สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การกำจัดสีย้อมชนิดเอโซในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยวิธีโอโซเนชัน

นายนราวุธ ศรีจันทร์
นายพัฒนศักดิ์ วานิช

ปร.
ว624ก
2547
เลขหมู่ 62009
เลขทะเบียน
วัน,เดือน,ปี 25 ก.ค. 2549
b 11758908
i

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Removal of Azo Dye in Synthetic Wastewater by Ozonation

Mr. Narawut Srijan

Mr. Pattanasak Vanich

A REPORT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

BACHELOR OF ENGINEERING IN CHEMICAL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2004

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การกำจัดสีย้อมชนิดเอโซในน้ำเสียสังเคราะห์โดยวิธีโอโซเนชัน	
นักศึกษา	นายนราวุธ ศรีจันทร์	รหัสประจำตัวนักศึกษา 44010734
	นายพัฒนศักดิ์ วานิช	รหัสประจำตัวนักศึกษา 44010774
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต	
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี	
ปีการศึกษา	2547	
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร. สุธาสินี เนรมิตตกพงศ์	

ปริญญานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี

.....ประธานกรรมการ
(ดร. สุธาสินี เนรมิตตกพงศ์)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. ประกอบ กิจไชยา)

.....กรรมการ
(ดร. พรสวรรค์ กาญจนวณิชย์กุล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรื่อง การกำจัดสีย้อมชนิดเอโซในน้ำเสียสังเคราะห์โดยวิธีโอโซเนชัน
โดย นายนราวุธ ศรีจันทร์
นายพัฒนศักดิ์ วานิช
อาจารย์ที่ปรึกษา ดร. สุธาสินี เนรมิตตกพงศ์
ปริญญานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเหล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการกำจัดสีย้อมชนิดเอโซ ชื่อ "ฟาสบลูบี" ในน้ำเสียสังเคราะห์โดยวิธีโอโซเนชัน โดยปัจจัยที่ศึกษาคือ อัตราการป้อนก๊าซออกซิเจนเข้าสู่เครื่องผลิตโอโซน ความเป็นกรด-ด่างของสารละลาย ความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ และเกลือโซเดียมซัลเฟตในสารละลายสีย้อม โดยพิจารณาเปรียบเทียบการลดลงของความเข้มสี และปริมาณความต้องการออกซิเจนทางเคมี (COD) พบว่าเวลาที่ใช้ในการกำจัดสีอย่างสมบูรณ์แปรผกผันกับอัตราการไหลของออกซิเจนเข้าสู่เครื่องผลิตโอโซน และพบว่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายมีผลต่อการกำจัดสีย้อมเช่นกัน โดยพบว่าสารละลายสีย้อมที่เป็นกรด (pH4) หรือด่าง (pH10) ใช้เวลาในการกำจัดสีย้อมมากกว่าสารละลายสีย้อมที่เป็นกลาง (pH7) เมื่อสารละลายสีย้อมมีเกลือละลายอยู่ พบว่าเวลาในการกำจัดสีย้อมจะแปรผันตรงกับความเข้มข้นของเกลือ โดยที่ความเข้มข้นของเกลือเท่ากัน พบว่าเกลือโซเดียมคลอไรด์จะทำให้การกำจัดสีย้อมใช้เวลามากกว่าเกลือโซเดียมซัลเฟต ในการทดลองครั้งนี้พบว่า วิธีโอโซเนชันสามารถลดปริมาณความต้องการออกซิเจนทางเคมี ได้ในช่วงร้อยละ 40-70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Report Title	Removal of Azo Dye in Synthetic Wastewater by Ozonation
By	Mr. Narawut Srijan
	Mr. Pattanasak Vanich
Advisor	Dr. Sutasinee Neramittagapong
Report for	Bachelor of Chemical Engineering
	Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering
	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Abstract

This work is studies on a removal of azo dye (Fast Blue B) in synthetic waste water by ozonation. The effect of oxygen flow rate, pH solution and a presence of salt, namely sodium chloride or sodium sulphate on the decolorization time and COD removal of Fast Blue B were investigated. Synthetic wastewater solution, having an intitial concentration of 20 ppm, salt concentration of 0, 5, 10 and 15 g/l and pH 4, 7and10 were used to perform a series of experiments. It was observed that the decolorization time decrease with an increasing oxygen flow rate. At neutral pH, the decolorization time was low compared to acidic and alkaline pH solutions. And it has been found that salt content in synthetic wastewater solution increases the decolorization time of the azo dye solution. Higher salt concentration gave slower decolorization and among the salt sodium chloride requires more decolorization time then sodium sulphate. The removal of Fast Blue B by ozonation was found that ozonation is relatively effective in reducing the COD. The COD reduction was around 40-70%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์นี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาและความอนุเคราะห์จาก อาจารย์ที่ปรึกษา ดร. สุธาสินี เนรมิตตกพงศ์ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือ คำแนะนำ คำปรึกษา คำชี้แนะในการแก้ปัญหา ตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดีแก่พวกข้าพเจ้า

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ ตลอดจนคำแนะนำในการดำรงชีวิตและการปฏิบัติตัวให้เป็นคนดีของสังคม

ขอขอบพระคุณ ดร.อาทิตย์ เนรมิตตกพงศ์ อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ได้ให้ความช่วยเหลือ และคำแนะนำในการเขียนปริญญานิพนธ์เล่มนี้

ขอขอบคุณ ทุนวิจัยจากเงินรายได้จากคณะวิศวกรรมศาสตร์ ประจำปี 2547 คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในการดำเนินการวิจัยจนสามารถดำเนินการวิจัยจนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณ คุณวัชรากรณ์ ปราณี นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้ให้ความช่วยเหลือคำแนะนำ คำปรึกษา คำชี้แนะในการแก้ปัญหาให้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

ขอขอบคุณ คุณพิสันต์ ผลโพธิ์ เจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้ช่วยแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างการดำเนินวิจัย

ขอขอบคุณ เพื่อนๆ นักศึกษาทุกคนที่ช่วยเหลือ และให้คำแนะนำต่างๆ ในการดำเนินการวิจัย พร้อมทั้งช่วยตรวจและแก้ไขข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้น จนสำเร็จสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

สุดท้ายนี้ คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ คณะผู้วิจัยขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

นราวุธ ศรีจันทร์
พัฒนศักดิ์ วานิช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II
กิตติกรรมประกาศ III
สารบัญ IV
สารบัญตาราง VI
สารบัญรูป VII
รายการสัญลักษณ์ IX
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา 1
1.3 ขอบเขตของการวิจัย 2
1.4 ขั้นตอนของการศึกษา 2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3
บทที่ 2 ทฤษฎี 4
2.1 สีย้อมผ้า (Dyestuff) 4
2.1.1 การจำแนกประเภทของสีย้อม 5
2.1.2 สีย้อมฟาสบลูบี 5
2.2 ประเภทโรงงานฟอกย้อมและแหล่งกำเนิดของเสีย 6
2.3 ลักษณะของน้ำเสียในอุตสาหกรรมฟอกย้อม 6
2.4 ประเภทของสิ่งสกปรกเจือปนในน้ำเสีย 8
2.5 ลักษณะคุณสมบัติน้ำเสียของโรงงานฟอกย้อม 10
2.6 มลพิษในน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อม 10
2.7 ลักษณะเฉพาะตัวที่สำคัญของน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมฟอกย้อม 11
2.8 แนวทางในการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมฟอกย้อม 12
2.9 การกำจัดสีย้อมในน้ำเสียจากการย้อมผ้า 13
2.10 โอโซน 15
2.10.1 คุณสมบัติของโอโซน 15
2.10.2 ความเป็นพิษของโอโซนในมนุษย์ 15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.10.3 ประโยชน์ของโอโซน 16
2.11 การหาอัตราของปฏิกิริยาและอันดับของปฏิกิริยา 16
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 21
3.1 การทดลองศึกษาอัตราการผลิตโอโซนจากเครื่องผลิตโอโซนโดยใช้ออกซิเจน 22
3.2 การทดลองศึกษาและสร้างกราฟมาตรฐานระหว่างค่าดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมฟาสบีบลูที่ความเข้มข้นต่างๆ 24
3.3 การทดลองศึกษาผลกระทบของอัตราการป้อนออกซิเจนต่อการเกิดออกซิเดชันของสารละลายสีย้อมฟาสบีบลู 25
3.4 การทดลองศึกษาผลของค่าความเป็นกรด-ด่างต่อการเกิดออกซิเดชันของสารละลายสีย้อมฟาสบีบลู 26
3.5 การทดลองศึกษาผลกระทบของความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์และเกลือโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อการเกิดออกซิเดชันของสารละลายสีย้อมฟาสบีบลู 27
3.6 การทดลองศึกษาออกซิเดชันสีย้อมในสารละลายสีย้อมที่มีค่าความเข้มข้นของสีย้อมความเป็นกรด-ด่างและความเข้มข้นของเกลือใกล้เคียงกับที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม 29
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล 31
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและแนวทางในการดำเนินการวิจัยต่อ 41
เอกสารอ้างอิง 43
ภาคผนวก ก 44
ภาคผนวก ข 45
ภาคผนวก ค.....51
ภาคผนวก ง.....52
ภาคผนวก จ.....62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 แสดงลักษณะสมบัติน้ำเสียของโรงงานฟอกย้อมแบ่งตามผลิตภัณฑ์ 10
ตารางที่ 4.1 การบำบัดสีย้อม 20 มิลลิกรัมต่อลิตรด้วยโอโซนและการกำจัดซีโอดี 40
ตารางที่ ข.1 แสดงปริมาณน้ำตัวอย่างและสารเคมีสำหรับขวดแก้วขนาดต่างๆ 48
ตารางที่ ง.1 วัดปริมาณของโอโซนที่ละลายในน้ำที่อัตราการป้อนของออกซิเจน 600 มิลลิลิตรต่อนาที 52
ตารางที่ ง.2 วัดปริมาณของโอโซนที่ละลายในน้ำที่อัตราการป้อนของออกซิเจน 1,200 มิลลิลิติต่อนาที 52
ตารางที่ ง.3 ปริมาณของโอโซนที่ละลายในน้ำที่อัตราการป้อนของออกซิเจน 1,800 มิลลิลิตรต่อนาที 53
ตารางที่ ง.4 วัดปริมาณของโอโซนที่ละลายในน้ำที่อัตราการป้อนของออกซิเจน 2,400 มิลลิลิตรต่อนาที 53
ตารางที่ ง.5 ค่าการดูดกลืนแสงของสีย้อมที่ความยาวคลื่น 380 นาโนเมตร ที่ความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมต่างๆ 54
ตารางที่ ง.6 ความเข้มข้นของสีย้อมฟาสบลูบีในสารละลายสีย้อมฟาสบลูบีที่เวลาต่างๆ ที่อัตราการป้อนออกซิเจนต่างๆ 54
ตารางที่ ง.7 ความเข้มข้นของสีย้อมฟาสบลูบีในสารละลายสีย้อมฟาสบลูบีที่เวลาต่างๆ ที่อัตราการป้อนออกซิเจน 1,800 มิลลิลิตรต่อนาที และค่าความเป็นกรด-ด่างต่างๆ 55
ตารางที่ ง.8 ความเข้มข้นของสีย้อมฟาสบลูบีในสารละลายสีย้อมฟาสบลูบีที่เวลาต่างๆ ที่อัตราการป้อนออกซิเจน 1,800 มิลลิลิตรต่อนาที และมีเกลือโซเดียมครอไรด์ละลายอยู่ที่ความเข้มข้นต่างๆ 56
ตารางที่ ง.9 ความเข้มข้นของสีย้อมฟาสบลูบีในสารละลายสีย้อมฟาสบลูบีที่เวลาต่างๆ ที่อัตราการป้อนออกซิเจน 1,800 มิลลิลิตรต่อนาที และมีเกลือโซเดียมซัลเฟตละลายอยู่ที่ความเข้มข้นต่างๆ 57
ตารางที่ ง.10 ค่าความเข้มข้นของสีย้อมฟาสบลูบีเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อเวลาผ่านไปที่อัตราการป้อนก๊าซออกซิเจน 1800 มิลลิลิตรต่อนาที มีเกลือโซเดียมครอไรด์เข้มข้น 15 กรัม ต่อลิตร และค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 8.5 59
ตารางที่ ง.11 ปริมาณของ FAS ที่ใช้ในการไทเทรตกับตัวอย่างน้ำเพื่อหาค่าซีโอดี 61
ตารางที่ จ.1 ค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม 62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 สูตรโครงสร้างของสีฟาสบลูบี 5
รูปที่ 2.2 สมดุลบนปริมาตรของระบบ 17
รูปที่ 2.3 ตัวอย่างกราฟระหว่าง ln(-dC_A/dt) กับ (lnC_A) ซึ่งค่าความชันของกราฟ จะมีค่าเท่ากับค่า α ซึ่งค่า α คืออันดับของปฏิกิริยา 20
รูปที่ 3.1 ชุดทดลองการบำบัดสีย้อมฟาสบลูบีในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยวิธีโอโซเนชัน 21
รูปที่ 4.1 ปริมาณโอโซนที่สังเคราะห์ที่อัตราการป้อนออกซิเจนต่างๆ กัน 31
รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและค่าความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมฟาสบลูบี 32
รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงของสีย้อมเข้มข้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตร กับเวลาที่ใช้ในการกำจัดสีย้อมที่อัตราการป้อนก๊าซออกซิเจนต่างๆ 33
รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายสีย้อมกับระยะเวลาที่ใช้ในการกำจัดสีย้อมในสารละลายสีย้อม 33
รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มของเกลือโซเดียมคลอไรด์กับระยะเวลาที่ใช้ในการกำจัดสีย้อมในสารละลายสีย้อม 34
รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มของเกลือโซเดียมซัลเฟตกับระยะเวลาที่ใช้ในการกำจัดสีย้อมในสารละลายสีย้อม 35
รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการกำจัดสีย้อมในสารละลายสีย้อมกับความเข้มข้นของเกลือโซเดียมซัลเฟตและโซเดียมคลอไรด์.....36
รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงเมื่อเวลาผ่านไป ในการกำจัดสารละลายสีย้อมฟาสบลูบีความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร มีเกลือโซเดียมครอไรด์เข้มข้น15 กรัมต่อลิตร และมีค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 8.5 37
รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเปลี่ยนเมื่อเวลาผ่านไป ในการกำจัดสารละลายสีย้อมฟาสบลูบีความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร มีเกลือโซเดียมครอไรด์เข้มข้น 15 กรัมต่อลิตร และมีค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 8.5 38
รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่าง ln (rate) กับ ln (C) ที่ใช้ในการหาอันดับของปฏิกิริยา 39
รูปที่ ข.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการหาความต้องการออกซิเจนทางเคมี โดยวิธีรีฟลักซ์แบบปิด 48
รูปที่ ข.2 การเปลี่ยนสีของตัวอย่างน้ำหลังจากการไทเทรตด้วย FAS 49
รูปที่ ข.3 แผนผังการวิเคราะห์ความต้องการออกซิเจนทางเคมีโดยวิธีรีฟลักซ์แบบปิด 50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ ค.1 ชุดทดลองการบำบัดสีย้อมฟาสบลูบีในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยวิธีโอโซเนชัน 51

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการสัญลักษณ์

A	=	ปริมาตรของ FAS ที่ใช้ไทเทรตแบลงค์ (มิลลิลิตร)
B	=	ปริมาตรของ FAS ที่ใช้
C_A , C_B	=	ความเข้มข้นของสาร A และ สาร B (โมล/ลิตร)
F_{j0}	=	อัตราการไหลเข้าของสารที่สนใจ (โมล/เวลา)
F_j	=	อัตราการไหลออกของสารที่สนใจ (โมล/เวลา)
G_j	=	อัตราการเกิดของสารที่สนใจ (โมล/เวลา)
k_A	=	ค่าคงที่ของปฏิกิริยา
N	=	นอร์มอลลิตี้ของ FAS
r_j	=	อัตราการเกิดปฏิกิริยา (โมล/เวลา)
V	=	ปริมาตรของเครื่องปฏิกรณ์ (มิลลิลิตร)
α , β	=	อันดับของปฏิกิริยา

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

น้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกย้อมมีปริมาณและความเป็นพิษมาก น้ำเสียที่ปล่อยออกจากโรงงานพบว่ามีสารต่างๆปนอยู่มากมายเช่น สารซักฟอก เกลือประเภทต่างๆ กรดอะซิติก กรดซัลฟิวริค และสีย้อม เป็นต้น [1] การบำบัดน้ำเสียเหล่านี้ พบว่ามีปัญหาในการกำจัดสีย้อมเป็นอย่างมาก เนื่องด้วยแม้น้ำเสียจะมีปริมาณสีย้อมเพียงเล็กน้อยก็สามารถมองเห็นได้ง่ายและเป็นที่น่ารังเกียจ

มีวิธีการหลากหลายวิธีที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย เช่น วิธีการบำบัดทางเคมีกายภาพ (Physico-chemical) การตกตะกอน การบำบัดทางชีวภาพ [2] แต่เนื่องจากวิธีการเหล่านี้ นั้นมีค่าใช้จ่ายในการออกแบบและก่อสร้างสูง และใช้พื้นที่ในการก่อสร้างสูง จึงไม่เหมาะสมกับการประยุกต์ใช้ในโรงงานฟอกย้อมขนาดเล็ก ในขณะที่อีกวิธีหนึ่งที่นิยมใช้ คือ การใช้ตัวออกซิไดส์ (Oxidizing agent)

การบำบัดน้ำเสียโดยใช้สารเคมีที่เป็นตัวออกซิไดส์ เช่น ออกซิเจน ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ คลอรีนและสารประกอบคลอรีน โอโซน เป็นต้น โดยสารเหล่านี้จะเปลี่ยนสภาพของสารมลพิษในน้ำเสีย เป็นสารที่มีมลพิษน้อยหรือไม่มีมลพิษเลย [3] การกำจัดสีย้อมโดยวิธี การทำปฏิกิริยาออกซิเดชันของสีย้อมโดยใช้โอโซนเป็นตัวออกซิไดส์นั้น มีวิธีการในการใช้งานง่ายและยังใช้เวลาในการบำบัดน้อย งานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาถึงกระบวนการกำจัดสีย้อมในน้ำเสียสังเคราะห์ ด้วยวิธีโอโซเนชันเพื่อสามารถที่จะนำไปประยุกต์ใช้ได้จริง

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. ศึกษาวิธีการกำจัดสีย้อมด้วยวิธีโอโซเนชัน
2. ศึกษาความสัมพันธ์ของอัตราการไหลของออกซิเจน ความเป็นกรด-ด่างของสารละลาย ความเข้มข้นของสารละลายเกลือ ที่มีผลต่ออัตราการกำจัดสีย้อมโดยโอโซน และวิเคราะห์ปริมาณค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมีที่สามารถกำจัดได้ทั้งก่อนและหลังการบำบัดด้วยโอโซน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. ศึกษาการกำจัดสีย้อมโดยโอโซน สีย้อมที่ใช้ในการทดลอง คือ สีฟาสบลูบี (Fast Blue B) มีความเข้มข้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตร
2. ศึกษาตัวแปรต่างๆ ที่มีต่อการกำจัดสีย้อมด้วยโอโซน โดยตัวแปรที่ศึกษา มีดังนี้

   2.1 อัตราการไหลของออกซิเจนก่อนเข้าเครื่องกำเนิดโอโซน

   โดยทดลองออกซิเดชันสารละลายสีย้อมด้วยอัตราการไหลออกซิเจนต่างๆ กัน ดังนี้ 600 1,200 1,800 และ 2,400 มิลลิลิตรต่อนาที

   2.2 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

   ทดลองออกซิเดชันสารละลายสีย้อม โดยเปลี่ยนค่าความเป็นกรด-ด่าง ต่างๆ กัน ดังนี้ 4 7 และ 10

   2.3 ค่าความเข้มข้นของเกลือ

   ทดลองออกซิเดชันสารละลายสีย้อมที่มีเกลือผสมอยู่ ซึ่งจะใช้เกลือ 2 ชนิด คือ โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) และโซเดียมซัลเฟต ($Na_2SO_4.10H_2O$) โดยจะใช้ความเข้มข้นต่างๆ กัน ดังนี้ 0 5 10 และ 15 กรัมต่อลิตร
3. ทดลองออกซิเดชันสีย้อม ในสารละลายสีย้อมที่มีค่าความเข้มข้นของสีย้อมเท่ากับ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 8.5 และความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์เท่ากับ 15 กรัมต่อลิตร ซึ่งค่าเหล่านี้มีค่าใกล้เคียงกับที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม
4. ทดลองหาค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมี ของน้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้ในการทดลอง ทั้งก่อนและหลังการกำจัดสีย้อมด้วยโอโซน

1.4 ขั้นตอนของการศึกษา

1. ศึกษาทฤษฎีและรวบรวมงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. ทดลองหาอัตราการผลิตโอโซนจากเครื่องผลิตโอโซนโดยใช้ออกซิเจน
3. ศึกษาและสร้างกราฟมาตรฐานระหว่างค่าดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมฟาสบีบลูที่ความเข้มข้นต่างๆ
4. ทดลองออกซิเดชันสีย้อมที่อัตราการป้อนออกซิเจนต่างๆ กัน
5. ทดลองออกซิเดชันสีย้อมที่ค่าความเป็นกรด-ด่างต่างๆ และวิเคราะห์หาค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ทดลองออกซิเดชันสีย้อมที่มีเกลือโซเดียมคลอไรด์และเกลือโซเดียมซัลเฟตละลายอยู่ในสารละลายสีย้อมและวิเคราะห์หาค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมี
7. ทดลองออกซิเดชันสีย้อมในสารละลายสีย้อมที่มีค่าความเข้มข้นของสีย้อม ค่าความเป็นกรด-ด่าง และชนิดและความเข้มข้นของเกลือใกล้เคียงกับที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม และวิเคราะห์หาค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมี

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

เข้าใจหลักการการกำจัดสีย้อม ออกจากน้ำเสียโดยใช้โอโซน และนำผลที่ได้จากการศึกษาผลของอัตราการป้อนของออกซิเจน ความเป็นกรด-ด่างของสารละลาย ชนิดและความเข้มข้นของเกลือ ใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการบำบัดน้ำเสียที่มีสีย้อมเป็นองค์ประกอบโดยใช้วิธีโอโซเนชั่นเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎี

2.1 สีย้อมผ้า (Dyestuff)

สีย้อมช่วยเพิ่มคุณค่าให้แก่ผลิตภัณฑ์มากกว่าเดิม บ่อยครั้งที่สีของผลิตภัณฑ์จะเป็นสาเหตุสำคัญในการตัดสินใจซื้อของผู้บริโภค โดยทั่วไปสีของผลิตภัณฑ์จะมีส่วนในการตัดสินใจ ในการเลือกซื้อสินค้าตามความต้องการผู้บริโภค

โดยทั่วไปโครงสร้างโมเลกุลของสีย้อมมีความยุ่งยากซับซ้อนมาก และสีย้อมที่ดีนั้นจะต้องมีคุณสมบัติทำให้เกิดสีขึ้นอย่างถาวร สีย้อมทุกชนิดต้องมีหมู่ฟังก์ชันที่ไม่อิ่มตัว และบางส่วนของโมเลกุลสีย้อมจะเป็นวงอะโรมาติกส์

สีย้อมประกอบด้วยโครงสร้างที่ทำให้เกิดสีเรียกว่าโครโมเจน (Chromogen) ส่วนของโมเลกุลที่ทำให้สีย้อมมีสมบัติทางด้านการละลาย และมีสมบัติในการย้อมติดสี เรียกว่า ออกโซโครม (Auxochrome) ซึ่งเป็นตัวให้อิเล็กตรอน โครงสร้างของสีย้อมจะประกอบด้วยทั้งสองส่วนรวมกัน โครโมเจนเป็นส่วนของโครงสร้างอะโรมาติกส์ ซึ่งในโมเลกุลของสีย้อมและหมู่ที่ให้สี ซึ่งโดยทั่วไปจะเรียกว่า โครโมฟอร์ (Chromophore) และเป็นหมู่ฟังก์ชันที่ให้สีโดยการดูดกลืนแสงในช่วงคลื่นแสงที่มองเห็น (Visible spectrum) และหมู่โครโมฟอร์ที่มีอยู่ในโมเลกุลของสีย้อมโดยทั่วไปมีดังนี้

1. หมู่ไนโตรโซ -N=O หรือ =N-OH
2. หมู่ไนโตร $-NO_2$ หรือ =NOOH
3. หมู่เอโซ -N=N- หรือ $-{}^{+}N\equiv N$
4. หมู่เอทิลีน $>C=C<$
5. หมู่คาร์บอนิล $>C=O$
6. หมู่คาร์บอนิล-ไนโตรเจน $>C=NH$ หรือ $-CH=N-$
7. หมู่คาร์บอน-ซัลเฟอร์ $C-S-S-C<$ หรือ $>C=S$

หมู่ฟังก์ชันดังกล่าวจะเพิ่มความสามารถในการเกิดสีให้แก่สารประกอบอะโรมาติกส์ โดยจะเปลี่ยนแปลง หรือเพิ่มการดูดซับสีในช่วงคลื่นของการมองเห็น นอกจากนี้หมู่โครโมฟอร์สามารถจะใช้เป็นพื้นฐานในการจำแนกชนิดของสีย้อมด้วย โมเลกุลของสีย้อมบางตัวจะลดความเข้มข้นของสีหมู่โครโมฟอร์ในโมเลกุลของสีย้อมอิ่มตัว หมู่ออกโซโครมซึ่งเป็นส่วนหนึ่งในโมเลกุลของสีย้อมและจะเป็นหมู่ที่ทำให้เกิดการยึดติดกับวัสดุที่ทำการย้อมสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1 การจำแนกประเภทของสีย้อม

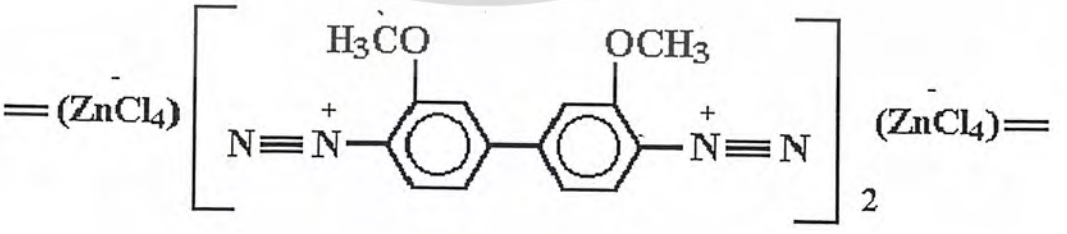
การจำแนกสีย้อมมีหลายระบบด้วยกัน เช่น การจำแนกตามแหล่งกำเนิด ตามกลุ่มเคมีภายในโครงสร้าง หรือการใช้งาน ระบบที่ใช้กันมากในปัจจุบันเป็นระบบที่ใช้ดัชนีสีที่แบ่งตามการใช้งาน ดังนี้

1. สีแอซิด (Acid)
2. สีเอโซอิก (Azoic or naphthol)
3. สีเบสิก (Basic or cationic)
4. สีไดเร็ค (Direct)
5. สีดิสเพิร์ส (Dispersed)
6. สีมอร์แดนท์ (Mordant)
7. สีแวต (Vat)
8. สีซัลเฟอร์ (Sulfur)
9. สีรีแอคทีฟ (Reactive)

สีเหล่านี้จะมีแรงกระทำในการจับยึดกับไฟเบอร์และโมเลกุลของสีย้อม ทั้งทางกายภาพและแรงทางเคมี นั่นคือ แรงเนื่องจากพันธะไฮโดนเจน แรงแวนเดอร์วาลล์ แรงไอออนิก และพันธะโควาเลนต์ [4]

2.1.2 สีย้อมฟาสบลูบี

สีฟาสบลูบี เป็นสีชนิดเอโซ สามารถละลายในน้ำได้ร้อยละ 10 เมื่อละลายในน้ำจะมีสีคัพเพิ้ลบลู (Coupled blue) มีน้ำหนักโมเลกุล 475.49 [5] มีสูตรโครงสร้างดังรูป



รูปที่ 2.1 สูตรโครงสร้างของสีฟาสบลูบี [6]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ประเภทโรงงานฟอกย้อมและแหล่งกำเนิดของเสีย

ประเภทโรงงานฟอกย้อมสามารถแบ่งเป็นประเภทใหญ่ๆ ได้ 3 ประเภท ได้แก่

1. กระบวนการฟอกย้อมเส้นด้าย
2. กระบวนการฟอกย้อมทอผ้า
3. กระบวนการฟอกย้อมผ้าถัก

ในแต่ละกระบวนการจะมีการใช้วัตถุดิบ สารเคมีและวิธีการซึ่งแตกต่างกัน ดังนั้นของเสียที่เกิดขึ้น จึงอาจมีความแตกต่างกันดังต่อไปนี้

2.2.1 กระบวนการฟอกย้อมเส้นด้าย

ในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการนี้จะทำให้เกิดของเสียขึ้นเนื่องจากการใช้สารเคมีในการทำความสะอาด ฟอกขาว การชุบมัน หรือสีย้อมประเภทต่างๆ ที่ใช้ในการย้อม ตลอดถึงขั้นตอนการซักล้างและอบแห้ง

2.2.2 กระบวนการฟอกย้อมผ้าทอ

กระบวนการนี้เป็นกระบวนการที่มีความสำคัญมาก เนื่องจากในแต่ละขั้นตอนจะมีการใช้น้ำ พลังงาน สารเคมี และสีย้อม ที่มีความแตกต่างกันทั้งชนิดและปริมาณ และทำให้เกิดของเสียที่มีคุณสมบัติและปริมาณที่แตกต่างกันตลอดเวลา

2.2.3 กระบวนการฟอกย้อมผ้าถัก

กระบวนการนี้เป็นกระบวนการผลิตที่มีความสำคัญมากและคล้ายคลึงกับผ้าทอทั้งในขั้นตอนการซักล้าง ฟอก ย้อม พิมพ์ และตกแต่งสำเร็จ สิ่งที่แตกต่างกันระหว่างผ้าทอกับผ้าถัก คือ การฟอกย้อมผ้าถักจะไม่มีขั้นตอนการลอกแป้ง เนื่องจากในกระบวนการผ้าถักนั้นจะใช้น้ำมันหล่อลื่นและน้ำมันเหล่านี้ก็จะติดอยู่บนผ้าถัก ดังนั้นกระบวนการเตรียมผ้าถักที่สำคัญก็คือ การซักล้างทำความสะอาดก่อนทำขั้นตอนต่อไป

2.3 ลักษณะของน้ำเสียในอุตสาหกรรมฟอกย้อม

น้ำเสีย (Water pollution)

ปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากอุตสาหกรรมฟอกย้อมส่วนใหญ่เกิดจากการทิ้งน้ำเสีย น้ำเสียจากการฟอกย้อมมีแหล่งกำเนิดในเกือบทุกขั้นตอนของการฟอกย้อม ตั้งแต่ขั้นตอนการเตรียมผ้า ขั้นตอนการให้สี และขั้นตอนการตกแต่งสำเร็จ โดยเฉพาะกระบวนการชำระล้างทำความสะอาดของแต่ละขั้นตอนจะมีการใช้น้ำในอัตราที่สูงมาก สิ่งที่สามารถพบได้ในน้ำเสีย ได้แก่ เศษเส้นใย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เศษผ้า สารเคมี กรดด่าง ไขมัน สบู่ สีย้อม และตัวทำละลาย ดังนั้นจึงทำให้ปริมาณสารมลพิษในน้ำเสียมีปริมาณสูงและเป็นปัญหาต่อสิ่งแวดล้อม

สภาพการเกิดและการระบายน้ำเสียจะเริ่มจากกระบวนการต่างๆ ที่ใช้ในกระบวนการผลิต ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดที่ถ่ายน้ำเสียลงในรางระบายน้ำภายในโรงงาน หลังจากนั้น น้ำเสียจะไหลเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานก่อนระบายทิ้งออกสู่แหล่งน้ำสาธารณะต่อไป ซึ่งน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมฟอกย้อมที่มาจากแหล่งต่างๆ ที่สำคัญ 5 แหล่งด้วยกัน คือ

1. น้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิต

ได้แก่ น้ำที่ใช้ในการดำเนินการฟอกย้อม น้ำที่ใช้ในส่วนนี้อาจมีการระเหยไปบ้างในระหว่างขั้นตอนการผลิต แต่ส่วนใหญ่จะถูกปล่อยเป็นน้ำเสียภายหลังการผลิต น้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิตนี้ยังแบ่งได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ

1.1 น้ำที่ใช้ในขั้นตอนการฟอกย้อม

น้ำในส่วนนี้มีปริมาณไม่มาก แต่มีความเข้มข้นของสิ่งสกปรกที่เจือปนอยู่ค่อนข้างสูง

1.2 น้ำที่ใช้ในการซักล้างภายหลังการฟอกย้อม

น้ำในส่วนนี้จะมีปริมาณมาก แต่มีความเข้มข้นของสิ่งสกปรกที่เจือปนอยู่โดยรวมแล้วต่ำกว่าน้ำเสียในประเภทแรก

2. น้ำที่ใช้ในหม้อไอน้ำ

ในกระบวนการฟอกย้อมมักจะมีการอาศัยไอน้ำเป็นตัวให้ความร้อนแก่น้ำที่ใช้ในกระบวนการและเป็นตัวให้ความร้อนในตู้อบไอน้ำ ถ้าไอน้ำที่ใช้ถูกปล่อยให้เย็นลงและกลั่นตัวในท่อไอน้ำก็จะได้น้ำที่สะอาดสามารถนำกลับไปใช้ได้ใหม่ แต่ถ้าไอน้ำถูกส่งไปให้ความร้อนแก่สารละลายสีย้อมโดยตรงก็จะเป็นการเพิ่มปริมาตรของสารละลายสีย้อม และถูกรวมเป็นน้ำเสียที่สกปรกที่สุด

3. น้ำที่ใช้ในการหล่อเย็น

ในกระบวนการฟอกย้อมของโรงงานเหล่านี้มีบ่อยครั้งที่จำเป็นที่ต้องทำการลดอุณหภูมิของสารละลายสีย้อมในเวลาอันสั้น ซึ่งจะทำก็โดยอาศัยการใช้น้ำหล่อเย็น น้ำหล่อเย็นนี้ส่วนใหญ่จะเป็นน้ำสะอาดสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้

4. น้ำที่ใช้ในการล้างเครื่องจักรและทำความสะอาดโรงงาน

น้ำส่วนนี้เป็นส่วนประกอบที่สำคัญส่วนหนึ่งของน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมฟอกย้อม และในบางกรณีเป็นน้ำเสียที่มีความสกปรกสูงมาก เช่น น้ำล้างถังเตรียมสีย้อม เป็นต้น

5. น้ำจากแหล่งอื่นๆ

นอกจากน้ำเสียจากแหล่งต่างๆ ดังที่ได้กล่าวข้างต้นแล้ว โรงงานอุตสาหกรรมฟอกย้อมยังอาจมีน้ำเสียจากแหล่งอื่นๆ อีก เช่น น้ำใช้จากคนงาน หรือน้ำฝน เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 ประเภทของสิ่งสกปรกเจือปนในน้ำเสีย

สารเคมีที่ใช้ในอุตสาหกรรมฟอกย้อมนั้น มีทั้งสารอนินทรีย์และสารอินทรีย์ ตัวอย่างของสารอินทรีย์ เช่น ด่างและกรดอนินทรีย์ ได้แก่ โซเดียมซิลิเกต (Na_2OSiO_2) โซเดียมซัลไฟด์ (Na_2S) แอมโมเนียมซัลเฟต ($(NH_4)_2SO_4$) โซเดียมคลอไรด์ โซเดียมซัลเฟต และยังมีสารฟอกขาวธรรมดา สารอินทรีย์นั้นมีการใช้กันอย่างแพร่หลาย ซึ่งประกอบด้วย กรดอินทรีย์ เช่น กรดฟอร์มิก (HCOOH) กรดไขมัน สารพวกสบู่ สารอินทรีย์ที่ใช้แทนแป้ง ผงซักฟอก สารทำให้เกิดความอ่อนนุ่ม สีย้อม สารนำพา และสารเคมีอื่นๆ อีก เช่น สารป้องกันการซึมน้ำ สารกันเชื้อรา สารกันไฟ ซึ่งล้วนแต่นำมาใช้ให้เป็นประโยชน์ต่อผ้าระหว่างกระบวนการตกแต่งสำเร็จทั้งสิ้น

สารเคมีบางตัวอาจมีค่าบีโอดี (BOD) สูง ซึ่งในขณะเดียวกันสารเคมีอื่นๆ ที่มีค่าบีโอดีต่ำและมีคุณสมบัติคล้ายกันก็สามารถนำมาใช้ทดแทนกันได้ จึงนิยมใช้สารเคมีที่มีค่าบีโอดีต่ำ เช่น มีการใช้คาร์บอกซีลเมธิลเซลลูโลส (Carboxylmetyl cellulose) แทนแป้ง ซึ่งมีประโยชน์และไม่เป็นอันตราย หรือหาทางขจัดออกได้ง่ายโดยวิธีทางเคมีหรือฟิสิกส์ แต่ทั้งนี้ก็อาจจะมีสารเคมีบางตัวที่ใช้ทดแทนแล้วทำให้เกิดผลต่อเนื่อง ซึ่งอาจเป็นผลเสียหายต่อสัตว์น้ำหรือการใช้น้ำในอนาคต และทำให้ต้องสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายมากขึ้น

เมื่อนำน้ำไปใช้ผ่านกระบวนการผลิตในขั้นตอนต่างๆ แล้ว ซึ่งในแต่ละขั้นตอนนั้นจะมีการใช้สารเคมีหลายชนิดและปริมาณต่างๆ กัน หลังจากน้ำใช้ผ่านเข้าไปในกระบวนการผลิตแล้วก็จะกลายเป็นน้ำเสีย ซึ่งจะต้องนำน้ำเสียไปปรับปรุงให้มีคุณภาพที่เหมาะสมก่อนที่จะปล่อยลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ น้ำเสียที่ได้จากกระบวนการฟอกย้อมนั้นจะต้องมีสิ่งสกปรกเจือปนอยู่มากมายหลายประเภท ซึ่งอาจจะจำแนกออกเป็นประเภทที่สำคัญๆ ได้ดังนี้ คือ

1. สีย้อม

ในการย้อมเส้นใยจะมีการดูดซึมสีย้อมจากสารละลายสีย้อมเพียงบางส่วนเท่านั้น และสีย้อมที่เหลือจะยังคงอยู่ในสารละลายสีย้อม โดยจะถูกปล่อยออกมากับน้ำเสียในที่สุด ปริมาณสีย้อมที่ยังคงเหลืออยู่ในสารละลายสีย้อมจะแตกต่างกันไปตั้งแต่ร้อยละ 5-50 ขึ้นอยู่กับประเภทของสีย้อมที่ใช้

2. สารเคมีที่ใช้ช่วยในกระบวนการฟอกย้อม รวมทั้งสารเคมีที่ใช้ในการตกแต่งสำเร็จ

สารเคมีที่ใช้ในอุตสาหกรรมฟอกย้อมและการตกแต่ง มีอยู่ด้วยกันหลายประเภท แบ่งออกได้เป็นกลุ่มใหญ่ๆ ได้ 3 กลุ่ม ดังนี้

2.1 สารช่วยย้อม (Auxiliaries chemicals) ได้แก่ สารช่วยขจัดสิ่งสกปรก (Scouring agent) สารช่วยเปียก (Wetting agent) และสารที่ใช้ช่วยในการย้อมสีให้ได้สีที่มีความสม่ำเสมอ (Levelling agent)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 สารเคมีพื้นฐาน (Basic chemicals) เป็นสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการฟอกย้อมโดยตรง ได้แก่ กรด ด่าง บัฟเฟอร์ เกลือ สารฟอกขาว และสารลอกแป้ง

2.3 สารเคมีตกแต่งสำเร็จ ได้แก่ สารที่ป้องกันการซึมของน้ำ สารกันเชื้อรา สารกันไฟ กันยับ ฯลฯ สารเคมีต่างๆ ที่กล่าวมาข้างต้น เมื่อนำมาใช้ในกระบวนการฟอกย้อม สารเคมีเหล่านี้ส่วนใหญ่ยังคงเหลืออยู่ในสารละลายสีย้อมหรือน้ำซักล้าง และจะถูกปล่อยปนออกมาในน้ำเสีย

3. สิ่งสกปรกเจือปนในเส้นใย

วัสดุสิ่งทอที่ถูกนำมาผ่านกระบวนการฟอกย้อมล้วนแต่มีสิ่งสกปรกเจือปนไม่มากก็น้อย ปกติเส้นใยธรรมชาติจะมีสิ่งสกปรกสูงกว่าเส้นใยสังเคราะห์ เพราะนอกจากจะมีสิ่งสกปรกเจือปนที่ติดมาในระหว่างกระบวนการผลิตแล้วยังมีสิ่งสกปรกเจือปนมากับธรรมชาติ ซึ่งมีปริมาณค่อนข้างมาก เช่น เส้นใยขนแกะมีสิ่งสกปรกที่ติดมากับธรรมชาติที่ต้องขจัดออกไปในขั้นตอนการเตรียมผ้าถึงร้อยละ 10 สิ่งสกปรกเจือปนนี้มีทั้งที่เป็นสารขี้ผึ้ง ไขมัน โปรตีน ตลอดจนสารประกอบโลหะต่างๆ นอกจากนี้ ในกระบวนการผลิตก็ยังมีการเติมสารเคมีต่างๆ ลงไปในเส้นใยด้วย เช่น พวกสารหล่อลื่น และแป้งที่ใช้ในการลงแป้งเส้นด้าย เป็นต้น สิ่งสกปรกเจือปนเหล่านี้จะถูกขจัดออกจากเส้นใยในขั้นตอนการเตรียมผ้าก่อนการฟอกย้อม และจะหลุดติดมาด้วยในน้ำเสียจากขั้นตอนการเตรียมผ้า

4. เศษเส้นใย

ในน้ำเสียจากกระบวนการฟอกย้อมมีองค์ประกอบหนึ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ คือ เศษเส้นใยที่หลุดออกมา เศษเส้นใยนี้หากมีปริมาณมากก็อาจทำให้เกิดปัญหาอุดตันของน้ำเสียในเครื่องย้อมได้ นอกจากนี้ ในกรณีของเส้นใยโพลีเอสเตอร์ยังมีสารโอลิโกเมอร์ (Oligomer) ที่อาจหลุดออกมาจากเส้นใยและปะปนในน้ำเสียได้

5. สิ่งสกปรกเจือปนอื่นๆ

นอกจากสิ่งสกปรกเจือปนต่างๆ ดังกล่าวข้างต้นแล้ว น้ำเสียจากกระบวนการฟอกย้อมยังอาจมีสิ่งสกปรกเจือปนอื่นๆ อีก เช่น สารเคมีพิเศษที่ใช้ในการขจัดรอยปนเปื้อนบนผ้า ซึ่งมักจะเป็นสารประกอบพวกคลอริเนตเบนซีน (Chlorinated benzene) พวกสารเคมีที่ใช้ในการล้างเครื่องเหล่านี้ เป็นต้น ซึ่งสารเคมีบางตัวก็อาจมีผลอย่างมากต่อลักษณะสมบัติของน้ำเสียภายหลัง

จากที่กล่าวข้างต้นจะเห็นได้ว่า สิ่งสกปรกเจือปนในน้ำเสียจากกระบวนการฟอกย้อมนั้นมีความหลากหลายอย่างยิ่งในแง่ขององค์ประกอบทางเคมี แต่น้ำเสียจากอุตสาหกรรมประเภทนี้ก็ยังมีข้อดีอยู่บ้างตรงที่สารส่วนใหญ่เป็นสารที่ง่ายต่อการบำบัด และมีค่าความเป็นพิษต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 ลักษณะคุณสมบัติน้ำเสียของโรงงานฟอกย้อม

จากการสำรวจโดยการเก็บตัวอย่างน้ำเสียของโรงงานฟอกย้อมในเขตกรุงเทพมหานคร และปริมณฑล จำนวน 100 ตัวอย่าง ซึ่งการเก็บตัวอย่างน้ำเสียได้ทำการเก็บตัวอย่างแบบจ้วงตัก (Grap sample) ที่จุดรวมน้ำเสียก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสีย โดยมีค่าที่ทำการตรวจวัด ได้แก่ ความสกปรกในรูปของค่าบีโอดี ค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมี (COD) ค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณของแขวนลอย (SS) และปริมาณค่าสีโดยใช้วิธีการเทียบสี (Platinum cobalt method) ซึ่งได้สรุปผลค่าประเมินต่างๆ แสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงลักษณะสมบัติน้ำเสียของโรงงานฟอกย้อมแบ่งตามผลิตภัณฑ์

ผลิตภัณฑ์ที่ฟอกย้อม	ลักษณะสมบัติน้ำเสียก่อนเข้าระบบบำบัด					จำนวนข้อมูล
	pH	BOD (มก./ล.)	COD (มก./ล.)	SS (มก./ล.)	สี (หน่วย Pt Co)	
ฟอกย้อมด้าย	8.2	120	300	43	450	13
ฟอกย้อมผ้าถัก	9.0	110	370	50	570	16
ฟอกย้อมผ้าทอ	8.6	400	1,200	140	670	41
ฟอกย้อมด้ายและผ้า หรืออื่นๆ	9.1	230	713	65	400	30

2.6 มลพิษในน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อม

ลักษณะสมบัติน้ำเสียในโรงงานฟอกย้อมประเภทต่างๆ จะมีความแตกต่างกัน โดยขึ้นอยู่กับวัตถุดิบ กระบวนการผลิต และสารเคมีที่ใช้ นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงของของสมบัติน้ำเสียในแต่ละโรงงานยังขึ้นอยู่กับเวลาและฤดูกาล แต่โดยทั่วไปมลพิษในน้ำเสียที่เกิดจากโรงงานฟอกย้อมมีดังนี้

1. บีโอดี (Biological oxygen demand, BOD)

ค่าบีโอดี เป็นค่าที่บ่งบอกถึงปริมาณความสกปรกของน้ำเสีย โดยคิดเปรียบเทียบในรูปของปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ต้องใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์คาร์บอน ในโรงงานฟอกย้อมบีโอดีส่วนใหญ่เกิดจากการเอาแป้งออกจากเนื้อผ้าหรือขั้นตอนการลอกแป้ง (Desizing) ซึ่งหากเป็นแป้งธรรมชาติ (Starch) นั้นจะมีความสกปรกในรูปของบีโอดีสูงมากเมื่อเทียบกับแป้งสังเคราะห์ (PVA, CMC, PVOH) หากพิจารณาจากการฟอกย้อมผ้าผืนทอ (Woven fabrics) ความสกปรกในรูปของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บีโอดีจากกระบวนการลอกแป้งจะคิดเป็นสัดส่วนประมาณร้อยละ 50 ของความสกปรกทั้งหมดในกระบวนการฟอกย้อม นอกจากค่าสกปรกในรูปบีโอดีเกิดจากกระบวนการฟอกย้อมต่างๆ ของสารจำพวกโปรตีน กรดอินทรีย์ ฯลฯ

2. ความต้องการออกซิเจนทางเคมี (Chemical oxygen demand, COD)

ค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมี เป็นค่าที่บ่งบอกถึงปริมาณความสกปรกของน้ำเสีย โดยคิดเปรียบเทียบในรูปของปริมาณออกซิเจนที่ต้องการในการออกซิไดส์สารอินทรีย์อย่างสมบูรณ์ โดย โดยจะใช้โปแตสเซียม
ไดโครเมท ($K_2Cr_2O_7$) ในสารละลายที่เป็นกรด ในกระบวนการฟอกย้อมค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมีเกิดจากสารช่วยย้อม สารสี สารตกแต่งและสารซักฟอก รวมทั้งสารต่างๆ ที่ก่อให้เกิดความสกปรกในรูปบีโอดี และสารอื่นๆ ที่เป็นตัวรับออกซิเจน (Reducing agent) เกือบทั้งหมด

3. ของแข็งแขวนลอย(Suspended solid)

ของแข็งแขวนลอย หมายถึง ปริมาณของแข็งที่สามารถกรองด้วยกระดาษกรองใยแก้ว (Whatman GF/C) ได้ แล้วอบให้แห้ง ของแข็งแขวนลอยมีผลทำให้ค่าบีโอดี และค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมีสูงขึ้นด้วย ของแข็งแขวนลอยในน้ำของโรงงานฟอกย้อม ได้แก่ เศษเส้นใย

4. ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำจะขึ้นอยู่กับสภาวะในการทำความสะอาดผ้า การฟอกขาวและสารย้อมสี ค่าความเป็นกรดหรือด่างของน้ำทิ้งจะมีผลต่อการดำรงชีวิตของจุลินทรีย์ในน้ำ

5. สีในน้ำทิ้ง

สีในน้ำทิ้งเป็นสิ่งที่ให้ผลกระทบได้ง่ายต่อความรู้สึกของผู้คนที่ได้พบเห็น แม้ว่าค่าบีโอดีของน้ำทิ้งหลังจากผ่านการบำบัดจะมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานแล้ว ก็ยังคงถูกจัดว่าเป็นน้ำเสียอยู่ดี [7]

2.7 ลักษณะเฉพาะตัวที่สำคัญของน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมฟอกย้อม

มีด้วยกันหลายข้อ ดังนี้

1. ความหลากหลายของสิ่งสกปรกที่เจือปนในน้ำทิ้ง

การฟอกย้อมสิ่งทอเป็นกระบวนการที่ต้องใช้สารเคมีและสีย้อมชนิดต่างๆ มากมาย รวมแล้วหลายร้อยชนิด สารเคมีและสีย้อมเหล่านี้บางส่วนจะถูกดูดซึมไว้ในวัสดุสิ่งทอ แต่จะมีบางส่วนปะปนมาในน้ำทิ้ง ซึ่งสารเคมีและสีย้อมแต่ละชนิดจะมีสมบัติด้านความเป็นพิษ ด้านผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และด้านความยากง่ายในการกำจัดที่แตกต่างกันไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.ความหลากหลายของน้ำทิ้งในด้านคุณภาพและปริมาณ

น้ำทิ้งจากโรงงานฟอกย้อมจะมีความหลากหลายมาก ทั้งในด้านคุณภาพและปริมาณ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุ กระบวนการ และชนิดของสีย้อมที่ใช้ ตลอดจนประเภทของเครื่องจักรที่ใช้

3. การมีสีของน้ำทิ้ง

น้ำทิ้งของโรงงานฟอกย้อมจะมีสี ซึ่งจะทำให้เป็นที่รังเกียจของผู้ที่พบเห็นและการกำจัดสีจากน้ำทิ้งก็เป็นเรื่องที่ยากและมีค่าใช้จ่ายที่สูงมากด้วย

4. ปริมาณของน้ำทิ้งที่ค่อนข้างมาก

โรงงานฟอกย้อมจะมีปริมาณน้ำทิ้งที่ค่อนข้างมากเมื่อเทียบกับโรงงานอุตสาหกรรมอื่น ทำให้ต้องใช้พื้นที่ในการบำบัดน้ำทิ้งมาก ต้นทุนการจัดตั้งระบบบำบัดน้ำทิ้งจึงสูงตามไปด้วย

2.8 แนวทางในการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมฟอกย้อม

อาจจะทำได้หลายทาง ดังนี้

1. การเลือกใช้สารเคมีและสีย้อมที่เหมาะสม

เนื่องจากสารเคมีและสีย้อมที่ใช้ในกระบวนการฟอกย้อมมีความหลากหลายทั้งในด้านความเป็นพิษ ด้านผลกระทบสิ่งแวดล้อมและความยากง่ายในการบำบัด ดังนั้นการเลือกใช้สารเคมีและสีย้อมที่มีผลกระทบต่อมลภาวะต่ำ และง่ายต่อการบำบัดนั้นจะสามารถช่วยลดปัญหามลภาวะของโรงงานและยังเป็นการลดมลภาวะในการบำบัดด้วย

2. การนำเทคโนโลยีที่สะอาดมาใช้ในโรงงาน

เทคโนโลยีที่สะอาด หมายถึง เทคโนโลยีที่เป็นการผลิตที่ปราศจากของเสียหรือมีของเสียน้อยที่สุด แม้ว่าเทคโนโลยีเหล่านี้ส่วนใหญ่จะมีราคาแพง และอาจต้องใช้เวลาในการปรับปรุงโรงงานเพื่อให้ใช้เทคโนโลยีใหม่นี้ค่อนข้างนาน แต่ในระยะยาว การเลือกใช้เทคโนโลยีนี้จะเป็นทางออกที่ดีที่สุด

3. การลดปริมาณและความสกปรกของน้ำทิ้ง

ค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำทิ้งแปรผันตามปริมาณและความสกปรกของน้ำทิ้ง ดังนั้นในการลดปริมาณและความสกปรกของน้ำทิ้งย่อมสามารถช่วยลดภาระในการบำบัดน้ำทิ้งของโรงงานลงได้ วิธีลดปริมาณและความสกปรกของน้ำทิ้งอาจทำได้หลายวิธี เช่น การใช้น้ำด้วยความประหยัด การเลือกใช้สีที่มีร้อยละของการดูดติดในเส้นใยสูง เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. การนำเทคโนโลยีที่เหมาะสมมาใช้ในการบำบัดน้ำทิ้ง

เนื่องจากน้ำทิ้งจากโรงงานฟอกย้อมมีความหลากหลายมากทั้งทางด้านคุณภาพและปริมาณ จึงควรที่โรงงานจะได้เลือกใช้กรรมวิธีการบำบัดที่เหมาะสมกับลักษณะเฉพาะของโรงงาน เพื่อให้สามารถดำเนินงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงที่สุด [4]

2.9 การกำจัดสีย้อมในน้ำเสียจากการย้อมผ้า

สีย้อมในน้ำเสียจากการย้อมผ้า สามารถถูกกำจัดไปบางส่วนไม่ว่าจากกระบวนการบำบัดด้วยวิธีทางเคมี หรือ ชีวภาพ ความพยายามที่จะกำจัดสีย้อมในน้ำทิ้งให้หมดไป หรือให้มีเหลืออยู่น้อยที่สุดได้ถูกคิดค้นมาเป็นเวลานาน วิธีที่มีการศึกษาวิจัยและรวบรวมไว้เป็นเอกสารที่ปรากฏอยู่มีดังต่อไปนี้

- โคแอกกูเลชันด้วยสารเคมี (Chemical coagulation)
- การดูดติดผิว (Adsorption)
- โอโซเนชัน (Ozonation)
- คลอริเนชัน (Chlorination)
- การใช้เมมเบรน (Membrane technology)

วิธีการบำบัดสีในน้ำเสียของโรงงานฟอกย้อมอาจใช้วิธีหนึ่งวิธีใดดังกล่าว หรืออาจใช้ร่วมกันก็ได้ ซึ่งประสิทธิภาพในการบำบัดขึ้นอยู่กับสารเคมีที่ใช้ในการผลิตสี บางครั้งพบว่าวิธีการเดียวอาจไม่สามารถกำจัดสีย้อมได้อย่างเหมาะสม จึงจำเป็นต้องมีวิธีอื่นร่วมด้วย และเนื่องจากโรงงานฟอกย้อมมีการใช้สีย้อมหลายประเภทด้วยกัน สำหรับวิธีการในการบำบัดด้วยวิธีต่างๆ ข้างต้นมีดังนี้

1. โคแอกกูเลชันด้วยสารเคมี (Chemical coagulation)

โคแอกกูเลชันหรือการสร้างตะกอนเคมี ประกอบด้วย 2 ขั้นตอนใหญ่ๆ คือ ขั้นตอนการเติมสารเคมีพวกสารสร้างตะกอน (Coagulant) ซึ่งได้แก่ สารส้ม ปูนขาว เกลือของเหล็ก สารโพลีอิเล็กโทรไลต์ เป็นต้น ผสมกับน้ำเสียที่มีตะกอนแขวนลอยเล็กๆ ขั้นตอนที่สองคือ การกวนอย่างช้าๆ เพื่อให้เกิดสภาพรวมตะกอน (Flocculation) ซึ่งได้มีการเกาะกันระหว่างตะกอนแขวนลอยเล็กๆ กับสารสร้างตะกอน จนได้ตะกอนที่มีขนาดใหญ่ขึ้นจนสามารถตกตะกอน

2. การดูดติดผิว

การดูดติดผิวเป็นความสามารถของสารบางชนิดในการดึงโมเลกุลหรือคอลลอยด์ ซึ่งอยู่ในของเหลวหรือก๊าซให้มาเกาะจับและติดบนผิว จะเรียกโมเลกุลหรือคอลลอยด์นั้นว่า สารถูกดูด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Adsorbate) ส่วนของแข็งที่มีผิวเป็นที่เกาะจับ เรียกว่า สารดูดติด (Adsorbent) และเรียกกลไกตั้งแต่ที่โมเลกุลหรือคอลลอยด์เคลื่อนที่ไปเกาะผิวของอีกสารหนึ่งว่า การดูดติดผิว (Adsorbtion)

โดยทั่วไปกระบวนการดูดติดผิวในกระบวนการกำจัดสีและกลิ่นในน้ำประปาและกระบวนการกำจัดสีในน้ำเสียจะนิยมใช้แอกติเวทเต็ดคาร์บอนที่มีพื้นที่ผิวจำเพาะสูงทำให้มีความสามารถในการดูดติดผิวสูงตามไปด้วย

3. คลอริเนชัน (Chlorination)

คลอริเนชันเป็นวิธีการกำจัดสีโดยใช้คลอรีนเป็นตัวออกซิไดส์ (Oxidizing agent) ซึ่งมีอำนาจออกซิไดส์สูงไปทำปฏิกิริยากับสีที่มีอยู่ในน้ำทิ้ง ทำให้สีหายไปหรือปริมาณสีลดลง ปริมาณสีที่ลดลงขึ้นอยู่กับปริมาณและความเข้มข้นของคลอรีนที่ใช้ คลอรีนที่ใช้จะอยู่ในรูปของก๊าซคลอรีน สารประกอบไฮโปออกไซด์ และคลอรีนไดออกไซด์

4. โอโซเนชัน (Ozonation)

โอโซเนชันเป็นการกำจัดสีในน้ำเสียโดยใช้โอโซน (O_3) เป็นตัวออกซิไดส์ ไปทำปฏิกิริยากับสีที่อยู่ในน้ำทิ้งเช่นเดียวกับคลอรีน แต่โอโซนมีจะความสามารถในการออกซิไดส์สูงกว่าคลอรีนเกือบเท่าตัว การผลิตโอโซนทำได้โดยผ่านอากาศแห้งหรือออกซิเจนบริสุทธิ์ไประหว่างขั้วไฟฟ้า 2 ขั้ว ที่มีความต่างศักย์ประมาณ 15,000 - 20,000 โวลท์ อะตอมของออกซิเจนจะถูกบังคับให้จับตัวกันใหม่กลายเป็นโอโซนอากาศแห้ง 1 ลูกบาศก์เมตร สามารถผลิตโอโซนได้ไม่เกิน 30 กรัม หรือเท่ากับร้อยละ 1.4 โดยปริมาตร ถ้าใช้ออกซิเจนบริสุทธิ์แทนอากาศแห้งอาจได้โอโซนได้เป็น 60-90 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร โอโซนสามารถทำให้เป็นของเหลวได้แต่นิยมใช้ในรูปก๊าซมากกว่า โอโซนเป็นก๊าซพิษที่ก่อให้เกิดความระคายเคืองอย่างรุนแรง

5. เทคโนโลยีในการใช้แผ่นเมมเบรน

เทคโนโลยีในการใช้แผ่นเมมเบรนประกอบด้วยวิธีอุลตราฟิลเตรชัน และรีเวอร์สออสโมซีส วิธีอุลตราฟิลเตรชันมีหลักการทำงานของระบบ คือ ใช้แผ่นเยื่อกระดาษ (Membrane) แบบรูพรุน (Porous) พวกเซลลูโลส-อะซิเตต หรือพอลีเมอร์สังเคราะห์ต่างๆ และอัดน้ำเข้าไปด้วยแรงดันไม่เกิน 1.034 กิโลนิวตันต่อตารางเมตร เยื่อกรองจะทำหน้าที่แยกสารปนเปื้อนทั้งแบบละลายน้ำและตะกอนเล็กที่มีขนาดโมเลกุลตั้งแต่ 500-500,000 และขนาดตั้งแต่ 2×10^{-6} ถึง 1×10^{-2} มิลลิเมตรได้ สำหรับวิธีรีเวอร์สออสโมซีส สามารถแยกสารปนเปื้อนที่มีขนาดตั้งแต่ 4×10^{-7} ถึง 6×10^{-5} มิลลิเมตร ซึ่งมีขนาดเล็กกว่าวิธีอุลตราฟิลเตรชัน นิยมใช้ในการแยกเกลือที่ละลายน้ำได้ด้วยการกรองผ่านเยื่อกรองแบบเยื่อกึ่งซึมผ่านได้ (Semipermeable membrane) [7]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10 โอโซน

2.10.1 คุณสมบัติของโอโซน

โอโซนอยู่ในรูปของสารประกอบของออกซิเจน มีสัญลักษณ์ทางเคมี คือ O_3 เป็นก๊าซที่ไม่เสถียร ไม่มีสี มีกลิ่นเฉพาะตัว สามารถทำปฏิกิริยาออกซิเดชันอย่างแรงสำหรับสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ โดยโอโซนมีคุณสมบัติทางกายภาพ ดังนี้

น้ำหนักโมเลกุล	48
จุดเดือด (ที่ความดัน 1 บรรยากาศ)	-111.9 องศาเซลเซียส
จุดหลอมเหลว (ที่ความดัน 1 บรรยากาศ)	-192.7 องศาเซลเซียส
อุณหภูมิวิกฤต	-12.1 องศาเซลเซียส
ความดันวิกฤต	54.6 บรรยากาศ
ปริมาตรวิกฤติ	0.147 ลิตรต่อโมล
ความหนาแน่น (ก๊าซ ที่ 0 องศาเซลเซียส)	2.144 กรัมต่อลิตร
ความหนาแน่น (ของเหลวที่ -183 องศาเซลเซียส)	1.57 กรัมต่อลูกบาศก์เซ็นติเมตร
ความตึงผิว (ที่ -183 องศาเซลเซียส)	38.4 ไดน์ต่อเซ็นติเมตร
ความหนืด (ของเหลว ที่ -183 องศาเซลเซียส)	1.55 เซ็นติพอยด์
เอนทาลปีของการระเหย (-122 องศาเซลเซียส)	75.6 แคลอรีต่อกรัม
สามารถดูดกลืนรังสียูวีได้ดีที่สุดที่ความยาวคลื่น	254 นาโนเมตร

2.10.2 ความเป็นพิษของโอโซนในมนุษย์

ในบางประเทศ เช่น สหรัฐอเมริกา ได้มีการนำก๊าซโอโซนมาใช้แก้ปัญหาน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งมีรายงานว่าได้ผลดีเมื่อเปรียบเทียบกับคลอรีน พบว่าโอโซนสามารถทำลายจุลินทรีย์และเชื้อโรค และยังสามารถเปลี่ยนสารอินทรีย์บางชนิดที่มีอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต เช่น ฟีนอล หรือสารอินทรีย์ที่มีโลหะหนักเป็นองค์ประกอบ ให้เป็นสารที่มีพิษลดลง นับเป็นข้อดีในการที่จะคลี่คลายปัญหาสภาพแวดล้อม แต่อย่างไรก็ตามควรตระหนักถึงขอบเขตของการใช้โอโซน เนื่องจากมีผลงานวิจัยที่บ่งชัดว่า โอโซนนอกจากจะมีประโยชน์แล้วก็ยังมีโทษต่อมนุษย์ สัตว์ พืช ด้วยเช่นกัน การศึกษาพิษของโอโซนกับสัตว์ทดลอง พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมี เช่น การบีบรัดของหลอดลมและปอด การทำลายเม็ดเลือดแดง การเปลี่ยนแปลงเนื้อเยื่อในเซลล์ต่างๆ ผลต่อการสร้างภูมิคุ้มกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างไรก็ตามอาการตอบสนองต่อพิษของโอโซนในมนุษย์มีความรุนแรงต่ำกว่าในสัตว์ทดลอง กล่าวคือ ก่อให้เกิดความรู้สึกไม่สบายเท่านั้น จากบันทึกอาการของบุคคลที่ได้รับโอโซนพบเพียงอาการปวดศีรษะ ระคายเคืองต่อดวงตา ลำคอ และ ระบบทางเดินหายใจ ซึ่งมักเกิดขึ้นต่อเมื่อได้รับโอโซนอย่างต่อเนื่องในระดับความเข้มข้นสูงกว่า 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร นอกจากนี้พบว่าอาการดังกล่าวยังเกิดขึ้นเฉพาะกับบุคคลที่มีประสาทสัมผัสไวเท่านั้น นอกจากนี้ยังมีรายงานเกี่ยวกับกลิ่นฉุน และอาการแสบจมูก ซึ่งบุคคลทั่วไปสามารถรับรู้ได้ในระดับความเข้มข้นขั้นต่ำเพียง 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร

นอกจากนี้ยังมีข้อมูลจากการวิจัย แสดงคุณสมบัติที่เป็นสารออกซิไดซ์ที่รุนแรงรองจากฟลูออรีน อย่างไรก็ตามคาดว่าโอโซนจะมีบทบาทสำคัญเพิ่มขึ้น ซึ่งควรแก่การศึกษา ถ้าหากมีวิธีการใช้ที่ถูกต้องก็จะให้คุณค่าทางงานวิเคราะห์และด้านอุตสาหกรรม

2.10.3 ประโยชน์ของโอโซน

ในกระบวนการทำความสะอาดน้ำ ซึ่งโดยทั่วไปจะมี 2 กรรมวิธี คือ การใส่ผงครอรีนและการใส่โอโซนลงไปในน้ำ ซึ่งส่วนใหญ่แล้วจะใช้ 2 วิธีรวมกัน เพื่อให้ได้ผลดีที่สุด เพราะทั้ง 2 วิธีมีข้อดีและข้อเสียต่างกัน ดังนั้นจึงนำวิธีทั้ง 2 มาใช้ร่วมกัน การใช้โอโซนในการทำลายสีในแม่น้ำลำคลองที่เกิดจากดินหรือพืชใต้น้ำ เพื่อให้น้ำมีสีตามธรรมชาติ ในส่วนของอุตสาหกรรมทางการเกษตรก็ได้ใช้ประโยชน์จากโอโซนในการช่วยเก็บรักษาพืชผลต่างๆ เช่น ในไข่ไก่ สามารถใช้โอโซนในการทำลายแบคทีเรียได้ แต่อย่างไรก็ตามอาหารที่มีไขมันมาก เช่น เนื้อสัตว์ หรือ เนย จะไม่ได้รับผลดีมากนักจากการใช้โอโซนเนื่องจากอาจเกิดกลิ่นเหม็นได้

นอกจากนี้ ยังมีการใช้โอโซนในการทำความสะอาดขวดบรรจุน้ำอัดลม การใช้โอโซนในกระบวนการผลิตไวน์ น้ำผลไม้ และเหล้า อีกด้วย [8]

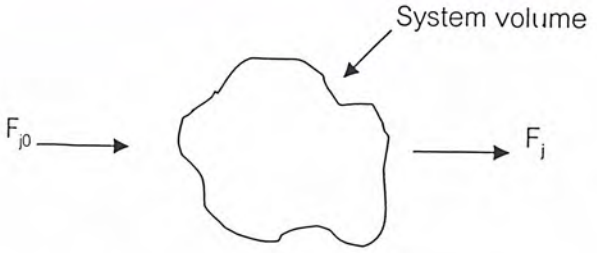
2.11 การหาอัตราของปฏิกิริยาและอันดับของปฏิกิริยา

สมการสมดุลโมล

ในการพิจารณาสมดุลโมลในระบบนั้นต้องกำหนดขอบเขตของระบบเป็นอันดับแรกก่อน ซึ่งปริมาตรที่อยู่ในขอบเขตนั้นจะเรียกว่าเป็น ปริมาตรของระบบ (System volume) ในการทำสมดุลโมลนั้นเราจะกำหนดสารที่เราสนใจจะศึกษาเป็น สารเจ (Species j) ตัวอย่างของระบบที่สนใจแสดงดังรูปที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



รูปที่ 2.2 สมดุลบนปริมาตรของระบบ

สมดุลโมลของสารเจที่เวลาใดๆ จะแสดงดังสมการ 2.1

Rate of flow of j into the system (mole/time)	+	rate of generaton of j by chemical reaction within the system (mole/time)	-	rate of flow of j out of the system (mole/time)	=	rate of accumulation of j within the system (mole/time)

สมดุลโมล : in	+	generation	-	out	=	accumulation
F_{j0}	+	G_j	-	F_j	=	$\frac{dNj}{dt}$

(2.1)

เมื่อ N_j คือ จำนวนโมลของสารเจในระบบ

t คือ เวลา

สำหรับอัตราการเกิดของสารเจจะแสดงดังสมการดังนี้ r_j

$$Gj = rj \cdot V \tag{2.2}$$

$$\frac{moles}{time} = \frac{moles}{time \cdot volume} \cdot volume$$

เมื่อ G_j คือ อัตราการเกิดของสารเจ

r_j คือ อัตราการเกิดปฏิกิริยา

V คือ ปริมาตรของเครื่องปฏิกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
62009

การคำนวณอัตราการเกิดปฏิกิริยาของเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ (Batch reactors)

เครื่องปฏิกรณ์แบบกะ จะไม่มีการไหลเข้าของสารตั้งต้นและการไหลออกของผลิตภัณฑ์ในขณะที่ยังมีการทำงานอยู่ ดังนั้นอัตราการไหลเข้า (F_{j0}) และอัตราการไหลออก (F_j) จึงมีค่าเท่ากับศูนย์ ดังนั้นจะได้สมการสมดุลโมลดังสมการที่ 2.3

$$\frac{dNj}{dt} = \int^{V} r_j \; dV \tag{2.3}$$

ถ้าในเครื่องปฏิกรณ์มีการผสมกันอย่างสมบูรณ์ จะทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาภายในเครื่องปฏิกรณ์มีค่าคงที่ ดังนั้นสามารถที่จะหาอัตราของการเกิดปฏิกิริยาได้ดังสมการที่ 2.4

$$\frac{dNj}{dt} = r_j V \tag{2.4}$$

การคำนวณหาอันดับของปฏิกิริยา

เมื่อปฏิกิริยาเป็นปฏิกิริยาที่ผันกลับไม่ได้ ซึ่งสามารถพิจารณาอันดับของปฏิกิริยาได้หลายกรณี หรือพิจารณาอัตราที่คงที่ได้โดยการหาอนุพันธ์ของความเข้มข้นกับเวลา วิธีการนี้จะถูกใช้เมื่อสภาวะของอัตราการเกิดปฏิกิริยาเป็นฟังก์ชัน (Function) กับความเข้มข้นของสารตั้งต้นเพียงชนิดเดียว ถ้าปฏิกิริยาที่แยกออกมาได้ดังนี้

$$A \longrightarrow \text{products} \tag{2.5}$$

$$-r_A = kC_A^{\alpha} \tag{2.6}$$

อย่างไรก็ตามการใช้วิธีการนี้ยังต้องพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่าง $-r_A$ และความเข้มข้นของสารตั้งต้นตัวอื่น สำหรับปฏิกิริยาที่ผันกลับไม่ได้

$$A + B \longrightarrow \text{products} \tag{2.7}$$

มีกฎอัตราดังนี้

$$-r_A = k_A C_A^{\alpha} C_B^{\beta} \tag{2.8}$$

ซึ่งค่า α และ β เป็นค่าที่ไม่ทราบค่า ในปฏิกิริยานี้มี B ที่มากเกินพอ ดังนั้นค่า C_B ยังคงไม่เปลี่ยนแปลงในระหว่างการเกิดปฏิกิริยา และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$-r_A = k'C_A^{\alpha} \quad (2.9)$$

เมื่อ

$$k' = kC_B^{\alpha} \approx kC_{B0}^{\beta} \quad (2.10)$$

หลังการพิจารณาค่า α ให้ปฏิกิริยานี้จะมี A มากเกินพอ ดังนั้นจะประมาณค่ากฎอัตราได้จาก

$$-r_A = k''C_B^{\beta} \quad (2.11)$$

เมื่อพิจารณาค่า α และ β จะสามารถคำนวณหาค่า k_A ได้จากการวัดค่า $-r_A$ ที่รู้ความเข้มข้นของ A และ B ซึ่งจะได้

$$k_A = \frac{-r_A}{C_A^{\alpha}C_B^{\beta}} = (dm^3/mol)^{\alpha+\beta/s} \quad (2.12)$$

ทั้งค่า α และ β สามารถหาได้โดยใช้วิธีการใช้สารมากเกินพอ (method of excess) ควบคู่ไปกับการวิเคราะห์วิธีการหาอนุพันธ์ กับข้อมูลของเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ

สรุปแล้ว กระบวนการที่ใช้วิธีการหาอนุพันธ์ เราจะพิจารณากระบวนการที่มีอุณหภูมิคงที่ ในเครื่องปฏิกรณ์ที่มีปริมาตรคงที่ และความเข้มข้นเป็นฟังก์ชันกับเวลา โดยการรวมสมดุลโมลกับกฎอัตราจากสมการที่ (2.6) เราจะได้

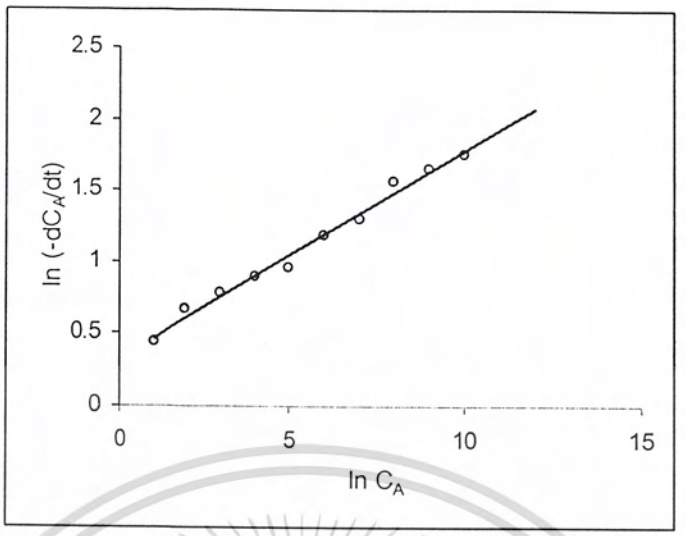
$$\frac{-dC_A}{dt} = k_A C_A^{\alpha} \quad (2.13)$$

หลังจากการใส่ ln ทั้งสองข้าง จะได้

$$\ln\left(-\frac{dC_A}{dt}\right) = \ln k_A + \alpha \ln C_A \quad (2.14)$$

เมื่อเขียนกราฟระหว่างค่า $\ln(-dC_A/dt)$ กับ $(\ln C_A)$ จะได้ค่าความชันของกราฟเท่ากับค่า α [9]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



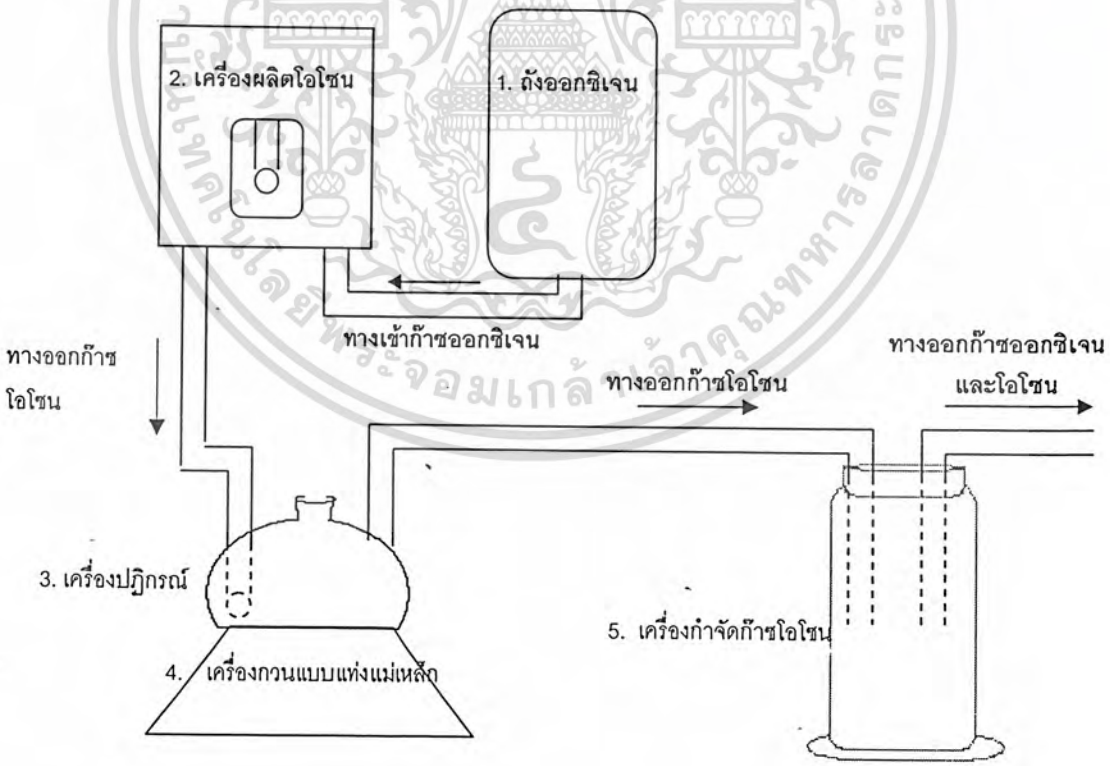
รูปที่ 2.3 ตัวอย่างกราฟระหว่าง $\ln(-dC_A/dt)$ กับ $(\ln C_A)$ ซึ่งค่าความชันของกราฟจะมีค่าเท่ากับค่า α ซึ่งค่า α คืออันดับของปฏิกิริยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การทดลองศึกษาการบำบัดสีย้อมฟาสบลูบีในน้ำเสียสังเคราะห์โดยวิธีโอโซเนชัน เริ่มต้นจากนำตัวอย่างน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตรใส่ลงในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ (Bacth reactor) โดยป้อนก๊าซออกซิเจนผ่านเข้าสู่เครื่องกำเนิดโอโซน (Ozzon model: oz-732) ที่อัตราการป้อน 1,800 มิลลิลิตรต่อนาที เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันระหว่างโอโซนกับสีย้อม ส่วนโอโซนที่ไม่ทำปฏิกิริยานั้นจะถูกดักด้วยสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ โดยเก็บตัวอย่างทุกๆ 2 นาที เป็นเวลา 20 นาที จึงเปลี่ยนเป็นเก็บตัวอย่างทุกๆ 5 นาที โดยจะนำตัวอย่างที่ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Jenway รุ่น 6405 UV/VIS Spectrophotometer) ที่ความยาวคลื่น 380 นาโนเมตร และเก็บตัวอย่างเมื่อความเข้มข้นของสีย้อมเท่ากับศูนย์ เพื่อนำไปวิเคราะห์หาปริมาณความต้องการออกซิเจนทางเคมีด้วยวิธีดังภาคผนวก ข



รูปที่ 3.1 ชุดทดลองการบำบัดสีย้อมฟาสบลูบีในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยวิธีโอโซเนชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

3.1 ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการผลิตโอโซนจากเครื่องผลิตโอโซนโดยใช้ออกซิเจนกับ อัตราการป้อนก๊าซออกซิเจน

3.2 สร้างกราฟมาตรฐานระหว่างค่าดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของสารละลาย สีย้อมฟาสบีบลูที่ความเข้มข้นต่างๆ

3.3 ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการป้อนออกซิเจน ต่อการเกิดออกซิเดชันของสารละลาย สีย้อมฟาสบีบลู

3.4 ศึกษาความสัมพันธ์ของค่าความเป็นกรด-ด่างต่อการเกิดออกซิเดชันของสารละลายสีย้อมฟาสบีบลู

3.5 ศึกษาความสัมพันธ์ของความเข้มของเกลือโซเดียมคลอไรด์และเกลือโซเดียมซัลเฟตต่อการเกิดออกซิเดชันของสารละลายสีย้อมฟาสบีบลู

3.6 ศึกษาการบำบัดสีย้อมฟาสบลูบีในน้ำเสียสังเคราะห์ที่กำหนดสภาวะให้ใกล้เคียงกับน้ำเสียที่ปล่อยออกจากโรงงานอุตสาหกรรมประเภทฟอกย้อม

ตอนที่ 3.1 การทดลองศึกษาอัตราการผลิตโอโซนจากเครื่องผลิตโอโซนโดยใช้ออกซิเจน

ในการทดลองนี้ต้องการที่จะกำจัดสีย้อมให้หมดไปภายในเวลาที่รวดเร็ว ดังนั้นจึงจะต้องวัดปริมาณโอโซนที่เหมาะสมที่จะใช้ในการทดลอง ด้วยวิธีไอโอโดเมทรี (Iodometry) หลักการ คือ ใช้สารละลายที่ไวต่อการเกิดปฏิกิริยากับโอโซน ในการทดลองนี้ใช้สารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI) โดยจะทำให้เกิดไอโอดีน จากนั้นจะหาปริมาณโอโซนได้โดยการไทเทรตกับสารที่ทำหน้าที่เป็นตัวรีดิวซ์ คือ โซเดียมไธโอซัลเฟต ($Na_2S_2O_3$)

การวิเคราะห์ปริมาณโอโซน

1. การไทเทรต

1.1 เมื่อผ่านโอโซนผ่านสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ จะเกิดปฏิกิริยากลายเป็นสารละลายสีเหลืองใส นำสารละลายสีเหลืองใสที่ได้มาไทเทรตกับสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตเข้มข้น 0.01 โมลาร์ จนกระทั่งสีเหลืองหายไป (ได้สารละลายใสไม่มีสี)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 บันทึกปริมาตรสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตที่ใช้ เพื่อนำไปคำนวณหาปริมาณโอโซนต่อไป

2. การคำนวณหาปริมาณโอโซน

2.1 การออกซิไดซ์สารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ด้วยโอโซนจะเกิดปฏิกิริยา ดังนี้

$$O_3 + 2KI + H_2O \longrightarrow O_2 + I_2 + 2KOH \qquad (2.1)$$

(สารละลายใสไม่มีสี) (สารละลายสีเหลืองหรือสีเหลืองเข้ม)

2.2 การไทเทรตโดยใช้สารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตเข้มข้น 0.01 โมลาร์ มีปฏิกิริยาดังนี้

$$I_2 + 2Na_2S_2O_3 \longrightarrow 2NaI + Na_2S_4O_6 \qquad (2.2)$$

(สารละลายสีเหลืองหรือสีเหลืองเข้ม) (สารละลายใสไม่มีสี)

จากสมการข้างต้นทั้งสองสมการ สามารถคำนวณหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโอโซนที่ได้กับปริมาตรของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตที่ใช้ในการไทเทรตได้ดังสมการ (2.3)

$$O_3\,(mg) = 0.24 \times \text{ปริมาตร } Na_2S_4O_6\,(ml) \qquad (2.3)$$

สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. สารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์เข้มข้นร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก
2. สารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตเข้มข้น 0.01 โมลาร์

อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องผลิตโอโซน (Ozzon model : oz-732)
2. เครื่องปฏิกรณ์แบบกะ (Batch reactor)
3. ถังออกซิเจน
4. เครื่องกวนแบบแท่งแม่เหล็กและแท่งแม่เหล็ก
5. นาฬิกาจับเวลา

วิธีการทดลอง

1.การดูดซึมโอโซน

1.1 จัดเตรียมอุปกรณ์ดังรูปที่ 1

1.2 ผ่านออกซิเจนเข้าสู่เครื่องผลิตโอโซน ด้วยอัตราการป้อน 600 มิลลิลิตรต่อนาที

1.3 เปิดเครื่องกวนแบบแท่งแม่เหล็กด้วยอัตราการหมุน 500 รอบต่อนาที

1.4 เปิดเครื่องผลิตโอโซนโดยเลือกอัตราการผลิตเท่ากับ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 จับเวลาทันทีที่เปิดเครื่อง

1.6 เมื่อครบ 10 นาที จึงปิดเครื่องผลิตโอโซน

1.7 เก็บสารละลายตัวอย่างปริมาตร 20 มิลลิลิตร 3 ครั้ง ที่อยู่ในเครื่องปฏิกรณ์ที่ทำจากแก้วและเครื่องกำจัดโอโซนเพื่อนำไปวิเคราะห์ปริมาณโอโซนที่ผลิตได้

2. ทดลองซ้ำที่อัตราการป้อนออกซิเจนเท่าเดิมอีกครั้ง เพื่อหาค่าเฉลี่ยในแต่ละอัตราการป้อน

3. เปลี่ยนค่าอัตราการป้อนเข้าของออกซิเจน เป็น 1,200 1,800 และ 2,400 มิลลิลิตรต่อนาที ตามลำดับ และทดลองซ้ำจากข้อ 1 ถึง ข้อ 2 ใหม่

ตอนที่ 3.2 การทดลองศึกษาและสร้างกราฟมาตรฐานระหว่างค่าดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมฟาสบีบลูที่ความเข้มข้นต่างๆ

การทดลองหาความสัมพันธ์ ระหว่างค่าดูดกลืนแสงกับค่าความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมฟาสบีบลูที่ความเข้มข้นต่างๆกันจะสามารถนำไปคำนวณหาค่าความเข้มข้นของสารละลายสีย้อม

สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. สารละลายสีย้อมฟาสบีบลู (Fast B Blue) เข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (JENWAY รุ่น 6405 UV/Vis Spectrophotometer)
2. ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร จำนวน 5 ขวด
3. ขวดวัดปริมาตรขนาด 500 มิลลิลิตร จำนวน 1 ขวด
4. ปิเปตต์ขนาด 5 และ 25 มิลลิลิตร

วิธีการทดลอง

1. เตรียมสารละลายสีย้อมฟาสบีบลูเข้มข้น 10 20 30 40 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ โดยใช้ปิเปตต์ดูดสารละลายสีย้อมฟาสบีบลูเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร มา 10 20 30 40 และ 50 มิลลิลิตรตามลำดับ แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. นำสารละลายสีย้อมฟาสบีบลูเข้มข้น 10 20 30 40 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ได้ไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 380 นาโนเมตร
3. บันทึกผลที่ได้ นำข้อมูลที่ได้ไปเขียนกราฟความสัมพันธ์

ตอนที่ 3.3 การทดลองศึกษาผลกระทบของอัตราการป้อนออกซิเจนต่อการเกิดออกซิเดชันของสารละลายสีย้อมฟาสบีบลู

การทำปฏิกิริยาออกซิเดชันสีย้อม จะทำให้ความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมนั้นลดลง ดังนั้น การทดลองปรับค่าอัตราการป้อนออกซิเจนที่เข้าสู่เครื่องผลิตโอโซนเพื่อให้ได้โอโซนที่มีความเข้มข้นต่างๆ กัน เพื่อที่จะนำมาพิจารณาหาอัตราการป้อนออกซิเจนที่เหมาะสมที่ทำให้ปริมาณสีย้อมลดลงได้เร็วที่สุด เพื่อนำค่าที่ได้ไปทดลองในขั้นตอนต่อไป

สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. สารละลายสีย้อมฟาสบีบลูเข้มข้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตร
2. สารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์เข้มข้นร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก

อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องผลิตโอโซน (Ozzon model : oz-732)
2. ถังออกซิเจน
3. เครื่องกวนแบบแท่งแม่เหล็กและแท่งแม่เหล็ก
4. นาฬิกาจับเวลา
5. ปิเปตต์ขนาด 5 และ 25 มิลลิลิตร
6. ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร
7. เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (JENWAY รุ่น 6405 UV/Vis Spectrophotometer)
8. เครื่องปฏิกรณ์แบบกะ (Batch reactor)

วิธีการทดลอง

1. จัดเตรียมอุปกรณ์ดังรูปที่ 3.1
2. เติมสารละลายสีย้อมฟาสบีบลูเข้มข้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 500 มิลลิลิตร ลงในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ
3. เก็บตัวอย่างสารละลายสีย้อมฟาสบีบลู 20 มิลลิลิตร เพื่อนำไปวัดค่าดูดกลืนแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เปิดวาล์วที่ถังออกซิเจนให้ออกซิเจนไหลเข้าสู่เครื่องผลิตโอโซน โดยปรับอัตราการป้อนของออกซิเจนให้เท่ากับ 600 มิลลิลิตรต่อนาที
5. เปิดสวิตซ์เครื่องผลิตโอโซน แล้วปรับอัตราการผลิตเท่ากับ 1 พร้อมทั้งจับเวลา
6. เก็บตัวอย่างสารละลายทุกๆ 2 นาที และ 5 นาที เมื่อเวลาผ่านไป 20 นาที
7. นำตัวอย่างที่ได้ไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 380 นาโนเมตร จนกระทั่งค่าดูดกลืนแสงเท่ากับค่าความดูดกลืนแสงของสารละลายที่ไม่มีสีย้อมผสมอยู่
8. ทดลองซ้ำโดยปรับอัตราการป้อนออกซิเจนเป็น 1,200 1,800 และ 2,400 มิลลิลิตรต่อนาที ตามลำดับ

ตอนที่ 3.4 การทดลองศึกษาผลของค่าความเป็นกรด-ด่างต่อการเกิดออกซิเดชันของสารละลายสีย้อมฟาสบีบลู

การทดลองนี้เป็นการพิจารณาผลของค่าความเป็นกรด-ด่างที่มีต่อการเกิดออกซิเดชันของสารละลายสีย้อมฟาสบีบลู โดยทดลองที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 4 7 และ 10 เพื่อเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการบำบัดสีย้อมฟาสบีบลูให้หมดไป

สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. สารละลายสีย้อมฟาสบีบลูเข้มข้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตร
2. สารละลายด่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เข้มข้น 0.05 โมลาร์ (Ajax chemocal)
3. สารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl) เข้มข้น 0.05 โมลาร์ (Ajax chemocal)
4. สารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์เข้มข้นร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก

อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องผลิตโอโซน (Ozzon model: oz-732)
2. ถังออกซิเจน
3. เครื่องกวนแบบแท่งแม่เหล็กและแท่งแม่เหล็ก
4. นาฬิกาจับเวลา
5. เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (JENWAY รุ่น 6405 UV/Vis Spectrophotometer)
6. เครื่องปฏิกรณ์แบบกะ (Batch reactor)
7. เครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (HANNA รุ่น PICCOLO)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการทดลอง

1. เตรียมสารละลายสีย้อมฟาสบีบลูเข้มข้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 500 มิลลิลิตร
2. ปรับค่าความเป็นกรด-ด่างให้ได้ตามที่กำหนด โดยไทเทรตกับสารละลายด่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ เมื่อสารละลายสีย้อมฟาสบีบลูมีค่าเป็นกรดมากเกินไป หรือไทเทรตกับสารละลายกรดไฮโดรคลอริก เมื่อสารละลายสีย้อมฟาสบีบลูมีค่าเป็นด่างมากเกินไป
3. ปรับค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายสีย้อมฟาสบีบลูให้เท่ากับ 4
4. เก็บตัวอย่างเริ่มต้นของสารละลายสีย้อมฟาสบีบลู เพื่อนำไปวิเคราะห์ค่าความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมฟาสบีบลู และค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมี ดังภาคผนวก ข
5. เติมสารละลายสีย้อมฟาสบีบลู ลงในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ
6. เปิดวาล์วที่ถึงออกซิเจนให้ออกซิเจนไหลเข้าเครื่องผลิตโอโซนแล้วปรับอัตราการป้อนให้เท่ากับ1,800 มิลลิลิตรต่อนาที
7. เปิดสวิตช์เครื่องผลิตโอโซนและปรับอัตราการผลิตเท่ากับ 3 พร้อมทั้งจับเวลา
8. เก็บตัวอย่างสารละลายทุกๆ 2 นาที และ 5 นาที เมื่อเวลาผ่านไป 20 นาที
9. นำตัวอย่างที่ได้ไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 380 นาโนเมตร จนกระทั่งค่าการดูดกลืนแสงเท่ากับค่าความดูดกลืนแสงของสารละลายที่ไม่มีสีย้อมผสมอยู่
10. เก็บตัวอย่างสุดท้ายไว้เพื่อนำไปวิเคราะห์ปริมาณความต้องการออกซิเจนทางเคมี
11. ทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 1-8 โดยปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง เป็น 7 และ 10 ตามลำดับ

ตอนที่ 3.5 การทดลองศึกษาผลกระทบของความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์และเกลือโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อการเกิดออกซิเดชันของสารละลายสีย้อมฟาสบีบลู

การทดลองนี้เป็นการพิจารณาผลของชนิดของเกลือ และความเข้มข้นของเกลือที่มีต่อการเกิดออกซิเดชันของสารละลายสีย้อมฟาสบีบลู ในการทดลองนี้จะใช้เกลือ 2 ชนิด คือ โซเดียมคลอไรด์ และโซเดียมซัลเฟต ซึ่งจะทดลองที่ความเข้มข้นดังนี้ คือ 0 5 10 และ 15 มิลลิกรัมต่อลิตร

สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. สารละลายสีย้อมฟาสบีบลูเข้มข้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตร
2. เกลือโซเดียมคลอไรด์
3. เกลือโซเดียมซัลเฟต
4. สารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์เข้มข้นร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องผลิตโอโซน (Ozzon model : oz-732)
2. ถังออกซิเจน
3. เครื่องกวนแบบแท่งแม่เหล็กและแท่งแม่เหล็ก
4. นาฬิกาจับเวลา
5. เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (JENWAY รุ่น 6405 UV/Vis Spectrophotometer)
6. เครื่องปฏิกรณ์แบบกะ (Batch reactor)

วิธีการทดลอง

1. เตรียมสารละลายสีย้อมฟาสบีบลูเข้มข้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 500 มิลลิลิตร
2. เติมโซเดียมคลอไรด์ 2.5 กรัม ลงในสารละลายสีย้อมฟาสบลูบี แล้วกวนให้ละลาย
3. เก็บตัวอย่างเริ่มต้นของสารละลายสีย้อมฟาสบีบลู เพื่อนำไปวิเคราะห์ค่าความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมฟาสบีบลู และเพื่อนำไปวิเคราะห์ปริมาณความต้องการออกซิเจนทางเคมี ดังภาคผนวก ข
4. เติมสารละลายสีย้อมฟาสบีบลู ลงในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ
5. เปิดวาล์วที่ถึงออกซิเจนให้ออกซิเจนไหลเข้าเครื่องผลิตโอโซนแล้วปรับอัตราการป้อนให้เท่ากับ 1,800 มิลลิลิตรต่อนาที
6. เปิดสวิตช์เครื่องผลิตโอโซนและปรับอัตราการผลิตเท่ากับ 3 พร้อมทั้งจับเวลา
7. เก็บตัวอย่างสารละลายทุกๆ 2 นาที และ 5 นาที เมื่อเวลาผ่านไป 20 นาที
8. นำสารละลายตัวอย่างไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 380 นาโนเมตร จนกระทั่งค่าการดูดกลืนแสงเท่ากับค่าความดูดกลืนแสงของสารละลายที่ไม่มีสีย้อมผสมอยู่
9. เก็บตัวอย่างสุดท้ายไว้ เพื่อนำไปวิเคราะห์ปริมาณความต้องการออกซิเจนทางเคมี ดังภาคผนวก ข
10. ทดลองซ้ำ โดยปรับความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์เป็น 10 และ15 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ เมื่อทดลองเสร็จแล้ว เปลี่ยนมาทดลองโดยใช้โซเดียมซัลเฟตแล้วทดลองตามข้อ 1-7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตอนที่ 3.6 การทดลองศึกษาออกซิเดชันสีย้อมในสารละลายสีย้อมที่มีค่าความเข้มข้นของสีย้อม ความเป็นกรด-ด่างและความเข้มข้นของเกลือใกล้เคียงกับที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม

การทดลองนี้เป็นการทดลองออกซิเดชันสีย้อมในสารละลายสีย้อมที่มีค่าความเข้มข้นเท่ากับ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 8.5 และใช้เกลือโซดียมคลอไรด์เข้มข้น 15 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งค่าความเข้มข้น ค่าความเป็นกรด-ด่างและเกลือของสารละลายสีย้อมมีค่าใกล้เคียงกับที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมฟอกย้อม

สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. สารละลายสีย้อมฟาสบีบลูเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร
2. เกลือโซเดียมคลอไรด์
3. สารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์เข้มข้นร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก

อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องผลิตโอโซน (Ozzon model : oz-732)
2. ถังออกซิเจน
3. เครื่องกวนแบบแท่งแม่เหล็กและแท่งแม่เหล็ก
4. นาฬิกาจับเวลา
5. เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (JENWAY รุ่น 6405 UV/Vis Spectrophotometer)
6. เครื่องปฏิกรณ์แบบกะ (Batch reactor)

วิธีการทดลอง

1. เตรียมสารละลายสีย้อมฟาสบีบลูเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 500 มิลลิลิตร
2. เติมโซเดียมคลอไรด์ 7.5 กรัม ลงในสารละลายสีย้อมฟาสบลูบี แล้วกวนให้ละลายและปรับค่าความเป็นกรด-ด่างให้เท่ากับ 8.5
3. เก็บตัวอย่างเริ่มต้นของสารละลายสีย้อมฟาสบีบลู เพื่อนำไปวิเคราะห์ค่าความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมฟาสบีบลู และเพื่อนำไปวิเคราะห์ปริมาณความต้องการออกซิเจนทางเคมี ดังภาคผนวก ข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เติมสารละลายสีย้อมฟาสบีบลู ลงในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ
5. เปิดวาล์วที่ถึงออกซิเจนให้ออกซิเจนไหลเข้าเครื่องผลิตโอโซนแล้วปรับอัตราการป้อนให้เท่ากับ 1,800 มิลลิลตรต่อนาที
6. เปิดสวิตช์เครื่องผลิตโอโซนและปรับอัตราการผลิตเท่ากับ 3 พร้อมทั้งจับเวลา
7. เก็บตัวอย่างสารละลายทุกๆ 2 นาที และ 5 นาที เมื่อเวลาผ่านไป 20 นาที
8. นำสารละลายตัวอย่างไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 380 นาโนเมตร จนกระทั่งค่าการดูดกลืนแสงเท่ากับค่าความดูดกลืนแสงของสารละลายที่ไม่มีสีย้อมผสมอยู่
9. เก็บตัวอย่างสุดท้ายไว้เพื่อนำไปวิเคราะห์ปริมาณความต้องการออกซิเจนทางเคมี ดังภาคผนวก ข

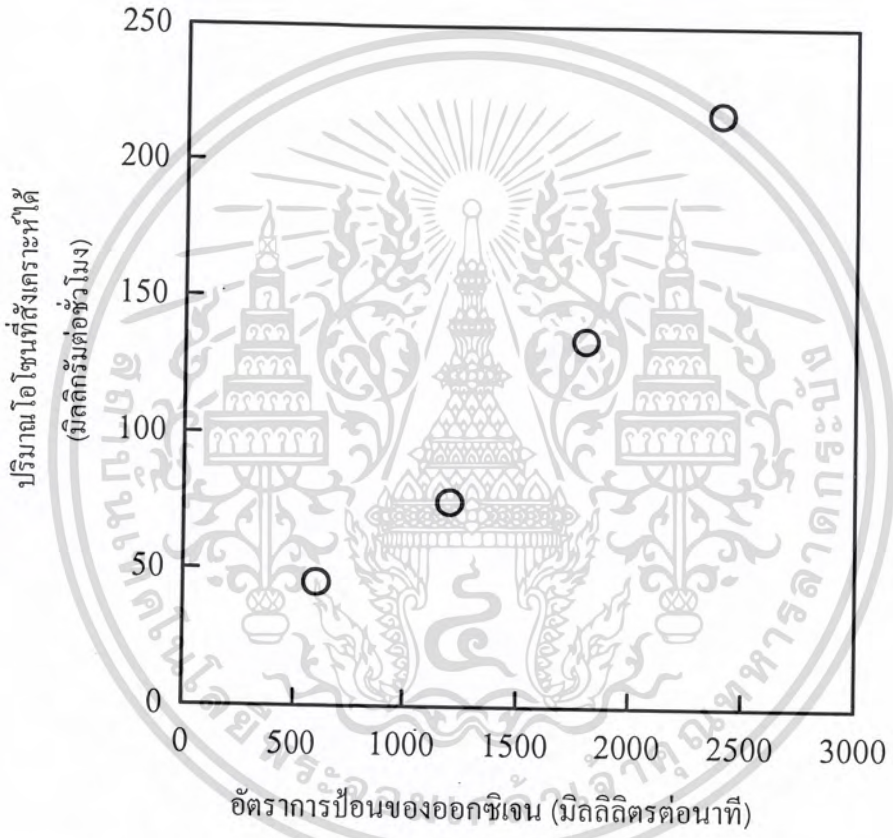
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

ปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการกำจัดสีย้อมที่ได้ศึกษา คือ อัตราการป้อนออกซิเจน ค่าความเป็นกรด-ด่าง ชนิดและความเข้มข้นของเกลือ สำหรับที่อุณหภูมิห้องและความดันปกติ เมื่อเพิ่มอัตราการป้อนก๊าซออกซิเจนที่เข้าสู่เครื่องผลิตโอโซนจะทำให้สามารถผลิตโอโซนได้มากขึ้น ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ปริมาณโอโซนที่สังเคราะห์ได้ที่อัตราการป้อนออกซิเจนต่างๆ กัน

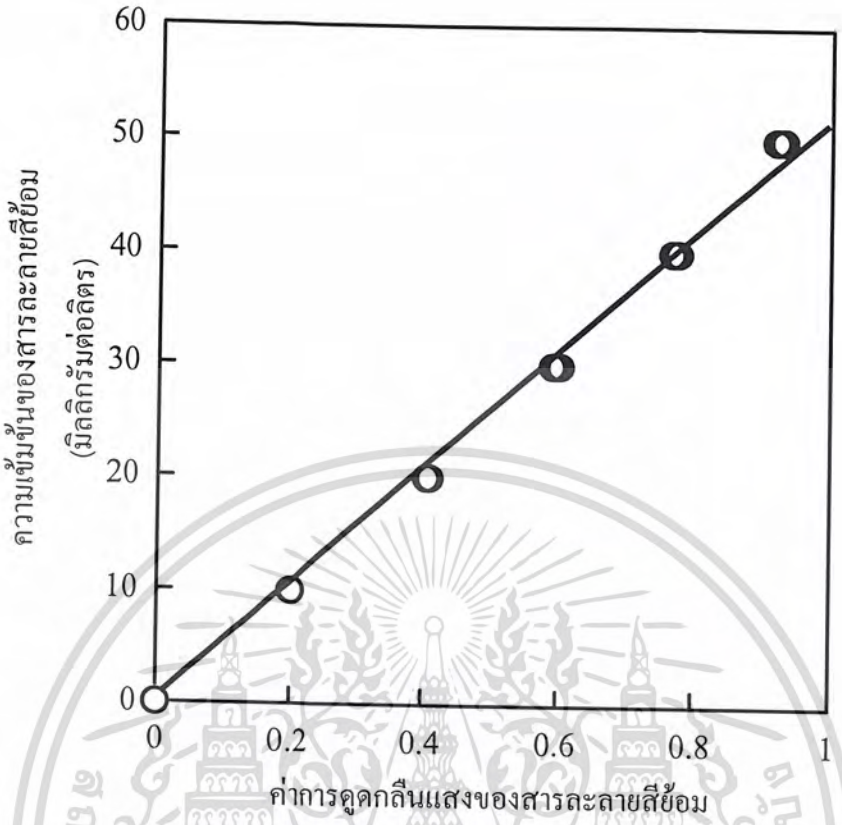
ความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมนั้นสามารถหาได้จากการวัดค่าการดูดกลืนแสงของสีย้อมที่ความยาวคลื่น 380 นาโนเมตร จากรูปที่ 4.2 สามารถแสดงเขียนสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมดังนี้

$$Ab = 0.018C_A \qquad (4.1)$$

เมื่อ Ab คือ ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 380 นาโนเมตร

C_A คือ ค่าความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมฟาสบลูบี, มิลลิกรัมต่อลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

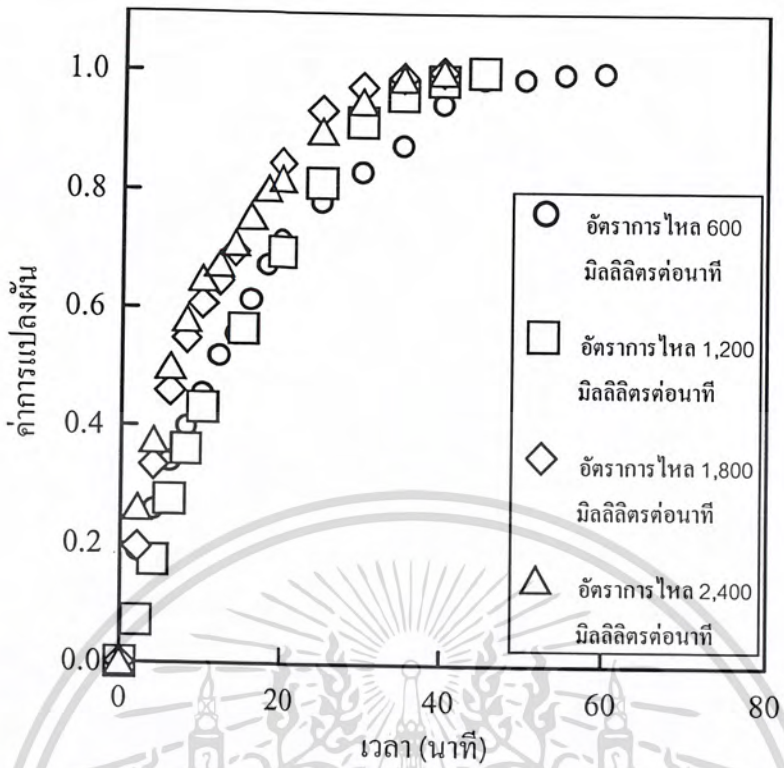


รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและค่าความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมฟาสบลูบี

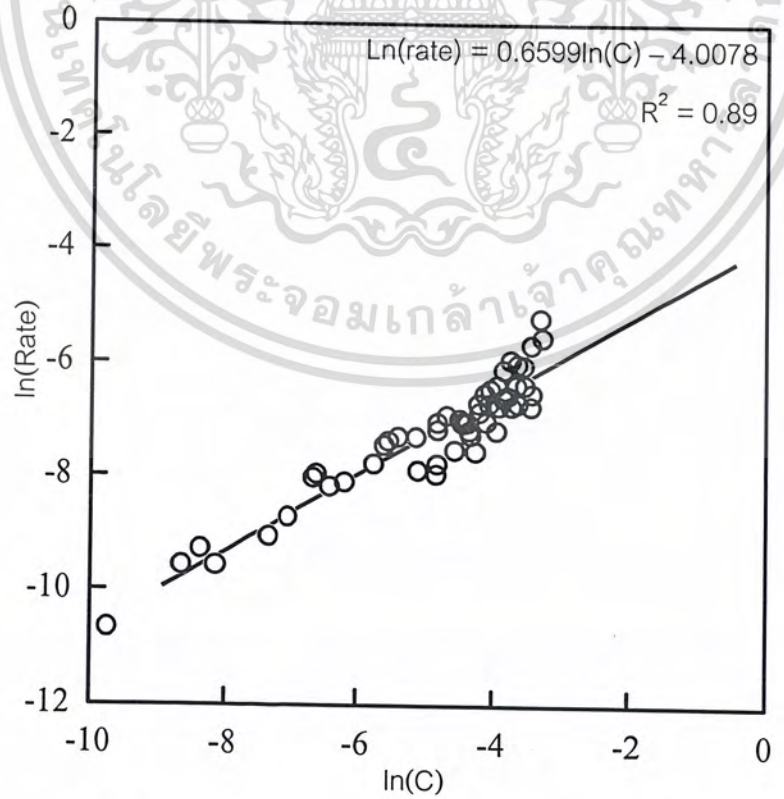
รูปที่ 4.3 แสดงผลของอัตราการป้อนก๊าซออกซิเจนกับระยะเวลาที่ใช้ในการกำจัดสีย้อมอย่างสมบูรณ์ พบว่าที่อัตราการป้อนออกซิเจน เท่ากับ 600 และ1,200 มิลลิลิตรต่อนาที จะใช้เวลากำจัดสารละลายสีย้อมที่มีความเข้มข้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตร เท่ากับ 60 และ 45 นาที เมื่อเพิ่มอัตราการป้อนออกซิเจนขึ้นเป็น 1,800 และ 2,400 มิลลิลิตรต่อนาที พบว่าใช้เวลาในการกำจัดสารละลายสีย้อมเท่ากับ 35 และ 30 นาที จะพบว่าเวลาที่ใช้ในการกำจัดนั้นจะลดลงไม่มากเมื่อเทียบกับอัตราการผลิตโอโซนที่ผลิตได้ที่อัตราการป้อนออกซิเจนเท่ากับ 1,800 และ 2,400 มิลลิลิตรต่อนาที จึงเลือกใช้อัตราการป้อนออกซิเจน 1,800 มิลลิลิตรต่อนาที ในการศึกษาทดลองที่ภาวะต่างๆ

จากข้อมูลในการทดลอง สามารถหาอันดับของปฏิกิริยาการกำจัดสีย้อมในสารละลายสีย้อมได้จากความชันของกราฟระหว่าง ln rate กับ ln C (รูปที่ 4.4) ได้เท่ากับ 0.66 และสามารถหาค่าคงที่ของปฏิกิริยาได้เท่ากับ 0.0181 $\frac{mole^{0.34}}{l^{0.34} \cdot s}$ ซึ่งค่าที่ได้สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบปฏิกรณ์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



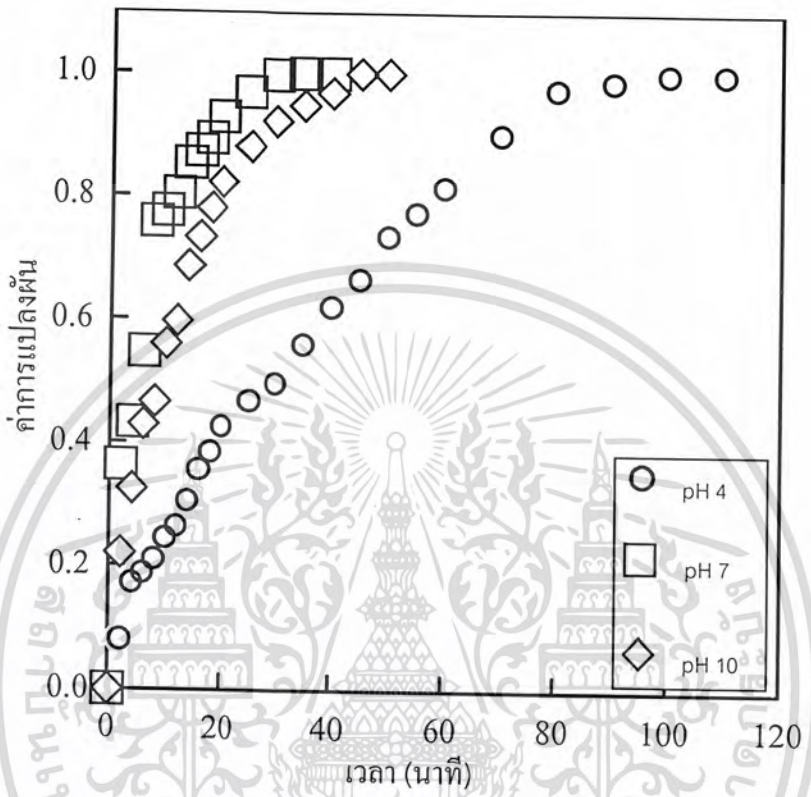
รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการแปลงผันของสีย้อมเข้มข้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตร กับเวลาที่ใช้ในการกำจัดสีย้อมที่อัตราการป้อนก๊าซออกซิเจนต่างๆ



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่าง ln (rate) กับ ln (C) ที่ใช้ในการหาอันดับของปฏิกิริยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.5 แสดงผลของความเป็นกรด-เบสของสารละลายสีย้อมกับระยะเวลาที่ใช้ในการกำจัดสีย้อมอย่างสมบูรณ์ การทดลองใช้สารละลายสีย้อมที่มีความเข้มข้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ใช้อัตราการป้อนออกซิเจนเท่ากับ 1,800 มิลลิลิตรต่อนาที ที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 4 7 และ 10



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายสีย้อมกับระยะเวลาที่ใช้ในการกำจัดสีย้อมในสารละลายสีย้อม

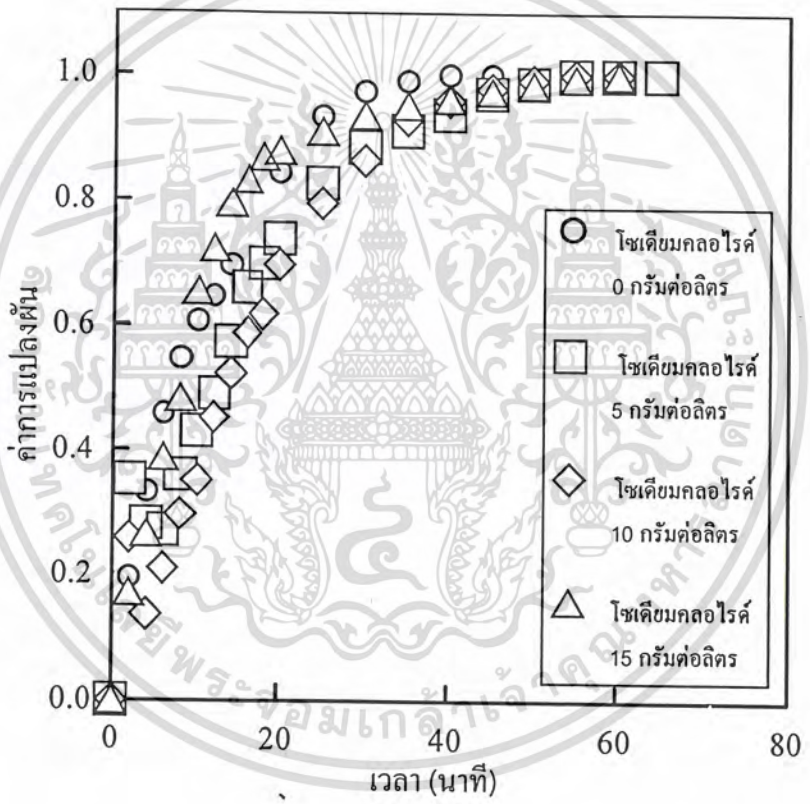
เมื่อสารละลายสีย้อมมีค่าความเป็นกรดหรือด่าง จะทำให้ต้องใช้ระยะเวลาในการกำจัดสีย้อมในสารละลายสีย้อมมากขึ้น เมื่อเทียบกับเวลาที่ใช้ในการกำจัดสีย้อมในสารละลายสีย้อมที่เป็นกลาง โดยระยะเวลาที่ใช้ในการกำจัดสีย้อมอย่างสมบูรณ์ที่ความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 4 7 และ10 เท่ากับ 100 30 และ45 นาที ตามลำดับ

การที่สารละลายสีย้อมมีค่าความเป็นกรดสูงนั้น จะส่งผลให้ปริมาณของ อนุมูลอิสระไฮดรอกซิล (Hydroxyl free radical) ที่เกิดจากการละลายน้ำของโอโซนลดลง [10] ซึ่งจะส่งผลโดยตรงกับอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของสีย้อมในสารละลายสีย้อม โดยจะทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของสีย้อมลดลง ทำให้ระยะเวลาในการกำจัดสีย้อมมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่ถึงแม้ว่าการที่สารละลายสีย้อมมีค่าความเป็นด่างนั้น จะส่งผลทำให้ปริมาณของอนุมูลอิสระไฮดรอกซิลเพิ่มขึ้น แต่ก็จะไม่ทำให้ระยะเวลาที่ใช้ในการกำจัดสีย้อมลดลง เนื่องจากความสามารถในการละลายของโอโซนจะต่ำลงในสารละลายที่มีความเป็นด่าง [10] ส่งผลทำให้ใช้เวลาในการกำจัดสีย้อมในสารละลายสีย้อมมากขึ้นเมื่อเทียบกับการกำจัดสีย้อมในสารละลายที่เป็นกลาง

ในสภาวะการทำงานจริง น้ำทิ้งจากโรงงานฟอกย้อมนอกจากจะมีสีย้อมแล้ว ยังมีเกลือปนอยู่ด้วย [10] ในการทดลองเลือกที่จะศึกษาผลของเกลือโซเดียมคลอไรด์และเกลือโซเดียมซัลเฟต ที่ละลายอยู่ในสารละลายสีย้อม พบว่าเกลือทั้ง 2 ชนิดนี้ทำให้เวลาที่ใช้ในการกำจัดสีย้อมในสารละลายสีย้อมเพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 4.6 และ 4.7



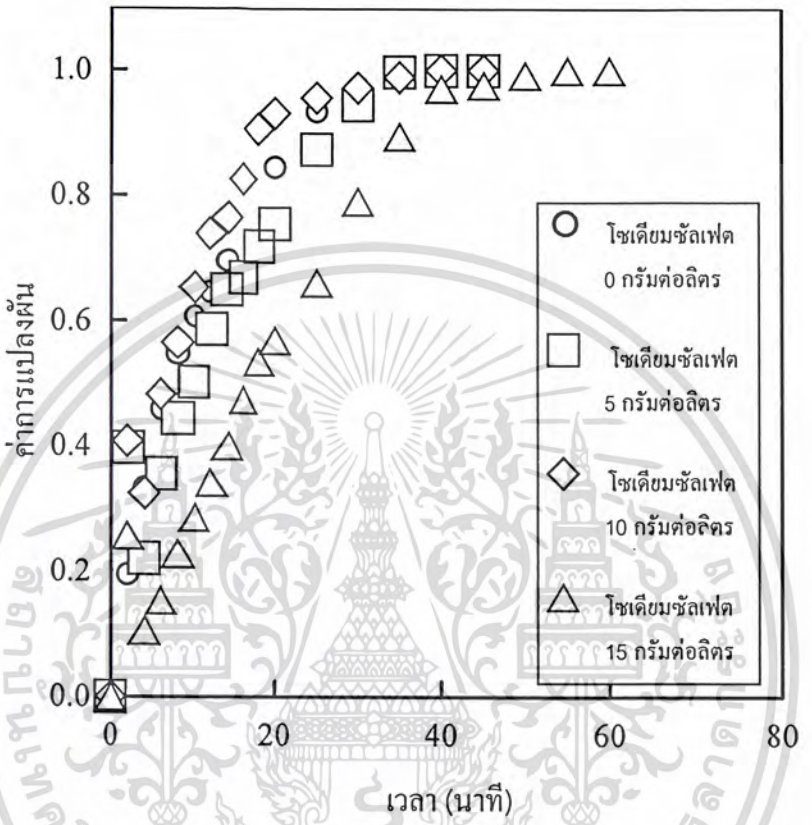
รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์กับระยะเวลาที่ใช้ในการกำจัดสีย้อมในสารละลายสีย้อม

การที่มีเกลือโซเดียมคลอไรด์ละลายอยู่ในสารละลายสีย้อม จะทำให้สารละลายสีย้อมมีปริมาณของคลอไรด์ไอออนสูงขึ้น ซึ่งคลอไรด์ไอออนจะทำปฏิกิริยากับกับอนุมูลอิสระไฮดรอกซิล และโอโซน เกิดเป็นก๊าซคลอรีน (Cl_2) และสารประกอบคลอรีนอื่นๆ ซึ่งมีความสามารถในการเกิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปฏิกิริยาออกซิเดชันกับสีย้อมสีย้อมต่ำกว่าอนุมูลอิสระไฮดรอกซิล ส่งผลให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของโอโซนกับสีย้อมโดยรวมต่ำลง

ระยะเวลาที่ใช้ในการกำจัดสีย้อมเมื่อมีเกลือคลอไรด์ความเข้มข้น 0 5 10 และ15 กรัมต่อลิตร ละลายอยู่ในสารละลายสีย้อมเป็นดังนี้ คือ 35 50 50 และ 60 นาทีตามลำดับ



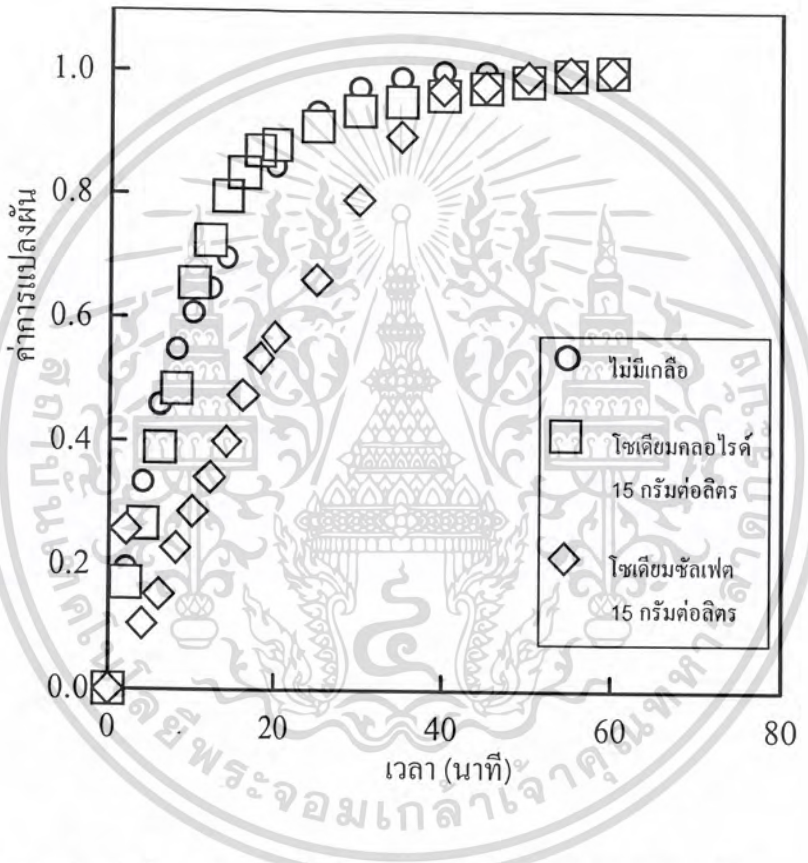
รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของเกลือโซเดียมซัลเฟตกับระยะเวลาที่ใช้ในการกำจัดสีย้อมในสารละลายสีย้อม

ถึงแม้ว่าซัลเฟตไอออน (SO_4^{2-}) จะไม่ทำปฏิกิริยากับโอโซน แต่ซัลเฟตไอออนจะทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระไฮดรอกซิลเกิดเป็นอนุมูลซัลเฟต (Sulphate radical) และเปอร์ออกไซด์ไดซัลเฟตไอออน (Peroxydisulphate ions) ซึ่งมีความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับสีย้อมในสารละลายสีย้อมต่ำกว่าอนุมูลอิสระไฮดรอกซิล ซึ่งจะส่งผลให้ระยะเวลาที่ใช้ในการกำจัดสีย้อมในสารละลายสีย้อมที่มีเกลือโซเดียมซัลเฟตละลายอยู่ มากกว่าเวลาในการกำจัดสีย้อมในสารละลายที่ไม่มีเกลือละลายอยู่

ระยะเวลาที่ใช้ในการกำจัดสีย้อมเมื่อมีเกลือโซเดียมซัลเฟตความเข้มข้น 0 5 10 และ15 กรัมต่อลิตร ปนอยู่ในสารละลายสีย้อมเป็นดังนี้ คือ 35 40 40 และ 55 นาทีตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.8 แสดงผลของเกลือโซเดียมซัลเฟตและเกลือโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 15 กรัมต่อลิตรกับระยะเวลาที่ใช้ในการกำจัดสีย้อมอย่างสมบูรณ์ พบว่าเวลาที่ใช้ในการกำจัดสีย้อมในสารละลายสีย้อมที่มีเกลือโซเดียมคลอไรด์ปนอยู่ จะใช้เวลานานกว่าเวลาที่ใช้ในการกำจัดสีย้อมในสารละลายสีย้อมที่มีเกลือโซเดียมซัลเฟตปนอยู่ ซึ่งเกิดจากการที่อนุมูลซัลเฟต และ เปอร์ออกไซด์ไดซัลเฟตไอออน ที่เกิดจากการที่มีโซเดียมซัลเฟตละลายอยู่ในสารละลายสีย้อมมีความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดีกว่าคลอรีนหรือสารประกอบคลอรีน ที่เกิดจากการที่มีโซเดียมคลอไรด์ละลายอยู่ในสารละลายสีย้อม

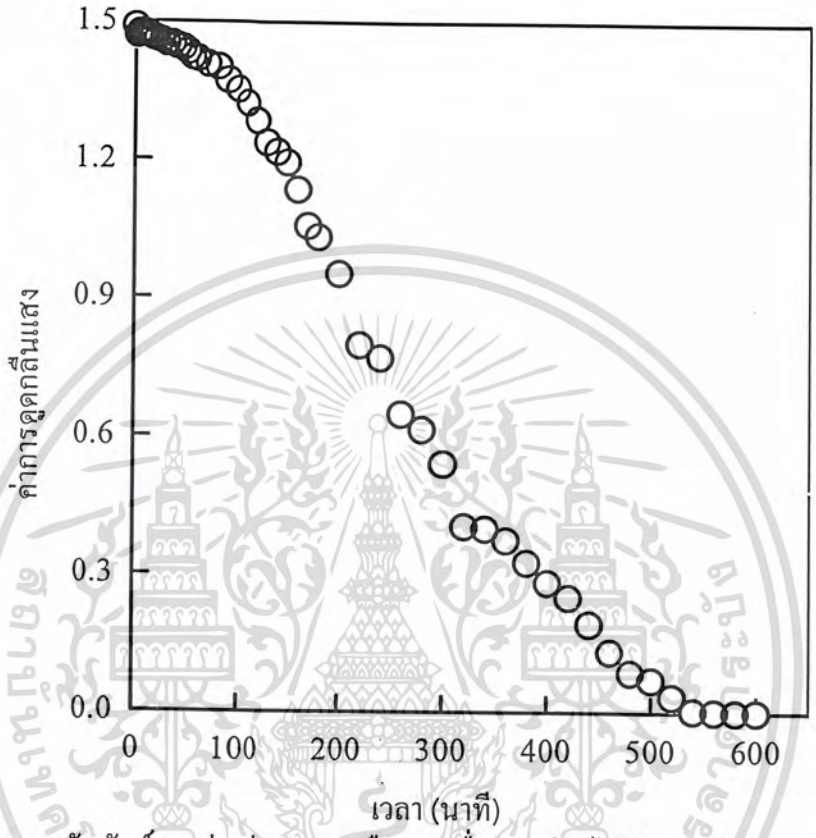


รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการกำจัดสีย้อมในสารละลายสีย้อมกับค่าความเข้มของเกลือโซเดียมซัลเฟตและโซเดียมคลอไรด์

รูปที่ 4.9 แสดงถึงผลการทดลองกำจัดสีย้อมในสารละลายสีย้อมที่มีค่าความเข้มข้นของสีย้อมเท่ากับ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 8.5 และใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์เข้มข้น 15 กรัมต่อลิตร ซึ่งค่าเหล่านี้เป็นค่าที่ใกล้เคียงกับที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมฟอกย้อม ซึ่งพบว่าระยะเวลาที่ใช้ในการกำจัดสีย้อมในสารละลายสีย้อมจะใช้เวลา 600 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

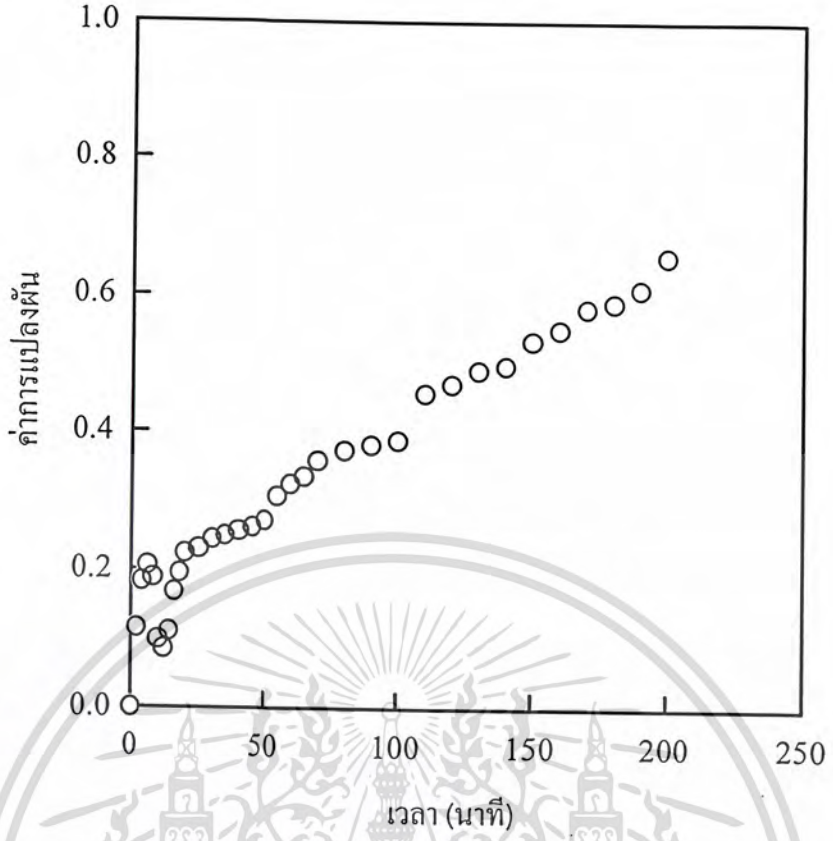
ในช่วงแรกของการทดลองกำจัดสีย้อมในสารละลายสีย้อมที่มีค่าความเข้มข้นของสีย้อมเท่ากับ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ จะไม่สามารถแปลงเป็นความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมได้ เนื่องจากไม่สามารถสร้างกราฟมาตราฐานของสารละลายสีย้อมที่มีความเข้มข้นสูงได้ จึงได้ทดลองซ้ำและเจือจางความเข้มข้นของตัวอย่างที่เก็บลง ได้ผลดังรูป 4.10



รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงเมื่อเวลาผ่านไป ในการกำจัดสารละลายสีย้อมฟาสบลูบีความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร มีเกลือโซเดียมคลอไรด์เข้มข้น15 กรัมต่อลิตร และมีค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 8.5

ในการทดลองทุกครั้งจะมีการวิเคราะห์ค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมี ซึ่งเป็นค่าที่ใช้บ่งชี้ถึงความสกปรกของน้ำได้ จากการทดลองออกซิเดชันสีย้อมที่สารละลายมีค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 4 7 และ 10 พบว่า สามารถลดค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมีได้ถึงร้อยละ 45.2 39.4 และ 60.0 ตามลำดับดังตารางที่ 4.1 ซึ่งที่ค่าความเป็นกรดสูงและค่าความเป็นด่างสูงจะสามารถกำจัดความต้องการออกซิเจนทางเคมีออกได้ดีกว่าสารละลายที่เป็นกลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเปลี่ยนเมื่อเวลาผ่านไป ในการกำจัดสารละลายสีย้อมฟาสบลูบีความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร มีเกลือโซเดียมครอไรด์เข้มข้น 15 กรัมต่อลิตร และมีค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 8.5

ส่วนการทดลองออกซิเดชันสีย้อมที่มีเกลือละลายอยู่ด้วยนั้น พบว่าเมื่อความเข้มข้นของเกลือเพิ่มขึ้นจะสามารถกำจัดความต้องการออกซิเจนทางเคมีได้น้อยลง

ในการทดลองวิธีโอโซเนชั่น สามารถกำจัดสีออกจากสารละลายได้ทั้งหมด แต่ไม่สามารถลดค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมีได้ทั้งหมด ทั้งนี้เป็นเพราะการที่โครงสร้างที่เป็นพอลิเมอร์ของสีย้อมที่อยู่ในสารละลายจะถูกออกซิไดส์ด้วยโอโซน ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นนั้นจะเป็นโมเลกุลที่มีขนาดเล็ก เช่น กรดอะซิติก และ สารจำพวกอัลดีไฮด์และคีโตน ซึ่งสารเหล่านี้จะไปเพิ่มความต้องการออกซิเจนทางเคมีให้แก่สารละลาย ทำให้ความต้องการออกซิเจนทางเคมีในสารละลายสีย้อมหลังบำบัดยังมีค่ามาก

นอกจากนี้การบำบัดสีย้อมด้วยโอโซนยังสามารถกำจัดซีโอดีที่อยู่ในน้ำเสียสังเคราะห์ได้ถึงร้อยละ 40-70 ดังตารางที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 การบำบัดสีย้อม 20 มิลลิกรัมต่อลิตรด้วยโอโซนและการกำจัดซีโอดี

การทดลองลำดับที่	สภาวะเริ่มต้นสารละลายสีย้อม			เวลาในการกำจัดสีย้อมได้ทั้งหมด (นาที)	ร้อยละของการกำจัดซีโอดีได้
	ค่าความเป็นกรด-ด่าง	ความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ (กรัม/ลิตร)	ความเข้มข้นของโซเดียมซัลเฟต (กรัม/ลิตร)		
1	6.0	0	0	40	67.6
2	4.0	0	0	100	45.2
3	7.0	0	0	35	39.4
4	10.0	0	0	45	60.0
5	6.4	5	0	55	56.8
6	6.5	10	0	55	48.8
7	6.85	15	0	60	41.9
8	6.7	0	5	40	55.6
9	6.8	0	10	40	48.7
10	6.8	0	15	55	45.5
11*	8.5	15	0	600	47.0

11* ความเข้มข้นของสีย้อมเท่ากับ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร

ซีโอดี คือ ความต้องการออกซิเจนทางเคมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและแนวทางในการดำเนินการวิจัยต่อ

จากการทดลอง เมื่อเพิ่มอัตราการป้อนของก๊าซออกซิเจนเข้าสู่เครื่องผลิตโอโซน พบว่าเครื่องผลิตโอโซนสามารถผลิตโอโซนได้มากขึ้น ทำให้สามารถลดระยะเวลาที่ใช้ในการกำจัดสีย้อมในสารละลายสีย้อมได้ โดยนอกจากอัตราการไหลของก๊าซออกซิเจนเข้าสู่เครื่องผลิตโอโซนแล้ว ยังมีปัจจัยอื่นที่มีผลต่อระยะเวลาในการกำจัดสีย้อมในสารละลายสีย้อม ดังนี้ ค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลาย จากการทดลองที่ค่าความเป็นกรดด่างของสารละลายเท่ากับ 4 7 และ10 พบว่าหากสารละลายสีย้อมเป็นกรดหรือด่างจะทำให้เวลาที่ใช้ในการกำจัดสีย้อมในสารละลายสีย้อมเพิ่มขึ้น โดยในสารละลายที่เป็นด่างจะใช้เวลาในการกำจัดสีย้อมน้อยกว่าในสารละลายที่เป็นกรด เพราะฉะนั้นก่อนการกำจัดสีย้อมในสารละลายสีย้อม จึงควรปรับค่าความเป็นกรดด่างของสารละลายก่อน โดยไม่ควรให้สารละลายสีย้อมมีความเป็นกรดเพราะจะทำให้ระยะเวลาที่ใช้ในการกำจัดสีย้อมนั้นเพิ่มขึ้นมาก และการที่มีเกลือโซเดียมคลอไรด์หรือเกลือโซเดียมซัลเฟตละลายอยู่ในสารละลายก็มีผลต่ออัตราการกำจัดสีย้อมเช่นกัน จากการทดลองใช้ความเข้มข้นของเกลือเท่ากับ 0 5 10 และ 15 กรัมต่อลิตร พบว่าการมีเกลือละลายอยู่ในสารละลายสีย้อมจะทำให้ระยะเวลาที่ใช้ในการกำจัดสีย้อมในสารละลายสีย้อมเพิ่มมากขึ้น โดยสารละลายที่มีเกลือโซเดียมซัลเฟตจะใช้ระยะเวลาในการกำจัดสีย้อมน้อยกว่าสารละลายที่มีเกลือโซเดียมคลอไรด์ และจากการทดลองกำจัดสีย้อมในสารละลายสีย้อมที่มีความเข้มข้นสูง 200 พีพีเอ็ม พบว่าใช้เวลา 600 นาทีในการกำจัดสีย้อมจนหมดไป และใช้เวลาประมาณ 120 นาทีในการกำจัดสีย้อมในสารละลายสีย้อมได้ครึ่งหนึ่ง

ประสิทธิภาพในการกำจัดความต้องการออกซิเจนทางเคมีด้วยวิธีโอโซเนชันนั้นพบว่า หากในสารละลายสีย้อมมีความเป็นกรดหรือด่างจะทำให้ใช้เวลาในการบำบัดเพิ่มมากขึ้นกว่าสารละลายที่เป็นกลาง นอกจากนี้ถ้าในสารละลายสีย้อมมีเกลือละลายอยู่ด้วยก็จะทำให้ใช้เวลาในการบำบัดเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน

และจากการทดลองสามารถหาอันดับของการเกิดปฏิกิริยาการกำจัดสีย้อมในสารละลายสีย้อมได้เท่ากับ 0.66 และสามารถหาค่าคงที่ของปฏิกิริยาได้เท่ากับ 0.0181 $\frac{mole^{0.34}}{l^{0.34} \cdot s}$ ซึ่งจากค่าอันดับของปฏิกิริยาและค่าคงที่ของปฏิกิริยานี้ทำให้เราสามารถหาอัตราการเกิดปฏิกิริยาระหว่างโอโซนกับสีย้อมได้ และสามารถนำไปออกแบบปฏิกรณ์ที่จะใช้ในการกำจัดสีย้อมที่ความเข้มข้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับปัญหาที่เกิดขึ้นในระหว่างการวิจัย คือ ไม่ได้ตรวจสอบว่าผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากการออกซิเดชันสีย้อมด้วยโอโซนนั้นเป็นสารประเภทใด และสารนั้นมีพิษหรือไม่มีพิษต่อสิ่งมีชีวิต ดังนั้นจึงควรที่จะศึกษาถึงผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นระหว่างการออกซิเดชันสีว่าเป็นสารประเภทใด และมีพิษต่อสิ่งมีชีวิตหรือไม่ เช่น สารจำพวกไนเตรต คีโตน กรดอะซิติก เป็นต้น นอกจากนี้ควรศึกษาว่าประเภทของสีย้อมมีผลต่อการบำบัดสีย้อมด้วยโอโซนหรือไม่อีกด้วย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] Wang, C. et al. 2003, **Ozonation of an azo dye C.I. Remazol Black 5 and toxicological assessment of its oxidation products.** Chemosphere 52, 1225-1232

[2] ดร.เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์., 2539. **การบำบัดน้ำเสีย.** พิมพ์ครั้งที่ 1; สำนักพิมพ์มิตรนราการพิมพ์

[3] ผศ.ดร.นวลพรรณ ณ ระนอง และมงคลเพ็ญสายใจ. 2544. **น้ำและการบำบัดน้ำเสีย.** ภาควิชาชีววิทยาประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. พิมพ์ครั้งที่ 2; โครงการตำราคณะวิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

[4] วิภา พอดี. **"การกำจัดสีย้อมผ้าในน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมด้วยพอลิเมอร์บีตาไซเดกซ์ทริน."** ปริญญานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาเคมี บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2544.

[5] Available : http://members.pgonline.com/~bryand/StainsFile/dyes/37235.htm

[6] Available : http://members.pgonline.com/~bryand/StainsFile/dyes/37235.htm

[7] สำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมโรงงาน. **คู่มือการจัดการสิ่งแวดล้อมโรงงานฟอก.** กรุงเทพฯ : สำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมโรงงาน. 2542

[8] ศิริลักษณ์ ตั้งขบวนบุตร และคณะ. **"การศึกษาผลกระทบต่อวิตามินซีในผักคะน้าในการบำบัดยาฆ่าแมลงตกค้างโดยใช้โอโซน และโอโซนร่วมกับรังสียูวี."** ปริญญานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาเคมี สาขาเคมีสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2544

[9] Fogler, H. 1999. Element of Chemical Reaction Engineering. 3rd ed. New Jersey : Prentice Hall PTR.

[10] Muthukumar, M. and Selvakumar, N. "Studies on the effect of inorganic salts on decolouration of acid dye effluents by ozonaton. Dyes and Picments 62, 221-228

[11] คณะกรรมการวิชาการสาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม. 2545. **คู่มือวิเคราะห์น้ำและน้ำเสีย.** สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม, วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์. พิมพ์ครั้งที่ 1; วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์

[12] Available : http://www.industry.go.th/

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

การเตรียมสารเคมี

การเตรียมน้ำยาเคมีทุกอย่างจะต้องใช้น้ำกลั่นปราศจากสิ่งเจือปนอื่นๆ

1. วิธีเตรียมสารละลายสีย้อมฟาสบลูบีเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

ละลายสีย้อมฟาสบลูบีจำนวน 0.1 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรจนได้ปริมาตร 1 ลิตร เขย่าให้เข้ากัน

2. วิธีเตรียมสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตเข้มข้น 0.01 โมลาร์

ละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตจำนวน 25.0 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรจนได้ปริมาตร 1 ลิตร เขย่าให้เข้ากัน

3. วิธีเตรียมสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์เข้มข้นร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก

ละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ 20 กรัม ในน้ำกลั่นละลาย แล้วปรับปริมาตรจนได้ปริมาตร 1 ลิตร เขย่าให้เข้ากัน

4. วิธีเตรียมสารละลายด่างโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.05 โมลาร์

ละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์จำนวน 2 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรจนได้ปริมาตร 1 ลิตร เขย่าให้เข้ากัน

5. วิธีเตรียมสารละลายกรดไฮโดรคลอ เข้มข้น 0.05 โมลาร์

นำกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นร้อยละ 37 โดยน้ำหนัก มา1.838 มิลลิลิตร ไปเจือจางด้วยน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรจนได้ปริมาตร 1 ลิตร เขย่าให้เข้ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

การวิเคราะห์ความต้องการออกซิเจนทางเคมี ด้วยวิธีรีฟลักซ์แบบปิด

ค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมี เป็นการวัดปริมาณออกซิเจนที่นำไปใช้ในการสลายสารอินทรีย์ที่มีในตัวอย่างน้ำได้เป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ดังนั้นการวิเคราะห์หาค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมีก็เพื่อวัดปริมาณความสกปรกของน้ำเสียจากบ้านเรือนและโรงงานอุตสาหกรรม การวิเคราะห์ความต้องการออกซิเจนทางเคมีใช้เวลาสั้นประมาณ 3 ชั่วโมง จึงเหมาะสมที่จะใช้ในการควบคุมดูแลระบบบำบัดน้ำเสีย เนื่องจากสามารถแก้ไขได้ทันทีที่มีความผิดพลาดเกิดขึ้น

ความสำคัญต่อระบบบำบัดน้ำเสีย

การวิเคราะห์ค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมีจะใช้ในการบ่งชี้ปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำเสีย คำนวณประสิทธิภาพการกำจัด ตรวจหาปริมาณอากาศที่ต้องเติมลงไปในถังเติมอากาศ และภาระสารอินทรีย์ที่เข้าระบบทางชีวะ ออกแบบระบบบำบัดน้ำเสีย

ค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมีรวมถึงสารประกอบที่ไม่สามารถย่อยสลายโดยแบคทีเรีย (วัดค่าบีโอดีไม่ได้) และสารพิษซึ่งยับยั้งการทดสอบความต้องการออกซิเจนทางเคมี ดังนั้นค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมีจึงไม่สามารถวัดอัตราเร็วในการย่อยสลายทางชีววิทยาของน้ำเสียและน้ำในแหล่งน้ำได้ ค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมีใช้ตรวจวัดความสกปรกของน้ำเสีย ซึ่งวิธีการแตกต่างจากการวิเคราะห์ค่าบีโอดี ข้อดีของการวิเคราะห์ความต้องการออกซิเจนทางเคมีสามารถรู้ผลได้ในเวลา 2-3 ชั่วโมง จึงนิยมใช้ในการควบคุมดูระบบบำบัดน้ำเสีย

การควบคุมคุณภาพ

1. วิเคราะห์สารละลายมาตรฐานโปแตสเซียมไฮโดรเจนพลาเลต (KHP) เพื่อเช็คความถูกต้องของเทคนิคการวิเคราะห์ (KHP 425 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมีเท่ากับ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร)
2. สารเอเอฟเอส (FAS) ต้องถูกตรวจวัดความเข้มข้นที่ถูกต้องด้วยสารละลายมาตรฐานไดโครเมต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. สารมาตรฐานต้องถูกอบแห้งในตู้อบก่อนชั่ง
4. กำจัดคลอไรด์ด้วยเมอร์คิวรี่ซัลเฟต ($HgSO_4$)
5. อัตราส่วนปริมาตรน้ำตัวอย่าง (รวมน้ำกลั่น) : ไดโครเมต : กรด = 5 : 3 : 7

ข้อควรระวัง

1. ผสมสารทุกอย่างให้เข้ากันก่อนให้ความร้อน เพราะถ้าชั้นของกรดที่ก้นขวดความต้องการออกซิเจนทางเคมีร้อนจะทำให้ของผสมพุ่งออกมาได้
2. ถ้าใช้ตัวอย่างปริมาตรอื่นให้ใช้อัตราส่วนน้ำตัวอย่าง ปริมาตรและนอร์มัลลิตีของน้ำยาเคมี เพื่อให้ได้อัตรส่วนของตัวอย่างกับน้ำยาเคมีที่ถูกต้องตามตาราง ข.1

ในการวิเคราะห์หาค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมีนั้นจะมีอยู่ด้วยกัน 2 วิธี คือ วิธีรีฟลักซ์แบบเปิดและวิธีรีฟลักซ์แบบปิด และในโครงงานนี้ได้เลือกใช้วิธีรีฟลักซ์แบบปิดในการวิเคราะห์หาค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมี เนื่องจากมีค่าใช้จ่ายที่น้อยกว่าวิธีรีฟลักซ์แบบเปิด แต่จะต้องผสมตัวอย่างน้ำที่มีสารแขวนลอยให้เข้ากันให้ดีเพื่อให้ได้ผลที่ถูกต้อง และวิธีนี้สามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ระเหยได้มากกว่า เนื่องจากสัมผัสกับสารโพแทสเซียมไดโครเมต ($K_2Cr_2O_7$) ได้นานกว่า เหมาะสมกับน้ำตัวอย่างที่มีค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมีต่ำกว่า 500 มิลลิกรัมต่อลิตร

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. หลอดย่อยสลาย (Digester vessels) ใช้แก้วที่ทำด้วยบอโรซิลิเกตขนาด 16 x 100 มิลลิเมตร หรือ 20 x 150 มิลลิเมตร ที่มีฝาเกลียวชนิดทีเอฟอี (TFE)
2. ฮีทติ้งบล็อกกล่องอลูมิเนียมตัน ลึก 45-50 มิลลิเมตร มีรูขนาดพอดีกับหลอดแก้ว หรือขาตั้งใส่หลอดแก้ว
3. บล็อคฮีทติ้ง (Block heater) หรือตู้อบควบคุมอุณหภูมิที่ 150 ± 2 องศาเซลเซียส การใช้ตู้อบต้องแน่ใจว่าการอบ 2 ชั่วโมงที่ 150 องศาเซลเซียส จะไม่ทำให้ฝาหลอดแก้วเสียหาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารเคมี

1. สารละลายโพแทสเซียมไดโครเมตสำหรับย่อยสลาย 0.1 N : ชั่ง $K_2Cr_2O_7$ (ซึ่งอบแห้งที่ 130 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง) มา 4.913 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร เติม conc. H_2SO_4 167 มิลลิลิตร และเติม $HgSO_4$ 33.3 กรัม ทิ้งให้ละลายและปล่อยให้เย็นจึงเจือจางด้วยน้ำกลั่นเป็น 1,000 มิลลิลิตร
2. สารละลายกรดซัลฟิวริก : เติม Ag_2SO_4 5.5 กรัม ลงใน conc. H_2SO_4 1 กิโลกรัม ตั้งทิ้งไว้ 1 – 2 วัน ให้ Ag_2SO_4 ละลาย
3. สารละลายเฟอร์โรอินดิเคเตอร์ : ละลาย 1, 10 – ฟีแนนโทลีนโมโนไฮเดรต 1.485 กรัม และ $FeSO_4.7H_2O$ 695 มิลลิกรัม ในน้ำกลั่นและเจือจางเป็น 100 มิลลิลิตร
4. สารละลายโพแทสเซียมไฮโดรเจนพธาเลต : นำ $HOOC_6H_4COOK$ มาบดแล้วอบแห้งที่ 120 องศาเซลเซียส ชั่งมา 425 มิลลิกรัม แล้วละลายด้วยน้ำกลั่นและเจือจางจนได้ปริมาตร 1 ลิตร โดยโพแทสเซียมไฮโดรเจนพธาเลต 1 กรัม มีความต้องการออกซิเจนทางเคมีเท่ากับ 1.176 กรัม ออกซิเจน และสารละลายนี้จะมีซีดีเท่ากับ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร และต้องเตรียมใหม่ทุก ครั้งที่ใช้
5. สารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียซัลเฟต 0.10 N : ละลาย $Fe(NH_4)_2(SO_4).6H_2O$ 39.2 กรัม ในน้ำกลั่น เติม conc. H_2SO_4 20 มิลลิลิตร ทิ้งให้เย็นแล้วเจือจางด้วยน้ำกลั่นจนครบ 1 ลิตร นำไปหาความเข้มข้นที่แน่นอนกับสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมตทุกครั้งที่ใช้

การหาความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียซัลเฟต (FAS)

เติมสารเคมีทุกชนิดตามตารางที่ ข.1 ลงในหลอดแก้วตามขนาดที่ต้องการ โดยใช้น้ำกลั่นแทนตัวอย่างน้ำทิ้งให้เย็นลง เติมเฟอร์โรอินดิเคเตอร์ 1-2 หยด แล้วไทเทรตด้วยสารละลาย FAS

$$\text{นอร์มอลลิตีของสารละลาย FAS} = \frac{\text{ปริมาตรของ 0.1 N } K_2Cr_2O_7 \text{ มิลลิลิตร} \times 0.10}{\text{ปริมาตร FAS ที่ใช้ไทเทรต , มิลลิลิตร}} \quad \text{(ข.1)}$$

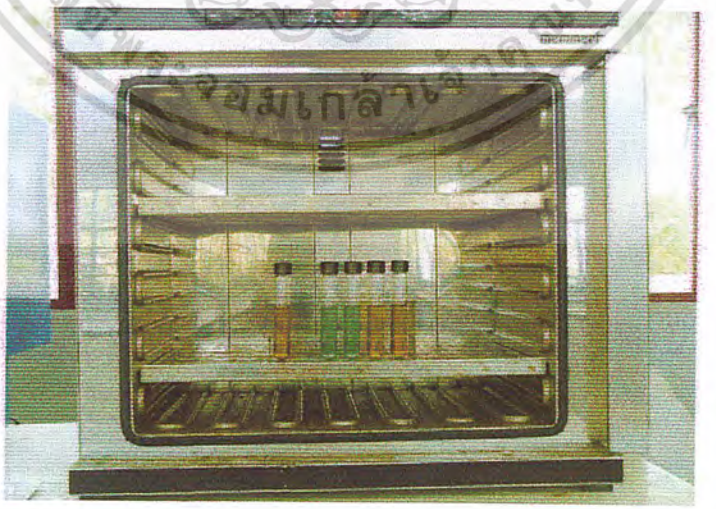
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 แสดงปริมาณน้ำตัวอย่างและสารเคมีสำหรับขวดแก้วขนาดต่างๆ

หลอดย่อยสลาย (ขนาดของหลอดแก้ว)	ปริมาตรน้ำตัวอย่าง (มิลลิลิตร)	ปริมาตรสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมตสำหรับย่อยสลาย (มิลลิลิตร)	สารละลายกรดซัลฟิวริก (มิลลิลิตร)	ปริมาตรรวม (มิลลิลิตร)
16 x 100 มิลลิเมตร	2.5	1.5	3.5	7.5
20 x 150 มิลลิเมตร	5.0	3.0	7.0	15.0
25 x 150 มิลลิเมตร	10.0	6.0	14.0	30.0

วิธีวิเคราะห์

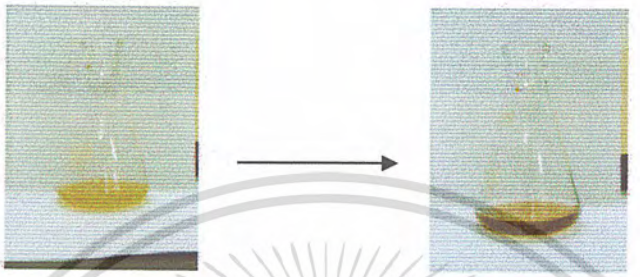
1. ใช้ปริมาตรน้ำตัวอย่างและสารเคมีตามตารางที่ ข.1 โดยเติมตัวอย่างน้ำลงไปในหลอดแก้ว แล้วเติมสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมตสำหรับย่อยสลาย แล้วจึงค่อยๆ เติมสารละลายกรดซัลฟิวริกให้เกิดชั้นกรดอยู่ที่ก้นหลอดแก้ว ปิดฝาให้แน่นพอดี แล้วแกว่งขวดวนไปมาเพื่อให้สารละลายผสมกันดี (ถ้าความต้องการออกซิเจนทางเคมีมีค่ามากกว่า 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้ลดปริมาตรน้ำตัวอย่างลง แล้วเติมน้ำกลั่นให้ครบตามตาราง)
2. นำหลอดแก้วใส่ลงในขาตั้งใส่หลอดแก้ว แล้วเข้าสู่ตู้อบที่ 150 องศาเซลเซียส แล้วอบเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง



รูปที่ ข.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการหาความต้องการออกซิเจนทางเคมี โดยวิธีรีฟลักซ์แบบปิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เปิดฝาหลอดแก้ว แล้วเติมเฟอร์โรอินดิเคเตอร์ 1-2 หยด แลเวไทเทรตด้วย 0.10 N FAS จนกระทั่งสีเปลี่ยนเป็นน้ำตาลแดง (B) ดังรูปที่ ข.2
4. ทำแบลงค์ด้วยทุกครั้ง โดยใช้น้ำกลั่นแทนตัวอย่างและทำการวิเคราะห์เหมือนตัวอย่างน้ำ ดังแสดงแผนผังการวิเคราะห์ความต้องการออกซิเจนทางเคมีโดยวิธีรีฟลักซ์แบบปิดในรูปที่ ข.3



สารละลายสีเหลือง สารละลายสีน้ำตาลแดง

รูปที่ ข.2 การเปลี่ยนสีของตัวอย่างน้ำหลังจากการไทเทรตด้วย FAS

การคำนวณ

$$\text{COD (mg/l)} = \frac{(A-B)\ x\ N\ x\ 8{,}000}{V\ (ml)} \qquad \text{(ข.2)}$$

เมื่อ

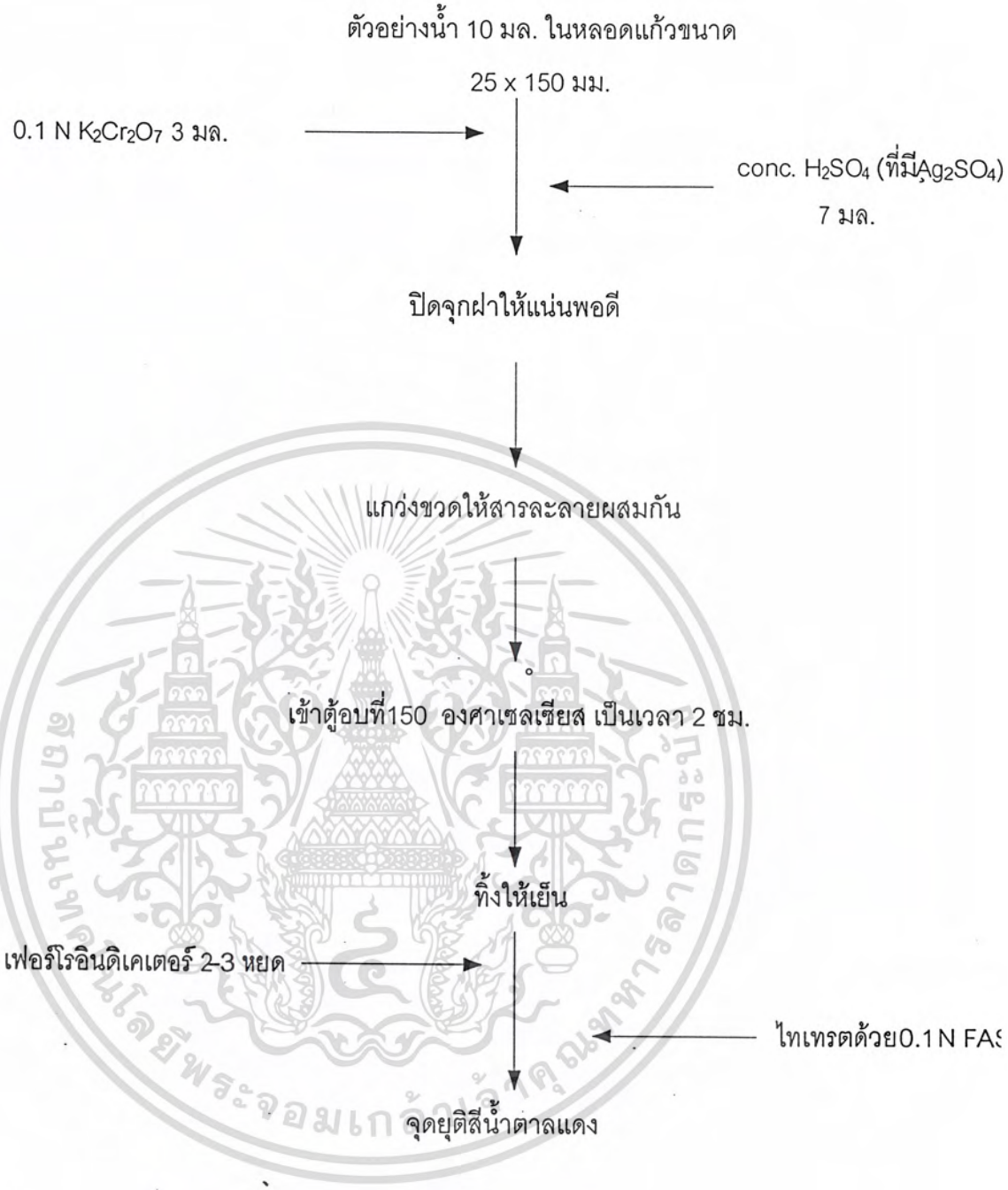
A = มิลลิลิตรของ FAS ที่ใช้ไทเทรตแบลงค์

B = มิลลิลิตรของ FAS ที่ใช้ไทเทรตน้ำตัวอย่าง

N = นอร์มอลลิตี้ของ FAS

V = มิลลิลิตรของตัวอย่างน้ำ [11]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



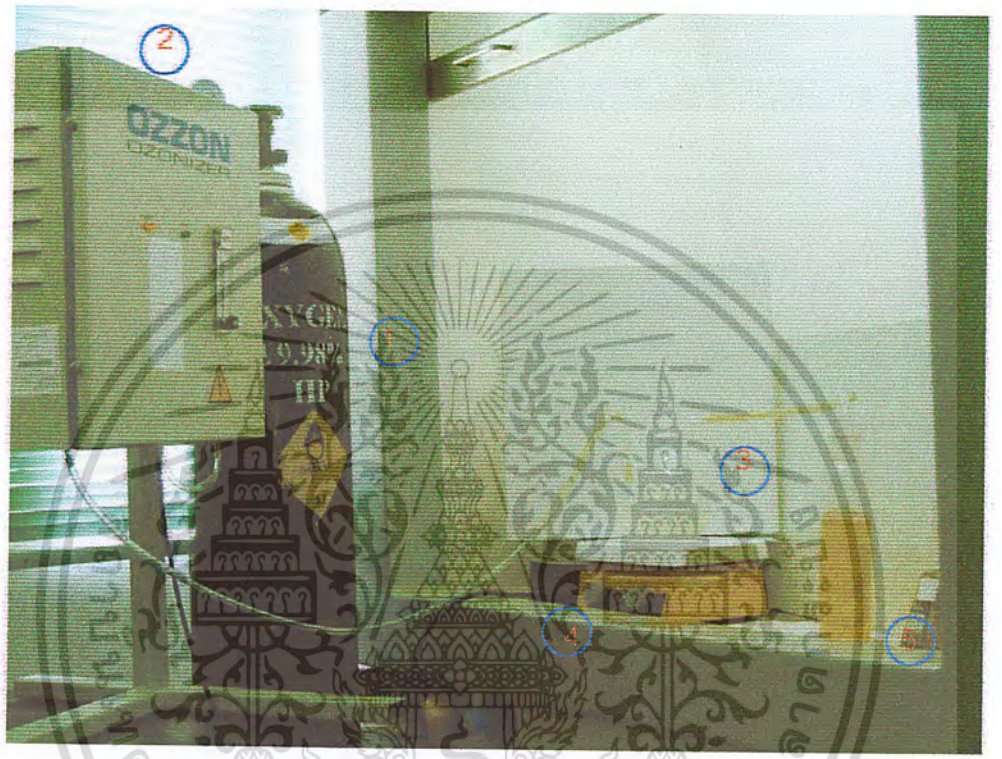
* การทำแบลงค์ใช้น้ำลกั่น 10 มล. แทนตัวอย่างน้ำและทำทุกขั้นตอนเหมือนตัวอย่าง

รูปที่ ข.3 แผนผังการวิเคราะห์ความต้องการออกซิเจนทางเคมีโดยวิธีรีฟลักซ์แบบปิด [11]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

รูปชุดการทดลองการบำบัดด้วยโอโซนและรูปเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ ค.1 ชุดทดลองการบำบัดสีย้อมฟาสบลูบีในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยวิธีโอโซเนชัน

*หมายเหตุ ชื่ออุปกรณ์อ้างอิงหมายเลขตรงกับรูปที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

ตารางผลการทดลอง

ตารางที่ ง.1 วัดปริมาณของโอโซนที่ละลายในน้ำที่อัตราการป้อนของออกซิเจน 600 มิลลิลิตรต่อนาที

ครั้งที่	อัตราไหลของออกซิเจน (มิลลิลิตรต่อนาที)	เวลา (นาที)	ปริมาตรตัวอย่าง (มิลลิลิตร)	ปริมาตรโซเดียมไธโอซัลเฟต (มิลลิลิตร)
1	600	10.00	50	2.9
			50	3.5
			50	3.2
2	600	10.00	50	3.0
			50	3.1
			50	3.2
			เฉลี่ย	3.1

ตารางที่ ง.2 วัดปริมาณของโอโซนที่ละลายในน้ำที่อัตราการป้อนของออกซิเจน 1,200 มิลลิลิติต่อนาที

ครั้งที่	อัตราไหลของออกซิเจน (มิลลิลิตรต่อนาที)	เวลา (นาที)	ปริมาตรตัวอย่าง (มิลลิลิตร)	ปริมาตรโซเดียมไธโอซัลเฟต (มิลลิลิตร)
1	1,200	10.00	50	5.5
			50	5.8
			50	4.8
2	1,200	10.00	50	5.2
			50	5.0
			50	5.0
			เฉลี่ย	5.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.3 ปริมาณของโอโซนที่ละลายในน้ำที่อัตราการป้อนของออกซิเจน 1,800 มิลลิลิตรต่อนาที

ครั้งที่	อัตราไหลของออกซิเจน (มิลลิลิตรต่อนาที)	เวลา (นาที)	ปริมาตรตัวอย่าง (มิลลิลิตร)	ปริมาตรโซเดียมไธโอซัลเฟต (มิลลิลิตร)
1	1,800	5.01	50	4.7
			50	4.8
			50	4.5
2	1,800	5.00	50	4.9
			50	4.6
			50	4.6
			เฉลี่ย	4.7

ตารางที่ ง.4 วัดปริมาณของโอโซนที่ละลายในน้ำที่อัตราการป้อนของออกซิเจน 2,400 มิลลิลิตรต่อนาที

ครั้งที่	อัตราไหลของออกซิเจน (มิลลิลิตรต่อนาที)	เวลา (นาที)	ปริมาตรตัวอย่าง (มิลลิลิตร)	ปริมาตรโซเดียมไธโอซัลเฟต (มิลลิลิตร)
1	2,400	2.00	50	3.1
			50	3.0
			50	3.1
2	2,400	2.00	50	3.0
			50	3.1
			50	2.9
			เฉลี่ย	3.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.5 ค่าการดูดกลืนแสงของสีย้อมที่ความยาวคลื่น 380 นาโนเมตร ที่ความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมต่างๆ

ความเข้มข้องของสีย้อม (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 380 นาโนเมตร
0	0.128
10	0.329
20	0.535
30	0.725
40	0.900
50	1.0543

ตารางที่ ง.6 ความเข้มข้นของสีย้อมฟาสบลูบีในสารละลายสีย้อมฟาสบลูบีที่เวลาต่างๆ ที่อัตราการป้อนออกซิเจนต่างๆ

เวลา (นาที)	ความเข้มข้นของสีย้อมฟาสบลูบี (มิลลิกรัมต่อลิตร)			
	อัตราการป้อน 600 มิลลิลิตร/นาที	อัตราการป้อน 1,200 มิลลิลิตร/นาที	อัตราการป้อน 1,800 มิลลิลิตร/นาที	อัตราการป้อน 2,400 มิลลิลิตร/นาที
0	19.8	21.1	20.1	19.5
2	16.1	14.6	13.6	13.1
4	14.7	13.0	11.2	10.9
6	13.1	11.4	9.1	9.2
8	11.9	10.1	7.6	7.6
10	10.1	8.9	6.6	6.4
12	9.5	N. a .	5.9	5.6
14	8.8	N. a .	5.1	5.3
15	N. a .	6.8	N. a .	N. a .
16	7.6	N. a .	N. a .	4.3
18	6.4	N. a .	N. a .	3.1
20	5.6	4.8	2.6	2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง. ความเข้มข้นของสีย้อมฟาสบลูบีในสารละลายสีย้อมฟาสบลูบีที่เวลาต่างๆ ที่อัตราการป้อนออกซิเจนต่างๆ (ต่อ)

เวลา (นาที)	ความเข้มข้นของสีย้อมฟาสบลูบี (มิลลิกรัมต่อลิตร)			
	อัตราการป้อน 600 มิลลิลิตร/นาที	อัตราการป้อน 1,200 มิลลิลิตร/นาที	อัตราการป้อน 1,800 มิลลิลิตร/นาที	อัตราการป้อน 2,400 มิลลิลิตร/นาที
25	4.3	2.9	1.1	1.1
30	3.3	1.3	0.4	0.3
35	2.4	0.6	0.2	0
40	1.1	0.2	0	
45	0.2	0		
50	0.2			
55	0.1			
60	0			

N. a . คือ ไม่มีข้อมูล

ตารางที่ ง.7 ความเข้มข้นของสีย้อมฟาสบลูบีในสารละลายสีย้อมฟาสบลูบีที่เวลาต่างๆ ที่อัตราการป้อนออกซิเจน 1,800 มิลลิลิตรต่อนาที และค่าความเป็นกรด-ด่างต่างๆ

เวลา (นาที)	ความเข้มข้นของสีย้อมฟาสบลูบี (มิลลิกรัมต่อลิตร)		
	ค่าความเป็นกรด-ด่าง		
	4	7	10
0	17.4	19.3	10.6
2	16.1	12.3	8.8
4	14.4	10.9	7.7
6	14.2	8.7	6.1
8	13.8	4.7	5.7
10	13.2	4.3	4.7
12	12.8	3.8	4.3
14	12.1	2.8	3.3
16	11.2	2.4	2.8
18	10.7	2.1	2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.7 ความเข้มข้นของสีย้อมฟาสบลูบีในสารละลายสีย้อมฟาสบลูบีที่เวลาต่างๆ ที่อัตราการป้อนออกซิเจน 1,800 มิลลิลิตรต่อนาที และค่าความเป็นกรด-ด่างต่างๆ (ต่อ)

เวลา (นาที)	ความเข้มข้นของสีย้อมฟาสบลูบี (มิลลิกรัมต่อลิตร)		
	ค่าความเป็นกรด-ด่าง		
	4	7	10
20	10.0	1.4	1.9
25	9.3	0.6	1.3
30	8.8	0.1	0.8
35	7.7	0	0.6
40	6.6		0.3
45	5.8		0
50	4.6		
55	3.9		
60	3.2		
70	1.7		
80	0.4		
90	0.2		
100	0		

ตารางที่ ง.8 ความเข้มข้นของสีย้อมฟาสบลูบีในสารละลายสีย้อมฟาสบลูบีที่เวลาต่างๆ ที่อัตราการป้อนออกซิเจน 1,800 มิลลิลิตรต่อนาที และมีเกลือโซเดียมครอไรด์ละลายอยู่ที่ความเข้มข้นต่างๆ

เวลา (นาที)	ความเข้มข้นของสีย้อมฟาสบลูบี (มิลลิกรัมต่อลิตร)		
	ความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ (มิลลิกรัมต่อลิตร)		
	5	10	15
0	21.3	20.4	21.7
2	13.8	15.1	18.0
4	15.3	17.6	15.9
6	15.5	16.1	13.3
8	13.6	14.3	11.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.8 ความเข้มข้นของสีย้อมฟาสบลูบีในสารละลายสีย้อมฟาสบลูบีที่เวลาต่างๆ ที่อัตราการป้อนออกซิเจน 1,800 มิลลิลิตรต่อนาที และมีเกลือโซเดียมครอไรด์ ละลายอยู่ที่ความเข้มข้นต่างๆ (ต่อ)

เวลา (นาที)	ความเข้มข้นของสีย้อมฟาสบลูบี (มิลลิกรัมต่อลิตร)		
	ความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ (มิลลิกรัมต่อลิตร)		
	5	10	15
10	12.1	13.2	7.5
12	10.8	11.2	6
14	9.1	9.7	4.4
16	7.2	8.4	3.6
18	6.4	7.8	2.8
20	5.6	6.2	2.6
25	3.7	4.2	1.9
30	2.4	2.8	1.4
35	1.9	1.4	1.1
40	1.3	0.8	0.8
45	0.6	0.4	0.1
50	0.3	0.2	0.3
55	0	0	0.1
60	0	0	0

ตารางที่ ง.9 ความเข้มข้นของสีย้อมฟาสบลูบีในสารละลายสีย้อมฟาสบลูบีที่เวลาต่างๆ ที่อัตราการป้อนออกซิเจน 1,800 มิลลิลิตรต่อนาที และมีเกลือโซเดียมซัลเฟต ละลายอยู่ที่ความเข้มข้นต่างๆ

เวลา (นาที)	ความเข้มข้นของสีย้อมฟาสบลูบี (มิลลิกรัมต่อลิตร)		
	ความเข้มข้นของโซเดียมซัลเฟต (มิลลิกรัมต่อลิตร)		
	5	10	15
0	20.2	20.1	21
2	12.2	11.9	15.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.9 ความเข้มข้นของสีย้อมฟาสบลูบีในสารละลายสีย้อมฟาสบลูบีที่เวลาต่างๆ ที่อัตราการป้อนออกซิเจน 1,800 มิลลิลิตรต่อนาที และมีเกลือโซเดียมซัลเฟตละลายอยู่ที่ความเข้มข้นต่างๆ (ต่อ)

เวลา (นาที	ความเข้มข้นของสีย้อมฟาสบลูบี (มิลลิกรัมต่อลิตร)		
	ความเข้มข้นของโซเดียมซัลเฟต (มิลลิกรัมต่อลิตร)		
	5	10	15
4	15.7	13.6	18.8
6	13	10.4	17.8
8	11.2	8.7	16.2
10	10.1	6.9	15
12	8.3	5.2	13.8
14	7.1	4.7	12.6
16	6.7	3.5	11.1
18	5.7	1.9	9.8
20	4.9	1.4	9.1
25	2.6	0.9	7.1
30	1.1	0.6	4.4
35	0.1	0.2	2.2
40	0	0	0.6
45	0	0	0.5
50	0	0	0.2
55	0	0	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.10 ค่าความเข้มข้นของสีย้อมฟาสบลูบีเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อเวลาผ่านไปที่อัตราการป้อนก๊าซออกซิเจน 1800 มิลลิลิตรต่อนาที มีเกลือโซเดียมครอไรด์เข้มข้น 15 กรัม ต่อลิตร และค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 8.5

เวลา (นาที)	ความเข้มข้นของสีย้อมฟาสบลูบี (มิลลิกรัมต่อลิตร)
0	205
2	181.4
4	167.5
6	162.8
8	166.4
10	184.7
12	187.5
14	182.2
16	170.6
20	165
25	159.2
30	157.8
35	155
40	153.9
45	152.5
50	151.4
55	149.4
60	142.2
70	138.6
80	136.4
90	131.7
100	128.6
120	108.6
130	104.4

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.10 ค่าความเข้มข้นของสีย้อมฟาสบลูบีเข้มข้น 200 ppm เมื่อเวลาผ่านไปที่อัตราการป้อนก๊าซออกซิเจน 1800 มิลลิลิตรต่อนาที มีเกลือโซเดียมครอไรด์เข้มข้น 15 กรัมต่อลิตร และค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 8.5 (ต่อ)

เวลา (นาที)	ความเข้มข้นของสีย้อมฟาสบลูบี (มิลลิกรัมต่อลิตร)
140	103.1
150	95.6
160	92.2
170	85.8
180	84.2
190	80.0
200	70.3
220	44.3
240	42.7
260	36.0
280	34.2
300	30.1
320	22.5
340	22.2
360	20.8
380	18.1
400	15.7
420	13.9
440	10.7
460	7.3
480	4.8
500	3.9
520	1.9
540	0.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.10 ค่าความเข้มข้นของสีย้อมฟาสบลูบีเข้มข้น 200 ppm เมื่อเวลาผ่านไปที่อัตราการป้อนก๊าซออกซิเจน 1800 มิลลิลิตรต่อนาที มีเกลือโซเดียมครอไรด์เข้มข้น 15 กรัมต่อลิตร และค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 8.5 (ต่อ)

เวลา (นาที)	ความเข้มข้นของสีย้อมฟาสบลูบี (มิลลิกรัมต่อลิตร)
560	0.1
580	0

ตารางที่ ง.11 ปริมาณของ FAS ที่ใช้ในการไทเทรตกับตัวอย่างน้ำเพื่อหาค่าซีโอดี

เครื่องปฏิกรณ์ลำดับที่ที่	สารละลายสีย้อม			ปริมาณของ FAS ที่ใช้ไทเทรตกับตัวอย่างน้ำก่อนบำบัด		ปริมาณของ FAS ที่ใช้ไทเทรตกับตัวอย่างน้ำหลังบำบัด	
	ค่าความเป็นกรด-ด่าง	ความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ (กรัม/ลิตร)	ความเข้มข้นของโซเดียมซัลเฟต (กรัม/ลิตร)	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
1	6.0	0	0	4.5	4.7	5.8	5.7
2	4.0	0	0	2.9	3.1	4.5	4.6
3	7.0	0	0	4.8	4.7	5.5	5.4
4	10.0	0	0	4.6	4.7	5.3	5.3
5	6.4	5	0	4.8	4.8	5.7	5.7
6	6.5	10	0	4.4	4.5	5.5	5.5
7	6.9	15	0	4.2	4.3	5.3	5.2
8	6.7	0	5	4.1	4.2	5.1	5.1
9	6.8	0	10	4.5	4.5	5.6	5.4
10	6.8	0	15	4.4	4.3	5.3	5.3
11*	6.0	15	0	4.1	4.1	5.1	5.1

1-10 ความเข้มข้นของสีย้อมเท่ากับ 20 มิลลิกรัมต่อลิตร

11* ความเข้มข้นของสีย้อมเท่ากับ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ

มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม

ตารางที่ จ.1 ค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม

ดัชนีคุณภาพน้ำ	ค่ามาตรฐาน	วิธีวิเคราะห์
1. ค่าความเป็นกรดและด่าง (pH value)	5.5-9.0	pH Meter
2. ค่าทีดีเอส (TDS หรือ Total Dissolved Solids)	-ไม่เกิน 3,000 มก/ล. หรืออาจแตกต่างแล้วแต่ละประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควร แต่ไม่เกิน 5,000 มก./ล. -น้ำทิ้งที่จะระบายลงแหล่งน้ำกร่อยที่มีค่าความเค็ม (Salinity) เกิน 2,000 มก./ล. หรือลงสู่ทะเลค่าทีดีเอสในน้ำทิ้งจะมีค่ามากกว่าค่าทีดีเอสที่มีอยู่ในแหล่งน้ำกร่อยหรือน้ำทะเลได้ไม่เกิน 5,000 มกล.	ระเหยแห้งที่อุณหภูมิ 103-105°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
3. สารแขวนลอย (Suspended Solids)	ไม่เกิน 50 มก./ล. หรืออาจแตกต่างแล้วแต่ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม หรือประเภทของระบบบำบัดน้ำเสียตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควร แต่ไม่เกิน 150 มก./ล.	กรองผ่านกระดาษกรองใยแก้ว (Glass Fiber Filter Disc)
4. อุณหภูมิ (Temperature)	ไม่เกิน 40°C	เครื่องวัดอุณหภูมิ วัดขณะทำการเก็บตัวอย่างน้ำ
5. สีหรือกลิ่น	ไม่เป็นที่พึงรังเกียจ	ไม่ได้กำหนด
6. ซัลไฟด์ (H_2S)	ไม่เกิน 1.0 มก./ล.	Titrate

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ.1 ค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม (ต่อ)

ดัชนีคุณภาพน้ำ	ค่ามาตรฐาน	วิธีวิเคราะห์
7. ไซยาไนด์ (Cyanide as HCN)	ไม่เกิน 0.2 มก./ล.	กลั่นและตามด้วยวิธี Pyridine Barbituric Acid
8. น้ำมันและไขมัน (Fat, Oil and Grease)	ไม่เกิน 5.0 มก./ล. หรืออาจแตกต่างแล้วแต่ละประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือ ประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควรแต่ไม่เกิน 15 มก./ล.	สกัดด้วยตัวทำละลายแล้วแยกหาน้ำหนักของน้ำมันและไขมัน
9. ฟอร์มาลดีไฮด์ (Formaldehyde)	ไม่เกิน 1.0 มก./ล.	Spectrophotometry
10. สารประกอบฟีนอล (Phenols)	ไม่เกิน 1.0 มก./ล.	กลั่นและตามด้วยวิธี 4-Aminoantipyrine
11. คลอรีนอิสระ (Free Chlorine)	ไม่เกิน 1.0 มก./ล.	Iodometric Method
12. สารที่ใช้ป้องกันหรือกำจัด ศัตรูพืชหรือสัตว์(Pesticide)	ต้องตรวจไม่พบตามวิธีตรวจสอบที่กำหนด	Gas-Chromatography
13. ค่าบีโอดี (5 วันที่อุณหภูมิ 20 °C (Biochemical Oxygen Demand : BOD)	ไม่เกิน 20 มก./ล. หรือแตกต่างแล้วแต่ละประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควรแต่ไม่เกิน 60 มก./ล.	Azide Modification ที่อุณหภูมิ 20°C เป็นเวลา 5 วัน
14. ค่าทีเคเอ็น (TKN หรือ Total Kjeldahl Nitrogen)	ไม่เกิน 100 มก./ล. หรืออาจแตกต่างแล้วแต่ละประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควร แต่ไม่เกิน 200 มก./ล.	Kjeldahl

ที่มา : [12]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้