

ถ่านกัมมันต์จากกากงา

Activated Carbon from Sesame Residue

มัลลิกา ถานบุตร

อาจารย์ประจำ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

123 ถนนมิตรภาพ อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น 40002

E-mail: tmallika@kku.ac.th

บทคัดย่อ

การศึกษานี้นำเสนอแนวทางการผลิตถ่านกัมมันต์จากกากงา โดยใช้วิธีการกระตุ้นร่วมกันทั้งทางเคมีและทางกายภาพ ซึ่งกากงาจะถูกนำมาเผาไพโรไลซิสที่อุณหภูมิแตกต่างกัน แล้วนำไปกระตุ้นด้วยต่างสองชนิดเปรียบเทียบกัน คือ โปตัสเซียมไฮดรอกไซด์และโซเดียมไฮดรอกไซด์ ด้วยอัตราส่วนที่แตกต่างกัน จากนั้น จะถูกกระตุ้นอีกครั้งด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จากผลการทดลอง พบว่าเมื่อนำถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการไพโรไลซิสกากงาที่ 600°C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ภายใต้บรรยากาศของไนโตรเจนและกระตุ้นด้วยต่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่อัตราส่วน 1:2 โดยน้ำหนักถ่านกัมมันต์ต่อน้ำหนักของสารเคมีต่าง เป็นเวลา 4 ชั่วโมง แล้วผ่านการกระตุ้นด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ 850°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง มาใช้ในการดูดซับสีเมทิลีนบลูที่มีความเข้มข้นสารละลาย 100 พีพีเอ็ม และค่าพีเอช 11 ด้วยปริมาณ 0.2 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของถ่านกัมมันต์ (กรัม) ต่อปริมาตรของสารละลายสีเมทิลีนบลู (มิลลิลิตร) หลังสิ้นสุดการดูดซับเป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบว่าประสิทธิภาพในการดูดซับสีเมทิลีนบลูสูงที่สุดถึง 35.95% และเมื่อใช้ปริมาณ

ถ่านกัมมันต์เพิ่มขึ้นจากความเข้มข้น 1.0% เป็น 4.0% ประสิทธิภาพในการดูดซับสีเมทิลีนบลูที่สภาวะเดิมเพิ่มขึ้นประมาณ 20-23% ตลอดระยะเวลาของการดูดซับ ซึ่งเมื่อใช้ปริมาณถ่านกัมมันต์ 4% จะทำให้ประสิทธิภาพของการดูดซับสูงสุดประมาณ 66% เมื่อสิ้นสุดเวลาการดูดซับ 24 ชั่วโมง และ จากการวิเคราะห์ไอโซเทอร์มของการดูดซับสีเมทิลีนบลูบนถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้ พบว่า ลักษณะการดูดซับสอดคล้องกับแบบจำลองการดูดซับของฟรุนดริชมากกว่าแบบจำลองของแลงเมียร์ โดยมีค่า $R^2 = 0.997$ และมีค่าความเข้มข้นสมดุลของสารละลายเมทิลีนบลูบนถ่านกัมมันต์เท่ากับ 379 มิลลิกรัม/กรัม

คำสำคัญ : กากงา ถ่านกัมมันต์ การดูดซับ

Abstract

The preparation of activated carbon from sesame residue by the combination of chemical and physical activation was carried out. Precursor was pyrolyzed at different temperature (500°C , 600°C), then impregnated in various ratios of two different chemicals (NaOH and

KOH) followed by CO₂ activation. Activated carbon from these conditions as followed: the carbonized temperature being 600^oC keeping for 4 hr using N₂ as protective gas; the mass ratio of char material to NaOH being 1:2 with the soaking time of 4 hr; the activated temperature by CO₂ being 850^oC and holding time being 1 hr, showed maximum removal capacity about 35.95% when 0.2% by weight of activated carbon (gram) to solution volume (ml) was applied to 100 ppm methylene blue solution with pH ~ 11 for 24 hr of adsorption. The potential of removal capacity increased about 20-23% as the amount of activated carbon was added from 1% to 4%, it reached to maximum value of 66% for 24 hr of adsorption when 4% of activated carbon was used. Freundlich isotherm showed better fit than Langmuir isotherm, with R² = 0.997. The methylene blue concentration on adsorbent at equilibrium condition was 379 mg/g

Keywords: Sesame residue; Activated carbon; Adsorption

1. บทนำ

ปัจจุบัน ประเทศไทยให้ความสนใจในการนำกากทิ้งชีวมวล (waste biomass) มาแปรเปลี่ยนเพื่อใช้ประโยชน์มากขึ้น เนื่องจากชีวมวลเป็นแหล่งพลังงานที่ทดแทนได้ มีราคาถูก และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ทางเลือกหนึ่งคือ การผลิตถ่าน กัมมันต์ (activated carbon) จากกากชีวมวลด้วยกระบวนการ

เปลี่ยนแปลงทางความร้อน ถ่านกัมมันต์สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในโรงงานอุตสาหกรรมโดยใช้เป็นสารฟอกสี เช่น โรงงานทอผ้า โรงงานน้ำตาล โรงงานกระดาษ และเป็นตัวดูดซับ (adsorbent) สารปนเปื้อนที่ละลายอยู่ในก๊าซหรือของเหลว เช่น การดูดซับสารปนเปื้อนในตัวทำละลาย ดูดซับสารปนเปื้อนในอากาศ และน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม และยังสามารบบำบัดน้ำกลับมาใช้ใหม่ได้เป็นการช่วยลดปริมาณของเสียที่ปล่อยออกสู่สภาพแวดล้อมอีกทางหนึ่ง วัสดุดิบที่นำมาใช้ผลิตถ่านกัมมันต์มักจะเป็นวัสดุดิบที่มีโครงสร้างที่มีองค์ประกอบเป็นคาร์บอนสูง (carbonaceous material) เช่น ถ่านหิน ถ่านไม้ เปลือกถั่ว กะลามะพร้าว กระจุก ถ่านหิน เป็นต้น ความสามารถในการดูดซับของถ่านกัมมันต์จะสัมพันธ์กับคุณสมบัติต่างๆ เช่น พื้นที่ผิว ความเป็นรูพรุน และปริมาตรของรูพรุน ซึ่งคุณลักษณะเหล่านี้ขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุดิบและกรรมวิธีที่ใช้ในการผลิต จากงานวิจัยต่างๆ [1-3] สรุปได้ว่ากระบวนการพื้นฐานที่ใช้ในการเตรียมถ่าน กัมมันต์สามารถจำแนกได้เป็นสองกรรมวิธีด้วยกัน ได้แก่ การกระตุ้นทางกายภาพ (physical activation) และการกระตุ้นทางเคมี (chemical activation) ซึ่งมีข้อแตกต่างกันคือ การกระตุ้นทางกายภาพนั้น วัสดุดิบจะถูกนำมาผ่านกระบวนการเพิ่มสัดส่วนของคาร์บอนในโครงสร้าง ด้วยการให้ความร้อนภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจนที่อุณหภูมิประมาณ 400-600^oC ซึ่งเรียกว่ากระบวนการไพโรไลซิส (pyrolysis) องค์ประกอบที่ระเหยง่ายและโมเลกุลของสารที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการไพโรไลซิสจะหลุดออกไป จากนั้นนำถ่านที่ได้ไปผ่านกระบวนการกระตุ้นด้วยก๊าซคาร์บอนได-ออกไซด์หรือ

ไอน้ำให้เป็นถ่านกัมมันต์ภายใต้อุณหภูมิประมาณ 600-1200°C ทำให้มีรูพรุนเกิดขึ้นเป็นจำนวนมาก ส่วนการกระตุ้นทางเคมีนั้น [4-7] วัสดุจะถูกแช่ในสารเคมีที่ใช้เป็นตัวกระตุ้น เช่น ซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$), กรดฟอสฟอริก (H_3PO_4), โปแตสเซียม-คาร์บอเนต (K_2CO_3), โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH), โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เป็นต้น แล้วจึงนำวัสดุที่ผ่านการกระตุ้นทางเคมีไปไฟโรไลซิส เนื่องจาก ซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$) และ กรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) จะก่อให้เกิดการปนเปื้อนทางสิ่งแวดล้อม จึงถูกจำกัดถึงแม้ว่าจะเป็นที่ยอมรับในการกระตุ้นก็ตาม ดังนั้นการใช้ตัวกระตุ้นที่เป็นต่างจึงได้รับความสนใจมากขึ้น

ถึงแม้ว่าไม่มีใครมีงานวิจัยการผลิตถ่านกัมมันต์ด้วยวิธีการกระตุ้นร่วมกันทั้งทางกายภาพและทางเคมีแพร่หลายนักก็ตาม แต่วิธีการนี้ยังเป็นที่น่าสนใจอีกทางหนึ่งในการผลิตถ่านกัมมันต์จากชีวมวล จากการเปรียบเทียบพบว่า ถ่านกัมมันต์ที่ได้จากวิธีการนี้เมื่อมีการกระตุ้นทางเคมีแก่ถ่านที่ได้จากการไฟโรไลซิสก่อนนำไปกระตุ้นทางกายภาพ จะมีค่าพื้นที่ผิวจำเพาะ (specific surface area) สูงกว่าถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการกระตุ้นทางเคมีโดยตรงอย่างเดียวแก่ วัสดุ [5-7]

ดังนั้น การผลิตถ่านกัมมันต์จึงเป็นจุดสนใจในการแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อมและการเพิ่มมูลค่าของกากชีวมวล จุดประสงค์หลักของการศึกษานี้ คือ ศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตถ่านกัมมันต์จากกากที่เหลือจากเมล็ดงาที่ผ่านการรีดน้ำมันออกแล้ว โดยวิธีการกระตุ้นรวมทั้งทางเคมีและกายภาพ ในที่นี้ใช้ต่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ต่างโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) และกาซคาร์บอนไดออกไซด์

(CO_2) เป็นตัวกระตุ้น รวมทั้งใช้สีเมทิลีนบลูเป็นสารประกอบจำลองในการศึกษาการดูดซับสิ่งปนเปื้อนที่เป็นสารประกอบอินทรีย์ออกจากสารละลาย

2. วิธีการทดลอง

2.1 วัสดุและสารเคมี

วัสดุที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ คือ กากงาที่ได้จากการรีดน้ำมันงาออกแล้ว กากงาจะถูกนำมาอบไล่ความชื้นที่ 110°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นจึงบดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 250 ไมครอน สารเคมีที่ใช้ในการกระตุ้น คือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ก๊าซที่ใช้เป็นตัวกระตุ้นคือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และสารเมทิลีนบลู (Methylene Blue) ใช้เป็นตัวถูกดูดซับ

2.2 การเตรียมถ่านกัมมันต์

การเตรียมถ่านกัมมันต์จากกากงามีทั้งหมด 5 ขั้นตอน คือ (1) นำกากงาที่ผ่านการร่อนอนุภาคแล้ว ปริมาณ 150 กรัม ไปเผาภายใต้บรรยากาศไนโตรเจนที่อุณหภูมิ 500°C และ 600°C ด้วยอัตราการไหลของ ก๊าซไนโตรเจน 15 มิลลิลิตรต่อนาที และอัตราการให้ความร้อนของเตาเท่ากับ 21.56°C ต่อนาที เป็นเวลา 4 ชั่วโมง เพื่อทำการเผากากงาให้เป็นคาร์บอน หลังจากนั้นหยุดให้ความร้อนแล้วปล่อยให้เย็นตัวลงจนถึงอุณหภูมิห้องด้วยไนโตรเจน; (2) นำคาร์บอนที่ได้มากระตุ้นทางเคมี โดยละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) หรือโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ด้วยน้ำกลั่นปริมาตร 10 มิลลิลิตร ในขวดก้นกลม แล้วใส่ผงถ่านคาร์บอนลงไปด้วยอัตราส่วนโดยน้ำหนักของถ่านคาร์บอนต่อสารเคมีที่ใช้กระตุ้นเป็น 1:0.5, 1:1 และ

1:2 กวนส่วนผสมให้เข้ากันพร้อมทั้งปิดฝาขวด แล้วทำการเขย่าบนเครื่องเขย่า (shaker) เป็น 4 ชั่วโมง; (3) กรองแยกถ่านคาร์บอนด้วยกระดาษกรอง แล้วล้างสารเคมีออกด้วยน้ำกลั่น จนกระทั่งน้ำล้างมีค่าพีเอชเป็นกลาง แล้วนำคาร์บอนที่ได้รับการกระตุ้นทางเคมีแล้ว ไปอบไล่ไอน้ำที่ 110°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง; (4) นำถ่านที่ผ่านการกระตุ้นทางเคมีไปเผาภายใต้บรรยากาศไนโตรเจนด้วยอัตราการไหลของก๊าซไนโตรเจน 15 มิลลิลิตรต่ออนาที และอัตราการให้ความร้อนของเตาเท่ากับ 12.17°C ต่ออนาที จนถึงอุณหภูมิที่ต้องกระตุ้นทางกายภาพ ด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ที่ 850°C ดำเนินการกระตุ้น เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วปล่อยให้เย็นตัวภายใต้อุณหภูมิห้องภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน; (5) นำถ่านกัมมันต์ที่ได้บรรจุไว้ในขวดเก็บสารที่มีฝาปิด แล้วเก็บไว้ในโถดูดความชื้นเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ลำดับต่อไป

2.3 การวิเคราะห์คุณลักษณะของถ่านกัมมันต์

2.3.1 ศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับสีเมทิลีนบลู

เตรียมสารละลายเมทิลีนบลูความเข้มข้น 100 พีพีเอ็ม จำนวน 50 มิลลิลิตร บรรจุในขวดรูปชมพู่ แล้วใส่ถ่านกัมมันต์ 100 มิลลิกรัม (0.2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของถ่านกัมมันต์ในหน่วยกรัมต่อปริมาตรของสารละลายในหน่วยมิลลิลิตร) จากนั้นนำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อครบเวลาที่กำหนดนำสารละลายที่ได้มากรองแยกเอาถ่านกัมมันต์ออกด้วยกระดาษกรอง แล้วนำสารละลายที่ได้จากการกรองมาหาค่าการดูดกลืนสีด้วยเครื่อง UV/VIS spectrophotometer ที่ค่าความยาวคลื่นสูงสุดของการดูดกลืนสีของเมทิลีนบลู คือ 670

นาโนเมตร แล้วทำการคำนวณหาความเข้มข้นของสารละลายเมทิลีนบลูที่ถูกลดดูดซับ

จากการทำเส้นโค้งมาตรฐานระหว่างค่าการดูดซับความเข้มข้นของเมทิลีนบลู โดยสมการที่ได้คือ

$$y = 0.21x - 0.052 \quad (1)$$

แล้วคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นที่หายไป (%R) จากสมการ

$$\% R = \frac{(C_f - C_o)}{C_o} \times 100\% \quad (2)$$

เมื่อ C_o = ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลาย (มิลลิกรัมต่อลิตร)

C_f = ความเข้มข้นสุดท้ายของสารละลาย (มิลลิกรัมต่อลิตร)

2.3.2 ศึกษาผลของ pH ต่อการดูดซับสีเมทิลีนบลู

ใช้ถ่านกัมมันต์ที่ศึกษาการดูดซับสีเมทิลีนบลูที่มีประสิทธิภาพดีที่สุด จากการศึกษาค้นคว้า 2.3.1 มา 2 สภาวะ ใช้ถ่านกัมมันต์ 100 มิลลิกรัม จากนั้นเติมสารละลายเมทิลีนบลู 50 มิลลิลิตร จากนั้นปรับค่าพีเอชเป็น 3, 7 และ 11 แล้วนำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำไปวัดความเข้มข้นของสารละลายสีที่เหลือ

2.3.3 ศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมต่อการดูดซับสีเมทิลีนบลูที่ปริมาณความเข้มข้นของถ่านกัมมันต์ต่างๆ

เลือกใช้ถ่านกัมมันต์ที่ให้ประสิทธิภาพดีที่สุดในการดูดซับสีเมทิลีนบลูที่สภาวะพีเอชของการดูดซับ จากการศึกษาค้นคว้า 2.3.2 ใช้ถ่านกัมมันต์ 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 กรัม จากนั้นเติมสารละลายเมทิลีนบลู 50 มิลลิลิตร (ถ่านกัมมันต์ความเข้มข้น 1, 2, 3 และ 4%

โดยน้ำหนักของถ่านกัมมันต์ในหน่วยกรัม ต่อปริมาตรของสารละลายในหน่วยมิลลิลิตร) จากนั้นปรับค่าพีเอชให้ได้สภาวะที่ต้องการ แล้วนำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำไปวัดความเข้มข้นของสารละลายที่เหลือ

2.3.4 ศึกษาไอโซเทอร์มของการดูดซับสีเมทิลีนบลูบนถ่านกัมมันต์

เลือกใช้ถ่านกัมมันต์ที่ให้ประสิทธิภาพดีที่สุดในการดูดซับสีเมทิลีนบลูที่สภาวะ pH ของการดูดซับจากการศึกษาข้อ 2.3.2 ใช้ถ่านกัมมันต์ 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 กรัม จากนั้นเติมสารละลายเมทิลีนบลู 50 มิลลิลิตร (ถ่านกัมมันต์ความเข้มข้น 1, 2, 3 และ 4% โดยน้ำหนักของถ่านกัมมันต์ในหน่วยกรัมต่อปริมาตรของสารละลายในหน่วยมิลลิลิตร) จากนั้นปรับค่าพีเอชให้ได้สภาวะพีเอชตามต้องการ แล้วนำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 48 ชั่วโมง จากนั้นนำไปวัดความเข้มข้นของสารละลายที่เหลือซึ่งปริมาณสีเมทิลีนบลูที่ถูกดูดซับบนถ่านกัมมันต์คำนวณได้จากความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นสารละลายสีเมทิลีนบลูเริ่มต้นและสุดท้าย นั่นคือปริมาณของสีเมทิลีนที่ถูกดูดซับไว้ ณ สมดุลของการดูดซับ (q_e) หาได้จาก

$$q_e = \frac{(C_o - C_e)}{(W/V)} \quad (1)$$

เมื่อ C_o = ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลาย (มิลลิกรัมต่อลิตร)

C_e = ความเข้มข้นที่สมดุลของการดูดซับของสารละลาย (มิลลิกรัมต่อลิตร)

W = น้ำหนักของถ่านกัมมันต์ที่ใช้ (มิลลิกรัม)

V = ปริมาตรของสารละลายสีเมทิลีนบลูที่ใช้ (มิลลิลิตร)

2.3.5 การศึกษาโครงสร้างทางกายภาพด้วยเครื่อง SEM (Scanning Electron Microscope)

เมื่อทำการศึกษาการดูดซับสีเมทิลีนบลูเรียบร้อยแล้ว นำถ่านกัมมันต์ที่มีประสิทธิภาพในการดูดซับดีที่สุดไปถ่ายภาพโครงสร้างด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM; Scanning Electron Microscope)

3. ผลการทดลองและอภิปราย

3.1 ประสิทธิภาพการดูดซับสีเมทิลีนบลู

จากการไพโรไลซิสกากงาภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจน พบว่า ถ่านที่ได้จากการเผามีเพียง 27% ของกากงาที่ผ่านการอบแห้งแล้ว ทั้งนี้เนื่องจากยังคงมีน้ำมันงาหลงเหลืออยู่รวมไปถึงสารระเหยอินทรีย์ต่างๆ ที่อยู่ภายในโครงสร้างของกากงา

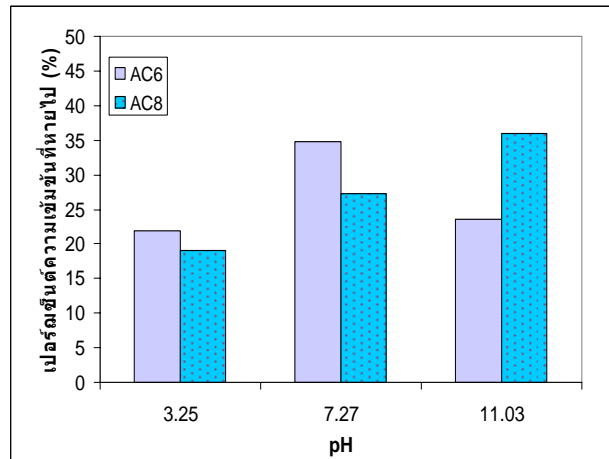
ตารางที่ 1 ประสิทธิภาพการดูดซับสีเมทิลีนบลูของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้จากแต่ละสภาวะต่างๆ ที่ผ่านการกระตุ้นด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ 850°C

สภาวะที่	สารเคมีที่ใช้ในการกระตุ้น	อุณหภูมิโพโรไลซิส (°C)	อัตราส่วนถ่าน/สารเคมี	เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นที่หายไป (%)
AC 1	NaOH	500	1:1	25.95
AC 2	NaOH	500	1:2	20.08
AC 3	NaOH	500	1:1/2	24.13
AC 4	KOH	500	1:1	25.32
AC 5	KOH	500	1:2	28.02
AC 6	KOH	500	1:1/2	32.30
AC 7	NaOH	600	1:1	22.62
AC 8	NaOH	600	1:2	27.38
AC 9	NaOH	600	1:1/2	25.16
AC 10	KOH	600	1:1	20.32
AC 11	KOH	600	1:2	23.41
AC 12	KOH	600	1:1/2	24.52

เมื่อนำถ่านที่ได้มากระตุ้นด้วยวิธีทางเคมีและทางกายภาพแล้วมาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์จากสภาวะการกระตุ้นที่แตกต่างกันพบว่า ถ่านกัมมันต์ AC6 ให้ประสิทธิภาพสูงสุดในการดูดซับสีเมทิลีนบลู คือ 32.20% รองลงมาคือ ถ่านกัมมันต์ AC8 ให้ประสิทธิภาพเท่ากับ 27.38% (ตารางที่ 1) นั่นคือ ถ่านที่ได้จากการไพโรไลซิสที่ 500°C ควรใช้โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) เป็นตัวกระตุ้นทางเคมีด้วยปริมาณต่ำ แต่ถ่านที่ได้จากการไพโรไลซิสที่ 600°C ควรใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เป็นตัวกระตุ้นด้วยปริมาณที่มากเป็นสองเท่าของถ่านที่ใช้ เนื่องจากในการศึกษานี้ ปริมาณของตัวกระตุ้นที่ใช้มากที่สุดคือ สารเคมีสองส่วนต่อถ่านกัมมันต์หนึ่งส่วน

โดยน้ำหนัก จึงไม่สามารถสรุปได้แน่ชัดว่า ประสิทธิภาพการดูดซับสีเมทิลีนบลูจะแปรเปลี่ยนไปเช่นไรเมื่อใช้ปริมาณตัวกระตุ้นที่มากขึ้นกว่านี้

3.2 ผลของค่า pH ต่อการดูดซับสีเมทิลีนบลู



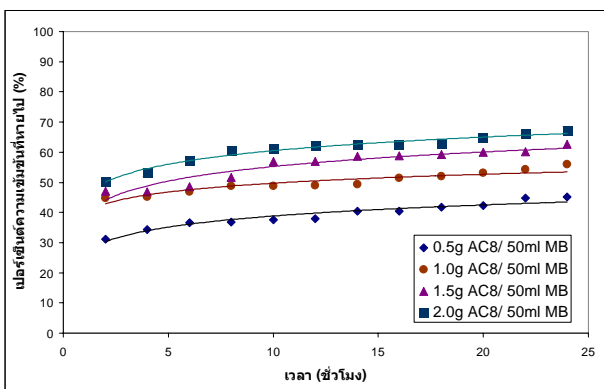
รูปที่ 1 ประสิทธิภาพการดูดซับสีเมทิลีนบลูบนถ่านกัมมันต์ที่ค่าพีเอช ต่างๆ

เมื่อนำถ่านกัมมันต์ AC6 และ AC8 มาทดสอบการดูดซับสีเมทิลีนบลูที่ค่าพีเอชต่างกัน พบถ่านกัมมันต์ที่สภาวะ AC8 ที่ค่าพีเอช 11 มีประสิทธิภาพในการดูดซับสีเมทิลีนบลูได้มากที่สุดคือ 35.95% (รูปที่ 1) ดังนั้นถ่านกัมมันต์ AC8 จึงถูกเลือกใช้ในการทดลองลำดับต่อไป

3.3 ระยะเวลาที่เหมาะสมต่อการดูดซับสีเมทิลีนบลูที่ปริมาณความเข้มข้นของถ่านกัมมันต์ต่างๆ

จากรูปที่ 2 พบว่าเมื่อใส่ถ่านกัมมันต์ AC8 ปริมาณ 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 กรัม ลงในสารละลาย 50 มิลลิลิตร (ถ่านกัมมันต์ความเข้มข้น 1, 2, 3 และ 4% โดยน้ำหนักของถ่านกัมมันต์ในหน่วยกรัมต่อปริมาตรของสารละลายในหน่วยมิลลิลิตร) พบว่า เมื่อใช้ความเข้มข้นของถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการดูดซับต่างๆ กัน แนวโน้มของการดูดซับแต่ละความเข้มข้น

จะคล้ายๆ กัน และจะเริ่มต้นเข้าสู่สมดุล ณ เวลาการดูดซับที่ 24 ชั่วโมง ซึ่งจากการตรวจสอบทางสถิติพบว่าเมื่อเวลาการดูดซับดำเนินต่อไปเรื่อยๆ เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นที่หายไปจะไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก อีกทั้งสังเกตเห็นได้ว่า ประสิทธิภาพของการดูดซับขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของถ่านกัมมันต์ที่ใช้ ซึ่งเมื่อใช้ปริมาณถ่านกัมมันต์เพิ่มขึ้นจาก 0.5 กรัมต่อ 50 มิลลิ- ลิตรของสารละลายสีเมทิลีนบลู (หรือ 1.0% โดยน้ำหนักของถ่านกัมมันต์หน่วยกรัมต่อปริมาตรของสารละลายหน่วยมิลลิลิตร) เป็น 2.0 กรัมต่อ 50 มิลลิลิตรของสารละลายสีเมทิลีนบลู (หรือ 4.0% โดยน้ำหนักของถ่านกัมมันต์หน่วยกรัมต่อปริมาตรของสารละลายหน่วยมิลลิลิตร) ประสิทธิภาพในการดูดซับสีเมทิลีนบลูจะเพิ่มขึ้นประมาณ 20-23% ในทุกๆ ช่วงเวลาของการดูดซับ ซึ่งให้ประสิทธิภาพสูงสุดถึงประมาณ 66% ที่เวลา 24 ชั่วโมงของการดูดซับ จากการคำนวณความเข้มข้นของสีเมทิลีนบลูที่ถูกดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ที่สภาวะสมดุลมีค่าสูงถึง 379 มิลลิ-กรัมต่อกรัมของถ่าน



รูปที่ 2 ประสิทธิภาพการดูดซับสารละลายสีเมทิลีนบลู เมื่อใช้ความเข้มข้นของถ่านกัมมันต์ AC8 ที่ความเข้มข้นต่างๆ กัน

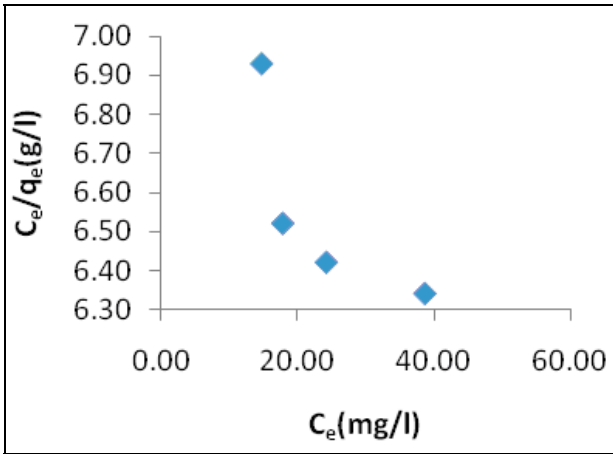
3.4 ไอโซเทอร์มของการดูดซับสีเมทิลีนบลูบนถ่านกัมมันต์

ในการศึกษาไอโซเทอร์มสำหรับการดูดซับถ่านกัมมันต์ AC8 ถูกเลือกใช้ในการศึกษา เนื่องจากให้ประสิทธิภาพในการดูดซับได้มากที่สุด ในสภาวะการดูดซับที่เป็นค่าที่มีพีเอชประมาณ 11 ซึ่งในการศึกษานี้จะใช้ความเข้มข้นของถ่าน กัมมันต์ต่างๆ กัน และใช้เวลาในการดูดซับนานถึง 48 ชั่วโมง เพื่อให้มั่นใจได้ว่าข้อมูลที่ได้มาจากสภาวะสมดุลที่แท้จริง

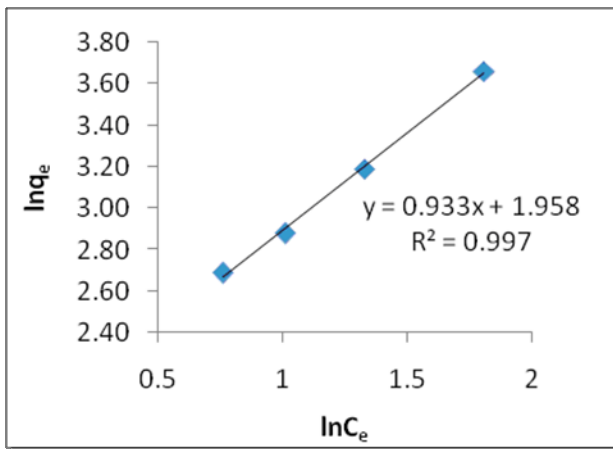
จากผลการทดลองไปทำการวิเคราะห์หาไอโซเทอร์มการดูดซับแบบแลงเมียร์และไอโซเทอร์มการดูดซับแบบฟรุนดริช (Langmuir and Freudlich Adsorption Isotherms) [8] ซึ่งสมการไอโซเทอร์มการดูดซับแบบแลงเมียร์ คือ

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_{\max} K_L} + \frac{C_e}{q_{\max}} \quad (4)$$

เมื่อ q_e คือ ความเข้มข้นสมดุลของสารละลายเมทิลีนบลูบนถ่านกัมมันต์ (mg/g), C_e คือ ความเข้มข้นสมดุลของสารละลายเมทิลีนบลู (mg/l), q_{\max} คือ ความสามารถในการดูดซับแบบขั้นเดียวของถ่านกัมมันต์ (mg/g) และ K_L คือ ค่าคงที่การดูดซับแบบแลงเมียร์ (l/mg)



(ก) ไอโซเทอร์มแบบแลงเมียร์



(ข) ไอโซเทอร์มแบบฟรุนดริช

รูปที่ 3 ไอโซเทอร์มการดูดซับสีเมทิลีนบลูของถ่านกัมมันต์ จากกากงาสภาวะ AC8

เมื่อนำข้อมูลไปพล็อตระหว่าง C_e/q_e กับ C_e จะพบว่า การดูดซับสีเมทิลีนบลูบนถ่านกัมมันต์ จากงา ดังรูปที่ 3(ก) จะไม่สอดคล้องกับการดูดซับ แบบแลงเมียร์ ดังนั้นจึงทำการวิเคราะห์ข้อมูลตาม ความสัมพันธ์ของการดูดซับแบบฟรุนดริช ดังนี้

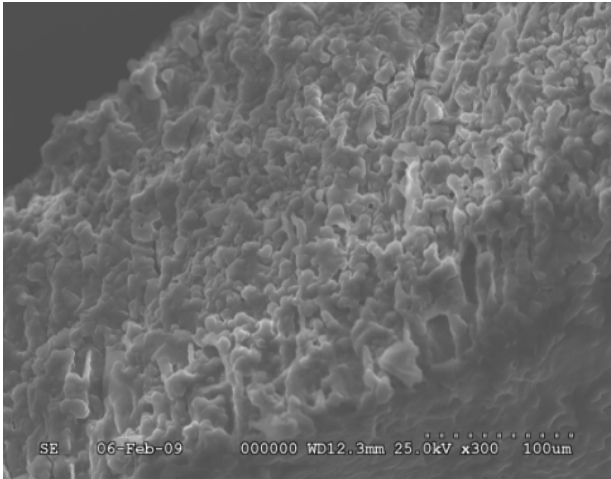
$$\log(q_e) = \log(K_F) + \frac{1}{n} \log(C_e) \quad (5)$$

เมื่อ q_e คือ ความเข้มข้นสมดุลของ สารละลายเมทิลีนบลูบนถ่านกัมมันต์ (mg/g), C_e คือ ความเข้มข้นสมดุลของสารละลายเมทิลีนบลู (mg/l), K_F (l/g) และ n คือ ค่าคงที่การดูดซับแบบ แลงเมียร์ (l/g) เมื่อพล็อตข้อมูลระหว่าง $\log(q_e)$ กับ

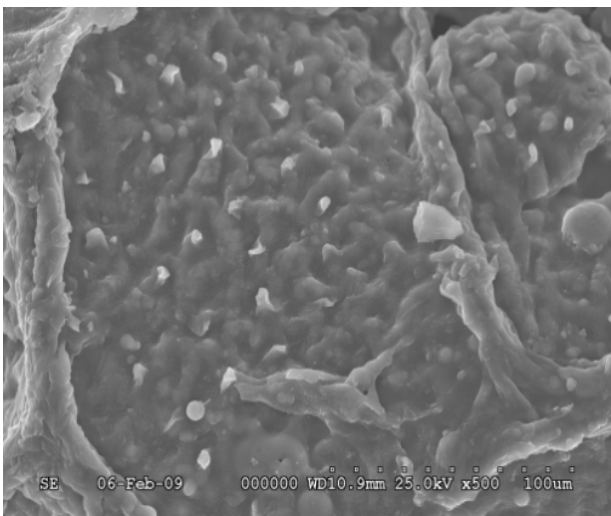
$\log(C_e)$ สำหรับการดูดซับสีเมทิลีนบลูบนถ่านกัม มันต์จากกากงาจะได้อัตราสัมพัทธ์ดังรูปที่ 3 (ข) ซึ่ง พบว่าการดูดซับสอดคล้องกับไอโซเทอร์มการดูดซับ แบบฟรุนดริช ค่าสหสัมพันธ์ (R^2 , linear regression square) เท่ากับ 0.997 ค่าคงที่ $n=1.072$ และ ค่าคงที่ $K_F = 7.09$ แสดงว่าลักษณะการดูดซับของ ถ่านกัมมันต์จากกากงาเป็นการดูดซับแบบหลายชั้น (multilayer)

3.5 โครงสร้างทางกายภาพจากการถ่ายภาพด้วย เครื่อง SEM (Scanning Electron Microscope)

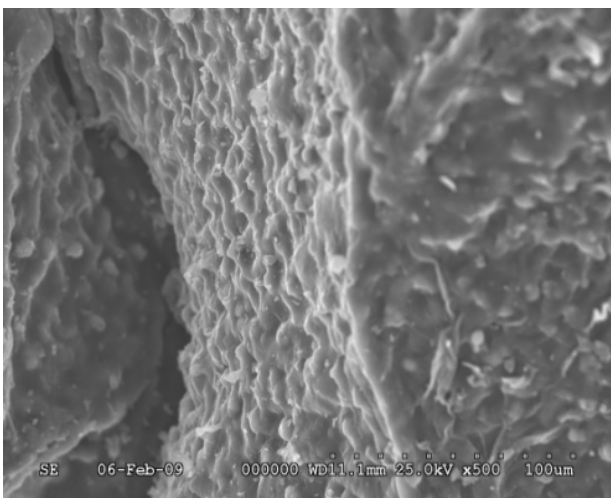
รูปที่ 4 แสดงลักษณะพื้นฐานของถ่านดูดซับ ที่ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) โดยถ่านที่ได้จากการเผาที่ 600°C (รูปที่ 4 (ข)) มีความขรุขระมากกว่าพื้นผิวกากงา (รูปที่ 4 (ก)) ทั้ง ยังมีความเป็นระเบียบและจำนวนรูพรุนที่ล้อมรอบ มากขึ้นด้วย เมื่อสังเกตเนื้อสารของถ่านกัมมันต์จาก กากงาที่ผ่านการกระตุ้นทั้งทางเคมีและกายภาพที่ สภาวะ AC8 (รูปที่ 4 (ค)) จะพบว่าเกิดรอยนูนขนาด เล็กบนพื้นผิวและมีบางส่วนที่เกิดการแตกเป็นรูขนาด เล็กบางส่วนแตกเป็นรูขนาดใหญ่ในขณะที่บางส่วนไม่ เกิดรอยแตก จึงสามารถอธิบายได้ว่าเมื่อพื้นผิวถ่านที่ ผ่านการถูกกระตุ้นรวมทั้งสองวิธีจะเกิดการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างผิวโดยมีการสลายตัวของโครง- สร้างด้านในเนื่องจากสารเคมีมีความร้อนและ CO_2 ทำให้เกิดการสลายตัวกลายเป็นโครงข่ายที่ต่อเนื่องกัน ของรูพรุนส่งผลให้เกิดเป็นพื้นผิวได้มากขึ้นนั่นเอง



(ก) กากงา



(ข) ถ่านที่ได้จากการไพโรไลซิสที่ 600°C



(ค) ถ่านกัมมันต์จากกากงา AC8

รูปที่ 4 ภาพโครงสร้างจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

4. สรุปผล

จากการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์จากกากงาด้วยวิธีการกระตุ้นทั้งทางเคมีและกายภาพร่วมกัน พบว่าสภาวะที่เหมาะสมที่สุดคือ AC8 โดยใช้ระยะเวลาในการเพิ่มสัดส่วนของคาร์บอนภายในโครงสร้าง 1 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 600°C ทำการกระตุ้นด้วยต่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ 4 ชั่วโมงที่อัตราส่วนถ่านต่อสารเคมี 1 ต่อ 2 โดยน้ำหนัก จากนั้นทำการกระตุ้นทางกายภาพด้วย CO₂ ที่อุณหภูมิ 850°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และเมื่อทำการศึกษาการดูดซับเมทิลีนบลูโดยนำถ่านกัมมันต์ AC8 มาทำการทดสอบการดูดซับที่พีเอชต่างกัน คือที่พีเอชประมาณ 3,7,11 พบว่าพีเอชที่เหมาะสมที่สุดคือพีเอชประมาณ 11 ซึ่งมีค่าเป็นเบสและมีประสิทธิภาพในการดูดซับสีเมทิลีนบลูสูงสุดที่เวลา 24 ชั่วโมง คือ 35.95% ปริมาณถ่านกัมมันต์ก็เป็นปัจจัยหนึ่งในการดูดซับเมทิลีนบลูด้วยโดยพบว่าเมื่อใส่ถ่านกัมมันต์มากขึ้นจะทำให้ประสิทธิภาพในการดูดซับสูงขึ้นทั้งนี้เมื่อนำถ่านกัมมันต์ที่ทำการกระตุ้นแล้วไปตรวจสอบลักษณะของพื้นผิวโดยภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดจะพบว่าเกิดการเกิดการเปลี่ยนแปลงของผิวโดยมีการสลายตัวของโครงสร้างภายในกลายเป็นโครงข่ายต่อเนื่องกันของรูพรุนซึ่งทำให้มีพื้นที่ผิวเพิ่มมากขึ้นจากที่ยังไม่ได้กระตุ้น และจากการพิจารณาค่าไอโซเทอร์มของการดูดซับสีเมทิลีนบลูบนถ่านกัมมันต์ใช้เวลาในการดูดซับ 48 ชั่วโมง พบว่าการดูดซับสอดคล้องกับไอโซเทอร์มการดูดซับแบบฟรุนดริช โดยมีค่าสหสัมพันธ์ (R², linear regression square) เท่ากับ 0.997 จึงสรุปได้ว่ามีลักษณะการดูดซับแบบหลายชั้น (multilayer)

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาครั้งนี้ได้รับการสนับสนุนเงินทุนจาก ภาควิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยขอนแก่น รวมถึง ความอนุเคราะห์ในเรื่องต่างๆ ใคร่ขอขอบพระคุณ มา ณ โอกาสนี้

เอกสารอ้างอิง

- (1) บุญเรือน สรรเพชร. “ถ่านกัมมันต์จากกะลา ปลาย์ม” รายงานโครงงานนักศึกษา ภาควิชา วิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหา- วิทยาลัยขอนแก่น. 2544.
- (2) นันทวุฒิ พลไชย, พีระ ชนะชัย และมงคล บุญ แต่ง. “การผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว เพื่อดูดซับไอออนของโลหะหนักที่ปนเปื้อนน้ำ เสีย” รายงานโครงงานนักศึกษา ภาควิชา วิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหา- วิทยาลัยขอนแก่น. 2545.
- (3) วิสิทธิ์ ไชยสุทธิ, ศิเรมอร นีระเสน และสราวุธ ปัตตानी. “การผลิตถ่านกัมมันต์จากถ่านหิน แอนทาไซต์” โครงงานนักศึกษา. ภาควิชา วิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหา- วิทยาลัยขอนแก่น. 2545.
- (4) Ahmad, A.L., M.M. Loh, and J.A. Aziz, “Preparation and characterization of activated carbon from oil palm wood and its evaluation on Methylene blue adsorption”. Dyes and Pigments, 2007. 75(2): p. 263-272.
- (5) Karagz, S., T. Turgay, U. Suat, and E. Erdem, “Activated carbons from waste

biomass by sulfuric acid activation and their use on methylene blue adsorption”. Bioresource Technology, 2008. 99(14): p. 6214-6222.

- (6) Williams, P.T. and A.R. Reed, “Development of activated carbon pore structure via physical and chemical activation of biomass fibre waste”. Biomass and Bioenergy, 2006. 30(2): p. 144-152.
- (7) Yagmur, E., M. Ozmak, and Z. Aktas, “A novel method for production of activated carbon from waste tea by chemical activation with microwave energy”. Fuel, 2008. 87(15-16): p. 3278-3285.
- (8) มัลลิกา ถานบุตร. “ปฏิบัติการเฉพาะหน่วย 1” เอกสารประกอบการสอน ภาควิชาวิศวกรรม เคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย ขอนแก่น. 2552.