

การกำจัดสารอินทรีย์และสีด้วยกระบวนการฟentonและกระบวนการสร้างตะกอนในน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อม Organic Compounds and Color Removal by Fenton and Coagulation Processes in Textile Wastewater

สุเทพ สิริวิทยาปกรณ์ และ วีระนุช บุญรุ่ง

Suthep Sirivitayaphakorn and Weeranuch Boonrung

ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน

เลขที่ 50 ถนนพหลโยธิน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร 10900

โทร 086-7452944 E-mail: bweeranuch@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมด้วยกระบวนการฟenton และกระบวนการตกตะกอนด้วยอะลูมิเนียมซัลเฟต และโพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ โดยใช้เครื่องจาร์เทสต์ สภาวะที่เหมาะสมเฉลี่ยของเฟนตัน ปริมาณเฟอร์รัสซัลเฟต 0.92 กรัมต่อลิตร ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 6.38 กรัมต่อลิตร พีเอช 3.4 และระยะเวลาที่เหมาะสม 150 นาที ให้ประสิทธิภาพในการบำบัดความขุ่น, สี และ COD เฉลี่ยเท่ากับ 97.85, 52.83 และ 79.98 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนอะลูมิเนียมซัลเฟต ใช้ปริมาณสารสร้างตะกอน 2.56 กรัมต่อลิตร ค่าพีเอช 7.20 ให้ประสิทธิภาพในการบำบัดความขุ่น, สี และ COD เฉลี่ยเท่ากับ 94.02, 76.28 และ 42.96 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และโพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ใช้ปริมาณสารสร้างตะกอน 4.00 กรัมต่อลิตร พีเอช 7.40 ให้ประสิทธิภาพในการบำบัดความขุ่น, สี และ COD เฉลี่ยเท่ากับ 96.12, 86.75 และ 54.18 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดของสารเคมีทั้ง 3 ชนิด พบว่าเฟนตันให้ประสิทธิภาพในการบำบัดดีที่สุดที่สุทธรองลงมาคือ โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ และอะลูมิเนียมซัลเฟต ตามลำดับ ส่วนค่าใช้จ่ายในการบำบัดของเฟนตัน, อะลูมิเนียมซัลเฟต และโพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์เท่ากับ 125.32, 25.79 และ 83.15 บาทต่อลูกบาศก์เมตรของน้ำเสีย ตามลำดับ

คำสำคัญ: เฟนตัน, การกำจัดสี

Abstract

As a study of wastewater treatment for the textile factory using fenton's process and chemical coagulation by aluminium sulfate and poly aluminium chloride with jarrest. The average suitable conditions of fenton were amount 0.92 g/l of ferrous sulfate and 6.38 g/l of hydrogenperoxide at pH 3.4. Time for reaction was 150 minute. The treatment efficiencies for turbidity, color and COD were 97.85, 52.83 and 79.98%, respectively. Aluminium sulfate was amount 2.56 g/l at pH 7.20. The treatment efficiencies for turbidity , color and COD were 94.02, 76.28 and 42.96%, respectively. Poly aluminium chloride was amount 4.00 g/l at pH 7.40. The treatment efficiencies for turbidity, color and COD were 96.12, 86.75 and 54.18%, respectively. The best treatment efficiency was fenton. The treatment cost of fenton, aluminium sulfate and poly aluminium chloride were 125.32, 25.79 and 83.15 baht per cubic meter of wastewater respectively.

Key words: Fenton, Color removal

1. บทนำ

โรงงานฟอกย้อมเป็นหนึ่งในจำนวนโรงงานอุตสาหกรรมหลายประเภทที่ปล่อยน้ำเสียจำนวนมาก ลักษณะน้ำเสียที่เกิดขึ้นมีความเข้มข้นของสี ความขุ่น บีโอดี ซีโอดี ปริมาณของแข็งแขวนลอย และปริมาณของแข็งละลายน้ำทั้งหมดใน

ปริมาณสูง ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอ กระบวนการทางเคมีในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อม

กระบวนการเฟนตัน (Fenton process) เป็นกระบวนการเคมีที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) กับไอออนของเฟอร์รัส (Fe^{2+}) ก่อให้เกิดอนุมูลไฮดรอกซิล (Hydroxyl radical) ซึ่งอนุมูลของไฮดรอกซิลจะสามารถทำปฏิกิริยากับสารประกอบอินทรีย์ได้เกือบทั้งหมด [1,5] และให้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายเป็นน้ำ และคาร์บอนไดออกไซด์

การกำจัดสารอินทรีย์ และสีที่มีประสิทธิผล คือ การใช้เฟนตันแทนสารสร้างตะกอนที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน เนื่องจากเฟนตัน เป็นสารที่สามารถสร้างอนุมูลไฮดรอกซิลให้เกิดขึ้นได้ง่ายที่สุด และมีประสิทธิภาพสูงในการบำบัดน้ำเสีย นอกจากนี้ยังศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของสารสร้างตะกอนที่นิยมใช้กันในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมต่างๆ ไปเปรียบเทียบกับการใช้เฟนตัน รวมทั้งประเมินค่าใช้จ่ายในกระบวนการบำบัดน้ำเสีย

2. อุปกรณ์และวิธีการ

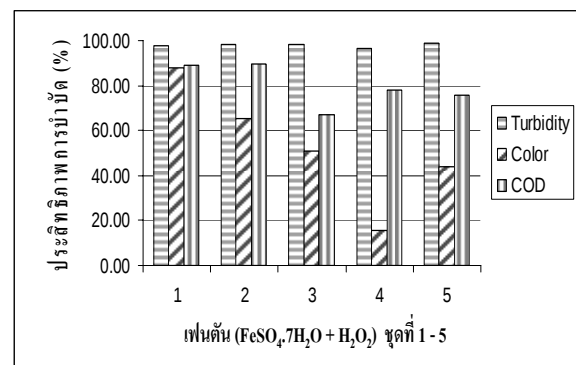
การศึกษาเชิงทดลอง (Experimental research) ใช้น้ำเสียจริงจากโรงงานฟอกย้อมผ้าไทย จำกัด (มหาชน) จุดที่ทำการเก็บตัวอย่างเป็นบ่อรวบรวมน้ำเสีย (Equalization tank) ที่ปล่อยน้ำเสียออกมาจากกระบวนการผลิต ซึ่งมีการใช้สีหลายประเภท เช่น ดิสเพอร์ส รีแอคทีฟ ฟิกเมนต์ แว็ด เป็นต้น โดยทำการทดลองด้วยเครื่องจาร์เทสต์ หาปริมาณสารสร้างตะกอนที่เหมาะสมแบบหยาบ-แบบละเอียด หาค่าพีเอชที่เหมาะสมแบบละเอียด ส่วนสภาวะที่ใช้กวนเร็วที่ความเร็วรอบ 100 รอบต่อนาที กวนช้าที่ความเร็วรอบ 40 รอบต่อนาที ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอน 30 นาที ใช้น้ำเสียบีกเกอร์ละ 500 มิลลิลิตร และมีการทำ blank เทียบสีทุกครั้ง ทำการวิเคราะห์น้ำเสียจริงก่อนการบำบัด โดยวิเคราะห์ค่าพีเอช ความขุ่น สี และ COD แล้วทำการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมของเฟนตัน โดยใช้เฟอร์รัสซัลเฟต ($FeSO_4 \cdot 7H_2O$) และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) 30 เปอร์เซ็นต์ แปรผันปริมาณ $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ ที่ 0.10, 0.40, 0.80, 1.20 และ 1.60 กรัมต่อลิตร ปริมาณ H_2O_2 ที่ 2.20, 4.40, 6.60, 8.80 และ 11.00 กรัมต่อลิตร ค่าพีเอชที่

2.00, 2.50, 3.00, 3.50 และ 4.00 และระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยา 30, 60, 90, 120 และ 150 นาที ส่วนสารสร้างตะกอนอีกสองชนิด คือ อะลูมิเนียมซัลเฟต ($Al_2(SO_4)_3$) และโพอลิอะลูมิเนียมคลอไรด์ (PAC) แปรผันปริมาณที่ 1.00, 2.00, 3.00, 4.00 และ 5.00 กรัมต่อลิตร และค่าพีเอช ที่ 7.00, 7.50, 8.00 และ 8.50 โดยทำการทดลอง 5 ชุดการทดลอง ศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดความขุ่น, สี และ COD

3. ผล และวิจารณ์ผลการทดลอง

3.1 เฟนตัน ($FeSO_4 \cdot 7H_2O + H_2O_2$)

ทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมของเฟนตัน พบว่าที่ปริมาณความเข้มข้นของ COD ในช่วง 1,689.60 - 2,667.81 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณ $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ ที่เหมาะสมเท่ากับ 0.80 และ 1.00 กรัมต่อลิตร H_2O_2 ที่ 5.50, 6.60 และ 7.70 กรัมต่อลิตร พีเอช ที่ 3.00, 3.50 และ 4.00 และระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยา เท่ากับ 150 นาที ให้ประสิทธิภาพในการบำบัด ความขุ่น, สี และ COD เหลือเท่ากับ 97.85, 52.83 และ 79.98 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับตามรูปที่ 1



รูปที่ 1 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของการทดลองชุดที่ 1-5 ด้วยเฟนตัน

3.2 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อเฟนตัน

3.2.1 ค่าพีเอช (pH)

ทดลองแปรผันค่าพีเอช พบว่าค่าพีเอชที่เหมาะสมอยู่ในช่วงความเป็นกรดที่พีเอชเท่ากับ 3.00, 3.50 และ 4.00 แสดงดังรูป ที่ 2

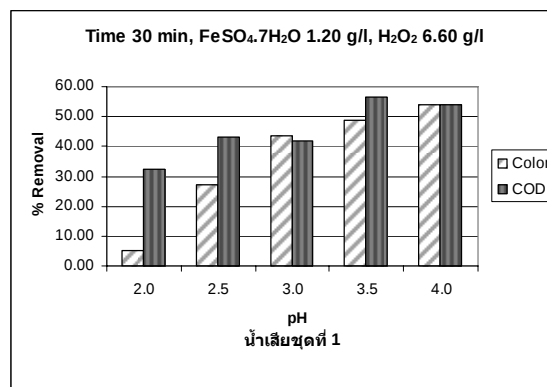
และเมื่อเพิ่มค่าพีเอชจนเป็นกลาง และด่าง พบว่าให้ประสิทธิภาพในการบำบัดดีไม่เท่าช่วงความเป็นกรด เนื่องจากที่พีเอชสูงๆ จะเกิดการตกตะกอนของเฟอร์รัสไฮดรอกไซด์ [7, 8, 9] ทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดได้ไม่ดีเต็มที่

3.2.2 ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2)

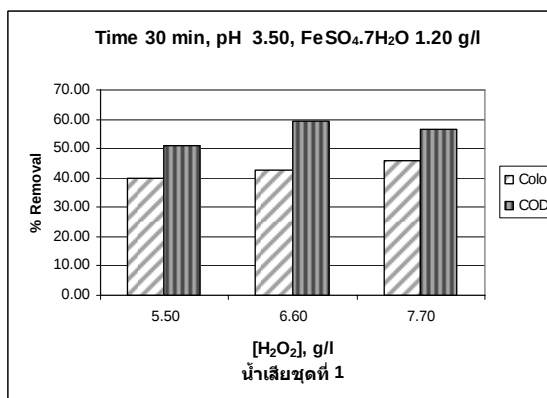
ทดลองแปรผันปริมาณของ H_2O_2 ที่ปริมาณต่างๆ พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณ H_2O_2 ประสิทธิภาพในการย่อยสลายสารอินทรีย์เพิ่มขึ้น เป็นผลมาจากการเพิ่มขึ้นของอนุมูลไฮดรอกซิลที่เป็นสารออกซิไดซ์ที่รุนแรง สามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่อย่างไรก็ตามจากรูปที่ 3 จะเห็นว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ H_2O_2 ถึงจุดๆ หนึ่ง ประสิทธิภาพในการบำบัดจะไม่เพิ่มขึ้นอีก อันเนื่องมาจากอนุมูลไฮดรอกซิลที่เพิ่มมากขึ้นจะไปจับตัวกับ H_2O_2 เอง [2,9] ส่วนการบำบัดสีจะช่วยลดปริมาณสีลงจากเดิม และไทเทรชันของน้ำเสียจะมีสีออกเหลือง อันเป็นผลเนื่องมาจากปริมาณเหล็กที่ยังตกค้างในกระบวนการ จากรูปที่ 3 จะเห็นว่าประสิทธิภาพในการบำบัดสีเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณ H_2O_2 เพิ่มขึ้น

3.2.3 ปริมาณเฟอร์รัสซัลเฟต ($FeSO_4 \cdot 7H_2O$)

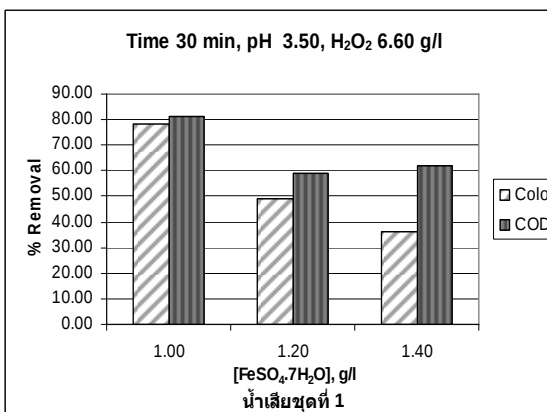
ทดลองแปรผันปริมาณ $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ ที่ปริมาณต่างๆ พบว่าเมื่อเพิ่ม $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัด COD เนื่องจากการเติม $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ ลงไปทำให้อนุมูลไฮดรอกซิลเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว แต่เมื่อเพิ่มปริมาณมากเกินไปประสิทธิภาพการบำบัดจะไม่เพิ่มขึ้นอีก ส่วนประสิทธิภาพในการบำบัดสี จากรูปที่ 4 จะเห็นว่าประสิทธิภาพในการบำบัดลดลง เมื่อปริมาณ $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ เพิ่มขึ้น เนื่องจากเฟอร์รัสไฮดรอกไซด์เปลี่ยนเป็นเฟอริกไฮดรอกไซด์หลังจากทำปฏิกิริยากับ H_2O_2 จึงส่งผลให้มีสีบางส่วนกลับคืนมา



รูปที่ 2 ค่าพีเอชที่มีผลต่อการลดลงของสี และ COD ในน้ำเสียชุดที่ 1



รูปที่ 3 ปริมาณ H_2O_2 ที่มีผลต่อการลดลงของสีและ COD ในน้ำเสียชุดที่ 1



รูปที่ 4 ปริมาณ $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ ที่มีผลต่อการลดลงของสี และ COD ในน้ำเสียชุดที่ 1

3.2.4 เวลาในการเกิดปฏิกิริยา (Time)

ทดลองแปรผันเวลาเริ่มตั้งแต่ 30 - 150 นาที จากรูปที่ 5 พบว่า ที่ระยะเวลาเพิ่มขึ้นมีแนวโน้มช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดสี และ COD เนื่องมาจากที่ระยะเวลามากขึ้นทำให้อนุผลไฮดรอกซิลมีเวลาไปจับตัวกับสารอินทรีย์ใน น้ำเสียมากขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดเพิ่มขึ้น

3.3 กระบวนการตกตะกอนด้วยอะลูมิเนียมซัลเฟต

($Al_2(SO_4)_3$)

ทดลองหาสภาวะที่เหมาะสม พบว่าที่ปริมาณความเข้มข้นของ COD อยู่ในช่วง 2,099.24 - 3,277.12 มิลลิกรัมต่อลิตร ใช้ปริมาณอะลูมิเนียมซัลเฟต 0.80 - 5.00 กรัมต่อลิตร เหลือได้เท่ากับ 2.56 กรัมต่อลิตร และค่าพีเอชที่เหมาะสม [3,10] ในการเกิดปฏิกิริยาที่ 7.00 และ 7.50 ให้ประสิทธิภาพในการบำบัดความขุ่น, สี และ COD เหลือเท่ากับ 94.02, 76.28 และ 42.96 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ตามรูปที่ 6

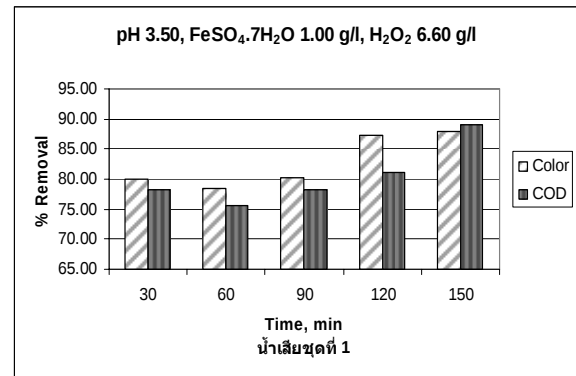
3.4 กระบวนการตกตะกอนด้วยโพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์

(PAC)

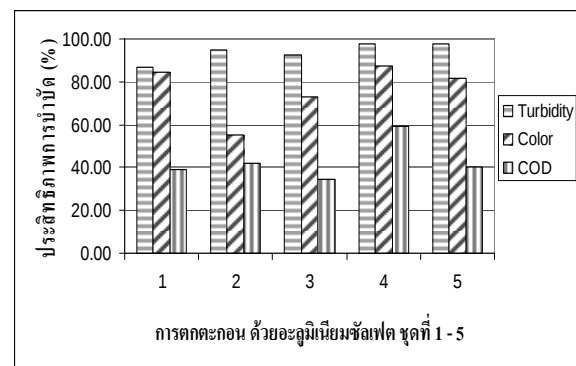
พบว่าที่ปริมาณความเข้มข้นของ COD ในช่วง 2,099.24 - 3,277.12 มิลลิกรัมต่อลิตร ใช้ปริมาณโพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ 3.00 - 5.20 กรัมต่อลิตร เหลือได้เท่ากับ 4.00 กรัมต่อลิตร และค่าพีเอชที่เหมาะสม [3,10] ในการเกิดปฏิกิริยาที่ 7.00, 7.50 และ 8.00 ให้ประสิทธิภาพในการบำบัดความขุ่น, สี และ COD เหลือเท่ากับ 96.12, 86.75 และ 54.18 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ตามรูปที่ 7

3.5 ประเมินค่าใช้จ่าย

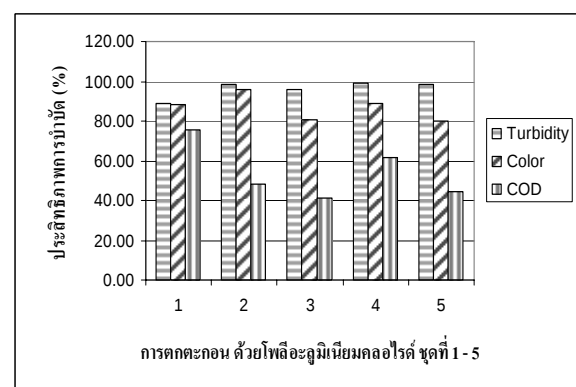
พบว่าเฟนตัน และอะลูมิเนียมซัลเฟต ต้องทำการปรับพีเอชทั้งก่อนและหลังการทดลอง ส่วนโพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ปรับพีเอชเฉพาะก่อนการทดลอง โดยค่าใช้จ่ายรวมของสารเคมีที่ใช้ในการปรับพีเอช และสารสร้างตะกอนของ เฟนตัน อะลูมิเนียมซัลเฟต และโพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์เท่ากับ 125.32, 25.79 และ 83.15 บาทต่อลูกบาศก์เมตรน้ำเสียตามลำดับ ราคาสารเคมีที่ใช้เป็น Commercial grade ซึ่งจะ



รูปที่ 5 ระยะเวลาที่มีผลต่อการลดลงของสี และ COD ในน้ำเสียชุดที่ 1



รูปที่ 6 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย ชุดที่ 1-5 ใช้ อะลูมิเนียมซัลเฟตเป็นสารสร้างตะกอน



รูปที่ 7 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย ชุดที่ 1-5 ใช้โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์เป็นสารสร้างตะกอน

เห็นว่าราคาจะสัมพันธ์กับประสิทธิภาพการบำบัดที่ประสิทธิภาพสูงๆ ราคาสารเคมีจะแพงกว่าที่ประสิทธิภาพต่ำ ราคาสารเคมีแสดงดังตารางที่ 1

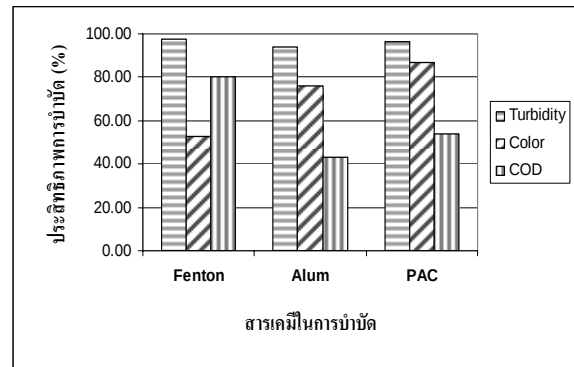
ตารางที่ 1 ราคาสารเคมีในการบำบัดน้ำเสีย

สารเคมี	ราคา (บาท/กก.)	เกรด
$Al_2(SO_4)_3$	8.00	commercial grade
PAC (30%)	20.33	
$FeSO_4 \cdot 7H_2O$	9.00	
H_2O_2	17.00	
H_2SO_4 (98%)	4.16	
NaOH	10.00	

4. สรุปผลการทดลอง

ทดลองบำบัดน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อม ประเภทน้ำเสียรวม ใช้การบำบัดทางเคมีจากรูปที่ 8 พบว่าเฟนตันให้ประสิทธิภาพในการบำบัด COD ดีที่สุดเท่ากับ 79.98 เปอร์เซ็นต์ สภาวะที่เหมาะสมเฉลี่ยที่พีเอช 3.40, $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ 0.92 กรัมต่อลิตร, H_2O_2 6.38 กรัมต่อลิตร และระยะเวลาที่ 150 นาที รองลงมาคือ โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ ให้ประสิทธิภาพบำบัด COD เท่ากับ 54.18 เปอร์เซ็นต์ สภาวะที่เหมาะสมเฉลี่ยที่พีเอช 7.40 และปริมาณสารสร้างตะกอน 4.00 กรัมต่อลิตร และอะลูมิเนียมซัลเฟต ให้ประสิทธิภาพในการบำบัด COD เท่ากับ 42.96 เปอร์เซ็นต์ สภาวะที่เหมาะสมเฉลี่ยที่พีเอช 7.20 และปริมาณสารสร้างตะกอน 2.56 กรัมต่อลิตร ส่วนการบำบัดสีพบว่าโพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ ให้ประสิทธิภาพในการบำบัดสีดีที่สุด รองลงมาคือ อะลูมิเนียมซัลเฟต และเฟนตันเท่ากับ 86.73, 76.28 และ 52.83 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียด้วยสารเคมี เมื่อเทียบกับระบบชีวภาพที่มีอยู่เดิมพบว่าระบบชีวภาพยังคงให้ประสิทธิภาพในการบำบัดที่ดีกว่า แต่ในกรณีที่น้ำเสียมีปริมาณสารอินทรีย์สูงๆ สามารถใช้ระบบบำบัดด้วยสารเคมีเป็น Pre-treatment ก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดทางชีวภาพเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดให้ดียิ่งขึ้น



รูปที่ 8 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดของเฟนตัน อะลูมิเนียมซัลเฟต และ โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ได้มอบทุนสนับสนุนคุณภาพงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา ประจำปี 2551 และห้องปฏิบัติการวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ให้ความเอื้อเฟื้อด้านสถานที่ทำวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] จิราวรรณ ศรีโยม, “การบำบัดน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์ด้วยปฏิกิริยาเฟนตันร่วมกับการตกตะกอน: วิเคราะห์การลดลงของค่า COD และสารเคมีตกค้างในน้ำและตะกอน”, วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2547.
- [2] พงรัตน์ ขจิตวิชานุกุลและนรา ไชยเม, “ผลของปฏิกิริยาเฟนตันที่มีต่อหมู่ฟังก์ชันนอลของอนิลิน และไนโตรเบนซีนในการบำบัดน้ำเสีย”, การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 10, 2548 หน้า 80-85.
- [3] โอภาส แสงทองประกาย, “การบำบัดน้ำเสียชุมชนโดยการสร้างตะกอนทางเคมี”, วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2546.
- [4] A.F. Martins, T.G. Vasconcelos and M.L. Wilde, “Influence of variables of the combined Coagulation-Fenton-Sedimentation process in the treatment of

trifluraline effluent”, Journal of Hazardous Materials. Vol.127, 2005, pp.111-119.

[5] E. Neyens and J. Baeyens, “A review of classic Fenton’s peroxidation as an advanced oxidation technique”, Journal of Hazardous Materials. Vol. 98, 2003, pp.33-50.

[6] M.I. Badawy and M.E.M. Ali, “Fenton’s peroxidation and coagulation process for the treatment of combined industrial and domestic wastewater”, Journal of Hazardous Materials, Vol.136, 2006, pp. 961-966.

[7] S. Chen, D. Sun, and J.S. Chung, “Treatment of pesticide wastewater by moving-bed biofilm reactor combined with Fenton-coagulation pretreatment”, Journal of Hazardous Materials, Vol.144, 2007, pp. 577-584.

[8] S.G. Schrank, H.J. Jose, R.F.P.M. Moreira and H.Fr. Schroder, “Applicability of Fenton and H₂O₂/UV reactions in the treatment of tannery wastewater”, Chemosphere, Vol.60, 2004 pp. 644-655.

[9] T. Satapanajaru, J. Mahujchariyawong and P. Anurakpongsatom, “Reusing Wastewater from Bleaching Process of Textile Industry for Decolorization by Fenton’s Oxidation”, Thai Environmental Engineering Journal Vol.19, 2005, pp. 67-80.

[10] T. Virarahavan and C. H. Wimmer, “Polyaluminium Chloride as an Alternative to Alum Coagulation a Case Study”, J. Agua. Vol 6, 1988, pp. 316-321.