บทที่ 5
สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

รายงานการวิจัยนี้ได้ปรับปรุงคุณสมบัติของเบนโทไนท์ โดยวิธีการกระตุ้นทางเคมีและทางกายภาพ ศึกษาองค์ประกอบและลักษณะทางกายภาพของวัสดุดูดซับที่เตรียมขึ้น และศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับสีย้อม จากการศึกษาสรุปได้ดังนี้

5.1 ปรับปรุงคุณสมบัติของเบนโทไนท์ โดยวิธีการกระตุ้นทางเคมีและทางกายภาพ

5.1.1 ผลการศึกษาอุณหภูมิที่ใช้เผา

เบนโทไนท์เผาที่อุณหภูมิ 300 400 และ 500 องศาเซลเซียส พบว่าที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียสสามารถดูดซับสารละลายสีย้อมเมทิลลีนบลูและเมทิลออเรนจ์ได้ดีที่สุดเนื่องจากกระบวนการให้ความร้อนเป็นการทำให้โครงสร้างมีรูพรุน โดยทำให้เกิดการสลายตัวทางเคมีของสารอินทรีย์ที่ไม่ใช่คาร์บอน โดยการเผาไหม้อุณหภูมิที่สูงขึ้น ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากกว่าคาร์บอน ส่งผลให้มีร้อยละผลิตภัณฑ์ที่ได้ลดลง (Marrakchi, 2017 และ Suryadi, 2016)

5.1.2 ผลการศึกษาความเข้มข้นของสารเคมีที่ใช้ในการกระตุ้น (Activating agent)

วัสดุดูดซับจากเบนโทไนท์ที่กระตุ้นด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และสารละลายกรดไฮโดรคลอริก สามารถดูดซับสีย้อมเมทิลลีนบลูได้ดีกว่าสีย้อมเมทิลออเรนจ์ และการกระตุ้นด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์มีร้อยละการกำจัดที่ดีที่สุดถึง 99.69 เนื่องจากเบนโทไนท์ มีโครงสร้างของการรวมตัวแบบ 2:1 มีชั้นเตตระฮีดรอลอ่อน ๆ รวมทั้งแคทไอออนอยู่ระหว่างชั้น ปฏิกิริยาระหว่างสารละลายเบสและเบนโทไนท์ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง โดยเบสจะทำการเพิ่มพื้นที่ผิวและเกิดการแลกเปลี่ยนไอออนบนตัวดูดซับ สามารถเพิ่มปริมาณรูพรุนและเพิ่มพื้นที่ผิวจำเพาะได้ดีมาก จึงทำให้ประสิทธิภาพร้อยละการดูดซับสูงขึ้น (รวินิภา ศรีมูล, 2559, น. 419-434)

5.1.3 ผลของการศึกษาการให้ความร้อนในการกระตุ้น (Thermal Activation)

วัสดุดูดซับจากเบนโทไนท์ที่กระตุ้นด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และสารละลายกรดไฮโดรคลอริก ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส สามารถดูดซับสารละลายสีย้อมเมทิลลีนบลูและเมทิลออเรนจ์ได้ดีกว่าที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เนื่องจาก อุณหภูมิที่สูงเกินไป

โครงสร้างของเบนโทไนท์จะเสียสภาพไป ทำให้มีร้อยละการกำจัดลดลง (Suryadi, 20161, p.146-154, รวินิภา ศรีมูล, 2559, น. 419-434) การเพิ่มอุณหภูมิทำให้การดูดซับเกิดขึ้นได้ดี แต่การเพิ่มอุณหภูมิ จะทำให้การดูดซับน้อยลง เนื่องจากการละลายของสีย้อม แรงดึงดูดระหว่างสีย้อมกับตัวดูดซับลดลง จึงทำให้มีร้อยละการกำจัดลดลง

5.2 องค์ประกอบและลักษณะทางกายภาพของวัสดุดูดซับ

5.2.1 การศึกษาร้อยละของผลิตภัณฑ์ที่ได้

วัสดุดูดซับ BA50 มีร้อยละผลิตภัณฑ์ที่ได้เท่ากับ 99.18

5.2.2 การหาประจุที่ผิวเป็นศูนย์ Point of zero charge (pH_{pzc})

ผลของการหาประจุที่ผิวเป็นศูนย์ของวัสดุดูดซับ มีค่า pH_{pzc} เท่ากับ 6.37

5.2.3 การหาพื้นที่ผิวจำเพาะ

วัสดุดูดซับ BA50 (กระตุ้นด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก ระยะเวลาในการปั่นกวน 2 ชั่วโมง ใช้อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสในการกระตุ้น) วิเคราะห์ด้วยเทคนิค BET; BEL JAPAN, INC; model Belsorp-mini มีพื้นที่ผิวจำเพาะ (Surface area) เท่ากับ 98.39 m^2/g ซึ่งมากที่สุดเมื่อเทียบกับวัสดุดูดซับที่กระตุ้นด้วยสภาวะอื่น ๆ

5.2.4 การศึกษาหมู่ฟังก์ชันของวัสดุดูดซับด้วยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี

FT-IR Spectra ปรากฏพีคที่ตำแหน่งประมาณ 3618 cm^{-1} เป็นของ Al(Mg)–O–H พีคที่ตำแหน่งประมาณ 1633 cm^{-1} ของ H–O–H bending พีคที่ตำแหน่งประมาณ 999 cm^{-1} ของ Si–O–Si stretching พีคที่ตำแหน่งประมาณ 789 cm^{-1} ของ Si–O stretching of silica and quartz (Eric Kristia Putra et al, 2009, 2419 – 2430) ของหมู่ฟังก์ชันของเบนโทไนท์ และพบว่าเมื่อนำ BA50 ไปดูดซับสารละลายสีย้อมเมทิลลีนบลู จะทำให้หมู่ฟังก์ชั่น OH ที่ตำแหน่ง 1633 cm^{-1} มีความเข้มลดลง ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าเกิดการดูดซับที่ตำแหน่งนี้

5.3 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับสีย้อม

5.3.1 ระยะเวลาในการดูดซับต่อการดูดซับสารละลายสีย้อมเมทิลลีนบลูและเมทิลออเรนจ์

ระยะเวลาในการดูดซับสารละลายสีย้อมเมทิลลีนบลูและสารละลายเมทิลออเรนจ์ของวัสดุดูดซับ BA50 ที่เวลา 0 – 180 นาที เข้าสู่สภาวะสมดุลที่เวลา 15 นาที และ 30 นาที ตามลำดับ และมีประสิทธิภาพในการดูดซับสูงถึงร้อยละ 98.86 เนื่องจากในช่วงแรกพื้นที่ผิวตัวดูดซับยังมีปริมาณ

มาก และเมื่อปริมาณพื้นที่การดูดซับอิ่มตัวการดูดซับจะลดลงจนเข้าสู่สภาวะสมดุล (Renji Zheng et al., 2017 และ Suryadi, 2016) และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายสีย้อม ความสามารถในการดูดซับจึงสูงขึ้น เพราะเป็นการเพิ่มอัตราการถ่ายเทมวล ซึ่งเกิดจากความแตกต่างของความเข้มข้นสารบนตัวดูดซับกับสารละลาย (Sharma et al, 2016 และ Shazlina, 2017)

5.3.2 ผลของพีเอชของสารละลายต่อการดูดซับสีย้อมเมทิลลีนบลูและเมทิลออเรนจ์

ผลของ pH ของสีย้อมเมทิลลีนบลูและเมทิลออเรนจ์ ที่ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร วัสดุดูดซับ 0.03 กรัม เมื่อเปลี่ยนแปลงค่า pH ที่ 2 4 6 8 10 และ 12 พบว่า วัสดุดูดซับ BA50 มีร้อยละการกำจัดสีย้อมเมทิลลีนบลูดีที่สุดที่ pH 12 ส่วนสีย้อมเมทิลออเรนจ์ วัสดุดูดซับ BA50 มีร้อยละการกำจัดสีย้อมเมทิลลีนบลูดีที่สุดที่ pH 2 อธิบายว่า การที่สารละลายสีย้อมเมทิลลีนบลูมีค่าความเป็นกรดจะทำให้ความสามารถในการดูดซับต่ำ แต่จะดูดซับได้ดีที่ pH เริ่มเป็นกลาง (พชรวรรณ อึ้งศิริสวัสดิ์ และ เฉลิม เรืองวิริยะชัย, 2016, น. 343-350) ส่วนสารละลายสีย้อมเมททิลออเรนจ์สามารถดูดซับได้ดีที่สารละลายมีค่าความเป็นกรด แต่ดูดซับได้ไม่ดีที่ pH เป็นเบส (เอื้องพร เกรงขาม และพิศตะวัน คณะวาปี, 2556)

5.3.3 ผลการศึกษาพฤติกรรมการดูดซับสารละลายสีย้อมเมทิลลีนบลูและเมทิลออเรนจ์ของ BA50

ผลการศึกษาไอโซเทอมแบบแลงเมียร์และแบบฟรุนดลิชในการดูดซับสีย้อมเมทิลลีนบลูด้วยวัสดุดูดซับ BA50 การดูดซับสอดคล้องกับไอโซเทอมแบบฟรุนดลิชมากกว่าไอโซเทอมแบบแลงเมียร์ เนื่องจากมีค่า $R^2 = 0.9993$ ซึ่งสูงกว่าของไอโซเทอมแบบแลงเมียร์ ($R^2 = 0.7341$) ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าพฤติกรรมการดูดซับสีย้อมเมทิลลีนบลูของวัสดุดูดซับ AB50 เป็นการดูดซับทางกายภาพและทางเคมี ซึ่งอธิบายกระบวนการดูดซับบนพื้นผิวได้หลายชั้น เมื่อความเข้มข้นของสารเพิ่มขึ้น (รวินิภา ศรีมูล, 2559)

5.4 ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาทดลองข้างต้นทำให้เราทราบถึงชนิดและความเข้มข้นของตัวกระตุ้นที่เหมาะสมในการกระตุ้นวัสดุดูดซับ สภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดสารละลายสีย้อมเมทิลลีนบลู จากข้อมูลดังกล่าวสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในระบบอุตสาหกรรมต่าง ๆ ในการบำบัดน้ำเสียที่มีสีย้อมปนเปื้อนอยู่ได้ หรือพัฒนาการดูดซับเป็นแบบคอลัมน์ได้ ในการวิจัยครั้งต่อไปควรศึกษาเกี่ยวกับการเพิ่ม เพิ่มระยะเวลาในการกระตุ้น ศึกษาปริมาณวัสดุดูดซับที่เหมาะสมในการดูดซับสีย้อม และเพิ่มตัวแปร เช่น ความดัน เป็นต้น