บทที่ 5

สรุปและอภิปรายผล

การวิจัยครั้งนี้ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติเบื้องต้น สภาวะที่เหมาะสมและประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อม Reactive Yellow 145, Reactive Red 195 และ Reactive Blue 222 ของถ่าน และถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากไมยราบยักษ์ เปลือกมังคุดและเมล็ดมะขาม ที่อุณหภูมิ 20, 30 และ 40 องศาเซลเซียส ซึ่งในการศึกษานี้ทำการเตรียมถ่านกัมมันต์โดยใช้วิธีการกระตุ้นด้วย KOH แล้วนำมาทำการวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวและรูพรุน ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope; SEM) วิเคราะห์ความสามารถในการดูดซับไอโอดีน (iodine number) ด้วยวิธีมาตรฐานของ ASTM 4607-94 และทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดซับกับถ่านกัมมันต์มาตรฐานด้วยการทดลองแบบแบทช์ โดยใช้เครื่อง UV/VIS Spectrophotometer ในการวัดค่าการดูดกลืนแสงเพื่อหาความเข้มข้น จากผลการศึกษาสามารถสรุปได้ดังนี้

5.1 สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

5.1.1 จากการศึกษาเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่สูญเสียของถ่านและถ่านกัมมันต์ และเปอร์เซ็นต์คาร์บอนที่ได้ พบว่าไมยราบยักษ์มีเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่สูญเสียหลังจากการเผามากที่สุดเป็น 74.86 % รองลงมาเป็นเมล็ดมะขามและเปลือกมังคุด ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์น้ำหนักสูญเสีย 69.31 % และ 58.80 % ตามลำดับ และเมื่อนำถ่านทั้งสามชนิดที่เตรียมได้จากการเผาไปทำการกระตุ้นด้วย KOH 75 % (w/w) ที่อุณหภูมิ 900 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง พบว่าถ่านกัมมันต์ที่ได้ทั้งสามชนิดมีเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่สูญเสียลดลงเมื่อเทียบกับน้ำหนักที่สูญเสียหลังจากการเผา โดยไมยราบยักษ์มีเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่สูญเสียหลังการกระตุ้นมากที่สุดเป็น 48.33 % รองลงมาเป็นเมล็ดมะขามและเปลือกมังคุด ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์น้ำหนักสูญเสีย 40.35 % และ 36.45 % ตามลำดับ จากกระบวนการเผาและกระบวนกระตุ้นวัตถุดิบ แต่ละชนิดทำให้ได้ถ่านกัมมันต์ที่มีปริมาณคาร์บอนแตกต่างกัน โดยเปลือกมังคุดให้ปริมาณคาร์บอนมากที่สุดเป็น 26.18 % รองลงมาเป็น เมล็ดมะขามและไมยราบยักษ์ ซึ่งให้ปริมาณคาร์บอนเป็น 18.31 % และ 12.98 % ตามลำดับ

หลังจากกระบวนการเผาและการกระตุ้น พบว่าเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่สูญเสียส่วนมากจะเกิดขึ้นที่ขั้นตอนของการเผาวัตถุดิบ (Carbonization) ดังที่เกิดขึ้นเช่นเดียวกับในงานวิจัยของ Martínez และคณะ (2006) ทั้งนี้เนื่องจากกระบวนการเผา (Carbonization)

เป็นการแยกสลายด้วยความร้อน (pyrolysis) ซึ่งเกิดขึ้นในที่อับอากาศ เพื่อเพิ่มสัดส่วนคาร์บอนของสารอินทรีย์ ขณะเดียวกันก็ได้ผลิตภัณฑ์อื่นที่เป็นของเหลวและแก๊สออกมาด้วย โดยโครงสร้างวงแหวนอะโรมาติกหลักที่เหลือกลายเป็นโครงสร้างของถ่านชาร์ ส่วนกลุ่มโครงสร้างโมเลกุลหรือหมู่ ที่มีขนาดเล็กกว่าจะกลั่นสลายตัวออกมาเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ได้แก่ น้ำ แอมโมเนีย น้ำมันทาร์ เป็นต้น ทำให้น้ำหนักหลังการเผาลดลงมาก (ศูนย์วิจัยและตรวจสอบคุณภาพถ่านกัมมันต์, 2545. เว็บไซต์) แต่เนื่องจากโพรงภายในถ่านยังมีทาร์และสารบางชนิดอุดตันอยู่ เมื่อนำไปทำการกระตุ้นด้วย KOH 75 % (w/w) ที่อุณหภูมิ 900 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จะเป็นการไล่ทาร์และสารที่เหลือออกจากโพรงภายในถ่านให้หมด (Martínez et al., 2006) ซึ่งในการกระตุ้นผิวของถ่านด้วย KOH นั้น จะทำให้เกิด K_2CO_3 พร้อมกับสลายให้ CO_2 และ CO ออกมา (Diaz-Teran et al., 2003 ; Cao et al., 2006) โดยหมู่คาร์บอนิล (CO) และคาร์บอกซิเลต (COO^-) จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในระหว่างการแช่ด้วย KOH และในขั้นตอนการให้ความร้อน ซึ่งมีผลทำให้ผิวของถ่านมีรูพรุนเพิ่มมากขึ้น (Lua & Yang, 2004) และทำให้น้ำหนักของถ่านกัมมันต์ที่ได้ลงลดอีก น้ำหนักของถ่านกัมมันต์ที่เหลือหลังจากกระบวนการเผาและการกระตุ้นเทียบกับน้ำหนักของวัตถุดิบเริ่มต้นจะเป็นเปอร์เซ็นต์ของคาร์บอนที่ได้ ดังนั้นคุณสมบัติเริ่มต้นของวัตถุดิบแต่ละชนิดที่นำมาเตรียมนั้น มีผลทำให้ปริมาณของคาร์บอนที่ได้จากกระบวนการเผาและการกระตุ้นแตกต่างกัน

5.1.2 จากภาพถ่าย SEM ที่ใช้กำลังขยาย 1,500 เท่า พบว่าถ่านกัมมันต์มาตรฐานมีขนาดเม็ดและขนาดรูพรุนที่เล็กและละเอียดกว่า เมื่อเทียบกับถ่านและถ่านกัมมันต์ทุกชนิดที่เตรียมได้ และมีลักษณะพื้นผิวที่ขรุขระ ส่วนถ่านที่เตรียมจากไมยราบยักษ์ มีพื้นที่ผิวค่อนข้างเรียบแต่มีรูพรุนขนาดใหญ่เป็นจำนวนมาก เมื่อเทียบกับถ่านที่เตรียมจากเปลือกมังคุดและเมล็ดมะขาม ซึ่งมีพื้นผิวค่อนข้างเรียบกว่า และมีรูพรุนจำนวนน้อยกว่า สำหรับถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากไมยราบยักษ์ เปลือกมังคุด และเมล็ดมะขาม ที่ผ่านการกระตุ้นด้วย KOH พบว่าทั้งสามชนิดมีรูพรุนเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมาก

ภาพถ่าย SEM แสดงให้ทราบถึงลักษณะที่แตกต่างกัน ของถ่านและถ่านกัมมันต์แต่ละชนิดทั้งในส่วนขนาดของอนุภาค ขนาดของรูพรุน และลักษณะพื้นผิว โดยถ่านหรือถ่านกัมมันต์ที่มีอนุภาคขนาดเล็ก และมีรูพรุนเป็นจำนวนมาก จะทำให้มีพื้นที่ผิวสัมผัสมากขึ้น ส่วนถ่านหรือถ่านกัมมันต์ที่มีรูพรุนขนาดใหญ่ และลักษณะพื้นผิวของรูพรุนค่อนข้างเรียบ ก็จะมีพื้นที่ผิวในการสัมผัสน้อยลง (Martínez et al., 2006) โดยพื้นที่ผิวสัมผัสของถ่านหรือถ่านกัมมันต์มีผลต่อความ สามารถในการดูดซับ ถ้ามีพื้นที่ผิวสัมผัสจำเพาะสูง ทำให้ความสามารถในการดูด

ซับสูงตามไปด้วย (สำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมโรงงาน, 2542) ดังนั้นจากภาพถ่าย SEM ของถ่านกัมมันต์มาตรฐานที่พบว่ามีอนุภาคขนาดเล็ก และมีรูพรุนที่เล็กและละเอียดจึงทำให้มีพื้นที่ผิวมากกว่า และประสิทธิภาพในการดูดซับจึงสูงกว่าชนิดอื่น ส่วนถ่านและถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้นั้นมีรูพรุนขนาดใหญ่ ซึ่งเกิดจากการเผาที่มากเกินไป ทำให้คาร์บอนที่มีอยู่กลายเป็น CO_2 ไปหมด จึงทำให้มีพื้นที่ผิวในการดูดซับน้อยลง (Cao et al., 2006; Martínez et al., 2006)

5.1.3 การวิเคราะห์การดูดซับไอโอดีนของถ่านและถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้ พบว่าถ่านกัมมันต์ไมยราบยักษ์มีค่า Iodine Number สูงสุด (1,472 mg/g) รองลงมาเป็นถ่านกัมมันต์เมล็ดมะขาม (1,097 mg/g), ถ่านกัมมันต์เปลือกมังคุด (909 mg/g), ถ่านไมยราบยักษ์ (390 mg/g), ถ่านเมล็ดมะขามและถ่านเปลือกมังคุด (ต่ำกว่า 300 mg/g) ตามลำดับ แต่จากการเปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์มาตรฐาน (1,500 mg/g) พบว่าถ่านและถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้สามารถดูดซับไอโอดีนได้น้อยกว่า จากผลการวิเคราะห์การดูดซับไอโอดีนนี้มีความสอดคล้องกับภาพถ่าย SEM โดยถ่านกัมมันต์ไมยราบยักษ์ที่มีรูพรุนเป็นจำนวนมาก ทำให้สามารถในการดูดซับไอโดดีนได้สูง ส่วนถ่านกัมมันต์มาตรฐาน มีลักษณะพื้นผิวที่ขรุขระ มีความพรุนสูงและมีขนาดอนุภาคเล็กกว่าชนิดอื่น จึงมีพื้นที่ผิวในการสัมผัสสูงกว่า ทำให้สามารถในการดูดซับไอโดดีนได้สูง

การศึกษาการดูดซับไอโอดีนนี้ เป็นวิธีการหลักในการทดสอบคาร์บอน ซึ่งใช้เป็นตัวชี้วัดความสามารถในการดูดซับสารของคาร์บอน โดยใช้วิธีมาตรฐานของ ASTM 4607-94 (1999) ในการทดสอบจะต้องทราบจำนวนที่แน่นอนของคาร์บอน แล้วนำไปใส่ในสารละลายไอโอดีน จากนั้นทำการวัดปริมาณไอโอดีนที่เหลือในสารละลายด้วยวิธีการไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานโซเดียมไธโอซัลเฟต 0.1 นอร์มัล แล้วนำมาคำนวณหาปริมาณของไอโอดีน (mg) ที่ถูกดูดซับต่อปริมาณของคาร์บอน (g) ถ้าค่านี้สูงแสดงว่าคาร์บอนมีความสามารถในการดูดซับสูง (Aygün et al., 2003) ในระหว่างที่เกิดการดูดซับ คาร์บอนที่มีรูพรุนขนาดใหญ่ (macropore) และขนาดกลาง (mesopore) จะยอมให้ไอโอดีนผ่านเข้าไปภายในรูพรุนของคาร์บอนอย่างรวดเร็ว แล้วจึงแพร่กระจายเข้าไปในรูพรุนขนาดเล็ก (micropore) จนเต็ม (Galiatsatou et al., 2001) จากภาพถ่าย SEM ถ่านกัมมันต์จากไมยราบยักษ์ เมล็ดมะขาม และเปลือกมังคุด ซึ่งมีรูพรุนขนาดใหญ่และขนาดกลางเป็นจำนวนมากกว่าถ่านที่เตรียมได้ทุกชนิด ดังนั้นจึงมีความสามารถในการดูดซับไอโอดีนได้สูงกว่าถ่านที่เตรียมได้จากไมยราบยักษ์ เมล็ดมะขาม และเปลือกมังคุดตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับผลงานวิจัยของ Martínez และคณะ (2006) ส่วนถ่านกัมมันต์มาตรฐาน นั้น มีขนาดอนุภาคที่เล็กและมีพื้นผิวที่ขรุขระมาก จึงมีความสามารถในการดูดซับไอโอดีนได้สูงเช่นเดียวกัน

5.1.4 การศึกษาค่า pH และอุณหภูมิในการดูดซับสารละลายสีย้อมรีแอกทีฟทั้งสามโทนสี (เหลือง, แดง, น้ำเงิน) ด้วยถ่านและถ่านกัมมันต์เตรียมจากไมยราบยักษ์ เปลือกมังคุด และเมล็ดมะขาม เปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์มาตรฐาน พบว่าตัวดูดซับทุกชนิดสามารถดูดซับสารละลายสีย้อมทั้งสามโทนสีได้ดีที่ pH 2 และอุณหภูมิที่เหมาะสมในการดูดซับจะแตกต่างกันไปตามโทนสีและประเภทของตัวดูดซับ สำหรับประสิทธิภาพในการดูดซับ พบว่าถ่านกัมมันต์มาตรฐานมีความสามารถในการดูดซับสูงสุด รองลงมาเป็นถ่านกัมมันต์ไมยราบยักษ์, ถ่านกัมมันต์เมล็ดมะขาม, ถ่านกัมมันต์เปลือกมังคุด, ถ่านไมยราบยักษ์, ถ่านเมล็ดมะขาม และถ่านเปลือกมังคุด ตามลำดับ ทั้งนี้ถ่านเมล็ดมะขาม และถ่านเปลือกมังคุดมีประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อมได้ใกล้เคียงกัน

การศึกษาค่า pH พบว่าตัวดูดซับทุกชนิดสามารถดูดซับสารละลายสีย้อมทั้งสามโทนสีได้ดีที่ pH 2 เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Santhy และ Selvapathy (2006),Órfão และคณะ (2006) และ ปิยะวรรณ หลีชาติ และคณะ เนื่องจากจากการปรับค่า pH ของสารละลายสีย้อมเป็นการเพิ่มประจุให้กับพื้นผิวของถ่านและถ่านกัมมันต์ ซึ่งจะส่งผลถึงความแรงของปฏิกิริยาไฟฟ้าสถิต (Electrostatic Reaction) ระหว่างโมเลกุลของสีย้อมและพื้นที่ผิวของตัวดูดซับ ดังนั้นสารละลาย สีรีแอกทีฟที่ pH ต่ำ (เป็นกรด) จะทำให้เกิดประจุบวกบนพื้นผิวของถ่านกัมมันต์ ส่งผลให้แรงไฟฟ้าสถิตมีสูง จึงสามารถดูดซับสีรีแอกทีฟซึ่งเป็นสีประจุลบได้ดีสูงสุด ส่วนการปรับค่า pH ของสารละลายสีย้อมให้สูงขึ้น จะเป็นการเพิ่มประจุลบให้กับพื้นผิวของถ่านกัมมันต์ ซึ่งเป็นผลทำให้สามารถดูซับประจุลบของสีย้อมได้น้อยลง และที่ pH ที่สูงขึ้น ถ่านกัมมันต์ยังสามารถ ดูดซับได้เล็กน้อยและไม่ค่อยมีการเปลี่ยนแปลง เนื่องจากยังได้รับแรงไฟฟ้าสถิตที่แพร่กระจายอยู่บนผิวของถ่านกัมมันต์ รวมทั้งปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างประจุลบในโมเลกุลของสีย้อมที่ละลายอยู่ในน้ำ และประจุบวกซึ่งอยู่ตรงกลางระหว่างผิวของถ่านกัมมันต์ ซึ่งแรงไฟฟ้าสถิตได้จากการให้โปรตรอน (protonation) ของ basal plane site และการแพร่กระจายของแรง (Órfão et al., 2006) สำหรับถ่านกัมมันต์มาตรฐาน ที่มีพื้นที่ผิวในการดูดซับสูง ทำให้ประจุบวกบนพื้นผิวจึงมีมากกว่า จึงสามารถดูดซับสีย้อมได้สูงกว่าถ่านและถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้ทุกชนิดในทุก pH

5.1.5 การศึกษาเวลาที่เข้าสู่สภาวะสมดุลในการดูดซับสารละลายสีย้อมรีแอกทีฟทั้งสามโทนสี (เหลือง, แดง, น้ำเงิน) ที่ pH 2 ด้วยถ่านและถ่านกัมมันต์เตรียมจากไมยราบยักษ์ เปลือกมังคุด และเมล็ดมะขาม เปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์มาตรฐาน พบว่าเวลาเริ่มต้นที่เข้าสู่สภาวะสมดุลของถ่านกัมมันต์มาตรฐานคือที่เวลา 30 นาที ซึ่งเร็วกว่าและมีประสิทธิภาพในการ

ดูดซับสูงกว่าถ่านและถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้ทุกชนิดที่เข้าสู่สภาวะสมดุลที่เวลาประมาณ 1-3 ชั่วโมง สำหรับถ่านกัมมันต์ไมยราบยักษ์นั้นเข้าสู่สภาวะสมดุลช้าที่สุด คือที่เวลาประมาณ 4 ชั่วโมง แต่มีประสิทธิภาพในการดูดซับได้สูงเช่นเดียวกับถ่านกัมมันต์มาตรฐาน ส่วนผลการศึกษาอุณหภูมิที่ใช้ในการดูดซับนั้น พบมีความแตกต่างกันไปตามโทนสีและประเภทของตัวดูดซับ

เนื่องจากถ่านกัมมันต์มาตรฐาน มีพื้นที่ผิวในการดูดซับสูงกว่าถ่านและถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้ทุกชนิด ดังนั้นเมื่อปรับ pH ให้เป็นกรดแล้ว ประจุบวกบนพื้นผิวจึงมีมากกว่าทำให้สามารถดูดซับได้สูงและอย่างรวดเร็วภายในเวลาอันสั้น และเมื่อเกิดการดูดซับแล้ว อัตราของการดูดซับและการหลุดออกจากผิวของตัวดูดซับจะเข้าสู่สภาวะคงที่อย่างรวดเร็ว (นิศากร แสงนิล, 2541) ส่วนถ่านกัมมันต์ไมยราบยักษ์นั้นพื้นผิวมีความเป็นรูพรุนสูง และรูพรุนมีขนาดใหญ่ อีกทั้งผิวของรูพรุนมีลักษณะเรียบกว่า เมื่อเปรียบเทียบถ่านกัมมันต์มาตรฐาน ดังนั้นจึงมีผลทำให้ประจุบวกบนพื้นผิวเกิดขึ้นได้ช้า ส่งผลให้เวลาที่เข้าสู่สภาวะสมดุลเกิดได้ช้ากว่า แต่เมื่อพื้นที่ผิวเต็มไปด้วยประจุบวกแล้ว ประสิทธิภาพในการดูดซับจึงสูงเช่นเดียวกับถ่านกัมมันต์มาตรฐาน สำหรับตัวดูดซับที่เตรียมได้ชนิดอื่นมีพื้นผิวที่ขรุขระกว่าถ่านกัมมันต์ไมยราบยักษ์ ทำให้ประจุบวกบนพื้นผิวเกิดขึ้นได้เร็วกว่าทำให้เข้าสู่สภาวะสมดุลได้ก่อน แต่ตัวดูดซับเหล่านี้มีรูพรุนน้อยกว่าถ่านกัมมันต์ไมยราบยักษ์ ส่งผลให้ประจุบวกบนพื้นผิวมีน้อยกว่า ดังนั้นความสามารถในการดูดซับจึงต่ำ

5.1.6 การศึกษาความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมรีแอกทีฟทั้งสามโทนสี (เหลือง, แดง, น้ำเงิน) ที่ pH 2 ด้วยถ่านและถ่านกัมมันต์เตรียมจากไมยราบยักษ์ เปลือกมังคุด และเมล็ดมะขาม เปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์มาตรฐาน พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมมากขึ้น ทำให้เปอร์เซ็นต์ในการในการดูดซับของตัวดูดซับทุกชนิดลดลง ยกเว้นถ่านกัมมันต์มาตรฐาน ที่สามารถดูดซับได้ดีทุกความเข้มข้น ส่วนปริมาณการดูดซับของสารด้วย ตัวดูดซับทุกชนิดจะมากขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมสูงขึ้น สำหรับการดูดซับที่อุณหภูมิต่าง ๆ (20 °C 30 °C และ 40 °C) นั้นพบว่าผลการดูดซับไม่แตกต่างกัน

เนื่องจากถ่านกัมมันต์มาตรฐาน มีพื้นที่ผิวในการดูดซับสูงกว่าถ่านและถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้ทุกชนิด ดังนั้นประจุบวกบนพื้นผิวจึงมีมากกว่าทำให้เปอร์เซ็นต์การดูดซับใน แต่ละความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้นของสารละลายสีย้อมเกิดขึ้นได้สูงกว่า เมื่อเพิ่มความเข้มของสารละลายสีย้อมมากขึ้น ประจุบวกบนพื้นผิวของถ่านมียังปริมาณมากพอที่จะสามารถดูดซับไอออนของสีย้อมได้หมด ทำให้ปริมาณของสีย้อมที่ถูกดูดซับ (mg) ต่อน้ำหนักของตัวดูดซับ (g) ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นต่าง ๆ มีปริมาณการดูดซับที่เพิ่มขึ้นด้วย ส่วนตัวดูดซับชนิดอื่นที่เตรียมขึ้นนั้น มี

พื้นที่ผิวในการดูดซับน้อยกว่าถ่านกัมมันต์มาตรฐาน ความหนาแน่นของประจุบวกบนพื้นผิวจึงมีน้อยกว่า ทำให้เปอร์เซ็นต์การดูดซับในแต่ละความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้นของสารละลายสีย้อมลดลง เนื่องจากเมื่อเพิ่มความเข้มของสารละลายสีย้อมมากขึ้น ประจุบวกบนพื้นผิวของถ่านที่มีปริมาณน้อย จึงสามารถดูดซับไอออนของสีย้อมได้น้อยลงและหมดอย่างรวดเร็ว แต่ปริมาณของสีย้อมที่ถูกดูดซับ (mg) ต่อน้ำหนักของตัวดูดซับ (g) ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นต่าง ๆ มีปริมาณการดูดซับที่เพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของสารละลาย ดังในงานวิจัยของ มนัสกร ราชากรกิจ และคณะ (2547) แต่ที่ความเข้มข้น 550 – 850 mg/L ปริมาณการดูดซับเริ่มไม่มีการเปลี่ยนแปลง เนื่องจากประจุบวกที่อยู่บนพื้นผิวของถ่านหรือถ่านกัมมันต์มีจำนวนจำกัด ไม่เพียงพอต่อการดูดซับประจุลบของสีย้อมที่เพิ่มขึ้นได้

5.1.7 การศึกษาไอโซเทอมของ Langmuir และ Freundlich ในการดูดซับสีย้อม

1) การดูดซับสีเหลือง (Reactive Yellow 145) พบว่าถ่านกัมมันต์มาตรฐาน ถ่านกัมมันต์ไมยราบยักษ์ และถ่านกัมมันต์เมล็ดมะขาม สอดคล้องกับ Langmuir model ส่วนถ่านไมยราบยักษ์ สอดคล้องกับ Freundlich model แต่สำหรับถ่านเปลือกมังคุด ถ่านเมล็ดมะขามและ ถ่านกัมมันต์เปลือกมังคุด สอดคล้องทั้ง Langmuir และ Freundlich model

2) การดูดซับสีแดง (Reactive Red 195) พบว่าถ่านกัมมันต์ไมยราบยักษ์ และถ่านกัมมันต์เมล็ดมะขาม สอดคล้องกับ Langmuir model ส่วน ถ่านกัมมันต์มาตรฐานถ่านไมยราบยักษ์ ถ่านเปลือกมังคุด และถ่านเมล็ดมะขามสอดคล้องกับ Freundlich model แต่สำหรับถ่านกัมมันต์เปลือกมังคุด สอดคล้องทั้ง Langmuir และ Freundlich model

3) การดูดซับสีน้ำเงิน (Reactive Blue 222) พบว่าถ่านกัมมันต์มาตรฐาน ถ่านกัมมันต์ไมยราบยักษ์ และถ่านกัมมันต์เมล็ดมะขามสอดคล้องกับ Langmuir model ส่วนถ่านเปลือกมังคุด และถ่านเมล็ดมะขามสอดคล้องกับ Freundlich model แต่สำหรับถ่านไมยราบยักษ์ และถ่านกัมมันต์เปลือกมังคุด สอดคล้องทั้ง Langmuir และ Freundlich model

การดูดซับที่สอดคล้องกับ Langmuir model แสดงว่าทุก ๆ จุดบนตัวดูดซับมีความสามารถดูดติดได้เท่า ๆ กัน สารที่ถูกดูดซับจะดูดซับได้ชั้นเดียว (monolayer) และเมื่อเกิดการดูดซับแล้วอิออนหรือโมเลกุลจะไม่ซ้อนทับซึ่งกันและกัน พื้นที่ผิวในการดูดซับมีตำแหน่งและกลไกการดูดซับเหมือนกัน (homogeneous surface) ส่วนการดูดซับที่สอดคล้องกับ Freundlich model แสดงว่าการดูดซับทุก ๆ จุดไม่เท่ากัน การดูดซับมีแนวโน้มเป็นแบบหลายชั้น หรือแบบต่อเนื่องกัน (multilayer) เช่นเดียวกับในงานวิจัยของ อดุลย์ ศรีพิลา (2543) ที่ได้ทำการศึกษาพฤติกรรมการดูดซับฟลูออไรด์ไอออนบนถ่านกัมมันต์และถ่านกระดูก แต่สำหรับการดูดซับที่

สอดคล้องทั้ง Langmuir และ Freundlich model นั้นแสดงว่าการดูดซับมีโอกาสที่จะเป็นได้ทั้งแบบชั้นเดียวและแบบหลายชั้นต่อเนื่องกัน (Iqbal & Ashiq, 2006) จากการศึกษาการดูดซับทั้งหมดนี้ พบว่ามีพฤติกรรมการดูดซับแบบแลกเปลี่ยน (Exchange Adsorption) ที่ให้ไอโซเทอมทั้งแบบ Langmuir และ Freundlich model เนื่องจากตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับมีประจุ และเกิดแรงดึงดูดซึ่งเป็นแรงทางไฟฟ้าสถิต (Electrostatic Reaction) ระหว่างตัวถูกดูดซับซึ่งเป็นไอออนที่มีประจุ กับตัวดูดซับที่มีประจุตรงข้ามกัน

5.1.8 การศึกษาค่าเทอร์โมไดนามิกส์ของการดูดซับสีย้อมรีแอกทีฟทั้ง 3 โทนสี (เหลือง, แดง, น้ำเงิน) ที่ pH 2 และทั้ง 3 อุณหภูมิ (20 °C, 30 °C, 40 °C) ด้วยตัวดูดซับชนิดต่าง ๆ ซึ่งได้แก่ ถ่านกัมมันต์มาตรฐาน, ถ่าน และถ่านกัมมันต์จากไมยราบยักษ์ เปลือกมังคุด และเมล็ดมะขาม สามารถสรุปได้ว่าการดูดซับสีย้อมรีแอกทีฟทั้ง 3 โทนสีสามารถเกิดขึ้นได้เองตามธรรมชาติ ($-\Delta G^{\circ}$) ส่วนการดูดซับจะเป็นแบบดูดความร้อน ($+\Delta H^{\circ}$) หรือคายความร้อน ($-\Delta H^{\circ}$) นั้นขึ้นอยู่กับโทนสีและชนิดของตัวดูดซับ สำหรับค่า ΔS° ส่วนมากจะมีค่าเป็นบวก แต่ในการดูดซับโทนสีเหลืองด้วยถ่านกัมมันต์มาตรฐาน และถ่านกัมมันต์เมล็ดมะขาม, การดูดซับโทนสีแดงด้วยถ่านกัมมันต์มาตรฐาน และ ถ่านเปลือกมังคุด รวมทั้ง การดูดซับโทนสีน้ำเงินด้วย ถ่าน กัมมันต์ไมยราบยักษ์นั้นจะมีค่า ΔS° เป็นลบ

ค่าพลังงานอิสระ (ΔG°) นี้จะมีความสัมพันธ์กับประสิทธิภาพในการดูดซับกล่าวคือเมื่อตัวดูดซับที่มีประสิทธิภาพในการดูดซับสูง ค่า ΔG° จะน้อยซึ่งจะแสดงถึงการดูดซับที่จะสามารถเกิดขึ้นได้เองตามธรรมชาติมีมากกว่าตัวดูดซับที่มีค่า ΔG° ที่มากกว่า สำหรับค่าความร้อนหรือ enthalpy (ΔH°) ของปฏิกิริยาจะทำให้ทราบได้ว่าปฏิกิริยาการดูดซับที่เกิดขึ้นเป็นแบบดูดความร้อน ($+\Delta H^{\circ}$) หรือคายความร้อน ($-\Delta H^{\circ}$) โดยจะขึ้นอยู่กับโทนสีและชนิดของตัวดูดซับ นอกจากนี้ค่า entropy (ΔS°) ของปฏิกิริยาจะขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ระหว่างความร้อน (ΔH°) ของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นและพลังงานอิสระ (ΔG°) ในการดูดซับที่อุณหภูมิต่าง ๆ (Iqbal & Ashiq, 2006 ; Rattanaphani et al., 2007)

5.1.9 จากการศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อมรีแอกทีฟ 3 โทนสี ได้แก่ Reactive Yellow 145, Reactive Red 195 และ Reactive Blue 222 ด้วยถ่านและถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากไมยราบยักษ์ เปลือกมังคุด และเมล็ดมะขาม พบว่าถ่านกัมมันต์ไมยราบยักษ์มีประสิทธิภาพในการดูดซับได้สูงที่สุดเมื่อเทียบกับตัวดูดซับชนิดอื่นที่เตรียมได้ และมีประสิทธิภาพในการดูดซับได้สูงใกล้เคียงกับถ่านกัมมันต์มาตรฐาน โดยสภาวะที่เหมาะสมของถ่านกัมมันต์ไมยราบยักษ์ในการดูดซับคือที่ pH 2 อุณหภูมิ 20-30 °C สำหรับการดูดซับสีเหลือง และสีน้ำเงิน

ส่วนการดูดซับสีแดงเกิดได้ ที่ pH 2 และอุณหภูมิ 30-40 °C ดังนั้นจึงเหมาะสมที่จะเลือกนำไปประยุกต์ใช้เพื่อการดูดซับสีย้อมในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมฟอกย้อมจริงต่อไปได้ แต่ควรมีการศึกษาคุณสมบัติของน้ำเสียก่อน เช่น ประเภทของสีย้อมที่ใช้ฟอกย้อมและที่ปนเปื้อนในน้ำเสีย อุณหภูมิของน้ำเสีย และค่า pH เป็นต้น เพื่อให้มีความเหมาะสมต่อการดูดซับ

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยต่อไป

1) ควรทำการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ และทางเคมีของถ่านและถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้เพิ่มเติม เช่นค่าความชื้น, พื้นที่ผิวของถ่าน (BET surface area; cm^2/g), เปอร์เซ็นต์เถ้า (%ash), เปอร์เซ็นต์การเผาไหม้ (%Burn off), ความหนาแน่นปรากฏ (Bulk density), เปอร์เซ็นต์คาร์บอน (%C), เปอร์เซ็นต์ไฮโดรเจน (%H), หมู่กรด (Acidic groups) และหมู่เบส (Basic groups) เป็นต้น

2) ควรทำการศึกษาการเตรียมถ่านและถ่านกัมมันต์จากไมยราบยักษ์ เปลือกมังคุด และเมล็ดมะขามด้วยวิธีอื่น ๆ แล้วนำมาเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพ ทางเคมี และความสามารถในการดูดซับ

3) เนื่องจากค่า pH ของน้ำเสียจริงที่มีการปนเปื้อนของสีย้อมในโรงงานอุตสาหกรรมฟอกย้อมทั่วไปอยู่ในช่วง 6-10 จึงควรที่จะมีการศึกษาการปรับสภาพของตัวดูดซับด้วยกรดก่อน โดยการนำตัวดูดซับไปแช่ในสารละลายกรดเช่น HCl, HNO_3 หรือ H_2SO_4 เป็นต้น เพื่อเป็นการเพิ่มประจุบวกบนพื้นผิวของตัวดูดซับก่อนนำไปทำการดูดซับ เพื่อให้ระบบมีความเหมาะสมต่อการดูดซับสีย้อมชนิดรีแอกทีฟซึ่งเป็นสีที่มีประจุลบได้มากขึ้น

4) ควรทำการศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับสารชนิดอื่น นอกจากสีย้อม เช่นการดูดซับโลหะหนักในน้ำ เป็นต้น

5) ควรนำวัสดุเหลือทิ้งชนิดอื่นที่มีเซลลูโลส คาร์โบไฮเดรต หรือไขมันเป็นองค์ประกอบ ซึ่งจะให้คาร์บอนเมื่อนำมาเตรียมเป็นถ่านและถ่านกัมมันต์

5.2.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการประยุกต์ใช้

1) การถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้ไปประยุกต์ใช้เพื่อดูดซับสีย้อมในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมฟอกย้อม ควรทำการศึกษาคุณสมบัติของน้ำเสียก่อน เช่น ประเภทของสีย้อมที่ใช้ฟอกย้อมและที่ปนเปื้อนในน้ำเสีย, อุณหภูมิของน้ำเสีย และค่า pH เป็นต้น เพื่อให้มีความเหมาะสมต่อการดูดซับ

2) เนื่องจากการดูดซับสีเหลือง และสีน้ำเงินของถ่านกัมมันต์ไมยราบยักษ์เป็นแบบคายความร้อน ซึ่งการดูดซับจะเกิดขึ้นได้ดีที่อุณหภูมิต่ำ ดังนั้นน้ำเสียที่ปล่อยออกมาจากกระบวนการฟอกย้อมซึ่งมีอุณหภูมิสูงประมาณ 60-70 องศาเซลเซียส จะทำให้ถ่านกัมมันต์ไมยราบยักษ์ดูดซับสีย้อมได้น้อย ดังนั้นจึงควรที่จะทำการนำน้ำเสียที่ปล่อยออกมาพักไว้ในบ่อก่อน เพื่อให้อุณหภูมิลดต่ำลงให้เหลือประมาณ 30 องศาเซลเซียส หรืออาจจะลดอุณหภูมิของน้ำเสียลงอีกให้เหลือประมาณ 20-30 องศาเซลเซียส แล้วจึงทำการดูดซับ ส่วนการดูดซับสีแดงของถ่านกัมมันต์ไมยราบยักษ์เป็นแบบดูดความร้อน ซึ่งการดูดซับจะเกิดขึ้นได้ดีที่อุณหภูมิสูง ดังนั้นควรที่จะทำการนำน้ำเสียที่ปล่อยออกมาพักไว้ในบ่อก่อน เพื่อให้อุณหภูมิลดต่ำลงให้เหลือประมาณ 30-40 องศาเซลเซียส เพื่อให้มีความเหมาะสมต่อการดูดซับ

3) เนื่องจากค่า pH ของน้ำเสียจริงที่มีการปนเปื้อนของสีย้อมในโรงงานอุตสาหกรรมฟอกย้อมทั่วไปอยู่ในช่วง 6-10.7 ดังนั้นจึงควรที่จะมีการศึกษาการปรับสภาพของน้ำเสียให้เป็นกรดก่อน (pH 2) เพื่อให้ระบบมีความเหมาะสมต่อการดูดซับสีย้อมชนิดรีแอกทีฟ ซึ่งเป็นสีที่มีประจุลบได้มากขึ้น

4) ควรมีการศึกษาการนำถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้ไปประยุกต์ใช้เพื่อดูดซับไอออนของโลหะหนักที่ปนเปื้อนน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม