



การกำจัดสีและซีโอดีในน้ำเสียห้องปฏิบัติการเคมีด้วยปฏิกิริยาเฟนต์ัน

Color and COD Removals of Chemistry Laboratory Wastewater by Fenton's Reaction

นาง ภูวนต์มา¹ เฉลิม เรื่องวิริยะชัย² และ สุนันทา เลาว์ณย์ศิริ^{3*}

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการกำจัดสีและซีโอดีในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมีด้วยปฏิกิริยาเฟนต์ัน โดยการทดลองแบบกะ โดยศึกษาปัจจัยเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดสีและซีโอดีจากน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี ได้แก่ ค่าพีเอช อัตราส่วนโดยโมลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อเฟอร์รัส และระยะเวลาที่เหมาะสม จากผลของการศึกษา พบว่าสภาวะการทดลองที่เหมาะสมในการกำจัดสีและซีโอดีในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมีด้วยปฏิกิริยาเฟนต์ัน คือที่พีเอชเท่ากับ 2 อัตราส่วนโดยโมลระหว่างไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อเฟอร์รัสไอออนเท่ากับ 15:1 ที่ความเร็วรอบของการกวนเท่ากับ 150 รอบต่อนาที ณ อุณหภูมิห้อง จากสภาวะที่เหมาะสมนี้สามารถกำจัดสีในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมีได้สูงสุดเท่ากับร้อยละ 92.15±0.00 ณ เวลาที่เหมาะสมเท่ากับ 60 นาที ในขณะที่การกำจัดซีโอดีในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมีได้สูงสุดเท่ากับร้อยละ 63.90±0.26 ณ เวลาที่เหมาะสมเท่ากับ 30 นาที

¹หลักสูตรเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อ.เมือง จ.มหาสารคาม 44000

²ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยขอนแก่น อ.เมือง จ.ขอนแก่น 40002

³คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อ.เมือง จ.มหาสารคาม 44000

*Corresponding Author, E-mail: sunantha.l@msu.ac.th

ABSTRACT

The aims of this research were to study the color and COD removals of chemistry laboratory wastewater by Fenton's reaction using batch test. The effect of optimum conditions color and COD removals of chemistry laboratory wastewater by Fenton's reaction were investigated such as pH, $H_2O_2:Fe^{2+}$ mole ratio and reaction time. The results showed the optimum conditions of the color and COD removals for chemistry laboratory wastewater by Fenton reaction were initial pH 2, $H_2O_2:Fe^{2+}$ ratio in 15:1 (mole/volume) and shaking with 150 rpm at room temperature. The optimum condition, the highest color removal of chemistry laboratory wastewater was $92.15 \pm 0.00\%$ at reaction time for 60 minutes. Meanwhile, the highest COD removal of chemistry laboratory wastewater was $63.90 \pm 0.26\%$ at reaction time for 30 minutes.

คำสำคัญ: ซีโอดี น้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี ปฏิกริยาเฟนตัน สี

Keywords: COD, Chemistry laboratory wastewater, Fenton reaction, Color

บทนำ

น้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี มีสารประกอบอินทรีย์จำนวนมาก เช่น เอทานอล เฮกเซน เมทิลีนคลอไรด์ สารประกอบไฮโดรคาร์บอน ได้แก่ เอ็นเฮปเทน โทลูอิน สารกลุ่มแอลกอฮอล์และฟีนอล โดยมีที่บิวทิลแอลกอฮอล์และฟีนอล สารกลุ่มอัลดีไฮด์และคีโตน สารกลุ่มเอมีน เป็นต้น ซึ่งความเป็นพิษของสารเคมีเหล่านี้จะมีลักษณะแตกต่างกันไป ขึ้นกับปริมาณของความเข้มข้นและการได้รับสัมผัสของสารเคมีเหล่านี้ ตัวอย่างเช่น สารในกลุ่มตัวทำละลายอินทรีย์จะมีฤทธิ์ระคายเคืองต่อผิวหนัง และเนื้อเยื่อต่างๆ ของร่างกาย และดูดซึมเข้าสะสมในร่างกายรวมทั้งออกฤทธิ์ต่อระบบประสาทส่วนกลาง เนื่องจากระบบประสาทประกอบด้วยไขมันจำนวนมากจึงมีฤทธิ์รบกวนการทำงานของระบบประสาทหรือเรียกว่ากุดการทำงานจากระบบประสาทส่วนกลางสารกลุ่มอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน สารกลุ่มนี้ ได้แก่ โทลูอิน มีฤทธิ์เฉียบพลันกดประสาทส่วนกลางได้รุนแรงกว่าเบนซีน

ความเข้มข้นของโทลูอินที่บรรยากาศ 1,000 พีพีเอ็มขึ้นไปจะทำให้รู้สึกบ้านหมุน ปวดศีรษะรุนแรง ความเข้มข้นที่สูงขึ้นจะทำให้โคม่า และทำให้ประสาทหลอนด้วย สารกลุ่มคลอรีนอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน สารกลุ่มนี้ได้แก่ เมทิลีนคลอไรด์ มีฤทธิ์ระคายเคือง การได้รับสัมผัสซ้ำ ๆ จะทำให้ชินต่อกลิ่น และทำให้ลดความสามารถที่จะรับรู้ถึงการได้รับสัมผัสสาร ซึ่งจะเพิ่มความเสียด้านอันตรายได้ และมีรายงานว่าสารเมทิลีนคลอไรด์อาจก่อมะเร็งได้

ในช่วง 10 กว่าปีที่ผ่านมาได้มีการศึกษาการลดความเป็นพิษของสารเคมี โดยใช้สารเฟนตัน เพื่อบำบัดน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์เคมีปนเปื้อนเป็นจำนวนมาก เช่น การใช้กระบวนการโฟโตเฟนตันบำบัดน้ำเสียจากโรงพยาบาลในกรุงเทพมหานคร สามารถลดค่าซีโอดีลงได้ (พวงรัตน์ และณัฐพล, 2548) การใช้สารเฟนตันในการกำจัดสีและ ซีโอดีจากน้ำชะมูลฝอย และมีการใช้กระบวนการเฟนตัน ออกซิเดชันในการกำจัดสีรีแอกทีฟ แบลค โฟว์ ในน้ำเสียสังเคราะห์ นอกจากนี้

ยังมีการใช้กระบวนการเฟนตันในการบำบัดน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี

กระบวนการเฟนตันเป็นกระบวนการออกซิเดชันในสภาวะที่เป็นกรด ซึ่งประกอบด้วย H_2O_2 และ Fe^{2+} ผสมกัน และให้ $\cdot OH$ ซึ่งข้อดีของการบำบัดน้ำเสียด้วยปฏิกิริยาเฟนตันคือมีความสามารถในการออกซิไดส์สารอินทรีย์ ไม่เฉพาะเจาะจง โดยสามารถลดความเป็นพิษของสารอินทรีย์ได้ โดยสามารถบำบัดน้ำเสียที่มีสารเคมีที่เป็นพิษที่ไม่สามารถบำบัดด้วยวิธีการทางชีวภาพได้แต่ก็มีตะกอนของเหล็กเกิดขึ้นซึ่งสามารถแยกออกจากระบบและนำไปใช้ประโยชน์ต่อไปได้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้สนใจศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการนำน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมีมาบำบัดด้วยปฏิกิริยาเฟนตัน ได้แก่ ค่าพีเอช อัตราส่วนของ $H_2O_2:Fe^{2+}$ และเวลาในการกวนเพื่อลดความเป็นพิษของสารเคมีอินทรีย์ต่าง ๆ ที่อยู่ในน้ำเสีย

วิธีการดำเนินการวิจัย

น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองเป็นน้ำเสียจริงที่เก็บรวบรวมจากการทดลองจากห้องปฏิบัติการเคมี ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น เฟอร์รัสซัลเฟต ($FeSO_4$; Merck) ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (hydrogen peroxide; Carlo ERBA) 30% และการวัดค่าสีด้วยเครื่องการดูดกลืนแสง (spectrophotometer; Jenway 6400) เครื่องวัดค่าพีเอช (pH meter; Thermo Orion) ในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ ตัวอย่างในแต่ละชุดการทดลองใช้ปริมาตรน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี 100 มิลลิลิตร ทำการทดลองชุดละ 3 ซ้ำ และทำการทดลองแบบกะ (batch) โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนแรก การเตรียมการทดลอง โดยเก็บตัวอย่างน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมีมาแยกของแข็ง

ออก เช่น เศษกระดาษกรองและเศษแก้ว และวิเคราะห์คุณสมบัติเบื้องต้นของน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี ได้แก่ค่าสีด้วยวิธีสเปส ยูนิต (space unit) ค่าซีโอดี (COD) ด้วยวิธีรีฟลักซ์แบบปิด (close reflux) ค่าความเป็นกรดและต่างด้วยเครื่องวัดพีเอช และปริมาณโลหะวิเคราะห์ด้วยวิธีอะตอมมิกแอบซอร์บชันสเปกโทรโฟโตรีเมทรี

ขั้นตอนที่สอง การทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการเฟนตัน

การศึกษา ค่าพีเอช ที่เหมาะสมต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมีด้วยปฏิกิริยาเฟนตันโดยกำหนด ค่าพีเอชที่ 1 2 3 4 และ 5 ที่อัตราส่วนโดยโมลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อเฟอร์รัสคิงที่เท่ากับ 15:1 และเวลาในการทดลอง 30 นาที ณ สภาวะอุณหภูมิห้อง ความเร็วรอบในการเขย่า 150 รอบต่อนาที

การศึกษาผลของอัตราส่วน $H_2O_2:Fe^{2+}$ ที่เหมาะสมต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมีด้วยปฏิกิริยาเฟนตัน โดยปรับให้ค่าพีเอชของน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมีเริ่มต้นที่เหมาะสมเท่ากับ 2 และอัตราส่วนโดยโมลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อเฟอร์รัสเท่ากับ 5:1 10:1 15:1 20:1 และ 25:1 เวลาในการทดลอง 30 นาที ความเร็วรอบในการเขย่า 150 รอบต่อนาที ณ อุณหภูมิห้อง

การศึกษาผลการศึกษาเวลาในการทำปฏิกิริยาที่เหมาะสมต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมีด้วยปฏิกิริยาเฟนตัน โดยปรับพีเอชของน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมีเริ่มต้นเท่ากับ 2 อัตราส่วนโดยโมลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อเฟอร์รัสที่เหมาะสมได้จากการทดลองเท่ากับ 15:1 ความเร็วรอบในการเขย่า 150 รอบต่อนาที ณ

อุณหภูมิห้อง โดยเวลาที่ใช้ในการทดลองเท่ากับ 10 20 30 40 60 และ 90 นาที

ขั้นตอนที่สาม เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมีกับเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม ที่สภาวะการทดลองที่เหมาะสม คือ ค่าพีเอชเท่ากับ 2 และอัตราส่วนโดยโมลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ต่อเฟอร์รัส (Fe^{2+}) ที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีและซีไอดีเท่ากับ 15:1 และ เวลาในการทำปฏิกิริยาที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดีเท่ากับ 30 นาที ส่วนประสิทธิภาพในการกำจัดสีเท่ากับ 60 นาที

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผลการวิจัย

1. คุณสมบัติของน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี

จากการศึกษาคุณสมบัติของน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี ดังตารางที่ 1 พบว่าน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมีมีค่าพีเอชเฉลี่ยเท่ากับ 2.70 ± 0.06 และค่าซีไอดีเฉลี่ยเท่ากับ $10,627.31 \pm 55.61$ มิลลิกรัม

ต่อลิตร ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีสารอินทรีย์สูงมากเนื่องจากเป็นน้ำเสียได้จากการรวบรวมน้ำเสียจากการทดลองทางด้านเคมีอินทรีย์ในรายวิชาปฏิบัติเคมีอินทรีย์ดังนั้นจึงมีค่าซีไอดีสูง สีมืดค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.60 ± 0.13 เอสยู ซึ่งมีค่าไม่สูงมากเนื่องจากเป็นน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมีที่มีสารประเภทที่มีสีปนเปื้อนไม่มากและความขุ่นมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.59 ± 0.01 เอนทียู เนื่องจากของแข็งบางส่วนตกตะกอนและแยกออกก่อนทดสอบดังนั้นค่าความขุ่นที่ทดสอบได้จึงมีค่าไม่สูงมากและของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $2,471.03 \pm 8.08$ มิลลิกรัมต่อลิตร เนื่องจากน้ำเสียมีสารอนินทรีย์ละลายอยู่มาก สังกะสีมีค่าที่สูงมากโดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 377.73 ± 9.84 มิลลิกรัมต่อลิตร และเหล็กมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.27 ± 0.47 มิลลิกรัมต่อลิตร โครเมียมมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 11.71 ± 0.40 มิลลิกรัมต่อลิตร แมงกานีสมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.45 ± 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร และทองแดงมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.35 ± 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี

พารามิเตอร์	ผลการทดลอง
พีเอช	2.70 ± 0.06
ซีไอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร)	$10,627.31 \pm 55.61$
สี (เอสยู)	5.60 ± 0.13
ความขุ่น (เอนทียู)	2.59 ± 0.01
ของแข็งละลายได้ทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	$2,471.03 \pm 8.08$
เหล็ก (มิลลิกรัมต่อลิตร)	5.27 ± 0.47
โครเมียม (มิลลิกรัมต่อลิตร)	11.71 ± 0.40
สังกะสี (มิลลิกรัมต่อลิตร)	377.73 ± 9.84
แมงกานีส (มิลลิกรัมต่อลิตร)	0.45 ± 0.02
ทองแดง (มิลลิกรัมต่อลิตร)	2.35 ± 0.05

2. สภาวะที่เหมาะสมต่อการกำจัดน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี

2.1 ค่าพีเอชที่เหมาะสมต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียห้องปฏิบัติการเคมีด้วยปฏิกิริยาเฟนตัน

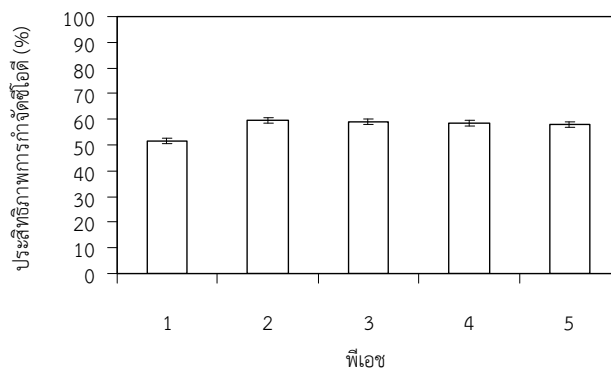
จากการศึกษาค่าพีเอชที่เหมาะสมต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมีด้วยปฏิกิริยาเฟนตัน โดยกำหนดค่าพีเอชที่ 1 2 3 4 และ 5 ที่อัตราส่วนโดยโมลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อเฟอร์รัสคลอไรด์เท่ากับ 15:1 และเวลาในการทดลอง 30 นาที ณ สภาวะอุณหภูมิห้อง ความเร็วรอบในการเขย่า 150 รอบต่อนาที โดยประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีดังรูปที่ 1 พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีที่พีเอชของน้ำเสียเริ่มต้น 1 2 3 4 และ 5 สามารถกำจัดซีโอดีได้ร้อยละ 51.50±0.45 59.61±0.45 59.08±0.13 58.41±0.26 และ 58.18±0.13 ตามลำดับ โดยพีเอช 2 มีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีได้มากที่สุด เท่ากับร้อยละ 59.61±0.45 เมื่อเปรียบเทียบข้อมูลทางสถิติพบค่าซีโอดีระหว่างน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมีก่อนการบำบัดกับน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมีที่ปรับค่าพีเอชเริ่มต้นและบำบัดด้วยสารละลายเฟนตันพบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมีที่พีเอชเริ่มต้นกับน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมีที่ปรับพีเอชเท่ากับ 2 มีผลต่างของค่าซีโอดีเฉลี่ยมากที่สุดเนื่องจากไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) และเฟอร์รัสไอออน (Fe^{2+}) ทำปฏิกิริยาได้ดีและเกิดอนุมูลไฮดรอกซิลอย่างเพียงพอ ซึ่งเกิดขึ้นในสภาวะที่เป็นกรดทำให้ปฏิกิริยาของเฟนตันออกซิเดชันเกิดได้ดียิ่งขึ้นส่งผลให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ดี แต่ในกรณีที่มีพีเอชต่ำมากจะเกิดการรบกวนการนำกลับมาใช้ใหม่

(regeneration) ของเฟอร์รัสไอออน เนื่องจากปฏิกิริยาระหว่างเฟอร์ริกไอออน (Fe^{3+}) กับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จะถูกลดลงและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จะเปลี่ยนสภาพอยู่ในรูปของ $H_2O_2^+$ (Bautista et al., 2006) ในขณะที่พีเอชสูงความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation reaction) จะลดลงโดยเฟอร์รัสไอออนจะไม่เสถียรและเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของ เฟอร์ริกไอออนตกตะกอนลงมาเป็น $Fe(OH)_3$ ซึ่งเป็นตัวขัดขวางการเกิดปฏิกิริยาระหว่างเฟอร์รัสไอออนกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และนอกจากนี้ที่พีเอชสูงขึ้น ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ก็ไม่เสถียรและเกิดการสลายตัวให้ออกซิเจน (O_2) และน้ำ (H_2O) (Jeong and Yoon, 2005) และงานวิจัยของ Lee and Shoda (2008) ได้ศึกษาการกำจัดซีโอดีและสีจากน้ำเสียฟาร์มปศุสัตว์โดยวิธีเฟนตัน พบว่าเมื่อค่าพีเอชเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีจะลดลง Meric et al. (2004) ได้ศึกษาการกำจัดสีและ ซีโอดีในน้ำเสียที่มีสีรีแอคทีฟ แบลค ไฟว์ (reactive Black 5) ปนเปื้อนพบว่าในช่วงพีเอช 3-3.5 สามารถกำจัดซีโอดีได้ร้อยละ 87 Lou et al. (2009) ได้ศึกษาการกำจัดน้ำเสียที่เกิดจากอุตสาหกรรมผลิตแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์โดยวิธีการเฟนตัน พบว่าค่าพีเอชที่เหมาะสมเท่ากับ 2 สามารถกำจัดค่าซีโอดีในน้ำเสียได้ร้อยละ 43.6 และงานวิจัยของ Zhang et al. (2005) ได้ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการเฟนตันในการบำบัดน้ำชะขยะ โดยพบว่าค่าพีเอชที่เหมาะสมมีค่าเท่ากับ 2.5

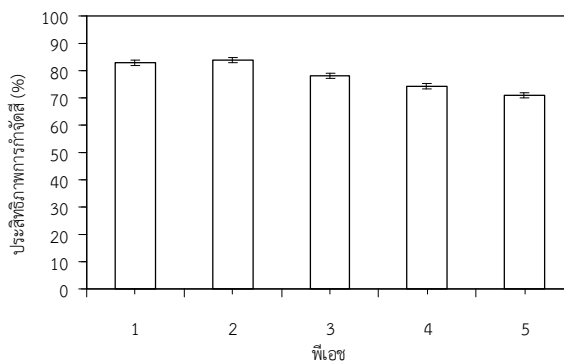
รูปที่ 2 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดสีที่พีเอชของน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมีที่ 1 2 3 4 และ 5 พบว่าสามารถกำจัดสีได้ร้อยละ 82.99±1.05 83.89±0.53 78.11±0.91 74.47±1.58 และ 70.82±0.91 ตามลำดับ โดยพีเอช 2 สามารถกำจัดสีได้สูงสุดเท่ากับร้อยละ 83.89±0.53 และพีเอช 5 กำจัดสี

ได้ต่ำสุดเท่ากับร้อยละ 70.82±0.91 เมื่อเปรียบเทียบ ข้อมูลทางสถิติพบค่าสีระหว่างน้ำเสียจาก ห้องปฏิบัติการเคมีก่อนการบำบัดกับน้ำเสียจาก ห้องปฏิบัติการเคมีที่ปรับค่าพีเอชเริ่มต้นและบำบัดด้วย สารละลายเฟนตันพบว่าค่าสีแตกต่างกันอย่างมี นัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 และเมื่อเปรียบเทียบคู่ จากผลต่างของค่าสีเฉลี่ยพบว่าคู่ที่เปรียบเทียบระหว่าง น้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมีที่พีเอชเริ่มต้นกับน้ำเสีย จากห้องปฏิบัติการเคมีที่ปรับพีเอชเท่ากับ 2 มีผลต่าง ของค่าสีเฉลี่ยมากที่สุด เนื่องจากที่พีเอชต่ำมากจะเกิด การรบกวนการนำกลับมาใช้ใหม่ของเฟอร์ริออน เนื่องจากปฏิกิริยาระหว่างเฟอร์ริออนกับไฮโดรเจน เพอร์ออกไซด์จะถูกยับยั้ง และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ จะเปลี่ยนสภาพอยู่ในรูป $H_3O_2^+$ ในขณะที่พีเอชสูง ความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันจะลดลง

โดยเฟอร์ริออนไม่เสถียรและเปลี่ยนอยู่ในรูปเฟอร์ริ- ออนตกตะกอนลงมาอยู่ในรูป $Fe(OH)_3$ ซึ่งเป็นตัว ขัดขวางการเกิดปฏิกิริยาระหว่างเฟอร์ริออนกับ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ นอกจากนี้ที่พีเอชสูงขึ้น ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จะไม่เสถียรและเกิดการ สลายตัวให้ออกซิเจนและน้ำ Meric et al. (2004) ได้ ทำการศึกษาการกำจัดสีและซีโอดีจากน้ำเสียที่มีสี รีแอกทีฟ แบลค ไพว์ ปนเปื้อนโดยใช้กระบวนการเฟน ตัน พบว่าค่าพีเอชที่เหมาะสม เท่ากับ 3 โดยสามารถ กำจัดค่าสีได้มากกว่าร้อยละ 99 และวิจัยของ Lee and Shoda (2008) ได้ศึกษาการกำจัดสีในน้ำเสียจาก ฟาร์มปศุสัตว์โดยวิธีเฟนตัน พบว่าช่วงพีเอชที่เหมาะสม ในการกำจัดสีเท่ากับ 3.5-4 โดยสามารถกำจัดสีได้ มากกว่าร้อยละ 95.4



รูปที่ 1 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีที่พีเอช 1-5

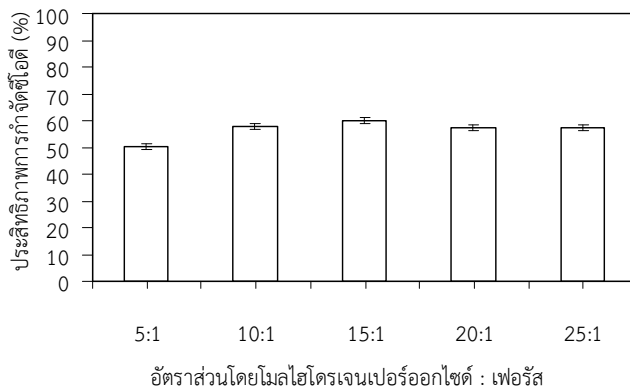


รูปที่ 2 ประสิทธิภาพการกำจัดสีที่พีเอช 1-5

2.2 ผลของอัตราส่วน $H_2O_2:Fe^{2+}$ ที่เหมาะสมต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมีด้วยปฏิกิริยาเฟนตัน

จากรูปที่ 3 และ 4 ศึกษาผลของอัตราส่วน $H_2O_2:Fe^{2+}$ ที่เหมาะสมต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมีด้วยปฏิกิริยาเฟนตันโดย

ปรับให้ค่าพีเอชของน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมีเริ่มต้นที่เหมาะสมเท่ากับ 2 และอัตราส่วนโดยโมลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อเฟอร์รัสเท่ากับ 5:1 10:1 15:1 20:1 และ 25:1 เวลาในการทดลอง 30 นาที ความเร็วรอบในการเขย่า 150 รอบต่อนาที ณ อุณหภูมิห้อง



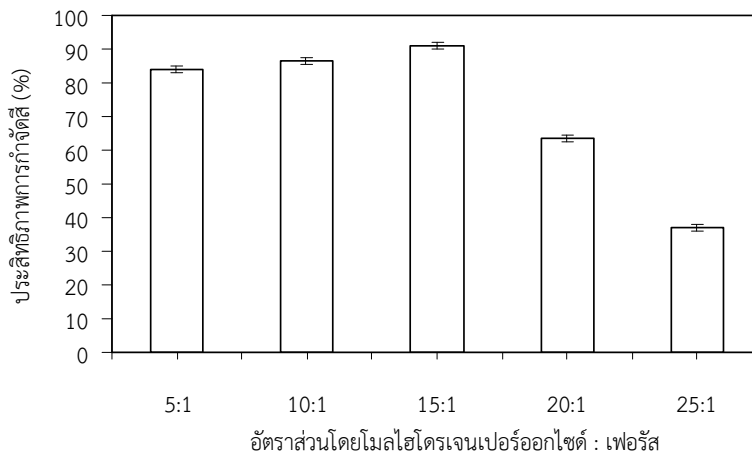
รูปที่ 3 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีกับอัตราส่วนโดยโมลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อเฟอร์รัส

รูปที่ 3 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีกับอัตราส่วนโดยโมลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อเฟอร์รัสเท่ากับ 5:1 10:1 15:1 20:1 และ 25:1 พบว่าสามารถกำจัดซีโอดีได้ร้อยละ 50.45±0.45 57.85±0.26 60.12±0.26 57.40±0.26 และ 57.40±0.26 ตามลำดับ อัตราส่วนโดยโมลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อเฟอร์รัส 15:1 สามารถกำจัดซีโอดีได้สูงสุดเท่ากับร้อยละ 60.12±0.26 และอัตราส่วนโดยโมลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อเฟอร์รัส 5:1 สามารถกำจัดซีโอดีได้ต่ำสุดเท่ากับร้อยละ 50.45±0.45 เมื่อเปรียบเทียบข้อมูลทางสถิติพบว่าค่าซีโอดีระหว่างน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมีก่อนการบำบัดกับน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมีที่อัตราส่วนโดยโมลระหว่างไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์กับ เฟอร์รัสและบำบัดด้วยสารละลายเฟนตัน พบว่ามีค่าซีโอดีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 และเมื่อ

เปรียบรายคู่จากผลต่างของค่าเฉลี่ยพบว่าคู่ที่เปรียบเทียบซีโอดีระหว่างน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมีเริ่มต้นกับน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมีที่ใช้อัตราส่วนโดยโมลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อเฟอร์รัสเท่ากับ 15:1 มีผลต่างของซีโอดีเฉลี่ยมากที่สุด โดยพบว่าปฏิกิริยาออกซิเดชันจะเกิดอย่างรวดเร็วจากอัตราส่วนโดยโมลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อเฟอร์รัส 5:1 จนถึงอัตราส่วน 10:1 และเป็นผลให้เกิดการกำจัดสารอินทรีย์เพิ่มขึ้นและสูงสุดที่อัตราส่วนของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อเฟอร์รัสเท่ากับ 15:1 และหลังจากนั้นเมื่ออัตราส่วนโดยโมลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อเฟอร์รัสเพิ่มขึ้นความสามารถในการกำจัดสารอินทรีย์จะลดลงเล็กน้อยและคงที่ ทั้งนี้เนื่องจากอัตราส่วนโดยโมลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อเฟอร์รัสที่น้อยหรือมากเกินไปมีผลต่อการกำจัดซีโอดีโดยอัตราส่วนที่เหมาะสมของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

ต่อเฟอร์สในการกำจัดน้ำเสียโดยเฟนตัน พบว่าการเลือกสัดส่วนที่เหมาะสมทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ได้สูง โดย Gulkaya et al. (2006) และ Tekin et al. (2006) และ Zhang et al. (2005) ศึกษาอัตราส่วน โมลาร์ของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อเฟอร์สในการออกซิเดชันเอมีนพบว่าอยู่ในช่วง 5-40 มี

ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ได้สูงในขณะที่ Casero et al. (1997) และ Kuo (1992) ศึกษาอัตราส่วนโดยน้ำหนักของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อเฟอร์สพบว่าอัตราส่วนระหว่าง 3 ถึง 9 สามารถกำจัดซีไอดีได้ร้อยละ 90



รูปที่ 4 ประสิทธิภาพการกำจัดสีกับอัตราส่วนโดยโมลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อเฟอร์ส

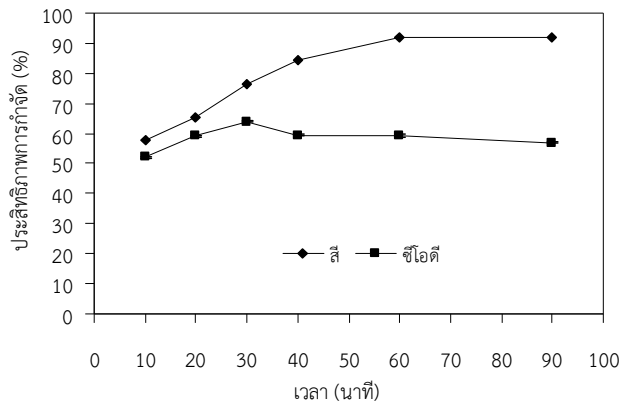
รูปที่ 4 แสดงประสิทธิภาพของการกำจัดสีที่อัตราส่วนโดยโมลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อเฟอร์ส เท่ากับ 5:1 10:1 15:1 20:1 และ 25:1 พบว่าสามารถกำจัดสีได้เท่ากับร้อยละ 83.97±0.89 86.35±0.51 91.10±0.00 63.50±0.00 และ 36.79±0.00 ตามลำดับ และพบว่าอัตราส่วนโดยโมลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อเฟอร์ส เท่ากับ 15:1 สามารถกำจัดสีได้สูงสุดเท่ากับร้อยละ 91.10±0.00 ในขณะที่ที่อัตราส่วนของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อเฟอร์ส 25:1 สามารถกำจัดสีได้น้อยที่สุดเท่ากับร้อยละ 36.79±0.00 เมื่อเปรียบเทียบข้อมูลทางสถิติพบว่าค่าสีระหว่างน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมีก่อนการบำบัดกับน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมีที่อัตราส่วนโดยโมลระหว่างไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์กับเฟอร์สและบำบัดด้วยสารละลายเฟนตัน พบว่ามีค่าสีแตกต่างกันอย่างมี

นัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 และเมื่อเปรียบรายคู่จากผลต่างของค่าเฉลี่ยพบว่าคู่ที่เปรียบเทียบสีระหว่างน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมีเริ่มต้นกับน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมีที่ใช้อัตราส่วนโดยโมลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อเฟอร์สเท่ากับ 15:1 มีผลต่างของสีเฉลี่ยมากที่สุด เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันอย่างรวดเร็วที่อัตราส่วนโดยโมลไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อเฟอร์สจากเริ่มต้นอัตราส่วน 5:1 และเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันสูงสุดที่อัตราส่วน 15:1 ทำให้เกิดการกำจัดสารอินทรีย์สูงสุดและทำให้น้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมีมีค่าสีไม่มากและประสิทธิภาพในการกำจัดสีจะลดลงอย่างรวดเร็วจากการศึกษาของ Lee and Shoda (2008) พบว่าการกำจัดสีของน้ำเสียจากฟาร์มปศุสัตว์โดยใช้อัตราส่วนโมลาร์ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อเฟอร์สเท่ากับ 2 สามารถกำจัดสีได้ร้อยละ 95

2.3 ผลการศึกษาเวลาในการทำปฏิกิริยาที่เหมาะสมต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมีด้วยปฏิกิริยาเฟนตัน

จากรูปที่ 5 ศึกษาผลการศึกษาเวลาในการทำปฏิกิริยาที่เหมาะสมต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมีด้วยปฏิกิริยาเฟนตัน โดยปรับพี

เอชของน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมีเริ่มต้นเท่ากับ 2 อัตราส่วนโดยโมล ของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อเฟอร์รัสที่เหมาะสมได้จากการทดลองเท่ากับ 15:1 ความเร็วรอบในการเขย่า 150 รอบต่อนาที อนุณหภูมิห้อง โดยเวลาที่ใช้ในการทดลองเท่ากับ 10 20 30 40 60 และ 90 นาที



รูปที่ 5 ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีและสี ณ เวลาต่าง ๆ

รูปที่ 5 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีและสีโดยใช้เวลาในการทดลอง 10 20 30 40 60 และ 90 นาที พบว่าสามารถกำจัดซีไอดีได้เท่ากับร้อยละ 52.11 ± 0.26 59.14 ± 0.13 63.90 ± 0.26 59.52 ± 0.26 59.21 ± 0.35 และ 56.95 ± 0.26 ตามลำดับ โดยระยะเวลา 30 นาที มีประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดีได้สูงสุดเท่ากับร้อยละ 63.90 ± 0.26 และเวลาในการทดลอง 10 นาที มีประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดีได้ต่ำสุดเท่ากับร้อยละ 52.11 ± 0.26 เมื่อเปรียบเทียบข้อมูลทางสถิติพบว่าค่าซีไอดีระหว่างน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมีก่อนการบำบัดกับน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมีที่เวลาต่างกัน พบว่ามีค่าซีไอดีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 และเมื่อเปรียบเทียบรายคู่จากผลต่างของค่าเฉลี่ยพบว่าคู่ที่เปรียบเทียบซีไอดี ระหว่างน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมีเริ่มต้นกับซีไอดีน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมีที่ใช้

เวลาในการทดลองเท่ากับ 30 นาที มีผลต่างของซีไอดีเฉลี่ยมากที่สุด โดยพบว่าในช่วง 10-30 นาทีแรกจะเกิดปฏิกิริยาอย่างรวดเร็ว โดยเกิดการลดลงของสารอินทรีย์เกิดในช่วงนี้ เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาเฟนตันออกซิเดชันซึ่งจะไปกำจัดสารอินทรีย์ทำให้ปริมาณสารอินทรีย์ลดลงอย่างรวดเร็ว หลังจากนั้นการกำจัดสารอินทรีย์ก็จะลดลงในช่วงเวลา 40-90 นาที และจะลดลงไม่แตกต่างกันมากเนื่องจากในช่วงเริ่มต้นของปฏิกิริยานั้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เข้าทำปฏิกิริยากับเฟอร์รัสและแตกตัวให้ไฮดรอกซิล แรดิคอล (OH^{\bullet}) และจากการศึกษาของ Lee and Shoda (2008) พบว่าการกำจัดซีไอดีและสีในน้ำเสียจากฟาร์มปศุสัตว์ด้วยวิธีเฟนตันโดยใช้เวลา 30 นาที สามารถกำจัดซีไอดีได้ร้อยละ 86 Meric et al. (2004) ได้ศึกษาการกำจัดสีและซีไอดีจากน้ำเสียที่มีสีรีแอกทีฟ แบลค ไฟว์ ด้วยกระบวนการเฟนตันโดยใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 30

นาที่ พบว่าสามารถกำจัดซีโอทีได้ร้อยละ 68 ในขณะที่ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอทีเท่ากับร้อยละ 57.56±0.50 65.12±0.00 76.45±0.00 84.30±0.00 92.15±0.00 และ 91.86±1.33 ที่ระยะเวลา 10 20 30 40 60 และ 90 นาที ตามลำดับ โดยเวลาในการทดลอง 60 นาที สามารถกำจัดซีโอทีได้สูงสุดเท่ากับร้อยละ 92.15±0.00 และเวลาในการทดลอง 10 นาที กำจัดซีโอทีได้น้อยสุดเท่ากับร้อยละ 57.56±0.50 เมื่อเปรียบเทียบข้อมูลทางสถิติพบว่าค่าสัณฐานของน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมีก่อนการบำบัดกับน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมีที่เวลาต่างกัน พบว่า มีค่าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย พบว่าค่าที่ เปรียบเทียบระหว่างน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมีเริ่มต้นกับน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมีที่ใช้เวลาในการทดลองเท่ากับ 60 นาที มีผลต่างของค่าเฉลี่ยมากที่สุด โดย Meric et al. (2004) ได้ศึกษาการกำจัดซีโอทีในน้ำเสียที่มีสีรีแอกทีฟ แบลค ไฟว์ ด้วยกระบวนการเฟนตันโดยใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที พบว่าสามารถกำจัดซีโอทีได้เท่ากับ ร้อยละ 99 และ Lee and Shoda (2008) ได้ทำการศึกษาการกำจัดซีโอทีและสีน้ำเสียจากฟาร์มปศุสัตว์โดยใช้วิธีการของเฟนตันโดยใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที พบว่าสามารถกำจัดซีโอทีได้เท่ากับ ร้อยละ 94

2.4 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี ณ สภาวะที่เหมาะสมด้วยปฏิกิริยาเฟนตัน

จากตารางที่ 2 แสดงประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี ภายใต้สภาวะการทดลองที่เท่ากับ 60 นาที โดยพบว่าค่าพีเอชของน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมีก่อนบำบัดด้วยปฏิกิริยาเฟนตันมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.70±0.06 ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นกรด

และเมื่อบำบัดน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมีด้วยกระบวนการเฟนตันออกซิเดชันแล้วมีค่าเท่ากับ 8 เนื่องจากปรับพีเอชให้เท่ากับ 8 เพื่อหยุดปฏิกิริยาเฟนตัน โดยปฏิกิริยาเฟนตันเกิดในสภาวะที่เป็นกรดในช่วงพีเอช 2-5 ส่วนปริมาณซีโอทีของน้ำเสียเริ่มต้นมีค่าเฉลี่ย 10,627.31±55.61 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งประกอบไปด้วยสารอินทรีย์ที่เป็นของเสียที่ได้จากการทดลองของปฏิบัติการทางด้านเคมีอินทรีย์และเมื่อบำบัดด้วยปฏิกิริยาเฟนตันออกซิเดชันแล้วพบว่ามีค่าซีโอทีคงเหลือ 3,836.74±27.80 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าเกินค่ามาตรฐานน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรมที่กำหนดไว้ไม่เกิน 120 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถบำบัดค่าซีโอทีได้ร้อยละ 63.90±0.26 เนื่องจากสารอินทรีย์ในน้ำเสียจะถูกออกซิไดซ์ด้วยสารละลายเฟนตันที่ไม่เฉพาะเจาะจง ส่วนประสิทธิภาพการกำจัดซีโอทีร้อยละ 92.15±0.00 เนื่องจากการออกซิไดซ์สารอินทรีย์ที่มีสีทำให้ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ที่มีสีลดลงเป็นอย่างมาก ซึ่งมีค่าสีไม่เป็นที่น่ารังเกียจตามมาตรฐานน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรม ความขุ่นของน้ำเสียก่อนบำบัดด้วยปฏิกิริยาเฟนตันพบว่า มีค่าเท่ากับ 2.59±0.01 เอ็นทียู และหลังการบำบัดด้วยปฏิกิริยาเฟนตันพบว่าสามารถกำจัดความขุ่นได้เท่ากับร้อยละ 70.14±0.08 ค่าของแข็งละลายได้ทั้งหมดก่อนบำบัดด้วยปฏิกิริยาเฟนตันมีค่าเท่ากับ 2,471.33±8.08 มิลลิกรัมต่อลิตร และเมื่อบำบัดด้วยปฏิกิริยาเฟนตันแล้วพบว่ามีค่าของแข็งละลายได้ทั้งหมดลดลงเท่ากับ 18.33±0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีค่าไม่เกินค่ามาตรฐานน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรม ปริมาณเหล็กก่อนการบำบัดด้วยปฏิกิริยาเฟนตันพบว่ามีค่าเท่ากับ 5.27±0.04 มิลลิกรัมต่อลิตร และหลังการบำบัดด้วยปฏิกิริยาเฟนตันมีค่าเท่ากับ 0.20±0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยสามารถกำจัดเหล็กได้ร้อยละ 96.27±0.34 ปริมาณโครเมียมก่อนการบำบัด

ด้วยปฏิกิริยาเฟนตันมีค่าเท่ากับ 11.71 ± 0.40 มิลลิกรัมต่อลิตร หลังการบำบัดด้วยปฏิกิริยาเฟนตันพบว่า มีค่าเท่ากับ 0.16 ± 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยสามารถกำจัดโครเมียมได้ร้อยละ 98.64 ± 0.09 ปริมาณสังกะสีก่อนการบำบัดด้วยปฏิกิริยาเฟนตันมีค่าเท่ากับ 377.73 ± 9.79 มิลลิกรัมต่อลิตร หลังการบำบัดด้วยปฏิกิริยาเฟนตันพบว่า มีค่าเท่ากับ 0.44 ± 0.003 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่ามาตรฐานน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรมที่กำหนดไว้ไม่เกิน 5 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยสามารถกำจัดสังกะสีได้ร้อยละ 99.88 ± 0.004 ปริมาณแมงกานีสก่อนการบำบัดด้วยปฏิกิริยาเฟนตันมีค่าเท่ากับ 0.45 ± 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร หลังการบำบัดด้วยปฏิกิริยาเฟนตันไม่พบแมงกานีส ซึ่งมีค่าไม่เกินค่ามาตรฐานน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรมที่กำหนดไว้ไม่เกิน

5 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยสามารถกำจัดแมงกานีสได้ร้อยละ 100 ปริมาณทองแดงก่อนการบำบัดด้วยปฏิกิริยาเฟนตันพบว่า มีค่าเท่ากับ 2.35 ± 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร หลังการบำบัดด้วยปฏิกิริยาเฟนตันไม่พบทองแดงซึ่งมีค่าไม่เกินมาตรฐานน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรมที่กำหนดไว้ไม่เกิน 5 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยสามารถกำจัดทองแดงได้ร้อยละ 100 ซึ่งปริมาณเหล็กโครเมียมสังกะสีแมงกานีสและทองแดงมีปริมาณน้อยหรือตรวจไม่พบหลังจากบำบัดด้วยปฏิกิริยาเฟนตัน เนื่องจากเมื่อถึงเวลาที่กำหนดหยุดทำปฏิกิริยากำหนดจะเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เพื่อปรับสภาวะละลายให้เป็นด่างโดยปรับค่าพีเอช 8 ดังนั้นปริมาณเหล็กโครเมียมสังกะสีแมงกานีสและทองแดงจึงตกตะกอนในรูปของโลหะไฮดรอกไซด์

ตาราง 2 ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมีโดยปฏิกิริยาเฟนตัน

พารามิเตอร์	มาตรฐานน้ำทิ้ง โรงงานอุตสาหกรรม	น้ำเสียก่อน การบำบัด	น้ำเสียหลังการบำบัดโดย Fenton's Oxidation	ประสิทธิภาพ การกำจัด (%)
พีเอช	5.50–9.0	2.70 ± 0.06	8.12 ± 0.03	-
ซีไอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ไม่เกิน 120 มิลลิกรัมต่อลิตร	10627.31 ± 55.61	3836.74 ± 27.80	63.90 ± 0.26
สี (เอสยู)	ไม่เป็นที่พึงรังเกียจ	5.73 ± 0.00	0.43 ± 0.00	92.15 ± 0.00
ความขุ่น (เอ็นทียู)	-	2.59 ± 0.01	0.77 ± 0.001	70.14 ± 0.08
ของแข็งละลายได้ทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ไม่เกิน 3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร	2471.33 ± 8.08	18.33 ± 0.02	99.26 ± 0.59
เหล็ก (มิลลิกรัมต่อลิตร)	-	5.27 ± 0.47	0.20 ± 0.01	96.27 ± 0.34
โครเมียม (มิลลิกรัมต่อลิตร)	-	11.71 ± 0.40	0.16 ± 0.01	98.64 ± 0.09
สังกะสี (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ไม่เกิน 5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร	377.73 ± 9.79	0.44 ± 0.003	99.88 ± 0.004
แมงกานีส (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ไม่เกิน 5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร	0.45 ± 0.02	n	100
ทองแดง (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ไม่เกิน 2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร	2.35 ± 0.05	n	100

หมายเหตุ: n คือ ตรวจไม่พบ

สรุปผลการวิจัย

ผลการวิจัยการกำจัดสีและซีโอทีในน้ำเสีย
ห้องปฏิบัติการเคมีด้วยปฏิกิริยาเฟนตันสามารถสรุปได้
ดังนี้

1. สภาวะเหมาะสมที่สามารถกำจัดสีในน้ำ
เสียจากห้องปฏิบัติการเคมี คือ ที่พีเอชเท่ากับ 2
อัตราส่วนโดยโมลระหว่างไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อ
เฟอร์รัสไอออนเท่ากับ 15:1 และความเร็วรอบของการ
กวนเท่ากับ 150 รอบต่อนาที ณ อุณหภูมิห้อง ณ เวลา
ที่เหมาะสมเท่ากับ 60 นาทีสามารถกำจัดสีในน้ำเสีย
จากห้องปฏิบัติการเคมีได้สูงสุดเท่ากับร้อยละ
92.15±0.00

2. สภาวะเหมาะสมที่สามารถกำจัดซีโอทีใน
น้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี คือ ที่พีเอชเท่ากับ 2
อัตราส่วนโดยโมลระหว่างไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อ
เฟอร์รัสไอออนเท่ากับ 15:1 และความเร็วรอบของการ
กวนเท่ากับ 150 รอบต่อนาที ณ อุณหภูมิห้อง ณ เวลา
ที่เหมาะสมเท่ากับ 30 นาที สามารถกำจัดสีในน้ำเสีย
จากห้องปฏิบัติการเคมีได้สูงสุดเท่ากับร้อยละ
63.90±0.26

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยใคร่ขอขอบคุณกองส่งเสริมการวิจัยและ
บริการวิชาการ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ในการ
สนับสนุนทุนอุดหนุนการวิจัยสำหรับนิสิตระดับ
บัณฑิตศึกษาประจำปีงบประมาณ 2554 และ
ขอขอบคุณ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้
สถานที่และเครื่องมือวิทยาศาสตร์ในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- พวงรัตน์ ขจิตวิษยานุกูล และณัฐพล สุนทรวิภาต. (2549). การ
ย่อยสลายน้ำเสียจากโรงพยาบาล โดยใช้
กระบวนการโฟโตเฟนตัน : ผลของพารามิเตอร์ที่ใช้
ในการบำบัด. วิศวกรรมสิ่งแวดล้อมไทย. 20(3): 81-
91.
- Bautista, P., Mohedano, A.F., Gilarranz, M.A., Casas, J.A.
and Rodriguez, J.J. (2007). Application of
Fenton oxidation to cosmetic wastewaters
treatment. *Journal of Hazardous Materials*
143: 128-134.
- Casero, I., Sicilia, D., Subio, S. and Perez-Bendito, D.
(1997). Chemical degradation of aromatic
amines by Fenton's reagent. *Waste research*
31: 1985-1995.
- Gulkaya, I., Surucu, G.A. and Dilek, F.B. (2006).
Importance of H₂O₂/Fe²⁺ ratio in Fenton's
treatment of a carpet dyeing wastewater.
Journal of Hazardous Materials 136: 763-769.
- Jeong, J. and Yoon, J. (2005). pH effect on OH radical
production in photo/ferroxalate system.
Waste Research 39: 2893-2900.
- Kuo, W. (1992). Decolorizing dye wastewater with
Fenton's reagent. *Waste research* 26: 881-
886.
- Lee, H. and Shoda, M. (2008). Removal of COD and
color from livestock wastewater by the
Fenton method. *Journal of Hazardous
Materials* 153: 1314-1319.
- Lou, J.C., Huang, Y.J. and Han, J.Y. (2009). Treatment
of printed circuit board industrial wastewater
by Ferrite process combined with Fenton
method. *Journal of Hazardous Materials* 170:
620-626.
- Meric, S., Kaptan, D. and Olmez, T. (2004). Color and
COD removal from wastewater containing
Reactive Black 5 using Fenton's oxidation
process. *Chemosphere* 54: 435-441.

- Tekin, H., Bilkay, O., Ataberk, S.S., Balta, T.H., Haluk Ceribasi, I., Dilek Sanin, F., Dilek, F.B. and Yetis, U. (2006). Use of Fenton oxidation to improve the biodegradability of a pharmaceutical wastewater. *Journal of Hazardous Materials* 136: 258-265.
- Zhang, H., Choi, H.J. and Huang, C.P. (2005). Optimization of Fenton process for the treatment of landfill leachate. *Journal of Hazardous Materials* 125: 166-167.

