

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(8)
รายการตาราง	(12)
รายการภาพประกอบ	(15)
รายการภาพประกอบภาคผนวก	(21)
บทที่	
1. บทนำ	1
1.1 บทนำตั้งเรื่อง	1
1.2 ตรวจเอกสาร	6
1.2.1 พอลิเมอร์ (polymer)	6
1.2.2 สารลดแรงตึงผิว (surfactant)	7
1.2.3 คุณสมบัติทางฟิสิกส์ของสารละลายของสารลดแรงตึงผิว	9
1.2.4 ชนิดของการดูดซับ	11
1.2.5 ไอโซเทอร์มการดูดซับ	12
1.2.6 ขนาดของรูพรุน	17
1.2.7 การคำนวณรัศมีของรูพรุน (mesoporous radius)	17
1.2.8 การคำนวณเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไป	18
1.2.9 สมการแบรกก์ (The Bragg equation)	18
1.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	19
1.4 วัตถุประสงค์	28
2. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง	29
2.1 สารเคมี	29
2.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ	29
2.2.1 อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับการเตรียมตัวอย่าง	29
2.2.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ตัวอย่าง	30
2.3 วิธีการทดลอง	30
2.3.1 วิธีการทดลองที่ 1	30

2.3.2	วิธีการทดลองที่ 2	31
สารบัญ(ต่อ)		
		หน้า
2.3.3	วิธีการทดลองที่ 3	31
2.4	ตรวจสอบคุณลักษณะของซิลิกาที่มีรูพรุน	31
2.4.1	กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด	31
2.4.2	เครื่องวิเคราะห์พื้นที่ผิวและขนาดรูพรุน	32
2.4.3	กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน	32
2.4.4	เครื่องเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์	32
2.4.5	เครื่องเทอร์โมกราวิเมตริกอนาไลเซอร์	32
2.4.6	เครื่องฟูเรียรทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์	33
2.5	ส่วนผสมสารเคมีสำหรับการสังเคราะห์การสังเคราะห์ซิลิกา	33
2.5.1	สังเคราะห์ซิลิกาโดยใช้ CTAB เป็นแม่แบบ	33
2.5.2	สังเคราะห์ซิลิกาโดยใช้บล็อกโคพอลิเมอร์ชนิด E_mB_n และ $E_mB_nE_m$ เป็นแม่แบบ	33
2.5.2.1	สังเคราะห์ซิลิกาโดยใช้บล็อกโคพอลิเมอร์ชนิด E_mB_n และ $E_mB_nE_m$ เป็นแม่แบบเพียงอย่างเดียว	33
(i)	สังเคราะห์ซิลิกาโดยใช้บล็อกโคพอลิเมอร์ชนิด $E_{45}B_{10}$ เป็นแม่แบบ	33
(ii)	สังเคราะห์ซิลิกาโดยใช้บล็อกโคพอลิเมอร์ชนิด $E_{18}B_{10}$ เป็นแม่แบบ	34
(iii)	สังเคราะห์ซิลิกาโดยใช้บล็อกโคพอลิเมอร์ชนิด $E_{33}B_{10}E_{33}$ เป็นแม่แบบ	34
(iiii)	สังเคราะห์ซิลิกาโดยใช้บล็อกโคพอลิเมอร์ชนิด $E_{43}B_{14}E_{43}$ เป็นแม่แบบ	34
2.5.2.2	สังเคราะห์ซิลิกาโดยใช้บล็อกโคพอลิเมอร์ชนิด E_mB_n และ $E_mB_nE_m$ เป็นแม่แบบร่วมกับสารลดแรงตึงผิวอื่น ๆ	35
(i)	สังเคราะห์ซิลิกาโดยใช้บล็อกโคพอลิเมอร์ชนิด $E_{45}B_{10}$ เป็นแม่แบบร่วมกับ CTAB	35

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
(ii) สังกะหรหะชิลิกาโดยใช้บลือกโคพอลิเมอร์ชนิด $E_{45}B_{10}$ เป็นแม่แบบร่วมกับ $E_{33}B_{10}E_{33}$	36
(iii) สังกะหรหะชิลิกาโดยใช้บลือกโคพอลิเมอร์ชนิด $E_{45}B_{10}$ เป็นแม่แบบร่วมกับ $E_{43}B_{14}E_{43}$	37
2.5.3 สังกะหรหะชิลิกาโดยใช้บลือกโคพอลิเมอร์ชนิด $E_mP_nE_m$ เป็นแม่แบบโดยวิธีที่ 3	38
2.5.3.1 สังกะหรหะชิลิกาโดยใช้ P123 และ F127 เป็นแม่แบบ และใช้ $[KCl] = 0.15M$ และ $[HCl] = 2M$	38
2.5.3.2 สังกะหรหะชิลิกาโดยใช้ P123 และ F127 เป็นแม่แบบ และใช้ $[Na_2SO_4] = 0.15M$ และ $[HCl] = 2M$	38
2.5.3.3 สังกะหรหะชิลิกาโดยใช้ P123 และ F127 เป็นแม่แบบ และใช้ $[KCl] = 0.15M$ และ $[HCl] = 0.6M$	39
2.5.3.4 สังกะหรหะชิลิกาโดยใช้ P123 และ F127 เป็นแม่แบบ และใช้ $[Na_2SO_4] = 0.15M$ และ $[HCl] = 0.6M$	39
3. ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง	40
3.1 สังกะหรหะชิลิกาโดยใช้ CTAB เป็นแม่แบบ	40
3.2 สังกะหรหะชิลิกาโดยใช้บลือกโคพอลิเมอร์ชนิด E_mB_n และ $E_mB_nE_m$ เป็นแม่แบบ	43
3.2.1 สังกะหรหะชิลิกาโดยใช้บลือกโคพอลิเมอร์ชนิด E_mB_n และ $E_mB_nE_m$ เป็นแม่แบบเพียงอย่างเดียว	43
3.2.1.1 สังกะหรหะชิลิกาโดยใช้บลือกโคพอลิเมอร์ชนิด $E_{45}B_{10}$ เป็นแม่แบบ	43
3.2.1.2 สังกะหรหะชิลิกาโดยใช้บลือกโคพอลิเมอร์ชนิด $E_{18}B_{10}$ เป็นแม่แบบ	48
3.2.1.3 สังกะหรหะชิลิกาโดยใช้บลือกโคพอลิเมอร์ชนิด $E_{33}B_{10}E_{33}$ เป็นแม่แบบ	53

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.2.1.4 สังกะหรห้ชิลิกาโดยใช้บลิ่อกโคพอลิเมอร์ชนิด $E_{43}B_{14}E_{43}$ เป็นแม่แบบ	57
3.2.2 สังกะหรห้ชิลิกาโดยใช้บลิ่อกโคพอลิเมอร์ชนิด E_mB_n และ $E_mB_nE_m$ เป็นแม่แบบร่วมกับสารลดแรงตึงผิวอื่น ๆ	60
3.2.2.1 สังกะหรห้ชิลิกาโดยใช้บลิ่อกโคพอลิเมอร์ชนิด $E_{45}B_{10}$ เป็นแม่แบบร่วมกับ CTAB	60
3.2.2.2 สังกะหรห้ชิลิกาโดยใช้บลิ่อกโคพอลิเมอร์ชนิด $E_{45}B_{10}$ เป็นแม่แบบร่วมกับ $E_{33}B_{10}E_{33}$	70
3.2.2.3 สังกะหรห้ชิลิกาโดยใช้บลิ่อกโคพอลิเมอร์ชนิด $E_{45}B_{10}$ เป็นแม่แบบร่วมกับ $E_{43}B_{14}E_{43}$	75
3.3 สังกะหรห้ชิลิกาโดยใช้บลิ่อกโคพอลิเมอร์ชนิด $E_mP_nE_m$ เป็นแม่แบบ	80
3.3.1 สังกะหรห้ชิลิกาโดยใช้ $E_{20}P_{70}E_{20}$ (P123) และ $E_{106}P_{70}E_{106}$ (F127) เป็นแม่แบบและใช้เกลือ 2 ชนิดคือ $[KCl] = 0.15M$ และ $[Na_2SO_4] = 0.15M$ และ $[HCl] = 2M$	80
3.3.2 สังกะหรห้ชิลิกาโดยใช้ P123 และ F127 เป็นแม่แบบและใช้เกลือ 2 ชนิดคือ $[KCl] = 0.15M$ และ $[Na_2SO_4] = 0.15M$ และ $[HCl] = 0.6M$	99
4. สรุปลผลการทดลอง	102
เอกสารอ้างอิง	106
ภาคผนวก	110
ประวัติผู้เขียน	134

รายการตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ความแตกต่างระหว่างการดูดซับทางเคมีและการดูดซับทางกายภาพ	11
2.1 ส่วนผสมสารเคมีสำหรับการสังเคราะห์ซิลิกาโดยใช้ CTAB เป็นแม่แบบ	32
2.2 ส่วนผสมสารเคมีสำหรับการสังเคราะห์ซิลิกาโดยใช้ $E_{45}B_{10}$ เป็นแม่แบบ	32
2.3 ส่วนผสมสารเคมีสำหรับการสังเคราะห์ซิลิกาโดยใช้ $E_{18}B_{10}$ เป็นแม่แบบ สังเคราะห์โดยวิธีที่ 1 ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส	33
2.4 ส่วนผสมสารเคมีสำหรับการสังเคราะห์ซิลิกาโดยใช้ $E_{33}B_{10}E_{33}$ เป็นแม่แบบ	33
2.5 ส่วนผสมสารเคมีสำหรับการสังเคราะห์ซิลิกาโดยใช้ $E_{43}B_{14}E_{43}$ เป็นแม่แบบ	33
2.6 ส่วนผสมสารเคมีสำหรับการสังเคราะห์ซิลิกาโดยใช้ $E_{45}B_{10}$ เป็นแม่แบบ ร่วมกับ CTAB	34
2.7 ส่วนผสมสารเคมีสำหรับการสังเคราะห์ซิลิกาโดยใช้ $E_{45}B_{10}$ เป็นแม่แบบ ร่วมกับ $E_{33}B_{10}E_{33}$	35
2.8 ส่วนผสมสารเคมีสำหรับการสังเคราะห์ซิลิกาโดยใช้ $E_{45}B_{10}$ เป็นแม่แบบ ร่วมกับ $E_{43}B_{14}E_{43}$	36
2.9 ส่วนผสมสารเคมีสำหรับการสังเคราะห์ซิลิกาโดยใช้ P123 และ F127 เป็นแม่แบบและใช้ $[KCl] = 0.15M$ และ $[HCl] = 2M$	37
2.10 ส่วนผสมสารเคมีสำหรับการสังเคราะห์ซิลิกาโดยใช้ P123 และ F127 เป็นแม่แบบและใช้ $[Na_2SO_4] = 0.15M$ และ $[HCl] = 2M$	37
2.11 ส่วนผสมสารเคมีสำหรับการสังเคราะห์ซิลิกาโดยใช้ P123 และ F127 เป็นแม่แบบและใช้ $[KCl] = 0.15M$ และ $[HCl] = 0.6M$	38
2.12 ส่วนผสมสารเคมีสำหรับการสังเคราะห์ซิลิกาโดยใช้ P123 และ F127 เป็นแม่แบบและใช้ $[Na_2SO_4] = 0.15M$ และ $[HCl] = 0.6M$	38
3.1 สมบัติพื้นที่ผิว รัศมีรูพรุน และเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปของซิลิกา ที่สังเคราะห์โดยใช้ CTAB เป็นแม่แบบ	41
3.2 ค่า d-spacing ของซิลิกาที่สังเคราะห์โดยใช้ CTAB เป็นแม่แบบ	42
3.3 สมบัติพื้นที่ผิว รัศมีรูพรุน และเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปของซิลิกา ที่สังเคราะห์โดยใช้ $E_{45}B_{10}$ เป็นแม่แบบ	44

รายการตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
3.4	45
เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของซิลิกาที่สังเคราะห์โดยใช้ $E_{45}B_{10}$ เป็นแม่แบบ โดยใช้วิธีที่ 1 และวิธีที่ 2 ในการสังเคราะห์	
3.5	46
ค่า d-spacing ของซิลิกาที่สังเคราะห์โดยใช้ $E_{45}B_{10}$ เป็นแม่แบบ และสังเคราะห์โดยวิธีที่ 1	
3.6	49
สมบัติพื้นที่ผิว รัศมีรูพรุน และเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปของซิลิกาที่สังเคราะห์โดยใช้ $E_{18}B_{10}$ เป็นแม่แบบ	
3.7	50
เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของซิลิกาที่สังเคราะห์โดยใช้ $E_{18}B_{10}$ เป็นแม่แบบ	
3.8	52
ค่า d_{100} , ค่า a_0 , เส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุน(D_p) และค่าความหนาของผนังรูพรุน (h_w) ของซิลิกาที่สังเคราะห์โดยใช้ $E_{18}B_{10}$ เป็นแม่แบบ	
3.9	54
สมบัติพื้นที่ผิว รัศมีรูพรุน และเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปของซิลิกาที่สังเคราะห์โดยใช้ $E_{33}B_{10}E_{33}$ เป็นแม่แบบ	
3.10	55
เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของซิลิกาที่สังเคราะห์โดยใช้ $E_{33}B_{10}E_{33}$ เป็นแม่แบบ โดยใช้วิธีที่ 1 และวิธีที่ 2 ในการสังเคราะห์	
3.11	56
ความถี่ของหมู่ฟังก์ชันต่างๆของซิลิกาที่สังเคราะห์โดยใช้ $E_{33}B_{10}E_{33}$ เป็นแม่แบบ และสังเคราะห์โดยวิธีที่ 2	
3.12	58
สมบัติพื้นที่ผิว รัศมีรูพรุน และเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปของซิลิกาที่สังเคราะห์โดยใช้ $E_{43}B_{14}E_{43}$ เป็นแม่แบบ	
3.13	60
เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของซิลิกาที่สังเคราะห์โดยใช้ $E_{43}B_{14}E_{43}$ เป็นแม่แบบ โดยใช้วิธีที่ 1 และวิธีที่ 2 ในการสังเคราะห์	
3.14	61
สมบัติพื้นที่ผิว รัศมีรูพรุน และเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปของซิลิกาที่สังเคราะห์โดยใช้ $E_{45}B_{10}$ เป็นแม่แบบร่วมกับ CTAB	
3.15	65
เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของซิลิกาที่สังเคราะห์โดยใช้ CTAB และ $E_{45}B_{10}$ เป็นแม่แบบที่อัตราส่วนต่างๆ โดยใช้วิธีที่ 1 และวิธีที่ 2 ในการสังเคราะห์	
3.16	66
ค่า d-spacing ของซิลิกาที่สังเคราะห์โดยใช้ CTAB และ $E_{45}B_{10}$ เป็นแม่แบบ	
3.17	69
ความถี่ของหมู่ฟังก์ชันต่างๆของซิลิกาก่อนเผาที่สังเคราะห์โดยใช้ CTAB และ $E_{45}B_{10}$ เป็นแม่แบบที่อัตราส่วนโดยโมลของ CTAB: $E_{45}B_{10}$ = 50:50 และสังเคราะห์โดยวิธีที่ 1	

รายการตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
3.18 ความถี่ของหมู่ฟังก์ชันต่างๆของซิลิกาหลังเผาที่สังเคราะห์โดยใช้ CTAB และ $E_{45}B_{10}$ เป็นแม่แบบที่อัตราส่วนโดยโมลของ $CTAB:E_{45}B_{10} = 50:50$ และสังเคราะห์โดยวิธีที่ 1	70
3.19 สมบัติพื้นที่ผิว รัศมีรูพรุน และเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปของซิลิกาที่สังเคราะห์โดยใช้ $E_{45}B_{10}$ เป็นแม่แบบร่วมกับ $E_{33}B_{10}E_{33}$	71
3.20 เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของซิลิกาที่สังเคราะห์โดยใช้ $E_{45}B_{10}$ และ $E_{33}B_{10}E_{33}$ เป็นแม่แบบที่อัตราส่วนต่างๆ โดยใช้วิธีที่ 1 และวิธีที่ 2 ในการสังเคราะห์	74
3.21 สมบัติพื้นที่ผิว รัศมีรูพรุน และเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปของซิลิกาที่สังเคราะห์โดยใช้ $E_{45}B_{10}$ เป็นแม่แบบร่วมกับ $E_{43}B_{14}E_{43}$	75
3.22 เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของซิลิกาที่สังเคราะห์โดยใช้ $E_{45}B_{10}$ และ $E_{43}B_{14}E_{43}$ เป็นแม่แบบที่อัตราส่วนต่างๆ โดยใช้วิธีที่ 1 และวิธีที่ 2 ในการสังเคราะห์	79
3.23 สมบัติพื้นที่ผิว รัศมีรูพรุน และเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปของซิลิกาที่สังเคราะห์โดยใช้ P123 และ F127 เป็นแม่แบบ	81
3.24 ค่า d-spacing ที่ได้จาก XRD ของซิลิกาที่สังเคราะห์โดยใช้ P123 และ F127 เป็นแม่แบบและใช้เกลือ 2 ชนิดคือ $[KCl] = 0.15M$ และ $[Na_2SO_4] = 0.15M$	93
3.25 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า d-spacing และค่า r_p ของซิลิกาที่เผาแล้วสังเคราะห์โดยใช้ P123 และ F127 เป็นแม่แบบและใช้เกลือ 2 ชนิดคือ $[KCl] = 0.15M$ และ $[Na_2SO_4] = 0.15M$	94

รายการภาพประกอบภาคผนวก

	ภาพประกอบภาคผนวกที่	หน้า
1	ภาพ TEM ของซิลิกาที่สังเคราะห์โดยใช้อัตราส่วนโดยโมลของ P123:F127 = 10:90 และ [KCl] = 0.15M	111
2	ภาพ TEM ของซิลิกาที่สังเคราะห์โดยใช้อัตราส่วนโดยโมลของ P123:F127 = 30:70 และ [KCl] = 0.15M	111
3	ภาพ TEM ของซิลิกาที่สังเคราะห์โดยใช้อัตราส่วนโดยโมลของ P123:F127 = 50:50 และ [KCl] = 0.15M	112
4	ภาพ TEM ของซิลิกาที่สังเคราะห์โดยใช้อัตราส่วนโดยโมลของ P123:F127 = 70:30 และ [KCl] = 0.15M	112
5	ภาพ SEM ของซิลิกาที่สังเคราะห์โดยใช้อัตราส่วนโดยโมลของ P123:F127 = 90:10 และ [KCl] = 0.15M	113
6	ภาพ TEM ของซิลิกาที่สังเคราะห์โดยใช้อัตราส่วนโดยโมลของ P123:F127 = 10:90 และ [Na ₂ SO ₄] = 0.15M	113
7	ภาพ TEM ของซิลิกาที่สังเคราะห์โดยใช้อัตราส่วนโดยโมลของ P123:F127 = 30:70 และ [Na ₂ SO ₄] = 0.15M	114
8	ภาพ TEM ของซิลิกาที่สังเคราะห์โดยใช้อัตราส่วนโดยโมลของ P123:F127 = 50:50 และ [Na ₂ SO ₄] = 0.15M	114
9	ภาพ TEM ของซิลิกาที่สังเคราะห์โดยใช้อัตราส่วนโดยโมลของ P123:F127 = 70:30 และ [Na ₂ SO ₄] = 0.15M	115
10	ภาพ SEM ของซิลิกาที่สังเคราะห์โดยใช้อัตราส่วนโดยโมลของ P123:F127 = 90:10 และ [Na ₂ SO ₄] = 0.15	115
11	ขั้นตอนการสังเคราะห์ซิลิกาโดยวิธีการทดลองที่ 1	131
12	ขั้นตอนการสังเคราะห์ซิลิกาโดยวิธีการทดลองที่ 2	132
13	ขั้นตอนการสังเคราะห์ซิลิกาโดยวิธีการทดลองที่ 3	133