Research Article

Received: May 14, 2019; Accepted: October 4, 2019

การกำจัดสีย้อมเมทิลีนบลู ด้วยฝุ่นหินบะซอลต์เหลือทิ้งจากโรงโม่หินบุรีรัมย์

Removal of Methylene Blue Dye by Basalt Quarry Dust Waste from Buriram Crushing Plant

ภัทรนันท์ ทวดอาจ*

สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์ ตำบลในเมือง อำเภอเมือง จังหวัดบุรีรัมย์ 31000

Pattaranun Thuadaij*

Division of Chemistry, Faculty of Science, Buriram Rajabhat University, Nai Muang, Muang, Buriram 31000

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสามารถในการกำจัดสีย้อมเมทิลีนบลูโดยใช้ฝุ่นหินบะซอลต์เหลือทิ้งจากโรงโม่หินบุรีรัมย์ โดยปราศจากการกระตุ้นด้วยสารเคมีและการเผาแคลไซด์ ราคาไม่แพง และสะดวกต่อการใช้งานเป็นตัวดูดซับ ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถการดูดซับ ได้แก่ ปริมาณตัวดูดซับ เวลา ความเป็นกรด-เบสของสารละลาย ความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อมเมทิลีนบลู และอุณหภูมิ ผลการศึกษาพบว่าความสามารถในการดูดซับสีย้อมชนิดนี้ด้วยฝุ่นหินบะซอลต์มีค่า 0.83 มิลลิกรัมต่อกรัม และพบร้อยละการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูมีค่า 83.37 เมื่อใช้ตัวดูดซับปริมาณ 0.5 กรัม เข้าสู่ภาวะสมดุลภายในเวลา 60 นาที นอกจากนี้ไอโซเทอมของการดูดซับสีย้อมนี้สอดคล้องกับแบบแลงเมียร์ ($R^2 = 0.997$) พบร้อยละการดูดซับและประสิทธิภาพการดูดซับได้ดีในทุกสภาวะความเป็นกรด-เบสของสารละลาย เมื่อเพิ่มความเข้มข้นสีย้อมเมทิลีนบลูและอุณหภูมิพบว่าประสิทธิภาพการดูดซับมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ผลการวิจัยนี้ชี้ให้เห็นว่าฝุ่นหินบะซอลต์นี้สามารถประยุกต์ใช้เป็นตัวดูดซับสีย้อมและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

คำสำคัญ : ฝุ่นหินบะซอลต์; การดูดซับ; เมทิลีนบลู; ประสิทธิภาพการดูดซับ

Abstract

This present research aims to investigate the removal availability of methylene blue (MB) by basalt quarry dust waste from Buriram rock mining of Industrial, without chemical activation and calcination, inexpensive and readily available as absorbent. The factors influencing the adsorption capacities, i.e. adsorbent dosage, contact time, an acid-base of solution, initial dye of methylene

***ผู้รับผิดชอบบทความ :** phattaranan.ta@bru.ac.th **doi:** 10.14456/tstj.2020.137

blue concentration, and temperature, were studied. The results of the study showed that the adsorption capacities of dye adsorption by basalt quarry dust was 0.83 mg/g, and adsorption percentage was 83.37 with 0.5 g adsorbent dosage. The adsorption was approached into equilibrium within 60 minutes. Furthermore, the adsorption isotherm of the dye was well fitted with the Langmuir models (R^2 = 0.997). The results showed well-done of adsorption percentages and adsorption capacity in all acid-base of solutions. The trend of adsorption capacity was increased by expanding methylene blue concentration and temperature. The results of this research indicated that the basalt quarry dust would be applied to be an environmentally friendly adsorbent for organic dye adsorption.

Keywords: basalt quarry dust; adsorption; methylene blue; adsorption capacity

1. บทนำ

ปัจจุบันการย้อมผ้าจากสีย้อมธรรมชาติยังคงมีการใช้สารเคมีและสีเคมีเป็นวัตถุดิบอยู่ปริมาณมาก ยากที่จะกำกับให้ทั่วถึง และยังพบการทิ้งน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ ซึ่งมีค่าสีที่เป็นปัญหาต่อสิ่งแวดล้อม ทำให้น้ำนั้นไหลซึมลงดินและแหล่งน้ำลำคลองในชุมชน แหล่งน้ำใต้ดิน และแหล่งน้ำธรรมชาติของชุมชนเกิดการปนเปื้อน มีผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมโดยรวมทั้งระบบ และยังไม่สามารถเข้าไปแก้ไขปัญหาดังกล่าวอย่างทั่วถึง [1] แนวทางการกำจัดสีย้อมที่เกิดจากโรงงานอุตสาหกรรม คือ การดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ ซึ่งผลิตจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรโดยวิธีคาร์บอไนซ์เซชัน ส่งผลให้มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก และมีความสามารถในการดูดซับได้ดี เนื่องจากมีพื้นที่ผิวสูงและมีรูพรุนขนาดเล็กเป็นจำนวนมาก แต่หากต้องการเพิ่มปริมาณรูพรุนและพื้นที่ผิวจำเพาะจำนวนมากจะต้องผ่านการกระตุ้นโดยใช้สารเคมี ได้แก่ แคลเซียมคลอไรด์ ซิงค์คลอไรด์ กรดฟอสฟอริก และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ แต่สารเคมีดังกล่าวมีราคาสูงและสารเคมีบางชนิดมีอันตราย จึงไม่เหมาะที่จะนำมาใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอในครัวเรือนและอุตสาหกรรมผลิตผ้าไหมรายเล็กหรือใหญ่ มีผลต่อวิธีกำจัดสีย้อมที่ไม่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม [2]

จังหวัดบุรีรัมย์มีโรงโม่หินบะซอลต์จำนวนมาก หินบะซอลต์ คือ หินภูเขาไฟที่ดับสนิท ซึ่งนำมาใช้อย่างแพร่หลาย โดยต้องโม่หินบะซอลต์ทำให้ได้มวลรวมมีขนาดต่าง ๆ ที่มีความหนาแน่นสูงสำหรับงานก่อสร้าง แต่หินส่วนที่ถูกสกัดออก คือ ส่วนที่มีสีน้ำตาลและภายในมีรูพรุน (pore) คือ หินฝุ่นมีขนาดเล็กตั้งแต่ 5 มิลลิเมตร ลงมา แต่ด้วยสมบัติเนื้อหินมีลักษณะคล้ายฟองและเป็นโพรงเล็ก ๆ หรือรูพรุนจำนวนนับไม่ถ้วน ซึ่งเกิดจากฟอง อากาศที่ถูกกักอยู่ในลาวาขณะที่เกิดการเย็นตัว มีการศึกษานำหินที่เหลือดังกล่าวมาใช้ประโยชน์หลายประการ เช่น แก้ไขความเป็นกรดของดิน [3] การผลิตอิฐและกระเบื้องเซรามิก [4-7] และการผลิตเซรามิกแก้ว [8-10] แต่ส่วนที่ยังไม่มีการนำมาใช้ คือ ส่วนที่เป็นหินภายในมีรูพรุน ซึ่งโรงงานไม่สามารถนำหินดังกล่าวไปใช้เนื่องจากไม่แข็งแรง มีรูพรุน และลักษณะสีน้ำตาลแดง งานวิจัยนี้จึงนำมาใช้กำจัดสีย้อมอินทรีย์ เพื่อศึกษาความเป็นได้ในการทดแทนการใช้ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมด้วยวิธีคาร์บอไนซ์เซชัน ที่อุณหภูมิ 800-900 องศาเซลเซียส และ

เชื่อมต่อท่อในการให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เข้าไปในระบบ เพื่อให้เกิดการคาร์บอไนซ์เชชันได้อย่างสมบูรณ์ที่ระยะเวลา 15 นาที และผ่านการกระตุ้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับของถ่านกัมมันต์ด้วยซิงค์คลอไรด์ ที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส จากนั้นนำไปผ่านการคาร์บอไนซ์ที่อุณหภูมิ 650-800 องศาเซลเซียส [11] ถึงแม้จะพยายามหาแนวทางในการลดการใช้สารเคมีในการกระตุ้นถ่านกัมมันต์โดยเปลี่ยนมาเป็นการกระตุ้นทางกายภาพที่อุณหภูมิ 800-1,000 องศาเซลเซียส เพื่อให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมดีขึ้น [12]

ข้อมูลดังกล่าวข้างต้นชี้ให้เห็นว่าการใช้ถ่านกัมมันต์ในการกำจัดสีจากน้ำทิ้งสีย้อมต้องผ่านการเตรียมหลายขั้นตอน ยุ่งยาก และสิ้นเปลืองพลังงาน รวมทั้งมีต้นทุนการผลิตเพิ่มขึ้น ปัจจุบันจึงมีการศึกษาการใช้วัสดุดูดซับจากดินประเภทต่าง ๆ เน้นการกำจัดสีย้อมด้วยวิธีที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยไม่ผ่านกระบวนการเผาไหม้ที่อุณหภูมิสูง และกระตุ้นด้วยสารเคมี เช่น มอนต์มอริลโลไนท์ [13-15] เบนโทไนต์ [16-19] กลุ่มแร่ปาลีกอร์ซไกต์ [20] และเซปิไอไลต์ [21] แต่ดินเชิงพาณิชย์ดังกล่าวข้างต้นมีราคาค่อนข้างสูง อีกทั้งไม่ใช่ของเสียที่เหลือทิ้งและสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ งานวิจัยนี้เลือกใช้เมทิลีนบลู ซึ่งเป็นสีย้อมที่เป็นด่าง (basic dye, cationic dye) สีย้อมชนิดนี้เป็นเกลือของเบสอินทรีย์ (organic base) ให้ประจุลบละลายน้ำได้ สีย้อมประเภทนี้จะถูกดูดซับไว้บนพื้นผิวของดิน เมื่อดินอยู่ในสภาพแขวนลอยได้ดี [22]

เหตุผลดังกล่าวข้างต้นจึงนำมาสู่การศึกษาการกำจัดสีย้อมเมทิลีนบลูด้วยฝุ่นหินบะซอลต์เหลือทิ้งจากโรงโม่หินบุรีรัมย์ ก่อนปล่อยลงสู่สิ่งแวดล้อม โดยไม่ผ่านการกระตุ้นด้วยสารเคมี นับเป็นวิธีที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เพื่อใช้วัสดุเหลือทิ้งที่มีในท้องถิ่น นำไปสู่การใช้ทรัพยากรที่มีอยู่ให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด เป็นข้อมูลพื้นฐานด้วยการต่อยอดและทางเลือกใหม่ในการกำจัดสีในระดับอุตสาหกรรมการผลิตผ้าไหมและผ้าฝ้ายในอนาคตต่อไป

2. วิธีการวิจัย

2.1 การเตรียมวัตถุดิบ

ฝุ่นหินบะซอลต์ มีลักษณะเนื้อโพรงข่าย เนื้อหินผุ สีน้ำตาลแดงถึงเทาแดง นำมาจากโรงงานโม่หินนวรัตน์ ตำบลสวายจีก อำเภอเมือง จังหวัดบุรีรัมย์ (รูปที่ 1) ล้างแล้วตากให้แห้งในร่ม บดและร่อนคัดขนาดต่ำกว่าระดับ 140 เมช อบให้แห้งก่อนนำมาใช้ในการทดลอง

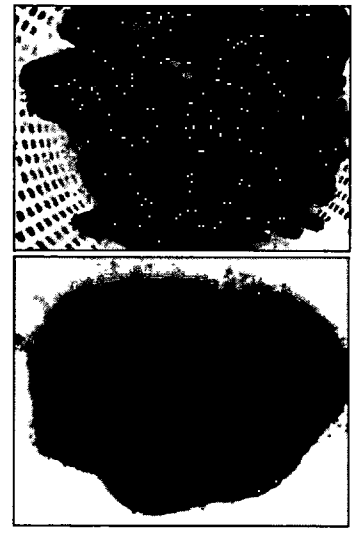

Figure 1 Buriram basalt quarry dust

2.2 ศึกษาคุณลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของฝุ่นหินบะซอลต์

วิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของฝุ่นหินบะซอลต์ ประกอบด้วยค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) (รุ่น HQ411d pH/mV) ค่าการนำไฟฟ้า (รุ่น HQ430d flexi) ค่าความสามารถในการแลก

เปลี่ยนประจุบวก ค่าเปอร์เซ็นต์อินทรียวัตถุ พื้นที่ผิวจำเพาะและขนาดรูพรุนเฉลี่ย (BET: Micromeritics รุ่น TriStar II 3020) โครงสร้างทางผลึก (XRD: รุ่น X'Pert MPD Philips) องค์ประกอบทางเคมี (XRF: รุ่น Megix Pro MUA/ USEP T84005, Philips) และวิเคราะห์ประจุที่ผิวเป็นศูนย์ ตามลำดับ

การหาประจุที่ผิวเป็นศูนย์ (pH at point of zero charge, pH_{pzc}) นำฝุ่นหินบะซอลต์ 0.5 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ที่ปรับความเป็นกรด-ด่าง ให้อยู่ในช่วงตั้งแต่ pH 1.0 ถึง 14.0 ด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 0.1 โมลาร์ และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 โมลาร์ นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าที่ความเร็ว 200 รอบต่อนาที ทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง ภายหลังการเขย่า นำผลการทดลองที่ได้มาพลอตกราฟระหว่างความเป็นกรด-ด่างเริ่มต้น (initial pH) และสุดท้าย (final pH) ประจุที่ผิวเป็นศูนย์ของตัวดูดซับหาได้จากวิธีการแบบดริฟท์เทส (drift test)

2.3 การกำจัดสีย้อมเมทิลีนบลู

ชั่งฝุ่นหินบะซอลต์ที่มีน้ำหนัก 0.5, 1, 2 และ 3 กรัม ลงในขวดรูปชมพู่ที่บรรจุสารละลายเมทิลีนบลูเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร จากนั้นนำขวดดังกล่าวมาเขย่าด้วยความเร็ว 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที และแช่ไว้ที่ระยะเวลา 120 นาที เก็บสารละลายไว้ในที่มืด และนำสารละลายมาหมุนเหวี่ยง 5,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที ศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมที่เวลา 5-120 นาที ศึกษาผลของความเข้มข้นสีย้อมเมทิลีนบลูต่อการดูดซับที่ความเข้มข้น 10, 20, 30 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร การศึกษาความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมของเมทิลีนบลู ที่มีช่วงความเป็นกรด-ด่าง 2.0, 5.0, 8.0 และ 12.0 ผลของอุณหภูมิต่อการดูดซับที่ 35, 40 และ 50 องศาเซลเซียส ทุกปัจจัยการวิจัยศึกษา 3 ซ้ำ จากนั้นนำไปหาความเข้มข้นที่เหลือจากการดูดซับจากทุกปัจจัยโดยใช้เครื่องยูวีวิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (T60 UV-visible spectrometer) ที่ความยาวคลื่น 660 นาโนเมตร นำค่าที่ได้มาคำนวณหาร้อยละการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูและประสิทธิภาพการดูดซับแสดงดังสมการที่ 1 และสมการที่ 2 [22] จากนั้นนำฝุ่นหินที่ผ่านการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูที่สภาวะเหมาะสมเปรียบเทียบฝุ่นหินบะซอลต์ที่ไม่ผ่านการดูดซับโดยศึกษาโครงสร้างสัณฐานวิทยาด้วยเทคนิค SEM-EDS (รุ่น Hitachi N3400S EDS EDAX)

นำค่าที่ได้คำนวณหาร้อยละการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูและประสิทธิภาพการดูดซับดังสมการที่ 1 และสมการที่ 2

$$\% \text{ adsorption} = [(C_0 - C_e) \div C_0] \times 100 \quad (1)$$

เมื่อ % Adsorption คือ ร้อยละการดูดซับ; C_0 คือ ความเข้มข้นเริ่มต้นของเมทิลีนบลู (มิลลิกรัมต่อลิตร); C_e คือ ความเข้มข้นของเมทิลีนบลู ณ สภาวะสมดุล (มิลลิกรัมต่อลิตร)

$$Q_e = [(C_i - C_e)\, V] \div M \quad (2)$$

เมื่อ Q_e คือ ประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลู (มิลลิกรัมต่อกรัม); C_i คือ ความเข้มข้นเริ่มต้นของเมทิลีนบลู (มิลลิกรัมต่อลิตร); C_e คือ ความเข้มข้นของเมทิลีนบลู ณ สภาวะสมดุล (มิลลิกรัมต่อลิตร); V คือ ปริมาตรสีย้อมเมทิลีนบลู (ลิตร); M คือ น้ำหนักของตัวดูดซับ (กรัม)

2.4 การศึกษาไอโซเทอมการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูของฝุ่นหินบะซอลต์

ชั่งฝุ่นหินบะซอลต์ตามน้ำหนักที่เหมาะสมที่ได้จากการศึกษาในข้อ 2.3 โดยใช้ความเข้มข้นของสารละลายเมทิลีนบูลที่ความเข้มข้น 10, 20, 30 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร จากนั้นทดลองเช่นเดียวกับข้อ 2.3 นำข้อมูลที่ได้ไปสร้างกราฟตามทฤษฎีของแลงเมียร์และฟรุนดิช เพื่อทำนายความ

สอดคล้องของไอโซเทอมการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูด้วยฝุ่นหินบะซอลต์ แบบจำลองไอโซเทอมสมการเส้นตรงของการดูดซับแบบแลงเมียร์ได้สมการที่ 3 [12]

$$q_e = (q_m K_L C_e) \div (1 + K_L C_e) \quad (3)$$

เมื่อ q_m คือ ปริมาณสูงสุดของตัวถูกดูดซับที่สามารถดูดซับแบบชั้นเดียว (มิลลิกรัมต่อกรัม); q_e คือ ปริมาณตัวถูกดูดซับบนตัวดูดซับที่สมดุล (มิลลิกรัมต่อกรัม); K_L คือ ค่าคงที่แลงมียร์

ไอโซเทอมแบบฟรุนดิชมีสมมุติฐานว่าการดูดซับเกิดขึ้นที่ตำแหน่งของพื้นผิวมีลักษณะไม่เป็นเนื้อเดียวกัน โดยผ่านกลไกของการดูดซับหลายชั้น ความสามารถในการดูดซับขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสีย้อมที่สมดุลเมื่อพิจารณาแบบจำลองไอโซเทอมของการดูดซับแบบฟรุนดิช ดังสมการที่ 4 [12]

$$q_e = K_F C_e^{1/n} \quad (4)$$

เมื่อ K_F คือ ค่าคงที่ฟรุนดิช; 1/n คือ ปัจจัยที่แสดงความไม่เป็นเนื้อเดียว

แบบจำลองไอโซเทอมสมการเส้นตรงของการดูดซับแบบฟรุนดิชเขียนได้ดังสมการที่ 5 [23]

$$\log q_e = \log K_F + 1/n \log C_e \quad (5)$$

3. ผลการวิจัยและวิจารณ์

3.1 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของฝุ่นหินบะซอลต์

ฝุ่นหินบะซอลต์ มีค่าพื้นที่ผิวจำเพาะ (specific surface area) 20.82 ตารางเมตรต่อกรัม ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) 7.82 ค่าการนำไฟฟ้า 138.33 ไมโครซีเมนต่อเซนติเมตร และความสามารถการแลกเปลี่ยนประจุบวก 3.00 มิลลิอิควิวาเลนต์ต่อ 100 กรัม และคุณลักษณะทางกายภาพอื่น ๆ ดังตารางที่ 1 นอกจากนี้ยังพบว่าฝุ่นหินบะซอลต์มีองค์ประกอบทางเคมีประกอบด้วยซิลิกา อะลูมินา เฟอร์ริกออกไซด์ และแคลเซียมออกไซด์ เป็นออกไซด์หลัก ดังตารางที่ 2 และเมื่อวิเคราะห์โครงสร้างทางผลึก พบเฟสหลัก คือ ควอตซ์ (quartz) แคลไซต์ (calcite) ฮีมาไทต์ (hematite) เฟลด์สปาร์ (feldspar) และอิลไลท์ (illite) ดังรูปที่ 2

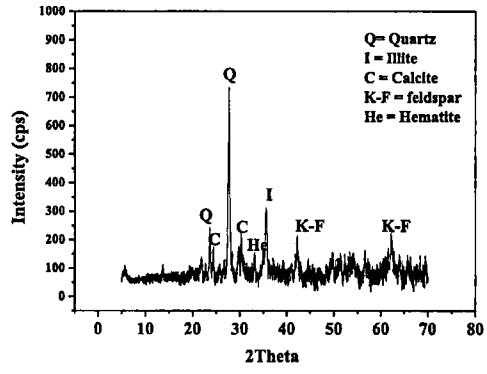

Figure 2 X-ray diffractogram of Buriram basalt quarry dust

Table 1 Physical properties of Buriram basalt quarry dust

Buriram basalt quarry dust	Physical properties	Methods
pH	7.82	pH-meter
Conductivity ($\mu S/cm^{-1}$)	138.33	Conductivity meter
Cation exchange capacity (CEC) (meq/100g)	3.00	Cation exchange by NH_4^+
Percent of organic matter (%)	1.82	Walkley and Black (1965)
Specific surface area (m^2/g)	20.82	BET
Average porosity (nm)	7.8	BET

Table 2 Chemical composition of Buriram basalt quarry dust

Oxides	Buriram basalt quarry dust (%)
SiO_2	51.50
Al_2O_3	14.50
Fe_2O_3	9.10
CaO	6.40
Na_2O	4.40
MgO	4.70
K_2O	1.40
Other oxide	8.00

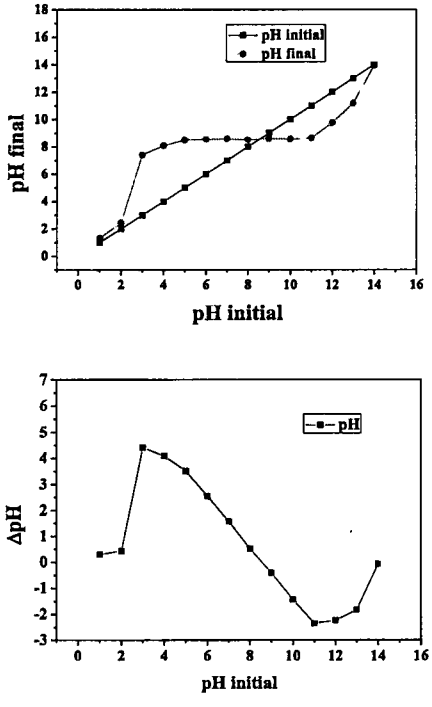

Figure 3 Point of zero charge of Buriram basalt quarry dust

รูปที่ 3 ผลการวิเคราะห์หา point of zero charge (pH_{PZC}) หรือระดับค่า pH ที่ทำให้พื้นผิวของอนุภาคมีประจุเป็นศูนย์หรือเป็นกลางทางไฟฟ้า การหาค่า pH_{PZC} ของฝุ่นหินบะซอลต์เพื่อให้รู้กลไกของการดูดซับ การดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูซึ่งมีประจุบวกเกิดขึ้นได้ดีที่ $pH < pH_{PZC}$ ขณะที่การดูดซับของตัวดูดซับที่มีประจุลบเกิดได้ดีที่ $pH > pH_{PZC}$ โดยทั่วไปการดูดซับของตัวดูดซับที่มีประจุลบจะทำให้ค่า pH_{PZC} เพิ่มขึ้น ขณะที่การดูดซับประจุบวกจะทำให้ค่า pH_{PZC} ลดลง ผลการทดลองพบว่าฝุ่นหินบะซอลต์สามารถดูดซับโมเลกุลสีย้อมเมทิลีนบลูที่มีประจุบวกได้ดีที่ pH น้อยกว่า 8.20

3.2 ผลของปัจจัยที่มีผลต่อการกำจัดสีย้อมเมทิลีนบลูด้วยฝุ่นหินบะซอลต์

3.2.1 ปริมาณฝุ่นหินบะซอลต์ที่เหมาะสม

การศึกษาปริมาณฝุ่นหินบะซอลต์ต่อการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลู พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณของฝุ่นหินบะซอลต์เพิ่มขึ้นจาก 0.5-3 กรัม มีร้อยละการดูดซับเพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อเพิ่มปริมาณตัวดูดซับเปรียบเสมือนการเพิ่มพื้นที่ผิว เพิ่มโอกาสในการดูดซับและบริเวณที่เกิดการดูดซับมีสูงขึ้นส่งผลให้ประสิทธิภาพการดูดซับเพิ่มขึ้น โดยพื้นที่ผิวเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณตัวดูดซับ [24] แต่เมื่อเพิ่มปริมาณฝุ่นหินบะซอลต์เป็น 2 กรัม พบว่าร้อยละการดูดซับเริ่มคงที่และเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูมีแนวโน้มลดลง ผลการทดลองดังกล่าวพบว่าสอดคล้องกับการศึกษาการกำจัดสีย้อมเมทิลีนบลูด้วยดินมอนต์มอริลโลไนท์ เมื่อศึกษาผลของปริมาณดินต่อการดูดซับ [25] ดังนั้นปริมาณฝุ่นหินบะซอลต์ที่เหมาะสมที่ใช้ในการทดลองนี้ คือ 0.5 กรัม ต่อปริมาตรสารละลาย 50 มิลลิลิตร ซึ่งสามารถดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูร้อยละ 83.37 มีร้อยละการดูดซับใกล้เคียงกับปริมาณ 1, 2 และ 3 กรัม ดังรูปที่ 4 จึงเป็นเหตุผลให้เลือกใช้ปริมาณฝุ่นหินบะซอลต์ปริมาณ 0.5 กรัม ศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการดูดซับ

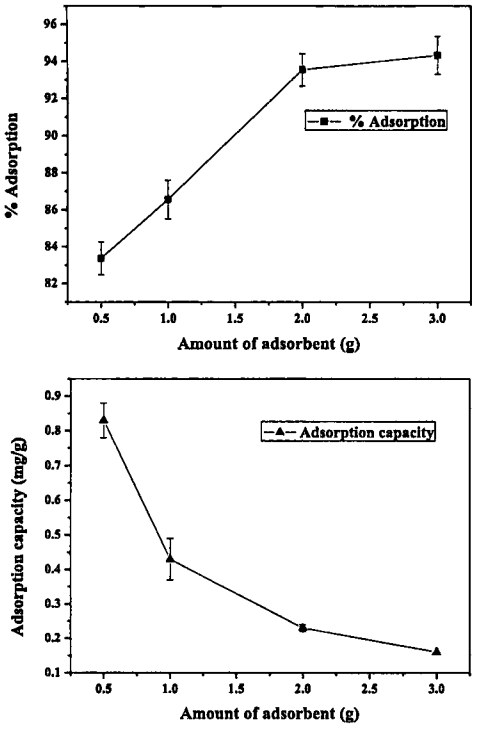

Figure 4 Effect of adsorbent mass on adsorption percentages and adsorption capacity (n = 3)

3.2.2 เวลาที่เหมาะสมในการดูดซับ

รูปที่ 5 ผลการศึกษาเวลาที่เหมาะสมของฝุ่นหินบะซอลต์ในการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลู โดยศึกษาช่วงระยะเวลาในการดูดซับ 5-120 นาที พบว่าการดูดซับเกิดรวดเร็วที่ 5-10 นาที เมื่อใช้ระยะเวลาในการดูดซับเพิ่มมากขึ้น ความสามารถในการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากเป็นการเพิ่มโอกาสของสีย้อมในการสัมผัสกับพื้นผิวฝุ่นหินบะซอลต์ และเริ่มคงที่เมื่อการดูดซับเข้าสู่สภาวะสมดุล ซึ่งสอดคล้องกับรายงานวิจัยของ Elmoubarki และคณะ [28] และงานวิจัยนี้ที่เวลา 60 นาที เป็นเวลาที่ฝุ่นหินบะซอลต์เริ่มเข้าสู่สภาวะสมดุล พบร้อยละการดูดซับและประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูมีค่า 98.09 และ 0.98 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ และเมื่อเพิ่มระยะเวลาพบว่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับมีแนวโน้มคงที่

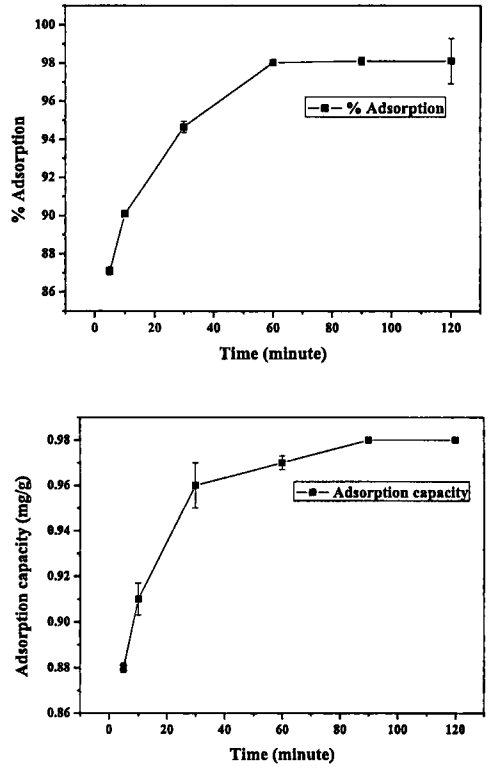

Figure 5 Effect of times on adsorption percentages and adsorption capacity (n = 3)

3.2.3 ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายสีย้อมเมทิลีนบลูต่อการดูดซับ

รูปที่ 6 ผลความเข้มข้นของสารละลายต่อการดูดซับ เมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้นส่งผลต่อการดูดซับบนฝุ่นหินบะซอลต์เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เพราะความเข้มข้นของสารละลายที่สูงขึ้น ส่งผลต่อแรงขับเชิงมวลของความเข้มข้นสีย้อมเมทิลีนบลูระหว่างสารละลายและบนพื้นผิวที่มากขึ้นทำให้อนุภาคของสีย้อมเมทิลีนบลูเคลื่อนที่เข้าสู่พื้นผิวของฝุ่นหินบะซอลต์ได้เร็วขึ้น

เพราะสมดุลเชิงมวลทำให้ความเข้มข้นของสารเคลื่อนที่จากบริเวณที่มีความเข้มข้นสูงไปยังบริเวณที่มีความเข้มข้นต่ำกว่า [22]

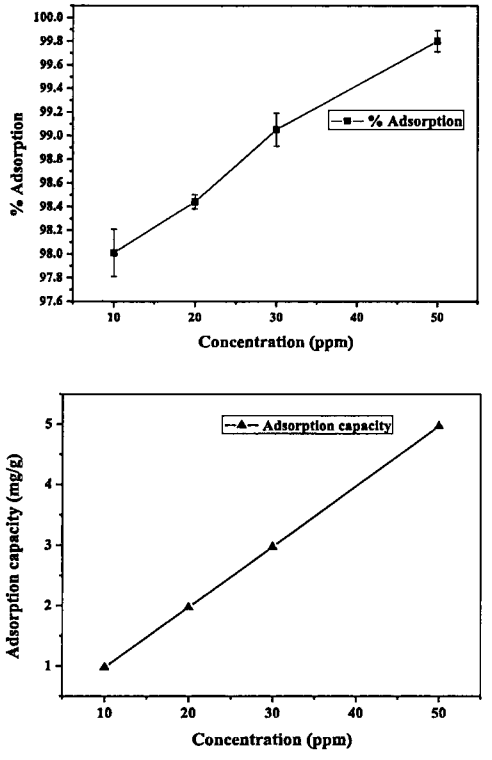

Figure 6 Effect of initial concentrations on adsorption percentages and adsorption capacity (n = 3)

3.2.4 ความเป็นกรด-ด่างของสารละลายสีย้อมเมทิลีนบลู

ความเป็นกรด-ด่าง (2.0-12.0) ของสารละลายสีย้อมเมทิลีนบลูที่มีผลต่อการดูดซับของฝุ่นหินบะซอลต์ ดังรูปที่ 7 การดูดซับด้วยฝุ่นหินบะซอลต์ที่ความเป็นกรด-ด่างของสารละลายเมทิลีนบลู พบว่าร้อยละการดูดซับและประสิทธิภาพการดูดซับไม่ต่างกัน ชี้ให้เห็นชัดว่าฝุ่นหินบะซอลต์สามารถกำจัดสีย้อมอินทรีย์ได้ดีทุกสภาวะ นอกจากนี้ยังพบว่าน้ำทิ้งตัวอย่างจากโรงงานฟอกย้อมสีจะมีค่าความเป็นกรด-ด่าง 5.0-6.0 ซึ่งทำให้ง่ายต่อการนำไปปฏิบัติจริง และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Youssef และคณะ [27] ที่พบว่าค่าความเป็นกรด-ด่าง 5 มีผลต่อความสามารถในการดูดซับสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบค่าความเป็นกรด-ด่างต่าง ๆ

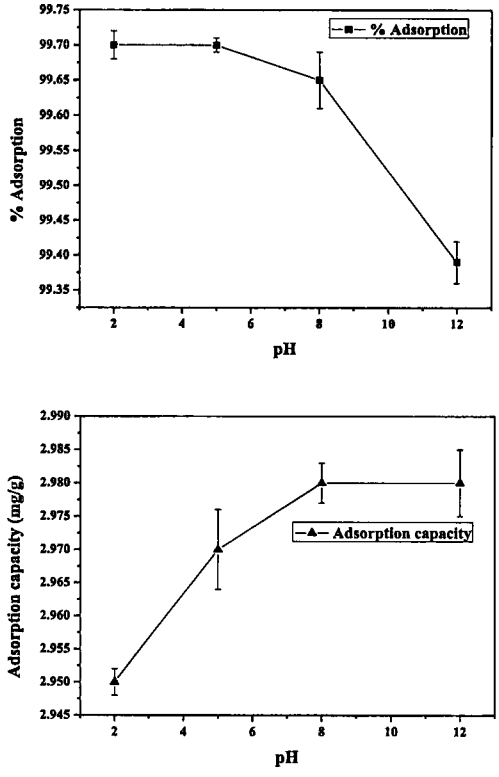

Figure 7 Effect of initial pH on adsorption percentages and adsorption capacity (n = 3)

3.2.5 ผลของอุณหภูมิของสารละลายสีย้อมเมทิลีนบลู

ผลการศึกษาอุณหภูมิต่อการดูดซับที่อุณหภูมิ 35, 40 และ 50 องศาเซลเซียส ดังรูปที่ 8 พบว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น มีผลทำให้ความสามารถการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม ไม่พบ

ความแตกต่างของประสิทธิภาพการดูดซับโดยเฉพาะระหว่างอุณหภูมิ 40 และ 50 องศาเซลเซียส โดยพบความสามารถการดูดซับมีค่าใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตาม เมื่ออุณหภูมิที่สูงขึ้นมีผลต่อพลังงานจลน์ ทำให้การเคลื่อนที่ของสีย้อมเมทิลีนบลูเกิดได้เร็วขึ้น เป็นผลให้ความสามารถในการดูดซับเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัย Youssef และคณะ [27] เมื่อเพิ่มอุณหภูมิจาก 35 เป็น 45 องศาเซลเซียส ประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมเมทิลีนบลูเพิ่มขึ้นจาก 336.74 เป็น 352.47 มิลลิกรัมต่อกรัม

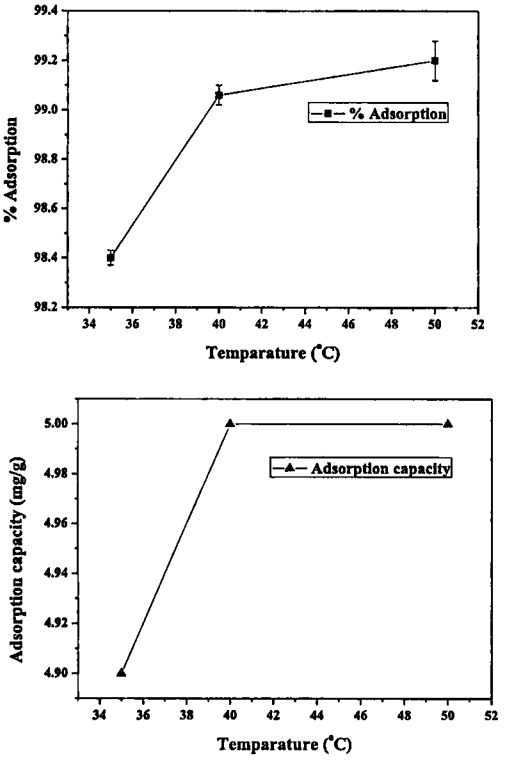

Figure 8 Effect of temperature on adsorption percentages and adsorption capacity (n = 3)

3.2.6 ผลการศึกษาไอโซเทอมการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูจากฝุ่นหินบะซอลต์

ผลการศึกษาไอโซเทอมการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลู ไอโซเทอมการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูเป็นการหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของสีย้อม เมทิลีนบลูที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักของฝุ่นหินบะซอลต์กับความเข้มข้นของสีย้อมเมทิลีนบลูที่เหลืออยู่ที่สภาวะสมดุล ณ อุณหภูมิที่คงที่ เพื่อหาไอโซเทอมที่เหมาะสมเพื่อใช้อธิบายลักษณะการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูของฝุ่นหินบะซอลต์ โดยนำผลข้อมูลมาหาความสัมพันธ์ตามแบบจำลองไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงเมียร์ และแบบจำลองไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรุนลิช และเปรียบเทียบค่าคงที่ไอโซเทอมการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูกับวัสดุดูดซับอื่น ๆ พบว่าไอโซเทอมการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูโดยใช้ฝุ่นหินบะซอลต์ เมื่อใช้สมการแลงเมียร์และฟรุนดิช ดังรูปที่ 9A และ 9B ตามลำดับ การดูดซับสอดคล้องกับการดูดซับแบบแลงเมียร์เมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) มีค่า 0.997 และพบว่าค่า K จากไอโซเทอมแลงเมียร์ในการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูด้วยฝุ่นหินบะซอลต์มีค่าน้อยกว่าหนึ่ง แสดงว่าปริมาณโมเลกุลสีย้อมถูกดูดซับไว้ได้น้อยกว่าบนพื้นที่ผิวของฝุ่นหินบะซอลต์ เนื่องจากขนาดรูพรุนของฝุ่นหินบะซอลต์พบขนาดรูพรุนเฉลี่ยอยู่ในช่วงรูพรุนขนาดกลาง (mesoporous) 7.8 นาโนเมตร ส่งผลต่อการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูที่มีขนาดโมเลกุลภาคตัดประมาณ 0.8 นาโนเมตร [28] ส่งผลให้การแพร่ของโมเลกุลของสีย้อมอินทรีย์ถูกละลายเข้าสู่โพรงและรูพรุนได้ ความพรุนมีส่วนช่วยในการดูดซับเพิ่มขึ้นแม้พื้นที่ผิวจำเพาะต่ำ โดยเฉพาะขนาดโมเลกุลหน้าตัดสีย้อมเมทิลีนบลูขนาดเล็กกว่าขนาดรูพรุนของฝุ่นหินบะซอลต์ ดังรูปที่ 10A และ 10B ตามลำดับ ขณะที่ไอโซเทอมฟรุนดิชเมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) ไอโซเทอมแลงเมียร์มีค่า 0.963 เมื่อเปรียบเทียบการดูดซับของฝุ่นหินบะซอลต์ ซึ่งเป็นหินที่เกิดจากการเย็นตัวของลาวา โดยที่ไม่ผ่านการดัดแปร

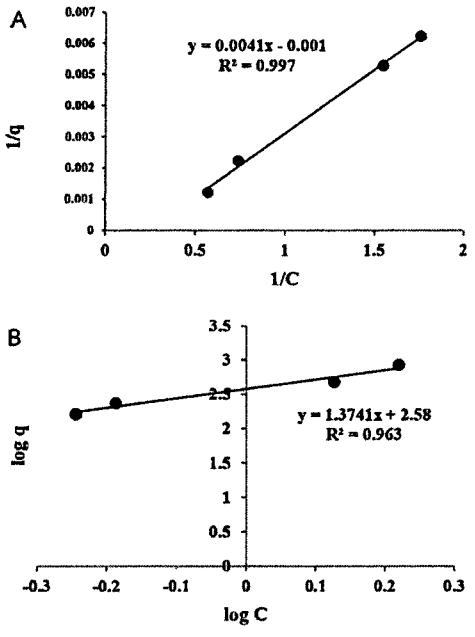

Figure 9 (A) Langmuir adsorption isotherm and (B) Freundlich adsorption isotherm

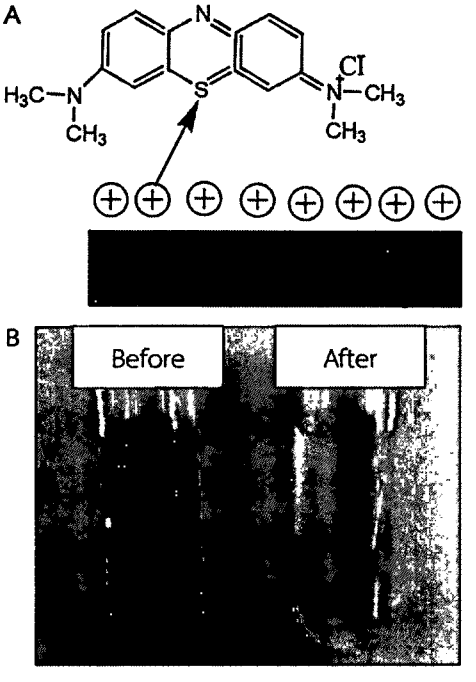

Figure 10 (A) Mechanism of adsorption and (B) Adsorption MB before and after by Buriram basalt quarry dust

และไม่ผ่านการเผาแคลไซต์ สามารถนำมาประยุกต์ใช้ดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลู แต่มีข้อจำกัดของวัสดุดูดซับประเภทอนินทรีย์ คือ ดูดซับได้เพียงบางโมเลกุล และมีค่าพื้นที่ผิวจำเพาะที่ต่ำ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับดินชนิดต่าง ๆ เช่น ดินเบนโทไนต์ที่มีมูลค่าเชิงพาณิชย์ นิยมใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิก [29] และเครื่องสำอาง [30] แต่ผลการวิจัยในการทำนายการดูดซับสอดคล้องกับงานที่นำดินโมรอกโกที่ไม่ผ่านการดัดแปร ซึ่งมีพื้นที่ผิวจำเพาะ 33.08 ตารางเมตรต่อกรัม และค่าความสามารถการแลกเปลี่ยนประจุบวก 9 มิลลิอิควิวาเลนต์ต่อ 100 กรัม สามารถอธิบายการดูดซับโดยใช้ไอโซเทอมแบบแลงเมียร์ซึ่งเป็นการดูดซับแบบชั้นเดียว (monolayer) [26]

3.2.7 โครงสร้างสัณฐานวิทยาของฝุ่นหินบะซอลต์ก่อนและหลังดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลู

รูปที่ 11A และ 11C พบว่าลักษณะสัณฐานของฝุ่นหินบะซอลต์ก่อนดูดซับและหลังดูดซับไม่ต่างกัน และเมื่อวิเคราะห์ธาตุเชิงปริมาณด้วย EDS/EDX ของฝุ่นหินบะซอลต์ก่อนดูดซับจากรูปที่ 11B พบมีธาตุองค์ประกอบหลัก คือ Al, Si, Ca และ O ซึ่งสอดคล้องกับการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิค XRF และโครงสร้างทางผลึกด้วยเทคนิค XRD แต่เมื่อทำ EDS ของฝุ่นหินบะซอลต์หลังดูดซับ จากรูปที่ 11D พบมีธาตุองค์ประกอบหลัก คือ Al, Si, Fe และ Ti ซึ่งสอดคล้องกับการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิค XRF และโครงสร้างทางผลึกด้วยเทคนิค XRD และพบธาตุที่เป็นองค์ประกอบเพิ่มเติม คือ C, N, S และ Cl และสอดคล้องดังโครงสร้างสีย้อมเมทิลีนบลู ดังรูปที่ 10A เป็นข้อมูลที่ชี้ให้เห็นชัดว่าฝุ่นหินบะซอลต์สามารถดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูได้จริง และเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูกับดินชนิดต่าง ๆ ที่มีพื้นที่ผิวจำเพาะต่ำ และมูลค่าทางเศรษฐกิจ ซึ่งฝุ่นหินบะซอลต์เป็นวัสดุที่เป็นมิตรต่อ

สิ่งแวดล้อม เนื่องจากปราศจากการกระตุ้นด้วยสารเคมีและการเผาแคลไซต์ที่อุณหภูมิสูง พบว่าฝุ่นหินบะซอลต์ที่มีพื้นที่ผิวจำเพาะ 20.82 ตารางเมตรต่อกรัม และไม่ผ่านกระบวนการกระตุ้นด้วยสารเคมีและการเผาแคลไซต์ พบประสิทธิภาพการดูดซับ 4.97 มิลลิกรัมต่อกรัม โดยใกล้เคียงกับดินไนจีเรียมีพื้นที่ผิวจำเพาะ 22.04 ตารางเมตรต่อกรัม มีประสิทธิภาพดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลู 4.21 มิลลิกรัมต่อกรัม [29,31] และมีประสิทธิภาพการดูดซับใกล้เคียงดินตุรกีที่มีพื้นที่ผิวจำเพาะ 30 ตารางเมตรต่อกรัม เมื่อใช้ในการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูพบประสิทธิภาพการดูดซับ 4.4-6.3 มิลลิกรัมต่อกรัม [32]

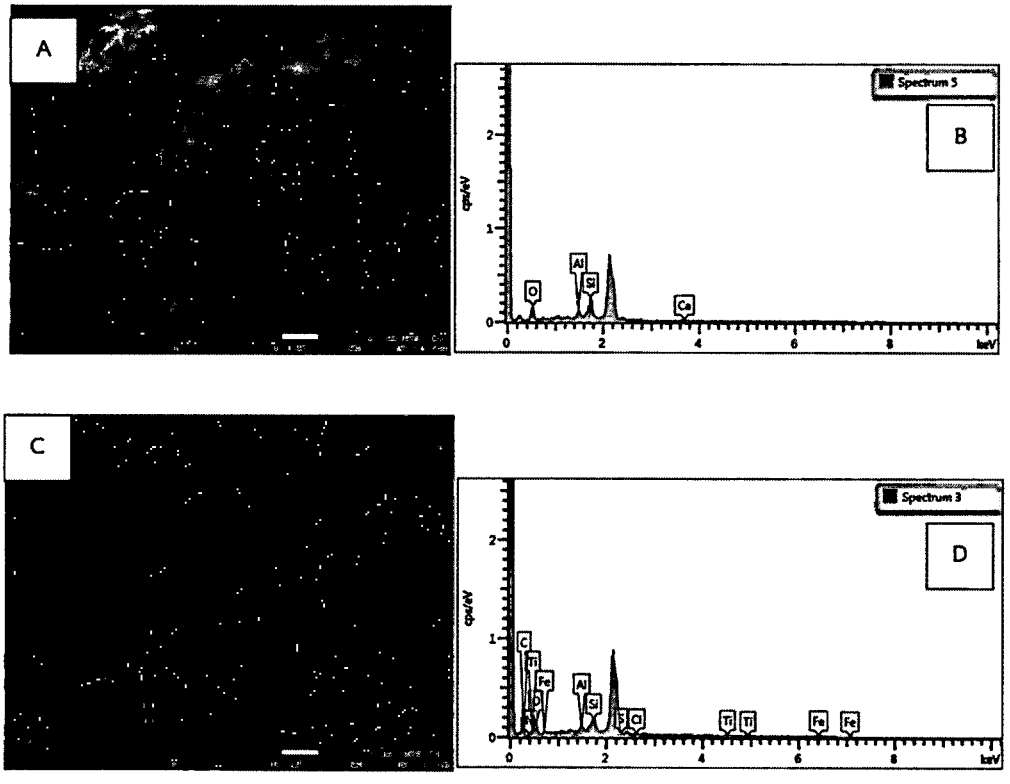

Figure 11 (A, C) Microstructure by SEM of before and after adsorption and (B, D) EDS/EDX of adsorption MB before and after by Buriram basalt quarry dust

4. สรุป

ฝุ่นหินบะซอลต์ที่เหลือทิ้งจากการระเบิดหินมีพื้นที่ผิวจำเพาะ 20.82 ตารางเมตรต่อกรัม ขนาดรูพรุนเฉลี่ย 7.8 นาโนเมตร เมื่อนำมาศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูพบว่าปริมาณฝุ่นหินบะซอลต์ 0.5 กรัม ที่ระยะเวลา 60 นาที มีความสามารถในการดูดซับสูงสุด ที่ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ผลของอุณหภูมิพบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิ ประสิทธิภาพการดูดซับและร้อยละการดูดซับเพิ่มขึ้น และค่าความเป็นกรด-ด่างพบว่าฝุ่นหินบะซอลต์ดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูได้ดีทั้งสภาวะความเป็นกรดและด่าง เมื่อศึกษาไอโซเทอมการดูดซับ มีแนวโน้มสอดคล้องกับไอโซเทอมแบบแลงเมียร์มากกว่าไอโซเทอมแบบฟรุนดิช แสดงให้เห็นว่าสามารถนำฝุ่น

หินบะซอลต์ที่ไม่มีมูลค่า นำมาใช้เป็นวัสดุดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูได้ดี สามารถประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำเสียในอนาคตต่อไป

5. References

[1] Chanpit, S. Prayad, T., Buddhachard, L. and Pakwipa, P. , 2012, Quality Silk Production: Mulberry Leaf Tea for Commercial Production, Available Source: http://www.qsds/KMweb/knowledge/km 2-55.pdf, October 22, 2017. (in Thai)

[2] Riham, H. and Mohamed, H. , 2015, Adsorption of cationic dye from aqueous solution onto activated carbon prepared from olive stones, Environ. Technol. Innovat. 4: 36-51.

[3] Mayuree, P., 2012, Mineral for Agriculture, Department of Primary Industries and Mines, Available Source: http: / / www. kasate.com, October 22, 2017. (in Thai)

[4] Medhat, S. E. M., 2008, Characteristics of acid resisting bricks made from quarry residues and waste steel slag, Constr. Build. Mater. 22: 1887-1896.

[5] El-Alfi, E.A., Othman, A.G. and Elwan, M.M., 1999, Physico- mechanical properties of basalt-clay bricks, Ind. Ceram. 19: 145-150.

[6] El-Alfi, E. A., Radwan, A. M. and Ali, M. H., 2004, Physico- mechanical properties of basalt bricks, Int. Ceram. Rev. 53: 178-181.

[7] Youssef, N. F., Osman, T. A. and El-Shimy, E., 2004, Utilization of granite–basalt fine quarry waste in a ceramic floor tile mixture, J. Silicate Ind. 69: 7-13.

[8] Yilmaz, S. Ozkan, O.T. and Gunay, V., 1996, Crystallization kinetics of basalt glass, Ceram. Int. 22: 477-481.

[9] Abdel- Hameed, S. A. M. and Bakr, I. M., 2007, Effect of alumina on ceramic properties of cordierite glass-ceramic from basalt rock, J. Eur. Ceram. Soc. 27: 1893-1897.

[10] Karamanov, A. Ergul, S., Akyildiz, M. and Pelino, M., 2007, Sinter-crystallization of a glass obtained from basaltic tuffs, J. Non-Cryst. Solids. 354: 290-295.

[11] Zahangir A.M., Emad, S.A., Suleyman, A.M. and Nassereldeen, A.K., 2009, The factors affecting the performance of activated carbon prepared from oil palm empty fruit bunches for adsorption of phenol, Chem. Eng. J. 155: 191-198.

[12] Mohammed, N. M. and Muhammad, A.A.Z., 2015, Preparation and characteriza tion of activated carbon from pineapple waste biomass for dye removal, Int. Biodeterior. Biodegrad. 102: 274-280.

[13] Cottet, L., Almeida, G. A. P., Naidek, N., Viante, M. F., Lopes, M. C. and Debacher, N. A., 2014, Adsorption characteristics of monmorillonite clay modified with iron oxide with respects to methylene blue in aqueous media, Appl. Clay Sci. 95: 25-31.

[14] Wibulswas, R., 2004, Batch and fixed bed sorption of methylene blue on precursor and QACs modified montmorillonite, Sep.

Purif. Technol. 39: 3-12.

[15] Almeida, C.A., Debacher, N.A., Downs, A.J., Cottet, L. and Mello, C.A., 2009, Removal of methylene blue from colored effluents by adsorption on montmorillonite clay, J. Colloid Interface Sci. 332: 46-53.

[16] Ivana, S., Dragoljub, G., Stanisa, S., Ivan, S. and di Stefano, G., 2014, Modelling and optimization of methylene blue adsorption from aqueous solution using bentonite clay, Comput. Aided Chem. Eng. 33: 1417-1422.

[17] Hajjaji, M. and El Arfaoui, H. , 2009, Adsorption of methylene blue and zinc ions on raw and acid-activated bentonite from Morocco, Appl. Clay Sci. 46: 418-421.

[18] Nilgün, Y., Cengiz, B., Müşerref, O. and Yüksel, S. 2012, Simultaneous determina tion of cation exchange capacity and surface area of acid activated bentonite powders by methylene blue sorption, Appl. Surf. Sci. 258: 2534-2539.

[19] Anirudhan, T.S. and Ramachandran, M., 2015, Adsorptive removal of basic dyes from aqueous solutions by surfactant modified bentonite clay (organoclay) : Kinetic and competitive adsorption iso therm, Process Saf. Environ. 95: 215-225.

[20] Yuan, Z., Wenbo, W., Junping, Z., Peng, L. and Aiqin W., 2015, A comparative study about adsorption of natural palygorskite for methylene blue, Chem. Eng. J. 262: 390-398.

[21] İlknur, K. and Savaş S., 2010, Adsorption of methylene blue onto sonicated sepiolite from aqueous solutions, Ultrason. Sonochem. 17: 250-257.

[22] Ihssane, B. and Benamar, M. , 2017, Adsorption of Bezathren dyes onto sodic bentonite from aqueous Solutions, J. Taiwan Inst. Chem. Eng. 75: 105-111.

[23] Harez, R., Ahmed, S., Jassim, R., Bakhtyar, K.A., 2017, Removal of Leishman stain from aqueous solutions using natural clay of Qulapalk area of Kurdistan region of Iraq, Karbala. Int. J. Mod. Sci. 3: 165-175.

[24] Ozer, D., Dursum, G. and Ozer, A., 2007, Methylene blue adsorption from aqueous solution by dehydrated peanut hull, J. Hazard. Mater. 144: 171-179.

[25] Almeida, C.A.P., Debacher, N.A., Downsc, A.J., Cotteta, L. and Mello, C.A.D., 2009, Removal of methylene blue from colored effluents by adsorption on montmoril lonite clay, J. Colloid Interface Sci. 332: 46-53.

[26] Elmoubarki, R., Mahjoubi, F.Z., Tounsadi, H., Moustadraf, J. M., Abdennouri, A., Zouhri, A. And ElAlbani, N. B., 2015, Adsorption of textile dyes on raw and decanted Moroccan clays: Kinetics, equilibrium and thermodynamics, Water Resour. Ind. 9: 16-29.

[27] Youssef, A.M., Al-Awadhi, M.M. and Akl, M.A., 2014, Solid phase extraction and spectrophotometric determination of

methylene blue in environmental samples using bentonite and acid activated bentonite from Egypt, J. Anal. Bioanal. Tech. 5: 1-8.

[28] Sumrit, M., 2015, Activated Carbon, Naresuan University Publishing, Phitsanu lok. (in Thai)

[29] Silva, R.V., de Brito, J., Lye, C.Q. and Dhir, R. K., 2017, The role of glass waste in the production of ceramic- based products and other applications: A review, J. Cleaner Prod. 167: 346-364.

[30] Shah, L., Valenzuela, M., Ehsan, A., Díaz, F. and Khattak, N., 2013, Characterization of Pakistani purified bentonite suitable for possible pharmaceutical application, Appl. Clay Sci. 83-84: 50-55.

[31] Daniel, C., Emeniru, O.D., Onukwuli, P.D.W. and Momohjimo, A. O., 2015, Adsorption characteristics of Ekowe clay and uptake kinetics of methylene blue onto the raw and modified clay, Int. J. Multi. Sci. Eng. 6(5): 9-19.

[32] Gu¨rses, A., Dogar, C., Yalcin, M., Acikyildiz, M., Bayrak, R. and Karaca, S., 2006, The adsorption kinetics of the cationic dye, methylene blue, onto clay, J. Hazard. Mater. B 131: 217-228.