

การศึกษามลสารที่ตกค้าง และการรวมตะกอนจากการบำบัดน้ำเสียสีย้อมโดยการตกตะกอนด้วยไฟฟ้า

Studies residues pollutant and flocculation of dye wastewater by Electrocoagulation process

ธิญาดา ชัยกระทาง¹, พลภุชฌ์ จิตรโต^{2*}, วรนนท์ นาคบรรพต³
Thiyada Chaikratang¹, Ponlakit Jitto^{2*}, Woranan Nakbanpote³

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษามลสารที่ตกค้าง และลักษณะการรวมตะกอนของการบำบัดน้ำเสียสีย้อม ประเภทสีย้อมแอสิก โทนสีแดง โดยกระบวนการตกตะกอนด้วยไฟฟ้าในถังปฏิกรณ์แบบกะ ใช้เหล็กเป็นขั้วไฟฟ้า ขนาด 3.5 × 15 เซนติเมตร มีพื้นที่จมน้ำ 49 ตารางเซนติเมตร ระยะห่าง 2 เซนติเมตร ทำการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมจากน้ำเสียสีย้อมสังเคราะห์ พบว่าสภาวะที่เหมาะสมคือค่าความเป็นกรดต่างเริ่มต้น 7, ค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าต่อพื้นที่ขั้วไฟฟ้า 80 แอมแปร์ต่อตารางเมตร, ระยะเวลาพักที่ 40 นาที มีประสิทธิภาพในการบำบัดสีสูงถึง 95 เปอร์เซ็นต์ ประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีสูงถึง 79 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อนำสภาวะที่เหมาะสมไปใช้ในการบำบัดน้ำเสียจริงที่เกิดจากการย้อมเส้นไหมพบว่าให้ประสิทธิภาพที่น่าพอใจคือที่ประสิทธิภาพในการบำบัดสีสูงถึง 82 เปอร์เซ็นต์ ประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีสูงถึง 55 เปอร์เซ็นต์ มลสารที่พบตกค้างในน้ำเสียหลังบำบัด คือ 1,1,3-Trimethyl-3-phenylindane, 2,3-dimethyl-3-phenylbutan-2-benzene มลสารที่เกิดขึ้นใหม่หลังน้ำเสียได้ถูกบำบัดแล้ว คือ 2,5-dimethylcyclohexan-1-amine, Glutamine, 1-methyl-4-propan-2-benzene, Ethylamine, Pyruvic acid และ มลสารบางชนิดซึ่งผ่านกระบวนการบำบัดจนหายไปจนหมดคือ 2,3-Dimethoxy-5-Propylphenol, N-(2-Morpholin-4-ylethyl)-2,4-Dinitroaniline, Ethyl(2,4,6-Trinitrophenyl) Carbamate, Pentanoic acid และ 4-Aminobutanoic acid การศึกษาตะกอนน้ำเสียจริงหลังบำบัดด้วย XANES พบว่าในตะกอนน้ำเสียมีความคล้ายคลึงกับตะกอนเพอร์ริกไฮดรอกไซด์และตะกอนเพอร์ริสไฮดรอกไซด์ปะปนกันอยู่ แต่พบตะกอนเพอร์ริกไฮดรอกไซด์ในปริมาณมากกว่า คือ 57.0 เปอร์เซ็นต์ และพบตะกอนเพอร์ริสไฮดรอกไซด์อยู่ที่ 48.0 เปอร์เซ็นต์ ผลการศึกษาบ่งชี้กลไกการรวมตะกอนเกิดได้จากสารรวมตะกอนทั้งสองชนิดคือ เพอร์ริกไฮดรอกไซด์ และตะกอนเพอร์ริสไฮดรอกไซด์

คำสำคัญ: การบำบัดน้ำเสีย ฟอกย้อม ไฟฟ้าเคมี ตกตะกอนด้วยไฟฟ้า สีย้อม

Abstract

This research aims to study the pollutant residues and flocculation of dye wastewater, acid dye type, red color tone by electrocoagulation process, batch reactor is provided with two iron electrodes, shape 3.5 × 15 cm, submerged areas 49 cm², distance 2 mm. such as effect of influent pH, effect of current density and effect of retention time. The results showed that in synthetic textile wastewater acid dry type, tone of bright red have the optimum condition when influent pH 7, current density was 80 A/m² and retention time was 40 min have color removal efficiency 95%, COD removal efficiency 79%. When using optimum conditions in textile wastewater results showed color removal efficiency 82%, COD removal efficiency 55%. Residues pollutant found in wastewater after treatment is 1,1,3-Trimethyl-3-phenylindane, 2,3-dimethyl-3-phenylbutan-2-benzene.

¹ นิสิตปริญญาโท, ² อาจารย์, สาขาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์, ³ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาจุลชีววิทยา ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอโกนารักษ์ จังหวัดมหาสารคาม 44150

¹ Master degree student, ² Lecturer, Environmental Technology, Faculty of Environmental and Resource Studies, Assistant Prof., Major Microbiology, Department of Biology, Faculty of Science, Department of Mahasarakham University, kantharawichai District, Maha Sarakham 44150, Thailand

* Corresponding author: Ponlakit jitto, Environmental Technology, Faculty of Environmental and Resource Studies, Mahasarakham University, kantharawichai District, Maha Sarakham 44150, Thailand



Occurred pollutants after the wastewater has been treated is 2,5-dimethylcyclohexan-1-amine, Glutamine, 1-methyl-4-propan-2-benzene, Ethylamine, Pyruvic acid and The pollutant to be eliminated completely is 2,3-Dimethoxy-5-Propylphenol, N-(2-Morpholin-4-ylethyl)-2,4-Dinitroaniline, Ethyl(2,4,6-Trinitrophenyl) Carbamate, Pentanoic acid and 4-Aminobutanoic acid. Studies sludge after wastewater treatment with XANES found resemble Ferrous hydroxide and Ferric hydroxide, But resemble more Ferric hydroxide for 57.0 % and resemble Ferrous hydroxide 48.0 %. The Result was indicated that Ferrous hydroxide and Ferric hydroxide the main coagulant in coagulation process.

Keywords: Wastewater treatment, Textile, Electrolysis, Electrocoagulation, Dye

บทนำ

น้ำเสียสีย้อม เป็นหนึ่งในน้ำเสียอุตสาหกรรมที่ก่อให้เกิดมลพิษในเชิงปริมาณ และความซับซ้อนในการบำบัดก่อนปล่อยทิ้ง ในน้ำเสียอุตสาหกรรมสิ่งทอมีส่วนประกอบของสารอโรมาติกที่เป็นพิษจำนวนมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งสีย้อม azo เป็นที่รู้จักกันว่า ในสีย้อม azo บางชนิดและผลผลิตของการย่อยสลายสีย้อม azo เช่น อโรเมติกเอมีน ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็งที่รุนแรง หากปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมก็อาจไม่คงาม และเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม¹ นอกจากนี้ยังมีช่วง pH ที่กว้าง คือ 2-12 , ความเข้มข้น COD และอนุภาคแขวนลอยสูง มีความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพต่ำ เนื่องจากสีย้อมเป็นพิษต่อกระบวนการย่อยสลาย² หากใช้กระบวนการดูดซับและการตกตะกอนทางเคมีจะใช้เวลานานมาก และมีประสิทธิภาพต่ำ การใช้คลอรีนเพื่อย่อยสลายทางเคมีถือว่าเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพมาก แต่ผลจากการย่อยสลายโดยคลอรีนจะออกมาในรูปสารประกอบออกการโนคลอรีนซึ่งมีความเป็นพิษมาก¹

การตกตะกอนด้วยไฟฟ้าถูกประยุกต์ใช้อย่างกว้างขวางในระบบบำบัดน้ำดีและน้ำเสีย และยังมีประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์และสิ่งที่ทำให้เกิดโรค น้ำใต้ดิน น้ำผิวดิน ซึ่งเป็นกระบวนการที่สะดวกในการควบคุม มีตะกอนสลัดจ์น้อย และไม่ต้องเติมสารเคมี จากการประยุกต์ใช้การตกตะกอนด้วยไฟฟ้าในการบำบัดน้ำเสียที่หลากหลายรวมไปถึงการกำจัดสีในสารละลายสีย้อม การตกตะกอนด้วยไฟฟ้า เป็นเทคนิคที่ประยุกต์มาจากไฟฟ้าเคมี ปัจจัยที่มีผลต่อ

กระบวนการกำจัดสีมีหลายปัจจัยคือ ความต่างศักย์ (V), ระยะเวลาในการอิเล็กโทรไลซิส และความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า (A/m^2) กลไกปฏิกิริยาระหว่างโมเลกุลของสีย้อมกับผลผลิตจากการบวนการไฮโดรไลซิสขึ้นอยู่กับ pH ของสารละลาย มี 2 กลไกที่ควรพิจารณาคือ การตกตะกอน จะเกิดขึ้นในช่วง pH 4-5 และการดูดซับจะเกิดขึ้นในช่วงที่ pH มากกว่า 6.5³ อิเล็กโทรดที่นิยมนำมาใช้คืออลูมิเนียม และเหล็ก ให้ประสิทธิภาพไม่แตกต่างกัน แต่อลูมิเนียมจะมีประสิทธิภาพสูงที่ pH เป็นกรด, ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า $100 A/m^2$, ระยะเวลาที่กัก 8 นาที และมีราคาแพง ส่วนเหล็กมีประสิทธิภาพสูงเมื่อ pH เป็นกลาง, กระแสไฟฟ้า $50 A/m^2$, ระยะเวลาที่กัก 5 นาที และราคาถูก หาซื้อได้ง่าย⁴

อย่างไรก็ตามการตกตะกอนด้วยไฟฟ้าถึงแม้จะให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสีสูงมาก แต่ประสิทธิภาพในการบำบัดสีอินทรีย์นั้นยังไม่สูงเท่าที่ควรสะท้อนให้เห็นว่าในน้ำเสียหลังบำบัดยังอาจจะมีมลสารที่หลงเหลืออยู่มาก ในงานวิจัยครั้งนี้จึงมุ่งเน้นศึกษามลสารที่ตกค้างในน้ำเสียหลังบำบัด และลักษณะการรวมตะกอนของการบำบัดสีย้อมใหม่ ประเภทสีย้อมแอลคิลโทนสีแดง โดยกระบวนการตกตะกอนด้วยไฟฟ้าในถึงปฏิกรณ์แบบกะ เพื่อนำสภาวะที่เหมาะสมไปปรับใช้กับน้ำเสียจริง แล้วนำน้ำเสียหลังบำบัดศึกษามลสารที่ตกค้าง และศึกษาลักษณะของตะกอนหลังบำบัด

วิธีดำเนินงานวิจัย

การเตรียมน้ำเสีย

1. สารละลายสีย้อม 1500 มก./ล. เตรียมได้จากการนำผงสีย้อมแอซิด 1500 มก. ละลายในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส
2. น้ำเสียจริงจากการย้อมไหม ได้จากกลุ่มทอผ้าไหมในจังหวัดขอนแก่น

การเตรียมแผ่นอิเล็กโทรด

นำแผ่นเหล็กไปแช่ด้วยกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 35 เปอร์เซ็นต์ ระยะเวลา 15 นาที แล้วล้างด้วยน้ำสะอาด ชัดด้วยกระดาษทราย จากนั้นล้างด้วยน้ำกลั่นและนำไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส 1 ชั่วโมง เก็บไว้ในตู้ดูดความชื้น 1 ชั่วโมง^{5,4}

การติดตั้งเครื่องมือและอุปกรณ์

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองนี้ประกอบไปด้วย เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงที่สามารถปรับค่าความต่างศักย์สูงสุดได้ 15 โวลต์ ต่อเข้ากับขั้วไฟฟ้า (Electrode) คือ แผ่นเหล็ก ที่มีความหนา 2 มิลลิเมตร ขนาดกว้าง 3.5 ยาว 15 เซนติเมตร ภายในถังปฏิกรณ์แบบเท (Batch Reactor) ใช้เป็นบีกเกอร์ ขนาด 1000 มิลลิลิตร และกวนน้ำเสียจากการทดลองด้วยเครื่อง Magnetic stirrer โดยการติดตั้งเครื่องมือและอุปกรณ์ได้แสดงให้เห็นดัง Figure 1

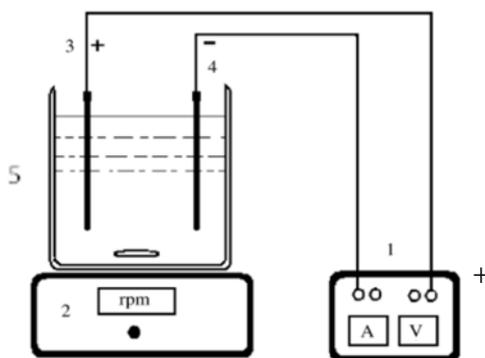


Figure 1 Experimental setup 1. power supply 2. magnetic stirrer 3,4. Iron electrodes 5. beaker 1000 ml⁶

วิธีการทดลอง

1. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมจากน้ำเสียสังเคราะห์ - pH เริ่มต้น (5, 6, 7, 8, 9) - ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า (40, 60, 80, 100, 120 A/m²) - ระยะเวลาที่เหมาะสม (5, 10, 15, 20, 40, 60, 80, 100, 120 min)
2. นำสภาวะที่เหมาะสมมาทดลองกับน้ำเสียจริงที่ผ่านการย้อมเส้นไหม เก็บตัวอย่างน้ำหลังบำบัดที่ระยะเวลาที่เหมาะสม เพื่อหาประสิทธิภาพในการบำบัด
3. นำตัวอย่างน้ำเสียก่อนและหลังบำบัดวิเคราะห์ GC-MS เพื่อเปรียบเทียบผลสารที่ตกค้าง
4. เก็บตะกอนจากการรวมตะกอนที่ระยะเวลาที่เหมาะสม เพื่อศึกษาสภาพแวดล้อมทางเคมีของตะกอนด้วยการวัดสเปกตรัม XANES ที่สถาบันวิจัยแสงซินโครตรอน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลการทดลอง

1. สภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียสีย้อมไหม

สภาวะที่เหมาะสมแก่การบำบัดน้ำเสียสีย้อมไหมประเภทสีแอซิด โทนสีแดง เมื่อใช้เหล็กเป็นอิเล็กโทรดที่ระยะห่าง 2 เซนติเมตร พิจารณาจาก

1.) pH เริ่มต้น (ทำการทดลองที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 100 A/m² เก็บตัวอย่างน้ำเสียในช่วงเวลา 5, 10, 15, 20, 40, 60, 80, 100 และ 120 นาที พิจารณาเลือกประสิทธิภาพที่ดีที่สุด) เลือก pH เริ่มต้น ที่เหมาะสมคือ 7 เนื่องจากประสิทธิภาพในการบำบัดไม่แตกต่างกัน และค่า pH เริ่มต้น 7 มีความใกล้เคียงน้ำเสียจริง ดัง Table 1

2.) ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า(ทำการทดลองที่ pH เริ่มต้น 7 เก็บตัวอย่างน้ำเสียในช่วงเวลา 5, 10, 15, 20, 40, 60, 80, 100 และ 120 นาที พิจารณาเลือกประสิทธิภาพที่ดีที่สุด) เลือกความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ 80 A/m² เนื่องจากให้ประสิทธิภาพไม่แตกต่างกันมากนักกับ 100 และ 120 A/m² แต่ประหยัดไฟได้มากกว่า ดัง Table 2

3.) ระยะเวลาที่เหมาะสม (ทำการทดลองที่ pH เริ่มต้น 7, ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 80 A/m²) ประสิทธิภาพที่น่าพอใจ และมีปริมาณเหล็กละลายไม่มากเกินไป ดัง Table 3

Table 1 Effect of influent pH on the removal efficiency

pH เริ่มต้น	Ycol (%)	YCOD (%)	Fe (mg/L)
5	95	86	0.4702
6	96	82	1.6518
7	97	77	7.4483
8	97	75	7.4882
9	96	66	7.7939

Table 2 Effect of current density on the removal efficiency

กระแสไฟฟ้า	Ycol (%)	YCOD (%)	Fe (mg/L)
40 A/m ²	85	66	5.8353
60 A/m ²	94	68	4.7798
80 A/m ²	89	80	5.5782
100 A/m ²	97	80	5.1531
120 A/m ²	93	80	5.2235

Table 3 Color removal efficiency, COD removal efficiency and dissolved iron

HRT	Ycol(%)	YCOD(%)	Fe (mg/L)
5 min	2	14	3.2267
10 min	14	22	4.8991
15 min	42	43	5.5782
20 min	89	69	0.0000
40 min	94	79	0.0000
60 min	96	75	0.0000
80 min	97	75	0.0000
100 min	98	74	0.0000
120 min	98	70	0.0000

จาก Table 1, 2 และ 3 เมื่อพิจารณาแล้ว สามารถสรุปสภาวะที่เหมาะสม ดัง Table 4

Table 4 Optimum conditions for textile wastewater, acid dye type, red color tone by electrocoagulation process

Parameter	This study
Influent pH	7
Current density(A/m ²)	80
Retention time (min)	40
Effluent pH	8.3
COD removal efficiency (%)	79
color removal efficiency (%)	95
SS (mg/L)	80

2. ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียจริง

เมื่อนำสภาวะที่เหมาะสมมาบำบัดน้ำเสียจริง ในเบื้องต้นพบว่าสภาวะที่เหมาะสมสามารถกำจัดสีได้เป็นอย่างดี โดยสีในน้ำเสียจะเปลี่ยนจากสีแดงสด เป็นสีส้ม สีเหลือง จนน้ำใสในที่สุด น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดและส่วนของตะกอนถูกแบ่งชั้นกันอย่างชัดเจน ปริมาณตะกอนเพิ่มมากขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป ดัง Figure 2 ซึ่งมีผลการทดลองดังต่อไปนี้



Figure 2 Wastewater during treatment by EC process (1. Influent wastewater, 2.The treated wastewater then 5 min, 3. The treated wastewater then 10 min, 4. The treated wastewater then. 40 min)

เมื่อนำน้ำตัวอย่างหลังบำบัดที่สภาวะเหมาะสม (pH เริ่มต้น 7, ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 80 A/m², ระยะเวลาพัก 40 นาที) มาวิเคราะห์ประสิทธิภาพตามพารามิเตอร์ที่มีความสำคัญ ผลปรากฏดัง Table 5

**Table 5** Effective in the treatment of wastewater.

Parameter	This study
pH	9.0
Color removal efficiency (%)	82
COD removal efficiency (%)	55
dissolved iron (mg/L)	N/A
Suspended solid (mg/L)	120

3. มลสารที่ตกค้างในน้ำเสียหลังบำบัด

การทดลองนี้เป็นการศึกษาผลของการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าที่มีผลต่อมลสารในน้ำเสียด้อย โดยมุ่งเน้นไปที่มลสารที่อาจจะตกค้างอยู่ในน้ำเสียหลังบำบัดว่าเป็นมลสารที่บำบัดได้ยาก ซึ่งการทดลองนี้ได้ให้น้ำเสียด้อยสังเคราะห์ น้ำเสียด้อยจริงมาทดลองบำบัดในสภาวะที่เหมาะสม นำไปวิเคราะห์ด้วย GC-MS เพื่อเปรียบเทียบการลดลง หายไป เกิดขึ้นใหม่ของมลสารในน้ำเสีย และยังมีน้ำเสีย Acid Red 114 ที่ถูกละลายที่ความเข้มข้น 0.01 mg/L ที่นำไปวิเคราะห์ด้วย GC-MS เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาเปรียบเทียบกับกลุ่มมลสารที่อาจมีความคล้ายคลึงกัน ตัวอย่างที่จะนำมาวิเคราะห์มีทั้งหมด 6 ตัวอย่างดังนี้

1. สารละลายเอทานอลที่ความเข้มข้น 0.5%(Blank)
2. น้ำเสียสังเคราะห์เริ่มต้น(DWS0)
3. น้ำเสียสังเคราะห์ที่ผ่านการบำบัดแล้ว 40 นาที (DWS40)
4. น้ำเสียจริงเริ่มต้น(WS0)
5. น้ำเสียจริงที่ผ่านการบำบัดแล้ว 40 นาที(WS40)
6. น้ำเสียสังเคราะห์ Acid Red 114(AR114)

ผลการเปรียบเทียบข้อมูลอ้างอิงจาก GC-MS ระบุว่า มลสารที่พบทั้งใน ตัวอย่างสี Acid Red 114 น้ำเสียสังเคราะห์ และน้ำเสียจริง สันนิษฐานว่าเป็นมลสารที่เป็นตัวสี คือ 2,3-dimethyl-3-phenylbutan-2-benzene ในน้ำเสียสังเคราะห์ปรากฏมลสารที่ตกค้างหรือกำจัดได้ยาก คือ 1,1,3-Trimethyl-3-phenylindane มลสารที่เกิดขึ้นหลังการบำบัด คือ Pyruvic acid, Ethylamine และ 1-methyl-4-propan-2-benzene ในน้ำเสียจริงปรากฏมลสารที่หลากหลายมากขึ้นอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งมลสารที่ตกค้างหรือกำจัดได้ยากยังคงเป็น 1,1,3-

Trimethyl-3-phenylindane และยังมี 2,3-dimethyl-3-phenylbutan-2-benzene ที่ยังคงตกค้างอยู่ มลสารที่เกิดขึ้นหลังการบำบัดคือ Glutamine และ 2,5-dimethylcyclohexan-1-amine มลสารที่กำจัดหมดไปคือ 2,3-Dimethoxy-5-Propylphenol, N-(2-Morpholin-4-ylethyl)-2,4-Dinitroaniline, Ethyl (2,4,6-Trinitrophenyl) Carbamate, Pentanoic acid, 4-Aminobutanoic acid สามารถสรุปเป็นตารางดัง Table 6

Table 6 After treatment Pollutants of silk textile wastewater

POLLUTANT	2	3	4	5	6
2,3-Dimethoxy-5-Propylphenol			/		
Glutamine				/	
N-(2-Morpholin-4-ylethyl)-2,4-Dinitroaniline			/		
Ethyl (2,4,6-Trinitrophenyl) Carbamate			/		
2,5-dimethylcyclohexan-1-amine				/	
Pentanoic acid			/		
4-Aminobutanoic acid			/		
Pyruvic acid		/			
Ethylamine		/			
1,1,3-Trimethyl-3-phenylindane	/	/	/	/	
1-methyl-4-propan-2-benzene		/			
2,3-dimethyl-3-phenylbutan-2-benzene	/		/	/	/

4. สภาพแวดล้อมทางเคมีของตะกอนด้วยการวัดสเปกตรัม XANES

การศึกษารวมตัวเป็นตะกอนของมลสารในการทดลองนี้ เป็นการวัดสเปกตรัม XANES เพื่อศึกษาสภาพแวดล้อมทางเคมีของเหล็กในตะกอนน้ำเสียด้อยสังเคราะห์หลังบำบัด(DWS40), ตะกอนน้ำเสียจริงหลังบำบัด(WS40) และ Acid Red 114 หลังบำบัด(AR40) ซึ่งมีสเปกตรัมของสารมาตรฐานคือ เพอร์ริสไฮดรอกไซด์($\text{Fe}(\text{OH})_2$), เพอร์ริคไฮดรอกไซด์($\text{Fe}(\text{OH})_3$), เพอร์ริซัลเฟต(FeSO_4) และเหล็กซัลเฟต(FeS) เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบโครงสร้างและการดูดกลืนรังสีเอ็กซ์

ในการทดลองนี้ใช้รังสีเอกซ์ที่มีพลังงานโฟตอนระหว่าง 7112 eV ถึง 7192 eV เพื่อกระตุ้นอะตอมเหล็กที่ k-edge โดยสเปกตรัม XANES ของอะตอมเหล็ก(Fe) ในสารมาตรฐานและตะกอนตัวอย่างชนิดต่าง ๆ แสดงใน Figure 3

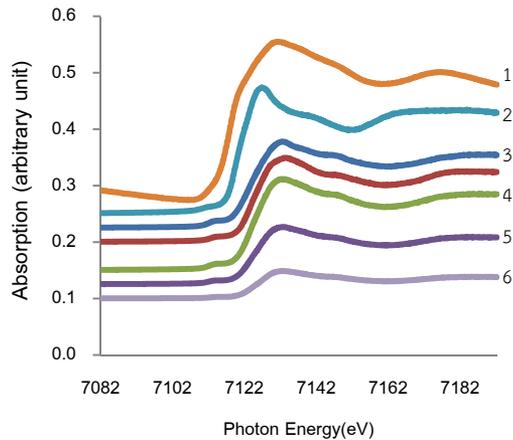


Figure 3 XANES spectrum of the iron atoms (Fe) in a sludge sample different types and standard substances. (1) FeS, (2) Fe, (3) Fe(OH)₂, (4) Fe(OH)₃, (5) WS40, (6) DWS40, (7) AR40

จาก Figure 3 แสดงสเปกตรัม XANES ของอะตอมเหล็ก(Fe) ในสารมาตรฐานและตะกอนตัวอย่างชนิดต่าง ๆ เมื่อเปรียบเทียบขอบการดูดกลืนของสารมาตรฐาน พบว่า การดูดกลืนของสารมาตรฐานเฟอร์ริสไฮดรอกไซด์(Fe(OH)₂) และเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์(Fe(OH)₃) ที่มีเลขออกซิเดชันเป็น +3 จะปรากฏค่าพลังงานที่สูงกว่าในการดูดกลืนของสารมาตรฐานเฟอร์ริสซัลเฟต(FeSO₄) และเหล็กซัลเฟต(FeS) ที่มีเลขออกซิเดชันเป็น +2 โดยเหล็กที่เป็นโลหะนั้นมีเลขออกซิเดชันเท่ากับ 0 มีค่าพลังงานยึดเหนี่ยวเท่ากับ 7112 eV สารมาตรฐานเฟอร์ริสซัลเฟต(FeSO₄) และเหล็กซัลเฟต(FeS) ที่มีเลขออกซิเดชันเป็น +2 และสารมาตรฐานเฟอร์ริสไฮดรอกไซด์(Fe(OH)₂) และเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์(Fe(OH)₃) ที่มีเลขออกซิเดชันเป็น +3 ขอบการดูดกลืนรังสีเอกซ์จึงเลื่อนไปปรากฏที่ตำแหน่งพลังงานสูงกว่า 7112 eV ประมาณ 11 eV และ 17 eV ดังนั้นเมื่อวัดขอบการดูดกลืนของตะกอนน้ำเสียสังเคราะห์หลังบำบัด(DWS40), ตะกอนน้ำเสียจริงหลัง

บำบัด(WS40) และAcid Red 114 หลังบำบัด(AR40) เปรียบเทียบกับสารมาตรฐานก็สามารถระบุสถานะออกซิเดชัน และตำแหน่งพลังงานดังแสดงใน Table 7

Table 7 oxidation number and positions energy of standard substances of sludge synthetic wastewater after treatment, Sludge wastewater after treatment and Acid Red 114 after treatment

Name	Energy(eV)	Oxidation number
Ferrous Sulphate (FeSO ₄)	7126	+2
Iron sulfate (FeS)	7131	+2
Ferrous hydroxide (Fe(OH) ₂)	7132	+3
Ferric hydroxide (Fe(OH) ₃)	7133	+3
synthetic wastewater	7132	+3
wastewater	7133	+3
Acid Red 114	7132	+3

การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงเส้น (Linear Combination Fitting)

การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงเส้นเป็นการนำข้อมูลสเปกตรัม XANES มาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมผลรวมเชิงเส้น (Linear combination fitting) ในโปรแกรม ATHENA เทียบกับสเปกตรัมของสารมาตรฐานกับตัวอย่างที่ต้องการ เพื่อทดสอบว่าตัวอย่างที่วิเคราะห์ใกล้เคียงกับสารมาตรฐานใด โดยแสดงผลความใกล้เคียงออกมาในรูปของเปอร์เซ็นต์ ผลการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงเส้นของตัวอย่างตะกอนหลังบำบัดทั้ง 3 ชนิด มีแนวโน้มอย่างชัดเจนว่า ตะกอนน้ำเสียหลังบำบัดของ Acid red 114 (AR40) มีความคล้ายคลึงกับตะกอนเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์(Fe(OH)₃) มากที่สุด คือ 97.9% ตะกอนน้ำเสียหลังบำบัดของน้ำเสียสังเคราะห์ (DWS40) มีความคล้ายคลึงกับตะกอนเฟอร์ริสไฮดรอกไซด์(Fe(OH)₂) มากที่สุด คือ 54.0% และยังมี ความคล้ายคลึงกับตะกอนเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ (Fe(OH)₃) มากอีกด้วย คือ 51.9% ตะกอนน้ำเสียหลังบำบัดของน้ำเสียจริง(WS40) มีความคล้ายคลึงกับตะกอนเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์(Fe(OH)₃) มากที่สุด คือ 56.7% และยังมี ความคล้ายคลึงกับตะกอนเฟอร์ริสไฮดรอกไซด์(Fe(OH)₂) มากอีกด้วย คือ 47.5% ดัง

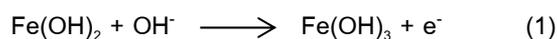
Table 8



Table 8 The results linear combination fitting of sludge Acid Red 114 after treatment, sludge after synthetic wastewater treatment (DWS40), and sludge after wastewater treatment (WS40) by the total sum of 1.000%.

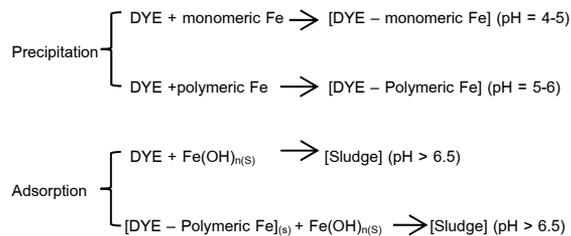
ตะกอน	1	2	3	4
AR40	Fe(OH) ₃	Fe(OH) ₂	FeS	FeSO ₄
	98.00%	15.00%	1.00%	-1.00%
DWS40	Fe(OH) ₂	Fe(OH) ₃	FeS	FeSO ₄
	54.00%	52.00%	0.00%	-6.00%
WS40	Fe(OH) ₃	Fe(OH) ₂	FeS	FeSO ₄
	57.00%	48.00%	0.00%	-40.0%

จาก Table 8 ผลการวิเคราะห์มีแนวโน้มที่สอดคล้องกับสเปกตรัม XANES (Figure 3) และข้อมูลเลขออกซิเดชัน (Table 7) คือ ตะกอนหลังบำบัดทั้ง 3 ชนิด มีความคล้ายคลึงกับ ตะกอนเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ (Fe(OH)₃) และตะกอนเฟอร์รัสไฮดรอกไซด์ (Fe(OH)₂) ซึ่งสามารถอธิบายได้จากการปล่อยกระแสไฟฟ้ากระแสตรงผ่านขั้วไฟฟ้าเหล็ก ที่ขั้วแอโนดเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของเหล็ก ทำให้เฟอร์รัสไอออนละลายออกมาในน้ำเสีย ขณะเดียวกันที่ขั้วแคโทดจะเกิดปฏิกิริยารีดักชันของน้ำ เกิดก๊าซไฮโดรเจนและไฮดรอกไซด์ไอออนขึ้น เฟอร์รัสไอออนที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่จะทำปฏิกิริยากับไฮดรอกไซด์ไอออนที่เกิดขึ้นจากขั้วแคโทดเกิดเป็นเฟอร์รัสไฮดรอกไซด์ซึ่งมีลักษณะเป็นตะกอนสีเขียว และเนื่องจากตะกอนของเฟอร์รัสไฮดรอกไซด์ไม่เสถียรจึงถูกออกซิไดซ์ต่อไปดังสมการ(1) กลายเป็นเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ จึงมีลักษณะตะกอนเป็นสีน้ำตาล ซึ่งทั้งเฟอร์รัสและเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ต่างเป็นผลึกซึ่งไม่ละลายน้ำมีเนื้อแน่น และสามารถตกตะกอนได้เร็ว⁵



กระบวนการกำจัดสี มักเกี่ยวข้องกับการดูดซับโมเลกุลสีด้วยโมดูลโดยแรงดึงดูดจากไฟฟ้าสถิตและการจับเกาะทางกายภาพ ซึ่งไฮดรอกไซด์ไอออนที่ไม่ละลายน้ำของเหล็กสามารถกำจัดสีด้วยพื้นที่ผิวที่ซับซ้อนและแรงดึงดูดจากไฟฟ้าสถิต และในพื้นที่ผิวที่ซับซ้อน

นั้นโมเลกุลของสีย่อมสามารถทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมที่จะผูกมัดเหล็กที่อยู่ในรูปละลายน้ำเข้ากับกลไกการตกตะกอนและการดูดซับได้ ดังสมการต่อไป^{6,7}



สรุปผลการทดลอง

1. สภาวะที่เหมาะสมคือที่ pH เริ่มต้น 7, ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 80 แอมแปร์ต่อตารางเมตร และระยะเวลาที่กัก 40 นาที
2. ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียจริงสียอมใหม่ประเภทสีแอซิด โทนสีแดง คือที่ประสิทธิภาพในการกำจัดสี 82 เปอร์เซ็นต์ ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี 55 เปอร์เซ็นต์ ไม่พบปริมาณเหล็กละลายที่ตกค้างอยู่ค่า pH ของน้ำเสียหลังบำบัดอยู่ที่ 9.0 พบปริมาณสารแขวนลอย 120 มิลลิกรัมต่อลิตร
3. มลสารที่พบตกค้างในน้ำเสียหลังบำบัด คือ 1,1,3-Trimethyl-3-phenylindane, 2,3-dimethyl-3-phenylbutan-2-benzene มลสารที่เกิดขึ้นใหม่หลังน้ำเสียได้ถูกบำบัดแล้ว คือ 2,5-dimethylcyclohexan-1-amine, Glutamine, 1-methyl-4-propan-2-benzene, Ethylamine, Pyruvic acid และมลสารบางชนิดซึ่งผ่านกระบวนการบำบัดจนหายไปจนหมดคือ 2,3-Dimethoxy-5 - Propylphenol, N-(2-Morpholin-4-ylethyl)-2,4-Dinitroaniline, Ethyl(2,4,6-Trinitrophenyl) Carbamate, Pentanoic acid และ 4-Aminobutanoic acid
4. ผลการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงเส้นของตัวอย่างตะกอนหลังบำบัดทั้ง 3 ชนิด มีแนวโน้มอย่างชัดเจนว่า ตะกอนน้ำเสียหลังบำบัดของ Acid red 114 (AR40) มีความคล้ายคลึงกับตะกอนเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ (Fe(OH)₃) มากที่สุด คือ 97.9% ตะกอนน้ำเสียหลังบำบัดของน้ำเสียสังเคราะห์ (DWS40) มีความคล้ายคลึงกับตะกอนเฟอร์รัสไฮดรอกไซด์ (Fe(OH)₂) มากที่สุด คือ 54.0% และยังมีความคล้ายคลึงกับ



ตะกอนเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์($\text{Fe}(\text{OH})_3$) มากอีกด้วย คือ 51.9% ตะกอนน้ำเสียหลังบำบัดของน้ำเสียจริง (WS40) มีความคล้ายคลึงกับตะกอนเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์($\text{Fe}(\text{OH})_3$) มากที่สุด คือ 56.7% และยังมี ความคล้ายคลึงกับตะกอนเฟอร์รัสไฮดรอกไซด์($\text{Fe}(\text{OH})_2$) มากอีกด้วย คือ 47.5% และพบว่าภายในรีแอกเตอร์ ตะกอนมีการแบ่งชั้นเป็น 2 ชั้น⁸

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณวิทยุชมมหาบัณฑิต สกว. สาขา วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี “โครงการเชื่อมโยงภาค การผลิตกับงานวิจัย ทุน สกว. – อุตสาหกรรม ประจา ปี 2555” รหัสโครงการ MAG55_0232 ชื่อโครงการ “การบำบัดน้ำเสียสีย้อมไหมโดย กระบวนการตกตะกอนด้วยไฟฟ้า”

เอกสารอ้างอิง

1. Merzouk. B. et al. (2009). Studies on the decolorization of textile dye wastewater by continuous electrocoagulation process. Chemical Engineering Journal 149 207–214.
2. Can. O.T. et al.(2006) Treatment of the textile wastewater by combined electrocoagulation. Chemosphere 62 181–187.
3. Mohammad. M. et al. (2009) Review of pollutant removed by electrocoagulation and electrocoagulation/flotation processes Journal of Environmental Managementn 90. 1663-1679.
4. Mahmut Bayramoglu et al. (2004) Operating cost analysis of electrocoagulation of textile dye wastewater. Separation and Purification Technology 37 117–125.
5. มั่นสิน ตันตุลเวศม์. 2542. วิศวกรรมการประปา. เล่มที่ 1. กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย. 158-159 น.
6. Ayhan. I et al. (2009) The decolorization of C.I. Reactive Black 5 in aqueous solution by electrocoagulation using sacrificial iron electrodes. Journal of Hazardous Materials 161 1369–1376.
7. Daneshvar N., Khataee A.R., and Djafarzadeh N. 2006. The use of artificial neural networks (ANN) for modeling of decolorization of textile dye solution containing C.I.Basic Yellow 28 by electrocoagulation process. Journal of Hazardous Materials. B37 : 1788-1795.
8. Zang, X.D. et al. (2009) Synergistic effect in treatment of C.I. Acid Red 2 by electrocoagulation and electrooxidation. Journal of Hazardous Materials 170. 883–887.