

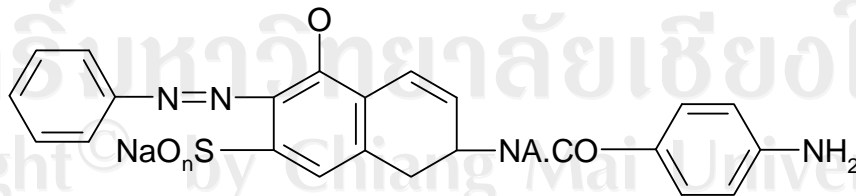
บทที่ 2

หลักการและทฤษฎี

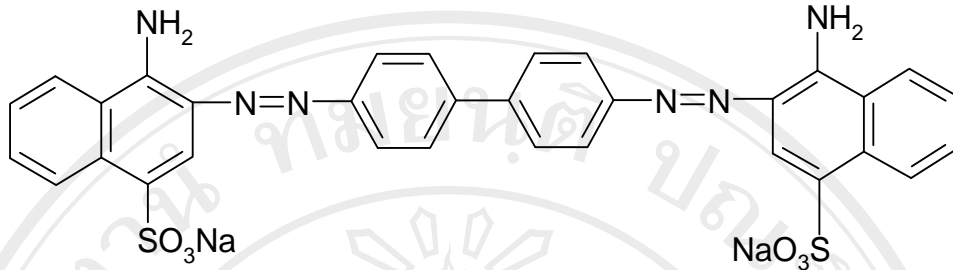
2.1 สีย้อมไคเร็กซ์ (Direct dyes)

โดยทั่วไปแล้วสีย้อมไคเร็กซ์จะเป็นเกลือของสีอะโซ (azo) ในโมเลกุลประกอบด้วยกลุ่มเคมีของกรดกำมะถัน ที่สามารถละลายน้ำได้ สีย้อมไคเร็กซ์จัดเป็นสีกลุ่มใหญ่ที่สุดในบรรดาสีย้อมที่ใช้อยู่ ซึ่งแต่ละกลุ่มมีความคงทนต่อการใช้งานไม่เท่ากัน นอกจากนี้สีย้อมไคเร็กซ์ยังมีคุณสมบัติซึมติดเส้นใยได้ด้วยตัวเอง (substantivity) จึงเหมาะสมกับการย้อมเส้นใยเซลลูโลส เช่น ฝ้าย และ เรยอน เป็นต้น สีย้อมไคเร็กซ์ผลิตออกจำหน่ายครั้งแรกใน พ.ศ. 2427 โดยบริษัทบอททิเจอร์ (Bottiger) มีสีแดงเรียกว่า คองโกเรด (Congo red) ซึ่งมีคุณสมบัติที่สามารถติดกับเส้นใยได้โดยตรงไม่จำเป็นต้องมีสารช่วยติดเหมือนสีตัวอื่นๆ ที่ใช้กัน จึงเรียกว่า สีย้อมไคเร็กซ์ หรือสีย้อมโดยตรง ความเข้มของสีที่ผลิตออกมาครั้งแรกไม่เท่ากัน ผู้ผลิตจึงผสมเกลือแอมโมเนียมหรือเกลือโซเดียมเพื่อให้ความเข้มของสีเป็นมาตรฐาน ซึ่งสีย้อมไคเร็กซ์เมื่อละลายน้ำแล้วมีประจุเป็นลบ และมีความสามารถในการละลายน้ำได้ดี ข้อเสียคือสีติดไม่แน่น แต่สามารถทำให้ย้อมติดดีขึ้นได้ภายหลัง โดยใช้สารทำให้สีติด (dye-fixing) เช่น fixanol PN (ไอ.ซี.ไอ.) การให้สารช่วยติดด้วยเรซินช่วยให้สีคงทนมากขึ้น พันธะหรือกลไกการติดสีเป็นพันธะไอออนิก อย่างไรก็ตามสีย้อมไคเร็กซ์ที่ผลิตออกมาจำหน่ายนั้น จะมีชื่อทางการค้าแตกต่างกันแล้วแต่บริษัทที่ผลิต เช่น chlorazol durazol (ไอ.ซี.ไอ.) solar (ไบเออร์) solophenyl cuprophenyl และ diphenyl (ชิบา-ไกกิ) เป็นต้น (อัจฉราพร, 2527) ซึ่งสีที่ใช้กันมีอยู่ 7 กลุ่มแบ่งตามโครงสร้างเคมีได้ดังนี้

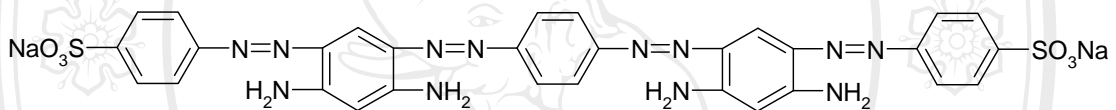
1. กลุ่มโมนาโซ (monazo) ตัวอย่างได้แก่ diazomine scarlet 5B (C.I. direct red 14) มีสูตรโครงสร้างดังนี้



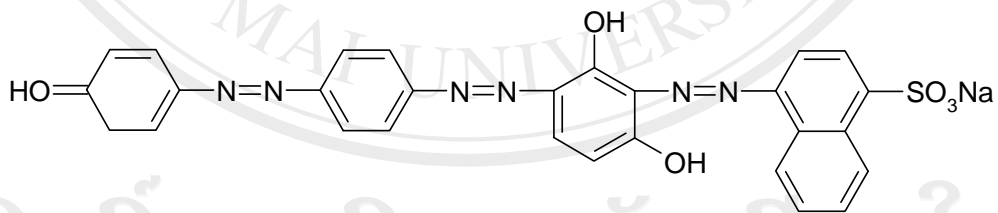
2. กลุ่มบีสเอโอ(bisazo) ตัวอย่างได้แก่ original congo red (C.I. direct red 28) มีสูตรโครงสร้างดังนี้



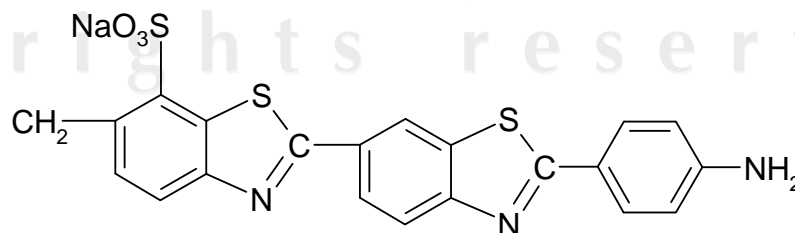
3. กลุ่มทริสเอโซ (trisazo) ตัวอย่างได้แก่ congo brown R (C.I. direct brown 21) มีสูตรโครงสร้างดังนี้



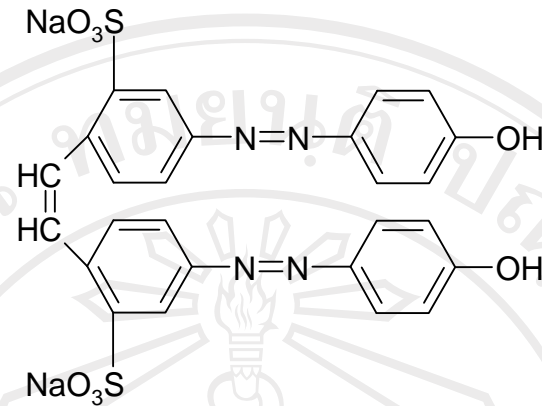
4. กลุ่มโพลีเอโซ หรือ เททระกิสเอโซ (polyazo or tetrakis azo) ตัวอย่างได้แก่ chloazol brown GM (C.I. direct brown) มีสูตรโครงสร้างดังนี้



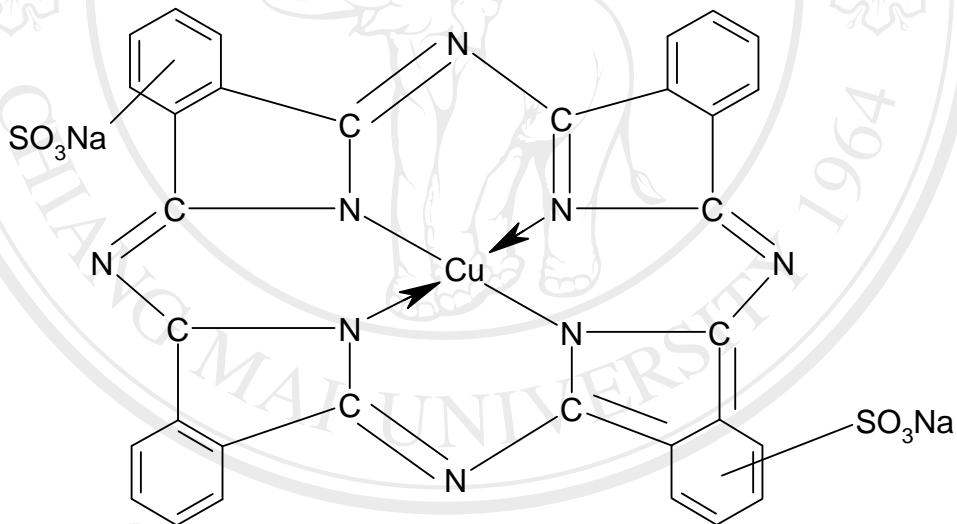
5. กลุ่มไทเอโซล (thiazole) เป็นกลุ่มที่เตรียมได้จากพริมูลิน(primuline) มีสูตรโครงสร้างทั่วไปดังนี้



6. กลุ่มที่ได้จากสทิลบิน (stilbene) ตัวอย่างเช่น diphenyl chrysoine G (C.I. direct yellow 19) มีสูตรโครงสร้างทั่วไปดังนี้



7. กลุ่มฟาธาโลไซยานีน (phthalocyanine) ตัวอย่างได้แก่ durazon blue 8G (C.I. direct blue 8G) มีสูตรโครงสร้างทั่วไปดังนี้

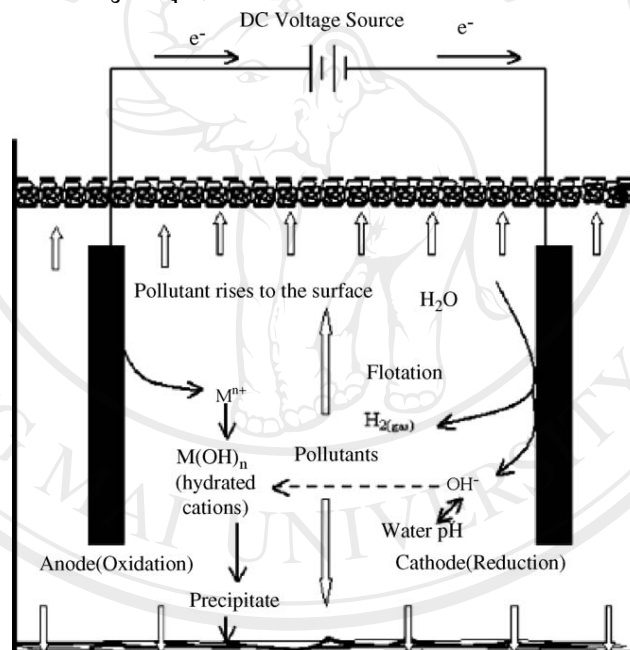


นอกจากนี้ยังสามารถแบ่งประเภทของสีใดเรีกก็ตามวิธีการย้อมตามที่จำแนกไว้ในดัชนีสี (color index) ของมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมสีย้อมปี พ.ศ. 2530 ได้ 3 กลุ่มดังนี้คือ

1. กลุ่ม ก ได้แก่ สีที่มีคุณสมบัติเคลื่อนย้ายกระจายตัวได้ดี ให้ผลการย้อมที่มีความสม่ำเสมอ ตัวอย่างสี เช่น C.I. Direct Red
2. กลุ่ม ข ได้แก่ สีที่มีคุณสมบัติความสม่ำเสมอปานกลาง ต้องใส่เกลือ เพื่อควบคุมผลการย้อมให้สม่ำเสมอ ตัวอย่างสี เช่น C.I. direct green 28
3. กลุ่ม ค ได้แก่ สีที่มีคุณสมบัติความสม่ำเสมอต่ำ ต้ององควบคุมสภาวะการย้อมให้ดีทั้งการใส่เกลือและอุณหภูมิการย้อม ตัวอย่างสี เช่น C.I. direct black 22

2.2 หลักการทำงานของไฟฟ้าเคมี

หลักการทำงานของเซลล์ไฟฟ้าแบบอิเล็กโทรไลติกเซลล์นั้นจะประกอบด้วย แหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง โดยจะใช้ขั้วไฟฟ้าอย่างน้อย 2 ขั้วและสารละลายนำไฟฟ้า เมื่อปล่อย กระแสดังรูปที่ 2.1 เมื่อปล่อยกระแสไฟฟ้าเข้าสู่ถึงปฏิกิริยาที่ใช้โลหะเป็นแผ่นขั้วไฟฟ้าจะ เกิดปฏิกิริยาที่มีการถ่ายโอนอิเล็กตรอน หรือที่เรียกว่าปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน (ปฏิกิริยารีดอกซ์) ของขั้วไฟฟ้า เช่น เหล็กโดยจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันขึ้นที่ขั้วบวก ทำให้โลหะเกิดการสึกกร่อนและละลายอยู่ในน้ำดังสมการที่ 21 และ 22 ในขณะที่ขั้วลบจะเกิดปฏิกิริยารีดักชันของน้ำซึ่งน้ำจะเกิดการแตกตัวให้ก๊าซไฮโดรเจนและไฮดรอกไซด์ไอออน ดังสมการที่ 23 เมื่อเวลาผ่านไปน้ำจะมีสภาพเป็นด่างและทำให้เกิดการตกตะกอนของเฟอร์รัสไอออน(Fe^{2+}) และเฟอริกออกไซด์ ($\text{Fe}(\text{OH})_{3(s)}$) (ปริเมษ เจริญนพคุณ, 2545)

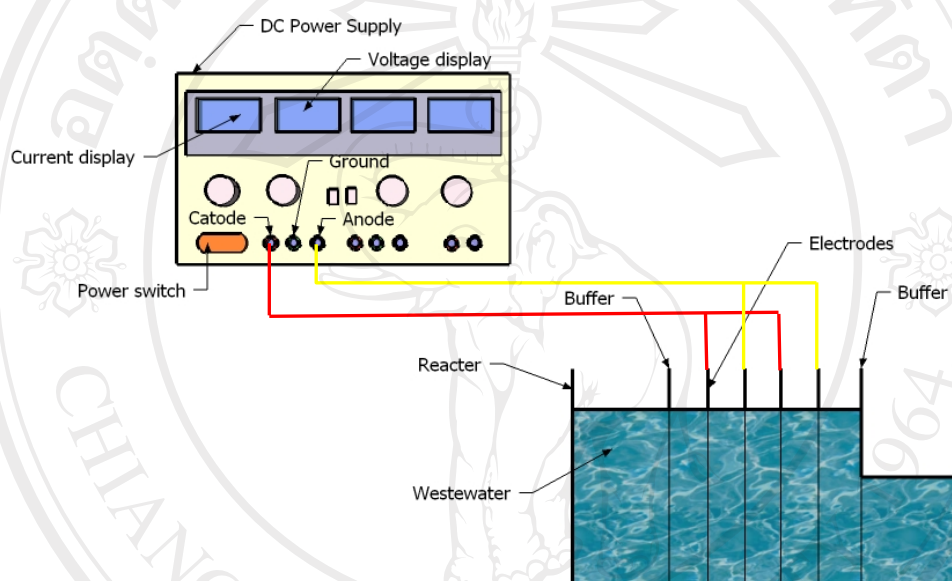


รูป 2.1 องค์ประกอบและการเกิดปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมี (Daneshvar et al, (2006))

2.2.1 ประเภทของกระบวนการรวมตะกอนทางไฟฟ้า

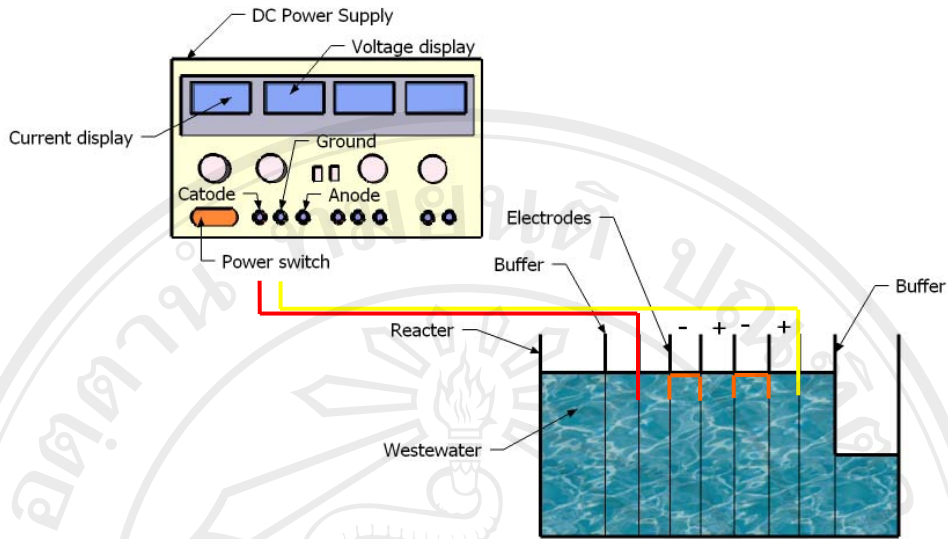
รูปแบบง่าย ๆ ของกระบวนการรวมตะกอนทางไฟฟ้า ในถึงปฏิกิริยา อาจจะทำ ขึ้นมาจาก อิเล็กโทรไลซิส เซลล์ ซึ่งประกอบด้วยขั้วลบ และขั้วบวกโดยเชื่อมต่อกับแหล่งกำเนิด พลังงานภายนอกโลหะที่ใช้ทำขั้วลบ จะเกิดการกัดกร่อนโดยปฏิกิริยาออกซิเดชันแต่ใน กระบวนการนี้ไม่ใช่กระบวนการที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียเพราะว่าอัตราของการสลายตัวของ โลหะที่ต้องการ ขั้วไฟฟ้าและพื้นที่ผิวขนาดใหญ่ ซึ่งจะได้ผลโดยการใช้ขั้วไฟฟ้าแบบโมโนโพลาร์ ในการต่อแบบขนานหรือแบบอนุกรม กระบวนการรวมตะกอนทางไฟฟ้า แบบง่าย ๆ โดยใช้ขั้วลบ

หนึ่งคู่และขั้วบวกหนึ่งคู่ในการต่อแบบขนานในรูปที่ 2.2 โดยที่ขั้วทำขึ้นมาจากคู่ของแผ่นโลหะซึ่งสามารถนำไฟฟ้าได้ระหว่าง 2 ขั้วที่ต่อขนานกันและใช้แหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแหล่งกำเนิดพลังงาน ดังรูปที่ 2.2 ซึ่งต้องมีการติดตั้งกล่องควบคุมกระแสไฟฟ้า และ Multimeter เพื่ออ่านค่ากระแสไฟฟ้า แผ่นโลหะที่สามารถนำไฟฟ้าได้เรียกว่า “Sacrificial electrode” ซึ่ง “Sacrificial electrode” มีศักยภาพในการละลายของขั้วบวกต่ำและมีส่วนน้อยที่ส่งผ่านไปยังขั้วบวก “Sacrificial electrode” อาจจะทำขึ้นจากโลหะที่เหมือนแต่ต่างกับในขั้วลบ



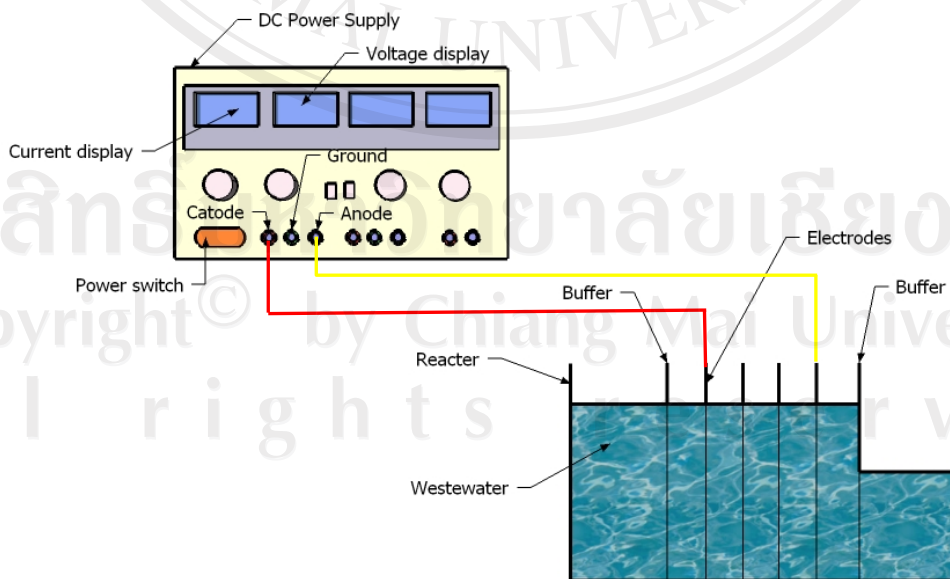
รูป 2.2 ถึงปฏิกิริยา EC แบบใช้ขั้วโมโนโพลาร์ต่อกันแบบขนาน

การจัดเซลล์ของกระบวนการรวมตะกอนทางไฟฟ้า ด้วย ขั้วไฟฟ้าแบบโมโนโพลาร์ ในการต่ออนุกรมดังแสดงในรูปที่ 2.3 คู่ของ “Sacrificial electrode” ได้รับการเชื่อมต่อภายใน และไม่มีความสัมพันธ์กับขั้วไฟฟ้าภายนอก การจัดรูปแบบของขั้วไฟฟ้าโมโนโพลาร์ กับเซลล์ที่ต่ออนุกรมกับขั้วไฟฟ้าเหมือนกับเซลล์เดี่ยวที่มีขั้วไฟฟ้าหลายอันและมีการติดต่อกัน ในการต่อเซลล์แบบอนุกรม ความแตกต่างระหว่างขั้วไฟฟ้าสองขั้วมีค่าสูงและต้องการให้กระแสไหลผ่าน เพราะเซลล์ที่ต่อแบบอนุกรมมีความต้านทานสูง อย่างไรก็ตามกระแสไฟฟ้าทั้งหมดจะไหลผ่านขั้วไฟฟ้าในการต่อแบบขนานกระแสไฟฟ้าจะถูกแบ่งไประหว่างขั้วไฟฟ้า โดยสัมพันธ์กับความต้านทานของแต่ละเซลล์



รูป 2.3 ดังปฏิกิริยาการรวมตะกอนทางไฟฟ้า แบบใช้ขั้วโมโนโพล่าต่อกันแบบอนุกรม

การใช้ขั้วไฟฟ้าแบบไบโพลาร์ด้วยการต่อเซลล์แบบขนานในกรณีนี้ “Sacrificial electrode” จะถูกแทนที่ระหว่างสองขั้วไฟฟ้าที่ต่อขนานกัน โดยไม่มีการเชื่อมต่อกับแหล่งกำเนิดพลังงานไฟฟ้าดังรูปที่ 2.4 จะมีเฉพาะสองขั้วของขั้วไฟฟ้าแบบโมโนโพลาร์ เท่านั้นที่ต่อเข้ากับแหล่งกำเนิดไฟฟ้าและไม่มีการต่อกับระหว่าง “Sacrificial electrode” ซึ่งการจัดเตรียมและการติดตั้งของเซลล์สามารถทำได้ง่ายและสะดวกต่อการบำรุงรักษา



รูป 2.4 ดังปฏิกิริยาการรวมตะกอนทางไฟฟ้าแบบใช้ขั้วไบโพล่าต่อกันแบบขนาน

ในปฏิกิริยาอิเล็กโทรไลซิส ด้านที่มีค่าบวกจะเกิดปฏิกิริยา Anodic ในขณะที่ด้านที่มีค่าลบเกิดปฏิกิริยา Cathodic และจะพบกัน แผ่นโลหะที่ใช้ทำขั้วจะสูญเสียอย่างต่อเนื่องในระบบ ซึ่งอ็อกซิเจนเหล่านี้จะทำให้เกิดความเป็นกลางของอนุภาคและเกิดการรวมตัวกันตกเป็นตะกอน โดยอ็อกซิเจนจะกำจัดสิ่งเจือปน โดยปฏิกิริยาเคมีและทำให้ตกตะกอน นอกจากนี้ขณะที่น้ำมีคอลลอยด์, น้ำมันหรือสิ่งเจือปนอื่น ๆ จะถูกทำให้เคลื่อนที่ด้วยแรงของสนามไฟฟ้า และจะเกิดโออ็อกซิเจนในชั้นอิเล็กโทรไลต์ ไฮโดรไลซิส และ Free-radical ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางฟิสิกส์และทางเคมีของน้ำและสารเจือปนจึงมีผลทำให้สิ่งเจือปนถูกแยกออกจากน้ำหรือเปลี่ยนเป็นรูปที่ละลายน้ำได้น้อย

2.2.2 กระบวนการออกซิเดชัน

เป็นกระบวนการที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีสูง โดยสีจะทำปฏิกิริยาอย่างแรงกับสารออกซิไดซ์ทำให้พันธะเคมีของโมเลกุลสีแตกออกกลายเป็นโมเลกุลที่ไม่มีสี วิธีนี้สามารถใช้บำบัดน้ำเสียที่มีปริมาณมากได้และใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาน้อย ซึ่งสารเคมีที่ใช้ในปัจจุบัน ได้แก่ การใช้ โอโซน การใช้สารเคมีฟีนตัน และการใช้คลอรีน ซึ่งสารเหล่านี้จะเป็นตัวออกซิไดซ์ที่มีแนวโน้มในการรับอิเล็กตรอนได้ดีพอสมควร เช่น



ไฮเปอร์คลอไรต์

เป็นตัวออกซิเดชันชนิดหนึ่งที่จะช่วยในการลดสีได้ ซึ่งตัวออกซิไดซ์ชนิดนี้เราสามารถสร้างได้โดยการเติม โซเดียมคลอไรด์ลงไป (Zhan และคณะ, 2001) การเติมโซเดียมคลอไรด์ลงไปนี้น้ำเสียยังมีประโยชน์ในการช่วยเพิ่มค่าความนำไฟฟ้า ซึ่งมีผลดีต่อเวลาในการกำจัดสีได้อีกทางหนึ่ง จากสมการรีดอกซ์



และเมื่อคลอรีนละลายในน้ำแล้วจะเกิดปฏิกิริยาดังต่อไปนี้



2.2.3 หลักการของเซลล์ไฟฟ้า

ในเซลล์ไฟฟ้ามีการไหลของกระแสไฟฟ้า เพราะมีการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนผ่านตัวนำ เซลล์ไฟฟ้าหนึ่งต้องการพลังงาน 1 จูลในการทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของประจุ 1 คูลอมบ์ จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งในเซลล์จะหมายความว่า จุดสองจุดนั้นมีความต่างศักย์เท่ากับ 1 โวลต์ ฉะนั้น 1 โวลต์จะมีค่าเท่ากับ 1 คูลอมบ์ และทางไฟฟ้าเคมีมักจะแทนโวลต์ด้วยแรงเคลื่อนไฟฟ้า (EMF) จากความหมายของพลังงานไฟฟ้าดังกล่าวข้างต้น ทำให้เห็นได้ว่า

$$\text{งานทางไฟฟ้าสุทธิ (} W_{\text{elec}} \text{)} = \text{คูลอมบ์} \times \text{โวลต์} \quad (4)$$

แต่งานที่ได้จากเซลล์ไฟฟ้านั้นได้มาเนื่องจากการถ่ายเทอิเล็กตรอน ดังนั้นจำนวนประจุในหน่วยคูลอมบ์ จึงขึ้นกับจำนวนอิเล็กตรอนในปฏิกิริยา ซึ่งทุก 1 โมลของอิเล็กตรอนจะมีประจุประจุเท่ากับ 96487 คูลอมบ์ สมมติว่า ในปฏิกิริยาของเซลล์ไฟฟ้ามีการถ่ายเทอิเล็กตรอน n โมลจะมีปริมาณประจุเท่ากับ $n \times 96487$ หรือ nF คูลอมบ์ ในเมื่อ F คือ ค่าคงที่ของฟาราเดย์ เท่ากับ 96487 คูลอมบ์ต่อโมล เมื่อเป็นเช่นนี้สมการที่ 4 จะเปลี่ยนเป็น

$$W_{\text{elec}} = (nF)(E) = nE \times 96487 \quad (5)$$

แต่พลังงานนี้จะเกิดขึ้นได้ ต้องมีการลดพลังงานอิสระที่มีอยู่ในเซลล์ด้วยและในกรณีที่ปฏิกิริยาในเซลล์เกิดขึ้นอย่างผันกลับได้ การลดพลังงานอิสระ ($-\Delta G$) จะเท่ากับพลังงานที่กระทำดังนั้น

$$\Delta G = -nFE \quad (6)$$

เครื่องหมายของ ΔG มีความสำคัญมาก คือ ถ้าที่อุณหภูมิและความดันหนึ่ง ๆ ΔG มีเครื่องหมายเป็นลบ แสดงว่าปฏิกิริยาดังกล่าวสามารถเกิดขึ้นได้เอง แต่ถ้าเป็นปฏิกิริยาที่เกิดเองไม่ได้ ΔG จะมีเครื่องหมายเป็นบวก ถ้าปฏิกิริยาอยู่ในสภาวะสมดุล ΔG จะเท่ากับศูนย์ แต่ ΔG และแรงเคลื่อนไฟฟ้าย่อมระบุให้ทราบว่า ปฏิกิริยาในเซลล์นั้นเป็นแบบเกิดได้เอง หรือเกิดเองไม่ได้ หรืออยู่ในสภาวะสมดุล

2.3 โลหะที่ใช้ในการทำขั้วไฟฟ้า

กล่าวง่าย ๆ คือวัสดุที่ใช้ในกระบวนการรวมตะกอนทางไฟฟ้า นิยมใช้อลูมิเนียมหรือเหล็กขั้วไฟฟ้าอาจทำขึ้นมาจาก แผ่นอลูมิเนียมหรือเหล็กจากเศษโลหะที่ทิ้งแล้ว เมื่อนำโลหะเหล่านี้กลับมาใช้ทำขั้วไฟฟ้า จำเป็นต้องดูแลเพื่อให้แน่ใจว่าไม่เกิดการตกตะกอนของสัลดัจ์ในช่องว่างระหว่างเศษโลหะ ซึ่งจำเป็นต้องล้างอย่างสม่ำเสมอบนพื้นผิวของขั้วไฟฟ้า อีออนของโลหะที่ใช้ในการกำจัดสารมลพิษส่วนใหญ่จะใช้เหล็กในการกำจัดน้ำเสียและอลูมิเนียมในการบำบัดน้ำ เพราะเหล็กมีราคาถูกกว่าเหล็ก แผ่นอลูมิเนียมสามารถใช้ได้ในการบำบัดน้ำเสียจะใช้ตัวเดียวหรือใช้ร่วมกับเหล็กก็ได้ โดยขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของการตกตะกอนของ Al^{3+} เมื่อมี Ca^{2+} ไอออนหรือ Mg^{2+} ไอออนอยู่ในน้ำ

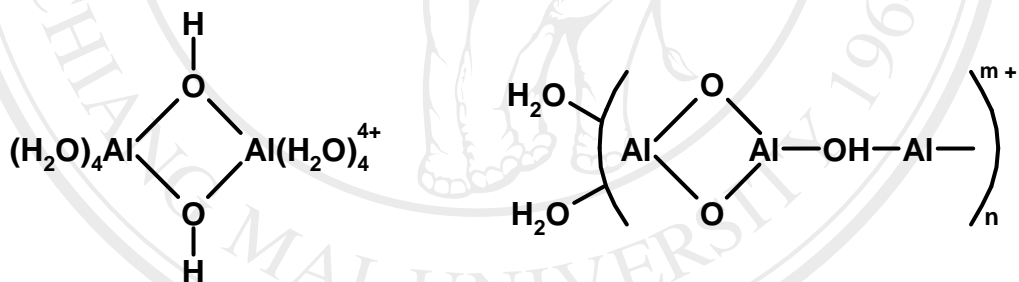
กลไกของกระบวนการรวมตะกอนทางไฟฟ้า ขึ้นอยู่กับตัวกลางที่เป็นน้ำ คุณสมบัติในการนำไฟฟ้า นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติอื่น ๆ เช่น พีเอช ขนาดของอนุภาค ความเข้มข้นของสารเคมีซึ่งมีอิทธิพลต่อกระบวนการรวมตะกอนทางไฟฟ้า กลไกในการเคลื่อนย้ายของอีออนโดยกระบวนการ EC จะถูกอธิบายด้วยตัวอย่าง 2 ตัวอย่าง คือ เหล็ก และอลูมิเนียม เนื่องจากโลหะ 2 ชนิดนี้มีการใช้กันอย่างกว้างขวางในการบำบัดน้ำเสีย

2.3.1 อลูมิเนียม

กระบวนการรวมตะกอนทางไฟฟ้า ในการบำบัดน้ำเสียโดยใช้อลูมิเนียม ที่ขั้วบวกของอลูมิเนียมจะผลิตไอออนบวกเช่นเดียวกับ Al^{3+} และ $Al(OH)_2^+$ ที่พีเอชต่ำ ซึ่งค่าพีเอชที่เหมาะสมจะเปลี่ยนไปอยู่รูปแบบเริ่มต้น $Al(OH)_3$ และสุดท้ายจะเกิดปฏิกิริยาถึง $Al_n(OH)_{3n}$ ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาดังต่อไปนี้



อย่างไรก็ตาม ขึ้นอยู่กับค่าพีเอช และประเภทของไอออนที่อยู่ในน้ำ เช่น $Al(OH)_2^{2+}$, $Al_2(OH)_2^{4+}$ และ $Al(OH)_4^-$ ซึ่งแสดงอยู่ในระบบ การพิจารณาตรวจสอบกราฟของ พีอี-พีเอช ที่สถานะสมดุลแสดงให้เห็นว่าภายใต้สภาวะที่เหมาะสมรูปร่างของ Multimeric hydroxo Al^{3+} อาจเปลี่ยนแปลงได้ ตัวอย่างโครงสร้างของ Dimeric และ Polymeric Al^{3+} hydroxo complexes ดังรูปที่ 2.5



รูป 2.5 โครงสร้างของ Dimeric และ Polymeric Al^{3+} hydroxo complexes

(Mollah et al.,2001)

สารซึ่งประกอบด้วย Hydroxo cationic complexes สามารถกำจัดสารที่เป็นมลพิษได้อย่างมีประสิทธิภาพ Ming et, al.(1983) ได้รายงานว่าการกำจัดฟลูออไรด์ในน้ำโดยวิธี electrolysis โดยใช้ขั้วไฟฟ้าที่ทำจากอลูมิเนียม ตามที่ได้เสนอกลไกของไอออน Al^{3+} ภายใต้ความเข้มข้นของ F^- สูงซึ่งทำให้เกิดรูปแบบของ AlF_6^{3-} เปลี่ยนไปอยู่ในรูปของเกลือที่ไม่ละลายน้ำ Na_3AlF_6 โดยเพิ่ม โซเดียมไอออน ตามปฏิกิริยาดังนี้



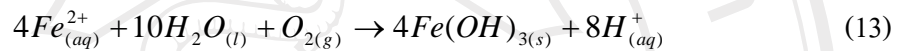
Na_3AlF_6 เป็นเกลือที่ไม่ละลายน้ำที่แยกออกมาโดยตกตะกอนอยู่ด้านล่าง Mameri et, al.(1998) มีความสำเร็จในการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีในการกำจัดฟลูออไรด์ของ Septentrional sahara water

2.3.2 เหล็ก

ปฏิกิริยาออกซิเดชันของเหล็กในสารละลายอิเล็กโทรไลติกจะผลิต เหล็กไฮดรอกไซด์; $\text{Fe}(\text{OH})_n$ ที่ $n = 2$ หรือ 3 ซึ่งกลไกการทำงาน 2 กลไกดังนี้

กลไกการทำงานที่ 1

ขั้วลบ:



ขั้วบวก:



ทั้งหมด:

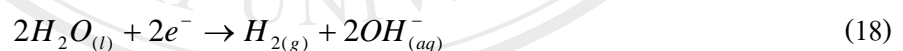


กลไกการทำงานที่ 2

ขั้วลบ:



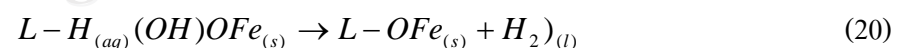
ขั้วบวก:



ทั้งหมด:

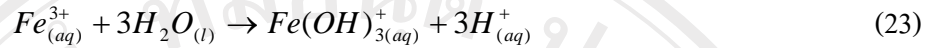
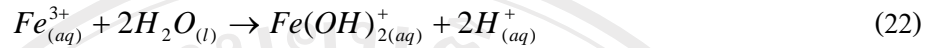
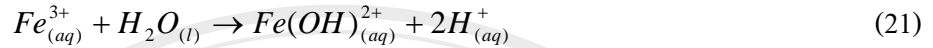


ในรูปแบบของ $\text{Fe}(\text{OH})_{n(s)}$ ที่แขวนลอยอยู่ในน้ำสามารถกำจัดสารที่เป็นมลพิษโดย Complexation หรือการใช้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านโดยใช้ขั้วไฟฟ้าที่ทำจากเหล็ก ซึ่งจะเกิดการตกตะกอน ในพื้นผิวของ Complexation Mode สารที่เป็นมลพิษจะเข้าทำกับ Ligand (L) โดยสารที่เป็นมลพิษจะจับกับ Hydrus iron



H_2 ที่ได้จากปฏิกิริยารีดอกซ์ สามารถกำจัดสารอินทรีย์หรือสารแขวนลอย โดยการลอยตัวของตะกอน อย่างไรก็ตามไอออน Fe^{3+} อาจได้รับไฮดรอกไซด์ โดยขึ้นอยู่กับพีเอช และ $\text{Fe}(\text{OH})_3$

ในสารละลาย ชนิดของ $Fe(OH)_2$ และ $Fe(OH)_3$ ในสารละลายจะแสดงภายใต้สภาพเงื่อนไขที่เป็นกรด ซึ่งมีปฏิกิริยาดังต่อไปนี้



ภายใต้สภาวะที่เป็นด่าง $Fe(OH)_6^-$ และ $Fe(OH)_4^-$ ในสารละลายซึ่งจะเห็นได้จากกระบวนการรวมตะกอนทางไฟฟ้า ของทั้งประจุบวกและประจุลบโดยใช้แผ่นเหล็กเป็นขั้วไฟฟ้า

2.4 ข้อดีและข้อเสียของกระบวนการรวมตะกอนทางไฟฟ้า

2.4.1 ข้อดีของกระบวนการรวมตะกอนทางไฟฟ้า

- กระบวนการรวมตะกอนทางไฟฟ้า หาอุปกรณ์ได้ง่ายและง่ายต่อการเดินระบบ คู่มือที่มีสามารถแก้ปัญหาการในขณะทำงานได้
- น้ำที่บำบัดโดยกระบวนการรวมตะกอนทางไฟฟ้า เป็นที่ยอมรับในเรื่อง ความใส สี และกลิ่น
- สลัดจ์ซึ่งได้จากกระบวนการรวมตะกอนทางไฟฟ้า มักจะตกตะกอนอย่างรวดเร็วและง่ายต่อการเอาออกจากน้ำ เนื่องจากประกอบไปด้วย metallic oxides/hydroxides และกระบวนการนี้ทำให้มีสลัดจ์น้อย
- รูปแบบของ ฟล็อก จากกระบวนการรวมตะกอนทางไฟฟ้า เหมือนกับการใช้สารเคมีในการสร้าง ฟล็อกแต่ในกระบวนการรวมตะกอนทางไฟฟ้า ฟล็อกที่ได้จะมีขนาดใหญ่กว่าและแยกชั้นกับน้ำ
- น้ำที่ไหลออกจากกระบวนการรวมตะกอนทางไฟฟ้า มีปริมาณของของแข็งละลายทั้งหมด น้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับกรบำบัดด้วยสารเคมี
- กระบวนการรวมตะกอนทางไฟฟ้า มีประโยชน์ในการกำจัดอนุภาคเล็ก ๆ ได้ดี เพราะสนามไฟฟ้าทำให้อนุภาคเล็ก ๆ เคลื่อนที่ได้เร็วขึ้น ทำให้ง่ายต่อการจับตัวกัน
- กระบวนการรวมตะกอนทางไฟฟ้า ไม่มีการใช้สารเคมี ดังนั้นปัญหาในการเติมสารเคมีมากเกินไปในการทำให้เป็นกลาง และเป็นไปไม่ได้ที่จะมีมลพิษอื่นเกิดขึ้นเนื่องจากไม่มีการเติมสารเคมีลงไปเพื่อตกตะกอนมลพิษในน้ำเสีย

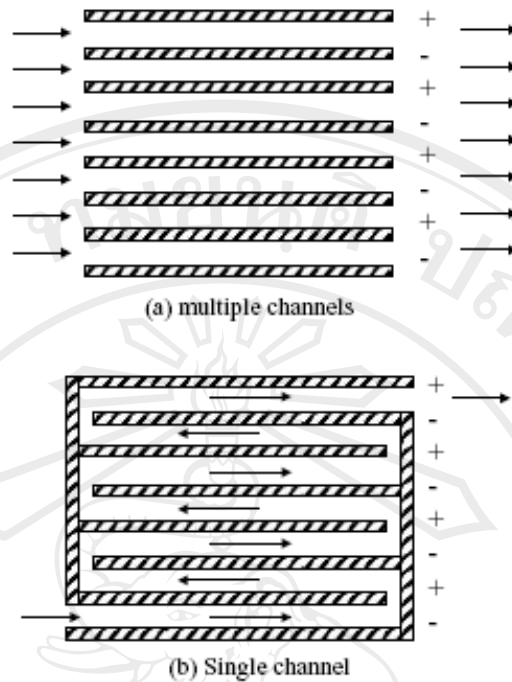
- ฟองก๊าซที่เกิดขึ้นระหว่างปฏิกิริยาอิเล็กโทรไลซิส สามารถนำสารที่เป็นพิษไปอยู่ที่ส่วนบนของสารละลายซึ่งง่ายต่อการรวมตัวกันและง่ายต่อการกำจัด
- ในกระบวนการอิเล็กโทรไลติก เซลล์ของกระบวนการรวมตะกอนทางไฟฟ้า ถูกควบคุมโดยกระแสไฟฟ้าและไม่มีการเคลื่อนที่ดังนั้นจึงต้องการดูแลบำรุงรักษาเพียงเล็กน้อย
- กระบวนการรวมตะกอนทางไฟฟ้า สามารถใช้ได้อย่างสะดวกในทุกพื้นที่ที่มีกระแสไฟฟ้า

2.4.2 ข้อเสียของกระบวนการรวมตะกอนทางไฟฟ้า

- การสลายตัวของขั้วไฟฟ้าจะละลายเข้าไปในน้ำเสียซึ่งมีผลต่อปฏิกิริยาออกซิเดชัน
- ค่ากระแสไฟฟ้าที่ใช้ในระบบอาจมีราคาสูง
- ฟิล์มของ ออกไซด์ ของเหลวไม่สามารถซึมผ่านได้ซึ่งอาจเกิดขึ้นที่ขั้วบวก ทำให้สูญเสียประสิทธิภาพของกระบวนการรวมตะกอนทางไฟฟ้า
- การตกตะกอนในน้ำเสียจำเป็นต้องมีค่าความนำไฟฟ้าสูง

2.5 การออกแบบ

เนื่องจากการกำหนดทิศทางของแผ่นขั้วไฟฟ้าในกระบวนการรวมตะกอนทางไฟฟ้า สามารถวางแนวตั้งหรือแนวนอนก็ได้ แผ่นขั้วไฟฟ้าส่วนใหญ่จะเชื่อมต่อกันแบบไบโพลาร์ น้ำไหลเข้าผ่านช่องว่างระหว่างแผ่น สามารถทำเป็นแบบหลาย ๆ ช่องทางหรือช่องทางเดียวก็ได้ ตามรูปที่ 5 แบบหลายช่องจะง่ายต่อการจัดการไหลแต่อัตราการไหลในแต่ละช่องน้อยเมื่อพื้นผิวของแผ่นขั้วไฟฟ้าไม่สามารถทำให้ลดลงได้ การเพิ่มอัตราการไหลทำได้โดยการใช้การไหลผ่านช่องทางเดียว



รูป 2.6 รูปแบบการไหลของน้ำ (Chen G.,2004)

กระบวนการรวมตะกอนทางไฟฟ้า จะมีประสิทธิภาพดีในการกำจัด เอสเอส น้ำมันหรือไขมันสัตว์ และได้รับการพิสูจน์แล้วว่ามีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำ เช่น การทำน้ำดื่ม สำหรับชุมชนขนาดเล็กและขนาดกลาง และสำหรับกระบวนการ Marine operation การใช้เป็นน้ำ ในหม้อไอน้ำในกระบวนการอุตสาหกรรม ถ้ามีการทำเป็นระบบบำบัดน้ำเสียขนาดใหญ่จะ สิ้นเปลืองและไม่จำเป็น ระบบนี้ยังมีประสิทธิภาพในการตกตะกอนอนุภาคคอลลอยด์ ที่พบใน แหล่งน้ำธรรมชาติเพื่อลด ความขุ่น และ สี ระบบนี้ยังสามารถใช้ในการกำจัดหรือการลดลงของ สารร้ายหรือสิ่งมีชีวิตขนาดเล็ก ๆ มักใช้ในการกำจัด เหล็ก ฮิวมัส ออกซิเจนละลาย ฯลฯ

กระบวนการรวมตะกอนทางไฟฟ้า ยังพบว่ามีประโยชน์มากโดยเฉพาะ กระบวนการบำบัดน้ำเสีย และมักถูกใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานทอผ้า ในร้านอาหาร ใน อุตสาหกรรมปิโตรเลียม ใน Tar sand และ Oil shale น้ำเสียจากโรงงานผลิตพรม น้ำเสียจากเทศบาล น้ำเสียจากโรงงานเส้นใยเคมี น้ำที่น้ำมันผสมอยู่ การแขวนลอยตัวของดินเหนียวในน้ำใน ไตรนสี จากโรงงานล้างทอง Copper reduction การตกตะกอนและการแยกชั้นก็ยังพบว่ามีประสิทธิภาพ เช่นเดียวกัน

2.6 สรุปสาระสำคัญจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง

Bayramoglu et, al (2003) ได้ทำการศึกษาการกำจัดน้ำเสียจากการย้อมผ้าด้วยวิธีการรวมตะกอนทางไฟฟ้า โดยเน้นการศึกษาไปที่การวิเคราะห์ค่าดำเนินงานในการบำบัดน้ำเสีย โดยวิธีการรวมตะกอนทางไฟฟ้า โดยการใช้วัสดุที่ทำจากเหล็กและอลูมิเนียมที่ใช้เป็น ไฟฟ้า และยังคงศึกษาถึงตัวแปรที่มีผลต่อการบำบัดน้ำเสีย เช่น ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำเสีย และค่าพีเอช จากผลการศึกษาโดยใช้ถังบรรจุขนาด 1000 m^3 ที่บรรจุน้ำเสียต่อวันทดสอบที่อุณหภูมิคงที่ 25°C โดยใช้ อลูมิเนียมและเหล็กเป็นขั้วของขั้วลบและขั้วบวกพบว่าค่าการดำเนินงานจะขึ้นอยู่กับวัสดุ ไฟฟ้า โดยที่ค่าใช้จ่ายสำหรับกำลังไฟฟ้าเท่ากับ $0.06 \text{ US } \$/\text{kWh}$ และค่าใช้จ่ายวัสดุที่ใช้ทำ ไฟฟ้า ที่ทำจาก อลูมิเนียม จะใช้อยู่ที่ $1.8 \text{ US } \$/\text{kg COD Removed}$ และ $0.3 \text{ US } \$/\text{kg COD Removed}$ สำหรับเหล็ก และค่าพีเอชจะขึ้นอยู่กับชนิดวัสดุ ไฟฟ้า และค่าเริ่มต้นของพีเอชในการทดลอง และพบว่า สมรรถนะการแยกซีโอดี ในการใช้อลูมิเนียมที่ใช้เป็น ไฟฟ้า จะมีประสิทธิภาพสูงกว่าการใช้เหล็ก ที่ใช้เป็น ไฟฟ้า

Vlyssides et, al(2000) ได้ทำการทดลอง โดยใช้วิธี electrochemical สำหรับการ บำบัดน้ำเสียของการย้อมสีผ้า โดยได้แยกการทดลองออกเป็น น้ำเสียที่ได้จากการย้อมทั้งหมดและ ได้จากขบวนการสุดท้ายของการย้อมกับน้ำเสียที่ได้จากขั้นตอนของการย้อมเท่านั้น ซึ่งได้ใช้วิธี Electrochemical โดยใช้ Ti/Pt เป็นขั้วลบและ Stainless steel 304 เป็นขั้วบวก ซึ่งจากผลการทดลอง พบว่าเป็นที่น่าพอใจในการใช้วิธี Electrochemical ในการลดค่าภาระของอินทรีย์ และ สี ซึ่งจากผล การทดลองการแยกสีของน้ำเสียที่ขั้นตอนของการย้อมอย่างเดียวกันพบว่าสามารถลดสีลงได้ เกือบ 100% ส่วนอีกการทดลองหนึ่งลดลงได้ 80% ผลของความแตกต่างระหว่าง 2 ขบวนการคือ การ ตกตะกอนของเกลือแอม ที่ถูกใช้เป็น electrolyte

Kim et, al(2002) ได้ทำการศึกษาการกระจายตัวของ Decolorization และ กระบวนการรวมตะกอนทางไฟฟ้าโดยทำการศึกษาถึงผลกระทบของตัวแปรที่ใช้ในการดำเนินงาน เช่น ความหนาแน่น จำนวนของ ไฟฟ้า การสะสมของ Electrolyte ระยะห่างระหว่าง ไฟฟ้า การ ตกตะกอนของสีย้อมผ้า ค่าพีเอชและอัตราการไหลเข้าของน้ำในระบบ Decolorization โดย กระบวนการรวมตะกอนทางไฟฟ้าแบบต่อเนื่อง ซึ่งจากการทดลองพบว่าตัวแปรการดำเนินงานใน การแยกสีย้อมผ้าและน้ำเสียจากการย้อมผ้าโดยวิธีการรวมตะกอนทางไฟฟ้านั้น ค่าความหนาแน่น จำนวนคู่ของ ไฟฟ้า สารย้อมสีผ้า การตกตะกอนของ Electrolyte วัสดุที่ใช้ทำขั้วลบและค่าพีเอชจะ มีผลต่อการแยกสีย้อมผ้าออก ซึ่งมีอัตราส่วนเป็นสัดส่วนโดยตรง ระหว่าง การแยกสีย้อมผ้ากับค่า ความหนาแน่น จำนวนของ ไฟฟ้า และการตกตะกอนของ Electrolyte แต่จะผกผันกับ ระยะห่าง ของ ไฟฟ้า การตกตะกอนของสีย้อมผ้าและอัตราการไหลเข้าของน้ำเสีย

Ahmet et, al(2002)ได้ทำการศึกษาในทางสถิติของตัวแปรในกระบวนการกำจัดสี โดยวิธีการรวมตะกอนทางไฟฟ้าโดยใช้แผ่นขั้วไฟฟ้า ที่ทำจากเหล็กและอลูมิเนียมขนาด 4x4 cm และใช้แท่งกราไฟต์ขนาด 8.05 cm²ในการทดลองเพื่อหาค่าเปอร์เซ็นต์ของตัวแปรที่ใช้เทียบกับ เปอร์เซ็นต์ของการ Decolorization พบว่า เปอร์เซ็นต์ของแรงดันไฟฟ้าความหนาแน่นและเวลาของการ Electrolysis จะเพิ่มขึ้นในขณะที่เปอร์เซ็นต์ของ Decolorization ลดลง ซึ่งตัวแปรที่มีผลกระทบที่สำคัญในการทดลองนี้มีอยู่ 2 อย่างด้วยกันคือ 1.ช่วงเวลาในการ Electrolysis และความหนาแน่น 2.แรงดันของเซลล์และความหนาแน่นที่มีผลต่อการทำ Decolorization ซึ่งจากการเทียบผลการทดลองและแบบจำลองทางคณิตศาสตร์พบว่าค่า R² จะมีค่ามากประมาณ 98.2% ซึ่งสามารถบอกได้ถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่สังเกตได้กับค่าของการทำนายผลจากแบบจำลอง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved