



การบำบัดสีย้อมรีแอคทีฟในน้ำเสียจากโรงงานทอผ้าพื้นเมือง ขนาดครัวเรือนด้วยถังกรองประดิษฐ์ ที่มีตัวดูดซับเถ้าลอยลิกไนต์

Treatment of Reactive Dyes in Wastewater from Native Textile House-Hold Factory by Using Constructed Filter Tank with Lignite Fly Ash Adsorbent

Usa Chaijumnong* Nipon Tungkananuruk and Kanita Tungkananuruk

อุษา ชัยจามรงค์* นิพนธ์ ตั้งคณานุกรักษ์ และ คณิตา ตั้งคณานุกรักษ์

ภาควิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน กรุงเทพฯ 10900

*E-mail : Uzacheen@gmail.com

บทคัดย่อ

สีย้อมรีแอคทีฟในน้ำทิ้งจากโรงงานย้อมผ้าพื้นเมืองทำให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมทางน้ำ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างถังกรองประดิษฐ์ที่มีตัวดูดซับเถ้าลอยลิกไนต์บำบัดสีย้อมรีแอคทีฟ (Yellow LS-R2, Yellow LS-4, Orange HF-2R, Red LS-B, Black R, Blue LS-3R, Navy LS-G, Blue G และ Turquoise H-GN) การทดลองแบบแบตช์เพื่อศึกษาสถานะที่เหมาะสมและศักยภาพการดูดซับของวัสดุดูดซับ 3 ชนิด (FA1, FA2 และ FA3) จากการเผาไหม้ถ่านหินลิกไนต์ที่มีสัดส่วนชีวมวล 90:10, 70:30 และ 100:0 ตามลำดับ พบว่ามีประสิทธิภาพการบำบัดเฉลี่ยร้อยละ 96.40, 97.14 และ 97.85 มีความจุการดูดซับเฉลี่ย 0.96, 0.97 และ 0.98 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ กลไกการดูดซับสอดคล้องกับไอโซเทอมการดูดซับของแลงเมียร์และฟรุนดลิช การทดลองแบบคอลัมน์ใช้ท่อพีวีซีบรรจุหินปูน ถ่านกะลามะพร้าว และวัสดุดูดซับผสมทรายหยาบ จากบนลงล่าง ในน้ำเสียสังเคราะห์ FA3 มีจุดเริ่มหมดสภาพและหมดสภาพที่ค่าสูงสุด 29 และ 39 ลิตร ตามลำดับ ส่วนถังกรองประดิษฐ์สามารถบำบัดสีย้อมในน้ำเสียสังเคราะห์และน้ำเสียจากโรงงาน มีประสิทธิภาพเฉลี่ยร้อยละ 97.09 และ 96.98 จุดเริ่มหมดสภาพ 90 และ 85 ลิตร และจุดหมดสภาพ 145 และ 140 ลิตร ตามลำดับ ดังนั้นถังกรองประดิษฐ์จึงมีศักยภาพกำจัดสีย้อมในน้ำเสียจากโรงงานและประยุกต์ใช้ในสเกลใหญ่ได้

คำสำคัญ : สีรีแอคทีฟ; เถ้าลอยลิกไนต์; ถังกรองประดิษฐ์

Abstract

The discharge from native textile factory can cause aquatic environmental problems because of residual reactive dyes. This research aims to create constructed filter tank which containing lignite fly ash adsorbent for removing nine reactive dyes (Yellow LS-R2, Yellow LS-4, Orange HF-2R, Red LS-B, Black R, Blue LS-3R, Navy LS-G, Blue G and Turquoise H-GN). Batch experiments were conducted to determine the optimum condition and adsorption potential of 3 adsorbent materials (FA1 FA2 and FA3) were received from lignite coal combustion with various proportion of biomass at 90:10, 70:30 and 100:0 respectively. It was found that all of FA had averaged efficiency to remove dyes at 96.40%, 97.14% and 97.85% respectively, The average adsorption capacity were 0.96, 0.97 and 0.98 mg-dye/g-FA respectively. The adsorption mechanism was conformed to Langmuir isotherm and Freundlich isotherms. The column experiment was carried out by packing PVC tube with lime stone, coconut charcoal and FA mixed with coarse sand from top to bottom. The breakthrough point and exhaustion point of FA3 were highest at 29 and 37 L of synthetic wastewater respectively. The constructed filter tank had average removal from synthetic wastewater and textile factory wastewater were 97.09% and 96.98% respectively. The breakthrough points were 90 and 85 L respectively and the exhaustion points were 145 and 140 L respectively. Therefore, this constructed tank had a good potential on removal of reactive dyes residue content in wastewater from textile factory and could be applied to a large scale.

Keywords : Reactive dye; Lignite Fly Ash; Constructed filter tank

บทนำ

ในอดีตชุมชนที่มีอาชีพย้อมผ้าพื้นเมืองได้ใช้สีย้อมผ้าจากธรรมชาติที่ได้จากพืช สัตว์ และแร่ธาตุต่างๆ แต่เมื่อเวลาผ่านไปหลายปี และปัจจุบันได้มีความเจริญก้าวหน้าทางด้านเทคโนโลยีเข้ามามีบทบาทในชุมชนที่มีอาชีพย้อมผ้าพื้นเมือง จากเดิมที่เคยใช้สีย้อมจากธรรมชาติแต่ในปัจจุบันได้เปลี่ยนมาใช้สีย้อมที่สร้างขึ้นจากสารเคมี โดยส่วนใหญ่จะนิยมใช้สีย้อมประเภทสีรีแอคทีฟ เพราะเป็นสีที่เหมาะสมกับการนำมาย้อมผ้าพื้นเมืองจำพวกผ้าฝ้ายและผ้าไหม สีรีแอคทีฟสามารถทำปฏิกิริยาเคมีกับเส้นใยเกิดพันธะโคเวเลนต์ (Covalent bond) เป็นพันธะที่แข็งแรง ทนทานต่อการซักล้าง [1] ทำให้ความนิยมในการใช้สีรีแอคทีฟเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ สีย้อมผ้าที่ทำจากสารเคมีเป็นสีที่มีโครงสร้างทางเคมีขนาดใหญ่กำจัดได้ยากสามารถละลายน้ำได้ดีใช้กันอย่างแพร่หลายทั้งในชุมชนและอุตสาหกรรมฟอกย้อม ปกติหลังการย้อมผ้ามักมีปริมาณสีย้อมหลงเหลืออยู่ในน้ำ ซึ่งจะส่งผลให้น้ำทิ้งมีการปนเปื้อนสีย้อมในปริมาณสูง เมื่อปล่อยลงสู่แหล่งน้ำตามธรรมชาติ

จะทำให้เกิดผลเสียตามมา คือ ทำให้เกิดปัญหาน้ำเน่าเสีย ไม่เหมาะต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำทำให้เกิดความไม่สวยงามทางด้านทัศนียภาพ และเป็นที่น่ารังเกียจในการนำไปใช้ประโยชน์

จากปัญหาที่กล่าวมาข้างต้นผู้วิจัยจึงเล็งเห็นความเป็นไปได้และความสำคัญของการใช้ถ่านลอยลิกไนต์เนื่องจากถ่านลอยลิกไนต์เป็นกากของเสียที่มีปริมาณมากจนต้องได้รับการกำจัด เพื่อให้เกิดประโยชน์จึงได้นำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนสีย้อม ทั้งนี้ งานวิจัยของผู้เขียนได้มีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ Gian and Norca (1998) [2] ซึ่งได้ทำการศึกษาค้นคว้าองค์ประกอบสำคัญของถ่านลอยลิกไนต์สำหรับการดูดซับของสารปนเปื้อนโลหะหนักในน้ำ และน้ำเสีย จากผลการทดลอง พบว่าถ่านลอยลิกไนต์สามารถดูดซับได้ดี ดังนั้น ผู้วิจัยจึงนำถ่านลอยลิกไนต์มาเป็นวัสดุดูดซับน้ำเสียที่ปนเปื้อนสีย้อมและใช้วิธีการบำบัดด้วยวิธีการสร้างถังกรองประดิษฐ์จัดว่าเป็นวิธีที่ง่ายมีประสิทธิภาพ ต้นทุนต่ำ และที่สำคัญคนในชุมชนสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้จริง

อุปกรณ์และวิธีการ

การเตรียมวัสดุดูดซับ

วัสดุดูดซับที่ใช้ในการศึกษาซึ่งได้รับความอนุเคราะห์จากโรงงานหนึ่งที่ขอสงวนนามมี 3 ชนิด คือ ชนิด FA1 (ได้จากการเผาไหม้ถ่านหินลิกไนต์ร้อยละ 70 และชีวมวลร้อยละ 30) ชนิด FA2 (ได้จากการเผาไหม้ถ่านหินลิกไนต์ร้อยละ 90 และชีวมวลร้อยละ 10) และชนิด FA3 (ได้จากการเผาไหม้ถ่านหินลิกไนต์ร้อยละ 100) ล้างด้วยน้ำสะอาดเพื่อปรับพีเอชให้เป็นกลาง นำไปตากให้แห้ง อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

การเตรียมสารละลายสีย้อม

เตรียมสารละลายมาตรฐานสีย้อมแต่ละชนิดเข้มข้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตร และเตรียมสารละลายมาตรฐานสีย้อมผสมที่ประกอบด้วยสีย้อม 9 ชนิด โดยแต่ละชนิดเข้มข้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตร สารละลายนี้ใช้เป็นน้ำเสียสังเคราะห์ที่ลดการทดลอง

ศึกษาหาความยาวคลื่นที่สีย้อมรีแอกทีฟแต่ละชนิดดูดกลืนแสงได้มากที่สุด (λ_{max})

สีย้อมรีแอกทีฟ 9 ชนิด ได้แก่ Yellow LS-R2, Yellow LS-4, Orange HF-2R, Red LS-B, Black R, Blue LS-3R, Navy LS-G, Blue G และ Turquoise H-GN โดยสีย้อมแต่ละชนิดมีค่าความยาวคลื่นที่ดูดกลืนแสงได้มากที่สุด (λ_{max}) คือ 400, 420, 470, 546, 550, 588, 616, 660 และ 662 นาโนเมตร ตามลำดับ

การเตรียมคอลัมน์และถังกรองประดิษฐ์

ท่อพีวีซี ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7.5 เซนติเมตร สูง 60 เซนติเมตร ความจุ 2.3 ลิตร มาทำเป็นคอลัมน์ และถังสี่เหลี่ยมที่หลีกเลี่ยงจากการใช้งานขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 เซนติเมตร สูง 36 เซนติเมตร ความจุ 18.925 ลิตร มาสร้างเป็นถังกรองประดิษฐ์ พร้อมทั้งเตรียมวัสดุชั้นกรอง ได้แก่ หินปูน ถ่านกัมมาอะพริว และทรายหยาบ มาล้างด้วยน้ำสะอาดเพื่อกำจัดคราบสกปรกแล้วนำไปตากแดดให้แห้ง

การศึกษาความสามารถในการดูดซับสีย้อมรีแอกทีฟแต่ละชนิดของวัสดุดูดซับทั้ง 3 ชนิด ด้วยวิธีการทดลองแบบแบตช์ (Batch method)

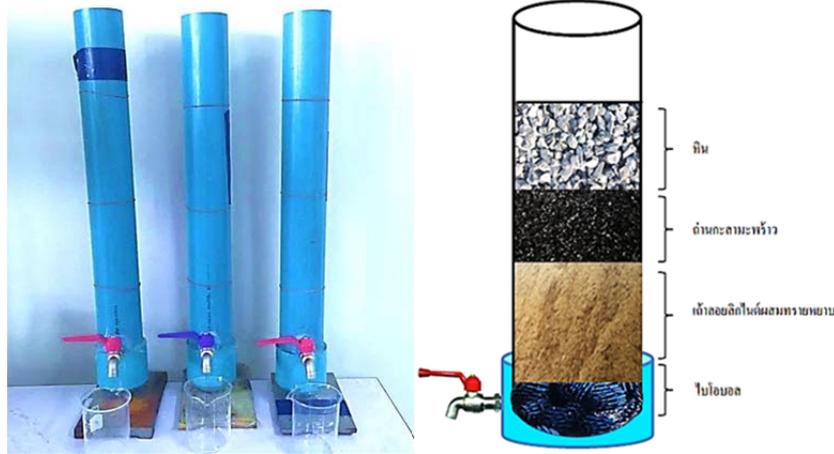
ศึกษาโดยใช้วัสดุดูดซับแต่ละชนิด 1 กรัม ต่อสารละลายสีย้อมมาตรฐานแต่ละชนิด ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร เขย่า 1 นาที ตั้งทิ้งไว้ 30 นาที จากนั้นนำไปวิเคราะห์หาประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อม โดยวัดค่าดูดกลืนแสงที่ λ_{max} ของแต่ละสีย้อมด้วยเครื่องยูวี-วิซิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (รุ่น Merck-Pharo 300 Spectroquant)

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับสีย้อมรีแอกทีฟในน้ำเสียสังเคราะห์ของวัสดุดูดซับทั้ง 3 ชนิด ด้วยวิธีการทดลองแบบแบตช์ (Batch วัสดุดูดซับ)

ปัจจัยที่ทำการศึกษา ได้แก่ ระยะเวลาสัมผัส 30 นาที และ 1-3 ชั่วโมง ปริมาณวัสดุดูดซับชนิด FA1 0.5-20 กรัม ชนิด FA2 0.5-16 กรัม และชนิด FA3 0.5-11 กรัม และอัตราส่วนโดยน้ำหนักของวัสดุดูดซับต่อทรายหยาบ 1:1, 1:3, 1:5, 1:7, 1:9 และ 1:11 ในการศึกษาทุกปัจจัยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่ 50 มิลลิลิตร วิเคราะห์หาประสิทธิภาพในการดูดซับโดยใช้ค่าดูดกลืนแสงที่วัดได้ที่ λ_{max} ของแต่ละสีย้อม และทำการศึกษาไอโซเทอมการดูดซับของวัสดุดูดซับทั้ง 3 ชนิด โดยใช้สภาวะที่เหมาะสมที่ศึกษาได้

ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดสีย้อมในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยวัสดุดูดซับทั้ง 3 ชนิด ด้วยวิธีการทดลองแบบคอลัมน์ (Column)

ทำการทดลองในคอลัมน์ที่ทำจากท่อพีวีซี 3 ท่อ แต่ละท่อบรรจุชั้นกรอง 3 ชั้น จากชั้นบนลงชั้นล่าง ประกอบด้วย ชั้นหินปูน 500 กรัม ชั้นถ่านกัมมาอะพริว 200 กรัม และชั้นทรายหยาบผสมวัสดุดูดซับในอัตราส่วน 1:7 ที่ได้จากการทดลองแบบแบตช์โดยมีปริมาณทรายหยาบผสมวัสดุดูดซับ FA1, FA2 และ FA3 เท่ากับ 1,280, 960 และ 560 กรัม ในแต่ละท่อ ตามลำดับ ดังรูปที่ 1 จากนั้นเติมน้ำเสียสังเคราะห์ 1 ลิตร ลงในคอลัมน์แต่ละช่อง ด้วยระยะเวลา 1 ชั่วโมง 30 นาที ปล่อยน้ำผ่านชั้นกรอง



รูปที่ 1 ลักษณะคอลัมน์ที่ทำจากท่อพีวีซีและส่วนประกอบของชั้นกรอง

ให้หมด วิเคราะห์หาประสิทธิภาพการบำบัดสีย้อม ด้วยการวัดค่าดูดกลืนแสงที่ λ_{max} และที่ 320 nm เติมน้ำเสียสังเคราะห์ครั้งละ 1 ลิตร เพื่อทดลองซ้ำจนประสิทธิภาพในการบำบัดลดลงหรือคงที่ เขียนกราฟเบรคทรูจ (Breakthrough curve)

ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดสีย้อมในน้ำเสียสังเคราะห์ ด้วยวิธีการทดลองแบบถังกรองประติษฐ์

ทำการทดลองในถังกรองประติษฐ์ ภายในบรรจุวัสดุชั้นกรองที่ขยายสเกลจากคอลัมน์เป็น 10 เท่า ประกอบด้วยชั้นหินปูน ถ่านกัละมะพร้าว และทรายหยาบผสมวัสดุดูดซับ FA3 ในอัตราส่วน 1:7 ดังรูปที่ 2 เติมน้ำเสียสังเคราะห์ 5 ลิตร ลงในชั้นถังกรองประติษฐ์ ทำการทดลองซ้ำจนประสิทธิภาพในการบำบัดลดลงหรือคงที่ นำผลการทดลองไปเขียนกราฟเบรคทรูจ พร้อมทั้งทำการวิเคราะห์ดัชนีบ่งชี้คุณภาพน้ำเสียเบื้องต้นก่อนและหลังการบำบัดมีพารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์ ได้แก่ พีเอช (pH) ความขุ่น (Turbidity) การนำไฟฟ้า (Conductivity) ความเค็ม (Salinity) สี (Color) ปริมาณของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (TDS) และความต้องการออกซิเจนของน้ำทิ้งโดยวิธีทางเคมี (COD) ตามวิธีมาตรฐานการวิเคราะห์คุณภาพน้ำและน้ำเสียของ The Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater [3]

ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดสีย้อมในน้ำเสียจริงจากโรงงานทอผ้าพื้นเมืองชุมชนบ้านทุ่งเศรษฐี ตำบลสระกรวด อำเภอศรีเทพ จังหวัดเพชรบูรณ์ ด้วยวิธีการทดลองแบบถังกรองประติษฐ์

ทำการทดลองเช่นเดียวกับการบำบัดสีย้อมในน้ำเสียสังเคราะห์ แต่ใช้น้ำเสียจริง พร้อมทั้งทำการวิเคราะห์ดัชนีบ่งชี้คุณภาพน้ำเสียเบื้องต้นก่อนและหลังการบำบัดโดยมีพารามิเตอร์เช่นเดียวกับการบำบัดสีย้อมในน้ำเสียสังเคราะห์

ผลการทดลองและวิจารณ์

ผลการศึกษาความสามารถในการดูดซับสีย้อมรีแอคทีฟแต่ละชนิดของวัสดุดูดซับทั้ง 3 ชนิด ด้วยวิธีการทดลองแบบแบตช์

ความสามารถการดูดซับสีย้อมแต่ละชนิดด้วยวัสดุดูดซับทั้ง 3 ชนิด พบว่า วัสดุดูดซับ FA1, FA2 และ FA3 สามารถดูดซับสีย้อมได้ทั้ง 9 ชนิด แต่ละชนิดมีค่าร้อยละโดยเฉลี่ยของการดูดซับสีย้อม 9 ชนิด เท่ากับ 76.81, 79.81 และ 85.81 ตามลำดับ และมีความจุการดูดซับเท่ากับ 0.77, 0.80 และ 0.86 มิลลิกรัมต่อกรัมตามลำดับ ผลที่ได้สอดคล้องกับการทดลองของ Pavel *et al.* (2003) [4] พบว่า สีย้อมที่มีไอออนลบสามารถดูดซับเข้าไปในถ่านออลิโกโพลีได้ และมีความสามารถในการดูดซับอยู่ในช่วง 0.1-0.001 มิลลิโมลต่อกรัม



รูปที่ 2 ลักษณะถังกรองประดิษฐ์และส่วนประกอบของชั้นกรอง

ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับสีย้อมรีแอกทีฟในน้ำเสียสังเคราะห์ของวัสดุดูดซับทั้ง 3 ชนิด ด้วยวิธีการทดลองแบบแบตช์

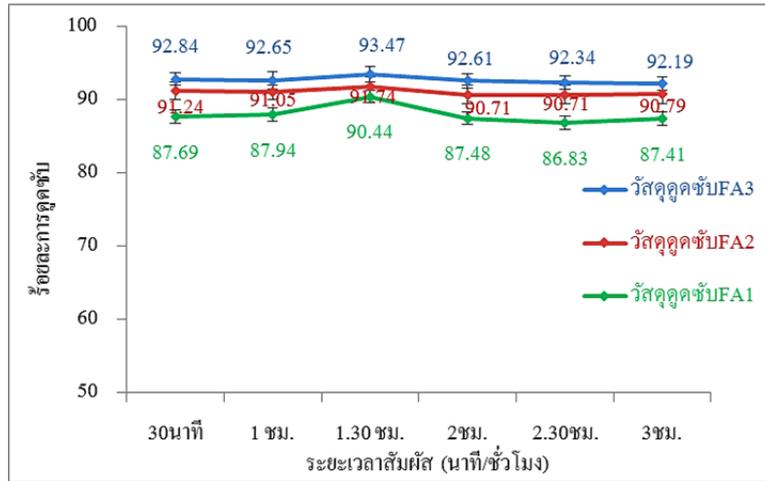
1. การศึกษาการแปรผันระยะเวลาสัมผัสเริ่มตั้งแต่ 30 นาที และ 1-3 ชั่วโมง พบว่า วัสดุดูดซับทั้ง 3 ชนิด มีเวลาสัมผัสที่ดีที่สุด คือ 1 ชั่วโมง 30 นาที มีค่าร้อยละโดยเฉลี่ยของการดูดซับสีย้อมทั้ง 9 ชนิด ดังรูปที่ 3 ผลที่ได้มีความสอดคล้องกับการทดลองของ Waraporn (2012) [5] สามารถอธิบายได้ว่า เมื่อระยะเวลาสัมผัสมากขึ้นทำให้มีผลสารมีโอกาสสัมผัสกับตัวดูดซับ ถ้าวัดโดยเฉลี่ยของทั้ง 3 ชนิดได้มากขึ้น แต่พื้นที่ของตัวดูดซับมีจำกัด เมื่อถึงระยะเวลาหนึ่งบริเวณพื้นผิวตัวดูดซับถูกครอบครองด้วยตัวถูกดูดซับจนเข้าสู่ภาวะสมดุล ทำให้ประสิทธิภาพการดูดซับคงที่ [6]

2. จากการศึกษาปริมาณวัสดุดูดซับที่เหมาะสมทั้ง 3 ชนิด พบว่า ชนิด FA1, FA2 และ FA3 ให้ประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมทั้ง 9 ชนิดได้ดีที่สุดที่ 16, 12 และ 7 กรัม มีความจุการดูดซับ (Adsorption capacity) ที่สภาวะเหมาะสม เท่ากับ 0.96, 0.97 และ 0.98 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4 เป็นการแสดงค่าร้อยละโดยเฉลี่ยการดูดซับสีย้อมทั้ง 9 ได้สูงสุดที่ร้อยละ 96.40, 97.18 และ 97.84 ตามลำดับ เห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มปริมาณตัวดูดซับเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวในการดูดซับสีย้อมจึงทำให้ร้อยละการดูดซับเฉลี่ยเพิ่มขึ้น และมีค่าร้อยละการดูดซับโดยเฉลี่ยค่อนข้างคงที่ เนื่องจากความสามารถในการดูดซับถึงจุดอิ่มตัว เมื่อเพิ่มปริมาณถ่านออลิโกเมอรัลมากขึ้น

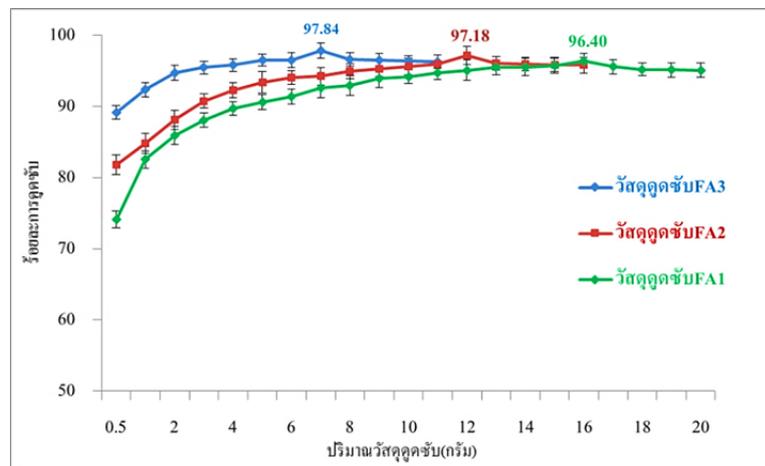
จึงทำให้ถ้าวัดไปรบกวนการตรวจวัดค่าดูดกลืนแสงของสีย้อมจึงทำให้ประสิทธิภาพการดูดซับลดลง ผลที่ได้สอดคล้องกับการทดลองของ Manickam *et al.* (2007) [7]

3. วัสดุดูดซับทั้ง 3 ชนิด มีผลการทดลองไปในทิศทางเดียวกัน เพราะทุกอัตราส่วนให้ร้อยละการดูดซับที่ใกล้เคียงกัน ดังนั้น ทฤษฎีไม่มีผลต่อการดูดซับ ทั้งนี้จากการทดลอง พบว่า ที่อัตราส่วน 1:7 ให้ร้อยละการดูดซับโดยเฉลี่ยสูงกว่าที่อัตราส่วนอื่น ดังรูปที่ 5 และเป็นอัตราส่วนที่นำมาบรรจุถ้าวัดในคอลัมน์แล้วน้ำสามารถไหลผ่านได้

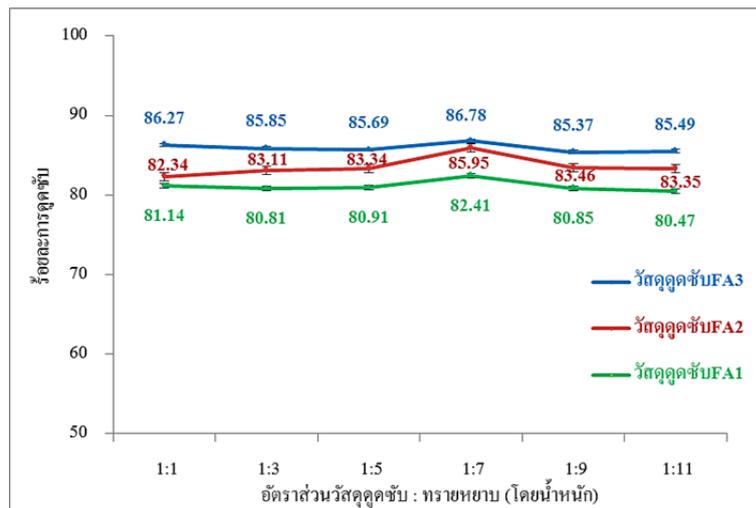
4. ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) ไอโซเทอมการดูดซับวัสดุดูดซับทั้ง 3 ชนิด มีค่าใกล้เคียงกัน ดังรูปที่ 6 ดังนั้นกลไกการดูดซับจึงมีความสอดคล้องของไอโซเทอมเป็นทั้งของแลงเมียร์และฟรุนดลิช ผลจากการวิเคราะห์บ่งชี้ว่าข้อมูลสอดคล้องกับการทดลองของ Shaobin *et al.* (2005) [8] กล่าวคือกลไกการดูดซับอาจเกิดได้ 2 แบบ คือแบบแรกการดูดซับที่พื้นที่ผิวบนตัวดูดซับเป็นแบบเดียวกันทั้งหมด (Homogeneous adsorption surface) คือเป็นแบบชั้นเดียวบนพื้นผิวตัวดูดซับที่จำกัด และแบบที่ 2 อาจมีกลไกการดูดซับเป็นแบบวิวิธพันธ์ คือไม่เป็นเนื้อเดียวกันตลอด (Heterogeneous adsorption surface) และตัวถูกดูดซับจะจัดเรียงตัวกันหลายชั้นบนพื้นผิวตัวดูดซับ โดยที่โมเลกุลตัวถูกดูดซับสามารถเกิดการซ้อนทับกันได้ [6] ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากคุณลักษณะของถ้าวัดที่มีรูพรุน ดังนั้นกลไกการดูดซับจึงเกิดได้ทั้งที่ผิวภายนอกและผิวภายในรูพรุน



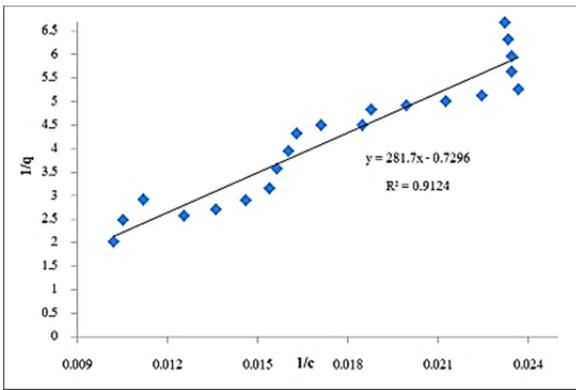
รูปที่ 3 ร้อยละโดยเฉลี่ยของการดูดซับสีย้อม 9 ชนิด ของเก้าลอยลิกันต์ทั้ง 3 ชนิดกับระยะเวลาสัมผัส



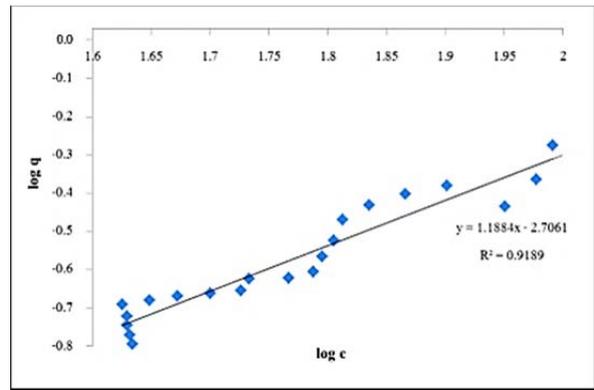
รูปที่ 4 ร้อยละโดยเฉลี่ยของการดูดซับสีย้อม 9 ชนิดกับปริมาณวัสดุดูดซับทั้ง 3 ชนิด



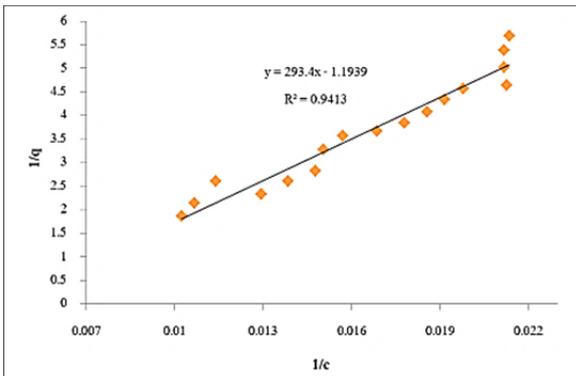
รูปที่ 5 ร้อยละโดยเฉลี่ยการดูดซับสีย้อม 9 ชนิดกับอัตราส่วนวัสดุดูดซับ 3 ชนิด ต่อทรายหยาบ



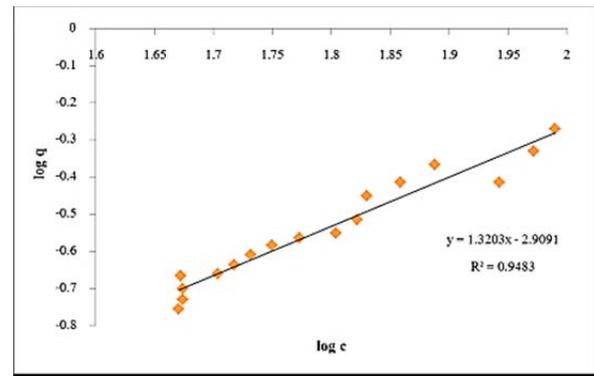
(ก)



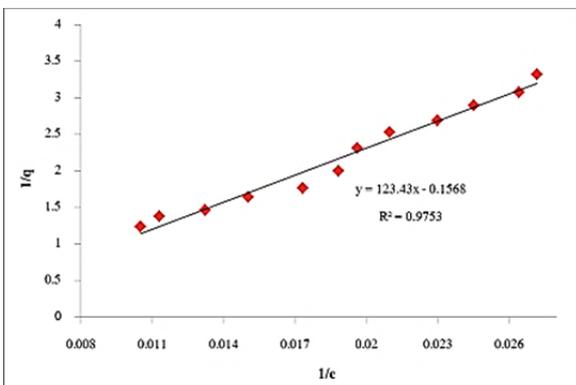
(ข)



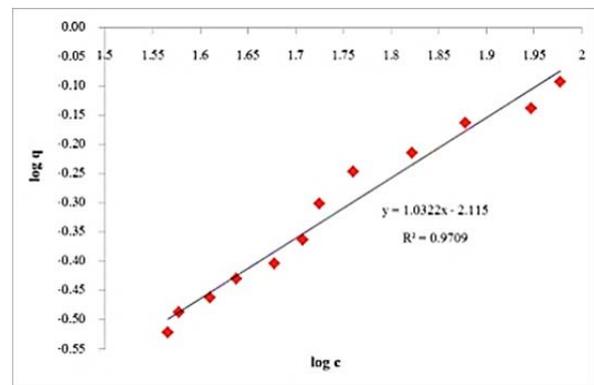
(ค)



(ง)



(จ)



(ฉ)

รูปที่ 6 ไอโซเทอมแลงเมียร์ซของ FA1(ก), FA2(ค) และ FA3(จ) และไอโซเทอมฟรุนดิชของ FA1(ข), FA2(ง) และ FA3(ฉ)

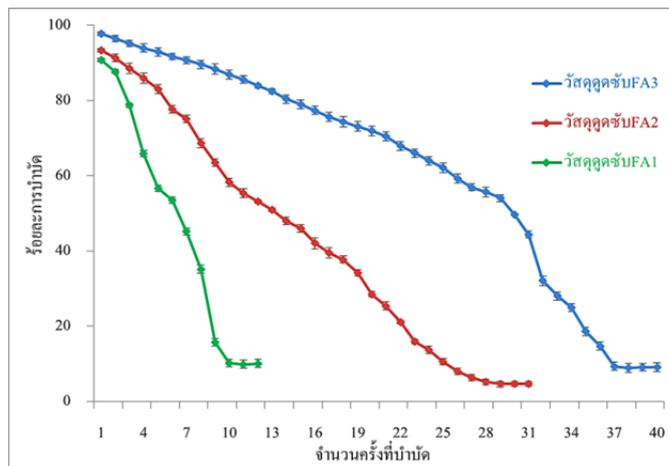
ผลการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดสีย้อมในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยวัสดุดูดซับทั้ง 3 ชนิด โดยวิธีการทดลองแบบคอลัมน์

จากผลการศึกษาในคอลัมน์ 3 คอลัมน์ ที่บรรจุชั้นทรายหยาบผสมวัสดุดูดซับ FA1, FA2 และ FA3 พบว่าทั้ง 3 คอลัมน์ บำบัดสีย้อม 9 ชนิดได้ดีในครั้งแรกมีค่าร้อยละโดยเฉลี่ยเท่ากับ 97.76, 93.29 และ 90.75 ตามลำดับ และลดลงในการบำบัดครั้งต่อไป ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Saakshy *et al.* (2016) [9] อธิบายได้ว่า การบำบัดในครั้งแรกมีพื้นที่ผิวสัมผัสและพื้นที่รูพรุนมีสมบัติในการดูดซับเป็นจำนวนมาก ทำให้ประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อมในครั้งแรกสูง แต่เมื่อนำสีย้อมในน้ำเสียสังเคราะห์ผ่านวัสดุดูดซับไปหลายๆ ครั้ง ทำให้พื้นที่ผิวและรูพรุนสัมผัสของวัสดุดูดซับลดน้อยลง เนื่องจากพื้นที่ผิวสัมผัสถูกครอบครองด้วยโมเลกุลสีย้อมจึงทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดลดน้อยลงอย่างต่อเนื่อง

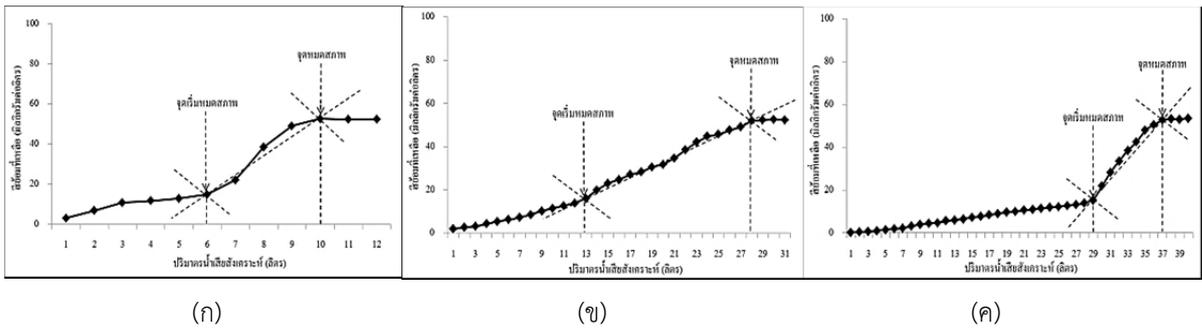
เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดครั้งแรกและครั้งที่ต่ำกว่าร้อยละ 50 ดังรูปที่ 7 พบว่า คอลัมน์ที่มีวัสดุดูดซับ FA3 สามารถบำบัดสีย้อมทุกชนิดได้ดีที่สุด เนื่องจากวัสดุดูดซับ FA3 ได้มาจากการเผาไหม้ถ่านหินลิกไนต์ร้อยละ 100 ซึ่งถ่านล้อยถ่านหินมีคุณสมบัติอยู่ 2 แบบ แบบแรก คือ คุณสมบัติทางกายภาพที่ทำให้มีรูพรุนมาก ส่วนแบบที่ 2 คือ คุณสมบัติทางเคมี ซึ่งมี SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 และ CaO เป็นองค์ประกอบหลัก มี MgO , Na_2O , K_2O และ SO_3 เป็นองค์ประกอบรอง จึงทำให้วัสดุ

ดูดซับ FA3 มีออกไซด์ของเหล็กมากกว่า และทำให้มีประสิทธิภาพในการบำบัดได้ดีกว่าวัสดุดูดซับ FA2 และ FA1 เพราะวัสดุดูดซับทั้ง 2 ได้มาจากการเผาไหม้ถ่านหินลิกไนต์ผสมกับชีวมวล

จากการคำนวณปริมาณสีย้อมที่เหลืออยู่ในน้ำทิ้งหลังการบำบัดที่ปล่อยออกจากคอลัมน์ หลังการแช่สัมผัสเป็นระยะเวลาครั้งละ 1 ชั่วโมง 30 นาที โดยใส่น้ำเสียครั้งละ 1 ลิตร จากนั้นนำไปสร้างกราฟเบรคทูล์ง เพื่อใช้ศึกษาอายุการใช้งานของตัวดูดซับที่เป็นไปได้ก่อนหมดประสิทธิภาพการดูดซับ โดยเวลาในการใช้งานของตัวดูดซับจะนับตั้งแต่เริ่มต้นการดูดซับจนถึงจุดเริ่มหมดสภาพหรือจุดเบรคทูล์ง จากการทดลองกับคอลัมน์แต่ละคอลัมน์ที่มีส่วนประกอบของวัสดุดูดซับ FA1 FA2 และ FA3 พบว่า ในช่วงแรกกราฟมีแนวโน้มลดลงจนถึงจุดเริ่มหมดสภาพที่ปริมาตรน้ำเสีย 6, 13 และ 29 ลิตร มีปริมาณสีย้อมที่เหลือ 14.92, 15.96 และ 13.13 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และจุดหมดสภาพที่ปริมาตรน้ำเสีย 10, 28 และ 37 ลิตร มีปริมาณสีย้อมที่เหลือ 52.63, 52.00 และ 52.63 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ดังรูปที่ 8 สามารถอธิบายได้ว่า เมื่อผ่านน้ำเสียสังเคราะห์อย่างต่อเนื่องส่งผลให้ประสิทธิภาพการดูดซับของตัวดูดซับลดลง โดยตัวดูดซับที่อยู่ชั้นบนจะหมดประสิทธิภาพการดูดซับก่อน ตัวดูดซับที่อยู่ชั้นล่าง ทำให้ความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับที่อยู่บนพื้นผิวตัวดูดซับมีค่าเพิ่มขึ้นจนถึงจุดสูงสุดที่ยอมรับได้ [10] ที่เรียกว่า จุดหมดสภาพ



รูปที่ 7 ร้อยละโดยเฉลี่ยการบำบัดสีย้อม 9 ชนิดในน้ำเสียสังเคราะห์กับครั้งที่บำบัดแบบคอลัมน์ผ่านชั้นกรองในคอลัมน์ที่มีถ่านล้อย

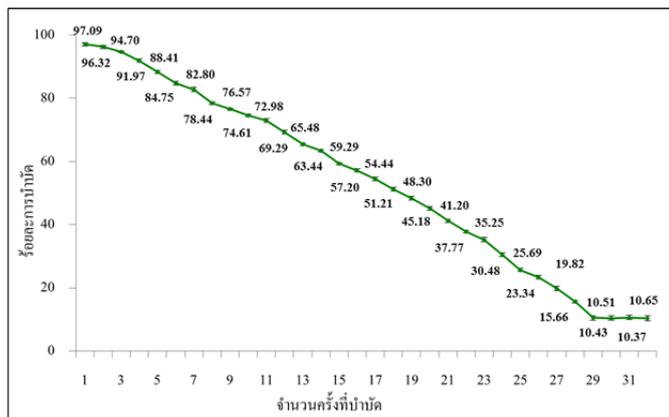


รูปที่ 8 กราฟเบรคทรูจ FA1(ก), กราฟเบรคทรูจ FA2(ข) และกราฟเบรคทรูจ FA3(ค)

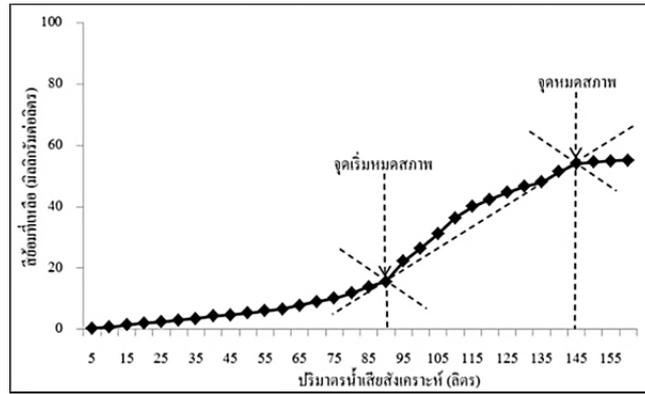
ผลการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดสีย้อมในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยวิธีการทดลองแบบถังกรองประดิษฐ์

จากการศึกษาวิธีแบบคอลัมน์ด้วยวัสดุดูดซับทั้ง 3 ชนิด พบว่า วัสดุดูดซับ FA3 มีประสิทธิภาพในการบำบัดได้ดีที่สุด ดังนั้นจึงได้เลือกวัสดุดูดซับ FA3 ผสมทรายหยาบมาทำการศึกษาระบบถังกรองประดิษฐ์ พบว่า มีประสิทธิภาพการบำบัดสีย้อม 9 ชนิด ได้ดีที่สุดในครั้งแรกร้อยละโดยเฉลี่ยเท่ากับ 97.09 และมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องในการบำบัดครั้งต่อไป เมื่อถึงการบำบัดครั้งที่ 19 ประสิทธิภาพลดลงต่ำกว่าร้อยละ 50 ดังรูปที่ 9 ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Apisit (2009) [11] รายงานว่าถ่านล้อยลิกไนต์มีประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อมทุกประเภทอยู่ในช่วงร้อยละ 50-99 และสามารถลดค่าซีไอดีของสีย้อมในน้ำเสียสังเคราะห์

เมื่อคำนวณปริมาณสีย้อมที่เหลืออยู่ในน้ำทิ้งหลังการบำบัดที่ถูกปล่อยออกจากถังกรองประดิษฐ์ หลังการแช่สัมผัสเป็นระยะเวลาครั้งละ 1 ชั่วโมง 30 นาที โดยใส่น้ำเสียครั้งละ 5 ลิตร นำมาสร้างกราฟเบรคทรูจ พบว่า ในช่วงแรกกราฟมีแนวโน้มลดลงจนถึงจุดเริ่มหมดสภาพที่ปริมาตรน้ำเสีย 90 ลิตร มีปริมาณสีย้อมที่เหลือ 15.54 มิลลิกรัมต่อลิตร และจุดหมดสภาพที่ปริมาตรน้ำเสีย 145 ลิตร มีปริมาณสีย้อมที่เหลือ 54.08 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังรูปที่ 10 นอกจากนี้ยังได้ทำการวิเคราะห์ผลดัชนีชี้คุณภาพน้ำเสียเบื้องต้นของน้ำเสียสังเคราะห์ทั้งก่อนและหลังการบำบัด ซึ่งผลวิเคราะห์หลังการบำบัดมีพารามิเตอร์ ได้แก่ พีเอช สี ความขุ่น ความเค็ม การนำไฟฟ้า ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด และซีไอดี มีค่าเท่ากับ 7.9, 0.33, 0.53, 132, 147 และ 63 ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 1



รูปที่ 9 ร้อยละโดยเฉลี่ยการบำบัดสีย้อม 9 ชนิดในน้ำเสียสังเคราะห์กับครั้งที่บำบัดแบบถังกรองประดิษฐ์ผ่านชั้นกรองในถังกรองที่มีวัสดุดูดซับ FA3



รูปที่ 10 กราฟเบรคทรูจแบบถังกรองประติษฐ์เมื่อใช้วัสดุดูดซับ FA3

ตารางที่ 1 คุณภาพน้ำเสียเบื้องต้นของน้ำเสียสังเคราะห์ก่อนและหลังจากผ่านการบำบัดด้วยถังกรองประติษฐ์ที่มีวัสดุดูดซับชนิด FA3

พารามิเตอร์	ค่ามาตรฐาน ^[1]	ผลวิเคราะห์ก่อนการบำบัด	ผลวิเคราะห์ ^[2] หลังการบำบัด
พีเอช	5.5-9.0	8.6 ± 0.1	7.9 ± 0.2
สี (แพลทตินัม-โคบอลต์)	ไม่เป็นที่พึงรังเกียจ	157 ± 0.3	0.33 ± 0.4
ความขุ่น (เอ็นทียู)	ไม่เกิน 100	14.56 ± 0.3	0.53 ± 0.2
ค่าความเค็ม (พีพีที)	ไม่เกิน 7	3.0 ± 0.1	0.3 ± 0.1
ค่าการนำไฟฟ้า (ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร)	ไม่เกิน 2,000	225 ± 0.2	132 ± 0.2
ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ไม่เกิน 3,000	324 ± 0.3	147 ± 0.4
ซีไอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ไม่เกิน 120	298 ± 0.2	63 ± 0.3

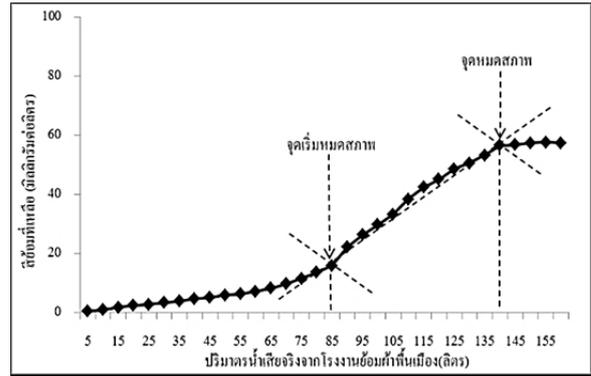
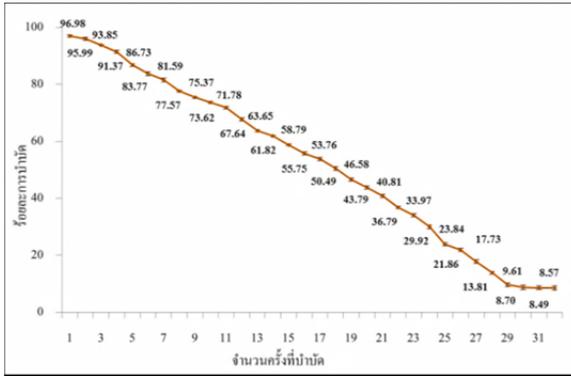
หมายเหตุ: ^[1] ค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำและน้ำเสียจากกรมควบคุมมลพิษ[12]

^[2] น้ำหลังการบำบัด คือ น้ำที่ผ่านการบำบัดในครั้งแรกของการทดลองแบบถังกรองประติษฐ์ผ่านชั้นกรองในถังกรองที่มีวัสดุดูดซับ FA3 ดังรูปที่ 9

ผลการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดสีย้อมในน้ำเสียจริงจากโรงงานทอผ้าพื้นเมืองชุมชนบ้านทุ่งเศรษฐี ด้วยวิธีการทดลองแบบถังกรองประติษฐ์

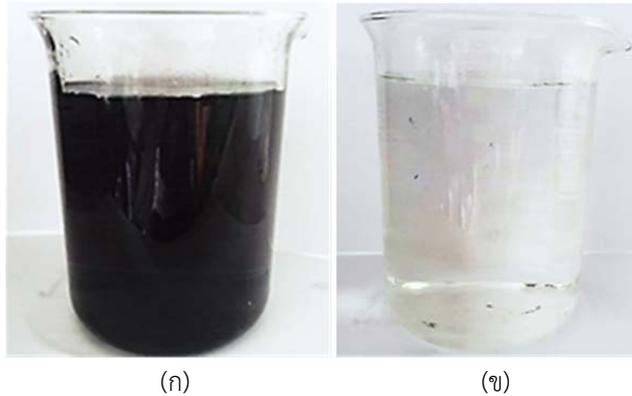
การทดลองน้ำเสียจริงใช้ปริมาณวัสดุชั้นกรองเหมือนกันกับน้ำเสียสังเคราะห์ พบว่า มีประสิทธิภาพการบำบัดสีย้อม 9 ชนิด ได้ดีที่สุดในครั้งแรกและลดลงในการบำบัดครั้งต่อไป เมื่อพิจารณารูปที่ 11 พบว่า วัสดุดูดซับ FA3 สามารถบำบัดสีย้อมในน้ำเสียจริงได้ดีที่สุดร้อยละโดยเฉลี่ย เท่ากับ 96.98 และมีประสิทธิภาพลดลงต่ำกว่าร้อยละ 50 ในการบำบัดครั้งที่ 18 ซึ่งมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกันกับน้ำเสียสังเคราะห์ ผลที่ได้มีความสอดคล้องกันกับการทดลองของ Maria et al. (2010) [13] จากกราฟ

เบรคทรูจ พบว่า จุดเริ่มหมดสภาพและจุดหมดสภาพมีค่าใกล้เคียงกันกับน้ำเสียสังเคราะห์ จุดเริ่มหมดสภาพมีปริมาตรน้ำเสีย 85 ลิตร ปริมาณสีย้อมที่เหลือ 15.98 มิลลิกรัมต่อลิตร และจุดหมดสภาพมีปริมาตรน้ำเสีย 140 ลิตร ปริมาณสีย้อมที่เหลือ 56.58 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังรูปที่ 12 นอกจากนี้ยังได้ทำการวิเคราะห์ผลดัชนีบ่งชี้คุณภาพน้ำเสียเบื้องต้นของน้ำเสียจริงทั้งก่อนและหลังการบำบัด ดังรูปที่ 13 และดังตารางที่ 2 พบว่า น้ำหลังการบำบัด ได้แก่ พีเอช สี ความขุ่น ความเค็ม การนำไฟฟ้าของแข็งละลายน้ำทั้งหมด และซีไอดี มีค่าเท่ากับ 8.7, 0.54, 21.38, 5.4, 413, 524 และ 117 ตามลำดับ ทุกพารามิเตอร์มีค่าลดลงโดยเฉพาะค่าสีของน้ำและค่าซีไอดี



รูปที่ 11 ร้อยละโดยเฉลี่ยการบำบัดสีย้อม 9 ชนิดในน้ำเสียจริงจากโรงงานย้อมผ้าพื้นเมืองกับครั้งที่บำบัดแบบถังกรองประติษฐ์ผ่านชั้นกรองในถังกรองที่มีวัสดุดูดซับ FA3

รูปที่ 12 กราฟเบรคทรูจของการบำบัดสีย้อมในน้ำเสียจริงจากโรงงานย้อมผ้าเมืองด้วยวิธีแบบถังกรองประติษฐ์เมื่อใช้วัสดุดูดซับ FA3



รูปที่ 13 สีของน้ำเสียจริงก่อนบำบัด (ก), สีของน้ำเสียจริงหลังบำบัด (ข)

ตารางที่ 2 คุณภาพน้ำเสียเบื้องต้นของน้ำเสียจากโรงงานทอผ้าพื้นเมืองชุมชนบ้านทุ่งเศรษฐี ก่อนและหลังจากผ่านการบำบัดด้วยถังกรองประติษฐ์ที่มีวัสดุดูดซับ FA3

พารามิเตอร์	ค่ามาตรฐาน ^[1]	ผลวิเคราะห์ก่อนการบำบัด	ผลวิเคราะห์ ^[2] หลังการบำบัด
พีเอช	5.5-9.0	10.14 ± 0.3	8.7 ± 0.1
สี (แพลทตินัม-โคบอลต์)	ไม่เป็นที่พึงรังเกียจ	161 ± 0.2	0.54 ± 0.2
ความขุ่น (เนื้ดลิตู)	ไม่เกิน 100	45.17 ± 0.4	21.38 ± 0.1
ค่าความเค็ม (พีพีที)	ไม่เกิน 7	8.3 ± 0.1	5.4 ± 0.3
ค่าการนำไฟฟ้า (ไม่โครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร)	ไม่เกิน 2,000	892 ± 0.3	413 ± 0.2
ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ไม่เกิน 3,000	936 ± 0.3	524 ± 0.1
ซีไอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ไม่เกิน 120	1,003 ± 0.1	117 ± 0.2

หมายเหตุ: ^[1] ค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำและน้ำเสียจากกรมควบคุมมลพิษ [12]

^[2] น้ำหลังการบำบัด คือ น้ำที่ผ่านการบำบัดในครั้งแรกของทางทดลองแบบถังกรองประติษฐ์ผ่านชั้นกรองในถังกรองที่มีวัสดุดูดซับ FA3 ดังรูปที่ 11

สรุป

1. การดูดซับสี้อมรีแอคทีฟแต่ละชนิดด้วยวัสดุดูดซับ FA1, FA2 และ FA3 พบว่า สามารถดูดซับสี้อมรีแอคทีฟทั้ง 9 ชนิด แต่ละชนิดมีค่าร้อยละโดยเฉลี่ยเท่ากับ 76.81, 79.81 และ 85.81 ตามลำดับ และมีความจุการดูดซับเท่ากับ 0.77, 0.80 และ 0.86 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ

2. สภาวะเหมาะสมของวัสดุดูดซับ FA1, FA2 และ FA3 มีระยะเวลาสัมผัสเหมาะสมอยู่ที่ 1 ชั่วโมง 30 นาที ปริมาณวัสดุดูดซับที่เหมาะสม เท่ากับ 16, 12 และ 7 กรัม ตามลำดับ มีประสิทธิภาพในการดูดซับสี้อมรีแอคทีฟทั้ง 9 ชนิด ได้มากกว่าร้อยละ 95 ความจุการดูดซับ เท่ากับ 0.96, 0.97 และ 0.98 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ และมีไอโซเทอมการดูดซับสอดคล้องกับไอโซเทอมแลงเมียร์และฟรุนดลิช

3. การทดลองแบบคอลัมน์ พบว่า วัสดุดูดซับ FA3 มีประสิทธิภาพในการบำบัดสี้อมร้อยละโดยเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 97.76 รองลงมาคือ FA2 และ FA1 ร้อยละ 93.29 และ 90.75 ตามลำดับ สามารถสรุปได้ว่าวัสดุดูดซับ FA3 มีประสิทธิภาพการบำบัดสี้อมในน้ำเสียได้ดีที่สุด เนื่องจากวัสดุดูดซับ FA3 ได้มาจากการเผาไหม้ถ่านหินลิกไนต์ร้อยละ 100 ซึ่งถ่านลิกไนต์มีคุณสมบัติอยู่ 2 แบบ แบบแรก คือ คุณสมบัติทางกายภาพที่ทำให้มีรูพรุนมาก ส่วนแบบที่ 2 คือ คุณสมบัติทางเคมี ซึ่งมี SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 และ CaO เป็นองค์ประกอบหลัก มี MgO , Na_2O , K_2O และ SO_3 เป็นองค์ประกอบรอง จึงทำให้วัสดุดูดซับ FA3 มีออกไซด์ของเหล็กมากกว่า และทำให้มีประสิทธิภาพในการบำบัดได้ดีกว่าวัสดุดูดซับ FA2 และ FA1 เพราะวัสดุดูดซับทั้ง 2 ได้มาจากการเผาไหม้ถ่านหินลิกไนต์ผสมกับชีวมวล

4. การทดลองด้วยถังกรองประดิษฐ์ได้เลือกวัสดุดูดซับ FA3 ผสมกับทรายหยาบ ตามวิธีแบบคอลัมน์ โดยทำการทดลองกับน้ำเสียสังเคราะห์และน้ำเสียจริงจากโรงงานทอผ้าพื้นเมือง พบว่า มีประสิทธิภาพในการบำบัดสี้อมทั้ง 9 ได้ดีร้อยละโดยเฉลี่ย เท่ากับ 97.09 และ 96.98 ตามลำดับ จากผลการทดลองสรุปได้ว่าถ่านลิกไนต์มีประสิทธิในการบำบัดสี้อมรีแอคทีฟได้ดีทั้ง 9 ชนิด แสดงให้เห็นว่าถ่านลิกไนต์มีประสิทธิภาพที่จะนำมาใช้เป็นตัวดูดซับ เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัด

สี้อมในชั้นกรอง และสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้จริงในการบำบัดสี้อมจากโรงงานทอผ้าพื้นเมือง

เอกสารอ้างอิง

- [1] Thailand Industrial Product Standards. 2011. Industrial Standard Synthetic Dye: Reactive Color. Source: http://www.tisi.go.th/images/stories/notices/pdf/tisi740_54.pdf, 21 February 2016. (in Thai)
- [2] Gian, G. and T. Norca. 1998. Use of fly ash in reducing toxicity of and heavy metals in wastewater effluent. Hazardous Materials. 57: 243-248.
- [3] APHA, AWWA. and WEF. 2005. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21st edition, American Public Health Association, Washington, DC.
- [4] Pavel, J., Buchtova, H. and Ryznarova, M. 2003. Sorption of dyes from aqueous solutions onto fly ash. Water Res. 37: 4938-4944.
- [5] Waraporn Sittinang. 2012. Preparation of adsorbent material from mixture of bottom Ash and FGD gypsum for dye adsorption, Master Thesis, Chiang Mai University. (in Thai)
- [6] Nipon Tangkananuruk and Kanita Tangkananuruk. 2007. Principles of Chemical Water Quality Analysis, 1st Edition, University Press. Agriculture, Bangkok. (in Thai)
- [7] Manickam, M. and Karunanithi, T. 2007. Adsorption of Chrysoidine R by using fly ash in batch process. J. Hazard. Mater. 145: 154-161.
- [8] Shaobin, W., Boyjoo, Y., Choueib, A. and Zhu, Z.H. 2005. Removal of dyes from aqueous solution using fly ash and red mud. Water Res. 39: 129-138.

- [9] Saakshy, K., Singh, Gupta, A.B. and Sharma, A.K. 2016. Fly ash as low cost adsorbent for treatment of effluent of handmade paper industry-Kinetic and modelling studies for direct black dye. *Journal of Cleaner Production*. 112: 1227-1240.
- [10] Richards, P. and Reynolds, T. D. 1995. *Unit Operations and Processes in Environmental Engineering*, Second printing, Cengage Learning, Boston.
- [11] Apisit Netrawong. 2009. Removal of Dyes from Textile Wastewater Using Lignite Fly Ash, Master Thesis, King Mongkuts Institute of Technology Thonburi. Bangkok. (in Thai)
- [12] Pollution Control Department, Standard for Drainage Control of Industrial and Industrial Estate No. 3 (1996), Source: http://www.pcd.go.th/info_serv/reg_std_water04.html, 18 August 2016. (in Thai)
- [13] Maria, V., Bogatu, C. and Duta, A. 2010. Simultaneous adsorption of dyes and heavy metals from multicomponent solutions using fly ash. *Appl. Surf. Sci.* 256: 5486-491.