



การนำน้ำย้อมกลับมาใช้ใหม่โดยการกำจัดสีด้วยกระบวนการไฟฟ้าเคมี
Reuse of Dye Wastewater by Color Removal with Electrochemical Process

คณะวิจัย

ชนิษฐา เจริญलग
วิชาญ ช่วยพันธ์

RMUTK - CARIT



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

มกราคม 2552

(งบประมาณแผ่นดิน ประจำปี 2551)



การนำน้ำย้อมกลับมาใช้ใหม่โดยการกำจัดสีด้วยกระบวนการไฟฟ้าเคมี

Reuse of Dye Wastewater by Color Removal with Electrochemical Process

คณะวิจัย

ชนิษฐา

เจริญลาภ

วิชาญ

ช่วยพันธ์

RMUTK - CARIT



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

มกราคม 2552

(งบประมาณแผ่นดิน ประจำปี 2551)

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยเรื่อง การนำน้ำย้อมกลับมาใช้ใหม่โดยการกำจัดสีด้วยกระบวนการไฟฟ้าเคมี สำเร็จลุล่วงด้วยดี จนสมบูรณ์ โดยได้รับทุนสนับสนุนการวิจัย จากเงินอุดหนุนการวิจัยงบประมาณแผ่นดินปี 2551 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ ขอขอบพระคุณ นายธนกร เผ่ามหานาคะ เจ้าของโรงงานเจริญชัยการย้อม ที่ให้ความอนุเคราะห์น้ำเสียในการทดลอง ตลอดจนนางสาวปริยะจรรย์ รับพร และนายทิพานันท์ แฝงทอง นักศึกษา สาขาวิศวกรรมเคมีสิงทอ คณะอุตสาหกรรมสิงทอ ที่ได้มีส่วนร่วมเป็นผู้ช่วยในการดำเนินการวิจัย

ผู้จัดทำโครงการขอขอบพระคุณทุกท่านที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับความสำเร็จของงานวิจัยนี้

บทคัดย่อ

การนำน้ำย้อมกลับมาใช้ใหม่โดยการกำจัดด้วยกระบวนการไฟฟ้าเคมี ด้วยขั้วไฟฟ้าอะลูมิเนียม และขั้วไฟฟ้าเหล็ก ศึกษาโดยใช้น้ำเสียสีรีแอคทีฟ และสีเบสิก ทดลองในแบบจำลองระดับห้องปฏิบัติการ แปรผันค่าศักย์ไฟฟ้า ระยะเวลาสัมผัส และขนาดของขั้วไฟฟ้า ผลการศึกษาพบว่า ชนิดของขั้วไฟฟ้ามีผลต่อประสิทธิภาพของระบบ โดยขั้วไฟฟ้าอะลูมิเนียม ที่ค่าศักย์ไฟฟ้า 20 โวลต์ ระยะเวลาสัมผัส 180 นาที มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีรีแอคทีฟ และของแข็งละลายน้ำ ร้อยละ 96.05 และ 35.18 ตามลำดับ ส่วนขั้วไฟฟ้าเหล็ก ที่ค่าศักย์ไฟฟ้า 25 โวลต์ ระยะเวลาสัมผัส 180 นาที มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีเบสิก ของแข็งละลายน้ำ ของแข็งแขวนลอย ความขุ่น และซีไอดี ร้อยละ 85.61, 30.67, 66.67, 20.61 และ 79.51 ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบคุณภาพน้ำเสียสีเบสิกที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบไฟฟ้าเคมี กับคุณภาพน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบสระเติมอากาศ ร่วมกับการออกซิเดชันของโรงงาน พบว่าคุณภาพน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบไฟฟ้าเคมีมีคุณภาพดีกว่าอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.5$) แต่อย่างไรก็ตามการนำน้ำกลับไปใช้ใหม่ได้ จำเป็นต้องผ่านกระบวนการกรอง เพื่อกำจัดความขุ่น และปริมาณของแข็งแขวนลอย เนื่องจากพบว่าคุณภาพน้ำหลังการบำบัดด้วยระบบไฟฟ้าเคมีและคุณภาพน้ำใช้ในกระบวนการผลิต แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.5$) โดยน้ำใช้ในกระบวนการผลิตของโรงงานมีคุณภาพดีกว่าน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดด้วยวิธีไฟฟ้าเคมีในทุกดัชนี ยกเว้นค่าความกระด้างของน้ำที่ไม่แตกต่างกัน

คำสำคัญ: น้ำเสียฟอกย้อม สีเบสิก สีรีแอคทีฟ กระบวนการไฟฟ้าเคมี

ABSTRACT

Clean technology is an important concern for every industry. Especially in textile dyeing, much use of water, dyeing colors and chemicals can cause significant water and air pollution problems. Importantly, the industry might not meet priority requirements and regulations. It is desirable therefore for environmental and economical benefits to prevent any pollution resulting from the operation. This study investigated the influence of operating parameters on the efficiency of the electrochemical process. Experiments were carried out on a laboratory scale with a variation of two types of electrode, namely, aluminum and iron. It was found that the electrode types had influence on dye removal efficiency. The aluminum electrode with 20 volts and 60 minutes of electrolysis was efficient in removing 96.05% of reactive dyes and 35.18% of dissolved solids, while the iron electrode with 25 volts and 180 minutes of electrolysis could reduce almost 85.61 % of basic dye, 30.67 % of dissolved solids, 66.67% of suspended solids, 20.61% of turbidity and 79.51% of COD. The quality of the basic dye wastewater treated by the electrochemical method was significantly better than that normally treated at factories by aerated lagoon and oxidation process in all parameters. However, the quality of the basic dye wastewater treated by the electrochemical method was not better than the water normally used in the operating process in most of the parameters except hardness. The findings indicated that it may be possible to reuse dye wastewater if turbidity and suspended solids are removed by filtration process.

Key words: textile wastewater, reactive dye, basic dye, electrochemical process

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อ(ภาษาไทย)	ข
บทคัดย่อ(ภาษาอังกฤษ)	ค
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.5 สมมุติฐานการวิจัย	3
1.6 กรอบแนวคิดการวิจัย	3
บทที่ 2 เอกสารและรายงานการวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากอุตสาหกรรมฟอกย้อม	4
2.2 วิธีการกำจัดสีจากน้ำเสียโรงฟอกย้อม	5
2.3 ไฟฟ้าเคมี (electrochemistry)	8
2.4 การประยุกต์ใช้ระบบไฟฟ้าเคมีในการบำบัดน้ำเสีย	12
2.5 ปฏิกริยาเคมีที่เกิดขึ้นในการบำบัดน้ำเสียโดยวิธีไฟฟ้าเคมี	13
2.6 ดัชนีที่มีผลต่อกระบวนการไฟฟ้าเคมี	15
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	18
3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือ	18
3.2 สารเคมี	18
3.3 วิธีทดลอง	19
3.4 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ	22
3.5 สถานที่ทดลอง	22
บทที่ 4 ผลการทดลอง	23
4.1 ผลการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีไฟฟ้าเคมี	23
4.2 ผลการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการฟอกย้อมด้วยวิธีไฟฟ้าเคมี	50
4.3 ผลการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยกระบวนการไฟฟ้าเคมีกลับมาใช้ซ้ำในกระบวนการ	57

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	59
5.1 ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีไฟฟ้าเคมี	59
5.2 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการฟอกย้อมด้วยวิธีไฟฟ้าเคมี	60
5.3 ความเป็นไปได้ในการนำน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยกระบวนการไฟฟ้าเคมีกลับมาใช้ซ้ำ ในกระบวนการ	63
5.4 ข้อเสนอแนะ	64
เอกสารอ้างอิง	65
ภาคผนวก ก	67
ภาคผนวก ข	78
ภาคผนวก ค	86
ประวัติผู้วิจัย	98

รายการตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1.1 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากการย้อมผ้าฝ้ายทอดด้วยสีย้อมแอคทีฟด้วยตัวไฟฟ้าอะลูมิเนียม ที่ค่าศักย์ไฟฟ้าต่างกัน	25
4.1.2 การทดสอบค่าเฉลี่ยร้อยละของการกำจัดสี การเปลี่ยนแปลงพีเอช และการกำจัดของแข็งละลายน้ำของน้ำเสียย้อมสีย้อมแอคทีฟที่บำบัดด้วยตัวไฟฟ้าอะลูมิเนียม ที่ค่าศักย์ไฟฟ้าต่างกัน	26
4.1.3 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียสีย้อมแอคทีฟ ด้วยตัวไฟฟ้าอะลูมิเนียม ค่าศักย์ไฟฟ้า 20 โวลต์ ที่ระยะเวลาสัมผัสต่างกัน	28
4.1.4 การทดสอบค่าเฉลี่ยร้อยละของการกำจัดสีของน้ำ การเปลี่ยนแปลงพีเอช และการกำจัดของแข็งละลายน้ำ ของน้ำเสียสีย้อมแอคทีฟที่บำบัดโดยใช้ตัวไฟฟ้าอะลูมิเนียม ค่าศักย์ไฟฟ้า 20 โวลต์ ที่ระยะเวลาต่างกัน	29
4.1.5 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียสีย้อมแอคทีฟโดยใช้ตัวไฟฟ้าเหล็ก ที่ค่าศักย์ไฟฟ้าต่างกัน	31
4.1.6 การทดสอบค่าเฉลี่ยร้อยละของการกำจัดสี การเปลี่ยนแปลงพีเอช และการกำจัดของแข็งละลายน้ำ ของน้ำเสียสีย้อมแอคทีฟ บำบัดโดยใช้ตัวไฟฟ้าเหล็ก ที่ค่าศักย์ไฟฟ้าต่างกัน	32
4.1.7 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียสีย้อมแอคทีฟ โดยใช้ตัวไฟฟ้าเหล็ก ค่าศักย์ไฟฟ้า 15 โวลต์ ที่ระยะเวลาสัมผัสต่างกัน	34
4.1.8 การทดสอบค่าเฉลี่ยร้อยละของการกำจัดสี การเปลี่ยนแปลงพีเอช และการกำจัดของแข็งละลายน้ำ ของน้ำเสียสีย้อมแอคทีฟ ด้วยศักย์ไฟฟ้า 15 โวลต์ ระยะเวลาสัมผัสต่างกัน	35
4.1.9 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียสีย้อมเบสิก ด้วยตัวไฟฟ้าอะลูมิเนียม ที่ค่าศักย์ไฟฟ้าต่างกัน	37
4.1.10 การทดสอบค่าเฉลี่ยร้อยละของการกำจัดสี การเปลี่ยนแปลงพีเอช การกำจัดของแข็งละลายน้ำ และการกำจัดความขุ่น ของน้ำเสียสีย้อมเบสิก โดยใช้ตัวไฟฟ้าอะลูมิเนียม ที่ค่าศักย์ไฟฟ้าต่างกัน	38
4.1.11 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียสีย้อมเบสิก ศักย์ไฟฟ้า 35 โวลต์ โดยใช้อะลูมิเนียมตัวไฟฟ้า ที่ระยะเวลาต่างกัน	40
4.1.12 การทดสอบค่าเฉลี่ยร้อยละของการกำจัดสี ค่าการเปลี่ยนแปลงพีเอช การกำจัดของแข็งละลายน้ำ และการกำจัดความขุ่น ของน้ำเสียสีย้อมเบสิกโดยใช้ตัวไฟฟ้าอะลูมิเนียม ศักย์ไฟฟ้า 35 โวลต์ ที่ระยะเวลาสัมผัสต่างกัน	41
4.1.13 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากการย้อมสีเบสิก โดยใช้ตัวไฟฟ้าเหล็ก ที่ค่าศักย์ไฟฟ้าต่างกัน	43

รายการตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1.14 การทดสอบค่าเฉลี่ยร้อยละของการกำจัดสี การเปลี่ยนแปลงพีเอช การกำจัดของแข็งละลายน้ำ และการกำจัดความขุ่น ในการบำบัดน้ำเสียสีเบสิก โดยใช้ขั้วไฟฟ้าเหล็ก ที่ค่าศักย์ไฟฟ้าต่างกัน	44
4.1.15 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากการย้อมเส้นด้ายอะคริลิกด้วยสีเบสิกโดยใช้ขั้วไฟฟ้าเหล็ก ค่าศักย์ไฟฟ้า 25 โวลต์ ที่ระยะเวลาสัมผัสต่างกัน	46
4.1.16 การทดสอบค่าเฉลี่ยร้อยละของการกำจัดสี การเปลี่ยนแปลงพีเอช การกำจัดของแข็งละลายน้ำ และการกำจัดความขุ่น ในการบำบัดน้ำเสียสีเบสิกโดยใช้ขั้วไฟฟ้าเหล็ก ค่าศักย์ไฟฟ้า 25 โวลต์ ที่ระยะเวลาต่างกัน	47
4.1.17 ประสิทธิภาพของการบำบัดน้ำเสียสีเบสิก โดยใช้ขั้วไฟฟ้าเหล็กที่มีขนาดต่างกัน ค่าศักย์ไฟฟ้า 25 โวลต์ ระยะเวลาสัมผัส 120 นาที เพิ่มขึ้น 2 เท่า	49
4.1.18 การทดสอบค่าเฉลี่ยร้อยละของการกำจัดสีของน้ำ การเปลี่ยนแปลงพีเอช การกำจัดของแข็งละลายน้ำและการกำจัดความขุ่น ด้วยศักย์ไฟฟ้า 25 โวลต์ ระยะเวลาสัมผัส 120 นาที โดยใช้ขนาดขั้วไฟฟ้าต่างกัน	49
4.2.1 เปรียบเทียบคุณภาพน้ำหลังการด้วยระบบไฟฟ้าเคมี และระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงาน	56
4.3.1 การทดสอบค่าเฉลี่ยคุณภาพน้ำใช้ของโรงงาน และน้ำหลังการบำบัดด้วยไฟฟ้าเคมี	57

รายการรูป

รูปที่	หน้า
2.1 เซลล์ไฟฟ้าเคมี	9
3.1 ถึงปฏิกรณ์ของระบบบำบัดน้ำเสียด้วยไฟฟ้าเคมี	20
4.1.1 การบำบัดน้ำเสียจากการย้อมผ้าฝ้ายทอดด้วยสีรีแอคทีฟ	23
4.1.2 การบำบัดน้ำเสียจากการย้อมเส้นด้ายอะคริลิกด้วยสีเบสิก	37
4.2.1 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดสีรีแอคทีฟระหว่างขั้วไฟฟ้าอะลูมิเนียม กับขั้วไฟฟ้าเหล็ก ที่ระยะเวลาสัมผัสเท่ากัน ค่าศักย์ไฟฟ้าต่างกัน	50
4.2.2 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดสีรีแอคทีฟระหว่างขั้วไฟฟ้าอะลูมิเนียม กับขั้วไฟฟ้าเหล็ก ที่ค่าศักย์ไฟฟ้า 30 โวลต์ ระยะเวลาสัมผัสต่างกัน	51
4.2.3 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียสีรีแอคทีฟด้วยขั้วไฟฟ้าอะลูมิเนียม 30 โวลต์ ระยะเวลาสัมผัสต่างกัน	51
4.2.4 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียสีรีแอคทีฟด้วยขั้วไฟฟ้าเหล็ก 30 โวลต์ ที่ระยะเวลาสัมผัสต่างกัน	52
4.2.5 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งละลายน้ำในน้ำเสียสีรีแอคทีฟ ด้วยขั้วไฟฟ้าอะลูมิเนียม ที่ระยะเวลาสัมผัสเท่ากัน ค่าศักย์ไฟฟ้าต่างกัน	52
4.2.6 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดสีเบสิกระหว่างขั้วไฟฟ้าอะลูมิเนียมกับขั้วไฟฟ้าเหล็ก ที่ระยะเวลาสัมผัส เท่ากัน	53
4.2.7 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดสีเบสิกระหว่างขั้วไฟฟ้าอะลูมิเนียม กับขั้วไฟฟ้าเหล็ก ที่ค่าศักย์ไฟฟ้า 30 โวลต์ ระยะเวลาสัมผัสต่างกัน	54
4.2.8 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งละลายน้ำในน้ำเสียสีเบสิกด้วย ขั้วไฟฟ้าเหล็ก ที่ระยะเวลาสัมผัสเท่ากัน ค่าศักย์ไฟฟ้าต่างกัน	54
4.2.9 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นในน้ำเสียสีเบสิกด้วย ขั้วไฟฟ้าเหล็ก ระยะเวลาสัมผัสเท่ากัน ค่าศักย์ไฟฟ้าต่างกัน	55
4.2.10 น้ำเสียเบสิก ก่อนและหลังการบำบัดโดยไฟฟ้าเคมี ด้วยขั้วไฟฟ้าเหล็ก	56
4.2.11 น้ำเสียก่อนและหลังการบำบัดโดยโรงงาน	56
4.3.1 น้ำใช้ของโรงงาน และน้ำหลังการบำบัดโดยไฟฟ้าเคมี ด้วยขั้วไฟฟ้าเหล็ก	57

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

อุตสาหกรรมสิ่งทอเป็นอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ประกอบด้วยอุตสาหกรรมผลิตเส้นใย อุตสาหกรรมปั่นด้าย อุตสาหกรรมทอผ้าและถักผ้า อุตสาหกรรมฟอก ย้อม พิมพ์และตกแต่งสำเร็จ และอุตสาหกรรมเสื้อผ้าสำเร็จรูป แต่ละอุตสาหกรรมมีความเกี่ยวข้องซึ่งกันและกัน เนื่องจากผลิตภัณฑ์จากอุตสาหกรรมหนึ่งเป็นวัตถุดิบของอีกอุตสาหกรรมหนึ่ง นับเป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญต่อระบบเศรษฐกิจของประเทศอย่างมาก โดยส่วนของอุตสาหกรรมซึ่งต้องรับผิดชอบต่อผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมมากที่สุด คืออุตสาหกรรมฟอก ย้อม พิมพ์ และตกแต่งสำเร็จ เนื่องจากเป็นอุตสาหกรรมที่ต้องใช้น้ำ สารเคมี และสีย้อม ในกระบวนการผลิตเพื่อให้ได้ลักษณะของผลิตภัณฑ์ต่างๆ ตามความต้องการ เป็นอุตสาหกรรมที่สามารถสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับผลิตภัณฑ์ได้อย่างมากมาย ทั้งนี้ปัญหาใหญ่คือเรื่องการบริหารจัดการน้ำซึ่งเป็นหัวใจสำคัญของกระบวนการผลิต และเป็นปัจจัยที่สำคัญของต้นทุนการผลิต ดังนั้นถ้าสามารถนำน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วกลับมาใช้ในกระบวนการที่เหมาะสมได้ จะช่วยลดต้นทุนในการผลิตเป็นการเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขัน รวมทั้งยังเป็นการป้องกัน และลดผลกระทบสิ่งแวดล้อม

น้ำเสียจากกระบวนการฟอกย้อมและตกแต่งสิ่งทอ โดยทั่วไปมีสมบัติที่มีสี มีค่าบีโอดี ซีโอดี สารแขวนลอย ค่าความเป็นกรดต่าง และอุณหภูมิสูง รวมทั้งยังอาจมีสารที่เป็นพิษปะปนออกมาด้วย น้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมประเภทนี้ ต้องบำบัดให้มีคุณภาพที่เหมาะสมก่อนปล่อยทิ้งลงในแหล่งน้ำสาธารณะได้ ซึ่งกระบวนการโคแอกกูเลชัน (coagulation) เป็นกระบวนการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ และของแข็งแขวนลอยด้วยการเติมสารเคมี ที่ให้ไอออนที่มีประจุตรงข้าม เช่นอะลูมิเนียมซัลเฟต หรือเฟอร์ริกคลอไรด์ ทำให้ประจุของคอลลอยด์เป็นกลางและเกิดการรวมตัว และกำจัดออกด้วยการใช้ถังตกตะกอน การใช้สารเคมีช่วยในการตกตะกอนเป็นกระบวนการที่รู้จักกัน และใช้อยู่ทั่วไปในการบำบัดน้ำและน้ำเสีย สำหรับกระบวนการโคแอกกูเลชันด้วยไฟฟ้า (electrocoagulation) ใช้หลักการเดียวกันในการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ แต่ใช้สารโคแอกกูแลนต์ในรูปของไอออนโลหะที่เกิดจากการละลายโลหะออกจากขั้วไฟฟ้าด้วยปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้าที่ขั้วบวก (anode) โดยอาศัยปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน (ปฏิกิริยารีดอกซ์) ซึ่งเกิดขึ้นโดยสารที่ทำปฏิกิริยาไม่ได้สัมผัสกัน เนื่องจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนจากสารที่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันไปยังสารที่เกิดรีดักชันโดยผ่านตัวนำไฟฟ้าที่เหมาะสม (Peter, H., Geoffrey, B., and Cynthia, M. 2006)

การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีไฟฟ้าเคมีจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่อาจนำมาพัฒนา เพื่อประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกย้อมได้ และมีความเป็นไปได้ที่จะสามารถนำน้ำที่ผ่านการบำบัดกลับมาใช้ซ้ำในกระบวนการ เนื่องจากวิธีไฟฟ้าเคมีสามารถกำจัดสารมลพิษ สารอินทรีย์ และสี ได้โดยไม่ต้องใช้สารเคมี หน่วยบำบัดน้ำเสียมีขนาดเล็ก เป็นระบบที่รวดเร็วและมีประสิทธิภาพสูง

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

- (1) ศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อการบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการฟอกย้อมด้วยวิธีไฟฟ้าเคมี
- (2) ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการฟอกย้อมด้วยวิธีไฟฟ้าเคมี
- (3) ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยกระบวนการไฟฟ้าเคมีกลับมาใช้ซ้ำในกระบวนการ

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

- (1) ทดลองกับน้ำเสียจากการย้อมผ้าฝ้ายทอดด้วยสีรีแอคทีฟ และน้ำเสียจากการฟอกย้อมเส้นด้ายอะคริลิกด้วยสีเบสิกจากโรงงานเจริญชัยการย้อม
- (2) ตัวแปรที่ศึกษา มีดังนี้
 - วัสดุที่ใช้ทำอิเล็กโทรด
 - ศักย์ไฟฟ้า
 - ขนาดของอิเล็กโทรด
 - ระยะเวลาสัมผัส
- (3) ดัชนีคุณภาพน้ำที่วิเคราะห์เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม
 - ค่าพีเอช
 - ค่าความนำไฟฟ้า
 - ค่าความขุ่น
 - ค่าการดูดกลืนแสง
- (4) ดัชนีคุณภาพน้ำที่วิเคราะห์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำน้ำกลับมาใช้ซ้ำ
 - ค่าพีเอช
 - ค่าความนำไฟฟ้า
 - ค่าความขุ่น
 - ค่าการดูดกลืนแสง
 - ปริมาณของแข็งแขวนลอย
 - ค่าซีโอดี
 - ค่าความกระด้าง

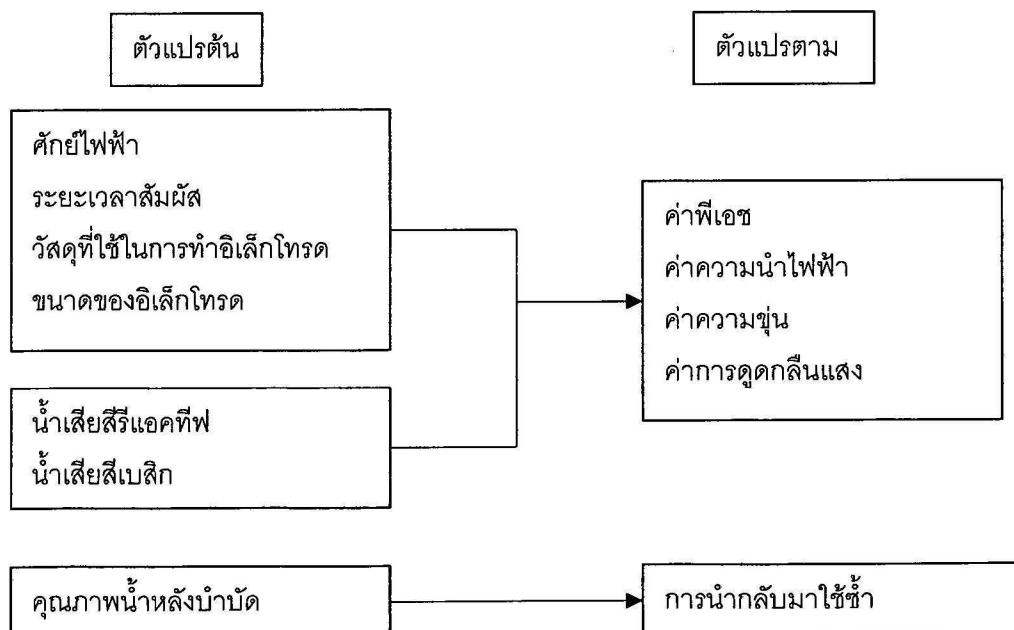
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- (1) เป็นแนวทางในการนำไปใช้งานจริงในการบำบัดน้ำเสียโรงงานฟอกย้อม และประยุกต์ใช้กับโรงงานประเภทอื่น
- (2) น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดด้วยกระบวนการไฟฟ้าเคมีสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ และสามารถลดค่าใช้จ่ายของโรงงานในด้านต้นทุนของน้ำใช้และต้นทุนการบำบัดน้ำเสีย

1.5 สมมุติฐานการวิจัย

- (1) การบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการฟอกย้อมด้วยวิธีไฟฟ้าเคมี ขึ้นกับตัวแปรต่างๆ ดังนี้
 - ศักย์ไฟฟ้า
 - ระยะเวลาสัมผัส
 - วัสดุที่ใช้ทำอิเล็กโทรด
 - ขนาดของอิเล็กโทรด
- (2) กระบวนการทางไฟฟ้าเคมีสามารถบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการฟอกย้อมได้อย่างมีประสิทธิภาพ
- (3) น้ำเสียจากการฟอกย้อมที่ผ่านการบำบัดด้วยกระบวนการไฟฟ้าเคมีสามารถนำกลับมาใช้ซ้ำในกระบวนการได้

1.6 กรอบแนวคิดการวิจัย



บทที่ 2

เอกสารและรายงานการวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากอุตสาหกรรมฟอกย้อม

ปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากอุตสาหกรรมฟอกย้อม ส่วนใหญ่เกิดจากการน้ำเสีย โดยน้ำเสียจากการฟอกย้อมมีแหล่งกำเนิดในเกือบทุกขั้นตอนของการผลิต ตั้งแต่การเตรียมผ้า การย้อม และการตกแต่งสำเร็จ โดยเฉพาะในกระบวนการชำระล้างทำความสะอาด มีการใช้น้ำในอัตราที่สูงมาก ซึ่งสิ่งที่สามารถพบได้ในน้ำเสียเสมอ ได้แก่ เศษเส้นใย เศษผ้า สารเคมี กรดด่าง ไขมัน สบู่ สีย้อม และตัวทำละลาย ทำให้ปริมาณสารมลพิษในน้ำเสียมีปริมาณสูง และเป็นปัญหาต่อสิ่งแวดล้อม (สำนักสิ่งแวดล้อมอุตสาหกรรม, 2542)

สภาพการเกิดและการระบายน้ำเสีย เริ่มจากอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในกระบวนการผลิต ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดที่ถ่ายน้ำเสียลงในรางระบายน้ำภายในโรงงาน หลังจากนั้นน้ำเสียจะไหลเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานก่อนระบายทิ้งออกสู่แหล่งน้ำสาธารณะต่อไป ซึ่งน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกย้อมมีที่มาจากแหล่งต่างๆ ที่สำคัญ 5 แหล่งด้วยกัน คือ

(1) น้ำในกระบวนการผลิต

น้ำในกระบวนการผลิต ได้แก่ น้ำจากกระบวนการฟอกย้อม น้ำใช้ในส่วนนี้อาจมีการระบายไปบ้างในระหว่างขั้นตอนการผลิต แต่ส่วนใหญ่จะถูกปล่อยออกมาเป็นน้ำเสียภายหลังการผลิต แบ่งได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ

- น้ำจากการฟอกย้อม มีปริมาณไม่มากนัก แต่มีความเข้มข้นของสิ่งสกปรกเจือปนที่ค่อนข้างสูง
- น้ำจากการซักล้างภายหลังการฟอกย้อม มีปริมาณมาก แต่มีความเข้มข้นของสิ่งสกปรกเจือปนโดยส่วนรวมแล้วต่ำกว่าน้ำเสียจากขั้นตอนการฟอกย้อม

(2) น้ำในหม้อไอน้ำ

ในกระบวนการฟอกย้อม ไอน้ำเป็นตัวให้ความร้อนแก่น้ำที่ใช้ในกระบวนการ และเป็นตัวให้ความร้อนในตู้อบไอน้ำ ถ้าไอน้ำที่ใช้ถูกปล่อยให้เย็นลง และกลั่นตัวในท่อไอน้ำก็จะได้น้ำที่สะอาดนำกลับไปใช้ใหม่ได้ แต่ถ้าไอน้ำถูกส่งเข้าไปให้ความร้อนแก่สารละลายสีย้อมโดยตรง จะเป็นการเพิ่มปริมาตรของสารละลายสีย้อม และถูกรวมเป็นน้ำเสีย

(3) น้ำหล่อเย็น

กระบวนการฟอกย้อม ในบางขั้นตอนจำเป็นต้องลดอุณหภูมิของสารละลายสีย้อมลงในเวลาสั้น ทำได้โดยใช้น้ำหล่อเย็น น้ำหล่อเย็นนี้ส่วนมากจะเป็นน้ำสะอาดสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้

(4) น้ำล้างเครื่องจักรและทำความสะอาดโรงงาน

น้ำส่วนนี้เป็นส่วนประกอบที่สำคัญส่วนหนึ่ง ของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกย้อม และในบางกรณีเป็นน้ำเสียที่มีความสกปรกสูงมากด้วย เช่น น้ำล้างถังเตรียมสีย้อม เป็นต้น

(5) น้ำจากแหล่งอื่นๆ

นอกจากน้ำเสียจากแหล่งต่างๆ ดังกล่าวข้างต้นแล้ว โรงงานอุตสาหกรรมฟอกย้อม ยังอาจมีน้ำเสียจากแหล่งอื่นๆ อีก เช่น น้ำใช้จากสำนักงาน และโรงอาหาร เป็นต้น

2.2 วิธีการจัดสีจากน้ำเสียโรงฟอกย้อม

การกำจัดสีจากน้ำเสียของโรงงานฟอกย้อมได้มีการพัฒนาต่อเนื่อง จากเดิมซึ่งโรงงานทั่วไปมักใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบชีวภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำเสีย โดยในสมัยก่อนสีที่ปล่อยออกมามีปริมาณน้อย ทำให้ยังไม่เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม แต่ในปัจจุบันอุตสาหกรรมสิ่งทอได้เพิ่มจำนวนมากขึ้น อีกทั้งยังมีการพัฒนาเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการฟอกย้อม ไม่ว่าจะเป็นเครื่องจักรที่ทันสมัย การเติมสารเคมีช่วยเพิ่มคุณภาพของผ้า จนกระทั่งการพัฒนาสีที่ใช้ในการย้อม เพื่อให้สีติดผ้ามากขึ้น ทำให้น้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมประกอบด้วยสารเคมีและสีย้อมมากมายหลายชนิด จนไม่สามารถใช้กระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบชีวภาพชนิดตะกอนเร่ง (activated sludge) ในการกำจัดสีให้ลดลงได้ จึงได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีเกี่ยวกับวิธีการกำจัดสีหลายวิธี การเลือกวิธีการกำจัดสีหนึ่งวิธีหรือมากกว่า ขึ้นกับขั้นตอนในการฟอกย้อม และชนิดสีที่ใช้โดยจำแนกวิธีการกำจัดสีได้ ดังนี้

2.2.1 การกำจัดสีทางเคมี-ฟิสิกส์

การกำจัดสีโดยวิธีทางเคมี-ฟิสิกส์เป็นการบำบัดน้ำเสียขั้นต้น ก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียขั้นที่สองต่อไป หรืออาจใช้ตามหลังกระบวนการชีวภาพ ตัวอย่างของการกำจัดสีโดยวิธีเคมี-ฟิสิกส์ ได้แก่ กระบวนการโคแอกกูเลชัน โดยใช้สารเคมีซึ่งสามารถกำจัดสีอินทรีย์ และสารประกอบอื่นๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ กลไกของกระบวนการดังกล่าว เกิดจากอนุภาคหรือสิ่งปนเปื้อนถูกดูดติดผิว ฟล็อก โรงฟอกย้อมส่วนมากนิยมใช้สารเคมีต่างๆ ในการทำให้เกิดกระบวนการโคแอกกูเลชัน และฟล็อกกูเลชัน ได้แก่ ปูนขาว สารส้ม เหลือเฟอริค หรือพอลิอิเล็กโทรไลต์ แล้วตามด้วยกระบวนการตกตะกอน ซึ่งพบว่ามิใช่เสีย เนื่องจากใช้สารเคมีปริมาณมากในการกำจัดสี และมีสลดจ์ทางเคมีเกิดขึ้นมากตามมามากด้วย ดังนั้นการใช้วิธีการโคแอกกูเลชัน และฟล็อกกูเลชัน ในการกำจัดสีจากน้ำเสียโรงฟอกย้อม ข้อสำคัญที่ควรคำนึงถึงคือ การประเมินปริมาณสารเคมีที่ต้องใช้ ให้มีปริมาณพอเหมาะกับลักษณะของน้ำเสีย

2.2.2 กระบวนการทางเคมี

(1) การออกซิเดชัน (oxidation)

(1.1) การเติมคลอรีน (chlorination)

สีย้อมหลายชนิดถูกกำจัดได้โดยใช้สารเคมีเป็นตัวออกซิไดซ์ สารเคมีที่นิยมใช้มากในการกำจัดสีขั้นต้นคือ คลอรีนในรูปของเหลวหรือแก๊ส อย่างไรก็ตาม พบว่าการใช้คลอรีนในปริมาณมากเกินไปจะทำให้เป็นอันตรายต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม (ในรูปสารประกอบ chlorinated chemical) จากงานวิจัยของ Ghosh และคณะ (1978) อ้างโดย Reife และ Freeman (1996) ในการกำจัดสีโดยกระบวนการเติมคลอรีน สรุปได้ว่าต้องใช้คลอรีนปริมาณ 150 มิลลิกรัมต่อลิตร จึงจะให้ประสิทธิภาพ ในการกำจัดสีร้อยละ 77 แต่จะมีคลอรีนตกค้างในน้ำเสียปริมาณ 110 มิลลิกรัมต่อลิตร และถ้าใช้คลอรีนต่ำกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตร จะไม่มีคลอรีนตกค้างเหลืออยู่ แต่จะทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสีลดลงเหลือร้อยละ 57

(1.2) การเติมโอโซน (ozonation)

โอโซนได้ถูกใช้ในการกำจัดกลิ่นในน้ำดื่ม ตลอดจนใช้ในการย่อยสลายสารประกอบสี โอโซนเป็นตัวออกซิไดซ์ดีกว่าคลอรีน และพบว่ากลไกที่ได้จากกระบวนการออกซิไดซ์น้ำเสียที่มีสีโดยใช้โอโซน ไม่ก่อให้เกิดมลพิษจากสารพวก chlorinated organics ในการวิจัยของ Horning (1978) พบว่า การใช้โอโซนปริมาณ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นตัวออกซิไดซ์ จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีรีแอคทีฟ และ สีเบสิก แต่ไม่มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีดิสเพอร์ส ส่วนการกำจัดสีไดเรกต์ ต้องใช้โอโซนในปริมาณที่ไม่แน่นอน และนอกจากนี้ยังเป็นวิธีที่มีค่าใช้จ่ายสูงในการติดตั้งอุปกรณ์

(1.3) การรีดักชัน (reduction)

ในการศึกษาเกี่ยวกับการรีดักชันของสีชนิดเอโซ (azo) ด้วยโซเดียมไฮโอซัลไฟต์ พบว่าสีเอโซจะถูกสลายให้กลายเป็นโมเลกุลที่มีขนาดเล็กลง เกิดเป็นสารประกอบอะโรมาติกเอมีน ซึ่งสารประกอบที่เกิดขึ้นดังกล่าวพบว่า หากปล่อยลงสู่แหล่งน้ำจะเป็นพิษมากกว่าตัวของสีย้อมเอง (Reife และ Freeman , 1996)

(1.4) กระบวนการดูดติดผิว

กระบวนการดูดติดผิวเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพ ในการกำจัดสีที่มีปริมาณความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งต่ำๆ โดยใช้ถ่านกัมมันต์ (activated carbon) ซึ่งสามารถเตรียมได้จาก ลิกไนต์ ถ่านหิน เศษไม้ เศษฝ้าย กะลามะพร้าว ฯลฯ ซึ่งวัสดุดังกล่าวมีพื้นที่ผิว 500 - 1400 ตารางเมตรต่อกรัม (Reife และ Freeman , 1996) โดยพบว่า โครงสร้างโมเลกุลของสีย้อม มีผลต่อปริมาณการดูดติดผิวบนผิวน้ำกัมมันต์อย่างมีนัยสำคัญ โดยทั่วไปแล้วความสามารถในการดูดติดผิวของสารประกอบจะเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขนาดของโมเลกุล ความเป็นสารประกอบอะโรมาติก (aromaticity) ความมีขั้ว (polarity) และการแตกพันธะลูกโซ่ของคาร์บอน (carbon chain balancing)

(1.5) กระบวนการไฟฟ้าเคมี

สถาบัน ADMI ได้ทำวิจัยเกี่ยวกับการกำจัดโลหะหนักจากน้ำเสียโรงฟอกย้อมโดยกระบวนการไฟฟ้าเคมี พบว่า นอกจากจะสามารถกำจัดโลหะหนักแล้ว ยังสามารถกำจัดสีให้ลดลงได้อีกด้วย จึงทำให้มีการใช้เทคโนโลยีไฟฟ้าเคมีในการบำบัดน้ำเสียจากโรงฟอกย้อมเป็นครั้งแรก และมีการจดลิขสิทธิ์โดยใช้ชื่อว่า Andco Environmental Process (Uhrich, 1989) โดย Carneiro, P.A., Fugivara, C.S., Nogueira, F.P., Boralle, N., and Zanoni, V.B. (2003) ศึกษาเปรียบเทียบการกำจัดสีรีแอคทีฟ (Reactive Blue 4 Dye) ระหว่างกระบวนการไฟฟ้าเคมีโดยใช้ SnO_2 อิเล็กโทรด และกระบวนการออกซิเดชันด้วยสารเฟนตอน ร่วมกับแสงอัลตราไวโอเล็ต ผลการทดลองรายงานว่า เมื่อใช้ SnO_2 อิเล็กโทรด สามารถลดค่าทีโอซี (TOC) ลงได้ร้อยละ 58 และกำจัดสีจากน้ำเสียได้ทั้งหมด และเมื่อใช้การออกซิเดชันด้วยสารเฟนตอน ร่วมกับแสงอัลตราไวโอเล็ต พบว่าสามารถลดค่าทีโอซี (TOC) ลงได้ร้อยละ 80 และกำจัดสีจากน้ำเสียได้ทั้งหมด และจากรายงานผลการวิจัยในการบำบัดน้ำเสียโรงงานสิ่งทอ เพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ด้วยกระบวนการออกซิเดชันด้วยไฟฟ้าเคมีตามด้วยกระบวนการกรอง ของ Chen, X., Shen, Z., Zhu, X., Fan, Y., and Wang, W. (2005) ผลการทดลองพบว่า การออกซิเดชันด้วยไฟฟ้าเคมีมีประสิทธิภาพสูงในการลดค่าซีไอดี (ร้อยละ 89.8) และหลังจากผ่านกระบวนการกรองด้วยเมมเบรนพบว่า สามารถลดค่าของแข็งแขวนลอยลงได้เกือบทั้งหมด ลดค่าความขุ่นลงได้ร้อยละ 93.3 และน้ำที่ผ่านการกรองสามารถนำกลับมาใช้ซ้ำได้อีกในกระบวนการผลิต

2.2.3 กระบวนการทางชีวภาพ

กระบวนการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพมีการแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ

- (1) ระบบบำบัดแบบไร้อากาศ (anaerobic treatment system)
- (2) ระบบบำบัดแบบใช้อากาศ (aerobic treatment system)

การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีไร้อากาศ เป็นวิธีที่ไม่ต้องเติมออกซิเจนหรือถังหมัก ระบบนี้เริ่มนิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย มากขึ้นเรื่อยๆ เพราะประหยัดพลังงานในการเติมอากาศ และยังได้พลังงานที่เกิดจากระบบไร้ออกซิเจนได้แก่ แก๊สมีเทน เป็นต้น ซึ่งเป็นแก๊สที่ใช้ในการหุงต้มทำอาหารได้ และใช้ในการต้มน้ำในหม้อต้มน้ำของ โรงงานอุตสาหกรรมได้ ในอดีตเข้าใจกันว่า การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีไร้อากาศ จำเป็นต้องมีน้ำเสียที่มีความสกปรกมาก แต่ปัจจุบันได้มีการพัฒนารูปแบบของถังปฏิกรณ์ขึ้นมาเรื่อยๆ จนสามารถบำบัดน้ำเสียที่มีบีโอดีต่ำๆ เช่น น้ำเสียจากชุมชน เป็นต้น

การบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพแบบใช้อากาศ เป็นอีกกระบวนการหนึ่งที่นิยมใช้กันมากในการบำบัดน้ำเสียจากโรงฟอกย้อม เนื่องจากมีค่าใช้จ่ายต่ำกว่าวิธีอื่น และในสมัยก่อนน้ำเสียจากโรงฟอกย้อมจะถูกปล่อยรวมกับน้ำเสียจากเทศบาล และใช้ระบบตะกอนเร่งในการบำบัดน้ำเสีย อย่างไรก็ตามในปัจจุบัน เนื่องจากมีสีปนมากับน้ำเสียจากโรงฟอกย้อมในปริมาณมาก จนไม่สามารถที่จะใช้ระบบตะกอนเร่ง กำจัดสีที่เกิดขึ้น แต่ก็ได้มีการวิจัยเกี่ยวกับการกำจัดสี โดยใช้ระบบตะกอนเร่งของ Carliell และคณะ (1996) โดยพบว่า สีย้อมเป็นตัวขัดขวางการย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจน สาเหตุจากตัวสีย้อมได้มีการเติมสารเคมีที่ช่วยเพิ่มคุณสมบัติของสีย้อม เช่น สาร

ป้องกันไม่ให้สีตก และ ยังพบว่าอัตราการย่อยสลายน้ำเสียของโรงฟอกย้อมช้ากว่าน้ำเสียชุมชน (Reife และ Freeman , 1996)

2.2.4 อื่นๆ

นอกจากกระบวนการต่างๆ ที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ยังมีกระบวนการกำจัดสีโดยอาศัยเทคโนโลยีใหม่ๆ อีก เช่นกระบวนการออสโมซิสผันกลับ การกรองโดยผ่านแสงยูวี การแลกเปลี่ยนไอออน โดยจะใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงฟอกย้อมที่มีความเข้มข้นของสีสูง และน้ำที่ได้จากการบำบัดด้วยกระบวนการดังกล่าวสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ แต่ยังไม่เป็นวิธีที่แพร่หลายนัก เนื่องจากมีค่าใช้จ่ายในการติดตั้งและบำรุงรักษาอุปกรณ์สูงมาก

ดังนั้นการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ มีแนวความคิดว่าการบำบัดน้ำเสียจากโรงฟอกย้อมน่าจะบำบัดด้วยวิธีไฟฟ้าเคมีอาศัยกลไกการใช้อิเล็กตรอนในการทำปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน แทนการใช้สารเคมีในการเกิดปฏิกิริยา

2.3 ไฟฟ้าเคมี (electrochemistry)

ไฟฟ้าเคมี (electrochemistry) เป็นปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายโอนอิเล็กตรอน ซึ่งเป็นปฏิกิริยาเคมีที่สำคัญอย่างหนึ่ง เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงพลังงานเคมีและพลังงานไฟฟ้า สามารถเปลี่ยนพลังงานเคมีให้เป็นพลังงานไฟฟ้า คือ เกิดปฏิกิริยาเคมีแล้วทำให้เกิดกระแสไฟฟ้า และสามารถเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานเคมี โดยใช้กระแสไฟฟ้าทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมี แบ่งเป็น 2 ประเภท

- (1) ปฏิกิริยารีดอกซ์ (redox reaction) เป็นปฏิกิริยาที่มีการถ่ายเทอิเล็กตรอน
- (2) ปฏิกิริยานอนรีดอกซ์ (nonredox reaction) เป็นปฏิกิริยาที่ไม่มีการถ่ายเทอิเล็กตรอน

2.3.1 ปฏิกิริยารีดอกซ์ (redox reaction หรือ oxidation-reduction reaction)

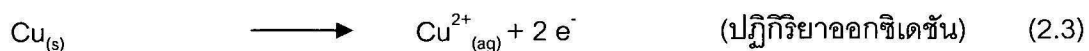
ปฏิกิริยารีดอกซ์ หมายถึง ปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายเทอิเล็กตรอน ตัวอย่าง เช่น เมื่อนำแผ่นโลหะทองแดง (Cu) จุ่มลงในสารละลายของซิลเวอร์ไนเทรต (AgNO_3) พบว่าที่แผ่นโลหะทองแดง มีของแข็งสีขาวปนเทาเกาะอยู่ และเมื่อนำมาเคาะจะพบว่าโลหะทองแดง เกิดการสึกกร่อน ส่วนสีของสารละลายซิลเวอร์ไนเทรต จะเปลี่ยนจากใสไม่มีสีเป็นสีฟ้า

การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นนี้ อธิบายได้ว่าการที่โลหะทองแดงเกิดการสึกกร่อนเป็นเพราะโลหะทองแดง (Cu) เกิดการเสียอิเล็กตรอนกลายเป็น Cu^{2+} ซึ่งมีสีฟ้า และเมื่อ Ag^+ รับอิเล็กตรอนเข้ามาจะกลายเป็นโลหะเงิน (Ag) มาเกาะอยู่ที่แผ่นโลหะทองแดง

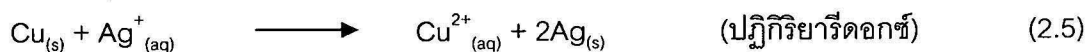
ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น เขียนในรูปสมการได้ดังนี้



อิเล็กตรอนที่ถ่ายเทต้องเท่ากัน ดังนั้นสมการเคมีที่เกิดขึ้นที่แท้จริงเป็นดังนี้



ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในแต่ละสมการเรียกว่าครึ่งปฏิกิริยา ซึ่งการเกิดปฏิกิริยาถ่ายเทอิเล็กตรอน จะเกิดขึ้นได้สมบูรณ์ก็ต่อเมื่อต้องนำครึ่งปฏิกิริยาทั้งสองมารวมกัน เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

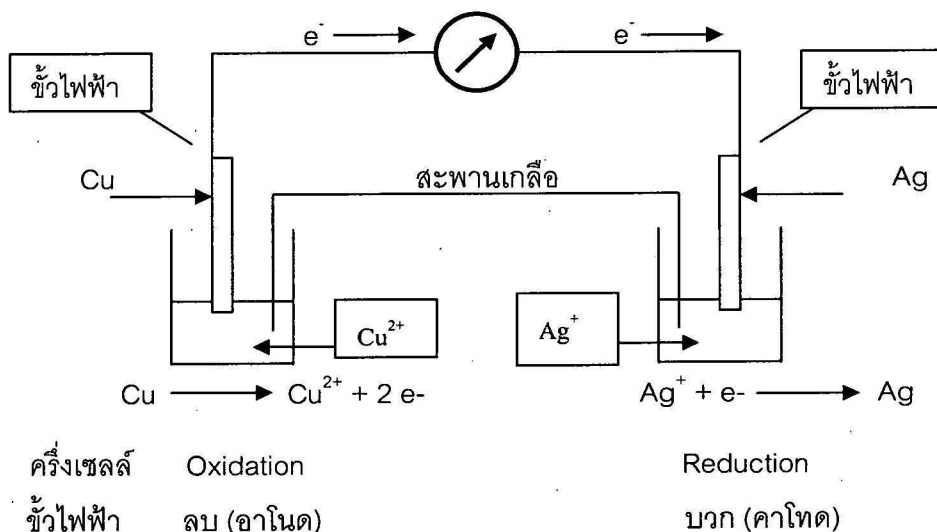


สรุปได้ว่าการเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์จะต้องประกอบไปด้วย

- (1) สารที่ให้อิเล็กตรอนเรียกว่าตัวรีดิวส์ เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation reaction)
- (2) สารที่รับอิเล็กตรอนเรียกว่าตัวออกซิไดซ์ เกิดปฏิกิริยารีดักชัน (reduction reaction)

2.3.2 เซลล์ไฟฟ้าเคมี

เนื่องจากสารที่ให้และรับอิเล็กตรอนที่สัมผัสกันโดยตรง จะไม่สามารถแสดงกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นได้ ดังนั้น หากต้องการให้มีกระแสไฟฟ้าเกิดขึ้นต้องนำลวดตัวนำไฟฟ้าต่อเชื่อมเข้าไประหว่างขั้วไฟฟ้าของครึ่งเซลล์ที่ให้ และรับอิเล็กตรอน พร้อมกับโวลต์มิเตอร์ และสะพานเกลือเชื่อมระหว่างครึ่งเซลล์ทั้งสอง โดยปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นคือ $\text{Cu}_{(s)} + 2\text{Ag}^+_{(aq)} \longrightarrow \text{Cu}^{2+}_{(aq)} + 2\text{Ag}_{(s)}$ แสดงได้ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 เซลล์ไฟฟ้าเคมี

(1) แรงเคลื่อนไฟฟ้าในเซลล์ไฟฟ้า

ในเซลล์ไฟฟ้ามีการไหลของกระแสไฟฟ้า เพราะมีการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนผ่านตัวนำในการผลักดันให้ประจุ 1 คูลอมป์ เคลื่อนที่จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งในวงจรนั้น และต้องมีการรับหรือปลดปล่อยพลังงานไฟฟ้าเกิดขึ้นด้วยเสมอ เซลล์ไฟฟ้าหนึ่งต้องการพลังงาน 1 จูล ในการทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของประจุ 1 คูลอมป์ จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งในเซลล์ หมายความว่าจุดสองจุดนั้นมีความต่างศักย์เท่ากับ 1 โวลต์ ดังนั้นความต่างศักย์ 1 โวลต์ จึงมีค่าเท่ากับ 1 จูลต่อคูลอมป์ จากความหมายของพลังงานไฟฟ้างกล่าวข้างต้น จะได้ว่า

$$\text{งานทางไฟฟ้า } (W_{\text{elec.}}) = \text{คูลอมบ์} \times \text{โวลต์} \quad (2.6)$$

งานที่ได้จากเซลล์ไฟฟ้าเนื่องจากการถ่ายเทอิเล็กตรอน ดังนั้นจำนวนประจุในหน่วยคูลอมบ์ จึงขึ้นกับจำนวนอิเล็กตรอนในปฏิกิริยา ซึ่งทุก 1 โมลของอิเล็กตรอนจะมีปริมาณประจุเท่ากับ 96,487 คูลอมบ์ ถ้าในปฏิกิริยาของเซลล์ไฟฟ้ามีการถ่ายเทอิเล็กตรอน n โมล จะมีปริมาณประจุเท่ากับ $n \times 96,487$ หรือ nF คูลอมบ์

$$W_{\text{elec.}} = (nF) (E) = nE \times 96,487 \quad (2.7)$$

F คือค่าคงที่ของฟาราเดย์เท่ากับ 96,487 คูลอมบ์ต่อโมล

งานทางไฟฟ้าจะเกิดขึ้นได้ต้องมีการลดพลังงานอิสระที่มีอยู่ในเซลล์ด้วย และในกรณีที่ปฏิกิริยาในเซลล์เกิดขึ้นอย่างผันกลับได้ การลดพลังงานอิสระ จะเท่ากับงานที่กระทำ

$$\Delta G = -nFE \quad (2.8)$$

ที่อุณหภูมิและความดันหนึ่งๆ ΔG มีเครื่องหมายเป็นลบ แสดงว่าปฏิกิริยาเกิดขึ้นได้เอง

ΔG มีเครื่องหมายเป็นบวก แสดงว่าปฏิกิริยาเกิดขึ้นเองไม่ได้

ΔG เท่ากับศูนย์ แสดงว่าปฏิกิริยาอยู่ในภาวะสมดุล

(2) ศักย์ไฟฟ้ามาตรฐาน (E°)

เนื่องจากแรงเคลื่อนไฟฟ้าของเซลล์ คือผลรวมทางพีชคณิตของศักย์ไฟฟ้าของแต่ละขั้วไฟฟ้า ในทางปฏิบัติไม่มีวิธีวัดศักย์ไฟฟ้าเฉพาะแต่ละขั้วเดี่ยวได้โดยตรง แต่ต้องวัดเป็นแรงเคลื่อนไฟฟ้าของเซลล์ ดังนั้นจึงต้องกำหนดศักย์ไฟฟ้าของขั้วไฟฟ้ามาตรฐานขึ้น โดยกำหนดให้ค่าศักย์ไฟฟ้าของไฮโดรเจนที่สภาวะมาตรฐาน (25°C , 1atm) มีค่าเท่ากับศูนย์โวลต์

การวัดค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐาน ของเซลล์ไฟฟ้าใดๆ ทำได้โดยการนำครึ่งเซลล์มาตรฐานไฮโดรเจนต่อกับครึ่งเซลล์ที่สนใจ และวัดแรงเคลื่อนไฟฟ้าของเซลล์ แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่วัดได้จะเป็นศักย์ไฟฟ้าของขั้วไฟฟ้าที่ต้องการทราบ ทั้งนี้เพราะศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของขั้วไฟฟ้าไฮโดรเจนมีค่าเท่ากับศูนย์ แต่ถ้าขั้วไฟฟ้านั้นอยู่ในภาวะมาตรฐานด้วย แรงเคลื่อนไฟฟ้าของเซลล์จะเป็นแรงเคลื่อนไฟฟ้ามาตรฐาน ค่าศักย์ไฟฟ้าทำให้เห็นแนวโน้มของขั้วไฟฟ้าที่จะรับอิเล็กตรอนว่ามีความสามารถมากน้อยเพียงใด หรือใช้เปรียบเทียบความสามารถในการเป็นตัวรีดิวซ์ และตัวออกซิไดซ์ โดยสารที่ให้อิเล็กตรอนได้ดีจะมีค่าศักย์ไฟฟ้าต่ำ ส่วนสารที่รับอิเล็กตรอนได้ดีจะมีค่าศักย์ไฟฟ้าสูง จากแรงเคลื่อนไฟฟ้าสามารถบอกได้ว่าปฏิกิริยานั้นๆ เกิดขึ้นได้เองหรือไม่ ถ้าแรงเคลื่อนไฟฟ้ามีค่าบวกปฏิกิริยานั้นจะเกิดขึ้นเองได้ แต่ถ้าแรงเคลื่อนไฟฟ้าของปฏิกิริยามีค่าเป็นลบ ปฏิกิริยานั้นจะเกิดขึ้นเองไม่ได้ เมื่อปฏิกิริยาดังกล่าวได้รับพลังงานจากแหล่งไฟฟ้าภายนอกจะสามารถเกิดปฏิกิริยาขึ้นได้

(3) อิเล็กโทรไลซิส (electrolysis)

อิเล็กโทรไลซิส (electrolysis) คือกระบวนการผ่านกระแสไฟฟ้า จากภายนอกเข้าไปในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ แล้วทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมี ส่วนประกอบสำคัญของกระบวนการอิเล็กโทรไลซิส คือแหล่งให้พลังงานไฟฟ้า ขั้วไฟฟ้าสองขั้ว และสารละลายอิเล็กโทรไลต์ ในส่วนของขั้วไฟฟ้า และสารละลายอิเล็กโทรไลต์เมื่อประกอบ

เข้าด้วยกันแล้วเรียกว่า เซลล์อิเล็กโทรไลต์ โดยขั้วไฟฟ้าขั้วหนึ่งจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเรียกว่าแอโนด (anode) ส่วนขั้วไฟฟ้าที่เกิดปฏิกิริยารีดักชันเรียกว่าแคโทด (cathode)

(4) ขั้วไฟฟ้า (electrode)

ขั้วไฟฟ้าแบ่งออกเป็น 3 ชนิด คือ

- ขั้วที่ว่องไวต่อปฏิกิริยา (active electrodes) หมายถึงขั้วที่มีส่วนในปฏิกิริยา เช่น ครึ่ง Zn/Zn^{2+} ถ้า Zn เป็นฝ่ายให้อิเล็กตรอนไป Zn ก็จะถูกเร่งออกไป ถ้า Zn^{2+} รับอิเล็กตรอนมา ก็จะเปลี่ยนเป็น Zn เกาะบนขั้วไฟฟ้า
- ขั้วที่ไม่ว่องไวในปฏิกิริยา (inert electrodes) เช่น แกรไฟต์หรือคาร์บอน ที่จุ่มลงในสารละลายหนึ่ง ทำหน้าที่เป็นทางให้อิเล็กตรอนไหลผ่านเข้าหรือออกได้ โดยไม่มีปฏิกิริยากับไอออนในสารละลายนั้น
- ขั้วแก๊ส (gas electrode) ในครึ่งเซลล์ $\text{H}^+/\text{H}_2(\text{g})$ จะมี $\text{Pt}/\text{H}_2(\text{g})$ (1บรรยากาศ) จุ่มในสารละลาย H^+ หรือ $\text{H}_3\text{O}^+(1\text{M})$ เรียกขั้วแก๊สไฮโดรเจน หรือขั้วแก๊สไฮโดรเจนมาตรฐาน (standard hydrogen electrodes; SHE) โดยที่ปลายโลหะ Pt จะมี Pt ที่เป็นผงละเอียดเคลือบอยู่ ทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (catalyst)

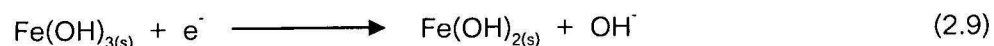
วัสดุที่ใช้ทำขั้วไฟฟ้า

- อะลูมิเนียม (aluminum)

เป็นโลหะหมู่เดียวกับแกลเลียม อินเดียม และเทลลูเรียม อะลูมิเนียมเป็นโลหะที่มีมากที่สุดบนผิวโลก เป็นโลหะที่ว่องไวสามารถทำปฏิกิริยากับโลหะอื่น ได้ มีเลขออกซิเดชันเท่ากับ +3 เมื่อโลหะให้อิเล็กตรอนออกไป 3 อิเล็กตรอน จะได้ Al^{3+} มีขนาดเล็ก สารประกอบโลหะที่มีเลขออกซิเดชัน +3 มักเป็นสารประกอบโคเวเลนต์ อย่างไรก็ตามเมื่ออยู่ในน้ำ Al^{3+} จะเกิดไฮเดรชันและไฮโดรไลซิสโดยเกลือซัลเฟต ไนเตรต และเฮไลต์ของอะลูมิเนียมละลายน้ำได้ดี แต่ไฮดรอกไซด์ของอะลูมิเนียมไม่ละลายน้ำ ออกไซด์ และไฮดรอกไซด์ของอะลูมิเนียม มีสมบัติเป็นแอมโฟเทอริก

- เหล็ก (steels)

เป็นโลหะแข็ง มีจุดหลอมเหลวและจุดเดือดสูง มีความว่องไวปานกลางต่อปฏิกิริยา สารประกอบของธาตุเหล็กมีเลขออกซิเดชัน +2 และ +3 เลขออกซิเดชันสูงๆ มีบ้าง แต่ไม่เสถียร และเป็นตัวออกซิไดส์อย่างแรง ถ้าทิ้งไว้ในอากาศที่มีความชื้น มักกลายเป็นสนิมน้ำตาลที่ผิว เรียกว่าสนิมเหล็ก เหล็กมักอยู่ในรูปของ Fe^{2+} และ Fe^{3+} ปนกัน เนื่องจาก Fe^{2+} ถูกออกซิไดส์โดยอากาศได้ง่าย โดยเฉพาะในภาวะเป็นกลางหรือเบส



สารประกอบที่ปราศจากน้ำของ Fe^{2+} ไม่มีสี แต่ถ้ามีน้ำหรืออยู่ในสารละลายจะมีสีเขียวอ่อนของไฮดรอกไซด์ $[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$ สารประกอบ Fe^{3+} มักมีสมบัติเป็นกรดมากกว่าของ Fe^{2+} ทั้งนี้ปรากฏว่า Fe^{3+} ในสารละลายจะอยู่ในรูปของ $[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$ ซึ่งมีสีม่วงจางเมื่อพิเอชต่ำมากๆ เท่านั้น มิฉะนั้นจะถูกไฮดรอกไซด์ กลายเป็น $[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_5(\text{OH})]^{2+}$ หรือไฮดรอกไซด์เชิงซ้อน ได้สารละลายสีเหลือง

- คาร์บอน มีสมบัติผสมผสานเฉพาะตัวจนเป็นองค์ประกอบสำคัญของแบตเตอรี่ และเซลล์เชื้อเพลิง เป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดี มีประโยชน์ทำเป็นขั้วไฟฟ้า (electrode) หรือเพิ่มความนำไฟฟ้าให้แก่วัสดุชนิดอื่นๆ ในสภาพของแข็งคาร์บอนทำให้อยู่ในรูปแท่งทรงกระบอก หรือเป็นแผ่นก็ได้
- ไทเทเนียม เป็นธาตุหมู่เดียวกับเซอร์โคเนียม และแฮฟเนียม มีเลขออกซิเดชันได้ทั้ง +2, +3 และ +4 ไทเทเนียมเป็นโลหะทรานซิชัน มีลักษณะขาวคล้ายเงิน จุดหลอมเหลวและจุดเดือดสูง แข็งเหนียว ดึงเป็นเส้นได้ เป็นโลหะทรานซิชันที่มีความหนาแน่นต่ำที่สุด ที่สภาวะปกติไทเทเนียมค่อนข้างเฉื่อย จะสามารถทำปฏิกิริยาในภาวะรุนแรงกับออกซิเจน ได้สารประกอบโคเวเลนต์ เช่น TiO_2 , TiCl_4 เป็นต้น สารประกอบไทเทเนียมที่มีเลขออกซิเดชัน +2 และ +3 ถึงแม้ไทเทเนียมจะมีข้อดีหลายประการ แต่ไม่นิยมใช้เป็นวัสดุโครงสร้างแทนเหล็ก เนื่องจากว่องไวต่อปฏิกิริยาที่อุณหภูมิสูง
- แพลทินัม มีจุดหลอมเหลว และจุดเดือดสูงมาก คือมีจุดเดือด $3,827^\circ\text{C}$ จุดหลอมเหลว $1,770^\circ\text{C}$ แสดงถึงความแข็งแรงของพันธะโลหะ และเป็นเหตุให้ไม่ว่องไวต่อปฏิกิริยา นอกจากนี้สารประกอบของแพลทินัมมักไม่ค่อยเสถียร เมื่อให้ความร้อนสูงขึ้นจะสลายตัวเป็นโลหะ แพลทินัมมีราคาแพงมาก มีสีขาว มีเลขออกซิเดชันหลายค่า ตั้งแต่ +2 ถึง +8 แต่ที่สำคัญคือ +2 ถึง +4 เท่านั้น เนื่องจากมีสมบัติในการนำความร้อนและไฟฟ้าดีมาก เชื่อยต่อปฏิกิริยา จึงมีประโยชน์ในการทำขั้วไฟฟ้า

2.4 การประยุกต์ใช้ระบบไฟฟ้าเคมีในการบำบัดน้ำเสีย

กระบวนการไฟฟ้าเคมีได้รับความสนใจมากในการบำบัดน้ำเสีย เนื่องจากเป็นกระบวนการที่ไม่จำเป็นต้องเติมสารเคมี และใช้อิเล็กตรอนในการทำปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชันแทนการใช้สารเคมีในการเกิดปฏิกิริยา

2.4.1 การแยกสารโดยทำให้ลอยด้วยไฟฟ้า

โดยการผ่านกระแสไฟฟ้าลงในเซลล์ไฟฟ้า ขั้วไฟฟ้าที่ทำหน้าที่เป็นแอโนดจะละลายเป็นไอออนลงไปในน้ำเสีย ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาทำให้เกิดตะกอนเบา ขณะที่แคโทดจะเกิดฟองแก๊สที่ช่วยในการลอยตัวของน้ำมัน เป็นการแยกสารโดยทำให้ลอยด้วยไฟฟ้า โดยระบบมีการทำงาน 2 ขั้นตอน คือทำให้เกิดตะกอนเบาด้วยไฟฟ้าเพื่อให้เกิดการรวมตัวของน้ำมัน ขั้นที่สองเป็นการทำให้ลอยด้วยไฟฟ้าเพื่อแยกน้ำมันออกจากน้ำเสีย การสลายตัวของ

ข้อไฟฟ้าไม่ขึ้นกับปริมาณ และขนาดของข้อไฟฟ้า แต่ขึ้นกับพลังงานที่ใช้ในการบำบัด ข้อดีของระบบคือควบคุมง่าย ประสิทธิภาพสูงและระบบมีขนาดเล็ก (Ohsasa, Nakakura และ Sambuichi, 1991)

2.4.2 การกำจัดฟีนอลในน้ำเสียโดยวิธีไฟฟ้าเคมี

การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารอินทรีย์ด้วยกระบวนการไฟฟ้าเคมีจะเกิดขึ้นที่ขั้วแอโนด ประสิทธิภาพของปฏิกิริยาขึ้นกับความว่องไวของสารอินทรีย์กับตัวทำปฏิกิริยา และความเข้มข้นของสารอินทรีย์ ส่วนกำลังในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่แอโนดขึ้นกับชนิดของวัสดุที่ใช้ทำขั้วไฟฟ้า เช่น ค่าศักย์ไฟฟ้าเกินตัวของออกซิเจน เป็นต้น ตัวอย่างในการเปรียบเทียบข้อไฟฟ้าที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารอินทรีย์ ได้แก่ ไทเทเนียมเคลือบ SnO_2 กับแพลทินัม โดยใช้ฟีนอลเป็นสารอินทรีย์ ทดลองที่ 70°C ความหนาแน่นของศักย์ไฟฟ้า 50 mA/cm^2 จากนั้นวิเคราะห์ความเข้มข้นของฟีนอลในแต่ละช่วงเวลาของการอิเล็กโทรไลซิสด้วยข้อไฟฟ้านั้นๆ พบว่าอัตราการกำจัดฟีนอลได้ทั้งหมดที่ 25 - 30 A.hr/l แต่อัตราการกำจัดที่โอซี ด้วยไทเทเนียมเคลือบ SnO_2 จะมากกว่าคือร้อยละ 90 ที่ 50 A.hr/l ขณะที่อัตราการกำจัดที่โอซีด้วยแพลทินัมเพียงร้อยละ 38 ทั้งนี้เนื่องจาก SnO_2 มีค่าศักย์ไฟฟ้าเกินตัวของออกซิเจนสูงมาก และกำลังในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับสารอินทรีย์ได้ดี (Comninellis, 1991)

2.4.3 การกำจัดไอออนต่างๆ ในน้ำเสียโดยวิธีไฟฟ้าเคมี

การกำจัดไอออนต่างๆ ในน้ำเสียโดยวิธีไฟฟ้าเคมี ใช้เซลล์อิเล็กโทรไลติกที่มีเหล็ก หรืออะลูมิเนียมเป็นอิเล็กโทรด เพื่อทำให้เกิดตะกอนเบาของเหล็กหรืออะลูมิเนียมในรูปออกไซด์ หรือไฮดรอกไซด์ หลักการของวิธีไฟฟ้าเคมีในการกำจัดไอออนคือเปลี่ยนเลขออกซิเดชันของไอออนให้อยู่ในรูปที่มีความเป็นพิษน้อยกว่า จากนั้นไอออนที่มีความเป็นพิษน้อยกว่าจะรวมตัวกับตะกอนเบาของเหล็กในทางกายภาพหรือทางเคมีเพื่อให้ได้สารประกอบเชิงซ้อน และถูกกำจัดออกจากระบบโดยการตกตะกอน (Abdo and Sedahmed, 1991)

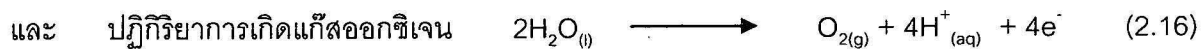
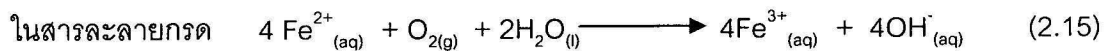
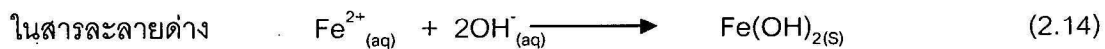
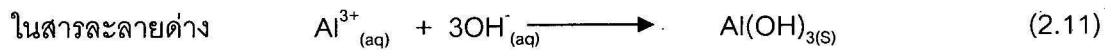
2.4.4 การกำจัดสีของน้ำเสีย

เนื่องจากโรงงานอุตสาหกรรมหลายประเภท เช่น โรงงานผลิตเยื่อกระดาษ โรงงานผลิตสี และโรงงานฟอกย้อม มีปัญหาในการกำจัดสีของน้ำเสียซึ่งยังไม่มีวิธีบำบัดที่แน่นอน ทั้งนี้ขึ้นกับชนิดของสารที่ก่อให้เกิดสี ซึ่งแต่ละวิธีจะใช้วิธีกำจัดสีของน้ำเสียในแต่ละประเภทแตกต่างกันไป ดังนั้นจึงมีความพยายามในการหาวิธีที่สามารถกำจัดสีของน้ำเสียได้หลายประเภทและมีประสิทธิภาพในการบำบัดสูง วิธีไฟฟ้าเคมีซึ่งเปลี่ยนรูปไอออนของโลหะที่ก่อให้เกิดสีโดยอาศัยการถ่ายเทของอิเล็กตรอนในระบบเรียกว่าเกิดปฏิกิริยาเคมีซึ่งทำให้เลขออกซิเดชันของไอออนของโลหะเปลี่ยนไป และสามารถดูดซับสารแขวนลอยต่างๆ ที่ก่อให้เกิดสีด้วยตะกอนเบาในรูปของออกไซด์ หรือไฮดรอกไซด์ที่ได้จากการแตกตัวของอิเล็กโทรดทำให้เกิดการตกตะกอนขึ้น (Molina, Rigal, and Lacoste, 1991)

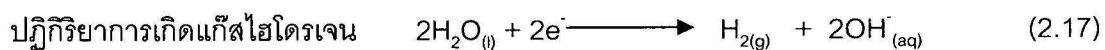
2.5 ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นในการบำบัดน้ำเสียโดยวิธีไฟฟ้าเคมี

ปฏิกิริยาเคมีและกลไกการเกิดโคแอกกูเลชันที่เกิดขึ้น ขึ้นกับลักษณะของน้ำ ได้แก่ การนำไฟฟ้า พีเอช ขนาดของอนุภาค และองค์ประกอบทางเคมีของน้ำ กลไกการเกิดไอออนขึ้นกับชนิดของข้อไฟฟ้าที่ใช้ดังต่อไปนี้

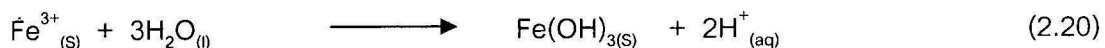
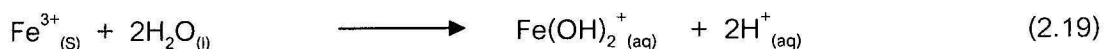
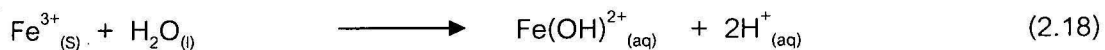
ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นที่ขั้วบวก (anode)



ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นที่ขั้วลบ (cathode)



แก๊สไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้า จะไปเกาะติดกับของแข็งแขวนลอย และลอยตัวขึ้นผิวน้ำ Fe^{3+} ที่เกิดขึ้นจะทำปฏิกิริยาต่อเนื่องกับน้ำโดยขึ้นกับค่าพีเอช ในสถานะที่เป็นกรดจะได้ $\text{Fe}(\text{OH})^{2+}$ $\text{Fe}(\text{OH})_2^+$ และ $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ดังสมการต่อไปนี้



Can, O.T., Bayramoglu, M. , and Kobya, M. (2003) ใช้ขั้วไฟฟ้าอะลูมิเนียมในการกำจัดสีจากน้ำเสีย สิ่งทอประเภทสียรีแอคทีฟ ด้วยเซลล์ไฟฟ้าเคมี (electrocoagulation) รายงานว่า กลไกของการกำจัดสีเกิดจาก กระแสไฟฟ้าทำให้เกิดอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ ($\text{Al}(\text{OH})_3$) ซึ่งจะไปจับอนุภาคของสี ทำให้ตกตะกอน โดย ประสิทธิภาพในการบำบัดขึ้นกับสมบัติของน้ำเสียในด้านของการนำไฟฟ้า, พีเอช, และความเข้มข้นของสี และจาก รายงานผลการศึกษากำจัดสีย้อมประเภทสียแอซิด (acid yellow 36) โดยการสร้างและรวมตะกอน ด้วย เซลล์ไฟฟ้าเคมีโดยใช้ขั้วไฟฟ้าเหล็ก ของ Kashefialasl, M. , Khosravi, M. , Marandi, R. , and Seyyedi, K. (2006) ได้รายงานว่ากลไกของการกำจัดสีเกิดจากกระแสไฟฟ้า ทำให้เกิดเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ ($\text{Fe}(\text{OH})_3$) ซึ่งจะไป จับอนุภาคของสีให้ตกตะกอน โดยประสิทธิภาพในการบำบัดขึ้นกับสมบัติของน้ำเสีย (การนำไฟฟ้า, พีเอช, และ ความเข้มข้นของสี), ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า, ขนาดพื้นที่ของขั้วไฟฟ้า, ระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า และ ระยะเวลาสัมผัส

สรุปได้ว่าเซลล์ไฟฟ้าเคมี ทำให้เกิดปฏิกิริยาหลายอย่างดังต่อไปนี้

(1) กระบวนการออกซิเดชัน (oxidation)

เมื่อกระแสไฟฟ้าผ่านน้ำจะเกิดปฏิกิริยาอิเล็กโทรไลซิส (electrolysis) ได้แก๊สออกซิเจน ซึ่งเป็นตัวออกซิไดส์ ไอออนของโลหะที่ละลายน้ำได้จะตกตะกอนเป็นโลหะไฮดรอกไซด์ เพิ่มขึ้น เป็นการเพิ่มความพร้อมที่จะรวมตัวเป็นสารประกอบเชิงซ้อน

(2) กระบวนการลอยตัว (flotation)

แก๊สไฮโดรเจนและออกซิเจน ซึ่งเป็นฟองเล็กมาก เกิดขึ้นที่อิเล็กโทรดไฟฟ้าหนึ่งจะลอยตัวขึ้นสู่ผิว และพองอนุภาคเล็กๆ ให้ลอยขึ้นสู่ผิว เกิดการแยกของสารแขวนลอย

(3) กระบวนการรวมตัวเป็นสารเชิงซ้อน

ที่ขั้วบวกไอออนของ Fe^{3+} , Al^{3+} จะทำปฏิกิริยารวมตัวเป็น organometallic complex กับสารอินทรีย์พวกแอโรมาติก และ อัลเคน สารเชิงซ้อนเหล่านี้ไม่ละลายน้ำ จะลอยสู่ผิวน้ำเสียโดยการลอยตัว (flotation) ซึ่งเกิดจากการพองโดยฟองแก๊ส และบางส่วนจะจมลง

(4) กระบวนการรวมตัวทางเคมี (chemical coagulation)

ในกรณีที่ใช้โลหะเหล็ก หรืออะลูมิเนียมเป็นขั้วไฟฟ้า จะเกิดการตกตะกอนของโลหะไฮดรอกไซด์ หรืออะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งทำหน้าที่เป็นสารโคแอกกูแลนต์ และฟล็อกกูแลนต์ ช่วยทำให้สารแขวนลอยเล็กๆ รวมตัวกัน สามารถตกตะกอนและแยกตัวออกได้ดีขึ้น

2.6 ดัชนีที่มีผลต่อกระบวนการไฟฟ้าเคมี

ลักษณะสมบัติน้ำเสียมีผลต่อการทำงานของระบบไฟฟ้าเคมี ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องทำความเข้าใจดัชนีต่างๆ ที่มีผลต่อการทำงานของระบบไฟฟ้าเคมี

(1) ค่าการนำไฟฟ้า

ค่าการนำไฟฟ้า มีผลโดยตรงต่อกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย ในกระบวนการไฟฟ้าเคมีจะใช้ไฟฟ้ากระแสตรง นั่นคือไฟฟ้าที่มีทิศทางเคลื่อนที่ หรือการไหลของอิเล็กตรอนจากแหล่งกำเนิดไปสู่เครื่องใช้ไฟฟ้าได้เพียงทิศทางเดียวเท่านั้น ส่วนความต่างศักย์ไฟฟ้า ทำให้เกิดกระแสไหลในวงจรไฟฟ้า โดยจะทำให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่จากจุดที่เป็นประจุลบไปสู่จุดที่เป็นประจุบวก ในวงจรไฟฟ้าใดๆ ก็ตาม จะมีสิ่งที่ยากต่อการไหลของอิเล็กตรอนหรือศักย์ไฟฟ้าตลอดเวลาเรียกว่าความต้านทานกระแสไฟฟ้า สิ่งที่ยากต่อการไหลของอิเล็กตรอนหรือศักย์ไฟฟ้าไปในวงจร เรียกว่าความต่างศักย์ไฟฟ้า ทั้งความต่างศักย์ไฟฟ้า ศักย์ไฟฟ้า และความต้านทานไฟฟ้า มีความสัมพันธ์กันตามกฎของโอห์ม ซึ่งกล่าวว่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ทำให้ศักย์ไฟฟ้าไหลไปในวงจรได้ จะมีค่าเท่ากับผลคูณของศักย์ไฟฟ้าและความต้านทานไฟฟ้า เขียนในรูปสมการได้ดังนี้

$$V = I \times R \quad (2.21)$$

ดังนั้นความต้านทานศักย์ไฟฟ้าในกระบวนการทางไฟฟ้าเคมี คือความต้านทานศักย์ไฟฟ้าในสารละลายอิเล็กโทรไลต์นั่นเอง ซึ่งมีความสัมพันธ์กับการนำไฟฟ้าในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ ตามสมการที่ 2.22

$$R = I / (C \times A) \quad (2.22)$$

R = เป็นความต้านทานศักย์ไฟฟ้าในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ในหน่วยโอห์ม

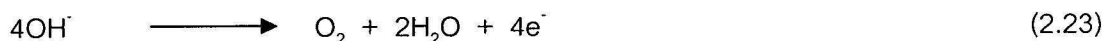
λ = เป็นระยะระหว่างขั้วไฟฟ้าในหน่วยเซนติเมตร

C = เป็นค่าการนำไฟฟ้าจำเพาะของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ในหน่วยโมห์ หรือซีเมนส์

A = เป็นพื้นที่หน้าตัดของขั้วไฟฟ้าที่สัมผัสกับสารละลายอิเล็กโทรไลต์ในหน่วยตารางเซนติเมตร

(2) สารอินทรีย์

ปฏิกิริยาการกำจัดสารอินทรีย์จะเกิดที่แอโนด เช่น ไฮดรอลิกถูกทำให้เป็นกลาง หรืออาจจะให้อิเล็กตรอน ซึ่งในปฏิกิริยาที่มีศักย์ไฟฟ้าของปฏิกิริยาต่ำจะเกิดปฏิกิริยาก่อน เช่น



ในทางทฤษฎีจลนพลศาสตร์ และอุณหพลศาสตร์ แสดงว่าปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น ที่ข้อไฟฟ้าให้อนุพันธุ์อิสระ ซึ่งว่องไวต่อการทำปฏิกิริยา เช่น $\text{OH}^\cdot$ ซึ่งจะสูญเสียอิเล็กตรอน แต่ยังไม่ได้ทำปฏิกิริยาใดๆ สามารถทำปฏิกิริยากันเอง หรือกับไฮออน หรือสารประกอบ หรืออนุพันธุ์อิสระอื่นๆ บริเวณใกล้ข้อไฟฟ้า รวมทั้งสามารถทำปฏิกิริยากับโมเลกุลของสารอินทรีย์ในน้ำเสียด้วย หรืออาจรวมตัวกับอนุพันธุ์อิสระอื่น ได้สารที่มีความว่องไวในการทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ และถ้าในน้ำเสียมีคลอไรด์ไฮออน พบว่าวิธีไฟฟ้าเคมีจะทำให้เกิดแก๊สคลอรีน และอนุพันธ์ของคลอรีนที่แอด ซึ่งเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับสารอินทรีย์ได้ด้วย แต่การกำจัดสารอินทรีย์แบบสมบูรณ์ด้วยวิธีไฟฟ้าเคมีนี้ไม่เป็นที่นิยม เพราะการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันแบบสมบูรณ์ของสารอินทรีย์ เพื่อเปลี่ยนสารอินทรีย์เป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ไม่ใช่ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นได้ง่าย จะเกิดขึ้นกับสารอินทรีย์บางตัวในอัตราการกำจัดต่ำ และบางสภาวะเท่านั้น

(3) ค่าพีเอช

(4) คอลเลกต์

เป็นสถานะที่สารใดสารหนึ่งอยู่ในรูปของอนุภาคเล็กๆ แขนงลอยอยู่ในตัวกลางหรือตัวทำละลาย สถานะนี้เป็นประเภทเนื้อผสม อนุภาคเหล่านี้อาจจะละลายในตัวทำละลายได้บ้าง แต่ไม่สามารถละลายได้ทั้งหมด จึงปรากฏอยู่ในรูปสารแขวนลอยซึ่งคงสถานะ และไม่ยอมรวมตัวกันเกิดเป็นอนุภาคขนาดใหญ่ จำแนกเป็น 2 ประเภท

(4.1) คอลลอยด์ที่มีเสถียรภาพในตัวเอง ได้แก่ กาว แป้ง และสบู่

(4.2) คอลลอยด์ที่มีเสถียรภาพเนื่องจากสารอื่น แบ่งเป็น

- คอลลอยด์ที่สารอื่นป้องกัน เช่น หยดน้ำมันไม่อาจเกิดระบบคอลลอยด์ในน้ำได้ แต่ถ้าเติมสบู่ลงไปบ้างแล้วคนให้ทั่ว ส่วนที่ขอบน้ำของสบู่จะละลายหยดน้ำมัน ซึ่งทำให้น้ำมันกระจายไปในน้ำในรูปของอนุภาคคอลลอยด์
- คอลลอยด์ที่ดูดซับไอออน เช่น $\text{Fe}(\text{OH})_3$ อนุภาคคอลลอยด์ของ $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ดูดซับ H^+ ไว้ที่ผิวของอนุภาค ทำให้ผิวของอนุภาคคอลลอยด์ $\text{Fe}(\text{OH})_3$ มีประจุบวก การดูดซับ H^+ ที่ผิวของอนุภาค $\text{Fe}(\text{OH})_3$ จึงทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้อนุภาคต่างๆ ของ $\text{Fe}(\text{OH})_3$ มีโอกาสรวมตัวกันเป็นอนุภาคใหญ่ขึ้น อนุภาคคอลลอยด์ของ $\text{Fe}(\text{OH})_3$ จึงอยู่ได้อย่างเสถียร

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือ

(1) เครื่อง DC Power Supply Regulator (เครื่องจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง) สามารถปรับให้จ่ายไฟดักย์ตรงที่มีแรงดัน 0 ถึง 35 โวลต์ และจ่ายไฟสูงสุด 6 แอมแปร์

(2) เซลล์อิเล็กโทรไลติก มีลักษณะเป็นกล่องสี่เหลี่ยมผืนผ้าทำด้วยพลาสติกอะคริลิก

(3) ขั้วไฟฟ้า (electrode) ทำด้วยแผ่นเหล็ก, และแผ่นอะลูมิเนียม

(4) เครื่องวัดค่าพีเอช

(4) เครื่องวัดค่าสภาพนำไฟฟ้า

(5) เครื่องวัดค่าความขุ่น

(6) เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง

(7) อุปกรณ์วิเคราะห์ซีไอดี

3.2 สารเคมี

3.2.1 สารเคมีวิเคราะห์ซีไอดี

(1) สารละลายมาตรฐานโปแตสเซียมไดโครเมตเข้มข้น 0.1 นอร์มัล (0.0617 M)

(2) กรดซัลฟิวริกและซิลเวอร์ซัลเฟต

(3) สารละลายมาตรฐานเฟรชแอมโมเนียมซัลเฟต 0.05 นอร์มัล

(4) สารละลายเฟอโรอินอินดิเคเตอร์

3.2.2 สารเคมีวิเคราะห์ความกระด้าง

(1) เกลือไดโซเดียมของอีดีทีเอ

(2) แมกนีเซียมซัลเฟต ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)

(3) แอมโมเนียมคลอไรด์

(4) แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์

(5) สารละลายมาตรฐานแคลเซียมคาร์บอเนต

(4) อิริโอโครมแบลคทีอินดิเคเตอร์

3.2.3 สารเคมีสำหรับการย้อม

- (1) สีรีแอคทีฟ (Sumifix Supra Navy Blue BF Gran)
- (2) โซเดียมซัลเฟต
- (3) โซเดียมคาร์บอเนต
- (4) สารกำจัดสิ่งสกปรก (Unipal UNS conc.)
- (5) สีเบสิก
- (6) โซเดียมไฮโปคลอไรต์

สำนักวิทยบริการและเทคโนโลยีสารสนเทศ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

ACM 628.167 ข153ค 2551 อ.1
ณนชรา เจริญลาภ
การนำน้ำย้อมกลับมาใช้ใหม่โดย
การกำจัดสีด้วยกระบวนการไฟฟ้า
32000000943813 1230

3.3 วิธีทดลอง

ขั้นตอนที่ 1 จัดเตรียมถังปฏิกรณ์ของระบบบำบัดน้ำเสียด้วยไฟฟ้าเคมี

ระบบบำบัดน้ำเสียด้วยไฟฟ้าเคมี ทำจากเซลล์เคมีไฟฟ้า (electrolysis) ที่มีขั้วบวกและขั้วลบ เมื่อต่อเข้ากับแหล่งพลังงานภายนอก ปฏิกริยาเคมีไฟฟ้าที่เกิดขึ้นที่ขั้วบวก (anode) จะทำให้เกิดการสีกกร่อนของขั้วไฟฟ้าจากปฏิกริยาออกซิเดชัน ขณะที่ขั้วไฟฟ้าที่ขั้วลบ (cathode) เกิดปฏิกริยารีดักชัน ซึ่งจะไม่เกิดการสีกกร่อน ชุดทดลองประกอบด้วยขั้วไฟฟ้าขั้วบวกและขั้วลบ ถึงพลาสติกอะคริลิกขนาด กว้าง x ยาว x สูง = 13 x 25 x 16 เซนติเมตร และเครื่องจ่ายไฟฟ้าศักย์ตรง ดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ถังปฏิกรณ์ของระบบบำบัดน้ำเสียด้วยไฟฟ้าเคมี

ขั้นตอนที่ 2 ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากการย้อมผ้าฝ้ายทอ ด้วยวิธีไฟฟ้า เคมี

(1) ศึกษาค่าศักย์ไฟฟ้าที่เหมาะสมโดยใช้ขั้วไฟฟ้าอะลูมิเนียม

ตัวแปรควบคุม ชนิดของน้ำเสีย ระยะเวลาสัมผัส

ตัวแปรต้น ค่าศักย์ไฟฟ้าที่ให้กับน้ำเสีย 5, 10, 15, 20, 25, 30 โวลต์

ตัวแปรตาม ค่าการดูดกลืนแสง ค่าพีเอช ค่าความขุ่น ค่าความนำไฟฟ้า

วิธีทดลอง :

(1.1) วัดค่าการดูดกลืนแสง ค่าพีเอช ค่าความขุ่น ค่าความนำไฟฟ้า ของน้ำทิ้ง

(1.2) นำน้ำทิ้งมาผ่านศักย์ไฟฟ้า โดยใช้ขั้วไฟฟ้าอะลูมิเนียม ที่ค่าศักย์ไฟฟ้าต่างๆ ดังนี้ 5, 10, 15, 20, 25, 30 โวลต์

(1.3) วัดค่าการดูดกลืนแสงค่าพีเอช ค่าความขุ่น ค่าความนำไฟฟ้า ของน้ำทิ้ง เลือกค่าศักย์ไฟฟ้าที่ให้กับน้ำเสียแล้วทำให้ได้ค่าการดูดกลืนแสง และค่าความขุ่นน้อยที่สุด เพื่อศึกษาในขั้นต่อไป

(2) ศึกษาระยะเวลาสัมผัสที่เหมาะสมในการให้ศักย์ไฟฟ้าโดยใช้ขั้วไฟฟ้าอะลูมิเนียม

ตัวแปรควบคุม ชนิดของน้ำเสีย ค่าศักย์ไฟฟ้า

ตัวแปรต้น เวลาที่ให้ศักย์ไฟฟ้าที่ให้กับน้ำเสีย 30, 60, 90, 120, 150, 180 นาที

ตัวแปรตาม ค่าการดูดกลืนแสง ค่าพีเอช ค่าความขุ่น ค่าความนำไฟฟ้า

วิธีทดลอง :

(2.1) วัดค่าการดูดกลืนแสง ค่าพีเอช ค่าความขุ่น ค่าความนำไฟฟ้า ของน้ำทิ้ง

(2.2) นำน้ำทิ้งมาผ่านศักย์ไฟฟ้า ใช้ขั้วไฟฟ้าอะลูมิเนียม ค่าศักย์ไฟฟ้าที่ได้จากข้อ 1

(2.3) วัดค่าการดูดกลืนแสงค่าพีเอช ค่าความขุ่น ค่าความนำไฟฟ้า ของน้ำทิ้ง เลือกเวลาสัมผัสที่ได้ค่าการดูดกลืนแสง และค่าความขุ่นน้อยที่สุด เพื่อศึกษาในขั้นต่อไป

(3) ศึกษาขนาดของอิเล็กโทรด

ตัวแปรควบคุม ชนิดของน้ำเสีย ค่าศักย์ไฟฟ้า ระยะเวลาสัมผัส

ตัวแปรต้น ขนาดของขั้วไฟฟ้า

ตัวแปรตาม ค่าการดูดกลืนแสง ค่าพีเอช ค่าความขุ่น ค่าความนำไฟฟ้า

วิธีทดลอง :

- (3.1) วัดค่าการดูดกลืนแสง ค่าพีเอช ค่าความขุ่น ค่าความนำไฟฟ้า ของน้ำทิ้ง
- (3.2) นำน้ำทิ้งมาผ่านศักย์ไฟฟ้า ใช้เหล็กเป็นอิเล็กโทรด โดยมีขนาดต่างๆกัน ดังนี้
กว้าง x ยาว x หนา = $3 \times 12.5 \times 0.6$ เซนติเมตร และ $6.5 \times 12.5 \times 0.6$ เซนติเมตร
- (3.4) วัดค่าการดูดกลืนแสงค่าพีเอช ค่าความขุ่น ค่าความนำไฟฟ้า ของน้ำทิ้ง
- (4) เปลี่ยนชนิดของขั้วไฟฟ้าเป็นเหล็ก ทดลองเหมือนกับการใช้ขั้วไฟฟ้าอะลูมิเนียม โดยแปรผันศักย์ไฟฟ้าที่ให้กับน้ำเสียดังนี้ 20, 25, 30, 35 โวลต์

ขั้นตอนที่ 3 ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากการย้อมเส้นด้ายอะคริลิกด้วยสีเบสิก ด้วยวิธีไฟฟ้าเคมี โดยทดลองเหมือนกับขั้นตอนที่ 2 เปลี่ยนเฉพาะชนิดของน้ำเสีย

ขั้นตอนที่ 4 วิเคราะห์ดัชนีคุณภาพของน้ำ

- (1) วิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-VIS spectrophotometer รุ่น Spectronic 20 genesis
 - (1.1) หาค่าความยาวคลื่นที่เหมาะสมของตัวอย่างน้ำ โดยแปรผันค่าความยาวคลื่น วัดค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) ของตัวอย่าง ที่แต่ละค่าความยาวคลื่น เลือกค่าความยาวคลื่น ที่ให้ค่าการดูดกลืนแสงสูงที่สุดสำหรับแต่ละตัวอย่าง
 - (1.2) วัดค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างโดยใช้ค่าความยาวคลื่นที่ได้เลือกไว้
- (2) วิเคราะห์ค่าพีเอช ค่าความนำไฟฟ้า ความขุ่น ซีไอดี ของแข็งแขวนลอย ความกระด้าง

ใช้วิธีตาม American Standard Method for the Examination of Water and Wastewater, 17th ed. 1987.

ขั้นตอนที่ 5 ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำน้ำจากการย้อมเส้นด้ายอะคริลิกที่ผ่านการบำบัดกลับมาใช้ซ้ำ โดยเปรียบเทียบสมบัติของน้ำหลังการบำบัด กับสมบัติน้ำใช้ของโรงงาน

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ข้อมูลตามวัตถุประสงค์ และสมมติฐานดังนี้

(1) วิเคราะห์ค่าดัชนีคุณภาพน้ำจากค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

(2) ทดสอบค่าเฉลี่ยดัชนีคุณภาพน้ำด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว

(one - way analysis of variance) โดยการทดสอบนัยสำคัญทางสถิติ ณ ระดับ 0.05 เมื่อพบว่าค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่ากลางด้วยการจับคู่พหุคูณด้วยวิธีของเชฟเฟ (Scheffe) ในกรณีที่ข้อมูลมีความแปรปรวนไม่แตกต่างกัน ส่วนกรณีที่ข้อมูลมีความแปรปรวนแตกต่างกันจะทดสอบความแตกต่างระหว่างค่ากลางด้วยการจับคู่พหุคูณด้วยวิธีของทามเฮน (Tamhane)

3.5 สถานที่ทดลอง

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมีสิ่งทอ คณะอุตสาหกรรมสิ่งทอ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 ผลการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีไฟฟ้าเคมี

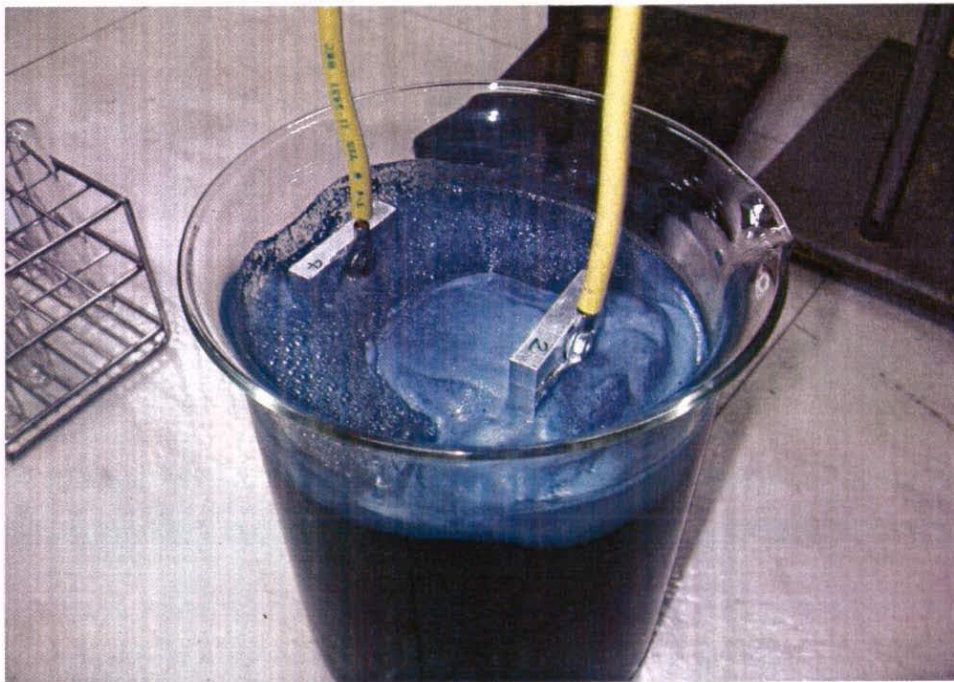
4.1.1 การบำบัดน้ำเสียจากการย้อมผ้าฝ้ายทอด้วยสีย้อมแอคทีฟ

การบำบัดน้ำเสียจากการย้อมผ้าฝ้ายทอ โดยเตรียมน้ำเสียจากการย้อมผ้าฝ้ายทอในห้องปฏิบัติการ ด้วยสีย้อมแอคทีฟ (Sumifix Supra Navy Blue BF Gran)

4.1.1.1 การบำบัดน้ำเสียจากการย้อมผ้าฝ้ายทอด้วยสีย้อมแอคทีฟโดยใช้ขั้วไฟฟ้าอะลูมิเนียม

(1) ผลของค่าศักย์ไฟฟ้า

นำน้ำเสียสีย้อมแอคทีฟ ปริมาตร 1 ลิตร บำบัดด้วยวิธีไฟฟ้าเคมี โดยใช้อะลูมิเนียมเป็นขั้วไฟฟ้า ดังแสดงในรูปที่ 4.1.1 แปรผันศักย์ไฟฟ้าที่ให้กับน้ำเสีย 5, 10, 15, 20, 25, และ 30 โวลต์ ตามลำดับ เก็บตัวอย่างมาวัดค่าการดูดกลืนแสง ค่าพีเอช และค่าความนำไฟฟ้า เป็นระยะเวลา 30, 60, 90, 120, 150, 180 นาที ทดลองซ้ำ 3 ครั้ง ได้ผลแสดงในตารางผนวกที่ 1ก - 6ก



รูปที่ 4.1.1 การบำบัดน้ำเสียจากการย้อมผ้าฝ้ายทอด้วยสีย้อมแอคทีฟ

จากข้อมูลค่าการดูดกลืนแสงของน้ำ พบว่าน้ำเสียจากการย้อมผ้าทอด้วยสีรีแอคทีฟดูดกลืนแสงได้ดีที่ความยาวคลื่น 580 นาโนเมตร เนื่องจากปริมาณความเข้มข้นของสีในน้ำเสียแปรผันโดยตรงกับค่าการดูดกลืนแสง ดังนั้นจึงนำค่าการดูดกลืนแสงของน้ำ วิเคราะห์ประสิทธิภาพการกำจัดสี โดยคำนวณจากค่าการดูดกลืนแสง ก่อนและหลังการทดลองเมื่อให้ศักย์ไฟฟ้า 180 นาที ดังแสดงในสมการที่ 4.1 ได้ผลแสดงในตารางที่ 4.1.1

$$\%color\ removal = \frac{(A_0 - A_1)}{A_0} \times 100 \quad (4.1)$$

A_0 = ค่าการดูดกลืนแสงของน้ำเสียก่อนการบำบัด

A_1 = ค่าการดูดกลืนแสงของน้ำเสียหลังบำบัดด้วยไฟฟ้า

จากข้อมูลค่าพีเอชของน้ำ เนื่องจากลักษณะน้ำเสียก่อนทดลองมีลักษณะเปรี้ยว จึงนำค่าพีเอชของน้ำ มาวิเคราะห์หรือระยะของการเปลี่ยนแปลงพีเอชโดยคำนวณจากค่าพีเอชก่อนและหลังการทดลอง เมื่อให้กระแสไฟฟ้า 180 นาที ดังแสดงในสมการที่ 4.2 ได้ผลแสดงในตารางที่ 4.1.1

$$\%pH\ change = \frac{(pH_0 - pH_1)}{pH_0} \times 100 \quad (4.2)$$

pH_0 = ค่าพีเอชของน้ำเสียก่อนการบำบัด

pH_1 = ค่าพีเอชของน้ำเสียหลังบำบัดด้วยไฟฟ้า

จากข้อมูลค่าความนำไฟฟ้าของน้ำ ซึ่งขึ้นกับความเข้มข้นและชนิดของไอออนที่มีอยู่ในน้ำ เนื่องจากค่าความนำไฟฟ้าแปรผันโดยตรงกับปริมาณของแข็งละลายน้ำ ดังนั้นจึงนำค่าการนำไฟฟ้าวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งละลายน้ำ โดยคำนวณจากค่าความนำไฟฟ้าก่อนและหลังการทดลอง เมื่อให้ศักย์ไฟฟ้า 180 นาที ดังแสดงในสมการที่ 4.3 ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.1.1

$$\%dissolved\ solid\ removal = \frac{(C_0 - C_1)}{C_0} \times 100 \quad (4.3)$$

C_0 = ค่าความนำไฟฟ้าของน้ำเสียก่อนการบำบัด

C_1 = ค่าความนำไฟฟ้าของน้ำเสียหลังบำบัดด้วยไฟฟ้า

ตารางที่ 4.1.1 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากการย้อมผ้าฝ้ายทอด้วยสีรีแอคทีฟ ด้วยขั้วไฟฟ้าอะลูมิเนียม ที่ค่าศักย์ไฟฟ้าต่างกัน

ครั้งที่ทดลอง	ศักย์ไฟฟ้า (volt)	การกำจัดสี (%)	การเปลี่ยนแปลง พีเอช (%)	การกำจัด ของแข็งละลายน้ำ (%)
1	5	50.43	-5.79	9.86
2	5	44.74	-4.74	5.01
3	5	36.34	-5.13	4.55
1	10	94.18	-18.53	9.16
2	10	94.34	-17.91	3.35
3	10	91.63	-18.42	9.75
1	15	88.07	-17.34	44.59
2	15	88.66	-17.77	39.75
3	15	88.54	-16.91	21.01
1	20	96.31	-23.48	37.02
2	20	95.78	-22.64	34.66
3	20	96.06	-24.36	33.85
1	25	98.20	-26.10	22.62
2	25	98.10	-25.67	42.25
3	25	98.16	-25.83	32.76
1	30	98.32	-27.93	24.81
2	30	98.43	-28.13	25.81
3	30	98.39	-28.71	32.98

ข้อมูลจากตารางที่ 4.1.1 นำมาวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว เพื่อทดสอบว่าการใช้ขั้วไฟฟ้าอะลูมิเนียม บำบัดน้ำเสียสีรีแอคทีฟ ด้วยค่าศักย์ไฟฟ้าที่ให้กับน้ำเสียต่างกัน ทำให้ค่าเฉลี่ยร้อยละของการกำจัดสีของน้ำ ค่าเฉลี่ยร้อยละการเปลี่ยนแปลงพีเอชของน้ำ และค่าเฉลี่ยร้อยละของการกำจัดของแข็งละลายน้ำต่างกันหรือไม่ ได้ผลทดสอบแสดงในตารางที่ 4.1.2

ตารางที่ 4.1.2 การทดสอบค่าเฉลี่ยร้อยละการกำจัดสี การเปลี่ยนแปลงพีเอช และการกำจัดของแข็งละลายน้ำของน้ำเสียย้อมสีรีแอคทีฟที่บำบัดด้วยขั้วไฟฟ้าอะลูมิเนียม ที่ค่าศักย์ไฟฟ้าต่างกัน

ศักย์ไฟฟ้า (volt)	N	ร้อยละการกำจัดสี			ร้อยละการเปลี่ยนแปลงพีเอช			ร้อยละการกำจัดของแข็งละลายน้ำ		
		Mean	SD.	F	Mean	SD.	F	Mean	SD.	F
5	3	43.837	7.088	152.883*	-5.22	0.53	808.260*	6.47	2.94	11.200*
10	3	93.383	1.521		-18.29	0.33		7.42	3.54	
15	3	88.423	0.312		-17.34	0.43		35.12	12.45	
20	3	96.050	0.265		-23.49	0.86		35.18	1.65	
25	3	98.153	0.050		-25.87	0.22		32.54	9.82	
30	3	98.380	0.056		-28.25	0.40		27.87	4.46	

*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ($P < 0.05$)

(1.1) ผลของค่าศักย์ไฟฟ้าต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีรีแอคทีฟ

ผลการทดสอบด้วยค่าสถิติ F-test โดยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่า มีค่าศักย์ไฟฟ้าอย่างน้อย 2 ค่า ที่ค่าเฉลี่ยร้อยละการกำจัดสีในน้ำต่างกัน และทดสอบต่อเนื่องด้วยการจับคู่พหุคูณ (multiple comparison test) แบบทามเฮน (Tamhane) ได้ผลแสดงในตารางผนวกที่ 1 ค พบว่า

- ศักย์ไฟฟ้า 5 โวลต์ มีค่าเฉลี่ยร้อยละการกำจัดสีแตกต่างจากการให้ศักย์ไฟฟ้า 15, 20, 25, และ 30 โวลต์
- ศักย์ไฟฟ้า 15 โวลต์ มีค่าเฉลี่ยร้อยละการกำจัดสีแตกต่างจากการให้ศักย์ไฟฟ้า 20, 25, และ 30 โวลต์
- ค่าศักย์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเป็น 20, 25, และ 30 โวลต์ ค่าเฉลี่ยร้อยละการกำจัดสีในน้ำไม่แตกต่างกัน

ผลการทดลองสรุปได้ว่า การบำบัดน้ำเสียสีรีแอคทีฟ โดยใช้อะลูมิเนียมเป็นขั้วไฟฟ้า สามารถกำจัดสีรีแอคทีฟในน้ำเสียได้ ค่าศักย์ไฟฟ้ามีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) โดยประสิทธิภาพในการกำจัดสีเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มค่าศักย์ไฟฟ้า โดยค่าศักย์ไฟฟ้า 30 โวลต์จะมีประสิทธิภาพการกำจัดสีสูงสุด คือ ร้อยละ 98.38 อย่างไรก็ตามสามารถสรุปได้ว่า ค่าศักย์ไฟฟ้าเมื่อเพิ่มขึ้นจนถึงระดับหนึ่ง ประสิทธิภาพในการกำจัดสีจะเริ่มคงที่ เนื่องจากผลการทดสอบด้วยค่าสถิติ F-test พบว่า ที่ค่าศักย์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเป็น 20, 25, และ 30 โวลต์ ค่าเฉลี่ยร้อยละการกำจัดสีในน้ำไม่แตกต่างกันทางสถิติ

(1.2) ผลของค่าศักย์ไฟฟ้าต่อค่าพีเอช

ผลการทดสอบด้วยค่าสถิติ F-test โดยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่า มีค่าศักย์ไฟฟ้าอย่างน้อย 2 ค่าที่ทำให้ค่าเฉลี่ยร้อยละการเปลี่ยนแปลงพีเอชในน้ำต่างกัน และทดสอบต่อเนื่องด้วยการจับคู่พหุคูณ แบบเชฟเฟ (Sheffe) ได้ผลแสดงในตารางผนวกที่ 2ค ผลการทดสอบส่วนใหญ่ พบว่าทุกค่าศักย์ไฟฟ้าที่ให้กับน้ำเสียต่างกัน ทำให้น้ำเสียมีค่าเฉลี่ยร้อยละของการเปลี่ยนแปลงพีเอชต่างกัน ยกเว้นที่ค่าศักย์ไฟฟ้า 10 โวลต์ ให้ค่าเฉลี่ยร้อยละการเปลี่ยนแปลงพีเอชของน้ำเสียไม่แตกต่างจากการให้ศักย์ไฟฟ้า 15 โวลต์

ผลการทดลองสรุปได้ว่า การบำบัดน้ำเสียสีรีแอคทีฟ โดยใช้อะลูมิเนียมเป็นขั้วไฟฟ้า ค่าศักย์ไฟฟ้ามีผลต่อพีเอชของน้ำเสียอย่างมีนัยสำคัญ($P < 0.05$) ค่าศักย์ไฟฟ้าที่ให้กับน้ำเสียมากขึ้น มีผลทำให้ค่าพีเอชของน้ำเสียเพิ่มขึ้น โดยศักย์ไฟฟ้าที่ 30 โวลต์มีผลให้น้ำเสียมีค่าร้อยละของการเปลี่ยนแปลงพีเอชสูงที่สุด คือร้อยละ 28.25

(1.3) ผลของค่าศักย์ไฟฟ้าต่อประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งละลายน้ำ

ผลการทดสอบด้วยค่าสถิติ F-test โดยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่า มีค่าศักย์ไฟฟ้าอย่างน้อย 2 ค่า ที่ทำให้ค่าเฉลี่ยร้อยละการกำจัดของแข็งละลายน้ำต่างกัน และเมื่อทดสอบต่อเนื่องด้วยการจับคู่พหุคูณแบบเชฟเฟ ได้ผลแสดงในตารางผนวกที่ 3ค พบว่า

- ศักย์ไฟฟ้า 5 ,10 และ 30 โวลต์ น้ำเสียมีค่าเฉลี่ยร้อยละการกำจัดของแข็งละลายน้ำไม่แตกต่างกัน
- ศักย์ไฟฟ้า 5 และ 10 โวลต์ น้ำเสียมีค่าเฉลี่ยร้อยละการกำจัดของแข็งละลายน้ำต่างจากการให้ศักย์ไฟฟ้า 15, 20 และ 25 โวลต์
- ศักย์ไฟฟ้า 15, 20, 25 และ 30 โวลต์ น้ำเสียมีค่าเฉลี่ยร้อยละการกำจัดของแข็งละลายน้ำไม่แตกต่างกัน

ผลการทดลองสรุปได้ว่า การบำบัดน้ำเสียสีรีแอคทีฟ โดยใช้อะลูมิเนียมเป็นขั้วไฟฟ้า สามารถกำจัดของแข็งที่ละลายในน้ำเสียได้ ค่าศักย์ไฟฟ้ามีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งละลายน้ำอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) โดยประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งละลายน้ำมากขึ้น เมื่อเพิ่มค่าศักย์ไฟฟ้า โดยที่ค่าศักย์ไฟฟ้า 20 โวลต์ จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งละลายน้ำสูงที่สุด คือร้อยละ 35.18 แต่ค่าศักย์ไฟฟ้าเมื่อเพิ่มขึ้นถึงระดับหนึ่ง ประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งละลายน้ำจะเริ่มลดลง เนื่องจากผลการทดสอบด้วยค่าสถิติ F-test พบว่าที่ศักย์ไฟฟ้า 5, 10 และ 30 โวลต์ น้ำเสียมีค่าเฉลี่ยร้อยละการกำจัดของแข็งละลายน้ำไม่แตกต่างกัน

(2) ผลของระยะเวลาสัมผัส

นำน้ำเสียสีรีแอคทีฟ ปริมาตร 1 ลิตร บำบัดด้วยวิธีไฟฟ้าเคมี โดยใช้อะลูมิเนียมเป็นขั้วไฟฟ้า ให้ศักย์ไฟฟ้า 20 โวลต์ เนื่องจากมีประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งละลายน้ำสูงที่สุด และเมื่อความต่างศักย์มากกว่า 20 โวลต์ ประสิทธิภาพในการกำจัดสีจะคงที่ แปรผันระยะเวลาสัมผัส 30, 60, 90, 120, 150, และ 180 นาที ตามลำดับ เก็บตัวอย่างมาวัดค่าการดูดกลืนแสง ค่าพีเอช และค่าความนำไฟฟ้า ทดลองซ้ำ 3 ครั้ง ได้ผลแสดงในตารางผนวกที่ 1ก - 6ก

นำค่าการดูดกลืนแสงของน้ำ ค่าพีเอช และค่าความนำไฟฟ้า วิเคราะห์ประสิทธิภาพการกำจัดสี การเปลี่ยนแปลงพีเอช การกำจัดของแข็งละลายน้ำ โดยคำนวณจากค่าการดูดกลืนแสง ค่าพีเอช และค่าความนำไฟฟ้า ก่อนและหลังการทดลอง เมื่อให้ศักย์ไฟฟ้า 20 โวลต์ ได้ผลแสดงในตารางที่ 4.1.3

ตารางที่ 4.1.3 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียสีรีแอคทีฟ ด้วยขั้วไฟฟ้าอะลูมิเนียม ค่าศักย์ไฟฟ้า 20 โวลต์ ที่ระยะเวลาสัมผัสต่างกัน

ครั้งที่ทดลอง	ศักย์ไฟฟ้า (volt)	การกำจัดสี (%)	การเปลี่ยนแปลง พีเอช (%)	การกำจัด ของแข็งละลายน้ำ (%)
1	5	15.46	-9.31	10.03
2	5	19.16	-8.59	9.79
3	5	11.65	-8.93	5.94
1	10	48.70	-13/36	12.08
2	10	49.58	-12.67	12.43
3	10	46.96	-12.59	11.63
1	15	71.88	-16.46	24.42
2	15	70.13	-15.90	19.84
3	15	70.15	-16.24	17.57
1	20	87.03	-19.84	1.80
2	20	84.54	-19.95	2.38
3	20	88.75	-19.35	36.69
1	25	72.25	-20.92	33.42
2	25	70.87	-20.49	24.60
3	25	90.23	-21.79	33.07
1	30	96.31	-23.48	37.02
2	30	95.78	-22.64	34.66
3	30	96.06	-24.36	33.85

ข้อมูลจากตารางที่ 4.1.3 นำมาวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว เพื่อทดสอบว่าการใช้ขั้วไฟฟ้าอะลูมิเนียม บำบัดน้ำเสียสีรีแอคทีฟ ด้วยระยะเวลาให้ศักย์ไฟฟ้ากับน้ำเสียต่างกัน ทำให้ค่าเฉลี่ยร้อยละของการกำจัดสีของน้ำ ค่าเฉลี่ยร้อยละการเปลี่ยนแปลงพีเอชของน้ำ และค่าเฉลี่ยร้อยละการกำจัดของแข็งละลายน้ำ ต่างกันหรือไม่ ได้ผลแสดงในตารางที่ 4.1.4

ตารางที่ 4.1.4 การทดสอบค่าเฉลี่ยร้อยละของการกำจัดสีของน้ำ การเปลี่ยนแปลงพีเอช และการกำจัดของแข็งละลายน้ำ ของน้ำเสียสีรีแอกทีฟที่บำบัดโดยใช้ขั้วไฟฟ้าอะลูมิเนียม ค่าศักย์ไฟฟ้า 20 โวลต์ ที่ระยะเวลาต่างกัน

ระยะเวลา (นาทีก)	N	ร้อยละ การกำจัดสี			ร้อยละ การเปลี่ยนแปลงพีเอช			ร้อยละของการกำจัด ของแข็งละลายน้ำ		
		Mean	SD.	F	Mean	SD.	F	Mean	SD.	F
30	3	15.42	3.76		-9.05			8.59	2.30	
60	3	48.41	1.33		-12.87			12.05	0.40	
90	3	70.72	1.00	113.73*	-16.20		332.71*	20.61	3.49	4.64*
120	3	86.77	2.12		-19.71			13.62	1.98	
150	3	77.78	10.80		-21.06			30.36	4.99	
180	3	96.05	0.27		-23.49			35.18	1.65	

*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ($P < 0.05$)

(2.1) ผลของระยะเวลาล้างน้ำต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีรีแอกทีฟ

ผลการทดสอบด้วยค่าสถิติ F-test โดยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่า มีช่วงระยะเวลาล้างน้ำอย่างน้อย 2 ช่วงเวลา ที่ค่าเฉลี่ยร้อยละของการกำจัดสีในน้ำต่างกัน และเมื่อทดสอบต่อเนื่องด้วยการจับคู่พหุคูณ แบบเชฟเฟ ได้ผลแสดงในตารางผนวกที่ 4 ค ผลการทดสอบส่วนใหญ่พบว่า ระยะเวลาล้างน้ำต่างกัน ทำให้ค่าเฉลี่ยร้อยละการกำจัดสีแตกต่างกัน ยกเว้นที่ระยะเวลาล้างน้ำ 120 นาที ให้ค่าเฉลี่ยร้อยละการกำจัดสีไม่แตกต่างจาก 150 และ 180 นาที และที่ระยะเวลาล้างน้ำ 150 นาที ให้ค่าเฉลี่ยร้อยละการกำจัดสี ไม่แตกต่างจาก 180 นาที

ผลการทดลองสรุปได้ว่า การบำบัดน้ำเสียสีรีแอกทีฟ โดยใช้ขั้วไฟฟ้าอะลูมิเนียม ระยะเวลาล้างน้ำมีผลต่อการกำจัดสีรีแอกทีฟอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) โดยระยะเวลาล้างน้ำมากขึ้น ประสิทธิภาพการกำจัดสีเพิ่มขึ้น ที่ระยะเวลาล้างน้ำ 180 นาที มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีสูงสุด คือร้อยละ 96.05 อย่างไรก็ตามสามารถสรุปได้ว่า ระยะเวลาล้างน้ำเมื่อเพิ่มขึ้นถึงระดับหนึ่ง ประสิทธิภาพในการกำจัดสีจะเริ่มคงที่ เนื่องจากผลการทดสอบด้วยค่าสถิติ F-test พบว่า ที่ระยะเวลาล้างน้ำ 120, 150, และ 180 นาที ค่าเฉลี่ยร้อยละการกำจัดสีในน้ำไม่แตกต่างกัน

(2.2) ผลของระยะเวลาล้างน้ำต่อค่าพีเอช

ผลการทดสอบด้วยค่าสถิติ F-test โดยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่า มีช่วงระยะเวลาล้างน้ำอย่างน้อย 2 ค่าที่ทำให้ค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงพีเอชในน้ำต่างกัน และเมื่อทดสอบต่อเนื่องด้วยการจับคู่พหุคูณ แบบเชฟเฟ ได้ผลแสดงในตารางผนวกที่ 5ค ส่วนใหญ่พบว่า ระยะเวลาล้างน้ำต่างกัน ทำให้น้ำเสียมีค่าเฉลี่ยร้อยละการเปลี่ยนแปลงพีเอชต่างกัน ยกเว้นที่ระยะเวลาล้างน้ำ 120 นาที ให้ค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างจาก 150 นาที

ผลทดลองสรุปได้ว่าการบำบัดน้ำเสียสีรีแอกทีฟ โดยใช้ขั้วไฟฟ้าอะลูมิเนียม ระยะเวลาสัมผัสมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงพีเอชของน้ำเสียสีรีแอกทีฟอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) ระยะเวลาสัมผัสมากขึ้น ทำให้น้ำเสียมีค่าพีเอชเพิ่มขึ้น ที่ระยะเวลาสัมผัส 180 นาที น้ำมีค่าเฉลี่ยร้อยละการเปลี่ยนแปลงพีเอชสูงสุด คือร้อยละ 23.49

(2.3) ผลของระยะเวลาสัมผัสต่อประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งละลายน้ำ

ผลการทดสอบด้วยค่าสถิติ F-test โดยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่า มีช่วงระยะเวลาสัมผัสอย่างน้อย 2 ค่า ที่ทำให้ค่าเฉลี่ยการกำจัดของแข็งละลายน้ำต่างกัน และเมื่อทดสอบต่อเนื่องด้วยการจับคู่พหุคูณ แบบเชฟเฟ ได้ผลแสดงในตารางผนวกที่ 6ค ผลการทดสอบส่วนใหญ่พบว่า ระยะเวลาสัมผัสต่างกัน น้ำเสียมีค่าเฉลี่ยร้อยละการกำจัดของแข็งละลายน้ำไม่แตกต่างกัน ยกเว้นที่ระยะเวลาสัมผัส 30 นาที และ 60 นาที ให้ค่าเฉลี่ยร้อยละการกำจัดของแข็งละลายน้ำแตกต่างจากที่ระยะเวลาสัมผัส 180 นาที

ผลทดลองสรุปได้ว่าการบำบัดน้ำเสียสีรีแอกทีฟ โดยใช้ขั้วไฟฟ้าอะลูมิเนียม ระยะเวลาสัมผัสมีผลต่อการกำจัดของแข็งละลายน้ำของน้ำเสียสีรีแอกทีฟ อย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) ระยะเวลาสัมผัสมากขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งละลายน้ำมากขึ้น ที่เวลา 180 นาทีมีประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งละลายน้ำสูงสุด คือร้อยละ 35.18

4.1.1.2 การบำบัดน้ำเสียจากการย้อมผ้าฝ้ายทอด้วยสีรีแอกทีฟโดยใช้ขั้วไฟฟ้าเหล็ก

นำน้ำเสียจากการย้อมผ้าฝ้ายทอด้วยสีรีแอกทีฟ ปริมาตร 1 ลิตร บำบัดด้วยวิธีไฟฟ้าเคมี โดยใช้เหล็กเป็นขั้วไฟฟ้า แปรผันศักย์ไฟฟ้าที่ให้กับน้ำเสีย 10, 15, 20, 25 และ 30 โวลต์ ตามลำดับ เก็บตัวอย่างที่ 180 นาที มาวัดค่าการดูดกลืนแสง ค่าพีเอช และค่านำไฟฟ้า ทดลองซ้ำ 3 ครั้ง ได้ผลแสดงในตารางผนวกที่ 7ก - 11ก นำค่าการดูดกลืนแสง ค่าพีเอช และค่านำไฟฟ้า มาวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยร้อยละการกำจัดสี ร้อยละการเปลี่ยนแปลงพีเอช และร้อยละการกำจัดของแข็งละลายน้ำ ได้ผลแสดงในตารางที่ 4.1.5

ตารางที่ 4.1.5 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียสรีแอกทีฟโดยใช้ขั้วไฟฟ้าเหล็ก ที่ค่าศักย์ไฟฟ้าต่างกัน

ครั้งที่ทดลอง	ศักย์ไฟฟ้า (volt)	การกำจัดสี (%)	การเปลี่ยนแปลง พีเอช (%)	การกำจัด ของแข็งละลายน้ำ (%)
1	10	83.67	-30.15	6.56
2	10	83.62	-30.09	10.20
3	10	83.64	-30.53	8.33
1	15	86.44	-33.10	17.24
2	15	86.32	-32.64	16.40
3	15	86.48	-33.01	15.81
1	20	72.70	-34.47	18.59
2	20	72.87	-33.79	20.00
3	20	72.72	-34.38	18.68
1	25	96.65	-21.03	41.26
2	25	96.56	-23.98	30.70
3	25	98.37	-26.29	38.70
1	30	96.31	-25.50	25.51
2	30	99.16	-23.54	10.88
3	30	97.43	-20.35	35.47

ข้อมูลจากตารางที่ 4.1.5 นำมาวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว เพื่อทดสอบว่าการใช้ขั้วไฟฟ้าเหล็ก บำบัดน้ำเสียสรีแอกทีฟ ด้วยค่าศักย์ไฟฟ้าที่ให้กับน้ำเสียต่างกัน ทำให้ค่าเฉลี่ยร้อยละของการกำจัดสีของน้ำเสีย ค่าเฉลี่ยร้อยละการเปลี่ยนแปลงพีเอช และค่าเฉลี่ยร้อยละของการกำจัดของแข็งละลายน้ำต่างกันหรือไม่ ได้ผลทดสอบแสดงในตารางที่ 4.1.6

ตารางที่ 4.1.6 การทดสอบค่าเฉลี่ยร้อยละของการกำจัดสี การเปลี่ยนแปลงพีเอช และการกำจัดของแข็งละลายน้ำ ของน้ำเสียสีรีแอกทีฟ บำบัดโดยใช้ขั้วไฟฟ้าเหล็ก ที่ค่าศักย์ไฟฟ้าต่างกัน

ศักย์ไฟฟ้า (volt)	N	ร้อยละ การกำจัดสี			ร้อยละ การเปลี่ยนแปลงพีเอช			ร้อยละการกำจัด ของแข็งละลายน้ำ		
		Mean	SD.	F	Mean	SD.	F	Mean	SD.	F
10	3	83.64	0.03		-30.85	0.24		8.36	1.82	
15	3	86.41	0.08		-32.92	0.24		16.48	0.72	
20	3	72.76	0.09	516.952*	-34.21	0.37	28.383*	19.09	0.79	8.883*
25	3	97.19	1.02		-23.77	2.64		36.89	5.51	
30	3	97.63	1.44		-23.13	2.60		23.95	12.37	

*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ($P < 0.05$)

(1.1) ผลของค่าศักย์ไฟฟ้าต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีรีแอกทีฟ

ผลการทดสอบด้วยค่าสถิติ F-test โดยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่า มีค่าศักย์ไฟฟ้าอย่างน้อย 2 ค่า ที่มีค่าเฉลี่ยร้อยละการกำจัดสีในน้ำต่างกัน และเมื่อทดสอบต่อเนื่องด้วยการจับคู่พหุคูณ แบบทามเฮน ได้ผลแสดงในตารางผนวกที่ 7 ผลการทดสอบส่วนใหญ่พบว่า ค่าศักย์ไฟฟ้าต่างกัน จะให้ค่าเฉลี่ยร้อยละการกำจัดสีรีแอกทีฟแตกต่างกัน ยกเว้นค่าศักย์ไฟฟ้าที่ 15 และ 25 โวลต์ ให้ค่าเฉลี่ยร้อยละการกำจัดสีไม่แตกต่างจาก 30 โวลต์

ผลการทดลองสรุปได้ว่า การบำบัดน้ำเสียสีรีแอกทีฟ โดยใช้เหล็กเป็นขั้วไฟฟ้า สามารถกำจัดสีในน้ำเสียได้ โดยศักย์ไฟฟ้ามีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) ประสิทธิภาพในการกำจัดสีเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มค่าศักย์ไฟฟ้า ที่ค่าศักย์ไฟฟ้า 30 โวลต์ ให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสีสูงสุด คือร้อยละ 97.63 อย่างไรก็ตามสามารถสรุปได้ว่า ค่าศักย์ไฟฟ้าเมื่อเพิ่มขึ้นในระดับหนึ่ง ประสิทธิภาพในการกำจัดสีจะเริ่มคงที่ เนื่องจากผลการทดสอบด้วยค่าสถิติ F-test พบว่า ค่าศักย์ไฟฟ้าที่ 15 และ 25 โวลต์ ให้ค่าเฉลี่ยร้อยละการกำจัดสีไม่แตกต่างจาก 30 โวลต์

(1.2) ผลของค่าศักย์ไฟฟ้าต่อค่าพีเอช

ผลการทดสอบด้วยค่าสถิติ F-test โดยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่า มีค่าศักย์ไฟฟ้าอย่างน้อย 2 ค่า ที่มีค่าเฉลี่ยร้อยละการเปลี่ยนแปลงพีเอชของน้ำเสียแตกต่างกัน และเมื่อทดสอบต่อเนื่องด้วยการจับคู่พหุคูณ แบบเชฟเฟ ได้ผลแสดงในตารางผนวกที่ 8 ผลการทดสอบส่วนใหญ่พบว่า ค่าศักย์ไฟฟ้าต่างกัน จะให้ค่าเฉลี่ยร้อยละการเปลี่ยนแปลงแตกต่างกัน ยกเว้นค่าศักย์ไฟฟ้าที่ 10 และ 15 โวลต์ ให้ค่าเฉลี่ยร้อยละการเปลี่ยนแปลงพีเอชไม่แตกต่างจาก 20 โวลต์ และที่ค่าศักย์ไฟฟ้าที่ 25 โวลต์ ให้ค่าเฉลี่ยร้อยละการเปลี่ยนแปลงพีเอชไม่แตกต่างจาก 30 โวลต์

ผลการทดลองสรุปได้ว่าการบำบัดน้ำเสียสีรีแอกทีฟ โดยใช้เหล็กเป็นขั้วไฟฟ้า ค่าศักย์ไฟฟ้ามีผลต่อค่าพีเอชของน้ำเสียอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) ค่าศักย์ไฟฟ้าที่ให้กับน้ำเสียมากขึ้น มีผลทำให้ค่าพีเอชของน้ำเพิ่มขึ้น

โดยศักย์ไฟฟ้า 20 โวลต์ มีผลทำให้น้ำเสียมีค่าร้อยละการเพิ่มพีเอชสูงที่สุดคือร้อยละ 34.21 และเมื่อเพิ่มค่าศักย์ไฟฟ้ามากกว่า 20 โวลต์ การเปลี่ยนแปลงพีเอชของน้ำเสียเริ่มคงที่ เนื่องจากผลการทดสอบสถิติ F test พบว่าค่าศักย์ไฟฟ้า 25 และ 30 โวลต์ ให้ค่าเฉลี่ยร้อยละการเปลี่ยนแปลงพีเอชไม่แตกต่างกัน

(1.3) ผลของค่าศักย์ไฟฟ้าต่อประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งละลายน้ำ

ผลการทดสอบด้วยค่าสถิติ F-test โดยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่า มีค่าศักย์ไฟฟ้าอย่างน้อย 2 ค่าที่ทำให้ค่าเฉลี่ยการกำจัดของแข็งละลายน้ำต่างกัน และเมื่อทดสอบต่อเนื่องด้วยการจับคู่พหุคูณ แบบทามเฮน ได้ผลแสดงในตารางผนวกที่ 9 ผลการทดสอบส่วนใหญ่พบว่า ค่าศักย์ไฟฟ้าต่างกันไม่มีผลทำให้ค่าเฉลี่ยร้อยละการกำจัดของแข็งละลายน้ำต่างกัน ยกเว้นที่ค่าศักย์ไฟฟ้า 10 โวลต์มีค่าเฉลี่ยร้อยละการกำจัดของแข็งละลายน้ำแตกต่างจากค่าศักย์ไฟฟ้า 20 โวลต์

ผลการทดลองสรุปได้ว่า การบำบัดน้ำเสียจากการย้อมผ้าฝ้ายทอด้วยสีรีแอคทีฟ โดยใช้เหล็กเป็นขั้วไฟฟ้า สามารถกำจัดของแข็งละลายน้ำได้ โดยศักย์ไฟฟ้ามีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งละลายน้ำอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) ประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งละลายน้ำเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มค่าศักย์ไฟฟ้า ที่ค่าศักย์ไฟฟ้า 25 โวลต์ มีประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งละลายน้ำสูงที่สุด คือร้อยละ 36.89 แต่เมื่อเพิ่มค่าศักย์ไฟฟ้าจนถึงระดับหนึ่ง ประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งละลายน้ำจะเริ่มลดลง

(2) ผลของระยะเวลาสัมผัส

นำน้ำเสียจากการย้อมผ้าฝ้ายทอด้วยสีรีแอคทีฟ ปริมาตร 1 ลิตร บำบัดด้วยวิธีไฟฟ้าเคมี โดยใช้เหล็กเป็นขั้วไฟฟ้า ให้ค่าศักย์ไฟฟ้า 15 โวลต์ แปรผันเวลาที่ให้กับน้ำเสีย 30, 60, 90, 120, 150, และ 180 นาที ตามลำดับ เก็บตัวอย่าง มาวัดค่าการดูดกลืนแสง ค่าพีเอช และค่าความนำไฟฟ้า ทดลองซ้ำ 3 ครั้ง ได้ผลแสดงในตารางผนวกที่ 7ก - 11ก นำค่าการดูดกลืนแสง ค่าพีเอช และค่าความนำไฟฟ้ามาวิเคราะห์ประสิทธิภาพการกำจัด การเพิ่มค่าพีเอช และการกำจัดของแข็งละลายน้ำ ได้ผลแสดงในตารางที่ 4.1.7

ตารางที่ 4.1.7 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียสีรีแอดทีฟ โดยใช้ขั้วไฟฟ้าเหล็ก ค่าศักย์ไฟฟ้า 15 โวลต์ ที่ระยะเวลาสัมผัสต่างกัน

ครั้งที่ทดลอง	ระยะเวลา (min)	การกำจัดสี (%)	การเปลี่ยนแปลง พีเอช (%)	การกำจัดของแข็ง ละลายน้ำ (%)
1	30	10.21	-18.50	5.33
2	30	10.26	-17.92	3.54
3	30	10.21	-17.89	3.55
1	60	27.15	-28.09	7.52
2	60	26.99	-27.64	5.47
3	60	27.21	-27.88	5.48
1	90	59.29	-33.80	16.93
2	90	59.37	-33.06	14.79
3	90	59.27	-33.15	16.13
1	120	74.80	-36.58	25.71
2	120	74.89	-35.97	26.05
3	120	74.74	-36.48	24.52
1	150	82.28	-39.78	19.12
2	150	82.30	-38.89	19.61
3	150	82.21	-38.70	19.68
1	180	86.44	-33.10	17.24
2	180	86.32	-32.64	16.40
3	180	86.48	-33.01	15.81

ข้อมูลจากตารางที่ 4.1.7 นำมาวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว เพื่อทดสอบว่าการใช้ขั้วไฟฟ้าเหล็ก บำบัดน้ำเสียสีรีแอดทีฟ ระยะเวลาสัมผัสต่างกัน ทำให้ค่าเฉลี่ยร้อยละของการกำจัดสีของน้ำ ค่าเฉลี่ยร้อยละการเปลี่ยนแปลงพีเอชของน้ำ และ ค่าเฉลี่ยร้อยละการกำจัดของแข็งละลายน้ำต่างกันหรือไม่ ได้ผลแสดงในตารางที่ 4.1.8

ตารางที่ 4.1.8 การทดสอบค่าเฉลี่ยร้อยละของการกำจัดสี การเปลี่ยนแปลงพีเอช และการกำจัดของแข็งละลายน้ำ ของน้ำเสียสีรีแอกทีฟ ด้วยศักย์ไฟฟ้า 15 โวลต์ ระยะเวลาสัมผัสต่างกัน

ระยะเวลา a (min)	N	ร้อยละ การกำจัดสี			ร้อยละ การเปลี่ยนแปลงพีเอช			ร้อยละการกำจัด ของแข็งละลายน้ำ		
		Mean	SD.	F	Mean	SD.	F	Mean	SD.	F
30	3	10.23	0.03		-18.10			4.14	1.03	
60	3	27.12	0.11		-27.87			6.16	1.18	
90	3	59.31	0.05	561885.6*	-33.33		1210.159*	15.95	1.08	241.2179*
120	3	74.81	0.08		-36.34			25.43	0.80	
150	3	82.26	0.05		-39.12			19.47	0.31	
180	3	86.41	0.08		-32.92			16.48	0.72	

*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ($P < 0.05$)

(2.1) ผลของระยะเวลาสัมผัสต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีรีแอกทีฟ

ผลการทดสอบด้วยค่าสถิติ F-test โดยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่า มีช่วงระยะเวลาสัมผัสอย่างน้อย 2 ช่วงเวลาที่มีค่าเฉลี่ยร้อยละการกำจัดสีต่างกัน และเมื่อทดสอบต่อเนื่องด้วยการจับคู่พหุคูณ แบบเชฟเฟ ได้ผลแสดงในตารางผนวกที่ 10ค พบว่า ระยะเวลาสัมผัสต่างกัน จะทำให้ค่าเฉลี่ยร้อยละการกำจัดสีมีค่าแตกต่างกัน

ผลการทดลองสรุปได้ว่าระยะเวลามีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีรีแอกทีฟด้วยขั้วไฟฟ้าเหล็ก อย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) ระยะเวลาเพิ่มขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดสีมากขึ้นด้วย โดยการบำบัดสีรีแอกทีฟด้วยขั้วไฟฟ้าเหล็ก ที่ระยะเวลา 180 นาทีมีประสิทธิภาพสูงที่สุดคือ ร้อยละ 86.41

(2.2) ผลของระยะเวลาสัมผัสต่อค่าพีเอชของน้ำ

ผลการทดสอบด้วยค่าสถิติ F-test โดยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่า มีระยะเวลาสัมผัสอย่างน้อย 2 ค่า ที่ทำให้ค่าเฉลี่ยร้อยละการเปลี่ยนแปลงพีเอชในน้ำต่างกัน และเมื่อทดสอบต่อเนื่องด้วยการจับคู่พหุคูณแบบเชฟเฟ ได้ผลแสดงในตารางผนวกที่ 11ค ผลการทดสอบส่วนใหญ่ พบว่าช่วงระยะเวลาสัมผัสต่างกัน ทำให้น้ำเสียมีค่าเฉลี่ยร้อยละของการเปลี่ยนแปลงพีเอชต่างกัน ยกเว้นที่ระยะเวลา 90 นาที และ 180 นาที มีค่าเฉลี่ยร้อยละการเปลี่ยนแปลงไม่แตกต่างกัน

ผลการทดลองสรุปว่าระยะเวลามีผลต่อการเปลี่ยนแปลงพีเอชของน้ำเสียสีรีแอกทีฟที่บำบัดด้วยขั้วไฟฟ้าเหล็กอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) ระยะเวลาเพิ่มขึ้น ทำให้น้ำเสียมีค่าพีเอชเพิ่มขึ้น โดยที่ระยะเวลา 150 นาที น้ำเสียจะมีค่าเฉลี่ยร้อยละของการพีเอชเพิ่มขึ้นสูงที่สุด คือร้อยละ 39.12 และเมื่อเพิ่มระยะเวลามากกว่า 150 นาที การเปลี่ยนแปลงพีเอชของน้ำเสียจะเริ่มลดลง เนื่องจากผลการทดสอบทางสถิติพบว่าค่าเฉลี่ยร้อยละของการเปลี่ยนแปลงพีเอช ที่ระยะเวลาสัมผัส 90 นาที และ 180 นาที มีค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกัน

(2.3) ผลของระยะเวลาสัมผัสต่อประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งละลายน้ำ

ผลการทดสอบด้วยค่าสถิติ F-test โดยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่า มีช่วงระยะเวลาสัมผัสอย่างน้อย 2 ค่า ที่ทำให้ค่าเฉลี่ยการกำจัดของแข็งละลายน้ำต่างกัน และเมื่อทดสอบต่อเนื่องด้วยการจับคู่พหุคูณแบบเชฟเฟ ได้ผลแสดงในตารางผนวกที่ 12c ส่วนใหญ่พบว่า ช่วงระยะเวลาสัมผัสต่างกัน ทำให้น้ำเสียมีค่าเฉลี่ยร้อยละการกำจัดของแข็งละลายน้ำ ต่างกัน ยกเว้น

- ที่ระยะเวลาสัมผัส 30 นาที และ 60 นาที มีค่าเฉลี่ยร้อยละการกำจัดของแข็งละลายน้ำ ไม่แตกต่าง
- ที่ระยะเวลาสัมผัส 60 นาที และ 180 นาที มีค่าเฉลี่ยร้อยละการกำจัดของแข็งละลายน้ำ ไม่แตกต่าง

ผลการทดลองสรุปว่าระยะเวลาสัมผัสมีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดปริมาณของแข็งละลายน้ำ ของน้ำเสียสีรีแอดทีฟ ที่บำบัดด้วยขั้วไฟฟ้าเหล็กอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) ระยะเวลาสัมผัสนานขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งละลายน้ำเพิ่มขึ้น โดยที่ระยะเวลาสัมผัส 120 นาที มีประสิทธิภาพสูงที่สุด ร้อยละ 25.43 และเมื่อเพิ่มระยะเวลาสัมผัสมากกว่า 150 นาที ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งละลายน้ำเริ่มลดลง เนื่องจากผลการทดสอบทางสถิติพบว่าค่าเฉลี่ยร้อยละของการกำจัดของแข็งละลายน้ำ ที่ระยะเวลา 60 นาที และ 180 นาที มีค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกัน

4.1.2 การบำบัดน้ำเสียจากการย้อมเส้นด้ายอะคริลิกด้วยสีเบสิก

การบำบัดน้ำเสียจากการย้อมเส้นด้ายอะคริลิก ด้วยสีเบสิก โดยใช้น้ำตัวอย่างจากห้องหุ่นส่วนเจริญชัย การย้อม

4.1.2.1 การบำบัดน้ำเสียจากการย้อมเส้นด้ายอะคริลิกด้วยสีเบสิก โดยใช้ขั้วไฟฟ้าอะลูมิเนียม

(1) ผลของศักย์ไฟฟ้า

นำน้ำเสียจากการย้อมเส้นด้ายอะคริลิก ด้วยสีเบสิก จากห้องหุ่นส่วนเจริญชัยการย้อมปริมาตร 4 ลิตร ดังแสดงในรูปที่ 4.1.2 แปรผันศักย์ไฟฟ้าที่ให้กับน้ำเสีย 20, 30 และ 35 โวลต์ ตามลำดับ ที่ระยะเวลาสัมผัส 180 นาที เก็บตัวอย่างมาวัดค่าการดูดกลืนแสง ค่าพีเอช ค่าการนำไฟฟ้า และค่าความขุ่น โดยทดลองซ้ำ 3 ครั้ง ได้ผลแสดงในตารางผนวกที่ 1ข - 3ข นำค่าการดูดกลืนแสง ค่าพีเอช ค่าการนำไฟฟ้า และค่าความขุ่น ของน้ำที่ผ่านการบำบัดโดยให้ศักย์ไฟฟ้า ณ เวลาต่างๆ มาวิเคราะห์ร้อยละการกำจัดสี ร้อยละการเปลี่ยนแปลงพีเอช ร้อยละการกำจัดของแข็งละลายน้ำ และร้อยละการกำจัดความขุ่น ได้ผลแสดงในตารางที่ 4.1.9



รูปที่ 4.1.2 การบำบัดน้ำเสียจากการย้อมเส้นด้ายอะคริลิกด้วยสีเบสิก

ตารางที่ 4.1.9 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียสีเบสิก ด้วยขั้วไฟฟ้าอะลูมิเนียม ที่ค่าศักย์ไฟฟ้าต่างกัน

ครั้งที่ทดลอง	ศักย์ไฟฟ้า (volt)	การกำจัดสี (%)	การเปลี่ยนแปลงพีเอชของน้ำเสีย (%)	การกำจัดของแข็งละลายน้ำ (%)	การกำจัดความขุ่น (%)
1	20	40.81	-3.74	11.10	-72.25
2	20	39.64	-2.30	10.50	-69.32
3	20	40.45	-3.29	11.03	-71.39
1	30	39.84	-18.47	16.47	-34.29
2	30	39.84	-23.04	16.32	-40.00
3	30	39.53	-19.72	17.41	-32.03
1	35	41.85	-20.59	15.09	17.76
2	35	34.87	-14.49	16.38	13.50
3	35	40.25	-19.33	17.21	16.83

ข้อมูลจากตารางที่ 4.1.9 นำมาวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว เพื่อทดสอบว่าการใช้ขั้วไฟฟ้าอะลูมิเนียม บำบัดน้ำเสียสีเบสิก ค่าศักย์ไฟฟ้าที่ให้กับน้ำเสียต่างกัน ทำให้ค่าเฉลี่ยร้อยละการกำจัดสีของน้ำ ค่าเฉลี่ยร้อยละการเปลี่ยนแปลงพีเอชของน้ำ ค่าเฉลี่ยร้อยละของการกำจัดของแข็งละลายน้ำ และค่าเฉลี่ยร้อยละการกำจัดความขุ่นต่างกันหรือไม่ ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.1.10

ตารางที่ 4.1.10 การทดสอบค่าเฉลี่ยร้อยละของการกำจัดสี การเปลี่ยนแปลงพีเอช การกำจัดของแข็งละลายน้ำ และการกำจัดความขุ่น ของน้ำเสียสีเบสิก โดยใช้ขั้วไฟฟ้าอะลูมิเนียม ที่ศักย์ไฟฟ้าต่างกัน

ศักย์ไฟฟ้า (volt)	N	ร้อยละการกำจัดสี			ร้อยละการเปลี่ยนแปลงพีเอช			ร้อยละการกำจัดของแข็งละลายน้ำ			ร้อยละการกำจัดความขุ่น		
		Mean	SD.	F	Mean	SD.	F	Mean	SD.	F	Mean	SD.	F
20	3	40.30	0.60		-3.11	0.74		10.88	0.33		-70.99	1.51	
30	3	39.74	0.18	0.282	-20.41	2.36	48.15*	16.73	0.59	59.309*	-35.44	4.11	713.11*
35	3	38.99	3.66		-18.14	3.22		16.23	1.07		16.03	2.24	

*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ($P < 0.05$)

(1.1) ผลของค่าศักย์ไฟฟ้าต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีเบสิก

ผลการทดสอบด้วยค่าสถิติ F-test โดยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่า ค่าศักย์ไฟฟ้าที่ให้กับน้ำเสียสีเบสิกต่างกัน มีผลต่อค่าเฉลี่ยร้อยละการกำจัดสีเบสิกในน้ำไม่แตกต่างกัน

(1.2) ผลของค่าศักย์ไฟฟ้าต่อค่าพีเอชของน้ำ

ผลการทดสอบด้วยค่าสถิติ F-test โดยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่า มีค่าศักย์ไฟฟ้ากับน้ำเสียอย่างน้อย 2 ค่า ที่ทำให้ค่าเฉลี่ยร้อยละการเปลี่ยนแปลงพีเอชของน้ำต่างกัน และเมื่อทดสอบต่อเนื่องด้วยการจับคู่พหุคูณแบบเชฟเฟ ได้ผลแสดงในตารางผนวกที่ 13ค พบว่า

- ที่ศักย์ไฟฟ้า 20 โวลต์ ให้ค่าเฉลี่ยร้อยละของการเปลี่ยนแปลงพีเอชในน้ำเสียแตกต่างจากการให้ศักย์ไฟฟ้า 30 และ 35 โวลต์
- ที่ศักย์ไฟฟ้า 30 และ 35 โวลต์ให้ค่าเฉลี่ยร้อยละของการเปลี่ยนแปลงพีเอชในน้ำเสียไม่แตกต่างกัน

ผลการทดลองสรุปว่าการใช้ขั้วอะลูมิเนียม ในการบำบัดน้ำเสียสีเบสิก ค่าศักย์ไฟฟ้า มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงพีเอชของน้ำหลังบำบัดอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) โดยมีการเปลี่ยนแปลงพีเอชของน้ำสูงสุดที่ 30 โวลต์ คือร้อยละ 20.41 และเมื่อเพิ่มค่าศักย์ไฟฟ้ามากกว่า 30 โวลต์ การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชของน้ำจะเริ่มคงที่ เนื่องจากผลการทดสอบทางสถิติ พบว่าที่ศักย์ไฟฟ้า 30 และ 35 โวลต์ ให้ค่าเฉลี่ยร้อยละของการเปลี่ยนแปลงพีเอชในน้ำเสียไม่แตกต่างกัน

(1.3) ผลของค่าศักย์ไฟฟ้าต่อประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งละลายน้ำ

ผลการทดสอบด้วยค่าสถิติ F-test โดยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่า มีค่าศักย์ไฟฟ้ากับน้ำเสียอย่างน้อย 2 ค่า ที่ทำให้ค่าเฉลี่ยร้อยละการกำจัดของแข็งละลายน้ำต่างกัน และเมื่อทดสอบต่อเนื่องด้วยการจับคู่พหุคูณแบบเชฟเฟ ได้ผลแสดงในตารางผนวกที่ 14ค พบว่า

- ที่ศักย์ไฟฟ้า 20 โวลต์ ให้ค่าเฉลี่ยร้อยละการกำจัดของแข็งละลายน้ำแตกต่างจากการให้ศักย์ไฟฟ้า 30 และ 35 โวลต์

- ที่ศักย์ไฟฟ้า 30 และ 35 โวลต์ ให้ค่าเฉลี่ยร้อยละการกำจัดของแข็งละลายน้ำไม่แตกต่าง

ผลการทดลองสรุปว่าการใช้ขั้วอะลูมิเนียม ในการบำบัดน้ำเสียสีเบสิก ค่าศักย์ไฟฟ้า มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งละลายน้ำอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) โดยมีประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งละลายน้ำสูงสุดที่ 30 โวลต์ คือร้อยละ 16.73 และเมื่อเพิ่มค่าศักย์ไฟฟ้ามากกว่า 30 โวลต์ ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งละลายน้ำจะเริ่มคงที่เนื่องจากผลการทดสอบทางสถิติ พบว่าที่ศักย์ไฟฟ้า 30 และ 35 โวลต์ให้ค่าเฉลี่ยร้อยละของการกำจัดของแข็งละลายน้ำไม่แตกต่างกัน

(1.4) ผลของค่าศักย์ไฟฟ้าต่อประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น

ผลการทดสอบด้วยค่าสถิติ F-test โดยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่า มีค่าศักย์ไฟฟ้ากับน้ำเสียอย่างน้อย 2 ค่า ที่ทำให้ค่าเฉลี่ยร้อยละการกำจัดความขุ่นต่างกัน และเมื่อทดสอบต่อเนื่องด้วยการจับคู่พหุคูณแบบเชฟเฟ ได้ผลแสดงในตารางผนวกที่ 15ค พบว่า ทุกค่าศักย์ไฟฟ้าที่ต่างกัน มีผลต่อค่าเฉลี่ยการกำจัดความขุ่นของน้ำแตกต่างกัน

ผลการทดลองสรุปว่าการใช้ขั้วอะลูมิเนียม ในการบำบัดน้ำเสียสีเบสิก ค่าศักย์ไฟฟ้า มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นของน้ำอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) โดยมีประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งละลายน้ำสูงสุดที่ 35 โวลต์ คือร้อยละ 16.03

(2) ผลของระยะเวลาสัมผัส

นำน้ำเสียจากการย้อมเส้นด้ายอะคริลิกด้วยสีเบสิกปริมาตร 4 ลิตร บำบัดด้วยวิธีการไฟฟ้าเคมี โดยใช้เหล็กเป็นขั้วไฟฟ้า ให้ศักย์ไฟฟ้าแก่น้ำในปริมาณ 35 โวลต์ เนื่องจากมีประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นสูงที่สุด แปรผันเวลาที่ให้กับน้ำเสีย 30, 60, 90, 120, 150, และ 180 นาที ตามลำดับ เก็บตัวอย่าง มาวัดค่าการดูดกลืนแสง ค่าพีเอช ค่าความนำไฟฟ้า และค่าความขุ่น ทดลองซ้ำ 3 ครั้ง ได้ผลแสดงในตารางผนวกที่ 1ข - 3ข

นำค่าการดูดกลืนแสง ค่าพีเอช ค่าความนำไฟฟ้า และค่าความขุ่น วิเคราะห์ร้อยละการกำจัดสี ร้อยละการเปลี่ยนแปลงพีเอช ร้อยละการกำจัดของแข็งละลายน้ำ และร้อยละการกำจัดความขุ่น ได้ผลแสดงในตารางที่

ตารางที่ 4.1.11 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียสีเบสิก ด้วยไฟฟ้า 35 โวลต์ โดยใช้อะลูมิเนียมขั้วไฟฟ้า ที่ระยะเวลาต่างกัน

ครั้งที่ ทดลอง	ศักย์ไฟฟ้า (volt)	การกำจัดสี (%)	การเปลี่ยนแปลง พีเอช (%)	การกำจัดของแข็ง ละลายน้ำ (%)	การกำจัดความขุ่น (%)
1	30	28.37	-1.62	0.49	21.96
2	30	18.09	1.67	0.37	19.33
3	30	21.67	-1.33	0.61	21.43
1	60	30.34	-3.10	0.85	17.29
2	60	21.05	1.28	1.10	12.00
3	60	27.24	-2.4	0.85	15.87
1	90	32.58	-9.15	4.26	12.31
2	90	22.37	-4.23	4.52	6.67
3	90	29.10	-6.67	4.36	10.48
1	120	35.39	-15.75	4.01	31.31
2	120	25.00	-10.13	4.65	27.00
3	120	31.89	-13.60	3.88	30.32
1	150	39.33	-19.92	7.54	25.55
2	150	33.88	-14.62	7.33	23.33
3	150	38.70	-19.73	7.64	26.51
1	180	41.85	-20.59	15.09	17.76
2	180	34.87	-14.49	16.38	13.50
3	180	40.25	-19.33	17.21	16.83

ข้อมูลจากตารางที่ 4.1.11 นำมาวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว เพื่อทดสอบว่าการบำบัดน้ำเสียจากการย้อมเส้นด้ายด้วยสีเบสิก โดยใช้ขั้วไฟฟ้าเหล็ก ระยะเวลาให้ศักย์ไฟฟ้ากับน้ำเสียต่างกัน ทำให้ค่าเฉลี่ยร้อยละของการกำจัดสี ค่าเฉลี่ยร้อยละการเปลี่ยนแปลงพีเอช ค่าเฉลี่ยร้อยละการกำจัดของแข็งละลายน้ำ และค่าเฉลี่ยร้อยละการกำจัดความขุ่น ต่างกันหรือไม่ ได้ผลแสดงในตารางที่ 4.1.12

ตารางที่ 4.1.12 การทดสอบค่าเฉลี่ยร้อยละของการกำจัดสี ค่าการเปลี่ยนแปลงพีเอช การกำจัดของแข็งละลาย และการกำจัดความขุ่น ของน้ำเสียสีเบสิกโดยใช้ขั้วไฟฟ้าอะลูมิเนียม ศักย์ไฟฟ้า 35 โวลต์ ที่ระยะเวลาสัมผัสต่างกัน

เวลา (min)	N	ร้อยละ การกำจัดสี			ร้อยละ การเปลี่ยนแปลงพีเอช			ร้อยละการกำจัด ของแข็งละลายน้ำ			ร้อยละการกำจัดความขุ่น		
		Mean	SD.	F	Mean	SD.	F	Mean	SD.	F	Mean	SD.	F
30	3	22.71	5.22		-0.43	1.82		0.49	0.12		20.91	1.39	
60	3	26.21	4.73		-1.41	2.32		0.93	0.14		15.05	2.74	
90	3	28.02	5.19	5.7	-6.68	2.46	26.96*	4.38	0.13	435.39*	9.82	2.88	30.71*
120	3	30.76	5.29	8*	-13.16	2.84		4.18	0.41		29.54	2.26	
150	3	37.30	2.98		-18.09	3.00		7.50	0.16		25.13	1.63	
180	3	38.99	3.66		-18.14	3.22		16.23	1.07		16.03	2.24	

*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ($P < 0.05$)

(2.1) ผลของระยะเวลาสัมผัสต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีเบสิก

ผลการทดสอบด้วยค่าสถิติ F-test โดยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่า มีระยะเวลาสัมผัสอย่างน้อย 2 ค่าที่มีค่าเฉลี่ยการกำจัดสีต่างกัน และเมื่อทดสอบต่อเนื่องด้วยการจับคู่พหุคูณแบบเซฟเฟ ได้ผลแสดงในตารางผนวกที่ 16c ส่วนใหญ่พบว่า ช่วงระยะเวลาสัมผัสที่ต่างกัน ไม่มีผลทำให้ค่าเฉลี่ยร้อยละการกำจัดสีต่างกัน ยกเว้นที่ระยะเวลาสัมผัส 30 นาที จะมีค่าเฉลี่ยร้อยละการกำจัดสีแตกต่างจากที่ระยะเวลาสัมผัส 180 นาที

ผลการทดลองสรุปว่าการใช้ขั้วไฟฟ้าอะลูมิเนียม ในการบำบัดน้ำเสียสีเบสิก ระยะเวลาสัมผัสมีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีของน้ำอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) โดยมีประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งละลายน้ำสูงสุดที่ 180 นาที คือร้อยละ 38.99

(2.2) ผลของระยะเวลาสัมผัสต่อค่าพีเอชของน้ำ

ผลการทดสอบด้วยค่าสถิติ F-test โดยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่า มีระยะเวลาสัมผัสอย่างน้อย 2 ค่า ที่ทำให้ค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงพีเอชในน้ำต่างกัน และเมื่อทดสอบต่อเนื่องด้วยการจับคู่พหุคูณแบบเซฟเฟ ได้ผลแสดงในตารางผนวกที่ 17c พบว่า

- ระยะเวลาสัมผัส 30 และ 60 นาที ให้ค่าเฉลี่ยร้อยละการเปลี่ยนแปลงพีเอชแตกต่างจากที่ระยะเวลาสัมผัส 120, 150, และ 180 นาที
- ระยะเวลาสัมผัส 90 นาที ให้ค่าเฉลี่ยร้อยละการเปลี่ยนแปลงพีเอชแตกต่างจากที่ระยะเวลาสัมผัส 150, และ 180 นาที
- ระยะเวลาสัมผัส 120, 150 และ 180 นาทีให้ค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงพีเอชไม่แตกต่างกัน

ผลการทดลองสรุปว่าการใช้หัวอะลูมิเนียม ในการบำบัดน้ำเสียสีเบสิก ระยะเวลาสัมผัสมีผลต่อค่าเฉลี่ยร้อยละการเปลี่ยนแปลงพีเอชของน้ำอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) โดยระยะเวลาสัมผัสนานขึ้น ทำให้ค่าเฉลี่ยร้อยละการเปลี่ยนแปลงพีเอชของน้ำมากขึ้น ที่ระยะเวลาสัมผัส 180 นาที ค่าเฉลี่ยร้อยละการเปลี่ยนแปลงพีเอชของน้ำมีค่าร้อยละ 18.14 อย่างไรก็ตามที่ระยะเวลาสัมผัสมากกว่า 120 นาที การเปลี่ยนแปลงพีเอชของน้ำจะเริ่มคงที่ เนื่องจากผลการทดสอบทางสถิติพบว่าระยะเวลาสัมผัส 120, 150 และ 180 นาที ให้ค่าเฉลี่ยพีเอชไม่แตกต่างกัน

(2.3) ผลของระยะเวลาให้ศักย์ไฟฟ้าต่อประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งละลายน้ำ

ผลการทดสอบด้วยค่าสถิติ F-test โดยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่า มีระยะเวลาสัมผัสอย่างน้อย 2 ค่าที่ทำให้ค่าเฉลี่ยการกำจัดของแข็งละลายน้ำต่างกัน และทดสอบต่อเนื่องด้วยการจับคู่พหุคูณแบบทามเสน ได้ผลแสดงในตารางผนวกที่ 18ค ส่วนใหญ่พบว่าระยะเวลาสัมผัสต่างกัน ทำให้ค่าเฉลี่ยการกำจัดของแข็งละลายน้ำต่างกัน ยกเว้น

- ระยะเวลาสัมผัส 30 และ 60 นาที ให้ค่าเฉลี่ยการกำจัดของแข็งละลายน้ำไม่แตกต่าง
- ระยะเวลาสัมผัส 150 และ 180 นาที ให้ค่าเฉลี่ยการกำจัดของแข็งละลายน้ำไม่แตกต่าง

ผลการทดลองสรุปว่าการใช้หัวอะลูมิเนียม ในการบำบัดน้ำเสียสีเบสิก ระยะเวลาสัมผัสมีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งละลายน้ำอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) ระยะเวลาสัมผัส น้อยหรือมากเกินไป มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งละลายน้ำ ที่ระยะเวลาสัมผัส 180 นาที ค่าเฉลี่ยร้อยละการกำจัดของแข็งละลายน้ำมีค่าร้อยละ 16.23 อย่างไรก็ตามที่ระยะเวลาสัมผัสมากกว่า 150 นาที ประสิทธิภาพในการกำจัดเริ่มคงที่ เนื่องจากผลทดสอบทางสถิติ พบว่า ที่ระยะเวลาสัมผัส 150 และ 180 นาที ให้ค่าเฉลี่ยการกำจัดของแข็งละลายน้ำไม่แตกต่าง

(2.4) ผลของระยะเวลาสัมผัสต่อประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น

ผลการทดสอบด้วยค่าสถิติ F-test โดยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่า มีระยะเวลาสัมผัสอย่างน้อย 2 ค่า ที่ทำให้ค่าเฉลี่ยการกำจัดความขุ่นในน้ำต่างกัน และเมื่อทดสอบต่อเนื่องด้วยวิธีการจับคู่พหุคูณแบบเชฟเฟ ได้ผลแสดงในตารางผนวกที่ 19ค พบว่า

- ระยะเวลาสัมผัส 120 นาที ให้ค่าเฉลี่ยการกำจัดของแข็งละลายน้ำแตกต่างจากระยะเวลาสัมผัส 30, 60, 90 และ 180 นาที
- ระยะเวลา 180 นาที ให้ค่าเฉลี่ยการกำจัดของแข็งละลายน้ำไม่แตกต่างจากระยะเวลาสัมผัส 60 และ 90 นาที

ผลการทดลองสรุปว่าการใช้หัวอะลูมิเนียม ในการบำบัดน้ำเสียสีเบสิก ระยะเวลาสัมผัสมีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) ระยะเวลาสัมผัส น้อยหรือมากเกินไป มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น ที่ระยะเวลาสัมผัส 120 นาที ค่าเฉลี่ยร้อยละการกำจัดความขุ่นร้อยละ 29.54

อย่างไรก็ตามระยะเวลาสัมผัสมากกว่า 120 นาที ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นเริ่มลดลง เนื่องจากผลทดสอบทางสถิติ พบว่าระยะเวลาสัมผัส 180 นาที ให้ค่าเฉลี่ยการกำจัดของแข็งละลายน้ำไม่แตกต่างจากที่ระยะเวลาสัมผัส 60 และ 90 นาที

4.1.1.2 การบำบัดน้ำเสียจากการย้อมเส้นด้ายอะคริลิกด้วยสีเบสิกโดยใช้ขั้วไฟฟ้าเหล็ก

นำน้ำเสียจากการย้อมเส้นด้ายอะคริลิกด้วยสีเบสิก ปริมาตร 4 ลิตร บำบัดด้วยวิธีไฟฟ้าเคมี โดยใช้เหล็กเป็นขั้วไฟฟ้า แปรผันศักย์ไฟฟ้าที่ให้กับน้ำเสีย 20, 25, 30, และ 35 โวลต์ ตามลำดับ ระยะเวลาสัมผัส 180 นาที เก็บตัวอย่างมาวัดค่าการดูดกลืนแสง ค่าพีเอช ค่าการนำไฟฟ้า และค่าความขุ่น ทดลองซ้ำ 3 ครั้ง ได้ผลแสดงในตารางผนวกที่ 4ข-7ข นำค่าการดูดกลืนแสง ค่าพีเอช ค่าการนำไฟฟ้า และค่าความขุ่น มาวิเคราะห์ร้อยละการกำจัดสี ร้อยละการเปลี่ยนแปลงพีเอช ร้อยละการกำจัดของแข็งละลายน้ำ และร้อยละการกำจัดความขุ่น ได้ผลแสดงในตารางที่ 4.1.13

ตารางที่ 4.1.13 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากการย้อมสีเบสิก โดยใช้ขั้วไฟฟ้าเหล็ก ที่ค่าศักย์ไฟฟ้าต่างกัน

ครั้งที่ ทดลอง	ศักย์ไฟฟ้า (volt)	การกำจัดสี (%)	การเปลี่ยนแปลง พีเอช (%)	การกำจัดของแข็ง ละลายน้ำ (%)	การกำจัดของแข็ง แขวนลอย (%)
1	20	83.01	-90.50	1.59	-8.11
2	20	80.33	-50.09	1.35	-3.86
3	20	77.16	-57.97	2.21	-12.27
1	25	81.85	-91.51	14.80	17.19
2	25	90.94	-47.24	12.97	22.04
3	25	84.04	-29.79	12.48	22.61
1	30	86.58	-115.26	13.01	8.21
2	30	92.03	-103.53	11.47	10.71
3	30	91.64	-61.98	14.06	12.63
1	35	80.12	-84.02	15.01	9.34
2	35	91.72	-54.80	13.48	9.09
3	35	90.40	-117.48	10.71	13.15

ข้อมูลจากตารางที่ 4.1.13 นำมาวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว เพื่อทดสอบว่าการบำบัดน้ำเสียจากการย้อมเส้นด้ายอะคริลิกด้วยสีเบสิก ด้วยขั้วไฟฟ้าเหล็ก ค่าศักย์ไฟฟ้าที่ให้กับน้ำเสียต่างกัน ทำให้ค่าเฉลี่ยร้อยละการกำจัดสี ค่าเฉลี่ยร้อยละการเปลี่ยนแปลงพีเอชของน้ำ ค่าเฉลี่ยร้อยละการกำจัดของแข็งละลายน้ำ และค่าเฉลี่ยร้อยละการกำจัดความขุ่นต่างกันหรือไม่ ได้ผลแสดงในตารางที่ 4.1.14

ตารางที่ 4.1.14 การทดสอบค่าเฉลี่ยร้อยละของการกำจัดสี การเปลี่ยนแปลงพีเอช การกำจัดของแข็งละลายน้ำ และการกำจัดความขุ่น ในการบำบัดน้ำเสียสีเบสิก โดยใช้ขั้วไฟฟ้าเหล็ก ที่ค่าศักย์ไฟฟ้าต่างกัน

ศักย์ไฟฟ้า (volt)	N	ร้อยละการกำจัดสี			ร้อยละการเปลี่ยนแปลงพีเอช			ร้อยละการกำจัดของแข็งละลายน้ำ			ร้อยละการกำจัดความขุ่น		
		Mean	SD.	F	Mean	SD.	F	Mean	SD.	F	Mean	SD.	F
20	3	80.17	2.93	2.615	-66.19	21.42	1.094	1.72	0.44	47.923*	-8.08	4.21	46.914*
25	3	85.61	4.74		-56.18	31.82		13.42	1.22		20.61	2.98	
30	3	90.08	3.04		-93.59	27.99		12.85	1.30		10.52	2.22	
35	3	87.41	6.35		-85.44	31.37		13.07	2.18		10.53	2.28	

*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ($P < 0.05$)

(1.1) ผลของค่าศักย์ไฟฟ้าต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีเบสิก

ผลการทดสอบด้วยค่าสถิติ F-test โดยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่า ค่าศักย์ไฟฟ้าที่ให้กับน้ำเสียต่างกัน มีผลต่อค่าเฉลี่ยร้อยละการกำจัดสีในน้ำไม่แตกต่างกัน

(1.2) ผลของค่าศักย์ไฟฟ้าต่อค่าพีเอชของน้ำ

ผลการทดสอบด้วยค่าสถิติ F-test โดยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่า ค่าศักย์ไฟฟ้าที่ให้กับน้ำเสียต่างกัน มีผลต่อค่าเฉลี่ยร้อยละของการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชในน้ำเสียไม่แตกต่างกัน

(1.3) ผลของค่าศักย์ไฟฟ้าต่อประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งละลายน้ำ

ผลการทดสอบด้วยค่าสถิติ F-test โดยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่า มีค่าศักย์ไฟฟ้าอย่างน้อย 2 ค่าที่ทำให้ค่าเฉลี่ยการกำจัดของแข็งละลายน้ำต่างกัน และทดสอบต่อเนื่องด้วยการจับคู่พหุคูณแบบเชฟเฟ ได้ผลแสดงในตารางผนวกที่ 20 พบว่า

- ค่าศักย์ไฟฟ้า 20 โวลต์ ให้ค่าเฉลี่ยร้อยละการกำจัดของแข็งละลายน้ำ แตกต่างจากการให้ศักย์ไฟฟ้า 25, 30, และ 35 โวลต์
- ค่าศักย์ไฟฟ้า 25, 30, และ 35 โวลต์ ให้ค่าเฉลี่ยร้อยละการกำจัดของแข็งละลายน้ำ ไม่แตกต่าง

ผลการทดลองสรุปว่าการใช้ขั้วไฟฟ้าเหล็ก ในการบำบัดน้ำเสียสีเบสิก ศักย์ไฟฟ้ามีผลต่อค่าเฉลี่ยร้อยละการกำจัดของแข็งละลายน้ำอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) โดยค่าศักย์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งละลายน้ำมากขึ้น ที่ศักย์ไฟฟ้า 25 โวลต์ มีประสิทธิภาพสูงสุด คือร้อยละ 13.42 เมื่อให้ศักย์ไฟฟ้ามากกว่า 25 โวลต์ ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งละลายน้ำจะเริ่มคงที่เนื่องจากผลทดสอบทางสถิติพบว่าค่าศักย์ไฟฟ้า 25, 30, และ 35 โวลต์ ให้ค่าเฉลี่ยร้อยละการกำจัดของแข็งละลายน้ำ ไม่แตกต่าง

(1.4) ผลของค่าศักย์ไฟฟ้าต่อประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น

ผลการทดสอบด้วยค่าสถิติ F-test โดยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่า มีค่าศักย์ไฟฟ้าอย่างน้อย 2 ค่าที่ทำให้ค่าเฉลี่ยร้อยละของการกำจัดความขุ่นต่างกัน และทดสอบต่อเนื่องด้วยการจับคู่พหุคูณแบบเชฟเฟ ได้ผลแสดงในตารางผนวกที่ 21ค ส่วนใหญ่ พบว่า ค่าศักย์ไฟฟ้าที่ต่างกัน ทำให้ทำให้ค่าเฉลี่ยร้อยละของการกำจัดความขุ่นต่างกัน ยกเว้น ศักย์ไฟฟ้า 30 โวลต์ ให้ค่าเฉลี่ยการกำจัดความขุ่นไม่แตกต่างจากการให้ศักย์ไฟฟ้า 35 โวลต์

ผลการทดลองสรุปว่าการใช้ขั้วไฟฟ้าเหล็ก ในการบำบัดน้ำเสียสีเบสิก ศักย์ไฟฟ้ามีผลต่อค่าเฉลี่ยร้อยละการกำจัดความขุ่นอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) โดยค่าศักย์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งละลายน้ำมากขึ้น ที่ศักย์ไฟฟ้า 25 โวลต์ มีประสิทธิภาพสูงสุด คือร้อยละ 20.61 เมื่อให้ศักย์ไฟฟ้ามากกว่า 25 โวลต์ ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งละลายน้ำจะลดลง

(2) ผลของระยะเวลาสัมผัส

นำน้ำเสียจากการย้อมเส้นด้ายอะคริลิกด้วยสีเบสิกปริมาตร 4 ลิตร บำบัดด้วยวิธีไฟฟ้าเคมี โดยใช้เหล็กเป็นขั้วไฟฟ้า ให้ศักย์ไฟฟ้าแก่น้ำในปริมาณ 25 โวลต์ เนื่องจากมีประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งละลายน้ำ และความขุ่นได้สูงที่สุด แปรผันระยะเวลาสัมผัส 30, 60, 90, 120, 150, และ 180 นาที ตามลำดับ เก็บตัวอย่าง มาวัดค่าการดูดกลืนแสง ค่าพีเอช ค่าความนำไฟฟ้า ค่าความขุ่น ทดลองซ้ำ 3 ครั้ง ได้ผลแสดงในตารางผนวกที่ 4ข -7ข

นำค่าการดูดกลืนแสงของน้ำ ค่าพีเอช ค่าความนำไฟฟ้า และค่าความขุ่น มาวิเคราะห์ร้อยละการกำจัดร้อยละการเปลี่ยนแปลงพีเอช ร้อยละการกำจัดของแข็งละลายน้ำ และร้อยละการกำจัดความขุ่น ได้ผลแสดงในตารางที่ 4.1.15

ตารางที่ 4.1.15 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากการย้อมเส้นด้ายอะคริลิกด้วยสีเบสิกโดยใช้ขั้วไฟฟ้าเหล็ก
ค่าศักย์ไฟฟ้า 25 โวลต์ ที่ระยะเวลาสัมผัสต่างกัน

ครั้งที่ ทดลอง	ศักย์ไฟฟ้า (volt)	การกำจัดสี (%)	การเปลี่ยนแปลง พีเอช (%)	การกำจัดของแข็ง ละลายน้ำ (%)	การกำจัดความขุ่น (%)
1	30	-12.10	-8.92	-4.78	1.41
2	30	-7.81	-9.97	-2.22	1.31
3	30	-12.77	-9.73	-3.63	1.62
1	60	-3.20	-12.01	-2.99	4.22
2	60	0.31	-11.50	-2.56	5.40
3	60	-2.48	-10.77	-2.53	5.73
1	90	57.30	-14.44	-0.30	5.31
2	90	58.75	-16.41	-6.66	5.84
3	90	59.22	-16.81	-4.74	5.58
1	120	68.33	-14.24	1.35	19.06
2	120	71.56	-20.09	1.19	20.44
3	120	69.86	-18.88	1.58	18.94
1	150	75.09	-29.50	2.99	19.06
2	150	75.00	-28.99	4.10	20.73
3	150	74.11	-25.96	3.32	22.47
1	180	81.85	-58.66	14.80	17.19
2	180	90.94	-47.24	12.97	22.04
3	180	84.04	-29.79	12.48	22.61

ข้อมูลจากตารางที่ 4.1.15 นำมาวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว เพื่อทดสอบว่าการบำบัดน้ำเสีย
สีเบสิก โดยใช้ขั้วไฟฟ้าเหล็ก ระยะเวลาสัมผัสต่างกัน ทำให้ค่าเฉลี่ยร้อยละของการกำจัดสี ค่าเฉลี่ยร้อยละ
การเปลี่ยนแปลงพีเอช ค่าเฉลี่ยร้อยละการกำจัดของแข็งละลายน้ำ และค่าเฉลี่ยร้อยละการกำจัดความขุ่น ต่างกัน
หรือไม่ ได้ผลแสดงในตารางที่ 4.1.16

ตารางที่ 4.1.16 การทดสอบค่าเฉลี่ยร้อยละของการกำจัดสี การเปลี่ยนแปลงพีเอช การกำจัดของแข็งละลายน้ำ และการกำจัดความขุ่น ในการบำบัดน้ำเสียสีเบสิกโดยใช้ไฟฟ้าเหล็ก ค่าศักย์ไฟฟ้า 25 โวลต์ ที่ระยะเวลาต่างกัน

เวลา (min)	N	ร้อยละ การกำจัดสี			ร้อยละการเปลี่ยนแปลง พีเอช			ร้อยละการกำจัดของแข็ง ละลายน้ำ			ร้อยละการกำจัดความขุ่น		
		Mean	SD.	F	Mean	SD.	F	Mean	SD.	F	Mean	SD.	F
30	3	-10.89	2.69	838.75*	-9.54	0.55	14.24*	-3.54	1.28	55.216*	1.45	0.16	110.91*
60	3	-1.79	1.85		-11.43	0.62		-2.69	0.26		5.12	0.79	
90	3	58.42	1.00		-15.88	1.29		-3.90	3.26		5.58	0.27	
120	3	69.92	1.62		-17.74	3.09		1.37	0.20		19.48	0.83	
150	3	74.73	0.54		-28.15	1.91		3.47	0.57		20.75	1.71	
180	3	85.61	4.74		-45.23	14.53		13.42	1.22		20.61	2.98	

*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ($P < 0.05$)

(2.1) ผลของระยะเวลาสัมผัสต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีเบสิก

ผลการทดสอบด้วยค่าสถิติ F-test โดยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่า มีช่วงระยะเวลาสัมผัสอย่างน้อย 2 ค่า ที่ค่าเฉลี่ยการกำจัดสีของน้ำต่างกัน และเมื่อทดสอบต่อเนื่องด้วยการจับคู่พหุคูณแบบทามเฮน ได้ผลแสดงในตารางผนวกที่ 22ค ส่วนใหญ่ พบว่าระยะเวลาสัมผัสต่างกัน มีค่าเฉลี่ยร้อยละการกำจัดสีต่างกัน ยกเว้นระยะเวลาสัมผัส 120, 150 และ 180 นาที ให้ค่าเฉลี่ยร้อยละการกำจัดสีไม่แตกต่างกัน

ผลการทดลองสรุปว่าการใช้ไฟฟ้าเหล็ก ในการบำบัดน้ำเสียสีเบสิก ระยะเวลาสัมผัสมีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดสี อย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) โดยระยะเวลาสัมผัสเพิ่มขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดสีมากขึ้น ที่เวลา 180 นาที มีประสิทธิภาพสูงสุด คือร้อยละ 85.61 อย่างไรก็ตามสามารถสรุปได้ว่า เมื่อเพิ่มระยะเวลาสัมผัสจนถึงระดับหนึ่ง ประสิทธิภาพในการกำจัดสีจะเริ่มคงที่ เนื่องจากผลการทดสอบด้วยค่าสถิติ F-test พบว่า ที่ระยะเวลาสัมผัส 120, 150 และ 180 นาที ให้ค่าเฉลี่ยร้อยละการกำจัดสีไม่แตกต่างกัน

(2.2) ผลของระยะเวลาสัมผัสต่อค่าพีเอชของน้ำ

ผลการทดสอบด้วยค่าสถิติ F-test โดยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่า มีระยะเวลาสัมผัสอย่างน้อย 2 ค่าที่ทำให้ค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงพีเอชในน้ำต่างกัน และเมื่อทดสอบต่อเนื่องด้วยการจับคู่พหุคูณแบบทามเฮน ได้ผลแสดงในตารางผนวกที่ 23ค พบว่า

- ระยะเวลาสัมผัส 30, 60, และ 90 นาทีให้ค่าเฉลี่ยร้อยละการเปลี่ยนแปลงพีเอชในน้ำแตกต่างจากที่ระยะเวลาสัมผัส 150 นาที
- ระยะเวลาสัมผัส 120, 150, และ 180 นาทีให้ค่าเฉลี่ยร้อยละการเปลี่ยนแปลงพีเอชในน้ำไม่แตกต่าง

ผลการทดลองสรุปว่าการใช้ไฟฟ้าเหล็ก ในการบำบัดน้ำเสียสีเบสิก ระยะเวลาสัมผัสมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงพีเอชของน้ำเสีย อย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) โดยระยะเวลาสัมผัสเพิ่มขึ้น ทำให้พีเอชของน้ำเสียเพิ่ม

มากขึ้น ที่เวลา 150 นาที มีค่าเฉลี่ยร้อยละการเปลี่ยนแปลงพีเอชของน้ำเสียสูงสุด คือร้อยละ 30.67 อย่างไรก็ตามสามารถสรุปได้ว่า เมื่อเพิ่มระยะเวลาสัมผัสนานขึ้นถึงระดับหนึ่ง การเปลี่ยนแปลงพีเอชจะเริ่มคงที่ เนื่องจากผลการทดสอบด้วยค่าสถิติ F-test พบว่า ระยะเวลาสัมผัส 120, 150 และ 180 นาที ให้ค่าเฉลี่ยร้อยละการเปลี่ยนแปลงพีเอชของน้ำไม่แตกต่างกัน

(2.3) ผลของระยะเวลาสัมผัสต่อประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งละลายน้ำ

ผลการทดสอบด้วยค่าสถิติ F-test โดยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่า มีระยะเวลาสัมผัสอย่างน้อย 2 ค่าที่ทำให้ค่าเฉลี่ยการกำจัดของแข็งละลายน้ำต่างกัน และเมื่อทดสอบต่อเนื่องการจับคู่พหุคูณแบบทามเฮน ได้ผลแสดงในตารางผนวก ที่ 24ค พบว่า

- ระยะเวลาสัมผัส 60 นาที ให้ค่าเฉลี่ยการกำจัดของแข็งละลายน้ำ แตกต่างจากระยะเวลาสัมผัส 120, 150, และ 180 นาที

ผลการทดลองสรุปว่าการใช้ขั้วไฟฟ้าเหล็ก ในการบำบัดน้ำเสียสีเบสิก ระยะเวลาสัมผัสมีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งละลายน้ำ อย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) โดยระยะเวลาสัมผัสเพิ่มขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดมากขึ้น ที่ระยะเวลาสัมผัส 180 นาที มีประสิทธิภาพสูงสุด คือร้อยละ 13.22

(2.4) ผลของระยะเวลาสัมผัสต่อประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น

ผลการทดสอบด้วยค่าสถิติ F-test โดยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่า มีระยะเวลาสัมผัสอย่างน้อย 2 ค่า ที่ทำให้ค่าเฉลี่ยการกำจัดความขุ่นในน้ำต่างกัน และเมื่อทดสอบต่อเนื่องด้วยการจับคู่พหุคูณแบบทามเฮน ได้ผลแสดงในตารางผนวกที่ 25ค พบว่า

- ระยะเวลาสัมผัส 30 นาที มีค่าเฉลี่ยการกำจัดความขุ่นแตกต่าง จากระยะเวลาสัมผัส 90, 120 และ 150 นาที
- ระยะเวลาสัมผัส 60 นาที มีค่าเฉลี่ยการกำจัดความขุ่นแตกต่าง จากระยะเวลาสัมผัส 120 และ 150 นาที
- ระยะเวลาสัมผัส 180 นาที มีค่าเฉลี่ยการกำจัดความขุ่นไม่แตกต่าง จากระยะเวลาสัมผัส 30, 60, 90 และ 120 นาที

ผลการทดลองสรุปว่าการใช้ขั้วไฟฟ้าเหล็ก ในการบำบัดน้ำเสียสีเบสิก ระยะเวลาสัมผัสมีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น อย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) โดยระยะเวลาสัมผัสเพิ่มขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นมากขึ้น ที่ระยะเวลาสัมผัส 150 นาที มีประสิทธิภาพสูงสุด คือร้อยละ 20.75 และที่ระยะเวลาสัมผัสมากกว่า 150 นาที ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นเริ่มลดลง เนื่องจากผลทดสอบทางสถิติพบว่าเมื่อให้ระยะเวลาสัมผัส 180 นาที มีค่าเฉลี่ยการกำจัดความขุ่นไม่แตกต่าง จากที่ระยะเวลาสัมผัส 30, 60, 90 และ 120 นาที

(3) ผลการเพิ่มขนาดของขั้วไฟฟ้า

นำน้ำเสียจากการย้อมเส้นด้ายอะคริลิกด้วยสีเบสิก ปริมาตร 4 ลิตร บำบัดด้วยวิธีไฟฟ้าเคมี ให้ค่าศักย์ไฟฟ้า 25 โวลต์ ระยะเวลาสัมผัส 120 นาที แปรผันขนาดของขั้วไฟฟ้าเหล็ก 2 ขนาด ดังนี้ 3x12.5x0.6 เซนติเมตร และ 6x12.5x0.6 เซนติเมตร เก็บตัวอย่าง วัดค่าการดูดกลืนแสง ค่าพีเอช ค่าความนำไฟฟ้า ค่าความขุ่น ทดลองซ้ำ 3 ครั้ง ได้ผลแสดงในตารางผนวกที่ 4ข - 7ข.

นำค่าการดูดกลืนแสงของน้ำ ค่าพีเอช ค่าความนำไฟฟ้า และค่าความขุ่น มาวิเคราะห์ร้อยละการกำจัดสี ร้อยละการเปลี่ยนแปลงพีเอช ร้อยละการกำจัดของแข็งละลายน้ำ และร้อยละการกำจัดความขุ่น ได้ผลแสดงในตารางที่ 4.1.17

ตารางที่ 4.1.17 ประสิทธิภาพของการบำบัดน้ำเสียสีเบสิก โดยใช้ขั้วไฟฟ้าเหล็กที่มีขนาดต่างกัน ค่าศักย์ไฟฟ้า 25 โวลต์ ระยะเวลาสัมผัส 120 นาที เพิ่มขึ้น 2 เท่า

ครั้งที่ ทดลอง	ขนาดขั้วไฟฟ้า (cm)	การกำจัดสี (%)	การเปลี่ยนแปลง พีเอชของน้ำเสีย (%)	การลดลงของ ปริมาณของแข็ง ละลายน้ำ (%)	การลดลงของ ปริมาณความขุ่น (%)
1	3x12.5	68.33	-14.24	1.364	19.06
2	3x12.5	71.56	-20.09	1.209	20.44
3	3x12.5	69.86	-18.88	1.605	18.94
1	6x12.5	13.52	-4.63	2.294	2.03
2	6x12.5	27.81	-3.37	-13.442	5.84
3	6x12.5	17.73	-3.24	-6.912	5.43

ข้อมูลจากตารางที่ 4.1.17 นำมาวิเคราะห์ค่าสถิติ t test เพื่อทดสอบว่าขนาดของขั้วไฟฟ้าต่างกัน ทำให้ค่าเฉลี่ยร้อยละของการกำจัดสีของน้ำ ค่าเฉลี่ยร้อยละการเปลี่ยนแปลงพีเอชของน้ำ และ ค่าเฉลี่ยร้อยละของการลดปริมาณของแข็งละลายน้ำต่างกันหรือไม่ ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.1.18

ตารางที่ 4.1.18 การทดสอบค่าเฉลี่ยร้อยละของการกำจัดสีของน้ำ การเปลี่ยนแปลงพีเอช การกำจัดของแข็งละลายน้ำและการกำจัดความขุ่น ด้วยศักย์ไฟฟ้า 25 โวลต์ ระยะเวลาสัมผัส 120 นาที โดยใช้ขนาดขั้วไฟฟ้าต่างกัน

ขนาด (cm)	N	ร้อยละ การกำจัดสี			ร้อยละ การเปลี่ยนแปลงพีเอช			ร้อยละการกำจัด ของแข็งละลายน้ำ			ร้อยละการกำจัดความขุ่น		
		Mean	SD.	t	Mean	SD.	t	Mean	SD.	t	Mean	SD.	t
3x12.5x0.6	3	69.92	1.62	11.57*	-17.74	3.09	-7.61*	1.39	0.20	1.62	19.48	0.83	11.58*
6x12.5x0.6	3	19.69	7.34		-3.75	0.77		-6.02	7.91		4.43	2.01	

*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ($P < 0.05$)

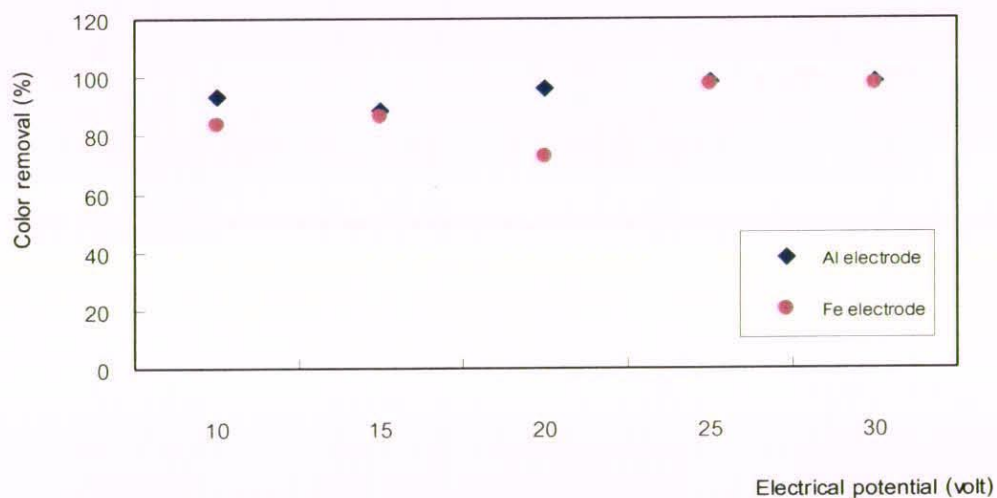
ผลการทดสอบค่าสถิติ (t test) แบบ 2 กลุ่มตัวอย่างที่เป็นอิสระต่อกัน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่า เมื่อใช้ขั้วไฟฟ้าที่มีขนาดต่างกัน ทำให้ค่าเฉลี่ยร้อยละการกำจัดสี การเปลี่ยนแปลงพีเอช และการกำจัดความขุ่น แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ยกเว้นการกำจัดของแข็งละลายน้ำไม่แตกต่างกัน โดยในกรณีของการใช้ขั้วไฟฟ้า เหล็ก บำบัดน้ำเสียสีเบสิก พบว่า ที่ค่าศักย์ไฟฟ้าและระยะเวลาสัมผัสเท่ากัน เมื่อเพิ่มขนาดพื้นที่ผิวของขั้วไฟฟ้า มากขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดสี การกำจัดของแข็งละลายน้ำ และการกำจัดความขุ่นลดลง

4.2 ผลการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการฟอกย้อมด้วยวิธีไฟฟ้าเคมี

4.2.1 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียสีรีแอคทีฟด้วยวิธีไฟฟ้าเคมี

(1) ประสิทธิภาพการกำจัดสีรีแอคทีฟ

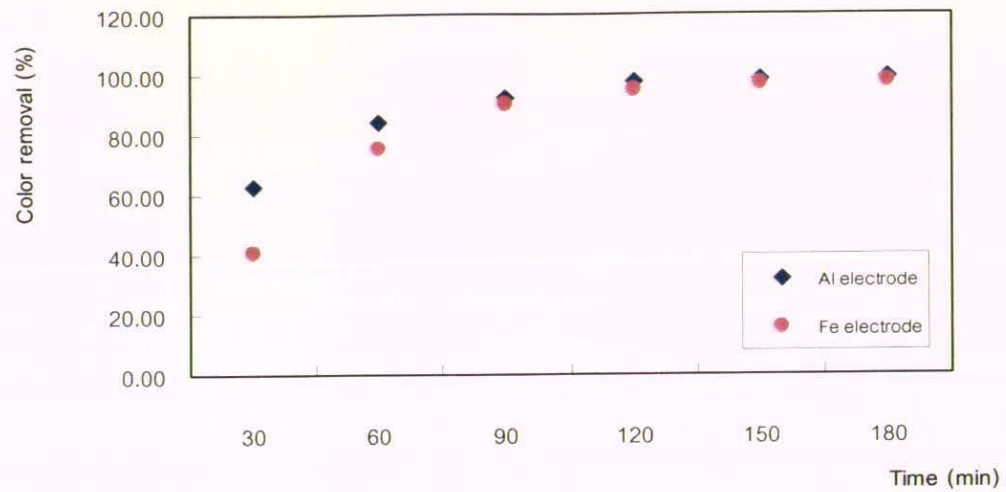
นำน้ำเสียสีรีแอคทีฟบำบัดด้วยวิธีไฟฟ้าเคมี โดยแปรผันค่าศักย์ไฟฟ้า และชนิดของขั้วไฟฟ้า โดยให้ ระยะเวลาสัมผัส 180 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงก่อนและหลังการทดลอง ได้ผลการทดลองแสดงในรูปที่ 4.2.1



รูปที่ 4.2.1 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดสีรีแอคทีฟระหว่างขั้วไฟฟ้าอะลูมิเนียม กับขั้วไฟฟ้าเหล็ก ที่ ระยะเวลาสัมผัสเท่ากัน ค่าศักย์ไฟฟ้าต่างกัน

ผลการทดลองจาก รูปที่ 4.2.1 แสดงว่าการบำบัดน้ำเสียสีรีแอคทีฟ สีน้าเงินด้วยระบบไฟฟ้าเคมี สามารถ กำจัดสีรีแอคทีฟ ขั้วไฟฟ้าอะลูมิเนียม จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีรีแอคทีฟ ได้ดีกว่าขั้วไฟฟ้าเหล็ก ในทุกค่า ความต่างศักย์ พบว่าที่ค่าศักย์ไฟฟ้า 30 โวลต์ มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีมากที่สุด โดยขั้วอะลูมิเนียมมี ประสิทธิภาพการกำจัดสี ร้อยละ 98.38 ส่วนขั้วเหล็กมีประสิทธิภาพกำจัดสีร้อยละ 96.05

และเมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการกำจัดสีของขั้วไฟฟ้า ที่ความต่างศักย์เท่ากันคือ 30 โวลต์ ในแต่ละ ช่วงเวลาสัมผัส ได้ผลการทดลองแสดงในรูปที่ 4.2.2-4.2.4



รูปที่ 4.2.2 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดสีรีแอคทีฟระหว่างขั้วไฟฟ้าอะลูมิเนียม กับขั้วไฟฟ้าเหล็ก ที่ค่าศักย์ไฟฟ้า 30 โวลต์ ระยะเวลาสัมผัสต่างกัน



รูปที่ 4.2.3 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียสีรีแอคทีฟด้วยขั้วไฟฟ้าอะลูมิเนียม 30 โวลต์ ระยะเวลาสัมผัสต่างกัน

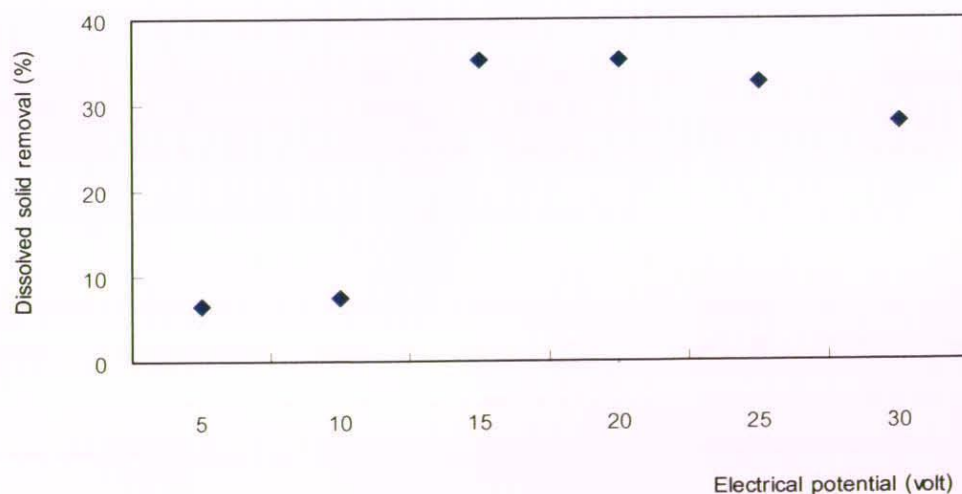


รูปที่ 4.2.4 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียสีรีแอคทีฟด้วยขั้วไฟฟ้าเหล็ก 30 โวลต์ ที่ระยะเวลาสัมผัสต่างกัน

ผลการทดลองจากรูปที่ 4.2.2 - 4.2.4 พบว่าเมื่อให้ค่าศักย์ไฟฟ้าเท่ากัน ขั้วไฟฟ้าอะลูมิเนียมมีประสิทธิภาพการกำจัดสีรีแอคทีฟ ดีกว่าขั้วไฟฟ้าเหล็ก ในทุกช่วงระยะเวลาสัมผัส

(2) ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งละลายน้ำ

นำน้ำเสียสีรีแอคทีฟบำบัดโดยวิธีไฟฟ้าเคมี ด้วยขั้วไฟฟ้าอะลูมิเนียม แปรผันค่าศักย์ไฟฟ้า ระยะเวลาสัมผัส 180 นาที วัดค่าความนำไฟฟ้าก่อนและหลังการทดลอง ได้ผลการทดลองแสดงในรูปที่ 4.2.5



รูปที่ 4.2.5 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งละลายน้ำในน้ำเสียสีรีแอคทีฟ ด้วยขั้วไฟฟ้าอะลูมิเนียม ที่ระยะเวลาสัมผัสเท่ากัน ค่าศักย์ไฟฟ้าต่างกัน

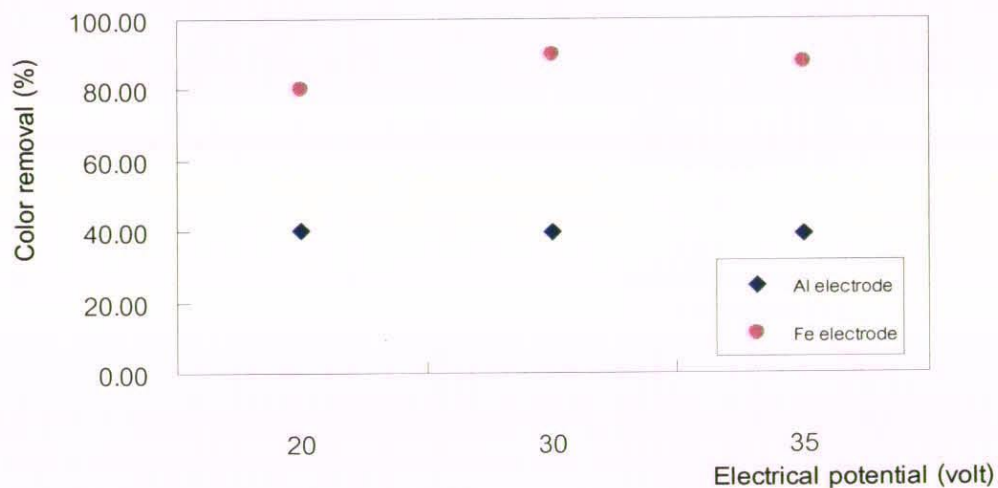
ผลการทดลองจาก รูปที่ 4.2.5 แสดงว่าการบำบัดน้ำเสียสีแสดที่ฟ โดยระบบไฟฟ้าเคมี ด้วยขั้วไฟฟ้า อะลูมิเนียม สามารถกำจัดของแข็งละลายน้ำได้ ที่ค่าศักย์ไฟฟ้า 20 โวลต์ มีประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งละลายน้ำได้สูงที่สุด คือ ร้อยละ 35.18 และเมื่อให้ค่าศักย์ไฟฟ้ามากกว่า 20 โวลต์ประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งละลายน้ำลดลง

ดังนั้นในการนำระบบไฟฟ้าเคมีไปประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำเสียสีแสดที่ฟ ภาวะที่เหมาะสมคือใช้ ขั้วไฟฟ้าอะลูมิเนียม ให้ค่าศักย์ไฟฟ้า 20 โวลต์ นาน 180 นาที จะให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสี ร้อยละ 96.05 ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งละลายน้ำร้อยละ 35.18

4.2.2 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียสีเบสิกด้วยวิธีไฟฟ้าเคมี

(1) ประสิทธิภาพการกำจัดสี

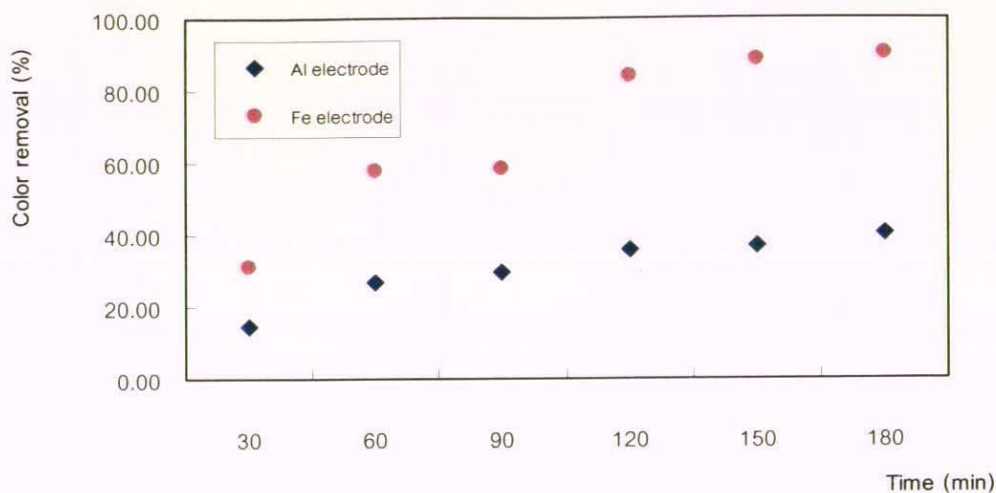
นำน้ำเสียสีเบสิكبำบัดด้วยวิธีไฟฟ้าเคมี โดยแปรผันค่าศักย์ไฟฟ้า และชนิดของขั้วไฟฟ้า ระยะเวลา สัมผัส 180 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงก่อนและหลังการทดลอง ได้ผลการทดลองแสดงในรูปที่ 4.2.6



รูปที่ 4.2.6 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดสีเบสิกระหว่างขั้วไฟฟ้าอะลูมิเนียม กับขั้วไฟฟ้าเหล็ก ที่ ระยะเวลาสัมผัสเท่ากัน

ผลการทดลองจาก รูปที่ 4.2.6 แสดงว่าการบำบัดน้ำเสียสีเบสิก ด้วยระบบไฟฟ้าเคมี สามารถกำจัดสี เบสิก โดยขั้วไฟฟ้าเหล็ก จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีเบสิก ได้ดีกว่าขั้วไฟฟ้าอะลูมิเนียม ในทุกค่าความต่าง ศักย์ พบว่าที่ค่าศักย์ไฟฟ้า 30 โวลต์ ขั้วไฟฟ้าเหล็กมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีมากที่สุด คือร้อยละ 90.08 ส่วน ขั้วอะลูมิเนียม มีประสิทธิภาพกำจัดสีได้ดีที่ 20 โวลต์ โดยมีประสิทธิภาพร้อยละ 40.40

และเมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการกำจัดสีของขั้วไฟฟ้า ที่ความต่างศักย์เท่ากันคือ 30 โวลต์ ระยะเวลา สัมผัสต่างกัน ได้ผลการทดลองแสดงในรูปที่ 4.2.7

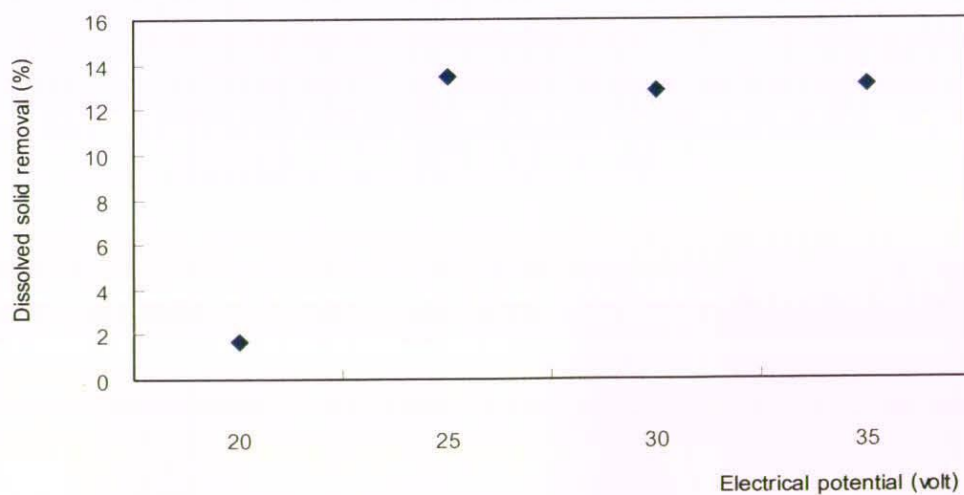


รูปที่ 4.2.7 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดสีเบสิกระหว่างขั้วไฟฟ้าอะลูมิเนียม กับขั้วไฟฟ้าเหล็ก ที่ค่าศักย์ไฟฟ้า 30 โวลต์ ระยะเวลาสัมผัสต่างกัน

ผลการทดลองจากรูปที่ 4.2.7 พบว่าที่ค่าศักย์ไฟฟ้าเท่ากัน ขั้วไฟฟ้าเหล็ก มีประสิทธิภาพการกำจัดสีเบสิก ดีกว่าขั้วไฟฟ้าอะลูมิเนียม ในทุกช่วงระยะเวลาการสัมผัสที่ต่างกัน

(2) ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งละลายน้ำ

นำน้ำเสียสีเบสิกบำบัดโดยวิธีไฟฟ้าเคมี ด้วยขั้วไฟฟ้าเหล็ก แปรผันค่าศักย์ไฟฟ้า ให้ไฟฟ้าเป็นระยะเวลา 180 นาที วัดค่าความนำไฟฟ้าก่อนและหลังการทดลอง ได้ผลการทดลองแสดงในรูปที่ 4.2.8

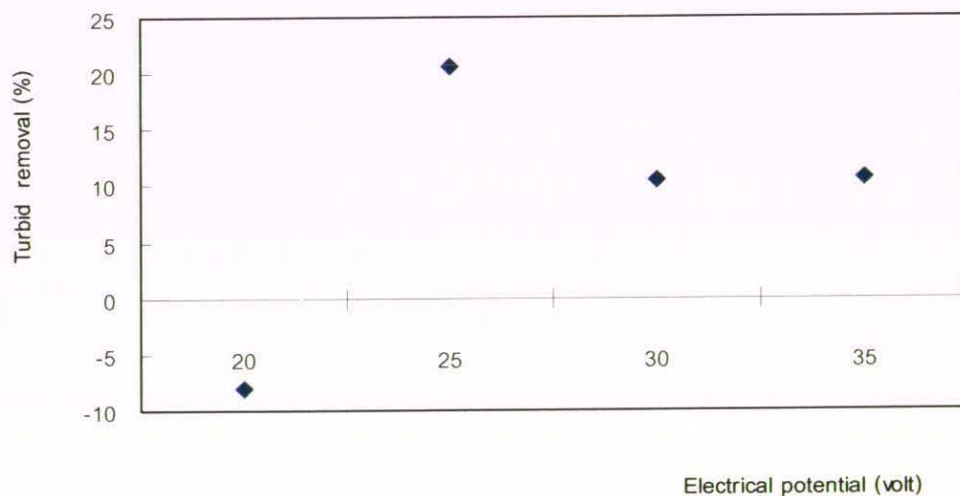


รูปที่ 4.2.8 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งละลายน้ำในน้ำเสียสีเบสิกด้วย ขั้วไฟฟ้าเหล็ก ที่ระยะเวลาสัมผัสเท่ากัน ค่าศักย์ไฟฟ้าต่างกัน

ผลการทดลองจาก รูปที่ 4.2.8 แสดงว่าการบำบัดน้ำเสียสีเบสิก โดยระบบไฟฟ้าเคมี ด้วยขั้วไฟฟ้าเหล็ก สามารถกำจัดของแข็งละลายน้ำได้ ที่ค่าศักย์ไฟฟ้า 25 โวลต์ มีประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งละลายน้ำได้สูงที่สุด คือ ร้อยละ 13.42 และเมื่อให้ค่าศักย์ไฟฟ้ามากกว่า 25 โวลต์ประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งละลายน้ำลดลง

(3) ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น

นำน้ำเสียสีเบสิกบำบัดโดยวิธีไฟฟ้าเคมี ด้วยขั้วไฟฟ้าเหล็ก แปรผันค่าศักย์ไฟฟ้า เป็นระยะเวลาสัมผัส 180 นาที วัดค่าความขุ่นก่อนและหลังการทดลอง ได้ผลการทดลองแสดงในรูปที่ 4.2.9



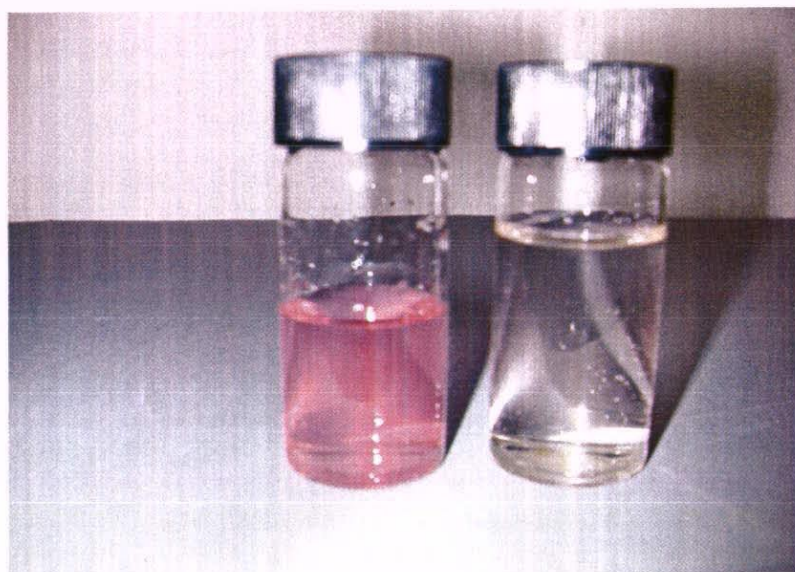
รูปที่ 4.2.9 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นในน้ำเสียสีเบสิกด้วย ขั้วไฟฟ้าเหล็ก ระยะเวลาสัมผัส เท่ากัน ค่าศักย์ไฟฟ้าต่างกัน

ผลการทดลองจาก รูปที่ 4.2.9 แสดงว่าการบำบัดน้ำเสียสีเบสิก โดยระบบไฟฟ้าเคมี ด้วยขั้วไฟฟ้าเหล็ก สามารถกำจัดความขุ่นได้ ที่ค่าศักย์ไฟฟ้า 25 โวลต์ มีประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งละลายน้ำได้สูงที่สุด คือ ร้อยละ 20.61 และเมื่อให้ค่าศักย์ไฟฟ้ามากกว่า 25 โวลต์ประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งละลายน้ำลดลง

ดังนั้นในการนำระบบไฟฟ้าเคมีไปประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำเสียสีเบสิก ภาวะที่เหมาะสมคือใช้ขั้วไฟฟ้าเหล็ก ให้ค่าศักย์ไฟฟ้า 25 โวลต์ ระยะเวลาสัมผัส 180 นาที จะให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสี ร้อยละ 85.61 ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งละลายน้ำร้อยละ 30.67 และประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นร้อยละ 20.61 และเมื่อเปรียบเทียบคุณภาพน้ำที่บำบัดโดยใช้การตกตะกอนด้วยไฟฟ้าเคมีจากการทดลอง และคุณภาพน้ำที่บำบัดของโรงงาน ได้ผลการเปรียบเทียบดังแสดงในตารางที่ 4.2.1 และรูปที่ 4.2.10 – 4.2.11

ตารางที่ 4.2.1 เปรียบเทียบคุณภาพน้ำหลังการบำบัดด้วยระบบไฟฟ้าเคมี และระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงาน

ประเภทของ ระบบบำบัด	ค่าพีเอช		ประสิทธิภาพการกำจัด (%)				
	ก่อน บำบัด	หลัง บำบัด	สี	ของแข็ง ละลายน้ำ	ของแข็ง แขวนลอย	ความขุ่น	ซีไอดี
ระบบไฟฟ้าเคมี	6.70	9.22	85.61	30.67	66.67	20.61	79.51
ระบบของโรงงาน	6.70	7.97	69.39	-20.45	61.27	20.08	77.88



รูปที่ 4.2.10 น้ำเสียเบสิก ก่อนและหลังการบำบัดโดยไฟฟ้าเคมี ด้วยขั้วไฟฟ้าเหล็ก



รูปที่ 4.2.11 น้ำเสียก่อนและหลังการบำบัดโดยโรงงาน

ผลการเปรียบเทียบคุณภาพน้ำหลังการบำบัดด้วยระบบไฟฟ้าเคมี กับคุณภาพน้ำที่บำบัดด้วยระบบน้ำเสียของโรงงาน ดังแสดงตารางที่ 4.2.1 และรูปที่ 4.2.10 – 4.2.11 พบว่าการใช้ระบบไฟฟ้าเคมี มีประสิทธิภาพ

ในการกำจัดสี ของแข็งละลายน้ำ ของแข็งแขวนลอย ความขุ่น และซีโอดี ดีกว่าคุณภาพน้ำที่บำบัดด้วยระบบบำบัดของโรงงาน ยกเว้นค่าฟิเอชที่มีค่าสูงขึ้น หลังจากการบำบัดด้วยระบบไฟฟ้าเคมี

4.3 ผลการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยกระบวนการไฟฟ้าเคมีกลับมาใช้ซ้ำในกระบวนการ

นำค่าเฉลี่ยคุณภาพหลังการบำบัดโดยระบบไฟฟ้าเคมี ด้วยขั้วไฟฟ้าเหล็ก ค่าศักย์ไฟฟ้า 25 โวลต์ ระยะเวลาสัมผัส 180 นาที ค่าเฉลี่ยคุณภาพน้ำใช้ของโรงงาน วิเคราะห์ค่าสถิติ (t test) เพื่อทดสอบว่า ค่าเฉลี่ยคุณภาพน้ำต่างกันหรือไม่ ได้ผลทดสอบดังแสดงในตารางที่ 4.3.1

ตารางที่ 4.3.1 การทดสอบค่าเฉลี่ยคุณภาพน้ำใช้ของโรงงาน และน้ำหลังการบำบัดด้วยไฟฟ้าเคมี

ดัชนีคุณภาพน้ำ	ประเภทของน้ำ	mean	SD	t
สี	น้ำใช้ของโรงงาน	0.004	0.001	-5.715*
	น้ำหลังการบำบัดด้วยไฟฟ้าเคมี	0.042	0.011	
ฟิเอช	น้ำใช้ของโรงงาน	7.63	0.28	-5.657*
	น้ำหลังการบำบัดด้วยไฟฟ้าเคมี	9.22	0.40	
ความนำไฟฟ้า	น้ำใช้ของโรงงาน	452.00	6.93	-5.042*
	น้ำหลังการบำบัดด้วยไฟฟ้าเคมี	544.67	31.07	
ความขุ่น	น้ำใช้ของโรงงาน	0.29	0.06	-118.453*
	น้ำหลังการบำบัดด้วยไฟฟ้าเคมี	5.30	0.04	
ของแข็งแขวนลอย	น้ำใช้ของโรงงาน	0.03	0.02	-13.653*
	น้ำหลังการบำบัดด้วยไฟฟ้าเคมี	0.68	0.08	
ความกระด้าง	น้ำใช้ของโรงงาน	82.48	2.00	0.00
	น้ำหลังการบำบัดด้วยไฟฟ้าเคมี	82.48	2.00	

*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ($P < 0.05$)



รูปที่ 4.3.1 น้ำใช้ของโรงงาน และน้ำหลังการบำบัดด้วยไฟฟ้าเคมี ด้วยขั้วไฟฟ้าเหล็ก

ผลการทดสอบความแตกต่างของคุณภาพน้ำใช้ของโรงงาน และน้ำหลังการบำบัดด้วยระบบไฟฟ้าเคมี ด้วยค่าสถิติ โดยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่าน้ำใช้ในกระบวนการผลิตของโรงงาน มีคุณภาพ ดีกว่าน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดด้วยวิธีไฟฟ้าเคมี ในทุกดัชนี ยกเว้นค่าความกระด้างของน้ำที่มีคุณภาพไม่แตกต่างกัน ดังนั้นน้ำที่ผ่านกระบวนการบำบัดด้วยวิธีไฟฟ้าเคมี ยังไม่สามารถนำไปใช้ซ้ำในกระบวนการผลิตได้ แต่อาจจะนำไปใช้ได้หากนำน้ำไปผ่านกระบวนการกรอง เพื่อกำจัดความขุ่น และปริมาณของแข็งแขวนลอย

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

5.1 ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีไฟฟ้าเคมี

การใช้ระบบไฟฟ้าเคมีในการบำบัดน้ำเสียจากการฟอกย้อม ด้วยขั้วไฟฟ้าอะลูมิเนียม และขั้วไฟฟ้าเหล็ก สามารถกำจัดสี ความขุ่น ของแข็งละลายน้ำ และค่าซีโอดีของน้ำเสียจากการฟอกย้อมได้ โดยอาศัยหลักการเดียวกับกระบวนการโคแอกกูเลชัน ในการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ แต่ใช้สารโคแอกกูแลนต์ในรูปไอออนของโลหะที่เกิดจากการละลายของโลหะออกจากขั้วไฟฟ้า ด้วยปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้าที่ขั้วบวก (anode) และมลสารต่างๆ ในน้ำถูกกำจัดได้ด้วยเกลือไฮดรอกไซด์ของโลหะที่ไม่ละลายน้ำที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาต่อเนื่องของไอออนโลหะในน้ำ และนอกจากนี้แก๊สไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นที่ขั้วลบ (cathode) จะช่วยทำให้คอลลอยด์ที่รวมตัวเป็นตะกอนลอยตัวขึ้น และสามารถกำจัดออกโดยการกวาดทิ้งจากผิวน้ำ โดยมีปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อกระบวนการไฟฟ้าเคมี ดังนี้

(1) ชนิดของขั้วไฟฟ้า

ขั้วไฟฟ้าต่างกันมีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสีต่างกัน

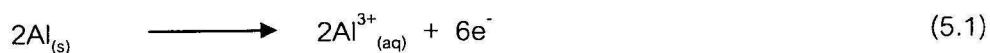
- การกำจัดสีรีแอคทีฟ ขั้วไฟฟ้าอะลูมิเนียมจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีสูงกว่าขั้วไฟฟ้าเหล็ก
- การกำจัดสีเบสิก ขั้วไฟฟ้าเหล็กมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีสูงกว่าขั้วไฟฟ้าอะลูมิเนียม

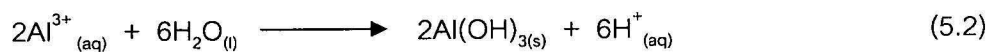
แสดงว่าลักษณะของน้ำเสียต่างกัน การใช้ขั้วไฟฟ้าในการบำบัดน้ำเสียต่างกัน สอดคล้องกับรายงานของ Kim, T.H., Park, C., and Shin, E.B. (2002) ซึ่งศึกษาการกำจัดสีดิสเพอร์ส และสีรีแอคทีฟด้วยกระบวนการไฟฟ้าเคมี รายงานว่ากระบวนการไฟฟ้าเคมีเป็นกระบวนการที่สามารถกำจัดสีได้อย่างมีประสิทธิภาพ และประสิทธิภาพในการบำบัดขึ้นกับชนิดของสีย้อม และรายงานของ Fatih, L., et al. (2007) ศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากน้ำชะขยะ โดยกระบวนการไฟฟ้าเคมีด้วยขั้วเหล็ก และขั้วอะลูมิเนียม ผลการศึกษาพบว่าชนิดของขั้วไฟฟ้ามีผลต่อประสิทธิภาพของระบบ โดยการบำบัดน้ำชะขยะ ขั้วไฟฟ้าอะลูมิเนียมมีประสิทธิภาพในการซีโอดี (ร้อยละ 56) สูงกว่าขั้วไฟฟ้าเหล็ก (ร้อยละ 35)

จากการที่ขั้วไฟฟ้าต่างกัน มีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียแต่ละชนิดแตกต่างกัน เนื่องจากกลไกในการเกิดปฏิกิริยาของขั้วไฟฟ้าต่างกัน โดย Biwyk, A. (1991) อธิบายกลไกของการเกิดปฏิกิริยาของระบบได้ดังนี้

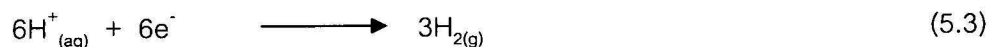
กรณีขั้วไฟฟ้าอะลูมิเนียม

ปฏิกิริยาที่ขั้วแอโนด

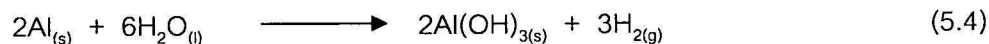




ปฏิกิริยาที่ขั้วแคโทด



ปฏิกิริยารวม



กรณีขั้วไฟฟ้าเหล็ก มี 2 กลไก ดังนี้

กลไกที่ 1

ปฏิกิริยาที่ขั้วแอโนด



ปฏิกิริยาที่ขั้วแคโทด

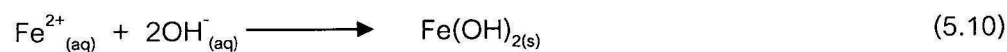
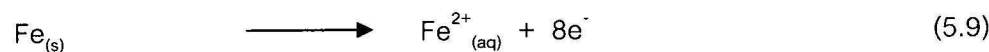


ปฏิกิริยารวม

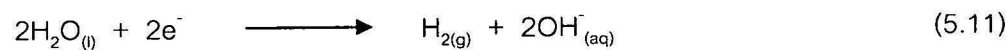


กลไกที่ 2

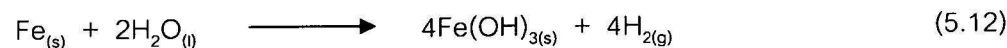
ปฏิกิริยาที่ขั้วแอโนด



ปฏิกิริยาที่ขั้วแคโทด



ปฏิกิริยารวม

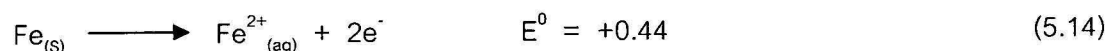
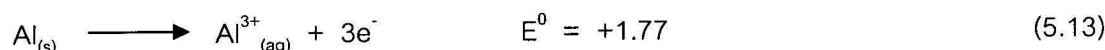


(2) ผลของค่าศักย์ไฟฟ้า

(2.1) ผลของค่าศักย์ไฟฟ้าต่อประสิทธิภาพการกำจัดสี

ค่าศักย์ไฟฟ้าไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีเบสิก กล่าวคือเมื่อเพิ่มค่าศักย์ไฟฟ้าให้กับน้ำเสีย ประสิทธิภาพในการกำจัดสีเบสิกจะใกล้เคียงกัน แต่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีรีแอคทีฟ อย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) โดยประสิทธิภาพในการกำจัดสีรีแอคทีฟเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มค่าศักย์ไฟฟ้า ค่าศักย์ไฟฟ้าเมื่อเพิ่มขึ้นจนถึงระดับหนึ่ง ประสิทธิภาพในการกำจัดสีรีแอคทีฟจะเริ่มคงที่

ในกรณีนี้อาจเป็นไปได้ว่ากลไกในการกำจัดสีเบสิก และสีรีแอคทีฟต่างกัน ซึ่งกลไกในการเกิดปฏิกิริยานอกจากการเกิดตะกอนของเหล็กไฮดรอกไซด์ และอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งทำหน้าที่เป็นสารกักการจับก่อน หรือเรียกว่าสารโคแอกกูแลนต์ (coagulant) อาจมีกลไกของการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันร่วมด้วย เนื่องจากเมื่อพิจารณาค่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ของขั้วไฟฟ้าเหล็ก และอะลูมิเนียม ดังแสดงในสมการที่ 5.13 – 5.14



โดยในการกำจัดสีเบสิก กลไกในการกำจัดสีเป็นกลไกของปฏิกิริยาออกซิเดชัน มากกว่ากลไกการตกตะกอนของสีด้วยสารโคแอกกูแลนต์ เนื่องจากสีเบสิกมีโครงสร้างสีเป็นประจุบวก จึงไม่น่าที่จะรวมตัวกับ Fe^{2+} และ Fe^{3+} เกิดเป็นตะกอนได้ และเนื่องจากเหล็กเป็นตัวออกซิไดส์ที่แรง จึงสามารถออกซิไดส์สีเบสิกได้ดี ดังนั้น ปริมาณของ Fe^{2+} และ Fe^{3+} ที่เพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มค่าศักย์ไฟฟ้าจึงไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดสี

ส่วนในกรณีของสีรีแอคทีฟ ซึ่งมีโครงสร้างสีเป็นประจุลบ ขั้วอะลูมิเนียมเมื่อให้กระแสไฟฟ้า จะให้อิเล็กตรอน 3 อิเล็กตรอน เกิดเป็น Al^{3+} เมื่ออยู่ในน้ำ Al^{3+} จะทำปฏิกิริยารวมตัวกับสีรีแอคทีฟ ซึ่งเป็นสารอินทรีย์เป็นสารประกอบเชิงซ้อน สารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดขึ้นไม่ละลายน้ำ จะลอยสู่น้ำเสียโดยการลอยตัว (flotation) เกิดจากการพองโดยฟองแก๊ส และบางส่วนจะจมลง (precipitation) การเพิ่มค่าศักย์ไฟฟ้า ทำให้ปริมาณของโลหะที่ขั้วไฟฟ้าหลุดออกมาเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดสารโคแอกกูแลนต์ กล่าวคือค่าศักย์ไฟฟ้าที่จ่ายให้กับระบบ เป็นตัวกำหนดปริมาณไอออน ของ Al^{3+} ที่ปล่อยออกจากขั้วไฟฟ้า เมื่อมีสารนี้ในระบบมากขึ้น ก็สามารถทำปฏิกิริยากับสีรีแอคทีฟมากขึ้น ในกรณีนี้สอดคล้องกับรายงานของ Kashefialasl, M., et al. (2006) ซึ่งรายงานว่าเมื่อเพิ่มความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าจาก 32 ถึง 127.8 A/m² ที่ระยะเวลาสัมผัส 6 นาที ประสิทธิภาพในการกำจัดสีมีค่าเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 21 เป็นร้อยละ 83.5 จากความเข้มข้นสีเริ่มต้น 50 mg/l

(2.2) ผลของค่าศักย์ไฟฟ้าต่อค่าพีเอช

ค่าศักย์ไฟฟ้ามีผลต่อ ค่าพีเอชของน้ำอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) โดยน้ำมีค่าพีเอชสูงขึ้นเมื่อเพิ่มค่าศักย์ไฟฟ้า เป็นผลจากการผ่านกระแสไฟฟ้าให้กับระบบ ทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีในการรับอิเล็กตรอนที่ขั้วแคโทด เนื่องจากการถ่ายเทอิเล็กตรอนของขั้วแคโทดอันเกิดจากการจ่ายกระแสไฟฟ้า กล่าวคือ เมื่อไฮโดรเจนไอออน และโมเลกุลของน้ำมารับอิเล็กตรอน จะทำให้เกิดแก๊สไฮโดรเจน และไฮดรอกไซด์ไอออน ดังแสดงในสมการที่ 5.15 – 5.16



จากสมการข้างต้น จะเห็นได้ว่าเมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้า และน้ำรับอิเล็กตรอนแล้ว จะเกิดไฮดรอกไซด์ไอออน ทำให้พีเอชของน้ำมีค่าเพิ่มขึ้น

(2.3) ผลของค่าศักย์ไฟฟ้า ต่อปริมาณของแข็งละลายน้ำ และความขุ่น

ค่าศักย์ไฟฟ้ามีผลต่อ ปริมาณของแข็งละลายน้ำ และค่าความขุ่นของน้ำ อย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) โดยประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งละลายน้ำ และความขุ่น เพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มค่าศักย์ไฟฟ้า ค่าศักย์ไฟฟ้าเมื่อเพิ่มจนถึงระดับหนึ่งประสิทธิภาพในการบำบัดจะคงที่และมีแนวโน้มลดลง

การที่ค่าศักย์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้น มีผลต่อประสิทธิภาพ การกำจัดของแข็งละลายน้ำ และการกำจัดความขุ่นเพิ่มขึ้น เนื่องจาก การเพิ่มค่าศักย์ไฟฟ้า ทำให้ปริมาณของโลหะที่ขั้วไฟฟ้าหลุดออกมามากขึ้น ทำให้เกิดสารโคแอกกูแลนต์มากขึ้น กล่าวคือค่าศักย์ไฟฟ้าที่จ่ายให้กับระบบ เป็นตัวกำหนดปริมาณไอออน ของ Al^{3+} และ Fe^{2+} ที่ปล่อยออกจากขั้วไฟฟ้า เมื่ออยู่ในน้ำจะอยู่ในรูปของอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ และเหล็กไฮดรอกไซด์ เมื่อมีสารนี้ในระบบมากขึ้น ก็สามารถทำปฏิกิริยากับสารละลายน้ำ และสารแขวนลอย จับตัวเป็นตะกอน

เมื่อเพิ่มค่าศักย์ไฟฟ้าให้กับระบบสูงเกินไปพบว่าประสิทธิภาพของระบบเริ่มลดลง เนื่องจากการเพิ่มค่าศักย์ไฟฟ้ามากเกินไป ทำให้เกิดการสูญเสียกระแสไฟฟ้าในการให้ความร้อนแก่น้ำ สืบเนื่องจากน้ำมีอุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งทำให้ประสิทธิภาพของระบบลดลง

(3) ผลของระยะเวลาสัมผัส

ระยะเวลาที่น้ำเสียสัมผัสกับกระแสไฟฟ้า มีผลต่อการกำจัดสรีแอกทีฟ ซีเบสิก ค่าพีเอช ปริมาณของแข็งละลายน้ำ และค่าความขุ่นของน้ำ อย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) โดยน้ำมีค่าพีเอชสูงขึ้น และประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งละลายน้ำ และความขุ่น เพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มระยะเวลาสัมผัส และระยะเวลาที่น้ำเสียสัมผัสกับกระแสไฟฟ้านานขึ้น ถึงระดับหนึ่ง ประสิทธิภาพในการในการบำบัดจะคงที่และมีแนวโน้มลดลง สอดคล้องกับการศึกษาของ Chen, X., et al. (2000) พบว่าระยะเวลาสัมผัสมีค่าลดลงจาก 60 นาที เป็น 6.5 นาที เมื่อเพิ่มความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า จาก 12.5 A/m^2 เป็น 108.9 A/m^2 ที่ประสิทธิภาพการกำจัดเดียวกัน

(4) พื้นที่ผิวสัมผัส

พื้นที่ผิวสัมผัส มีผลต่อ ค่าพีเอช การกำจัดสี การกำจัดความขุ่นของน้ำอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) โดยจากการทดลอง ที่ค่าศักย์ไฟฟ้า และระยะเวลาสัมผัสเท่ากัน พบว่าการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดของระบบลดลง ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มพื้นที่ผิวทำให้ปริมาณสารโคแอกกูแลนต์ในระบบเพิ่มขึ้น และกลไกของกระบวนการโคแอกกูเลชัน ปริมาณของสารเคมีเป็นตัวกำหนดประสิทธิภาพของระบบ หากปริมาณสารไม่เหมาะสม กล่าวคือมากเกินไปหรือน้อยเกินไป จะทำให้กระบวนการโคแอกกูเลชันไม่มีประสิทธิภาพ (Hammer, M.J., 1996) ดังนั้นหากเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัส แสดงว่าควรลดค่าศักย์ไฟฟ้า และระยะเวลาสัมผัส

5.2 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการฟอกย้อมด้วยวิธีไฟฟ้าเคมี

(1) ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียสีรีแอคทีฟด้วยวิธีไฟฟ้าเคมี

ภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียสีรีแอคทีฟ (Sumifix Supra Navy Blue BF Gran) คือใช้ขั้วไฟฟ้าอะลูมิเนียม ให้ค่าศักย์ไฟฟ้า 20 โวลต์ ระยะเวลาสัมผัส 180 นาที ให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสี ร้อยละ 96.05 ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งละลายน้ำร้อยละ 35.18 โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีสูงกว่าการศึกษาของ Patricia, A., et.al. 2002. ซึ่งใช้กระบวนการไฟฟ้าเคมี กำจัดสีรีแอคทีฟ (Blue 4 Dye) พบว่ามีประสิทธิภาพกำจัดสีรีแอคทีฟได้ร้อยละ 50 และกำจัดสารอินทรีย์ได้ร้อยละ 64

(2) ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียสีเบสิกด้วยวิธีไฟฟ้าเคมี

ภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียสีเบสิก คือใช้ขั้วไฟฟ้าเหล็ก ให้ค่าศักย์ไฟฟ้า 25 โวลต์ นาน 180 นาที ให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสี ร้อยละ 85.61 กำจัดของแข็งละลายน้ำร้อยละ 30.67 กำจัดของแข็งแขวนลอยร้อยละ 66.67 กำจัดความขุ่นร้อยละ 20.61 กำจัดซีไอดีร้อยละ 79.51 สอดคล้องกับการศึกษาของ Daneshava.N., Oladegaragoze,A., and Djafarzadeh,N. 2005. รายงานว่าสามารถกำจัดสีเบสิก C.I. Basic Red 46 และ C.I. Basic Blue 3 ด้วยกระบวนการไฟฟ้าเคมี ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยให้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 60-80 A/m² ระยะเวลาสัมผัส 5 นาที

(3) เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีไฟฟ้าเคมี และการบำบัดน้ำเสียของโรงงานเจริญชัยการย้อม

โรงงานเจริญชัยการย้อม มีการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบเติมอากาศ แล้วตามด้วยการออกซิเดชันด้วยสารเคมี พบว่าการใช้ระบบไฟฟ้าเคมี มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีเบสิก ของแข็งละลายน้ำ ของแข็งแขวนลอย ความขุ่น และซีไอดี ดีกว่าคุณภาพน้ำที่บำบัดด้วยระบบบำบัดของโรงงาน ยกเว้นค่าพีเอชที่มีค่าสูงขึ้น หลังจากการบำบัดด้วยระบบไฟฟ้าเคมี โดยน้ำที่ผ่านการบำบัดจากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงาน มีประสิทธิภาพในการกำจัดสี ร้อยละ 69.39 กำจัดของแข็งละลายน้ำร้อยละ -20.45 กำจัดของแข็งแขวนลอยร้อยละ 61.27 กำจัดความขุ่นร้อยละ 20.08 กำจัดซีไอดีร้อยละ 77.78 และมีค่าพีเอชของน้ำหลังการบำบัด 7.97

5.3 ความเป็นไปได้ในการนำน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยกระบวนการไฟฟ้าเคมีกลับมาใช้ซ้ำในกระบวนการ

จากการเปรียบเทียบคุณภาพน้ำใช้ในกระบวนการผลิตของโรงงาน กับน้ำที่ผ่านกระบวนการทางไฟฟ้าเคมี พบว่าคุณภาพน้ำใช้ของโรงงาน และน้ำหลังการบำบัดด้วยระบบไฟฟ้าเคมี มีความแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) โดยน้ำใช้ในกระบวนการผลิตมีคุณภาพ ดีกว่าน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดด้วยวิธีไฟฟ้าเคมี ในทุกดัชนี ยกเว้นค่าความกระด้างของน้ำที่มีคุณภาพไม่แตกต่างกัน ดังนั้นน้ำที่ผ่านกระบวนการบำบัดด้วยวิธีไฟฟ้าเคมี ยังไม่สามารถนำไปใช้ซ้ำในกระบวนการผลิตได้เลย แต่มีความเป็นไปได้ที่จะสามารถนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ในกระบวนการผลิต โดยเพิ่มขั้นตอนของกระบวนการกรอง เพื่อกำจัดความขุ่น และปริมาณของแข็งแขวนลอย แต่

อย่างไรก็ตาม ควรระวังปริมาณโลหะหนักที่ปนเปื้อนในน้ำด้วย เนื่องจากโลหะหนักมีผลกระทบต่อคุณภาพสิ่งทอทั้งกระบวนการเตรียมและย้อมสี

5.4 ข้อเสนอแนะ

- (1) ศึกษาอายุการใช้งานของขั้วไฟฟ้า
- (2) ศึกษาระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้าที่เหมาะสม
- (3) ศึกษาสมบัติของน้ำเสียจากการบำบัดด้วยกระบวนการไฟฟ้า แล้วตามด้วยกระบวนการกรอง
- (4) เปรียบเทียบประสิทธิภาพและค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียสิ่งทอระหว่างการตกตะกอนด้วยสารเคมี และการตกตะกอนด้วยไฟฟ้าเคมี

เอกสารอ้างอิง

- กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2542. คู่มือการจัดการสิ่งแวดล้อมอุตสาหกรรมฟอกย้อม. สำนักงานเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมโรงงาน.
- เกษม พิพัฒน์ปัญญานุกูล. 2537. การควบคุมคุณภาพงานเตรียมสิ่งทอเพื่อการย้อม พิมพ์. กรุงเทพฯ : ประชาชน.
- ณรงค์ วุทธิเสถียร. 2540. การปรับสภาพน้ำใช้อุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ : สมาคมเทคโนโลยีไทยญี่ปุ่น.
- มันสิน ตันทุลเวศม์. 2541. คู่มือวิเคราะห์คุณภาพน้ำ. พิมพ์ครั้งที่ 3 กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- Abdo,M.S., and Sedahmed.G.H. 1991. A new Technique for Removing Hexavalent Chromium from Wastewater via Galvanic Reduction with Iron Scrap. World Congress of Chemical Engineering. June 16(21):10-14.
- Allmand, J. 1931. The principles of electrochemical engineering. 1st ed. New York.
- Biwyk, A. 1991. Electrocoagulation of biologically treated sewage. World Congress of Chemical Engineering. Karlsruhe, Germany, 16-21:41-49.
- Carlill, Julie, Jones, Peter. J. and Broadbent, Arthur. 1996. The use of Ozone for Decolorizing Textile Wastewater. Department of Chemical Engineering. University of Sherbrooke, Sherbrooke, Quebec, Canada.
- Can, O.T., Bayramoglu, M. , and Kobya, M. 2003. Decolorization of Reactive Dye Solutions by Electrocoagulation Using Aluminium Electrodes. Ind. Eng. Chem. Res. 42(14):3391-3396.
- Carneiro, P.A., Fugivara, C.S., Nogueira, F.P., Boralle, N. and Zanoni, V.B. 2003. A Comparative on Chemical and Electrochemical Degradation of Reactive Blue 4 Dye. Portugaliae Electrochimica Acta. 21:49-67
- Chen, X. , Shen, Z. , Zhu, X. , Fan, Y. , and Wang, W. 2005. Advanced Treatment of Textile Wastewater for Reuse using Electrochemical Oxidation and Membrane Filtration. Water SA. 31(1).
- Comninellis,C. 1992. Electrochemical Treatment of Wastewater Containing Phenol. ICHIME Symposium, series 127: 97-103
- Daneshava, N., Oladegaragoze, A., and Djafarzadeh, N. 2005. Decolorization of Basic Dye Solutions by Electrocoagulation. J. Hazard Materials. 120(1-3):116-122.

- Hammer,M.J. 1996. **Water and Wastewater Technology**. 3rd. United States of America: Prentice-Hall, Inc. 519p.
- Horning, R.H. 1978. Textile Dyeing Wastewater-Characterization End Treatment. U.S.Environmental Protection Agency. **EPA-600/2-78-098**. Washington, D.C.
- Kashefialasl, M., Khosravi, M., Marandi, R., and Seyyedi, K. 2006. Treatment of Dye Solution Containg Colored Index Acid Yellow 36 by Electrocoagulation Using Iron Electrodes. **International Journal of Science and Technology**. 2(4) :365-371.
- KiM, T.H., Park, C., and Shin, E.B. 2002. Decolorization of Disperse and Reactive Dyes by Continuous Electrocoagulation Process. **Desalination**. 150(2):165-175.
- Molina,C.,Rigal,C., and Lacoste,G. 1991. Electrotreatment of Industrial Wastewater and Products:A Good Way for Environment Protection. **World Congress of Chemical Engineering**. June 16(21):20-21.
- Ohsasa,K., Nakakura,H., and Sambuichi,M. 1991. Development of Electroflotation Techniquq Using Sacrificial Electrodes for Treatment of Oily Wastewater. **World Congress of Chemical Engineering**. June 16(21): 1-2.
- Patricia, A.C., Cecilio, S.F., Raquel, F.P., Nivaldo, B., and Maria, V.B.Z. 2002. A Comparative study on Chemical and Electrochemical Degradation of Reactive Blue 4 Dye.
- Peter, H., Geoffrey, B., and Cynthia, M. 1999. Electrocoagulation as a Wastewater Treatment. **The Third Annual Australian Environment Engineering Reseach Event**. 23-26 November Castlemaine, Victoria.
- Reife , A., and Freeman , H.S. 1966. **Environmental Chemistry of Dyes and Pigments**. U.S.,John Wiley & Sons, Inc.
- Uhrich, K.D. 1989. Method for Removing Dyestuffs from Wastewater. **Inventor, Andco Environmental Process**. U.S. Pat.4,880,510. Nov.14.

ตารางที่ 1ก ผลการบำบัดน้ำเสียสีรีแอกทีฟด้วยขั้วอะลูมิเนียม ค่าศักย์ไฟฟ้า 5 โวลต์

ครั้งที่ทดลอง	เวลา (นาที)	ค่าการดูดกลืนแสง	พีเอช	ความนำไฟฟ้า (ไมโครซีเมนส์)
1	0	2.812	7.6	365
2	0	2.825	7.60	339
3	0	2.851	7.6	330
1	30	2.719	7.62	350
2	30	2.761	7.63	344
3	30	2.804	7.64	326
1	60	2.591	7.64	350
2	60	2.692	7.66	329
3	60	2.692	7.65	346
1	90	2.352	7.7	300
2	90	2.440	7.72	304
3	90	2.602	7.69	306
1	120	2.338	7.85	330
2	120	2.157	7.8	336
3	120	2.338	7.82	340
1	150	2.224	7.9	310
2	150	2.189	7.87	294
3	150	2.275	7.88	333
1	180	1.394	8.04	291
2	180	1.561	7.96	322
3	180	1.815	7.99	315

ตารางที่ 2ก ผลการบำบัดน้ำเสียสรีแอกทีฟด้วยขั้วอะลูมิเนียม ค่าศักย์ไฟฟ้า 10 โวลต์

ครั้งที่ทดลอง	เวลา (นาทีก)	ค่าการดูดกลืนแสง	พีเอช	ความนำไฟฟ้า (ไมโครซีเมนส์)
1	0	2.853	7.23	518
2	0	2.807	7.26	395
3	0	2.818	7.22	357
1	30	2.117	7.43	417
2	30	2.352	7.49	403
3	30	2.156	7.44	379
1	60	1.112	7.68	415
2	60	1.246	7.62	391
3	60	1.362	7.64	358
1	90	0.963	8.21	467
2	90	0.706	8.20	376
3	90	0.911	8.19	340
1	120	0.500	8.30	382
2	120	0.347	8.31	369
3	120	0.616	8.29	245
1	150	0.479	8.45	387
2	150	0.234	8.47	344
3	150	0.346	8.43	335
1	180	0.166	8.57	387
2	180	0.159	8.56	346
3	180	0.236	8.55	324

ตารางที่ 3ก ผลการบำบัดน้ำเสียสรีแอกทีฟด้วยขั้วอะลูมิเนียม ค่าศักย์ไฟฟ้า 15 โวลต์

ครั้งที่ทดลอง	เวลา (นาท)	ค่าการดูดกลืนแสง	พีเอช	ความนำไฟฟ้า (ไมโครซีเมนส์)
1	0	3.001	7.38	389
2	0	3.006	7.37	378
3	0	2.897	7.39	387
1	30	2.598	7.70	350
2	30	2.461	7.71	341
3	30	2.474	7.68	364
1	60	1.583	8.19	342
2	60	1.586	8.18	331
3	60	1.705	8.20	342
1	90	0.844	8.28	294
2	90	0.941	8.30	303
3	90	0.941	8.32	319
1	120	0.455	8.50	275
2	120	0.579	8.52	291
3	120	0.582	8.54	322
1	150	0.36	8.60	259
2	150	0.396	8.61	285
3	150	0.322	8.59	259
1	180	0.358	8.66	287
2	180	0.341	8.68	238
3	180	0.332	8.64	282

ตารางที่ 4ก ผลการบำบัดน้ำเสียสรีแอกทีฟด้วยขั้วอะลูมิเนียม ค่าศักย์ไฟฟ้า 20 โวลต์

ครั้งที่ทดลอง	เวลา (นาที)	ค่าการดูดกลืนแสง	พีเอช	ความนำไฟฟ้า (ไมโครซีเมนส์)
1	0	2.930	7.41	382
2	0	2.866	7.42	358
3	0	2.764	7.39	359
1	30	2.477	8.10	357
2	30	2.317	8.08	344
3	30	2.442	8.05	328
1	60	1.503	8.40	299
2	60	1.445	8.36	315
3	60	1.466	8.32	291
1	90	0.824	8.63	298
2	90	0.856	8.60	277
3	90	0.825	8.59	275
1	120	0.380	8.88	287
2	120	0.443	8.90	264
3	120	0.311	8.82	256
1	150	0.813	8.96	282
2	150	0.835	8.94	243
3	150	0.270	9.00	240
1	180	0.108	9.15	245
2	180	0.121	9.10	247
3	180	0.109	9.19	256

ตารางที่ 5ก ผลการบำบัดน้ำเสียสรีแอกทีฟด้วยขั้วอะลูมิเนียม ค่าศักย์ไฟฟ้า 25 โวลต์

ครั้งที่ทดลอง	เวลา (นาที)	ค่าการดูดกลืนแสง	พีเอช	ความนำไฟฟ้า (ไมโครซีเมนส์)
1	0	2.890	7.47	389
2	0	2.893	7.48	374
3	0	2.887	7.51	348
1	30	1.200	8.02	362
2	30	1.198	8.00	329
3	30	1.196	7.99	321
1	60	0.498	8.43	321
2	60	0.507	8.42	293
3	60	0.504	8.40	287
1	90	0.299	8.80	299
2	90	0.309	8.76	266
3	90	0.307	8.75	257
1	120	0.980	9.13	297
2	120	0.092	9.09	251
3	120	0.089	9.14	246
1	150	0.06	9.35	290
2	150	0.064	9.39	237
3	150	0.062	9.36	232
1	180	0.052	9.42	301
2	180	0.055	9.40	216
3	180	0.053	9.45	234

ตารางที่ 6ก ผลการบำบัดน้ำเสียสรีแอกทีฟด้วยขั้วอะลูมิเนียม ค่าศักย์ไฟฟ้า 30 โวลต์

ครั้งที่ทดลอง	เวลา (นาท)	ค่าการดูดกลืนแสง	พีเอช	ความนำไฟฟ้า (ไมโครซีเมนส์)
1	0	2.978	7.52	387
2	0	2.996	7.50	430
3	0	2.986	7.49	373
1	30	1.122	8.22	328
2	30	1.124	8.20	399
3	30	1.12	8.18	339
1	60	0.484	8.67	331
2	60	0.488	8.69	361
3	60	0.49	8.65	307
1	90	0.239	8.97	315
2	90	0.234	9.00	336
3	90	0.24	9.02	301
1	120	0.082	9.32	290
2	120	0.084	9.36	336
3	120	0.087	9.34	259
1	150	0.056	9.60	290
2	150	0.058	9.60	326
3	150	0.060	9.56	261
1	180	0.050	9.62	291
2	180	0.047	9.61	319
3	180	0.048	9.64	250

ตารางที่ 7ก ผลการบำบัดน้ำเสียสรีแอกทีฟด้วยขั้วเหล็ก ค่าศักย์ไฟฟ้า 10 โวลต์

ครั้งที่ทดลอง	เวลา (นาที)	ค่าการดูดกลืนแสง	พีเอช	ความนำไฟฟ้า (ไมโครซีเมนส์)
1	0	2.798	7.53	320
2	0	2.803	7.51	304
3	0	2.800	7.50	312
1	30	2.567	8.70	318
2	30	2.563	8.70	292
3	30	2.565	8.73	305
1	60	2.243	9.25	296
2	60	2.245	9.20	289
3	60	2.249	9.23	293
1	90	1.746	9.70	303
2	90	1.720	9.67	307
3	90	1.717	9.69	306
1	120	1.118	9.84	257
2	120	1.121	9.79	304
3	120	1.120	9.80	281
1	150	0.737	9.85	253
2	150	0.741	9.81	299
3	150	0.739	9.85	276
1	180	0.457	9.80	299
2	180	0.459	9.77	273
3	180	0.458	9.79	286

ตารางที่ 8ก ผลการนำแบตเตอรี่ลิเธียมแอคทีฟด้วยขั้วเหล็ก ค่าศักย์ไฟฟ้า 15 โวลต์

ครั้งที่ทดลอง	เวลา (นาทีก)	ค่าการดูดกลืนแสง	พีเอช	ความนำไฟฟ้า (ไมโครซีเมนส์)
1	0	2.810	7.19	319
2	0	2.808	7.20	311
3	0	2.811	7.21	310
1	30	2.523	8.52	302
2	30	2.52	8.49	300
3	30	2.524	8.50	299
1	60	2.047	9.21	295
2	60	2.05	9.19	294
3	60	2.046	9.22	293
1	90	1.144	9.62	265
2	90	1.141	9.58	265
3	90	1.145	9.60	260
1	120	0.708	9.82	237
2	120	0.705	9.79	230
3	120	0.710	9.84	234
1	150	0.498	10.05	258
2	150	0.497	10.00	250
3	150	0.500	10.00	249
1	180	0.381	9.57	264
2	180	0.384	9.55	260
3	180	0.380	9.59	261

ตารางที่ 9ก ผลการบำบัดน้ำเสียสรีรแอคทีฟด้วยขั้วเหล็ก ค่าศักย์ไฟฟ้า 20 โวลต์

ครั้งที่ทดลอง	เวลา (นาท)	ค่าการดูดกลืนแสง	พีเอช	ความนำไฟฟ้า (ไมโครซีเมนส์)
1	0	2.945	7.34	355
2	0	2.949	7.37	350
3	0	2.944	7.36	348
1	30	2.576	8.29	334
2	30	2.579	8.24	335
3	30	2.577	8.30	337
1	60	1.97	8.89	289
2	60	1.973	8.87	290
3	60	1.969	8.91	285
1	90	1.184	8.98	241
2	90	1.180	8.99	245
3	90	1.183	9.02	247
1	120	0.682	9.28	238
2	120	0.685	9.29	235
3	120	0.686	9.31	234
1	150	0.419	10.10	283
2	150	0.417	10.15	285
3	150	0.420	10.17	287
1	180	0.804	9.87	289
2	180	0.800	9.86	280
3	180	0.803	9.89	283

ตารางที่ 10 ก ผลการบำบัดน้ำเสียสรีแอกทีฟด้วยขั้วเหล็ก ค่าศักย์ไฟฟ้า 25 โวลต์

ครั้งที่ทดลอง	เวลา (นาท)	ค่าการดูดกลืนแสง	พีเอช	ความนำไฟฟ้า (ไมโครซีเมนส์)
1	0	2.898	7.75	366
2	0	2.818	7.59	316
3	0	2.767	7.53	323
1	30	2.171	8.19	364
2	30	2.055	8.40	303
3	30	2.106	8.64	288
1	60	1.018	8.20	250
2	60	0.263	8.26	241
3	60	1.051	9.35	265
1	90	0.426	8.86	246
2	90	0.054	8.83	260
3	90	0.529	9.46	254
1	120	0.238	8.62	234
2	120	0.322	8.73	235
3	120	0.290	9.49	231
1	150	0.129	8.14	223
2	150	0.201	8.58	180
3	150	0.137	9.23	213
1	180	0.097	9.38	215
2	180	0.097	9.41	219
3	180	0.045	9.51	198

ตารางที่ 11ก ผลการบำบัดน้ำเสียสรีแอกทีฟด้วยขั้วเหล็ก ค่าศักย์ไฟฟ้า 30 โวลต์

ครั้งที่ทดลอง	เวลา (นาที่)	ค่าการดูดกลืนแสง	พีเอช	ความนำไฟฟ้า (ไมโครซีเมนส์)
1	0	2.870	7.45	345
2	0	2.866	7.52	340
3	0	2.807	8.01	358
1	30	2.222	8.85	294
2	30	1.403	9.74	325
3	30	1.468	9.02	291
1	60	0.919	9.35	250
2	60	0.505	10.18	319
3	60	0.672	9.33	272
1	90	0.456	10.00	256
2	90	0.076	10.21	315
3	90	0.324	9.31	250
1	120	0.222	9.52	250
2	120	0.037	10.27	304
3	120	0.169	9.28	225
1	150	0.142	10.06	265
2	150	0.030	10.29	304
3	150	0.103	9.28	258
1	180	0.106	9.35	257
2	180	0.024	9.29	303
3	180	0.072	9.64	231

ตารางที่ 1 ข ผลการบำบัดน้ำเสียสปีดด้วยขั้วอะลูมิเนียม ค่าศักย์ไฟฟ้า 5 โวลต์

ครั้งที่ทดลอง	เวลา (นาท)	ค่าการดูดกลืนแสง	พีเอช	ความนำไฟฟ้า (ไมโครซีเมนส์)	ความขุ่น (NTU)
1	0	0.272	7.48	793	4.18
2	0	0.280	7.83	800	4.40
3	0	0.267	7.60	798	4.23
1	30	0.197	7.52	769	6.25
2	30	0.205	7.77	770	6.43
3	30	0.192	7.64	775	6.31
1	60	0.181	7.55	753	7.43
2	60	0.188	7.80	763	7.65
3	60	0.175	7.67	780	7.50
1	90	0.181	7.65	741	6.11
2	90	0.189	7.90	750	6.32
3	90	0.176	7.77	748	6.20
1	120	0.174	7.79	731	6.52
2	120	0.183	8.01	729	6.75
3	120	0.168	7.90	740	6.60
1	150	0.174	7.71	706	7.07
2	150	0.182	7.95	715	7.30
3	150	0.169	7.84	710	7.12
1	180	0.161	7.76	705	7.20
2	180	0.169	8.01	716	7.45
3	180	0.159	7.85	710	7.25

ตารางที่ 2ข ผลการบำบัดน้ำเสียสปีดด้วยขั้วอะลูมิเนียม ค่าศักย์ไฟฟ้า 30 โวลต์

ครั้งที่ทดลอง	เวลา (นาท)	ค่าการดูดกลืนแสง	พีเอช	ความนำไฟฟ้า (ไมโครซีเมนส์)	ความขุ่น (NTU)
1	0	0.251	7.2	868	5.25
2	0	0.246	6.9	870	5.00
3	0	0.253	7.10	873	5.37
1	30	0.221	7.38	844	6.11
2	30	0.197	7.34	846	5.59
3	30	0.223	7.36	843	6.10
1	60	0.184	7.68	799	6.42
2	60	0.182	7.62	794	6.34
3	60	0.185	7.65	801	6.45
1	90	0.176	7.99	783	5.10
2	90	0.174	7.91	791	4.48
3	90	0.179	7.94	789	5.18
1	120	0.161	8.43	774	5.52
2	120	0.158	8.39	779	5.49
3	120	0.165	8.40	770	5.60
1	150	0.159	8.36	775	6.17
2	150	0.155	8.32	773	6.13
3	150	0.162	8.35	779	6.19
1	180	0.151	8.53	725	7.05
2	180	0.148	8.49	728	7.00
3	180	0.153	8.50	721	7.09

ตารางที่ 3 ข ผลการบำบัดน้ำเสียสีเบสิกด้วยขั้วอะลูมิเนียม ค่าศักย์ไฟฟ้า 35 โวลต์

ครั้งที่ทดลอง	เวลา (นาท)	ค่าการดูดกลืนแสง	พีเอช	ความนำไฟฟ้า (ไมโครซีเมนส์)	ความขุ่น (NTU)
1	0	0.356	7.43	822	6.42
2	0	0.304	7.80	818	6.00
3	0	0.323	7.50	825	6.30
1	30	0.255	7.55	818	5.01
2	30	0.249	7.67	815	4.84
3	30	0.253	7.60	820	4.95
1	60	0.248	7.66	815	5.31
2	60	0.240	7.70	809	5.28
3	60	0.235	7.68	818	5.30
1	90	0.240	8.11	787	5.63
2	90	0.236	8.13	781	5.60
3	90	0.229	8.00	789	5.64
1	120	0.230	8.60	789	4.41
2	120	0.228	8.59	780	4.38
3	120	0.220	8.52	793	4.39
1	150	0.216	8.91	760	4.78
2	150	0.201	8.94	758	4.60
3	150	0.198	8.98	762	4.63
1	180	0.207	8.96	698	5.28
2	180	0.198	8.93	684	5.19
3	180	0.193	8.95	683	5.24

ตารางที่ 4 ข ผลการบำบัดน้ำเสียสีเบสิกด้วยขั้วเหล็ก ค่าศักย์ไฟฟ้า 20 โวลต์

ครั้งที่ทดลอง	เวลา (นาท)	ค่าการดูดกลืนแสง	พีเอช	ความนำไฟฟ้า (ไมโครซีเมนส์)	ความขุ่น (NTU)
1	0	0.259	4.84	690	5.92
2	0	0.239	5.61	593	6.21
3	0	0.232	5.52	589	5.87
1	30	0.260	5.15	740	6.53
2	30	0.253	6.47	602	6.12
3	30	0.263	6.30	603	6.23
1	60	0.304	6.17	751	6.76
2	60	0.309	6.76	605	6.81
3	60	0.313	5.82	622	6.73
1	90	0.130	6.65	703	6.47
2	90	0.132	6.92	614	6.35
3	90	0.128	6.59	623	6.59
1	120	0.081	7.06	700	6.61
2	120	0.087	7.01	603	6.84
3	120	0.096	6.80	631	6.13
1	150	0.051	7.96	682	6.21
2	150	0.057	7.21	624	6.83
3	150	0.049	7.14	627	6.40
1	180	0.044	9.22	679	6.40
2	180	0.047	8.42	585	6.45
3	180	0.053	8.72	576	6.59

ตารางที่ 5ข ผลการบำบัดน้ำเสียสีเบสิกด้วยขั้วเหล็ก ค่าศักย์ไฟฟ้า 25 โวลต์

ครั้งที่ทดลอง	เวลา (นาท)	ค่าการดูดกลืนแสง	พีเอช	ความนำไฟฟ้า (ไมโครซีเมนส์)	ความขุ่น (NTU)
1	0	0.281	5.83	669	6.40
2	0	0.320	6.52	586	6.85
3	0	0.282	6.78	633	6.81
1	30	0.315	6.35	660	6.31
2	30	0.345	7.17	579	6.76
3	30	0.318	7.44	623	6.7
1	60	0.290	6.53	649	6.13
2	60	0.318	7.27	562	6.48
3	60	0.289	7.51	612	6.42
1	90	0.120	6.67	570	6.06
2	90	0.132	7.59	510	6.45
3	90	0.115	7.92	554	6.43
1	120	0.089	6.66	670	5.18
2	120	0.091	7.83	604	5.45
3	120	0.085	8.06	641	5.52
1	150	0.070	7.55	695	5.18
2	150	0.080	8.41	502	5.43
3	150	0.073	8.54	631	5.28
1	180	0.051	9.25	570	5.3
2	180	0.029	9.60	510	5.34
3	180	0.045	8.80	554	5.27

ตารางที่ 6ข ผลการบำบัดน้ำเสียสปีเบสิกด้วยขั้วเหล็ก ค่าศักย์ไฟฟ้า 30 โวลต์

ครั้งที่ทดลอง	เวลา (นาท)	ค่าการดูดกลืนแสง	พีเอช	ความนำไฟฟ้า (ไมโครซีเมนส์)	ความขุ่น (NTU)
1	0	0.313	4.85	661	6.33
2	0	0.301	4.82	619	6.16
3	0	0.323	6.26	647	5.86
1	30	0.248	5.64	753	5.90
2	30	0.199	5.16	835	5.62
3	30	0.199	7.03	681	5.67
1	60	0.172	6.70	748	5.58
2	60	0.116	8.30	603	5.77
3	60	0.106	7.79	687	5.11
1	90	0.141	8.00	741	5.06
2	90	0.104	8.68	524	5.70
3	90	0.144	9.19	645	5.49
1	120	0.077	9.51	669	5.32
2	120	0.042	8.74	494	5.60
3	120	0.033	9.18	564	5.27
1	150	0.050	9.88	671	5.12
2	150	0.027	9.55	478	5.60
3	150	0.030	10.05	549	5.07
1	180	0.042	10.44	575	5.81
2	180	0.024	9.81	548	5.50
3	180	0.027	10.14	556	5.12

ตารางที่ 7ข ผลการบำบัดน้ำเสียสืบทอดด้วยขั้วเหล็ก ค่าศักย์ไฟฟ้า 35 โวลต์

ครั้งที่ทดลอง	เวลา (นาท)	ค่าการดูดกลืนแสง	พีเอช	ความนำไฟฟ้า (ไมโครซีเมนส์)	ความขุ่น (NTU)
1	0	0.327	4.82	693	5.14
2	0	0.338	5.42	653	5.17
3	0	0.354	4.69	644	6.39
1	30	0.231	4.85	641	6.32
2	30	0.279	6.30	676	6.14
3	30	0.275	5.89	665	5.89
1	60	0.169	6.43	729	6.68
2	60	0.132	7.10	742	6.65
3	60	0.143	6.58	635	6.80
1	90	0.172	6.64	688	6.50
2	90	0.053	8.09	649	5.93
3	90	0.131	7.72	607	5.83
1	120	0.086	7.59	754	5.33
2	120	0.047	8.34	642	6.16
3	120	0.049	9.53	595	6.07
1	150	0.068	7.92	699	5.67
2	150	0.038	8.57	583	6.14
3	150	0.044	9.90	534	4.74
1	180	0.065	8.87	589	4.66
2	180	0.028	8.39	565	4.70
3	180	0.034	10.20	575	5.55

ตารางที่ 8ข ให้กระแสไฟฟ้า 25 โวลต์ 120 นาที ขนาดของขั้วไฟฟ้าเพิ่มขึ้น 2 เท่า

ครั้งที่ทดลอง	เวลา (นาที)	ค่าการดูดกลืนแสง	พีเอช	ความนำไฟฟ้า (ไมโครซีเมนส์)	ความขุ่น (NTU)
1	0	0.281	5.83	669	6.40
2	0	0.320	6.52	586	6.85
3	0	0.282	6.78	633	6.81
1	120	0.243	6.10	654	6.27
2	120	0.231	6.74	677	6.45
3	120	0.232	7.00	680	6.44

ตารางที่ 9ข เปรียบเทียบสมบัติของน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบไฟฟ้าเคมีกับน้ำใช้และน้ำที่ผ่านการบำบัดของโรงงาน

ประเภท ของน้ำ	ครั้งที่ ทดลอง	ค่า การดูดกลืนแสง	พีเอช	ความนำ ไฟฟ้า	ความ ขุ่น	ของแข็ง แขวนลอย	ความ กระด้าง	ซีโอดี
น้ำใช้ของ โรงงาน	1	0.003	7.94	448	0.32	0.05	84.48	31.67
	2	0.004	7.52	460	0.22	0.01	80.48	30.00
	3	0.005	7.42	448	0.34	0.03	82.48	21.67
น้ำเสียก่อน บำบัด	1	0.281	5.83	669	6.40	1.95	80.48	218.33
	2	0.320	6.52	586	6.89	2.07	80.48	226.67
	3	0.282	6.78	633	6.81	2.10	80.48	222.00
น้ำหลังบำบัด ของโรงงาน	1	0.116	8.09	761	0.23	0.10	92.48	40.00
	2	0.094	7.77	742	0.30	0.10	80.48	43.33
	3	0.061	8.04	770	0.22	0.06	86.48	53.33
น้ำหลังบำบัด จากการ ทดลอง	1	0.051	9.25	570	5.30	0.76	84.48	48.33
	2	0.029	9.60	510	5.34	0.68	80.48	46.67
	3	0.045	8.80	554	5.27	0.60	82.48	52.50

ตารางที่ 1ค เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยร้อยละการกำจัดสีในน้ำเสียสรีแอดทีฟ ที่บำบัดโดยใช้
ชีวไฟฟ้าอะลูมิเนียม ระยะเวลาสัมผัส 180 นาที ที่ศักย์ไฟฟ้าต่างกัน

	5(volt) (43.837)	15(volt) (88.423)	10(volt) (93.383)	20(volt) (96.050)	25(volt) (98.153)	30(volt) (93.380)
5(volt) (43.837)		44.587	49.547	52.213	54.317	54.543
15(volt) (88.423)			4.960	7.627*	9.730*	9.567*
10(volt) (93.383)				2.667	4.770	4.997
20(volt) (96.050)					2.103	2.330*
25(volt) (98.153)						0.227
30(volt) (93.380)						

ตารางที่ 2ค เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยร้อยละการเพิ่มพีเอชในน้ำเสียสรีแอดทีฟ ที่บำบัดโดยใช้
ชีวไฟฟ้าอะลูมิเนียม ระยะเวลาสัมผัส 180 นาที 30 ที่ศักย์ไฟฟ้าต่างกัน

	30(volt) (-28.25))	25(volt) (-25.87)	20(volt) (-23.49)	10(volt) (-18.29)	15(volt) (-17.34)	5(volt) (-5.22)
30(volt) (-28.25))		2.386*	4.761*	9.968*	10.910*	230.35*
25(volt) (-25.87)			2.375*	7.581*	8.524*	20.649*
20(volt) (-23.49)				5.206*	6.149*	18.274*
10(volt) (-18.29)					0.943	13.068*
15(volt) (-17.34)						12.125*
5(volt) (-5.22)						

ตารางที่ 3ค เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยร้อยละการกำจัดของแข็งละลายน้ำในน้ำเสีย สิริแอคทีฟ ที่บำบัดโดยใช้อะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ ระยะเวลาสัมผัส 180 นาที ที่ศักย์ไฟฟ้าต่างกัน

	5(volt) (6.47)	10(volt) (7.42)	30(volt) (27.87)	25(volt) (19.02)	15(volt) (35.12)	20(volt) (35.18)
5(volt) (6.47)		0.947	21.393	26.070*	28.643*	28.703*
10(volt) (7.42)			20.447	25.123*	27.697*	27.757*
30(volt) (27.87)				4.677	7.250	7.310
25(volt) (19.02)					2.573	2.633
15(volt) (35.12)						0.060
20(volt) (35.18)						

ตารางที่ 4ค เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยร้อยละการกำจัดของสีในน้ำเสียสิริแอคทีฟ ที่บำบัดโดยใช้ไฟฟ้าอะลูมิเนียมให้ศักย์ไฟฟ้า 20 โวลต์ ที่ระยะเวลาสัมผัสต่างกัน

	30(min) (15.42)	60(min) (48.41)	90(min) (70.72)	150(min) (77.78)	120(min) (86.77)	180(min) (96.05)
30(min) (15.42)		32.990*	55.297*	62.360	71.350*	80.627*
60(min) (48.41)			22.307*	29.370	38.360*	47.637*
90(min) (70.72)				7.063	16.053*	25.330*
150(min) (77.78)					8.990	18.267
120(min) (86.77)						9.277
180(min) (96.05)						

ตารางที่ 5ค เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยร้อยละการเพิ่มพีเอชในน้ำเสียสิริแอนด์ฟที่บำบัดโดยใช้
ชีวไฟฟ้าอะลูมิเนียม ให้ศักย์ไฟฟ้า 20 โวลต์ ที่ระยะเวลาสัมผัสต่างกัน

	180(min) (-23.49)	150(min) (-21.06)	120(min) (-19.71)	90(min) (-16.20)	60(min) (-12.87)	30(min) (-9.05)
180(min) (-23.49)		2.431*	3.782*	7.292*	10.622*	14.448*
150(min) (-21.06)			1.351	4.861*	8.192*	12.017*
120(min) (-19.71)				3.501*	6.840*	10.666*
90(min) (-16.20)					3.330*	7.156*
60(min) (-12.87)						3.825*
180(min) (19.02)						

ตารางที่ 6ค เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยร้อยละการกำจัดของแข็งละลายน้ำในน้ำเสียสิริแอนด์ฟที่
บำบัดโดยใช้ชีวไฟฟ้าอะลูมิเนียม ให้ศักย์ไฟฟ้า 20 โวลต์ ที่ระยะเวลาสัมผัสต่างกัน

	30(min) (8.59)	60(min) (12.05)	120(min) (13.62)	90(min) (20.61)	150(min) (30.36)	180(min) (35.18)
30(min) (8.59)		3.4460	5.037	12.023	21.777	26.590*
60(min) (12.05)			1.577	8.563	18.317	23.130*
120(min) (13.62)				6.987	16.740	21.553
190(min) (20.61)					9.753	14.567
150(min) (30.36)						4.813
180(min) (35.18)						

ตารางที่ 7ค เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยการกำจัดสีในน้ำเสียสีรีแอดทีฟที่บำบัดโดยใช้ขั้วไฟฟ้าเหล็ก ระยะเวลาสัมผัส 180 นาที ที่ศักย์ไฟฟ้าต่างกัน

	20(volt) (72.76)	10(volt) (83.64)	15(volt) (86.41)	25(volt) (97.19)	30(volt) (97.63)
20(volt) (72.76)		10.880*	13.650*	24.430*	24.870*
10(volt) (83.64)			2.770*	13.550*	13.990*
15(volt) (86.41)				10.780*	11.220
25(volt) (97.19)					
30(volt) (97.63)					

ตารางที่ 8ค เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงในน้ำเสียสีรีแอดทีฟที่บำบัดโดยใช้ขั้วไฟฟ้าเหล็ก ระยะเวลาสัมผัส 180 นาที ที่ศักย์ไฟฟ้าต่างกัน

	20(volt) (-34.21)	15(volt) (-32.92)	10(volt) (-30.85)	25(volt) (-23.77)	30(volt) (-23.13)
20(volt) (-34.21)		1.293	3.952	10.441*	11.079*
15(volt) (-32.92)			2.659	9.148*	9.787*
10(volt) (-30.85)				6.489*	0.639
25(volt) (-23.77)					
30(volt) (-23.13)					

ตารางที่ 9ค เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยร้อยละการกำจัดของแข็งละลายน้ำในน้ำเสียสิริแอนด์ที่ฟที่บำบัดโดยใช้ชีวไฟฟ้าเหล็ก ระยะเวลาสัมผัส 180 นาที ที่ศักย์ไฟฟ้าต่างกัน

	10(volt) (8.36)	15(volt) (16.48)	20(volt) (19.09)	30(volt) (23.95)	25(volt) (36.89)
10(volt) (8.36)		8.120	10.727*	15.590	28.523
15(volt) (16.48)			2.607	7.470	20.403
20(volt) (19.09)				4.863	17.797
30(volt) (23.95)					12.933
25(volt) (36.89)					

ตารางที่ 10ค เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยร้อยละการกำจัดสีในน้ำเสียสิริแอนด์ที่ฟที่บำบัดโดยใช้ชีวไฟฟ้าเหล็ก ให้ศักย์ไฟฟ้า 15 โวลต์ ที่ระยะเวลาสัมผัสต่างกัน

	30(min) (10.23)	60(min) (27.12)	90(min) (59.31)	150(min) (74.81)	120(min) (82.26)	180(min) (86.41)
30(min) (10.23)		16.890*	49.083*	64.583*	72.037*	76.187*
60(min) (27.12)			32.193*	47.693*	55.147*	59.297*
90(min) (59.31)				15.500*	22.953*	27.103*
150(min) (74.81)					7.453*	11.603*
120(min) (82.26)						4.150*
180(min) (86.41)						

ตารางที่ 11ค เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยร้อยละการเพิ่มพีเอชในน้ำเสียสิริแอนด์ฟิที่บำบัดโดยใช้
ชีวไฟฟ้าหลัก ให้ศักย์ไฟฟ้า 15 โวลต์ ที่ระยะเวลาสัมผัสต่างกัน

	150(min) (-39.12)	120(min) (-36.34)	90(min) (-33.33)	180(min) (-32.92)	60(min) (-27.87)	30(min) (-18.10)
150(min) (-39.12)		2.778*	5.787*	6.204*	11.250*	21.019*
120(min) (-36.34)			3.001*	3.426*	8.472*	18.241*
90(min) (-33.33)				0.417	5.046*	15.231*
180(min) (-32.92)					5.463*	14.815*
60(min) (-27.87)						9.768*
30(min) (-18.10)						

ตารางที่ 12ค เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยร้อยละการกำจัดของแข็งละลายน้ำในน้ำเสียสิริแอนด์ฟิที่
บำบัดโดยใช้ชีวไฟฟ้าหลัก ให้ศักย์ไฟฟ้า 15 โวลต์ ที่ระยะเวลาสัมผัสต่างกัน

	30(min) (4.14)	60(min) (6.16)	90(min) (15.95)	180(min) (16.48)	150(min) (19.47)	120(min) (23.43)
30(min) (4.14)		2.017	11.810*	12.343*	15.330*	21.287*
60(min) (6.16)			9.793*	10.327*	13.313*	19.270*
90(min) (15.95)				0.533	3.520*	9.477*
180(min) (16.48)					2.987*	8.943*
150(min) (19.47)						5.959*
120(min) (23.43)						

ตารางที่ 13ค เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยร้อยละการเพิ่มพีเอชน้ำเสียสี่เบสิกที่บำบัดโดยใช้
ใช้ไฟฟ้าอะลูมิเนียม ระยะเวลาสัมผัส 180 นาที ที่ศักย์ไฟฟ้าต่างกัน

	30(volt) (-20.41)	35(volt) (-18.14)	20(volt) (-3.11)
30(volt) (-20.41)		2.274	17.301*
35(volt) (-18.14)			15.027*
20(volt) (-3.11)			

ตารางที่ 14ค เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยร้อยละการกำจัดของแข็งละลายน้ำในน้ำเสีย สี่เบสิกที่
บำบัดโดยใช้ไฟฟ้าอะลูมิเนียม ระยะเวลาสัมผัส 180 นาที ที่ศักย์ไฟฟ้าต่างกัน

	20(volt) (10.88)	30(volt) (16.23)	35(volt) (16.73)
20(volt) (10.88)		5.350*	5.857*
30(volt) (16.23)			0.507
35(volt) (16.73)			

ตารางที่ 15ค เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยร้อยละการกำจัดความขุ่นในน้ำเสียสี่เบสิกที่บำบัดโดย
ใช้ไฟฟ้าอะลูมิเนียม ระยะเวลาสัมผัส 180 นาที ที่ศักย์ไฟฟ้าต่างกัน

	20(volt) (-70.99)	30(volt) (-35.44)	35(volt) (16.00)
20(volt) (-70.99)		35.547*	87.017*
30(volt) (-35.44)			51.470*
35(volt) (16.00)			

ตารางที่ 16 ค เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยร้อยละการกำจัดสีในน้ำเสียสีเบสิกที่บำบัดโดยใช้
ชีวไฟฟ้าอะลูมิเนียม ที่ศักย์ไฟฟ้า 35 โวลต์ ที่เวลาสัมผัสต่างกัน

	30(min) (22.71)	60(min) (26.21)	90(min) (28.02)	120(min) (30.76)	150(min) (37.30)	180(min) (38.99)
30(min) (22.71)		3.500	5.307	8.050	14.593	16.280*
60(min) (26.21)			1.807	4.550	11.093	12.780
90(min) (28.02)				2.743	9.287	10.973
120(min) (30.76)					6.543	8.230
150(min) (37.30)						1.687
180(min) (38.99)						

ตารางที่ 17 ค เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยร้อยละการเพิ่มพีเอชน้ำเสียสีเบสิกที่บำบัดโดยใช้
ชีวไฟฟ้าอะลูมิเนียม ที่ศักย์ไฟฟ้า 35 โวลต์ ที่เวลาสัมผัสต่างกัน

	180(min) (-18.14)	150(min) (-18.90)	120(min) (-13.16)	90(min) (-6.68)	60(min) (-1.40)	30(min) (0.43)
180(min) (-18.14)		0.048	4.979	11.454*	16.733*	17.710*
150(min) (-18.90)			4.931	11.406*	16.685*	17.662*
120(min) (-13.16)				6.475	11.754*	12.731*
90(min) (-6.68)					5.279	6.256
60(min) (-1.40)						0.977
30(min) (0.43)						

ตารางที่ 18ค เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยร้อยละการกำจัดของแข็งละลายน้ำในน้ำเสียสีเบสิกที่บำบัดโดยใช้ชีวไฟฟ้าอะลูมิเนียม ที่ศักย์ไฟฟ้า 35 โวลต์ ที่เวลาสัมผัสต่างกัน

	30(min) (0.49)	60(min) (0.93)	120(min) (4.18)	90(min) (4.38)	150(min) (7.53)	180(min) (16.23)
30(min) (0.49)		0.443	3.690*	3.890*	7.013	15.737
60(min) (0.93)			3.247*	3.447*	6.570*	15.293
120(min) (4.18)				0.200*	3.323	12.047*
90(min) (4.38)					3.123*	11.847
150(min) (7.53)						8.723*
180(min) (16.23)						

ตารางที่ 19ค เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยร้อยละการกำจัดความขุ่นในน้ำเสียสีเบสิก ที่บำบัดโดยใช้ชีวไฟฟ้าอะลูมิเนียม ที่ศักย์ไฟฟ้า 35 โวลต์ ที่เวลาสัมผัสต่างกัน

	30(min) (9.82)	60(min) (15.05)	120(min) (16.03)	90(min) (20.91)	150(min) (25.13)	180(min) (16.03)
30(min) (9.82)		5.233	6.210	11.087*	15.310*	19.723*
60(min) (15.05)			0.977	5.853	10.077*	14.490*
120(min) (16.03)				4.877	9.100*	13.513*
90(min) (20.91)					4.223	8.637*
150(min) (25.13)						4.413
180(min) (16.03)						

ตารางที่ 20ค เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยร้อยละการกำจัดของแข็งละลายน้ำในน้ำเสียสี่เบสิก ที่บำบัดโดยใช้ชีวไฟฟ้าเหล็ก ระยะเวลาสัมผัส 180 นาที ที่ศักย์ไฟฟ้าต่างกัน

	20(volt) (1.72)	30(volt) (12.85)	35(volt) (13.07)	25(volt) (13.42)
20(volt) (1.72)		11.130*	11.350*	11.170*
30(volt) (12.85)			0.220	0.570
35(volt) (13.07)				0.350
25(volt) (13.42)				

ตารางที่ 21ค เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยร้อยละการกำจัดความขุ่นในน้ำเสียสี่เบสิก ที่บำบัดโดยใช้ชีวไฟฟ้าเหล็ก ระยะเวลาสัมผัส 180 นาที ที่ศักย์ไฟฟ้าต่างกัน

	20(volt) (-8.08)	30(volt) (10.52)	35(volt) (10.53)	25(volt) (20.61)
20(volt) (-8.08)		18.597*	18.607*	28.693*
30(volt) (10.52)			0.100	10.097*
35(volt) (10.53)				10.087*
25(volt) (20.61)				

ตารางที่ 22ค เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยร้อยละการกำจัดสีในน้ำเสียสีเบสิกที่บำบัดโดยใช้
ชีวไฟฟ้าเหล็กอิเล็กโทรด ให้ศักย์ไฟฟ้า 25 โวลต์ ที่ระยะเวลาสัมผัสต่างกัน

	30(min) (-10.89)	60(min) (-1.79)	90(min) (58.42)	150(min) (69.92)	120(min) (74.73)	180(min) (85.61)
30(min) (-10.89)		9.103	69.317*	80.810*	85.627*	96.503*
60(min) (-1.79)			60.213*	71.707*	76.523*	87.400*
90(min) (58.42)				11.493*	16.310*	27.187
150(min) (69.92)					4.817	15.693
120(min) (74.73)						10.877
180(min) (85.61)						

ตารางที่ 23ค เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยร้อยละการเพิ่มพีเอชในน้ำเสียสีเบสิกที่บำบัดโดยใช้
ชีวไฟฟ้าเหล็ก ให้ศักย์ไฟฟ้า 25 โวลต์ ที่ระยะเวลาสัมผัสต่างกัน

	180(min) (-45.23)	150(min) (-28.15)	120(min) (-17.74)	90(min) (-15.88)	60(min) (-11.43)	30(min) (-9.54)
180(min) (-45.23)		17.082	27.496	29.354	33.806	35.691
150(min) (-28.15)			10.414	12.272*	16.724*	18.609*
120(min) (-17.74)				1.858	6.310	8.195
90(min) (-15.88)					4.452	6.337
60(min) (-11.43)						1.885
30(min) (-9.54)						

ตารางที่ 24ค เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยร้อยละการกำจัดของแข็งละลายน้ำในน้ำเสียสี่เบสิก ที่บำบัดโดยใช้ขั้วไฟฟ้าเหล็ก ให้ศักย์ไฟฟ้า 25 โวลต์ ที่ระยะเวลาสัมผัสต่างกัน

	90(min) (-3.90)	30(min) (-3.54)	60(min) (-2.69)	1200(min) (1.37)	150(min) (3.47)	180(min) (13.42)
90(min) (-3.90)		0.357	1.207	5.273	7.370	17.317
30(min) (-3.54)			0.850	4.917	7.013	16.960*
60(min) (-2.69)				4.067*	6.163*	16.110*
120(min) (1.37)					2.097	12.043*
150(min) (3.47)						9.947*
180(min) (13.42)						

ตารางที่ 25ค เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยร้อยละการกำจัดความขุ่นในน้ำเสียสี่เบสิกที่บำบัดโดยใช้ขั้วไฟฟ้าเหล็กให้ศักย์ไฟฟ้า 25 โวลต์ ที่ระยะเวลาสัมผัสต่างกัน

	30(min) (1.45)	60(min) (5.12)	90(min) (5.58)	120(min) (19.48)	180(min) (20.61)	150(min) (20.75)
30(min) (1.45)		3.670	4.130*	18.033*	19.167	19.307*
60(min) (5.12)			0.460	14.363*	15.497	15.637*
90(min) (5.58)				13.903*	15.037	15.177
120(min) (19.48)					1.133	1.273
180(min) (20.61)						0.140
150(min) (20.75)						

ประวัติผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

1. ชื่อ – นามสกุล (ภาษาไทย) นางชนิษฐา เจริญลาภ
ชื่อ – นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Mrs Khanittha Charoenlarp
2. เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 3100602422195
3. ตำแหน่งปัจจุบัน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ระดับ 8
4. หน่วยงานที่อยู่ ที่สามารถติดต่อได้สะดวก พร้อมหมายเลขโทรศัพท์ โทรสาร และไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมีสิ่งทอ คณะอุตสาหกรรมสิ่งทอ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ วิทยาเขตเทคนิคกรุงเทพฯ
2 ถนนนางลิ้นจี่ พุุมมหาเมฆ สาทร กรุงเทพฯ 10120
E.mail Khanit_C@hotmail.com
5. ประวัติการศึกษา

คุณวุฒิ	สถานศึกษา	สาขาวิชาเอก	ปริญญา	ปีที่จบ
ปริญญาตรี	ม.ศิลปากร	เคมี	วท.บ.	2529
ปริญญาโท	ม.เกษตรศาสตร์	วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม	วท.ม.	2539

6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ
การบำบัดน้ำเสียสิ่งทอ
7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ โดยระบุ
สถานภาพในการทำวิจัยว่าเป็นผู้อำนวยการแผนงานวิจัย หัวหน้าโครงการวิจัย หรือผู้ร่วม
วิจัยในแต่ละข้อเสนอการวิจัย
- 7.1 ผู้อำนวยการแผนงานวิจัย : ชื่อแผนงานวิจัย

7.2 หัวหน้าโครงการวิจัย

- (1) การกำจัดสีดิสเพิร์ส สีไดเรกต์ และสีรีแอคทีฟจากน้ำเสียย้อมผ้าโดยกระบวนการตกตะกอนทางเคมี
- (2) การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดสีจากโรงงานย้อมผ้าโดยระบบแอดดิเว็ดเตดสัลต์และระบบตกตะกอนทางเคมี
- (3) อิทธิพลของยีสต์ต่อการลอกแป้งด้วยเอนไซม์
- (4) การปรับปรุงระบบบำบัดน้ำเสียของห้างหุ้นส่วนจำกัด เจริญชัยการย้อมให้อยู่ในมาตรฐานน้ำทิ้งโดยมีค่าใช้จ่ายลดลง
- (5) การบำบัดน้ำเสียเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่สำหรับโรงงานฟอกย้อม
- (6) การพัฒนาการจัดการบำบัดน้ำเสียจากการย้อมสี
- (7) การนำน้ำย้อมกลับมาใช้ใหม่โดยการกำจัดสีด้วยโอโซน
- (8) ผลของโลหะในน้ำต่อกระบวนการย้อม
- (9) ผลของโลหะไอออนในน้ำต่อกระบวนการฟอกผ้าฝ้ายถัก
- (10) การอนุรักษ์และฟื้นฟูทรัพยากรป่าชายเลนอำเภอขลุง จังหวัดจันทบุรี

7.3 งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว: ชื่อผลงานวิจัย ปีที่ตีพิมพ์ การเผยแพร่

ชนิษฐา เจริญลาภ. 2001. การกำจัดสีดิสเพิร์ส สีไดเรกต์ และสีรีแอคทีฟ จากน้ำทิ้งย้อมผ้าโดยกระบวนการตกตะกอนทางเคมี. Textile Journal:Colour way, 7(34): 32-38.

บุญศรี คู่สุขธรรม, ชนิษฐา เจริญลาภ, และสมชาย อุดร. 2003. การเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดสีในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ ตอน 1. Textile Journal:Colour way, 8(45): 18-20.

บุญศรี คู่สุขธรรม, ชนิษฐา เจริญลาภ, และสมชาย อุดร. 2003. การเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดสีในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ . Textile Journal:Colour way, 8(46): 47-50.

ชนิษฐา เจริญลาภ. 2003. ระบบน้ำใช้ในอุตสาหกรรม. Textile Journal:Colour way, 9(47) : 23-26

ชนิษฐา เจริญลาภ. 2003. แนวทางการเลือกใช้สารเคมี. Textile Journal:Colour way, 9(47) : 65-67

ชนิษฐา เจริญลาภ, พริยะ แก่นทับทิม. 2003. การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดสีจากโรงงานย้อมผ้าโดยระบบแอดดิเว็ดเตดสัลต์และระบบตกตะกอนทางเคมี . Textile Journal:Colour way, 10(47).

ชนิษฐา เจริญลาภ, พริยะ แก่นทับทิม. 2003. การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดสีจากโรงงานย้อมผ้าโดยระบบแอดดิเว็ดเตดสัลต์และระบบตกตะกอนทางเคมี . Textile Journal:Colour way, 11(47).

ชนิษฐา เจริญลาภ. 2005. อิทธิพลของยีสต์ต่อการลอกแป้งด้วยเอนไซม์. Textile Journal:Colour way, 10(48): 40-45

ชนิษฐา เจริญลาภ.2005. การปรับปรุงระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานฟอกย้อมให้อยู่ในมาตรฐานของกรมโรงงานอุตสาหกรรมโดยมีค่าใช้จ่ายลดลง Textile Journal:Colour way, 11(48): 84-88.

ผู้ร่วมโครงการ

1. ชื่อ – นามสกุล (ภาษาไทย) นายวิชาญ ช้วยพันธ์
ชื่อ – นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Mr Wichan Choaipan
2. หมายเลขประจำตัวประชาชน 39201002711835
3. ตำแหน่ง อาจารย์ ระดับ 7
4. หน่วยงานที่อยู่ ที่สามารถติดต่อได้สะดวก พร้อมหมายเลขโทรศัพท์ โทรสารและ e-mail
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ วิทยาเขตเทคนิคกรุงเทพ
2 ถนนนางลิ้นจี่ ห้วยมาเมฆ สาทร กรุงเทพฯ 10120
5. ประวัติการศึกษา

คุณวุฒิ	สถานศึกษา	สาขาวิชาเอก	วุฒิ	ปีที่จบ
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง	วิทยาเขตเทคนิคกรุงเทพ	โลหะวิทยา	ปว.ส.	2536
ปริญญาตรี	สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล	วิศวกรรมอุตสาหการ	คอ.บ.	2538
ปริญญาโท	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี พระจอมเกล้าธนบุรี(บางมด)	วิศวกรรมวัสดุ	วศ.ม.	2544

6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ
การผลิตวัสดุวิศวกรรม และโลหะการ
7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ โดยระบุ
สถานภาพในการทำวิจัยว่าเป็นผู้อำนวยการแผนงานวิจัย หัวหน้าโครงการวิจัย หรือผู้ร่วม
วิจัยในแต่ละข้อเสนอการวิจัย
 - 7.1 ผู้อำนวยการแผนงานวิจัย : ชื่อแผนงานวิจัย
-
 - 7.2 หัวหน้าโครงการวิจัย
-
 - 7.3 งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว : ชื่อผลงานวิจัย ปีที่ตีพิมพ์ การเผยแพร่
การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดจากยางพารา. 2547. วารสารกรมป่าไม้
 - 7.4 งานวิจัยที่กำลังทำ : ชื่อข้อเสนอโครงการ แหล่งทุน และสถานภาพในการวิจัย
-

