

บทที่ 3

การดำเนินการวิจัย



3.1 การคัดเลือกสีย้อมที่นำมาใช้ในการทดลอง

เนื่องจากสีย้อมแบ่งออกเป็นหลายประเภท ทั้งตามวิธีนำไปใช้งานและตามสูตรโครงสร้างทำให้มีประเภทสีย้อมที่ใช้กันทั่วโลกในปัจจุบันจำนวนมากมายนับไม่ถ้วน การที่จะทำการทดลองศึกษาถึงการกำจัดสีให้ครบทุกประเภทจึงเป็นไปได้ยาก ดังนั้นจึงได้เลือกศึกษาเฉพาะการกำจัดสีของน้ำเสียที่ทางโรงงานทอผ้าทั่ว ๆ ไปนิยมใช้ ในที่นี้เลือกเป็นสีน้ำเสียจากการย้อมผ้าใยไนลอนและอะคริลิก ทั้งหมดประกอบด้วยกันเป็น 7 ประเภท ทั้งนี้โดยคำนึงถึงว่าสีเหล่านั้นที่จะทำการทดลองศึกษาได้ในเวลาที่ไม่ยาวนานเกินไป

สีย้อมดังกล่าวทั้ง 7 ประเภท ซึ่งแบ่งตามลักษณะการใช้งานได้แก่

1. สีย้อมไตรเร็กท์
2. สีย้อมแวกซ์
3. สีย้อมรีแอคทีฟ
4. สีย้อมเอซิด
5. สีย้อม เบสิค
6. สีย้อม ซัลเฟอร์
7. สีย้อมอะโซอิก

ในการฟอกย้อม นอกจากจะมีสีย้อมหลายประเภทแล้ว สีย้อมแต่ละประเภทยังแบ่งออกเป็นโทนสีต่าง ๆ อีกมากมาย เช่น แดง เหลือง น้ำเงิน เขียว น้ำตาล ฯลฯ ดังนั้นเพื่อที่จะศึกษาให้ครอบคลุมปัญหาข้อนี้ จึงได้ทำการคัดเลือกสีย้อมแต่ละประเภทที่นำมาทดลองโดยได้รวมเอาชนิดของโทนสีไว้ด้วย ซึ่งจะทำให้การทดลองสีย้อมแต่ละประเภทไม่น้อยกว่า 3 โทนสี และมาตรฐานในการคัดเลือกโทนสีที่จะนำมาใช้ในการทดลองสำหรับสีย้อมแต่ละประเภท ได้พิจารณาตามความนิยมของตลาด และตามที่ทางโรงงานทั่ว ๆ ไปนิยมใช้ในการผลิตเป็นสำคัญ

ได้สำรวจและเลือกโหนดที่ได้รับคามนิยมมากสำหรับสีย้อมแต่ละประเภท เช่น สีย้อมรีแอคทีฟ สีย้อมโตเร็กซ์ ฯลฯ โดยอาศัยข้อมูลจากการผลิตของโรงงานย้อมผ้า บริษัทยูเนียนอุตสาหกรรมสิ่งทอจำกัด โดยแต่ละตัวอย่างที่เลือกนำมาทดลองก็มีโหนดแตกต่างกันออกไปอย่างเห็นได้ชัด ได้แก่ แดง, เหลือง, น้ำเงิน เป็นต้น ชนิดของสีย้อมที่นำมาใช้ในการทดลองครั้งนี้ได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.1

3.2 การเตรียมตัวอย่างน้ำเสีย ส่งเคราะห์สำหรับการทดลอง

เมื่อได้คัดเลือกสีย้อมที่จะนำมาใช้ในการทดลองตามที่แสดงในตารางที่ 3.1 แล้ว ในขั้นการเก็บตัวอย่างน้ำเสียอันเกิดจากการย้อมจากโรงงานเพื่อนำมาทดลอง พบว่าไม่สามารถกระทำได้ เนื่องจากล่าเหตุดังต่อไปนี้

ก. ปริมาณน้ำเสียที่ต้องการใช้ในการทดลองค่อนข้างมาก เกิดอุปสรรคในการขนถ่ายน้ำเสียจากโรงงานถึงห้องปฏิบัติการ (ภาควิชาวิศวกรรมลู่อภิบาล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย)

ข. ความไม่แน่นอนของแผนการผลิตของโรงงานทำให้ไม่สามารถคาดการณ์เก็บตัวอย่างน้ำเสียในเวลาที่ต้องการ ให้สัมพันธ์กับแผนการศึกษาที่จะทำการทดลองได้

ค. การเก็บตัวอย่างน้ำเสีย เพื่อให้ได้ตัวแทน ของประเภทและโหนดจากการย้อมจริง ๆ ทำได้ยากมาก โดยเฉพาะกรณีการย้อมแบบครั้งคราว ทำให้ต้องเก็บตัวอย่างน้ำแบบตัวอย่างรวม (composite sample) ซึ่งต้องใช้เวลา มาก ประกอบกับตัวอย่างน้ำเสียที่ออกจากกระบวนการนั้นมีหลายชนิดปะปนกัน ทำให้ไม่สามารถแยกเป็นสีแต่ละประเภทอย่างเด่นชัด ตามที่วางแผนไว้เดิมได้

ง. ในการทดลองการกำจัดสีแต่ละประเภทของน้ำเสีย จำเป็นต้องใช้เวลา ยาวนานอย่างน้อยประมาณ 1 สัปดาห์ ทำให้น้ำเสียที่เก็บมาจากโรงงานมีโอกาสเปลี่ยนแปลงไปได้ ตัวอย่างที่เห็นได้ชัดคือ สีซัลเฟอร์ หากทิ้งไว้ข้ามคืน พีเอชจะเปลี่ยนและเกิดการรวมตัวของอนุภาคของสีย้อมเอง ตกตะกอนแยกตัวออกจากน้ำได้โดยไม่ต้องทำการสิ่งหนึ่งสิ่งใด

ตารางที่ 3.1 ชนิดของสีย้อมที่ใช้เตรียมตัวอย่างน้ำเสียในการทดลอง

ประเภทของสีย้อม	โทนสี	ชนิดของสีย้อมที่นำมาใช้ในการทดลอง		
		ชื่อทางการค้า	CI Generic Name	CI Constitution Number
สีย้อมโตเร็กซ์	แดง	Kagarus Light Scarlet F2G	CI.Direct Red 224	*
	เหลือง	Kagarus Yellow GLS	-	*
	น้ำเงิน	Kagarus Blue FF.RL	-	*
สีย้อมแควีต	แดง	Indanthrene Red FBB	CI. Vat Red 10	67000
	เหลือง	Indanthrene Yellow 5GF	CI. Vat Yellow 46	*
	น้ำเงิน	Indanthrene Blue RS	CI. Vat Blue 4	69800
สีย้อมรีแอคทีฟ	แดง	Remazol Red F3B	-	*
	เหลือง	Remazol Yellow R	-	*
	น้ำเงิน	Remazol Brill Blue RN	CI.Reactive Blue 19:1	61200
สีย้อมเอซิก	แดง	Pindanyl Red GR	-	*
	เหลือง	Pindanyl Yellow 2 G	-	*
	น้ำเงิน	Telon Fast Navy-Blue R182%	-	*
สีย้อมเบสิค	แดง	Cathilon Red GCLH	-	*
	เหลือง	Cathilon Yellow GCLH	-	*
	น้ำเงิน	Cathilon Blue GLH	-	*
สีย้อมซัลเฟอร์	เขียว	Sodyesul Green NYFC	CI Leuco Sulphur Green 2	53571
	น้ำตาล	Sodyesul Brown FGF	CI Sulphur Brown 37	*
	น้ำเงิน	Sodyesul Blue ZGBCF	CI Leuco Sulphur Blue 13	53450
สีย้อมอะโซอิก	แดง	Fast Red B Salt	GI A Zoic Diazo Component 5	37125

หมายเหตุ : เครื่องหมาย " - " ในช่อง CI. Generic Name หมายถึงสีย้อมที่ใช้เป็นสีใหม่ ยังไม่มีการจัดหมวดหมู่

เครื่องหมาย " * " ในช่อง CI. Constitution Number หมายถึงว่ายังไม่ทราบโครงสร้างของตัวสี จึงไม่สามารถจะจัดแบ่งตัวสีเข้ากลุ่มได้

จากค่าเหตุทั้ง 4 ประการนี้ ทำให้จำเป็นต้องสังเคราะห์น้ำเสียขึ้นเอง โดยอาศัยความช่วยเหลือจากผู้เชี่ยวชาญด้านการย้อมสีของบริษัทผู้ผลิตสีย้อมสีของยี่ห้อและบริษัทในเครือสีย้อมสีอื่น ๆ ผู้เชี่ยวชาญกลุ่มนี้ได้ใช้ข้อมูลเกี่ยวกับสถิติการใช้วัตถุดิบในการย้อมสีแต่ละประเภทของโรงงาน ประกอบกับความสามารถในการดูดติดของเส้นใยของสีนั้น ๆ (ซึ่งทางโรงงานได้ใช้เป็นสูตรในการย้อมผ้า) มาเป็นบรรทัดฐานในการคำนวณหาส่วนผสมต่าง ๆ ที่ควรจะเป็นของน้ำเสีย ทำให้ได้สูตรสำเร็จที่ใช้สำหรับการเตรียมตัวอย่างน้ำเสียแต่ละประเภทดังต่อไปนี้

3.2.1 สูตรสังเคราะห์น้ำเสียโดยใช้สีย้อมโตเร็กซ์

สีย้อม

1. Kagarus Light Scarlet F2G = 0.0882 กรัม/ลบ.ตม.
2. Kagarus Blue FF.RL = 0.0882 กรัม/ลบ.ตม.
3. Kagarus Yellow GLS = 0.0882 กรัม/ลบ.ตม.

สารช่วยย้อม

1. G - Salt (Na_2SO_4) = 5.15 กรัม/ลบ.ตม.
2. Soda ash (Na_2CO_3) = 2.06 กรัม/ลบ.ตม.
3. Polytergent B - 350 (100 %) = 0.074 กรัม/ลบ.ตม.

หมายเหตุ : การเตรียมน้ำเสียของสีย้อมแต่ละชนิด ทำได้โดยนำปริมาณของสีย้อมที่ต้องการเตรียม มาผสมกับสารช่วยย้อมทั้งหมด จากนั้นจึงผสมน้ำลงไปตามอัตราส่วน

3.2.2 สูตรสังเคราะห์น้ำเสียโดยใช้สีย้อมแบริด

สีย้อม

1. Indanthrene Blue RS = 0.046 กรัม/ลบ.ตม.
2. Indanthrene Red FBB = 0.046 กรัม/ลบ.ตม.
3. Indanthrene Yellow 5GF = 0.046 กรัม/ลบ.ตม.

สารช่วยย้อม

1. Tamanori SA - 25 = 0.110 กรัม/ลบ.ตม.
2. Acetic acid (90 %) = 0.006 กรัม/ลบ.ตม.

3. Sodium hydrosulfite = 0.220 กรัม/ลบ.ตม.
4. Sodium hydroxide = 0.187 กรัม/ลบ.ตม.
5. Sodium Chloride = 0.110 กรัม/ลบ.ตม.
6. Hydrogen per oxide (50 %) = 0.022 กรัม/ลบ.ตม.
7. Polytergent B-350 (25 %) = 0.015 กรัม/ลบ.ตม.
8. Soda ash (Na_2CO_3) = 0.015 กรัม/ลบ.ตม.

3.2.3 สูตรล้างเครื่องแก้วโดยใช้น้ำเสียโดยใช้ลีย้อมรีแอคทีฟ

ลีย้อม

1. Remazol Brill Blue RN = 0.065 กรัม/ลบ.ตม.
2. Remazol Yellow R = 0.065 กรัม/ลบ.ตม.
3. Remazol Red F3B = 0.065 กรัม/ลบ.ตม.

สารช่วยย้อม

1. Soda ash (Na_2CO_3) = 1.72 กรัม/ลบ.ตม.
2. G - Salt (Na_2SO_4) = 5.70 กรัม/ลบ.ตม.
3. Imacol J = 0.10 กรัม/ลบ.ตม.
4. Sancowad Co = 0.29 กรัม/ลบ.ตม.
5. Kierlon OLS = 0.29 กรัม/ลบ.ตม.

3.2.4 สูตรล้างเครื่องแก้วโดยใช้น้ำเสียโดยใช้ลีย้อมเอซิด

ลีย้อม

1. Pindanyl Yellow 2 G = 0.011 มก./ลบ.ตม.
2. Pindanyl Red GR = 0.013 มก./ลบ.ตม.
3. Telon Fast Navy Blue R 182 % = 0.011 มก./ลบ.ตม.

สารช่วยย้อม

1. Parapul SZ = 1.5 ลบ.ซม./ลบ.ตม.
2. CH_3COOH (80 %) = 0.4 ลบ.ซม./ลบ.ตม.
3. Kieralon OLS = 2 ลบ.ซม./ลบ.ตม.

3.2.5 สูตรสังเคราะห์หน้าเสียบโดยใช้สีย้อมเบสิคสีย้อม

1. Cathilon Yellow G CLH	=	0.005	กรัม/ลบ.ตม.
2. Cathilon Blue GLH	=	0.005	กรัม/ลบ.ตม.
3. Cathilon Red GCLH	=	0.005	กรัม/ลบ.ตม.

สารช่วยย้อม

1. CH_3COOH	=	0.665	ลบ.ซม./ลบ.ตม.
2. CH_3COONa	=	0.05	กรัม/ลบ.ตม.
3. Ospintan	=	0.1425	กรัม/ลบ.ตม.
4. Na_2SO_4	=	0.5	กรัม/ลบ.ตม.
5. Oiling	=	0.02	กรัม/ลบ.ตม.

3.2.6 สูตรสังเคราะห์หน้าเสียบโดยใช้สีย้อมซัลเฟออร์สีย้อม

1. Sodyesul Green NYFC	=	1.0	กรัม/ลบ.ตม.
2. Sodyesul Blue 2GBCF	=	1.0	กรัม/ลบ.ตม.
3. Sodyesul Brown FCF	=	1.0	กรัม/ลบ.ตม.

สารช่วยย้อม

1. Sodium Sulfide	=	0.38	กรัม/ลบ.ตม.
2. Sodyeco penetrant EH	=	0.006	กรัม/ลบ.ตม.
3. Soap agent	=	0.06	กรัม/ลบ.ตม.
4. $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$	=	0.05	กรัม/ลบ.ตม.

3.2.7 สูตรสังเคราะห์หน้าเสียบโดยใช้สีย้อมอะโซอิก

กลุ่ม ก.

1. Naphtol AS - สีย้อม	=	0.037	กรัม/ลบ.ตม.
------------------------	---	-------	-------------

2. Ofnapon ASN = 0.019 กรัม/ลบ.ดม.
3. Caustic Soda (45°Be) สารช่วยย้อม = 0.026 ลบ.ซม./ลบ.ดม.
4. Cargon PT = 0.004 ลบ.ซม./ลบ.ดม.

กลุ่ม ข.

5. Fast Red B Salt = 0.11 กรัม/ลบ.ดม.
6. CH_3COOH สารช่วยย้อม = 0.009 ลบ.ซม./ลบ.ดม.
7. Remol ASN = 0.007 กรัม/ลบ.ดม.

การเตรียมตัวอย่างน้ำเสียของสีย้อมประเภทนี้ต้องแยกผลสีย้อม และสารช่วยย้อม ออกเป็น 2 กลุ่ม คือกลุ่ม ก. และกลุ่ม ข. นำส่วนผลสีย้อมในกลุ่ม ก. มาละลายน้ำแล้วต้มให้เดือด ตั้งทิ้งไว้ให้เป็นสิ่งค่อนำมารวมกับกลุ่ม ข. จากนั้นจึงเติมสารช่วยย้อมอีก 2 ชนิด ลงไปด้วย ในอัตราส่วนดังนี้

8. Polytergent B-350 (25 %) = 0.015 ลบ.ซม./ลบ.ดม.
9. Soda ash = 0.015 กรัม/ลบ.ดม.

3.3 การคัดเลือกสารเคมีที่ใช้เป็นสารลดสี (decolorants) ในการทดลอง

สารเคมีที่พิจารณาใช้ในขบวนการออกซิเดชัน-รีดักชันได้ เลือจากค่าศักยภาพในการ ออกซิไดส์ทางเคมี และศักยภาพในการรีดิวซ์ทางเคมี ซึ่งเป็นตัวชี้ถึงความสามารถในการเกิด ออกซิเดชันและรีดักชัน นอกจากนี้ยังพิจารณาถึงความสะดวกในทางปฏิบัติตลอดจนการนำไปใช้ งาน รวมทั้งต้นทุนด้วย และที่สำคัญอีกประการหนึ่งคือสามารถหาได้ง่ายในท้องตลาด จากเหตุ ผลดังกล่าวข้างต้นจึงได้เลือกใช้ $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$, H_2O_2 และ NaOCl เป็นสารเคมีที่ใช้ในการ ลดสีของน้ำเสียในงานวิจัยนี้

3.4 การเลือกใช้กรรมวิธีในการวัดสี

จากการศึกษาหาข้อมูลเกี่ยวกับการวัดสีที่ผ่านมา และใช้ปฏิบัติกันภายในประเทศ พบว่าส่วนใหญ่ใช้วิธีการเทียบสีกับสารละลายมาตรฐาน (Pt-Co standard solution) ซึ่งรู้จัก กันในหน่วยเอพีเอชเอ สารละลายมาตรฐานนี้มีโทนสีออกเหลือง ซึ่งมีความสว่างค่าหนึ่ง แต่สี ของน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมมีหลากสี ค่าความสว่างจะแตกต่างกันออกไป ดังนั้นค่าที่วัดได้

จึงมีความน่าเชื่อถือน้อยและไม่สามารถนำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์เปรียบเทียบ เพื่อผลทางวิชาการต่อไปได้

พัฒนาการลำดับต่อมาเกี่ยวกับการวัดสีภายในประเทศ ได้หันมาพิจารณาโทนสีเพิ่มเติม เข้าไปด้วย โดยใช้เครื่องเทียบสีที่เรียกว่าทินโทมิเตอร์ (Tintometer) ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ใช้หลักการผสมแม่สีทั้งสามเข้าด้วยกัน การวัดสีของน้ำเสียกระทำโดยปรับค่าความสว่างไว้ที่ค่า 50 จากนั้นนำตัวอย่างน้ำที่จะวัดค่าสีมาเทียบโดยพยายามปรับแผ่นฟิลเตอร์ของเครื่องมือที่มีด้วยกัน 3 โทนสี (แดง, เหลือง และน้ำเงิน) จนกระทั่งสีที่เกิดจากการผสมแสงที่ผ่านฟิลเตอร์มีค่าเท่ากับสีของตัวอย่างน้ำเสีย (ซึ่งสังเกตด้วยตา) นำผลที่ได้จากแผ่นฟิลเตอร์มารวมกัน ค่าที่ได้เรียกว่า "ค่าผลรวมของหน่วยโลริบอนด์" เมื่อได้ศึกษาเพิ่มเติม พบว่าการวัดสีด้วยวิธีนี้ไม่สื่อความหมายนัก เพราะตัวอย่างน้ำเสียที่มีโทนสีไม่เหมือนกัน แต่มีค่าหน่วยโลริบอนด์เท่ากัน อาจให้ความรู้สึกน่ารังเกียจแตกต่างกัน

วิธีการวัดสีอีกวิธีหนึ่งที่นิยมกันคือการวัดโดยใช้เครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ โดยเลือกพิจารณาความยาวคลื่นที่ให้เปอร์เซ็นต์การดูดซึมแสงได้มากที่สุด เป็นความยาวคลื่นเด่น (22) การวัดสีวิธีนี้เป็นที่นิยมมากพอสมควร เนื่องจากมีความสะดวก และตัดปัญหาเรื่องความคลาดเคลื่อนเกี่ยวกับตัวบุคคลลงไปได้ แต่การวัดสีวิธีนี้ยังมีข้อบกพร่องบางกรณี กล่าวคือค่าสีที่วัดได้จะอยู่ในรูปของอัตราส่วน และจะนำไปใช้งานได้เฉพาะกับการเปรียบเทียบตัวอย่างน้ำเสียซึ่งมีโทนสีชนิดเดียวกันเท่านั้น ทำให้เป็นอุปสรรคต่อการใช้งานภาคสนามจริง

ปัจจุบันวิธีการที่ดีที่สุดเกี่ยวกับการวัดสีคือ ต้องใช้เครื่องมือที่วัดค่าออกมาแล้วสามารถแปลงเข้าสู่หน่วยสากล ซี ไอ อี ได้ และจากนั้นจึงแปลงไปสู่หน่วย เอ ดี เอ็ม ไอ อีกต่อหนึ่ง (23) เครื่องมือดังกล่าวคือ สเปคโตรโฟโตมิเตอร์ (ควรเป็นแบบสแกนได้ ทั้งนี้เพราะสามารถวัดค่า % Transmission จำนวนมาก ๆ ได้ในเวลาอันรวดเร็ว) หรือเครื่องเทียบสีทินโทมิเตอร์ (แบบเฉพาะที่สามารถแปลงค่าเป็นหน่วยสากล ซี ไอ อี ได้)

สำหรับเครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์จะให้ค่าที่ถูกต้องกว่า เนื่องจากการวัดไม่ต้องอาศัยความรู้สึกจากบุคคลมาเกี่ยวข้อง ไม่เหมือนกับการวัดด้วยเครื่องเทียบสีทินโทมิเตอร์ แต่ราคาของเครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ชนิดนี้แพงมากประกอบกับการใช้งานลำบากซับซ้อน ไม่เหมาะกับการใช้งานภาคสนาม ส่วนเครื่องเทียบสีทินโทมิเตอร์ราคาไม่แพงมาก วิธีการวัดไม่ยุ่งยาก

และจากการศึกษาเปรียบเทียบการวัดสีระหว่างเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ และเครื่องเทียบสีกินโทมิเตอร์ สรุปได้ว่าในช่วงค่าสีไม่เกิน 300 เอดีเอ็มไอ⁽¹⁹⁾ ค่าที่วัดได้มีความแตกต่างกันน้อย ดังนั้นในการทดลองวิจัยนี้จึงเลือกวิธีการวัดสีโดยใช้เครื่องเทียบสีกินโทมิเตอร์ (แบบ AF 751) และนำผลที่ได้แปลงค่าเป็นหน่วยลากล ซี ไอ อี และแปลงไปเป็นหน่วย เอดีเอ็มไอ อีกต่อหนึ่ง

3.5 การเตรียมตัวอย่างน้ำเสียก่อนการวัดสี

Standard Methods⁽¹³⁾ ได้แนะนำเกี่ยวกับการเตรียมตัวอย่างน้ำก่อนการวัดสีไว้หลายประการ เพื่อให้ได้ค่าที่ถูกต้องและแม่นยำ เป็นต้นว่า

1. ให้กรองตัวอย่างน้ำเสียก่อน ทำการวัดสี
2. ให้ปรับค่าพีเอช ของตัวอย่างน้ำให้เท่ากับ 7.6 ก่อนการวัด แต่ละครั้ง

โดยทั่วไป เป้าหมายของการกรองตัวอย่างน้ำก่อนวัดค่าสีก็เพื่อต้องการกรองเอาสิ่งเจือปนอื่น ๆ อันมีขี้ล้าเหตุที่ทำให้เกิดสีออกไปเพราะสารที่ปะปนอยู่ในตัวอย่างนี้ สามารถกันเอาแสงให้กระจายเห (scatter) ออกไปได้ ทำให้การวัดหรือเทียบสีผิดไป

แต่งงานวัดสีของน้ำเสียจากการย้อมมีประเด็นในการพิจารณาแตกต่างออกไป กล่าวคือ จะต้องพิจารณาในสภาพที่เกิดขึ้นจริงในภาคสนามเป็นหลัก ซึ่งในภาคสนามนี้อาจมีสารปะปนลอยอยู่ในตัวอย่างน้ำเสียที่ขี้กมา อนึ่งถ้ากรองตัวอย่างน้ำเสียก่อน อาจทำให้การวัดสีคลาดเคลื่อนไปจากสภาพสนามได้ นอกจากนี้ยังมีน้ำเสียที่เกิดจากสีย้อมบางประเภท โดยเฉพาะสีย้อมที่ไม่ละลายน้ำหรือตกตะกอนง่าย ค่าสีที่วัดได้จากน้ำเสียที่ผ่านการกรองจะได้ค่าต่ำกว่าที่ไม่ผ่านการกรอง (หรือในสภาพที่ควรเกิดขึ้นจริงในสนาม) มาก โดยเฉพาะสีซัลเฟอร์ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงไม่กรองตัวอย่างน้ำก่อนการวัดสี ทั้งนี้เพื่อจะเสียนสภาพสนามให้ใกล้เคียงที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้

ส่วนที่ Standard Methods ได้แนะนำให้ปรับค่าพีเอชก่อนการวัดนั้น สาเหตุเป็นเพราะสีจะเปลี่ยนแปลงไปตามค่าพีเอชด้วย แต่ในการวัดสีน้ำเสียจากอุตสาหกรรมมีประเด็นที่พิจารณาแตกต่างออกไปเช่นกัน กล่าวคือ ค่าสีควรประเมินจากสภาพความเป็นจริงในภาคสนาม อีกทั้งการทดลองงานวิจัยนี้ ต้องมีการหาค่าพีเอชที่เหมาะสม สำหรับการลดสีของสารเคมีประเภทต่าง ๆ การวัดสีในงานวิจัยนี้จึงไม่พิจารณาผลกระทบอันเนื่องมาจากค่าพีเอช

นอกจากนี้ความเข้มของสีในตัวอย่างน้ำที่จะนำมาวัดค่าสีโดยเครื่องเทียบสีทึบโทมิเตอร์ มีผลกระทบต่อความแม่นยำของการวัดด้วย กล่าวคือสำหรับค่าสีสูง ๆ (มากกว่า 300 เอดีเอ็มไอ ขึ้นไป) ผลการวัดสีที่ได้จะมีความคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริงสูงด้วย (14,19) ในการทดลองนี้ จึงได้ทำการเจือจางตัวอย่างน้ำเสียที่จะนำมาวัดค่าสีด้วยน้ำกลั่นให้อยู่ในช่วงที่สักให้ความแม่นยำที่สุด ก่อนที่จะทำการวัดสีแต่ละครั้ง

3.6 การกำหนดเรียกชื่อตัวอย่างน้ำ

เนื่องจากการทดลองนี้ได้นำสีย้อมหลายประเภทมาทำการทดลอง และในแต่ละประเภท ยังแยกเป็นโทนสีต่าง ๆ รวมทั้งในแต่ละโทนสียังแบ่งเป็นชนิดปกติและชนิดควบคุม ทำให้เข้าใจ ยากและเกิดความสับสนได้ง่าย เพื่อความสะดวกจึงได้กำหนดเป็นอักษรย่อและหมายเลขสั้น ๆ ขึ้น มา โดยที่สีย้อมโตเร็กท์ใช้ตัวย่อว่า "D" แร็ด :-V, รีแอคทีฟ :-R, เอซิด :-A, เบสิก :-B, ซัลเฟอร์ :-S, อะโซอิก :-AZ ส่วนโทนสีแดงใช้ตัวย่อว่า "R" เหลือง :-Y, น้ำเงิน :-B, เขียว :-G, น้ำตาล :- BR

ตัวอย่างน้ำเสียชนิดปกติหรือมีสารช่วยย้อมจักใช้ตัวพิมพ์ใหญ่ ในขณะที่ตัวอย่างน้ำเสีย ชนิดควบคุมที่ไม่มีสารช่วยย้อมจะใช้ตัวพิมพ์เล็ก โดยอักษรตัวหน้าแสดงประเภทของสีย้อมและอักษร ตัวหลังแสดงถึงโทนสี นอกจากนี้จะใส่เลขกำกับด้วยเป็นหมายเลขของตัวอย่างน้ำเสียที่ทำการทดลอง ทั้งหมดตามที่แสดงในตารางที่ 3.2 ยกตัวอย่างเช่น

DR-4 คือ ตัวอย่างน้ำเสียชนิดปกติที่เกิดจากสีย้อมโตเร็กท์มีโทนสีเป็นสีแดง และถูก จัดไว้เป็นลำดับที่ 4

dr-1 คือ ตัวอย่างน้ำเสียชนิดควบคุมที่เกิดจากสีย้อมโตเร็กท์ มีโทนสีเป็นสีแดง และ ถูกจัดไว้เป็นลำดับที่ 1 เป็นต้น

3.7 การทดสอบการเสื่อมสภาพของสารเคมี

ในการวิจัยได้ใช้ $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$, H_2O_2 และ NaOCl เป็นสารลดสี โดยเฉพาะ H_2O_2 และ NaOCl เป็นสารที่เสื่อมสภาพได้ง่าย ในการทดลองจึงได้เก็บสารดังกล่าวไว้ในที่ซึ่งอุณหภูมิต่ำและได้ ตรวจสอบความเข้มข้นอยู่เป็นประจำ (สัปดาห์ละครั้ง) พบว่าคุณสมบัติทางเคมีของสารลดสีไม่เปลี่ยนแปลงถึงขั้นมีผลต่อการทำปฏิกิริยา

ตารางที่ 3.2 ตัวอย่างน้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้ในการทดลองและการกำหนดการ
เรียกชื่อ

หมายเลข ตัวอย่างน้ำ	ประเภทของสีย้อมที่ใช้ (Commercial name)	โทนสี	ชนิดน้ำเสีย
ก. น้ำเสียสังเคราะห์จากสีย้อมไตรเร็กซ์ :			
dr 1	Kagarus Light Scarlet F 3 G	แดง	ควบคุม
dy 2	Kagarus Supra Yellow GLS	เหลือง	ควบคุม
db 3	Kagarus Blue FF.RL	น้ำเงิน	ควบคุม
DR 4	Kagarus Light Scarlet F 3 G	แดง	ปกติ
DY 5	Kagarus Supra Yellow GLS	เหลือง	ปกติ
DB 6	Kagarus Blue FF.RL	น้ำเงิน	ปกติ
ข. น้ำเสียสังเคราะห์จากสีย้อมแควิน :			
vr 7	Indanthrene Red FBB	แดง	ควบคุม
vy 8	Indanthrene Yellow 5 GF	เหลือง	ควบคุม
vb 9	Indanthrene Blue RS	น้ำเงิน	ควบคุม
VR 10	Indanthrene Red FBB	แดง	ปกติ
VY 11	Indanthrene Yellow 5 GF	เหลือง	ปกติ
VB 12	Indanthrene Blue RS	น้ำเงิน	ปกติ
ค. น้ำเสียสังเคราะห์จากสีย้อมรีแอคทีฟ :			
rr 13	Remazol Red F 3 B	แดง	ควบคุม
ry 14	Remazol Yellow R	เหลือง	ควบคุม
rb 15	Remazol Brill Blue	น้ำเงิน	ควบคุม
RR 16	Remazol Red F 3 B	แดง	ปกติ
RY 17	Remazol Yellow R	เหลือง	ปกติ
RB 18	Remazol Brill Blue	น้ำเงิน	ปกติ

ตารางที่ 3.2 ตัวอย่างน้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้ในการทดลอง และการกำหนดการ
เรียกชื่อ (ต่อ)

หมายเลข ตัวอย่างน้ำ	ประเภทของสีย้อมที่ใช้ (Comercial name)	โทนสี	ชนิดน้ำเสีย
	ง. <u>น้ำเสียสังเคราะห์จากสีย้อมเอซิด :</u>		
ar 19	Pindanyl Red GR	แดง	ควบคุม
ay 20	Pindanyl Yellow 2 G	เหลือง	ควบคุม
ab 21	Telon Fast Navy Blue R 182 %	น้ำเงิน	ควบคุม
AR 22	Pindanyl Red GR	แดง	ปกติ
AY 23	Pindanyl Yellow 2 G	เหลือง	ปกติ
AB 24	Telon Fast Navy Blue R 182 %	น้ำเงิน	ปกติ
	จ. <u>น้ำเสียสังเคราะห์จากสีย้อมเบสิค :</u>		
br 25	Cathilon Red GCLH	แดง	ควบคุม
by 26	Cathilon Yellow GCLH	เหลือง	ควบคุม
bb 27	Cathilon Blue GLH	น้ำเงิน	ควบคุม
BR 28	Cathilon Red GCLH	แดง	ปกติ
BY 29	Cathilon Yellow GCLH	เหลือง	ปกติ
BB 30	Cathilon Blue GLH	น้ำเงิน	ปกติ
	ฉ. <u>น้ำเสียสังเคราะห์จากสีย้อมซัลเฟอร์ :</u>		
sb 31	Sodyesul Blue 2 GBCF	น้ำเงิน	ควบคุม
sbr 32	Sodyesul Brown FCF	น้ำตาล	ควบคุม
sg 33	Sodyesul Green NYFC	เขียว	ควบคุม
SB 34	Sodyesul Blue 2 GBCF	น้ำเงิน	ปกติ
SBR 35	Sodyesul Brown FCF	น้ำตาล	ปกติ
SG 36	Sodyesul Green NYFC	เขียว	ปกติ
	ค. <u>น้ำเสียสังเคราะห์จากสีย้อมอะโซอิก :</u>		
AZ 37	Fast Red B Salt	แดง	ปกติ

3.8 ค่ากำหนดค่าใช้จ่ายด้านสารเคมี

โดยธรรมชาติของลักษณะสีย้อม เราจะสามารถลดค่าสีสำหรับน้ำเสียบางประเภทได้ง่าย และใช้สารเคมีในปริมาณไม่มากนัก ในขณะที่น้ำเสียอีกบางประเภทก็ไม่สามารถกระทำได้ง่าย เหมือนเดิม แม้ว่าจะเพิ่มปริมาณสารเคมีในปริมาณที่มากขึ้นก็ตาม ทำให้ค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นเป็นลำดับ ตามไป จนไม่สามารถที่จะนำไปประยุกต์ใช้กับงานในสนามได้ จึงกำหนดขอบเขตของการทดลอง โดยพิจารณาค่าใช้จ่ายสารเคมีในงานภาคสนามด้วย ทั้งนี้ได้กำหนดให้ทดลองใช้ $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ ไม่เกิน 300 มก./ลบ.ตม., H_2O_2 ไม่เกิน 440 มก.- H_2O_2 /ลบ.ตม. และ NaOCl ไม่เกิน 345 มก.- Cl /ลบ.ตม. ซึ่งเทียบกับค่าใช้จ่ายด้านสารเคมีเท่ากับไม่เกิน 11.0, 20.0 และ 15.0 บาท/ม³ ตามลำดับ

3.9 ขั้นตอนการทดลอง

ในการทดลองได้เตรียมน้ำเสียของสีย้อมแต่ละชนิดตามที่ได้อัดเลือกไว้ในตารางที่ 3.1 เป็น 2 แบบคือ ตัวอย่างน้ำเสียที่ควรจะเป็นจริงในทางปฏิบัติ และตัวอย่างน้ำเสียที่เตรียมขึ้น เพื่อการศึกษา

ตัวอย่างน้ำเสียที่ควรจะเป็นจริงในทางปฏิบัติ ได้แก่ ตัวอย่างน้ำเสียที่เตรียมขึ้น จากการนำสีย้อม และสารช่วยย้อมละลายลงในน้ำตามอัตราส่วนในหัวข้อ 3.2 โดยเรียกชื่อตัวอย่างน้ำเสียแบบนี้ว่า "ตัวอย่างน้ำเสียชนิดปกติ"

ตัวอย่างน้ำเสียที่เตรียมขึ้นเพื่อผลในการศึกษาอิทธิพลของสารช่วยย้อม เตรียมได้ทำนองเดียวกับตัวอย่างน้ำเสียในแบบแรก แตกต่างกันตรงที่ไม่ใส่สารช่วยย้อมลงไป โดยจะเรียกชื่อตัวอย่างน้ำเสียแบบนี้ว่า "ตัวอย่างน้ำเสียชนิดควบคุม"

นำตัวอย่างน้ำเสียในแต่ละตัวอย่างซึ่งเตรียมขึ้นตามสูตรที่กำหนดไว้ มาทดลองกำจัดสีโดยขบวนการออกซิเดชัน-รีดักชันกับสารลดสี (decolorants) 3 ชนิด คือ โซเดียมไฮโดรซัลไฟท์ ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$), ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) และโซเดียมไฮโปคลอไรท์ (NaOCl) ตามลำดับ

3.9.1 การทดลองโดยใช้โซเดียมไฮโดรซัลไฟท์เป็นสารลดสี

ในขั้นแรกนำตัวอย่างน้ำเสียที่เตรียมได้ตามสูตรที่กำหนดไว้ในข้อ 3.2 ไปตรวจวัดค่าพีเอช ค่าโออาร์พีเป็นมิลลิโวลท์ (เทียบกับคาโบลเมลอีเลคโทรด) และค่าสีเป็นเอทีเอ็มไอ

จากนั้นจึงนำตัวอย่างน้ำเสียแต่ละชนิดไปทดลองหาค่าพีเอช เริ่มต้นที่เหมาะสม และปริมาณสารลดสีที่เหมาะสมต่อไป การที่ต้องหาพีเอชเริ่มต้นที่เหมาะสมแทนการใช้สารเคมีเติมลงไปนั้นน้ำเสียโดด ๆ เป็นเพราะผู้วิจัยเชื่อว่าพีเอชเริ่มต้นก่อนเติมสารเคมีลงไป มีบทบาทต่อการทำปฏิกิริยาของสีกับสารเคมีดังกล่าวด้วย

การทำการทดลองมีขั้นตอนสรุปสั้น ๆ ดังนี้

ก. ใส่น้ำเสียปริมาตร 800 ลบ.ซม. ลงในบีกเกอร์ขนาด 1 ลบ.ดม. จำนวน 6 ใบ ปรับค่าพีเอชของตัวอย่างน้ำเสียในแต่ละบีกเกอร์ให้ได้ค่าต่าง ๆ ตามกำหนด ในช่วง 2.5-11.0 ด้วย 0.2 N HCl หรือ 0.2 N NaOH โดยใช้เครื่องวัดพีเอช Beckman Zeromatic SS-3 และเครื่องกวน (Stirrer) Heidolph Model MRL (520 W) และใช้แท่งแม่เหล็กขนาด $1\frac{1}{2}$ นิ้ว พร้อมทั้งบันทึกค่าพีเอชของน้ำเสียก่อนทำปฏิกิริยากับสารลดสีนี้ไว้ด้วย

ข. นำตัวอย่างน้ำเสียที่ปรับค่าพีเอชแล้วทั้ง 6 บีกเกอร์เข้าอุปกรณ์จาร์เทสต์ (Jar Test Apparatus) Voss Stirrer, Voss Instruments Ltd. England (ดูรูปที่ 3.1) ทำการทดลองโดยใส่โซเดียมไฮโดรซัลไฟท์ในปริมาณที่มากเกินพอ เพื่อให้ปฏิกิริยาเกิดขึ้นโดยเร็ว ภายในเวลาที่ไม่นานเกินไปคือไม่เกิน 3 นาที และสามารถสังเกตเห็นความแตกต่างได้ชัดเจน ทั้งนี้โดยยึดหลักเกณฑ์ว่าหากใช้สารเคมีในปริมาณสูงกว่าค่าดังกล่าวแล้วจะไม่คุ้มทุนในการประยุกต์ใช้งานภาคสนาม ด้วยเหตุผลดังกล่าวได้เลือกเติมโซเดียมไฮโดรซัลไฟท์ในปริมาณคงที่คือ 125 มก./ลบ.ดม. เท่ากันทุกบีกเกอร์ และกวนด้วยความเร็วรอบเท่ากับ 100 รอบ/นาที ที่อุณหภูมิห้อง โดยใช้เวลากวน 3 นาที

ค. ทำการวัดค่าสีของน้ำเสียที่เหลือ และวัดค่าพีเอชหลังปฏิกิริยา ตรวจสอบว่าค่าพีเอชก่อนทำปฏิกิริยาของน้ำเสียค่าใดที่ให้ผลการลดสีที่ดีที่สุด นำค่าพีเอชก่อนปฏิกิริยาที่เหมาะสมนั้นไปทำการทดลองในขั้นตอนต่อไป

หมายเหตุ : ขั้นตอนการทดลองจาก ก-ค นี้เป็นการหาค่าพีเอชที่เหมาะสมในการกำจัดสีด้วย

โซเดียมไฮโดรซัลไฟท์ของแต่ละตัวอย่างน้ำเสียเท่านั้น

ง. ทดลองหาปริมาณที่เหมาะสมโดยกำหนดความเข้มข้นของปริมาณโซเดียมไฮโดรซัลไฟท์ ในช่วง 25, 50, 75, 100, 125 มก./ลบ.ตม. หรือนอกเหนือจากค่ากำหนดดังกล่าวแล้วแต่กรณี แต่ไม่เกิน 300 มก./ลบ.ตม. เพราะจะไม่คุ้มทุนในการประยุกต์ใช้ในภาคสนาม

จ. ใส่น้ำเสียตัวอย่างชนิดเดิมปริมาตร 800 ลบ.ซม. ลงในปิกเกอร์ นำเข้าเครื่องกวนแบบ 1 ปิกเกอร์ที่สร้างขึ้นมาโดยเฉพาะและสามารถวัดค่าพีเอช และโออาร์พีได้ในเวลาเดียวกัน (ดูรูปที่ 3.2) กวนที่ความเร็ว 100 รอบ/นาทีเหมือนเดิม ปรับสภาพน้ำเสียดิบให้ค่าพีเอชก่อนปฏิกิริยาเท่ากับค่าพีเอชที่เหมาะสมที่ได้จากข้อ ค. ทำการทดลองโดยเติมปริมาณโซเดียมไฮโดรซัลไฟท์ตามค่าที่กำหนดในข้อ ง. ครั้งละ 1 ค่าความเข้มข้น บันทึกค่าสีของน้ำเสียที่เหลือค่าพีเอชหลังปฏิกิริยาและโออาร์พีทุก ๆ 5-10 นาที จนกระทั่งค่าสีที่เหลือมีแนวโน้มคงที่แต่ไม่เกิน 120 นาที

ฉ. ทำการทดลองและบันทึกค่าเหมือนข้อ จ. โดยเปลี่ยนปริมาณโซเดียมไฮโดรซัลไฟท์อีก 3-4 ครั้ง

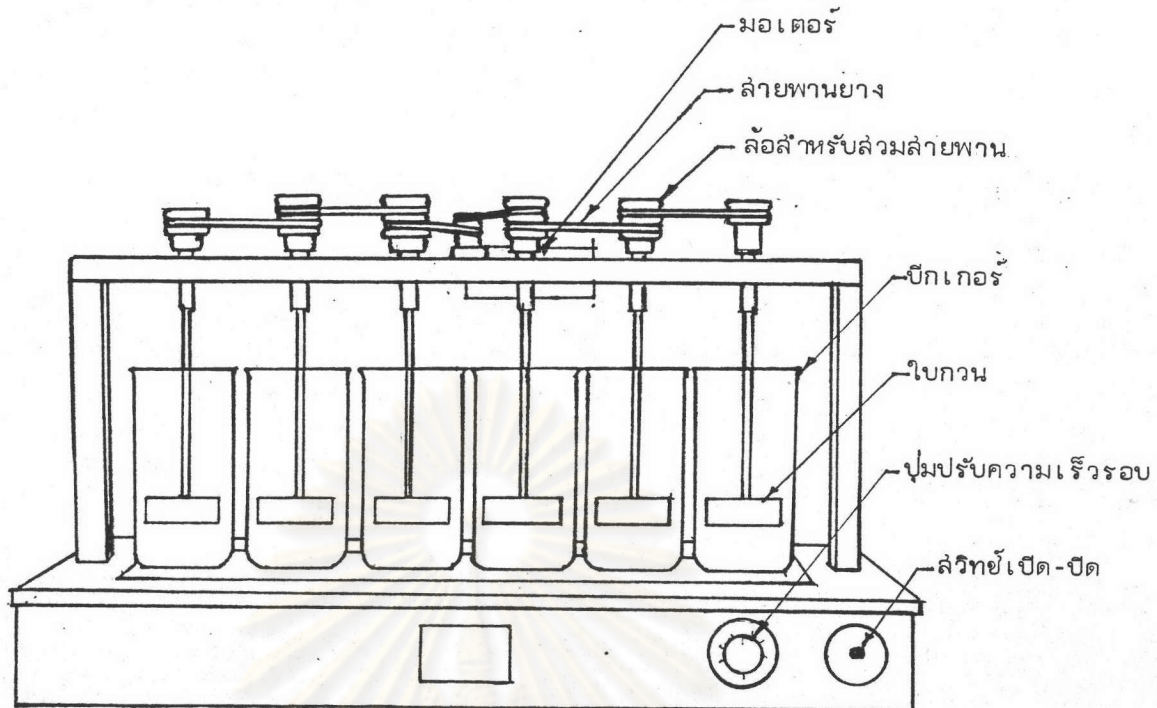
ช. นำค่าที่ได้ไปวิเคราะห์และสรุปผล

ซ. ทำการทดลองกับตัวอย่างน้ำเสียชนิดอื่น ๆ ทำนองเดียวกันจนครบตามที่กำหนดไว้ในขอบเขตการทดลอง

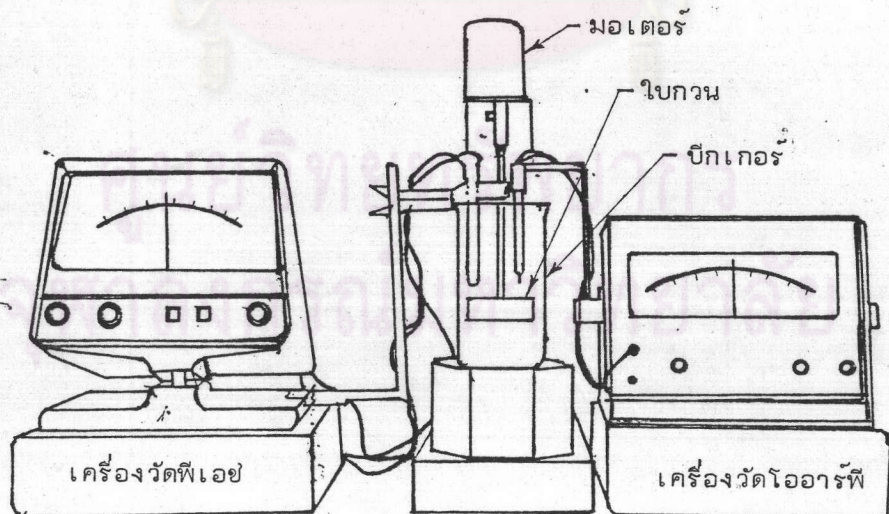
หมายเหตุ : ในกรณีที่การลดสีในขั้นตอนการหาค่าพีเอชที่เหมาะสม มีแนวโน้มว่าไม่มีประสิทธิภาพหรือไม่ได้ผล จะได้ทำการทดลองในขั้นเปลี่ยนค่าความเข้มข้นของสารลดสี (ตามข้อ ค และ ฉ) เพียง 1 ครั้ง โดยใช้ปริมาณสารลดสีที่ค่ากำหนดสูงสุด ซึ่งถ้าใช้ปริมาณสารลดสีที่มากกว่าค่าดังกล่าวจะไม่คุ้มทุนในการประยุกต์ใช้งานภาคสนาม

3.9.2 การทดลองโดยใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็นสารลดสี

ทำการทดลอง บันทึกค่า และวิเคราะห์ผลกับตัวอย่างน้ำเสียทั้งหมด ทำนองเดียวกันกับข้อ 3.9.1 ต่างกันเฉพาะข้อ ข และข้อ ง. กล่าวคือใช้ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในการทดลองเปลี่ยนค่าพีเอชเพื่อหาค่าพีเอชที่เหมาะสมเท่ากับ 746 มก.-H₂O₂/ลบ.ตม. และเวลาในการกวน 10 นาที (ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ใช้เท่ากับ 746 มก./ลบ.ตม. ซึ่งตัวเลขไม่ลงตัว เป็นเพราะการทดลองได้เติมสารเคมีที่ละลาย ซึ่งควบคุมปริมาตร (ลบ.ซม.) ให้แน่นอนพอดีไม่ได้)



รูปที่ 3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลองหาค่าพีเอชที่เหมาะสม



รูปที่ 3.2 เครื่องมือที่ใช้ทดลองหาปริมาณสารลดสีที่เหมาะสม

กำหนดค่าความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ใช้ทดสอบหาปริมาณสารลดสีที่เหมาะสมเป็น 9.0, 18.0, 36.0, 58.0, 145.0, 217.0 มก-H₂O₂/ลบ.ตม. แต่ไม่เกิน 440 มก-H₂O₂/ลบ.ตม.

3.9.3 การทดลองโดยใช้โซเดียมไฮโปคลอไรท์เป็นสารลดสี

ทำการทดลอง บันทึกค่าและวิเคราะห์ผลกับตัวอย่างน้ำเสียทั้งหมด ทำนองเดียวกับข้อ 3.9.1 ต่างกันเฉพาะข้อ ข และข้อ ง. กล่าวคือ

ใช้ปริมาณโซเดียมไฮโปคลอไรท์ ในการทดลองเปลี่ยนค่าพีเอชเพื่อหาค่าพีเอชที่เหมาะสมเท่ากับ 115 มก-Cl/ลบ.ตม. และเวลาในการกวน 10 นาที

กำหนดค่าความเข้มข้นของโซเดียมไฮโปคลอไรท์ ในการหาปริมาณที่เหมาะสมเป็น 2.87, 5.75, 23.0, 34.5, 46.0, 51.75, 69.0, 86.5, 115.0 มก-Cl/ลบ.ตม. แต่ไม่เกิน 345 มก-Cl/ลบ.ตม.

3.10 เครื่องมือและอุปกรณ์สำคัญ ๆ ที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องวัดค่าพีเอช Beckman Zeromatic SS.3
2. เครื่องวัดโออาร์พี เป็นมิลลิโวลท์ (เทียบกับคาลาเมลอีเลคโทรด) Kent, Electronic Instruments Ltd. (pH Meter 7020) Electrode EIL 1144400
3. อุปกรณ์จอร์เทิลท์ Voss Stirrer, Voss Instruments Ltd. England
4. เครื่องกวนโดยอาศัยแท่งแม่เหล็ก Heidolph Model MR1 (520 W) Heidolph Elektro K.G Germany
5. เครื่องเทียบลิทมิเตอร์ ของบริษัทโลวิบอนด์ ประเทศอังกฤษ แบบ AF 751