



คุณสมบัติกายภาพและการดูดซับสีย้อมชนิดรีแอกทีฟ
ของถ่านและถ่านกัมมันต์เตรียมจากเปลือกมังคุดและเมล็ดมะขาม

รัตนา สนั่นเมือง^{a,*} และ นิตยา ชาอุ้น^b

Physical Characteristics and Adsorption Properties for Reactive Dyes of Char and
Activated Carbon Prepared from Mangosteen Peel and Tamarind Seed

Ratana Sananmuang^{a,*} and Nittaya Cha-un^b

^aภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์ อำเภอเมือง จังหวัดพิจิตร 65000

^bภาควิชาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม คณะเกษตรศาสตร์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนครสวรรค์ อำเภอเมือง จังหวัดพิจิตร 65000

^aDepartment of Chemistry, Faculty of Science, Naresuan University, Muang, Phitsanulok 65000, Thailand.

^bDepartment of Natural Resources and Environment, Faculty of Agriculture, Natural Resources and Environment, Naresuan University, Muang, Phitsanulok 65000, Thailand.

Corresponding author. E-mail address: ratanas@nu.ac.th (R. Sananmuang)

Received 20 December 2006; accepted 26 April 2007

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาคุณสมบัติกายภาพ ปัจจัยในการดูดซับสีย้อม และประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อมของถ่าน และถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากเปลือกมังคุด และเมล็ดมะขาม โดยใช้การวิเคราะห์ด้วย SEM, ASTM D 4607-94, BET surface area, FT-IR และการทดลองแบบกะ ผลการศึกษาพบว่าถ่านที่เตรียมจากเมล็ดมะขาม มีรูพรุนสูงกว่าถ่านที่เตรียมจากเปลือกมังคุด และเมื่อนำถ่านที่เตรียมได้มาทำการกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ จะพบว่าถ่านทั้งสองชนิดมีรูพรุนเพิ่มขึ้น สเปกตรัม FT-IR ของถ่าน และถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้ เปรียบเทียบกับ activated charcoal มาตรฐาน พบว่ามีแถบที่ปรากฏขึ้นคล้ายกัน สำหรับการศึกษาปัจจัยในการดูดซับสีย้อม พบว่าตัวดูดซับทุกชนิดสามารถดูดซับสารละลายสีย้อม (Reactive Yellow 145, Reactive Red 195 และ Reactive Blue 222) ได้ดีที่พีเอช 2 จากการศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับ พบว่าถ่านกัมมันต์เมล็ดมะขามมีความสามารถในการดูดซับสูงสุด รองลงมา เป็นถ่านกัมมันต์เปลือกมังคุด ตามลำดับ ส่วนถ่านเปลือกมังคุด และถ่านเมล็ดมะขาม มีความสามารถในการดูดซับแตกต่างกัน สำหรับอุณหภูมิที่เหมาะสมในการดูดซับจะแตกต่างกันไปตามโทนสีและชนิดของตัวดูดซับ

คำสำคัญ: สีย้อมรีแอกทีฟ; ถ่าน; ถ่านกัมมันต์; เปลือกมังคุด; เมล็ดมะขาม

Abstract

In this work, the physical characteristics, factors affecting the adsorption of the reactive dye, and the adsorption efficiency of char and activated carbon prepared from mangosteen peel and tamarind seed compared to the standard activated charcoal were studied. The analysis was made by using SEM, ASTM D 4607-94, BET surface area, FT-IR techniques and batch experiment. It was found that the number of pores of char prepared from tamarind seed was greater than that of char prepared from mangosteen peel. Additionally, the porosity of all chars activated by KOH were remarkably increased. The FT-IR spectrums of char and prepared-activated carbon were similar to the spectrums obtained from the standard activated charcoal. Based on the study of factors influencing the adsorption, it was shown that all adsorbents could adsorb dye particles in solutions (Reactive Yellow 145, Reactive Red 195 and Reactive Blue 222) at pH 2. The adsorption of the activated carbon prepared from tamarind seed gave the highest efficiency, followed by that of the activated carbon prepared from mangosteen peel. The adsorption efficiency of char made from mangosteen peel and tamarind seed were different. The optimum temperatures of the adsorption were different depending on the colors and types of adsorbents.

Keywords: Reactive dye; Char; Activated carbon; Mangosteen peel; Tamarind seed

บทนำ

ปัจจุบันอุตสาหกรรมสิ่งทอเป็นอุตสาหกรรมส่งออกที่มีการขยายตัวอย่างต่อเนื่อง ซึ่งทำรายได้ให้ประเทศไทยมากถึง 250,000 ล้านบาทต่อปี อย่างไรก็ตามผลกระทบที่เกิดขึ้นตามมาคือ ปัญหาสิ่งแวดล้อมซึ่งส่วนใหญ่เกิดจากการทิ้งน้ำเสียของการฟอกย้อม โดยเฉพาะอย่างยิ่งสีย้อมที่ละลายอยู่ในน้ำเสีย เนื่องจากสีเหล่านี้ยากต่อการย่อยสลายซึ่งได้แก่ สีรีแอคทีฟ (reactive dyes) และสีแอซิด (acid dyes) เป็นต้น (ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ, 2544; สำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมโรงงาน, 2542)

การบำบัดสีย้อมในน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อม อาจใช้การบำบัดด้วยวิธีทางชีวภาพ เช่น การใช้เอนไซม์และจุลินทรีย์ ได้แก่ เชื้อรา แบคทีเรีย และสาหร่าย หรือวิธีทางเคมี เช่น โคแอกกูเลชันด้วยสารเคมี, คลอรีเนชัน, โอโซนเนชัน, การใช้แผ่นเมมเบรน, ไฟฟ้าเคมี และการดูดซับ (สำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมโรงงาน, 2542) ซึ่งเทคนิคการดูดซับนั้นพบว่ามีการใช้กันอย่างกว้างขวาง ตัวดูดซับที่ใช้มีหลายชนิด เช่น ถ่านกัมมันต์ ถ่านหินโค้ดอิน-โคโดซาน และซิลิกา เป็นต้น (Chiou et al., 2004) โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ่านกัมมันต์ซึ่งเป็นตัวดูดซับที่นิยมนำมาใช้ในการกำจัดสีในน้ำเสีย เนื่องจากมีพื้นที่ผิวจำเพาะสูง ทำให้มีความสามารถในการดูดซับสูง (สำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมโรงงาน, 2542) จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า ถ่านกัมมันต์เป็นตัวดูดซับที่มีการใช้ในการกำจัดสีรีแอคทีฟ สีเบสิก สีอะโซอิก และสีเมทัลคอมเพล็กซ์ มากที่สุด (Halliday & Beszdeits, 1986) ซึ่งวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตถ่านกัมมันต์นั้นมีหลายชนิด ได้แก่ กะลามะพร้าว ถ่านหิน ถ่านโค้ก กาบมะพร้าว เปลือกข้าว ไข่เปลือก กระดุก กากเมล็ดกาแฟ และเปลือกของผลไม้บางชนิด เช่น ลูกวอลนัท (Martinez et al., 2006) เป็นต้น

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการศึกษาคุณสมบัติเบื้องต้นทางกายภาพ และปัจจัยในการดูดซับสีย้อมชนิดรีแอคทีฟ 3 โทนสี ได้แก่ สีเหลือง (Reactive Yellow 145), สีแดง (Reactive Red 195) และ สีน้ำเงิน (Reactive Blue 222) โดยใช้ถ่านและถ่านกัมมันต์ ซึ่งเตรียมจากเปลือกมังคุด และเมล็ดมะขาม ทั้งนี้เพื่อลดต้นทุนการผลิตเนื่องจากเป็นวัสดุเหลือใช้ที่ต้องกำจัดทิ้งไปโดยเปล่าประโยชน์ ดังนั้นจึงควรที่จะนำวัสดุทั้งสองชนิดนี้มาผลิตเป็นถ่าน และถ่านกัมมันต์เพื่อใช้ประโยชน์ในการดูดซับสีย้อมในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมฟอกย้อมต่อไปในอนาคต

วัสดุอุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

วัสดุดูดซับ

วัสดุดูดซับที่ใช้ในงานวิจัยได้แก่ ถ่าน และถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากเปลือกมังคุด และเมล็ดมะขาม activated charcoal มาตรฐาน (Fluka Chemical, Belgium) เพื่อใช้ในการดูดซับสารละลายสีย้อม รีแอคทีฟ 3 โทนสี ได้แก่ Rifafix Yellow 3RN (C.I Reactive Yellow 145), Rifafix Red 3BN (C.I Reactive Red 195) และ Rifafix Navy Blue BF (C.I Reactive Blue 222) (A.C Burapa, Thailand)

การเตรียมถ่านและถ่านกัมมันต์ (Martinez et al., 2006) จากเปลือกมังคุด และเมล็ดมะขาม ทำได้โดยนำวัตถุดิบมาล้างด้วยน้ำกลั่น แล้วอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 100 °C 3 ชั่วโมง จากนั้นตัดให้มีขนาดเล็กระยะประมาณ 3 cm แล้วนำไปเผาแบบไร้อากาศที่อุณหภูมิ 600 °C 1 ชั่วโมง ทั้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง จะได้ถ่านที่มีลักษณะสีดำ ส่วนการเตรียมถ่านกัมมันต์นั้นทำได้โดย นำถ่านที่เตรียมได้มาบดให้มีขนาดประมาณ 0.5-2 mm แล้วแช่ถ่านในสารละลาย KOH 75 % w/w ในอัตราส่วน 1 : 1 (KOH : char) ทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง จากนั้นนำถ่านที่แช่แล้วไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 300 °C 3 ชั่วโมง แล้วเผาต่อที่อุณหภูมิ 900 °C 1 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิห้องล้างด้วยน้ำสะอาดจนเป็นกลาง แล้วล้างด้วยน้ำกลั่นอีก 2 ครั้ง จากนั้นทำให้แห้งที่อุณหภูมิ 100 °C นาน 2 ชั่วโมง แล้วทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง จะได้ถ่านกัมมันต์ (activated carbon) ที่มีลักษณะสีดำ

การศึกษา pH ที่เหมาะสมในการดูดซับสารละลายมาตรฐานสีย้อม

ทำการศึกษา pH ที่เหมาะสมของการดูดซับ โดยใช้การทดลองแบบกะ (Arami et al., 2005) นำสารละลายสีย้อมที่ความเข้มข้น 100 mg/L มาปรับ pH ให้เท่ากับ 2-10 ด้วย 0.1 M HNO₃ และ NaOH

แล้วเปิดสารละลายปริมาตร 10 ml ลงในขวดรูปกรวยขนาด 125 ml แล้วเติมตัวดูดซับ 0.1 กรัม เขย่าที่อุณหภูมิ 20 °C 30 °C และ 40 °C ด้วยเครื่องเขย่าที่ความเร็ว 200 รอบ/นาที และใช้เวลา 30 นาที ทำการแยกตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับออกจากกัน ด้วยเครื่องเหวี่ยงสารที่ความเร็ว 6,000 รอบ/นาที นำสารละลายที่แยกได้วัดค่าการดูดกลืนคลื่นแสงด้วยเครื่อง UV/VIS spectrophotometer (Unicam 8625, England) ที่ความยาวคลื่นเฉพาะ (สีเหลืองที่ 423 nm สีแดงที่ 540 nm และ สีน้ำเงินที่ 620 nm) ในการทดลองกระทำ 3 ซ้ำ เพื่อให้เกิดความถูกต้องและแม่นยำ (Sirianuntapiboon & Srisomsak, 2007) หาปริมาณการดูดซับของสารละลายสีย้อม โดยใช้สูตรคำนวณ

$$\text{ปริมาณการดูดซับ (mg/g)} = \frac{\text{ความเข้มข้นที่ถูกดูดซับ (mg/L)} \times \text{ปริมาตรของสารละลาย (L)}}{\text{น้ำหนักตัวดูดซับ (g)}}$$

เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ ระหว่าง pH กับปริมาณการดูดซับ ที่อุณหภูมิต่างๆ เพื่อนำมาศึกษาเปรียบเทียบปริมาณ และประสิทธิภาพในการดูดซับของถ่านและถ่านกัมมันต์จากเปลือกมังคุด และเมล็ดมะขาม

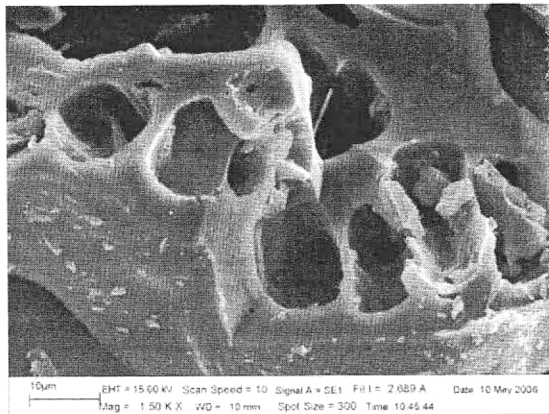
ผลการศึกษา

พื้นผิวของถ่าน และถ่านกัมมันต์ที่วิเคราะห์ด้วยเครื่อง SEM มีลักษณะดังภาพที่ 1 ถ่านที่เตรียมจากเปลือกมังคุด และเมล็ดมะขาม ที่ผ่านการกระตุ้นด้วย KOH พบว่า ถ่านทั้งสองชนิดมีรูพรุนบนพื้นผิวที่เห็นได้เพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมาก ทำให้ได้ถ่านกัมมันต์ที่มีรูพรุนและพื้นที่ผิวในการสัมผัสมากขึ้น นอกจากนี้ผลการวิเคราะห์การดูดซับไอโอดีน โดยใช้วิธีมาตรฐาน ASTM D 4607-94 (ตารางที่ 1) พบว่า ถ่านกัมมันต์เมล็ดมะขามมีค่า iodine number สูงสุด (1,097 mg/g) รองลงมาเป็นถ่านกัมมันต์เปลือกมังคุด (909 mg/g) ส่วนถ่านเปลือกมังคุด และถ่านเมล็ดมะขามมีค่าต่ำกว่า 300 mg/g โดยผลการวิเคราะห์การดูดซับไอโอดีนสอดคล้องกับภาพถ่าย SEM ซึ่งถ่านกัมมันต์ที่มีรูพรุนเป็นจำนวนมากทำให้มีความสามารถในการดูดซับไอโอดีนได้สูงมากเช่นเดียวกัน นอกจากนี้ในการวิเคราะห์หาพื้นที่ผิวจำเพาะด้วยเทคนิค BET surface area (ตารางที่ 1) พบว่าถ่านกัมมันต์เมล็ดมะขามมีพื้นที่ผิวจำเพาะสูงสุด (1,407 m²/g) รองลงมาเป็นถ่านกัมมันต์เปลือกมังคุด (1,120 m²/g) ถ่านเปลือกมังคุด (47.58 m²/g) และถ่านเมล็ดมะขาม (6.79 m²/g) ตามลำดับ

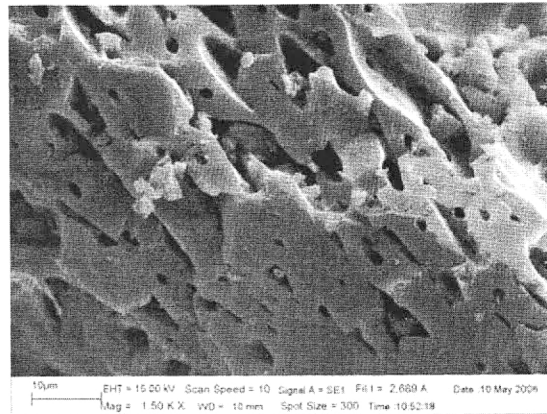
สำหรับการตรวจวัดหาหมู่ฟังก์ชันของถ่าน และถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากเปลือกมังคุด และเมล็ดมะขาม ด้วย FT-IR พบว่าจากสเปกตรัม FT-IR ทั้งของถ่านและถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากเปลือกมังคุด และเมล็ดมะขาม เป็นดังตารางที่ 2 โดยปรากฏแถบที่ 1500-1600 cm⁻¹ ซึ่งเป็นตำแหน่งของแถบการยืด C=C ของวงอะโรมาติก ซึ่งเป็นสเปกตรัมตำแหน่งเดียวกันกับที่เกิดขึ้นในถ่านที่เตรียมจากแกนข้าวโพด ในงานวิจัยของ El-Hendawy (2005) และถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากแกนเชอร์รี่ในงานวิจัยของ Olivares-Marín และคณะ (2006) นอกจากนี้ถ่านกัมมันต์เปลือกมังคุด ยังปรากฏแถบที่ 1000-1260 cm⁻¹ ซึ่งเป็นตำแหน่งของแถบการยืด C-O ของหมู่ carbonyl (CO) ของฟีนอล ส่วนสเปกตรัมที่ปรากฏแถบที่ 3200-3550 cm⁻¹ ของถ่าน และถ่านกัมมันต์เป็นตำแหน่งของแถบการยืด O-H ของหมู่ hydroxyl (OH) ในโมเลกุลของน้ำ และสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลในระหว่างการเตรียมตัวอย่างเพื่อทำการวิเคราะห์ด้วย FT-IR โดยถ่านและถ่านกัมมันต์มีการดูดโมเลกุลของน้ำเข้ามาจึงทำให้เกิดความชื้นเช่นเดียวกับในงานวิจัยของ El-Hendawy (2005) ซึ่งในการเปรียบเทียบตำแหน่งของแถบที่ปรากฏของหมู่ฟังก์ชันนี้ ใช้แถบของ activated charcoal มาตรฐานเป็นสารอ้างอิง

การศึกษาอิทธิพลของค่า pH ต่อการดูดซับ (ภาพที่ 2) พบว่าตัวดูดซับทุกชนิดสามารถดูดซับสารละลายสีย้อมทั้งสามโทนสีได้ดีที่ pH 2 เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Santhy และ Selvapathy (2006) สำหรับการศึกษาความสามารถในการดูดซับ พบว่าถ่านกัมมันต์มีการดูดซับสูงสุดดังนี้ ถ่านกัมมันต์เมล็ดมะขามสามารถดูดซับสีย้อมสีเหลืองที่ 5.49 mg/g (30 °C) สีแดงที่ 5.64 mg/g (30 °C) และสีน้ำเงินที่ 5.24 mg/g (20 °C) รองลงมาเป็นถ่านกัมมันต์เปลือกมังคุด ดูดซับสีย้อมสีเหลืองที่ 4.51 mg/g (20 °C) สีแดงที่ 3.71 mg/g (20 °C) และสีน้ำเงินที่ 3.82 mg/g (20 °C) ตามลำดับ ส่วนถ่านเปลือกมังคุดและถ่านเมล็ดมะขามมีการดูดซับแตกต่างกัน

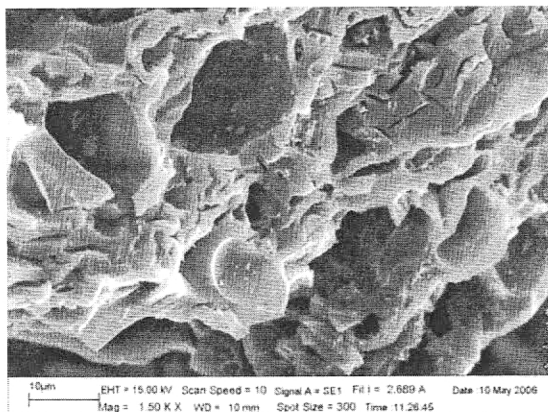
โดยผ่านเปลือกมังคุดดูดซับสีเหลืองที่ 2.18 mg/g (30 °C) สีแดงที่ 1.81 mg/g (30 °C) และสีน้ำเงินที่ 2.14 mg/g (30 °C) ผ่านเมล็ดมะขามดูดซับสีเหลืองที่ 2.70 mg/g (40 °C) สีแดงที่ 1.68 mg/g (20 °C) และสีน้ำเงินที่ 2.15 mg/g (20 °C) ตามลำดับ ซึ่งการศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการดูดซับนั้น พบว่ามีความแตกต่างกันไปตามโหนดและชนิดของตัวดูดซับ



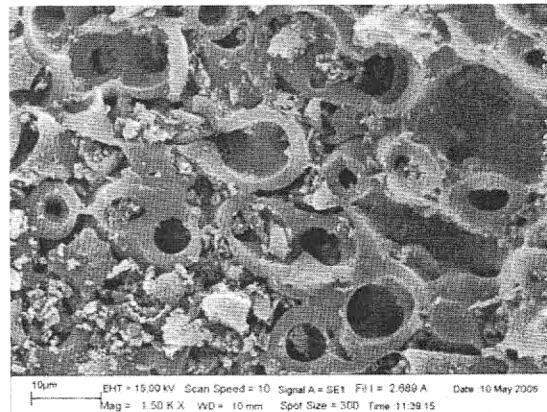
(a)



(b)



(c)



(d)

ภาพที่ 1 SEM ของ (a) ถ่านเปลือกมังคุด, (b) ถ่านเมล็ดมะขาม, (c) ถ่านกัมมันต์เปลือกมังคุด และ (d) ถ่านกัมมันต์เมล็ดมะขาม ที่กำลังขยาย 1,500 เท่า

ตารางที่ 1 ค่าการดูดซับไอโอดีน (iodine number) และพื้นที่ผิวจำเพาะ (BET surface area)

ตัวดูดซับ	Iodine Number (mg/g)	BET surface area (m ² /g)
ถ่านเปลือกมังคุด	ต่ำกว่า 300	47.58
ถ่านเมล็ดมะขาม	ต่ำกว่า 300	6.79
ถ่านกัมมันต์เปลือกมังคุด	909	1,120
ถ่านกัมมันต์เมล็ดมะขาม	1,097	1,407

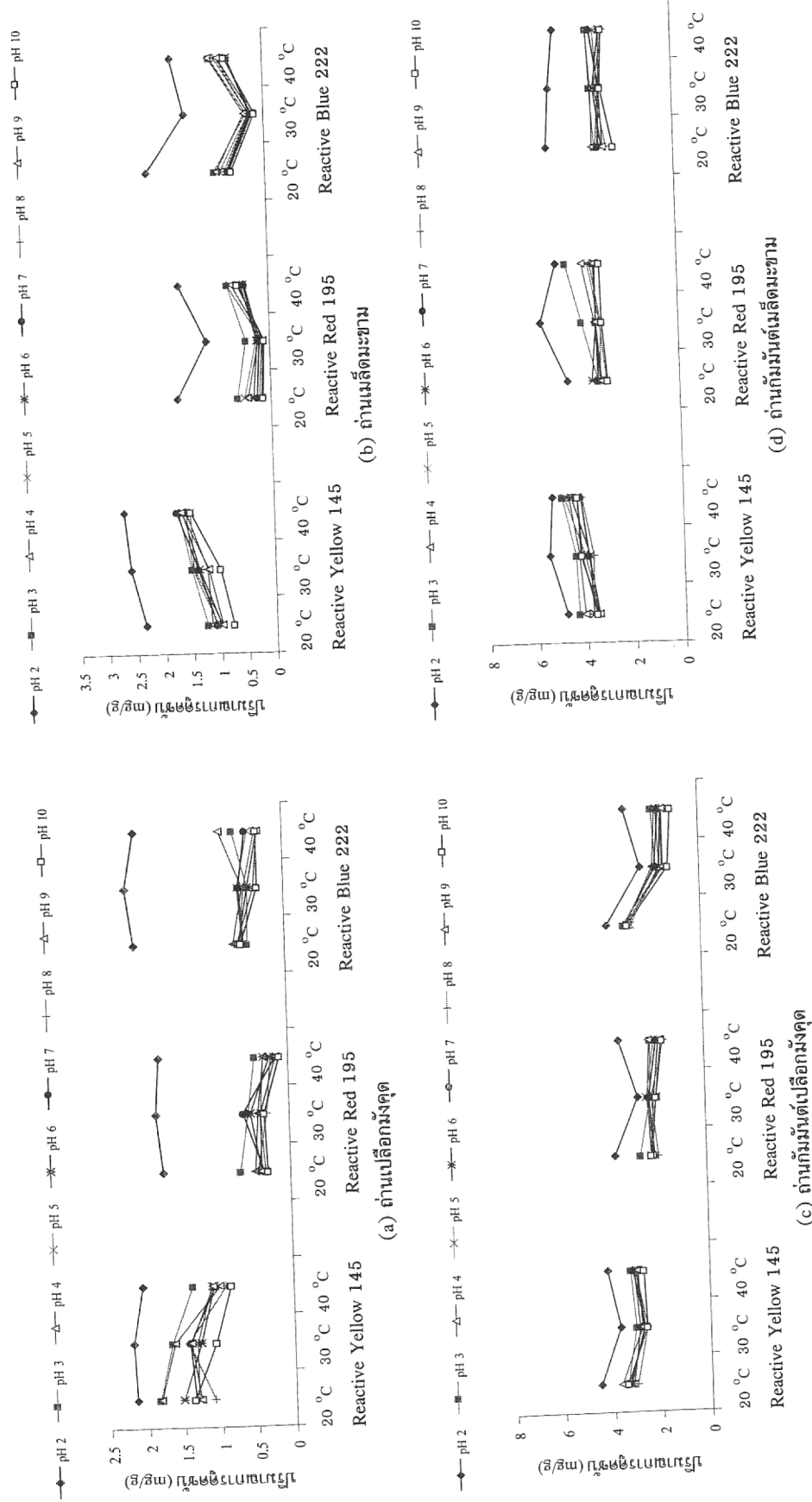
ตารางที่ 2 หมู่ฟังก์ชันของ activated charcoal มาตรฐาน ถ่านและถ่านกัมมันต์เตรียมจากเปลือกมังคุดและเมล็ดมะขาม

ตัวดูดซับ	Wavenumber, cm^{-1}		
	3200-3550	1500-1600	1000-1260
	V (O-H)	V (C=C)	V (C-O)
ถ่านเปลือกมังคุด	-	1577	-
ถ่านเมล็ดมะขาม	-	1573	-
ถ่านกัมมันต์เปลือกมังคุด	3445	1561	1147
ถ่านกัมมันต์เมล็ดมะขาม	3446	1576	-
Activated charcoal มาตรฐาน	3440	1571	1165

วิจารณ์ผลการศึกษา

ถ่านที่เตรียมจากเปลือกมังคุด และเมล็ดมะขามที่ผ่านการกระตุ้นด้วย KOH พบว่า ถ่านทั้งสองชนิดมีรูพรุนเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมาก ทำให้ได้ถ่านกัมมันต์ที่มีรูพรุนและพื้นที่ผิวในการสัมผัสมากขึ้น ซึ่งในการกระตุ้นผิวของถ่านด้วย KOH นั้น จะทำให้เกิด K_2CO_3 พร้อมกับการสลายให้ CO_2 และ CO ออกมา (Cao et al., 2006) โดยหมู่คาร์บอนิล (CO) และคาร์บอกซิเลต (COO^-) จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในระหว่างการแช่ด้วย KOH และในขั้นตอนการให้ความร้อน มีผลทำให้ผิวของถ่านมีรูพรุนเพิ่มมากขึ้น (Lua & Yang, 2004) ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์การดูดซับไอโอดีนและค่า BET surface area โดยถ่านกัมมันต์ที่มีรูพรุนเป็นจำนวนมากทำให้มีความสามารถในการดูดซับไอโอดีนได้สูงมากเช่นเดียวกัน ซึ่งสอดคล้องกับผลงานวิจัยของ Martinez และคณะ (2006) ส่วนการวิเคราะห์สเปกตรัม FT-IR ของถ่านและถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้นั้น พบว่ามีแถบที่ปรากฏเป็นตำแหน่งเดียวกันกับ activated charcoal มาตรฐาน รวมทั้งที่ปรากฏในถ่านที่เตรียมจากแกนข้าวโพดในงานวิจัยของ El-Hendawy (2005) และถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากแกนเชอร์รี่ในงานวิจัย ของ Olivares-Marín และคณะ (2006)

สำหรับการศึกษาค่า pH พบว่าตัวดูดซับทุกชนิดสามารถดูดซับสารละลายสีย้อมทั้งสามโทนสีได้ดีที่ pH 2 เนื่องจากการปรับค่า pH ของสารละลายสีย้อมเป็นการเพิ่มประจุให้กับพื้นที่ผิวของถ่านและถ่านกัมมันต์ ซึ่งจะส่งผลถึงความแรงของปฏิกิริยาไฟฟ้าสถิต (electrostatic reaction) ระหว่างโมเลกุลของสีย้อมและพื้นที่ผิวของตัวดูดซับ ดังนั้น สารละลายสีรีแอกทีฟที่มี pH ต่ำ (เป็นกรด) จะทำให้เกิดประจุบวกบนพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ ส่งผลให้แรงไฟฟ้าสถิตมีสูง จึงสามารถดูดซับสีรีแอกทีฟซึ่งเป็นสีประจุลบได้ดี (Orfao et al., 2006) สำหรับอนุหภูมิที่เหมาะสมในการดูดซับจะแตกต่างกันไปตามโทนสีและชนิดของตัวดูดซับ



ภาพที่ 2 ผลของ pH และอุณหภูมิในการดูดซับสารละลายสี้อม ด้วยถ่านและถ่านกัมมันต์จากเปลือกมังคุด และเมล็ดมะขาม

สรุปผลการศึกษา

ถ่านที่เตรียมจากเปลือกมังคุด และเมล็ดมะขาม หลังผ่านการกระตุ้นด้วย KOH พบว่าถ่านทั้งสองชนิด มีรูพรุนเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมาก ทำให้ได้ถ่านกัมมันต์ที่มีรูพรุนและพื้นที่ผิวในการสัมผัสมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์การดูดซับไอโอดีน โดยถ่านกัมมันต์เมล็ดมะขามมีค่า iodine number สูงสุด (1,097 mg/g) รองลงมา เป็นกัมมันต์เปลือกมังคุด (909 mg/g) ส่วนถ่านเปลือกมังคุดและถ่านเมล็ดมะขามมีค่าต่ำกว่า 300 mg/g นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์พื้นที่ผิวจำเพาะ (BET surface area) โดยถ่านกัมมันต์เมล็ดมะขาม มีพื้นที่ผิวจำเพาะสูงสุด (1,407 m²/g) รองลงมาเป็นถ่านกัมมันต์เปลือกมังคุด (1,120 m²/g) ถ่านเปลือกมังคุด (47.58 m²/g) และถ่านเมล็ดมะขาม (6.79 m²/g) ตามลำดับ สำหรับการวิเคราะห์สเปกตรัม FT-IR ของถ่าน และถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้จากเปลือกมังคุดและเมล็ดมะขาม พบว่า มีแถบที่ปรากฏขึ้นคล้ายกันกับแถบที่ปรากฏของ activated charcoal มาตรฐาน

ในการศึกษาค่า pH พบว่าตัวดูดซับทุกชนิดสามารถดูดซับสารละลายสีย้อมทั้งสามโทนสีได้ดีที่ pH 2 และจากการศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อมสีเหลือง สีแดง และสีน้ำเงิน พบว่าถ่านกัมมันต์เมล็ดมะขาม มีความสามารถในการดูดซับสูงสุด (5.49, 5.64, 5.24 mg/g) รองลงมาเป็นถ่านกัมมันต์เปลือกมังคุด (4.51, 3.71, 3.82 mg/g) ตามลำดับ ส่วนถ่านเปลือกมังคุด (2.18, 1.81, 2.14 mg/g) และถ่านเมล็ดมะขาม (2.70, 1.68, 2.15 mg/g) มีความสามารถในการดูดซับแตกต่างกัน ส่วนอุณหภูมิที่เหมาะสมในการดูดซับจะแตกต่างกันไปตามโทนสีและชนิดของตัวดูดซับ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ผศ.ดร. อภิชาติ สนธิสมบัติ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี และคุณประภาส พัฒนอมร บริษัทเอซีบุรพา จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์มอบตัวอย่างสีรีแอกทีฟเพื่อใช้ในการวิจัย และขอขอบคุณภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์

เอกสารอ้างอิง

- ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ. (2544). *การประยุกต์ใช้ไคตินและไคโตซาน*. กรุงเทพฯ: สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ
- สำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมโรงงาน. (2542). *คู่มือการจัดการสิ่งแวดล้อม อุตสาหกรรมฟอกย้อม*. กรุงเทพฯ: กระทรวงอุตสาหกรรม.
- Arami M., Limaee, N. Y., Mahnoodi, N. M., & Tabrizi, N. S. (2005). Removal of dyes from colored textile wastewater by orange peel adsorbent: Equilibrium and kinetic studies. *Journal of Colloid and Interface Science*, 288, 371-376.
- Cao, Q., Xie, K., Lv, Y., & Bao, W. (2006). Process effects on activated carbon with large specific surface area from corn cob. *Bioresource Technology*, 97, 110-115.
- Chiou, M. S., Ho, P. Y., & Li, H. Y. (2004). Adsorption of anionic dyes in acid solution using chemically cross-linked chitosan beads. *Dyes and Pigments*, 60, 69-84.
- El-Hendawy, A. A. (2005). Surface and adsorptive properties of carbons prepared from biomass. *Applied Surface Science*, 252, 287-295.
- Halliday, P. J., & Beszedits, S. (1986). Color removal from textile mill wastewater. *Canadian Textile*

- Lua, A. C., & Yang, T. (2004). Effect of activation temperature on the textural and chemical properties of potassium hydroxide activated carbon prepared from pistachio-nut shell. *Journal of Colloid and Interface Science*, 274, 594-601.
- Martinez, M. L., Torres, M. M., Guzman, C. A., & Maestri, D. M. (2006). Preparation and characteristics of activated carbon from live stones and walnut shells. *Industrial Crops and Products*, 23, 23-28.
- Olivares-Marin, M., Fernandez-Gonzalez, C., Macias-Garcia, A., & Gomez-Serrano, V. (2006). Preparation of activated carbons from cherry stones by activation with potassium hydroxide. *Applied Surface Science*, 252, 5980-5983.
- Orfao, J. J. M., Silva, A. I. M., Pereira, J. C. V., Barata, S. A., Fonseca, I. M., Faria, P. C. C., et al. (2006). Adsorption of a reactive dye on chemically modified activated carbons-Influence of pH. *Journal of Colloid and Interface Science*, 296, 480-489.
- Santhy, K., & Selvapathy, P. (2006). Removal of reactive dyes from wastewater by adsorption on coir pith activated carbon. *Bioresource Technology*, 97, 1329-1336.
- Sirianuntapiboon, S., & Srisornsak, P. (2007). Removal of disperse dyes from textile wastewater using bio-sludge. *Bioresource Technology*, 98, 1057-1066.