



FEAT JOURNAL

FARM ENGINEERING AND AUTOMATION TECHNOLOGY JOURNAL

วารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ

ไอโซเทิร์มการดูดซับสีแอสิดโดยถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากกากกาแฟ
Adsorption Isotherm of Acid Dye by Activated Carbon Prepared
from Spent Coffee Grounds

จตุรันต์ อนุกูลประเสริฐ, ฉันทนกร สุรย์สร, พนมชัย วีระยุทธศิลป์ และ กัลยกร ขวัญมา*

Jaturun Anukulprasert, Chanchanok Soonsorn, Panomchai Weerayuttil and Kulyakorn Khuanmar*

ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น อำเภอเมือง

จังหวัดขอนแก่น 40002

Department of Environment Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University, Muang, Khon Kaen, 40002

Received: 07 พ.ย. 59

Accepted: 24 ก.พ. 60

บทคัดย่อ

โครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการดูดซับสีแอสิดด้วยถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟที่กระตุ้นด้วยโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) นอกจากนี้ได้ศึกษาระยะเวลาที่เข้าสู่สมดุลของการดูดซับและได้ทำการศึกษาไอโซเทิร์มของการดูดซับโดยใช้ตัวดูดซับ 2 ชนิดคือ ถ่านจากกากกาแฟ และถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟ การทดลองทั้งหมดจะทำการทดสอบการดูดซับสารละลายสีแอสิดสีแดง ในการเตรียมถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟ กากกาแฟแห้งจะถูกเผาที่ 600 องศาเซลเซียส เพื่อให้ได้ถ่านจากกากกาแฟ และหลังจากนั้นถ่านจากกากกาแฟจะถูกกระตุ้นด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ในอัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนัก แล้วนำไปเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส การศึกษาระยะเวลาที่เข้าสู่สมดุล พบว่าระยะเวลาในการดูดซับที่เข้าสู่สมดุลของถ่านจากกากกาแฟและถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟคือ 210 และ 300 นาที ตามลำดับ ค่า pH ของสารละลายสีแอสิดภายหลังการดูดซับด้วยถ่านจากกากกาแฟและถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น เมื่อศึกษาไอโซเทิร์มของการดูดซับพบว่ารูปแบบการดูดซับสอดคล้องกับแบบฟรุนดลิชทั้งถ่านจากกากกาแฟและถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟ

คำสำคัญ: กากกาแฟ ถ่านกัมมันต์ สีแอสิด ไอโซเทิร์ม

Abstract

The aim of this study was to prepare activated carbon from spent coffee grounds by chemical activation with sodium chloride (NaCl). Moreover, this research investigated the equilibrium time of adsorption and adsorption isotherm of the adsorbents which were coffee grounds black carbon and coffee grounds activated carbon. All adsorption experiments were tested with red acid dye solution. To prepared coffee grounds activated carbon, dried coffee grounds was carbonized at 600 °C to obtain coffee grounds black carbon and then the coffee grounds black carbon was activated using 1:1 NaCl by weight and followed by carbonization at 800 °C. The equilibrium time study shown that coffee grounds black carbon and coffee grounds activated carbon reached equilibrium time at 210 and 300 minute, respectively. The pHs of red acid dye solution tend to be higher after the adsorption. Isotherm adsorption study elucidated that coffee grounds black carbon and coffee grounds activated carbon was fitted with Freundlich model.

Keywords: Spent coffee grounds Activated carbon Acid dye Adsorption isotherm

*ติดต่อ: อีเมล: kulyakorn@kku.ac.th

1. บทนำ

เมล็ดกาแฟเป็นหนึ่งในสินค้าทางการเกษตรซึ่งมีการซื้อขายกันมากในปัจจุบัน ในเมล็ดกาแฟมีสารคาเฟอีนซึ่งจะออกฤทธิ์กระตุ้นให้สมองตื่นตัว ดังนั้นการดื่มกาแฟจะทำให้รู้สึกสดชื่น ปัจจุบันกาแฟจึงเป็นเครื่องดื่มที่ได้รับความนิยมมากที่สุดในโลก จากกระบวนการผลิตกาแฟสำเร็จรูป หรือการชงกาแฟสดในร้านขายกาแฟทั่วไป จะมีกากกาแฟเหลือทิ้งจากกระบวนการดังกล่าว หากสามารถนำกากกาแฟมาใช้ประโยชน์จะเป็นการช่วยลดของเสียจากกระบวนการผลิตกาแฟสำเร็จรูป หรือจากการชงกาแฟสดได้ ปัจจุบันได้มีงานวิจัยที่นำกากกาแฟมาใช้ประโยชน์คือผลิตไบโอดีเซล ตัวดูดซับ ปุ๋ย เป็นต้น [1-4] จากงานวิจัยต่างๆ ที่พยายามนำกากกาแฟมาใช้ประโยชน์ การนำกากกาแฟมาผลิตเป็นตัวดูดซับเป็นวิธีที่ได้รับ

ความนิยมมากที่สุด เพราะกากกาแฟมีลักษณะเด่นคือ มีองค์ประกอบของคาร์บอนสูงในระดับที่สามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon; AC) ซึ่งการนำมาใช้ประโยชน์ในรูปของตัวดูดซับเป็นวิธีที่น่าสนใจและสามารถนำไปใช้ในการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมได้

อุตสาหกรรมการย้อมผ้าไหมในระดับครัวเรือนจัดได้ว่าเป็นแหล่งกำเนิดน้ำเสียที่มักจะไม่ได้รับการบำบัดที่ถูกต้อง ทั้งนี้เนื่องจากผู้ประกอบการขาดความรู้ในการเลือกใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสมถึงค่าใช้จ่ายในการบำบัดที่อาจจะสูงเกินกว่าอุตสาหกรรมขนาดเล็กในระดับครัวเรือนจะสามารถรองรับค่าใช้จ่ายในส่วนนี้ หากน้ำเสียเหล่านี้ไม่ได้รับการบำบัดที่ถูกต้องอาจเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้มีการปนเปื้อนของน้ำเสียจากการย้อมผ้าไหมปนเปื้อนในแหล่งน้ำธรรมชาติ ซึ่งการปนเปื้อนของสีย้อมเพียง

1 mg/l ส่งผลให้เกิดภาพที่ไม่น่าดู เสียทัศนียภาพ มีผลต่อการส่องผ่านของแสงในน้ำ และอาจส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม [5]

อุตสาหกรรมระดับครัวเรือนที่มีอย่างแพร่หลาย ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ คือการประกอบการผลิตผ้าไหม อุตสาหกรรมดังกล่าวใช้สีแอสิดในการย้อมไหม ซึ่งสีแอสิดเป็นสารประกอบที่ย่อยสลายได้ยาก หากน้ำเสียที่มาจากกระบวนการผลิตไม่ได้รับการบำบัดอย่างถูกต้องและเหมาะสม และได้มีการปนเปื้อนในแหล่งน้ำธรรมชาติจะทำให้เกิดสีที่ไม่พึงประสงค์ในแหล่งน้ำธรรมชาตินั้น ปัจจุบันเทคโนโลยีที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกย้อมมีทั้งกระบวนการทางชีวภาพ กระบวนการทางเคมี และกระบวนการทางกายภาพ ซึ่งแต่ละกระบวนการก็จะมีข้อจำกัด เช่น ระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพซึ่งต้องใช้จุลชีพในการย่อยสลายสารอินทรีย์ของเสีย ซึ่งสีย้อมอาจเป็นพิษต่อจุลชีพในระบบบำบัด ส่วนกระบวนการทางเคมี หากใช้กระบวนการตกตะกอนอาจมีความสิ้นเปลืองสารเคมีที่ใช้ในการตกตะกอนและอาจได้ประสิทธิภาพที่ไม่ดีนักกับน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของของเสียต่ำ แนวทางหนึ่งที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากสีย้อมไหมคือกระบวนการดูดซับทางกายภาพ โดยการใช้วัสดุดูดซับที่มีพื้นที่ผิวสูงซึ่งวิธีการนี้มีจุดเด่นคือสามารถบำบัดน้ำเสียได้ดี ทั้งที่อยู่ในรูปของสารอินทรีย์และสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ยาก

ถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) เป็นวัสดุดูดซับที่มีองค์ประกอบหลักคือคาร์บอน และมีคุณสมบัติพิเศษคือมีพื้นที่ผิวสูงมาก เพราะโครงสร้างทางกายภาพมีรูขนาดเล็กจำนวนมาก ซึ่งรูพรุนเหล่านี้สามารถกระตุ้นให้เกิดขึ้นได้ 2 วิธีคือ (1) การกระตุ้นทางเคมี (Chemical Activation) โดยใช้กรดสัมผัสกับ

วัสดุเริ่มต้นคือถ่านเพื่อที่จะกัดสิ่งสกปรกออกที่เหลืออยู่ในถ่านหลังการเผาครั้งแรก หลังจากนั้นถ่านจะถูกนำไปเผาครั้งสองถ่านที่ได้จะมีพื้นที่ผิว และรูพรุนเพิ่มมากขึ้น (2) การกระตุ้นด้วยไอน้ำ (Steam Activation) ถ่านคาร์บอนจะถูกทำให้สัมผัสกับไอน้ำ และ/หรือ ก๊าซที่อุณหภูมิสูง เพื่อกระตุ้นให้มีคุณสมบัติเป็นถ่านกัมมันต์

วัตถุประสงค์ในการวิจัยครั้งนี้เพื่อศึกษาการเตรียมถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟโดยการกระตุ้นด้วยวัสดุที่หาได้ง่ายในท้องตลาด คือ เกลือแกง (NaCl) วัสดุดูดซับที่ผลิตได้จะนำมาศึกษาหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับ และหารูปแบบการดูดซับ (Isotherm) ของตัวดูดซับ ที่เป็นถ่าน และถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟ

2. วิธีการทดลอง

2.1 วิธีการเตรียมถ่านและถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟ

(ก) การเตรียมถ่านจากกากกาแฟ

นำกากกาแฟมาล้างให้สะอาดจากนั้นนำมาผึ่งให้แห้ง และอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 103 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำกากกาแฟที่อบไล่ความชื้นแล้วใส่ในถ้วยกระเบื้องปิดฝาและห่อด้วยกระดาษอลูมิเนียม จากนั้นนำไปเผาในที่อับอากาศ ที่อุณหภูมิ 600 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และทิ้งให้เย็นตัว หลังจากนั้นนำถ่านกากกาแฟที่ได้จากการเผาที่อุณหภูมิ 600 °C ไปบดและร่อนด้วยตะแกรง (Sieve) เบอร์ 35 ขนาด 125 ไมครอน และเบอร์ 120 ขนาด 500 ไมครอน จะนำกากกาแฟที่อยู่ระหว่างการร่อนของตะแกรงเบอร์ 35 และเบอร์ 120 ไปทำการศึกษา

(ข) การเตรียมถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟ

นำถ่านกากกาแฟที่ผ่านกระบวนการเผาด้วยอุณหภูมิ 600 °C แخذด้วยน้ำเกลือที่เตรียมจากเกลือแกง (รูปที่ 1 (ก)) ที่อัตราส่วน ถ่าน : เกลือ (น้ำหนัก : น้ำหนัก) คือ 1 : 1 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำถ่านกากกาแฟที่ได้ไปใส่ในถ้วยกระเบื้องปิดฝาและห่อด้วยกระดาษขอลูมิเนียมแล้วนำไปเผากระตุ้นที่อุณหภูมิ 800 °C เป็นเวลา 2 ชม. และทิ้งให้เย็นตัวและล้างด้วยน้ำกลั่นหลายๆ ครั้ง จนไม่มีคลอไรด์หลงเหลือในถ่าน ขั้นตอนสุดท้ายให้นำถ่านกัมมันต์ที่ได้ไปอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 103 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

2.2 การศึกษาหาระยะเวลาที่เข้าสู่สมดุลการดูดซับของถ่านจากกากกาแฟและถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟ

เตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยการละลายสีแอสิด (สีแดง) ในน้ำกลั่น (รูปที่ 1 (ข)) ให้มีความเข้มข้น 20 mg/l แล้วแบ่งใส่บีกเกอร์ขนาด 500 ml จำนวน 2 ใบ สำหรับเติมถ่านจากกากกาแฟและถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟ ปริมาณ 1 กรัม ระหว่างการทดลองจะกวนผสมวัสดุดูดซับให้สัมผัสกับสีอย่างสม่ำเสมอโดยเครื่องกวนสารละลาย (Magnetic Stirrer) เก็บตัวอย่างน้ำเสียที่สัมผัสกับตัวดูดซับอย่างต่อเนื่อง ที่เวลาต่างๆ คือ 15 30 45 60 90 120 150 180 210 240 270 300 และ 330 นาที ทำการกรองแยกน้ำเสียที่ผ่านการดูดซับออกจากตัวดูดซับด้วยกระดาษกรองก่อนทำการวิเคราะห์ปริมาณสีด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-Vis Spectrophotometer)

2.3 การศึกษารูปแบบการดูดซับสีแอสิดของถ่านจากกากกาแฟ และถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟ

เตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยสารละลายสีแอสิด (สีแดง) ให้มีความเข้มข้น 5 10 20 40 60 80 120 160 200 mg/l แล้วแบ่งใส่ขวดแก้วขวดละ 50 ml เติมถ่านกากกาแฟ หรือถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟ ปริมาณ 0.1 กรัม ลงในแต่ละขวด จากนั้นปิดฝาให้สนิท เขย่าด้วยเครื่องเขย่าแนวราบ 200 รอบ/นาที ควบคุมอุณหภูมิไว้ที่ 25 °C ใช้ระยะเวลาเท่ากับระยะเวลาเข้าสู่สมดุลการดูดซับ หลังจากนั้นเก็บตัวอย่างน้ำเสียที่สัมผัสกับตัวดูดซับ และกรองแยกน้ำเสียที่ผ่านการดูดซับออกจากตัวดูดซับด้วยกระดาษกรอง และนำน้ำที่ผ่านการกรองไปวิเคราะห์ความเข้มข้นของสีด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-Vis Spectrophotometer) และ นำ ค่า ที่ได้ แสดงความสัมพันธ์ของกราฟไอโซเทอมของวัสดุดูดซับทั้งสอง



(ก)



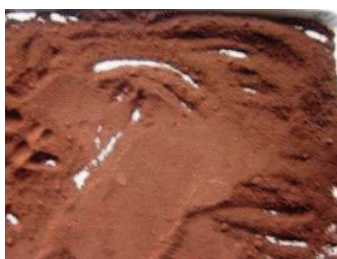
(ข)

รูปที่ 1 แสดง (ก) เกลือแกง และ (ข) สีแอสิดสีแดง

3. ผลการทดลอง**3.1 ผลการศึกษาการเตรียมถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟโดยการกระตุ้นด้วย NaCl และหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับ**

(ก) ถ่านกากกาแฟและถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟ โดยการกระตุ้นด้วย NaCl

จากการศึกษาการเตรียมตัวดูดซับจากกากกาแฟ มีลักษณะเป็นผงสีน้ำตาลเข้ม (รูปที่ 2 (ก)) โดยนำมาเผาที่อุณหภูมิ 600°C จะได้ถ่านจากกากกาแฟที่มีลักษณะผงละเอียดสีดำ (รูปที่ 2 (ข)) เมื่อนำถ่านกากกาแฟมากระตุ้นโดยแช่น้ำเกลือเวลา 24 ชั่วโมง และนำไปเผาที่ 800°C จะได้ผงถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟที่มีลักษณะผงละเอียดสีดำ (รูปที่ 2 (ค))



(ก)



(ข)



(ค)

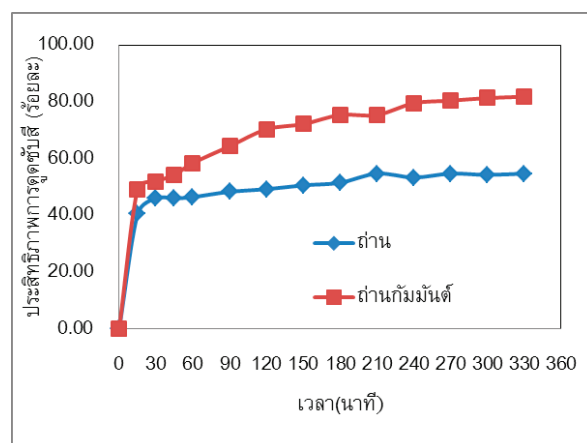
รูปที่ 2 แสดง (ก) กากกาแฟ (ข) ถ่านกากกาแฟ และ (ค) ถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟ

(ข) ระยะเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับ

จากการศึกษาการหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับสีของตัวดูดซับ โดยใช้สีย้อมไหมสีแดง ที่ความเข้มข้น 20 mg/l ปริมาตร 500 ml โดยใช้ตัวดูดซับ 1 กรัม พบว่าถ่านจากกากกาแฟเริ่มเข้าสู่สมดุลที่เวลา 210 นาที และถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟจะ

เริ่มเข้าสู่จุดสมดุลที่เวลา 300 นาที (รูปที่ 3) ดังนั้นในขั้นตอนการศึกษาหาไอโซเทอริกของตัวดูดซับจึงเลือกใช้เวลาสูงสุดที่ 300 นาที เพื่อให้แน่ใจว่าถ่านจากกากกาแฟและถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟจะไม่มีการดูดซับอีก

นอกจากนี้หากเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับที่เวลาดังกล่าวพบว่า ถ่านกากกาแฟสามารถดูดซับสีย้อมได้ถึง 54.27 % และถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟสามารถดูดซับสีย้อมได้ 81.33% ตามลำดับ



รูปที่ 3 แสดงระยะเวลาการดูดซับของวัสดุดูดซับ

(ค) ค่า pH ของน้ำเสียสังเคราะห์ก่อนและหลังการดูดซับ

จากการวิเคราะห์ค่า pH ของน้ำเสียสังเคราะห์จากสีย้อมสีแดง ที่ใช้ในการทดลองพบว่าที่ pH เริ่มต้นมีค่าเท่ากับ 5.95 และเมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าค่า pH ของน้ำเสียสังเคราะห์จากสีย้อมสีแดงมีค่า pH สูงขึ้น เป็น 7.45 และ 7.57 สำหรับถ่านกากกาแฟ และถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟตามลำดับ

ทั้งนี้เนื่องจากสีย้อมจะสามารถละลายน้ำได้ดีในสภาวะที่เป็นกรด (Acid dye) ดังนั้นเมื่อละลายน้ำจึง

มีแนวโน้มที่จะมีค่าช่วง pH เป็นกรด และเมื่อผ่านกระบวนการดูดซับประจุที่แสดงคุณสมบัติให้ค่า pH เป็นกรด จะถูกดูดซับด้วยตัวดูดซับ ดังนั้นค่า pH ของน้ำสีแอมซิดจึงมีค่าสูงขึ้นเล็กน้อยแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงค่า pH ของน้ำเสียสังเคราะห์เมื่อเริ่มต้นและสิ้นสุดการทดลอง

ตัวดูดซับ	pH เริ่มต้น	pH สิ้นสุด
ถ่านกากาแฟ	5.95	7.45
ถ่านกัมมันต์กากาแฟ	5.95	7.57

3.2 การศึกษาพฤติกรรมการดูดซับสีแอมซิดสีแดงของถ่านกากาแฟและถ่านกัมมันต์กากาแฟ

จากการทดลองโดยใช้ ใช้ปริมาณตัวดูดซับ 0.1 กรัม เวลาที่ใช้ในการดูดซับ 300 นาที ควบคุมอุณหภูมิการดูดซับที่ 25 °C จากนั้นนำผลการทดลองที่ได้มาศึกษา ตามสมการไอโซเทอรั่มของการดูดซับ โดยใช้แบบจำลองไอโซเทอรั่มของฟรุนดิช (Freundlich model) ดังสมการที่ (1) และแลงเมียร์ (Langmuir model) ดังสมการ (2)

สมการฟรุนดิช (Freundlich Isotherm)

$$\text{Log } (X/M) = \log K_f + (1/n)\log C_e \quad (1)$$

กำหนดให้

Ce = ความเข้มข้นของตัวถูกละลายที่เหลือหลังการดูดซับ (mg/L)

X/M = ปริมาณของตัวถูกละลายที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักของตัวดูดซับ (mg/g)

K_f, n = ค่าคงที่สมดุลในการดูดซับ

สมการแลงเมียร์ (Langmuir Isotherm)

$$C_e/(X/M) = (C_e/X_m) + (1/(K_L X_m)) \quad (2)$$

กำหนดให้

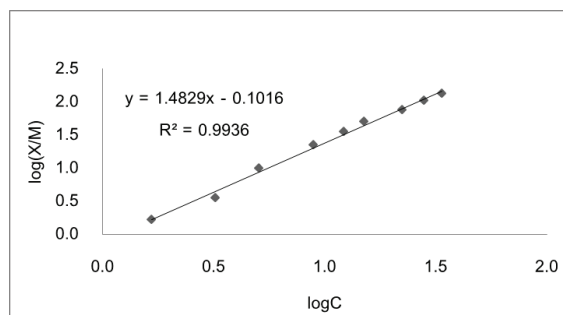
X_m = ปริมาณของสารที่ถูกดูดซับสูงสุด

X/M = ปริมาณของตัวถูกละลายที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักของตัวดูดซับ (mg/g)

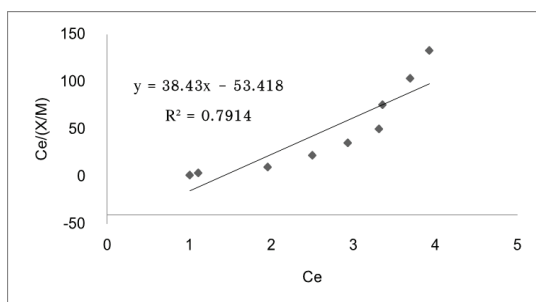
Ce = ความเข้มข้นของตัวถูกละลายที่เหลือหลังการดูดซับ (mg/L)

K_L = ค่าคงที่สมดุลในการดูดซับ

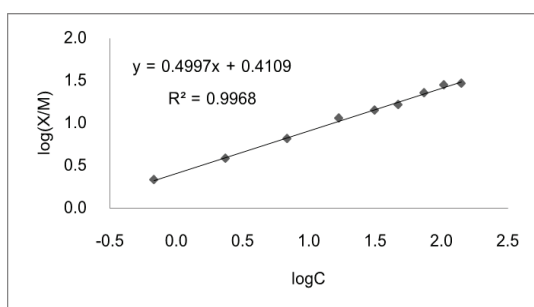
จากรูปที่ 4 (ก) และ (ข) แสดงผลการศึกษา Freundlich Isotherm และ Langmuir Isotherm ในการดูดซับสีแอมซิดสีแดง ด้วยถ่านกากาแฟ พบว่าการดูดซับจะสอดคล้องกับ Freundlich Isotherm มากกว่า Langmuir Isotherm เนื่องจากมีค่า R² เท่ากับ 0.9936 ซึ่งสูงกว่าค่า R² ของ Langmuir Isotherm โดยมีค่าเท่ากับ 0.7914 ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าพฤติกรรมการดูดซับของถ่านกากาแฟสอดคล้องกับ Freundlich Isotherm



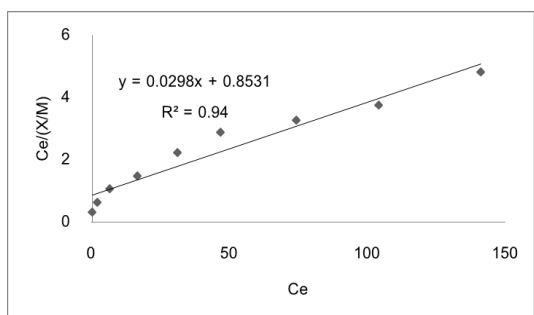
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ 4 แสดงผลการทดลองของ (ก) Freundlich Isotherm ของถ่านกากกาแฟ (ข) Langmuir Isotherm ของถ่านกากกาแฟ (ค) Freundlich Isotherm ของถ่านกัมมันต์กากกาแฟและ (ง) Langmuir Isotherm ของถ่านกัมมันต์กากกาแฟ

จากรูปที่ 4 (ค) และ (ง) ผลการศึกษา Freundlich Isotherm และ Langmuir Isotherm ใน

การดูดซับสีแอสิดสีแดง ด้วยถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟ พบว่าการดูดซับจะสอดคล้องกับ Freundlich Isotherm มากกว่า Langmuir Isotherm เนื่องจากมีค่า R^2 เท่ากับ 0.9968 ซึ่งสูงกว่าค่า R^2 ของ Langmuir Isotherm โดยมีค่าเท่ากับ 0.9400 ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าพฤติกรรมการดูดซับของถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟสอดคล้องกับ Freundlich Isotherm แต่อย่างไรก็ตามถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟก็มีแนวโน้มรูปแบบการดูดซับแบบ Langmuir Isotherm ด้วย

3.3 การศึกษาค่าคงที่สมการของ Freundlich Isotherm และ Langmuir Isotherm

เมื่อนำข้อมูล Adsorption Isotherm การดูดซับสีแอสิดสีแดง ด้วยถ่านจากกากกาแฟ และถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟ มาคำนวณหาค่าคงที่ของสมการ Freundlich ซึ่งได้แก่ค่า n และ K_f โดยหาได้จากความชันและจุดตัดแกน y ในการพล็อตกราฟระหว่าง $\log C_e$ และ $\log(X/M)$ ความหมายของค่าคงที่ n จะแสดงถึงความแข็งแรงของการดูดซับ (Strength of Adsorption) ถ้ามีค่ามากกว่า 1 แสดงว่าการดูดซับจะเกิดขึ้นได้ไม่ดี ถ้าค่า n มีค่าน้อยกว่า 1 หรือใกล้เคียง 1 หมายถึง การดูดซับจะเกิดขึ้นได้ดี ที่ความเข้มข้นและแสดงค่าความเข้มข้นมีบทบาทต่อความสามารถในการดูดซับของตัวดูดซับมาก นั่นคือ ถ้าสารที่ถูกดูดซับมีความเข้มข้นสูงตัวดูดซับมีแนวโน้มในการดูดซับสารนั้นได้ดี ส่วนค่า K_f คือ ค่าคงที่ของการดูดซับซึ่งจะใช้แสดงถึงความจุในการดูดซับ (mg/g) ถ้าค่า K_f สูงแสดงว่าตัวดูดซับมีความจุในการดูดซับสูงด้วย

ค่าคงที่ของสมการ Langmuir ซึ่งได้แก่ค่า X_m และค่า K_L โดยหาได้จากความชันและจุดตัดแกน y ในการพล็อตกราฟระหว่าง C_e และ $C_e/(X/M)$ ค่าคงที่ X_m บอกถึงปริมาณที่ถูกดูดซับเพื่อให้เกิดเป็น

ชั้นเดียวที่อิ่มตัว (mg/g) ส่วนค่า K_L คือ สัมประสิทธิ์ของการดูดซับ (ml/mg) จะแสดงถึงพลังงานยึดเหนี่ยวสัมพันธ์ (Relative binding energies) และความแข็งแรงในการดูดซับ ถ้าค่า K สูงแสดงถึงพลังงานในการยึดเหนี่ยวและความแข็งแรงในการดูดซับสูง [6]

ตารางที่ 2 ค่าคงที่ของ Freundlich Isotherm ในการดูดซับของถ่านกากาแฟและถ่านกัมมันต์กากาแฟ

ตัวดูดซับ	Freundlich	ค่าคงที่ของสมการ		
		n	R^2	K_f (mg/g)
ถ่านกากาแฟ	$y = 1.4829x - 0.1016$	0.67	0.9936	0.79
ถ่านกัมมันต์กากาแฟ	$y = 0.4997x + 0.4109$	2.00	0.9968	2.58

ตารางที่ 3 ค่าคงที่ของ Langmuir Isotherm ในการดูดซับของถ่านกากาแฟและถ่านกัมมันต์กากาแฟ

ตัวดูดซับ	Langmuir	ค่าคงที่ของสมการ		
		X_m (mg/g)	R^2	K_L (mg/g)
ถ่านกากาแฟ	$y = 38.43x - 53.418$	0.03	0.7914	-0.72
ถ่านกัมมันต์กากาแฟ	$y = 0.0298x + 0.8531$	33.56	0.9400	0.03

จากตารางที่ 2 แสดงค่าคงที่ของสมการ Freundlich ในการดูดซับสีแอมิดีแดง ด้วยถ่านกากาแฟและถ่านกัมมันต์กากาแฟ ค่าคงที่ K_f ซึ่งแสดงถึง

ถึง ความจุในการดูดซับ (mg/g) พบว่า ถ่านกัมมันต์กากาแฟมีค่าสูงกว่าถ่านกากาแฟ ตามลำดับ ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากขนาดรูพรุนของถ่านกัมมันต์กากาแฟ นั้นมีขนาดที่เหมาะสมกับขนาดโครงสร้างโมเลกุลของสีแอมิดีแดง สำหรับค่าคงที่ n พบว่า ถ่านกัมมันต์กากาแฟมีค่ามากกว่า 1 ในการดูดซับสีแอมิดีแดง แสดงว่า การดูดซับเกิดขึ้นได้ไม่ดีที่ความเข้มข้นสูง ทั้งนี้อย่างไรก็ตามถ่านกัมมันต์กากาแฟมีแนวโน้มมีรูปแบบการดูดซับแบบ Langmuir ซึ่งจากค่าคงที่ที่ได้จากการคำนวณแสดงดังตารางที่ 3 สามารถวิเคราะห์ได้ว่า X_m ของถ่านกัมมันต์กากาแฟมีค่าสูงกว่าถ่านกากาแฟมากซึ่งแสดงให้เห็นว่าถ่านกัมมันต์กากาแฟมีความสามารถในการดูดซับมากกว่า ตลอดจนมีค่า K_L ที่สูงกว่าจึงมีพลังงานยึดเหนี่ยวในการดูดซับสูงกว่าด้วยเช่นกัน

4. สรุปผลการทดลอง

ถ่านกากาแฟและถ่านกัมมันต์กากาแฟมีระยะเข้าสู่สมดุลการดูดซับที่เวลา 210 นาที และ 300 นาที ตามลำดับ จากการศึกษาแบบการดูดซับพบว่า ตัวดูดซับจากถ่านกากาแฟมีแนวโน้มที่จะมีรูปแบบการดูดซับแบบ Freundlich Isotherm ส่วนถ่านกัมมันต์จากถ่านกากาแฟ พบว่าการดูดซับจะสอดคล้องกับ Freundlich Isotherm มากกว่า Langmuir Isotherm แต่อย่างไรก็ตามถ่านกัมมันต์กากาแฟก็มีแนวโน้มมีรูปแบบการดูดซับแบบ Langmuir Isotherm ด้วย

การการศึกษาค่าคงที่ของสมการ Freundlich ในการดูดซับสีแอมิดีแดง ด้วยถ่านกากาแฟและถ่านกัมมันต์กากาแฟ ค่าคงที่ K_f ซึ่งแสดงถึงความจุในการดูดซับ (mg/g) พบว่า ถ่านกัมมันต์กากาแฟมีค่าสูงกว่าถ่านกากาแฟ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก

ขนาดรูพรุนของถ่านกัมมันต์กากกาแฟ นั้นมีขนาดที่เหมาะสมกับขนาดโครงสร้างโมเลกุลของสีแดง สำหรับค่าคงที่ n พบว่าถ่านกัมมันต์กากกาแฟมีค่ามากกว่า 1 ในการดูดซับสีแอสิดสีแดง แสดงว่าการดูดซับเกิดขึ้นได้ไม่ดีที่ความเข้มข้นสูง ทั้งนี้อย่างไรก็ตาม ถ่านกัมมันต์กากกาแฟมีแนวโน้มมีรูปแบบการดูดซับแบบ Langmuir ซึ่งจากค่าคงที่ที่ได้จากการคำนวณ สามารถวิเคราะห์ได้ว่า X_m ของถ่านกัมมันต์กากกาแฟมีค่าสูงกว่าถ่านกากกาแฟมากซึ่งแสดงให้เห็นว่าถ่านกัมมันต์กากกาแฟมีความสามารถในการดูดซับมากกว่า ตลอดจนมีค่า K_L ที่สูงกว่าจึงมีพลังงานยึดเหนี่ยวในการดูดซับสูงกว่าด้วยเช่นกัน

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนงบประมาณจากกลุ่มวิจัยวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

6. เอกสารอ้างอิง

[1] Vardon DR, Moser BR, et al. Complete Utilization of Spent Coffee Grounds to Produce Biodiesel, Bio-Oil, and Biochar. ACS Sustainable Chemistry & Engineering. 2013; 1(10): 1286-94.

[2] Gomez-Gonzalez R, Cerino-Cordova FJ, et al. Lead Biosorption onto Coffee Grounds: Comparative Analysis of Several Optimization Techniques Using Equilibrium Adsorption Models and ANN. Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers. 2016; 68: 201-10.

[3] Jung K-W, Choi BH, et al. Fabrication of Granular Activated Carbons Derived from Spent Coffee Grounds by Entrapment in Calcium Alginate Beads for Adsorption of Acid Orange 7 and Methylene Blue. 2016; 219: 185-95.

[4] Campos-Vega R, Loarca-Pina G, et al. Spent Coffee Grounds: A Review on Current Research and Future Prospects. Trends in Food Science & Technology. 2015; 45(1): 24-36.

[5] Lee J-W, Choi S-P, et al. Evaluation of the Performance of Adsorption and Coagulation Processes for the Maximum Removal of Reactive Dyes. Dyes and Pigments. 2006; 69(3): 196-203.

[6] Namane A, Mekarzia A, et al. Determination of the Adsorption Capacity of Activated Carbon Made from Coffee Grounds by Chemical Activation with $ZnCl_2$ and H_3PO_4 . Journal of Hazardous Materials. 2005; 119 (1-3): 189-94.

