

การบำบัดน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการสิ่งแวดล้อมด้วยปฏิกิริยาเฟนตัน

Environmental Laboratory Wastewater Treatment by the Fenton Reaction

นุชนาฏ นิลอ^{1*} กนกรัตน์ รัตนพันธุ์¹

และ วรพจน์ รัตนพันธุ์²

Nutchanat Ninlaor^{1*}, Kanokrat Rattanapan¹

and Worapot Rattanapan²

ได้รับบทความ: 24 ธ.ค. 2563

ได้รับบทความแก้ไข: 31 ม.ค. 2564

ยอมรับตีพิมพ์: 31 พ.ค. 2564

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการสิ่งแวดล้อมด้วยปฏิกิริยาเฟนตัน น้ำเสียเริ่มต้นมีค่าซีไอดี ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด และของแข็งละลายน้ำทั้งหมดเป็น 250 3,500 และ 200,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ทำการศึกษาโดยปรับพีเอช (pH) น้ำเสียให้มีความเท่ากับ 2.0 3.0 และ 4.0 ใช้อัตราส่วนโดยโมลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อเฟอร์รัสซัลเฟต ที่ 1:1 2:1 3:1 4:1 และ 5:1 ที่ระยะเวลาในการกวนเพื่อให้เกิดการทำปฏิกิริยา 10 20 30 40 50 และ 60 นาที

ผลการศึกษาพบว่าอัตราส่วนโดยโมลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อเฟอร์รัสซัลเฟต ไม่มีผลมากนักต่อการบำบัดน้ำเสีย ในขณะที่ระยะเวลาในการกวนส่งผลให้ประสิทธิภาพในการบำบัดมีค่าแตกต่างกัน โดยการบำบัดน้ำเสียด้วยปฏิกิริยาเฟนตัน จะทำให้เกิดการแตกตัวให้ไฮดรอกซิลเรดิคัล ($\cdot\text{OH}$) ซึ่งเป็นตัวออกซิไดส์สารอินทรีย์ ทำให้สามารถกำจัดซีไอดี ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด และของแข็งละลายน้ำทั้งหมดได้ โดยน้ำเสียที่มีค่าพีเอช 4.0 สามารถกำจัดของแข็งแขวนลอยทั้งหมด และของแข็งละลายน้ำทั้งหมดได้ดีที่สุด แต่คุณภาพน้ำหลังการบำบัดยังมีค่าพีเอชของแข็งแขวนลอยทั้งหมด และของแข็งละลายน้ำทั้งหมดเกินเกณฑ์ที่กฎหมายกำหนด ปฏิกิริยาเฟนตันจึงเหมาะสำหรับการบำบัดน้ำเสียขั้นต้นก่อนส่งไปบำบัดขั้นอื่นต่อไป

คำสำคัญ: ปฏิกิริยาเฟนตัน น้ำเสีย ห้องปฏิบัติการ ซีไอดี

¹ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง ตรัง 92150

¹ Faculty of Science and Fisheries Technology, Rajamangala University of Technology Srivijaya, Trang Campus, Trang 92150

² เทศบาลนครภูเก็ต ภูเก็ต 83000

² Phuket city Municipality, Phuket 83000

* ผู้พันธ์ประสานงาน (Corresponding author) e-mail: nutchanatninlaor@hotmail.com

ABSTRACT

The purpose of this research was to examine the efficiency of the Fenton method for environmental laboratory wastewater treatment. The initial COD, total suspended solid (TSS) and total dissolved solid (TDS) of the wastewater were 250, 3,500 and 200,000 mg/L, respectively. The pH was adjusted to 2.0, 3.0 and 4.0, the molar ratios of $\text{H}_2\text{O}_2:\text{FeSO}_4$ were 1:1, 2:1, 3:1, 4:1 and 5:1. The reaction times were 10, 20, 30, 40, 50 and 60 minutes.

The results showed that the molar ratio of hydrogen peroxide to ferrous sulfate had little effect on wastewater treatment. The stirring times resulted in different treatment efficacy. The Fenton reaction brought about the breakdown to hydroxyl radical ($\cdot\text{OH}$) which was an organic oxidizing agent and this led to decreasing COD, total suspended solids and total dissolved solids. The wastewater at pH 4.0 had the highest efficiency in removal of total suspended solids and total dissolved solids. However, the water qualities after the treatment still exceeded the legal limit. The Fenton reaction was therefore only suitable for pretreatment of wastewater before further treatment.

Keywords: Fenton reaction; wastewater; laboratory; COD

บทนำ

ห้องปฏิบัติการสิ่งแวดล้อมของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง มีการจัดการเรียนการสอนเกี่ยวกับการวิเคราะห์ด้านสิ่งแวดล้อม เช่น การวิเคราะห์คุณภาพน้ำ การวิเคราะห์ดิน การทดสอบต่างๆ โดยใช้สารเคมี รวมทั้งมีการล้างเครื่องแก้วที่ใช้ในการทำการทดสอบ โดยน้ำเสียที่เกิดขึ้นจะปนเปื้อนสารเคมีจำนวนมาก เช่น เฮกเซน (Hexane) เอทานอล (Ethanol) สารประกอบไฮโดรคาร์บอน (Hydrocarbon) เป็นต้น ซึ่งสารเคมีเหล่านี้จะมีความเป็นพิษที่แตกต่างกัน โดยขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารและการสัมผัสสารเคมีเหล่านี้ ตัวอย่างเช่น สารในกลุ่มตัวทำละลายอินทรีย์และสารประกอบไฮโดรคาร์บอนจะมีฤทธิ์กดประสาทส่วนกลาง ทำให้ปวดศีรษะอย่างรุนแรง สารกลุ่มแอลกอฮอล์ และฟีนอล ทำให้เกิดการระคายเคืองต่อผิวหนัง และโลหะหนักเป็นอันตรายต่อมนุษย์ และสิ่งมีชีวิตอื่นๆ ทั้งพืชและสัตว์ ทำให้เจ็บป่วยและตายได้ หากได้รับสารเหล่านั้นในปริมาณที่มากพอ จะส่งผลกระทบต่อโครงสร้างของโครโมโซม ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรม [1] ดังนั้นน้ำเสียที่เกิดจากห้องปฏิบัติการสิ่งแวดล้อมจึงควรมีการบำบัดเบื้องต้นก่อนปล่อยออกสู่ภายนอกเพื่อลดความเข้มข้นของสารเคมีให้น้อยลง และมีค่าเป็นไปตามประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุม การระบายน้ำทิ้งจากอาคารบางประเภทและบางขนาด พ.ศ. 2548 โดยต้องมีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 5-9 และของแข็งละลายน้ำต้องมีค่าเพิ่มขึ้นจากปริมาณสารละลายในน้ำใช้ตามปกติไม่เกิน 500 มิลลิกรัมต่อลิตร [2]

การบำบัดน้ำเสีย เป็นการกำจัดหรือทำลายสารที่ปนเปื้อนในน้ำเสียให้น้อยลงหรือหมดไปโดยมี 3 กระบวนการ ได้แก่ กระบวนการทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ [3] ซึ่งกระบวนการเพ้นต์เป็นการบำบัดน้ำเสียโดยใช้กระบวนการทางเคมีเป็นกระบวนการออกซิเดชัน (Oxidation Process) โดยใช้สารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) และเฟอร์รัสไอออน (Fe^{2+}) ทำปฏิกิริยากันภายใต้สภาวะที่เป็นกรดช่วงค่าพีเอช 2-4 [4-7] โดยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็นสารที่จัดการได้ง่าย มีความปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อม และเฟอร์รัส

ไอออนเป็นสารที่ใช้กันทั่วไป หาได้ง่าย ราคาถูกและไม่เป็นพิษ [4,5] โดยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จะทำให้ปฏิกิริยาเคมีโดยมีเพอร์ร็อกไซด์ไอออนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในสภาวะที่เป็นกรด และได้ไฮดรอกซิลเรดิคัล ($\cdot\text{OH}$) ซึ่งเป็นตัวออกซิไดซ์สารอินทรีย์ หากน้ำเสียมีค่าพีเอชมากกว่า 4 ปฏิกิริยาเพนตันจะถูกขัดขวาง ทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของสารประกอบเชิงซ้อนของเพอร์ร็อกไซด์ไอออนและเกิดการตกตะกอน ส่งผลให้ศักยภาพการเกิดออกซิเดชันลดลง [4,7] นอกจากนี้อัตราส่วนของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และเพอร์ร็อกไซด์ไอออนจะต้องเหมาะสมเพื่อทำให้เกิดไฮดรอกซิลเรดิคัลได้มากที่สุด หากปริมาณของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์น้อยเกินไปจะส่งผลให้เกิดไฮดรอกซิลเรดิคัลไม่เพียงพอต่อการเกิดปฏิกิริยา หรือถ้าปริมาณของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มากเกินไปจะทำให้ประสิทธิภาพในการเปลี่ยนโครงสร้างของสารประกอบอินทรีย์ลดลง ในขณะที่หากมีปริมาณเพอร์ร็อกไซด์ไอออนเพิ่มขึ้นจะทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเพิ่มขึ้น แต่ถ้ามีปริมาณมากเกินไป จะส่งผลให้มีสารตกค้างในน้ำ [4] นอกจากนี้น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วซึ่งมีพีเอชเป็นกรด และมีไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เพอร์ร็อกไซด์ไอออนตกค้างอยู่ จะมีผลให้เพอร์ร็อกไซด์ไอออนในน้ำที่อยู่ในสภาพกรดจะกลายเป็นเพอร์ริกไฮดรอกไซด์ทำให้เกิดตะกอนแดงของเหล็กในน้ำ และของแข็งละลายน้ำเพิ่มขึ้น [4] ส่วนการปล่อยน้ำที่มีไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์สู่สิ่งแวดล้อมจะส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศแหล่งน้ำได้ ดังนั้นจำเป็นต้องบำบัดน้ำด้วยกระบวนการอื่นๆ เพื่อกำจัดสารตกค้างที่เป็นอันตราย และปรับพีเอชของน้ำให้มีความเป็นกลางก่อนปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม ทั้งนี้อัตราส่วนของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อเพอร์ร็อกไซด์ไอออนที่ใช้ทำปฏิกิริยาจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับปริมาณซีโอดีหรือสารที่ต้องการกำจัด ซึ่งควรมีอัตราส่วนที่เหมาะสมในปริมาณน้อยที่สุด เพื่อหลีกเลี่ยงการแตกตัวของไฮดรอกซิลเรดิคัล และเป็นการลดปริมาณตะกอนที่เกิดจากการทำปฏิกิริยา [4,5,7] โดยปฏิกิริยาเพนตันสามารถบำบัดน้ำเสียได้หลายชนิดทั้งน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการ [1] น้ำเสียจากโรงอาหาร [8] น้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อม [9] ปัจจุบันปฏิกิริยาเพนตันซึ่งเป็นกระบวนการทางเคมีจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่ได้รับการนิยมนำมาบำบัดน้ำเสีย เนื่องจากมีข้อได้เปรียบคือ มีต้นทุนต่ำเมื่อเทียบกับการบำบัดน้ำเสียทางเคมีวิธีอื่นๆ ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจศึกษาคุณสมบัติของน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการสิ่งแวดล้อมอัตราส่วนโดยโมลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อเพอร์ร็อกไซด์เฟส และระยะเวลาในการกวนผสมที่เหมาะสมด้วยปฏิกิริยาเพนตัน แล้ววิเคราะห์หาประสิทธิภาพการกำจัดค่าซีโอดี (COD) ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS) และของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (TDS) และค่า pH ที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการสิ่งแวดล้อม ร่วมกับกระบวนการทางกายภาพและชีวภาพเบื้องต้นก่อนปล่อยออกสู่ภายนอก และมีค่าเป็นไปตามประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคารบางประเภทและบางขนาด พ.ศ. 2548 [2]

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การศึกษาคุณสมบัติของน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการสิ่งแวดล้อม

เก็บตัวอย่างน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการสิ่งแวดล้อมของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง โดยการเก็บน้ำเสียจากการทดลองหรือทดสอบของนักศึกษาและนักวิจัยในแต่ละวัน แล้วรวบรวมไว้ในถังที่สามารถทนสภาพกรดได้ที่อุณหภูมิห้อง ปิดฝาให้มิดชิดเพื่อป้องกันการหกรั่วไหล จนกระทั่งน้ำเสียมีปริมาตร 40 ลิตร ตามที่ต้องการจะใช้ในการศึกษา กวนเพื่อผสมน้ำเสียให้มีลักษณะเดียวกันทั้งถัง นำไปวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ได้แก่ พีเอช (pH) ซีโอดี (COD) ค่าของแข็งแขวนลอย (TSS) และค่าของแข็งละลายน้ำ (TDS) [10]

2. การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการสิ่งแวดล้อมโดยปฏิกิริยาเพนตัน

บทความวิจัย (Research Article)

วารสารวิชาการสถาบันการอาชีวศึกษาเกษตร

ปีที่ 5 • ฉบับที่ 2 • กรกฎาคม – ธันวาคม 2564

2.1 ศึกษาอัตราส่วน และระยะเวลาในการกวนผสมที่เหมาะสมของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อเฟอร์รัสซัลเฟตที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย

สารเคมีที่ใช้ ได้แก่ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 30 ($30\% \text{H}_2\text{O}_2$) และเฟอร์รัสซัลเฟต ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) ซึ่งเป็นสารเคมีสำหรับการวิเคราะห์โดยทั่วไป (Analytical reagent grade) ในอัตราส่วน 1:1 2:1 3:1 4:1 5:1 โดยใช้สารเคมีอย่างละ 5 มิลลิกรัม ซึ่งจะใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่มีความเข้มข้น 34 68 102 136 และ 170 กรัมต่อลิตร และเฟอร์รัสซัลเฟตที่มีความเข้มข้น 278 กรัมต่อลิตร

เตรียมน้ำเสียที่ได้จากข้อ 1 มาปรับพีเอช ให้เป็น 2.0 และทำการศึกษาโดยใช้อุปกรณ์จาร์เทสต์ (Jar test) โดยแบ่งน้ำเสียออกเป็น 6 ชุดการทดลอง แต่ละชุดการทดลองจะใช้ตัวอย่างน้ำเสียปริมาณ 300 มิลลิกรัม ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 1000 มิลลิกรัม ทั้งหมด 6 ใบ เติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และเฟอร์รัสซัลเฟตตามอัตราส่วนต่างๆ และทำการกวนผสมด้วยเครื่องจาร์เทสต์ที่ความเร็วรอบ 100 รอบต่อนาที ที่ระยะเวลาต่างๆ ดังตารางที่ 1 จากนั้นทิ้งให้ตกตะกอนในแต่ละชุดการทดลอง เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และเก็บตัวอย่างน้ำส่วนใสมาทำการวิเคราะห์ตามพารามิเตอร์ต่างๆ [10] แล้วหาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการในแต่ละชุดการทดลอง เพื่อหาอัตราส่วนไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อเฟอร์รัสซัลเฟตระยะเวลา และค่าพีเอชที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการ

ตารางที่ 1 อัตราส่วน และระยะเวลาที่กำหนดในแต่ละชุดการทดลองในการบำบัดน้ำเสีย

ชุดการทดลอง	อัตราส่วนไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อเฟอร์รัสซัลเฟต (โมล)	ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา (นาที)
1	1:1 2:1 3:1 4:1 5:1	10
2	1:1 2:1 3:1 4:1 5:1	20
3	1:1 2:1 3:1 4:1 5:1	30
4	1:1 2:1 3:1 4:1 5:1	40
5	1:1 2:1 3:1 4:1 5:1	50
6	1:1 2:1 3:1 4:1 5:1	60

หมายเหตุ : แต่ละชุดการทดลองทำ 3 ซ้ำ

$$\text{ประสิทธิภาพ} = \frac{\text{ค่าที่วิเคราะห์ได้ก่อนการบำบัด} - \text{ค่าที่วิเคราะห์ได้หลังการบำบัด}}{\text{ค่าที่วิเคราะห์ได้ก่อนการบำบัด}} \times 100$$

2.2 ศึกษาค่าพีเอชที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสีย

เลือกชุดการทดลองที่สามารถลดค่าซีโอดี (COD) ได้มากที่สุดจากข้อ 2.1 มาทำการทดลองอีกครั้ง โดยปรับพีเอชของน้ำเสีย เป็น 3.0 และ 4.0

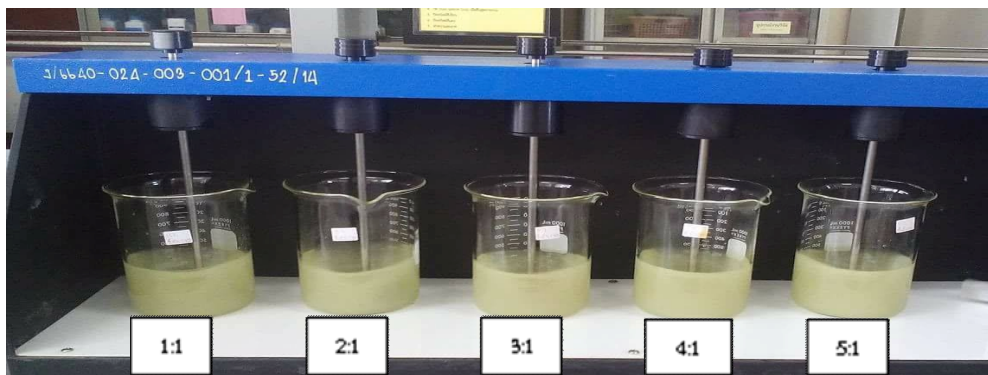
ผลการวิจัย

1. คุณสมบัติของน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการสิ่งแวดล้อม

ลักษณะของน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการสิ่งแวดล้อม พบว่าน้ำเสียมีลักษณะขุ่น เป็นสารละลายสีเหลือง และมีค่าความเป็นกรดสูง โดยมีค่าพีเอช (pH) 0.3 ซีโอดี (COD) 250 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าของแข็งแขวนลอย (TSS) 3,500 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่าของแข็งละลายน้ำ (TDS) 200,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

2. การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการสิ่งแวดล้อมด้วยปฏิกิริยาเฟนตัน

2.1 ศึกษาอัตราส่วน และระยะเวลาที่เหมาะสมโดยโมลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อเฟอร์รัสซัลเฟต การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการสิ่งแวดล้อมด้วยปฏิกิริยาเฟนตัน ดังภาพที่ 1



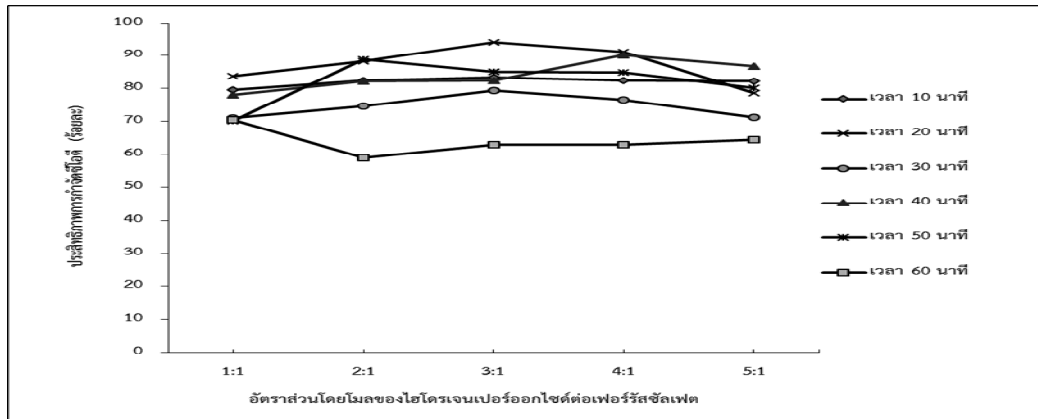
ภาพที่ 1 การบำบัดน้ำเสียด้วยปฏิกิริยาเฟนตันที่อัตราส่วนโดยโมลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อเฟอร์รัสซัลเฟตที่แตกต่างกัน

2.1.1 ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดี (COD)

การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดี (COD) น้ำเสียจากห้องปฏิบัติการด้วยปฏิกิริยาเฟนตัน ดังภาพที่ 2 พบว่า เมื่อทำการกวนเป็นเวลา 20 นาที ที่อัตราส่วนโดยโมลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อเฟอร์รัสซัลเฟต 3:1 มีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี (COD) สูงที่สุด เท่ากับร้อยละ 94.05 เพราะว่าในช่วงเวลา 20 นาที จะเกิดปฏิกิริยาอย่างรวดเร็ว โดยในช่วงนี้เกิดการลดลงของสารอินทรีย์เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาเฟนตัน ทำให้เกิดไฮดรอกซิลเรดิคัล ($\cdot\text{OH}$) ที่เหมาะสม ซึ่งไปกำจัดสารอินทรีย์ ทำให้ปริมาณสารอินทรีย์ลดลงอย่างรวดเร็ว [1] ในขณะที่เมื่อทำการกวน 10 นาที ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี (COD) ที่อัตราส่วนโดยโมลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อเฟอร์รัสซัลเฟตต่างๆ มีค่าใกล้เคียงกัน แต่เมื่อเปรียบเทียบกับที่การกวนเวลา 30 40 50 และ 60 นาที จะเห็นว่าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี (COD) มีค่าต่ำลง

จากผลการบำบัดซีโอดีด้วยปฏิกิริยาเฟนตันน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการ เมื่อเปรียบเทียบกับกรบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการอื่นๆ จะเห็นว่าแม้ความเข้มข้นของซีโอดีเริ่มต้นจะมีค่าใกล้เคียงกัน แต่ความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์กับเฟอร์รัสซัลเฟตที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการจะมีค่าสูงกว่าความเข้มข้นที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากน้ำเสียจากโรงอาหาร [8] และโรงงานผลิตกล่องกระดาษ [11] ในขณะที่หากเป็นน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการซึ่งมีส่วนประกอบของสารเคมี

ต่างๆ ทั้งสารอินทรีย์และอนินทรีย์ และมีค่าเข้มข้นของซีโอดีเริ่มต้นสูง ก็ต้องใช้ความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่สูงมากขึ้นด้วยเช่นกัน และค่าพีเอชที่เหมาะสมในการบำบัดเป็น 2.0 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของนาถ และคณะ [1]



ภาพที่ 2 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี (COD) ที่อัตราส่วนโดยโมลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อเฟอร์รัสซัลเฟตและเวลาการกวนผสมที่ต่างกัน

จากกราฟจะเห็นว่าอัตราส่วนโดยโมลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อเฟอร์รัสซัลเฟตที่อัตราส่วน 4:1 และ 5:1 ที่เวลาต่างๆ พบว่า มีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี (COD) ลดลง เนื่องจากเมื่ออัตราส่วนโดยโมลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อเฟอร์รัสซัลเฟตเพิ่มขึ้น ความสามารถในการกำจัดสารอินทรีย์จะลดลงเล็กน้อย ทั้งนี้เนื่องจากการใช้ปริมาณของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่มากเกินไป ทำให้มีปริมาณของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์คงเหลือและตกค้างส่งผลให้เกิดความปั่นป่วนของตะกอน ทำให้ตะกอนลอยขึ้นสู่ด้านบน [11] โดยประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี (COD) สูงสุดของแต่ละเวลาการกวนผสมที่อัตราส่วนโดยโมลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อเฟอร์รัสซัลเฟตที่แตกต่างกัน พบว่าที่เวลาการกวนผสม 20 นาที และอัตราส่วนโดยโมลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อเฟอร์รัสซัลเฟต 3:1 มีค่าซีโอดีหลังการบำบัด 10 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี (COD) สูงสุด เท่ากับร้อยละ 94.05 เนื่องจากปริมาณสารเคมี และระยะเวลาที่ใช้ในการกวนผสมต่อการทำปฏิกิริยาเพนตัน ทำให้เกิดปฏิกิริยาได้ดีและทำให้เกิดอนุมูลไฮดรอกซิลอย่างเพียงพอ ส่งผลให้เกิดการตกตะกอน ซึ่งการกำจัดสารอินทรีย์เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรกของการเกิดปฏิกิริยา หลังจากนั้นการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียก็จะค่อยๆ ลดลงเรื่อยๆ ในช่วงเวลาต่อมา แต่จะลดลงไม่แตกต่างกันมาก เนื่องจากในช่วงเริ่มต้นของปฏิกิริยานั้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เข้าทำปฏิกิริยากับเฟอร์รัส และแตกตัวให้ไฮดรอกซิลเรดิคัล ($\bullet\text{OH}$) [1] และที่เวลาการกวนผสม 60 นาที และอัตราส่วนโดยโมลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อเฟอร์รัสซัลเฟต 1:1 มีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี (COD) ต่ำสุด เท่ากับร้อยละ 70.38 ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อเวลาในการกวนผสมเพิ่มขึ้นจะมีผลต่อปฏิกิริยาของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เข้าไปทำปฏิกิริยากับเฟอร์รัสซัลเฟต และแตกตัวให้ไฮดรอกซิลเรดิคัล ($\bullet\text{OH}$) ที่ลดลง [1]

หากพิจารณาประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีที่อัตราส่วนต่างๆ ของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อเฟอร์รัสซัลเฟตจะเห็นว่าไม่มีความแตกต่างกัน แสดงว่าอัตราส่วนโดยโมลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อเฟอร์รัสซัลเฟตไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี แต่ระยะเวลาที่ใช้ในการกวนผสมมีผลให้

ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีแตกต่างกัน โดยระยะเวลาที่เหมาะสมที่สุดเท่ากับ 20 นาที เนื่องจากที่ระยะเวลาน้อยเกินไป อาจทำให้สารเคมีและสารอินทรีย์ในน้ำเสียทำปฏิกิริยากันได้ไม่ดีเท่าที่ควร แต่หากระยะเวลาการกวนผสมเพิ่มขึ้น จะมีผลต่อปฏิกิริยาของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เข้าไปทำปฏิกิริยากับเพอร์รัสซัลเฟต และแตกตัวให้ไฮดรอกซิลเรดิคัล ($\bullet\text{OH}$) ที่ไม่เหมาะสม [1] และตะกอนเกิดการรวมตัวเป็นฟล็อกที่ไม่มีความเสถียร [12]

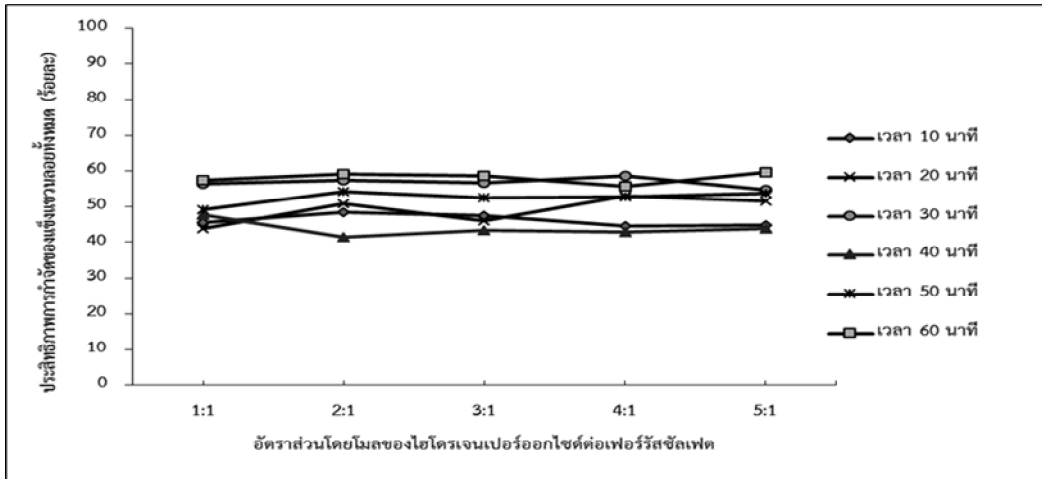
2.1.2 ประสิทธิภาพการบำบัดของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS)

ประสิทธิภาพการบำบัดของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS) ที่อัตราส่วนโดยโมลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อเพอร์รัสซัลเฟตต่างๆ ประสิทธิภาพการกำจัดมีค่าใกล้เคียงกัน ในขณะที่ระยะเวลาการกวนผสมส่งผลให้ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยแตกต่างกันไม่มากนัก โดยค่าของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS) ที่ลดลงเกิดจากปฏิกิริยาเฟนตัน ซึ่งมีการถ่ายโอนอิเล็กตรอนของสารเคมี และเกิดอนุมูลไฮดรอกซิลที่เรดิคัล ($\bullet\text{OH}$) สามารถเหนี่ยวนำให้มีการย่อยสลายสารอินทรีย์ [13] และเกิดการรวมตัวของสารแขวนลอยที่อยู่ในน้ำเสียให้มีขนาดและน้ำหนักมากขึ้น จนตกลงไปด้านล่าง [1] และเกิดการตกตะกอน ส่งผลให้ค่าซีโอดี (COD) และของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS) ลดลง ดังภาพที่ 3

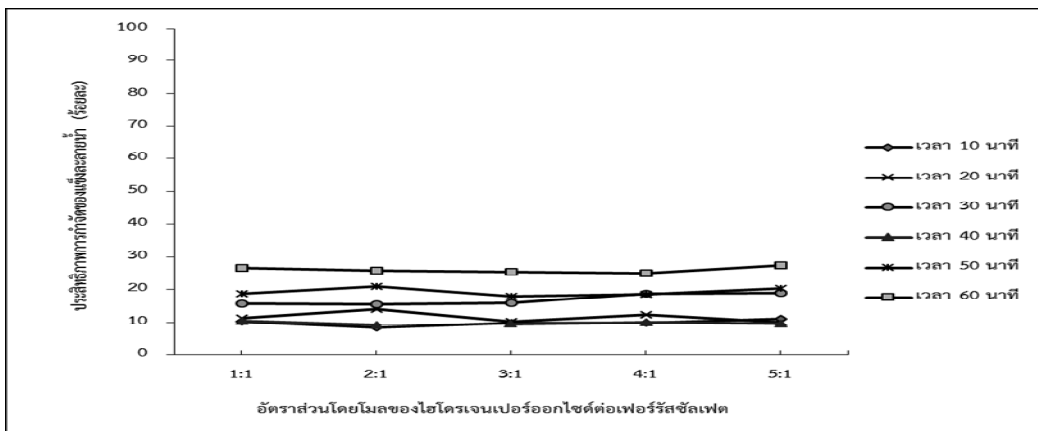
จากการศึกษาพบว่าปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดที่ทุกอัตราส่วนโดยโมลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อเพอร์รัสซัลเฟต และเวลาในการกวนต่างๆ มีค่าเกินที่กฎหมายกำหนด เนื่องจากอัตราส่วนของสารเคมีที่ใช้ทำปฏิกิริยาอาจไม่เหมาะสม หากมีปริมาณของเพอร์รัสซัลเฟตมากเกินไปจะส่งผลให้มีตะกอนเพิ่มมากขึ้น [4] และยังมีตะกอนที่ไม่เสถียรแขวนลอยอยู่ในน้ำส่งผลให้ของแข็งแขวนลอยทั้งหมดมีค่าสูง โดยที่อัตราส่วนโดยโมลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อเพอร์รัสซัลเฟต 5:1 และเวลาการกวน 60 นาที มีประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS) สูงสุด เท่ากับร้อยละ 59.74 โดยมีของแข็งแขวนลอยทั้งหมดหลังการบำบัด 1,425 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีค่าเกินที่กฎหมายกำหนดตามประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุม การระบายน้ำทิ้งจากอาคารบางประเภทและบางขนาด พ.ศ. 2548 โดยสารแขวนลอยมีค่าไม่เกิน 40 มิลลิกรัมต่อลิตร (ของแข็งแขวนลอยทั้งหมดมีค่าสูงกว่าสารแขวนลอยที่กฎหมายกำหนด) และพบว่าที่อัตราส่วนโดยโมลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อเพอร์รัสซัลเฟต 1:1 และเวลาการกวน 40 นาที มีประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS) ต่ำสุดเท่ากับร้อยละ 47.67

2.1.3 ประสิทธิภาพการบำบัดของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (TDS)

ผลการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (TDS) ที่อัตราส่วนโดยโมลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อเพอร์รัสซัลเฟต และเวลาการกวนที่แตกต่างกัน พบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดมีค่าใกล้เคียงกัน โดยปฏิกิริยาเฟนตันสามารถลดค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (TDS) ได้เพียงเล็กน้อย ซึ่งประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งละลายน้ำอยู่ในช่วงร้อยละ 8.45-27.38 โดยอัตราส่วนโดยโมลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อเพอร์รัสซัลเฟตที่ใช้ไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัด แต่ระยะเวลาการกวนมีผลต่อการลดลงของของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (TDS) โดยน้ำเสียที่ใช้ในการศึกษามาจากห้องปฏิบัติการที่ปนเปื้อนด้วยสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ ดังนั้นเมื่อเติมสารเคมีลงไปจะส่งผลให้สารอินทรีย์ที่ละลายอยู่ในน้ำถูกย่อยสลายด้วยปฏิกิริยาเฟนตัน จึงทำให้ค่าซีโอดี (COD) รวมทั้งของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS) มีค่าลดลง แต่ในน้ำเสียยังคงเหลือสารอนินทรีย์ที่ละลายอยู่ในน้ำ จึงทำให้ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (TDS) ยังมีค่าสูง และประสิทธิภาพในการบำบัดค่อนข้างต่ำ ดังภาพที่ 4 นอกจากนั้นปริมาณของแข็งละลายน้ำทั้งหมดอาจเพิ่มขึ้นจากการใช้ปริมาณของเพอร์รัสซัลเฟตมากเกินไปอีกด้วย [4]



ภาพที่ 3 ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS) ที่อัตราส่วนโดยโมลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อเฟอร์รัสซัลเฟตและเวลาการกวนผสมที่ต่างกัน



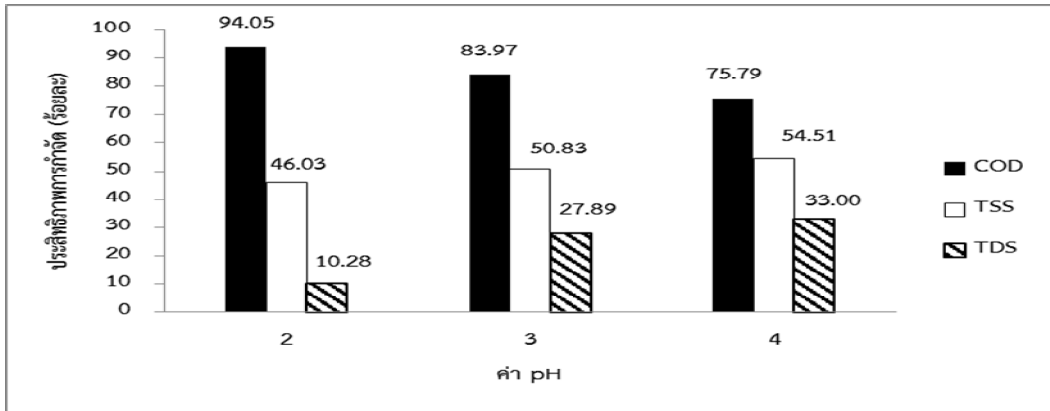
ภาพที่ 4 ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (TDS) ที่อัตราส่วนโดยโมลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อเฟอร์รัสซัลเฟตและเวลาการกวนผสมที่ต่างกัน

จากภาพจะเห็นว่าผลการศึกษาอัตราส่วนโดยโมลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อเฟอร์รัสซัลเฟตและเวลาการกวนผสมต่างๆ พบว่า ที่อัตราส่วนโดยโมลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อเฟอร์รัสซัลเฟต 5:1 และเวลาการกวน 60 นาที มีประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (TDS) สูงสุด เท่ากับร้อยละ 27.38 โดยมีปริมาณของแข็งละลายน้ำทั้งหมดหลังการบำบัด 141,688 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐานที่กฎหมายกำหนดตามประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุม การระบายน้ำทิ้งจากอาคารบางประเภทและบางขนาด พ.ศ. 2548 โดยของแข็งละลายน้ำต้องมีค่าเพิ่มขึ้นจากปริมาณสารละลายในน้ำใช้ตามปกติไม่เกิน 500 มิลลิกรัมต่อลิตร [2] และพบว่าที่

อัตราส่วนโดยโมลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อเฟอร์รัสซัลเฟต 1:1 ที่เวลา 40 นาที มีประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (TDS) ต่ำสุดเท่ากับร้อยละ 10.43

2.2 การหาค่าพีเอช (pH) ที่เหมาะสม

ผลการศึกษา ที่ พีเอช (pH) 2.0 พบว่าอัตราส่วนโดยโมลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อเฟอร์รัสซัลเฟต 3:1 ที่เวลา 20 นาที มีประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดี (COD) ได้สูงสุด จึงนำสภาวะนี้ไปทำการบำบัดน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการด้วยปฏิกิริยาเฟนตันที่พีเอช (pH) 2.0 3.0 และ 4.0 ต่อไป ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดี (COD) ของแขวนลอย (TSS) และของแข็งละลายน้ำ (TDS) จากห้องปฏิบัติการด้วยปฏิกิริยาเฟนตันที่พีเอช (pH) 2.0 3.0 และ 4.0

จากการศึกษาประสิทธิภาพค่าพีเอช (pH) ที่เหมาะสมต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย พบว่าน้ำเสียที่มีค่าพีเอช (pH) 2.0 3.0 และ 4.0 มีประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดี (COD) เท่ากับ ร้อยละ 94.05 83.97 และ 75.79 ตามลำดับ ประสิทธิภาพการบำบัดของแขวนลอยทั้งหมด (TSS) เท่ากับ ร้อยละ 46.03 50.83 และ 54.51 ตามลำดับ และประสิทธิภาพการบำบัดของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (TDS) เท่ากับ ร้อยละ 10.28 27.89 และ 33.00 ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพในการบำบัดโดยปฏิกิริยาเฟนตัน จะเห็นว่าน้ำเสียที่มีค่าพีเอช (pH) 2.0 มีประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดี (COD) ได้สูงสุด [1] เนื่องจากเมื่อค่าพีเอช (pH) สูงขึ้นความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาเฟนตันจะลดลง โดยเฟอร์รัสไอออน (Fe^{2+}) อยู่ในรูปที่ไม่เสถียร และเปลี่ยนไปอยู่ในรูปเฟอร์ริกไอออน (Fe^{3+}) โดยจะตกตะกอนลงมาอยู่ในรูป $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ซึ่งเป็นตัวขัดขวางการเกิดปฏิกิริยาระหว่างเฟอร์ริกไอออน (Fe^{3+}) กับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) นอกจากนี้ค่าพีเอช (pH) ที่สูงขึ้นจะส่งผลให้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) อยู่ในรูปที่ไม่เสถียรเช่นเดียวกัน ทำให้เกิดการสลายตัวให้ออกซิเจนและน้ำ ซึ่งไม่ทำให้เกิดไฮดรอกซิลเรดิคัล ($\bullet\text{OH}$) ในการทำปฏิกิริยาเฟนตัน [1] โดยปฏิกิริยาเฟนตันสามารถบำบัดน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการที่มีค่าพีเอช (pH) 2.0 3.0 และ 4.0 ให้มีค่าซีโอดีต่ำลงได้ ในขณะที่การบำบัดของแขวนลอยทั้งหมด (TSS) และของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (TDS) จะเห็นว่าน้ำเสียที่มีค่าพีเอช (pH) เท่ากับ 4.0 สามารถกำจัดได้ดีที่สุด แต่ค่าของแขวนลอยทั้งหมดและของแข็งละลายน้ำทั้งหมดมีค่าเกินเกณฑ์ที่กฎหมายกำหนดตามประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม กำหนดมาตรฐานควบคุม การระบายน้ำทิ้งจากอาคารบางประเภทและบางขนาด พ.ศ. 2548

อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

การศึกษากำหนดน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง ด้วยปฏิกิริยาเฟนตัน โดยน้ำเสียมีค่าพีเอช 2.0 3.0 และ 4.0 ใช้อัตราส่วนโดยโมลของ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อเฟอร์รัสซัลเฟต และระยะเวลาการกวนต่างๆ พบว่าสามารถกำจัดซีโอดี ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด และของแข็งละลายน้ำทั้งหมดให้มีความน้อยลงได้ แต่ค่าพีเอช ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด และของแข็งละลายน้ำทั้งหมดของน้ำหลังการบำบัดยังมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กฎหมายกำหนดตาม ประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุม การระบายน้ำทิ้งจากอาคาร บางประเภทและบางขนาด พ.ศ. 2548 ดังนั้นปฏิกิริยาเฟนตันสามารถใช้ในการบำบัดน้ำเสียขั้นต้นได้ แต่ต้องมีการนำน้ำเสียไปบำบัดต่อร่วมกับกระบวนการอื่นๆ เช่น กระบวนการทางกายภาพและชีวภาพ ก่อนปล่อยออกสู่แหล่งน้ำสาธารณะ เช่น การดูดซับ การปรับพีเอชให้เป็นกลาง การตกตะกอน เป็นต้น เพื่อให้มีคุณภาพเป็นไปตามที่กฎหมายกำหนด

เอกสารอ้างอิง

- [1] นาด ภูวงศ์ผา และคณะ. (2555). การกำจัดสีและซีโอดีในน้ำเสียห้องปฏิบัติการเคมีด้วยปฏิกิริยาเฟนตัน. *วารสารวิทยาศาสตร์ มข*, 40(4), 1272 – 1284.
- [2] ประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคารบางประเภทและบางขนาด พ.ศ. 2548. (2548, 29 ธันวาคม). *ราชกิจจานุเบกษา*. เล่มที่ 122 ตอนที่ 125 ง, หน้า 4-10.
- [3] สันหัต ศิริอนันต์ไพบูลย์. (2557). *ระบบบำบัดน้ำเสีย*. กรุงเทพฯ: ท้อป.
- [4] Umar, M., et al. (2010). Trends in the use of Fenton, electro-Fenton and photo-Fenton for the treatment of landfill leachate. *Waste Management*, 30(11), 2113-2121.
- [5] Faisal, I. (2009). Oxidation of Phenolic Wastewater by Fenton's Reagent. *Journal of Chemical and Petroleum Engineering*, 10(2), 9-12.
- [6] Liu, X., et al. (2018). Progress in the Mechanism and Kinetics of Fenton Reaction. *MOJ Ecology & Environmental Science*, 3(1), 10-15.
- [7] Yazdanbakhsh, A.R., et al. (2015). Degradation of phenol with using of Fenton-like Processes from water. *Iranian Journal of Health, Safety and Environment*, 2(3), 325-329.
- [8] ณิชชาธิย ธนกรจิตติพัฒน์ และกรณิการ์ ดิษยวงศ์. (2555). การบำบัดน้ำเสียโรงงานอาหารโดยกระบวนการเฟนตัน. ใน *การประชุมวิชาการแห่งชาติมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 9* (น. 1944). นครปฐม: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน.
- [9] สายฝน มะโนคำ และคณะ. (2557). การฟอกสีน้ำเสียจากโรงงานย้อมผ้าในจังหวัดลำพูนโดยกระบวนการโฟโตเฟนตันด้วยแสงอาทิตย์. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, 22(5)(ฉบับพิเศษ), 629-640.
- [10] APHA, AWWA and WFF. (2012). *Standard Method for Examination of Water and Wastewater*. 22st ed. Maryland: United book press.
- [11] จันทิมา ชังสิริพร และคณะ. (2552). การกำจัด COD และสีในน้ำเสียจากโรงงานผลิตกล่องกระดาษด้วยปฏิกิริยาเฟนตัน. ใน *การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์ ครั้งที่ 7* (น. 6). สงขลา:

บทความวิจัย (Research Article)

วารสารวิชาการสถาบันการอาชีวศึกษาเกษตร

ปีที่ 5 • ฉบับที่ 2 • กรกฎาคม – ธันวาคม 2564

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

- [12] Meric, S., et al. (2004). Color and COD removal from wastewater containing Reactive Black 5 using Fenton's oxidation process. *Chemosphere*, 54, 435-441.
- [13] มณฑา ประดิษฐ์ข้า. (2550). การปรับปรุงกระบวนการบำบัดน้ำเสียทางเคมีของโรงงานผลิตเคมีภัณฑ์โดยเฟนตันออกซิเดชั่น. (วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์).