

ผลของแรงดันไฟฟ้าและช่องว่างระหว่างแผ่นอิเล็กโทรดต่อการบำบัดความขุ่นของน้ำเสีย
โดยการจับตะกอนด้วยไฟฟ้าแบบต่อเนื่อง

**Influence of Electrical Voltage and Electrode Plate Distance on Turbidity Removal Efficiency of
Wastewater by Continuous Electro-coagulation**

ไพฑูรย์ หมั่นจำเริญ^{1*} และ แคทเลียา ปัทมพรหม²

Phaitoon Muenchamreun^{1*} and Cattaleeya Pattamaprom²

¹นักศึกษาระดับปริญญาโท หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีการจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต ปทุมธานี 12120

²อาจารย์ที่ปรึกษา หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีการจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต ปทุมธานี 12120

*Corresponding author, E-mail: Muenchamreun.P@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาอิทธิพลของแรงดันไฟฟ้าและช่องว่างระหว่างแผ่นอิเล็กโทรดต่อการกำจัดค่าความขุ่นของน้ำเสียด้วยกระบวนการจับตะกอนด้วยไฟฟ้าแบบต่อเนื่อง โดยใช้ขั้วอิเล็กโทรดเป็นขั้วอิเล็กโทรดต่อวงจรแบบขนานเข้ากับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง ที่แรงดันไฟฟ้า 20, 25 และ 30 VDC และช่องว่างระหว่างอิเล็กโทรด 3 ระยะคือ 0.5, 1.0 และ 1.5 cm. ที่อัตราการไหลต่างๆ โดยได้ศึกษาประสิทธิภาพในการลดความขุ่นของน้ำเสีย รวมถึงความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ พบว่าแรงดันไฟฟ้าที่กำจัดค่าความขุ่นมีประสิทธิภาพที่สุดคือ 30 VDC และช่องว่างระหว่างอิเล็กโทรดที่กำจัดค่าความขุ่นมีประสิทธิภาพที่สุดคือ 0.5 ซม. อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาถึงค่าใช้จ่ายในการบำบัดแล้ว พบว่าค่าใช้จ่ายส่วนใหญ่อยู่ที่ความสูญเสียของแผ่นอิเล็กโทรดมากกว่าค่าพลังงานที่ใช้ โดยสภาวะการบำบัดที่ถูกที่สุดที่ให้ประสิทธิภาพในการลดความขุ่นลงเหลือต่ำกว่า 12 NTU คือ ที่แรงดันไฟฟ้า 20 VDC และระยะระหว่างแผ่นอิเล็กโทรดเป็น 0.5 ซม. โดยที่อัตราการไหลที่ไหลช้าลงเป็น 150 มล./นาที มีค่าใช้จ่ายต่ำกว่าอัตราการไหล 200 มล./นาที เล็กน้อย

คำสำคัญ: การจับตะกอนด้วยไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า ระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรด การประเมินทางเศรษฐศาสตร์

Abstract

This research investigates the influence of the electrical potential and the electrode plate distance on the turbidity reduction efficiency by a continuous electro-coagulation method. Aluminum electrodes are connected using parallel circuits to a DC power supply at 20, 25 and 30 VDC at various plate distances of 0.5, 1.0 and 1.5 cm.

respectively with various effluent flow rates. The turbidity reduction efficiency and the economic aspect are used to determine the most suitable operating conditions. The highest electrical potential (30 VDC) and the smallest plate distance (0.5 cm.) could provide the highest turbidity removal efficiency. Nevertheless, when considering the economic aspect, it was found surprisingly that most of the operating costs were for the aluminum plate, rather than electricity. When comparing conditions that could reduce the final turbidity to below 12 NTU, 20 VDC, a plate distance of 0.5 cm. resulted in the most economical treatment cost per unit volume, a flow rate of 150 ml/min could be more cost effective than a flow rate of 200 ml/min.

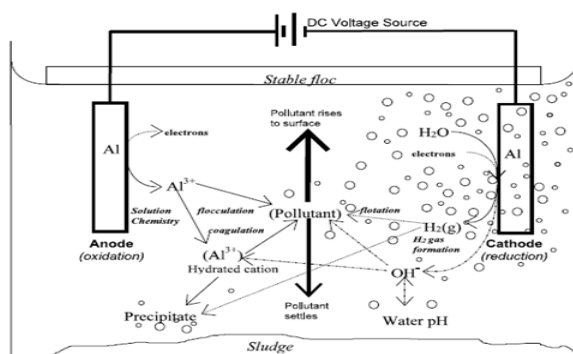
Keywords: electrocoagulation, electrical potential, electrode plate distance, economic aspect

1. บทนำ

การตกตะกอนด้วยไฟฟ้า (Electrocoagulation : EC) เป็นการจับตะกอนด้วยสารโคแอกกูแลนต์ที่อยู่ในรูปของไอออนโลหะซึ่งเกิดจากการแตกตัวด้วยปฏิกิริยาไฟฟ้า-เคมีที่แผ่นอิเล็กโทรด โดยสำหรับแผ่นอิเล็กโทรดที่ทำจากอลูมิเนียม นั้น เมื่อทำการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับแผ่นอิเล็กโทรดอลูมิเนียม จะทำให้เกิดปฏิกิริยาไฟฟ้า-เคมี โดยแผ่นอิเล็กโทรดอลูมิเนียมขั้วแอโนด(anode)จะเกิดการสึกกร่อนหรือการละลายของอลูมิเนียมจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน ทำให้ปล่อยสารโคแอกกูแลนต์ที่อยู่ในรูปของไอออนโลหะประจุบวก (Al^{3+}) ออกมา โดยไอออนประจุบวกนี้ (Al^{3+}) จะไปทำให้ประจุบนคอลลอยด์มีค่าเป็นกลาง และทำให้คอลลอยด์รวมตัวกันเป็นอนุภาคหลวมๆ ขนาดใหญ่ ส่วนที่แผ่นแคโทด(cathode)จะไม่เกิดการสึกกร่อน โดยปฏิกิริยารีดักชันของน้ำเกิดฟองก๊าซไฮโดรเจน (H_2)และไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) ฟองก๊าซไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นจะผลักดันอนุภาคที่รวมตัวกันลอยขึ้นสู่ผิวน้ำ ซึ่งตะกอนที่ลอยขึ้นบนผิวน้ำจะตกตะกอนลงมาเมื่อก๊าซลอยออกไปหมด ในส่วนของไฮดรอกไซด์ไอออนที่เกิดขึ้น ส่งผลให้ค่า pH ในน้ำมีค่าสูงขึ้น นอกจากนี้ขั้วแคโทดยังเกิดปฏิกิริยารีดักชันของไอออนประจุบวก ซึ่งอาจเป็น Al^{3+} จาก

ขั้วบวกหรือไอออนโลหะอื่นๆ ในน้ำเกิดเป็นตะกอนของแข็ง เช่น $Al(OH)_3$ ฉาบที่ผิวของขั้วลบหรืออาจเกิดตะกอนเพิ่มเติม ดังรูปที่ 1 (Holt et al., 2002) โดยทั่วไปโลหะที่นิยมใช้ทำขั้วอิเล็กโทรดคือเหล็กและอลูมิเนียม ซึ่งอาจทำจากโลหะชนิดเดียวกันหรือต่างชนิดกันก็ได้ อีกทั้งกลไกการรวมตัวกันและลอยขึ้นบนผิวน้ำ จากฟองก๊าซที่เกิดขึ้น ทำให้กระบวนการนี้มีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า การทำให้ตะกอนลอยด้วยไฟฟ้า (Electro flotation) ทำให้สามารถกำจัดทั้งได้ด้วยการกวาดจากผิวน้ำ (สมพงษ์ หิรัญมาศสุวรรณ, 2551) มีนักวิจัยหลายกลุ่มศึกษากระบวนการดังกล่าว อาทิ ศิวัตม์ สมบูรณ์ดำรงกุล และคณะ (2553) ได้ทดลองออกแบบอิเล็กโทรดที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการจับตะกอนด้วยไฟฟ้าแบบเบแทซ์ โดยกำหนดค่าแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลองที่ 5, 10 และ 15 VDC พบว่าเมื่อใช้แรงดันสูงขึ้นทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดค่าความขุ่นจะสูงตามไปด้วย Holt et al. (2002) ได้เปรียบเทียบในเชิงปริมาณของการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางเคมีกับวิธีการตกตะกอนด้วยไฟฟ้า แต่กลไกการตกตะกอนมีความแตกต่างกัน เช่น การตกตะกอนทางเคมีใช้สารโคแอกกูแลนต์ตอนเริ่มต้นบำบัดเพียงครั้งเดียว แต่การตกตะกอนด้วยไฟฟ้านั้นใช้สารโคแอกกูแลนต์ที่อยู่ใน

รูปของออลิโหมะตลอดการทดลอง จึงทำให้ไม่สามารถสรุปได้แน่ชัดว่าวิธีใดดีกว่ากัน



รูปที่ 1 ภาพจำลองการเกิดปฏิกิริยาของกระบวนการจับตะกอนด้วยไฟฟ้า (Holt et al., 2002)

Den et al. (2007) ได้ศึกษาการกำจัด Silica ออกจากน้ำทิ้งของกระบวนการ Reverse osmosis (RO) เพื่อเพิ่มปริมาณน้ำ recovery ของระบบ RO โดยใช้ขั้วไฟฟ้าทั้งหมด 5 ชิ้น ประกอบด้วย aluminum 1 ชิ้น เป็นขั้ว anode 3 ชิ้น โลหะที่ทำหน้าที่เป็นโลหะที่ให้อิเล็กตรอน (sacrificial anode) และ stainless steel 1 ชิ้น เป็นขั้ว cathode เรียงกัน แบบ bipolar และต่ออนุกรมเข้ากับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงพบว่า เมื่อใช้กระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจะสามารถกำจัด Silica ได้มากขึ้นโดยเมื่อเพิ่มกระแสไฟฟ้าเป็น 1 A สามารถกำจัด Silica ได้ 80.8% จากค่าความเข้มข้น เริ่มต้น 80 – 200 mg/L หลังจากบำบัดผ่านไป 60 นาที Kobya et al. (2005) ได้ศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตมันฝรั่งทอดด้วยกระบวนการตกตะกอนด้วยไฟฟ้าแบบแบทช์ (Batch) โดยใช้ขั้วอิเล็กโทรดที่ทำจากเหล็กและอลูมิเนียม ต่อวงจรแบบขนาน พบว่าเมื่อใช้เวลาบำบัด 30 นาที อิเล็กโทรดที่ทำจากอลูมิเนียมสามารถลดค่าความขุ่นได้ถึง 95% ลดค่าของแข็งแขวนลอยได้ 95% และลดค่า COD ได้ 65 % ซึ่งมีประสิทธิภาพการบำบัดดีกว่าอิเล็กโทรดที่ทำจากเหล็ก ไม่ทำให้น้ำ

เปลี่ยนสีสรุปว่าตัวแปรที่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพการลดตะกอนแขวนลอย คือ ชนิดของวัสดุที่ใช้เป็นขั้วอิเล็กโทรด ค่า pH เริ่มต้น ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าและเวลาในการบำบัด Modirshahla et al. (2006) ได้ศึกษาการกำจัดสีข้อมที่เจือปนด้วยวิธีการตกตะกอนด้วยไฟฟ้า ซึ่งต่อกับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง และใช้วัสดุที่ทำอิเล็กโทรดที่แตกต่างกันคือเหล็กและอลูมิเนียม โดยทำการทดลองแบบแบทช์เป็นเวลา 6 นาที พบว่าเมื่อเพิ่มความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าและเวลาในการบำบัดนานขึ้นประสิทธิภาพของการกำจัดสีจะสูงตามไปด้วย และถ้าเพิ่มระยะห่างระหว่างแผ่นอิเล็กโทรดจะทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสีลดลง สุดท้ายการใช้เหล็กเป็นแผ่นอิเล็กโทรดมีประสิทธิภาพสูงกว่าใช้เหล็กเป็นแผ่นอิเล็กโทรด

ปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดคือ เวลาในการบำบัดและความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า (ซึ่งเกี่ยวข้องกับแรงดันไฟฟ้าที่ใช้) และระยะห่างระหว่างเพลตโดยงานวิจัยต่างๆที่ได้กล่าวมานั้นส่วนใหญ่จะใช้การตกตะกอนด้วยไฟฟ้าแบบแบทช์ โดยพิจารณาจากการลดค่าความขุ่น ค่าของแข็งแขวนลอย ค่า COD และกำจัดโลหะหนักในงานอุตสาหกรรมซึ่งต้องใช้เวลาในการบำบัดนานและไม่ค่อยได้กล่าวถึงสภาวะที่เหมาะสมในเชิงเศรษฐศาสตร์งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการลดความขุ่นของน้ำเสียแบบต่อเนื่อง โดยศึกษาตัวแปรที่สอดคล้องกัน อันได้แก่ ระยะห่างระหว่างแผ่นอิเล็กโทรด แรงดันไฟฟ้าและอัตราการไหล โดยพิจารณาจากประสิทธิภาพในการลดความขุ่นและความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

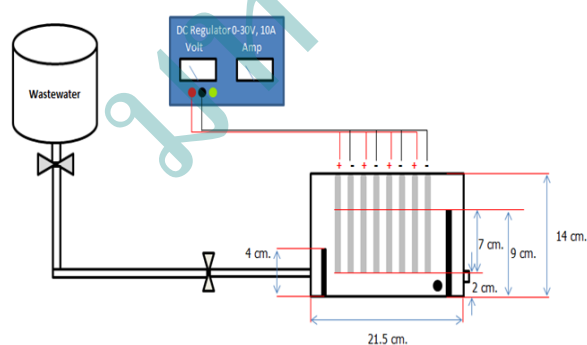
2. วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการลดความขุ่นของน้ำเสีย อันได้แก่ ระยะห่างระหว่างแผ่นอิเล็กโทรด แรงดันไฟฟ้าและอัตราการไหล โดยพิจารณาจากประสิทธิภาพในการลดความขุ่นและความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ของการบำบัดน้ำเสีย ด้วยกระบวนการจับตะกอนด้วยไฟฟ้าแบบต่อเนื่อง (electrocoagulation)

3. อุปกรณ์และวิธีการ

3.1 ชุดอุปกรณ์ทดลอง

ชุดทดลองจับตะกอนด้วยไฟฟ้าแบบต่อเนื่องประกอบด้วย แผ่นอิเล็กโทรดอลูมิเนียมจำนวน 8 แผ่น ขนาด 7 cm. x 10 cm. ใช้ในกล่องพลาสติกทรงสี่เหลี่ยมขนาด 14 x 21.5 x 14 cm. โดยท่อน้ำเข้าและขาออกมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 mm. โดยน้ำเสียจะไหลมาจากถังจ่าย น้ำเสียโดยผ่านวาล์ว 2 ตัวเป็นตัวปรับอัตราการไหลของน้ำเสียก่อนเข้าสู่ชุดทดลองและมีวาล์วอีก 1 ตัวเป็นตัวปรับอัตราการไหลของน้ำเสียส่งขาออก และใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงที่สามารถปรับแรงดันไฟฟ้าได้ 0 – 30 Volt โดยต่อวงจรไฟฟ้าแบบขนาน แสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 แผนภาพด้านข้าง (Side view) ของอุปกรณ์ทดลอง

3.2 วิธีการทดลอง

นำตัวอย่างน้ำเสียจากโรงบำบัดน้ำเสียมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต ซึ่งมีลักษณะทางกายภาพและลักษณะทางเคมีดังแสดงในตารางที่ 1 ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำด้วยการจับตะกอนด้วยไฟฟ้าแบบต่อเนื่อง โดยทำการทดลองใน 27 สภาวะที่ใช้ค่าแรงดันไฟฟ้า (V) 3 ค่า คือ 20 , 25 และ 30 VDC ระยะห่างของแผ่นอิเล็กโทรด (gap) ต่างกัน 3 ระยะคือ 0.5, 1.0, 1.5 cm. รวมถึงใช้อัตราการไหลของน้ำเสีย(Q)ที่ต่างกัน 3 ค่าคือ 100, 150, 200 ml/minute ซึ่งออกแบบการทดลองโดยใช้หลักการ DOE จากโปรแกรม MatLab ดังแสดงในตารางที่ 2 โดยเก็บตัวอย่างน้ำขาออกที่ผ่านการบำบัดทุกๆ 5 นาทีเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นทิ้งตัวอย่างน้ำไว้ให้ตกตะกอนเป็นเวลา 10 นาทีแล้วนำไปวิเคราะห์ความขุ่นด้วยเครื่องวัดความขุ่นยี่ห้อ OAKTON EUTECH INSTRUMENT รุ่น TN-100/ T-100 ส่วนการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์นั้นวิเคราะห์จากค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าและราคาของแผ่นอิเล็กโทรดที่สึกกร่อนไป

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของน้ำเสียที่ใช้ศึกษา

ตัวแปรต่างๆของน้ำเสีย	น้ำเสียที่ใช้ในการศึกษา
ความนำไฟฟ้า ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	520 - 793
ความขุ่น (NTU)	46.2 – 106.4
ความเป็นกรด-ด่าง	7.2 – 7.9
อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$)	27.8 – 30.1

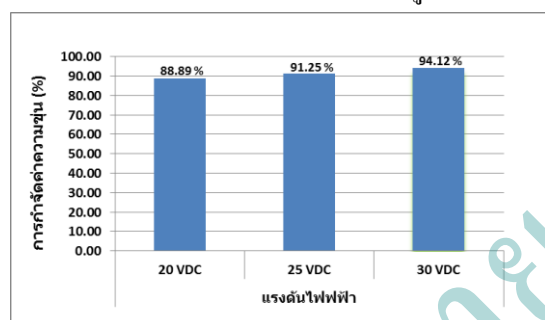
ตารางที่ 2 การออกแบบการทดลองทั้ง 27 สภาวะโดยใช้หลักการ DOE ของโปรแกรม MatLab

Factors	Level 1	Level 2	Level 3
Voltage	20 VDC	25 VDC	30 VDC
Electrodes gap	0.5 cm.	1.0 cm.	1.5 cm.
Waste water flowrate	100 ml/min	150 ml/min	200 ml/min

4. ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

4.1 ผลของแรงดันไฟฟ้าต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย

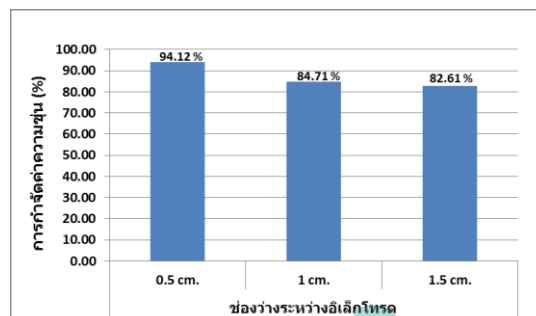
การทดลองบำบัดน้ำเสียที่ระหว่างแผ่นอิเล็กโทรดมีค่าคงที่ 0.5 cm. และใช้อัตราการไหลคงที่ที่ 150 ml/ minute ดังรูปที่ 3 พบว่าแรงดันไฟฟ้าที่สูงขึ้นสามารถบำบัดได้ดีขึ้น โดยที่ 30 VDC สามารถกำจัดความขุ่นได้มากถึง 94.12% เมื่อแรงดันไฟฟ้าสูงขึ้นย่อมทำให้มีความหนาแน่นกระแสสูงและปลดปล่อยอนุมิเนียมอออน (Al^{3+}) ได้ในปริมาณมากจึงสามารถจับตะกอนได้เพิ่มขึ้น แสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การลดค่าความขุ่นกับค่าแรงดันไฟฟ้า เมื่อทำการบำบัดที่อัตราการไหล 150 ml/min และ gap = 0.5 cm.

4.2 ผลของช่องว่างระหว่างแผ่นอิเล็กโทรดต่อประสิทธิภาพของการบำบัดน้ำเสีย

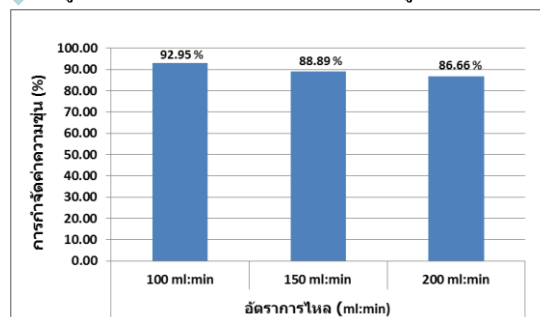
ที่แรงดันไฟฟ้า 30 VDC. และอัตราการไหล 150 ml/minute พบว่าเมื่อช่องว่างระหว่างแผ่นอิเล็กโทรด (gap) ลดลง สามารถกำจัดความขุ่นได้ดีขึ้น โดยที่ช่องว่างระหว่างแผ่นอิเล็กโทรดน้อยที่สุดคือ 0.5 cm. สามารถกำจัดค่าความขุ่นได้สูงสุด ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การลดค่าความขุ่นกับช่องว่างระหว่างอิเล็กโทรด เมื่อทำการบำบัดที่อัตราการไหล 150 ml/min และ V = 30 VDC

4.3 ผลของอัตราการไหลของน้ำเสียต่อประสิทธิภาพของการบำบัดน้ำเสีย

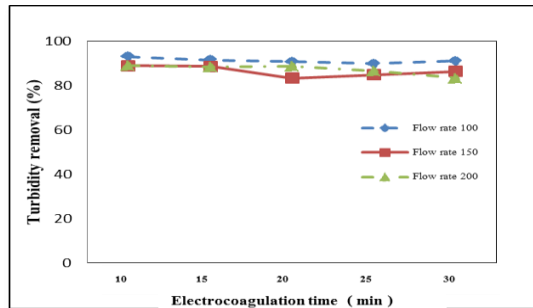
จากการปรับอัตราการไหลของน้ำเสียดังรูปที่ 5 พบว่าที่อัตราการไหลยังต่ำจะสามารถลดค่าความขุ่นได้มาก เนื่องจากอัตราการไหลช้าทำให้น้ำเสียอยู่ในกระบวนการนานกว่า แสดงดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การลดค่าความขุ่นกับอัตราการไหลของน้ำเสีย เมื่อทำการบำบัดที่ gap = 0.5 cm. และ V = 30 VDC

4.4 ประสิทธิภาพของการบำบัดที่ช่วงเวลาต่างๆ

การลดค่าความขุ่นของน้ำหลังการบำบัดที่ช่วงเวลาต่างๆกัน ตั้งแต่ 10 นาที ไปถึง 30 นาที แสดงในรูปที่ 6 พบว่าประสิทธิภาพการลดค่าความขุ่นของน้ำเสียเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น แสดงว่าการบำบัดเข้าสู่สภาวะคงตัวแล้ว ตั้งแต่ก่อนเวลา 10 นาที



รูปที่ 6 เปรียบเทียบการลดความขุ่นในช่วงเวลาต่างๆ เมื่อทำการบำบัดที่ gap = 0.5 cm. และ V = 20 VDC

4.5 การประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

ในการประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์นั้น คัดเลือกเฉพาะสภาวะที่การบำบัดสามารถลดค่าความขุ่นได้ในระดับที่ยอมรับได้ คือ น้ำออกมีความขุ่นต่ำกว่า 12 NTU โดยมีทั้ง 7 สภาวะ ดังแสดงในตารางที่ 3

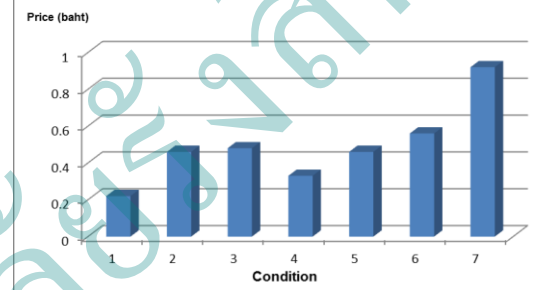
ตารางที่ 3 ค่ากระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย

Condition	Plate gap (cm.)	Voltage (VDC)	Flow rate (m ³ /min)	Current (A)	Turbidity (NTU)	
					Before	After
1	0.5	20	150	6.8	80.1	8.9
2	1	30	100	6.5	68.4	9.3
3	1	25	150	6.2	81.7	8.1
4	0.5	20	200	7.2	74.2	8.1
5	0.5	25	200	7.8	81.8	5.1
6	0.5	25	100	7	46.5	3.2
7	0.5	20	100	7.4	80.9	5.7

น้ำหนักของแผ่นอิเล็กโทรดขั้วแอโนดทั้ง 4 แผ่นที่สูญเสียในแต่ละการทดลอง เกิดจากการสึกกร่อนของแผ่นอิเล็กโทรดด้วยปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้า นำมาซึ่งคำนวณเป็นค่าใช้จ่ายของการเติมอลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ต่อหน่วยน้ำเสีย 1 ลิตร เมื่อราคาแผ่นอิเล็กโทรด 1 แผ่น มีราคา 50 บาทและสามารถใช้งานได้จนการสึกกร่อนถึงระดับ 50% ผลการวิเคราะห์ แสดงดังตารางที่ 4 และรูปที่ 7 ตามลำดับ

ตารางที่ 4 ราคาอิเล็กโทรดต่อการบำบัดน้ำเสีย 1 ลิตร

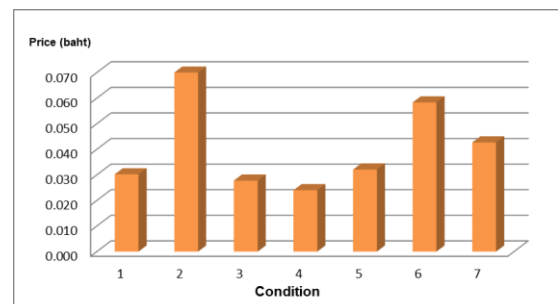
Condition	Plate no.1	Plate no.3	Plate no.5	Plate no.7	Total
1	0.06	0.04	0.06	0.05	0.22
2	0.11	0.13	0.08	0.15	0.46
3	0.06	0.17	0.17	0.09	0.48
4	0.06	0.08	0.09	0.09	0.33
5	0.07	0.16	0.11	0.12	0.46
6	0.09	0.11	0.17	0.18	0.56
7	0.12	0.26	0.27	0.27	0.92



รูปที่ 7 ค่าใช้จ่ายของอิเล็กโทรดที่ใช้บำบัดน้ำเสีย 1 ลิตรของสภาวะในการบำบัดน้ำเสีย

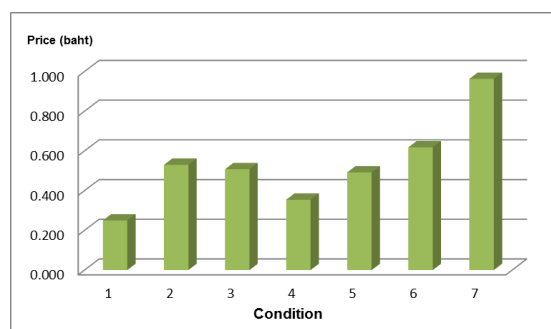
แรงดันไฟฟ้าต่ำจะเกิดการสูญเสียของแผ่นอิเล็กโทรดไปน้อยที่สุด สภาวะที่ 1 และ 4 ซึ่งใช้แรงดันไฟฟ้าต่ำที่สุดคือ 20 VDC แผ่นอิเล็กโทรดเกิดการจ่ายอลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ต่ำสุด

ส่วนค่าใช้จ่ายอีกส่วนหนึ่งคือ พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการบำบัด แสดงดังรูปที่ 8 พบว่าค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการบำบัดต่อหน่วยน้ำเสีย 1 ลิตรมีค่าค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับมวลของแผ่นอิเล็กโทรดที่สูญเสียไปโดยสภาวะที่ใช้อัตราการไหลค่อนข้างสูงจะสามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้มากกว่า



รูปที่ 8 ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้บำบัดน้ำเสีย 1 ลิตรของสภาวะในการบำบัดน้ำเสีย

เมื่อรวมค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียของทั้งค่าพลังงานไฟฟ้าและค่าแผ่นอิเล็กโทรด จะได้ค่าใช้จ่ายรวมดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 ค่าใช้จ่ายรวมในการบำบัดน้ำเสีย 1 ลิตรในการบำบัดน้ำเสีย

สภาวะที่ 1 คือที่ อัตราการไหล 150 ml/min ระยะห่างแผ่นเพลทเป็น 0.5 cm. และแรงดันไฟฟ้าเป็น 20 VDC เป็นสภาวะที่มีค่าใช้จ่ายในการบำบัดต่ำที่สุดในสภาวะที่ได้ทำการศึกษาทั้งหมด หากต้องการบำบัดที่อัตราการไหลที่สูงขึ้น จะพบว่าสภาวะที่ 4 ที่เหมือนกับสภาวะที่ 1 ทุกประการยกเว้นมีการเพิ่มอัตราการไหลเป็น 200 ml/min ก็พบว่าค่าใช้จ่ายในการบำบัดในระดับที่ไม่สูงมากนัก

5. บทสรุป

สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการลดความขุ่นของน้ำเสียด้วยกระบวนการจับตะกอนด้วยไฟฟ้าคือ ที่แรงดันไฟฟ้า 30 VDC ระยะห่างของแผ่นอิเล็กโทรด 0.5 cm. และอัตราการไหลเท่ากับ 100 ml/min เมื่อพิจารณาค่าใช้จ่ายทั้งหมดที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย รวมถึงระยะเวลาการบำบัดที่ยอมรับได้ ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ค่าใช้จ่ายหลักของกระบวนการตกตะกอนด้วยไฟฟ้าขึ้นกับค่าการสูญเสียมวลของแผ่นอิเล็กโทรด มากกว่าค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ โดยสภาวะที่มีค่าใช้จ่ายในการบำบัดต่ำ คือ แรงดันไฟฟ้า 20 VDC ระยะห่างระหว่างแผ่นอิเล็กโทรด 0.5 cm. และอัตราการไหล 150 ml/min

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต สำหรับทุนสนับสนุนโครงการวิจัยและช่วยอำนวยความสะดวกในด้านอุปกรณ์การทดลอง การใช้ห้องปฏิบัติการและการประสานงานด้านต่างๆ

7. เอกสารอ้างอิง

- สมพงษ์ หิรัญมาศสุวรรณ. (2551). กระบวนการโคเอกูเลชันด้วยไฟฟ้า (Electrocoagulation). วารสารเทคนิค ฉบับ 283 มกราคม 2551. วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม. มหาวิทยาลัยรังสิต.
- ศิวต์ สมบูรณ์ดำรงกุล พิศวัต นุ่มพินุณมาน และ แกทลียา บัณฑพรหม. (2553). การออกแบบอิเล็กโทรดที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการจับตะกอนด้วยไฟฟ้า. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์. ปรุหมธานี.
- M. Kobya et al. (2005). "Treatment of potato chip manufacturing wastewater by electrocoagulation." *Desalination*, no. 190: 201-211.
- N. Modirshahla et al. (2006). "Investigation of the effect of different electrode connections on the removal efficiency of Tartrazine from aqueous solutions by electrocoagulation." *Dyes and Pigments*, no. 74: 249-257.
- P. K. Holt et al. (2002). "A quantitative comparison between chemical dosing and electrocoagulation." *Colloids and Surfaces A: Physicochemical. Eng. Aspects*, no. 211: 233-248.
- W. Den et al. (2007). "Removal of silica from brackish water by electrocoagulation pretreatment to prevent fouling of reverse osmosis membranes." *Separation and Purification Technology* 59 p. 318-325.