

ผลของพารามิเตอร์ที่สำคัญที่มีต่อกระบวนการรวมอนุภาคด้วยไฟฟ้า เพื่อบำบัดน้ำเสียในระบบไหลต่อเนื่อง

The effect of key parameters on the electro-coagulation process for wastewater treatment in a continuous - flow systems

กิตติพล รัตนพงศ์¹, วาติต ภาคิต^{2*}

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต ปทุมธานี 12120

*ติดต่อ: pwatit@engr.tu.ac.th, โทร 02-5643001-9 ต่อ 3143, โทรสาร 0-25643023

บทคัดย่อ

การบำบัดน้ำเสียเป็นสิ่งจำเป็นทั้งในภาคอุตสาหกรรมและในครัวเรือน การศึกษาเพื่อพัฒนาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียจึงได้รับความสนใจอย่างกว้างขวาง งานวิจัยนี้ศึกษาผลของปัจจัยต่างๆ ที่มีต่อการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีรวมอนุภาคด้วยไฟฟ้า Electro Coagulation (EC) ซึ่งเป็นกระบวนการที่ทำให้อนุภาคที่ปนเปื้อนรวมตัวกันเป็นตะกอนขนาดใหญ่ขึ้นแล้วสามารถแยกตะกอนออกจากน้ำเสียได้ ชุดทดลองที่ประดิษฐ์ขึ้นมีส่วนรวมอนุภาค (reactor) ซึ่งประกอบด้วยขั้วอิเล็กโทรดที่ทำจากแผ่นอะลูมิเนียมขนาดกว้าง 150 มิลลิเมตร × ยาว 210 มิลลิเมตรหนา 3 มิลลิเมตร วางซ้อนกัน 8 แผ่น โดยศึกษาระยะห่างของขั้วอิเล็กโทรด 4 ระยะคือ 4 6 8 และ 10 มิลลิเมตร น้ำเสียตัวอย่างที่ใช้คือน้ำสีอะคริลิกและน้ำแป้ง โดยทำการทดลองบำบัดน้ำเสียตัวอย่างแบบไหลต่อเนื่อง ต่อวงจรไฟฟ้าแบบขนาน ปัจจัยเกี่ยวข้องที่ศึกษา ได้แก่ พื้นที่ผิวสัมผัสที่เป็นอะลูมิเนียม ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรด โดยประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียประเมินจากค่าความขุ่นที่ลดลง ค่า pH และกระแสไฟฟ้าที่ใช้ จากผลการทดลองพบว่าเมื่อระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรดลดลงความขุ่นจะถูกกำจัดมากขึ้นแต่จะต้องใช้กำลังไฟฟ้ามากขึ้นด้วย โดยเครื่องบำบัดน้ำเสียสามารถลดความขุ่นของน้ำแป้งได้ดีกว่าน้ำสีอะคริลิก

คำหลัก: วิธีรวมอนุภาคด้วยไฟฟ้า, การบำบัดน้ำเสียแบบไหลต่อเนื่อง, ประสิทธิภาพในการรวมอนุภาคด้วยไฟฟ้า, แผ่นอิเล็กโทรดทำจากอลูมิเนียม

Abstract

Wastewater treatment is essential, especially in both industry and households. This study was to develop effective treatment that has been attracted widely attention. This research studied the effect of various factors. The process used to treat wastewater is an electro-coagulation (EC) process. This process is the process by which contaminated sediments can be separated from the waste water. The important portion of the experimental system is a reactor that is composed of a set of electrodes made of aluminum plate 150 mm. × 210 mm, thickness 3 mm stacked 8 sheets with the spacing of the electrodes

4 6 8 and 10 mm. Flour solution and acrylic dye are the tested samples. The samples were tested in a continuous flow using a parallel electric circuit. The examined factors include the distance between electrodes and the surface area of electrode. The efficiency of the EC process is determined by the reduced turbidity, pH and power use. It was found that when the distance between the electrodes decreases, turbidity is reduced, but it takes a lot more power. The turbidity of flour solution was reduced more than acrylic dye after it was treated by using the EC process.

Keywords: Electro-coagulation, continuous-flow wastewater treatment, efficiency of electro-coagulation process, aluminum electrode.

1. บทนำ

การใช้กระแสไฟฟ้าบำบัดน้ำเสียโดยใช้แผ่นโลหะเป็นขั้วแอโนดและแคโทดจะส่งผลโดยตรงต่อน้ำเสียทำให้เกิดการรวมตัวของตะกอน มีนักวิจัยหลายกลุ่มศึกษากระบวนการดังกล่าวในรูปแบบที่เน้นการทดลอง ในช่วงหลายปีที่ผ่านมา งานวิจัยของ ศิววัฒน์ สมบูรณ์ดำรงกุล และคณะ [1] นี้เป็นการออกแบบอิเล็กโทรดที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการจับตะกอนด้วยไฟฟ้าโดยใช้โลหะอลูมิเนียมเป็นอิเล็กโทรด ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัย ออกแบบ เครื่องตกตะกอนด้วยไฟฟ้าทั้งสิ้น 3 แบบ โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 3 ส่วน วัดคุณสมบัติของ การเปลี่ยนแปลงของค่า pH, ค่าการนำไฟฟ้า, ค่าความขุ่น, ปริมาณกระแสไฟฟ้าและปริมาณอลูมิเนียมที่ปนออกมากับน้ำเสียและในงานวิจัยของ Manasilp และ Pattamaprom [2] ได้ศึกษาการปรับปรุงคุณภาพน้ำบาดาลสำหรับระบบ Cooling Tower (CT) โดยใช้เทคนิค Electro Coagulation (EC) ในการกำจัดสารแขวนลอยต่างๆ ออกจากน้ำบาดาลโดยใช้ขั้วไฟฟ้าทำจากอลูมิเนียม พบว่าสามารถกำจัดความขุ่นและความกระด้างได้เป็นอย่างดี ไม่มีน้ำเสียจากกระบวนการล้างย้อน และการฟื้นฟูสภาพแร่ซันเป็นการลดภาระของระบบบำบัดน้ำเสียได้นอกจากนี้ Uduman และคณะ [3] ได้ศึกษาชีวมวลจากสาหร่ายทะเลขนาดเล็กซึ่งเป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิตไบโอดีเซล พบว่าประสิทธิภาพการกำจัด ผลของประสิทธิภาพการกำจัดที่ได้ของสาหร่ายทะเลขนาดเล็ก

เล็กสายพันธุ์ Chlorococcum SP คือ ร้อยละ 98 และผลของประสิทธิภาพการกำจัดที่ได้ของสาหร่ายทะเลขนาดเล็กสายพันธุ์ Tetraselmis SP สูงถึง ร้อยละ 99 ตามลำดับ อุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำที่ใช้กับสาหร่ายทะเลขนาดเล็กทั้งสองสายพันธุ์คือ Chlorococcum SP และ Tetraselmis SP คือ 60 องศาเซลเซียส ผลในการกำจัดของสาหร่ายทะเลขนาดเล็กสายพันธุ์ Tetraselmis SP คือ ร้อยละ 94 และค่าดีที่สุดคือผลในการกำจัดของสาหร่ายทะเลขนาดเล็กสายพันธุ์ Chlorococcum SP คือ ร้อยละ 96 ตามลำดับ เมื่อไม่นานมานี้ Golder และคณะ [4] ได้ทดลองศึกษาการกำจัดโครเมียมไอออนจากสารละลาย โดยวิธี Electro Coagulation (EC) ที่มีขั้วอิเล็กโทรดหลายๆ ขั้ว โดยต่อวงจร 2 แบบคือ แบบที่มีขั้วไฟฟ้า 1 ขั้ว และ แบบที่มีขั้วไฟฟ้า 2 ขั้ว พบว่าได้ศึกษาอิทธิพลของ คลอไรด์ไอออน, ค่า PH, ความเข้มข้นเริ่มต้นของโครเมียมไอออนและกระแสไฟฟ้า ในระบบน้ำนิ่ง พบว่าประสิทธิภาพของเซลล์กระแสไฟฟ้า ทั้ง 2 แบบ คือ ที่มีขั้วไฟฟ้า 1 ขั้ว และ มีขั้วไฟฟ้า 2 ขั้ว นั้นจะได้ค่าที่น้อยกว่าค่าที่คำนวณได้จากกฎของฟาราเดย์ เมื่อเปรียบเทียบในแง่ของกำลังไฟฟ้า ขั้วไฟฟ้าแบบ 2 ขั้วจะใช้กำลังไฟฟ้าสูงกว่า ขั้วไฟฟ้าแบบ 1 ขั้ว ร้อยละ 40 สำหรับงานวิจัย Moussavi และคณะ [5] ได้ศึกษาถึง Electro Coagulation (EC) นำมาใช้เพื่อกำจัดสาร Cyanide ออกจากน้ำเสีย มี 2 ระบบ คือ ระบบน้ำนิ่ง

และระบบน้ำไหลผ่าน โดยทั้ง 2 ระบบจะใช้แผ่นเหล็กเป็นขั้วแอโนดและใช้แผ่นอะลูมิเนียมมาเป็นขั้วแคโทด การทดลองระบบน้ำหนึ่งมี 2 เงื่อนไขคือ กรณีแรกไม่มีการเติมอากาศ ความดันกระแสไฟฟ้า 15 มิลลิแอมป์ต่อตารางเซนติเมตร ใช้เวลา 20 นาที สามารถกำจัดสาร Cyanide ออกจากน้ำเสียได้ร้อยละ 91.8 กรณีที่ 2 มีการเติมอากาศ ความดันกระแสไฟฟ้า 15 มิลลิแอมป์ต่อตารางเซนติเมตร ใช้เวลา 20 นาที สามารถกำจัดสาร Cyanide ออกจากน้ำเสียได้ร้อยละ 98 กระบวนการรวมอนุภาคด้วยไฟฟ้า แบบระบบน้ำไหลผ่าน โดยใช้ Hydraulic Retention Time (HRT) 140 นาที จะกำจัดสาร Cyanide ออกจากน้ำเสียได้อย่างสมบูรณ์ Malakootian และคณะ [6] ได้ศึกษาประสิทธิภาพของ Electro Coagulation (EC) ในการกำจัดความกระด้างของน้ำดื่มผ่านขั้วไฟฟ้าแท่งเหล็กท่อนกลมยาวเพื่อปรับปรุงคุณภาพของน้ำดื่มโดยใช้กระแสตรง แรงดันไฟฟ้า 12 โวลต์ และเวลาที่ทำปฏิกิริยา 60 นาที ประสิทธิภาพในการกำจัดสำหรับแคลเซียมสูงสุดร้อยละ 98.2 และ ความกระด้างร้อยละ 97.4 ตามลำดับ แต่จะเกิดสีสนิมเหล็กขึ้น ซึ่งจำเป็นต้องมีขั้นตอนการกำจัดสีจากสนิมเหล็กไปด้วย ในงานวิจัยของ Powell [7] ได้มีการออกแบบเครื่องแยกตะกอนน้ำด้วย Electro Coagulation (EC) โดยตัว Reactor จะเป็นการใส่น้ำจากทางด้านล่างโดยเครื่องปั๊มและจะส่งน้ำผ่านตัวขั้วอิเล็กโทรดที่มีระยะห่างไม่มากทำให้น้ำที่ขึ้นมาทางด้านบนนั้นมีแต่ส่วนที่น้ำหนักไม่มากและตะกอนที่หนักก็ไม่สามารถขึ้นมาได้ Morkovskyc และคณะ [8] ได้ออกแบบเครื่องรวมตะกอนด้วย Electro Coagulation (EC) โดยการออกแบบจะให้น้ำเข้ามาทางด้านบนของเครื่องโดยจะมีการดันน้ำให้เคลื่อนที่ผ่านตัวอิเล็กโทรดซึ่งระหว่างการเคลื่อนที่ตะกอนก็จะตกลงมาที่ก้นผ่านตัวกรองอีกชั้นหนึ่ง ตะกอนจึงออกมาและด้านบนก็จะได้น้ำที่สะอาดมาก

ขึ้นออกมาทางด้านบนของอีกฝั่ง ในส่วนของบริษัท Oil Trap Environmental [9] ได้มีการออกแบบเครื่องรวมตะกอนด้วย Electro Coagulation (EC) ซึ่งทางบริษัทได้บอกประสิทธิภาพของตัวเครื่องว่าสามารถกรองและดักตะกอนต่างๆได้มากมายเช่นโลหะหนัก สารแขวนลอย น้ำมัน และแก๊สที่ไม่สามารถแยกด้วยวิธีทางเคมีได้

จากที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นได้ว่างานวิจัยส่วนใหญ่จะศึกษาในหลายแง่มุม อาทิเช่น การประดิษฐ์รูปทรง ทางด้านสารเคมี ทางด้านอัตราการไหล ระยะห่างของขั้วอิเล็กโทรด กำลังไฟฟ้าที่ใช้ สำหรับงานวิจัยนำเสนอมานี้ทำการศึกษาและวิเคราะห์ Electro Coagulation (EC) ในระบบที่มีการไหลผ่านอย่างต่อเนื่องของน้ำเสียตัวอย่าง 2 ชนิด คือน้ำสีอะคริลิกและน้ำแป้ง วัสดุเป็นแผ่นอะลูมิเนียมขนาดกว้าง 150 มิลลิเมตร × ยาว 210 มิลลิเมตรหนา 3 มิลลิเมตร วางซ้อนกัน 8 แผ่น โดยศึกษาระยะห่างของขั้วอิเล็กโทรด 4 ระยะคือ 4 6 8 และ 10 มิลลิเมตร อัตราการไหลคำนวณจากสูตร $Q=VA$ ความต่างศักย์ไฟฟ้า 10 โวลต์ ต่อวงจรไฟฟ้าแบบขนาน

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับกระบวนการโคแอกกูเลชันด้วยไฟฟ้า (Electro Coagulation)

การตกตะกอนด้วยไฟฟ้าเป็นเทคโนโลยีที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียโดยใช้ไฟฟ้า ซึ่งเทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียโดยใช้ไฟฟ้าได้มีการพัฒนาเป็นอย่างมากในช่วงศตวรรษที่ 20 และเป็นเทคโนโลยีที่ใช้กันมากในแถบทวีปอเมริกาใต้และแถบยุโรป โดยใช้ในการบำบัดน้ำเสียที่มีสิ่งปนเปื้อนของโลหะจากโรงงานอุตสาหกรรม และยังใช้กระบวนการนี้ในการบำบัดน้ำเสีย อาทิเช่นในขั้น Pretreatment ซึ่งใช้อยู่มากในแถบอเมริกาเหนือในอุตสาหกรรมจำพวกกระดาษ และยังใช้กระแสไฟฟ้าในการบำบัดน้ำเสียที่เกิดจากกรรมวิธีการทำอาหาร การย้อมผ้า ได้อีกด้วย

การตกตะกอนด้วยไฟฟ้าเป็นปรากฏการณ์ที่ทำให้ประจุของคอลลอยด์มีความเป็นกลางโดยการชนกันของสารประจุตรงข้ามและเกิดการจับตัวรวมกันเป็นกลุ่มก้อนและตกตะกอนในที่สุด ซึ่งในการเกิด การตกตะกอนที่ใช้กันทั่วไปนั้นเกิดจากการใช้สารเคมี เช่น Alum [$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$] เป็นสารที่ช่วยในการตกตะกอนของอนุภาคในน้ำเสียได้และมีการใช้งานอยู่อย่างแพร่หลาย

ในกระบวนการตกตะกอนด้วยไฟฟ้าจะเกิดการจับตัวของตะกอนขึ้นทันที โดยเกิด Oxidation ทางไฟฟ้าที่ขั้วแอโนด (Anode) ซึ่งในกระบวนการนี้ สารที่มีประจุลบ เช่น โลหะและสารอื่น ๆ จะถูกแยกออกจากน้ำเสีย โดยประจุจะทำปฏิกิริยากับประจุตรงข้าม จนเกิดเป็น Flock ของโลหะ

ความขุ่นของน้ำ (Turbidity) หมายถึงความสามารถของน้ำที่สกัดกันหรือดูดซับปริมาณแสงที่ส่องผ่านไว้ได้ อุปกรณ์ในการวัดค่าความขุ่นคือ Turbidity meter เป็นเครื่องวัดความขุ่น ใช้วัดความขุ่นของน้ำที่ได้ก่อนเข้าเครื่องและหลังเข้าเครื่อง ค่าที่อ่านได้มีหน่วยเป็น NTU โดยมีความละเอียดอยู่ที่ 0.01 NTU (0-19.9 NTU) มีความแม่นยำ $\pm 2\%$ (0 – 500 NTU) และ $\pm 3\%$ (501 – 1000 NTU)

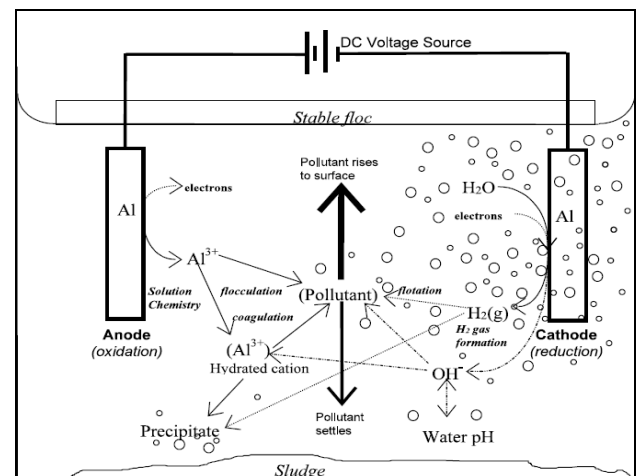
2.2 กลไกของกระบวนการตกตะกอนด้วยไฟฟ้า (Electro Coagulation)

กลไกของการตกตะกอนด้วยไฟฟ้าเกิดจากการลดประจุที่ผิวของอนุภาคทำให้แรงผลักรหว่างอนุภาคลดลง ซึ่งเรียกแรงผลักรหว่างอนุภาคนั้นว่า Electrostatic repulsion Force เป็นเหตุให้ความหนาของ Double layer ของอนุภาคมีความหนาน้อยลง ส่งผลให้อนุภาคมีแรง Van der waal's สูงขึ้นทำให้อนุภาคสามารถเข้ามารวมตัวอยู่ใกล้กันมากขึ้น เมื่อมีการรวมตัวกันมากขึ้นจะทำให้อนุภาคหนักขึ้นและตกตะกอนลงมาในที่สุด และบางอนุภาคอาจมีการรวมตัวกันน้อยก็จะลอยขึ้น

ในกระบวนการ Electro Coagulation นั้นจะมีกลไกที่สำคัญคือ Electrochemistry, Coagulation

และ Hydrodynamics ซึ่งเป็นรูปแบบพื้นฐานของกระบวนการ Electro Coagulation

กระบวนการ Electro Coagulation เป็นกระบวนการที่เป็นการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ โดยใช้สารโคแอกกูแลนต์ในรูปของอ็อกไซด์โลหะที่เกิดจากการละลายโลหะออกจากอิเล็กโทรดด้วยปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้าที่ขั้วบวก (Anode) และคอลลอยด์ยังถูกกำจัดได้ด้วยเกลือไฮดรอกไซด์ของโลหะที่ไม่ละลายน้ำที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาต่อเนื่องของอ็อกไซด์โลหะในน้ำ นอกจากนี้ก๊าซไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นที่ขั้วลบ (Cathode) จะช่วยทำให้คอลลอยด์ที่รวมตัวเป็นตะกอนลอยตัวขึ้น และสามารถกำจัดออกด้วยการกวาดทิ้งจากผิวน้ำ แสดงดังในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ภาพจำลองการเกิดปฏิกิริยาของกระบวนการ Electro Coagulation [2]

2.3 ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้น

ปฏิกิริยาเคมีและกลไกการเกิดโคแอกกูแลนต์ที่เกิดขึ้นกับคุณลักษณะของน้ำ ได้แก่ ค่าการนำไฟฟ้า ค่า pH ขนาดของอนุภาค และองค์ประกอบทางเคมีในน้ำ กลไกการเกิดอ็อกไซด์โลหะจะขึ้นอยู่กับชนิดของอิเล็กโทรดที่ใช้ สำหรับในงานวิจัยนี้ใช้แผ่นอลูมิเนียมเป็นขั้วอิเล็กโทรด

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นที่ขั้วบวก (Anode) มีดังต่อไปนี้

สำหรับอิเล็กโทรดอลูมิเนียม $\text{Al} \longrightarrow \text{Al}^{3+} + 3\text{e}^-$

ในสารละลายที่เป็นด่าง $\text{Al}^{3+} + 3\text{OH}^- \longrightarrow \text{Al}(\text{OH})_3$

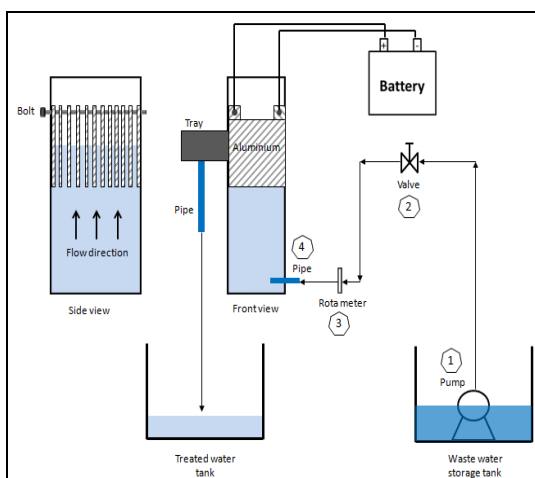
ในสารละลายที่เป็นกรด $\text{Al}^{3+} + 3\text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{Al}(\text{OH})_3 + 3\text{H}^+$

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นที่ขั้วลบ (Cathode) มีดังต่อไปนี้

ปฏิกิริยาการเกิดไฮโดรเจน $2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$

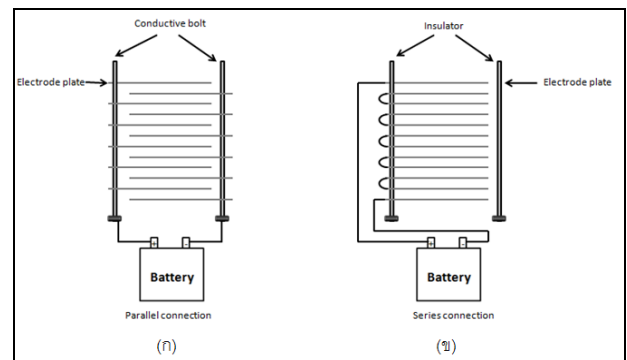
3. อุปกรณ์และการติดตั้งเครื่อง

ในการทดลองนี้ได้ประกอบไปด้วยเครื่องสูบน้ำซึ่งทำหน้าที่สูบน้ำเสียตัวอย่างส่งผ่านไปยังวาล์วปรับอัตราการไหลเข้าสู่ถังกรองจากด้านล่างโดยน้ำเสียตัวอย่างจะไหลผ่านแผ่นอิเล็กโทรดในขณะที่แบตเตอรี่เชื่อมต่อกับขั้วลบของแผ่นอิเล็กโทรดเพื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้า น้ำที่ผ่านการบำบัดจะไหลออกทางด้านบนของถังกรองและลงสู่ถังน้ำดีด้านล่าง การจัดวางระบบท่อแสดงดังรูปที่ 2 ท่อสายขนาด 1/2 นิ้ว จะถูกติดตั้งจากเครื่องสูบน้ำไปถึงวาล์วปรับอัตราการไหล (จากเลขที่ 1 ไปถึงเลขที่ 2) และจากวาล์วปรับอัตราการไหลไปต่อเข้ากับโรตาริเตอร์ (จากเลขที่ 2 ไปถึงเลขที่ 3) และจากโรตาริเตอร์ไปต่อเข้ากับท่อ PVC ที่อยู่ด้านล่างของถังกรอง (จากเลขที่ 3 ไปถึงเลขที่ 4)



รูปที่ 2 แผนภาพของระบบการบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการรวมอนุภาคด้วยไฟฟ้าและการวางระบบท่อ

การต่อวงจรไฟฟ้าแบบขนานและอนุกรมและตำแหน่งการจัดวางของแผ่นอิเล็กโทรดโดยการต่อวงจรแบบขนานแหล่งจ่ายไฟจะต่อเข้ากับขั้วทั้งสองข้างซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวนำไฟฟ้าและแผ่นอิเล็กโทรดมีการเรียงตัวกันแบบสลับฟันปลาบนสกรูตั้งรูปซ้ายมือและการต่อวงจรแบบอนุกรมแหล่งจ่ายไฟจะต่อเข้ากับแผ่นอิเล็กโทรดแผ่นแรกและแผ่นสุดท้ายโดยแผ่นอิเล็กโทรดที่เหลือจะมีการเชื่อมต่อวงจรกันเป็นคู่ๆโดยแผ่นอิเล็กโทรดทั้งหมดติดอยู่กับแท่งฉนวนดังรูปขวามือด้านล่าง แสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 การต่อวงจรไฟฟ้า (ก) แบบขนาน และ (ข) แบบอนุกรม

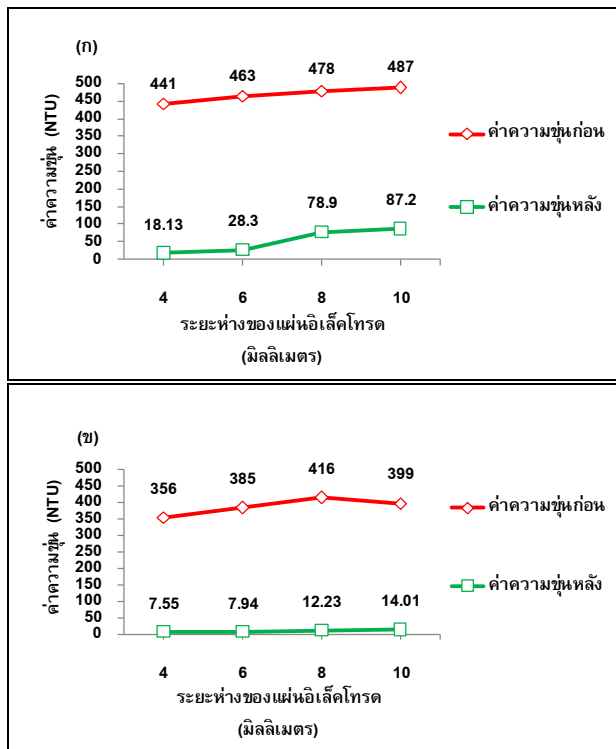
4. ผลการวิจัยและการวิเคราะห์ผล

4.1 ผลกระทบที่เกิดจากระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรด

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลของน้ำสีอะคริลิกและน้ำแฉ่งเป็นน้ำตัวอย่างโดยต่อวงจรแบบขนาน โดยมีค่าคงที่คือ แผ่นอิเล็กโทรดจำนวน 8 แผ่น โดยใช้ความเข้มข้นของสารเริ่มต้นที่ 30 กรัมต่อน้ำปริมาตร 30 ลิตร (ทั้งน้ำสีอะคริลิกและแฉ่ง)

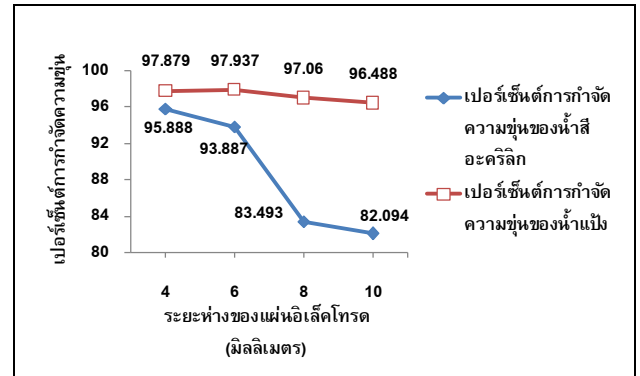
จากการทดลองพบว่าค่าความขุ่นของน้ำอะคริลิกและน้ำแฉ่งหลังผ่านการบำบัดด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าที่ระยะห่างของแผ่นอิเล็กโทรด 4 มิลลิเมตร สามารถกำจัดความขุ่นได้ดีกว่าระยะห่างแผ่นอิเล็กโทรดที่ 6 8 และ 10 มิลลิเมตร เนื่องจากความต้านทานกระแสไฟฟ้าสำหรับแผ่นอิเล็กโทรดที่

ระยะห่าง 4 มิลลิเมตร มีน้อยเมื่อเทียบกับระยะห่างของแผ่นอิเล็กโทรดที่ 6 8 และ 10 มิลลิเมตร ทำให้สามารถเกิดปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้าในการกำจัดความขุ่นได้ดีที่สุด แสดงดังรูปที่ 4



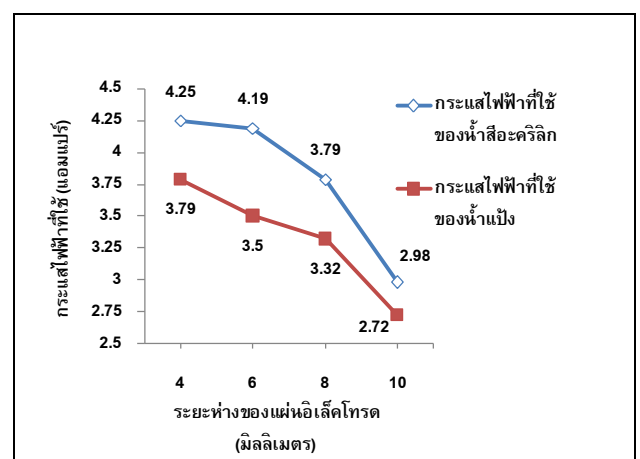
รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขุ่นและระยะห่างของแผ่นอิเล็กโทรดสำหรับ (ก) น้ำสีอะคริลิก และ (ข) น้ำแป้ง

จากการทดลองพบว่าน้ำสีอะคริลิกที่ระยะห่างของแผ่นอิเล็กโทรดที่ 4 มิลลิเมตร มีเปอร์เซ็นต์การกำจัดความขุ่นสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับระยะห่างของแผ่นอิเล็กโทรดที่ 6 8 และ 10 มิลลิเมตร เนื่องจากความต้านทานกระแสไฟฟ้าของแผ่นอิเล็กโทรดมีน้อย ซึ่งน้ำแป้งที่ระยะห่างของแผ่นอิเล็กโทรดที่ 6 มิลลิเมตร พบว่ามีเปอร์เซ็นต์การกำจัดความขุ่นสูงที่สุดเนื่องจากค่าความขุ่นเริ่มต้นมีค่าสูงกว่าระยะห่างของแผ่นอิเล็กโทรดที่ 4 มิลลิเมตร ขณะที่ความต้านทานกระแสไฟฟ้าของแผ่นอิเล็กโทรดที่ 4 มิลลิเมตร ยังคงมีค่าน้อยที่สุด แสดงดังรูปที่ 5



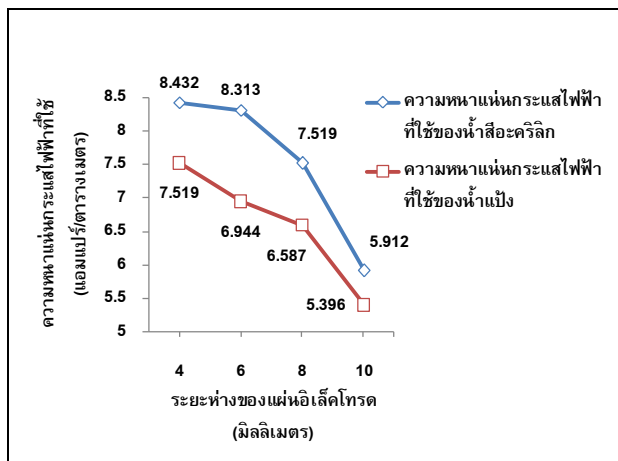
รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การกำจัดความขุ่นและระยะห่างของแผ่นอิเล็กโทรดในน้ำสีอะคริลิกและในน้ำแป้ง

จากการทดลองพบว่าทั้งกรณีของน้ำสีอะคริลิกและน้ำแป้งที่ระยะห่างของแผ่นอิเล็กโทรด 4 มิลลิเมตร จะใช้กระแสไฟฟ้ามากกว่าที่ระยะห่างของแผ่นอิเล็กโทรด 6 8 และ 10 มิลลิเมตร เนื่องจากความต้านทานของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านแผ่นอิเล็กโทรดที่ระยะห่าง 4 มิลลิเมตร มีค่าน้อยที่สุด จึงทำให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านได้มาก การบำบัดจึงมีประสิทธิภาพสูงกว่าระยะห่างของแผ่นอิเล็กโทรด 6 8 และ 10 มิลลิเมตร แสดงดังรูปที่ 6



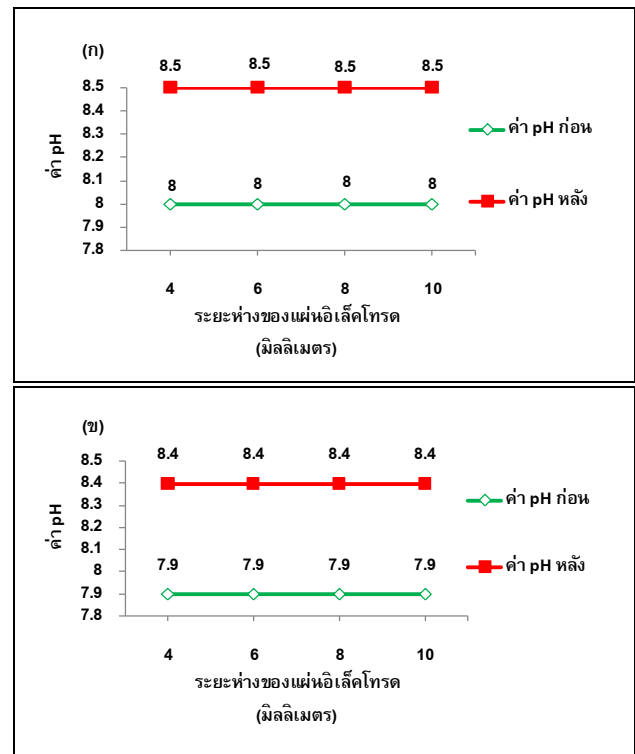
รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าที่ใช้และระยะห่างของแผ่นอิเล็กโทรดสำหรับน้ำสีอะคริลิกและน้ำแป้ง

จากการทดลองพบว่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าของทั้งกรณีของน้ำสืออะคริลิกและน้ำแป้งที่ระยะห่างของแผ่นอิเล็กโทรด 4 มิลลิเมตร มีค่าสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับระยะห่างของแผ่นอิเล็กโทรด 6 8 และ 10 มิลลิเมตร เนื่องจากความต้านทานของแผ่นอิเล็กโทรดที่ระยะห่าง 4 มิลลิเมตร มีค่าน้อย กระแสไฟฟ้าจึงไหลผ่านแผ่นอิเล็กโทรดได้ดีที่สุด กระแสไฟฟ้าสูงจึงทำให้ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าสูงตามไปด้วย แสดงดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ใช้และระยะห่างของแผ่นอิเล็กโทรดสำหรับน้ำสืออะคริลิกและน้ำแป้ง

จากการทดลองพบว่าค่า pH ของน้ำอะคริลิกและน้ำแป้งที่ผ่านการบำบัดที่ระยะห่างของแผ่นอิเล็กโทรด 4 6 8 และ 10 มิลลิเมตร มีค่าเป็นเบสเพิ่มมากขึ้นเท่ากันทุกระยะเนื่องจากค่า pH หลังการบำบัดมีค่าที่อึดตัวอยู่ นั้นหมายความว่าระยะห่างของแผ่นอิเล็กโทรดไม่มีผลต่อค่า pH ของทั้งสองน้ำหลังการบำบัด แสดงดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH และ ระยะห่างของแผ่นอิเล็กโทรดสำหรับ (ก) น้ำสืออะคริลิก และ (ข) น้ำแป้ง

ในส่วนการหาค่ากำลังไฟฟ้าที่ใช้ได้จากรูปที่ 6 ที่ระยะห่างของแผ่นอิเล็กโทรด 4 มิลลิเมตรของน้ำสืออะคริลิก คำนวณกำลังไฟฟ้าได้จากสมการ $P=IV$ เท่ากับ $4.25 \times 10 = 42.5$ วัตต์ และที่ระยะห่างของแผ่นอิเล็กโทรด 6 8 และ 10 มิลลิเมตร กำลังไฟฟ้าเท่ากับ 41.9, 37.9, 29.8 วัตต์ และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในกรณีของน้ำแป้งที่ระยะห่างของแผ่นอิเล็กโทรด 4 6 8 และ 10 มิลลิเมตร เท่ากับ 37.9, 35.0, 33.2, 27.2 วัตต์ เมื่อระยะห่างของแผ่นอิเล็กโทรดลดลงพบว่าการใช้กระแสไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้นและกำลังไฟฟ้าจะเพิ่มมากขึ้นทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดสูงขึ้นตามไปด้วย เมื่อเปรียบเทียบทั้ง 2 กรณี ทั้งน้ำสืออะคริลิกและน้ำแป้งจะเห็นได้ว่าน้ำสืออะคริลิกใช้กระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้ามากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำแป้ง

5. สรุปผลการวิจัย

จากงานวิจัยนี้ศึกษากระบวนการรวมอนุภาคด้วยไฟฟ้าได้พบว่าที่ระยะห่างของแผ่นอิเล็กโทรด 4 มิลลิเมตร สามารถกำจัดความขุ่นได้ดีกว่าระยะห่างของแผ่นอิเล็กโทรดที่ 6 8 และ 10 มิลลิเมตร เมื่อดูจากเปอร์เซ็นต์การกำจัดความขุ่นและในส่วนของกระแสไฟฟ้าที่ระยะห่างของแผ่นอิเล็กโทรด 4 มิลลิเมตร จะใช้กระแสไฟฟ้าสูงกว่าระยะห่างของแผ่นอิเล็กโทรดที่ 6 8 และ 10 มิลลิเมตร ระยะห่างยิ่งน้อยทำให้เปอร์เซ็นต์การกำจัดความขุ่นสูงขึ้นเนื่องจากความต้านทานกระแสไฟฟ้าก็แปรผกผันกับระยะห่างแผ่นอิเล็กโทรดมีค่าน้อยและค่า pH สูงขึ้นทำให้มีความเป็นเบสมากขึ้นแต่จะสูงขึ้นเท่ากันทุกระยะเนื่องจากค่า pH มีจุดคงที่อยู่ที่ระยะห่างไม่มีผลต่อค่า pH

ในส่วนงานที่จะทำในอนาคตคือเปลี่ยนพื้นผิวสัมผัสและต่อวงจรไฟฟ้าเป็นแบบอนุกรมโดยกำหนดระยะห่างของแผ่นอิเล็กโทรดเป็น 4 มิลลิเมตรโดยเงื่อนไขอื่นยังเหมือนเดิม

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] ศิววัฒน์ สมบูรณ์ดำรงกุล, พิศวัส นุ่มพิบูลย์มาน และ แคทลียา ปัทมพรหม (2553). ปริมาณนิพจน์เรื่องการการออกแบบอิเล็กโทรดที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการจับตะกอนด้วยไฟฟ้า, ปทุมธานี: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
- [2] Manasilp, and Pattamaprom, (2011). Feasibility Study for Make-Up Water Quality for Cooling Tower by Electro-Coagulation Process, *Journal of Environmental Research*, Vol. 33, 2011, pp. 29 – 39.
- [3] Uduman, Bourniquel, Danquah, and Hoadley, (2011). A parametric study of electrocoagulation as a recovery process of marine microalgae for biodiesel production, *Chemical Engineering Journal*, Vol. 174, September 2011, pp. 249 – 257.

[4] Golder, Samanta, and Ray, (2007). Removal of Cr^{3+} by electrocoagulation with multiple electrodes: Bipolar and monopolar configurations, *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 141, July 2007, pp. 653 – 661.

[5] Moussavi, Majidi, and Farzadkia, (2011). The influence of operational parameters on elimination of cyanide from wastewater using the electrocoagulation process, *Desalination*, Vol. 280, July 2011, pp. 127-133.

[6] Malakootian, Mansoorian, and Moosazadeh (2010). Performance evaluation of electrocoagulation process using iron-rod electrodes for removing hardness from drinking water, *Desalination*, Vol. 255, February 2010, pp. 67–71.

[7] Powell, (2002), Method for Electrocoagulation of Liquid, December 2002.

[8] Morkovsky, Kaspar, and Petru, (2001). Process and Apparatus for Electrocoagulative Treatment of Industrial, September 2001.

[9] ผลงานบริษัท OilTrap Environmental (2011). ระบบบำบัดน้ำเสียด้วยไฟฟ้า, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา <http://www.modernbis.com/index.php?lay=show&ac=article&Id=366231>, เข้าดูเมื่อวันที่ 20/11/2011