



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะออกไซด์ระดับนาโนเมตรเพื่อใช้เป็นสารเติมแต่งในน้ำมัน

Synthesis of nano metal oxide catalysts for fuel additives

นายอภิสิทธิ์ เอียดเอื้อ

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจาก งบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2561
วิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง หัวหน้าโครงการ
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะออกไซด์ระดับนาโนเมตรเพื่อใช้เป็นสารเติมแต่งในน้ำมัน

Synthesis of nano metal oxide catalysts for fuel additives

นายอภิสิทธิ์ เอียดเอื้อ

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ 2561

วิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) การสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะออกไซด์ระดับนาโนเมตรเพื่อใช้เป็นสารเติมแต่งในน้ำมันเชื้อเพลิง.....

แหล่งเงิน// งบประมาณแผ่นดิน.....

ประจำปีงบประมาณ 2561 จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน 416200 บาท

ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี ตั้งแต่ 1 ตุลาคม 2560 ถึง 30 กันยายน 2561

ชื่อ-สกุล หัวหน้าโครงการ และผู้ร่วมโครงการวิจัย พร้อมระบุ หน่วยงานต้นสังกัด

นายอภิสิทธิ์ชัย เอียดเอื้อ ภาควิชานาโนวิทยาและนาโนเทคโนโลยี วิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง

บทคัดย่อ

แกมมาวาเลโรแลคโตนหรือจีวีแอล (γ -Valerolactone, GVL) เป็นสารอนุพันธ์จากชีวมวลชนิดหนึ่งซึ่งสามารถ
ใช้ประโยชน์ได้ในอุตสาหกรรมด้านพลังงานเชื้อเพลิงและอุตสาหกรรมพอลิเมอร์ซึ่งมีความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม
GVL สามารถสังเคราะห์ได้จากลิวูลิเนตเอสเทอร์ (Levulinic esters) ด้วยกระบวนการไฮโดรจีเนชันแบบส่งผ่าน
(Catalytic transfer hydrogenation) โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นโลหะออกไซด์ที่มีองค์ประกอบหลักเป็นคอปเปอร์ ได้แก่
คอปเปอร์นิกเกิลออกไซด์, คอปเปอร์โคบอลต์ออกไซด์, คอปเปอร์โครเมียมออกไซด์, และ คอปเปอร์ไอออนออกไซด์
จากผลการทดลองพบว่า คอปเปอร์นิกเกิลออกไซด์มีประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยามากที่สุดโดยวิเคราะห์ในเชิงของ
การเปลี่ยนแปลงของสารตั้งต้น และ การเกิดผลิตภัณฑ์จีวีแอล และในการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิที่ใช้ในการ
สังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์นิกเกิลออกไซด์พบว่าอุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียสเป็นอุณหภูมิที่ส่งผลให้ตัวเร่ง
ปฏิกิริยาคอปเปอร์นิกเกิลออกไซด์มีประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยามากที่สุดโดยตัวเร่งปฏิกิริยาต้องมีอัตราส่วนของ
นิกเกิลออกไซด์มากกว่าหรือเท่ากับคอปเปอร์ออกไซด์ นอกจากนี้ในการศึกษาอิทธิพลของการใช้วัสดุรองรับ (Support
materials) ที่มีความเป็นกรด-เบสต่างกัน ได้แก่ อลูมิเนียมออกไซด์ ซิลิกอนไดออกไซด์ และแมกนีเซียมออกไซด์กับ
ตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์นิกเกิลออกไซด์พบว่าอลูมิเนียมออกไซด์เป็นวัสดุรองรับที่ส่งผลให้ตัวเร่งปฏิกิริยามี
ประสิทธิภาพสูงที่สุด

คำสำคัญ : แกมมาวาเลโรแลคโตน, ลิวูลิเนตเอสเทอร์, โลหะออกไซด์, ตัวเร่งปฏิกิริยา, ไฮโดรจีเนชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Research Title: Synthesis of nano metal oxide catalysts for fuel additives

Researcher: Mr. Apiluck Eiad-ua

Faculty: College of Nanotechnology **Department:** Nanoscience and Nanotechnology

ABSTRACT

γ -Valerolactone or GVL is an organic compound which can be used in energy and eco-friendly polymer industry. This chemical is efficiently produced via catalytic transfer hydrogenation process from levulinate esters using Cu-bases oxide catalysts including CuNiO, CuCoO, CuCrO, and CuFeO. The result present CuNiO is the most effectively catalyst in terms of ML conversion and GVL yield among bimetal oxide catalysts in this study. 700°C of catalyst calcination temperature provide CuNiO catalyst to have the highest catalytic performance by ratio of NiO more than or equal to CuO. Furthermore, Al₂O₃ is provide a catalyst to the highest catalytic performance via better than others support material including SiO₂ and MgO.

Keywords : γ -Valerolactone, Levulinate esters, Metal oxide, Catalyst, Hydrogenation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ต้องขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ที่พิจารณาสำหรับสนับสนุนการทำงานวิจัย รวมทั้งขอขอบคุณศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ที่ให้ความช่วยเหลือต่างๆ ขอขอบคุณวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการทำวิจัย และการวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจาก สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จากแหล่งทุนงบประมาณแผ่นดิน ประจำปี พ.ศ.2561



นายอภิรักษ์ เอียดเอื้อ
วิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญภาพ.....	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	4
1.3 แผนกรรดำเนินงานวิจัย.....	4
1.4 สมมุติฐานงานวิจัย.....	5
1.5 ขอบเขตการดำเนินการ.....	5
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	6
2.1 แกมมาวาเลโรแลคโตน หรือ จีวีแอล (γ -Valerolactone: GVL).....	6
2.2 ลิควูลิเนตเอสเทอร์ (Levulinic Ester).....	7
2.3 ตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst).....	8
2.4 เครื่องปฏิกรณ์ (Reactor).....	11
2.5 กระบวนการไฮโดรจีเนชัน (Hydrogenation reaction).....	15
2.6 แอลกอฮอล์ (Alcohol).....	16
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	16
2.8 เครื่องมือตรวจวัดลักษณะจำเพาะ.....	32
2.9 เครื่องมือวิเคราะห์ผลการเร่งปฏิกิริยา.....	37
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	39
3.1 การสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะออกไซด์.....	39
3.2 การตรวจวัดและวิเคราะห์ลักษณะจำเพาะ.....	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.3 การทดสอบกระบวนการเร่งปฏิกิริยา.....	49
บทที่ 4 ผลการวิจัย.....	54
4.1 อิทธิพลของการสร้างพันธะของตัวเร่งปฏิกิริยา.....	54
4.2 การศึกษาลักษณะเฟสที่ว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยา.....	56
4.3 บทบาทของสารให้อะตอมไฮโดรเจนในกระบวนการเร่งปฏิกิริยา.....	62
4.4 การใช้สารตั้งต้นในกลุ่มลิทวูลินเตสเทอร์.....	66
4.5 อิทธิพลของชนิดตัวเร่งปฏิกิริยา.....	68
4.6 อิทธิพลของอุณหภูมิที่ใช้ในการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยา.....	75
4.7 อิทธิพลของอัตราส่วนสารตั้งต้นที่ใช้ในการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยา.....	83
4.8 อิทธิพลของการใช้วัสดุรองรับในการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยา.....	87
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	94
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	94
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	95
บทที่ 6 สรุปผลผลิตงานวิจัย.....	98
เอกสารอ้างอิง.....	99
ภาคผนวก.....	102
ภาคผนวก ก. สรุปค่าใช้จ่ายการดำเนินโครงการวิจัย ให้แนบแบบรายงานการใช้จ่ายเงิน.....	103
ประวัตินักวิจัย.....	105

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 สมบัติของแกมมาวาเลโรแลคโตน.....	7
2.2 ค่าการเกิดผลิตภัณฑ์จีวีแอลที่ได้จากการใช้สารตัวให้อะตอมไฮโดรเจนแต่ละชนิดในงานวิจัยของ Z. Yang และคณะ.....	17
2.3 อุณหพลศาสตร์ของกระบวนการไฮโดรจีเนชันแบบทั่วไปเปรียบเทียบกับกระบวนการไฮโดรจีเนชันแบบส่งผ่านในงานวิจัยของ J. Geboers และคณะ.....	17
2.4 อิทธิพลของปริมาณคอปเปอร์ในกระบวนการไฮโดรจีเนชันของกรดลิวูลินิกไปเป็นจีวีแอลในงานวิจัยของ B. Putrakumar และคณะ.....	27
2.5 ค่าการเปลี่ยนแปลงสารตั้งต้นและค่าความจำเพาะเจาะจงในการเกิดผลิตภัณฑ์จีวีแอลจากตัวเร่งปฏิกิริยาแต่ละชนิดในงานวิจัยของ X. Long และคณะ.....	30
4.1 จุดเดือดและค่าความหนืดของแอลกอฮอล์ชนิดต่างๆ.....	65
4.2 พื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาออกไซด์ของโลหะผสมคอปเปอร์ชนิดต่างๆ.....	73
4.3 ค่าความเป็นผลึกของตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์นิกเกิลออกไซด์ที่ถูกสังเคราะห์ที่อุณหภูมิต่างๆ.....	80
4.4 ขนาดของผลึกในตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์นิกเกิลออกไซด์ที่สังเคราะห์ที่อุณหภูมิต่างๆ.....	81
4.5 พื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์นิกเกิลออกไซด์ที่สังเคราะห์บนวัสดุรองรับชนิดต่างๆ.....	89

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 โครงสร้างของแกมมาวาเลโรแลคโตน.....	6
2.2 การสกัดลิพิดในเตอเอสเทอร์จากชีวมวล.....	8
2.3 กราฟเปรียบเทียบพลังงานก่อกัมมันต์ระหว่างปฏิกิริยาที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาและไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา.....	9
2.4 การทำงานของเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ.....	11
2.5 การทำงานของเครื่องปฏิกรณ์แบบตั้งกวางต่อเนื่อง.....	12
2.6 การทำงานของเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อไหล.....	13
2.7 การทำงานของเครื่องปฏิกรณ์แบบฟลักซ์เบด.....	13
2.8 การทำงานของเครื่องปฏิกรณ์แบบฟลูอิดไดซ์เบด.....	14
2.9 การทำงานของเครื่องปฏิกรณ์แบบมูฟวิงเบด.....	15
2.10 โครงสร้างของแอลกอฮอล์ชนิดต่างๆ.....	16
2.11 ค่าความจำเพาะเจาะจงในการเกิดสารผลิตภัณฑ์จากสารตั้งต้นในกลุ่มแอลคิลลิพิดชนิดต่างๆในงานวิจัยของ J. Geboers และคณะ.....	18
2.12 อิทธิพลของเวลาที่ใช้ในกระบวนการเร่งปฏิกิริยาจากการใช้สารตั้งต้นกลุ่มแอลคิลลิพิดชนิดสองชนิดในงานวิจัยของ J. Geboers และคณะ.....	19
2.13 ความสามารถในการแลคโตไนเซชันของเมทิลแกมมาไฮดรอกซีเพนทาโนเอตจากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาสามชนิดในงานวิจัยของ J. Geboers และคณะ.....	20
2.14 ภาพจำลองการเกิดปฏิกิริยาแลคโตไนเซชันของแอลคิลแกมมาไฮดรอกซีเพนทาโนเอตบนตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลในงานวิจัยของ J. Geboers และคณะ.....	20
2.15 ภาพจำลองการเกิดอันตรกิริยาระหว่าง (ก) แอลกอฮอล์ปฐมภูมิ และ (ข) แอลกอฮอล์ทุติยภูมิ กับพื้นผิวของนิกเกิลในงานวิจัยของ J. Geboers และคณะ.....	21
2.16 อิทธิพลของการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Al ₂ Zr ₃ ที่สังเคราะห์ที่อุณหภูมิต่างๆกันในกระบวนการเร่งปฏิกิริยาในงานวิจัยของ J. He และคณะ.....	22
2.17 อิทธิพลของอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในกระบวนการเร่งปฏิกิริยาเพื่อผลิตจีวีแอลจากเอทิลลิพิดในงานวิจัยของ J. He และคณะ.....	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
2.18 อิทธิพลของชนิดแอลกอฮอล์ที่ใช้เป็นสารตัวให้อะตอมไฮโดรเจน ในกระบวนการเร่งปฏิกิริยาเพื่อผลิตจีวีแอลจากเอทิลวูลิเนตใน งานวิจัยของ J. He และคณะ.....	23
2.19 ประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาแต่ละชนิดที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเปียกชุ่มใน งานวิจัยของ I. Obregón และคณะ.....	25
2.20 ประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยา Ni-Cu/Al ₂ O ₃ ที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเปียกชุ่ม และวิธีโซล-เจลที่สังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 300 และ 450 องศาเซลเซียสใน งานวิจัยของ I. Obregón และคณะ.....	26
2.21 วิธีการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชันของกรดลิวลินิกไปเป็นจีวีแอล ในงานวิจัยของ B. Putrakumar และคณะ.....	27
2.22 ผลการเร่งปฏิกิริยาด้วยกระบวนการไฮโดรจีเนชันของกรดลิวลินิกโดย ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Cu-Cr ที่มีอัตราส่วนของ Cu ²⁺ และ Cr ³⁺ แตกต่างกัน ในงานวิจัยของ K. Yan และ A. Chen.....	28
2.23 ผลการเร่งปฏิกิริยาด้วยกระบวนการไฮโดรจีเนชันของกรดลิวลินิก โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Cu-Fe ที่มีอัตราส่วนของ Cu ²⁺ และ Fe ³⁺ แตกต่างกัน ในงานวิจัยของ K. Yan และ A. Chen.....	29
2.24 วิธีการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชันของกรดลิวลินิกไปเป็นจีวีแอล ในงานวิจัยของ K. Yan และ A. Chen.....	29
2.25 หลักการทำงานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope: SEM).....	32
2.26 หลักการทำงานของเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-Ray Diffraction: XRD).....	33
2.27 หลักการทำงานของเครื่องวิเคราะห์พื้นที่ผิวและรูพรุน (Surface area & Pore size analyzer).....	34
2.28 หลักการทำงานของเครื่องวิเคราะห์สมบัติทางเคมีตามการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ (Chemisorption Analyzer) ในรูปแบบของการตรวจวิเคราะห์การคายซับ (Temperature Programmed Desorption: TPD).....	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
2.29 หลักการทำงานของเครื่องวิเคราะห์สมบัติทางเคมีตามการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ (Chemisorption Analyzer) ในรูปแบบของการตรวจวิเคราะห์การรีดักชัน (Temperature Programmed Reduction: TPR).....	36
2.30 หลักการทำงานของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี – แมสสเปกโตรมิเตอร์ (Gas Chromatography – Mass Spectrometer: GC-MS).....	37
2.31 หลักการทำงานของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี – เฟลมไอออไนเซชันดีเทคเตอร์ (Gas Chromatography – Flame Ionization Detector: GC-FID).....	38
3.1 สารตั้งต้นสำหรับการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยา.....	39
3.2 สารวัสดุรองรับสำหรับการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยา.....	39
3.3 ถ้วยเซรามิก (Ceramic Crucible) สำหรับผสมสารตั้งต้นในการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยา.....	39
3.4 เตาเผาความร้อนสูง (Muffle Furnace) ยี่ห้อ Nabertherm สำหรับกระบวนการเผาตัวเร่งปฏิกิริยา.....	40
3.5 ตัวอย่างสารตัวเร่งปฏิกิริยาที่ทำการสังเคราะห์และบดเป็นผงเสร็จเรียบร้อยแล้ว.....	41
3.6 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope: SEM) รุ่น Hitachi S3400N.....	42
3.7 แผ่นรองตัวอย่างสำหรับการตรวจวัดด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ซึ่งทำการติดเทปภาวคาร์บอนและเตรียมตัวอย่างสารสำหรับตรวจวัดเรียบร้อยแล้ว.....	43
3.8 เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-Ray Diffraction: XRD) รุ่น BRUKER D8 ADVANCE.....	44
3.9 แผ่นรองตัวอย่างสำหรับการตรวจวัดด้วยเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ ซึ่งทำการเตรียมตัวอย่างสารสำหรับตรวจวัดเรียบร้อยแล้ว.....	44
3.10 เครื่องวิเคราะห์พื้นที่ผิวและรูพรุน (Surface area & Pore size analyzer) รุ่น NOVA 2000e.....	45
3.11 กระจาปะตรวจวัดสำหรับการตรวจวัดด้วยเครื่องวิเคราะห์พื้นที่ผิวและรูพรุน ซึ่งเตรียมตัวอย่างสารสำหรับตรวจวัดและปิดฝากระจาปะด้วยแท่งแก้วเรียบร้อยแล้ว.....	46
3.12 เครื่องวิเคราะห์สมบัติทางเคมีตามการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ (TPR/TPD Chemisorption Analyzer) รุ่น Quantachrome INSTRUMENTS ChemBET Pulsar.....	47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3.13 กระเปาะตรวจวัดสำหรับการตรวจวัดด้วยเครื่องวิเคราะห์สมบัติทางเคมี ตามการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิซึ่งเตรียมตัวอย่างสารสำหรับตรวจวัดและปิดช่องว่าง ของกระเปาะด้านที่ต้องการใส่อุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิด้วยใยแก้วเรียบร้อยแล้ว.....	48
3.14 กระบอกเทฟลอนสำหรับบรรจุสารสำหรับทำปฏิกิริยาในกระบวนการเร่งปฏิกิริยา.....	49
3.15 เครื่องปฏิกรณ์แบบกะสำหรับกระบวนการเร่งปฏิกิริยา.....	50
3.16 การใช้เครื่องปฏิกรณ์ในกระบวนการเร่งปฏิกิริยา.....	50
3.17 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี – แมสสเปกโตรมิเตอร์ (Gas Chromatography – Mass Spectrometer: GC-MS) รุ่น SHIMADZU GCMS-QP 2010 Ultra.....	51
3.18 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี – เฟลม ไอออไนเซชันดีเทคเตอร์ (Gas Chromatography – Flame Ionization Detector: GC-FID) รุ่น SHIMADZU GC-2010 Plus.....	52
3.19 ขวดตรวจวัดสำหรับการวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีทั้งสองรูปแบบ ที่เตรียมตัวอย่างสำหรับตรวจวัดเรียบร้อยแล้ว.....	53
4.1 ความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยากอปเปอร์นิกเกิลในลักษณะต่างๆ.....	55
4.2 ความสามารถในการผลิตไฮโดรเจนของตัวเร่งปฏิกิริยากอปเปอร์นิกเกิลในลักษณะต่างๆ.....	56
4.3 โครงสร้างก่อนและหลังใช้งานของตัวเร่งปฏิกิริยากอปเปอร์นิกเกิลในลักษณะต่างๆ.....	57
4.4 ความจำเพาะเจาะจงในการเกิดผลิตภัณฑ์ของตัวเร่งปฏิกิริยากอปเปอร์และนิกเกิลใน รูปของโลหะและอัลลอย.....	58
4.5 ความสามารถในการผลิตไฮโดรเจนของคอปเปอร์และนิกเกิลในรูปของโลหะและอัลลอย.....	59
4.6 สมบัติในการรีดักชันของออกไซด์ของคอปเปอร์และนิกเกิลในลักษณะต่างๆ.....	61
4.7 ความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาและการผลิตไฮโดรเจนในการใช้สารให้อะตอมไฮโดรเจน เป็นแอลกอฮอล์ชนิดต่างๆ.....	63
4.8 การเปลี่ยนโครงสร้างของตัวเร่งปฏิกิริยากอปเปอร์นิกเกิลออกไซด์จากการใช้สารให้อะตอมไฮโดรเจนเป็นแอลกอฮอล์ชนิดต่างๆ.....	66
4.9 ความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาในการใช้สารตั้งต้นในกลุ่มลิพิดินตอเอสเทอร์ชนิดต่างๆ.....	68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.10 ความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาและการผลิตไฮโดรเจนในการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา โลหะของออกไซด์ผสมคอปเปอร์ชนิดต่างๆ.....	70
4.11 สมบัติในการเกิดรีดักชันของ ตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะออกไซด์เฟสเดี่ยวและ ตัวเร่งปฏิกิริยาออกไซด์ของโลหะผสมคอปเปอร์.....	71
4.12 โครงสร้างของตัวเร่งปฏิกิริยาออกไซด์ของโลหะผสมคอปเปอร์ชนิดต่างๆ.....	72
4.13 ลักษณะสัณฐานวิทยาของตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดต่างๆ.....	74
4.14 ความสามารถของตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์นิกเกิลออกไซด์ที่สังเคราะห์ที่อุณหภูมิต่างๆ.....	76
4.15 สมบัติในการรีดักชันของตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์นิกเกิลออกไซด์ที่สังเคราะห์ที่อุณหภูมิต่างๆ.....	77
4.16 โครงสร้างผลึกของตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์นิกเกิลออกไซด์ที่สังเคราะห์ที่อุณหภูมิต่างๆ.....	80
4.17 ลักษณะสัณฐานวิทยาของตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์นิกเกิลออกไซด์ที่สังเคราะห์ที่อุณหภูมิต่างๆ.....	82
4.18 ความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์นิกเกิลออกไซด์ที่มี อัตราส่วนระหว่างคอปเปอร์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ต่างกัน.....	84
4.19 สมบัติในการรีดักชันของตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์นิกเกิลออกไซด์ที่มีอัตราส่วน ระหว่างคอปเปอร์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ต่างกัน.....	85
4.20 โครงสร้างของตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์นิกเกิลออกไซด์ที่มีอัตราส่วนระหว่าง คอปเปอร์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ต่างกัน.....	86
4.21 ความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์นิกเกิลออกไซด์ ที่ถูกสังเคราะห์บนวัสดุรองรับชนิดต่างๆ.....	88
4.22 สมบัติในการรีดักชันของตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์นิกเกิลออกไซด์ที่ถูกสังเคราะห์ บนวัสดุรองรับชนิดต่างๆ.....	90
4.23 โครงสร้างของตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์นิกเกิลออกไซด์ที่ถูกสังเคราะห์บน วัสดุรองรับชนิดต่างๆ.....	91
4.24 ลักษณะสัณฐานวิทยาและปริมาณธาตุชนิดต่างๆของตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ นิกเกิลออกไซด์ที่ถูกสังเคราะห์บนวัสดุรองรับชนิดต่างๆ.....	93

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

ปัญหาด้านพลังงานและเชื้อเพลิงกำลังเป็นปัญหาที่มีความสำคัญเป็นอย่างมากในปัจจุบันอันเนื่องมาจากความต้องการในการใช้พลังงานเชื้อเพลิงในปริมาณมากสำหรับการดำเนินชีวิตและขับเคลื่อนเศรษฐกิจ แต่เนื่องจากน้ำมันเชื้อเพลิงนั้นมีอยู่ในปริมาณที่จำกัดซึ่งสวนทางกับความต้องการในการใช้พลังงานที่เพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ จึงอาจส่งผลให้เกิดภาวะขาดแคลนพลังงานได้ในอนาคตอันใกล้ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อความมั่นคงทางเศรษฐกิจและสังคมได้ พลังงานที่มีการใช้กันในปัจจุบันนี้มีอยู่สองประเภท ประเภทแรกคือพลังงานที่ใช้แล้วหมดไปซึ่งเป็นพลังงานที่ได้จากเชื้อเพลิงที่เกิดจากการสะสมตามธรรมชาติของซากอินทรีย์ได้แก่ น้ำมันปิโตรเลียม ถ่านหิน และแก๊สธรรมชาติ ซึ่งได้จากการขุดเจาะตามแหล่งที่มีการสะสมพลังงานชนิดนี้เป็นพลังงานประเภทหลักที่มีการใช้งานกันมาอย่างยาวนานตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน ซึ่งจากการใช้งานดังกล่าวนี้เองจึงส่งผลให้ปริมาณของเชื้อเพลิงที่มีอยู่ในธรรมชาติค่อยๆ เหลือน้อยลง และอาจหมดลงได้ในอนาคตอันใกล้ พลังงานประเภทที่สองคือพลังงานหมุนเวียนซึ่งเป็นพลังงานที่ได้จากแหล่งพลังงานตามธรรมชาติ ได้แก่ พลังงานน้ำซึ่งอาศัยหลักการของแรงจากการตกจากที่สูงของมวลน้ำจากเขื่อนในการขับเคลื่อนแกนมอเตอร์เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า พลังงานลมที่สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้โดยหลักการอาศัยแรงจากเคลื่อนที่ของลมในการขับเคลื่อนใบพัดและมอเตอร์ผลิตกระแสไฟฟ้า พลังงานแสงอาทิตย์ที่ได้จากการเปลี่ยนแสงของดวงอาทิตย์ให้เป็นกระแสไฟฟ้าผ่านเซลล์สุริยะหรืออาจใช้หลักการรวมแสงจากดวงอาทิตย์โดยใช้กระจกหรือเลนส์จนเกิดความร้อนสูงสำหรับการผลิตไอน้ำเพื่อขับเคลื่อนมอเตอร์ผลิตกระแสไฟฟ้า พลังงานความร้อนใต้พิภพที่อาศัยความร้อนจากชั้นหินร้อนใต้พื้นผิวโลกในการผลิตไอน้ำแรงดันสูงในการขับเคลื่อนมอเตอร์ผลิตกระแสไฟฟ้า และพลังงานชีวมวลซึ่งเป็นพลังงานที่ได้จากเชื้อเพลิงที่สกัดได้จากกลุ่มสารอินทรีย์ในธรรมชาติ เช่น จากพืชหรือสัตว์

ในบรรดาพลังงานหมุนเวียนทั้งหมดที่กล่าวมาข้างต้นนั้น พลังงานชีวมวลถือเป็นพลังงานหมุนเวียนที่มีประสิทธิภาพและมีความน่าสนใจ เนื่องจากพลังงานที่ได้จากชีวมวลนั้นสามารถนำมาประยุกต์ใช้งานได้หลากหลาย นอกจากนี้ชีวมวลยังเป็นแหล่งวัตถุดิบสำหรับผลิตพลังงานที่หาได้ง่าย สามารถผลิตได้อย่างสม่ำเสมอ มีปริมาณมาก และราคาถูก [1] เช่น เศษซากที่เหลือทิ้งจากการทำการเกษตร หรือการแปรรูปอาหาร ตัวอย่างวัตถุดิบสำหรับผลิตพลังงานจากชีวมวลได้แก่ แกลบ ชังข้าวโพด กากปาล์ม กากมันสำปะหลัง ชานอ้อย กากและกะลามะพร้าว เศษไม้ เป็นต้น การผลิตพลังงานจากชีวมวลนั้นสามารถทำได้โดยการใช้ชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงโดยตรงก็ได้ เช่น ใช้เป็นฟืน

สำหรับเตาไฟ หรืออาจนำมาต่อยอดโดยการใช่เป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการผลิตสารเชื้อเพลิงชนิดอื่นๆ ซึ่งต้องอาศัยกระบวนการทางเคมีที่ซับซ้อนยิ่งขึ้น

ลิวูลิเนตเอสเทอร์ (Levulinic ester) เป็นสารอินทรีย์ชนิดหนึ่งซึ่งเป็นสารอนุพันธ์ที่ได้จากชีวมวล [2] มันสามารถสังเคราะห์ได้จากเซลลูโลสซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญที่พบได้ในพืชทุกชนิดโดยการใช่แอลกอฮอล์ช่วยในการสังเคราะห์ผ่านกระบวนการเอสเทอร์ริฟิเคชันซึ่งเป็นปฏิกิริยาระหว่างแอลกอฮอล์และกรดอินทรีย์ โดยทั่วไปแล้วลิวูลิเนตเอสเทอร์สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้หลากหลายเช่นใช้เป็นสารแต่งกลิ่นในอุตสาหกรรมอาหารและอุตสาหกรรมน้ำหอม [3] นอกจากนี้มันยังสามารถประยุกต์ใช้งานในเชิงพลังงานเชื้อเพลิงได้ด้วยโดยใช้ในการปรับปรุงสมบัติของเชื้อเพลิงดีเซลให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น [4] ความสามารถที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งของลิวูลิเนตเอสเทอร์คือมันสามารถถูกใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตสารประกอบเคมีชนิดอื่นๆที่มีประสิทธิภาพในการประยุกต์ใช้งานด้านพลังงานเชื้อเพลิงมากยิ่งขึ้นและมีมูลค่ามากกว่าเดิม

ตัวอย่างสารผลิตภัณฑ์ที่สามารถผลิตได้จากลิวูลิเนตเอสเทอร์ได้แก่แกมมาวาเลโรแลคโตน หรือจีวีแอล (γ -valerolactone: GVL) จีวีแอลเป็นสารประกอบอินทรีย์ชนิดหนึ่งที่มีการใช้งานทั่วไปในอุตสาหกรรมพลังงานเชื้อเพลิง โดยสามารถใช้เป็นสารเติมแต่งเพื่อเพิ่มค่าประสิทธิภาพการเผาไหม้ให้กับเชื้อเพลิงได้ การใช้งานในรูปแบบอื่นๆเช่น ใช้ผลิตสารละลายที่มีคุณสมบัติในการนำกลับมาใช้ใหม่ได้ ไม่มีพิษ และย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ [5] นอกจากนี้ยังมีการใช้งานในอุตสาหกรรมพอลิเมอร์โดยใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตพอลิเมอร์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมได้อีกด้วย [6] ตัวอย่างการนำ GVL ไปใช้งานได้แก่ ใช้ผสมกับน้ำมันเชื้อเพลิงแทนเอทานอล [7] หรือใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตเชื้อเพลิงได้ กระบวนการ hydrogenation ของ GVL นั้นสามารถผลิตเป็น เมทิลเตตระไฮโดรฟูแรน (Methyltetrahydrofuran) [8] ซึ่งเป็นสารไฮโดรคาร์บอนมวลโมเลกุลสูงซึ่งมีคุณสมบัติคล้ายแก๊สโซลีน ดีเซล หรือเชื้อเพลิงเครื่องบินเจ็ท หรืออาจใช้ผลิต บิวทีน (Butene) ด้วยวิธีการดีคาร์บอกซิเลชัน (Decarboxylation) [9] ซึ่งบิวทีนนั้นสามารถนำไปผลิตเป็นสารหมู่แอลคีนที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานสำหรับแก๊สโซลีน หรือเชื้อเพลิงเครื่องบินเจ็ทได้เช่นกันด้วยกระบวนการโอลิโกเมไรเซชัน (Oligomerization) นอกจากนี้ยังสามารถใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิต 5-โนนانون (5-nonanone) ซึ่งมีคุณสมบัติเหมาะสมในการนำไปใช้เป็นส่วนประกอบของน้ำมันดีเซลสังเคราะห์ได้อีกด้วย [10] กระบวนการที่ใช้ในการสังเคราะห์จีวีแอลจาก ลิวูลิเนต เอสเทอร์ สามารถทำได้โดยกระบวนการไฮโดรจิเนชัน (Hydrogenation) ซึ่งเป็นกระบวนการที่มีการใช้ไฮโดรเจนในการทำปฏิกิริยา โดยกระบวนการไฮโดรจิเนชันนั้นจะมี 2 รูปแบบคือ ไฮโดรจิเนชันแบบทั่วไป (Conventional hydrogenation) ซึ่งกระบวนการไฮโดรจิเนชันในรูปแบบนี้จะใช้วิธีการอัดแก๊สไฮโดรเจนเข้าสู่ปฏิกิริยาโดยตรง ส่งผลให้ปฏิกิริยามีความดันสูงและมีการคายความร้อน กระบวนการไฮโดรจิเนชันอีกรูปแบบหนึ่งจึงถูกเลือกแทนที่สำหรับการศึกษานี้ คือ กระบวนการไฮโดรจิเนชันแบบส่งผ่าน (Catalytic transfer hydrogenation) ซึ่งมีการใช้สารให้อะตอมไฮโดรเจนในปฏิกิริยาแทนการอัดแก๊สไฮโดรเจนเข้าสู่ปฏิกิริยาโดยตรง โดยกระบวนการไฮโดรจิเนชันในรูปแบบนี้จะมีความดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในปฏิกิริยาที่ต่ำกว่า และมีลักษณะเป็นปฏิกิริยาแบบดูดความร้อน [11] ซึ่งมีความปลอดภัยมากกว่า นอกจากนี้ในงานวิจัยของ M. J. Gilkey ยังพบว่ากระบวนการไฮโดรจีเนชันแบบส่งผ่านยังสามารถช่วยในการควบคุมการเลือกเกิดผลิตภัณฑ์ได้ดีกว่าอีกด้วย [12]

ปัจจัยที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งในการสังเคราะห์จีวีแอลจากลิทวูลิเนตเอสเทอร์ด้วยกระบวนการไฮโดรจีเนชันแบบส่งผ่านคือ ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในกระบวนการเร่งปฏิกิริยา โดยทั่วไปแล้วตัวเร่งปฏิกิริยาสำหรับกระบวนการไฮโดรจีเนชันจะมีลักษณะเป็นกลุ่มโลหะทรานซิชัน ซึ่งจากการศึกษาพบว่าโลหะคอปเปอร์เป็นโลหะทรานซิชันที่น่าสนใจสำหรับกระบวนการนี้ เนื่องจากการทบทวนวรรณกรรมในงานของ Lj. Kundakovic และคณะ [13] พบว่าการเติมคอปเปอร์ออกไซด์ในปริมาณที่เหมาะสมส่งผลให้ตัวเร่งปฏิกิริยากอปเปอร์เซอร์โคเนียมออกไซด์ (CuZr(Y)O_2) สามารถเกิดการรีดักชันได้ที่อุณหภูมิต่ำลง และนอกจากนี้ในงานวิจัยของ J. Ashok และคณะ [14] พบว่าคอปเปอร์จะทำให้เกิดกระบวนการไฮโดรเจนสปีดโอเวอร์กับนิกเกิลในตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลคอปเปอร์ออลูมิเนียม (Ni-Cu-Al) ได้อีกด้วย โดยกระบวนการไฮโดรเจนสปีดโอเวอร์นี้เป็นปรากฏการณ์ที่อะตอมไฮโดรเจนบนภายนอกพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาเกิดการแพร่เข้าสู่โครงสร้างในตัวเร่งปฏิกิริยาและสร้างพันธะกับอะตอมออกซิเจนในโครงสร้างของตัวเร่งปฏิกิริยาแทนที่อะตอมของตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งส่งผลให้ตัวเร่งปฏิกิริยาสามารถเกิดการรีดักชันได้ง่ายขึ้นเช่นกัน การที่คอปเปอร์สามารถช่วยลดพลังงานที่ต้องใช้ในการเกิดรีดักชันนี้เอง จึงมีความเป็นไปได้ว่าคอปเปอร์จะมีความสามารถในการช่วยให้การเกิดปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชันเกิดขึ้นได้ดี การทดลองนี้จึงได้ทำการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะออกไซด์โดยใช้คอปเปอร์ออกไซด์เป็นองค์ประกอบหลัก โดยใช้เงื่อนไขในการสังเคราะห์ที่แตกต่างกัน ได้แก่ สารตั้งต้นชนิดอื่นๆที่จะใช้จับคู่กับคอปเปอร์ออกไซด์เพื่อสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาได้แก่ นิกเกิลออกไซด์ โคบอลต์ออกไซด์ โครเมียมออกไซด์ และไอออนออกไซด์ อุณหภูมิที่ใช้ในการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาได้แก่ 500, 600, 700, และ 800 องศาเซลเซียส อัตราส่วนของสารตั้งต้นที่ใช้ในการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยา ได้แก่ 8:1, 4:1, 2:1, 1:1, 1:2, 1:4, และ 1:8 นอกจากนี้ยังได้ทำการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาโดยใช้วัสดุรองรับ (Supporting material) ที่ต่างชนิดกัน 3 ชนิดได้แก่ อลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3), ซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2), และ แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) โดยการทดลองทั้งหมดนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาเงื่อนไขที่ส่งผลให้ตัวเร่งปฏิกิริยามีประสิทธิภาพในการสังเคราะห์จีวีแอลจากลิทวูลิเนตเอสเทอร์ด้วยกระบวนการไฮโดรจีเนชันแบบส่งผ่านมากที่สุด

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อศึกษาเงื่อนไขในการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ส่งผลให้ตัวเร่งปฏิกิริยามีความสามารถในการผลิตจีวีแอลจากลิควูเลนเตสเทอร์ด้วยกระบวนการไฮโดรจีเนชันแบบส่งผ่านสูงที่สุด

1.3 แผนการดำเนินงานวิจัย

	ต.ค. 2560	พ.ย. 2560	ธ.ค. 2560	ม.ค. 2561	ก.พ. 2561	มี.ค. 2561	เม.ย. 2561	พ.ค. 2561	มิ.ย. 2561	ก.ค. 2561	ส.ค. 2561	ก.ย. 2561
ศึกษา อิทธิพลของ ชนิดของสาร ตั้งต้นที่ใช้ ในการ สังเคราะห์ ตัวเร่ง ปฏิกิริยา												
ศึกษา อิทธิพลของ อุณหภูมิที่ใช้ ในการ สังเคราะห์ ตัวเร่ง ปฏิกิริยา												
ศึกษา อิทธิพลของ อัตราส่วน ของสารตั้ง ต้นที่ใช้ใน การ สังเคราะห์ ตัวเร่ง ปฏิกิริยา												
ศึกษา อิทธิพลของ วัสดุรองรับ ที่ใช้ในการ สังเคราะห์ ตัวเร่ง ปฏิกิริยา												

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิเคราะห์ และสรุปผล การทดลอง												
จัดทำรูปเล่ม รายงาน												

1.4 สมมติฐานงานวิจัย

การใช้คอปเปอร์ออกไซด์เป็นองค์ประกอบในการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาจะส่งผลให้ตัวเร่งปฏิกิริยามีความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการไฮโดรจิเนชันได้ดีเนื่องจากคอปเปอร์สามารถช่วยลดพลังงานที่ใช้ในการรีดักชันของตัวเร่งปฏิกิริยาผสมได้ และการใช้อุณหภูมิในการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยา อัตราส่วนสารตั้งต้นที่ใช้ในการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยา และการใช้วัสดุรองรับในการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาที่แตกต่างกันจะส่งผลให้ตัวเร่งปฏิกิริยามีประสิทธิภาพแตกต่างกัน เนื่องจากตัวเร่งปฏิกิริยาจะเกิดการจัดเรียงโครงสร้างที่ต่างกัน

1.5 ขอบเขตการดำเนินการ

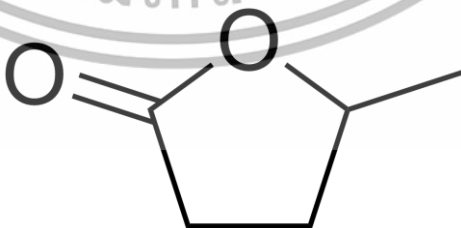
งานวิจัยนี้จะทำการศึกษาอิทธิพลของเงื่อนไขต่างๆที่ใช้ในการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาได้แก่ ชนิดของสารตั้งต้นที่ใช้ในการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยา อุณหภูมิที่ใช้ในการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยา อัตราส่วนสารตั้งต้นที่ใช้ในการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยา และชนิดของวัสดุรองรับที่ใช้ในการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยา ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาในการสังเคราะห์จีวีแอลจากลิวูลินเตเอสเทอร์ด้วยกระบวนการไฮโดรจิเนชันแบบส่งผ่าน

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แกมมาวาเลโรแลคโตน หรือ จีวีแอล (γ -Valerolactone: GVL)

แกมมาวาเลโรแลคโตนหรือจีวีแอล (γ -Valerolactone: GVL) เป็นสารอินทรีย์ชนิดหนึ่งที่มีโครงสร้างเป็นแบบวงแหวนซึ่งมีสูตรโครงสร้างทางเคมีคือ $C_5H_8O_2$ มีมวลโมเลกุลเท่ากับ 100.116 มีจุดเดือดอยู่ที่ 105.81 องศาเซลเซียส และมีจุดหลอมเหลวอยู่ที่ -67.27 องศาเซลเซียส โดยทั่วไปแล้วจีวีแอลนั้นสามารถสังเคราะห์ได้จากกรดลิวกลินิกหรือลิวกลิเนตเอสเทอร์ซึ่งเป็นสารที่สกัดได้จากเซลลูโลสในชีวมวล [2] จีวีแอลสามารถนำมาประยุกต์ใช้งานได้หลากหลายในเชิงอุตสาหกรรมพอลิเมอร์และพลังงานเชื้อเพลิง โดยตัวอย่างของการประยุกต์ใช้งานในด้านพลังงานเชื้อเพลิงของมันเป็นเช่น สามารถใช้เป็นสารเติมแต่งในน้ำมันเชื้อเพลิงแทนเอทานอลได้ [7] การเกิดปฏิกิริยาไฮโดรจิเนชันของจีวีแอลสามารถทำให้เกิดผลิตภัณฑ์เป็นเมทิลเตตระไฮโดรฟูแรน (Methyltetrahydrofuran) [8] ซึ่งเป็นสารกลุ่มไฮโดรคาร์บอนมวลโมเลกุลสูงที่มีคุณสมบัติคล้ายคลึงกับน้ำมันดีเซลหรือเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องบินเจ็ท โดยเมทิลเตตระไฮโดรฟูแรนนั้นสามารถใช้เป็นองค์ประกอบสำหรับเติมแต่งลงในน้ำมันเชื้อเพลิงได้ถึง 70% [15] และมีกำลังในการผลิตถึง 260,000 ลูกบาศก์เมตรต่อปี [16] ผลิตภัณฑ์ชนิดอื่นที่สามารถสังเคราะห์ได้จากจีวีแอลได้แก่ 5-nonanone [10] ซึ่งมีคุณสมบัติคล้ายคลึงกับเชื้อเพลิงดีเซลเช่นกัน นอกจากนี้การใช้จีวีแอลเป็นสารตั้งต้นสำหรับปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชันยังสามารถผลิตบิวทีนและคาร์บอนไดออกไซด์ได้ด้วย [9] ซึ่งบิวทีนนั้นสามารถใช้เป็นสารตั้งต้นต่อไปสำหรับปฏิกิริยาโอลิโกเมอร์ไรเซชันสำหรับผลิตสารกลุ่มแอลคีนมวลโมเลกุลสูงซึ่งมีความสามารถในการประยุกต์ใช้งานกับน้ำมันเชื้อเพลิงได้เช่นกัน การประยุกต์ใช้งานจีวีแอลในด้านอื่นๆเช่นในอุตสาหกรรมพอลิเมอร์ได้แก่ ใช้เป็นสารตั้งต้นหรือวัตถุดิบสำหรับปฏิกิริยาโคพอลิเมอร์ไรเซชันในการผลิตพอลิเมอร์ชีวภาพ [6] นอกจากนี้มันยังสามารถใช้ผลิตสารละลายที่มีความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมได้อีกด้วย [5]



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของแกมมาวาเลโรแลคโตน

ตารางที่ 2.1 สมบัติของแกมมาวาเลโรแลคโตน

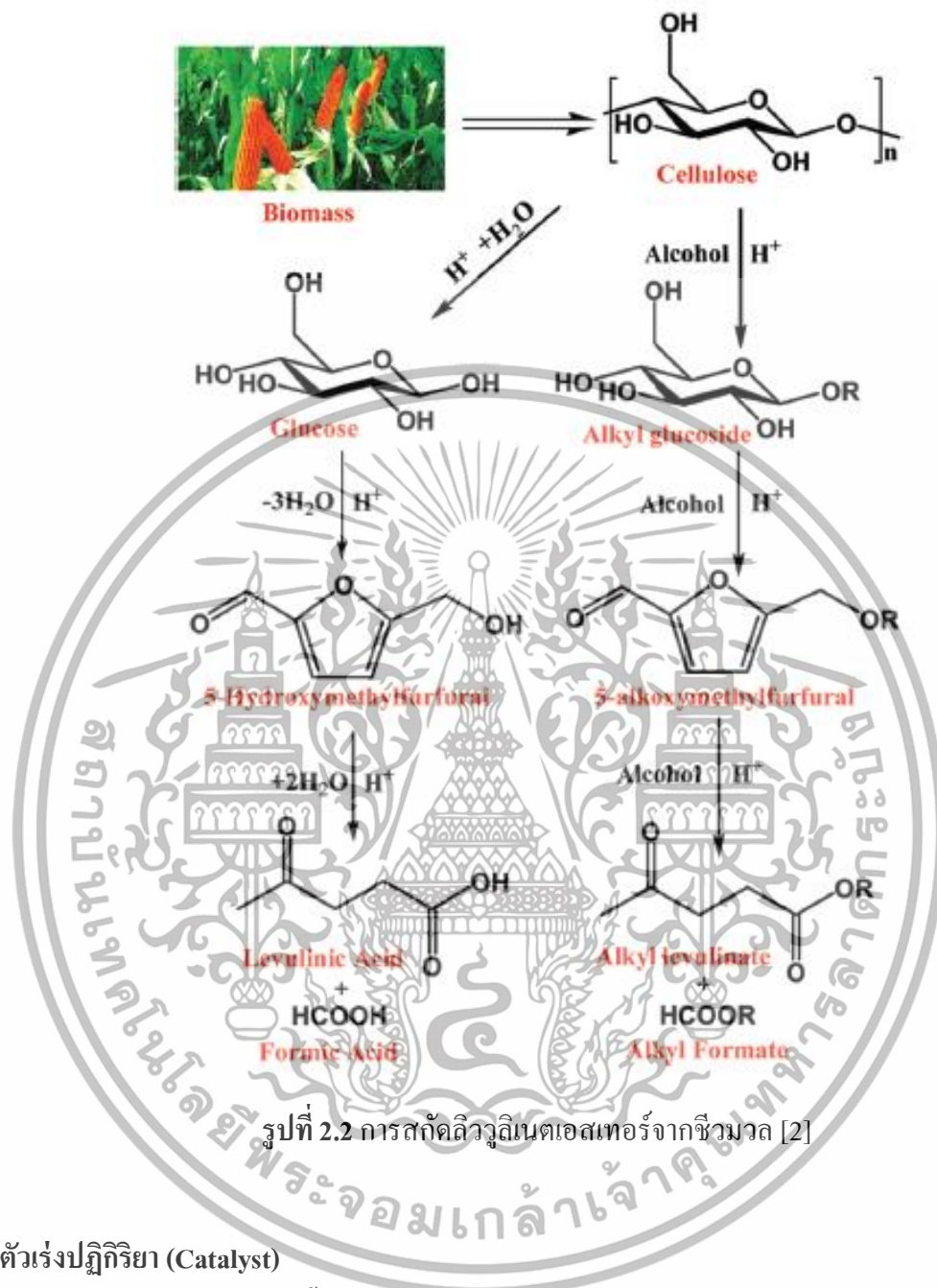
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IUPAC Name:	5-Methyldihydrofuran-2(3H)-one
Molecular Formula:	C ₅ H ₈ O ₂
Molecular Weight:	100.116
CAS Number:	108-29-2
Boiling Point:	378.96 K
Melting Point:	205.88 K
Critical Temperature:	697.62 K
Critical Pressure:	40.93 Bar
Critical Volume:	298.5 cm ³ /mol
Gibbs Energy:	-258.4 kJ/mol
Log P:	0.42
MR:	24.75 cm ³ /mol
Henry's Law:	2.25
Heat of Form:	-391.01 kJ/mol
tPSA:	26.3
CLogP:	-0.284
CMR:	2.5078

2.2 ลิวูลิเนตเอสเทอร์ (Levulinate Ester)

ลิวูลิเนตเอสเทอร์เป็นสารอินทรีย์ชนิดหนึ่งซึ่งเป็นอนุพันธ์ที่สกัดได้จากเซลลูโลสที่พบในชีวมวล [2] หรืออาจสังเคราะห์ได้จากกรดลิวูลินิกซึ่งเป็นสารอนุพันธ์จากชีวมวลเช่นกันด้วยกระบวนการเอสเทอร์ริฟิเคชันซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างกรดอินทรีย์และหมู่แอลกอฮอล์ ลิวูลิเนตเอสเทอร์เป็นสารองค์ประกอบที่สำคัญและมีประสิทธิภาพสำหรับการใช้งานในอุตสาหกรรมแต่งกลิ่นอาหารและอุตสาหกรรมน้ำหอม [3] นอกจากนี้มันยังสามารถประยุกต์ใช้งานในอุตสาหกรรมด้านอื่นๆ ได้ด้วย เช่น มีการใช้งานลิวูลิเนตเอสเทอร์ในอุตสาหกรรมพอลิเมอร์ โดยมันถูกใช้เป็นสารตัวทำละลายหรือสารเติมแต่งเพื่อปรับแต่งสมบัติของพลาสติก (Plasticizer) สำหรับพลาสติกเซลลูโลส [17] การใช้งานลิวูลิเนตเอสเทอร์ในด้านอื่นๆ ได้แก่การประยุกต์ใช้งานในด้านพลังงานเชื้อเพลิง โดยมันสามารถใช้เป็นสารเติมแต่งเพื่อปรับแต่งสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิงได้ เช่น ใช้ในการปรับปรุงอัตราการไหลของน้ำมันไบโอดีเซลเมื่ออยู่ในอุณหภูมิต่ำ [18] และใช้เป็นสารเติมแต่งสำหรับปรับปรุงสมบัติของเชื้อเพลิงดีเซลได้ เช่น ช่วยให้การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงสะอาดขึ้น ช่วยให้เชื้อเพลิงมีความเสถียรในจุดควบไฟ ช่วยลดปริมาณกำมะถันในเชื้อเพลิง และช่วยปรับปรุงความหนืดของเชื้อเพลิง เป็นต้น [19]

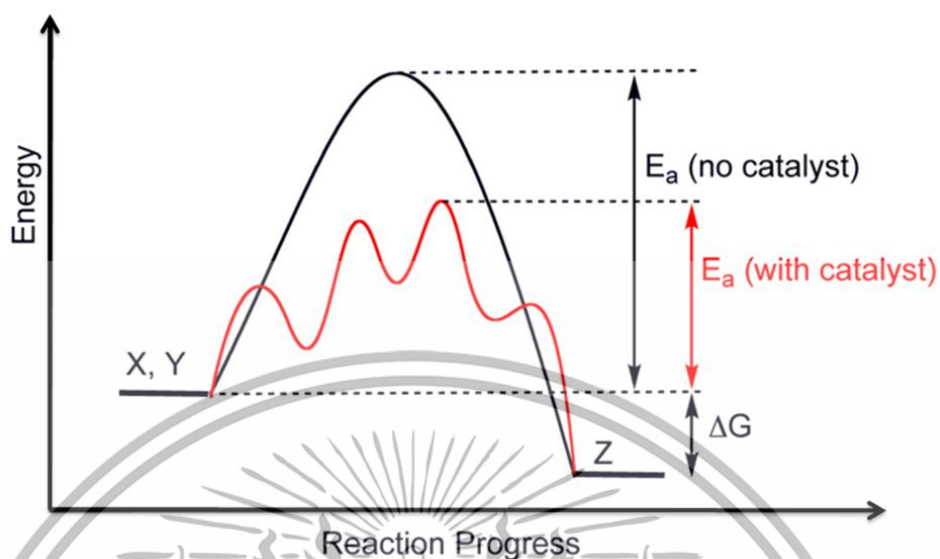
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



2.3 ตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst)

ในกระบวนการเร่งปฏิกิริยานั้น ตัวเร่งปฏิกิริยา [20] ถือเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญสำหรับกระบวนการ โดยหน้าที่ของตัวเร่งปฏิกิริยานั้นคือการช่วยลดพลังงานก่อกัมมันต์ที่จำเป็นต้องใช้ในกระบวนการเร่งปฏิกิริยา หมายความว่า จะสามารถช่วยลดพลังงานและเวลาที่ต้องใช้ในกระบวนการเร่งปฏิกิริยาลงนั่นเอง ซึ่งการช่วยลดพลังงานก่อกัมมันต์ในปฏิกิริยานั้นเกิดขึ้นได้จากการช่วยเพิ่มวิถี (Pathway) ใหม่ให้กับกระบวนการเกิดปฏิกิริยาที่ใช้พลังงานก่อกัมมันต์น้อยกว่ากระบวนการเกิดปฏิกิริยาที่วิถีเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 กราฟเปรียบเทียบพลังงานก่อกัมมันตระหว่างปฏิกิริยาที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาและไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา[21]

2.3.1 ชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา

2.3.1.1 ตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธ์ (Homogeneous catalyst)

ตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธ์ หมายถึง ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีวัฏภาคเดียวกันกับสารตั้งต้นและสารผลิตภัณฑ์ ข้อดีของตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดนี้คือ มีความจำเพาะต่อการเร่งปฏิกิริยา และร้อยละของผลิตภัณฑ์ที่สูง แต่อย่างไรก็ตาม ข้อเสียที่สำคัญของตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดนี้คือ กระบวนการแยกตัวเร่งปฏิกิริยาออกจากผลิตภัณฑ์ภายหลังเสร็จสิ้นกระบวนการเร่งปฏิกิริยาทำได้ยาก

2.3.1.2 ตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธ์ (Heterogeneous catalyst)

ตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธ์ หมายถึง ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ไม่เป็นวัฏภาคเดียวกันกับสารตั้งต้นและสารผลิตภัณฑ์ โดยส่วนมากแล้วตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธ์มักจะมีสถานะเป็นของแข็ง โดยกระบวนการเร่งปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นบริเวณพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา

2.3.2 สมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยา

2.3.2.1 ความไวต่อการเร่งปฏิกิริยา (Activity)

ความไวต่อการเร่งปฏิกิริยา (Activity) หมายถึง ความสามารถในการควบคุมอัตราการเกิดปฏิกิริยา โดยสมบัติข้อนี้ถือเป็นสมบัติข้อแรกของตัวเร่งปฏิกิริยาที่จะต้องถูกทดสอบว่ามีความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาได้ดีหรือไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยความไวต่อการเร่งปฏิกิริยาสามารถคำนวณได้จากเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของสารตั้งต้น (Percentage Conversion) ได้ดังสมการ

$$\text{เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงสารตั้งต้น} = \frac{\text{ปริมาณสารตั้งต้นที่หายไป}}{\text{ปริมาณสารตั้งต้นเริ่มต้น}} \times 100$$

2.3.2.2 ความจำเพาะเจาะจงในการเร่งปฏิกิริยา (Selectivity)

ความจำเพาะเจาะจง (Selectivity) หมายถึง ความสามารถในการควบคุมแนวทางของการเกิดปฏิกิริยา ถึงแม้ว่าตัวเร่งปฏิกิริยาจะมีความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาได้รวดเร็วในปฏิกิริยาค้างที่ต้องการ แต่การเร่งปฏิกิริยานั้นจะต้องมีแนวทางในการเร่งปฏิกิริยาที่ถูกต้อง คือ ได้ผลจากการเร่งปฏิกิริยาเป็นผลิตภัณฑ์หลักที่ต้องการ โดยเกิดผลิตภัณฑ์ที่เป็นผลพลอยได้น้อยที่สุด ค่าความจำเพาะเจาะจงของการเร่งปฏิกิริยาสามารถคำนวณได้จากเปอร์เซ็นต์ความจำเพาะเจาะจงของการเร่งปฏิกิริยา (Percentage Selectivity) และเปอร์เซ็นต์การเกิดผลิตภัณฑ์ (Percentage Yield) ได้ดังสมการ

$$\text{เปอร์เซ็นต์การเจาะจงในการเร่งปฏิกิริยา} = \frac{\text{ผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ}}{\text{ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นทั้งหมด}} \times 100$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์การเกิดผลิตภัณฑ์} = \frac{\text{ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจริง}}{\text{ผลิตภัณฑ์ที่จะเกิดขึ้นตามทฤษฎี}} \times 100$$

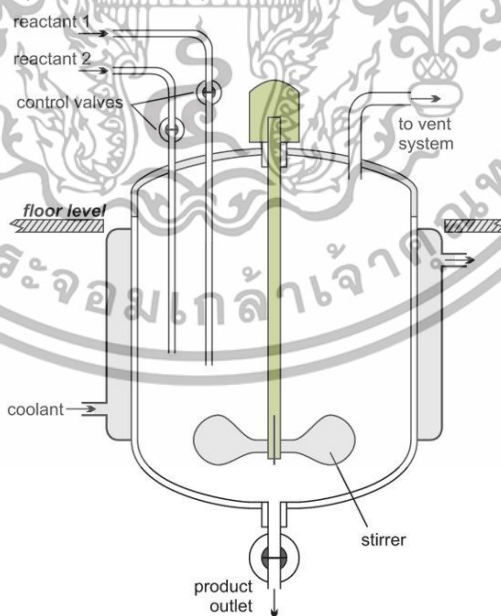
2.3.2.3 ความเสถียรของตัวเร่งปฏิกิริยา (Stability)

ความเสถียรของตัวเร่งปฏิกิริยา คือ ความสามารถในการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาซ้ำ ซึ่งหลังจากที่ตัวเร่งปฏิกิริยาได้ถูกทดสอบแล้วว่ามีประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยาให้เกิดผลิตภัณฑ์ที่ต้องการได้ดี จะต้องมีการทดสอบขั้นต่อไปว่าตัวเร่งปฏิกิริยามีความเสถียรมากน้อยเพียงใด ทั้งความเสถียรเชิงเคมี ความเสถียรเชิงความร้อน และความเสถียรเชิงกล โดยความเสถียรของตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นปัจจัยที่จะกำหนดระยะเวลาการใช้งานจริงของตัวเร่งปฏิกิริยาในเชิงอุตสาหกรรม

2.4 เครื่องปฏิกรณ์ (Reactor)

เครื่องปฏิกรณ์ [22] ถือเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญสำหรับกระบวนการเร่งปฏิกิริยา หน้าที่หลักของมันคือการทำปฏิกิริยาเพื่อเปลี่ยนสารตั้งต้นให้เปลี่ยนไปเป็นสารผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ โดยทั่วไปแล้วการดำเนินงานของเครื่องปฏิกรณ์นั้นมักมีข้อจำกัดอยู่หลายสาเหตุด้วยกันเช่น ข้อจำกัดทางอุณหพลศาสตร์ (Thermodynamics) ซึ่งส่งผลให้กระบวนการเปลี่ยนสารตั้งต้นไปเป็นสารผลิตภัณฑ์ที่ต้องการเกิดขึ้นได้ไม่สมบูรณ์ ปัญหาอื่นๆเช่น การเกิดผลิตภัณฑ์ข้างเคียงที่ไม่ต้องการ (Undesired Products) ปัญหาด้านการจัดการความร้อน หรือปัญหาการเสื่อมสภาพของตัวเร่งปฏิกิริยา เป็นต้น ส่งผลให้การดำเนินการในกระบวนการผลิตจริงนั้นมีประสิทธิภาพที่ลดลงและมีขั้นตอนต่างๆที่ซับซ้อนมากยิ่งขึ้น การพัฒนาเครื่องปฏิกรณ์ที่สามารถทำหน้าที่ได้หลากหลายมีความสำคัญอย่างมากในการช่วยลดขนาดของกระบวนการผลิต ซึ่งการรวมหน้าที่อื่นๆเช่น การแยกสาร การถ่ายเทความร้อน หรือการเกิดปฏิกิริยาอีกปฏิกิริยาหนึ่งเพื่อทำงานร่วมกับหน้าที่หลักคือการเกิดปฏิกิริยาเอาไว้ในเครื่องปฏิกรณ์เครื่องเดียวกัน จะสามารถช่วยเพิ่มขีดความสามารถของเครื่องปฏิกรณ์ให้สูงขึ้นได้จากการควบคุมความเข้มข้นของสารตั้งต้นหรืออุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสม เช่นการใช้ความร้อนจากปฏิกิริยาแบบคายความร้อนเพื่อเป็นแหล่งพลังงานให้กับปฏิกิริยาแบบดูดความร้อนทำให้มีการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพในกระบวนการทำปฏิกิริยาเป็นต้น ซึ่งจะช่วยให้จำนวนหน่วยปฏิบัติการที่ต้องใช้ในกระบวนการลดลง โดยการรวมหน้าที่หรือการรวมหน่วยปฏิบัติการนั้นสามารถทำได้หลายระดับซึ่งจะช่วยให้ได้เครื่องปฏิกรณ์ชนิดต่างๆที่มีความเหมาะสมแตกต่างกันไปในการใช้งานจริง เครื่องปฏิกรณ์สามารถจำแนกได้เป็นรูปแบบต่างๆ [23] ได้แก่

2.4.1 เครื่องปฏิกรณ์แบบกะ (Batch Reactor)

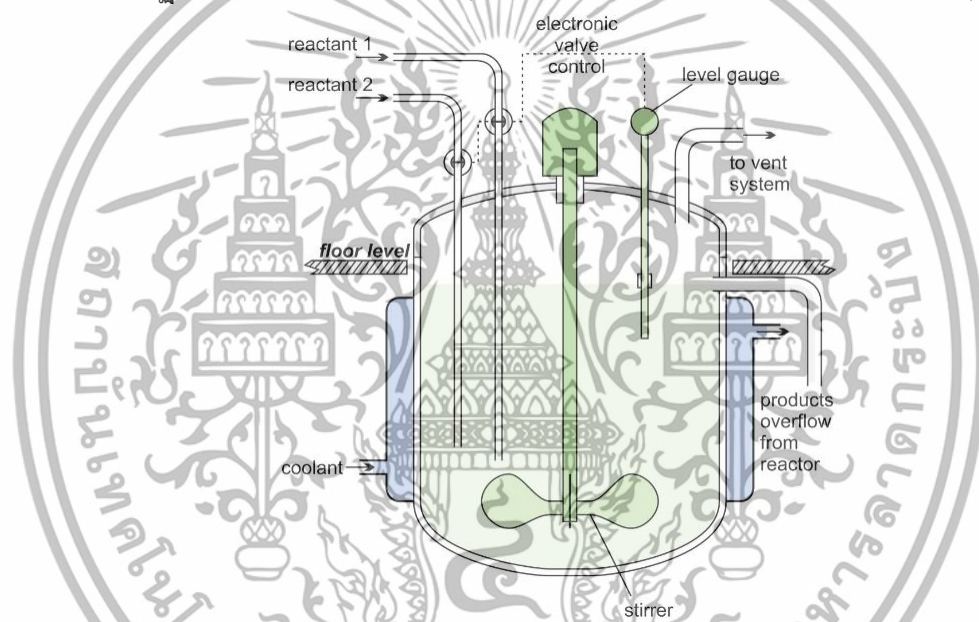


รูปที่ 2.4 การทำงานของเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ [24]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานของเครื่องปฏิกรณ์แบบกะมีหลักการในการทำงานคือ ใส่สารส่วนประกอบสำหรับกระบวนการเร่งปฏิกิริยาทั้งหมดเข้าในเครื่องปฏิกรณ์ซึ่งจะมีลักษณะเป็นถังกวน หลังจากนั้นจึงทำการเร่งปฏิกิริยาในเวลาที่กำหนด เมื่อกระบวนการเร่งปฏิกิริยาเสร็จสิ้นลงแล้วจึงนำสารผสมทั้งหมดออกจากเครื่องปฏิกรณ์ การใช้งานเครื่องปฏิกรณ์ชนิดนี้สามารถใช้ได้กับทั้งปฏิกิริยาแบบเอกพันธ์ในวัฏภาคของเหลว และปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธ์ในวัฏภาคแก๊สกับของเหลว หรือในวัฏภาคแก๊สกับของเหลวและตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นของแข็ง หรือวัฏภาคของเหลวกับของเหลว เครื่องปฏิกรณ์แบบนี้มีข้อเสียคือไม่เหมาะสมต่อกระบวนการเร่งปฏิกิริยาขนาดใหญ่เนื่องจากต้องมีการล้างทำความสะอาดหลังจากเสร็จสิ้นกระบวนการเร่งปฏิกิริยาซึ่งทำให้เป็นการสิ้นเปลืองเวลาและค่าใช้จ่าย

2.4.2 เครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวนต่อเนื่อง (Continuous Stirred Tank Reactor: CSTR)



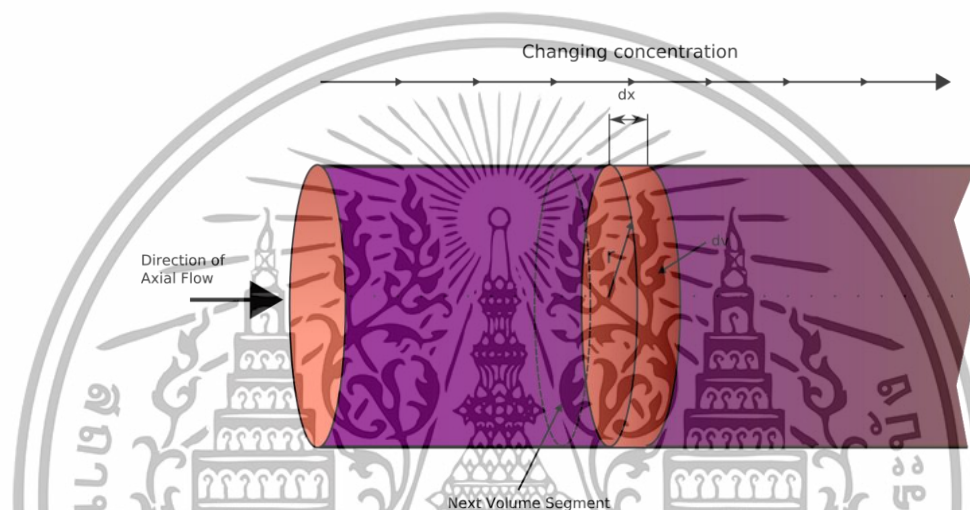
รูปที่ 2.5 การทำงานของเครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวนต่อเนื่อง [24]

การทำงานของเครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวนต่อเนื่องนั้นมีหลักการในการทำงานคือมีการป้อนสารสำหรับทำปฏิกิริยาเข้าสู่เครื่องเร่งปฏิกิริยาอย่างต่อเนื่อง โดยมีตัวกวนสำหรับช่วยให้การรักษาระดับความเข้มข้นและอุณหภูมิในระบบให้คงที่ตลอด นอกจากนี้ยังช่วยในการถ่ายเทมวลและความร้อนในระบบของกระบวนการเร่งปฏิกิริยาและช่วยทำให้สารผสมเป็นเนื้อเดียวกันด้วย

2.4.3 เครื่องปฏิกรณ์แบบท่อไหล (Plug Flow Reactor)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

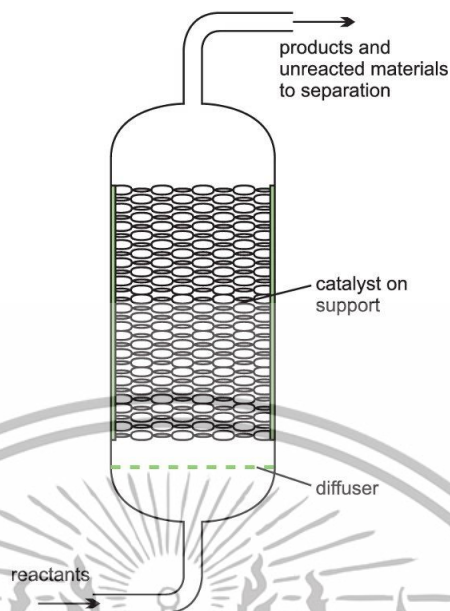
หลักการการทำงานของเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อไหลคือ สารในกระบวนการทำปฏิกิริยาจะไหลผ่านท่อที่มีพื้นที่หน้าตัดเท่ากันตลอดในลักษณะของลูกสูบที่ถูกดันออกไป ซึ่งความเข้มข้นในแนวที่ตั้งฉากกับการไหลจะเท่ากันตลอดในขณะที่ความเข้มข้นในแนวของทิศทางการไหลจะไม่เท่ากัน เนื่องจากการทำปฏิกิริยาที่ดำเนินไปอย่างต่อเนื่องส่งผลให้ความเข้มข้นของสารในกระบวนการทำปฏิกิริยาเปลี่ยนไป นอกจากนี้เครื่องปฏิกรณ์ชนิดนี้จะไม่มีการผสมเกิดขึ้น ซึ่งลักษณะของการไหลของสารในการทำปฏิกิริยานี้เรียกว่า การไหลแบบลูกสูบ (Piston flow) หรือแบบท่อไหล (Plug flow) โดยเรียกง่าย ๆ ว่า PFR



รูปที่ 2.6 การทำงานของเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อไหล [25]

2.4.4 เครื่องปฏิกรณ์แบบฟิกส์เบด (Fixed Bed Reactor)

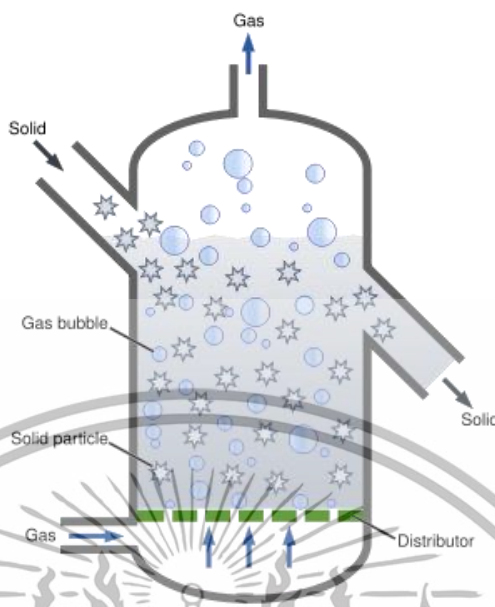
เบด (Bed) หมายถึงอาณาเขตในหอทดลองที่มีเม็ดของแข็งบรรจุอยู่ ในการทดลองนั้นเมื่อเม็ดของแข็งได้ถูกบรรจุเข้าสู่หอทดลองตามความต้องการแล้วจึงทำการปล่อยของไหลเข้าทางด้านล่างของหอทดลองอย่างช้าๆ ในขณะที่ความเร็วของของไหลนั้นยังมีความเร็วต่ำอยู่นั้นจะไม่มี การเคลื่อนที่ของเม็ดของแข็งเลย ซึ่งลักษณะของเบดเช่นนี้จะเรียกว่าฟิกส์เบด



รูปที่ 2.7 การทำงานของเครื่องปฏิกรณ์แบบฟิซเบด [24]

2.4.5 เครื่องปฏิกรณ์แบบฟลูอิดไดซ์เบด (Fluidized Bed Reactor)

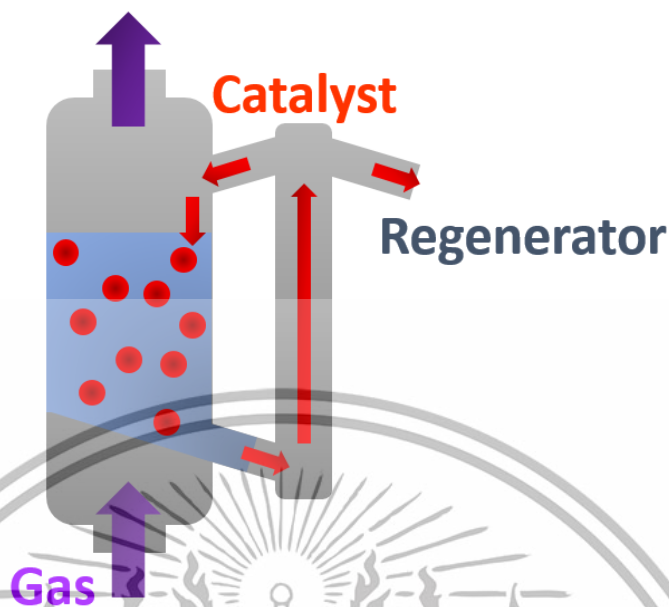
หลักการทำงานของเครื่องปฏิกรณ์แบบฟลูอิดไดซ์เบดคือมีการปล่อยแก๊สสำหรับทำปฏิกิริยาเข้าทางด้านล่างของเครื่องปฏิกรณ์เพื่อให้ดันให้ตัวเร่งปฏิกิริยาเกิดการกระดอนอยู่ภายในเครื่องปฏิกรณ์ ข้อดีของเครื่องปฏิกรณ์ชนิดนี้เช่น อุณหภูมิของเบดจะเท่ากันอยู่ตลอดจึงเหมาะกับการเร่งปฏิกิริยาที่เกิดความร้อนสูงและมีช่วงอุณหภูมิแคบ สามารถใช้แก๊สในการทำปฏิกิริยาเป็น ไฮโดรคาร์บอนที่ระดับความเข้มข้นสูงได้ และมีโอกาสน้อยที่จะเกิดการระเบิดเนื่องจากการสะสมของแก๊สในการทำปฏิกิริยา อย่างไรก็ตามเครื่องปฏิกรณ์ชนิดนี้ก็มีข้อเสียได้แก่ ไม่เหมาะสำหรับปฏิกิริยาที่ต้องการค่าการเปลี่ยนแปลงสารตั้งต้นสูงๆและต้องการสารระหว่างปฏิกิริยาในปฏิกิริยาแบบอนุกรม ลักษณะของอุณหพลศาสตร์ภายในเครื่องปฏิกรณ์มีความซับซ้อน การขยายขนาดของกระบวนการ (Scale up) ทำได้ยาก เงื่อนไขควบคุมการทำงานอยู่ในช่วงแคบ และต้องอาศัยทักษะความชำนาญสูง



รูปที่ 2.8 การทำงานของเครื่องปฏิกรณ์แบบฟลูอิดไดซ์เบด [26]

2.4.6 เครื่องปฏิกรณ์แบบมูฟวิ่งเบด (Moving Bed Reactor)

เครื่องปฏิกรณ์แบบมูฟวิ่งเบดมีหลักการทำงานคืออนุภาคตัวเร่งปฏิกิริยาของแข็งจะถูกป้อนเข้าสู่เครื่องปฏิกรณ์ทางด้านบนอย่างต่อเนื่องทำให้เกิดการทับถมกันเหมือนเครื่องปฏิกรณ์แบบฟิซเบด แต่เบดจะค่อยๆเคลื่อนตัวลงด้านล่าง ในขณะที่ตัวเร่งปฏิกิริยาจะถูกป้อนเข้าสู่เครื่องปฏิกรณ์ทางด้านล่างโดยมีทิศทางการเคลื่อนที่สวนทางกับตัวเร่งปฏิกิริยาของแข็ง ตัวเร่งปฏิกิริยาของแข็งที่ตกลงสู่ด้านล่างของเครื่องปฏิกรณ์จะถูกส่งย้อนกลับไปด้านบนของเครื่องปฏิกรณ์ใหม่ด้วยวิธีอากาศยก (Air lift) และตัวเร่งปฏิกิริยาของแข็งบางส่วนจะถูกส่งเข้าสู่เครื่องปรับสภาพเพื่อทำการปรับสภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาให้มีสภาพพร้อมใช้งานต่อไป เครื่องปฏิกรณ์แบบมูฟวิ่งเบดนี้มีคุณสมบัติพิเศษระหว่างเครื่องปฏิกรณ์แบบฟิซเบดและเครื่องปฏิกรณ์แบบฟลูอิดไดซ์เบด โดยข้อดีของเครื่องปฏิกรณ์ชนิดนี้คือ มีความสามารถในการเปลี่ยนแปลงสารตั้งต้นสูง การปรับสภาพตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst Regeneration) สามารถทำได้อย่างต่อเนื่อง อย่างไรก็ตามเครื่องปฏิกรณ์ชนิดนี้มีข้อเสียคือ การถ่ายเทความร้อนระหว่างผนังเบดและภายในเบดไม่ดี และการควบคุมอุณหภูมิภายในเบดทำได้ยาก



รูปที่ 2.9 การทำงานของเครื่องปฏิกรณ์แบบมูฟวิ่งเบด

2.5 กระบวนการไฮโดรจิเนชัน (Hydrogenation reaction)

กระบวนการไฮโดรจิเนชัน (Hydrogenation) [27] เป็นกระบวนการที่มีการเติมไฮโดรเจนเข้าไปในโมเลกุลที่ไม่อิ่มตัวของสารอินทรีย์ โดยไฮโดรเจนจะเข้าไปแทนที่พันธะคู่ของโมเลกุล ปฏิกิริยาไฮโดรจิเนชัน แบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ

2.5.1 ไฮโดรจิเนชันแบบทั่วไป (Conventional hydrogenation)

กระบวนการไฮโดรจิเนชันแบบทั่วไปนี้ จะมีลักษณะในการทำปฏิกิริยาคือใช้การอัดแก๊สไฮโดรเจนเข้าไปในกระบวนการโดยตรง ซึ่งรูปแบบของการทำปฏิกิริยาประเภทนี้ส่งผลให้เกิดการคายความร้อนที่สูงในระบบและนอกจากนี้ยังทำให้ระบบในกระบวนการเร่งปฏิกิริยามีความดันที่สูงอีกด้วย

2.5.2 ไฮโดรจิเนชันแบบส่งผ่าน (Catalytic transfer hydrogenation)

กระบวนการไฮโดรจิเนชันแบบส่งผ่าน เป็นกระบวนการไฮโดรจิเนชันรูปแบบหนึ่ง โดยกระบวนการนี้จะมีการใช้สารตัวทำละลายเป็นตัวจ่ายโปรตอนและไฮโดรเจนอะตอมเข้าสู่ปฏิกิริยาแทนการอัดแก๊สไฮโดรเจนเข้าสู่กระบวนการโดยตรง โดยจะมีข้อดีคือ เป็นปฏิกิริยาแบบคายความร้อนและมีความดันในปฏิกิริยาต่ำนอกจากนี้ยังสามารถควบคุมความจำเพาะเจาะจงในการเกิดสารผลิตภัณฑ์ได้ดีกว่ากระบวนการไฮโดรจิเนชันแบบทั่วไปอีกด้วย

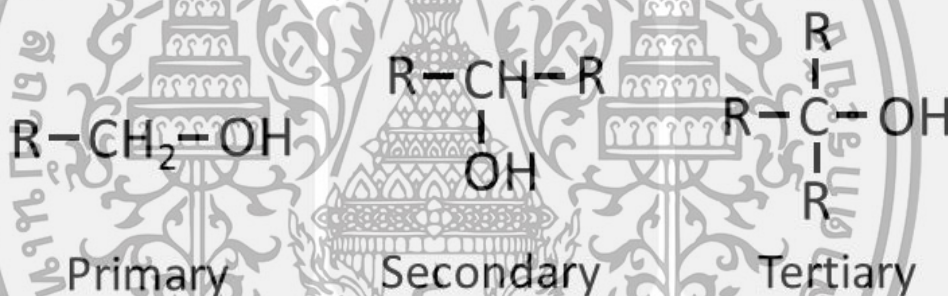
2.6 แอลกอฮอล์ (Alcohol)

แอลกอฮอล์ เป็นสารประกอบอินทรีย์ชนิดหนึ่งซึ่งประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ต่อเข้ากับอะตอมคาร์บอนของหมู่แอลคิลหรือหมู่ที่แทนหมู่แอลคิล (R) โดยเมื่อต่อกันแล้วจะเรียกว่าหมู่ไฮดรอกซิล (R-OH) ซึ่งมีสูตรโครงสร้างทั่วไปคือ $C_nH_{2n+2}O$ แอลกอฮอล์จะมีจุดเดือดที่สูงกว่ากลุ่มไฮโดรคาร์บอนที่มีมวลโมเลกุลใกล้เคียงกัน เนื่องจากหมู่ไฮดรอกซิลในโมเลกุลนั้นสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนได้ โดยทั่วไปแอลกอฮอล์สามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภทคือ

แอลกอฮอล์ปฐมภูมิ (Primary alcohol) มีลักษณะคือ หมู่ไฮดรอกซิลจะสร้างพันธะกับอะตอมคาร์บอนปฐมภูมิ (primary carbon atom)

แอลกอฮอล์ทุติยภูมิ (Secondary alcohol) มีลักษณะคือ หมู่ไฮดรอกซิลจะสร้างพันธะกับอะตอมคาร์บอนทุติยภูมิ (secondary carbon atom)

แอลกอฮอล์ตติยภูมิ (Tertiary alcohol) มีลักษณะคือ หมู่ไฮดรอกซิลจะสร้างพันธะกับอะตอมคาร์บอนตติยภูมิ (tertiary carbon atom)



รูปที่ 2.10 โครงสร้างของแอลกอฮอล์ชนิดต่างๆ

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในปี 2013 Z. Yang และคณะ [28] ได้ทำการสังเคราะห์จีวีแอลจากลิทวูลิเนตเอสเทอร์ด้วยกระบวนการไฮโดรจีเนชันแบบส่งผ่าน และใช้เรนีนิกเกิล (Raney-Ni) หรืออลูมิเนียมนิกเกิลเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งในการศึกษานี้ได้มีการทดลองใช้สารให้อะตอมไฮโดรเจนหลายชนิดในการให้อะตอมไฮโดรเจนกับกระบวนการเร่งปฏิกิริยา โดยมีเงื่อนไขในการเร่งปฏิกิริยา คือ ใช้สารตั้งต้นเป็นเอทิลลิทวูลิเนต 1 มิลลิโมล ตัวเร่งปฏิกิริยา Raney-Ni ที่ได้ทำการปรับสภาพและเก็บรักษาด้วย 2-โพรพานอลปริมาณ 0.1 กรัม สารตัวให้อะตอมไฮโดรเจน 2 มิลลิลิตร การเร่งปฏิกิริยาดำเนินไปในบรรยากาศอาร์กอน (Ar) ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 9 ชั่วโมง จากผลการเร่งปฏิกิริยาพบว่าการใช้ 2-โพรพานอลเป็นสารให้อะตอมไฮโดรเจนส่งผลให้การเร่งปฏิกิริยาเพื่อผลิตจีวีแอลมีประสิทธิภาพมากที่สุด โดยทำให้เกิดเป็นผลิตภัณฑ์จีวีแอลได้ถึง 99% รองลงมาคือ 2-บิวทานอลโดยเกิดผลิตภัณฑ์จีวีแอล 92% ซึ่งจากงานวิจัยชิ้นนี้จึงอาจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กล่าวได้ว่าการใช้สารตัวให้อะตอมไฮโดรเจนเป็นแอลกอฮอล์ชนิดทุติยภูมิส่งผลให้กระบวนการเร่งปฏิกิริยาเพื่อผลิต
 จีวีแอลจากลิวกลินเตอสเตอร์ด้วยกระบวนการไฮโดรจีเนชันแบบส่งผ่านเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

ตารางที่ 2.2 ค่าการเกิดผลิตภัณฑ์จีวีแอลที่ได้จากการใช้สารตัวให้อะตอมไฮโดรเจนแต่ละชนิดในงานวิจัยของ Yang และคณะ [28]

Entry	Solvent	GC yield (%)
1	—	18
2 ^b	—	1
3	MeOH	24
4	EtOH	27
5	1-PrOH	28
6	2-BuOH	92
7	Cyclohexanol	35
8	2-PrOH	99

นอกจากนี้ในปี 2014 J. Geboers และคณะ [29] ได้ทดลองทำการผลิตจีวีแอลด้วยกระบวนการไฮโดรจีเนชันแบบ
 ส่งผ่านโดยใช้ Raney-Ni เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาและใช้ 2-propanol เป็นสารให้อะตอมไฮโดรเจนเช่นกัน โดยการทดลอง
 นี้มีการศึกษาเงื่อนไขในการทดลองที่น่าสนใจ ได้แก่ การศึกษาอุณหพลศาสตร์ของปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชันแบบทั่วไป
 เปรียบเทียบกับปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชันแบบส่งผ่าน

ตารางที่ 2.3 อุณหพลศาสตร์ของกระบวนการไฮโดรจีเนชันแบบทั่วไปเปรียบเทียบกับกระบวนการไฮโดรจีเนชัน
 แบบส่งผ่านในงานวิจัยของ J. Geboers และคณะ [29]

Equation	Reaction	$\Delta_r H^\circ$ (kJ/mol)	$\Delta_r G^\circ$ (kJ/mol)
1		-50.6 (-55.2) ^a	-9.4 (-15.3) ^a
2		-9.1	-10.1
3		-59.7	-19.5
4		26.6	-14.0
5		17.5	-24.1
6		-33.1	-33.6

^a Values between parentheses correspond to those calculated from experimental values [24].

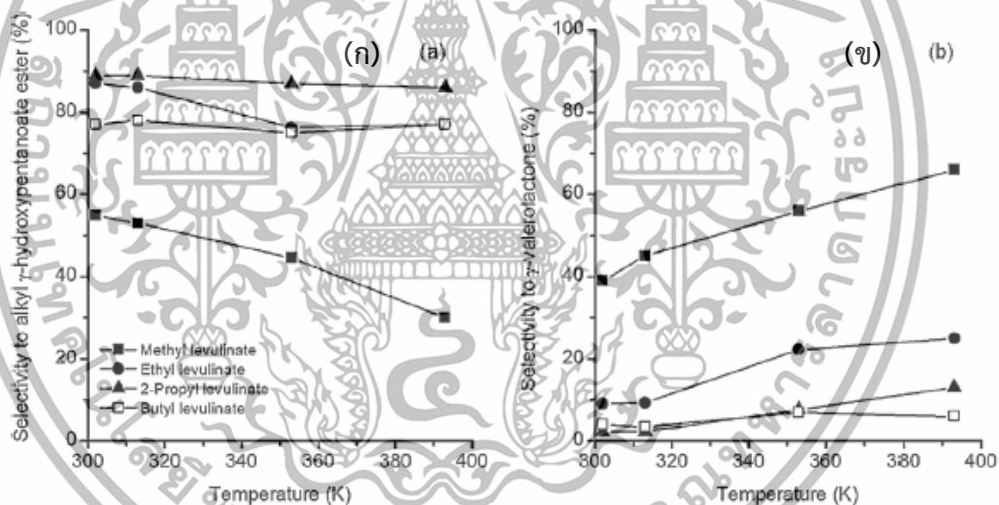
จากผลการทดลอง พบว่า ในการผลิตจีวีแอลจากลิวกลินเตอสเตอร์โดยใช้กระบวนการไฮโดรจีเนชันแบบทั่วไปนั้น
 เป็นปฏิกิริยาแบบคายความร้อน ในขณะที่การผลิตจีวีแอลจากลิวกลินเตอสเตอร์โดยใช้กระบวนการไฮโดรจีเนชัน
 แบบส่งผ่านนั้นจะเป็นปฏิกิริยาแบบดูดความร้อนความร้อน นอกจากนี้ยังพบว่าในวิถีระหว่างกระบวนการเร่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปฏิกิริยาซึ่งก่อให้เกิดผลิตภัณฑ์ผลพลอยได้ (Byproduct) นั้น กระบวนการไฮโดรจีเนชันแบบส่งผ่านยังมีการคายความร้อนที่ต่ำกว่ากระบวนการไฮโดรจีเนชันแบบทั่วไปอีกด้วย

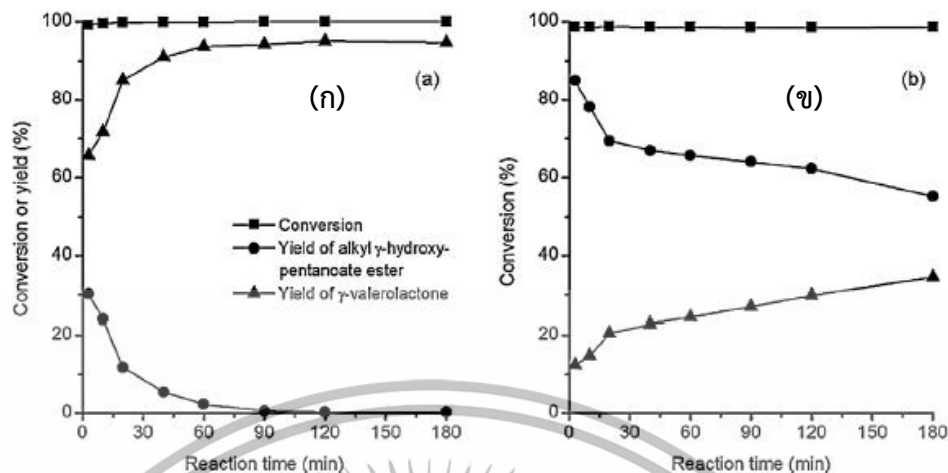
การศึกษาอิทธิพลของชนิดของกลุ่มลิวูลิเนตเอสเทอร์

การศึกษาในขั้นต่อไปคือ การศึกษาประสิทธิภาพของกลุ่มลิวูลิเนตเอสเทอร์ชนิดต่างๆว่าลิวูลิเนตเอสเทอร์แต่ละชนิดมีความสามารถในการผลิตจีแอลอย่างไร โดยในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ลิวูลิเนตเอสเทอร์ที่แตกต่างกัน 4 ชนิดได้แก่ เมทิลลิวูลิเนต เอทิลลิวูลิเนต 2-โพรพิลลิวูลิเนต และ บิวทิลลิวูลิเนต ผลการศึกษาการเร่งปฏิกิริยาพบว่า เมทิลลิวูลิเนตมีค่าความจำเพาะเจาะจงในการเกิดผลิตภัณฑ์จีแอลสูงที่สุด โดยมีค่าความจำเพาะเจาะจงมากกว่า 60% ในการเร่งปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 400 เคลวินหรือ 126.85 องศาเซลเซียส ซึ่งสารกลุ่มลิวูลิเนตเอสเทอร์ชนิดอื่นๆจะมีค่าความจำเพาะเจาะจงในการเกิดเป็นผลิตภัณฑ์จีแอลที่ต่ำกว่า แต่มีค่าความจำเพาะเจาะจงในการเกิดเป็นผลิตภัณฑ์ผลพลอยได้ที่สูงกว่า ซึ่งผลิตภัณฑ์ผลพลอยได้จากกระบวนการไฮโดรจีเนชันแบบส่งผ่านของลิวูลิเนตเอสเทอร์คือสารกลุ่ม แอลคิลแกมมาไฮดรอกซีเพนทานโนเอตเอสเทอร์ (Alkyl γ -hydroxypentanoate ester)



รูปที่ 2.11 ค่าความจำเพาะเจาะจงในการเกิดสารผลิตภัณฑ์จากสารตั้งต้นในกลุ่มแอลคิลลิวูลิเนตชนิดต่างๆในงานวิจัยของ J. Geboers และคณะ (ก) แอลคิลแกมมาไฮดรอกซีเพนทานโนเอตและ (ข) แกมมาวาเลโรแลคโตน [29]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

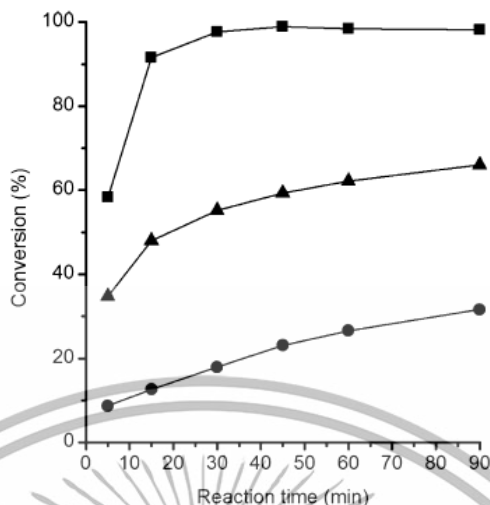


รูปที่ 2.12 อิทธิพลของเวลาที่ใช้ในกระบวนการเร่งปฏิกิริยาจากการใช้สารตั้งต้นกลุ่มแอลคิลลิวูลิเนตสองชนิดในงานวิจัยของ J. Geboers และคณะ (ก) เมทิลลิวูลิเนตและ (ข) 2-โพรพิลลิวูลิเนต [29]

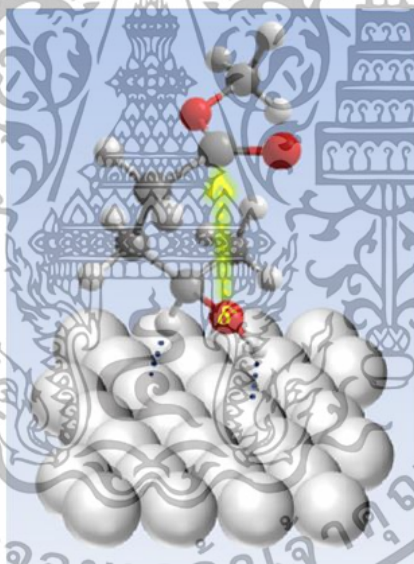
การศึกษาความเสถียรของสารผลิตภัณฑ์ที่ผลพลอยได้แอลคิลแกมมาไฮดรอกซีเพนทาโนเอตและกระบวนการแลคโตไนเซชันบนพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา Raney-Ni

กระบวนการแลคโตไนเซชัน เป็นการสร้างพันธะของวงแลคโตนซึ่งเป็นขั้นตอนหนึ่งที่เกิดขึ้นระหว่างการเร่งปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชันแบบส่งผ่านของลิวูลิเนตเอสเทอร์ โดยในการศึกษานี้จะเป็นการเปลี่ยนโครงสร้างของสารผลิตภัณฑ์ที่ผลพลอยได้แอลคิลแกมมาไฮดรอกซีเพนทาโนเอตที่สังเคราะห์ได้จากลิวูลิเนตเอสเทอร์ไปเป็นจีวีแอลต่อไป การศึกษาในงานวิจัยนี้ได้เลือกสารกลุ่มเมทิลแกมมาไฮดรอกซีเพนทาโนเอตซึ่งสังเคราะห์ได้จากเมทิลลิวูลิเนตเนื่องจากเมทิลแกมมาไฮดรอกซีเพนทาโนเอตนั้นง่ายต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างเป็นจีวีแอล โดยในการศึกษานี้ได้ทำการทดลองกับตัวเร่งปฏิกิริยา 3 ชนิด คือ แกมมาอลูมิเนียมออกไซด์ (γ - Al_2O_3), นิกเกิลที่สังเคราะห์บนคาร์บอน (Ni/C), และเรเนียนิกเกิล (Raney-Ni) ผลการทดลองพบว่า γ - Al_2O_3 มีความสามารถในการเปลี่ยนเมทิลแกมมาไฮดรอกซีเพนทาโนเอตเป็นจีวีแอลด้วยกระบวนการแลคโตไนเซชันมากที่สุด รองลงมาคือ Raney-Ni และ Ni/C มีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนเมทิลแกมมาไฮดรอกซีเพนทาโนเอตเป็นจีวีแอลน้อยที่สุด โดยจากการศึกษาเพิ่มเติมพบว่าอลูมิเนียมเป็นเฟสที่มีบทบาทหลักในขั้นตอนของกระบวนการแลคโตไนเซชันของเมทิลแกมมาไฮดรอกซีเพนทาโนเอตเพื่อเปลี่ยนโครงสร้างเป็นจีวีแอล ในขณะที่เฟสของนิกเกิลมีบทบาทเพียงเล็กน้อย โดยปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่าง $\text{C}_4\text{-H}$ และ $\text{O}_4\text{-H}$ ในโครงสร้างของเมทิลแกมมาไฮดรอกซีเพนทาโนเอต กับพื้นผิวสัมผัสของนิกเกิลจะเพิ่มความหนาแน่นอิเล็กตรอนของ O_4 ซึ่งจะช่วยให้เมทิลแกมมาไฮดรอกซีเพนทาโนเอตเกิดการเปลี่ยนโครงสร้างเป็นจีวีแอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 ความสามารถในการกระบวนการแตกโตโมเนเซชันของเมทิลแกมมาไฮดรอกซีเพนทาโนเอตจากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาสามชนิดในงานวิจัยของ J. Geboers และคณะ (■) γ -Al₂O₃, (●) Ni/C และ (▲) Raney-Ni [29]

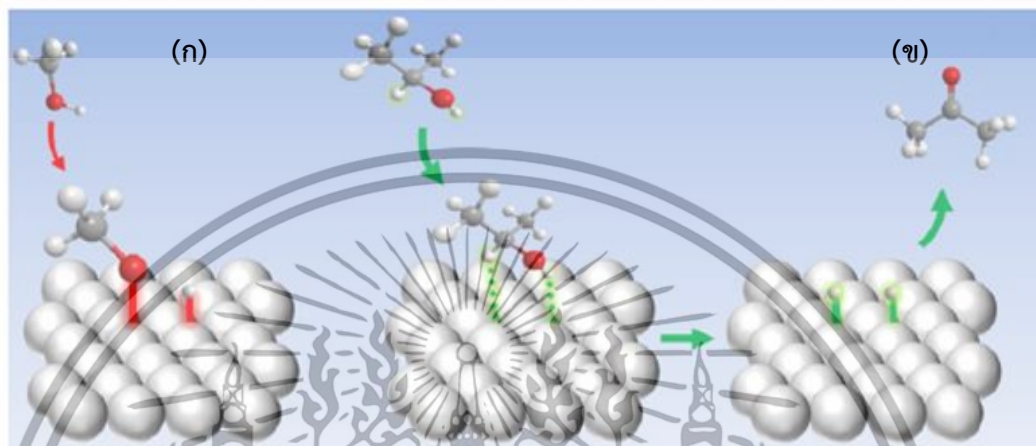


รูปที่ 2.14 ภาพจำลองการเกิดปฏิกิริยาแตกโตโมเนเซชันของแอลคิลแกมมาไฮดรอกซีเพนทาโนเอตบนตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลในงานวิจัยของ J. Geboers และคณะ [29]

นอกจากนี้ยังมีการศึกษากลไกการเข้าทำปฏิกิริยาระหว่างสารให้อะตอมไฮโดรเจนที่เป็นแอลกอฮอล์ชนิดต่างๆซึ่งประกอบด้วยแอลกอฮอล์ปฐมภูมิและแอลกอฮอล์ทุติยภูมิตั้งกับพื้นผิวสัมผัสของนิกเกิล โดยจากกลไกการเข้าทำปฏิกิริยาพบว่า จะเกิดการดูดซับอย่างถาวรของแอลกอฮอล์ปฐมภูมิบนพื้นผิวของนิกเกิลซึ่งจะส่งผลให้ตำแหน่งที่ว่างไว้ต่อการเกิดปฏิกิริยา (Active site) ถูกปิดกั้นโดยกลุ่มแอลคอกไซด์ (Alkoxide) ในทางตรงกันข้ามการดูดซับ 2-

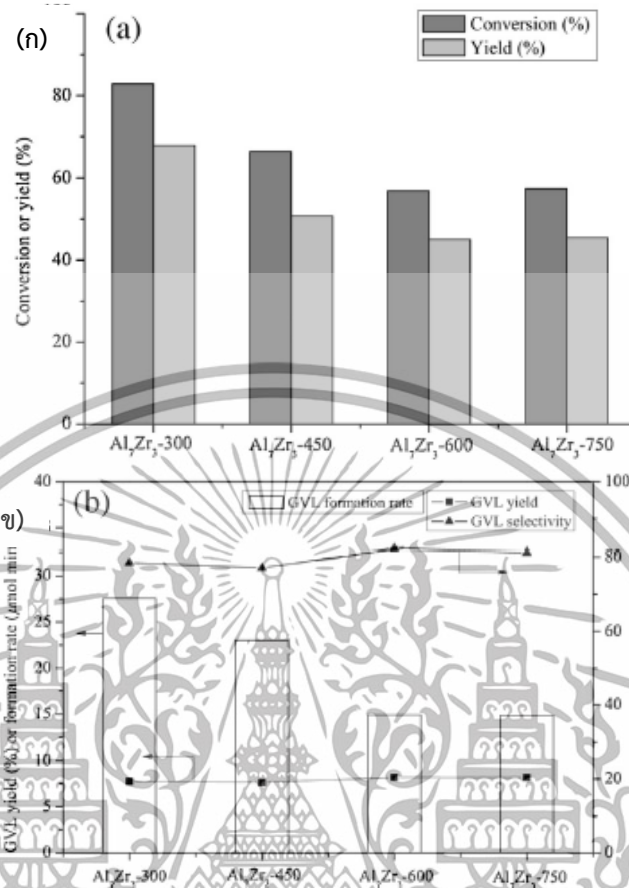
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โพพรานอลจะทำลายพันธะของ $C\alpha-H$ และ $O-H$ และเกิดอะซีโตน นอกจากนี้กระบวนการนี้ยังเป็นการเพิ่มอะตอมไฮโดรเจนให้กับพื้นผิวของนิกเกิลสำหรับใช้ในกระบวนการไฮโดรจิเนชันแบบส่งผ่านต่อไป ซึ่งจากเหตุผลดังกล่าวนี้เองจึงทำให้กล่าวได้ว่าสารตัวให้อะตอมไฮโดรเจนที่เป็นแอลกอฮอล์ทุติยภูมิเป็นสารตัวให้อะตอมไฮโดรเจนที่เหมาะสมที่สุดสำหรับกระบวนการเร่งปฏิกิริยาเพื่อผลิตจีวีแอลด้วยปฏิกิริยาไฮโดรจิเนชันแบบส่งผ่าน



รูปที่ 2.15 ภาพจำลองการเกิดอันตรกิริยาระหว่าง (ก) แอลกอฮอล์ปฐมภูมิ และ (ข) แอลกอฮอล์ทุติยภูมิ กับพื้นผิวของนิกเกิลในงานวิจัยของ J. Geboers และคณะ [29]

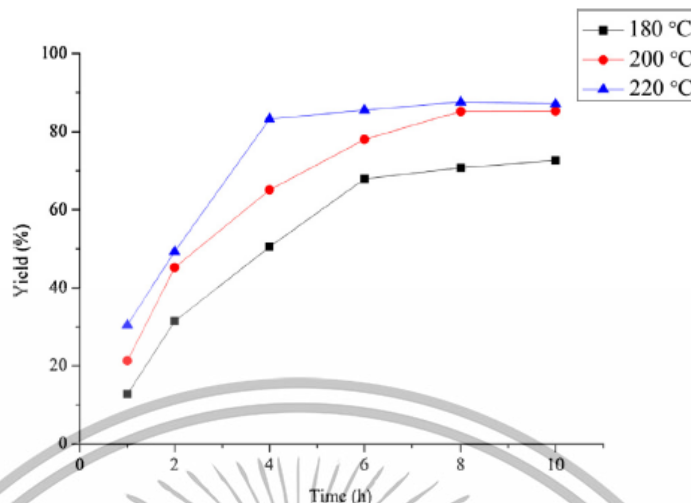
ซึ่งเงื่อนไขของการใช้สารให้อะตอมไฮโดรเจนที่แตกต่างกันนี้ยังได้ถูกพิสูจน์อีกครั้งในปี 2016 โดย J. He และคณะ [30] ได้ทำการสังเคราะห์จีวีแอลจากเอทิลลิทวูลีนตโดยใช้ลูมิเนียมเซอร์โคเนียมออกไซด์ (Al-Zr mixed oxides) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดนี้ได้ถูกสังเคราะห์ขึ้นโดยวิธีตกตะกอนร่วม (Co-precipitation) หลังจากนั้นจึงได้ทำการทดสอบกระบวนการเร่งปฏิกิริยาโดยมีเงื่อนไขในการศึกษาที่น่าสนใจได้แก่อุณหภูมิที่ใช้ในการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาที่สังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียสมีประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยาเพื่อผลิตจีวีแอลมากที่สุด ในขณะที่ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้อุณหภูมิในการสังเคราะห์ที่สูงกว่าได้แก่ 450, 600, และ 750 องศาเซลเซียสจะมีประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยาที่ลดลง



รูปที่ 2.16 อิทธิพลของการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Al_2Zr_3 ที่สังเคราะห์ที่อุณหภูมิต่างๆกัน ในกระบวนการเร่งปฏิกิริยาในงานวิจัยของ J. He และคณะ โดย (ก) เป็นการศึกษาในเชิงการเปลี่ยนแปลงของสารตั้งต้นโดยใช้เวลาในการเร่งปฏิกิริยา 6 ชั่วโมงที่ 180 องศาเซลเซียสและ (ข) เป็นการศึกษาการเกิดผลิตภัณฑ์จีวีแอล ค่าการเลือกเป็นผลิตภัณฑ์จีวีแอล และอัตราการเกิดโครงสร้างเป็นจีวีแอล ในขณะที่มีค่าการเปลี่ยนแปลงสารตั้งต้นเอทิลลิวกลินิต 10% [30]

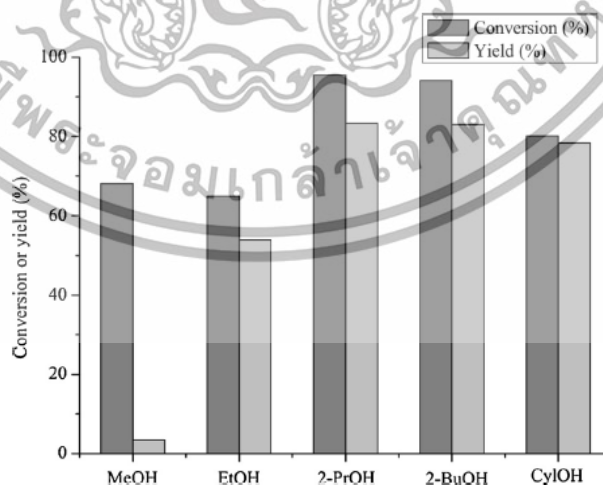
เงื่อนไขต่อมาในงานวิจัยชิ้นนี้คือการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิในกระบวนการเร่งปฏิกิริยา ได้แก่ 180, 200, และ 220 องศาเซลเซียส ผลการศึกษาพบว่าการใช้อุณหภูมิในกระบวนการเร่งปฏิกิริยาที่ 220 องศาเซลเซียสส่งผลให้กระบวนการเร่งปฏิกิริยาเพื่อผลิตจีวีแอลมีประสิทธิภาพที่สุด การใช้อุณหภูมิในกระบวนการเร่งปฏิกิริยา 180 องศาเซลเซียสทำให้มีการเกิดผลิตภัณฑ์จีวีแอลเพียงประมาณ 73% เท่านั้นแม้จะใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาถึง 10 ชั่วโมง การใช้อุณหภูมิในกระบวนการเร่งปฏิกิริยาที่สูงกว่าได้แก่ 200 และ 220 องศาเซลเซียสจะช่วยให้มีการเกิดผลิตภัณฑ์จีวีแอลที่มากกว่า อย่างไรก็ตามการใช้อุณหภูมิในการเร่งปฏิกิริยาที่ 220 องศาเซลเซียสนั้นจะทำให้ค่าการเกิดผลิตภัณฑ์จีวีแอลสูงถึงประมาณ 83% ในกระบวนการเร่งปฏิกิริยาที่ระยะเวลา 4 ชั่วโมง ในขณะที่การใช้อุณหภูมิในกระบวนการเร่งปฏิกิริยา 180 องศาเซลเซียสนั้นจะทำให้มีการเกิดผลิตภัณฑ์จีวีแอลเพียงประมาณ 51% เท่านั้นภายในช่วงระยะเวลาเดียวกันของกระบวนการทำปฏิกิริยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.17 อิทธิพลของอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในกระบวนการเร่งปฏิกิริยาเพื่อผลิตจิวแอลจากเอทิลอะซิเตตในงานวิจัยของ J. He และคณะ [30]

เงื่อนไขที่สำคัญอีกเงื่อนไขหนึ่งในงานวิจัยชิ้นนี้คืออิทธิพลของการใช้สารให้อะตอมไฮโดรเจนเป็นแอลกอฮอล์ชนิดต่างๆกัน ได้แก่ เมทานอล เอทานอล 2-โพรพานอล 2-บิวทานอล และไซโคลเฮกเซนอล จากผลการทดลองพบว่าการใช้แอลกอฮอล์ทุติยภูมิจะส่งผลให้กระบวนการเร่งปฏิกิริยามีประสิทธิภาพมากกว่าการใช้แอลกอฮอล์ปฐมภูมิ อย่างไรก็ตามในบรรดาแอลกอฮอล์ทุติยภูมินี้ 2-โพรพานอลเป็นสารตัวให้อะตอมไฮโดรเจนที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดโดยส่งผลให้มีค่าการเปลี่ยนแปลงสารตั้งต้นและการเกิดผลิตภัณฑ์จิวแอลมากที่สุด สารตัวให้อะตอมไฮโดรเจนจำพวกแอลกอฮอล์ทุติยภูมิที่มีประสิทธิภาพรองลงมาคือ 2-บิวทานอล และไซโคลเฮกเซนอล ตามลำดับ



รูปที่ 2.18 อิทธิพลของชนิดแอลกอฮอล์ที่ใช้เป็นสารตัวให้อะตอมไฮโดรเจนในกระบวนการเร่งปฏิกิริยาเพื่อผลิตจิวแอลจากเอทิลอะซิเตตในงานวิจัยของ J. He และคณะ [30]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากงานวิจัยทั้งหลายดังกล่าวข้างต้นจึงอาจกล่าวได้ว่า 2-โพรพานอล เป็นสารตัวให้อะตอมไฮโดรเจนที่มีประสิทธิภาพสูงสำหรับกระบวนการไฮโดรจีเนชันแบบส่งผ่านเพื่อสังเคราะห์จีวีแอลจากสารตั้งต้นที่อาจเป็นได้ทั้งกรดลิวولينหรือลิวูลิเนตเอสเทอร์ นอกจากนี้ในส่วน of ตัวเร่งปฏิกิริยานั้นพบว่าการใช้ Raney-Ni หรือ เซอร์โคเนียมเป็นตัวเร่งปฏิกิริยายังสามารถส่งผลให้กระบวนการเร่งปฏิกิริยาเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ แต่อย่างไรก็ตามข้อเสียที่สำคัญของ Raney-Ni ก็จำเป็นต้องใช้อุณหภูมิในการสังเคราะห์ที่สูง ต้องทำการปรับสภาพก่อนการใช้งานและมีความยุ่งยากในการเก็บรักษาเพื่อคงประสิทธิภาพไว้ ในขณะที่ข้อเสียของเซอร์โคเนียมคือมีราคาแพง จึงได้ทำการศึกษาตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดอื่นที่สามารถสังเคราะห์ได้ที่อุณหภูมิไม่สูงมากนัก และมีราคาไม่สูงเพื่อใช้ในกระบวนการเร่งปฏิกิริยา ตัวอย่างตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดอื่นที่มีการใช้งานสำหรับกระบวนการไฮโดรจีเนชันสำหรับสังเคราะห์จีวีแอลได้ถูกศึกษาโดย ในปี 2014 I. Obregón และคณะ [31] ได้ทำการสังเคราะห์จีวีแอลด้วยกระบวนการไฮโดรจีโนไลซิสซึ่งเทียบได้กับกระบวนการไฮโดรจีเนชันโดยใช้กรดลิวولينเป็นสารตั้งต้นและใช้ นิกเกิลคอปเปอร์ที่สังเคราะห์บนอนุภาคนิคมออกไซด์ ($\text{Ni-Cu/Al}_2\text{O}_3$) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งตัวเร่งปฏิกิริยานั้นได้ถูกสังเคราะห์ด้วย 2 วิธี คือ

1. วิธีการสังเคราะห์แบบเปียกชุ่ม (Wet impregnation method)

วิธีการสังเคราะห์แบบเปียกชุ่มนั้นมีวิธีการในการสังเคราะห์คือการค่อยๆหยดสารตั้งต้นลงบนวัสดุรองรับซึ่งในระหว่างที่ทำการหยดนั้นจะมีการปั่นกวนไปด้วยเพื่อให้สารตั้งต้นมีการกระจายตัวบนพื้นผิวของวัสดุรองรับอย่างทั่วถึง ในการศึกษานี้ได้ทำการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยวิธีการสังเคราะห์แบบเปียกชุ่มโดยการหยดสารตั้งต้นคือ นิกเกิล (II) ไนเตรท เฮกซะไฮเดรท และคอปเปอร์ (II) ไนเตรท เฮมิเพนตะไฮเดรท ลงบนวัสดุรองรับคือแกมมาอลูมิเนียมออกไซด์ ($\text{Y-Al}_2\text{O}_3$) ในภาวะสูญญากาศ โดยใช้อุณหภูมิในการสังเคราะห์ 65 องศาเซลเซียสและใช้ความเร็วในการปั่นกวน 90 รอบต่อนาที

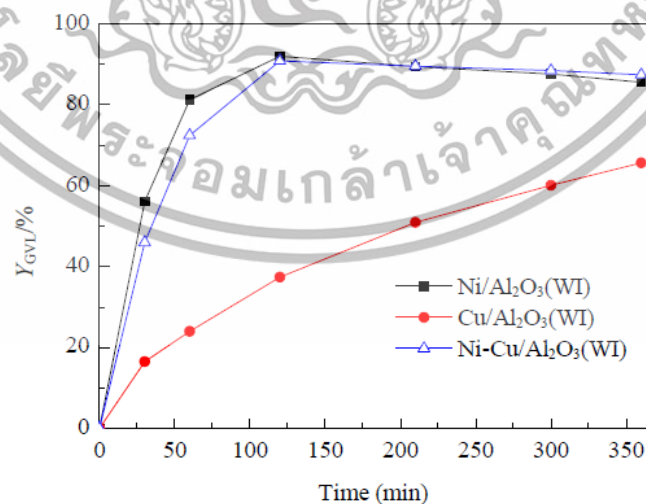
2. วิธีการสังเคราะห์แบบ โซล-เจล (Sol-Gel method)

วิธีการสังเคราะห์แบบโซล-เจลนั้นมีรูปแบบในการสังเคราะห์คือการเปลี่ยนสถานะของสารตั้งต้นในรูปสารละลายของเหลว (Sol) ให้เป็นสถานะของแข็ง (Gel) ซึ่งเกิดจากการสร้างโครงข่ายของสารอนินทรีย์ และหลังจากนั้นจึงทำให้แห้ง ในการศึกษานี้ได้ทำการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยวิธีการสังเคราะห์แบบโซล-เจลโดยการผสมสารตั้งต้นคือ นิกเกิล (II) ไนเตรท เฮกซะไฮเดรท และคอปเปอร์ (II) ไนเตรท เฮมิเพนตะไฮเดรท เข้ากับเอทานอล หลังจากนั้นจึงทำการผสมสารละลายสารตั้งต้นเข้ากับสารวัสดุรองรับ ซึ่งสารวัสดุรองรับนั้นได้ทำการเตรียมโดยผสมอลูมิเนียม ไอโซโพรพอกไซด์ เข้ากับน้ำด้วยอัตราส่วนโดยมวล 1:9 ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส โดยใช้สารละลายกรดไนตริกความเข้มข้น 1 โมลต่อลิตร ในการควบคุมอุณหภูมิค่าความเป็นกรด-เบสให้อยู่ระหว่าง 3.8 ถึง 4.2 หลังจากที่ได้ทำการผสมสารตั้งต้นเข้ากับสารวัสดุรองรับแล้ว ขั้นตอนต่อไปจึงทำการปั่นกวนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที และทำการสั่นด้วยคลื่นอัลตราโซนิก (Sonicated) อีกเป็นเวลา 30 นาที หลังจากให้การสั่นสะเทือน

เสร็จเรียบร้อยแล้วจึงตั้งสารผสมทิ้งไว้เป็นเวลา 48 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ขั้นตอนต่อมาจึงทำการให้ความร้อนกับสารผสมที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสโดยใช้เวลาข้ามคืนเพื่อให้สารผสมแห้ง เมื่อสารผสมแห้งแล้วจึงทำการบดให้เป็นผงและนำไปเผาที่อุณหภูมิซึ่งใช้เงื่อนไขในการศึกษานี้คือ 300 และ 450 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยควบคุมอัตราการเพิ่มของอุณหภูมิไว้ที่ 2 องศาเซลเซียสต่อนาที

หลังจากที่ได้ทำการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาเสร็จเรียบร้อยแล้ว ขั้นตอนต่อมาจึงได้ทำการทดลองการเร่งปฏิกิริยา โดยมีเงื่อนไขในกระบวนการเร่งปฏิกิริยา คือ ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 1 กรัม และใช้สารตั้งต้นเป็นสารละลายกรดคลอวูลินิก ความเข้มข้น 5% โดยน้ำหนักปริมาตร 200 มิลลิลิตร อุณหภูมิในการเร่งปฏิกิริยา คือ 200 องศาเซลเซียส ความดันในกระบวนการเร่งปฏิกิริยา คือ 6.5 MPa ในบรรยากาศไฮโดรเจน ใช้ความเร็วในการปั่นกวนที่ 600 รอบต่อนาที และกระบวนการเร่งปฏิกิริยาทั้งหมดใช้เวลา 6 ชั่วโมง หลังจากเสร็จสิ้นกระบวนการเร่งปฏิกิริยาแล้วสารผลิตภัณฑ์จึงถูกวิเคราะห์โดยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (Gas chromatography) และใช้ตัวตรวจวัดเป็นฟเลมไอออไนเซชันดีเทคเตอร์ (Flame ionization detector) และเทอร์มอลคอนดักทีวิตีดีเทคเตอร์ (Thermal conductivity detector) และใช้คอลัมน์ในการตรวจวัดคือ คอลัมน์ดีบีวัน (DB-1) ผลการเร่งปฏิกิริยาในงานวิจัยชิ้นนี้แสดงใน 2 เงื่อนไขได้แก่ ผลการเร่งปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยาเฟสเดียวและสองเฟสที่สังเคราะห์ด้วยวิธีแบบเปียกชุ่ม

จากผลการทดลองพบว่าตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลที่รองรับด้วยอลูมิเนียมออกไซด์และตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลคอปเปอร์ที่รองรับด้วยอลูมิเนียมออกไซด์ มีประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยาที่ค่อนข้างสูง โดยพบว่าสามารถเร่งปฏิกิริยาให้เกิดผลิตภัณฑ์จีวีแอลได้ 91-92% หลังจากเร่งปฏิกิริยาเป็นเวลา 2 ชั่วโมง และเกิดการเปลี่ยนแปลงของสารตั้งต้นกรดคลอวูลินิกประมาณ 100% ในขณะที่ตัวเร่งปฏิกิริยากอปเปอร์ที่รองรับด้วยอลูมิเนียมออกไซด์มีประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยาที่ต่ำกว่า โดยสามารถเร่งปฏิกิริยาให้เกิดผลิตภัณฑ์จีวีแอลได้เพียง 66% ถึงแม้จะใช้เวลาในการเร่งปฏิกิริยาถึง 6 ชั่วโมง และเกิดการเปลี่ยนแปลงของสารตั้งต้นกรดคลอวูลินิกเพียง 75%

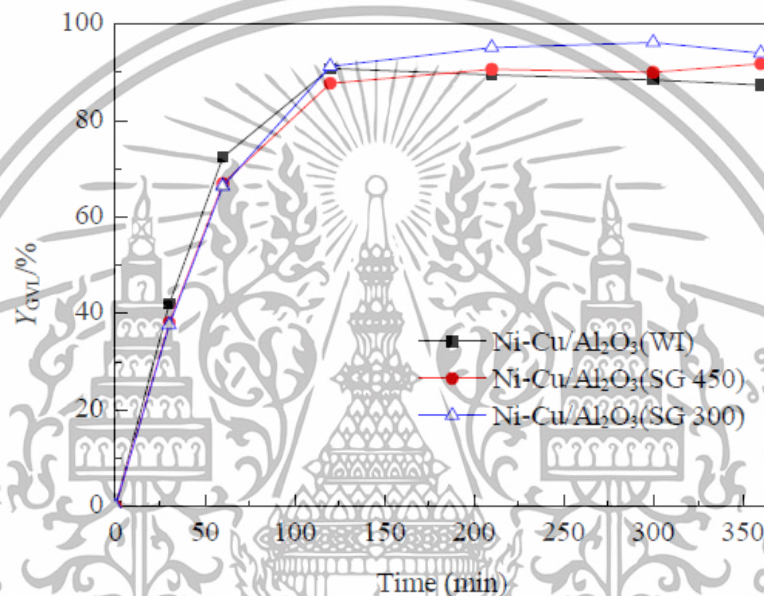


รูปที่ 2.19 ประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาแต่ละชนิดที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเปียกชุ่มในงานวิจัยของ I. Obregón และคณะ [31]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการเร่งปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยาสองเฟสที่สังเคราะห์ด้วยวิธีแบบเปียกชุ่มและวิธีแบบโซล-เจล

จากผลการทดลองพบว่าตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลคอปเปอร์ที่รองรับด้วยอลูมิเนียมออกไซด์ที่สังเคราะห์ด้วยวิธีโซล-เจลที่ 300 องศาเซลเซียสนั้นมีประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยาสูงที่สุดโดยสามารถเร่งปฏิกิริยาให้เกิดผลิตภัณฑ์จีวีแอลได้มากที่สุดถึง 96% ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีประสิทธิภาพรองลงมาคือตัวเร่งปฏิกิริยาที่สังเคราะห์ด้วยวิธีโซล-เจลเช่นกันแต่ใช้อุณหภูมิในการสังเคราะห์ 450 องศาเซลเซียส โดยมีความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาให้เกิดผลิตภัณฑ์จีวีแอลได้ 92% ส่วนตัวเร่งปฏิกิริยาที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเปียกชุ่มมีความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาต่ำที่สุด โดยเร่งปฏิกิริยาได้ผลิตภัณฑ์จีวีแอล 91%

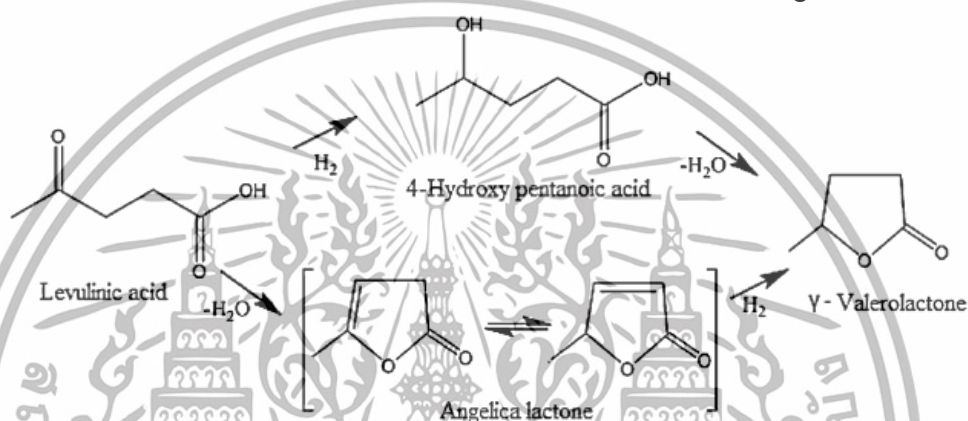


รูปที่ 2.20 ประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยา Ni-Cu/Al₂O₃ ที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเปียกชุ่มและวิธีโซล-เจลที่สังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 300 และ 450 องศาเซลเซียสในงานวิจัยของ I. Obregón และคณะ [31]

ในปี 2015 B. Putrakumar และคณะ [32] ได้ทำการสังเคราะห์จีวีแอลจากกรดลิวูลินิกโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นคอปเปอร์ที่สังเคราะห์บนแกนมาอลูมิเนียมออกไซด์ (Cu/ γ -Al₂O₃) ซึ่งตัวเร่งปฏิกิริยาในงานวิจัยชิ้นนี้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาแบบเฟสเดียว โดยมีขั้นตอนในการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาคือ ผสมคอปเปอร์ในเตรทในปริมาณต่าง ๆ กัน ได้แก่ 2, 5, 10, 15, และ 20% โดยมวลเข้ากับแกนมาอลูมิเนียมออกไซด์ให้อยู่ในรูปของสารละลายที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นจึงทำให้แห้งที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 16 ชั่วโมง และขั้นตอนสุดท้ายจึงทำการเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 5 ชั่วโมง หลังจากที่ได้ทำการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาเสร็จเรียบร้อยแล้ว ขั้นตอนต่อไปจึงเป็นการทดสอบการเร่งปฏิกิริยาโดยดำเนินการระบวนการเร่งปฏิกิริยาในเครื่องปฏิกรณ์แบบฟลัดเบด โดยสารตั้งต้นคือสารละลายกรดลิวูลินิก 10% โดยมวลถูกป้อนเข้าสู่กระบวนการอย่างต่อเนื่องโดยมีค่าอัตราการไหลส่วนน้ำหนักรตัวเร่งปฏิกิริยาเท่ากับ 0.169h⁻¹ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ทำการเร่งปฏิกิริยาโดยกำหนดเงื่อนไขในการเร่งปฏิกิริยาดังนี้คือ ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 0.3 กรัม ใช้อุณหภูมิในการเร่งปฏิกิริยา 265 องศาเซลเซียส จากผลการทดลองพบว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีคอปเปอร์ 5% โดยมวลจะส่งผลให้กระบวนการเร่งปฏิกิริยาเพื่อผลิตจีวีแอลมีประสิทธิภาพมากที่สุดโดยมีค่าความจำเพาะเจาะจงในการเกิดเป็นผลิตภัณฑ์จีวีแอลสูงที่สุด การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีคอปเปอร์ในปริมาณที่ต่ำกว่าคือ 2% โดยมวลนั้นส่งผลให้กระบวนการเร่งปฏิกิริยานั้นมีค่าการเปลี่ยนแปลงสารตั้งต้นที่ต่ำกว่าและมีความจำเพาะเจาะจงในการเกิดเป็นกรดวาเลริก (Valeric acid) ในปริมาณที่มากกว่าการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีคอปเปอร์ 5% ในขณะที่การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีปริมาณคอปเปอร์สูงกว่า ได้แก่ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีคอปเปอร์ 10, 15, และ 20% โดยมวล จะส่งผลให้ค่าการเปลี่ยนแปลงสารตั้งต้นลดลงและค่าความจำเพาะเจาะจงในการเกิดเป็นผลิตภัณฑ์จีวีแอลลดลงด้วยในขณะที่ค่าความจำเพาะเจาะจงในการเกิดเป็นแองเจลิกาแลคโตน (Angelica lactone) จะสูงขึ้น



รูปที่ 2.21 วิธีการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรจีนเนชันของกรดลิวูลินิกไปเป็นจีวีแอลในงานวิจัยของ B. Putrakumar และคณะ [32]

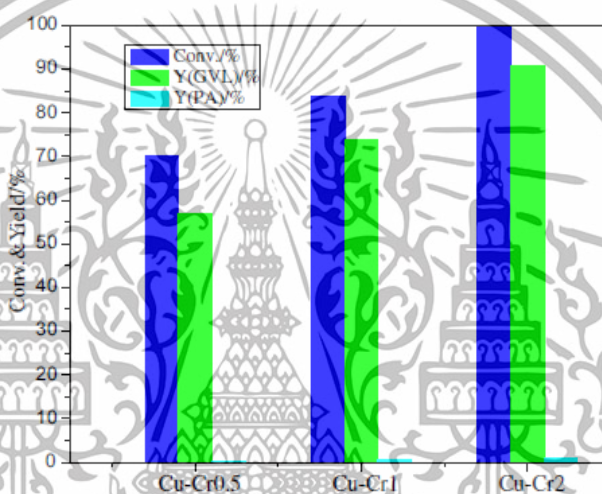
ตารางที่ 2.4 อิทธิพลของปริมาณคอปเปอร์ในกระบวนการไฮโดรจีนเนชันของกรดลิวูลินิกไปเป็นจีวีแอลในงานวิจัยของ B. Putrakumar และคณะ [32]

S. no.	Cu loading (wt%)	Conversion (%)	Selectivity (%)			
			GVL	VA	AL	Others
1	2	82	76	13	7	4
2	5	98	87	12	1	—
3	10	76	71	8	14	7
4	15	69	66	8	19	7
5	20	41	56	6	29	9

การศึกษาตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดอื่นๆ ได้แก่ งานวิจัยของ K. Yan และ A. Chen [33] ได้ทำการทดลองสังเคราะห์จีวีแอลจากกรดลิวูลินิก โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์โครเมียม (Cu-Cr) ในปี 2013 ตัวเร่งปฏิกิริยาในการทดลองนี้ ได้ถูกสังเคราะห์ขึ้นด้วยวิธีการสองขั้นตอน ขั้นตอนแรกเป็นกระบวนการตกตะกอนร่วมโดยควบคุมค่า pH ให้อยู่ในช่วง 5.5-6.0 หลังจากนั้นจึงทำการบำบัด (Treatment) ด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มัล (Hydrothermal) ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 6 ชั่วโมงและถูกทำให้แห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสอีก 12 ชั่วโมงต่อมาขั้นตอนที่สอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จึงทำการเผาที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 10 ชั่วโมง หลังจากทีกระบวนกรสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาเสร็จเรียบร้อยจึงได้ทำการทดลองกระบวนการเร่งปฏิกิริยาต่อไปโดยกระบวนการเร่งปฏิกิริยาได้ถูกดำเนินในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ ผลการทดลองการเร่งปฏิกิริยาด้วยกระบวนการไฮโดรจีนชันของกรดลิวูลินิกโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Cu-Cr ที่มีเงื่อนไขในการทดลองคือตัวเร่งปฏิกิริยามีสัดส่วนของ Cu^{2+} และ Cr^{3+} แตกต่างกันได้แก่ $\text{Cu}^{2+}/\text{Cr}^{3+}$ เท่ากับ 0.5, 1, และ 2 พบว่า ในกระบวนการเร่งปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 10 ชั่วโมงนั้นตัวเร่งปฏิกิริยาที่มี Cu^{2+} เป็นสองเท่าของ Cr^{3+} จะส่งผลให้กระบวนการเร่งปฏิกิริยาเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุดโดยมีค่าการเปลี่ยนแปลงสารตั้งต้นใกล้เคียง 100% และมีค่าการเกิดผลิตภัณฑ์จีวีแอลมากกว่า 90% และมีการเกิดผลิตภัณฑ์กรดเพนทานอิก (Pentanoic acid: PA) ขึ้นเล็กน้อย

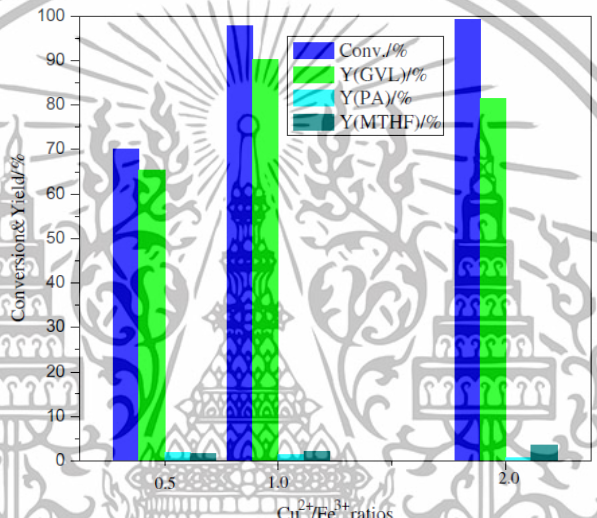


รูปที่ 2.22 ผลการเร่งปฏิกิริยาด้วยกระบวนการไฮโดรจีนชันของกรดลิวูลินิกโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Cu-Cr ที่มีอัตราส่วนของ Cu^{2+} และ Cr^{3+} แตกต่างกันในงานวิจัยของ K. Yan และ A. Chen [33]

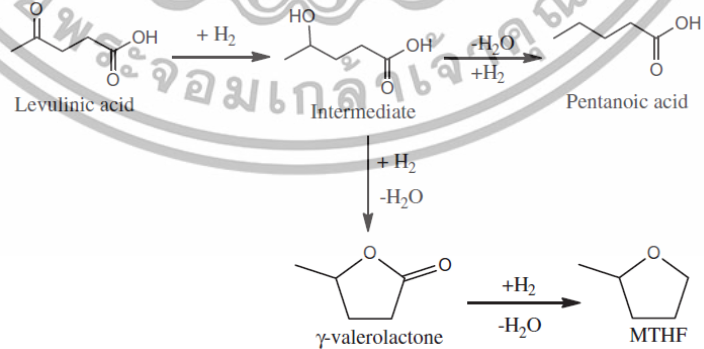
หลังจากนั้นทั้ง K. Yan และ A. Chen ก็ได้ทำการสังเคราะห์จีวีแอลจากกรดลิวูลินิกด้วยกระบวนการไฮโดรจีนชันอีกครั้งในปี 2014 [34] โดยการทดลองในครั้งนี้ได้ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นคอปเปอร์ไอออน (Cu-Fe) ซึ่งตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดนี้ถูกสังเคราะห์ขึ้นโดยใช้กระบวนการในการสังเคราะห์สองขั้นตอน โดยขั้นตอนแรกได้ใช้วิธีการตกตะกอนร่วมซึ่งมีการควบคุมค่า pH ให้อยู่ในช่วง 5.5-6.0 ที่อุณหภูมิห้องแล้วจึงนำตะกอนสารตั้งต้นที่ได้ไปบำบัดด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 6 ชั่วโมงและถูกทำให้แห้งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสอีก 12 ชั่วโมง หลังจากนั้นขั้นตอนที่สองจึงทำการเผาที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 10 ชั่วโมง หลังจากทีกระบวนกรสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาเสร็จเรียบร้อยจึงได้ทำการทดลองกระบวนการเร่งปฏิกิริยาต่อไปโดยกระบวนการเร่งปฏิกิริยาได้ถูกดำเนินในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ จากผลการทดลองการเร่งปฏิกิริยาด้วยกระบวนการไฮโดรจีนชันของกรดลิวูลินิกโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Cu-Fe ที่มีเงื่อนไขในการทดลองคือตัวเร่งปฏิกิริยามีอัตราส่วนของ Cu^{2+} และ Fe^{3+} แตกต่างกันได้แก่ $\text{Cu}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ เท่ากับ 0.5, 1, และ 2 พบว่า ในกระบวนการเร่งปฏิกิริยาที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 10 ชั่วโมงนั้นตัวเร่งปฏิกิริยา Cu-Fe ที่มีอัตราส่วนของ Cu^{2+} และ Fe^{3+} เท่ากันจะส่งผลให้กระบวนการเร่งปฏิกิริยามีค่าการเปลี่ยนแปลงสารตั้งต้นที่สูง และมีค่าการเกิดผลิตภัณฑ์จีวีแอลที่สูงถึงมากกว่า 90% ในขณะที่ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มี Cu^{2+} มากกว่า Fe^{3+} เป็นสองเท่าจะส่งผลให้กระบวนการเร่งปฏิกิริยามีค่าการเปลี่ยนแปลงสารตั้งต้นที่สูงกว่าแต่มีค่าการเกิดผลิตภัณฑ์จีวีแอลต่ำกว่าและยังส่งผลให้มีการเกิดผลิตภัณฑ์ 2-Methyltetrahydrofuran (MTHF) มากกว่าอีกด้วย ซึ่ง MTHF นั้นเป็นสารผลิตภัณฑ์ที่เกิดต่อจากจีวีแอลในกระบวนการเร่งปฏิกิริยา การมี Cu^{2+} ในจำนวนที่มากกว่า Fe^{3+} ได้ส่งผลให้ปฏิกิริยามีการดำเนินไปข้างหน้ามากขึ้นจึงทำให้ผลิตภัณฑ์จีวีแอลเกิดการเปลี่ยนแปลงต่อไปเป็นผลิตภัณฑ์ MTHF จึงเป็นสาเหตุที่ทำให้ผลิตภัณฑ์จีวีแอลมีการลดลงและมีการเกิดผลิตภัณฑ์ MTHF มากขึ้นในงานวิจัยชิ้นนี้



รูปที่ 2.23 ผลการเร่งปฏิกิริยาด้วยกระบวนการไฮโดรจิเนชันของกรดลิวูลินิกโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Cu-Fe ที่มีอัตราส่วนของ Cu^{2+} และ Fe^{3+} แตกต่างกันในงานวิจัยของ K. Yan และ A. Chen [34]



รูปที่ 2.24 วิธีการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรจิเนชันของกรดลิวูลินิกไปเป็นจีวีแอลในงานวิจัยของ K. Yan และ A. Chen [34]

นอกจากนี้ยังมีตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดอื่นๆที่น่าสนใจสำหรับกระบวนการไฮโดรจิเนชันเพื่อสังเคราะห์จีวีแอลเช่น Co ที่ได้ถูกศึกษาในงานวิจัยของ X. Long และคณะ [35] ในปี 2015 โดยในงานวิจัยชิ้นนี้ได้ทำการสังเคราะห์จีวี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แอลจากกรดลิวูลินิกโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา คือ โคบอลต์ที่สังเคราะห์บนอลูมิเนียมออกไซด์ ($\text{Co}/\text{Al}_2\text{O}_3$) ซึ่งตัวเร่งปฏิกิริยานี้ได้ถูกสังเคราะห์ขึ้นด้วยวิธีการตกตะกอนร่วม โดยตะกอนของสารตั้งต้นได้ถูกเผาในอากาศที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียสและหลังจากนั้นจึงถูกรีดิวซ์ในบรรยากาศ H_2 ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2.5 ชั่วโมง หลังจากนั้นจึงทำการเร่งปฏิกิริยาในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะเปรียบเทียบกับตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดอื่นๆ จากผลการทดลองกระบวนการเร่งปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 ชั่วโมงภายใต้ความดัน H_2 5 MPa พบว่าเมื่อเทียบกับตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดอื่นๆ ตัวเร่งปฏิกิริยา $4\text{Co}/\text{Al}_2\text{O}_3$ และตัวเร่งปฏิกิริยาที่นิยมที่สังเคราะห์บนคาร์บอน (Ru/C) นั้นมีประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยาที่สูงโดยมีค่าการเปลี่ยนแปลงสารตั้งต้นถึง 100% และมีค่าความจำเพาะเจาะจงในการเกิดเป็นผลิตภัณฑ์จีวีแอลมากกว่า 99%

ตารางที่ 2.5 ค่าการเปลี่ยนแปลงสารตั้งต้นและค่าความจำเพาะเจาะจงในการเกิดผลิตภัณฑ์จีวีแอลจากตัวเร่งปฏิกิริยาแต่ละชนิดในงานวิจัยของ X. Long และคณะ [35]

Entry	Catalyst	Conversion (%)	Selectivity (%)
1	2Fe/ Al_2O_3	0.5	>99
2	2Cu/ Al_2O_3	2	>99
3	2Ni/ Al_2O_3	39	>99
4	2Co/ Al_2O_3	43	>99
5	1Co/ Al_2O_3	46	>99
6	3Co/ Al_2O_3	43	>99
7	4Co/ Al_2O_3	100	>99
8	5Co/ Al_2O_3	93	>99
9	4Co/ $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$	29	>99
10	4Co/ $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-CR}$	69	>99
11	$\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$	—	—
12	Blank	—	—
13 ^a	4Co/ Al_2O_3	6	>99
14 ^b	Ru/C	100	>99

จากการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง จึงอาจกล่าวได้ว่า กระบวนการไฮโดรจีเนชันแบบส่งผ่านนั้นเป็นกระบวนการที่มีความเหมาะสมสำหรับการสังเคราะห์จีวีแอลจากทั้งกรดลิวูลินิกและลิวูลิเนตเอสเทอร์เนื่องจากเป็นปฏิกิริยาแบบดูดความร้อน มีความดันที่ต่ำ และมีความสามารถในการควบคุมความจำเพาะเจาะจงในการเกิดสารผลิตภัณฑ์ได้ดีกว่ากระบวนการไฮโดรจีเนชันแบบทั่วไปอีกด้วย [12] โดยสารให้อะตอมไฮโดรเจนที่มีประสิทธิภาพสูงสำหรับกระบวนการไฮโดรจีเนชันแบบส่งผ่านนี้คือ 2-โพรพานอล อย่างไรก็ตามกรดลิวูลินิกซึ่งเป็นสารตั้งต้นชนิดหนึ่งในการผลิตจีวีแอลนั้นมีข้อเสียคืออุปสรรคในการสังเคราะห์เนื่องจากมีความซับซ้อนในการแยกผลิตภัณฑ์กรดลิวูลินิกจากตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นกรดเช่นเดียวกัน ลิวูลิเนตเอสเทอร์จึงถูกเลือกแทนที่ในการศึกษานี้โดยจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่าเมทิลลิวูลิเนตนั้นเป็นสารตั้งต้นที่มีประสิทธิภาพในการสังเคราะห์จีวีแอล นอกจากนี้ใน

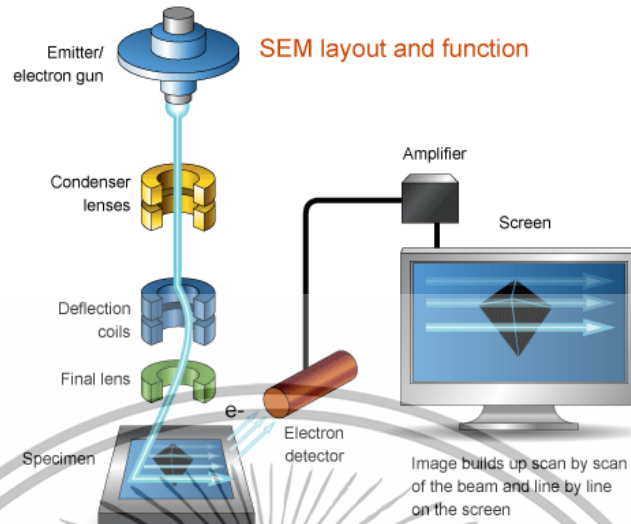
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดต่าง ๆ นั้นพบว่า การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะผสมชนิดต่างๆ ที่มีคอปเปอร์เป็นองค์ประกอบนั้นมีแนวโน้มของประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยาที่ดี นอกจากนี้ตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะเดี่ยวบางชนิดยังมีความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาเพื่อสังเคราะห์จีวีแอลด้วยกระบวนการไฮโดรจีเนชันที่ค่อนข้างดีอีกด้วย แต่อย่างไรก็ตามตัวเร่งปฏิกิริยาในงานวิจัยเหล่านี้มีข้อเสียคือใช้เวลาในการสังเคราะห์สูงและมีกระบวนการสังเคราะห์ที่ซับซ้อนและเมื่อได้ทำการศึกษาเพิ่มเติมจึงพบว่า ในงานวิจัยของ Lj. Kundakovic และคณะ [13] ที่ได้ทำการสังเคราะห์สารประกอบคอปเปอร์เซอร์โคเนียมออกไซด์ (CuZr(Y)O_2) พบว่าคอปเปอร์นั้นมีบทบาทที่สำคัญในการช่วยลดอุณหภูมิที่ต้องใช้ในการเกิดรีดักชันของสารประกอบนั้นๆ นอกจากนี้ในงานวิจัยของ J. Ashok [14] ที่ได้ทำการสังเคราะห์ไฮโดรเจนจากมีเทน (methane) โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นนิกเกิลคอปเปอร์อัลลอยด์ (Ni-Cu-Al) พบว่าคอปเปอร์นั้นจะส่งผลให้นิกเกิลนั้นสามารถเกิดการรีดักชันได้ง่ายขึ้นด้วยปรากฏการณ์ไฮโดรเจนสปิลโอเวอร์ (Hydrogen spillover) ซึ่งปรากฏการณ์ไฮโดรเจนสปิลโอเวอร์ในงานวิจัยดังกล่าวเกิดขึ้นโดยคอปเปอร์จะส่งผลให้เกิดการดูดซับอะตอมไฮโดรเจนบนพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา และหลังจากนั้นอะตอมไฮโดรเจนนั้นจึงเกิดการแพร่เข้าสู่ภายในโครงสร้างของตัวเร่งปฏิกิริยา และต่อมาอะตอมไฮโดรเจนนั้นจะสร้างพันธะกับอะตอมออกซิเจนในโครงสร้างของตัวเร่งปฏิกิริยาและหลุดออกไปซึ่งทำให้ในโครงสร้างของตัวเร่งปฏิกิริยานั้นเกิดช่องว่างอันเนื่องมาจากการสูญเสียอะตอมไฮโดรเจนขึ้น (Oxygen vacancy) และจะเกิดการสร้างเฟสของโลหะที่ว่างไว้ต่อกระบวนการเร่งปฏิกิริยาในโครงสร้างของตัวเร่งปฏิกิริยาขึ้นในที่สุด จากสมบัติของคอปเปอร์ดังกล่าวนี้เองในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาและทดลองการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีคอปเปอร์เป็นองค์ประกอบโดยทำการสังเคราะห์ที่อุณหภูมิต่ำ และใช้กระบวนการสังเคราะห์ไม่ซับซ้อน เพื่อทดลองใช้งานในการสังเคราะห์จีวีแอลจากลิวูลีนเตออสเทอร์ด้วยกระบวนการไฮโดรจีเนชันแบบส่งผ่านต่อไป

2.8 เครื่องมือตรวจวัดลักษณะจำเพาะ

2.8.1 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope: SEM)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



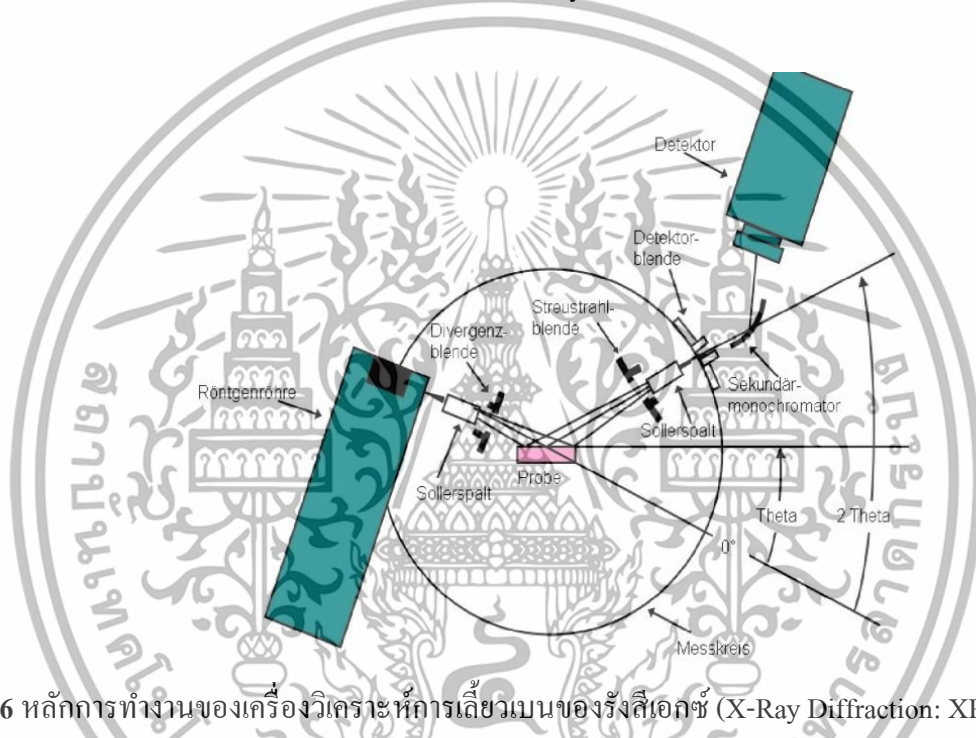
รูปที่ 2.25 หลักการทำงานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope: SEM) [36]

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด [37] เป็นเครื่องมือสำหรับตรวจวัดลักษณะพื้นผิวและสัณฐานวิทยาของวัสดุในระดับจุลภาค โดยมีหลักการทำงานคือการฉายลำอิเล็กตรอนลงไปที่พื้นผิวของวัสดุชิ้นงาน หลังจากนั้นอิเล็กตรอนที่ฉายลงไปจะทำอันตรกิริยากับพื้นผิวของวัสดุชิ้นงาน แล้ววัสดุชิ้นงานจะปลดปล่อยอิเล็กตรอนออกมา โดยอิเล็กตรอนที่ปลดปล่อยออกมาจากพื้นผิววัสดุชิ้นงานจะถูกตรวจวัดด้วยตัวรับสัญญาณ โดยลำอิเล็กตรอนที่ใช้ในการตรวจวัดเรียกว่าอิเล็กตรอนปฐมภูมิ มีต้นกำเนิดมาจากการจ่ายกระแสไฟฟ้าแรงสูงให้กับขดลวดทั้งสแตนด์ เมื่อได้รับกระแสไฟฟ้า อิเล็กตรอนปฐมภูมิจะหลุดออกจากขดลวดแล้ววิ่งเข้ากระทบบนชิ้นงานที่ตรวจวัด โดยอิเล็กตรอนปฐมภูมิจะถูกควบคุมทิศทางเคลื่อนที่ด้วยสนามแม่เหล็ก ซึ่งเป็นไปตามหลักการเดียวกันในสนามแม่เหล็กของอิเล็กตรอน เนื่องจากอิเล็กตรอนปฐมภูมิเป็นอิเล็กตรอนที่มีพลังงานสูง ทำให้อิเล็กตรอนที่ปลดปล่อยออกจากชิ้นงานมีหลายระดับพลังงาน แบ่งได้เป็น อิเล็กตรอนทุติยภูมิ (Secondary electron) เป็นอิเล็กตรอนที่หลุดออกจากแถบการนำ (Conduction band) หรือ แถบพลังงานเวเลนซ์ (Valence band) ซึ่งสามารถหลุดจากชั้นพลังงานได้ง่าย ไม่ต้องใช้พลังงานในการกระตุ้นสูง มีช่วงพลังงาน 10-50 อิเล็กตรอนโวลต์ โดยอิเล็กตรอนชนิดนี้จะใช้ในการสร้างภาพที่บริเวณพื้นผิวชิ้นงานในกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด อิเล็กตรอนอีกชนิดหนึ่งที่หลุดออกจากพื้นผิววัสดุคือ อิเล็กตรอนแบบกระเจิงกลับ (Back scattered electron) เป็นอิเล็กตรอนที่เกิดจากการที่ลำอิเล็กตรอนปฐมภูมิวิ่งเข้าชนกับพื้นผิววัสดุ โดยสูญเสียพลังงานบางส่วนให้กับอะตอมของวัสดุ แล้วเกิดการกระเจิงกลับออกมาจากวัสดุ ซึ่งอิเล็กตรอนชนิดนี้จะมีค่าพลังงานตั้งแต่พลังงานของอิเล็กตรอนปฐมภูมิไปจนถึงพลังงานของอิเล็กตรอนทุติยภูมิ โดยค่าของพลังงานที่กระเจิงกลับขึ้นมาจะขึ้นอยู่กับเลขมวลอะตอมของธาตุที่เป็นองค์ประกอบในวัสดุที่เป็นชิ้นงาน ด้วยสมบัตินี้อิเล็กตรอนแบบกระเจิงกลับจึงมีความสามารถในการสร้างภาพที่แสดงความแตกต่างของธาตุได้ในรูปแบบของความเข้มและความสว่างที่เกิดขึ้นในภาพแต่ละบริเวณ ซึ่งภาพที่ได้จะใช้ในการวิเคราะห์การกระจายตัวของธาตุที่เป็นองค์ประกอบในวัสดุชิ้นงาน สุดท้ายคือ รังสีเอกซ์ (X-ray) เป็นคลื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แม่เหล็กไฟฟ้าความยาวคลื่นสั้น มีความถี่สูง เกิดจากการที่ลำอิเล็กตรอนปฐมภูมิวิ่งชนกับพื้นผิววัสดุชิ้นงาน ทำให้ อิเล็กตรอนในระดับชั้นพลังงานต่างๆ ได้รับพลังงานกระตุ้นที่มากพอจนหลุดออกจากวงระดับพลังงาน แล้ว อิเล็กตรอนที่อยู่ชั้นถัดไปวิ่งเข้ามาแทนที่ จึงเกิดการปลดปล่อยรังสีเอกซ์ออกมา สเปกตรัมของรังสีเอกซ์ที่ถูก ปลดปล่อยออกมานี้สามารถนำไปใช้วิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุได้ทั้งในเชิงปริมาณและคุณภาพ โดยค่าของ พลังงานนี้จะขึ้นกับเลขอะตอมของธาตุ โดยจะมีการใช้หัววัดรังสีเอกซ์ (Energy Dispersive X-ray Spectrometer: EDS) ในการวิเคราะห์ข้อมูลประกอบกับการใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

2.8.2 เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-Ray Diffraction: XRD)



รูปที่ 2.26 หลักการทำงานของเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-Ray Diffraction: XRD) [38]

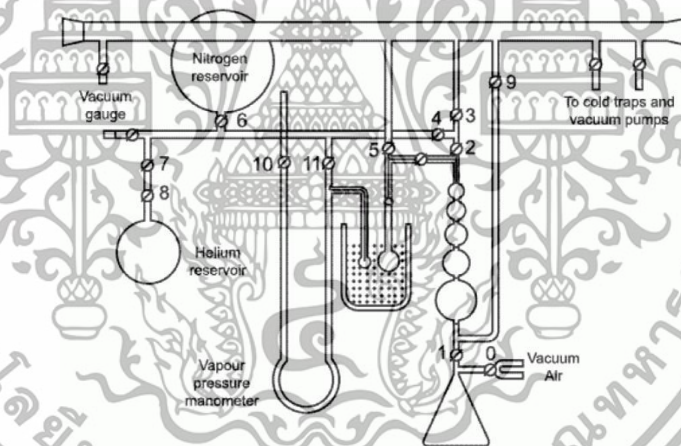
เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ [39] เป็นเครื่องมือสำหรับการวิเคราะห์สมบัติของวัสดุ โดยอาศัย การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ โดยสามารถวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างผลึกและสารองค์ประกอบในวัสดุได้ด้วย โดย หลักการคือ สารที่ต่างชนิดกัน จะมีขนาดของหน่วยเซลล์และระนาบผลึกที่แตกต่างกัน ทำให้ลักษณะการเลี้ยวเบน ของรังสีเอกซ์มีความแตกต่างกัน ทำให้สามารถวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของชนิดสารและลักษณะการเลี้ยวเบนได้ จึง สามารถบ่งบอกชนิดของสารองค์ประกอบในวัสดุได้การลักษณะจำเพาะการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ที่แตกต่างกัน นั้นเอง นอกจากนี้ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ยังสามารถใช้หาปริมาณขององค์ประกอบ ต่างๆในวัสดุ ขนาดของอนุภาคในแต่ละหน่วยเซลล์ ความเครียด และค่าความเป็นผลึกของวัสดุ และในกรณีของการ วัดฟิล์มบางนั้น ยัง สามารถวิเคราะห์องค์ประกอบและความหนาของชั้นฟิล์มบางได้อีกด้วย ในการวิเคราะห์การ เลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์นั้น จะอาศัยหลักการของ Bragg's law ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย θ คือ มุมตกกระทบ $2d \sin\theta = n\lambda$
 n คือ เลขจำนวนเต็ม
 λ คือ ความยาวคลื่น

โดยสมการนี้เป็นสมการสำหรับใช้คำนวณหาค่าการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ที่ยิงผ่านชั้นผลึกในวัสดุหลัง จากนั้นตัวรับสัญญาณจะวัดความเข้มของรังสีเอกซ์ที่เลี้ยวเบนในมุมต่างๆของการตรวจวัด ข้อจำกัดที่สำคัญของเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์นี้ คือ ไม่สามารถทำการตรวจวัดองค์ประกอบของสารที่มีลักษณะเป็นอสัณฐาน (Amorphous) ได้ เนื่องจากสารที่มีลักษณะอสัณฐานจะไม่ทำให้เกิดการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ แต่อย่างไรก็ตาม เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์นี้ยังสามารถใช้คำนวณหาเปอร์เซ็นต์สัดส่วนของสารกลุ่มอสัณฐานในวัสดุได้ โดยเปรียบเทียบจากปริมาณของสารมาตรฐานที่ทราบค่าแน่นอน

2.8.3 เครื่องวิเคราะห์พื้นที่ผิวและรูพรุน (Surface area & Pore size analyzer)



รูปที่ 2.27 หลักการทำงานของเครื่องวิเคราะห์พื้นที่ผิวและรูพรุน (Surface area & Pore size analyzer) [40]

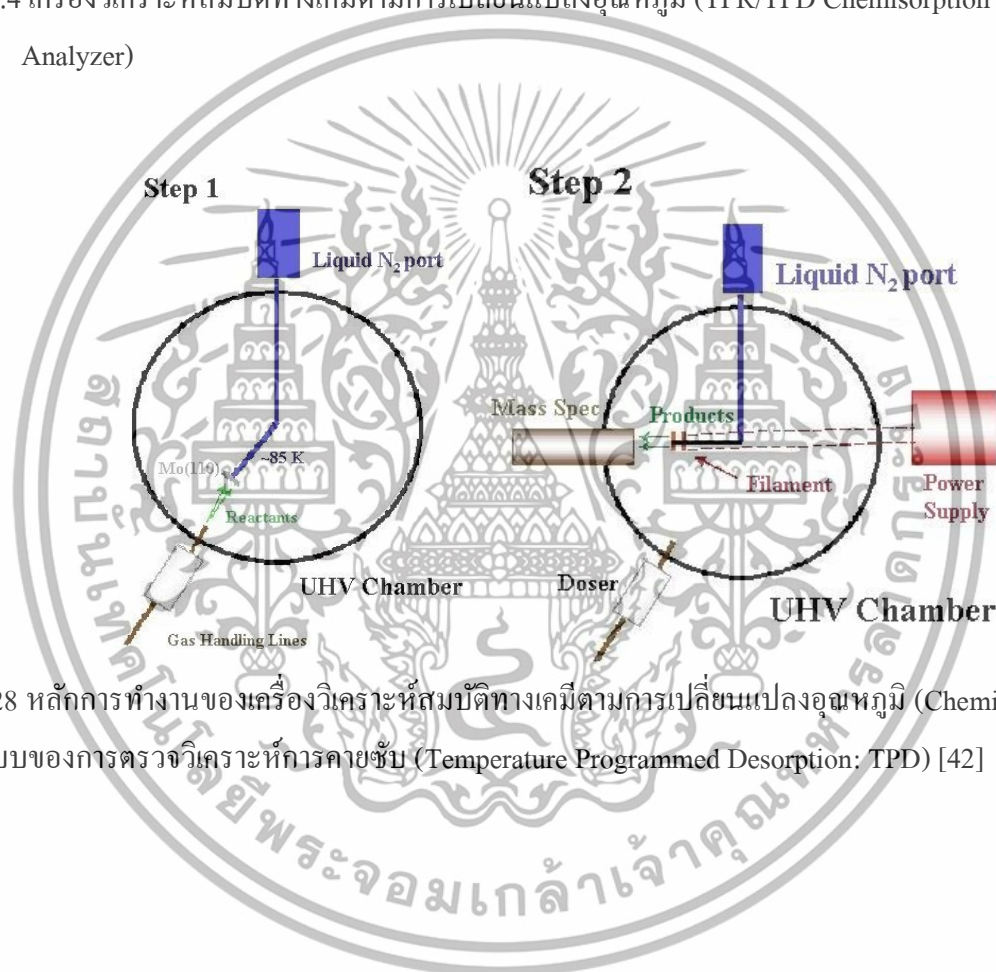
เครื่องวิเคราะห์พื้นที่ผิวและรูพรุน [41] เป็นเครื่องมือสำหรับวัดปริมาณพื้นที่ผิวและรูพรุนของวัสดุโดยอาศัยหลักการดูดซับที่พื้นผิวดัวยอะตอมของไนโตรเจน โดยหลักการคือมีการดูดซับอะตอมของแก๊สไนโตรเจนทั้งที่ผิวหน้าและรูพรุนของวัสดุ โดยแก๊สไนโตรเจนที่ถูกดูดซับนั้นส่วนหนึ่งจะมีลักษณะเป็นการเคลือบพื้นผิวแบบโมเลกุลชั้นเดียวจนเต็มพื้นที่ก่อน หลังจากนั้นแก๊สไนโตรเจนที่เหลือจึงกระจายกันไปเคลือบผิวของวัสดุแบบเคลือบหลายชั้น โดยสามารถอธิบายได้ด้วยสมการของ BET (Brunauer, Emmett and Teller) ดังนี้

$$(2.5) \quad \frac{P}{P_0} \frac{V}{V(1 - \frac{P}{P_0})} = \frac{1}{V_m C} + \left(\frac{C-1}{V_m C} \right) \left(\frac{P}{P_0} \right)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

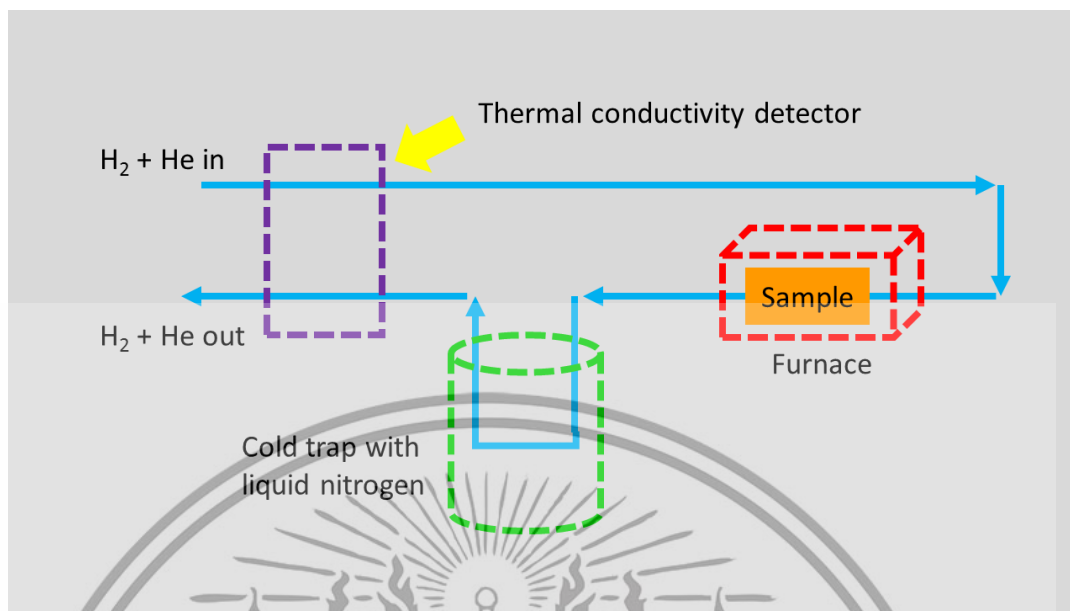
- โดย V คือ ปริมาตร (ที่อุณหภูมิและความดันมาตรฐานหรือ STP) ของแก๊สที่ถูกดูดซับ ณ ความดัน P
- P_0 คือ ความดันอิ่มตัวของแก๊สไนโตรเจน
- V_m คือ ปริมาตรของแก๊สไนโตรเจนที่เคลือบบนพื้นผิวลักษณะโมเลกุลชั้นเดียว
- P คือ ความดันของแก๊สไนโตรเจนที่ใช้ในการทดลอง
- C คือ ค่าคงที่พลังงานการดูดซับ

2.8.4 เครื่องวิเคราะห์สมบัติทางเคมีตามการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ (TPR/TPD Chemisorption Analyzer)



รูปที่ 2.28 หลักการทำงานของเครื่องวิเคราะห์สมบัติทางเคมีตามการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ (Chemisorption Analyzer) ในรูปแบบของการตรวจวิเคราะห์การคายซับ (Temperature Programmed Desorption: TPD) [42]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



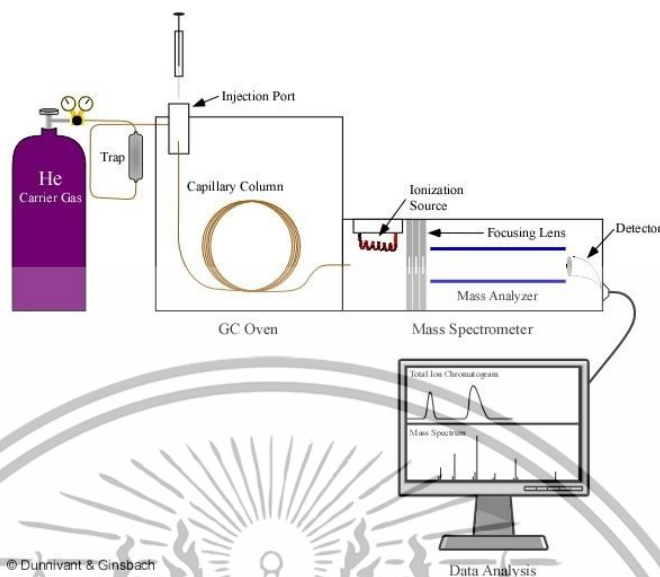
รูปที่ 2.29 หลักการทำงานของเครื่องวิเคราะห์สมบัติทางเคมีตามการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ (Chemisorption Analyzer) ในรูปแบบของการตรวจวิเคราะห์การรีดักชัน (Temperature Programmed Reduction: TPR)

เครื่องวิเคราะห์สมบัติทางเคมีตามการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ [43] นั้นมีความสามารถในการตรวจวิเคราะห์ได้สองรูปแบบ รูปแบบแรกคือการตรวจวิเคราะห์การคายซับ (Temperature Programmed Desorption: TPD) ซึ่งมีหลักการทำงานแบ่งเป็นสองขั้นตอน โดยขั้นตอนแรกนั้นจะเป็นการผ่านแก๊สที่ต้องการตรวจวิเคราะห์ให้กับสารตัวอย่างในปริมาณที่มากเกินพอจนสารตัวอย่างดูดซับแก๊สไว้จนอิ่มตัว หลังจากนั้นขั้นตอนที่สองจึงทำการเพิ่มอุณหภูมิจนกระทั่งสารตัวอย่างคายแก๊สที่ดูดซับเอาไว้ออกมา และจึงทำการวิเคราะห์ช่วงอุณหภูมิและปริมาณแก๊สที่ถูกคายออกมา การตรวจวิเคราะห์ในรูปแบบที่สองคือ การตรวจวิเคราะห์การรีดักชัน (Temperature Programmed Reduction: TPR) ซึ่งมีหลักการทำงานคือผ่านแก๊สที่ต้องการตรวจวิเคราะห์ให้กับสารตัวอย่างพร้อมกับทำการเพิ่มอุณหภูมิ และจึงทำการวิเคราะห์ช่วงอุณหภูมิและปริมาณแก๊สที่เกิดจากการรีดักชันของสารตัวอย่าง

2.9 เครื่องมือวิเคราะห์ผลการเร่งปฏิกิริยา

2.9.1 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี – แมสสเปกโตรมิเตอร์ (Gas Chromatography – Mass Spectrometer: GC-MS)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

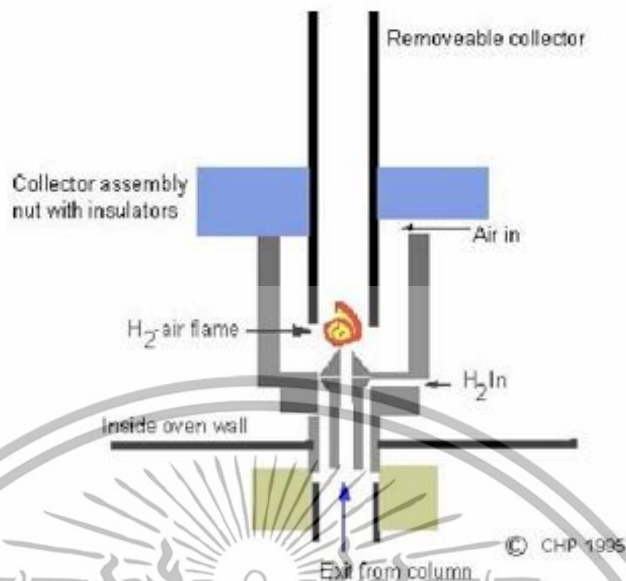


รูปที่ 2.30 หลักการทำงานของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี – แมสสเปกโตรมิเตอร์ (Gas Chromatography – Mass Spectrometer: GC-MS) [44]

การทำงานของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรมิเตอร์ [45] มีหลักการทำงานที่แยกเป็นสองส่วนคือ ในส่วนของแก๊สโครมาโทกราฟี (Gas Chromatography) จะใช้เทคนิคการแยกองค์ประกอบของสารผสมโดยอาศัยความแตกต่างของอัตราการเคลื่อนที่ขององค์ประกอบสารแต่ละชนิดบนเฟสคงที่ (Stationary phase) คือสารที่อยู่ภายในคอลัมน์ ซึ่งถูกพาโดยเฟสเคลื่อนที่ (Mobile phase) คือ แก๊สฮีเลียม เมื่อสารที่ต้องการวิเคราะห์ผ่านเข้าสู่เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี สารดังกล่าวจะถูกให้ความร้อนเพื่อเปลี่ยนแปลงสถานะจากของเหลวเป็นแก๊ส และถูกพาเข้าสู่คอลัมน์โดยแก๊สฮีเลียม และจะเกิดการแยกสารผสมในคอลัมน์ โดยอาศัยการทำปฏิกิริยา (Interaction) ระหว่างสารที่อยู่ภายในคอลัมน์ (Stationary phase) และสารผสม จากนั้นโมเลกุลของสารเชิงเดี่ยวจะถูกพาเข้าสู่เครื่องแมสสเปกโตรมิเตอร์ (Mass Spectrometer) โดยเมื่อสารเชิงเดี่ยวเข้าสู่เครื่องแมสสเปกโตรมิเตอร์แล้ว โมเลกุลของสารเชิงเดี่ยวจะได้รับพลังงานจากลำแสงอิเล็กตรอนพลังงานสูงทำให้เกิดการแตกตัวในรูปประจุ เรียกว่า “ **Molecular ion** , **M⁺** หรือ **M⁺** ” ซึ่งแต่ละโมเลกุลจะมีรูปแบบการแตกตัวเป็นลักษณะเฉพาะ เรียกว่า “**Mass spectrum**” โดยจะแสดงการแตกตัว (Fragmentation) ในรูปของ mass-to-charge ratio (m/z)

2.9.2 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี – เฟลมไอออนไนเซชันดีเทคเตอร์ (Gas Chromatography – Flame Ionization Detector: GC-FID)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.31 หลักการทำงานของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี - เฟลมไอออไนเซชันดีเทคเตอร์ (Gas Chromatography - Flame Ionization Detector: GC-FID) [46]

หลักการทำงานของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-เฟลมไอออไนเซชันดีเทคเตอร์ [46] นั้นจะคล้ายคลึงกับหลักการทำงานของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรมิเตอร์ แต่จะแตกต่างกันตรงที่เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-เฟลมไอออไนเซชันดีเทคเตอร์นั้นจะใช้เปลวไฟที่เกิดจากการเผาไหม้ระหว่างไฮโดรเจนและอากาศในการทำให้สารแตกตัวเป็นไอออน และถูกสนามไฟฟ้าดึงเข้าสู่ Collector และเกิดเป็นสัญญาณไฟฟ้า อย่างไรก็ตามเฟลมไอออไนเซชันดีเทคเตอร์นั้นไม่สามารถตรวจวัดแก๊สที่ไม่ลุกติดไฟ หรือแก๊สที่ลุกติดไฟแต่ไม่กลายเป็นไอออนได้

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 การสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะออกไซด์



รูปที่ 3.1 สารตั้งต้นสำหรับการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาประกอบด้วย คอปเปอร์ไนเตรทจากบริษัท Ajax Finechem นิกเกิลไนเตรทจากบริษัท Ajax Finechem ไอออนไนเตรทจากบริษัท Ajax Finechem โครเมียมไนเตรทจากบริษัท HIMEDIA และ โคบอลต์ไนเตรทจากบริษัท QR&C



รูปที่ 3.2 สารวัสดุรองรับสำหรับการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาประกอบด้วย อลูมิเนียมออกไซด์จากบริษัท SIGMA-ALDRICH ซิลิกอนไดออกไซด์จากบริษัท SIGMA-ALDRICH และ แมกนีเซียมออกไซด์จากบริษัท Ajax Finechem



รูปที่ 3.3 ถ้วยเซรามิก (Ceramic Crucible) สำหรับผสมสารตั้งต้นในการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 เตาเผาความร้อนสูง (Muffle Furnace) ยี่ห้อ Nabertherm สำหรับกระบวนการเผาตัวเร่งปฏิกิริยา



รูปที่ 3.5 ตัวอย่างสารตัวเร่งปฏิกิริยาที่ทำการสังเคราะห์และบดเป็นผงเสร็จเรียบร้อยแล้ว

3.1.1 การสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะออกไซด์เพื่อศึกษาอิทธิพลของชนิดตัวเร่งปฏิกิริยา

3.1.1.1 ผสมคอปเปอร์ไนเตรทกับสารโลหะไนเตรทตัวอื่นๆ ได้แก่ นิกเกิลไนเตรท โคบอลต์ไนเตรท โครเมียมไนเตรท และไอออนไนเตรท ในอัตราส่วน 1:1

3.1.1.2 ผสมน้ำไร้ประจุ (DI water) และคนให้ละลายเป็นเนื้อเดียวกัน

3.1.1.3 นำไปเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง

3.1.1.4 ร่อนอนุภาคนิวตึงอนุภาคนิวตึง นำไปบดให้เป็นผงละเอียด และเก็บรักษาในสุญญากาศ

3.1.1.5 นำตัวเร่งปฏิกิริยาที่สังเคราะห์ได้ไปวิเคราะห์ลักษณะจำเพาะและทดสอบการเร่งปฏิกิริยา

3.1.2 การสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะออกไซด์เพื่อศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิที่ใช้ในการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยา

3.1.2.1 ผสมคอปเปอร์ไนเตรทกับสารโลหะไนเตรทที่มีประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยาสูงที่สุดจากการทดสอบการเร่งปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยาในข้อ 3.1.1 ในอัตราส่วน 1:1

3.1.2.2 ผสมน้ำไร้ประจุ (DI water) และคนให้ละลายเป็นเนื้อเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 3.1.2.3 นำไปเผาที่อุณหภูมิ 800, 700, 600, และ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง
- 3.1.2.4 ร่อนอนุภาคนิวเคลียสถึงอนุภาคห้อย นำไปบดให้เป็นผงละเอียด และเก็บรักษาในตู้ความชื้น
- 3.1.2.5 นำตัวเร่งปฏิกิริยาที่สังเคราะห์ได้ไปวิเคราะห์ลักษณะจำเพาะและทดสอบการเร่งปฏิกิริยา

3.1.3 การสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะออกไซด์เพื่อศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนสารตั้งต้นที่ใช้ในการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยา

- 3.1.3.1 ผสมคอปเปอร์ไนเตรทกับสารโลหะไนเตรทที่มีประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยาสูงที่สุดจากการทดสอบการเร่งปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยาในข้อ 3.1.1 ในอัตราส่วน 1:8, 1:4, 1:2, 1:1, 2:1, 4:1, และ 8:1
- 3.1.3.2 ผสมน้ำไร้ประจุ (DI water) และคนให้ละลายเป็นเนื้อเดียวกัน
- 3.1.3.3 นำไปเผาที่อุณหภูมิที่ส่งผลให้ตัวเร่งปฏิกิริยามีประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยาสูงที่สุดจากการทดสอบการเร่งปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยาในข้อ 3.1.2 เป็นเวลา 5 ชั่วโมง
- 3.1.3.4 ร่อนอนุภาคนิวเคลียสถึงอนุภาคห้อย นำไปบดให้เป็นผงละเอียด และเก็บรักษาในตู้ความชื้น
- 3.1.3.5 นำตัวเร่งปฏิกิริยาที่สังเคราะห์ได้ไปวิเคราะห์ลักษณะจำเพาะและทดสอบการเร่งปฏิกิริยา

3.1.4 การสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะออกไซด์เพื่อศึกษาอิทธิพลของวัสดุรองรับ

- 3.1.4.1 ผสมคอปเปอร์ไนเตรทกับสารโลหะไนเตรทที่มีประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยาสูงที่สุดจากการทดสอบการเร่งปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยาในข้อ 3.1.1 ในอัตราส่วนที่ส่งผลให้ตัวเร่งปฏิกิริยามีประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยาสูงที่สุดจากการทดสอบการเร่งปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยาในข้อ 3.1.3
- 3.1.4.2 ผสมวัสดุรองรับ 3 ชนิดที่มีค่าความเป็นกรด-เบสต่างกัน ได้แก่ อลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3), ซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2), และ แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO)
- 3.1.4.3 ผสมน้ำไร้ประจุ (DI water) และคนให้ละลายเป็นเนื้อเดียวกัน
- 3.1.4.4 นำไปเผาที่อุณหภูมิที่ส่งผลให้ตัวเร่งปฏิกิริยามีประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยาสูงที่สุดจากการทดสอบการเร่งปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยาในข้อ 3.1.2 เป็นเวลา 5 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.4.5 รอยฉนวนหมึกถึงอุณหภูมิห้อง นำไปบดให้เป็นผงละเอียด และเก็บรักษาในตู้ดูดความชื้น

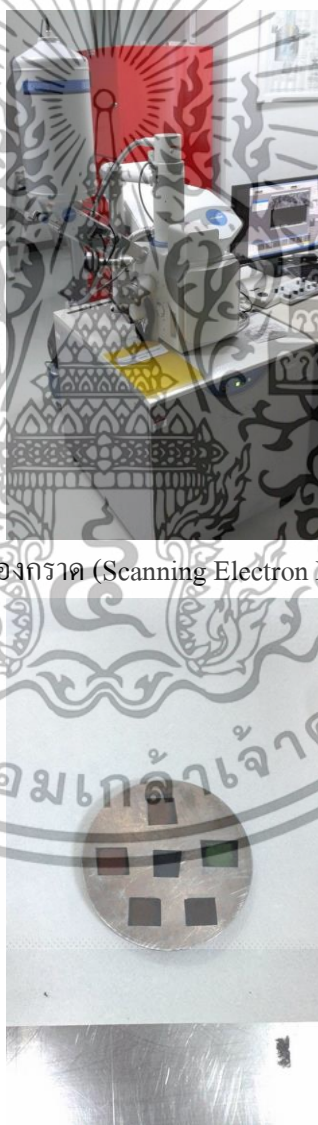
3.1.4.6 นำตัวเร่งปฏิกิริยาที่สังเคราะห์ได้ไปวิเคราะห์ลักษณะจำเพาะและทดสอบการเร่งปฏิกิริยา

3.1.4.7

3.2 การตรวจวัดและวิเคราะห์ลักษณะจำเพาะ

3.2.1 การตรวจวัดและวิเคราะห์ลักษณะพื้นฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope: SEM)

รูปที่ 3.6 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope: SEM) รุ่น Hitachi S3400N



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.7 แผ่นรองตัวอย่างสำหรับการตรวจวัดด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope: SEM) รุ่น Hitachi S3400N ซึ่งทำการติดเทปกาวคาร์บอนและเตรียมตัวอย่างสารสำหรับตรวจวัดเรียบร้อยแล้ว

การตรวจวัดสัณฐานวิทยาของสารตัวอย่างด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope: SEM) รุ่น Hitachi S3400N มีขั้นตอนในการเตรียมตัวอย่างและตรวจวัดดังนี้

3.2.1.1 ติดเทปกาวคาร์บอนลงบนแผ่นรองตัวอย่าง และเกลี่ยสารตัวอย่างที่ต้องการตรวจวัดลงบนพื้นผิวของเทปกาวคาร์บอนบางๆให้ทั่ว

3.2.1.2 ในกรณีที่สารที่ต้องการตรวจวัดมีค่าการนำไฟฟ้าต่ำ ต้องทำการเคลือบอนุภาคทองคำลงบนพื้นผิวของสารตัวอย่างนั้นก่อน

3.2.1.3 นำแผ่นรองตัวอย่างที่มีสารตัวอย่างที่ต้องการตรวจวัดสวมลงบนฐานรอง หลังจากนั้นจึงทำการสวมแผ่นรองตัวอย่างพร้อมฐานรองลงบนแท่นยึดในตัวเครื่อง SEM และปิดฝาตัวเครื่อง หลังจากนั้นระบบจะทำการดูดอากาศออกจากตัวเครื่อง SEM เพื่อให้ภายในตัวเครื่องเป็นภาวะสุญญากาศ

3.2.1.4 ทำการปรับเลนส์ไปยังตำแหน่งที่ต้องการตรวจวัด และปรับค่าต่างๆเช่น กำลังขยาย ค่าความสว่าง และถ่ายภาพตามที่ต้องการ

3.2.1.5 เมื่อทำการตรวจวัดเสร็จเรียบร้อยแล้ว ให้ทำการปรับเลนส์ไปยังตำแหน่งตั้งต้นของเครื่อง และทำการเปิดสวิทช์สำหรับสูบอากาศเข้าภายในตัวเครื่อง

3.2.1.6 รอจนระบบภายในตัวเครื่องไม่เป็นภาวะสุญญากาศ จึงทำการเปิดฝาทัวเครื่องและนำแผ่นรองตัวอย่างพร้อมฐานรองออกจากแท่นยึดในตัวเครื่อง และทำความสะอาดแผ่นรองตัวอย่างพร้อมฐานรองและเก็บรักษาให้เรียบร้อยแล้ว

3.2.2 การตรวจวัดและวิเคราะห์โครงสร้างผลึกและองค์ประกอบของสารด้วยเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-Ray Diffraction: XRD)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-Ray Diffraction: XRD) รุ่น BRUKER D8 ADVANCE



รูปที่ 3.9 แผ่นรองตัวอย่างสำหรับการตรวจวัดด้วยเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-Ray Diffraction: XRD) รุ่น BRUKER D8 ADVANCE ซึ่งทำการเตรียมตัวอย่างสารสำหรับตรวจวัดเรียบร้อยแล้ว

การตรวจวัดโครงสร้างผลึกและองค์ประกอบของสารตัวอย่างด้วยเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-Ray Diffraction: XRD) รุ่น BRUKER D8 ADVANCE มีขั้นตอนในการเตรียมตัวอย่างและตรวจวัดดังนี้

- 3.2.2.1 เทสารตัวอย่างที่ต้องการตรวจวัดลงบนแผ่นรองตัวอย่าง และปาดผิวหน้าให้เรียบ
- 3.2.2.2 นำแผ่นรองตัวอย่างที่มีสารตัวอย่างที่ต้องการตรวจวัดใส่ลงบนฐานรองรับในตัวเครื่อง XRD ทำการปรับตำแหน่งของแผ่นรองตัวอย่างพร้อมกับตำแหน่งรองรับในตัวเครื่องขึ้นด้านบนให้ลงล็อก หลังจากนั้นจึงทำการปิดฝาเครื่อง
- 3.2.2.3 ทำการปรับค่าต่างๆ เช่น ช่วง 2θ ที่ต้องการตรวจวัด เวลาและความละเอียดที่ใช้ในการตรวจวัด ตามที่ต้องการ
- 3.2.2.4 เมื่อเริ่มทำการตรวจวัด ไฟสัญญาณเตือนที่ตัวเครื่องจะสว่าง ระหว่างนั้นห้ามทำการเปิดฝาเครื่องโดยเด็ดขาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2.5 เมื่อทำการตรวจวัดเสร็จเรียบร้อยแล้ว ไฟสัญญาณเตือนที่ตัวเครื่องจะดับ จึงสามารถทำการเปิดฝาเครื่องได้

3.2.2.6 เปิดฝาเครื่อง ค่อยๆปลดลิ้นเพื่อเลื่อนฐานรองรับในตัวเครื่องลงพร้อมกับนำแผ่นรองตัวอย่างออก หลังจากนั้นจึงทำความสะอาดแผ่นรองตัวอย่างและเก็บรักษาให้เรียบร้อย

3.2.3 การตรวจวัดและวิเคราะห์พื้นที่ผิวสัมผัสด้วยเครื่องวิเคราะห์พื้นที่ผิวและรูพรุน (Surface area & Pore size analyzer)



รูปที่ 3.10 เครื่องวิเคราะห์พื้นที่ผิวและรูพรุน (Surface area & Pore size analyzer) รุ่น NOVA 2000e



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.11 กระเปาะตรวจวัดสำหรับการตรวจวัดด้วยเครื่องวิเคราะห์พื้นที่ผิวและรูพรุน (Surface area & Pore size analyzer) รุ่น NOVA 2000e ซึ่งเตรียมตัวอย่างสารสำหรับตรวจวัดและปิดฝากระเปาะด้วยแท่งแก้วเรียบร้อยแล้ว

การตรวจวัดพื้นที่ผิวสัมผัสของสารตัวอย่างด้วยเครื่องวิเคราะห์พื้นที่ผิวและรูพรุน (Surface area & Pore size analyzer) รุ่น NOVA 2000e มีขั้นตอนในการเตรียมตัวอย่างและตรวจวัดดังนี้

- 3.2.3.1 ชั่งน้ำหนักสารตัวอย่างที่ต้องการตรวจวัดและใส่สารตัวอย่างนั้นลงในกระเปาะบรรจุสารตรวจวัด และปิดฝากระเปาะบรรจุสารตรวจวัดด้วยแท่งแก้ว
- 3.2.3.2 สวมกระเปาะบรรจุสารตรวจวัดที่ใส่สารตัวอย่างที่ต้องการตรวจวัดเรียบร้อยแล้วที่ช่องรองรับในส่วนปรับสภาพสารตัวอย่างที่ด้านซ้ายของตัวเครื่อง สวมถุงให้ความร้อน (Heating jacket) เข้าที่ด้านล่างของกระเปาะบรรจุสารตรวจวัดและยึดให้แน่นด้วยแท่งยึดโลหะรูปตัว U
- 3.2.3.3 ทำการปรับสภาพสารตัวอย่างในภาวะสุญญากาศ โดยตั้งค่าอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการปรับสภาพสารตัวอย่างตามที่ต้องการ
- 3.2.3.4 เมื่อทำการปรับสภาพสารตัวอย่างเสร็จเรียบร้อยแล้ว จึงทำการถอดกระเปาะบรรจุสารตัวอย่างจากช่องรองรับในส่วนปรับสภาพสารตัวอย่างที่ด้านซ้ายของตัวเครื่อง และนำมาสวมที่ช่องรองรับในส่วนตรวจวัดสารตัวอย่างที่ด้านขวาของตัวเครื่อง และปิดช่องช่องรองรับในส่วนปรับสภาพสารตัวอย่างที่ด้านซ้ายของตัวเครื่องด้วยแท่งปิดโลหะให้สนิท
- 3.2.3.5 เติมไนโตรเจนเหลวในกระบอกสำหรับบรรจุไนโตรเจนเหลวที่ส่วนตรวจวัดสารตัวอย่างที่ด้านขวาของตัวเครื่องให้เต็ม และทำการตรวจวัดสารตัวอย่างได้
- 3.2.3.6 หลังทำการตรวจวัดเสร็จเรียบร้อยแล้ว จึงทำการถอดกระเปาะบรรจุสารตัวอย่างจากช่องรองรับในส่วนตรวจวัดสารตัวอย่างที่ด้านขวาของตัวเครื่อง นำกระเปาะบรรจุสารตรวจวัดไปชั่งน้ำหนักและบันทึกค่าน้ำหนักที่แท้จริงของสารตัวอย่างที่ต้องการตรวจวัด โดยหักลบกับน้ำหนักของกระเปาะเปล่าๆ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลต่อไป
- 3.2.3.7 ทำความสะอาดกระเปาะบรรจุสารตัวอย่างและเก็บรักษาให้เรียบร้อย

3.2.4 การตรวจวัดและวิเคราะห์สมบัติการรีดักชันตามอุณหภูมิที่โปรแกรม (H_2 -TPR) ด้วยเครื่องวิเคราะห์สมบัติทางเคมีตามการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ (TPR/TPD Chemisorption Analyzer)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.12 เครื่องวิเคราะห์สมบัติทางเคมีตามการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ (TPR/TPD Chemisorption Analyzer) รุ่น Quantachrome INSTRUMENTS ChemBET Pulsar



รูปที่ 3.13 กระจาปะตรวจวัดสำหรับการตรวจวัดด้วยเครื่องวิเคราะห์สมบัติทางเคมีตามการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ (TPR/TPD Chemisorption Analyzer) รุ่น Quantachrome INSTRUMENTS ChemBET Pulsar ซึ่งเตรียมตัวอย่างสารสำหรับตรวจวัดและปิดช่องว่างของกระจาปะด้านที่ต้องการใส่อุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิด้วยใยแก้วเรียบร้อยแล้ว

การตรวจวัดสมบัติการรีดักชันตามอุณหภูมิที่โปรแกรม (H_2 -TPR) ด้วยเครื่องวิเคราะห์สมบัติทางเคมีตามการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ (TPR/TPD Chemisorption Analyzer) รุ่น Quantachrome INSTRUMENTS ChemBET Pulsar มีขั้นตอนในการเตรียมตัวอย่างและตรวจวัดดังนี้

- 3.1.1.1 ชั่งน้ำหนักสารตัวอย่างที่ต้องการตรวจวัดและใส่สารตัวอย่างนั้นลงในกระจาปะบรรจุสารตรวจวัด และปิดช่องว่างด้านหนึ่งของกระจาปะบรรจุสารตรวจวัดด้วยใยแก้ว (Quartz wool)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 3.1.1.2 สวมกระเปาะบรรจุสารตรวจวัดที่ใส่สารตัวอย่างที่ต้องการตรวจวัดเรียบร้อยแล้วเข้ากับฐานรองรับซึ่งมีอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิอยู่ด้วยด้านหนึ่ง โดยสวมกระเปาะบรรจุสารตรวจวัดด้านที่ปิดช่องว่างด้วยใยแก้วเข้ากับฐานรองรับด้านที่มีอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิ
- 3.1.1.3 สวมฐานรองรับพร้อมกระเปาะบรรจุสารตรวจวัดเข้ากับแท่นยึดที่ตัวเครื่อง และดันให้ลงล็อก โดยที่ด้านล่างของกระเปาะบรรจุสารตรวจวัดจะอยู่ภายในเตาให้ความร้อน
- 3.1.1.4 ใส่น้ำแข็งสำหรับควบคุมอุณหภูมิในกระบอกใส่น้ำแข็งที่ด้านขวาของตัวเครื่องให้เต็ม
- 3.1.1.5 แก๊สที่ใช้ในการตรวจวัดคือแก๊สไฮโดรเจน 5% ในอาร์กอน 95% ($5\%H_2/95\%Ar$) และแก๊สฮีเลียม (He)
- 3.1.1.6 ทำการตรวจสอบอัตราการไหลของแก๊สทั้งสองให้อยู่ในสภาพปกติ
- 3.1.1.7 ทำการปรับค่าต่างๆเช่น อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ อัตราการไหลของแก๊ส ค่าสัญญาณ ตามที่ต้องการ และทำการตรวจวัด
- 3.1.1.8 เมื่อทำการตรวจวัดเสร็จเรียบร้อยแล้ว จึงทำการปิดแก๊ส และถอดฐานรองรับพร้อมกระเปาะบรรจุสารตรวจวัดออกจากแท่นยึดที่ตัวเครื่อง หลังจากนั้นทำการถอดกระเปาะบรรจุสารตรวจวัดออกจากฐานรองรับ
- 3.1.1.9 ทำความสะอาดกระเปาะบรรจุสารตัวอย่างและเก็บรักษาให้เรียบร้อย

3.3 การทดสอบกระบวนการเร่งปฏิกิริยา

การทดสอบการเร่งปฏิกิริยามีขั้นตอนในการเตรียมระบบและทำการทดสอบดังนี้

- 3.3.1 ใส่สารตั้งต้น ตัวเร่งปฏิกิริยาและสารให้อะตอมไฮโดรเจนลงในกระบอกเทฟลอน
- 3.3.2 ใส่แท่งคนแม่เหล็ก (Magnetic bar) ลงในกระบอกเทฟลอนและทำการปั่นกวนให้สารตั้งต้นและตัวเร่งปฏิกิริยากระจายตัวอย่างทั่วถึงในสารให้อะตอมไฮโดรเจน
- 3.3.3 ทำการเก็บตัวอย่างสารเพื่อตรวจวัดและวิเคราะห์ในขั้นตอนแรกก่อนการเร่งปฏิกิริยา
- 3.3.4 บรรจุกระบอกเทฟลอนลงในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะและปิดฝาเครื่องปฏิกรณ์ให้เรียบร้อย
- 3.3.5 เริ่มกระบวนการเร่งปฏิกิริยา โดยใช้ฐานเตาให้ความร้อน (Hot plate) ในการให้ความร้อนและการปั่นกวน และใช้เครื่องควบคุมการให้ความร้อน (Temperature controller) ในการช่วยให้ความร้อนด้วยโดยการให้ความร้อนผ่านเข็มขัดให้ความร้อน (Heating jacket)
- 3.3.6 ทำการเร่งปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 3.3.7 เมื่อทำการทดสอบการเร่งปฏิกิริยาเสร็จแล้ว จึงทำการหยุดการเร่งปฏิกิริยาอย่างฉับพลัน (Quench) ในถังใส่น้ำแข็ง
- 3.3.8 ร่อนอนุกรมผลผลิตลงจนคงที่ และทำการเก็บตัวอย่างสารเพื่อตรวจวัดและวิเคราะห์ในขั้นสุดท้าย หลังการเร่งปฏิกิริยา

รูปที่ 3.14 กระบอกเทฟลอนสำหรับบรรจุสารสำหรับทำปฏิกิริยาในกระบวนการเร่งปฏิกิริยา



รูปที่ 3.15 เครื่องปฏิกรณ์แบบกะสำหรับกระบวนการเร่งปฏิกิริยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.16 การใช้เครื่องปฏิกรณ์ในกระบวนการเร่งปฏิกิริยา โดยใช้ฐานเตาให้ความร้อน (Hot plate) ในการให้ความร้อนและการปั่นกวน และใช้เครื่องควบคุมการให้ความร้อน (Temperature controller) ในการช่วยให้ความร้อนด้วย โดยการให้ความร้อนผ่านเข็มขัดให้ความร้อน (Heating jacket)

3.4 การวิเคราะห์ผลการเร่งปฏิกิริยา

3.4.1 การตรวจวัดและวิเคราะห์ผลการเร่งปฏิกิริยาในเชิงคุณภาพด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรมิเตอร์ (Gas Chromatography – Mass Spectrometer: GC-MS)



รูปที่ 3.17 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี – แมสสเปกโตรมิเตอร์ (Gas Chromatography – Mass Spectrometer: GC-MS)

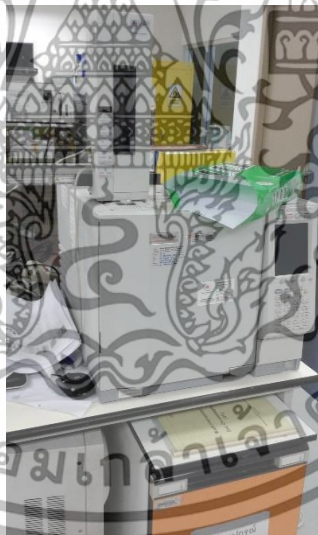
รุ่น SHIMADZU GCMS-QP 2010 Ultra

การตรวจวัดผลการเร่งปฏิกิริยาในเชิงคุณภาพด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี – แมสสเปกโตรมิเตอร์ (Gas Chromatography – Mass Spectrometer, GC-MS) รุ่น SHIMADZU GCMS-QP 2010 Ultra มีขั้นตอนในการเตรียมตัวอย่างและตรวจวัดดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 3.4.1.1 ผสมสารตัวอย่างที่ต้องการตรวจวัดกับเอทานอลในขวดสำหรับตรวจวัด
- 3.4.1.2 ทำการใส่ขวดสำหรับตรวจวัดที่เตรียมตัวอย่างสารที่ต้องการตรวจวัดเรียบร้อยแล้วลงในฐานรองรับบนเครื่อง GC-MS
- 3.4.1.3 ทำการตั้งค่าสำหรับการตรวจวัดเช่น วิธีการตรวจวัด (Method) ตำแหน่งจัดเก็บข้อมูลตามที่ต้องการ
- 3.4.1.4 คอลัมน์ (Column) ที่ใช้ในการตรวจวัดสารตัวอย่างสำหรับการศึกษานี้คือ DB-WAX
- 3.4.1.5 เมื่อทำการตรวจวัดเสร็จเรียบร้อยแล้ว จึงทำการเก็บรักษาขวดสำหรับตรวจวัดที่มีสารที่ต้องการตรวจวัดไว้ในตู้เย็น หรือทำความสะอาดและเก็บรักษาให้เรียบร้อยตามความเหมาะสม

3.4.2 การตรวจวัดและวิเคราะห์ผลการเร่งปฏิกิริยาในเชิงปริมาณด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-เฟลมไอออไนเซชันดีเทคเตอร์ (Gas Chromatography – Flame Ionization Detector: GC-FID)



รูปที่ 3.18 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี – เฟลมไอออไนเซชันดีเทคเตอร์ (Gas Chromatography – Flame Ionization Detector: GC-FID) รุ่น SHIMADZU GC-2010 Plus

การตรวจวัดผลการเร่งปฏิกิริยาในเชิงปริมาณด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-เฟลมไอออไนเซชันดีเทคเตอร์ (Gas Chromatography – Flame Ionization Detector: GC-FID) รุ่น SHIMADZU GC-2010 Plus มีขั้นตอนในการเตรียมตัวอย่างและตรวจวัดดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 3.4.2.1 ผสมสารตัวอย่างที่ต้องการตรวจวัดกับเอทานอลในขวดสำหรับตรวจวัด
- 3.4.2.2 ทำการใส่ขวดสำหรับตรวจวัดที่เตรียมตัวอย่างสารที่ต้องการตรวจวัดเรียบร้อยแล้วลงในฐานรองรับบนเครื่อง GC-MS
- 3.4.2.3 ทำการตั้งค่าสำหรับการตรวจวัดเช่น วิธีการตรวจวัด (Method) ตำแหน่งจัดเก็บข้อมูลตามที่ต้องการ
- 3.4.2.4 คอลัมน์ (Column) ที่ใช้ในการตรวจวัดสารตัวอย่างสำหรับการศึกษานี้คือ DB-WAX
- 3.4.2.5 เมื่อทำการตรวจวัดเสร็จเรียบร้อยแล้ว จึงทำการเก็บรักษาขวดสำหรับตรวจวัดที่มีสารที่ต้องการตรวจวัดไว้ในตู้เย็น หรือทำความสะอาดและเก็บรักษาให้เรียบร้อยตามความเหมาะสม

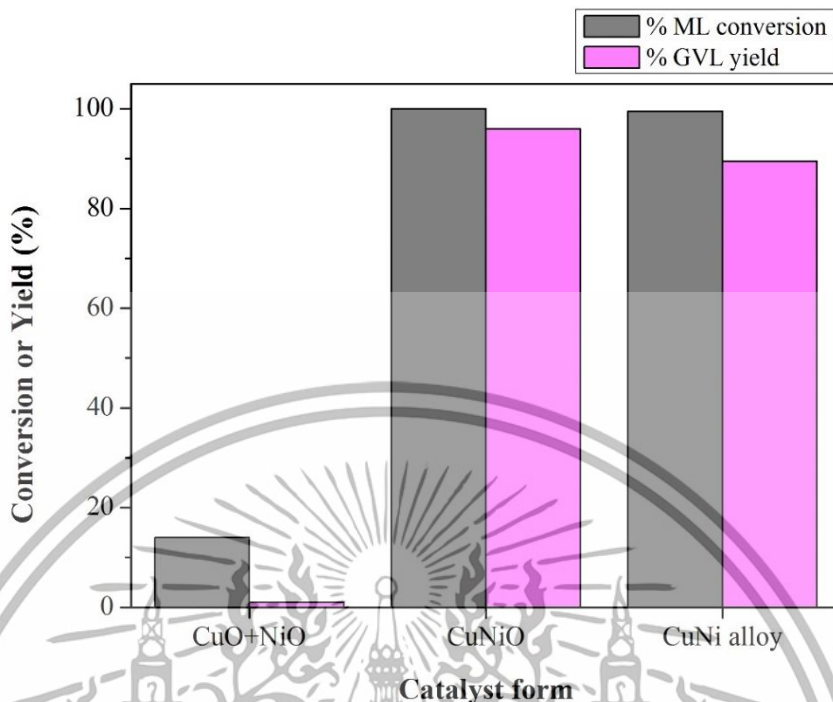
รูปที่ 3.19 ขวดตรวจวัดสำหรับการวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีทั้งสองรูปแบบที่เตรียมตัวอย่างสำหรับตรวจวัดเรียบร้อยแล้ว

บทที่ 4

ผลการวิจัย

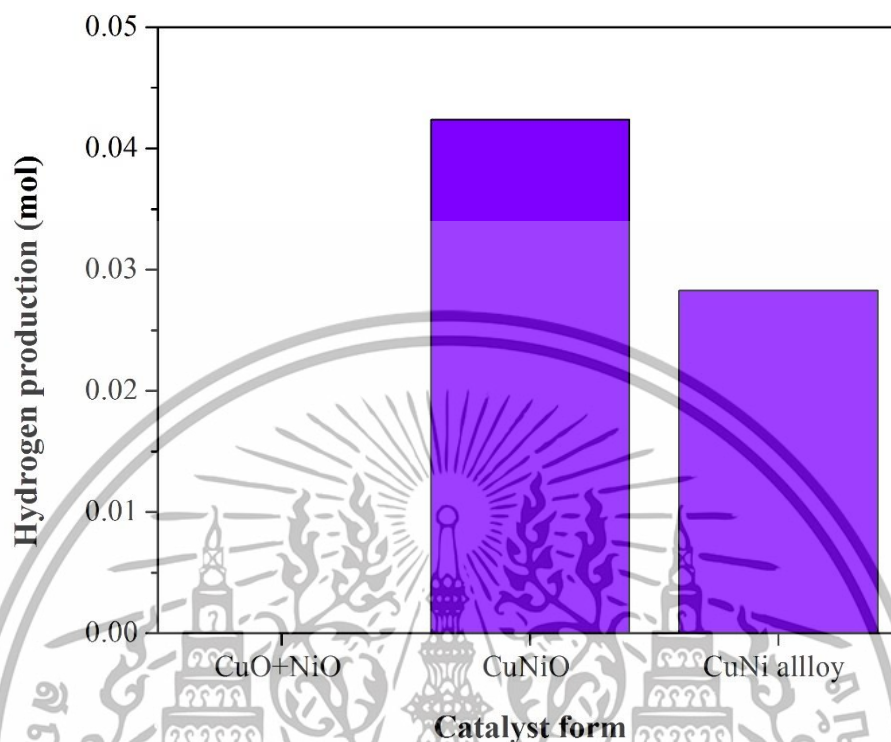
4.1 อิทธิพลของการสร้างพันธะของตัวเร่งปฏิกิริยา

ในการทดลองขั้นต้นได้ทำศึกษาอิทธิพลการสร้างพันธะของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ส่งผลต่อความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาเพื่อสังเคราะห์จีวีแอลจากเมทิลลิววูลิเนต ด้วยปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชันแบบส่งผ่าน โดยได้ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาในกลุ่มคอปเปอร์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ในการทดลองขั้นต้นนี้ เนื่องจากในการทบทวนวรรณกรรมพบว่า ตัวเร่งปฏิกิริยาในกลุ่มนี้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีความสามารถในกระบวนการไฮโดรจีเนชัน ซึ่งตัวเร่งปฏิกิริยาจะถูกใช้ในรูปแบบที่แตกต่างกันคือ คอปเปอร์ออกไซด์ที่สังเคราะห์จากคอปเปอร์ในเตรทผสมกับนิกเกิลออกไซด์ที่สังเคราะห์จากนิกเกิลในเตรทด้วยกระบวนการผสมแบบเชิงกล และคอปเปอร์นิกเกิลออกไซด์ที่สังเคราะห์จากการเผาคอปเปอร์ในเตรทและนิกเกิลในเตรทร่วมกัน นอกจากนี้ยังมีการทดสอบการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์นิกเกิลออกไซด์ที่ได้ทำการรีดักชันให้อยู่ในรูปของคอปเปอร์นิกเกิลอัลลอยเพื่อเปรียบเทียบกับ ซึ่งตัวเร่งปฏิกิริยาทั้งหมดนั้นจะถูกสังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 5 ชั่วโมง และในส่วนของตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์นิกเกิลอัลลอยนั้นจะเป็นการนำคอปเปอร์นิกเกิลออกไซด์ที่ได้จากการสังเคราะห์ด้วยวิธีข้างต้นไปผ่านการรีดักชันในบรรยากาศไฮโดรเจนที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 ชั่วโมง กระบวนการเร่งปฏิกิริยานั้นจะดำเนินไปในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 ชั่วโมง โดยใช้เมทิลลิววูลิเนต (ML) เป็นสารตั้งต้นและใช้สารให้อะตอมไฮโดรเจนเป็น 2-โพรพานอล (2-Propanol)



รูปที่ 4.1 ความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์นิกเกิลในลักษณะต่างๆ

ผลการเร่งปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยาในลักษณะต่างๆ ซึ่งแสดงดังรูปที่ 4.1 พบว่า ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ถูกสังเคราะห์โดยการเผาคอปเปอร์ไนเตรทและนิกเกิลไนเตรทร่วมกันเกิดเป็นคอปเปอร์นิกเกิลออกไซด์ และตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์นิกเกิลอัลลอยนั้นมีความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาเพื่อสังเคราะห์จีวีแอล ได้สูงโดยมีค่าการเปลี่ยนแปลงของสารตั้งต้นประมาณ 100% แต่อย่างไรก็ตามพบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์นิกเกิลออกไซด์นั้นส่งผลให้เกิดผลิตภัณฑ์จีวีแอลมากกว่าโดยมีค่ามากกว่า 95% ในขณะที่คอปเปอร์นิกเกิลอัลลอยนั้นมีความการเกิดผลิตภัณฑ์จีวีแอลประมาณ 90% ซึ่งไม่ได้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญเท่าใดนัก แต่ในส่วนของตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ออกไซด์ที่ผสมกับนิกเกิลออกไซด์ด้วยวิธีบดผสมเชิงกลนั้นพบว่ามีสามารถในการสังเคราะห์จีวีแอลจากเมทิลลิวกลินेटด้วยกระบวนการไฮโดรจีเนชันแบบส่งผ่านต่ำมาก โดยมีความการเปลี่ยนแปลงของสารตั้งต้นเพียงประมาณ 15% และเกิดผลิตภัณฑ์จีวีแอลเพียงประมาณ 1% เท่านั้น นอกจากนี้ยังพบว่าในกระบวนการทดลองนั้นจะมีการเกิดแก๊สไฮโดรเจนขึ้นในกระบวนการเร่งปฏิกิริยาด้วย ซึ่งภายหลังจากที่กระบวนการเร่งปฏิกิริยาลิ้นสุดลงแล้วจะยังคงมีแก๊สไฮโดรเจนหลงเหลืออยู่ในระบบ ดังแสดงในรูปที่ 4.2



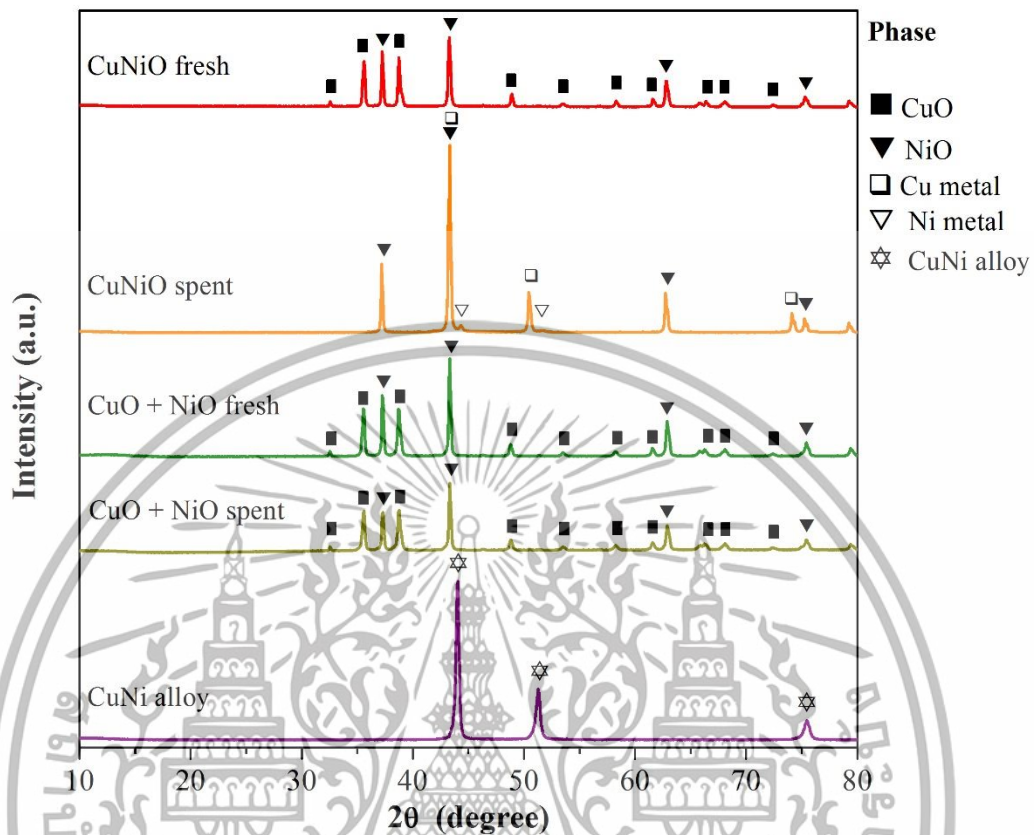
รูปที่ 4.2 ความสามารถในการผลิตไฮโดรเจนของตัวเร่งปฏิกิริยาออกไซด์นิกเกิลในลักษณะต่างๆ

จากรูปที่ 4.2 พบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาออกไซด์นิกเกิลออกไซด์นั้นจะส่งผลให้มีการผลิตไฮโดรเจนในปฏิกิริยามากที่สุด ปฏิกิริยาที่ใช้ออกไซด์นิกเกิลอัลลอยนั้นมีการผลิตไฮโดรเจนในระดับที่รองลงมา และการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาออกไซด์ออกไซด์ที่ผสมกับนิกเกิลออกไซด์ด้วยวิธีผสมเชิงกลนั้นมีการผลิตแก๊สไฮโดรเจนได้ต่ำมาก โดยไม่มีแก๊สไฮโดรเจนหลงเหลือในระบบภายหลังเสร็จสิ้นกระบวนการเร่งปฏิกิริยาเลย ดังนั้นจากผลการทดลองดังกล่าวจึงอาจกล่าวได้ว่า ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีความเหมาะสมต่อกระบวนการสังเคราะห์จีวีแอลจากเมทิลิวูลิเนตด้วยกระบวนการไฮโดรจีเนชันแบบส่งผ่านนั้นจะต้องมีลักษณะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่สารตั้งต้นของตัวเร่งปฏิกิริยาถูกสังเคราะห์ขึ้นร่วมกันด้วยกระบวนการเชิงเคมี หรือองค์ประกอบของตัวเร่งปฏิกิริยาจะต้องมีการสร้างพันธะเคมีร่วมกันนั่นเอง

4.2 การศึกษาลักษณะเฟสที่ว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยา

หลังจากที่กระบวนการเร่งปฏิกิริยาได้เสร็จสิ้นลงแล้วขั้นตอนต่อมาจึงได้ทดลองทำการตรวจวัดโครงสร้างของตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ โดยทำการตรวจวัดเปรียบเทียบกัน ในเงื่อนไขของตัวเร่งปฏิกิริยาก่อนและหลังการใช้งาน โดยแสดงผลดังรูปที่ 4.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

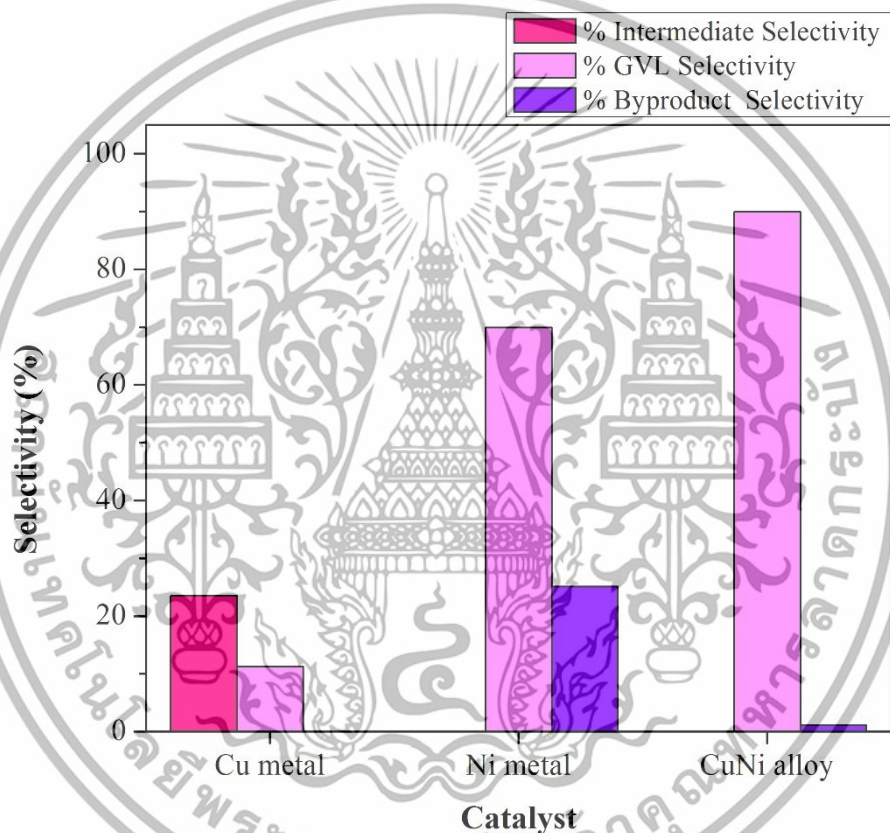


รูปที่ 4.3 โครงสร้างก่อนและหลังใช้งานของตัวเร่งปฏิกิริยากอปเปอร์นิกเกิลในลักษณะต่างๆ

จากผลการตรวจวัดพบว่าตัวเร่งปฏิกิริยากอปเปอร์นิกเกิลออกไซด์นั้นจะมีลักษณะแยกเฟสของคอปเปอร์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ออกจากกัน แต่หลังจากที่ตัวเร่งปฏิกิริยาได้ผ่านการใช้งานในกระบวนการเร่งปฏิกิริยาไปแล้วพบว่าเฟสของคอปเปอร์ออกไซด์ได้หายไปจนหมดและเปลี่ยนสภาพไปเป็นโลหะคอปเปอร์แทน ส่วนเฟสของนิกเกิลนั้นแม้จะยังคงมีนิกเกิลออกไซด์หลงเหลืออยู่ในปริมาณมากแต่ก็ได้เกิดการสร้างเฟสใหม่ขึ้นคือเฟสของโลหะนิกเกิล ในขณะที่ตัวเร่งปฏิกิริยากอปเปอร์ออกไซด์ที่ผสมกับนิกเกิลออกไซด์ด้วยวิธีบดผสมเชิงกลนั้นพบว่ามีลักษณะโครงสร้างก่อนการเร่งปฏิกิริยาสคล้ายคลึงกับตัวเร่งปฏิกิริยากอปเปอร์นิกเกิลออกไซด์ กล่าวคือ มีการแยกเฟสระหว่างคอปเปอร์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์อย่างชัดเจนเช่นกัน แต่หลังจากที่ได้นำตัวเร่งปฏิกิริยาไปทดสอบการใช้งานในกระบวนการเร่งปฏิกิริยาแล้วพบว่า ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ผ่านการใช้งานแล้วนั้น ไม่มีความแตกต่างใดๆเมื่อเปรียบเทียบกับตัวเร่งปฏิกิริยาก่อนการใช้งาน โดยไม่มีการสูญหายไปของทั้งเฟสคอปเปอร์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ และไม่มีเฟสโลหะใดๆทั้งโลหะคอปเปอร์หรือโลหะนิกเกิลเกิดขึ้นเช่นกัน ส่วนตัวเร่งปฏิกิริยากอปเปอร์นิกเกิลอัลลอยนั้นจะมีลักษณะเป็นเฟสของอัลลอยเฟสเดียวและมีลักษณะเหมือนกันทั้งก่อนและหลังกระบวนการเร่งปฏิกิริยา ดังนั้นจากผลการทดลองและตรวจวัดดังกล่าวจึงกล่าวได้ว่าเฟสของตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีลักษณะเป็นโลหะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรืออัลลอยนั้นจะส่งผลในเชิงบวกต่อกระบวนการเร่งปฏิกิริยาเพื่อสังเคราะห์จีวีแอลจากเมทิลลิวกลินิต ด้วยกระบวนการไฮโดรจีนชั้นแบบส่งผ่าน ดังนั้นการทดลองขั้นต่อไปจึงได้ทำการทดสอบพฤติกรรมในกระบวนการเร่งปฏิกิริยาของเฟสโลหะแต่ละชนิดในตัวเร่งปฏิกิริยา โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา คือ โลหะคอปเปอร์ โลหะนิกเกิล และคอปเปอร์นิกเกิลอัลลอย ในกระบวนการเร่งปฏิกิริยาเพื่อสังเคราะห์จีวีแอลจากเมทิลลิวกลินิต ด้วยกระบวนการไฮโดรจีนชั้นแบบส่งผ่าน โดยกระบวนการเร่งปฏิกิริยานี้จะดำเนินไปในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมงและใช้สารให้อะตอมไฮโดรเจนเป็น 2-โพรพานอล ผลการทดลองในเดือนนี้จะถูกวิเคราะห์ในเชิงความจำเพาะเจาะจงของกระบวนการเร่งปฏิกิริยาโดยแสดงผลดังรูปที่ 4.4

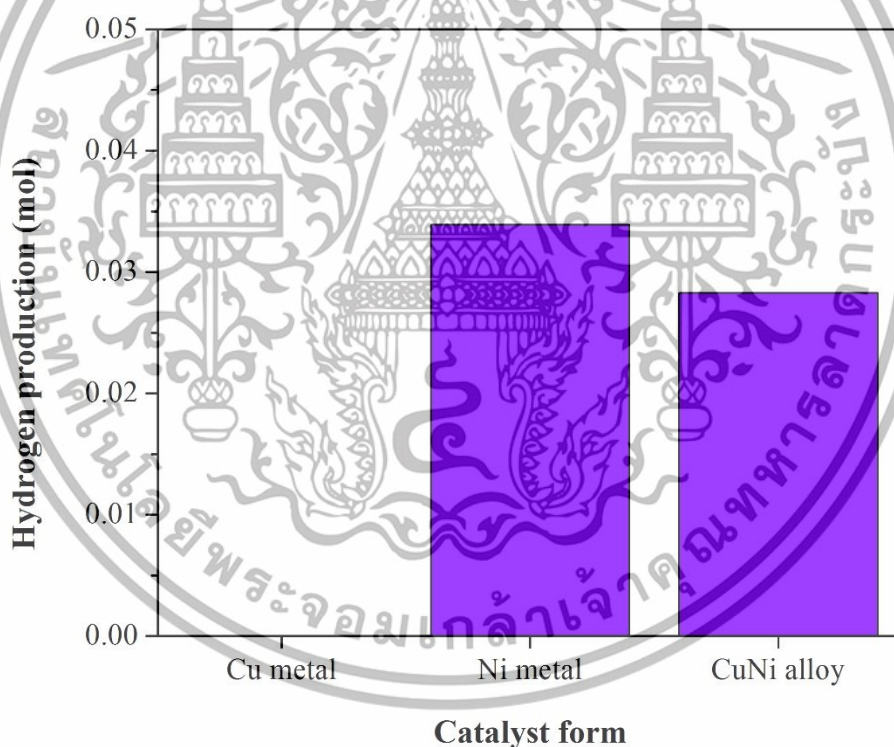


รูปที่ 4.4 ความจำเพาะเจาะจงในการเกิดผลิตภัณฑ์ของตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์และนิกเกิลในรูปของโลหะและอัลลอย

จากผลการเร่งปฏิกิริยาพบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดต่างๆจะมีพฤติกรรมในกระบวนการเร่งปฏิกิริยาที่แตกต่างกันไป โดยพบว่าการใช้โลหะคอปเปอร์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยานั้นจะมีความจำเพาะเจาะจงในการเกิดสารมัธยันตร์คือ γ -Hydroxypentanoate (GHP) มากกว่าผลิตภัณฑ์จีวีแอล ส่วนการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็น โลหะนิกเกิลนั้นไม่มีความจำเพาะเจาะจงต่อสารมัธยันตร์ภายหลังเสร็จสิ้นกระบวนการเร่งปฏิกิริยาแต่อย่างใด แต่กลับเกิดเป็นสารผลิตภัณฑ์ผลพลอยได้ขึ้นมาแทน ซึ่งผลิตภัณฑ์ผลพลอยได้นี้เป็นสารที่เกิดขึ้นจากการแปรสภาพของจีวีแอลในกระบวนการเร่งปฏิกิริยานั่นเอง ซึ่งพบว่าถึงแม้ความจำเพาะเจาะจงของการเกิดเป็นผลิตภัณฑ์จีวีแอลนั้นจะสูงถึงประมาณ 70% แต่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อปฏิกิริยาดำเนินไปในเงื่อนไขเดียวกันนั้น ตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะนิกเกิลกลับทำให้ผลิตภัณฑ์จีวีแอลเกิดการเปลี่ยนแปลงต่อไปเป็นผลิตภัณฑ์ผลพลอยได้ในระดับที่ค่อนข้างสูงเลยทีเดียว แต่เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์นิกเกิลอัลลอยเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในเงื่อนไขการทดลองเดียวกันพบว่า ไม่มีการตรวจพบสารมัธยันตร์หลังเสร็จสิ้นกระบวนการเร่งปฏิกิริยาเช่นเดียวกับการทดลองที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นโลหะนิกเกิล และสารผลิตภัณฑ์ที่ถูกตรวจพบได้ในเงื่อนไขการทดลองนี้ประกอบด้วยผลิตภัณฑ์จีวีแอลและสารผลิตภัณฑ์ผลพลอยได้เช่นเดียวกัน แต่อย่างไรก็ตามในเงื่อนไขของการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นคอปเปอร์นิกเกิลอัลลอยนั้น จะส่งผลให้ปฏิกิริยามีความจำเพาะเจาะจงในการเกิดผลิตภัณฑ์จีวีแอลมากขึ้น โดยมีค่ามากถึงประมาณ 90% และยังคงความจำเพาะเจาะจงในการเกิดผลิตภัณฑ์ผลพลอยได้ลดลงอีกด้วย โดยมีค่าความจำเพาะเจาะจงในการเกิดผลิตภัณฑ์ผลพลอยได้ในระดับที่ลดต่ำลงมากเมื่อเปรียบเทียบกับเงื่อนไขที่ใช้โลหะนิกเกิลเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา นอกจากนี้ยังได้ทำการวิเคราะห์ความสามารถในการผลิตไฮโดรเจนในกระบวนการเร่งปฏิกิริยาซึ่งแสดงผลในรูปที่ 4.5



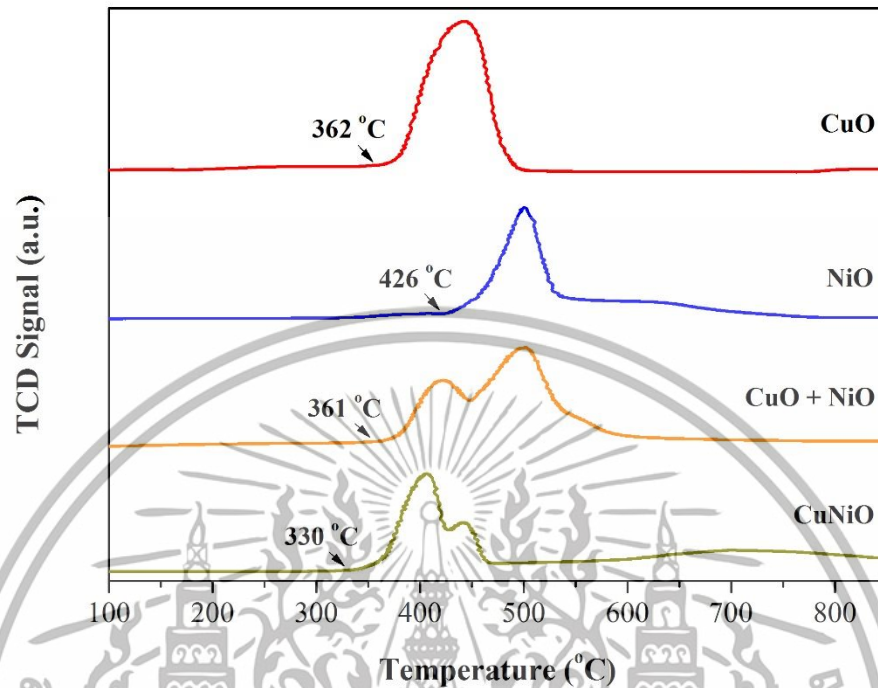
รูปที่ 4.5 ความสามารถในการผลิตไฮโดรเจนของคอปเปอร์และนิกเกิลในรูปของโลหะและอัลลอย

จากผลการผลิตไฮโดรเจนในระบบของกระบวนการเร่งปฏิกิริยาซึ่งแสดงดังรูปที่ 4.5 พบว่า โลหะนิกเกิลสามารถผลิตไฮโดรเจนในกระบวนการเร่งปฏิกิริยาได้มากที่สุด รองลงมาคือคอปเปอร์นิกเกิลอัลลอย และโลหะคอปเปอร์นั้นมีความสามารถในการผลิตไฮโดรเจนได้ต่ำที่สุด เป็นที่น่าสังเกตว่าโลหะนิกเกิลนั้นเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประสิทธิภาพสูงในกระบวนการเร่งปฏิกิริยาเพื่อผลิตจีวีแอลจากเมทิลดีวาเลนต ด้วยกระบวนการไฮโดรจีเนชันแบบส่งผ่าน และยังส่งผลให้มีการผลิตไฮโดรเจนในปฏิกิริยาได้สูงอีกด้วย แต่ในกระบวนการเร่งปฏิกิริยาในเงื่อนไขเดียวกันนั้นกลับพบว่าค่าความจำเพาะเจาะจงในการเกิดผลิตภัณฑ์จีวีแอลในปฏิกิริยาที่ใช้โลหะนิกเกิลเป็นตัวเร่งปฏิกิริยานั้นกลับมีค่าต่ำกว่าในปฏิกิริยาที่ใช้คอปเปอร์นิกเกิลอัลลอยเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ทั้งๆที่โลหะคอปเปอร์นั้นมีความสามารถในกระบวนการเร่งปฏิกิริยาที่ต่ำมากและไม่ส่งผลให้เกิดการผลิตไฮโดรเจนในปฏิกิริยาแต่อย่างใด จึงอาจกล่าวได้ว่าบทบาทของโลหะคอปเปอร์ในการเร่งปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์นิกเกิลอัลลอยนั้นคือการช่วยชะลอความว่องไวในการเร่งปฏิกิริยาของโลหะนิกเกิลให้ไม่เกิดการเร่งปฏิกิริยาที่ไวเกินไปนัก ซึ่งการเกิดปฏิกิริยาที่ว่องไวเกินไปนั้นจะส่งผลเสียโดยทำให้ผลิตภัณฑ์จีวีแอลซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ต้องการเกิดการแปรสภาพไปเป็นผลิตภัณฑ์ผลพลอยได้ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ไม่ต้องการในการทดลองนี้ นอกเหนือจากนี้บทบาทที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งของโลหะคอปเปอร์คือทำให้เกิดปรากฏการณ์ไฮโดรเจนสปิลโอเวอร์ (Hydrogen spillover) ดังเช่นที่มีการกล่าวไว้ในงานวิจัยของ J. Ashok และคณะ [14] ที่ได้ทำการสังเคราะห์ไฮโดรเจนจากมีเทนโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นนิกเกิลคอปเปอร์อัลลอย (Ni-Cu-Al) โดยงานวิจัยนี้ได้กล่าวว่าคอปเปอร์นั้นจะช่วยให้เกิดปรากฏการณ์ไฮโดรเจนสปิลโอเวอร์ซึ่งช่วยทำให้นิกเกิลสามารถเกิดการรีดักชันได้ง่ายขึ้น แต่ดังที่กล่าวไว้ข้างต้นว่าคอปเปอร์ที่จะส่งผลให้เกิดปรากฏการณ์ไฮโดรเจนสปิลโอเวอร์ได้นั้นจะต้องมีลักษณะเป็นโลหะของคอปเปอร์เท่านั้น โดยในการทบทวนวรรณกรรมในงานวิจัยหลายงานนั้นพบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาที่โดยปกติแล้วจะอยู่ในรูปของออกไซด์นั้นจำเป็นต้องถูกนำไปผ่านกระบวนการรีดักชันที่ความร้อนสูงในบรรยากาศไฮโดรเจนก่อนการใช้งาน แต่จากผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ดังรูปที่ 4.3 พบว่ากระบวนการเร่งปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะส่งผลให้เฟสของคอปเปอร์ออกไซด์นั้นเกิดการเปลี่ยนเฟสไปเป็นโลหะคอปเปอร์ได้ด้วยตัวเอง และหลังจากนั้นโลหะคอปเปอร์จึงส่งผลให้เกิดปรากฏการณ์ไฮโดรเจนสปิลโอเวอร์ซึ่งจะทำให้เฟสของนิกเกิลออกไซด์เกิดการรีดักชันและเปลี่ยนแปลงไปเป็นโลหะนิกเกิลซึ่งมีความว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยาต่อไป ซึ่งสมบัติของคอปเปอร์ในการช่วยลดอุณหภูมิที่ต้องใช้ในการรีดักชันของตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์นิกเกิลออกไซด์แสดงดังรูปที่ 4.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 สมบัติในการรีดักชันของออกไซด์ของคอปเปอร์และนิกเกิลในลักษณะต่างๆ

รูปที่ 4.6 แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการรีดักชันไฮโดรเจนของตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดต่างๆ ได้แก่ คอปเปอร์ออกไซด์ นิกเกิลออกไซด์ คอปเปอร์ออกไซด์ที่ผสมกับนิกเกิลออกไซด์ด้วยวิธีบดผสมเชิงกล และคอปเปอร์นิกเกิลออกไซด์ โดยพบว่าคอปเปอร์ออกไซด์นั้นเริ่มถูกรีดักชันที่อุณหภูมิ 362 องศาเซลเซียส นิกเกิลออกไซด์นั้นจะต้องใช้อุณหภูมิในการรีดักชันสูงกว่า โดยจะเริ่มถูกรีดักชันที่อุณหภูมิ 426 องศาเซลเซียส ส่วนตัวเร่งปฏิกิริยา คอปเปอร์ออกไซด์ที่ผสมกับนิกเกิลออกไซด์ด้วยวิธีบดผสมเชิงกลนั้นพบว่ามีความสามารถในการรีดักชันเหมือนกับสารที่เป็นองค์ประกอบของตัวเร่งปฏิกิริยาซึ่งแสดงจุดยอดของการรีดักชันเป็น 2 จุด โดยจะเริ่มถูกรีดักชันที่อุณหภูมิ 361 องศาเซลเซียส ในจุดยอดแรกซึ่งเป็นอุณหภูมิในการเริ่มรีดักชันเดียวกันกับคอปเปอร์ออกไซด์ และจุดยอดที่สองก็มีลักษณะในการรีดักชันที่เหมือนกับการรีดักชันของนิกเกิลออกไซด์ โดยปริมาณการรีดักชันของเฟสคอปเปอร์ออกไซด์นั้นจะต่ำกว่าการรีดักชันของเฟสนิกเกิลออกไซด์ แต่เมื่อตัวเร่งปฏิกิริยาถูกสังเคราะห์ขึ้นด้วยกระบวนการทางเคมีซึ่งมีพันธะเคมีร่วมกันคือตัวเร่งปฏิกิริยา คอปเปอร์นิกเกิลออกไซด์นั้นพบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาจะสามารถเริ่มเกิดการรีดักชันได้ที่อุณหภูมิต่ำลง โดยมีการเริ่มรีดักชันที่อุณหภูมิต่ำที่สุดเพียง 330 องศาเซลเซียส และพบว่าเฟสของคอปเปอร์ออกไซด์นั้นจะถูกรีดักชันในปริมาณที่มากกว่าเฟสของนิกเกิลออกไซด์ซึ่งสามารถเปรียบเทียบได้กับการเปลี่ยนแปลงของเฟสสารองค์ประกอบของตัวเร่งปฏิกิริยาในรูปที่ 4.3 ที่พบว่าเฟสของคอปเปอร์ออกไซด์ได้เกิด

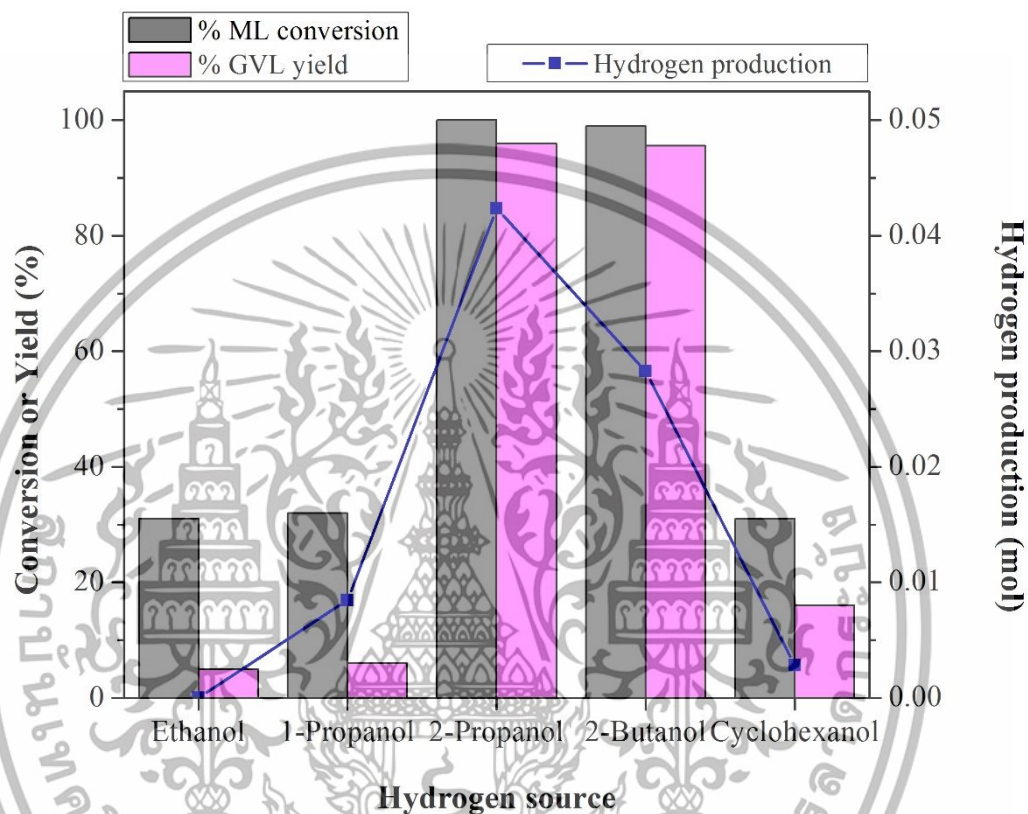
การเปลี่ยนแปลงไปเป็นเฟสโลหะคอปเปอร์ทั้งหมด ในขณะที่เฟสของนิกเกิลออกไซด์ยังเหลืออยู่ในปริมาณมากและมีการเปลี่ยนไปเป็นเฟสโลหะนิกเกิลเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

4.3 บทบาทของสารให้อะตอมไฮโดรเจนในกระบวนการเร่งปฏิกิริยา

ในการเร่งปฏิกิริยาเพื่อสังเคราะห์จีวีแอลจากเมทิลลิวกลินेट ด้วยกระบวนการไฮโดรจีเนชันแบบส่งผ่านนั้น สารให้อะตอมไฮโดรเจนเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญมากอย่างหนึ่งในกระบวนการเร่งปฏิกิริยา โดยมีหน้าที่ในการให้อะตอมไฮโดรเจนในระบบของการเร่งปฏิกิริยานั้นเอง ในกรณีของกระบวนการไฮโดรจีเนชันแบบทั่วไปนั้นจะมีการให้อะตอมไฮโดรเจนแก่ระบบ โดยการอัดแก๊สไฮโดรเจนเข้าในระบบของกระบวนการเร่งปฏิกิริยาโดยตรง แต่ในกรณีของกระบวนการไฮโดรจีเนชันนั้นจะใช้สารให้อะตอมไฮโดรเจนแก่ปฏิกิริยาแทนซึ่งมีข้อดีคือ ปฏิกิริยาจะมีลักษณะเป็นปฏิกิริยาแบบดูดความร้อนดังที่มีการกล่าวถึงในงานวิจัยของ J. Geboers และคณะ [29] ซึ่งจะมีความปลอดภัยมากกว่า โดยสารให้อะตอมที่ใช้ในปฏิกิริยานี้มักเป็นสารในกลุ่มแอลกอฮอล์ แต่ที่สิ่งที่น่าสนใจอีกอย่างหนึ่งที่พบในการทดลองนี้คือ หลังจากที่ได้ทำการทดลองเร่งปฏิกิริยาเพื่อสังเคราะห์จีวีแอลจาก เมทิลลิวกลินेट ด้วยกระบวนการไฮโดรจีเนชันแบบส่งผ่าน โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาคือคอปเปอร์นิกเกิลออกไซด์และใช้สารให้อะตอมไฮโดรเจนเป็น 2-โพรพานอลแล้วพบว่า นอกจากตัวเร่งปฏิกิริยาจะมีการเปลี่ยนเฟสจากออกไซด์เป็นเฟสโลหะดังที่กล่าวข้างต้นแล้ว ยังพบที่มีการเกิดอะซิโตน (Acetone) และน้ำ ขึ้นในปฏิกิริยาด้วย ซึ่งอะซิโตนที่เกิดขึ้นนั้นก็เป็ผลที่ได้จากการที่ 2-โพรพานอลเกิดการสูญเสียอะตอมไฮโดรเจนไปนั่นเอง และการที่ตัวเร่งปฏิกิริยาที่อยู่ในรูปออกไซด์นั้นเกิดการเปลี่ยนเฟสเป็นโลหะก็เกิดจากการสูญเสียอะตอมออกซิเจนไปเช่นเดียวกัน จึงอาจกล่าวได้ว่า 2-โพรพานอลนั้นนอกจากจะเป็นสารให้อะตอมไฮโดรเจนแก่ปฏิกิริยาแล้ว ยังมีบทบาทสำคัญในการช่วยให้ตัวเร่งปฏิกิริยาเกิดการรีดักชันได้ด้วย ซึ่งสมบัติตรงนี้เองที่เป็นจุดเด่นของการศึกษานี้ คือ การใช้แอลกอฮอล์ในการเป็นสารให้อะตอมไฮโดรเจนในการทำปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชันแบบส่งผ่านเพื่อสังเคราะห์จีวีแอลจากเมทิลลิวกลินेट นั้น จะทำให้สามารถนำตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะผสมคอปเปอร์ออกไซด์มาใช้งานในการเร่งปฏิกิริยาได้โดยตรงทันที โดยไม่ต้องนำตัวเร่งปฏิกิริยาไปทำการรีดักชันที่อุณหภูมิสูงในบรรยากาศไฮโดรเจนก่อนการใช้งานแต่อย่างใด แต่ถึงกระนั้น แอลกอฮอล์ที่มีการใช้งานในกระบวนการไฮโดรจีเนชันแบบส่งผ่านนั้นจะมีหลักๆ 2 กลุ่มคือแอลกอฮอล์ปฐมภูมิและแอลกอฮอล์ทุติยภูมิซึ่งจะมีประสิทธิภาพในการให้อะตอมไฮโดรเจนแตกต่างกัน ซึ่ง 2-โพรพานอลที่ถูกใช้เป็นสารให้อะตอมไฮโดรเจนในการทดลองข้างต้นนั้นจัดอยู่ในกลุ่มแอลกอฮอล์ทุติยภูมิ ในการทดลองขั้นต่อไปจึงได้ทำการศึกษาอิทธิพลของสารให้อะตอมชนิดต่างๆที่เป็นแอลกอฮอล์ทั้งในกลุ่มแอลกอฮอล์ปฐมภูมิและแอลกอฮอล์ทุติยภูมิ โดยทำการสังเคราะห์จีวีแอลจากเมทิลลิวกลินेट ด้วยกระบวนการไฮโดรจีเนชันแบบส่งผ่านที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 ชั่วโมงในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นคอปเปอร์นิกเกิลออกไซด์และใช้สารให้อะตอมไฮโดรเจนในกลุ่มแอลกอฮอล์ปฐมภูมิได้แก่ เอทานอล (Ethanol) และ 1-โพรพานอล (1-Propanol)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และกลุ่มแอลกอฮอล์ทุติยภูมิได้แก่ 2-โพรพานอล (2-Propanol), 2-บิวทานอล (2-Butanol), และ ไซโคลเฮกซะนอล (Cyclohexanol) ประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยาและการให้อะตอมไฮโดรเจนของสารให้อะตอมไฮโดรเจนชนิดต่างๆแสดงดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 ความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาและการผลิตไฮโดรเจนในการใช้สารให้อะตอมไฮโดรเจนเป็นแอลกอฮอล์ชนิดต่างๆ

จากผลการทดลองในรูปที่ 4.7 พบว่าสารให้อะตอมไฮโดรเจนในกลุ่มของแอลกอฮอล์ปฐมภูมิทั้งเอทานอล และ 1-โพรพานอลนั้นมีความสามารถในการให้อะตอมไฮโดรเจนได้ต่ำซึ่งสังเกตได้จากปริมาณแก๊สไฮโดรเจนที่คงเหลือหลังเสร็จสิ้นกระบวนการเร่งปฏิกิริยา และยังส่งผลให้มีประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยาดำด้วย โดยมีค่าการเปลี่ยนแปลงสารตั้งต้นเพียงประมาณ 30% และมีค่าการเกิดผลิตภัณฑ์จีวีแอลเพียงประมาณ 5% เท่านั้น ในขณะที่สารให้อะตอมไฮโดรเจนในกลุ่มแอลกอฮอล์ทุติยภูมินั้นจะมีความสามารถในการให้อะตอมไฮโดรเจนมากกว่า โดยเฉพาะ 2-โพรพานอลนั้นพบว่ามีความสามารถในการให้อะตอมไฮโดรเจนมากที่สุด โดยมีปริมาณแก๊สไฮโดรเจนคงเหลือในระบบสูงที่สุดหลังจากเสร็จสิ้นกระบวนการเร่งปฏิกิริยา และยังส่งผลให้กระบวนการเร่งปฏิกิริยามีประสิทธิภาพที่สุดอีกด้วย โดยมีค่าการเปลี่ยนแปลงของสารตั้งต้นประมาณ 100% และมีค่าการเกิดผลิตภัณฑ์จีวีแอล มากกว่า 95% 2-บิว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

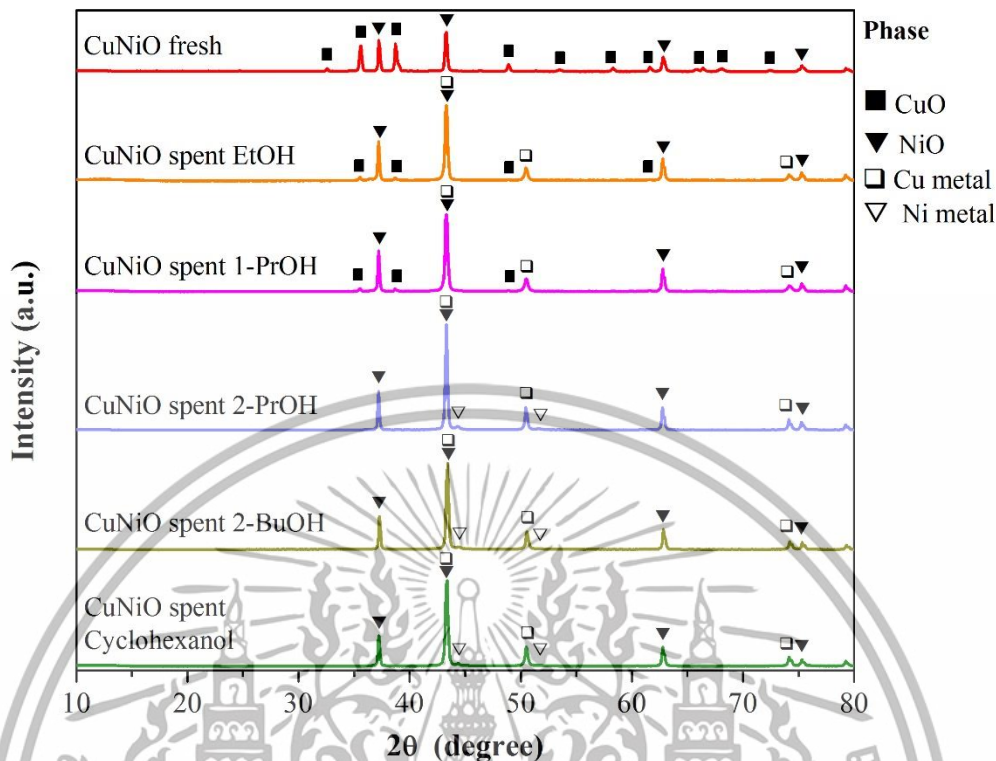
ทานอลนั้นพบว่ามีความสามารถในการสังเคราะห์จีวีแอลจาก เมทิลลิทวูลิเนต ได้มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับ 2-โพรพานอล แต่ในแง่ของการผลิตไฮโดรเจนนั้นกลับพบว่าการใช้ 2-บิวทานอลนั้นมีการผลิตไฮโดรเจนในระบบของการเร่งปฏิกิริยาน้อยกว่าอันเป็นผลเนื่องจากการที่ 2-บิวทานอลนั้นมีค่าความหนืดที่สูงกว่านั่นเอง ในขณะที่เดียวกันกลับพบว่าไซโคลเฮกเซนอลซึ่งเป็นสารกลุ่มแอลกอฮอล์ทุติยภูมิเช่นกันนั้นกลับส่งผลให้กระบวนการเร่งปฏิกิริยาเพื่อสังเคราะห์จีวีแอลจากเมทิลลิทวูลิเนต มีประสิทธิภาพต่ำกว่าการใช้แอลกอฮอล์ทุติยภูมิชนิดอื่นๆอย่างชัดเจน โดยมีค่าการเปลี่ยนแปลงสารตั้งต้นเพียงประมาณ 30% เท่านั้นซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับการใช้สารให้อะตอมไฮโดรเจนเป็นแอลกอฮอล์กลุ่มปฐมภูมิและมีการผลิตไฮโดรเจนในกระบวนการเร่งปฏิกิริยาค่ากว่าการใช้ 1-โพรพานอลเสียอีก แต่อย่างไรก็ตามค่าการเกิดผลิตภัณฑ์จีวีแอลนั้นยังคงสูงกว่าการใช้สารให้อะตอมไฮโดรเจนในกลุ่มแอลกอฮอล์ปฐมภูมิอยู่ โดยพบว่ามีค่าการเกิดผลิตภัณฑ์จีวีแอล ประมาณ 15% ซึ่งจากผลการทดลองข้างต้นนี้จึงอาจกล่าวได้ว่า สารให้อะตอมไฮโดรเจนในกลุ่มแอลกอฮอล์ทุติยภูมินั้นส่งผลให้กระบวนการเร่งปฏิกิริยาเพื่อสังเคราะห์จีวีแอลจากเมทิลลิทวูลิเนต ด้วยกระบวนการไฮโดรจีเนชันแบบส่งผ่านมีประสิทธิภาพมากกว่าการใช้สารให้อะตอมไฮโดรเจนเป็นแอลกอฮอล์กลุ่มปฐมภูมิ ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองในงานวิจัยของ J. Geboers และคณะ [29] ที่ได้ทำการสังเคราะห์จีวีแอลจากสารกลุ่มลิทวูลิเนตเอสเทอร์ชนิดต่างๆและใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นเรนีนิคเกิล (Raney-Ni) ซึ่งในงานวิจัยนั้นได้กล่าวไว้ว่า แอลกอฮอล์กลุ่มปฐมภูมินั้นจะถูกดูดซับบนพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาและเกิดการสร้างหมู่แอลกอฮอล์ขึ้นบนพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา ส่งผลให้มีการกีดกันเฟสที่ว่องไวของตัวเร่งปฏิกิริยาขึ้น ในขณะที่การใช้ 2-โพรพานอลซึ่งเป็นแอลกอฮอล์ทุติยภูมิในการเป็นสารให้อะตอมไฮโดรเจนในปฏิกิริยานั้นจะไม่สร้างหมู่แอลกอฮอล์ขึ้นบนพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา นอกจากนี้สาเหตุอื่นๆที่ส่งผลให้การให้สารให้อะตอมไฮโดรเจนในกลุ่มแอลกอฮอล์ทุติยภูมิในการเร่งปฏิกิริยานั้นมีประสิทธิภาพดีกว่าคือ แอลกอฮอล์ในกลุ่มปฐมภูมินั้นจะมีโครงสร้างที่เสถียรกว่าทำให้มีการแตกโครงสร้างและให้อะตอมไฮโดรเจนในกระบวนการเร่งปฏิกิริยาได้ยากกว่านั่นเอง แต่ทว่าเมื่อพิจารณาในกรณีของการใช้สารให้อะตอมไฮโดรเจนในกลุ่มแอลกอฮอล์ทุติยภูมิดูด้วยกันแล้วนั้นกลับพบว่า ไซโคลเฮกเซนอลนั้นส่งผลให้ประสิทธิภาพของการเร่งปฏิกิริยาและการผลิตไฮโดรเจนมีค่าต่ำกว่าการใช้สารให้อะตอมไฮโดรเจนในกลุ่มเดียวกันชนิดอื่นอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งสาเหตุนั้นมาจากการที่ไซโคลเฮกเซนอลนั้นมีจุดเดือดและค่าความหนืดที่สูงกว่าสารให้อะตอมไฮโดรเจนชนิดอื่นๆเป็นอย่างมาก ซึ่งจุดเดือดและค่าความหนืดของสารให้อะตอมไฮโดรเจนชนิดต่างๆในการทดลองนี้แสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 จุดเดือดและค่าความหนืดของแอลกอฮอล์ชนิดต่างๆ

แอลกอฮอล์	จุดเดือด (°C)	ค่าความหนืด	
		cP	cs
Ethanol	78.37	1.07	1.36
1-Propanol	97	1.95	2.43
2-Propanol	82.6	2.04	2.61
2-Butanol	98-100	3.10	3.85
Cyclohexanol	161.8	57.5	59.9

อาจกล่าวได้ว่าการมีจุดเดือดที่สูงถึง 161.8 องศาเซลเซียสนั้นจะส่งผลให้ไซโคลเฮกเซนอลเกิดการแตกโครงสร้างเพื่อให้อะตอมไฮโดรเจนได้ค่อนข้างยากในเงื่อนไขของการทดลองนี้ซึ่งใช้อุณหภูมิในกระบวนการเร่งปฏิกิริยาเพียง 200 องศาเซลเซียสเท่านั้น และค่าความหนืดที่สูงของไซโคลเฮกเซนอลนั้นจะส่งผลให้การชนกันของสารตั้งต้น สารให้อะตอมไฮโดรเจน และตัวเร่งปฏิกิริยาเกิดขึ้นได้ไม่ดีเท่าที่ควร และนอกเหนือจากปัจจัยดังกล่าวมานี้แล้ว ในงานวิจัยของ J. He และคณะ [30] ที่ได้ทำการสังเคราะห์จีวีแอลจากเอทิลลิวลิเนต (EL) โดยใช้อลูมิเนียมเซอร์โคเนียมออกไซด์ (Al-Zr mixed oxides) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาซึ่งได้กล่าวถึงพฤติกรรมของไซโคลเฮกเซนอลในกระบวนการเร่งปฏิกิริยาอีกด้วย โดยได้กล่าวไว้ว่าไซโคลเฮกเซนอลนั้นมีแนวโน้มที่จะเกิดการดูดซับบนพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาและรบกวนการสัมผัสกันระหว่างฟอสที่ว่องไวของตัวเร่งปฏิกิริยากับสารตั้งต้น ด้วยปัจจัยทั้งหลายนี้เองจึงส่งผลให้ไซโคลเฮกเซนอลเป็นสารให้อะตอมไฮโดรเจนที่มีประสิทธิภาพค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับสารให้อะตอมไฮโดรเจนในกลุ่มแอลกอฮอล์ทุติยภูมิด้วยกัน และนอกจากนี้เมื่อได้ทำการตรวจวัดโครงสร้างของตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์นิกเกิลออกไซด์หลังจากเสร็จสิ้นกระบวนการเร่งปฏิกิริยาเปรียบเทียบกับก่อนการเร่งปฏิกิริยาแล้วพบว่าถึงแม้การใช้สารให้อะตอมไฮโดรเจนในกลุ่มแอลกอฮอล์ปฐมภูมิในการเร่งปฏิกิริยานั้นจะทำให้เกิดเฟสของโลหะคอปเปอร์ขึ้น แต่อย่างไรก็ตามกลับพบว่ายังคงมีเฟสของคอปเปอร์ออกไซด์หลงเหลืออยู่ และที่สำคัญพบว่าไม่มีการสร้างเฟสของโลหะนิกเกิลซึ่งเป็นเฟสที่ว่องไวของตัวเร่งปฏิกิริยาขึ้นแต่อย่างใด ในขณะที่การใช้สารให้อะตอมไฮโดรเจนในกลุ่มแอลกอฮอล์ทุติยภูมิในการเร่งปฏิกิริยานั้นจะทำให้เฟสของคอปเปอร์ออกไซด์เกิดการรัดกั้นไปเป็นโลหะคอปเปอร์ได้ทั้งหมด และเกิดเฟสของโลหะนิกเกิลขึ้นด้วย ซึ่งผลตรวจวัดโครงสร้างตัวเร่งปฏิกิริยาก่อนและหลังการใช้งานแสดงดังรูปที่ 4.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 การเปลี่ยนโครงสร้างของตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์นิกเกิลออกไซด์จากการใช้สารให้อะตอมไฮโดรเจนเป็นแอลกอฮอล์ชนิดต่างๆ

ดังนั้นจากผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์นิกเกิลออกไซด์เปรียบเทียบกับก่อนและหลังกระบวนการเร่งปฏิกิริยาโดยใช้สารให้อะตอมไฮโดรเจนเป็นแอลกอฮอล์ชนิดต่างๆแล้วจึงยืนยันได้ว่าการใช้สารให้อะตอมไฮโดรเจนเป็นกลุ่มแอลกอฮอล์ทุกชนิดในกระบวนการเร่งปฏิกิริยาเพื่อสังเคราะห์จีวีแอลจากเมทิลลิวกลินิต ด้วยกระบวนการไฮโดรจิเนชันแบบส่งผ่านและใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นคอปเปอร์นิกเกิลออกไซด์นั้นนอกจากแอลกอฮอล์จะทำหน้าที่ในการให้อะตอมไฮโดรเจนแก่กระบวนการเร่งปฏิกิริยาแล้ว ยังช่วยให้ตัวเร่งปฏิกิริยาสามารถเกิดการรีดักชันเพื่อสร้างเฟสที่ว่องไวของตัวเร่งปฏิกิริยาขึ้นได้เองในกระบวนการเร่งปฏิกิริยาโดยไม่จำเป็นต้องนำตัวเร่งปฏิกิริยาไปผ่านกระบวนการรีดักชันที่อุณหภูมิสูงในบรรยากาศไฮโดรเจนก่อนการใช้งานดังที่กล่าวไว้ข้างต้น

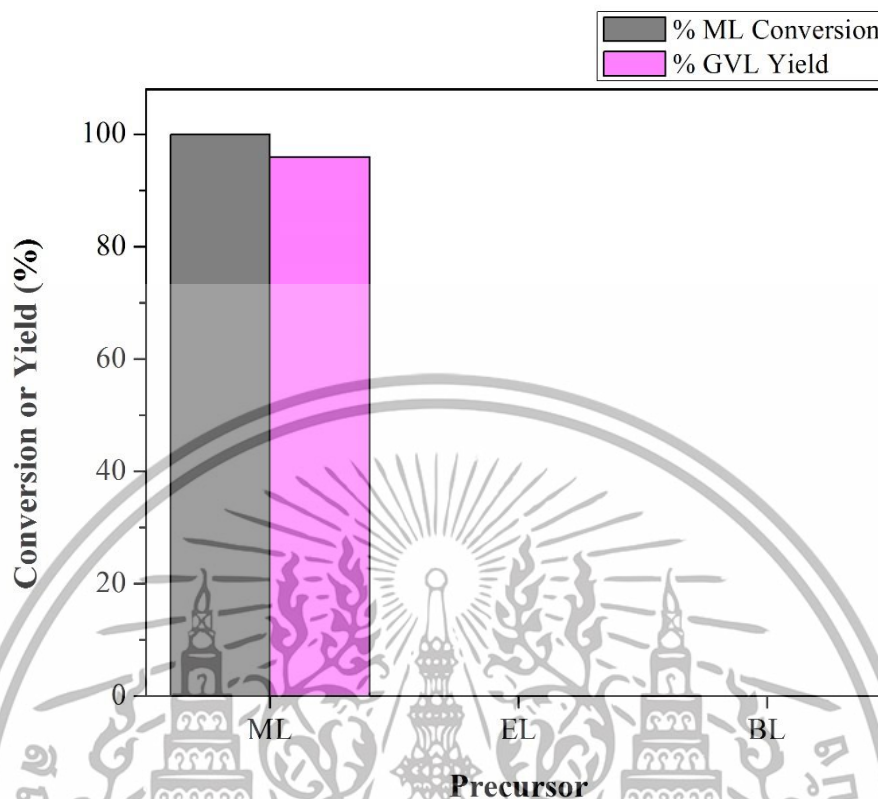
4.4 การใช้สารตั้งต้นในกลุ่มลิวกลินิตเอสเทอร์

โดยทั่วไปแล้วจีวีแอลนั้นสามารถผลิตขึ้นได้จากกรดลิวกลินิกและสารอนุพันธ์ได้แก่สารในกลุ่มลิวกลินิตเอสเทอร์ชนิดต่างๆ แต่ข้อเสียที่สำคัญของกรดลิวกลินิกคือการจะได้มาซึ่งกรดลิวกลินิกนั้นมีการสกัดแยกออกจากแหล่งได้ยาก ดังนั้นการนำกรดลิวกลินิกไปผ่านกระบวนการเอสเทอร์ฟิเคชันเพื่อเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของเอสเทอร์นั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะทำให้สามารถแยกสกัดออกมาใช้งานได้ง่ายกว่า ซึ่งลิทิวลิเนตเอสเทอร์นั้นก็เป็นสารตั้งต้นที่มีประสิทธิภาพสำหรับการสังเคราะห์จีวีแอลเช่นกัน ซึ่งการทดลองที่ผ่านมาในงานวิจัยนี้ทั้งการศึกษาอิทธิพลของการสร้างพันธะของตัวเร่งปฏิกิริยา และการศึกษาบทบาทของสารให้อะตอมไฮโดรเจนนั้น ได้ทำการทดลองโดยใช้สารตั้งต้นเป็นเมทิลลิทิวลิเนตเป็นหลัก การศึกษาปัจจัยของกระบวนการเร่งปฏิกิริยาขั้นต่อไปก่อนที่จะทำการมุ่งเน้นไปที่การศึกษาตัวเร่งปฏิกิริยาจึงเป็นการศึกษากระบวนการเร่งปฏิกิริยาโดยใช้สารตั้งต้นในกลุ่มลิทิวลิเนตเอสเทอร์ตัวอื่นนอกจากเมทิลลิทิวลิเนต ได้แก่ เอทิลลิทิวลิเนต (EL), และบิวทิลลิทิวลิเนต (BL) โดยได้ทำการทดลองเร่งปฏิกิริยาในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 ชั่วโมง และวิเคราะห์ผลการเร่งปฏิกิริยาด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี ผลการทดลองซึ่งแสดงดังรูปที่ 4.9 พบว่า เอทิลลิทิวลิเนตและบิวทิลลิทิวลิเนตนั้นไม่สามารถทำให้กระบวนการเร่งปฏิกิริยาเพื่อสังเคราะห์จีวีแอลเกิดขึ้นได้ในการศึกษานี้ โดยพบว่าไม่มีค่าการเปลี่ยนแปลงสารตั้งต้นหรือค่าการเกิดผลิตภัณฑ์จีวีแอลเลย ในขณะที่เมทิลลิทิวลิเนตนั้นกลับเป็นสารตั้งต้นที่มีประสิทธิภาพสูง โดยสามารถทำให้เกิดค่าการเปลี่ยนแปลงสารตั้งต้นถึงประมาณ 100% และมีค่าการเกิดผลิตภัณฑ์จีวีแอลถึงมากกว่า 95% ซึ่งเมื่อได้ทำการเปรียบเทียบผลการทดลองที่เกิดขึ้นกับงานวิจัยของ J. Geboers และคณะ [29] ที่ได้ทำการทดลองสังเคราะห์จีวีแอลจากสารตั้งต้นกลุ่มลิทิวลิเนตเอสเทอร์ด้วยกระบวนการไฮโดรจีเนชันแบบส่งผ่าน โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเรนิคิกเกิล (Raney-Ni) และใช้ 2-โพรพานอลเป็นสารให้อะตอมไฮโดรเจน โดยสารตั้งต้นที่ใช้ประกอบด้วยเมทิลลิทิวลิเนต เอทิลลิทิวลิเนต 2-โพรพิลลิทิวลิเนต และบิวทิลลิทิวลิเนต จากผลการทดลองในงานวิจัยดังกล่าวพบว่าเมทิลลิทิวลิเนตนั้นเป็นสารตั้งต้นที่ทำให้กระบวนการเร่งปฏิกิริยาเกิดผลิตภัณฑ์จีวีแอลมากที่สุดเนื่องจากหมู่เมทิลนั้นมีความเสถียรของโครงสร้างต่ำจึงสามารถเกิดการเปลี่ยนสภาพได้ง่ายกว่า และสารมัธยันตร์ที่เกิดจากเมทิลลิทิวลิเนตนั้นก็มีความเสถียรต่ำกว่าสารมัธยันตร์ที่เกิดจากสารตั้งต้นในกลุ่มลิทิวลิเนตเอสเทอร์ตัวอื่นด้วยเช่นกันจึงทำให้สามารถเกิดการเปลี่ยนสภาพไปเป็นจีวีแอลได้ง่ายกว่านั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 ความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาในการใช้สารตั้งต้นในกลุ่มลิวกลินเตอสเตอร์ชนิดต่างๆ

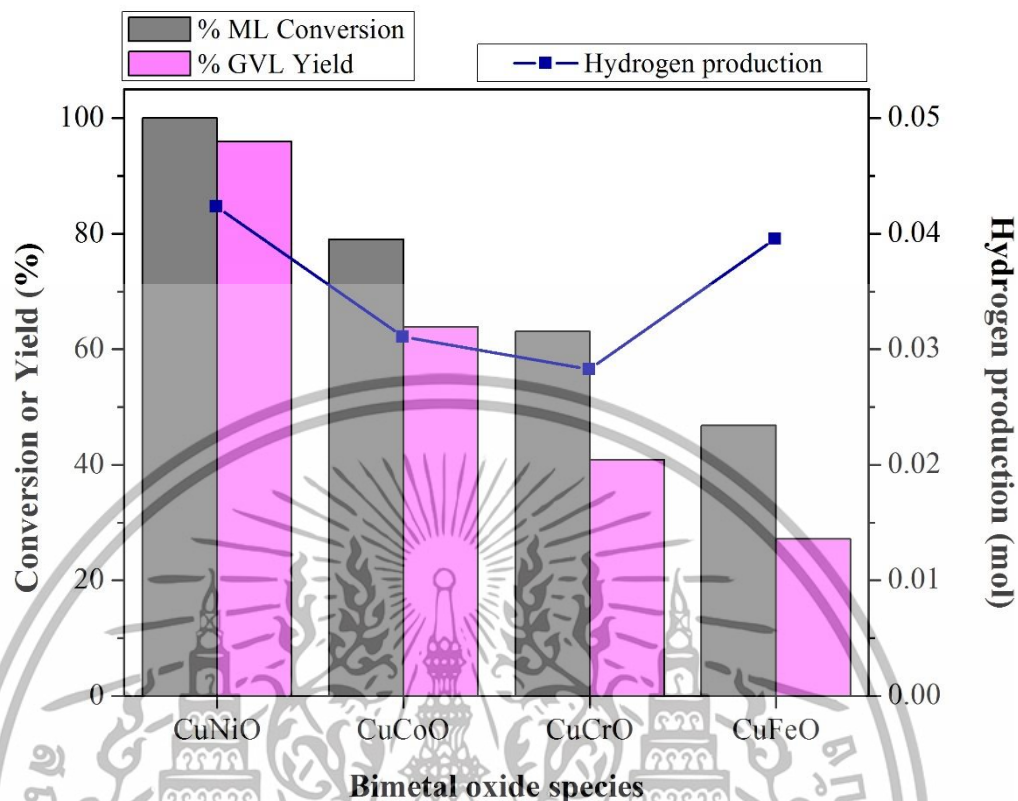
4.5 อิทธิพลของชนิดตัวเร่งปฏิกิริยา

จากผลการทดลองที่ผ่านมาพบว่าการเร่งปฏิกิริยาที่มีความเหมาะสมต่อการสังเคราะห์ จีวีแอลจากเมทิลลิวกลินเตอด้วยกระบวนการไฮโดรจิเนชันแบบส่งผ่านโดยใช้ 2-โพรพานอลเป็นสารให้อะตอมไฮโดรเจนนั้นจะต้องเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีลักษณะเป็นโลหะโดยโลหะนิกเกิลนั้นเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดหนึ่งที่มีประสิทธิภาพสูงสำหรับกระบวนการนี้ แต่อย่างไรก็ตามพบว่าโลหะนิกเกิลนั้นมีความไวต่อปฏิกิริยามากเกินไปส่งผลให้ผลิตภัณฑ์จีวีแอลซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ต้องการนั้นเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นผลิตภัณฑ์ผลพลอยได้ที่ไม่ต้องการขึ้น นอกจากนี้โดยทั่วไปแล้วการที่จะได้โลหะนิกเกิลมานั้นทำได้โดยการที่จะต้องนำนิกเกิลออกไซด์ไปผ่านกระบวนการรีดักชันที่อุณหภูมิสูงในบรรยากาศไฮโดรเจนอีกด้วย ซึ่งจากผลการทดลองและตรวจวัดลักษณะจำเพาะขั้นต้นที่ผ่านมาพบว่าการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาในรูปของออกไซด์โดยมีคอปเปอร์ออกไซด์เป็นองค์ประกอบด้วยนั้นจะส่งผลให้ตัวเร่งปฏิกิริยาสามารถเกิดการรีดักชันได้ด้วยตัวเองในระหว่างกระบวนการเร่งปฏิกิริยาซึ่งมีสารให้อะตอมไฮโดรเจนในกลุ่มแอลกอฮอล์ทุติยภูมิทำหน้าที่ในการให้อะตอมไฮโดรเจนแก่ปฏิกิริยาและทำให้ตัวเร่งปฏิกิริยาเกิดการรีดักชันด้วย โดยคอปเปอร์ออกไซด์จะเกิดการรีดักชันกลายเป็นเฟสของโลหะคอปเปอร์ที่จะช่วยทำให้เกิดปรากฏการณ์ไฮโดรเจนสปิลโอเวอร์ขึ้นซึ่งจะส่งผลให้นิกเกิลออกไซด์สามารถเกิดการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รีดักชันได้ง่ายขึ้นและเกิดเป็นเฟสของโลหะนิกเกิลที่มีความว่องไวต่อปฏิกิริยาต่อไป นอกจากนี้โลหะคอปเปอร์ที่
 เกิดขึ้นยังช่วยควบคุมความว่องไวของตัวเร่งปฏิกิริยาทำให้มีค่าความจำเพาะเจาะจงในการเกิดผลิตภัณฑ์จีวีแอลมา
 กขึ้นด้วย อย่างไรก็ตามการที่ตัวเร่งปฏิกิริยาจะมีสมบัติดังที่กล่าวมาข้างต้นได้นั้นองค์ประกอบของตัวเร่งปฏิกิริยา
 จะต้องมีการสร้างพันธะทางเคมีต่อกัน และจากการทบทวนวรรณกรรมยังพบว่ามีการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดอื่นใน
 กระบวนการไฮโดรจิเนชันสำหรับสังเคราะห์จีวีแอลจากกรดลิวลินิกและสารอนุพันธ์ได้อีกด้วย ได้แก่ โคบอลต์
 โครเมียม และไอออนเป็นต้น ซึ่งตัวเร่งปฏิกิริยาในงานวิจัยทั้งหลายที่พบนั้นส่วนใหญ่ต้องถูกนำไปผ่านกระบวนการ
 รีดักชันที่อุณหภูมิสูงในบรรยากาศไฮโดรเจนก่อนการใช้งานทั้งสิ้น อย่างไรก็ตามในการศึกษานี้ได้มีการทดลอง
 สังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะออกไซด์เชิงเดี่ยวซึ่งประกอบด้วยคอปเปอร์ออกไซด์ นิกเกิลออกไซด์ โคบอลต์
 ออกไซด์ โครเมียมออกไซด์ และไอออนออกไซด์ และได้ทดลองนำตัวเร่งปฏิกิริยาเหล่านี้ไปใช้ในกระบวนการเร่ง
 ปฏิกิริยาเพื่อสังเคราะห์จีวีแอลแล้ว โดยพบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาในรูปของโลหะออกไซด์เชิงเดี่ยวนั้นไม่มี
 ประสิทธิภาพในกระบวนการเร่งปฏิกิริยาแต่อย่างใด ในการทดลองขั้นต่อไปจึงเป็นการสังเคราะห์และทดลองใช้งาน
 ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดอื่นๆที่ถูกสังเคราะห์ร่วมกับคอปเปอร์ออกไซด์ ได้แก่ คอปเปอร์โคบอลต์ออกไซด์ คอปเปอร์
 โครเมียมออกไซด์ และ คอปเปอร์ไอออนออกไซด์ โดยตัวเร่งปฏิกิริยาจะถูกสังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส
 และนำไปใช้ในกระบวนการเร่งปฏิกิริยาเพื่อสังเคราะห์จีวีแอลจากเมทิลลิวลินิกด้วยปฏิกิริยาไฮโดรจิเนชันแบบ
 ส่งผ่านโดยใช้สารให้อะตอมไฮโดรเจนเป็น 2-โพรพานอล ซึ่งปฏิกิริยาจะดำเนินไปในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะที่
 อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 ชั่วโมง และวิเคราะห์ผลการเร่งปฏิกิริยาด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟีซึ่งผล
 การเร่งปฏิกิริยาและความสามารถในการผลิตไฮโดรเจนของตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดต่างๆ นั้นแสดงดังรูปที่ 4.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

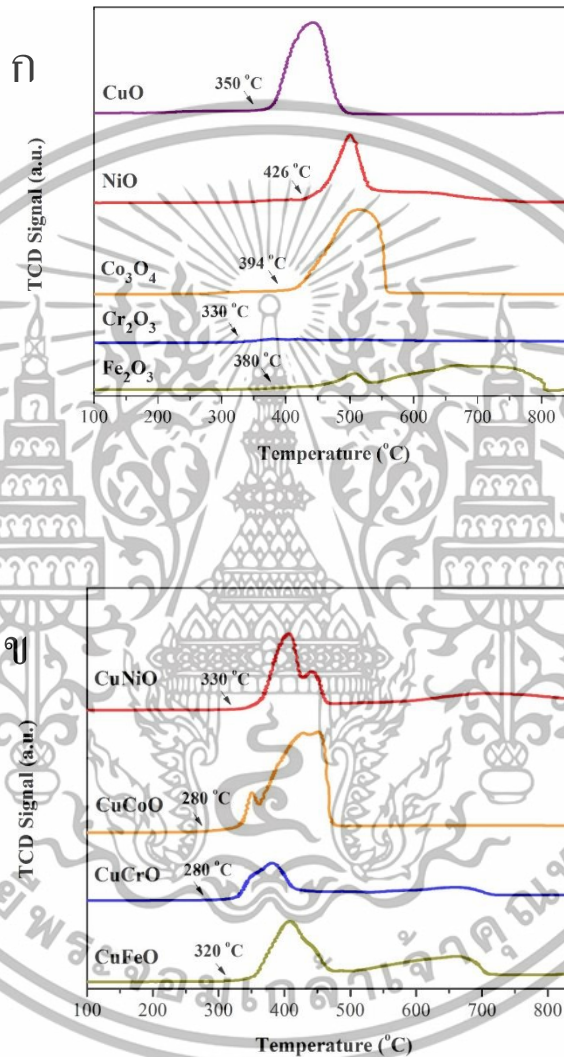


รูปที่ 4.10 ความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาและการผลิตไฮโดรเจนในการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะออกไซด์ผสมคอปเปอร์ชนิดต่างๆ

จากรูปที่ 4.10 แสดงให้เห็นถึงผลการเร่งปฏิกิริยาเพื่อสังเคราะห์จีวีแอลจากเมทิลลิวกลินิต ด้วยกระบวนการไฮโดรจิเนชันแบบส่งผ่านโดยใช้อุณหภูมิในการเร่งปฏิกิริยา 200 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 ชั่วโมง ซึ่งจากผลการเร่งปฏิกิริยาพบว่า ตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์นิกเกิลออกไซด์นั้นมีความสามารถในการเร่งปฏิกิริยามากที่สุด รองลงมาคือตัวเร่งปฏิกิริยา คอปเปอร์โคบอลต์ออกไซด์ คอปเปอร์โครเมียมออกไซด์ และคอปเปอร์ไอออนออกไซด์ตามลำดับ และพบว่าความสามารถในการผลิตไฮโดรเจนของตัวเร่งปฏิกิริยาแต่ละชนิดนั้นมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันกับความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาเพื่อสังเคราะห์จีวีแอล ยกเว้นตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ไอออนออกไซด์ ซึ่งผลิตไฮโดรเจนได้ในปริมาณที่มากแต่กลับมีความสามารถในการกระบวนการเร่งปฏิกิริยาคต่ำ ต่อมาเมื่อได้ทำการวิเคราะห์สมบัติการรีดักชันของตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดต่างๆซึ่งแสดงผลในรูปที่ 4.11แล้วจะเห็นได้ว่าตัวเร่งปฏิกิริยาที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นในรูปของโลหะออกไซด์แบบเดี่ยวซึ่งแสดงผลสมบัติของการรีดักชันในรูปที่ 4.11(ก) นั้นส่วนใหญ่จะสามารถเกิดการรีดักชันได้ที่อุณหภูมิสูง นอกจากนี้ในกรณีของตัวเร่งปฏิกิริยาโครเมียมออกไซด์และไอออนออกไซด์นั้นยังพบว่ามีปริมาณของการเกิดรีดักชันที่น้อยมากอีกด้วย แต่เมื่อตัวเร่งปฏิกิริยาถูกสังเคราะห์ขึ้นในรูปของตัวเร่งปฏิกิริยาออกไซด์ของโลหะผสมคอปเปอร์ดังแสดงในรูปที่ 4.11(ข) แล้วจะเห็นได้ว่าการมีคอปเปอร์ออกไซด์เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

องค์ประกอบในการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะออกไซด์ผสมนั้นจะทำให้ตัวเร่งปฏิกิริยาสามารถเกิดการรีดักชันได้ที่อุณหภูมิต่ำลง จึงกล่าวได้ว่าคอปเปอร์ออกไซด์นั้นมีบทบาทสำคัญในการช่วยให้ตัวเร่งปฏิกิริยาสามารถเกิดการรีดักชันได้ง่ายขึ้นซึ่งการเกิดรีดักชันที่ง่ายขึ้นนี้จะส่งผลเชิงบวกต่อประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยา

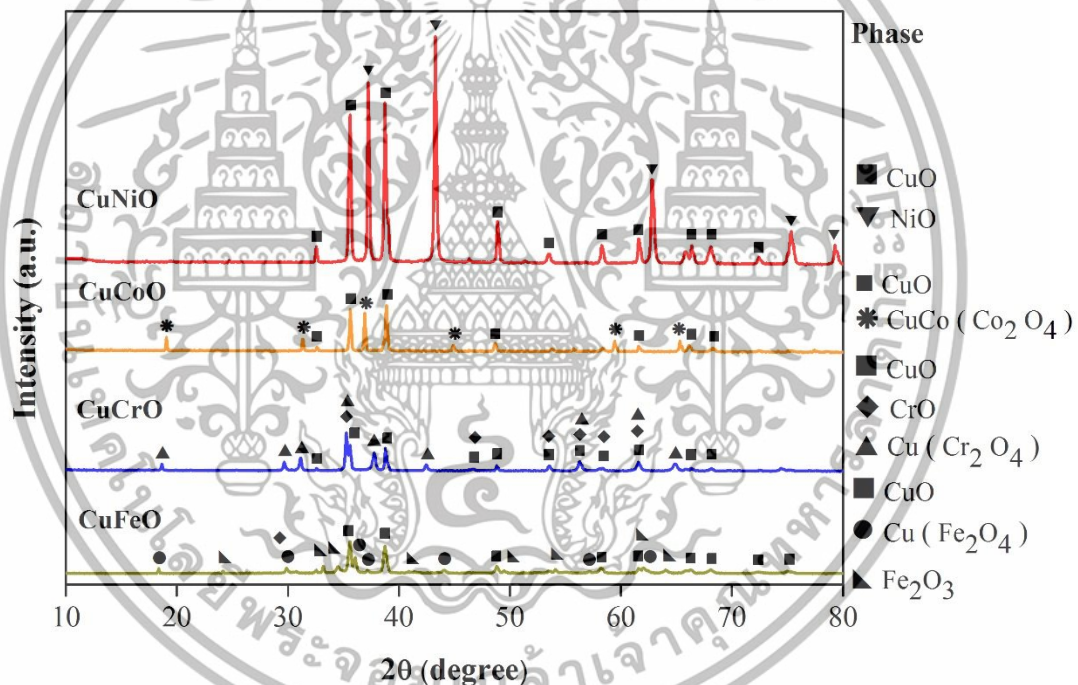


รูปที่ 4.11 สมบัติในการเกิดรีดักชันของ (ก) ตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะออกไซด์เฟสเดี่ยวและ (ข) ตัวเร่งปฏิกิริยาออกไซด์ของโลหะผสมคอปเปอร์

หลังจากนั้นเมื่อทำการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของตัวเร่งปฏิกิริยาแต่ละชนิดด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ซึ่งแสดงผลดังรูปที่ 4.12 แล้วพบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์นิกเกิลออกไซด์นั้นจะมีการเกิดโครงสร้างเป็นเฟสที่แยกกันอย่างชัดเจนระหว่างเฟสคอปเปอร์ออกไซด์และเฟสนิกเกิลออกไซด์ ในขณะที่ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดอื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประกอบด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์โคบอลต์ออกไซด์ ตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์โครเมียมออกไซด์ และตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ไอออนออกไซด์นั้นจะมีการเกิดโครงสร้างเป็นสารละลายของแข็ง (Solid solution) ขึ้นด้วย โดยโครงสร้างที่เป็นสารละลายของแข็งนั้นจะเกิดจากการที่เฟสคอปเปอร์ออกไซด์และเฟสโลหะออกไซด์ของตัวเร่งปฏิกิริยาแต่ละชนิดนั้นเกิดการละลายเข้าเป็นเนื้อเดียวกันซึ่งจะมีลักษณะเป็นการสร้างเฟสใหม่ที่แยกตัวจากเฟสคอปเปอร์ออกไซด์และเฟสโลหะออกไซด์ดั้งเดิมของตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดนั้นๆ และเมื่อเปรียบเทียบข้อมูลโครงสร้างผลึกของตัวเร่งปฏิกิริยาจากการตรวจวัดด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์กับข้อมูลการตรวจวัดพื้นที่ผิวสัมผัสของตัวเร่งปฏิกิริยาแต่ละชนิดซึ่งแสดงผลในตารางที่ 4.2 แล้วยังพบว่าลักษณะการเกิดโครงสร้างของตัวเร่งปฏิกิริยาออกไซด์ของโลหะผสมคอปเปอร์แต่ละชนิดนั้นยังส่งผลต่อพื้นที่ผิวสัมผัสของตัวเร่งปฏิกิริยาอีกด้วย



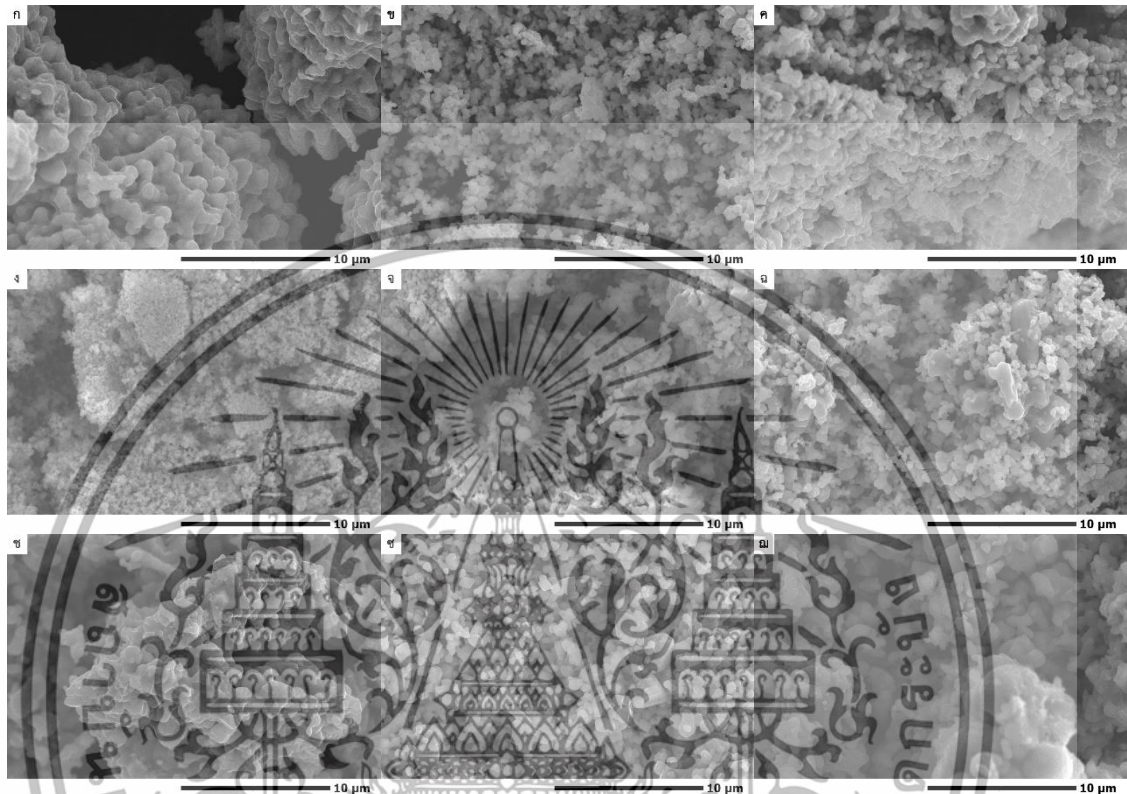
รูปที่ 4.12 โครงสร้างของตัวเร่งปฏิกิริยาออกไซด์ของโลหะผสมคอปเปอร์ชนิดต่างๆ

ตารางที่ 4.2 พื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาออกไซด์ของโลหะผสมคอปเปอร์ชนิดต่างๆ

ตัวเร่งปฏิกิริยา	พื้นที่ผิวสัมผัส (m ² /g)
CuNiO	9
CuCoO	3
CuCrO	4
CuFeO	2

นอกจากนี้พื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยานั้นยังอาจเปรียบเทียบได้กับภาพแสดงลักษณะสัณฐานวิทยาของตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดต่างๆซึ่งแสดงดังรูปที่ 4.13 ได้อีกด้วย ซึ่งจากรูปที่ 4.13(ก) ที่แสดงลักษณะสัณฐานวิทยาของคอปเปอร์ออกไซด์นั้นจะพบว่ามีลักษณะเป็นอนุภาคนขนาดใหญ่ที่มีกิ่งก้านโผล่ขึ้นมา ส่วนอนุภาคของนิกเกิลออกไซด์ดังแสดงในรูปที่ 4.13(ข) นั้นจะมีลักษณะเป็นเม็ดอนุภาคทรงกลมขนาดเล็กที่กระจายตัวกันทั่วไป ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับลักษณะสัณฐานวิทยาของตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์นิกเกิลออกไซด์ดังรูปที่ 4.13(ฉ) แล้วจะเห็นได้ว่ามีลักษณะเป็นเม็ดอนุภาคของนิกเกิลออกไซด์ที่เกาะกระจายตัวอยู่บนพื้นผิวและตามกิ่งก้านของอนุภาคคอปเปอร์ออกไซด์ โดยอนุภาคของโลหะออกไซด์ทั้งสองชนิดนั้นมีการแยกตัวกันอย่างชัดเจน ในขณะที่ตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์โคบอลต์ออกไซด์ซึ่งแสดงในรูปที่ 4.13(ซ) นั้นจะเห็นได้ว่ามีลักษณะเป็นการหลอมรวมตัวกันระหว่างอนุภาคของคอปเปอร์ออกไซด์ในรูปที่ 4.13(ก) และอนุภาคของโคบอลต์ออกไซด์ในรูปที่ 4.13(ค) โดยแต่เดิมนั้นอนุภาคของคอปเปอร์ออกไซด์จะมีลักษณะเป็นอนุภาคนขนาดใหญ่ที่มีกิ่งก้าน ส่วนอนุภาคของโคบอลต์ออกไซด์นั้นจะมีลักษณะเป็นอนุภาคนขนาดเล็กที่ติดกันเป็นแพขนาดใหญ่ แต่เมื่อตัวเร่งปฏิกิริยาถูกสังเคราะห์ในรูปของคอปเปอร์โคบอลต์ออกไซด์แล้วจะพบว่า กิ่งก้านของอนุภาคคอปเปอร์ออกไซด์นั้นจะหายไป และไม่ปรากฏอนุภาคนขนาดเล็กของคอปเปอร์ออกไซด์ด้วย แต่จะพบว่ามีก้อนอนุภาคนขนาดใหญ่ที่มีลักษณะพื้นผิวขรุขระขึ้นแทน ในส่วนของโครเมียมออกไซด์นั้นเมื่ออยู่ในรูปของโลหะออกไซด์แบบเดี่ยวจะมีลักษณะเป็นเกล็ดหรืออนุขขนาดเล็มากที่จับตัวกันเป็นก้อนดังแสดงในรูปที่ 4.13(ง) แต่เมื่อพิจารณาถึงลักษณะสัณฐานวิทยาของตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์โครเมียมออกไซด์ซึ่งแสดงในรูปที่ 4.13(ซ) แล้วพบว่า จะมีลักษณะเป็นเม็ดหลายขนาดกระจายตัวกันอยู่ทั่วไปโดยเม็ดอนุภาคนั้นจะมีลักษณะแยกตัวกันอย่างชัดเจน ซึ่งเป็นลักษณะที่มีความแตกต่างกับทั้งอนุภาคของคอปเปอร์ออกไซด์และโครเมียมออกไซด์ สารโลหะออกไซด์ชนิดสุดท้ายที่ได้ทำการศึกษาในการทดลองนี้คือ ไอออนออกไซด์ ซึ่งจากการพิจารณาลักษณะสัณฐานวิทยาในรูปที่ 4.13(จ) แล้ว จะพบว่าไอออนออกไซด์นั้นมีลักษณะเป็นอนุภาคที่ขนาดค่อนข้างเล็กและติดกันเป็นแพ เมื่อตัวเร่งปฏิกิริยาถูกสังเคราะห์ในรูปของคอปเปอร์ไอออนออกไซด์ซึ่งแสดงดังรูปที่ 4.13(ฉ) แล้วจะเห็นได้ว่าตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีลักษณะเป็นก้อนอนุภาคนขนาดใหญ่ที่มีรูปร่างไม่แน่นอนเกาะรวมตัวกันเป็นกลุ่ม แต่ในขณะที่เดียวกันก็พบว่ามีอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่าแยกตัวออกมาจากกลุ่มอนุภาคนขนาดใหญ่ด้วย อย่างไรก็ตาม

เมื่อเปรียบเทียบกับลักษณะอนุภาคของคอปเปอร์ออกไซด์และไอออนออกไซด์แล้วพบว่าไม่มีความคล้ายคลึงกันแต่อย่างใด



รูปที่ 4.13 ลักษณะพื้นฐานวิทยาของตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดต่างๆประกอบด้วย (ก) คอปเปอร์ออกไซด์ (ข) นิกเกิลออกไซด์ (ค) โคบอลต์ออกไซด์ (ง) โครเมียมออกไซด์ (จ) ไอออนออกไซด์ (ฉ) คอปเปอร์นิกเกิลออกไซด์ (ช) คอปเปอร์โคบอลต์ออกไซด์ (ช) คอปเปอร์โครเมียมออกไซด์และ (ฉ)คอปเปอร์ไอออนออกไซด์

จากข้อมูลลักษณะพื้นฐานวิทยาดังกล่าวข้างต้นนั้น เมื่อได้ทำการเปรียบเทียบกับข้อมูลแสดงโครงสร้างผลึกที่ตรวจวัดด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์กับข้อมูลแสดงพื้นที่ผิวสัมผัสของตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดต่างๆแล้วจึงกล่าวได้ว่า ตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ออกไซด์นั้นจะมีลักษณะเป็นเฟสที่แยกตัวกันระหว่างเฟสของคอปเปอร์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์อย่างชัดเจน ในขณะที่ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดอื่นๆนั้นจะมีการรวมตัวกันระหว่างโลหะออกไซด์ต่างชนิดกันเกิดเป็นสารละลายของแข็งด้วย จึงเป็นสาเหตุให้ตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์นิกเกิลออกไซด์นั้นมีพื้นที่ผิวสัมผัสที่สูงที่สุด ซึ่งพื้นที่ผิวสัมผัสที่สูงนั้นเป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลเชิงบวกต่อประสิทธิภาพในกระบวนการเร่งปฏิกิริยา จากผลการทดลองนี้จึงสามารถกล่าวได้ว่า การใช้คอปเปอร์ออกไซด์เป็นองค์ประกอบในการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยานั้นจะส่งผลให้ตัวเร่งปฏิกิริยาสามารถเกิดการรีดักชันได้ง่ายขึ้น โดยการเกิดรีดักชันของคอปเปอร์ออกไซด์และ

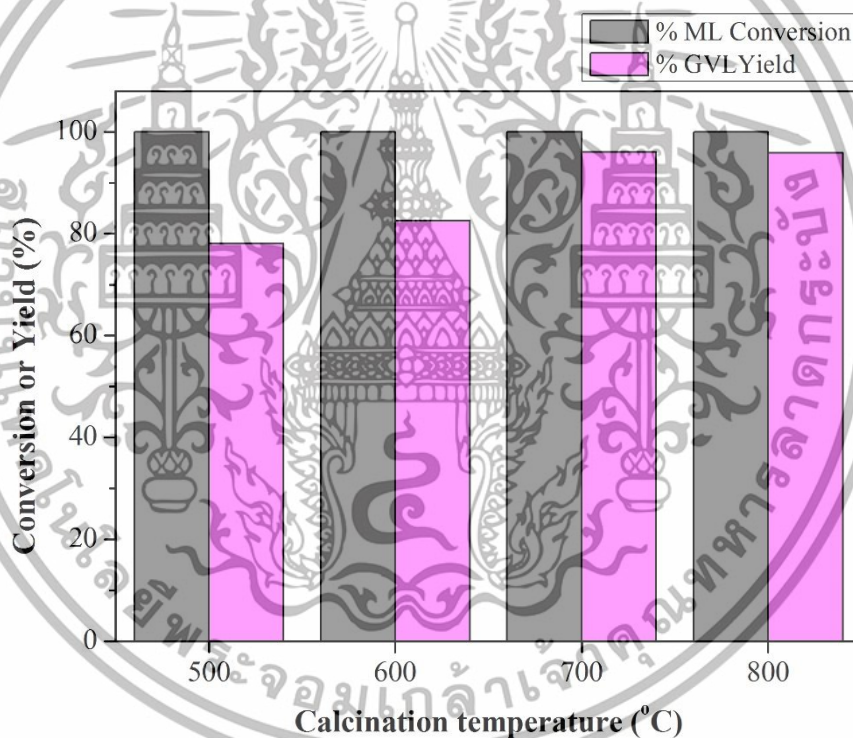
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปลี่ยนสภาพไปเป็นโลหะคอปเปอร์นั้นจะช่วยให้เกิดปรากฏการณ์ไฮโดรเจนสปีดโอเวอร์ดังที่กล่าวไว้ในงานวิจัยของ J. Ashok และคณะ [14] ซึ่งจะช่วยให้เฟสของโลหะชนิดอื่นที่เป็นองค์ประกอบร่วมในโครงสร้างของตัวเร่งปฏิกิริยานั้นเกิดการรีดักชันเพื่อสร้างเฟสที่ว่างไวต่อกระบวนการเร่งปฏิกิริยาได้ง่ายขึ้น โดยพบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์นิกเกิลออกไซด์นั้นมีประสิทธิภาพในกระบวนการเร่งปฏิกิริยาเพื่อสังเคราะห์จีวีแอลจากเมทิลลิวกลินेटด้วยกระบวนการไฮโดรจีนชันแบบส่งผ่านโดยใช้สารให้อะตอมไฮโดรเจนเป็น 2-โพรพานอลที่สูงที่สุด และทำให้ระบบของกระบวนการเร่งปฏิกิริยามีการผลิตไฮโดรเจนที่สูงที่สุดด้วย ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่พบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาในกลุ่มนิกเกิลนั้นมีประสิทธิภาพสูงและมีการใช้งานอย่างแพร่หลายในกระบวนการไฮโดรจีนชัน เช่นเรณีนิกเกิล (Raney-Ni) ในงานวิจัยของ J. Geboers และคณะ [29] หรือโลหะนิกเกิลที่สังเคราะห์บนอลูมิเนียมออกไซด์ ($\text{Ni}/\text{Al}_2\text{O}_3$) ในงานวิจัยของ K. Hengst และคณะ [48] เป็นต้น

4.6 อิทธิพลของอุณหภูมิที่ใช้ในการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยา

จากผลการทดลองที่ผ่านมาจึงทำให้ทราบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์นิกเกิลออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาออกไซด์ของโลหะผสมคอปเปอร์ที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุดในการสังเคราะห์จีวีแอลจากเมทิลลิวกลินेटด้วยกระบวนการไฮโดรจีนชันแบบส่งผ่านโดยใช้สารให้อะตอมไฮโดรเจนเป็น 2-โพรพานอลในงานวิจัยนี้ อย่างไรก็ตามตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์นิกเกิลออกไซด์ที่ใช้ในการทดลองข้างต้นนั้นได้ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียสซึ่งยังคงเป็นการใช้อุณหภูมิในการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาที่สูงอยู่ในการศึกษาขั้นต่อไปจึงเป็นการทดลองสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์นิกเกิลออกไซด์ที่อุณหภูมิต่ำลงได้แก่ 700, 600, และ 500 องศาเซลเซียสและนำมาใช้ในกระบวนการเร่งปฏิกิริยาเพื่อสังเคราะห์จีวีแอลจากเมทิลลิวกลินेटด้วยปฏิกิริยาไฮโดรจีนชันแบบส่งผ่านโดยใช้สารให้อะตอมไฮโดรเจนเป็น 2-โพรพานอล ซึ่งปฏิกิริยาจะดำเนินไปในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 ชั่วโมง และวิเคราะห์ผลการเร่งปฏิกิริยาด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี จากผลการทดลองการเร่งปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์นิกเกิลออกไซด์ที่ถูกสังเคราะห์ที่อุณหภูมิต่างๆซึ่งแสดงในรูปที่ 4.14 พบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียสซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ต่ำที่สุดที่ใช้ในการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยานั้นมีประสิทธิภาพเพียงพอที่จะทำให้กระบวนการเร่งปฏิกิริยามีค่าการเปลี่ยนแปลงของสารตั้งต้นถึง 100% แต่ในเชิงของการเกิดผลิตภัณฑ์จีวีแอลนั้นยังคงเกิดขึ้นได้ในปริมาณที่ค่อนข้างน้อยโดยมีค่าการเกิดผลิตภัณฑ์จีวีแอลเพียง 78% เท่านั้น การใช้อุณหภูมิในการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาที่สูงขึ้นที่ 600 องศาเซลเซียสไม่ได้ช่วยให้ตัวเร่งปฏิกิริยามีประสิทธิภาพมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเท่าใดนัก โดยพบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์นิกเกิลออกไซด์ที่สังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียสนั้นส่งผลให้กระบวนการเร่งปฏิกิริยามีค่าการเปลี่ยนแปลงของสารตั้งต้นได้ 100% แต่ในเชิงของการเกิดผลิตภัณฑ์จีวีแอลนั้นยังคงมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ถูกสังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส โดยพบว่ามีค่าการเกิดผลิตภัณฑ์จีวีแอลเพียง 83% เท่านั้น แต่เมื่อตัวเร่งปฏิกิริยาถูก

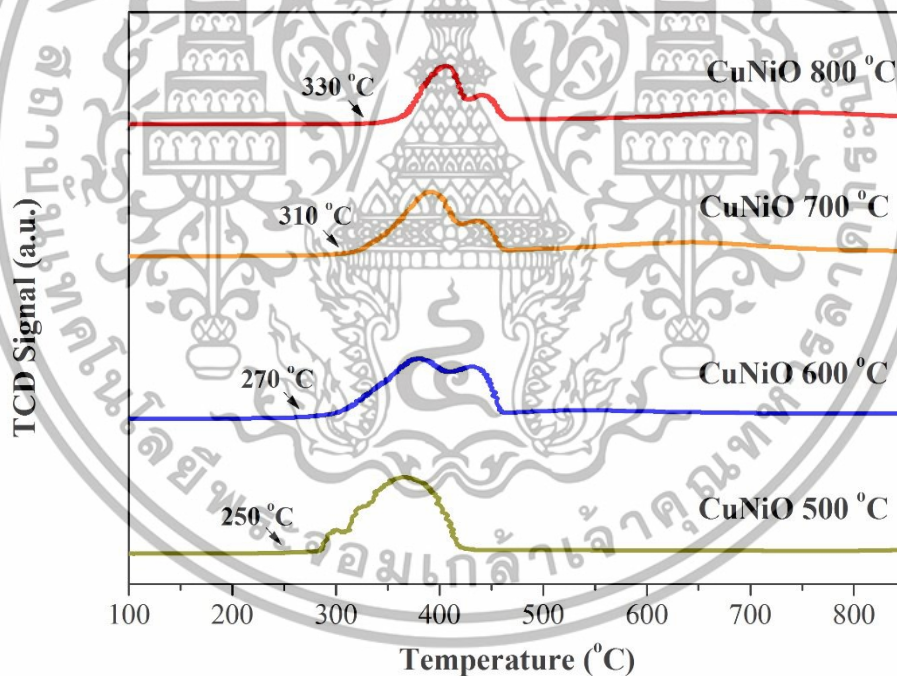
สังเคราะห์โดยใช้อุณหภูมิในการสังเคราะห์สูงขึ้นไป 700 องศาเซลเซียส พบว่าตัวเร่งปฏิกิริยามีประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด โดยมีค่าการเปลี่ยนแปลงของสารตั้งต้น 100% และมีค่าการเกิดผลิตภัณฑ์จีวีแอลมากกว่า 95% ซึ่งเมื่อทำการเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยากอปเปอร์นิกเกิลออกไซด์ที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียสแล้วพบว่ามีประสิทธิภาพที่ใกล้เคียงกันอย่างมาก เนื่องจากตัวเร่งปฏิกิริยากอปเปอร์นิกเกิลออกไซด์ที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียสนั้นก็ส่งผลให้กระบวนการเร่งปฏิกิริยามีค่าการเปลี่ยนแปลงสารตั้งต้น 100% และมีค่าการเกิดผลิตภัณฑ์จีวีแอลมากกว่า 95% เช่นกัน จึงกล่าวได้ว่าอุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียสนั้นเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมและเพียงพอต่อการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อให้ตัวเร่งปฏิกิริยามีประสิทธิภาพที่สูงในกระบวนการเร่งปฏิกิริยาเพื่อสังเคราะห์จีวีแอลจากเมทิลลิวโกลินด้วยกระบวนการไฮโดรเจเนชันแบบส่งผ่านโดยใช้ 2-โพรพานอลเป็นสารให้อะตอมไฮโดรเจน



รูปที่ 4.14 ความสามารถของตัวเร่งปฏิกิริยากอปเปอร์นิกเกิลออกไซด์ที่สังเคราะห์ที่อุณหภูมิต่างๆ

อย่างไรก็ตามเมื่อได้ทำการวิเคราะห์สมบัติในการรีดักชันของตัวเร่งปฏิกิริยากอปเปอร์นิกเกิลออกไซด์ที่ถูกสังเคราะห์ที่อุณหภูมิต่างๆซึ่งแสดงผลดังรูปที่ 4.15 พบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาที่ถูกสังเคราะห์ที่อุณหภูมิต่ำนั้นจะสามารถรีดักชันได้ง่ายกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่อุณหภูมิสูง แต่เมื่อได้ทำการวิเคราะห์ลักษณะจุดยอดของการรีดักชันแล้วจะเห็นได้ว่าตัวเร่งปฏิกิริยาที่ถูกสังเคราะห์ที่อุณหภูมิต่างกันนั้นจะมีพฤติกรรมของการเกิด

รีดักชันที่แตกต่างกันออกไปโดยตัวเร่งปฏิกิริยาที่ถูกสังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียสนั้นจะปรากฏจุดยอดของการรีดักชันเป็นสองจุด โดยมีจุดยอดขนาดเล็กอยู่ด้านหน้า และจุดยอดขนาดใหญ่อยู่ด้านหลัง ในขณะที่ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ถูกสังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียสนั้นจะปรากฏจุดยอดของการรีดักชันเป็นสองจุดเช่นเดียวกัน แต่กลับพบว่าจุดยอดด้านหน้าและจุดยอดด้านหลังนั้นมีขนาดใกล้เคียงกัน โดยจุดยอดด้านหน้าจะมีขนาดใหญ่กว่าเล็กน้อย และสำหรับตัวเร่งปฏิกิริยาที่ถูกสังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 700 และ 800 องศาเซลเซียสนั้นพบว่า มีลักษณะของการรีดักชันที่ค่อนข้างคล้ายคลึงกันมาก โดยจะปรากฏจุดยอดของการรีดักชันเป็นสองจุดเช่นเดียวกัน แต่จุดยอดด้านหน้านั้นจะมีขนาดใหญ่กว่าจุดยอดด้านหลังอย่างชัดเจน นอกจากนี้ยังเป็นที่น่าสนใจที่ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่อุณหภูมิต่ำกว่านั้นนอกจากจะสามารถเกิดการรีดักชันได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่าแล้ว ยังสามารถเกิดการรีดักชันได้ในปริมาณที่มากกว่าอีกด้วยโดยสามารถสังเกตได้จากจุดยอดของการรีดักชันที่มีขนาดเล็กลงตามลำดับเมื่อตัวเร่งปฏิกิริยาถูกสังเคราะห์ขึ้นที่อุณหภูมิสูงขึ้นตามลำดับเช่นกัน



รูปที่ 4.15 สมบัติในการรีดักชันของตัวเร่งปฏิกิริยาออกไซด์ที่สังเคราะห์ที่อุณหภูมิต่างๆ

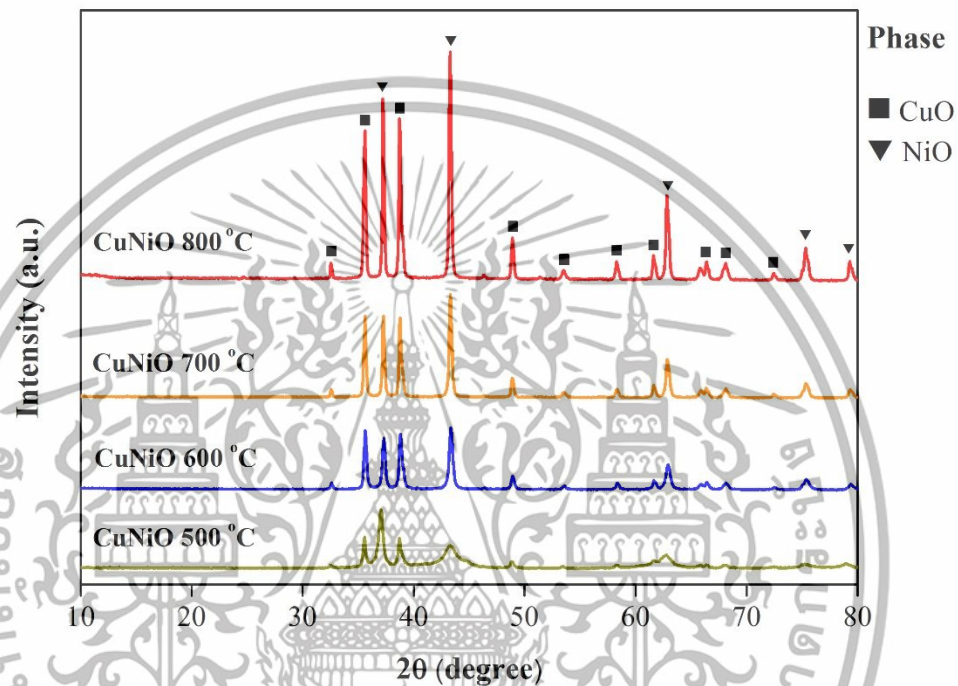
จากผลการวิเคราะห์สมบัติการรีดักชันดังกล่าวจึงได้ทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับข้อมูลโครงสร้างผลึกของตัวเร่งปฏิกิริยาซึ่งได้จากการตรวจวัดด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ ซึ่งแสดงผลดังรูปที่ 4.16 จากผลการตรวจวัดพบว่า ตัวเร่งปฏิกิริยาออกไซด์ที่ถูกสังเคราะห์ที่ 500 องศาเซลเซียสนั้นจะยังคงมีความเป็น

ผลึกที่ต่ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเฟสของนิกเกิลออกไซด์ที่มีความเป็นผลึกต่ำกว่าเฟสของคอปเปอร์ออกไซด์อย่างชัดเจน ซึ่งสังเกตได้จากจุดยอดที่มีลักษณะฐานกว้าง และยังสามารถยืนยันค่าความเป็นผลึกของตัวเร่งปฏิกิริยาได้จากตารางที่ 4.3 ซึ่งแสดงค่าความเป็นผลึกของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ถูกสังเคราะห์ที่อุณหภูมิต่างๆอีกด้วย นอกจากนี้เมื่อทำการเปรียบเทียบขนาดผลึกของตัวเร่งปฏิกิริยาในตารางที่ 4.4 แล้วพบว่าขนาดผลึกของทั้งคอปเปอร์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์นั้นยังคงเป็นผลึกที่มีขนาดเล็กและยิ่งเมื่อเปรียบเทียบขนาดผลึกระหว่างคอปเปอร์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์แล้วพบว่าขนาดผลึกของนิกเกิลออกไซด์นั้นมีขนาดเล็กกว่าขนาดผลึกของคอปเปอร์ออกไซด์อย่างมาก ดังนั้นเมื่อได้เปรียบเทียบกับสมบัติในการรีดักชันของตัวเร่งปฏิกิริยาแล้วจึงกล่าวได้ว่า การที่ตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์นิกเกิลออกไซด์ที่ถูกสังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียสสามารถเกิดการรีดักชันได้ง่ายที่สุดกล่าวคือใช้อุณหภูมิในการรีดักชันต่ำที่สุดและมีปริมาณการรีดักชันสูงที่สุดนั้นเนื่องจากมีขนาดของผลึกที่เล็กและมีความเป็นผลึกต่ำ และ โดยเฉพาะอย่างยิ่งคือมีเฟสของนิกเกิลออกไซด์ที่มีขนาดผลึกเล็กที่สุดกระจายตัวอยู่ตนเอง ซึ่งขนาดของผลึกนั้นจะส่งผลต่อสมบัติในการรีดักชันของตัวเร่งปฏิกิริยา ดังนั้นเมื่อพิจารณาถึงลักษณะจุดยอดของการเกิดรีดักชันของตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์นิกเกิลออกไซด์ที่ถูกสังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียสที่พบว่ามีลักษณะเป็นสองจุดยอด โดยมีจุดยอดขนาดเล็กอยู่ด้านหน้าและจุดยอดขนาดใหญ่อยู่ด้านหลังแล้ว จึงสามารถวิเคราะห์ได้ว่าจุดยอดขนาดเล็กที่อยู่ข้างหน้านั้นคือการเกิดการรีดักชันของคอปเปอร์ออกไซด์ที่มีลักษณะเป็นพื้นผิวที่กระจายตัวซึ่งมีปริมาณเพียงเล็กน้อยร่วมกับนิกเกิลออกไซด์ และส่วนจุดยอดขนาดใหญ่ที่เกิดขึ้นด้านหลังนั้นคือการเกิดการรีดักชันของคอปเปอร์ออกไซด์ที่มีลักษณะจับตัวกันเป็นกลุ่ม (Bulk) ร่วมกับนิกเกิลออกไซด์เช่นกัน ถึงแม้ปฏิกิริยาออกไซด์จะสามารถเกิดการรีดักชันได้ยากกว่าคอปเปอร์ออกไซด์ แต่ในกรณีนี้พบว่าเนื่องจากขนาดของผลึกนิกเกิลออกไซด์ที่มีขนาดเล็กกว่ามากจึงส่งผลให้สามารถเกิดการรีดักชันได้พร้อมๆกับคอปเปอร์ออกไซด์ที่มีขนาดผลึกใหญ่กว่านั่นเอง และเมื่อตัวเร่งปฏิกิริยาถูกสังเคราะห์ที่อุณหภูมิสูงขึ้นที่ 600 องศาเซลเซียสจะพบว่าตัวเร่งปฏิกิริยามีความเป็นผลึกสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัด โดยจะเห็นได้จากผลการตรวจวัดด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของตัวเร่งปฏิกิริยาว่าฐานของจุดยอดนั้นมีขนาดเล็กลงมากเมื่อเปรียบเทียบกับตัวเร่งปฏิกิริยาที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่ 500 องศาเซลเซียสและยืนยันได้จากตารางแสดงค่าความเป็นผลึกของตัวเร่งปฏิกิริยา นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบขนาดของผลึกตัวเร่งปฏิกิริยาแล้วยังพบว่าผลึกของนิกเกิลออกไซด์ในตัวเร่งปฏิกิริยาที่ถูกสังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียสนั้นมีขนาดใหญ่ขึ้นเป็นอย่างมาก แต่ในขณะที่เดียวกันกลับพบว่าผลึกของคอปเปอร์ออกไซด์กลับไม่มีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นอย่างมีนัยสำคัญแต่อย่างใด ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบกับผลการตรวจวัดสมบัติในการเกิดรีดักชันของตัวเร่งปฏิกิริยาแล้ว จึงอธิบายได้ว่าเนื่องจากการที่ตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์นิกเกิลออกไซด์ที่ถูกสังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียสนั้นมีความเป็นผลึกที่สูงกว่าและมีขนาดผลึกนิกเกิลออกไซด์ที่ใหญ่กว่ามากเมื่อเปรียบเทียบกับตัวเร่งปฏิกิริยาที่ถูกสังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส จึงทำให้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ถูกสังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียสเกิดการรีดักชันได้ยากกว่า และเมื่อได้ทำการพิจารณาถึงลักษณะของการเกิดจุดยอดของการรีดักชันที่มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะเป็นสองจุดยอดที่มีขนาดใกล้เคียงกัน โดยจุดยอดด้านหน้ามีขนาดใหญ่กว่าจุดยอดด้านหลังเล็กน้อยแล้ว จึงสามารถอธิบายได้ว่าจากการที่ผลึกนิกเกิลออกไซด์ของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ถูกสังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียสมีขนาดใหญ่ขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับตัวเร่งปฏิกิริยาที่ถูกสังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียสดังที่กล่าวมาข้างต้นนี้เองจึงทำให้เฟสของนิกเกิลออกไซด์เกิดการรีดักชันได้ยากขึ้น โดยกลับสู่สภาพธรรมชาติของนิกเกิลออกไซด์ที่จะเกิดการรีดักชันได้ที่อุณหภูมิสูงกว่าการเกิดรีดักชันของคอปเปอร์ออกไซด์ ซึ่งจุดยอดด้านหน้านั้นคือการเกิดรีดักชันของเฟสคอปเปอร์ออกไซด์และจุดยอดด้านหลังนั้นก็คือการเกิดรีดักชันของเฟสนิกเกิลออกไซด์นั่นเอง แต่อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าขนาดผลึกของนิกเกิลออกไซด์จะมีขนาดใหญ่ขึ้นก็ตาม แต่เมื่อเทียบกับขนาดผลึกของคอปเปอร์ออกไซด์แล้วพบว่าขนาดผลึกของนิกเกิลออกไซด์นั้นยังคงมีขนาดเล็กกว่าขนาดผลึกคอปเปอร์ออกไซด์ค่อนข้างมาก จึงทำให้ถึงแม้การรีดักชันของเฟสนิกเกิลออกไซด์จะเกิดขึ้นได้ที่อุณหภูมิสูงขึ้น แต่ปริมาณของการรีดักชันยังคงสามารถเกิดได้ในปริมาณที่ค่อนข้างมากอยู่ สำหรับตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์นิกเกิลออกไซด์ที่ถูกสังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียสนั้นพบว่ามีความเป็นผลึกเพิ่มขึ้นค่อนข้างมากเมื่อเปรียบเทียบกับตัวเร่งปฏิกิริยาที่ถูกสังเคราะห์ที่อุณหภูมิต่ำกว่าซึ่งจะเห็นได้จากผลการตรวจวัดด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ โดยจะเห็นได้ว่าจุดยอดนั้นมีลักษณะฐานที่แคบลงและยื่นยื่นคาได้จากตารางแสดงค่าความเป็นผลึกของตัวเร่งปฏิกิริยา และเมื่อเปรียบเทียบกับขนาดของผลึกของตัวเร่งปฏิกิริยาแล้วจะเห็นได้ว่าทั้งคอปเปอร์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์นั้นมีขนาดของผลึกที่เพิ่มขึ้นอย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งนิกเกิลออกไซด์นั้นมีขนาดผลึกที่เพิ่มขึ้นจนค่อนข้างใกล้เคียงกับขนาดผลึกของคอปเปอร์ออกไซด์เลยทีเดียว ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบกับสมบัติในการรีดักชันของตัวเร่งปฏิกิริยาแล้วจึงสามารถอธิบายได้ว่า การเพิ่มขึ้นของขนาดผลึกและความเป็นผลึกนั้นส่งผลให้ตัวเร่งปฏิกิริยาเกิดการรีดักชันได้ยากขึ้น โดยต้องใช้อุณหภูมิในการรีดักชันสูงขึ้นและมีปริมาณของการรีดักชันลดลง และเมื่อพิจารณาถึงลักษณะของการเกิดจุดยอดที่มีลักษณะเป็นสองจุดโดยจุดยอดด้านหน้ามีขนาดใหญ่กว่าจุดยอดด้านหลังอย่างมากแล้ว สามารถอธิบายได้ว่า การที่ทั้งคอปเปอร์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์มีขนาดผลึกที่เพิ่มขึ้นอย่างมกนั้นส่งผลให้การรีดักชันของตัวเร่งปฏิกิริยาเกิดได้ยากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับตัวเร่งปฏิกิริยาที่ถูกสังเคราะห์ที่อุณหภูมิต่ำกว่า และการที่ขนาดผลึกของนิกเกิลออกไซด์มีขนาดเพิ่มขึ้นจนมีขนาดใกล้เคียงกับขนาดผลึกของคอปเปอร์ออกไซด์นั้นก็ส่งผลให้นิกเกิลออกไซด์นั้นเกิดการรีดักชันได้ยากขึ้นมาก โดยมีปริมาณของการรีดักชันที่น้อยกว่าเฟสของคอปเปอร์ออกไซด์อย่างเห็นได้ชัด ซึ่งลักษณะจุดยอดของการเกิดรีดักชันของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ถูกสังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียสนั้นมีความคล้ายคลึงกับตัวเร่งปฏิกิริยาที่ถูกสังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียสเป็นอย่างมาก แต่เมื่อพิจารณาถึงอุณหภูมิที่ทำให้ตัวเร่งปฏิกิริยาสามารถเกิดการรีดักชันแล้วพบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์นิกเกิลออกไซด์ที่ถูกสังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียสนั้นต้องใช้อุณหภูมิในการเกิดการรีดักชันสูงกว่าโดยต้องใช้อุณหภูมิในการเกิดรีดักชันที่สูงที่สุดในบรรดาตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์นิกเกิลออกไซด์ที่ถูกสังเคราะห์ที่อุณหภูมิต่างกันในงานวิจัยนี้ และนอกจากนี้เมื่อพิจารณาถึงปริมาณของการเกิดรีดักชันแล้วยังพบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาที่ถูกสังเคราะห์ที่

อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียสนี้ยังมีปริมาณของการเกิดรีดักชันที่ต่ำที่สุดอีกด้วย ซึ่งมีความสอดคล้องกับขนาดผลึกของตัวเร่งปฏิกิริยาเนื่องจากพบว่าการใช้อุณหภูมิในการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ 800 องศาเซลเซียสนั้นจะส่งผลให้ตัวเร่งปฏิกิริยามีขนาดของผลึกใหญ่ที่สุด



รูปที่ 4.16 โครงสร้างผลึกของตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์นิกเกิลออกไซด์ที่สังเคราะห์ที่อุณหภูมิต่างๆ

ตารางที่ 4.3 ค่าความเป็นผลึกของตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์นิกเกิลออกไซด์ที่ถูกสังเคราะห์ที่อุณหภูมิต่างๆ

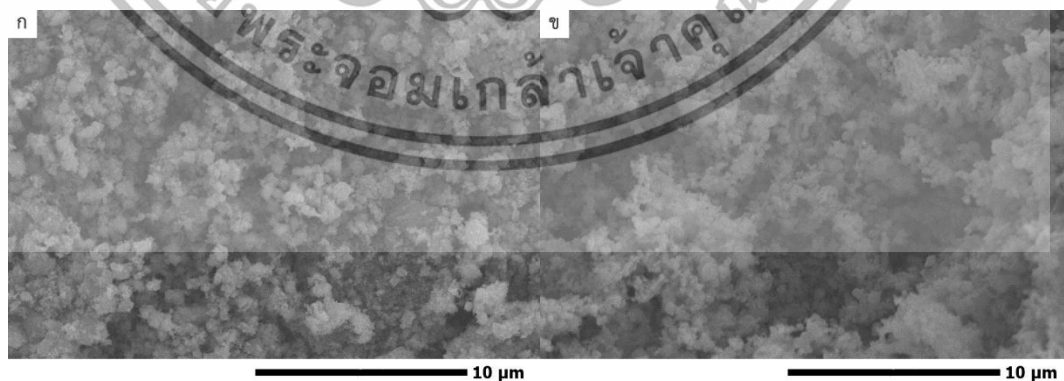
อุณหภูมิในการสังเคราะห์ ตัวเร่งปฏิกิริยา (°C)	ผลึก (%)	อสัณฐาน (%)
500	69.9	30.1
600	85.4	14.6
700	89.2	10.8
800	87.4	12.6

ตารางที่ 4.4 ขนาดของผลึกในตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์นิกเกิลออกไซด์ที่สังเคราะห์ที่อุณหภูมิต่างๆ

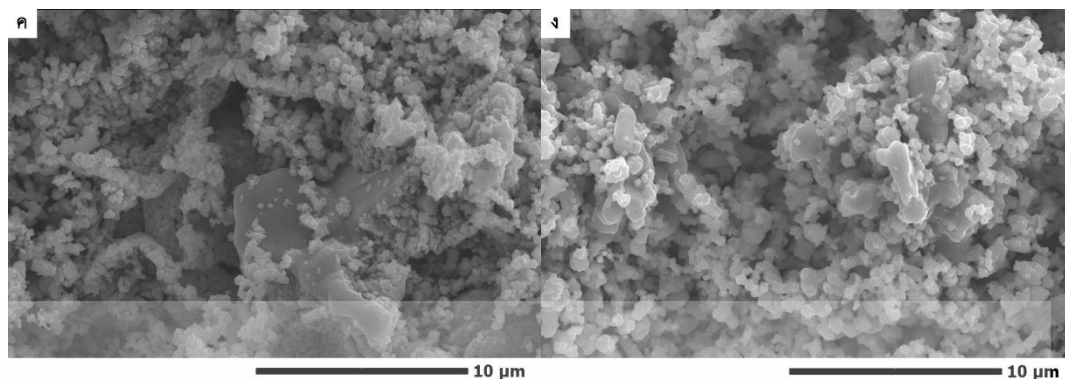
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิในการสังเคราะห์ ตัวเร่งปฏิกิริยา (°C)	ขนาดผลึก (nm)	
	CuO	NiO
500	39.4	7.1
600	38.6	27.6
700	48.7	41.8
800	55	49.6

นอกจากนี้ข้อมูลที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งที่สามารถเปรียบเทียบเกี่ยวกับลักษณะการเพิ่มขนาดของผลึกตัวเร่งปฏิกิริยาเมื่อใช้อุณหภูมิในการสังเคราะห์ที่สูงขึ้นคือภาพแสดงลักษณะสัณฐานวิทยาของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ถูกสังเคราะห์ที่อุณหภูมิต่างๆดังแสดงในรูปที่ 4.17 ซึ่งพบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์นิกเกิลออกไซด์ที่ถูกสังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 500 และ 600 องศาเซลเซียสนั้นจะมีลักษณะเป็นขุยและไม่สามารถเห็นขอบของอนุภาคตัวเร่งปฏิกิริยาได้ชัดเจนดังจะเห็นได้ในรูปที่ 4.17(ก) และ 4.17(ข)ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ขนาดผลึกและโครงสร้างผลึกของตัวเร่งปฏิกิริยาที่พบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาที่ถูกสังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 500 และ 600 องศาเซลเซียสนั้นจะมีความเป็นผลึกที่ต่ำและมีขนาดผลึกที่เล็กอีกด้วย แต่เมื่อตัวเร่งปฏิกิริยาถูกสังเคราะห์ที่อุณหภูมิที่สูงกว่าคือ 700 และ 800 องศาเซลเซียสนั้นจะพบว่าตัวเร่งปฏิกิริยามีลักษณะเป็นอนุภาคที่กระจายตัวกัน โดยเห็นขอบของอนุภาคตัวเร่งปฏิกิริยาได้ชัดเจนดังแสดงในรูปที่ 4.17(ค) และ 4.17(ง)ตามลำดับ โดยอนุภาคของนิกเกิลออกไซด์นั้นจะมีลักษณะเป็นเม็ดอนุภาคขนาดเล็กทรงกลมที่เกาะกระจายตัวอยู่บนอนุภาคคอปเปอร์ออกไซด์ที่มีลักษณะเป็นก้อนขนาดใหญ่ ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ขนาดผลึกและโครงสร้างผลึกของตัวเร่งปฏิกิริยาที่พบว่าการใช้อุณหภูมิในการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ 700 และ 800 องศาเซลเซียสนั้นจะส่งผลให้ตัวเร่งปฏิกิริยามีความเป็นผลึกที่สูงและมีขนาดผลึกที่ใหญ่ โดยตัวเร่งปฏิกิริยาจะมีขนาดผลึกที่ใหญ่ที่สุดเมื่อถูกสังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



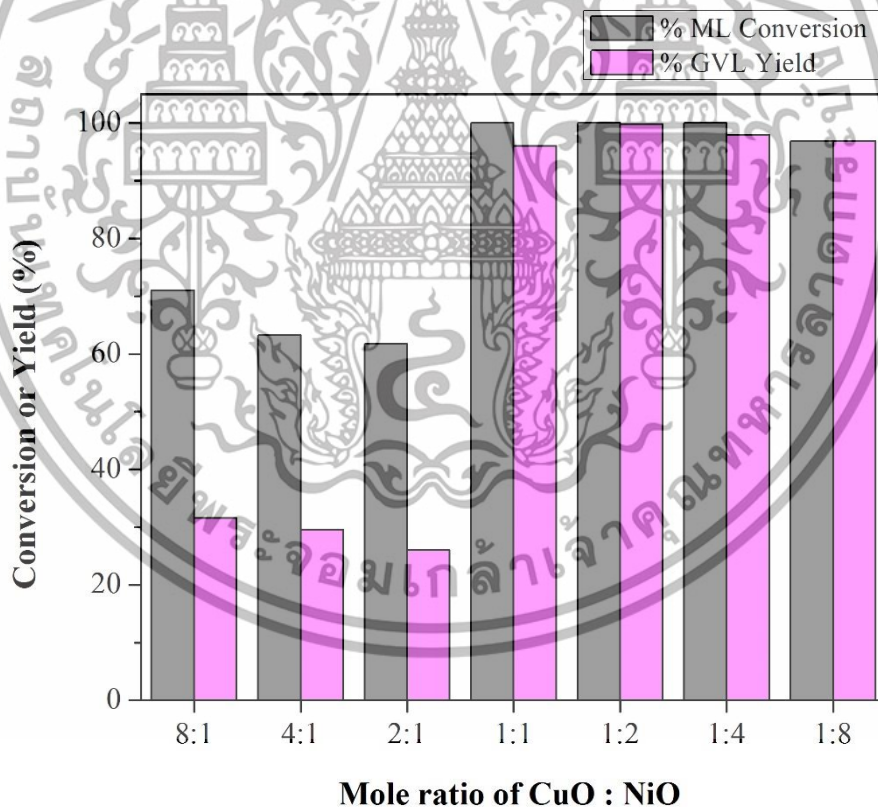
รูปที่ 4.17 ลักษณะสัณฐานวิทยาของตัวเร่งปฏิกิริยาออกไซด์ที่สังเคราะห์ที่อุณหภูมิ (ก) 500 องศาเซลเซียส (ข) 600 องศาเซลเซียส (ค) 700 องศาเซลเซียสและ (ง) 800 องศาเซลเซียส

ดังนั้นเมื่อพิจารณาสมบัติในการรีดักชันและสมบัติของผลึกเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพในกระบวนการเร่งปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยาออกไซด์ที่สังเคราะห์ที่อุณหภูมิแตกต่างกันแล้วจึงกล่าวได้ว่า ความเป็นผลึกและขนาดผลึกของตัวเร่งปฏิกิริยานั้นจะมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันกับการใช้อุณหภูมิในการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยา โดยการใช้อุณหภูมิในการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาที่สูงขึ้นจะส่งผลให้ความเป็นผลึกและขนาดผลึกของตัวเร่งปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ซึ่งการเพิ่มขึ้นของความเป็นผลึกและขนาดผลึกของตัวเร่งปฏิกิริยานั้นเองที่จะส่งผลในเชิงบวกต่อประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยา โดยอิทธิพลของความเป็นผลึกของตัวเร่งปฏิกิริยานั้นยังได้ถูกกล่าวถึงในงานวิจัยของ Y. Yang และคณะ [47] ที่ได้ทำการสังเคราะห์จิวแอลจากเมทิลลิวลิเนตด้วยกระบวนการไฮโดรจีนเนชันแบบส่งผ่านโดยใช้คอปเปอร์-เซอร์โคเนียมออกไซด์ (Cu-ZrO_2) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาอีกด้วย ซึ่งจากงานวิจัยดังกล่าวนี้พบว่าการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิที่ใช้ในการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาจะทำให้ตัวเร่งปฏิกิริยามีความเป็นผลึกเพิ่มขึ้นและส่งผลให้ตัวเร่งปฏิกิริยามีประสิทธิภาพในการสังเคราะห์จิวแอลเพิ่มขึ้นด้วยนั่นเอง ดังนั้นจากการทดลองนี้จึงสามารถอธิบายได้ว่าตัวเร่งปฏิกิริยาที่ถูกสังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 500 และ 600 องศาเซลเซียสนั้นจะมีความเป็นผลึกและขนาดผลึกที่ต่ำซึ่งส่งผลให้มีประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยาเพื่อสังเคราะห์จิวแอลต่ำกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาที่ถูกสังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 700 และ 800 องศาเซลเซียสอย่างเห็นได้ชัด อย่างไรก็ตามเมื่อทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในกระบวนการเร่งปฏิกิริยาเพื่อสังเคราะห์จิวแอลระหว่างตัวเร่งปฏิกิริยาออกไซด์ที่สังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียสและ 800 องศาเซลเซียสแล้วพบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาทั้งสองมีประสิทธิภาพในกระบวนการเร่งปฏิกิริยาที่ไม่แตกต่างกันและตัวเร่งปฏิกิริยาทั้งสองยังมีขนาดผลึกที่ใกล้เคียงกันอีกด้วย ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าอุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียสนั้นเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมและเพียงพอต่อการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาออกไซด์เพื่อให้มีประสิทธิภาพสูงในกระบวนการเร่งปฏิกิริยาเพื่อสังเคราะห์จิวแอลจากเมทิลลิวลิเนตด้วยกระบวนการไฮโดรจีนเนชันแบบส่งผ่านโดยใช้ 2-โพรพานอลเป็นสารให้อะตอมไฮโดรเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7 อิทธิพลของอัตราส่วนสารตั้งต้นที่ใช้ในการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยา

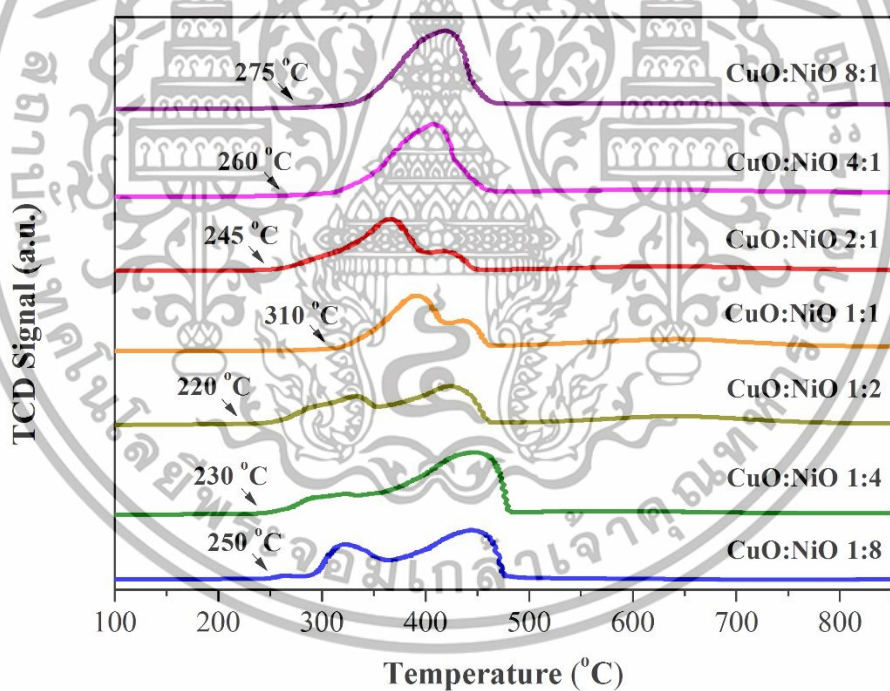
จากผลการทดลองในบทที่ผ่านมาทำให้ทราบว่าอุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียสเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมและเพียงพอต่อการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์นิกเกิลออกไซด์ให้มีประสิทธิภาพสูงสำหรับกระบวนการเร่งปฏิกิริยาเพื่อสังเคราะห์จีวีแอลจากเมทิลลิวกลินได้ด้วยกระบวนการไฮโดรจิเนชันแบบส่งผ่านโดยใช้สารให้อะตอมไฮโดรเจนเป็น 2-โพรพานอล อย่างไรก็ตามตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์นิกเกิลออกไซด์ที่ได้ทำการศึกษาในการทดลองที่ผ่านมาได้ถูกสังเคราะห์ขึ้นโดยกำหนดอัตราส่วนระหว่างคอปเปอร์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์เป็นอัตราส่วน 1:1 โดยโมล การศึกษาในขั้นต่อไปจึงเป็นการทดลองสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์นิกเกิลออกไซด์โดยกำหนดอัตราส่วนระหว่างคอปเปอร์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ที่แตกต่างกันได้แก่ 8:1, 4:1, 2:1, 1:2, 1:4, และ 1:8 โดยโมล และได้ทำการทดลองนำตัวเร่งปฏิกิริยาที่สังเคราะห์มาใช้ในการกระบวนการเร่งปฏิกิริยาเพื่อสังเคราะห์จีวีแอลจากเมทิลลิวกลินด้วยปฏิกิริยาไฮโดรจิเนชันแบบส่งผ่านโดยใช้สารให้อะตอมไฮโดรเจนเป็น 2-โพรพานอล ซึ่งปฏิกิริยาจะดำเนินไปในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 ชั่วโมง และวิเคราะห์ผลการเร่งปฏิกิริยาด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี โดยผลการเร่งปฏิกิริยาแสดงดังรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.18 ความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์นิกเกิลออกไซด์ที่มีอัตราส่วนระหว่างคอปเปอร์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการเร่งปฏิกิริยาซึ่งแสดงในรูปที่ 4.18 แสดงให้เห็นว่าตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีอัตราส่วนของนิกเกิลออกไซด์มากกว่าหรือเท่ากับคอปเปอร์ออกไซด์นั้นจะมีประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยามากกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีอัตราส่วนของคอปเปอร์ออกไซด์มากกว่านิกเกิลออกไซด์อย่างชัดเจน โดยพบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีอัตราส่วนของนิกเกิลออกไซด์มากกว่าหรือเท่ากับคอปเปอร์ออกไซด์นั้นจะทำให้กระบวนการเร่งปฏิกิริยามีค่าการเปลี่ยนแปลงสารตั้งต้นอยู่ในช่วง 95-100% และมีค่าการเกิดผลิตภัณฑ์จีวีแอลมากกว่า 95% ในขณะที่ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีอัตราส่วนของคอปเปอร์ออกไซด์มากกว่านิกเกิลออกไซด์นั้นจะทำให้เกิดค่าการเปลี่ยนแปลงสารตั้งต้นเพียงประมาณ 60-75% และมีค่าการเกิดผลิตภัณฑ์จีวีแอลเพียงประมาณ 25-30% เท่านั้น ซึ่งเมื่อได้ศึกษาถึงสมบัติในการรีดักชันของตัวเร่งปฏิกิริยาดังแสดงในรูปที่ 4.19 แล้วพบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีอัตราส่วนของนิกเกิลออกไซด์มากกว่าคอปเปอร์ออกไซด์นั้นค่อนข้างจะสามารถเกิดการรีดักชันได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีอัตราส่วนของคอปเปอร์ออกไซด์มากกว่านิกเกิลออกไซด์ และยังเกิดการรีดักชันได้ง่ายกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีอัตราส่วนของคอปเปอร์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์เท่ากันอีกด้วย

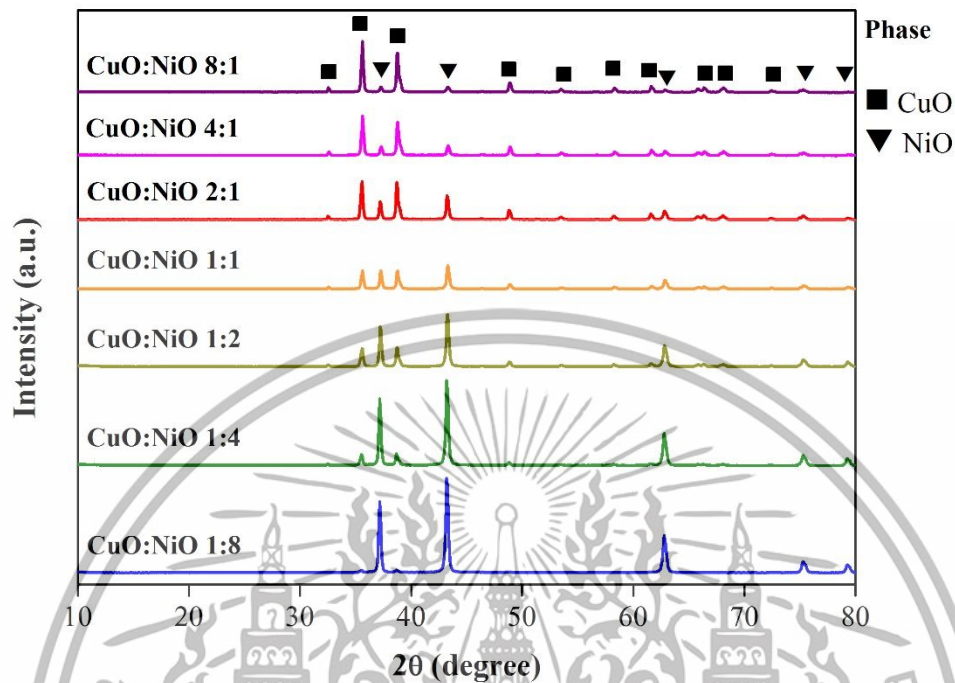


รูปที่ 4.19 สมบัติในการรีดักชันของตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์นิกเกิลออกไซด์ที่มีอัตราส่วนระหว่างคอปเปอร์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ต่างกัน

เมื่อเปรียบเทียบกับผลการเร่งปฏิกิริยาแล้วจึงสามารถอธิบายได้ว่าการที่ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีอัตราส่วนของนิกเกิลออกไซด์มากกว่าคอปเปอร์ออกไซด์มีประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยาที่สูงและเกิดการรีดักชันได้ง่ายกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องมาจากการมีคอปเปอร์ออกไซด์ในตัวเร่งปฏิกิริยาในปริมาณน้อยนั้นจะทำให้เฟสคอปเปอร์ออกไซด์ที่สามารถเกิดการรีดักชันได้ง่ายอยู่แล้วสามารถเกิดการรีดักชันได้ง่ายขึ้นกว่าเดิม และถึงแม้เฟสของโลหะคอปเปอร์ที่เกิดขึ้นจากการรีดักชันของคอปเปอร์ออกไซด์จะมีปริมาณน้อย แต่ก็เพียงพอสำหรับการทำให้เกิดปรากฏการณ์ไฮโดรเจนสปิลโอเวอร์เพื่อทำให้เฟสของนิกเกิลออกไซด์เกิดการรีดักชันและเปลี่ยนสภาพเป็นเฟสของโลหะนิกเกิลซึ่งว่องไวต่อกระบวนการการเร่งปฏิกิริยา และเมื่อพิจารณาสมบัติในการรีดักชันของตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีอัตราส่วนของคอปเปอร์ออกไซด์มากกว่านิกเกิลออกไซด์แล้วกลับพบว่าค่อนข้างจะใช้อุณหภูมิในการเกิดรีดักชันที่สูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีอัตราส่วนของนิกเกิลออกไซด์มากกว่าคอปเปอร์ออกไซด์ แต่อย่างไรก็ตามพบว่ายังคงใช้อุณหภูมิในการเกิดรีดักชันต่ำกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีอัตราส่วนระหว่างคอปเปอร์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์เท่ากัน ซึ่งการเกิดรีดักชันที่ยากกว่าของตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีอัตราส่วนของคอปเปอร์ออกไซด์มากกว่านิกเกิลออกไซด์นั้นเป็นเพราะถึงแม้ว่าคอปเปอร์ออกไซด์จะสามารถเกิดการรีดักชันได้ง่ายก็จริง แต่การมีอยู่ในปริมาณที่มากนั้นจะส่งผลให้คอปเปอร์ออกไซด์เกิดการจับตัวกันเป็นกลุ่มก้อน (Bulk) ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่มีคอปเปอร์ออกไซด์ในปริมาณน้อยแล้วจึงทำให้คอปเปอร์ออกไซด์ในปริมาณที่น้อยกว่านั้นเกิดการรีดักชันได้ง่ายกว่า และเมื่อเปรียบเทียบกับผลการเร่งปฏิกิริยาแล้วพบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีอัตราส่วนของคอปเปอร์ออกไซด์มากกว่านิกเกิลออกไซด์นั้นมีประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยาที่ไม่ดีนัก ทั้งนี้เนื่องจากการมีนิกเกิลออกไซด์อยู่ในตัวเร่งปฏิกิริยาในปริมาณน้อยจึงทำให้มีการเกิดเฟสโลหะของนิกเกิลซึ่งเป็นเฟสที่ว่องไวต่อปฏิกิริยาน้อยตามไปด้วยนั่นเอง ส่วนตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีอัตราส่วนระหว่างคอปเปอร์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์เท่ากันนั้นถึงแม้จะพบว่าสามารถเกิดการรีดักชันได้ยากที่สุดเนื่องจากมีปริมาณของคอปเปอร์ออกไซด์ที่น้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีอัตราส่วนของคอปเปอร์ออกไซด์มากกว่านิกเกิลออกไซด์ แต่มีการเกาะรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อน (Bulk) ของเฟสคอปเปอร์ออกไซด์มากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีอัตราส่วนของนิกเกิลออกไซด์มากกว่าคอปเปอร์ออกไซด์ แต่อย่างไรก็ตามตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีอัตราส่วนของคอปเปอร์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์เท่ากันนั้นยังคงมีประสิทธิภาพในกระบวนการเร่งปฏิกิริยาที่สูง เนื่องจากการมีนิกเกิลออกไซด์เป็นองค์ประกอบอยู่ในปริมาณที่เพียงพอต่อการเกิดรีดักชันเพื่อเปลี่ยนสภาพเป็นโลหะนิกเกิลซึ่งมีความว่องไวต่อกระบวนการเร่งปฏิกิริยานั่นเอง ซึ่งความแตกต่างเชิงปริมาณของเฟสคอปเปอร์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ในตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีอัตราส่วนของคอปเปอร์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์แตกต่างกันนั้นจะเห็นได้จากผลการตรวจวัดโครงสร้างผลึกของตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ ดังแสดงในรูปที่ 4.20



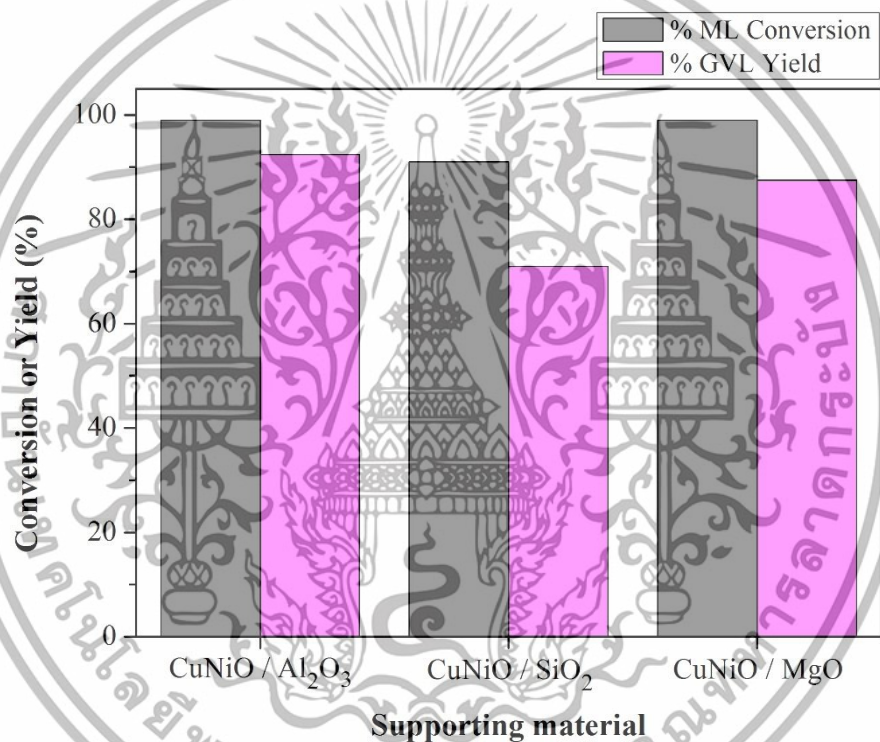
รูปที่ 4.20 โครงสร้างของตัวเร่งปฏิกิริยากอปเปอร์นิกเกิลออกไซด์ที่มีอัตราส่วนระหว่างคอปเปอร์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ต่างกัน

จากผลการทดลองในการศึกษานี้จึงกล่าวได้ว่าอัตราส่วนระหว่างคอปเปอร์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ที่ 1:1, 1:2, 1:4 และ 1:8 โดยโมลนั้นเป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมในการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยากอปเปอร์นิกเกิลออกไซด์เพื่อให้มีประสิทธิภาพที่สูงในกระบวนการเร่งปฏิกิริยาเพื่อสังเคราะห์จีวีแอลจากเมทิลลิวกลินेटด้วยกระบวนการไฮโดรจีเนชันแบบส่งผ่านโดยใช้สารให้อะตอมไฮโดรเจนเป็น 2-โพรพานอล

4.8 อิทธิพลของการใช้วัสดุรองรับในการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยา

วัสดุรองรับจัดเป็นองค์ประกอบย่อยที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งในการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยา โดยทั่วไปแล้ววัสดุรองรับจะถูกใช้เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสและเพิ่มการกระจายตัวให้กับตัวเร่งปฏิกิริยาและนอกจากนี้ยังอาจมีบทบาทในการช่วยปรับปรุงคุณสมบัติความเป็นกรด-เบสของตัวเร่งปฏิกิริยาอีกด้วย ในการทดลองที่ผ่านมาในงานวิจัยนี้พบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีความเหมาะสมที่สุดต่อกระบวนการเร่งปฏิกิริยาเพื่อสังเคราะห์จีวีแอลจากเมทิลลิวกลินेटด้วยกระบวนการไฮโดรจีเนชันแบบส่งผ่าน คือตัวเร่งปฏิกิริยากอปเปอร์นิกเกิลออกไซด์ที่สังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส โดยองค์ประกอบของตัวเร่งปฏิกิริยาต้องมีอัตราส่วนของนิกเกิลออกไซด์มากกว่าหรือเท่ากับคอปเปอร์ออกไซด์ เงื่อนไขสุดท้ายของการศึกษาในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการทดลองสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยากอปเปอร์นิกเกิลออกไซด์ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียสโดยใช้อัตราส่วนของคอปเปอร์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์

เท่ากับบนวัสดุรองรับ 3 ชนิดที่มีความเป็นกรด-เบสแตกต่างกัน ได้แก่ อลูมิเนียมออกไซด์, ซิลิกอนไดออกไซด์, และแมกนีเซียมออกไซด์ และได้ทำการทดลองนำตัวเร่งปฏิกิริยาที่สังเคราะห์ได้ไปใช้ในกระบวนการเร่งปฏิกิริยาเพื่อสังเคราะห์จีวีแอลจากเมทิลลิวกลินีนต์ด้วยปฏิกิริยาไฮโดรจิเนชันแบบส่งผ่านโดยใช้สารให้อะตอมไฮโดรเจนเป็น 2-โพรพานอล ซึ่งปฏิกิริยาจะดำเนินไปในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 ชั่วโมง และวิเคราะห์ผลการเร่งปฏิกิริยาด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี ซึ่งผลการเร่งปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์นิกเกิลออกไซด์ที่ถูกสังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียสโดยมีอัตราส่วนของคอปเปอร์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์เท่ากับบนวัสดุรองรับชนิดต่างๆแสดงดังรูปที่ 4.21



รูปที่ 4.21 ความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์นิกเกิลออกไซด์ที่ถูกสังเคราะห์บนวัสดุรองรับชนิดต่างๆ

จากผลการเร่งปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์นิกเกิลออกไซด์ที่สังเคราะห์บนวัสดุรองรับต่างชนิดกัน ซึ่งแสดงดังรูปที่ 4.21 พบว่า ตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์นิกเกิลออกไซด์ที่ถูกสังเคราะห์บน อลูมิเนียมออกไซด์ นั้นมีประสิทธิภาพในกระบวนการเร่งปฏิกิริยาเพื่อสังเคราะห์จีวีแอลสูงที่สุด โดยมีค่าการเปลี่ยนแปลงสารตั้งต้นประมาณ 100% และมีค่าการเกิดผลิตภัณฑ์จีวีแอล 92% ซึ่งมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับตัวเร่งปฏิกิริยาที่ไม่ได้ใช้วัสดุรองรับ แต่หากพิจารณาถึงปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ถูกใช้ไปในกระบวนการเร่งปฏิกิริยาแล้วจะพบว่า การใช้วัสดุรองรับใน

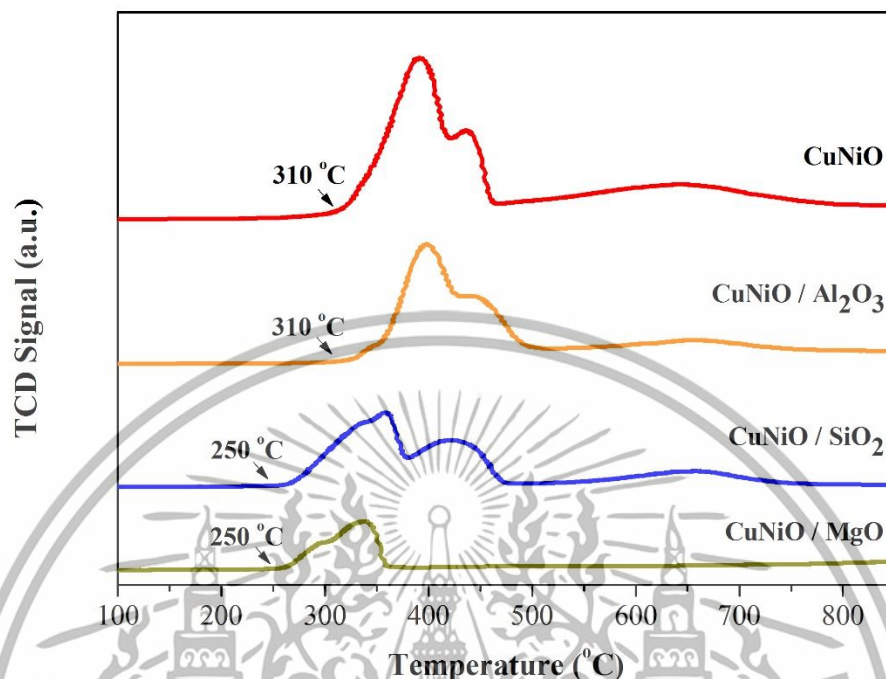
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยานั้นจะช่วยให้สามารถลดปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์นิกเกิลออกไซด์ลงในการใช้งานจริงในกระบวนการเร่งปฏิกิริยา การใช้แมกนีเซียมออกไซด์เป็นวัสดุรองรับในการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยานั้นจะส่งผลให้ตัวเร่งปฏิกิริยามีประสิทธิภาพที่ต่ำกว่าการใช้วัสดุรองรับเป็น อลูมิเนียมออกไซด์ โดยจากผลการเร่งปฏิกิริยาพบว่ามีการเปลี่ยนแปลงสารตั้งต้นประมาณ 100% และมีการเกิดผลิตภัณฑ์จีวีแอลประมาณ 87% ส่วนตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์นิกเกิลออกไซด์ที่ถูกสังเคราะห์บน ซิลิกอนไดออกไซด์ นั้นพบว่ามีประสิทธิภาพในกระบวนการเร่งปฏิกิริยาต่ำที่สุด โดยมีค่าการเปลี่ยนแปลงของสารตั้งต้นประมาณ 90% และมีการเกิดผลิตภัณฑ์จีวีแอลเพียงประมาณ 70% เท่านั้น ต่อมาจึงได้ทำการตรวจวัดลักษณะจำเพาะของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ถูกสังเคราะห์บนวัสดุรองรับชนิดต่างๆเพื่อวิเคราะห์ถึงปัจจัยที่ส่งผลต่อความสามารถในกระบวนการเร่งปฏิกิริยา โดยทำการวิเคราะห์พื้นที่ผิวสัมผัสของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ถูกสังเคราะห์บนวัสดุรองรับชนิดต่างๆซึ่งแสดงผลดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 พื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์นิกเกิลออกไซด์ที่สังเคราะห์บนวัสดุรองรับชนิดต่างๆ

ตัวเร่งปฏิกิริยา	พื้นที่ผิวสัมผัส (m ² /g)
CuNiO	11
CuNiO / Al ₂ O ₃	18
CuNiO / SiO ₂	ไม่สามารถตรวจวัดได้
CuNiO / MgO	6

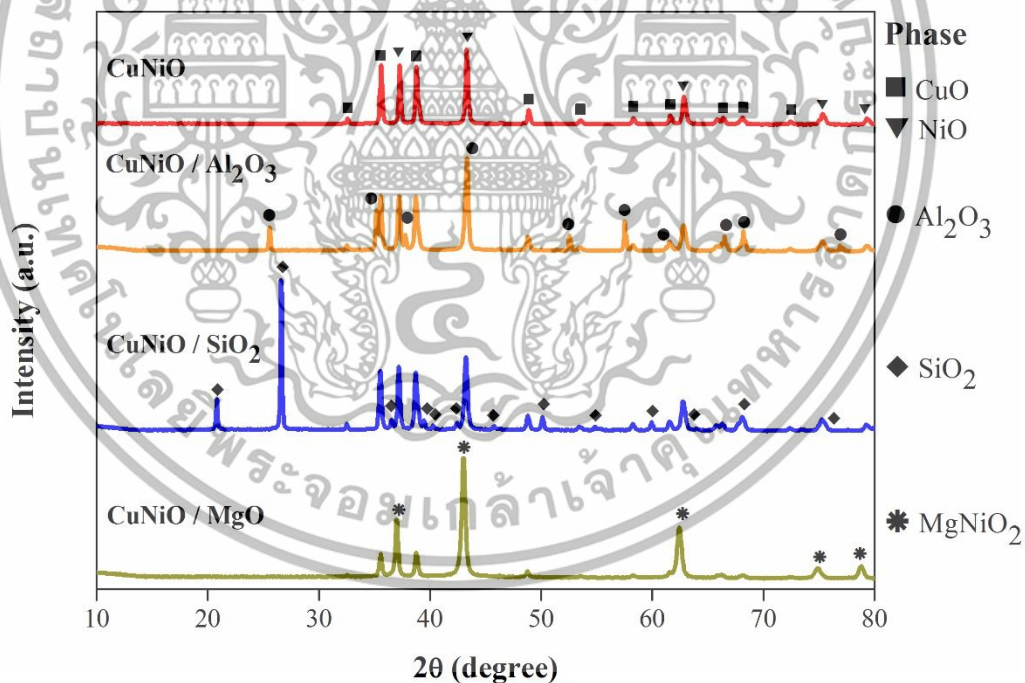
จากตารางที่ 4.5 นั้นจะเห็นได้ว่าการใช้ อลูมิเนียมออกไซด์ เป็นวัสดุรองรับในการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยานั้นจะส่งผลให้ตัวเร่งปฏิกิริยามีพื้นที่ผิวเพิ่มขึ้นถึง 7 m²/g เมื่อเปรียบเทียบกับตัวเร่งปฏิกิริยาที่ถูกสังเคราะห์โดยไม่ใช้วัสดุรองรับ ในขณะที่การใช้วัสดุรองรับเป็น ซิลิกอนไดออกไซด์ และ แมกนีเซียมออกไซด์ นั้นจะส่งผลให้ตัวเร่งปฏิกิริยามีพื้นที่ผิวดำงาก ซึ่งการมีพื้นที่ผิวสัมผัสที่สูงของตัวเร่งปฏิกิริยาที่สังเคราะห์บน อลูมิเนียมออกไซด์ นั้นส่งผลให้ตัวเร่งปฏิกิริยามีประสิทธิภาพที่สูงในกระบวนการเร่งปฏิกิริยาเมื่อเปรียบเทียบกับตัวเร่งปฏิกิริยาที่สังเคราะห์บนวัสดุรองรับชนิดอื่น แต่อย่างไรก็ตามถึงแม้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ถูกสังเคราะห์บน แมกนีเซียมออกไซด์ นั้นจะมีพื้นที่ผิวสัมผัสที่ต่ำ แต่จากผลการเร่งปฏิกิริยากลับพบว่ามีความมีประสิทธิภาพในกระบวนการเร่งปฏิกิริยาที่ไม่ต่ำกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาที่ถูกสังเคราะห์บน อลูมิเนียมออกไซด์ เท่าใดนัก ต่อมาจึงได้ทำการวิเคราะห์สมบัติในการเกิดรีดักชันของตัวเร่งปฏิกิริยาที่สังเคราะห์บนวัสดุรองรับชนิดต่างๆซึ่งแสดงผลดังรูปที่ 4.22



รูปที่ 4.22 สมบัติในการรีดักชันของตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์นิกเกิลออกไซด์ที่ถูกสังเคราะห์บนวัสดุรองรับชนิดต่างๆ

จากรูปที่ 4.22 จะเห็นได้ว่า การใช้ อลูมิเนียมออกไซด์ เป็นวัสดุรองรับในการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยานั้นจะส่งผลให้ตัวเร่งปฏิกิริยาเกิดการรีดักชันที่อุณหภูมิเดียวกันกับตัวเร่งปฏิกิริยาที่ถูกสังเคราะห์โดยไม่ใช้วัสดุรองรับ แต่เมื่อพิจารณาถึงลักษณะการเกิดจุดยอดของการรีดักชันแล้วพบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาที่ถูกสังเคราะห์บน อลูมิเนียมออกไซด์ นั้นจะมีปริมาณการเกิดรีดักชันน้อยกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาที่สังเคราะห์โดยไม่ใช้วัสดุรองรับ ทั้งนี้เนื่องจากการมีปริมาณของคอปเปอร์นิกเกิลออกไซด์อยู่ในปริมาณที่น้อยกว่านั่นเอง แต่อย่างไรก็ตามลักษณะการเกิดจุดยอดนั้นยังมีลักษณะใกล้เคียงกัน โดยมีจุดยอดขนาดใหญ่ซึ่งเป็นการเกิดรีดักชันของเฟสคอปเปอร์ออกไซด์อยู่ด้านหน้าและจุดยอดขนาดเล็กกว่าซึ่งเป็นการเกิดรีดักชันของนิกเกิลออกไซด์อยู่ด้านหลัง ในส่วนของการใช้ ซิลิกอนไดออกไซด์ และ แมกนีเซียมออกไซด์ เป็นวัสดุรองรับในการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยานั้นพบว่าจะสามารถช่วยลดอุณหภูมิในการเกิดรีดักชันของตัวเร่งปฏิกิริยาลงได้เป็นอย่างมาก อย่างไรก็ตาม จากการพิจารณาลักษณะการเกิดจุดยอดของการรีดักชันนั้นพบว่า ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ถูกสังเคราะห์บน ซิลิกอนไดออกไซด์ นั้น จะมีลักษณะการเกิดจุดยอดเป็นสองจุดขนาดใหญ่ที่ค่อนข้างแยกตัวกันอย่างชัดเจน และตัวเร่งปฏิกิริยาที่ถูกสังเคราะห์บน แมกนีเซียมออกไซด์ นั้นพบว่าสามารถเกิดการรีดักชันได้ที่อุณหภูมิต่ำเช่นกัน โดยจะมีการรีดักชันเกิดขึ้นที่อุณหภูมิเดียวกันกับตัวเร่งปฏิกิริยาที่สังเคราะห์บน ซิลิกอนไดออกไซด์ อย่างไรก็ตามพบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาที่ถูกสังเคราะห์บนแมกนีเซียมออกไซด์ นั้นจะ

เกิดการรัดชั้นได้ในปริมาณที่ต่ำมาก และตัวเร่งปฏิกิริยาที่สังเคราะห์บน ซิลิกอนไดออกไซด์ และ แมกนีเซียมออกไซด์ นั้นจะมีลักษณะจุดยอดของการรัดชั้นที่แตกต่างกับตัวเร่งปฏิกิริยาที่ถูกสังเคราะห์โดยไม่ใช้วัสดุรองรับ และตัวเร่งปฏิกิริยาที่ถูกสังเคราะห์บน อลูมิเนียมออกไซด์ อย่างเห็นได้ชัด ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับผลการตรวจวัดโครงสร้างผลึกด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ซึ่งแสดงผลดังรูปที่ 4.23แล้วจะเห็นได้ว่า อลูมิเนียมออกไซด์ และ ซิลิกอนไดออกไซด์ นั้นจะมีโครงสร้างที่แยกตัวกันกับเฟสของคอปเปอร์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์เนื่องจากโครงสร้างของ อลูมิเนียมออกไซด์ ซิลิกอนไดออกไซด์ คอปเปอร์ออกไซด์ และนิกเกิลออกไซด์นั้นมีโครงสร้างที่ต่างกัน แต่เฟสของแมกนีเซียมออกไซด์ นั้นจะเกิดการรวมเป็นเฟสเดียวกันกับนิกเกิลออกไซด์และยังมีการเสริมเฟสของนิกเกิลออกไซด์ขึ้นอีกด้วย เนื่องจากทั้งนิกเกิลออกไซด์และ แมกนีเซียมออกไซด์ นั้นมีโครงสร้างเป็นแบบคิวบิก (FCC) เหมือนกัน จึงทำให้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ถูกสังเคราะห์บน แมกนีเซียมออกไซด์ นั้นเกิดการรัดชั้นได้ในปริมาณน้อยที่สุดเนื่องจากเฟสของนิกเกิลออกไซด์มีการรวมตัวกับเฟสของแมกนีเซียมออกไซด์ ที่เกิดการรัดชั้นได้ยากนั่นเอง

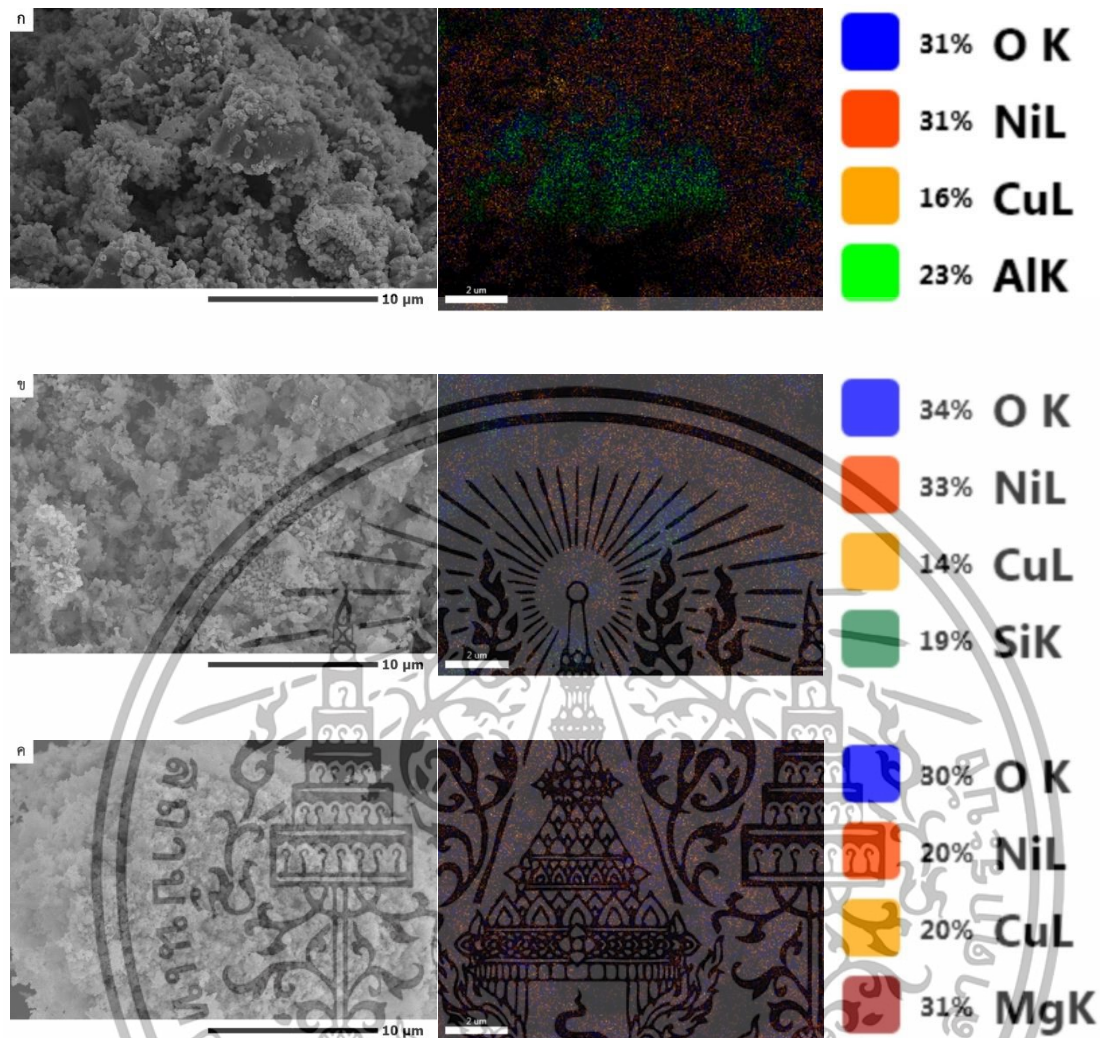


รูปที่ 4.23 โครงสร้างของตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์นิกเกิลออกไซด์ที่ถูกสังเคราะห์บนวัสดุรองรับชนิดต่างๆ

ดังนั้นจากผลการทดลองดังกล่าวนี้จึงสามารถอธิบายได้ว่าตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์นิกเกิลออกไซด์ที่ถูกสังเคราะห์บน อลูมิเนียมออกไซด์ นั้นจะมีประสิทธิภาพในกระบวนการเร่งปฏิกิริยาสูงที่สุดเนื่องจากมีพื้นที่ผิวที่สูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่สุดนั่นเอง อย่างไรก็ตามการใช้แมกนีเซียมออกไซด์เป็นวัสดุรองรับนั้นไม่ส่งผลให้ตัวเร่งปฏิกิริยามีประสิทธิภาพที่ลดลงมากนักถึงแม้ว่าจะมีพื้นที่ผิวที่ต่ำ ซึ่งสามารถพิจารณาผลการทดลองจากสมบัติความเป็นกรด-เบสของตัวเร่งปฏิกิริยาได้อีกด้วย เนื่องจากอิทธิพลของความเป็นกรด-เบสนั้นได้มีการกล่าวถึงในงานวิจัยของ J. He และคณะ [30] ที่ได้ทำการสังเคราะห์ จีวีแอลจากเอทิลลิวูลีนด้วยกระบวนการไฮโดรจีเนชันแบบส่งผ่านโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นอลูมิเนียมเซอร์โคเนียมออกไซด์ (Al-Zr mixed oxides) ซึ่งในงานวิจัยดังกล่าวนี้ได้กล่าวว่าเป็นกรดและความเป็นเบสของตัวเร่งปฏิกิริยานั้นจะมีส่วนช่วยในขั้นตอนของกระบวนการแตกโตนินเซนเพื่อเปลี่ยนสารมัธยันตร์ให้เป็นผลิตภัณฑ์จีวีแอล จึงกล่าวได้ว่าความเป็นกรดของอลูมิเนียมออกไซด์ และความเป็นเบสของแมกนีเซียมออกไซด์ นั้นมีส่วนช่วยให้ตัวเร่งปฏิกิริยากอปเปอร์นิกเกิลออกไซด์นั้นมีประสิทธิภาพในกระบวนการเร่งปฏิกิริยาด้วยเช่นกัน ส่วนการใช้ ซิลิกอนไดออกไซด์ เป็นวัสดุรองรับนั้นพบว่าส่งผลให้ตัวเร่งปฏิกิริยามีประสิทธิภาพในกระบวนการเร่งปฏิกิริยาต่ำที่สุด ซึ่งจากการตรวจวัดลักษณะจำเพาะนั้นพบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาที่ถูกสังเคราะห์บน ซิลิกอนไดออกไซด์ นั้นจะมีพื้นที่ผิวสัมผัสที่ต่ำมากจนกระทั่งไม่สามารถตรวจวัดด้วยเครื่องมือที่มีอยู่ได้ และถึงแม้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่สังเคราะห์บน ซิลิกอนไดออกไซด์นั้นจะสามารถเกิดการรีดักชันได้ที่อุณหภูมิเดียวกันกับตัวเร่งปฏิกิริยาที่ถูกสังเคราะห์บน แมกนีเซียมออกไซด์ ก็ตาม แต่ก็ไม่ได้ช่วยให้ตัวเร่งปฏิกิริยามีประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยาที่ดีเทียบเท่ากับการใช้วัสดุรองรับตัวอื่นในการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาแต่อย่างใด แต่ถึงกระนั้นซิลิกอนไดออกไซด์นั้นยังคงมีบทบาทสำคัญในการช่วยในการกระจายตัวของเฟสคอปเปอร์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ซึ่งแสดงข้อมูลพื้นฐานวิทยาและปริมาณธาตุชนิดต่างๆดังรูปที่ 4.24 ซึ่งจะเห็นได้ว่า วัสดุรองรับที่เป็นซิลิกอนไดออกไซด์นั้นช่วยให้ตัวเร่งปฏิกิริยากอปเปอร์นิกเกิลออกไซด์มีการกระจายตัวได้ดีซึ่งสมบัติการกระจายตัวนี้ยังคงส่งผลเชิงบวกต่อประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาแต่อย่างไรก็ตามอิทธิพลของพื้นที่ผิวสัมผัส และความเป็นกรด-เบสของตัวเร่งปฏิกิริยานั้นยังคงเป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยามากกว่า ดังนั้นจากการทดลองนี้จึงกล่าวได้ว่าการใช้อลูมิเนียมออกไซด์เป็นวัสดุรองรับนั้นจะส่งผลให้ตัวเร่งปฏิกิริยามีประสิทธิภาพมากที่สุดและสามารถลดการใช้ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยากอปเปอร์นิกเกิลออกไซด์ลงได้ในกระบวนการเร่งปฏิกิริยาเพื่อสังเคราะห์จีวีแอลจากเมทิลลิวูลีนด้วยกระบวนการไฮโดรจีเนชันแบบส่งผ่านโดยใช้สารให้อะตอมไฮโดรเจนเป็น 2-โพรพานอล



รูปที่ 4.24 ลักษณะสัณฐานวิทยาและปริมาณธาตุชนิดต่างๆของตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์นิกเกิลออกไซด์ที่ถูกสังเคราะห์บนวัสดุรองรับชนิดต่างๆ ได้แก่ (ก) อลูมินาออกไซด์ (ข) ซิลิกาออกไซด์และ (ค) แมกนีเซียมออกไซด์

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการทดลองสังเคราะห์และทดลองใช้งานตัวเร่งปฏิกิริยาออกไซด์ของโลหะผสมคอปเปอร์สำหรับการสังเคราะห์แกมมาวาเลโรแลคโตนจากลิวกลินเตเอสเทอร์ด้วยกระบวนการไฮโดรจีเนชันแบบส่งผ่านพบว่า การมีคอปเปอร์ออกไซด์ในโครงสร้างของตัวเร่งปฏิกิริยานั้นจะช่วยให้ตัวเร่งปฏิกิริยามีสมบัติในการเกิดการรีดักชันง่ายขึ้นซึ่งจะส่งผลให้ตัวเร่งปฏิกิริยาเกิดการรีดักชันเป็นเฟสของโลหะซึ่งเป็นเฟสที่มีความว่องไวได้เองในระหว่างกระบวนการเร่งปฏิกิริยา ทำให้ตัวเร่งปฏิกิริยาออกไซด์ของโลหะผสมคอปเปอร์ในงานวิจัยนี้สามารถถูกนำไปใช้ในกระบวนการเร่งปฏิกิริยาได้โดยตรงทันทีหลังจากสังเคราะห์เสร็จ โดยไม่จำเป็นต้องนำตัวเร่งปฏิกิริยาไปผ่านกระบวนการปรับสภาพหรือผ่านการรีดักชันที่อุณหภูมิสูงในบรรยากาศไฮโดรเจนแต่อย่างใด แต่อย่างไรก็ตามการที่ตัวเร่งปฏิกิริยาจะมีสมบัติดังนี้ได้ นั้นตัวเร่งปฏิกิริยาจะต้องมีลักษณะของการสร้างพันธะเคมีต่อกันระหว่างเฟสของโลหะออกไซด์แต่ละชนิด และสารให้อะตอมไฮโดรเจนที่ใช้ในกระบวนการเร่งปฏิกิริยานั้นยังเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อการรีดักชันของตัวเร่งปฏิกิริยาและส่งผลต่อประสิทธิภาพของการเร่งปฏิกิริยาด้วยเช่นกัน โดยจากการทดลองพบว่าการใช้สารให้อะตอมไฮโดรเจนที่เป็นกลุ่มแอลกอฮอล์ทุติยภูมินั้นจะช่วยให้ตัวเร่งปฏิกิริยาเกิดการรีดักชันเพื่อสร้างเฟสที่ว่องไวต่อการเร่งปฏิกิริยาได้ง่ายกว่าการใช้สารให้อะตอมไฮโดรเจนเป็นกลุ่มแอลกอฮอล์ปฐมภูมิ นอกจากนี้สารให้อะตอมไฮโดรเจนในกลุ่มแอลกอฮอล์ทุติยภูมินั้นยังสามารถแตกโครงสร้างเพื่อให้อะตอมไฮโดรเจนแก่ระบบของปฏิกิริยาได้ง่ายกว่าอีกด้วย จึงทำให้การใช้สารให้อะตอมไฮโดรเจนในกลุ่มแอลกอฮอล์ทุติยภูมิในกระบวนการเร่งปฏิกิริยาเพื่อสังเคราะห์แกมมาวาเลโรแลคโตนนั้นมีประสิทธิภาพมากกว่าการใช้กลุ่มแอลกอฮอล์ปฐมภูมิ ซึ่ง 2-โพรพานอลนั้นเป็นสารให้อะตอมไฮโดรเจนที่ทำให้กระบวนการเร่งปฏิกิริยามีประสิทธิภาพสูงที่สุดและมีการให้อะตอมไฮโดรเจนสูงที่สุดด้วยเช่นกัน

ในส่วนของการใช้สารตั้งต้นในกระบวนการเร่งปฏิกิริยาพบว่าในบรรดาสารในกลุ่มแอลคิลของลิวกลินเตเอสเทอร์นั้น เมทิลลิวกลินเตเป็นสารตั้งต้นที่เหมาะสมที่สุดต่อกระบวนการสังเคราะห์แกมมาวาเลโรแลคโตน ต่อมาเมื่อได้ศึกษาถึงอิทธิพลของการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาออกไซด์ของโลหะผสมคอปเปอร์ที่ต่างชนิดกันในกระบวนการเร่งปฏิกิริยาพบว่า คอปเปอร์นิกเกิลออกไซด์นั้นเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด รองลงมาคือคอปเปอร์โคบอลต์ออกไซด์ คอปเปอร์โครเมียมออกไซด์ และคอปเปอร์ไอออนออกไซด์ตามลำดับ และยังพบว่าตัวเร่งปฏิกิริยา คอปเปอร์นิกเกิลออกไซด์นั้นเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเดียวที่ไม่เกิดเป็นสารละลายของแข็งและมีพื้นที่ผิวมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับตัวเร่งปฏิกิริยาออกไซด์ของโลหะผสมคอปเปอร์ตัวอื่นๆ นอกจากนี้ยังเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีความสามารถในการทำให้เกิดการผลิตไฮโดรเจนในระบบของกระบวนการเร่งปฏิกิริยามากที่สุดด้วย เงื่อนไขต่อมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จึงเป็นการศึกษาอิทธิพลของการใช้อุณหภูมิที่แตกต่างกันในกระบวนการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยากอปเปอร์นิกเกิลออกไซด์ พบว่าการใช้อุณหภูมิในการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ 800 และ 700 องศาเซลเซียสนั้นจะส่งผลให้ตัวเร่งปฏิกิริยามีความสามารถในกระบวนการเร่งปฏิกิริยาที่สูงและมีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนการใช้อุณหภูมิในการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ต่ำลงมาคือ 600 และ 500 องศาเซลเซียสนั้นจะส่งผลให้ตัวเร่งปฏิกิริยามีความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาที่ต่ำกว่าอย่างเห็นได้ชัด หลังจากทราบอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาแล้วเงื่อนไขต่อมาจึงทำการทดลองสังเคราะห์และใช้งานตัวเร่งปฏิกิริยากอปเปอร์นิกเกิลออกไซด์โดยใช้อัตราส่วนระหว่างคอปเปอร์ออกไซด์และนิกเกิลออกไซด์ที่แตกต่างกัน จากผลการทดลองพบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาในกลุ่มที่มีอัตราส่วนของนิกเกิลออกไซด์มากกว่าหรือเท่ากับคอปเปอร์ออกไซด์นั้นจะส่งผลให้ตัวเร่งปฏิกิริยามีความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาที่สูงกว่าอย่างชัดเจน เงื่อนไขสุดท้ายที่ทำการศึกษานี้คืออิทธิพลของการใช้วัสดุรองรับในการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยากอปเปอร์นิกเกิลออกไซด์ จากผลการทดลองพบว่าการใช้วัสดุรองรับในการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นอลูมิเนียมออกไซด์นั้นส่งผลให้ตัวเร่งปฏิกิริยามีประสิทธิภาพในกระบวนการเร่งปฏิกิริยาสูงที่สุด รองลงมาคือแมกนีเซียมออกไซด์และซิลิกอนไดออกไซด์ตามลำดับ ซึ่งการใช้วัสดุรองรับในการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยานั้นช่วยให้สามารถลดปริมาณการใช้งานของตัวเร่งปฏิกิริยากอปเปอร์นิกเกิลออกไซด์ลงได้ในการใช้งานจริงในกระบวนการเร่งปฏิกิริยา

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสามารถกล่าวสรุปได้ว่า ตัวเร่งปฏิกิริยากอปเปอร์นิกเกิลออกไซด์ที่มีอัตราส่วนของนิกเกิลออกไซด์สูงกว่าหรือเท่ากับคอปเปอร์ออกไซด์ที่ถูกสังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียสและใช้อลูมิเนียมออกไซด์เป็นวัสดุรองรับนั้นเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุดในกระบวนการเร่งปฏิกิริยาแบบแกมมาเวเลโรแลคโตนจากเมทิลลิวูลิเนตด้วยกระบวนการไฮโดรจิเนชันแบบส่งผ่าน โดยใช้ 2-โพพานอลเป็นสารให้อะตอมไฮโดรเจนในกระบวนการเร่งปฏิกิริยา

5.2 ข้อเสนอแนะ

การทดลองในขั้นต่อไปสามารถศึกษาเพิ่มเติมได้ดังเงื่อนไขต่อไปนี้

1. ทดลองลดปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาสูงในกระบวนการเร่งปฏิกิริยาและวิเคราะห์ผลเพื่อหาปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่ต้องใช้ในกระบวนการน้อยที่สุด โดยยังคงมีค่าการเปลี่ยนแปลงสารตั้งต้น 100% และค่าการเกิดผลิตภัณฑ์จีวีแอลมากกว่า 90%
2. ทดลองสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยากอปเปอร์นิกเกิลออกไซด์บนวัสดุรองรับที่เป็นอลูมิเนียมออกไซด์ โดยลดอัตราส่วนของตัวเร่งปฏิกิริยากอปเปอร์นิกเกิลออกไซด์ลง และเพิ่มอัตราส่วนของอลูมิเนียมออกไซด์ขึ้น เพื่อหาปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยากอปเปอร์นิกเกิลออกไซด์ที่น้อยที่สุดที่ทำให้ตัวเร่งปฏิกิริยายังคงมีประสิทธิภาพสูง โดยยังคงมีค่าการเปลี่ยนแปลงสารตั้งต้น 100% และค่าการเกิดผลิตภัณฑ์จีวีแอลมากกว่า 90%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ทดลองนำสารวัสดุรองรับที่มีความเป็นกรด-เบสแตกต่างกัน 3 ชนิด ได้แก่ อลูมิเนียมออกไซด์ ซิลิกอนไดออกไซด์ และแมกนีเซียมออกไซด์ มาใช้งานเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการสังเคราะห์วีแอลจากลิวูลิเนตเอสเทอร์โดยตรง และพฤติกรรมที่เกิดขึ้นในกระบวนการเร่งปฏิกิริยาเพื่อประยุกต์ใช้งานต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

สรุปผลผลิตงานวิจัย

ผลงานวิจัยจากโครงการนี้ได้รับการตีพิมพ์ในวารสารระดับชาติและนานาชาติและการประชุมวิชาการระดับนานาชาติ ดังนี้

- Worapak Tanwongwan, Sanchai Kuboon, Wasawat Kraithong and **Apiluck Eiad-ua**, **Non--transition metal oxide catalyst for production of gammavalerolactone from methyl levulinate by catalytic transfer hydrogenation**, Journal of Materials Science and Applied Energy (JMSAE) 7(3) (2018) 340 – 344
- **Apiluck Eiad-ua**, Worapak Tanwongwan, Wasawat Kraithong and Sanchai Kuboon, **Catalytic transfer hydrogenation for production of γ -Valerolactone from methyl levulinate on bimetal oxide catalyst**, [International Journal of Chemical Engineering and Applications](#) (2018) (Accepted).
- **Apiluck Eiad-ua**, Worapak Tanwongwan, Wasawat Kraithong and Sanchai Kuboon, **Catalytic transfer hydrogenation for production of γ -Valerolactone from methyl levulinate on bimetal oxide catalyst**, 2018 3rd International Conference on design, Materials and Manufacturing (ICDMM2018), 11-13 August, 2018, Okinawa, Japan (Poster Presentation)
- Worapak Tanwongwan, Sanchai Kuboon, Wasawat Kraithong and **Apiluck Eiad-ua**, **Non--transition metal oxide catalyst for production of gammavalerolactone from methyl levulinate by catalytic transfer hydrogenation**, International Conference on Science and Technology of Emerging Materials (STEMa2018), 18-20 July, 2018, Pattaya, Thailand (Poster Presentation)

และผลการทดลองอีกส่วนหนึ่งจะตีพิมพ์ในวารสารวิชาการที่อยู่ในฐานข้อมูล Scopus หรือ ISI ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] V. Menon, M. Rao, Progress in Energy and Combustion Science, 38, **2012**, 522-550
- [2] D. Ding, et al., Green Chem, 17, **2015**, 4037-4044
- [3] D.R. Fernandes, et al., Applied Catalysis A, General, 425– 426, **2012**, 199– 204
- [4] E. Christensen, et al., Energy Fuels, 25(10), **2011**, 4723-4733
- [5] D. Fegyverneki, et al., Tetrahedron, 66, **2010**, 1078–1081
- [6] M. Chalid, Levulinic acid as a renewable source for novel polymers, University of Groningen, **2012**
- [7] I. T. Horváth, et al., Green Chem., 10, **2008**, 238-242
- [8] Y. Zhao, et al., Bioresource Technology, 114, **2012**, 740–744
- [9] J. Q. Bond, et al., Science, 327(5969), **2010**, 1110-1114
- [10] J. C. Serrano-Ruiz, et al., Applied Catalysis B, Environmental, 100, **2010**, 184–189
- [11] J. Geboers, et al, Journal of Molecular Catalysis A, Chemical, 388-389, **2014**, 106-115
- [12] M. J. Gilkey, and B. Xu, ACS Catalysis, 6 (3), **2016**, 1420–1436
- [13] Lj. Kundakovic, and M. Flytzani-Stephanopoulos, Applied Catalysis A, General, 171, **1998**, 13-29
- [14] J. Ashok, et al., International Journal of Hydrogen Energy, 33, **2008**, 2704 – 2713
- [15] D. C. Elliott, et al., HYDROGENATED 5-CARBON COMPOUND AND METHOD OF MAKING, United States Patent, **1999**
- [16] J. J. Bozell, et al., Resources, Conservation and Recycling, 28, **2000**, 227–239
- [17] J. J. Bozell, Chemicals and Materials from Renewable Resources, ACS Publications, **2011**
- [18] H. Joshi, et al., Biomass and Bioenergy, 35, **2011**, 3262-3266
- [19] Chun Chang, et al., Bioresource Technology, 121, **2012**, 93–99
- [20] ตัวเร่งปฏิกิริยา (ออนไลน์) สืบค้นจาก
<http://www.il.mahidol.ac.th/e-media/ap-chemistry2/kinetics/catalysis.htm>
- [21] ภาพกราฟเปรียบเทียบพลังงานก่อกัมมันต์ระหว่างปฏิกิริยาที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาและไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (ออนไลน์) สืบค้นจาก <http://large.stanford.edu/courses/2016/ph240/wang2/>
- [22] เครื่องปฏิกรณ์ (ออนไลน์) สืบค้นจาก
<http://www.chulapedia.chula.ac.th/index.php/เครื่องปฏิกรณ์>
- [23] ชนิดของเครื่องปฏิกรณ์ (ออนไลน์) สืบค้นจาก <http://che44210036.tripod.com/index.htm>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [24] ภาพการทำงานของเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ ภาพการทำงานของเครื่องปฏิกรณ์แบบถ่วงต่อเนื่อง และภาพการทำงานของเครื่องปฏิกรณ์แบบฟลิวซ์เบด (ออนไลน์) สืบค้นจาก <http://www.essentialchemicalindustry.org/processes/chemical-reactors.html>
- [25] ภาพการทำงานของเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อไหล (ออนไลน์) สืบค้นจาก https://en.wikipedia.org/wiki/Plug_flow_reactor_model
- [26] ภาพการทำงานของเครื่องปฏิกรณ์แบบฟลูอิดไดซ์เบด (ออนไลน์) สืบค้นจาก https://en.wikipedia.org/wiki/Fluidized_bed_reactor
- [27] กระบวนการไฮโดรจีเนชัน (ออนไลน์) สืบค้นจาก <https://th.wikipedia.org/wiki/ไฮโดรจีเนชัน>
- [28] Z. Yang, et al, Chem. Communication., 49, **2013**, 5328
- [29] J. Geboers, et al, Journal of Molecular Catalysis A, Chemical, 388-389, **2014**, 106-115
- [30] J. He, et al., Applied Catalysis A, General, 510, **2016**, 11-19
- [31] I. Obregón, et al., Chinese Journal of Catalysis, 35, **2014**, 656-662
- [32] B. Putrakumar, et al, Catalysis today, 250, **2015**, 209-217
- [33] K. Yan, and A. Chen, Energy 58, **2013**, 357-363
- [34] K. Yan, and A. Chen, Fuel, 115, **2014**, 101-108
- [35] X. Long, et al., Chinese Journal of Catalysis, 36, **2015**, 1512-1518
- [36] ภาพหลักการทำงานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (ออนไลน์) สืบค้นจาก <https://image.slidesharecdn.com/sem-lecture-160830053114/95/scanning-electron-microscopy-sem-lecture-31-638.jpg?cb=1472535283>
- [37] กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (ออนไลน์) สืบค้นจาก <http://www.mfu.ac.th/center/stic/index.php/micro-analysis-instrument-menu/item/96-scanning-electron-microscope.html>
- [38] ภาพหลักการทำงานของเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (ออนไลน์) สืบค้นจาก <https://wzr.cc/en/roentgenbeugungsanalyse-rba-roentgenphasenanalyse/>
- [39] เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (ออนไลน์) สืบค้นจาก <http://www.mfu.ac.th/center/stic/index.php/x-ray-analysis-instrument-menu/item/87-เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์-xrd.html>
- [40] ภาพหลักการทำงานของเครื่องวิเคราะห์พื้นที่ผิวและรูพรุน (ออนไลน์) สืบค้นจาก <http://particle.dk/methods-analytical-laboratory/surface-area-bet-2/>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [41] สุพะไชย์ จินดาวุฒิกุล, “การวัดพื้นที่ผิวจำเพาะและปริมาตรรูพรุนของวัสดุดูดซับ”, วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ ปีที่ 60 ฉบับที่ 189, 22-24
- [42] ภาพหลักการทำงานของเครื่องวิเคราะห์สมบัติทางเคมีตามการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในรูปแบบของการตรวจวิเคราะห์การคายซับ (ออนไลน์) สืบค้นจาก
<http://www.wellesley.edu/chemistry/facultystaff/arumainayagam/research/methods/tprs#PIQvQOpAlCocI36b.97>
- [43] เครื่องวิเคราะห์สมบัติทางเคมีตามการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ (ออนไลน์) สืบค้นจาก
<http://tamagozilla.blogspot.com/2013/09/temperature-programmed-reduction-h2-tpr.html>
- [44] ภาพหลักการทำงานของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี - แมสสเปคโตรมิเตอร์ (ออนไลน์) สืบค้นจาก
<http://texassodiumazidepoisoning.blogspot.com/2013/01/methods-for-gc-ms.html>
- [45] เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี - แมสสเปคโตรมิเตอร์ (ออนไลน์) สืบค้นจาก
<http://www.env.eng.chula.ac.th/?q=content/gas-chromatograph-mass-spectrometer-gcms>
- [46] เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี - เฟลมไอออไนเซชันดีเทกเตอร์ (ออนไลน์) สืบค้นจาก
<http://tamagozilla.blogspot.com/2009/08/mo-memoir-flame-ionisation-detector.html>
- [47] Y. Yang, et al, Catalysis Communications, 76, 2016, 50-53
- [48] K. Hengst, et al, Applied Catalysis A, General, 502, 2015, 18-26



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

สรุปค่าใช้จ่ายการดำเนินงานโครงการวิจัย

แนบแบบรายงานการใช้จ่ายเงิน

ปีงบประมาณรับ-จ่ายเงิน โครงการวิจัย สัญญาเลขที่ ...A118-0361-052..... ตั้งแต่วันที่ ..1 ตุลาคม 2560 ถึงวันที่ ...30 กันยายน 2561.....												
ว/ศ/ป	รายการ	สาขา/โครงการ	รายการรับ - จ่าย				รายการจ่าย					รวม
			รับ	จ่าย	คงเหลือ	ยอดรับรับ	งบบุคลากร	งบดำเนินงาน			งบลงทุน	
							ค่าจ้างชั่วคราว	ค่าตอบแทน	ค่าวัสดุ	ค่าสาธารณูปโภค	ค่าครุภัณฑ์	รวม
	งบประมาณที่ได้รับอนุมัติ (ตามแนบ)		416,200.00									-
	จำนวนเงินที่ได้รับ (งวดที่ 1 - 85%)		353,770.00			15.3						
	จำนวนเงินที่ได้รับ (งวดที่ 2 - 15%)		62,430.00			441.22						
	จำนวนเงินที่ได้รับ (งวดที่ 3)											
	หัก ค่าใช้จ่าย (ครั้งที่ 1)			60,479.00			46,800.00	-	2,500.00	11,179.00		60,479.00
	ค่าใช้จ่าย (ครั้งที่ 2)			109,035.00			46,800.00	-	18,300.00	43,935.00		109,035.00
	ค่าใช้จ่าย (ครั้งที่ 3)			166,300.00			46,800.00	-	26,000.00	90,000.00		162,800.00
	ค่าใช้จ่าย (ครั้งที่ 4)			85,868.00			31,200.00	-	39,800.00	12,868.00		83,868.00
	งบประมาณคงเหลือ		416,200.00		8.00	456.52						
รายละเอียดค่าใช้จ่าย												
ครั้งที่ 1												
28 ต.ค. 60	ค่าจ้างผู้ช่วยวิจัย	สาขาวิชาเศรษฐศาสตร์					15,600.00					15,600.00
30 พ.ย. 60	ค่าจ้างผู้ช่วยวิจัย	สาขาวิชาเศรษฐศาสตร์					15,600.00					15,600.00
25 ต.ค. 60	ค่าจ้างผู้ช่วยวิจัย	สาขาวิชาเศรษฐศาสตร์					15,600.00					15,600.00
25 ต.ค. 60	ค่าวัสดุ	สาขาวิชาเศรษฐศาสตร์						2,500.00				2,500.00
25 ต.ค. 60	ค่าวัสดุ (Membrane filtration)	สาขาวิชาเศรษฐศาสตร์							11,179.00			11,179.00
	รวมครั้งที่ 1						31,200.00	2,500.00	11,179.00			60,479.00
ครั้งที่ 2												
31 มี.ค. 61	ค่าจ้างผู้ช่วยวิจัย	สาขาวิชาเศรษฐศาสตร์					15,600.00					15,600.00
28 ก.พ. 61	ค่าจ้างผู้ช่วยวิจัย	สาขาวิชาเศรษฐศาสตร์					15,600.00					15,600.00
30 มิ.ย. 61	ค่าจ้างผู้ช่วยวิจัย	สาขาวิชาเศรษฐศาสตร์					15,600.00					15,600.00
9 เม.ย. 61	ค่าวัสดุ (ค่าโฆษณา BET)	สาขาวิชาเศรษฐศาสตร์						5,800.00				5,800.00
2 ก.พ. 61	ค่าวัสดุ (ค่าโฆษณา SEM)	สาขาวิชาเศรษฐศาสตร์							11,500.00			11,500.00
20 มิ.ย. 61	ค่าวัสดุ	สาขาวิชาเศรษฐศาสตร์						1,000.00				1,000.00
9 เม.ย. 61	ค่าวัสดุ (Temperature Sensor Probe)	สาขาวิชาเศรษฐศาสตร์							17,555.00			17,555.00
2 ก.พ. 61	ค่าวัสดุ (ค่าโฆษณาในงาน)	สาขาวิชาเศรษฐศาสตร์							2,568.00			2,568.00
20 มิ.ย. 61	ค่าวัสดุ (กระดาษพิมพ์)	สาขาวิชาเศรษฐศาสตร์							23,712.00			23,712.00
	รวมครั้งที่ 2						46,800.00	-	18,800.00	43,935.00		109,035.00
ครั้งที่ 3												
30 เม.ย. 61	ค่าจ้างผู้ช่วยวิจัย	สาขาวิชาเศรษฐศาสตร์					15,600.00					15,600.00
31 พ.ค. 61	ค่าจ้างผู้ช่วยวิจัย	สาขาวิชาเศรษฐศาสตร์					15,600.00					15,600.00
29 มิ.ย. 61	ค่าจ้างผู้ช่วยวิจัย	สาขาวิชาเศรษฐศาสตร์					15,600.00					15,600.00
4 เม.ย. 61	ค่าวัสดุ (ค่า BET)	สาขาวิชาเศรษฐศาสตร์						6,000.00				6,000.00
2 พ.ค. 61	ค่าวัสดุ	สาขาวิชาเศรษฐศาสตร์						10,000.00				10,000.00
21 พ.ค. 61	ค่าวัสดุ	สาขาวิชาเศรษฐศาสตร์						10,000.00				10,000.00
6 เม.ย. 61	ค่าวัสดุ (กระดาษ)	สาขาวิชาเศรษฐศาสตร์							50,000.00			50,000.00
2 พ.ค. 61	ค่าวัสดุ (ค่า Glass Furnace)	สาขาวิชาเศรษฐศาสตร์							20,000.00			20,000.00
21 มิ.ย. 61	ค่าวัสดุ (Filter paper)	สาขาวิชาเศรษฐศาสตร์							20,000.00			20,000.00
	รวมครั้งที่ 3						46,800.00	-	26,000.00	90,000.00		162,800.00
ครั้งที่ 4												
31 ก.ค. 61	ค่าจ้างผู้ช่วยวิจัย	สาขาวิชาเศรษฐศาสตร์					15,600.00					15,600.00
31 ต.ค. 61	ค่าจ้างผู้ช่วยวิจัย	สาขาวิชาเศรษฐศาสตร์					15,600.00					15,600.00
14 ก.ย. 61	ค่าจ้างผู้ช่วยวิจัย	สาขาวิชาเศรษฐศาสตร์					15,600.00					15,600.00
9 ก.ค. 61	ค่าวัสดุ	สาขาวิชาเศรษฐศาสตร์						31,000.00				31,000.00
2 ต.ค. 61	ค่าวัสดุ	สาขาวิชาเศรษฐศาสตร์						8,800.00				8,800.00
9 ก.ค. 61	ค่าวัสดุ	สาขาวิชาเศรษฐศาสตร์							12,886.00			12,886.00
	รวมครั้งที่ 4						46,800.00	-	39,800.00	12,886.00		99,486.00
ชื่อหัวหน้าโครงการ อ.ศศิภรณ์ เสือคณีสื่อ.....						วันที่ 25 ก.ย. 2561.....						

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลประวัติคณะผู้วิจัย

ประวัติส่วนตัว

ชื่อ-สกุล นายอภิรักษ์ เอียดเอื้อ

ตำแหน่งปัจจุบัน ผู้ช่วยศาสตราจารย์

ประวัติการศึกษา

ชื่อย่อปริญญา	สาขา	สถาบันที่จบ	ปีที่จบ
D.Eng	Frontier Material	Nagoya Institute of Technology	2554
M.Eng	Chemical Engineering	Chulalongkorn University	2547
B.Eng	Chemical Engineering	Prince of Songkla University	2544

สาขาวิจัยที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) Porous, Carbon, Nanoporous, Materials, Nanotechnology, Air Pollution and Control, Wastewater treatment, Biomass, Biodiesel, Energy Technology, and Environmental Ceramics

รางวัลด้านวิชาการ/ด้านวิจัย/งานสร้างสรรค์ (ด้านศิลปะ หรืออื่นๆ) ที่ได้รับ

ปี พ.ศ.	ชื่อรางวัล	สถาบันที่ให้
2561	รางวัลเชิดชูเกียรติบุคคลที่ทำคุณประโยชน์และชื่อเสียงให้แก่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
2560	รางวัลเชิดชูเกียรติบุคคลที่ทำคุณประโยชน์และชื่อเสียงให้แก่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
2559	รางวัลเชิดชูเกียรติบุคคลที่ทำคุณประโยชน์และชื่อเสียงให้แก่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
2559	รางวัลชนะเลิศการประกวด DIPAT AWARD 2016 ประกวดการพัฒนาเทคโนโลยีที่เหมาะสม Appropriate Technology Contest, ในหัวข้อ แผ่นดูดซับคราบน้ำมันจากวัสดุเส้นใยนาโน ตามธรรมชาติ	กรมทรัพย์สินทางปัญญา กระทรวงพาณิชย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2558	รางวัลเชิดชูเกียรติบุคคลที่ทำคุณประโยชน์และชื่อเสียงให้แก่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
2557	รางวัลเชิดชูเกียรติบุคคลที่ทำคุณประโยชน์และชื่อเสียงให้แก่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
2556	รางวัลเชิดชูเกียรติบุคคลที่ทำคุณประโยชน์และชื่อเสียงให้แก่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
2556	รางวัลเกียรติคุณโครงการวิทยาศาสตร์สู่ความเป็นเลิศ	วุฒิสภา

ทุนการศึกษาและทุนวิจัยที่เคยได้รับ

ปี พ.ศ.	ทุนการศึกษาและทุนวิจัย	สถาบันที่ให้
2018	การสังเคราะห์และตรวจสอบคุณลักษณะของตัวเร่งปฏิกิริยาโมโนเมทัลลิกและไบเมทัลลิกบนตัวรองรับคาร์บอนที่มีรูพรุนระดับนาโนและตรวจสอบสมรรถนะของตัวเร่งปฏิกิริยาในการสังเคราะห์น้ำมันไบโอดีเซล	ทุน YSTP สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ
2017	การสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะออกไซด์ระดับนาโนเมตรเพื่อใช้เป็นสารเติมแต่งในน้ำมันเชื้อเพลิง	งบประมาณแผ่นดิน สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
2017	การสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาบนฐานรองรับคาร์บอนเพื่อใช้ในการผลิตกรีนไบโอดีเซลด้วยวิธีไฮโดรโพเรซ	ทุน TGIST สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ
2017	การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาแบบไบเมทัลลิกบนตัวรองรับคาร์บอนสำหรับสังเคราะห์น้ำมันไบโอดีเซลหรือปรับปรุงเพิ่มคุณสมบัติน้ำมันชีวภาพ	ทุน YSTP สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ
2017	การสังเคราะห์คาร์บอนนาโนโพรงเพื่อการดักจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	ทุน YSTP สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2016	การสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะเชิงซ้อนบนตัวรองรับคาร์บอนสำหรับปฏิกิริยาพารีเซลไฮดรจิเนชันของน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล	ทุน พวอ. สำนักงานสนับสนุนงานวิจัย
2016	การสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะออกไซด์ลงบนฐานรองรับคาร์บอนจากชีวมวล	ทุน พวอ. สำนักงานสนับสนุนงานวิจัย
2016	การเตรียมสารประกอบเกลืออิมิตและกรดอิมิตจากดินปนถ่านหินจากเหมืองแร่ลิกไนต์	ทุน พวอ. สำนักงานสนับสนุนงานวิจัย
2016	การศึกษาผลของดีบุกที่มีต่อตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลเพื่อใช้ในกระบวนการดีออกซิจีเนชันของกรดสเตียริก	ทุน YSTP สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ
2016	การสังเคราะห์และตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ของซีโอไลต์เอจากดินขาวตามธรรมชาติของประเทศไทยด้วยวิธีไฮโดรเทอมัลโดยปราศจากการเผา	งบประมาณแผ่นดิน สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
2015	การเคลือบเคลือบโลหะทรานซิชันระดับนาโนเมตรโดยกระบวนการชุบโลหะด้วยไฟฟ้าลงบนคาร์บอนที่มีความสามารถในการนำไฟฟ้าซึ่งถูกสังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอมัลเพื่อประยุกต์ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา	ทุน TGIST สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ
2015	การสร้างเมมเบรนของแข็งออกไซด์ไอออนโพลีเมอร์ที่มีรูพรุนระดับนาโนเมตรสำหรับกำจัดไอออนโลหะหนัก	งบประมาณแผ่นดิน สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
2014	เส้นใยนาโนคาร์บอนที่มีความไม่ชอบน้ำสูงด้วยกระบวนการไฮโดรเทอมัลคาร์บอนเซชันจากดอกธูปฤาษีเพื่อประยุกต์ใช้ในการดูดซับน้ำมัน	ทุน YSTP สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ
2012-2014	Synthesis of nanoporous carbon beads with controlled porous structure and uniform particle size	Grants for Development of New Faculty Staff KMITL
2009-2011	NGK Scholarship	NGK Company

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2007- 2008	Monbukagakusho Scholarship	Japanese Government
---------------	----------------------------	---------------------

ผลงานวิจัย/งานสร้างสรรค์

ผลงานวิจัย/งานสร้างสรรค์ที่ตีพิมพ์เผยแพร่ (ระดับชาติและนานาชาติ)

- Siwakron Sangnoi, Sorakit wettayavong, Napat Kaewtrakulchai and **Apiluck Eid-ua**, **Influence of acidic catalysts in Hydrothermal Carbonization (HTC) process for synthesis of carbon nanomaterial prepared from horse manure**, The Journal of Applied Science, 16 (2017) 87-92.
- Peerawith sumgtong Nuwong Chollcoop and **Apiluck Eiad-ua**, **Effect of temperature and times by hydrothermal carbonization process from sawdust and bagasse for carbon materials supporter**, The Journal of Applied Science, 16 (2017) 93-97.
- Buntita Jomhataikool, Sanchai Kuboon, Wasawat Kraithong and **Apiluck Eiad-ua**, **Humic substance extraction from leonardite, lignite Mae Mho Mine by base-acid treatment process**, The Journal of Applied Science, 16 (2017) 26-32.
- นิภาวรรณ กุลสุวรรณ, บรรพต กุลสุวรรณ และ **อภิศักดิ์ เอียดอ้อ**, **วัสดุกันความร้อนไฟเผาจากวัสดุเชิงประกอบนาโนระหว่างดินขาวตามธรรมชาติและคาร์บอน**, วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2016.
- **Apiluck Eiad-ua** and Oychai Tongcher, **Biodiesel Production from Palm Oil**, Journal of Material Technology MTEC, 2007, Oct-Dec, page 68-70.
- Oychai Tongcher, **Apiluck Eiad-ua**, Vituruch Goodwin, Parnchewa Udomsarp, and Ukrit Sahapatsombut, **Biodiesel and Test quality**, National Metal and Materials Technology Center, National Science and Technology Development Agency, Pathumthani.
- **Apiluck Eiad-ua** and Oychai Tongcher, **Hydrogenation reaction of soybean oil II**, News letter MTEC, vol.36, 2007, June, page 23-25.
- **Apiluck Eiad-ua** and Oychai Tongcher, **Hydrogenation reaction of vegetable oil I**, News letter MTEC, vol.35, 2007, May, page 24-26.
- Vituruch Goodwin, **Apiluck Eiad-ua** and Oychai Tongcher, **Biodiesel and new alternative energy**, Post today, 2007, April, 1, page A6.
- **Apiluck Eiad-ua**, Phanwasa Amnaphiang, Panuruj Asawaworarit, Nongluck Hounkamhang, Nuwong Chollacoop and Masayoshi Fujii, **Zeolite P from Kaolin via Hydrothermal method**, AIP Conference Proceedings 2010 (2018) 020021.
- Napat Kaewtrakulchai, Masayoshi Fujii and **Apiluck Eiad-ua**, **Investigation of parametric effects on fuel characteristics of biochar obtained from agricultural waste pyrolysis**, Journal of Materials Science and Applied Energy (JMSAE) (2018) (Accepted).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Worapak Tanwongwan, Sanchai Kuboon, Wasawat Kraithong and **Apiluck Eiad-ua**, **Non-transition metal oxide catalyst for production of gammavalerolactone from methyl levulinate by catalytic transfer hydrogenation**, *Journal of Materials Science and Applied Energy (JMSAE)* (2018) (Accepted).
- Peerawith Sumthong, Vituruch Goodwin, Nuwong Chollacoop, Masayoshi Fuji and **Apiluck Eiad-ua**, **Influence of Molybdenum disulfide (MoS₂) catalyst on carbon from sugarcane bagasse via hydrothermal carbonization for jatropha oil residue upgrading**, *Journal of Materials Science and Applied Energy (JMSAE)* (2018) (Accepted).
- Buntita Jomhataikool, Kajornsak Fuangnawakij, Sanchai Kuboon, Wasawat Kraithong, Sutee Chutipaijit, Masayoshi Fuji and **Apiluck Eiad-ua**, **Effect of humic acid extracted from Thailand's leonardite on rice growth**, *Journal of Metals, Materials and Minerals (JMMM)* (2018) (Accepted).
- Suphada Srilai, Napat Kaewtrakulchai, Gasidit Panomsuwan, Masayoshi Fuji and **Apiluck Eiad-ua**, **Influence of Hydrothermal and Calcination Process on Methakaolin from Natural Clay**, *AIP Conference Proceedings 2010* (2018) 020016.
- Nutchaporn Ngamthanacom, Napat Kaewtrakulchai, Weerawut Chaiwat, Masayoshi Fuji and **Apiluck Eiad-ua**, **Influence of Acid Treatment on Nanoporous Carbon from Lignin**, *Journal of Materials Science and Applied Energy (JMSAE)* (2018) (Accepted). (In review).
- Kanogpan Guntagerng, Gasidit Panomsuwan, Masayoshi Fuji and **Apiluck Eiad-ua**, **Fundamental study of carbon materials from empty fruit bunch via hydrothermal carbonization with H₃PO₄ and NaOH activation**, *Suraneree Journal of Science and Technology (SIST)* (2018) (Accepted).
- Jutaporn Sayjumpa, Buntita Jomhataikool, Kajornsak Fuangnawakij, Sanchai Kuboon, Wasawat Kraithong, Masayoshi Fuji and **Apiluck Eiad-ua**, **Porous Carbon Adsorbent from Humin Derived from Thailand Leonardite for methylene blue dye adsorption**, *Current Applied Science and Technology Journal (CAST)* (2018) (Accepted).
- Araya Smuthkochorn, Nardnutda Katunyoo, Napat Kaewtrakulchai, Duangduen Atong, Kanit Soongprasit, Masayoshi Fuji and **Apiluck Eiad-ua**, **Influence of Hydrothermal-Carbonization Process on Biochar Properties from cattail Weed Waste**, *Current Applied Science and Technology Journal (CAST)* (2018) (Accepted).
- Dolrudee Jaruwat, Parncheewa Udomsap, Nuwong Chollacoop, Masayoshi Fuji and **Apiluck Eiad-ua**, **Effects of the hydrothermal temperature and time of Hydrochar from Cattail Leaves**, *AIP Conference Proceedings 2010* (2018) 020016.
- Peeranuch Sangjumrus, Parncheewa Udomsap, Napat kaewtrakulchai, **Apiluck Eiad-ua**, Masayoshi Fuji and Sutee Chutipaijit, **Effect of transition metal during the hydrothermal carbonization on characteristics of carbon materials**, *AIP Conference Proceedings 2010* (2018) 020014.
- **Apiluck Eiad-ua**, Worapak Tanwongwan, Wasawat Kraithong and Sanchai Kuboon, **Catalytic transfer hydrogenation for production of γ -Valerolactone from methyl levulinate on bimetal oxide catalyst**, *International Journal of Chemical Engineering and Applications* (2018) (Accepted).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Peerawith Sumthong, Vituruch Goodwin, Nuwong Chollacoop and **Apiluck Eiad-ua**, **Effect of Mixing of Carbon Support from Sawdust and Sugarcane Bagasse by Hydrothermal carbonization for Synthesis of Molybdenum disulfide (MoS₂) catalyst**, Material Science Forum (2018) (Accepted).
- Napat Kaewtrakoolchai, Kajornsak Fuangnawakij and **Apiluck Eiad-ua**, **Nitrogen-doped of fibrous cattail flower waste derived porous carbon electrodes by hydrothermal treatment combined chemical activation**, PACCON2018 proceedings book (2018) (Accepted).
- Parnchewa Udomsap, Nuwong Chollacoop and **Apiluck Eiad-ua**, **Effect of chemical pretreatment on surface modification of carbon supports derived from Cattail flower**, PACCON2018 proceedings book (2018) (Accepted).
- Buntita Jombataikool, Sanchai Kuboon and **Apiluck Eiad-ua**, **Extraction and characterization of Humic substances derived from Thailand's leonardite**, PACCON2018 proceedings book (2018) (Accepted).
- Peerawith Sumthong, Vituruch Goodwin, Nuwong Chollacoop and **Apiluck Eiad-ua**, **Effect of Molybdenum disulfide (MoS₂) on carbon support from sawdust via hydrothermal carbonization for jatropha oil residue**, PACCON2018 proceedings book (2018) (Accepted).
- Kanogpan Guntagerng, Gasidit Panomsuwan and **Apiluck Eiad-ua**, **Fundamental study of carbon materials from oil palm male flower via hydrothermal carbonization**, PACCON2018 proceedings book (2018) (Accepted).
- Nardnutda Katunyoo, Araya Smuthkochorn, Napat Kaewtrakulchai, Duangduen Atong, Kanit Soongprasit and **Apiluck Eiad-ua**, **Process optimization and characterization of activated carbon from cattail weed wastes by chemical activation for efficient CO₂ removal**, PACCON2018 proceedings book (2018) (Accepted).
- Napat Kaewtrakulchai, Patrick Rousset, **Apiluck Eiad-ua**, **Characterization of activated biochar prepared from pineapple wastes for metal catalyst support**, Suranaree Journal of Science and Technology, (2018) (Accepted).
- Kanogpan Guntagerng, Gasidit Panomsuwan and **Apiluck Eiad-ua**, **Fundamental study of carbon materials from empty fruity bunch via hydrothermal carbonization**, Walailak Journal of Science and Technology, 15 (2018) 779-786.
- Pimpetch Krongkrachang, Pimpreeya Thungngern, Panuruj Asawaworarit, Nongluck Houngkamhang, and **Apiluck Eiad-ua**, **Synthesis of Zeolite Y from Kaolin via hydrothermal method**, Materials Today Proceedings, (2018) (Accepted).
- Dolrudee Jaruwat, Parnchewa Udomsap, Nuwong Chollacoop and **Apiluck Eiad-ua**, **Preparation of bimetallic catalysts on carbon support from cattail leaves for synthesis of biodiesel fuel upgrading**, Materials Today Proceedings, (2018) (Accepted).
- Araya Smuthkochorn, Nardnutda Katunyoo, Napat Kaewtrakulchai, Kanit Soongprasit and **Apiluck Eiad-ua**, **Nanoporous carbon from Cattail leaves for carbon dioxide capture**, Materials Today Proceedings, (2018) (Accepted).
- Warit Pasee, Ampol Puta, Siwakron Sangnoi, Sorakit Wettayavong, Napat Kaewtrakulchai, Gasidit Panomsuwan and **Apiluck Eiad-ua**, **Synthesis of carbon nanofiber from horse manure via hydrothermal carbonization for dye adsorption**, Materials Today Proceedings, (2018) (Accepted).
- Sorakit Wettayavong, Siwakron Saengnoi, Napat Kaewtrakoolchai and **Apiluck Eiad-ua**, **Characterization of carbon**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- fiber from Thai horse manure via hydrothermal carbonization.** *Materials Today Proceedings*, 5 (2018) 10940-10945.
- Napat Kaewtrakulchai, **Apiluck Eiad-Ua**, and Patrick Rousset, **Porosity enhancement of biochar derived from rubber sawdust using steam injection at low temperature.** *KMUTNB International Journal of Applied Science and Technology*, (2017) 97-102.
 - Napassawan Seangarunthong, Parinya Kongprom, Gasidit panomsuwan and **Apiluck Eiad-ua**, **Synthesis of carbon nanoparticles from used mobil oil and benzene via solution plasma process.** *Key Engineering Materials*, 751 (2017) 773-778.
 - Promporn Reangchim, Kamonwat Nakason, Nawin Viriya-empikul and **Apiluck Eiad-ua**, **The effect of calcium-based salt on hydrothermal carbonization of corncob.** *Key Engineering Materials*, (751 (2017) 477-482.
 - Peerawith Sumtong and **Apiluck Eiad-ua**, **Fabrication of low cost membrane from anodic aluminum oxide (AAO).** *Key Engineering Materials*, 751 (2017) 363-367.
 - Pimpreeya Thungngen, Panwassa Amnapaeng, Panurui Asawaworarit, Wituruch Goodwin, Nuwong Chollacoop and **Apiluck Eiad-ua**, **Influence of temperature and alkaline activation for synthesis zeolite A from natural kaolin.** *Key Engineering Materials*, 751 (2017) 410-416.
 - Konrat Kerdnawee, Chompoopitch Termyidchakorn, Pacharaporn Yaisanga, Jirapat Pakchamsai, Cheewapon Chookiat, **Apiluck Eiad-ua**, Winadda Wongwiriyan, Weerawut Chaiwat, Sakhon Ratchahat, Kajornsak Faungnawakij, Komkrit Suttiponparmit, and Tawatchai Charinpanitkul **Present advancement of carbonaceous nanomaterial production from industrial waste and promising application.** *KONA Powder and particle Journal*, 34 (2017) 24-43.
 - **Apiluck Eiad-ua**, Buntita Jomhataikool, Wachiraporn Gunpoom, Nawin Viriya-empikul and Kajornsak Faungnawakij, **Synthesis of copper/carbon support catalyst from cattail flower by calcination with hydrothermal carbonization.** *Materials Today Proceedings*, 4 (2017) 6153-6158.
 - Pimsuree Choksumlitpol, Chayangkoon Mangkornkarn, Peerawith Sumtong, Korakot Onlaor and **Apiluck Eiad-ua**, **Fabrication of Anodic Titanium Oxide (ATO) for Wastewater Treatment Application.** *Materials Today Proceedings*, 4 (2017) 6124-6128.
 - Kantapat Nakapan, Nuwong Chollakup, nawin Viriya-empikul and **Apiluck Eiad-ua**, **Synthesis of Molydenum Disulphide Supported on Carbon for Upgrading Biooil from Jatropha residue.** *Materials Today Proceedings*, 4 (2017) 6254-6260.
 - Pacharapan Nantnarphirom, Wasawat Kraithong, Nawin Viriya-empikul and **Apiluck Eiad-ua**, **Organoly Pretreatment Transformation Process on Bagasse to Porous carbon Material.** *Materials Today Proceedings*, 4 (2017) 6261-6266.
 - Peerawith Sumtong, **Apiluck Eiad-Ua** and Khattiya Chalapat, **Nano-Porous Anodic Aluminum Oxide (AAO) Thin Film Fabrication with Low-Grade Aluminium.** *Material Science Forum*, 872 (2016) 152-156.
 - Chayangkoon Mangkornkarn, Benjarong Samransuksamer, Mati Horprathum Horprathum, Pitak Eiamchai, **Apiluck Eiad-Ua** and Korakot Onlaor, **Effect of anodizing voltage on anodic titanium dioxide (ATO) growth based on an**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ethylene glycol solution containing NH₄F**, Material Science Forum, 872 (2016) 147-151.
- **Panuruj Asawaworarit, Nuwong Chollacoop, Nawin Viriya-Empikul and Apiluck Eiad-Ua, Effect of alkaline activation on low grade natural kaolin for synthesis of zeolite A**, Material Science Forum, 872 (2016) 206-210.
 - **Worapak Tanwongwal, Sanchai Kuboon, Wasawat Kraithong and Apiluck Eiad-Ua, Production of Gamma-Valerolactone from Methyl Levulinate via Catalytic Transfer Hydrogenation on Nickel-Copper Oxide Catalyst**, Material Science Forum, 872 (2016) 187-190.
 - **Wachiraporn Gunpum, Kajornsak Faungnawakij, Nawin Viriya-Empikul and Apiluck Eiad-Ua, Synthesis of carbon-supported metal catalysts by HTC and electroplating processes from Cattail flower**, Material Science Forum, 872 (2016) 181-186.
 - **Buntita Jomhataikool, Wachiraporn Gunpum, Wasawat Khaithong, Nawin Viriya-Empikul and Apiluck Eiad-Ua, Fantastic carbon material for metal/carbon support catalyst reducing via calcination enhanced with hydrothermal carbonization**, Material Science Forum, 872 (2016) 201-205.
 - **Wachiraporn Gunpoom, Nawin Viriya-empikul and Apiluck Eiad-ua, Synthesis of carbon pellet from Cattail Flower**, RSCE2015 proceedings book (2015).
 - **Jameekorn Jadtio, Nawin Viriya-empikul, and Apiluck Eiad-ua, Pore Development of Nanoporous Anodic Aluminum Oxide in Growth Process**, PACCON2015 proceedings book (2015) 776-779.
 - **Wachiraporn Gunpoom, Pattraporn Changsuwan, Apiluck Eiad-ua and Nawin Viriya-empikul, Effect of acid treatment and hydrothermal-carbonization (HTC) on carbon fiber from cattail flower**, PACCON2015 proceedings book (2015) 795-798.
 - **Sakhon Ratchahat, Satoshi Kodama, Hidetishi Swkiguchi, Wiwut Tanthapanichakoon, Khalid Al- Ali, Tawatchai Charinpanitkul, Apinan Soottitantawat, Apiluck Eiad-ua and Kajornsak Faungnawakij, Mesoporous RF-Xerogel by Facile Hydrothermal Synthesis**, Engineering Journal, 19 (2015) 95-104.
 - **Weerawut Chaiwat, Teerameth Janjarasskul, Apiluck Eiad-ua, Nawin Viriya-empikul, Tawatchai Charinpanitkul and Komkrit Suttiponpanit, Synthesis of Carbon Nanoparticles via Co-pyrolysis of Waste Slop Oil and Ferrocene**, Advanced Materials Research, 1103 (2015) 97-103.
 - **Thanattha Chobsilp, Winadda Wongwiryapan, Chaisak Issro, Worawut Muangrat, Weerawut Chaiwat, Apiluck Eiad-ua, Tawatchai Charinpanitkul and Komkrit Suttiponpanit, Study on Effect of Acid and Heat Treatments of Multi-Walled Carbon Nanotubes on Benzene Detection**, Advanced Materials Research, 1103 (2015) 105-111.
 - **Napat Kaewtrakulchai, Weerawut Chaiwat, Pimpag Sangsiri, Apiluck Eiad-ua, Winadda Wongwiryapan, Nawin Viriya-empikul, Tawatchai Charinpanitkul, and Komkrit Suttiponpanit, Fabrication of CNT/PVA hybrid foam for adsorption of spilled petroleum oil**, JCREN2014 proceeding book (2014).
 - **Pimpag Sangsiri, Weerawut Chaiwat, Napat Kaewtrakulchai, Apiluck Eiad-ua, Winadda Wongwiryapan, Nawin Viriya-empikul, Tawatchai Charinpanitkul, and Komkrit Suttiponpanit, Production and acid treatment of carbon**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- nanoparticles via co-pyrolysis of fractionated slop oil and ferrocene**, JCREN2014 proceeding book (2014).
- Sarunyu Saksakulkrai, **Apiluck Eiad-ua**, Weerawut Chaiwat, Tatporn Suntornlohanakul, Siriporn Monchayaapisut, Tawatchai Charinpanitkul, Komkrit Suttiponpanit, **Photocatalytic removal of NOx compounds using packed-bed corona discharge reactor**, JCREN2014 proceeding book (2014).
 - Panuruj Asawaworawit, **Apiluck Eiad-ua**, Weerawut Chaiwat, Tatporn Suntornlohanakul, Siriporn Monchayaapisut, Tawatchai Charinpanitkul, Komkrit Suttiponpanit, **Removal of NOx compounds using wetted-wall corona discharge reactor**, JCREN2014 proceeding book (2014).
 - Pimsuree Choksumlitpol, Peerawith Sumtong, Chayangkoon Mangkornkarn, Jameekorn Jadto, **Apiluck Eiad-ua**, **Influence of anodization times on morphology of anodic aluminum oxide**, JCREN2014 proceeding book (2014).
 - Wachiraporn Gunpoom, Pattraporn Changsuwan, Nawin Viriya-empikul, and **Apiluck Eiad-ua** **Influence of acid treatment and carbonization temperature on morphology of carbon nano- villi from Typha Angustifolia Flower**, JCREN2014 proceeding book (2014).
 - Kantapat Nakaphan, Pacharapan Nantanapirom, Sutee Chutipaijit and **Apiluck Eiad-ua**, **Porous carbon xerogel beads by simple method**, JCREN2014 proceeding book (2014).
 - Thanattha Chobsilp, Winadda Wongwiriyan, Chaisak Issro, Worawut Muangrat, Weerawut Chaiwat, **Apiluck Eiad-ua**, Tawatchai Charinpanitkul and Komkrit Suttiponpanit, **Surface functionalization of multi-walled carbon nanotubes by oxygen plasma treatment for benzene detecting sensor**, JCREN2014 proceeding book (2014).
 - **Apiluck Eiad-ua**, Pimpag Sangsiri and Wisanu Pachapa, **Facile preparation of Monodisperse Carbon Bead**, PACCON2014 proceedings book (2014) 449-452.
 - Jameekorn Jadto, Attawit Supatti and **Apiluck Eiad-ua**, **Mophology and Mechanical Properties of Anodic Aluminum Oxide by Chemical Etching Solution**, PACCON2014 proceedings book (2014) 453-456.
 - **Apiluck Eiad-ua**, Koonyada Insuang, Supattra Changsuwan and Nawin Viriya-empikul, **Preparation of Nanocomposite Particles from Typha Angustifolia and Egg Shells**, Key Engineering Material, 608 (2014) 68-72.
 - Jameekorn Jadto, Supanit Porntheeraphat, Sirapat Pratontep, and **Apiluck Eiad-ua**, **Fabrication of nanoporous anodic aluminum oxide by two-step anodization**, JCREN2013 proceeding book (2013) 342-345.
 - Methus Channirutti, Jintawat Chaichanawong, and **Apiluck Eiad-ua**, **Synthesis of carbon-based materials by hydrothermal carbonization of banana petioles**, JCREN2013 proceeding book (2013) 88-91.
 - Jameekorn Jadto, Supanit Porntheeraphat, Sirapat Pratontep, and **Apiluck Eiad-ua**, **Effect of anodization process on morphology of nickel coating materials**, Advanced Materials Research, 8 (2013) 114-118.
 - **Apiluck Eiad-ua**, Jiti Nukaew, Takashi Shirai, and Masayoshi Fuji, **Mechano-chemical Fabrication of Non-firing Ceramic**, Suranaree Journal of Science and Technology, 29 (2013) 289-295.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Takashi Shirai, **Apiluck Eiad-ua**, Tran Thi Thu Hien, and Masayoshu Fuji, **Surface characterization of activated alumina powder through the mechano-chemical treatment for fabrication of non-fired ceramics**, Journal of the Ceramic Society of Japan 120 (2012) 438-441.
- **Apiluck Eiad-ua**, Takashi Shirai, Hideo Watanabe, Masayoshi Fuji, Koji Orito and Minoru Takahashi, **Application of mechano-chemical process for fabrication of porous ceramics from waste materials**, Journal of Japan Society of Powder and Powder metallurgy 58 (2011) 91-96.
- M. Mungmart, U. Kijririchareonchai, N. Tonanon, S. Prechanont, J. Panpranot, T. Yamamoto, **A. Eiadua**, N. Sano, W. Tanthapanichakoon, T. Charinpanitkul, **Metal catalysts impregnated on porous media for aqueous phenol decomposition within three-phase fluidized-bed reactor**, Journal of Hazardous Materials 185 (2011) 606-612.
- **Apiluck Eiad-ua**, Takashi Shirai, Tomoaki Kato, Koji Orito, Hideo Watanabe, Masayoshi Fuji and Minoru Takahashi, **Novel fabrication route for porous ceramics using waste materials by non-firing process**, Journal of the Ceramic Society of Japan 118 (2010) 745-748.
- **Apiluck Eiad-ua**, Takashi Shirai, Hideo Watanabe, Masayoshi Fuji, Koji Orito and Minoru Takahashi, **Fabrication of non-firing ceramics assisted by particle surface activation using a planetary ball mill**, Ceramics Transactions 219 (2010) 129-135.
- **Apiluck Eiad-Ua**, Takuji Yamamoto, Takao Ohmori, Wiwut Tanthapanichakoon and Tawatchai Charinpanitkul, **Porous characteristics of carbon-coated silica gel beads prepared by liquid phase deposition of organic colloidal nanoparticles**, Journal of Non-Crystalline Solids 355 (2009) 2508-2513.
- Takuji Yamamoto, Seong-Ick Kim, Jintawat Chaichanawong, **Eiad-ua Apiluck**, Takao Ohmori, **Removal of aqueous organic pollutants by adsorption-catalytic process using mesoporous carbon beads loaded with metal oxides**, Applied Catalysis B: Environmental 88 (2009) 455-461.
- N. Sano, T. Yamamoto, A. H. Shinomoya, Endo, A., **Eiad-ua**, A. Sottitantawat, T. Charinpanitkul, T. Ohmori, W. Tanthapanichakoon and H. Tamon, **Decomposition of Phenol in Water by Ozone Oxidation with Metal-supported Carbongel**, Journal of Chemical Engineering of Japan (2009) 17-22.
- S. Jai-In, U. Sahapatsombut, A. **Eiad-ua** and W. Permpibul, **Jatropha-based Biodiesel: Current Status and Prospects**, Proceedings of the International Technical Workshop on "the Feasibility of Non-edible Oil Seed Crops for Biofuel Production, February, 2008.
- Yamamoto Takuji, **Eiad-Ua Apiluck**, Kim Seong-Ick, Ohmori Takao, **Preparation and Characterization of Cobalt Cation- Exchanged NaX Zeolite as Catalyst for Wastewater Treatment**, Journal of Industrial and Engineering Chemistry, 13 (2007) 1142-1148.
- Takuji Yamamoto, Akira Endo, **Apiluck Eiad-ua**, Takao Ohmori, Masaru Nakaiwa and Apinan Sottitantawat, **Synthesis of monodisperse carbon beads with developed mesoporosity**, AIChE Journal 53 (2007) 746-749.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Noriaki Sano, Takuji Yamamoto, Daisuke Yamamoto, Seong-Ick Kim, **Apiluck Eiad-ua**, Hiroki Shinomiya and Masaru Nakaiwa, **Degradation of aqueous phenol by simultaneous use of ozone with silica-gel and zeolite**, Chemical Engineering and Processing, 46 (2007) 513-519.
- Noriaki Sano, Takuji Yamamoto, Isamu Takemori, Seong-Ick Kim, **Apiluck Eiad-ua**, Daisuke Yamamoto and Masaru Nakaiwa, **Degradation of Phenol by Simultaneous Use of Gas-Phase Corona Discharge and Catalyst-Supported Mesoporous Carbon Gels**, Ind. Eng. Chem. Res. 45 (2006) 2897-2900.
- Jintawat Chaichanawong, Wiwut Tanthapanichakoon, Tawatchai Charinpanitkul, **Apiluck Eiad-ua**, Noriaki Sano and Hajime Tamon, **High-temperature simultaneous removal of acetaldehyde and ammonia gases using corona discharge**, Science and Technology of Advanced materials 6 (2005) 319-324.

การเสนอผลงานวิชาการ

- **อภิสิทธิ์ชัย เอียดเอื้อ** และคณะ. งานประกวดผลงานประดิษฐ์คิดค้นประจำปีงบประมาณ 2562. ในหัวข้อ **แผ่นดูดซับและกักเก็บคราบน้ำมันและสารเคมีจากวัสดุนาโนธรรมชาติ**. 24-25 กันยายน 2561. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
- ชลภานต์ ทรูกุลสวัสดิ์, รวิพล โขตินพรัตน์, นภัส แก้วตระกูลชัย, วีรวุฒิ ชัยวัฒน์, ธวัชชัย ชรินพาศิขกุล, คมกริช สุทธิพรพาณิชย์ และ **อภิสิทธิ์ชัย เอียดเอื้อ**. การประกวดนวัตกรรมนาโนเทคโนโลยีระดับประเทศ. ครั้งที่ 9. การสังเคราะห์วัสดุประกอบเพื่อใช้ในการดูดน้ำมันจากอนุภาคนาโนคาร์บอน. 20-21 สิงหาคม 2561. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. กรุงเทพฯ.
- ไตรภพ หลงปรารงค์, ธนภัทร วงษ์กิตติคุณ, กอบชัย อันเพชร, ดลฤดี จารุวัฒน์, นวรงค์ ชลคุป และ **อภิสิทธิ์ชัย เอียดเอื้อ**. การประกวดนวัตกรรมนาโนเทคโนโลยีระดับประเทศ. ครั้งที่ 9. ถ่านกัมมันต์ประสิทธิภาพสูงจากใบรูปปลาซีด้วยวิธีการไฮโดรเทออลมัลติคาร์บอนในเซชัน. 20-21 สิงหาคม 2561. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. กรุงเทพฯ.
- ชุตติกาญจน์ เตชฉนโสภณ, ธนภัทร วงษ์กิตติคุณ, ไตรภพ หลงปรารงค์, นภัส แก้วตระกูลชัย และ **อภิสิทธิ์ชัย เอียดเอื้อ**. การประกวดนวัตกรรมนาโนเทคโนโลยีระดับประเทศ. ครั้งที่ 8. ผลงานเด่นวิทยาลัยนาโนพระจอมเกล้าลาดกระบัง. **แผ่นดูดซับน้ำมันจากดอกรูปปลาซี**. 21-22 สิงหาคม 2560. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. กรุงเทพฯ.
- **อภิสิทธิ์ชัย เอียดเอื้อ** และ นภัส แก้วตระกูลชัย. DIPAT AWARD 2016. ประกวดการพัฒนาเทคโนโลยีที่เหมาะสม Appropriate Technology Contest. ในหัวข้อ **แผ่นดูดซับคราบน้ำมันจากวัสดุเส้นใยนาโนตามธรรมชาติ**. 7-8 พฤศจิกายน 2559. ณ กรมทรัพย์สินทางปัญญา. กระทรวงพาณิชย์
- **อภิสิทธิ์ชัย เอียดเอื้อ**. การประกวดนวัตกรรมนาโนเทคโนโลยีระดับประเทศ. ครั้งที่ 7. ผลงานเด่นวิทยาลัยนาโนพระจอมเกล้าลาดกระบัง. **มัทศรรย์เส้นใยนาโนคาร์บอนดูดซับคราบน้ำมันขยหาต่อว่าอุดม**. อ.ศรีราชา. จ.ชลบุรี. 29-30 สิงหาคม 2559. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. กรุงเทพฯ.
- รองศาสตราจารย์ ดร. ธวัชชัย ชรินพาศิขกุล, ดร. วีรวุฒิ ชัยวัฒน์, ดร. **อภิสิทธิ์ชัย เอียดเอื้อ**, ดร. วินัดดา วงศ์วิริยะพันธ์, ดร. ฉันทมณี วงษ์ระจันทรานนท์, นายนภัส แก้วตระกูลชัย, น.ส. พิมพ์พิณี สังข์ศิริ, น.ส. กรรรัตน์ เกตินาวิ, น.ส. ชมพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- พิชญ์..เติมวิชชากร..น.ส.พัชรภรณ์..ใหญ่สง่า..น.ส.ฉัตร..วนวณิชย์กุล..น.ส.จิรารัตน์..เขียว..งาม..นายจิราพัฒน์.....พักต์
แจ่มใส..นายชีวพันธ์.....ซูเกียรติ..นายธิปก...กลิ่นภักดี..Chula.Engineering.Innovation...Expo...2015...การผลิตวัสดุนา
โนคาร์บอนที่มีมูลค่าเพิ่มสูงจากของเสียอุตสาหกรรม...30 มกราคม - 1 กุมภาพันธ์ 2557..จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- ฉัฐกร..มันจิตต์...อนาวิล..เจะปอ..กันตณ..เอมปรภาณุ..และ..อภิสิทธิ์..เอียดเอื้อ..การประกวดนวัตกรรมสิ่งประดิษฐ์..IC-
HIEd..2014..เครื่องฟอกอากาศนวัตกรรมนาโนโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับอนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์และ
ถ่านกัมมันต์จากดอกธูปฤๅษี..25-26 กันยายน 2557.....สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง..กรุงเทพฯ.
 - พงศกร..เทียนดี..บัณฑิตา..จอมททัยกุล..วชิราภรณ์..กันพุ่ม..พัชรภรณ์..แจ่มสุวรรณ..นาวิน..วิริยะเอี่ยมพิกุล..และ..อภิ
สิทธิ์..เอียดเอื้อ..การประกวดนวัตกรรมนาโนเทคโนโลยีระดับประเทศ..ครั้งที่..5..ระดับอุดมศึกษาและบุคคลทั่วไป
มหัศจรรย์เส้นใยนาโนคาร์บอนดูดซับคราบน้ำมัน..1-2 กันยายน 2557..สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
ลาดกระบัง..กรุงเทพฯ.
 - สรจิต..เวทยาวงศ์..พรหมพร..เรืองฉิม..ศิวกร..สิงห์น้อย..ปรีภคย์..เรืองเทพ..นิภาวรรณ..เจสสิวลลดา..นาวิน..วิริยะเอี่ยม
พิกุล..และ..อภิสิทธิ์..เอียดเอื้อ..การประกวดนวัตกรรมนาโนเทคโนโลยีระดับประเทศครั้งที่ 5..ระดับอุดมศึกษาและ..บุคคล
ทั่วไป..หลังคากันความร้อนจากส้วมเส้นใยนาโนตามธรรมชาติ.....1-2 กันยายน 2557..สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
เจ้าคุณทหารลาดกระบัง..กรุงเทพฯ.
 - อมันต์ไชย..มาฉิม..กัณท์ภณ..เอมปรภาณุ..พิชัย..สดภิบาล.....และ..อภิสิทธิ์..เอียดเอื้อ..ระบบบำบัดน้ำเสียแบบกึ่งหุ่นรูป
โดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับอนุภาคนาโนซึ่งออกไซด์และถ่านกัมมันต์จากผักตบชวา.....โครงการสิ่งประดิษฐ์นวัตกรรม
สิ่งแวดล้อม 6-7 เมษายน 2556..กรุงเทพฯ.
 - ฉัฐพิสิทธิ์..ไพรัชท์กุล..ณัฐนนท์..ออประยูง..นาวิน..วิริยะเอี่ยมพิกุล..และ..อภิสิทธิ์..เอียดเอื้อ..ระบบบำบัดอากาศเสีย
โดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับอนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์และถ่านกัมมันต์จากตบชวา.....การประกวด
นวัตกรรมนาโนเทคโนโลยีระดับประเทศ..ครั้งที่..4..ระดับอุดมศึกษาและบุคคลทั่วไป..28-29 มีนาคม 2556..สถาบัน
เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง..กรุงเทพฯ.
 - Eiad-ua Apiluck, 白井孝、藤正督、折戸浩二、高橋 実、Non-firing ceramic by
mechanochemically assisted chemical solidification. 平成22年度東濃四試験研究機関協議会
名古屋工業大学セラミックス基盤工学研究センター (成果発表会 March, 2,
2011, Mizunami, Japan
 - 藤正督、白井孝、折戸浩二、A. Eiad-ua、樋口萌。多孔質がもたらす機
能を用いた新しい環境セラミックスの研究開発。 平成 22 年度研究成
果発表フォーラム(東濃西部エリア) February, 2, 2011, Toki, Japan.
 - Eiad-ua Apiluck, 白井 孝、渡辺 秀夫、藤正督、折戸浩二、高橋 実、
Mechano-chemical synthesis of alumina-silica composites. 「ナノテクノロジー材料分野」1回
シンポジウム、 November, 5, 2010, Tajimi, Japan
 - 藤 正督、白井 孝、折戸 浩二、A. Eiad-ua、樋口 萌。多孔質がもたらす
機能を用いた新しい環境セラミックスの研究開発。 平成 21 年度研究

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 成果発表フォーラム(東濃西部エリア)、 March. 2, 2010, Toki, Japan.
- 藤正督、白井孝、X. Zhao、山田伊久子、折戸浩二、A. Eiad-ua、加藤丈明、山下誠司、樋口 萌。ゲルキャスト法による新しいセラミックスの開発。平成21年度東濃四試験研究機関協議会名古屋工業大学セラミックス基盤工学研究センター (成果発表会、 March. 1, 2010, Toki, Japan.
 - 白井孝、Eiad-ua Apiluck、渡辺 秀夫、藤 正督、高橋 実。無焼成セラミックス作製における粉体表面状態の影響。(Effects of Powder Surfaces Condition on the Fabrication of Non-firing Ceramic) 第22回秋季シンポジウム, September. 16-18, 2009, Ehime, Japan.
 - Apiluck Eiad-ua, Takashi Shirai, Hideo Watanabe, Masayoshi Fuji, Koji Orito and Minoru Takahashi. Surface activation of solidified paper sludge ash (PSA) by mechanochemical treatment. 38th Summer Seminar of the Association Tokai Young Ceramists, July, 9-10, 2009, Mie, Japan (Presenter-Poster).
 - Apiluck Eiad-ua, Takashi Shirai, Hideo Watanabe, Masayoshi Fuji, Koji Orito and Minoru Takahashi. Influence of calcinations treatment in chemical solidification using mechanochemical approach. Annual Meeting of the Ceramic Society of Japan, 2009, March, 16-18, Chiba, Japan (Presenter-Oral).
 - Apiluck Eiad-ua, Takashi Shirai, Hideo Watanabe, Masayoshi Fuji, Koji Orito and Minoru Takahashi. Effect of mechanochemical treatment on the crystallization behavior of alumina for chemical solidification. Annual Ceramic Convention in Tajimi, 2009, March, 4, Tajimi, Japan (Presenter-Poster).
 - Apiluck Eiad-ua, Takashi Shirai, Hideo Watanabe, Masayoshi Fuji, Koji Orito and Minoru Takahashi. The Effect of composition range of $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ on mechanochemically-assisted chemical solidification. 21st Fall Meeting of the Ceramic Society of Japan, 2008, September, 17-19, Kitakyushu, Japan (Presenter-Oral).
 - Apiluck Eiad-ua, Takashi Shirai, Hideo Watanabe, Masayoshi Fuji, Koji Orito and Minoru Takahashi. Mechanochemically-assisted chemical solidification of $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$. The 8th young man study meeting, September, 10-11, 2008, Inuyama, Japan (Presenter-Oral).
 - Apiluck Eiad-ua, Tomohiro Yamakawa, Hideo Watanabe, Masayoshi Fuji, Koji Orito and Minoru Takahashi. Fabrication of Non-firing Ceramic from Paper Sludge Ash Pre-Treated by Planetary Ball-milling. 36th Summer Seminar of the Association Tokai Young Ceramists, July, 10-11, 2008, Gifu, Japan (Presenter-Poster).
 - 佐野 紀彰, 田門肇, 篠宮 寛樹, 山本 拓司, 遠藤 明, A. Eiad-ua, 大森 隆夫, A. Scottitawat, T. Charinpanitkul and W. Tanthapanichakoon, Co. 担持カーボンを援用した水中フェノールのオゾン酸化による分解除去. 分離技術会 年会2008 プログラム, June, 6-7, Kanagawa, Japan.
 - Oychai Tongcher and Apiluck Eiad-ua, Hydrogenation of crude soybean biodiesel using Pd on supported

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Zeolited-A as catalyst.** 33rd Congress on Science and Technology of Thailand 2007, October, 18-20.
- Vituruch Goodwin, **Apiluck Eiad-ua**, Nuwong Chollacoop and Subongkoj Topaiboul, **A study of biodiesel synthesis from crude palm, coconut and jatropha oil.** 33rd Congress on Science and Technology of Thailand 2007, October, 18-20.
 - Oychai Tongcher, Vituruch Goodwin, Parnchewa Udomsarp, **Apiluck Eiad-ua** and Ukrit Sahapatsombut, **Analysis technique and preliminary test of quality of biodiesel.** National Metal and Materials Technology Center, National Science and Technology Development Agency, Pathumthani 2007, July, 11.
 - Yamamoto Takuji, Endo Akira, Charinpanitkul Tawatchai, **Eiad-ua Apiluck**, Soottitantawat Apinan and Tanthapanichakoon Wiwut, **均一粒子径を有するナノ細孔性カーボンビーズの合成と水処理触媒への応用.** 72th Annual Meeting of the Society of Chemical Engineers, Japan, March 19-21, 2007, Kyoto, Japan.
 - Yamamoto Takuji, Endo Akira, **Eiad-ua Apiluck**, Soottitantawat Apinan, Charinpanitkul Tawatchai and Tanthapanichakoon Wiwut, **金属担持カーボンゲルを用いた水中フェノールのオゾン酸化促進効果に関する研究.** 38th Autumn Meeting of the Society of Chemical Engineers, Japan, 2006, Fukuoka, Japan.
 - Soottitantawat Apinan, **Eiad-ua Apiluck**, Yamamoto Takuji, Endo Akira, Ohmori Takao and Nakaiwa Masaru, **Synthesis of ultra-fine carbon cryogel microspheres with desired porous characteristics by homogenizer.** 71th Annual Meeting of the Society of Chemical Engineers, Japan, March 28-30, 2006, Tokyo, Japan.
 - **Eiad-Ua Apiluck**, Yamamoto Takuji, Soottitantawat Apinan, Endo Akira, Ohmori Takao, Nakaiwa Masaru, Charinpanitkul Tawatchai and Tanthapanichakoon Wiwut, **Synthesis of carbon coated silica gel beads.** 71th Annual Meeting of the Society of Chemical Engineers, Japan, March 28-30, 2006, Tokyo, Japan (Presenter-Oral).
 - Yamamoto Takuji, Soottitantawat Apinan, **Eiad-ua Apiluck**, Kim Seong-Ick, Endo Akira, Ohmori Takao, Nakaiwa Masaru, **ナノ細孔制御新規カーボン吸着材の開発と省エネ型水処理プロセスへの応用.** February 14, 2006, Tsukuba, Japan (Poster- Presentation).
 - Nakaiwa Masaru, Yamamoto Takuji, Soottitantawat Apinan, **Eiad-Ua Apiluck**, **タイ国工業廃水の高度処理プロセスの開発.** 2005 産学官技術交流フェア, 東京ビッグサイト, 30 November 2005, Tokyo, Japan (Poster-Presentation).
 - Chaichanawong Jintawat, Tanthapanichakoon Wiwut, Charinpanitkul Tawatchai, **Eiad-ua Apiluck**, **Removal of acetaldehyde, ammonia and trimethyl amine using electron attachment reaction at high temperature.** Proceedings of MaDParT2003, October 14, 2003, Bangkok, Thailand (Poster-Presentation).
 - **Eiad-ua Apiluck**, Tanthapanichakoon Wiwut, Charinpanitkul Tawatchai, Chaichanawong Jintawat, **Removal of**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

dilute binary and tertiary gas mixture of acetaldehyde, ammonia and trimethyl amine in nitrogen using single and double electron-attachment reactors at high temperature. Proceedings of MaDPaT2003, October 14, 2003, Bangkok, Thailand (Presenter- Poster).

- **Apiluck Eiad-ua, Worapak Tanwongwan, Wasawat Kraithong and Sanchai Kuboon, Catalytic transfer hydrogenation for production of γ -Valerolactone from methyl levulinate on bimetal oxide catalyst, 2018 3rd International Conference on design, Materials and Manufacturing (ICDMM2018), 11-13 August, 2018, Okinawa, Japan (Poster Presentation)**
- **Peerawith Sumthong, Vituruch Goodwin, Nuwong Chollacoop and Apiluck Eiad-ua, Effect of Mixing of Carbon Support from Sawdust and Sugarcane Bagasse by Hydrothermal carbonization for Synthesis of Molybdenum disulfide (MoS₂) catalyst, 2018 3rd International Conference on design, Materials and Manufacturing (ICDMM2018), 11-13 August, 2018, Okinawa, Japan (Oral Presentation)**
- **Apiluck Eiad-ua, Phanwasa Amnaphiang, Panuruj Asawaworarit, Nongluck Hounkambah, Nuwong Chollacoop and Masayoshi Fuji, Zeolite P from Kaolin via Hydrothermal method, International Conference on Science and Technology of Emerging Materials (STEMa2018), 18-20 July, 2018, Pattaya, Thailand (Poster Presentation)**
- **Worapak Tanwongwan, Sanchai Kuboon, Wasawat Kraithong and Apiluck Eiad-ua, Non-transition metal oxide catalyst for production of γ -valerolactone from methyl levulinate by catalytic transfer hydrogenation, International Conference on Science and Technology of Emerging Materials (STEMa2018), 18-20 July, 2018, Pattaya, Thailand (Poster Presentation)**
- **Peerawith Sumthong, Vituruch Goodwin, Nuwong Chollacoop, Masayoshi Fuji and Apiluck Eiad-ua, Influence of Molybdenum disulfide (MoS₂) catalyst on carbon from sugarcane bagasse via hydrothermal carbonization for jatropha oil residue upgrading, International Conference on Science and Technology of Emerging Materials (STEMa2018), 18-20 July, 2018, Pattaya, Thailand (Poster Presentation)**
- **Buntita Jomhataikool, Kajornsak Fuangnawakij, Sanchai Kuboon, Wasawat Kraithong, Sutee Chutipaijit, Masayoshi Fuji and Apiluck Eiad-ua, Effect of humic acid extracted from Thailand's leonardite on rice growth, International Conference on Science and Technology of Emerging Materials (STEMa2018), 18-20 July, 2018, Pattaya, Thailand (Poster Presentation)**
- **Suphada Srilai, Napat Kaewtrakulchai, Gasidit Panomsuwan, Masayoshi Fuji and Apiluck Eiad-ua, Influence of Hydrothermal and Calcination Process on Methakaolin from Natural Clay, International Conference on Science and Technology of Emerging Materials (STEMa2018), 18-20 July, 2018, Pattaya, Thailand (Poster Presentation)**
- **Nutchaporn Ngamthanacom, Napat Kaewtrakulchai, Weerawut Chaiwat, Masayoshi Fuji and Apiluck Eiad-ua, Influence of Acid Treatment on Nanoporous Carbon from Lignin, International Conference on Science and Technology of Emerging Materials (STEMa2018), 18-20 July, 2018, Pattaya, Thailand (Poster Presentation)**
- **Kanogpan Guntagemg, Gasidit Panomsuwan, Masayoshi Fuji and Apiluck Eiad-ua, Fundamental study of carbon materials from empty fruit bunch via hydrothermal carbonization with H₃PO₄ and NaOH activation, International**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Conference on Science and Technology of Emerging Materials (STEMa2018), 18-20 July, 2018, Pattaya, Thailand. (Poster Presentation)
- **Jutaporn Sayjumpa, Buntita Jomhataikool, Kajornsak Fuangnawakij, Sanchai Kuboon, Wasawat Kraithong, Masayoshi Fuji and Apiluck Eiad-ua, Porous Carbon Adsorbent from Humin Derived from Thailand Leonardite for methylene blue dye adsorption.** International Conference on Science and Technology of Emerging Materials (STEMa2018), 18-20 July, 2018, Pattaya, Thailand. (Poster Presentation)
 - **Araya Smuthkochorn, Nardnutda Katunyoo, Napat Kaewtrakulchai, Duangduen Atong, Kanit Soongprasit, Masayoshi Fuji and Apiluck Eiad-ua, Influence of Hydrothermal-Carbonization Process on Biochar Properties from cattail Weed Waste,** International Conference on Science and Technology of Emerging Materials (STEMa2018), 18-20 July, 2018, Pattaya, Thailand. (Poster Presentation)
 - **Dolrudee Jaruwat, Parncheewa Udomsap, Nuwong Chollacoop, Masayoshi Fuji and Apiluck Eiad-ua, Effects of the hydrothermal temperature and time of Hydrochar from Cattail Leaves,** International Conference on Science and Technology of Emerging Materials (STEMa2018), 18-20 July, 2018, Pattaya, Thailand. (Poster Presentation)
 - **Peeranuch Sangjumsrus, Parncheewa Udomsap, Napat kaewtrakulchai, Sutee Chutipajit, Masayoshi Fuji and Apiluck Eiad-ua, Effect of transition metal during the hydrothermal carbonization on characteristics of carbon materials,** International Conference on Science and Technology of Emerging Materials (STEMa2018), 18-20 July, 2018, Pattaya, Thailand. (Poster Presentation)
 - **Napat Kaewtrakoolchai, Kajornsak Fuangnawakij and Apiluck Eiad-ua, Nitrogen-doped of fibrous cattail flower waste derived porous carbon electrodes by hydrothermal treatment combined chemical activation,** Pure and Applied Chemistry International Conference, 2018 (PACCON2018) 7-9 February, 2018, Songkla, Thailand (Oral Presentation)
 - **Parncheewa Udomsap, Nuwong Chollacoop, and Apiluck Eiad-ua, Effect of chemical pretreatment on surface modification of carbon supports derived from Cattail flower,** Pure and Applied Chemistry International Conference 2018 (PACCON2018) 7-9 February, 2018, Songkla, Thailand (Oral Presentation)
 - **Buntita Jomhataikool, Sanchai Kuboon and Apiluck Eiad-ua, Extraction and characterization of Humic substances derived from Thailand's leonardite,** Pure and Applied Chemistry International Conference, 2018 (PACCON2018) 7-9 February, 2018, Songkla, Thailand (Poster Presentation)
 - **Peerawith Sumtong, Vituruch Goodwin, Nuwong Chollacoop and Apiluck Eiad-ua, Effect of Molybdenum disulfide (MoS₂) on carbon support from sawdust via hydrothermal carbonization for jatropha oil residue,** Pure and Applied Chemistry International Conference, 2018 (PACCON2018) 7-9 February, 2018, Songkla, Thailand (Poster Presentation)
 - **Kanogpan Guntagerng, Gasidit Panomsuwan and Apiluck Eiad-ua, Fundamental study of carbon materials from oil palm male flower via hydrothermal carbonization,** Pure and Applied Chemistry International Conference, 2018 (PACCON2018) 7-9 February, 2018, Songkla, Thailand (Poster Presentation)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Peeranuch Sangjumras, Parnchewa Udomsap, Napat Kaewtrakoolchai, Sutee Chutipijit and **Apiluck Eiad-ua**, **Effects of transition metal during the hydrothermal carbonization on characteristics of carbon materials**, Pure and Applied Chemistry International Conference, 2018 (PACCON2018) 7-9 February, 2018, Songkla, Thailand (Poster Presentation)
- Ampol Putta, Warit Pasee, Siwakron Sangnoi, Sorakit Wettayavong, Napat Kaewtrakulchai, Gasidit Panomsuwan and **Apiluck Eiad-ua**, **Synthesis of magnetic carbon nanofiber from biomass by pyrolysis**, Pure and Applied Chemistry International Conference, 2018 (PACCON2018) 7-9 February, 2018, Songkla, Thailand (Poster Presentation)
- Natnicha Ritmun, Phanwasa Amnaphiang, Panuruj Asawaworarit, Nongluck Hounkamhang and **Apiluck Eiad-ua**, **Zeolite P from Kaolin via hydrothermal method**, Pure and Applied Chemistry International Conference, 2018 (PACCON2018) 7-9 February, 2018, Songkla, Thailand (Poster Presentation)
- Nardnutda Katunyoo, Araya Smuthkochorn, Napat Kaewtrakulchai, Duangduen Atong, Kanit Soongprasit and **Apiluck Eiad-ua**, **Process optimization and characterization of activated carbon from cattail weed wastes by chemical activation for efficient CO₂ removal**, Pure and Applied Chemistry International Conference, 2018 (PACCON2018) 7-9 February, 2018, Songkla, Thailand (Poster Presentation)
- Warit Pasee, Ampol Puta, Siwakron Sangnoi, Sorakit Wettayavong, Napat Kaewtrakulchai, Gasidit Panomsuwan and **Apiluck Eiad-ua**, **Synthesis of carbon nanofiber from horse manure via hydrothermal carbonization for dye adsorption**, 1st MRS Thailand International Conference, October 31-November 3, 2017, Chiang Mai, Thailand (Poster Presentation).
- Araya Smuthkochorn, Nardnutda Katunyoo, Napat Kaewtrakulchai, Kanit Soongprasit and **Apiluck Eiad-ua**, **Nanoporous carbon from Cattail leaves for carbon dioxide capture**, 1st MRS Thailand International Conference, October 31-November 3, 2017, Chiang Mai, Thailand (Poster Presentation).
- Dolrudee Jaruwat, Parncheewa Udomsap, Nuwong Chollacoop and **Apiluck Eiad-ua**, **Preparation of bimetallic catalysts on carbon support from cattail leaves for synthesis of biodiesel fuel upgrading**, 1st MRS Thailand International Conference, October 31-November 3, 2017, Chiang Mai, Thailand (Poster Presentation).
- Pimpetch Krongkrachang, Pimpreeya Thungnern, Panuruj Asawaworarit, Nongluck Hounkamhang, and **Apiluck Eiad-ua**, **Synthesis of Zeolite Y from Kaolin via hydrothermal method**, 1st MRS Thailand International Conference, October 31-November 3, 2017, Chiang Mai, Thailand (Poster Presentation).
- Kanogpan Guntagerng, Gasidit Panomsuwan and **Apiluck Eiad-ua**, **Fundamental study of carbon materials from empty fruity bunch via hydrothermal carbonization**, 1st MRS Thailand International Conference, October 31-November 3, 2017, Chiang Mai, Thailand (Poster Presentation).
- Napat Kaewtrakulchai, Patrick Rousset, **Apiluck Eiad-ua**, **Characterization of activated biochar prepared from pineapple wastes for metal catalyst support**, 1st MRS Thailand International Conference, October 31-November 3, 2017, Chiang Mai, Thailand (Poster Presentation).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Parncheewa Udomsap, Wacharaporn Gunpum, Nuwong Chollacoop, Nawin Viriya-empikul, Kajornsak Fuangnawakij and **Apiluck Eiad-ua, Transition Metal Conductive carbons from Cattail Flower by Electroplating Technique.** 1st MRS Thailand International Conference, October 31-November 3, 2017, Chiang Mai, Thailand (Oral Presentation).
- Buntita Jomhataikool, Jutaporn Sayjumpa, Saichai Kuboon, Wasawat Krathong and **Apiluck Eiad-ua, Effect of carbonization temperature on humic substance extracted from Thailand's leonardite for carbon adsorbent.** 6th Joint Conference in Renewable Energy and Nanotechnology (JCREN2017), October, 12-14, 2017, Bangkok, Thailand (Poster Presentation).
- Aekkavit Sripun, Aphirak Soison, Peerawith Sumtong and **Apiluck Eiad-ua, Influence of Anodization Voltage and Time on Fabrication of Anodic Titanium Oxide.** 6th Joint Conference in Renewable Energy and Nanotechnology (JCREN2017), October, 12-14, 2017, Bangkok, Thailand (Poster Presentation).
- Tripob Longprang, Chutikarn Techatanasopon, Thanapat Wongkitikun, Napat Kaewtrakulchai and **Apiluck Eiad-ua, Investigation of Pyrolysis conditions on the Characteristic of Carbon fiber derived from Cattail Flower.** 6th Joint Conference in Renewable Energy and Nanotechnology (JCREN2017), October, 12-14, 2017, Bangkok, Thailand (Poster Presentation).
- **Apiluck Eiad-ua, Wachiraporn Gunpoom, Nawin Viriya-empikul and Kajornsak Fuangnawakij, Application of Natural Carbon Fiber for Oil Spill Sorption.** Carbon 2017, 23-28, July, 2017, Melbourne, Australia (Poster Presentation)
- Siwakron Sangnoi, Sorakit wettavavong, Napat Kaewtrakulchai and **Apiluck Eid-ua, Influence of acidic catalysts in Hydrothermal Carbonization (HTC) process for synthesis of carbon nanomaterial prepared from horse manure.** Pure and Applied Chemistry International Conference, 2017 (PACCON2017), 2-3 February, 2017, Bangkok, Thailand (Poster Presentation)
- Phanwatsa Amnaphiang, Pimpreeya Thungngern, Panurui Asawaworarit, Vituruch Goodwin, Nuwong Chollacoop and **Apiluck Eid-ua, Synthesis Zeolite X from kaolin by Hydrothermal for upgrading biodiesel.** Pure and Applied Chemistry International Conference, 2017 (PACCON2017), 2-3 February, 2017, Bangkok, Thailand (Poster Presentation)
- Promporn Reangchim, **Apiluck Eiad-ua, Vorranutth Itthibenchapong and Kajornsak Faungnawakij, Effect of Sn modification on Ni catalyst for deoxygenation of stearic acid.** Pure and Applied Chemistry International Conference 2017 (PACCON2017), 2-3 February, 2017, Bangkok, Thailand (Oral Presentation)
- Peerawith sumtong and **Apiluck Eiad-ua, Effect of temperature and times by hydrothermal carbonization process from sawdust and bagasse for carbon materials supporter.** Pure and Applied Chemistry International Conference 2017 (PACCON2017), 2-3 February, 2017, Bangkok, Thailand (Poster Presentation)
- Buntita Jomhataikool, Sanchai Kuboon, Wasawat Kraithong and **Apiluck Eiad-ua, Humic substance extraction from leonardite, lignite Mae Mho Mine by base-acid treatment process.** Pure and Applied Chemistry International

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Conference. 2017.(PACCON2017), 2-3 February, 2017, Bangkok, Thailand (Poster Presentation)
- Napat Kaewtrakulchai, **Apiluck Eiad-Ua**, and Patrick Rousset, **Porosity enhancement of biochar derived from rubber sawdust using steam injection at low temperature**, Pure and Applied Chemistry International Conference ...2017 (PACCON2017), 2-3 February, 2017, Bangkok, Thailand (Poster Presentation)
 - Napassawan Seangarunthong, Parinya Kongprom, Gasidit panomsuwan and **Apiluck Eiad-ua**, **Synthesis of carbon nanoparticles from used mobil oil and benzene via solution plasma process**, 9th International Conference on Materials Science and Technology (MSAT9), 14-15 December, 2016, Bangkok, Thailand (Poster Presentation)
 - Promporn Reangchim, Kamonwat Nakason, Nawin Viriya-empikul and **Apiluck Eiad-ua**, **The effect of calcium-based salt on hydrothermal carbonization of corncob**, 9th International Conference on Materials Science and Technology (MSAT9), 14-15 December, 2016, Bangkok, Thailand (Poster Presentation)
 - Peerawith sumtong and **Apiluck Eiad-ua**, **Fabrication of low cost membrane from anodic aluminum oxide (AAO)**, 9th International Conference on Materials Science and Technology (MSAT9), 14-15 December, 2016, Bangkok, Thailand (Poster Presentation)
 - Pimpreeya Thungngen, Panwassa Amnapaeng, Panuruj Asawaworarit, Wituruch Goodwin, Nuwong Chollacoop and **Apiluck Eiad-ua**, **Influence of temperature and alkaline activation for synthesis zeolite A from natural kaolin**, 9th International Conference on Materials Science and Technology (MSAT9), 14-15 December, 2016, Bangkok, Thailand (Poster Presentation)
 - Sorakit Weitayayong, Siwakron Saengnoi, Napat Kaewtrakoolchai and **Apiluck Eiad-ua**, **Characterization of carbon fiber from Thai horse manure via hydrothermal carbonization**, The 5th Thailand International Nanotechnology Conference, 27-29 November, 2016, Nakhon Ratchasima, Thailand (Poster Presentation)
 - **Apiluck Eiad-ua**, Buntita Jomhataikool, Wachiraporn Gumpoom, Nawin Viriya-empikul and Kajornsak Faungnawakij, **Synthesis of copper/carbon support catalyst from cattail flower by calcination with hydrothermal carbonization**, International Conference on Science and technology of Emerging materials (STEMa2016), 27-29 July, 2016, Pattaya, Thailand (Poster Presentation)
 - Pimsuree Choksumlitpol, Chayangkoon Mangkornkarn, Peerawith Sumtong, Korakot Onlaaor and **Apiluck Eiad-ua**, **Fabrication of Anodic Titanium Oxide (ATO) for Wastewater Treatment Application**, International Conference on Science and technology of Emerging materials (STEMa2016), 27-29 July, 2016, Pattaya, Thailand (Poster Presentation)
 - Kantapat Nakapan, Nuwong Chollakup, Nawin Viriya-empikul and **Apiluck Eiad-ua**, **Synthesis of Molydenum Disulphide Supported on Carbon for Upgrading Biooil from Jatropha residue**, International Conference on Science and technology of Emerging materials (STEMa2016), 27-29 July, 2016, Pattaya, Thailand (Poster Presentation)
 - Pacharapan Nantnarphirom, Wasawat Kraithong, Nawin Viriya-empikul and **Apiluck Eiad-ua**, **Organolv Pretreatment Transformation Process on Bagasse to Porous carbon Material**, International Conference on Science and technology of Emerging materials (STEMa2016), 27-29 July, 2016, Pattaya, Thailand (Poster Presentation)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Peerawith Sumtong, **Apiluck Eiad-Ua** and Khattiya Chalapat, **Nano-Porous Anodic Aluminum Oxide (AAO) Thin Film Fabrication with Low-Grade Aluminium**, 7th International Conference on material and manufacturing Technology (ICMMT2016), May 14-16, 2016, Chiang Mai, Thailand. (Poster Presentation)
- Chayangkoon Mangkornkarn, Benjarong Samransuksamer, Mati Horprathum Horprathum, Pitak Eiamchai, **Apiluck Eiad-Ua** and Korakot Onlaor, **Effect of anodizing voltage on anodic titanium dioxide (ATO) growth based on an ethylene glycol solution containing NH₄F**, 7th International Conference on material and manufacturing Technology (ICMMT2016), May 14-16, 2016, Chiang Mai, Thailand. (Poster Presentation)
- Panuruj Asawaworarit, Nuwong Chollacoop, Nawin Viriya-Empikul and **Apiluck Eiad-Ua**, **Effect of alkaline activation on low grade natural kaolin for synthesis of zeolite A**, 7th International Conference on material and manufacturing Technology (ICMMT2016), May 14-16, 2016, Chiang Mai, Thailand. (Poster Presentation)
- Worapak Tanwongwal, Sanchai Kuboon, Wasawat Kraithong and **Apiluck Eiad-Ua**, **Production of Gamma-Valerolactone from Methyl Levulinate via Catalytic Transfer Hydrogenation on Nickel-Copper Oxide Catalyst**, 7th International Conference on material and manufacturing Technology (ICMMT2016), May 14-16, 2016, Chiang Mai, Thailand. (Poster Presentation)
- Wachiraporn Gunpum, Kajornsak Faungnawakij, Nawin Viriya-Empikul and **Apiluck Eiad-Ua**, **Synthesis of carbon-supported metal catalysts by HTC and electroplating processes from Cattail flower**, 7th International Conference on material and manufacturing Technology (ICMMT2016), May 14-16, 2016, Chiang Mai, Thailand. (Poster Presentation)
- Buntita Jomhataikool, Wachiraporn Gunpum, Wasawat Khaithong, Nawin Viriya-Empikul and **Apiluck Eiad-Ua**, **Fantastic carbon material for metal/carbon support catalyst reducing via calcination enhanced with hydrothermal carbonization**, 7th International Conference on material and manufacturing Technology (ICMMT2016), May 14-16, 2016, Chiang Mai, Thailand. (Poster Presentation)
- Wachiraporn Gunpoom, Nawin Viriya-empikul and **Apiluck Eiad-ua**, **Synthesis of carbon pellet from Cattail Flower**, The 22nd Regional Symposium on Chemical Engineering (RSCE2015) “Embracing the Opening of AEC Incorporating with Education Research and Industries in Chemical Engineering”, September 24-25, 2015, Bangkok thailand. (Oral Presentation)
- Jameekorn Jadto, Nawin Viriya-empikul and **Apiluck Eiad-ua**, **Pore development of Nanoporous Anodic Aluminum Oxide in Growth Process**, Pure and Applied Chemistry International Conference 2015 (PACCON2015), January 21-23, 2015, Bangkok, Thailand (Poster Presentation),
- Wachiraporn Gunpoom, Pattraporn Changsuwan, **Apiluck Eiad-ua** and Nawin Viriya-empikul, **Effect of acid treatment and hydrothermal-carbonization (HTC) of carbon nano-villi from Typha Angustifolia Flower**, Pure and Applied Chemistry International Conference 2015 (PACCON2015), January 21-23, 2015, Bangkok, Thailand (Poster Presentation),
- Worapak Tanwongwan, Sanchai Kuboon, **Apiluck Eiad-ua**, Nawin Virya-empikul and Kajornsak Faungnawakij, **Catalytic Transfer Hydrogenation of Methyl Levulinate for Production of γ -Valerolactone (GVL) on Raney Nickel**:

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Effect of hydrogen donating solvent, Pure and Applied Chemistry International Conference ... 2015 (PACCON2015), January 21-23, 2015, Bangkok, Thailand (Poster Presentation).

- Napat Kaewtrakulchai, Weerawut Chaiwat, Pimpag Sangsiri, **Apiluck Eiad-ua**, Winadda Wongwiriyan, Nawin Viriya-empikul, Tawatchai Charinpanitkul, and Komkrit Suttiaponpanit, **Fabrication of CNT/PVA hybrid foam for adsorption of spilled petroleum oil**, 3rd Joint Conference in Renewable Energy and Nanotechnology (JCREN2014), December, 22-23, 2014, Kanchanaburi, Thailand (Poster Presentation).
- Pimpag Sangsiri, Weerawut Chaiwat, Napat Kaewtrakulchai, **Apiluck Eiad-ua**, Winadda Wongwiriyan, Nawin Viriya-empikul, Tawatchai Charinpanitkul, and Komkrit Suttiaponpanit, **Production and acid treatment of carbon nanoparticles via co-pyrolysis of fractionated slop oil and ferrocene**, 3rd Joint Conference in Renewable Energy and Nanotechnology (JCREN2014), December, 22-23, 2014, Kanchanaburi, Thailand (Poster Presentation).
- Saruny Saksakulkrai, **Apiluck Eiad-ua**, Weerawut Chaiwat, Tatporn Suntornlohanakul, Siriporn Monchayaapisut, Tawatchai Charinpanitkul, Komkrit Suttiaponpanit, **Photocatalytic removal of NO_x compounds using packed-bed corona discharge reactor**, 3rd Joint Conference in Renewable Energy and Nanotechnology (JCREN2014), December, 22-23, 2014, Kanchanaburi, Thailand (Poster Presentation).
- Panuruj Asawaworawit, **Apiluck Eiad-ua**, Weerawut Chaiwat, Tatporn Suntornlohanakul, Siriporn Monchayaapisut, Tawatchai Charinpanitkul, Komkrit Suttiaponpanit, **Removal of NO_x compounds using wetted-wall corona discharge reactor**, 3rd Joint Conference in Renewable Energy and Nanotechnology (JCREN2014), December, 22-23, 2014, Kanchanaburi, Thailand (Poster Presentation).
- Pimsuree Choksumlitpol, Peerawith Sumtong, Chayangkoon Mangkornkarn, Jameekorn Jadto, **Apiluck Eiad-ua**, **Influence of anodization times on morphology of anodic aluminum oxide**, 3rd Joint Conference in Renewable Energy and Nanotechnology (JCREN2014), December, 22-23, 2014, Kanchanaburi, Thailand (Poster Presentation).
- Wachiraporn Gunpoom, Pattraporn Changsuwan, Nawin Viriya-empikul, and **Apiluck Eiad-ua**, **Influence of acid treatment and carbonization temperature on morphology of carbon nano-villi from Typha Angustifolia Flower**, 3rd Joint Conference in Renewable Energy and Nanotechnology (JCREN2014), December, 22-23, 2014, Kanchanaburi, Thailand (Poster Presentation).
- Kantapat Nakaphan, Pacharapan Nantanapirom, Sutee Chutipaijit and **Apiluck Eiad-ua**, **Porous carbon xerogel beads by simple method**, 3rd Joint Conference in Renewable Energy and Nanotechnology (JCREN2014), December, 22-23, 2014, Kanchanaburi, Thailand (Poster Presentation).
- Thanattha Chobsilp, Winadda Wongwiriyan, Chaisak Issro, Worawut Muangrat, Weerawut Chaiwat, **Apiluck Eiad-ua**, Tawatchai Charinpanitkul and Komkrit Suttiaponpanit, **Surface functionalization of multi-walled carbon nanotubes by oxygen plasma treatment for benzene detecting sensor**, 3rd Joint Conference in Renewable Energy and

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Nanotechnology (JCREN2014), December, 22-23, 2014, Kanchanaburi, Thailand (Oral Presentation).

- Jameekorn Jadto, Peerawith Sumtong, Pimsuree Choksumlitpol, Chayangkoon Mangkornkarn, Apiluck Eiad-ua, Effect of Electro-polishing Process on Surface Morphology of Anodic Aluminum Oxide in Second Step Anodized, 8th International Conference on materials Science and Technology, December 15-16, 2014, Bangkok, Thailand (Poster Presentation).
- Apiluck Eiad-ua, Nipawan Chaleiwchalard and Nawin Viriya-empikul, Natural Kaolin-Carbon Nanocomposite for Roof Insulation Material, 8th International Conference on materials Science and Technology, December 15-16, 2014, Bangkok, Thailand (Presenter-poster).
- Sanchai Kuboon, Worapak Tanwongwan, Wasawat Kraithong, Apiluck Eiad-ua, Nawin Virya-empikul and Kajornsak Faungnawakij, Catalytic Transfer Hydrogenation of Levulinate Esters for Production of gamma-Valerolactone (GVL) on Raney Nickel, The 4th Thailand International Nanotechnology Conference, 2014, November 25-26, 2014, Pathumthani, Thailand (Poster Presentation).
- Tawatchai Charinpanitkul, Konrat Kernnawee, Chompoopitch Termvidchakorn, Weerawut Chaiwat, Apiluck Eiad-ua, Nawin Virya-empikul, Kajornsak Faungnawakij, and Komkrit Suttiaponpanit, Conversion of industrial waste to carbon nanostructured materials and some applications in Thailand, International Conference on “Safe and Sustainable Nanotechnology” (in conjunction with 4th German-Thai Symposium on Nanoscience and Nanotechnology) (GTSNN2014), October 14-17, 2014, Phitsanulok, Thailand (Invited Speaker).
- Weerawut Chaiwat, Teerameth Janjarasskul, Apiluck Eiad-ua, Nawin Viriya-empikul, Tawatchai Charinpanitkul and Komkrit Suttiaponpanit, Synthesis of Carbon Nanoparticles via Co-pyrolysis of Waste Slop Oil and Ferrocene, International Conference on “Safe and Sustainable Nanotechnology” (in conjunction with 4th German-Thai Symposium on Nanoscience and Nanotechnology) (GTSNN2014), October 14-17, 2014, Phitsanulok, Thailand (Oral Presentation).
- Thanattha Chobsilp, Winadda Wongviriyapan, Chaisak Issro, Worawut Muangrat, Weerawut Chaiwat, Apiluck Eiad-ua, Tawatchai Charinpanitkul and Komkrit Suttiaponpanit, Study on Effect of Acid and Heat Treatments of Multi-Walled Carbon Nanotubes on Benzene Detection, International Conference on “Safe and Sustainable Nanotechnology” (in conjunction with 4th German-Thai Symposium on Nanoscience and Nanotechnology) (GTSNN2014), October 14-17, 2014, Phitsanulok, Thailand (Poster Presentation).
- Wachiraporn Gunpoom, Pattraporn Changsuwan, Apiluck Eiad-ua and Nawin Viriya-empikul, Effect of hydrothermal temperature and time of carbon nano-villi from typha angustifolia flower, International Conference on “Safe and Sustainable Nanotechnology” (in conjunction with 4th German-Thai Symposium on Nanoscience and Nanotechnology) (GTSNN2014), October 14-17, 2014, Phitsanulok, Thailand (Poster Presentation).
- Jameekorn Jadto and Apiluck Eiad-ua, Influence of anodizing parameters on morphology of nanoporous anodic aluminum oxide, International Conference on “Safe and Sustainable Nanotechnology” (in conjunction with

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 4th German-Thai Symposium on Nanoscience and Nanotechnology) (GTSNN2014), October 14-17, 2014, Phitsanulok, Thailand (Poster Presentation).
- **Apiluck Eiad-ua**, Pimpag Sangsiri, Napat Kaewtrakulchai, Sarunyu Saksakunkrai, and Wisanu Pachapa, **Synthesis and characterization of metal supported on carbon xerogel beads with uniform particle size for application of methylene blue adsorption**, International Conference on “Safe and Sustainable Nanotechnology” (in conjunction with 4th German-Thai Symposium on Nanoscience and Nanotechnology) (GTSNN2014), October 14-17, 2014, Phitsanulok, Thailand (Presenter-poster).
 - **Apiluck Eiad-ua**, Pimpag Sangsiri, and Wisanu Pachapa, **Facile preparation of Monodisperse Carbon Bead**, Pure and Applied Chemistry International Conference, 2014 (PACCON2014), January 8-10, 2014, Khonkaen, Thailand (Presenter-poster).
 - **Jameekorn Jadto and Apiluck Eiad-ua**, **Effect of chemical etching solution on morphology and mechanical property of anodic aluminum oxide**, Pure and Applied Chemistry International Conference 2014 (PACCON2014), January 8-10, 2014, Khonkaen, Thailand (Poster Presentation).
 - **Methus, Channirutti, Jintawat Chaichanawong, and Apiluck Eiad-ua**, **Synthesis of carbon-based materials by hydrothermal carbonization of banana petioles**, 2nd Joint Conference in Renewable Energy and Nanotechnology (JCREN2013), November 25-26, 2013, Hiroshima, Japan (Oral Presentation).
 - **Jameekorn Jadto, Supanit Porntheeraphat, Sirapat Pratontep, and Apiluck Eiad-ua**, **Fabrication of nanoporous anodic aluminum oxide by two-step anodization**, 2nd Joint Conference in Renewable Energy and Nanotechnology (JCREN2013), November 25-26, 2013, Hiroshima, Japan (Presenter-oral).
 - **Apiluck Eiad-ua, Koonyada Insuang, Supattra Changsuwan, and Nawin Viriya-empikul**, **Preparation of Nanocomposite Particles from Typha Angustifolia and Egg Shells**, International Conference on Traditional and Advanced Ceramics (ICTA2013), September 11-13, 2013, Bangkok, Thailand (Presenter-poster).
 - **Jameekorn Jadto, Supanit Porntheeraphat, Sirapat Pratontep, and Apiluck Eiad-ua**, **Effect of anodization process on morphology of nickel coating materials**, International Conference on Engineering, Applied Sciences, and Technology (ICEAST2013), August 21-24, 2013, Bangkok, Thailand (Oral Presentation).
 - **Jameekorn Jadto, Supanit Porntheeraphat, Sirapat Pratontep, Apiluck Ueapiyateeranan**, **Effect of Temperature and Voltage on Morphology of Metal Plate by Nano-Deposition Techniques**, Joint Conference in Renewable Energy and Nanotechnology, Nov. 19, 2012, Bangkok, Thailand (Poster Presentation).
 - **Apiluck Eiad-ua, Jiti Nukaew, Takashi Shirai, Masayoshi Fuji**, **Mechano-Chemical Fabrication of Non-firing Ceramic**, International Conference on Traditional and Advanced Ceramics, Aug 22-25, 2012, Bangkok, Thailand (Presenter-poster).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- **Apiluck Eiad-ua, Takashi Shirai, Hideo Watanabe, Masayoshi Fuji, Koji Orito and Minoru Takahashi, Application of mechano-chemical process for fabrication of porous ceramics from waste materials, 3rd International Congress on Ceramic (ICC3), November, 14-18, 2010, Osaka, Japan (Presentation-oral).**
- **Takashi Shirai, Apiluck Eiad-ua, Hideo Watanabe, Masayoshi Fuji, Koji Orito and Minoru Takahashi, Effects of powder surfaces condition on the fabrication of non-firing ceramics, 3rd International Congress on Ceramic (ICC3), November, 14-18, 2010, Osaka, Japan.**
- **Apiluck Eiad-ua, Takashi Shirai, Hideo Watanabe, Masayoshi Fuji, Koji Orito and Minoru Takahashi, Microstructural characterization of mechanochemically activated alumina, International Conference on Ceramic Processing Science (ICCP11), August, 29- September, 1, 2010, Zurich, Switzerland (Presentation-Oral).**
- **Apiluck Eiad-ua, Takashi Shirai, Hideo Watanabe, Masayoshi Fuji, Koji Orito and Minoru Takahashi, Pore structure of porous ceramics fabricated from solid waste by non-firing process, The 2nd Thailand-Japan International Academic (TJIA) Conference 2009, November, 20, Kyoto Japan (Presenter-poster).**
- **Apiluck Eiad-ua, Takashi Shirai, Hideo Watanabe, Masayoshi Fuji, Koji Orito and Minoru Takahashi, Fabrication of non-firing ceramics assisted by particle surface activation using a planetary ball-mill, The Third International Conference on the Characterization and Control of Interfaces for High Quality Advanced Materials, and Joining Technology for New Metallic Glasses and Inorganic Materials (ICCCI 2009), September, 6-9, 2009, Kurashiki, Japan (Presenter-Poster).**
- **Apiluck Eiad-ua, Takashi Shirai, Hideo Watanabe, Masayoshi Fuji, Koji Orito and Minoru Takahashi, Production of non-firing ceramic from paper sludge ash, The 1st Thailand- Japan International Academic (TJIA) Conference 2008, November, 21, Tokyo Japan (Presenter- poster).**
- **N. Sano, T. Yamamoto, H. Shinomiya, A. Endo, A. Eiad-ua, A. Soottitawat, T. Charinpanitkul, W. Tanthapanichakoon, Decomposition of Phenol in Water by Ozone Oxidation with metal-supported carbongel, The 20th International Symposium on Chemical Reaction Engineering, Kyoto, 7-10 September 2008.**
- **S. Jai-In, U. Sahapatsombut, A. Eiad-ua and W. Permpibul, Jatropha-based Biodiesel: Current Status and Prospects, International Workshop on Feasibility of Non-Edible Oil Seed Crops for Biodiesel Production, 25-27 May 2007, Mae Fah Luang University, Chiang Rai, Thailand.**
- **Apinan Soottitawat, Pratarn Wongsarivej, Wiwut Tanthapanichakoon, Malin Mungmart, Apiluck Eiad-ua, Tawatchai Charinpanitkul and Takuji Yamamoto, Novel alternative processes for industrial wastewater treatment using oxidative decomposition with metal oxide, Tokyo Tech-NSTDA Forum 2006, 20 November 2006, Japan.**
- **Takuji Yamamoto, Akira Endo, Apiluck Eiad-ua, Sho Kataoka, Takao Ohmori and Masaru Nakaiwa, Process Intensification for Synthesis of Monodisperse Carbon Gel Beads for Wastewater Treatment, Annual Meeting,**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 2006, San Francisco.
- Soottitantawat Apinan, **Eiad-ua Apiluck**, Yamamoto Takuji, Endo Akira, Ohmori Takao and Nakaiwa Masaru, **Synthesis of ultra-fine carbon cryogel microspheres with desired porous characteristics**, 17th International congress of chemical and process engineering of Chemical and Process Engineering, 27-31 August 2006, Praha, Czech Republic (Poster Presentation).
 - T. Yamamoto, A. Soottitantawat, A. **Eiad-ua**, A. Endo, T. Ohmori and M. Nakaiwa, **Synthesis of ultra-fine carbon cryogel microspheres with desired porous characteristics by homogenizer and freeze-drying**, 15th International Drying Symposium, Budapest, Hungary, 20-23 August 2006 (Poster Presentation).
 - **Eiad-ua Apiluck**, Yamamoto Takuji, Kim Seong-Ick, Soottitantawat Apinan, Nakaiwa Masaru, Sano Noriaki, Charinpanitkul Tawatchai and Tanthapanichakoon Wiwut, **Porous Structure of Ion-Exchanged NaX-Type Zeolite**, International Symposium on Zeolites and Microporous Crystals (ZMPC 2006), July 30-August 2, 2006, Tottori, Japan (Presenter-Poster).
 - Nakaiwa Masaru, Yamamoto Takuji, Soottitantawat Apinan, **Eiad-ua Apiluck**, **Development of New Equipment for High Level Treatment of Industrial Wastewater in Thailand**, Eco-Products International Fair 2005, 6-9 October 2005, Impact, Bangkok, Thailand (Presenter-Poster).
 - **Eiad-ua Apiluck**, Tanthapanichakoon Wiwut, Charinpanitkul Tawatchai, Chaichanawong Jintawat, Sano Noriaki and Tamon Hajime, **High-Temperature, Simultaneous Removal of Acetaldehyde and Ammonia Gases using Corona-Discharge**, International Symposium on Nanotechnology in Environmental Protection and Pollution (ISNEPP 2005), 12-14 January 2005, Bangkok, Thailand (Presenter-Oral).
 - Tanthapanichakoon Wiwut, Charinpanitkul Tawatchai, Chaichanawong Jintawat, **Eiad-ua Apiluck**, Sano Noriaki and Tamon Hajime, **Effect of CO₂ on the High-temperature Removal of Acetaldehyde, Ammonia and Trimethyl Amine from Humid Air in Corona Discharge Reactor**, Regional Symposium on Chemical Engineering (RSCE 2004), 1-3 December 2004, Bangkok, Thailand.

ผลงานสิทธิบัตร/สิ่งประดิษฐ์/งานสร้างสรรค์ (ศิลปะ หรือ อื่นๆ)

- นายอภิสิทธิ์ชัย เอียดเอื้อ, นายณภัศแก้วตระกูลชัย ยื่นคำขอสิทธิบัตรภายใต้หัวข้อ กรรมวิธีการผลิตแผ่นและกระดาษสำหรับดูดซับและกักเก็บคราบน้ำมัน, อนุสิทธิบัตร (ยื่นจดเลขที่ 1703000850)
- นายสวัสดิ์ ไกรทอง, นายปริญญา ผ่องสกา, นายนาวัน วิริยะเยี่ยมพิกุล, ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ, นางสาวชิวภากรณ์ ก้นพุ่ม, นายอภิสิทธิ์ชัย เอียดเอื้อ, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, ยื่นคำขอสิทธิบัตรภายใต้หัวข้อ กระบวนการสังเคราะห์ตัวรองรับคาร์บอนจากดอกรูปถั่วฝักยาวด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนในเซชัน, อนุสิทธิบัตร (ยื่นจดเลขที่ 1603001636)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- นายสวัสดิ์ ไกรทอง, นายปริญญา ผ่องสุภา, นายนาวิน วิริยะเอี่ยมพิกุล, ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ, นางสาวชวิราภรณ์ ก้นพุ่ม, นายอภิสิทธิ์ เอียดเอื้อ, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, ยื่นคำขอสิทธิบัตรภายใต้หัวข้อ **กระบวนการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะบนตัวรองรับคาร์บอนที่นำไฟฟ้าจากคอกอรูปด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลคาร์บอนในเซชันและการชุบโลหะด้วยไฟฟ้า**, อนุสิทธิบัตร (ยื่นจดเลขที่ 1603001637)
- นายสวัสดิ์ ไกรทอง, นายปริญญา ผ่องสุภา, นายนาวิน วิริยะเอี่ยมพิกุล, ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ, นางสาวนันทิตา จอมทัญกุล, นายอภิสิทธิ์ เอียดเอื้อ, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, ยื่นคำขอสิทธิบัตรภายใต้หัวข้อ **กระบวนการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะที่มีคาร์บอนเป็นตัวรองรับตัวเร่งปฏิกิริยากระบวนการไฮโดรเทอร์มัลคาร์บอนในเซชันและการทำให้เอบวม**, อนุสิทธิบัตร (ยื่นจดเลขที่ 1603001638)
- นายอภิสิทธิ์ เอียดเอื้อ, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, ยื่นคำขอสิทธิบัตร ภายใต้หัวข้อ **กรรมวิธีการสังเคราะห์วัสดุเส้นใยนาโนคาร์บอนด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลสำหรับดูดซับและกักเก็บคราบน้ำมันและผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกรรมวิธีดังกล่าว**, สิทธิบัตร (ยื่นจดเลขที่ 1501002460)
- นายสัตย์ชัย คุนธรัตน์, นายนาวิน วิริยะเอี่ยมพิกุล, นายสวัสดิ์ ไกรทอง, ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ, นายอภิสิทธิ์ เอียดเอื้อ, นายวรภัฏ ดินวงศ์วาล, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, ยื่นคำขอสิทธิบัตรภายใต้หัวข้อ **กระบวนการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะออกไซด์ผสมสำหรับการผลิตสารเติมแต่งเชื้อเพลิง**, อนุสิทธิบัตร (ยื่นจดเลขที่ 1501004060)
- นายอภิสิทธิ์ เอียดเอื้อ, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, คำขอสิทธิบัตร ภายใต้หัวข้อ **กรรมวิธีการสังเคราะห์และกรรมวิธีการนำกลับมาใช้ใหม่ของวัสดุเส้นใยนาโนคาร์บอนด้วยกระบวนการคาร์บอนในเซชันสำหรับดูดซับและกักเก็บคราบน้ำมันและผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกรรมวิธีดังกล่าว**, เลขที่อนุสิทธิบัตร (11382)
- Takuji ... Yamamoto, ... Akira ... Endo, ... Apiluck, ... Eiad-ua, ... Apinan, ... Soottitantawat, ... Noriaki ... Sano, Tawatchai Charinpanitkul and Wiwut Tanthapanichakoon, **Mesoporous carbon beads having uniform particle diameter, method of fabrication and fabricating apparatus there of water treatment catalyst whose carrier is the mesoporous carbon beads, catalyst testing device, and actual waste water treating apparatus, Patent No. 0601004271, 06F019TH.**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้