บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ตัวอย่างเบนทอไนท์ดัดแปรที่เตรียมด้วยโซเดียมไอออนและสารลดแรงตึงผิวที่มีประจุบวก คือ ODA และ CTAB พบว่า เป็นของแข็งมีลักษณะสีแตกต่างกัน โดย Na-bentonite มีลักษณะเป็นผงละเอียดสีน้ำตาลอ่อน ODA-bentonite เป็นผงละเอียดสีเหลืองคล้ายแป้ง และ CTA-bentonite เป็นผงละเอียดสีขาวปนเหลือง จากการศึกษาสัณฐานวิทยาของตัวอย่างเบนทอไนท์ด้วยเทคนิค SEM พบว่า N-bentonite และ Na-bentonite มีการจับตัวเป็นกลุ่มก้อนที่มีลักษณะคล้ายคลึงกัน แต่ Na-bentonite และ CTA-bentonite อนุภาคมีการกระจายตัวเป็นระเบียบมากขึ้น รูพรุนมีขนาดเล็กลง ส่งผลให้มีการพองตัวและกระจายตัวได้ดีในสารอินทรีย์อื่นๆ ส่วน ODA-bentonite มีลักษณะแตกออกเป็นแผ่นบางๆ ผลการศึกษาหมู่ฟังก์ชันบนพื้นผิวด้วยเทคนิค FTIR ยืนยันการดัดแปรของตัวอย่างเบนทอไนท์ โดยที่ N-bentonite และ Na-bentonite มีหมู่ฟังก์ชันหลักที่คล้ายคลึงกัน ส่วน ODA-bentonite และ CTA-bentonite แสดงแถบการดูดกลืนรังสีอินฟาเรดของหมู่ฟังก์ชันหลักที่แตกต่างจากเบนทอไนท์ธรรมชาติคือ หมู่ $-CH_2-$, $-CH_3$ และพันธะ C– N ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC) พบว่า N-bentonite มีค่า CEC มากที่สุด (44.3 meq/100g) รองลงมาคือ Na-bentonite, CTA-bentonite และ ODA-bentonite (CEC เท่ากับ 37.4, 14.7 และ 9.5 meq/100g ตามลำดับ)

ผลการศึกษาความสามารถดูดซับโลหะตะกั่วและสังกะสีจากสารละลายของตัวอย่างเบนทอไนท์ที่เตรียมได้ พบว่า N-bentonite, Na-bentonite และ ODA-bentonite มีความสามารถดูดซับโลหะสังกะสีได้ดีกว่าตะกั่ว โดย Na-bentonite สามารถดูดซับตะกั่วและสังกะสีได้สูงที่สุด และ ODA-bentonite ดูดซับโลหะแต่ละชนิดได้ต่ำที่สุด ปัจจัยที่ศึกษาได้แก่ ระยะเวลาสัมผัส ค่า pH ของสารละลาย ปริมาณเบนทอไนท์และความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายโลหะมีผลต่อความสามารถดูดซับของตัวอย่างเบนทอไนท์ โดยการดูดซับจะเกิดขึ้นได้รวดเร็วและถึงสภาวะสมดุลภายในเวลา 2 ชั่วโมง ที่ pH 5.0 ปริมาณตัวดูดซับ 4 g/L ความสามารถในการดูดซับโลหะของตัวอย่างเบนทอไนท์มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของสารละลายโลหะเพิ่มขึ้น โดยมีกลไกการดูดซับเป็นไปได้ทั้งแบบ Langmuir และ Freundlich isotherm จากผลการศึกษานี้ Na-bentonite มีค่าการดูดซับสูงสุดสำหรับโลหะตะกั่วและสังกะสี (q_m) ตามกลไกการดูดซับแบบ Langmuir เท่ากับ 8.86 และ 16.00 mg/g รองลงมาคือ N-bentonite ซึ่งมีค่า q_m เท่ากับ 5.76 และ 9.47 mg/g ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าทั้ง N-bentonite และ Na-bentonite มีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้ในการกำจัดโลหะหนักที่ปนเปื้อนในแหล่งน้ำธรรมชาติได้

ผลการศึกษาความสามารถดูดซับสีย้อมแอซิด 2 ชนิด คือ Black MLD และ Congo Red พบว่าตัวอย่างเบนทอไนท์ทั้งสามชนิดมีความสามารถดูดซับสี Congo Red ได้สูงกว่าสี Black MLD โดย N-bentonite มีค่าการดูดซับสีที่ต่ำมาก ระยะเวลาสัมผัส CTA-bentonite ปริมาณเบนทอไนท์และความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายสีมีผลต่อความสามารถดูดซับของตัวอย่างเบนทอไนท์ โดยการดูดซับจะ

เกิดขึ้นได้รวดเร็วและถึงสภาวะสมดุลภายในเวลา 1-3 ชั่วโมง ความสามารถดูดซับสีของตัวอย่างเบนทอไนท์ทั้งสามชนิดมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นของสารละลายสีเพิ่มขึ้น โดย N-bentonite และ Na-bentonite มีกลไกการดูดซับเป็นไปตาม Freundlich isotherm ส่วน CTA-bentonite มีกลไกการดูดซับเป็นไปได้ทั้งแบบ Langmuir และ Freundlich isotherms โดย CTA-bentonite มีค่า q_m สูงที่สุดเท่ากับ 175.44 mg/g จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า CTA-bentonite เป็นตัวดูดซับสีย้อมประเภทแอซิดที่ดี ซึ่งสามารถที่จะนำไปประยุกต์ใช้ในการกำจัดสีย้อมแอซิดรวมถึงสารอินทรีย์ต่าง ๆ ที่ปนเปื้อนในแหล่งน้ำธรรมชาติได้

ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเบื้องต้นในการกำจัดโลหะและสีย้อมในสารละลาย โดยใช้เบนทอไนท์ธรรมชาติและเบนทอไนท์ดัดแปร Na-bentonite, ODA-bentonite และ CTA-bentonite ซึ่งยังมิได้นำไปทดสอบกำจัดสารพิษเหล่านี้จากแหล่งที่ปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม รวมถึงการเพิ่มประสิทธิภาพของตัวอย่างเบนทอไนท์ให้สามารถดูดซับสารได้สูงขึ้น ดังนั้นจึงควรที่จะมีการศึกษาเพิ่มเติมในรายละเอียดต่อไปนี้

1. ศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของตัวอย่างเบนทอไนท์ที่เตรียมได้ เช่น ค่าพื้นที่ผิว ความมีรูพรุน ชนิดและปริมาณของสารประกอบที่เป็นองค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างเบนทอไนท์ (เช่น SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3, CaO, Na_2O, K_2O และ MgO) เพื่อให้ทราบถึงกลไกการดูดซับสารที่เป็นไปได้มากที่สุด

2. ศึกษาปัจจัยทางอุณหพลศาสตร์ที่มีผลต่อการดูดซับโดยตัวอย่างเบนทอไนท์ ได้แก่ ผลของอุณหภูมิต่อความสามารถในการดูดซับ เพราะอุณหภูมิมีผลต่อกระบวนการดูดซับ รวมถึงการศึกษาปัจจัย Thermodynamic variables ต่าง ๆ เช่น ΔH, ΔS และ ΔG เพื่อให้ทราบถึงอันดับของปฏิกิริยาซึ่งจะทำให้ทราบถึงสาเหตุของการดูดซับสารที่แตกต่างกันของตัวอย่างเบนทอไนท์แต่ละชนิด

3. ศึกษาการดูดซับโลหะ (เช่น Zn, Cd, Ni, Cu) และสารอินทรีย์อื่นๆ โดยเบนทอไนท์ธรรมชาติและเบนทอไนท์ดัดแปรที่เตรียมได้

4. ศึกษาการดัดแปรเบนทอไนท์โดยใช้สารอินทรีย์อื่นๆ ทั้งที่มีประจุลบ เช่น Sodium dodecyl sulfate เพื่อศึกษาการกำจัดโลหะและสารอินทรีย์ที่มีประจุบวก เช่น Cetyldimethylbenzyl ammonium chloride (CDBA) Octyltrimethylammonium bromide (OTAB), Dodecyltrimethylammonium bromide (DTAB) และ Stearyltrimethylammonium bromide (STAB) และ Cetylpyridinium chloride (CP) สำหรับศึกษาการกำจัดสีย้อมชนิดต่าง ๆ

5. ศึกษาการใช้เบนทอไนท์ดัดแปรชนิดต่างๆ ที่เตรียมได้จากข้อ 4 ในการกำจัดสารอื่นๆ เช่น โลหะหนัก และสารอินทรีย์ชนิดต่างๆ ที่พบปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม เช่น polyphenols, insecticides, herbicides และ aromatic hydrocarbons เป็นต้น