

การบำบัดน้ำเสียสีย้อมใหม่โดยกระบวนการตกตะกอนด้วยไฟฟ้า

พลกฤษณ์ จิตรโต^{1*} ธัญญา ชัยกระทาง¹ และวรินทร์ นาคบรรพต²

¹คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ และ ²คณะวิทยาศาสตร์

มหาวิทยาลัยมหาสารคาม กันทรวิชัย มหาสารคาม 44150

*E-mail: flyandaway@hotmail.com

รับบทความ: 15 กุมภาพันธ์ 2559 ยอมรับตีพิมพ์: 19 ตุลาคม 2559

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียสีย้อมใหม่สีแดงประเภทสีย้อมแอซิด และหาประสิทธิภาพการบำบัด โดยกระบวนการตกตะกอนด้วยไฟฟ้าในถังปฏิกรณ์แบบกะ ขนาด 1,000 มิลลิลิตร ใช้เหล็กเป็นขั้วไฟฟ้าขนาด 3.5×15.0 ตารางเซนติเมตร พื้นที่จมน้ำ 105 ตารางเซนติเมตร ระยะห่างขั้วไฟฟ้า 2 เซนติเมตร บัจจัยที่ทำการศึกษา ได้แก่ ค่าพีเอชเริ่มต้น ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าต่อพื้นที่อิเล็กโทรด และระยะเวลาที่ใช้ในการบำบัด ผลการศึกษาพบว่า ที่ค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสีย 4–8 เมื่อเดินระบบบำบัดค่าพีเอชมีค่าสูงขึ้น ในขณะที่ค่าพีเอชเริ่มต้นที่ 9 ค่าพีเอชลดลงเล็กน้อย และเข้าสู่สภาพสมดุลในช่วงพีเอช 7–9 ภาวะเหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียคือที่ค่าพีเอชเริ่มต้นที่ 7 ค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าต่อพื้นที่ขั้วไฟฟ้า 80 แอมแปร์ต่อตารางเมตร ระยะเวลาในการบำบัด 40 นาที มีประสิทธิภาพในการบำบัดสีร้อยละ 95 และประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีร้อยละ 79 ทั้งนี้ไม่สามารถวัดปริมาณไอออนของเฟอร์ริกหรือเฟอร์รัสได้

คำสำคัญ: บำบัด น้ำเสีย ไฟฟ้าเคมี ตกตะกอนด้วยไฟฟ้า สีย้อม

Silk Textile Wastewater Treatment by Electrocoagulation Process

Ponlakit Jitto^{1,*}, Thiyada Chaikratang¹ and Woranan Nakbanpote²

¹Faculty of Environment and Resource Studies, and ²Faculty of Science,
Mahasarakham University, Kantarawichai, Maha Sarakham 44150, Thailand

*E-mail: flyandaway@hotmail.com

Received: 15 February 2016 Accepted: 19 October 2016

Abstract

The objective of this research is to study the efficiency and optimal conditions for the removal of acidic red tone dye from textile wastewater by an electrocoagulation process. This is done in a batch reactor provided with 2 electrodes, shape $3.5 \times 15 \text{ cm}^2$, submerged areas totaling to 105 cm^2 , and an electrode distance of 2 cm. The parameters studied in this experiment were initial pH, current density per area and retention time. The results showed that when an initial pH value of 5–8, pH value of wastewater system had increased. While the initial pH value at 9, the pH value of the system had decreased. Thus, the optimal pH range is 7–9. Wastewater treatment reached optimal efficiency when the initial condition was the pH of 7, current density per electrode was 80 A/m^2 , and retention time was 40 min. According to these conditions, dye removal was the most efficient at removing dye, color removal of 95%, and a COD removal efficiency of 79%. Effluent wastewater was not found ferric or ferrous ions.

Keywords: Treatment, Wastewater, Electrolysis, Electrocoagulation, Dye

บทนำ

น้ำเสียจากกระบวนการย้อมสี เป็นน้ำเสียประเภทหนึ่งจากอุตสาหกรรมที่ก่อให้เกิดมลพิษทั้งในเชิงสีที่ฟุ้งกระจายและไม่ผ่านการบำบัดเวลาปล่อยลงสู่แหล่งน้ำ สีทำให้แสงส่องผ่านลงสู่แหล่งน้ำลดลงมีผลต่อสิ่งมีชีวิตที่ใช้แสงในการดำรงชีวิต นอกจากนี้สีเป็นสารเคมีมีส่วนประกอบของสารอโรมาติก และหมู่ azo ที่เป็นพิษ เช่น แอโรเมติกเอมีน เป็นสารก่อมะเร็งที่รุนแรง หากปล่อย

สู่สิ่งแวดล้อมนอกจากเป็นทำให้น้ำมีสีที่ฟุ้งกระจายและเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม (Merzouk et al., 2009) น้ำเสียสีย้อมมีช่วงพีเอชกว้าง คือ 2–12 มีค่า COD และอนุภาคแขวนลอยสูง สามารถย่อยสลายทางชีวภาพต่ำ (Can et al., 2006)

วิธีการบำบัดน้ำเสียสีย้อมมีได้หลายวิธี ได้แก่ การดูดซับแต่ไม่เหมาะสมกับน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูง การตกตะกอนทางเคมีมีประสิทธิภาพการบำบัดที่ดีแต่การเดินระบบต้องใช้บุคลากรที่มี

ความรู้ในการกำหนดปริมาณสารเคมี การใช้คลอรีนเพื่อสลายทางเคมีเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพมาก แต่ผลจากการสลายโดยคลอรีนจะออกมาในรูปสารประกอบออกการโนคลอรีนซึ่งมีความเป็นพิษ (Merzouk et al., 2009) การตกตะกอนด้วยไฟฟ้ามีการประยุกต์ใช้กันอย่างกว้างทั้งในระบบบำบัดน้ำดีและน้ำเสีย และยังมีประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์และสิ่งที่ทำให้ก่อโรค เป็นกระบวนการที่สะดวกในการควบคุม มีตะกอนสลัดจ์ (sludge) น้อย และไม่ต้องเติมสารเคมี การประยุกต์ใช้การตกตะกอนด้วยไฟฟ้าในการบำบัดน้ำเสียหลายประเภท กลไกเกิดจากการรวมตะกอน และการตกตะกอน ทำให้สามารถบำบัดน้ำเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Mahmut, 2004; Mohamad, 2009)

กลไกในการบำบัดน้ำเสีย โดยการตกตะกอนด้วยไฟฟ้า ทดลองในถังปฏิกรณ์แบบกะ (batch reactor) เกิดจากการให้กระแสไฟฟ้ากระแสตรงผ่านขั้วไฟฟ้าเหล็ก ที่ขั้วแอโนดเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของเหล็กเกิดเป็นไอออนเฟอร์รัสละลายออกมาในน้ำเสีย ขณะเดียวกันที่ขั้วแคโทดจะเกิดปฏิกิริยารีดักชันของน้ำ เกิดแก๊สไฮโดรเจนและไอออนไฮดรอกไซด์ ไอออนเฟอร์รัสที่เกิดขึ้นทำปฏิกิริยากับไอออนไฮดรอกไซด์เกิดเป็นเฟอร์รัสไฮดรอกไซด์ และเนื่องจากตะกอนของเฟอร์รัสไฮดรอกไซด์ไม่เสถียร จึงถูกออกซิไดซ์ต่อเป็นเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ ทั้งเฟอร์รัสและเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์เป็นผลึกไม่ละลายน้ำ (Tuntoolavest, 1999) จะรวมตัวเป็นตะกอนและดูดซับโมเลกุลสีย้อมโดยพันธะไอออนิกและการดูดซับทางกายภาพ ตะกอนที่เกิดขึ้นมีหมู่ฟังก์ชันบนพื้นผิวสามารถทำหน้าที่เป็นสะพานเชื่อมตะกอน ทำให้มีตะกอนขนาดใหญ่และแยกตัวออกจากน้ำได้ (Ayhan et al., 2009; Daneshvar et al., 2006) ดังนั้นงานวิจัยนี้มีความ

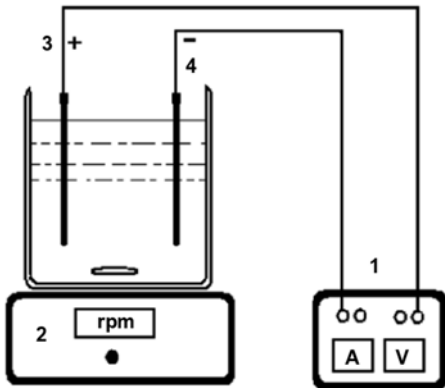
มุ่งหมายในการหาภาวะที่เหมาะสมและประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียสีย้อมใหม่ โดยกระบวนการตกตะกอนด้วยไฟฟ้าในถังปฏิกรณ์แบบกะ

วิธีดำเนินงานวิจัย

การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์สารละลายสีย้อมสีแดงความเข้มข้น 1,500 มิลลิกรัม/ลิตร ทำได้โดยนำผงสีย้อมแอสลิกพร้อมใช้ตราเครื่องบิน 1,500 มิลลิกรัม ละลายในน้ำกลั่นปริมาตร 1 ลิตรให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส กวนด้วยเครื่องกวนแม่เหล็กไฟฟ้า (magnetic stirrer) เป็นเวลา 30 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้อุณหภูมิปกติแล้วเก็บตัวอย่างน้ำในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ก่อนนำไปทำการทดลอง

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองนี้ประกอบด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงที่สามารถปรับค่าความต่างศักย์สูงสุดได้ 15 โวลต์ต่อเข้ากับขั้วไฟฟ้า (electrode) คือ แผ่นเหล็กที่มีความหนา 2 มิลลิเมตร ขนาด 3.5×20 ตารางเซนติเมตร มีพื้นที่จมน้ำ 3.5×15 ตารางเซนติเมตร ภายในถังปฏิกรณ์แบบกะ ใช้บีกเกอร์ขนาด 1,000 มิลลิลิตร และกวนน้ำเสียสังเคราะห์จากการทดลองด้วยเครื่องกวนแม่เหล็กไฟฟ้า (ภาพที่ 1) การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ทำได้โดยนำแผ่นเหล็กไปแช่ด้วยกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นร้อยละ 35 ระยะเวลา 15 นาที แล้วล้างด้วยน้ำสะอาด ชัดด้วยกระดาษทราย จากนั้นล้างด้วยน้ำกลั่นและนำไปอบที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 1 ชั่วโมง เก็บไว้ในตู้ดูดความชื้น 1 ชั่วโมง (Do, 1994; Mahmut, 2004)

ปัจจัยที่ศึกษาได้แก่ 1) ผลของค่าพีเอชเริ่มต้นต่อประสิทธิภาพการบำบัดที่ค่าพีเอชเริ่มต้น 5 ถึง 9 ใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ปรับ



ภาพที่ 1 การติดตั้งเครื่องมือและอุปกรณ์

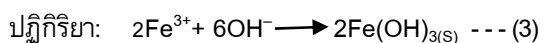
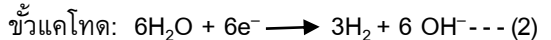
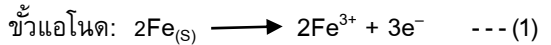
- (1) เครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้า (2) เครื่องกวนแม่เหล็กไฟฟ้า (3) ขั้วไฟฟ้าแอโนด (4) ขั้วไฟฟ้าแคโทด (5) บีกเกอร์ขนาด 1,000 มิลลิลิตร (Daneshvar et al., 2007)

ค่าพีเอชตามพีเอชที่ใช้ในการทดลอง ให้กระแสไฟฟ้าคงที่ 60 แอมแปร์ต่อตารางเมตร 2) ศึกษาผลของความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ 40 60 80 100 และ 120 แอมแปร์ต่อตารางเมตร จากนั้นนำค่าพีเอชจากการทดลองที่ได้นำไปศึกษาต่อและ 3) ผลของระยะเวลาที่ใช้ในการบำบัดที่ 0 5 10 15 20 40 60 80 100 และ 120 นาที กรองตะกอนของตัวอย่างน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยกระดาษกรอง GF/C และนำไปวิเคราะห์หาค่าสีด้วยวิธี S.U. ด้วยเครื่อง spectrophotometer (Shimadzu UV-150, Japan) ที่ความยาวคลื่น 400 – 700 นาโนเมตร ค่าซีไอตีวิเคราะห์ด้วยวิธีรีฟลักซ์แบบปิดแบบเทียบสี ตรวจวัดเหล็กละลายน้ำด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Tuntoolavest, 1999, 2000) และค่าพีเอชวัดด้วยเครื่อง pH meter (Sartorius-Docu, USA)

ผลการทดลองและอภิปรายผล

ผลของค่าพีเอชเริ่มต้นต่อค่าพีเอชระบบ

เมื่อนำน้ำเสียสังเคราะห์สีย้อมสีแดงบำบัดด้วยการตกตะกอนด้วยไฟฟ้าที่ค่าพีเอชเริ่มต้น 5 – 9 พบว่า เมื่อเดินระบบที่ค่าพีเอชเริ่มต้น 5 – 8 ค่าพีเอชมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อระยะเวลาผ่านไป ค่าพีเอชเข้าสู่ภาวะสมดุล ทั้งนี้ค่าพีเอชที่เพิ่มขึ้นสามารถอธิบายได้ตามสมการที่ (1) – (3) เกิดจากปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีที่ขั้วแอโนดและแคโทดนั้น โดยที่ขั้วแคโทดเกิดการแตกตัวของน้ำทำให้เกิดแก๊สไฮโดรเจนและไฮดรอกไซด์ส่งผลให้น้ำมีค่าพีเอชที่เพิ่มขึ้น (Pretorius, 1991) ค่าพีเอชเริ่มคงที่เนื่องจากไฮดรอกไซด์ที่เกิดจากขั้วแคโทดทำปฏิกิริยากับ $Fe^{2+}_{(aq)}$ หรือ $Fe^{3+}_{(aq)}$ เกิดเป็น $Fe(OH)_{2(s)}$ หรือ $Fe(OH)_{3(s)}$ ซึ่งค่าพีเอชเข้าสู่จุดสมดุลเป็นค่าพีเอชที่เหมาะสมกับการเกิดปฏิกิริยามีค่าประมาณ 7 – 9 (Pretorius, 1991) ซึ่งเป็นภาวะสมดุลระหว่างการเกิด $OH^{-}_{(aq)}$ และการเกิด $Fe(OH)_3$ ที่เป็นของแข็ง (Guohua, 2004) ส่วนค่าพีเอชเริ่มต้น 9 เมื่อเดินระบบพบว่ามีแนวโน้มลดลง (ภาพที่ 2) เนื่องจากในระบบ OH^{-} ทำปฏิกิริยากับ Fe^{2+} ทันที และเริ่มคงที่เมื่อเข้าสู่ภาวะสมดุล ดังในปฏิกิริยาที่ (1) – (3) (Essadki et al., 2007; Mahmut et al., 2004, 2007; Kobya, et al., 2003; Mollah, et al., 2004)

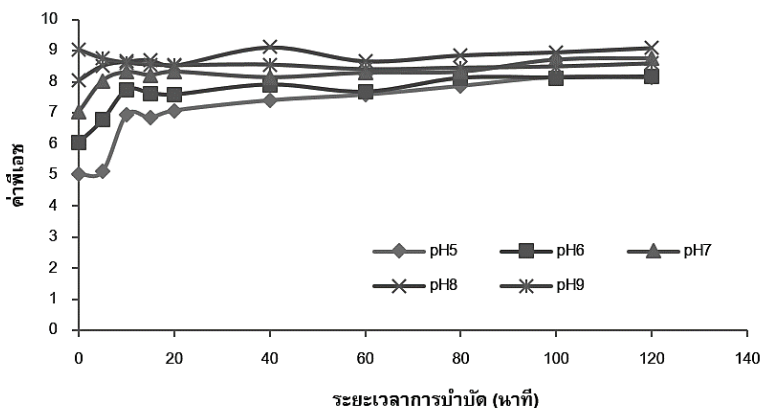


ผลของค่าพีเอชเริ่มต้นต่อประสิทธิภาพการบำบัดสี

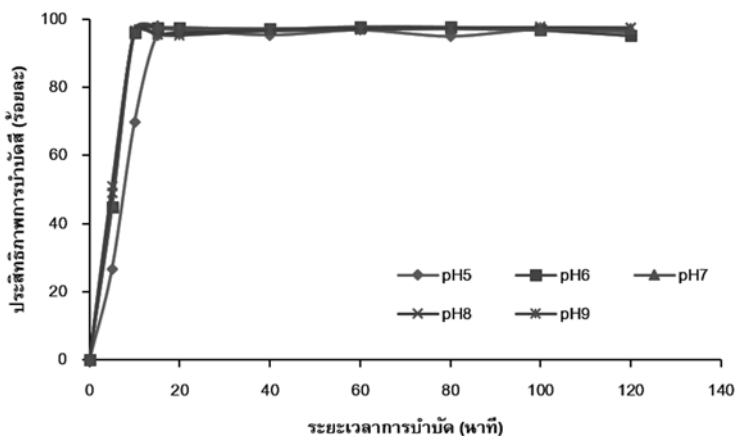
ประสิทธิภาพของการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์สีแดงติดตามจากความสามารถในการบำบัด

สี พิจารณาได้จากค่าสีที่ลดลงจากความเข้มข้นเริ่มต้นตามระยะเวลาการบำบัด 0–120 นาที ผลการศึกษาพบว่า สารละลายสีย้อมไหมโทนสีแดงมีประสิทธิภาพในการบำบัดสีที่ค่าพีเอชเริ่มต้นต่างกันให้ประสิทธิภาพในการบำบัดที่ใกล้เคียงกัน ค่าพีเอชเริ่มต้นที่ 5 ใช้ระยะเวลาในการบำบัด 15

นาที ค่าพีเอชเริ่มต้นที่ 6 7 8 และ 9 ใช้เวลาการบำบัด 10 นาที มีประสิทธิภาพในการบำบัดร้อยละ 95 96 97 97 และ 96 ตามลำดับ (ภาพที่ 3) เนื่องจากค่าพีเอชระบบมากกว่า 7 (ภาพที่ 2) เป็นพีเอชที่เหมาะสมต่อการเกิดสารรวมตะกอน (Fe(OH)₃) (Mollah, et al, 2004)



ภาพที่ 2 การเปลี่ยนแปลงของค่าพีเอชระบบในการเดินระบบการตกตะกอนด้วยไฟฟ้าเคมี



ภาพที่ 3 ผลของค่าพีเอชเริ่มต้นต่อประสิทธิภาพการบำบัดสีที่ค่าพีเอชเริ่มต้น 5–9

ผลของค่าพีเอชเริ่มต้นต่อประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดี

ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ สีแดงติดตามจากความสามารถในการบำบัดซีโอดี

พิจารณาได้จากความเข้มข้นของซีโอดีที่ลดลง โดยแสดงในรูปความเข้มข้นของซีโอดีที่ระยะเวลาต่าง ๆ ผลของค่าพีเอชเริ่มต้นต่อประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีที่ระยะเวลากักเก็บ ผลการศึกษาพบว่าประ-

สิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ในช่วงระยะเวลาแรกและค่าคงที่ที่ระยะเวลา 10–15 นาที โดยที่ค่าพีเอชเริ่มต้น 5 6 7 8 และ 9 มีประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีเป็นร้อยละ 86 82 77 75 และ 66 ตามลำดับ (ภาพที่ 4) จะเห็นได้ว่า ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีมีค่าน้อยกว่า ประสิทธิภาพการบำบัดสีเนื่องจากสีที่ใช้เป็นสีสำเร็จรูปพร้อมย้อมประกอบด้วยเม็ดสีและสารเคมีช่วยในการย้อมไหม เช่น สารช่วยการติดสี สารเพิ่มคุณภาพสี สารกันป้องกันการเสื่อมสภาพ และอื่นๆ แสดงให้เห็นว่า สารบางชนิดในสีย้อมสำเร็จนี้ไม่สามารถกำจัดได้ด้วยวิธีตกตะกอนด้วยไฟฟ้า จากผลการทดลองข้างต้น ชี้ให้เห็นว่า ค่าพีเอชเริ่มต้นต่ำสามารถบำบัดซีโอดีได้ดีกว่าค่าพีเอชสูง ซึ่งเป็นผลจากช่วงพีเอชก่อนให้เกิดสารรวมตะกอนมีความเหมาะสมในช่วง 7–8 มากที่สุด ดังในภาพที่ 2

ผลของค่าพีเอชเริ่มต้นต่อปริมาณเหล็กละลาย

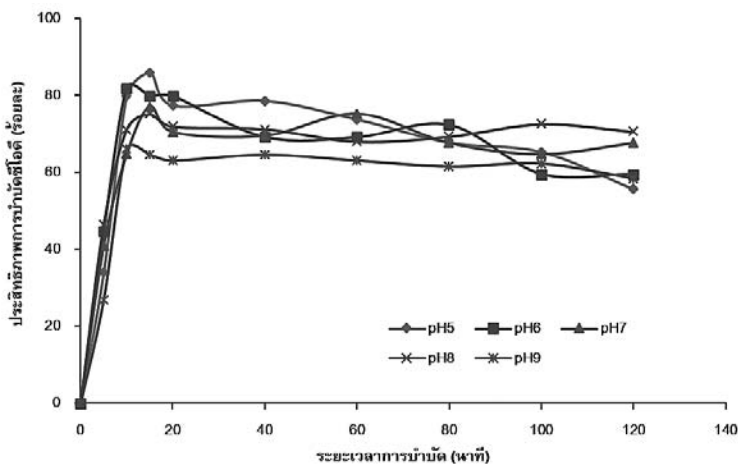
จากการติดตามปริมาณเหล็กละลายในระบบบำบัดน้ำเสียที่เกิดจากปฏิกิริยารีดักชันในปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมี ผลการศึกษาพบว่า ปริมาณเหล็กละลายมีปริมาณมากในสารละลายสีย้อมที่ค่าพีเอชเริ่มต้นสูงและลดต่ำลงเมื่อค่าพีเอชเริ่มต้นน้อย โดยที่ค่าพีเอชเริ่มต้น 6 7 8 และ 9 ปริมาณเหล็กละลายเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วดังสมการที่ (1) และมีปริมาณมากที่สุดที่เวลา 5 นาที แล้วจึงลดลงมาจนไม่สามารถวิเคราะห์ได้ที่เวลา 10 นาที ส่วนค่าพีเอชเริ่มต้น 5 ปริมาณเหล็กละลายเพิ่มขึ้นเล็กน้อยและลดลงจนไม่สามารถวิเคราะห์ได้ที่เวลา 15 นาที ดังในภาพที่ 5 ซึ่งปริมาณเหล็กละลายนี้จะสอดคล้องกับความสามารถในการบำบัดสี คือที่ระยะเวลา 5 และ 10 นาที เหล็กละลาย

ที่ลดลงเกิดจากปฏิกิริยาการเกิดสารรวมตะกอนดังในสมการที่ (3) ผลของเหล็กละลายน้ำที่ถูกเปลี่ยนเป็นสารรวมตะกอนสอดคล้องกับผลประสิทธิภาพการบำบัดและซีโอดี ดังในภาพที่ 3 และ 4

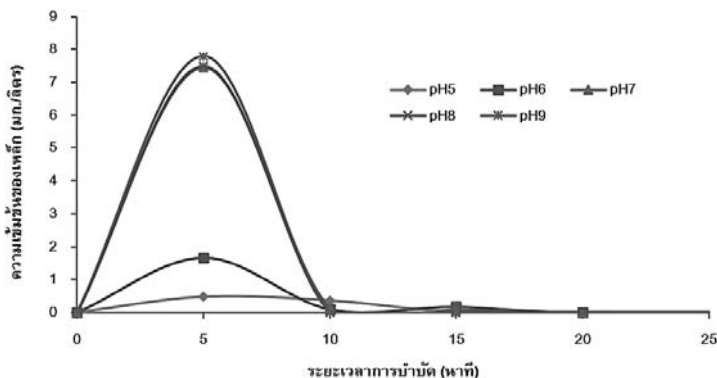
ค่าพีเอชเริ่มต้นที่เหมาะสม พิจารณาจากประสิทธิภาพในการบำบัด ประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีเป็นหลัก และค่าพีเอชเริ่มต้นที่เหมาะสม เมื่อสิ้นสุดกระบวนการบำบัดต้องมีค่าพีเอชและปริมาณเหล็กละลายไม่มากจนเกินไป ผลของค่าพีเอชเริ่มต้นที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัด จากผลการศึกษา จะเห็นได้ว่า ที่ค่าพีเอช 5 ที่ระยะเวลาการบำบัด 15 นาที และพีเอช 6 ที่ 10 นาที เป็นค่าที่เหมาะสมเนื่องจากมีประสิทธิภาพการบำบัดสี และซีโอดีสูงที่สุด และค่าเหล็กละลายน้ำไม่สามารถวัดได้

ผลของความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าต่อค่าพีเอชระบบ

ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าเป็นปัจจัยที่สำคัญควบคุมการเกิดปฏิกิริยาในเครื่องปฏิกรณ์ (Mollah et al., 2001) ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าเป็นตัวกำหนดอัตราการเกิดสารรวมตะกอน และการเกิดฟองอากาศทำให้ตะกอนแยกจากน้ำเสีย (Guohua, 2004; Jing-wei et al., 2007) ทั้งนี้ในการศึกษาผลของความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัด โดยศึกษาความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 40 60 80 100 และ 120 แอมแปร์ต่อตารางเมตร ค่าพีเอชของน้ำเสียเริ่มต้น 7 (ทั้งนี้พิจารณาจากประสิทธิภาพการบำบัดและค่าพีเอชของน้ำเสียจริงที่มีการย้อมสีและการล้างสีน้ำเสียทั้งสองส่วนมาปนกันเพื่อบำบัดโดยน้ำเสียที่ปนกันที่มีค่าเป็นกลาง) ใช้เหล็กเป็นอิเล็กโทรด ผลของความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปต่อค่าพีเอชระบบ



ภาพที่ 4 ผลของค่าพีเอชเริ่มต้นต่อประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีที่ค่าพีเอชเริ่มต้น 5-9



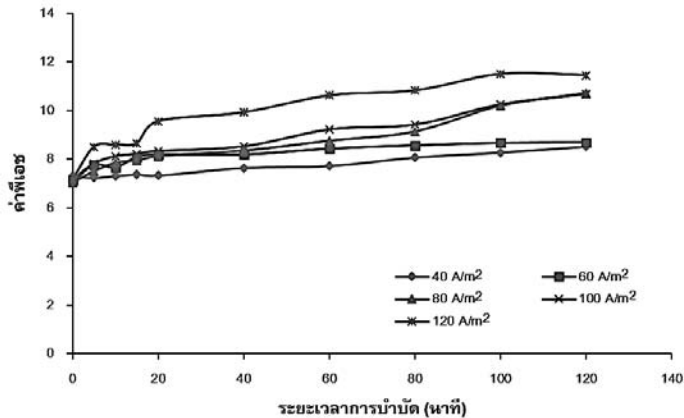
ภาพที่ 5 ผลของค่าพีเอชเริ่มต้นต่อความเข้มข้นของคลอรีนละลายที่ค่าพีเอชเริ่มต้น 5-9

ผลการศึกษาพบว่า เมื่อความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ค่าพีเอชในระบบมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อกระแสไฟฟ้าเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ขั้วแคโทดโดยที่น้ำเป็นตัวรับอิเล็กตรอนและเกิดการแตกตัวเป็นแก๊สไฮโดรเจนและไอออนไฮดรอกไซด์ (Adhoum and Monser, 2004; Vik et al., 1984) โดยไฮดรอกไซด์ไอออนที่เพิ่มขึ้นนี้ ส่งผลให้น้ำมีค่าพีเอชที่เพิ่มขึ้น ที่ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า 40 และ 60 A/m² ค่าพีเอชระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก ค่อนข้างคงที่ แต่การ

เพิ่มความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าที่มากขึ้น เป็น 80 100 และ 120 A/m² (ภาพที่ 6) ส่งผลให้ค่าพีเอชระบบเพิ่มขึ้นและเข้าสู่จุดสมดุลต่ำกว่ากระแสไฟฟ้าต่ำ

ผลของความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าต่อประสิทธิภาพการบำบัดสี

จากการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้การวัดสีแบบเอสยู วัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ในช่วงความยาวคลื่น 400-700 นาโนเมตร เนื่อง-



ภาพที่ 6 ผลของกระแสไฟฟ้าต่อค่าพีเอชของระบบที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 40 60 80 100 และ 120 แอมแปร์ต่อตารางเมตร

จากน้ำเสียที่ย้อมเมื่อสิ้นสุดกระบวนการตกตะกอนด้วยไฟฟ้าได้เปลี่ยนจากสีแดงเข้มเป็นสีเหลืองใสจาง ๆ และมีค่าความยาวคลื่นสูงสุดของน้ำหลังบำบัดเปลี่ยนแปลงไปจาก 500 นาโนเมตรเป็น 380 นาโนเมตร ผลการศึกษาพบว่า เมื่อเพิ่มความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า ประสิทธิภาพในการบำบัดสีจะเพิ่มขึ้น ที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 40 A/m² ในช่วงแรกมีประสิทธิภาพต่ำมาก เมื่อเวลาผ่านไป 20 นาที ประสิทธิภาพกลับเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และสามารถบำบัดสีได้สูงสุดที่ 60 นาที ที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 60 80 100 และ 120 A/m² มีประสิทธิภาพในการบำบัดสีที่ใกล้เคียงกัน แต่แตกต่างกันที่ช่วงเวลาที่ประสิทธิภาพสูงสุด คือ 40 20 5 และ 10 นาที ตามลำดับ (ภาพที่ 7) กระแสไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นทำให้เกิดสารรวมตะกอน Fe(OH)₃ มีผลให้ประสิทธิภาพการบำบัดเพิ่มขึ้นและสามารถบำบัดได้เร็วขึ้น ส่วนความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 120 A/m² มีประสิทธิภาพในการบำบัดต่ำกว่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 100 A/m² ซึ่งให้เห็นว่า การให้กระแสไฟฟ้ามากเกินไปอิเล็กทรอนิกส์ที่แตกตัวจากปฏิกิริยารีดักชัน

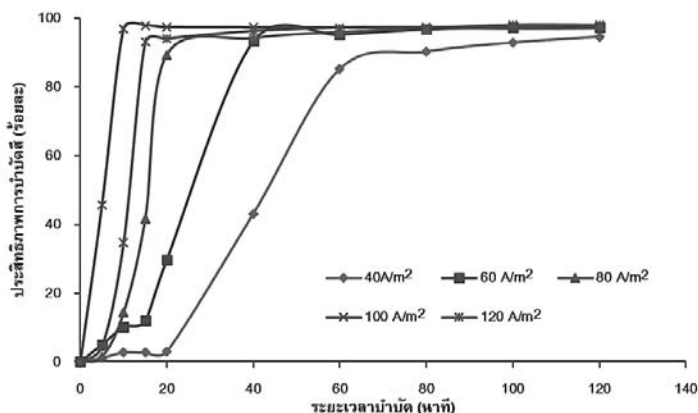
อาจเกิดปฏิกิริยาอื่นนอกจากทำให้น้ำแตกตัวที่ขั้วแคโทด มีผลให้ประสิทธิภาพการบำบัดลดลง (Merzouk et al., 2009)

ผลของความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าต่อประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดี

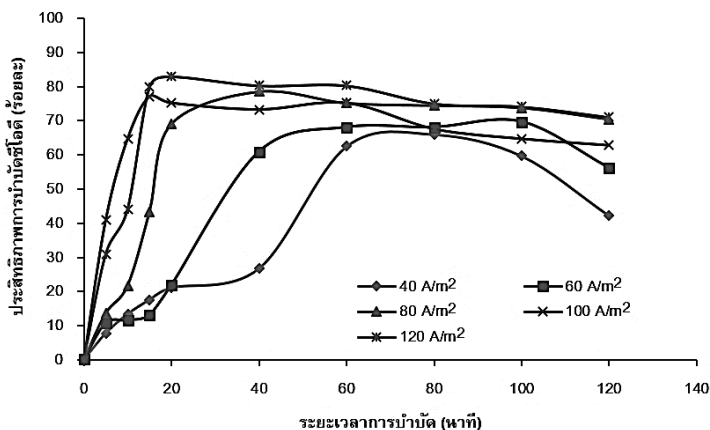
ความมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีนั้นขึ้นอยู่กับปริมาณเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ ซึ่งมีตามกฎฟาราเดย์ซึ่งปริมาณปฏิกิริยาแปรผันตรงกับความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า เมื่อกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์เพิ่มขึ้นส่งผลให้ประสิทธิภาพการบำบัดสูงขึ้น ผลการศึกษาพบว่า ค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ 40 A/m² จนไปถึง 120 A/m² ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 66 จนไปถึง 80 ที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าสูงสุดสามารถกำจัดซีโอดีภายใน 15 นาที (ภาพที่ 8) แสดงให้เห็นว่า ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าสูงเกิดตะกอนมากมีผลต่อประสิทธิภาพก็ดูชัดซบมลสาร นอกจากนี้กระแสไฟฟ้าสูงทำให้เกิดปฏิกิริยารีดักชันมาก ส่งผลให้เกิดฟองแก๊สไฮโดรเจนมากขึ้น จึงทำให้กำจัดแยกตะกอนออกจากน้ำเสียได้เร็วขึ้น (Adhoum et al., 2004; Vik

et al., 1984) ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอติมีค่าน้อยกว่าประสิทธิภาพการบำบัดสีเนื่องจากในน้ำเสียนอกจากประกอบด้วยเม็ดสีเป็นองค์ประกอบ

หลักยังมีสารชนิดอื่นที่มีส่วนช่วยในการย้อมสีซึ่งสารประกอบ บางชนิดไม่สามารถบำบัดได้ด้วยวิธีและภาวะที่ใช้ในการทดลองนี้



ภาพที่ 7 ผลของกระแสไฟฟ้าต่อประสิทธิภาพการบำบัดสีที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 40 60 80 100 และ 120 แอมแปร์ต่อตารางเมตร



ภาพที่ 8 ผลของกระแสไฟฟ้าต่อประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 40 60 80 100 และ 120 แอมแปร์ต่อตารางเมตร

ผลของความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าต่อปริมาณเหล็กละลาย

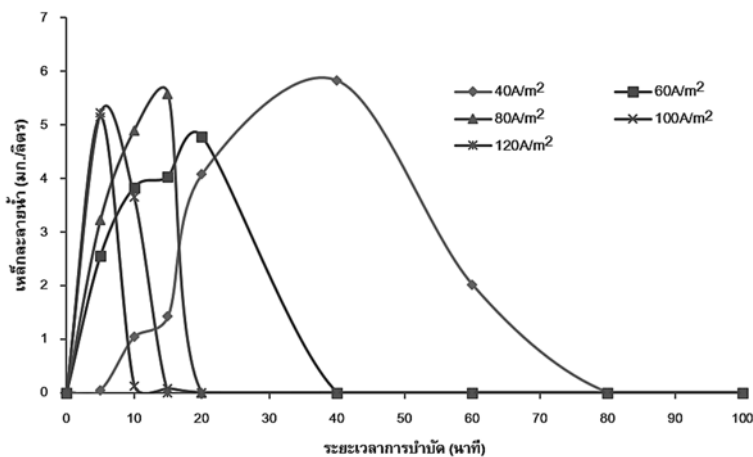
เมื่อพิจารณาถึงปริมาณเหล็กละลายที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาออกซิเดชันในสารละลายสีย้อมที่เวลาต่าง ๆ เมื่อใช้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า

เปลี่ยนแปลงไป ผลศึกษาพบว่า ปริมาณเหล็กละลายสูงสุดในแต่ละกระแสไฟฟ้ามีค่าใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 4.7 – 5.8 ขึ้นกับระยะเวลา โดยที่ค่ากระแสไฟฟ้า 40 A/m² มีปริมาณเหล็กละลายอยู่ในน้ำเสียเพิ่มขึ้น จนมากที่สุดที่ระยะเวลาผ่าน

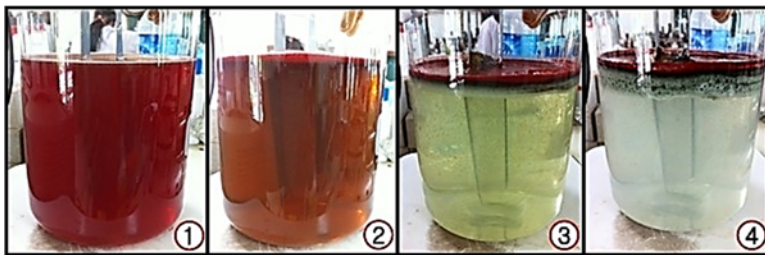
ไป 40 นาที เกิดจากขบวนการออกซิเดชันจาก $Fe^0_{(s)}$ เปลี่ยนเป็น Fe^{2+} หรือ Fe^{3+} และที่เวลา 80 นาที เพอร์ริกไอออน เพอร์รัสไอออน เกิดปฏิกิริยาเป็นเพอร์ริกหรือเพอร์รัสไฮดรอกไซด์ ทำให้เหล็กละลายในน้ำลดลง โดยเมื่อเพิ่มกระแสไฟฟ้าที่ 60 80 100 และ 120 A/m^2 ระยะเวลาที่เหล็กละลายสูงสุดจะลดลงคือ 40 20 20 และ 15 นาที ตามลำดับ และทุกกระแสไฟฟ้าเมื่อบำบัดต่อเหล็กละลายน้ำมีค่าน้อยจนไม่สามารถตรวจวัดได้ (ภาพ

ที่ 9) แสดงให้เห็นว่า วิธีการบำบัดนี้สามารถบำบัดน้ำเสียได้โดยไม่มีเหล็กปนเปื้อนในน้ำหลังการบำบัด (Jing-wei et al., 2007)

เมื่อนำภาวะที่ดีที่สุดมาวิเคราะห์ พบว่า ค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียเริ่มต้นที่ 7 และให้กระแสไฟฟ้า 80 A/m^2 สีน้ำเสียจะถูกบำบัดโดยมีสีเหลืองจาง ๆ ในเวลา 10 นาที และเมื่อบำบัดเพิ่มขึ้นเป็นที่ระยะเวลา 40 นาทีน้ำผ่านบำบัดใสไม่มีสี และไม่มีเหล็กละลายน้ำ (ภาพที่ 10)



ภาพที่ 9 ผลของค่ากระแสไฟฟ้าต่อความเข้มข้นของเหล็กละลายที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 40 60 80 100 และ 120 แอมแปร์ต่อตารางเมตร



ภาพที่ 10 ผลการบำบัดน้ำเสียโดยวิธีการตกตะกอนด้วย (1) น้ำเสียเริ่มต้น (2) ระยะเวลาบำบัด 5 นาที (3) ระยะเวลาบำบัด 10 นาที และ (4) ระยะเวลาบำบัด 40 นาที

สรุปผลการทดลอง

การบำบัดน้ำเสียโดยขบวนการตกตะกอนด้วยไฟฟ้าพบเมื่อทำการบำบัด พบว่า พีเอช

ของระบบมีค่าเพิ่มขึ้นประมาณ 1-2 และคงที่ตลอดการทดลอง กระแสไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นมีผลให้ประสิทธิภาพการบำบัดเพิ่มขึ้น ในกรณีให้ค่า

กระแสไฟฟ้ามากเกินไปทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดลดลง ภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการตกตะกอนด้วยไฟฟ้าพบว่า มีค่าเหมาะสมที่ค่าพีเอชเริ่มต้น 7 และให้กระแสไฟฟ้า 80 A/m² โดยมีประสิทธิภาพในการบำบัดสีร้อยละ 95 ประสิทธิภาพในการบำบัดซีไอดีร้อยละ 79 ปริมาณเหล็กละลายน้ำไม่สามารถตรวจวัดได้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุนอุดหนุนงานวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) โครงการเชื่อมโยงภาคการผลิตกับงานวิจัย ทุนสกว. อุตสาหกรรม ประจำปี 2555 รหัสโครงการ MAG 55_0232 ในเรื่อง “การบำบัดน้ำเสียสีย้อมไหมโดยกระบวนการตกตะกอนด้วยไฟฟ้า”

เอกสารอ้างอิง

Adhoum N., and Monser, L. (2004). Decolorization and removal of phenolic compounds from olive mill wastewater by electrocoagulation. **Chemical Engineering and Processing: Process Intensification** 43 (10): 1281–1287.

Ayhan I. S., and Mahmut, O. (2009). The decolorization of C.I. Reactive Black 5 in aqueous solution by electrocoagulation using sacrificial iron electrodes. **Journal of Hazardous Materials** 161(2–3): 1369–1376.

Can, O. T., Kobya, M., Demirbas, E., and Bayramoglu, M. (2006). Treatment of the textile wastewater by combined electrocoagu-

lation. **Chemosphere** 62(2): 181–187.

- 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** 37(3): 1788–1795.
- Daneshvar, N., Sorkhabi, H. A., and Kasiri M. B. (2004). Decolorization of dye solution containing Acid Red 14 by electrocoagulation with a comparative investigation of different electrode connections. **Journal of Hazardous Materials** 112(1–2): 55–62.
- Do, J. S., and Chen, M. L. (1994). Decolorization of dye-containing solutions by electrocoagulation. **Journal of Applied Electrochemistry** 24(8): 785–790.
- Essadki, A. H., Bennajah, M., Gourich, B., Vial, Ch., Azzi, M. and Delmas H. (2007). Electrocoagulation/electroflotation in an external-loop airlift reactor—application to the decolorization of textile dye wastewater: a case study. **Chemical Engineering and Processing: Process Intensification** 47(8): 1211–1223.
- Guohua, C. (2004). Electrochemical technologies in wastewater treatment. **Separation and Purification Technology** 38(1): 11–41.
- Jing-wei, F., Ya-bing, S., Zheng, Z., Ji-biao, Z., Shu, L., Yuan-chun, T. (2007). Treatment

- of tannery wastewater by electrocoagulation. **Journal of Environmental Sciences** 19(12): 1409–1415.
- Kobyas, M., Orhan, T. C., and Bayramoglu, M. (2003). Treatment of textile wastewaters by electrocoagulation using iron and aluminum electrode. **Journal of Hazardous Materials** 100(1–3): 163–178.
- Mahmut, B., and Mehmet, K. (2004). Operating cost analysis of electrocoagulation of textile dye wastewater. **Separation and Purification Technology** 37: 117–125.
- Mahmut, B., Mehmet K., Orhan T. C., and Sozbir, M. (2004). Operation cost analysis of electrocoagulation of textile dye wastewater. Acid Red 2 by electrocoagulation and electrooxidation. **Separation and Purification Technology** 37: 117–125.
- Mahmut, B., Murat, E., and Mehmet Ko. (2007). Treatment of the textile wastewater by electrocoagulation: economical evaluation. **Chemical Engineering Journal** 128(2–3): 155–161.
- Manuel, C., Mohamed, K., Jean-Pierre, L., and François, L. (2006). Simple model to predict the removal of oil suspensions from water using the electrocoagulation technique. **Chemical Engineering Science** 61(4): 1237–1246.
- Merzouk, B., Gourich, B., Sekki, A., Madani, K., Vial, Ch., and Barkaoui, M. (2009). Studies on the decolorization of textile dye wastewater by continuous electrocoagulation process. **Chemical Engineering Journal** 149(1–3): 207–214.
- Mohammad, M. E., and Muttucumar, S. (2009). Review of pollutant removed by electrocoagulation and electrocoagulation/flotation processes. **Journal of Environmental Management** 90(5): 1663–1679.
- Mollah, M. Y. A., Schennach, R., Parga, J. R., and Cocke, D. L. (2001). Electrocoagulation (EC)–science and applications. **Journal of Separation and Purification Technology** 84(1): 29–41.
- Nafaâ, A., and Lotfi M. (2004). Decolourization and removal of phenolic compounds from olive mill wastewater by electrocoagulation. **Chemical Engineering and Processing: Process Intensification** 43(10): 1281–1287.
- Tuntoolavest, M. (1999). **Water Supply Engineering**. 3rd ed. Bangkok: Chulalongkorn University. (in Thai)
- Tuntoolavest, M. (2000). **Handbook of Water Quality Analysis**. 3rd ed. Bangkok: Chulalongkorn University. (in Thai)
- Vik, E. A., Carlson, D. A., Eikum, A. S., and Gjessing, E. T. (1984). Electrocoagulation of potable water. **Water Research** 18(11): 1355–1360.