



การดูดซับสารอินทรีย์และสีย้อมจากน้ำทิ้งการผลิตผ้าบาติกด้วยถ้ำลอย ไม้ยางพารา

กมลรัตน์ เกลี้ยงประดิษฐ์¹, นฤมล ทองมาก² และ พรทิพย์ ศรีแดง¹

¹ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร

²คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา

* ผู้ประสานงานเผยแพร่ (Corresponding Author), E-mail: narumol.t@yru.ac.th; Kliangpradit.K@gmail.com

วันที่รับบทความ: 5 พฤศจิกายน 2563; วันที่ทบทวนบทความ: 21 ธันวาคม 2563; วันที่ตอบรับบทความ: 23 ธันวาคม 2563

วันที่เผยแพร่ออนไลน์: 4 กุมภาพันธ์ 2564

บทคัดย่อ: งานวิจัยนี้ศึกษาการใช้ประโยชน์จากถ้ำลอยไม้ยางพาราสำหรับบำบัดน้ำทิ้งจากการผลิตผ้าบาติกที่ค่า pH ระหว่าง 5-8 ด้วยถ้ำลอยขนาดช่วง 75-300 ไมครอน ระยะเวลาสัมผัส 2-24 ชั่วโมง และปริมาณถ้ำลอยไม้ยางพารา 5-150 กรัมต่อลิตร ที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการดูดซับซีโอติ์และสีย้อม ผลศึกษาที่ดำเนินการทดลองแบบกะ (Batch Method) พบว่า ประสิทธิภาพการดูดซับซีโอติ์และสีย้อม มีค่าประมาณร้อยละ 96 และ 98 ตามลำดับ ที่สภาวะเหมาะสม คือ pH 7 ด้วยการใช้ถ้ำลอยไม้ยางพารารวมทุกขนาด (ไม่ผ่านการคัดขนาด) มีขนาดของรูพรุนเฉลี่ย 8.02 นาโนเมตร และพื้นที่ผิวเฉลี่ย 65.03 ตารางเมตรต่อกรัม ภายใต้ระยะเวลาสัมผัส 16 ชั่วโมง ที่ปริมาณถ้ำลอย 100 กรัมต่อลิตร โดยผลการดูดซับซีโอติ์ด้วยถ้ำลอยไม้ยางพาราสอดคล้องกับไอโซเทอมของฟรุนดลิช ด้วยค่า R^2 0.8828 มีลักษณะการดูดซับทางกายภาพบนพื้นผิวของถ้ำลอยแบบเส้นตรงที่ค่า $\frac{1}{n}$ เท่ากับ 1.0365

คำสำคัญ: ถ้ำลอย; การดูดซับ; น้ำทิ้งผ้าบาติก; ซีโอติ์; สีย้อม

Adsorption of Organic Substance and Dyestuff from Batik Textiles Wastewater by Rubber Wood Fly Ash

Kamonrat Kliangpradith¹, Narumol Thongmak^{2*} and Porntip Sridang¹

¹ Department of Environmental Science, Faculty of Science, Silpakorn University

² Faculty of Science Technology and Agriculture, Yala Rajabhat University

* Corresponding author, E-mail: narumol.t@yru.ac.th; Kliangpradit.K@gmail.com

Received: 5 November 2020; Revised: 21 December 2020; Accepted: 23 December 2020

Online Published: 4 February 2021

Abstract: This research has studied the utilization of rubber wood fly ash for batik textiles wastewater treatment at 5-8 of pH value, 75-300 μm of fly ash size, 2-24 hours of contact time and 5-50 g/L of fly ash dose which effected on the adsorption efficiency of COD and dyestuff removal. The batch experiment results showed that the adsorption efficiency of COD and dyestuff removal was about 96 % and 98 % at the optimum conditions, pH 7, the total size of fly ash (no sieve) with 8.02 nm of average pore size and 65.03 m^2/g of average surface area, 16 hours of contact time and 100 g/L of fly ash dose. The organic adsorption in term of COD by rubber wood fly ash was analyzed and fitted with Freundlich isotherm under R^2 0.8828. This result correlated with the linear physical adsorption characteristic on the surface area of fly ash at $\frac{1}{n}$ value of 1.0365.

Keywords: Fly ash; Adsorption; Batik wastewater; COD; Dyestuff



1. บทนำ

ผ้าบาติกมีการผลิตกันแพร่หลายในจังหวัดทางภาคใต้ของประเทศไทย การผลิตผ้าบาติกสามารถผลิตได้ในระดับอุตสาหกรรมและครัวเรือน กระบวนการผลิตผ้าบาติกประกอบด้วย การเตรียมผ้า การเตรียมเทียนหรือการผสมเทียน การเขียนเทียน การแต้มหรือย้อมสี การเคลือบน้ำยาไซเดียมซัลเฟต การลอกเทียน การตากผ้า และตกแต่งผ้า ซึ่งขั้นตอนในกระบวนการผลิตผ้าบาติกก่อให้เกิดปัญหาน้ำเสียจากขั้นตอนการลอกเทียนและขั้นตอนการล้างสีย้อมออกจากผ้า ลักษณะของน้ำเสียมีซีโอดี (COD) สูงประมาณ $2,334.00 \pm 290.36$ มิลลิกรัมต่อลิตร [1] ในปัจจุบันการบำบัดน้ำเสียมียหลายวิธี ได้แก่ การบำบัดทางกายภาพ การบำบัดทางเคมี และการบำบัดทางชีวภาพ โดยกระบวนการดูดซับ (Adsorption Process) เป็นวิธีการบำบัดน้ำเสียทางกายภาพ เคมี ที่ได้รับการยอมรับว่ามีประสิทธิภาพสำหรับลดซีโอดีและสีย้อมในน้ำทิ้ง เนื่องจากกระบวนการดูดซับมีความยืดหยุ่นในการออกแบบ และดำเนินการเดินระบบเพื่อทำให้น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดมีคุณภาพ โดยใช้วัสดุดูดซับหรือตัวดูดซับ (Adsorbent) เช่น ถ่านกัมมันต์ ซีโอไลต์ ถ้ำลอยถ่านหิน ถ้ำลอยชานอ้อย ถ้ำลอยแกลบ และถ้ำลอยไม้ยางพารา เป็นต้น [2] ถ้ำลอยเป็นวัสดุดูดซับที่มี (ลักษณะทางกายภาพ) ความพรุน พื้นที่ผิว และมีองค์ประกอบทางเคมีอัตราส่วนระหว่าง $\text{SiO}_2:\text{Al}_2\text{O}_3$ มีค่ามากกว่า 2.4 [3] จึงเป็นวัสดุที่เหมาะสมในการนำมาใช้เป็นวัสดุดูดซับต้นทุนต่ำ สามารถใช้ในการดูดซับสีย้อมที่ปนเปื้อนในน้ำเสียได้ โดยงานวิจัยของ Patra และคณะ [4] ใช้ถ้ำลอย

ถ่านหินดูดซับสีย้อมในสารละลาย พบว่ามีประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อมสูงสุดร้อยละ 60 เมื่อใช้ปริมาณถ้ำลอย 2 กรัมต่อลิตร และความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อม เท่ากับ 0.6 กรัมต่อลิตร งานวิจัยของ Chingono และคณะ [5] ใช้ถ้ำลอยชานอ้อยในการลดซีโอดีและลดความเป็นกรดในน้ำทิ้งจากการผลิตไบโอเอทานอล ซึ่งพบว่ามีประสิทธิภาพการลดซีโอดี ร้อยละ 72 ด้วยการใส่ถ้ำลอยขนาด 90-125 ไมครอน ปริมาณ 45 กรัมต่อลิตร ที่ระยะเวลาสัมผัส 180 นาที ดังนั้นการประยุกต์ใช้ถ้ำลอยที่มีความแตกต่างของสมบัติทางกายภาพและเคมี จึงส่งผลต่อประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อมหรือลดค่าความสกปรกจากน้ำทิ้ง โดยกระบวนการผลิตผ้าบาติกที่ทำให้เกิดน้ำทิ้ง หากมีการนำถ้ำลอยชีวมวลจากไม้ยางพารา ซึ่งเป็นผลพลอยได้ (By-product) จากโรงไฟฟ้าชีวมวลในพื้นที่ภาคใต้ ที่มีปริมาณถ้ำลอยเกิดขึ้น 20 ตันต่อวัน (ร้อยละ 80-85 ของถ้ำทั้งหมด) และมักถูกทิ้งในพื้นที่โรงไฟฟ้ามาใช้ให้เกิดประโยชน์ในการเป็นวัสดุดูดซับราคาต่ำ [6] เนื่องจากถ้ำลอยไม้ยางพารามีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 9.23 ตารางเมตรต่อกรัม มีความพรุนประมาณ 17.72 ตารางเมตรต่อกรัม องค์ประกอบทางเคมี คือ SiO_2 และ Al_2O_3 ร้อยละ 2.57 และ 0.53 ตามลำดับ คิดเป็นอัตราส่วนระหว่าง $\text{SiO}_2:\text{Al}_2\text{O}_3$ เท่ากับ 2.52 [7] ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้ประโยชน์จากถ้ำลอยไม้ยางพาราในพื้นที่ภาคใต้สำหรับบำบัดน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตผ้าบาติก และหาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับซีโอดีและสีย้อมในน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตผ้าบาติก



2. วิธีการดำเนินงานวิจัย

2.1 อุปกรณ์

อุปกรณ์ในการทดลอง ประกอบด้วย (1) เตาอบลมร้อน (Hot Air Oven) ยี่ห้อ Linking รุ่น LT900 (2) pH Meter ยี่ห้อ ADWA รุ่น AD1040 และเครื่องมือตรวจวิเคราะห์สมบัติของถ้ำลอยไม้ยางพารา ประกอบด้วย (3) เครื่องวิเคราะห์พื้นที่ผิวจำเพาะและรูพรุน (Surface Area and Porosity Analyzer) หรือ BET (Brunauer-Emmett-Teller) รุ่น ASAP2460 (Static Volumetric N₂ Gas Adsorption Method) (4) เครื่องวิเคราะห์สัณฐาน (Scanning Electron Microscope; SEM) ยี่ห้อ FEI รุ่น Apreo (5) เครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-ray Fluorescence Spectrometry; XRF) ยี่ห้อ PANalytical รุ่น ZETIUM และ (6) เครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-Vis Spectrophotometer) ยี่ห้อ Jasca รุ่น V-530 สำหรับตรวจวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนสีย้อม

2.2 วิธีการทดลอง

การศึกษานี้ดำเนินการทดลองแบบกะ (Batch Method) ในห้องปฏิบัติการ โดยวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ และลักษณะทางเคมีของถ้ำลอยไม้ยางพาราในการดูดซับสีโอดีและสีย้อม โดยมีขั้นตอนการดำเนินการวิจัยดังนี้

2.2.1 การศึกษาลักษณะน้ำตัวอย่างจากกระบวนการผลิตผ้าบาติก

วิเคราะห์ตัวอย่างน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตผ้าบาติก (Batik) และน้ำสีย้อมสังเคราะห์ (Dyestuff) ผ่านพารามิเตอร์ (รูปที่ 1 และตารางที่ 1) ตามวิธีมาตรฐานวิเคราะห์คุณภาพน้ำ [8]



(ก) น้ำทิ้งผ้าบาติก



(ข) น้ำสีย้อมสังเคราะห์

รูปที่ 1 น้ำทิ้งจากการผลิตผ้าบาติกและน้ำสีย้อมสังเคราะห์

ตารางที่ 1 พารามิเตอร์และวิธีการวิเคราะห์

พารามิเตอร์	น้ำทิ้งผ้าบาติก	สีย้อมสังเคราะห์	วิธีการ
pH	✓	✓	4500-H ⁺ B ¹
TSS	✓		2540 D ²
TDS	✓		2540 C ³
SCOD ⁴	✓	✓	5220 B ⁵

¹ electrometric method

² total suspended solids dried at 103-105°C

³ total dissolved solids dried at 180°C

⁴ soluble chemical oxygen demand

⁵ open reflux method



โดยนำข้อมูลผลวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตผ้าบาติกมาใช้พิจารณาเลือกน้ำสีย้อมสังเคราะห์ที่มีช่วงค่า pH และซีโอดี ใกล้เคียงกับตัวอย่างน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตผ้าบาติก

2.2.2 การเตรียมเถ้าลอย

นำเถ้าลอยไม้ยางพารารวมทุกขนาดร่อนผ่านรูตะแกรงมาตรฐานขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 150 และ 300 ไมครอน ตามลำดับ เพื่อคัดขนาดของเถ้าลอย โดยนำเถ้าลอยที่ผ่านการคัดขนาดแล้ว ล้างด้วยน้ำปราศจากอิออน (Deionized Water) ในอัตราส่วนเถ้าลอย 100 กรัม ต่อน้ำปราศจากอิออน 1 ลิตร กวนด้วยเครื่องกวนสาร (Magnetic Stirrer) ความเร็ว 180-200 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 48 ชั่วโมง และตั้งทิ้งให้เถ้าลอยตกตะกอนเป็นเวลา 10 นาที จากนั้นนำตะกอนเปียกของเถ้าลอยอบที่อุณหภูมิ 105-115 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เถ้าลอยที่ผ่านการอบนำไปใส่ตู้ดูดความชื้น (Desiccator) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง บรรจุใส่ภาชนะที่ปิดสนิทเพื่อป้องกันความชื้นก่อนนำไปใช้งาน [9] จากนั้นทดสอบการตกค้างซีโอดี ของเถ้าลอยไม้ยางพาราด้วยน้ำปราศจากอิออน โดยใช้ปริมาณเถ้าลอย 10 กรัมต่อลิตร กวนด้วยเครื่องกวนสาร ความเร็ว 180-200 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

2.2.3 การศึกษาคุณสมบัติของเถ้าลอย

ศึกษาคุณสมบัติของเถ้าลอยไม้ยางพาราจากโรงไฟฟ้าชีวมวล ด้วยการวิเคราะห์พื้นที่ผิว รูพรุน และสารประกอบออกไซด์ ด้วยวิธีทดสอบ BET SEM และ XRF

2.2.4 การทดสอบสภาวะที่เหมาะสมและประสิทธิภาพในการดูดซับซีโอดีและสีย้อมด้วยเถ้าลอยไม้ยางพาราจากโรงไฟฟ้าชีวมวล

สภาวะที่เหมาะสมที่ศึกษาได้แก่ pH ขนาดของเถ้าลอย ระยะเวลาสัมผัส และปริมาณเถ้าลอยไม้ยางพาราที่ใช้ในการดูดซับซีโอดีและสีย้อม ในตัวอย่างน้ำสีย้อมสังเคราะห์ ดังต่อไปนี้

2.2.4.1 การทดสอบผลของ pH ต่อประสิทธิภาพการดูดซับ

กำหนดอัตราส่วนของเถ้าลอยต่อตัวอย่างน้ำสีย้อมสังเคราะห์คงที่ที่ 10 กรัมต่อลิตร โดยใช้เถ้าลอยรวมทุกขนาด (ไม่ผ่านการคัดขนาด) [10] ปรับค่า pH ของตัวอย่างน้ำสีย้อมสังเคราะห์ด้วยกรดไนตริก (HNO_3) หรือโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ให้มีค่า pH 5 6 7 และ 8 (ค่าความคลาดเคลื่อน ± 0.5) จากนั้นนำไปกวนผสมที่ความเร็ว 180-200 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และตั้งทิ้งไว้ให้เถ้าลอยตกตะกอนเป็นเวลา 10 นาที

2.2.4.2 การทดสอบผลของขนาดเถ้าลอยต่อประสิทธิภาพการดูดซับ

กำหนดอัตราส่วนของเถ้าลอยต่อตัวอย่างน้ำสีย้อมสังเคราะห์คงที่ที่ 10 กรัมต่อลิตร โดยทดสอบกับเถ้าลอยที่ผ่านการคัดแยกเป็น 4 ขนาด ได้แก่ 75 150 300 ไมครอน และเถ้าลอยรวมทุกขนาด (ไม่ผ่านการคัดแยกขนาด) ทำการปรับค่า pH ที่ค่าที่เหมาะสม ซึ่งได้ผลจากขั้นตอนที่ 2.2.4.1 นำไปกวนผสมที่ความเร็ว 180-200 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และตั้งทิ้งไว้ให้เถ้าลอยตกตะกอนเป็นเวลา 10 นาที



จากนั้นทดสอบปรับลดระยะเวลาสัมผัสในช่วงต่ำ และสูงกว่า 2 ชั่วโมง (120 นาที) คือที่เวลา 30 60 120 และ 180 นาที เพื่อประเมินเบื้องต้นถึงระยะเวลาสัมผัสต่ำที่สุด ที่ให้ประสิทธิภาพการดูดซับซีโอดีไม่น้อยกว่าผลการทดสอบในขั้นตอนที่ 2.2.4.1

2.2.4.3 การทดสอบผลของระยะเวลาสัมผัสต่อประสิทธิภาพการดูดซับ

กำหนดอัตราส่วนของแฉะลอยต่อตัวอย่างน้ำสีย้อมสังเคราะห์ครั้งที่ 10 กรัมต่อลิตร โดยปรับค่า pH และใช้ขนาดแฉะลอยที่เหมาะสมจากผลการทดสอบที่ได้จากขั้นตอนที่ 2.2.4.1 และ 2.2.4.2 จากนั้นนำปฏิกวนผสมที่ความเร็ว 180-200 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง ที่ระยะเวลาสัมผัสเริ่มต้น 2-24 ชั่วโมง (เพิ่มขึ้นทุก ๆ 2 ชั่วโมง) เพื่อหาระยะเวลาเข้าสู่สมดุลการดูดซับ เมื่อครบระยะเวลาสัมผัสที่ทดสอบตัวอย่างถูกตั้งทิ้งไว้ให้แฉะลอยตกตะกอนเป็นเวลา 10 นาที

2.2.4.4 การทดสอบผลของปริมาณแฉะลอยต่อประสิทธิภาพการดูดซับ

นำผลการทดสอบขนาดแฉะลอยที่เหมาะสมจากขั้นตอนที่ 2.2.4.2 ในปริมาณที่เท่ากับ 5 15 25 50 100 และ 150 กรัม ต่อน้ำสีย้อมสังเคราะห์ปริมาตร 1 ลิตร ตามลำดับ ทำการปรับ pH และใช้ระยะเวลาสัมผัสที่เหมาะสมจากขั้นตอนที่ 2.2.4.1 และ 2.2.4.3 ทุกตัวอย่างน้ำที่ผ่านการทดสอบในหัวข้อ 2.2.4.1 - 2.2.4.4 นำไปกรองสูญญากาศด้วยกระดาษกรองใยแก้ว GF/C™ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 47 มิลลิเมตร นำตัวอย่างที่ผ่านการกรองนำไปวิเคราะห์

ซีโอดีในรูปละลายน้ำ และวัดค่าการดูดกลืนแสงของสีย้อมสังเคราะห์ที่เลือก (หัวข้อ 2.2.1) ด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่นซึ่งให้ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดของสีย้อมสังเคราะห์ที่เลือกด้วยการทดสอบหาในหลายช่วงค่าความยาวคลื่น ซึ่งเป็นค่าการดูดกลืนแสงเฉพาะ และรายงานผลเป็นค่าร้อยละการดูดซับสีย้อมที่หายไป

2.2.4.5 การวิเคราะห์ผลการศึกษาร่วมกับไอโซเทอมการดูดซับ

ข้อมูลผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมจากขั้นตอน 2.2.4.4 นำเข้าสู่การวิเคราะห์เพื่ออธิบายความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารที่ถูกดูดซับบนพื้นผิวของแฉะลอยไมยางพารา (ไอโซเทอม) โดยพิจารณาเลือกไอโซเทอมแบบแลงเมียร์ (Langmuir Isotherm) [11] และฟรุนดิช (Freundlich Isotherm) [12] ซึ่งเป็นไอโซเทอมที่นิยมใช้อธิบายสมดุลการดูดซับ ดังสมการที่ (1) และสมการที่ (2) ตามลำดับ

$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{q_m} + \left(\frac{1}{K_L q_m} \right) \frac{1}{C_e} \quad (1)$$

โดยที่ q_e คือ ปริมาณสารที่ถูกดูดซับ (มิลลิกรัม) ต่อปริมาณของตัวดูดซับ (กรัม) ที่ภาวะสมดุล q_m คือ ความสามารถสูงสุดในการดูดซับ (มิลลิกรัมต่อกรัม) K_L คือ ค่าคงที่ทางพลังงานของการดูดซับ (ลิตรต่อมิลลิกรัม) C_e คือ ความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับที่สมดุล (มิลลิกรัมต่อลิตร)



$$\log(q_e) = \log(K_F) + \frac{1}{n} \log(C_e) \quad (2)$$

โดยที่ q_e คือ ปริมาณสารที่ถูกดูดซับ (มิลลิกรัม) ต่อ ปริมาณ ของตัวดูดซับ (กรัม) ที่ภาวะสมดุล K_F คือ ค่าคงที่แสดงความสามารถในการดูดซับแบบหลายชั้น (มิลลิกรัมต่อกรัม) C_e คือ ความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับที่สมดุล (มิลลิกรัมต่อลิตร) n คือ ค่าคงที่สัมพันธ์กับพลังงานการดูดซับ

3. ผลการวิจัยและการวิจารณ์ผล

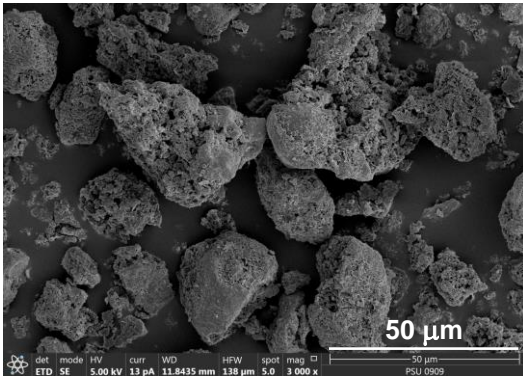
3.1 ลักษณะน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตผ้าบาติก และคุณสมบัติของเถ้าลอยไม้ยางพารา

ตารางที่ 2 แสดงลักษณะน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตผ้าบาติก ได้แก่ น้ำซึลิกเกต น้ำล้างซึลิกเกต น้ำต้มผ้า และน้ำล้างหลังต้มผ้า ผลการศึกษาพบว่า น้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตผ้าบาติกมีค่า pH และ

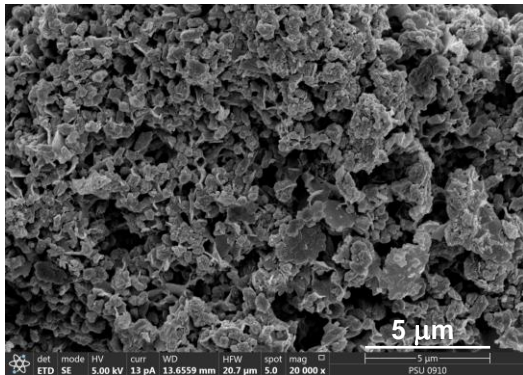
ซีโอดีสูงเกินค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม [13] ขณะที่ค่า TSS ของน้ำล้างต้มผ้า ค่า TDS ของน้ำซึลิกเกต และน้ำล้างต้มผ้า ที่มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานกำหนด คุณสมบัติของเถ้าลอยไม้ยางพารารวมทุกขนาด (ไม่ผ่านการคัดแยกขนาด) พบว่า มีลักษณะเป็นผงสีเทา มีหลายขนาดปะปน โดยมีสัดส่วนของขนาด 300 150 และ 75 ไมครอนอยู่ร้อยละ 16.11 3.89 และ 3.01 ตามลำดับ และมีขนาดใหญ่กว่า 300 ไมครอน คิดเป็นร้อยละ 76.99 มีพื้นผิวเป็นรูพรุนและโพรงกระจายอยู่ทั่วพื้นผิว (รูปที่ 2) โดยมีขนาดของรูพรุนเฉลี่ย 8.02 นาโนเมตร และพื้นที่ผิวเฉลี่ย 65.03 ตารางเมตรต่อกรัม นอกจากนี้องค์ประกอบทางเคมีในรูปออกไซด์ที่พบมากที่สุดเ็นเถ้าลอยไม้ยางพารา คือ CaO SiO_2 MgO Al_2O_3 และ P_2O_5 มีสัดส่วนร้อยละ 43.61 9.19 4.47 3.65 และ 2.83 ตามลำดับ (ตารางที่ 3) จากการทดสอบการตกค้างซีโอดี ด้วยน้ำปราศจากอิออนของเถ้าลอยไม้ยางพารา ชั้นตอนที่ 2.2.2

ตารางที่ 2 สมบัติของน้ำตัวอย่างจากกระบวนการผลิตผ้าบาติกเบื้องต้นและสีย้อมสังเคราะห์

ตัวอย่าง	พารามิเตอร์ (มิลลิกรัมต่อลิตร, ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)			
	pH	TSS	TDS	COD
น้ำซึลิกเกต	11.53±0.01	58.67±44.24	460.00±69.39	9,420.00±3.62
น้ำล้างซึลิกเกต	8.66±0.01	460.00±6.11	9,613.33±63.40	109.57±2.17
น้ำต้มผ้า	10.83±0.02	58.67±44.24	18,342.67±258.81	268.32±26.81
น้ำล้างต้มผ้า	9.11±0.01	24.00±4.00	2,621.33±136.14	215.00±17.68
สีน้ำเงิน	6.52	-	-	17,371±1,938.89
สีเหลือง	5.96	-	-	11,750±1,697.06
สีแดง	5.09	-	-	375±353.55
ค่ามาตรฐาน	5.5-9	50	3000	120



(ก) กำลังขยาย 3,000 เท่า



(ข) กำลังขยาย 20,000 เท่า

รูปที่ 2 ภาพถ่าย SEM ของเถ้าลอยไม้ยางพารา

พบว่าเถ้าลอยไม้ยางพารามีซีโอดีละลายออกมา ร้อยละ 12.34 ซึ่งค่าดังกล่าวนำไปพิจารณาร่วมกับผล ร้อยละการดูดซับซีโอดีที่เหลือ (หัวข้อ 2.2.4.1 - 2.2.4.4) อันเนื่องมาจากเถ้าลอยที่ตกค้างในน้ำตัวอย่าง

3.2 ผลของสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับซีโอดี และสีย้อม

3.2.1 ผลของ pH

การทดสอบหาค่า pH ที่มีผลต่อการดูดซับ ซีโอดีและสีย้อม รายงานเป็นค่าร้อยละของการดูดซับ เมื่อทดสอบกับตัวอย่างน้ำสีย้อมสังเคราะห์สีน้ำเงิน (ใช้ซีโอดี 579.00±12.78 มิลลิกรัมต่อลิตร ตารางที่ 2)

ตารางที่ 3 องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอยไม้ยางพารา

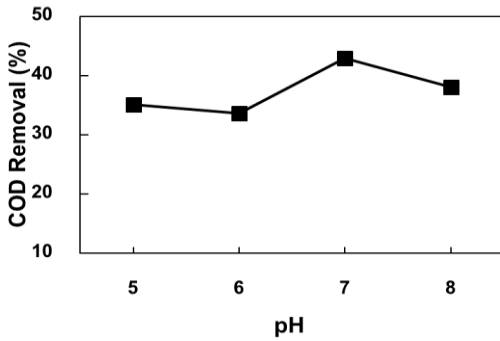
สารประกอบ	ร้อยละ	สารประกอบ	ร้อยละ
CaO	43.61	TiO ₂	0.19
CO ₂	16.16	SrO	0.15
CHNO	14.85	BaO	0.14
SiO ₂	9.19	ZnO	0.09
MgO	4.47	Na ₂ O	0.06
Al ₂ O ₃	3.65	Cl	0.05
P ₂ O ₅	2.83	CuO	0.02
K ₂ O	1.94	NiO	0.02
Fe ₂ O ₃	1.08	Rb ₂ O	0.02
SO ₃	0.76	PbO	0.01
MnO	0.72	ZrO ₂	0.01

โดยใช้เถ้าลอยไม้ยางพารารวมทุกขนาด (ไม่ผ่านการ คัดแยกขนาด) จากรูปที่ 3 พบว่าร้อยละการดูดซับ ซีโอดี ที่ pH 5 6 7 และ 8 (ค่าความคลาดเคลื่อน ±0.5) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 35.04±0.81 33.63±0.81 42.94 ±0.77 และ 37.99±6.52 ตามลำดับ

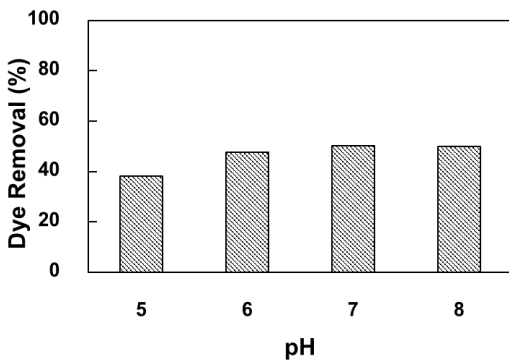
ค่าร้อยละการดูดซับค่าสีย้อม มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 38.31±3.08 47.76±0.08 50.38±0.14 และ 9.97±0.30 ตามลำดับ (รูปที่ 4) ดังนั้น pH ที่เหมาะสมในการดูดซับด้วยเถ้าลอยไม้ยางพารา คือ pH 7 เนื่องจากมี ประสิทธิภาพในการดูดซับซีโอดีและสีย้อมสูงที่สุดเมื่อ เทียบกับประสิทธิภาพที่ pH 5 6 และ 8 เนื่องจากสีย้อมสังเคราะห์เป็นสีที่ละลายน้ำแล้วได้ประจุลบ มีค่า pH เป็นกรดอ่อน จึงดูดซับได้ดีในช่วง pH เป็นกลาง [14] ผลศึกษาที่สอดคล้องกับงานวิจัยของ Bekele และคณะ [15] ที่ทดสอบการดูดซับสีย้อมเมทิลเรด ด้วยเถ้าลอยถ่านหินที่ pH 6.8 โดยใช้ปริมาณเถ้าลอย



ถ่านหินระหว่าง 0.5-1.5 กรัม ได้ประสิทธิภาพการดูดซับช่วงร้อยละ 94.24-98.39



รูปที่ 3 ผลของ pH ต่อร้อยละการดูดซับซีโอดี



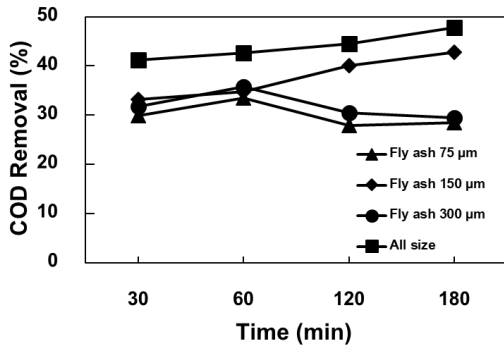
รูปที่ 4 ผลของ pH ต่อร้อยละการดูดซับสีย้อม

3.2.2 ผลของขนาดถ้ำลอยต่อประสิทธิภาพการดูดซับ

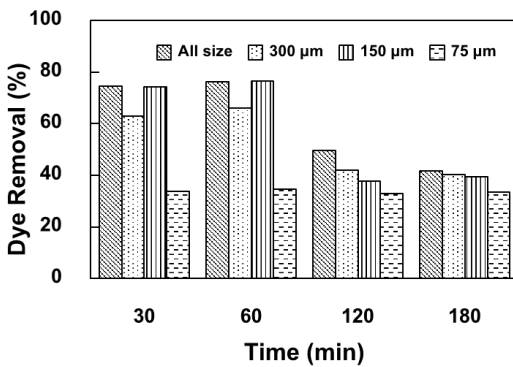
ขนาดถ้ำลอยไม่ียงพาราที่ผ่านการคัดขนาดทดสอบที่ระยะเวลาสัมผัส 30 60 120 และ 180 นาที ต่อประสิทธิภาพการดูดซับซีโอดีและสีย้อมในน้ำสีย้อมสังเคราะห์ ที่ pH 7 (ผลทดสอบข้อ 3.2.1) ผลการทดสอบพบว่า ถ้ำลอยรวมทุกขนาด (ไม่ผ่านการคัดแยกขนาด) และถ้ำลอยขนาด 150 ไมครอน มีแนวโน้มค่าร้อยละการดูดซับซีโอดีเพิ่มขึ้น เมื่อระยะเวลาสัมผัสเพิ่มขึ้นจาก 30 นาที จนถึง 180 นาที

(รูปที่ 5) โดยถ้ำลอยรวมทุกขนาดมีค่าร้อยละการดูดซับ เท่ากับ 41.21 ± 1.41 42.62 ± 1.41 44.50 ± 2.16 และ 47.79 ± 3.26 ที่ระยะเวลาสัมผัส 30 60 120 และ 180 นาที ตามลำดับ โดยระยะเวลาสัมผัส 180 นาที ได้ประสิทธิภาพในการดูดซับซีโอดีสูงสุด และมีประสิทธิภาพสูงกว่าถ้ำลอยขนาด 150 ไมครอน เนื่องจากสีย้อมมีขนาดโมเลกุลเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2.42 นาโนเมตร [16] ซึ่งมีขนาดเล็ก โดยกลไกการดูดซับอนุภาคสีย้อมสามารถเกิดที่ผิวด้านในโพรงของรูพรุนและผิวด้านนอกของถ้ำลอย และอาจเกิดการซ้อนทับกันของอนุภาคสีย้อม สำหรับถ้ำลอยขนาด 300 และ 75 ไมครอน ประสิทธิภาพการดูดซับลดลงต่ำกว่าร้อยละ 30 เมื่อระยะเวลาสัมผัสสูงกว่า 60 นาที และจากการศึกษาการดูดซับสีย้อม (รูปที่ 6) พบว่าถ้ำลอยรวมทุกขนาด ถ้ำลอยขนาด 300 และ 150 ไมครอน มีแนวโน้มร้อยละการดูดซับสีย้อมลดลงหลังวันที่ 60 เช่นกัน เนื่องจากเกิดการคายดูดซับสีย้อม (Desorption) โดยซีโอดีและสีย้อมถูกปล่อยออกมาจากพื้นผิวของถ้ำลอย ซึ่งการคายดูดซับที่เกิดขึ้นขึ้นอยู่กับลักษณะของตัวดูดซับ (Adsorbent) และตัวถูกดูดซับ (Adsorbate) [17] ในขณะที่ถ้ำลอยขนาด 75 ไมครอน มีแนวโน้มร้อยละการดูดซับค่าสีย้อมคงที่

ดังนั้นขนาดถ้ำลอยที่มีประสิทธิภาพในการดูดซับซีโอดีและสีย้อมในการศึกษานี้ คือ ถ้ำลอยรวมทุกขนาด ซึ่งมีสัดส่วนของขนาดถ้ำลอยใหญ่กว่า 300 ไมครอน อยู่ร้อยละ 76.99 ที่มีลักษณะเป็นรูและมีโพรงภายในถ้ำลอย ซึ่งเป็นพื้นที่ผิวดูดซับด้านใน (Internal Pore Surface) กระจายอยู่ทั่วพื้นผิว (รูปที่ 2) ส่งผลให้โมเลกุลของตัวถูกดูดซับถูกดูดติด



รูปที่ 5 ขนาดถ้ำลอยต่อร้อยละการดูดซับซีโอดี

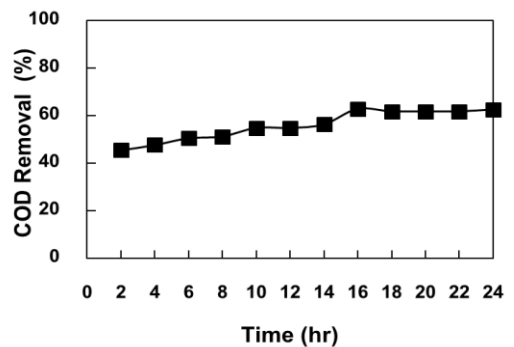


รูปที่ 6 ขนาดถ้ำลอยต่อร้อยละการดูดซับสีย้อม

บนผิวภายในรูและโพรงบางส่วนหรือเรียงตัวจนเต็ม (Internal Pore Adsorption) งานวิจัยของ Chingono และคณะ [5] ทำการศึกษาการดูดซับน้ำทิ้งจากถ้ำลอยชานอ้อยพบว่า ถ้ำลอยชานอ้อยขนาดช่วง 90-125 ไมครอน มีประสิทธิภาพการดูดซับซีโอดีสูงสุดที่ร้อยละ 55.37 และเมื่อขนาดถ้ำลอยชานอ้อยใหญ่กว่า 125 ไมครอน สมรรถนะการดูดซับลดลงเนื่องจากการถ่ายโอนมวล อย่างไรก็ตามในการดูดซับซีโอดีด้วยถ้ำลอยรวมทุกขนาดมีแนวโน้มการดูดซับเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาสัมผัสเพิ่มขึ้น (รูปที่ 5) ดังนั้นจึงขยายผลของระยะเวลาสัมผัสจนถึง 24 ชั่วโมง (หัวข้อ 3.2.3)

3.2.3 ผลของระยะเวลาสัมผัสต่อประสิทธิภาพการดูดซับ

ระยะเวลาสัมผัสต่อการดูดซับซีโอดีและสีย้อมในน้ำสีย้อมสังเคราะห์ โดยใช้ค่า pH ที่ 7 และใช้ถ้ำลอยรวมทุกขนาด (ผลทดสอบข้อ 3.2.1 และ 3.2.2) ร้อยละการดูดซับซีโอดีของถ้ำลอยไม้ยางพาราที่ระยะเวลาสัมผัสเริ่มต้นที่ 2 ชั่วโมง และเพิ่มขึ้นทุก ๆ 2 ชั่วโมง จนถึงระยะเวลาสัมผัสที่ 14 ชั่วโมง พบว่ามีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ระหว่าง 45.52 ± 1.44 - 56.27 ± 5.02 เมื่อเข้าสู่ชั่วโมงที่ 16 ค่าร้อยละการดูดซับซีโอดีเพิ่มสูงขึ้นถึงประมาณร้อยละ 63 จนเข้าสู่สมดุลในชั่วโมงที่ 18 (รูปที่ 7) และผลการดูดซับสีย้อม มีค่าร้อยละการดูดซับดีที่สุดในระยะเวลาสัมผัสระหว่าง 16-18 ชั่วโมง มีค่าเท่ากับ 63.51 ± 3.59 - 63.66 ± 3.84 (รูปที่ 8) ซึ่งเป็นการดูดซับสีย้อมที่เกิดขึ้นอีกครั้งหลังเกิดการคายซับตั้งแต่ชั่วโมงที่ 1 ถึงชั่วโมงที่ 14

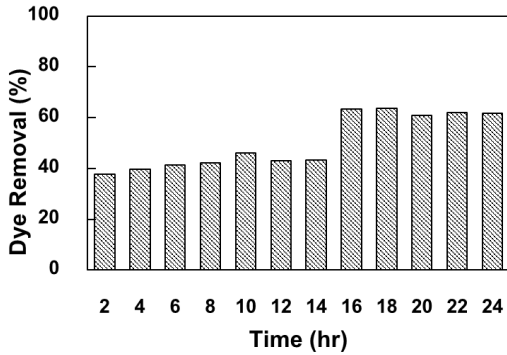


รูปที่ 7 ระยะเวลาสัมผัสต่อร้อยละการดูดซับซีโอดี

ดังนั้น ระยะเวลาสัมผัสที่เหมาะสมต่อประสิทธิภาพการดูดซับซีโอดีและสีย้อมด้วยถ้ำลอยไม้ยางพารา คือ 16 ชั่วโมง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Zaharia และ Suteu [18] พบว่าถ้ำลอยถ่านหิน



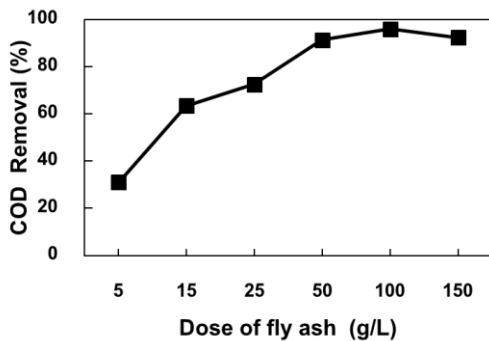
สามารถดูดซับสีย้อมได้ดีในช่วงเวลาเริ่มต้น และเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนคงที่ที่เวลา 16.5-24 ชั่วโมง



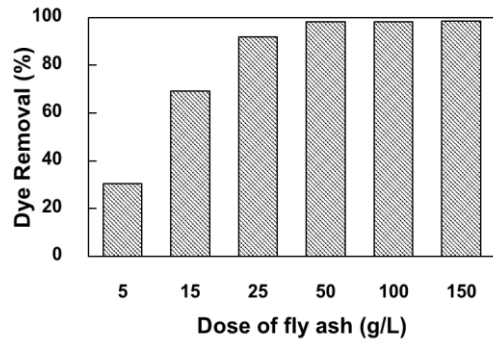
รูปที่ 8 ระยะเวลาสัมพัทธ์ต่อร้อยละการดูดซับสีย้อม

3.2.4 ผลของปริมาณเถ้าลอยต่อประสิทธิภาพการดูดซับ

ปริมาณเถ้าลอยไม่ยางพาราต่อการดูดซับซีโอดีและสีย้อม ในน้ำสีย้อมสังเคราะห์ โดยใช้ค่า pH 7 เถ้าลอยรวมทุกขนาด และระยะเวลาสัมพัทธ์ที่ 16 ชั่วโมง (ผลทดสอบข้อ 3.2.1 - 3.2.3) พบว่าประสิทธิภาพการดูดซับซีโอดีและสีย้อมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณเถ้าลอยที่เพิ่มขึ้น พบร้อยละการดูดซับซีโอดีสูงสุดถึงร้อยละ 95.94±0.88 และมีร้อยละการดูดซับสีย้อมสูงสุดถึงร้อยละ 98.39±0.17 (รูปที่ 9 และ 10)



รูปที่ 9 ปริมาณเถ้าลอยต่อร้อยละการดูดซับซีโอดี



รูปที่ 10 ปริมาณเถ้าลอยต่อร้อยละการดูดซับสีย้อม

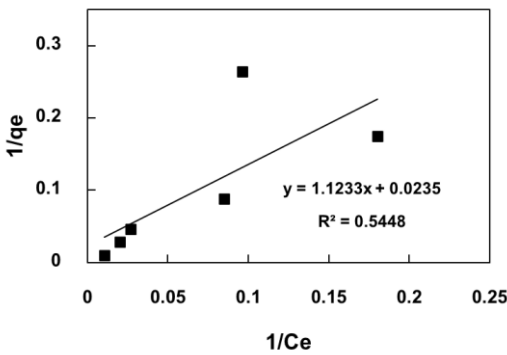
โดยปริมาณเถ้าลอยที่เหมาะสมในการดูดซับซีโอดีและสีย้อม คือ 50-100 กรัมต่อลิตร สอดคล้องกับงานวิจัยของ Lalani และ Usman [19] ที่พบว่าร้อยละการดูดซับซีโอดีและสีย้อมเพิ่มขึ้นต่อเนื่องเมื่อใช้ปริมาณเถ้าลอยเพิ่มขึ้น เป็นผลจากการเพิ่มขึ้นของพื้นที่ผิวตัวดูดซับ

3.3 ผลของไอโซเทอมการดูดซับซีโอดีด้วยเถ้าลอยไม่ยางพารา

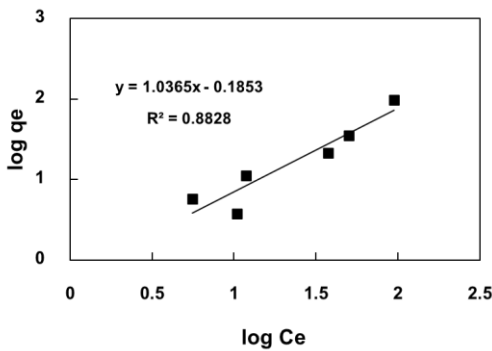
จากข้อมูลการทดสอบสภาวะที่เหมาะสมข้างต้น เมื่อนำผลของปริมาณเถ้าลอยไม่ยางพาราต่อประสิทธิภาพการดูดซับซีโอดี มาพิจารณาความสัมพันธ์กับไอโซเทอมของแลงเมียร์ (Langmuir Isotherm) และไอโซเทอมของฟรุนดิช (Freundlich Isotherm) ผลการศึกษา (รูปที่ 11 และ 12) พบว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของการดูดซับ (R^2) ไอโซเทอมของแลงเมียร์และฟรุนดิช มีค่าเท่ากับ 0.5448 และ 0.8828 ตามลำดับ ซึ่งการดูดซับของเถ้าลอยไม่ยางพาราสอดคล้องกับไอโซเทอมของฟรุนดิชมากกว่าไอโซเทอมของแลงเมียร์ โดยไอโซเทอมฟรุนดิชมีค่า $\frac{1}{n}$ เท่ากับ 1.0365 หรือมีค่าประมาณ 1 แสดงว่าเป็นการดูดซับแบบเส้นตรง [20] และมีค่า K_f เท่ากับ 0.653 (มิลลิกรัมต่อกรัม) ซึ่ง



พฤติกรรมของการดูดซับของไอโซเทอมฟรอนดิชเป็นลักษณะการดูดซับทางกายภาพ มีการซ้อนทับกันของโมเลกุลของตัวถูกดูดซับ โดยโมเลกุลที่ถูกดูดซับมีอิสระในการจับหรือยึดเกาะได้ทั่วพื้นที่ผิวของตัวดูดซับเป็นแบบหลายชั้น และมีพื้นผิวไม่เป็นเนื้อเดียวกัน [21]



รูปที่ 11 ไอโซเทอมแลงเมียร์ต่อการดูดซับซีโอดี



รูปที่ 12 ไอโซเทอมฟรอนดิชต่อการดูดซับซีโอดี

4. บทสรุป

ประสิทธิภาพในการดูดซับซีโอดีและสีย้อมจากน้ำสีย้อมสังเคราะห์ด้วยถ้ำลอยไม้ยางพารา ได้สภาวะที่เหมาะสม ที่ pH 7 ด้วยถ้ำลอยรวมทุกขนาดระยะเวลาสัมผัสที่ 16 ชั่วโมง โดยใช้ปริมาณถ้ำลอย 100 กรัมต่อลิตร มีประสิทธิภาพในการดูดซับซีโอดี

และสีย้อม สูงสุดประมาณร้อยละ 96 และ 98 ตามลำดับ และมีแนวโน้มการดูดซับเข้าสู่สมดุลและคงที่ภายหลังจากระยะเวลาสัมผัส 18 ชั่วโมง ผลศึกษาไอโซเทอมการดูดซับของงานวิจัยนี้สอดคล้องกับไอโซเทอมของฟรอนดิช ด้วยค่า R^2 0.8828 ดังนั้นถ้ำลอยจากไม้ยางพาราในพื้นที่ภาคใต้จึงเป็นวัสดุดูดซับต้นทุนต่ำสำหรับปรับสภาพน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมและครัวเรือนที่มีการผลิตผ้าบาติกเพื่อลดซีโอดีและสีย้อมก่อนเข้าสู่การบำบัดต่อไป

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณห้องปฏิบัติการ ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา โรงไฟฟ้าชีวมวลและอุตสาหกรรมผ้าบาติก จังหวัดยะลา ที่ให้อาหารอนุเคราะห์ตัวอย่างถ้ำลอยไม้ยางพารา และตัวอย่างน้ำทิ้งผ้าบาติก

6. เอกสารอ้างอิง

[1] M.F. Siddiqui, Z.A. Wahid and M. Sakinah, Bioremediation and biofouling perspective of real batik effluent by indigenous bacteria, International Journal of Chemical and Environmental Engineering, 2011, 2(5), 302-308.

[2] W. Pimpa and C. Pimpa, Synthesis and utilization of the rice straw based adsorbents for wastewater treatment, Research Report of Agriculture, Naresuan University, 2014. (in Thai)



- [3] M. Visa, L. Isac and A. Duta, Fly ash adsorbents for multi-cation wastewater treatment, *Applied Surface Science*, 2012, 258(17), 6345-6352.
- [4] G. Patra, R. Barnwal, S.K. Behera and B.C. Meikap, Removal of dyes from aqueous solution by sorption with fly ash using a hydrocyclone, *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2018, 6(4), 5204-5211.
- [5] K.E. Chingono, E. Sanganyado, E. Bere and B. Yalala, Adsorption of sugarcane vinasse effluent on bagasse fly ash: A parametric and kinetic study, *Journal of Environmental Management*, 2018, 224, 182-190.
- [6] Rubber Intelligence Unit, Block from Para Rubber Wood Fly Ash, Available: http://www.rubber.oie.go.th/File/10_อิฐจากเถ้าลอยไม้ยางพารา.pdf (in Thai)
- [7] A. Hawa, Properties of pumice lightweight concrete containing rubber wood fly ash and rice husk ash, Master Thesis of Engineering in Civil Engineering, Prince of Songkla University, Thailand. 2008.
- [8] E.W. Rice, R.B. Baird, A.D. Eaton, Standard Method for the Examination of Water and Wastewater, 23rd Ed., American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation, Washington D.C., USA, 2017.
- [9] M. Visa, L. Andronic and A. Duta, Fly ash - TiO₂ nanocomposite material for multi - pollutants wastewater treatment, *Journal of Environmental Management*, 2015, 150, 336-343.
- [10] W. Kitchainukul, Adsorption of mercury contaminated synthetic water by fly ash from coal fired power plant, *Bulletin of Applied Science*, 2013, 2(2), 35-39.
- [11] I. Langmuir, The adsorption of gases on plane surfaces of glass, mica and platinum, *Journal of the American Chemical Society*, 1918, 40, 1361-1403.
- [12] H.M.F. Freundlich, Over the adsorption in solution, *The Journal of Physical Chemistry*, 1906, 57, 385-470.
- [13] Ministry of industry, Industrial Effluent Standards, Available: <https://www.diw.go.th/ha/wk/news/11.PDF>, 18 December 2019. (in Thai)
- [14] R. Srimoon, Dyes treatment in wastewater using adsorption processes, *KKU Science Journal*, 2016, 44(3), 419-434. (in Thai)
- [15] B.A. Bekele, M.A Balcha, Ayalew and F.B. Demelash, Adsorption of methyl red on coal fly ash from aqueous solution, *Chemistry and Materials Research*, 2018, 10(4), 13-19.



- [16] C.H. Maeda, C.A. Araki, A.L. Moretti, M.A.S.D. De Barros and P.A. Arroyo, Adsorption and desorption cycles of reactive blue dye BF-5G dye in a bone char fixed-bed column, *Environmental Science and Pollution Research*, 2019, 26, 28500-28509.
- [17] R.M. Razanajatovo, J. Ding, S. Zhang, H. Jiang and H. Zou, Sorption and desorption of selected pharmaceuticals by polyethylene microplastics, *Marine Pollution Bulletin*, 2018, 136, 516-523.
- [18] C. Zaharia and D. Suteu, Coal fly ash as adsorptive material for treatment of a real textile effluent: operating parameters and treatment efficiency, *Environmental Science and Pollution Research*, 2013, 20: 2226 - 2235.
- [19] V. Lalani and S.M. Usman, A study on removal of pollutants using fly ash adsorbent from dyes wastewater, *Journal of Emerging Technologies and Innovative Research*, 2020, 7(5), 417-422
- [20] N.A.B. Rohaizar, N.B.A. Hadi and W.C. Sien, Removal of Cu (II) from water by adsorption on chicken eggshell, *International Journal of Engineering & Technology*, 2013, 13(1), 40-45.
- [21] I. Boonyuen, Adsorption of lignin and tannin by wasted activated carbon used as ballasting agent from activated sludge process, Master Thesis of Engineering Program in Environmental Engineering, Chulalongkorn University, Thailand. 2009. (in Thai)