

การปรับปรุงคุณภาพน้ำหลังการบำบัดของโรงงานย้อมผ้า เพื่อนำกลับมาใช้ใหม่

นราพร หาญวงวงศ์¹ ปิยะบุตร วานิชพงษ์พันธุ์² และ พิไลพรรณ ท้อสุวรรณ³
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี บางมด ทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำหลังผ่านการบำบัดด้วยกระบวนการแบบตะกอนเร่งของโรงงานย้อมผ้าเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ โดยทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดสีด้วยวิธีเฟนตอนรีเอเจนต์ และหาสภาวะที่เหมาะสมในการใช้สารละลายโพแทสเซียมเปอร์มังกาเนตกำจัดเหล็ก ก่อนนำมาปรับปรุงคุณภาพโดยผ่านถ่านกัมมันต์เรซินแลกเปลี่ยนไอออนหรือรีเวอร์สออสโมซิส เพื่อศึกษาคุณลักษณะของน้ำหลังปรับปรุงคุณภาพและพิจารณาความเหมาะสมในการนำกลับไปใช้ในโรงงาน ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดสีด้วยวิธีเฟนตอนรีเอเจนต์ พบว่าการปรับค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำเป็น 4.0 สารละลายเฟอร์รัสซัลเฟต 100 มก./ล. และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 27.5 มก./ล. ให้ประสิทธิภาพในการบำบัดสีร้อยละ 92.66 แต่ปริมาณเหล็กในน้ำเพิ่มขึ้นจากเดิม หลังจากกำจัดโดยออกซิไดซ์เหล็กด้วยสารละลายโพแทสเซียมเปอร์มังกาเนตในอัตราส่วน 1 : 1 และศึกษาการแปรผันค่าความเป็นกรด-ด่างในช่วง 8.0-10.0 พบว่าเมื่อปรับค่าความเป็นกรด-ด่างให้มีค่า 9.5 จะให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสูงสุดคือร้อยละ 98.28 และผลจากการวิเคราะห์คุณภาพน้ำในพารามิเตอร์อื่นๆ พบว่าน้ำหลังผ่านการกำจัดสีและเหล็กสามารถนำไปใช้เป็นน้ำล้างพื้นโรงงาน น้ำซักโครก น้ำรดต้นไม้ และสามารถนำไปใช้ในระบบน้ำหล่อเย็นแบบผ่านครั้งเดียวได้ นอกจากนี้การศึกษากำจัดสีและเหล็กที่เหลือโดยกระบวนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ พบว่าช่วยลดความกระด้างจาก 83.04 ให้เหลือ 2.08 มก./ล. ในรูปหินปูน และปริมาณแคลเซียมจาก 68.51 ให้เหลือ 0 มก./ล. ในรูปหินปูน แต่ค่าความเป็นกรด-ด่างหลังการบำบัดมีค่าสูงขึ้นเป็น 9.45 ต้องปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง ให้ลดลงด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริก และนำไปผ่านการกรองด้วยรีเวอร์สออสโมซิสหรือการแลกเปลี่ยนไอออนก่อนนำไปใช้ จากผลการศึกษาพบว่ากระบวนการทั้งสองชนิดช่วยบำบัดให้น้ำมีคุณภาพเหมาะสมสำหรับนำไปใช้ในกระบวนการผลิต หอหล่อเย็น และหม้อไอน้ำได้

¹ รองศาสตราจารย์ ภาควิชาเคมี

² อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

³ นักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา ภาควิชาเคมี

Improvement of the Effluent Quality for Re-use in Dyeing Industry

Naraporn Harnvajanawong¹ Piyabutr Vanichapongpan² and Pilaipan Thosuwan³

King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangmod, Toongkru, Bangkok 10140

Abstract

Treatability of the effluent from the activated sludge process in dyeing industry for re-use was investigated. The methods consist of the color removal by Fenton's reagent followed by oxidation with potassium permanganate for the iron removal, the remained contaminants were reduced by activated carbon and ion exchange or membrane processes. It was found that the optimum pH of 4.0, ferrousulfate and hydrogenperoxide at concentration of 100 and 27.5 mg/l respectively were suitable for Fenton's reagent with the color removal efficiency of 92.66 %. After this process, the iron concentration in treated water was increased so potassium permanganate were used to get rid of iron with a KMnO_4/Fe mole ratio of 1:1 and varied pH in the range of 8.0 - 10.0. The results showed that the optimum pH was 9.5 with the iron removal efficiency of 98.28 %. the treated water were suitable to use for toilets, lawn sprinklers, cleaning floor and once through cooling water. The results of study by the activated carbon, the total hardness and calcium were reduced from 83.04 and 68.51 mg/l as CaCO_3 to 2.08 and 0 mg/l as CaCO_3 , respectively but the pH value was increased to 9.45 so the treated water was neutralized with H_2SO_4 solution and feeded through ion exchange or membrane process to improve the qualities of water in order to use in the processes, cooling tower and boiler.

¹ Associate Professor, Department of Chemistry.

² Lecturer, Department of Chemical Engineering.

³ Graduate Student, Department of Chemistry.

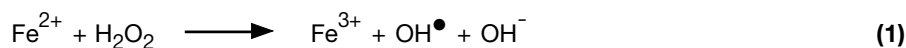
1. บทนำ

ในช่วงที่ผ่านมามีภัยพิบัติน้ำซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในการดำเนินชีวิตและกิจกรรมต่างๆ ประสบปัญหาการขาดแคลน เนื่องจากไม่มีการวางแผนด้านการจัดสรรทรัพยากรและขาดมาตรการในการป้องกันปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม น้ำในแม่น้ำลำคลองจึงเกิดการเน่าเสีย มีการสะสมของสารมลพิษ ไม่สามารถนำมาอุปโภคบริโภคได้ ในปัจจุบันทางภาครัฐได้ให้ความสำคัญกับปัญหาความเสื่อมโทรมด้านคุณภาพสิ่งแวดล้อมมากขึ้น มีการสร้างระบบบำบัดน้ำเสียหลายแห่งในเขตกรุงเทพมหานครและกำหนดมาตรการควบคุมมลภาวะซึ่งเกิดจากการระบายน้ำเสียของชุมชนและภาคอุตสาหกรรม โดยคิดค่าใช้จ่ายในการบำบัดรวมกับค่าน้ำประปาที่ใช้ดังนี้ [1]

$$\text{ราคาน้ำ} = \text{ค่าน้ำดิบ} + \text{ค่าผลิตน้ำ} + \text{ค่าบำบัดน้ำเสีย}$$

นอกจากนี้ปัญหาการทรุดตัวของแผ่นดินทำให้รัฐบาลประกาศห้ามใช้น้ำบาดาล เป็นเหตุให้โรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ ซึ่งมีความจำเป็นในการใช้น้ำสำหรับกระบวนการผลิตได้รับผลกระทบ ส่วนโรงงานที่ตั้งอยู่ภายในนิคมอุตสาหกรรมปริมาณน้ำที่จะนำมาใช้ในโรงงานจะมีการคำนวณตามพื้นที่ของโรงงาน ดังนั้นการหมุนเวียนน้ำเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่จึงเป็นแนวทางในการแก้ปัญหาการขาดแคลนน้ำใช้ ช่วยลดต้นทุนการผลิตและปริมาณของเสียที่เกิดขึ้น

ในงานวิจัยได้เลือกศึกษาน้ำทิ้งที่ผ่านกระบวนการตะกอนเร่งจากโรงงานฟอกย้อมมาปรับปรุงคุณภาพเพื่อหมุนเวียนนำกลับมาใช้ใหม่ เนื่องจากเป็นอุตสาหกรรมที่ต้องใช้น้ำในกระบวนการผลิตมาก มีปริมาณน้ำทิ้งสูงและมีสารเคมีปนเปื้อนหลายชนิด โดยเฉพาะสีย้อมน้ำทิ้งที่ผ่านกระบวนการบำบัดแม้จะมีคุณภาพผ่านตามมาตรฐานแต่ยังมีสีเหลืออยู่ เพราะสีบางชนิดจุลินทรีย์ย่อยสลายได้ยาก การวิจัยได้เลือกใช้วิธีเฟนตอนรีเอเจนต์ซึ่งประกอบด้วยสารละลายเฟอร์รัสซัลเฟตและสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในการลดสี และใช้สารละลายโพแทสเซียมเปอร์มังกาเนตในการกำจัด เหล็กที่เหลือ หลังจากนั้นจะนำไปผ่านกระบวนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ รีเวอร์สออสโมซิสและเรซินแลกเปลี่ยนไอออน เพื่อให้ได้น้ำที่มีคุณภาพเหมาะสมในการนำไปใช้ภายในโรงงาน โดยคำนึงถึงวิธีการที่มีประสิทธิภาพ สะดวกแก่การควบคุม และมีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการต่ำ การออกซิไดซ์สีโดยใช้เฟนตอนรีเอเจนต์เป็นการใช้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ทำปฏิกิริยากับเฟอร์รัสซัลเฟต เพื่อเป็นตัวกระตุ้นให้เกิดอนุมูลไฮดรอกซิลดังสมการที่ 1



อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นมีค่าศักยภาพในการออกซิไดซ์สูง [2] ซึ่งสามารถทำลายโครงสร้างของโมเลกุลสีย้อมให้มีขนาดเล็กลงและกำจัดได้ง่ายขึ้น

2. การดำเนินงานวิจัย

ตัวอย่างน้ำที่ทำการวิจัยคือน้ำที่ผ่านการบำบัดแบบกระบวนการตกตะกอนเร่งของโรงงานย้อมผ้า โดยทำการศึกษาคุณภาพของน้ำตัวอย่างก่อนนำไปปรับปรุงคุณภาพน้ำตามกระบวนการต่างๆ คือ

2.1 บำบัดสีจากน้ำเสียโดยวิธีเฟนตอนรีเอเจนต์

ในการทดลองบำบัดสีโดยเฟนตอนรีเอเจนต์ ใช้วิธีจาร์เจสท์เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัด โดยทำการแปรผันค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณสารละลายเฟอร์รัสซัลเฟตและสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ นำน้ำที่ผ่านการบำบัดดังกล่าวไปวิเคราะห์ความเข้มข้นโดยวัดเปอร์เซ็นต์การส่องผ่านแสงด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ และคำนวณค่าความเข้มข้นด้วยโปรแกรมเอตีเอ็มไอ ส่วนพารามิเตอร์อื่นที่ทำการวิเคราะห์คือ ค่าซีไอดี และปริมาณเหล็กที่เหลือ

2.2 การลดปริมาณเหล็กที่เหลือด้วยสารละลายโพแทสเซียมเปอร์มังกานेट

กำจัดเหล็กที่เหลือในน้ำหลังการบำบัดสีด้วยเฟนตอนรีเอเจนต์ โดยใช้อัตราส่วนสารละลายโพแทสเซียมเปอร์มังกานेट : เหล็ก เป็น 1 : 1 และหาสภาวะความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสม โดยแปรผันในช่วง 8.0 - 10.0 นำน้ำที่ผ่านการบำบัดดังกล่าวไปวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

2.3 กระบวนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์

2.3.1 ทดลองหาอายุการใช้งานของถ่านกัมมันต์โดยบรรจุถ่านกัมมันต์ในคอลัมน์เส้นผ่านศูนย์กลาง 2.2 ซม. ให้มีระดับความสูงของถ่านกัมมันต์ 5, 15 และ 25 ซม. ผ่านตัวอย่างน้ำหลังกำจัดเหล็กในข้อ 2.2 ด้วยอัตราการไหล 19 ลบ.ซม./นาที เก็บตัวอย่างน้ำเพื่อนำไปวิเคราะห์ค่าซีไอดีทุก 10 นาที จนความเข้มข้นซีไอดีไม่เปลี่ยนแปลง สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าซีไอดีและเวลาเพื่อหาอายุการใช้งานของถ่านกัมมันต์

2.3.2 บรรจุคอลัมน์ถ่านกัมมันต์โดยเลือกคอลัมน์ความสูงที่ให้ประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดีมากที่สุด ผ่านตัวอย่างน้ำที่ผ่านการกำจัดเหล็กในข้อ 2.2 และเก็บตัวอย่างแยกเป็น 2 ชุด เพื่อทดลองผ่านกระบวนการรีเวอร์สออสโมซิสและกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน

2.4 กระบวนการรีเวอร์สออสโมซิส

นำน้ำที่ผ่านถ่านกัมมันต์มาผ่านรีเวอร์สออสโมซิส ก่อนเก็บตัวอย่างน้ำวิเคราะห์คุณภาพ

2.5 กระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน

น้ำที่ผ่านถ่านกัมมันต์ นำมาผ่านเรซินแลกเปลี่ยนไอออนประจุบวกและลบ ก่อนเก็บตัวอย่างวิเคราะห์คุณภาพน้ำ และผ่านน้ำเข้าสู่ถังเรซินแบบผสม (mix bed) เก็บตัวอย่างวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

2.6 คำนวณออกแบบระบบและค่าใช้จ่ายในการดำเนินการดังนี้

2.6.1 คำนวณปริมาณสารเคมีและค่าใช้จ่ายในการลดความเข้มข้นของสีข้อมในน้ำทิ้ง

2.6.2 คำนวณปริมาณสารเคมีและค่าใช้จ่ายในการใช้โพแทสเซียมเปอร์มังกานेटกำจัดเหล็ก

2.6.3 ออกแบบระบบถังกรองถ่านกัมมันต์

2.6.4 คำนวณค่าใช้จ่ายในการเติมสารเคมีเพื่อนำน้ำหมุนเวียนใช้ในระบบน้ำหล่อเย็นและหม้อไอน้ำ

3. ผลการทดลองและวิจารณ์

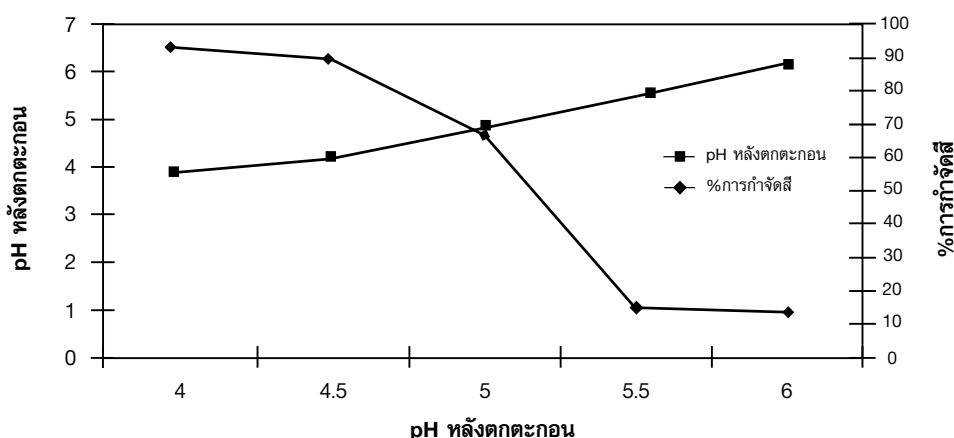
ในโรงงานย้อมผ้ามีการใช้สารเคมีและสีย้อมหลายชนิดขึ้นอยู่กับความต้องการของลูกค้า น้ำทิ้งจากโรงงานย้อมผ้าจึงมีคุณลักษณะไม่สม่ำเสมอ จากการวิเคราะห์คุณภาพน้ำพบว่าความเข้มข้นมีค่า 215 เอตีเอ็มไอ ซึ่งตามมาตรฐานในประเทศไทยไม่ได้กำหนดค่าความเข้มข้นไว้ เพียงแต่ระบุว่าสีของน้ำที่ผ่านการบำบัดต้องไม่เป็นที่พึงรังเกียจเท่านั้น ทำให้ยากต่อการประเมิน แต่ในประเทศสหรัฐอเมริกาได้กำหนดไว้ว่าความเข้มข้นต้องมีค่าไม่เกิน 150 เอตีเอ็มไอ [3] ถ้าเทียบตามมาตรฐานนี้ พบว่าปริมาณสีที่ตรวจพบมีค่าสูงและไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์อื่นใดได้ ต้องปล่อยทิ้ง ดังนั้น ได้ทดลองลดสีโดยใช้วิธีเพนตอนรีเอเจนต์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพหลังการบำบัดสีในน้ำทิ้ง

3.1 การบำบัดสีจากน้ำทิ้งโดยเพนตอนรีเอเจนต์

3.1.1 การทดลองเพื่อหาความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมสำหรับการบำบัดด้วยเพนตอนรีเอเจนต์

การทดลองเพื่อศึกษาสภาวะความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสม โดยใช้ปริมาณสารละลายเฟอร์รัสซัลเฟต และสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์คงที่ ด้วยวิธีจาร์เทสต์ ให้ผลดังนี้

น้ำเสียจากโรงงานย้อมผ้ามีค่าความเป็นกรด-ด่างเริ่มต้น 7.69 บำบัดโดยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 1% (v/v) เพื่อแปรผันค่าความเป็นกรด-ด่างในช่วง 4.0 - 6.0 ใช้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 0.3 % (v/v) 38.5 มก./ล. และให้ความเข้มข้นของสารละลายเฟอร์รัสซัลเฟต 1% (w/v) 100 มก./ล. ในปริมาณคงที่ [2] และวัดค่า% การกำจัดสีในรูป ADMI (American Dyes Manufacturer Institute) [4] รวมทั้งวัดค่าซีไอโอดีที่เหลือให้ผลดังรูปที่ 1

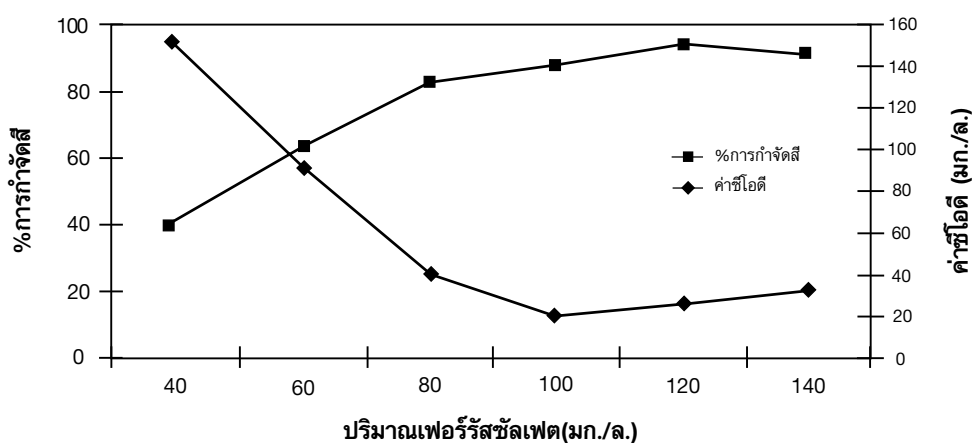


รูปที่ 1 การศึกษาพีเอชที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานย้อมผ้าโดยวิธีเพนตอนที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดสี

จากการทดลองพบว่าค่าความเป็นกรด-ด่าง 4.0 ให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสีสูงสุดคือ 92.91% ดังนั้นในการทดลองศึกษาปริมาณสารละลายเฟอร์รัสซัลเฟตที่เหมาะสมในการบำบัดสีได้ปรับให้มีค่าความเป็นกรด-ด่าง 4.0

3.1.2 การทดลองเพื่อศึกษาปริมาณเฟอร์รัสซัลเฟตที่เหมาะสม

ได้ทำการทดลองเพื่อศึกษาปริมาณเฟอร์รัสซัลเฟตที่เหมาะสมโดยใช้ค่าความเป็นกรด-ด่าง 4.0 เติมปริมาณสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 0.3% (v/v) คงที่ 38.5 มก./ล. และแปรผันปริมาณสารละลายเฟอร์รัสซัลเฟตในช่วง 40 - 140 มก./ล. ให้ผลดังรูปที่ 2

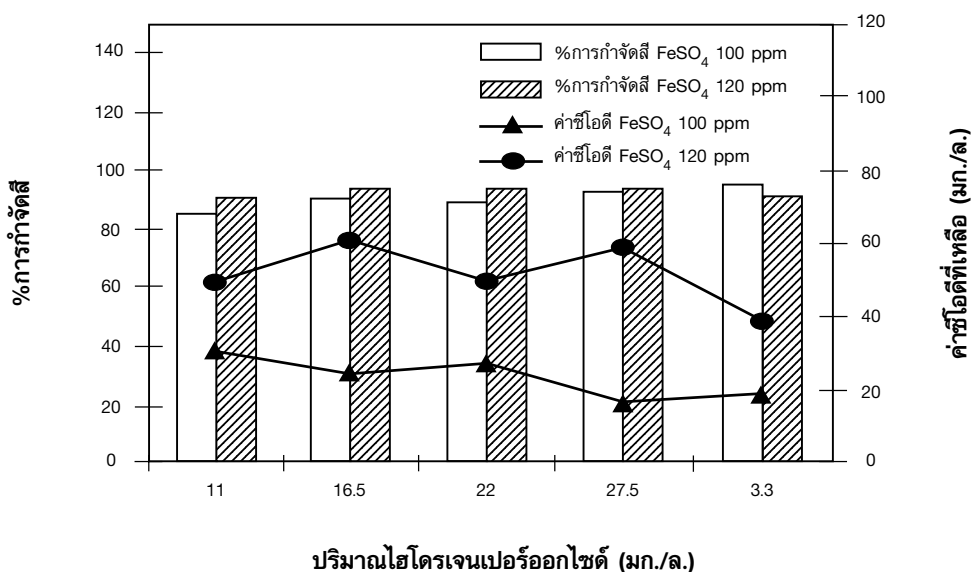


รูปที่ 2 การศึกษาปริมาณเฟอร์รัสซัลเฟตที่เหมาะสมในการบำบัดสีโดยวิธีเฟนตอนที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดสี

จากการทดลองพบว่าเมื่อปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง 4.0 ในสภาวะที่ปริมาณสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์คงที่ ปริมาณสารละลายเฟอร์รัสซัลเฟตอยู่ในช่วง 100 -140 มก./ล. ให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสีสูงกว่า 89%

3.1.3 การทดลองเพื่อศึกษาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหมาะสม

ทำการทดลองแปรผันปริมาณสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในช่วง 11-33 มก./ล. ที่ความเป็นกรด-ด่าง 4.0 และปริมาณสารละลายเฟอร์รัสซัลเฟต 100 และ 120 มก./ล. ตามลำดับ ให้ผลดังรูปที่ 3



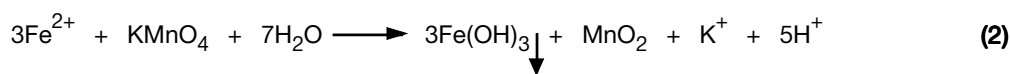
รูปที่ 3 การศึกษาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหมาะสมในการบำบัดสีโดยวิธีเฟนตอนที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสี โดยใช้ปริมาณสารละลายเฟอร์รัสซัลเฟต 100 และ 120 มก./ล.

จากผลการทดลองพบว่าการกำจัดสีโดยวิธีเฟนตอนรีเอเจนต์ในสภาวะที่ปรับค่าความเป็นกรด-ด่างให้มีค่า 4.0 และแปรผันปริมาณสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในช่วง 11.0 - 33.0 มก./ล. พบว่าสารละลายเฟอร์รัสซัลเฟต 120 มก./ล. ให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสีสูงกว่าสารละลายเฟอร์รัสซัลเฟต 100 มก./ล. แต่ค่าซีไอที่เหลือหลังการบำบัดมีค่าสูงกว่า ดังนั้นจึงพิจารณาใช้สารละลายเฟอร์รัสซัลเฟต 100 มก./ล. โดยปริมาณสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 33.0 มก./ล. ให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสีสูงสุดคือ 94.94% แต่ในการทดลองวิเคราะห์คุณภาพน้ำได้เลือกที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง 4.0 และปริมาณสารละลายเฟอร์รัสซัลเฟต 100 มก./ล. สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 27.5 มก./ล. เนื่องจากให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสี 92.66% ซึ่งใช้สารเคมีในปริมาณน้อยกว่าการเลือกใช้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 33 มก./ล. และสภาวะดังกล่าวจะนำไปใช้ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำก่อนนำเข้าสู่กระบวนการบำบัดในขั้นต่อไป

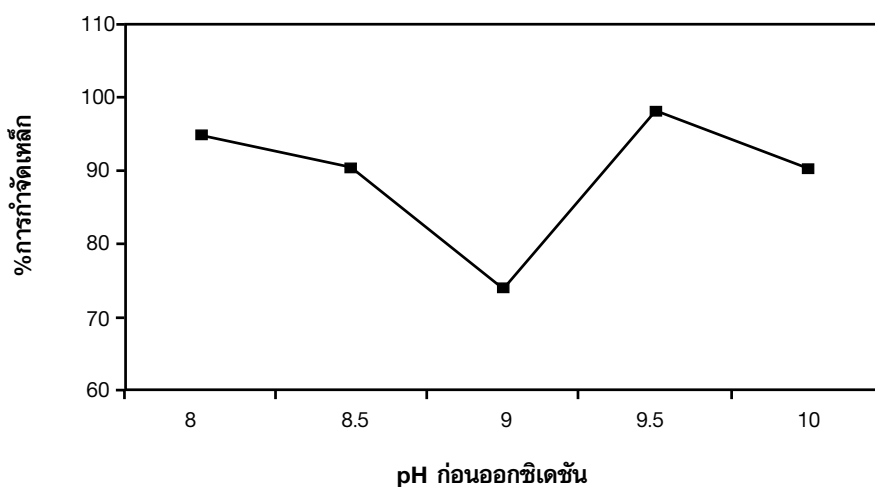
3.2 การกำจัดเหล็กด้วยสารละลายโพแทสเซียมเปอร์มังกาเนตในน้ำที่ผ่านการบำบัดสีโดยวิธีเฟน

ตอนรีเอเจนต์

หลังผ่านการกำจัดสีจะมีปริมาณเหล็กที่เหลือเนื่องจากเฟอร์รัสซัลเฟตที่ใช้ในการบำบัดสีด้วยเฟนตอนรีเอเจนต์ในน้ำ 5.27 มก./ล. ซึ่งเกินค่ามาตรฐานน้ำที่จะนำเข้าไปใช้ในหอหล่อเย็น, หม้อไอน้ำ และมีผลในการลดประสิทธิภาพการบำบัดน้ำ ลดอายุการใช้งานของเครื่องรีเวอร์สออสโมซิสหรือเรซินแลกเปลี่ยนไอออน ซึ่งเป็นกระบวนการบำบัดในขั้นต่อไป ดังนั้นการทดลองในขั้นนี้มีจุดประสงค์เพื่อลดปริมาณเหล็ก (+2) ให้เป็นเหล็ก (+3) และถูกกำจัดออกไปในรูปเฟอริกไฮดรอกไซด์โดยผ่านกระบวนการกรอง ตามสมการที่ (2)



ทำการทดลองโดยใช้อัตราส่วนสารละลายโพแทสเซียมเปอร์มันังกานेटต่อปริมาณเหล็กเป็น 1 : 1 [4] ทำการแปรผันค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำเสียในช่วง 8.0 - 10.0 ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1% (w/v) เพื่อหาสภาวะความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมในการกำจัดเหล็ก ให้ผลดังรูปที่ 4

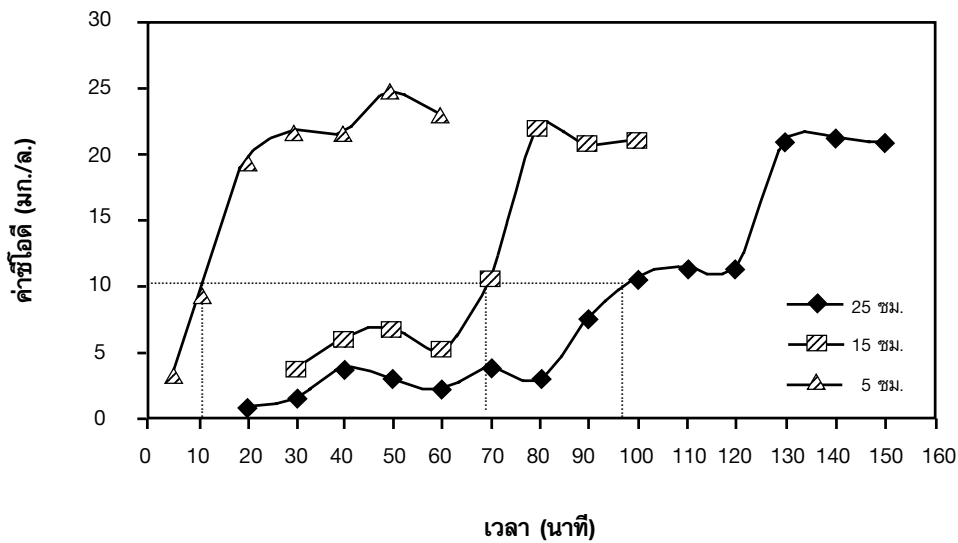


รูปที่ 4 การศึกษาพีเอชที่เหมาะสมในการกำจัดเหล็กในน้ำที่ผ่านการบำบัดสีโดยวิธีเฟนตอนรีเอเจนต์

จากผลการทดลองพบว่าเมื่อปรับให้น้ำหลังผ่านการบำบัดสีมีค่าความเป็นกรด-ด่าง 9.5 จะให้ประสิทธิภาพในการลดปริมาณเหล็กร้อยละ 98.28

3.3 ผลการทดลองหากราฟของเวลาในการใช้งานของถ่านจนหมดประสิทธิภาพ

การศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอไลท์ที่เหลือในน้ำที่ผ่านการกำจัดเหล็กโดยดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์พบว่าถ่านกัมมันต์ที่บรรจุไว้ในระดับความสูง 5, 15 และ 25 ซม. จะลดค่าซีโอไลท์ได้สูงสุด 3.1, 3.8 และ 0.76 มก./ล. ตามลำดับ และเมื่อนำไปสร้างกราฟความสัมพันธ์เพื่อหาเวลาการใช้งานของถ่านกัมมันต์จะให้ผลดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 กราฟเวลาในการใช้งานของถ่านกัมมันต์จนหมดประสิทธิภาพ

จากรูปเมื่อกำหนดให้ความเข้มข้นของซีโอไซด์ที่ต้องการเป็น 10 มก./ล. พบว่า อายุการใช้งานของชั้นถ่านความสูง 5, 15 และ 25 ซม. คือเวลา 10, 68 และ 97 นาที ตามลำดับ การเพิ่มความสูงของชั้นถ่านทำให้มีพื้นที่ในการดูดซับสิ่งปนเปื้อนเพิ่มมากขึ้น เวลาในการใช้งานถ่านกัมมันต์จนหมดประสิทธิภาพจะเพิ่มมากขึ้นด้วย สำหรับประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอไซด์ด้วยถ่านกัมมันต์จนถึงความเข้มข้นที่ต้องการของชั้นถ่านความสูง 5, 15 และ 25 ซม. จะอยู่ในช่วงร้อยละ (-11.12) - 85.97, 0.77 - 82.80 และ 4.03 - 96.56 ตามลำดับ

จากผลการคำนวณหาเวลาการใช้งานของถ่านกัมมันต์จนหมดประสิทธิภาพสามารถนำมาใช้ในการคำนวณอายุการใช้งานของถ่านกัมมันต์ตามสมการที่ (3) [5]

$$t = \frac{N_0}{C_0 V} \left[h - \frac{V}{KN_0} \ln \left(\frac{C_0}{C_B} - 1 \right) \right] \quad (3)$$

เมื่อ	t	=	เซอรัลไทม์
	V	=	ความเร็วในการไหลของน้ำทิ้งผ่านชั้นถ่าน
	h	=	ความสูงของชั้นถ่าน
	K	=	อัตราการดูดซึมเป็นค่าคงที่
	N ₀	=	ความสามารถในการดูดซึมของถ่าน
	C ₀	=	ความเข้มข้นของสารที่จะถูกดูดซับในน้ำทิ้งที่เข้าสู่ระบบ
	C _B	=	ความเข้มข้นของสารที่จะถูกดูดซับในน้ำทิ้งที่ออกจากระบบ

เมื่อนำไปใช้ในระบบบำบัดจริงและสามารถนำไปคำนวณหาประสิทธิภาพการใช้งานของถ่านได้ดังตารางที่ 4 ในหัวข้อ 3.5.3

3.4 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำหลังผ่านการปรับปรุงคุณภาพ

ผลคุณภาพน้ำที่ทำการวิเคราะห์หลังผ่านการบำบัดด้วยวิธีต่างๆ ให้ผลดังตารางที่ 1 โดย

1. น้ำจากระบบบำบัดแบบกระบวนการตะกอนเร่ง
2. น้ำหลังผ่านการกำจัดสีด้วยวิธีเฟนทอนรีเอเจนต์
3. น้ำหลังผ่านการกำจัดเหล็กโดยใช้สารละลายโพแทสเซียมเปอร์มังกาเนต
4. น้ำหลังผ่านกระบวนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์
5. น้ำหลังผ่านกระบวนการเยื่อแผ่น
6. น้ำหลังผ่านถ่านกัมมันต์ + เรซินแลกเปลี่ยนไอออนประจุบวกและลบ
7. น้ำหลังผ่านถ่านกัมมันต์ + เรซินแลกเปลี่ยนไอออนประจุบวกและลบ + เรซินแบบผสม

จากผลการปรับปรุงคุณภาพน้ำสามารถนำน้ำไปหมุนเวียนใช้ในโรงงานได้ดังนี้

▲ ชั้นที่ 1 ผ่านการบำบัดสีด้วยวิธีเฟนทอนรีเอเจนต์

ในชั้นนี้ยังไม่สามารถนำน้ำไปใช้ได้ ทั้งนี้เนื่องจากค่าความเป็นกรด-ด่างหลังการบำบัดต่ำ นอกจากนี้ปริมาณเหล็กที่เพิ่มขึ้นจากการใช้สารละลายเฟอร์รัสซัลเฟตก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ทำให้ไม่สามารถนำน้ำไปใช้ในแหล่งต่างๆ ได้ เช่น ในกระบวนการผลิต เนื่องจากเกลือของเหล็กสามารถไปเร่งการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ให้เกิดการสลายตัวอย่างรวดเร็วทำให้ฟ้าเปียย คุณภาพของฟ้าที่ผลิตได้จึงไม่ดี นอกจากนี้อาจส่งผลให้เกิดการกัดกร่อนต่อเส้นท่อน้ำเนื่องจากสนิมเหล็กได้

▲ ชั้นที่ 2 ผ่านการกำจัดเหล็กด้วยสารละลายโพแทสเซียมเปอร์มังกาเนต

เมื่อน้ำผ่านกระบวนการขั้นนี้พบว่าคุณภาพของน้ำดีขึ้น สามารถใช้เป็นน้ำล้างพื้นในโรงงาน น้ำใช้ในห้องน้ำสำนักงาน น้ำรดต้นไม้ และสามารถนำไปใช้ในระบบน้ำหล่อเย็นแบบผ่านครั้งเดียว (once through) ได้

▲ ชั้นที่ 3 ผ่านการกรองด้วยถ่านกัมมันต์

ในชั้นนี้พบว่ากรองด้วยถ่านกัมมันต์สามารถลดสีที่เหลือได้อีกจากค่าสี 34 เหลือเพียง 22 ADMI นอกจากนั้นยังช่วยลดปริมาณแคลเซียมและความกระด้างในน้ำที่ผ่านการบำบัดได้ แต่น้ำที่ผ่านการกรองด้วยถ่านกัมมันต์จะมีค่าความเป็นกรด-ด่างสูง ต้องปรับก่อนนำไปใช้

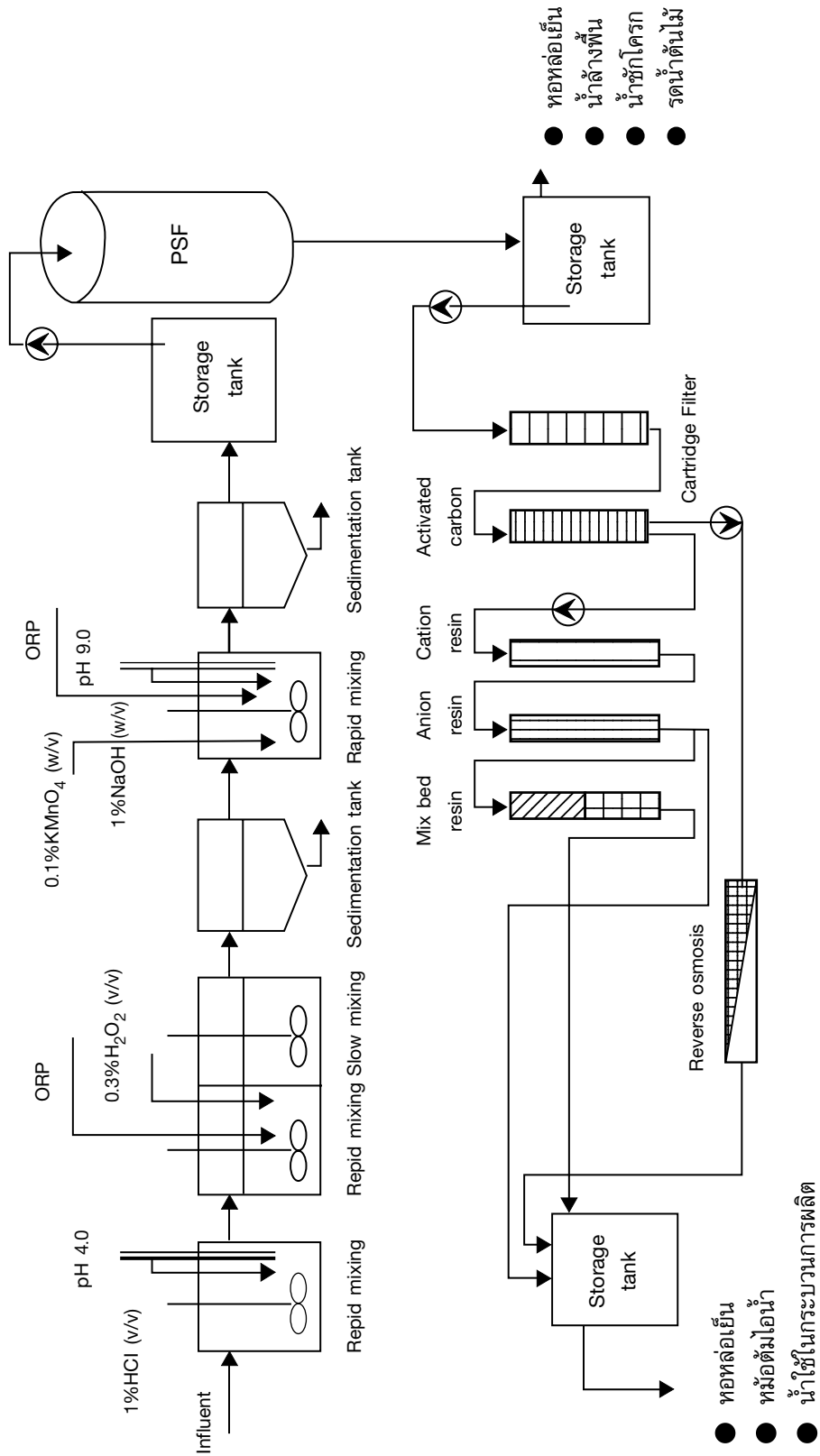
▲ ชั้นที่ 4 ผ่านการกรองด้วยรีเวอร์สออสโมซิสหรือเรซินแลกเปลี่ยนไอออน

ถ้าต้องการน้ำที่มีความบริสุทธิ์สูง สามารถบำบัดของแข็งละลายออกจากน้ำได้โดยใช้กระบวนการรีเวอร์สออสโมซิสหรือเรซินแลกเปลี่ยนไอออน เพราะน้ำที่ผ่านการบำบัดมีคุณภาพดี เหมาะในการนำไปใช้ได้ ทั้งหม้อไอน้ำกระบวนการผลิต หรือระบบน้ำหล่อเย็นที่สามารถหมุนเวียนน้ำกลับมาใช้ได้หลายรอบ

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำหลังผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพ

พารามิเตอร์	น้ำที่ผ่านระบบตะกอนเร่ง	ลดสีด้วยฟีนทอนรีเอเจนต์	ลดเหล็กด้วย KMnO_4	กรองผ่านถ่านกัมมันต์	น้ำหลังปรับปรุงคุณภาพด้วยถ่านกัมมันต์		
					Reverse osmosis	Cation & anion resin	Cation & anion resin + Mix bed
สี, ADMI	215	23	34	22	20	10	23
พีเอช (pH)	7.69	3.81	8.23	9.45	6.47	6.47	6.79
ความขุ่น (Turbidity), NTU	79.4	1.00	0.45	0.79	0.13	0.47	0.30
ค่าการนำไฟฟ้า (Conductivity), μS	1900	2180	2230	2390	60	380	20
ของแข็งละลายน้ำ (TDS), mg/l	1140	1308	1338	1434	36	228	12
ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS), mg/l	47	8	0	0	0	0	0
ของแข็งทั้งหมด (TS), mg/l	1187	1316	1338	1434	36	228	12
ความเป็นด่าง (Alkalinity), mg/l as CaCO_3	380.02	ND	49.89	95.54	12.74	8.49	6.37
ไบคาร์บอเนต (bicarbonate), mg/l as CaCO_3	378.26	-	48.83	74.71	12.74	8.49	6.37
คาร์บอเนต (carbonate), mg/l as CaCO_3	1.74	-	0.78	19.79	0	0	0
ไฮดรอกไซด์ (hydroxide), mg/l as CaCO_3	0.02	-	0.08	1.41	0	0	0
คาร์บอนไดออกไซด์ในรูปอิสระ (Free carbon dioxide), mg CO_2 /l	15.45	-	0.58	0.05	8.63	30.20	2.07
คาร์บอนไดออกไซด์ทั้งหมด (total carbon dioxide), mg CO_2 /l	349.08	-	43.89	74.50	19.84	37.67	7.68
ความกระด้าง (Hardness), mg/l as CaCO_3	85.12	88.23	83.04	2.08	2.08	3.11	3.11
บีโอดี (BOD), mg/l	35.56	< 2.00	< 2.00	< 2.00	< 2.00	< 2.00	< 2.00
ซีโอดี (COD), mg/l	292.03	30.72	22.09	17.50	6.09	7.61	9.89
ทีเคอนไนโตรเจน (TKN), mg/l	1.07	ND	ND	ND	ND	ND	ND
ไนไตรต์ (Nitrite), mg/l	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
ไนเตรต-ไนโตรเจน (Nitrate-Nitrogen), mg/l	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
แคลเซียม (Calcium) mg/l as CaCO_3	83.04	51.9	68.51	0	0	0	0
แมกนีเซียม (Magnesium), mg/l	0.51	8.83	3.53	0.51	0.51	0.76	0.76
คลอไรด์ (Chloride), mg/l	315.32	556.03	568.06	613.80	14.44	110.72	4.81
ซิลิกา (Silica), mg/l	47	44	42	42	0.8	6.1	0
ซัลเฟต (Sulfate), mg/l	175	175	175	210	0	1.25	0
ฟอสเฟต (Phosphate), mg/l	0.7	0.2	0.2	0.15	0.1	0.2	0.2
เหล็ก (Iron), mg/l	0.33	4.2	0.09	0.1	0.04	0.1	0.06
แมงกานีส (Manganese), mg/l	0.12	0.23	0.14	0.14	<0.05	<0.05	<0.05
โซเดียม (Sodium), mg/l	465.10	432.90	493.10	252	10.1	72.9	1.10
โพแทสเซียม (Potassium), mg/l	4.30	4.18	5.74	10.30	3.33	0.22	0.34
ทองแดง (Copper), mg/l	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
สังกะสี (Zinc), mg/l	1.10	0.9	0.48	0.38	0.10	<0.05	<0.05
ตะกั่ว (Lead), mg/l	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
นิกเกิล (Nickel), mg/l	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05

สำหรับกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำของน้ำทิ้งซึ่งผ่านการบำบัดด้วยระบบตะกอนเร่งจากโรงงานย้อมผ้าเป็นดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 แผนภาพการปรับปรุงคุณภาพน้ำและการหมุนเวียนน้ำกลับมาใช้ในกระบวนการต่างๆ

3.5 การคำนวณปริมาณสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการปรับปรุงคุณภาพด้วยวิธีทางเคมี

วิธีทางเคมีที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำได้แก่ การลดสีโดยใช้ฟentonรีเอเจนต์และการลดเหล็กด้วยสารละลายโพแทสเซียมเปอร์มังกาเนต การคำนวณค่าใช้จ่ายด้านสารเคมีประกอบด้วย

3.5.1 ค่าใช้จ่ายในการบำบัดสีโดยวิธีฟentonรีเอเจนต์

ในการบำบัดสีโดยวิธีฟentonรีเอเจนต์จากน้ำทิ้งโรงงานย้อมผ้าที่ผ่านกระบวนการบำบัดแบบตะกอนเร่งใช้สารเคมี 3 ชนิดคือ สารละลายเฟอร์รัสซัลเฟต สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และสารละลายกรดไฮโดรคลอริก สามารถคำนวณค่าใช้จ่ายได้ผลดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 สภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดสีโดยวิธีฟentonรีเอเจนต์และค่าใช้จ่ายในการบำบัด

สภาวะที่เหมาะสม	ปริมาณสารที่ใช้ (มล.)	เกรด	ค่าใช้จ่ายในการบำบัด (บาท/ลบ.ม.)
พีเอช 4.0	HCl 1%(v/v) = 8.0	การค้า	4.11
FeSO ₄ 1% (w/v)	3.0	การค้า	0.55
H ₂ O ₂ 0.3% (v/v)	2.5	การค้า	0.71
รวมค่าใช้จ่ายด้านสารเคมี			5.37

3.5.2 ค่าใช้จ่ายในการกำจัดเหล็กด้วยสารละลายโพแทสเซียมเปอร์มังกาเนต

ในการลดปริมาณเหล็กในน้ำที่ผ่านการบำบัดโดยวิธีฟentonรีเอเจนต์ใช้สารเคมี 2 ชนิด คือ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และสารละลายโพแทสเซียมเปอร์มังกาเนต เมื่อดำเนินการคำนวณค่าใช้จ่ายให้ผลดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 สภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดเหล็กจากน้ำที่ผ่านการบำบัดสีและค่าใช้จ่าย

สภาวะที่เหมาะสม	ปริมาณสารที่ใช้ (มล.)	เกรด	ค่าใช้จ่ายในการบำบัด (บาท/ลบ.ม.)
พีเอช 9.5	NaOH1% (w/v) =	การค้า	1.49
KMnO ₄ 0.1%(w/v)	2.0	การค้า	0.32
รวมค่าใช้จ่ายในการใช้สารเคมี			1.81

3.5.3 การคำนวณถึงกรองถ่านกัมมันต์

ปริมาณน้ำที่ต้องการนำมาบำบัดคือ 2,000 ลบ.ม./วัน กำหนดให้มีอัตราการไหลไม่เกิน 7.5 ม./ช.ม. และมีเวลาการกักเก็บในถังเปล่า 15 นาที ให้ผลการคำนวณดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ข้อมูลที่ได้จากการคำนวณออกแบบถังกรองถ่านกัมมันต์ (ปริมาตรน้ำ 2,000 ลบ.ม./ วัน)

ข้อมูลถึงกรอง	ผลการออกแบบ
จำนวนถังกรองที่ใช้ (ต่อแบบขนาน)	3 ถัง
พื้นที่หน้าตัด (ตร.ม.)/ถัง	3.7
เส้นผ่านศูนย์กลาง (ม.)/ถัง	2.2
ความสูง (ม.)/ถัง	1.9
ความสูงสำหรับการล้างย้อน(ม.)/ถัง	2.85
น้ำหนักของถ่าน (ก.ก.)/ถัง	3,515
ราคาถ่านกัมมันต์(บาท)/ถัง	175,750
อายุการใช้งาน (ช.ม.)	54.52
ประสิทธิภาพ	99.62%

3.5.4 การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเพื่อหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่กับราคาน้ำประปา

น้ำหลังผ่านกระบวนการบำบัดแบบกระบวนการตะกอนเร่ง เมื่อนำมาผ่านขั้นตอนการลดสีด้วยวิธีเฟนตอนรีเอเจนต์และผ่านการกำจัดเหล็กที่เหลือโดยใช้โพแทสเซียมเปอร์มังกาเนต น้ำที่ผ่านกระบวนการทั้งสองสามารถนำกลับไปใช้เป็นน้ำล้างพื้นในโรงงาน น้ำใช้ในห้องน้ำสำนักงาน น้ำรดต้นไม้ และสามารถนำไปใช้ในระบบน้ำหล่อเย็นแบบผ่านครั้งเดียวได้ เมื่อนำมาเปรียบเทียบราคาน้ำที่ใช้ในโรงงานให้ผลดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ค่าใช้จ่ายในการใช้น้ำในโรงงานเมื่อใช้น้ำชนิดต่าง ๆ

ชนิดของน้ำที่ใช้ในโรงงาน	ค่าใช้จ่าย (บาท/ลบ.ม.)
น้ำประปา	15.80
น้ำบาดาล	11.00
น้ำหลังผ่านกระบวนการลดสีด้วยวิธีเฟนตอนรีเอเจนต์และลดเหล็กที่เหลือด้วยโพแทสเซียมเปอร์มังกาเนต	7.18

หมายเหตุ : ค่าน้ำประปาราคา 15.80 บาท เมื่อมีอัตราการใช้น้ำมากกว่า 200 ลบ.ม./วัน

จากผลการคำนวณค่าใช้จ่ายน้ำเมื่อเปรียบเทียบกัน พบว่าน้ำที่นำกลับมาหมุนเวียนใช้ใหม่จะมีราคาถูกกว่า การใช้น้ำจากน้ำประปาหรือน้ำบาดาล สำหรับน้ำที่จะนำไปใช้ในกระบวนการผลิต หม้อไอน้ำ หรือหอหล่อเย็นซึ่งเป็น น้ำที่ต้องการความบริสุทธิ์สูงจำเป็นต้องผ่านกระบวนการบำบัดอื่นๆ เช่น รีเวอร์สออสโมซิส เรซินแลกเปลี่ยนไอออน ก่อนการนำไปใช้

4. สรุปผลการทดลอง

1. การใช้เฟนตอนรีเอเจนต์ลดสีให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสีได้ดี โดยสภาวะที่เหมาะสมปรับความเป็นกรด-ด่าง 4.0 ใช้สารละลายเฟอร์รัสซัลเฟต 100 มก./ล. และสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 27.5 มก./ล. ประสิทธิภาพในการลดสี 92.66% แต่ปริมาณเหล็กที่เหลือมีค่า 5.27 มก./ล. ดังนั้นไม่สามารถนำไปหมุนเวียนใช้ได้ ต้องกำจัดเหล็กที่เหลือก่อนนำไปใช้ ค่าใช้จ่ายในการบำบัดเป็น 5.37 บาท/ลบ./ม.

2. การกำจัดเหล็กด้วยสารละลายโพแทสเซียมเปอร์มังกาเนต โดยใช้อัตราส่วนปริมาณเหล็กต่อโพแทสเซียมเปอร์มังกาเนต 1 : 1 ปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง 9.5 ให้ประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็ก 98.28% น้ำหลังผ่านการบำบัดสามารถนำไปใช้เป็นน้ำล้างพื้น น้ำซักโครก น้ำรดต้นไม้ และน้ำใช้ในระบบหล่อเย็นแบบผ่านครั้งเดียว ค่าใช้จ่ายในการบำบัด 1.81 บาท/ลบ./ม.

3. การกรองน้ำด้วยถ่านกัมมันต์หลังการกำจัดเหล็กจะช่วยลดความกระด้างและปริมาณแคลเซียมในน้ำได้ น้ำที่ผ่านการกรองจะมีความใส แต่มีค่าความเป็นกรด-ด่างสูง ต้องปรับก่อนนำไปใช้

4. น้ำหลังผ่านการกรองถ่านกัมมันต์ เมื่อนำไปผ่านการกรองด้วยรีเวอร์สออสโมซิสหรือเรซินแลกเปลี่ยนไอออน น้ำที่ออกจากระบบมีคุณภาพดี เหมาะสำหรับการนำไปใช้ในหม้อไอน้ำ ระบบน้ำหล่อเย็น และน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิต

5. เอกสารอ้างอิง

1. ไพศาล วีรกิจ, 2541, “การนำน้ำทิ้งมาหมุนเวียนใช้ใหม่” *วารสารวิชาการ APHETI สมาคมสถาบันอุดมศึกษาเอกชนแห่งประเทศไทย*, ปีที่ 4, ฉบับที่ 2, หน้า 10-13.
2. Richard J. Bigda, 1995, *Fenton's Chemistry in Wastewater Treatment*, The Technotreat Corporation Sedona, Arizona, pp.1661-1674.
3. Nike, 2001, *Global Water Quality Guidelines*, USA.
4. Andrew D. Eaton, Lenore S. Clesceri, and Arnold E. Greenberg, 1995, *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 19th pp. (2-1)-(2-8).
5. Phillip Vella, 1995, *Permanganate Wastewater Treatment*, Carus Chemical Company LaSalle, Illinois, pp.3451-3460.

6. Hayes, C. R. and Graham, N. J. D., 1994, "Water Recycling in Manufacturing Industries and Water Pollution Control", *Why Recycle?*, Rainbow (ed.), Balkema, Rotterdam, pp.14-23.
7. Munir Cheryan, 1986, *Ultrafiltration Handbook*, Technomic Publishing Company, Inc, USA., pp.277-363.
8. Harry, W. G. and Jacob, I. B. (ed.), 1976, *Handbook of Water Resources and Pollution Control*, New York, Van Nostrand Reinhold Company, pp.108-120.
9. Burton Frank, and Tchobanoglous George, 1991, *Wastewater Engineering : Treatment, Disposal and Reuse, 3rd*, McGraw-Hill, Singapore, 1334 p.
10. Drew Chemical Corporation, *Principles of Industrial Water Treatment*, New Jersey.
11. Paul N. Caray and Franklin M. Cohn, 1992, *High - Quality Industrial Water Management Manual*, Fairmont Press, Inc, USA, 451 p.