ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
242476

เทคนิคการเตรียมซีโอไลต์ SUZ-4 จากขี้เถ้าชานอ้อย

นางสาวดุษฎี ไตรสุวรรณ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ปีการศึกษา 2553
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

เรื่อง เทคนิคการเตรียมซีโอไลต์ SUZ-4 จากขี้เถ้าชานอ้อย

โดย นางสาวดุษฎี ไตรสุวรรณ

ได้รับอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

_____คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(อาจารย์ ดร.มงคล หวังสถิตย์วงษ์)

18 พฤษภาคม 2554

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

_____ประธานกรรมการ

(อาจารย์ ดร.หาญพล พึ่งรัศมี)

_____กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พัชรินทร์ วรธนกุล)

_____กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ไพศาล คงคาฉุยฉาย)

_____กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กำชัย นุ้ยธิติกุล)

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
242476

เทคนิคการเตรียมซีโอไลต์ SUZ-4 จากขี้เถ้าชานอ้อย

นางสาวดุษฎี ไตรสุวรรณ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ปีการศึกษา 2553
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ชื่อ	:	นางสาวดุษฎี ไตรสุวรรณ
ชื่อวิทยานิพนธ์	:	เทคนิคการเตรียมซีโอไลต์ SUZ-4 จากขี้เถ้าชานอ้อย
สาขาวิชา	:	วิศวกรรมเคมี
		มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	:	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พัชรินทร์ วรธนกุล
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	:	รองศาสตราจารย์ ดร.ไพศาล คงคาฉุยฉาย
ปีการศึกษา	:	2553

242476

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการสังเคราะห์ซีโอไลต์ SUZ-4 โดยแหล่งซิลิกาเตรียมได้จากขี้เถ้าชานอ้อยที่เหลือทิ้งจากโรงงานน้ำตาล 2 วิธี ในวิธีที่ 1 การปรับปรุงคุณภาพของขี้เถ้าด้วยกรดไฮโดรคลอริกและเผาในสภาวะที่มีออกซิเจน ส่วนในวิธีที่ 2 การนำขี้เถ้าชานอ้อยให้ความร้อนกับโซเดียมไฮดรอกไซด์แล้วไตเตรตด้วยกรดไฮโดรคลอริกจากนั้นนำซิลิกาที่เตรียมได้ทั้งสองวิธีมาสังเคราะห์ซีโอไลต์ SUZ-4 โดยปรับอัตราส่วนซิลิกาจากขี้เถ้าชานอ้อย:ซิลิกาโซล เป็น 0:100 25:75 50:50 75:25 และ 100:0 และศึกษาคุณลักษณะของซีโอไลต์ SUZ-4 ที่สังเคราะห์ได้ รวมทั้งศึกษาการแลกเปลี่ยนไอออนระหว่าง K/SUZ-4 กับโลหะคอปเปอร์ (Cu) เพื่อปรับปรุงสมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยา และนำตัวเร่งปฏิกิริยาที่ได้ทั้งหมดทำปฏิกิริยารีดักชันก๊าซไนตริกออกไซด์โดยใช้ก๊าซไฮโดรเจนเป็นตัวรีดิวซ์ พบว่าเมื่อใช้ K/SUZ-4 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของก๊าซไนตริกออกไซด์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิ และเมื่อใช้ Cu/SUZ-4 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา พบว่าการใช้ 2.3 และ 2.8 wt.% Cu/SUZ-4 ที่อุณหภูมิ 500-700 องศาเซลเซียส จะให้ค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงก๊าซไนตริกออกไซด์อยู่ที่ประมาณ 40-70 ส่วนที่อุณหภูมิต่ำตัวเร่งปฏิกิริยา Cu/SUZ-4 จะให้ค่าการเปลี่ยนแปลงก๊าซไนตริกออกไซด์ที่ใกล้เคียงกันคืออยู่ที่ประมาณ 10-30 เปอร์เซ็นต์

(วิทยานิพนธ์มีจำนวนทั้งสิ้น 125 หน้า)

คำสำคัญ : ขี้เถ้าชานอ้อย, ซิลิกา, ซีโอไลต์ SUZ-4, รีดักชันไนตริกออกไซด์, การแลกเปลี่ยนไอออนคอปเปอร์

_____อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Name : Miss Dusadee Trisuwan

Thesis Title : Technique for SUZ-4 zeolite Powder Synthesis Derived from Bagasse Ash

Major Field : Chemical Engineering

King Mongkut's University of Technology North Bangkok

Thesis Advisor : Assistant Professor Dr.Patcharin Worathanakul

Co-Advisor : Associate Professor Dr.Paisan Kongkachuichay

Academic Year : 2010

242476

Abstract

The purpose of this research was to synthesize SUZ-4 zeolite from bagasse ash which is one of the agricultural wastes from a sugar producing company. Two different methods for silica source preparation were studied for SUZ-4 zeolite synthesis 1) pretreatment of bagasse ash with hydrochloric acid and burning with oxygen and 2) preparation of sodium silicate and titration with hydrochloric acid. The silica sources with different bagasse ash:silica sol ratios were adjusted at 0:100, 25:75, 50:50, 75:25 and 100:0 and the physical properties were characterized. Different weight percentages of 2.3, 2.8, 3.3 and 5.5 copper were loaded in K/SUZ-4. K/SUZ-4 and Cu/SUZ-4 were used as a catalyst for nitric oxide reduction by hydrogen. K/SUZ-4 catalyst is active for NO conversion with 86.62 % at 700 °C. Using 2.3 and 2.8 wt.% Cu/SUZ-4 as a catalyst, NO conversion was 40-70 %.

(Total 125 pages)

Keywords : Bagasse Ash, Silica, SUZ-4 zeolite, NO Reduction, Copper Ion Exchange

Patcharin Wor Kh. Advisor

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ดีด้วยความช่วยเหลือของผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พัชรินทร์ วรธนกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลักและรองศาสตราจารย์ ดร.ไพศาล คงคาฉุยฉาย อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ของการวิจัยมาโดยตลอด รวมทั้งผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กำชัย นุ้ยธิติกุลและอาจารย์ ดร.หาญพล พึ่งรัศมี อาจารย์ผู้ร่วมประเมินงานวิจัย

การวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และบริษัทน้ำตาลครบุรี จำกัด ภายใต้โครงการเชื่อมโยงภาคการผลิตกับงานวิจัย ทุน สกว. - อุตสาหกรรม (MRG-WI525E092)

การวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนบางส่วนจากทุนอุดหนุนการวิจัยเพื่อทำวิทยานิพนธ์สำหรับนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ขอขอบคุณ บริษัท น้ำตาลครบุรี จำกัด สำหรับตัวอย่างขี้เถ้าชานอ้อยและขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ และภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สำหรับสถานที่ในการทำวิจัยและวัสดุอุปกรณ์งานวิจัย

ขอขอบคุณครอบครัว บุคคลใกล้ชิด และเพื่อน ๆ พี่ๆ น้องๆ ที่คอยช่วยเหลือและให้กำลังใจมาโดยตลอด

ดุษฎี ไตรสุวรรณ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพ	ซ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย	3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 ซิลิกอนไดออกไซด์	5
2.2 ซีโอไลต์	5
2.3 ซีโอไลต์ SUZ-4	15
2.4 ก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน	19
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการ	35
3.1 วัตถุดิบและสารเคมี	35
3.2 อุปกรณ์	36
3.3 เครื่องมือวิเคราะห์	38
3.4 ขั้นตอนการทดลอง	42
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง	47
4.1 ผลของการเตรียมซิลิกาจากขี้เถ้าชานอ้อย	47
4.2 ผลของการสังเคราะห์ซีโอไลต์ SUZ-4	51

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.3 ผลการแลกเปลี่ยนไอออนของ K/SUZ-4 กับโลหะคอปเปอร์ โดยใช้ซีโอไลต์ที่สังเคราะห์จาก BA:silica sol เท่ากับ 0:100 58

4.4 ผลการแลกเปลี่ยนไอออนของ K/SUZ-4 กับโลหะคอปเปอร์ โดยใช้ซีโอไลต์ที่สังเคราะห์จาก BA:silica sol เท่ากับ 25:75 65

4.5 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการลดก๊าซไนตริกออกไซด์ 67

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ 85

5.1 สรุปผลการทดลอง 85

5.2 ข้อเสนอแนะ 86

บรรณานุกรม 89

ภาคผนวก ก 97

องค์ประกอบทางเคมีของขี้เถ้าชานอ้อย 97

ภาคผนวก ข 99

การคำนวณปริมาณสารตั้งต้นที่ใช้ในการสังเคราะห์ซีโอไลต์ชนิด SUZ-4 จากขี้เถ้าชานอ้อย 99

ภาคผนวก ค 105

การคำนวณการแลกเปลี่ยนไอออน 105

ภาคผนวก ง 107

XRD pattern มาตรฐานของซีโอไลต์ 107

ภาคผนวก จ 111

ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกด้วยเครื่อง XRD 111

ภาคผนวก ฉ 121

การวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุด้วยเครื่อง EDS 121

ประวัติผู้วิจัย 125

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2-1	มาตรฐานการระบายก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนจากยานพาหนะ	20
2-2	ผลของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ต่อมนุษย์	22
2-3	ตัวเร่งปฏิกิริยาและ Reducing Agent ที่ใช้ในการลดก๊าซไนตริกออกไซด์	32
4-1	องค์ประกอบทางเคมีของขี้เถ้าชานอ้อย	48
4-2	ผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง BET ของซีโอไลต์ SUZ-4 ที่อัตราส่วนซิลิกาจากขี้เถ้าชานอ้อย:ซิลิกาโซล ต่างๆ	55
4-3	องค์ประกอบธาตุของซีโอไลต์ SUZ-4 ที่สังเคราะห์จากขี้เถ้าชานอ้อย	58
4-4	สัดส่วนธาตุของ Cu/SUZ-4 (ใช้ K/SUZ-4 ที่สังเคราะห์จาก BA:silica sol เท่ากับ 0:100)	60
4-5	ผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง BET ของ Cu/SUZ-4 (ใช้ K/SUZ-4 ที่สังเคราะห์จาก BA:silica sol เท่ากับ 0:100)	63
4-6	สัดส่วนธาตุของ Cu/SUZ-4 (ใช้ K/SUZ-4 ที่สังเคราะห์จาก BA:silica sol เท่ากับ 25:75)	67
4-7	สภาวะที่ใช้ในการศึกษาประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาที่สังเคราะห์จากขี้เถ้าชานอ้อย	68
4-8	สภาวะที่ใช้ในการศึกษาปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา K/SUZ-4	69
4-9	สภาวะที่ใช้ในการศึกษาผลของอุณหภูมิ	71
4-10	สภาวะที่ใช้ในการศึกษาประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยา Cu/SUZ-4	74
ก-1	องค์ประกอบทางเคมีของขี้เถ้าชานอ้อย	98
ข-1	สูตรโมเลกุล ความบริสุทธิ์ และน้ำหนักโมเลกุลของสารตั้งต้นที่ใช้ในการสังเคราะห์ซีโอไลต์ชนิด SUZ-4	100

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2-1	โครงสร้างแบบทรงสี่หน้าของซิลิเกต $[SiO_4]^{4-}$ หรืออลูมิเนต $[AlO_4]^{5-}$	6
2-2	โครงสร้างทุติยภูมิของซีโอไลต์	7
2-3	โครงสร้าง 3 มิติของตัวอย่างซีโอไลต์ชนิดต่างๆ	9
2-4	แผนผังลำดับขั้นในการสังเคราะห์ซีโอไลต์	11
2-5	โครงสร้างของซีโอไลต์ SUZ-4	16
2-6	ปริมาณก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนจากสาเหตุต่างๆ	19
3-1	ขี้เถ้าชานอ้อยจากบริษัทน้ำตาลครบุรี จำกัด	36
3-2	เครื่องปฏิกรณ์ไฮโดรเทอร์มัล (Autoclave) รุ่น Parr 4841	37
3-3	เครื่องปฏิกรณ์ไฮโดรเทอร์มัล (Autoclave) ผลิตโดยบริษัท AMAR EQUIPMENTS PVT. LTD	37
3-4	ชุดทดสอบปฏิกิริยาและเตาเผา	38
3-5	เครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี (XRF)	38
3-6	เครื่องวัดการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (XRD)	39
3-7	เครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตมิเตอร์ (FT-IR)	40
3-8	เครื่องวิเคราะห์พื้นผิวและปริมาตรรูพรุน (BET)	40
3-9	เครื่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)	41
3-10	เครื่องวัดความเข้มข้นของก๊าซ	42
3-11	แผนภาพชุดอุปกรณ์ทดสอบปฏิกิริยาไนตริกออกไซด์รีดักชัน	45
4-1	XRD pattern ของขี้เถ้าชานอ้อย	49
4-2	FT-IR spectra ของขี้เถ้าชานอ้อย	50
4-3	XRD pattern ของผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้จากการใช้ซิลิกาที่เตรียมจากวิธีที่ 1	52
4-4	XRD pattern ของผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้จากการใช้ซิลิกาที่เตรียมจากวิธีที่ 2	53
4-5	FT-IR spectra ของซีโอไลต์ SUZ-4 ที่สังเคราะห์ได้โดยใช้ซิลิกาที่เตรียมได้จากวิธีที่ 2	54

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
4-6	การกระจายตัวของรูพรุนของ SUZ-4 ที่สังเคราะห์โดยใช้ซิลิกาที่เตรียมด้วยวิธีที่ 2 และใช้ BA:silica sol เท่ากับ 0:100 25:75 และ 50:50	56
4-7	ลักษณะรูปร่างของซีโอไลต์ SUZ-4	57
4-8	ลักษณะรูปร่างของซีโอไลต์เมอริโนไอท์ (Merinoite)	57
4-9	XRD pattern ของ Cu/SUZ-4 ที่ปริมาณการโหลดคอปเปอร์ต่างๆ	61
4-10	FTIR spectra ของ Cu/SUZ-4 ที่ปริมาณการโหลดคอปเปอร์ต่างๆ	62
4-11	การกระจายตัวของรูพรุนของ Cu/SUZ-4 (ใช้ K/SUZ-4 ที่สังเคราะห์จาก BA:silica sol เท่ากับ 0:100)	63
4-12	ลักษณะรูปร่างของ K/SUZ-4 และ Cu/SUZ-4 (ใช้ K/SUZ-4 ที่สังเคราะห์จาก BA:silica sol เท่ากับ 0:100)	64
4-13	การกระจายอนุภาคของธาตุของ Cu/SUZ-4 (ใช้ K/SUZ-4 ที่สังเคราะห์จาก BA:silica sol เท่ากับ 25:75)	66
4-14	เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงก๊าซไนตริกออกไซด์ โดยใช้ K/SUZ-4 ที่สังเคราะห์จาก BA:silica sol เท่ากับ 25:75 และ 0:100 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา	69
4-15	ผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาต่อเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงก๊าซไนตริกออกไซด์	70
4-16	ผลของอุณหภูมิต่อเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงก๊าซไนตริกออกไซด์	72
4-17	FT-IR spectra ของ K/SUZ-4 ที่ผ่านการทำปฏิกิริยารีดักชันก๊าซไนตริกออกไซด์แล้วที่อุณหภูมิ 500 600 และ 700 องศาเซลเซียส	73
4-18	ผลของปริมาณคอปเปอร์ที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงก๊าซไนตริกออกไซด์ที่ทำปฏิกิริยาที่ 600 องศาเซลเซียส	75
4-19	ผลของปริมาณคอปเปอร์ที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงก๊าซไนตริกออกไซด์ที่ทำปฏิกิริยาที่ 500 องศาเซลเซียส	76
4-20	ผลของปริมาณคอปเปอร์ที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงก๊าซไนตริกออกไซด์ที่ทำปฏิกิริยาที่ 700 องศาเซลเซียส	77

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
4-21	ผลของปริมาณคอปเปอร์ที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงก๊าซไนตริกออกไซด์ที่ทำปฏิกิริยาที่ 100 องศาเซลเซียส	77
4-22	ผลของปริมาณคอปเปอร์ที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงก๊าซไนตริกออกไซด์ที่ทำปฏิกิริยาที่ 300 องศาเซลเซียส	78
4-23	ผลของอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาของ 2.3 wt.% Cu/SUZ-4	79
4-24	ผลของอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาของ 2.8 wt.% Cu/SUZ-4	79
4-25	ผลของอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาของ 3.3 wt.% Cu/SUZ-4	80
4-26	ผลของอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาของ 5.5 wt.% Cu/SUZ-4	80
4-27	ผลของอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาของ Cu/SUZ-4 ที่อุณหภูมิต่าง ๆ	81
4-28	FT-IR spectra ของ Cu/SUZ-4 ที่ทำปฏิกิริยาแล้ว	82
ง-1	XRD pattern มาตรฐานของซีโอไลต์ SUZ-4	108
ง-2	XRD pattern มาตรฐานของซีโอไลต์ Merlinoite	108
ง-3	XRD pattern มาตรฐานของ Alpha Quartz	109
ง-4	XRD pattern มาตรฐานของซีโอไลต์ Philipsite	109
ง-5	XRD pattern มาตรฐานของซีโอไลต์ Linde Type F	110
จ-1	XRD pattern ของผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์จากการใช้สารเคมี 100 เปอร์เซ็นต์ (BA:silica sol เท่ากับ 0:100)	112
จ-2	XRD pattern ของผลิตภัณฑ์ที่ใช้ BA:silica sol เท่ากับ 25:75 (ขี้เถ้าชานอ้อยเตรียมจากกวิธีที่ 1)	113
จ-3	XRD pattern ของผลิตภัณฑ์ที่ใช้ BA:silica sol เท่ากับ 50:50 (ขี้เถ้าชานอ้อยเตรียมจากกวิธีที่ 1)	113
จ-4	XRD pattern ของผลิตภัณฑ์ที่ใช้ BA:silica sol เท่ากับ 75:25 (ขี้เถ้าชานอ้อยเตรียมจากกวิธีที่ 1)	114
จ-5	XRD pattern ของผลิตภัณฑ์ที่ใช้ BA:silica sol เท่ากับ 100:0 (ขี้เถ้าชานอ้อยเตรียมจากกวิธีที่ 1)	114
จ-6	XRD pattern ของผลิตภัณฑ์ที่ใช้ BA:silica sol เท่ากับ 25:75 (ขี้เถ้าชานอ้อยเตรียมจากกวิธีที่ 2)	115

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

จ-7 XRD pattern ของผลิตภัณฑ์ที่ใช้ BA:silica sol เท่ากับ 50:50 (ขี้เถ้าชานอ้อยเตรียมจากกวิธีที่ 2) 116

จ-8 XRD pattern ของผลิตภัณฑ์ที่ใช้ BA:silica sol เท่ากับ 75:25 (ขี้เถ้าชานอ้อยเตรียมจากกวิธีที่ 2) 116

จ-9 XRD pattern ของผลิตภัณฑ์ที่ใช้ BA:silica sol เท่ากับ 100:0 (ขี้เถ้าชานอ้อยเตรียมจากกวิธีที่ 2) 117

จ-10 XRD pattern ของ 2.3 wt.% Cu/SUZ-4 118

จ-11 XRD pattern ของ 2.8 wt.% Cu/SUZ-4 118

จ-12 XRD pattern ของ 3.3 wt.% Cu/SUZ-4 119

จ-13 XRD pattern ของ 5.5 wt.% Cu/SUZ-4 119

ฉ-1 สเปคตรัมของซีโอไลต์ SUZ-4 ของผลิตภัณฑ์ที่ใช้ BA:silica sol เท่ากับ 25:75 (เตรียมขี้เถ้าชานอ้อยด้วยวิธีที่ 2) 122

ฉ-2 สเปคตรัมของซีโอไลต์ SUZ-4 ของผลิตภัณฑ์ที่ใช้ BA:silica sol เท่ากับ 50:50 (เตรียมขี้เถ้าชานอ้อยด้วยวิธีที่ 2) 122

ฉ-3 สเปคตรัมของ 2.3 wt.% Cu/ SUZ-4 (K/SUZ-4 สังเคราะห์จาก BA:silica sol เท่ากับ 25:75) 123

ฉ-4 สเปคตรัมของ 2.8 wt.% Cu/SUZ-4 (K/SUZ-4 สังเคราะห์จาก BA:silica sol เท่ากับ 25:75) 123

ฉ-5 สเปคตรัมของ 3.3 wt.% Cu/ SUZ-4 (K/SUZ-4 สังเคราะห์จาก BA:silica sol เท่ากับ 25:75) 124

ฉ-6 สเปคตรัมของ 5.5 wt.% Cu/ SUZ-4 (K/SUZ-4 สังเคราะห์จาก BA:silica sol เท่ากับ 25:75) 124