

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูป.....	ฐ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	2
บทที่ 2 วารสารปริทัศน์.....	3
2.1 แก๊สสังเคราะห์ (Syngas).....	3
2.2 เมทานอล.....	3
2.3 ไดเมทิลอีเทอร์.....	5
2.3.1 เทคโนโลยีการผลิต แหล่งผลิต และราคาไดเมทิลอีเทอร์.....	6
2.3.1.1 การผลิตแบบทางอ้อมโดยผ่านกระบวนการดีไฮเดรชันของ เมทานอล.....	6
2.3.1.2 กระบวนการผลิตไดเมทิลอีเทอร์แบบทางตรง.....	7
2.3.1.3 แหล่งผลิตและราคาไดเมทิลอีเทอร์.....	9
2.3.2 การใช้งานไดเมทิลอีเทอร์เป็นเชื้อเพลิง.....	9
2.3.1.1 ใช้เป็นเชื้อเพลิงเพื่อให้ความร้อน.....	9
2.3.1.2 ใช้เป็นเชื้อเพลิงในภาคการขนส่ง.....	9
2.3.3 ประโยชน์ของการใช้ไดเมทิลอีเทอร์เป็นเชื้อเพลิง.....	10
2.3.4 มาตรฐานคุณภาพของไดเมทิลอีเทอร์.....	10

	หน้า
2.4 ตัวเร่งปฏิกิริยา.....	11
2.4.1 นิยามและความสำคัญของตัวเร่งปฏิกิริยา.....	11
2.4.1.1 ประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalytic efficiency).....	13
2.4.1.2 วัฏจักรการเร่งปฏิกิริยา (Catalytic cycle).....	13
2.4.1.3 ความว่องไวของตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst activity).....	13
2.4.1.4 การเลือกเกิดของตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst selectivity).....	14
2.4.1.5 อายุการใช้งาน (Lifetime).....	15
2.4.1.6 การเสื่อมสภาพของตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst deactivation).....	15
2.4.2 การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา.....	17
2.4.2.1 การตกตะกอน (Precipitation).....	18
2.4.2.2 การดูดซับ (Absorbed).....	19
2.4.2.3 การแลกเปลี่ยนไอออน (Ion-exchanged).....	19
2.4.2.4 การทำให้เปียกชุ่ม (Impregnation).....	20
2.4.2.5 อัลตราโซนิกสเปรย์ไพโรไลซิส (Ultrasonic spray pyrolysis).....	21
2.4.3 การทรีตเมนต์ (Treatment).....	24
2.4.3.1 การเผาหรือการแคลไซน์ (Calcination).....	24
2.4.3.2 การรีดิวซ์ (Reduction).....	24
2.4.4 ตัวเร่งปฏิกิริยาเคมีสำหรับการสังเคราะห์เมทานอล.....	24
2.4.4.1 โลหะว่องไว (Active metal site).....	24
2.4.4.2 ตัวรองรับ (Supporter).....	25
2.4.4.3 ตัวส่งเสริม (Promoter).....	25
2.4.5 ตัวเร่งปฏิกิริยาสำหรับการสังเคราะห์ไดเมทิลอีเทอร์.....	25
2.5 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	28
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง.....	30
3.1 สารเคมีและแก๊สที่ใช้ในการวิจัย.....	30
3.1.1 สารเคมี.....	30
3.1.2 แก๊ส.....	30
3.2 เครื่องมืออุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย.....	30

	หน้า
3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์.....	31
3.3.1 เครื่องวิเคราะห์ธาตุด้วยรังสีเอกซ์ (EDX).....	31
3.3.2 เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (XRD).....	32
3.3.3 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM).....	32
3.3.4 เครื่องวัดพื้นที่ผิวจากพอร์ (BET).....	33
3.3.5 เครื่องวิเคราะห์การเกิดรีดักชันตามอุณหภูมิ (TPR).....	33
3.3.6 แก๊สโครมาโตกราฟี (GC).....	34
3.4 การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์/ซิงก์ออกไซด์ (Cu/ZnO).....	34
3.4.1 การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์/ซิงก์ออกไซด์ (Cu/ZnO) สกัดส่วนโดย โมลคอปเปอร์ออกไซด์ต่อซิงก์ออกไซด์เท่ากับ 1:1 ด้วยวิธีตกตะกอนร่วม (Co-precipitation method).....	34
3.4.2 การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์/ซิงก์ออกไซด์ (Cu/ZnO) สกัดส่วนโดย โมลคอปเปอร์ออกไซด์ต่อซิงก์ออกไซด์เท่ากับ 1:1 โดยเทคนิคอัลตรา โซนิกสเปรย์ไพโรไลซิส (Ultrasonic spray pyrolysis technique).....	35
3.5 การทดสอบตัวเร่งปฏิกิริยาสำหรับการสังเคราะห์ไดเมทิลอีเทอร์.....	36
3.6 ตัวแปรที่ศึกษา.....	37
บทที่ 4 ผลการทดลอง และวิจารณ์ผลการทดลอง.....	38
4.1 การพิสูจน์เอกลักษณ์ของตัวเร่งปฏิกิริยา.....	38
4.1.1 ผลของอุณหภูมิในการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์/ซิงก์ออกไซด์ด้วย เทคนิคอัลตราโซนิกสเปรย์ไพโรไลซิส.....	38
4.1.1.1 การศึกษาหาธาตุองค์ประกอบของตัวเร่งปฏิกิริยาวิเคราะห์ด้วย เทคนิค EDX.....	38
4.1.1.2 การศึกษาโครงสร้างของตัวเร่งปฏิกิริยาวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD....	39
4.1.1.3 การศึกษาสัณฐานวิทยาของตัวเร่งปฏิกิริยาวิเคราะห์ด้วยเทคนิค SEM.....	45
4.1.1.4 การหาพื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาวิเคราะห์ด้วยเทคนิค BET.....	50
4.1.1.5 การเกิดรีดักชันของตัวเร่งปฏิกิริยาวิเคราะห์ด้วยเทคนิค TPR....	52

4.1.2 ผลของอัตราส่วนโดยโมลของคอปเปอร์ออกไซด์ต่อซิงก์ออกไซด์สังเคราะห์ด้วยเทคนิคอัตราสัณนิสเปรย์ไฟโรไลซิส.....	55
4.1.2.1 การศึกษาหาธาตุองค์ประกอบของตัวเร่งปฏิกิริยาวิเคราะห์ด้วยเทคนิค EDX.....	55
4.1.2.2 การศึกษาโครงสร้างของตัวเร่งปฏิกิริยาวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD...	56
4.1.2.3 การศึกษาสัณฐานวิทยาของตัวเร่งปฏิกิริยาวิเคราะห์ด้วยเทคนิค SEM.....	58
4.1.2.4 การหาพื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาวิเคราะห์ด้วยเทคนิค BET.....	62
4.1.2.5 การเกิดรีดักชันของตัวเร่งปฏิกิริยาวิเคราะห์ด้วยเทคนิค TPR.....	63
4.2 การทดสอบความว่องไวของตัวเร่งปฏิกิริยา.....	65
4.2.1 ศึกษาผลของอุณหภูมิในการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาที่สังเคราะห์ด้วยเทคนิคอัตราสัณนิสเปรย์ไฟโรไลซิส.....	66
4.2.2 ศึกษาผลของอัตราส่วนโดยโมลของคอปเปอร์ออกไซด์ต่อซิงก์ออกไซด์ในการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาที่สังเคราะห์ด้วยเทคนิคอัตราสัณนิสเปรย์ไฟโรไลซิส.....	71
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	75
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	75
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	76
รายการอ้างอิง.....	77
ภาคผนวก.....	80
ภาคผนวก ก ข้อมูลการทดลอง.....	81
ภาคผนวก ข ตัวอย่างการคำนวณ.....	83
ภาคผนวก ค ผลการทดลอง.....	87
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	88

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	ตัวเร่งปฏิกิริยาและภาวะที่ใช้ในการสังเคราะห์เมทานอลในทางอุตสาหกรรม ... 5
2.2	สมบัติของไดเมทิลอีเทอร์และเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ 6
2.3	ข้อกำหนดมาตรฐานคุณภาพของไดเมทิลอีเทอร์สำหรับใช้เป็นเชื้อเพลิง 10
2.4	ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในปฏิกิริยาต่างๆ และผลิตภัณฑ์ที่นิยมเกิด 15
2.5	สาเหตุและผลที่ตามมาของการเสื่อมสภาพตัวเร่งปฏิกิริยา 16
2.6	ตารางแสดงประเภทของตัวเร่งปฏิกิริยา 18
2.7	ผลของความถี่ต่างๆ ของคลื่นเสียงอัลตราโซนิก 22
4.1	องค์ประกอบของตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์/ซิงก์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ด้วยวิธี ตกตะกอนร่วมและเทคนิคอัลตราโซนิกสเปรย์ไพโรไลซิสที่อุณหภูมิต่าง ๆ วิเคราะห์ด้วยเทคนิค EDX 39
4.2	ขนาดผลึกของตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์/ซิงก์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ด้วยวิธี ตกตะกอนร่วมและเทคนิคอัลตราโซนิกสเปรย์ไพโรไลซิสที่อุณหภูมิต่างๆ วิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD 44
4.3	ขนาดอนุภาคเฉลี่ยของตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์/ซิงก์ที่สังเคราะห์ด้วยวิธี ตกตะกอนร่วมและเทคนิคอัลตราโซนิกสเปรย์ไพโรไลซิสที่อุณหภูมิต่างๆ วิเคราะห์ด้วยเทคนิค SEM 48
4.4	การทดสอบคุณลักษณะตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์/ซิงก์ที่สังเคราะห์ด้วยวิธี ตกตะกอนร่วมและเทคนิคอัลตราโซนิกสเปรย์ไพโรไลซิสที่อุณหภูมิต่างๆ ด้วย เทคนิค BET 51
4.5	ร้อยละการเกิดรีดักชันของตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์/ซิงก์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ด้วย วิธีตกตะกอนร่วมและเทคนิคอัลตราโซนิกสเปรย์ไพโรไลซิสที่อุณหภูมิต่าง ๆ วิเคราะห์ด้วยเทคนิค TPR 54
4.6	องค์ประกอบของตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์/ซิงก์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ด้วย เทคนิคอัลตราโซนิกสเปรย์ไพโรไลซิสที่อัตราส่วนโดยโมลของคอปเปอร์ออกไซด์ ต่อซิงก์ออกไซด์ต่างกัน วิเคราะห์ด้วยเทคนิค EDX 56

4.7	ขนาดผลึกของตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์/ซิงก์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ด้วยเทคนิคอัลตราโซนิกสเปรย์ไพโรไลซิสที่อัตราส่วนโดยโมลของคอปเปอร์ออกไซด์ต่อซิงก์ออกไซด์ต่างกัน วิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD	57
4.8	ขนาดอนุภาคเฉลี่ยของตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์/ซิงก์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ด้วยเทคนิคอัลตราโซนิกสเปรย์ไพโรไลซิสที่อัตราส่วนโดยโมลของคอปเปอร์ออกไซด์ต่อซิงก์ออกไซด์ต่างกัน วิเคราะห์ด้วยเทคนิค SEM	59
4.9	การทดสอบคุณลักษณะตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์/ซิงก์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ด้วยวิธีตกตะกอนร่วมและเทคนิคอัลตราโซนิกสเปรย์ไพโรไลซิสที่อัตราส่วนโดยโมลของคอปเปอร์ออกไซด์ต่อซิงก์ออกไซด์ต่างกัน วิเคราะห์ด้วยเทคนิค BET	62
4.10	ร้อยละการเกิดรีดักชันของตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์/ซิงก์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ด้วยเทคนิคอัลตราโซนิกสเปรย์ไพโรไลซิสที่อัตราส่วนโดยโมลของคอปเปอร์ออกไซด์ต่อซิงก์ออกไซด์ต่างกัน วิเคราะห์ด้วยเทคนิค TPR	64
4.11	ค่าร้อยละการเปลี่ยนของคาร์บอนมอนอกไซด์และค่าการเลือกเกิดเป็นผลิตภัณฑ์ของตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์/ซิงก์ออกไซด์-ซีโอไลต์ชนิด HZSM-5 ที่สังเคราะห์ด้วยวิธีตกตะกอนร่วมและเทคนิคอัลตราโซนิกสเปรย์ไพโรไลซิสที่อุณหภูมิต่าง ๆ ณ ชั่วโมงที่ 3	70
4.12	ค่าร้อยละการเปลี่ยนของคาร์บอนมอนอกไซด์และค่าการเลือกเกิดเป็นผลิตภัณฑ์ของตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์/ซิงก์ออกไซด์-ซีโอไลต์ชนิด HZSM-5 ที่สังเคราะห์ด้วยเทคนิคอัลตราโซนิกสเปรย์ไพโรไลซิสที่อัตราส่วนโดยโมลของคอปเปอร์ออกไซด์ต่อซิงก์ออกไซด์ต่างกัน (อุณหภูมิในการสังเคราะห์ 600 องศาเซลเซียส) ณ ชั่วโมงที่ 3	74
ก1	แก๊สสารตั้งต้น CO/H ₂ /Ar = 48/48/4 ก่อนทำปฏิกิริยา	81
ก2	แก๊สผลิตภัณฑ์ TCD จากการสังเคราะห์ไดเมทิลอีเทอร์ที่ชั่วโมงต่างๆ	81
ก3	แก๊สผลิตภัณฑ์ FID จากการสังเคราะห์ไดเมทิลอีเทอร์ที่ชั่วโมงต่างๆ	82
ค	การสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์/ซิงก์ออกไซด์ด้วยเทคนิคอัลตราโซนิกสเปรย์ไพโรไลซิส	87

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	กระบวนการผลิตไดเมทิลอีเทอร์แบบทางอ้อม (Indirect DME Synthesis) หรือ กระบวนการดีไฮเดรชันของเมทานอล (Methanol Dehydration)	7
2.2	กระบวนการผลิตไดเมทิลอีเทอร์แบบทางตรง (Direct DME Synthesis)	7
2.3	สัดส่วนของแก๊สสังเคราะห์ต่อค่าการเปลี่ยนของปฏิกิริยาการสังเคราะห์ ไดเมทิลอีเทอร์	8
2.4	พลังงานกระตุ้นของการเกิดปฏิกิริยาเคมี	12
2.5	ขั้นตอนการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาดังด้วยวิธีการตกตะกอน	19
2.6	a) การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาดังด้วยวิธีการดูดซับ	19
2.6	b) ไอโซเทิร์มของการดูดซับของไอออนตัวเร่งปฏิกิริยา	19
2.7	ขั้นตอนการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาดังด้วยวิธีการทำให้เอบซุ่ม	21
2.8	การเกิดแรงดันของของเหลวเนื่องจากการแตกของฟองอากาศขนาดเล็ก	23
3.1	หลักการเกิดรังสีเอกซ์	31
3.2	แผนผังเครื่องมืออุปกรณ์ที่ใช้ในการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาดัง เทคนิคอัลตราโซนิกสเปร์ย์ไพโรไลซิส	35
3.3	โปรแกรมการรีดิวซ์ที่ใช้ในการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา	36
3.4	เครื่องปฏิกรณ์สำหรับการสังเคราะห์ไดเมทิลอีเทอร์	37
4.1	รูปแบบ XRD ของตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์/ซิงก์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ด้วยวิธี ตกตะกอนร่วมและเทคนิคอัลตราโซนิกสเปร์ย์ไพโรไลซิส (อัตราส่วนโดยโมลของ คอปเปอร์ออกไซด์ต่อซิงก์ออกไซด์เท่ากับ 1:1 เผาที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง)	40
4.2	รูปแบบ XRD ของตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์/ซิงก์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ด้วยเทคนิคอัลตรา โซนิกสเปร์ย์ไพโรไลซิสที่อุณหภูมิต่าง ๆ โดยไม่ผ่านการเผา (อัตราส่วนโดยโมลของ คอปเปอร์ออกไซด์ต่อซิงก์ออกไซด์เท่ากับ 1:1)	41

- 4.3 รูปแบบ XRD ของตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์/ซิงก์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ด้วยเทคนิคอัลตราโซนิกสเปร์ย์ไพโรไลซิสที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส โดยผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมงกับไม้เผา (อัตราส่วนโดยโมลของคอปเปอร์ออกไซด์ต่อซิงก์ออกไซด์เท่ากับ 1:1) 42
- 4.4 รูปแบบ XRD ของตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์/ซิงก์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ด้วยเทคนิคอัลตราโซนิกสเปร์ย์ไพโรไลซิสที่อุณหภูมิต่าง ๆ (อัตราส่วนโดยโมลของคอปเปอร์ออกไซด์ต่อซิงก์ออกไซด์ = 1:1 และเผาที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง) 43
- 4.5 ภาพถ่ายไมโครกราฟด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด SEM ($\times 8000$) แสดงสัญญาณวิทยาของตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์/ซิงก์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ด้วยวิธีตกตะกอนร่วมและเทคนิคอัลตราโซนิกสเปร์ย์ไพโรไลซิสที่อุณหภูมิต่างๆ (อัตราส่วนโดยโมลของคอปเปอร์ออกไซด์ต่อซิงก์ออกไซด์เท่ากับ 1:1 และเผาที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 4 ชั่วโมง) (ก) วิธีตกตะกอนร่วม (ข) อัลตราโซนิกสเปร์ย์ไพโรไลซิสที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส (ค) อัลตราโซนิกสเปร์ย์ไพโรไลซิสที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส และ (ง) อัลตราโซนิกสเปร์ย์ไพโรไลซิสที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส 46
- 4.6 ภาพถ่ายไมโครกราฟด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด SEM ($\times 8000$) แสดงสัญญาณวิทยาของตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์/ซิงก์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ด้วยเทคนิคอัลตราโซนิกสเปร์ย์ไพโรไลซิสที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส (ก) ไม่เผา และ (ข) เผาที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง (อัตราส่วนโดยโมลของคอปเปอร์ออกไซด์ต่อซิงก์ออกไซด์เท่ากับ 1:1) 47
- 4.7 การกระจายของขนาดอนุภาคตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์/ซิงก์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ด้วยเทคนิคอัลตราโซนิกสเปร์ย์ไพโรไลซิสที่อุณหภูมิต่าง ๆ (อัตราส่วนโดยโมลของคอปเปอร์ออกไซด์ต่อซิงก์ออกไซด์เท่ากับ 1:1 และเผาที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง) 49

4.8	ภาพถ่ายไมโครกราฟด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (x8000) เทคนิค SEM/EDX mapping แสดงการกระจายตัวของธาตุองค์ประกอบของตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์/ซิงก์ออกไซด์ที่สังเคราะห์เทคนิคอัลตราโซนิกสเปรย์ไพโรไลซิสที่อุณหภูมิต่าง ๆ (อัตราส่วนโดยโมลของคอปเปอร์ออกไซด์ต่อซิงก์ออกไซด์เท่ากับ 1:1 และเผาที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง) (ก) อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส (ข) อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส และ (ค) อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส	50
4.9	การเกิดรีดักชันของตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์/ซิงก์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ด้วยวิธีตกตะกอนร่วมและเทคนิคอัลตราโซนิกสเปรย์ไพโรไลซิสที่อุณหภูมิต่างๆ (อัตราส่วนโดยโมลของคอปเปอร์ออกไซด์ต่อซิงก์ออกไซด์เท่ากับ 1:1 และเผาที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง) วิเคราะห์ด้วยเทคนิค TPR ...	53
4.10	รูปแบบ XRD ของตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์/ซิงก์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ด้วยอัลตราโซนิกสเปรย์ไพโรไลซิสที่อัตราส่วนโดยโมลของคอปเปอร์ออกไซด์ต่อซิงก์ออกไซด์ต่างกัน (อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียสและเผาที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง)	57
4.11	ภาพถ่ายไมโครกราฟด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด SEM (x8000) แสดงลักษณะพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์/ซิงก์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ด้วยเทคนิคอัลตราโซนิกสเปรย์ไพโรไลซิสที่อัตราส่วนโดยโมลของคอปเปอร์ออกไซด์ต่อซิงก์ออกไซด์ต่างๆ (อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียสและเผาที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง) (ก) 1:1 (ข) 1:2 และ (ค) 2:1	59
4.12	การกระจายของขนาดอนุภาคตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์/ซิงก์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ด้วยเทคนิคอัลตราโซนิกสเปรย์ไพโรไลซิสที่อัตราส่วนโดยโมลของคอปเปอร์ออกไซด์ต่อซิงก์ออกไซด์ต่างกัน (อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียสและเผาที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง)	60

4.13	ภาพถ่ายไมโครกราฟด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด SEM/EDX mapping (x8000) แสดงการกระจายตัวของธาตุองค์ประกอบของตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์/ซิงก์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ด้วยเทคนิคอัลตราโซนิคสเปรย์ไฟโรไลซิสที่อัตราส่วนโดยโมลของคอปเปอร์ออกไซด์ต่อซิงก์ออกไซด์ต่างกัน (อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียสและเผาที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง) (ก) 1:1 (ข) 1:2 และ (ค) 2:1	61
4.14	การเกิดรีดักชันของตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์/ซิงก์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ด้วยเทคนิคอัลตราโซนิคสเปรย์ไฟโรไลซิสที่อัตราส่วนโดยโมลของคอปเปอร์ออกไซด์ต่อซิงก์ออกไซด์ต่างกัน (อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียสและเผาที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง) วิเคราะห์ด้วยเทคนิค TPR	63
4.15	ผลของวิธีการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์/ซิงก์ออกไซด์ต่อคาร์บอนของการเปลี่ยนคาร์บอนมอนอกไซด์ของตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์/ซิงก์ออกไซด์-ซีโอไลต์ HZSM-5 (อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส ความดัน 40 บาร์ แก๊สสังเคราะห์ CO/H ₂ /Ar = 48/48/4 ตัวทำละลายเมทานอล 40 มิลลิลิตร ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 1 กรัม อัตราส่วนตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์/ซิงก์ออกไซด์-ซีโอไลต์ HZSM-5 เท่ากับ 2:1 โดยน้ำหนัก)	66
4.16	ผลของวิธีการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์/ซิงก์ออกไซด์ต่อคาร์บอนของการเลือกเกิดเป็นไดเมทิลอีเทอร์ของตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์/ซิงก์ออกไซด์-ซีโอไลต์ HZSM-5 (อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส ความดัน 40 บาร์ แก๊สสังเคราะห์ CO/H ₂ /Ar = 48/48/4 ตัวทำละลายเมทานอล 40 มิลลิลิตร ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 1 กรัม อัตราส่วนตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์/ซิงก์ออกไซด์-ซีโอไลต์ HZSM-5 เท่ากับ 2:1 โดยน้ำหนัก)	68

- 4.17 ผลของอุณหภูมิในการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์/ซิงก์ออกไซด์ด้วยเทคนิคอัลตราโซนิกสเปร์ย์ไฟโรไลซิสต่อค่าร้อยละของการเปลี่ยนคาร์บอนมอนอกไซด์ของตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์/ซิงก์ออกไซด์-ซีโอไลต์ HZSM-5 (อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส ความดัน 40 บาร์ แก๊สสังเคราะห์ $\text{CO}/\text{H}_2/\text{Ar} = 48/48/4$ ตัวทำละลายเมทานอล 40 มิลลิลิตร ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 1 กรัม อัตราส่วนตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์/ซิงก์ออกไซด์-ซีโอไลต์ HZSM-5 เท่ากับ 2:1) 68
- 4.18 ผลของอุณหภูมิในการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์/ซิงก์ออกไซด์ด้วยเทคนิคอัลตราโซนิกสเปร์ย์ไฟโรไลซิสต่อค่าร้อยละการเลือกเกิดเป็นไดเมทิลอีเทอร์ของตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์/ซิงก์ออกไซด์-ซีโอไลต์ HZSM-5 (อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส ความดัน 40 บาร์ แก๊สสังเคราะห์ $\text{CO}/\text{H}_2/\text{Ar} = 48/48/4$ ตัวทำละลายเมทานอล 40 มิลลิลิตร ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 1 กรัม อัตราส่วนตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์/ซิงก์ออกไซด์-ซีโอไลต์ HZSM-5 เท่ากับ 2:1 โดยน้ำหนัก) 69
- 4.19 ผลของอัตราส่วนโดยโมลของคอปเปอร์ออกไซด์ต่อซิงก์ออกไซด์ในการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์/ซิงก์ออกไซด์ด้วยเทคนิคอัลตราโซนิกสเปร์ย์ไฟโรไลซิสต่อค่าร้อยละของการเปลี่ยนคาร์บอนมอนอกไซด์ของตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์/ซิงก์ออกไซด์-ซีโอไลต์ HZSM-5 (อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส ความดัน 40 บาร์ แก๊สสังเคราะห์ $\text{CO}/\text{H}_2/\text{Ar} = 48/48/4$ ตัวทำละลายเมทานอล 40 มิลลิลิตร ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 1 กรัม อัตราส่วนตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์/ซิงก์ออกไซด์-ซีโอไลต์ HZSM-5 เท่ากับ 2:1 โดยน้ำหนัก) 72
- 4.20 ผลของอัตราส่วนโดยโมลของคอปเปอร์ออกไซด์ต่อซิงก์ออกไซด์ในการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์/ซิงก์ออกไซด์ด้วยเทคนิคอัลตราโซนิกสเปร์ย์ไฟโรไลซิสต่อค่าร้อยละการเลือกเกิดเป็นไดเมทิลอีเทอร์ของตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์/ซิงก์ออกไซด์-ซีโอไลต์ HZSM-5 (อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส ความดัน 40 บาร์ แก๊สสังเคราะห์ $\text{CO}/\text{H}_2/\text{Ar} = 48/48/4$ ตัวทำละลายเมทานอล 40 มิลลิลิตร ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 1 กรัม อัตราส่วนตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์/ซิงก์ออกไซด์-ซีโอไลต์ HZSM-5 เท่ากับ 2:1 โดยน้ำหนัก) 73