปอร์ที่ต่างกันด้วยการเพิ่มโลหะออกไซด์ที่มีขนาดเล็กเพื่อเพิ่มการกระจายของคอปเปอร์บนตัวเร่งปฏิกิริยา ด้วยวิธีการการตกตะกอนร่วม (Cociprecipitation Method) เมื่อนำตัวเร่งปฏิกิริยามาตรวจสอบวิธีการวิเคราะห์ลักษณะผลึก และ มาตรฐาน (X-ray Diffraction หรือ XRD) พบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาแต่ละชนิดมีโครงสร้างผลึกตามที่ต้องการสังเคราะห์คือ CuO, ZnO, Al₂O₃, ZrO₂ และ γ -Al₂O₃ ตามลำดับ เมื่อนำตัวเร่งปฏิกิริยามาวิเคราะห์ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของสารในระดับจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope หรือ SEM) พบว่าเมื่อเพิ่มโลหะออกไซด์ลงไปผลึกของเร่งปฏิกิริยาที่ได้จะมีขนาดเล็กมากขึ้น และมีการจัดเรียงตัวอย่างไม่เป็นระเบียบ อยู่รวมกันเป็นกลุ่มก้อน เมื่อนำตัวเร่งปฏิกิริยามาตรวจวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของสารด้วยแสงอินฟราเรด (Fourier Transform Infrared Spectroscopy หรือ FT-IR) จะพบหมู่ฟังก์ชันของโลหะตามตั้งเร่งปฏิกิริยาที่ต้องการสังเคราะห์คือหมู่ฟังก์ชันของ CuO, ZnO, Al₂O₃, ZrO₂ และ γ -Al₂O₃ ตามลำดับ และเมื่อนำตัวเร่งปฏิกิริยาที่ผสมกับ γ -Al₂O₃ ด้วยวิธีการผสมทางกายภาพ (Physical Mixing) ไปตรวจวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการดูดซับแก๊สไนโตรเจน (N₂-Adsorption) ด้วยเครื่องมือ Brunauer-Emmett-Teller surface area หรือ BET พบว่าตัวเร่งคอปเปอร์ออกไซด์ซึ่งคอปเปอร์ออกไซด์อะลูมิเนียมออกไซด์เซอร์โคเรเนียนียมเปอร์เซนต์มีผลดีที่สุด มีค่าพื้นที่ผิวเท่ากับ 195.1 ตารางเมตรต่อกรัม ปริมาตรรูพรุน 0.55 ลูกบาศก์เซนติเมตร ขนาดรูพรุน 8.96 นาโนเมตร และขนาดผลึก 3.604 นาโนเมตร

จากการทดสอบการสังเคราะห์ไดเมทิลอีเทอร์ด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาฐานคอปเปอร์บนแกมมาอะลูมินาพบว่าตัวเร่งคอปเปอร์ซึ่งคอปเปอร์ออกไซด์อะลูมิเนียมออกไซด์ให้ผลดีที่สุดคือได้ร้อยละการเปลี่ยนแปลงคาร์บอนมอนอกไซด์ ร้อยละการเลือกเกิดเป็นไดเมทิลอีเทอร์ และร้อยละการเกิดไดเมทิลอีเทอร์เป็น 71.71, 90.78 และ 65.10 ตามลำดับ

จึงสรุปได้ว่าตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ออกไซด์ซิงค์ออกไซด์อะลูมิเนียมออกไซด์เซโคเนียสามเปอร์เซ็นต์มีผลจากการตรวจสอบเอกลักษณ์ และจากการสังเคราะห์ไดเมทิลอีเทอร์ดีที่สุด เนื่องจากมีพื้นที่ผิวของตัวเร่งที่มาก ปริมาตรรูพรุนเยอะ เพราะการเติมเซโคเนียมีผลให้เพิ่มการกระจายตัวของคอปเปอร์ออกไซด์บนตัวเร่งปฏิกิริยา

5.2 ข้อเสนอแนะ

โครงการพิเศษทำการศึกษาอิทธิพลของผลึกคอปเปอร์ออกไซด์บนตัวเร่งปฏิกิริยาฐานคอปเปอร์ โดยทำการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีการกระจายตัวของคอปเปอร์ออกไซด์ที่แตกต่างกัน บนแกมมาอะลูมินา และนำไปสังเคราะห์ไดเมทิลอีเทอร์ทางตรงจากแก๊สสังเคราะห์ ด้วยเครื่องปฏิกรณ์เบตนิ่ง และตรวจสอบผลิตภัณฑ์ที่เป็นสารผสมด้วยแก๊สโครมาโตกราฟฟี หรือ GC (Gas Chromatography) โดยมีข้อเสนอแนะดังนี้

1. ศึกษาการลดหรือเพิ่มปริมาณตัวเร่งที่ใช้ในการสังเคราะห์ไดเมทิลอีเทอร์จากแก๊สสังเคราะห์
2. ศึกษาการสังเคราะห์ผลกระทบของการเปลี่ยนฝั่งกรดเป็นตัวเร่งอื่นที่มีรูพรุน เช่น กราฟีน ว่ามีผลต่อร้อยละการเกิดผลิตภัณฑ์เป็นไดเมทิลอีเทอร์ และร้อยละการเลือกเกิดเป็นไดเมทิลอีเทอร์อย่างไร
3. เปลี่ยนโลหะเพิ่มเติมจากตัวเร่งฝั่งโลหะนอกจากเซโคเนียออกไซด์ เพื่อศึกษาว่ามีผลต่อร้อยละการเกิดผลิตภัณฑ์เป็นไดเมทิลอีเทอร์ และร้อยละการเลือกเกิดเป็นไดเมทิลอีเทอร์อย่างไร

เอกสารอ้างอิง

- [1] สำนักคุณภาพน้ำมันเชื้อเพลิง. 2554. “ความรู้เกี่ยวกับไดเมทิลอีเทอร์ (Dimethyl Ether)”. [Online]. Available : http://www.doeb.go.th/knowledge/data/1Dimethyl_Ether
- [2] Research Triangle Energy Consortium. 2556. “Particulate Matters”. [Online]. Available : <https://rtec-rtc.org/2013/12/29/particulate-matters/>
- [2] T.A. Semelsberger, R.L. Borup, H.L. Greene. 2006. “Dimethyl Ether (DME) as an Alternative Fuel.” Journal of Power Sources. (156) : 497-511.
- [4] มานิตย์ ดวงเพ็ญมาตร. 2554. “การสังเคราะห์ไดเมทิลอีเทอร์จากเมทานอลบนตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะฟอสเฟต”. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- [5] ประเสริฐ เรียบร้อยเจริญ. 2551. “เทคโนโลยีGTL - สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)” [Online]. Available : www.tpa.or.th/publisher/pdfFileDownloadS/p95-104.pdf
- [6] Science Lab. 2013. “Material Safety Data Sheet Methyl Alcohol MSDS”. [Online]. Available : <http://www.sciencelab.com/msds.php?msdsId=9927227>
- [7] ดร. ชูลีรัตน์ บรรจงลิขิตกุล. 2550. “เมทานอล หรือเมทิล แอลกอฮอล์”. [Online]. Available : http://elib.fda.moph.go.th/library/default.asp?page2=subdetail&id_L1=27&id_L2=15672&id_L3=1131
- [8] สถาบันนวัตกรรมและพัฒนากระบวนการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยมหิดล. 2556. “การเร่งปฏิกิริยา”. [Online]. Available : <http://www.il.mahidol.ac.th/e-media/ap-chemistry2/kinetics>
- [9] มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. 2558. “ไฮโดรจีเนชันแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์บนตัวเร่งปฏิกิริยา Ruthenium”. [Online]. Available : <http://www.gits.kmutnb.ac.th/ethesis/data/40180023.pdf>.
- [10] เพ็ญวิสาข์ พิสิษฐศักดิ์. 2558. “การใช้กระบวนการโซลเจลเพื่อเพิ่มสมบัติของสิ่งทอ : ผ้าสะท้อนน้ำและน้ำมัน”. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
- [11] งามนิตย์ วงษ์เจริญ. 2558. “การเตรียมฟิล์มบาง CuO โดยวิธีปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วยความร้อนของฟิล์มโลหะ Cu ที่ได้จากการสปีดเตอร์เพื่อประยุกต์ใช้ในเซลล์แสงอาทิตย์”. กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [12] Science Lab. 2013. “Material Safety Data Sheet Copper oxide MSDS”. [Online]. Available : <http://www.sciencelab.com/msds.php?msdsId=9923595>
- [13] Alibaba. 2017. “Copper Oxide”. [Online]. Available : https://www.alibaba.com/product-detail/Copper-Oxide_50036624860.html

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [14] Nano Materials Technology. 2008. “Zinc Oxide Nano”. [Online]. Available :
<http://www.nanomaterials.co.th/zincoxidenano/>
- [15] Science Lab. 2013. “Material Safety Data Sheet Zinc oxide MSDS”. [Online].
 Available : <http://www.sciencelab.com/msds.php?msdsId=9927329>
- [16] Pure Nature. 2017. “Zinc Oxide”. [Online]. Available :
<https://www.purenature.co.nz/shop/Cosmetic+Ingredients/Sunscreens/Zinc+Oxide.html>
- [17] สุรศักดิ์ ไวกยวงส์สกุล. 2560. “อลูมินาวัสดุสารพัดประโยชน์”. [Online]. Available :
<http://www.material.chula.ac.th/RADIO44/FEBRUARY/RADIO2-5.HTM>
- [18] Science Lab. 2013. “Material Safety Data Sheet Aluminum oxide MSDS”.
 [Online]. Available : <http://www.sciencelab.com/msds.php?msdsId=9922858>
- [19] Worktop Factory. 2017. “Aluminium Oxide”. [Online]. Available :
<http://www.worktopfactory.co.uk/ResourceCentre/EncyclopediaOfStoneWorktops/AluminiumOxide/tabid/1707/Default.aspx>
- [20] นานาจึงยอมคริสตัลวัสดุเทคโนโลยี. 2559. “อะลูมินาและคริสตัล”. [Online]. Available. :
<http://th.njfuhaotcl.com/info/alumina-and-crystal-833597.html>.
- [21] Alibaba. 2017. “Gamma Alumina Catalyst”. [Online]. Available :
https://www.alibaba.com/product-detail/gamma-alumina-catalyst-gamma-alumina-pellets_60635103310.html
- [22] กนกพร. 2012. “เซอโคเนีย”. ภาควิชาวิศวกรรมเคมีและวัสดุ มหาวิทยาลัยรังสิต
- [23] Science Lab. 2013. “Material Safety Data Sheet Zirconium oxide MSDS”.
 [Online]. Available : <http://www.sciencelab.com/msds.php?msdsId=9927651>
- [24] Trade Korea. 2017. “Zirconium Dioxide (Zirconium Oxide,ZrO₂)”. [Online].
 Available : [http://www.tradekorea.com/product/detail/P424370/Zirconium-Dioxide\(Zirconium-Oxide,-ZrO2\).html](http://www.tradekorea.com/product/detail/P424370/Zirconium-Dioxide(Zirconium-Oxide,-ZrO2).html)
- [25] 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>.
- [26] รพพน พิชชา 2550. “เครื่องวิเคราะห์โครงสร้างของแร่โลหะผสม XRD”. [Online]. Available :
<http://www0.tint.or.th/nkc/RD-web/instrument/instru-002.html>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [27] ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง. 2559. “**Scanning Electron Microscope**”. [Online]. Available : <http://web2.mfu.ac.th/center/stic/microanalysis-instrument-menu/item/96-scanning-electron-microscope.html>.
- [28] LTScientific 2012. “**Analytical UHR Schottky Emission Scanning Electron Microscope SU-70**”. [Online]. Available : <https://ltscientific.com/product/analytical-uhr-schottky-emission-scanning-electron-microscope-su-70/>
- [29] ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง. 2558. “**FTIR-Raman Spectrometer**”. [Online]. Available : <http://web2.mfu.ac.th/center/stic/spectroscopy-chem-analysis-instrument/item/139-ftir-raman-spectrometer.html>
- [30] Mindiamart 2008. “**Fourier Transform Infrared Spectrometer (FTIR)**”. [Online]. Available : <https://www.indiamart.com/proddetail/fourier-transform-infrared-spectrometer-ftir-10540388512.html>
- [31] ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่. 2560. “**Surface area and porosity analyzer (BET)**”. [Online]. Available : <http://u8.psu.ac.th/blog/utai1/43425?locale=th>
- [32] CET Scientific 2016. “**Brunauer Emmett Teller Surface Area**”. [Online]. Available : http://www.cet-science.com/?attachment_id=15
- [33] Environmental Engineering Chula Engineering. 2017. “**Gas Chromatography, GC**”. [Online]. Available : <http://www.env.eng.chula.ac.th/?q=content/gas-chromatography-gc>.
- [34] The Chemistry of Forensics 2016. “**Separation Anxiety: Breaking Down Gas Chromatography**”. [Online]. Available : <https://chemforensics.wordpress.com>
- [35] Ainara Ateka*, Paula Perez-Uriarte. 2016. “**Direct synthesis of dimethyl ether from syngas on CuO-ZnO- MnO/SAPO-18 Bifunctional catalyst**”. International Journal of Hydrogen Energy. (41): 18015-18026
- [36] Dilshad Masiha, Sohrab Rohani. 2017. “**Low-Temperature methanol dehydration to dimethyl ether over various small-pore zeolites**”. Catalysis B. (217): 247-255
- [37] I.A. Kurzina , S.I. Reshetnikov. 2017. “**Direct synthesis of dimethyl ether from synthesis gas: Experimental study and mathematical modeling**”. Chemical Engineering Journal. (329) : 135-141

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [38] 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
- [39] 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
- [40] 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



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

1. มวลโมเลกุลของสาร

มวลโมเลกุลของ	$\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	คือ 241.60	กรัมต่อโมล
มวลโมเลกุลของ	$\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	คือ 297.48	กรัมต่อโมล
มวลโมเลกุลของ	$\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$	คือ 375.13	กรัมต่อโมล
มวลโมเลกุลของ	$\text{ZrOCl}_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$	คือ 322.22	กรัมต่อโมล
มวลโมเลกุลของ	CuO	คือ 79.55	กรัมต่อโมล
มวลโมเลกุลของ	ZnO	คือ 81.37	กรัมต่อโมล
มวลโมเลกุลของ	Al_2O_3	คือ 101.96	กรัมต่อโมล
มวลโมเลกุลของ	ZrO_2	คือ 123.22	กรัมต่อโมล
มวลโมเลกุลของ	CuOZnO	คือ 106.93	กรัมต่อโมล
มวลโมเลกุลของ	$\text{CuOZnOAl}_2\text{O}_3$	คือ 262.89	กรัมต่อโมล
มวลโมเลกุลของ	$\text{CuOZnOAl}_2\text{O}_3\text{ZrO}_2$	คือ 386.11	กรัมต่อโมล

2. วิธีการคำนวณการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ออกไซด์

ทำการตกตะกอนตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ไนเตรต โดยใช้สารละลายโซเดียมคาร์บอเนตเป็นตัวช่วยตกตะกอน ดังปฏิกิริยา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยมีขั้นตอนการคำนวณดังนี้

2.1 ต้องการ CuO 5 กรัม

$$\frac{X}{5 \text{ g}} = \frac{79.55 \text{ g/mol}}{79.55 \text{ g/mol}}$$

$$X = 5 \text{ g}$$

หาโมล

$$\text{mol} = 5 \text{ g} / 79.55 \text{ g/mol}$$

$$\text{mol} = 0.0629 \text{ mol}$$

$$\text{ดังนั้นต้องชั่ง } \text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O} = 0.06285 \text{ mol} \times 241.60 \text{ g/mol} = 15.18 \text{ g}$$

2.2 ต้องใช้ Na_2CO_3 ในการช่วยตกตะกอน

$$\text{mol ของ } \text{Na}_2\text{CO}_3 = 0.0629 \text{ mol}$$

$$\text{ต้องชั่ง } \text{Na}_2\text{CO}_3 = 0.0629 \text{ mol} \times 106 = 6.6674 \text{ g}$$

3. วิธีการคำนวณการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ออกไซด์ซิงค์ออกไซด์ (อัตราส่วน 1:1)

ทำการตกตะกอนตัวเร่งปฏิกิริยาผสมคอปเปอร์ไนเตรต และซิงค์ไนเตรต โดยใช้สารละลายโซเดียมคาร์บอเนตเป็นตัวช่วยตกตะกอน ดังปฏิกิริยา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยมีขั้นตอนการคำนวณดังนี้

3.1 ต้องการ CuO 5 กรัม

$$\frac{X}{5 \text{ g}} = \frac{79.55 \text{ g/mol}}{160.93 \text{ g/mol}}$$

$$X = 2.4711 \text{ g}$$

หาโมล

$$\text{mol} = 2.4711 \text{ g} / 79.55 \text{ g/mol}$$

$$\text{mol} = 0.0311 \text{ mol}$$

$$\text{ดังนั้นต้องชั่ง } \text{Cu(NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O} = 0.0311 \text{ mol} \times 241.60 \text{ g/mol} = 7.5138 \text{ g}$$

3.2 ต้องการ ZnO 5 กรัม

$$\frac{X}{5 \text{ g}} = \frac{81.37 \text{ g/mol}}{160.93 \text{ g/mol}}$$

$$X = 2.5283 \text{ g}$$

หาโมล

$$\text{mol} = 2.5283 \text{ g} / 81.37 \text{ g/mol}$$

$$\text{mol} = 0.0311 \text{ mol}$$

$$\text{ดังนั้นต้องชั่ง } \text{Cu(NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O} = 0.0311 \text{ mol} \times 297.48 \text{ g/mol} = 9.2516 \text{ g}$$

3.3 ต้องใช้ Na₂CO₃ ในการช่วยตกตะกอน

$$\text{mol ของ Na}_2\text{CO}_3 = 0.0311 \text{ mol} + 0.0311 \text{ mol}$$

$$\text{mol ของ Na}_2\text{CO}_3 = 0.0622 \text{ mol}$$

$$\text{ต้องชั่ง Na}_2\text{CO}_3 = 0.0622 \text{ mol} \times 106 = 6.5932 \text{ g}$$

4. วิธีการคำนวณการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ออกไซด์ซิงค์ออกไซด์ (อัตราส่วน 2:1)

ทำการตกตะกอนตัวเร่งปฏิกิริยาผสมคอปเปอร์ไนเตรต และซิงค์ไนเตรต โดยใช้สารละลายโซเดียมคาร์บอเนตเป็นตัวช่วยตกตะกอน ดังปฏิกิริยา



โดยมีขั้นตอนการคำนวณดังนี้

4.1 ต้องการ CuO 6.67 กรัม

$$\frac{X}{6.67 \text{ g}} = \frac{79.55 \text{ g/mol}}{160.93 \text{ g/mol}}$$

$$X = 3.2971 \text{ g}$$

หาโมล

$$\text{mol} = 3.2971 \text{ g} / 79.55 \text{ g/mol}$$

$$\text{mol} = 0.0415 \text{ mol}$$

$$\text{ดังนั้นต้องชั่ง } \text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O} = 0.0415 \text{ mol} \times 241.60 \text{ g/mol} = 10.0264 \text{ g}$$

4.2 ต้องการ ZnO 3.33 กรัม

$$\frac{X}{3.33 \text{ g}} = \frac{81.37 \text{ g/mol}}{160.93 \text{ g/mol}}$$

$$X = 1.6837 \text{ g}$$

หาโมล

$$\text{mol} = 1.6837 \text{ g} / 81.37 \text{ g/mol}$$

$$\text{mol} = 0.0207 \text{ mol}$$

$$\text{ดังนั้นต้องชั่ง } \text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O} = 0.0207 \text{ mol} \times 297.48 \text{ g/mol} = 6.1578 \text{ g}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ต้องใช้ Na_2CO_3 ในการช่วยตกตะกอน

$$\text{mol ของ } \text{Na}_2\text{CO}_3 = 0.0415 \text{ mol} + 0.0207 \text{ mol}$$

$$\text{mol ของ } \text{Na}_2\text{CO}_3 = 0.0622 \text{ mol}$$

$$\text{ต้องชั่ง } \text{Na}_2\text{CO}_3 = 0.0622 \text{ mol} \times 106 = 6.5932 \text{ g}$$

5. วิธีการคำนวณการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาผสมคอปเปอร์ออกไซด์ซิงค์ออกไซด์อะลูมิเนียมออกไซด์

ทำการตกตะกอนตัวเร่งปฏิกิริยาผสมคอปเปอร์ไนเตรต ซิงค์ไนเตรต และอะลูมิเนียมไนเตรต โดยใช้สารละลายโซเดียมคาร์บอเนตเป็นตัวช่วยตกตะกอน ดังปฏิกิริยา



โดยมีขั้นตอนการคำนวณดังนี้

5.1 ต้องการ CuO 6 กรัม

$$\frac{X}{6 \text{ g}} = \frac{79.55 \text{ g/mol}}{262.89 \text{ g/mol}}$$

$$X = 1.8157 \text{ g}$$

หาโมล

$$\text{mol} = 1.8157 \text{ g} / 79.55 \text{ g/mol}$$

$$\text{mol} = 0.0228 \text{ mol}$$

$$\text{ดังนั้นต้องชั่ง } \text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O} = 0.0228 \text{ mol} \times 241.60 \text{ g/mol} = 5.5085 \text{ g}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ต้องการ ZnO 3 กรัม

$$\frac{X}{3 \text{ g}} = \frac{81.37 \text{ g/mol}}{262.89 \text{ g/mol}}$$

$$X = 0.9286 \text{ g}$$

หาโมล

$$\text{mol} = 0.9286 \text{ g} / 81.37 \text{ g/mol}$$

$$\text{mol} = 0.0114 \text{ mol}$$

$$\text{ดังนั้นต้องชั่ง } \text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O} = 0.0114 \text{ mol} \times 297.48 \text{ g/mol} = 3.3913 \text{ g}$$

5.3 ต้องการ Al₂O₃ 1 กรัม

$$\frac{X}{1 \text{ g}} = \frac{101.96 \text{ g/mol}}{262.89 \text{ g/mol}}$$

$$X = 0.3879 \text{ g}$$

หาโมล

$$\text{mol} = 0.3879 \text{ g} / 101.96 \text{ g/mol}$$

$$\text{mol} = 0.0038 \text{ mol}$$

$$\text{ดังนั้นต้องชั่ง } \text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O} = 0.0038 \text{ mol} \times 375.12 \text{ g/mol} = 1.4269 \text{ g}$$

5.4 ต้องใช้ Na₂CO₃ ในการช่วยตกตะกอน

$$\text{mol ของ Na}_2\text{CO}_3 = 0.0228 \text{ mol} + 0.0114 \text{ mol} + 0.0038 \text{ mol}$$

$$\text{mol ของ Na}_2\text{CO}_3 = 0.0380 \text{ mol}$$

$$\text{ต้องชั่ง Na}_2\text{CO}_3 = 0.0380 \text{ mol} \times 106 = 4.028 \text{ g}$$

6. วิธีการคำนวณการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ออกไซด์ซิงค์ออกไซด์ อะลูมิเนียมออกไซด์เซโคเนียมออกไซด์

ทำการตกตะกอนตัวเร่งปฏิกิริยาผสมคอปเปอร์ไนเตรต ซิงค์ไนเตรต และ อะลูมิเนียมไนเตรต โดยใช้สารละลายโซเดียมคาร์บอเนตเป็นตัวช่วยตกตะกอน ดังปฏิกิริยา



โดยมีขั้นตอนการคำนวณดังนี้

6.1 ต้องการ CuO 5.82 กรัม

$$\frac{X}{5.82 \text{ g}} = \frac{79.55 \text{ g/mol}}{386.11 \text{ g/mol}}$$

$$X = 1.1991 \text{ g}$$

หาโมล

$$\text{mol} = 1.1991 \text{ g} / 79.55 \text{ g/mol}$$

$$\text{mol} = 0.0151 \text{ mol}$$

$$\text{ดังนั้นต้องชั่ง } \text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O} = 0.0151 \text{ mol} \times 241.60 \text{ g/mol} = 3.6419 \text{ g}$$

6.2 ต้องการ ZnO 2.91 กรัม

$$\frac{X}{2.91 \text{ g}} = \frac{81.37 \text{ g/mol}}{386.11 \text{ g/mol}}$$

$$X = 0.6133 \text{ g}$$

หาโมล

$$\text{mol} = 0.6133 \text{ g} / 81.37 \text{ g/mol}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{mol} = 0.00754 \text{ mol}$$

$$\text{ดังนั้นต้องชั่ง } \text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O} = 0.00754 \text{ mol} \times 297.48 \text{ g/mol} = 2.2430 \text{ g}$$

6.3 ต้องการ Al_2O_3 0.97 กรัม

$$\frac{X}{0.97 \text{ g}} = \frac{101.96 \text{ g/mol}}{386.11 \text{ g/mol}}$$

$$X = 0.2562 \text{ g}$$

หาโมล

$$\text{mol} = 0.2562 \text{ g} / 101.96 \text{ g/mol}$$

$$\text{mol} = 0.00251 \text{ mol}$$

$$\text{ดังนั้นต้องชั่ง } \text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O} = 0.00251 \text{ mol} \times 375.12 \text{ g/mol} = 0.9416 \text{ g}$$

6.4 ต้องการ ZrO_2 0.3 กรัม

$$\frac{X}{0.3 \text{ g}} = \frac{123.22 \text{ g/mol}}{386.11 \text{ g/mol}}$$

$$X = 0.0957 \text{ g}$$

หาโมล

$$\text{mol} = 0.0957 \text{ g} / 123.22 \text{ g/mol}$$

$$\text{mol} = 0.00078 \text{ mol}$$

$$\text{ดังนั้นต้องชั่ง } \text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O} = 0.00078 \text{ mol} \times 322.22 \text{ g/mol} = 0.2513 \text{ g}$$

6.5 ต้องใช้ Na_2CO_3 ในการช่วยตกตะกอน

$$\text{mol ของ } \text{Na}_2\text{CO}_3 = 0.0151 + 0.00754 + 0.00251 + 0.00078$$

$$\text{mol ของ } \text{Na}_2\text{CO}_3 = 0.02593 \text{ mol}$$

$$\text{ต้องชั่ง } \text{Na}_2\text{CO}_3 = 0.02593 \text{ mol} \times 106 = 2.7486 \text{ g}$$

ภาคผนวก ข

ผลการทดลองในการพิสูจน์เอกลักษณ์ตัวเร่งปฏิกิริยา

1. การวัดพื้นที่ผิวและขนาดอนุภาครูพรุน โดยใช้ BET

1.1. การวิเคราะห์พื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ออกไซด์บนแกมมาอะลูมินา ($\text{CuO} / \gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$)

Sample weight : 0.026 g Analysis gas : Nitrogen

Non-ideality : 6.58×10^{-5} Adsorbate (DRP) : Nitrogen

Bath Temp. : 77.35 Outgas Temp. : 300.0°C

Outgas Time : 16.6 hrs Analysis Time : 445.2 min

ตารางที่ ข.1 ผลของการวิเคราะห์พื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ออกไซด์บนแกมมาอะลูมินา ($\text{CuO} / \gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$)

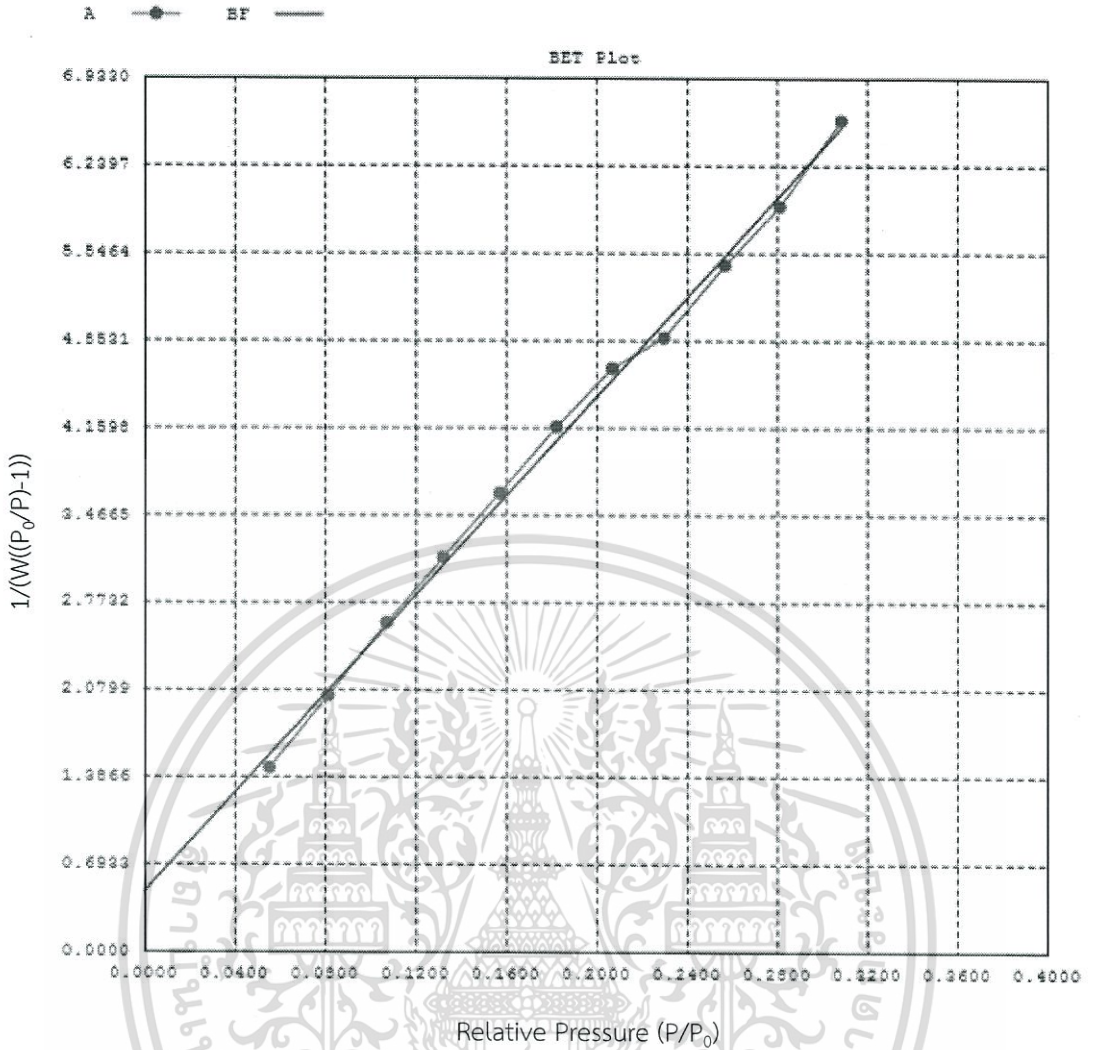
P/P_0 ($\times 10^{-1}$)	Volume [cc/g] STP	$1/(W((P_0/P)-1))$
0.5534	32.0724	1.461
0.8131	34.8055	2.035
1.0713	36.7104	2.615
1.3201	38.8577	3.132
1.5708	40.9150	3.644
1.8229	42.7727	4.170
2.0694	45.0450	4.635
2.2978	48.9373	4.878
2.5683	50.6996	5.454
2.8129	52.9096	5.919
3.0864	54.0958	6.603

Area = 1.730×10^2 m²/g Slope = 19.66

Y - Intercept = 4.781×10^{-1} Correlation Coefficient = 0.998635

C = 42.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.1 กราฟการวิเคราะห์พื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาออกไซด์บนแกมมา อะลูมินา (CuO / γ -Al₂O₃)

SURFACE AREA DATA

Multipoint BET 1.730×10^2 m²/g

PORE VOLUME DATA

Total Pore Volume for pores 4.702×10^{-1} cc/g

PORE SIZE DATA

Average Pore Diameter 1.087×10^2 Å

BJH Method Desorption Pore Diameter (Mode) 93.92 Å

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2. การวิเคราะห์พื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาออกไซด์เชิงซ้อนออกไซด์ในอัตราส่วน 1:1 บนแกมมาอะลูมินา (CuO-ZnO / γ -Al₂O₃)

Sample weight	0.0328 g	Analysis gas	Nitrogen
Non-ideality	6.58×10^{-5}	Adsorbate (DRP)	Nitrogen
Bath Temp.	77.35	Outgas Temp.	300.0°C
Outgas Time	14.6 hrs	Analysis Time	499.5 min

ตารางที่ ข.2 ผลของการวิเคราะห์พื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาออกไซด์เชิงซ้อนออกไซด์ในอัตราส่วน 1:1 บนแกมมาอะลูมินา (CuO-ZnO (1:1) / γ -Al₂O₃)

P/P ₀ ($\times 10^{-1}$)	Volume [cc/g] STP	1/(W((P ₀ /P)-1))
0.5279	33.4345	1.334
0.8028	36.5659	1.910
1.0680	38.6049	2.478
1.3039	41.4329	2.895
1.5639	43.5726	3.404
1.8112	45.6674	3.875
2.0474	48.2287	4.271
2.2928	51.4945	4.622
2.5532	54.0948	5.071
2.7861	56.0443	5.514
3.0608	57.9808	6.087

Area = 1.857×10^2 m²/g

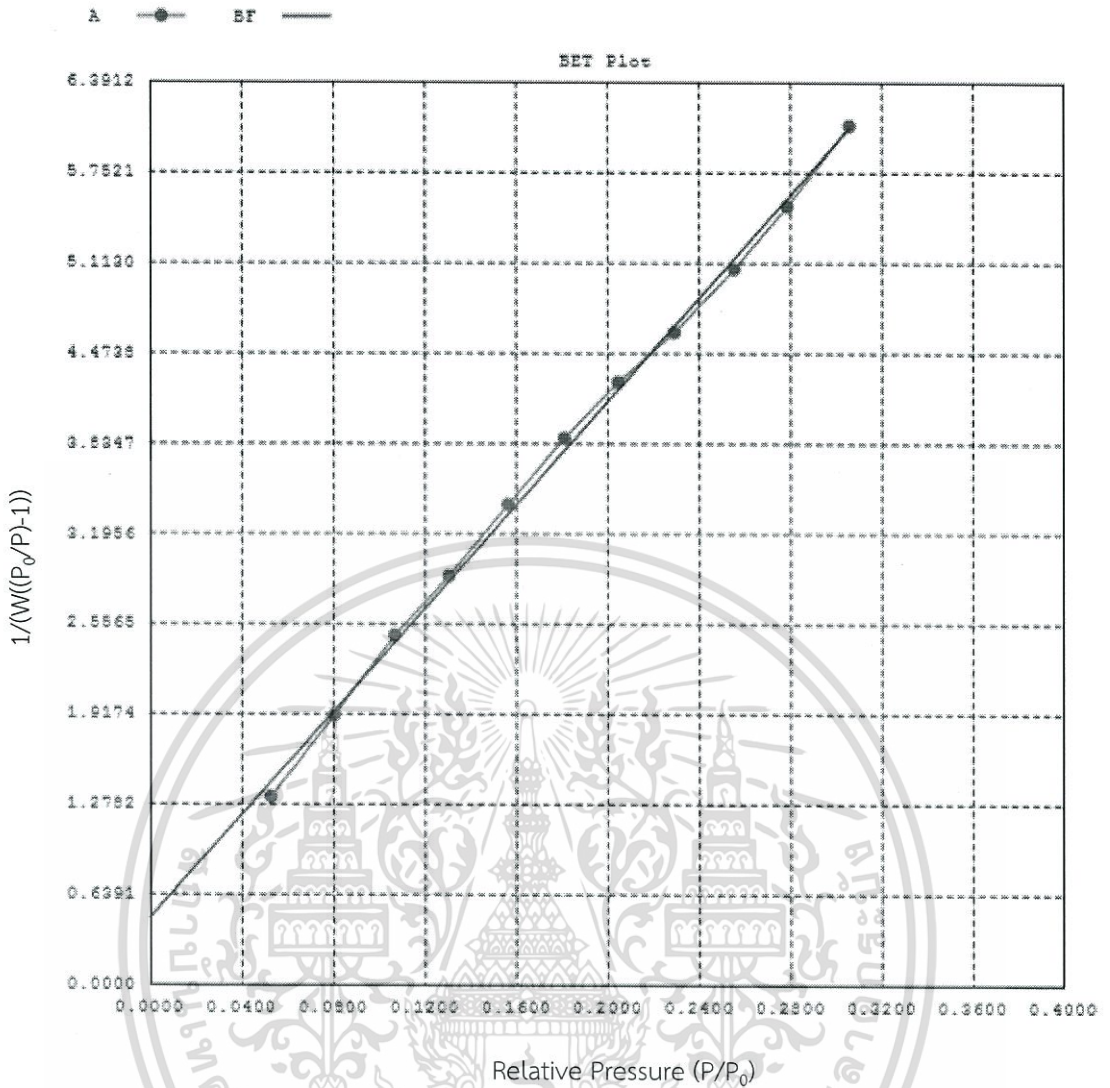
Slope = 18.28

Y - Intercept = 4.753×10^{-1}

Correlation Coefficient = 0.999082

C = 39.46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.2 กราฟการวิเคราะห์พื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาออกไซด์ซึ่งคือออกไซด์ในอัตราส่วน 1:1 บนแกมมาอะลูมินา (CuO-ZnO (1:1) / γ -Al₂O₃)

SURFACE AREA DATA

Multipoint BET 1.857×10^2 m²/g

PORE VOLUME DATA

Total Pore Volume for pores 5.099×10^{-1} cc/g

PORE SIZE DATA

Average Pore Diameter 1.099×10^2 Å

BJH Method Desorption Pore Diameter (Mode) 94.76 Å

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3. การวิเคราะห์พื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาออกไซด์เชิงซ้อนออกไซด์ในอัตราส่วน 2:1 บนแกมมาอะลูมินา (CuO-ZnO / γ -Al₂O₃)

Sample weight	0.0355 g	Analysis gas	Nitrogen
Non-ideality	6.58×10^{-5}	Adsorbate (DRP)	Nitrogen
Bath Temp.	77.35	Outgas Temp.	300.0°C
Outgas Time	8.6 hrs	Analysis Time	487.0 min

ตารางที่ ข.3 ผลของการวิเคราะห์พื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาออกไซด์เชิงซ้อนออกไซด์ในอัตราส่วน 2:1 บนแกมมาอะลูมินา (CuO-ZnO (2:1) / γ -Al₂O₃)

P/P ₀ ($\times 10^{-1}$)	Volume [cc/g] STP	1/(W((P ₀ /P)-1))
0.5235	32.5411	1.358
0.8039	35.3730	1.977
1.0612	37.6392	2.524
1.3139	39.7324	3.046
1.5561	42.2287	3.492
1.8101	44.4676	3.877
2.0599	46.6400	4.450
2.2886	50.0037	4.749
2.5518	52.5918	5.212
2.8033	54.7141	5.696
3.0546	57.0634	6.167

Area = 1.819×10^2 m²/g

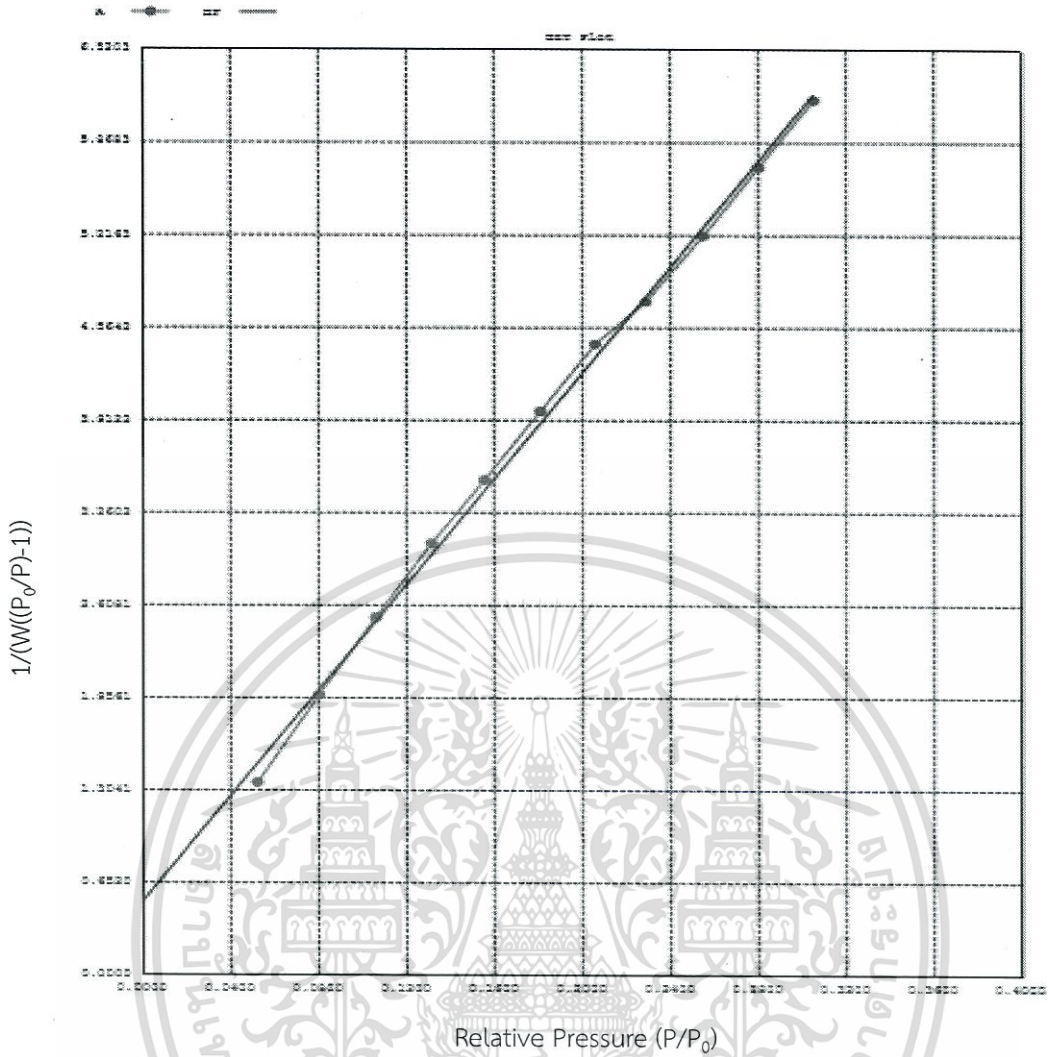
Slope = 18.63

Y - Intercept = 5.194×10^{-1}

Correlation Coefficient = 0.998806

C = 36.87

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.3 กราฟการวิเคราะห์พื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาออกไซด์สังกะสีออกไซด์ในอัตราส่วน 2:1 บนแกมมาอะลูมินา (CuO-ZnO (2:1) / γ -Al₂O₃)

SURFACE AREA DATA

Multipoint BET 1.819×10^2 m²/g

PORE VOLUME DATA

Total Pore Volume for pores 4.317×10^{-1} cc/g

PORE SIZE DATA

Average Pore Diameter 0.9494×10^2 Å

BJH Method Desorption Pore Diameter (Mode) 94.04 Å

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4. การวิเคราะห์พื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ออกไซด์ซิงค์ออกไซด์อะลูมิเนียมออกไซด์ บนแกมมาอะลูมินา ($\text{CuO-ZnO-Al}_2\text{O}_3 / \gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$)

Sample weight	0.0485 g	Analysis gas	Nitrogen
Non-ideality	6.58×10^{-5}	Adsorbate (DRP)	Nitrogen
Bath Temp.	77.35	Outgas Temp.	300.0°C
Outgas Time	21.9 hrs	Analysis Time	534.1 min

ตารางที่ ข.4 ผลของการวิเคราะห์พื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ออกไซด์ซิงค์ออกไซด์อะลูมิเนียมออกไซด์ บนแกมมาอะลูมินา ($\text{CuO-ZnO-Al}_2\text{O}_3 / \gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$)

P/P_0 ($\times 10^{-1}$)	Volume [cc/g] STP	$1/(W((P_0/P)-1))$
0.5583	33.7734	1.401
0.7966	36.2200	1.912
1.0503	38.4532	2.442
1.3004	40.6196	2.944
1.5509	42.7342	3.437
1.8006	44.7748	3.924
2.0512	46.7961	4.412
2.2877	49.3499	4.809
2.5431	51.8295	5.265
2.7982	53.6068	5.799
3.0580	55.4891	6.352

Area = 1.897×10^2 m²/g

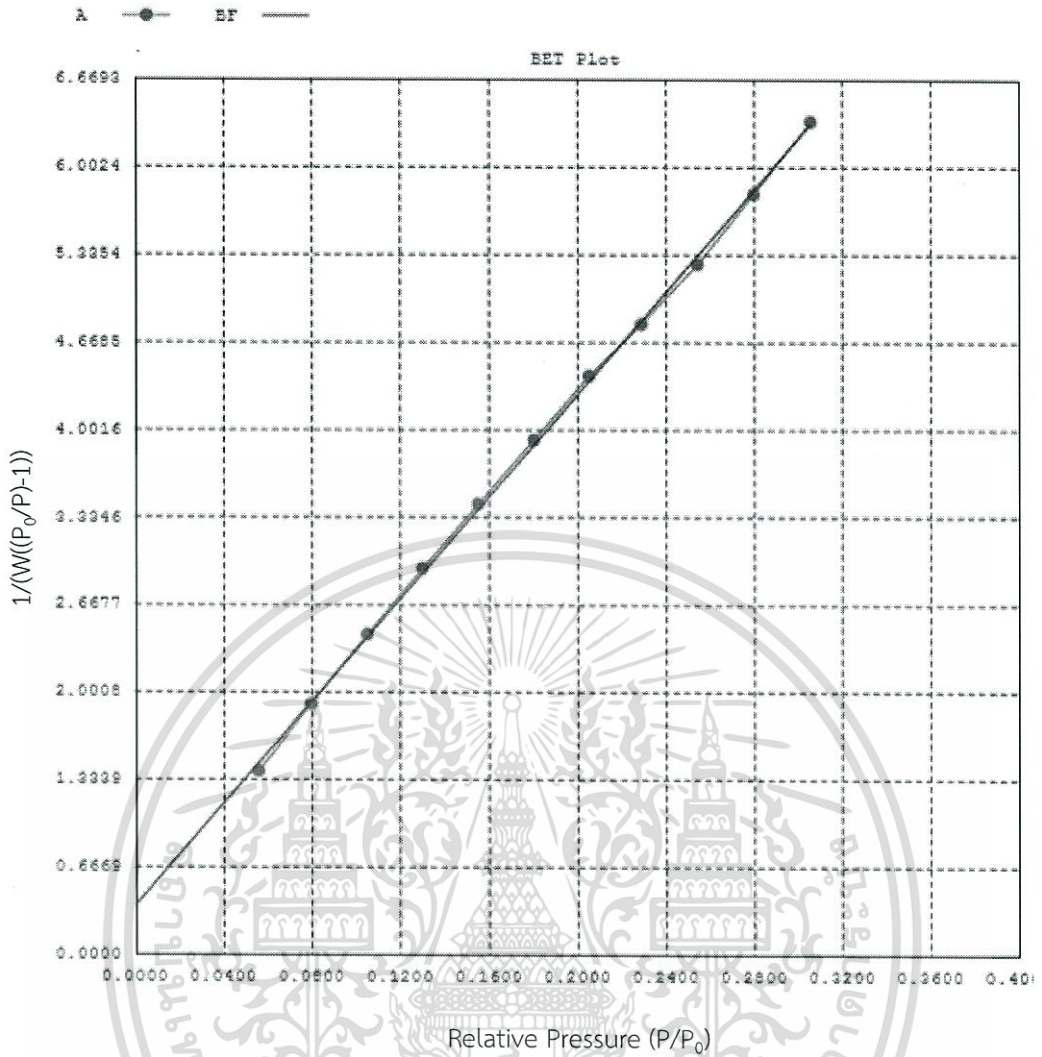
Slope = 19.48

Y - Intercept = 3.766×10^{-1}

Correlation Coefficient = 0.999681

C = 52.72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.4 กราฟการวิเคราะห์พื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาออกไซด์ของสังกะสีออกไซด์อะลูมิเนียมออกไซด์ บนแกมมาอะลูมินา ($\text{CuO-ZnO-Al}_2\text{O}_3 / \gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$)

SURFACE AREA DATA

Multipoint BET $1.897 \times 10^2 \text{ m}^2/\text{g}$

PORE VOLUME DATA

Total Pore Volume for pores $5.231 \times 10^{-1} \text{ cc/g}$

PORE SIZE DATA

Average Pore Diameter $0.9192 \times 10^2 \text{ \AA}$

BJH Method Desorption Pore Diameter (Mode) 94.81 \AA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 1.5. การวิเคราะห์พื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาออกไซด์ของสังกะสีออกไซด์อะลูมิเนียมออกไซด์เซอร์โคเนียม 3% บนแกมมาอะลูมินา ($\text{CuO-ZnO-Al}_2\text{O}_3\text{-3\%Zr / } \gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$)

Sample weight	0.0377 g	Analysis gas	Nitrogen
Non-ideality	6.58×10^{-5}	Adsorbate (DRP)	Nitrogen
Bath Temp.	77.35	Outgas Temp.	300.0°C
Outgas Time	7.6 hrs	Analysis Time	521.6 min

ตารางที่ ข.5 ผลของการวิเคราะห์พื้นที่ผิวตัวเร่งปฏิกิริยาออกไซด์ของสังกะสีออกไซด์อะลูมิเนียมออกไซด์เซอร์โคเนียม 3% บนแกมมาอะลูมินา ($\text{CuO-ZnO-Al}_2\text{O}_3\text{-3\%Zr / } \gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$)

P/P_0 ($\times 10^{-1}$)	Volume [cc/g] STP	$1/(W((P_0/P)-1))$
0.5136	32.5454	1.331
0.8095	34.8520	2.022
1.0669	37.0785	2.577
1.3148	39.0562	3.101
1.5537	41.7268	3.527
1.8020	44.3225	3.968
2.0605	45.7591	4.538
2.3054	48.8714	4.905
2.5646	50.2239	5.495
2.7881	52.6849	5.871
3.0709	54.1737	6.546

$$\text{Area} = 1.951 \times 10^2 \text{ m}^2/\text{g}$$

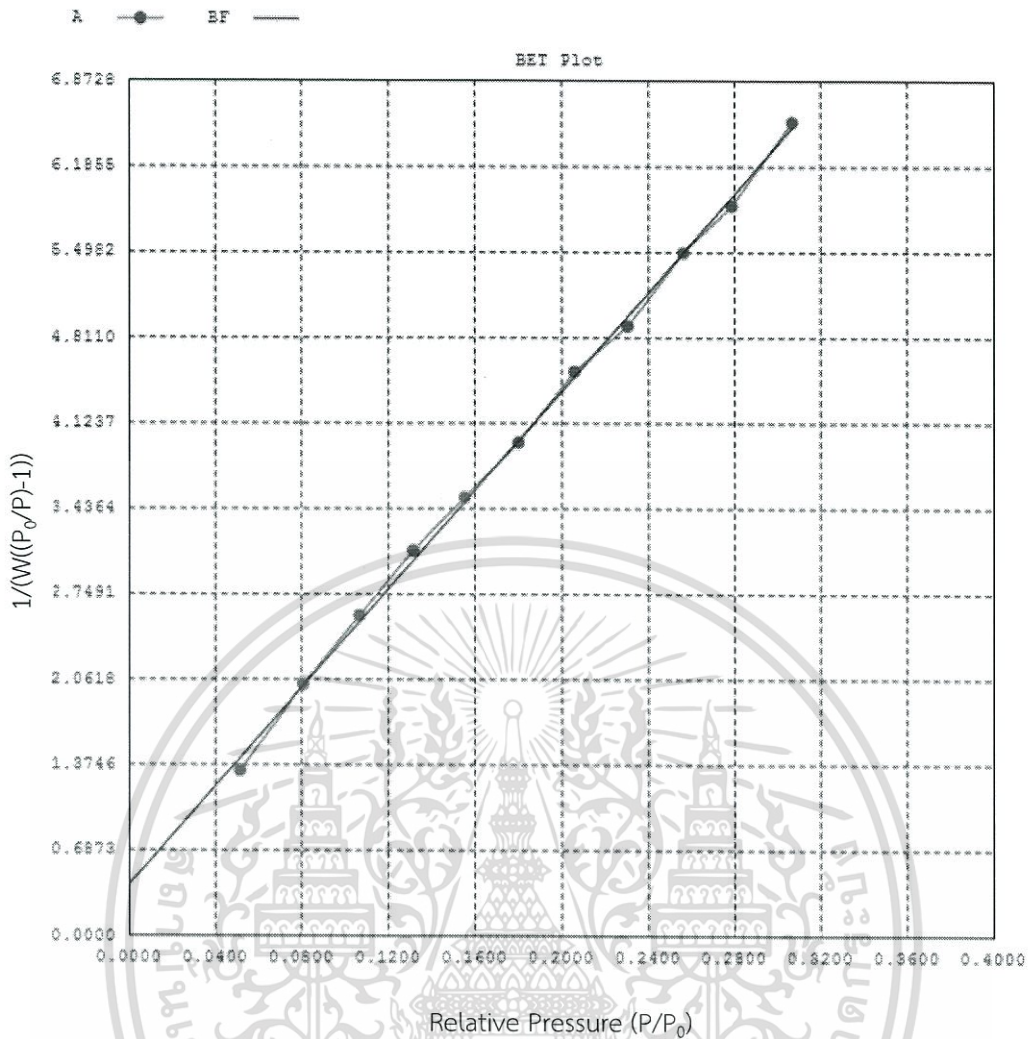
$$\text{Slope} = 19.82$$

$$\text{Y - Intercept} = 4.123 \times 10^{-1}$$

$$\text{Correlation Coefficient} = 0.999360$$

$$C = 49.08$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.5 กราฟการวิเคราะห์พื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยากอปเปอร์ออกไซด์ซิงค์ออกไซด์อะลูมิเนียมออกไซด์เซโคเนียม 3% บนแกมมาอะลูมินา ($\text{CuO-ZnO-Al}_2\text{O}_3\text{-3\%Zr / } \gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$)

SURFACE AREA DATA

Multipoint BET $1.951 \times 10^2 \text{ m}^2/\text{g}$

PORE VOLUME DATA

Total Pore Volume for pores $5.528 \times 10^{-1} \text{ cc/g}$

PORE SIZE DATA

Average Pore Diameter $0.8964 \times 10^2 \text{ \AA}$

BJH Method Desorption Pore Diameter (Mode) 95.10 \AA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

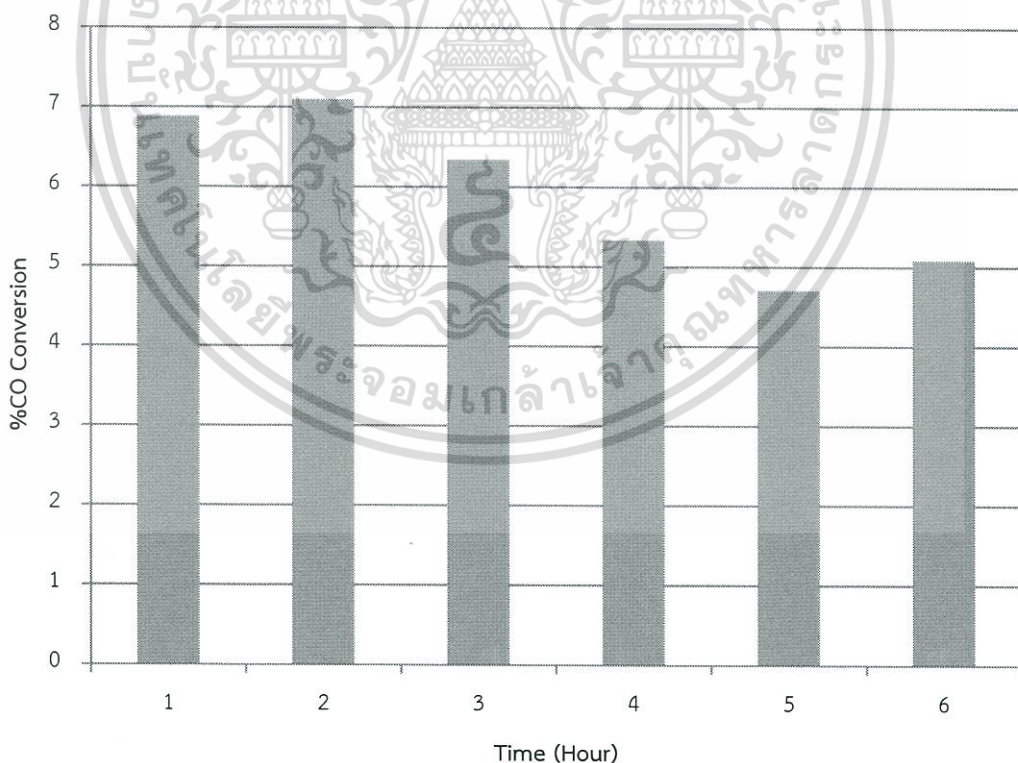
ภาคผนวก ค

ผลการทดลองในการสังเคราะห์ไดเมทิลอีเทอร์

1. การสังเคราะห์ไดเมทิลอีเทอร์ด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา Cu / γ -Al₂O₃

ตารางที่ ค.1 %CO Conversion ของตัวเร่งปฏิกิริยา Cu / γ -Al₂O₃

Time (hr)	%CO Conversion
1	6.88
2	7.10
3	6.34
4	5.33
5	4.71
6	5.08



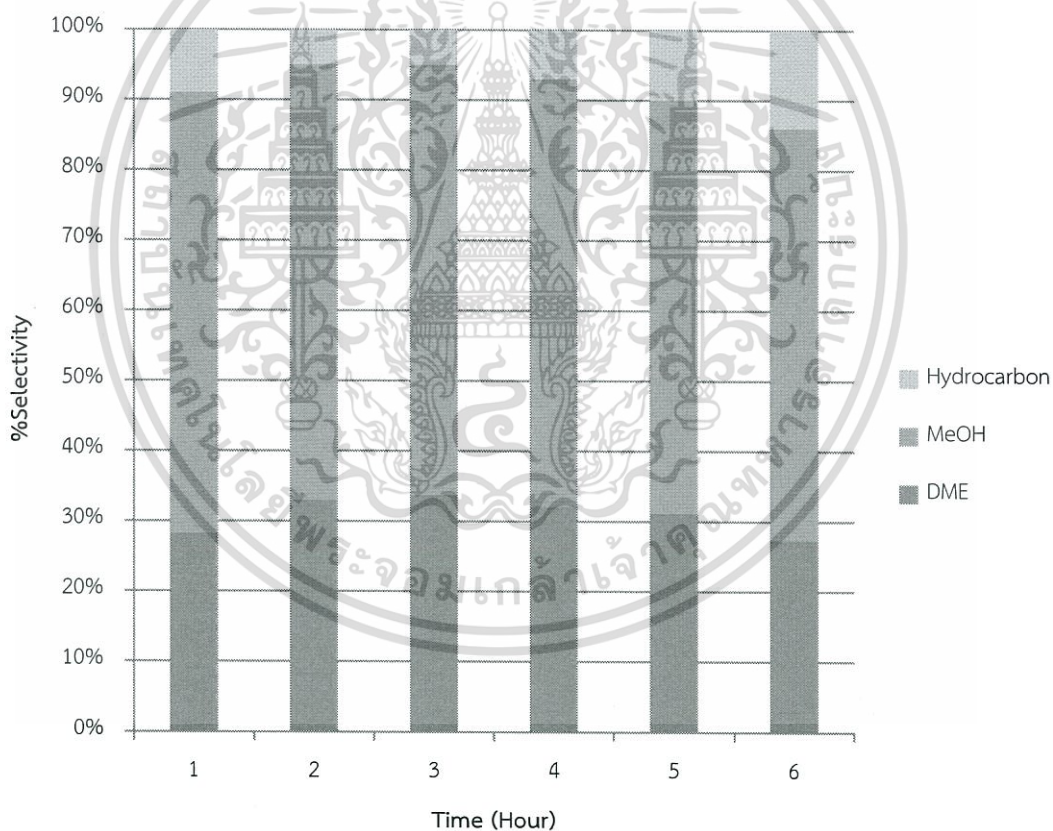
รูปที่ ค.1 %CO Conversion ของตัวเร่งปฏิกิริยา Cu / γ -Al₂O₃ โดยตัวเร่งปฏิกิริยาปริมาณ 0.5

กรัม และอัตราการไหลของแก๊สสังเคราะห์คือ 20 ml/min

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.2 %Selectivity ของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสังเคราะห์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Cu / γ -Al₂O₃

Time (hr)	%Selectivity		
	DME	Methanol	Hydrocarbon
1	28.26	62.75	9.00
2	32.98	62.01	5.01
3	33.62	61.39	4.99
4	32.08	60.92	7.00
5	31.16	58.85	9.99
6	27.30	58.71	14.00

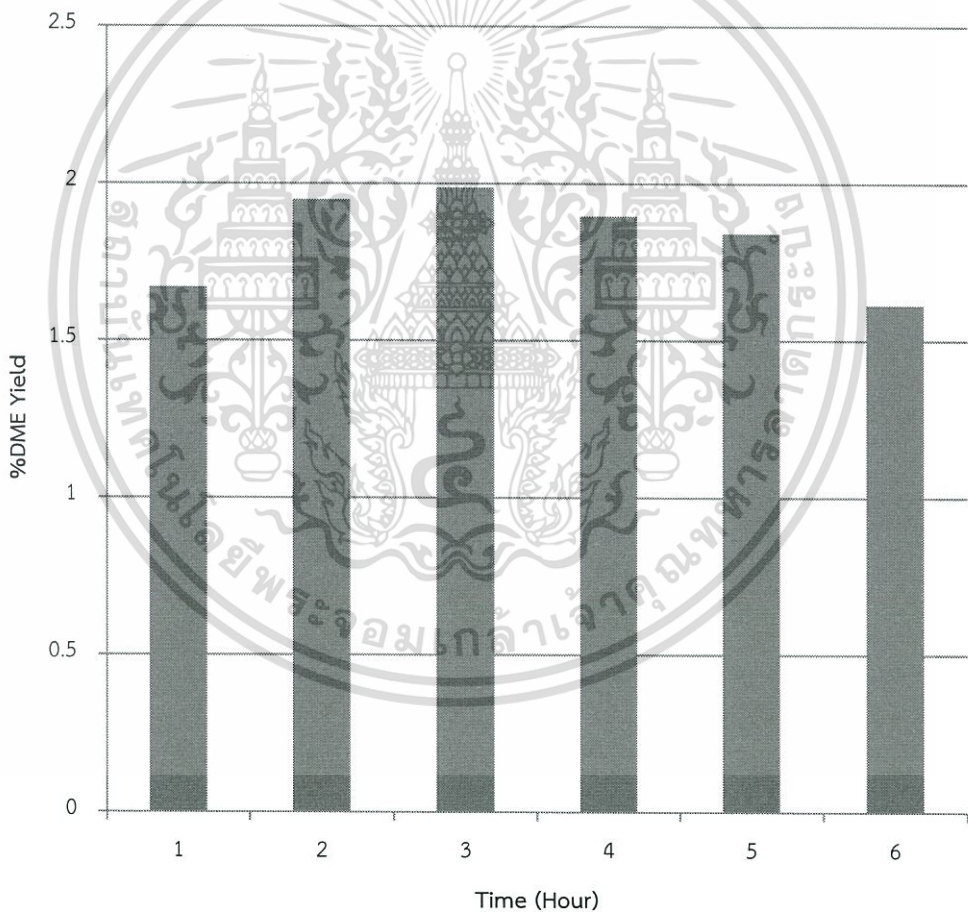


รูปที่ ค.2 %Selectivity ของไดเมทิลอีเทอร์ เมทานอล และไฮโดรคาร์บอนที่ได้จากการสังเคราะห์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Cu / γ -Al₂O₃ โดยตัวเร่งปฏิกิริยาปริมาณ 0.5 กรัม และอัตราการไหลของแก๊สสังเคราะห์คือ 20 ml/min

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.3 %Yield ของไดเมทิลอีเทอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Cu / γ - Al_2O_3

Time (hr)	%Yield of DME
1	1.67
2	1.95
3	1.99
4	1.90
5	1.84
6	1.61



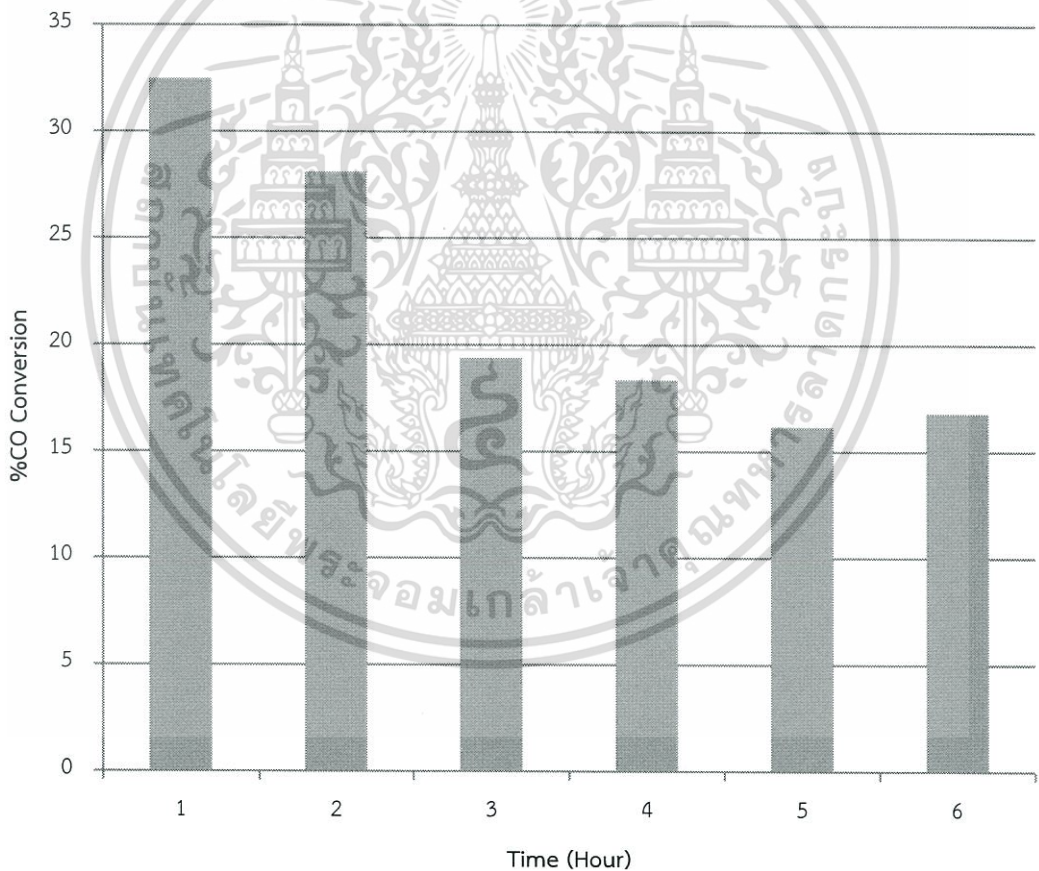
รูปที่ ค.3 %Yield ของไดเมทิลอีเทอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Cu / γ - Al_2O_3
โดยตัวเร่งปฏิกิริยาปริมาณ 0.5 กรัม และอัตราการไหลของแก๊สสังเคราะห์คือ 20 ml/min

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การสังเคราะห์โคบอลต์ออกไซด์ด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา CuZnO (1:1) / γ -Al₂O₃

ตารางที่ ค.4 %CO Conversion ของตัวเร่งปฏิกิริยา CuZnO (1:1) / γ -Al₂O₃

Time (hr)	%CO Conversion
1	32.48
2	28.09
3	19.38
4	18.35
5	16.16
6	16.80

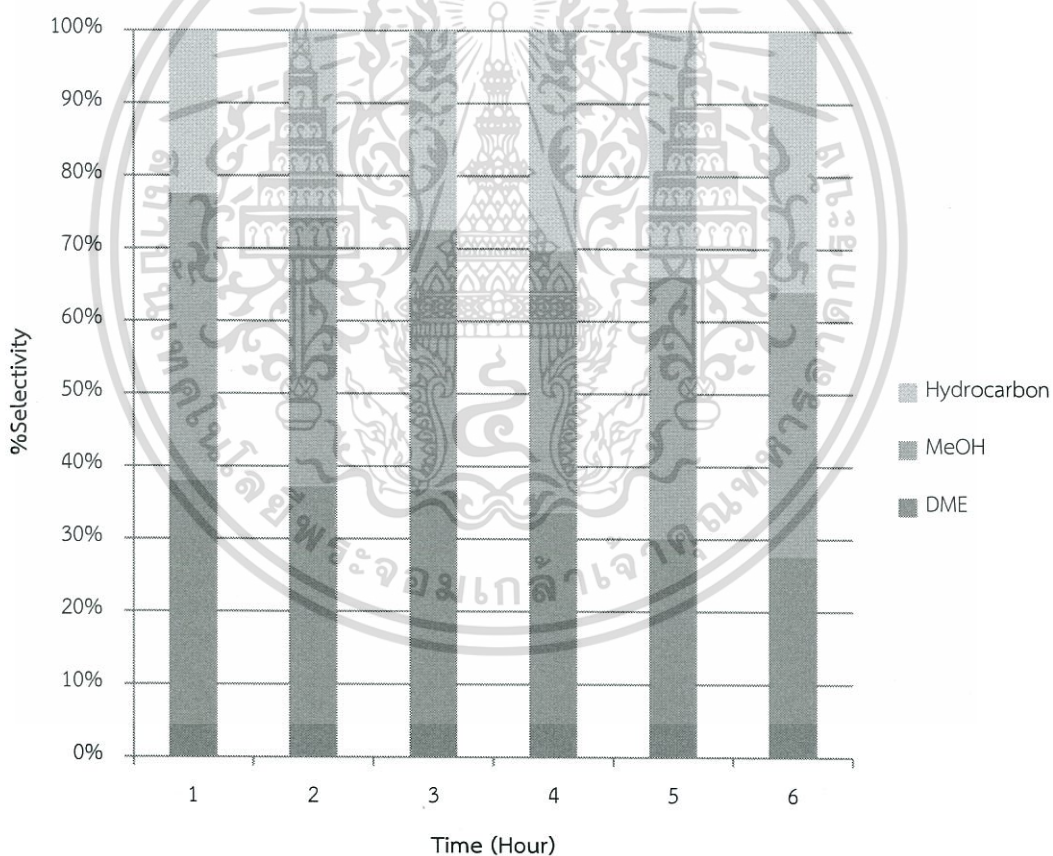


รูปที่ ค.4 %CO Conversion ของตัวเร่งปฏิกิริยา CuZnO (1:1) / γ -Al₂O₃ โดยตัวเร่งปฏิกิริยา ปริมาณ 0.5 กรัม และอัตราการไหลของแก๊สสังเคราะห์คือ 20 ml/min

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.5 %Selectivity ของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสังเคราะห์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา CuZnO (1:1) / γ -Al₂O₃

Time (hr)	%Selectivity		
	DME	Methanol	Hydrocarbon
1	37.90	39.60	22.49
2	37.07	37.07	25.85
3	36.77	35.77	27.45
4	33.53	36.13	30.35
5	30.06	36.06	33.88
6	27.54	36.54	35.93

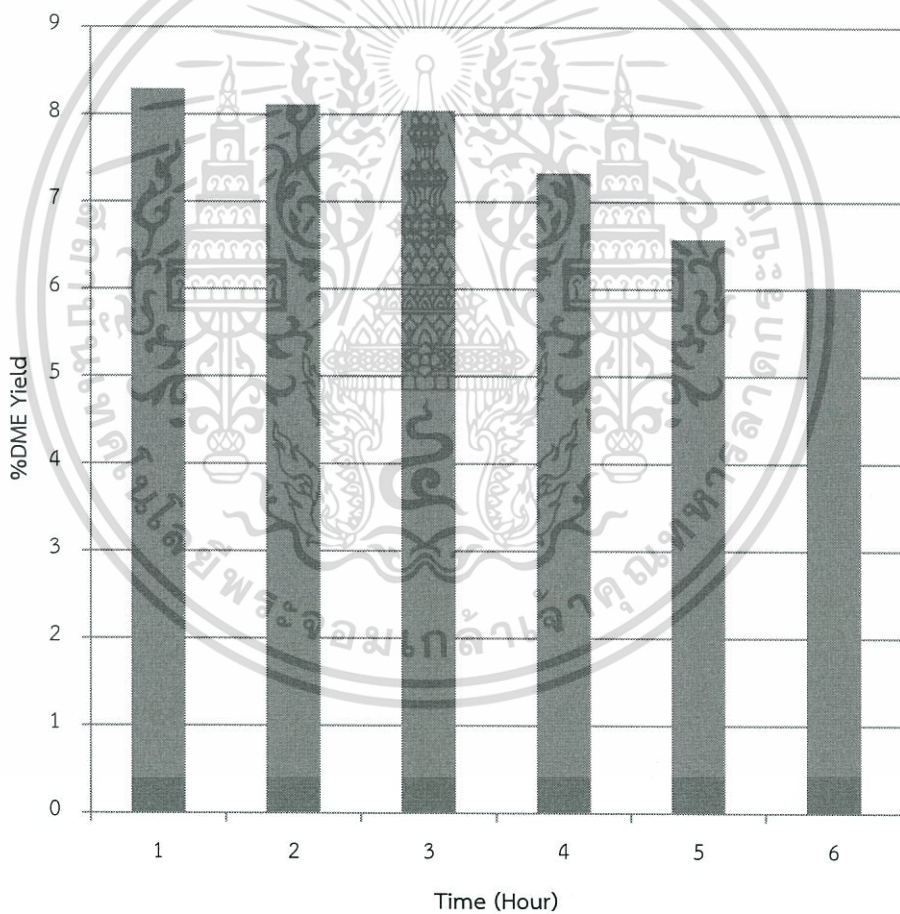


รูปที่ ค.5 %Selectivity ของไดเมทิลอีเทอร์ เมทานอล และไฮโดรคาร์บอนที่ได้จากการสังเคราะห์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา CuZnO (1:1) / γ -Al₂O₃ โดยตัวเร่งปฏิกิริยาปริมาณ 0.5 กรัม และอัตราการไหลของแก๊สสังเคราะห์คือ 20 ml/min

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.6 %Yield ของไดเมทิลอีเทอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา CuZnO (1:1) / γ -Al₂O₃

Time (hr)	%Yield of DME
1	8.29
2	8.11
3	8.04
4	7.33
5	6.57
6	6.02



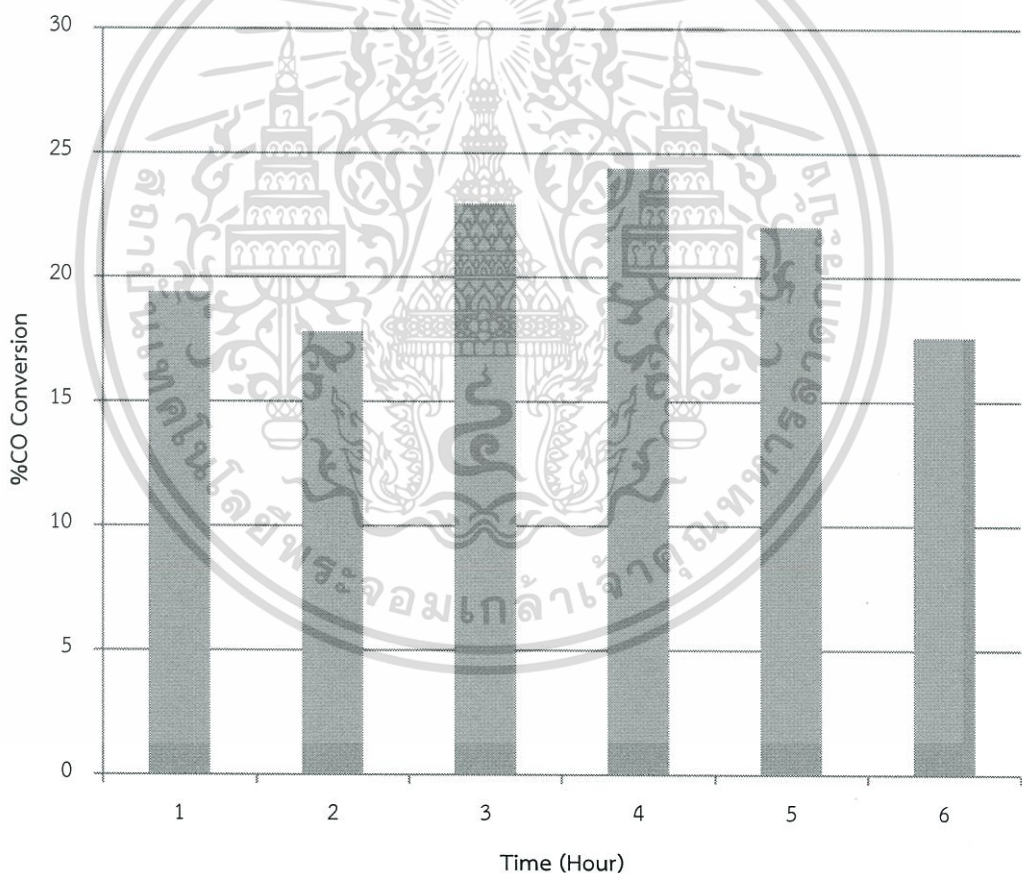
รูปที่ ค.6 %Yield ของไดเมทิลอีเทอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา CuZnO (1:1) / γ -Al₂O₃ โดยตัวเร่งปฏิกิริยาปริมาณ 0.5 กรัม และอัตราการไหลของแก๊สสังเคราะห์คือ 20 ml/min

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสังเคราะห์ไฮดรอกไซด์ด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา CuZnO (2:1) / γ -Al₂O₃

ตารางที่ ค.7 %CO Conversion ของตัวเร่งปฏิกิริยา CuZnO (2:1) / γ -Al₂O₃

Time (hr)	%CO Conversion
1	19.38
2	17.81
3	22.96
4	24.38
5	22.04
6	17.59

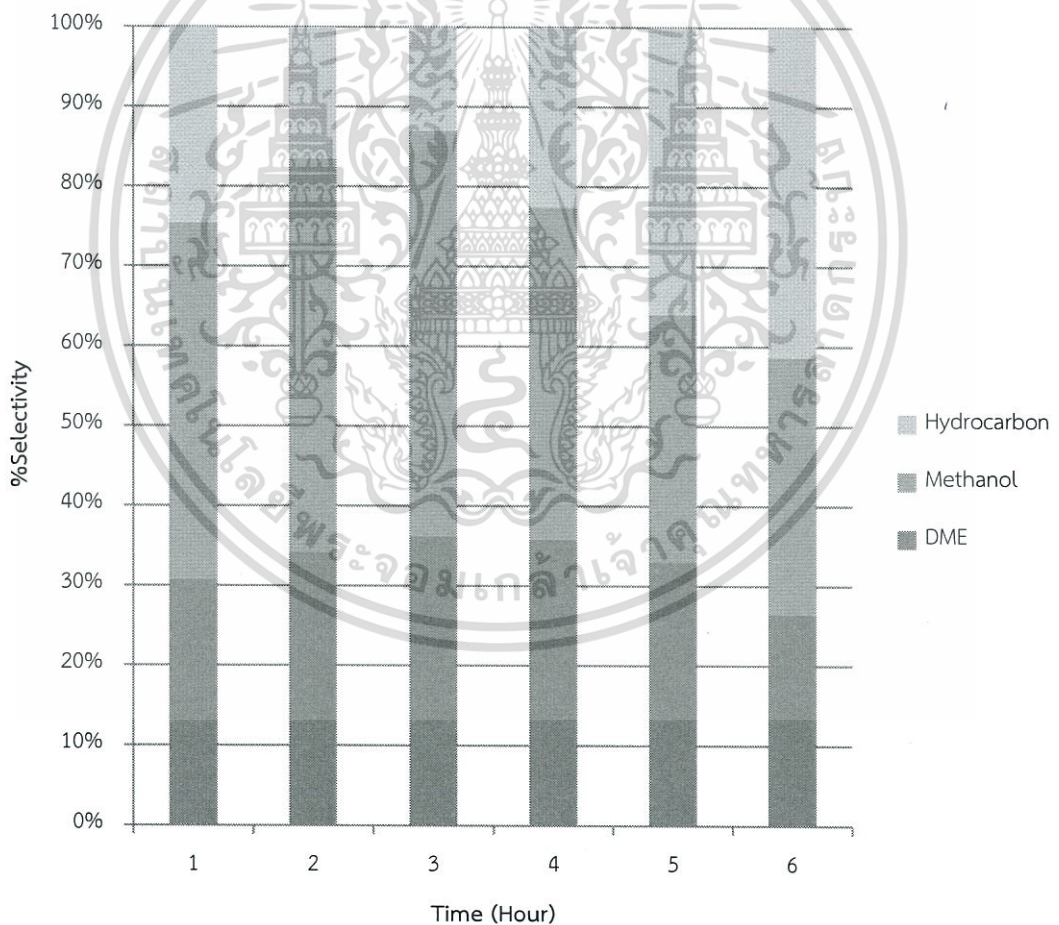


รูปที่ ค.7 %CO Conversion ของตัวเร่งปฏิกิริยา CuZnO (2:1) / γ -Al₂O₃ โดยตัวเร่งปฏิกิริยา ปริมาณ 0.5 กรัม และอัตราการไหลของแก๊สสังเคราะห์คือ 20 ml/min

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.8 %Selectivity ของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสังเคราะห์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา CuZnO (2:1) / γ - Al_2O_3

Time (hr)	%Selectivity		
	DME	Methanol	Hydrocarbon
1	30.66	44.71	24.63
2	34.11	49.34	16.54
3	36.11	50.83	13.06
4	35.77	41.63	22.60
5	32.91	31.07	36.02
6	26.45	32.19	41.36



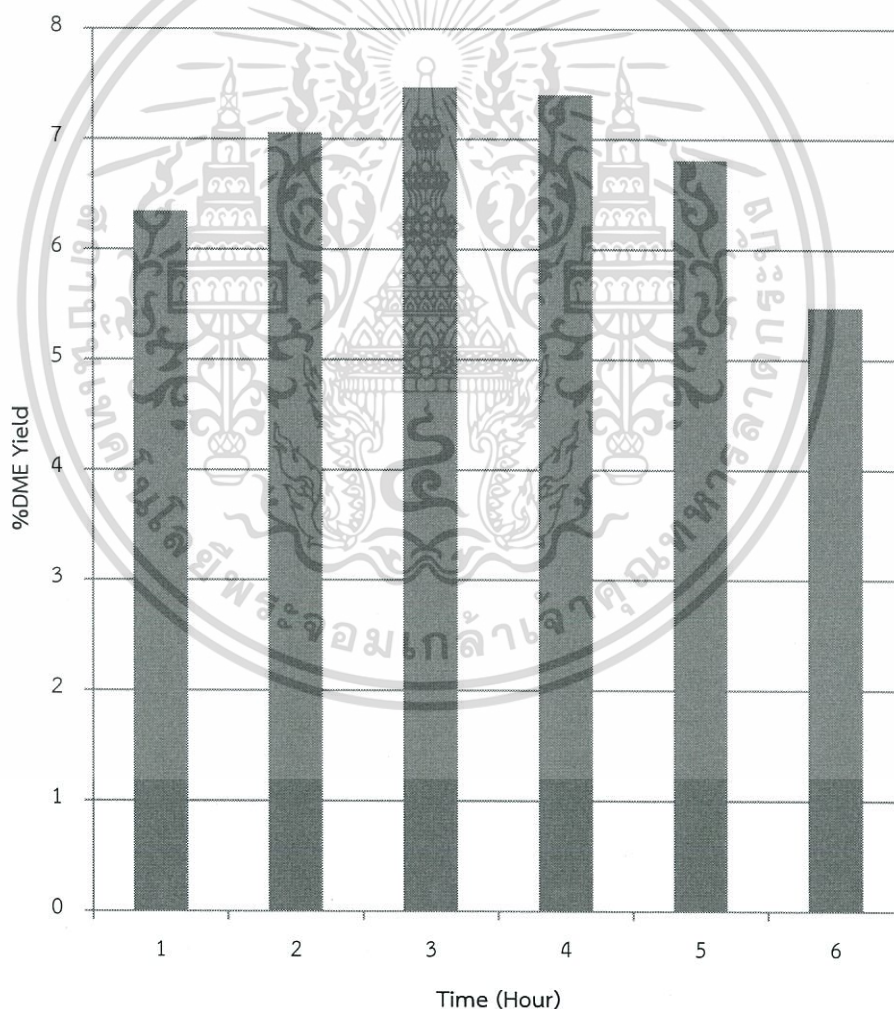
รูปที่ ค.8 %Selectivity ของไดเมทิลอีเทอร์ เมทานอล และไฮโดรคาร์บอนที่ได้จากการสังเคราะห์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา CuOZnO (2:1) / γ - Al_2O_3 โดยตัวเร่งปฏิกิริยาปริมาณ 0.5 กรัม และอัตรา

การไหลของแก๊สสังเคราะห์คือ 20 ml/min

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่อผู้ยืมได้ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.9 %Yield ของไดเมทิลอีเทอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา CuZnO (2:1) / γ - Al_2O_3

Time (hr)	%Yield of DME
1	6.34
2	7.06
3	7.47
4	7.40
5	6.81
6	5.47

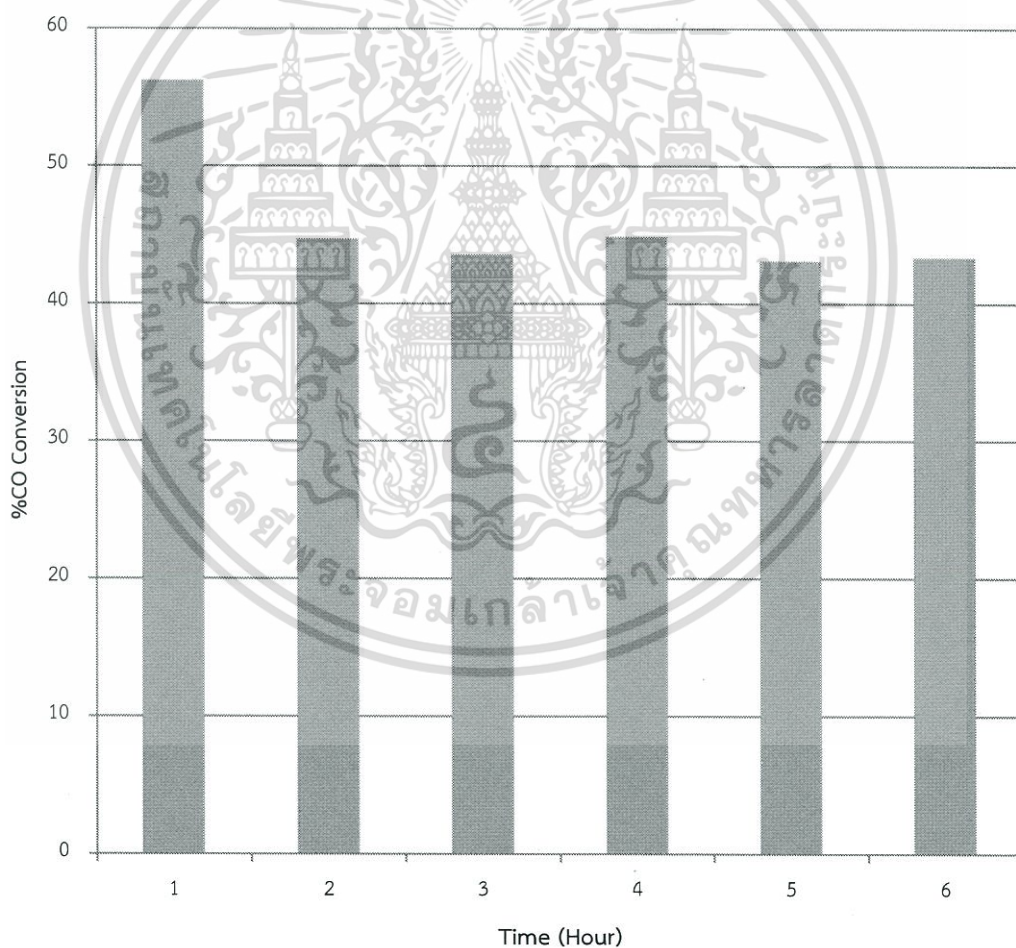


รูปที่ ค.9 %Yield ของไดเมทิลอีเทอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา CuZnO (2:1) / γ - Al_2O_3 โดยตัวเร่งปฏิกิริยาปริมาณ 0.5 กรัม และอัตราการไหลของแก๊สสังเคราะห์คือ 20 ml/min เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การสังเคราะห์ไดเมทิลอีเทอร์ด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา $\text{CuZnOAl}_2\text{O}_3 / \gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$

ตารางที่ ค.10 %CO Conversion ของตัวเร่งปฏิกิริยา $\text{CuZnOAl}_2\text{O}_3 / \gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$

Time (hr)	%CO Conversion
1	56.24
2	44.70
3	43.58
4	44.87
5	43.11
6	43.37

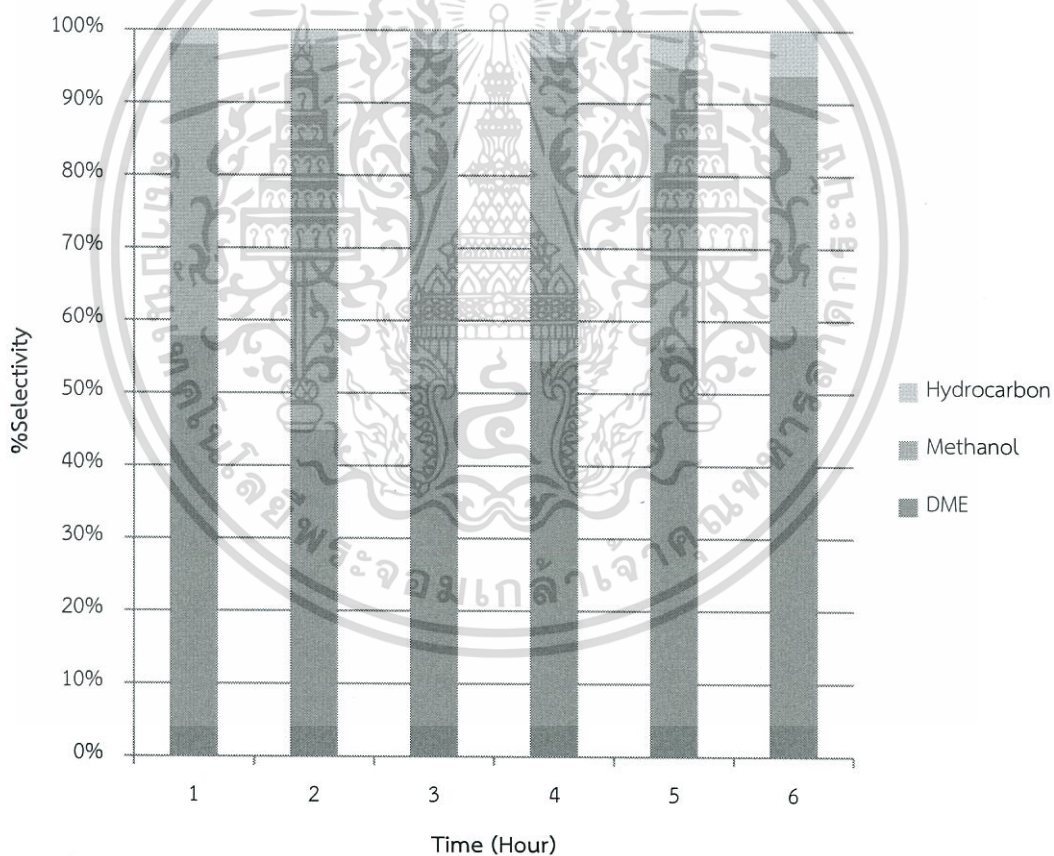


รูปที่ ค.10 %CO Conversion ของตัวเร่งปฏิกิริยา $\text{CuZnOAl}_2\text{O}_3 / \gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ โดยตัวเร่งปฏิกิริยา ปริมาณ 0.5 กรัม และอัตราการไหลของแก๊สสังเคราะห์คือ 20 ml/min

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.11 %Selectivity ของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสังเคราะห์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา $\text{CuZnOAl}_2\text{O}_3 / \gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$

Time (hr)	%Selectivity		
	DME	Methanol	Hydrocarbon
1	57.65	40.05	2.03
2	44.90	53.04	2.07
3	51.17	46.23	2.60
4	54.48	41.92	3.60
5	56.47	38.34	5.19
6	58.17	35.72	6.10

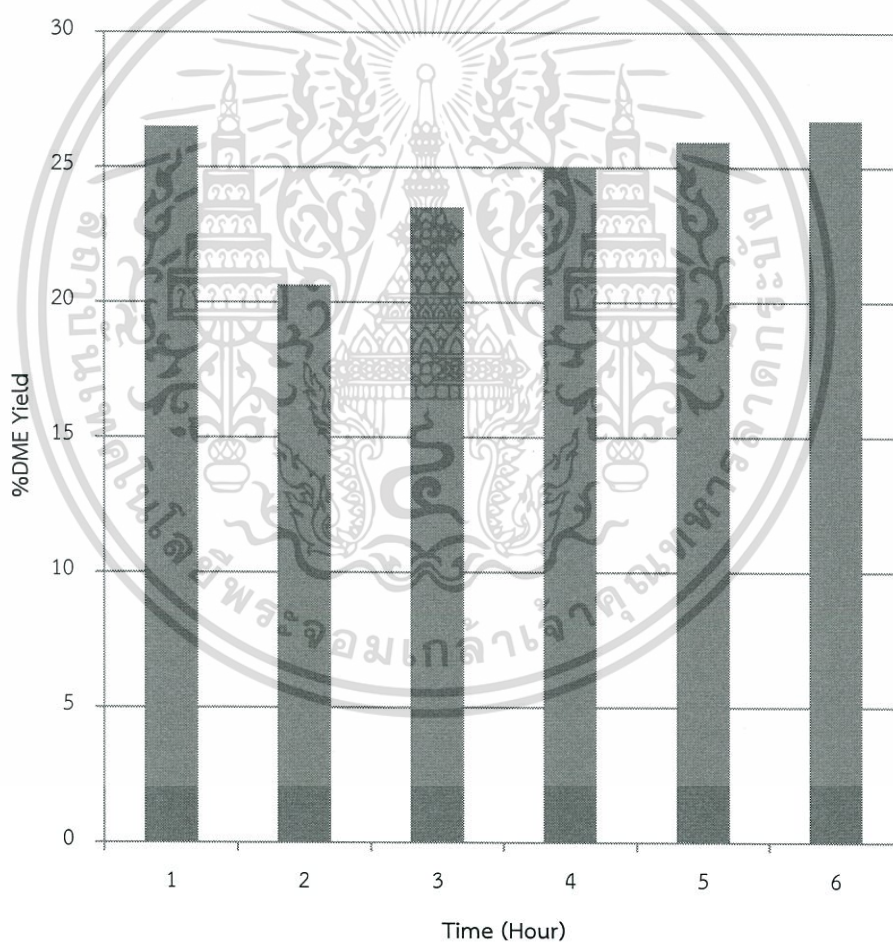


รูปที่ ค.11 %Selectivity ของไดเมทิลอีเทอร์ เมทานอล และไฮโดรคาร์บอนที่ได้จากการสังเคราะห์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา $\text{CuZnOAl}_2\text{O}_3 / \gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ โดยตัวเร่งปฏิกิริยาปริมาณ 0.5 กรัม และอัตราการไหลของแก๊สสังเคราะห์คือ 20 ml/min

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.12 %Yield ของไดเมทิลอีเทอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา $\text{CuZnOAl}_2\text{O}_3 / \gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$

Time (hr)	%Yield of DME
1	26.50
2	20.63
3	23.52
4	25.04
5	25.96
6	26.74



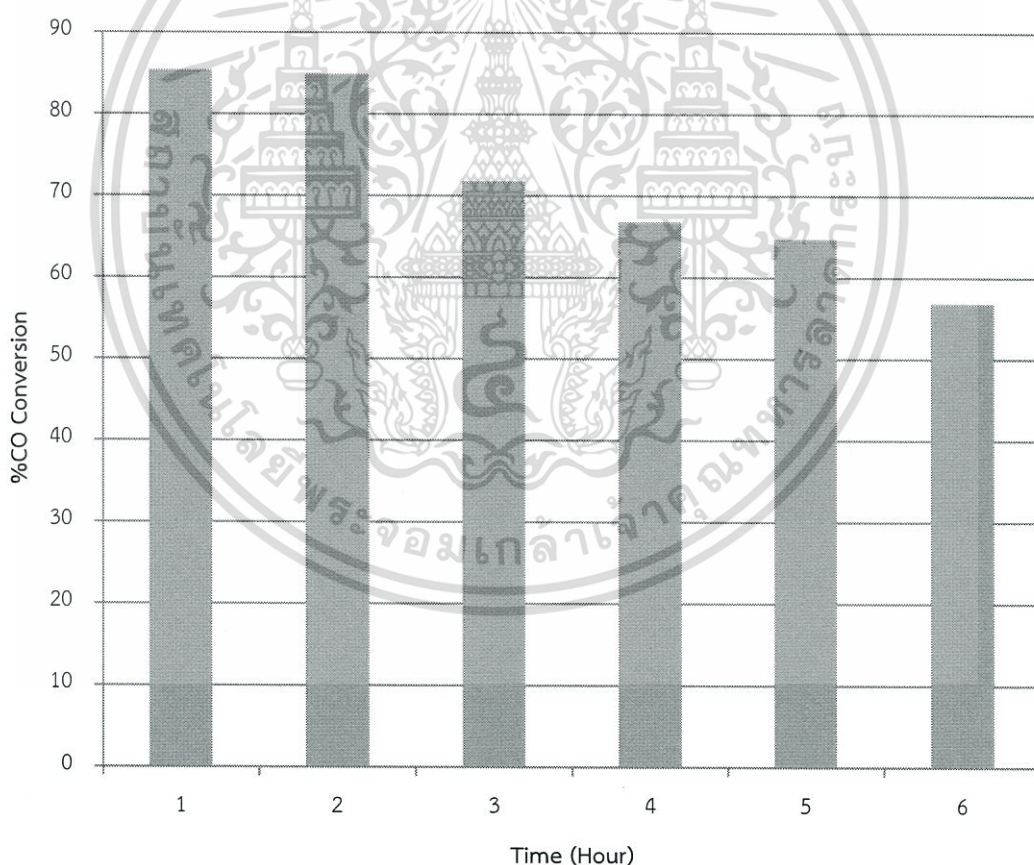
รูปที่ ค.12 %Yield ของไดเมทิลอีเทอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา $\text{CuZnOAl}_2\text{O}_3 / \gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ โดยตัวเร่งปฏิกิริยาปริมาณ 0.5 กรัม และอัตราการไหลของแก๊สสังเคราะห์คือ 20 ml/min

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. การสังเคราะห์ไดเมทิลอีเทอร์ด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา $\text{CuZnOAl}_2\text{O}_3\text{-Zr3\% / } \gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$

ตารางที่ ค.13 %CO Conversion ของตัวเร่งปฏิกิริยา $\text{CuZnOAl}_2\text{O}_3\text{-Zr3\% / } \gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$

Time (hr)	%CO Conversion
1	85.33
2	84.88
3	71.76
4	66.78
5	64.71
6	56.83

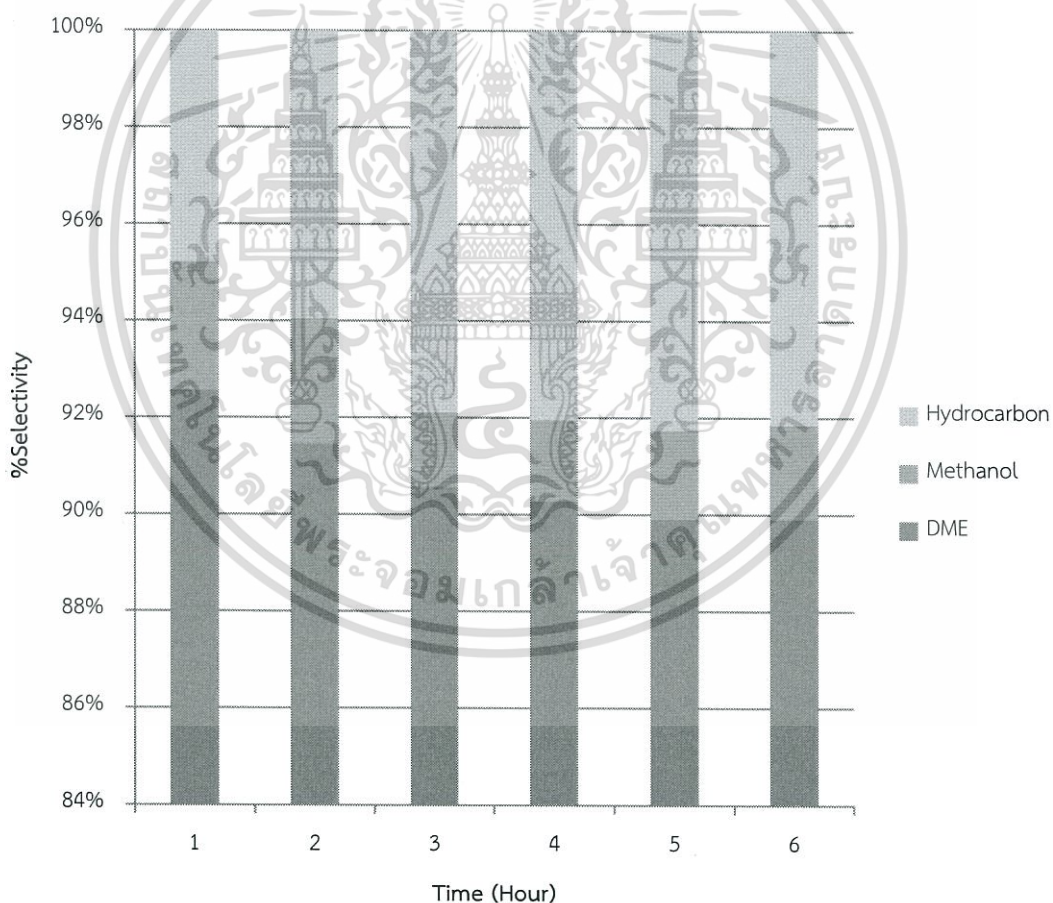


รูปที่ ค.13 %CO Conversion ของตัวเร่งปฏิกิริยา $\text{CuZnOAl}_2\text{O}_3\text{-Zr3\% / } \gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ โดยตัวเร่งปฏิกิริยาปริมาณ 0.5 กรัม และอัตราการไหลของแก๊สสังเคราะห์คือ 20 ml/min

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.14 %Selectivity ของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสังเคราะห์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา $\text{CuZnOAl}_2\text{O}_3\text{-Zr3\%} / \gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$

Time (hr)	%Selectivity		
	DME	Methanol	Hydrocarbon
1	92.56	2.65	4.79
2	91.45	2.59	5.96
3	90.57	1.54	7.90
4	90.27	1.68	8.05
5	89.91	1.83	8.26
6	89.90	1.95	8.15

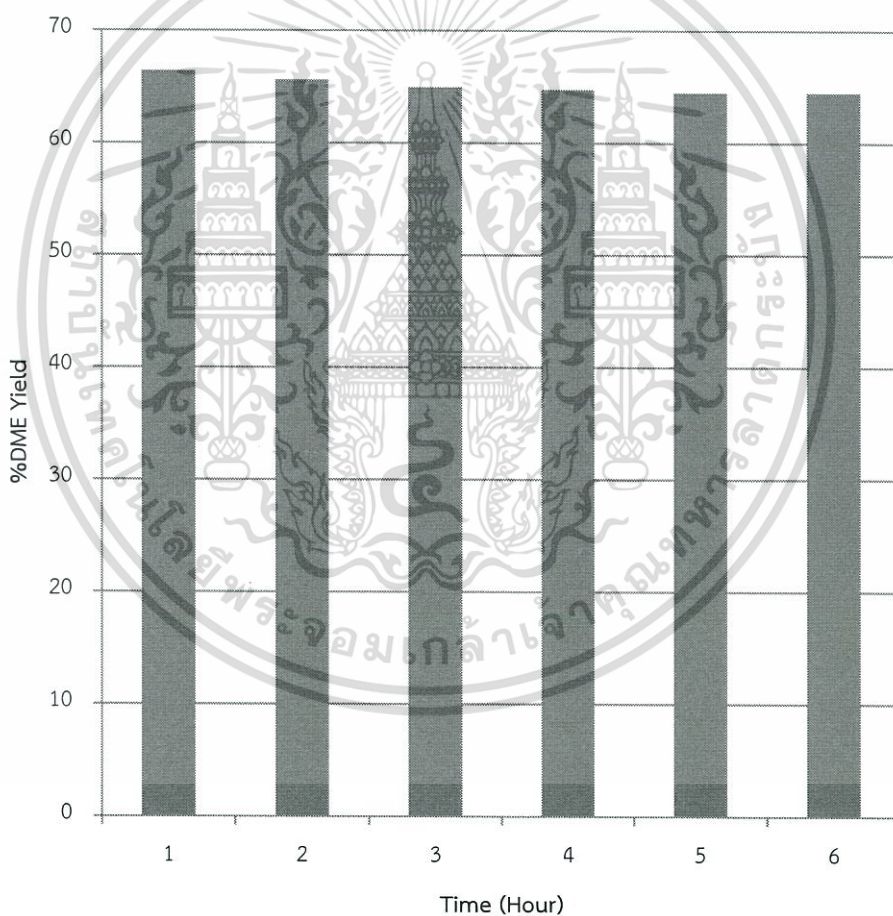


รูปที่ ค.14 %Selectivity ของโดเมทิลอีเทอร์ เมทานอล และไฮโดรคาร์บอนที่ได้จากการสังเคราะห์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา $\text{CuZnOAl}_2\text{O}_3\text{-Zr3\%} / \gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ โดยตัวเร่งปฏิกิริยาปริมาณ 0.5 กรัม และอัตราการไหลของแก๊สสังเคราะห์คือ 20 ml/min

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.15 %Yield ของไดเมทิลอีเทอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา $\text{CuZnOAl}_2\text{O}_3\text{-Zr3\% / } \gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$

Time (hr)	%Yield of DME
1	66.38
2	65.58
3	64.94
4	64.73
5	64.47
6	64.47



รูปที่ ค.15 %Yield ของไดเมทิลอีเทอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา $\text{CuZnOAl}_2\text{O}_3\text{-Zr3\% / } \gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ โดยตัวเร่งปฏิกิริยาปริมาณ 0.5 กรัม และอัตราการไหลของแก๊สสังเคราะห์คือ 20 ml/min

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

การคำนวณค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของคาร์บอนมอนอกไซด์ (%CO Conversion)

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

ตัวอย่างการคำนวณ ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของคาร์บอนมอนอกไซด์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์บนแกมมาอะลูมินา

ชั่วโมงที่ 1

ที่สภาวะ ความดัน (P) = 1.003 atm ปริมาตร (V) = 20 mL/mol
อุณหภูมิ (T) = 301 K R = 82.06 mL·atm/mol·K

$$\text{Mole (syngas)} = \frac{PV}{RT} = \frac{(1.003 \text{ atm})(20 \text{ mL/min})}{(82.06 \frac{\text{mL} \cdot \text{atm}}{\text{mol} \cdot \text{K}})(301 \text{ K})} = 0.000812144 \frac{\text{mol}}{\text{min}}$$

- ขาเข้า

$$\begin{aligned} \text{Mole (in)} &= \text{Syngas's Standard Peak Area (GC - TCD)} \times \text{Mole (syngas)} \\ &= 8.9710 \times 0.000812144 \frac{\text{mol}}{\text{min}} = 0.007286475 \frac{\text{mol}}{\text{min}} \end{aligned}$$

- ขาออก

$$\begin{aligned} \text{Mole (out)} &= \text{Syngas's Standard Peak Area (GC - TCD)} \times \text{Mole (syngas)} \\ &= 8.3535 \times 0.000812144 \frac{\text{mol}}{\text{min}} = 0.006784245 \frac{\text{mol}}{\text{min}} \end{aligned}$$

- หา %CO Conversion

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= \frac{0.007286475 \frac{\text{mol}}{\text{min}} - 0.006784245 \frac{\text{mol}}{\text{min}}}{0.007286475 \frac{\text{mol}}{\text{min}}}$$

$$= 6.8926 \%$$

ตารางที่ ง.1 แสดง %CO Conversion ของ Cu / γ -Al₂O₃

Hour	Mole in	Mole out	%CO conversion
1	0.007286475	0.006784245	6.8926
2	0.007285715	0.006768569	7.098083075
3	0.007285715	0.006823876	6.338967558
4	0.007285715	0.00689705	5.334616485
5	0.007285715	0.006942855	4.705921696
6	0.007285715	0.006915323	5.083807393
		Average	5.907390136

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ

การคำนวณค่าร้อยละความจำเพาะต่อการเลือกเกิด (%Selectivity)

1. ค่าร้อยละความจำเพาะต่อการเลือกเกิดเป็นไดเมทิลอีเทอร์ (%DME Selectivity)

$$\%DME \text{ Selectivity} = \frac{2(\text{DME Moles Produced})}{\text{Moles All Products}} \times 100$$

ตัวอย่างการคำนวณ ค่าร้อยละความจำเพาะต่อการเลือกเกิดเป็นไดเมทิลอีเทอร์ โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาอะลูมิเนียมออกไซด์บนแกนมาอะลูมินา

ชั่วโมงที่ 1 สภาวะ อุณหภูมิ (T) = K และความดัน (P) = atm

โดยที่

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

และ

$$\text{DME} = \frac{\text{Mole (syngas)} \times \left[\frac{\text{Area Peak}}{\text{Standard Peak}} \right]}{\text{All Product}}$$

จะได้

$$\text{All Product} = \frac{\text{Total Hydrocarbon Area Peak}}{\text{Standard Peak}}$$

$$\%DME \text{ Selectivity} = \frac{2(\text{DME})}{\sum C} \times 100$$

- เทอมเศษ

$$2(\text{DME}) = 2 \times \left[\frac{0.000812144 \text{ mol / min} \times 50511}{254150} \right]$$

$$= 0.000322819 \frac{\text{mol}}{\text{min}}$$

- เทอมส่วน

$$\text{All Product} = \left[\frac{\text{Mole (syngas)} \times \left[\frac{\text{Area Peak}}{\text{Standard Peak}} \right]}{C1 + C2 + C3 + C4 + C5 + CO_2 + 2DME} \right] \times \text{Number of Carbons}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$C1 = \left[\frac{0.000812144 \text{ mol/ min} \times 114002}{254150} \right] \times 1$$

$$= 0.000364297 \frac{\text{mol}}{\text{min}}$$

$$C2 = \left[\frac{0.000812144 \text{ mol/ min} \times 52170}{254150} \right] \times 2$$

$$= 0.000333422 \frac{\text{mol}}{\text{min}}$$

$$C3 = \left[\frac{0.000812144 \text{ mol/ min} \times 0}{254150} \right] \times 3$$

$$= 0 \frac{\text{mol}}{\text{min}}$$

$$C4 = \left[\frac{0.000812144 \text{ mol/ min} \times 56132}{254150} \right] \times 4$$

$$= 0.000717486 \frac{\text{mol}}{\text{min}}$$

$$C5 = \left[\frac{0.000812144 \text{ mol/ min} \times 31210}{254150} \right] \times 5$$

$$= 0.000099733 \frac{\text{mol}}{\text{min}}$$

$$CO_2 = \left[\frac{0.000812144 \text{ mol/ min} \times 3068}{254150} \right] \times 2$$

$$= 0.000009804 \frac{\text{mol}}{\text{min}}$$

- หาค่า %Selectivity

จากสูตร

$$\%Selectivity = \frac{2(DME)}{\sum C} \times 100$$

$$= \frac{322.819 \times 10^{-6} \times 100}{(364.207 + 333.422 + 0 + 717.486 + 99.733 + 9.804 + 322.819) \times 10^{-6}}$$

$$= 28.25 \%$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง จ.1 แสดง %DME Selectivity ของ Cu / γ -Al₂O₃

ชั่วโมง	Area Peak (x10 ⁻⁶)							%DME Selectivity
	C1	C2	C3	C4	C5	CO ₂	2DME	
1	364.2	333.4	0	717.5	498.7	9.8	322.9	28.25
2	364.2	333.4	0	717.5	99.7	9.8	322.8	32.98
3	419.0	178.1	0	150.1	65.0	6.9	433.8	33.62
4	557.8	210.4	0	43.9	0	55.6	439.5	32.08
5	528.4	189.1	0	94.9	0	1561.9	1121.4	31.16
6	520.7	209.6	0	81.8	0	13.6	373.8	27.30
							Average	30.90

2. ค่าร้อยละความจำเพาะต่อการเลือกเกิดเป็นเมทานอล (%MeOH Selectivity)

$$\%MeOH \text{ Selectivity} = \frac{\text{MeOH Moles Produced}}{\text{Moles All Products}} \times 100$$

ตัวอย่างการคำนวณ ค่าร้อยละความจำเพาะต่อการเลือกเกิดเป็นเมทานอล โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา คอปเปอร์บนแกมมาอะลูมินา

ชั่วโมงที่ 1 สภาวะ อุณหภูมิ (T) = K และความดัน (P) = atm

$$\%MeOH \text{ Selectivity} = \frac{\text{MeOH}}{\text{All Product}} \times 100$$

โดยที่

$$\text{MeOH} = \frac{\text{Mole (syngas)} \times \left[\frac{\text{Area Peak}}{\text{Standard Peak}} \right]}{\text{All Product}}$$

และ

$$\text{All Product} = \frac{\text{Total Hydrocarbon Area Peak}}{\text{Standard Peak}}$$

จะได้

$$\%MeOH \text{ Selectivity} = \frac{\text{MeOH}}{\sum C} \times 100$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เทอมเศษ

$$\begin{aligned} \text{MeOH} &= \frac{0.000812144 \text{ mol/min} \times 432279}{254150} \\ &= 0.00138136 \frac{\text{mol}}{\text{min}} \end{aligned}$$

- เทอมส่วน

$$\text{All Product} = \left[\frac{\text{Mole (syngas)} \times \left[\frac{\text{Area Peak}}{\text{Standard Peak}} \right]}{\text{C1} + \text{C2} + \text{C3} + \text{C4} + \text{C5} + \text{CO}_2 + 2\text{DME} + \text{MeOH}} \right] \times \text{Number of Carbons}$$

$$\text{C1} = \left[\frac{0.000812144 \text{ mol/min} \times 114002}{254150} \right] \times 1$$

$$= 0.000364297 \frac{\text{mol}}{\text{min}}$$

$$\text{C2} = \left[\frac{0.000812144 \text{ mol/min} \times 52170}{254150} \right] \times 2$$

$$= 0.000333422 \frac{\text{mol}}{\text{min}}$$

$$\text{C3} = \left[\frac{0.000812144 \text{ mol/min} \times 0}{254150} \right] \times 3$$

$$= 0 \frac{\text{mol}}{\text{min}}$$

$$\text{C4} = \left[\frac{0.000812144 \text{ mol/min} \times 56132}{254150} \right] \times 4$$

$$= 0.000717486 \frac{\text{mol}}{\text{min}}$$

$$\text{C5} = \left[\frac{0.000812144 \text{ mol/min} \times 31210}{254150} \right] \times 5$$

$$= 0.000498662 \frac{\text{mol}}{\text{min}}$$

$$\text{CO}_2 = \left[\frac{0.000812144 \text{ mol/min} \times 3068}{254150} \right] \times 2$$

$$= 0.000009804 \frac{\text{mol}}{\text{min}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- หาค่า %Selectivity

จากสูตร

$$\begin{aligned} \%Selectivity &= \frac{\text{MeOH}}{\sum C} \times 100 \\ &= \frac{1381.36 \times 10^{-6} \times 100}{(364.207 + 333.422 + 0 + 717.486 + 498.662 + 9.804 + 322.819 + 1381.36) \times 10^{-6}} \\ &= 62.75 \% \end{aligned}$$

ตาราง จ.2 แสดง %MeOH Selectivity ของ Cu / γ -Al₂O₃

ชั่วโมง	Area Peak (x10 ⁻⁶)								%MeOH Selectivity
	C1	C2	C3	C4	C5	CO ₂	2DME	MeOH	
1	364.2	333.4	0	717.5	498.7	9.8	322.9	1381.4	62.75
2	364.2	333.4	0	717.5	99.7	9.8	322.8	1438.4	62.02
3	419.0	178.1	0	150.1	65.0	6.9	433.8	1379.5	61.38
4	557.8	210.4	0	43.9	0	55.6	439.5	3700.4	60.92
5	528.4	189.1	0	94.9	0	1561.9	1121.4	1180.7	58.84
6	520.7	209.6	0	81.8	0	13.6	373.8	1192.6	58.70
Average									60.77

3. ค่าร้อยละความจำเพาะต่อการเลือกเกิดเป็นไฮโดรคาร์บอน (%HC Selectivity)

$$\%HC \text{ Selectivity} = \frac{\text{HC Moles Produced}}{\text{Moles All Products}} \times 100$$

ตัวอย่างการคำนวณ ค่าร้อยละความจำเพาะต่อการเลือกเกิดเป็นไฮโดรคาร์บอน โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์บนแกมมาอะลูมินา

ชั่วโมงที่ 1 สภาวะ อุณหภูมิ (T) = K และความดัน (P) = atm

$$\%HC \text{ Selectivity} = \frac{\text{HC}}{\text{All Product}} \times 100$$

โดยที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{HC} = \frac{\text{Mole (syngas)} \times \left[\frac{\text{Area Peak}}{\text{Standard Peak}} \right]}{\text{All Product}}$$

และ

$$\text{All Product} = \frac{\text{Total Hydrocarbon Area Peak}}{\text{Standard Peak}}$$

จะได้

$$\% \text{HC Selectivity} = \frac{\text{Hydrocarbon}}{\sum C} \times 100$$

- หาผลิตภัณฑ์

$$\text{All Product} = \left[\frac{\text{Mole (syngas)} \times \left[\frac{\text{Area Peak}}{\text{Standard Peak}} \right]}{C1 + C2 + C3 + C4 + C5 + \text{CO}_2 + 2\text{DME}} \right] \times \text{Number of Carbons}$$

$$C1 = \left[\frac{0.000812144 \text{ mol/min} \times 114002}{254150} \right] \times 1$$

$$= 0.000364297 \frac{\text{mol}}{\text{min}}$$

$$C2 = \left[\frac{0.000812144 \text{ mol/min} \times 52170}{254150} \right] \times 2$$

$$= 0.000333422 \frac{\text{mol}}{\text{min}}$$

$$C3 = \left[\frac{0.000812144 \text{ mol/min} \times 0}{254150} \right] \times 3$$

$$= 0 \frac{\text{mol}}{\text{min}}$$

$$C4 = \left[\frac{0.000812144 \text{ mol/min} \times 56132}{254150} \right] \times 4$$

$$= 0.000717486 \frac{\text{mol}}{\text{min}}$$

$$C5 = \left[\frac{0.000812144 \text{ mol/min} \times 31210}{254150} \right] \times 5$$

$$= 0.000498662 \frac{\text{mol}}{\text{min}}$$

$$\text{CO}_2 = \left[\frac{0.000812144 \text{ mol/min} \times 3068}{254150} \right] \times 2$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= 0.000009804 \frac{\text{mol}}{\text{min}}$$

$$2(\text{DME}) = 2 \times \left[\frac{0.000812144 \text{ mol / min} \times 50511}{254150} \right]$$

$$= 0.000322819 \frac{\text{mol}}{\text{min}}$$

$$\text{MeOH} = \left[\frac{0.000812144 \text{ mol / min} \times 432279}{254150} \right] \times 1$$

$$= 0.001381136 \frac{\text{mol}}{\text{min}}$$

- หาค่า %Selectivity

จากสูตร

$$\begin{aligned} \% \text{HC Selectivity} &= \frac{\text{HC}}{\sum \text{C}} \times 100 \\ &= \frac{(364.207 + 333.422 + 0 + 717.486 + 498.662 + 9.804) \times 10^{-6} \times 100}{(364.207 + 333.422 + 0 + 717.486 + 498.662 + 9.804 + 322.819 + 1381.136) \times 10^{-6}} \\ &= 31.05 \% \end{aligned}$$

ตาราง จ.3 แสดง %Hydrocarbon Selectivity ของ Cu / γ -Al₂O₃

ชั่วโมง	Area Peak (x10 ⁻⁶)								%HC Selectivity
	C1	C2	C3	C4	C5	CO ₂	2DME	MeOH	
1	364.2	333.4	0	717.5	498.7	9.8	322.9	1381.4	31.05
2	364.2	333.4	0	717.5	99.7	9.8	322.8	1438.4	31.94
3	419.0	178.1	0	150.1	65.0	6.9	433.8	1379.5	32.30
4	557.8	210.4	0	43.9	0	55.6	439.5	3700.4	36.45
5	528.4	189.1	0	94.9	0	1561.9	1121.4	1180.7	33.76
6	520.7	209.6	0	81.8	0	13.6	373.8	1192.6	33.95
								Average	33.24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฉ

การคำนวณค่าร้อยละผลผลิตภัณฑ์ (%Yield)

4. ค่าร้อยละผลผลิตภัณฑ์ของไดเมทิลอีเทอร์ (%DME Yield)

$$\%DME \text{ Yield} = \frac{\%CO \text{ Conversion} \times \%DME \text{ Selectivity}}{100}$$

ตัวอย่างการคำนวณ ค่าร้อยละผลผลิตภัณฑ์ของไดเมทิลอีเทอร์ โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาอะลูมิเนียมแกมมาอะลูมินา

ชั่วโมงที่ 1 สภาวะ อุณหภูมิ (T) = K และความดัน (P) = atm

จากภาคผนวก ค จะพบว่าค่า %CO Conversion ของชั่วโมงที่ 1 มีค่า 6.89 %

จากภาคผนวก ง จะพบว่าค่า %DME Selectivity ของชั่วโมงที่ 1 มีค่า 14.37%

จาก

$$\begin{aligned} \%DME \text{ Yield} &= \frac{\%CO \text{ Conversion} \times \%DME \text{ Selectivity}}{100} \\ &= \frac{6.89\% \times 14.37\%}{100} \\ &= 0.99\% \end{aligned}$$

ตาราง ฉ.1 แสดง %DME Yield ของ Cu / γ -Al₂O₃

ชั่วโมง	%CO Conversion	%DME Selectivity	%DME Yield
1	6.89	28.25	0.99
2	7.10	32.98	2.34
3	6.34	33.62	2.13
4	5.33	32.08	1.71
5	4.71	31.16	1.47
6	5.08	27.30	1.39
		Average	1.83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



งานทะเบียนคณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
คำรับรองเล่มโครงการพิเศษ/ปัญหาพิเศษ/สหกิจศึกษา

วันที่ 11 เดือน มิถุนายน พ.ศ. 2561

ข้าพเจ้า นายบวรชัย เจริญธีรบูรณ์ รหัสประจำตัว 57050446
นางสาวปรีภัทร หอมจันทร์ รหัสประจำตัว 57050453
นายอภิเดช สายสุวรรณ รหัสประจำตัว 57005551

นักศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม ภาควิชาเคมี
ขอรับรองว่าโครงการพิเศษเรื่อง

ชื่อภาษาไทย ผลของผลึกคอปเปอร์ออกไซด์บนตัวเร่งปฏิกิริยาฐานคอปเปอร์ต่อการสังเคราะห์
ไดเมทิลอีเทอร์โดยตรงจากแก๊สสังเคราะห์

ชื่อภาษาอังกฤษ The Influence of Crystalline Copper Oxide on Copper-Based Catalysts
to Direct Synthesis of Dimethyl Ether from Syngas

ปีการศึกษา 2560

เป็นผลงานวิจัยที่ได้คัดลอกหรือละเมิดลิขสิทธิ์ของผู้อื่นและได้ผ่านการตรวจสอบความซ้ำซ้อน
เรียบร้อยแล้ว และได้แนบเอกสารการตรวจสอบการลอกเลียนงานวรรณกรรมที่ตรวจสอบจากเล่ม
โครงการพิเศษฉบับสมบูรณ์โปรแกรมอักษรวิสุทธิ์ 3.19 %

ลงชื่อ บวรชัย เจริญธีรบูรณ์ ลงชื่อ ปรีภัทร หอมจันทร์ ลงชื่อ อภิเดช สายสุวรรณ
(นายบวรชัย เจริญธีรบูรณ์) (นางสาวปรีภัทร หอมจันทร์) (นายอภิเดช สายสุวรรณ)
นักศึกษา นักศึกษา นักศึกษา

ข้าพเจ้า ผศ.ดร. มนตรี ทองคำ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษ ได้ตรวจสอบโครงการพิเศษของ
นักศึกษาข้างต้นแล้ว ขอรับรองว่าเป็นผลงานวิจัยของนักศึกษาและมีเนื้อหาสมบูรณ์ จึงขอลงชื่อไว้
เป็นหลักฐาน

ลงชื่อ.....
(ผศ. ดร. มนตรี ทองคำ)
อาจารย์ที่ปรึกษา