

การบำบัดสีย้อมผ้าใยธรรมชาติและใยสังเคราะห์ ด้วยตะกอนดินจากระบวนการผลิตน้ำประปา

Treatment of Natural and Synthetic Textile Dyestuffs by Water Sludge Sediment

นิตยา เบ็ญคขุนทด (Nittaya Baidkhunthod)¹* คณิดา ตั้งคนานุรักษ์ (Kanita Tangkananuruk)**

ดร.วัชรพงษ์ วาระรัมย์ (Dr. Watcharapong Wararam)***

(Received: August 20, 2018; Revised: October 30, 2018; Accepted: November 5, 2018)

บทคัดย่อ

ศึกษาการบำบัดสีย้อมกลุ่มสีไดเรกซ์ 8 สี และกลุ่มสีรีแอคทีฟ 8 สีในสารละลาย ด้วยตะกอนดินแบบผง และแบบเม็ดจากระบวนการผลิตน้ำประปา พบว่าตะกอนดินแบบผง และแบบเม็ดสามารถบำบัดสีย้อมได้ทั้ง 2 กลุ่ม ได้สภาวะที่เหมาะสมของการบำบัดสีย้อมทั้ง 2 กลุ่ม คือ ปริมาณตะกอนดิน (10 กรัม) ความเข้มข้นสีย้อม (40 มก./ล.) และเวลาสัมผัส (60 นาที) วิเคราะห์ไอโซเทอร์มการดูดซับ ด้วยไอโซเทอร์มแลงเมียร์ และไอโซเทอร์มฟรุนดิช พบว่ากลไกการดูดซับสอดคล้องกับไอโซเทอร์มแลงเมียร์ และฟรุนดิช ความจุการดูดซับจากแบบผงและแบบเม็ดของกลุ่มสีไดเรกซ์ มีค่าเท่ากับ 1.67 และ 1.21 ตามลำดับ และกลุ่มสีรีแอคทีฟ มีค่าเท่ากับ 1.69 และ 0.93 ตามลำดับ ในน้ำเสียสังเคราะห์ พบว่าการบำบัดสีย้อมมีประสิทธิภาพการบำบัดสูง มีค่าเท่ากับร้อยละ 94.62 และ 90.45 ตามลำดับ จากการเขย่าน้ำเสียกับตะกอนดินแบบเม็ด และเท่ากับร้อยละ 96.91 และ 92.40 ตามลำดับ สำหรับน้ำเสียที่ผ่านการบำบัด มีค่าสีผ่านเกณฑ์ค่ามาตรฐานน้ำทิ้งลงบ่อน้ำบาดาลตามประกาศของกระทรวงอุตสาหกรรม

ABSTRACT

Treatment of 8 direct dyestuffs and 8 reactive dyestuffs from aqueous dyes solution were investigated onto powder and bead of sediment from water works process (WWP). It was found powder and bead of sediment had treatment of 2 dye groups The optimal conditions for treatment of 2 dye groups at SWWP (10 g.), dye concentration (40 mg/L) and contact time (60 minute). The isotherms of adsorption were analyzed by Langmuir and Freundlich isotherm. It was found that the adsorption behavior was fit with Langmuir and Freundlich isotherm. The adsorption capacity from powder and bead sediment of direct dyes group on were 1.67 and 1.21 respectively and reactive dyes group on were 1.69 and 0.93 respectively. In synthetic wastewater, a high removal efficiency was achieved at 94.62 % and 90.45 % respectively from shake wastewater with bead sediment and at 96.91 % and 92.40 % respectively from stir powder sediment with wastewater. For the treated wastewater with color values are passed the standard value of the groundwater wells effluent according to the Ministry of industry.

คำสำคัญ: สีย้อมผ้า ตะกอนดิน การดูดซับ

Keywords: Textile dyestuffs, Sludge sediment, Adsorption

¹Correspondent author: nittaya.bkt37@gmail.com

* นักศึกษา หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขามลพิษและเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

** รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

*** อาจารย์ ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



บทนำ

ปัจจุบันอุตสาหกรรมย้อมผ้าระดับครัวเรือน มีความสำคัญ และพัฒนาเพิ่มมากขึ้น มีการใช้ทั้งเส้นใยธรรมชาติ และเส้นใยสังเคราะห์ โดยสีย้อมผ้าที่นิยมใช้กับเส้นใยทั้ง 2 ชนิด คือ กลุ่มสีไคเร็กซ์ และกลุ่มสีรีแอคทีฟ จึงทำให้มีการนำมาใช้ในขั้นตอนการฟอกย้อมปริมาณมาก แต่ด้วยคุณสมบัติของสีย้อมทั้ง 2 กลุ่ม ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง มีหมู่ฟังก์ชันเป็นประจุลบ และมีโครงสร้างโมเลกุลที่ซับซ้อน ทำให้มีความเสถียรและยากต่อการย่อยสลายทางชีวภาพ [1] เนื่องจากโครงสร้างของสีย้อมส่วนใหญ่มีกลุ่มของอะโรมาติก (Aromatic) และเฮเทอโรไซคลิก (Heterocyclic) อยู่ในโมเลกุล [2] จึงบำบัดได้ยาก และประมาณร้อยละ 70 ของสีย้อมที่ใช้ในการฟอกย้อมมีหมู่ฟังก์ชัน เป็นอะโซ (Azo group, $-N=N-$) [3] เมื่อเชื่อมต่อกับวงแหวนอะโรมาติกเป็นผลทำให้สีย้อมสามารถเป็นสารเคมีที่ก่อให้เกิดอันตรายต่อระบบนิเวศและมนุษย์ได้ ดังนั้นก่อนการปล่อยน้ำเสียสีย้อมลงสู่แหล่งน้ำ ต้องเข้าสู่กระบวนการบำบัด และวิธีการบำบัดมีหลายวิธี เช่น การแยกด้วยเมมเบรน กระบวนการโคแอกกูเลชัน และ กระบวนการ Reverse osmosis เป็นต้น ซึ่งวิธีการดังกล่าวเป็นเทคนิคที่มีประสิทธิภาพ แต่มีข้อจำกัดในการใช้งาน [4] จึงไม่เหมาะในการนำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียสีย้อมภายในอุตสาหกรรมครัวเรือน และการบำบัดสีย้อมด้วยกระบวนการดูดซับเป็นกระบวนการบำบัดที่สำคัญวิธีหนึ่ง ซึ่งให้ประสิทธิภาพในการบำบัดสูง ราคาไม่แพง ออกแบบไม่ซับซ้อน และกระบวนการไม่ยุ่งยาก อีกทั้งยังมีการศึกษาการใช้วัสดุดูดซับที่ราคาไม่แพง มาทดลองดูดซับสี เช่น วัสดุเหลือทิ้ง ได้แก่ เปลือกกล้วย [5] กากตะกอน [6] เป็นต้น

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีการศึกษาการนำตะกอนดินจากกระบวนการผลิตน้ำประปาที่เป็นวัสดุเหลือทิ้ง มาใช้เป็นวัสดุในการบำบัดสีย้อมผ้าใยธรรมชาติกลุ่มสีไคเร็กซ์ และสีย้อมผ้าใยสังเคราะห์กลุ่มสีรีแอคทีฟ เนื่องจากมีราคาไม่แพง และมีตะกอนดินปริมาณมาก อีกทั้งตะกอนดินยังมีลักษณะเป็นรูพรุน อนุภาคคล้ายดินเหนียวที่มีขนาดเล็ก มีธาตุอะลูมิเนียม ซิลิกอน และออกซิเจนเป็นองค์ประกอบทางเคมี และเป็นสารประกอบจำพวกแอนไฮดรอสอะลูมิเนียมซิลิเกต [7] ซึ่งมีความสามารถในการดูดซับได้ดี ประกอบกับยังมีปัญหาด้านการจัดการสีย้อมในน้ำเสียที่เกิดจากการย้อมผ้าในชุมชน งานวิจัยจึงมุ่งเน้นการนำตะกอนดินไปสู่การใช้ประโยชน์ในการบำบัดสีย้อมในน้ำเสียจากกระบวนการฟอกย้อมในชุมชนได้จริง

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพ และสภาวะที่เหมาะสมของปัจจัยที่มีผลในการบำบัดสีย้อมผ้าใยธรรมชาติกลุ่มสีไคเร็กซ์ และสีย้อมผ้าใยสังเคราะห์กลุ่มสีรีแอคทีฟ ด้วยตะกอนดินแบบผง และแบบเม็ด
2. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการใช้งานได้จริงของตะกอนดินแบบผง และแบบเม็ดในการบำบัดสีย้อมผ้าใยธรรมชาติกลุ่มสีไคเร็กซ์ และสีย้อมผ้าใยสังเคราะห์กลุ่มสีรีแอคทีฟ

วิธีการวิจัย

1. การเตรียมตะกอนดิน เพื่อใช้ในการบำบัดสีย้อม

ตะกอนดินจากกระบวนการผลิตน้ำประปาได้รับความอนุเคราะห์จากโรงผลิตน้ำประปามหาสวัสดิ์ เตรียมตะกอนดิน 2 แบบ คือแบบผง โดยนำตะกอนดินที่แห้งมาบดละเอียด ร่อนผ่านตะแกรงร่อนเบอร์ 30 นำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส 3 ชั่วโมง ได้ตะกอนดินแบบผง และตะกอนดินแบบเม็ด นำตะกอนดินแบบผง ผสมน้ำให้ได้ความชื้น 35 % จากนั้นขึ้นรูปเป็นเม็ดกลม มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 2 มิลลิเมตร เฝ้าที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส 3 ชั่วโมง นำมาอบต่อที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส 30 นาที ได้ตะกอนดินแบบเม็ด

2. การเตรียมสารละลายสีย้อมผ้าใยธรรมชาติและสีย้อมผ้าใยสังเคราะห์

2.1 เตรียมสารละลายสีย้อมผ้าใยธรรมชาติกลุ่มสีไดเร็กซ์ และสีย้อมผ้าใยสังเคราะห์กลุ่มสีรีแอคที แต่ละสีเข้มข้น 50 มก./ล. โดยหลักการวัดค่าสีของแต่ละสีในแต่ละกลุ่ม วัดที่ความยาวคลื่นที่ทำให้การดูดกลืนแสงสูงสุด ด้วยเครื่องยูวี วิซิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-visible spectrophotometer) โดยสีย้อมแต่ละสีของทั้ง 2 กลุ่ม มีความยาวคลื่นที่ดูดกลืนแสงได้มากที่สุด (λ_{max}) เป็นดังนี้ กลุ่มสีไดเร็กซ์ 8 สี ได้แก่ ม่วงสด (541 nm) น้ำเงิน (622 nm) เหลือง (411 nm) เขียว (445 nm) เลือดหมู (533 nm) แดง (508 nm) ส้ม (469 nm) และน้ำตาล (568 nm) และกลุ่มสีรีแอคทีฟ 8 สี ได้แก่ Turquoise H-Gn (662 nm) Red LS-B (546 nm) Blue G (660 nm) Navy LS-G (616 nm) Black R (550 nm) Yellow RN (292 nm) Red SBN (289 nm) และ Yellow 4G (414 nm)

2.2 เตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ หรือสารละลายสีย้อมผสม สีย้อมแต่ละสีของทั้ง 2 กลุ่มเข้มข้น 5 มก./ล. และมีความเข้มข้นของสีย้อมทั้งหมดเท่ากับ 40 มก./ล พร้อมทั้งวิเคราะห์คุณภาพเบื้องต้นของน้ำเสียสังเคราะห์

จากการกำหนดค่าสีความเข้มข้นของสารละลายสีย้อม และน้ำเสียสังเคราะห์ ที่ความเข้มข้น 50 มก./ล. และ 40 มก./ล โดยศึกษาคุณสมบัติสีจากค่าการย้อมผ้าในชุมชน ซึ่งพบว่า ที่ความเข้มข้นของสารละลาย ที่ 50 มก./ล. รวมทั้งค่าสีน้ำเสียสังเคราะห์ 40 มก./ล มีความใกล้เคียงกับน้ำเสียสีย้อมจริงในชุมชน

3. ศึกษาประสิทธิภาพเบื้องต้น ของการบำบัดสีย้อมของทั้ง 2 กลุ่มด้วยตะกอนดิน โดยการทดลองแบบแบตช์

ศึกษาประสิทธิภาพเบื้องต้น โดยใช้ตะกอนดินแบบผง และแบบเม็ด 1 กรัม ต่อสารละลายสีย้อมแต่ละสีของทั้ง 2 กลุ่ม ที่ความเข้มข้น 40 มก./ล. ปริมาตร 50 มล. เขย่าที่ความเร็วรอบ 120 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที ตั้งทิ้งไว้ 30 นาที กรองและวัดค่าดูดกลืนแสงที่ λ_{max} ของสีย้อมแต่ละสีของทั้ง 2 กลุ่ม ด้วยเครื่องยูวี วิซิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ และคำนวณหาประสิทธิภาพการดูดซับ

4. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของปัจจัยที่มีผลต่อการบำบัดสีย้อมผ้าของทั้ง 2 กลุ่ม ด้วยตะกอนดิน

ปัจจัยที่ทำการศึกษา ได้แก่ ปริมาณตะกอนดินแบบผง และแบบเม็ด 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10 และ 12 กรัม, ความเข้มข้นสีย้อมแต่ละสี ตั้งแต่ 5, 10, 20, 40 และ 50 มก./ล. และระยะเวลาที่สัมผัสตั้งแต่ 15, 30, 60 และ 90 นาที โดยใช้ปริมาณตะกอนดิน และความเข้มข้นสีย้อมที่สภาวะเหมาะสม

5. คำนวณความจุของการดูดซับ (Adsorption capacity) สีย้อมทั้ง 2 กลุ่ม ด้วยตะกอนดิน

การคำนวณความจุของการดูดซับสีย้อมของทั้ง 2 กลุ่ม ใช้สภาวะที่เหมาะสม ด้วยตะกอนดินแบบผง และแบบเม็ด ในหน่วยมิลลิกรัมของสีย้อมต่อกรัมของตะกอนดิน

6. ศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับของสีย้อมของทั้ง 2 กลุ่ม

ศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับสีย้อมกลุ่มสีไดเร็กซ์ และกลุ่มสีรีแอคทีฟ โดยใช้ผลการทดลองของสีย้อมที่สามารถบำบัดได้ดีที่สุดด้วยตะกอนดินแบบผง และแบบเม็ด นำผลการทดลองที่ได้มาคำนวณ เขียนกราฟแสดงไอโซเทอร์มการดูดซับแลงเมียร์ (Langmuir adsorption isotherm) และไอโซเทอร์มการดูดซับฟรุนดลิช (Freundlich adsorption isotherm)

7. ศึกษาประสิทธิภาพของรูปแบบการนำไปใช้งานได้จริง

7.1 ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดสีย้อมในน้ำเสียสังเคราะห์ ด้วยตะกอนดินแบบเม็ด

7.1.1 ทดลองแบบคอลัมน์



ใช้ตะกอนดินแบบเม็ด 100 กรัม (คำนวณจากสภาวะที่เหมาะสมที่ได้จากการศึกษาข้อ 4) ต่อน้ำเสียสังเคราะห์ของทั้ง 2 กลุ่ม ความเข้มข้น 40 มก./ล. ปริมาตร 500 มล. แช่ทิ้งไว้ 60 นาที และปล่อยน้ำเสียผ่านตะกอนดินให้หมด คำนวณหาประสิทธิภาพการดูดซับ จากการวัดค่าดูดกลืนแสงของแต่ละ λ_{max}

7.1.2 ทดลองแบบเขย่า

ใช้ตะกอนดินแบบเม็ด 100 กรัม ต่อน้ำเสียสังเคราะห์ของทั้ง 2 กลุ่ม ความเข้มข้น 40 มก./ล. ปริมาตร 500 มล. เขย่าด้วยความเร็วรอบ 100 รอบต่อนาที เป็นเวลา 60 นาที ตั้งทิ้งไว้ 30 นาที กรองและคำนวณหาประสิทธิภาพการดูดซับจากการวัดค่าดูดกลืนแสงของแต่ละ λ_{max} จากนั้นวิเคราะห์ค่าสีของน้ำที่ความยาวคลื่น 320 นาโนเมตรในหน่วยเพลทินัม-โคบอลต์เพื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานน้ำทิ้งบ่อบาดาล ทำการทดลองซ้ำ จนตะกอนดินแบบเม็ดหมดประสิทธิภาพในการดูดซับ

7.2 ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดสีย้อมในน้ำเสียสังเคราะห์ ด้วยตะกอนดินแบบผง

ใช้ตะกอนดินแบบผง 100 กรัม ต่อน้ำเสียสังเคราะห์ของทั้ง 2 กลุ่ม ความเข้มข้น 40 มก./ล. ปริมาตร 500 มล. กวนด้วยความเร็วรอบ 100 รอบต่อนาที เป็นเวลา 60 นาที ตั้งทิ้งไว้ 30 นาที คำนวณหาประสิทธิภาพการดูดซับจากการวัดค่าดูดกลืนแสงของแต่ละ λ_{max} จากนั้นวิเคราะห์ค่าสีของน้ำที่ความยาวคลื่น 320 นาโนเมตรในหน่วยเพลทินัม-โคบอลต์เพื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานน้ำทิ้งบ่อบาดาล ทำการทดลองซ้ำ จนตะกอนดินแบบผงหมดประสิทธิภาพในการดูดซับ

ผลการวิจัย

1. ผลการเตรียมตะกอนดินจากกระบวนการผลิตน้ำประปา

ตะกอนดินจากกระบวนการผลิตน้ำประปา ที่เตรียมได้ เพื่อใช้เป็นวัสดุบำบัดสีย้อมมี 2 แบบ คือแบบผงและแบบเม็ดดังภาพที่ 1 พบว่าลักษณะทางกายภาพของตะกอนดินแบบผง มีลักษณะสีน้ำตาลอ่อน เนื้อละเอียด ส่วนตะกอนดินแบบเม็ด มีลักษณะสีน้ำตาลอมส้ม เป็นก้อนกลม เส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 2 มิลลิเมตร.

2. ผลการศึกษาประสิทธิภาพเบื้องต้น ของการบำบัดสีย้อมของทั้ง 2 กลุ่ม ด้วยตะกอนดิน

ผลการศึกษาพบว่า ตะกอนดินแบบผงสามารถดูดซับสีย้อมได้ดีทั้ง 2 กลุ่ม มีร้อยละการบำบัดสูงกว่าตะกอนดินแบบเม็ด เนื่องจากตะกอนดินแบบผงเป็นตัวย่อยที่มีขนาดอนุภาคเล็กกว่า มีพื้นที่ผิวสัมผัสมาก จึงมีความสามารถในการดูดซับสีย้อมได้ดีกว่าตะกอนดินแบบเม็ดที่มีอนุภาคขนาดใหญ่

ผลการศึกษาการบำบัดสีย้อมกลุ่มสีไครเร็กซ์แต่ละสี พบว่าตะกอนดินแบบผงและแบบเม็ดสามารถบำบัดสีเลือดหมู ได้ดีที่สุด และบำบัดสีเขียวได้น้อยที่สุด โดยตะกอนดินแบบผงมีร้อยละการบำบัดเท่ากับ 83.43 และ 37.33 ตามลำดับ คิดเป็นความสามารถในการบำบัดสีย้อมเท่ากับ 1.67 และ 0.75 มก./ก. ตามลำดับ และตะกอนดินแบบเม็ด มีร้อยละการบำบัดเท่ากับ 60.74 และ 32.00 ตามลำดับ มีความสามารถในการบำบัดสีย้อมเท่ากับ 1.21 และ 0.64 มก./ก. ตามลำดับ ดังตารางที่ 1 ส่วนการบำบัดสีย้อมกลุ่มสีรีแอกทีฟแต่ละสี ตะกอนดินแบบผงและแบบเม็ดสามารถบำบัดสี Turquoise ได้ดีที่สุด และบำบัดสี Black R ได้น้อยที่สุด โดยตะกอนดินแบบผงมีร้อยละการบำบัดเท่ากับ 84.52 และ 32.16 ตามลำดับ ความสามารถในการบำบัดสีย้อมเท่ากับ 1.69 และ 0.65 มก./ก. ตามลำดับ และตะกอนดินแบบเม็ด มีร้อยละการบำบัดเท่ากับ 46.29 และ 22.86 ตามลำดับ ความสามารถในการบำบัดสีย้อมเท่ากับ 0.93 และ 0.46 มก./ก. ตามลำดับ ดังตารางที่ 2

จากผลการทดลองการบำบัดสีย้อมทั้ง 2 กลุ่ม เบื้องต้นพบว่า ตะกอนดินแบบผง และแบบเม็ดสามารถบำบัดสีย้อมชนิดเดียวกันได้ดีที่สุด และน้อยที่สุด และตะกอนดินแบบผง สามารถบำบัดดีกว่าตะกอนดินแบบเม็ด

3. ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของปัจจัยที่มีผลต่อการบำบัดสีย้อมผ้าของทั้ง 2 กลุ่ม ด้วยตะกอนดินโดยการทดลองแบบแบตซ์

3.1 ปริมาณตะกอนดิน

ผลการศึกษาปริมาณตะกอนดินเริ่มตั้งแต่ 1 กรัม ถึง 12 กรัม พบว่าสีย้อมแต่ละสีของทั้ง 2 กลุ่ม มีแนวโน้มการถูกดูดซับเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มปริมาณตัวดูดซับ เป็นการเพิ่มจำนวนตำแหน่งบนพื้นผิวและพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างตัวดูดซับกับสารละลายสีย้อม [8-9] และเริ่มคงที่เมื่อปริมาณตะกอนดินมากขึ้น โดยปริมาณตะกอนดินทั้งแบบผง และแบบเม็ดที่ 10 กรัม สามารถบำบัดสีย้อมแต่ละสีของทั้ง 2 กลุ่มได้ดีที่สุด และมีประสิทธิภาพการบำบัดสูงสุด ดังภาพที่ 2 และ 3 โดยกลุ่มสีไคเร็กซ์มีร้อยละการบำบัดโดยเฉลี่ยด้วยตะกอนดินแบบผง และแบบเม็ด เท่ากับ 94.22 และ 87.49 ตามลำดับ ส่วนกลุ่มสีรีแอคทีฟมีร้อยละการบำบัดโดยเฉลี่ยด้วยตะกอนดินแบบผง และ แบบเม็ด เท่ากับ 88.52 และ 77.21 ตามลำดับ

3.2 ความเข้มข้น

ผลการศึกษาความเข้มข้น แต่ละสีของทั้ง 2 กลุ่ม เริ่มต้นตั้งแต่ 5, 10, 20, 40 และ 50 มก./ล. ใช้ปริมาณตะกอนดินแบบผง และแบบเม็ด 1 กรัม ต่อสารละลายปริมาตร 50 มล. พบว่าการเพิ่มขึ้นของสารละลายสีย้อม มีร้อยละการบำบัดลดลง เนื่องจากการเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายในขณะที่ปริมาณตัวดูดซับคงที่ ทำให้ร้อยละของการบำบัดสีย้อมมีค่าลดลง และคงที่ ดังภาพที่ 4 และ 5 ดังนั้นความเข้มข้นที่เหมาะสม ในการบำบัดสีย้อมแต่ละสีของทั้ง 2 กลุ่มคือ 40 มก./ล. โดยกลุ่มสีไคเร็กซ์มีร้อยละการบำบัดโดยเฉลี่ยด้วยตะกอนดินแบบผง และแบบเม็ดเท่ากับ 62.00 และ 51.25 ตามลำดับ ความสามารถในการบำบัดสีย้อมเท่ากับ 1.24 และ 1.03 ตามลำดับ และกลุ่มสีรีแอคทีฟมีร้อยละการบำบัดโดยเฉลี่ยด้วยตะกอนดินแบบผง และแบบเม็ดเท่ากับ 54.67 และ 32.81 ตามลำดับ มีความสามารถในการบำบัดสีย้อมเท่ากับ 1.09 และ 0.66 ตามลำดับ

3.3 ระยะเวลาสัมผัส

ผลการศึกษาระยะเวลาสัมผัส เริ่มตั้งแต่ 15, 30, 60 และ 90 นาที โดยใช้ปริมาณตะกอนดินแบบผง และแบบเม็ด 10 กรัม เนื่องจากปริมาณตะกอนดินที่ 10 กรัมสามารถบำบัดสีย้อมแต่ละสีของทั้ง 2 กลุ่มได้ดีที่สุด และสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้จริงในขั้นต่อไป ที่ความเข้มข้น 40 มก./ล. ปริมาตร 50 มล. พบว่า ระยะเวลาสัมผัสที่มีประสิทธิภาพการบำบัดสีย้อมทั้ง 2 กลุ่มสีได้สูงสุด คือ 60 นาที ดังภาพที่ 6 และ 7 โดยกลุ่มสีไคเร็กซ์มีร้อยละการบำบัดโดยเฉลี่ยด้วยตะกอนดินแบบผง และแบบเม็ดในช่วง 99.39 ถึง 84.00 ตามลำดับ และ 95.09 ถึง 76.00 ตามลำดับ และกลุ่มสีรีแอคทีฟมีร้อยละการบำบัดโดยเฉลี่ยด้วยตะกอนดินแบบผง และแบบเม็ดอยู่ในช่วง 99.68 ถึง 93.85 ตามลำดับ และ 98.10 ถึง 93.76 ตามลำดับ จากภาพจะเห็นว่าระยะเวลาสัมผัสตั้งแต่ 15 นาทีแรก ตะกอนดินทั้ง 2 แบบ มีค่าร้อยละการบำบัดเพิ่มขึ้น และเมื่อเวลาผ่านไป ประสิทธิภาพการบำบัดเริ่มลดลงจนเข้าสู่ภาวะสมดุล สอดคล้องกับงานวิจัยของ [10] ในช่วงแรกพื้นที่ผิวของสารดูดซับมีปริมาณมากทำให้อัตราการดูดซับเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว แต่เมื่อเวลาผ่านไปอัตราการดูดซับ ซึ่งเกิดจากการเคลื่อนที่ของโมเลกุลสีย้อมจากภายนอกเข้าสู่พื้นที่ภายในอนุภาคสารดูดซับจะเริ่มช้าลง และระยะเวลาสัมผัสมีผลต่อตะกอนดินแบบเม็ด มากกว่าแบบผง คือ เมื่อเพิ่มระยะเวลาสัมผัสทำให้ร้อยละการบำบัดเพิ่มมากขึ้น และลดลงและคงที่



4. ผลการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับสีย้อม

การศึกษาไอโซเทอร์ม โดยเลือกสีย้อมที่มีการดูดซับด้วยตะกอนดินแบบผง และแบบเม็ดได้ดีที่สุด มาศึกษา ไอโซเทอร์มแลงเมียร์และฟรุนดิช ซึ่งสีที่สามารถดูดซับสีย้อมได้ดีที่สุด คือ สีเลือดหมู (กลุ่มสีไคเร็กซ์) และสี Turquoise (กลุ่มสีรีแอคทีฟ) พบว่า สีเลือดหมู ตะกอนดินแบบผง ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) ของสมการ ไอโซเทอร์มแลงเมียร์และ ฟรุนดิช เท่ากับ 0.9969 และ 0.9954 ตามลำดับ ตะกอนดินแบบเม็ด มีค่า R^2 เท่ากับ 0.9993 และ 0.9950 ตามลำดับ ดังภาพที่ 8 และ 9 และสี Turquoise ตะกอนดินแบบผง มีค่า R^2 เท่ากับ 0.9999 และ 0.9991 ตามลำดับ ตะกอนดินแบบเม็ด มีค่า R^2 เท่ากับ 0.9957 และ 0.9853 ตามลำดับ ดังภาพที่ 10 และ 11 จะเห็นได้ว่าการดูดซับสีย้อมทั้ง 2 สี ด้วยตะกอนดินแบบผง และแบบเม็ด ของไอโซเทอร์มแลงเมียร์และฟรุนดิช มีค่า R^2 ที่ใกล้เคียงกัน ดังนั้น การดูดซับจึงสอดคล้องทั้งไอโซเทอร์มแลงเมียร์และฟรุนดิช กลไกในการดูดซับที่พื้นผิวของตะกอนดินสามารถเกิดได้ทั้งแบบ พื้นผิวชั้นเดียวไม่มีการซ้อนทับกัน(monolayer adsorbed model) และหลายชั้น (multilayer adsorbed model) เนื่องจาก ตะกอนดินมีรูพรุนขนาดเล็ก อนุภาคล้ำดินเหนียวที่มีขนาดเล็ก และสีย้อมมีโครงสร้างโมเลกุลขนาดใหญ่ มีหมู่ฟังก์ชันและมีประจุเมื่อละลายน้ำ จึงทำให้สีย้อมเกิดการดูดซับบนพื้นผิวของตะกอนดินได้ และดูดซับกันเองได้ด้วยแรงยึดเหนี่ยว

5. ผลการศึกษาประสิทธิภาพการนำไปใช้งานได้จริง

5.1 ผลการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดสีย้อมในน้ำเสียสังเคราะห์ ด้วยตะกอนดินแบบเม็ด

การศึกษาการนำไปใช้งานได้จริง 2 แบบ คือ แบบบรรจุเป็นคอลัมน์ กับแบบเขย่า โดยใช้ปริมาณตะกอนดินแบบเม็ด 100 กรัม ต่อน้ำเสียสังเคราะห์ 500 มล. เวลา 60 นาทีเช่นเดียวกัน พบว่าการทดลองแบบคอลัมน์ มีร้อยละการบำบัดโดยเฉลี่ยของกลุ่มสีไคเร็กซ์ และกลุ่มสีรีแอคทีฟ มีค่าเท่ากับ 49.90 และ 31.81 ตามลำดับ

แบบเขย่า ทำการศึกษาการบำบัดโดยใช้ตะกอนดินซ้ำต่อเนื่อง 5 ครั้ง พบว่าร้อยละการบำบัดน้ำเสียของกลุ่มสีไคเร็กซ์ และกลุ่มสีรีแอคทีฟมีร้อยละการบำบัดโดยเฉลี่ยลดลง มีค่าเท่ากับ 94.62, 90.42, 82.71, 62.13 และ 51.06 ตามลำดับ และ 90.45, 83.88, 81.15, 51.02 และ 31.81 ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ [11] กล่าวว่า การบำบัดสีย้อมในครั้งแรก พื้นที่ผิวสัมผัสของตัวดูดซับ มีพื้นที่รูพรุนเป็นจำนวนมาก จึงให้ประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อมได้สูง ในครั้งแรก เมื่อผ่านการบำบัดสีย้อมครั้งต่อไป พื้นที่ผิวรูพรุนสัมผัสของตัวดูดซับลดน้อยลง เนื่องจากพื้นที่ผิวสัมผัสถูกแทนที่ด้วยโมเลกุลของสีย้อม จึงทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดลดน้อยลง จากนั้นนำน้ำที่ผ่านการบำบัดมาวัดค่าสี พบว่า กลุ่มสีไคเร็กซ์ และกลุ่มสีรีแอคทีฟ มีค่าสีในหน่วยแพลทินัม-โคบอลต์ 30.49 และ 36.01 ตามลำดับ

5.3 ผลการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดสีย้อมในน้ำเสียสังเคราะห์ ด้วยตะกอนดินแบบผง

ใช้ปริมาณตะกอนดินผง 100 กรัม ต่อน้ำเสียสังเคราะห์ 500 มล. กวนที่ความเร็วรอบ 100 รอบต่อนาที นาน 60 นาที ทำการศึกษาการบำบัดโดยใช้ตะกอนดินซ้ำต่อเนื่อง 10 ครั้ง พบว่าร้อยละการบำบัดน้ำเสียของกลุ่มสีไคเร็กซ์ และกลุ่มสีรีแอคทีฟมีร้อยละการบำบัดโดยเฉลี่ยลดลง มีค่าเท่ากับ 96.91, 91.93, 87.11, 81.81, 76.30, 70.62, 68.53, 64.26, 60.89 และ 55.21 ตามลำดับ และ 92.40, 90.22, 82.92, 79.06, 74.23, 66.13, 62.85, 60.12, 59.60 และ 52.38 ตามลำดับ จากนั้นนำน้ำที่ผ่านการบำบัดมาวัดค่าสีน้ำ พบว่ากลุ่มสีไคเร็กซ์ และกลุ่มสีรีแอคทีฟ มีค่าสีในหน่วยแพลทินัม-โคบอลต์เท่ากับ 22.33 และ 23.17 ตามลำดับ อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งลงบ่อน้ำบาดาลของกระทรวงอุตสาหกรรม [12]

จากผลการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดสีย้อมในน้ำเสียสังเคราะห์ ด้วยตะกอนดินแบบผง และแบบเม็ด พบว่าตะกอนดินแบบผงมีประสิทธิภาพการบำบัดสีย้อมสูงกว่าตะกอนดินแบบเม็ด และจากการศึกษางานวิจัยของ [13] มีการศึกษาการใช้แร่กาลิไนท์ ในการดูดซับสีย้อม โดยพบว่ามีร้อยละการบำบัดสีย้อมเท่ากับ 97 ซึ่งมีความ

ใกล้เคียงกับการบำบัดสีย้อมด้วยตะกอนดิน โดยตะกอนดินมีร้อยละการบำบัดเท่ากับ 96.91 แต่การศึกษาการใช้แร่กาลิไนท์ มีการศึกษาการบำบัดวัสดุชุบหลังการใช้งาน เพื่อนำกลับมาใช้ซ้ำ และเพื่อป้องกันการทิ้งตัวชุบที่จะทำให้สารชุบชะล้างสู่สิ่งแวดล้อม โดยมีการศึกษาการนำเทคนิค Fenton (electro-Fenton และ electrokinetic-Fenton) มาใช้ในงานวิจัยนี้ ซึ่งถือว่าเป็นทางเลือกในการแก้ไขปัญหาการทิ้งวัสดุชุบลงสู่สิ่งแวดล้อม

ผลการศึกษาคุณภาพน้ำเสียสังเคราะห์เบื้องต้นโดยพารามิเตอร์ที่ศึกษา ได้แก่ ซีไอดี และ บีโอดี พบว่าน้ำเสียสังเคราะห์กลุ่มสีไคเร็กซ์ และกลุ่มสีรีแอคทีฟ มีค่า ซีไอดี เท่ากับ 88 และ 90 ตามลำดับ และมีค่า บีโอดี เท่ากับ 7.6 และ 7.7 ตามลำดับ และจากงานศึกษาของ [14] มีการศึกษาการใช้ตะกอนดินน้ำประปาในการบำบัดน้ำสารละลายผงซักฟอก ที่มีค่า ซีไอดีสูงเกินเกณฑ์มาตรฐาน โดยพบว่า ตะกอนดินสามารถกำจัด ซีไอดี ได้ นอกจากนี้ยังสามารถบำบัดฟอสเฟต ซิลเวอร์นาโนในสารละลายผงซักฟอกได้ด้วย โดยคุณภาพน้ำที่ผ่านการบำบัดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน จากการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียสังเคราะห์ พบว่าตะกอนดิน สามารถบำบัดน้ำเสียที่มีค่า ซีไอดีสูงได้ดี

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษา พบว่า ตะกอนดินแบบผง และแบบเม็ด มีประสิทธิภาพการบำบัดสีย้อมได้ทุกสี โดยกลุ่มสีไคเร็กซ์ มีร้อยละการบำบัดด้วยตะกอนดินแบบผงอยู่ในช่วง 83.43 ถึง 37.33 ตามลำดับ และตะกอนดินแบบเม็ดอยู่ในช่วง 60.74 ถึง 32.00 ตามลำดับ และกลุ่มสีรีแอคทีฟมีร้อยละการบำบัดด้วยตะกอนดินแบบผงอยู่ในช่วง 84.52 และ 32.16 ตามลำดับ และตะกอนดินแบบเม็ดอยู่ในช่วง 46.29 ถึง 22.86 ตามลำดับ การศึกษาการใช้งานได้จริงในน้ำเสียสังเคราะห์ โดยปริมาณตะกอนดินที่สามารถบำบัดสีย้อมแต่ละสี ของทั้ง 2 กลุ่มได้ดีที่สุด คือ 10 กรัม ทำการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดด้วยตะกอนดินแบบเม็ด โดยทดลองแบบคอลัมน์มีร้อยละการบำบัดโดยเฉลี่ยของกลุ่มสีไคเร็กซ์ และกลุ่มสีรีแอคทีฟเท่ากับ 49.90 และ 31.81 ตามลำดับ และแบบเขย่า มีร้อยละการบำบัดโดยเฉลี่ยของกลุ่มสีไคเร็กซ์ และกลุ่มสีรีแอคทีฟเท่ากับ 94.62 และ 90.45 ตามลำดับ พบว่าการทดลองที่ดีที่สุดของตะกอนดินแบบเม็ด คือ การทดลองแบบเขย่า และศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดด้วยตะกอนดินแบบผง โดยการทดลองแบบเครื่องกวน พบว่าร้อยละการบำบัดโดยเฉลี่ยของกลุ่มสีไคเร็กซ์ และกลุ่มสีรีแอคทีฟเท่ากับ 96.91 และ 92.40 ตามลำดับ และจากการวิเคราะห์ค่าสีของน้ำที่ผ่านการบำบัดในหน่วยแพลทินัม-โคบอลต์ มีค่าสีน้อยกว่า 50 แพลตทินัม-โคบอลต์

จากผลการศึกษาสรุปได้ว่าตะกอนดินทั้ง 2 แบบ สามารถบำบัดสีย้อมผ้าใยธรรมชาติกลุ่มสีไคเร็กซ์ และสีย้อมผ้าใยสังเคราะห์กลุ่มสีรีแอคทีฟในน้ำทิ้งอุตสาหกรรมย้อมผ้าระดับครัวเรือนได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยตะกอนดินแบบผงมีประสิทธิภาพการบำบัดสีย้อมสูงกว่าตะกอนดินแบบเม็ด นอกจากนี้วัสดุชุบที่นำมาผลิต มีราคาถูก และหลังการใช้งานสามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ในด้านอุตสาหกรรมต่างๆ ได้ เช่น อุตสาหกรรมเซรามิก อุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผาที่ไม่เกี่ยวข้องกับการผลิตภัณฑ์บรรจุอาหารและเครื่องดื่ม เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

1. Aabid HS, Mushtaq AB, Zahid Y. Hydrogels for removal of recalcitrant organic dyes: A conceptual overview. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 2018; 6(5): 5938-5949.
2. Rewinipa S. Dyes treatment in wastewater using adsorption processes. *KKU Science J*. 2016; 44(3): 419-434. Thai.
3. Lucilha AC, Bonancea CB, Berreto WJ. Adsorption of the diazo dye direct red 23 onto a zinc oxide surface: A spectroscopic study. *Spectrochimica Acta Part A*. 2010; 75: 389-393.



4. Seow, Ta Wee, Chi Kim Lim. Removal of dye by adsorption: A review. International Journal of Applied Engineering Research. 2016; 11(4): 2675-2679.
5. Suphakit S, Guntharee S. Adsorption of Reactive Red 31 from synthetic wastewater by using banana peels. Veridian E-Journal, Science and Technology Silpakorn University. 2017; 4(6): 2408-1248. Thai.
6. Devi, Parmila, Ani K. Saroha. Utilization of sludge based adsorbents for theremoval of various pollutants: A review. Science of the Total Environment. 2017; 578: 16-33.
7. Wassika J, Kanita T, Watcharapong W. Treatment of Industrial Boiler Effluent by Residual Materials for Reuse and Discharge. KRU Res J. 2018; 18(3): 42-52. Thai.
8. Yagub, Mustafa T, Tushar KS, Sharmeen A H M. Ang. Dye and its removal from aqueous solution by adsorption: A review. Advances in Colloid and Interface Science. 2014; 209: 172-184.
9. Wirungrongs S. Adsorption of Methyl Red Dye by Activated Carbon from Egg Shell and Ark Shell by Chemical Activation Method. NSRU Science and Technology J. 2015; 27(7): 8-10. Thai.
10. Pornphan C. Removal of Native Textile Dyes in Dyeing Process Effluent by Chitosan from Litopenaeus Vannamei and Metapenaeus Intermedius Shrimp Shell [MS thesis]. Bangkok: Kasetsart University; 2017. Thai.
11. Chadaporn C. Simple Filter Tank for Treatment of Basic Dyes in Synthetic Silk Dyeing Wastewater from Baan Pa Deang Textile Group [PhD thesis]. Bangkok: Kasetsart University; 2016. Thai.
12. Ministry of Industry. The standard of the groundwater wells effluent [Internet]. 2016. [updated 2016 June 13; cited 2018 Oct 25]. Available from: <http://hydrolaw.thaiwater.net/web/2016/06/13/ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม-4/>.
13. Emilio R, Delia A, Marta P, Iuliana L, M Angeles S. Kaolinite adsorption-regeneration system for dyestuff treatment by Fenton based processes. Science of the Total Environment. 2018; 622-623: 556-562.
14. Porkamon K. Treatment of Surfactant Phosphate and Nano – Silver in Laundry Detergent Solution by Adsorption Process of Filter Layer [MS thesis]. Bangkok: Kasetsart University; 2017. Thai.



(ก)



(ข)

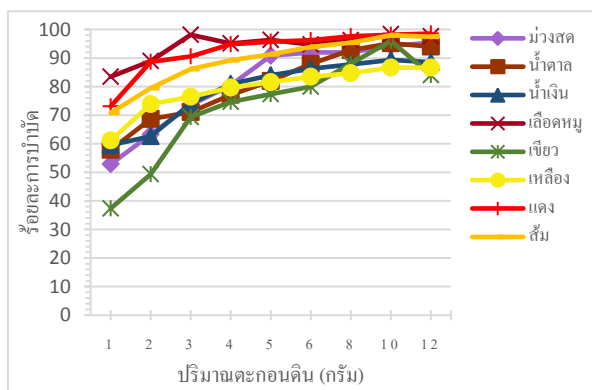
ภาพที่ 1 ลักษณะตะกอนดินจากกระบวนการผลิตน้ำประปาที่เตรียมขึ้น แบบผง (ก) และแบบเม็ด (ข)

ตารางที่ 1 ร้อยละการบำบัดและความสามารถในการบำบัดสีของกลุ่มไคเร็กซ์ ด้วยตะกอนดินแบบผง และแบบเม็ดจากการศึกษาประสิทธิภาพเบื้องต้น

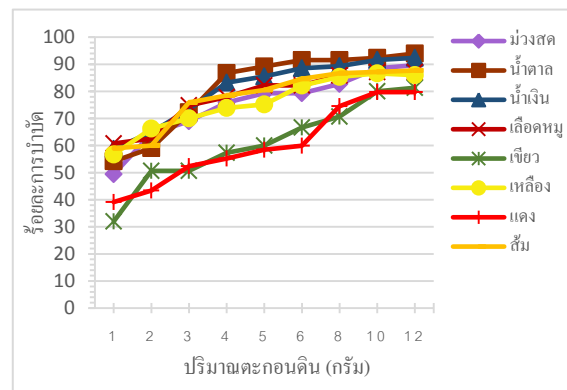
กลุ่มสีไคเร็กซ์	ตะกอนดินแบบผง		ตะกอนดินแบบเม็ด	
	ร้อยละการบำบัด	ความสามารถในการบำบัด (มก./ก)	ร้อยละการบำบัด	ความสามารถในการบำบัด (มก./ก)
ม่วงสด	52.87	1.06	49.43	0.99
น้ำตาล	57.83	1.16	54.22	1.08
น้ำเงิน	59.54	1.19	58.78	1.16
เลือดหมู	83.43	1.67	60.74	1.21
เขียว	37.33	0.75	32.00	0.64
เหลือง	61.15	1.22	56.69	1.13
แดง	73.11	1.46	39.15	0.78
ส้ม	70.77	1.42	58.97	1.18

ตารางที่ 2 ร้อยละการบำบัดและความสามารถในการบำบัดสีของกลุ่มสีรีแอคทีฟ ด้วยตะกอนดินแบบผง และแบบเม็ดจากการศึกษาประสิทธิภาพเบื้องต้น

กลุ่มสีรีแอคทีฟ	ตะกอนดินแบบผง		ตะกอนดินแบบเม็ด	
	ร้อยละการบำบัด	ความสามารถในการบำบัด (มก./ก)	ร้อยละการบำบัด	ความสามารถในการบำบัด (มก./ก)
Turquoise	84.52	1.69	46.29	0.93
Red LS-B	72.64	1.45	39.55	0.79
Blue G	41.11	0.82	37.50	0.75
Navy LS-G	76.87	1.54	35.36	0.71
Black R	32.16	0.65	22.86	0.46
Yellow RN	44.00	0.88	33.21	0.66
Red SBN	45.75	0.92	24.90	0.50
Yellw 4G	39.81	0.80	22.87	0.46

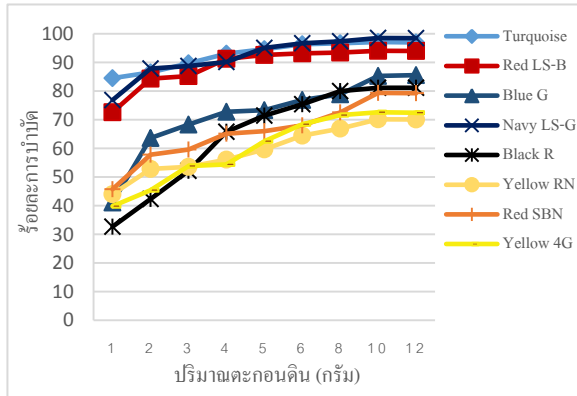


(ก)

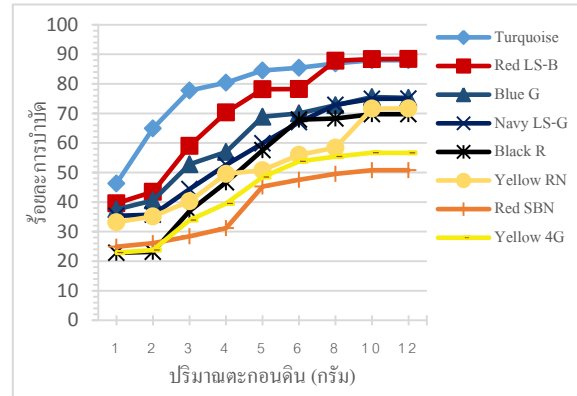


(ข)

ภาพที่ 2 ประสิทธิภาพการบำบัดสีของกลุ่มสีไคเร็กซ์ ตะกอนดินแบบผง (ก) และแบบเม็ด (ข) กับปริมาณตะกอนดิน

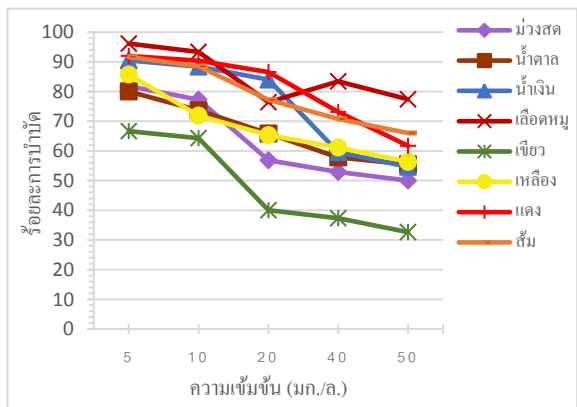


(ก)

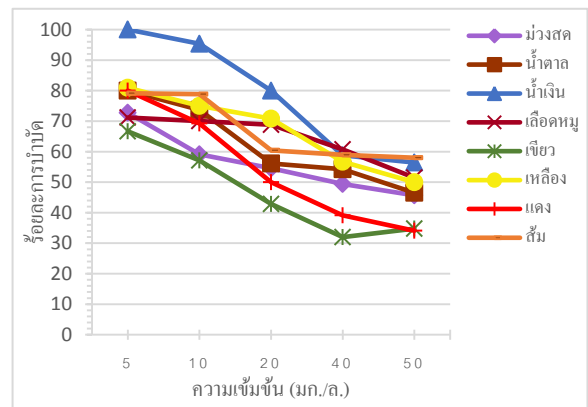


(ข)

ภาพที่ 3 ประสิทธิภาพการบำบัดสีของกลุ่มสีย้อมแอซิกด้วยตะกอนดินแบบผง (ก) และแบบเม็ด (ข) กับปริมาณตะกอนดิน

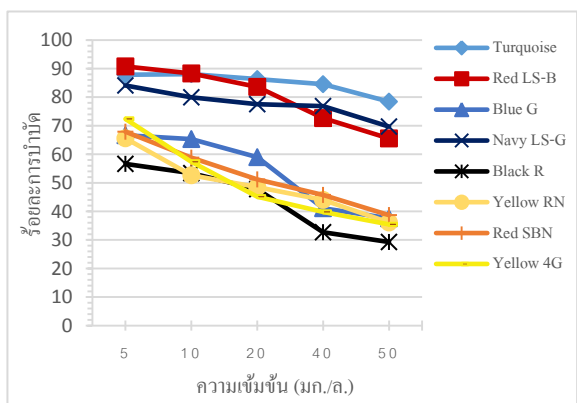


(ก)

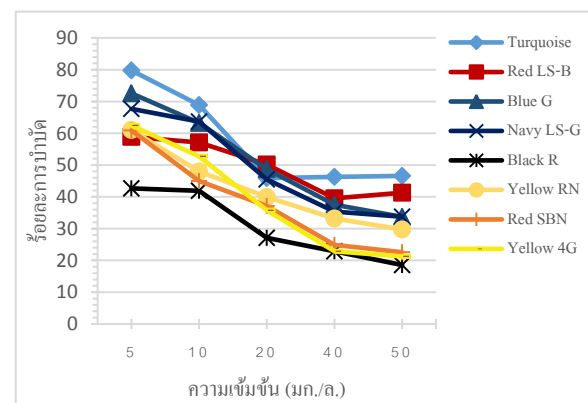


(ข)

ภาพที่ 4 ประสิทธิภาพการบำบัดสีของกลุ่มสีย้อมแอซิกด้วยตะกอนดินแบบผง (ก) และแบบเม็ด (ข) กับความเข้มข้นสี

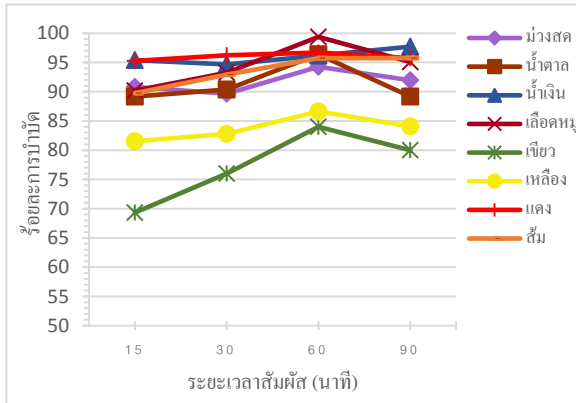


(ก)

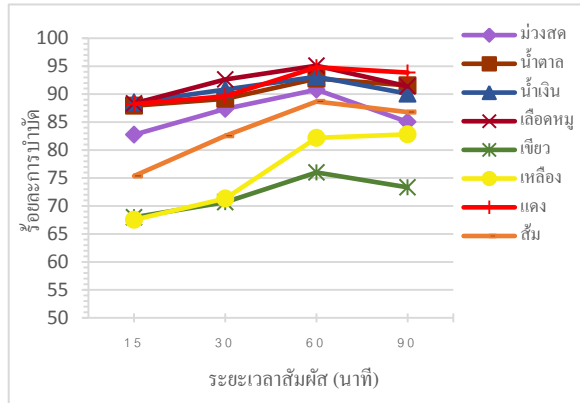


(ข)

ภาพที่ 5 ประสิทธิภาพการบำบัดสีของกลุ่มสีย้อมแอซิกด้วยตะกอนดินแบบผง (ก) และแบบเม็ด (ข) กับความเข้มข้นสี

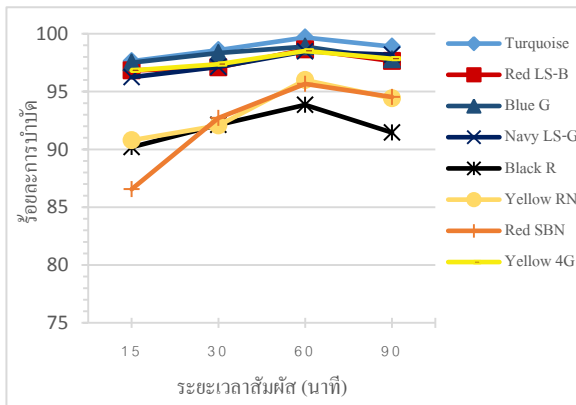


(ก)

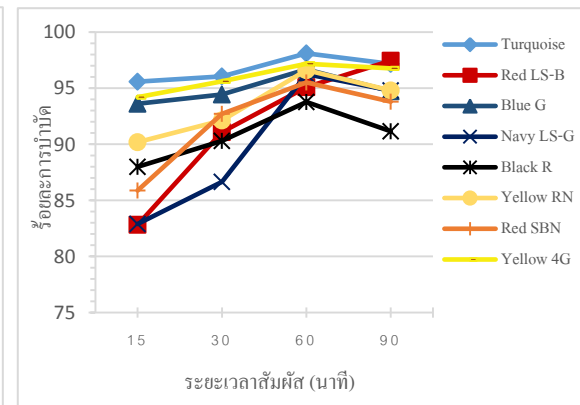


(ข)

ภาพที่ 6 ประสิทธิภาพการบำบัดสีของกลุ่มสีโคเร็กซ์ ด้วยตะกอนดินแบบผง (ก) และแบบเม็ด (ข) กับระยะเวลาสัมผัส

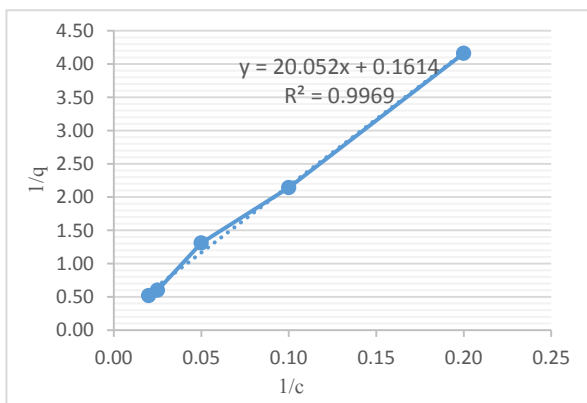


(ก)

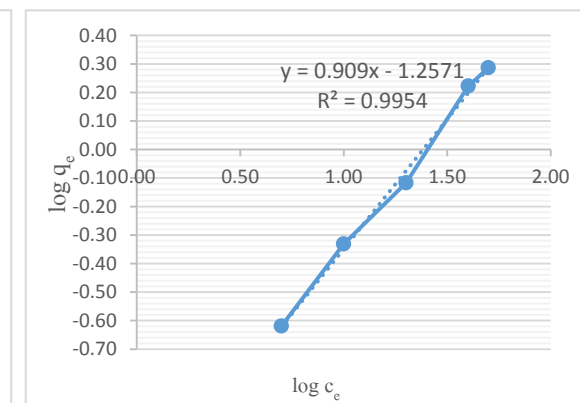


(ข)

ภาพที่ 7 ประสิทธิภาพการบำบัดสีของกลุ่มสีรีแอคทีฟ ด้วยตะกอนดินแบบผง (ก) และแบบเม็ด (ข) กับระยะเวลาสัมผัส

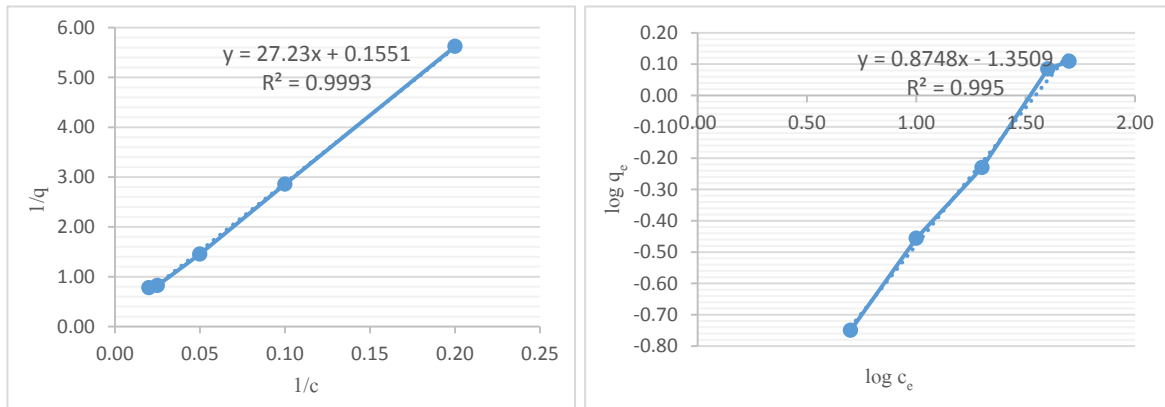


(ก)



(ข)

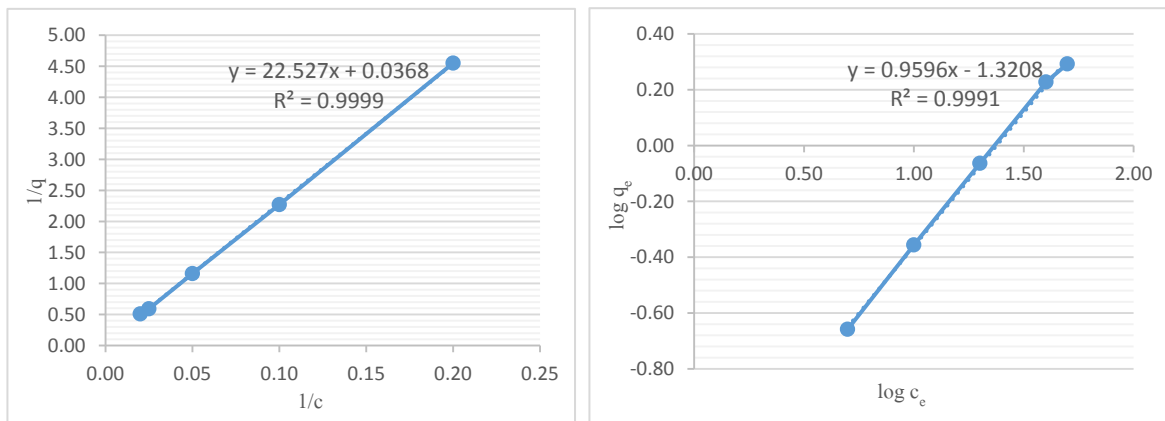
ภาพที่ 8 ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบแลงเมียร์ (ก) แบบฟรุนดลิช (ข) ของสีของกลุ่มสีโคเร็กซ์ ด้วยตะกอนดินแบบผง



(ก)

(ข)

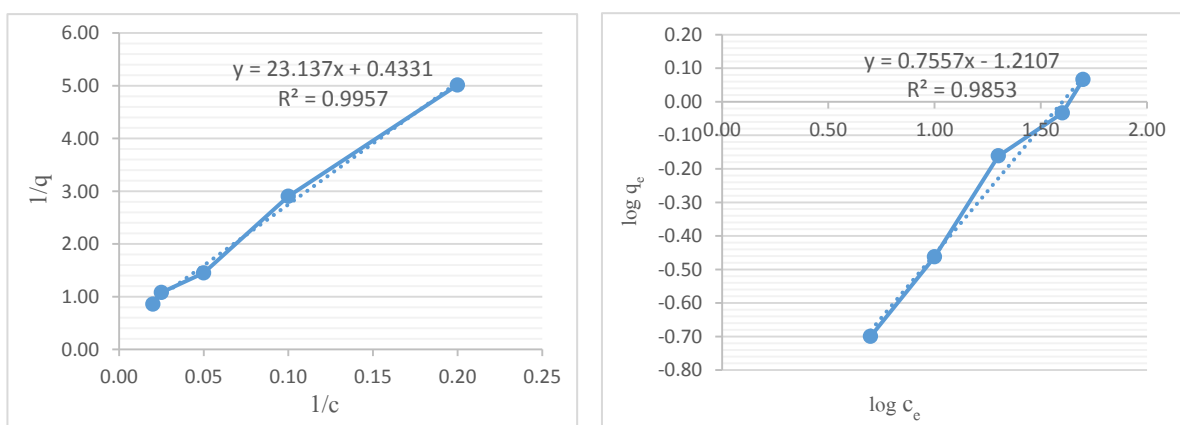
ภาพที่ 9 ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบแลงเมียร์ (ก) แบบฟรุนดลิช (ข) ของสีย้อมกลุ่มสีไคเร็กซ์ ด้วยตะกอนดินแบบเม็ด



(ก)

(ข)

ภาพที่ 10 ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบแลงเมียร์ (ก) แบบฟรุนดลิช (ข) ของสีย้อมกลุ่มสีรีแอคทีฟ ด้วยตะกอนดินแบบผง



(ก)

(ข)

ภาพที่ 11 ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบแลงเมียร์ (ก) แบบฟรุนดลิช (ข) ของสีย้อมกลุ่มสีรีแอคทีฟ ด้วยตะกอนดินแบบเม็ด