

การบำบัดน้ำเสียสีย้อมผ้าประเภทไดเร็กต์
ด้วยกระบวนการตกตะกอนไฟฟ้าเคมี
**TEXTILE DIRECT DYEING WASTEWATER TREATMENT
BY ELECTROCHEMICAL-COAGULATION PROCESS**

สุภาวดี น้อยน้ำใส
Supawadee Noinumsai

Faculty of Science and Technology, Pibulsongkram Rajabhat University
corresponding author e-mail: supawadeebum@hotmail.co.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมและประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียสีย้อมผ้าประเภทสีไดเร็กต์ด้วยการตกตะกอนไฟฟ้าเคมีด้วยขั้วเหล็กที่ค่าความต่างศักย์ 4, 8 และ 12 โวลต์ ในระยะเวลาการตกตะกอน 30, 60 และ 90 นาที ผลการศึกษาพบว่าสภาวะที่ค่าความต่างศักย์ 12 โวลต์ ในระยะเวลาการตกตะกอน 90 นาที จะมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียสีย้อมสูงที่สุดเมื่อเทียบกับสภาวะอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 โดยมีประสิทธิภาพการบำบัดออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ ความขุ่น ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด ของแข็งละลายทั้งหมด และความเป็นกรดต่างได้สูงถึงร้อยละ 91.50, 88.26, 74.66, 58.88 และ 21.32 ตามลำดับ ซึ่งคุณภาพน้ำหลังการบำบัดดังกล่าวอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรมของกรมควบคุมมลพิษ

คำสำคัญ: น้ำเสีย สีย้อมผ้าประเภทสีไดเร็กต์ การตกตะกอนไฟฟ้าเคมี

Abstract

This research aims to study the optimum conditions and treatment efficiency of the textile direct dyeing wastewater by iron electrochemical-coagulation process using iron electrode. The voltage was varied at 4, 8 and 12 volts and the retention time was varied at 30, 60 and 90 minutes. The results showed that the optimum condition for textile direct dye removal was at a voltage of 12 volts and retention time of 90 minutes which showed the highest removal efficiency, with significant differences ($p < 0.05$) compared to others. The highest removal efficiency of COD, turbidity, TSS, TDS and pH were 91.50%, 88.26%, 74.66%, 58.88% and 21.32%, respectively. The textile direct dyeing wastewater qualities in this optimum condition were within the Industrial effluent standards for Industrial Plant and Industrial Estates of Pollution Control Department.

Keywords: wastewater, textile direct dyes, electro-chemical treatment process

บทนำ

ปัจจุบันในเขตภาคเหนือมีการทำธุรกิจเกี่ยวกับการย้อมผ้าเป็นจำนวนมากโดยเฉพาะการย้อมสีผ้าฝ้ายและผ้าคอตตอน ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่นิยมนำมาทำการย้อมส่วนใหญ่เป็นพวกเสื้อและกางเกง โดยกิจการดังกล่าวส่วนใหญ่เป็นอุตสาหกรรมขนาดย่อมที่มีลักษณะเป็นอุตสาหกรรมในครัวเรือนไม่ได้มีการจดทะเบียนเป็นโรงงานอุตสาหกรรมจึงอยู่นอกเหนือการควบคุมของกรมโรงงานอุตสาหกรรม (วรชวรณ, 2550) สีที่นำมาใช้ในการย้อมผ้าจะใช้สีย้อมผ้าเคมีซึ่งเป็นสีย้อมที่สามารถเกาะติดกับเส้นใยได้โดยตรง ทั้งนี้สีย้อมที่ผลิตขึ้นมาหลายชนิดขึ้นอยู่กับความเหมาะสมกับเส้นใยและกระบวนการในการย้อมที่มีลักษณะแตกต่างกันไป โดยน้ำทิ้งจากการย้อมผ้ามาจากน้ำที่เหลือจากการย้อมผ้า และล้างอุปกรณ์ในการย้อมสี ซึ่งส่วนใหญ่จะประกอบด้วยสารเคมีที่อยู่ในสีย้อมและตะกอนสกปรกต่าง ๆ

ตำบลร่องพอง อำเภอเมือง จังหวัดแพร่ เป็นตำบลที่ประชาชนมีการย้อมสีผ้าเป็นอาชีพอุตสาหกรรมในครัวเรือน โดยสีที่ใช้ในการย้อมสีผ้าจะใช้สีเคมีย้อมผ้าประเภทสีไคเร็กซ์ (ภัทร, 2556) โดยการย้อมสีผ้าจะใช้สีย้อมจำนวน 1 ของต่อน้ำประมาณ 1 ลิตร ซึ่งสีย้อม 1 กล่อง สามารถย้อมผ้าได้ประมาณ 100 ตัว ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับแบบผ้าที่จะนำมาย้อม ในการย้อมนี้จะไม่ทำการย้อมผ้าทั้งตัวแต่จะทำการย้อมในลักษณะการจุ่มลงไปตามแบบที่กำหนดไว้ ซึ่งโดยส่วนใหญ่ในผ้าหนึ่งชิ้นจะมีการย้อมอย่างน้อย 3 สี ในพื้นที่ตำบลร่องพองมีโรงงานย้อมผ้าทั้งหมด 10 โรงงาน หลังกระบวนการย้อมผ้าจะมีการปล่อยน้ำเสียที่เกิดจากสีย้อมและเหลือทิ้งจากการล้างวัสดุอุปกรณ์ในการย้อมในแต่วันประมาณ 100-200 ลิตรต่อวัน ลงสู่ผิวดินหรือแหล่งน้ำโดยตรงซึ่งไม่ผ่านการบำบัดน้ำเสีย ซึ่งน้ำเสียที่ถูกปล่อยออกมามีการปนเปื้อนด้วยสีและของแข็งแขวนลอย ทำให้แหล่งน้ำเกิดความขุ่นและสกปรก ส่งผลกระทบต่อระบบห่วงโซ่อาหาร ระบบนิเวศน์แหล่งน้ำ และการใช้น้ำในการอุปโภคบริโภคของประชาชนจะเห็นได้ว่าปัญหามลพิษทางน้ำที่เกิดจากกระบวนการย้อมสีผ้าเป็นปัญหาที่ต้องเร่งแก้ไขเพื่อพัฒนาคุณภาพชีวิตในชุมชนดังกล่าว ซึ่งแต่ละโรงงานควรมีการบำบัดน้ำเสียก่อนปล่อยออกสู่แหล่งน้ำ โดยในปัจจุบันการบำบัดน้ำสีย้อมและสารแขวนลอยในน้ำเสียมียหลายวิธี ได้แก่ การดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ (activated carbon) การกรองด้วยแผ่นเยื่อ (membrane filtration) การออกซิไดซ์ด้วยโอโซน (ozone treatment) การแลกเปลี่ยนไอออน (ion exchange) และการบำบัดทางชีววิทยา (biological treatment) เช่น ระบบเอสปีอาร์ เป็นต้น (Shin et al., 2004) แต่เนื่องจากการบำบัดน้ำเสียจากระบบดังกล่าวต้องใช้ระยะเวลาและค่าใช้จ่ายสูงในการบำบัด ดังนั้นอาจทำให้โรงงานย้อมสีผ้าขนาดเล็กไม่กล้าลงทุน แต่อย่างไรก็ตามยังมีวิธีการตกตะกอนทางไฟฟ้าเคมีที่อาจจะเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ในการบำบัด เนื่องจากเป็นวิธีหนึ่งที่มีประสิทธิภาพการกำจัดสี ของแข็งและสารแขวนลอยสูง (Demirci et al., 2015; Tyagi et al., 2014) รวมทั้งใช้ต้นทุนในการติดตั้งน้อยดูแลระบบง่าย (Tyagi et al., 2014) และยังประหยัดเวลาในการบำบัดมากกว่าระบบอื่น ๆ (อังคณา, 2550)

ดังนั้นผู้วิจัยจึงเห็นความสำคัญของปัญหาดังกล่าวจึงทำการศึกษากการบำบัดน้ำเสียสีย้อมผ้าด้วยการตกตะกอนไฟฟ้าเคมี พร้อมทั้งได้ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการบำบัดจากปริมาณความต่างศักย์ไฟฟ้าและระยะเวลาในการบำบัด เพื่อเป็นแนวทางในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมย้อมผ้าในท้องถิ่นและสามารถบำบัดน้ำเสียจากโรงงานสีย้อมให้ผ่านเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรมก่อนปล่อยสู่แหล่งน้ำตามธรรมชาติโดยไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม

วิธีดำเนินการวิจัย

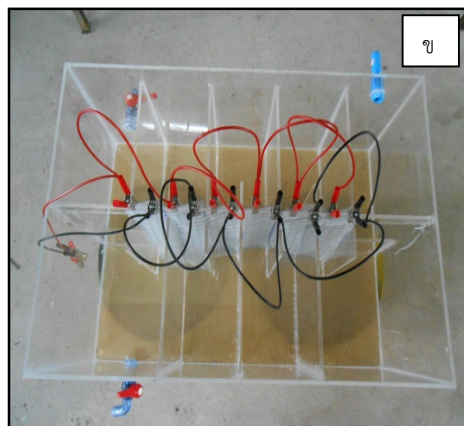
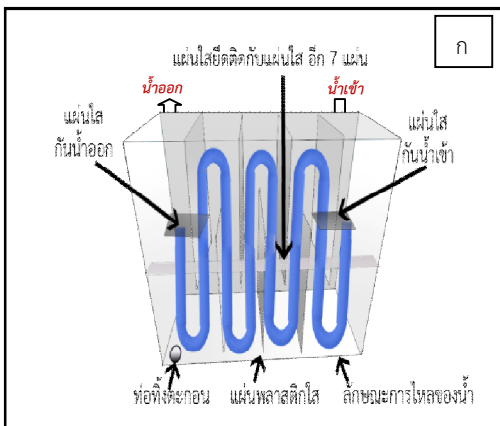
งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงงานสีย้อมด้วยวิธีการตกตะกอนทางไฟฟ้าเคมี มีรายละเอียดขั้นตอนการศึกษาดังนี้

1. การเตรียมน้ำสีย้อมผ้า

การเตรียมน้ำสีย้อมผ้าสังเคราะห์สำหรับการทดลองจะใช้ขั้นตอนในการเตรียมน้ำสีย้อมผ้าตามอัตราส่วนของโรงงานฟอกย้อม หมู่ 9 ตำบลร่องฟอง อำเภอเมือง จังหวัดแพร่ (ภัทร, 2556) โดยผสมสีย้อมแต่ละสีทั้งหมด 6 สี คือ ส้ม ชมพู ฟ้า เหลือง เขียว และม่วง ในอัตราส่วนสีละ 5 ของต่อน้ำ 5 ลิตร นำมาผสมรวมน้ำสีย้อมตัวอย่างทั้งหมด 30 ลิตร นำน้ำสีผสมมาคนให้ทั่วเพื่อให้เม็ดสีละลายในน้ำให้หมด จากนั้นต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 30 นาที ทิ้งให้เย็นแล้วนำไปเทใส่ถังเก็บน้ำ

2. การศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียสีย้อมผ้า

การศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียจะดำเนินการโดยออกแบบถังปฏิกรณ์เป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 40×60×25 ลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งมีความจุปริมาตร 50 ลิตร เติมน้ำสีย้อมตัวอย่างในถังปฏิกรณ์ 30 ลิตร แล้วบรรจุแผ่นขั้วไฟฟ้าเหล็กที่ผ่านการแช่ไฮโดรคลอริกต่อน้ำ ในอัตราส่วน 1: 10 เป็นระยะเวลา 1 คืน แล้วนำเครื่องชาร์จแบตเตอรี่มาต่อกับแผ่นขั้วไฟฟ้าเหล็กในถังตกตะกอน (ภาพที่ 1) โดยต่อไฟฟ้ากระแสตรงจากเครื่องชาร์จแบตเตอรี่ไปยังขั้วไฟฟ้าที่เตรียมไว้ ซึ่งนำแอมมิเตอร์มาต่ออนุกรมกับวงจรเพื่อดูค่ากระแสไฟฟ้าและนำโวลต์มิเตอร์มาต่อขนานกับวงจรเพื่อปรับให้ค่าความต่างศักย์เท่ากับ 4, 8 และ 12 โวลต์ ตามลำดับ ทั้งนี้แต่ละค่าความต่างศักย์จะใช้ระยะเวลาในการตกตะกอนที่แตกต่างกัน คือ 30, 60 และ 90 นาที (ทดลอง 3 ซ้ำ/ชุดการทดลอง) หลังจากการตกตะกอนในแต่ละช่วงเวลาแล้วได้เก็บตัวอย่างน้ำเสียส่วนบนประมาณ 1 ลิตร เพื่อวิเคราะห์ค่าพีเอช ความขุ่นของแข็งแขวนลอยทั้งหมด ของแข็งละลายทั้งหมด และซีไอดี จากนั้นเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดสีย้อมเพื่อประเมินสภาวะที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการบำบัดสีย้อมผ้าและประเมินคุณภาพน้ำเสียสีย้อมหลังการบำบัด



ภาพที่ 1 แผนภาพจำลองต้นแบบการบำบัดน้ำเสียด้วยไฟฟ้าเคมี
ก) การออกแบบถังปฏิกรณ์ ข) ถังปฏิกรณ์

3. การวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

วิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียเสียก่อนและหลังการบำบัดโดยจะใช้วิธีการเก็บตัวอย่างน้ำและการวิเคราะห์ตัวอย่างตาม **Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (APHA, AWWA & WPCF, 1995)** โดยมีพารามิเตอร์และวิธีการวิเคราะห์ที่แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 รายการวิเคราะห์และวิธีวิเคราะห์

รายการวิเคราะห์	วิธีวิเคราะห์
ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)	pH Meter
ค่าความขุ่น (Turbidity)	Nephelometric Method
ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS)	Gravimetric Method
ปริมาณของแข็งละลายทั้งหมด (TDS)	Gravimetric Method
ปริมาณออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ (COD)	Closed Reflux Method

4. การวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 การวิเคราะห์ค่าพีเอช ความขุ่น ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด ของแข็งละลายทั้งหมด และค่าซีไอดี ใช้สถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

4.2 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพร้อยละการกำจัดของระบบบำบัดน้ำเสียเสียเคราะห์สามารถคำนวณได้จากสูตรดังนี้ (Charoenlarp & Choyphan, 2009)

$$\text{ร้อยละการกำจัด} = \left(\frac{A_0 - A_t}{A_0} \right) \times 100$$

โดย A_0 คือ ค่าพารามิเตอร์ที่ไม่ผ่านการบำบัด

A_t คือ ค่าพารามิเตอร์ที่ผ่านการบำบัด (ณ เวลาใด ๆ หรือเวลาที่เหมาะสม)

4.3 การเปรียบเทียบความแตกต่างของสภาวะที่เหมาะสมจากคุณภาพน้ำและประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียเสีย โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนข้อมูล (ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยรายคู่ตามวิธีของ Least square difference (LSD)

ผลการวิจัย

1. สภาวะที่เหมาะสมของการบำบัดน้ำเสียเสียด้วยการตกตะกอนทางไฟฟ้าเคมี

จากการเปรียบเทียบผลการตกตะกอนของน้ำเสียเสียที่ความต่างศักย์ 4, 8 และ 12 โวลต์ ในระยะเวลา 30, 60 และ 90 นาที พบว่าเมื่อค่าความต่างศักย์สูงขึ้นและให้มีระยะเวลาบำบัดนานขึ้น ก็จะทำให้ปริมาณการตกตะกอนเพิ่มขึ้นและคุณสมบัติของน้ำดีขึ้นด้วย ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าความต่างศักย์และระยะเวลาที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียเสียในแต่ละปัจจัยดังต่อไปนี้

1.1 ความเป็นกรด-ด่าง (pH)

ค่า pH ในน้ำเสียเสียเคราะห์ก่อนการบำบัดเริ่มต้นมีค่าอยู่ในช่วง 10.21 ± 0.16 ถึง 10.60 ± 0.10 โดยหลังการบำบัดส่งผลให้ค่า pH ลดลง ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 8.16 ± 0.33 ถึง 9.48 ± 0.35 เมื่อเปรียบเทียบค่า pH ก่อนและหลังการบำบัดในสภาวะที่แตกต่างกัน พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทาง

สถิติที่ระดับ 0.05 แต่อย่างไรก็ตามการบำบัดสีย้อมด้วยการตกตะกอนไฟฟ้าเคมีก็สามารถทำให้ค่า pH หลังการบำบัดลดลงจนอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานและนิคมอุตสาหกรรมได้ (pH 5.5-9.0) ในสภาวะความต่างศักย์ 4 โวลต์ ในระยะเวลาการตกตะกอน 90 นาที และค่าความต่างศักย์ 8 และ 12 โวลต์ ในระยะเวลาการตกตะกอน 60 นาที และ 90 นาที (ตารางที่ 2)

1.2 ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS)

ปริมาณ TSS ในน้ำเสียสังเคราะห์ก่อนการบำบัดเริ่มต้นมีค่าอยู่ในช่วง 9.16 ± 0.28 ถึง 9.50 ± 0.50 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยหลังการบำบัดน้ำส่งผลทำให้ค่า TSS ลดลง ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 2.33 ± 0.57 ถึง 8.66 ± 5.03 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานและนิคมอุตสาหกรรม (50 มิลลิกรัมต่อลิตร) และเมื่อเปรียบเทียบค่า TSS ก่อนและหลังการบำบัดในสภาวะที่แตกต่างกัน พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับ 0.05 (ตารางที่ 2)

1.3 ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (TDS)

ปริมาณ TDS ในน้ำเสียสังเคราะห์ก่อนการบำบัดเริ่มต้นมีค่าอยู่ในช่วง $3,683.33 \pm 195.80$ ถึง $4,683.33 \pm 195.80$ มิลลิกรัมต่อลิตร หลังการบำบัดส่งผลให้ค่าปริมาณ TDS ลดลง โดยมีค่าอยู่ในช่วง $1,511.33 \pm 95.71$ ถึง $3,886.66 \pm 82.59$ มิลลิกรัมต่อลิตร และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณ TDS ก่อนและหลังการบำบัดในสภาวะที่แตกต่างกัน พบว่าสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการบำบัด TDS มากที่สุด คือ ที่ค่าความต่างศักย์ 12 โวลต์ ในระยะเวลาการตกตะกอน 90 นาที ทำให้มีค่า TDS ในน้ำ เท่ากับ $1,511.33 \pm 95.71$ มิลลิกรัมต่อลิตร รองลงมา คือ ค่าความต่างศักย์ 12 โวลต์ ที่ระยะเวลาการตกตะกอน 60 นาที และค่าความต่างศักย์ 8 โวลต์ ที่ระยะเวลาการตกตะกอน 90 นาที สามารถทำให้มีค่า TDS ลดลงเหลือ $1,714.00 \pm 239.32$ และ $1,853.33 \pm 43.46$ มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 จากการบำบัดในสภาวะอื่น ๆ และค่า TDS หลังการบำบัดดังกล่าวนี้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานและนิคมอุตสาหกรรม (3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร) ในขณะที่สภาวะการบำบัดอื่น ๆ ยังคงไม่สามารถบำบัดให้ค่า TDS มีค่าผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดได้ (ตารางที่ 2)

1.4 ความขุ่น (Turbidity)

ค่าความขุ่นในน้ำเสียสังเคราะห์ก่อนการบำบัดเริ่มต้นมีค่าอยู่ในช่วง 6.75 ± 0.23 ถึง 6.85 ± 0.98 NTU หลังการบำบัดส่งผลให้ค่าความขุ่นลดลง โดยมีค่าความขุ่นอยู่ในช่วง 0.79 ± 0.11 ถึง 6.63 ± 0.36 NTU ซึ่งมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 และเมื่อพิจารณาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการบำบัดความขุ่น พบว่าที่ค่าความต่างศักย์ 12 โวลต์ ในระยะเวลาการตกตะกอน 90 นาที มีความเหมาะสมมากที่สุด โดยทำให้ปริมาณความขุ่นลดลงเหลือ 0.79 ± 0.11 NTU รองลงมา คือ ค่าความต่างศักย์ 12 โวลต์ ที่ระยะเวลาการตกตะกอน 60 นาที และ 30 นาที โดยสามารถทำให้มีค่าความขุ่นลดลงเหลือ 1.73 ± 0.21 และ 2.65 ± 0.14 NTU ตามลำดับ ซึ่งค่าความขุ่นหลังการบำบัดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานและนิคมอุตสาหกรรม (5 NTU) แต่ในขณะที่ค่าความต่างศักย์ 4 โวลต์ และ 8 โวลต์ ในระยะเวลาการตกตะกอน 30 นาที ยังคงบำบัดได้ต่ำกว่าค่ามาตรฐานน้ำทิ้งที่กำหนดไว้ (ตารางที่ 2)

1.5 ปริมาณออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ (COD)

ค่า COD ในน้ำเสียสังเคราะห์ก่อนการบำบัดเริ่มต้นมีค่าอยู่ในช่วง 550.00 ± 10.00 ถึง 575.00 ± 21.79 มิลลิกรัมต่อลิตร หลังการบำบัดส่งผลให้ค่า COD ลดลง โดยมีค่าอยู่ในช่วง

46.66±14.04 ถึง 349.33±24.44 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 และเมื่อเปรียบเทียบค่า COD ก่อนและหลังการบำบัดในสภาวะที่แตกต่างกัน พบว่าสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการบำบัดค่า COD มากที่สุด คือ ที่ค่าความต่างศักย์ 12 โวลต์ ในระยะเวลาการตกตะกอน 90 นาที ซึ่งทำให้ค่า COD ลดลง เท่ากับ 46.66±14.04 มิลลิกรัมต่อลิตร รองลงมาคือ ค่าความต่างศักย์ 12 โวลต์ ในระยะเวลาการตกตะกอน 60 นาที และ 30 นาที โดยสามารถทำให้มีค่า COD ลดลงเหลือ 92.66±11.37 และ 96.00±16.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งค่า COD หลังการบำบัดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานและนิคมอุตสาหกรรม (120 มิลลิกรัมต่อลิตร) ยกเว้นที่ค่าความต่างศักย์ 4 และ 8 โวลต์ ในระยะเวลาการตกตะกอน 30, 60 และ 90 นาที ยังคงบำบัดได้ไม่ผ่านค่ามาตรฐานน้ำทิ้งที่กำหนดไว้ (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 คุณสมบัติของน้ำบางประการหลังการบำบัดน้ำเสียสีย้อมผ้าประเภทไคเร็กซ์ด้วยวิธีการตกตะกอนไฟฟ้าเคมีของขั้วไฟฟ้าเหล็ก ที่ความต่างศักย์ 4, 8 และ 12 โวลต์ ในระยะเวลาการตกตะกอน 30, 60 และ 90 นาที

ความต่างศักย์ (โวลต์)	เวลา (นาที)	pH	TSS (mg/L)	TDS (mg/L)	Turbidity (NTU)	COD (mg/L)
0	30	10.39±0.35 ^a	9.50±0.50 ^a	4,683.33±195.80 ^d	6.85±0.98 ^f	575.00±21.79 ^f
	60	10.60±0.10 ^a	9.50±0.50 ^a	3,683.33±195.80 ^c	6.85±0.98 ^f	570.00±26.45 ^f
	90	10.21±0.16 ^a	9.16±0.28 ^a	3,683.33±195.80 ^c	6.75±0.23 ^f	550.00±10.00 ^f
4	30	9.34±0.04 ^a	8.66±5.03 ^a	3,814.00±155.85 ^c	6.63±0.36 ^f	349.33±24.44 ^d
	60	9.48±0.35 ^a	8.00±1.00 ^a	3,386.00±77.87 ^b	4.30±0.31 ^e	309.33±24.44 ^e
	90	8.99±0.59 ^a	4.16±0.76 ^a	3,324.00±497.54 ^b	3.91±0.54 ^e	297.33±8.32 ^e
8	30	8.67±0.55 ^a	6.00±0.00 ^a	3,886.66±82.59 ^d	5.83±0.65 ^d	282.66±33.30 ^e
	60	8.32±0.12 ^a	5.00±1.00 ^a	3,483.33±195.80 ^{bd}	3.65±0.47 ^e	176.00±16.00 ^c
	90	8.66±0.20 ^a	4.00±1.00 ^a	1,853.33±43.46 ^a	3.28±1.18 ^e	144.00±16.00 ^c
12	30	8.55±0.01 ^a	4.66±1.53 ^a	3,225.33±195.80 ^b	2.65±0.14 ^c	96.00±16.00 ^b
	60	8.50±0.38 ^a	3.00±0.00 ^a	1,714.00±239.32 ^a	1.73±0.21 ^b	92.66±11.37 ^b
	90	8.16±0.33 ^a	2.33±0.57 ^a	1,511.33±95.71 ^a	0.79±0.11 ^a	46.66±14.04 ^a
ค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง*		5.50-9.00	50	3,000	5	120

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรที่เหมือนกันในแนวตั้งจะไม่มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนข้อมูลทางสถิติแบบการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยรายคู่ (ANOVA) โดยวิธี LSD

* ค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานและนิคมอุตสาหกรรม (กรมควบคุมมลพิษ, 2540)

2. ประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียสีย้อมผ้าประเภทไคเร็กซ์ด้วยการตกตะกอนด้วยไฟฟ้าเคมีของขั้วไฟฟ้าเหล็ก

จากการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียสีย้อมผ้า จะเห็นได้ว่าเมื่อศักย์ไฟฟ้าสูงขึ้นและระยะเวลาในการตกตะกอนนานขึ้น จะมีแนวโน้มทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียสีย้อมผ้าดีขึ้น โดยที่สภาวะค่าความต่างศักย์ 12 โวลต์ในระยะเวลาการตกตะกอนเท่ากับ 90 นาที จะมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียสีย้อมสูงที่สุด และมีค่าแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 เมื่อเทียบกับสภาวะอื่น ๆ โดยมีประสิทธิภาพการบำบัด COD สูงที่สุด คิดเป็นร้อยละ 91.50 รองลงมา

ได้แก่ ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่น, TSS, TDS และ pH คิดเป็นร้อยละ 88.26, 74.66, 58.88 และ 21.32 ตามลำดับ (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 ประสิทธิภาพการบำบัดสี้อมด้วยวิธีการตกตะกอนด้วยไฟฟ้าเคมีของขี้ไฟฟ้าเหล็ก

ความต่างศักย์ (V)	เวลา (นาท)	ร้อยละการบำบัด (ร้อยละ)				
		pH	TSS	TDS	Turbidity	COD
4	30	9.83 ^a	9.40 ^c	7.97 ^f	3.19 ^e	38.76 ^e
	60	16.10 ^a	15.81 ^c	18.54 ^d	37.15 ^d	45.92 ^d
	90	17.26 ^a	54.48 ^b	19.91 ^d	42.10 ^d	46.06 ^d
8	30	10.46 ^a	36.73 ^c	11.03 ^e	14.89 ^e	50.74 ^d
	60	14.48 ^a	47.10 ^{bc}	16.91 ^d	46.65 ^d	69.06 ^c
	90	19.13 ^a	57.64 ^b	49.61 ^c	51.05 ^c	73.81 ^c
12	30	11.33 ^a	51.17 ^b	12.43 ^e	61.32 ^c	82.35 ^b
	60	19.69 ^a	67.25 ^b	63.43 ^a	74.62 ^b	83.75 ^b
	90	21.32 ^a	74.66 ^a	58.88 ^b	88.26 ^a	91.50 ^a

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรที่เหมือนกันในแนวตั้งจะไม่มี ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 จากการใช้วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนข้อมูลทางสถิติแบบการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยรายคู่ (ANOVA) โดยวิธี LSD

อภิปรายผล

ผลการศึกษการบำบัดสี้อมด้วยวิธีการตกตะกอนด้วยไฟฟ้าเคมีของขี้ไฟฟ้าเหล็ก พบว่าเมื่อค่าความต่างศักย์สูงขึ้นและให้ระยะเวลาการตกตะกอนมากขึ้นจะทำให้คุณภาพน้ำดีขึ้นตามไปด้วย (Santhy & Selvapathy, 2006) และที่ความต่างศักย์เดียวกันเมื่อปล่อยให้เวลาในการตกตะกอนนานขึ้น จะส่งผลให้ประสิทธิภาพการบำบัดดีขึ้น ซึ่งผลที่ได้จะสอดคล้องกับการศึกษาของ Daneshvar et al. (2006) และ Pajootan et al. (2012) ที่ได้บำบัดน้ำเสียสี้อมผ้าสังเคราะห์และน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมด้วยวิธีการตกตะกอนไฟฟ้าเคมีจากขี้ไฟฟ้าเหล็ก พบว่าเมื่อศักย์ไฟฟ้าสูงขึ้นและระยะเวลาในการบำบัดนานขึ้นจะทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดสี้อมสูงขึ้นตามไปด้วย รวมทั้ง Deb & Majumdar (2013) ที่ได้ศึกษาค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าสูงขึ้นจาก 5 โวลต์ เป็น 45 โวลต์ พบว่าการบำบัดสี้อมจะเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 97.10 เป็นร้อยละ 99.90 และ Salmani et al. (2015) ที่ได้ศึกษาการบำบัดสี้อมผ้าในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยวิธีการตกตะกอนไฟฟ้าเคมีจากขี้ไฟฟ้าเหล็กเช่นเดียวกัน พบว่าระยะเวลาการบำบัดที่นานขึ้นจะทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียสี้อมผ้าเพิ่มขึ้นมากกว่าร้อยละ 80 โดยสภาวะที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการบำบัดสี้อมผ้าประเภทไคเร็กซ์ตามวิธีการย้อมผ้าของชุมชนตำบลร่องพอง คือที่สภาวะความต่างศักย์ไฟฟ้า 12 โวลต์และในระยะเวลาการตกตะกอน 90 นาที โดยทำให้ค่า pH ลดลง จนเหลือเท่ากับ 8.16 ± 0.33 เนื่องจากเมื่อปล่อยกระแสไฟฟ้าเข้าไปทำให้เหล็กซึ่งเป็นขี้ไฟฟ้าแตกตัวเป็นไอออนแล้วจับกับไฮดรอกไซด์ไอออน (OH⁻) ที่แตกตัวจากน้ำที่ขี้แคโทดและเกิดเป็นตะกอน ซึ่งอาจมีปริมาณ OH⁻ มากเกินพอ ดังนั้นจึงทำให้ค่า pH ที่ได้มีค่าความเป็นด่าง ทั้งนี้ในระหว่างการบำบัดจะเกิดแก๊สไฮโดรเจนที่ขี้แคโทด จึงทำให้ฟองแก๊สพาตะกอนและของแข็งแขวนลอยขึ้นไปด้านบนผิวน้ำ ซึ่งกระแสไฟฟ้าที่ปล่อยออกมาแต่ละรอบจะวิ่งขึ้นลงอยู่ตลอด ดังนั้นเมื่อให้เวลาในการบำบัดนานขึ้นจะทำให้ค่า TSS และ TDS มีค่าลดลง ในขณะที่ค่าความขุ่นและค่า COD ก็ลดลงด้วย

เนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันและรีดักชันจากการแตกตัวของเหล็กเป็นไอออนแล้วจับกับไฮดรอกไซด์ไอออน (OH⁻) ที่แตกตัวจากน้ำที่ขี้แ้วแคโทด (Canizares et al., 2007) อนุภาคที่แขวนลอยทั้งสารอินทรีย์และอนินทรีย์จะตกตะกอนพร้อมกับเฟอร์รัสไฮดรอกไซด์ หรือ เฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ ดังนั้นจึงส่งผลทำให้ค่าความขุ่นและค่า COD ลดลงด้วย (Koby et al., 2003; Zango, et al., 2009) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของดวงตา (2546) ที่ศึกษาการกำจัดสีจากโรงฟอกย้อมโดยกระบวนการไฟฟ้าเคมี พบว่าค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าและระยะเวลาการตกตะกอนเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดโดยสถานะที่เหมาะสมที่ค่าความต่างศักย์ที่ 12 โวลต์ สามารถบำบัดค่าซีโอดีได้ดีที่สุดและของแข็งแขวนลอยมีแนวโน้มลดลงในระยะเวลา 60 และ 90 นาที และจากการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดสีย้อมผ้าที่สภาวะดังกล่าว พบว่ามีประสิทธิภาพการบำบัด COD สูงที่สุด คิดเป็นร้อยละ 91.50 รองลงมาได้แก่ ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่น TSS, TDS และ pH คิดเป็นร้อยละ 88.26, 74.66, 58.88 และ 21.32 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดสีย้อมผ้าด้วยกระบวนการตกตะกอนไฟฟ้าเคมี พบว่าศักย์ไฟฟ้าและระยะเวลาการบำบัดนานขึ้น จะทำให้ประสิทธิภาพการบำบัด COD ได้มากถึงร้อยละ 78 และการบำบัดความขุ่นได้มากถึงร้อยละ 95 (Koby et al., 2003) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Shin et al. (2004) และ Modirshahla et al. (2007) ที่ทำการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียโดยวิธีจับก้อนด้วยไฟฟ้าเคมีเช่นเดียวกัน โดยพบค่า COD ลดลงอย่างต่อเนื่องจนถึงร้อยละ 81 และมากกว่าร้อยละ 90 ตามลำดับ ในขณะที่การศึกษาของอังคณา (2550) ที่ทำการศึกษาการกำจัดสีรีแอคทีฟบลู โดยกระบวนการไฟฟ้าเคมีที่มีประสิทธิภาพในการกำจัด COD ได้ร้อยละ 50 โดยน้ำหลังผ่านการบำบัดมี pH เท่ากับ 8.50 และค่า TSS เท่ากับ 15.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งไม่เกินค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม

สรุปผลการวิจัย

จากการวิเคราะห์สภาวะที่เหมาะสมและประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียสีย้อมผ้าประเภทไคเร็กซ์ด้วยวิธีการตกตะกอนไฟฟ้าเคมีจากขี้แ้วเหล็ก จะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มค่าศักย์ไฟฟ้าสูงขึ้นและระยะเวลาในการตกตะกอนนานขึ้นจะมีแนวโน้มทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียดีขึ้น โดยสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดสีย้อมผ้าที่ดีที่สุด คือ ที่ค่าความต่างศักย์ 12 โวลต์ ในระยะเวลาการตกตะกอน 90 นาที โดยมีประสิทธิภาพการบำบัด COD สูงที่สุด คิดเป็นร้อยละ 91.50 รองลงมาได้แก่ ประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่น TSS, TDS และ pH คิดเป็นร้อยละ 88.26, 74.66, 58.88 และ 21.32 ตามลำดับ ซึ่งค่าหลังการบำบัดส่วนใหญ่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม รองลงมาคือ สภาวะการบำบัดที่ค่าความต่างศักย์ 8 และ 4 โวลต์ ในระยะเวลาการตกตะกอน 90, 60 และ 30 นาที ตามลำดับ ซึ่งมีค่า pH TDS ความขุ่น และ COD หลังการบำบัดดีขึ้นแต่ยังไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์ และมหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม ในการสนับสนุนสารเคมีและอุปกรณ์เครื่องมือในการวิเคราะห์ และขอขอบคุณประชาชนตำบลร่องฟอง จังหวัดแพร่ทุกท่านที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลในการศึกษารั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- กรมควบคุมมลพิษ. (2540). **เกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำและมาตรฐานคุณภาพน้ำในประเทศไทย**. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ: กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม.
- ดวงตา กิจแก้ว. (2546). การกำจัดสีในน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมโดยกระบวนการไฟฟ้าเคมี. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากร มหาวิทยาลัยมหิดล.
- ภัทร รัตนกุล. (2556). **ราษฎรตำบลร่องพอง อำเภอเมือง จังหวัดแพร่. (สัมภาษณ์)**. เมื่อวันที่ 28 มีนาคม 2556.
- วรชวรพรรณ เทียงวรรณกานต์. (2550). การกำจัดสีย้อมรีแอฟทีฟโดยการใช้กระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าและการตกตะกอนทางเคมี. **วารสารวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมไทย**, 21(3), 11-22.
- อังคณา ปัญญาอ่อง. (2550). การกำจัดสีรีแอกทีฟบลูโดยกระบวนการบำบัดทางไฟฟ้าเคมี. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์ มหาบัณฑิต คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- APHA, AWWA & WPCE. (1995). **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 19th ed. Washington DC: American Public Health Association.
- Canizares, P., Jimenez, C., Martizez, F. & Saez, C. (2007). Study of the electrocoagulation process using aluminum and iron electrodes. **Industrial & Engineering Chemistry Research**, 46(19), 6189–6195.
- Charoenlarp, K. & Choyphan, W. (2009). Reuse of dye wastewater through colour removal with electrocoagulation process. **Asian Journal on Energy and Environment**, 10(4), 250-260.
- Daneshvar, N., Oladegaragoze, A. & Djafarzadeh, N. (2006). Decolorization of basic dye solutions by electrocoagulation: An investigation of the effect of operational parameters. **Journal of Hazardous Material**, 129(1-3), 116-122.
- Deb, K.T. & Majumdar, S. (2013). Removal of reactive dyes from textile wastewater by electrocoagulation process: An effective and clean approach. **International Journal of Environmental and Bioenergy**, 6(2), 96-116.
- Demirci, Y., Pekel, L.C. & Alpbaz, M. (2015). Investigation of different electrode connections in electrocoagulation of textile wastewater treatment. **International Journal of Electrochemical science**, 10, 2685–2693.
- Kobyas, M., Can, O.T. & Bayramoglu, M. (2003). Treatment of textile wastewaters by electrocoagulation using iron and aluminum electrodes. **Journal of Hazardous Materials**, 100(1-3), 163–178.
- Modirshahla, N., Behnajady, M.A. & Kooshaiian, S. (2007). Investigation of the effect of different electrode connections on the removal efficiency of Tartrazine from aqueous solutions by electrocoagulation. **Journal of Dyes and Pigments**, 74(2), 249-257.
- Pajootan, E., Arami, M. & Mahmoodi N.M. (2012). Binary system dye removal by electrocoagulation from synthetic and real colored wastewaters. **Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers**, 43(2), 282-290.
- Salmani, R.E., Ghorbanian, A., Ahmadzadeh, S., Dolatabadi, M. & Nemanifar, N. (2015). Removal of Reactive Red 141 Dye from Synthetic Wastewater by electrocoagulation process: Investigation of operational parameters. **Iranian Journal of Health, Safety & Environment**, 3(1), 403-411.
- Santhy, K. & Selvapathy, P. (2006). Removal of reactive dyes from wastewater by adsorption on coir pith activated carbon. **Bioresource Technology**, 97(11), 1329–1336.
- Shin, S., Kim, Y., Jung, S. & Suh, K. (2004). Combined performance of electrocoagulation and magnetic separation processes for treatment of dye wastewater. **Korean Journal of Chemical Engineering**, 21(4), 806-810.

- Tyagi, N., Mathur, S. & Kumar, D. (2014). Electrocoagulation process for textile wastewater treatment in continuous upflow reactor, **Journal of Scientific & Industrial Research**, 73, 195-198.
- Zango, I., Maiga, A.H., Wethe, J., Valentin, G., Leclerc, J-P., Paternotte, G. & Lopicque, F. (2009). Electrocoagulation for the treatment of textile wastewaters with Al or Fe electrodes: Compared variations of COD levels, turbidity and absorbance. **Journal of Hazardous Materials**, 169(1-3), 70-76.