บทที่ 4

สรุปผลการทดลอง

4.1 ซิลิกาที่สังเคราะห์โดยใช้ CTAB, $E_{45}B_{10}$, $E_{18}B_{10}$, $E_{33}B_{10}E_{33}$ และ $E_{43}B_{14}E_{43}$ เป็นแม่แบบเพียงอย่างเดียว

- ซิลิกาที่สังเคราะห์โดยใช้ CTAB, $E_{45}B_{10}$ และ $E_{33}B_{10}E_{33}$เป็นแม่แบบและสังเคราะห์ โดยวิธีที่ 1 จะมีรูพรุนที่มีขนาดใหญ่กว่าซิลิกาที่สังเคราะห์โดยวิธีที่ 2
- ซิลิกาที่สังเคราะห์โดยใช้ $E_{43}B_{14}E_{43}$ เป็นแม่แบบและสังเคราะห์โดยวิธีที่ 1และวิธีที่ 2 จะมีรูพรุนที่มีขนาดใกล้เคียงกัน
- ซิลิกาที่สังเคราะห์โดยใช้ CTAB, $E_{45}B_{10}$, $E_{18}B_{10}$และ $E_{43}B_{14}E_{43}$ เป็นแม่แบบและสังเคราะห์โดยวิธีที่ 1 และวิธีที่ 2 กราฟ adsorption isotherms ที่ได้เป็นกราฟไอโซเทอร์มชนิดที่ 4 ซึ่งเป็นลักษณะของวัสดุที่มีรูพรุนขนาดมีโซ
- ซิลิกาที่สังเคราะห์โดยใช้ $E_{33}B_{10}E_{33}$ เป็นแม่แบบและสังเคราะห์โดยวิธีที่ 1 และวิธีที่ 2 กราฟ adsorption isotherms ที่ได้เป็นกราฟไอโซเทอร์มชนิดที่ 1 ซึ่งเป็นลักษณะของวัสดุที่มีรูพรุนขนาดไมโคร
- ซิลิกาที่สังเคราะห์โดยใช้ CTAB, $E_{45}B_{10}$, $E_{43}B_{14}E_{43}$ และ $E_{33}B_{10}E_{33}$เป็นแม่แบบและสังเคราะห์โดยวิธีที่ 2 จะมีซิลิกาอสัณฐานน้อยกว่าที่สังเคราะห์ได้จากวิธีที่ 1
- ซิลิกาอสัณฐานมากขึ้น เมื่ออัตราส่วน TEOS:$E_{18}B_{10}$ มากขึ้น
- เมื่ออัตราส่วนของ TEOS:$E_{18}B_{10}$ ลดลง ค่าความหนาของผนังรูพรุนจะเพิ่มขึ้น

4.2 ซิลิกาที่สังเคราะห์โดยใช้บล็อกโคพอลิเมอร์ชนิด E_mB_n และ $E_mB_nE_m$ เป็นแม่แบบร่วมกับสารลดแรงตึงผิวอื่น ๆ

4.2.1 ซิลิกาที่สังเคราะห์โดยใช้บล็อกโคพอลิเมอร์ชนิด $E_{45}B_{10}$ เป็นแม่แบบร่วมกับ CTAB

- เมื่อ CTAB มีอัตราส่วนมากขึ้นซิลิกาที่สังเคราะห์ได้จะมีแนวโน้มที่มีรูพรุนขนาดไมโครลดลงและจะมีรูพรุนขนาดมีโซเพิ่มขึ้น
- กราฟ adsorption isotherms ของซิลิกาที่สังเคราะห์โดยใช้ CTAB และ $E_{45}B_{10}$ เป็นแม่แบบที่อัตราส่วนต่างๆ จะเป็นกราฟไอโซเทอร์มชนิดที่ 4 ซึ่งเป็นลักษณะของวัสดุที่มีรูพรุนขนาดมีโซ

- ซิลิกาที่สังเคราะห์โดยใช้ CTAB และ $E_{45}B_{10}$ เป็นแม่แบบที่อัตราส่วนต่างๆ และสังเคราะห์โดยวิธีที่ 2 จะให้รูปร่างที่มีลักษณะกลมและมีขนาดอนุภาคใกล้เคียงกัน แต่ซิลิกาที่สังเคราะห์โดยวิธีที่ 1 มีรูปร่างที่มีลักษณะกลมแต่มีขนาดอนุภาคที่แตกต่างกัน

4.2.2 ซิลิกาที่สังเคราะห์โดยใช้บล็อกโคพอลิเมอร์ชนิด $E_{45}B_{10}$ เป็นแม่แบบร่วมกับ $E_{33}B_{10}E_{33}$

- เมื่อ $E_{45}B_{10}$ มีอัตราส่วนมากขึ้นซิลิกาที่สังเคราะห์ได้จะมีแนวโน้มที่มีรูพรุนขนาดไมโครลดลงและจะมีรูพรุนขนาดมีโซเพิ่มขึ้น
- เมื่ออัตราส่วนโดยโมลของ $E_{33}B_{10}E_{33}$ มากขึ้นและอัตราส่วนโดยโมลของ $E_{45}B_{10}$ ลดลงกราฟไอโซเทอร์มที่ได้จะเปลี่ยนจากกราฟไอโซเทอร์มชนิดที่ 4 ซึ่งเป็นลักษณะของวัสดุที่มีรูพรุนขนาดมีโซ ไปเป็นกราฟไอโซเทอร์มชนิดที่ 1 ซึ่งเป็นลักษณะของวัสดุที่มีรูพรุนขนาดไมโคร
- ซิลิกาที่สังเคราะห์ได้จากวิธีที่ 1 มีลักษณะรูปร่างที่มีลักษณะกลมเพียงเล็กน้อย แต่มีซิลิกาอสัณฐานมาก วิธีที่ 2 จะได้ซิลิกาที่มีรูปร่างที่มีลักษณะกลม มีขนาดใกล้เคียงกันและมีซิลิกาอสัณฐานน้อยกว่าที่สังเคราะห์ได้จากวิธีที่ 1

4.2.3 ซิลิกาที่สังเคราะห์โดยใช้บล็อกโคพอลิเมอร์ชนิด $E_{45}B_{10}$ เป็นแม่แบบร่วมกับ $E_{43}B_{14}E_{43}$

- ซิลิกาที่สังเคราะห์โดยใช้ $E_{45}B_{10}$ เป็นแม่แบบร่วมกับ $E_{43}B_{14}E_{43}$ ที่อัตราส่วนต่างๆ มีแนวโน้มที่มีรูพรุนขนาดมีโซเพิ่มขึ้น และรูพรุนขนาดไมโครน้อยกว่าซิลิกาที่สังเคราะห์โดยใช้ $E_{43}B_{14}E_{43}$ เป็นแม่แบบเพียงอย่างเดียว
- ซิลิกาที่สังเคราะห์โดยใช้ $E_{45}B_{10}$ เป็นแม่แบบร่วมกับ $E_{33}B_{10}E_{33}$ จะมีค่ารัศมีของรูพรุน ที่มีขนาดเล็กกว่า ซิลิกาที่สังเคราะห์โดยใช้ $E_{45}B_{10}$ เป็นแม่แบบร่วมกับ $E_{43}B_{14}E_{43}$
- กราฟ adsorption isotherms ของซิลิกาที่สังเคราะห์โดยใช้ $E_{43}B_{14}E_{43}$ และ $E_{45}B_{10}$ เป็นแม่แบบที่อัตราส่วนต่างๆ เป็นกราฟไอโซเทอร์มชนิดที่ 4 ซึ่งเป็นลักษณะของวัสดุที่มีรูพรุนขนาดมีโซ
- ซิลิกาที่สังเคราะห์ได้จากวิธีที่ 1 จะปรากฏรูปร่างที่มีลักษณะกลมเพียงเล็กน้อยและมีซิลิกาอสัณฐานมาก แต่ซิลิกาที่สังเคราะห์ได้จากวิธีที่ 2 จะได้ซิลิกาที่มีรูปร่างที่มีลักษณะกลม และมีซิลิกาอสัณฐานน้อยกว่าที่สังเคราะห์ได้จากวิธีที่ 1

4.3 สังเคราะห์ซิลิกาโดยใช้บล็อกโคพอลิเมอร์ชนิด $E_mP_nE_m$ เป็นแม่แบบ

4.3.1 สังเคราะห์ซิลิกาโดยใช้ P123 และ F127 เป็นแม่แบบและใช้เกลือ 2 ชนิดคือ [KCl] = 0.15M และ [Na_2SO_4] = 0.15M

- ซิลิกาที่สังเคราะห์โดยใช้เกลือชนิด Na_2SO_4 จะมีค่าปริมาตรรูพรุนขนาดไมโคร และเปอร์เซ็นต์ปริมาตรรูพรุนขนาดไมโครลดลง แต่ปริมาตรมีโซพอร์เพิ่มขึ้น เมื่ออัตราส่วนของ P123 มากขึ้น
- กราฟ adsorption-desorption isotherms ของซิลิกาที่สังเคราะห์โดยใช้ P123 ร่วมกับ F127 เป็นแม่แบบและใช้เกลือชนิด KCl พบว่าที่อัตราส่วนโดยโมลของ P123:F127 = 10:90, 30:70, 50:50 และ 70:30 เป็นลักษณะกราฟ adsorption-desorption isotherms ชนิดที่ 4 ที่มี hysteresis loop ที่ไม่สมมาตรกัน ซึ่งเป็นผลที่เกิดจากอิทธิพลของ F127 ที่อัตราส่วน P123:F127 = 90:10 ที่เป็นกราฟ adsorption-desorption isotherms ชนิดที่ 4 และมีกราฟ adsorption และ desorption ที่ค่อนข้างสมมาตรกัน ซึ่งเป็นผลที่เกิดจากอิทธิพลของ P123
- กราฟ adsorption isotherms ของซิลิกาที่สังเคราะห์โดยใช้ P123 ร่วมกับ F127 เป็นแม่แบบและใช้เกลือชนิด Na_2SO_4 จะเป็นกราฟไอโซเทอร์มชนิดที่ 4 ซึ่งเป็นลักษณะของวัสดุที่มีรูพรุนขนาดมีโซ
- จากเทคนิค SEM พบว่าซิลิกาที่สังเคราะห์โดยใช้ P123 และ F127 เป็นแม่แบบ โดยเกลือทั้ง 2 ชนิดจะให้ผลที่เหมือนกัน คือ ที่อัตราส่วนโดยโมลของ P123:F127 = 10:90, 30:70, 50:50 และ 70:30 ซิลิกาที่สังเคราะห์ได้มีรูปร่างเป็นผลึก (Voort et al, 2002) แต่ที่อัตราส่วนโดยโมลของ P123:F127 = 90:10 รูปร่างที่ได้เป็นแบบเส้น (Zhao et al, 2004)
- จากเทคนิค TEM พบว่าโครงสร้างภายในของซิลิกาที่ใช้ P123 ร่วมกับ F127 เป็นแม่แบบที่อัตราส่วนโดยโมลของ P123:F127 = 10:90, 30:70 และ 50:50 ของเกลือทั้ง 2 ชนิด มีโครงสร้างแบบ cubic และที่อัตราส่วนโดยโมลของ P123:F127 = 70:30 และ 90:10 ของเกลือทั้ง 2 ชนิด มีโครงสร้างแบบ hexagonal ร่วมกับ cubic แต่ที่อัตราส่วนโดยโมลของ P123:F127 = 90:10 ของเกลือ Na_2SO_4 จะมีโครงสร้างแบบ hexagonal มากกว่าเกลือ KCl ที่อัตราส่วนเดียวกัน
- เมื่อ F127 มีอัตราส่วนโมลเพิ่มขึ้น คือ P123:F127 = 90:10 และ 70:30 ตามลำดับ ค่า d-spacing จะมีค่ามากขึ้น แต่ที่อัตราส่วนโดยโมลของ P123:F127 = 50:50, 30:70 และ 10:90 ตามลำดับ ค่า d-spacing จะลดลง

- ซิลิกาที่ยังไม่เผาจะมีค่า d-spacing มากกว่าซิลิกาที่เผาแล้วเนื่องจากการเผาซิลิกาที่อุณหภูมิสูง (540 องศาเซลเซียส) จะมีผลทำให้เกิดการควบแน่นต่อเนื่องของหมู่ OH ของ Si-OH ที่อยู่บริเวณผนังรูพรุนของซิลิกา (Kao et al, 2006) และทำให้โครงสร้างของซิลิกาหดตัวเล็กน้อย (Yu et al, 2003)
- ค่า d-spacing และค่า r_p มีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางเดียวกัน คือเมื่อค่า d-spacing มีค่ามากขึ้น ค่า r_p มีค่ามากขึ้นเช่นกัน แสดงให้เห็นว่ารูพรุนที่ได้มีขนาดใหญ่ แต่เมื่อค่า d-spacing มีค่าลดลง ค่า r_p มีค่าลดลง ซึ่งแสดงให้เห็นว่ารูพรุนที่ได้มีขนาดเล็กลง
- เมื่อกรดมีความเข้มข้นลดลง คือ จาก 2M HCl เป็น 0.6M HCl ซิลิกาที่สังเคราะห์ได้จะมีความเป็นผลึกเพิ่มขึ้น

ข้อเสนอแนะ

งานที่ควรศึกษาต่อนอกเหนือจากงานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ คือ

1. สังเคราะห์ซิลิกาที่มีรูพรุนขนาดมีโซ โดยใช้สารลดแรงตึงผิวชนิดอื่นเป็นแม่แบบร่วม เช่น สารลดแรงตึงผิวชนิดที่ส่วนหัวมีประจุเป็นลบ เป็นต้น
2. ศึกษาอิทธิพลของชนิดของเกลือ ความเข้มข้นของเกลือ ตัวทำละลายร่วม (cosolvent) และชนิดของแหล่งให้ซิลิกา ที่มีผลต่อโครงสร้างและขนาดของรูพรุนของซิลิกาที่มีรูพรุนขนาดมีโซ