

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ฉ
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญภาพ	ฉ
อักษรย่อและสัญลักษณ์	ค
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 แกลบข้าว และเถ้าแกลบ	3
2.2 ซิลิกา หรือ ซิลิกอนไดออกไซด์	4
2.3 การสังเคราะห์วัสดุขนาดต่ำกว่าไมครอนและวัสดุนาโนด้วย	8
กระบวนการทางเคมี	
2.3.1 กระบวนการซอล-เจล	8
2.3.2 การสังเคราะห์วัสดุด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล	10
2.3.3 การสังเคราะห์วัสดุด้วยกระบวนการเฟลมสเปรย์	12
ไพโรลิซิส	
2.3.4 การสังเคราะห์วัสดุด้วยกระบวนการตกตะกอนร่วม	13
2.4 การใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมต่างๆ	17
2.4.1 การใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมยาง	17
2.4.2 การใช้ประโยชน์ในซีเมนต์	18
2.5 การตรวจวิเคราะห์สารตัวอย่างที่สังเคราะห์ได้	18
2.5.1 การวิเคราะห์โดยวิธีฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปก	18
โทรสโคปี	
2.6 การวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์	21

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.7 เทคนิคจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission Electron Microscopy, TEM)	24
2.8 การวัดพื้นที่ผิวและขนาดอนุภาครูพรุน โดยวิธีบีอีที (BET)	25
2.9 ปูนซีเมนต์	27
2.10 ปฏิกริยาระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำ	30
2.11 การศึกษาโครงสร้างจุลภาคด้วยเทคนิคจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy, SEM)	31
2.12 สาระสำคัญของงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	35
2.13 วัตถุประสงค์	38
2.14 ขอบเขตของงานวิจัย	38
2.15 ประโยชน์ที่ได้รับจากการศึกษาเชิงทฤษฎี และเชิงประยุกต์	38
บทที่ 3 เครื่องมือ อุปกรณ์ วัสดุดิบ สารเคมี และวิธีการทดลอง	40
3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์	40
3.2 วัสดุดิบและสารเคมี	41
3.3 วิธีการทดลอง	41
บทที่ 4 ผลการทดลอง	52
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	86
เอกสารอ้างอิง	88
ภาคผนวก ก	91
ภาคผนวก ข	109
ประวัติผู้เขียน	116

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 แสดงองค์ประกอบของเกลบข้าว	3
2.2 แสดงองค์ประกอบสารอินทรีย์ของเกลบข้าว	3
4.1 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าเกลบข้าวก่อน และหลังเผาที่อุณหภูมิ ที่ 700 ° ซ เป็นเวลา 3 และ 6 ชั่วโมงตามลำดับ	52
4.2 อุณหภูมิและเวลาในการขึ้นไฟที่มีผลต่อประมาณร้อยละของซิลิกา	53
4.3 ผลการเตรียมซิลิกาที่บริสุทธิ์โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่มีความเข้มข้นต่างๆ	54
4.4 สรุปความถี่และชนิดของการสั่นในอินฟราเรดสเปกตรัมของซิลิกา	56
4.5 แสดงสภาวะที่ใช้ในการทดลอง โดยศึกษาผลของความเข้มข้นสาร ละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เริ่มต้นที่มีต่อขนาดตะกอน	58
4.6 สรุปผลการวิเคราะห์ค่าพื้นที่ผิวจำเพาะของสารตัวอย่างเปรียบเทียบกับ กับขนาดผงตัวอย่าง	63
4.7 แสดงสภาวะที่ใช้ในการทดลอง โดยศึกษาผลของเวลาในการกวนผสม ต่างๆที่มีต่อขนาดตะกอน	66
4.8 สรุปผลการวิเคราะห์ค่าพื้นที่ผิวจำเพาะของสารตัวอย่างเปรียบเทียบกับ ขนาดผงตัวอย่าง	70
4.9 แสดงผลการทดสอบค่ากำลังอัด	74

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright© by Chiang Mai University

All rights reserved

สารบัญภาพ

รูป		หน้า
2.1	แสดงรูปแบบต่างๆ ของการเชื่อมต่อของ SiO ₄ Tetrahedral ในโครงสร้างพื้นฐานของซิลิกา	5
2.2	แสดงโครงสร้างของออสซิลิกาน	6
2.3	แสดงการเปลี่ยนแปลงเฟสของซิลิกา	7
2.4	แสดงโครงสร้างของ Crystalline Silica	7
2.5	การสังเคราะห์ด้วยกระบวนการซอล เจล	10
2.6	แผนผังการสังเคราะห์ด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล	11
2.7	แสดงการสังเคราะห์ด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล	11
2.8	แสดงการสังเคราะห์ด้วยกระบวนการเฟลมสเปรย์ไพโรลิซิส	13
2.9	เป็นกราฟแสดงค่าการละลายของผลึกต่างๆ	14
2.10	กระบวนการที่เกิดขึ้นในการตกตะกอน	15
2.11	แผนภาพองค์ประกอบของเครื่องอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์	20
2.12	การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์เกิดจากการกระเจิงและแทรกสอดของรังสี	22
2.13	แสดงส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่อง (X-ray Diffractometer)	23
2.14	ลักษณะของอิลีกตรอนที่เกิดอันตรกิริยากับชิ้นส่วนตัวอย่าง	24
2.15	แผนภาพของส่วนประกอบกล้องจุลทรรศน์อิลีกตรอนแบบส่องผ่าน	25
2.16	กราฟการวัดพื้นที่ผิวโดยวิธีการดูดซับของแก๊สด้วยบีอีที	26
2.17	กราฟที่ได้จากการคำนวณในรูปแบบเส้นตรงของสมการบีอีที	27
2.18	การเกิดอันตรกิริยาระหว่างอิลีกตรอนปฐมภูมิกับอะตอมตัวอย่าง	32
2.19	แผนภาพขององค์ประกอบกล้องจุลทรรศน์อิลีกตรอนแบบส่องกราด	33
2.20	การกระตุ้นให้เกิดรังสีเอกซ์เฉพาะตัวโดยใช้ลำอิลีกตรอน	34

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูป		หน้า
3.1	แสดงเงื่อนไขการเผาซึ่งที่อุณหภูมิ 700 °ซ เวลา 3 ชม. และ 6 ชม.	41
3.2	ขั้นตอนเตรียมผงนาโนซิลิกาที่ความเข้มข้นของสารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์ต่างๆ	44
3.3	ขั้นตอนเตรียมผงนาโนซิลิกาที่เวลากวนผสมแตกต่างกัน	45
3.4	เตาเผาไฟฟ้าสำหรับเผาแก้วเคลือบข้าว	48
3.5	เครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโคป (Fourier Transform Infrared Spectroscopy, FT-IR) รุ่น IR 510 ผลิต โดยบริษัท Nicolet ประเทศสหรัฐอเมริกา	48
3.6	กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission Electron Microscopy, TEM) รุ่น JEM-2010 ผลิตโดยบริษัท JEOL ประเทศญี่ปุ่น	49
3.7	เครื่องวิเคราะห์พื้นที่ผิวของอนุภาค (Surface Area Analyzer) รุ่น Autosorb 1 MP ผลิตโดยบริษัท Quantachrome ประเทศ สหรัฐอเมริกา	49
3.8	เครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ (X-ray Diffractometer, XRD) รุ่น D 500 ผลิตโดยบริษัท Siemens ประเทศสหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมัน	50
3.9	เครื่องวัดขนาดอนุภาค (Particle Size) รุ่น Mastersizer S ของ บริษัท Malvern	50
3.10	เครื่องทดสอบความแข็งแรง (Compressive Strength) Universal Testing100 ต้นบริษัท Baldwin ประเทศ สหรัฐอเมริกา	51
3.11	กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy, SEM) รุ่น JSM-5910 LV บริษัท JEOL ประเทศ ญี่ปุ่น	51

สารบัญภาพ(ต่อ)

รูป		หน้า
4.1	อินฟราเรดสเปกตรัมของซิลิกาที่สกัดในกระบวนการทดลองที่ได้เปรียบเทียบกับซิลิกามาตรฐาน	55
4.2	แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของซิลิกาที่สกัดจากเถาแกลบข้าว	57
4.3	ภาพถ่าย TEM ของผงนาโนซิลิกาที่ได้จากความเข้มข้นเริ่มต้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่างๆ (a) 2.0 นอร์มอล (b) 2.5 นอร์มอล และ (c) 3.0 นอร์มอล ตามลำดับ	60
4.4	สเปกตรัมของการสังเคราะห์ผงนาโนซิลิกาที่สังเคราะห์ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 2.0 นอร์มอลด้วยเทคนิค EDS	61
4.5	สเปกตรัมของการสังเคราะห์ผงนาโนซิลิกาที่สังเคราะห์ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 2.5 นอร์มอลด้วยเทคนิค EDS	62
4.6	สเปกตรัมของการสังเคราะห์ผงนาโนซิลิกาที่สังเคราะห์ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 3.0 นอร์มอลด้วยเทคนิค EDS	62
4.7	อินฟราเรดสเปกตรัมของผงนาโนซิลิกาที่สกัดในกระบวนการทดลองที่ความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่างๆ	64
4.8	แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของผงนาโนซิลิกาที่เตรียมที่ความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่างๆ	65
4.9	ภาพถ่าย TEM ของผงนาโนซิลิกาที่ได้จากเวลาที่กวนผสมต่างๆ คือ 8, 10 และ 12 ชั่วโมง ตามลำดับ ที่กำลังขยาย 200,000 เท่า	67

สารบัญภาพ(ต่อ)

รูป		หน้า
4.10	สเปกตรัมของการสังเคราะห์ผงนาโนซิลิกาที่สังเคราะห์ที่เวลาถนอมผสม 8 ชั่วโมงด้วยเทคนิค EDS	68
4.11	สเปกตรัมของการวิเคราะห์ผงนาโนซิลิกาที่สังเคราะห์ที่เวลาถนอมผสม 10 ชั่วโมงด้วยเทคนิค EDS	69
4.12	สเปกตรัมของการสังเคราะห์ผงนาโนซิลิกาที่สังเคราะห์ที่เวลาถนอมผสม 12 ชั่วโมงด้วยเทคนิค EDS	69
4.13	อินฟราเรดสเปกตรัมของซิลิกาที่สกัดในกระบวนการทดลองที่ได้เปรียบเทียบกับซิลิกามาตรฐาน	71
4.14	แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของผงนาโนซิลิกาที่เตรียมที่เวลาถนอมผสมต่างๆ คือ 8, 10 และ 12 ชั่วโมงตามลำดับ	72
4.15	การพัฒนากำลังอัดของปูนเปสต์ที่มีส่วนผสมของผงนาโนซิลิกา	73
4.16	แสดงเฟสต่างๆที่เกิดในซีเมนต์หลังเกิดขึ้นปฏิกิริยาไฮเดรชัน	74
4.17	โครงสร้างของปูนเปสต์ที่บ่มที่ระยะเวลา 1 วัน (a) โครงสร้างระดับจุลภาคของปูนเปสต์ปอร์ตแลนด์, (b) โครงสร้างระดับจุลภาคของปูนเปสต์ที่มีผงนาโนซิลิกา 4 เปอร์เซ็นต์ และ (c) โครงสร้างระดับจุลภาคของปูนเปสต์ที่มีผงนาโนซิลิกา 10 เปอร์เซ็นต์ ที่กำลังขยาย 7,500 เท่า	76
4.18	โครงสร้างของปูนเปสต์ที่บ่มที่ระยะเวลา 7 วัน (a) โครงสร้างระดับจุลภาคของปูนเปสต์ปอร์ตแลนด์, (b) โครงสร้างระดับจุลภาคของปูนเปสต์ที่มีผงนาโนซิลิกา 4 เปอร์เซ็นต์ และ (c) โครงสร้างระดับจุลภาคของปูนเปสต์ที่มีผงนาโนซิลิกา 10 เปอร์เซ็นต์ ที่กำลังขยาย 7,500 เท่า	78

สารบัญภาพ(ต่อ)

รูป		หน้า
4.19	โครงสร้างของปูนเพสต์ที่บ่มที่ระยะเวลา 14 วัน (a) โครงสร้างระดับจุลภาคของปูนเพสต์ปอร์ตแลนด์, (b) โครงสร้างระดับจุลภาคของปูนเพสต์ที่มีผงนาโนซิลิกา 4 เปอร์เซ็นต์ และ (c) โครงสร้างระดับจุลภาคของปูนเพสต์ที่มีผงนาโนซิลิกา 10 เปอร์เซ็นต์ที่กำลังขยาย 7,500 เท่า	80
4.20	โครงสร้างของปูนเพสต์ที่บ่มที่ระยะเวลา 28 วัน (a) โครงสร้างระดับจุลภาคของปูนเพสต์ปอร์ตแลนด์, (b) โครงสร้างระดับจุลภาคของปูนเพสต์ที่มีผงนาโนซิลิกา 4 เปอร์เซ็นต์ และ (c) โครงสร้างระดับจุลภาคของปูนเพสต์ที่มีผงนาโนซิลิกา 10 เปอร์เซ็นต์ที่กำลังขยาย 7,500 เท่า	82
4.21	กราฟแสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์เปรียบเทียบระหว่าง (a) การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของปูนเพสต์ ปอร์ตแลนด์ (b) การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของปูนเพสต์ปอร์ตแลนด์ที่เติมนาโนซิลิกา 10 เปอร์เซ็นต์	84
4.22	แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของปูนเพสต์ในงายวิจัยของ Ye Qing	85
ข-1	กราฟผลการทดลองที่ได้จากการคำนวณโดยใช้สมการของ BET ของผงนาโนซิลิกาโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เริ่มต้นที่ความเข้มข้น 2.0 นอร์มอล	110
ข-2	กราฟผลการทดลองที่ได้จากการคำนวณโดยใช้สมการของ BET ของผงนาโนซิลิกาโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เริ่มต้น 2.5 นอร์มอล	111

สารบัญภาพ(ต่อ)

รูป		หน้า
ข-3	กราฟผลการทดลองที่ได้จากการคำนวณโดยใช้สมการของ BET ของผงนาโนซิลิกาโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เริ่มต้น 3.0 นอร์มอล	112
ข-4	กราฟผลการทดลองที่ได้จากการคำนวณโดยใช้สมการของ BET ของผงนาโนซิลิกาโดยใช้เวลากวนผสมที่ 8 ชั่วโมง	113
ข-5	กราฟแสดงผลการทดลองที่ได้จากการทดลองคำนวณโดยใช้สมการ BET ของผงนาโนซิลิกาโดยใช้เวลากวนผสมที่ 10 ชั่วโมง	114
ข-6	กราฟแสดงผลการทดลองที่ได้จากการทดลองคำนวณโดยใช้สมการ BET ของผงนาโนซิลิกาโดยใช้เวลากวนผสมที่ 12 ชั่วโมง	115

อักษรย่อและสัญลักษณ์

SiO ₂	ซิลิกอนไดออกไซด์
nm	นาโนเมตร
g/cm ³	กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
°C	องศาเซลเซียส
θ	มุมการเลี้ยวเบน
MPa	เมกะปาสคาล
pH	ค่าความเป็นกรดเบส
eV	อิเล็กตรอนโวลต์
σ	ความหนาแน่น
λ	ความยาวคลื่น
μm	ไมโครเมตร
C ₂ S	ไคแคลเซียมซิลิเกต
C ₃ S	ไตรแคลเซียมซิลิเกต
C ₃ A	ไตรแคลเซียมอลูมิเนต
C ₄ AF	เตตระแคลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไรต์
TMOS	Tetramethoxysilane
TEOS	Tetraethoxysilane
FTIR	Fourier Transform Infrared Spectrometry
XRD	X-ray Diffraction
TEM	Transmission Electron Microscopy
SEM	Scanning Electron Microscopy
EDS	Energy Dispersive X-ray Spectroscopy
BET	Brunauer-Emmelt-Teller Method

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
 Copyright © by Chiang Mai University
 All rights reserved