

ประสิทธิภาพของถ่านดัดแปลงสภาพจากกะลามะพร้าวชนิดต่างกันในการดูดซับสีโรดามีนบี
Efficiency of modified charcoal from different types of coconut shells
in absorbing rhodamine B dye.

(Received: June 16,2024 ; Revised: June 24,2024 ; Accepted: June 25,2024)

วัสมาส พุ่มจันทร์¹ อัญชลี เจริญวัย¹
สมเจตน์ ทองดำรงธรรม² สิทธิชัย ใจขาน² และ จิราภรณ์ หลาบคำ^{2*}
Wasamas Phumjan¹, Anchalee Jalernwai¹,
Somjate Thongdamrongtham², Sittichai Chaikhan², Chiraporn Labcom^{2*}

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) วัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของถ่านดัดแปลงสภาพจากกะลามะพร้าวขนาดต่างกันในการดูดซับสีโรดามีนบี กลุ่มตัวอย่าง คือ กะลามะพร้าวที่นำมาเผาเป็นถ่านดัดแปลงสภาพจำนวน 3 ขนาด ได้แก่ ถ่านชนิดผงขนาด 1.0 มิลลิเมตร ถ่านชนิดเกล็ดขนาด 3.0 มิลลิเมตร และถ่านชนิดก้อนขนาด 5.0 มิลลิเมตร และสีโรดามีนบีที่มีความเข้มข้น 3 ระดับ คือ 100 200 และ 300 ADMI เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย คือ แบบบันทึกผลการทดลอง และเตาเผา อุณหภูมิสูง และ เครื่องวัดสี U-VIS Spectrophotometer (ADMI) ผลการศึกษาพบว่า ถ่านดัดแปลงสภาพจากกะลามะพร้าวทุกชนิด และทุกขนาดมีประสิทธิภาพในการดูดซับสีโรดามีนบีดีที่สุดที่ช่วงเวลา 60 นาที โดยพบว่า ถ่านดัดแปลงสภาพจากกะลามะพร้าวชนิดผงขนาด 1 มิลลิเมตร มีประสิทธิภาพในการดูดซับสีโรดามีนบีที่มีค่าความเข้มข้นก่อนบำบัด 100 และ 300 ADMI มากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 85 และ ร้อยละ 63 ตามลำดับ ส่วนถ่านชนิดเกล็ดขนาด 3 มิลลิเมตรประสิทธิภาพในการดูดซับสีโรดามีนบีที่มีค่าความเข้มข้นก่อนบำบัด 200 ADMI มากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 66

คำสำคัญ กะลามะพร้าว ถ่านดัดแปลงสภาพ การดูดซับ สีโรดามีนบี

Abstract

This study is an experimental investigation that seeks to examine the efficacy of three distinct variants of charcoal derived from coconut shells in terms of their ability to adsorb rhodamine B. The research utilized coconut shells as the samples, which were subjected to combustion to produce modified charcoal and rhodamine B. The research utilizes three instruments: an experimental record form, a high-temperature incinerator, and a colorimeter (U-VIS spectrophotometer). The research utilizes several devices, including an experimental record form, a high-temperature incinerator, and a colorimeter U-VIS spectrophotometer (ADMI). The study's findings revealed that charcoal derived from various coconut shell kinds underwent modification. All sizes exhibited optimal efficiency in the absorption of rhodamine B within a 60-minute timeframe. The study discovered that utilizing 1 mm powdered coconut shell-derived charcoal, which had been modified, proved to be efficient in absorbing rhodamine B after 60 minutes. Prior to treatment, the color intensity values were highest at 100 and 300 ADMI, representing 85 percent and 63 percent, respectively. Flakes resembling charcoal, measuring 3 mm in size, were successful in absorbing rhodamine color, as indicated by the color intensity values prior to treatment. The highest number of ADMI is 200, which accounts for 66 percent.

Keywords: Coconut shell, modified charcoal, adsorption, Rhodamine B dye.

¹ นักศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขานามัยสิ่งแวดล้อม วิทยาลัยแพทยศาสตร์และการสาธารณสุข

² อาจารย์หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขานามัยสิ่งแวดล้อม วิทยาลัยแพทยศาสตร์และการสาธารณสุข

ผู้ประสานการตีพิมพ์เผยแพร่ ผู้ช่วยศาสตราจารย์จิราภรณ์ หลาบคำ Email: chiraporn.l@ubu.ac.th Tel: 0830626344

บทนำ

ประเทศไทยมีการพัฒนาทางด้านอุตสาหกรรมอย่างรวดเร็ว ยกตัวอย่าง อุตสาหกรรมสิ่งทอ ซึ่งอุตสาหกรรมนี้ได้สร้างปัญหามลภาวะอย่างมากมาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งมลพิษทางน้ำ เพราะในอุตสาหกรรมสิ่งทอ จำเป็นต้องใช้น้ำในกระบวนการผลิต ตัวอย่างเช่น โรงงานฟอกย้อมในอุตสาหกรรมสิ่งทอ มักจะมีสีย้อมตกค้างอยู่ในน้ำทิ้ง ซึ่งสีย้อมในปัจจุบันยากต่อการสลายตัวทางชีวภาพและเป็นสารที่มีสีเข้ม หากโรงงานอุตสาหกรรมเหล่านี้ปล่อยน้ำทิ้งลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ โดยไม่มีการบำบัดก็จะส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในแหล่งน้ำหรือบริเวณรอบแหล่งน้ำนั้น จึงมีความจำเป็นที่ต้องมีมาตรการควบคุมมาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม (ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, 2539) ปัจจุบันการบำบัดสีในน้ำทิ้งจากโรงงานฟอกย้อมมีหลากหลายวิธี เช่น การดูดซับด้วยวิธีทางกายภาพ การดูดซับด้วยวิธีทางชีวภาพ การดูดซับด้วยวิธีทางเคมี ซึ่งวิธีการดูดซับที่นิยมใช้อย่างแพร่หลายในปัจจุบันคือกระบวนการดูดซับสีด้วยถ่านจากกะลามะพร้าว มีคุณสมบัติในการดูดติดผิวใช้หลักการดูดซับ (Adsorption) และดูดซึม (Adsorption) การดูดซับจะเป็น การจับกันอย่างหลวม ๆ ของสารอินทรีย์และคาร์บอนที่ผิวของถ่าน โดยยึดกันด้วยแรงแวนเดอร์วาลส์ ในทางทฤษฎีสารที่ถูกดูดซับอาจจะถูกปล่อยกลับออกมาได้ แต่ถ้าวการปล่อยกลับออกมานั้นเกิดขึ้นได้ยาก แบคทีเรียมักจะสร้างกลุ่มอยู่ที่ผิวของถ่านและกินบางส่วนของสารอินทรีย์ที่ถูกดูดซับไว้ซึ่งจะเป็นการ ช่วยคืนรูปของถ่านบางส่วนและป้องกันการหลุดกลับของสารอินทรีย์ที่ถูกดูดซับไว้ โดยถ่านดัดแปลง สภาพจากกะลามะพร้าวมีคุณสมบัติในการกรองสี กลิ่น รส สารอินทรีย์ และสารแขวนลอยที่ปนมากับน้ำ¹ สีโรดาห์มินบี (rhodamine B) คือ สารเคมีหรือสีย้อมฝ้าย โดยโมเลกุลของสีจะจัดเรียงตัวแทรกอยู่ในระหว่างโมเลกุลเส้นใยและยึดจับกันด้วยพันธะไฮโดรเจน ซึ่งสีโรดาห์มินบีจะละลายน้ำได้ดีแต่ย่อยสลายยาก เนื่องจากทนทานต่อแสงและความเป็นกรดต่าง² การปนเปื้อน ของสีโรดาห์มินบีที่ใช้ในอุตสาหกรรมในแหล่งน้ำส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ เนื่องจากเป็นสารเคมีสังเคราะห์ทำให้เกิดการระคายเคือง อาจทำให้เกิดมะเร็งที่ต่อมไทรอยด์ เนื่องจากในโครงสร้างของสีย้อมส่วนใหญ่มีวงแหวนแอมโรมาติกอยู่ในโมเลกุล สีโรดาห์มินบีสามารถดำรงอยู่ในสภาวะสมดุลระหว่างสองรูปแบบ คือ รูปแบบเปิดฟลูออเรสเซนต์จะอยู่ในสภาพที่เป็นกรด และรูปแบบปิดสไปโร

แลคแทมไม่เรืองแสง ความ เข้มการเรืองแสงของโรดาห์มินบีจะลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น

กะลามะพร้าวมาเป็นวัสดุธรรมชาติที่มีลักษณะแข็ง มีคุณสมบัติพิเศษ คือ ติดไฟง่ายเหมาะสำหรับนำมาเป็นเชื้อเพลิง ให้ความร้อนสูงและสม่ำเสมอ มีสัดส่วนองค์ประกอบคาร์บอนคงตัวสูง แปรสภาพไปเป็นคาร์บอนหลังเสร็จสิ้นกระบวนการคาร์บอนไนเซชันได้สูง³ ในอำเภอรารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี มีผลผลิตของมะพร้าวเป็นจำนวนมาก และมีการบริโภคตลอดทั้งปี โดยเฉพาะมะพร้าวพันธุ์มะพร้าวกะทิส่วนใหญ่จะถูกนำมาคั้นน้ำกะทิและเศษกะลามะพร้าวจะถูกทิ้งเป็นของเสีย ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดนำเอาเศษกะลามะพร้าวเหลือทิ้งเหล่านี้ มาใช้เป็นวัตถุดิบในการแปรรูปเป็นถ่านกัมมันต์ที่มีมูลค่าสูงทางเศรษฐศาสตร์ และนำมาใช้เป็นตัวดูดซับสีย้อมโรดาห์มิน⁴ ซึ่งการดูดซับสีโรดาห์มินบีด้วยถ่านจากกะลามะพร้าวเป็นกระบวนการดูดซับที่ผ่านกระบวนการกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ โดยใช้สีโรดาห์มินบีเป็นตัวถูกดูดซับและถ่านจากกะลามะพร้าวเป็นตัวดูดซับ ในการทดลองได้เตรียมถ่าน 3 ชนิด ได้แก่ ถ่านชนิดผงขนาด 1.0 มิลลิเมตร ถ่านชนิดเกล็ดขนาด 3.0 มิลลิเมตร และถ่านชนิดก้อนขนาด 5.0 มิลลิเมตร ในการวิจัยครั้งนี้จึงใช้วัสดุเป็นกะลามะพร้าวเป็นแนวทางหนึ่งในการแก้ปัญหาการจัดหาวัตถุดิบและสามารถเพิ่มมูลค่าให้ทางการเกษตรได้เป็นอย่างดี และเพื่อการดูดซับในอุตสาหกรรมสิ่งทอหรือโรงงานฟอกย้อมที่มีการปนเปื้อนสีโรดาห์มินบีลงในแหล่งน้ำ ดังนั้นผู้ศึกษาวิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาการผลิต ถ่านดัดแปลงสภาพจากกะลามะพร้าวซึ่งผ่านกระบวนการคาร์บอนไนเซชันแล้วโดยกระตุ้นด้วย โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) เนื่องจากมีความอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมต่ำ และราคาไม่แพงมากสามารถช่วยลดต้นทุนการผลิตซึ่งเป็นการนำวัสดุที่เหลือใช้ในพื้นที่มาใช้ประโยชน์ต่อไปได้อย่างดี

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1) เพื่อศึกษาคุณสมบัติโดยทั่วไปของกะลามะพร้าวที่จะนำมาเผาเป็นถ่านดัดแปลงสภาพ
- 2) เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของถ่านดัดแปลงสภาพจากกะลามะพร้าวในการดูดซับสีโรดาห์มินบี

อุปกรณ์และวิธีการ

- (1) เตาเผาอุณหภูมิสูง รุ่น ISOLAB Laborgerate GmbH
- (2) เครื่องวัดสี U-VIS Spectrophotometer

- (3) กะลามะพร้าว 20 กิโลกรัม
- (4) ปีกเกอร์
- (5) น้ำกลั่น
- (6) สีโรดาห์มินปี
- (7) กรดซัลฟิวริก
- (8) โซเดียมไฮดรอกไซด์
- (9) เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง
- (10) กระดาษฟิซูที่ไม่มีขน
- (11) ตะแกรงร่อน
- (12) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด
(Scanning electron microscope: SEM)
- (13) ชุดกรอง

ขั้นตอนการทดลอง

1. การวิเคราะห์คุณสมบัติทั่วไปของกะลามะพร้าวโดยการหาความชื้นของกะลามะพร้าวก่อนการเผาโดยทำความสะอาดกะลามะพร้าวโดยการชุบพิเศษเปลือกมะพร้าวบริเวณรอบกะลาออกให้เหลือน้อยที่สุด จากนั้นนำกะลามะพร้าวไปอบให้แห้งสนิทในตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เวลา 1 ชั่วโมง แล้วทุบกะลามะพร้าวให้แตกเป็นชิ้นพอเหมาะขนาด 5-10 เซนติเมตร จากนั้นแบ่งกะลามะพร้าวใส่ถ้วยกระเบื้อง 8 ถ้วย ซึ่งน้ำหนักกะลามะพร้าวก่อนอบแห้งถ้วยละ 100 กรัม นำเข้าอบในอุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 48 ชั่วโมง เมื่อเผาเสร็จนำมาชั่งน้ำหนักหลังอบโดยการคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณความชื้นของกะลามะพร้าวโดยใช้สูตรสมการ ดังนี้

$$\text{Moisture Content (\%)} = (A - B) \times 100 \div A$$

โดย A คือ น้ำหนักเริ่มต้นก่อนอบ (กรัม)

B คือ น้ำหนักหลังอบ (กรัม)

2. ขั้นตอนการเผากะลามะพร้าว โดยนำกะลามะพร้าวจากขั้นตอนที่ 1 มาห่อกระดาษฟอยล์ให้หุ้มกะลามะพร้าวให้สนิทไม่ให้โดนอากาศจากนั้นนำเข้าเตาเผาอุณหภูมิสูงที่ 380 องศาเซลเซียสเวลา 1 ชั่วโมง เมื่อเผาเสร็จทิ้งไว้ให้เย็นลง จากนั้นแกะฟอยล์ออกแล้วชั่งน้ำหนักถ่าน

3. ขั้นตอนการเผากะถุนด้วยสารเคมี ทำการชั่งโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1 มิลลิกรัมต่อถ่านดัดแปลงสภาพ 3 มิลลิกรัมโดยน้ำหนัก แล้วเติมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ลงในถ่านดัดแปลงสภาพ ห่อฟอยล์ให้สนิทแล้วนำเข้าเผากระถุนในอุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียสเวลา 1 ชั่วโมง นำถ่านดัดแปลงสภาพที่ได้มาชั่งน้ำหนัก ถ่านดัดแปลงสภาพด้วยน้ำกลั่นจนกว่าน้ำจะใส หลังจากล้างถ่านดัดแปลงสภาพจนน้ำกลั่นใส อบถ่านดัดแปลงสภาพให้แห้งสนิทที่อุณหภูมิ

105 องศาเซลเซียส เวลา 1 ชั่วโมง คัดขนาดถ่านโดยใช้ตะแกรงร่อนขนาด 20 เมช ร่อนได้ถ่านชนิดก่อนขนาด 5.0 มิลลิเมตร ใช้ตะแกรงร่อนขนาด 40 เมช ร่อนได้ถ่านชนิดเกล็ดขนาด 3.0 มิลลิเมตร และใช้ตะแกรงร่อนขนาด 60 เมช ร่อนได้ถ่านชนิดผงขนาด 1.0 มิลลิเมตร ลักษณะพื้นผิวของถ่านดัดแปลงแต่ละชนิดเมื่อส่องผ่านกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope: SEM) พบลักษณะพื้นผิว ดังแสดงในภาพที่ 1

4. ขั้นตอนการทดลองการดูดซับสีโรดาห์มินปี โดยเตรียมน้ำผสมสีโรดาห์มินปีมีความเข้มข้นของน้ำตัวอย่างเป็น 100 200 และ 300 ADMI ซึ่งถ่านดัดแปลงสภาพชนิดผงชนิดเกล็ด และชนิดก่อน 100 มิลลิกรัมต่อ 1 ปีกเกอร์ หนึ่งชุดการทดลองจะใช้ถ่านดัดแปลงสภาพทั้งหมด 600 มิลลิกรัม ต่อน้ำตัวอย่าง 600 มิลลิลิตร เทถ่านที่ชั่งไว้ลงในน้ำตัวอย่าง 100 มิลลิลิตรทั้ง 6 ปีกเกอร์ จับเวลา 10 20 30 40 50 และ 60 นาที ตามลำดับ (โดยไม่มีการกวน) ทดลองที่อุณหภูมิห้อง 25 องศาเซลเซียส ค่า pH ที่ 6.5-7.0 เมื่อครบเวลา 10 20 30 40 50 และ 60 นาที กรองน้ำออกจากถ่านใส่กระดาษกรองลงในกรวยกรองบุชเนอร์ ขนาด 100 มิลลิลิตร รอน้ำไหลลงในขวดกรองสาร จากนั้นเทน้ำตัวอย่างที่ผ่านการกรองแล้วลงในปีกเกอร์ ใช้ปิเปตดูดน้ำตัวอย่างลงในเซลล์ 10 มิลลิลิตร ใส่เซลล์ลงในเครื่องวัดสีเพื่อวัดค่าสีของน้ำตัวอย่างหลังจากดูดซับด้วยถ่านดัดแปลงสภาพ ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง สำหรับถ่านหนึ่งชนิดต่อน้ำหนึ่งค่าความเข้มข้น บันทึกค่าความเข้มข้นหลังการดูดซับ

การวิเคราะห์ข้อมูล

สภาพจากกะลามะพร้าวในการดูดซับสีโรดาห์มินปีวิเคราะห์ด้วยสถิติเชิงพรรณนาเป็นการวิเคราะห์ข้อมูลในงานวิจัยเชิงปริมาณ ซึ่งประกอบด้วย การแจกแจงความถี่เป็นจำนวน ร้อยละ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานการวิเคราะห์คุณสมบัติโดยทั่วไปของกะลามะพร้าววิเคราะห์ด้วยสูตรการหาค่าความชื้นใช้สถิติพรรณนา ร้อยละ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานประสิทธิภาพของถ่านดัดแปลง

ผลการวิจัย

จากการศึกษาคุณสมบัติโดยทั่วไปของกะลามะพร้าวที่จะนำมาเผาเป็นถ่านดัดแปลงสภาพ พบว่าความชื้นของกะลามะพร้าวเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการเผาก่อนการเผา โดยปริมาณน้ำที่มีอยู่ในกะลามะพร้าวค่อนข้างสูง

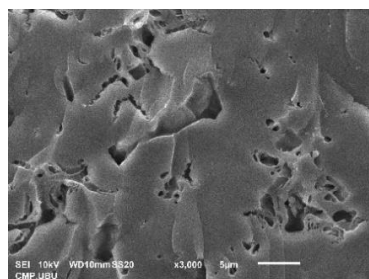
เพราะเป็นผลผลิตทางการเกษตร ซึ่งจากการทดลองการหาความชื้นของกะลามะพร้าวพบว่าความชื้นเฉลี่ยในช่วงร้อยละ 43.07-49.54 และมีความชื้นเฉลี่ย 46.19 (ตารางที่ 1)

จากการศึกษาลักษณะพื้นผิวของถ่านดัดแปลงแต่ละชนิดจากกะลามะพร้าวทั้ง 3 ชนิด ที่อุณหภูมิห้อง (25°C) และ pH (6.5-7.0) ที่ส่องผ่านกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

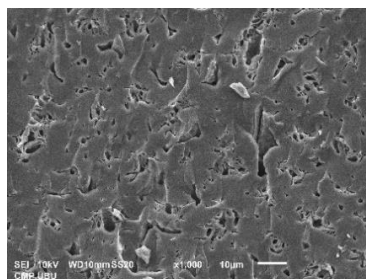
แบบส่องกราด (Scanning electron microscope: SEM) พบว่า ลักษณะพื้นผิว ถ่านชนิดผง มีพื้นผิวขรุขระและมีรูพรุนขนาดเล็ก (ระดับ micro-pores) กระจายทั่วทั้งอนุภาค ลักษณะพื้นผิวถ่านชนิดเกล็ด มีรูพรุนขนาดเล็กถึงปานกลาง (micro- ถึง meso-pores) กระจายอย่างสม่ำเสมอ ส่วนลักษณะพื้นผิวถ่านชนิดก้อน มีโครงสร้างแข็งแรง รูพรุนน้อย และมีขนาดใหญ่กว่า (macro-pores) (ภาพประกอบที่ 1)

ตารางที่ 1 ร้อยละค่าความชื้นของกะลามะพร้าว

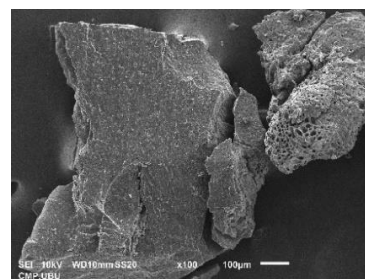
ถ้วยที่	น้ำหนักเริ่มต้น (กรัม)	น้ำหนักหลังอบ (กรัม)	ความชื้น (%)
1	101.02	52.00	49.54
2	101.12	56.02	45.72
3	102.11	60.61	43.34
4	100.63	52.40	48.55
5	100.30	57.40	43.07
6	100.12	56.21	43.98
7	101.48	51.81	48.94
8	102.95	58.17	46.44
ค่าเฉลี่ย (S.D.)			46.19 (2.60)



(ก)



(ข)



(ค)

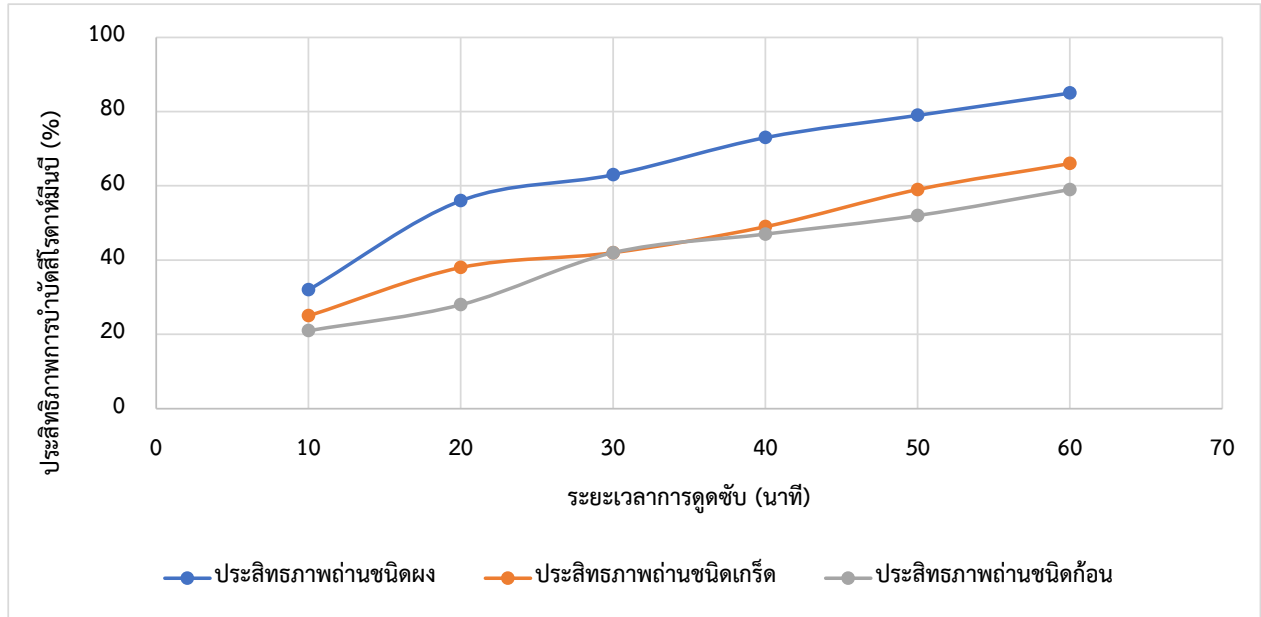
ภาพประกอบที่ 1 (ก) ลักษณะพื้นผิวของถ่านชนิดผงขนาด 1.0 มม. (ข) ลักษณะพื้นผิวของถ่านชนิดเกล็ดขนาด 3.0 มม. (ค) ลักษณะพื้นผิวของถ่านถ่านชนิดก้อนขนาด 5.0 มม.

2) ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการดูดซับสีโรดามีนบีด้วยถ่านดัดแปลงสภาพจากกะลามะพร้าวชนิดผง ชนิดเกล็ด และชนิดก้อน พบว่า ประสิทธิภาพของถ่านดัดแปลงสภาพจากกะลามะพร้าวชนิดผง ชนิดเกล็ด และชนิด ก้อนในการดูดซับสีโรดามีนบีในน้ำค่าความเข้มข้น 100 200 และ 300 ADMI การดูดซับแต่ละครั้งมี ประสิทธิภาพแตกต่างกัน การดูดซับในช่วง 10 - 50 นาทีแรก จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพการดูดซับจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วใน 10 นาทีแรก จะค่อยๆ เพิ่มขึ้นสูงสุดที่ 60 นาทีและคงที่ในช่วงเวลา 60 นาที โดยที่

ถ่านดัดแปลงสภาพจากกะลามะพร้าวชนิดผงมีประสิทธิภาพในการดูดซับสีโรดามีนบีในน้ำค่าความเข้มข้นก่อนบำบัด 100 และ 300 ADMI มากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 85 และ ร้อยละ 64 ตามลำดับ (ตารางที่ 2; ภาพประกอบที่ 2 และตารางที่ 4; ภาพประกอบที่ 4) ส่วนประสิทธิภาพการดูดซับสีโรดามีนบีในน้ำค่าความเข้มข้นก่อนบำบัด 200 ADMI พบว่าถ่านดัดแปลงสภาพจากกะลามะพร้าวชนิดเกล็ดสามารถดูดซับสีโรดามีนบีได้มากที่สุดที่ร้อยละ 66 (ตารางที่ 3; ภาพประกอบที่ 3)

ตารางที่ 2 ผลการดูดซับสีโรดาหมึ้นปีในน้ำค่าความเข้มข้นบำบัด 100 ADMI ด้วยถ่านดัดแปลงสภาพจากกะลามะพร้าวชนิดผง ชนิดเกล็ด และ ชนิดก้อน

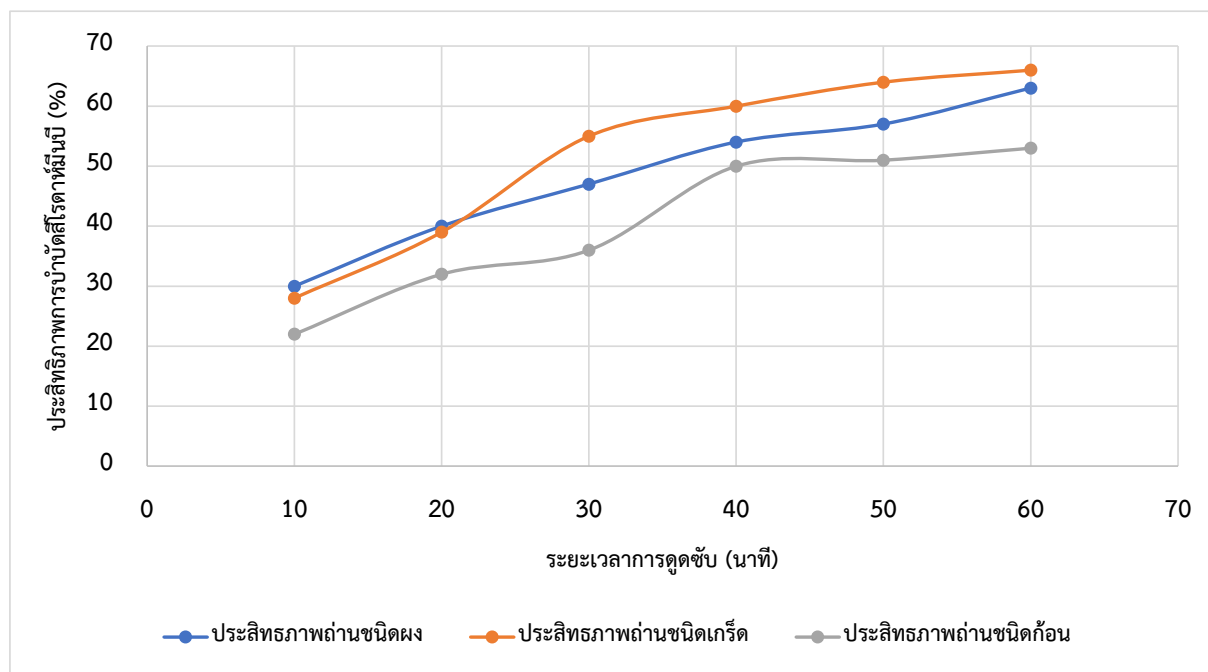
ชนิดถ่าน	สีเริ่มต้น (ADMI)	ผลการดูดซับสีจำแนกตามชนิดของถ่านที่ระยะเวลา 60 นาที (ADMI)					
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	$(\bar{X} \pm S.D.)$	%RPD	ประสิทธิภาพ (ร้อยละ)
ถ่านชนิดผง 1 มม.	100	16	14	14	15 ± 1.1	13.3	85
ถ่านชนิดเกล็ด 3 มม.	100	31	35	36	34 ± 2.6	14.7	66
ถ่านชนิดก้อน 5 มม.	100	40	43	40	41 ± 1.7	7.3	59



ภาพที่ 2 ประสิทธิภาพการดูดซับสีโรดาหมึ้นปีค่าความเข้มข้นบำบัด 100 ADMI ด้วยถ่านดัดแปลงสภาพจากกะลามะพร้าวชนิดผง ชนิดเกล็ด และ ชนิดก้อน

ตารางที่ 3 ผลการดูดซับสีโรดาหมึ้นปีในน้ำค่าความเข้มข้นบำบัด 200 ADMI ด้วยถ่านดัดแปลงสภาพจากกะลามะพร้าวชนิดผง ชนิดเกล็ด และ ชนิดก้อน

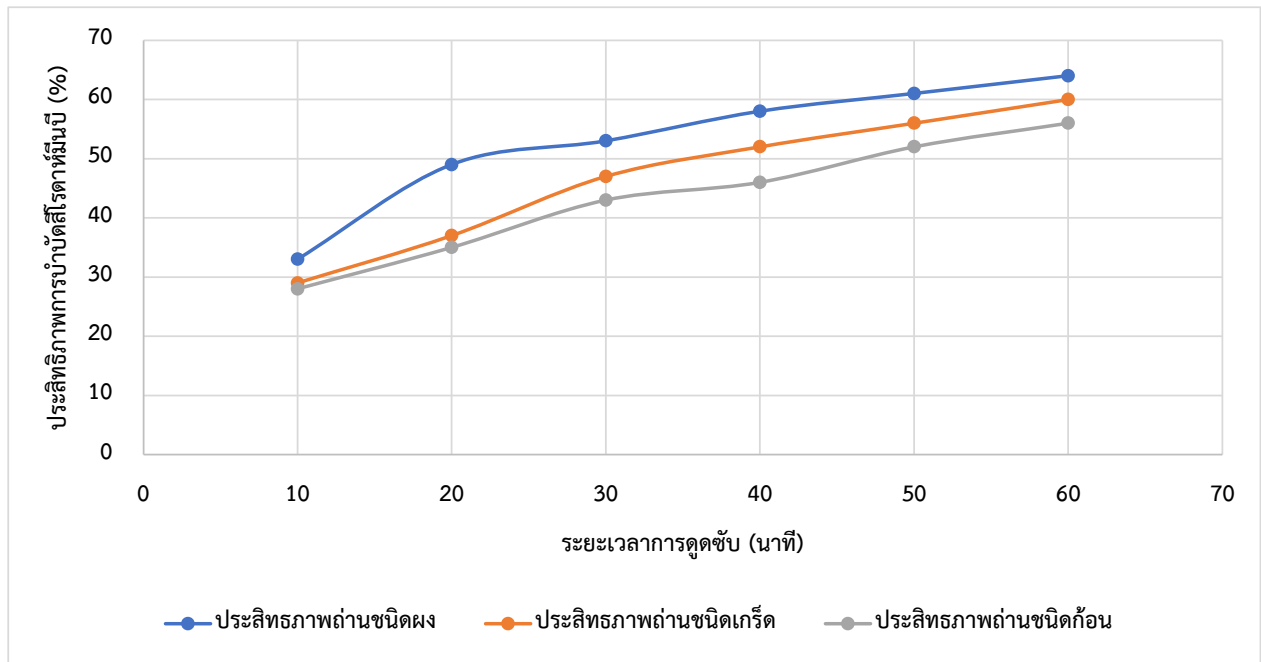
ชนิดถ่าน	สีเริ่มต้น (ADMI)	ผลการดูดซับสีจำแนกตามชนิดของถ่านที่ระยะเวลา 60 นาที (ADMI)					
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	$(\bar{X} \pm S.D.)$	%RPD	ประสิทธิภาพ (ร้อยละ)
ถ่านชนิดผง 1 มม.	200	72	75	74	74 ± 1.5	4.0	63
ถ่านชนิดเกล็ด 3 มม.	200	66	67	67	67 ± 0.6	1.5	66
ถ่านชนิดก้อน 5 มม.	200	95	93	96	94 ± 1.5	3.2	53



ภาพประกอบที่ 3 ประสิทธิภาพการดูดซับสัโรดาหมีนปีค่าความเข้มข้นก่อนบำบัด 200 ADMI ด้วยถ่านดัดแปลงสภาพจากกะลามะพร้าวชนิดผง ชนิดเกล็ด และ ชนิดก้อน

ตารางที่ 4 ผลการดูดซับสัโรดาหมีนปีในน้ำค่าความเข้มข้นก่อนบำบัด 300 ADMI ด้วยถ่านดัดแปลงสภาพจากกะลามะพร้าวชนิดผง ชนิดเกล็ด และ ชนิดก้อน

ชนิดถ่าน	สีเริ่มต้น (ADMI)	ผลการดูดซับสีจำแนกตามชนิดของถ่านที่ระยะเวลา 60 นาที (ADMI)					
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	$(\bar{X} \pm S.D.)$	%RPD	ประสิทธิภาพ (ร้อยละ)
ถ่านชนิดผง 1 มม.	300	103	111	106	107 ± 4.0	7.5	64
ถ่านชนิดเกล็ด 3 มม.	300	120	119	122	120 ± 1.5	2.5	60
ถ่านชนิดก้อน 5 มม.	300	131	132	130	131 ± 1.0	7.5	56



ภาพประกอบที่ 4 ประสิทธิภาพการดูดซับสีโรดาหมื่นปีค่าความเข้มข้นก่อนบำบัด 300 ADMI ด้วยถ่านดัดแปลงสภาพจาก กะลามะพร้าวชนิดผง ชนิดเกร็ด และ ชนิดก้อน

สรุปและอภิปรายผลการทดลอง

ผลการวิจัยประสิทธิภาพของถ่านดัดแปลงสภาพจากกะลามะพร้าวชนิดผง ชนิดเกร็ด และชนิดก้อน ในการดูดซับสีโรดาหมื่นปีในน้ำค่าความเข้มข้น 100 200 และ 300 ADMI การดูดซับแต่ละครั้งมี ประสิทธิภาพแตกต่างกัน การดูดซับในช่วง 10 - 50 นาทีแรก จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพการดูดซับจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วใน 10 นาทีแรก จะค่อยๆ เพิ่มขึ้น แล้วมีแนวโน้มการคงที่ในช่วงเวลา 60 นาที ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของจักรกฤษณ์ อัมพู และคณะ⁴ ซึ่งพบว่าดูดซับสีย้อมโรดาหมื่นด้วยถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวเข้าสู่สมดุลที่ 60 นาที และการดูดซับมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นเมื่อใช้เวลาในการดูดซับเพิ่มขึ้น⁵ เนื่องจากในช่วงแรก ตัวดูดซับยังไม่มีโมเลกุลของสี ทำให้สีเข้าไปยึดเกาะกับตัวดูดซับได้ดีกว่า ผ่านไปช่วงหนึ่ง สีแพร่กระจายเข้าสู่รูพรุนภายในของตัวดูดซับ จนกระทั่งเกิดการอิ่มตัวแล้วทำให้โมเลกุลของสีไม่สามารถเข้าไปในตัวดูดซับได้⁶ โดยที่ความเข้มข้น 100 และ 300 ADMI ถ่านผงดูดซับได้ดีที่สุด (85% และ 64%) เนื่องจากมี micro-pores มาก ทำให้มีพื้นที่ผิวสัมผัสสูง เหมาะกับการดูดซับโมเลกุลขนาดเล็ก ที่ความเข้มข้น 200 ADMI ถ่านเกร็ดดูดซับได้ดีที่สุด (66%) อาจเป็นเพราะ meso-pores

เหมาะกับการดูดซับสีที่มีความเข้มข้น ซึ่งอาจมีการรวมกลุ่มของโมเลกุลสีเป็นอนุภาคขนาดใหญ่ขึ้น ในขณะที่ถ่านก้อนมี ประสิทธิภาพต่ำสุด เนื่องจากมี macro-pores ซึ่งไม่เหมาะกับการดูดซับสีที่มีโมเลกุลขนาดเล็ก ดังนั้นรูพรุนขนาดเล็ก ปริมาณการดูดซับจะเพิ่มขึ้นตามเวลาในการสัมผัส⁷ ประกอบกับอุณหภูมิห้อง (25°C) ทำให้โมเลกุลสีมีพลังงานจลน์ปานกลาง ไม่เคลื่อนที่เร็วเกินไป ทำให้สามารถแทรกซึมเข้าสู่รูพรุนของถ่านได้ดี⁸ ถ่านผงและเกร็ดที่มี micro- และ meso-pores จะได้ประโยชน์จากสถานะนี้ เพราะโมเลกุลสีมีโอกาสสัมผัสและเข้าไปในรูพรุนได้มากขึ้น ซึ่งหากมีการเพิ่มอุณหภูมิขึ้นก็จะสามารถดูดซับสีได้มากขึ้น⁹ เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิส่งผลให้โมเลกุลของสีย้อมมีพลังงานจลน์สูงขึ้น สามารถเพิ่มโอกาสในการชนกันของโมเลกุลมากขึ้นทำให้ระบบมีพลังงานมากพอที่จะเกิดปฏิกิริยา หรือระบบมีพลังงานมากกว่าพลังงานกระตุ้น (activation energy) ทำให้เกิดการดูดซับทางเคมีสูงขึ้น¹⁰ รวมทั้งปัจจัยของค่า pH (6.5-7.0) ซึ่งช่วง pH นี้ทำให้ผิวถ่านมีประจุลบ และประจุบวกเล็กน้อย^{11,12} แต่ยังสามารถดูดซับสีโรดาหมื่นปี (ประจุบวก) ได้ดี แสดงว่าการดูดซับเกิดจากแรงอื่นๆ นอกเหนือจากแรงไฟฟ้าสถิตที่ pH นี้ กลุ่มฟังก์ชันบนผิวถ่าน (เช่น -OH, -COOH)¹³ อาจเอื้อต่อการเกิดพันธะไฮโดรเจนหรือ π - π stacking กับโมเลกุลสี ซึ่งจะ

เกิดได้ดีในถ่านผงและเกล็ดที่มีพื้นที่ผิวมาก ซึ่งเป็นไปตามงานวิจัยของ^{14,15} พบว่าความเป็น กรด - ด่าง ของสารละลายที่สภาวะสมดุลจะมีค่าเข้าสู่สภาวะที่เป็นกรดอ่อน คือที่ pH 5.0 - 6.0 เมื่อ สารละลายเริ่มต้นมี pH 5.0 และ 7.0 ส่วน สารละลายเริ่มต้นที่มี pH 3.0 และ 9.0 จะให้สภาวะสมดุล pH ที่ 4.0 ตามลำดับ

ข้อเสนอแนะจากการวิจัย

1. อุตสาหกรรมสิ่งทอหรือโรงงานฟอกย้อมที่มีการปล่อยน้ำทิ้งที่ปนเปื้อนสีเคมี หรืออุตสาหกรรมที่มีการปล่อยน้ำเสียที่มีค่าสีเกิน 300 ADMI ควรนำผลการวิจัยนี้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการปรับปรุงระบบบำบัดน้ำเสีย หรือควรมีการบำบัดสีของน้ำเสียให้อยู่ในระดับต่ำไม่เกินเกณฑ์มาตรฐาน

2. ลักษณะพื้นผิวของถ่านดัดแปลงแต่ละชนิดจากกะลามะพร้าวทั้ง 3 ชนิด ที่อุณหภูมิห้อง (25°C) และ pH (6.5-7.0) ที่ส่องผ่านกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope: SEM) แสดงให้

เห็นว่าประสิทธิภาพการดูดซับสีโรดามีนบีขึ้นอยู่กับขนาดและการกระจายตัวของรูพรุนในถ่านแต่ละชนิด โดยที่อุณหภูมิ 25°C และ pH 6.5-7.0 ถ่านผงและเกล็ดที่มี micro- และ meso-pores มีประสิทธิภาพสูง เนื่องจากสภาวะนี้เอื้อต่อการแทรกซึมของสีและการเกิดปฏิสัมพันธ์ระดับโมเลกุลระหว่างสีกับผิวถ่าน ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับ การทดสอบการดูดซับสีที่ pH และอุณหภูมิต่าง ๆ กัน เพื่อยืนยันว่าสภาวะปัจจุบันเหมาะสมที่สุดรวมทั้งศึกษาจลนพลศาสตร์การดูดซับ (adsorption kinetics) เพื่อเข้าใจผลของขนาดรูพรุนต่อความเร็วในการดูดซับจะช่วยให้เข้าใจและปรับปรุงกระบวนการดูดซับได้ดียิ่งขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณวิทยาลัยแพทยศาสตร์และการสาธารณสุข มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่สนับสนุนสถานที่ อุปกรณ์ สารเคมี และเครื่องมือวิเคราะห์ เพื่อใช้ในการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

1. ษิษฐา คำวัลย์ศักดิ์ สุธาพิทย์ ศิริปาณี,, และขวัญตรี แสงประชาชนธรรักษ์. ถ่านกัมมันต์ประสิทธิภาพสูงจากน้ำยางดำ. วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยขอนแก่น (ฉบับบัณฑิตศึกษา), 2562.
2. Kooch MRR, Dahri MK, Lim LBL. The removal of rhodamine B dye from aqueous solution using Casuarina equisetifolia needles as adsorbent. Cogent Environmental Science 2016; 2(1):1140553.
3. Mohd Iqbalidin MN, Khudzir I, Mohd Azlan MI, Zaidi AG, Surani B, Zubri Z. Properties of coconut shell activated carbon. Journal of Tropical Forest Science 2013; 25(4):497-503.
4. จักรกฤษณ์ อัมพูช, ขวลิศ สีสภา, พุทธิพล หนองเสนา, จิราธิวัฒน์ ตรงค์เมือง และชาญณรงค์ ภูขงควาริน. การดูดซับสีย้อมโรดามีนบีด้วยถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว. วารสารวิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ศึกษา 2564; 4(1):22-37.
5. ยัวร์ตัน เงินเย็น, ฉันทกร ปาทวาท, เกศรา ศิลาเกษ และสมชาย ชวนอุดม. การดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูจากสารละลายโดยถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้จากลูกยางนา. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี 2556; 8(2):119-131.
6. Bello OS, Lameed OS, Adegoke KA. Functionalized coconut husks for rhodamine-B dye sequestration. Applied Water Science 2019; 9(189): <https://doi.org/10.1007/s13201-019-1051-4>.
7. จักรกฤษณ์ อัมพูช จิตาพร คำภู นันทกานต์ ทองเพ็ญ สุจิตรา แก้วศิริ อิทธิศักดิ์ เกาโพธิ์ ไท แสงเทียน และพุทธิพร แสงเทียน. การดูดซับสีย้อมรีแอ็คทีฟแบล็ค 5 บนถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากผักตบชวา วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี 2560; 19(1):163-177
8. Nimisha S, Samuel A., Michael WI, Schmidt I. Mechanisms of charcoal degradation during its initial stages of decomposition [internet]. 2010 [cited 2024 June 12]. Available from [HTTPS://MEETINGORGANIZER.COPERNICUS.ORG/EGU2010/EGU2010-563-2.PDF](https://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2010/EGU2010-563-2.PDF).
9. J Jing, Hou Y, Liu C. Effects of color centers absorption on the spectrum of the temperature-dependent radiation-induced attenuation in fiber. Applied Optics [internet]. 2015 [cited 2024 June 12]. Available from <https://opg.optica.org/ao/abstract.cfm?uri=ao-54-4-940>.

10. Moreau F, da Silva I, Al Smail N. Unravelling exceptional acetylene and carbon dioxide adsorption within a tetra-amide functionalized metal-organic framework. *Nat Commun* [internet]. 2017 [cited 2024 June 12]. Available from <https://www.nature.com/articles/ncomms14085>.
11. J. Angel Menéndez. Electrical charge distribution on carbon surfaces as a function of the pH and point of zero charge. An approximate solution [internet]. 2018 [cited 2024 June 12]. Available from <https://crimsonpublishers.com/rdms/pdf/RDMS.000697.pdf>.
12. Wakabayashi N, Yoshiaki Y, Kawano K, Matsuzaki K. A pH-dependent charge reversal peptide for cancer targeting. *European Biophysics Journal* [internet]. 2017 [cited 2024 June 12]. Available from <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27278924/>.
13. Atchabarova AA, Abdimomyn SK, Abduakhytova DA, Zhigalenok YR, Tokpayev RR, Kishibayev KK, Khavaza TN, Kurbatov AP, Zlobina YV, Djenizian TJ. Role of Carbon Material Surface Functional Groups on Their Interactions With Aqueous Solutions. *Journal of electroanalytical chemistry* [internet]. 2022 [cited 2024 June 12]. Available from <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1572665722006993>
14. Mohan SV, Rao NC, Karthikeyan J. "Adsorption removal of direct azo dye from aqueous phase. onto coal based sorbents: a kinetic and mechanistic study. *Journal of Hazardous Materials* 2013; 90(2):189 – 204.
15. กิติโรจน์ หวันตาเหลา ชยาภาส ทับทอง สีนสุภา จุ้ยจุลเจิม. การดูดซับสีย้อมผ้าด้วยถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากถ่านหินและกะลามะพร้าว. *วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี* 2550; 10 (2):104-112.