

**การเพิ่มความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพและการลดสี
ของน้ำเสียจากโรงสุรากลั่นด้วยวิธีการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า
Biodegradability Enhancement and Decolorization of Molasses-
based Wastewater from Distilleries by Electrocoagulation**

จิตติตา ชูเขียว และ อุสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์*

Tittita Chukeaw and Usarat Thawornchaisit*

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

วันที่ส่ง : 15 พฤศจิกายน 2560 วันที่แก้ไข 10 สิงหาคม 2561 วันที่ตอบรับ 21 พฤศจิกายน 2561

บทคัดย่อ

ลักษณะสำคัญของน้ำเสียจากการผลิตสุรากลั่นที่ใช้กากน้ำตาลเป็นวัตถุดิบคือมีสารอินทรีย์เจือปนในปริมาณสูง โดยสารประกอบอินทรีย์บางชนิดมีสมบัติที่ยากต่อการย่อยสลายทางชีวภาพ และมีสีน้ำตาลเข้มจนถึงเกือบดำ งานวิจัยนี้จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้วิธีการรวมตะกอนทางไฟฟ้า (EC) เป็นวิธีการบำบัดเบื้องต้นเพื่อเพิ่มดัชนีการย่อยสลายทางชีวภาพและลดสีของน้ำกากส่า ทำการทดลองในถังปฏิกรณ์แบบแบทช์โดยใช้อะลูมิเนียมเป็นขั้วอิเล็กโทรด พร้อมกับศึกษาผลของตัวแปรอิสระต่อการเพิ่มขึ้นของดัชนีการย่อยสลายทางชีวภาพ (BI: อัตราส่วนบีโอดี 5 วันต่อซีโอดี) และประสิทธิภาพในการกำจัดสีของน้ำกากส่า โดยปัจจัยที่ทำการศึกษาได้แก่ ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา ความต่างศักย์ไฟฟ้า และพีเอชของน้ำ ผลการศึกษาพบว่า อัตราส่วนของ บีโอดี 5 วันต่อซีโอดี ($BOD_5:COD$) ในน้ำกากส่ามีค่าเพิ่มขึ้นจาก 0.15 เป็น 0.47 เมื่อจ่ายความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ 5 โวลต์ ให้กับตัวอย่างน้ำกากส่าที่มีพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 6 เป็นเวลา 90 นาที ที่สภาวะดังกล่าว วิธีการรวมตะกอนทางไฟฟ้าสามารถลดสีของน้ำกากส่า จากค่าเริ่มต้นที่ 256,203 ADMI เหลือ 163,009 ADMI คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดสีเท่ากับ 36.4 เปอร์เซ็นต์

คำสำคัญ : น้ำกากส่า, การรวมตะกอนทางเคมีไฟฟ้า, ดัชนีการย่อยสลายทางชีวภาพ, การกำจัดสี

Abstract

High organic contents, some of which resist to biodegradation and dark brown to almost black color are the important characteristics of wastewater from molasses-based distillery process. This research was conducted to evaluate the feasibility of electrocoagulation (EC) as a potential pretreatment option for enhancement in biodegradability index and decolorization of distillery wastewater. Electrocoagulation was carried out using aluminium

* ที่อยู่ติดต่อ. โทรศัพท์: 0 232 68000 ext. 6235 โทรสาร: 0 232 68804 E-mail: usarat.th@kmitl.ac.th

electrodes in a batch reactor. Effects of various independent variables including reaction time, electrical potential difference and pH on the enhancement of biodegradability index (BI: BOD₅:COD ratio) of distillery wastewater and the color removal efficiency from the wastewater were studied. Results showed that BOD₅:COD of distillery wastewater increased from 0.15 to 0.47 when EC was operated at the applied voltage of 5V to treat the distillery wastewater with an initial pH of 6 for 90 min. At the stated condition, electrocoagulation reduced color in wastewater from 256,203 ADMI to 163,009 ADMI, resulted in a color removal efficiency of 36.4%.

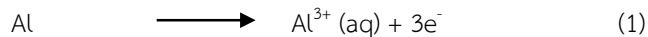
Keywords : Distillery wastewater, Electrocoagulation, Biodegradability index, color removal

1. บทนำ

สุรากลั่นจัดเป็นเครื่องดื่มประเภทหนึ่งที่มีความนิยมในหมู่ผู้บริโภคเครื่องดื่มแอลกอฮอล์สำหรับดื่มในงานรื่นเริงหรือเพื่อหาความสำราญในหมู่เพื่อนฝูง ทำให้การผลิตสุรากลั่นเป็นอุตสาหกรรมที่พบได้ทั่วไปภายในประเทศ ดังจะเห็นได้จากรายงานการศึกษาวิจัยหลักเกณฑ์และเงื่อนไขการพิจารณาอนุญาตโรงงานสุรากลั่น ซึ่งระบุจำนวนโรงงานสุรากลั่นที่จดทะเบียนขึ้นกับกรมโรงงานอุตสาหกรรมว่ามีทั้งสิ้น 26 โรงงาน (โรงงานสุรากลั่นขนาดใหญ่) นอกจากนี้ยังมีโรงงานสุรากลั่นชุมชนอีกจำนวนมาก ตั้งอยู่ในทั่วทุกภาคของประเทศไทย ซึ่งเป็นผลจากการสนับสนุนหนึ่งตำบลหนึ่งผลิตภัณฑ์ตามนโยบายของรัฐบาล [1] การผลิตสุรากลั่นจะมีวัสดุเหลือทิ้งหลังจากขั้นตอนการกลั่นแยกเอทานอลออก คือน้ำเสียกากสำ (Distillery wastewater) หรือเรียกสั้นๆว่าน้ำกากสำ ซึ่งเป็นน้ำเสียหลักที่เกิดขึ้นในระหว่างขั้นตอนการผลิต คิดเป็นร้อยละ 77.1 ของน้ำเสียทั้งหมด [1] น้ำเสียดังกล่าวมีพีเอชค่อนข้างต่ำ (3.0 - 4.5) มีสารอินทรีย์เจือปนในปริมาณสูงมาก คิดเป็นความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในรูปของบีโอดีและซีโอดีระหว่าง 17,500 - 45,000 และ 56,970 - 193,600 มก./ล. ตามลำดับ [2] นอกจากนี้ยังมีสีน้ำตาลเข้ม ซึ่งเกิดจากสารคาร์ราเมลที่มาจากปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ไรเซชัน (polymerization) ในการผลิตน้ำตาล ทำให้การบำบัดน้ำให้มีคุณภาพดีขึ้นจึงเป็นเรื่องจำเป็น [3] ประกอบกับการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางชีวภาพแบบไร้ออกซิเจน โดยเฉพาะระบบหมักเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ จัดเป็นวิธีที่นิยมนำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมผลิตสุรา เนื่องจากวิธีการดังกล่าวสามารถรองรับน้ำเสียที่มีภาระสารอินทรีย์ในปริมาณสูงและสามารถช่วยให้อุณหภูมิที่ผ่านการบำบัดดีขึ้น อีกทั้งก๊าซชีวภาพที่ได้จากการบำบัดน้ำเสียสามารถนำมาใช้เป็นแหล่งพลังงานทดแทนเพื่อลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงภายในโรงงานได้ [1,4] ทั้งนี้ประสิทธิภาพและความสามารถของกระบวนการบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนขึ้นอยู่กับแหล่งที่มาของหัวเชื้อจุลินทรีย์และคุณภาพของน้ำที่ผ่านการบำบัดเบื้องต้นก่อนเข้าสู่ระบบ [4] เมื่อพิจารณาดัชนีการย่อยสลายทางชีวภาพ (Biological Index, BI) ของน้ำกากสำจากอัตราส่วนของบีโอดี 5 วันต่อซีโอดี (BOD₅:COD) พบว่าน้ำเสียดังกล่าวมีค่า BI ระหว่าง 0.23-0.31 [1] แสดงให้เห็นว่าน้ำกากสำมีลักษณะที่ยากต่อการย่อยสลายทางชีวภาพอ้างอิงตามเกณฑ์การตัดสินความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพของน้ำเสียโดยใช้ BI ซึ่งรายงานไว้ในงานวิจัยของ Abdallaa and Hammamb [5] ซึ่งอาจเป็นผลมาจากการที่น้ำกากสำมี

สารประกอบจำพวกเมลานอยดิน (Melanoidin) เป็นส่วนประกอบ [6] สารประกอบจำพวกนี้มีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ทำให้สารจำพวกเมลานอยดินอาจเป็นพิษ [6] หรือส่งผลต่อการทำงานของจุลินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสียได้ [3] ด้วยเหตุนี้การปรับปรุงคุณลักษณะของน้ำากาสำด้วยวิธีการบำบัดขั้นต้น (Pretreatment) เพื่อเพิ่มความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพของน้ำเสียก่อนนำไปบำบัดต่อด้วยกระบวนการทางชีวภาพจึงเป็นขั้นตอนที่จำเป็น

การบำบัดด้วยวิธีรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า (Electrocoagulation, EC) อาศัยหลักการทางเคมีไฟฟ้าในการบำบัดน้ำเสีย ซึ่งระบบที่ใช้บำบัดประกอบด้วยเซลล์เคมีไฟฟ้าแบบอิเล็กโทรไลซิส (Electrolysis) โดยใช้ขั้วอิเล็กโทรด 2 ขั้ว ในการทำปฏิกิริยา ได้แก่ แอโนด (Anode) และแคโทด (Cathode) เมื่อต่อเข้ากับแหล่งพลังงานภายนอก จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ขั้วแอโนด (Anode) ดังสมการที่ 1 ขณะที่ขั้วแคโทด (Cathode) เกิดปฏิกิริยารีดักชัน (สมการที่ 2) [7] เกิดเป็นกลไกในการทำลายเสถียรภาพ (Destabilization) ของสารอินทรีย์ 2 แบบ ได้แก่ (1) กลไกหักล้างประจุ (Charge neutralization) โดยใช้สารโคแอกกูแลนต์ในรูปของไอออนโลหะที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน ทำให้อนุภาคสารอินทรีย์มีสมบัติเป็นกลางทางไฟฟ้า และรวมตัวกันเป็นตะกอนที่มีขนาดใหญ่จนสามารถตกตะกอนได้ และ (2) กลไกการสร้างผลึกโลหะไฮดรอกไซด์ที่ไม่ละลายน้ำขึ้นมา (สมการที่ 3) เพื่อให้สารอินทรีย์มาเกาะจับ (Sweep coagulation) [8] นอกจากนี้การเกิดก๊าซไฮโดรเจนที่ขั้วแคโทด (Cathode) ยังช่วยให้เกิดการลอยตัวของอนุภาคสารอินทรีย์ที่รวมตัวกันเป็นตะกอนขึ้น ซึ่งสามารถกำจัดออกด้วยการกวาดทิ้งจากผิวน้ำ และแยกออกจากน้ำได้ด้วยวิธีการปล่อยให้ตกตะกอน หรือการลอยตะกอนได้ ทำให้กระบวนการ EC อาจถูกเรียกว่าวิธีการทำให้ตะกอนลอยด้วยไฟฟ้า (Electrofloatation) [8]



งานวิจัยที่ผ่านมาได้แสดงให้เห็นว่า EC สามารถเพิ่มความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมการผลิตกระดาษ [9] การผลิตน้ำมันมะกอก [10] การผลิตปาล์มน้ำมัน [11] และอุตสาหกรรมที่มีการใช้สไตรีน [12] โดยใช้เป็นขั้นตอนการบำบัดขั้นต้น (Pre-treatment) หรือ การบำบัดต่อ (Post-treatment) หลังจากผ่านกระบวนการทางชีวภาพได้ [13] อย่างไรก็ตามการศึกษาเกี่ยวกับการนำกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้ามาใช้เพื่อเพิ่มความสามารถย่อยสลายทางชีวภาพน้ำากาสำมีอยู่ค่อนข้างจำกัด งานวิจัยนี้จึงได้จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของวิธีรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าในการเพิ่มความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพและการลดสีของน้ำากาสำ

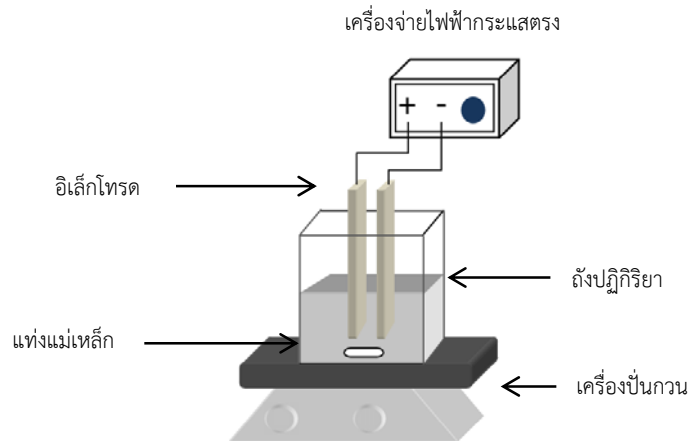
2. วิธีการทดลอง

2.1 ตัวอย่างน้ำเสียที่ใช้ในการศึกษา

น้ำเสียที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ เป็นน้ำเสียจากกระบวนการผลิตสุรากลั่น ซึ่งใช้กากน้ำตาลเป็นวัตถุดิบ ตัวอย่างนี้จะถูกเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°C ก่อนนำไปศึกษาต่อไป

2.2 ชุดทดลอง

ระบบรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า (Electrocoagulation, EC) มีส่วนประกอบแสดงดังรูปที่ 1 โดยถังปฏิกริยาทรงสี่เหลี่ยมทำจากแผ่นอะคริลิกขนาด $10 \times 15 \times 15$ เซนติเมตร ใช้แผ่นอะลูมิเนียมขนาด $10 \times 15 \times 0.1$ เซนติเมตร เป็นอิเล็กโทรด มีระยะระหว่างขั้วอิเล็กโทรดเท่ากับ 2 เซนติเมตร และระยะความสูงของขั้วอิเล็กโทรดวัดจากก้นถังขึ้นมา 5 เซนติเมตร ใช้ปากคีบสายไฟเพื่อเชื่อมต่ออิเล็กโทรดเข้ากับเครื่องจ่ายไฟฟ้า (DC power supply, รุ่น ODE30)



รูปที่ 1 การติดตั้งชุดทดลองระบบรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า

2.3 การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเพิ่มความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพของน้ำกากส่าด้วยวิธีรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า

ทำการทดลองแบบครั้ง (Batch) ปัจจัยที่ทำการศึกษได้แก่ ระยะเวลาบำบัด (30, 60, 90 และ 120 นาที) ความต่างศักย์ไฟฟ้า (5, 10 และ 15 โวลต์) และค่าพีเอช (2, 4, 6, 8 และ 10) ทำการศึกษาโดยเติมตัวอย่างน้ำเสียครั้งละ 500 มิลลิลิตร ลงในถังปฏิกริยาในแต่ละการทดลอง ปรับค่าพีเอช น้ำตัวอย่างให้มีค่าตามที่กำหนดด้วยกรดซัลฟิวริกหรือโซเดียมไฮดรอกไซด์ จ่ายไฟให้แก่ระบบตามความต่างศักย์ที่ต้องการศึกษา โดยใช้ระยะเวลาในการบำบัดที่แตกต่างกันพร้อมปั่นกวนด้วยเครื่องกวนแม่เหล็กไฟฟ้าตลอดเวลา เมื่อครบตามระยะเวลาที่กำหนด นำน้ำที่ผ่านการบำบัดไปวิเคราะห์คุณลักษณะต่างๆ ดังแสดงในหัวข้อ 2.4

2.4 การวิเคราะห์คุณลักษณะของน้ำตัวอย่าง

วิเคราะห์คุณลักษณะของน้ำกากส่าและน้ำที่ผ่านการบำบัดดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1. การวิเคราะห์คุณลักษณะของน้ำตัวอย่าง

พารามิเตอร์	เครื่องมือที่ใช้วัด/วิธีการ
พีเอช (pH)	pH meter
สี (ADMI)	Method 2120F: Spectrophotometric, ADMI Weighted Ordinate Method [14]
ซีโอดี (COD, mg/L)	Method 5220C: Close reflux, Titrimetric Method [14]
บีโอดี (BOD, mg/L)	Method 5210B: 5-Day BOD Test , [14]

3. ผลการทดลองและวิจารณ์

3.1 คุณลักษณะของน้ำกากส่า

ลักษณะของน้ำกากส่าที่เก็บรวบรวมจากกระบวนการผลิตสุรากลั่นแสดงดังตารางที่ 2 พบว่า น้ำเสียดังกล่าวมีพีเอชต่ำ มีสีน้ำตาลเข้ม-ดำ และมีสารอินทรีย์วัดในรูปบีโอดีและซีโอดีอยู่ในปริมาณสูงมาก เมื่อคำนวณอัตราส่วนบีโอดีต่อซีโอดี (BOD₅:COD) พบว่ามีค่าต่ำกว่า 0.3 แสดงให้เห็นว่าน้ำกากส่ามีสารอินทรีย์ที่ยากต่อการย่อยสลายทางชีวภาพเป็นส่วนประกอบ [5] นอกจากนี้สีในน้ำกากส่าที่วัดได้มีค่าเฉลี่ยสูงถึง 256,203 ADMI ลักษณะของน้ำดังกล่าวข้างต้น อาจส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำกากส่าด้วยวิธีการทางชีวภาพมีค่าลดลงหรือไม่เป็นไปตามที่ระบบออกแบบไว้

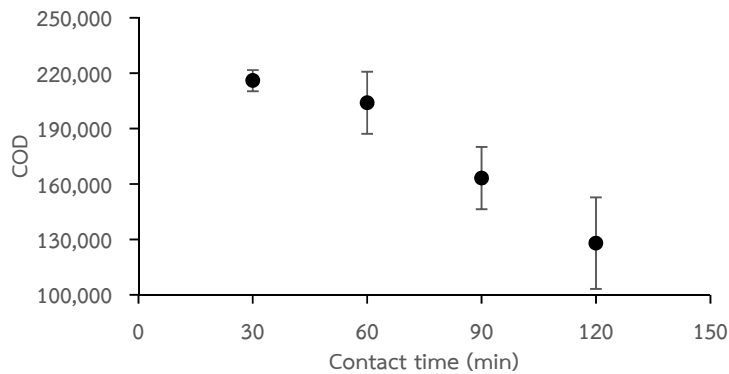
ตารางที่ 2. คุณลักษณะของน้ำกากส่าที่ใช้ศึกษา

คุณลักษณะ	ก่อนบำบัด
พีเอช	4.21±0.03
ซีโอดี (COD, mg/L)	372,960±5760
บีโอดี (BOD ₅ , mg/L)	56,203±631
BOD ₅ :COD	0.15±0.006
ค่าสี (ADMI)	256,203±1750

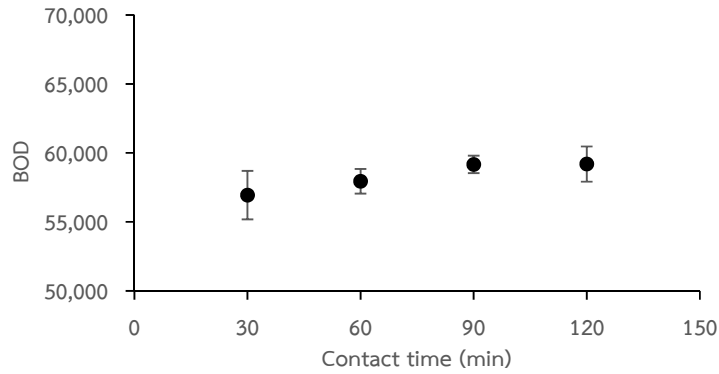
3.2 ผลของระยะเวลาบำบัด

จากการศึกษาพบว่าระยะเวลาที่ใช้ในการเดินระบบ EC มีผลต่อความสามารถในการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำกากส่า ดังจะเห็นได้จากซีโอดีที่วัดได้ในน้ำกากส่ามีแนวโน้มลดลงจากความเข้มข้น 216,000 มิลลิกรัมต่อลิตร เหลือ 128,000 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อเพิ่มระยะเวลาการบำบัดจาก 30 นาที เป็น 120 นาที (รูปที่ 2 ก) ที่ระยะเวลาดังกล่าว พบว่าบีโอดีที่วัดได้ในน้ำที่ผ่านการบำบัดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจาก 56,941 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็น 59,193 มิลลิกรัมต่อลิตร (รูปที่ 2ข) เมื่อนำค่าซีโอดีและ

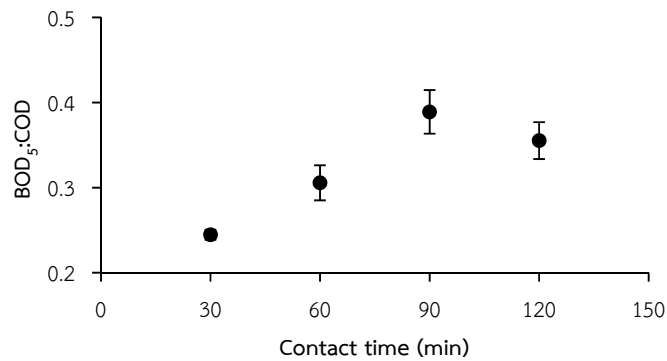
บีโอดีที่วัดได้ไปคำนวณค่าดัชนีการย่อยสลายทางชีวภาพของน้ำกากส่า ซึ่งวัดในรูป BOD₅:COD พบว่าระยะเวลาที่ใช้ในการเดินระบบ EC สามารถเพิ่มความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพของน้ำตัวอย่างให้มีค่าสูงขึ้น โดยการเพิ่มระยะเวลาในการเดินระบบจาก 30 นาที เป็น 60 นาที ทำให้ BOD₅:COD มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจาก 0.24 เป็น 0.31 และมีค่าสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญถึง 0.43 ที่เวลา 90 นาที ดังแสดงในรูปที่ 2(ค) ทั้งนี้การเพิ่มขึ้นของดัชนีการย่อยสลายทางชีวภาพในน้ำกากส่าอาจเป็นผลเนื่องมาจากระยะเวลาในการบำบัดที่นานขึ้น ทำให้เกิดการกัดกร่อนของขั้วอะลูมิเนียมเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันที่มากขึ้นของขั้วแอโนด (Anode) หรือขั้วบวก ส่งผลให้เกิดการละลายของอะลูมิเนียมไอออน (Al³⁺) ในปริมาณมากขึ้นในน้ำเสีย ประกอบกับผลของการเกิดปฏิกิริยารีดักชันที่มากขึ้นของขั้วแคโทด (cathode) ทำให้ระบบมีปริมาณไฮดรอกไซด์ (OH⁻) และก๊าซไฮโดรเจน (H₂) เกิดมากขึ้นด้วยดังแสดงในสมการที่ (2) จึงส่งผลให้อะลูมิเนียมไอออนและไฮดรอกไซด์สามารถมาทำปฏิกิริยากันเกิดเป็นตะกอนเบาของอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ (Al(OH)₃) [7] ที่ทำหน้าที่เป็นเป้าสัมผัสให้สารแขวนลอยรวมทั้งสารอินทรีย์มาเกาะเกิดเป็นตะกอนและแยกออกจากน้ำเสียได้ โดยตะกอนที่มีขนาดใหญ่และน้ำหนักมากพอสามารถเกิดการตกตะกอนที่ก้นถังปฏิกิริยาได้ อีกทั้งฟองก๊าซไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยารีดักชันของขั้วลบ อาจเป็นตัวพาให้ตะกอนลอยขึ้นผิวน้ำและแยกออกจากน้ำได้ ส่งผลให้เกิดการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำได้เช่นกัน [11,15] นอกจากนี้ Al(OH)₃ อาจเกิดปฏิกิริยากับสารประกอบเมลานอยดิน ซึ่งเป็นสารที่ทำให้เกิดสีในน้ำกากส่าผ่านกลไกของปฏิกิริยาดังแสดงในสมการที่ (4) ตามที่ระบุไว้ในรายงานของ Kobya and Gengec [15] ส่งผลให้เกิดการลดลงของสารอินทรีย์โดยเฉพาะพวกที่ยากต่อการย่อยสลายทางชีวภาพ บีโอดีที่วัดได้จึงมีแนวโน้มลดลง ในขณะที่บีโอดีของน้ำตัวอย่างมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น



(ก)



(ข)

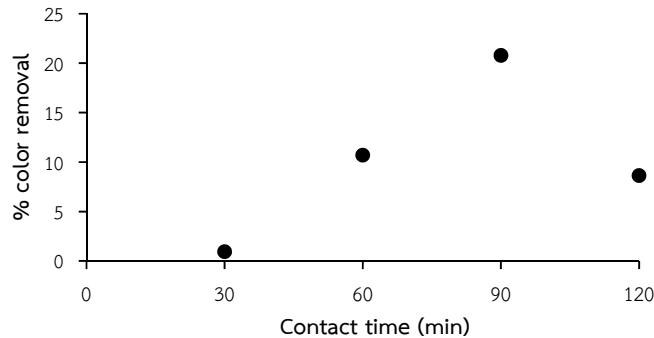


(ค)

รูปที่ 2 ผลของระยะเวลาในการบำบัดต่อ (ก) ค่าซีโอดี (ข) ค่าบีโอดี (ค) อัตราส่วนของบีโอดี 5 วันต่อซีโอดี เมื่อเดินระบบ EC ที่ความต่างศักย์ 5 โวลต์ และพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียมีค่าเท่ากับ 4

เมื่อพิจารณาผลของระยะเวลาในการเดินระบบ EC ต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีในน้ำกากส่า พบว่ามีแนวโน้มในทำนองเดียวกันกับที่พบในผลของระยะเวลาการเดินระบบ EC ต่ออัตราส่วนบีโอดีต่อซีโอดี กล่าวคือ ประสิทธิภาพในการกำจัดสีในน้ำกากส่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาสัมผัส (รูปที่ 3) ความสามารถในการกำจัดสีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มเวลาในการทำปฏิกิริยาจาก 30 นาที เป็น 90 นาที และมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มเวลาในการบำบัดจาก 90 นาที เป็น 120 นาที ทั้งนี้การกำจัดสีเกิดขึ้นได้ดีที่สุดเมื่อใช้ระยะเวลาการบำบัดนาน 90 นาที ที่ระยะเวลาดังกล่าว ประสิทธิภาพในการกำจัดสีด้วยระบบ EC มีค่าเท่ากับ 20.78% ซึ่งจัดว่ามีค่าค่อนข้างน้อยเมื่อเทียบกับความสามารถในการบำบัดสีของน้ำกากส่าด้วยระบบ EC ในงานวิจัยของ David et al. [16] โดยในงานวิจัยดังกล่าวพบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดสีของน้ำกากส่ามีค่าระหว่าง 40-50% เมื่อพีเอชของน้ำมีค่าเท่ากับ 4 ส่วนหนึ่งอาจเป็นผลเนื่องมาจากธรรมชาติของน้ำที่ต่างกัน โดยเฉพาะปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำตัวอย่าง สำหรับตัวอย่างน้ำที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้มีปริมาณสารอินทรีย์สูงกว่าในงานวิจัยของ David et al. [16] อยู่หลายเท่า ซึ่งอาจส่งผลให้ปริมาณของสารประกอบอินทรีย์ที่ทำ

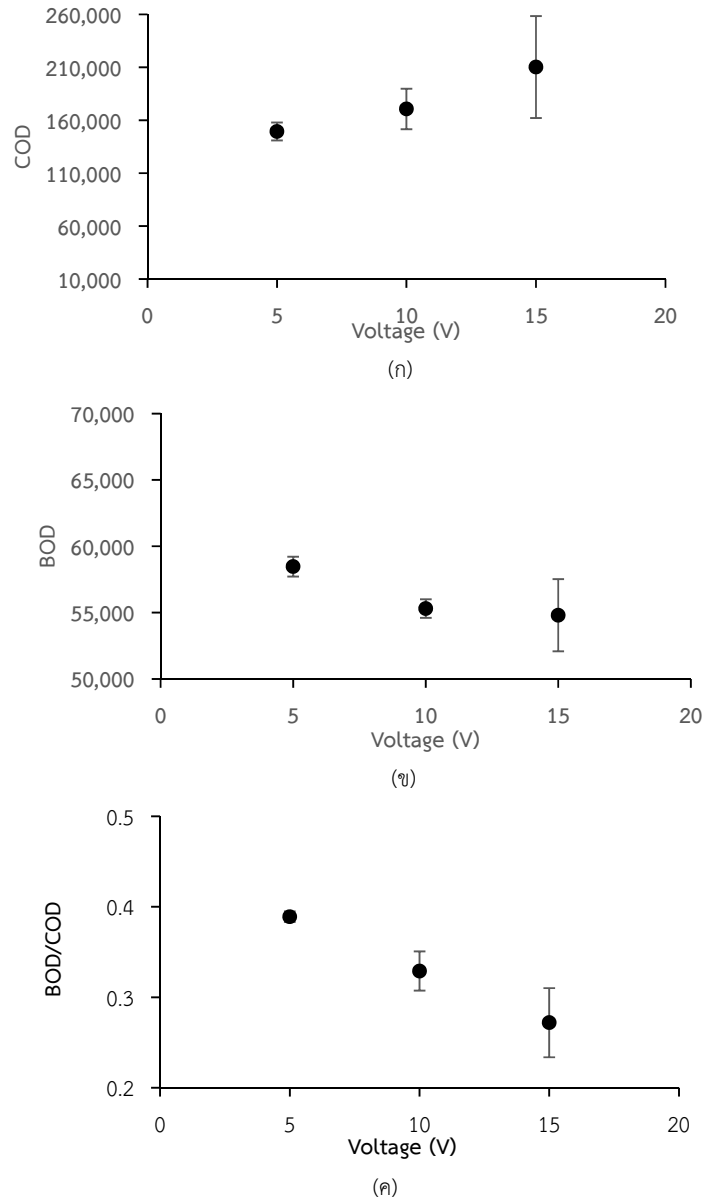
ให้เกิดสีในน้ำเสียอาจมีจำนวนมากด้วยเช่นกัน ปริมาณสารประกอบอินทรีย์ที่มากขึ้นโดยเฉพาะสารอินทรีย์ที่ยากต่อการย่อยสลาย อาจส่งผลต่อความสามารถในการกำจัดสีด้วยระบบ EC ดังระบุไว้ในงานวิจัยของ Kobya and Gengec [15] เกี่ยวกับการลดลงของประสิทธิภาพการกำจัดสีของระบบ EC เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารประกอบเมลานอยดิน ซึ่งมักพบเป็นส่วนประกอบสำคัญและเป็นสารที่ทำให้เกิดสีในน้ำกากส่า



รูปที่ 3 ผลของระยะเวลาในการบำบัดต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีของน้ำตัวอย่าง เมื่อเดินระบบ EC ที่ความต่างศักย์ 5 โวลต์ และพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียมีค่าเท่ากับ 4

3.3 ผลของความต่างศักย์ไฟฟ้า

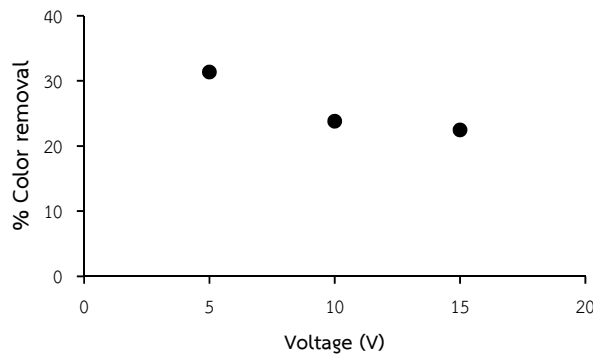
ความต่างศักย์ไฟฟ้ามีความสัมพันธ์เกี่ยวเนื่องกับกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับระบบ EC การเพิ่มค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า จึงเป็นการเพิ่มปริมาณกระแสไฟฟ้าต่อพื้นที่อิเล็กโทรดหรืออีกนัยหนึ่งคือการเพิ่มความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าให้กับระบบ EC ดังนั้นความต่างศักย์ไฟฟ้าในปริมาณสูงขึ้น ทำให้อะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ที่เกิดจากการกัดกร่อนของขั้วอิเล็กโทรดและการเกิดตะกอนเบาของอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์มีปริมาณมากขึ้นในน้ำ จนสามารถจะเข้าทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ได้มากขึ้น [7,17] ผลของความต่างศักย์ไฟฟ้าต่อความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพของน้ำกากส่าแสดงดังรูปที่ 4 ซึ่งจากรูปพบว่าน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบ EC ที่ความต่างศักย์ไฟฟ้าเท่ากับ 5 โวลต์ มีค่าซีโอดีที่วัดได้ในน้ำเท่ากับ 149,360 มิลลิกรัมต่อลิตร (รูปที่ 4ก) คิดเป็นความสามารถในการกำจัดซีโอดีได้ประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับซีโอดีเริ่มต้นของน้ำกากส่าที่มีค่าเท่ากับ 372,960 มิลลิกรัมต่อลิตร (ตารางที่ 1) ในทางกลับกันพบว่าบีโอดีของน้ำกากส่ามีค่าเพิ่มขึ้นจาก 56,203 มิลลิกรัมต่อลิตร (ตารางที่ 1) เป็น 58,467 มิลลิกรัมต่อลิตร (รูปที่ 4ข) เมื่อนำไปคำนวณอัตราส่วน BOD₅:COD พบว่ามีค่าเพิ่มขึ้นจาก 0.15 (ตารางที่ 1) เป็น 0.39 (รูปที่ 4ค) แต่เมื่อความต่างศักย์ไฟฟ้าที่จ่ายให้กับระบบ EC มีค่าเพิ่มขึ้น จาก 5 โวลต์ เป็น 10 และ 15 โวลต์ พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีมีแนวโน้มลดลง โดย



รูปที่ 4 ผลของความต่างศักย์ไฟฟ้าต่อ (ก) ซีโอดี และ (ข) บีโอดี และ (ค) อัตราส่วนของบีโอดี 5 วัน ต่อซีโอดี เมื่อพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียมีค่าเท่ากับ 4 และเดินระบบ EC นาน 90 นาที

ซีโอดีที่วัดได้ในน้ำมีค่าเท่ากับ 170,602 และ 210,229 มิลลิกรัมต่อลิตร (รูปที่ 4ก) คิดเป็นความสามารถในการกำจัดซีโอดีเท่ากับ 54 เปอร์เซ็นต์ และ 44 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อเทียบกับซีโอดีเริ่มต้นของน้ำกากส่า ที่สภาวะดังกล่าวนี้พบว่าน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบ EC มีค่าบีโอดีเท่ากับ 55,300 และ 54,800

มิลลิกรัมต่อลิตร (รูปที่ 4ข) และ $BOD_5:COD$ มีค่าลดลงเป็น 0.33 และ 0.27 ตามลำดับ (รูปที่ 4ค) แสดงให้เห็นว่าการเดินระบบ EC ที่ความต่างศักย์ไฟฟ้าเหมาะสม สามารถเพิ่มดัชนีการย่อยสลายทางชีวภาพของน้ำกากส่าได้ ทั้งนี้ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่มากเกินไป ทำให้ขี้ตะกอนนิยมนเกิดการกักร้อนมากขึ้นและเกิดเป็นฟลอคของอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์เกาะอยู่บริเวณพื้นผิวขั้วอิเล็กโทรดอย่างหนาแน่น แทนที่การเข้าทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ [18] ประกอบกับการเพิ่มความต่างศักย์ไฟฟ้าหรือปริมาณกระแสไฟฟ้า จะทำให้ฟองก๊าซมีขนาดเล็กและเพิ่มจำนวนมากขึ้น จนรบกวนการกำจัดสารอินทรีย์และส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ได้ดังแสดงในงานวิจัยของ Phalakornkulea et al. [11] และเมื่อพิจารณาผลของความต่างศักย์ไฟฟ้าที่จ่ายให้ระบบ EC ต่อความสามารถในการกำจัดสีของน้ำกากส่า พบว่ามีลักษณะเป็นไปทำนองเดียวกัน (รูปที่ 5) โดยการกำจัดสีเกิดขึ้นได้ดีที่สุดเมื่อใช้ความต่างศักย์ไฟฟ้าเท่ากับ 5 โวลต์ ที่สภาวะดังกล่าว สามารถลดสีของน้ำกากส่าจาก 256,203 ADMI เหลือ 202,960 ADMI คิดเป็นประสิทธิภาพในการกำจัดสีเท่ากับ 35.35% ความสามารถในการกำจัดสีของน้ำกากส่ามีค่าลดลงเป็น 31.35% และ 22.46% เมื่อความต่างศักย์ไฟฟ้าของระบบ EC มีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 10 และ 15 โวลต์ ตามลำดับ (รูปที่ 5) โดยสาเหตุที่ทำให้ความสามารถในการกำจัดสีลดลง อาจสัมพันธ์กับความหนาแน่นของตะกอนเบาของอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ที่พื้นผิวของขั้วอิเล็กโทรดและขนาดของฟองก๊าซที่เกิดขึ้นดังอธิบายไว้ในเนื้อหาก่อนหน้านี้

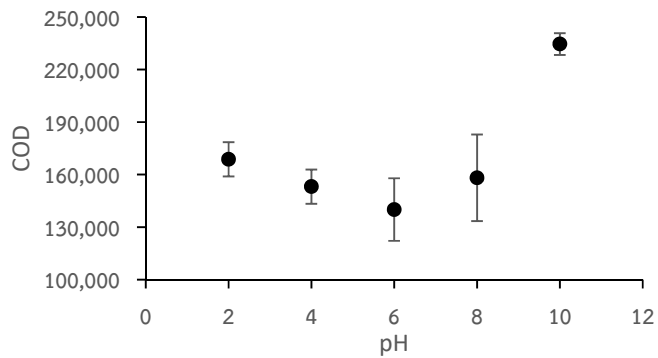


รูปที่ 5 ผลของความต่างศักย์ไฟฟ้าต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีของน้ำกากส่า เมื่อพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียมีค่าเท่ากับ 4 และเดินระบบ EC นาน 90 นาที

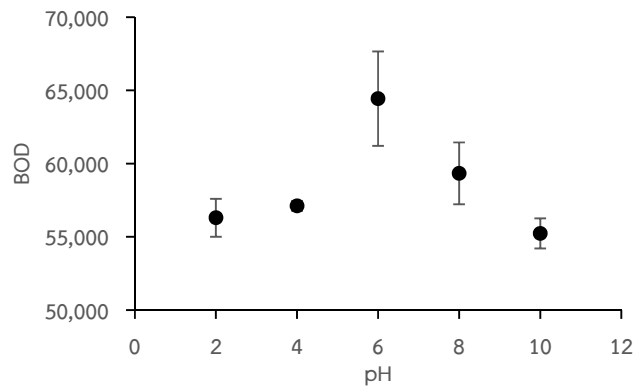
3.4 ผลของพีเอช

จากการทดลองพบว่าพีเอชของน้ำกากส่ามีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของระบบ EC ทั้งในแง่ของการเพิ่มความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพและการลดสีของน้ำกากส่า เมื่อนำน้ำกากส่าที่มีค่าพีเอชเริ่มต้นระหว่าง 2 ถึง 10 มาบำบัดด้วยระบบ EC ที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 5 โวลต์ นาน 90 นาที พบว่า ซีโอดีของน้ำกากส่ามีแนวโน้มลดลงเมื่อพีเอชเริ่มต้นของน้ำมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 2 เป็น 6 ซีโอดีที่วัดได้จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อพีเอชของน้ำมีค่าสูงขึ้นจาก 6 เป็น 10 (รูปที่ 6ก) การกำจัดซีโอดีในน้ำกากส่าจะเกิดขึ้นได้ดีที่สุดเมื่อพีเอชของน้ำมีค่าเท่ากับ 6 ทั้งนี้อาจเป็นผลของพีเอชต่อการเปลี่ยนแปลงรูปฟอร์มของสารประกอบเชิงซ้อนหรือสารคอมเพล็กซ์ระหว่างอะลูมิเนียมไอออน (Al^{3+}) กับไฮดรอกไซด์ (OH^-) โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเกิดและการละลายของ $Al(OH)_3(s)$ ซึ่งเป็นสารคอมเพล็กซ์ของ Al^{3+} กับ OH^- ที่พบเป็นหลักในน้ำที่มีพีเอชระหว่าง 6-

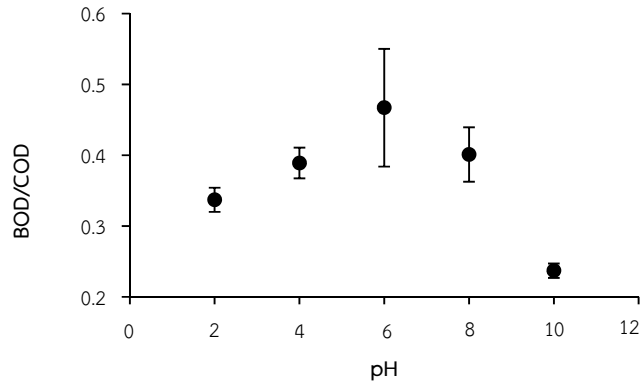
7 และจะมีปริมาณสูงสุดเมื่อพีเอชมีค่าเท่ากับ 6.5 [19-20] ปริมาณตะกอนเบาของ $Al(OH)_3$ มีแนวโน้มลดลงเมื่อน้ำมีค่าพีเอชเป็นกรดหรือเป็นด่างมากขึ้น [8, 19- 20] ส่งผลให้ความสามารถในการกำจัดสารอินทรีย์มีแนวโน้มลดลง เมื่อพิจารณาผลของพีเอชต่อบีโอดีของน้ำกากส่า พบว่าบีโอดีของน้ำกากส่ามีค่าสูงสุดเมื่อพีเอชของน้ำมีค่าเท่ากับ 6 ในขณะที่พีเอชของน้ำที่เป็นกรดหรือด่างมากขึ้น ทำให้ค่าบีโอดีที่วัดได้มีแนวโน้มลดลง (รูปที่ 6ข) เมื่อนำข้อมูลบีโอดีและ



(ก)



(ข)



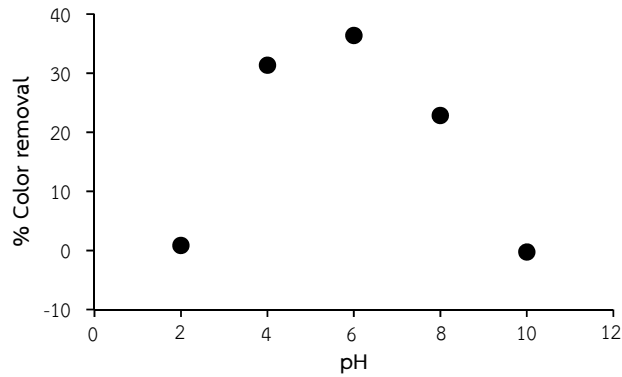
(ค)

รูปที่ 6 ผลของพีเอชต่อ (ก) บีโอดี (ข) ซีโอดี และ (ค) อัตราส่วนของบีโอดี 5 วัน ต่อซีโอดี เมื่อเดินระบบ EC นาน 90 นาทีที่ความต่างศักย์ 5 โวลต์

บีโอดีไปคำนวณดัชนีการย่อยสลายทางชีวภาพของน้ำกากส่า พบว่าอัตราส่วนของ $BOD_5:COD$ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามพีเอชเริ่มต้นของน้ำ และมีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.47 เมื่อพีเอชเริ่มต้นของน้ำกากส่ามีค่าเท่ากับ 6 (รูปที่ 6ค) แสดงให้เห็นถึงความสามารถของระบบ EC ในการเพิ่มความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพของน้ำกากส่า โดยอาจทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างสารอินทรีย์ที่ยากต่อการย่อยสลายให้อยู่ในรูปที่จุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ได้

เมื่อพิจารณาผลของพีเอชต่อความสามารถในการกำจัดสีของน้ำกากส่าด้วยระบบ EC พบว่าการเพิ่มพีเอชเริ่มต้นของน้ำจาก 2 เป็น 6 ทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดสีด้วยระบบ EC มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจาก 0.85% เป็น 36.4 % อย่างไรก็ตามพบว่าความสามารถในการกำจัดสีมีค่าลดลงเมื่อพีเอชเท่ากับ 8 และ 10 ตามลำดับ (รูปที่ 7) ทั้งนี้อาจเป็นผลของพีเอชต่อการเปลี่ยนแปลงรูปฟอร์มของสารประกอบเชิงซ้อนหรือสารคอมเพล็กซ์ระหว่างอะลูมิเนียมไอออนกับไฮดรอกไซด์ซึ่งอาจมีประจุบวก ประจุลบ รวมไปถึงการเกิดและการละลายของ $Al(OH)_3$ [8] ความสามารถในการกำจัดสีเกิดขึ้นได้ดีที่สุดเมื่อพีเอชมีค่าเท่ากับ 6 ซึ่งเป็นสภาวะที่ระบบ EC มี $Al(OH)_3$ เกิดขึ้นในน้ำเสียมากที่สุด ซึ่งสารดังกล่าวจะทำหน้าที่เปรียบเสมือนเป็นเป่าสัมผัสที่ทำให้สารที่ทำให้เกิดสีซึ่งแขวนลอยอยู่ในน้ำมาเกาะติดและเกิดการแยกออกจากน้ำได้ เมื่อพีเอชของน้ำมีค่าเป็นกรดมากขึ้น เช่น พีเอช 5-6 จะเกิดสารคอมเพล็กซ์ประจุบวก คือ $Al(OH)^{2+}$, $Al(OH)^+$ และเมื่อพีเอชเป็นด่างมากขึ้น เช่น พีเอชมาก

กว่า 9 จะเกิดสารคอมเพล็กซ์ประจุลบที่สำคัญคือ $Al(OH)_4^-$ [21] ทำให้ $Al(OH)_3$ ที่ทำหน้าที่เป็นสารรวมตะกอนมีปริมาณลดลงในน้ำ ส่งผลต่อความสามารถในการลดสีของน้ำกากส่า



รูปที่ 7 ผลของพีเอชต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีของน้ำกากส่า
เมื่อเดินระบบ EC นาน 90 นาทีที่ความต่างศักย์ 5 โวลต์

4. สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาพบว่าระบบรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า (EC) สามารถนำมาใช้เป็นกระบวนการบำบัดขั้นต้นเพื่อปรับปรุงคุณภาพของน้ำกากส่าให้มีดัชนีการย่อยสลายทางชีวภาพสูงขึ้น รวมไปถึงสามารถลดสีของน้ำกากส่าได้ โดยสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำกากส่าด้วยวิธี EC คือเมื่อพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียมีค่าเท่ากับ 6 และเดินระบบ EC ที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 5 โวลต์ นาน 90 นาที น้ำหลังผ่านการบำบัดมีอัตราส่วนบีโอดีต่อซีโอดีเพิ่มขึ้นจาก 0.15 เป็น 0.47 และมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีเป็น 36.4 เปอร์เซ็นต์

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษานี้ได้รับเงินสนับสนุนการทำวิจัยจากงบประมาณอุดหนุนการทำวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารอ้างอิง (References)

- [1] คณะกรรมการวิสามัญพิจารณาสอบสวนและศึกษาเรื่องเกี่ยวกับการทุจริตวุฒิสภา. 2549. รายงานฉบับสมบูรณ์การศึกษาวิจัยหลักเกณฑ์และเงื่อนไขการพิจารณาอนุญาตโรงงานสุรากลั่น. แหล่งข้อมูล : <http://www2.diw.go.th/sura/บำบัดน้ำเสียสี/รายงานฉบับสมบูรณ์/รายงานสรุป/pdf>. ค้นเมื่อวันที่ 6 เมษายน 2560.
- [2] ไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์. 2524. โครงการก่อสร้างสุราใหม่. สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (สวท.). แหล่งข้อมูล : <http://www2.diw.go.th/sura/ปนเปื้อน/chapter2.doc>. ค้นเมื่อวันที่ 20 ตุลาคม 2560.
- [3] ขวลิต รัตนธรรมสกุล และภาศัลย์ ใจรังษี. 2548. รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์: การวิจัยและพัฒนากระบวนการเมมเบรนในถังปฏิกรณ์ชีวภาพสำหรับบำบัดน้ำเสียจากโรงงานสุรา. กองทุนเพื่อลด

ผลกระทบจากนโยบายสุราเสรีของรัฐ. แหล่งข้อมูล : <https://www2.diw.go.th/sura/นโยบายสุราเสรีของรัฐ/DIW/chapter%201.doc>. ค้นเมื่อวันที่ 19 พฤษภาคม 2560.

- [4] Kharayat, Y. 2012. Distillery wastewater: Bioremediation approaches. *Journal of Integrative Environmental Sciences*. 9, 69-91.
- [5] Abdallaa, K.Z and Hammamb, G. 2014. Correlation between biochemical oxygen demand and chemical oxygen demand for various wastewater treatment plants in Egypt to obtain the biodegradability indices. *International Journal of Sciences: Basic and Applied Research*, 13(1), 42-48.
- [6] Kumar, V., Wati, L., FitzGibbon, F., Nigam, P., Banat, I. M., Singh, D. and Marchant, R. 1997. Bioremediation and decolorization of anaerobically digested distillery spent wash. *Biotechnology Letters*, 19(4), 311-314.
- [7] สมพงษ์ หิรัญมาศสุวรรณ. 2551. กระบวนการโคแอกกูเลชันด้วยไฟฟ้า. *วารสารเทคนิค เครื่องกลไฟฟ้า อุตสาหกรรม*, 283, 138-144. [Somphong Hiranmasuwan. 2008. Electrocoagulation process. *Technic-Magazin*, 283, 138-144. (in Thai)]
- [8] พรศักดิ์ สมรไกรสรกิจ. 2556. กระบวนการโคแอกกูเลชันและฟล็อกกูเลชัน. การประปานครหลวง. แหล่งข้อมูล : https://www.mwa.co.th/ewt_dl_link.php?nid=441. ค้นเมื่อวันที่ 26 ธันวาคม 2559.
- [9] Asha, A., Keerthi, MuthukrishnarajN A. and Balasubramanian, N. 2014. Improvement of biodegradability index through electrocoagulation and advanced oxidation process. *International Journal of Industrial Chemistry*, 5: 4. <https://doi.org/10.1007/s40090-014-0004-x>.
- [10] Hanafia, F., Belaoufia, A., Mountadarb, M. and Assobhei, O. 2011. Augmentation of biodegradability of olive mill wastewater by electrochemical pre-treatment: Effect on phytotoxicity and operating cost. *Journal of Hazardous Materials*, 190, 94-99.
- [11] Phalakornkulea, C., Mangmeemak, J., Intrachod, K. and Nuntakumjorna, B. 2010. Pretreatment of palm oil mill effluent by electrocoagulation and coagulation. *ScienceAsia*, 36, 142-149.
- [12] Arslan-Alaton, I. and Turkoglu, G. 2008. Treatability of a simulated spent disperse dyebath by chemical and electrochemical processes. *Environmental Engineering Science*, 25(3), 295-308.
- [13] Sontaya, K., Pitiyont, B. and Punsuvon, V. 2013. Decolorization and COD removal of palm oil mill wastewater by electrocoagulation. *International Journal of Environmental and Ecological Engineering*, 7(9). 606-609.
- [14] American Public Health Association, American Water Works Association and Water Environment Federation (APHA, AWWA and WEF). 2005. Standard Methods for the

- Examination of Water and Wastewater. 21st ed., APHA, AWWA and WEF, Washington, DC.
- [15] Kobya, M. and Gengec, E. 2012. Decolourization of melanoidins by a electrocoagulation process using aluminium electrodes. *Environmental Technology*, 33(19-21), 2429-2438.
- [16] David, C., Arivazhagan, M. and Tuvakara, F. 2015. Decolorization of distillery spent wash effluent by electro oxidation (EC and EF) and Fenton processes: A comparative study. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 121:142-148.
- [17] Bazrafshan, E. , Moein, H. , Ferdos, K. M. and Nakhaie, S. 2013. Application of electrocoagulation process for dairy wastewater treatment. *Journal of Chemistry*, Article ID 640139. <http://dx.doi.org/10.1155/2013/640139>
- [18] Godini, K., Azarian, G., Nematollahi, D., Rahmani, A.R. and Zolghadnasab, H. 2012. Electrochemical treatment of poultry slaughterhouse wastewater using iron and aluminium electrodes. *Research Journal of Chemistry and Environment*, 16(3), 98-103.
- [19] Carrier, X., Marceau, E., Lambert, J.-F., Che, M., 2007. Transformations of γ -alumina in aqueous suspensions: 1. Alumina chemical weathering studied as a function of pH. *Journal of Colloid and Interface Science*, 308 (2), 429-437.
- [20] Khemis, M., Leclerc, J.-P., Tanguy, G., Valentin, G., Lopicque, F., 2006. Treatment of industrial liquid wastes by electrocoagulation: Experimental investigations and an overall interpretation model. *Chemical Engineering Science*, 61 (11), 3602-3609.
- [21] Tezcan Un, U., Koparal, A.S., Bakir Oğutveren, U., 2009. Electrocoagulation of vegetable oil refinery wastewater using aluminum electrodes. *Journal of Environmental Management*, 90, 428-433.