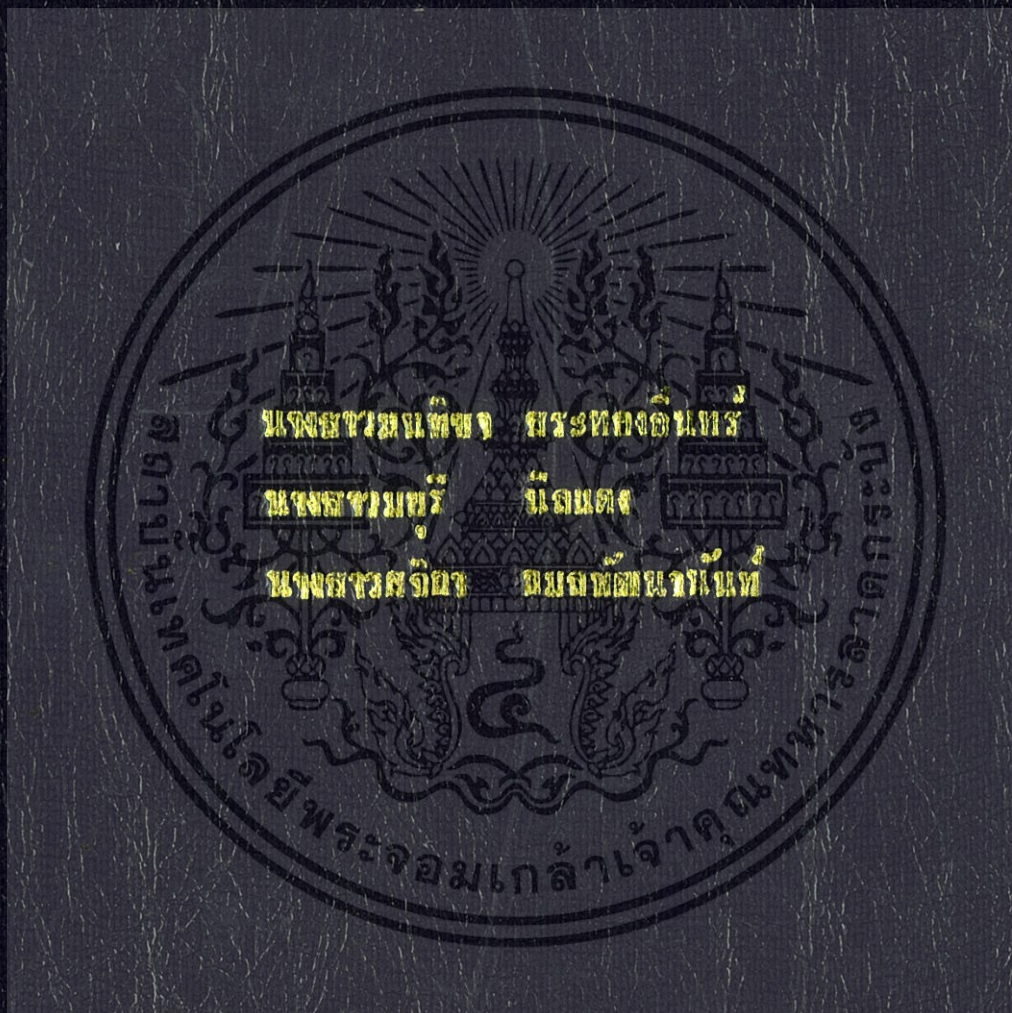


การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาผสมของไทเทเนียมไดออกไซด์-เซอร์โคเนียออกไซด์/
อะลูมินาไฮดรอกไซด์ สำหรับการผลิตไดเมทิลอีเทอร์

PREPARATION OF $\text{CuO/ZnO-ZrO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ HYBRID CATALYSIS FOR
DIMETHYL ETHER SYNTHESIS



โครงการพิเศษเป็นหน่วยงานหนึ่งของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
ศรีสุภานุวิทยาลัย บรจบุรีรัม สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยราชภัฏบรจบุรีรัม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2557

การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาผสมคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์-เซอร์โคเนียมออกไซด์/
อะลูมิเนียมฟอสเฟต สำหรับการสังเคราะห์ไดเมทิลอีเทอร์

PREPARATION OF CuOZnO-ZrO₂ /AlPO₄ HYBRID CATALYSTS FOR
DIMETHYL ETHER SYNTHESIS



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2557

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PREPARATION OF $\text{CuOZnO-ZrO}_2 / \text{AlPO}_4$ HYBRID CATALYSTS FOR
DIMETHYL ETHER SYNTHESIS

MISS MONTICHA SRATHONGINTR

MISS MAYUREE NILDANG

MISS SAJIKA KAMONPATTANANUN

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE

IN INDUSTRIAL CHEMISTRY

DEPARTMENT OF CHEMISTRY

FACULTY OF SCIENCE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2014

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ

การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาผสมคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์-เซอร์โคเนียมออกไซด์/อะลูมิเนียมฟอสเฟตสำหรับการสังเคราะห์ไดเมทิลอีเทอร์
Preparation Of CuOZnO-ZrO₂/AlPO₄ Hybrid Catalysts For Dimethyl Ether Synthesis

ชื่อนักศึกษา

นางสาว มนธิชา สระทองอินทร์ รหัสนักศึกษา 54050245
นางสาว มยรี นิลแดง รหัสนักศึกษา 54050247
นางสาว ศจิกา กมลพัฒนานันท์ รหัสนักศึกษา 54050275

ปริญญา

วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม

ภาควิชา

เคมี

ปีการศึกษา

2557

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มนตรี ทองคำ

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้
โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมี
อุตสาหกรรม ประจำปีการศึกษา 2557

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ดร.อำนาจ เพิ่มทรัพย์สกุล ประธานกรรมการ	
ดร.ณัฐธิดา นุ่มวงศ์ กรรมการ	
ผศ.ดร.มนตรี ทองคำ กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาผสมคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์-เซอร์โคเนียมออกไซด์/อะลูมิเนียมฟอสเฟตสำหรับการสังเคราะห์ไดเมทิลอีเทอร์
ชื่อนักศึกษา	นางสาวมณฑิชา สระทองอินทร์ รหัสนักศึกษา 54050245 นางสาวมยุรี นิลแดง รหัสนักศึกษา 54050247 นางสาวศจิกา กมลพัฒนานันท์ รหัสนักศึกษา 54050275
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม
ภาควิชา	เคมี
ปีการศึกษา	2557
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มนตรี ทองคำ

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้ได้ทำการศึกษากการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาผสมคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์-เซอร์โคเนียมออกไซด์/อะลูมิเนียมฟอสเฟต เพื่อใช้ในการสังเคราะห์ไดเมทิลอีเทอร์ โดยตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์-เซอร์โคเนียมออกไซด์ (CuOZnO-ZrO_2) เตรียมได้โดยวิธีการตกตะกอนร่วม โดยใช้คอปเปอร์ (II) ไนเตรต และซิงค์ (II) ไนเตรต จากนั้นทำการเอ็บซุ่มแบบเปียกด้วยเซอร์โคนิลคลอไรด์ตามอัตราส่วนโดยน้ำหนักดังนี้ 0, 1, 3 และ 5 ตามลำดับ ตัวเร่งปฏิกิริยาอะลูมิเนียมฟอสเฟต (AlPO_4) เตรียมด้วยวิธีการตกตะกอนอย่างง่าย โดยใช้อะลูมิเนียม (III) ไนเตรตและไดแอมโมเนียมไฮโดรเจนฟอสเฟต แล้วนำไปตรวจสอบเอกลักษณ์ด้วยเทคนิคต่างๆ ได้แก่ การตรวจสอบสมบัติทางความร้อน (Thermogravimetric Analysis, TGA) พบว่าอุณหภูมิการเผาที่เหมาะสมสำหรับตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์และอะลูมิเนียมฟอสเฟต คือ 350 และ 650 °C ตามลำดับ การตรวจสอบพื้นฐานของการสั่น (Fourier Transform Infrared Spectroscopy, FT-IR) มีการสั่นของหน่วยย่อยของหมู่ฟอสเฟต (PO_4^{3-}) การวิเคราะห์ลักษณะผลึกและอสัณฐาน (x-ray Diffraction, XRD) รูปแบบ XRD ตรงกับข้อมูลมาตรฐานของคอปเปอร์ออกไซด์ (CuO) และซิงค์ออกไซด์ (ZnO) คือ PDF#65-2309 และ PDF#89-1397 ตามลำดับ การตรวจสอบโครงสร้างพื้นผิวและปริมาณของธาตุต่างๆ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive Spectrometry, SEM-EDS) พบว่าปริมาณของเซอร์โคเนียมออกไซด์ (ZrO_2) ที่ผสมลงไปมีค่าใกล้เคียงกับอัตราส่วนที่ปรับปรุง และเกรนของ CuOZnO-ZrO_2 มีลักษณะเป็นเกล็ดและมีขนาดที่ไม่แน่นอน (3-10 μm) ส่วน AlPO_4 มีลักษณะเป็นก้อนขนาดใหญ่และไม่กระจายตัว และการวิเคราะห์พื้นที่ผิวและปริมาตรรูพรุน (Brunauer Emmitt Teller, BET) พบว่าที่ 1%wt. $\text{ZrO}_2\text{-CuOZnO}$ มีพื้นที่ผิวและปริมาตรรูพรุนมากที่สุด

Title	Preparation of CuOZnO-ZrO ₂ /AlPO ₄ hybrid catalysts for dimethyl ether synthesis	
Students	Miss Monticha Srathongintr	Student ID 54050245
	Miss Mayuree Nildang	Student ID 54050247
	Miss Sajika Kamonpattananun	Student ID 54050275
Degree	Bachelor of Science, Major of Industrial Chemistry	
Department	Chemistry	
Academic Year	2014	
Advisor	Asst.Prof.Dr.Montree Thongkam	

Abstract

The special project studied on preparation and characterization of copper zinc oxide zirconium oxide/aluminium phosphate hybrid catalysts for dimethyl ether synthesis. ZrO₂-CuOZnO catalysts were synthesized by co-precipitation method by using Cu(NO₃)₂·3H₂O and Zn(NO₃)₂·6H₂O then mixed with ZrOCl₂·8H₂O by wetness impregnation method on the ratio 0, 1, 3 and 5 %weight. AlPO₄ catalyst can be synthesized by simple precipitation method from Al(NO₃)₃·9H₂O and (NH₄)₂HPO₄. The catalysts were tested their thermal behavior by Thermogravimetric Analysis. It found that the temperature for calcination of copper zinc oxide and aluminium phosphate are 350 °C and 650 °C, respectively. The results of Fourier Transform Infrared Spectroscopy shows the vibration of phosphate (PO₄³⁻). From X-ray Diffraction showed that the XRD patterns of CuO and ZnO match the standard PDF#65-2309 and PDF#89-1397, respectively. Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive Spectrometry (SEM-EDS) show that the amount of ZrO₂ are nearly the modified ratio and CuOZnO-ZrO₂ shows approximately 3-10 μm of rectangular grain size, while AlPO₄ shows larger particle size and non-dispersed. Finally, surface area and pore volume of catalysts were analyzed by Brunauer Emmitt Teller (BET). It was founds that 1%wt. CuOZnO-ZrO₂ exhibits the highest surface area and pore volume.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษเล่มนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ดีด้วยความอนุเคราะห์ของภาควิชาเคมี สาขาเคมีอุตสาหกรรม-ปิโตรเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่และเครื่องมือเพื่อใช้ในการวิจัยนี้ รวมไปถึงท่านอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.มนตรี ทองคำ คุณสุวิทนา ทองคำ เจ้าหน้าที่นักวิจัย ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ตลอดจนบุคลากรของภาควิชาเคมีหลายๆท่านและพี่เอกพงษ์ คงเจริญ พี่นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่คอยให้คำปรึกษาแนะนำเพื่อเป็นประโยชน์ในการคิดวิเคราะห์ในการวางแผนทดลองงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ซึ่งต้องขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่ง

และต้องขอขอบพระคุณบุคคลสำคัญที่สุดที่ทำให้ข้าพเจ้ามีวันนี้ ก็คือ บิดา มารดา ที่เคารพรักอย่างยิ่ง ซึ่งได้เลี้ยงดูผู้เขียนมาเป็นอย่างดี พร้อมทั้งให้โอกาสในการศึกษาอย่างเต็มที่ และยังให้กำลังใจ เอาใจใส่เสมอมาในทุกๆ ด้านโดยหาที่เปรียบมิได้ ข้าพเจ้าขอระลึกในพระคุณและขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

นางสาวมนทิชา สระทองอินทร์
นางสาวมยุรี นิลแดง
นางสาวศจิกา กมลพัฒนานันท์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญแผนภูมิ	ซ
สารบัญรูปภาพ	ณ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ความรู้เกี่ยวกับพลังงาน	4
2.1.1 ความหมายของพลังงาน	4
2.1.2 ประเภทของพลังงาน	4
2.1.3 แนวโน้มการใช้พลังงานโลก-ไทย	6
2.1.4 ก๊าซธรรมชาติ	10
2.1.5 ถ่านหิน	11
2.1.6 พลังงานชีวมวล	12
2.2 ความรู้เกี่ยวกับไดเมทิลอีเทอร์	13
2.2.1 เทคโนโลยีการผลิตแหล่งผลิตและราคาดีเอ็มอี	14
2.2.2 การใช้งานไดเมทิลอีเทอร์เป็นเชื้อเพลิง	15
2.3 ตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ออกไซด์-ซิงค์ออกไซด์	16
2.4 เซอร์โคเนียมออกไซด์	17
2.5 โลหะฟอสเฟต	18
2.6 การตรวจสอบเอกลักษณ์	20
2.6.1 Thermo Gravimetric Analysis (TGA)	20
2.6.2 Fourier Transform Infrared Spectrometer (FT-IR)	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.6.3 X-ray diffraction (XRD)	21
2.6.4 Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive Spectrometer (SEM-EDS)	22
2.6.5 Brunauer Emmitt Teller (BET)	24
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	28
บทที่ 3 วิธีการทดลอง	
3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือ	30
3.2 สารเคมี	31
3.3 วิธีการสังเคราะห์	31
3.3.1 การสังเคราะห์คอปเปอร์คาร์บอเนต-ซิงค์คาร์บอเนต ด้วยวิธีการตกตะกอนร่วม	31
3.3.2 การสังเคราะห์ 0, 1, 3 และ 5 %wt เซอร์โคเนียมออกไซด์-คอปเปอร์ ซิงค์ออกไซด์ด้วยวิธีการเอินซุ่มแบบเปียก	33
3.3.3 การสังเคราะห์อะลูมิเนียมฟอสเฟตด้วยสารตั้งต้นอะลูมิเนียมไนเตรต โนเนะไฮเดรตและไดแอมโมเนียมไฮโดรเจนฟอสเฟต ด้วยวิธีการตกตะกอนอย่างง่าย	34
3.4 การตรวจสอบเอกลักษณ์ (Characterization)	34
3.4.1 Thermo Gravimetric Analysis (TGA)	34
3.4.2 Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR)	35
3.4.3 X-ray Diffraction (XRD)	35
3.4.4 Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive Spectrometry (SEM-EDS)	35
3.4.5 Brunauer Emmett Teller (BET)	36
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล	
4.1 ผลการสังเคราะห์	37
4.2 ผลการตรวจสอบเอกลักษณ์ของสารด้วยเทคนิคต่างๆ	39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และจ้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2.1 การศึกษาการสลายตัวทางความร้อนด้วยเทคนิค TGA	40
4.2.2 การตรวจสอบการสั่นของโมเลกุลของสารด้วยเทคนิค FT-IR	41
4.2.3 การวิเคราะห์ลักษณะผลึกและอสัณฐานของสารด้วยเทคนิค XRD	43
4.2.4 การวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานของสารในระดับจุลภาคด้วยเทคนิค SEM-EDS	45
4.2.5 การวัดพื้นที่ผิวจำเพาะและปริมาตรรูพรุนด้วยเทคนิค BET	52
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการสังเคราะห์	55
5.2 สรุปผลการตรวจสอบเอกลักษณ์ของสารด้วยเทคนิคต่างๆ	56
5.2.1 การตรวจสอบพฤติกรรมทางความร้อน	56
5.2.2 การตรวจสอบการสั่นของโมเลกุล	56
5.2.3 การตรวจสอบโครงสร้างผลึก	56
5.2.4 การตรวจสอบทางด้านสัณฐานวิทยา	57
5.2.5 การตรวจสอบพื้นที่ผิวและปริมาตรรูพรุน	57
5.3 ข้อเสนอแนะ	58
เอกสารอ้างอิง	59
ภาคผนวก	62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 การเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพของไดเมทิลอีเทอร์กับเชื้อเพลิงชนิดอื่นๆ	14
3.1 น้ำหนักของสารที่ต้องชั่งตามอัตราส่วนโดยน้ำหนักของเซอร์โคเนียมออกไซด์	33
4.1 แสดงร้อยละค่าเฉลี่ยผลผลิตของตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ ด้วยวิธีการตกตะกอนร่วม	38
4.2 แสดงร้อยละผลผลิตของตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์-เซอร์โคเนียม ด้วยวิธีการเอ็บซุ่มแบบเปียก	38
4.3 แสดงร้อยละผลผลิตของตัวเร่งปฏิกิริยาอะลูมิเนียมฟอสเฟต ด้วยวิธีการตกตะกอนอย่างง่าย	39
4.4 แสดงปริมาณและองค์ประกอบของตัวเร่งปฏิกิริยา 1%ZrO ₂ -CuOZnO	45
4.5 แสดงปริมาณและองค์ประกอบของตัวเร่งปฏิกิริยา 3%ZrO ₂ -CuOZnO	46
4.6 แสดงปริมาณและองค์ประกอบของตัวเร่งปฏิกิริยา 5%ZrO ₂ -CuOZnO	47
4.7 แสดงพื้นที่ผิว, ปริมาตรรูพรุน และขนาดรูพรุนของสารที่สังเคราะห์ได้ ด้วยเทคนิค BET	52
ก แสดงการคำนวณน้ำหนักของสารตั้งต้น	65
ข ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณน้ำหนักทางทฤษฎี (CuOZnO)	66
ค ผลการคำนวณน้ำหนักทางทฤษฎี (CuOZnO)	66
ง ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณน้ำหนักทางทฤษฎี (CuOZnO-ZrO ₂)	66
จ ผลการคำนวณน้ำหนักทางทฤษฎี (CuOZnO-ZrO ₂)	67
ฉ ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณน้ำหนักทางทฤษฎี (AlPO ₄)	67
ช ผลการคำนวณน้ำหนักทางทฤษฎี (AlPO ₄)	67
ซ ผลการคำนวณร้อยละผลผลิต (CuOZnO)	68
ฌ ผลการคำนวณร้อยละผลผลิต (CuOZnO-ZrO ₂)	68
ญ ผลการคำนวณร้อยละผลผลิต (AlPO ₄)	68
ฎ XRD pattern มาตรฐานของ CuO	70
ฏ XRD pattern มาตรฐานของ ZnO	71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญแผนภูมิ

แผนภูมิที่	หน้า
2.1 การคาดการณ์ความต้องการพลังงานโลกตามประเภทเชื้อเพลิง	6
2.2 ปริมาณการใช้พลังงานในอดีตและแนวโน้มการใช้พลังงานในอนาคต	8
2.3 ความต้องการพลังงานในอนาคตของประเทศ	9



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 กระบวนการผลิตไดเมทิลอีเทอร์แบบทางอ้อม (Indirect DME Synthesis) หรือกระบวนการกำจัดน้ำของเมทานอล (Methanol Dehydration)	15
2.2 กระบวนการผลิตไดเมทิลอีเทอร์แบบทางตรง (Direct DME Synthesis)	15
2.3 ร้อยละของการเลือกเกิดเป็นไดเมทิลอีเทอร์	17
2.4 โครงสร้างของอะลูมิเนียมฟอสเฟต	19
2.5 Infrared spectrum ของ Aniline	21
2.6 ส่วนประกอบต่างๆของเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM)	22
2.7 การดูดซับแก๊สไนโตรเจนบนผิวหน้าและ ภายในรูพรุนของวัสดุ	23
2.8 แสดงการดูดซับโมเลกุลของแก๊สไนโตรเจนของวัสดุเป็นชั้นๆ	24
2.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของแก๊สที่ถูกดูดซับกับความดันสัมพัทธ์	25
2.10 เครื่องวิเคราะห์ขนาดพื้นที่ผิวจำเพาะและปริมาตรรูพรุน	25
2.11 การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ในผลึก	27
3.1 รูปแสดงการจัดอุปกรณ์เพื่อการตกตะกอน	32
4.1 เทอร์โมแกรมแสดงการสลายตัวทางความร้อนของ $\text{CuCO}_3\text{-ZnCO}_3$	40
4.2 เทอร์โมแกรมแสดงการสลายตัวทางความร้อนของอะลูมิเนียมฟอสเฟต (AlPO_4)	41
4.3 สเปกตรัม FT-IR ของอะลูมิเนียมฟอสเฟตก่อนเผา	42
4.4 สเปกตรัม FT-IR ของอะลูมิเนียมฟอสเฟตหลังเผา	42
4.5 การวิเคราะห์ลักษณะผลึกและอสังฐานด้วยวิธีการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ โดยเปรียบเทียบตัวเร่งปฏิกิริยาต่างๆระหว่างตัวเร่งปฏิกิริยา CuOZnO , $1\%\text{ZrO}_2\text{-CuOZnO}$, $3\%\text{ZrO}_2\text{-CuOZnO}$ และ $5\%\text{ZrO}_2\text{-CuOZnO}$	43
4.6 การวิเคราะห์ลักษณะผลึกและอสังฐานด้วยวิธีการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ โดยเปรียบเทียบตัวเร่งปฏิกิริยาผสมต่างๆระหว่าง (A) AlPO_4 , (B) CuOZnO/AlPO_4 , (C) $1\%\text{ZrO}_2\text{-CuOZnO/AlPO}_4$, (D) $3\%\text{ZrO}_2\text{-CuOZnO/AlPO}_4$, (E) $5\%\text{ZrO}_2\text{-CuOZnO/AlPO}_4$	44
4.7 แสดงปริมาณและองค์ประกอบของตัวเร่งปฏิกิริยา $1\%\text{ZrO}_2\text{-CuOZnO}$	45
4.8 แสดงปริมาณและองค์ประกอบของตัวเร่งปฏิกิริยา $3\%\text{ZrO}_2\text{-CuOZnO}$	46
4.9 แสดงปริมาณและองค์ประกอบของตัวเร่งปฏิกิริยา $5\%\text{ZrO}_2\text{-CuOZnO}$	47

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.10 ภาพถ่าย SEM ของ (a) CuOZnO ที่กำลังขยาย 15,000 เท่า (b) CuOZnO ที่กำลังขยาย 30,000 เท่า (c) CuOZnO/AlPO ₄ ที่กำลังขยาย 15,000 เท่า (d) CuOZnO/AlPO ₄ ที่กำลังขยาย 30,000 เท่า	48
4.11 ภาพถ่าย SEM ของ (a) 1%ZrO ₂ -CuOZnO ที่กำลังขยาย 15,000 เท่า (b) 1%ZrO ₂ -CuOZnO ที่กำลังขยาย 30,000 เท่า (c) 1%ZrO ₂ -CuOZnO/AlPO ₄ ที่กำลังขยาย 15,000 เท่า (d) 1%ZrO ₂ -CuOZnO/AlPO ₄ ที่กำลังขยาย 30,000 เท่า	49
4.12 ภาพถ่าย SEM ของ (a) 3%ZrO ₂ -CuOZnO ที่กำลังขยาย 15,000 เท่า (b) 3%ZrO ₂ -CuOZnO ที่กำลังขยาย 30,000 เท่า (c) 3%ZrO ₂ -CuOZnO/AlPO ₄ ที่กำลังขยาย 15,000 เท่า (d) 3%ZrO ₂ -CuOZnO/AlPO ₄ ที่กำลังขยาย 30,000 เท่า	50
4.13 ภาพถ่าย SEM ของ (a) 5%ZrO ₂ -CuOZnO ที่กำลังขยาย 15,000 เท่า (b) 5%ZrO ₂ -CuOZnO ที่กำลังขยาย 30,000 เท่า (c) 5%ZrO ₂ -CuOZnO/AlPO ₄ ที่กำลังขยาย 15,000 เท่า (d) 5%ZrO ₂ -CuOZnO/AlPO ₄ ที่กำลังขยาย 30,000 เท่า	51
4.14 ภาพถ่าย SEM ของ (a) AlPO ₄ ที่กำลังขยาย 15,000 เท่า (b) AlPO ₄ ที่กำลังขยาย 30,000 เท่า	52
4.15 การกระจายตัวของขนาดรูพรุนของตัวเร่งปฏิกิริยา CuOZnO, 1%ZrO ₂ -CuOZnO, 3%ZrO ₂ -CuOZnO และ 5%ZrO ₂ -CuOZnO	53

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

เนื่องจากในปัจจุบันการใช้พลังงานเชื้อเพลิงมีแนวโน้มที่จะเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ อันเนื่องมาจากการเจริญเติบโตทางด้านอุตสาหกรรม เทคโนโลยี เศรษฐกิจ การขนส่ง และการคมนาคมก็มีมากขึ้น ความต้องการในการใช้พลังงานเชื้อเพลิงจึงเพิ่มสูงขึ้น มีราคาไม่คงที่และสูงขึ้นในทุกวัน แต่ในขณะเดียวกันแหล่งเชื้อเพลิงที่มีอยู่ในธรรมชาติที่มีอยู่กำลังจะหมดลง ดังนั้นจึงต้องหาแหล่งพลังงานเชื้อเพลิงทางเลือกขึ้นมาทดแทน โดยพลังงานเชื้อเพลิงทางเลือกนี้จะต้องสามารถนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทนได้จริง ต้องเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมไม่ก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศ และเป็นพลังงานที่มีคุณภาพหาได้ง่าย ใช้ได้ง่าย ราคาไม่สูงนัก ซึ่งในปัจจุบันมีการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับเรื่องพลังงานเชื้อเพลิงทดแทนอยู่อย่างแพร่หลาย โดยมีงานวิจัยพบว่า ไดมethylอีเทอร์ มีคุณสมบัติคล้ายคลึงกับแก๊สปิโตรเลียมเหลว (LPG) มีสูตรเคมี คือ CH_3OCH_3 มีค่าซีเทนสูง และมีจุดเดือดต่ำ เมื่อเกิดการเผาไหม้จะไม่ก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศ การผลิตไดเมทิลอีเทอร์สามารถผลิตได้ 2 กระบวนการ คือ การสังเคราะห์จากแก๊สสังเคราะห์ และการสังเคราะห์ด้วยการขจัดน้ำของเมทานอล ในการเปลี่ยนจากแก๊สสังเคราะห์เป็นเมทานอลนั้นจะใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะออกไซด์ เช่น Cu/Zn, Cu/Zn/Al, Cu/Zn/Zr, Cu/Zn/Co เป็นต้น โดยโลหะออกไซด์ที่สนใจ คือ คอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ และคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ที่มีการปรับปรุงด้วยเซอร์โคเนียมออกไซด์ เนื่องจากจากงานวิจัยพบว่า คอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์มีประสิทธิภาพในการสังเคราะห์ได้ดีที่สุด และในการเปลี่ยนเมทานอลเป็นไดเมทิลอีเทอร์นั้นจะใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นของแข็งกรด (solid-acid catalyst) เช่น $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$, HZSM-5 เป็นต้น ซึ่งมีความเป็นกรดสูงจะทำให้ตัวเร่งปฏิกิริยาเสื่อมสภาพได้ง่าย เมื่อทำปฏิกิริยาไปนานขึ้นจะเกิดการสะสมตัวของถ่าน (coke) บนพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาส่งผลทำให้อายุการใช้งานน้อยลง ทั้งนี้จากงานวิจัยยังพบว่า โลหะฟอสเฟตนั้นมีความสามารถที่จะใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการขจัดน้ำของเมทานอลได้ และมีความเป็นกรดไม่สูงมากนัก ส่งผลให้สามารถสังเคราะห์เป็นผลิตภัณฑ์ที่ต้องการได้สูง โดยโลหะฟอสเฟตที่สนใจคือ อะลูมิเนียมฟอสเฟต เนื่องจากมีความเป็นพิษน้อย ต้นทุนในการสังเคราะห์ต่ำ และสามารถใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการขจัดน้ำของเมทานอลไปเป็นไดเมทิลอีเทอร์ได้ดี

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาเรื่องของการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาผสมคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์-เซอร์โคเนียมออกไซด์/อะลูมิเนียมฟอสเฟต สำหรับการสังเคราะห์ไดเมทิลอีเทอร์ เนื่องจากเซอร์โคเนียมออกไซด์เป็นสารประกอบที่ค่อนข้างไวต่อปฏิกิริยาเคมี ทนต่อการกัดกร่อนและสามารถใช้เป็นตัวดูดซับที่ดี จึงส่งผลให้ได้เป็นผลิตภัณฑ์ที่ต้องการสูงมากขึ้น โดยอัตราส่วนของเซอร์โคเนียมออกไซด์ที่ใช้ในการศึกษามีอัตราส่วนโดยน้ำหนัก ดังนี้ 0, 1, 3 และ 5 % ตามลำดับ สำหรับใช้ในการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สังเคราะห์ไดเมทิลอีเทอร์ โดยใช้คอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์-เซอร์โคเนียมออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการเปลี่ยนแก๊สสังเคราะห์เป็นเมทานอล และใช้อะลูมิเนียมฟอสเฟตเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการเปลี่ยนเมทานอลเป็นไดเมทิลอีเทอร์

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 ศึกษาการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาผสมคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์-เซอร์โคเนียมออกไซด์/อะลูมิเนียมฟอสเฟต

1.2.2 ศึกษาลักษณะและคุณสมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยาผสมคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์-เซอร์โคเนียมออกไซด์/อะลูมิเนียมฟอสเฟต

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 สังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ด้วยวิธีการตกตะกอนร่วม (Co-Precipitation Method) โดยใช้อัตราส่วนระหว่าง Cu:Zn เท่ากับ 1:1 โดยโมล สภาวะ pH = 7, อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส, ความดันบรรยากาศ และความเร็วรอบปั่นกววน 600 รอบต่อนาที

1.3.2 สังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์-เซอร์โคเนียมออกไซด์ โดยใช้อัตราส่วนของเซอร์โคเนียมออกไซด์โดยน้ำหนัก ดังนี้ 0, 1, 3 และ 5 % ตามลำดับ ด้วยวิธีเอ็บซุ่มแบบเปียก (Wetness Impregnation Method)

1.3.3 สังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาอะลูมิเนียมฟอสเฟตด้วยวิธีการตกตะกอนอย่างง่าย (Simple Precipitation Method) ที่สภาวะ pH เท่ากับ 7, อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส, ความดันบรรยากาศ และความเร็วรอบปั่นกววน 600 รอบต่อนาที

1.3.4 ศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของสารที่เตรียมได้ ด้วยเทคนิคต่างๆ คือ

- สมบัติทางความร้อน ด้วยวิธี Thermogravimetric Analysis (TGA)
- การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชัน ด้วยวิธี Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR)
- องค์ประกอบและผลึกของสาร ด้วยวิธี X-ray Diffraction (XRD)
- โครงสร้างพื้นผิวและองค์ประกอบ/ปริมาณของธาตุ ด้วยวิธี Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive Spectrometry (SEM-EDS)
- พื้นผิวและปริมาตรรูพรุน ด้วยวิธี Brunauer Emmitt Teller (BET)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 สามารถสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์-เซอร์โคเนียมออกไซด์/อะลูมิเนียมฟอสเฟต สำหรับใช้ในการสังเคราะห์ไดเมทิลอีเทอร์ เพื่อนำมาใช้เป็นพลังงานทางเลือกต่อไปในอนาคต

1.4.2 สามารถวิเคราะห์คุณสมบัติและพิสูจน์เอกลักษณ์ของตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์-เซอร์โคเนียมออกไซด์/อะลูมิเนียมฟอสเฟต สำหรับการสังเคราะห์ไดเมทิลอีเทอร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความรู้เกี่ยวกับพลังงาน

พลังงานเป็นปัจจัยพื้นฐานที่สำคัญในการตอบสนองความต้องการพื้นฐานของประชาชน และเป็นปัจจัยพื้นฐานของการผลิตในภาคธุรกิจและอุตสาหกรรม ดังนั้น จึงต้องมีการจัดหาพลังงาน ให้มี ปริมาณที่เพียงพอ มีราคาที่เหมาะสม และมีคุณภาพที่ดี สอดคล้องกับความต้องการของผู้ใช้ เพื่อให้ สามารถตอบสนองความต้องการขั้นพื้นฐานของประชาชน และสามารถตอบสนองความต้องการใช้ใน กิจกรรมการผลิตต่างๆได้อย่างเพียงพอ

2.1.1 ความหมายของพลังงาน [1]

พลังงาน หมายถึง ความสามารถซึ่งมีอยู่ในตัวของสิ่งนี้อาจให้แรงงานได้

พลังงาน หมายถึง ประสิทธิภาพในการทำงานได้หรือความสามารถที่จะทำงานได้

พลังงาน หมายถึง ความสามารถในการทำงานซึ่งมีอยู่ในตัวของสิ่งนี้อาจให้งานได้โดยการทำให้วัตถุหรือธาตุเกิดการเคลื่อนที่ หรือเปลี่ยนรูปแบบไปได้การที่วัตถุเคลื่อนที่จากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง ได้ก็เพราะมีแรงหรือพลังงานเข้าไปกระทำ

พลังงาน หมายถึง สิ่งที่ทำให้สิ่งต่างๆ เคลื่อนที่ได้ ถ้าไม่มีพลังงานก็ไม่มีการเคลื่อนที่ สิ่งใดก็ตามที่เคลื่อนไหวเติบโต หรือทำงานในทางใดทางหนึ่งย่อมมีพลังงาน

2.1.2 ประเภทของพลังงาน [2]

พลังงานสามารถจำแนกได้ตามลักษณะต่างๆ ดังนี้

2.1.2.1 จำแนกตามแหล่งที่ได้มา แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

1. พลังงานปฐมภูมิ (Primary energy) หมายถึง แหล่งพลังงานที่เกิดขึ้นหรือมีอยู่ แล้วตามธรรมชาติสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้โดยตรง ได้แก่ น้ำ แสงแดด ลม เชื้อเพลิงตามธรรมชาติ เช่น น้ำมันดิบ ถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติ พลังงานความร้อนใต้พิภพ แร่นิวเคลียร์ ไม้พิน แกลบ ชานอ้อย เป็นต้น

2. พลังงานทุติยภูมิ (Secondary energy) หมายถึง สภาวะของพลังงานซึ่งได้มา โดยการนำพลังงานต้นกำเนิดดังกล่าวแล้วข้างต้นมาแปรรูป ปรับปรุง ประยุกต์ ให้อยู่ในรูปที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในลักษณะต่าง ๆ กันได้ตามความต้องการ เช่น พลังงานไฟฟ้า ผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม ถ่านไม้ ก๊าซปิโตรเลียมเหลว เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2.2 จำแนกตามแหล่งที่นำมาใช้ประโยชน์ แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

1. พลังงานหมุนเวียน (Renewable energy resources) คือ แหล่งพลังงานที่ได้จากธรรมชาติรอบตัวเรา หามาใช้ได้ไม่มีวันหมด ซึ่งสามารถสร้างทดแทนได้ในเวลาสั้นๆ โดยธรรมชาติหลังจากมีการใช้ไป จึงมีหลายชื่อที่ใช้เรียก พลังงานทดแทนและพลังงานใช้ไม่หมด รวมถึงพลังงานสะอาดและพลังงานสีเขียว เนื่องจากไม่ทำให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมนั่นเอง ได้แก่ พลังงานแสงอาทิตย์, พลังงานลม, พลังน้ำ, พลังงานคลื่นในทะเล, พลังงานน้ำขึ้นน้ำลง, พลังงานชีวมวล, พลังงานความร้อนใต้พิภพ และพลังงานไฮโดรเจน เป็นต้น

2. พลังงานสิ้นเปลือง (Non-renewable energy resources) คือ แหล่งพลังงานจากใต้พื้นดิน เมื่อใช้หมดแล้วไม่สามารถสร้างขึ้นมาใหม่หรือหามาทดแทนโดยธรรมชาติได้ทันความต้องการในเวลาอันรวดเร็ว ต้องใช้เวลานานกว่าร้อยล้านปีที่จะสร้างขึ้นมาอีกได้และมีปริมาณจำกัด ชื่อที่ใช้แทนพลังงานกลุ่มนี้จึงมีทั้งพลังงานฟอสซิลและพลังงานที่ใช้แล้วหมด ได้แก่ น้ำมันดิบ (ปิโตรเลียม), ถ่านหิน, ก๊าซธรรมชาติและพลังงานนิวเคลียร์ (แรมูเรเนียม) เป็นต้น

2.1.2.3 จำแนกตามลักษณะการผลิต แบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ

1. พลังงานตามแบบ (Conventional energy) เป็นพลังงานที่ใช้กันอยู่ทั่วไป มีลักษณะการผลิตเป็นระบบศูนย์กลางขนาดใหญ่ใช้เทคโนโลยีที่พัฒนามาจนเกือบอิ่มตัวแล้ว เช่น พลังงานน้ำขนาดใหญ่ น้ำมันปิโตรเลียม ก๊าซธรรมชาติและถ่านหิน เป็นต้น

2. พลังงานนอกแบบ (Non-conventional energy) ได้แก่ พลังงานที่ยังมีลักษณะการผลิตที่ใช้เทคโนโลยีใหม่ที่กำลังอยู่ในระหว่างการทำวิจัยและพัฒนา ซึ่งมีหลายชนิดที่มีความเหมาะสมทางเทคนิคแล้ว แต่ยังคงต้องปรับปรุงความเหมาะสมทางเศรษฐกิจ เช่น พลังน้ำขนาดเล็ก ก๊าซชีวภาพ ก๊าซจากชีวมวล หินน้ำมัน พลังงานความร้อนใต้พิภพ พลังงานแสงอาทิตย์ และพลังงานลม เป็นต้น

2.1.2.4 จำแนกตามลักษณะทางการค้า แบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ

1. พลังงานทางพาณิชย์ (Commercial energy) เป็นพลังงานที่มีการซื้อขายกันในวงกว้างและดำเนินการผลิตในลักษณะอุตสาหกรรม เช่น น้ำมันปิโตรเลียม ก๊าซธรรมชาติ ถ่านหิน แร่ นิวเคลียร์ ไฟฟ้า เป็นต้น

2. พลังงานนอกพาณิชย์ (Non-commercial energy) เป็นพลังงานที่มีการซื้อขายกันในวงแคบและดำเนินการผลิตในลักษณะกิจกรรมในครัวเรือนใช้กันมากในชนบท เช่น ฟืน แกลบ ชานอ้อย และมูลสัตว์ เป็นต้น

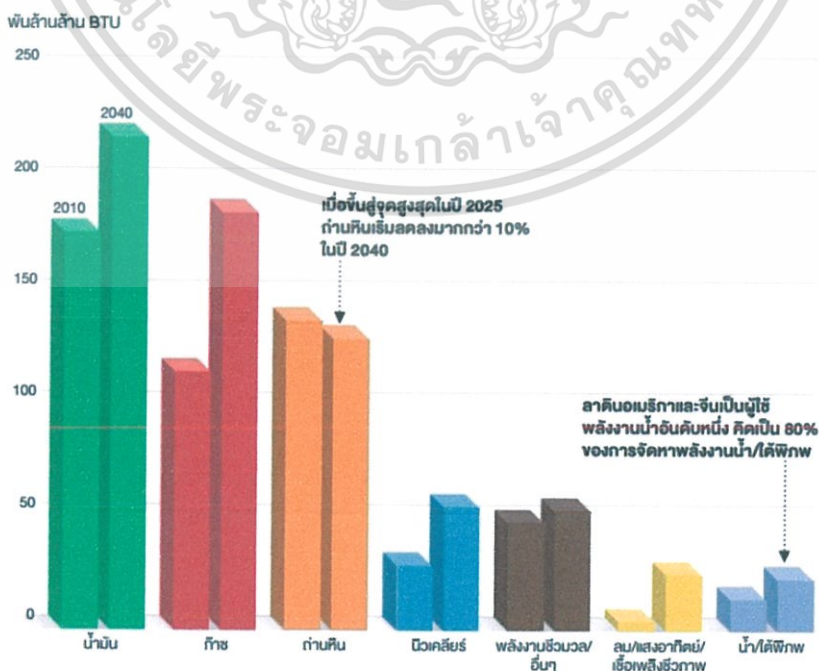
2.1.2.5 จำแนกพลังงานตามลักษณะการทำงาน แบ่งออกเป็น 3 ประเภทคือ

1. พลังงานศักย์ (Potential Energy) เป็นพลังงานที่เกิดขึ้นเมื่อวัตถุถูกวางอยู่ในตำแหน่งที่สามารถ เคลื่อนที่ได้ไม่ว่าจากแรงโน้มถ่วงหรือแรงดึงดูดจากแม่เหล็ก เช่น ก้อนหินที่วางอยู่บนขอบที่สูง
2. พลังงานจลน์ (Kinetic Energy) เป็นพลังงานที่เกิดขึ้นเมื่อวัตถุเคลื่อนที่ เช่น รถที่กำลังวิ่ง อนุที่พุ่งออกจากแหล่ง จักรยานที่กำลังเคลื่อนที่ เป็นต้น
3. พลังงานสะสม (Stored Energy) เป็นพลังงานที่เก็บสะสมในวัสดุหรือสิ่งของต่างๆ เช่น พลังงานเคมีที่เก็บสะสมไว้ในอาหาร ในก้อนถ่านหิน น้ำมัน หรือไม้ฟืน ซึ่งพลังงานดังกล่าวจะถูกเก็บไว้ในรูปขององค์ประกอบทางเคมีหรือของวัสดุหรือสิ่งของนั้นๆ และจะถูกปล่อยออกมาเมื่อวัสดุหรือสิ่งของดังกล่าวมีการเปลี่ยนรูป เช่น การเผาไม้ฟืนจะให้พลังงานความร้อน

2.1.3 แนวโน้มการใช้พลังงานโลก-ไทย

แนวโน้มพลังงานโลก รายงานการคาดการณ์อนาคตพลังงานโลกในระยะยาวของเอ็กซอนโมบิล ตั้งแต่ปี ค.ศ.2010 ถึง 2040 มีการคาดการณ์ว่า การเติบโตของจำนวนประชากรและเศรษฐกิจจะขับเคลื่อนความต้องการพลังงานให้สูงขึ้น แต่โลกจะใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น และก้าวสู่การใช้เชื้อเพลิงคาร์บอนต่ำ ดังแผนภูมิที่ 2.1 แสดงให้เห็นถึงการคาดการณ์ความต้องการพลังงานโลกตามประเภทเชื้อเพลิง [3]

แผนภูมิที่ 2.1 การคาดการณ์ความต้องการพลังงานโลกตามประเภทเชื้อเพลิง [3]



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แม้จะมีความก้าวหน้าในการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ แต่การเพิ่มขึ้นของประชากรและการขยายตัวทางเศรษฐกิจจะส่งผลให้ความต้องการ พลังงานโดยรวมของโลกพุ่งขึ้นสูง ความต้องการพลังงานในทุกรูปแบบจะ เพิ่มขึ้นในอัตราเฉลี่ยต่อปีร้อยละ 0.9 นับแต่ปี ค.ศ. 2010 จนถึง 2040 น้ำมันจะยังคงเป็นแหล่งพลังงานอันดับหนึ่งของโลก แต่ก๊าซธรรมชาติจะเป็นแหล่งพลังงานหลักที่เติบโตเร็วที่สุด คือในช่วงปี 2010-2040 ก๊าซธรรมชาติจะมีความต้องการทั่วโลกสูงชันราว 60% และในปี 2025 ก๊าซธรรมชาติจะก้าวขึ้นเป็นแหล่งพลังงานที่มีการใช้มากที่สุดเป็น อันดับสองของโลก ในทางกลับกันความต้องการถ่านหินจะสูงสุดในปี 2025 และจะเริ่มลดลง อันมีผลมาจากการเพิ่มประสิทธิภาพพลังงานที่ต้องการพลังงานที่มี ส่วนผสมของคาร์บอนต่ำ [3]

จากสภาพปัญหาต่างๆ ด้านพลังงานของประเทศไทย ทางกระทรวงพลังงาน ได้เล็งเห็นความสำคัญของการส่งเสริมให้ ทุกภาคส่วนร่วมกันเห็นความสำคัญของการอนุรักษ์พลังงาน จึงจัดทำแผนอนุรักษ์ พลังงาน 20 ปี, แผนพัฒนาพลังงานทดแทน และพลังงานทางเลือก 25% ใน 10 ปี และแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย เพื่อใช้เป็นกลไกขับเคลื่อนการพัฒนาพลังงานของประเทศไทย ให้มีความมั่นคงอย่างยั่งยืน

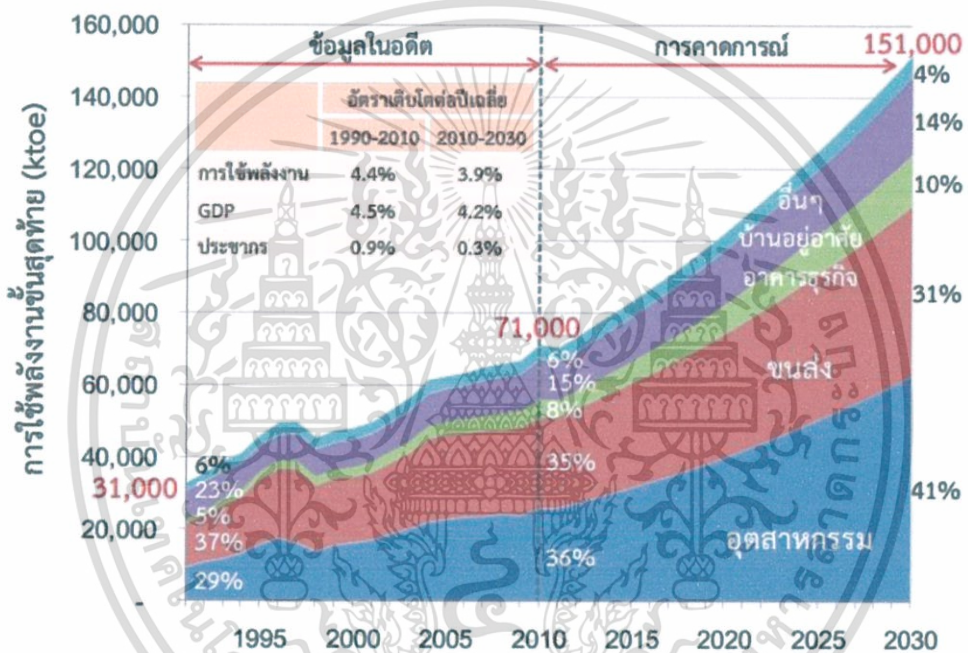
แผนการอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี นี้มีความหมาย 2 นัย คือ การประหยัดหรือการลดการใช้พลังงานที่ไม่จำเป็น และการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน ซึ่งหมายถึง การทำงานที่ได้ผลลัพธ์เท่าปกติแต่ใช้พลังงานน้อยลง การอนุรักษ์พลังงานมีส่วนสำคัญในการเสริมสร้างความ มั่นคงพลังงาน การลดค่าใช้จ่ายครัวเรือน การลดต้นทุนการผลิตและบริการ การลดการเสียดุลการค้าและ การเพิ่มความสามารถในการแข่งขัน ตลอดจนการลดการปล่อยมลพิษและก๊าซเรือนกระจกซึ่งเป็นต้นเหตุของการเกิดภาวะโลกร้อนและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ดังนั้น การอนุรักษ์พลังงานจึงเป็นนโยบาย ที่สำคัญของรัฐบาลเรื่อยมา เนื่องจากรัฐบาลเล็งเห็นว่า ในอนาคต ปัญหาเรื่องราคาพลังงาน การแย่งชิงทรัพยากรพลังงานระหว่างประเทศ จะเป็นปัญหาที่จะมีความรุนแรงยิ่งขึ้น ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อสวัสดิภาพของประชาชน และความสามารถในการแข่งขันเชิงเศรษฐกิจ กอปรกับผู้นำรัฐบาลได้ให้สัตยาบันต่อผู้นำกลุ่มประเทศความร่วมมือทางเศรษฐกิจภาคพื้นเอเชียแปซิฟิก เมื่อปี 2550 ว่าจะร่วมกันส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานให้เป็นไปตามเป้าหมายที่ตั้งไว้ สำหรับปี 2573 (ค.ศ. 2030) กระทรวงพลังงานจึงได้จัดทำแผนอนุรักษ์พลังงานระยะ 20 ปี (2554-2573) ขึ้น [4]

ในระยะ 20 ปีที่ผ่านมา (พ.ศ. 2533-2553) การใช้พลังงานของประเทศไทยเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง เฉลี่ยร้อยละ 4.4 ต่อปีจนถึงปัจจุบันมีการใช้พลังงานเป็น 2.3 เท่าของปี 2533 ซึ่งเป็นการเติบโตที่ควบคู่กับ อัตราการขยายตัวทางเศรษฐกิจซึ่งมีค่าเฉลี่ยร้อยละ 4.5 ต่อปีโดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้พลังงานใน ภาคอุตสาหกรรมการผลิตและอาคารธุรกิจนั้นสูงกว่าอัตราการเติบโตของ GDP มาก หรือเพิ่มเป็น 3.0 และ 3.7 เท่า ตามลำดับ เมื่อเทียบกับปี 2533 [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในระยะ 20 ปีข้างหน้า หากไม่มีมาตรการอนุรักษ์และเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานหรือปรับ โครงสร้างอุตสาหกรรมและระบบขนส่งที่มีนัยสำคัญ ความต้องการพลังงานในกรณีปกติ (Business-as-usual, BAU) จะเพิ่มขึ้นจาก 71,000 ktoe (พินตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ) ต่อปีในปัจจุบัน เป็น 151,000 ktoe หรือประมาณ 2.1 เท่าของปัจจุบัน หรือเพิ่มขึ้นเฉลี่ยร้อยละ 3.9 ต่อปีภายใต้ สมมุติฐานที่ GDP จะขยายตัวเฉลี่ยร้อยละ 4.2 ต่อปีโดยที่ความต้องการในภาคอุตสาหกรรมและ อาคารธุรกิจยังคงมีแนวโน้ม เพิ่มขึ้นในอัตราที่สูงกว่าภาคอื่นๆ ดังแผนภูมิที่ 2.2 แสดงให้เห็นถึง ปริมาณการใช้พลังงานในอดีตและแนวโน้มการใช้พลังงานในอนาคต [4]

แผนภูมิที่ 2.2 ปริมาณการใช้พลังงานในอดีตและแนวโน้มการใช้พลังงานในอนาคต [4]



ปัญหาภาวะโลกร้อนเนื่องจากการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเป็นปัญหาที่ทั่วโลกกำลังให้ความสนใจและเร่งหามาตรการเพื่อควบคุม โดยมาตรการกีดกันทางการค้าก็เป็นมาตรการหนึ่งที่มีแนวโน้มจะนำใช้อย่างแพร่หลายในอนาคต และถึงแม้ว่าประเทศไทยยังไม่ถูกบังคับใช้ตามมาตรการดังกล่าวในปัจจุบัน แต่ก็ควรต้องดำเนินการพัฒนา และส่งเสริมพลังงานทดแทน ซึ่งเป็นหนึ่งในแนวทางลด ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก รวมทั้งเป็นจุดเริ่มต้นให้ ประเทศไทยเริ่มก้าวสู่เส้นทางของการ เป็นสังคมคาร์บอนต่ำ (Low Carbon Society) และให้เป็นแบบอย่างของสังคม โลกที่กล่าวขวัญถึง ประเทศไทยว่าเป็นประเทศที่มีความมุ่งมั่นให้มีการใช้พลังงานทดแทน [5]

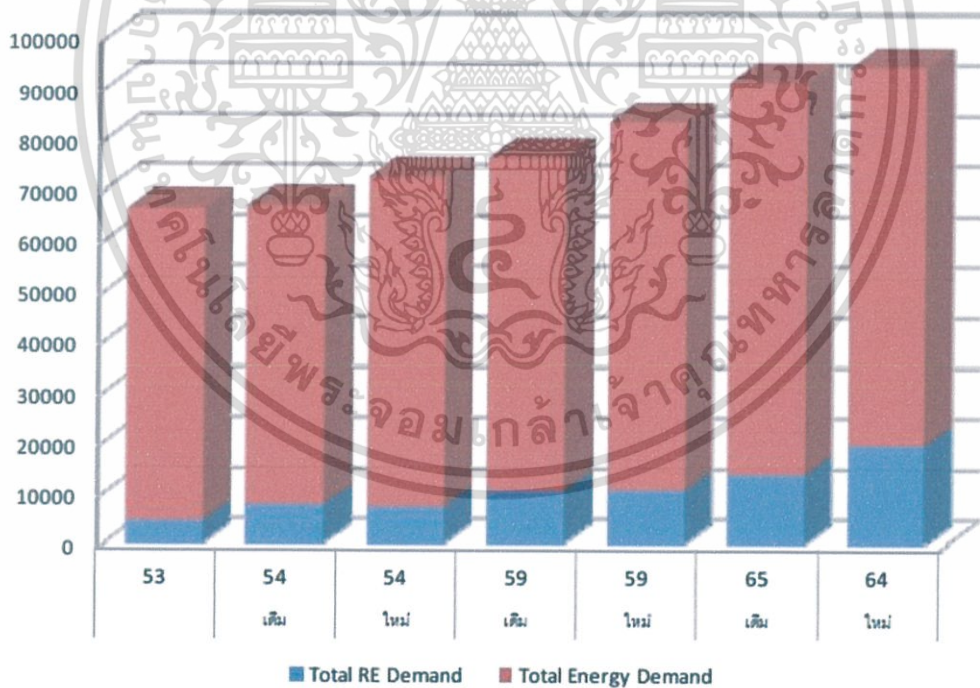
ผลผลิตทางการเกษตรซึ่งสามารถนำมาเป็นวัตถุดิบนำมาผลิตพลังงาน ทั้งชีวมวล ก๊าซชีวภาพ รวมไปถึงไบโอดีเซลและเอทานอล อีกทั้งภายหลังการแปรรูปจากอุตสาหกรรมอาหาร วัสดุเหลือทิ้งยังสามารถก่อให้เกิดเป็นพลังงาน จากขยะอีกด้วย นอกจากนี้ประเทศไทยยังมีศักยภาพด้านพลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ธรรมชาติ เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ที่มีความเข้มรังสีแสงอาทิตย์เฉลี่ยประมาณ 18.2 MJ/m²/day และบางแห่งของประเทศมีศักยภาพพลังงานลมดีจึงทำให้ประเทศไทย มีศักยภาพด้านพลังงานทดแทนอยู่ในระดับดีมาก และมีโอกาสที่จะส่งเสริมพลังงานทดแทนให้กลายเป็นพลังงานมีส่วนสร้างความมั่นคงด้านพลังงานของประเทศได้ในอนาคต [5]

ดังนั้น รัฐบาลจึงมอบหมายให้กระทรวงพลังงานจัดทำแผนการพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก 25% ใน 10 ปี (พ.ศ.2555-2564) หรือ Alternative Energy Development Plan : AEDP (2012-2021) เพื่อ กำหนดกรอบและทิศทางการพัฒนาพลังงานทดแทนของประเทศ โดยกระทรวงพลังงานได้พยากรณ์ความต้องการพลังงานในอนาคตของประเทศ คาดว่าในปี 2564 จะมีความต้องการพลังงาน 99,838 ktoe จากปัจจุบัน 71,728 ktoe โดยแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย พ.ศ. 2553-2573 และแผนการพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2555-2564 ได้กำหนดให้มีสัดส่วนการใช้พลังงานทดแทน เพิ่มขึ้นจาก 7,413 ktoe ในปี 2555 เป็น 25,000 ktoe ในปี 2564 หรือคิดเป็น 25% ของการใช้พลังงานรวมทั้งหมด [5]

แผนภูมิที่ 2.3 ความต้องการพลังงานในอนาคตของประเทศ [5]



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.4 ก๊าซธรรมชาติ [6]

ก๊าซธรรมชาติเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน ซึ่งประกอบด้วย ธาตุคาร์บอน (C) กับ ไฮโดรเจน (H) จับตัวกันเป็นโมเลกุล โดยเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ จากการทับถมของซากสิ่งมีชีวิตตามชั้นหิน ดิน และในทะเลหลายร้อยล้านปีมาแล้ว เช่นเดียวกับน้ำมัน และเนื่องจากความร้อนและความกดดันของผิวโลกจึง แปรสภาพเป็นก๊าซ คุณสมบัติของก๊าซธรรมชาติไม่มีสี ไม่มีกลิ่น (ยกเว้นกลิ่นที่เติมเพื่อให้รู้เมื่อเกิดการรั่วไหล) และไม่มีพิษ ในสถานะปกติมีสภาพเป็นก๊าซหรือไอที่อุณหภูมิและความดันบรรยากาศ โดยมีค่าความถ่วงจำเพาะต่ำกว่า อากาศจึงเบากว่าอากาศ เมื่อเกิดการรั่วไหลจะฟุ้งกระจายไปตามบรรยากาศอย่างรวดเร็ว จึงไม่มีการสะสมบนพื้นราบ

ก๊าซธรรมชาติ มีก๊าซหลายอย่างประกอบเข้าด้วยกัน คือ ก๊าซมีเทน อีเทน โพรเพน และบิวเทน ก๊าซพวกนี้เป็นสารไฮโดรคาร์บอนทั้งสิ้น เมื่อจะเอามาใช้ต้องแยกก๊าซออกจากกันและกันเสียก่อน จึงจะใช้ประโยชน์ได้เต็มที่ ในกระบวนการแยกก๊าซธรรมชาตินั้น สารประกอบไฮโดรคาร์บอน ส่วนที่หนักที่สุด จะถูกแยกออกเป็นลำดับแรก ผลิตภัณฑ์ที่ได้ จากโรงแยกแปรสภาพก๊าซธรรมชาติ สามารถจำแนกตามลักษณะ ของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่แยกออก และนำไปใช้ประโยชน์ต่อกระบวนการผลิตอื่น ๆ ดังนี้

1. ก๊าซมีเทน (C1) ใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับผลิตกระแสไฟฟ้าในโรงงานอุตสาหกรรม และนำไปอัดใส่ถังด้วยความดันสูง เรียกว่าก๊าซธรรมชาติอัด สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงในรถยนต์ รู้จักกันในชื่อว่า “ก๊าซธรรมชาติสำหรับยานยนต์” (Natural Gas for Vehicles : NGV)
2. ก๊าซอีเทน (C2) ใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมปิโตรเคมีขั้นต้น สามารถนำไปใช้ผลิตเม็ดพลาสติก เส้นใยพลาสติกชนิดต่าง ๆ เพื่อนำไปใช้แปรรูปต่อไป
3. ก๊าซโพรเพน (C3) และก๊าซบิวเทน (C4) โดยก๊าซโพรเพนใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมปิโตรเคมีขั้นต้นได้เช่นเดียวกัน และหากนำเอาก๊าซโพรเพนกับก๊าซบิวเทนมาผสมกัน อัดใส่ถังเป็นก๊าซปิโตรเลียมเหลว (Liquefied Petroleum Gas : LPG) หรือที่เรียกว่าก๊าซหุงต้ม สามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในครัวเรือน เป็นเชื้อเพลิงสำหรับยานยนต์ และใช้ในการเชื่อมโลหะได้รวมทั้งยังนำไปใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมบางประเภทได้อีกด้วย
4. ไฮโดรคาร์บอนเหลว (Heavier Hydrocarbon) เป็นของเหลวที่อุณหภูมิและความดันบรรยากาศ เมื่อผลิตขึ้นมาถึงปากบ่อนแท่นผลิต สามารถแยกจากไฮโดรคาร์บอนที่มีสถานะเป็นก๊าซบนแท่นผลิต เรียกว่า คอนเดนเสท (Condensate) สามารถลำเลียงขนส่งโดยทางเรือหรือทางท่อนำไปกลั่นเป็นน้ำมันสำเร็จรูปต่อไปได้
5. ก๊าซโซลีนธรรมชาติ (natural gasoline) เป็นไฮโดรคาร์บอนเหลวที่ถูกแยกออกจากกระบวนการแยกจากโรงแยกก๊าซธรรมชาติ และส่งเข้าไปยังโรงกลั่นน้ำมัน เป็นส่วนผสมของผลิตภัณฑ์น้ำมันสำเร็จรูปได้ และยังเป็นตัวทำละลายซึ่งนำไปใช้ในอุตสาหกรรมบางประเภทได้เช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เมื่อผ่านกระบวนการแยกแล้ว จะถูกนำไปทำให้อยู่ในสภาพของแข็ง เรียกว่า น้ำแข็งแห้ง นำไปใช้ในอุตสาหกรรมถนอมอาหาร อุตสาหกรรมน้ำอัดลมและเบียร์ ใช้ในการถนอมอาหารระหว่างการขนส่ง นำไปเป็นวัตถุดิบสำคัญในการทำฝืนเทียม และนำไปใช้สร้างควันในอุตสาหกรรมบันเทิง อาทิ การแสดงคอนเสิร์ต หรือการถ่ายทำภาพยนตร์

ในต่างประเทศโดยเฉพาะประเทศที่มีแหล่งก๊าซของตัวเอง เมื่อแยกก๊าซอื่น ๆ ออกไปแล้วก็จะนำส่วนที่มีปริมาณก๊าซ มีเทนมากนี้มาใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับรถยนต์ เดิมเรียก ก๊าซธรรมชาติอัด (Compressed Natural Gas “CNG”) แต่ต่อมาเปลี่ยนชื่อเรียกใหม่เป็น ก๊าซธรรมชาติสำหรับยานพาหนะ หรือ Natural Gas For Vehicles “NGV” หรือที่เรียกกันว่า เอ็นจีวี ซึ่งสำหรับในประเทศไทยของเราก็ได้มีมาตรการส่งเสริมให้ใช้พลังงานสะอาดในยานพาหนะ โดยมีการปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย ดำเนินโครงการทดลองการดัดแปลงเครื่องยนต์เพื่อใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิง

2.1.5 ถ่านหิน [2]

ถ่านหินเกิดจากการทับถมของซากพืช ซากสัตว์เป็นเวลาประมาณ 225–350 ล้านปี ซากเหล่านี้จะถูกแรงอัดเวลาทับถมอยู่ตามลุ่มน้ำ ก้นน้ำหรือปากแม่น้ำ ความดันบรรยากาศและแรงอัดเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกทำให้เปลี่ยนแปลงไปเป็นหินพรุ (Peat) แล้วจึงกลายเป็นถ่านหินในที่สุด โดยถ่านหินสามารถแบ่งตามปริมาณของคาร์บอนได้เป็น 4 ชนิด คือ

1. แอนทราไซต์ (Anthracite or Hard Coal) เป็นถ่านหินที่มีปริมาณคาร์บอนมากกว่า ร้อยละ 90 ขึ้นไป ความชื้นน้อย เปลวไฟสีน้ำเงินให้ความร้อนสูง มีควันและกลิ่นน้อยมาก เป็นถ่านหินคุณภาพสูง
2. บิทูมินัส (Bituminous or Soft Coal) เป็นถ่านหินที่มีปริมาณของคาร์บอนสูงถึง ร้อยละ 90 ความชื้นน้อยกว่าร้อยละ 15 ติดไฟง่าย เปลวไฟสีเหลืองมีควันมากและกลิ่นแรง เป็นถ่านหินคุณภาพปานกลาง
3. ซับบิทูมินัส (sub-bituminous) มีลักษณะสีน้ำตาลเข้มจนถึงดำ เนื้อถ่านหินจะมีความอ่อนตัวคล้ายขี้ผึ้ง ไม่แข็งมาก มีปริมาณคาร์บอนประมาณร้อยละ 71-77 และมีความชื้นประมาณร้อยละ 10-20 ถ่านหินประเภทนี้มีส่วนมากใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้า หรือใช้ในอุตสาหกรรม
4. ลิกไนท์ (Lignite or Brown Coal) เป็นถ่านหินที่มีปริมาณของคาร์บอนประมาณร้อยละ 60 เป็นถ่านหินคุณภาพต่ำยังมีโครงสร้างของซากพืช ซากสัตว์ชัดเจนพอสมควร มีสารระเหิดและมีความชื้นสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ่านหินส่วนใหญ่จะถูกนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์โดยตรง คือ การใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้าและในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น อุตสาหกรรมการถลุงโลหะ การผลิตปูนซีเมนต์ อุตสาหกรรมอาหาร เป็นต้น ยังมีการใช้ถ่านหินเป็นแหล่งวัตถุดิบเพื่อผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ อื่นหลายอย่างเช่น การนำมาผลิตเป็นถ่านโค้กเทียม ถ่านกัมมันต์ ปุ๋ยยูเรีย หรือการนำมาสกัดเอาน้ำมันดิบ เป็นต้น

2.1.6 พลังงานชีวมวล [7]

ชีวมวลเป็นสารอินทรีย์ที่เป็นแหล่งกักเก็บพลังงานจากธรรมชาติและสามารถนำมาใช้ผลิตพลังงานได้ เช่น เศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร หรือเศษวัสดุจากกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรม การเกษตร เช่น

1. แกลบ ได้จากกระบวนการสีข้าวเปลือกให้เป็นข้าวสารในโรงสีข้าว
2. ฟางข้าว ได้จากกระบวนการเก็บเกี่ยวข้าวเปลือกจากนาข้าว
3. ชานอ้อย ได้จากกระบวนการหีบอ้อยเพื่อผลิตน้ำตาลทรายในโรงงานน้ำตาล
4. เศษไม้-ปึกไม้ ชี้เลื่อย และเปลือกไม้ ได้จากกระบวนการแปรรูปไม้ยางพาราหรือไม้ยูคาลิปตัสในโรงเลื่อยและโรงแปรรูปไม้
5. เส้นใยปาล์ม ทะลายปาล์ม และกะลาปาล์ม ได้จากกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบออกจากผลปาล์มสด
6. เหม้ามันสำปะหลัง ได้จากกระบวนการเก็บเกี่ยวหัวมันสำปะหลังสดในไร่มัน
7. ชังข้าวโพด ได้จากกระบวนการสีข้าวโพดเพื่อนำเมล็ดข้าวโพดออกจากฝักข้าวโพด

ประโยชน์ของพลังงานชีวมวล

ชีวมวลเมื่อนำไปผ่านกระบวนการต่างๆจะได้เป็นผลิตภัณฑ์ด้วยกันหลายชนิด ได้แก่

1. เมทานอล (CH_3OH) เป็นของเหลวใส ไม่มีสี ระเหยง่าย มีความเป็นพิษ สามารถผลิตได้จากปิโตรเลียม ถ่านหิน และไม้ เป็นต้น สามารถนำไปใช้เป็นตัวทำละลาย สังเคราะห์สารเคมี และเป็นเชื้อเพลิงได้ แต่ไม่นิยมนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิง เนื่องจากต้นทุนมีราคาสูง และมีค่าพลังงานต่ำ
2. เอทานอล ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) เป็นของเหลวใสไม่มีสี ติดไฟง่ายมีความไวไฟ และมีค่าออกเทนสูง สามารถผลิตผ่านกระบวนการทางชีวเคมีที่ใช้พืชผลทางการเกษตรที่มีแป้งและน้ำตาลสูงเป็นวัตถุดิบ เช่น ข้าวโพด อ้อย กากน้ำตาล ฯลฯ เนื่องจากเอทานอลเป็นเชื้อเพลิงที่ไร้สารมลพิษ ดังนั้นจึงมีการนำเอทานอลไปเป็นสารเพิ่มค่าออกเทนให้กับน้ำมันเบนซิน นำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงโดยตรงทดแทนน้ำมันเบนซินและน้ำมันดีเซล หรือนำไปผสมกับน้ำมันเบนซินหรือดีเซลในสัดส่วนต่างๆได้เช่นกัน
3. ไบโอดีเซล (Biodiesel) เป็นพลังงานทดแทนน้ำมันดีเซล สามารถนำไปใช้เติมในเครื่องยนต์ดีเซลปกติได้ ซึ่งไบโอดีเซลสามารถผลิตได้จากน้ำมันพืชและไขมันสัตว์ เช่น ปาล์ม มะพร้าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถั่วเหลือง ทานตะวัน เมล็ดเรพ สบู่ดำ สาหร่าย ซึ่งพืชเหล่านี้เป็นแหล่งทรัพยากรที่สามารถผลิตทดแทนได้ในธรรมชาติ อีกทั้งยังสามารถผลิตได้จากน้ำมันพืช, น้ำมันสัตว์ที่ใช้แล้วได้อีกด้วย

4. ก๊าซชีวภาพ (Biogas) เป็นก๊าซที่ผลิตได้จากการหมักย่อยสลายของสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะที่ปราศจากออกซิเจน ก๊าซชีวภาพสามารถนำไปใช้ให้ความร้อนและใช้ในเครื่องยนต์ได้

5. เชื้อเพลิงไฮโดรเจน (Hydrogen fuel) เป็นเชื้อเพลิงที่สะอาด สามารถสังเคราะห์ได้จากก๊าซธรรมชาติ ถ่านหิน และการแยกน้ำด้วยไฟฟ้า เชื้อเพลิงไฮโดรเจนสามารถใช้กับเครื่องยนต์เบนซินปกติได้ แต่จะให้ประสิทธิภาพที่ดีมากขึ้นเมื่อใช้กับเครื่องยนต์ที่ผ่านการดัดแปลงแล้ว

6. ไดเมทิลอีเทอร์ (Dimethyl Ether) เป็นเชื้อเพลิงทางเลือกที่มีความน่าสนใจ เนื่องจากสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลายด้าน ทั้งนำไปใช้ในการหุงต้มอาหารในครัวเรือน , ใช้ผลิตเชื้อเพลิงสำหรับการขนส่ง และนำไปผลิตเป็นกระแสไฟฟ้า

เนื่องจากเกิดวิกฤตการณ์ราคาน้ำมันสูงขึ้น ด้วยเหตุปัจจัยต่างๆ ดังนั้นการเลือกใช้พลังงานชีวมวลซึ่งเป็นพลังงานที่ใช้แล้วไม่หมด มีแหล่งพลังงานอยู่ภายในประเทศ และมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อย การใช้ชีวมวลจึงเป็นทางเลือกหนึ่งของประเทศที่มีแนวโน้มการใช้งานเพิ่มมากยิ่งขึ้น

2.2 ความรู้เกี่ยวกับไดเมทิลอีเทอร์ [8]

ไดเมทิลอีเทอร์ (Dimethyl Ether : DME) หรือที่เรียกว่า ดีเอ็มอี มีสูตรทางเคมี คือ CH_3OCH_3 เป็นสารที่มีสถานะเป็นแก๊ส ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น และไม่มีความเป็นพิษ เป็นสารประกอบอีเทอร์ที่มีขนาดเล็กที่สุด สามารถทำให้เป็นของเหลวได้เมื่อถูกอัดภายใต้ความดัน โดยทั่วไป ไดเมทิลอีเทอร์จะถูกใช้เป็นการทำความเย็นทดแทนการใช้สารฟรอน หรือสารประกอบไฮโดรคาร์บอน และใช้เป็นสารผลักดันอากาศในกระป๋องสเปรย์แทนการใช้สารคลอโรฟลูโอโรคาร์บอน (Chlorofluorocarbons ; CFCs) เนื่องจากคลอโรฟลูโอโรคาร์บอนนั้นเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม และทำลายก๊าซโอโซนในบรรยากาศสตราโทสเฟียร์ นอกจากนี้ไดเมทิลอีเทอร์สามารถสลายตัวไปได้เองในบรรยากาศชั้นโทรโพสเฟียร์และมีความเป็นพิษต่อมนุษย์น้อยมากเมื่อเทียบกับสารคลอโรฟลูโอโรคาร์บอน

ไดเมทิลอีเทอร์เป็นสารที่สามารถลุกติดไฟได้ มีจุดเดือดอยู่ที่ -25°C และมีความดันไอ 6 bar ที่อุณหภูมิ 25°C และได้รับความนิยมให้นำมาใช้ทดแทนแก๊สปิโตรเลียมเหลว เนื่องจากมีสมบัติทางกายภาพคล้ายกับแก๊สปิโตรเลียมเหลว คือ สามารถเผาไหม้ได้อย่างสมบูรณ์ ไม่เกิดเขม่า ปลอดภัยแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) ต่ำกว่าเชื้อเพลิงทั่วไป และไม่มีส่วนประกอบของกำมะถันจึงไม่ก่อให้เกิดแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ จึงไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ยังมีค่าซีเทนสูง จึงสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนในเครื่องยนต์ดีเซลได้ ดังนั้นไดเมทิลอีเทอร์จึงได้รับการยอมรับว่าเป็นเชื้อเพลิงทางเลือกอย่างหนึ่งแห่งศตวรรษที่ 21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

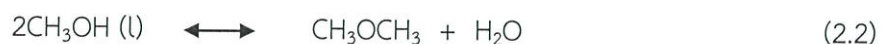
ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพของไดเมทิลอีเทอร์กับเชื้อเพลิงชนิดอื่นๆ [8]

คุณสมบัติ	DME	โพรเพน	มีเทน	เมทานอล	น้ำมันดีเซล
สูตรโมเลกุล	CH ₃ OCH ₃	C ₃ H ₈	CH ₄	CH ₃ OH	C10–C20
จุดเดือด (°C)	-25	-42	-161	65	180–370
จุดวาบไฟ (°C)	350	504	632	470	-
ค่าเลขซีเทน	55-60	5	0	5	40-55
ความดันไอ (atm) ที่ 25 °C	6.1	9.3	26	-	-
ค่าความถ่วงจำเพาะที่อุณหภูมิ 20 °C	0.67	0.49	0.42	0.79	0.832 (10 °C)
ความถ่วงจำเพาะ (ในสถานะ ก๊าซเมื่อเทียบกับอากาศ)	1.59	1.52	0.55	-	-
ค่าพลังงานความร้อน (kcal/kg)	6,900	11,100	12,000	4,800	10,000

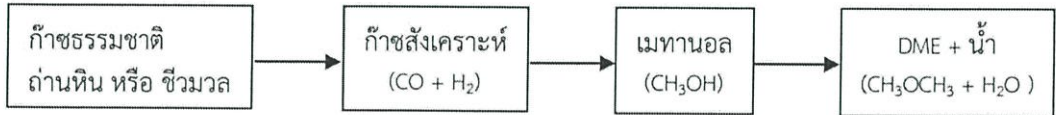
2.2.1 เทคโนโลยีการผลิต แหล่งผลิต และราคาดีเอ็มอี [9]

2.2.1.1 เทคโนโลยีการผลิต วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตดีเอ็มอี ได้แก่ ก๊าซธรรมชาติ ถ่านหิน หรือชีวมวล โดย กระบวนการผลิตสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 วิธี คือ

1) การผลิตแบบทางอ้อมโดยผ่านกระบวนการกำจัดน้ำของเมทานอล การผลิตวิธีนี้เป็นวิธีที่ใช้กันโดยทั่วไป โดยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ และก๊าซไฮโดรเจน (ก๊าซสังเคราะห์) ที่ได้จากกระบวนการก๊าซซิฟิเคชัน ของถ่านหินหรือชีวมวล หรือจากกระบวนการรีฟอร์มมิงของก๊าซธรรมชาติ จะถูกนำมาทำปฏิกิริยากันเพื่อผลิต เมทานอล จากนั้นเมทานอลจะเกิดปฏิกิริยาควบแน่นเกิดเป็น ดีเอ็มอี และน้ำ โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นกรด เช่น ซีโอไลท์หรือแกมมาอะลูมินา ในเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง ที่อุณหภูมิ 280 องศาเซลเซียส ที่ความดันบรรยากาศ ดังสมการที่ 2.1 และสมการที่ 2.2



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 กระบวนการผลิตไดเมทิลอีเทอร์แบบทางอ้อม (Indirect DME Synthesis) หรือ กระบวนการกำจัดน้ำของเมทานอล (Methanol Dehydration)

2) กระบวนการผลิตดีเอ็มอีแบบทางตรง การผลิตดีเอ็มอีวิธีนี้เป็นเทคโนโลยีที่คิดค้นขึ้นใหม่ ซึ่งมีข้อดีกว่าวิธีการทางอ้อม คือ ไม่จำเป็นต้องมีขั้นตอนของการสังเคราะห์เมทานอลทำให้สามารถลดต้นทุนการผลิตได้ โดยในกระบวนการผลิตนี้ ก๊าซสังเคราะห์สามารถเกิดปฏิกิริยาเคมีเกิดเป็นดีเอ็มอีได้โดยตรง โดยผ่านกระบวนการทางความร้อนเคมีในเครื่องปฏิกรณ์สารแขวนลอยบนตัวเร่งปฏิกิริยาออกไซด์ของทองแดง สังกะสี และอลูมิเนียม ที่อุณหภูมิ 260 องศาเซลเซียส ที่ความดัน 30 บรรยากาศ ดังสมการที่ 2.3



รูปที่ 2.2 กระบวนการผลิตไดเมทิลอีเทอร์แบบทางตรง (Direct DME Synthesis)

2.2.1.2 แหล่งผลิตดีเอ็มอี ปัจจุบันประเทศที่เป็นผู้ผลิตดีเอ็มอีรายใหญ่ ได้แก่ จีน ญี่ปุ่น เกาหลี และบราซิล นอกจากนี้ อีกหลายประเทศก็กำลังอยู่ระหว่างการสร้างโรงงานผลิตดีเอ็มอี อาทิ อียิปต์ อินโดนีเซีย อินเดีย และอิหร่าน

2.2.1.3 ราคาดีเอ็มอี การกำหนดราคาของดีเอ็มอีที่ผลิตจากเมทานอลจะขึ้นกับราคาของเมทานอลและก๊าซ ปิโตรเลียมเหลว (ก๊าซ LPG) ซึ่งโดยทั่วไปแล้ว เนื่องจากค่าความร้อนของดีเอ็มอีจะอยู่ที่ประมาณร้อยละ 62 ของค่าความร้อนของก๊าซ LPG ดังนั้น ราคาขายดีเอ็มอี จึงอยู่ที่ประมาณร้อยละ 75-90 ของราคาก๊าซ LPG

2.2.2 การใช้งานไดเมทิลอีเทอร์เป็นเชื้อเพลิง

การใช้งานดีเอ็มอีเพื่อเป็นเชื้อเพลิง แบ่งออกได้เป็น 2 รูปแบบ คือ

2.2.2.1 ใช้เป็นเชื้อเพลิงเพื่อให้ความร้อน ซึ่งเป็นรูปแบบของการใช้งานส่วนใหญ่ โดยเฉพาะในประเทศจีน ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้นว่า ดีเอ็มอีมีคุณสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ที่คล้ายคลึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กับก๊าซ LPG ดังนั้น จึงสามารถนำมาผสมกับก๊าซ LPG เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับหุงต้มในครัวเรือนได้ โดยอัตราส่วนผสมของดีเอ็มอีที่สามารถใช้ได้โดยไม่ต้องมีการปรับแต่งเตาเผา และอุปกรณ์โครงสร้างพื้นฐานที่ใช้ในการบรรจุขนส่ง หรือเก็บรักษา คือ ประมาณร้อยละ 20 โดยปริมาตร

2.2.2.2 ใช้เป็นเชื้อเพลิงในภาคการขนส่ง ปัจจุบันได้มีการริเริ่มนำดีเอ็มอีมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในภาคการขนส่ง โดยการใช้งานสามารถใช้งานได้กับ

1. เครื่องยนต์ดีเซล เนื่องจากดีเอ็มอีมีค่าซีเทนสูง ดังนั้น จึงสามารถนำดีเอ็มอีมาผสมกับน้ำมันดีเซลหมุนเร็วเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลได้โดยไม่ต้องมีการปรับแต่งเครื่องยนต์เล็กน้อย (ระบบฉีดเชื้อเพลิง) สำหรับอัตราส่วนผสมของดีเอ็มอีสูงสุดที่จะไม่ทำให้เชื้อเพลิงผสมที่ได้มีความหนืดต่ำจนเกินไปอยู่ที่ประมาณร้อยละ 25 โดยน้ำหนัก

2. เครื่องยนต์เบนซิน เครื่องยนต์เบนซินสามารถนำดัดแปลงให้สามารถใช้ก๊าซ LPG ผสมกับดีเอ็มอีเป็นเชื้อเพลิงได้ โดยอัตราส่วนผสมสูงสุดของดีเอ็มอีคือประมาณร้อยละ 25 โดยน้ำหนัก ทั้งนี้ ข้อจำกัดในการใช้ดีเอ็มอีเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์เบนซิน คือ การที่ดีเอ็มอีมีค่าออกเทนต่ำ ดังนั้นหากมีการผสมดีเอ็มอีในอัตราส่วนที่สูงเกินไปจะทำให้เครื่องยนต์มีการน็อกได้

3. เครื่องยนต์ที่ใช้ดีเอ็มอีเป็นเชื้อเพลิง ปัจจุบันบริษัทผู้ผลิตรถยนต์หลายรายได้มีการคิดค้นพัฒนาารถบรรทุกขนาดใหญ่ที่ใช้ดีเอ็มอีเป็นเชื้อเพลิง ตัวอย่างเช่น นิสสัน ฮีโน่ อีซูซุ มิทซูบิชิในประเทศญี่ปุ่น และวอลโว่ในประเทศสวีเดน

2.3 ตัวเร่งปฏิกิริยากอปเปอร์ออกไซด์-ซิงค์ออกไซด์

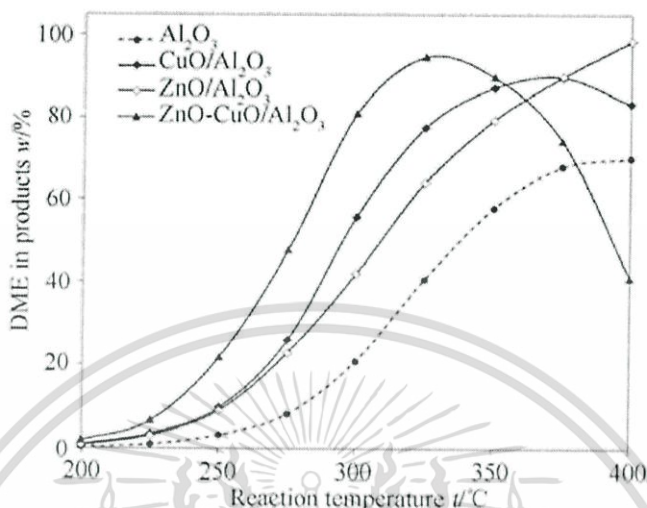
ในการสังเคราะห์เมทานอลจากแก๊สสังเคราะห์สามารถใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาได้หลายชนิด เช่น CuO-ZnO, CuO-ZnO-Al₂O₃, CuO-ZnO-Al₂O₃-Ga₂O₃, CuO-ZnO-Al₂O₃-Cr₂O₃, CuO-ZnO-Al₂O₃-ZrO₂ เป็นต้น ที่อุณหภูมิ 250-350 องศาเซลเซียส และความดัน 30-50 บรรยากาศ โดยปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นดังนี้



ในปี 2014 Sameh M. K. Aboul-Fotouh [10] ได้ศึกษาตัวเร่งปฏิกิริยา แกมมาอะลูมินา ที่ปรับปรุงด้วยคอปเปอร์ออกไซด์ และ/หรือ ซิงค์ออกไซด์ ที่ใช้สำหรับการผลิตไดเมทิลอีเทอร์ จากการทดลองพบว่าเมื่อนำตัวเร่งปฏิกิริยามาทดสอบด้วยเครื่องปฏิกรณ์ที่อุณหภูมิ 200-400 องศาเซลเซียส พบว่าในช่วงอุณหภูมิไม่เกิน 350 องศาเซลเซียส จะเกิดสารไฮโดรคาร์บอนเป็นผลิตภัณฑ์ร่วมเพียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เล็กน้อย (< 3%) และในช่วงอุณหภูมิดังกล่าว ตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ออกไซด์-ซิงค์ออกไซด์นั้นมีความร้อยละของการเลือกเกิดไดเมทิลอีเทอร์ได้สูงที่สุด อยู่ที่ประมาณร้อยละ 98 [10]



รูปที่ 2.3 ร้อยละของการเลือกเกิดเป็นไดเมทิลอีเทอร์ [10]

2.4 เซอร์โคเนียมออกไซด์ [11]

เซอร์โคเนียมไดออกไซด์มีสูตรทางเคมี คือ ZrO_2 เรียกโดยทั่วไปว่า เซอร์โคเนีย มีลักษณะเป็นผงสีขาว ไม่ละลายน้ำ แต่ละลายในกรดไฮโดรฟลูออริก (Hydrofluoric acid), กรดซัลฟิวริก (Sulfuric acid), กรดไนตริก (Nitric acid) และกรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid) เซอร์โคเนียมไดออกไซด์มักจะพบในสินแร่ธรรมชาติ baddeleyite มีลักษณะโครงสร้างแบบมอนอคลินิก และเมื่อนำไปผสมกับสารบางชนิดจะทำให้สามารถสังเคราะห์ได้เป็นสีต่างๆ สำหรับใช้ในอุตสาหกรรมเพชรพลอย

เซอร์โคเนียมไดออกไซด์เป็นธาตุที่มีความว่องไวต่อปฏิกิริยาเคมีที่อุณหภูมิสูง ทนต่อการกัดกร่อนมาก และสามารถใช้เป็นตัวดูดซับได้ดี ในปี ค.ศ. 2006 Cheng Yang, Zhongyi Ma และ Ning Zhao [12] ได้สนใจศึกษาการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ที่ปรับปรุงด้วยเซอร์โคเนียมออกไซด์เพื่อสังเคราะห์เมทานอลจากแก๊สสังเคราะห์ ที่ถูกเตรียมด้วยวิธีการตกตะกอนและนำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค BET, XRD, TEM และ CO/CO_2 hydrogenation โดยศึกษาผลของอุณหภูมิในการเร่งปฏิกิริยา และชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อค่าร้อยละการเลือกเกิดเป็นเมทานอล (Selectivity) ด้วยเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่งภายใต้สภาวะบรรยากาศ ที่อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาตั้งแต่ 210 ถึง 270 องศาเซลเซียส จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคต่างๆ พบว่าการปรับปรุงด้วยเซอร์โคเนียมออกไซด์ทำให้ตัวเร่งปฏิกิริยานั้นมีความเป็นผลึกมากขึ้น จะมีความทนทานมากขึ้นและ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

active site ของตัวเร่งปฏิกิริยามีการกระจายตัวสูงขึ้น ซึ่งมีผลต่อค่าการเลือกเกิดเป็นเมทานอล และจากการวิเคราะห์ด้วย CO/CO₂ hydrogenation จะถูกทดสอบในเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่งที่มีการไหลของแก๊สสังเคราะห์อย่างต่อเนื่องโดยมีอัตราส่วนโดยโมลของไฮโดรเจนต่อคาร์บอนมอนอกไซด์เท่ากับ 2 ต่อ 1 มีค่าความดันรวมเท่ากับ 5 เมกะปาสกาล และมีค่า Gas Hourly Space Velocity , GHSV เท่ากับ 4000 h⁻¹ พบว่าค่าการเลือกเกิดเป็นเมทานอลที่สูงที่สุดเท่ากับร้อยละ 60.45 โดยโมล ที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส

ซึ่งในงานวิจัยของเราได้สนใจที่จะศึกษาการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาผสมคอปเปอร์ซิงค์ ออกไซด์-เซอร์โคเนียมออกไซด์/อะลูมิเนียมฟอสเฟต โดยคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ถูกเตรียมด้วยวิธีการตกตะกอนร่วม และคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์-เซอร์โคเนียมออกไซด์ที่ถูกเตรียมเตรียมด้วยวิธีการเอ็บซุ่มแบบเปียก สำหรับการสังเคราะห์ได้เมทิลเอีเทอร์

2.5 โลหะฟอสเฟต [13]

โลหะฟอสเฟต เป็นสารที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างหลากหลาย เช่น เป็นสีเคลือบ เซรามิก ตัวเร่งปฏิกิริยา สารเคลือบผิวโลหะกันการกัดกร่อน และเป็นปุ๋ยที่มีความสามารถในการปลดปล่อยธาตุอาหารอย่างช้าๆ จึงนับได้ว่าเป็นสารที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม การที่ฟอสเฟตจะจัดเรียงตัวอยู่ในรูปแบบใดนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของโลหะ อัตราส่วนของฟอสฟอรัสต่อโลหะ ค่าพีเอช ชนิดของตัวปรับค่าพีเอช รวมถึงอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา สารโลหะฟอสเฟตมีแหล่งที่มา 2 แหล่ง คือ เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติและเกิดขึ้นจากฝีมือมนุษย์ด้วยการสังเคราะห์ขึ้น หน่วยย่อยของฟอสเฟตที่มักพบคือ ออโรฟอสเฟต (PO₄³⁻) ไฮโดรเจนฟอสเฟต (HPO₄²⁻) ไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (H₂PO₄⁻) ไพโรฟอสเฟต (P₂O₇⁴⁻) และไซโคลเตตระฟอสเฟต (P₄O₁₂⁴⁻) เป็นต้น

ตัวเร่งปฏิกิริยาอะลูมิเนียมฟอสเฟตนั้นมีโครงสร้างทั้งโครงสร้างแบบผลึก (Crystalline) และโครงสร้างแบบอสัณฐาน (Amorphous) Kumar ได้ศึกษาความว่องไวของตัวเร่งปฏิกิริยาอะลูมิเนียมฟอสเฟตในปฏิกิริยาไฮเดรชันของเมทานอลโดยการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาอะลูมิเนียมฟอสเฟตโดยการใช้วิธีตกตะกอนร่วม (Co-precipitation) และวิธีการฝังเคลือบ (Impregnate) ในอัตราส่วนของอะลูมิเนียมต่อฟอสฟอรัสเป็น 1:1 โดยใช้อะลูมิเนียมฟอสเฟต (AlPO₄·9H₂O) ในสัดส่วนของอะลูมิเนียมและใช้กรดฟอสฟอริก (H₃PO₄) และแอมโมเนียมไฮโดรเจนฟอสเฟต ((NH₄)₂HPO₄) ในสัดส่วนของฟอสฟอรัส พบว่าการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาอะลูมิเนียมฟอสเฟตโดยวิธีการตกตะกอนร่วมจะมีลักษณะโครงสร้างแบบอสัณฐานทั้งหมด ส่วนการเตรียมโดยวิธีการฝังเคลือบการใช้กรดฟอสฟอริกเป็นสัดส่วนของฟอสฟอรัสจะได้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบลักษณะโครงสร้างอสัณฐาน แต่การใช้แอมโมเนียมไฮโดรเจนฟอสเฟตจะได้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีลักษณะโครงสร้างแบบผลึก เมื่อทำการทดสอบตัวเร่งปฏิกิริยาทั้ง 4 ชนิด พบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาอะลูมิเนียมฟอสเฟตที่มีลักษณะโครงสร้างที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 การตรวจสอบเอกลักษณ์ (Characterization)

โครงการวิจัยนี้ได้มีการศึกษาลักษณะเฉพาะของตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์-เซอร์โคเนียออกไซด์ (CuOZnO-ZrO_2) ที่เตรียมได้โดยใช้เทคนิคต่างๆดังต่อไปนี้

2.6.1 Thermogravimetric Analysis (TGA) [14]

TGA เป็นเทคนิคที่ใช้วิเคราะห์ความเสถียรของวัสดุโดยเฉพาะพอลิเมอร์เมื่อได้รับความร้อน โดยการวัดน้ำหนักของวัสดุที่เปลี่ยนแปลงในแต่ละช่วงอุณหภูมิด้วยเครื่องชั่งที่มีความไวสูง เทคนิคนี้เหมาะสำหรับการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสภาพของวัสดุที่เกี่ยวข้องกับการดูดซับแก๊สหรือระเหยของน้ำ การตกผลึก (Crystallization) อันเนื่องมาจากการเปลี่ยนเฟส การแตกตัวของวัสดุ (Decomposition) ศึกษาการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและรีดักชัน หรือ ปริมาณสารสัมพันธ์

ในการวิเคราะห์ตัวอย่าง ตัวอย่างจะถูกวางบนจานขนาดเล็ก ซึ่งเชื่อมต่อกับเครื่องชั่งละเอียดที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงสูง โดยที่ทั้งหมดจะอยู่ในเตาที่สามารถควบคุมอุณหภูมิและบรรยากาศได้ บรรยากาศภายในอาจจะเป็นแก๊สเฉื่อย เช่น ไนโตรเจน หรือแก๊สที่มีความว่องไว เช่น อากาศ หรือ ออกซิเจน โดยน้ำหนักของตัวอย่างที่เปลี่ยนแปลงจะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิเฉพาะของสารแต่ละชนิด โดยน้ำหนักที่หายไปนั้นเกิดมาจากการระเหย การย่อยสลาย หรือการเกิดปฏิกิริยาต่างๆ

ความสามารถในการวิเคราะห์ทดสอบ

- องค์ประกอบของสาร (Composition)
- เสถียรภาพทางความร้อน (Thermal stability/decomposition)
- ปริมาณสารสัมพันธ์ที่เกิดปฏิกิริยา (Stoichiometry of reaction)
- จลพลศาสตร์ของการเกิดปฏิกิริยา (Kinetics of reactions)
- กระบวนการดูด/คายพลังงาน (Desorption/adsorption processes)
- การระเหย (Evaporation)

2.6.2 Fourier Transform Infrared Spectrometer (FT-IR) [15]

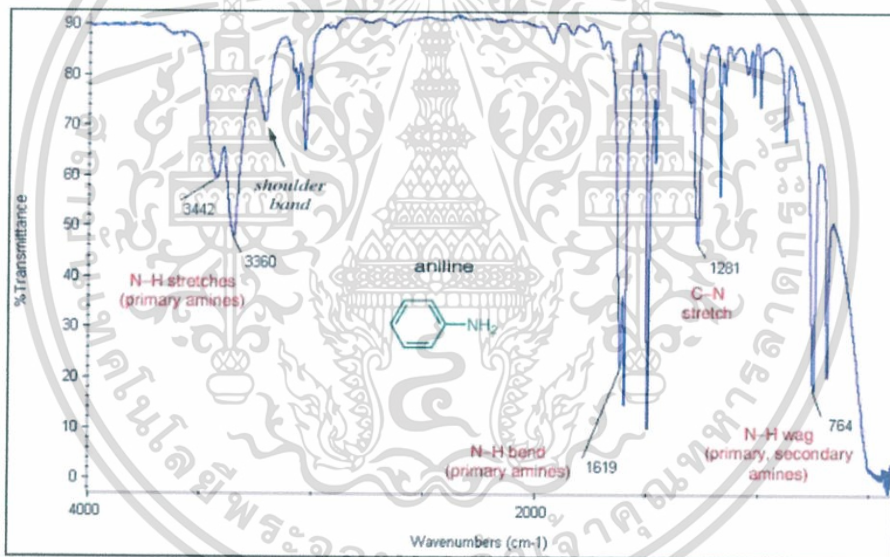
Fourier Transform Infrared Spectrometer (FT-IR) เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ตรวจสอบโครงสร้างของสาร โดยการวัดการดูดกลืนรังสีที่อยู่ในช่วงอินฟราเรด ที่อยู่ในช่วงเลขคลื่น (Wave number) ประมาณ $12800-10 \text{ cm}^{-1}$ ซึ่งสามารถวิเคราะห์ตัวอย่างได้ทั้งของแข็ง ของเหลว และก๊าซ

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. Near Infrared (12800-4000 cm^{-1})
2. Middle Infrared (4000-200 cm^{-1})
3. Far Infrared (200-10 cm^{-1})

ช่วงของรังสีอินฟราเรดที่ใช้ประโยชน์ในการวิเคราะห์ทางเคมีได้แก่ช่วง Middle IR เนื่องจากรังสีอินฟราเรดมีพลังงานค่อนข้างต่ำ เมื่อโมเลกุลของสารดูดกลืนรังสีอินฟราเรดเข้าไปจะทำให้พันธะในโมเลกุลเกิดการสั่นและการหมุน ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของโมเลกุล การที่โมเลกุลจะดูดกลืนรังสีอินฟราเรดได้นั้นความถี่ของรังสีอินฟราเรดต้องเท่ากับความถี่การสั่นของโมเลกุลของสารนั้นๆ ซึ่งสารอินทรีย์แต่ละชนิดจะมีค่าความถี่ของการสั่นที่จำเพาะและแตกต่างกันไปทำให้สามารถนำเทคนิคนี้มาใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้างและชนิดของสารอินทรีย์ได้ การแสดงผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคนี้แสดงเป็นความสัมพันธ์ระหว่าง Wave number กับ Transmittance ซึ่งเรียกว่า Infrared spectrum

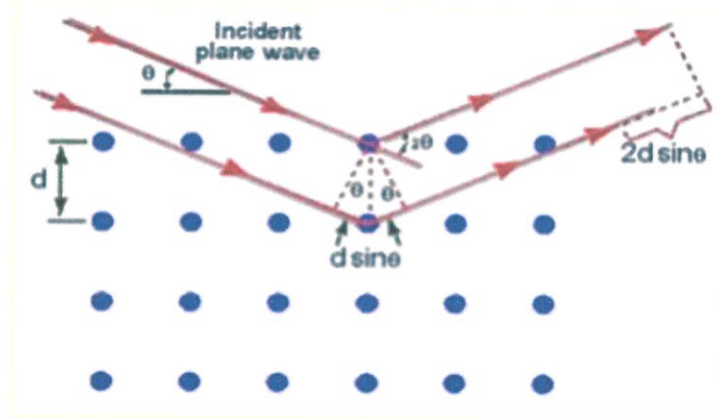


รูปที่ 2.5 Infrared spectrum ของ Aniline [15]

2.6.3 X-ray diffraction (XRD) [16]

การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (XRD) เป็นเทคนิคที่มีการใช้กันแพร่หลายในการวิเคราะห์วัสดุต่างๆ โดยสามารถใช้ในการวิเคราะห์ทดสอบชนิด ปริมาณคุณภาพของสารประกอบแบบผลึกต่างๆ ในชิ้นงานได้โดยอาศัยหลักการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์เมื่อลำรังสีตกกระทบวัตถุหรืออนุภาคจะเกิดการหักเหของลำรังสีสะท้อนออกมาทำมุมกับระนาบของอนุภาคเท่ากับมุมของลำรังสีตกกระทบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ในผลึก [16]

จากรูปสามารถอธิบายความสัมพันธ์ได้จากสมการของ Bragg's Law คือ $2d_{hkl}\sin\theta = n\lambda$
 โดยที่ λ แทน ความยาวคลื่นของรังสีเอกซ์
 n แทน ลำดับการสะท้อน
 d_{hkl} แทน ระยะห่างระหว่างระนาบ

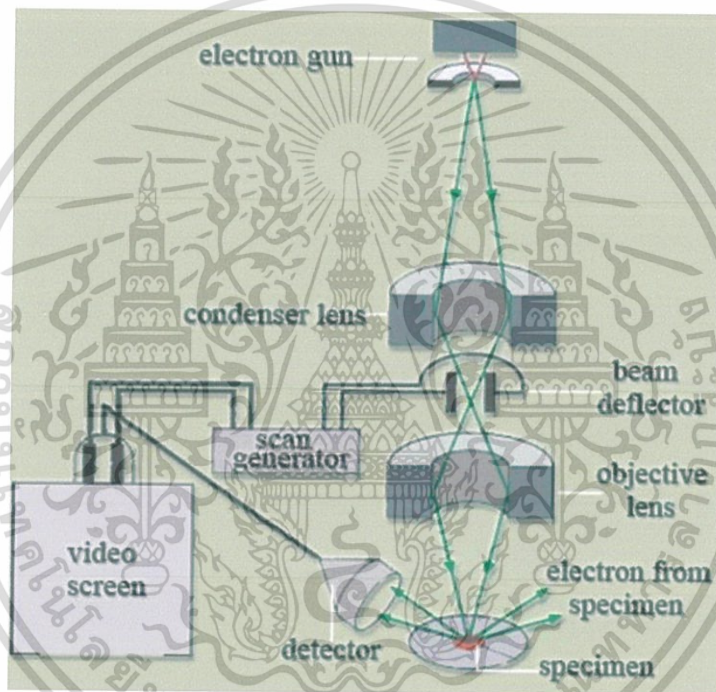
ในการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของสารประกอบและแร่สามารถแยกแยะประเภทและชนิดของวัสดุที่พบในธรรมชาติว่ามีรูปแบบโครงสร้างผลึกแบบใดหรือจำแนกได้ว่าวัสดุที่พบเห็นนั้นเป็นธาตุชนิดใดโดยทำการวัดค่าความเข้มของรังสีที่สะท้อนออกมาที่มุมต่างๆเปรียบเทียบกับข้อมูลมาตรฐานที่ทำการตรวจวัดโดยองค์กร JCPDs (Joint Committee on Powder Diffraction Standard) เนื่องจากสารประกอบแต่ละชนิดมีรูปแบบโครงสร้างผลึกแตกต่างกันและระยะห่างระหว่างระนาบของอะตอมที่จัดเรียงกันอย่างเป็นระเบียบก็แตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับขนาดและประจุของอะตอม สารประกอบแต่ละชนิดจะมีรูปแบบ (XRD pattern) เฉพาะตัวเปรียบเช่นเดียวกับลายนิ้วมือของคนที่แตกต่างกันจากหลักการทำงานของ XRD มีการนำมาใช้ประโยชน์ในการวิเคราะห์วัสดุที่มีสูตรโครงสร้างทางเคมีเหมือนกันแต่มีโครงสร้างผลึกต่างกัน

2.6.4 Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive Spectrometer (SEM-EDS) [17]

Scanning Electron Microscope (SEM) เป็นกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่มีกำลังขยายสูงสุดประมาณ 10 นาโนเมตร การสร้างภาพทำได้โดยการตรวจวัดอิเล็กตรอนที่สะท้อนจากพื้นผิวหน้าของตัวอย่างที่ทำการสำรวจ ซึ่งภาพที่ได้จากเครื่อง SEM นี้จะเป็นภาพลักษณะของ 3 มิติ ดังนั้นเครื่อง SEM จึงถูกนำมาใช้ในการศึกษาสัณฐานและรายละเอียดของลักษณะพื้นผิวของตัวอย่าง เช่น ลักษณะพื้นผิวด้านนอกของเนื้อเยื่อและเซลล์ หน้าตัดของโลหะและวัสดุ เป็นต้น โดยหลักการทำงานของเครื่อง SEM จะประกอบด้วยแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอนซึ่งทำหน้าที่ผลิตอิเล็กตรอนเพื่อป้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้กับระบบ โดยกลุ่มอิเล็กตรอนที่ได้จากแหล่งกำเนิดจะถูกเร่งด้วยสนามไฟฟ้า จากนั้นกลุ่มอิเล็กตรอนจะผ่านเลนส์รวบรวมรังสี (Condenser lens) เพื่อทำให้กลุ่มอิเล็กตรอนกลายเป็นลำอิเล็กตรอน ซึ่งสามารถปรับให้ขนาดของลำอิเล็กตรอนใหญ่หรือเล็กได้ตามต้องการ หากต้องการภาพที่มีความคมชัดจะปรับให้ลำอิเล็กตรอนมีขนาดเล็ก หลังจากนั้นลำอิเล็กตรอนจะถูกปรับระยะโฟกัสโดยเลนส์ใกล้วัตถุ (Objective lens) ลงไปบนผิวชิ้นงานที่ต้องการศึกษา หลังจากลำอิเล็กตรอนถูกกราดลงบนชิ้นงานจะทำให้เกิดอิเล็กตรอนทุติยภูมิ (Secondary Electron) ขึ้น ซึ่งสัญญาณจากอิเล็กตรอนทุติยภูมินี้จะถูกบันทึก และแปลงไปเป็นสัญญาณทางอิเล็กทรอนิกส์ และถูกนำไปสร้างเป็นภาพบนจอรับภาพต่อไป และสามารถบันทึกภาพจากหน้าจอได้เลย



รูปที่ 2.7 ส่วนประกอบต่างๆของเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) [17]

เครื่อง SEM ยังสามารถเชื่อมต่อกับอุปกรณ์วิเคราะห์ธาตุเชิงพลังงาน (Energy Dispersive X-Ray Spectrometer; EDS) ซึ่งช่วยในการศึกษาชนิด ปริมาณ และการกระจายขององค์ประกอบธาตุของวัสดุหรือสารมลทินได้ ซึ่งข้อมูลที่ได้สามารถนำไปใช้ในการปรับปรุง และพัฒนางานวิจัย งานในกระบวนการผลิต งานวิเคราะห์ความเสียหายของวัสดุ งานแก้ไขปัญหาอุตสาหกรรม และงานควบคุมคุณภาพของวัสดุได้เป็นอย่างดี [18]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.5 Brunauer Emmitt Teller (BET) [19]

Powder surface area and porosity (BET) เป็นเทคนิคที่ใช้วัดพื้นที่ผิวจำเพาะและปริมาตรรูพรุนของวัสดุดูดซับ โดยคำนวณจากปริมาณของแก๊สไนโตรเจนที่ถูกดูดซับบนผิวของวัสดุซึ่งพื้นที่ผิวจำเพาะของวัสดุ เป็นสมบัติทางกายภาพที่มีความสำคัญต่อการนำไปใช้ประกอบการพิจารณาเพื่อนำวัสดุนั้นไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ที่มีคุณภาพตามที่ต้องการหรือตามที่มาตรฐานกำหนด

รูปที่ 2.8 การดูดซับแก๊สไนโตรเจนบนผิวหน้าและ ภายในรูพรุนของวัสดุ [19]

บรูเนอร์ เอ็มเมทท์และเทลเลอร์ (Stephen Brunauer, Paul Hugh Emmett and Edward Teller) ได้ศึกษาการดูดซับแก๊สไนโตรเจนทั้งบนผิวหน้าและภายในรูพรุนของวัสดุ ดังแสดงในรูปที่ 2.8 พบว่าแก๊สไนโตรเจนที่ถูกดูดซับนั้นจะมี ส่วนหนึ่งที่เคลือบบนผิวของวัสดุในลักษณะที่เป็นโมเลกุลชั้นเดียวจนเต็มพื้นที่ผิวก่อน จากนั้นแก๊สไนโตรเจนที่เหลือ แพร่กระจายไปเคลือบบนผิวของวัสดุในลักษณะที่เป็นโมเลกุลหลายชั้น ดังแสดงในรูปที่ 2.7 ซึ่งจากผลการศึกษาสามารถเขียน แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของแก๊สที่ถูกดูดซับ (W) กับความดันสัมพัทธ์ (P/P_0) ของวัสดุที่เพิ่มขึ้นเป็นสมการที่ เรียกว่า “สมการของ BET” ได้ดังนี้

$$\frac{1}{W \left[\left(\frac{P_0}{P} \right) - 1 \right]} = \frac{1}{W_m C} - \frac{C-1}{W_m C} \left(\frac{P}{P_0} \right) \quad (2.7)$$

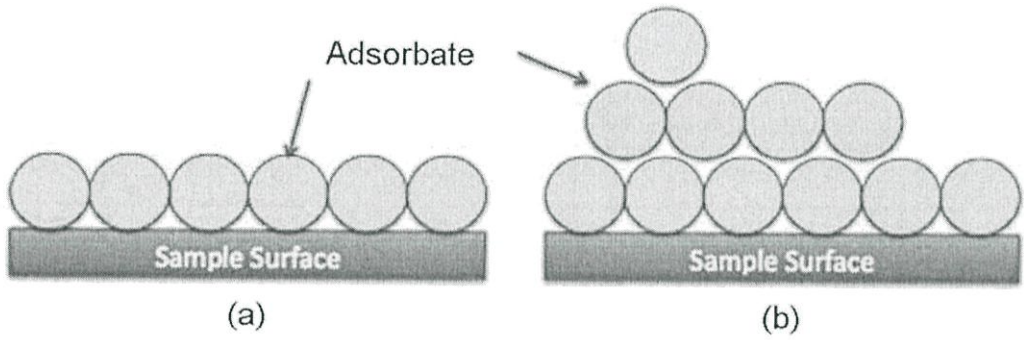
โดย W = ปริมาณของแก๊สไนโตรเจนที่ถูกดูดซับที่ ความดันสัมพัทธ์ P/P_0

W_m = ปริมาณของแก๊สไนโตรเจนที่ถูกดูดซับ และเคลือบบนผิวของสารในลักษณะที่เป็นโมเลกุลชั้นเดียว

P = ความดันของแก๊สไนโตรเจนที่ใช้ในขณะที่ทำการทดลอง (หน่วยเป็นมิลลิเมตรปรอท)

P_0 = ความดันอิ่มตัวของแก๊สไนโตรเจน (หน่วย เป็นมิลลิเมตรปรอท)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



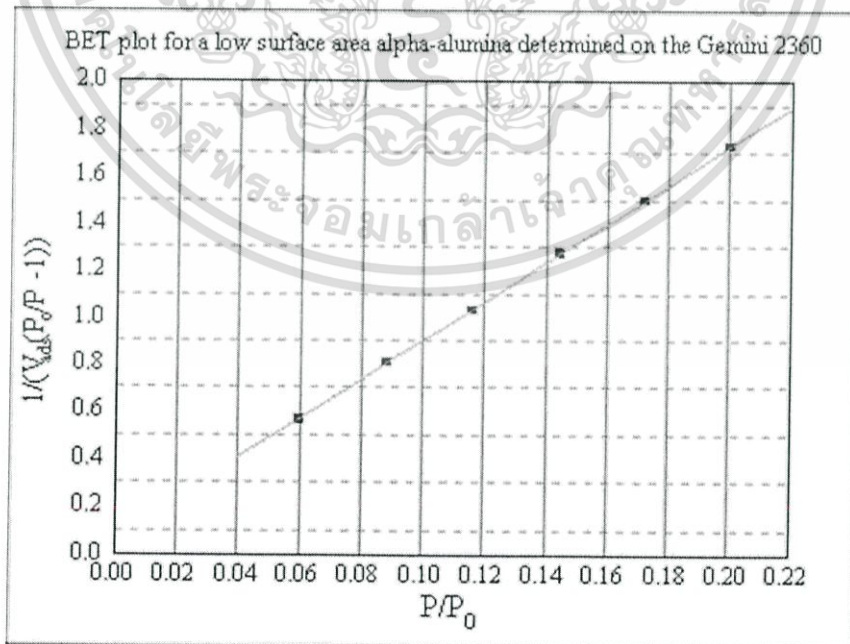
รูปที่ 2.9 แสดงการดูดซับโมเลกุลของแก๊สไนโตรเจนของวัสดุเป็นชั้นๆ [19]

จากความสัมพันธ์สมการ BET เมื่อพล็อตกราฟระหว่าง $1/W[(P_0/P) - 1]$ กับ P/P_0 จะได้กราฟเส้นตรง ดังแสดงใน รูปที่ 2.9 มีความชัน (slope, s) ดังสมการ

$$S = \frac{C - 1}{W_m C} \tag{2.8}$$

และจุดตัดแกน y (y-intercept, i) ดังสมการ

$$i = \frac{1}{W_m C} \tag{2.9}$$



รูปที่ 2.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของแก๊สที่ถูกดูดซับกับความดันสัมพัทธ์ [19]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณของแก๊สไนโตรเจนที่ถูกดูดซับบนผิวของวัสดุใน ลักษณะที่เป็นโมเลกุลชั้นเดียว (W_m)
คำนวณโดยนำ s และ i แทนค่าในสมการ

$$W_m = \frac{1}{s + i} \quad (2.10)$$

พื้นที่ผิวจำเพาะของวัสดุคำนวณโดยนำ W_m แทนค่าในสมการ

$$S_t = \frac{W_m NA_{cs}}{M} \quad (2.11)$$

โดย S_t = พื้นที่ผิวของวัสดุ (หน่วยเป็นตารางเมตร)

N = เลขอาโวกราโดร (6.023×10^{23}) (หน่วยเป็น โมเลกุลต่อโมล)

M = น้ำหนักโมเลกุลของแก๊สไนโตรเจน (28 กรัมต่อโมล)

A_{cs} = พื้นที่หน้าตัดของโมเลกุลของแก๊สไนโตรเจนที่ถูกดูดซับ (16.2×10^{-23})
(หน่วยเป็นตารางเมตร)

ค่า S_t ที่ได้เมื่อหารด้วยปริมาณของตัวอย่างวัสดุที่ใช้ทดสอบ (w) จะได้ค่าพื้นที่ผิวจำเพาะ
หน่วยเป็นตารางเมตรต่อกรัม

$$S = \frac{S_t}{W} \quad (2.12)$$

ปริมาตรรูพรุนรวม (V_p) และขนาดรูพรุนเฉลี่ย (r_p) ของวัสดุ คำนวณได้จากความสัมพันธ์
ของสมการดังนี้

$$V_p = \frac{W_s}{\rho} \quad (2.13)$$

$$r_p = \frac{2V_p}{S_t} \quad (2.14)$$

โดย W_s = ปริมาณของแก๊สไนโตรเจนที่ถูกดูดซับบนผิวของ วัสดุที่ความดันสัมพัทธ์ (P/P_0) ≈ 1

ρ = ความหนาแน่นของแก๊สไนโตรเจนที่ถูกดูดซับบนผิวของวัสดุที่ความดันสัมพัทธ์ (P/P_0) ≈ 1

S_t = พื้นที่ผิวของวัสดุที่ทดสอบได้

ในการทดสอบด้วยเครื่องวิเคราะห์ขนาดพื้นที่ผิวจำเพาะ และปริมาตรรูพรุน ดังแสดงในภาพ
ที่ 2.11 ใช้เซลล์สำหรับใส่ตัวอย่าง (sample cell) จำนวน 2 เซลล์ เซลล์หนึ่งบรรจุวัสดุ ตัวอย่างที่
ต้องการทดสอบพื้นที่ผิวจำเพาะ ส่วนอีกเซลล์ไม่ใส่ วัสดุตัวอย่างแต่ทำหน้าที่เป็นเซลล์อ้างอิง ก่อนการ
ทดสอบ ต้องให้ความร้อนแก่เซลล์ที่บรรจุวัสดุตัวอย่างเพื่อไล่ความชื้นและโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดอื่นให้ออกจากผิวหน้าของ วัสดุตัวอย่าง จากนั้นทำให้เซลล์ทั้งสองเป็นสุญญากาศ เพื่อให้ ภายในเซลล์ไม่มีโมเลกุลของแก๊สชนิดอื่น ก่อนจุ่มเซลล์ทั้ง 2 ลงในภาชนะที่บรรจุไนโตรเจนเหลวเพื่อให้เซลล์ทั้งสองอยู่ใน ภาวะอุณหภูมิต่ำ จากนั้นผ่านแก๊สไนโตรเจนเข้ามาในเซลล์ทั้ง 2 โดยแก๊สไนโตรเจนที่เข้ามาในเซลล์ที่มีวัสดุตัวอย่าง จะถูกดูดซับบนผิวของวัสดุทำให้ความดันภายในเซลล์ที่บรรจุวัสดุตัวอย่างลดลงจนกระทั่งคงที่ (P) ในขณะที่เซลล์ที่ไม่มี วัสดุตัวอย่างความดันของแก๊สไนโตรเจนจะคงที่ (P_0) ข้อมูลที่ เครื่องบันทึกผลคือค่าความดันสัมพัทธ์ (P/P_0) และปริมาณของแก๊สไนโตรเจนที่ถูกดูดซับ (W) โดยวัสดุตัวอย่างจากนั้นเครื่องจะปล่อยแก๊สไนโตรเจนเข้ามาอีกเช่นเดียวกับครั้งแรก และแก๊สไนโตรเจนถูกดูดซับจนความดันคงที่อีกเป็นเช่นนี้จนกระทั่ง ความดันภายในเซลล์ที่มีวัสดุตัวอย่างไม่ลดลง ($P/P_0 \cong 1$) แสดงว่า ไม่เกิดการดูดซับแก๊สไนโตรเจนอีกแล้ว จากข้อมูลค่าความดันสัมพัทธ์ และปริมาณของแก๊สไนโตรเจนที่ถูกดูดซับที่ได้ เครื่องทำการประมวลผลโดยใช้โปรแกรมตามสมการของ BET แสดงผลออกมาเป็นค่าพื้นที่ผิวจำเพาะและปริมาตรรูพรุน



รูปที่ 2.11 เครื่องวิเคราะห์ขนาดพื้นที่ผิวจำเพาะและปริมาตรรูพรุน [19]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Narudon Suwor et al. (2006) [20] ได้ทำการศึกษาตัวเร่งปฏิกิริยาอะลูมิเนียมฟอสเฟต สำหรับการสังเคราะห์ไดเมทิลอีเทอร์ จากกระบวนการขจัดน้ำของเมทานอล โดยทำการทดสอบในเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง โดยใช้ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ต่างกันคือ 0.07, 0.10 และ 0.30 กรัม และที่อุณหภูมิ 200, 225 และ 250 องศาเซลเซียส ภายใต้ความดันบรรยากาศ เพื่อศึกษาอุณหภูมิของการทำปฏิกิริยา และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีผลต่อค่าร้อยละการแปลงผันของเมทานอล และค่าร้อยละการเลือกเกิดของไดเมทิลอีเทอร์ พบว่าที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส ปริมาณตัวเร่ง 0.30 กรัม ได้ค่าการแปลงผันของเมทานอลเท่ากับร้อยละ 50.23 และค่าร้อยละการเลือกเกิดของไดเมทิลอีเทอร์ได้มากที่สุดเท่ากับร้อยละ 57.76

G.R.Moradi et al. (2006) [21] ได้ศึกษาผลกระทบของการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา CuO/ZnO/Al₂O₃ สำหรับการสังเคราะห์ไดเมทิลอีเทอร์จากแก๊สสังเคราะห์ ด้วยวิธีการต่างๆดังนี้

1. การตกตะกอนร่วมโดยโซเดียมคาร์บอเนต (Co-precipitation by Na₂CO₃)
2. การตกตะกอนร่วมโดยโซเดียมอะลูมิเนต (Co-precipitation by NaAlO₂)
3. การทำให้เอ็บซุ่มร่วมกับการตกตะกอนร่วม (Co-precipitation impregnation)
4. Co-precipitation sedimentation
5. เทคนิคโซเจล (Sol-gel method)
6. การทำให้เอ็บซุ่มร่วมกับเทคนิคโซเจล (Sol-gel impregnation)
7. การทำให้เอ็บซุ่ม (Impregnation)

จากการทดลองพบว่า ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ถูกเตรียมด้วยเทคนิค Sol-gel impregnation มีประสิทธิภาพมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการเตรียมด้วยเทคนิคอื่นๆโดยอัตราส่วนของ 2:1:5 แล้วนำไปพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิค TPR , XRD , XRF , BET , TGA , N₂O absorption และทดสอบประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยเครื่องปฏิกรณ์แบบ micro slurry ที่อุณหภูมิ 240 องศาเซลเซียส ความดัน 40 บาร์ โดยอัตราส่วนของแก๊สสังเคราะห์เป็น 64:32:4

Jong Wook Bae et al. (2009) [22] ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยา Cu-ZnO-Al₂O₃/Zr-ferrierite ที่ถูกเตรียมด้วยวิธีการตกตะกอนร่วม โดยเซอร์โคเนียมที่จะใช้ในการปรับปรุงจะมีอัตราส่วนโดยน้ำหนักเท่ากับ 0-5 % โดยน้ำหนัก จากนั้นจะนำไปทำการสังเคราะห์ให้เป็นไดเมทิลอีเทอร์ด้วยแก๊สสังเคราะห์ โดยมีอัตราส่วนของ ไฮโดรเจน : คาร์บอนมอนอกไซด์ เท่ากับ 0.93 และจากการทดสอบพบว่า ที่ 3% ของเซอร์โคเนียมออกไซด์นั้น มีค่า CO conversion และค่าการเลือกเกิดของไดเมทิลอีเทอร์สูงที่สุด

Faen Song et al. (2014) [21] ได้ทำการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยา Cu-ZnO-Al₂O₃-ZrO₂ ด้วยวิธีการตกตะกอนร่วม โดยเซอร์โคเนียออกไซด์ที่จะใช้ในการปรับปรุงจะมีอัตราส่วนโดยโมลเท่ากับ 0-10 % โดยโมล แล้วนำไปพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิคต่างๆ พบว่า เมื่อเพิ่มจำนวนเซอร์โคเนียออกไซด์ในปริมาณที่เหมาะสม จะทำให้ตัวเร่งปฏิกิริยามีพื้นที่ผิว ปริมาตรของรูพรุนมากขึ้นและมีการกระจายตัวของคอปเปอร์ที่ดีขึ้น เมื่อนำตัวเร่งปฏิกิริยานี้ไปผสมรวมกับแก๊สมาอะลูมินา แล้วนำไปทดสอบกับเครื่องปฏิกรณ์ที่อุณหภูมิ 270 องศาเซลเซียส ความดัน 5 เมกกะปาสคาล โดยการป้อนสารตั้งต้นเป็นแก๊สสังเคราะห์ในอัตราส่วน คือ ไฮโดรเจน : คาร์บอนมอนอกไซด์ : คาร์บอนไดออกไซด์ : มีเทน เท่ากับ 52 : 24 : 23 : 1 พบว่าหากปริมาณของเซอร์โคเนียออกไซด์ที่ใช้ในการปรับปรุงตัวเร่งปฏิกิริยา < 5 % โดยโมล จะทำให้ค่าการกระจายตัวของคอปเปอร์นั้นมากขึ้น และคอปเปอร์มีพื้นที่ผิวมากขึ้น และเมื่อเพิ่มปริมาณของเซอร์โคเนียออกไซด์ในการปรับปรุงตัวเร่งปฏิกิริยาจะทำให้ค่า CO และ CO₂ conversion เพิ่มขึ้นจนสูงสุดอยู่ที่ 3% เซอร์โคเนียออกไซด์แล้วหลังจากนั้นจะค่อยๆลดลง

Sameh M. K. Aboul-Fotouh (2014) [10] ได้ทำการศึกษาตัวเร่งปฏิกิริยาแก๊สมาอะลูมินาที่ปรับปรุงด้วยคอปเปอร์ออกไซด์ และ/หรือ ซิงค์ออกไซด์ ที่ใช้สำหรับการผลิตไดเมทิลอีเทอร์จากเมทานอล และจากการทดลองพบว่าเมื่อนำตัวเร่งปฏิกิริยามาทดสอบด้วยเครื่องปฏิกรณ์ที่อุณหภูมิ 200-400 องศาเซลเซียส พบว่าในช่วงอุณหภูมิไม่เกิน 350 องศาเซลเซียส จะเกิดสารไฮโดรคาร์บอนเป็นผลิตภัณฑ์ร่วมเพียงเล็กน้อย (< 3%) และในช่วงอุณหภูมิดังกล่าว ตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ออกไซด์-ซิงค์ออกไซด์นั้นมีค่าร้อยละของการเลือกเกิดไดเมทิลอีเทอร์ได้สูงสุด อยู่ที่ประมาณร้อยละ 98

บทที่ 3

วิธีการทดลอง

โครงการพิเศษนี้สนใจศึกษาเกี่ยวกับการปรับปรุงการสังเคราะห์สารตัวอย่างด้วยเทคนิคอย่างง่าย สะดวก และรวดเร็ว พร้อมทั้งไม่ก่อให้เกิดอันตรายในขณะเตรียมสารและทำการทดลอง โดยสารที่สนใจศึกษา ได้แก่ เซอร์โคเนียมออกไซด์ โดยโครงการพิเศษนี้ได้ทำการเตรียมสารจากคอปเปอร์ (II) ไนเตรต ซิงค์ (II) ไนเตรต และเซอร์โคนิลคลอไรด์ ด้วยเทคนิคการตกตะกอนร่วมและวิธีการเอิบซุ่มแบบเปียก สารตัวอย่างที่สังเคราะห์ได้จะนำไปตรวจสอบเอกลักษณ์ทางกายภาพและทางเคมีด้วยเทคนิคต่างๆ คือ สมบัติทางความร้อนด้วยวิธี Thermo Gravimetric Analysis (TGA), วิเคราะห์หมู่ฟังก์ชัน ด้วยวิธี Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR), องค์ประกอบและผลึกของสาร ด้วยวิธี X-ray Diffraction (XRD), โครงสร้างของพื้นผิวและองค์ประกอบของธาตุต่างๆ ด้วยวิธี Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive Spectrometry (SEM-EDS), พื้นที่ผิวและปริมาตรรูพรุน ด้วยวิธี Brunauer-Emmett-Teller (BET)

3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. ชุดเครื่องแก้ว
2. เครื่องชั่งความละเอียด 4 ตำแหน่ง ML204/01 บริษัท Mettler Toledo ประเทศสวิตเซอร์แลนด์
3. เตาเผา (Furnace) Chavachote
4. ตู้อบ (oven)
5. เครื่องปั่นกวน
6. เครื่องกรองแบบลดความดัน Model No. WP6122050 บริษัท Millipore
7. กระจกชกรอง 5C (70mm) บริษัท Macherey-Nagel GmbH&Co.KG ประเทศเยอรมัน
8. Hot plate stirrer
9. pH meter
10. เครื่องมือวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของสารโดยอาศัยคุณสมบัติทางความร้อน (Thermo Gravimetric Analysis, TGA)
11. เครื่องมือวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของสารด้วยอินฟราเรด (Fourier Transform Infrared Spectroscopy, FT-IR)
12. เครื่องมือวิเคราะห์คุณสมบัติของวัสดุต่างๆโดยอาศัยหลักการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray Diffractometer, XRD)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

13. เครื่องมือวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดกราด (Scanning Electron Microscope-Energy dispersive Spectrometry, SEM-EDS)
14. เครื่องมือวิเคราะห์หาพื้นที่ผิวและปริมาตรรูพรุนจากการดูดซับด้วยแก๊สไนโตรเจน (Brunauer-Emmett-Teller, BET)

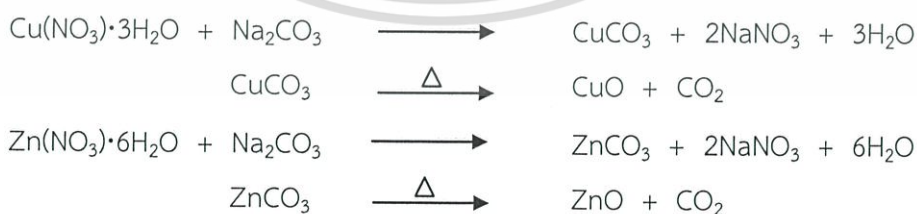
3.2 สารเคมี

1. คิวปริกไนเตรตไตรไฮเดรต ($\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) ความบริสุทธิ์ 99.5 เปอร์เซ็นต์ เกรดวิเคราะห์ บริษัท Loba Chromie Pvt,Ltd. ประเทศอินเดีย
2. ซิงค์ไนเตรตเฮกซะไฮเดรต ($\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) ความบริสุทธิ์ 99.5 เปอร์เซ็นต์ เกรดวิเคราะห์ บริษัท Ajax Finechem Pty,Ltd. ประเทศออสเตรเลีย
3. โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) ความบริสุทธิ์ 99.5 เปอร์เซ็นต์ เกรดวิเคราะห์ บริษัท Sigma- Aldrich Pte,Ltd. ประเทศสิงคโปร์
4. เซอร์โคนิลคลอไรด์ออกตะไฮเดรต ($\text{ZrOCl}_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$) ความบริสุทธิ์ 98 เปอร์เซ็นต์ เกรดวิเคราะห์ ประเทศสหรัฐอเมริกา
5. อะลูมิเนียมไนเตรตโนนะไฮเดรต ($\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$) เกรดวิเคราะห์ ความบริสุทธิ์ 99 เปอร์เซ็นต์บริษัท Loba Chemic Pvt, Ltd.
6. ไดแอมโมเนียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (Diammoniumhydrogen phosphate, $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$)

3.3 วิธีการสังเคราะห์

3.3.1 การสังเคราะห์คอปเปอร์คาร์บอเนต-ซิงค์คาร์บอเนตด้วยวิธีการตกตะกอนร่วม

จากปฏิกิริยา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10. นำไปกรองด้วยเครื่องกรองแบบลดความดัน ล้างตะกอนด้วยน้ำปราศจากไอออนที่มีอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส จนกระทั่งน้ำที่ล้างตะกอนนั้นมีค่าการนำไฟฟ้าใกล้เคียงกับค่าการนำไฟฟ้าของน้ำปราศจากไอออน

11. นำตะกอนที่ได้ไปอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง

3.3.2 การสังเคราะห์ 0, 1, 3 และ 5 %wt. เซอร์โคเนียมออกไซด์-คอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ ด้วยวิธีการเอ็บซุ่มแบบเปียก

มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. เตรียม $\text{CuCO}_3\text{-ZnCO}_3$ เช่นเดียวกับการสังเคราะห์ที่ 3.3.1
2. ชั่ง $\text{ZrOCl}_2\cdot 8\text{H}_2\text{O}$ ละลายด้วย Isopropanol 40 มิลลิลิตร
3. ชั่ง $\text{CuCO}_3\text{-ZnCO}_3$ ที่เตรียมจากข้อ 1. มา 10 กรัม
4. จากนั้นทำการเอ็บซุ่มแบบเปียก (Wet Impregnation) สารละลาย ZrOCl_2 บน $\text{CuCO}_3\text{-ZnCO}_3$ แล้วคนสารให้เข้ากัน
5. นำไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
6. นำมาบดให้ละเอียด
7. ทำการเผาที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง
8. ทำซ้ำข้อ 1-7 ตามอัตราส่วนโดยน้ำหนักของ ZrO_2 ดังตารางที่ 3.1
9. จากนั้นนำสารตัวอย่างที่ได้ไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD, SEM-EDS และ BET

ตารางที่ 3.1 น้ำหนักของสารที่ต้องชั่งตามอัตราส่วนโดยน้ำหนักของเซอร์โคเนียมออกไซด์

สาร	ZrO_2 1 %wt.	ZrO_2 3 %wt.	ZrO_2 5 %wt.
$\text{ZrOCl}_2\cdot 8\text{H}_2\text{O}$	0.3356 g	1.0920 g	1.8580 g
$\text{CuCO}_3\text{-ZnCO}_3$	10 g	10 g	10 g

3.3.3 การสังเคราะห์อะลูมิเนียมฟอสเฟต ด้วยสารตั้งต้นอะลูมิเนียมไนเตรตโนนอะไฮเดรต และไดแอมโมเนียมไฮโดรเจนฟอสเฟต ด้วยวิธีการตกตะกอนอย่างง่าย



1. ชั่ง $\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ 37.5130 กรัม ละลายด้วยน้ำปราศจากไอออน แล้วปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร
2. ชั่ง $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ 13.2060 กรัม ละลายด้วยน้ำปราศจากไอออน แล้วปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร
3. ผสมสารละลาย $\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ และสารละลาย $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ ที่เตรียมได้อย่างละ 100 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ 600 มิลลิลิตร พร้อมปั่นกวนด้วยเครื่องปั่นกวน เป็นเวลา 5 นาที โดยทำการสังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส
4. ปรับค่า pH ด้วยเครื่อง pH meter ให้ได้ pH 7 โดยใช้ 30% NH_4OH
5. ทำการปั่นกวนเป็นเวลา 1 ชั่วโมง
6. ปิดฝาบีกเกอร์ด้วย Wrapping Film และตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 1 คืน
7. ทำการกรองตะกอนด้วยเครื่องกรองแบบลดความดัน และล้างด้วยน้ำปราศจากไอออน
8. อบตะกอนที่ได้ให้แห้งที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
9. ทำการเผาที่อุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง
10. จากนั้นนำสารตัวอย่างที่ได้ไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FT-IR, XRD, SEM และ BET

3.4 การตรวจสอบเอกลักษณ์ (Characterization)

3.4.1 Thermo Gravimetric Analysis (TGA)

เครื่องวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของสาร โดยอาศัยคุณสมบัติทางความร้อน สามารถวิเคราะห์หาจุดหลอมเหลว การสูญเสียน้ำหนัก หาสารเจือปนในตัวอย่าง รวมไปถึงการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงเฟสของสารตัวอย่างเมื่อได้รับความร้อน การวิเคราะห์ข้อมูลจากกราฟที่ได้ทำให้ทราบเกี่ยวกับความเสถียรต่ออุณหภูมิของสารตัวอย่าง และหาอุณหภูมิที่เหมาะสมที่จะสามารถใช้ในการเผา (Calcination) ได้

3.4.2 Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR)

การวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FT-IR เป็นหนึ่งในเทคนิคทางด้าน Infrared Spectroscopy ที่มีประสิทธิภาพในการจำแนกประเภทของสารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ และพันธะเคมีในโมเลกุล รวมถึงสามารถบอกถึงปริมาณองค์ประกอบที่มีอยู่ในโมเลกุลของสารผสมตัวอย่างที่ไม่ทราบชนิด สามารถวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชัน และหาสารที่ปนเปื้อนอยู่ในสารตัวอย่างว่ามีอะไรบ้าง โดยอาศัยการดูดกลืนคลื่นอินฟราเรดที่แตกต่างกัน ซึ่งแต่ละชนิดจะมีการดูดกลืนคลื่นอินฟราเรดในช่วงความยาวคลื่น $4000-1500\text{ cm}^{-1}$ เทคนิค FT-IR มีความไวสูง ใช้ระยะเวลาในการตรวจสอบน้อยกว่าเทคนิคอื่น ๆ

3.4.3 X-ray Diffraction (XRD)

เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์สมบัติของวัสดุ โดยอาศัยหลักการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ โดยสามารถทำการวิเคราะห์ได้ทั้งสารประกอบที่มีอยู่ในสารตัวอย่าง และนำมาใช้ศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับโครงสร้างผลึกของสารตัวอย่าง นอกจากนี้ยังสามารถคำนวณการหาปริมาณขององค์ประกอบต่างๆ ที่อยู่ในตัวอย่าง คำนวณหาขนาดอนุภาคของแต่ละหน่วยเซลล์ ความเครียดของสารตัวอย่างและหาค่าความเป็นผลึกของสารตัวอย่างได้อีกด้วย

3.4.4 Scanning Electron Microscopy-Energy dispersive Spectrometry (SEM-EDS)

วิเคราะห์ด้วยเครื่อง SEM ใช้ในการศึกษาสัณฐานทางวิทยาและรายละเอียดของลักษณะพื้นผิวตัวอย่าง เช่น ลักษณะพื้นผิวด้านนอกของเนื้อเยื่อและเซลล์ หน้าตัดของโลหะและวัสดุ เป็นต้น ซึ่ง SEM เป็นกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่มีกำลังขยายสูงสุดประมาณ 10 นาโนเมตร การสร้างภาพของเครื่อง SEM ทำได้โดยการตรวจวัดอิเล็กตรอนที่สะท้อนจากพื้นผิวหน้าของตัวอย่างที่ทำการสำรวจ ซึ่งภาพที่ได้จะเป็นภาพลักษณะ 3 มิติ

เครื่องวิเคราะห์ธาตุเชิงพลังงานที่เชื่อมต่อกับเครื่อง SEM ซึ่งช่วยในการศึกษาชนิด ปริมาณ และการกระจายขององค์ประกอบธาตุของวัสดุหรือสารมลทินได้ ซึ่งข้อมูลที่ได้สามารถนำไปใช้ในการปรับปรุง และพัฒนางานวิจัย งานในกระบวนการผลิต งานวิเคราะห์ความเสียหายของวัสดุ งานแก้ไขปัญหาอุตสาหกรรม และงานควบคุมคุณภาพของวัสดุได้เป็นอย่างดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.5 Brunauer Emmett Teller (BET)

เครื่องวิเคราะห์พื้นที่ผิวจำเพาะและปริมาตรรูพรุนของวัสดุดูดซับ โดยคำนวณจากปริมาณของแก๊สไนโตรเจนที่ถูกดูดซับบนผิวของวัสดุซึ่งพื้นที่ผิวจำเพาะของวัสดุ เป็นสมบัติทางกายภาพที่มีความสำคัญต่อการนำไปใช้ประกอบการพิจารณาเพื่อนำวัสดุนั้นไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ที่มีคุณภาพตามที่ต้องการ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

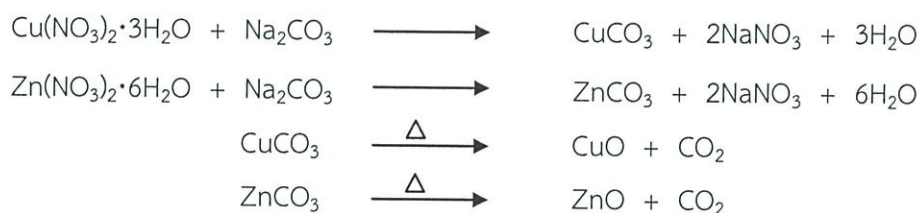
ผลการทดลองและอภิปรายผล

การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาผสมคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์-เซอร์โคเนียมออกไซด์/อะลูมิเนียมฟอสเฟต ($\text{CuZnO-ZrO}_2/\text{AlPO}_4$) โดยวิธีการเอ็บซุ่มแบบเปียก (Wetness Impregnation Method) ซึ่งเป็นวิธีที่ง่ายและรวดเร็ว ในบทนี้ได้นำเสนอผลการทดลองที่ได้จากการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาผสมคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์-เซอร์โคเนียมออกไซด์/อะลูมิเนียมฟอสเฟต รวมถึงผลการพิสูจน์เอกลักษณ์ของตัวเร่งปฏิกิริยาผสมคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์-เซอร์โคเนียมออกไซด์/อะลูมิเนียมฟอสเฟต ที่สังเคราะห์ได้ ได้แก่ วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของสารโดยอาศัยคุณสมบัติทางความร้อน (Thermogravimetric Analysis; TGA) วิเคราะห์และตรวจสอบโครงสร้างของสารโดยการวัดการดูดกลืนรังสีที่อยู่ช่วงอินฟราเรด (Fourier Transform Infrared Spectroscopy; FT-IR) วิเคราะห์สมบัติของวัสดุโดยอาศัยหลักการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-ray Diffraction; XRD) ตรวจสอบลักษณะสัญญาณของวัสดุในระดับจุลภาคและวิเคราะห์องค์ประกอบปริมาณของธาตุด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive Spectrometry; SEM-EDS) และวิเคราะห์หาพื้นที่ผิวจำเพาะและปริมาตรรูพรุนของสาร (Brunauer Emmitt Teller; BET)

4.1 ผลการสังเคราะห์

สำหรับโครงการวิจัยนี้ได้ทำการสังเคราะห์คอปเปอร์เปอร์ซิงค์ออกไซด์-เซอร์โคเนียมออกไซด์ โดยใช้ $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ และ $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ เป็นสารตั้งต้น ด้วยวิธีการตกตะกอนร่วม (Co-Precipitation Method) และใช้ NaCO_3 เป็นตัวกลางในการเกิดปฏิกิริยาและควบคุมค่า pH ให้มีค่าเท่ากับ 7 ซึ่งเป็นค่าที่สามารถเกิดเป็นคอปเปอร์คาร์บอเนตและซิงค์คาร์บอเนตได้เหมาะสมที่สุด

สมการการเกิดปฏิกิริยา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นนำคอปเปอร์คาร์บอเนตและซิงค์คาร์บอเนตที่สังเคราะห์ได้มาทำการเอ็บซุ่มแบบเปียก (Wet Impregnation) กับ $ZrOCl_2 \cdot 8H_2O$ แล้วนำไปผ่านกระบวนการเผาที่อุณหภูมิ $350\text{ }^{\circ}C$ จะได้เป็นคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์-เซอร์โคเนียออกไซด์

ตารางที่ 4.1 แสดงร้อยละค่าเฉลี่ยของผลผลิตของตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์คาร์บอเนต-ซิงค์คาร์บอเนต ด้วยวิธีการตกตะกอนร่วม

ผลิตภัณฑ์	น้ำหนักสาร (กรัม)			ร้อยละผลผลิต (%)
	ก่อนอบ	หลังอบ	ทางทฤษฎี	
$CuCO_3 \cdot ZnCO_3$	35.4638	12.6001	15.48	81.52

จากตารางที่ 4.1 พบว่าในการเตรียมคอปเปอร์คาร์บอเนต-ซิงค์คาร์บอเนตได้ร้อยละค่าเฉลี่ยของผลผลิตคือ ร้อยละ 81.52

ตารางที่ 4.2 แสดงร้อยละผลผลิตของตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์-เซอร์โคเนียออกไซด์ ด้วยวิธีการเอ็บซุ่มแบบเปียก

ผลิตภัณฑ์	น้ำหนักสาร (กรัม)			ร้อยละผลผลิต (%)
	ก่อนเผา	หลังเผา	ทางทฤษฎี	
$CuOZnO$	12.4857	9.9336	10.00	89.34
1% ZrO_2 - $CuOZnO$	12.3814	9.1327	10.21	89.45
3% ZrO_2 - $CuOZnO$	12.7240	9.4725	10.70	88.49
5% ZrO_2 - $CuOZnO$	18.6536	10.6536	11.19	95.19

จากตารางที่ 4.2 พบว่า 5% ZrO_2 - $CuOZnO$ ได้ร้อยละผลผลิตมากที่สุด คือ ร้อยละ 95.19 และ 3% ZrO_2 - $CuOZnO$ ได้ร้อยละผลผลิตน้อยที่สุด คือ ร้อยละ 88.49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการสังเคราะห์อะลูมิเนียมฟอสเฟตโดยใช้ $\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ และ $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ เป็นสารตั้งต้น ด้วยวิธีการตกตะกอนอย่างง่าย ที่อุณหภูมิ $0\text{ }^\circ\text{C}$ ควบคุมค่า pH ให้มีค่าเท่ากับ 7 ซึ่งเป็นค่าที่สามารถเกิดเป็นอะลูมิเนียมฟอสเฟตได้เหมาะสมที่สุด

สมการการเกิดปฏิกิริยา



ตารางที่ 4.3 แสดงร้อยละผลผลิตของตัวเร่งปฏิกิริยาอะลูมิเนียมฟอสเฟต ด้วยวิธีการตกตะกอนอย่างง่าย

ผลิตภัณฑ์	น้ำหนักสาร (กรัม)			ร้อยละผลผลิต (%)
	ก่อนอบ	หลังอบ	ทางทฤษฎี	
AlPO_4	12.4787	10.2263	12.20	83.00

จากตารางพบว่าในการเตรียมอะลูมิเนียมฟอสเฟตได้ร้อยละผลผลิต คือ ร้อยละ 83

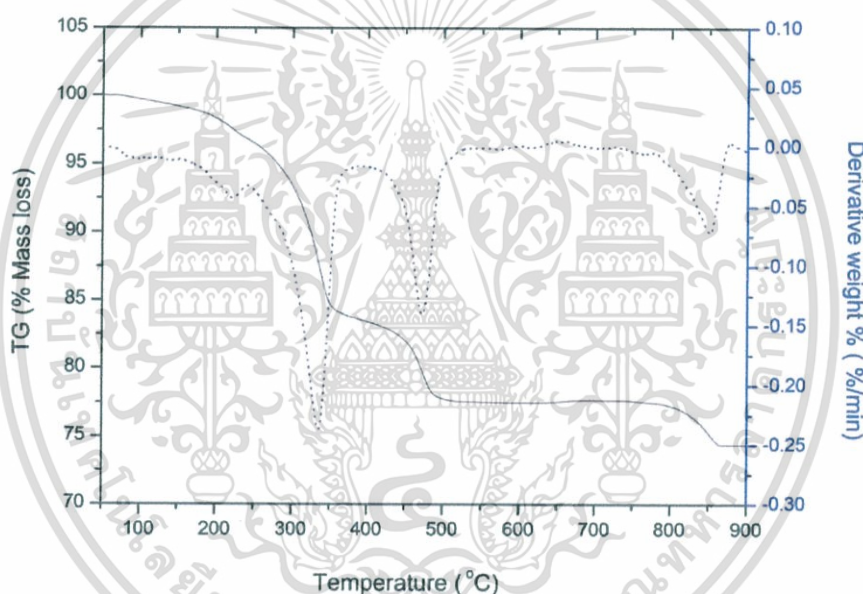
4.2 ผลการตรวจสอบเอกลักษณ์ของสารด้วยเทคนิคต่างๆ

การทดสอบพฤติกรรมทางความร้อนด้วยเทคนิค Thermo Gravimetric Analysis (TGA) ตรวจสอบรูปแบบการสั่นของโมเลกุลหรือไอออนที่เป็นองค์ประกอบภายในโครงสร้างด้วยเทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR) ตรวจสอบและวิเคราะห์โครงสร้างของสารด้วยเทคนิค X-ray Diffraction (XRD) ตรวจสอบสัณฐานวิทยาและตรวจสอบปริมาณและองค์ประกอบของธาตุต่างๆ โดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราดด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive Spectrometry (SEM-EDS) และตรวจสอบพื้นที่ผิวและปริมาตรรูพรุนของสารด้วยเทคนิค Brunauer-Emmett-Teller (BET)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

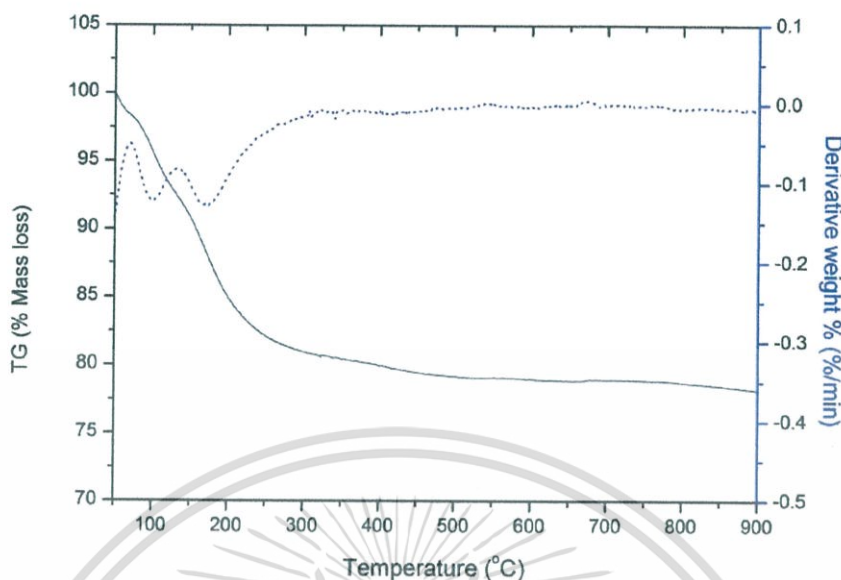
4.2.1 การศึกษาการสลายตัวทางความร้อนด้วยเทคนิค TGA

การศึกษาพฤติกรรมทางความร้อนด้วยเทคนิค Thermo Gravimetric Analysis จะทำให้ทราบถึงความเสถียรภาพทางความร้อนและการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของสาร โดยข้อมูลจากการศึกษาเทอร์โมแกรมจะนำมาใช้ในการกำหนดช่วงอุณหภูมิในการเผาของ $\text{CuCO}_3\text{-ZnCO}_3$ และ $\text{Al}(\text{NO}_3)_3\cdot 9\text{H}_2\text{O}$ ซึ่ง $\text{CuCO}_3\text{-ZnCO}_3$ มีการสูญเสียน้ำหนักอยู่ 4 ช่วงคือ ช่วงที่ 1 เกิดที่อุณหภูมิ 70–230 °C, ช่วงที่ 2 เกิดที่อุณหภูมิ 250–350 °C, ช่วงที่ 3 เกิดที่อุณหภูมิ 420–500 °C และช่วงที่ 4 เกิดที่อุณหภูมิ 800–870 °C และ $\text{Al}(\text{NO}_3)_3\cdot 9\text{H}_2\text{O}$ มีการสูญเสียน้ำหนักอยู่ 2 ช่วง คือ ช่วงที่ 1 เกิดที่อุณหภูมิ 50–110 °C และช่วงที่ 2 เกิดที่อุณหภูมิ 110–310 °C แสดงผลดังรูปที่ 4.1 และ 4.2 ตามลำดับ



รูปที่ 4.1 เทอร์โมแกรมแสดงการสลายตัวทางความร้อนของ $\text{CuCO}_3\text{-ZnCO}_3$

จากรูป 4.1 แสดงผลการวิเคราะห์เทอร์โมแกรม พบว่ามีการสูญเสียน้ำหนักที่ช่วงอุณหภูมิ 70–230 °C คิดเป็นร้อยละ 2.5 ซึ่งเป็นการคายความชื้นของน้ำในผลึก, ที่ช่วงอุณหภูมิ 250–350 °C มีการสูญเสียน้ำหนักคิดเป็นร้อยละ 14 เป็นการสลายตัวของคาร์บอนไดออกไซด์เป็นโลหะออกไซด์ (CuO/ZnO), ที่ช่วงอุณหภูมิ 420–500 °C มีการสูญเสียน้ำหนักคิดเป็นร้อยละ 4.5 เป็นการสลายตัวของแก๊สออกซิเจนเป็นโลหะออกไซด์ ($\text{Cu}_2\text{O/Zn}_2\text{O}$) และที่ช่วงอุณหภูมิ 800–870 °C มีการสูญเสียน้ำหนักคิดเป็นร้อยละ 2 เป็นการสลายตัวของออกไซด์เป็นโลหะ (Cu/Zn) [24]

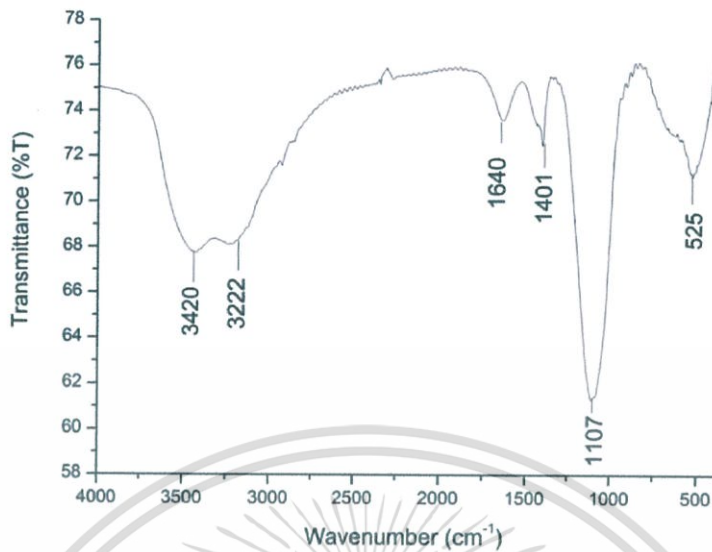


รูปที่ 4.2 เทอร์โมแกรมแสดงการสลายตัวทางความร้อนของอะลูมิเนียมฟอสเฟต (AlPO_4)

จากรูป 4.2 แสดงผลการวิเคราะห์เทอร์โมแกรม พบว่ามีการสูญเสียน้ำหนักในช่วงอุณหภูมิ 50–110 °C คิดเป็นร้อยละ 7 ซึ่งเป็นการคายความชื้นของน้ำที่บริเวณพื้นผิวของสาร และในช่วงอุณหภูมิ 110–310 °C มีการสูญเสียน้ำหนักคิดเป็นร้อยละ 14.5 ซึ่งเป็นการคายความชื้นของน้ำในผลึกของ $\text{AlPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ [25]

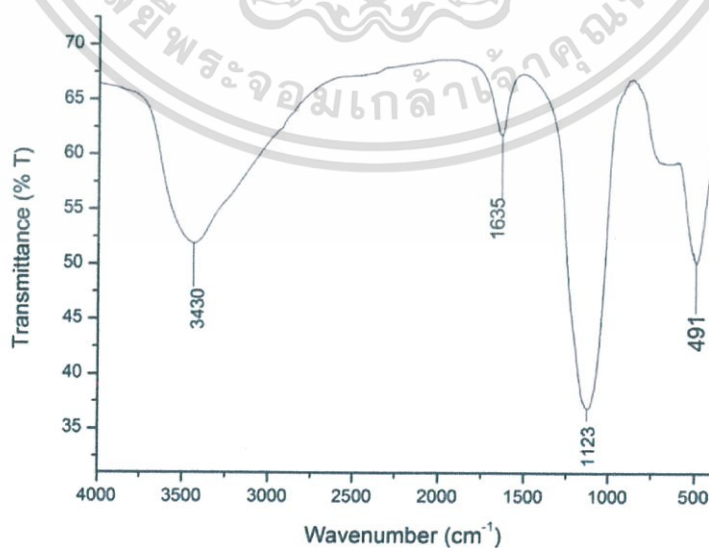
4.2.2 การตรวจสอบการสั่นของโมเลกุลของสารด้วยเทคนิค FT-IR

ผลการบันทึกค่าสเปกตรัมของ FT-IR แสดงดังรูปที่ 4.3 และ 4.4 โดยจำแนกรูปแบบการสั่นของสารกลุ่มฟอสเฟตออกเป็นหน่วยย่อยการสั่น 2 หน่วย คือ รูปแบบการสั่นพื้นฐานของฟอสเฟตแอนไอออน (PO_4^{3-}) และรูปแบบการสั่นของโมเลกุลน้ำ (H_2O) ซึ่งรูปแบบการสั่นของ PO_4^{3-} จะแสดงลักษณะการสั่นที่ตำแหน่ง $400\text{--}800\text{ cm}^{-1}$, $104\text{--}1170\text{ cm}^{-1}$, $1210\text{--}1400\text{ cm}^{-1}$ ซึ่งเป็นรูปแบบการสั่นแบบยืดหดของ ALOP, การสั่นแบบยืดหดของ PO_2 , รูปแบบการยืดหดของ PO และรูปแบบการสั่นของน้ำจะแสดงการสั่นที่ตำแหน่ง $1600\text{--}1700\text{ cm}^{-1}$, $2600\text{--}3250\text{ cm}^{-1}$, $3200\text{--}3400\text{ cm}^{-1}$ เป็นรูปแบบการสั่นของการสั่นแบบโค้งงอ, การสั่นแบบยืดหดแบบสมมาตร และการสั่นแบบยืดหดแบบอสมมาตร



รูปที่ 4.3 สเปกตรัม FT-IR ของอะลูมิเนียมฟอสเฟตก่อนเผา

จากรูป 4.3 พบว่าสารที่ทำการสังเคราะห์ขึ้นมีแถบการสั่นของสารกลุ่มฟอสเฟตและโมเลกุลของน้ำอยู่ในช่วงรูปแบบการสั่นพื้นฐานดังที่ได้กล่าวมาในข้างต้น คือ ที่เลขคลื่น 3420 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบยืดหดของ P-OH, เลขคลื่น 3222 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบยืดหดแบบสมมาตรของโมเลกุลน้ำ, เลขคลื่น 1640 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบโค้งงอของโมเลกุลน้ำ, เลขคลื่น 1401 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบโค้งงอของ NH_2 , เลขคลื่น 1107 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบยืดหดของ PO_2 และเลขคลื่นสุดท้าย 524 cm^{-1} เป็นการการยืดหดแบบสมมาตรของ ALOP [25]



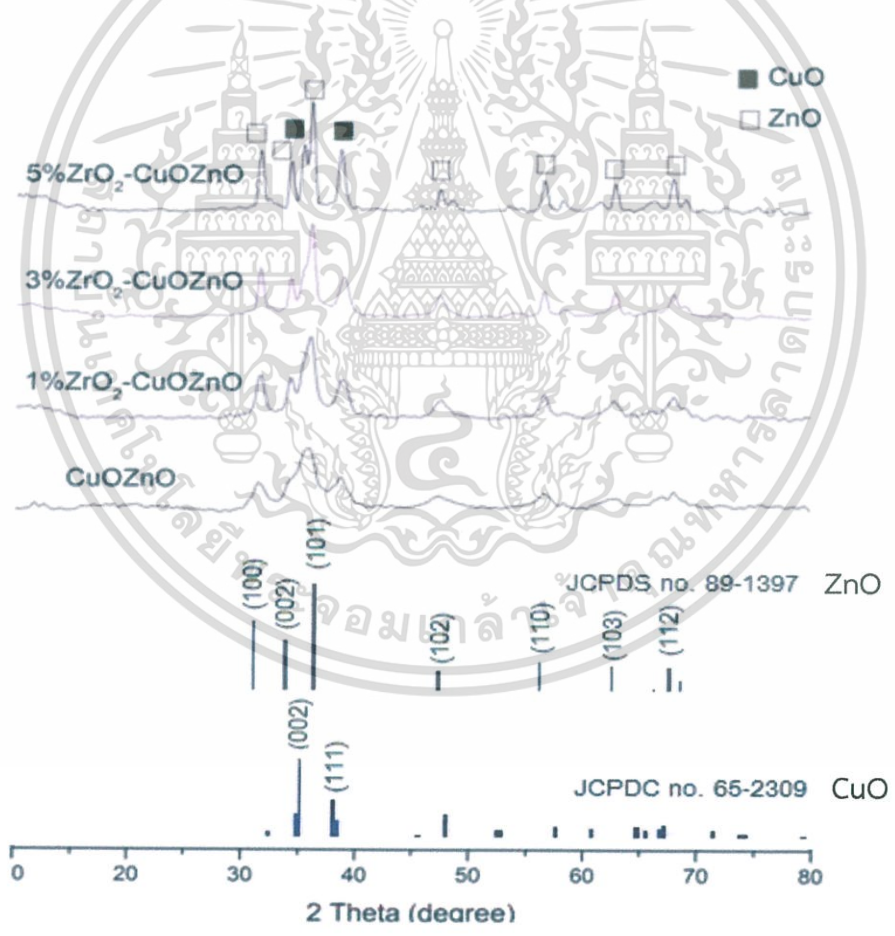
รูปที่ 4.4 สเปกตรัม FT-IR ของอะลูมิเนียมฟอสเฟตหลังเผา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูป 4.4 พบว่าสารที่ทำการสังเคราะห์หลังจากนำไปเผาแล้วมีแถบการสั่นของกลุ่มฟอสเฟต ซึ่งมีช่วงการสั่นอยู่ในรูปแบบการสั่นพื้นฐานดังที่ได้กล่าวมาข้างต้น คือ ที่เลขคลื่น 3430 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบยืดหดของ P-OH, เลขคลื่น 1635 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบโค้งงอของโมเลกุลน้ำ, เลขคลื่น 1123 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบยืดหดของ PO_2 และเลขคลื่นสุดท้าย 491 cm^{-1} เป็นการยืดหดแบบสมมาตรของ ALOP ซึ่งเป็นแถบการสั่นที่สำคัญที่สามารถยืนยันได้ว่าสารที่สังเคราะห์ได้นั้นเป็น AlPO_4 แสดงว่าสารที่สังเคราะห์ได้นั้นเป็นสารอะลูมิเนียมฟอสเฟต [25]

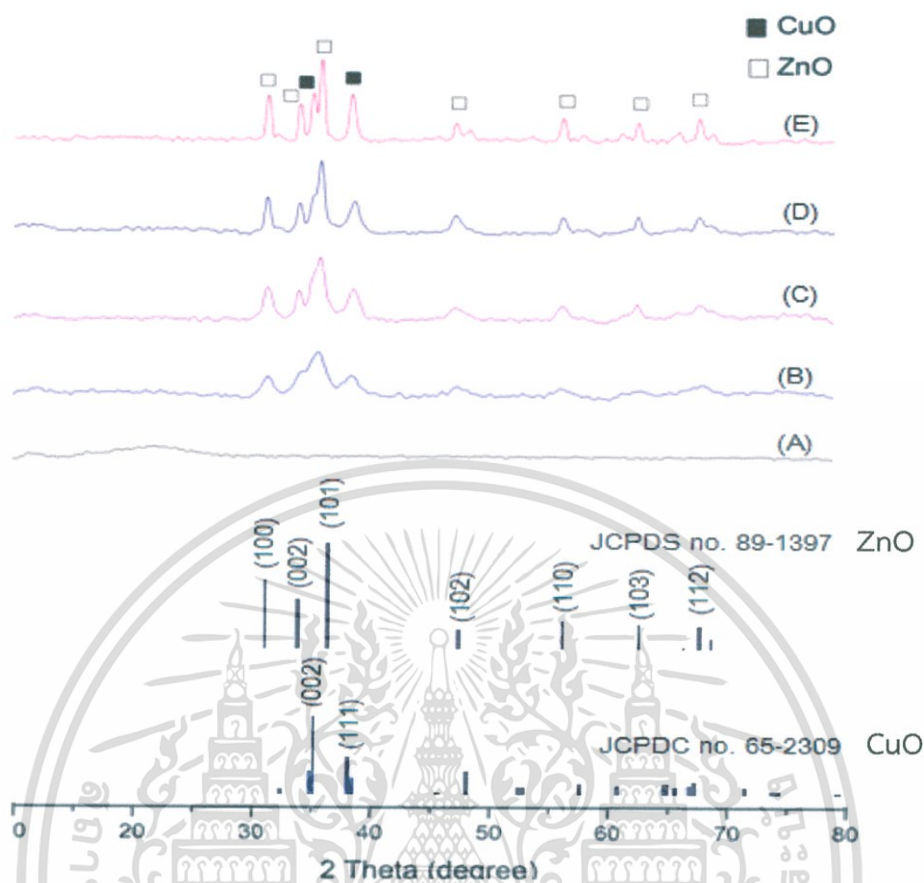
4.2.3 การวิเคราะห์ลักษณะผลึกและออสัณฐานของสารด้วยเทคนิค XRD

ตรวจสอบลักษณะผลึกและออสัณฐานของสารโดยอาศัยหลักการการเลี้ยวเบนและการกระเจิงของรังสีเอ็กซ์ (X-ray Diffractometer) แล้วนำสารที่สังเคราะห์ได้มาวิเคราะห์และเปรียบเทียบกับข้อมูลมาตรฐาน เพื่อยืนยันว่าสารที่สังเคราะห์ได้มีสมบัติความเป็นผลึกเหมือนกันได้ผลดังนี้



รูปที่ 4.5 การวิเคราะห์ลักษณะผลึกและออสัณฐานด้วยวิธีการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ โดยเปรียบเทียบตัวเร่งปฏิกิริยาต่างๆระหว่างตัวเร่งปฏิกิริยา CuOZnO , $1\% \text{ZrO}_2 \text{CuOZnO}$, $3\% \text{ZrO}_2 \text{-CuOZnO}$ และ $5\% \text{ZrO}_2 \text{-CuOZnO}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

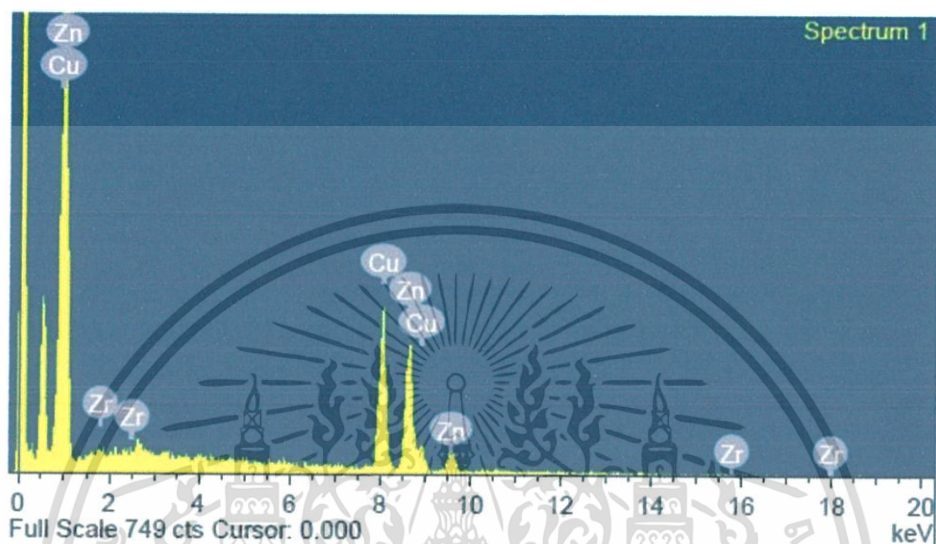


รูปที่ 4.6 การวิเคราะห์ลักษณะผลึกและออสัณฐานด้วยวิธีการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ โดยเปรียบเทียบตัวเร่งปฏิกิริยาผสมต่างๆระหว่าง (A) AlPO_4 , (B) CuOZnO/AlPO_4 , (C) $1\% \text{ZrO}_2\text{-CuOZnO/AlPO}_4$, (D) $3\% \text{ZrO}_2\text{-CuOZnO/AlPO}_4$, (E) $5\% \text{ZrO}_2\text{-CuOZnO/AlPO}_4$

จากรูปที่ 4.5 และ 4.6 แสดงให้เห็นว่าตัวเร่งปฏิกิริยาประกอบเปอร์ซิงค์ออกไซด์ที่มีอัตราส่วนของเซอร์โคเนียมออกไซด์มากขึ้น จะมีความเป็นผลึกชัดเจนขึ้น อะลูมิเนียมฟอสเฟตจะมีโครงสร้างเป็นแบบอสัณฐาน และเมื่อผสมประกอบเปอร์ซิงค์ออกไซด์/อะลูมิเนียมฟอสเฟตในอัตราส่วน 2:1 พบว่าโครงสร้างจะมีความเป็นผลึกของประกอบเปอร์ซิงค์ออกไซด์และเมื่ออัตราส่วนของเซอร์โคเนียมออกไซด์มากขึ้น จะมีความเป็นผลึกชัดเจนขึ้นด้วย

4.2.4 การวิเคราะห์ลักษณะพื้นฐานของสารในระดับจุลภาคด้วยเทคนิค SEM-EDS

การวิเคราะห์หาปริมาณของธาตุและสารประกอบจากการนำสารที่สังเคราะห์ได้มาทำการตรวจสอบหาปริมาณของธาตุ โดยใช้เทคนิค SEM-EDS พบว่าได้ผลดังรูป



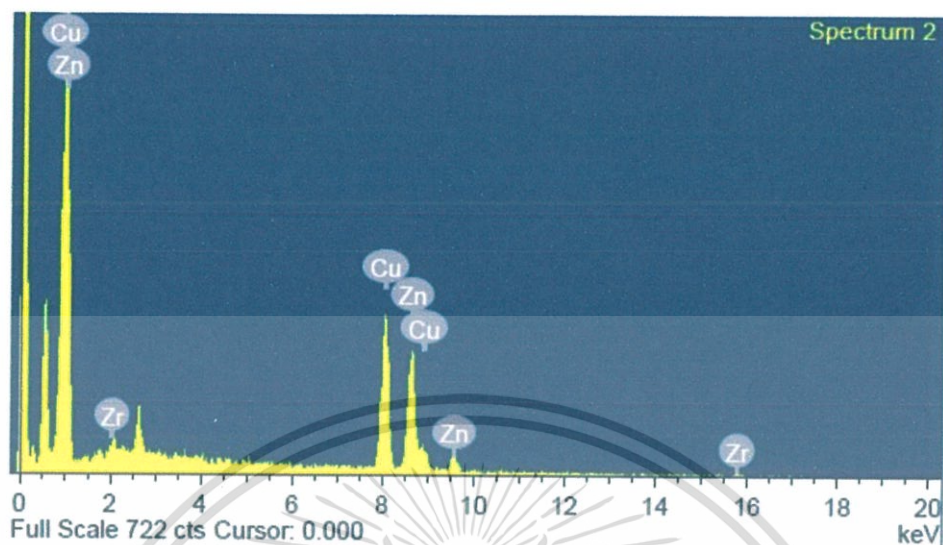
รูปที่ 4.7 สเปกตรัมของตัวเร่งปฏิกิริยา 1%ZrO₂-CuOZnO

ตารางที่ 4.4 แสดงปริมาณและองค์ประกอบของตัวเร่งปฏิกิริยา 1%ZrO₂-CuOZnO

Elements	% Weight	% Atomic
Cu	41.19	50.03
Zn	49.89	49.32
Zr	0.92	0.63

จากตารางที่ 4.4 พบว่าสเปกตรัมของตัวเร่งปฏิกิริยา 1%ZrO₂-CuOZnO มีร้อยละโดยน้ำหนักของเซอร์โคเนียมเท่ากับ 0.92

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



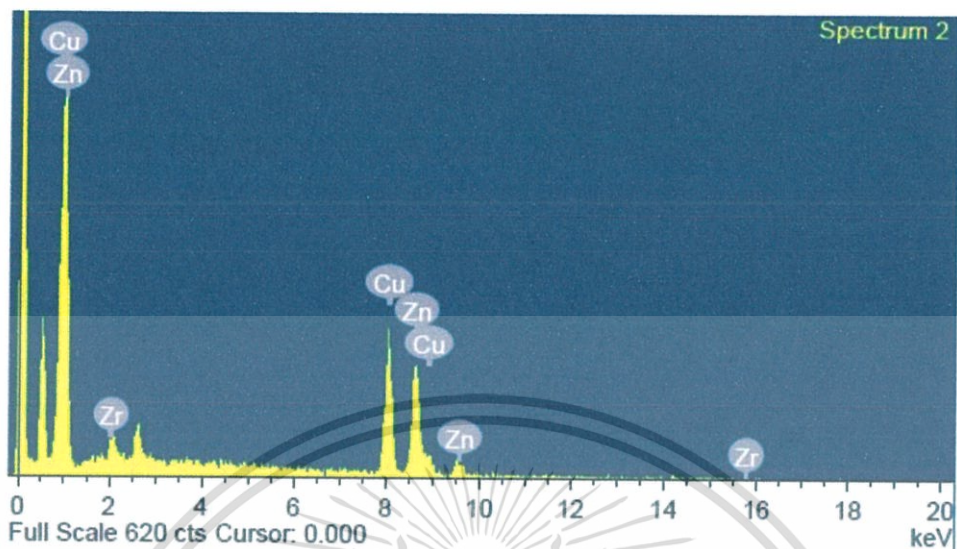
รูปที่ 4.8 สเปกตรัมของตัวเร่งปฏิกิริยา 3%ZrO₂-CuOZnO

ตารางที่ 4.5 แสดงปริมาณและองค์ประกอบของตัวเร่งปฏิกิริยา 3%ZrO₂-CuOZnO

Elements	% Weight	% Atomic
Cu	49.54	50.65
Zn	47.65	47.35
Zr	2.82	2.01

จากตารางที่ 4.5 พบว่าสเปกตรัมของตัวเร่งปฏิกิริยา 3%ZrO₂-CuOZnO มีร้อยละโดยน้ำหนักของเซอร์โคเนียมเท่ากับ 2.82

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 สเปกตรัมของตัวเร่งปฏิกิริยา 5%ZrO₂-CuOZnO

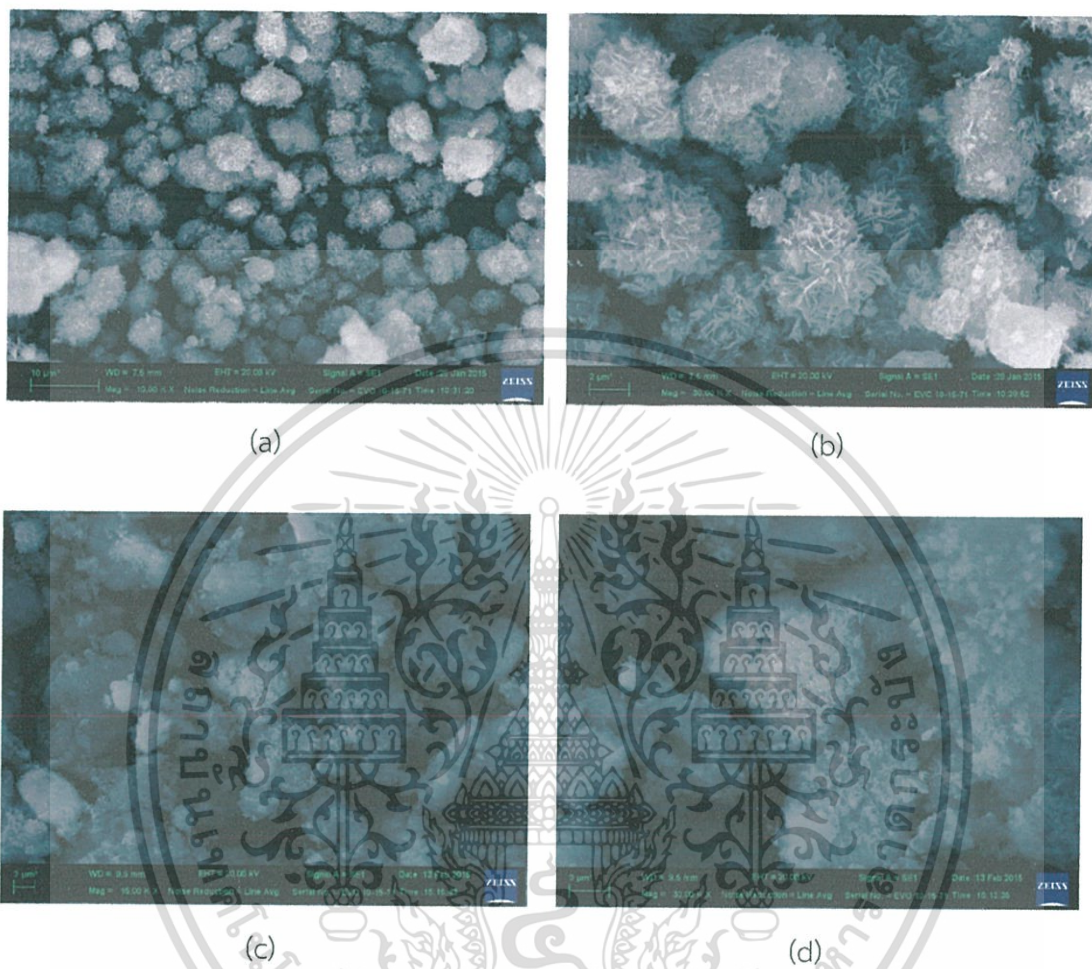
ตารางที่ 4.6 แสดงปริมาณและองค์ประกอบของตัวเร่งปฏิกิริยา 5%ZrO₂-CuOZnO

Elements	% Weight	% Atomic
Cu	46.91	48.31
Zn	47.99	48.04
Zr	5.10	3.66

จากตารางที่ 4.6 พบว่าสเปกตรัมของตัวเร่งปฏิกิริยา 5%ZrO₂-CuOZnO มีร้อยละโดยน้ำหนักของเซอร์โคเนียมเท่ากับ 5.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการนำสารที่สังเคราะห์ที่ได้มาทำการตรวจสอบทางสัณฐานวิทยา โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM-EDS) พบว่าได้ผลดังรูป



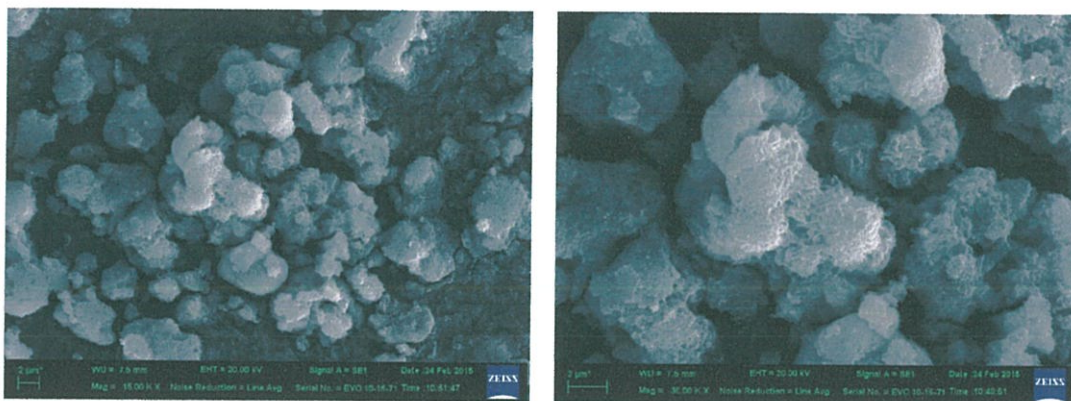
รูปที่ 4.10 ภาพถ่าย SEM ของ (a) CuOZnO ที่กำลังขยาย 15,000 เท่า

(b) CuOZnO ที่กำลังขยาย 30,000 เท่า

(c) CuOZnO/AlPO₄ ที่กำลังขยาย 15,000 เท่า

(d) CuOZnO/AlPO₄ ที่กำลังขยาย 30,000 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a)

(b)



(c)

(d)

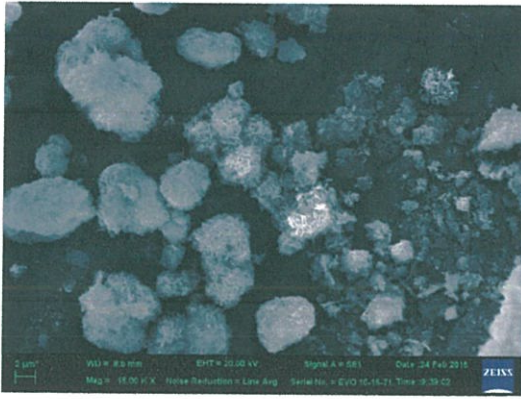
รูปที่ 4.11 ภาพถ่าย SEM ของ (a) 1%ZrO₂-CuOZnO ที่กำลังขยาย 15,000 เท่า

(b) 1%ZrO₂-CuOZnO ที่กำลังขยาย 30,000 เท่า

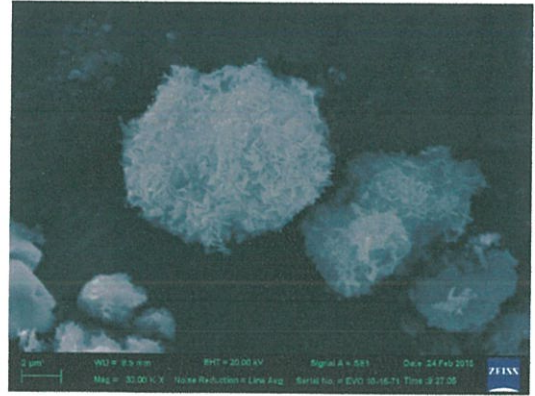
(c) 1%ZrO₂-CuOZnO/AlPO₄ ที่กำลังขยาย 15,000 เท่า

(d) 1%ZrO₂-CuOZnO/AlPO₄ ที่กำลังขยาย 30,000 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a)



(b)



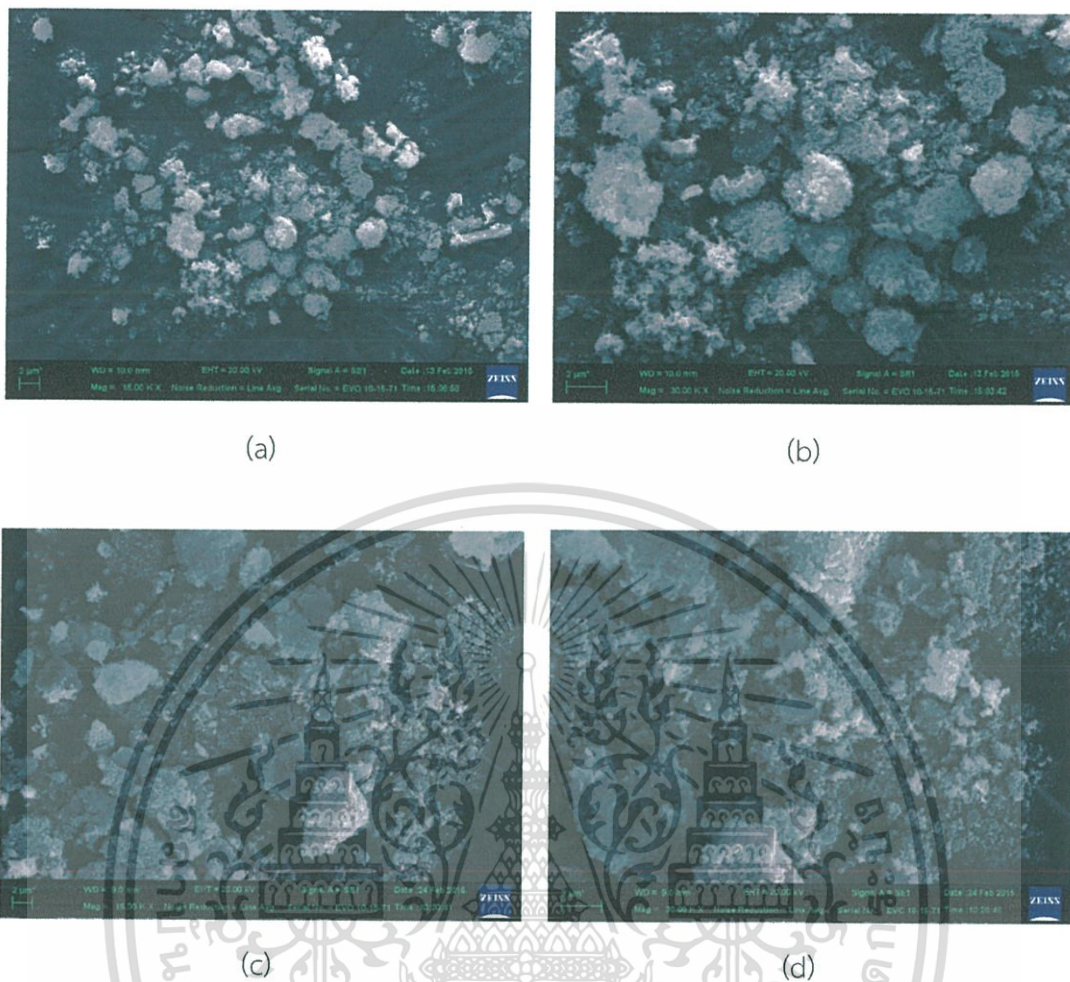
(c)



(d)

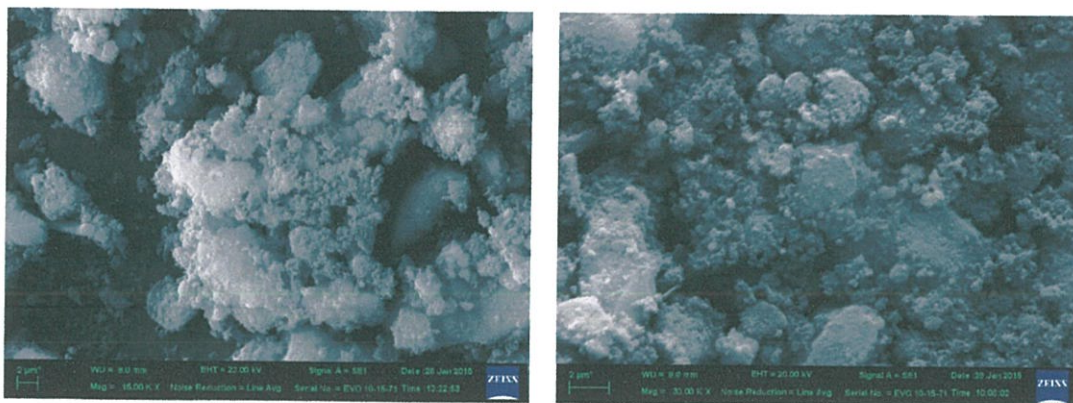
- รูปที่ 4.12 ภาพถ่าย SEM ของ (a) 3%ZrO₂-CuOZnO ที่กำลังขยาย 15,000 เท่า
 (b) 3%ZrO₂-CuOZnO ที่กำลังขยาย 30,000 เท่า
 (c) 3%ZrO₂-CuOZnO/AlPO₄ ที่กำลังขยาย 15,000 เท่า
 (d) 3%ZrO₂-CuOZnO/AlPO₄ ที่กำลังขยาย 30,000 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 ภาพถ่าย SEM ของ (a) 5%ZrO₂-CuOZnO ที่กำลังขยาย 15,000 เท่า
 (b) 5%ZrO₂-CuOZnO ที่กำลังขยาย 30,000 เท่า
 (c) 5%ZrO₂-CuOZnO/AlPO₄ ที่กำลังขยาย 15,000 เท่า
 (d) 5%ZrO₂-CuOZnO/AlPO₄ ที่กำลังขยาย 30,000 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a)

(b)

รูปที่ 4.14 ภาพถ่าย SEM ของ (a) AlPO_4 ที่กำลังขยาย 15,000 เท่า

(b) AlPO_4 ที่กำลังขยาย 30,000 เท่า

จากรูปที่ 4.10–4.14 พบว่าเกรนมีลักษณะเป็นเกล็ดมีขนาดที่ไม่แน่นอน มีการซ้อนทับกัน เป็นผลึกขนาดใหญ่และที่สัดส่วนโมลของ ZrO_2 เพิ่มขึ้นและผลึกจะมีขนาดเล็กลง อะลูมิเนียมฟอสเฟตจะมีลักษณะเป็นก้อนและไม่เป็นผลึก แล้วเมื่อผสมคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์/อะลูมิเนียมฟอสเฟตในอัตราส่วน 2:1 พบว่าเกรนจะมีลักษณะเป็นก้อนและมีความเป็นผลึกที่ไม่ชัดเจนมากขึ้น

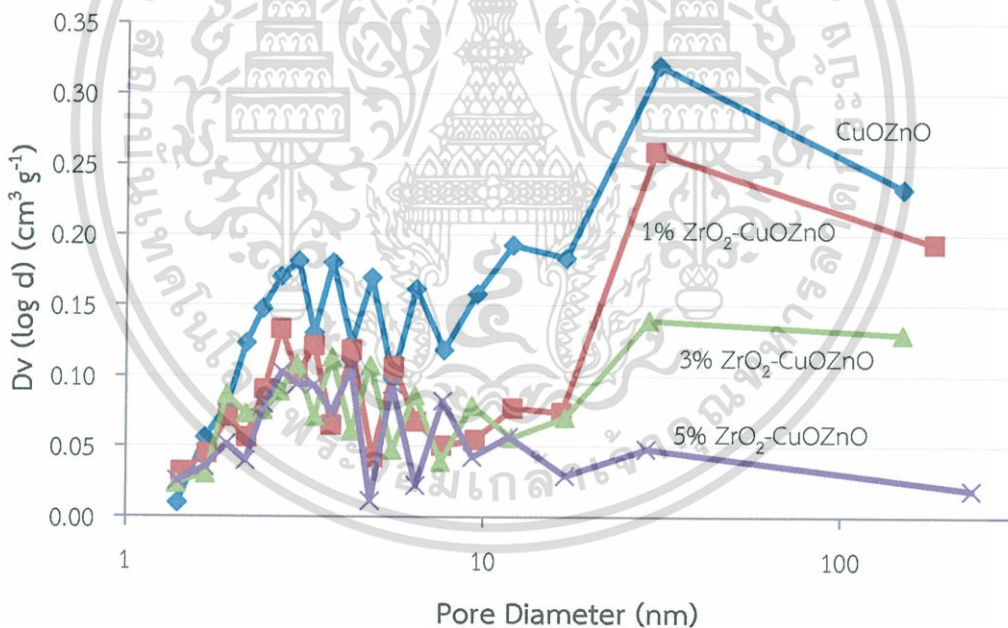
4.2.5 การวัดพื้นที่ผิวจำเพาะและปริมาตรรูพรุนด้วยเทคนิค BET

ตารางที่ 4.7 แสดงพื้นที่ผิว, ปริมาตรรูพรุน และขนาดรูพรุนของสารที่สังเคราะห์ได้ด้วยเทคนิค BET

Sample	Surface Area (m^2/g)	Pore Volume (cm^3/g)	Pore Size (nm)
CuOZnO	83.18	0.4298	20.67
1% ZrO_2 -CuOZnO	55.91	0.3293	20.56
3% ZrO_2 -CuOZnO	44.46	0.2156	19.39
5% ZrO_2 -CuOZnO	37.99	0.0908	9.56
AlPO_4	248.10	1.0680	17.21
CuOZnO/ AlPO_4	143.30	0.6004	16.76
1% ZrO_2 -CuOZnO/ AlPO_4	121.50	0.5345	17.60
3% ZrO_2 -CuOZnO/ AlPO_4	114.40	0.5539	17.37
5% ZrO_2 -CuOZnO/ AlPO_4	107.80	0.4433	16.45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทคนิค BET เป็นเทคนิคที่ใช้วิเคราะห์หาพื้นที่ผิว (Surface area) และปริมาตรรูพรุน (Pore Volume) ของสารที่ต้องการวิเคราะห์ โดยอาศัยเทคนิคการแทนที่พื้นที่ผิว หรือรูพรุนด้วยแก๊ส ไนโตรเจน จากการวิเคราะห์หาพื้นที่ผิวจำเพาะและปริมาตรรูพรุนด้วยเทคนิค BET พบว่า ตัวเร่งปฏิกิริยา CuOZnO ที่ไม่มีการปรับปรุงด้วย ZrO_2 นั้นให้ค่าพื้นที่ผิวสูงกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาตัวอื่น ๆ ซึ่งมีค่าพื้นที่ผิวจำเพาะเท่ากับ $134 \text{ m}^2/\text{g}$ และมีปริมาตรรูพรุนเท่ากับ $0.4298 \text{ cm}^3/\text{g}$ ซึ่งแตกต่างจากงานวิจัยของ Faen Song [23] ซึ่งเมื่อมีการปรับปรุงตัวเร่งปฏิกิริยา $CuZnOAl_2O_3$ ด้วย ZrO_2 จะทำให้ผลทำให้ตัวเร่งปฏิกิริยามีค่าพื้นที่ผิวจำเพาะและปริมาตรรูพรุนมากขึ้น ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากวิธีการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยานั้นแตกต่างกัน โดยในงานวิจัยนี้ทำการปรับปรุงตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยวิธีการเอ็บซุ่มแบบเปียก แต่ในงานวิจัยของ Faen Song ปรับปรุงตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยวิธีการตกตะกอนร่วม ดังนั้นผลที่ได้จึงแตกต่างกัน และเมื่อปรับปรุงด้วย ZrO_2 ในเปอร์เซ็นต์ที่มากขึ้น จะทำให้ตัวเร่งปฏิกิริยามีค่าพื้นที่ผิวและปริมาตรรูพรุนน้อยลง อาจเป็นเพราะเซอร์โคเนียมที่ทำการปรับปรุงนั้นเข้าไปอยู่ในรูพรุนของตัวเร่งปฏิกิริยา



รูปที่ 4.15 การกระจายตัวของขนาดรูพรุนของตัวเร่งปฏิกิริยา CuOZnO, 1%ZrO₂-CuOZnO, 3%ZrO₂-CuOZnO และ 5%ZrO₂-CuOZnO

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.15 กราฟการกระจายตัวของขนาดรูพรุน พบว่าตัวเร่งปฏิกิริยา CuOZnO , $1\%\text{ZrO}_2\text{-CuOZnO}$, $3\%\text{ZrO}_2\text{-CuOZnO}$ และ $5\%\text{ZrO}_2\text{-CuOZnO}$ มีขนาดรูพรุนแบบเมโซพอร์ส (Mesoporous, ขนาดรูพรุนอยู่ในช่วง 2-50 นาโนเมตร) โดยที่ CuOZnO มีขนาดรูพรุน 30.66 นาโนเมตร มากที่สุดและมีการกระจายตัวกว้าง, $1\%\text{ZrO}_2\text{-CuOZnO}$ มีขนาดรูพรุน 29.95 นาโนเมตร มากที่สุดและมีการกระจายตัวกว้าง, $3\%\text{ZrO}_2\text{-CuOZnO}$ มีขนาดรูพรุน 28.89 นาโนเมตร มากที่สุดและมีการกระจายตัวกว้าง และ $5\%\text{ZrO}_2\text{-CuOZnO}$ มีขนาดรูพรุน 4.24 นาโนเมตร ซึ่งมากที่สุดแต่จะไม่กระจายตัว



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากการทดลองในการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อใช้สำหรับการสังเคราะห์ไดเมทิลอีเทอร์ โดยใช้เทคนิคต่างๆ เช่น การตกตะกอนอย่างง่าย การตกตะกอนร่วม และการเอิบชุ่มแบบเปียก ภายในสภาวะที่มีตัวกลาง และได้ศึกษาพฤติกรรมทางความร้อน จากนั้นนำมาตรวจสอบเอกลักษณ์ของสารที่สังเคราะห์ได้ทั้งหมดด้วยการตรวจสอบโหมดการสั่นของโมเลกุลหรือไอออนด้วยเทคนิคฟูเรียรทรานสฟอร์ม เทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ การวิเคราะห์ทางด้านสัณฐานวิทยา การหาปริมาณและองค์ประกอบต่างๆ ของสาร และการวิเคราะห์พื้นที่ผิวพร้อมทั้งปริมาตรรูพรุน สามารถสรุปผลการทดลองโดยมีรายละเอียดตามลำดับต่อไปนี้

5.1 สรุปผลการสังเคราะห์

จากการเตรียมสารสำหรับโครงการพิเศษนี้ได้เตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์จากสารตั้งต้นคือ $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ และ $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ โดยใช้ตัวกลางคือ NaCO_3 ในการเกิดปฏิกิริยา โดยนำสารตั้งต้นและตัวกลางมาละลายด้วยน้ำปราศจากไอออน จากนั้นนำไปตกตะกอนร่วมและควบคุมอุณหภูมิที่ 70°C ควบคุมค่า pH ให้มีค่าเท่ากับ 7 แล้วนำตะกอนของสารที่สังเคราะห์ได้ไปอบให้แห้งจะได้ CuCO_3 และ ZnCO_3 หลังจากนั้นทำการผสมเซอร์โคเนียมลงไปตามอัตราส่วนโดยน้ำหนักดังนี้ 0, 1, 3 และ 5 %wt ด้วยวิธีการเอิบชุ่มแบบเปียก โดยการนำ $\text{ZrOCl}_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ ละลายด้วยสารละลายไฮโปรฟานอลแล้วนำไป Wet Impregnation ลงบน CuCO_3 และ ZnCO_3 จากนั้นนำสารที่ได้ไปอบให้แห้งและเผาที่อุณหภูมิที่ 350°C เพื่อให้สารละลายตัวไปเป็น $\text{ZrO}_2\text{-CuOZnO}$ พบว่าสามารถสังเคราะห์สาร CuOZnO , 1% $\text{ZrO}_2\text{-CuOZnO}$, 3% $\text{ZrO}_2\text{-CuOZnO}$ และ 5% $\text{ZrO}_2\text{-CuOZnO}$ ได้ โดยมี %yield เท่ากับ 89.34%, 89.45%, 88.49% และ 95.19% ตามลำดับ จากนั้นเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาอะลูมิเนียมฟอสเฟต จากสารตั้งต้นคือ $\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ และ $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ เป็นแหล่งฟอสเฟต โดยนำสารตั้งต้นมาละลายด้วยน้ำปราศจากไอออน จากนั้นนำไปตกตะกอนอย่างง่ายและควบคุมอุณหภูมิที่ 0°C ควบคุมค่า pH ให้มีค่าเท่ากับ 7 ด้วย 30% NH_4OH แล้วนำตะกอนของสารที่สังเคราะห์ได้ไปอบให้แห้งและเผาที่อุณหภูมิที่ 650°C เพื่อให้สารละลายตัวไปเป็น AlPO_4 พบว่าสามารถสังเคราะห์สาร AlPO_4 ได้ โดยมี %yield เท่ากับ 83% จากนั้นผสมทางกายภาพ (Physical mixing) ตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์-เซอร์โคเนียมออกไซด์/อะลูมิเนียมฟอสเฟตในอัตราส่วน 2:1 โดยน้ำหนัก แล้วนำไปตรวจสอบเอกลักษณ์ของตัวเร่งปฏิกิริยาผสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 สรุปผลการตรวจสอบเอกลักษณ์ของสารด้วยเทคนิคต่างๆ

5.2.1 การตรวจสอบพฤติกรรมทางความร้อน

จากการศึกษาพฤติกรรมทางความร้อนของ $\text{CuCO}_3\text{-ZnCO}_3$ พบว่ามีการสูญเสียน้ำหนักอยู่ 4 ช่วง คือ การคายความชื้นของน้ำที่ช่วงอุณหภูมิ 70–230 °C การสลายตัวของคาร์บอนไดออกไซด์เป็นโลหะออกไซด์ (CuO/ZnO) ที่ช่วงอุณหภูมิ 250–350 °C การสลายตัวของแก๊สออกซิเจนเป็นโลหะออกไซด์ ($\text{Cu}_2\text{O/Zn}_2\text{O}$) ที่ช่วงอุณหภูมิ 420–500 °C การสลายตัวของออกไซด์เป็นโลหะ (Cu/Zn) ที่ช่วงอุณหภูมิ 800–870 °C ซึ่งมีการสูญเสียน้ำหนักคิดเป็นร้อยละ 2.5, 14, 4.5 และ 2 ตามลำดับ และจากการศึกษาพฤติกรรมทางความร้อนของอะลูมิเนียมฟอสเฟตพบว่ามี การสูญเสียน้ำหนักอยู่ 2 ช่วง คือ การคายความชื้นของน้ำที่บริเวณพื้นผิวของสารที่ช่วงอุณหภูมิ 50–110 °C และการคายความชื้นของน้ำในผลึกของ $\text{AlPO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ที่ช่วงอุณหภูมิ 110–310 °C โดยมีการสูญเสียน้ำหนักคิดเป็นร้อยละ 7 และ 14.5 ตามลำดับ

5.2.2 การตรวจสอบการสั่นของโมเลกุล

อะลูมิเนียมฟอสเฟตจะมีรูปแบบการสั่นของสารกลุ่มฟอสเฟตออกเป็นหน่วยย่อยการสั่น 2 หน่วย คือ รูปแบบการสั่นพื้นฐานของฟอสเฟตแอนไอออน (PO_4^{3-}) และรูปแบบการสั่นของโมเลกุลน้ำ (H_2O) ซึ่งรูปแบบการสั่นของ PO_4^{3-} จะแสดงลักษณะของการสั่นที่ตำแหน่ง $400\text{-}800\text{ cm}^{-1}$, $1040\text{-}1170\text{ cm}^{-1}$, $1210\text{-}1400\text{ cm}^{-1}$ ซึ่งเป็นรูปแบบการสั่นแบบยืดหดของ ALOP, การสั่นแบบยืดหดของ PO_2 , รูปแบบการยืดหดของ PO และรูปแบบการสั่นของน้ำจะแสดงการสั่นที่ตำแหน่ง $1600\text{-}1700\text{ cm}^{-1}$, $2600\text{-}3250\text{ cm}^{-1}$, $3200\text{-}3400\text{ cm}^{-1}$ เป็นรูปแบบการสั่นของการสั่นแบบโค้งงอ การสั่นแบบยืดหดแบบสมมาตร และการสั่นแบบยืดหดแบบอสมมาตร

สารที่ทำการสังเคราะห์ขึ้นมีแถบการสั่นของสารกลุ่มฟอสเฟตและโมเลกุลของน้ำอยู่ในช่วงรูปแบบการสั่น คือ การสั่นแบบยืดหดแบบอสมมาตรของ P-OH, การสั่นแบบโค้งงอของโมเลกุลน้ำ, การสั่นแบบยืดหดของ PO_2 และการสั่นแบบยืดหดของ ALOP พบแถบการสั่นที่ 3430 cm^{-1} , 1635 cm^{-1} , 1123 cm^{-1} และ 491 cm^{-1} ตามลำดับ ซึ่งเป็นแถบการสั่นที่สำคัญที่สามารถยืนยันได้ว่าสารที่สังเคราะห์ได้นั้นเป็น AlPO_4

5.2.3 การตรวจสอบโครงสร้างผลึก

ตรวจสอบลักษณะของผลึกและอสังฐานวิทยาโดยอาศัยหลักการการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-ray Diffractometer) เปรียบเทียบกับข้อมูลมาตรฐาน PDF#65-2309 และ PDF#89-1397 ซึ่งเป็นของคอปเปอร์ออกไซด์และซิงค์ออกไซด์ ตามลำดับ พบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(CuOZnO) และคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์-เซอร์โคเนียมออกไซด์ (ZrO_2 -CuOZnO) จะมีความเป็นผลึก โดยจะพบพีคหลัก (2 theta) คือ 35.49 และ 38.69° ซึ่งจะเป็นลักษณะเด่นของ CuO และที่พีคหลัก (2 theta) คือ 31.77, 34.42, 36.25, 47.54, 56.60, 62.86, และ 67.96° จะเป็นลักษณะเด่นของ ZnO และเมื่ออัตราส่วนโดยน้ำหนักของเซอร์โคเนียมออกไซด์มากขึ้นจะมีความเป็นผลึกชัดเจนขึ้น ส่วนตัวเร่งปฏิกิริยาอะลูมิเนียมฟอสเฟต พบว่าเป็นบอดพีคซึ่งเป็นโครงสร้างที่เป็นอสัณฐาน

5.2.4 การตรวจสอบทางด้านสัณฐานวิทยา

จากการนำสารที่สังเคราะห์ได้มาทำการตรวจสอบหาปริมาณของธาตุที่ได้จากการผสม เซอร์โคเนียมลงไปตามอัตราส่วนโดยน้ำหนักดังนี้ 1% ZrO_2 -CuOZnO, 3% ZrO_2 -CuOZnO และ 5% ZrO_2 -CuOZnO ด้วยวิธีการเอ็บซุ่มแบบเปียก (Wet Impregnation) พบว่ามีร้อยละโดยน้ำหนักของเซอร์โคเนียม เท่ากับ 0.92 , 2.82 และ 5.10 ตามลำดับ

จากการวิเคราะห์ทางด้านสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่าอนุภาคของคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ (CuOZnO) และคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์-เซอร์โคเนียมออกไซด์ (ZrO_2 -CuOZnO) มีลักษณะเป็นเกล็ด มีขนาดที่ไม่แน่นอน และมีการซ้อนทับกันเป็นผลึกขนาดใหญ่ เมื่อสัดส่วนโดยน้ำหนักของเซอร์โคเนียมออกไซด์เพิ่มขึ้นแนวโน้มของผลึกก็จะมีขนาดที่เล็กลง อนุภาคของอะลูมิเนียมฟอสเฟต ($AlPO_4$) มีลักษณะเป็นก้อนและไม่กระจายตัว เมื่อผสมคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์/อะลูมิเนียมฟอสเฟต และคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์-เซอร์โคเนียมออกไซด์/อะลูมิเนียมฟอสเฟต พบว่ามีลักษณะเป็นก้อนมีความเป็นผลึกที่ไม่ชัดเจนมากขึ้น

5.2.5 การตรวจสอบพื้นที่ผิวและปริมาตรรูพรุน

การวิเคราะห์หาพื้นที่ผิวและปริมาตรรูพรุนของสารด้วยเทคนิค BET จะพบว่าตัวเร่งปฏิกิริยา คอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ (CuOZnO) จะมีพื้นที่ผิวสูงกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาตัวอื่นๆ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 83.18 m^2/g และมีปริมาตรรูพรุนเท่ากับ 0.4298 cm^3/g เมื่อปรับปรุงตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ (CuOZnO) ด้วยเซอร์โคเนียมออกไซด์ (ZrO_2) ด้วยวิธีการเอ็บซุ่มแบบเปียก คือ 1% ZrO_2 -CuOZnO, 3% ZrO_2 -CuOZnO และ 5% ZrO_2 -CuOZnO จะมีพื้นที่ผิวเท่ากับ 55.91, 44.46 และ 37.99 m^2/g ตามลำดับ และมีปริมาตรรูพรุนเท่ากับ 0.3293, 0.2156 และ 0.0908 cm^3/g ตามลำดับ ซึ่งพื้นที่ผิวและปริมาตรรูพรุนจะน้อยลงเมื่อปรับปรุงด้วยเซอร์โคเนียมออกไซด์ (ZrO_2) ใน สัดส่วนโดยน้ำหนักที่มากขึ้น เพราะเซอร์โคเนียมออกไซด์ที่ทำการปรับปรุงนั้นจะเข้าไปแทรกตัวและ เกาะอยู่กับตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ทำให้พื้นที่ผิวลดลง

5.3 ข้อเสนอแนะ

โครงการพิเศษนี้ได้ทำการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาผสมคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์-เซอร์โคเนียมออกไซด์/อะลูมิเนียมฟอสเฟต ($\text{CuOZnO-ZrO}_2/\text{AlPO}_4$) เพื่อใช้สำหรับการสังเคราะห์ไดเมทิลอีเทอร์ โดยใช้เทคนิคอย่างง่าย ได้แก่ การตกตะกอนอย่างง่าย การตกตะกอนร่วม และการเอ็บซุ่มแบบเปียก และตรวจสอบเอกลักษณ์ของสารทางกายภาพและทางเคมีด้วยวิธีต่างๆ ได้แก่ การตรวจสอบสมบัติทางความร้อน การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชัน การตรวจสอบโครงสร้างผลึกของสาร การวิเคราะห์โครงสร้างพื้นผิวและการหาค่าประกอบพร้อมทั้งปริมาณของธาตุ และการหาพื้นที่ผิวและปริมาตรรูพรุนสาร โดยมีข้อเสนอแนะดังนี้

1. ศึกษาการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาผสมคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์-เซอร์โคเนียมออกไซด์ (CuOZnO-ZrO_2) ด้วยวิธีอื่นๆ เช่น การตกตะกอนร่วม เพื่อเปรียบเทียบผลที่ได้จากงานวิจัยนี้
2. ศึกษาการปรับปรุงตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์ด้วยโลหะชนิดอื่นๆ เช่น อะลูมินา โคบอลต์ แกลเลียม เป็นต้น เพื่อเปรียบเทียบผลที่ได้จากงานวิจัยนี้
3. ทดสอบประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาผสมคอปเปอร์ซิงค์ออกไซด์-เซอร์โคเนียมออกไซด์/อะลูมิเนียมฟอสเฟต สำหรับการสังเคราะห์ไดเมทิลอีเทอร์

เอกสารอ้างอิง

- [1] [Online]. Available : <http://www.bpc.ac.th/knowledge/article/energy1.pdf>
- [2] [Online]. Available : http://www.baanjomyut.com/library_2/energy_and_quality_of_life
- [3] [Online]. Available : http://www.esso.co.th/All Energy World Thailand-Thai/PA/Files/2012eo_thai.pdf
- [4] [Online]. Available : http://www.eppo.go.th/ccep/download/NEEP2030_FINAL.pdf
- [5] [Online]. Available : <http://www.enconfund.go.th/pdf/index/aedp25.pdf>
- [6] [Online]. Available : http://www.gasforcars.net/basic_ngv.php
- [7] [Online]. Available : http://www.em-group.co.th/Technology_Biomass.html
- [8] [Online]. Available : <http://www.tpa.or.th/publisher/pdfFileDownloadS/p95-104.pdf>
- [9] [Online]. Available : http://www.doeb.go.th/v3/knowledge/data/1-Dimethyl_Ether.pdf
- [10] Sameh M. K. About-Fotouh . “Production of dimethylether (DME) as a clean fuel using sonochemically prepared CuO and/or ZnO-modified γ -alumina catalysts”. Journal of Fuel Chemistry and Technology. vol 42. 2014. pp.350-356
- [11] [Online]. Available : http://en.wikipedia.org/wiki/Zirconium_dioxide
- [12] Cheng Yang, Zhongyi Ma, Ning Zhao, Wei Wei, Tiandou Hu, Yuhan Sun. “Methanol synthesis from CO₂-rich syngas over a ZrO₂ doped CuZnO catalyst”. Journal of Catalysis Today. vol 115. 2006. pp.222-227
- [13] [Online]. Available : http://mis.en.kku.ac.th/administrator/doc_upload/20120221142710.pdf
- [14] [Online]. Available : http://www.nanotec.or.th/th/?page_id=569

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [15] [Online]. Available : <http://www.mfu.ac.th/center/stic/index.php/chemical-analysis-instrument-menu/item/139-ftir-raman-spectrometer.html>
- [16] [Online]. Available : <http://science.kmutt.ac.th/sic/index.php/physics/16-x-ray-diffraction>
- [17] [Online]. Available : <http://www.il.mahidol.ac.th/e-media/nano/Page/Unit4-5.html>
- [18] [Online]. Available : <https://www.mtec.or.th/mcu/phcl/index.php/th/2014-09-04-06-23-37/14-uncategorised/41-sem-th>
- [19] [Online]. Available : http://lib3.dss.go.th/fulltext/dss_j/2555_189_60_p22-24.pdf
- [20] [Online]. Available : <http://gsbooks.gs.kku.ac.th/54/grc12/files/pmo14.pdf>
- [21] G.R. Moradi, S. Nosrati, F. Yaripor. "Effect of the hybrid catalysts preparation method upon direct synthesis of dimethyl ether from synthesis gas". *Journal of Catalysis Communications*. vol 8. 2007. pp.598-606
- [22] Jong Wook Bae, Suk-Hwan Kang, Yun-Jo Lee, Ki-Won Jun. "Synthesis of DME from syngas on the bifunctional Cu-ZnO-Al₂O₃/Zr-modified ferrierite: Effect of Zr content". *Applied Catalysis B: Environmental*. vol 90. 2009. pp.426-435
- [23] Faen Song, Yisheng Tan, Hongjuan Xie, Qingde Zhang, Yizhuo Han. "Direct synthesis of dimethyl ether from biomass-derived syngas over Cu-ZnO-Al₂O₃-ZrO₂(x)/γ-Al₂O₃ bifunctional catalysts: Effect of Zr-loading". *Journal of Fuel Processing Technology*. vol 126. 2014. pp.88-94
- [24] Wan Nor Roslam Wan Isahak *, Zatil Amali Che Ramli, Mohamad Wafiuddin Ismail, Khomah Ismail, Rahimi M. Yusop, Mohamed Wahab Mohamed Hisham, Mohd Ambar YarmoMolecular. "Adsorption-desorption of CO₂ on different type of copper oxides surfaces:Physical and chemical attractions studies". *Journal of CO₂ Utilization* vol 2. 2013 pp.8-15

- [25] Krit Lertjiamratna, Piyasan Prasertdama, Masahiko Araib, Joongjai Panpranota,*.
“Modification of acid properties and catalytic properties of AlPO_4 by hydrothermal
pretreatment for methanol dehydration to dimethyl ether”. Applied Catalysis A:
General vol 378. 2010 pp. 119–123
- [26] Cristian Ledesma, Jordi Llorca*. “CuZn/ZrO₂ catalytic honeycombs for dimethyl
ether steam reforming and autothermal reforming”. Fuel vol 104. 2013 pp. 711–716
- [27] Yasuyuki Matsumura^{a*}, Hideomi Ishibe^b. “Effect of zirconium oxide added to
Cu/ZnO catalyst for steam reforming of methanol to hydrogen”. Journal of Molecular
Catalysis A: Chemical vol 345. 2011 pp. 44–53

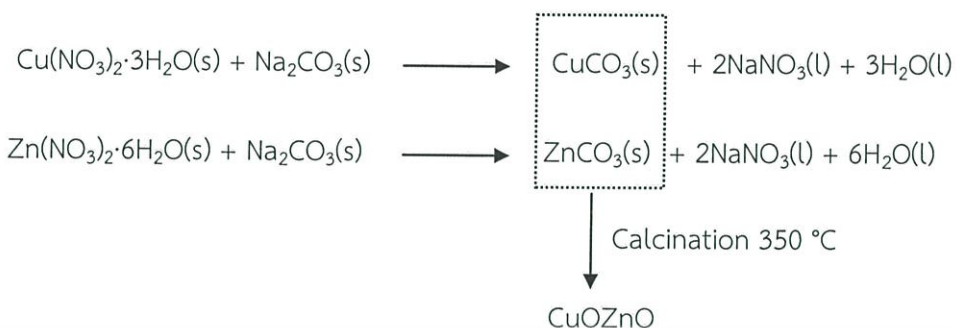


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการเคมี



การคำนวณน้ำหนักของสารตั้งต้น

มวลโมเลกุลของ $\text{Cu(NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 241.60 g/mol

มวลโมเลกุลของ $\text{Zn(NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 297.48 g/mol

มวลโมเลกุลของ Na_2CO_3 105.99 g/mol

มวลโมเลกุลของ CuOZnO 160.94 g/mol

เตรียม CuOZnO 10 g

CuOZnO 160.94 g คิดเป็น 1 mol

CuOZnO 10 g คิดเป็น $\frac{10 \times 1}{160.94} = 0.0621$ mol

จากสมการเคมี จะได้ว่า



การคำนวณน้ำหนัก $\text{Cu(NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ที่ต้องชั่ง

$\text{Cu(NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 1 mol คิดเป็น 241.60 g

$\text{Cu(NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 0.0621 mol คิดเป็น $\frac{0.0621 \times 241.60}{1} = 15.0034$ g

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณน้ำหนัก $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ที่ต้องชั่ง

$\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 1 mol คิดเป็น 297.48 g

$\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 0.0621 mol คิดเป็น $\frac{0.0621 \times 297.48}{1} = 18.4735$ g

การคำนวณน้ำหนัก Na_2CO_3 ที่ต้องชั่ง

Na_2CO_3 1 mol คิดเป็น 105.99 g

Na_2CO_3 0.0621 mol คิดเป็น $\frac{0.0621 \times 105.99}{1} = 6.5819$ g

เนื่องจากต้องใช้ 2 mol Na_2CO_3 จะได้ $(2 \times 6.5819\text{g}) = 13.1638$ g

การคำนวณน้ำหนักของสารตั้งต้น

มวลโมเลกุลของ $\text{ZrOCl}_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ 322.12 g/mol

มวลโมเลกุลของ Zr 91.224 g/mol

ต้องการ Loading Zr 5 %wt ลงบน CuOZnO โดยวิธีการเอินซุ่มแบบเปียก (Wet Impregnation)

สำหรับตัวเร่งปฏิกิริยา 100 g คิดเป็น Zr 5 g

คิดเป็น CuOZnO 95 g

การคำนวณน้ำหนัก $\text{ZrOCl}_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ ที่ต้องชั่ง

CuOZnO 95 g คิดเป็น Zr 5 g

CuOZnO 10 g คิดเป็น Zr $\frac{10 \times 5}{95} = 0.5263$ g

เนื่องจาก

Zr 91.224 g มาจาก $\text{ZrOCl}_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ 322.12 g

Zr 0.5263 g มาจาก $\text{ZrOCl}_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ $\frac{0.5263 \times 322.12}{91.224} = 1.8584$ g

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก แสดงการคำนวณน้ำหนักของสารตั้งต้น

Zr (%wt)	ZrOCl ₂ ·8H ₂ O (กรัม)	Cu(NO ₃) ₂ ·3H ₂ O (กรัม)	Zn(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O (กรัม)	2 mol Na ₂ CO ₃ (กรัม)
0	0	15.0034	18.4735	13.1638
1	0.3566	15.0034	18.4735	13.1638
3	1.0920	15.0034	18.4735	13.1638
5	1.8584	15.0034	18.4735	13.1638

สมการเคมี



การคำนวณน้ำหนักของสารตั้งต้น

$$\text{มวลโมเลกุลของ } \text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O} = 375.13 \text{ g/mol}$$

$$\text{มวลโมเลกุลของ } (\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4 = 132.06 \text{ g/mol}$$

เตรียม AlPO₄ 1 M, 100 ml

การคำนวณน้ำหนัก Al(NO₃)₃·9H₂O ที่ต้องชั่ง

$$\frac{g}{MW} = \frac{CV}{1000}$$

$$g = \frac{1 \times 100 \times 375.13}{1000} = 37.5130 \text{ g}$$

การคำนวณน้ำหนัก (NH₄)₂HPO₄ ที่ต้องชั่ง

$$\frac{g}{MW} = \frac{CV}{1000}$$

$$g = \frac{1 \times 100 \times 132.06}{1000} = 13.2060 \text{ g}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณน้ำหนักทางทฤษฎี

$$\text{น้ำหนักทางทฤษฎี} = \frac{\text{มวลโมเลกุลของสารผลิตภัณฑ์} \times \text{น้ำหนักสารตั้งต้น}}{\text{มวลโมเลกุลสารตั้งต้น}}$$

ตาราง ข ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณน้ำหนักทางทฤษฎี (CuOZnO)

สัดส่วนโมล		มวลโมเลกุลของสารตั้งต้น		มวลโมเลกุลของสารผลิตภัณฑ์	
Cu	Zn	$\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	$\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	CuCO_3	ZnCO_3
1	1	241.60	297.48	123.50	125.41

ตาราง ค ผลการคำนวณน้ำหนักทางทฤษฎี (CuOZnO)

สัดส่วนโมล		น้ำหนักทางทฤษฎี (กรัม)		น้ำหนักรวมทางทฤษฎี (กรัม)
Cu	Zn	CuCO_3	ZnCO_3	
1	1	7.67	7.78	15.48

ตาราง ง ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณน้ำหนักทางทฤษฎี (CuOZnO-ZrO₂)

สัดส่วนโมล		มวลโมเลกุลของสารตั้งต้น		มวลโมเลกุลของสารผลิตภัณฑ์
CuOZnO	Zr	CuOZnO	$\text{ZrOCl}_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$	CuOZnO-ZrO_2
1	0	160.94	0	160.95
1	0.01	160.94	3.22	162.17
1	0.03	160.94	9.66	164.64
1	0.05	160.94	16.10	167.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง จ ผลการคำนวณน้ำหนักทางทฤษฎี (CuOZnO-ZrO_2)

สัดส่วนโมล		น้ำหนักรวมทางทฤษฎี (กรัม)
CuOZnO	Zr	
1	0	10.00
1	0.01	10.21
1	0.03	10.70
1	0.05	11.19

ตาราง ฉ ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณน้ำหนักทางทฤษฎี (AlPO_4)

สัดส่วนโมล		มวลโมเลกุลของสารตั้งต้น		มวลโมเลกุลของสารผลิตภัณฑ์
Al	PO_4^{3-}	$\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$	$(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$	AlPO_4
1	1	375.13	132.06	122.00

ตาราง ช ผลการคำนวณน้ำหนักทางทฤษฎี (AlPO_4)

สัดส่วนโมล		น้ำหนักรวมทางทฤษฎี (กรัม)
Al	PO_4^{3-}	
1	1	12.20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณร้อยละผลผลิต (Percent Yield)

$$\text{ร้อยละผลผลิต} = \frac{\text{น้ำหนักที่ได้จริง}}{\text{น้ำหนักทางทฤษฎี}} \times 100$$

ตาราง ข ผลการคำนวณร้อยละผลผลิต (CuOZnO)

สัดส่วนโมล		น้ำหนักสาร (กรัม)			ร้อยละผลผลิต %
Cu	Zn	ก่อนอบ	หลังอบ	ทางทฤษฎี	
1	1	34.7456	12.4079	15.48	80.27
1	1	31.5414	12.3590	15.48	79.96
1	1	35.9066	12.3610	15.48	79.99
1	1	39.6614	13.2723	15.48	85.86

ตาราง ฉ ผลการคำนวณร้อยละผลผลิต (CuOZnO-ZrO₂)

สัดส่วนโมล		น้ำหนักสาร (กรัม)			ร้อยละผลผลิต %
CuOZnO	Zr	ก่อนเผา	หลังเผา	ทางทฤษฎี	
1	0	12.4857	9.9336	10.00	89.34
1	0.01	12.3814	9.1327	10.21	89.45
1	0.03	12.7240	9.4725	10.70	88.49
1	0.05	18.6536	10.6536	11.19	95.19

ตาราง ช ผลการคำนวณร้อยละผลผลิต (AlPO₄)

สัดส่วนโมล		น้ำหนักสาร (กรัม)			ร้อยละผลผลิต %
Al	PO ₄ ³⁻	ก่อนอบ	หลังอบ	ทางทฤษฎี	
1	1	12.4787	10.2263	12.20	83.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณปริมาณน้ำของอะลูมิเนียมฟอสเฟต

มวลโมเลกุลของ $\text{AlPO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}$	$121.98 + 18x$	g/mol
มวลโมเลกุลของ AlPO_4	121.98	g/mol
ร้อยละการสูญเสียน้ำหนักเริ่มต้น	100	เปอร์เซ็นต์
ร้อยละการสูญเสียน้ำหนักสุดท้าย	78.12	เปอร์เซ็นต์

สมการเคมี



$$\frac{\% \text{ น้ำหนักที่หายไป}}{\text{มวลโมเลกุล}} = \frac{100}{121.98 + 18x} = \frac{78.12}{121.98}$$

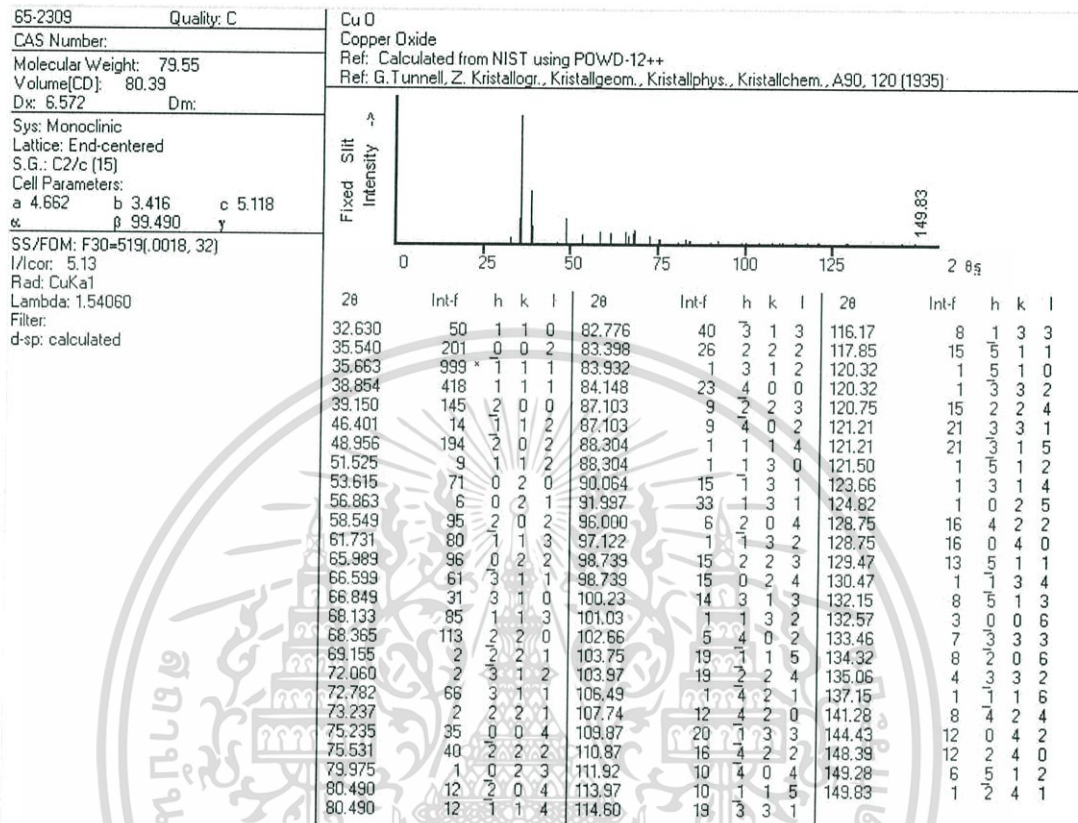
$$x = 1.98$$

$$x \approx 2$$



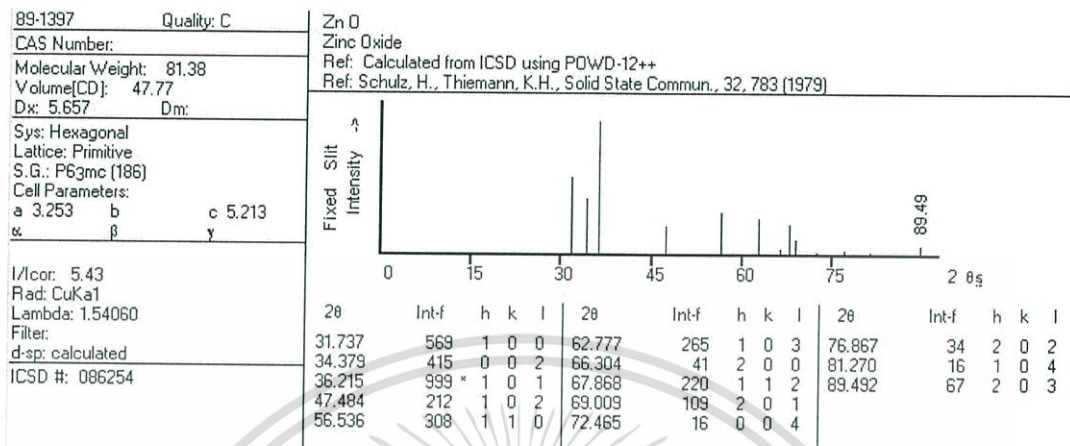
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ฎ XRD pattern มาตรฐานของ CuO



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ฎ XRD pattern มาตรฐานของ ZnO



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้