

การกำจัดสี ความขุ่นและซีโอดีในน้ำเสียจากการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟี
ที่ใช้หมึกพิมพ์ฐานน้ำด้วยกระบวนการสร้างและรวมตะกอน
Removal of Color, Turbidity and COD in Wastewater from
Flexographic Printing using Water-Based Ink by
Coagulation-Flocculation Process

สปันนา นวลสอาด และ อุสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์*

Sapanna Nualsard and Usarat Thawornchaisit*

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

วันที่ส่ง : 15 พฤศจิกายน 2560 วันที่แก้ไข : 29 มกราคม 2561 วันที่ตอบรับ : 22 มิถุนายน 2561

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟีที่ใช้หมึกพิมพ์ฐานน้ำด้วยกระบวนการสร้างและรวมตะกอนโดยใช้เฟอร์ริกคลอไรด์เป็นโคแอกกูแลนต์ ทำการศึกษาผลของปริมาณเฟอร์ริกคลอไรด์และพีเอช ต่อการกำจัดสี ความขุ่น และซีโอดีจากน้ำเสียที่มีหมึกพิมพ์ฐานน้ำ โดยใช้เครื่องมือจาร์เทสต์ ผลการศึกษาพบว่าสภาวะที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในการกำจัดสี ความขุ่น และซีโอดีในน้ำเสียคือ ปริมาณเฟอร์ริกคลอไรด์เท่ากับ 0.5 กรัมต่อลิตร และพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียเท่ากับ 8 ประสิทธิภาพในการกำจัดสี ความขุ่น และซีโอดีที่สภาวะดังกล่าวมีค่าเท่ากับ 97.4, 98.9 และ 54.6% ตามลำดับ โดยสี ความขุ่นและซีโอดีในน้ำที่ผ่านการบำบัดมีค่าเท่ากับ 78.3 ± 41 ADMI, 42.3 ± 26 NTU และ $1,993.3 \pm 252$ มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ผลการศึกษานี้ให้เห็นว่ากระบวนการสร้างและรวมตะกอนโดยใช้เฟอร์ริกคลอไรด์สามารถกำจัดสีในน้ำเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพ และสามารถใช้เป็นกระบวนการบำบัดเบื้องต้นเพื่อลดปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำเสียได้

คำสำคัญ : โคแอกกูแลชัน ฟล็อกคูเลชัน การพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟีหมึกพิมพ์ฐานน้ำ

Abstract

This research was conducted to investigate the treatment of wastewater from flexographic printing using water-based ink through coagulation and flocculation process using ferric chloride as a coagulant. Effects of ferric chloride dosage and pH on the removal of color, turbidity and COD from water-based printing ink wastewater were investigated using a standard jar test apparatus. The result showed that the optimum

* ที่อยู่ติดต่อ. โทรศัพท์: 0 232 68000 ext. 6235, 6249 โทรสาร: 0 232 68804 E-mail: usarat.th@kmitl.ac.th

process condition for the maximum removal of color, turbidity and COD were found to be as follows: ferric chloride dosage of 0.5 g/L and pH of 8. At the reported conditions, the removal percentages of color, turbidity and COD are 97.4, 98.0 and 54.5%, respectively. Color, turbidity and COD in the effluent were 78.3 ± 41 ADMI, 42.3 ± 26 NTU and $1,993.3 \pm 252$ mg/L, respectively. The results clearly indicate that coagulation and flocculation by ferric chloride are more effective in removal of color in wastewater and can be used as pretreatment process to reduce organic content in wastewater.

Keywords: Coagulation, Flocculation, Water-based flexographic printing process

1. บทนำ

อุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์ประเภทกระดาษมีแนวโน้มขยายตัวอย่างต่อเนื่อง โดยในปี พ.ศ. 2560 บรรจุภัณฑ์ประเภทกระดาษมีปริมาณการผลิตเพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ. 2559 คิดเป็นร้อยละ 3.89 [1] จากการขยายตัวและความต้องการที่เพิ่มขึ้นของอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์ ส่งผลให้อุตสาหกรรมสิ่งพิมพ์เพื่อการบรรจุภัณฑ์มีการขยายตัวเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ระบบเฟล็กโซกราฟีเป็นหนึ่งในระบบการพิมพ์ที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมากในการพิมพ์บรรจุภัณฑ์ โดยหมึกพิมพ์ฐานตัวทำละลาย (solvent – based ink) จัดเป็นหนึ่งในประเภทของหมึกพิมพ์ที่นิยมนำมาใช้ เนื่องจากหมึกพิมพ์ประเภทนี้จะใช้ตัวทำละลายจำพวกสารอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs) เป็นตัวพาให้หมึกพิมพ์ไปติดกับวัสดุรองพิมพ์ ทำให้หมึกสามารถแห้งได้รวดเร็วบนวัสดุรองพิมพ์ [2] ข้อจำกัดของหมึกพิมพ์ประเภทนี้คือการใช้ VOCs เป็นตัวทำละลายจะก่อให้เกิดปัญหามลพิษทางอากาศ และอาจก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพของผู้ปฏิบัติงานอันเนื่องมาจากการสูดดมไอระเหยของสารเคมี [2] จากปัญหาดังกล่าวข้างต้น องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งประเทศสหรัฐอเมริกา (United States Environmental Protection Agency, U.S. EPA) ร่วมกับอุตสาหกรรมการพิมพ์เฟล็กโซกราฟี (Flexography) จึงรณรงค์ให้ผู้ประกอบการเปลี่ยนมาใช้หมึกพิมพ์ฐานน้ำ (water-based ink) เป็นวัสดุทดแทน [3] เพื่อลดปัญหาอันเนื่องมาจากการระเหยของตัวทำละลายต่อคุณภาพของอากาศ อีกทั้งยังทำให้เกิดความปลอดภัยต่อสุขภาพอนามัยของผู้ปฏิบัติงาน ข้อจำกัดที่สำคัญของการพิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ฐานน้ำคือการเกิดน้ำเสียที่มาจากขั้นตอนการล้างหัวพิมพ์ [4] นอกจากนี้สีย้อมเอโซ่จัดเป็นสารให้สีที่นิยมใช้ในหมึกพิมพ์ประเภทดังกล่าว สีย้อมประเภทนี้หลายชนิดจัดเป็นสารที่อาจก่อให้เกิดมะเร็ง [5] ประกอบกับน้ำเสียที่เกิดจากการล้างหัวพิมพ์จะมีปัญหาเรื่องสีของน้ำ หากไม่ได้รับการบำบัดอย่างถูกวิธีก่อนระบายลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ อาจส่งผลให้เกิดการกั้นขวางแสงอาทิตย์ ลดปริมาณแสงที่ส่องผ่านสู่แหล่งน้ำ ลดการสังเคราะห์แสงของพืชน้ำ ส่งผลให้ปริมาณออกซิเจนในน้ำลดลงจนอาจทำให้สัตว์น้ำตายได้ [6] ดังนั้นการบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการพิมพ์ประเภทนี้ให้มีความเหมาะสมก่อนระบายลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะจึงเป็นหัวข้อที่สำคัญการสร้างและรวมตะกอน (Coagulation-Flocculation) จัดเป็นวิธีการหนึ่ง ที่นิยมนำมาใช้ในการกำจัดสีและซีโอดีในน้ำเสียอุตสาหกรรม [7-10] เนื่องจากเป็นวิธีที่มีความสะดวกและง่ายต่อการปฏิบัติ จัดเป็นเทคโนโลยีที่สามารถบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม โดยเฉพาะอย่างยิ่ง สีในน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ วิธีการบำบัดทำได้โดยการเติมสารเคมีในการสร้างตะกอนหรือโคแอกกูแลนต์ (Coagulants)

ลงไปในน้ำ ชนิดของสารเคมีที่นิยมใช้ได้แก่ สารส้ม (Aluminium Sulphate, Alum) โพลีอลูมิเนียมคลอไรด์ (Polyaluminum Chloride, PACl) เฟอริกคลอไรด์ (Ferric Chloride) และเฟอร์รัสซัลเฟต (Ferrous Sulfate) สารเหล่านี้แตกตัวในน้ำเพื่อให้ประจุบวก ซึ่งจะทำให้น้ำที่สะเทินประจุบนผิวของอนุภาคต่างๆ ทั้งที่แขวนลอยและละลายในน้ำ ทำให้เกิดการลดแรงผลักรันของอนุภาคที่มีประจุลบในน้ำ ส่งผลให้เกิดการเคลื่อนที่ของอนุภาคเข้าหากันและเกาะกันเป็นกลุ่มมากขึ้น จนมีน้ำหนักมากพอที่จะจมตัวลงสู่ด้านล่างของถังปฏิกิริยาโดยอาศัยแรงโน้มถ่วงของโลก [11] แต่เนื่องจากประสิทธิภาพของสารเคมีในการสร้างตะกอน เพื่อกำจัดสี ความขุ่นและซีโอไซด์ด้วยการบวนการสร้างและรวมตะกอนขึ้นอยู่กับลักษณะของตัวอย่างน้ำ รวมไปถึงค่าพีเอชและอุณหภูมิของน้ำ [12] ประกอบกับแหล่งที่มาของตัวอย่างน้ำเสียที่ใช้ในการศึกษาได้ใช้เฟอร์ริกคลอไรด์เป็นสารกำจัดสีในน้ำ แต่ขาดการวิเคราะห์เพื่อหาปริมาณที่เหมาะสมของเฟอร์ริกคลอไรด์สำหรับกระบวนการสร้างและรวมตะกอน งานวิจัยนี้จึงได้จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาความสามารถของเฟอร์ริกคลอไรด์และหาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดสี ความขุ่นและค่าซีโอไซด์ของน้ำเสียจากการพิมพ์ด้วยระบบเพล็กโซกราฟีที่ใช้หมึกพิมพ์ฐานน้ำ

2. วิธีการทดลอง

2.1 ตัวอย่างน้ำเสียที่ใช้ในการศึกษา

น้ำเสียที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ เป็นตัวอย่างน้ำที่เก็บรวบรวมจากโรงพิมพ์ระบบเพล็กโซกราฟีที่ใช้หมึกพิมพ์ฐานน้ำ น้ำเสียดังกล่าวเกิดขึ้นมาจากการล้างลูกกลิ้งอนิลอกซ์ ทำการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำได้แก่ พีเอชด้วยเครื่องมือวัดค่าพีเอช (pH meter, Metrohm 827) ความขุ่นด้วยเครื่องมือวัดความขุ่น (Turbidity meter, HACH 2100A) ค่าสีในหน่วย ADMI ด้วยวิธี 2120E-ADMI Tristimulus Filter Method [13] และค่าซีโอไซด์ด้วยวิธี 5220-Close reflux, Colorimetric Method [13]

2.2 การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการบำบัดสี ความขุ่นและซีโอไซด์ด้วยวิธีการสร้างตะกอนและรวมตะกอน

ปัจจัยที่ทำการศึกษาได้แก่ ปริมาณเฟอร์ริกคลอไรด์ ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$: 0.25, 0.5, 0.75, 1, 1.5 และ 2 กรัมต่อลิตร) และค่าพีเอชของน้ำเสีย (5, 6, 7, 8, 9 และ 10) ทำการทดลองด้วยเครื่องจาร์เทสต์ (Raypa รุ่น Floc – 6P, Kittisit Enterprise) โดยนำตัวอย่างน้ำเสียปริมาตร 200 มิลลิลิตร ใส่ลงในบีกเกอร์ ทำการปรับค่าพีเอชของน้ำเสียด้วยกรดซัลฟิวริกและโซเดียมไฮดรอกไซด์ให้มีค่าตามที่กำหนด ทำการปั่นกวนด้วยความเร็ว 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 นาที จากนั้นเติมสารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์ในปริมาณที่แตกต่างกันตามที่กำหนด ทำการกวนเร็วที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 2 นาที จากนั้นกวนช้าที่ความเร็วรอบ 60 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนเป็นเวลา 1 ชั่วโมง เมื่อครบตามเวลาที่กำหนด ปิเปตส่วนใสมาวัดสี ความขุ่นและซีโอไซด์

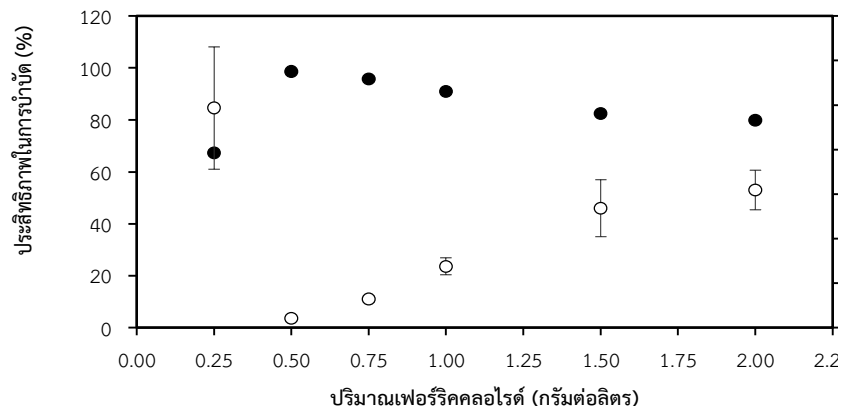
3. ผลการทดลองและวิจารณ์

3.1 ลักษณะน้ำเสียจากโรงพิมพ์ระบบฟลักซ์โคราฟท์หมักพิมพ์ฐานน้ำ

จากการวิเคราะห์สมบัติของตัวอย่างน้ำเสียจากโรงพิมพ์ระบบฟลักซ์โคราฟท์ที่ใช้หมักพิมพ์ฐานน้ำพบว่า ตัวอย่างน้ำมีค่าพีเอชเท่ากับ 7.03 ± 0.03 สีในน้ำมีค่าเท่ากับ $3,064 \pm 48$ ADMI ความขุ่นมีค่าเท่ากับ $2,173 \pm 3.0$ NTU และมีค่าซีไอดีเท่ากับ $4,394 \pm 147$ มิลลิกรัมต่อลิตร จะเห็นได้ว่าน้ำเสียจากโรงพิมพ์ระบบฟลักซ์โคราฟท์ที่ใช้หมักพิมพ์ฐานน้ำมีค่าพีเอชเป็นกลาง มีความขุ่นสูง รวมทั้งมีค่าสีและซีไอดีสูงกว่าค่าที่กำหนดไว้ในประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากโรงงาน [14] ซึ่งหากไม่ได้รับการบำบัดอย่างถูกวิธีก่อนระบายลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะอาจก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมได้

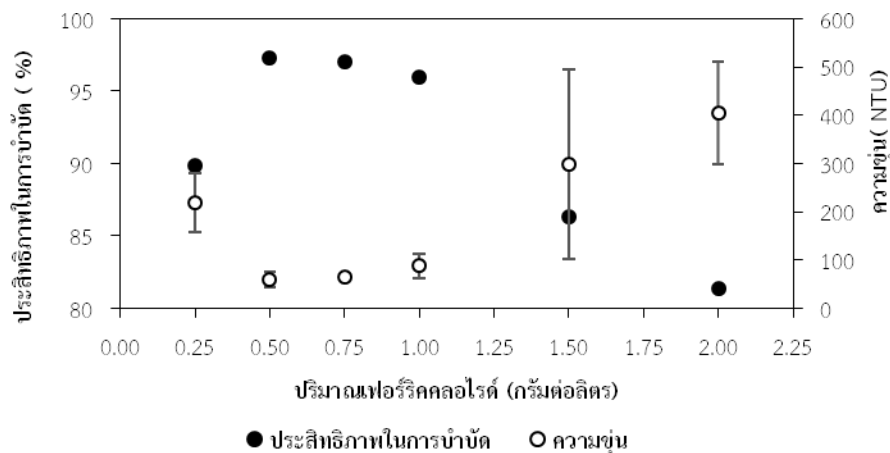
3.2 ผลของปริมาณเฟอร์ริกคลอไรด์ต่อความสามารถในการกำจัดสี ความขุ่นและซีไอดี

ผลของปริมาณเฟอร์ริกคลอไรด์ต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีในน้ำตัวอย่างแสดงดังรูปที่ 1 เมื่อปริมาณเฟอร์ริกคลอไรด์ในน้ำมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 0.25 กรัมต่อลิตร เป็น 0.5 กรัมต่อลิตร พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดสีมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 67.8 % เป็น 98.6 % ตัวอย่างน้ำที่ผ่านการบำบัดจะมีค่าสีลดลงจาก 987 ± 275 ADMI เหลือ 42 ± 9 ADMI ความสามารถในการกำจัดสีที่เพิ่มขึ้นอาจเป็นผลมาจากการเติมเฟอร์ริกคลอไรด์ในปริมาณสูงขึ้น เป็นการเพิ่มปริมาณเฟอร์ริกไอออน (Fe^{3+}) ที่มีประจุตรงข้ามกับสารที่ทำให้เกิดสีในน้ำ ซึ่งจะทำให้ค่าศักย์ซีตา (Zeta potential) ของน้ำที่มีสีเป็นส่วนประกอบมีค่าเพิ่มขึ้นจนใกล้เคียงศูนย์ดังแสดงในงานวิจัยของ Kim *et al.* [15] ผลที่ตามมาคือเกิดการทำลายเสถียรภาพของอนุภาค (Destabilization) ลดแรงผลักระหว่างอนุภาค และทำให้เกิดการเกาะรวมกันของอนุภาคมากขึ้น [11] จึงส่งผลให้สีที่ในน้ำมีค่าลดลง อย่างไรก็ตามพบว่าการเพิ่มปริมาณเฟอร์ริกคลอไรด์จาก 0.5 กรัมต่อลิตร เป็น 2 กรัมต่อลิตร จะส่งผลให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสีมีแนวโน้มลดลงจาก 98.6 % เหลือ 79.8 % สีของน้ำตัวอย่างมีแนวโน้มสูงขึ้นจาก 42 ± 9 ADMI เป็น 619 ± 90 ADMI (รูปที่ 1) แสดงให้เห็นว่าเมื่อมีการเติมเฟอร์ริกคลอไรด์ในปริมาณมากเกินไป สามารถทำให้อนุภาคแขวนลอย รวมทั้งสีในน้ำจะกลับมาอยู่ในสภาวะเสถียรอีกครั้ง (Restabilization) เป็นผลมาจากเฟอร์ริกไอออน (Fe^{3+}) ที่มีมากขึ้น ทำให้พื้นผิวของอนุภาคต่างๆในน้ำมีสภาพเป็นบวกสูงขึ้น จนเกิดแรงผลักรวมกันมากกว่าแรงดูด สอดคล้องกับงานวิจัยของ Kim *et al.* [15] ที่พบว่า Zeta potential ของสียรีแอคทีฟ (Reactive dyes) และสียดิสเพอร์ส (Disperse dyes) มีค่าเพิ่มจากศูนย์เป็นบวกได้ เมื่อเพิ่มปริมาณเฟอร์ริกคลอไรด์ที่ใช้เป็นสารเคมีในการสร้างตะกอน โดยประสิทธิภาพการกำจัดสีทั้งสองชนิดมีแนวโน้มลดลงเมื่อเข้าสู่สภาวะดังกล่าว



รูปที่ 1. ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเฟอร์ริกคลอไรด์กับสีในน้ำเสียหลังผ่านการบำบัดด้วยวิธีการสร้างและรวมตะกอน

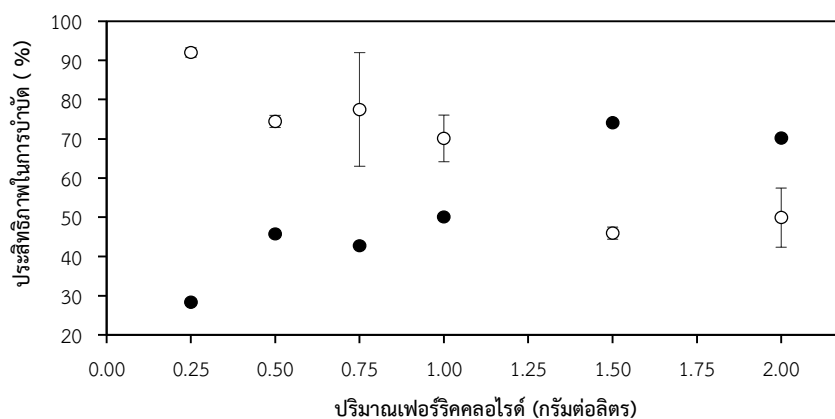
เมื่อพิจารณาผลของปริมาณเฟอร์ริกคลอไรด์ต่อการกำจัดความขุ่น พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นมีแนวโน้มที่คล้ายคลึงกับผลของปริมาณเฟอร์ริกคลอไรด์ต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีในน้ำ กล่าวคือความขุ่นในน้ำเสียหลังการบำบัดมีค่าต่ำสุด (59.7 ± 15 NTU) เมื่อใช้ปริมาณเฟอร์ริกคลอไรด์ 0.5 กรัมต่อลิตร คิดเป็นประสิทธิภาพในการบำบัด 98.6 % (รูปที่ 2) แต่เมื่อเพิ่มปริมาณ



รูปที่ 2. ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเฟอร์ริกคลอไรด์กับความขุ่นในน้ำเสียหลังผ่านการบำบัดด้วยวิธีการสร้างและรวมตะกอน

เฟอร์ริกคลอไรด์จาก 0.5 กรัมต่อลิตร เป็น 2 กรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นจะมีค่าลดลงจาก 98.6 % เหลือ 81.4 % ความขุ่นในน้ำเสียมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 404 ± 107 NTU (รูปที่ 2) ทั้งนี้ประสิทธิภาพของปริมาณเฟอร์ริกคลอไรด์ต่อการกำจัดความขุ่นในน้ำ สามารถอธิบายได้ในทำนองเดียวกันกับที่กล่าวไว้ในเรื่องผลของปริมาณเฟอร์ริกคลอไรด์ต่อความสามารถในการกำจัดสี

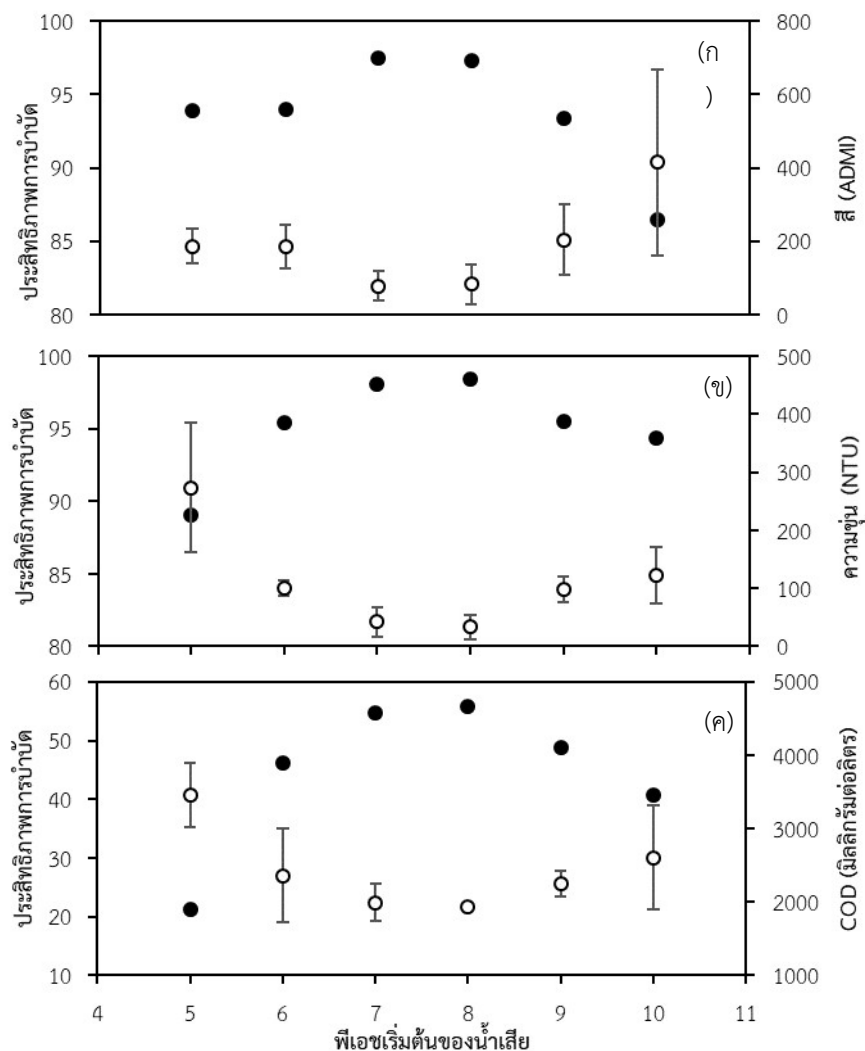
สำหรับการกำจัดค่าซีโอดีในน้ำเสียด้วยกระบวนการสร้างและรวมตะกอนด้วยเฟอร์ริกคลอไรด์พบว่าความสามารถในการกำจัดค่าซีโอดีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของปริมาณเฟอร์ริกคลอไรด์ (รูปที่ 3) โดยประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 28.8 % เป็น 74.0 % เมื่อเพิ่มปริมาณเฟอร์ริกคลอไรด์จาก 0.25 กรัมต่อลิตร เป็น 2.0 กรัมต่อลิตร น้ำที่ผ่านการบำบัดมีค่าซีโอดีลดลงจาก $3,148.9 \pm 50.9$ มิลลิกรัมต่อลิตร เหลือ $1,308.9 \pm 331$ มิลลิกรัมต่อลิตร อย่างไรก็ตามพบว่าค่าซีโอดีในน้ำตัวอย่างที่ผ่านการบำบัดยังมีค่าสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด [14] แสดงให้เห็นว่าจำเป็นต้องมีกระบวนการอื่นมาใช้ร่วมกันเพื่อบำบัดน้ำเสียให้มีค่าซีโอดีเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด



รูปที่ 3. ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเฟอร์ริกคลอไรด์กับค่าซีโอดี ในน้ำเสียหลังผ่านการบำบัดด้วยวิธีการสร้างและรวมตะกอน

3.3 ผลของค่าพีเอชในน้ำเสียต่อความสามารถในการกำจัดสี ความขุ่นและซีโอดี

การศึกษาอิทธิพลของพีเอชต่อความสามารถในการกำจัดสี ความขุ่นและซีโอดีในน้ำเสีย ทำได้โดยบำบัดน้ำเสียที่มีค่าพีเอชแตกต่างกัน (5, 6, 7, 8, 9 และ 10) โดยใช้ปริมาณเฟอร์ริกคลอไรด์คงที่ เท่ากับ 0.5 กรัมต่อลิตร ผลการศึกษาแสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 4. ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียกับ (ก) สี (ข) ความขุ่น และ (ค) ค่าซีโอดีในน้ำเสียหลังการบำบัดด้วยวิธีการสร้างและรวมตะกอน

จากรูปที่ 4 พบว่าอิทธิพลของค่าพีเอชต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสี ความขุ่นและค่าซีโอดี มีแนวโน้มคล้ายคลึงกัน การเพิ่มค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียจาก 5 เป็น 8 ทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดสี ความขุ่นและซีโอดีในน้ำตัวอย่างมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่เมื่อค่าพีเอชของน้ำเสียเพิ่มขึ้นเป็น 9 และ 10 พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดสี ความขุ่นและซีโอดีมีค่าลดลง โดยประสิทธิภาพในการกำจัดสี ความขุ่น และซีโอดีมีค่าสูงสุดเท่ากับ 97.3 %, 98.44 % และ 55.89 % ตามลำดับ เมื่อพีเอชเริ่มต้นของน้ำมีค่าเท่ากับ 8 ที่สภาวะดังกล่าวน้ำที่ผ่านการบำบัดมีค่าสีลดลงเหลือ 82.7 ± 53 ADMI ความขุ่นมีค่า 34 ± 21 NTU และมีค่าซี

ไอดีเท่ากับ $1,937.8 \pm 251.7$ มิลลิกรัมต่อลิตร ทั้งนี้การเพิ่มขึ้นของประสิทธิภาพในการกำจัดสี ความขุ่น และซีไอดีในช่วงพีเอชจาก 5 ถึง 8 ส่วนหนึ่งอาจเป็นผลมาจากอิทธิพลของพีเอชต่อรูปฟอร์มของเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ในน้ำ การเพิ่มขึ้นของพีเอชจากกรดเป็นกลาง ทำให้เฟอร์ริกไฮดรอกไซด์สามารถเกิดปฏิกิริยากับไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างเหล็กกับไฮดรอกไซด์ที่มีประจุบวก เช่น $\text{Fe}_2(\text{OH})_2^{+4}$, $\text{Fe}(\text{OH})^{+2}$ หรือ $\text{Fe}(\text{OH})_2^{+16}$ ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงศักย์ซีตาที่ผิวของอนุภาค ซึ่งจะทำให้เกิดการลดแรงผลักกันระหว่างอนุภาคและเกิดการรวมกันได้มากขึ้น อีกทั้งการเพิ่มพีเอชของสารละลาย ทำให้สารประกอบเชิงซ้อนของเหล็กกับไฮดรอกไซด์สามารถเคลื่อนที่มาสัมผัสและเกาะจับกันเป็นกลุ่มก้อนหรือฟล็อกของเฟอร์ริก (Ferric flocs) ได้มากขึ้น โดยจะมีปริมาณหนาแน่นที่สุดเมื่อค่าพีเอชใกล้เคียงเป็นกลางมากขึ้น [15, 17] ผลที่ตามมาคือ ferric flocs สามารถห่อหุ้มอนุภาคต่างๆ ในน้ำ จนเกิดการรวมเป็นฟล็อกและแยกออกจากน้ำได้มากขึ้น [15, 17] นอกจากนี้พีเอชของน้ำมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงศักย์ซีตาของอนุภาคต่างๆ ในน้ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งสี งานวิจัยของ Kim *et al.* [15] แสดงให้เห็นว่า zeta potential ของสีรีแอคทีฟ (reactive dyes) และสีดิสเพอร์ส (disperse dyes) มีค่าเข้าใกล้ศูนย์มากขึ้นเมื่อพีเอชของสารละลายมีค่าเพิ่มจาก 4 เป็น 6 แสดงให้เห็นถึงแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นของการทำลายเสถียรภาพระหว่างอนุภาค ส่งผลให้ประสิทธิภาพการกำจัดสีมีค่าเพิ่มขึ้น แต่เมื่อพีเอชมีค่ามากกว่า 7 พบว่าสีทั้งสองชนิดมีประจุสุทธิเป็นลบ ประกอบกับเมื่อพีเอชมีค่าเพิ่มขึ้นมากกว่า 8 จะเกิดสารประกอบเชิงซ้อนประจุลบระหว่างเหล็กกับไฮดรอกไซด์ เช่น $\text{Fe}(\text{OH})_4^-$ [16] ซึ่งอาจส่งผลต่อศักย์ซีตาที่ผิวของอนุภาคและทำให้อนุภาคกลับมามีเสถียรภาพกลับคืน จนทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดมีแนวโน้มลดลงเมื่อพีเอชมีค่ามากกว่า 8

4. สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่ากระบวนการสร้างและรวมตะกอนสามารถบำบัดน้ำเสียจากงานพิมพ์กล่องบรรจุภัณฑ์ประเภทกระดาษของโรงพิมพ์ระบบแฟล็กโซกราฟีที่ใช้หมึกพิมพ์ฐานน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ ความสามารถของเฟอร์ริกคลอไรด์ในการกำจัดสี ความขุ่นและซีไอดีจากน้ำเสียมีค่าแตกต่างกันตามปริมาณโคแอกกูแลนต์และค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำตัวอย่าง จากการศึกษาด้วยเครื่องมือจาร์เทสต์ พบว่าเฟอร์ริกคลอไรด์ให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสี ความขุ่นและซีไอดีเท่ากับ 97.4, 98.9 และ 54.6% ตามลำดับ เมื่อใช้ปริมาณสารเคมีในการสร้างตะกอนเท่ากับ 0.5 กรัมต่อลิตร และค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียมีค่าเท่ากับ 8 ที่สภาวะดังกล่าว สีในน้ำมีคุณภาพเป็นไปตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่องกำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากโรงงาน พ.ศ. 2560 ในขณะที่ค่าซีไอดีในน้ำยังคงมีค่าสูงเกินกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ แสดงให้เห็นถึงความจำเป็นที่ต้องมีกระบวนการบำบัดร่วมสำหรับการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียเพื่อให้ได้น้ำทิ้งที่มีคุณภาพเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษานี้ได้รับเงินสนับสนุนการทำวิจัยจากงบประมาณอุดหนุนการทำวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาระดับปริญญาโท คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารอ้างอิง (References)

- [1] สำนักเศรษฐกิจอุตสาหกรรม. 2559. รายงานสภาวะอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์. แหล่งข้อมูล : <http://packaging.oie.go.th/new/index.php>. ค้นเมื่อวันที่ 10 พฤษภาคม 2560.
- [2] ไพรัตน์ สิริรัตนยืนยง. 2544. อิทธิพลของภาวะการพิมพ์ของเครื่องพิมพ์เฟล็กโซกราฟีต่อคุณภาพของวัสดุพิมพ์พอลิโพรพิลีน. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมเคมี, บัณฑิตวิทยาลัย, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. [Phairat Sittirattanayeunyong. 2001. Influence of printing condition of flexography machine on qualities of polypropylene printing material. Master of Engineering, Chemical Engineering Program, The Graduate School, Chulalongkorn University. (in Thai)].
- [3] Caballero, K.P. 1994. Flexographers work with EPA to facilitate future compliance. *Flexo*, 40(1), 81-93.
- [4] อรชуда ขันติกุล. 2549. การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานหมึกพิมพ์โดยกระบวนการโอโซนเข้มข้นร่วมกับการลอยตะกอนด้วยหลักการละลายของอากาศ. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมเคมี, บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. [Ornchuda Khunteegul. 2006. Ink Wastewater Treatment by Ozonation Combined with Dissolved Air Flotation (DAF) Processes. Master of Engineering, Chemical Engineering Program, The Graduate School, King Mongkut's Institute of Technology North Bangkok. (in Thai)].
- [5] Chung, K.-T. 2016. Azo dyes and human health: A review. *Journal of Environmental Science and Health*, 34(4), 233-261.
- [6] ขนิษฐา เจริญลาภ. 2550. การกำจัดสีดีสเพรส สีไคเร็กซ์และสีรีแอคทีฟจากน้ำทิ้งย้อมผ้าโดยกระบวนการตกตะกอนทางเคมี. แหล่งข้อมูล : http://www.tpa.or.th/writer/read_this_book_topic.php?pageid=6&bookID=370&read=true&count=true. ค้น เมื่อวันที่ 10 พฤษภาคม 2560
- [7] Nandy, T. Vyas, R.D., Shastri, Sunita and Kaul S.N. 2004. Optimization of coagulants for pretreatment of printing ink wastewater. *Environmental Engineering Science*, 19, 1-7.
- [8] Aslian, H., Moradian fard, Sh., Rezaei, A., Mortazavi, S.B. and Khavanin, A. 2006. The removal of color and COD from wastewater containing water base color by coagulation process. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 3, 153-157.
- [9] Likhar, M.C. and Shivramwar, M.V. 2013. Removal of chemical oxygen demand (COD) and color from dye manufacturing industry by coagulation. *International Journal of Engineering Research and Applications*. 3, 1116-1118.

- [10] Roa-Morales, G., Barrera Diaz, C., Balderas-Hernandez, P., Zaldumbide-Ortiz, F., Perez, H. and Bilyeu, B. 2014. Removal of color and chemical oxygen demand using a coupled coagulation-electrocoagulation-ozone treatment of industrial wastewater that contains offset printing dyes. *Journal of the Mexican Chemical Society*, 58, 362-368.
- [11] พรศักดิ์ สมรไกรสรกิจ. มปป. กระบวนการโคแอกกูเลชัน (Coagulation) และฟล็อกคูเลชัน (Flocculation). แหล่งข้อมูล : https://www.mwa.co.th/ewt_dl_link.php?nid=441. ค้นเมื่อวันที่ 6 พฤษภาคม 2560.
- [12] Phani Madhavi, T., Srimurali, M. and Nagendra Prasad, K. 2014. Color removal from industrial wastewater using alum. *Journal of Environmental Research and Development*, 8(4), 890-894.
- [13] American Public Health Association, American Water Works Association, and Water Environment Federation (APHA, AWWA and WEF). 2005. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21st ed., APHA-AWWA-WEF, Washington DC.
- [14] กระทรวงอุตสาหกรรม. 2560. ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมเรื่องกำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากโรงงาน พ.ศ. 2560, แหล่งข้อมูล : <http://www.diw.go.th/hawk/content.php?mode=laws&tabid=1&secid=3> ค้นเมื่อวันที่ 8 มิถุนายน 2560.
- [15] Kim, T.-H., Park, C., Shin, E.-B. and Kim, S. 2004. Decolorization of disperse and reactive dye solutions using ferric chloride. *Desalination*, 161, 49-58.
- [16] Reynolds, T.D. 1982. Unit Operations and Processes in Environmental Engineering. Wadsworth, Inc., Belmont, California.
- [17] Bustamante, H.A., Shanker, S.R., Pashley R.M. and Karaman, M.E. 2001. Interaction between *cryptosporidium* oocysts and water treatment coagulants. *Water Research*, 35(13), 3179-3189.